

# 第 50 回 研 究 発 表 会 記 念 大 会 論 集

(平成 29 年度 研究発表委員会)

(一社) 建設コンサルタンツ協会 近畿支部

平成 29 年 7 月 1 日発行

## は じ め に

(一社)建設コンサルタンツ協会近畿支部が主催する研究発表会は、今回が50回目の節目となります。当研究会は、昭和43年8月に開催された第1回業務研究発表会に端を発し、これまで50年間にわたり、支部会員企業の技術力向上と技術者の能力開発を目的に毎年開催してきました。これまで、昭和57年には特許法に基づき“技術の近畿支部”としての公の技術団体指定を受け、平成4年には本部通常総会の席上において当支部技術部会が「技術の近畿」として本部表彰を受けたこともありました。支部として、会員相互で協力しながら、常に技術に対して真正面から研鑽し続けてきた成果であり、今もそのプロセスにあると言えます。

近年は研究論文の応募件数が増加傾向にあり、今年の発表数は、一般発表60編、ポスター発表52編、学生発表9編の計121編と過去最高を記録しています。今回から始めたポスター発表は、昨年度までのプレゼン発表から趣向を替えた新たな取り組みです。発表者と参加者が互いに納得がいくまで活発な議論をして頂きたいと考えております。また、新たな企画として、3つの自由集会を開催致します。道路研究委員会による「建設コンサルタント技術者が発信する政策提言の意義～立ち上がれ関西 新しい道路網整備2050～」、インフラ維持管理研究委員会による「CIMの最先端を学ぼう！ ～CIMが調査・設計・維持管理を変える～」、男女共同参画委員会による「建コン働き方革命！～これからの多様な働き方を考える～」と、社会ニーズを反映した興味ある内容となっております。さらに、昨年度スタートし大変好評であったCM総選挙のバージョンアップ、それに歓談や交流の場として交流Cafeも引き続き開催します。技術向上に加え、建設コンサルタントの役割や魅力を多くの人に知って頂ける機会になればと考えています。

特別講演は、午前の部と午後の部の2講演とし、午前の部では国土交通省近畿地方整備局の南後和寛技術調整管理官をお迎えして、ご講演を頂きます。発注者としてのお立場から、建設コンサルタントを取り巻く昨今の社会経済情勢の変化について、貴重なお話が伺えることと思います。午後の部では、京都大学の藤井聡教授をお迎えし、「超インフラ論 ～公共投資が日本を救う～」というタイトルでご講演して頂きます。同教授は、「教えて！ニュースライブ 正義のミカタ」などのTVにもご出演しておられる今もとてもホットな研究者です。生のお話を伺える貴重な機会ですので、是非ご来場ください。

結びにあたりまして、論文執筆者、特別講演を快くお引き受け頂きました皆様、審査委員の方々、研究発表会の準備に1年間もの時間を割いて頂いた研究発表委員会の皆様や近畿支部事務局の皆様、自由集会やCM総選挙を企画準備いただいた各委員会の皆様、その他ご協力を頂きました多くの関係者の方々に、心から厚く御礼を申し上げます。

平成 29 年 7 月

平成 29 年度研究発表委員会  
委員長 山下 博康



開会あいさつ：大ホール（8F）

9:10～9:20 近畿支部 支部長 兼塚 卓也

事務局は601号室

特別講演：大ホール（8F）

11:00～12:00 『建設コンサルタントをめぐる諸情勢』 近畿地方整備局 技術調整管理官 南後 和寛 氏  
15:40～17:10 『超インフラ論～公共投資が日本を救う～』 京都大学大学院教授 藤井 聡 氏

イベント

9:30～10:50 自由集会1：C I Mの最先端を学ぼう！～C I Mが調査・設計・維持管理を変える  
インフラ維持管理研究委員会C I M分科会 401号室  
12:45～14:35 自由集会2：建設コンサルタント技術者が発信する政策提言の意義  
～立ち上げ関西 新しい道路網整備2050 道路研究委員会 401号室  
12:45～14:20 自由集会3：ケンコン働き方革命！～これからの多様な働き方を考える～  
男女共同参画委員会 ケンコン働き方改革準備会 大ホール（8F）  
14:45～15:30 CM総選挙 大ホール（8F）  
9:30～17:00 パネル展示 小中ホール（8F）  
9:30～17:00 交流カフェ 8Fロビー

表彰式および開会あいさつ：大ホール（8F）

17:20～17:25 講 評 近畿支部 技術部会長 久後 雅治  
17:25～17:55 表 彰 式 近畿支部 支 部 長 兼塚 卓也  
17:55～18:00 閉会挨拶 近畿支部 副 支 部 長 嶋本 繁治

403号室：一般論文発表【土質系】

101 9:30 地すべり地におけるコスト削減を目的とした三次元安定解析  
～9:45 中央復建コンサルタンツ㈱ 間宮 恵理佳  
102 9:45 地質特性を反映した複数の対策工種を組み合わせた落石対策工の設計  
～10:00 協和設計㈱ 大林 由明  
103 10:05 仮線時に列車荷重を支持する既設高架橋張出しスラブ支持方式の検討  
～10:20 ジェイアール西日本コンサルタンツ㈱ 藤井 公博  
104 10:20 堤防陥没発生要因に関する考察  
～10:35 ㈱建設技術研究所 丸岡 雄一郎  
105 13:00 小型無人航空機（UAV）を用いた単木抽出の試み  
～13:15 国土防災技術㈱ 藤原 美波  
106 13:15 駅構内における小型立坑圧入工法を採用した場所打ち杭の設計・施工計画  
～13:30 中央復建コンサルタンツ㈱ 今村 りえ  
107 13:30 防潮鉄扉の耐震調査と対策検討  
～13:45 ㈱日建技術コンサルタント 上岡 徹也  
108 13:50 FLIPを用いた面割耐震解析に関する一考察  
～14:05 ㈱ニュージェック 石村 勝伸  
109 14:05 斜面内の応力分布が深層崩壊深さに及ぼす影響  
～14:20 日本工営㈱ 保谷 智之

404号室：一般論文発表・学生発表【計画・交通系】

110 9:30 「丸子船」をモチーフにした樹冠トレイルの空間デザイン  
～9:45 ㈱修成建設コンサルタント 赤木 弘志  
111 9:45 都市部貸切バス路上混雑解消のための実証事業  
～10:00 いであ㈱ 新宮原 悠太  
112 10:05 流出解析モデルを活用した浸水対策施設の整備効果に関する検討  
～10:20 ㈱日建技術コンサルタント 柴田 靖  
113 10:20 総合戦略策定から地域・民間主体での事業化実現に向けた支援  
～10:35 パシフィックコンサルタンツ㈱ 高橋 彩人  
114 13:00 公共下水道における総合的な地震対策計画の策定  
～13:15 内外エンジニアリング㈱ 篠部 之博  
115 13:15 伊豆半島における観光期の道路を賢く使う取り組み  
～13:30 八千代エンジニアリング㈱ 藤間 翔太  
116 13:30 商用車プローブデータから見る臨海地域の貨物車動向に関する一考察  
～13:45 ㈱ニュージェック 藤村 一雄  
117 13:50 弾道シミュレーションを用いた飛球防護施設の移設計画  
～14:05 協和設計㈱ 加賀 浩也  
301 14:05 「道の駅」の地域福祉機能がもたらす日常生活満足度の変化に関する分析  
～14:20 和歌山工業高等学校 湊 絵美  
302 14:20 観光地における景観の分析と評価  
～14:35 大阪工業大学大学院 大崎 謹治

405号室：一般論文発表【計画・交通系】

118 9:30 地権者の意向に柔軟に対応する区画整理事業の事例  
～9:45 玉野総合コンサルタント㈱ 福田 英三  
119 9:45 郊外部のバイパス端部への三枝ラウンドアバウトの導入における一考察  
～10:00 ㈱オリエンタルコンサルタンツ 上原 康平  
120 10:05 京都府南丹市サテライトオフィス等誘致支援  
～10:20 キタイ設計㈱ 平橋 武  
121 10:20 コンパクト化に配慮したラウンドアバウトの設計事例報告  
～10:35 協和設計㈱ 木戸 豊大  
122 13:00 行政・住民双方のニーズを踏まえた小学校跡地利用方針（案）の提案  
～13:15 大日本コンサルタント㈱ 小畑 沙梨花  
123 13:15 ホーム差改良における軌道低下検討  
～13:30 ジェイアール西日本コンサルタンツ㈱ 田中 浩之  
124 13:30 参加型防災ワークショップにおける建設コンサルタントの役割～長浜市における災害回上訓練の取り組みを事例にして～  
～13:45 ㈱オオバ 中尾 謙太  
125 13:50 過疎地域における空家等対策計画の役割（奈良県野迫川村を事例として）  
～14:05 応用地質㈱ 嵯峨根 朋子  
126 14:05 国道バイパス化に伴う旧道のコミュニティ道路利用検討  
～14:20 セントラルコンサルタント㈱ 原口 明  
127 14:20 MMSと建物所在データを活用した屋外広告物情報の取得・整理の試み  
～14:35 アジア航測㈱ 宮本 藍介

600号室：一般論文発表・学生発表【構造系】

128 9:30 トンネル内環境データを重視したトンネル換気設備更新設計  
～9:45 ㈱エイ日本技術開発 井上 健太郎  
129 9:45 インフラ点検における実務上の問題点と課題、ICT利活用の検討  
～10:00 ㈱日建技術コンサルタント 川上 崇  
130 10:05 市町村が管理する吊橋の維持管理手法に関する一提案  
～10:20 ㈱建設技術研究所 井川 理智  
131 10:20 道路附属物点検における損傷程度の評価  
～10:35 基礎地盤コンサルタンツ㈱ 濱崎 政則  
132 13:00 FFTフィルタを用いた常時微動H/Vスペクトル比のピーク周波数の効率的な検出方法の提案  
～13:15 ㈱ニュージェック 八木 悟  
133 13:15 橋脚における伝統的な流木対策技術  
～13:30 三井共同建設コンサルタント㈱ 原田 紹臣  
303 13:30 火災領域が合成桁橋の耐力に及ぼす影響  
～13:45 大阪工業大学大学院 高橋 佑介  
304 13:50 高力ボルト摩擦接合へのボルト孔樹脂充填による支圧効果  
～14:05 関西大学 八重垣 諒太  
305 14:05 3重応答スペクトルを用いたRC橋脚の耐震設計に関する一検討  
～14:20 大阪産業大学大学院 甲田 啓太  
306 14:20 簡易ツールによる疲労き裂の進展抑制工法の開発  
～14:35 関西大学 松原 由典



## 605号室：一般論文発表【構造系】

134 9:30 ～9:45	維持管理に配慮した海岸道路の波置工補修設計 協和設計㈱ 小長谷 克明
135 9:45 ～10:00	供用中における合流式ポンプ場の改築更新手法 ㈱ニュージェック 鈴木 利幸
136 10:05 ～10:20	橋梁設計におけるCIMモデルの活用目的とモデルの詳細度に関する一考察 中央復建コンサルタンツ㈱ 石井 麻織
137 10:20 ～10:35	京都府景観資産を織り成す「流れ橋」の再生 セントラルコンサルタント㈱ 須田 花織
138 13:00 ～13:15	コンクリート中空床版橋のボイドのかぶり計測調査業務に関する考察 パシフィックコンサルタンツ㈱ 許 佳実
139 13:15 ～13:30	斜角の影響を考慮した橋台階掛版の検討 東洋技研コンサルタント㈱ 松下 晟也
140 13:30 ～13:45	ロッキング橋脚を有する鋼2径間連続橋の耐震補強設計 全日本コンサルタント㈱ 中野 誠嗣
141 13:50 ～14:05	一定せん断流パネル解析をP-C道路橋の設計に用いる場合のモデル化手法の提案 ㈱オリエンタルコンサルタンツ 原田 健彦
142 14:05 ～14:20	熊本地震で被災した南阿蘇橋の損傷メカニズムの検討 ㈱エイト日本技術開発 木野村 宏昭
143 14:20 ～14:35	免震支承を用いた河川を横過する橋梁の詳細設計業務 八千代エンジニアリング㈱ 渋谷 賢志

## 700号室：一般論文発表・学生発表【河川系】

144 9:30 ～9:45	都市部港湾の海岸保全施設（自立矢板式護岸）の耐震対策 日本工営㈱ 江野 翔紀
145 9:45 ～10:00	維持管理の容易な河道形状の形成手法の検討 ㈱建設技術研究所 佐々木 昌俊
146 10:05 ～10:20	淀川水系猪名川下流ブロックにおける当面の治水目標及び治水手法の検討 ㈱CTウィング 芳野 和寿
147 10:20 ～10:35	雨水流出解析における流出係数設定手法に関する一考察 ㈱エース 美作 世紀
148 13:00 ～13:15	長期的広域的な土砂動態予測法について いであ㈱ 永谷 直昌
149 13:15 ～13:30	南海トラフ地震による大規模被害に備えた和歌山道路啓開に係る行動指針の作成 ㈱建設技術研究所 中畑 摩郎
150 13:30 ～13:45	宮崎県島津における防波堤の耐津波対策と水理模型実験による検証 パシフィックコンサルタンツ㈱ 諸澤 朱里
307 13:50 ～14:05	河道の弯曲と堰湛水の影響を受ける河川合流部における水制による河床変動制御に関する研究 明石工業高等専門学校 久保 裕基
151 14:05 ～14:20	深層崩壊に起因する土砂災害に対するハード対策の検討 ㈱建設技術研究所 岸上 直之
152 14:20 ～14:35	ASR対策を併用した潮止水門の耐震補強について ㈱修成建設コンサルタント 伊藤 慎悟

## 701号室：一般論文発表・学生発表【河川系・環境系】

153 9:30 ～9:45	CommonMPによる貯留関数・準2次元不等流計算プロジェクトおよび機能拡張ツールの構築 ㈱ニュージェック 藤田 暁
154 9:45 ～10:00	危機管理型ハード対策における設計時の課題とその対応について ㈱エイト日本技術開発 藤井 尚
155 10:05 ～10:20	3Dスラム式ハンディーレーザースキャナを用いた微地形を考慮した浸水対策の事例 ㈱アスコ大東 向本 敬美
156 10:20 ～10:35	水辺の小わが魚道による魚道整備 ㈱ウエスコ 加瀬 瑛斗
157 13:00 ～13:15	津波対策におけるJ-ALERTによる水門の自動運転化 ㈱エース 飯尾 大助
308 13:15 ～13:30	大気からの重金属の降下特性に関する基礎的研究 大阪府立大学大学院 吉廻 翔輝
309 13:30 ～13:45	米農産濃度および動物プランクトンの存在に対する植物プランクトンの応答特性 大阪府立大学大学院 人見 晃司
158 13:50 ～14:05	非破壊でスピーディーな『樹木の健康診断サービス』 応用地質㈱ 芦葉 弥生
159 14:05 ～14:20	越年生草本カワチシャの播種・育苗による増殖方法の検討 中央復建コンサルタンツ㈱ 重吉 実和
160 14:20 ～14:35	環境DNA多種同時検出法による淡水魚類相調査の試み パシフィックコンサルタンツ㈱ 渡部 健



写真：建コン近畿フォトコンテスト2016 一般部門 最優秀賞作品

## 中ホール（8F）：ポスター発表

201 交通1	住宅地における細街路の拡幅設計 協和設計㈱ 新川 桃香
202 交通2	車いす勾配降坂時の速度抑制にかかるブレーキ力に関する考察 東洋技研コンサルタント㈱ 白田 尚輝
203 交通3	地方都市における逆線引き制度の運用実態に関する研究 ㈱オリエンタルコンサルタンツ 山口 敬
204 交通4	ユーティリティデータの特性に着目した広域的な空き家分布推定の試み ㈱エース 北本 麻奈
205 交通5	地域施設の複層的利用にみる社会生活圏形成に関する研究～大阪市西成区釜ヶ崎を事例として～ ㈱オオバ 大宮 風香
206 交通6	GNSS解析時におけるGLONASS・GPS衛星併用の効果 アジア航測㈱ 上野山 明良
207 交通7	郊外型キャンパスに近い市街化調整区域内の1校区を対象とした大学生の居住可能性に関する研究 ㈱オリエンタルコンサルタンツ 河津 恵嗣
208 交通8	炭鉱地域の環境再生・地域活性化計画に関する研究 パシフィックコンサルタンツ㈱ 勝木 安美
209 交通9	近畿圏における物流実態に関する研究 中央復建コンサルタンツ㈱ 高良 麻由
210 交通10	まちづくり活動と連動した空き家活用方策に関する研究 ㈱オオバ 松井 梨奈
211 交通11	阿波おどりの時空間分析 東洋技研コンサルタント㈱ 筒井 真輝
212 交通12	バス経路検索履歴データを用いた移動希望特性の分析 ㈱修成建設コンサルタント 香川 庵之
213 交通13	江ノ口川の景観デザイン いであ㈱ 藤崎 美貴
214 交通14	低炭素社会を考慮した超小型モビリティの利用可能性に関する分析 ㈱オオバ 川原 悠佑
215 交通15	震災復興による嵩上げ工事において沿道住民の生活に配慮した施工計画 協和設計㈱ 中島 裕章
216 交通16	観測条件を反映したBluetoothスキャナによるMACアドレス検知確率推定モデルの構築 ㈱オリエンタルコンサルタンツ 河野 侑奈
217 交通17	四国の道の駅の立地特性と施設機能による来訪魅力の違いの特定 ㈱エイト日本技術開発 轟木 脩平
218 交通18	京阪神大都市圏における鉄道ネットワーク形成に基づく影響分析 ㈱オオバ 長谷 翔平
219 構造1	河川拡幅計画に伴う既存橋梁の延伸設計 協和設計㈱ 藤本 匠
220 構造2	火災による高温履歴を受けたプレテンションPCはり部材の補強に関する研究 ㈱オリエンタルコンサルタンツ 山下 尚也
221 構造3	近接施工影響と事業損失リスクに配慮した山間部の開削トンネルの設計 ㈱建設技術研究所 若本 達也
222 構造4	橋梁防水（水切り材）の共同開発 パシフィックコンサルタンツ㈱ 栗原 尚大
223 構造5	高力ボルトの腐食に関する解析的検討 ジェイアール西日本コンサルタンツ㈱ 二宮 僚
224 構造6	こいのぼり割製支柱の維持管理に関する一考察 中央復建コンサルタンツ㈱ 小野 拓海
225 構造7	不連続変形法を用いた石垣の崩壊挙動解析 ㈱オリエンタルコンサルタンツ 中西 一仁
226 土質1	水平慣性力を受ける模型盛土の補強材敷設条件の違いによる補強効果 ジェイアール西日本コンサルタンツ㈱ 小林 敬尚
227 土質2	パイピング現象による地すべりダム崩壊前兆現象に関する研究 基礎地盤コンサルタンツ㈱ 星元 誠斗
228 土質3	斜面崩壊土砂の堆積形状と到達域に関する室内模型実験 協和設計㈱ 寺田 幸太
229 土質4	複合物理探査による切土斜面の工学的評価法に関する研究 ㈱ニュージェック 増満 岳也
230 土質5	急傾斜地における崩壊土砂対策に関する基礎実験 全日本コンサルタント㈱ 糸田 有輝
231 土質6	液状化した地盤の揺動による幹線道路歩道の付き上げ被害の検討 基礎地盤コンサルタンツ㈱ 山下 文
232 土質7	大分県姫島の完新世後期の地形変化 ㈱日建技術コンサルタント 山下 雄大
233 土質8	津波堆積物形成・保存に及ぼす古地形の影響 国際航業㈱ 武田 開
234 環境1	集中型・分散型草本系バイオマス発電のライフサイクル CO2排出量の比較評価 概要書 パシフィックコンサルタンツ㈱ 橋原 伸一郎
235 環境2	山風現象による市街地の冷却効果に関する基礎的研究 中央復建コンサルタンツ㈱ 一色 和明
236 環境3	晶析法による養豚廃水中の窒素、リン、カリウム同時回収の生物処理への影響 ㈱修成建設コンサルタント 小田 宮歌
237 環境4	魚類の粘着を用いた安定同位体比分析法の確立：置換速度に対する水温の影響 近畿技術コンサルタンツ㈱ 藤原 和也
238 環境5	波浪時におけるシジミ幼貝の移動評価実験 ㈱エース 川野 裕美
239 環境6	愛媛県東部におけるナガレホトケドジョウの分布および生息場所利用―捕食者による影響― ㈱建設環境研究所 青木 新吾
240 環境7	大阪府における社会・環境負荷軽減地評価システム（SEGES）の実態とその意義に関する研究―「都市のオアシス版」に注目して― ㈱修成建設コンサルタント 高木 幸治
241 環境8	大阪湾奥部の底泥から溶出する窒素・リンの調査 東洋技研コンサルタント㈱ 坂田 真菜
242 環境9	仁淀川源流域における移入イワナと在来アマゴの成長・冬季におけるイワナの有利性・ ㈱ウエスコ 市守 大介
243 河川1	DPRにおける降雨非一様性パラメータ推定手法の地上レダを用いた検証 ㈱バスコ 林 翔太
244 河川2	旭川紙園地区における砂州の切下げによる物理環境変化とその要因に関する研究 ㈱ニュージェック 藤田 駿佑
245 河川3	Lazy Wave Riserに作用する流体力及び挙動推定に関する研究 ㈱日建技術コンサルタント 山本 翔太
246 河川4	水位情報と予測降雨を用いた大規模地下空間の浸水防止対策の検討 協和設計㈱ 川口 徹矢
247 河川5	降雨の時空間分布の違いが河川流量に及ぼす影響に関する研究 ㈱ニュージェック 清水 雄太
248 河川6	信楽森林流域を対象とした微気象・水文観測に基づく蒸発散量の推定と土壌水分動態の把握 ㈱建設技術研究所 前野 彰仁
249 河川7	排水機場改修検討 ㈱キクチコンサルタント 山中 広大
250 河川8	鉛直2次元解析モデルを用いた津波越流時の堤防裏法尻における局所洗掘に関する研究 ㈱ウエスコ 田中 龍二
251 河川9	河川流量観測における河川表面流画像解析手法に関する研究 パシフィックコンサルタンツ㈱ 建口 沙彩
252 河川10	非静水圧を考慮した水路床非均一性による水面形に関する研究 ㈱建設技術研究所 洪 永超

第50回 研究発表会 記念大会 スケジュール表 【大阪科学技術センター】

	4F				6F		7F		8F				
	401	403	404	405	600	605	700	701	小中ホール	大ホール	ロビー		
9:10～9:20										開会挨拶			
9:20～9:30	休 憩												
9:30～9:45	自由集会① CIMの最先端 を学ぼう！ インフラ維持 管理研究委員 会 CIM分科 会	【一般論文】 土質系1 101 間宮 中央復建コンサル タント㈱	【一般論文】 計画・交通系1 110 赤木 ㈱修成建設コン サルタント	【一般論文】 計画・交通系11 118 福田 玉野総合コンサル タント㈱	【一般論文】 構造系1 128 井上 ㈱エイト日本技 術開発	【一般論文】 構造系11 134 小長谷 協和設計㈱	【一般論文】 河川系1 144 江野 日本工営㈱	【一般論文】 河川系11 153 藤田 ㈱ニュージェッ ク	ポスター 発表/ パネル展示	9:30～			
9:45～10:00		【一般論文】 土質系2 102 大林 協和設計㈱	【一般論文】 計画・交通系2 111 新宮原 いであ㈱	【一般論文】 計画・交通系12 119 上原 ㈱オリエンタル コンサルタンツ	【一般論文】 構造系2 129 川上 ㈱日建技術コン サルタント	【一般論文】 構造系12 135 鈴木 ㈱ニュージェッ ク	【一般論文】 河川系2 145 佐々木 ㈱建設技術研 究所	【一般論文】 河川系12 154 藤井 ㈱エイト日本技 術開発					
10:00～10:05													
10:05～10:20		【一般論文】 土質系3 103 藤井 ジェイアール西日本 コンサルタンツ㈱	【一般論文】 計画・交通系3 112 柴田 ㈱日建技術コン サルタント	【一般論文】 計画・交通系13 120 平櫛 キタイ設計㈱	【一般論文】 構造系3 130 井川 ㈱建設技術研 究所	【一般論文】 構造系13 136 石井 中央復建コンサル タント㈱	【一般論文】 河川系3 146 芳野 ㈱CTIウイング	【一般論文】 河川系13 155 向本 ㈱アスコ大東					
10:20～10:35		【一般論文】 土質系4 104 丸岡 ㈱建設技術研 究所	【一般論文】 計画・交通系4 113 高橋 パンフィックコン サルタンツ㈱	【一般論文】 計画・交通系14 121 木戸 協和設計㈱	【一般論文】 構造系4 131 濱崎 基礎地盤コンサル タント㈱	【一般論文】 構造系14 137 須田 セントラルコン サルタント㈱	【一般論文】 河川系4 147 美作 ㈱エース	【一般論文】 河川系14 156 加瀬 ㈱ウエスコ					
10:35～10:50													
10:50～11:00	休 憩												
11:00～12:00									ポスター発表 (審査)	特別講演① 建設コンサル タントをめぐる諸 情勢 南後氏			
12:00～12:45	昼 休 憩												
12:45～13:00	自由集会② 建設コンサル タント技術者 が発信する政 策提言の意義 道路研究委員 会	【一般論文】 土質系5 105 藤原 国土防災技術 ㈱	【一般論文】 計画・交通系5 114 篠部 内外エンジニア リング㈱	【一般論文】 計画・交通系15 122 小畑 大日本コンサル タント㈱	【一般論文】 構造系5 132 八木 ㈱ニュージェッ ク	【一般論文】 構造系15 138 許 パンフィックコン サルタンツ㈱	【一般論文】 河川系5 148 永谷 いであ㈱	【一般論文】 河川系15 157 飯尾 ㈱エース	ポスター 発表/ パネル展示	自由集会③ ケンコン働き方革 命！ 男女共同参画委 員会 ケンコン働 き方改革準備会			
13:00～13:15		【一般論文】 土質系6 106 今村 中央復建コンサル タント㈱	【一般論文】 計画・交通系6 115 藤間 八千代エンジニ ヤリング㈱	【一般論文】 計画・交通系16 123 田中 ジェイアール西日本 コンサルタンツ㈱	【一般論文】 構造系6 133 原田 三井共同建設コン サルタント㈱	【一般論文】 構造系16 139 松下 東洋技研コンサル タント㈱	【一般論文】 河川系6 149 中畑 ㈱建設技術研 究所	【学生発表】 環境系1 308 吉廻 大阪府立大学 大学院					
13:15～13:30		【一般論文】 土質系7 107 上岡 ㈱日建技術コン サルタント	【一般論文】 計画・交通系7 116 藤村 ㈱ニュージェッ ク	【一般論文】 計画・交通系17 124 中尾 ㈱オオパ	【学生発表】 構造系7 303 高橋 大阪工業大学 大学院	【一般論文】 構造系17 140 中野 全日本コンサル タント㈱	【一般論文】 河川系7 150 諸澤 パンフィックコン サルタンツ㈱	【学生発表】 環境系2 309 人見 大阪府立大学 大学院					
13:30～13:45													
13:45～13:50		休 憩											
13:50～14:05		【一般論文】 土質系8 108 石村 ㈱ニュージェッ ク	【一般論文】 計画・交通系8 117 加賀 協和設計㈱	【一般論文】 計画・交通系18 125 嵯峨根 応用地質㈱	【学生発表】 構造系8 304 八重垣 関西大学	【一般論文】 構造系18 141 原田 ㈱オリエンタル コンサルタント	【学生発表】 河川系8 307 久保 明石工業高等 専門学校	【一般論文】 環境系3 158 芦葉 応用地質㈱					
14:05～14:20	【一般論文】 土質系9 109 保谷 日本工営㈱	【学生発表】 計画・交通系9 301 湊 和歌山工業高 等専門学校	【一般論文】 計画・交通系19 126 原口 セントラルコン サルタント㈱	【学生発表】 構造系9 305 甲田 大阪産業大学 大学院	【一般論文】 構造系19 142 木野村 ㈱エイト日本技 術開発	【一般論文】 河川系9 151 岸上 ㈱建設技術研 究所	【一般論文】 環境系4 159 重吉 中央復建コンサル タント㈱						
14:20～14:35		【学生発表】 計画・交通系10 302 大崎 大阪工業大学 大学院	【一般論文】 計画・交通系20 127 宮本 アジア航測㈱	【学生発表】 構造系10 306 松原 関西大学	【一般論文】 構造系20 143 渋谷 八千代エンジニ ヤリング㈱	【一般論文】 河川系10 152 伊藤 ㈱修成建設コン サルタント	【一般論文】 環境系5 160 渡部 パンフィックコン サルタンツ㈱						
14:35～14:45	休 憩												
14:45～15:30										CM 総選挙			
15:30～15:40	休 憩												
15:40～17:10										特別講演② 超インフラ論～ 公共投資が日 本を救う～ 藤井氏	～17:00		
17:10～17:20	休 憩												
17:20～18:00										・講 評 ・表彰式 ・閉会挨拶			



## 第50回(平成29年度)研究発表会 記念大会 論集 目次

No	一般論文 発表	題名	所属	発表者氏名	頁
101	土質系1	地すべり地におけるコスト削減を目的とした三次元安定解析	中央復建コンサルタンツ(株)	間宮 恵理佳	9
102	土質系2	地質特性を反映した複数の対策工種を組み合わせた落石対策工の設計	協和設計(株)	大林 由明	13
103	土質系3	仮線時に列車荷重を支持する既設高架橋張出しスラブ支持方式の検討	ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)	藤井 公博	19
104	土質系4	堤防陥没発生要因に関する考察	(株)建設技術研究所	丸岡 雄一郎	23
105	土質系5	小型無人航空機(UAV)を用いた単木抽出の試み	国土防災技術(株)	藤原 美波	27
106	土質系6	駅構内における小型立坑圧入工法を採用した場所打ち杭の設計・施工計画	中央復建コンサルタンツ(株)	今村 りえ	33
107	土質系7	防潮鉄扉の耐震照査と対策検討	(株)日建技術コンサルタン	上岡 徹也	37
108	土質系8	FLIPを用いた函渠耐震解析に関する一考察	(株)ニュージェック	石村 勝伸	41
109	土質系9	斜面内の応力分布が深層崩壊深さに及ぼす影響	日本工営(株)	保谷 智之	45
110	計画・交通系1	「丸子船」をモチーフにした樹冠トレイルの空間デザイン	(株)修成建設コンサルタン	赤木 弘志	49
111	計画・交通系2	京都市貸切バス路上混雑解消のための実証事業	いであ(株)	新宮原 悠太	53
112	計画・交通系3	流出解析モデルを活用した浸水対策施設の整備効果に関する検討	(株)日建技術コンサルタン	柴田 靖	57
113	計画・交通系4	総合戦略策定から地域・民間主体での事業化実現に向けた支援	パシフィックコンサルタンツ(株)	高橋 彩人	63
114	計画・交通系5	公共下水道における総合的な地震対策計画の策定	内外エンジニアリング(株)	篠部 之博	68
115	計画・交通系6	伊豆半島における観光期の道路を賢く使う取り組み	八千代エンジニアリング(株)	藤間 翔太	74
116	計画・交通系7	商用車プローブデータから見る臨海地域の貨物車動向に関する一考察	(株)ニュージェック	藤村 一雄	78
117	計画・交通系8	弾道シミュレーションを用いた飛球防護施設の移設計画	協和設計(株)	加賀 浩也	81
118	計画・交通系11	地権者の意向に柔軟に対応する区画整理事業の事例	玉野総合コンサルタト(株)	福田 英三	85
119	計画・交通系12	郊外部のバイパス端末部への三枝ラウンドアバウトの導入における一考察	(株)オリエンタルコンサル	上原 康平	90
120	計画・交通系13	京都府南丹市サテライトオフィス等誘致支援	キタイ設計(株)	平櫛 武	95
121	計画・交通系14	コンパクト化に配慮したラウンドアバウトの設計事例報告	協和設計(株)	木戸 豊大	98
122	計画・交通系15	行政・住民双方のニーズを踏まえた小学校跡地利用方針(案)の提案	大日本コンサルタント(株)	小畑 沙梨花	103
123	計画・交通系16	ホーム段差改良における軌道低下検討	ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)	田中 浩之	109
124	計画・交通系17	参加型防災ワークショップにおける建設コンサルタントの役割～長浜市における災害図上訓練の取り組みを事例にして～	(株)オオバ	中尾 謙太	113
125	計画・交通系18	過疎地域における空家等対策計画の役割(奈良県野迫川村を事例として)	応用地質(株)	嵯峨根 朋子	119
126	計画・交通系19	国道バイパス化に伴う旧道のコミュニティ道路利用検討	セントラルコンサルタント(株)	原口 明	123
127	計画・交通系20	MMSと建物所在データを活用した屋外広告物情報の取得・整理の試み	アジア航測(株)	宮本 藍介	127
128	構造系1	トンネル内環境データを重視したトンネル換気設備更新設計	(株)エイト日本技術開発	井上 健太郎	131
129	構造系2	インフラ点検における実務上の問題点と課題、ICT 利活用の検討	(株)日建技術コンサルタン	川上 崇	133
130	構造系3	市町村が管理する吊橋の維持管理手法に関する一提案	(株)建設技術研究所	井川 理智	137
131	構造系4	道路附属物点検における損傷程度の評価	基礎地盤コンサルタンツ(株)	濱崎 政則	139

No	一般論文 発表	標題名	所属	発表者氏名	頁
132	構造系5	FFTフィルタを用いた常時微動H/Vスペクトル比のピーク周波数の効率的な 検出方法の提案	(株)ニュージェック	八木 悟	142
133	構造系6	橋脚における伝統的な流木対策技術	三井共同建設コンサルタン ト(株)	原田 紹臣	148
134	構造系11	維持管理に配慮した海岸道路の波覆工補修設計	協和設計(株)	小長谷 克明	154
135	構造系12	供用中における合流式ポンプ場の改築更新手法	(株)ニュージェック	鈴木 利幸	158
136	構造系13	橋梁設計におけるCIMモデルの活用目的とモデルの詳細度に関する一考 察	中央復建コンサルタンツ (株)	石井 麻織	161
137	構造系14	京都府景観資産を織り成す「流れ橋」の再生	セントラルコンサルタント (株)	須田 花織	165
138	構造系15	コンクリート中空床版橋のボイドのかぶり計測調査業務に関する考察	パシフィックコンサルタンツ (株)	許 佳実	169
139	構造系16	斜角の影響を考慮した橋台踏掛版の検討	東洋技研コンサルタント (株)	松下 晟也	172
140	構造系17	ロッキング橋脚を有する鋼2径間連続橋の耐震補強設計	全日本コンサルタント(株)	中野 誠嗣	176
141	構造系18	一定せん断流パネル解析をPC道路橋の設計に用いる場合のモデル化手法 の提案	(株)オリエンタルコンサル タンツ	原田 健彦	181
142	構造系19	熊本地震で被災した南阿蘇橋の損傷メカニズムの検討	(株)エイト日本技術開発	木野村 宏昭	187
143	構造系20	免震支承を用いた河川を横過する橋梁の詳細設計業務	八千代エンジニアリング (株)	渋谷 賢志	193
144	河川系1	都市部港湾の海岸保全施設(自立矢板式護岸)の耐震対策	日本工営(株)	江野 翔紀	195
145	河川系2	維持管理の容易な河道形状の形成手法の検討	(株)建設技術研究所	佐々木 昌俊	199
146	河川系3	淀川水系猪名川下流ブロックにおける当面の治水目標及び治水手法の検討	(株)CTIウイング	芳野 和寿	205
147	河川系4	雨水流出解析における流出係数設定手法に関する一考察	(株)エース	美作 世紀	211
148	河川系5	長期的広域的な土砂動態予測法について	いであ(株)	永谷 直昌	213
149	河川系6	南海トラフ地震による大規模被害に備えた和歌山道路啓開に係る行動指針 の作成	(株)建設技術研究所	中畑 摩耶	218
150	河川系7	宮崎県細島港における防波堤の耐津波対策と水理模型実験による検証	パシフィックコンサルタンツ (株)	諸澤 朱里	222
151	河川系9	深層崩壊に起因する土砂災害に対するハード対策の検討	(株)建設技術研究所	岸上 直之	228
152	河川系10	ASR 対策を併用した潮止水門の耐震補強について	(株)修成建設コンサルタン ト	伊藤 慎悟	234
153	河川系11	CommonMPによる貯留関数・準二次元不等流計算プロジェクトおよび機能拡 張ツールの構築	(株)ニュージェック	藤田 暁	239
154	河川系12	危機管理型ハード対策における設計時の課題とその対応について	(株)エイト日本技術開発	藤井 尚	245
155	河川系13	3Dスラム式ハンディーレーザースキャナを用いた微地形を考慮した浸水対 策の事例	(株)アスコ大東	向本 敏美	248
156	河川系14	水辺の小わざ魚道による魚道整備	(株)ウエスコ	加瀬 瑛斗	252
157	河川系15	津波対策におけるJ-ALERTによる水門の自動運転化	(株)エース	飯尾 大助	257
158	環境系3	非破壊でスピーディーな『樹木の健康診断サービス』	応用地質(株)	芦葉 弥生	259
159	環境系4	越年生草本カワヂシャの播種・育苗による増殖方法の検討	中央復建コンサルタンツ (株)	重吉 実和	264
160	環境系5	環境DNA多種同時検出法による淡水魚類相調査の試み	パシフィックコンサルタンツ (株)	渡部 健	269
No	ポスター 発表	標題名	所属	発表者氏名	頁
201	計画・交 通系1	住宅地における細街路の拡幅設計	協和設計(株)	新川 桃香	275
202	計画・交 通系2	車いす勾配降坂時の速度抑制にかかるブレーキ力に関する考察	東洋技研コンサルタト(株)	白田 尚暉	277
203	計画・交 通系3	地方都市における逆線引き制度の運用実態に関する研究	(株)オリエンタルコンサル タンツ	山口 歆	279

No	ポスター 発表	標題名	所属	発表者氏名	頁
204	計画・交通系4	ユーティリティデータの特性に着目した広域的な空き家分布推定の試み	(株)エース	北本 麻奈	281
205	計画・交通系5	地域施設の複層的利用にみる社会生活圏形成に関する研究～大阪市西成区釜ヶ崎を事例として～	(株)オオバ	大宮 風香	283
206	計画・交通系6	GNSS 解析時におけるGLONASS・GPS 衛星併用の効果	アジア航測(株)	上野山 明良	285
207	計画・交通系7	郊外型キャンパスに近い市街化調整区域内の1 校区を対象とした大学生の居住可能性に関する研究	(株)オリエンタルコンサルタンツ	河津 憲嗣	287
208	計画・交通系8	炭鉱地域の環境再生・地域活性化計画に関する研究	パシフィックコンサルタンツ(株)	勝木 安美	289
209	計画・交通系9	近畿圏における物流実態に関する研究	中央復建コンサルタンツ(株)	高良 麻由	291
210	計画・交通系10	まちづくり活動と連動した空き家活用方策に関する研究	(株)オオバ	松井 梨奈	293
211	計画・交通系11	阿波おどりの時空間分析	東洋技研コンサルタント(株)	筒井 真輝	295
212	計画・交通系12	バス経路検索履歴データを用いた移動希望特性の分析	(株)修成建設コンサルタンツ	香川 喬之	297
213	計画・交通系13	江ノロ川の景観デザイン	いであ(株)	藤崎 美貴	299
214	計画・交通系14	低炭素社会を考慮した超小型モビリティの利用可能性に関する分析	(株)オオバ	川原 悠佑	301
215	計画・交通系15	震災復興による嵩上げ工事において沿道住民の生活に配慮した施工計画	協和設計(株)	中島 裕章	303
216	計画・交通系16	観測条件を反映したBluetooth スキャナによるMACアドレス検知確率推定モデルの構築	(株)オリエンタルコンサルタンツ	河野 侑奈	304
217	計画・交通系17	四国の道の駅の立地特性と施設機能による来訪魅力の違いの特定	(株)エイト日本技術開発	轟木 脩平	306
218	計画・交通系18	京阪神大都市圏における鉄道ネットワーク形成に基づく影響分析	(株)オオバ	長谷 翔平	308
219	構造系1	河川拡幅計画に伴う既存橋梁の延伸設計	協和設計(株)	藤本 匠	310
220	構造系2	火災による高温履歴を受けたプレテンションPC はり部材の補強に関する研究	(株)オリエンタルコンサルタンツ	山下 尚也	312
221	構造系3	近接施工影響と事業損失リスクに配慮した山間部の開削トンネルの設計	(株)建設技術研究所	若本 達也	314
222	構造系4	橋梁防水(水切り材)の共同開発	パシフィックコンサルタンツ(株)	栗原 尚大	316
223	構造系5	高力ボルトの腐食に関する解析的検討	ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)	二宮 僚	318
224	構造系6	こいのぼり鋼製支柱の維持管理に関する一考察	中央復建コンサルタンツ(株)	小野 拓海	320
225	構造系7	不連続変形法を用いた石垣の崩壊挙動解析	(株)オリエンタルコンサルタンツ	中西 一仁	322
226	土質系1	水平慣性力を受ける模型盛土の補強材敷設条件の違いによる補強効果	ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)	小林 敬尚	324
227	土質系2	パイピング現象による地すべりダム崩壊前兆現象に関する研究	基礎地盤コンサルタンツ(株)	星元 誠斗	326
228	土質系3	斜面崩壊土砂の堆積形状と到達域に関する室内模型実験	協和設計(株)	寺田 幸太	327
229	土質系4	複合物理探査による切土斜面の工学的評価法に関する研究	(株)ニュージェック	増満 岳也	329
230	土質系5	急傾斜地における崩壊土砂対策に関する基礎実験	全日本コンサルタント(株)	桑田 有輝	331
231	土質系6	液状化した地盤の揺動による幹線道路歩道の付き上げ被害の検討	基礎地盤コンサルタンツ(株)	山下 文	333
232	土質系7	大分県姫島の完新世後期の地形変化	(株)日建技術コンサルタンツ	山下 雄大	335
233	土質系8	津波堆積物形成・保存に及ぼす古地形の影響	国際航業(株)	武田 開	337
234	環境系1	集中型・分散型草本系バイオマス発電のライフサイクルCO2 排出量の比較評価 概要書	パシフィックコンサルタンツ(株)	樋熊 伸一郎	339
235	環境系2	山風現象による市街地の冷却効果に関する基礎的研究	中央復建コンサルタンツ(株)	一色 和明	341
236	環境系3	晶析法による養豚廃水中の窒素、リン、カリウム同時回収の生物処理への影響	(株)修成建設コンサルタンツ	小田 宮歌	343

No	ポスター 発表	標題名	所属	発表者氏名	頁
237	環境系4	魚類の粘液を用いた安定同位体比分析法の確立:置換速度に対する水温の影響	近畿技術コンサルタンツ(株)	藤原 和也	345
238	環境系5	波浪時におけるシジミ幼貝の移動評価実験	(株)エース	川野 裕美	347
239	環境系6	愛媛県東部におけるナガレホトケドジョウの分布および生息場所利用―捕食者による影響―	(株)建設環境研究所	青木 新吾	349
240	環境系7	大阪府における社会・環境貢献緑地評価システム(SEGES)の実態とその意義に関する研究 ―「都市のオアシス版」に着目して―	(株)修成建設コンサルタン	高木 幸治	351
241	環境系8	大阪湾奥部の底泥から溶出する窒素・リンの調査	東洋技研コンサルタント(株)	坂田 真菜	353
242	環境系9	仁淀川源流域における移入イワナと在来アマゴの成長 ―冬季におけるイワナの有利性―	(株)ウエスコ	市守 大介	355
243	河川系1	DPR における降雨非一様性パラメータ推定手法の地上レーダを用いた検証	(株)パスコ	林 翔太	357
244	河川系2	旭川祇園地区における砂州の切下げによる物理環境変化とその要因に関する研究	(株)ニュージェック	藤田 駿佑	359
245	河川系3	Lazy Wave Riser に作用する流体力及び挙動推定に関する研究	(株)日建技術コンサルタン	山本 翔太	361
246	河川系4	水位情報と予測降雨を用いた大規模地下空間の浸水防止対策の検討	協和設計(株)	川口 徹矢	362
247	河川系5	降雨の時空間分布の違いが河川流量に及ぼす影響に関する研究	(株)ニュージェック	清水 雄太	364
248	河川系6	信楽森林流域を対象とした微気象・水文観測に基づく蒸発散量の推定と土壌水分動態の把握	(株)建設技術研究所	前野 彰仁	366
249	河川系7	排水機場改修検討	(株)キクチコンサルタント	山中 広大	368
250	河川系8	鉛直2次元解析モデルを用いた津波越流時の堤防裏法尻における局所洗掘に関する研究	(株)ウエスコ	田中 龍二	370
251	河川系9	河川流量観測における河川表面流画像解析手法に関する研究	パシフィックコンサルタンツ(株)	建口 沙彩	372
252	河川系10	非静水圧を考慮した水路床非均一性による水面形に関する研究	(株)建設技術研究所	洪 尔超	374
No	学生発表	標題名	所属	発表者氏名	頁
301	計画・交通系9	「道の駅」の地域福祉機能がもたらす日常生活満足度の変化に関する分析	和歌山工業高等専門学校	湊 絵美	376
302	計画・交通系10	観光地における景観の分析と評価	大阪工業大学大学院	大崎 雄治	378
303	構造系7	火災領域が合成桁橋の耐荷力に及ぼす影響	大阪工業大学大学院	高橋 佑介	380
304	構造系8	高力ボルト摩擦接合へのボルト孔樹脂充填による支圧効果	関西大学	八重垣 諒太	382
305	構造系9	3重応答スペクトルを用いたRC橋脚の耐震設計に関する一検討	大阪産業大学大学院	甲田 啓太	384
306	構造系10	簡易ツールによる疲労き裂の進展抑制工法の開発	関西大学	松原 由典	386
307	河川系8	河道の弯曲と堰湛水の影響を受ける河川合流部における水制による河床変動制御に関する研究	明石工業高等専門学校	久保 裕基	388
308	環境系1	大気からの重金属の降下特性に関する基礎的研究	大阪府立大学大学院	吉廻 翔揮	390
309	環境系2	栄養塩濃度および動物プランクトンの存在に対する植物プランクトンの応答特性	大阪府立大学大学院	人見 晃司	392



## 地すべり地におけるコスト縮減を目的とした三次元安定解析

中央復建コンサルタンツ(株) ○間宮 恵理佳  
國眼 定  
上田 大輔

### 論文要旨

ある地すべり地において、過去に設計された対策工(グラウンドアンカー工等)のコスト縮減を目的として、必要抑止力および対策工法の再検討を行った。必要抑止力の再検討としては、地すべり地の左右非対称性を踏まえるために三次元安定解析を実施し、算出し直した必要抑止力に対して必要なグラウンドアンカー工の本数を検討した。既往設計のグラウンドアンカー工の本数 275 本から 93 本減少させた場合においても、補強後の安全率は計画安全率 1.20 以上となった。その場合の事業費総額は当初設計に比べ 18%の削減が可能となった。一方、対策工法の再検討として、既往設計時に比較案とされていた排土工併用グラウンドアンカー工についても三次元安定解析を実施した。排土工併用グラウンドアンカー工は、グラウンドアンカー工のみに比べ経済性に劣る結果となった。

キーワード: 地すべり、三次元安定解析、グラウンドアンカー工、排土工、コスト縮減

### まえがき

地すべりの安定解析で一般的に用いられるのは二次元安定解析である。二次元安定解析では、層厚が最大と想定した主測線において安定解析を行うため、地すべり端部の層厚が薄くなる場合は、算出される必要抑止力が過大となる。また、主測線の断面形状が同じであれば、地すべりの平面形状に関わらず、同じ解析結果になる。一方、三次元安定解析では、地すべり土塊の体積を解析結果に精度良く反映することができるため、二次元安定解析に比べ必要抑止力が小さくなる傾向がある。これまでも二次元安定解析と三次元安定解析の安全率の比較や、三次元安定解析方法の検証等が実施されてきた。しかし、実際に二次元安定解析結果を基に設計された対策工を三次元安定解析で見直した事例は少ない。

対策工設計は実施済みであるが、工事が未着手の地すべり地において、コスト縮減を目的として、三次元安定解析を実施した。

### 1. 地すべり地の概要

当該地すべり地は、図-1に示すように道路に面した標高 100~200m の北側に突出した尾根型斜面に位置する。地すべり地は、幅 120m、長さ(平面距離) 90m、層厚 13m の規模であり、風化した泥岩および礫混じり土砂で構成されている。地すべり頭部および向かって左側の側部には明瞭な滑落崖(最大比高 7m)が認められ、向かって右側の側部はガリーが見られる。地すべり地内には、複数の開口亀裂や段差地形が分布する。

当地すべり地では、約 10 年前に地質調査及び地下水検層が実施された。さらに、地すべり観測機器(パイプ式歪計、地下水位計、地盤伸縮計)を設置し、これらの観測箇所において、現在まで地すべり観測を実施している。

図-1に示すように左側ほど地すべりブロックの斜面長が長い。

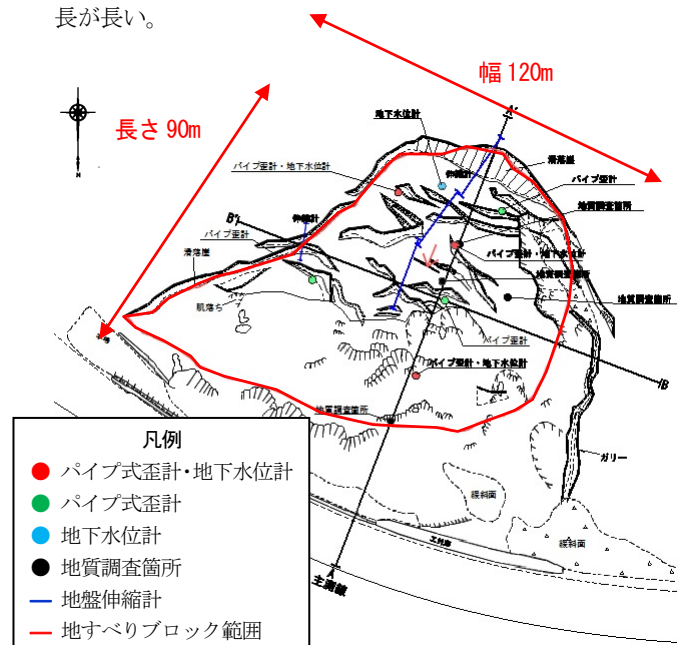


図-1 地すべりブロック平面図

また、地質調査結果から作成した土層区分横断面図に、地下水位観測結果から作成した最高水位線と最低水位線を重ねると、図-2に示すように向かって右側は崩積土層厚が厚くなり、向かって左側ほど地下水位が高くなる。この



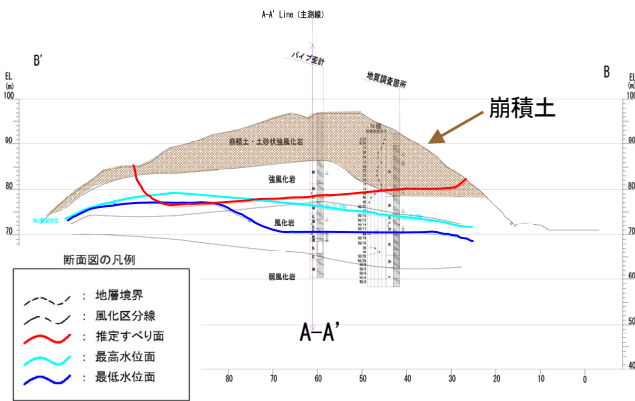


図-2 地すべり B-B' 横断面

ように当該地すべり地には左右非対称の特性が認められる。

## 2. 既往地すべり対策工設計の概要

図-3に示すように約10年前の既往設計では、二次元安定解析を実施した上で、地すべり対策工設計としてグラウンドアンカー工、鉄筋挿入工、横ボーリング工等が設計された。約10年前の単価で全体事業費は約8億円であり、その後の人件費等の高騰により工事費はさらに増えると思込まれる。

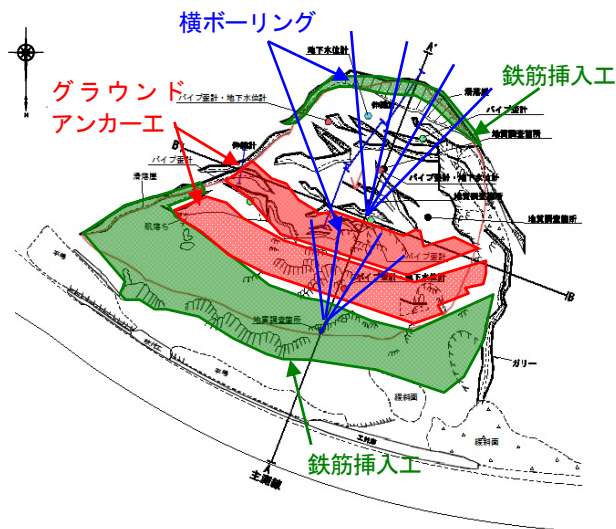


図-3 既往の地すべり対策工設計

## 3. 既往地すべり対策工設計の見直し

1章に示すように、当該地すべり地形は左右非対称であり、主測線で算出された必要抑止力による設計では、局所的に抑止力が過小となるおそれがあった。また、対策工工に向けて、コスト縮減を検討する必要が生じた。

以上を踏まえた対策工の見直し項目として、以下の3点を抽出した。

- 見直し項目①：地盤定数等の解析条件
- 見直し項目②：必要抑止力の算出方法
- 見直し項目③：対策工法の比較結果

見直し項目①については、既往の対策工設計検討内容を確認したところ、当時の解析条件は地質調査および地すべり調査結果から設定された妥当なものであり、変更すべき点は認められなかった。

見直し項目②については、既往の対策工設計時には二次元の安定解析によって必要抑止力が算出されていた。当該地すべり地形は左右非対称であり、主測線で算出された必要抑止力による設計では、局所的に抑止力が不足するおそれがあった。そこで、局所的な地形状況を反映させることが可能な三次元安定解析を実施することで必要抑止力を見直し、地すべりの滑動を抑止するためのグラウンドアンカー工の本数を再検討することとした。

また、見直し項目③については、既往の対策工設計時に排土工併用グラウンドアンカー工とグラウンドアンカー工の比較検討により、排土工併用グラウンドアンカー工は経済性で劣るとの結果となっていた。そこで、排土工併用グラウンドアンカー工についても三次元安定解析を実施し、経済性が逆転しないかを検証することとした。

## 4. 三次元安定解析の手法

現地状況を解析へ詳細に反映させるために、三次元安定解析を実施した。三次元安定解析法としては、修正 Hovland 法を用いることとした。修正 Hovland 法では、地すべり土塊を三角柱で分け、各三角柱に対して、最小の斜面安全率を示す測線方向を運動方向とみなして、土塊全体の安全率を算出することができる(図-4参照)。

$$F_s = \frac{\sum_i \sum_j \{ C_{ab} + (W \cos(DIP) - U) \tan \phi \}}{\sum_i \sum_j W \sin \alpha_{yz}}$$

図-4 修正 Hovland 法の計算イメージ図<sup>1)</sup>

## 5. 三次元モデルの作成

三次元安定解析にあたって、解析用の三次元モデルを作成した。モデル作成の中で、地形モデル、地すべり面、地下水位面が重要であるため、以下にその設定方法を示す。

### (1) 地形モデル

既往の対策工計画平面図の地形等高線より、縦 2m×横 2mのメッシュごとの数値標高モデル(DEM)を作成し、そのデータから図-5に示すような三次元地形モデルを作成した。

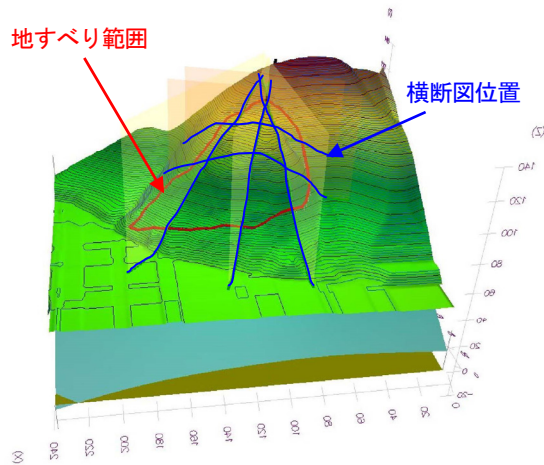


図-5 三次元モデル図

### (2) 地すべり範囲、地すべり面

既往の対策工平面図および、図-5に示す5本の青色線位置の対策工横断図に記載された地すべり範囲および想定すべり線から、三次元モデル上の地すべり範囲と想定すべり面を設定した。

### (3) 地下水位面

既往の対策工平面図および、図-5に示す5本の青色線位置の対策工横断図に記載された地下水位線より、地下水位面を設定した。なお、道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成21年度版)<sup>2)</sup>によると、地下排水工(横ボーリング工)設置による地下水位低下高は3.0mとすると記載されているため、地下排水工(横ボーリング工)配置を想定した解析モデルでは、地下水位面を3.0m下げることとした。

## 6. 三次元安定解析方法および解析結果

二次元安定解析と同様に、すべり面の内部摩擦角 $\phi$ を逆算し、逆算結果を用いて安全率を算出した。

### (1) 内部摩擦角 $\phi$ の逆算

既往の対策工設計で用いられた地盤定数(表-1参照)、現況安全率1.00、計画安全率1.20、地すべり層厚13mを用いて、修正Hovland法で地すべり面の内部摩擦角を逆算

した。内部摩擦角は $\tan \phi = 0.5347$  ( $\phi = 28.1^\circ$ )になった。

表-1 地盤定数

地 層	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 ( $^\circ$ )
崩積土	18.0	0.0	27.0
強風化岩	18.0	68.0	31.0
風化岩	19.0	86.0	34.0
弱風化岩	23.0	100.0	37.0

### (2) 既往の対策工設計再現モデルの安全率

①現況地形からグラウンドアンカー配置法面を切土したモデル、②グラウンドアンカー配置法面を切土し、横ボーリング工施工を想定して地下水位を3.0m低下させたモデル、③さらに既往の対策工設計のグラウンドアンカー工を配置したモデル(図-6、7参照)の3パターンにおいて、逆算した内部摩擦角を用いて、修正Hovland法で算出した安全率を表-2に示す。既往の対策工設計のグラウンドアンカー工(本数275本、総アンカー力167793.4kN)を配置したときの安全率は1.307となった。

表-2 既往対策工設計再現モデルの安全率

検討パターン	安全率	必要抑止力 (kN)
①グラウンドアンカー工配置法面切土	0.998	102189.5
②横ボーリング工施工	1.016	92918.8
③グラウンドアンカー工配置	1.307	—

### ↓滑動力方向線の凡例

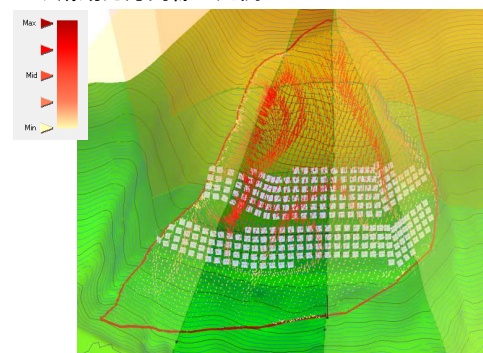


図-6 既往の対策工設計再現モデル

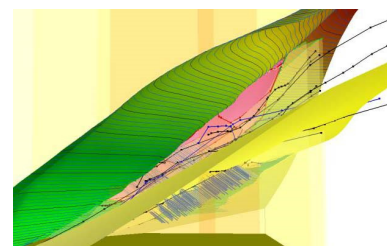


図-7 モデルを横から見た図(黄色の面が風化岩層と弱風化岩層の境界。アンカーは弱風化岩層に定着させる。)

### (3) グラウンドアンカー工本数削減時の安全率

既往の対策工設計のグラウンドアンカー工を配置したモデルについて、安全率 1.20 以上となる範囲で、滑動力方向線の小さい矢印が分布する部分からアンカー工を減じた。図-8に示すようにグラウンドアンカー工を 93 本減らした 182 本の場合、グラウンドアンカー工配置後の安全率は 1.220 となった。

↓滑動力方向線の凡例

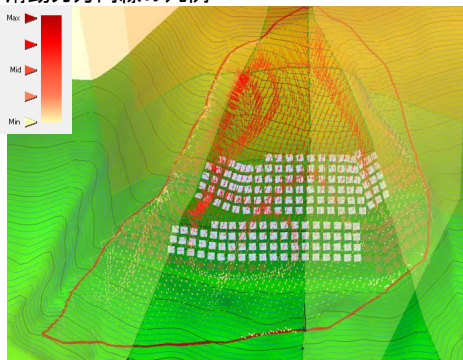


図-8 グラウンドアンカー本数を削減した場合のモデル

### (4) 既往の対策工設計の比較案(排土工併用)の安全率

①既往の対策工設計の比較案とされた排土工併用グラウンドアンカー工の排土形状を再現した排土後のモデル、②排土後に横ボーリング工施工を想定して地下水位を 3.0 m 低下させたモデル、③さらに既往の対策工設計の排土工併用グラウンドアンカー工同様にグラウンドアンカー工 5 段を配置したモデル(図-9 参照)において、修正 Hovland 法で算出した安全率を表-3に示す。

表-3 既往対策工設計の比較案(排土工併用)の安全率

検討パターン	安全率
①排土後	1.111
②横ボーリング工施工	1.134
③グラウンドアンカー工配置	1.239

↓滑動力方向線の凡例

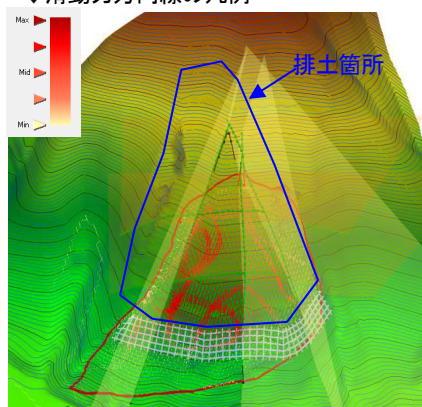


図-9 排土工併用グラウンドアンカー工の検討モデル

排土工併用グラウンドアンカー工の三次元安定解析での安全率は 1.239 となり、計画安全率 1.20 に近づいたため、グラウンドアンカー本数は減らすことはできないと判断した。以上より、既往の対策工設計時の比較検討同様に、三次元安定解析においても排土工併用グラウンドアンカー工はグラウンドアンカー工のみに比べ経済性に劣る結果となった。

## 7. 三次元安定解析結果による経済性検討

6章より、地すべりブロック全体の土塊について三次元安定解析を行った結果、既往設計のグラウンドアンカー工設計から、グラウンドアンカー本数を 93 本減らした 182 本でも計画安全率 1.20 以上となることがわかった。

既往の対策工設計の場合(平成 28 年度単価)と、グラウンドアンカー本数を 93 本減らした場合(平成 28 年度単価)について、グラウンドアンカー工のみの工事費と全体事業費を表-4に示す。平成 28 年単価では既往対策工設計数量に比べグラウンドアンカー工の本数削減時に、グラウンドアンカー工のみで 31%、全体事業費で 18%のコスト削減が可能となった。

表-4 既往設計とグラウンドアンカー削減案の費用比較

項目	既往対策工設計の場合	グラウンドアンカー工削減の場合
グラウンドアンカー工	333.7 百万円 (100%)	229.0 百万円 (69%、-31%減)
全体事業費	936.9 百万円 (100%)	763.3 百万円 (82%、-18%減)

## あ と が き

三次元安定解析は、地すべり地形を精緻に反映した解析結果が得られる点で有効である。本解析では地すべり面や地下水位面を地すべり観測結果等から設定したが、観測機器の劣化等によって、地すべり変位や地下水位を正確に把握できていない可能性がある。今後は地すべり観測の追加調査を行い、その結果をふまえ、再度解析を実施して設計の見直しを行う予定である。

最後に発注者および社内関係各位へ、情報提供ならびにご指導いただいたことを感謝したい。

## 参 考 文 献

- 1) 3次元斜面安定計算システム(SSA\_3D) 安定解析計算書, 五大開発(株)
- 2) 道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成 21 年度版), (社)日本道路協会, H.21.6.30. 413 p.



# 地質特性を反映した複数の対策工種を組み合わせた落石対策工の設計

協和設計(株) 西 岡 孝 尚  
渡 邊 浩 幸  
○大 林 由 明

## 論文要旨

伊豆縦貫自動車道整備のための工事用道路を設計するにあたり、落石による被災の危険性が高い区間に対し、落石調査を実施し、安定性や落石分布状況を考慮した落石対策工の設計を行った。対象の急崖斜面には、塊状で硬質な凝灰岩と亀裂質な安山岩が露出し、これらを発生源とする落石が道路を直撃するおそれがあった。落石供給源である露岩は次の特徴を有している。①凝灰岩は亀裂間隔が広く開口による緩みから径 1~5m 程度の浮石が発生し、広範かつ巨大な落石エネルギーを有する落石の発生源である。②安山岩は数 cm 間隔で亀裂が発達し、これを供給源とする落石のエネルギーは小さいが、斜面上に多くの岩片を供給している。これら地質的特徴に起因する落石は、その形状や分布状況、エネルギーが多岐に亘るため、一律に対策することは合理的でなく、それぞれの性状に応じた対策工の選定が課題であった。そこで、これら多様な落石について、その形状(浮石・転石)、分布状況(単体・群体)、落石エネルギー(100kJ 以上・未満)の3要素に着目し、これを指標として対象の落石を4つのグループに分類し、グループ毎に対策工(予防工+防護工)を計画して、効果的かつ適合性の高い対策工の設計をなし得た。

キーワード：落石調査、落石対策工、落石エネルギー

## まえがき

伊豆縦貫自動車道は、延長約 60km の一般国道の自動車専用道路で、高速交通体系から取り残された地域への高速サービスを提供するとともに、伊豆地域の交通混雑の緩和や地域の秩序ある開発、発展に大きく寄与し、広域交通および地域間交通の需要に対応する道路である。本計画は、この伊豆縦貫自動車道の先行整備区間での工事用道路整備にあたり、露岩が連続する急崖斜面下にある町道を拡幅するものである。この町道は、地元より拡幅の要望があり、工事用道路としての利用だけでなく、将来的に町道として移管する計画である。

本稿は、このような背景のもと、落石の危険性が高い区間(約 100m)における落石調査および対策工設計の事例概要を述べるものである。計画地の大きな特徴は、塊状で硬質な凝灰岩と亀裂質な安山岩が露岩していることである。これらの露岩から生じる落石は、その形状や分布状況、エネルギーが多岐に亘るため、一律に対策は合理的でなく、それぞれの落石性状に応じた対策工を選定する必要がある。落石の3要素(形状・分布状況・落石エネルギー)に着目することで効果的かつ適合性の高い対策工を設計した。以下にその概要を報告する。

## 1. 概要

### 1-1. 計画地について

伊豆縦貫自動車道整備のため、先行整備区間において工事用道路予備設計を実施した。工事用道路はルートに平行している町道を拡幅整備し、町道として利用できるように計画した。今回、工事用道路整備区間のうち、斜面上に露岩が連続的に分布し、落石による被災の危険性が高い区間(約 100m)に対し、落石調査を実施し、落石対策工を設計した。

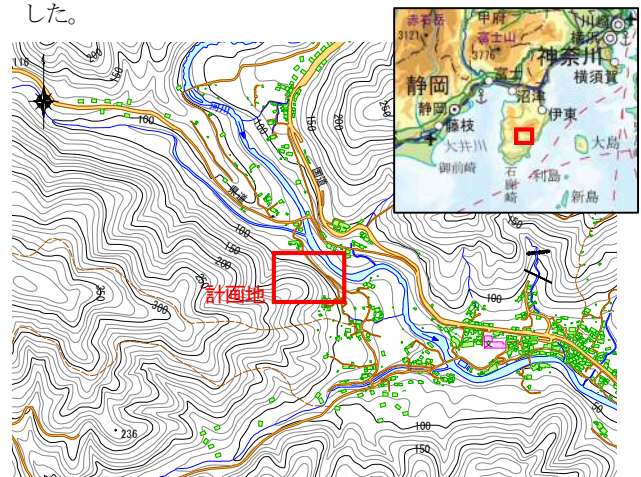


図-1 位置図

### 1-2. 地形地質

計画地周辺は、標高 500~1000m の山々が連なる急峻な山地地形を呈し、山間を流下する3つの河川によって囲まれた台地状の平坦地には集落が形成されている。対象の斜面は東向きの急峻な斜面で、東方へ流下する河川の右岸側

にあたり、斜面脚部には町道が整備されている。

地質は、新第三紀中新世～鮮新世の湯ヶ島層群・白浜層群の火山岩類を基盤岩とし、安山岩質溶岩、自破碎状溶岩、火山礫凝灰岩、凝灰質砂岩からなり、岩相が漸移的に変化し、安山岩溶岩の露出する斜面は急崖をなす岩盤斜面を形成している。

計画地は、凝灰岩や安山岩が露出する崖地形を呈し、スギやヒノキの植林が分布する。現況の町道は標高 90m～120m 付近を通過し、直下には幅 10m 程度の河川が南方に流下している。

## 2. 落石調査結果

斜面上の浮石や転石の分布状況や安定状態、落石経路、斜面の不安定化機構等を明らかにし、対策の要否の判断、対策工の選定と設計施工のための基礎資料を得るべく落石調査を実施した。図-2 に現地踏査結果図を示す。

### 2-1. 現地状況

落下の危険性のある主要な浮石や転石は 39 箇所認められ、露岩の風化や侵食の発達により抜け落ちた転石が斜面全域に点在していた。

確認された浮石・転石は、将来的に台風や地震などの自然現象が誘因で落石となるおそれがあるため、落石対策工を講じる必要があった。また、斜面上に点在する転石は落石の危険性は低いものの、供用後の長期的な安全を考慮した場合、これらに対しても落石対策工を実施する必要があった。



写真-1 露岩の一部  
(亀裂が全体的に発達し所々で浮石化)



写真-2 斜面上の転石  
(斜面上で静止)



写真-3 露岩下部の転石群  
(露岩から抜け落ちたと推定)

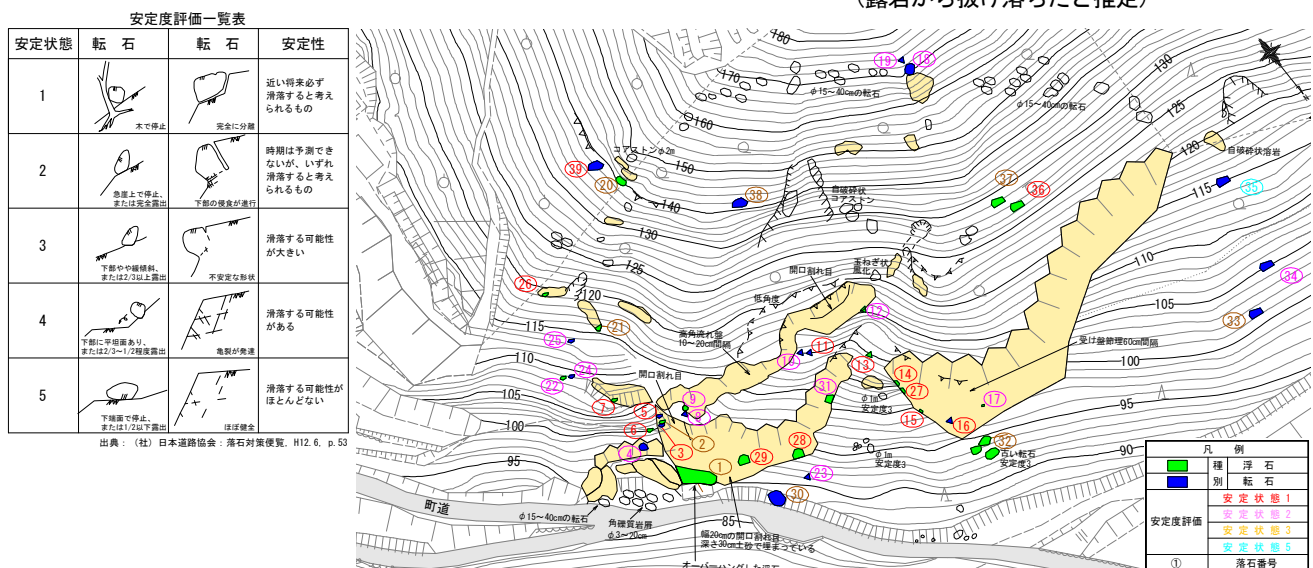


図-2 現地踏査結果図

2-2. 落石エネルギーの算出

落石エネルギーの算出は以下の式<sup>1)</sup>を用いた。

得られた落石エネルギーの一覧表を表-1に示す。

$$E = (1 + \beta) (1 - (\mu / \tan \theta)) m \cdot g \cdot H$$

ここで  $(1 + \beta) (1 - (\mu / \tan \theta)) \leq 1.0$

E: 落石の全運動エネルギー

β: 回転エネルギー係数 (0.1としてよい)

μ: 等価摩擦係数 (⑤より μ=0.35と設定する)

θ: 斜面勾配

m: 落石の質量

g: 重力加速度

H: 落石の落下高さ

表-1 落石エネルギー一覧表

番号	分類	落石形状			落下高 (m)	平均斜面 勾配 (度)	落石 エネルギー 到達点 (kJ)
		高さ (m)	幅 (m)	奥行 (m)			
1	浮石	8.5	3.5	3.0	8.5	54.8	9,802
2	浮石	5.0	1.5	3.0	15.0	47.0	6,499
3	転石	0.8	0.6	0.2	15.0	53.7	31
4	転石	1.0	1.0	0.8	11.0	45.0	164
5	転石	0.8	0.7	0.6	17.0	46.7	110
6	浮石	1.5	2.0	0.7	14.0	47.1	568
7	浮石	3.0	3.0	1.5	22.0	49.2	5,927
8	転石	0.6	0.5	0.4	14.0	43.0	30
9	浮石	0.7	1.0	0.4	16.0	46.8	86
10	転石	1.4	2.0	1.4	25.0	47.4	1,900
11	転石	0.7	0.7	0.4	25.0	46.2	93
12	浮石	1.0	1.5	0.4	31.0	43.2	334
13	浮石	0.7	0.8	0.8	25.0	43.9	204
14	浮石	1.3	1.3	0.6	20.0	42.3	357
15	浮石	0.4	0.9	1.0	15.0	38.3	86
16	転石	0.6	0.4	0.5	16.0	45.0	36
17	浮石	1.0	0.6	1.0	16.0	45.0	178
18	転石	2.2	1.0	1.5	40.0	43.7	2,393
19	転石	1.0	1.2	1.7	40.0	42.9	1,455
20	浮石	1.4	1.8	2.0	40.0	41.6	3,495
21	浮石	1.1	1.2	1.0	29.0	44.0	698
22	浮石	1.2	3.8	2.0	23.0	43.8	3,808
23	転石	0.9	1.0	0.5	11.0	57.5	110
24	転石	1.2	1.0	0.4	24.0	43.8	209
25	転石	1.8	0.8	0.4	28.0	43.0	288
26	浮石	0.6	1.4	1.2	32.0	43.3	579
27	浮石	1.5	1.0	1.4	20.0	42.3	739
28	浮石	1.0	1.8	0.6	10.0	45.0	201
29	浮石	0.6	1.8	1.4	8.0	48.8	240
30	転石	1.2	1.4	0.8	4.0	53.1	113
31	浮石	0.6	0.8	1.2	17.0	43.4	176
32	浮石	0.6	0.6	1.0	11.0	34.5	56
33	転石	1.4	1.0	0.4	18.0	52.1	210
34	転石	0.3	0.6	0.5	11.0	32.9	13
35	転石	0.4	1.2	1.6	22.0	34.5	237
36	浮石	0.5	0.4	0.3	40.0	44.3	44
37	浮石	1.0	0.8	0.6	40.0	44.4	353
38	転石	2.2	2.0	1.0	40.0	46.8	3,378
39	転石	0.8	0.4	0.6	23.0	38.4	71

安定状態1	安定状態4	※100kJ以上は赤字文字表記
安定状態2	安定状態5	
安定状態3		

2-3. 落石エネルギーの評価

計画地の落石は、落石径や落石エネルギーにバラツキがあったため、落石エネルギー、落石径、個数の要素ごとに分布図を作成した。以下に作成した分布図を示す。

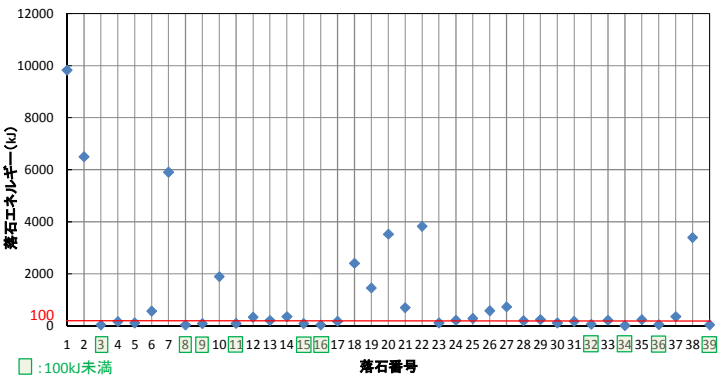


図-3 落石エネルギー分布図

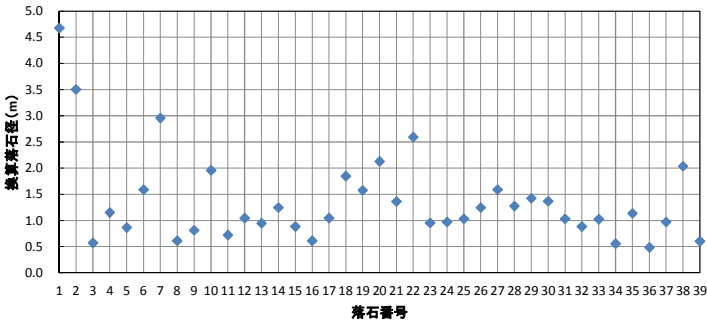


図-4 換算落石径分布図

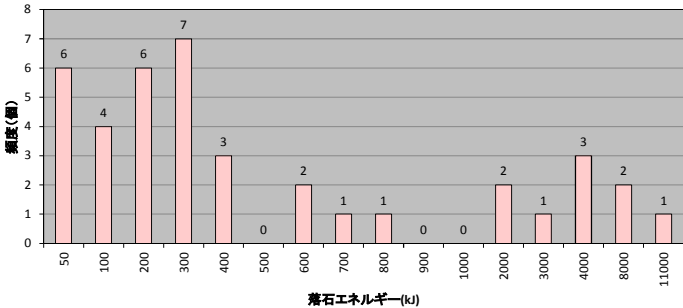
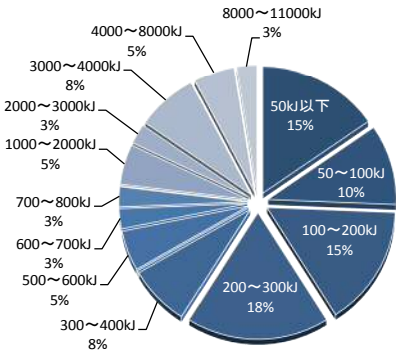


図-5 落石エネルギー別個数



落石E (kJ)	50kJ以下	~100kJ	~200kJ	~300kJ	~400kJ	~500kJ	~600kJ	~700kJ	~800kJ	~900kJ	~1000kJ
累積数	6	10	16	23	26	26	28	29	30	30	30
割合 (%)	15%	26%	41%	59%	67%	67%	72%	74%	77%	77%	77%
落石E (kJ)	~2000kJ	~3000kJ	~4000kJ	~8000kJ	~11000kJ						
累積数	32	33	36	38	39						
割合 (%)	82%	85%	92%	97%	100%						

図-6 落石エネルギー別割合



### 3. 対策工設計

#### 3-1. 課題の整理

落石調査の結果、計画地には多数の落石が分布し、落石の形状や分布状況および落石エネルギーは多岐に亘るため、一律な落石対策工を施すことは合理的ではなく、それぞれの性状に応じた対策工を選定する必要がある。

#### 3-2. 一次選定

対策工の組み合わせは以下の3案が挙げられる。

- 1案 予防工単独
- 2案 防護工単独
- 3案 予防工+防護工【採用案：○】

1案はすべての浮石・転石に対して、予防工を施す原位置対策で、危険性を除去する点では有効だが、斜面全域が対策対象となるため、施工日数が長期化する。さらに、将来的に落石となり得る未知の浮石・転石には対処できないため、この案は不適格である。

2案は待ち受け式の防護工ですべての浮石・転石を受け止めるものであり、長期的な安全が確保できるとともに、施工性も1案と比較すると短縮できる。しかし、計画地には100kJを超える落石エネルギーを持つ浮石・転石が多く、高コストな防護工が要求されることとなり、経済性が損なわれるため、この案も不適格である。

3案は予防工と防護工を併用するもので、落石エネルギーに応じて、予防工を施すものと防護工で受け止めるものに分け、最も経済的で施工性に優れた工法を採用するものである。この案の場合、防護工を施工することで予防工の施工箇所を減らすことができ、施工日数の短縮が見込められる。さらに、落石エネルギーの大きな浮石・転石には予防工を施すことで、高コストな高エネルギー耐用の防護工を施工する必要がなくなるため、本案を採用案とした。

#### 3-3. 二次選定

現地踏査の結果、主要な浮石・転石の落石エネルギーは100kJを超えるものが全体の約74%を占めるため、一般的な工法では落石エネルギーに耐えることができない。しかし、100kJを超えるような高エネルギー耐用の防護工の使用は経済性を損なうため、100kJを超える浮石・転石は予防工で対応し、100kJ未満のものは防護工で対応することを基本原則とした。

さらに、落石調査によって確認された落石の形状や分布状況および落石エネルギーは多岐に亘るため、これらの多様な落石について、その形状(浮石・転石)、分布状況(単体・群体)、落石エネルギー(100kJ以上・未満)の3要素に着目し、これらを指標として対象の落石を4つのグループに分類し、グループ毎に対策工(予防工+防護工)を計画することとした。表-2にその分類表を示す。

表-2 落石の規模・タイプ毎の対策工の適用性

		落石対策工			
		防護工	予防工		
			小割除去	ロープ掛工	ロープ伏工
形 状	浮石	○		○	○
	転石	○	◎	○	○
分布状況	単体	○	○	◎	
	群体	○			◎
落 石 エネルギー	大 (100kJ以上)		◎	○	○
	小 (100kJ未満)	◎			

◎: 決定要因, ○: 適用性がある

上記分類表を参考にして、予防工および防護工の選定を次のとおり行った。

#### ①予防工の選定

予防工は、一般的に落石予備物質の除去や現位置固定、風化防止などを目的に実施されるものである。工法の選定にあたっては、図-7に示すフローに従い選定した。

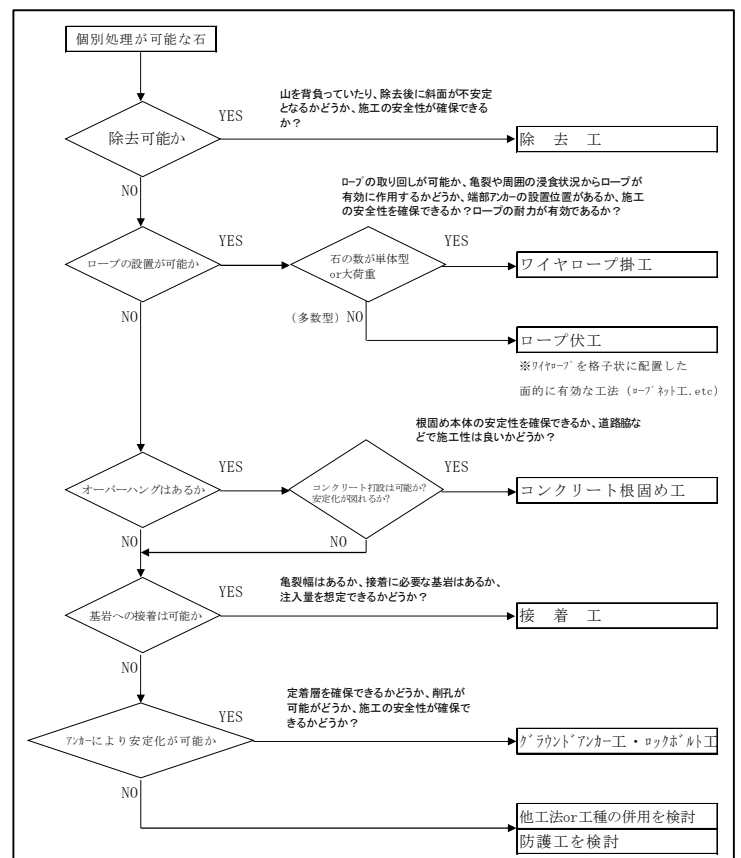


図-7 予防工選定フロー<sup>1)</sup>・2)

次頁の図-9 に落石対策工平面図、表-3 に採用対策工一覧表を示す。

1 案 落石防護柵（ウルトラライティフェンス）＋予防工  
2 案 落石防護柵（イージーネット）＋予防工  
3 案 高エネルギー吸収落石防護柵（TXI）＋防護工

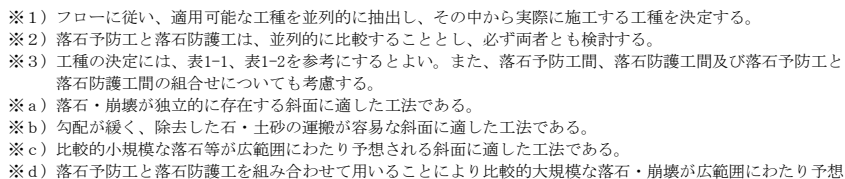


図-8 防護工選定フロー<sup>1)</sup>



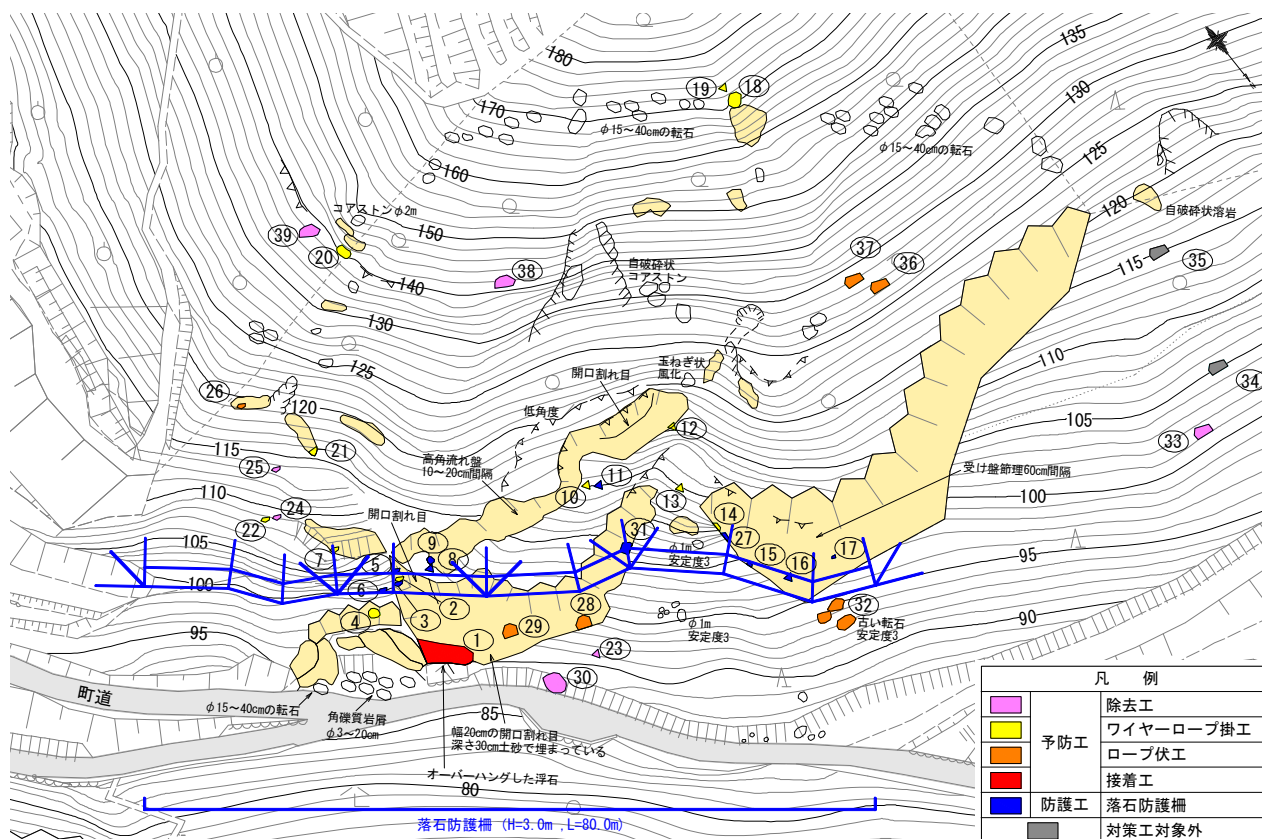


図-9 落石対策工平面図

表-3 採用対策工一覧表

落石 番号	落石形状			落石エネルギー (kJ)	採用対策工
	高さ (m)	幅 (m)	奥行 (m)		
1	8.5	3.5	3.0	9827.6	岩接着
2	5.0	1.5	3.0	6502.1	ワイヤロープ掛
3	0.8	0.6	0.2	30.7	落石防護柵
4	1.0	1.0	0.8	163.6	ワイヤロープ掛
5	0.8	0.7	0.6	110.0	落石防護柵
6	1.5	2.0	0.7	566.4	落石防護柵
7	3.0	3.0	1.5	5909.8	ワイヤロープ掛
8	0.6	0.5	0.4	30.0	落石防護柵
9	0.7	1.0	0.4	86.3	落石防護柵
10	1.4	2.0	1.4	1888.0	ワイヤロープ掛
11	0.7	0.7	0.4	92.8	落石防護柵
12	1.0	1.5	0.4	332.3	ワイヤロープ掛
13	0.7	0.8	0.8	204.2	ワイヤロープ掛
14	1.3	1.3	0.6	354.6	ワイヤロープ掛
15	0.4	0.9	1.0	85.3	落石防護柵
16	0.6	0.4	0.5	35.7	落石防護柵
17	1.0	0.6	1.0	178.5	落石防護柵
18	2.2	1.0	1.5	2406.9	ワイヤロープ掛
19	1.0	1.2	1.7	1457.8	ワイヤロープ掛
20	1.4	1.8	2.0	3524.5	ワイヤロープ掛
21	1.1	1.2	1.0	698.0	ワイヤロープ掛
22	1.2	3.8	2.0	3824.8	ワイヤロープ掛
23	0.9	1.0	0.5	110.6	小割除去
24	1.2	1.0	0.4	210.1	小割除去
25	1.8	0.8	0.4	288.1	小割除去
26	0.6	1.4	1.2	576.3	ロープ伏
27	1.5	1.0	1.4	734.3	落石防護柵
28	1.0	1.8	0.6	200.8	ロープ伏
29	0.6	1.8	1.4	240.7	ロープ伏
30	1.2	1.4	0.8	113.2	小割除去
31	0.6	0.8	1.2	174.9	落石防護柵
32	0.6	0.6	1.0	56.6	ロープ伏
33	1.4	1.0	0.4	209.5	小割除去
34	0.3	0.6	0.5	13.1	対象外
35	0.4	1.2	1.6	241.7	対象外
36	0.5	0.4	0.3	43.8	ロープ伏
37	1.0	0.8	0.6	350.1	ロープ伏
38	2.2	2.0	1.0	3390.7	小割除去
39	0.8	0.4	0.6	41.8	小割除去

## あとがき

本事例で特徴的なことは、急斜面上に塊状で硬質な凝灰岩と亀裂質な安山岩が露岩しており、これらの露岩から生じる落石は形態や分布状況が多様で、落石エネルギーも広範に亘る。それに対し、形状(浮石・転石)、分布状況(単体・群体)、落石エネルギー(100kJ以上・未満)の3要素に着目し、地質特性を反映して、落石対象のグループ化およびグループ毎の対策工を立案した。

このように、現場の地形地質条件を詳細に検討することで、落石の特性に応じた合理的、かつ適切な対策工の設計をなし得た。

本事例は、別の現場においても汎用性のあるひとつのモデルとなり得よう。また、現場条件から導かれる落石対策工の答えは、やはり現場にあるということを改めて学ぶことができた事例として、ここに紹介した。

## 参考文献

- 1) 落石対策便覧, (社)日本道路協会, H12.6.30. 422p.
- 2) 落石対策工の設計法と計算例, (公社)地盤工学会, H26.12.25. 317p.

## 仮線時に列車荷重を支持する既設高架橋張出しスラブ支持方式の検討

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) ○藤井 公博  
ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 佐伯奈都美  
ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 正直 貴彦

### 論文要旨

既設高架橋上から仮線方式で高架橋を延伸する計画があり、取付け区間において張出しスラブ上を列車が走行することとなった。しかし、既設高架橋では張出しスラブ上の列車走行を想定していないため、仮線供用時に列車の走行が可能な張出しスラブ支持方式の検討を行った。著者らは、張出しスラブのたわみ制限等を考慮した支持方式を検討し、ベント架台を選定した。本稿では、既設高架橋張出しスラブ支持方式の選定経緯、選定したベント架台の設計手法について述べる。

キーワード：ベント架台、既設高架橋、仮線、列車荷重の支持

### まえがき

既設高架橋を延伸する計画があり、仮線方式により延伸を行うこととなっている。仮線振出しは、現況の架道橋や踏切等がコントロールポイントとなり、既設高架橋上から行う必要があった。このため、図-1に示すように張出しスラブ上を列車が走行するが、既設高架橋張出しスラブでは列車を支持することができないため、張出しスラブを支持する構造の検討及び選定した構造の設計を行った。

### 1. 概要

既設高架橋張出しスラブ上に列車が走行する区間は、仮線振出し位置から延長約190mの区間である(図-2)。

当該区間は、複線、バラスト軌道であり、設計速度は130km/hである。なお、仮線時の供用期間は約5年である。

また、表-1に既設高架橋張出しスラブの断面諸元を示すが、張出しスラブのみでは列車を支持できない構造となっている。

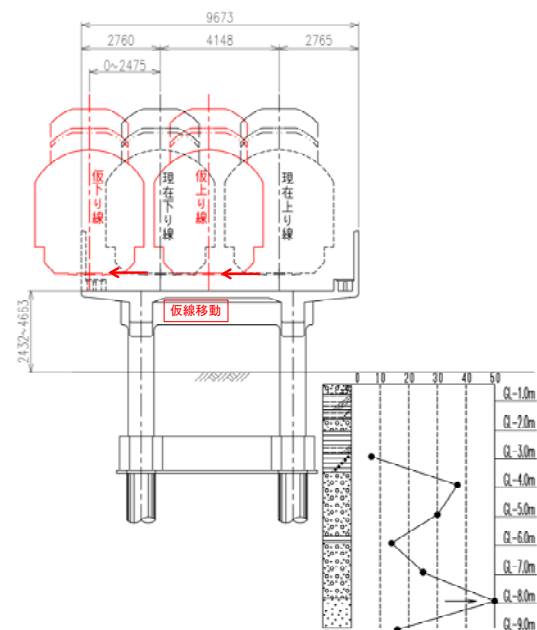


図-1 断面概要図

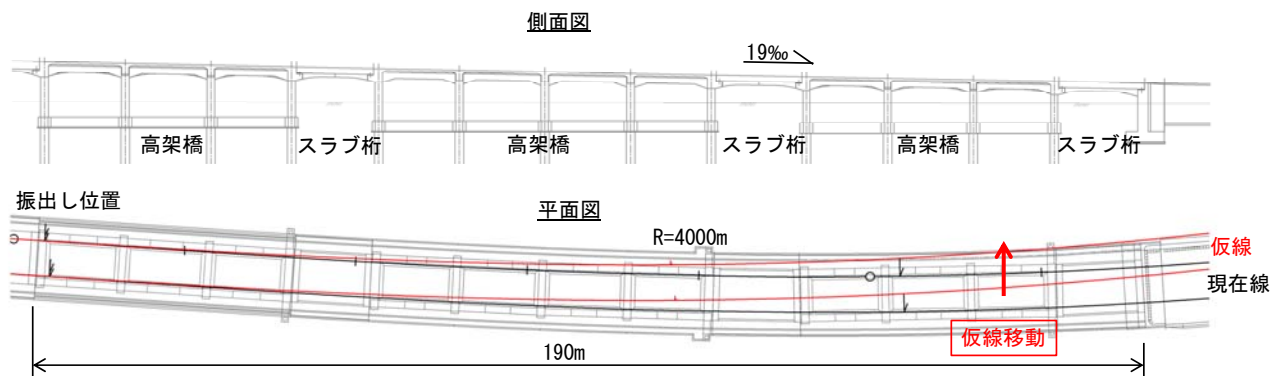
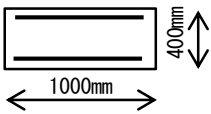


図-2 線形概要図

表－1 張出しスラブ断面諸元

断面形状	
張出しスラブ長	1.7m
コンクリートの設計基準強度	27N/mm <sup>2</sup>
主鉄筋 (単位 m 当たり)	D16-6.55 本 (上側) D13-4 本 (下側)

## 2. 支持方式の検討

### (1) 検討方針

張出しスラブの支持方式は、列車走行安全性、施工性、経済性及び周辺への影響の観点から検討を行った。なお、図－1に当該地盤の柱状図を示しているが、表層約3mはN=5の粘性土、下層はN値30以上の礫層となっている。支持方式の検討に当り、基礎形式を杭基礎とした場合、直接基礎と比較し工期・工費が大きくなることが予想された。

このため、粘性土層を下層の礫層と同程度の地耐力となるよう地盤改良を行うこととし、基礎形式は直接基礎とす

ることとした。

支持方式の検討は、鋼材ベント架台、盛土補強土架台、気泡モルタル架台の3案について行った。

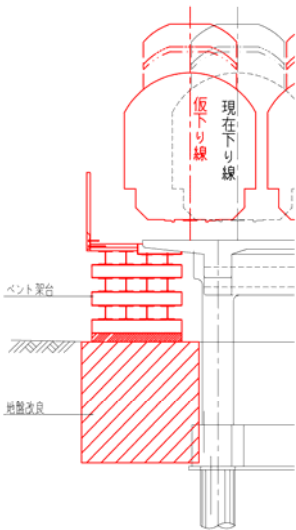
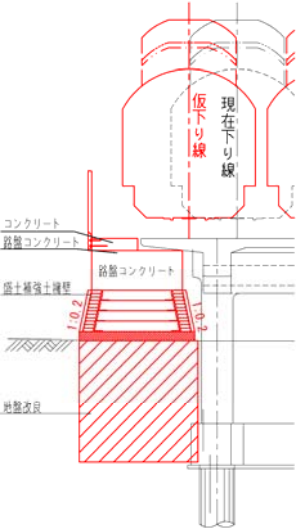
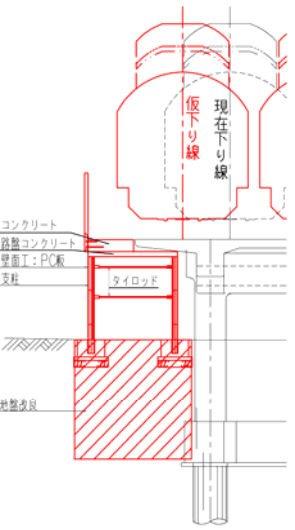
### (2) 検討結果

表－2に張出しスラブ支持方式比較表を示す。経済性に示す比率は、第1案のベント架台の施工・撤去費用を1.0とした場合の他工法に対する比率である。

比較の結果、第2案の盛土補強土架台は土構造物であるため、列車走行時に盛土が沈下し走行安全性に問題が生じること、既設張出しスラブ下での盛土転圧を考慮すると張出しスラブ下端から盛土天端まで約1mの離隔が必要であり、路盤コンクリートが厚くなることから不採用とした。第3案の気泡モルタル架台は、気泡モルタルの剛性が高く列車走行安全性に問題はないと考えられるが、ワイヤーソーによる撤去となるため撤去費用が高額となり経済性に最も劣ることから不採用とした。

このため、鋼構造のため列車走行時の騒音は他の2案と比較し大きくなるが防音シート等の対策が可能なこと、鋼材の剛性が高く列車走行安全性に問題がないと考えられることから、最も経済的となる第1案の鋼材ベント架台(以降、ベント架台)を選定した。

表－2 張出しスラブ支持方式比較表

項目	第1案 鋼材ベント架台	第2案 盛土補強土架台	第3案 気泡モルタル架台
概要図			
列車走行安全性	鋼構造のため剛性が高く、沈下量は小さい。○	土構造物のため、列車走行により沈下が生じる。×	気泡モルタルのため剛性が高く、沈下量は小さい。○
経済性	最も安価である。 (比率1.0) ○	第1案よりも高価である。 (比率2.1) △	最も高価である。 (比率:3.8) ×
周辺への影響(騒音)	鋼構造のため、他の2案と比較し列車走行時の騒音は大きい。 ※防音シート等で対策可能 △	路盤コンクリート、土構造物のため、列車走行時の騒音は問題ない。○	気泡モルタルのため、列車走行時の騒音は問題ない。○
評価	○	×	△

### 3. ベント架台の設計

#### (1) 検討モデル

ベント架台は改良地盤上に基礎コンクリートを設け、その上にH鋼を井桁に組んだ構造である。ベント架台は、H鋼同士が重なる箇所、鉛直荷重を支持するため、H鋼が重なる箇所は、補剛材を設けるものとした。

既設高架橋は杭基礎のため、列車走行時も高架橋柱に取りつく張出しスラブの付け根は沈下しない。しかし、張出しスラブを支持するベント架台は列車走行時にベント架台及び支持地盤の圧縮により鉛直変位が生じる。張出しスラブは、この鉛直変位に追従して変位が生じ、損傷する可能性があるため、ベント架台の検討モデルは、ベント架台

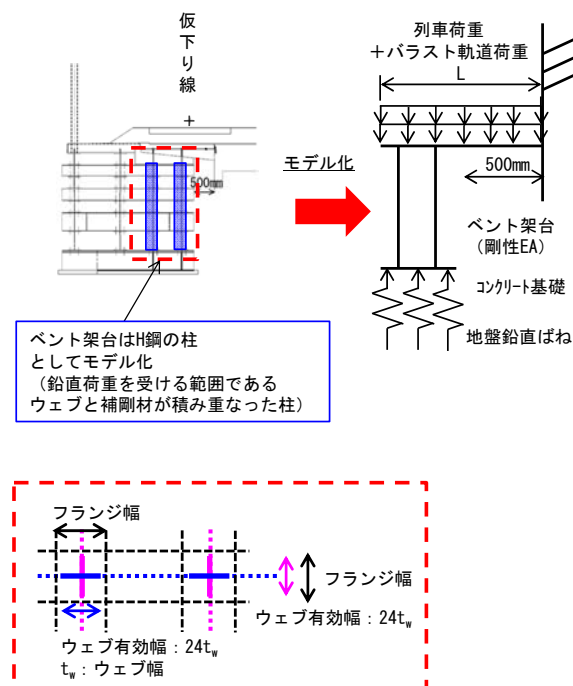


図-3 検討概要図

及び支持地盤の剛性を考慮し鉛直変位を確認する必要があった。そこで、ベント架台はH鋼のウェブと補剛材による十字の柱としてモデル化することで鋼材の剛性を考慮した。図-3に検討概要図を示す。これにより、ベント架台の剛性及び地盤鉛直ばねを同時にモデル化でき、ベント架台及び支持地盤の鉛直変位量が算出できる。なお、列車走行により張出しスラブにたわみが生じる場合も、既設高架橋に沈下は生じないため、張出しスラブのモデル化は固定梁とした。

#### (2) ベント架台設置位置に対する検討

ベント架台設置位置により、列車走行時に張出しスラブに発生する断面力は変化する。このため、最適な設置位置の検討を行った。検討位置は、張出しスラブを2柱で支持する離れ500mm及び1柱で支持する900mm、1200mmの3パターンとし、張出しスラブに発生する断面力、張出しスラブのたわみ量に関して検討した。

本検討は、既設高架橋張出しスラブに発生する断面力、たわみ量を確認し、ベント架台の最適な設置位置を選定するものである。設計手法は、既設高架橋と同じ性能照査型設計法（限界状態設計法）とした。なお、要求性能は仮線の供用期間が5年であることから鉄道構造物等設計標準・同解説<sup>1)</sup>に示される安全性（破壊）及び使用性、耐久性のみとした。なお、張出しスラブたわみ量の許容値は、列車走行時も張出しスラブに曲げひび割れを発生させないものとし、鉄筋コンクリートの曲げひび割れモーメント  $M_{ck}$  から算出した変位量 1.45mm とした。

表-3に、張出しスラブの離れに対する検討結果の抜粋（安全性、使用性）を示す。検討の結果、全てのケースで照査値を満足することを確認した。このため、ベント架台設置位置は、施工上問題ないと考えられる離れ 900mm を採用した。

表-3 ベント架台位置検討結果

項目		第1案 離れ 500mm	第2案 離れ 900mm	第3案 離れ 1200mm
概要図		<p>※離れ500mmは2柱支持 (青線は検討モデル)</p>	<p>※離れ900mmは1柱支持 (青線は検討モデル)</p>	<p>※離れ1200mmは1柱支持 (青線は検討モデル)</p>
安全性 (破壊)	曲げ	0.63 < 1.00 (OK)	0.82 < 1.00 (OK)	0.76 < 1.00 (OK)
	せん断	0.80 < 1.00 (OK)	0.87 < 1.00 (OK)	0.85 < 1.00 (OK)
使用性 (張出しスラブ変位量)		0.37mm < 1.45mm (OK)	0.53mm < 1.45mm (OK)	0.46mm < 1.45mm (OK)



### (3) ベント架台の設計

ベント架台は、施工時のゆるみを小さくするため高力ボルトでH鋼同士を締結することとした。また、高力ボルトはH鋼のフランジ間で電動レンチにより締結を行う。このため、ベント架台に用いるH鋼は、高力ボルト締結に必要な高さを考慮しH300～H500を組み合わせたものとした。

ベント架台の設計では、供用期間約5年の仮設構造物であるため、設計法は許容応力度法とした。

設計は、H鋼、張出しスラブ横のコンクリート床板、基礎コンクリートの断面照査及び基礎の安定等に対して検討を行い、本構造が全ての検討項目で照査値を満足することを確認した。

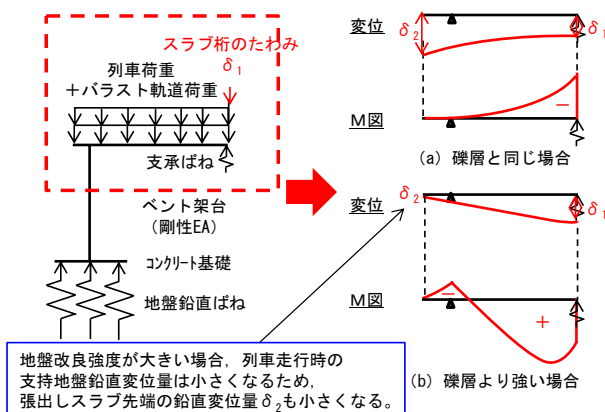
## 4. 施工への対応

### (1) 地盤改良強度範囲の検討

先で述べたとおり、支持地盤の表層約3mは改良体下の礫層と同等の地耐力となるよう地盤改良を行う。このため、地盤改良層の設計地盤ばねは、礫層の値を用い、必要な地盤改良強度 $qu$ は地盤ばねより算定した<sup>2,3)</sup>。しかし、施工時に全ての範囲で地盤改良強度を同じとすることは困難である。また、ベント架台は高架橋の張出しスラブだけでなく、スラブ桁も支持する必要がある。

地盤改良強度が礫層以上となった場合、列車走行時の地盤鉛直変位量は小さくなる。高架橋は杭基礎のため列車走行時も沈下しないことから、地盤改良強度が大きくなった場合も張出しスラブへの影響はほとんどないと考えられる。一方、スラブ桁は列車走行時にたわみが生じるため、図-4に示すように地盤改良強度によっては張出しスラブ先端が固定され、スラブ桁の付け根部分が下向きに変位し、張出しスラブに下側引張が発生することが懸念された。

このため、地盤改良強度が大きくなり張出しスラブに下側引張りが発生した場合も応力上問題ない範囲を検討し、地盤改良強度の範囲を $qu=200\sim 260\text{kN/m}^2$ と設定した。



### (2) 想定以上の張出しスラブのたわみに対する対処

張出しスラブに発生するたわみ量は、鉄筋コンクリートの設計曲げひび割れモーメントから算出した許容たわみ量以内であるため、設計上、張出しスラブにひび割れは発生しない。しかし、地盤改良強度が想定よりも弱い場合等、設計で想定した以上のたわみ量が発生した場合、張出しスラブにひび割れが発生し、これが進行すると発生断面力は最大曲げモーメント $M_m$ に達する可能性もある。

このため、ベント架台最下段にキリンジャッキを設置し、設計で想定した以上のたわみが張出しスラブに発生した場合にはジャッキアップを行い張出しスラブの復旧を行うものとした。また、ジャッキアップが可能となるよう、ベント架台のH鋼は、作業スペースを確保した配置とした。

図-5に、設計したベント架台の概要図を示す。

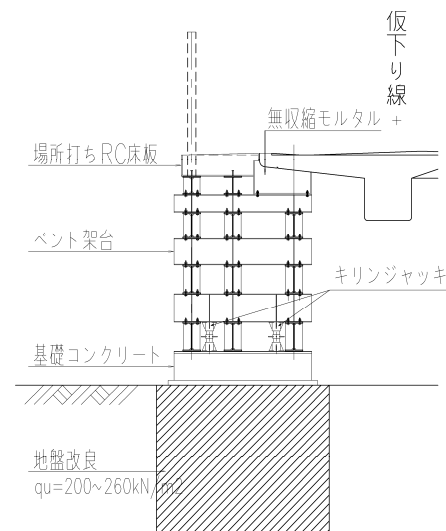


図-5 ベント架台概要図

## あ と が き

今回、既設高架橋の張出しスラブ上を列車が走行する際の支持方式について検討を行った。検討の結果、ベント架台を選定し、列車走行時も張出しスラブのたわみ量は設計曲げひび割れモーメントから算出した許容値以下となり、本構造が張出しスラブ支持方式として問題ないことを確認した。今後は、安全な仮線供用となるよう必要に応じて施工対応を行っていく予定である。

## 参 考 文 献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 国土交通省鉄道局監修, H16.4
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物, 国土交通省鉄道局監修, H19.1
- 3) 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物, 国土交通省鉄道局監修, H24.1

## 堤防陥没発生要因に関する考察

(株)建設技術研究所 ○丸岡 雄一郎  
(株)建設技術研究所 宗行 正則  
(株)建設技術研究所 上山 高史

### 論文要旨

堤体内の空洞化は、浸透に対する堤防の安全性だけでなく、陥没に進展すると、河川利用者の安全面に重大な影響を及ぼす。当該河川では、昨年に引き続き、堤防天端のアスファルトに変状が発生したため、試掘調査を実施し、変状の発生要因を推定した。本報告では、実施した調査結果を受け、各種試験結果による変状箇所の特徴を報告するとともに、今後の堤防点検手法に関する留意点を提案するものである。

キーワード：河川堤防、堤防陥没、堤防試掘調査、内部浸食、堤体内異物

### まえがき

近年、わが国では、地球温暖化に伴う大雨の頻度の増加や台風の強度の増大等により、出水による被災リスクが増大している。堤防の決壊や河川のはん濫等による水害を防止又は軽減していくためには、適切に河川（河道や河川管理施設）の維持管理を行う必要がある<sup>1)</sup>。

このような状況にあつて、河川の維持管理を適切かつ適正に遂行することを目的として、定期的な堤防等の点検<sup>2)</sup>による異状・損傷等の程度や原因等を把握するとともに、異状・損傷等が進行する可能性や、河川管理に与える影響についての評価<sup>3)</sup>を実施している。

一方で、堤防は、洪水による被災を蒙るたびに、その時代の技術力を反映し、拡築や護岸等の整備を繰り返してきた。そのため、現在確立されている堤体土の材料や締固め、ならびに土堤原則等に関する概念に整合しない堤防が多く存在する。

本報告の対象河川である一級河川重信川では、2ヶ年連続で堤防天端の変状(陥没・沈下)が発生している。堤防天端の変状は、突発的に発生するため、日々の巡視・点検のみでは発生の予測が困難であり、河川利用者の安全面の確保に課題が残る。加えて、変状の要因と推定される堤体内のゆるみや空洞化は、浸透に対する堤防の安全性の低下を招き、治水面にも重大な影響を及ぼすものである。しかしながら、堤体内のゆるみや空洞化に関する調査・点検・評価手法に確立されたものがないのが実状である。

以上のような背景から、本論文では堤防の安全性に重大な影響を及ぼす「堤体内のゆるみ域や空洞化の発生」に着目し、要因の調査方法についての事例を紹介する。また、事例を通じて得た知見より、今後の堤防点検・評価手法に関する留意点を併せて提案する。

### 1. 堤防沈下発生状況

昨年度発生した堤防天端の沈下は、愛媛県に位置する、重信川水系重信川中流域の堤防天端で発生した(写真-1、図-1)。沈下の大きさは、直径 60cm、深さ 10cm であった。堤防天端道路は、常時は管理用道路兼、自転車専用道路として使用されていたが、沈下の発生時には、河川維持工事のための工事用道路として、大型車両が通行していた。なお、沈下確認時には降雨はなく、確認前の一週間降雨量は 0.5mm であり、降雨と沈下の関連性は低いと考えた。

当該河川では、一昨年度にも堤防天端の陥没が発生しており、堤防開削調査の結果、陥没箇所の直下に存在する旧護岸背面の空洞に、降雨浸透及び車両通行による振動の影響を受けて堤体土砂が移動し、空洞化が発生したものと推定していた。

よって、変状発生箇所においても、同様に堤体内に異物が存在する可能性が高いものと想定し、試掘調査を実施することとした。



写真-1 陥没発生箇所(左:遠景, 右:近景)



図-1 陥没発生箇所(平面図)

## 2. 調査結果

### (1) 簡易試掘の実施

陥没発生後、要因の推定のため盛土の土質確認を目的として、路床以深となる深さ 50cm、径 50cm 程度の簡易試掘を行った。また陥没箇所とそれ以外の箇所における土質状況の相違を把握するため、陥没箇所の上下流 8カ所でも簡易試掘を行った。試掘箇所の孔底では、堤防盛土の相対的な締まり具合を把握するため、簡易貫入試験を実施し、陥没箇所が比較的緩い状態であることを確認した。



図-2 簡易試掘状況

### (2) 既往資料の収集と現地踏査

詳細調査に先立ち、陥没発生の要因を推定するために収集した主な資料及び情報を表-1 に示す。

表-1 主な収集資料及び情報

収集資料・情報	目的
治水地形分類図	陥没箇所の地形分類
地質調査結果	堤体及び基礎地盤の地盤情報
堤防点検結果	地中レーダー探査結果(空洞・異物調査)
工事履歴	築堤履歴・工事完成図面
被災履歴	既往類似被災事例
周辺踏査	土砂の吸出し・流出、モグラ穴等

#### 1) 既往地質調査結果

近傍の既往地質調査結果(図-3)より、堤体及び基礎地盤ともに比較的締まった砂礫が卓越しているため、軟弱層起因の地盤変状は考えにくい。なお、自然地下水位は堤体下面より 3m 程度低いことを確認した。

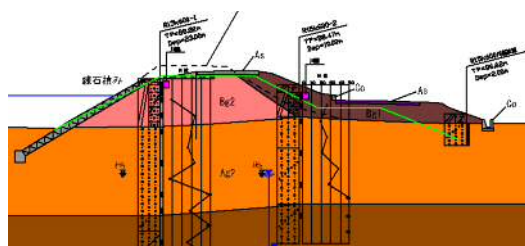


図-3 簡易試掘状況

#### 2) 築堤履歴と空中写真

築堤履歴としては図-5 に示すように昭和 18 年以降、昭和 36 年に嵩上げ工事、昭和 47 年に川裏側への腹付盛土を行っている。図-4 に示す昭和 23 年の空中写真では、陥没箇



図-4 空中写真(昭和 23 年)

所となる堤防に立木があることが見て取れた。

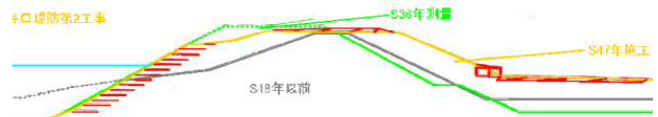


図-5 築堤履歴

### (3) 詳細調査計画の立案と実施

#### 1) 調査計画の立案

簡易試掘と既往資料、現地踏査に基づき、軟弱地盤はなく地形的な特異点はないこと、周辺の堤防や護岸に変状が発生していないことから、陥没の要因は堤体内の異物と推定した。よって、異物の確認と異物があることにより生じる周辺地盤への影響を把握するための詳細調査計画を立案した。

#### 2) 試掘結果

試掘の結果、図-6 に示すように陥没箇所の天端-1.5m の深度に昭和 23 年の空中写真で確認された立木と思われる根株が確認された。また天端-3.0m では、玉石が集中して堆積している箇所が確認された。なお、試掘の結果では水ミチや旧護岸は確認されなかった。



図-6 立木の根茎の埋没状況

#### 3) 土質試験結果

土質試験として土検棒貫入試験ならびに現場密度試験を実施し、異物周辺がそれ以外の箇所と比較して緩いことを確認した。また堤体盛土については、異物周辺とそれ以外の箇所において室内物理試験を実施し、図-7 に示すように堤体土は概ね礫が多く一様であるが、異物周辺は砂分、細粒分が多いことが判明した。

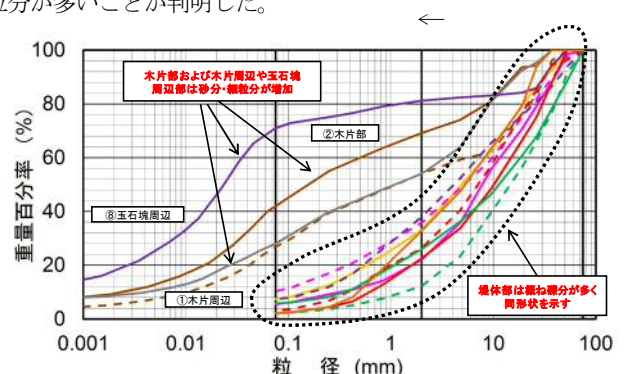


図-7 堤体土の粒度試験結果



### 3. 発生要因の推定

#### (1) 旧堤防ラインの想定

試掘調査時に確認された下記事項及び築堤履歴より、図-8に示す旧堤防ラインを想定した。沈下発生箇所との位置関係から、堤防の沈下は旧堤防の表層部に残置された異物によって誘発されたものと考えられる。

- ①旧堤路盤材と想定される層を確認
- ②旧堤表面に残置された腐食根株を確認
- ③旧根固めと思われる玉石の塊を確認

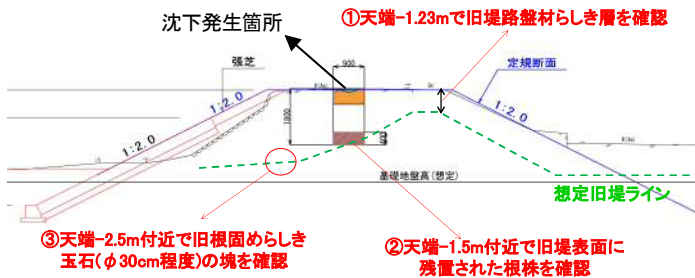


図-8 想定される旧堤防ライン

#### (2) 内部浸食判定

図-7に示す粒度試験結果より、堤体土が概ね同一の粒度分布を示すことに對し、堤体内異物周辺では細粒分や砂分が増加していることに着目し、内部浸食判定を実施した。内部浸食とは、浸透力の作用する地盤において、細粒分が移動・流出する現象であり、細粒分の移動に起因する地盤内の局所的変化である「ゆるみ領域」が形成されることが確認されている<sup>4)</sup>。ここでは、下記に示す内部浸食判定を実施し、堤体土のゆるみ領域発生の可能性について検討した。

##### 1) 粒度分布形状による内部浸食挙動の判定

内部浸食の受けやすさを把握するために、下記チャート<sup>5)</sup>を参考に、堤体の粒度分布を用いて内部浸食挙動の判定を実施した。判定の結果、当該地の堤体土粒子は、概ね下に凸の粒度形状となり、内部浸食を受けやすい材料で構成されることが分かった。

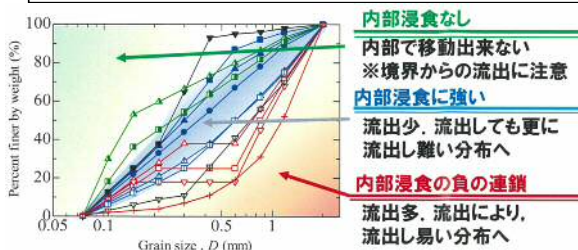
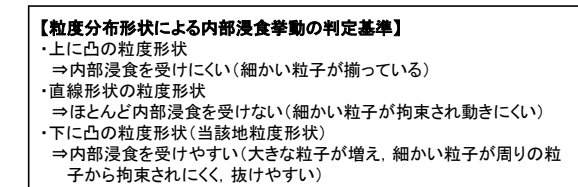


図-9 粒度加積曲線の全体形状による内部浸食に対する安定性の判定基準<sup>5)</sup>

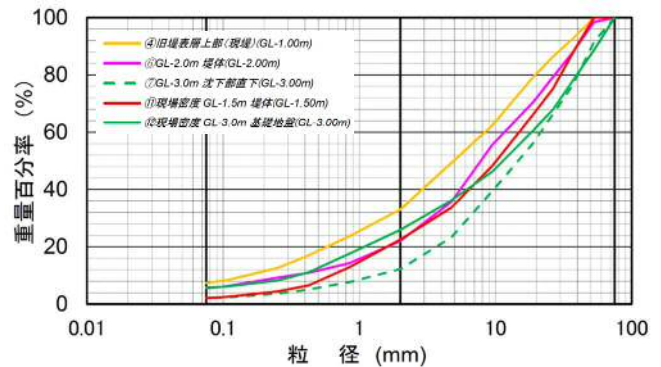
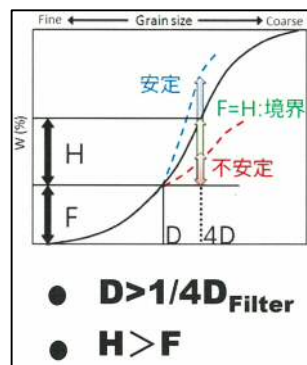


図-10 堤体代表地点の粒径加積曲線

##### 2) kenny らの安定条件による内部浸食への安定度判定

内部浸食への安定性を評価するために、kenny らの安定指標<sup>6)</sup>(図-11)を参考に、堤体の代表地点(GL-2.0m)の粒径加積曲線を用いて判定を実施した。判定の結果、堤体土粒子は、概ね  $H > F$  となり、内部浸食を受けやすい材料であることが分かった。特に、粒径の小さい区間において、土粒子が移動しやすい結果となっており、試掘調査時に確認された、異物周辺の細粒分が増加している状況と類似していると考えられる。



【内部浸食判定】  
・任意の粒径が移動しないためには、その粒径の4倍の径の粒子含有量(H)が任意の粒径の含有量(F)以上に含まれていることが必要  
⇒  $H > F$  =  $[H/F > 1.0 \text{ なら 安定}]$

図-11 kenny らの内部浸食への安定性指標<sup>6)</sup>

表-2 内部浸食判定結果

D		4D		H	H/F	内部浸食判定
粒径(mm)	F(通貫重量%)	粒径(mm)	通貫重量%	4D(%) - F(%)	(1以上OK)	
75	100	-	-	-	-	-
53	98.4	-	-	-	-	-
37.5	88.3	-	-	-	-	-
26.5	79.3	-	-	-	-	-
19	70.6	76	100	29.4	0.4	NG
9.5	55.6	38	80	24.4	0.4	NG
4.75	35.7	19	64	28.3	0.8	NG
2	22	8	51	29	1.3	OK
0.85	14.3	3.4	29.5	15.2	1.1	OK
0.425	10.9	1.7	20.5	9.6	0.9	NG
0.25	9.2	1	16.5	7.3	0.8	NG
0.106	6.2	0.424	10.9	4.7	0.8	NG
0.075	5.5	0.3	10	4.5	0.8	NG

##### (3) 発生要因の推定

これまでの各種調査結果と検討結果を踏まえ、想定される堤防天端の沈下の発生要因を以下に示す。

##### 【素因】

- ・堤体土は、内部浸食を受けやすい土質材料で構成されている。
- ・堤体内には、旧堤表層部に残置されていたと考えられる根株や、旧根固めと思われる玉石の塊が存在した。



#### 【誘因】

- ・降雨浸透や既往の出水により、腐食した根株周辺や、玉石の隙間に細粒分や土砂が移動したことで「ゆるみ域」が発生し、大型車両の通行によって沈下が発生したと考えられる。

#### 4. 重信川における課題と今後の対応

##### (1) 堤防の現状

前述した発生要因に対して、重信川における堤防の現状は、これまでの古地図や地質調査結果をもとに整理した結果、以下のとおりであると想定された。そのため、堤防の安全性を保持するために早急な点検が必要と判断した。

- ①全堤防延長 34.4km のうち、約 15km 区間で旧護岸が埋設されている可能性がある。
- ②堤体土は、全川にわたり、内部浸食を受けやすい材料で構成されている可能性がある。

##### (2) 課題に対する今後の対応

堤防の陥没や沈下の危険性を早期に発見し、堤防の安全性を保持することを目的とする点検を図-12 に示すフローにもとづき実施することを提案した。

点検方法は、三次元データ計測を主体に堤防形状を計測する。計測結果をもとに、堤防の変状発生箇所を抽出し、堤防の陥没や沈下の危険性を判断することとした。

なお、危険性の判断は、陥没や沈下の発生要因を踏まえて「堤体構成材料」「地中レーダー探査」「堤体内異物」「変状報告」「堤防質的検討結果」を指標として、これらの発生箇所に関する分布傾向分析を行うこととした。また、危険性の判断結果を検証することを目的に、現地での試掘等により妥当性を判断することとした。

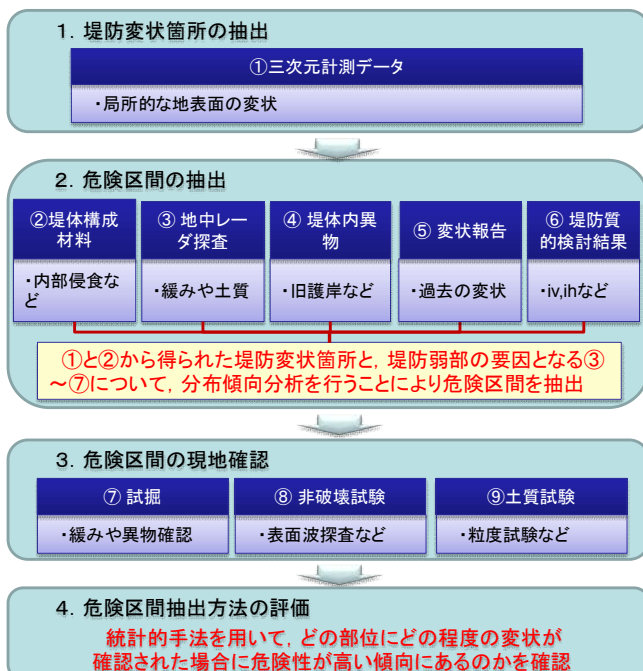


図-12 点検実施フロー

#### 5. おわりに

今回の事例は、2ヶ年連続で堤防天端に発生した陥没や沈下の発生要因について、重信川の特性を踏まえて分析したものである。推定された発生要因（堤体内異物や内部侵食）は特異なものでなく、重信川全川において可能性があるものであった。これらの要因は、洪水時に「水みち」となり、堤防の安全性が低下することが危惧されたため、早急な点検を実施することとなった。

現在の技術では、人頭大の石材が混入する堤体の中の異物を確実に把握する非破壊調査はないため、堤防形状から変状を把握し、堤体内の状況を想定する手法を試みることとなった。これから、本手法による点検を実施し、堤体内異物や内部侵食に関する堤防弱部をいかに的確に把握することができるかが課題となる。

本論文で対象とした業務の実施にあたり、貴重な資料の提供及び数々のアドバイスを頂いた国土交通省四国地方整備局松山河川国道事務所担当職員に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省 河川砂防技術基準 維持管理編
- 2) 堤防等河川管理施設及び河道の点検要領：国土交通省 水管理・国土保全局 H28.3
- 3) 河川管理施設の点検結果評価要領（案）：国土交通省 水管理・国土保全局 H29. 3
- 4) 前田健一・近藤明彦：粒度分布形状に起因する内部浸食メカニズムに着目した細粒分のダイナミクスに及ぼす間隙構造の影響，土木学会論文集，vol. 70，No. 2, 2014
- 5) 岡村未対・渦岡良介・泉典洋・前田健一・高橋章浩・佐々木哲也・新清晃：河川堤防の複合外力に対する総合的安全性点検のための解析手法と対策工法に関する技術研究開発，河川砂防技術研究開発 [http://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/kasengijutsu/pdf/h24\\_report\\_okamura.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/kasengijutsu/pdf/h24_report_okamura.pdf)
- 6) Kenny, T. C. and Lau, D.: Internal stability of granular filters, Canadian Geotech. J., Vol.22, pp.215-225, 1985.

## 小型無人航空機 (UAV) を用いた単木抽出の試み

国土防災技術株式会社 ○ 藤原美波  
戎 剛史  
山田知瑛里

### 論文要旨

近年、建設業界においては、i-Construction や CIM といった取り組みをはじめとして、三次元データの利活用が進んでいる。その中で、小型無人航空機 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle) による空中写真測量が注目されている。森林調査では、一般的に、樹木の本数は毎木調査によって数えられるが、本研究では、UAV で取得した DSM を用いて、単木の自動抽出の妥当性についての的中率、カバー率を指標として検討した。複数のグリッドサイズとウィンドウサイズを用いた場合、グリッドサイズとウィンドウサイズの積が 30~50cm の場合を最適な条件として概ね精度よく単木を抽出することができた。

キーワード : UAV, SfM, MVS, 三次元データ, 森林管理

### まえがき

近年、建設業界においては、i-Construction や CIM とした取り組みをはじめとして、三次元データの利活用が進んでいる。その中で、小型無人航空機 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle) による空中写真測量が注目されている。

一方、森林分野においても i-Construction や CIM と同様に三次元データを利用する事例が多くあり、労力の軽減や生産性の向上が期待されている。森林管理における三次元データの活用に関する研究は、航空レーザー測量データを中心に以前から行われており、樹高や樹木本数の推定に有効であることが示されている<sup>1)</sup>。

航空レーザー測量データの解像度は 50cm~1m 程度であることが多いが、UAV による空中写真測量では、さらに解像度の高い数 cm 程度の DSM (Digital Surface Model) を取得することができる。よって、航空レーザー測量データと同様に、樹高や樹木本数の推定に適用できると考え、UAV で取得した DSM から樹頂点を抽出し、樹木の本数を算出することを試みた。

本研究では、UAV で取得した DSM の解析による樹木本数の自動抽出手法の妥当性についての検証結果を報告する。

### 1. 検討対象地

検討対象地は、中部地方にある山林で、約 10ha のヒノキを主体とする森林である (図 1)。樹高約 20m、平均勾配は 23.3 度、林齢は 52~53 年、林分密度は約 800 本/ha である。平成 28 年 8 月に皆伐されており、UAV による空撮は、伐採前の平成 28 年 7 月と伐採後の 11 月に実施した。

### 2. 検討方法

樹木本数の自動抽出は、UAV 空撮により取得した DSM を解析することにより樹頂点を抽出した。また、皆伐後の切り株の数を正解とした上で、指標を用いて手法の妥当性を検証した。

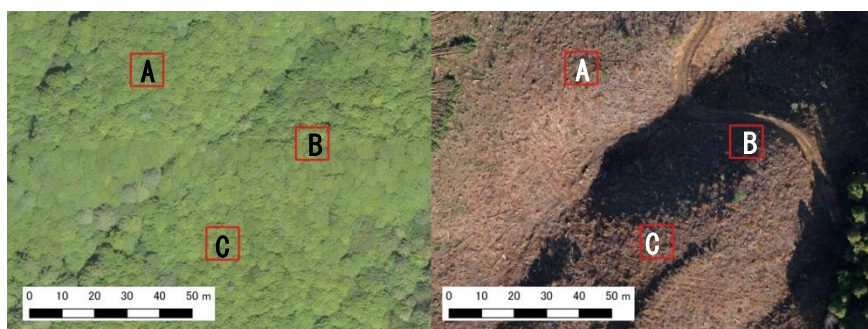


図 1 検討対象地 (左 : 伐採前, 右 : 伐採後)

## 1) UAVによる空撮

空撮には(株)アミューズワンセルフ製 $\alpha$ UAVを使用した(図2)。また、UAVに搭載のカメラは有効画素数1600万画素のPanasonic製DMC-GX7であり、焦点距離14mmのレンズを装着している。

三次元モデルの作成にはAgisoft社製PhotoScanを使用した。PhotoScanでの画像処理では、SfM(Structure from Motion)により写真の撮影位置を推定し、特徴点を抽出した。さらに、特徴点をもとにMVS(Multi View Stereo)によって三次元情報を持った高密度点群を作成した。DSMは、PhotoScan上で高密度点群を処理することで作成した。



図2  $\alpha$ UAV概観

## 2) 単木の抽出方法

樹頂点の抽出には地上開度を用いた(図3)。地上開度は着目する標本地点から距離 $L$ の範囲内で見える空の広さを角度で表しており<sup>2)</sup>、0度~180度の値をとる。樹木の頂点は周囲から高く突き出す凸形状であり、上空を見たとき周りをさえぎるものは何もないため、地上開度180度となる地点を樹頂点として抽出した(図4)。

樹木の本数および正解数は、伐採前後のオルソ画像を用いて算出した。まず、伐採後に作成したオルソ画像から、林小班全域で10m×10mの標準地(図1中の赤枠)を3箇所設けて、範囲内の切り株の位置をGIS上でプロットし、正しい樹木の位置とした。次に、樹頂点の抽出結果を切り株の位置がプロットされたGIS上に表示し、切り株の位置と同じ樹木と思われる点を目視で判定して、正解した地点を数えた。

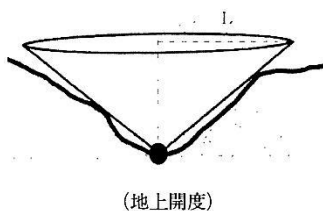


図3 着目する標本地点(●印)における地上開度  
(横山ら(1999)による)

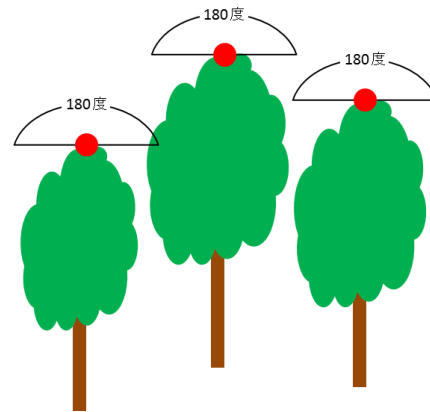


図4 樹頂点(●印)における地上開度の仮定

## 3) グリッドサイズとウィンドウサイズ

樹頂点の抽出にあたっては、複数のグリッドサイズとウィンドウサイズで検討を行った。UAVによる簡易空中写真測量では、高解像度のDSMを取得することができ、地形の凹凸なども詳細に把握することが可能である<sup>3)</sup>。ただし、解像度の高いDSMは微細な凹凸を表現することができるが、データ量が大きくなり広域の解析が困難となる場合がある。また、地上開度の算出を行う際の標本地点からの距離 $L$ (以下、ウィンドウサイズとする)についても、ウィンドウサイズが小さい場合は大きいスケールでの凹凸を把握することはできないことから<sup>4)</sup>、適切なウィンドウサイズを設定する必要がある<sup>5)</sup>。しかし、樹頂点の抽出に用いるための適切なグリッドサイズとウィンドウサイズについては十分に分かっていない。そこで、本研究ではグリッドサイズとウィンドウサイズを複数設定して、樹頂点を抽出することとした。

本研究で作成した森林の三次元モデルの最大解像度は8cmであった。樹頂点の抽出に使用したDSMのグリッドサイズは8cm, 10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm, 1mの7種とし、ウィンドウサイズは1, 3, 5の5種類とした。8cm~40cmについては、より詳細に検討するためにウィンドウサイズ2と4を追加した。

## 4) 抽出結果の評価方法

抽出結果について、単木の抽出率、的中率、カバー率の3つの指標を用いて評価した(図5)。「抽出率」は、実際の単木数(切り株本数)に対する、抽出本数の割合であるが、抽出率が100%の場合でも抽出位置が正しいとは限らない。そこで、抽出数に対する正解数を「的中率」、切り株数に対する正解数を「カバー率」とし、両者が共に高い値を示す場合に抽出手法の精度が高いと評価した。



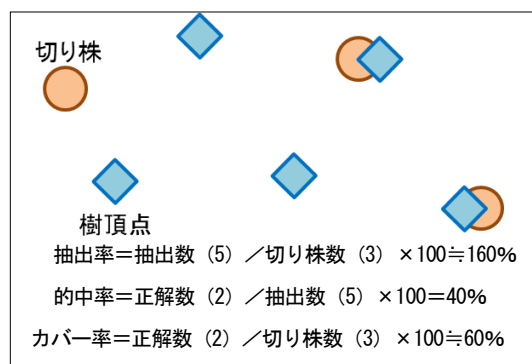


図 5 抽出率・的中率・カバー率の算出例

### 3. 検討結果

地上開度の解析結果を図 6 に示す。図 6 の上段はグリッドサイズ 8cm, 下段はグリッドサイズ 40cm の解析結果である。黒から白のカラーチャートで表示し、地上開度が大きいほど白く表現している。グリッドサイズ 8cm では、樹冠の細かい凹凸が開度によって表現された。一方、グリッドサイズ 40cm では、樹冠の細かい凹凸が表現されず、樹冠形状が分からなくなった。また、同じグリッドサイズでもウィンドウサイズが大きいほど、開度が小さい箇所が線状につながって見え、大局的な形状を表現できた。

標準地 C における樹頂点の抽出結果を図 7 に示す。また、抽出された樹木本数を表 1 に示す。基図は伐採前の DSM から作成したオルソ画像と傾斜図である。標準地 A, B, C の樹木の本数(切り株の本数)は合計で 43 であった。図 7 の左図は、グリッドサイズ 8cm, ウィンドウサイズ 1 のときの抽出結果である。抽出した樹頂点は、完全には一致していないものの、切り株の位置に近く、ほぼ 1m 以内にあった。また、樹木以外の場所にも樹頂点が多く抽出さ

れた。一方、右図のグリッドサイズ 50cm, ウィンドウサイズ 5 において、樹頂点は多く抽出されなかった。抽出した樹頂点は完全には一致していないものの、切り株の位置に近く、ほぼ 1m 以内にあった。そこで、伐採前オルソ画像において概ね樹冠の中心を捉えている樹頂点を正解とした。

グリッドサイズおよびウィンドウサイズと抽出率の関係を図 8 に示す。抽出率について見ると、同じグリッドサイズではウィンドウサイズが小さいほど抽出率が高かった。グリッドサイズ 8cm と 10cm では、抽出率が 100% を超えた。一方、1m の場合には、地上開度 180 度の地点が出現せず、樹頂点を抽出することができなかった。また、同じウィンドウサイズではグリッドサイズが小さいほど抽出率が高かった。グリッドサイズ 10cm でウィンドウサイズ 5 の場合と、グリッドサイズ 30cm でウィンドウサイズ 1 の場合とで、抽出率はほぼ同じであった。

グリッドサイズおよびウィンドウサイズと的中率の関係を図 9 に示す。的中率について見ると、同じグリッドサイズではウィンドウサイズが大きいほど的中率が高かった。また、同じウィンドウサイズではグリッドサイズが大きいほどの中率が高かった。グリッドサイズが 20cm 以上でウィンドウサイズが 3 以上の場合、的中率が 90% 以上であった。

グリッドサイズおよびウィンドウサイズとカバー率の関係を図 10 に示す。カバー率について見ると、抽出率とほぼ同じ傾向にあり、グリッドサイズが小さいほどカバー率が高く、ウィンドウサイズが小さい場合でもカバー率が高かった。グリッドサイズ 8cm~20cm でカバー率がおおむね 80% より高くなる傾向にあった。

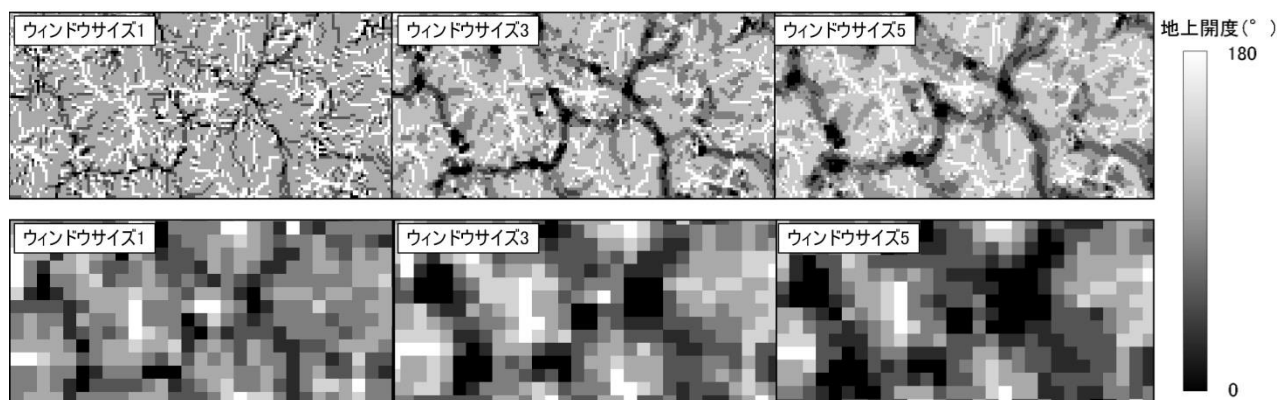


図 6 地上開度の抽出結果(上段:グリッドサイズ 8cm, 下段:グリッドサイズ 40cm)

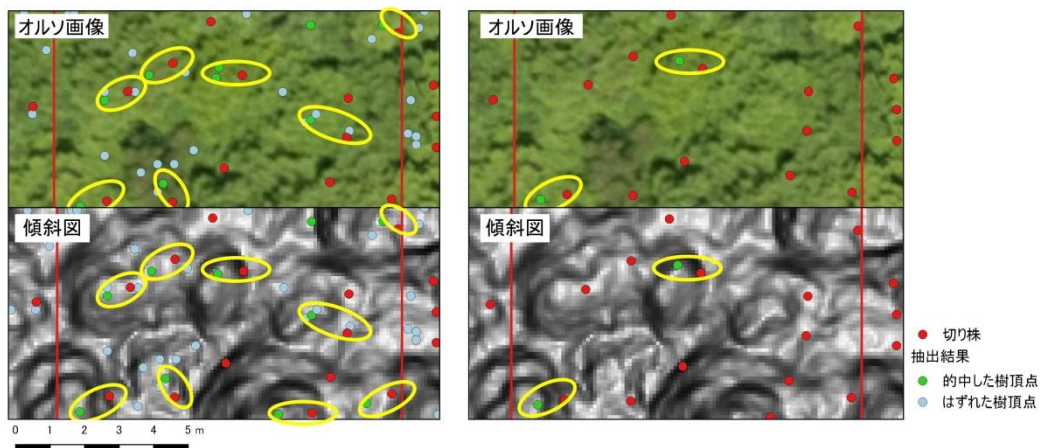


図 7 標準地 C の抽出結果 (左: グリッドサイズ 8cm, ウィンドウサイズ 1, 右: グリッドサイズ 50cm, ウィンドウサイズ 5)

表 1 検討結果一覧表

樹頂点本数					
グリッド サイズ	ウィンドウサイズ				
	1	2	3	4	5
8cm	115	88	68	55	49
10cm	106	75	56	47	42
20cm	53	38	29	24	21
30cm	43	30	20	14	10
40cm	31	22	14	8	7
50cm	25		9		4
1m	0		0		0
的中本数					
グリッド サイズ	ウィンドウサイズ				
	1	2	3	4	5
8cm	39	39	36	35	35
10cm	40	38	35	34	31
20cm	34	30	26	22	20
30cm	33	26	19	13	9
40cm	26	21	13	8	7
50cm	23		9		4
1m	0		0		0
抽出率					
グリッド サイズ	ウィンドウサイズ				
	1	2	3	4	5
8cm	267%	205%	158%	128%	114%
10cm	247%	174%	130%	109%	98%
20cm	123%	88%	67%	56%	49%
30cm	100%	70%	47%	33%	23%
40cm	72%	51%	33%	19%	16%
50cm	58%		21%		9%
1m	0%		0%		0%
的中率					
グリッド サイズ	ウィンドウサイズ				
	1	2	3	4	5
8cm	34%	44%	53%	64%	71%
10cm	38%	51%	63%	72%	74%
20cm	64%	79%	90%	92%	95%
30cm	77%	87%	95%	93%	90%
40cm	84%	95%	93%	100%	100%
50cm	92%		100%		100%
1m	0%		0%		0%
カバー率					
グリッド サイズ	ウィンドウサイズ				
	1	2	3	4	5
8cm	91%	91%	84%	81%	81%
10cm	93%	88%	81%	79%	72%
20cm	79%	70%	60%	51%	47%
30cm	77%	60%	44%	30%	21%
40cm	60%	49%	30%	19%	16%
50cm	53%		21%		9%
1m	0%		0%		0%

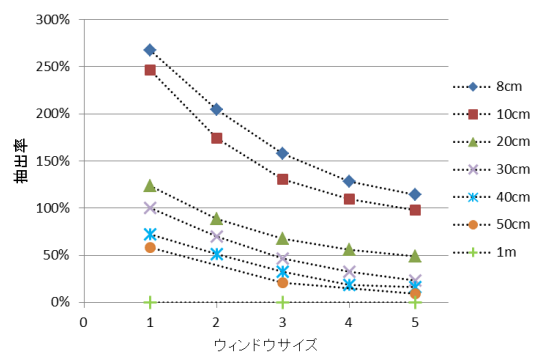


図 8 グリッドサイズとウィンドウサイズによる抽出率  
の変化

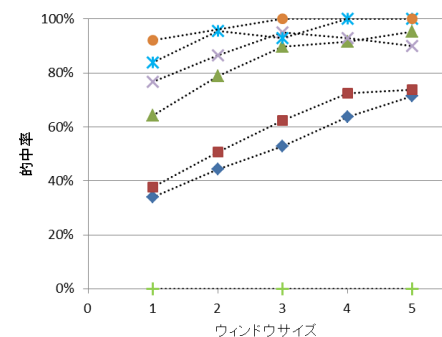


図 9 グリッドサイズとウィンドウサイズによる的中率  
の変化

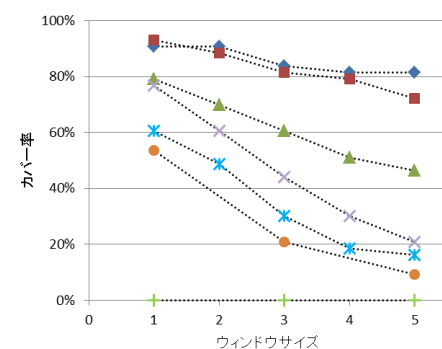


図 10 グリッドサイズとウィンドウサイズによるカバー  
率の変化

## 4. 考察

抽出した樹頂点は、切り株の位置と 1m 程度ずれている箇所があった。これは、伐採前と伐採後の UAV の計測誤差に加えて、樹木の傾倒や根曲がりがある原因であると考えられる。対象地は 23.3 度の斜面となっているため、樹高約 20m ではわずかな樹木の傾倒により切り株と樹頂点が 1~2m ほどずれる可能性がある。

小さいグリッドサイズによる解析では、細かい凹凸を検出することができるため、樹木の葉や枝による凹凸まで樹頂点として抽出され、抽出率が高くなったと考えられる。また、そのような点を過剰に抽出したことにより、カバー率が高いものの、正解率が低く、結果的中率は低くなったと考えられる。すなわち、空振りが多くなることを示している。一方、グリッドサイズ 1m の場合では、ウィンドウサイズを変えても樹頂点を抽出できなかったことから、グリッドサイズは、隣接する樹木の樹頂点を跨がないサイズが望ましい。

ウィンドウサイズは計算範囲であり、ウィンドウサイズを大きくすると上記の葉や枝による誤検出を減らすことができ、その結果、的中率が増加したと考えられる。しかし、カバー率が低下することは、見逃しが多くなったことを示している。

検討パターンの的中率とカバー率の関係を図 11 に示す。いずれの組み合わせにおいても 100%に近い組み合わせは

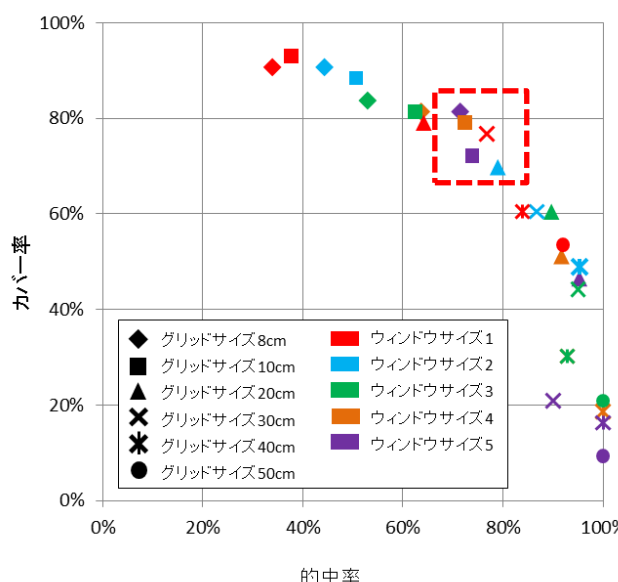


図 11 グリッドサイズとウィンドウサイズによる的中率とカバー率の変化

なかったが、グリッドサイズ 30cm でウィンドウサイズ 1 の時に、的中率とカバー率がともに 77%であり、検討した中では最的中率とカバー率となった。また、的中率・カバー率が高い組み合わせは、グリッドサイズとウィンドウサイズの積が 30~50cm の場合に高くなる傾向にあった(図 12)。よって、地上開度を利用した単木の抽出手法について、このような解析条件の場合に、ある程度の精度が期待できると言える。

## 5. あとがき

本研究では、UAV で取得した DSM を用いて、単木の自動抽出の妥当性について検討した。複数のグリッドサイズとウィンドウサイズを用いた場合、的中率、カバー率は、グリッドサイズとウィンドウサイズの積が 30~50cm の場合を最適な条件として概ね精度よく単木を抽出することができる。今後の課題として、的中率とカバー率が向上に向けた手法の改良が挙げられる。例えば、樹頂点以外の小さな葉や枝の凹凸を排除するため、予め DSM にメディアンフィルタなどをかけて平滑化しておくことが考えられる。また、森林の樹種や施業状況、林齢などによる抽出精度の変化についても検討する必要がある。

最後に原稿執筆にあたり、多くの関係者にご指導とご協力等を頂いた。感謝申し上げます。

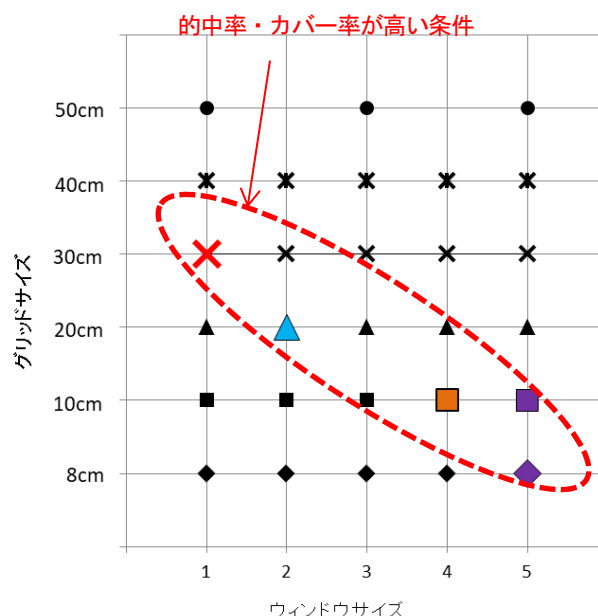


図 12 グリッドサイズとウィンドウサイズによる的中率とカバー率の組み合わせ

#### 参考文献

- 1) 松英恵吾・伊藤拓弥・内藤健司:航空機 LiDAR による森林資源量推定ー密度の異なるスギ・ヒノキの林分パラメータ推定ー, 写真測量とリモートセンシング Vol.45 .No.1, 一般社団法人日本写真測量学会, 2006, pp4~13
- 2) 横山隆三・白沢道生・菊池 祐:開度による地形特徴の表示, 写真測量とリモートセンシング Vol.38 No.4, 一般社団法人日本写真測量学会, 1999, pp26-34
- 3) 小花和宏之・早川裕式・齊藤 仁・ゴメス クリストファー: UAV-SfM 手法と地上レーザー測量により得られた DSM の比較, 写真測量とリモートセンシング Vol.53 No.2, 一般社団法人日本写真測量学会, 2014, pp67-74
- 4) 田中靖・大森博雄:山地の地形計測のための DEM の解像度に関する一検討, 写真測量とリモートセンシング Vol.44 No.1, 一般社団法人日本写真測量学会, 2005, pp26~35
- 5) 岩橋純子・神谷泉・山岸宏光: LiDAR DEM を用いた表層崩壊のアセスメントに適する勾配と凹凸度の計算範囲の推定

中央復建コンサルタンツ (株)	○ 今 村 り え
中央復建コンサルタンツ (株)	山 本 健 一
中央復建コンサルタンツ (株)	尾 崎 良 明
中央復建コンサルタンツ (株)	中 原 正 人

キーワード：駅構内，小型立坑圧入工法（ケコム工法），場所打ち杭，ホーム間工事用仮設路（JDO 工法）

また、当該駅は、夜間の線路閉鎖時間が最少で 2.5 時間程度しかない中で、できるだけ多くの作業時間を確保できる施工方法を選定する必要があった。

当該地盤は、Ⅱ種地盤（G3 地盤）であり、主に砂礫層とシルト層で構成され、標準貫入試験では砂礫層にて  $\phi$  10cm の玉石が確認されている（実際に隣接する自由通路の基礎杭施工時には  $\phi$  30cm の玉石が確認された）。深度 10m よりも浅い位置の砂礫層は、L2 地震時に液状化する。想定支持層は 12m 以深にある N 値 20 以上の砂礫層（洪積層）とした。

圖一 1 計畫平面圖



以上より、支持層の深さ及び支持力を確保できる基礎形式として、杭基礎形式を選定した。

## (2) 橋脚の杭基礎工法の選定

橋脚の杭基礎として、以下の3工法の比較検討を行った結果を以下に示す。

- ・第1案：場所打ち杭工法（TBH リバース工法） $\phi 1500$
- ・第2案：鋼管杭（回転圧入鋼管杭工法） $\phi 400 \times 4$ 本
- ・第3案：場所打ち杭工法（小型立坑圧入工法） $\phi 1500$

第1案の場所打ち杭（TBH リバース工法）は、掘削土・泥水処理のためのプラント設備が必要であるが、島式ホーム上には設置が困難である。また、モルタル分が地下水へ流出することを防ぐため、薬液注入等により孔壁を保護する必要がある、工事費が増大する。

第2案の鋼管杭（回転圧入鋼管杭工法）は、20cm～30cmの玉石が出現すると鋼管の圧入が困難であり、ボーリングで $\phi 10\text{cm}$ の玉石が確認されている砂礫層が存在するため適さない。また、杭径を上げると、フーチングが大きくなり、島式ホーム内では収まらない。

第3案の場所打ち杭（小型立坑圧入工法）は、全周回転で鋼製ケーシングを圧入するケコム工法を活用し、その立坑内に配筋してコンクリートを打設することで基礎杭とする。第1案よりも施工機械がコンパクトで島式ホーム内に常駐かつ自走できること、 $\phi 1500$ の鋼製ケーシングを全周回転で圧入して径の大きな玉石を取り込むことができること、鋼製ケーシングを存置することか

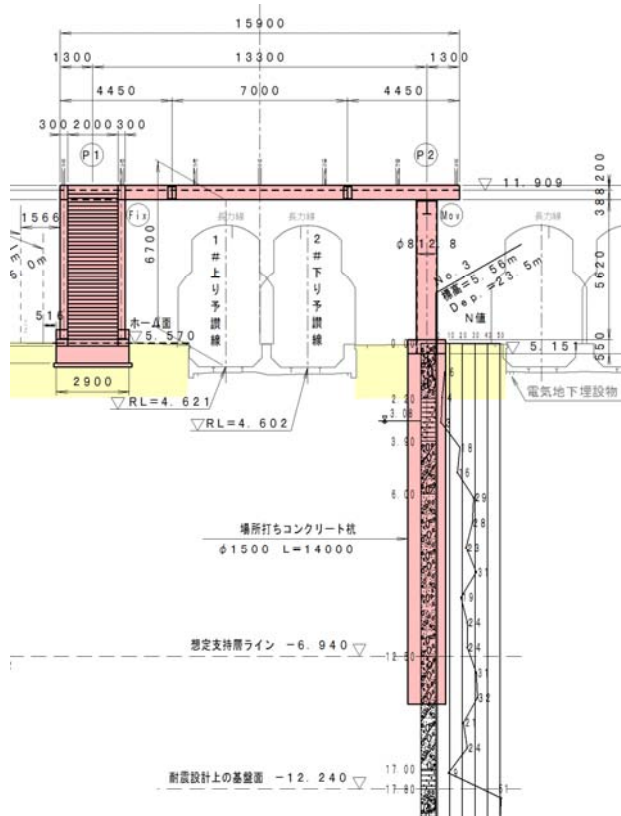


図-2 乗換二線橋横断面図

らコンクリートのモルタル分流出のリスクが少なく地下水への影響もないことが利点である。

以上より、本設計では、第3案：場所打ち杭（小型立坑圧入工法）を選定した（図-2）。

## 2. 場所打ち杭（小型立坑圧入工法）の設計

### (1) 小型立坑圧入工法（ケコム工法）の概要

鋼製ケーシングを用いる小型立坑工法は、帯水地盤でもケーシング内を水中掘削でき、補助工法を不要とする下水道等の推進工法用立坑構築工法として開発された<sup>3)</sup>。大きく分類して6工法があるが、そのうち、ケコム工法は、鋼製ケーシング立坑を揺動圧入および掘削一体型の機械で構築する工法である（図-3）。近年は、全周回転機、超大口径にも対応し、自走式の施工機械で狭隘な箇所にも搬入できること、鋼製ケーシングを存置することで基礎の変位が小さく抑えられることから、鉄道の営業線近接工事の杭基礎に採用されることが増えている<sup>4)</sup>。

ケコム工法の施工機械は、全周回転圧入機とベースマシンがピンジョイントにて接続一体化しているため、回転反力が大きくとれる。鋼製ケーシング $\phi 1500$ の板厚は12mm、刃先に超硬チップを取り付けることにより硬質土や岩盤においても掘削が可能となる。小型立坑の杭長は、揺動圧入機・全回転圧入機では最大15mである。



図-3 小型立坑圧入工法（ケコム工法）の施工機械

### (2) 場所打ち杭（小型立坑圧入工法）の設計

本構造物は列車荷重を受けない旅客・保守設備であるため、常時（地震時以外）は『旅客・保守施設構造物設計マニュアル 平成26年9月 東日本旅客鉄道株式会社』<sup>5)</sup>に基づいて、許容応力度法で設計した。地震時は『鉄道構造物等設計標準〔耐震設計〕 平成24年9月（公財）鉄道総合技術研究所』<sup>6)</sup>に基づいて耐震照査を行った。

場所打ち杭（小型立坑圧入工法）は、オールケーシング工法（自然泥水使用）として設計した。仮設時の鋼製ケーシングを存置させる工法であるため、最大周面摩擦力は鋼管杭と同等の中掘り杭工法（最大周面支持力度 $\gamma$

$=2\text{N}(\text{kN}/\text{m}^2)$ : 砂質土)<sup>9)</sup>、杭先端の極限支持力度は場所打ち杭工法として、支持力の検討を行った。

L2 地震時には液状化する層があるため、各層の低減係数に基づき、土質定数を低減させた。また、表層地盤の挙動(液状化・地盤の水平変位量)を評価するため、応答変位法により耐震照査を行った

設計の結果、場所打ち杭(小型立坑圧入工法)の杭径は $\phi 1500$ 、杭長は14.0m、主鉄筋 D25-28 本、帯鉄筋 D16 ctc150mm(杭頭 2D 範囲は ctc125)となった。

### 3. ホーム間工事前仮設路の計画

1 番ホーム(相対式ホーム)から 2 番 3 番ホーム(島式ホーム)への仮設路として、発泡スチロールブロックを用いるホーム間工事前仮設路(JDO 工法)の活用を計画した。

JDO 工法によりホーム間の仮設路が短時間で設置され、杭打ち機等が1 番ホームから最短距離で2 番 3 番ホーム(島式ホーム)へと渡ることが可能となり、正味の作業時間を最大限確保することができる。

#### (1) JDO 工法の特徴

JDO 工法は、長さ 2.0m×幅 1.0m×高さ 0.5m の発泡スチロールブロックと軽量樹脂敷板、ベニヤ合板の組合せで線路上に仮設路を設置する工法である。各資材とも人力で設置可能であり、軽量ながらも変形に強く、重機を走行させることが可能となる。2015 年 4 月時点で 150 件と施工実績が多い。

施工時間は、2 線跨ぎの場合、人力で設置に 20 分程度、撤去に 20 分程度と短い。ただし、事前にレール部のカット、バラスト形状などに応じた加工が必要となる。

#### (2) JDO 工法採用時の注意点

工事前仮設路の設置高さが、既設ホームの高さと同程度以上となるため、架線(トロリ線)までの高さは 3.8m 程度となる。ケコム工法の施工機械の自走時の高さは約 3.8m であり、架線までの空頭とほぼ同等となるため、走行時の上下の振動等による余裕高さがほぼない。そのため、設計時には架線をリフトアップして架線までの空頭を確保することを想定していたが、実際の施工では、架線のリフトアップに加えて、全周回転機を吊りこむワイヤーを変更して、施工機械の高さを 3.8m→3.65m に下げること、架線までの空頭を確保した(図-4)。

また、発泡スチロールブロックは、 $14\text{t}/\text{m}^2$  程度までは塑性変形しないことが実験で確認されているが、ケコム工法の施工機械(約 36 t)が一体で走行する際のキャタピラ(幅 0.5m×長さ 3.5m)の圧力を想定し、約  $10\text{t}/\text{m}^2$  程度であることから、発泡スチロールブロックが変形する可能性は低いことを確認した。

### 4. 施工状況

設計完了後すぐに桁製作、支障移転工事にかかった。島式ホームの場所打ち杭の掘削には 7 夜間を要し、平成 29 年 1 月には基礎施工が完了した(図-5)。

平成 29 年 4 月には通路桁と階段桁の架設も完了し、平成 29 年 9 月には供用が開始される予定である。



図-4 ホーム間工事前仮設路の設置とケコム工法施工機械の移動状況



図-5 島式ホームでの掘削状況

### あ と が き

既設駅のバリアフリー対応として、新たに乗換こ線橋を計画するケースは、これから増えてくることが予想される。ただし、供用中の駅構内では、施工時間、搬入経路、架線との離隔等の施工条件が厳しいことが多く、現地の状況に合わせた工法選定が重要となる。

本設計では、現地の施工条件に合わせた基礎として、施工機械が掘削一体型のためコンパクトで、鋼製ケーシングを存置する小型立坑圧入工法(ケコム工法)を活用した場所打ち杭を採用した。また、ホーム間の仮設路として JDO 工法を採用することで、搬入路や短い施工時間等の厳しい条件をクリアした。

本設計事例が今後の設計、施工計画の参考になれば幸いである。

最後に、本設計に際して、四国旅客鉄道株式会社工務部  
工事課 藤本副長、美馬主席 ならびに土木技術センター  
笹部助役には、多大なご指導をいただきました。また、施  
工現場を見学させていただきました保線区の皆様、鉄建建  
設株式会社 加藤所長には、お忙しい中、大変お世話にな  
りました。厚く御礼を申し上げます。

## 参考文献

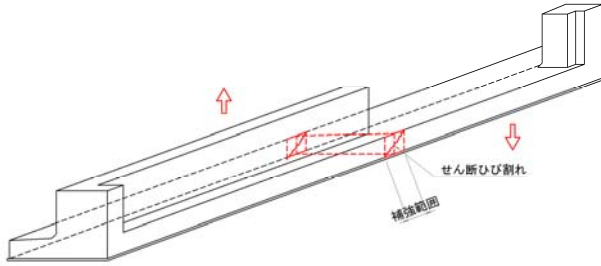
- 1) (株)ジェイエスピー, 大鉄工業(株), 押谷産業(株),  
鉄道工事用仮設道路及び該仮設道路形成用の熱可塑  
性樹脂発泡体製組合せブロック, 特許第 4986803 号,  
2012-05-11
- 2) 藤井孝晏, EPS を使用した渡線路用仮設道路構築工法  
JDO 工法の開発, 鉄道建築ニュース, (一社)鉄道建築  
協会, 2016.8.10, pp.47~49
- 3) 原田隆仁, 金子彰夫, 栗山泰晴, 山崎一雄, 山田昭彦,  
青木健一, 石川和秀, 鋼製ケーシング工法の明日を展  
望する, 月刊推進技術, 2014.11, pp.40~41
- 4) 高坪正明, 安井利成, 田中耕治, 宮崎薫, 鉄道近接下  
における地中障害物撤去を伴う基礎杭建設—ケコム  
カッティングロック工法—, 基礎工, 2011.9, pp.64~  
67
- 5) 東日本旅客鉄道株式会社, 旅客・保守施設構造物設計  
マニュアル, H26.9
- 6) (公財)鉄道総合技術研究所, 鉄道構造物等設計標準・  
同解説 [耐震設計], H24.9
- 7) (社)土木学会, 国鉄建造物設計標準解説—基礎構造物  
—, S61.3

## 高橋 憧

– 37 –



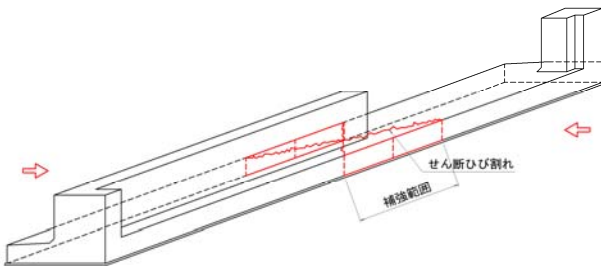
#### ＜立体図1＞



#### ＜上面図＞



#### ＜立体図2＞



図－2 基礎のねじれによる障害模式図

なお、照査対象とした地震波形は次の3ケースである。

- ・海溝型 陸側ケース , 海側ケース
- ・直下型

### 3. 土質モデル断面のモデル化

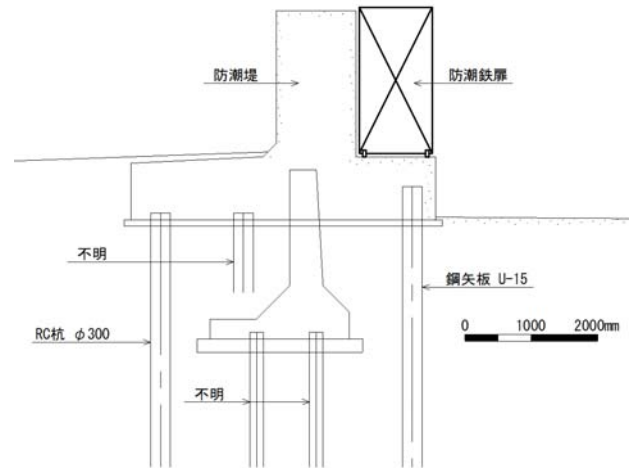
土質断面モデルは周辺の既往調査データを収集して作成した。今回の業務におけるモデル化の特徴は、対象となる防潮鉄扉直近のボーリングデータのみでは必要なデータが揃わないため、表－2に示したように近傍の既往データを収集し組み合わせることでモデル断面を作成した。沖積平野で調査サンプル数が多いエリアだったことから土質構成や工学的基盤面等のモデル化は精度を保ちやすい状況にあるが、個別層の土質データについてはバラツキがあるため近隣ボーリングデータを対比したうえで妥当性の高いデータを採用した。データの収集先は既往の調査業務と公開されている地盤情報データベースである。直近のデータのみではなく周辺の既往データを最大限活用した。

表－2 使用した主なボーリングデータの状況

番号	鉄扉からの距離	主な引用目的
1	約500m	工学的基盤面
2	約900m	F c 値
3～	約40m～	土層区分・土質定数

### 4. 構造物のモデル化

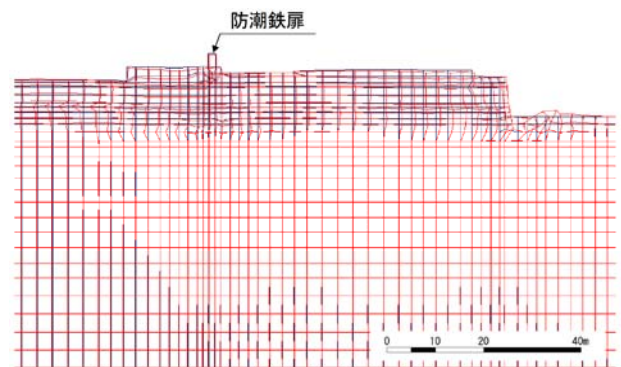
構造物は既往の台帳等の収集資料を基にモデル化を行った。戸袋部における断面図を例として図－3に示したが主要な構造物については資料があるためモデル化が可能であったが、一部の杭等は諸元が不明のためモデル化に際して無視した。



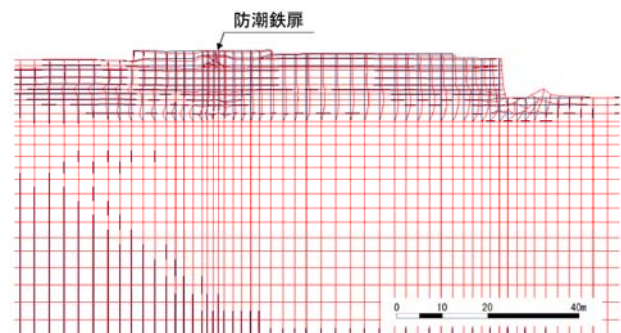
図－3 構造物断面図(戸袋部)

### 5. 動的解析の結果

動的解析の代表的な結果図を図－4、図－5に示した。解析の結果、川表の護岸から約50m離れていることもあり、防潮鉄扉周辺地盤の変形は小さい範囲に留まった。



図－4 戸袋部動的解析結果図  
(海溝型 陸側ケース 終了2時間後)



図－5 通路部動的解析結果図  
(海溝型 陸側ケース 終了2時間後)

## 6. 耐震照査結果

動的解析の結果を踏まえ、各照査項目についての照査を行った結果を表-3に整理した。

表-3 耐震照査結果一覧

番号	照査項目	照査結果
1	鉄扉本体 ガイドローラー	○
2	戸当たり部	○
3	転倒	○
4	手動開閉	○
5	基礎コンクリート 沈下・傾斜	○
6	せん断破壊	×

なお、最も課題となったのは基礎コンクリートにおける通路部と戸袋部の境界でのせん断破壊に対する照査である。今回は図-6に示した通りそれぞれの断面における変形量を対比して発生応力を算定した。本来一体となっている通路部と戸袋部をそれぞれ別断面として解析し、その変位差を変位として算定するため必ずしも正確な値では無いと思われるが、簡便的な手法として採用した。

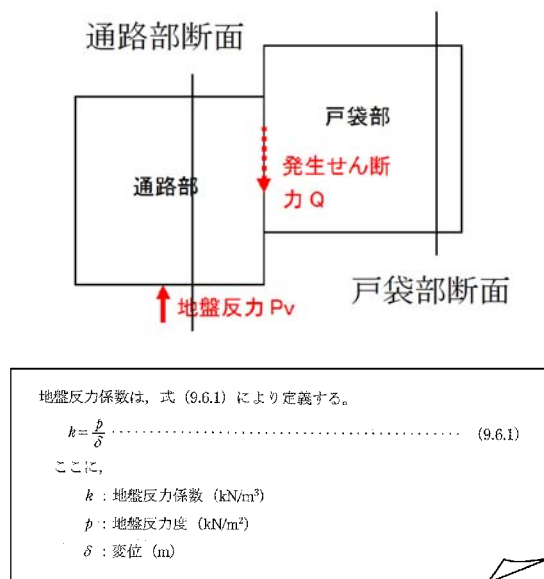


図-6 発生せん断力算定模式図

図-6に示したように、通路部と戸袋部の変位差を変位とし、上式<sup>1)</sup>により地盤反力度係数を求め、これに乗じることによって算出される地盤反力度をせん断応力度とみなして照査を行った。

## 7. 耐震補強設計

(1) 耐震補強工法の選定方針としては、経済性・施工性・確実性といった視点での検討が必要である。これらの視点で耐震補強工法を抽出すると基礎地盤を改良して地震による変形自体を抑制する工法と、破壊しようとする構造物自体を補強する工法に大別される。ここで対象で

ある防潮鉄扉の基礎コンクリートの断面(図-3)を再確認すると基礎杭等が多数存在することがわかる。併せて基礎コンクリート自体にも配筋や走行レール用の補強鋼材が配置されている状況にある。このため基礎地盤を改良する場合は、これらの構造物を避けながら改良ノズル等を差し込み、かつ改良材を行き渡らせる必要があるため確実性の面で問題があり、結果的に経済性でも劣る結果となる。よって基礎コンクリート自体を補強する工法を主体に検討を行った。また、基礎コンクリート自体を補強する工法についても、鋼板接着工法や鋼板巻き工法等の外面に補強する工法があるが、前者同様に基礎杭等を避けながら有効に配置することが現実的では無いため、基礎コンクリート内部に補強材を挿入するせん断補強工法を採用工法とした。

(2) せん断補強工法は、基礎コンクリートの通路部と戸袋部の境界における応力を満足できない範囲(図-2参照)に対して検討した。具体的には図-7に示したように既設の基礎コンクリートに穿孔して必要範囲にせん断補強筋を挿入する工法である。鉄筋構造物のせん断補強対策に用いられる工法を応用した形となった。この補強工法設計の選定ならびに設計については、リバウンドハンマーにより既設基礎コンクリートの強度が維持されていることを確認したうえで実施した。

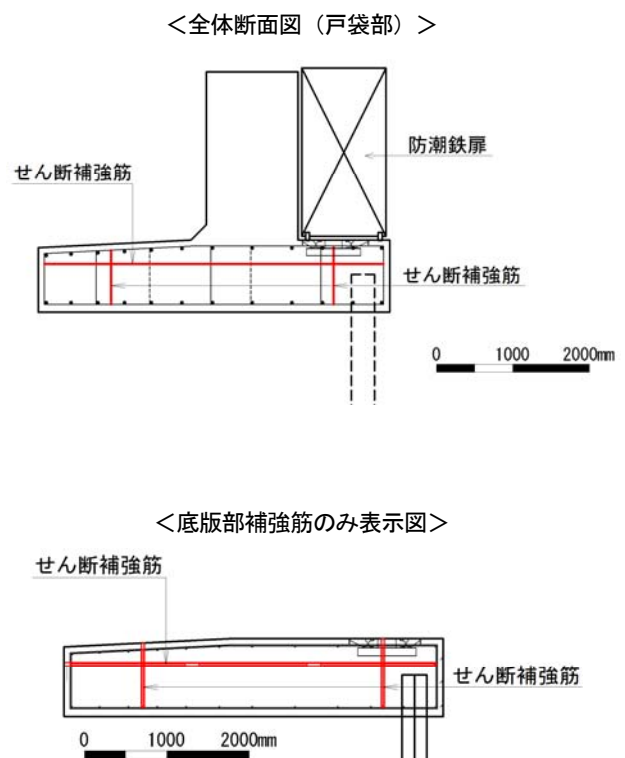


図-7 せん断補強対策図

## 8. 耐震補強設計の妥当性

今回実施した耐震照査ならびに耐震補強設計の着目すべき点としては次の事項が挙げられる。

- (1) ボーリングデータについて、対象構造物直近の既往データでは解析に必要な情報が不足していたため多数ある近傍の既往調査データから寄せ集めた形で断面モデルを作成した。
- (2) 設構造物の情報が不足するため一部の基礎構造物を無視する形でモデル化を行った。
- (3) 通路部と戸袋部の各断面でそれぞれ断面二次元での変形解析を行い、それぞれの基礎の傾きから変位量を求め、変位量からせん断応力を算定して基礎工の破壊に対する照査を行った結果から補強設計を行った。

ここで、今回採用した上述の手法では無く、単純に技術論に着目し、上述のような流れで理想的な手法として照査あるいは補強対策を行うとした場合、次のような手法を用いる事になると考えられる。

- (1) 土質データについて、解析断面上で工学的基盤面までの調査データを新たに取得し、サンプリングならびに土質試験を必要項目で実施する。断面図作成に必要であれば複数本のボーリング調査を実施する。
- (2) 設構造物について、試堀により側面ならびに底面を露出させ構造を調査しモデル化する。必要に応じてコア抜きや試験により健全度を調査する。
- (3) コンクリート基礎工の照査について、通路部と戸袋部で一体のモデルとして三次元解析等を採用し発生応力を把握してせん断応力照査を行う。

この理想的な手法と思われるモデル化ならびに耐震照査・補強設計を実施した場合、そのコストは今回採用した手法の数倍になることが想像できる。また、今回設計したせん断補強対策工は直接工事費で5百万円程度であり、工事費と解析及び設計費の比率は小さくなっている。つまり調査・設計費に対する工事費の割合が一般的な工事と比較して小さい状況であり、これ以上の調査・設計費の上昇は公共施設の補強とはいえ手法の妥当性に疑問が残る。これに対して、せん断補強筋は破断応力まで考慮した場合は十分な余裕をもっており、かつ通路部と戸袋部の断面変位差による発生応力の算定は二次元解析からの疑似的算定であり、実際よりも大き目に算定された応力に対して設計されているものと推察される。さらに、一部の構造詳細が不明な補助的な杭等はモデル化に際して無視している。これらのことから、今回のせん断補強対策は種々の不確定要素を吸収できる余裕をもっていると考えられ、必要な範囲内で安全側の設計となっているといえる。結論としては高い

調査・検証費用をかけても結果が変わらない、あるいは対策不要となる割合が差して変わらないかも知れないという方向で突き詰めるよりも、いかに既往の情報を活用して妥当性を有する範囲で安価で簡便的に照査し、安全性を確保したうえで安価に補強することが目指すべき姿と考える。これにより資本を有効活用し、対策スピードを加速していくことが重要であると提言する。

## あ と が き

今回の事例紹介は、業務を通じて種々の議論を重ねた発注者や業務実施チームの方々の成果があつてのものであり関係さらた方々には深く感謝申し上げます。また、今回の事例が耐震照査ならびに耐震補強設計のコスト低減へとつながり、限りある予算で多数の社会資本の耐震照査が行え、かつ妥当性を有し安価な耐震補強対策の進展に役立てば幸いである。

## 引用文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編  
2012. 4. p. 283.

## FLIP を用いた函渠耐震解析に関する一考察

株式会社ニュージェック ○ 石 村 勝 伸  
水 口 尚 司  
井 上 雅 晴  
中 園 康 平  
松 山 彰 宏

### 論 文 要 旨

地盤内の函渠は地震時に地盤と一体となって挙動すると考えられていることから、その函渠の規模や周辺地盤の堆積状況等に応じて耐震設計法を選定・採用している。耐震設計法としては、応答変位法や応答震度法が考えられるが、地層構成が変化している場合に設計モデルの設定によって解析結果が左右されることがある。そこで近年では、地層構成の変化を考慮できる動的二次元 FEM 解析が採用されるようになってきている。しかし、動的解析に採用される解析プログラムは設計者によってさまざまであり、確立されていないのが現状である。本論文では既設函渠について有効応力解析プログラム (FLIP) を用いた熊本地震の再現計算を行い、FLIP の函渠の耐震解析への適用性を考察した。なお、従来の手法である応答震度法との応答値の比較も行った。

キーワード：FLIP、応答震度法、熊本地震、函渠、再現解析

### ま え が き

一般的に地下構造物の横断方向の耐震設計法は、応答変位法や応答震度法等が地盤条件や構造条件等に応じて適宜採用されている。しかし、地層構成が変化する場合や掘削状況を考慮する必要がある場合など、技術者の判断によるばらつきが大きく、解析結果に差異が生じることがある。このため、近年では地盤の傾斜や掘削状況などを考慮できる動的二次元 FEM 解析法も採用されるようになってきた。

本論文は、動的二次元 FEM 解析法として FLIP<sup>1)</sup>を採用した場合の適用性について、当該地盤条件における熊本地震の再現解析を実施し、その解析結果を踏まえて評価・考察するものである。

なお、FLIP (Finite element analysis of LIquefaction Program) は平成9年度に運輸省港湾技術研究所より公開された有効応力解析や液化化による影響解析も可能な動的二次元 FEM 解析法である。

### 1. 検討条件

#### (1) 検討対象函渠

解析対象とした函渠を図-1に示す。解析対象とした函渠は、1層1径間(幅9.6m×高さ6.5m)の現場打ち鉄筋コンクリート造である。躯体構築時の掘削はオープン掘削により行っており、躯体側壁部ならびに頂版部の周辺は埋戻し土となっている。なお、舗装を含めた土被りは3.9mである。

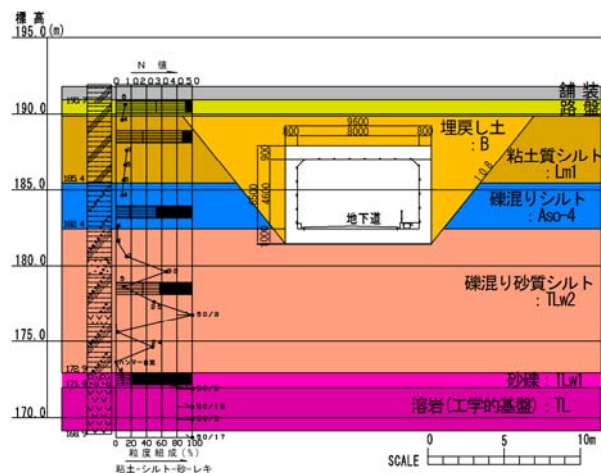


図-1 検討断面図

#### (2) 検討手法

検討ケースを表-1に示す。ケース1では、動的二次元 FEM 解析法(解析コード: FLIP)により耐震解析を行った。また、ケース2・3では静的二次元 FEM 解析法(応答震度法)による耐震解析を参考比較として実施した。応答震度法に使用する応答加速度は一次元地盤応答解析(解析プログラム: SHAKE)により算出した。

なお、FLIP の地層のモデル化についてはオープン掘削による埋戻し形状を考慮した。応答震度法の地層のモデル化については、一次元地盤応答解析は成層地盤を対象とした解析であることから、地震時における地盤の変状



を考慮し、自然地盤のみの場合(ケース2)と埋戻し+自然地盤の場合(ケース3)とを検討した。

表-1 検討ケース

ケース	解析手法	地盤モデル
1	動的二次元 FEM解析 (FLIP)	自然地盤+埋戻し土 (埋戻し形状を考慮)
2	静的二次元 FEM解析 (応答震度法)	自然地盤 (埋戻しを未考慮)
3	※参考解析	埋戻し土+自然地盤 (埋戻しを考慮)

### (3) 地盤条件

地盤条件を表-2に示す。地層地盤は、工学的基盤は高遊原溶岩(TL)、その上層は高遊原溶岩の風化帯、阿蘇火砕流堆積物が堆積している。表層は火山灰土と植物の腐植土とからなる赤ぼく(ローム)で覆われている。函渠周辺の埋戻し土は全体的に軟らかく平均N値は2程度となっている。地下水位は工学的基盤面以下となっている。なお、解析に用いた物性値は、現地試験結果(PS検層)や土質試験結果(粒度、繰返し三軸試験等)に基づき設定している。

表-2 地盤条件

土質	記号	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	せん断波速度 (m/s)	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )
埋戻し土	B	13.0	100	30.0	0.0
路盤	—	20.0	300	43.0	0.0
粘土質シルト	Lml	14.0	150	30.0	0.0
礫混りシルト	Aso-4	14.0	160	30.0	0.0
礫混り砂質シルト	TLw2	17.0	270	30.0	0.0
砂礫	TLw1	18.5	270	43.0	0.0
溶岩 (工学的基盤)	TL	21.0	540	44.0	0.0

### (4) 函渠の損傷状況

平成28年度熊本地震後に実施した現地調査の結果、函渠の地震による損傷は認められなかった。そのため、熊本地震時の構造部材の発生断面力は許容耐力以下だったことが想定される。しかし、構造部材の発生断面力は不明確な状態にあることから、「許容耐力上限値=再現解析結果」となることが最も安全かつ最適であると再現解析において想定した。

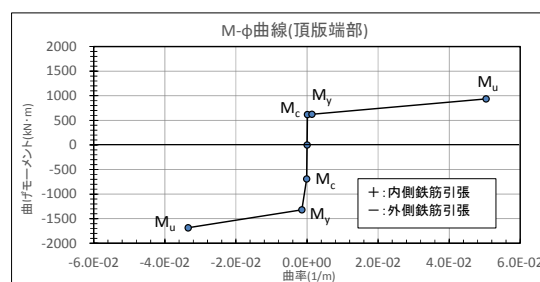
### (5) 函渠の構造条件

函渠の構造部材モデルを図-2に、構造部材の非線形特性(M-φ曲線)を図-3に示す。函渠の構造部材は、要

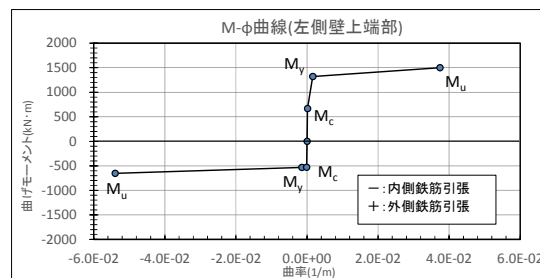
素ごとに非線形特性(コンクリートのひび割れ、鉄筋の降伏)を考慮した非対称トリニアモデルにより評価した。



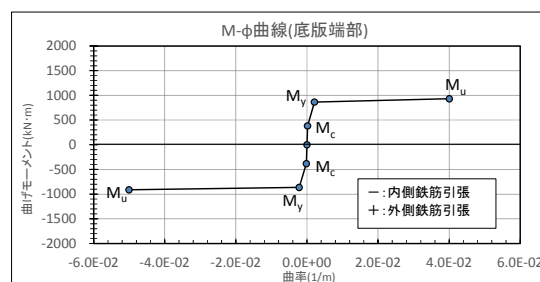
図-2 構造部材モデル図(梁要素)



(a) 頂版端部



(b) 側壁上端部



(c) 底版端部

図-3 非線形特性図(M-φ曲線)

## 2. 熊本地震について

検討地点の再現波形を図-4に、応答スペクトルを図-5に示す。想定地震は平成28年熊本地震の本震を対象とし、野津<sup>2)</sup>により提唱された再現波により検討を行った。最大加速度は541gal、地盤の固有周期は0.3sec(自然地盤)~0.8sec(埋戻し土+自然地盤)であることから応答スペクトルによる応答値は1,000~1,800gal程度となる。

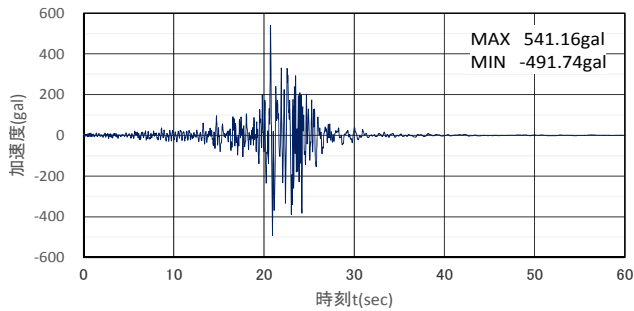


図-4 再現波形(工学的基盤面)

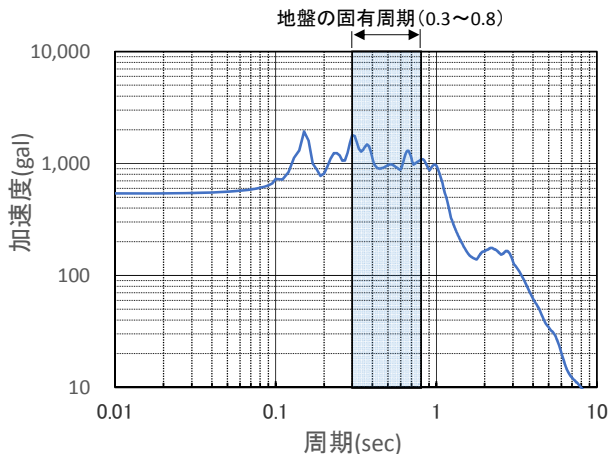


図-5 想定地震動の応答スペクトル図(工学的基盤面)

### 3. 再現解析

#### (1) 照査条件

熊本地震における函渠構造部材の耐力限界値(許容耐力上限値=再現解析結果)を再現する必要があることから、断面照査に用いる断面耐力の安全率や材料係数を1.0(余裕が無い状態)として実施した。

#### (2) 再現解析結果

FLIP 解析結果(最大せん断ひずみ)を図-6に示す。再現解析の結果、ケース1(FLIP)の頂版上部の埋戻し土は自然地盤と比較して最大せん断ひずみが大きくなっており、頂版上部の埋戻し土の評価によっては構造物の発生断面力に変動する可能性が高いと考えられる。また、側壁部の埋戻し土については自然地盤とのひずみ差は見られないことから、影響は小さかったことが考えられる。

応答震度解析結果を図-7に示す。ケース2は地盤の最大せん断ひずみが1.2%、ケース3は3.7%となっている。一次元の等価線形解析は、地盤の最大せん断ひずみが1%以下の場合に信頼性が高い<sup>3)</sup>と言われており、ケース2ならびにケース3については、今回の地盤においては解析の信頼性は高くないことが考えられる。

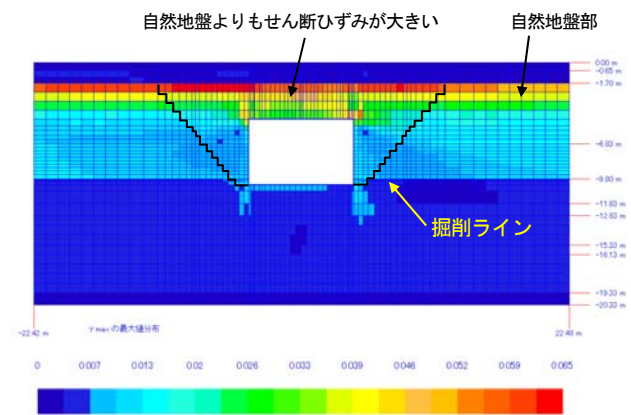
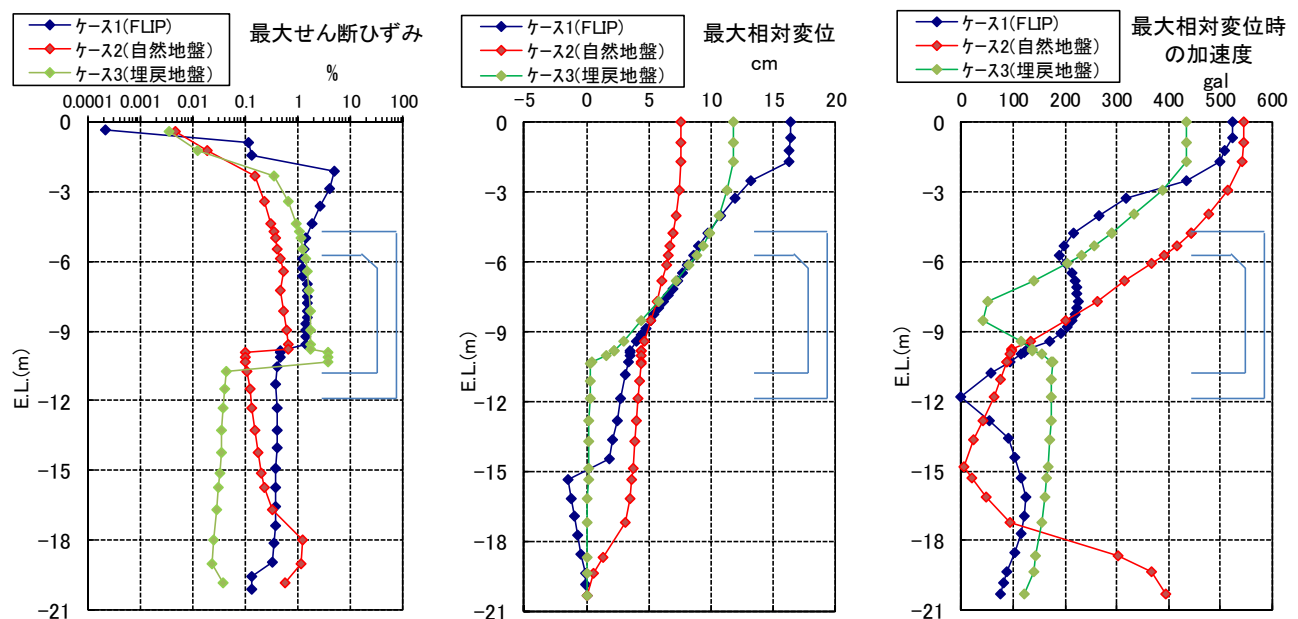


図-6 FLIP 解析結果(函渠拡大図): 最大せん断ひずみ



※FLIPについては、参考として自然地盤のみを対象とした一次元FLIP解析結果を示している。

図-7 応答震度法(一次元地盤応答解析)による再現解析結果

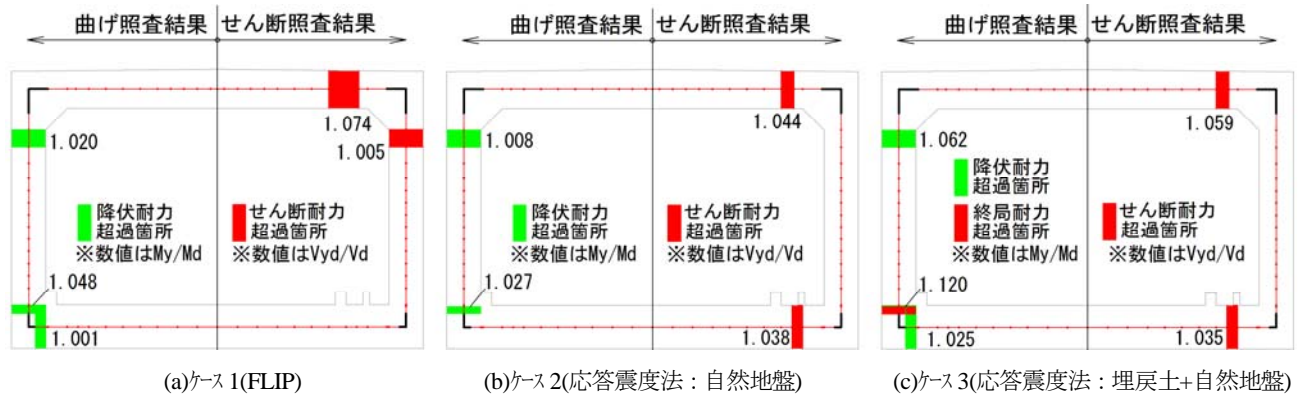


図-8 耐震照査結果図

表-3 耐震照査結果一覧表(安全率等を1.0とした場合)

ケース	応答値	頂版	側壁	底版
1	曲げ (Md/My)	0.992	1.048	1.001
	せん断 (Vd/Vyd)	1.074	1.005	0.985
2	曲げ (Md/My)	0.863	1.027	0.900
	せん断 (Vd/Vyd)	1.044	0.901	1.038
3	曲げ (Md/My)	0.994	1.120	1.025
	せん断 (Vd/Vyd)	1.059	0.885	1.035

$M_d$ : 発生曲げモーメント(kN・m) ,  $M_y$ : 降伏曲げモーメント(kN・m)  
 $V_d$ : 発生せん断力(kN) ,  $V_{yd}$ : せん断耐力(kN)  
 着色: 黄色は降伏耐力を超過, 赤色は終局耐力を超過

### (3) 断面照査結果

耐震照査結果図を図-8に示す。耐震照査の結果、ケース1 (FILIP) とケース2 (応答震度法・自然地盤)・ケース3 (応答震度法・埋戻土+自然地盤)とは、曲げモーメントおよびせん断力に違いが生じた。その違いは埋戻土の形状によるものと考えられる。

耐震照査結果一覧表を表-3に示す。ケース1においては、許容耐力と同程度となり、実際の地震時の構造部材の応力状態を再現できていると考えられる。今回のような地盤において FILIP による計算は耐震照査方法として適していると判断できる。応答震度法では、ケース2はケース1に近似する結果となったが、ケース3については、ケース1およびケース2と比較して曲げモーメントが終局耐力を超過する結果となった。よって、ケース3は構造部材の応力状態を再現しているとはいえない。上記より、応答震度法については、地層のモデル化には留意が必要である。

## 4. 結論

動的二次元FEM解析法としてFILIPを用いた場合の適用性について考察した。今回の解析結果から以下のことが確認できた。

- ・再現解析の結果、今回の地盤においては、FILIPは現状を再現している結果となった。応答震度法について

ては、地盤のひずみが小さい場合は信頼性が高いと考えられる。

- ・FILIPは地盤定数以外の地盤条件(地層の傾斜や変化、埋戻しのモデル化など)に個人差が出にくいことから、解析結果のバラツキは小さいと考えられる。
- ・応答震度法は対象地盤のモデル化によっては解析結果が異なるため、地盤のモデル化には留意する必要がある。

今回の解析は、非液状化地盤であるため、液状化が発生する地盤の適用性について確認できていない。今後は液状化地盤や複雑な地層モデルなどさまざまな地盤においても適用性を確認して行く必要がある。

## あとがき

本論文の作成に当たり、資料提供ならびに助言を頂きました国立研究開発法人 港湾空港技術研究所の野津様、国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所の関係者様に心より感謝申し上げます。

## 参考文献(または引用文献)

- 1) Iai,S., Matsunaga,Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, *Report of the Port and Harbour Research Institute*, Vol.29, No.4, pp.27-56,1990.
- 2) 野津厚：特性化震源モデルによる地震動推定, ([http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/sourcmodel/somodel\\_2016kumamoto.html](http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/sourcmodel/somodel_2016kumamoto.html)), 国立研究開発法人 港湾空港技術研究所
- 3) 一般財団法人 港湾空港総合技術センター, 空港土木耐震設計要領及び設計例,P.付 10,H20.7

## 斜面内の応力分布が深層崩壊深さに及ぼす影響

日本工営(株) 徳永 博  
日本工営(株) ○ 保谷智之  
日本工営(株) 加藤暁之

### 論文要旨

平成23年9月の紀伊半島大水害では、深層崩壊と河道閉塞が同時多発的に発生した。深層崩壊の発生機構は数多く研究され、微地形や地形量等に基づいて発生の恐れのある箇所を抽出する方法等が知られている。本稿では、弊社の自主研究の一環として、地形量と深層崩壊崩壊の深さに着目し、地形・地質要因が斜面内の応力分布へどのように影響して崩壊に至るのか、基礎的なモデルによる数値解析を用いて力学的観点から考察した。

キーワード：深層崩壊、数値解析、応力変形解析、弾塑性体、ユビキタスジョイントモデル

### まえがき

深層崩壊の発生機構は数多く研究されているが、平成23年9月の紀伊半島大水害における台風12号による深層崩壊の発生機構として代表的な説明は下記のものである。

台風12号によって引き起こされた深層崩壊は事前に重力変形していた斜面に発生し、その変形は地質的長期間にわたる隆起と浸食に伴って進んでいたと考えられる。(文献<sup>1)</sup>より抜粋)

本稿では、上記の地形・地質の観点からまとめられた発生機構について、弊社の自主研究の一環として、数値解析(応力変形解析)を行い、力学的観点から考察する。数値解析の実施に当たって現場特性を詳細に考慮することは当然であるが、ここでは、現象を理解するために敢えて簡略化し、上記の抽象化された発生機構について力学モデルを使って説明することを試みる。

### 1. モデル化の着目点

深層崩壊の素因は、層理、節理、断層等の流れ盤地質構造が支配的と考えられる。また、地盤・岩盤に作用している応力に着目すると、比高差が大きいほど末端の応力は高くなっていると推定される(図-1)。この応力状態を素因として深層崩壊が発生するとの認識の下、本検討では、比高差などの地形量の影響に着目するため、材料特性が均一で単純な形状のモデル斜面を用いた(図-2)。共通するパラメータは表-1のとおりとする。

ここでは、斜面勾配(25~40°)と比高差(100~300m)を変えて全20ケース(表-2)の計算を行い、ケースごとに、①初期(弾性体)の自重による斜面末端部での応力状態等を

抽出し、②徐々に強度定数を低減させ、最終的な崩壊形状(=崩壊深)を確認した。なお、有限差分法による応力-変形解析コードであるFLAC3D(Itasca社)(文献<sup>2)</sup>)を使用した。

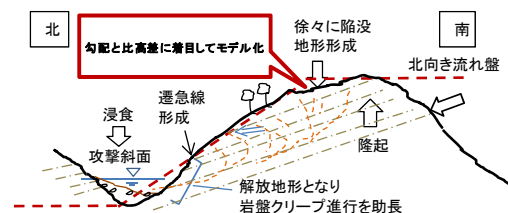


図-1 深層崩壊を生じる岩盤斜面の例

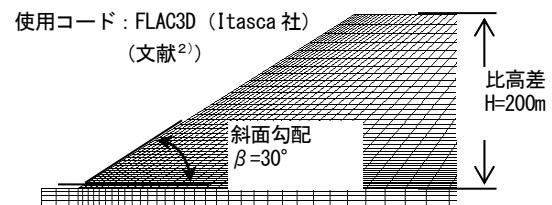


図-2 解析モデルの例(ケース10)

表-1 共通するパラメータ

弾性係数 E	1500MN/m <sup>2</sup>
ポアソン比 $\nu$	0.3
単位体積重量 $\gamma$	22.5kN/m <sup>3</sup>

表-2 ケース表

$\beta$ (°)		H (m)				
		100	150	200	250	300
25	ケース1	ケース5	ケース9	ケース13	ケース17	
30	ケース2	ケース6	ケース10	ケース14	ケース18	
35	ケース3	ケース7	ケース11	ケース15	ケース19	
40	ケース4	ケース8	ケース12	ケース16	ケース20	

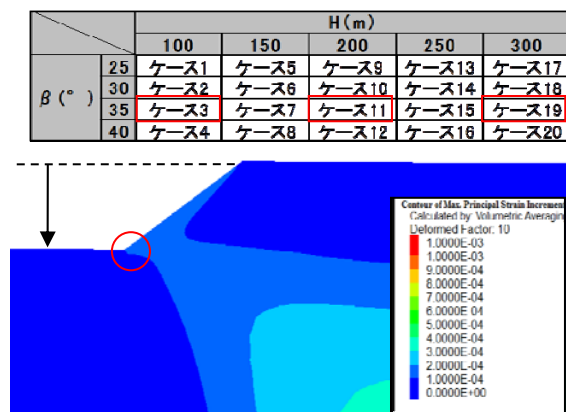


## 2. 崩壊前の斜面の比高差とひずみと応力状態

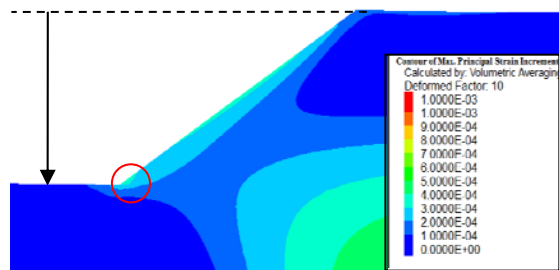
岩盤斜面脚部が河川等により浸食される(下削作用を受ける)と、斜面の比高差は大きくなる。崩壊前の斜面内部の変形や応力状態について考察するため、弾性体と仮定した比高差の異なるモデル斜面での自重を作用させた場合の応力変形解析結果を比較整理した。

まず、崩壊前の斜面の変形について検討するため、斜面勾配の同一で比高差の異なるモデルへ自重を与えた場合の最大せん断ひずみの分布の例を図-3に示す。

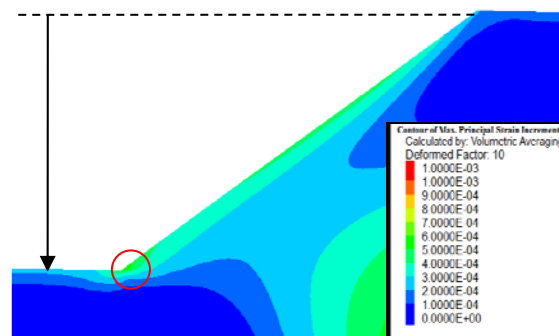
図-3によると、比高差が大きくなるほど斜面の最大せん断ひずみは大きくなる傾向が確認できる。また斜面末端により大きなひずみが生じることが確認できる。



(a) 比高差 100m の場合



(b) 比高差 200m の場合



(c) 比高差 300m の場合

図-3 比高差ごとの最大せん断ひずみ分布

次に、斜面末端の応力状態を図-4の考え方に沿って、斜面先付近の特定地点(図-4中の赤丸、斜面先より20m山側の)の応力状態を抽出し、比高差と末端部の応力集中につい

て検討する。ここでは斜面勾配は30度とし、比高差100m、150m、200m、250m、300mの5つのケースのモデル斜面末端部での応力状態を抽出し、図-5にて比較して示す。

図-5によると、各ケース水平応力はあまり変わらず、比高差が大きくなるに従って鉛直応力が大きくなる傾向がある。また、比高差が大きくなるとともに、せん断応力も増加している。この結果、比高差が大きいほどモールの半径も大きくなることが確認できる。

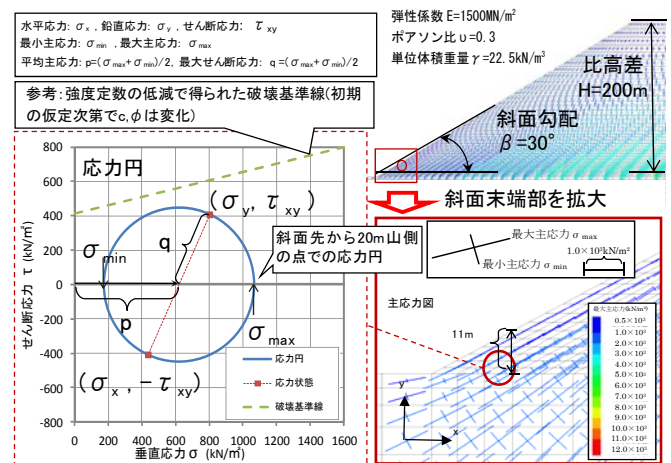


図-4 崩壊前の応力状態の抽出例(ケース10)

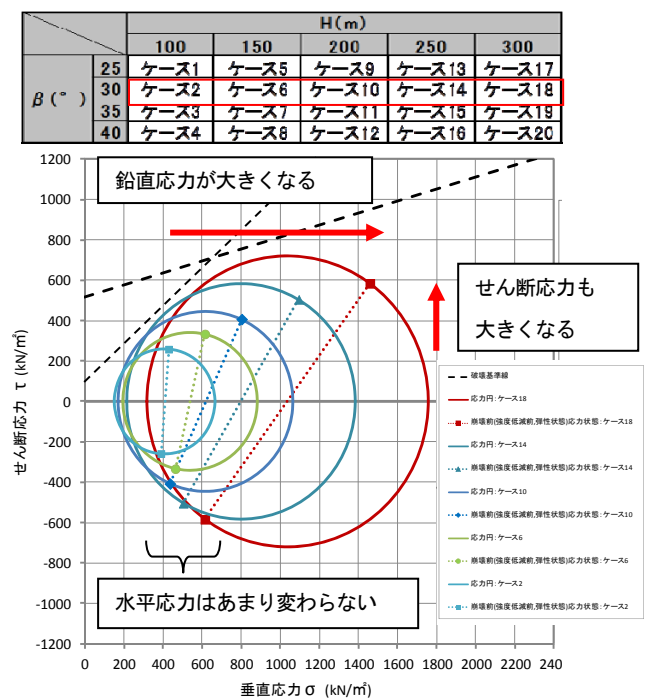


図-5 比高差ごとの斜面末端の応力状態の抽出

最後に、斜面勾配を25°、30°、35°、40°の場合についても同様の応力変形解析を行い、結果を取りまとめた(表-2全20ケース)。その際、ケースごとに上記の特定地点での応力状態から、最大主応力  $\sigma_{max}$ 、最小主応力  $\sigma_{min}$  を用いて、平均主応力  $p=(\sigma_{max}+\sigma_{min})/2$ 、最大せん断応力  $q=(\sigma$

$\max(\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}})/2$  の比  $q/p$  を算出して比較を行うこととした。なお、 $q/p$  はモール円の中心とモール円の半径の比に相当し、均一な強度の領域であれば  $q/p$  が大きい程、相対的に破壊状態に近いことを示す。図-6に各ケースの  $q/p$  を示す。

図-6より、パラツキを含むが概ね比高差と斜面勾配が大きい程  $q/p$  が大きくなる傾向であることがわかる。また、斜面勾配に関係なく比高差が大きいほど  $q/p$  が大きくなる傾向であることがわかる。

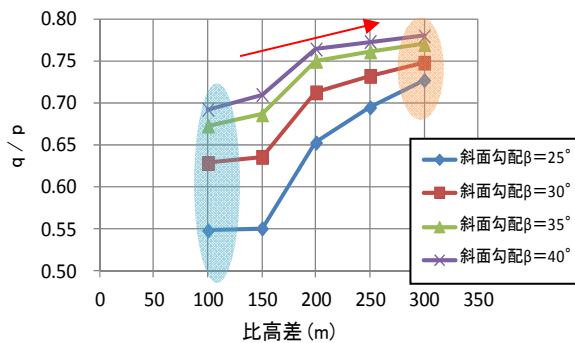


図-6 斜面末端での  $q/p$

図-4の主応力図中の赤丸の位置での鉛直方向の応力  $\sigma_y$  について考察する。深度見合で考えると、鉛直方向の応力  $\sigma_y = \text{深度} 11\text{m} \times \text{単位体積重量} 22.5\text{kN/m}^3 = 247.5\text{kN/m}^2$  とである。しかし、解析モデルから抽出した応力円を確認すると  $\sigma_y = 830\text{kN/m}^2$  ほどである。このような差が生じる理由について図-7に概念図を示す。斜面末端では、簡便法などで用いるように「深度×単位体積重量」から計算される応力だけでなく、斜面上方の土塊の自重にが斜面末端へ載荷されると考えられる。そのため、斜面の比高差が大きい程、斜面末端へ作用する斜面上方の重量も大きいことがわかる。

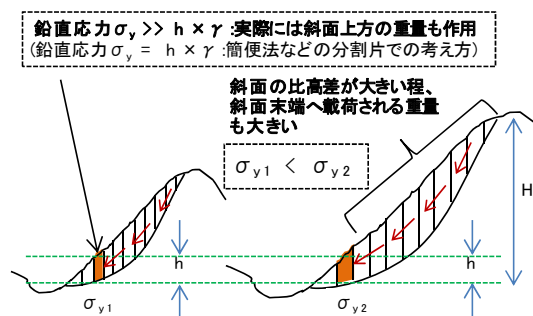


図-7 斜面末端での応力集中の模式図

次に、図-5の応力円群と強度定数との関係について考察する。例えば、勾配 30° 比高差 300m の均一な物性を持つ崩壊前の斜面のモール・クーロンの破壊基準に基づく強度定数を推定する場合、図-5に示す応力円群に触れない範囲内に破壊基準線を設定する必要があることがわかる。

従来通り、すべり面を決定し、簡便法などで用いるよう

に逆算で強度を求める場合よりも遥かに大きな応力が斜面末端に作用している可能性があり、その状態で長期間斜面形状が安定していたことを強度推定時には考慮する必要があると考えられる。

最後に、図-6について考察する。図-6の通り、比高差が大きい大規模な斜面ほど、斜面末端における平均主応力  $p$  に対してモール円の半径に相当する偏差応力  $q$  が大きくなる傾向にあり、せん断応力が発生しやすいことを意味する。つまり、斜面末端はせん断変形を受けて破壊により近い状態になりやすいことを示している。この傾向は、応力状態から変形へ変換して考えれば、図-3の最大せん断ひずみ分布と同じものである。これらの傾向は、既往の地形・地質的な知見と整合する結果と言える。

### 3. 崩壊発生へと至る応力状態と崩壊深さ

ここでは、前述までの解析モデル(全20ケース)を弾塑性体へと変更し、材料強度定数を徐々に低減させる方法(せん断強度低減法)によって、変形の集中する深さを調べた。

せん断強度低減法は、図-8に示す通り、斜面の強度定数を徐々に低減し、斜面全体が破壊したと認定できる時点で全体安全率  $F$  を定義する方法である。計算技法上、斜面全体で応力のバランスが取れるまで、繰返し計算が行われ、一定回数の中で収束状態とならなければ、その斜面全体が崩壊に至ったと判定された状態(便宜的に、以下「崩壊状態」とする)と判定される。

ここで、図-9に表-2のケース10について、崩壊前(強度低減前、弾性状態)と崩壊状態での最大せん断応力の变化量を示す。図-9によると、崩壊状態では、崩壊前に比べて、斜面頭部において最大せん断応力は減少傾向にあり、斜面末端では増加傾向にある。また、斜面末端の一点の応力状態を抽出してモール円を描くと、崩壊前に比べてせん断応力の増加とともに特に水平応力が大きく増えており、応力円の半径も大きくなっている。

図-10に、ケース10について強度低減によって崩壊状態と判定されたときの最大せん断ひずみ分布を示す。ひずみが大きい領域と地表面に囲まれた面積  $A$  を移動土塊量とし、斜面先と崩壊頭部を結ぶ直線(=崩壊長)  $l$  で割ることと崩壊深  $t$  を算出した。

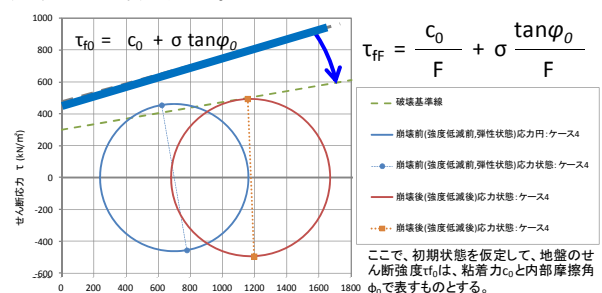


図-8 せん断強度低減法のイメージ

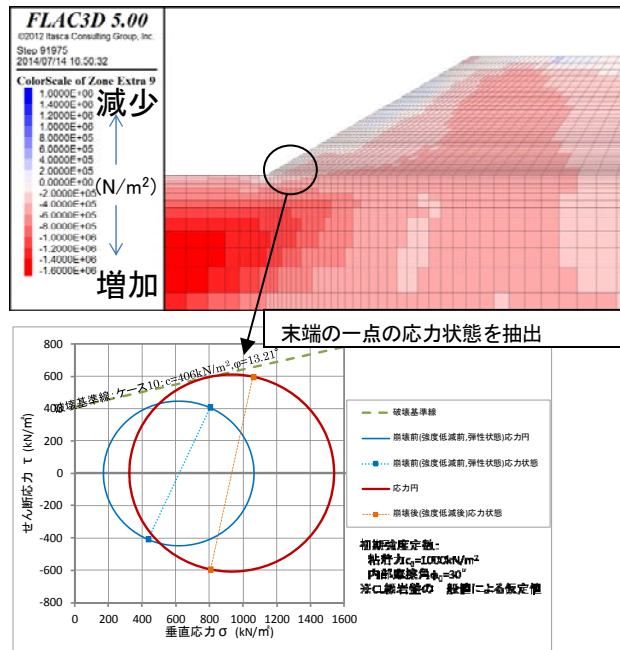


図-9 強度低減時の最大せん断応力分布の変化

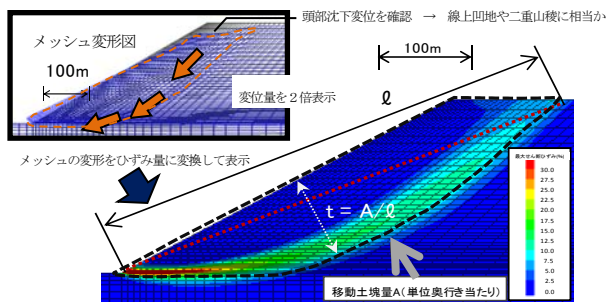


図-10 最大せん断ひずみ分布(ケース10)

図-11(左)に、同様の手法によって得られた表-2の全20ケースの崩壊深さを整理する。斜面勾配と比高差が大きい程、崩壊深は大きくなる事がわかる。

ここで、崩壊斜面長と崩壊深の関係を示した事例(文献<sup>3)</sup>)から読み取り図-11(右)に示す。また、限られた例ではあるが、台風12号(2011)の例(長殿:比高差400m、斜面勾配35°、崩壊深80m)を加えた。図-11(右)より、比高差と崩壊深との間には、バラツキはあるものの、比高差が大きいほど崩壊深が大きくなる関係が見られる。

数値解析結果と実際の事例を比較すると、比高差に応じて崩壊深が大きくなる傾向は一致している。

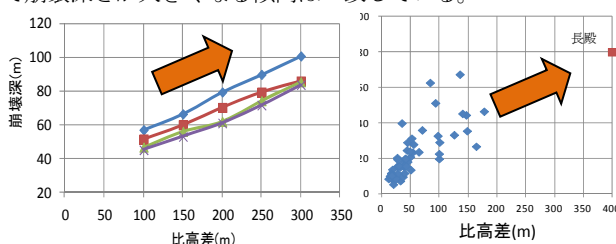


図-11 斜面形状と崩壊深の関係 (左:解析結果 右:実斜面の比高差と崩壊深,文献<sup>3)</sup>を加工)

#### 4. 地質構造などを考慮した場合の解析例

実斜面での崩壊深および崩壊面の形状は様々な地形・地質構造や力学的要因に規制されると考えられる。平成23年に奈良県で発生した幾つかの深層崩壊の崩壊面形状に「くさび形状」が見受けられた。また長殿での深層崩壊では崩壊の北東を限る断層(文献<sup>1)</sup>)の存在が指摘されている。さらに、流れ盤中の層理面などの特定方向に存在する相対的な弱部の影響なども考えられる。

一例として、弱部の位置を特定せず、特定方向の力に対して強度が小さくなるように設定されたユビキタスジョイントモデル(文献<sup>2)</sup>)をケース10のメッシュへ設定して解析を行った。図-12によると、図-10の円弧的な分布に対し、末端と頭部を除いて、設定した弱部の傾斜に沿う形の最大せん断ひずみ分布となっている(くさび形状)である。これは、材料特性によって、ひずみ、もしくは、応力の特定箇所への集中が助長された結果と考えられる。

図-11の通り、比高差と崩壊深さの大まかな関係は簡易なモデルで説明できるものの、数値解析を実際の斜面の検討に用いるためには、このような現場特性を考慮する必要がある。

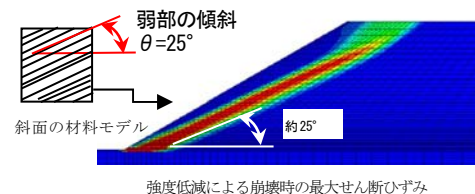


図-12 地質構造をモデルに考慮した解析例

#### あ と が き

深層崩壊の発生機構を考える上で、岩盤クリープ速度のオーダーを考慮すると、変状には数万年オーダーの時間を要しており、その間、100年確率規模相当の降雨を100回経験していることになり、降雨条件とそれに伴う地下水圧のみで説明することは困難と言える。そのため、既往の種々の研究で為されてきた通り、地形地質的な観点からの説明が必要である。本研究では、これらの知見を力学の観点から確認した。現象の理解を深め、各現場での機構検討の際の一助となれば幸いである。

#### 参考文献(または引用文献)

- 1) 千木良雅弘: 深層崩壊—どこが崩れるのか—, 近未来社, 2013.10.15. pp.98. (引用頁), pp.58~59.
- 2) FLAC3D – Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions, Ver. 5.0, User's Manual (User's Guide and Constitutive Models), Itasca Consulting Group, Inc., 2012
- 3) 上野将司: 地すべりの形状と規模を規制する地形・地質要因の検討, 日本地すべり学会誌 vol.38No.2, 2001



## 「丸子船」をモチーフにした樹冠トレイルの空間デザイン

(株)修成建設コンサルタント ○ 赤 木 弘 志

(株)修成建設コンサルタント 野 尻 保

### 論 文 要 旨

琵琶湖博物館は、平成8年の開館から20年を経過し、琵琶湖の環境やそれを取りまく社会情勢の変化、社会的役割や利用者のニーズに対応するため大幅なリニューアルを行うこととなった。平成28年度は第1期リニューアルとしてC展示室、水族展示のリニューアル工事が実施され、第2期リニューアルでは、交流空間の整備メニューのひとつとして「樹冠トレイル(空中遊歩道)」の建設が予定されている。

樹冠トレイルのコンセプトは、「琵琶湖を通る風を感じながら琵琶湖が一望でき、森を上から観察できる空中散歩道」であり、整備を通じて新たな琵琶湖のシンボルとなる空間をつくることを目的としている。そこで、樹冠トレイル詳細設計では、「琵琶湖の新しいシンボル」として、琵琶湖を感じ、来館者の心に残る空間を整備するため、江戸時代から昭和初期にかけての琵琶湖の交通を担った木造船、「丸子船」をデザインとしたPC橋梁(橋長63.49m)の採用を検討した。

本論文では、発注者の要望である「遊び心を取り入れた」空間デザインの手法や、意匠デザインの提案例、丸みを帯びた木造船をコンクリート構造物としていかに設計に反映したか等の内容について報告する。

キーワード 樹冠トレイル、丸子船、PC橋梁、空中歩道橋、意匠設計、バリアフリー

### ま え が き

樹冠トレイルは「メインルート」と「サブルート」に分かれる。「メインルート」は、樹冠トレイルのシンボリックな位置づけであり、博物館から園路アプローチを経て、琵琶湖に向けて一直線に伸びる橋長63.49mのPCコンクリート橋である。先端部には展望デッキ(6m×6m)を備えた2径間連続PC中空床版橋(展望デッキ部は張り出し構造)を採用している。「サブルート」は、森林内を散策する空中散歩道であり、地盤が軟弱地盤であることから森林内での資材運搬や施工の容易なピンファンデーション方式を適用した鋼製栈橋を採用している。

ところが、詳細設計を前にして既存資料の条件等を整理すると、「メインルート」についての橋梁の構造的な検討は、詳しく実施されているものの、「サブルート」や全体の空間構成や意匠デザインは、ほとんど検討されておらず、デザインコンセプトが欠如している状態であった。そこで、本業務では、本来の整備目的である来館者の心に残る「琵琶湖の新しいシンボル」としての施設を設計するため、「メインルート」の意匠デザインの提案を行うこととした。



図-1 樹冠トレイルイメージ

### 1. モチーフの決定

我々は、「メインルート」の意匠モチーフを提案するため、琵琶湖の周辺環境や歴史、琵琶湖固有の生物や博物館展示物を視察研究し、テーマを、「琵琶湖を代表とする固有のモノ」に絞り込み、モチーフに「琵琶湖大なまず」・「丸子船」・「ビワマス」の3つを候補として抽出した。このうち、琵琶湖博物館の主要展示物である「丸子船(木造船全長17.0m)」は、①他案に比べ比較的形状に曲線が少なくコンクリート構造として実現が容易であること(断面の形状寸法が橋梁の計画断面に類似していること)②琵琶湖博物館の設計デザインのモチーフが丸子船であること、③新たな船出、空間移動をイメージできることなどから、メインルートのモチーフとして最もふさわしいと判断し、発注者に提案を行い採用の合意を得た。

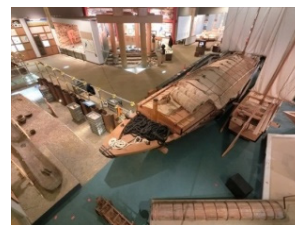


図-2 丸子船(琵琶湖博物館展示室)

### 2. 「丸子船」の3D測量

丸子船は、琵琶湖南部の浅い水深の箇所でも座礁せず、うまく安定して走行できるよう船底は平坦に作られてお



り、積み荷を安定させ重心を低く保つために「おもぎ」という構造部材を両側に配している。「おもぎ」はスギなどの部材を緩やかに曲げて側面に取り付けられている。このため、船全体が丸みを帯びていることから丸子船という呼び名がついたといわれている。船の先端は、「へいた」と呼ばれる縦板を樽状に組み合わせて作られており、船尾には、舵の昇降や帆を下ろす際の受け台となる「かさぎ」や、舵の位置を保つための「とびのお」といった独特の部材で構成されている。

我々は、これらの船の特徴を橋梁の意匠にうまく取り入れるため、博物館の協力のもと、展示室内で 3D スキャナによる測量を実施し、点群データから平面図や側面図、任意断面図を作成する手法を試みた。

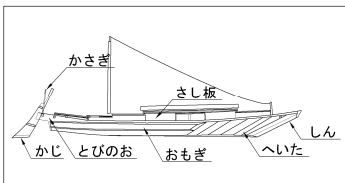


図-3 丸子船の部材名称図

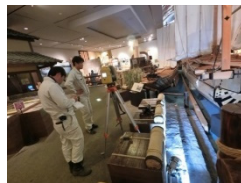


図-4 3D 測量状況



図-5 3D 点群データ図

### 3. 湖水取水管の課題とその解決策

メインルート北側の展望デッキ付近には、琵琶湖の水を博物館内に取り入れるための湖水取水管φ50が埋設されていた。ところが、埋設位置や深さが不明であり、予備設計では、P1橋脚をやや南に下げ、展望デッキはP1橋脚からの張り出し構造としていた。このため、橋梁全体の桁高が張り出し部で決定されており、地震時の挙動が複雑となり、橋梁上部工は実に不経済な構造となっていた。これは設計上の大きな課題であった。そのため、詳細設計では、湖水取水管の位置を磁気探査と試掘を併用し確認することとした。

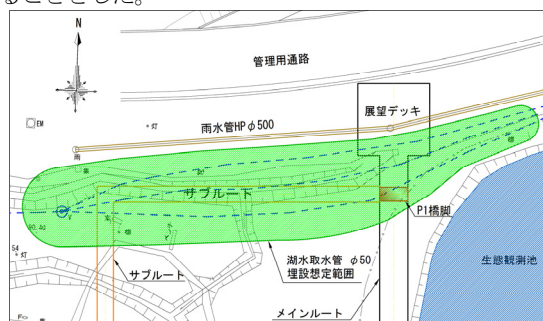


図-6 地下埋設物想定図

調査の結果、埋設管は直接確認できなかったが、弱い磁気反応と埋設明示テープを複数で確認できたことから、そのポイントを結ぶことで湖水取水管の位置を推定できた。



図-7 磁気探査状況

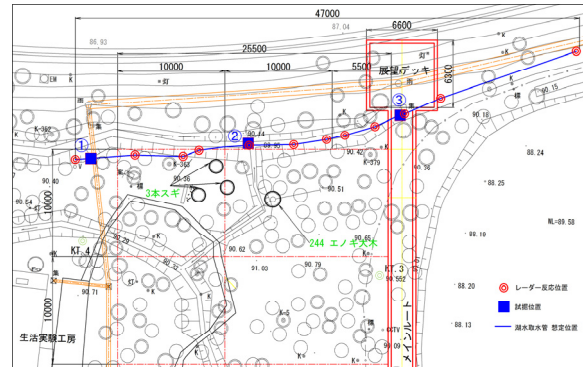


図-8 磁気探査・試掘調査結果平面図

埋設位置が推定できたこと、また、仮にその推定位置に湖水取水管がなくても取水管の移設が可能なることから、展望デッキ部は必ずしも張り出し構造とする必要がない可能性が生じた。

そこで、張り出し構造に変わる新たな案として、展望デッキをサブルートと同じ栈橋構造とする案を提案し、張り出し構造との比較検討を行った。その結果、展望デッキを栈橋構造とすれば、橋梁上部工の死荷重は30%低減され、工費も2%低減でき、メインルートの意匠デザインの自由度が大幅に増す結果となった。

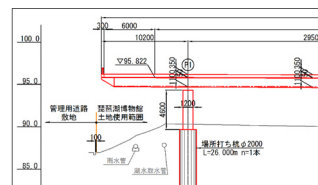


図-9 展望デッキ張り出し構造案

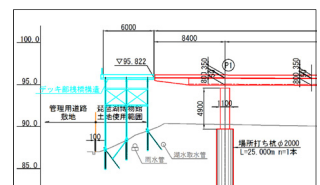


図-10 展望デッキ鋼製栈橋案

### 4. メインルートの検討

展望デッキを栈橋構造としたことで、メインルートでは、丸子船の船首部を実物のように尖らせることが可能となった。しかし、丸みを帯びた木造の丸子船をコンクリートで表現するのは非常に困難な作業であった。特に丸子船の独特な船首構造を橋梁一般図で表現するため、点群データをもとに何度も橋梁一般図を描きなおすこととなった。

中でも、最も難しい課題は、船首部の「へいた」の構造特性の理解と図面表記方法であった。そこで、博物館の協力のもと、琵琶湖博物館の丸子船を製作した松井造船所の松井三男氏から直接、構造特性や、製作工程など貴重な情報の説明を受け、「へいた」部をくし型枠で製作する方法を考案することができた。



図-11 松井造船所への取材

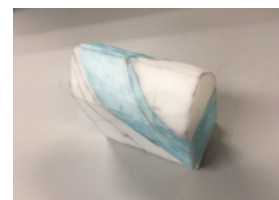


図-12 くし型枠作成用模型

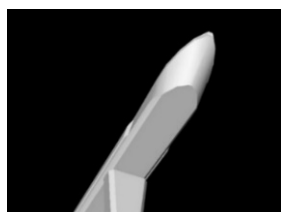


図-13 メインルート先端部 CG

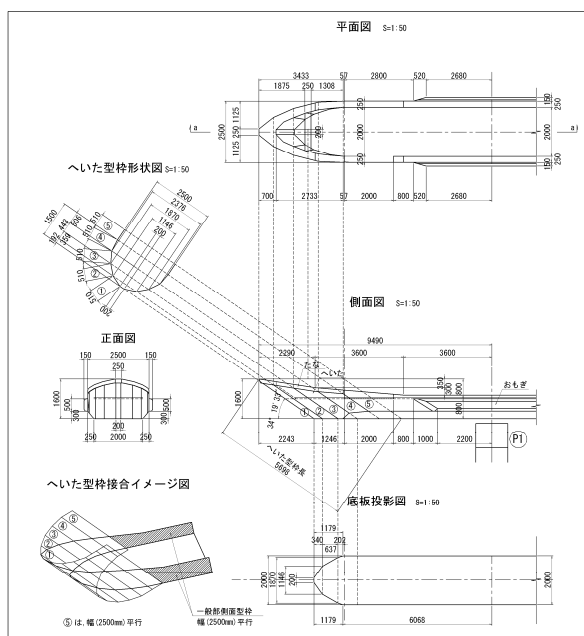


図-14 橋梁一般図(くし型枠部の表記)

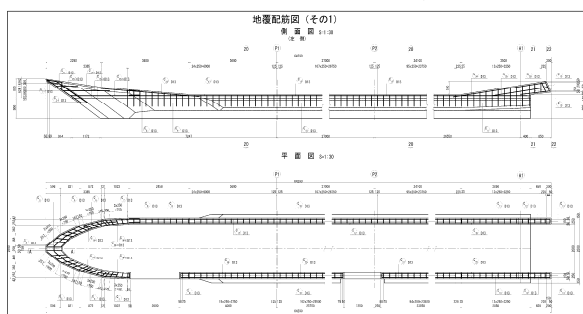


図-15 メインルート配筋図

## 5. サブルーートの検討

サブルートは、森林の樹冠や動植物を観察するための空中遊歩道である。樹冠を見せる遊歩道であるため、伐採はできるだけ少なくする必要がある。また、ワクワク感を演出するため、先が予想しにくいジグザグな形状となるよう配慮した。なお、博物館の要請により、車椅子の利用

が可能となるようバリアフリー対策も実施した。ルートの検討は、以下の手順で実施した。

- ① 見せたい樹木の選定(博物館と運営委員の意見聴取)
- ② アプローチ部や門扉、付属物を含む総事業費の算出
- ③ サブルーートに費やす費用を総事業費から逆算
- ④ 費用から可能な延長を算出しルート案を検討

サブルートの検討では、発注者が空中遊歩道のルートをイメージがしやすいよう、リボン付きの木杭を格子状に10m間隔で現地に打設し、発注者とルート案を出し合いながら最終ルートを確定させた。



図-16 リボン付き木杭

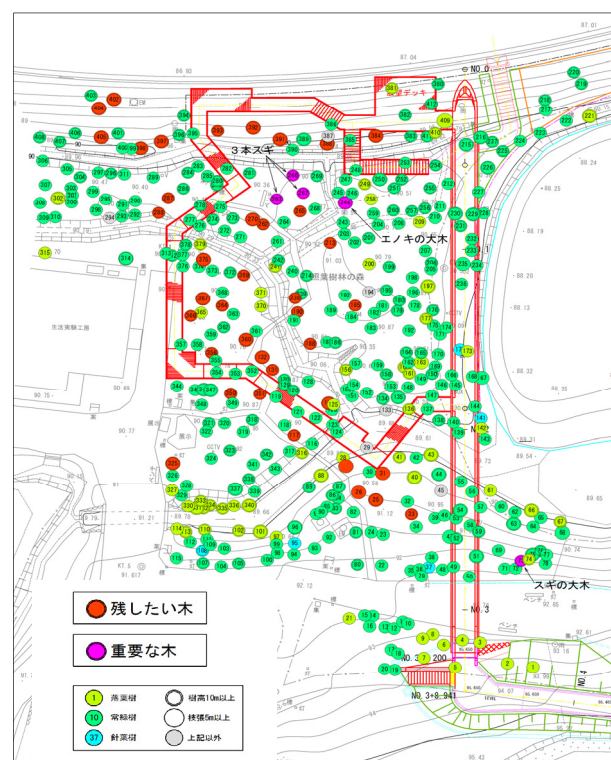


図-17 樹木配置及びサブルート平面図

## 6. 遊び心と工夫の取り入れ

### (1) 船が栈橋に停泊するイメージの採用

空間構成では、メインルートと展望デッキ、サブルートの配置関係を検証し、展望デッキへの乗り入れは、船から栈橋に上陸するイメージのユニークなデザインを採用した。

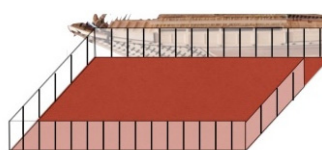


図-18 停泊イメージ(林学芸員作)

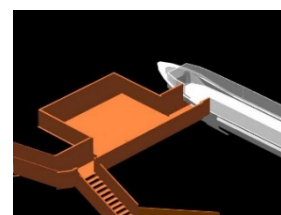


図-19 展望デッキ CG



## (2) ポールカメラによる視点場確認

ポールカメラを利用して、実際の展望台の視点場となる地上 10mからの琵琶湖や周辺の山々の見え方を検証し、サブルートへの空間移動方法や階段の配置を決定した。



図-20 展望デッキ視点場写真

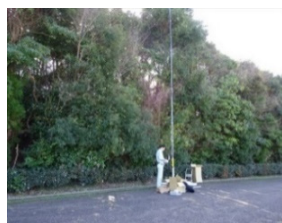


図-21 ポールカメラ撮影

## (3) 橋長の決定

琵琶湖の南北延長は 63.49 km である。そこで、メインルートの橋長を琵琶湖の南北の延長の 1/1000 となる 63.49m とし、メインルートを移動しながら琵琶湖のスケールが体感できるようにした。

## (4) 木造船のデザイン

橋面舗装は船の甲板を模して木目調タイルを使用し、高欄は丸子船のやぐら部分をデザイン化するなど、設計に際して遊び心を取り入れ、来館者が楽しめるようなアイデアや仕掛けを各所にほどこした。



図-22 木目調タイル舗装

## (5) 教育展示としての役割

樹冠トレイルのアプローチ部の園路舗装には、木材の再利用や地球温暖化対策に関する教育展示としての活用を期待し、滋賀県内企業の開発による「木質加熱アスファルト舗装」NETIS 登録(KK-030007-A)や、ウッドチップ舗装の採用を提案し、建設時の伐採材の再利用を積極的に提案した。

## (6) 3D データの有効活用

本業務では、立体模型や3Dデータを利用し、様々な意匠提案や比較資料を作成した。これにより複雑な形状や提案のイメージを発注者にスムーズに伝達でき、迅速なレスポンスを得られたと実感している。さらに、特殊な丸子船の形状を施工者に正確に伝達するため、3D プリンタによる上部工の造形を製作した。



図-23 3D モデリング図



図-24 3D プリンタによる造形

## 7. 今後の課題

樹冠トレイル整備工事は、平成 29 年 10 月着工を予定している。特殊形状のPC 橋梁であるため、施工順序を考慮し、施工可能な形状となるよう可能な限り配慮したつもりであるが、施工会社の技術力に頼らざるを得ない部分もある。

また、くし型枠の利用計画や曲線部分の配筋図などは、まだ、表現方法や明記に改善の余地があり、CIM などをも有効に活用し、施工者にもわかりやすい設計図面や伝達方法を模索していくことが今後の課題である。

## あ と が き

遊び心を取り入れてほしいという発注者の要望から、本業務では単なる橋梁の詳細設計にとどまらず、丸子船の意匠提案や空間の演出の工夫、木造船所への取材、3D 測量や視点場確認などを積極的に実施した。

良いものを作ろうという気持ちは、発注者も受注者も同じである。利用者の立場になって考えると、どのような業務でも隅々まで全力で取り組むべきであると私は考える。

最後に、本業務を進めるにあたり、多大な協力をいただいた琵琶湖博物館の皆様、並びに、松井造船所の松井三男様には貴重なご指導やご協力を賜りました。ここに記して深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説 H24.3
- 2) 立体横断施設技術基準・同解説 S54.1.
- 3) みんなのための公園づくり 日本公園緑地協会 H20.2
- 4) 都市公園の移動円滑化整備ガイドライン H20.1
- 5) 「信長 船づくりの誤算」 用田政晴 著
- 6) 「丸子船物語」 橋本鉄男著 用田政晴 編
- 7) 「丸子船の復元」 琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告

## 京都市貸切バス路上混雑解消のための実証事業

いであ株式会社 片柳 澄明  
○いであ株式会社 新宮原 悠太

### 論文要旨

近年、人気の高い観光地及びその周辺道路において、観光バスの路上駐車が多く見受けられる。急増する外国人観光客が観光バスを利用し、京都市内を周遊するといった観光スタイルを好んでいる事もあり、今後外国人観光客の増加により、問題の深刻化も懸念される。

本論文では、このような状況を踏まえ、京都市内の交通秩序を保ちつつ、外国人旅行者をスムーズに迎え入れることができる体制を整えることを目的とし、京都市内における観光バスの動線や滞留状況などの実態調査・分析を行い、実態を踏まえた持続可能な観光バスの滞留解消方法を検討した。

Key Words :観光交通、ナンバープレート調査、貸切バス、インバウンド、ICT

### 緒言

京都市における年間観光客数は年を追うごとに増加しており、平成12年京都市観光客5,000万人構想発表時には、4,051万人であった観光客数は増加を続けており、平成27年には5,684万人を記録している。平成28年は5,522万人と、少し落ち込んだものの、5,500万人以上を維持しており、依然として高い人気を誇っている。近年においては、外国人旅行者の増加が顕著であり、特にアジア系の外国人観光客には、貸切バス(観光バス)を活用して観光地を周遊するような観光スタイルが支持されている。主要な観光地においては、従来の国内ツアーバスの来訪に加えて、外国人観光客を乗せた大型観光バスが大量に来訪しており、駐車容量の超過、それに伴う入庫待ち渋滞や路上駐車を誘発するような状況にある。本検討では、京都市内の交通秩序を保ちつつ、今後も増加が予測される外国人旅行者をスムーズに迎え入れる体制を整える事を目的とし、京都市内における観光バスの動線や滞留状況等の実態調査・分析を行い、実態を踏まえた持続可能な観光バスの滞留解消方法の検討・検証した。

### 1. 観光バスの流動実態

#### (1) 調査概要

「主要駐車場」「入出洛を担う主要幹線道路」「路上滞留地点」を対象にナンバープレート調査(以下NP調査)を実施し、調査地点間の流動状況を把握した。一部駐車場においては、ドライバーに対するヒアリング調査を実施し、詳細な状況の把握に努めた。なお、調査日時は秋の行楽シーズンである平成28年11月25日(金)を対象とした。

#### (2) 調査結果概要

観光バスドライバーに対するヒアリングの結果390票の回答を得た。そのうち35%が外国人旅行者を乗車させたバスであり、かなりの割合を占めている事がわかった。ヒアリング調査とNP調査結果をマッチングさせた結果、外国人旅行者は「金閣寺」「清水寺」「嵐山」「伏見稲荷大社」等の有名な観光地を周遊しており、日本人旅行者は「東福寺」「南禅寺」等を周遊しており、紅葉をメインとした観光をしている事が明らかになった。図-1にヒアリング調査より明らかとなった観光バスの周遊状況を示す。



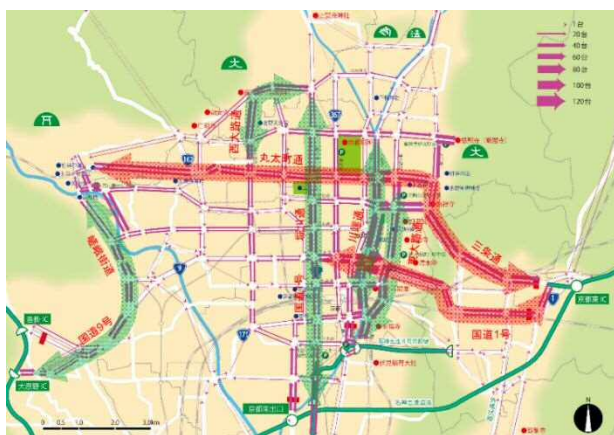


図-1 観光バス周遊状況

京都市内の南北の交通軸と東西の交通軸が顕著に表れている。また、ICと各観光地間の流動にどの道路が活用されているか明らかとなり、「沓掛・大原野 IC～嵐山」「京都南 IC～東山・金閣寺」「京都東 IC～東山」といった各ICと観光地との結びつきが強い事がわかる。また、東山地区ではバスが密集しており、特に川端通りや東大路通りにおいて、観光バスの集中が見られる。

図-2にNP調査結果により得られたODを示す。

金閣寺・嵐山・清水寺間の流動が顕著であり、この3地域が京都における観光の目的地となっており、観光バスの来訪が多い事が窺える。また、清水寺・東福寺・南禅寺・知恩院間の流動も顕著であり、秋の紅葉の名所を巡るような周遊が捉えられている。岡崎公園は多くの観光地間と流動があり、近辺の駐車場が満車等で利用できない場合等にまわってきている実態が窺える。

図-3に混雑度の高い観光バス駐車場として、市営嵐山観光駐車場の利用状況を示す。

10時頃～15時頃まで駐車場は満車状態であり、大変混雑している状況が把握できる。写真-1では嵐山観光駐車場への進入待ちの車列が清滝道三条交差点まで伸びており、交差点付近における交通渋滞の原因となっている事が把握できる。

(3)ゾーン別観光バス駐車場需給バランスの現状と課題

実態調査結果に基づき、ゾーン別に観光バス駐車場の需給バランスの検討を実施した。特に混雑している地点が多い洛東エリアにおける需給バランスを図-4に示す。

岡崎公園駐車場等周囲の駐車場と連携させ、人気観光地への集中を防ぐ事で、対応可能な駐車場容量が確保で

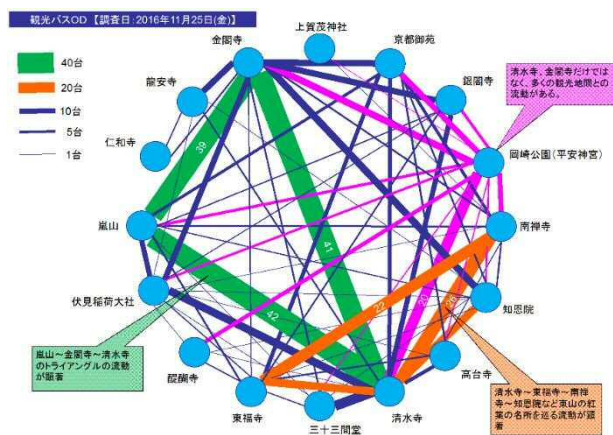


図-2 観光バス OD



図-3 嵐山駐車場



写真-1 清滝道三条交差点

洛東



図-4 需給バランス

きている状態である。また、訪日外国人が4,000万人/年(現在の2倍)に増加した場合について検討を行った。他のエリアでは大幅な供給超過は見られなかったものの、洛東地域においては、10時頃～16時30分頃まで需要が供給を大幅に超過している(図-5)。

駐車場不足による激しい混雑が想定され、周辺の駐車場との連携を実施したとしてもその対応には限界があると考えられる。

## 2. ICTを活用した滞留解消の取組み

京都市内における観光バス駐車場・待機場が最大限活用されること及び観光バス路上滞留を解消することを目的とし、ICTを活用した観光バス駐車場の予約管理及び予約状況を確認できる仕組みを構築し、観光バスの滞留解消に係る実証実験を行った。

### (1) 実験概要

インターネットによる予約システムにて予約制管理を実施した。予約時間帯をA,B,C枠の3区分に分け、観光バスの特定時間帯への集中を防ぎ、平準化を図った。

### (2) 実験の効果

市営銀閣寺観光駐車場における通常時と予約制実施時の駐車状況を図-6に示す。10時台及び13～14時台に観光バスが集中し、満車状態となっていたが、予約制の実施により時間的な平準化が図られ、入庫待ち観光バスの発生を抑制し、交通の円滑化を図ることができた。

一方、市営嵐山観光駐車場においては、未予約車の入庫が多く、効果が実証できなかった(図-7)。未予約車が多い原因として、インバウンド系のツアーでは、旅程が直前まで確定しない等の要因があり、予約システムを利用しにくい状態である事が挙げられる。今後増加すると思われるインバウンドへの対応の検討とともに、予約段階から周辺の駐車場に割り振る事で交通集中を緩和する案が有効であると考えられる。

## 3. 華頂通・神宮道周辺における路上滞留検討

神宮道は観光バスの路上滞留が問題視されている地点であり、その車列が華頂通まで伸びている様子が散見される。図-8に華頂通・神宮道における観光バスの滞留状況

を示す。華頂通・神宮道における路上駐車を調査した結果、知恩院駐車場が満車であるため空くの待っているバスと駐車場出庫後、知恩院山門前で乗客を乗車させるために待っているバスに大別される事が判明している。

知恩院駐車場では、慢性的に駐車容量が不足しており、付近の駐車場との連携の検討が有効であると可能性がある。



図-5 需給バランス (将来)

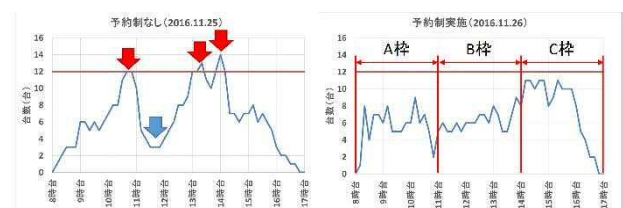


図-6 市営銀閣寺観光駐車場駐車状況



図-7 市営嵐山観光駐車場駐車状況



図-8 華頂通・神宮道の滞留状況

図-9 は知恩院付近の観光地である「南禅寺・岡崎公園・高台寺」の駐車場と連携した際の状況を検討した結果である。12時30分頃に需要のピークを迎えているが、高台寺・知恩院・南禅寺・岡崎公園間で連携する事で、路上滞留解消の可能性がある事がわかった。しかし、駐車場間の連携手法等、多くの課題を残しており、今後さらなる検討が必要である。

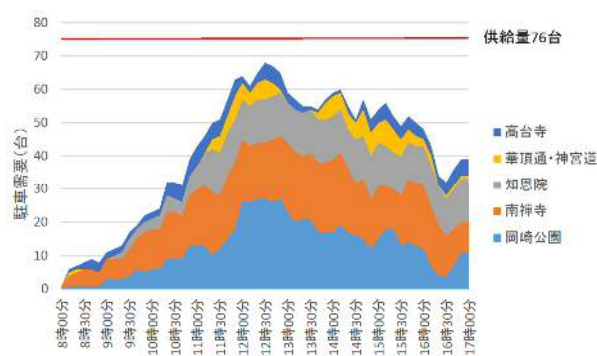


図-9 駐車場需給バランス

#### 4. 結言

観光バス実態調査の実施により、観光バスの周遊ルートや駐車場の利用状況を明らかにした。嵐山や清水寺を代表する東山地域が人気の高い観光地であり、観光バスが集中している事で駐車場や周囲の道路が混雑・渋滞している事を明らかにした。外国人観光客の周遊が京都の交通に多大な影響を及ぼしており、今後の外国人観光客の増加を想定すると、需要に供給が追いつかない状況となるため、さらなる対応策の検討が必要である。

路上滞留解消に向けた実証実験においては、観光バス駐車場の予約制の実施によって、ある程度の交通集中を分散させる効果が確認された。外国人観光客に対しての周知等に課題が残り、今後対応策を検討する必要がある。神宮道・華頂通の路上滞留に対する検討の結果、周囲の駐車場と連携する事で、改善する可能性を示した。しかし運用面に課題を残しており、今後のさらなる検討が必要である。

最後に、本論文の作成にあたり多大なご指導・ご助言を頂きました関係各位に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 京都市観光総合調査 平成 28 年 1 月～12 月  
京都市産業観光局



## 流出解析モデルを活用した浸水対策施設の整備効果に関する検討

(株) 日建技術コンサルタント ○ 柴 田 靖  
(株) 日建技術コンサルタント 合 田 吉 孝

### 論文要旨

A市においては、過去に二度の大規模な浸水被害を受け、三度、浸水させないため、雨水ポンプ場、雨水貯留施設等の浸水対策施設を整備してきた。これらの浸水対策施設は、ゲート操作等の複雑なメカニズムにより運用されており、これまでは対象流域内の水理挙動に関し、不明な点が多かった。

今回、流出解析モデルを活用することにより、流域内における水理挙動が明らかになるとともに、浸水対策施設の整備効果が絶大であることが判明した。また、治水安全度を考慮した効率的な運用方法の提案が可能となったほか、水位周知下水道の指定へ向け、流出解析モデルの活用方法の方向性についても提示できた。

キーワード：浸水軽減効果，想定最大規模降雨，流出解析モデル，水位周知下水道，水防法改正

### まえがき

近年、想定を超える豪雨の多発により、浸水被害が頻発しており、浸水被害の軽減が喫緊の課題となっている。

これを受け、平成27年度に改正された水防法では、想定し得る最大規模の豪雨に対する避難体制等の充実・強化を図ることが示され、内水については新たに、「人的被害が発生するおそれがある地下街等が発達している区域を有する公共下水道等の排水施設」を想定した「水位周知下水道の指定」が盛り込まれた。

また、国土交通省においては、浸水対策により安全・安心な暮らしを支える下水道施設について、浸水対策施設を活用した下水道事業のストック効果<sup>1)</sup>が謳われており、浸水軽減効果の見える化も重要であると考えられる。

このような背景のもと、本論文においては、浸水対策施設の整備効果を検証するとともに、より効率的な運用方法の提案および水位周知下水道の指定へ向けた検討について報告する。

### 1. 対象流域の概要

#### (1) 流域概要

A市のターミナル駅であるA駅周辺地区においては、平成11年・15年に地下街への冠水を含む二度の大規模な浸水被害を受け、内水対策として「A駅周辺地区緊急浸水対策事業」を策定し、浸水対策施設の整備を進めてきた。

A駅周辺地区は、大きく分けて、A駅を含む合流式下水道区域であるA排水区、外水位が高い場合にポンプ排水となるB排水区、自然排水区域であるC排水区の3つの排水区に分かれており、B排水区およびC排水区は分流式下水道区域となっている。(図-1)

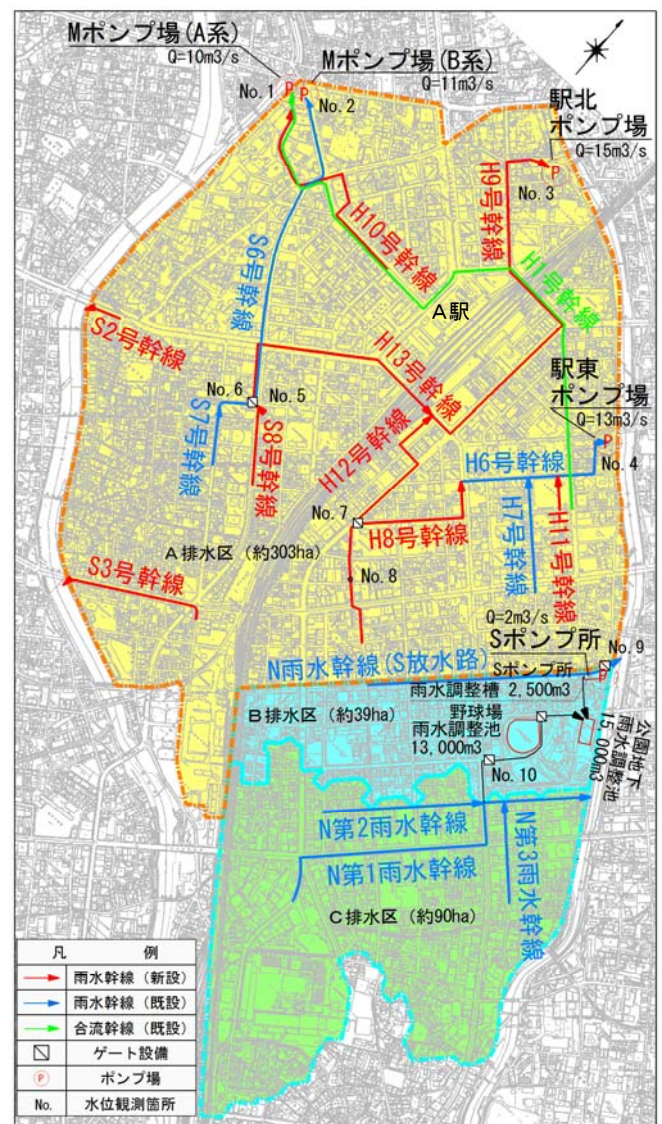


図-1 流域概要



## (2) 浸水対策施設概要

A排水区の主要な浸水対策施設は、φ3000mm～φ5000mmの雨水貯留管と雨水ポンプ場から構成されており、平成24年度に概ねの施設が完成している。(表-1、表-2)

表-1 雨水貯留管の施設概要

幹線名	管径 (mm)	延長 (m)	貯留容量 (m <sup>3</sup> )	備考
H9号幹線	5000	965	18,900	貯留流下併用
H12号幹線	3000	478	3,400	貯留流下併用
H13号幹線	3000	765	5,400	貯留流下併用
計	—	2,208	27,700	

表-2 雨水ポンプ場の施設概要

ポンプ場名	整備前能力 (m <sup>3</sup> /s)	整備後能力 (m <sup>3</sup> /s)	備考
駅北ポンプ場	—	15	新設
駅東ポンプ場	10	13	増強
Mポンプ場	A系	13	増強
	B系	—	
	計	13	

B排水区およびC排水区の主要な浸水対策施設は、野球場雨水調整池と公園地下雨水調整池から構成されており、計画上、両排水区の必要容量を共有する施設となっている。野球場雨水調整池は主にC排水区の雨水を貯留するための施設であり、公園地下雨水調整池は主にB排水区の雨水を貯留するための施設として計画されているが、実運用上は公園地下雨水調整池が優先的に利用されている。

なお、これらの雨水調整池群は、平成16年～平成18年にかけて整備された。(図-2～図-5、表-3)

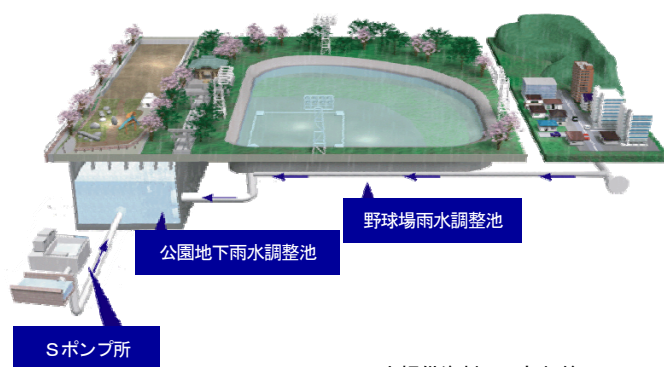


図-2 雨水調整池イメージ

表-3 雨水調整池容量内訳

施設名称	貯留容量 (m <sup>3</sup> )	排水区別 貯留容量内訳 (m <sup>3</sup> )	排水区別 貯留容量 (m <sup>3</sup> )	対象排水区
野球場雨水調整池	13,000	13,000	16,850	C排水区(90.38ha)
公園地下雨水調整池	15,130	3,850		
		11,280		
Sポンプ所調整槽	2,500	2,500	13,780	B排水区(38.50ha)

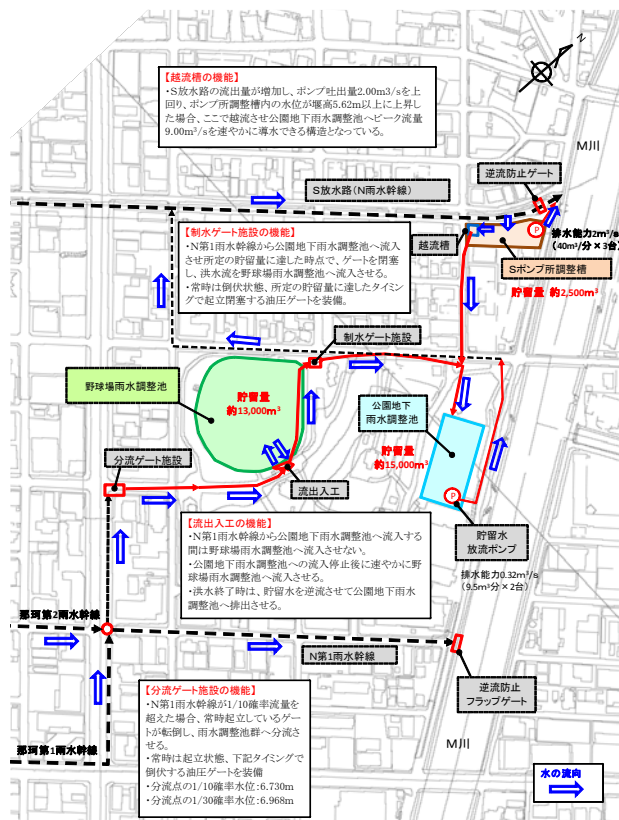


図-3 B・C排水区雨水調整池の概要

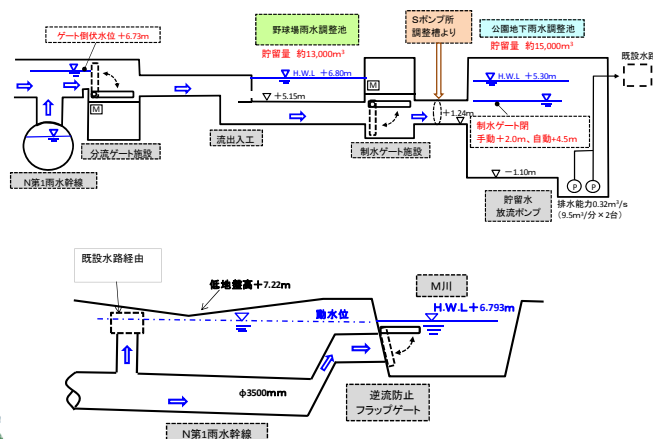


図-4 C排水区系統の概略縦断面図

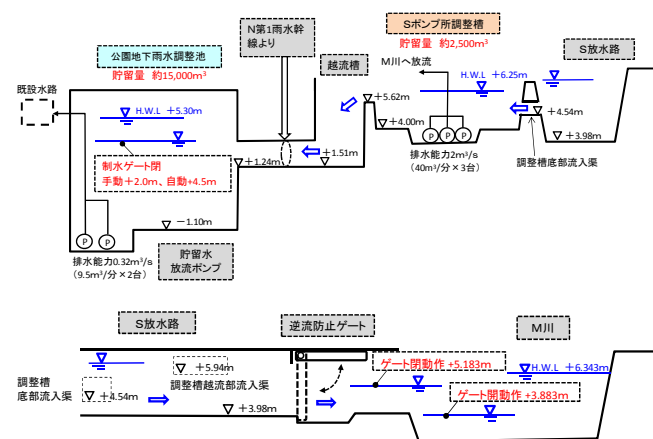
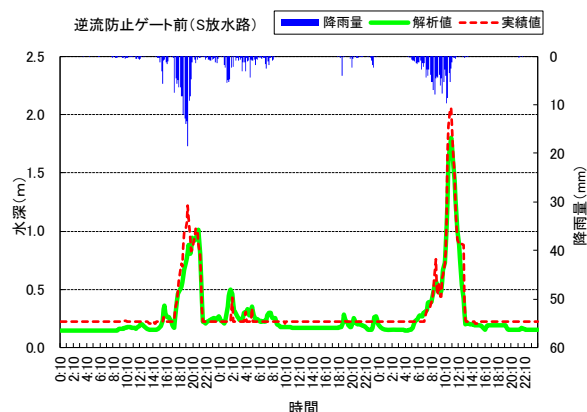


図-5 B排水区系統の概略縦断面図

## 2. 浸水対策施設の整備効果検証

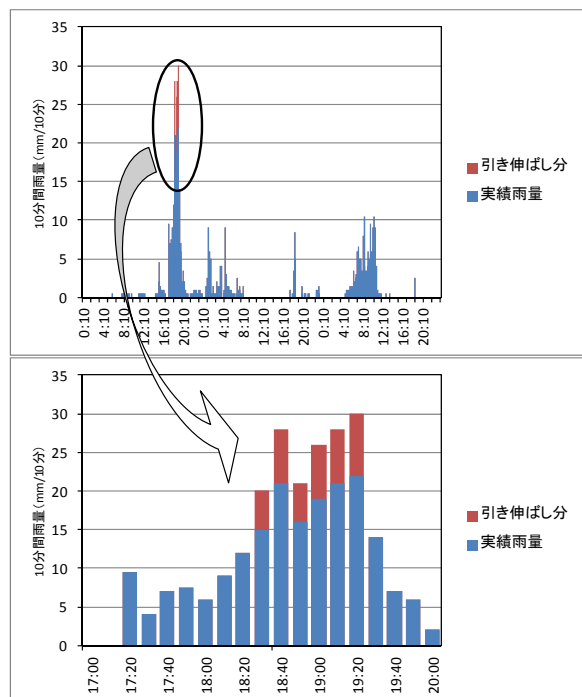
浸水対策施設の整備前後におけるモデルを構築し、シミュレーション（流出解析）を行い、整備効果の検証を行った。流出解析ソフトは、*InfoWorks ICM* を用いた。

構築したモデルの妥当性を検証するため、平成 28 年 6 月～11 月に実施した水位観測結果を適用したキャリブレーションを実施した結果（図－6）、実測地点の水位が実績値と解析値とで概ね一致し、モデルの妥当性を確認した。



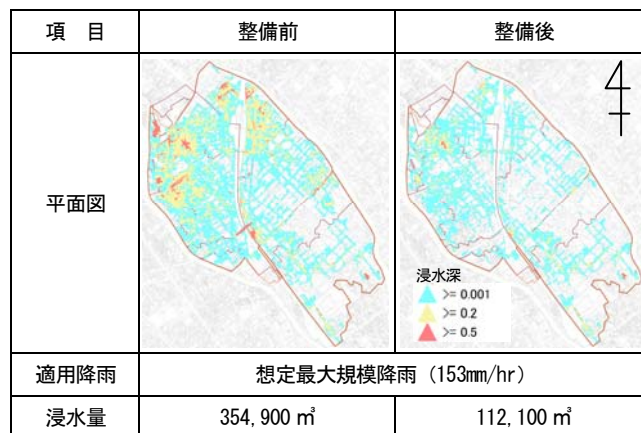
図－6 キャリブレーション結果例

整備効果を検証するための適用降雨は、想定し得る最大規模の降雨として、既往最大降雨（116mm/hr）を引き延ばした想定最大規模降雨（153mm/hr）を適用した。（図－7）



図－7 想定最大規模降雨

最大規模降雨を適用した解析結果より、浸水対策施設の整備前では流域全体で 354,900 m<sup>3</sup>の浸水量があったが、整備後では 112,100 m<sup>3</sup>まで 242,800 m<sup>3</sup>減少し、約 68%の浸水軽減効果が確認できた。（図－8）



図－8 浸水対策施設整備前後の解析結果

なお、浸水対策施設の整備水準対象降雨である 79.5mm/hr を適用した場合の浸水軽減効果は、整備前では 113,700 m<sup>3</sup>の浸水量が整備後では 6,400 m<sup>3</sup>まで 107,300 m<sup>3</sup>減少し、約 94%の浸水軽減効果が確認されており、雨水ポンプ場、雨水貯留管、雨水調整池等の浸水対策施設について、絶大な整備効果を有することが明白となった。

## 3. 効率的な運用方法の提案

### （1）現状における課題整理

A 排水区においては、ゲート操作等に関する複雑な運用ルールは特に存在せず、現状の運用方法で問題はないが、B 排水区およびC 排水区においては、雨水調整池を共有し、ゲート設備等の複雑なメカニズムにより運用されているため、運用方法について確認を行った。

ここで着目したのが制水ゲートの操作条件であるが、制水ゲートの目的として、B 排水区の必要貯留量と C 排水区の必要貯留量をバランスよく制御することがあげられる。

制水ゲートを閉じることにより、B 排水区と C 排水区が分断されることになるが、制水ゲートを閉じる条件は、公園地下雨水調整池の水位により制御されている。

制水ゲートを閉じる水位が高い場合は、公園地下雨水調整池に優先的に雨水が流入し、野球場雨水調整池に余裕がある状態となる。（図－9）

一方、制水ゲートを閉じる水位が低い場合は、公園地下雨水調整池にある程度まで雨水が溜まると制水ゲートが閉じられるため、C 排水区の雨水は優先的に野球場雨水調整池に流入し、B 排水区の雨水は公園地下雨水調整池に流入する状態となる。（図－10）

現状においては、野球場が水浸しとならないように維持管理面等も考慮して、制水ゲートを閉じる水位が高く設定されていたが、治水安全度上、C排水区を優先的に浸水軽減させ、B排水区が危険な状況であることが判明した。

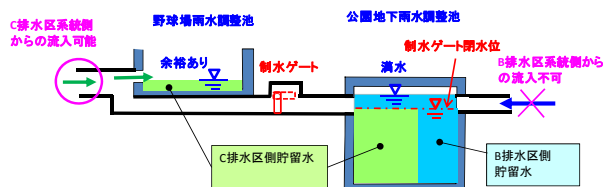


図-9 制水ゲート閉水位が高い場合のイメージ

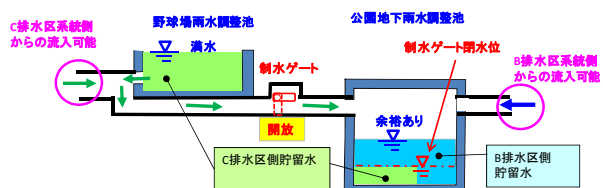


図-10 制水ゲート閉水位が低い場合のイメージ

## (2) 制水ゲートの効率的な運用方法

制水ゲートの閉水位は、現状では+4.50mと高く設定されていたが、流出解析モデルのリアルタイムコントロールを用いて概ね1m単位で操作水位を変化させることにより、各操作水位の浸水量を算出し、安全性の高い操作水位を選定した。(図-11)

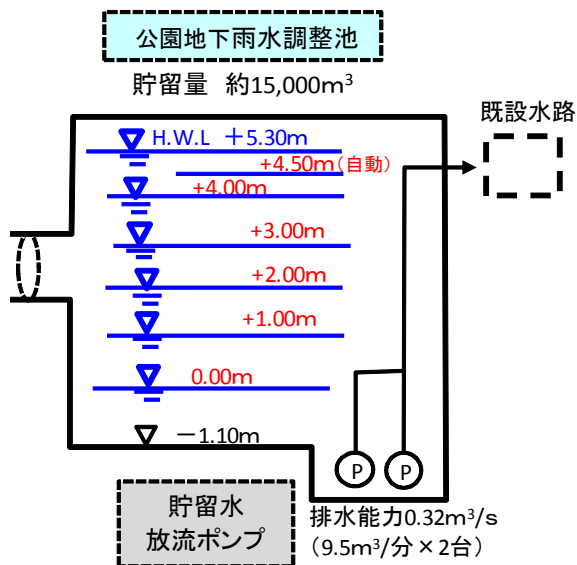


図-11 制水ゲートの操作水位検討

検討の結果、いずれの水位においても野球場雨水調整池および公園地下雨水調整池は満水となり、制水ゲート閉水位を4.5mから0.0mに下げることにより、浸水量が減少することが確認できた。(表-4、図-12)

表-4 制水ゲート閉水位と浸水量・貯留量の関係

制水ゲート 閉水位 (m)	浸水量 (m³)		
	B排水区	C排水区	計
4.5	9,204	23,919	33,123
4.0	9,217	23,918	33,135
3.0	9,135	23,942	33,077
2.0	8,986	23,977	32,963
1.0	8,841	24,024	32,865
0.0	8,629	24,070	32,699

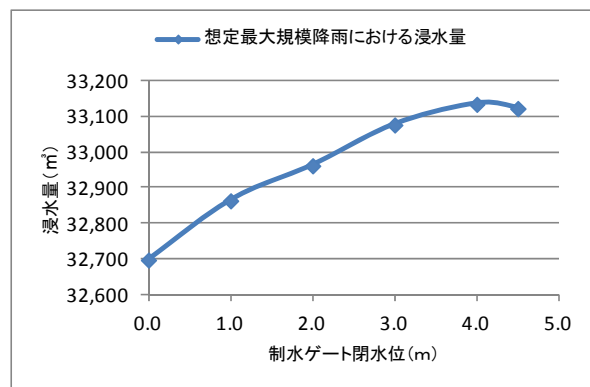


図-12 制水ゲート閉水位と浸水量の関係

## 4. 水位周知下水道の指定へ向けた検討

### (1) 水位計測に関する課題

今回、既存の水位計を用いて、6ヵ月間の水位計測を実施したが、既存の水位計は、主にポンプ運転およびゲート操作の運用管理を目的としたものであり、また、観測期間中は貯留管が満水状態になるような豪雨も発生しなかったため、各幹線の水位状況を的確に捉えるには不十分であったといえる。

水位周知下水道では、地下空間利用者に対し、避難開始等の情報提供を行う義務があり、今後、モデル精度向上のために必要な水位計を設置し、シミュレーションモデルの更なる精度向上を図ったうえで、最終的に内水氾濫危険水位の判断のための水位計設置箇所を決定することが不可欠である。

そのため、今回は得られた情報の中で各幹線の水位状況、特に地下街を有するA排水区の主要な幹線系統について水位計設置箇所の検討を行った。

また、A駅周辺には地下街への出入口が30箇所程度存在するが、すべての出入口に止水板が設置されている。止水板を機能させるにはある程度の時間を要するが、人孔部から溢れ出た地表面氾濫流がどのような経路をたどって、地下街へ流入するまで何分程度かかるのかについても確認する必要があるため、地表面氾濫流等の挙動についても検討を行った。

## (2) 水位設置箇所の検討

本検討対象区域内の浸水原因は、幹線の背水の影響により全体的に水位上昇が発生することが判明していたが、想定最大規模降雨に対し、主要な幹線のうち、どの幹線が最も早く浸水するのかを確認した。

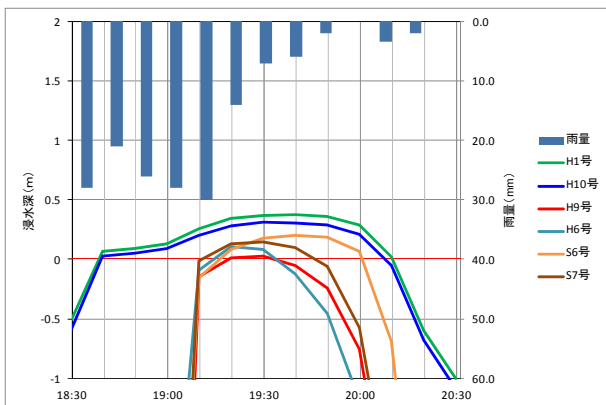
検討の結果、H1 号幹線および H10 号幹線の浸水発生時刻が最も早く、A 排水区の主要な貯留管である H9 号幹線よりも 40 分程度早く浸水が発生することが確認できた。

(表一5、図一13)

表一5 幹線別浸水発生時刻

時刻	雨量 (mm)	幹線名					
		H1号	H10号	H9号	H6号	S6号	S7号
18:30	28.0	-0.525	-0.603	-14.472	-4.523	-9.645	-5.563
18:40	21.0	0.071	0.024	-13.975	-3.995	-9.376	-5.327
18:50	26.0	0.093	0.052	-12.491	-3.503	-7.692	-5.310
19:00	28.0	0.127	0.089	-6.900	-3.033	-5.051	-5.256
19:10	30.0	0.257	0.204	-0.150	-0.089	-0.158	-0.013
19:20	14.0	0.341	0.284	0.015	0.109	0.086	0.130
19:30	7.0	0.371	0.310	0.026	0.081	0.178	0.148
19:40	6.0	0.373	0.307	-0.052	-0.121	0.201	0.095
19:50	2.0	0.357	0.287	-0.244	-0.455	0.186	-0.060
20:00	0.0	0.289	0.213	-0.758	-1.187	0.070	-0.576
20:10	3.5	0.018	-0.049	-2.315	-2.541	-0.696	-2.080
20:20	2.0	-0.599	-0.679	-3.972	-3.960	-3.216	-3.802
20:30	0.0	-1.003	-1.091	-5.852	-4.710	-5.252	-5.402

※網掛けは溢水開始時刻を示し、赤字はMax溢水深を示す  
マイナス値は地盤高より水位が下にあることを示し、0.0より大きくなると溢水を示す



図一13 幹線別浸水発生時刻

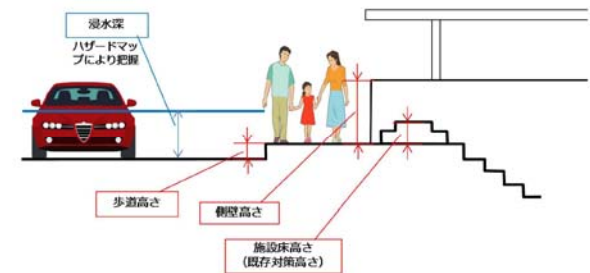
現状において、H1 号幹線および H10 号幹線では水位計が設置されていないことから、これらの幹線にモデル精度向上のために必要な水位計の設置を提案した。

## (3) 地表面氾濫挙動の検討

大規模地下空間における浸水解析手法<sup>2)</sup>については、様々な手法が開発されているが、本検討においては地下街内部までの解析は不要であったため、「地下街等における浸水防止用設備整備のガイドライン<sup>3)</sup>」を参考に InfoWorks ICM を活用して仮想の地下街出入口をモデル化する手法を提案した。

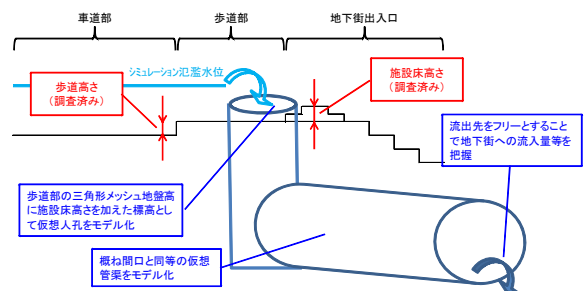
本手法は、歩道高さあるいは地下街出入口階段の施設床高さを調査し、メッシュ地盤高にこれらの調査高さを加えた標高に仮想の人孔をモデル化するとともに、仮想の地

下空間に見立てた管渠をモデル化することにより、氾濫流の解析結果を用いて簡便かつ容易に地下空間への総流入量を算定することができる。(図一14、図一15)



出典：「地下街等における浸水防止用設備整備のガイドライン<sup>3)</sup>」

図一14 仮想地下街出入口モデル化イメージ



図一15 仮想地下街出入口モデル化イメージ

以上の手法を用いた解析結果より約 30 箇所の出入口のうち、3 箇所において地下街への浸水のおそれがあることが判明した。

東 2 番出入口については、歩道高さが 35cm と比較的高いため、周辺の人孔から溢水した地表面氾濫流が、地下街へ流入するまで、約 27 分と比較的余裕があった。

西 4 番出入口については、施設床高さが 20cm であり、地下街流入までの時間は約 7 分であった。

地下駐車場出入口については、車道との段差がなく直接地下駐車場へのスロープとなるため、人孔部からの溢水と同時に地下駐車場への流入が確認できた。

これら 3 箇所から地下街・地下駐車場への総流入量は、合計約 2,700 m<sup>3</sup>となった。(図一16)

しかしながら、これら 3 箇所の出入口においては、止水板が機能していれば、地下街への流入はないことが確認できたため、止水板を適切に機能させることの重要性が認識された。

また、地下駐車場のように人孔部からの溢水と同時に地下空間へ流入する現象が確認できたため、このような出入口については、幹線の水位状況を確認し、早めの止水板設置を心がける必要がある。



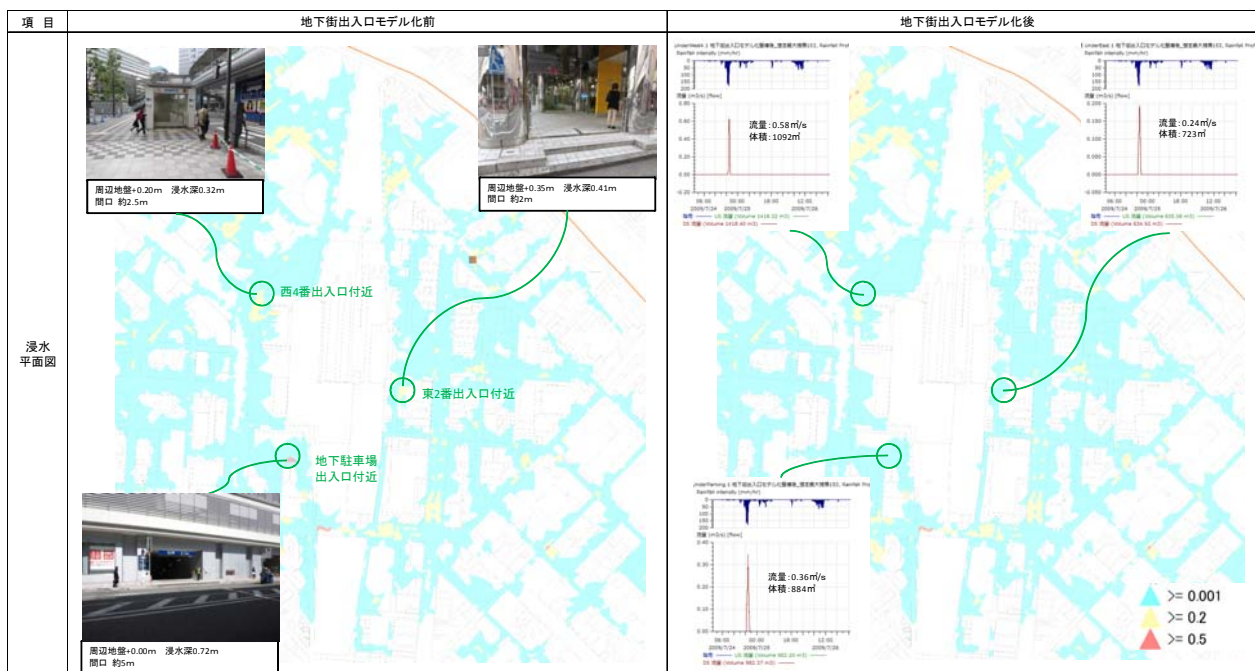


図-16 仮想地下街出入口モデル化前後の解析結果

## あ と が き

本検討結果より得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 流出解析モデルを活用することにより、流域内の水理挙動が視覚的に確認することができ、浸水対策に効率的なゲート設備等の運用ルールを提案できた。
- (2) 水位周知下水道の指定には今後、水位計設置箇所の絞り込みおよび内水氾濫危険水位設定等の課題は残るが、指定に向けた端緒として、流出解析モデルの活用方針を提示できた。
- (3) 下水道施設の雨水管は、特に都市部などでは暗渠で整備されたり、蓋掛けされるなど、地上から見えない施設であるため、水位状況がどのようなになっているかは判断しにくい。

このような状況において、水位の見える化、情報伝達の重要性等を鑑みて水位周知下水道が位置付けられたが、今後、水位観測の重要性を認識し、水位周知下水道が安全・安心な暮らしに寄与することが望まれる。

謝辞：

水位観測をはじめ、資料提供等にご協力いただいた A 市関係者に謝意を表する。

## 参 考 文 献・引 用 文 献

- 1) 洪尾欣弘：都市浸水対策の高度化，情報管理，2017 Vol.60, No2, p100-109
- 2) 関根正人，竹順哉：大規模地下空間を抱える東京都心部を対象とした内水氾濫ならびに地下浸水の数値解析，土木学会論文集 B1(水工学)，2013, Vol.69, No.4, I\_1567-I\_1572
- 3) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室：地下街等における浸水防止用設備整備のガイドライン，H28.8, 9p.

## 総合戦略策定から地域・民間主体での事業化実現に向けた支援

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○高 橋 彩 人  
パシフィックコンサルタンツ株式会社 畠 中 誠 司  
パシフィックコンサルタンツ株式会社 有 田 義 隆  
パシフィックコンサルタンツ株式会社 井 爪 康 夫

### 論文要旨

本稿は、まち・ひと・しごと創生法の制定に伴う地方版総合戦略の策定について執筆者らが支援した 10 自治体を対象に、「地方人口ビジョン策定にかかる人口推計手法の特性」及び「総合戦略での施策の柱立ての特徴」について分析する。また、総合戦略にて位置づけられているプロジェクトについて、民間主体での事業化実現に繋げようとしている奈良県五條市及び桜井市の事例を踏まえ、民間主体での事業化実現化方策について考察を行った。

キーワード：地方創生、人口ビジョン、総合戦略、官民連携

### まえがき

まち・ひと・しごと創生法に基づき、各自治体において今後の人口動向に応じた地方版総合戦略の策定が行われた。この総合戦略は、人口減少の抑制や人口構造の改善のために必要な施策をとりまとめたものであり、その実施主体や内容については、行政主導のハード施策ではなく、住民や民間事業者の創意工夫を生かした継続性の高いソフト施策を中心に盛り込むこととされた。

そこで本稿では、地方版総合戦略への具体的施策の位置づけから、それを実際に事業化へとつなげていくための行政・事業者間の関係づくりや、事業者への支援のあり方について、実際の事例を交えて考察を行うものである。

### 1. 総合戦略策定の背景・目的と概要

#### 1. 1 まち・ひと・しごと創生法

日本の総人口は、平成 20 年をピークに減少傾向に転じ、今後加速度的に進むと予測され、2050 年には 9,700 万人程度になり、2100 年には 5,000 万人を割り込むという推計がなされている。人口減少による消費・経済力の低下は、日本の経済社会に対して深刻な影響を与えることが懸念される。このような危機的状況に対し、2014 年 11 月に公布・施行された「まち・ひと・しごと創生法」（以下「創生法」という。）に基づき、2060 年に 1 億人程度の人口を確保する中長期展望を示した「まち・ひと・しごと創生長期ビジョン」と、2015～2019 年度（5 か年）の政策目標・施策を示した「まち・ひと・しごと創生総合戦略」が策定された。

創生法では、国と地方が一体となり、中長期的視点に立つて取り組んでいくため、各地方自治体が、地方人口ビジョン及び、2016 年度から 5 か年の目標や施策の基本的方向、具体

的な施策をまとめた地方版総合戦略の策定に努めることが規定された。これを受け、2016 年度中に全ての都道府県と 1,737 市区町村（99.8%）<sup>1)</sup>で地方版総合戦略が策定された。

#### 1. 2 地方人口ビジョンの概要

地方人口ビジョンは、過去の人口動向の分析や将来人口の推計等を行い、人口変動に対する自然増減（出生率）・社会増減（転出超過）の影響度等を客観的に分析・把握し、自治体における人口減少傾向の緩和に向けた今後講ずべき施策の検討材料として策定ものである。

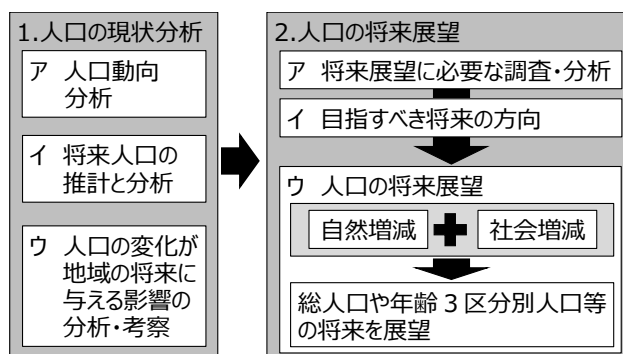


図 1-1 地方人口ビジョンの概要

#### 1) 人口増減要因を踏まえた仮定値の設定

地方自治体における人口減少の要因は、低い出生率と転出超過に大きく区分され、対応策は概ね 3 つに分類される。地方人口ビジョンにおいても、各自治体の傾向を踏まえた目標設定が行われている。（図 2-1 参照）

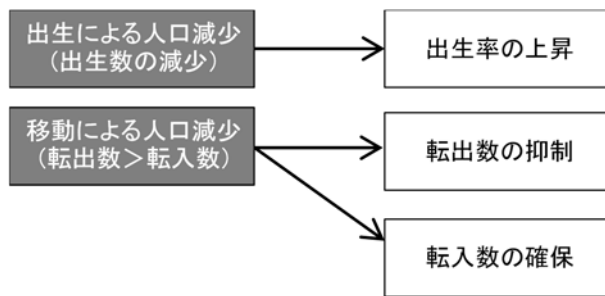


図 1-2 人口減少要因と対策

## 2) 出生数の減少への対応

多くの自治体で、2040 年に人口置換水準で安定させる国の目標水準を条件としているが、出生率が高い自治体では、現状維持や概ね 20 年後に希望出生率（子育て世代へのアンケート調査にて設定）や人口置換水準（人口を長期的に一定に保てる水準の 2.1）に到達するという目標設定が行われている。一方、概ね 30 年後に人口置換水準に到達させるといった国が示す水準より低い目標設定を行っているケースもある。

## 3) 転出超過への対応

転出超過は多くの自治体共通の課題である。特に、転出超過傾向にある自治体では、社会増減の目標設定において、増減を均衡させるところまでは求めず、転出数の抑制や転入者の確保といった条件設定が行われている。一方、転出超過が相対的に小さい自治体では、流出過多の年齢層（10 代後半～20 代後半など）の社会移動を均衡させる条件設定を行っている。

### 1. 3 地方版総合戦略の概要

地方版総合戦略は、地方人口ビジョンの将来展望で設定した今後の人口の将来展望を実現するために必要な取り組みを示すものであり、基本目標の設定及びその目標の実現に向け、今後 5 年間に実施する具体的な施策が位置づけられている。

具体的な施策としては、①しごとづくり②ひとの流れ③結婚・出産・子育て④まちづくりに係る各分野を幅広くカバーすることが望まれている。特に、「しごとづくり」は、まち・ひと・しごと創生の好循環を生み出す重要分野であり、十分に位置づけることとされている。

さらに、各具体的施策に、客観的な重要業績評価指標（KPI）が設定されている。

表 1-1 地方版総合戦略の概要

検討項目	概要
①基本目標	・政策分野を定めるとともに、政策分野ごとの5年後の基本目標を設定 【国の総合戦略に定める政策分野】 ・地方における安定した雇用を創出する。 ・地方への新しい人の流れをつくる ・若い世代の結婚・出産・子育ての希望をかなえる ・時代に合った地域をつくり、安心な暮らしを守るとともに、地域と地域を連携する。
②講ずべき施策に関する基本	・基本目標を達成するために講ずべき施策の基本的方向を記載する。

検討項目	概要
的方向	
③具体的な施策と客観的な指標	・基本的方向に沿って、政策分野ごとに具体的な施策を記載するとともに、各施策の効果を客観的に検証できるようにするため、施策ごとに重要業績評価指標（KPI）を設定する。
④客観的な効果検証の実施	・PDCAサイクルを導入して、その進捗を基本目標に係る数値目標や具体的な施策に係る重要業績評価指標の達成度により検証し、改善する仕組みを構築する。

## 2. 地方版総合戦略への施策の位置づけ

ここでは、筆者らが実際に総合戦略の策定支援を行った自治体において、どのような目標設定や施策の位置付けがなされているのか整理する。

### 2. 1 基本目標の設定

国が定めた総合戦略では、表 1-1 に示すように、「①基本目標」として 4 つが示されている。これに対し、実際の総合戦略における柱立ては、以下の 4 つのパターンがあった。

パターン 1 概ね国の柱立てを踏襲した基本目標

パターン 2 基本目標Ⅰ（雇用）とⅡ（移住）が統合された基本目標

パターン 3 施策の対象とするターゲット層を絞り込んだ基本目標

パターン 4 I～Ⅳのうち一部の柱立てのみに特化した基本目標

パターン 1 は、国の示す柱立てに即し、バランスに留意した柱立てとなっている。こうした自治体は、人口動向において社会増減、自然増減において同程度の影響を受けている自治体である場合が多い。

パターン 2 は、特に 1 次産業を基幹産業としている自治体で多く見られる。こうした自治体では、基幹産業離れとともに、市内での雇用が少ないことを理由に市外に転出している傾向が強いことから、雇用と移住の促進を一体のものとして考えていることが伺える。

パターン 3 は、現状においても社会増減が均衡している自治体で見られ、市外からの転入促進よりも、市内の子育て層や女性をターゲットとしたまちづくりに力点を置いた施策が意識されている。

パターン 4 は、離島において見られ、観光以外の産業が乏しい一方で、出生率は現状も高い状況にあることから、観光以外の産業の創出や子育てに関連する基本目標の柱立てが行われていない。

表 2-1 総合戦略における基本目標の設定パターン

	都道府県	市区町村	基本目標の特徴
パターン 1	高知県	S 町	国が示す基本目標の柱立てを踏襲
	奈良県	S 市	
	奈良県	G1 市	「地方への新しいひとの流れをつくる」については、シティプロモーション的な目標設定
	京都府	J 市	
パターン 2	兵庫県	M 市	雇用と定住促進に関する一体的目標と、観光交流促進に関する目標が別立てで位置づけられている
	三重県	T 市	

	都道府県	市区町村	基本目標の特徴
	京都府	U 町	雇用と定住促進に関する目標が一体的目標として位置づけられている
パターン 3	奈良県	G2市	主に若者層、子育て層にターゲットを絞った目標を位置づけている
	奈良県	I 市	主に子育て層や女性をターゲットとした目標を位置づけている
パターン 4	鹿児島県	Y 町	観光交流の促進と定住促進に関する施策がそれぞれ位置づけられている。その他の産業(雇用)や子育て支援に関する明確な目標がない。

## 2. 2 特色ある施策

それぞれの基本目標の実現に向けた施策として、基本目標の設定パターン毎に表 2-2 に示すような特色ある施策が位置づけられている。

表 2-2 特色ある施策

パターン	I 地方における安定した雇用を創出する	II 地方への新しい人の流れをつくる	III 若い世代の結婚・出産・子育ての希望をかなえる	IV 時代に合った地域をつくり、安心な暮らしを守るとともに、地域と地域を連携する
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高速道路供用を起爆剤とした企業誘致等地域活性化</li> <li>・木質バイオマスの利用促進</li> <li>・クラウドファンディングによる資金調達</li> <li>・商店街・空店舗の再活用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・お試し滞在施設の整備</li> <li>・プロスポーツとの交流機会提供によるまちの活性化</li> <li>・旅行会社と協働したまちの魅力発信ツアーの開発</li> <li>・地域ブランドの創出・発信</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・男女の出会いの場の提供(婚活)</li> <li>・産科委員の誘致</li> <li>・コミュニティスクールの拡大</li> <li>・ワーク・ライフバランスの推進</li> <li>・女性活躍を推進するまちの実現</li> <li>・小中一貫教育の推進等教育の強化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ネットワーク型のコンパクトな都市づくり</li> <li>・集落連携による小さな拠点づくり</li> <li>・公共交通機能の強化</li> <li>・近居・三世帯同居の推進</li> <li>・地域包括ケアシステムの構築</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地域外の人材活用による地場産品の開発・販売・PR</li> <li>・地元の大学と連携した地域おこしの促進</li> <li>・地域内の高校生や転出した学生向けの情報発信</li> <li>・SNSを活用した魅力の発信</li> <li>・インバウンド観光の推進</li> <li>・空家を活用した移住促進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1次産業と観光の連携</li> <li>・空家を活用した移住促進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食育に取り組む学校を増やす</li> <li>・競技スポーツで活躍できる人材育成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多文化共生コミュニティの推進</li> <li>・地域力を創造するコミュニティの構築</li> <li>・観光地の防災対策</li> <li>・低炭素まちづくりの推進</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空き家を活かした観光交流</li> <li>・インバウンド施策の推進</li> <li>・健康志向者を対象としたアウトドア・ツーリズム</li> <li>・テレワークの推進</li> <li>・女性の活躍推進</li> <li>・起業に対する支援</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・行政主催や市民・団体との協働で行われる楽しい公共・公益イベントの認定</li> <li>・トップアスリートと連携したスポーツイベントの開催</li> <li>・ロコミによる地域の魅力発信</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幼稚園における幼保一体化の支援</li> <li>・病児保育機能強化</li> <li>・赤ちゃんの駅普及</li> <li>・パパのための子育てイベント開催</li> <li>・ママのプロボノ活動促進事業</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・市外への就労場所への交通環境整備</li> </ul>
4	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・若者の観光来訪の促進、島外からの生徒の受入、転出者による町のPRなど、町内外の若者を対象とした交流促進</li> <li>・移住体験や自然と共生したタイルスタイルの発信</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移住者をフォローしながら、町民が住みたいまちを町民の手でつくる取組</li> </ul>



### 3. 先駆性のある事業への展開事例

ここでは、総合戦略で位置づけられている事業について民間の連携による事業化実現に繋げる取組を行っている奈良県五條市及び桜井市の事例を紹介する。五條市では、民間事業者、地元活動団体等の民間主導による地域活性化に向けた各地域での取組について、持続可能な具体事業に繋げるため、行政がサポートしている。また、桜井市では、奈良県との協定を締結（県から財政面等の支援の実施）した上で、総合戦略で位置づけた拠点づくりに向けた取組を推進している。それら各拠点づくりの実現化に向けて、地域住民や地元関係者を巻き込みながら、民間主導の動きに繋げている事例である。

表 3-1 五條市及び桜井市での取組概要

自治体	取組の概要
五條市	市内各所にて民間主導による取組が既に存在 → 民間主導による取組を行政がサポート
桜井市	行政主導による拠点づくりの実施 → 住民、地元関係者等との連携促進により民間主導の取組にシフト

#### 3. 1 奈良県五條市での取組事例

##### 1) 五條市での取組の経緯

奈良県五條市では、合計特殊出生率が国・県よりも低く、また若年層の流出が超過していることから、「若い世代、子どもを生み育てる世代」をターゲットとした五條市版総合戦略が策定されている。総合戦略では、重点施策として、子育て環境の充実・住環境の改善・新産業の創出・ブランド化づくりを挙げており、特に、その中でも「新産業の創出・ブランド化づくり」に向けた取組を行っている。

五條市内には、重要伝統的建造物群保存地区などの歴史資源をはじめ、柿・梅などの果樹類の生産や製材、木工等の生産など豊かな農林資源がある。また、地域資源を産業や交流へとつなげるための取組を行っている民間事業者や地元活動団体が存在する。しかし、そのような地域資源や取組が地域のイメージとして市外の人々に認知されておらず、「五條市」という地名を聞いても連想されるものがないという課題がある。

これらを踏まえ、平成 28 年度より国の地方創生加速化交付金を活用し、地域の自然資源と歴史・文化資源を核にした地域産業の一体的な活性化（新たな産業育成や雇用創出）に向けて、地域産業の 6 次産業化を含めた地域のブランド化に取り組むとともに、ブランド化を推進していくための民間主体の「産業連携組織」の設立の構築に向けた取組を行っている。

##### 2) 「産業連携組織」の設立に向けた取組

「産業連携組織」の設立に向けて、市内で取組を行っている民間事業者や地元活動団体へのヒアリングを行い、五條の

ブランド化を形成する地域資源の掘り起こしや取り組みを行う上で課題把握を行った。ヒアリングの結果、「事業者相互の連携が必要」「事業者の活動に公益性があるという判断が必要」「地域資源を「地域振興」に活用するという大義名分が必要」「シティプロモーションが必要」等の意見が出された。このように、既存の枠組み（個々の事業者・団体単体による動きや既存の組織体制）では新産業の創出・ブランド化づくりを持続的に発展させていくには、限界があることが明確となった。これらを踏まえ、「各事業者・団体が地域の課題を共有し、その解決に向けた協働での取組をコーディネートする場」、「新しい発想力と行動力を持った人材及び課題解決のための財源」の確保のため、平成 29 年 3 月、五條市内外の民間事業者の参画による五條市地域・産業ブランド推進協議会の立ち上げを行った。

##### 3) 今後の展開

平成 29 年度は、本協議会にて産業連携組織の具体の体制づくり、検討やモデル的な事業の実践を行い、平成 30 年度以降にブランド化展開に向けた方向性・具体事業・事業収支等の検討を行う予定である。

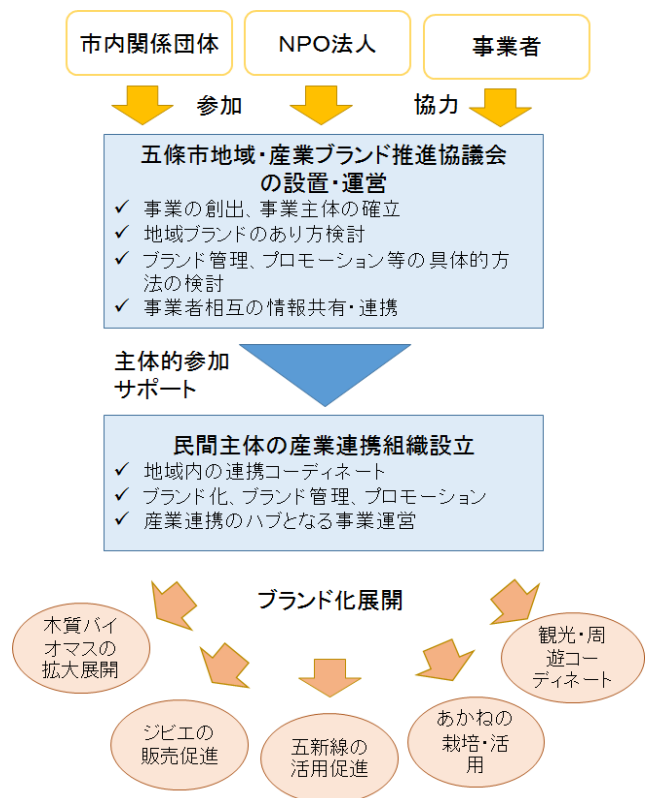


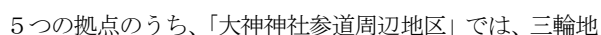
図 3-1 「産業連携組織」の展開イメージ

#### 3. 2 奈良県桜井市での取組事例

##### 1) 桜井市での取組の経緯

奈良県桜井市では、20 代・30 代の若者の市外への転出が人口減少の原因の一つとなっていることから、結婚・出産に大きく影響するこれらの世代の転出を抑える、移住定住促進な

今後、桜井市の特徴である「観光・交流」を活かし、「しごと」と「ひと」の好循環と、それを支える「まち」の活性化を進めるため、重点プロジェクトと位置づけられた拠点まちづくりの取組を進めながら桜井市全体のまちづくり・活性化に波及させていくこととしている。



1) 地方人口ビジョン及び地方版総合戦略の策定状況：平成  
28年4月19日内閣官房まち・ひと・しごと創生本部事  
務局

## 公共下水道における総合的な地震対策計画の策定

内外エンジニアリング(株) 栃下 光治  
内外エンジニアリング(株) ○篠部 之博

### 論文要旨

本報告は、A市の公共下水道(6処理区・約988ha)を対象に既存施設の耐震化を図る「防災」と被害の最小化を図る「減災」を組み合わせ、「下水道総合地震対策計画」を策定した事例である。防災対策として、下水道施設の被災の危険度や被災時の影響を評価し、耐震対策の優先順位を設定した。また、減災対策として、下水道BCP策定の提案、マンホールトイレ設置などの対策を計画した。これらを組み合わせ、下水道総合地震対策事業として、計画方針及び対策スケジュールをとりまとめた。

キーワード：地震対策計画、污水管渠、污水中継ポンプ場、污水处理施設、マンホールトイレシステム

### まえがき

平成23年の東北地方太平洋沖地震発生時には、下水道施設自体の損傷等のほか、リソース制約等に伴う長期間の機能低下が見られた。被災時においても一定の下水道機能を確保する事は、重要課題の一つであり、そのために必要な地震・津波対策を早急に実施する必要がある。

近年の大規模地震に対して、早急な耐震化を図るために平成21年度に「下水道総合地震対策事業」が創設された。

「下水道総合地震対策計画」は、地震の特性及び危機管理上の観点から、「防災計画(短期計画・中長期計画)」及びそれに関連する「減災計画」を対象とするものである。

A市の公共下水道は、流域関連公共下水道1処理区および特定環境保全公共下水道5処理区の合計6処理区により整備されており、平成24年度末時点で下水道管路延長は約270km、5処理場、2ポンプ場を有している。

本事例は、A市における公共下水道施設に関し、既存施設の耐震化にむけた「下水道総合地震対策計画」の策定についての報告である。

図-1に下水道地震対策計画の策定フローを示す。

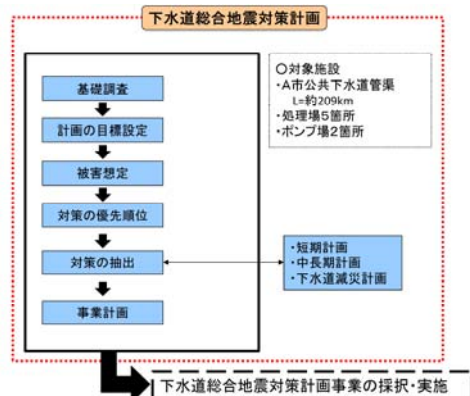


図-1 下水道地震対策計画策定フロー

### 1. 対象となる施設

耐震対策では、下水道施設について、被災の危険度と施設の重要度に応じて、対策の優先順位を設定した。

管路施設は、「重要な幹線等」(緊急輸送路下、防災拠点・避難所接続管路等)と「その他の管路」に区分されるが、そのうち「重要な幹線等」を耐震対策計画の対象とし、「その他の管路」は被災時の影響が限られることから事後対応を前提とした。

なお、処理場・ポンプ場施設は、全て重要な施設と位置付けられるため、耐震対策計画の対象とした。

図-2に計画対象区域の位置図を示す。

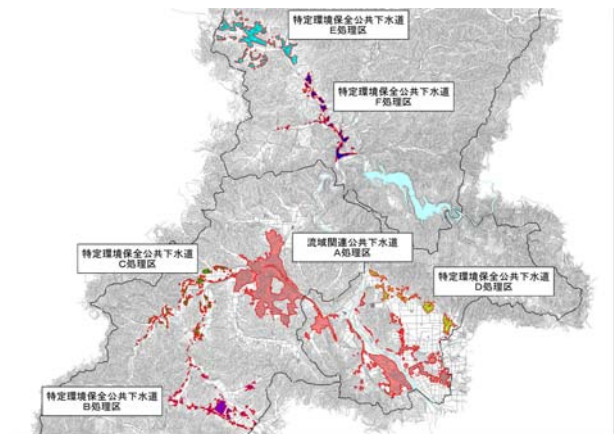


図-2 計画対象区域位置図

### 2. 被害想定

#### (1) 被害想定の対象とする地震動

被害想定の対象とする地震動は、京都府地震被害想定調査委員会が検討している22地震動のうち、検討区域において発生、被害を生じる可能性のある「殿田・神吉・



越畑断層(M7.2)」および「亀岡断層(M6.8)」の2種類の地震動を選定した。この地震動による、施設別被害を検討し、その影響の整理を行った。

震度・液状化危険度(PL値)については、「大規模地震による被害想定手法及び想定結果の活用方法に関するマニュアル平成18年3月」(以後、「想定マニュアル」とする)を参考に、2種類の地震動を250mメッシュ単位に処理し重ね合わせ、各メッシュの最大値を採用した。

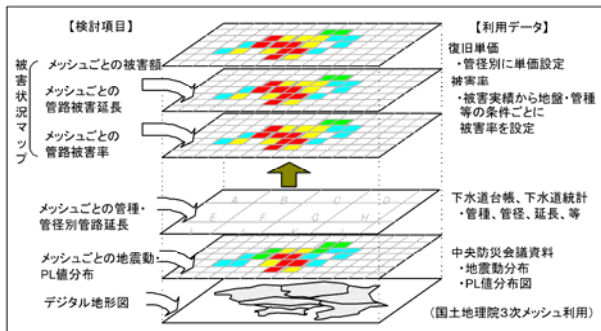


図-3 被害状況マップ作成までのイメージ(管路の例) 2)

## (2) 管路施設

### 1) 被害の定義

管路の被害は、「想定マニュアル」より、地震による管路の蛇行、管・マンホール本体の亀裂・破損等により、流下機能に支障が生じることと定義した。

### 2) 管路の被害率

地震動に対して、管路が被災する原因は、地震による揺れと周囲の地盤の液状化による浮き上がりの影響が考えられる。そこで、地震による揺れと液状化の両方を考慮した被害想定を行った。

被害想定延長は各対象路線の震度・液状化危険度に応じた被害率を路線延長に乗じた値の総和とした。

なお、被害率は、「京都府：近畿圏における大規模地震に関する共同研究」(以後、「共同研究」とする)にて算定された値を採用した。

表-1に管路施設の被害想定を示す。

表-1 管路施設の被害想定

未耐震路線対象延長		269.5 km
被害延長	平均	22.8 km
	最大	82.4 km
被害額	平均	2,452 百万円
	最大	8,695 百万円

※平均被害率：下水道管理者が対策計画の優先順位を決定する等、相対的危険度を把握する場合に用いる被害率

※最大被害率：危険度としてマクロ的な被害の規模が求められる場合や資機材の確保等の危機管理を検討する場合に用いる被害率

## (3) 処理場・ポンプ場施設

### 1) 被害の定義

処理場・ポンプ場の被害は、「想定マニュアル」より、地震による施設の破損、ズレ、傾き等により、揚排水機能、処理機能等に支障が生じることと定義した。

### 2) 被害タイプ分類

被害は、各処理場・ポンプ場が立地する地盤の地震動の強さ、液状化の危険度、周辺状況からみた側方流動の影響及び施設の耐震対策実施状況によって4タイプに分類した。

被害タイプの分類フローを図-4、想定される被害の概要を表-2に示す。

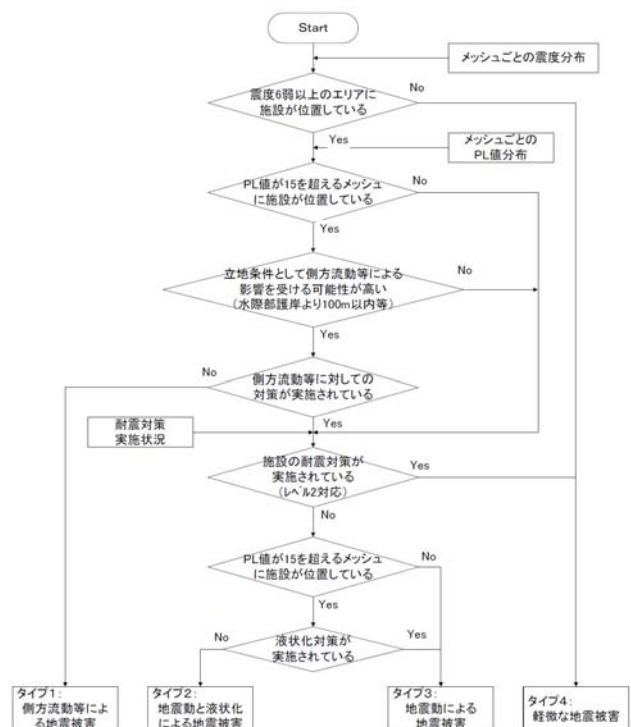


図-4 被害タイプ分類フロー 1)

表-2 被害タイプ別の想定される被害の概要

被害タイプ		想定される被害の概要
タイプ1	側方流動等による地震被害	地震動の影響を受けるとともに、特に側方流動により、処理場、ポンプ場が甚大な地震被害を受ける。
タイプ2	地震動と液状化による地震被害	地震動の影響を受けるとともに、特に地盤の液状化により、処理場、ポンプ場が地震被害を受ける。
タイプ3	地震動による地震被害	地震動の影響により、処理場、ポンプ場が地震被害を受ける。
タイプ4	軽微な地震被害	地震被害を受けないか、受けても軽微で、処理場、ポンプ場においては、処理機能や排水機能は損なわれない。



### 3) 処理場・ポンプ場の被害想定

被害額は、概算の処理場建設費に被害タイプ別の被害率を乗じた値とする。被害率は、「共同研究」にて算定された値を採用した。

ただし、被害タイプ4と判定した施設は、タイプ1～3に比べて地震被害を受けないか、受けても軽微なため、今回検討では被害額を計上していない。

表－3に処理場・ポンプ場施設の被害想定を示す。

表－3 処理場・ポンプ場施設被害想定一覧表

施設名	被害タイプ	被害額 (百万円)		備 考
		平均	最大	
B処理区処理場 (H4年度設計)	タイプ4	—	—	
C処理区処理場 (H7年度設計)	タイプ2	13	44	
D処理区処理場 (H8・H17年設計)	タイプ3	3	11	2/2系列は耐震対策済
E処理区処理場 (H5・H12年度設計)	タイプ4	—	—	2/2系列は耐震対策済
F処理区処理場 (H10年度設計)	タイプ4	—	—	耐震対策済
A処理区ポンプ場1 (H10年度設計)	タイプ4	—	—	耐震対策済
A処理区ポンプ場2 (H8年度設計)	タイプ2	3	10	

※平均被害率および最大被害率の定義は管路施設と同じ

## 3. 計画の目標設定

既存施設の耐震対策は、地震時において下水道が有すべき機能に応じて、短期、中期、長期の段階的な防災目標を設定した。

#### ①短期の目標（5年）

下水道システムとして重要な施設について、耐震性能の向上を図り、下水を流す、溜める、処理するという基本的な機能の確保を目指す。

#### ②中期の目標（10年）

短期の目標に対する耐震対策との連携を図りつつ、長期の目標に向けて、改築更新時期を待たずに優先的に耐震化を図るべき重要な施設について、耐震性能の向上を図り、基本的な機能の確保を目指す。

#### ③長期の目標（20年）

短期、中期の目標で対象外となった施設について、レベル1地震動およびレベル2地震動の各地震動に応じた耐震性能を確保する。

## 4. 耐震対策の優先順位

### (1) 管路施設

既存管路施設の耐震対策の優先度は、被害想定の結果を

活用し、被害の箇所、程度を推定して優先順位の検討を行った。

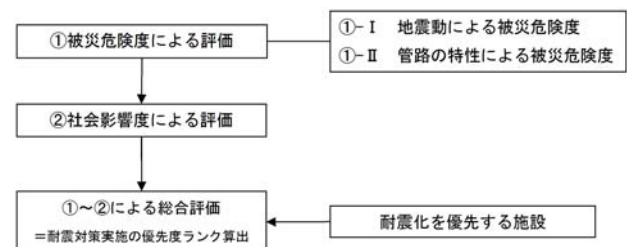
#### 1) 優先度の判断方法

耐震対策の優先度選定においては、総合的に評価する方法と対策を優先すべき条件による評価を「図－5優先度の判断方法のフロー」により行った。

①幹線管路が想定する地震動で被災する危険性(以下、被災危険度)と被災した場合の社会的な影響の程度(以下、社会影響度)の両方を考慮して優先度を決定する。

②被災危険度、社会影響度とも、優先度を評価する項目(例:震度や管種等)を設定し、点数付けを行い定量的な評価を行う。

③上記の被災危険度や社会影響度の総合評価に関わらず耐震化を優先すべき管路については、無条件で最高の優先度ランクとする。



図－5 優先度の判断方法のフロー

#### 2) 優先度の設定

表－4に整理した評価項目毎に加点し、総合評価点を用いて優先度ランクⅠ～Ⅳに分類する。

表－4 各視点の評価項目

視 点	評価項目
①－Ⅰ 地震動による被災の危険度	・ 震度 ・ 液状化危険度
①－Ⅱ 管路特性による被災の危険度	・ 設計年度 ・ 管種 ・ 工法 ・ 土被り ・ 圧送の有無
② 社会的影響	広域活動の確保 ・ 緊急輸送路
	重要なインフラ ・ 軌道横断 ・ 河川横断
	二次的被害 ・ 管径 ・ 圧送管路 ・ 防災拠点
③ 耐震化を優先する管路	・ 処理場への直結管路

### 3) 優先度の判定結果

被災危険度と社会影響度から総合的に評価した優先度ランクに基づいて耐震化実施の優先順位, すなわち短期計画, 中長期計画のいずれで実施するかを判定するものとする。なお, 耐震化を優先する管路として, 処理場の流入渠へ直結している幹線管路は, 総合点数によるランクの如何に関わらず優先度ランク I 同様の優先順位とした。

表-5 に重要な幹線等の延長集計, 図-6 および表-6 に優先度の判定結果を示す。

表-5 重要な幹線等の延長内訳

管路定義		延長(m)	備 考
特に重要な幹線等の延長			
①	防災拠点ルート	12,814	広域避難地含む
②	軌道横断	296	J R
③	緊急輸送路 車道部横断	6,114	
④	緊急輸送路	8,572	
⑤	ネットワーク管路	0	対象管路なし
⑥	吐口直結幹線管路	0	対象管路なし
重要な幹線等の延長			
⑦	流域幹線管路	0	対象管路なし
⑧	処理場・ポンプ場直結管路	173	
⑨	河川横断	2,884	一級河川横断
⑩	避難所ルート	21,654	収容避難所
⑪	システム管路	20,239	圧送管路
⑫	主要な管路	26,622	20ha 以上
重要な幹線		合計	99,368
		重複管渠	36,344
		重複なし	63,024
その他の管路		206,532	
総延長(下水道台帳)		269,556	

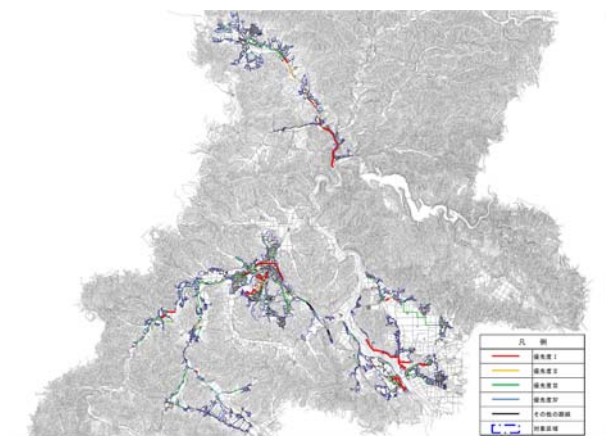


図-6 優先度ランク (管路施設)

表-6 優先度ランク別管路延長集計表

管路定義		延長(m)	割合	備 考
①	優先度 I	12,455	4.6%	短期計画
②	優先度 II	8,857	3.3%	中長期計画
③	優先度 III	29,176	10.8%	
④	優先度 IV	11,882	4.4%	
⑤	耐震化済管路	654	0.2%	計画対象外
⑥	その他の管路	206,532	76.6%	
総延長(下水道台帳)		269,556	100.0%	

### (2) 処理場・ポンプ場施設

処理場・ポンプ場施設における耐震対策は, 当面の目標として「レベル2 地震動」に対応させるものとし, 施設の被害想定や, 被害の箇所, 程度を推定して優先順位の検討を行った。

#### 1) 施設設計時期からみた耐震化対象施設

##### ① 建築構造物

兵庫県南部地震や新潟県中越地震に対して, 昭和 56 年改正の建築基準法:「新耐震基準」で設計・建設された建築構造物の被害例はほとんどない。したがって, 耐震対策としての範囲としては, 昭和 56 年以前に設計された建築構造物を対象とする。

##### ② 土木構造物

平成 9 年度に「下水道施設の耐震対策指針と解説 1997 年版」が刊行され, 新潟県中越地震以降の平成 18 年度に改訂された「下水道施設の耐震対策指針と解説 2006 年版」においても, 土木構造物の耐震設計手法は, 「1997 年版指針」を踏襲している。したがって, 平成 9 年以降に設計された土木構造物については, 耐震性能に問題はないものと判断され, 平成 8 年以前に設計された土木構造物を対象とする。

表-7 施設設計時期からみた耐震化対象施設

施設区分	耐震化対象施設
建築施設(複合施設含)	昭和 55 年以前に設計した施設
土木施設(複合施設含)	平成 8 年以前に設計した施設

#### 2) 処理場の優先順位の設定方針

地震時に処理場施設に求められる最優先の対策は, 人命の確保(安全衛生機能・避難機能の確保)である。また, 下水道施設に求められる機能は, 揚水機能や消毒機能, 沈殿機能, 汚泥貯留機能等の優先度が高く, 次にこれ以外の水処理機能やその他の機能である。

##### ① 人命の安全確保

今回対象の管理棟等の建築構造物は, すべて新耐震以降の設計であるため耐震性能は高いと考える。よって

該当する施設はない。

## ②二次災害の防止

処理場では、塩素系の各種薬品類を使用する施設を有しており、地震時の漏えい等による二次災害を引き起こす可能性が高いと想定されるので、消毒設備の耐震対策を行う。

## ③処理場機能の維持

地震被災時に住民の視点に立った処理場が有すべき機能は、トイレ使用の確保、生活空間での汚水の滞留防止、未処理下水の流出に伴う公共水域の汚濁防止等である。処理場機能の維持については、地震被災時においても下水排除機能に最低限の沈殿処理の機能を確保するように耐震対策を行う。

表－8 耐震対象施設の優先順位（処理場）

優先順位	選定要因	主要対象施設
優先度Ⅰ	・人命の安全確保	・該当なし
	・二次災害の防止	・消毒設備
	・下水排除機能の維持 ・最低限の沈殿処理	・流入渠 ・放流渠 ・分配槽
優先度Ⅱ	・下水処理機能の維持	・水処理施設

## 3)ポンプ場の優先順位の設定方針

ポンプ施設における耐震化については、基本的に処理場と同じ考え方とする。

表－9 ポンプ施設が確保すべき機能

優先順位	選定要因	主要対象施設
優先度Ⅰ	・人命の安全確保	・該当なし
	・二次災害の防止	・該当なし
	・揚排水機能の確保	・ポンプ場施設

## 4)優先度の判定結果

処理場・ポンプ場施設における耐震対策は、表－2の被害想定を参考に耐震診断の優先順位を決定した。

表－10 処理場・ポンプ場の耐震化優先度

優先度	施設名	被害タイプ	備考
短期計画	C処理区処理場	タイプ2	
	A処理区ポンプ場2	タイプ2	
中期計画	D処理区処理場	タイプ3	2/2系耐震対策済
長期計画	B処理区処理場	タイプ4	
	E処理区処理場	タイプ4	2/2系耐震対策済
	F処理区処理場	タイプ4	耐震対策済
	A処理区ポンプ場1	タイプ4	耐震対策済

## 5. 下水道防災計画

### (1) 短期計画

#### 1)管路施設

管路施設における防災対策として、優先度判定で優先度ランクⅠと評価された管路（L=12,455m）は、極めて緊急性が高いため、短期計画の期間内に効果的な耐震対策を実施する。

詳細な耐震診断を行い、必要に応じて下記の対策を行う。

- ①マンホールと管路との接続部における可とう性継手の設置
- ②マンホール上部側塊継手の補強
- ③浅層に位置する管渠の液状化対策として「管渠浮上抑制対策」実施

#### 2)ポンプ場・処理場施設

A市公共下水道の処理場およびポンプ場施設は、現在までに耐震診断の実施がなされていないため、まず簡易診断を実施し、耐震性能を評価する。簡易診断のみで耐震性能の評価が困難な場合は、詳細診断により耐震性能を評価する必要がある。耐震診断の結果をもとに、必要に応じて耐震対策を行う。

短期計画の対象となる施設は、被害タイプで1～2と判定されたC処理区処理場およびA処理区ポンプ場2とした。表－11に対象施設と耐震対策を示す。

表－11 処理場・ポンプ施設の耐震対策

施設名	要求機能	対策
C処理区処理場	①揚水機能の確保	・流入渠、放流渠の接続部における可とう性継手の設置
	②消毒機能、沈殿機能の確保	・処理槽の耐震化
	③汚泥処理機能の確保	・管理棟（土木構造部）の耐震化
A処理区ポンプ場2	①揚水機能の確保	・流入渠、放流渠の接続部における可とう性継手の設置 ・ポンプ棟（土木構造部）の耐震化

### (2) 中期計画

中長期計画は、耐震化を計画的・効率的にするために、地震対策の実施状況を勘案しつつ、中期・長期の目標を達成するための対策を立案し、実施スケジュールを定める。

以下に実施内容を示す。

#### 1) 管路施設

中期計画では優先度判定で優先度ランクⅡと優先度ランクⅢ・Ⅳのうち、被災時に社会的影響の大きい

1 級河川、鉄道、緊急輸送路を横断する路線について耐震対策を実施する。

対策内容については短期計画と同様とする。

## 2) 処理場・ポンプ場

中期計画の対象施設について、耐震診断を実施する。

耐震診断の結果をもとに、必要に応じて耐震対策を行う。

## (3) 長期計画

長期計画では、改築時期に合わせての耐震化も視野に入れる。また、社会情勢の変化や耐震化技術の進歩等により、必要に応じて計画の見直しが必要である。

## 1) 管路施設

長期計画では優先度判定で優先度ランクⅢおよび優先度ランクⅣの路線について耐震対策を実施する。

対策内容については短期計画と同様とする。

## 2) 処理場・ポンプ場

長期計画の対象施設について、耐震診断を実施する。

耐震診断の結果をもとに、必要に応じて耐震対策を行う。表-12に防災計画のスケジュールを示す。

表-12 防災計画スケジュール

事業内容		短期	中期	長期	備考
管路施設	耐震診断・設計	■	■	■	調査後、1～3年以内に耐震補強を実施する
	防災拠点避難所等の排水を受ける管路の補強	■	■	■	
	軌道横断河川横断緊急輸送路下等の管路の補強	■	■	■	
処理施設	耐震診断・設計	■	■	■	5 処理場 短期計画 ・ C 処理区処理場 中期計画 ・ D 処理区処理場 長期計画 ・ B 処理区処理場 ・ E 処理区処理場 ・ F 処理区処理場
	施設の耐震設計・耐震工事	■	■	■	
	流入渠・放流渠可とう管化	■	■	■	
ポンプ施設	耐震診断・設計	■	■	■	2 ポンプ場 短期計画 ・ ポンプ場 2 長期計画 ・ ポンプ場 1
	施設の耐震設計・耐震工事	■	■	■	
	流入渠・放流渠可とう管化	■	■	■	

## 6. 下水道減災計画

下水道の減災計画は、下水道施設の被害による社会的影響を最小限に抑制し、速やかに要求機能を確保することを目的として、防災計画と整合を図った計画とする必要がある。以下に計画内容を示す。

### (1) 下水道 BCP の策定

#### 1) 管路施設

・緊急対応、人員配置、復旧手順等を定めた対応マニュアルの策定

#### 2) 処理場・ポンプ場施設

・緊急対応操作、消火活動、人員配置、簡易放流対応から通常処理への復旧手順等を定めた対応マニュアルの策定

### (2) マンホールトイレ

災害用トイレ対策として、各収容避難所にマンホール

トイレを設置する。各処理区内の最大規模の避難所を短期計画で整備し、その他の避難所を中長期計画で整備する。

表-13にマンホールトイレ設置基数を示す。

表-13 マンホールトイレ設置基数

整備区分	設置対象施設	収容人数(人)	仮設トイレ基数(基)
短期計画	6 施設	8,057	83
中長期計画	8 施設	11,190	116
合計	14 施設	19,247	199

トイレ設置基準：100 人/基

### (3) その他の減災対策

- ①下水道台帳、施設台帳の整備及びそのバックアップ
- ②可搬式ポンプ、仮配管等復旧資機材の調達方法の確保
- ③関係機関との協定・連絡網の構築
- ④移動脱水車による汚泥処理(民間団体との協定)

表-14に減災計画のスケジュールを示す。

表-14 減災計画スケジュール

事業内容	短期	中期	長期	備考
マンホールトイレシステム設置	■	■	■	・マンホールトイレの設置 ・下水道BCPの策定等
下水道BCP策定	■	■	■	
その他減災対策計画の実施	■	■	■	

## あ と が き

本業務の遂行や論文の作成にあたり、ご指導ご協力いただきました方々に、深く感謝申し上げます。

平成 23 年の東北地方太平洋沖地震以降も平成 28 年の熊本地震発生など、いつどこで大規模地震が発生してもおかしくない状況において地震対策の重要性が増している。

早期の地震対策として、選択と集中による効果的な整備と地域の実情や被害想定を踏まえたソフト対策が急務であると考えます。

## 参 考 文 献

- 1) 下水道の地震対策マニュアル 2014 年版, 公益社団法人日本下水道協会. 398p
- 2) 大規模地震による被害想定手法及び想定結果の活用に関するマニュアル平成 18 年 3 月, 大規模地震による下水道被害想定検討委員会
- 3) 京都府: 近畿圏における大規模地震に関する共同研究, 平成 19 年度



## 伊豆半島における観光期の道路を賢く使う取り組み

八千代エンジニアリング(株) ○ 藤 間 翔 太

### 論文要旨

伊豆半島では、ゴールデンウィークや夏休みを中心とした観光期において、主要な幹線道路等で渋滞が発生している。観光期は、交通需要が突出するため、道路整備によるハード対策とあわせ、「道路を賢く使う」取り組みとして、ソフト対策を検討することが重要な課題であった。

東駿河湾環状道路(沼津 IC 方面)の登坂部を対象に、大型看板による速度低下抑制情報提供と速度回復促進情報提供による渋滞対策実験の効果検証を行った結果、低速車両の割合が低下する等の効果を確認した。また、その他取り組みとして、伊豆スカイラインの料金割引を行った結果、同道路の交通量増加と、国道 135 号からの転換を確認した。

キーワード：道路を賢く使う、ソフト対策、サグ、速度低下対策、料金割引

### まえがき

伊豆半島では、ゴールデンウィークや夏休みを中心とした観光期において、主要な幹線道路等で渋滞が発生している。これは、伊豆半島の観光地としての魅力に起因した交通需要の多さと、道路の交通容量に課題があり、これらを踏まえた渋滞対策が求められている。特に、観光期は交通需要が突出するため、道路整備によるハード対策とあわせ、「道路を賢く使う」取り組みとして、ソフト対策を検討することが重要な課題であった。

本稿では、伊豆半島の玄関口で、主要な幹線道路である東駿河湾環状道路(沼津 IC 方面)の登坂部を対象に、民間プローブデータと ETC2.0 プローブ情報を活用した渋滞状況分析を行い、当該道路の渋滞状況を俯瞰した上で、大型看板による速度低下抑制情報提供と速度回復促進情報提供による渋滞対策実験の効果検証を行う。また、その他取り組みとして、伊豆スカイラインの料金割引の効果検証について報告するものである。

### 1. 東駿河湾環状道路の渋滞状況分析

ここでは、民間プローブデータと ETC2.0 プローブ情報を用いて東駿河湾環状道路(沼津 IC 方面)の渋滞状況分析を行い、当該道路の渋滞状況を俯瞰する。

#### (1) 対象区間の概要

東駿河湾環状道路は、伊豆縦貫自動車道の一部を構成し、沼津岡宮 IC から函南塚本 IC まで 16.8km が開通している(図-1)、東名高速道路の沼津 IC、新東名高速道路の長泉沼津 IC と接続し、伊豆半島の玄関口となっている。また、平成 26 年 2 月 11 日に三島塚原 IC～函南塚本 IC が開通し

たことで、三島市街を迂回する都市圏環状道路として機能している。

本稿で対象とする区間は、沼津 IC 方面(北方向)へ向かう下り線の、大場・函南 IC から、三島玉沢 IC を経由して、三島塚原 IC までである。

#### (2) 曜日別渋滞発生パターン分析

民間プローブデータより作成した休日の渋滞モザイク図の一例を図-2 に示す。図は平成 27 年 10 月 25 日(日)の例であり、大場・函南 IC 先の登坂部が、速度 10~30km/h を示し渋滞先頭地点となっている。また、それより先は 30~40km/h の速度域であり、渋滞回復路を示している。休日に発生する渋滞の大部分は、大場・函南 IC 付近を渋滞先頭地点とするこのパターンであり、本稿ではこのボトルネックを対象とする。



図-1 東駿河湾環状道路の位置図

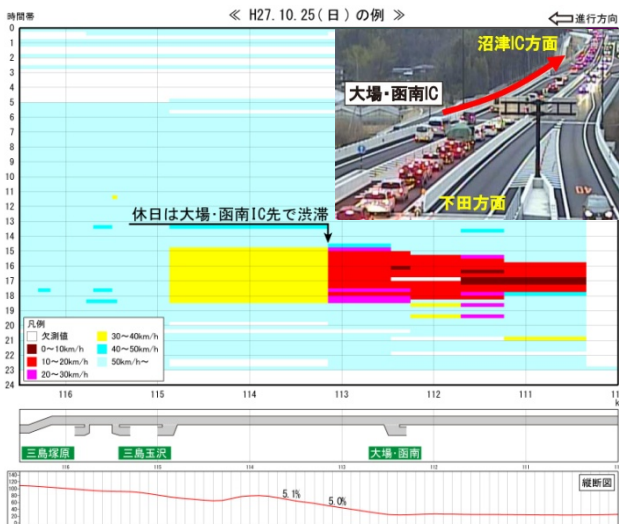


図-2 休日の渋滞発生パターン(渋滞モザイク図)

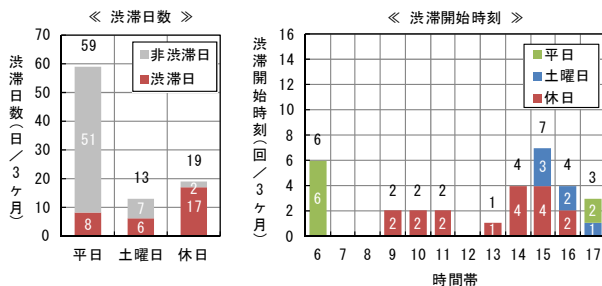


図-3 対象ボトルネックの渋滞日数と渋滞開始時刻  
(H27.9~11)

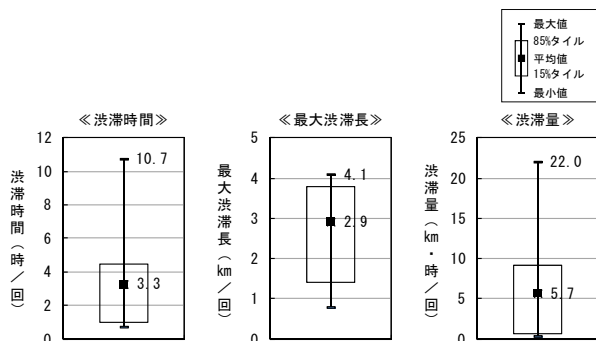


図-4 対象ボトルネックの渋滞諸元(H27.9~11)

なお、紙面の都合上割愛するが、平日はさらに下流の三島玉沢 IC 合流部付近が、渋滞先頭地点である。

### (3) 渋滞状況分析

平成 27 年 9~11 月の 3 ヶ月を対象に、民間プローブデータより渋滞モザイク図を描画し、渋滞状況を日別に判読した。具体的には、渋滞先頭地点(ボトルネック位置)、渋滞開始/終了時刻、最大渋滞長を判読した。民間プローブデータの制約上、時刻は 15 分ピッチであり、渋滞先頭地点と渋滞長は DRM リンク端の位置に依存する。

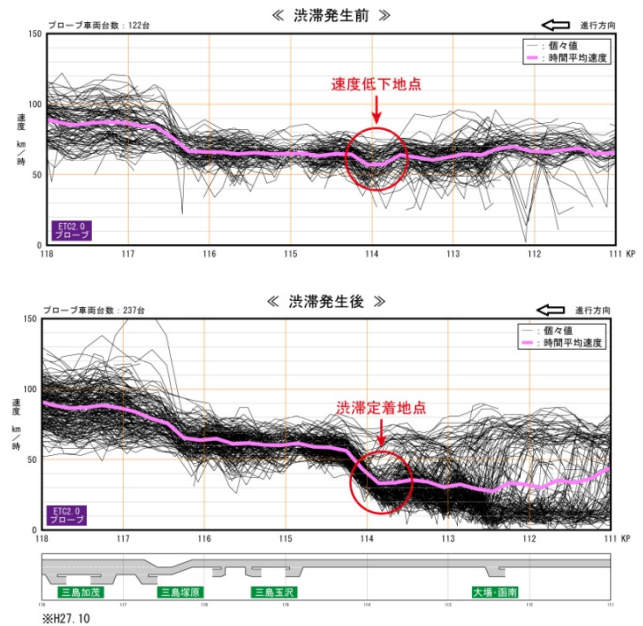


図-5 対象ボトルネックの速度プロファイル

渋滞開始/終了時刻、最大渋滞長を判読した。民間プローブデータの制約上、時刻は 15 分ピッチであり、渋滞先頭地点と渋滞長は DRM リンク端の位置に依存する。図-2 に示す渋滞モザイク図の描画範囲は、全 13DRM リンクで構成し、リンク長は 54~1,723m (平均 559m) である。また、前述の通り 30~40km/h の速度域が渋滞回復流を示していることから、30km/h 以下を渋滞と定義した。

対象ボトルネックの渋滞日数と渋滞開始時刻を図-3 に示す。対象ボトルネックでは、休日の 9 割(=17/19)の日で渋滞が発生している。土曜日は半分(=6/13)の日で、平日でも稀に(=8/59)渋滞が発生している。また、土曜日と休日の渋滞は 14~16 時台に多く発生している。

次に、対象ボトルネックの渋滞諸元を図-4 に示す。平均渋滞時間は 3.3 時間/回であるが、最も長い時は 10.7 時間である。また、平均最大渋滞長は 2.9km/回であるが、最も長い時は 4.1km である。このように渋滞が多く発生しており、渋滞対策の必要性を改めて確認した。

### (4) ボトルネック位置分析

民間プローブデータでは、渋滞先頭地点が DRM リンク端の位置でしか把握できない。そのため、詳細なボトルネック位置を把握することが不可能であり、渋滞対策を検討する上で、課題となっていた。

そこで、ETC2.0 プローブ情報より詳細なボトルネック位置の把握を試みた。具体的に、1) 高密度時の速度低下状況を分析するため、渋滞発生前 2 時間以内にボトルネック地点を通過した車両を日別に抽出し、速度プロファイルを描画するとともに、2) 渋滞定着地点を分析するため、渋滞発生後にボトルネック地点を通過した車両を日

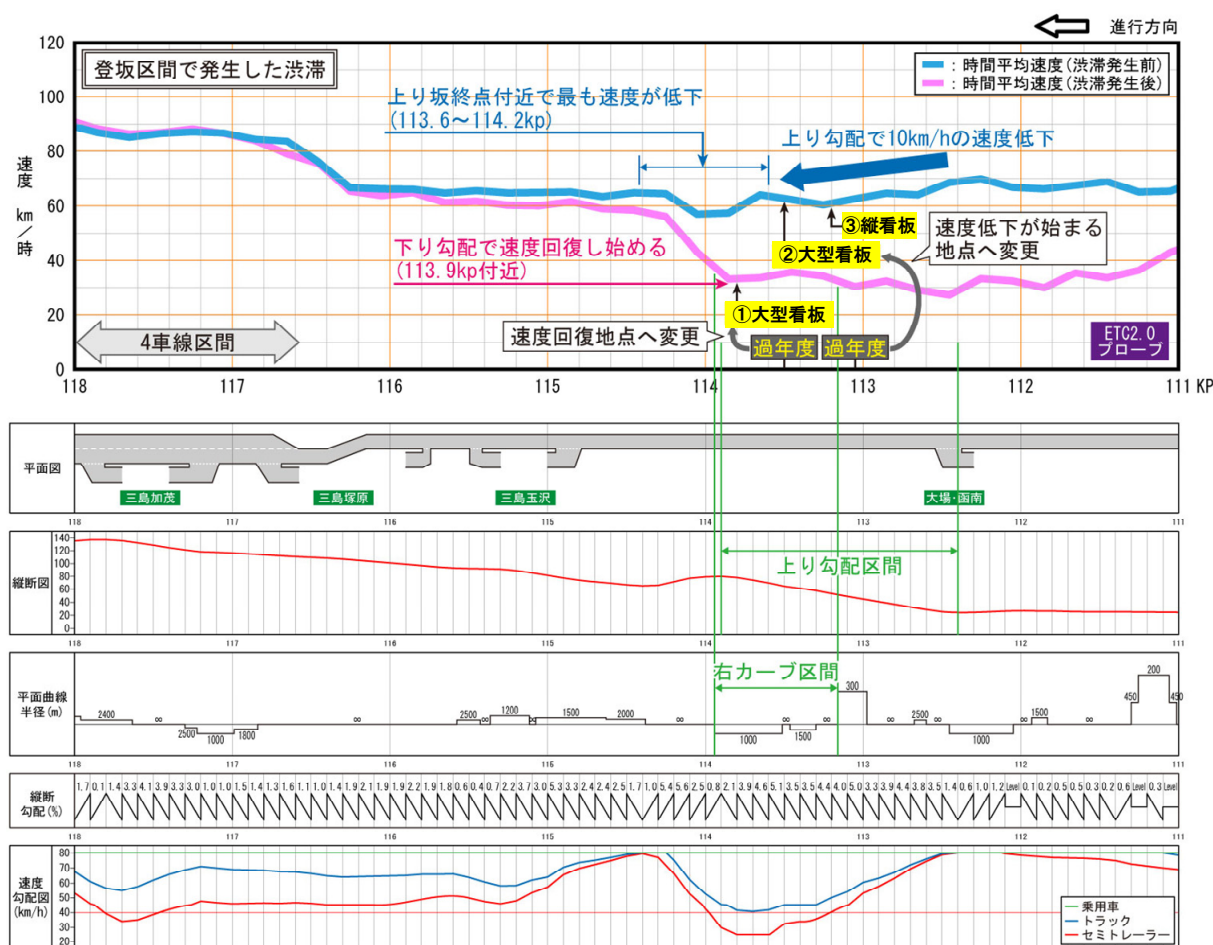


図-6 ボトルネック位置と看板設置位置

別に抽出し、速度プロファイルを描画した。

図-5 は、対象ボトルネックの速度プロファイルを渋滞発生前と渋滞発生後に区分したものである。図中の黒線には、個々の車両の速度変動を表わしており、ピンク線はこれら個々の車両の時間平均速度である。このボトルネックは、登坂部で速度低下し、上り坂から下り坂に差し掛かる 113.9kp 付近が渋滞定着地点（ボトルネック位置）である。ETC2.0 プローブ情報は、民間プローブデータに対して空間分解能が細かい、同データを利用することで、詳細にボトルネック位置を特定できた。

### 3. 東駿河湾環状道路の渋滞対策実験の効果検証

#### (1) 渋滞対策実験の概要

「道路を賢く使う」取組みとしての渋滞対策は、大型看板による情報提供を検討した。中谷ら 1)、竹内ら 2)、山田ら 3)は路肩に LED 標識を設置し、渋滞先頭地点を知らせるとともに、速度回復を促す情報を提供したところ、渋滞発生後捌け交通量（渋滞中の交通容量）が 4～7%増加することを明らかにした。情報によって緩慢になったアクセルワークを是正し、加速を促すことで渋滞発

生後捌け交通量の増加を狙ったものである。

本実験はこれを援用したものであり、当該箇所において H26 年、H27 年はサグ部の上り坂に LED 表示板を設置する実験を実施し、H28 年度は大型看板を恒久的に設置した。図-6 に示す①、②、③の地点に大型看板を設置した。大型看板は、ETC2.0 プローブ情報で分析した渋滞発生前の速度低下地点と渋滞発生後の渋滞定着地点より上流の位置から選定した。③は急な縦断勾配地点で、「車間距離キープ」と表示することで車間距離が短くなり、ブレーキ踏むことを防ぎ、②は速度低下が始まる地点手前で「上り坂速度低下注意」と表示することで速度低下を抑制し、①は上り勾配終了地点手前で、「速度回復願います」を表示した。言葉の通り、②は登坂部の速度低下を抑制し、①は速度回復を促すものである。その他、H26 年度から 112 キロポスト付近に「この先 1km 上り坂/速度低下注意」と記載した縦型の SL 板を設置した。また、時間分散を図るため、沼津 IC 方面の上流に位置する伊豆中央道の料金所で、下田方面利用者に対して、当該区間の渋滞状況を示したビラを配布し、帰路（沼津 IC 方面）利用時の参考にしていただいた。



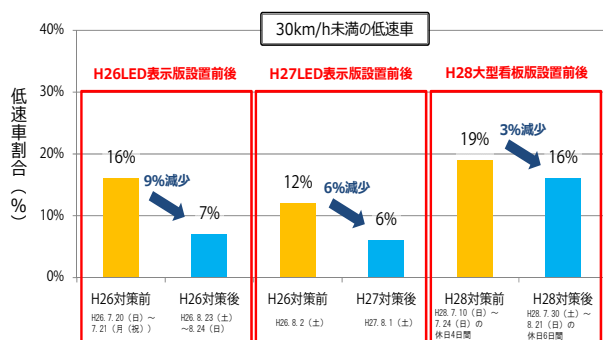


図-7 地点Cの低速車両割合（休日）

## (2) 低速車両の発生割合

図-7は、各地点の低速車発生割合である、30km/h未満の発生割合をみると、地点Cの大型看板設置後に低下している。また、20km/h未満の発生割合も低下している。本実験は、速度低下防止と速度回復促進を狙ったものであるが、狙い通り渋滞発生後の速度回復が促進された可能性を改めて確認した。

## 4. その他取組みの紹介

ここでは、その他取組みとして、伊豆スカイラインの料金割引による国道135号の渋滞対策について紹介する。

### (1) 料金割引の概要

伊豆スカイラインでは、静岡県道路公社と静岡県が主体となり、富士山の日（2月23日）を含む平成28年2月19日～28日の10日間において、通行料金割引キャンペーンを実施した。具体的には全車種・全区間で、上限200円とした（普通車は全線利用で通常980円のため780円の得になる）。これは、河津桜まつり等早春イベントの開催により渋滞が想定される国道135号から、当該道路への交通量の転換を促し、混雑緩和を期待したものである。



図-8 伊豆スカイラインと国道135号の位置図

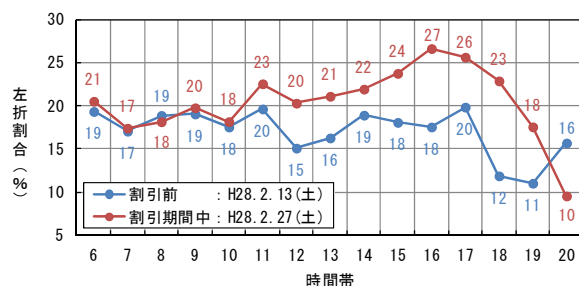


図-9 伊豆スカイライン方面への交通量の変化  
（中大見口交差点）

## (2) 交通量の変化分析

割引期間中における伊豆スカイラインの平均日交通量は、平日が2,511台/日、休日が6,383台/日であった。平日は通常時の1.3倍、休日は1.9倍であった。

割引期間中に中大見口交差点で交通量調査を実施した（図-8）、当該交差点は南の河津町より国道135号を北上した地点であり、左折して約10kmの位置に伊豆スカイライン天城高原料金所がある。図-9の左折割合をみると、11～19時台の東京方面へ帰路につく時間帯は、割引前に比べて割引期間中に高く、国道135号から伊豆スカイラインに転換があった可能性を示唆している。

## 5. まとめ

東駿河湾環状道路（沼津IC方面）の大型看板による渋滞対策は、速度向上効果があったことを確認した。

## あ と が き

本業務では、簡易的に交通状況を把握できるモバトラを使用したことから、より正確な交通容量の増加効果が不明である。事前調査時より、数日を対象にVTR調査等で、その効果を明らかにしていくことが重要と考える。

最後に本稿を作成するにあたり、ご指導・ご助言を賜りました関係各位には、心より感謝申し上げます。

## 参考文献（または引用文献）

- 1) 中谷了, 皆方忠雄, 佐藤久長, 市川昌: 渋滞巻き込まれ時間を考慮したLED標識による速度回復情報提供の効果検証, 第25回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 173-176, 2005.
- 2) 竹内利夫, 佐藤久長, 皆方忠雄: 高速道路渋滞対策の最前線—サグ部の速度低下による渋滞の緩和を目指して—, 土木学会誌, Vol. 91, No. 5, pp. 60-63, 2006.
- 3) 山田芳嗣, 阿部重雄, 長瀬博紀: LED表示板を活用した渋滞対策について, 第23回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 205-208, 2003.



## 商用車プローブデータから見る臨海地域の貨物車動向に関する一考察

(株) ニュージェック ○ 藤村 一雄

(株) ニュージェック 内田 達夫

### 論文要旨

本研究は、交通状況を客観的に把握できるプローブデータ(車の位置・時間情報等を集積したデータ)を用いた交通解析のニーズが高まる中、ETC2.0とは特性が異なる、商用車(大型車)に特化したプローブデータの活用方策として、道路整備による経路転換状況を、広島市臨海部を対象として解析し、その適用性について研究したものである。

**キーワード:** ビッグデータ、民間プローブデータ、商用車プローブ、整備効果分析

### まえがき

限られた予算の中で効率的な道路整備を行うために、交通状況を的確に捉え、課題を把握した上で、その地域に適した対策を講じていくことが要請されている。渋滞対策等の検討については、交通状況を客観的に把握できるプローブデータ(車の位置・時間情報等を集積したデータ)が基礎情報として用いられている。これまでは、行政が特定の調査日に車を走らせて取得した「官のプローブデータ」を利用していたが、平成22年度以降は民間企業が取得したプローブデータ(民間プローブデータ)を活用できるようになり、通年・24時間・複数台数のデータであることから実際の交通状況に近いデータが得られている。また、個別車両データの挙動を解析することで交通事故対策等へ活用するなど、データの活用方法の進展もみられる。

このような中、本研究は、民間プローブデータのひとつである商用車プローブデータ※1)(ネットワーク型デジタルに掲載されている情報をもとに蓄積されたデータ)をもとに、特定地区内の道路供用前後における車両の動きに関する分析への活用について実用面での適用性について研究したものである。

### 1. 商用車プローブデータの概要

#### (1) データの特徴

商用車プローブデータはタコグラフ装着義務化の対象となっている貨物自動車のうち、デジタル化対応済み車両のデータであり、大型車・中型車を中心とした物流貨物車両が主体のデータとなる。

#### (2) データの蓄積

平成24年から蓄積が始まり、平成26年8月現在で約4万台の車両データが対象となっており、タコグラフ装着義務化対象車両約80万台の5%に相当するデー

タである。

#### (3) 分析に使用したデータ

今回の検討では、図-1に示す範囲である広島臨海部を東西に通過する広島南道路の供用前後(平成26年3月:吉島~商工センター間供用)における流動変化を捉えるべく、平成26年2月及び平成27年2月のデータを対象とした。データは2次メッシュ単位、1ヶ月単位で取得しており、データ取得の範囲及び対象データ量は図-2に示す通りである。



図-1 広島南道路と広島臨海地区

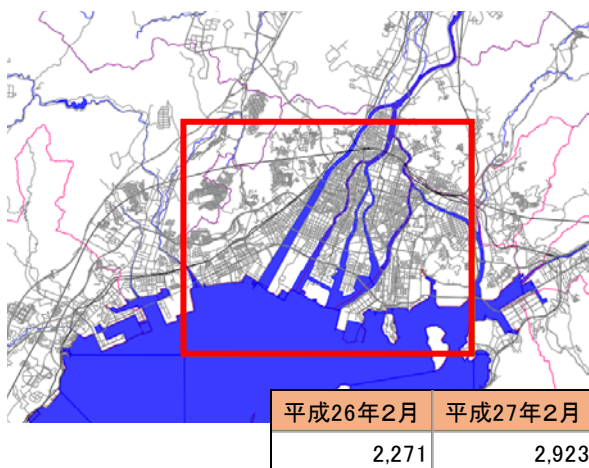


図-2 データ取得範囲と車両数

## 2. 使用するデータの汎用性

使用するプローブデータについて、貨物車両を代表する動きと捉えて問題ないか、図－3に示す太田川渡河断面における東西方向の断面交通量を既存交通量観測結果（センサス交通量※2）と比較して確認した。



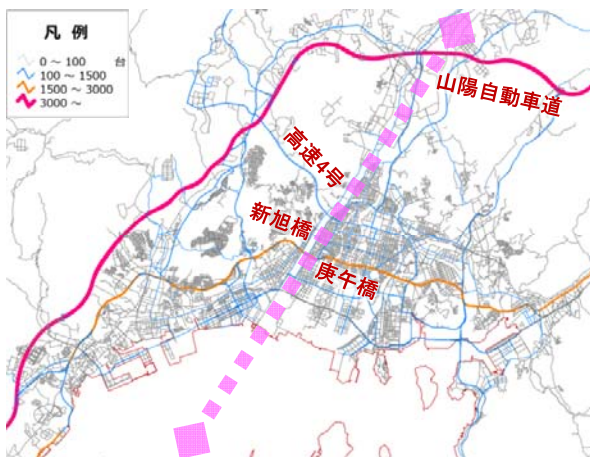
図－3 太田川渡河断面

その結果、広島南道路供用前の状況について、平成22年度道路交通センサスの大型車と比較すると、太田川渡河断面の路線間分担率は、表－1に示す通り、山陽自動車道と庚午橋での分担率に若干の相違は見られるものの、東西方向の流動としてはほとんど同様の傾向を示しており、広島臨海部における東西方向の貨物車両を代表しているものと捉えて問題は無いと判断した。図－4には太田川渡河断面を利用した商用車の交通量を示す。

表－1 代表断面における分担率

	H22年センサス			商用車プローブ	
	車種計	大型車	出現率	データ数	出現率
山陽道	51,558	21,634	52%	9,389	58%
高速4号線	18,121	904	2%	393	2%
新旭橋(国道2号)	102,049	11,593	28%	4,623	29%
庚午橋	56,603	7,740	18%	1,803	11%
	228,331	41,871	100%	16,208	100%

※商用車プローブはH26年2月のデータ



図－4 太田川渡河断面の利用状況（平成26年2月）

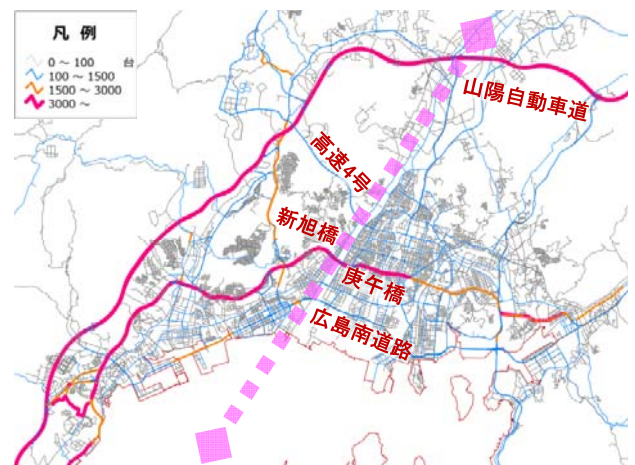
## 3. 広島南道路整備による変化

### (1) 全データを対象とした分析

取得した平成26年2月及び平成27年2月のすべてのデータを対象として、広島南道路整備後のデータ分析を行った。太田川渡河断面における路線間分担率を比較すると、表－2に示すように、新たに供用した広島南道路に約9%出現しており、その結果、すべての断面で分担が変化したと見られ、1路線増えたことによる効果が大きく出たと捉えられる。さらに、比較対象となるデータが162百トリップから259百トリップと1.6倍に増加しており、新たな交通の発現もしくは車両の増加も見てとれる。図－5には太田川渡河断面を利用した商用車の交通量を示す。

表－2 代表断面における分担率の変化

全データを対象	H26年2月		H27年2月	
	車種計	出現率	データ数	出現率
山陽道	9,389	58%	11,266	44%
高速4号線	393	2%	1,231	5%
新旭橋(国道2号)	4,623	29%	9,152	35%
庚午橋	1,803	11%	1,857	7%
広島南道路			2,370	9%
	16,208	100%	25,876	100%



図－5 太田川渡河断面の利用状況（平成27年2月）

なお、広島南道路を利用した流動は図－6に示すとおり、主に次の経路に分類される。

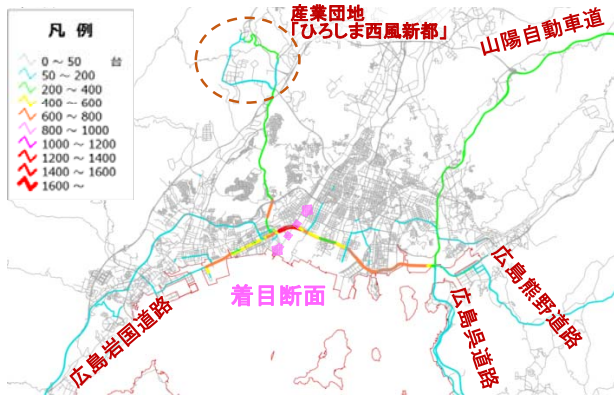
#### ① 東部地域との流動

国道2号の他、山陽自動車道や広島熊野道路（県道34号）、広島呉道路（国道31号）と広範囲である。

#### ② 西部地域との流動

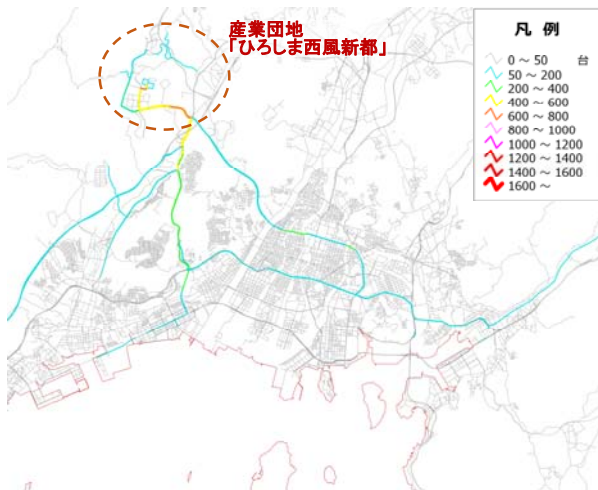
地形的に臨海部に絞られており、国道2号や広島岩国道路との関連のほか、市内西北部の産業団地「ひろしま西風新都※3」との流動がみられる。



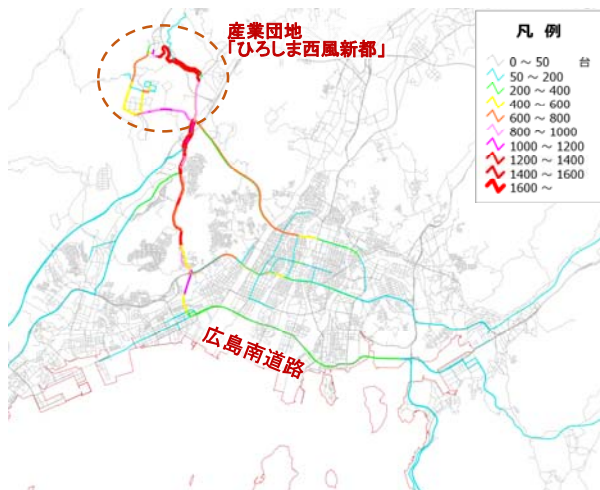


図－6 広島南道路利用の主な路線

産業団地「ひろしま西風新都」から広島南道路を利用する流動が確認されたため、「ひろしま西風新都」南東側断面の2路線に着目し、整備前後における流動変化を確認した(図－7, 8)。これにより、広島南道路供用後には、高速4号線や国道2号から広島南道路へ変化していることが確認できた。



図－7 産業団地「ひろしま西風新都」の利用経路  
(広島南道路供用前：平成26年2月)



図－8 産業団地「ひろしま西風新都」の利用経路  
(広島南道路供用後：平成27年2月)

## (2) 同一IDのみを対象とした分析

全データを対象とした分析では、1年弱の間にトリップ数が1.6倍に増加しており、路線間分担率の変化が広島南道路供用に伴う変化なのか、デジタコ搭載車両数の増加によるものなのかが不明確であることから、対象車両を、整備前後どちらにも出現する同一IDのみに限定して分析を行った。この場合、表－3に示すように臨海部に近い新旭橋(国道2号)より南側2路線が主に広島南道路に変化したと捉えられ、前述の全データを対象とした場合よりも、より具体的な傾向が把握できた。

表－3 代表断面における分担率の変化(同一IDのみ)

同一車両ID での分析	H26年2月		H27年2月	
	車種計	出現率	データ数	出現率
山陽道	7,451	53%	6,796	51%
高速4号線	372	3%	264	2%
新旭橋(国道2号)	4,623	33%	3,827	29%
庚午橋	1,662	12%	1,121	8%
広島南道路			1,258	9%
	14,108	100%	13,266	100%

## あ と が き

今回の検討では、今後活発に活用することになるビッグデータについて、道路整備前後における流動変化を捉えることにより整備効果等への分析に活用できないかトライアルしたものである。道路整備による流動の変化や圏域の拡大といった整備効果分析の一つのツールとしての活用ができるものとする。

但し、当該データはデジタコの搭載車両数が年々増加しており、サンプル数が増加することで多様な動きを捕まえることが可能となってきた一方で、サンプル数の極端な増加が変化を紛らわしくするなどの課題があるため、純粋な変化を確認するには、データの抽出と絞り込みに注意が必要となることがわかった。

今後、実務において容易に分析できるよう、多様なデータ抽出視点を考慮した解析ツールを開発していくことが課題と考えている。

## 参 考 資 料

- 1) 株式会社 富士通交通・道路データサービス取扱
- 2) 平成22年度全国道路・街路交通情勢調査
- 3) 産業団地「ひろしま西風新都」：複合機能を備えた人口8万人規模の新たな都市拠点として整備が進められている地区の産業流通機能をもつ地区。

## 弾道シミュレーションを用いた飛球防護施設の移設計画

協和設計株式会社 加賀 浩也

### 論文要旨

ゴルフ場に隣接する一般有料道路の拡幅工事にあたり、支障となる飛球防護施設の移設計画を行った。計画にあたっては、ボールの初速度、回転数等の条件を与え弾道を推定する弾道シミュレーションを用いた。使用するクラブとヘッドスピードを数ケース想定し、その組合せによる弾道から道路沿いに設置する直立式防球ネットの高さ・設置範囲を決定し、それを越える弾道区間には道路上にシェルター式防球ネットを計画した。

キーワード：一般有料道路の拡幅工事、飛球防護施設、弾道シミュレーション

### まえがき

一般有料道路の交通需要の高まりに対処するために計画された4車線化拡幅事業にあたり支障となる、隣接するゴルフ場の飛球防護施設の移設が必要となる。飛球防護施設の設計は経験的な手法に基づいて設計することが多く、設計基準など明確な設計手法は確立されていない。

本稿では、弾道シミュレーションを用いて行った飛球防護施設計画の実務報告を行う。

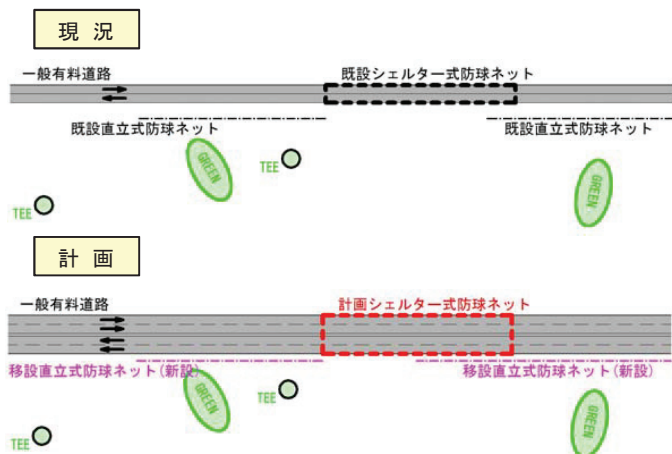


図-1 計画地イメージ図

## 1. 弾道シミュレーションについて

### (1) シミュレーションの必要性

「防球能力」は、近隣への迷惑防止がその目的であることから、常に完璧・完全なものが求められる。

しかし、実際に使用するまではどのような飛球が外に出るか、様々なファクターによってまだまだ解明できないものであることも事実である。

それだけに設計時には、できる限り各々の現場の条件を調査した上で、実際条件に近づけた形で飛球の飛跡を検証するため専用のプログラムを介し、多数の条件を入力したシミュレーションを行うことが必要である。

### (2) シミュレーション手法

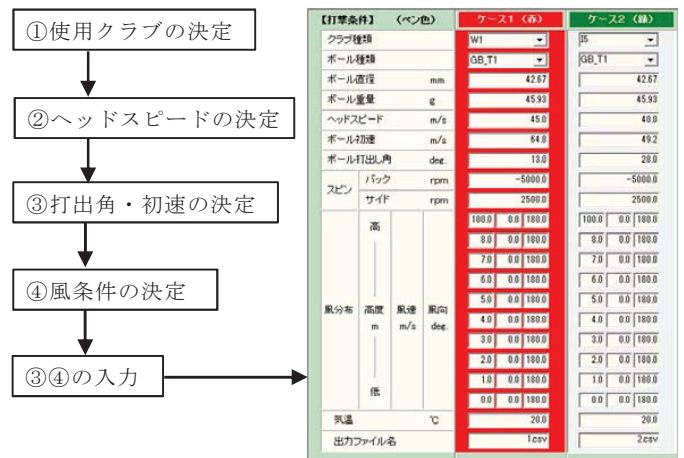


図-2 シミュレーションフロー

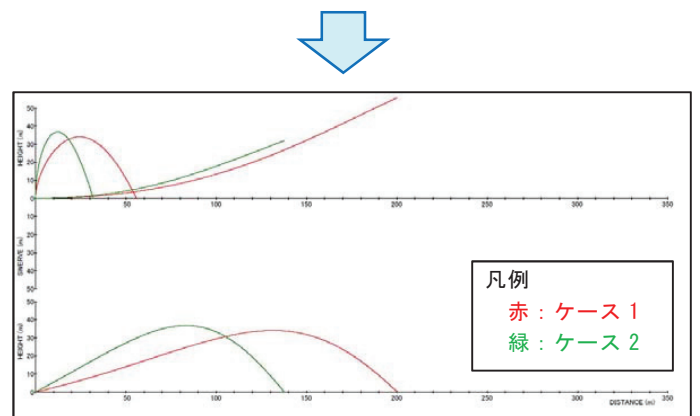


図-3 打球曲線図



## 2. 弾道シミュレーションの実施

### (1) 対象範囲

図-4 に示す一般有料道路に併設した ①ショートホールと②ミドルホールの 2 ホールを対象とする。

①ショートホールは1打目を対象とし、②ミドルホールは、1打目と2打目を対象とする。

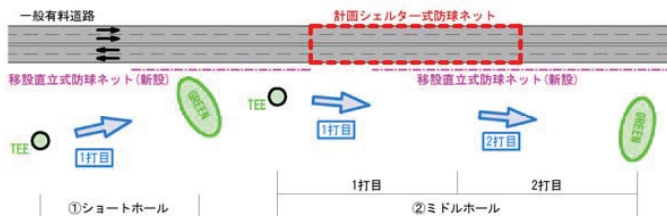


図-4 シミュレーション計画図

### (2) 制約条件

ゴルフ場の所有物である直立式防球ネットは、道路拡幅に伴い既設位置から 5m 程度ゴルフ場側へ新たに設置することになる。

新設する防球ネットは、施工条件より防球ネットの最大高さを建築基準法の確認申請を必要としない 15m までに抑える制約があった。

### (3) シミュレーション条件

各ホールの条件から、使用するクラブとヘッドスピードを想定し、その弾道を推定する。

風はフォローの場合、無風より飛距離は延びるが低い弾道となるため、飛球防護施設の高さ設定を目的とする本検討においては、無風条件とした。

なお、ミスショットは方向角 20° までとし、20° 以上は極端なミスショットとし検討外とする。

#### ①ショートホール

ショートホールで通常使用するクラブは I7 であるが、I5~I8 までの範囲を設定した。

ヘッドスピードは全ての条件において 40m/s(アマチュアの平均値)とし、初速・角度は表-1 のとおり各クラブの一般的な値を想定した。

表-1 シミュレーション条件(ショートホール)

シミュレーション条件(曲線色)	A	B	C	D	
・クラブ種類	I5	I6	I7	I8	
・ボール種類	ゲ-ムボール	ゲ-ムボール	ゲ-ムボール	ゲ-ムボール	
・ヘッドスピード m/s	40.0	40.0	40.0	40.0	
・ボール初速 m/s	49.2	47.2	45.6	43.6	
・打出し角度 deg	28.0	32.0	36.0	40.0	
・スピン	バック rpm(バック-)	-3000	-3000	-3000	
	サイド rpm(フック+)	0	0	0	
・風	風速 m/s	0.0	0.0	0.0	
	風向 deg(正面180度)	-	-	-	

#### ②ミドルホール

##### 1打目

1打目で使用するクラブは一般的な W1 とし、表-2 のとおりヘッドスピード、初速の違いにて条件設定を行った。

表-2 シミュレーション条件(ミドル1打目)

シミュレーション条件(曲線色)	A	B	C	D	
・クラブ種類	W1	W1	W1	W1	
・ボール種類	ゲ-ムボール	ゲ-ムボール	ゲ-ムボール	ゲ-ムボール	
・ヘッドスピード m/s	50.0	45.0	40.0	35.0	
・ボール初速 m/s	72.0	64.8	57.6	50.4	
・打出し角度 deg	13.0	13.0	13.0	13.0	
・スピン	バック rpm(バック-)	-3000	-3000	-3000	
	サイド rpm(フック+)	0	0	0	
・風	風速 m/s	0.0	0.0	0.0	
	風向 deg(正面180度)	-	-	-	

##### 2打目

2打目では1打目の飛距離から GREEN までの距離を想定し、表-3 のとおり残距離に見合ったクラブ等の条件を設定した。

表-3 シミュレーション条件(ミドル2打目)

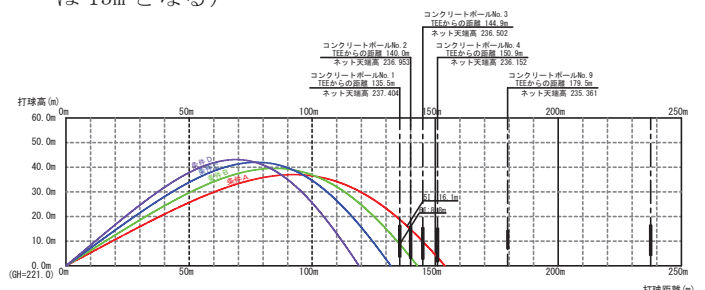
シミュレーション条件(曲線色)	A	B	C	D	E
・クラブ種類	3W	I3	I4	I5	I6
・ボール種類	ゲ-ムボール	ゲ-ムボール	ゲ-ムボール	ゲ-ムボール	ゲ-ムボール
・ヘッドスピード m/s	45.0	40.0	40.0	40.0	40.0
・ボール初速 m/s	52.8	53.2	51.2	49.2	47.2
・打出し角度 deg	18.0	21.0	24.0	28.0	40.0
・スピン	バック rpm(バック-)	-500	-1000	-1000	-1000
	サイド rpm(フック+)	0	0	0	0
・風	風速 m/s	0.0	0.0	0.0	0.0
	風向 deg(正面180度)	-	-	-	-

### (4) シミュレーション結果

#### ①ショートホール

図-5 は、各条件による打球曲線図に計画直立式防球ネット(コンクリートポール(以下「ポール」と称す)N0.1~15)を重ねた図である。

ボール N0.1 は、ミスショット 20° の範囲外であるため、ポール N0.2 の位置で最大飛距離となる条件 A (I5) の弾道より高く防球ネット天端を計画すればよいことが解る。(防球ネットの高さは 13m となる)



シミュレーション結果(曲線色)	A	B	C	D	
・最大飛距離 m	154.0	142.8	132.0	119.0	
・最大曲がり m	0.0	0.0	0.0	0.0	
・最高高度 m	37.0	39.6	42.0	43.1	

図-5 打球曲線図

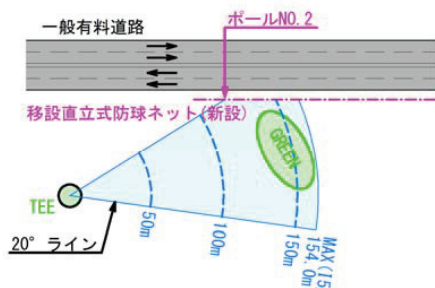


図-6 打球飛距離図

ショートコースはグリーンまで 138.0m (151yd) 程度であり、通常 I7(条件C, 最大飛距離 132.0m) を使用することが想定される。

シミュレーション条件として想定した、条件 A (I5) の最大飛距離 154.0m (168yd) をもっても当該区間では H=13.0m 程度の直立式防球ネットが可能であることが確認できる。

## ②ミドルホール

### 1 打目

図-7 は、各条件による打球曲線図に計画直立式防球ネット (ポール NO. 16~28) を重ねた図である。

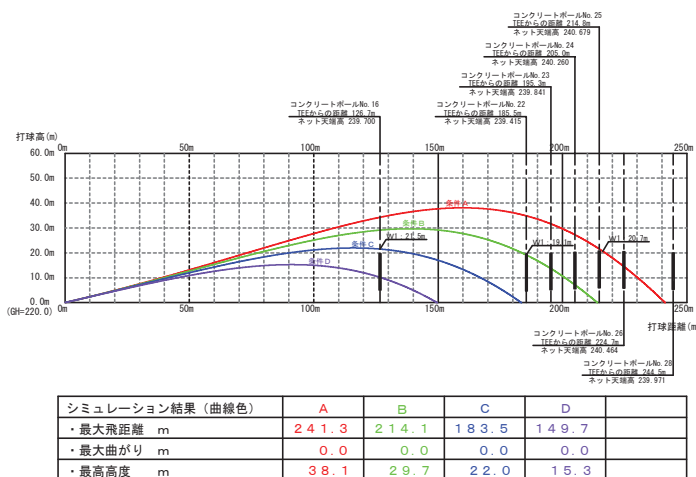


図-7 打球曲線図

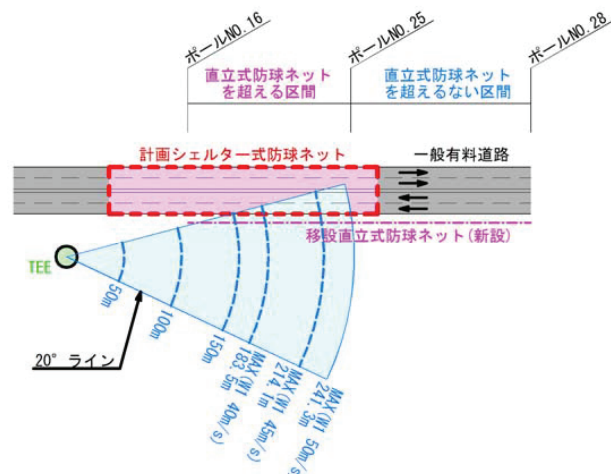


図-8 打球飛距離図

最大高さ H=15.0m の直立式防球ネットを設置しても条件 A (W1, ヘッドスピード 50m/s) の最大飛距離 241.3m (264yd) までの区間では、直立式防球ネットを超えることとなる。

## 2 打目

図-9 は、各条件による打球曲線図に計画直立式防球ネット (ポール NO. 33~38) を重ねた図である。

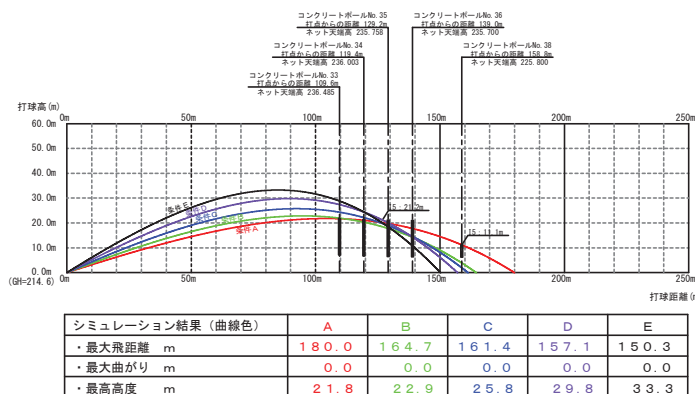


図-9 打球曲線図

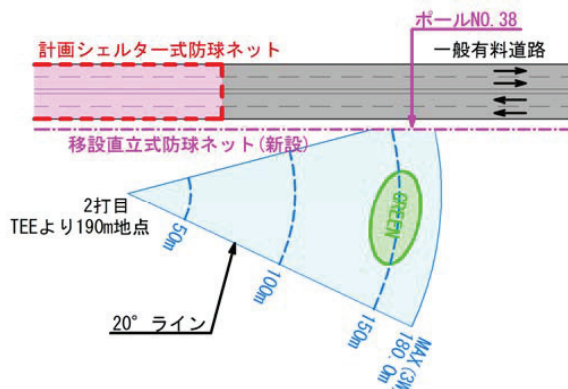


図-10 打球飛距離図

条件 A (W3) の打球曲線からポール NO. 38 以降ではボールは落ちるため、ボール高さ H=5.0m 程度で満足することが解る。それ以前の区間では、最大高さ H=15.0m の直立式防球ネットが必要である。

## 3. 検討結果

上記の弾道シミュレーション結果にて、直立式防球ネットの設置高さを決定した。また、最大高さ H=15.0m の直立式防球ネットを超える②ミドルホール 1 打目の弾道区間には、道路上にシェルター式防球ネットを採用した。

シェルター式防球ネットの設置範囲は、弾道線を延長した道路影響範囲(現況同等)までとし、維持管理等を考慮した山型形状とした。

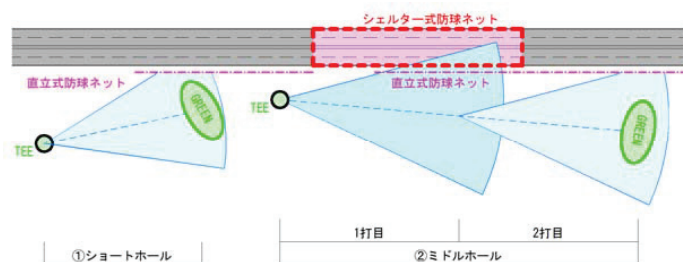


図-11 イメージ図

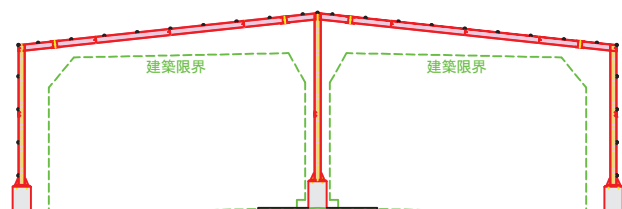


図-12 シェルター式防球ネット

## あとがき

弾道シミュレーションの活用により、飛球範囲の特定が可能であり道路の安全を確保する防球施設計画に活用することができた。

しかし、シミュレーションはプレーヤーの技量や風などの影響を限定して行うため、さまざまな条件変化により異なる。実際のプレー状況を全て調査できない場合、短時間で予測する利便性はあるが、実際には予測以外のことがおこりうる可能性もあることから、より熟慮のうえ検討する必要がある。

最後に、本稿を作成するにあたり、ご指導・ご協力いただきました関係者の方々に感謝の意を表します。

## 参考文献（または引用文献）

- ①建築基準法施行令 平成 28 年 3 月 国土交通省
- ②建築基準法に基づく主要な告示  
平成 19 年 5 月 国土交通省
- ③配電規定 平成 24 年 10 月 (社)日本電気協会
- ④コンクリートポールハンドブック  
昭和 33 年 7 月 鉄道電化協会

## 地権者の意向に柔軟に対応する区画整理事業の事例

玉野総合コンサルタント株式会社 福田 英三

### 論文要旨

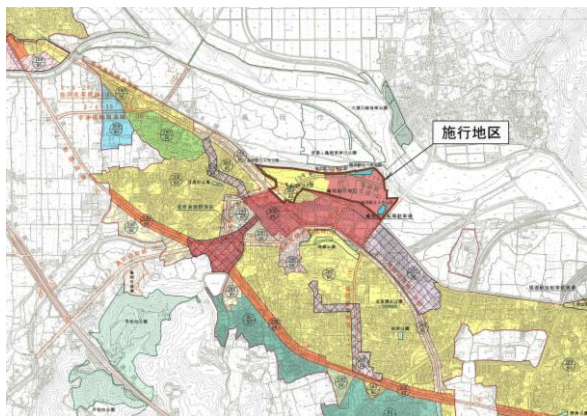
土地区画整理事業による換地手法の最大のメリットは、公共施設の整備改善に止まらず、宅地の利用増進を図るために土地の交換分合等による再配置が行えることである。しかしながら、土地区画整理事業の土地利用ゾーニングに合った土地利用の実現は、地権者側の街づくりに対する意向と合致しないことがあり、計画的な街づくりの意図と整合しない場合がある。

そこで、「街づくり計画」の一貫として、「意欲ある権利者の事業参画」と土地区画整理事業の目的でもある「開発利益の公平な配分」を図るため、従来からの土地区画整理事業における「原位置換地方式」にこだわらず、地権者の主体的な土地利用意向を柔軟に換地設計に反映させた「申出換地手法」の事例について紹介する。

キーワード：申出換地手法、土地区画整理事業、権利者の事業参画

### まえがき

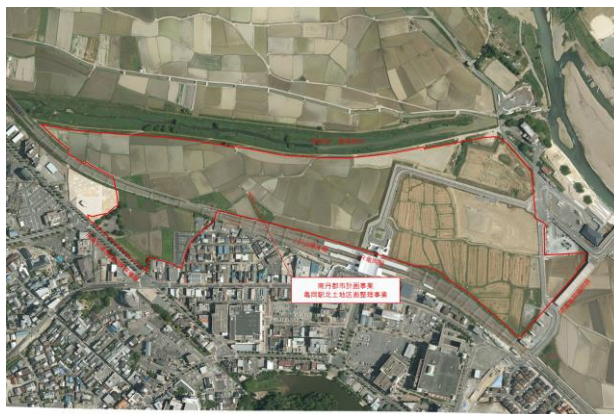
本論文で対象とした「南丹都市計画事業亀岡駅北土地区画整理事業」は、京都府亀岡市の中心駅であるＪＲ亀岡駅に隣接し、北側を一級河川曽我谷川、南側をＪＲ山陰本線に挟まれた東西約1.0km、南北約0.4km、面積約17.2haの区域で、亀岡市および近隣市町の地域をも含む中核的な都市機能の向上とにぎわいの創造を図る中心都市核として位置づけられている区域である。



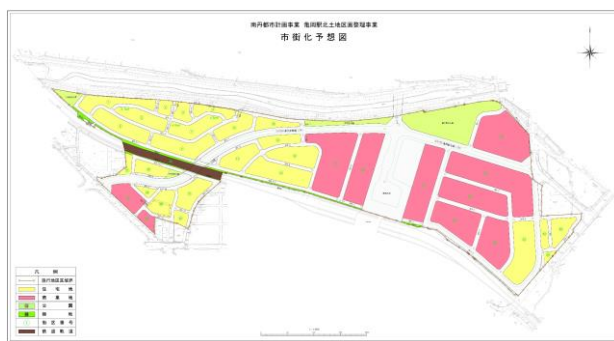
図－１ 位置図

整理前においては、ほぼ全域が農地として利用されており、整理後においては、亀岡駅に隣接する立地を活かして、亀岡市の玄関口に相応しい顔づくりと賑わいのある中心市街地形成の実現に向けた土地利用が計画されている。

弊社は、本地区の換地設計に係る業務を委託されたものである。



図－２ 現況写真



図－３ 市街化予想図

### １．地権者の意向把握

土地区画整理事業での整理前後の土地利用に大きな変動があることから、事業の目的でもある「にぎわいの創造」に協力したいという地権者からの要望もあり、事業認可前に土地利用の意向調査を実施した。



### (1) 意向調査の目的

地権者の将来土地利用意向を調査し、土地利用計画との整合について検証を行い、土地利用計画の実現性について判断し、また、換地設計を進めていくうえで、申出換地導入の必要性の有無や申出換地ルール決定のための情報収集を行った。

### (2) 意向調査の実施方法

対象者：地権者全員

実施方法：郵送配布、郵送回収・訪問回収

### (3) 意向調査の内容

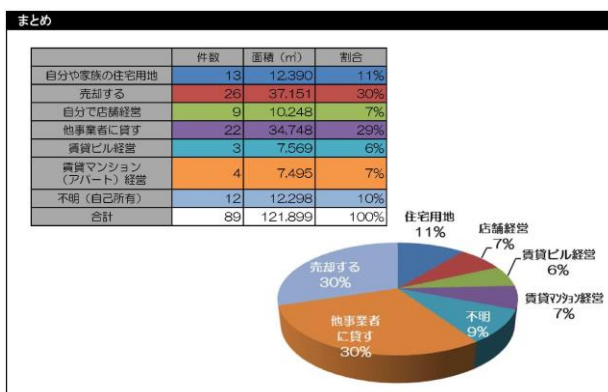
①将来の土地活用の予定について

自己所有・賃貸経営・売却等

②土地活用のケース毎の手法イメージ

アンケートの結果、「他事業者に貸す・売却する」を希望する地権者が約60%（面積ベース）を占めることから、事業の目的でもある「にぎわいの創造」と地権者の土地利用意向を換地設計に反映させるため、申出換地手法の検討を行った。

表ー1 アンケート結果



## 2. 申出換地の基本的な考え方

### (1) 申出換地手法の基本的な考え方

申出換地手法の基本的な考え方は、将来の土地利用計画に対して地権者、施行者双方が役割分担を行う形で、地権者各自がその所有地に対する土地利用の意向を表明し、この主観的な意向を施行者が汲み取って、土地利用計画に基づき申出された計画ゾーンに換地する。

つまり、換地設計の前の段階で地権者の土地利用の意向を聴取することにより、申出対象ゾーンである「特別な用地」の建設に意欲のある地権者を集中させ、「街づくりの地権者の参画」により、計画的な宅地利用を促進しようとするものである。

るものである。

具体的には、「特別な用地」の位置と換地設計の基本的事項を決定し、換地設計の段階で権利者の意向を確認する「申出調査」を行った上で、その内容に基づいて、いわゆる飛換地方式により換地設計を行う手法である。

### (2) 申出換地方式導入の妥当性

換地計画（換地設計）は、従前の土地を事業計画に基づき「照応の原則」の主旨を踏まえて、換地を与えることを意味している。しかしながら、本地区における「照応の原則」の主旨を踏まえた換地設計とは、事業計画による具体化した土地利用ゾーニングと、地権者の将来的な土地利用の意向を、共通のルール（申出換地手法）によって結び付けることにより成立するものと考えられる。

また、このような換地設計を行うことは、地権者の総意による「街づくりに対する要望」という背景の上に立脚していることを前提にすれば、「照応の原則」の範囲内であると考えられる。

### (3) 申出換地方式の問題点

土地区画整理事業の中で、法的に制度化された申出換地は、「大都市法地域における住宅地等の供給の促進に関する特別措置法」（昭和50年法律第67号）に基づく「共同住宅区」及び「集合農地区」への換地の申出と、土地区画整合法第89条の2に定める「住宅先行建設区」（平成5年；追加）への申出による換地のみであり、これらの規定には、申出に対する意思表示に対して履行する義務も併せて定めている。

しかしながら、これらの方法に基づかない場合は、任意の申出であり、法的に担保されない問題点を解決できる条件がそろった場合のみ、この手法を用いた換地設計が可能となる。

法的に担保されない問題点とは、以下のとおりである。

- ①申出対象となる街区が、事業計画で定められてないことによるものであり、申出対象となる街区の底地の権利者の排除が問題となる。
- ②申出後の「辞退」又は「所有権移転」に伴う、申出の取下げ要望に対してどのように対処するかという問題がある。

また、問題点を解決できる条件が揃った場合とは、以下のとおりである。

- ①この方策が「公平・公正」を旨とした提案であり、権利者全員の合意のものであること。
- ②機会均等であることから、権利者全員に周知徹底させること。
- ③「権利」と「義務」に関する規約に、合意が得られること。

以上のとおり、任意の申出換地方式の導入は、合意形成が得られなかった場合は、行政訴訟のターゲットになりやすく、手続き、判断に誤りがあれば換地設計全体におよぼす影響は多大なものとなることから、十分な検討をしつつ、実施上の問題を解決することが必要である。

### 3. 本地区における申出換地の取組み

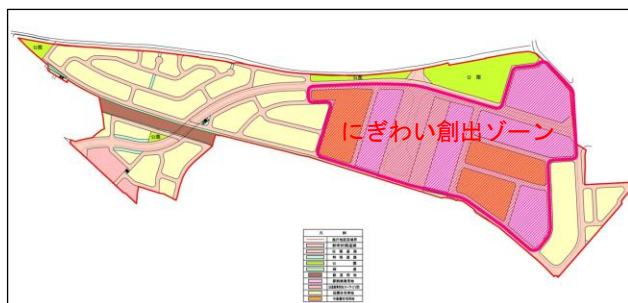
組合設立の準備期間から事業認可、換地設計に至るまでに、申出換地方式に関する次の事項を権利者に周知した。

#### (1) 申出換地方式の導入の目的

- ①「まちづくりのテーマ」(土地利用計画図)の実現
  - i. 亀岡の玄関口として、にぎわいある土地利用の実現。
  - ii. 静かな環境＝やすらぎを感じる住宅地の実現。
- ②資産価値の向上
  - i. 美しい街並みの実現。
  - ii. グレードの高い付加価値のあるまちの実現。
- ③土地利用効率の向上
  - i. 土地の貸し出しや売却を希望する所有者を集約配置することにより、土地利用効率が向上し、借上げ、買収希望事業者の選択肢が広がる。

#### (2) 申出換地の対象街区

亀岡駅周辺の街区について、「にぎわい創出ゾーン」と位置づけ、申出換地の対象街区とした。



図ー4 申出換地ゾーン

#### (3) 申出換地の手続き

申出換地の前提条件として、次の事項を説明した。

- ①申出換地を実施することを事業計画に明記する。  
(事業計画の縦覧により全地権者に周知)
- ②申出換地規程を総会(総代会)にて決定する。  
(地権者の意思により申出換地方式の採用)

そのうえで、申出については、次の選択肢があることを周知した。

- ①申出換地する旨の申出。  
(自己利用, 売却集約, 賃貸集約)
- ②申出換地しない旨の申出。  
(申出換地の対象街区以外へ換地する。)
- ③未提出の場合は申出ゾーン外に換地されることを周知。

合わせて、売買等により土地の所有者の変更があった場合においては、所有者が出した換地申出書及び換地申出をしない旨の申出書による権利及び義務については、新たな所有者が承継する旨を周知した。

#### (4) 申出換地の条件

本地区の申出換地の条件としては、次の3つに区分し、それぞれ地権者に周知した。

- ①自己利用
  - i. 事業計画に示される土地利用の実現に向けて、自己にて土地利用を行う者。
  - ii. 換地場所については申出ゾーン内とし、その配置については申出内容に基づき、施行者が適正に定めることに同意できる者。
- ②賃貸集約
  - i. 賃貸を希望する者と一体的に集約換地することに同意し、賃貸に協力できる者。
  - ii. 換地場所については申出ゾーン内とし、その配置については申出内容に基づき、施行者が適正に定めることに同意できる者。
- ③売却集約
  - i. 換地の売却を希望する者と一体的に集約換地することに同意し、売却に協力できる者。
  - ii. 換地場所については申出ゾーン内とし、その配置については申出内容に基づき、施行者が適正に定めることに同意できる者。

また、申出換地した場合の自己利用(図-5)と賃貸集約・売却集約(図-6)の仮換地形状について、イメージ図を提示して周知した。



図-5 自己利用希望者の換地イメージ図



図-6 賃貸集約・売却集約希望者の換地イメージ図

#### (5) 申出換地の調整方法

申出換地に係る容量・位置の調整方法については、次のように行った。

##### ①容量調整

容量調整は申出ゾーン面積を変更する。

##### ②ゾーン内配置に関する優先順位(自己利用者のみ)

次の優先順位により施行者が換地の位置を決定する。

- i. 土地利用内容が事業計画に示される土地利用の実現に資するもの。
- ii. 面積が大きいもの。
- iii. 従前地が申出ゾーンに近いもの。

#### (6) 申出結果

事業認可後に正式に申出換地を受付けた結果、次のとおりとなった。

表-2 申出結果

項目		人数(人)	割合(%)	面積(m <sup>2</sup> )	割合(%)
申出する	自己利用	18	14%	36,520.66	26%
	共同賃貸	26	20%	31,066.21	22%
	共同売却	33	26%	36,221.71	26%
申出しない	北	38	29%	21,668.23	16%
	西	15	11%	12,826.65	9%
小計		130	99%	138,303.46	99%
未定出		2	2%	1,178.00	1%
合計		132	100%	139,481.46	100%

アンケート実施時と比較して、申出する(自己利用)割合が多く占める結果となった。

#### (7) 換地設計

前述の申出を受け、地権者の意向を集約して換地設計を進めた。

賃貸及び売却の意向により集約した仮換地については、共同で利用するため、個別では利用できない短冊型の形状で配置した。

また、個別利用の申出者については、地権者の土地利用の重複等がないように配慮するため、具体的な土地利用の内容の聞き取り調査を重ねて実施し、換地位置の参考とした。

申出ゾーン内に一部保留地を確保したことや、当初の見込みより申出面積が増加したため、申出ゾーンの容量が不足した。そのため、申出ゾーンの南東側の街区を、申出ゾーンに取込み、容量の調整を行った。

その後、仮換地(案)を作成し、総代会の了解を得て個別説明会を開催した。そこで、関係権利者の意向の確認、調整を約半年間を要しましたが、最終的に合意形成を得て、仮換地を決定した。

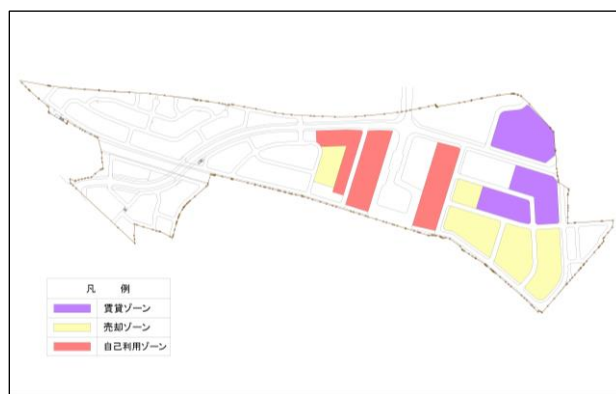


図-7 申出後の土地利用のゾーニング図

#### 4. 仮換地指定後の事業の推移

仮換地指定後においては、賃貸・売却ゾーンにおける起業者の誘致を行っていたが、平成28年春頃より、地区内東側の区域に、京都スタジアム（仮称）の受入問題が生じた。

スタジアム用地の受入れについては、当該区域の仮換地の地権者が協議した結果、関係地権者全員の合意が成立したことにより、京都府及び亀岡市へ売却することになった。

スタジアム用地の受入れに伴い、事業計画の変更を行い、現在の市街化予想図は、図－8のとおりに変更された。



図－8 現在の市街化予想図

#### 5. あとがき

今回の事例紹介にあたって、発注者である亀岡市亀岡駅北土地地区画整理組合ならびに業務代行者をはじめとるご協力いただいた皆様へ心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞に代えさせていただきます。



## 郊外部のバイパス端末部への三枝ラウンドアバウトの導入における一考察

(株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店 国土技術部 ○上 原 康 平  
(株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店 国土技術部 蔵 下 一 幸  
(株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店 国土技術部 吉 岡 多 佳 子  
(株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店 国土技術部 上 久 保 恵 美

### 論 文 要 旨

平成26年8月の「望ましいラウンドアバウト構造について 国土交通省道路局課長通知」や平成26年9月の「道路交通法の一部改正の施行」、さらに平成28年4月の「ラウンドアバウトマニュアル 一般社団法人 交通工学研究会」の発刊により、全国で交差点の安全性向上や円滑性向上を目的としたラウンドアバウトの導入事例が増加している。このような状況のなか、近畿地方においても設計や検討事例が増加する傾向にある。一方、ラウンドアバウトの設計においては、導入箇所の交通特性や地域特性を十分に考慮した上で安全性や円滑性に関する性能を確保した設計を行うことが重要となる。

本稿では郊外部に計画されるバイパス端末部へ導入されるラウンドアバウトを設計事例として取り上げ、ラウンドアバウトの設計に関して、現在供用されているラウンドアバウトの事例や当該箇所における交通特性、地域特性を踏まえ、ラウンドアバウトの適用性および各部の形状・構造決定の決定方法について考察として取り纏とめる。

**キーワード：**ラウンドアバウト、環状交差点、バイパス端末部

### ま え が き

平成26年8月8日付の国土交通省道路局課長通知の「望ましいラウンドアバウトの構造について」（以下、課長通知と示す。）により、道路管理者がラウンドアバウトを計画及び設計する際の適用条件と留意事項が示されている。また、平成26年9月1日には改正道路交通法が施行され、環状交差点における車両等の交通方法の特例に関する規定が整備され運用が開始された。続いて平成28年4月に一般社団法人 交通工学研究会より「ラウンドアバウトマニュアル」（以下、マニュアルと示す）が発刊されている。このように交通運用や計画・設計に関するが定められたことや表-1に示すラウンドアバウト導入による長所から、全国でラウンドアバウトの導入・運用や検討する事案が増加している。平成29年7月時点では、長野県須坂市や滋賀県守山市（図-1）を始めとし、日本国内では22都道府県の67箇所が環状交差点の指定を受けている。

一方、環状交差点の指定をうける交差点のうち、既存の円形交差点を環状交差点として指定を受ける事案が多く、新設交差点として運用されるラウンドアバウトの事例は少ない。また、マニュアルでは導入箇所の制約条件を考慮したうえで安全性・走行の円滑性の性能を確保する性能設計が基本とされ、設計に関しては高い技術力が必要となる。本稿では郊外部に計画されるバイパス端末部へ導入されるラウンドアバウトを設計事例として取り上げ、ラウンド

アバウトの設計に関して、現在供用されているラウンドアバウトの事例や当該箇所における交通特性、地域特性を踏まえ、ラウンドアバウトの適用性、および各部の形状・構造の決定方法について考察として取り纏とめる。

表-1 ラウンドアバウトの長所

長所	内容
①交差点部における安全性向上（車両、歩行者）	・4枝の無信号交差点において交差点が20箇所から4箇所に減少するとともに交差点流入速度が抑制される。 ・分離島設置による2段階横断とし歩行者の横断距離短縮、安全確認が容易になる。
②交差点の円滑性向上	信号交差点の遅れの削減（赤表示の時間中の停車待ち時間の削減）
③環境負荷軽減	待ち時間の削減からアイドリング時間の削減
④景観形成	地域のシンボルとして景観形成に寄与する。
⑤災害時の対応力向上	信号交差点において停電時でも混乱なく交通処理が可能(自律的に機能)



図-1 ラウンドアバウト導入事例（滋賀県守山市）

## 1. ラウンドアバウトの計画概要

### (1) ラウンドアバウト導入箇所の状況

ラウンドアバウトの導入が予定される交差点は、郊外部に計画されるバイパスの末端部の三枝の交差点となる。また、バイパスが接続する道路は2車線で供用される町道であり、交差点の角度はほぼ直角交差となる。周辺の土地利用は圃場整備された区間で見通しのよい交差点である。交差点の概要(図-2)および接続する各道路の規格(表-2)を以下に示す。

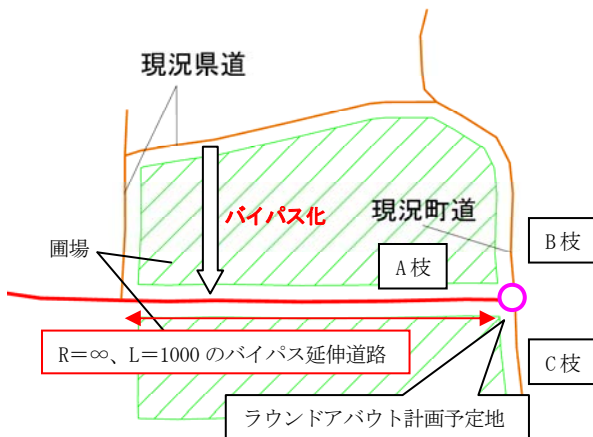


図-2 現況道路概要

表-2 現況道路区分と車線数

路線名	車線数	道路規格 設計速度	交通量
A枝 (バイパス)	2車線 (片側歩道)	第3種第2級 V=60km/h	43百台/日
B・C枝 (町道)	2車線 (片側歩道)	第3種第3級 V=50km/h	10~40 百台/日

### (2) ラウンドアバウト導入可能性の検討

ラウンドアバウトの適用条件として、課長通知では交通量の少ない平面交差点部に導入するものとし、平面交差点の日当たり総流入交通量が10,000台未満とされている。また、歩行者類の流入部の横断交通量がピーク時間あたり100を超える場合は、ラウンドアバウトの交通容量を低下する可能性があり導入の可否について十分に検討することが望ましいとされている。

本交差点はバイパスの計画交通量は4,300台/日、町道の交通量は1,000~4,000台/日となることから、日当たりの総流入量は10,000台/日以下となる。また、歩行者交通量も非常に少ないことから、ラウンドアバウトの導入は可能と判断した。

### (3) 基本条件の整理

#### 1) 設計対象車両の設定

ラウンドアバウトの設計においては、「2段階設計車両」の考え方を採用し、設計車両は「主設計車両」、「副設計車両」に区分される。主設計車両は環道のみを走行、副設計車両は環道及びエプロンを走行できるようラウンドアバウト

の設計へ反映した。

本交差点の設計対象車両の設定は、バイパス、町道ともに大型車混入率が10%以下と低いことから、主設計車両は「小型自動車等」とし、副設計対象車両はセミトレーラ連結車の交通量が極めて少ないことから、「普通自動車」とした。

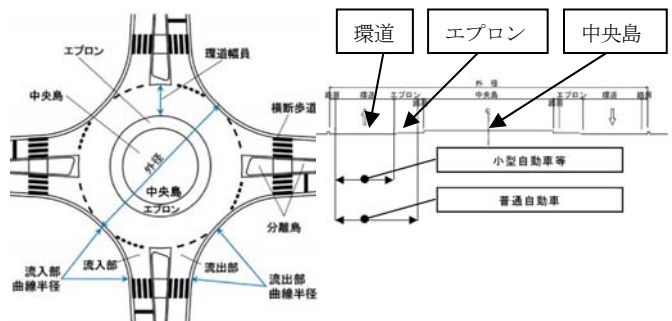


図-3 環状部の通行方法

表-3 各枝線の設計対象車両一覧表

流出部 流入部	A	B	C
A		小型自動車等 普通自動車	小型自動車等 普通自動車
B	小型自動車等 普通自動車		小型自動車等 普通自動車
C	小型自動車等 普通自動車	小型自動車等 普通自動車	

上段：主設計対象車両 下段：副設計対象車両

### (4) ラウンドアバウトの構成要素

ラウンドアバウトの構成要素はマニュアルを参考として、下記に記載するとおり決定した。

#### 1) ラウンドアバウト中心位置と環道外径

ラウンドアバウトの中心位置は本交差点がほぼ90°で交差することから主道路(バイパス)と従道路(町道)の道路中心線が交差する点(交差点中心)を環道中心とした。また、環道外径は車両や歩行者類の安全性を確保する目的で各流入部に分離島の設置を条件として、最小環道外径のD=27mとした。

#### 2) 流入部

流入部には歩行者の2段階横断、流入車両の逆走防止、流入車両の速度抑制を促す等の安全性を確保する目的で分離島を設置した。また、横断歩道は歩行者の利便性を確保するため全枝に設置した。

#### 3) 中央島と環状部

中央島は課長通知に示される「外径27mおよび4枝のラウンドアバウトにおける幅員構成の目安」を参考とし、副設計車両である普通自動車の走行を軌跡図で確認するとともに、直進車両の走行速度を抑制するため、直進車両の走行軌跡が直線的にならないよう流入部に対する正面の流出部が中央島で塞がれていることに留意し中央島の規模はD=12.0mとした。

環道、エプロン、路肩の幅員は課長通知に示される「外径 27.0m および4枝のラウンドアバウトにおける幅員構成の目安」を参考として幅員を決定した。

表-4 本計設計のラウンドアバウト構成要素

ラウンドアバウト構成要素	規模・幅員
中央島規模	D=12.0m
環道幅員	W=5.0m
エプロン幅員	W=1.5m
流出入部の分離島等	全枝に分離島/横断歩道設置

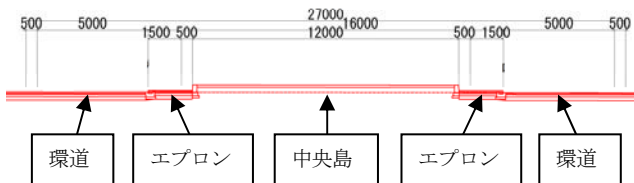


図-4 環道部の断面構成

上記の条件により、基本となるラウンドアバウト形状を決定した。当該箇所計画したラウンドアバウトの概要図を図-5に示す。今回、ラウンドアバウトの導入を検討した交差点は長い直線区間のバイパス末端部であり、交差点への流入速度の上昇が懸念されることやA枝-C枝間の交通流動が卓越することが確認されており、本交差点へのラウンドアバウトの導入は、運転者への路線特性の変化を物理的に示す効果や速度抑制による安全性向上の効果があると考えられる。その効果を最大限発揮するため各部の構造に対し工夫した点を次項に記載する。

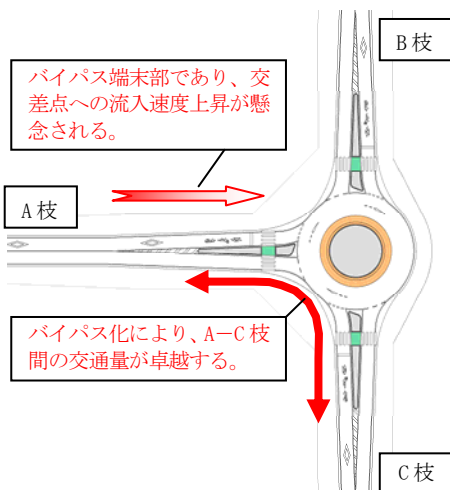


図-5 ラウンドアバウトの概要図

## 2. バイパス末端部の特性を考慮した構造

バイパスの末端部にラウンドアバウトを設計する上で、その交通特性や地域特性を考慮した上で、ラウンドアバウトの各構造について、既往の整備事例を参考に検討した。

特に、ラウンドアバウトへの流入速度抑制、卓越する交通に対する構造上工夫した点を以下に述べる。

### (1) 流入部および流出部

ラウンドアバウトは環道を時計回りで走行する形態となることから右折車両に対し迂回(270° 転回)が生じる。一方、迂回を避けて環道を逆走する車両が想定される。また、本交差点は図-5に示した通り、A-C枝への通行が卓越することから、安全性を確保する目的で流入部における逆走防止対策が重要となる。

滋賀県守山市の事例では、図-6に示すように流入する車両に対し、分離帯の形状を右折しにくい構造(分離島端部に曲線形状を設ける)で対応している。本設計においても、逆走対策や環道への円滑な流入を促すよう、流入部の分離島にR=12.0の曲線形状を設けた。



図-6 流入部における分離島の形状(滋賀県守山市)

また、前述したように長い直線区間の先にあるラウンドアバウトとなるため、流入速度の上昇が懸念される。このため、運転者が横断歩道や環道流入部までに速度低下を促せるよう、注意喚起や速度抑制対策を検討した。

長野県須坂市や滋賀県守山市の既往事例においては流入路にカラー舗装を敷設するとともに、交差点部流入部手前で薄層舗装(段差)が設置されている。本設計も整備事例と同様の速度抑制対策を採用した(図-7)。



図-7 流入部のカラー舗装にゼブラを設置した事例(長野県須坂市) (Google Map より)

A枝、C枝の流出入部は卓越する交通に対し円滑な流出となるよう流出部曲線半径を大きくすることも考えられたが、横断歩道が各枝に設置されるため、速度を抑制し安全性を確保するため車両の走行軌跡から決まるR=12.0を採用した。

### (2) 中央島およびエプロン

設計対象車両は先に示したように主設計車両を小型自動車等、副設計車両を普通自動車と設定としたが、A枝は高速道路へのアクセス可能であることやC枝の先には大



規模工場が一部立地していることから、A枝からC枝については工場へのアクセス道路として利用される可能性があるため、極めて少ない交通量であるがセミトレーラ連結車の通行にも対応できるよう中央島およびエプロンの構造を工夫した。

セミトレーラ連結車の走行を想定した場合、A-C枝の右折時に中央島に部分的に干渉することが確認出来たことから中央島の幅員を0.5m 縮小 (D=12.0m から D=11.0m) することで対応した。

ただし、エプロン幅が1.5m から 2.0m に広がることにより、エプロン部に乗り上げて直線的な走行を助長することが考えられたため、図-8 に示すようにセミトレーラ連結車の通行部分は通常設置されるエプロンのカラー舗装と区別したカラー舗装にするとともに縁石による段差を設ける「二段階エプロン (仮称)」の形状を考えた (検討段階)。

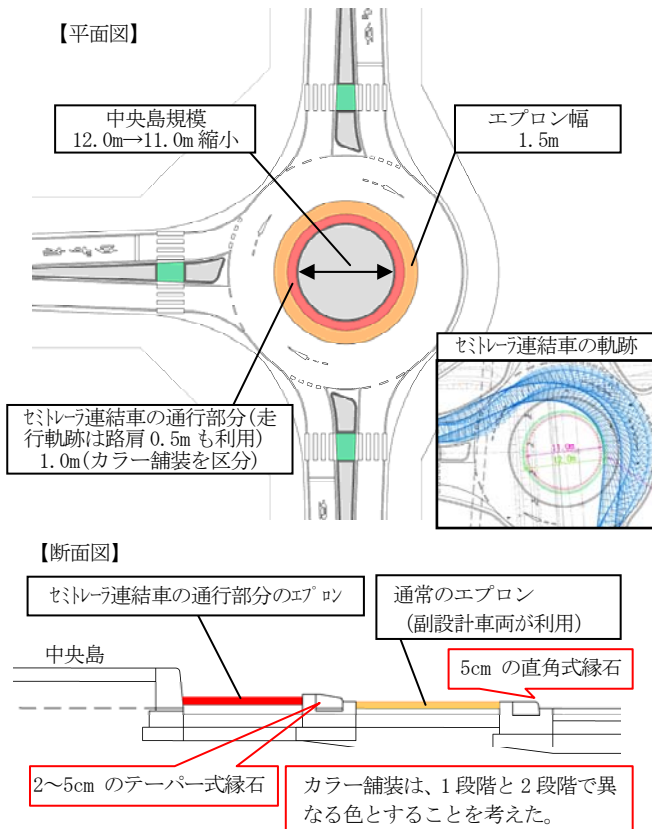


図-8 中央島縮小による2段階エプロン構造(仮称)

### (3) エプロン構造

本交差点は小型車両の通行が多いことおよびセミトレーラ連結車等の大型車両の通行もあることから、エプロン構造は、小型車に対し直線的な走行の抑制および大型車両の通行にも耐えられるよう十分な耐久性が求められる。

マニュアルにおいては、エプロン設置の目的は「主設計車両がエプロン部を使用して、直線的な走行を取ることがないように、段差構造をとることが望ましい」とされ、エプロン形状に関し「2cm の段差や、2cm ～5cm のテーパ

付き段差では小型自動車が乗り上げやすくなることが確認されている」と記載されている。一方で、直近の整備事例では、段差の形状が5cm 程度の直角式の縁石を採用する例が増加している。

本設計では、山梨県南巨摩郡富士川町の事例(図-9)と同様に、歩車道境界ブロックに利用されるプレキャスト縁石を用いた5cm の直角式段差構造とした。



図-9 直角式のエプロン縁石(5cmの段差構造)

(山梨県南巨摩郡富士川町)

エプロン部の縁石は大型車の通行荷重を繰り返し受けるため、現在供用中のラウンドアバウトにおいても、破損事例が報告されており、耐久性の高いエプロン構造とする必要がある。(図-10(左))

破損の原因は大型車交通量や路床の状況等様々な要因が考えられる。整備事例を確認すると縁石を設置するだけの構造では破損している事例があり、縁石を保護するように基礎コンクリートで巻立てた構造では破損事例が少ない傾向にある(当社調べ)。このため、本設計では、基礎コンクリートで巻立てる構造とした(図-10(右))。

ただし、破損原因は明確になっていないことから、破損の原因を分析した上で耐久性の高いエプロン構造へと改善を図る必要がある。

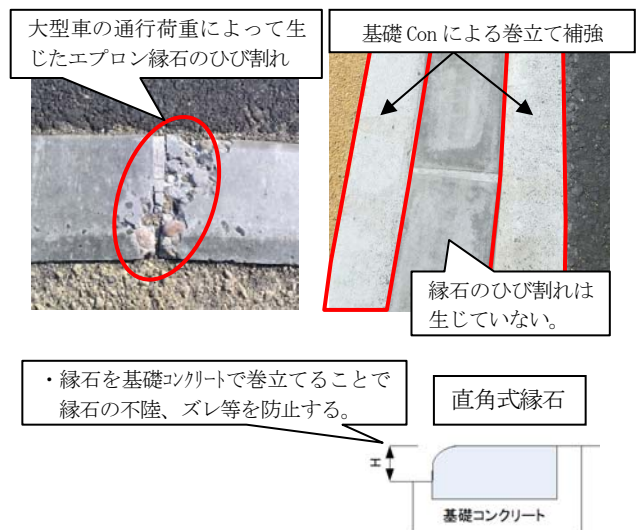


図-10 計画した縁石の構造および断面構成

### (4) 沿道からの出入路設置の抑制

本交差点の周辺土地利用は圃場整備区域であり、各田圃



への乗り入れのための接続路の設置が必要となる。一方、ラウンドアバウトの安全性や円滑性を確保するためには流出入部の設置を避けるべきである。

横断歩道や環道に近接する位置に出入路を設置した場合、出入路を利用する車両とラウンドアバウトを利用する車両間に交錯点が生じ、追突や衝突事故の発生原因となる(図-11(上))。また、出入路への右折進入する場合、対向直進車の確認行動や停止により、後続車両の滞留が環道へ影響することや追突事故の発生原因となる(図-11(下))。

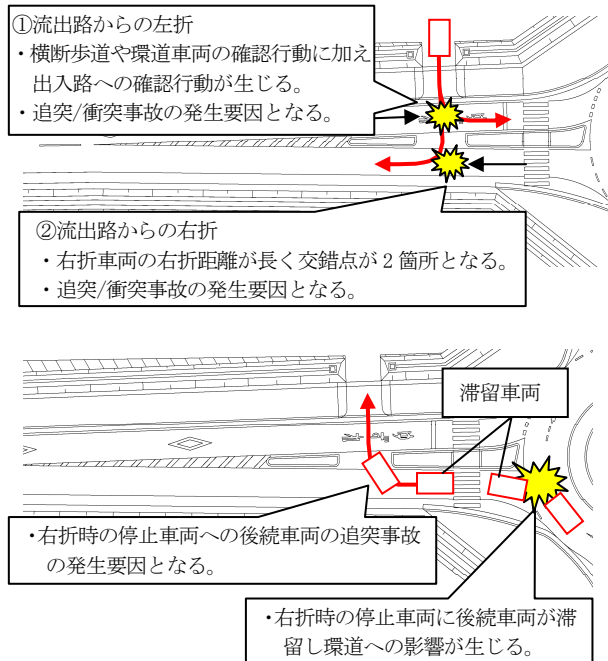


図-11 沿道出入路の設置による問題

本設計における出入路の設置は、分離島を避けるとともに断面変化(本線シフト)が生じない単路部付近に出入路を設置した(図-12)。また、出入路からの流入車両に対しラウンドアバウト部の標識、路面標示が確認できるため、安全の向上も期待でき、横断歩道部からの離隔を確保したことで歩行者の安全性も確保できると考えられる。

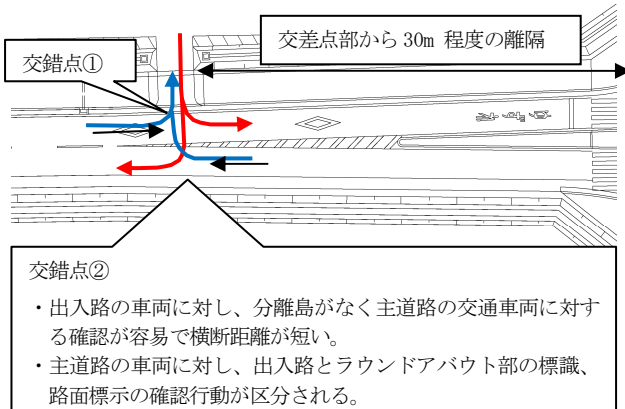


図-12 乗り入れ位置検討図

#### (5) その他(横断歩道の設置)

本交差点では歩行者の安全性を確保するために、ラウン

ドアバウト各枝に横断歩道を設置することとした。

横断歩道の設置位置は、環道から流出する車両と環道部の影響を考慮して設定する必要がある。マニュアルでは、歩行者の横断を確認し、車両が滞留した場合においても、環道の交通円滑性に影響を及ぼさないよう、環道と横断歩道との間には車両が1台滞留可能なスペースを確保することが望ましいと示されている。そこで、本設計においては、走行車両の内、大半を占める小型自動車(全長4.7m)1台が滞留できることを考慮して、環道と横断歩道の間隔は5.0m確保した。

## あ と が き

本稿では、郊外部のバイパス端末部に計画される3枝のラウンドアバウトを設計事例として報告した。ラウンドアバウトの設計の基本は性能設計であり、具体的な規定値がなく導入箇所の交通特性や地域特性に応じ最適な構造とする必要がある。本稿では、導入箇所の交通特性や地域特性を踏まえ、既往事例の考え方を参考にしながら取り纏めた。

現在も各地でラウンドアバウトの事例は増加しており、今後は新たな事例、研究報告等による知見を踏まえながら、設計に反映していく必要がある。

最後に、本計画の実施および本稿を作成するにあたりご指導、ご協力頂きました関係者の方々に感謝を申し上げます。

## 参 考 文 献 ( または 引 用 文 献 )

- 1) 望ましいラウンドアバウトの構造について：道路局企画課知、国道・防災課長、環境安全課長、高速道路課長通知, H26.8.8, <https://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/pdf/20140901tuuti.pdf>
- 2) ラウンドアバウトマニュアル：一般社団法人 交通工学研究会, H28.4.28
- 3) 路面標示設置の手引き：社団法人 交通工学研究会, H18.12

## 京都府南丹市サテライトオフィス等誘致支援

キタイ設計(株) ○ 平 櫛 武  
キタイ設計(株) 横田健一  
キタイ設計(株) 小松宏隆

### 論 文 要 旨

近年、地方では、人口減少社会の影響を受け、過疎化、少子高齢化の現象が顕著である。一方、都心部においてワークライフバランスへの関心が高まる中で、情報通信技術の発達によって、自然環境が豊かな地方でも都市部と変わらない仕事を行うことが可能となってきた。そこで、本稿では、サテライトオフィスによる企業誘致支援を進め、地域とオフィス設置企業が、お互いを歓迎し(Welcome)、補いあうことで、地域内で好循環が生まれる(Win-Win)関係を目指した誘致支援を取り上げる。モデル地区は京都府南丹市美山町大野である。大野地区は中山間地域に位置し、人口は約 800 人、60～69 歳代の人口比率が最も高く、ここ 10 年間で約 200 人の人口が減少した。大野地区の空き家見学会を企画・実施し、合計 27 社 34 名の参加者を集めた。紹介ツアーにおける空き家の見学と、プレゼンテーション等の実施を経て、企業と地域の相互理解が図られた結果、2 社の企業を誘致するに至った。

**キーワード：**人口減少社会、サテライトオフィス、企業誘致、空き家、テレワーク

### ま え が き

近年、地方では、人口減少社会の影響を受け、過疎化、少子高齢化の現象が顕著になっている。特に、雇用の創出については、地方が工夫しているなかで、実現することが困難となっている。

一方、都心部においてワークライフバランスへの関心が高まる中で、情報通信技術の発達によって、自然環境が豊かな地方でも都市部と変わらない仕事を行うことが可能となってきた。

特に、都心部では、通勤時間の削減、電話や賃料等の固定費の削減、自然災害からの経営機能のバックアップ、若手人材の確保に対応することが求められている。

そこで、本稿では、「豊かな自然環境」「増加する空き家」「小学校統廃合後の空き校舎」に着目し、地方創生施策<sup>1)</sup>の一つとしてサテライトオフィス(本拠を置いている都心から離れた地方にオフィスを構えること)による企業誘致支援を進めた仕組みについて報告する。

### 1. 事業概要

#### (1) 業務概要

業務名：平成 26 年度(繰越) 南丹市サテライトオフィス等誘致支援業務

発注者：京都府南丹市企画政策部 定住企画・戦略課

工 期：平成 27 年 8 月 18 日～平成 28 年 3 月 31 日

#### (2) 事業の対象モデル地区

モデル地区は南丹市美山町大野である。大野地区は中山間地域に位置し、人口は約 800 人、60～69 歳代の人口比率が最も高く、ここ 10 年間で約 200 人の人



図-1 大野地区の人口

口が減少した。(図-1) 美山町はかやぶきの里で有名であるが、大野地区は、元々京都市からかやぶきの里への最短の観光ルートの途中にあった。しかし、日吉町にトンネルができてから、最短の観光ルートで無くなり、観光バス等が大野地区を通る数が少なくなった経緯がある。

### 2. 事業の基本目標

事業の基本目標(南丹市サテライトオフィス誘致事業骨子)については、将来像を「南丹市いやしのリラックスオフィス～もちつ もたれつ いなかではたらく～」とし、地域とオフィス設置企業が、お互いを歓迎し(Welcome)、補いあうことで、地域内で好循環が生まれる(Win-Win)関係を目指すこととした(図-2)。そして、基本的な方向性を「企業へのチャレンジやオフィス設置の後押し」「オフィス受入体制や地域信頼関係の構築」「的確な情報発信による都市企業と地域との交流」の3つとした。本事業を進めるにあたり、誘致プロジェクトの事務局が設置された。



図-2 事業の基本目標

### 3. 地域外への誘致活動

#### (1) 市への立地可能性企業の検討

インターネット検索や、各種セミナーでの情報交換等により、下記の企業をリストアップし、メルマガ配信やアンケート送付に活用した。

- ① ローカルビジネス、ローカル観光企画、農と福祉、田舎暮らし等に興味がある企業(約 200 社)
- ② テレワーク導入を検討する企業や、企業研修メニューを提供する企業(約 300 社)

#### (2) 紹介ツアーの実施

大野地区の空き家見学会を企画・実施し、合計 27 社 34 名の参加者を集めた。(図-3)

参加者が応募したきっかけについては、アンケートの結果、次の通りであった。

(1. 口コミ 54% 2. チラシ 8% 3. SNS 4%)

#### 【結果に導くまでのプロセス】

- ① 事務局会議によるチラシ検討と作成、配布  
(キーワード検討、魅力的な写真抽出)
- ② SNS ページの設置、更新
- ③ 「シェアオフィス」「田舎暮らし」等、関連する内容のセミナーへの参加、広報活動
- ④ マスコミ向けプレスリリースの発行

番号	1	所在地	南丹市美山町三笠湯掛	敷地面積	m <sup>2</sup>
				宅地面積	m <sup>2</sup>
				延床面積	88.40m <sup>2</sup>
				間取り	
				築年数	昭和50年新築
				建物階層	木造瓦葺2階建
				所有者	個人
				設備(光熱水設備、風呂トイレ等)	利用状況、修繕必要性等
				・水道・汲み取り(個別浄化槽地域)	・CATV、インターネット未整備
				その他特記事項	
				附属建物・倉庫(軽量鉄骨造スレート葺平家建)72.00m <sup>2</sup>	
				駐車場 複数台可 ※土地・建物は公簿面積を記載	
番号	2	所在地	南丹市美山町大野広畑	敷地面積	247.93m <sup>2</sup>
				宅地面積	247.93m <sup>2</sup>
				延床面積	m <sup>2</sup>
				間取り	
				築年数	
				建物階層	
				所有者	個人
				設備(光熱水設備、風呂トイレ等)	利用状況、修繕必要性等
				・水道・下水道	・CATV整備・インターネット未整備
				その他特記事項	
				駐車場 複数台可	
				※土地・建物は公簿面積を記載	

図-3 大野地区の空き家(抜粋)

#### (3) プレゼンテーション等の実施

空き家への入居希望企業が、自らの予定する事業アイデアを地域住民に説明する「アイデア審査会」と、コミュニティデザイナーの「講演会」の同時開催を企画・実施した。アイデア審査会では、4 社の企業が 83 名の審査員(一般参加者、地域団体役員、役員以外の地域住民)に対しプレゼンした。また、2 社のメディアがイベント取材した。(表-1)

表-1 アイデア審査会 プレゼン実施企業

企業名	社員数	法人区分	提案内容
A法人	10名	NPO法人	「ジビエの里」と「芸術村」で里山文化観光とものづくり文化交流の活性化
B法人	3名	株式会社	近畿の都心部と地方部を結び、南丹市の関西の交流中心地化プロジェクト
C法人	120名	社団法人	100%オーガニックの農作物栽培と障害者雇用の新しいモデルづくり
D法人	38名	株式会社	美山コットン生産、「美山枕」製造、エコツアーで、農、工、サービスの6次産業化

#### 【結果に導くまでのプロセス】

- ① 事務局会議によるホームページ検討と作成、更新  
(キーワード検討、魅力的な写真抽出)
- ② 社会的注目度のあるコミュニティデザイナー誘致  
(参加無料の講演会)
- ③ インターネット広告によるホームページへの誘導
- ④ 継続的な SNS ページの更新とマスコミ向けプレスリリースの発行
- ⑤ 市内への新聞折込によるチラシ配布

#### 【アイデア審査会のプロセスと結果】

- ① 募集要項と申込用紙を作成し、ホームページに掲載
- ② 複数社から申込があり、コミュニティデザイナーとの打合せや地域住民の意向を踏まえて 1 次審査(書類選考)を行い、4 社が審査会(プレゼン)に進出することを決定
- ③ 審査会当日は、プレゼンを聞いた審査員がアンケート用紙に評価を記入し、誘致企業の選定に反映
- ④ 誘致企業は、大野地区の役員が市と協議し、決定

表-2 実施した主な PR 手法一覧(当時)

媒体名(費用)	内容(主な効果)
自主的な発信	
SNS	最新情報発信 [更新 18回] (審査会応募 2件)
ホームページ	審査会、講演会への参加募集 (訪問者数 4253名/月)
口コミ、対面での告知	関連するセミナーへの参加[5回] (ツアー参加 十数件 審査会応募 1件)
プレスリリース	マスコミへの取材依頼[2種] (新聞・ラジオ取材)
広告	
ネット広告	ホームページへの誘導 (訪問者数 約25名/日→約200名/日)
折込チラシ	講演会への参加募集[市内へ10750枚] (講演会 83名参加)
マスコミ取材(広報)	
新聞	告知、イベント報告など [京都新聞 計5回][産経新聞 計1回] (問合せ 府内2件 府外1件)
テレビ	番組[写真掲載] (プレゼン応募1件)

#### (4) ベンチャー企業等の誘致

紹介ツアーにおける空き家の見学と、プレゼン実施を経て、企業と地域の相互理解が図られた結果、2社の企業を誘致することになった(B法人、D法人)。誘致については、特に、企業側には地域アンバサダー(情報発信)の役割を求め、地域とのコミュニケーションを図ることを前提条件とした。

#### 【結果に導くまでのプロセス】

- ① アイデア審査会前の空き家個別見学会の開催



- ② アイデア審査会での、厳選な審査  
(公平性のある情報公開)
- ③ アイデア審査会後の2社決定までの着実な過程  
(空き家見学、地域住民向けの企業説明会)

#### 4. 地域内での受入体制構築

事前に、「地域資源や生活関連施設の洗い出し」を行い、ホームページで公開した上で下記に取り組んだ。

##### (1) 誘致ツールの作成

南丹市定住促進 PR 動画として、大野地区の魅力発信動画を2種作成し、動画共有サイトでアップした。(再生数計1,736回/当時)

##### 【結果に導くまでのプロセス】

- ① 事前に住民向けに動画撮影セミナーを開催
- ② 地域の魅力を最もよく知る住民自らが撮影

##### (2) 情報通信ネットワーク環境の検討

紹介ツアー参加企業や立地可能性企業に対するアンケートの結果、「インターネット利用の主用途は Web 検索やメール送受信」であり、現状の南丹市 CATV インターネットの条件(100Mbps ベストエフォート、動的 IP、専用線無し)に対して、概ね「100Mbps ベストエフォートでも可、外部からのサーバー接続のために固定 IP は必要、セキュリティ上専用線を希望」との回答だった。

#### 5. まとめ

本業務の進め方は、下記の通りである。(図-4)

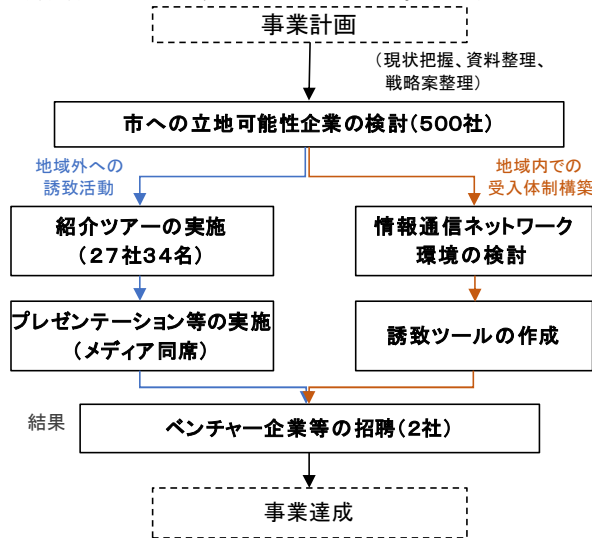


図-4 事業フロー

##### (1) 現時点での成果、評価

最終的に、2社誘致という実績を残すことができた。現在2社は入居し、新規事業を進め、地域住民との協議や事業準備を行っている。2社誘致に至った理由としては、様々なことがあげられるが、とりわけ事務局としての打合せが半年間で計20回に至り、綿密な協議が行われたことがあ

げられる。また、行政が主導的に事業推進を図り、地域住民との協議を頻繁に行い、多くの企業との積極的な情報交換に努めたことが第一に評価される。第二に、地域住民窓口がさまざまな団体を柔軟に受け入れるとともに、企業誘致にあたって、積極的な姿勢で意思統一できたことが重要である。第三に、事務局が紹介ツアーの実施、プレゼンテーション等の実施にあたって、自身が自ら誘致活動を行い、著名人も含め、多くの参加者が関わる場を創出するに至ったことで情報発信が進んだことも評価されるであろう。第四に、ホームページ作成にあたり、その多様な情報分析ツールを用いて、事業プロデュースに携わったIT企業が事務局に参画した点も評価される。

一方、中山間地域へのサテライトオフィス等誘致支援については、事業の手段に未開発な部分が多く、確立された方法が定まっていないというのが実情である。今後は、空き家の活用、企業誘致、地方創生といった観点から、さらなる情報蓄積を図ることが課題である。

##### (2) 今後の展望

今後は、多くの空き施設(空き家、空き店舗、学校)の発生が見込まれ、サテライトオフィス等誘致支援のノウハウが活用可能であると考えられる。一方、このようなサテライトオフィス等誘致支援を進めるには、地域住民と企業と行政をとりもつ「プロデューサー」の存在が不可欠であり、地域住民の活性化に対する想いと、事業継続する入居後の企業ミッションが両立するwin-winの関係を保つには、全体のコーディネート(共創)の発揮が求められる。

また、入居した企業については、今後、地域活力を再生するための大きな期待がかかる。企業のもつネットワークと資本を巧みに活用し、他社の企業誘致や研修等を行うことによって、地域の空き施設を活用し、地域に雇用とお金が落ちるような仕組みを構築していくことが必要である。

さらに、利益遵守を目的とする企業が地域で永続的雇用を生み出すためには、地域資源を活用した新規事業への投資と挑戦を支援する施策の充実が重要である。

#### あ と が き

本業務を進めるにあたって、南丹市企画政策部定住・企画戦略課、美山町大野振興会の皆様をはじめ、多くの関係者に助けられたことを謝辞としてここに記す。

#### 参 考 文 献

- 1) 総務省情報流通行政局情報流通振興課(H29.4.24)  
「ふるさとテレワーク等の推進について」  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000484659.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000484659.pdf)



協和設計株式会社 渡邊 浩 幸  
渡瀬 健 司  
○ 木戸 豊 大

キーワード：ラウンドアバウト、コンパクト化、安全性・円滑性向上、道路交通法

通行するためのスペースである。小型車の通過時には、エプロンの嵩上げによって、直線的に走行して走行速度が上昇するのを抑制することが目的である。

## 2. ラウンドアバウト導入の意義

ラウンドアバウトは、従来の信号交差点に比べて以下のような優れた特徴があり、適切に導入することで、より快適な道路環境の実現が可能である。

### (1)安全性向上

ラウンドアバウトは、交差点内の車両の交錯点が信号交差点に比べて少なく、右直事故や出会い頭事故等の発生を低減させることができる。また、ラウンドアバウトはエプロン及び中央島により車両が直進できない構造のため、車両の速度抑制効果があり、重大事故発生の危険性が低い特徴がある。

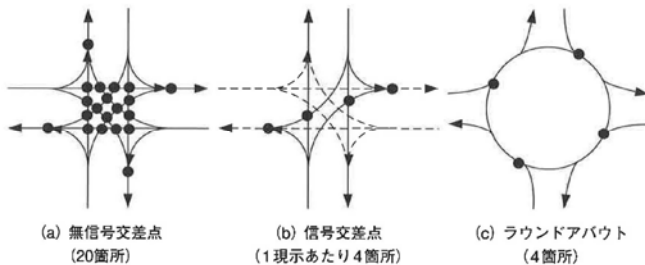


図-2 平面交差点制御方式による車両間交錯点 \*2

### (2)円滑性向上

交通量が少ない信号交差点の場合、交差道路に車両が通行していなくても、赤信号であれば進行できない。一方、信号機を用いないラウンドアバウトは、交差点内に優先車が通行していなければ即時流入できるため、待ち時間の減少に期待ができ、結果として区間旅行時間の低減が可能である。

### (3)災害時の機能確保

ラウンドアバウトは、運用に信号機を用いないことから、停電時にも平常時と同等の運用が可能であり、災害に強い交差点形式である。また、道路照明以外には電力を使わないため、経済性や維持管理性に優れる。

以上のように様々な特徴があるラウンドアバウトであるが、あらゆる状況で導入できるわけではない。例えば、ラウンドアバウトの交通容量は、一般に信号交差点に比べて小さいため、交通量が多い交差点へのラウンドアバウト導入は渋滞の原因になり、適さない場合がある。よって、導入にあたっては、地域特性や交通量などから慎重に判断し、適切に導入することでラウンドアバウトの特徴を最大

限に生かすことができる。

## 3. 現地状況及び設計条件

T市にある設計箇所の、現地状況及び設計条件は以下のとおりである。

### (1)現地状況

ラウンドアバウト予定箇所は、畑作地帯を通過する市道の交差部である。



写真-2 ラウンドアバウト予定箇所

### (2)現況交通量

自動車：39台/3h、歩行者：6人/3h(内高齢者4人)、自転車：1台/3h(平成28年12月6日(火)下校時間帯14～17時で計測)

### (3)将来交通量(平成47年将来交通需要推計交通量)

主道路①：7,000台/日

主道路②：8,800台/日

従道路①：2,600台/日

従道路②：100台/日(想定)

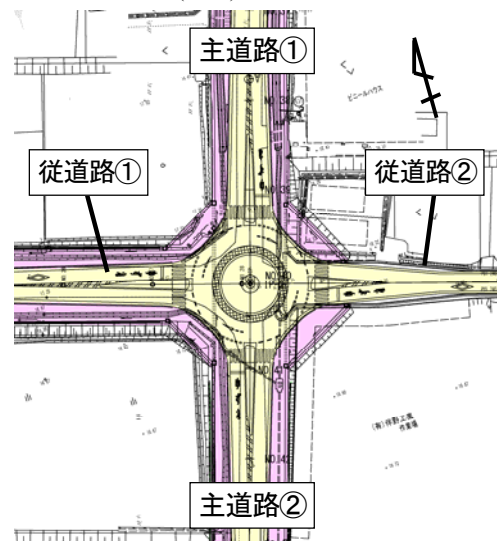


図-3 計画箇所の概要図

#### (4)道路規格、設計速度

主道路①②：第3種第2級 設計速度 50km/h  
従道路①：第3種第3級 設計速度 50km/h  
従道路②：第3種第5級、設計速度 20km/h

#### (5)設計車両

主設計車両：小型自動車等(主要交通となる車両)  
副設計車両：普通自動車  
(主設計車両より規格が大きく、通行機会が少ないため、エプロンにより走行を担保する車両)

### 4. ラウンドアバウト導入可否の検討

本項では、交通量によるラウンドアバウト導入可否の検討を記載する。前述のとおり、ラウンドアバウトの交通容量は、一般に信号交差点に比べて小さいため、交通量が多い交差点へのラウンドアバウト導入は渋滞の原因になり、適さない場合がある。マニュアルによると、ラウンドアバウトの導入には総流入交通量の目安が 10,000(台/日)以下と定められており、これを超える場合でも、交差点の流入部別時間交通容量等の検討により、一定の条件を満たせばラウンドアバウトの導入は可能となっている。当交差点では、総流入交通量が 9,250 台/日(各路線交通量の半数が流入すると仮定した想定値)と 10,000 台/日を下回るため、ラウンドアバウトの導入は可能であるが、混雑度の確認のため、流入部別時間交通容量から各方向の需要率を算出した。流入部別時間交通容量には、将来交通需要推計交通量(H47)等を基に推定した各方向別のピーク時間交通量(図-4)を用いた。これにより需要率を算出した結果(表-1)、すべての方向の需要率が、渋滞が発生する目安である 0.7 を大きく下回っており、ラウンドアバウトの導入に問題がないことを確認した。

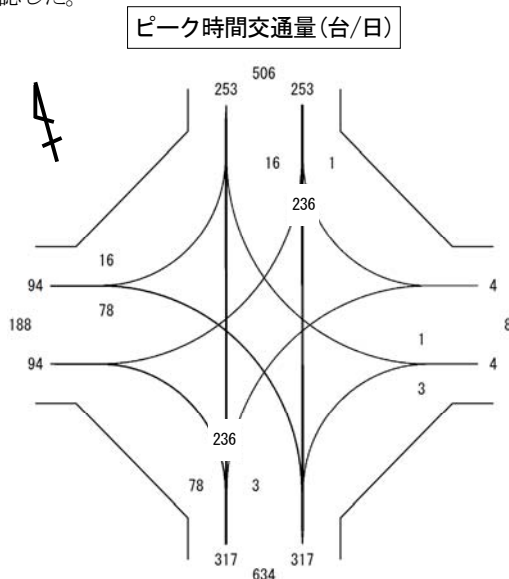


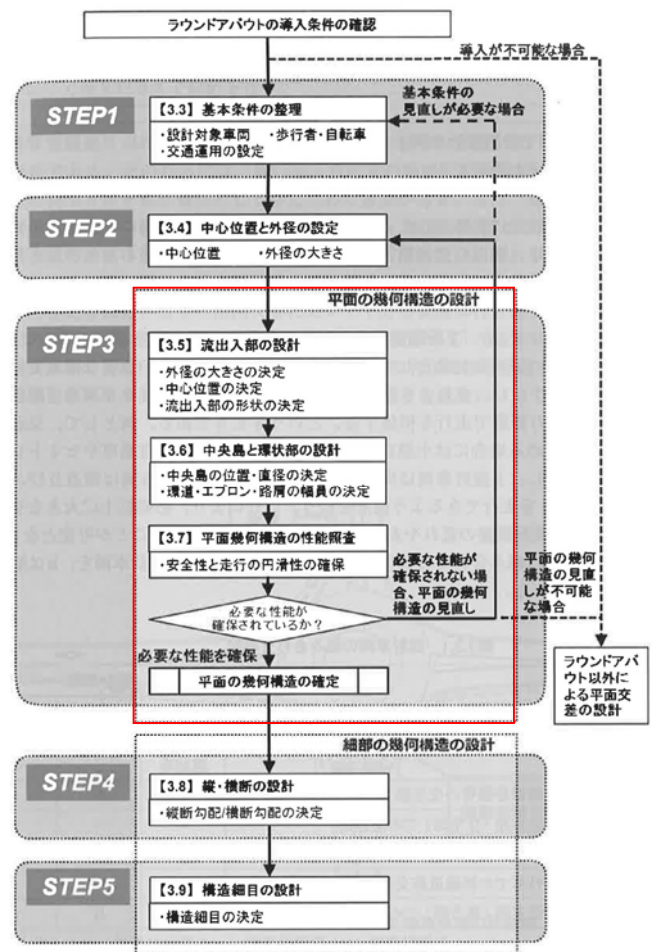
図-4 各方向別のピーク時間交通量

表-1 交通容量及び需要率

流入部 i	①向山南北線(南側)	②向山東西線	③向山南北線(北側)	④交差点東側市道	備考
設計時間交通量 $q_i$ [台/時]	317	94	253	4	推定結果より
大型車混入率 $\gamma_T$ [%]	11.5	11.5	11.5	11.5	近傍路線より
大型車の乗用車換算係数 $E_T$	2.0				規定値
乗用車換算流入交通量 [pcu/時]	353	105	282	4	
直進率 [%]	74.4	0.0	93.3	0.0	
左折率 [%]	24.6	17.0	0.4	75.0	
右折率 [%]	0.9	83.0	6.3	25.0	
直進交通量 $q_{i,S}$	263	0	263	0	
左折交通量 $q_{i,L}$	87	18	1	3	
右折交通量 $q_{i,R}$	3	87	18	1	
環道交通量の算出	環道交通量 $Q_{ci}$	19	267	90	368 式(2.2)
車頭時間パラメータの設定	臨界流入ギャップ $t_c$ [秒]	4.1			規定値
	追従車頭時間 $t_f$ [秒]	2.9			規定値
	環道最小車頭時間 $\tau$ [秒]	2.1			規定値
交通容量・需要率の確認	流入部交通容量 $c_i$ [pcu/時]	1,224.1	1,006.1	1,160.1	921.6 式(2.3)
	安全率 $S_i$ 横断歩行者による影響を考慮 横断歩道あり: 0.9、なし: 1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
	補正後流入部交通容量 [pcu/時]	1,101.7	905.5	1,044.1	829.4 $(c_i \times S_i)$
	需要率 $X_i$	0.29	0.10	0.24	0.00 $(q_i / (S_i \times c_i))$

### 5. 幾何構造の検討

ラウンドアバウトの幾何構造の検討は、以下のフロー(図-5)(STEP3)に基づいて行った。



※【 】内の数字は、詳細を説明する節を示したものである。

図-5 ラウンドアバウトの検討フロー \*3



はじめに、ラウンドアバウトの基本要素となる中心位置、外径を設定し、その後、流入部や中央島等の設定を行う。各幾何構造は、設計車両や現地条件等を踏まえ判断する。各幾何構造設定後、安全性(速度抑制効果、逆走防止効果、視認性)の照査を行い、課題があれば、再度幾何構造を見直し、課題が解決されたところで設定値を採用値とする。上記のように、ラウンドアバウトの設計には、現地条件に応じた慎重な検討が必要であり、数回のトライアルが必要になる場合がある。

本件における幾何構造のうち、代表的な事項を以下に記載する。

#### (1) 外径

当交差点は正十字の平面交差点であるため、普通自動車の周回に必要な外径(分離島あり)は、マニュアルより 27m である。外径は必要以上に大きくすると、走行速度上昇を招き望ましくないため、当交差点では外径 27m とした。

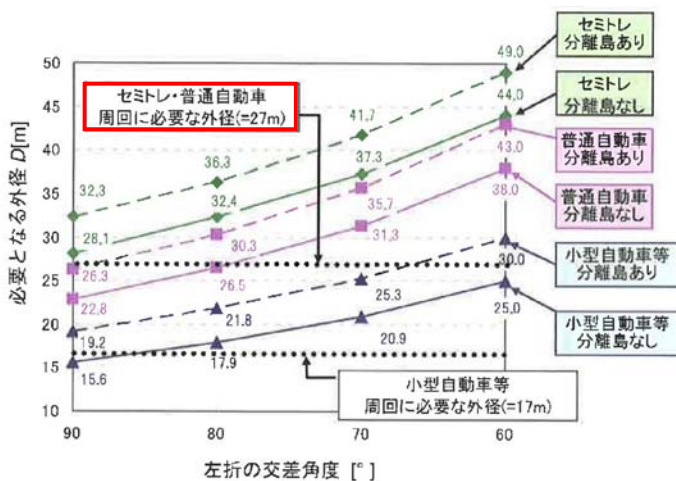


図-6 左折の交差角度と最小外径の目安値 ※4

#### (2) 横断歩道の位置

横断歩道の位置は、横断歩行者を待つ車の滞留スペースとして、環道より車1台分離した位置とすることが通常であるが、歩行者がほとんどいない当交差点では、車両の滞留スペースを確保する意義は小さい。また、横断歩道を環道から離すことは、車両の横断歩道通過時の走行速度上昇を招くため必ずしも安全とはいえないことから、横断歩道はできるだけ環道に寄せることとした。但し、流出入車両の接触防止等のための分離島は設置する必要がある、環道と横断歩道との距離は、分離島設置延長を確保した 1.5m(外径から 1.0m)とした。(図-7 参照)

結果的に交差点がコンパクトになり、安全性が向上したうえ、用地追加買収面積も縮小することができた。

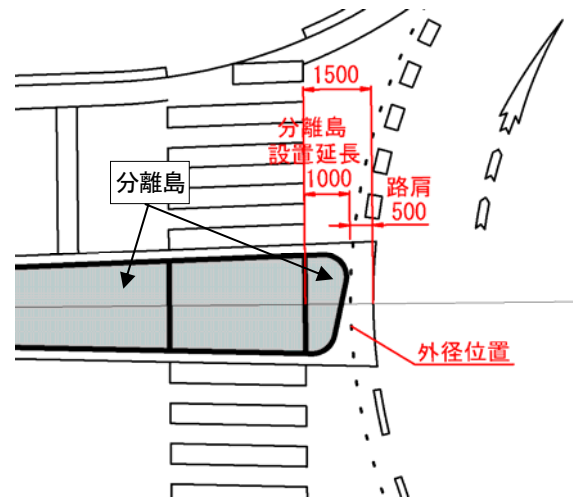


図-7 分離島の設置イメージ

#### (3) 隅角部の曲線半径

隅角部の曲線半径は、流入部は速度抑制のため、また流出部はスムーズな流出のため、流出部の曲線半径を流入部より大きく設計することが一般的である。ドイツの基準では、流出部の曲線半径を流入部より 2m 程度大きく設定することとしていることから、当交差点においてもこれを参考とした。また、流出入速度を抑制するため、曲線半径はできる限り小さくするものとし、副設計車両(普通自動車)の走行軌跡に干渉しない大きさとした。以上より隅角部の曲線半径は、流入部  $R=12.0\text{m}$ 、流出部  $R=14.0\text{m}$  とした。

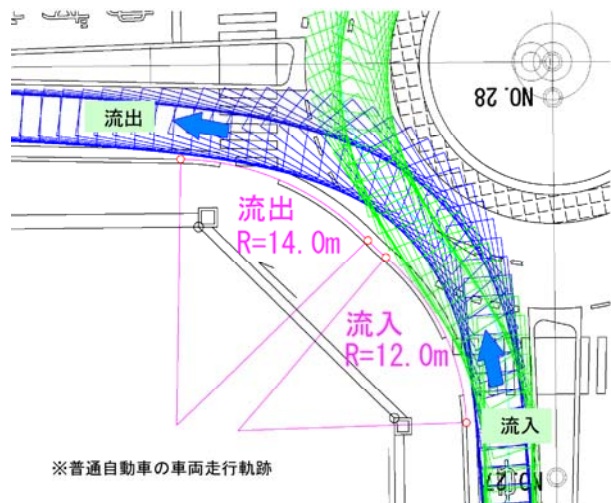


図-8 流出入部の曲線半径

#### (4) 中央島

中央島は、副設計車両(普通自動車)の車両走行軌跡を用いて、通行に支障がない大きさとする。ラウンドアバウトの最も内側を通る車両走行軌跡が、中央島及び路肩から側方余裕 0.5m 程度確保可能な、直径 13.0m の中央島を採用した。



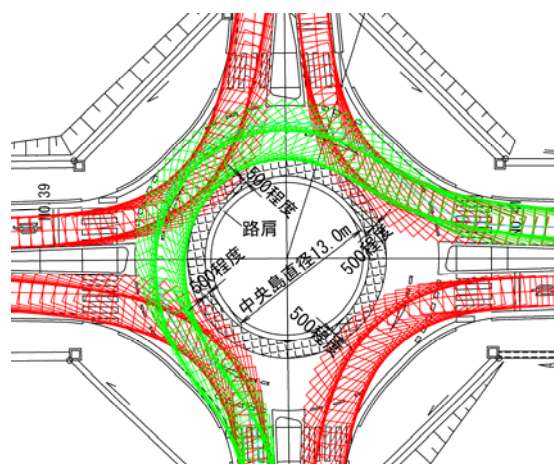


図-9 中央島の決定根拠

#### (5)環道、エプロン

環道幅員は主設計車両(小型自動車等)の車両走行軌跡を用いて決定する。過去の社会実験では外径27mの正十字ラウンドアバウトの環道幅員は5.0m程度が妥当との見解があるが、その場合、利用者の評価は高いものの車両走行の乱れや車両並走の可能性がある、安全性に懸念がある。よって、車両並走の可能性が低く、安全な通行が確保できる環道幅員4.5mを採用した。また、安全性及び維持管理性を考慮し、環道左側及び中央島に接続して路肩を設置した。路肩幅員は、広すぎると車両走行の乱れを招くため、道路の左側路肩の最小値である0.5mとした。

エプロン幅員は、外径、中央島、環道、路肩より以下のとおりである。エプロン幅員  $= \{27.0(\text{外径}) - 13.0(\text{中央島}) - 4.5 \times 2(\text{環道}) - 0.5 \times 4(\text{路肩})\} / 2 = 1.5\text{m}$

## あ と が き

ラウンドアバウトは、海外において広く普及しているが、国内における設計・施工事例は依然少ないのが現状である。国内においては、道路交通法改正(平成25年6月)によりラウンドアバウトが規定され、今後ますます普及が進むと予想される。本件での事例が、今後のラウンドアバウト設計の一助になれば幸いである。



図-10 当設計の完成予想パース

最後に、本計画にあたり、名古屋大学大学院中村英樹教授をはじめ、関係各位の方々にご指導・ご助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 道路構造令の解説と運用、公益社団法人 日本道路協会、H27.6
- 2) ラウンドアバウトマニュアル、一般社団法人 交通工学研究会、H28.4.28 (図の引用頁 \*1-p.9、\*2-p.17、\*3-p.39、\*4-p.45)

## 行政・住民双方のニーズを踏まえた小学校跡地利用方針（案）の提案

大日本コンサルタント(株) 富田 洋史  
大日本コンサルタント(株) ○小畑 沙梨花

### 論文要旨

兵庫県神河町では小学校の統廃合により、旧栗賀小学校の約 1.9ha の跡地が存在する。対象地は高い交通利便性および集客ポテンシャルを持っており、行政ならびに住民からは跡地への導入施設に関する多様なニーズが寄せられた。また、町の財政負担を減らすため、PFI 事業の導入が前提条件である。本業務では、跡地導入施設に関するニーズの把握と意見調整を実現させ、跡地周辺施設との連携による地域の活性化をコンセプトとした跡地利用方針を提案した。

キーワード：PFI、住民参加、小学校跡地活用

### まえがき

近年、我が国では著しい少子化により学校の統廃合が進んでいる。本業務の対象である兵庫県神河町も例外ではなく小学校の統廃合により、旧栗賀小学校跡地約 1.9ha が存在する。

跡地の周辺には、観光資源や生活施設が存在しているため集客ポテンシャルがあり、また播但連絡有料道路や国道 312 号が近接していることから交通利便性も高い一等地である。そのため、住民および町が跡地に寄せる期待は大きく、多様なニーズが挙げられた。本業務では多様なニーズを把握し、各種導入条件、歴史的背景を踏まえ、跡地周辺施設との連携による地域の活性化をコンセプトとした跡地利用方針の提案を行った。併せて、町の財政負担を減らすために PFI 事業の導入を視野に入れ、活用方法を検討した。



図－1 対象地の位置図

### 1. 業務の概要

#### 1) 業務対象地

本業務の対象地は兵庫県神崎郡神河町栗賀に位置する旧栗賀小学校跡地(約 1.9ha)である。位置図を図－1 に示す。

#### 2) 業務の目的

本業務は統廃合によって閉校し更地となった旧栗賀小学校の跡地を有効に活用するため、住民意見を把握し、PFI 事業等による活用基本方針を策定することを目的とする。

#### 3) 業務フロー

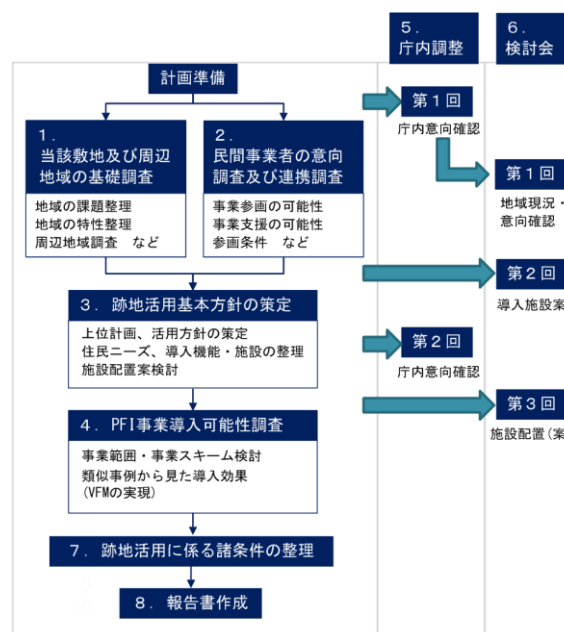
本業務は図－2 の手順で進めた。

### 2. 対象地の概要

#### 2－1. 神河町の特徴

##### 1) 合併

平成 17 年 11 月 7 日に神崎町と大河内町が合併し神河町となった。なお、現在は公共施設等総合管理計画に基づき



図－2 業務フロー図

## 2) 人口推移

### 3) 資源

## 2-2. 計画地の概要

### 1) 計画地の現状

図-3 計画地の現状

## 2) 計画地の周辺施設

交通条件としては、計画地の西側には国道 312 号、東側には銀の馬車道が通っており、町内及び町外の自動車利用者が訪れやすい立地である。国道沿いには町内の JR 播但線全 3 駅に通じるバス停が存在する。



図-4 計画地の周辺施設

3) 計画地にかかる法令等

しかし、高さ制限が除外されている「幹線道路特例区間」に存する場合は、建築物の高さに制限はなくなる。これらのことから、導入施設が 2 階以上となる場合は、国道 312 号と隣接させるために、西側の郵便局や田畑等の用地買収に関して検討する必要がある。



圖一5 景觀形成地區

### 3. 跡地活用の基本理念

### 1) 跡地に求められる役割

跡地は神河町の中心に位置しており、神河町長期総合計



画においては「住民サービス拠点」の役割を、地域創生総合戦略では「地域の魅力を高め活力ある地域づくり」の役割を担っている。さらに、中村・栗賀町ふるさとにぎわいづくり拠点事業計画では、「神河町全体の活性化を誘引するにぎわいゾーンとしてシンボルとなる景観づくり」、「中心ゾーンにふさわしい公的施設の整備」および「現代的な神河町ゾーンと歴史文化ゾーンをつなげる（文化の薫る神河町らしい景観づくり）」を踏まえた拠点づくりが求められる。

表－１ 上位計画における跡地に求められる役割

上位関連計画	求められる役割
長期総合計画基本計画	住民サービス拠点 <sup>2)</sup>
地域創生総合戦略	地域の魅力を高め活力ある地域づくり <sup>3)</sup>
中村・栗賀町ふるさとにぎわいづくり拠点事業計画	・戦略的な需要供給による量と質両面からの人口対策 <sup>4)</sup> ・中心ゾーンにふさわしい公的施設の整備 <sup>4)</sup> ・現代的な神河町ゾーンと歴史文化ゾーンをつなげる（文化の薫る神河町らしい景観づくり） <sup>4)</sup>

## 2) 跡地活用の基本理念

跡地に求められる役割を踏まえ、跡地活用の基本理念を「神河町の歴史・文化の伝承と全世代の交流と健康を支える「歴史文化交流拠点」とした。

## 4. 跡地への導入施設・機能の検討

### 4-1. ニーズの把握

跡地への導入施設・機能検討に向け、住民および行政が持つ施設へのニーズ把握を行った。住民に対しては検討会を、行政に対しては庁内会議を開催した。

表－２ 住民との検討会及び庁内会議の概要

検討会	開催日	協議項目
第1回	平成28年11月02日	①概要説明、②上位計画説明 ④PFI/PPP説明、⑤ワークショップ
第2回	平成28年12月21日	①跡地活用案説明、②PFI事業への町方針説明、③質疑応答
第3回	平成29年03月27日	①ワーキング説明、②平成29年度スケジュール確認、③質疑応答
庁内会議	開催日	協議項目
第1回	平成28年10月21日	①概要説明、②跡地活用案提起 ③各課意見交換
第2回	平成28年12月12日	①進捗報告、②ヒアリング調査結果報告、③跡地導入施設提案

### 1) 住民ニーズ

住民のニーズは検討会の開催により把握を行った。検討会は、平成28年11月～平成29年3月の期間に全3回行った。検討会参加メンバーについては、PTA、商工会、観光協会、銀の馬車商店会、まちづくり協議会、そして、計画地に近接する地区である栗賀区・中村区の区長、消防団、老人クラブ、女性会に加え、計画地周辺の地区である福本区、吉富区の区長の計20名であった。

第1回検討会は平成28年11月2日に開催し、ワークショップ形式で、計画地への導入に肯定的な施設、否定的な施設の2方向から導入施設のニーズを収集した(表－3)。

結果、肯定的な施設としては、平成31年に取り壊し予定

表－3 第1回検討会で挙げられたニーズ

No.	施設	意見
1	研修ができる教室(公民館)	○文化教室や研修ができるため ○取壊し予定があるため代替施設が必要 ○全世代が利用できる ○防災機能のある施設
2	図書館	○取壊し予定があるため代替施設が必要 ○営業時間の長い図書館 ○CD・DVD貸出のある図書館 ○防災機能のある施設
3	資料館・歴史館	○町内の文化を集約できる施設
4	商工会館	○商工会が観光案内所を設置 ○商工会館建設
5	直売所	○全世代が利用できる ○地域住民の雇用につながる ○地元の特産品のアピール ○地域住民の活性化
6	道の駅	○地元の特産品のアピール
7	公共トイレ	○銀の馬車道への観光客支援 ○防災機能のある施設
8	公共駐車場	○銀の馬車道への観光客支援 ○防災機能のある施設
9	公園	○子育て支援のため ○健康につながるため ○全世代が利用できる ○防災機能のある施設
10	体育館(武道場)	○取壊し予定があるため代替施設が必要 ○全世代が利用できる ○防災機能のある施設
11	プール	○健康につながるため
12	スポーツジム(付帯施設)	○健康につながるため
13	民間スポーツクラブ	○健康につながるため
14	グラウンド(多目的ドーム)	○取壊し予定があるため代替施設が必要 ○全世代が利用できる ○全天候型の多目的な施設 ○防災機能のある施設
15	保育施設	○一時預かり施設の増設 ○子育て支援のため
16	介護施設	○デイサービス、リハビリ施設 ○サービス付き高齢者住宅 ▲中心地にふさわしくない
17	公営住宅	○若い世代の住める住宅があるとよい ▲中心地にふさわしくない ▲人口減少で採算が取れるか不安
18	民間住宅(マンション、分譲)	▲中心地に住宅はふさわしくない ▲人口減少で採算が取れるか不安 ▲高層住宅は景観を阻害するため
19	ライブハウス	○イベントができる施設 ▲利益を優先した施設 ▲公害(騒音、悪臭)が発生 ▲非常識な時間に人が集まるため
20	飲食店	○特色のある飲食店だと集客できる ○24時間営業の飲食店がほしい ○地域住民の雇用につながる ▲現在の飲食店と共倒れの可能性 ▲公害(騒音、悪臭)が発生 ▲非常識な時間に人が集まるため
21	大型商業施設	○アウトレットモール ○地域住民の雇用につながる ▲利益を優先した施設 ▲大型の施設は景観を阻害するため ▲公害(騒音、悪臭)が発生 ▲渋滞が発生するため
22	工場	○地域住民の雇用につながる ▲公害(騒音、悪臭)が発生 ▲景観を阻害するため

○：肯定意見 ▲：否定意見

である施設の代替施設(公民館、体育館、図書館)、商業施設、福祉施設等が挙げられた。住民ニーズの傾向としては、営業時間長いこと、全年代が利用できること、地元住民の



健康や雇用につながることで、防災機能や観光支援機能があることの5つが導入する際の条件として重視されていることが明らかとなった。

一方、否定的な施設としては住宅や娯楽施設、工場が挙げられた。導入に否定的な条件は、神河町の中心地としてふさわしくないこと、公害の発生につながることで、治安悪化や生活環境の悪化につながることである。

第2回、第3回検討会においては住民ニーズおよび行政ニーズを踏まえ、検討した導入施設案についての意見を聴取した。詳細は次項(4-3)に記載する。

## 2) 行政ニーズ

神河町のニーズは庁内会議により把握を行った。庁内会議は、平成28年10月～12月の期間に全2回行った。庁内会議参加メンバーについては、副町長、総務課、住民生活課、上下水道課、ひと・まち・みらい課、建設課、健康福祉課、教育課、地域振興課、総合病院関係者の計15名であった。

第1回庁内会議は、平成28年10月21日に開催し、計画地導入施設のニーズを収集した。施設としては公営住宅、サービス付き高齢者住宅、商業施設、福祉施設、育児施設、小ホール、図書館、公民館、体育館、グランドゴルフ場、公園が挙げられた。また、機能としては貸館利用のできる教室・会議室、文化財管理スペース、病院と連携スペース、フリースペースが挙げられた。

第2回庁内会議は、検討した導入施設案について意見を聴取した。詳細は次項(4-3)に記載する。

住民ニーズと行政ニーズが異なる点としては、住民は取り壊し予定のある施設の代替施設を求めているが、行政は前々から不十分であった施設の導入を重要視していることから、特に体育館の導入について調整を行う必要があった。

## 4-2. PFI事業導入に向けてのヒアリング

跡地活用の前提条件としてPFI事業の導入が神河町の財政負担を減らすために必要となってくる。本業務では金融機関及び住民と行政のニーズが対立する体育館関係の事業者にヒアリングを行った(表-4)。

表-4 ヒアリング対象と日程一覧

ヒアリング事業者	開催日
但馬銀行 神崎支店	平成28年11月24日
但陽信用金庫 栗賀支店	平成28年11月24日
JA兵庫西 栗賀支店	平成28年11月25日
(株)コナミスポーツクラブ	平成29年02月06日
美津濃(株)	平成29年02月10日

ヒアリングの結果、PFIの可能性については収益施設を運営する場合、採算面で厳しいと感じている企業が多く、旧栗賀小跡地すべての敷地を1つの業者で建設・管理・運営していくのは難しいことが明らかとなった。ただし指定管理者として取り組めるものがあれば情報提供してほしいと言っている企業の存在を把握することができた。

また、計画地での展開については、物流拠点やサービス

付き高齢者住宅に興味をもっている企業が存在し、計画地内の活用だけでなく、姫路城～竹田城へ向かう際の中間点という立地及び交通の便の良さを活かした集客する仕掛けを考える必要があるという意見があることも把握できた。

住民と行政のニーズが対立する体育施設の導入については、利用料金設定やマーケット等の分析が必要ではあるものの、民間の独立採算事業は難しく、公共施設としての整備として、サービス購入費が必要であるため、行政の財政負担の可能性はある。また、立地環境としては厳しいことから、スポーツ単独ではなく複合的なもので集客を図っていく必要があり、健康と福祉、産業を絡めた複合的な施設の導入が必要であるとの意見が把握できた。

## 4-3. ニーズのすり合わせ

ニーズのすり合わせは図-6に示す時系列で行った。すり合わせに関しての工夫点を以下に示す。

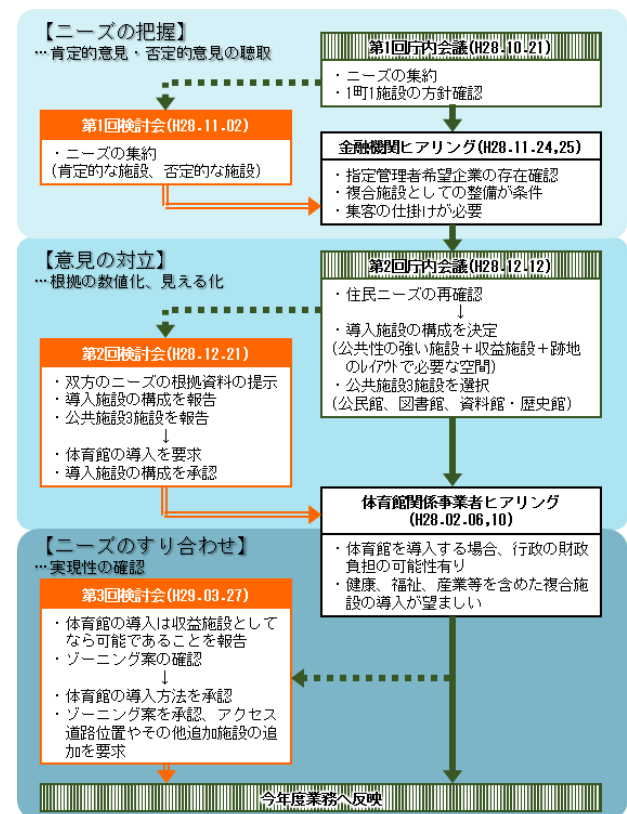


図-6 ニーズの集約と時系列

## 1) すり合わせにおける工夫点

### (1) 住民の否定的な意見の把握

ニーズのすり合わせにおいて、行政と住民のニーズが一致しない場合、計画の進捗に影響を与えかねないことから本業務では第1回検討会を通して、住民の肯定的な意見だけでなく、否定的な意見の聴取を行った。これにより比較的スムーズに行政と住民のニーズ調整が可能となった。



※肯定的な意見(黄色)と否定的な意見(水色)  
図-7 ワークショップ形式での意見の把握

## (2) 根拠の数値化・見える化

聴取した意見の中には、「多い」「少ない」「代替は難しい」等の根拠が不明瞭な意見がみられる。そういった意見は、調整を行う際に明確な結論を導く妨げとなる。

そのため根拠が不確かな意見は、「現況〇件」「利用者〇人」等の具体的な数値に表すこと、目で確認できるようにすることを徹底し、意見の調整に努めた。数値化及び見える化を行ったことで、住民と行政両者が納得し、一つの結論へ導くことが可能となった。

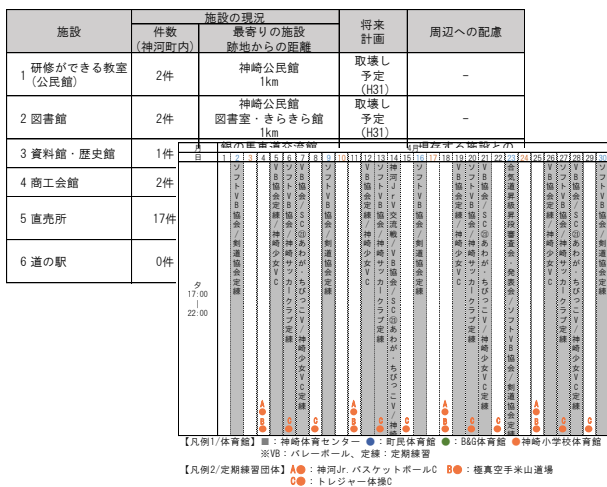


図-8 数値化(左図)と見える化(右図)(一部抜粋)

## (3) 実現性の確認

町の財政事情からすると跡地の活用は、PFI 事業の導入が必要である。そのため、住民と行政のニーズだけではなく、金融機関や民間企業にヒアリングを行い、実現性を高めるために必要な条件の把握、および導入施設に適している機能を聴取した。

## 2) ニーズのすり合わせ結果

検討会及び庁内会議において導入施設候補に挙げた「研修ができる教室(公民館)」「図書館」「資料館・歴史館」の3施設(機能)と、PFI 事業者の事業性確保のための「収益施設」の導入を前提とする。加えて、跡地利用のレイ

アウトを考える上で必要な条件となる「アクセス道路」、「広場・公園」、「駐車場」に関しても合わせて検討するものとした。

体育館については、行政側の事情である財政負担や公共施設等総合管理計画を、住民の強いニーズがあることを加味し、調整の結果、収益施設としての導入を前提として検討するものとした。

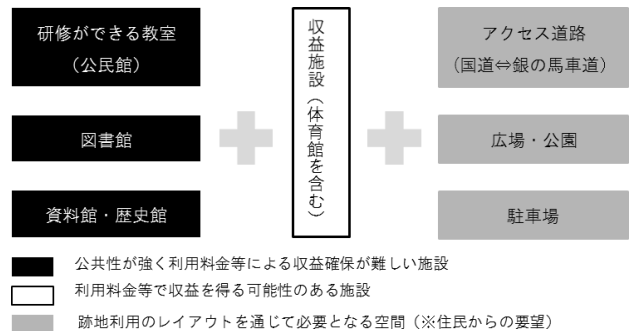


図-9 ニーズのすり合わせ結果

## 5. 跡地活用基本方針の策定

### 1) 跡地活用基本方針

跡地活用の基本理念を踏まえ、以下の4方針を設定した。

#### (1) 歴史文化の学習の場の創出に向けて

既存の資料館と連携する新たな学習施設の導入や神河町の歴史・文化の伝承に必要な「資料収集整理」「保存」「活用・発信」機能を新たに確保する。

#### (2) 便利な生涯学習・交流拠点の構築に向けて

神崎公民館・図書館を代替できる施設を整備する。芸術文化活動や会議・研修機能を求めるニーズに対応し、十分な蔵書に対応する図書館機能を整備することにより、児童から高齢者までの生涯学習、交流の拠点を形成する。

#### (3) まち・ひと・しごと創生と好循環を支える拠点の構築に向けて

地域ブランド活動を支える新たな労働の場、交流を促進する拠点を整備する。既存の観光交流センター等との連携により、効果的に案内・情報発信を図り、地域ブランドの創造・販売や福祉・教育等での住民サービスの強化による地域の魅力向上を図る。加えて、上記施設の整備に伴い、神河町の人々にとっての新しい労働の場として確立する。

#### (4) 新たな施設整備に向けて

最適な資源(人材、財源、地域資源)の運用を行う。特に連携を行った事例のある兵庫県立大学等の外部団体との積極的な連携により効果的な資源運用を図る。また、行財政改革が求められている中で、PFI 手法など町有施設の民間企業への建設・運営委託を含めて合理化を図り、効率的な運営を図る。

### 2) 導入施設・機能

設定した基本方針およびニーズのすり合わせ結果に基づき、導入機能を以下のとおり設定した。

表-5 導入施設・機能一覧

導入機能		内容
資料館 歴史館	資料収集 保存機能	・神河町の歴史・文化の伝承を行うために必要な 関連資料の収集・整理及び保存するための機能
	研究 研修機能	・歴史・文化を伝承するための研究・研修機能
	発信機能	・歴史・文化資料を活用した展示等による情報発信 及び交流促進を図るための機能
研修ができる教室		・老朽化した神崎公民館の機能を代替する視聴覚 室・研修室・和室・工作室等の機能
図書館	開架式 閲覧機能	・図書、雑誌、視聴覚資料、点字資料等を収集、 保管し利用者の閲覧に供する機能
	書庫 機能	・並べきれない図書、貴重な資料等を収納・保管 する機能
空間 機能	体育館	・全町民・来訪者が様々なスポーツを行える機能 ・行事開催時の会場としての機能 ・有事の際における防災拠点としての機能
	広場 公園	・全町民・来訪者が集い、交流できる機能 ・行事開催時の会場としての機能 ・有事の際における防災拠点としての機能
収益施設		・地域ブランド創造・販売・観光案内・情報発信 拠点としての機能 ・福祉・教育・商業機能等を取り入れた、新しい 労働の場
駐車・休憩機能		・国道312号からのアクセスを容易にするための 自動車(乗用車・大型バス)の駐車機能および 24時間利用可能なトイレ
アクセス道路		・国道312号と銀の馬車道との連携 ・現状交通環境を阻害しない施設への動線確保

### 3) 施設のゾーニング(案)の検討

#### (1) 方針

跡地利用の基本理念、基本方針を踏まえ、ゾーニングの方針は「周辺施設との連携を重視(A案)」「国道を利用する来訪者の利便性を重視(B案)」の2つとした。特にB案に関しては①自動車歩行者を重視した案、②公共交通や徒歩での来訪者を重視した案の2パターンを作成し、全3案(A案、B-1案、B-2案)で比較検討を行った。

#### (2) 評価項目

ゾーニングの評価にあたっては、①アクセス性(国道からの出入を主体とした利便性の評価)、②周辺への影響(利用者混雑時における国道への影響、景観への影響の評価)、③騒音(周辺住宅地環境へ与える影響、文化的施設の配置環境の評価)、④施設配置による周辺施設との連携(計画地外周辺施設との連携の可能性を評価)の大きく分けて4項目を評価項目とした。

#### (3) 前提条件

前提条件として、「アクセス道路・駐車場は南側への配置とすること」、収益施設は具体的な用途が決定していないため、「集客力のある商業施設として想定すること」とした。

体育館については、町内の他の体育施設稼働状況等からみて、町内他施設で代替可能と考えられるが、民間事業者による施設運営の可能性は引き続き調査・検討していくため、現段階でのゾーニング案では、広場空間の整備と一体的に検討を行うものとした。

#### (4) 検討結果

ゾーニングの検討を行った結果周辺施設と連携できる施設配置により、にぎわいの相乗効果が期待でき、さらに銀の馬車道沿道という立地を活かした文化的施設の配置によ

り魅力強化が可能な配置であるA案「周辺施設と計画地空間の土地利用の整合」を推薦案とした。

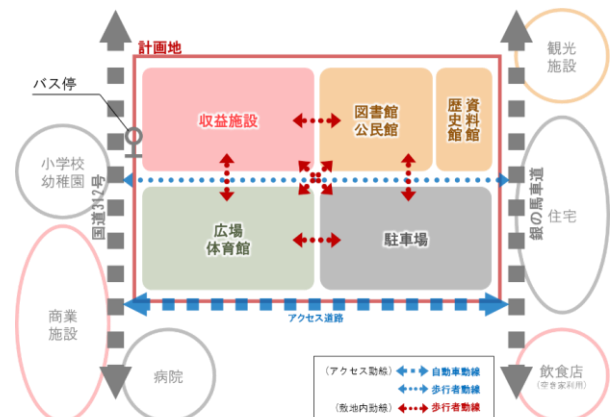


図-10 ゾーニング案

### あとがき

住民や行政、民間企業等の複数の意向を調整する業務は多く存在する。この成果が住民参加型の事業やPFI事業等に関わる業務の参考となることを望む。

本論文で紹介した業務は引き続き今年度も従事するため、過年度の成果を踏まえ、導入施設の規模や事業への参画が望まれる民間企業の選出に努めていきたいと思う。

最後に、本業務の遂行、論文のとりまとめにご協力いただきました神河町の職員および住民の皆様、ご指導いただいた関係者の皆様に感謝を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 兵庫県：神河町中村・栗賀町地区歴史的景観形成地区景観ガイドライン、H26.4.1、pp.7,8
- 2) かみかわ銀の馬車道まちづくり協議会：中村・栗賀町ふるさとにぎわいづくり拠点事業、H28.3、p.17
- 3) 兵庫県神河町：神河町地域創生総合戦略、H27.10、pp.12,32
- 4) 兵庫県神河町：第1次神河町長期総合計画基本構想、H19.3、pp.14,15



## ホーム段差改良における軌道低下検討

ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社      ○田中 浩之  
ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社      大野 正次

### 論文要旨

2017年6月17日より寝台列車「TWILIGHT EXPRESS 瑞風」が運行開始するのに合わせ、現在使用している京都駅0番線ホーム高を920mmから1,100mmに改良する計画となった。このホームは施工当時、低床ホーム(920mm)として建設されたが、瑞風や新快速列車、特急サンダーバードなどの現行停止列車(1,100mm)との間に段差が生じていたことから、この段差を解消するためにホーム高を変更することとなった。

段差改良においては、一般的にホームこう上が採用されるが、当該ホーム上には支障物が多数点在していたことや、施工期間中のお客様の利便性や安全性の低下が懸念されたため、ホーム上の改良ではなく、軌道低下を行いホーム高を変更することを提案した。

本設計では、線路及び隣接構造物への安全性を確保した軌道低下設計を行うことにより、利便性を確保しつつ施工性を向上させることが可能となった。

キーワード：停車場改良，乗降場段差改良，軌道低下

### まえがき

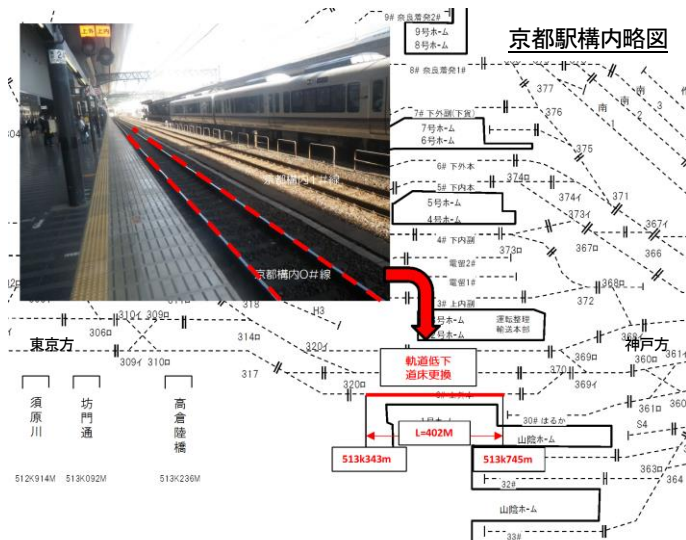
京都駅0番線ホームは、特急サンダーバードや通勤時間帯の新快速列車が停車するホームであったが、この度「TWILIGHT EXPRESS 瑞風」の運行も開始された。このホームは、京都駅中央口改札に面し、ホーム延長300m以上、ホーム幅員は広い箇所10m以上という大規模ホームである。このホーム高を変更する上で、ホームこう上案及び軌道低下案を比較検討し、結果的に軌道低下により段差改良を図ったものである。



図－1 京都駅中央口

### 1. 改良計画の概要

ホーム高 920mm の低床ホームを現行停止列車に合わせ 1,100mm に改良するため、ホーム区間のみ現況線路を180mm 低下させ、ホーム前後で既設線路に取付ける線路縦断設計を行った。また、軌道低下に伴う付帯設計として、ホーム構造の補強検討や排水計画を合わせて実施した。



図－2 改良位置図

### 2. ホーム段差改良工法の選定

ホーム段差を改良する方法としては、(1) 広く実施されているホームこう上案、(2) 今回採用した軌道低下案があるが、両案の課題事項を整理し、比較検討を行った。具体的な課題事項は以下の通りである。

### (1) ホームこう上における課題

当初計画では、一般的なホームこう上が計画されていたが、改良範囲が広く、ホーム上の通路・階段・ESC・EV・駅事務室・扉等、ホームこう上により発生する多くの支障物を合わせて改良しなければならなかった。ホームこう上した場合の詳細な支障物調査を行った結果、以下の施設への対策が必要となった。

- ① ホームこう上中、ホーム上のESC・EVを使用停止
- ② ホーム舗装部の床面タイルや点字ブロックの張替
- ③ ホーム上の荷重増加における既設ホーム耐力検討
- ④ 電灯電力設備(ホーム照明・LED乗車位置変更)
- ⑤ 信号設備(非常停止ボタン位置変更)
- ⑥ 通信設備(カメラ・センサー・時計の移設)
- ⑦ 売店、乗務員詰所(出入口扉改築)



図-3 0番線ホーム設備

### (2) 軌道低下における課題

軌道低下を行った場合、ホーム上施設への影響は無いものの、軌道構造及び当該線路周辺の構造物について改良の必要性を検討しなければならない。

軌道低下した場合の詳細な支障物調査を行った結果、以下の施設への対策が必要となった。

- ① 道床厚(250mm)を確保するため、計画施工基面まで路盤を掘削
- ② 夜間の線閉作業による1晩の作業量検討
- ③ 路盤排水処理方法
- ④ 信号・通信ケーブルや地上子の移設
- ⑤ 既設ホーム基礎の安定検討
- ⑥ 線間マンホールの改築

### (3) 対策工法の選定

大規模駅構内のホームこう上では、多数の施設の改良や支障移転が発生するため、費用や工期が必要となること、また、工事期間中には誘導員を配置し、移動経路を制限し

たホームの使用になることから、お客様の利便性を大きく損ねてしまうことが理由となり、軌道低下を採用することとなった。軌道低下であれば工事期間中は全て夜間工事となり、お客様の乗降に大きな影響を及ぼすことは無いと判断した。

## 3. 軌道低下における課題

軌道低下を行う上で、現況線路及び周辺施設への影響を確認し、主要な課題事項を抽出した。

### (1) 平面・縦断線形

当該ホームの両端には分岐器が敷設されており、そこから各線へ接続する複雑な平面線形となっており、ホーム端に緩和曲線も介在することから、平面線形との競合を考慮した縦断計画が求められた。

### (2) ホーム安定検討

当該ホームは過去に拡幅が行われており、0番線に面する線路側が支柱に支持された桁式構造、背面側が既設盛土ホームの擁壁天端に支持される構造であった。0番線の軌道低下に伴い路盤を掘削するため、桁式ホーム基礎が根入れ不足となり、安定検討及び必要に応じて補強対策が必要であった。

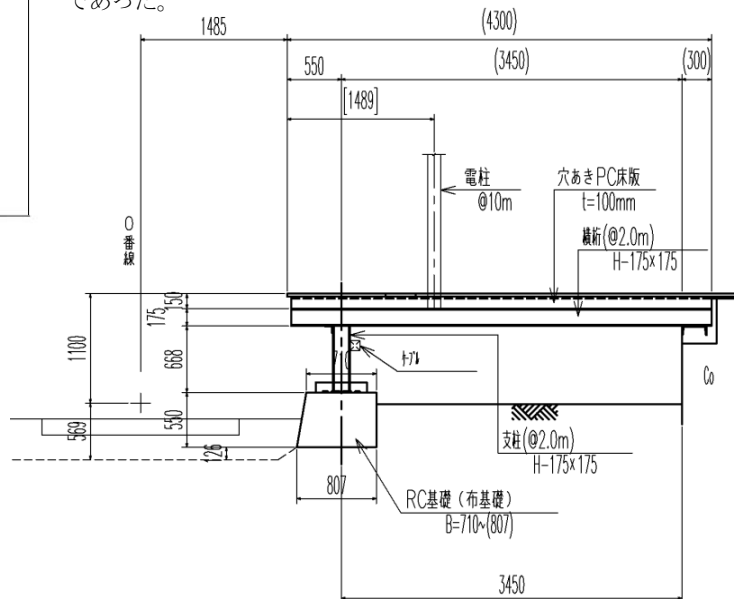


図-4 ホーム構造図

### (3) 排水処理

当該線路の軌道を低下させることで、隣接した線路との間で路盤高に高低差が生じるため、雨水が当該線側に流入することが懸念され、排水処理対策を講じる必要があった。

## 4. 平面・縦断線形

影響範囲を最小限とするためには、両端分岐器及び緩和曲線の内方で線形を収束させる必要があった。しかし、ホーム全長を軌道低下させると、ホーム端から分岐器までの

延長が短く、既設線路への取り付けが不可能な状況であった。ここで、全長 300m 以上のホームは全てが旅客の乗降に使用されているわけではなく、駅事務室横の通路など、駅係員用や保守用に使用されている箇所があることに着目した。また、当該ホームが全列車停止であり、運行する列車が低速走行で進入してくることに着目し、実際に旅客の乗降に使用されているホーム有効長の外方に部分的な急勾配を設けることで、走行性や乗降に影響を与えない線形を計画した。

## 5. ホーム安定検討

### (1) 安定計算

既設桁式ホームは、0 番線側は布基礎、背面側は既設擁壁に支持された構造であり、布基礎の安定計算を行った結果、地震時の鉛直支持において安全率を満足できない結果となった。地震時の水平荷重については、既設擁壁側の固定が確実になされているかが不明であったため、全て布基礎側に作用するものとして計算した(既設ホームの財産図には擁壁部の詳細図が無く、またホーム下には上屋基礎や多数の電気ケーブルが張り巡らされており、目視では固定状況の確認が出来なかった)。

### (2) 基礎補強検討

安定計算において、鉛直支持が持たない結果となったため、基礎の補強検討を行った。補強方法としては、①軌道低下を行う前に基礎幅を広げる(支持面積)、基礎を深くする(有効根入れ長)、②基礎と線路の間に鋼矢板を設置し、線路側への変状を抑止するなどの案を検討したが、どちらも工事中の限界支障や線路への影響が大きいことなどの施工条件から布基礎の連続的な補強が困難であった。

### (3) ホーム構造の詳細調査

本検討においては、ホーム構造は財産図より復元したものを使用しており、既設擁壁支持部など、不明確な構造の箇所もあり、条件を仮定ながら検討を進めているところもあった。そこで、300m 以上のホーム延長全てについて、ホームの詳細な調査を実施することを提案した。

調査の結果、当初 1 断面と想定していたホーム構造は、桁長や支持する支柱本数の違いにより、計 6 パターンに分類された。また、既設擁壁固定部も十分な固定がされている箇所もあれば、簡易な固定で済ませている箇所など様々であった。

そこで、断面ごとに再度安定計算を行い、持たない箇所についてのみ擁壁とホーム桁とをブラケットで固定することで、線路側基礎への応力分担を低減し、地震時荷重にも耐え得るホーム構造として補強する計画とした。

## 6. 排水処理

軌道低下を行った 0 番線と隣接 1 番線の当初のレールレベルはほぼ等しかったが、軌道を下げることによってレールレベルに約 180mm の段差が生じることになる。2 線の軌道構造は同一であるため、軌道下の路盤面にも段差が生じることになり、0 番線側への雨水の流入が懸念された。路盤に水が溜まると列車の繰り返し荷重により地盤強度が弱くなることから填泥が発生し、直上の道床バラストやまくらぎに悪影響を与える。そのため、2 線の線間の路盤中(線路延長方向)に透水管を設置して集水する構造とし、雨水対策を講じた。また、透水管に集水した水は、既設の線路横断管用に設置されていた隣接線との線間のマンホールに流末処理する計画とした。

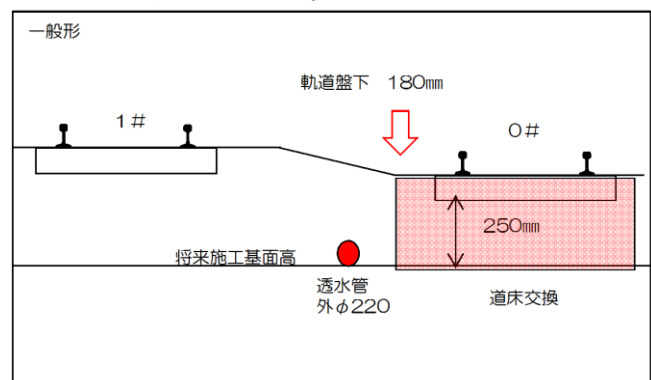


図-5 排水略図

## 7. 施工内容

### (1) 施工機械

軌道低下における施工機械は、軌陸 BH と軌陸 DT の組合せにより、作業工程を検討した。

### (2) 軌道低下方法の検討

ホーム高変更に伴い、180mm の軌道低下が必要となるが、縦断取り付け範囲も含め 400m の延長を軌道低下させるため、各箇所ごとの部分的な軌道低下を繰り返しながら、全体をまんべんなく低下させていく計画とした。

### (3) 計画工事数量

工事における主な事前作業及び本作業の計画工事数量は以下の通りである。

#### (事前作業)

- ・工事用渡線路新設 3 箇所
- ・ケーブルトラフ移設 L=400m
- ・透水管新設 L=270m

#### (本作業)

- ・道床交換 L=400m
- ・軌道低下 L=400m

#### (跡作業)

- ・工事用渡線路撤去 3 箇所
- ・ケーブルトラフ復旧 L=400m

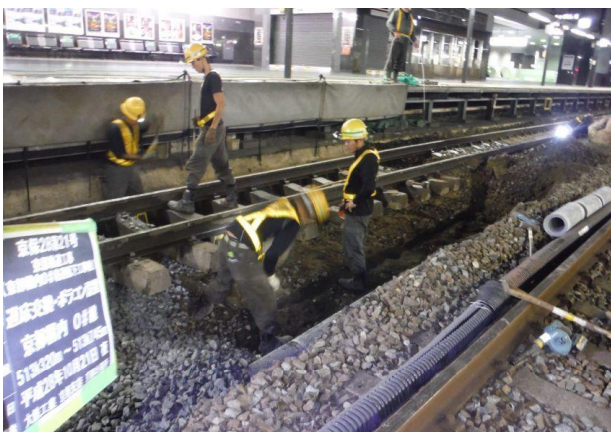
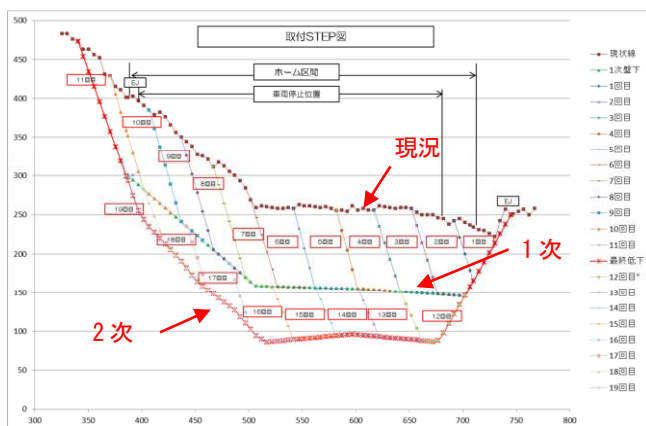
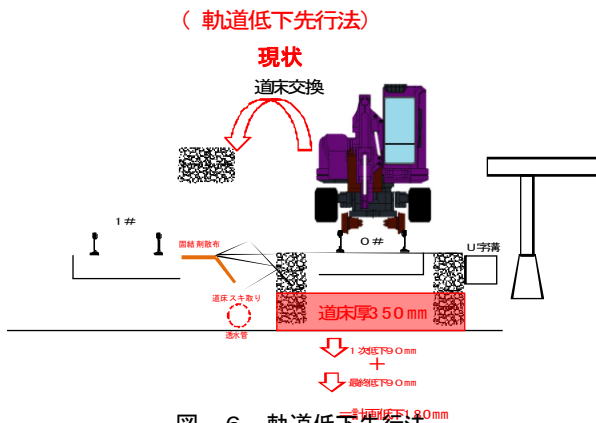


## 8. 施工実績

### (1) 当夜施工

軌道低下作業は、BHによる軌道低下先行法で行った。これは、計画施工基面まで路盤を掘削し、バラストに置き換える作業を全区間行った後、バラストを掘り下げ軌道低下を行っていく方法である。計画低下量 180mm に対して、1次低下量、2次低下量をそれぞれ 90mm ずつに分割し軌道低下を実施した。

軌道低下先行法及び軌道分割低下略図を以下に示す。



### (2) 事後施工と完成状況

準備作業で0番線と1番線の線間に敷設されていたケーブルトラフを仮設管に置き換えていたが、軌道低下後にこれを本設トラフに復旧し、全工事が完了した。本設トラフは線間に生じた段差でバラストが崩れるのを防止するバラスト止めの役目も果たしていた。

本工事は、着手した5月～現地調査に入り、翌年2月までの約10ヵ月で全ての工事が完了した。また、400m間の軌道低下は、酷暑期作業規制が解除された9月～12月で行い、100m/月の進捗で約4ヵ月を要した。

## あ と が き

今回のように延長の長いホームを対象に軌道低下で段差改良を行った施工実績は皆無に等しく、発注者・施工会社・設計会社が一体となった綿密な打ち合わせのもと、設計・施工を無事完遂した。

制約条件下で、線路及び隣接構造物への安全性を確保した軌道低下設計を行うことにより、利便性を確保しつつ施工性を向上させることが可能となり、今後同種工事で採用できる一事例として確立することができたと考える。

工事完了後、JR西日本の新たなフラッグシップトレインとなる寝台列車「TWILIGHT EXPRESS 瑞風」が6月17日に運転開始し、大阪から京都を経て山陰線に入り、日本海沿いを下関へと無事に旅立って行った。

## 参加型防災ワークショップにおける建設コンサルタントの役割 ～長浜市における災害図上訓練の取り組みを事例にして～

(株) オオバ 中尾謙太

### 論文要旨

東日本大震災、熊本地震以後、各地で防災に対する関心はますます強くなってきている。また南海トラフ巨大地震が近年発生するといわれており、その対策は急務であるが、限られた「公」の力のみでは、大災害からの復興や対策を行うことは不可能に等しい。そこで地域住民に防災について考え、自主的に活動してもらうことが必要となり、その促進対策が昨今の行政の課題となっている。

その中で災害図上訓練は、参加型防災ワークショップの代名詞とされており、地域住民が公助の限界に気づき、住民の側でも何かしなくては、という気になるためのツールとして、一定の役割を果たしている<sup>1)</sup>。

しかし、参加型防災ワークショップを行政が行っていくうえでの問題点がいくつか考えられる。本稿では長浜市災害図上訓練運営の受託業務を通して、参加型防災ワークショップを実施する上での建設コンサルタントの役割について考察する。

**キーワード**：防災，ワークショップ，災害図上訓練，住民参加，役割

### まえがき

首都直下型地震や南海トラフ巨大地震が近い将来必ず発生すると言われている。そのため、今日では地域での自主防災組織の強化が課題として挙げられており、初期消火活動、避難所運営の担い手づくり、独居老人の安否確認や避難誘導等、住民自治組織の果たすべき役割に期待が高まっている。(例えば、火災による被害では有効な初期消火活動によって被害が半減させることができるとも言われている。)<sup>2)</sup>

自主防災組織の変遷は、1963年6月に総務省(当時の自治省)が防災基本計画を策定し、自主防災組織の整備が進められ、1973年5月には消防庁が「自主防災組織の手引き」を作成し、各都道府県に配布した。1995年に発生した阪神淡路大震災では当時、道路の崩壊、建物の倒壊による道路の閉鎖により応急対策が取れず、また自治体職員も被災したことにより、組織的応急対策が遅れてしまった。そこで近隣住民相互の協力が重要な役割を果たし(瓦礫の下から救出された人のうち約8割が家族や近所の住民らなどによって救出されたという報告がある<sup>3)</sup>)、また2次災害としての火災で多くの死者が発生したことで、自主防災組織の必要性が再認識された。

しかし、実際には各市町村の防災担当者が主に自治会や町内会の呼びかけ、自主防災の組織化を推進しているのが実情である。そのため自主防災組織の独自性、自主性が育たず、行政主導の組織であり、一般住民は自分が何の役目かすら認識していない状況である。その原因は住民への防

災思想・防災知識の普及をきめ細かく行わないうちに、組織化推進だけを急いだことにある<sup>4)</sup>。

平成28年4月1日現在では、全国1,741市区町村のうち、

表－1 自主防災組織における変遷の経緯<sup>5)</sup>

時期	背景	自主防災組織への動き・特徴
(第Ⅰ期) 昭和30年代	伊勢湾台風の被害を受けて、災害対策基本法が昭和36年11月に成立。	<b>地域防災の芽生え</b> ○防災基本計画において、公的な文書の中で「自主防災組織」という言葉が初めて使われた。 ○この時期はまだ被災者救援を効率化する行政の協力組織の一つとして位置づけられていた。
(第Ⅱ期) 昭和40年代	大都市震災対策推進要綱が中央防災会議で策定される。	<b>自主防災組織による地域防災力の醸成</b> ○消防庁が防災業務計画を改定し、大都市災害対策の一つとして自主防災組織の整備について初めて規定。 (この時期の自主防災組織の特徴) ①地震災害対応中心 ②都市部での災害対応を想定 ③発災初期の減災への組織的な対応 ④組織化の主たる基盤は町内会 等
(第Ⅲ期) 昭和50年代	「東海地震説」の発表(昭和51年)。 宮城県沖地震(昭和53年)、長崎水害(昭和57年)等の大規模災害が発生。	<b>自主防災組織の結成、環境整備の推進</b> ○自主の防災組織の結成が進み、資機材整備費用の助成、訓練時の事故に対する補償制度創設等の環境整備がなされた。 (この時期の自主防災組織の特徴) ①地震のみならず風水害等災害全般を視野 ②地方においても自主防災組織が必要 ③活動カバー率の地域間格差の存在 等
(第Ⅳ期) 平成7年以降	阪神・淡路大震災が発生。(平成7年1月)  地域の安心・安全な暮らしを脅かす不安の多様化。(自然災害、犯罪等)  平成16年5月の経済財政諮問会議において「地域安心安全アクションプラン」が示される。	<b>地域防災力の重要性の再確認</b> ○災害対策基本法の改正では、初めて「自主防災組織」の育成が行政の責務の一つとして明記された。 ○自主防災組織の育成強化に向けて、リーダー養成や指針等の策定等を今後行うべきこととして具体的に示される。 ○資機材整備を推進するための国庫補助制度が創設され、全国的に自主防災組織結成が推進される。  <b>地域の安全・安心な暮らしへの新たな取り組みへ</b> ○地域において安心・安全な生活を確保していくため、コミュニティ活動をベースとした地域の防災・防犯体制の強化を図ることが重要となる。 ○自主防災組織や各種団体等と連携し、安心安全パトロールや初期消火、応急手当を総合的に実施する「地域安心安全ステーション」の展開。

1,674 市区町村で約 16 万の自主防災組織が設置されている<sup>6)</sup>。しかし、平成 28 年 2 月に内閣府で実施された世論調査では、大災害が発生する可能性は認識しているものの、依然として防災に対する取り組みを不足とする人は多く、自主防災組織への参加意向も低いことが明らかにされている<sup>7) 8)</sup>。

昨今は、防災に関する地域の主体性の向上が行政の課題として挙げられており、そのために注目されているのが住民参加型の防災ワークショップである。本稿では、その参加型防災ワークショップを実施する上での建設コンサルタントの役割を実際に行った業務を通して考察する。

## 1. はじめに

### 1-1 災害図上訓練について

自治体が主催する防災訓練は、防災関係者の日頃の成果を披露する場であり、「ショー」的な要素が濃く、内容がパターン化している傾向が見られる。問題点としては、判断の可否を問われる部分が少ない、技量の向上が実感として見えにくい、参加意識が希薄、時間と経費がかかりすぎる、シナリオを持たない地域住民たちが自由に参加できる機会が極めて少ない等がある。そこで 1997 年頃に考えられたのが、「災害図上訓練」(以下、DIG)という手法である<sup>9)</sup>。

DIGとは、災害(Disaster)のD、想像力(Imagination)のI、ゲーム(Game)のGの頭文字を取って名付けられた、誰でも行うことができ、誰もが参加できる簡易な訓練であり、ブレインストーミングのための仕掛けである。

DIGには、決まりきったルールがあるわけではなく、対象となる災害や参加者の立場・役割に応じて、様々なDIGの形式が想定される。ただし、どのような場合でも、大きな地図、油性ペン、付箋紙などを使い書き込みを行いながら、参加者全員で議論することが共通点である。地域の防災について参加者自身に改めて考えるきっかけを与え、また参加意識を主体的にもってもらえる仕掛けとして、多くの自治体や地域で実施されている。

これにより、「災害を知る」、「まちを知る」、「人を知る」ことで、地域の防災力、災害への強さ、弱さを認識し、防災に対して今後どのように対応していけば良いのかを理解することがDIGの一番の特徴である。

また直接的な効果のみならず、訓練を通して地域の防災

ネットワークが形成され、参加者や地域住民の防災意識が育まれることが期待されている。

### 1-2 長浜市での経緯

長浜市は各地域の災害特性を踏まえた対策を行うにあたって、地域における防災力が非常に重要であると考えた。そこで、地域における防災力を高めるため、地域防災力アップ事業として、平成 24 年度に長浜市総合防災マップ(ハザードマップ)を作成し、全戸配布した。このことを一つの契機として、市内にある 426 自治会全てを対象として、おおよそ連合自治会単位で図上訓練を実施する「長浜市災害図上訓練実施事業」を、年次計画をもって展開している。

### 1-3 これまでの流れ

開催規模を連合自治会単位とすることで、各自治会からの参加人数については、おおよそ 3 名程度としており、1 回の対象は 10 自治会、30 名程度となる。参加者同士が顔の見える関係や、災害特性の似通った地域となることから、いずれも活発な議論が展開されている。

当社が本業務を担当したのは平成 28 年度である。平成 28 年度は 6 連合を対象に実施した。

表-3 長浜市での今までの実績

全426自治会のうち274自治会実施	
平成24年度:6連合41自治会	
【風水害】びわ連合10自治会	
【地震】古保利連合9自治会	
【土砂災害】杉野連合4自治会、高時連合5自治会、余呉連合4自治会、西浅井連合自治会	
平成25年度:7連合67自治会	
【地震】第2連合5自治会、第5連合8自治会、第7連合9自治会、西黒田連合11自治会、湯田連合16自治会、小谷連合11自治会、伊香具連合7自治会	
平成26年度:4連合50自治会	
【地震】第9連合8自治会、びわ連合17自治会、朝日連合10自治会、余呉連合15自治会	
平成27年度:6連合65自治会	
【地震】第1連合13自治会、第4連合9自治会、第8連合10自治会、田根連合14自治会、富永連合8自治会	
【水害・土砂災害】西浅井連合11自治会	
平成28年度:6連合51自治会	
【地震】第3連合10自治会、第6連合6自治会、神田連合8自治会、七尾連合7自治会、速水連合13自治会、七郷連合7自治会	

## 2. 業務の概要

### 2-1 建設コンサルタントが行うワークショップ

ワークショップといっても、アート系、まちづくり系、社会変革系、自然・環境系、教育・学習系、精神世界系、統合系など様々な種類があり、共通して言えることは、テーマに応じ参加者が主体的に関わる手法であり、様々な体験や意見交流を通して、何かを学んだり作りだしたりする活動である、ということである。そのためほとんどのワークショップでは「学習」と「創造」の2つの要素が盛り込

表-2 DIGの効果

①直接的効果
・地域の防災上の長所・短所(強さ・弱さ)が理解できる。
・災害救援活動のイメージトレーニングができる。
②間接的効果
・防災ネットワークの形成が図れる。
・防災意識が育まれる。



まれている<sup>10)</sup>。

その中でも建設コンサルタンツが行うものはまちづくり系ワークショップであり、それは建設事業の計画や設計に住民や関係者の意向や考えを反映するために行うものが主であり、「学習」よりも「創造」に重点が置かれている。

## 2-2 平成 28 年度業務の内容

本業務は訓練を通じて、最終的に地域の意見が反映された地区の防災マップや避難計画を作成し、今後の震災に備えることを目的としており、何かを建設することを目的に行うものではない。そのため今回のワークショップでは、「学習」の要素をより多く盛り込むような工夫を行う必要があると考えた。また市役所からの要望もあり、防災マップや避難計画の作成そのものに主眼を置くのではなく、今後の地域の防災活動につながるよう地域住民が主体的に考えることができるプロセスを重視した。

訓練の内容は、地域での防災力の向上のため、各連合自治会で2回の訓練を行い「地区の特徴の整理」「災害発生後の対応」「日頃の備え」の3つの項目をグループワーク形式で検討することとした。1回目の訓練では「地区の特徴」についてDIGを用いてグループ内で検討する。2回目の訓練では「災害発生時の対応」「日頃の備え」についてグループ内で検討する。1回目、2回目共に訓練の最後にグループワークをした中で新たに発見できた点をグループ内でまとめ、発表をし、参加者全体で「学び」と「発見」を共有する。

1回目の訓練で行うDIGのみでなく、「日頃の備え」という具体的に実行できる内容まで話し合うこと、また防災マップや避難計画を随時更新できる内容にすることで、今回のワークショップが今後の地域の防災活動へスムーズに移行できるよう考慮した。

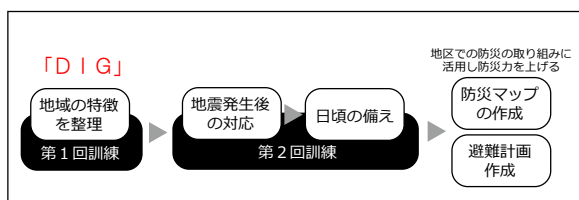


図-1 災害図上訓練の流れ

## 3. 建設コンサルタントの役割

業務内容には、訓練前のシナリオと資料の作成、訓練時の資機材の準備・進行管理補助、訓練後の地区別防災マッ

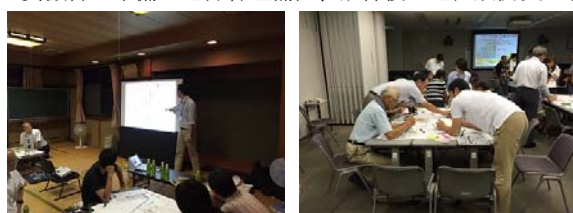


図-2 訓練の様子(写真)

プと地区別避難計画の作成がある。

以下に、業務を行っていく上で留意した点を示す。

### (1) 訓練シナリオの作成

事前に訓練シナリオを作成した。

1回目と2回目の大きな流れは同じであり、訓練の初めに【座学】を行い、参加者に災害または防災に関する知識を深めてもらう。次に参加者が実際に議論する【ワーク】を行い、主体的・能動的に防災について考えてもらう。最後に【発表】を行い、全体で「学び」と「発見」の共有を行う。

#### 【座学】

やみくもに訓練を始めては、参加意欲や防災に関する理解度が低いため、活発な議論とはなりにくい。そのため、参加者の意識と知識が向上し、より積極的に訓練に取り組めるよう、最初に今回の訓練や災害・防災に関する説明を行った。

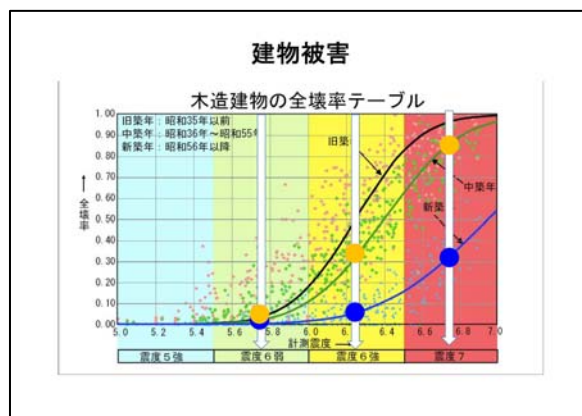
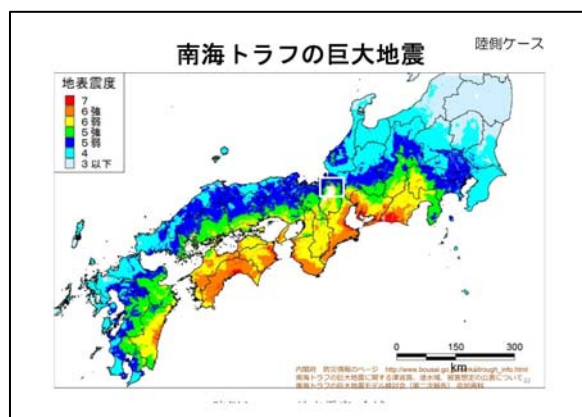


図-3 座学時に使用したスライドの内容(一部)

#### 【ワーク】

参加者同士が主体的・能動的に議論を行える工夫が必要となる。見易く書き込みやすい地図の大きさ、議論しやすいアイテム(カード等)の作成、時間配分等に注意を払う必要がある。

#### 【発表】

参加者自らが発表を行い、全体で「学び」と「発見」の共有を行う。

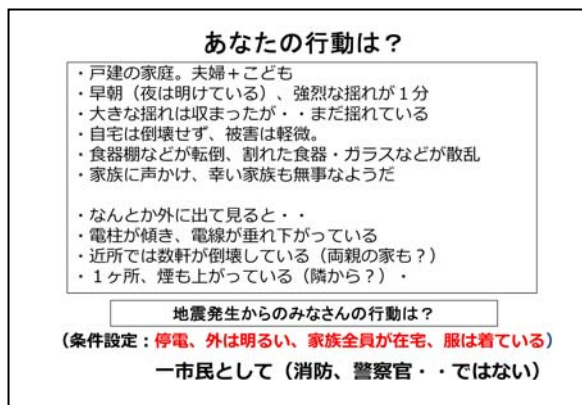
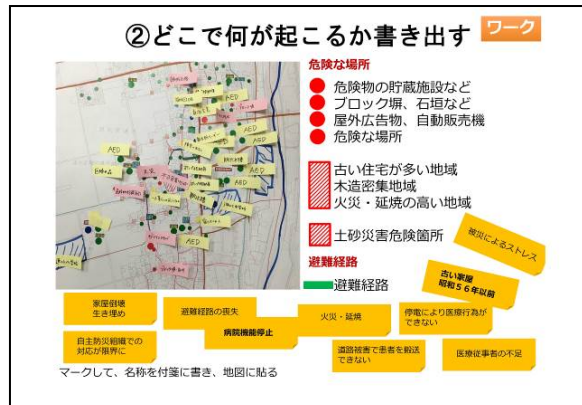


図-4 ワーク時に使用したスライドの内容(一部)

表-4 訓練シナリオの内容

	1回目	2回目
【座学】	①訓練の目的 訓練の目的を説明し、訓練の到達点を参加者に共有してもらう	①訓練の目的 訓練の目的を説明し、訓練の到達点を参加者に共有してもらう
	②災害図上訓練とは? これから行う訓練の内容を説明する	②前回の振り返り 前回の訓練の内容を思い出し、本日の訓練の理解を深める
	③地震について知る 地震においてどのような被害があるのかを説明し、訓練の理解を深める	③対象災害について 地震で想定される被害の説明を行い、このあと実施するワークに向けてイメージを持ってもらう
【ワーク】	①地域の特徴を整理 地域の特徴や強み・弱みを明確にする	①被害と支援 自治会内で想定される被害を予測する
	②起こりうる状況を書き出す 地域でどのような被害が起こるのかを考える	②地震発生後の対応 震災後の行動と経過時間の確認
	③対処方法や対策を考える 被害について未然に防いだり対処するにはどうしたらよいのかを考える	③要配慮者の支援 要配慮者への支援として地域で取り組むべきことを整理する
【発表】	④災害対応の手順 各共助の内容について実際に地震が起きたらどのような行動を取るべきなのかを考える 参加者自らが発表を行う	

## (2) 進行管理、役割分担

活発な意見交換ができる訓練を行うために、以下のような人員構成とした。

### 【進行役＝ファシリテータ】

・主に全体の進行や座学、講評を行う。今回は6人の社員が訓練ごとに交代で行い、主に若手社員を起用した。その理由は、教示的となり参加者が受身になったり、高圧的で

参加者が萎縮したりするのを避けるためである。

### 【スタッフ・補助・班進行】

・主に進行役を補助する人であり、グループに入り込み参加者の議論の手助けをする。各回、4～6人の社員と3～6人の市役所職員で行った。市役所職員が参加することで、コンサル業務の負担軽減と庁内への技能引継ぎを狙った。

### 【参加者＝プレイヤー】

・地域住民が、複数のグループに分かれて議論を行い、自分たちの地域や自治会の防災について考える。活発な議論を行うためには、具体的な条件設定し、地域で実際に発生する被害や困難をイメージしながら訓練を行う必要である。災害発生の時間、被害の状況等をあらかじめ設定し、地域のどのような立場・役割で防災活動を行うのかを想定した上で訓練を実施した。

### (3) 準備物

D I Gは簡易的な訓練であるため、準備物も簡単に用意できるものを選定した。

表-5 準備物の一覧

準備物	1回目	2回目
・付箋75×75mm(黄・桃)×自治会分	○	○
・付箋25×75mm(黄・桃)×自治会分	○	○
・サインペン×人数分	○	○
・色ペン(青・茶・桃・黒・緑)×自治会分	○	○
・名札×人数分	○	○
・模造紙A1数枚×自治会分	○	○
・配布資料A3×人数	○	○
・ワーク用資料A3×自治会数	○	○
・パソコン1台	○	○
・レコーダー1台	○	○
・プロジェクタ1台	○	○
・延長コード	○	○
・カメラ	○	○
・自治会ごとの地図	○	○
・シール・小(緑・黄・赤・青・白)×自治会分	○	○
・シール・大(緑・黄・赤・青・白)×自治会分	○	○
・行動カード×自治会分	○	○

### (4) 防災マップ、避難計画書の作成

訓練後も地域で自主的に防災活動を行ってもらうために、訓練時に出た「学び」や「発見」を反映させた地区ごとの防災マップと避難計画を作成した。またこれらは自治

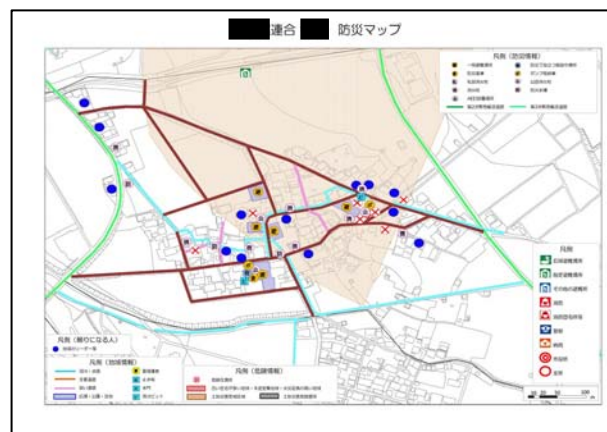


図-5 防災マップの例

会で簡単に更新ができるような作りとしている。

#### ～防災マップ～

訓練時の成果を整理し、GISソフトを利用して電子地図図上に入力し、地区別防災マップを作成する。防災マップのデータは自治会で更新できるようにエクセルで作直し提出した。なお、作成する地区別防災マップについては、自治会ごとに作成する。

#### ～地域別避難計画～

訓練結果をもとに、地区別防災マップ情報等を反映した地区別避難計画を、今後自治会で更新できるようワードで作成する。なお、作成する地区別避難計画については、自治会ごとに作成する。

避難計画は訓練後に、訓練の内容を反映させながら、各自治会で考え、作成することとした。そのため、自治会自らで避難計画を考えやすいように、訓練時の「学び」「発見」をまとめた資料と、避難計画書作成のための記入用シートと記入方法を説明した冊子、防災活動の事例集等を作成し配布した。

決定しておく内容	備考
避難先:	
避難経路と手段:	
避難に必要なもの: 避難行動要支援者名簿	
避難を支援する方: 可能な範囲で避難支援を行う。余剰等による二次災害に注意を払う。	

図-6 避難計画書記入用シート(一部)

ページ	内容	作成するもの	使用するもの
3	避難場所について	シート1	地区別防災マップ
4	自治会防災委員会委員の役割	シート2	地区別防災マップ
5	防災訓練の目的と意義	シート3	地区別防災マップ
6	避難行動要支援者の対応	シート4	地区別防災マップ
7	避難行動要支援者の対応	シート5	地区別防災マップ
8	避難行動要支援者の対応	シート6	地区別防災マップ

図-7 記入用シートの記入方法を説明する冊子(一部)

## 4. 行政が考える災害図上訓練の成果と問題点

平成28年12月14日に長浜市防災危機管理局にヒアリングを行い、訓練の成果と問題点について以下の回答を得た。

### (1) 業務の成果について

・避難所に何かある、市役所が何とかしてくれる、という考え・意識が地域住民に根強くあったが、意識の改善・向上につながっている。

・地域の災害特性を認識し、災害に対する意識が向上することで、自助・共助のレベルアップが図られている。

・周りの自治会と一緒に訓練に参加することで、近隣自治会の取り組みなども知ることができている。

・今回の訓練の様子が放送局に取材され、テレビのニュース番組内で数回滋賀県内に放送された。

### (2) 今後の展望、目標について

・まだ未実施である9連合152自治会を早期に実施できるよう取り組んでいく。(平成31年度までに全連合実施予定)

・事業を取りやめにする理由もないため、全連合実施後は2巡、3巡と行っていくことも考えられる。フォローアップを続けていきたい。

・全連合を対象に今後も継続して行っていきたい。

### (3) 業務を行っていくうえでの問題、改善点

・自治会の負担を考え、現在、全2回開催としている。今年度は、訓練後に、自治会長が防災マップの最終確認と避難計画(案)の素案までを考えるとしたことにより負担が増えてしまった。訓練の回数を増やすことは難しいため、次年度以降の内容を精査する必要がある。

・訓練未実施の自治会は災害においてハードの問題を抱えているところが多いため、災害図上訓練を行うとハードの意見ばかりが出てきてしまい、本来の目的・趣旨から外れた議論になってしまう可能性がある。

## 5. おわりに

### 【今後のあり方に向けた考察】

業務を通して得た知見と行政へのヒアリングを通して、参加型防災ワークショップを行政が行っていく上での問題点を整理し、建設コンサルタントが関わることの意義と目指すべき役割について考察した。

①行政は公平性の担保が要求され、各地域(自治会)を平等に扱わないといけなため、特定の自治会のみに注力することはできない。そのため同じような解決手法を各地域で取り入れがちとなる。

→民間コンサルタントが運営支援を行うことで、例えば防災活動に関して積極的な自治会への支援を重点的にを行い、そこから活動の輪を広げていくなどの、より有効的な取り組みにすることができる。また地域の特性に合った解決策を提案できる。

②行政のみでワークショップを開催すると、行政対市民という対立の構図となり、行政への要望や文句・陳情ばかりが出てきてしまうということになりかねない。



→第3者としてコンサルタントが間に入り、運営支援を行うことで、参加者が主体的に考える場となる。またコンサルタントが問題を行政側が解決する問題、地域住民で解決する問題、行政と住民が協働して解決する問題に整理するなど、行政と住民とのパイプ役として新しい役割を担うことができる。

③行政や住民のみで行われる、従来の防災ワークショップはいわゆる「防災訓練」といわれる、ありきたりで単調な「体験型学習」になりやすい。

→建設コンサルタントの創造的なまちづくりワークショップのスキルを活かせば、「創造」+「学習」の継続的な防災まちづくりワークショップが行うことができる。例えば広場や公園、水路、道路づくり等と防災活動を同時に進めることも可能となる。

④行政の担当者は2～3年で交代していまい、継続的な支援ができない。

→住民からコンサルタントへの直接発注や、住民から行政に委託・発注する新しい住民対象のコンサルタントビジネスの可能性が考えられる。

⑤住民主体で防災まちづくりを行うためには、適切な情報公開、その情報が理解できる学習の機会提供、参加して出た意見が活かされる仕組みとコーディネーターが必要。また、合意形成を行いながら、皆で進めるという文化が欠かせない<sup>11)</sup>。

→新しい専門的な職能として、参加のコーディネーター、協働のコーディネーターの存在が必要。

以上のように、参加型防災ワークショップを実施する上で、建設コンサルタントが担うべき役割とその重要性について考察した。

#### 【今後防災ワークショップを実施する上で留意すべき点】

参加型防災ワークショップは活発な意見交換を促したり、住民の主体性を根付かせることが重要である。そのために留意すべき点を以下に示す。

①ワークショップの場が専門家から知識を教わる場になると、住民が受身となり主体性が失われてしまうおそれがある。基礎的な知識を提供することに留めることで、住民の従来の枠にとらわれない議論を活性化させることができる。

②回を重ねていくごとに、準備や運営を住民に委ねていくことで、住民の主体性のさらなる向上を図ることができる。そのためには手軽で簡易的に行えるような訓練にしておくことが重要である。

③DIGは身体よりも頭を働かせるものであり、防災訓練としてのリアリティに欠ける面があるため、DIG後に地域の防災活動や訓練と結びつける必要がある。

④市全体でワークショップや防災まちづくりを行うこと

で、被災した地域内での「共助」だけでなく、被災していない地域が被災地域を支援する新たな「共助」が生まれる可能性がある。そのために、被災しないためにすべきこと、被災したらどうすればよいか、という議論の他に、被災した地域を支援する方法も考えていかなければいけない。

## あ と が き

日本各地で災害が発生しており、今後どの地域が被災地となるかは誰にもわからない。建設コンサルタントとして災害と向き合っていかなければならないが、ハードによって解決できる問題は限られており、ソフトも同時に考えていく必要がある。地道な活動ではあるが、少しずつ知見を増やしながら、防災まちづくりについて行政や地域住民に皆様と共に今後も考えていきたいと思う。

最後に本稿の執筆に際して、ご理解・ご協力をいただきました長浜市防災危機管理局へ深く感謝の意を表します。またご指導・ご助言を賜りました皆様、業務遂行のためご協力いただきました皆様へ深く感謝いたします。

## 参 考 文 献 ( または 引 用 文 献 )

- 1) 小村隆史:「DIG (Disaster Imagination Game) の過去、現在そして未来」,地域安全学会概要集 No.34,2014.5
- 2) 石見豊:「わが国における住民自治組織の現状と課題」,国土館大学政経論叢,国土館大学政経学会,2014.3,pp.75~102
- 3) 総務省消防庁:「自主防災組織の手引き - コミュニティと安心・安全なまちづくり -」
- 4) 山村武彦: 防災システム研究所ホームページ, <http://www.bo-sai.co.jp/jisyubousai.htm>
- 5) 黒田洋司:「自主防災組織」その経緯と展望,地域安全学会論文報告集,1998.10
- 6) 総務省消防庁:「平成28年度版消防白書」
- 7) 内閣府:「日常生活における防災に関する意識や活動についての調査結果について」,2016.2
- 8) 塚田伸也、森田哲夫:「東日本大震災前後における地区防災の変容と課題 - 群馬県前橋市を事例として -」,日本都市計画学会都市計画論文集,2016.10
- 9) 小村隆史、平野昌:「図上訓練 DIG (Disaster Imagination Game) について」,地域安全学会論文報告集,1997.11
- 10) 中野民雄:『ワークショップ』,岩波新書
- 11) 加藤哲夫:「市民の知恵の新しい器としてのNPO」,土木学会全国大会研究討論会,平成12年

## 過疎地域における空家等対策計画の役割（奈良県野迫川村を事例として）

野迫川村 津 田 克 則  
応用地質株式会社 田 渕 圭  
応用地質株式会社 ○ 嵯 峨 根 朋 子  
応用地質株式会社 岡 崎 真 友 子

### 論 文 要 旨

「空家等対策の推進に関する特別措置法」が公布され、近畿地方でも空家等対策計画の策定が進んでいる。一方、空家問題は人口減少の著しい過疎地域等において以前より積極的に取り組みが進められており、利活用の事例も多く紹介されている。

本論文では、近畿地方の過疎地域の空家等対策計画の策定状況、ならびに過疎市町村として指定されている奈良県野迫川村を事例とした空家の状況、及び空家等対策計画策定の考え方を示し、各自治体では「地域の活性化」を主な課題として認識している傾向があることを整理した。そのうえで、今後の過疎地域においても特定空家等の増加が懸念されることをまとめ、その課題に対する空家等対策計画の役割について考察した。

**キーワード：**空家、過疎地域、空家等対策計画、特定空家等

### ま え が き

平成 26 年 11 月に「空家等対策の推進に関する特別措置法（以下、特措法という。）」が公布された。特措法の制定は“適切な管理が行われていない空家等が防災、衛生、景観等の地域住民の生活環境に深刻な影響を及ぼして（1 条）” いることが背景となっており、特に人口の密集している都市部においては、特措法に基づいて特定空家等への対応方針等を詳述した空家等対策計画が策定されている。

一方、空家等の増加については、全国平均と比べて人口の減少が著しい地域では、増加する空家問題について積極的に取り組みが進められており、過疎地域等では活性化の資源として空家を活用する事例が多く紹介されている。<sup>1)</sup>

本論文では、過疎地域に着目し、当該地域における現在の空家等対策計画を確認する。また、村内全域が過疎地域に指定されている奈良県野迫川村では、平成 29 年 3 月に「野迫川村空家等対策計画」を策定しているが、計画策定にあたって実施した空家の実態調査結果や空家等対策協議会の意見を本論文で事例として紹介し、今後の過疎地における空家等対策計画の役割について考察を述べる。

### 1. 空家等対策計画の策定状況等

#### (1) 空家等対策計画の策定動向

空家等対策計画は“空家等に関する対策を総合的かつ計画的に実施するため、基本指針に即して、空家等に関する対策についての計画（特措法第 6 条）”であり、策定は義務付けられていない。しかし、特措法において、

計画に基づく対策の実施に対して、財政上の措置及び税制上の措置等を行うことが国等の役割として示されており（表-1）、国土交通省の調査結果によると、全国の市区町村の 84.6%（1,741 市区町村のうち 1,473 市区町村）が策定済みもしくは策定予定としている。近畿地方（本論文では滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県を近畿地方とする）では、198 市区町村のうち 21.7%（43 市区町村）が策定済みであり、平成 29 年度末時点では 61.1%（121 市区町村）で策定が見込まれている<sup>2)</sup>（表-2）。

表－1 特措法における財政上及び税制上の措置等

国及び都道府県	国及び地方公共団体
市町村が行う空家等対策計画に基づく空家等に関する対策の適切かつ円滑な実施に資するため、空家等に関する対策の実施に要する費用に対する補助、地方交付税制度の拡充その他の必要な財政上の措置を講ずる。 (第 15 条第 1 項抜粋)	前項に定めるもののほか、市町村が行う空家等対策計画に基づく空家等に関する対策の適切かつ円滑な実施に資するため、必要な税制上の措置その他の措置を講ずる。 (第 15 条第 2 項抜粋)

表－2 空家等対策計画策定状況（H29.3.31 時点）

策定状況	全国	近畿
既に策定済み	357 市区町村 (20.5%)	43 市区町村 (21.7%)
平成 29 年度末 時点で策定済み予定	891 市区町村 (51.2%)	121 市区町村 (61.1%)
市区町村合計	1741 市区町村 (100.0%)	198 市区町村 (100.0%)

(2) 過疎地域における空家等対策計画

空家等対策計画を策定する市区町村を単位として考慮するため、過疎地域自立促進特別措置法における過疎市町村ならびに過疎地域とみなされる市町村を対象に、空家等対策計画の策定状況等を集計した(表-3)。空家等対策計画の策定済み過疎市町村は11市町村であり、うちホームページ等で空家等対策計画を公表している市町は7市町である。7市町のうち特措法の内容や国土交通省から出されている“「特定空家等に対する措置」に関する適切な実施を図るために必要な指針(ガイドライン)”等の記載内容に加えて、独自の手続きの流れなどを詳述している自治体は2市町のみであった。

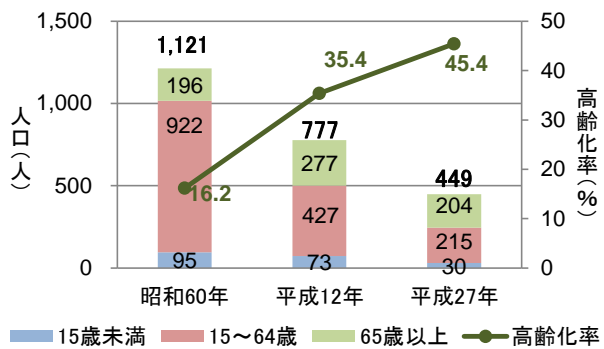
表ー3 過疎地域における空家等対策計画策定状況等

	過疎市町村	過疎地域とみなされる市町村
策定済み市町村	10市町村 (20.8%)	1市町村 (33.3%)
上記のうちホームページ等で公表している市町村	6市町村 (12.5%)	1市町村 (33.3%)
特定空家等に関する独自の記載あり	1市町村 (2.1%)	1市町村 (33.3%)
特定空家等に関する独自の記載なし	5市町村 (10.4%)	-
市町村合計	48市町村 (100.0%)	3市町村 (100.0%)

2. 野迫川村の地域特性

奈良県野迫川村(以下、村という。)は、奈良県の西南端に位置しており、村の北部には高野山、南には高野龍神国定公園の一部である山々が連なっていることから、地勢は全般に標高が高く急峻である。そのため、背後に土砂災害警戒区域がある住宅が多く立地している。

また、人口減少および高齢化の進展が著しい。国勢調査結果によると、平成27年の人口はピーク時の昭和60年(1,213人)に比べて約63ポイント減の449人であり、高齢化率も45.4%と超高齢化社会ライン21%を大きくうわまわる(図-1)。



図ー1 野迫川村の人口及び高齢化率等の変遷

村の将来ビジョンとしては、平成28年に「野迫川村まち・ひと・しごと総合戦略」を策定している。その中において、空家については、構造上安全で、居住に適する空家を選定し、新たな転入者の住まいとして提供する取組を進める方針が示されている。

3. 野迫川村の空家等の状況

(1) 野迫川村の空家実態を把握する調査の実施

村では直近の約30年間で空家が増加していることが想定されること、村の資源として利活用する可能性も想定していることから、空家等対策計画の基礎資料とする空家の実態調査は、特定空家等に特化した調査は行わず、空家の判定ならびに老朽化状況を一律的に把握する外観調査を行った。

また、村におけるバスの運行エリアは限られており、村内での生活に車の利用は不可欠であること、近年、大雨の回数が増加しており、土砂災害等の安全面のリスクの有無も把握することが必要であることから、駐車場の有無や空家へのアクセス道路の状況ならびに背後斜面の有無等についても現地で確認した。

さらに、現地調査で把握した空家の所有者に対して、建物の利活用の可能性等について意向調査を実施した。

表ー4 空家実態調査の概要

調査対象区域等	村全域における人家の建築物 ※居住者のいない中津川(紫園)地区は参考値
調査期間	平成28年10月19日～同10月28日
調査項目	・基本情報(用途、構造、階数、駐車場の有無など) ・空家判定指標 ・目視による管理状況(建築物の老朽度、敷地の状況など) ・利便性等に関する情報(接続道路の状況、背後斜面の有無など) 等

表ー5 空家所有者意向調査の概要

調査対象	①②を合わせた167棟のうち、所有者が確認できた81棟 (①74棟+②7棟)の建物所有者 ①建物空家実態調査で「空家」と判断した建物(142棟) ②建物に近寄れず、空家判定や老朽度、管理状況などが確認できなかった建物(25棟)
記入方法	自記式
配布回収方法	郵送式
調査期間	平成29年1月6日～同1月31日
配布票数	81票(うち「空家」74棟、「不明」7棟)
回収票数	50票(回収率61.7%)
調査項目	・建物の使用状況 ・利用頻度や管理状況(頻度や管理者など) ・建物情報 ・利活用に対する考え ・要望等 ・属性情報 等



## (2) 野迫川村の空家特性

調査の結果、野迫川村の人家の空家はすべて木造で、空家率は35.8%(142棟)、奈良県の平成25年時点の空家率、13.7%の約2.6倍であった(表-6)。一方、空家の老朽状態をみると、崩落の危険があるものは15棟と全体の10%程度で、現時点で周辺の建物や道路に影響を及ぼしているものはなかった。損傷のないものは66棟(46.5%)、小規模な修繕が必要なものが42棟(29.6%)あり、比較的構造としては状態のよい建物が7割以上を占めている(図-2)。所有者アンケート結果によると、建築年代は明治、大正以前の築90年以上のものが46.6%を占めており(表-7)、建物の状態としては、現在でも住める状態の建物が6割あった(図-3)。

表-6 空家率

	建物棟数	割合
居住あり	255 棟	64.2%
居住なし(空家)	142 棟	35.8%
人家合計	397 棟	100.0%

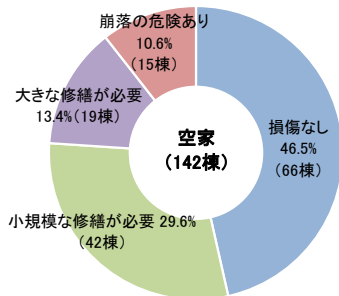
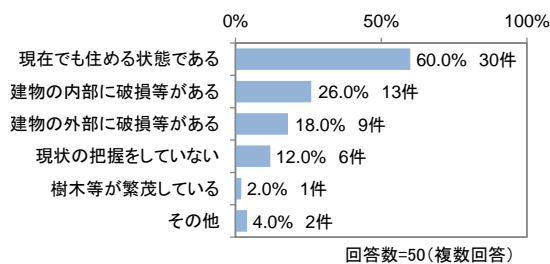


図-2 空家の老朽化状況

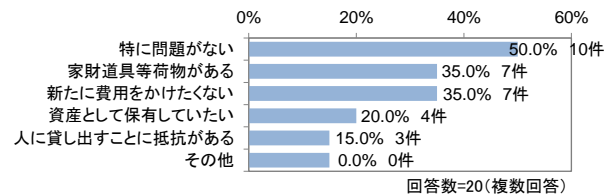


状のまま保有」が約半数の47.6%を占めている。なお、売却や賃貸等の利活用意向を持つ所有者も28.5%いる。

表-8 利活用意向(上位5項目)

建物の利活用意向	回答	割合
現状のまま保有する	20 件	47.6%
住宅や別荘として利用する	7 件	16.7%
売却する	6 件	14.3%
村に寄付して利活用してもらう	3 件	7.1%
地域の施設として村に貸し出す	3 件	7.1%

※N=42 無回答・無効票(8)を除く



への接続道路において車の通行ができない割合が約半数の46.5%(図-5)、駐車場保有率が26.8%(図-6)と、利便性が良いとは言えない状況にある。背後斜面を有する空家は61.3%(87棟)あり、そのうち土砂災害警戒区域内に立地している割合は58棟(40.8%)あり、安全面における問題を有している(表-9)。

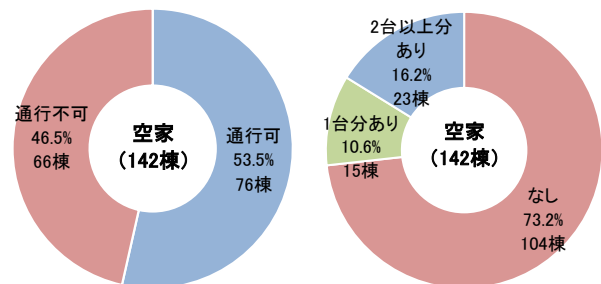


図-5 接続道路の車通行

図-6 駐車場の有無

表-9 空家の背後斜面等の有無

土砂災害リスク	建物棟数	割合
背後斜面あり	87 棟	61.3%
土砂災害警戒区域内	58 棟	40.8%
土砂災害警戒区域外	29 棟	20.4%
背後斜面なし	55 棟	38.7%
合計	142 棟	100.0%

## 等対策計画の作成

この結果、特定空家に関する課題に直面する期待ができる空家があること。村の空家等対策計画の方針は、空家の「利活用」の3つとして整理した。特措法に空家等対策項目として定められた特定空家等に関する事項として、国の指針等を記載するにとどめている。

村の計画の特徴としては、利活用を推進するため、安全で安心してらせる環境づくりとして、自然災害に対する対策検討や道路整備の必要性検討等についても言及している点が挙げられる。

空家等対策協議会では、有識者から建物の状態によっては、建築年代が古いことが付加価値になりうるといった意見が出たほか、地域住民からは特定空家の発生やその対応を懸念する意見が出された。

表－１０ 過疎地域等において集落で発生している問題の上位５項目の変遷

		H18年度		H22年度		H27年度	
多くの集落で発生している問題や現象(複数回答可)	1位	耕作放棄地の増大	63.0%	働き口の減少	74.5%	空き家の増加	82.9%
	2位	空き家の増加	57.9%	耕作放棄地の増大	72.1%	耕作放棄地の増大	71.6%
	3位	森林の荒廃	49.4%	空き家の増加	67.5%	働き口の減少	68.6%
	4位	獣害・病虫害の発生	46.7%	獣害・病虫害の発生	62.3%	商店・スーパー等の閉鎖	64.0%
	5位	ごみの不法投棄の増加	45.9%	商店・スーパー等の閉鎖	56.5%	住宅の荒廃(老朽家屋の増加)	62.3%
上記のうち、特に深刻な問題(3つまで)	1位	耕作放棄地の増大	32.9%	働き口の減少	41.1%	空き家の増加	40.1%
	2位	獣害・病虫害の発生	20.3%	獣害・病虫害の発生	33.5%	働き口の減少	30.5%
	3位	空き家の増加	16.9%	耕作放棄地の増大	31.9%	耕作放棄地の増大	28.5%
	4位	小学校等の維持が困難	16.6%	公共交通の利便性低下	17.3%	獣害・病虫害の発生	26.9%
	5位	森林の荒廃	16.3%	空き家の増加	14.8%	商店・スーパー等の閉鎖	14.3%
		(N=775)		(N=800)		(N=1,032)	

## ５．過疎地域における空家等対策計画の役割

村では、空家の現状や村の将来ビジョンより、特定空き家等に関する独自の詳細手続き等の記述は行っており、近畿地方の過疎地域においても同様の傾向にある。つまり、現時点の計画の役割としては、これまでの過疎地域の課題であった、「地域の活性化」を主な課題として認識している計画として策定されていることが伺える。

空家は利用されない期間が長くなるほど早く老朽化が進む。村では30年で急激に空家が増加しており、木造住宅の寿命が30年～80年<sup>3)</sup>であることを考慮すると、適切な管理をされていない空家は、今後地域に悪影響を及ぼす可能性が高い。また、国土交通省、総務省が過疎地域等に該当する市町村を対象にした調査結果<sup>4) 5) 6)</sup>によると、「空き家の増加」が集落で発生している問題と認識されている割合は平成18年度時点で2位、平成22年度で3位、平成27年度で1位と、いずれも高い。特に、平成27年度においては、特に深刻な問題と思う項目の1位となっており、平成18年度や平成22年度に比べて、問題がさらに深刻化していることが伺える(表-10)ことから、他の過疎地域も同様の課題が生じ始めている可能性がある。

すなわち、木造の建物が多く立地する過疎地域では、今後急速に特定空家等が増加するリスクを有しており、空家等対策計画における重要性が増すことが想定される。

一方、過疎地域は地域のコミュニティが密接であることが特徴である。「空家の状態がどうか」、「いつ空家が発生したか」をリアルタイムで把握する地域ネットワークを構築するハードルが、都市部に比べて低い。村の空家所有者の意向調査結果より建物の管理者をみると、所有者や所有者の親族のほか、建物の近所の方も割合は少ないが見受けられる(図-11)ことから、地域のコミュニティが特定空家を発生させないための仕組みの主体となる可能性があると考えられる。したがって、過疎地域で空家等対策計画の策定および見直しを行うにあたり、特定空家等に対する対応策のほか、地域コミュニティとともに、特定空家を発生させないための取り組みのあり方を検討し、計画への反映の可能性を検討することが望まれる。

表－１１ 野迫川村における空家の建物管理者

管理者	回答	割合
建物所有者	23件	62.2%
建物所有者の親族	12件	32.4%
建物の近所の方	2件	5.4%

※管理されている建物=37 無回答(2)を除く

## あ と が き

本論文では、今後過疎地域において、特定空家等の増加が課題となることを整理し、過疎地域のメリットである地域のつながりの強さを生かした対策の推進を空家等対策計画の取組のひとつとして実施していくことを提案しているが、現在の野迫川村の空家等対策計画では、特定空家等を考慮した具体的な計画策定には至っていない。今後は、所有者不明の空家の所有者特定を行うとともに、具体的な対策のあり方検討を進めることが望まれる。

最後に、本論文の執筆に際し、ご指導、ご助言いただきました関係者のみなさまには心から御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 建築雑誌 vol.130：一般社団法人日本建築学会，2015年6月，pp.8～11
- 2) 空家等対策の推進に関する特別措置法の施行状況等について：国土交通省，平成29年3月31日時点
- 3) 期待耐用年数の導出および内外装・設備の更新による価値向上について：国土交通省，平成25年8月
- 4) 平成18年度 国土形成計画策定のための集落の状況に関する現況把握調査 報告書：国土交通省国土計画局総合計画課，平成19年3月，134p. 139p.
- 5) 平成22年度 過疎地域等における集落の状況に関する現況把握調査 報告書：総務省地域力創造グループ過疎対策室，平成23年3月，pp.123～124
- 6) 平成27年度 過疎地域等条件不利地域における集落の現況把握調査 報告書：国土交通省，3-4p. 3-7p.

# 国道バイパス化に伴う 旧道のコミュニティ道路利用検討

セントラルコンサルタント(株) 原口明

## 論文要旨

京都府では、国道372号の湯の花拡幅事業(延長1.1km)において、バイパス整備が実施されている。本業務は、バイパス整備に伴い交通需要が低下した旧道(延長0.25km)において、歩車共存道路等の設置を検討したものである。対象地の周辺には、主要観光施設である湯の花温泉が立地しており、対象路線はその温泉街の玄関口として位置付けられているため、沿道住民の利用に加え観光客の周遊路としても安全かつ安心な歩行空間の確保が求められていた。

歩車共存道路等とは、生活道路における通過交通の排除や自動車速度抑制の措置を講じ、歩行者にとって安全かつ安心な通行空間とした道路のことである。本業務では、歩車共存道路等の中でも、歩行者と自動車の通行空間を物理的に分離し、安全性を向上させる目的からコミュニティ道路を適用する計画を立案した。

キーワード: バイパス, 歩車共存道路等, コミュニティ道路,

## 1. はじめに

本業務の対象路線である国道372号は、京都府亀岡市と兵庫県姫路市を結ぶ主要幹線道路である。また、阪神淡路大震災の際には、多くの災害復旧車両が迂回ルートとして使用するなど、第一次緊急輸送道路に位置付けられている。しかし、対象地域周辺である湯の花温泉付近は、幅員狭小のため車両の離合が困難な状況にある。この問題点を解決するため、バイパス整備(湯の花拡幅)事業が実施された(図-1)。

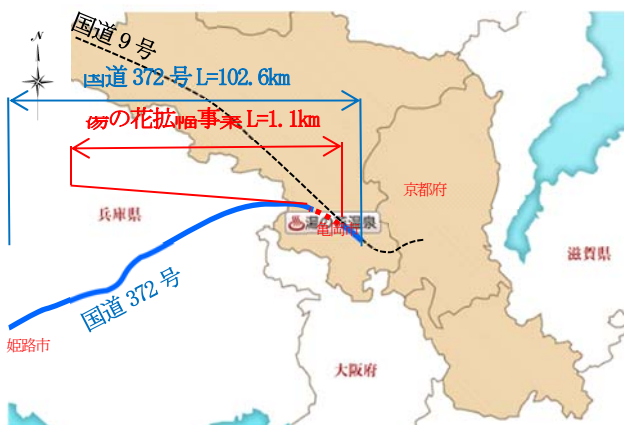


図-1 位置図

本業務の対象箇所は、湯の花拡幅事業のうちバイパス整備に伴い交通需要が低下する旧国道が、市へ移管されることになった延長 $L=0.25\text{km}$ 区間(以降、旧道と称する)である(図-2)。また、バイパス供用後において、旧道は歩行者周遊路としての活用が予定されており、沿道住民および温泉街を含む当該地域への来訪者が利用する基盤

となる道路として、安全かつ安心な歩行空間の確保が望まれている。以上を踏まえ、旧道を対象地域の周辺環境及び利用状況に合わせた、より良い道路環境を創出とすることが課題であった。本稿では、旧道の有効活用を図り、道路環境を向上させる目的として提案した、歩車共存道路等の計画案について紹介する。

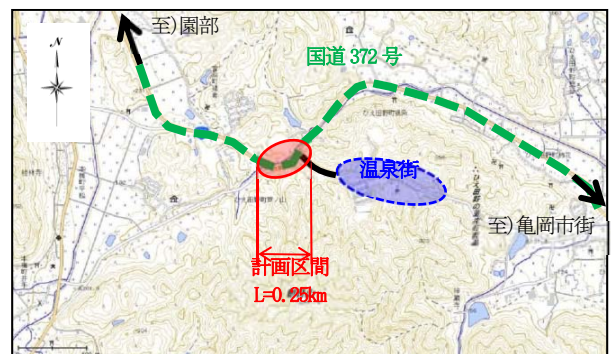


図-2 計画対象区間

## 2. 対象地域概況

本業務対象地は、湯の花温泉で知られる京都府亀岡市に位置する。計画対象区間の中間付近では市道湯の花温泉線と接続し、計画区間の施設状況から、家屋連担側(市道交差部より西側)と温泉旅館側(市道交差部より東側)に特徴を分類することができる(図-3)。

家屋連担側および温泉旅館側における主な道路環境の違いは車道幅員である。家屋連担側は、2車線運用されているが、温泉旅館側は車道幅員 $W=4.0\text{m}$ 程度であり、車両同士の離合が困難な状況である。

また、接続する市道の延伸が温泉街であることから、



対象区間は、温泉街の玄関口に位置付けられており、道路環境の向上による温泉街観光客の周遊路としての利用も期待されている。

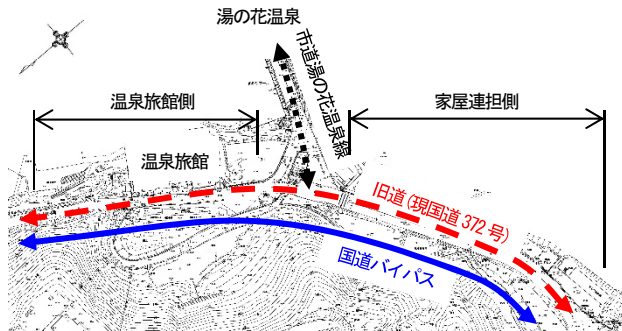


図-3 業務対象地現況

### 3. 整備方針と現状の問題点

旧道の有効活用検討では、バイパス供用後に求められる以下2点の機能を考慮して、歩車共存道路等を設置することを整備方針とした。

①沿道住民の日常生活の基盤となる生活道路としての機能。

②沿道住民及び温泉街観光客の周遊路として、利用動線を創出するための安全かつ安心な歩行空間の確保。

歩車共存道路等の設置を計画するにあたり、通過交通の排除及び自動車の速度を抑制することが必要である。しかし、現道状況のままでは以下2点の問題点から歩車共存道路等の設置が困難である。

①対象区間は、沿道家屋等が連担しているが、歩道未整備であるため、歩行者の安全かつ安心な歩行空間の確保ができない(写真-1)。

②対象区間に進入した車両は、通り抜けが可能であり、かつ、急な曲線部や急勾配区間が存在しないため、自動車の速度抑制効果を発揮する箇所も存在しない(写真-2)。

以上の問題点を踏まえ、歩車共存道路等の計画実現に向けた対策案を検討した。



写真-1 歩道未整備

写真-2 速度抑制箇所なし

### 4. 設計条件

本計画における設計条件は表-1のとおりである。

表-1 設計条件

項目	内容
① 計画交通量	500 台未満/日
② 道路区分	第3種第5級相当
③ 設計速度	V=20km/h

①計画交通量：500台未満/日

本計画は、誤進入防止(通過交通の進入防止等)の目的から沿道家屋等(沿道家屋10軒程度)の利用のみを考慮して、沿道利用者以外の交通量を見込まないため、道路区分決定に際し最下位ランクの計画交通量とした。

②道路区分：第3種第5級相当

道路区分は、計画交通量、地域区分及び地域の地形に応じ第3種第5級とした。

③設計速度：V=20km/h

本路線は、日常生活空間として利用される道路であり、路線延長も短く、車両は適度な速度で通行(徐行運転)できればよいため、設計速度は第3種第5級の最低速度であるV=20km/hとした。

### 5. コミュニティ道路の選定

#### (1) 歩車共存道路等の種類

本計画において、設置を検討する歩車共存道路等には、歩行者の通行空間が自動車及び自転車の通行空間と物理的に分離されているかどうかの違いにより、歩車共存道路及びコミュニティ道路の2種類に分類される(図-4)。

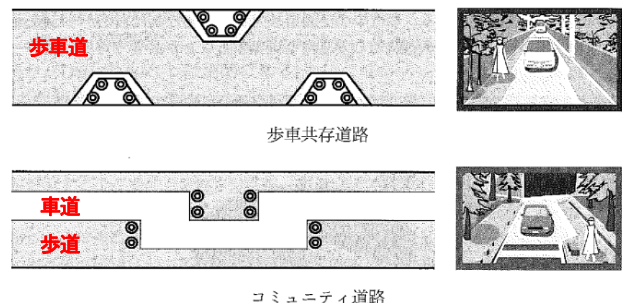


図-4 歩車共存道路等の種類

前者は、歩行者・自転車・自動車の通行空間が物理的に分離されておらず、同一平面上に存在している特徴を有している。

後者は、歩行者の通行空間と自転車・自動車の通行空間が縁石等により物理的に分離されている特徴を有している。

#### (2) コミュニティ道路の適用

本計画では、沿道住民および温泉街観光客への周遊路としての歩行空間確保に際して、物理的に歩車道を分離し、より安全性の向上を図るため、前述した歩車共存道路等のうち、コミュニティ道路を適用する計画とした。

コミュニティ道路の適用に当たり、歩行者の通行空間

の確保や自動車の通行空間の確保が必要となる。また、沿道住民の利便性や安全性、コミュニティの形成に配慮した計画が必要である。それらを考慮した対策案の検討について後述する。

## 6. 対策案検討

前述2.対象地域概況において、旧道の特徴分けを行ったが、コミュニティ道路化へ向け、特徴に応じた計画とするため、家屋連担側と温泉旅館側を分離して対策案を検討した。

### (1) 家屋連担側の対策案

#### 1) 対策案の抽出

家屋連担側は、コミュニティ道路化へ向けて以下の項目に対する対策案を検討した。

- ①自動車の速度抑制
- ②歩行者の通行空間の確保
- ③旧道への進入抑制
- ④自動車のすれ違いを考慮

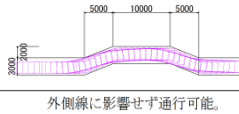
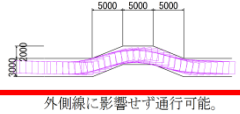
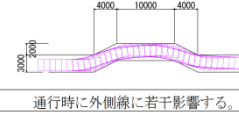
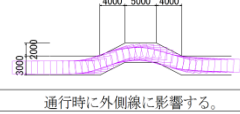
#### 2) 対策案の構造検討

##### ①自動車の速度抑制

旧道内を通行する自動車の速度抑制を図るため、屈曲部(シケイン)を配置した。屈曲部の構造については、基準書等において具体的に定められたものはないが、「道路構造令の解説と運用」<sup>1)</sup>には、「走行軌跡が車道内におさまるかどうか検討が必要」とある。以上より、本計画では、車両軌跡図により、車両が走行可能な最小構造を決定した。なお、設計車両は、緊急車両の通行を考慮して小型自動車等とする。車両軌跡図により決定した屈曲部の最小構造寸法は表-2のとおりである。

表-2のうち、テーパ長 $L=4.0\text{m}$ 案は、外側線への影響が懸念されるため不採用とし、最小のテーパ長は $L=5.0\text{m}$ とした。なお、最小滞留長は、車両軌跡図より走行に支障のないよう $L=5.0\text{m}$ とした。

表-2 屈曲部構造検討

設計車両		小型自動車等(B2m-L6m)・最小回転半径R7m	
平行区間 テーパ長		10.0m	5.0m
		 <p>外側線に影響せず通行可能。</p>	 <p>外側線に影響せず通行可能。</p>
5.0m		 <p>通行時に外側線に若干影響する。</p>	 <p>通行時に外側線に影響する。</p>
4.0m			

屈曲部の配置に当たっては、沿道家屋の乗入れ箇所がある部分について、車両の通行帯を家屋側へシフトする

など利便性に配慮した計画とした。

### ②歩行者の通行空間の確保

安全かつ安心な歩行空間を確保するために設置する歩道は、沿道住民の利便性向上のため、家屋側に配置した。また、以下の点を考慮し、歩道総幅員は、 $W=2.5\text{m}$ (歩道有効幅員 $W=2.0\text{m}$ +路上施設帯 $0.5\text{m}$ )とし、現計画の中で最大限の幅員を確保した。

a) 現道幅員内での計画となること。

b) コミュニティ道路とはいえ、車両の通行空間を確保しなければならないこと。

### ③旧道への進入抑制

旧道への車両進入は沿道家屋等の利用のみを考慮するため、進入抑制を図る対策として、交差点部は幅員を縮小する計画とした。

### ④自動車のすれ違いを考慮

旧道は、計画後の幅員が狭小なため、車両同士のすれ違いが可能なよう待避区間を設置した。設置する待避区間の車道幅員は、「道路構造令の解説と運用」<sup>1)</sup>に則り $W=5.0\text{m}$ とした。

家屋連担側における対策案をすべて反映した最適計画案は図-5のとおりである。

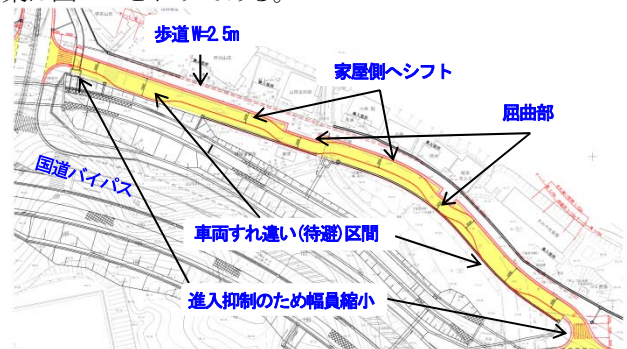


図-5 最適計画案(家屋連担側)

### (2) 温泉旅館側の対策案

#### 1) 対策案の抽出

旧道温泉旅館側は、コミュニティ道路化へ向けて以下の項目に対する対策案を検討した。

- ①通過交通の防止
- ②歩行者の通行空間の確保
- ③旧道への進入抑制

#### 2) 対策案の構造検討

##### ①通過交通の防止

温泉旅館側は旧道の車道幅員が狭小のため、家屋連担側において採用した屈曲部の配置が困難である。そのため、自動車の速度抑制ではなく、通過交通防止を図る目的として、以下の点を考慮し交差点部を一箇所廃止し袋小路化とすることを提案した(図-6)。

a) 温泉旅館側には沿道家屋が存在しないことから、沿



道住民の利用以外の通行車両の主な利用目的は、通過交通または温泉旅館駐車場への出入りであると考えられる。

- b)温泉旅館駐車場へは、市道から直接出入りが可能であり、駐車場から遠方に位置する旧道とバイパスとの交差点の一箇所廃止によるアクセス性低下の影響は少ないと考えられる。

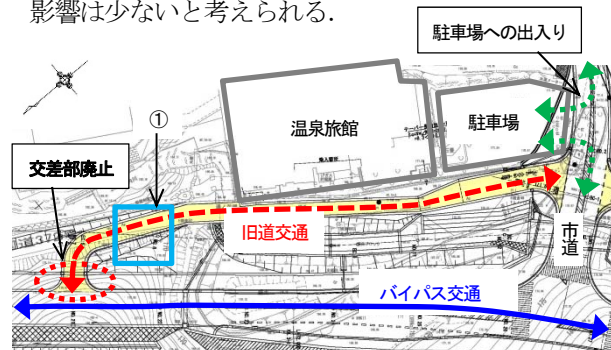


図-6 通過交通防止の検討

通過交通を防止することにより、市道から温泉旅館側に進入してきた自動車は完全な行き止まりとなる。そのため、図-6中の箇所①に転回場を設置し、市道への復帰が可能な計画とした。

計画する転回場は、「技術的基準(開発許可の基準その1)(法第33条)」<sup>2)</sup>に則り転回場半径6.0mとした。また、歩道W=2.5mを設けることにより、バイパスからの歩行者動線を確保する。本計画で設置する転回場は図-7のとおりである。

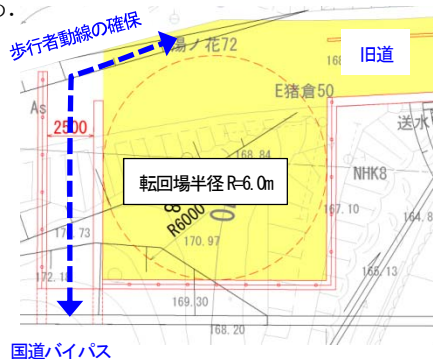


図-7 転回場設置

交差点を一箇所廃止した結果、通過交通の進入を防止し、安全かつ安心な歩行空間を確保可能な計画とした。また、本線側の近接交差点の解消に繋がり、自動車の本線交通面においても安全性向上に期待ができる計画案とした。

## ②歩行者の通行空間の確保

歩行者の通行空間の確保は、家屋連担側の対策案と同様に、温泉旅館出入り側に総幅員W=2.5mの歩道を計画した。ただし、温泉旅館より東側は、現道が狭小であり現道幅員内での計画とするため、歩道の設置は温泉旅館前の乗入れ箇所までとした。

## ③旧道への進入抑制

家屋連担側の対策案と同様に、交差点部は幅員を縮小

することにより旧道への進入抑制を図る計画とした。

なお、車両のすれ違いを考慮した待避区間は、以下2点より、温泉旅館側には設置しない計画とした。

- 1)現道が狭小であり、家屋連担側と異なり、通過交通を防止することにより、車両の離合はほとんど発生しない。
- 2)待避区間を設置する場合、現道幅員内での計画とすると、歩道幅員を圧迫することから、安全かつ安心な歩行空間の確保の妨げになる。

温泉旅館側における対策案をすべて反映した最適計画案は図-8のとおりである。

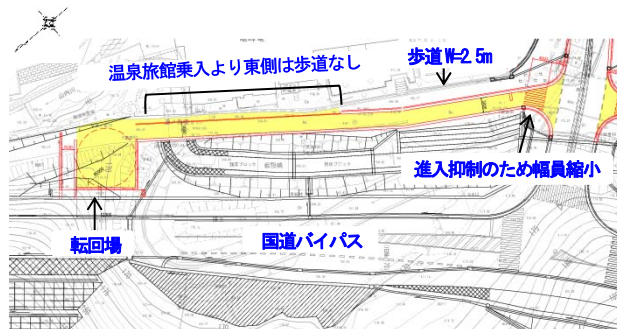


図-8 最適計画案(温泉旅館側)

## 7. おわりに

本業務では、バイパス整備に伴い交通需要が低下した旧道に対し、歩車共存道路等の設置を提案し、沿道施設等の利用者の利便性や安全性に重きを置くなど利用状況や周辺環境に配慮した道路環境の改善計画を行った。

また、本計画において、現道幅員内での計画となること、および沿道施設により旧道の利用目的が異なることを考慮したうえで、現道の有効活用を図る計画が立案できた。

## 参考文献

- 1)公益社団法人 日本道路協会：道路構造令の解説と運用、2015年6月
- 2)京都府：技術的基準(開発許可の基準その1)(法第33条)



## MMS と建物所在データを活用した屋外広告物情報の取得・整理の試み

アジア航測株式会社 ○ 宮本 藍介  
辻 求  
渡部 雄太  
野瀬 和仁

### 論文要旨

都市における景観保全のために、自治体は屋外広告物の適正な管理を求められている。さらに近年、屋外広告物の老朽化による落下事故も発生していることから、屋外広告物の点検、補修履歴の管理も求められている。現在、屋外広告物は調査員による現地調査にて把握しているが、その量が膨大で種類も多く高所に設置されるなど計測が困難な広告も存在するため、適切に把握できていないのが現状である。そこで本研究では、MMS（車載型レーザ計測システム）計測技術とGIS（地理情報システム）を組み合わせることで、現地調査の回数を減らし、効率的に屋外広告物の情報を取得・整理する試みを行った。その結果、現地調査の回数を最小限にしつつ、屋外広告物の場所、種別、状況を効率的に把握できることを確認できた。

**キーワード：**屋外広告物、MMS（車載型レーザ計測システム）・GIS（地図情報システム）

### まえがき

我が国において、屋外広告物は江戸時代より、企業・商品の宣伝・周知・集客を主目的として広く設置されてきた。都市の発展に伴いその数も多くなり、都市を構成する景観要素の一つとして公共性を有する形になっている。

こうした背景のなか各自治体は、適正な都市景観の保持のために屋外広告物法、屋外広告物条例などを制定し、屋外広告物の把握、設置料金の徴収、景観や安全性に影響を及ぼす屋外広告物に対する指導を実施している。

また、屋外広告物は安価で継続的な宣伝効果が発揮できるため長期間補修せずに設置されている場合も多いため、屋外広告物の老朽化が要因となった人的事故（屋外広告物の落下等）も発生し社会問題となっており、屋外広告物の点検履歴管理が求められている。

しかしながらその量が膨大であること、屋外広告物の種類や設置方法が多岐にわたることから担当職員の現地調査による目視や手動計測では多大な労力がかかる。加えて屋外広告物設置者から提出される設置許可申請書だけでは、屋外広告物の把握には限界がある。従って、屋外広告物法・条例に適合しない違反広告物、安全性に問題のある屋外広告物に対する指導が進んでいないのが現状である。

そこで本研究では MMS（車載型レーザ計測システム）による現地計測および屋外広告物の抽出・計測と、GIS（地図情報システム）を用いた屋外広告物の場所、状況を整理する手法を検討した。

### 1. 屋外広告物の取り扱い

屋外広告物とは、屋外広告物法第2条で「常時又は一定の期間継続して屋外で公衆に表示されるものであって、看板、立看板、はり紙及びはり札並びに広告塔、広告板、建物その他の工作物等に掲出され、又は表示されたもの並びにこれらに類するもの」として定義されている。主な屋外広告物としては以下が挙げられる。

- ① 壁面看板
- ② 屋上看板
- ③ 突出看板
- ④ 野立看板（独立広告物）

また、良好な景観形成、風致の維持、公衆への安全確保を行うために各自治体にて地域の特性などを考慮した区域（設置許可区域、設置禁止区域等）を指定し、区域・広告種別ごとに空間的な設置条件、色彩・意匠等の条件を設定している。

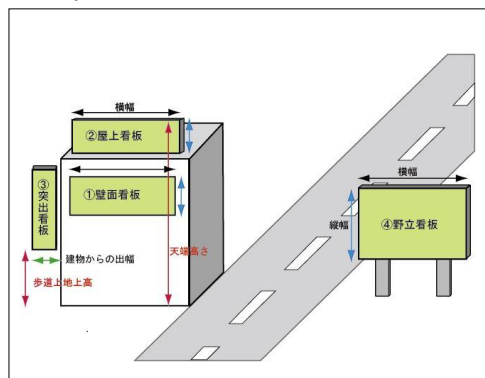


図-1 屋外広告物の種類と設置条件

また景観や安全性への影響が極めて大きい物件(橋りょう、トンネル、高架構造物、道路標識、ガードレール等)に対しては、屋外広告物の設置を禁止している。

本研究では、以上の背景を踏まえ、壁面看板、屋上看板、突出看板、野立看板(独立広告物)を対象に、次項で説明するMMSを用いた対象物の抽出および整理を実施した。

屋外広告物の把握・整理フローを以下に示す。

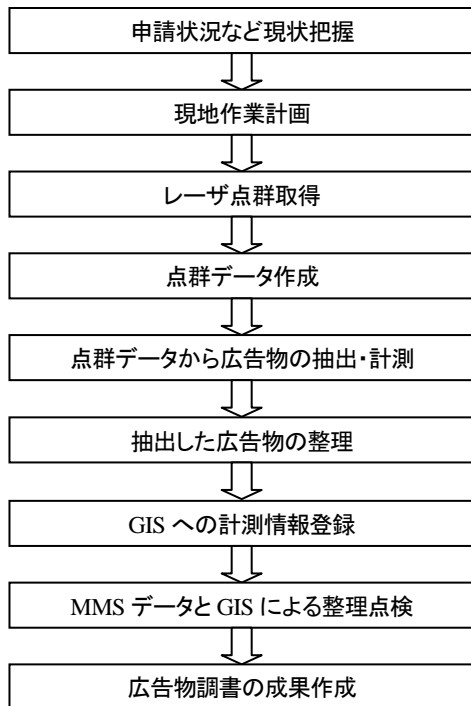


図-2 屋外広告物の計測・整理フロー

## 2. MMS 点群データの取得・作成

MMSは5年ほど前から広く測量分野で使われるようになり、平成28年3月31日改訂の公共測量「作業規程の準則」に「車載写真レーザ測量」の名称でレベル500図化用機材として規定されている。衛星測位と慣性計測装置による位置姿勢計測にレーザスキャナや画像センサを組み合わせ、交通規制なしに道路を通常走行しながら沿道の3次元空間情報を取得する。MMSの概要を以下に示す。



図-3 MMSの外観

表-1 MMSの仕様

機材	性能
GNSS受信機	GPS+GLONASS
IMU(慣性計測装置)	取得レート: 400Hz 精度: Heading 0.007° RMS Roll/Pitch 0.003° RMS
レーザスキャナ	照射レート: 最大 300kHz スキャンレート: 100Hz 測距精度: $\pm 10\text{mm}$ (1 $\sigma$ )
画像センサ	解像度: 1600×1200×6台 (全周囲カメラ) 画像取得間隔: 2-3m

レーザスキャナにより取得した高密度レーザ点群データと画像センサにより取得した全周囲画像は位置情報と関連付けてパソコン上に表示することで、沿道の地物を視覚的に確認しながら位置座標、面積、高さなどの3次元計測ができる。



図-4 MMS取得データのビューアでの表示

本研究では、屋外広告物の多い都市部商業地域の幹線道路沿い20km程度をサンプルとして計測した。MMSによる計測は1日でほぼ全域をデータ取得し、屋外広告物情報の取得後に未側部確認のための補測2回実施した。

## 3. 屋外広告物情報の取得

MMSで計測した結果をアジア航測開発の点群データ表示ソフトウェア「LaserMapViewer」に表現することで屋外広告物の3次元データをパソコン上で取得した。屋外広告物は目視で種別を特定し、以下の基準で計測を実施した。

### (1) 壁面看板

建築物若しくは塀の壁面に直接塗料を塗る、また金属等の耐久性のある材料を使用して取り付けで広告内容を表示する広告物を対象とした。「広告物の面積(図-5赤枠)」とその広告を含む壁面を正面から見た壁面全体の「壁面面積(図-5青枠)」を計測した。



図-5 壁面看板の計測例

#### (2) 屋上広告物

建物の屋上にある広告物を対象とした。「広告物の面積(図-6 赤枠)」「建物の壁面面積(図-6 緑枠)」「広告物の高さ(図-6 黄矢印)」を計測した。

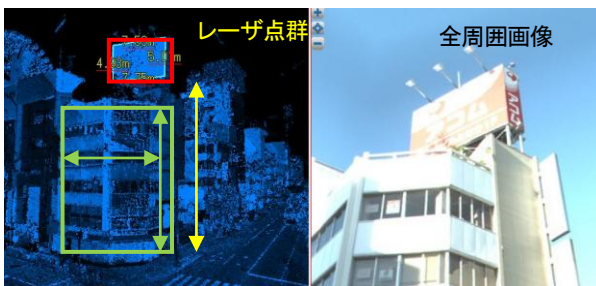


図-6 屋上広告物の計測例

#### (3) 突出看板

建築物の壁面から突き出して取り付け、広告内容を表示しているものを対象とした。「表示面積(図-7 緑枠)」「上端・下端の地上高(図-7 ピンク矢印)」「突出し幅(図-7 赤矢印)」「面数」を計測した。



図-7 突出看板の計測例

#### (4) 野立看板(独立広告物)

土地に設置し、木又は金属等の耐久性のある材料を使用して作成広告内容を表示するものを対象とした。「広告物の面積(図-8 赤枠)」「上端高(図-8 赤矢印)」「面数」、道路に突き出ている場合は「突出し幅」を計測した。



図-8 野立看板の計測例

### 4. 屋外広告物情報の整理と可視化

MMS で抽出した屋外広告物情報について以下の整理を実施した。

#### (1) GIS への展開

MMS から所得した位置座標(緯度経度)情報を GIS へポイントデータとして展開し設置場所を可視化した。

GIS に展開する際に、屋外広告物の設置情報(広告物の種別、広告物の幅、面積、高さ、面数、広告物の内容、許可申請番号)を属性データ、屋外広告物の画像、計測結果をファイリングデータとしてポイントデータに付与した。

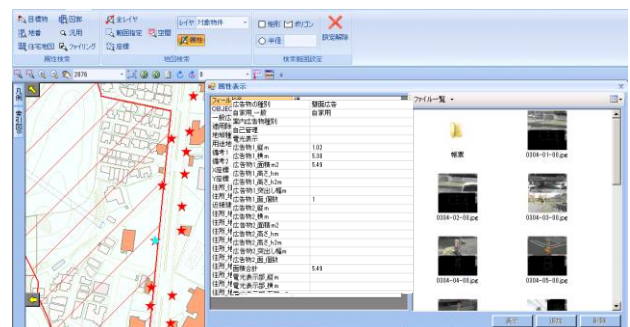


図-9 屋外広告物位置を GIS に展開した例

★：屋外広告物設置場所

#### (2) 住所情報の取得

前項の作業で展開した屋外広告物位置ポイントデータと地番図、住居表示図、屋外広告物規制区域を空間的に重ね合わせて設置場所の住所、設置場所の屋外広告物規制区域を抽出し、属性情報として付与した。



図-10 規制情報と地番図、住居表示図との重ね

左図：規制情報との重ね合わせ図

右図：地番図、住居表示図との重ね合わせ図

★：屋外広告物設置場所



### (3) 計測情報の整理

屋外広告物は一つまたは複数の土地に複数設置するものが多い。さらに屋外広告物の許可及び設置料金の徴収も敷地、申請者単位でまとめる場合が多い。そこで計測した屋外広告物情報を敷地単位でグループ化し、広告物単位で調書としてまとめた。

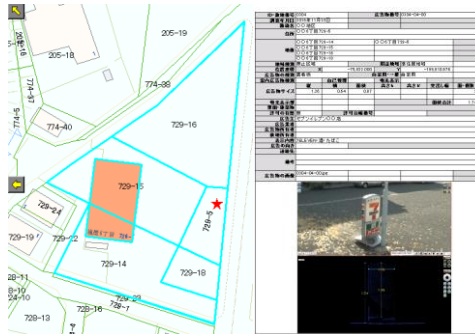


図-1-1 敷地のグループ化と屋外広告物の調書例

★：屋外広告物の位置

左図：敷地範囲、右図：広告物の写真及び計測結果

## 5. 屋外広告物情報の整理による効果

### (1) 期待される効果

本研究で実施した屋外広告物の整理により以下の効果が期待される。

#### ① 現地調査回数の低減

車両による現地調査を実施することで現地調査回数の短縮が可能（本研究では、数週間程度の調査回数を2日間に短縮）

#### ① 屋外広告物の効率的な位置確認

GISにより空間的な広告物配置の把握が可能

#### ② 屋外広告物の設置者の確認

GISに重ね合わせることで住居表示図・地番図の登記所有者・表札情報から広告物設置者の推定が可能

#### ③ 屋外広告物情報の効率的な検索

GISでデータベース管理するため、管理番号・設置者情報・看板情報などから広告物を多角的に検索可能

#### ④ 設置許可申請書との照合

作成した現況調書を用いて広告物設置者から提出された許可申請書内容の整合性を確認可能

#### ⑤ 屋外広告物の効率的な指導

住所情報・規制情報・現地撮影画像などをGISで同時に参照しながらの屋外広告物確認・指導が可能



図-1-2 地図と現地撮影画像の連動表示画面

### (2) 屋外広告物データの活用について

屋外広告物情報の整理結果は以下の業務に活用することも可能である。

#### ① 補修点検情報の管理

屋外広告物の属性情報に、設置年度・補修情報を追記することで補修履歴の管理が可能

#### ② 屋外広告物設置料金の計算・入金管理

計測・整理された屋外広告物情報を活用し、屋外広告物設置料金の自動計算・入金管理が可能

#### ③ 屋外広告物が条例への適合可否の自動判断

計測した屋外広告物情報を活用し、屋外広告物条例の適合可否の自動判別を実施

#### ④ 定期的なMMS計測実施による履歴管理

定期的なMMS計測、データ蓄積により既存広告物の経年変化の把握や屋外広告物のパトロールが可能

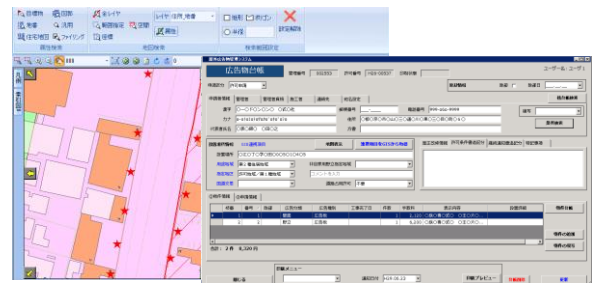


図-1-3 屋外広告物の設置料金自動計算の例

## 6. まとめ

今回のサンプル区間約20kmにおいて0.1㎡以下の小さい広告物も含めると6000件程度の広告物が存在した。これを現地実測で人が1日100件計測すると60日の現地工数となるが、MMSで実施すると現地作業は補測を含め2、3日で終わることができた。

MMSデータによる広告物計測の場合、壁や窓に貼付された0.1㎡以下の小さな広告物、広告物種別や対象面積の判断が難しい広告物なども取得できるが、すべてを対象に計測・整理すると時間と労力を要する。そのため、対象広告物の絞りこみ（例えば、「2㎡を超える主要広告物」を景観に影響を与える広告物とすれば、今回のサンプル区間内の対象広告物は1500件程度に絞りこめる）、広告物の面積計測のパターン化などの標準化が課題である。

一方でMMS計測とGISを組み合わせることで大量の屋外広告物を机上で容易に確認できるため、効率よく現状を把握・管理することができた。今後は取得情報を登録したGISを有効活用することにより、違反広告物に対する適切な指導や地区ごとの実情を踏まえた景観まちづくりの推進が期待される。

最後に、本論文に協力いただいた関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

# トンネル内環境データを重視したトンネル換気設備更新設計

(株) エイト日本技術開発 ○ 井 上 健 太 郎  
(株) エイト日本技術開発 坂 根 勇 一  
(株) エイト日本技術開発 日 根 幸 雄

## 論 文 要 旨

トンネル坑内の換気設備において、必要とするジェットファン台数を算出するには、計画交通量、自然風 2.5m/s を用いることが一般的であり、算出結果次第では自然換気に対応可能となることもあるが、同条件で坑内排煙設備の必要性を算出すると、排煙設備が必要となる場合もある。

本トンネルでは換気設備の更新設計を行うため、ジェットファン台数を計画交通量、自然風 2.5m/s を用いて算出した結果、「自然換気に対応可」「排煙設備が必要」となった。また、周辺地においては「山間地のため霧の発生が極めて多く、換気設備は霧が発生すると稼働することが多い」ことから、どのような考え方に基づいてジェットファンの必要台数を決定するか難しい判断となった。

一方で、本トンネルは既設設備で実測データがあることからそのデータを有効活用し、「ジェットファンの稼働状況」「交通量」「風速に関するデータを整理した結果」を換気設備更新計画へ反映させた設計とした。

キーワード：換気設備更新設計、換気設備、排煙設備、霧対策、実測データ有効活用

## ま え が き

本報告は、福島県県北地方と会津地方を結ぶ重要な幹線道路である国道 115 号土湯道路における、土湯トンネル(延長 3.36km, 対面通行 2 車線トンネル)の換気設備更新設計報告である。

本トンネルは供用後約 30 年を経ており、換気設備の現状は JF (従来型)  $\phi 1000$  が 10 台設置されているが、故障等により現時点で稼働しているのは 5 台である。

またトンネル周辺地では、山間地のため霧の発生が極めて多く、換気設備は霧が発生すると稼働することが多い。

以上の状況を踏まえ、本更新設計では、ジェットファンの稼働状況、交通量、風速に関する本トンネルの実測データを更新設計にどう反映するかが課題であった。

表-1 トンネル諸元

道路構造規格	第 3 種第 3 級
設計速度	50km/h
延 長	3,360m
標 高	1,100m
計画交通量	4,479 台/日

## 1. 設備更新設計の問題点と着目点

一般にトンネル新設設計において必要とするジェットファン台数を算出するには、交通量としては計画交通量、風速としては 2.5m/s を用いる。

この設計条件で本トンネルの計算をすると、坑内換気設

備は自然換気で可能であり、排煙設備は JFX (高風速型)  $\phi 1000$ -4 台が必要になる。一方で、道路トンネル非常用施設設置基準・同解説(平成 13 年 10 月)には「排煙設備は換気設備の能力の範囲で(以下省略)」の記載があることから、本トンネルではジェットファンの採否について検討する必要があった。

以上の計算結果と現状を踏まえ、更新設計の方針としては、「換気設備の必要性」、「排煙設備の必要性」、「霧対策の必要性」について整理を行い、どのような考え方に基づいてジェットファンの必要台数を決定するか、難しい判断となった。

## 2. 実測データの有効活用

本トンネルは既設設備で実測データがあるため、それを整理して設計条件を決め、設計方針を決定することとした。

土湯トンネル内の計測装置のデータ(平成 27 年 1 月～12 月までの 1 年分)を以下の方法で整理した。

- ① 5 分間毎の交通量、VI, CO, 風向風速, JF 稼働が記録されているデータを元データとして用いた。
- ② 上記のデータを 1 日当たり、1 年当たりのデータとして整理することで、交通量(大型車混入率)、ジェットファン稼働状況、自然風や霧等の自然現象の傾向を確認した。

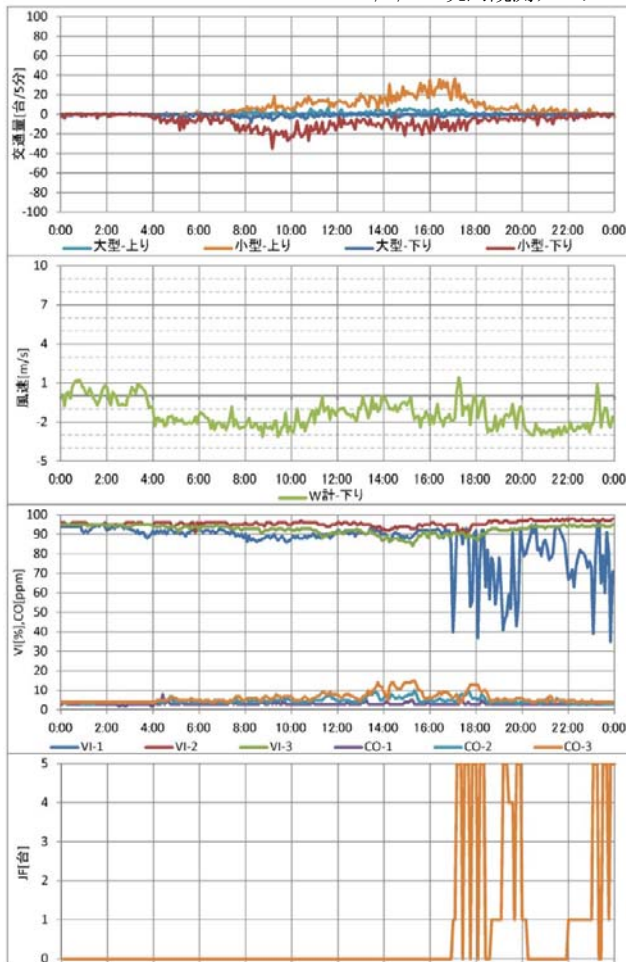
実測データを整理した結果の代表例として、3 月 8 日の記録を図-1 に示す。この日の状況は以下の通りであったこ

とが分かる。

- ・ 交通量は昼の多い時で、1 方向 20 台/5 分、1 方向 240 台/時間、両方向 480 台/時間程度であり、JF は夕方まで全く稼働していない。
- ・ 坑内風はほぼ終日を通じ、下り（東方向） $-2.0\text{m/s}$  程度の風が吹いていた。即ち、上り方向  $2.0\text{m/s}$  の風が吹いていた。
- ・  $\text{CO}$  は終日  $15\text{ppm}$  以下で、 $\text{CO}$  の許容値は  $100\text{ppm}$  のため全く問題でない状況が続いた。
- ・  $\text{VI}$  は夕方から深夜にかけて悪化し、許容値の 40%程度まで低下する状況が連続して発生している。
- ・ JF は  $\text{VI}$  の悪化に伴い夕方から深夜にかけて 5 台全てが稼働する状況が連続して発生した。

$\text{VI}$  は交通量の少ない時に悪化していることから、 $\text{VI}$  悪化の原因は排ガスではなく霧と推察される。

2015/3/8 坑内観測データ



図－1 毎日のグラフ

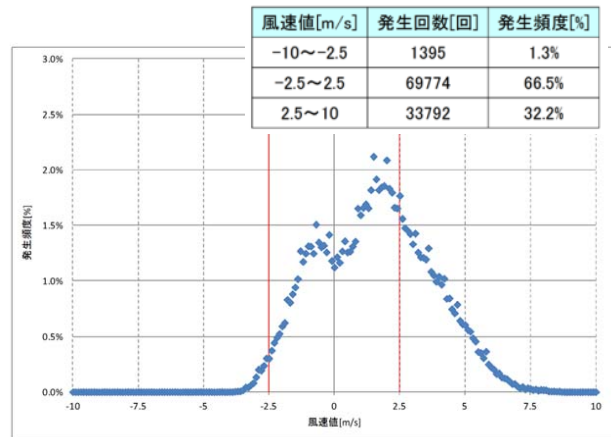
### 3. 実測データ整理結果と設計方針

#### (1) 実測データを整理した状況

- ① 交通量に関しては、実交通量と計画交通量に大きな

差はない。

- ② 風に関しては、風速  $2.5\text{m/s}$  以上の場合が 1 年間で 1/3 程度生じる。(図-2 参照)
- ③ 霧に関しては、霧の発生により警報が発せられる回数が、「月に 100 回以上」生じている。また、霧が原因で  $\text{VI}$  の許容値を超えた日が 87 日もある。(表-2 参照)



図－2 風速の 1 年間集計（平成 27 年）

#### (2) 設計方針

以上を設計条件として計算した結果を踏まえて以下の設計方針とした。

- (ア) 霧に対しては確立された設計方法はなく、完璧な対応をするには膨大な換気設備が必要と思われたため、現況と同程度の換気能力設備を確保する。
- (イ) 本トンネル換気設備の役割は主に霧対策であるが、霧発生時において現況の換気能力設備 (JF1000-5 台) で大事故が発生しておらず、道路利用者の安全性を確保していると考ええる。
- (ウ) 計算から求まる排煙設備 (JFX1000-4 台) は、現況の換気能力設備と能力的にはほぼ一致する。
- (エ) 上記の (ア) ～ (ウ) より、更新するジェットファン規模は現況と同程度の換気能力設備を確保する。

#### あ と が き

更新設計において現状に即した設計を行うには実測データを有効活用することが大切である。換気設備更新設計ではリスク（今回の場合は霧による交通障害と風の影響）をどう考えるかが重要で、発注者と入念な協議が必要になる。

本論文を作成するにあたり、福島県北建設事務所の関係者方々を始め、多くの方にご指導いただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。



## インフラ点検における実務上の問題点と課題、ICT 利活用の検討

㈱日建技術コンサルタント ○ 川 上 崇  
岸 本 一 馬

### 論 文 要 旨

社会資本ストックは、高度成長期に集中的に整備され、今後急速に老朽化することが懸念されている。今後 20 年間で建設後 50 年を超える社会資本ストックは加速度的に増える一方で、少子高齢化社会の到来により、労働人口が大幅に減少し、技術的ノウハウを持った人材が不足していくことが懸念されている。このような現状から、インフラの点検・診断、維持管理における新技術の開発・導入が進められており、モニタリング技術や IoT 技術の活用等が検討されているところである。本稿では、道路橋梁点検及び道路附属物点検について、経験に基づいた実務上の課題、問題点を整理するとともに、インフラの点検、診断、維持管理を効率化、高度化するための ICT 利活用について考察した。また、一例として、道路附属物点検の情報を GIS で管理するシステムを構築し、地形的条件と点検結果の関係性を可視化することにより、今後の効率的な維持管理への有用性を確認した。

**キーワード：**橋梁点検、道路附属物点検、ICT、IoT、GIS

### ま え が き

社会資本ストックは、高度成長期に集中的に整備され、今後急速に老朽化することが懸念されている。道路橋については、建設後 50 年以上経過する割合は平成 25 年 3 月時点で約 18%であったものが、10 年後の平成 35 年には約 43%になり、さらに 20 年後の平成 45 年には 67%となる見込みである。その他の分野においても建設後 50 年以上経過する社会資本ストックの割合は加速度的に高くなる傾向にある<sup>1)</sup>。しかしながら、地方公共団体におけるインフラの維持管理・更新に係る体制や技術者等は十分でなく、少子高齢化社会の到来により、労働人口が大幅に減少し、技術的ノウハウを持った人材が不足していくことが懸念されている。

このような近い将来に対応する為、社会インフラの点検や維持管理の効率化、高度化について、新技術の開発・導入の取り組みが検討されている。インフラ点検に必要な技術としては、土木構造物の劣化や損傷を計測するための技術(画像診断やレーザー計測等)、センサを利用して構造物の状態を把握するためのモニタリング技術等があり、ICT を活用した技術について、様々な機関で研究が行われている。しかしながら、インフラの点検や診断においては、現在、人間が行っている点検作業(近接目視や打音検査等)の方が品質面およびコスト面において、有利な場合が多いのも事実である。このような状況を踏まえ、本稿では、道路橋梁点検と道路附属物点検を対象に、実務上の問題点と課題を改めて整理し、今後の点検、診断における効率化、高度化について考察する。

また、本稿では、維持管理面での効率化、高度化を目的として、道路附属物点検の結果を GIS で可視化し、その有用性を確認する。

### 1. 橋梁点検における実務上の問題点と課題

#### (1) 橋梁点検の方法

橋梁点検には、その規模や構造、地形的条件により様々な方法があり、各種方法から選定して行う。具体的には次の点検方法がある。①橋梁点検車(図-1:道路上からアームを伸ばし、橋梁下部を点検)、②高所作業車(図-2:橋梁点検車が利用できない場合等に利用)、③特殊高所技術点検・ロープアクセス(図-3:橋梁点検車や高所作業車が届かない箇所に採用)、④その他(梯子点検、ボート点検、フロート点検、クローラー車、移動式足場等)。



図-1 橋梁点検車による点検



図-2 高所作業車による点検



図-3 特殊高所技術点検

## (2) 橋梁点検における課題

実際に上記手法により点検を行う場合、作業時において次に挙げる課題がある。

### ①点検対象物への近接方法

河川と交差する橋梁等では、橋梁点検車やボート、フロートを使用するが、河川の水位・流速や桁下高、道路幅員によっては点検が困難な場合がある。感潮区間では水位により点検の時間帯が制約される場合がある。また、鉄道の軌道敷が近接する場所等では容易に立入り出来ない等の課題がある。

### ②障害物の除去

土砂の堆積、植物、鳥糞等により点検箇所が隠れていることがある。添加物(水道・ガス管等)、鳩除けネットや化粧版が障害となる場合もある。蜂の巣がある場合もある。

### ③チョーキング

近接目視、打音検査のときにその箇所、範囲をマーキングする。過去の点検によるチョーキングが残っている場合には、損傷の進行が分かり易いため、チョーク後が消えにくく、消したいときは消しやすいチョークが有れば望ましい。

### ④写真撮影について

逆光や接写、夜間点検時においても損傷を分かり易く撮影することが課題である。夜間点検では、強い照明を利用し、損傷が十分に把握できる写真撮影が必要となる。また、損傷写真には人物や影が写り込まないように注意

が必要となる。

### ⑤天候による影響

積雪により対象物が埋もれることにより点検の障害となる。大雨や暴風により点検作業が危険となる。ただし、雨の日の方が漏水、滞水の変状は発見し易い。

### ⑥ヒューマンエラー

点検作業を複数班で実施している場合は、点検記録の作成において、損傷評価のバラツキを最小限にする工夫が必要となる。

大きな橋梁等で、広い範囲の打音検査を行う場合、損傷箇所の漏れや誤診が生じる場合がある。点検員の経験、技術的ノウハウが重要となる。

### ⑦点検の難しい構造

(1)で述べた各種方法でも点検できない橋梁がある。隙間が狭く、橋梁点検車や高所作業車が入らない場合や落下防止ネット等が障害となる場合もある。構造物設計上の維持管理への配慮がなされていない場合は、点検が困難となる<sup>2)</sup>。

## 2. 道路附属物点検における実務上の問題点と課題

### (1) 道路附属物点検の作業手順

道路附属物点検の対象施設には、道路標識、道路照明施設、道路情報提供装置があり、その数は膨大である。点検の手順は、①資料収集整理、②現地踏査、③点検計画書の作成、④現地点検作業、⑤点検結果の整理、⑥対策判定会等の実施、⑦点検表の作成、という流れで点検を行う。

### (2) 道路附属物点検における課題

#### ①準備段階(資料集整理や現地踏査)における課題

対象施設の情報は、紙ベースの台帳で保管されている場合が多く、台帳と点検結果が関連付けて整理されていない場合がある。

#### ②GL-40以下の腐食

GL-40mm 付近を路面境界部として、アスファルトを掘削して点検を実施することが規定されているが、それ以下のベースプレートまで掘削したところ腐食が見られる場合がある。原因は犬のおしっこによる金属腐食などであり、対策としては地際部に補修・補強工法を適用するなどの方法があるが、数が膨大な施設ではその対応が困難となる。

#### ③点検しにくい構造の標識

橋梁点検における課題でも述べたが、点検作業時に高所作業車が入らない箇所があり、ボルトの点検等が困難な場合がある。構造物設計上の維持管理への配慮がなされていない場合は、点検が困難となる<sup>2)</sup>。

#### ④点検後の施設データの管理

道路附属物は、施設数が膨大であるが、点検結果は紙ベースの点検表とエクセルデータとなるため、その後の施設管理が煩雑となる。関係者間で施設情報を統合的に把握できることが望ましい。

### 3. 点検におけるICT利活用に関する考察

これらの実務上の課題や問題点を考慮し、点検の効率化・高度化について考察する。ここでは、ICT利活用のうちセンサ利用について、以下の事項について考察した。

#### (1) センサ利用の目的<sup>3)</sup>

センサには様々な種類があり、その計測対象も、ひずみ、加速度、変位、振動、傾斜、温度など、様々である。センサは一般に構造物等のモニタリングを目的に利用される。モニタリングとは、構造物にセンサを設置し計測により得られたデータについて様々な処理を行って構造物の損傷や劣化を診断し、状態を把握することをいう。

#### (2) センサ利用の対象

センサを利用した計測では、微細な変位も計測可能であり、継続的にデータを収集することにより、目に見えない日常的な変化を把握できる。変化の予兆から、未知の損傷による事故を未然に防ぐことができると考えられる。ただし、全ての施設にセンサを設置するのは現実的ではない。前述の課題で示した点検しにくい箇所はセンサを活用することにより点検作業の効率化、高度化が実現できると考える。また、劣化や損傷による被害を想定した場合、甚大な影響が出る箇所に設置することが効率的であること、すぐに補修しない施設の経過観察に利用できることなどが挙げられる。

#### (3) データのオープン化<sup>4)</sup>

ICT利活用においては、データのオープン化について検討しておく必要がある。計測データの公開については、データの悪用や責任等の問題により、施設管理者にとってはメリットを感じにくいと想定されるが、行政の透明性の示すことに繋がることも考えられる。オープンデータの利用では、GISを利用してその情報を住民に公開することにより、行政側は説明責任を果たすことができ、住民側は地域の情報をいち早く知ることにより、自助努力により対策を講ずることが可能となり減災に繋がる。また、参加型GISの構築により、施設の劣化や損傷の情報を住民側が行政に知らせる方法も考えられる。

#### (4) セキュリティ対策<sup>5)</sup>

センサ利用ではIoT技術の活用が考えられるが、情報漏洩やデータの悪用などにより、社会インフラがテロの標的にならないよう対策を講じる必要がある。センサ利

用を例にすると、想定されるリスクは盗難、情報漏洩、不正アクセスによる書き換えなどがあり、対策としては、暗号化や認証等の仕組みが考えられる。セキュリティに関する技術は日進月歩であるため、センサが長期間利用されることによりセキュリティ対策も危殆化するという課題がある。また、開発者が当初想定していなかった影響が発生する可能性がある。

### 4. 維持管理におけるデータ利活用

道路附属物点検の情報をGISで管理するシステムを構築し、地形的条件と点検結果の関係性を可視化した。

ここでは、道路附属物のうち、照明施設について、位置を点情報として航空写真上にプロットし、点検の診断結果(施設の健全性)を色分けで表示し、可視化した(青:健全性Ⅰ、黄色:健全性Ⅱ、赤色:健全性Ⅲ)。結果は図-4のとおり。地理的な要因との関係性を考察すると、河口付近に近い場所において、損傷が発生していることが分かる。

また、施設の設置年度を色分け表示し、可視化した結果は図-5のとおり。(青:2010年以降、黄色:2000年~2009年、赤色:1999年以前および設置年度不明)

図-4と図-5を比較すると、当然の結果と言えるが、設置年度と健全性に関係性があることが分かる。

GISで施設の点検結果を可視化することにより、地形的要素と点検結果の関係性があることが分かった。その他、位置情報と健全性を視覚的に把握することにより、日常点検の効率化に繋がり、今後の計画的な更新等にも活用できると考えられる。

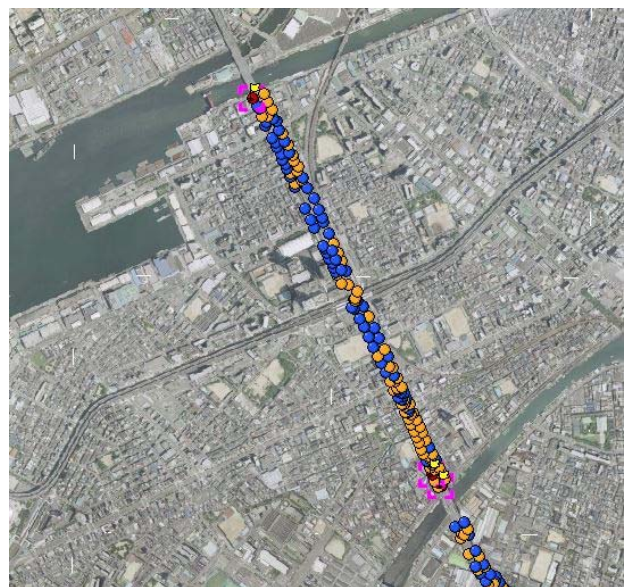


図-4 健全性の可視化(背景出典:地理院地図)



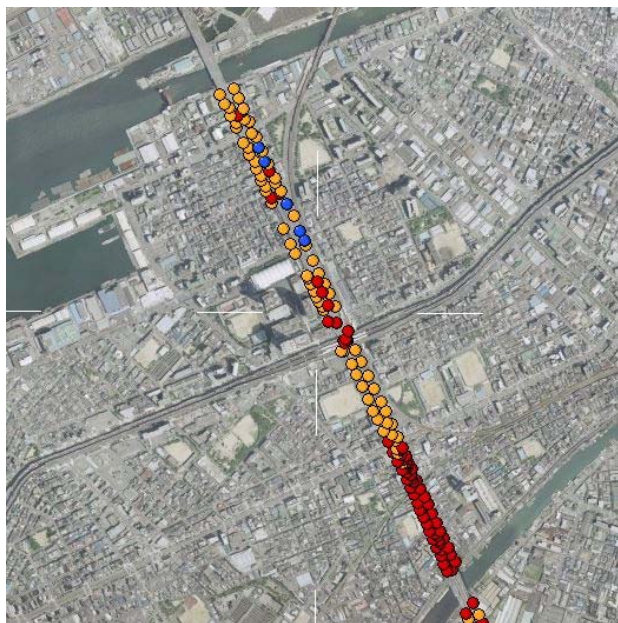


図-5 設置年度の可視化(背景出典:地理院地図)

## あ と が き

本稿では、道路橋梁点検および道路附属物点検を対象として、実務上の課題を整理した上で、ICTの利活用について考察し、ICT利活用について今後検討していくべき事項について明らかにした。維持管理面では、GISを利用することにより今後の維持管理の効率化、高度化に向けての有用性を確認できた。

課題の抽出では、出来る限り多くの課題を抽出したつもりであるが、点検対象となる施設には様々な構造があるため、本稿で挙げた以外の課題もまだ存在すると考えられる。また、ICT利活用についても、通信技術やデータベース技術等の検討も必要であり、データ利活用にあたっては、データの標準化も課題となる。

今後の展望としては、センサとGISの連携により、施設情報をリアルタイムに把握し、維持管理の効率化・高度化を図ることなどが考えられる。

本稿の執筆に際して指導・協力等を頂いた皆様、点検情報の掲載について、了承して頂いた道路施設管理者様へは、心より感謝の意を表します。

## 参 考 文 献 (または引用文献)

- 1) 国土交通省 HP、インフラメンテナンス情報 社会資本の老朽化の現状と将来
- 2) 国土交通省 HP、「橋、高架の道路等の技術基準」(道路橋志示方書)の改定について
- 3) 土木学会土木情報学委員会、センサ利用技術小委員会:社会インフラのためのセンサ標準化ガイドラインおよび運用の手引き(案)、平成28年9月、75p
- 4) 総務省 HP、オープンデータ戦略の推進
- 5) IoT 推進コンソーシアム、総務省、経済産業省:IoTセキュリティガイドライン Ver1.0、平成28年7月、60p
- 6) 第13回社会資本メンテナンス戦略小委員会(第2期第4回)資料1:維持管理を円滑に行うための体制、地方公共団体等の支援方策について、2014/9/17
- 7) 窪田 諭:道路維持管理における道路データモデルを核とする時空間情報ポータルの開発、平成23年3月
- 8) 九州大学工学部 大倉侑子、西日本高速道路エンジニアリング九州(株) 江口智裕 他:GISによる高速道路の橋梁点検データの高度管理手法の検討、土木学会西部支部研究発表会、2011.3
- 9) 岩松幸雄、早川祐史、原田隆朗:道路構造物の維持管理システムに関する研究、土木学会論文集 No.444/VI-16、pp.69~76、1992.3
- 10) 深田秀実:道路施設管理における地理空間情報の高度活用—RFIDとGISを用いた道路施設管理支援システムの提案—、第8回北海道測量技術講演会、平成23年1月27日
- 11) 国土交通省 道路局 国道・防災課:附属物(標識、照明施設等)点検要領、平成26年6月
- 12) 国土交通省 道路局 国道・防災課:橋梁定期点検要領、平成26年6月

市町村が管理する吊橋の維持管理手法に関する一提案

南山城村 建設水道課  
(一財)京都技術サポートセンター  
(株)建設技術研究所 大阪本社構造部

奥矢幸一 西端勇氣  
春田健作 早田久仁彦 新納啓之  
○ 井川理智 原英樹

論文要旨

我が国では 800 橋以上の吊橋が架けられており、市町村管理は 92%を占める。吊橋は鋼製ケーブルが多用されていることや変形が大きい特徴を有し、一般的な鋼橋の点検・調査とは異なる。また、吊橋の維持管理に精通する技術者が少なく、適切に維持管理を行う手法の確立が喫緊の課題である。本報告では村が管理する吊橋の点検・調査結果を述べ、特殊性を踏まえた維持管理手法を提案する。

キーワード：橋梁点検、ケーブル詳細調査、維持管理、長寿命化計画

まえがき

吊橋は全国で約 900 橋、その 90%以上を市町村が管理している<sup>1)</sup>。本橋(図-1)は、ダム事業により公団等が建設(1967 年)、その後、村道として移管されており、大半の市町村管理の吊橋は同様な状況にあると推察する。

吊橋形式の道路橋は、一般に主要部材とする主桁・横桁・床版に加え、それを支える(吊る)鋼製のワイヤーケーブル、アンカー部等への維持管理が必要となる。本報告では、主に吊橋特有のケーブル部材を点検した内容を報告するものである。

1. 点検項目

本橋では、道路法で定められる近接目視点検に加え、表-1 の各種点検項目について実施した。

本報告では、各所で破断事例も報告されているケーブル本体構造の調査について紹介する。

表-1 点検項目

点検項目	概 説
上部工	・ 主要部材(主桁、横桁、床版)の近接目視点検 ・ ボルト頭部の触診等
下部工	・ 橋座面、堅壁部、橋台部のひび割れ調査 ・ ASR 調査 (コア採取)
支承部	・ 鋼支承の近接目視点検 ・ 沓座部ライナープレートの腐食調査
主塔部	・ 傾き量計測(下げ振、トータルステーション、3D スキャナ等) ・ 形状・外面、内面 ・ 塔内の温湿度計測
ケーブル本体	・ 工業用ビデオスコープ による断線、表面腐食調査 ・ 残存メッキ量調査 (レプリカ採取)
ハンガーロープ	・ 振動数計測による張力調査
ケーブルバンド	・ ボルト入替および軸力・破断強度計測 (復旧後防錆処理含む)
ケーブル定着部	・ 工業用ビデオスコープ による断線、表面腐食調査 サドル(塔頂、アンカー)
鋼棒埋込部	・ 腐食調査、埋込部の観察

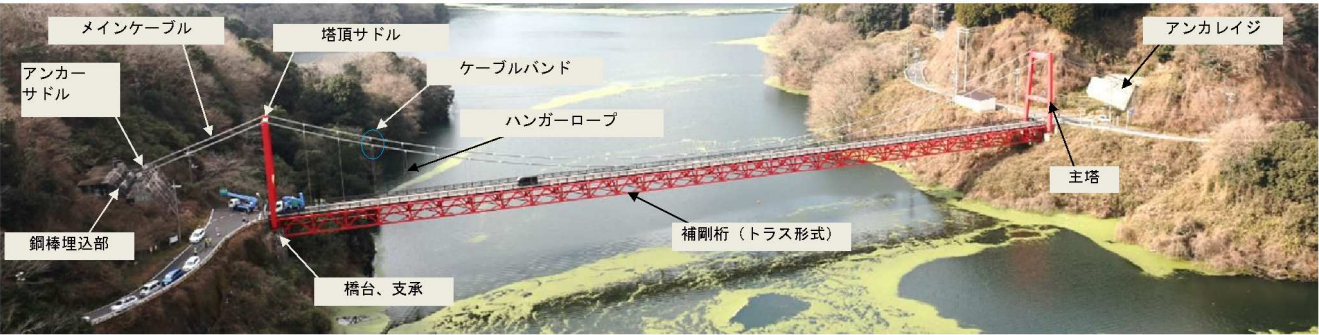


図-1 村管理の吊橋(橋長 195m, 有効幅員 5m, 主塔間隔 100m)



## 2. ケーブル本体の調査

### 2. 1 目視調査

本橋のメインケーブルは片側 14 本の  $\phi 56$  共心ロープ(7×37)で構成されている。メインケーブルに接近し、天、地、上流、下流の4方位から観察、写真撮影を行った。代表写真として上流の写真を図-2に示す。

表層ケーブルの亜鉛メッキ、プライマーの「ワレ」「剥がれ」が部分的に見られた。これらの部分をワイヤーブラシでケレンすると僅かに「さび」の発生が見られた。

### 2. 2 残存メッキ調査

ケーブル外層素線のめっき消耗や鉄錆部の腐食状態を確認するために、レプリカを採取し、損傷部を目視で特定し、切断した断面を顕微鏡により観察した。レプリカ採取状況、レプリカ断面を図-3に示す。

レプリカによる断面観察の結果、亜鉛層の浸食はもっとも深いところで合金層のデルタワン( $\delta 1$ )層の浸食に達しており、場所によっては鋼線素地に達している可能性があることが分かった。

## 3. ケーブル本体の長寿命化

調査により鋼製ケーブルを防食する亜鉛メッキの損耗を確認した。防食機能を完全に喪失すると、急激に腐食が進行し、素線の破断に至る恐れがある。破断すると補強対策が必要となり、大規模な工事(ケーブル取替等)を伴うため、膨大な工事費を要する。現時点から予防保全(防食等)に着手する場合のLCCを試算し、結果を図-4に示す。

予防保全を行うことで事後保全を行う場合に対し約40%のLCC低減効果が期待できることから、現時点からケーブル防食の着手が望ましいと結論を得た。

## 4. まとめ

本報告では吊橋において構造上重要なケーブル本体の維持管理手法として、点検手法、長寿命化策を報告した。ケーブル素線を詳細に観察することで、防食機能の低下を察知でき、予防保全を提案できた意義は大きいと感じる。

本報告では点検項目の概説に留めたが、吊橋特有のケーブル以外の部材についても、文献<sup>2), 3)</sup>を参考に近接目視を含む各種調査を実施し、維持管理手法を提案している。

本橋において実施した調査・提案が、吊橋の適切な健全性の診断と、予防保全の実践への一助となれば幸いである。

## あ と が き

本橋の点検に際し技術的な助言等を頂きました京都大学服部篤史教授、(一財)橋梁調査会、(株)ブリッジ・エンジニアリング、また、通行規制に御協力いただきました地元関係者の皆様に感謝を意を表します。

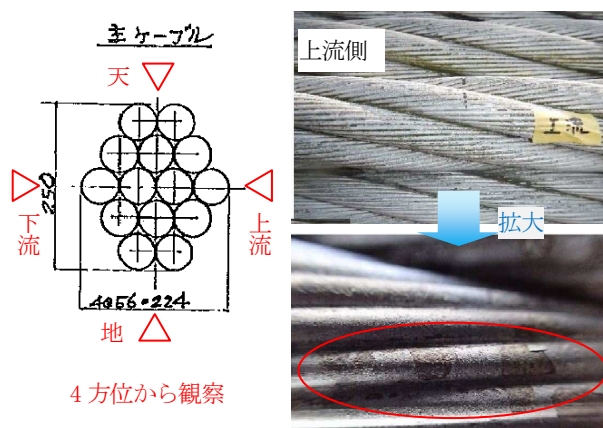


図-2 ケーブル目視調査

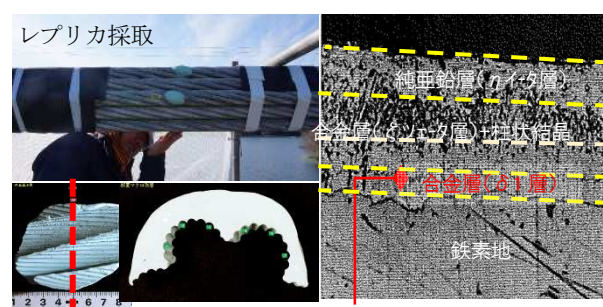


図-3 残存メッキ調査

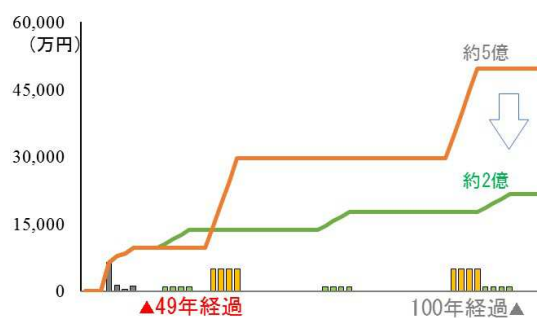


図-4 LCC 試算結果(参考)

## 参考文献 (または引用文献)

- 1) 例えば、玉越、横井：平成 25 年度道路構造物に関する基礎データ集、国土技術総合研究所資料第 822 号 2015.1
- 2) 東山、街道、古市ら：市町村が管理する吊橋の維持管理(その1)-吊橋の点検・調査・診断について、土木学会第 71 回年次学術講演会、VI-677、2016.9
- 3) 四国地方整備局道路部、国土技術政策総合研究所橋梁研究室：小規模吊橋等の点検に関する管理者のための参考資料(案) 暫定版 Ver.1.0、2016.10

[http://www.ktr.mlit.go.jp/honkyoku/road/kyouryou taisaku/link/data/20160624\\_001.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/honkyoku/road/kyouryou taisaku/link/data/20160624_001.pdf)



## 道路附属物点検における損傷程度の評価

基礎地盤コンサルタンツ(株) 濱崎 政則

### 論文要旨

平成 25 年の道路法改正等を受け、平成 26 年 7 月より、全ての橋梁、トンネル、道路附属物等について、5 年に 1 度の近接目視による点検が義務付けられたため、全国的に、道路管理者による橋梁、トンネル、道路附属物等の定期点検が実施されている。

本稿では、「附属物(標識、照明施設等)点検要領」に準じ実施した道路附属物の定期点検において、附属物の主な損傷である腐食について、目視による定性的診断の他に、既存資料や現地測定により、設置時の限界板厚を復元設計し、非破壊検査(板厚調査)による定量的診断を行った事例について報告する。

キーワード：道路附属物点検，道路標識，復元設計，板厚調査，腐食速度

### まえがき

道路標識、照明等の道路附属物の主な損傷は、鋼材の腐食であり、特に路面境界部の腐食による支柱の板厚減少は、耐久性に重大な影響を及ぼす。

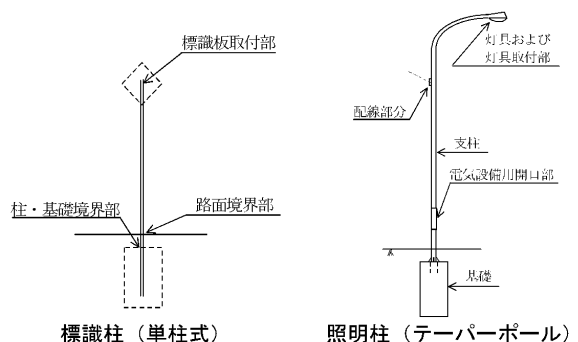
「附属物(標識、照明施設等)点検要領」(以下、「点検要領」という)による評価は、目視による定性的診断を行い、腐食が著しい附属物等については、非破壊検査による板厚調査を実施し、定量的診断を行うこととなっている。

しかしながら、現状、板厚調査により、残存板厚は把握できるものの、既設附属物の限界板厚等の情報は、不明であることが多く、定量的診断が困難である。

本稿では、既存資料や現地測定により標識形状、支柱寸法等を把握し、設置時の限界板厚を復元設計し、板厚調査による定量的診断を行った事例について報告する。

### 1. 点検方法

道路附属物の定期点検は、近接目視を基本とし、必要に応じて、触診や打音等を併用して行う。また、近接目視の結果から必要に応じて、非破壊検査等の詳細調査を実施するものである。



図ー1 附属物の代表例の概略形状(引用文献<sup>1)</sup>)



写真ー1 高所作業車による近接目視

### 2. 路面境界部の腐食

道路附属物の損傷は、主に鋼材の腐食によるものであり、特に既往の事故事例より、路面境界部の腐食が附属物の突然の倒壊を起こす要因になることが明らかになっている。



写真ー2 路面境界部の腐食事例(引用文献<sup>1)</sup>)

よって、点検要領では、GL-40mm 付近を路面境界部として位置づけ、この部位の腐食についてはその状況を目視により確認するとともに、図-3 に示す板厚調査を実施する附

属物の選定フローにより「実施する」に該当するものについては、板厚調査を行い、残存板厚を把握することとしている。

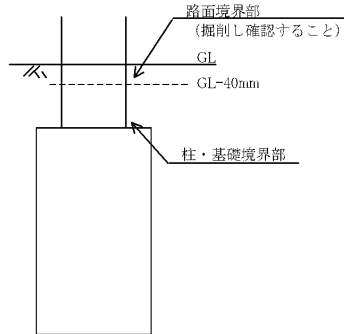


図-2 路面境界部の定義（引用文献<sup>1)</sup>）

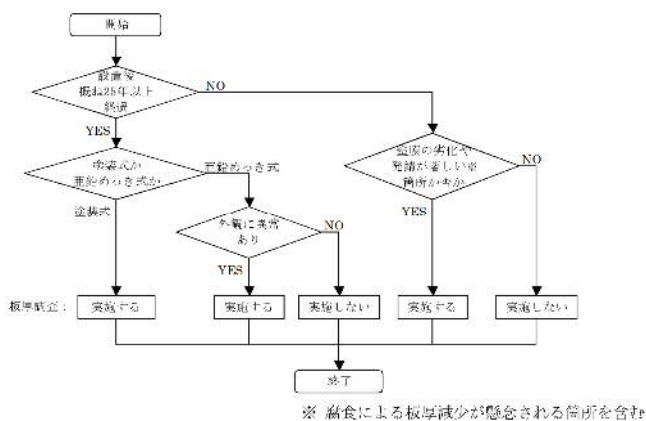


図-3 板厚調査を実施する附属物の選定フロー  
(引用文献<sup>1)</sup>)

### 3. 健全性の診断

点検要領に基づき、損傷状況の把握を行い、損傷の程度について、要素毎、損傷種類毎に評価する。表-1に評価基準を示す。なお、防食機能の劣化について、板厚調査が行われている場合には、次項に示す「4. 板厚調査による定量的診断」結果も参考に、総合的な評価を行う。

表-1 目視点検による損傷程度の評価（引用文献<sup>1)</sup>）

区分	一般的状態
a	損傷が認められない
c	損傷が認められる
e	損傷が大きい

表-2 腐食（防食機能の劣化）状況と損傷程度  
(引用文献<sup>1)</sup>)

損傷内容	区分	損傷状況
腐食 防食機能 の劣化	a	損傷無し
	c	錆は表面的であり、著しい板厚の減少は視認できない。
	e	表面に著しい膨張が生じているか又は明らかな板厚減少が視認できる。

次に、要素毎、損傷種類毎の評価より、部材単位、附属物単位での4段階の判定区分による診断を行う。表-3に部材単位、附属物単位の判定区分を示す。

表-3 部材単位、附属物単位の判定区分（引用文献<sup>1)</sup>）

区分	損傷状況
I 健全	構造物の機能に支障が生じていない状態
II 予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
III 早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
IV 緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態

### 4. 板厚調査による定量的診断

#### (1) 板厚調査による判定区分

板厚調査によって得られた残存板厚は、表-4の判定区分により評価を行う。

表-4 板厚調査による判定区分（引用文献<sup>1)</sup>）

判定区分	定義
i	腐食等変状が認められるが、残存板厚が管理板厚以上である。 $(t_c \leq t)$
ii	残存板厚が限界板厚以上、管理板厚未満である。 $(t_L \leq t < t_c)$
iii	残存板厚が限界板厚未満である。 $(t < t_L)$

ここに、 $t$ ：残存板厚（測定値）の最小値

$t_c$ ：管理板厚（ $=t_L+0.5\text{mm}$ ）

$t_L$ ：限界板厚（設計荷重に対して許容応力度を超過しない限界の板厚）

ここに、管理板厚とは今後5年の間に限界板厚に達する可能性のある板厚のことで、次式で与えられる。

管理板厚＝限界板厚＋腐食速度×5年

なお、腐食速度については、既往の点検データ及び文献等から $0.1[\text{mm}/\text{年}]$ と設定。



写真-3 路面境界部の板厚調査状況

#### (2) 復元設計による限界板厚の設定

既存資料等において限界板厚が不明であるため、既存資料や現地調査より標識形状、支柱等の部材寸法等を測定し、復元設計を行い、限界板厚を設定する。

復元設計による限界板厚算定フローを図-4に示す。

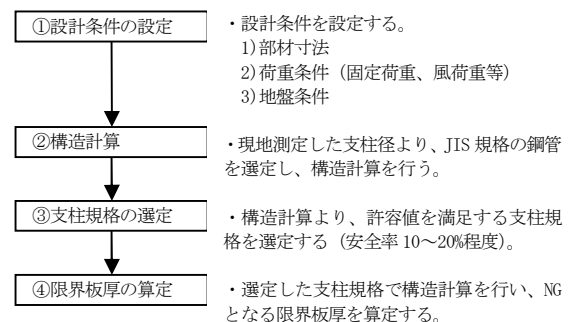


図-4 復元設計フロー

### (3) 腐食速度の設定

点検要領において、腐食速度は、既往の点検データ及び文献等から 0.1mm/年と設定されているが、表-5 に示す鋼材の腐食速度の参考値より、海水、河川などの腐食環境が厳しい環境下での腐食速度となっている。

腐食速度の設定値が、厳しい腐食環境下での設定になっていることと、今回の対象施設の目視結果において、設置環境が沿岸部と内陸部の道路標識では、腐食の損傷程度に違いがみられたことから、沿岸部と内陸部で腐食速度を設定して評価を行った。

表-5 鋼材の腐食速度の参考値(引用文献<sup>1)</sup>)

環境		腐食速度[mm/年]
海水	飛沫帯	0.3
	干満帯	0.1~0.3
	海中	0.1~0.2
河川	河川	0.1
大気	田園地帯	0.01~0.02
	海岸地帯	0.03~0.05
	工業地帯*	0.04~0.055

\*高度成長時代のデータ

(出典 (社)鋼材倶楽部「耐食性材料(1) 昭和63年」)

腐食箇所の残存板厚と健全部の板厚より、供用年数が把握できる標識(10基程度)について腐食速度を算出し、沿岸部と内陸部の最大値を採用した。算出結果を以下に示す。

表-6 腐食速度算出結果

設置箇所	腐食速度	管理板厚=限界板厚+腐食速度×5年
沿岸部	0.053mm/年	管理板厚=限界板厚+0.3mm
内陸部	0.010mm/年	管理板厚=限界板厚+0.1mm

なお、算出した腐食速度は、点検要領の設定値 0.1mm/年より小さい値となったが、表-5 の鋼材の腐食速度の参考値に示される大気の海岸地帯 0.03~0.05mm/年と田園地帯 0.01~0.02mm/年と同等の結果となったことから、妥当な結果であると考えられる。

### (4) 診断結果の考察

復元設計による限界板厚の設定、また設置箇所の環境に応じて腐食速度を設定し、板厚調査による定量的診断を行うことで、施設の補修または交換時期が明確となり、目視による定性的診断のみの場合に比べ、より正確な補修計画を立案することができた。

## あ と が き

今回実施した復元設計による限界板厚の設定は、時間と費用がかかるため、全施設に対して実施することは困難である。また、単柱式等の小型標識においては、撤去・交換費用のほうが安価となるため、実際に復元設計による限界板厚の設定を行う場合は、大型標識で且つ腐食状

況に応じて対象施設を選定する必要がある。

今後、道路附属物の定期点検において、板厚調査による定量的診断を実施するにあたり、新設時の限界板厚の設定、または、新設する標識の設計図書等を保管し、後に復元できるようにしておくことが重要だと考える。

## 参 考 文 献 ( または 引 用 文 献 )

- 1) 附属物(標識、照明施設等)点検要領, 国土交通省道路局国道・防災課, H.26.6, p.1,p.19,p.28,p.35~43.



## FFT フィルタを用いた常時微動 H/V スペクトル比の

### ピーク周波数の効率的な検出方法の提案

(株) ニュージェック ○ 八 木 悟

(株) ニュージェック 山 田 雅 行

(株) ニュージェック 竹 澤 請 一 郎

#### 論 文 要 旨

常時微動 H/V スペクトル比は、地震動のサイト増幅特性や、浅部から深部までの地盤構造と関係があるものと考えられ、ボーリング調査等の局所的な地質調査に比べて観測や解析も簡便であることから、面的に高密度の大量の常時微動観測データが集まりつつある。常時微動 H/V スペクトル比から得られる重要な情報の1つは、ピーク周波数であるが、一般的には工学的判断にもとづく人為的な目視による読み取りを行っており、大量のデータから、効率的かつ工学的に意味のあるピーク周波数を特定する手法の開発は、急ぎ求められている。そこで著者らは、常時微動 H/V スペクトル比の周波数軸を空間軸とした FFT フィルタを適用することで、大量のデータからピーク周波数を効率的に読み取る方法を提案した。提案法と目視による読み取りを行う際のウインドウ処理を比較し、低周波数帯域におけるピーク周波数の検出やピーク値の小さいものに対して有利であることが明らかとなった。さらに、全国 283 地点の常時微動 H/V スペクトル比に対して提案法を適用し、目視による既往の読み取り値とよく一致することが明らかとなった。提案法は、大量で高密度の常時微動観測の結果に適用できる有効な方法である。

キーワード：常時微動，常時微動 H/V スペクトル比，ピーク周波数，FFT フィルタ，大量のデータ，高密度

#### は じ め に

波浪・風などの自然現象や、工場や車両の通行等の人間活動によって生じる発生源の特定できない微小な揺れ、“常時微動”を高感度の地震計(微動計)を用いて観測することによって、地盤の振動特性を検出することが、近年、数多く行われている。水平2成分，上下1成分の3成分の微動を観測し，上下動フーリエスペクトルに対する水平動のフーリエスペクトルの比(常時微動 H/V スペクトル比)を計算して地盤の振動特性を明らかにする方法は，中村(1988)<sup>1)</sup>により提唱され，観測や解析も簡便であることから，大量の常時微動観測データが集まりつつある。

長尾ら(2010)<sup>2)</sup>は，全国の港湾付近の強震観測地点のうち，サイト増幅特性が得られている 281 箇所を対象として，常時微動 H/V スペクトル比を算出し，サイト増幅特性との比較について報告している。先名ら(2013)<sup>3)</sup>では，強震動評価のための千葉県・茨城県における浅部・深部統合地盤モデルの検討を目的として，約 1600 点の常時微動の単点観測が行われている。大石ら(2014)<sup>4)</sup>は，高知平野の表層地盤構造のモデル化を目的として，約 1300 点の単点観測を行っている。湊ら(2014)<sup>5)</sup>は，和歌山県串本町の地震動特性を明らかにするために，約 500 点の超高密度微動観

測を行っている。

常時微動 H/V スペクトル比から得られる最も重要な情報の1つは，ピーク周波数であるが，長尾ら，および湊らは目視による読み取りを行っており，大石らは表計算ソフトの組み込み関数を用いて周期 0.1～2 秒における最大値を読み取る方法を用いている。一方，先名らは，ピーク周波数を読み取るのではなく，理論 H/V スペクトル比との差を計算することで地盤構造の推定を行っている。

常時微動 H/V スペクトル比のピーク周波数の読み取りにおいては，読み取る者によって結果が異なる場合があり，また，同じ者が読み取る場合でも，大量のデータを処理しているうちに読み取り値がズレる場合もある。特に小さなリプル(ギザギザ)をどのように取り扱うかによって結果が異なりやすい。このように，特に広範囲，高密度の微動観測結果のピーク周波数を整理，分析する場合など，ピーク周波数の読み取り値の信頼性確保が困難となる場合がある。一般には，ウインドウ処理によるスムージングを行い，小さなリプルを除去した後に，目視やデータ処理によってピーク周波数を読み取る方法が多く用いられている。例えば，長尾らでは，ポイント数 16384 点(163.84 秒)の区間ごとに，水平，上下それぞれのフーリエスペクトルに対して

バンド幅 0.05Hz の Parzen ウィンドウを適用し、さらに 3 区間の平均化を行うことによりスムージングを行っている。湊らは、Parzen ウィンドウは長尾らと同様であるが、10 区間の平均化を行っている。しかしながら、バンド幅の設定によって、スムージングの程度や有効な周波数範囲が限定されてしまうことがある。

そこで、本研究では、ウィンドウ処理(バンド幅の設定)や離散的な区間平均、およびアンサンブル平均を必要としないスムージング方法として、常時微動 H/V スペクトル比の周波数軸を空間軸とした FFT(高速フーリエ変換)フィルタを試みた。FFT は多項式近似の一種であり、常時微動 H/V スペクトル比を空間軸のポイント数で級数展開し、基本波(空間幅)付近の複素フーリエ係数に着目した IFFT(高速フーリエ逆変換)を行うことで、リップルが取り除かれた地盤の本質的なピーク形状(例えば、単数や複数の凸型)を表現可能であると考えられた。さらに、複素フーリエ級数の定数項(平均値)を利用し、規則的なルールを付加することで、ピーク周波数の目視による読み取りといった人為的な作業を必要としない、大量のデータから効率的にピーク周波数を検出する方法を提案し、その適用性を例証する。

## 1. ピーク周波数の検出方法

### (1) 常時微動 H/V スペクトル比

常時微動 H/V スペクトル比は、常時微動の水平成分を鉛直成分で除したスペクトル比である。常時微動 H/V スペクトル比の例を図-1(青色線)に示す。常時微動 H/V スペクトル比は明瞭なピークを示す場合もあるが、図-1 の例のようにピークを判別しづらい場合も少なくない。

図-1(青色線)の常時微動 H/V スペクトル比のピークは、青色下向矢印(↓)で示すように、3.3Hz および 4.5Hz 付近と読み取ることができる。しかしながら、この例では小さなリップルがみられるため、読み取る者の判断によっては、緑色下向矢印(↓)の極大値もピークとして読み取る場合もあり得る。特に対数表記とした場合、ピーク値の差が明瞭ではなくなることもあり、揺れによる被害との関係などから

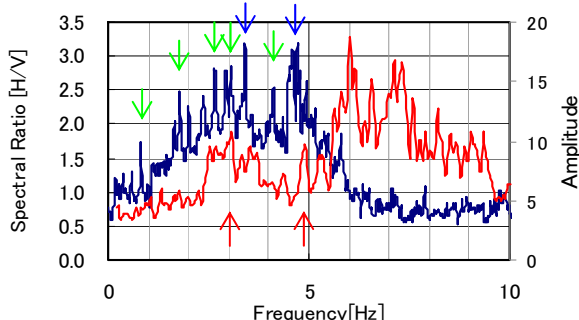


図-1 常時微動 H/V スペクトル比(青色線)とサイト増幅特性(赤色線)の比較

1 次のピークとして 1Hz 付近のピークを重要視すると、0.8Hz や 1.8Hz 付近を読み取る場合も考えられる。このような小さなリップルが無視すべきノイズであるか否かについては議論の余地が残るが、少なくとも常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数の解釈等において、常時微動に表面波が卓越していることを前提としている(例えば、時松・新井(1998)<sup>6)</sup>)ことを考慮すれば、常時微動 H/V スペクトルにおける小さなリップルを無視することにより地盤の卓越周波数などを判別できる可能性が高いと考えられる。

図-1 には、同地点において地震観測記録からスペクトルインバージョン(岩田・入倉(1986)<sup>7)</sup>)によって得られたサイト増幅特性(野津ら(2007)<sup>8)</sup>)を併記した(赤色線)。常時微動 H/V スペクトル比に現れていないサイト増幅特性の 6Hz 以上のピークには着目せず、6Hz 未満に着目すると地盤の卓越周波数と考えられるピークが 3Hz 付近と 5Hz 付近の赤色上向矢印(↑)に見られることがわかる。これらの値は、常時微動 H/V スペクトル比においてリップルを無視して読み取ったピーク周波数の青色下向矢印(↓)に近い。

### (2) FFT フィルタによるスムージング方法 (提案法)

離散フーリエ変換(FFT)と離散フーリエ逆変換(IFFT)の表式を以下に示す(例えば、大崎(1976)<sup>9)</sup>)。

$$X_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i e^{-j(2\pi k i / N)} \quad (1)$$

$$x_i = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{+j(2\pi k i / N)} \quad (2)$$

ここで、 $x_i$  は時系列データ、 $X_k$  は複素フーリエ係数、 $j$  は虚数単位、 $N$  はポイント数である。式(2)のフーリエ逆変換を次のように変形する。

$$x_i = X_0 + \sum_{k=1}^{N-1} X_k e^{+j(2\pi k i / N)} \quad (3)$$

式(3)の右辺第 1 項( $k=0$ )のフーリエ係数( $X_0$ )は、サンプル値の平均を表す定数項(直流成分)である。それ以外の項は正弦波(交流成分)を表し、交流成分の第 2 項( $k=1$ )は、ポイント数( $N$ )を周期とする成分で基本波である。また、第 3 項以降は、基本波に対して周波数が整数倍( $k$  倍)となる(第  $k$  次)高調波を表している。

本研究では、常時微動 H/V スペクトル比の周波数軸を空間軸(一種の時系列データ)と見なし、FFT によって複素フーリエ係数( $X_k$ )に展開する。展開した各係数項のうち基本波の第 1 次高調波から第  $m$  次高調波までを残して、平均を表す定数項と第  $m+1$  次高調波以降をゼロとする(FFT フィルタ)。そのフーリエ係数( $X_0$ )について IFFT を行うことで、スペクトルの高周波成分に相当するリップルが取り除かれ、スムージングされた常時微動 H/V スペクトル比を算出することができる。以下、この方法を提案法と称する。

### (3) ウィンドウ処理によるスムージング方法

常時微動 H/V スペクトルの計算では、式(4)のウィンドウ処理によるスムージングが一般的に行われる。

$$\bar{x}(t) = \sum_{k=-b/2}^{b/2} w(k) \cdot x(t-k) \quad (4)$$

ここで、 $x$  は原波形、 $w$  はウィンドウ関数、 $b$  はバンド幅である。ウィンドウ処理は、ウィンドウ関数と原波形との畳み込み(合積)を計算することを意味している。

本研究では、スペクトルのウィンドウ関数として一般的に用いられる Parzen ウィンドウを採用する。Parzen ウィンドウの表式を式(5)に示す。

$$w(f) = \frac{3}{4} u \left( \frac{\sin \frac{\pi u f}{2}}{\frac{\pi u f}{2}} \right)^4, \quad b' = \frac{280}{151u} \quad (5)$$

ここで、 $f$  は周波数、 $b'$  はバンド幅、 $u$  は定数(打ち切り幅)である。なお、バンド幅( $b'$ )は Parzen ウィンドウの分散を求め、それと等しい分散をもつ長方形パルスの幅として設定した。一般に、ウィンドウ処理によってスムージングを行う場合、バンド幅の設定が問題になる。バンド幅が狭過ぎるとスムージングしたスペクトルにリプルが残るためピーク周波数の検出が困難になる。一方、バンド幅が広過ぎるとスペクトルが滑らかになり過ぎてピークの位置が不明瞭になる。そのため、ウィンドウ処理では、異なるバンド幅での感度分析や目視による確認が必要になる。

### (4) ピーク周波数の検出方針

ピーク周波数の検出範囲(周波数帯)は、常時微動計の分解能(例えば、下限値 0.1~0.2Hz)と構造物や地盤の振動特性において工学的に意味のある周波数(例えば、上限値 10Hz)を考慮し、周波数帯 0.2~10Hz(周期帯 0.1~5 秒)を対象とする。検出範囲でのピーク周波数の判定は、スムージングされた常時微動 H/V スペクトル比の極値(極大値)をピーク周波数(ピーク値)として、自動的に抽出する。

また、常時微動 H/V スペクトル比の卓越周波数が明瞭なものと不明瞭なものを区別するため、提案法の FFT フィルタでは、平均を表す定数項を取り除き、ピーク値 1.0 以上

を抽出する。ウィンドウ処理では、常時微動 H/V スペクトル比を表面波やサイト増幅特性と考えた場合の低周波数成分は 1.0 に漸化する傾向があり、提案法で取り除いた平均値は概ね 1.0 程度になるものとして、ピーク値 2.0 以上の極値(極大値)を抽出する。両手法ともに、最大ピーク値の 1/2 未満の値は極値(極大値)と見なさないこととする。

## 2. ピーク周波数の検出例

表-1(観測点 1~10)は、地形・地質的特徴やその規模、観測点の特徴、常時微動 H/V スペクトル比の特徴から、さまざまな特徴を有する観測データを選定して示したものである。ここでは、表-1 に示した観測点の常時微動 H/V スペクトル比について、提案法とウィンドウ処理によって検出されたピーク周波数を整理し、比較する。

### (1) 提案法とウィンドウ処理の設定条件

図-2 は、表-1(観測点 1)の常時微動 H/V スペクトル比を FFT によって級数展開した複素フーリエ係数(振幅スペクトル)を示したものである。図-2 より、常時微動 H/V スペクトル比を形作るスペクトル成分は、基本波(第 1 次)に集中していることがわかる。

今回適用する提案法では、常時微動 H/V スペクトル比の形状を形作る複素フーリエ係数が十分に小さくなる次数として、図-2 の桃色丸に示した全複素フーリエ係数(第 0 次~第 2048 次)の約 1/50 にあたる第 39 次高調波までを残し、第 40 次高調波以降の係数と平均を表す定数項をゼロにして IFFT を行うものとした。

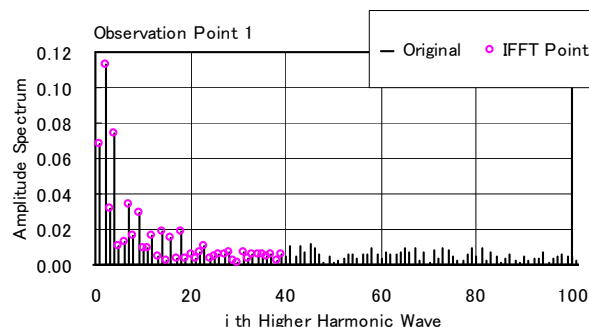


図-2 複素フーリエ係数の例

表-1 さまざまな特徴を有する観測点

観測点	地形・地質的特徴(規模)	観測点の特徴(規模)	常時微動 H/V スペクトル比の特徴
1	海岸平野(小規模)	山地との境界付近, 盛土あり	地盤と盛土に起因するピーク
2		山地との境界付近, 盛土なし	地盤に起因するピーク
3		埋立地盤上, 基盤傾斜あり	埋立地盤に起因するピークが基盤傾斜により2つ
4		埋立地盤上, 基盤傾斜小	埋立地盤に起因するピーク(ピークが分離)
5			埋立地盤に起因するピーク
6	堆積盆地(基盤深度 1000m 程度)	盆地端部付近	2~3Hz 付近にピーク
7		6と9の間, 盆地端部寄り	6と9の間(盆地端部寄り)にピーク
8		6と9の間, 盆地中央寄り	6と9の間(盆地中央寄り)にピーク
9		盆地中央付近	低周波数(0.25Hz 付近)にピーク
10	海岸平野(大規模)	平野中央部, ほぼ水平成層	1Hz 付近にピーク, 低周波数にノイズ

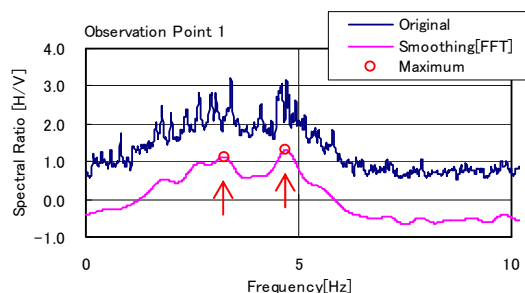


ウィンドウ処理による方法では、ピーク周波数の検出を行う 0.2Hz～10Hz に対し、スムージングの影響が少ないと考えられるバンド幅 0.2Hz と、提案法の FFT フィルタと同等のスムージング結果が得られるものとして、バンド幅 0.5Hz を設定し、検討を行った。

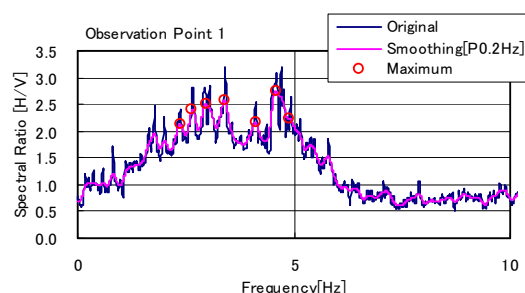
## (2) 提案法とウィンドウ処理の比較

図-3～図-6 は、表-1 に示した観測点の常時微動 H/V スペクトル比について、提案法とウィンドウ処理によるスムージング結果とピーク周波数の検出結果を比較した、代表的な事例を示したものである。元の常時微動 H/V スペクトル比を青色線、提案法の FFT フィルタとウィンドウ処理のバンド幅 0.2Hz、およびバンド幅 0.5Hz でスムージングされたものを桃色線、ピーク周波数の検出結果を赤色丸で示し、10Hz までの結果を示している。提案法でスムージングされた常時微動 H/V スペクトル比が周波数領域全域で下にシフトしているのは、複素フーリエ係数の定数項をゼロとしたためである。

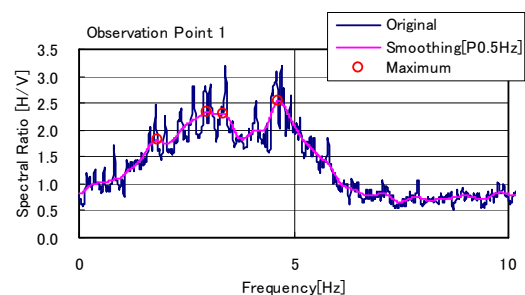
図-3 より、提案法から検出されたピーク周波数の赤色上向矢印(↑)は 3.2Hz および 4.7Hz である。これは図-1 に赤色線で示した実際の地震観測記録から検出された地盤の卓越周波数 (3Hz 付近および 5Hz 付近) とよく対応して



(a) 提案法



(b) ウィンドウ処理(バンド幅 0.2Hz)

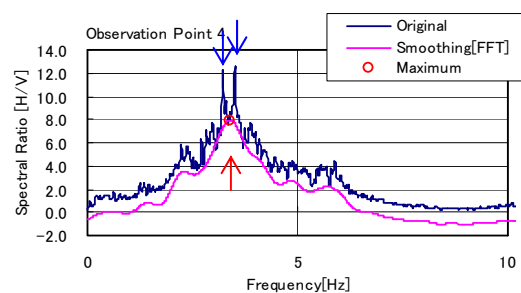


(c) ウィンドウ処理(バンド幅 0.5Hz)

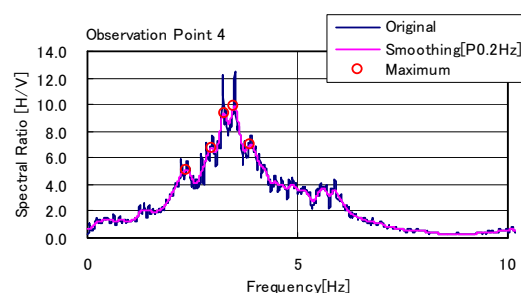
図-3 観測点 1 の比較

おり、地盤の地震応答特性を考える上で重要となる卓越周波数と考えられるピーク周波数を検出できていることがわかる。ウィンドウ処理のバンド幅 0.2Hz は、リップルが取りきれておらず、その極大値は数が多いことに加えて、リップルの影響を受けたものとなっている。特に、実際の地震観測記録から検出された地盤の卓越周波数と対応していない。ウィンドウ処理のバンド幅 0.5Hz は、リップルは取られているが、提案法を使用した場合ほどの良好な対応は得られていない。最大値が複数得られた場合は、地盤の卓越周波数と考えられるピーク周波数を検出するため、さらに人為的な判断が必要になると考えられる。

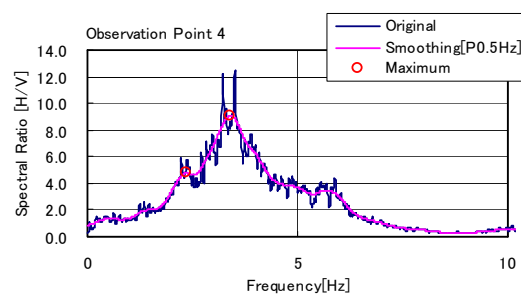
図-4 より、スムージング前の常時微動 H/V スペクトル比は青色下向矢印(↓)に示した近接する 2 つのピーク周波数を有するのに対して、提案法によるスムージング後は、両ピーク周波数を加味して、地盤の卓越周波数と考えられる赤色上向矢印(↑)を検出できたものと考えられる。ウィンドウ処理のバンド幅 0.2Hz は、スムージング前の 2 つのピーク周波数が残り、バンド幅 0.5Hz では、提案法と同じ傾向を示した。ただし、どの程度近接したピーク周波数を 1 つのピーク周波数と見なすかなど、検討の余地は残る。



(a) 提案法

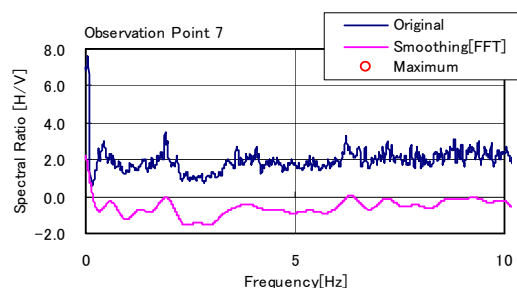


(b) ウィンドウ処理(バンド幅 0.2Hz)

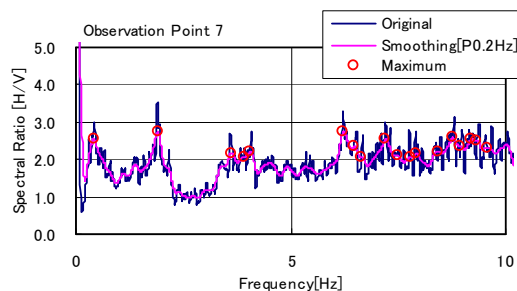


(c) ウィンドウ処理(バンド幅 0.5Hz)

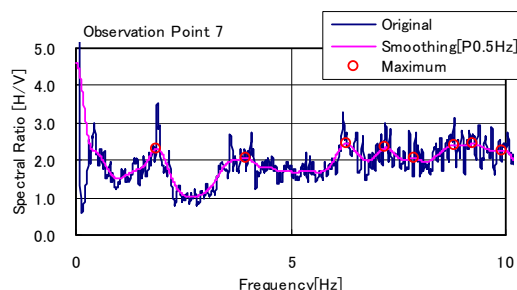
図-4 観測点 4 の比較



(a) 提案法

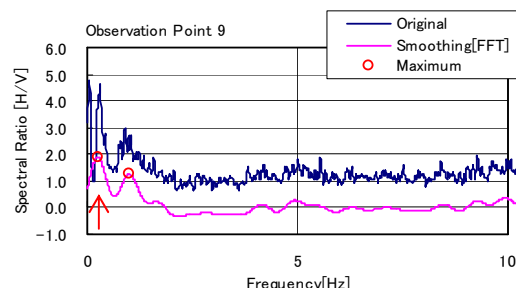


(b) ウィンドウ処理(バンド幅 0.2Hz)

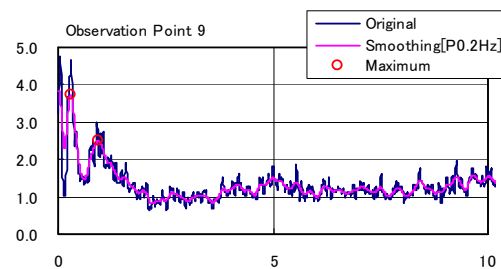


(c) ウィンドウ処理(バンド幅 0.5Hz)

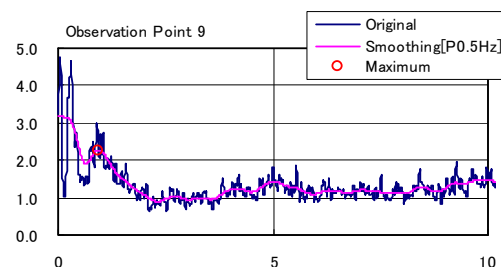
図-5 観測点 7 の比較



(a) 提案法



(b) ウィンドウ処理(バンド幅 0.2Hz)



(c) ウィンドウ処理(バンド幅 0.5Hz)

図-6 観測点 9 の比較

図-5 より、提案法はピーク値が小さく明瞭ではないため、ピーク周波数は検出されていない。ウィンドウ処理のバンド幅 0.2Hz とバンド幅 0.5Hz は、スムージング前の常時微動 H/V スペクトルが高周波数側で上方にシフトしているために、本来比高が小さく、明瞭なピーク周波数と見なされないピーク周波数がいくつも検出されている。

図-6 より、提案法とウィンドウ処理のバンド幅 0.2Hz では、赤色上向矢印(↑)に示した 0.25Hz 付近の低周波数側のピーク周波数が検出されているのに対し、バンド幅 0.5Hz では 0.25Hz 付近の低周波数側のピーク周波数は検出されていない。これは、バンド幅未満の周波数帯域において、常時微動 H/V スペクトル比のピーク周波数が判別できないことに対応している。

### (3) 検出されたピーク周波数の比較

提案法とウィンドウ処理によるピーク周波数の検出結果を比較したものを図-7 に示す。

両手法によって検出されたピーク周波数は概ね一致していることがわかるが、提案法によるピーク周波数の検出方法は、前項で示した、ピーク値が小さく明瞭ではない図-5(観測点 7)を区別することや、低周波数帯域にピーク周

波数が見られる図-6(観測点 9)において、ピーク周波数を検出できるため、ウィンドウ処理よりも有利であると考えられる。

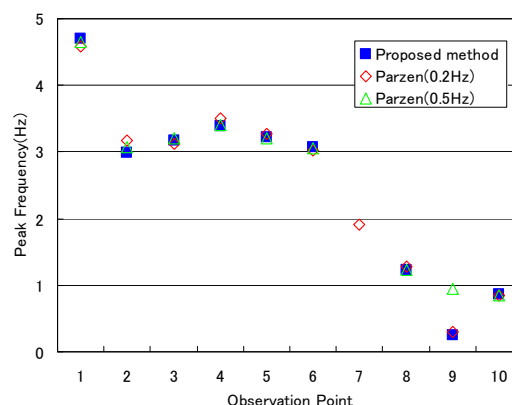


図-7 提案法とウィンドウ処理で検出されたピーク周波数の比較

## 3. 提案法の適用例(全国 283 地点)

### (1) 全国の常時微動 H/V スペクトル比

著者らは、これまでに全国 283 地点の既往強震観測地点における常時微動観測を行い常時微動 H/V スペクトル

比を算出している(長尾ら)。これらの常時微動 H/V スペクトル比は、包絡形状によるタイプ分けのほか、深層地盤構造等より想定される地盤の卓越周波数に関する情報をもとに、工学的判断により慎重にピーク周波数を読み取っている。

## (2) 提案法の適用例

本研究では、上記 283 地点の常時微動 H/V スペクトル比に対して、前章で述べた FFT フィルタによるピーク周波数の検出手法を適用した。ここでは、ピーク周波数として、スムージングを行った常時微動 H/V スペクトル比から、極値(極大値)となる周波数のうちで、振幅が最大のものを抽出することとした。その検出結果と長尾らにおいて読み取られたピーク周波数の比較を行った。その結果を図-8 に示す。

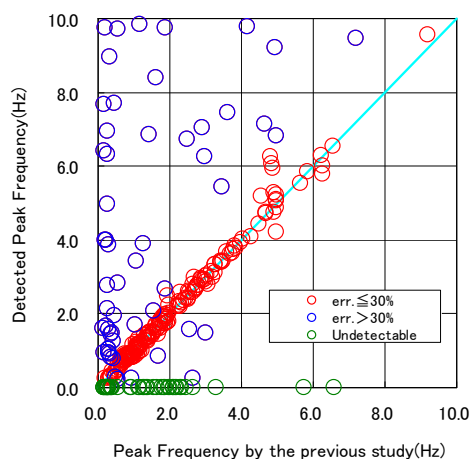


図-8 既往研究(読み取り)と提案法で検出した  
ピーク周波数の比較

図-8 において、赤色丸は誤差 30%未満の場合を示し、青色丸は誤差 30%を超える場合を示し、緑色丸はピーク周波数が検出できない場合を示している。30%未満の誤差を示した地点の数は、検出不可能な地点を除く全ての観測地点の 77%であった。提案法においては、地盤の卓越周波数などに関する情報等は考慮しておらず、規則的にピーク周波数の読み取り処理を行っているが、その結果が工学的判断を加味して慎重に読み取られた既往の研究の結果と一致するという事実は、提案法の有効性を示すものと考えられる。

## 4. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- ① 提案法は、地盤の地震応答特性を考える上で本質的に重要となる、地質や地層構造の特徴に対応するピーク周波数を検出できる。
- ② 提案法は、ウィンドウ処理によるスムージング方法を

用いた場合と概ね一致する結果を与えるものの、低周波数帯域におけるピーク周波数の検出やピーク値の小さいものに対して有利である。

- ③ 全国 283 地点の常時微動 H/V スペクトル比に対し、提案したピーク周波数の検出方法を適用した結果、既往の読み取りによるピーク周波数とよく一致する。
- ④ 本手法は高密度、大量の微動観測結果に適用できる有効な方法であると考えられる。

## おわりに

今後さらなる検討を行い、フーリエ逆変換時に採用する高調波の次数やピーク値と判断する極値(極大値)の抽出方法についても提案を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 中村 豊(1988): 常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定, 鉄道総研報告, 2, 4, 18-27.
- 2) 長尾 毅・山田雅行・野津 厚 (2010): 常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の経験的補正方法に関する研究, 構造工学論文集, 56A, 324-333.
- 3) 先名重樹・前田宜浩・稲垣賢亮・鈴木晴彦・神 薫・宮本賢治・松山尚典・森川信之・河合伸一・藤原広行 (2013): 強震動評価のための千葉県・茨城県における浅部・深部統合地盤モデルの検討, 防災科学技術研究所 研究資料, 370, 1-116.
- 4) 大石佑輔・久保篤規・高橋宏和・山品匡史 (2014): 高密度常時微動観測から推定される高知平野の表層地盤構造, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会.
- 5) 湊 文博・秦 吉弥・山田雅行・常田賢一・魚谷真基 (2014): 常時微動 H/V スペクトルに基づく和歌山県串本町での地盤地震動特性の評価, Kansai Geo-Symposium 2014 論文集, 95-100.
- 6) 時松孝次・新井 洋(1998): レイリー波とラブ波の振幅比が微動の水平鉛直スペクトル比に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, 511, 69-75
- 7) 岩田知孝・入倉孝次郎(1986): 観測された地震波から、震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み, 地震 2, 39, 4, 579-593.
- 8) 野津 厚・長尾 毅・山田雅行(2007): スペクトルインバージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例, 日本地震工学会論文集, 7, 2, 215-234.
- 9) 大崎順彦(1976): 地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会.



## 橋脚における伝統的な流木対策技術

三井共同建設コンサルタント株式会社      ○ 原田 紹臣  
立命館大学理工学部      里深 好文  
政策研究大学院大学      水山 高久

### 論文要旨

橋脚における流木対策等として、古くから橋脚の上流部に設けられた木除杭が提案されている。木除杭は芥留杭とも称されており、流木の橋脚への衝突防止や橋脚で詰まりやすい流木や芥の巻付け防止を目的としている。ただし、木除杭に関するメカニズムは明確でないとともに設計手法は確立しておらず、橋梁毎にその杭の配置形式等が異なっている。そこで、本研究は木除の機能やその配置設計に関して、実験に基づいて提案している。

キーワード：橋梁、流木、実験、解析

### まえがき

効果的かつ効率的な流木対策は、古くて新しい技術的な課題である。特に、多発する近年の洪水被害において、土石流や山地崩壊等により発生した流木が橋梁等の横断構造物に集積し氾濫を拡大させており、流木災害の軽減対策が求められている(例えば、写真-1)<sup>1) 2)</sup>。これまで、橋脚や橋桁における流木の集積について、橋梁での流木被害やその対策に関して研究が多く報告されている。

橋梁や河道の狭窄部における流木の閉塞に関して、足立・大同<sup>3)</sup>、石川<sup>4)</sup>の報告がある。足立・大同<sup>3)</sup>は流木密度、表面流速ならびに支間長と流木長との比の違い等が流木の閉塞に影響を与えると指摘している。石川<sup>4)</sup>は、水路上の狭窄部における流木の捕捉率に関して、フルード数や狭窄部の幅、流木長・直径等を用いた関係式を実験結果に基づいて提案している。一方、流木の挙動に関して、それぞれ提案された解析モデル等を用いて詳細に検討した報告が存在している(例えば、5)、6)、7)。

一方、江戸時代における橋梁は主に板や石部材を用いた構造であり、材料長の制約によって橋脚間の長さが比較的に短く、洪水時に流木等の閉塞に伴って多くの橋梁が流出した(例えば、隅田川の両国橋)<sup>8)</sup>。このため、大都市の橋以外では、渡し船による河川横断が図られていた。なお、当時における板橋の平均的な支間長は3から4間(約5から7m)であり、材料の制約から10mを超えることは困難であった。また、橋脚は柱と杭の一体構造であり、柱の直径が7寸から2尺(0.2から0.6m)程度であったため、橋脚に流木や芥(ごみ)が巻き付きやすく、破損しやすい構造であったと報告されている。この対策として、古くから橋脚の上流部に設けられた木除杭(例えば、京都嵐山の渡月橋：写真-2、伊勢神宮五十鈴川

の宇治橋：写真-3、京都宇治川の宇治橋：写真-4)が提案されている。この歴史的な橋梁の流木対策である木除杭は芥留杭とも称されており、流木の橋脚への衝突防止や橋脚で詰まりやすい流木や芥の巻付け防止を目的としている<sup>9)</sup>。

現在、支間長が狭く、流木対策の必要な橋梁が全国的に多く存在しており、この伝統的な木除杭を用いた流木対策も有効な手段の一つであると考えられる。しかしながら、木除杭に期待するメカニズムは明確でないとともに、木除杭に関する設計手法は確立しておらず、橋梁毎にその杭の配置形式等が異なっている(例えば、渡月橋は橋脚一つ置きに設置、両宇治橋は全橋脚毎に設置)。また、これまで木除杭による流木の回転に着眼した杭の平面配置、河床に対する杭の傾斜角度の違いが木除の効果へ与える影響に関する研究は、筆者らが知る限り存在しない。



写真-1 近年に発生した橋梁における流木被害



写真-2 嵐山の渡月橋における木除杭



写真-3 伊勢神宮内の宇治橋における木除杭



写真-4 宇治川(京都宇治市)の宇治橋における木除杭

そこで、本研究はこの歴史的な橋梁における対策である木除杭の機能やその配置設計に関して、基礎的な実験に基づいて提案している。最後に、今後の更なる解析的な検討に向けて、一般的に公開されて汎用的に使用されている流木を考慮

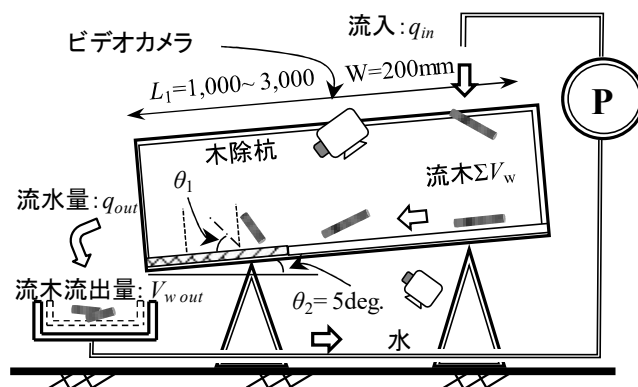


図-1 実験水路の概要

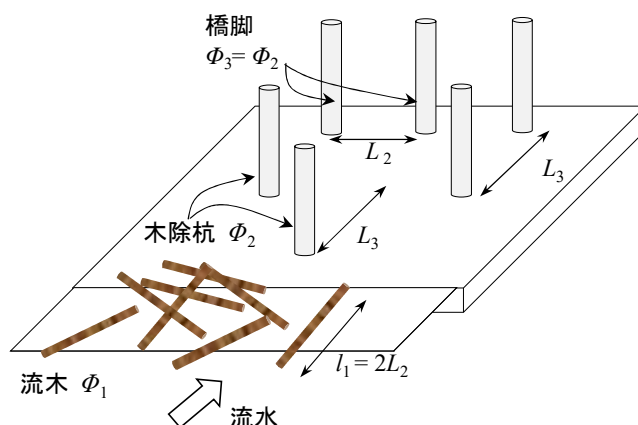


図-2 橋脚と流木除杭の設置概要

した三次元水理解析プログラム<sup>10)</sup>を用いて実験結果を対象に検討し、今後の本解析モデルの適用性について考察する。

## 1. 木除杭の機能に関する実験

木除杭の機能やその配置設計に関して把握するために、実験に基づいて考察する。

### 1. 1 検討方法

実験に使用した水路を図-1に示す。図-1に示すように、傾斜させた水路(長さ3m, 幅20cm)の上流から水( $q_{in}$ )と流木(円柱材料, 長さ10cm, 乾燥状態で比重0.75; 手動により投入)を供給し、下流部に設置した橋脚部及び木除杭(図-2)で閉塞された流木の本数を計測している。水路の傾斜角は既往報告<sup>4)</sup>を参考に、閉塞しやすい緩勾配( $\theta_2=5$ 度)としている。実験水路床には流水を安定させるため、細砂を接着

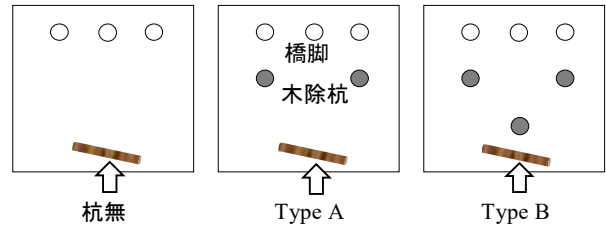
表－1 実験条件

CASE	$\phi_1$ (mm)	$L_1$ (mm)	$V_W$	流木投入 方向	型式 Type	$\theta_1$ (deg.)	$L_3$	$q_{in}$ (ℓ/s)	
1-1	3	1,000	1/s *50s	流れ直角 方向	杭無			1.0	
1-2								2.3	
1-3				2,000	流れ方向	杭無			1.0
1-4									
2-1		1,000	B	90	1.0* $l_1$	1.0			
2-2		2,000			1.5* $l_1$				
2-3					1.0* $l_1$				
2-4					0.5* $l_1$				
2-5					杭無			2.3	
2-6					A	90	1.0* $l_1$		
2-7							1.5* $l_1$		
2-8		B			90	1.5* $l_1$			
2-9						杭無			
3-1		50			流れ直角 方向	杭無			
3-2			B	90		1.5* $l_1$			
3-3						杭無			
3-4	B		45	1.5* $l_1$					
3-5						135			
3-6									
4-1	1	2,000	1/s *50s	杭無					

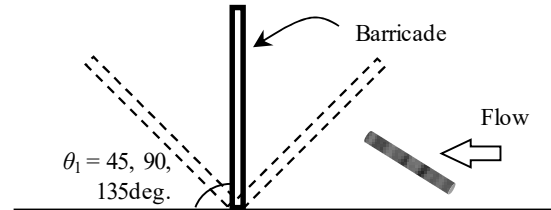
している。図－2に示すように、今回採用した木除杭及び橋脚を円柱とし、直径はそれぞれ1cmとしている。なお、予備実験において、これらの構造物を角柱とした場合、構造物周辺の流れが乱れて不安定となり実験結果の値が収束しなかったため、今回は円柱を採用している。橋脚の支間長 $L_2$ については、既往研究<sup>4)</sup>の実験結果において流木長と狭窄部との比が2分の1以下の場合に顕著に閉塞されている傾向が示されているため、実験に用いた流木長(10cm)の2分の1(5cm)としている。

実験条件の一覧を表－1に示す。表－1に示すように、流木材(円柱)の直径 $\phi_1$ 、流木投入位置から構造物までの間隔 $L_1$ 、流木の投入量 $V_w$ (1/s\*50s:1秒毎に1本投入を50秒間、50:1度に50本を1回)、流れに対する流木の投入方向(流れ方向:流木軸が流れと同じ方向、流れ直角方向:横断方向で上部より投入)、木除杭の配置形式(図－3)、杭の傾斜角度 $\theta_1$ (図－4)、橋脚と杭等との中心間隔 $L_3$ (流木長 $l_1$ との比:図－2)、上部からの供給水量 $q_{in}$ (図－1)をそれぞれ変化させて、木除杭の機能について把握している。

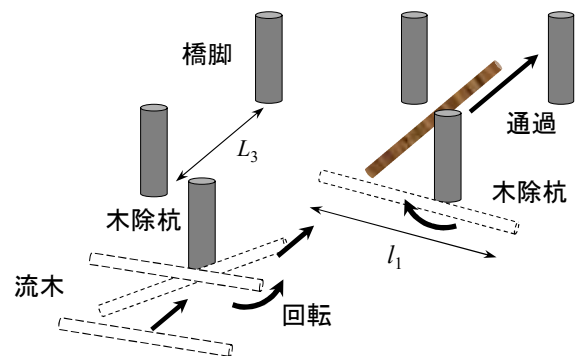
図－3に示すように、木除杭の配置に関して対策無及び橋脚一つ置きに対する杭の設置(Type A:渡月橋)に加えて、



図－3 木除杭の配置形式



図－4 木除杭の傾斜角度



図－5 橋脚及び木除杭における流木流向制御の概要

新たに千鳥配置形式(Type B)を提案し、それぞれ比較している。なお、一度に投入する流木の本数については、予備実験において全流木が杭の1列目と2列目の空間内(図－3)に収まる流木量としている(容積濃度0.3程度)。また、供給水量 $q_{in}$ (1.0, 2.3 $\ell/s$ )に対して、水深はそれぞれ約1.1, 1.9cm, フルード数は約1.3, 1.4であった。ここで、本研究で期待する流木の杭による回転に伴う流木流向制御の概要を図－5に示す。図－5に示すように、流木が杭を軸として回転し、そのまま橋脚を通過する構造としている。なお、手動での流木投入による影響を低減するため、実験は同じ条件にて3回実施するとともに、ビデオカメラを用いてその様子を記録している(図－1)

## 1. 2 実験結果と考察

実験結果において、橋脚部を通過して下流に流出した流木



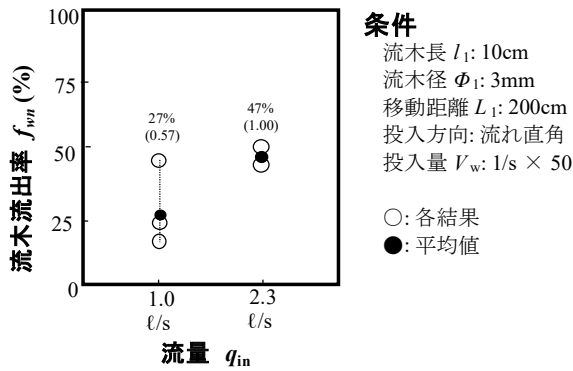


図-6 上部からの供給水量の違いによる  
木除率  $f_{wm}$  の変化

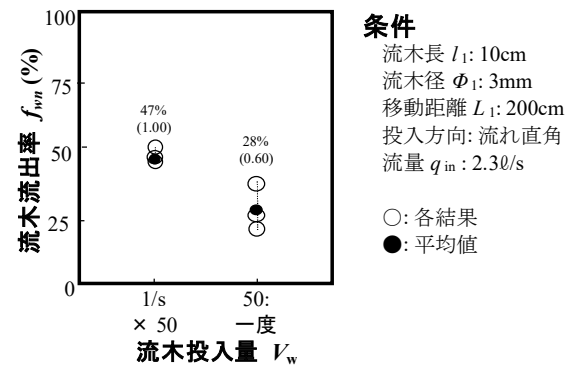


図-8 流木の供給条の違いによる木除率  $f_{wm}$  の変化

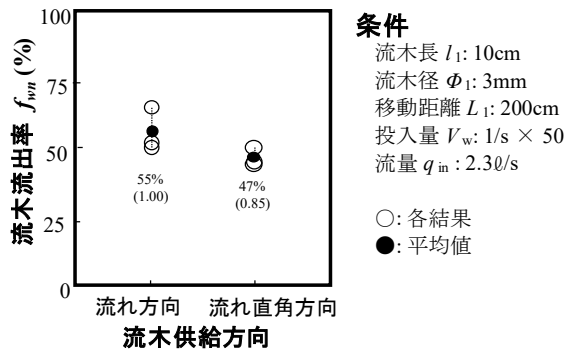


図-7 流木の供給条件の違いによる木除率  $f_{wm}$  の変化  
(流木を流れ方向, 流れ直角方向に投入)

の割合(木除率)  $f_{wm}$  は,

$$f_{wm} = V_{wout} / V_w \quad (1)$$

と表される。ここに、 $V_{wout}$  は橋脚部を通過して流出した流木の本数、 $V_w$  は流木の投入本数である。以降に条件の違いが木除杭の機能に与える影響に関して、考察する。

上部からの供給水量  $q_{in}$  (図-1) の違いによる木除率  $f_{wm}$  の変化を図-6に示す。図-6に示すように、流量(及び流速)が大きくなるに伴って、木除率  $f_{wm}$  が向上することがわかった。実験中の観察結果によると、流速が大きい場合においては、流木が橋脚を軸に周りの干渉を受けずに円滑に回転し、下流へ流出した。一方、流速が小さい場合には流木の回転が不安定となり、隣の橋脚に接触して閉塞する様子が確認された。ただし、流速が小さい場合における結果(木除率)の一部は約50%であり、流量が大きい場合と比べて顕著な差がなかった。これより、流木の回転は確率論的な現象であると考えられる。また、流れが遅い平常時において流木が流出してきた場合、橋脚部での閉塞確率が向上することが推測される。

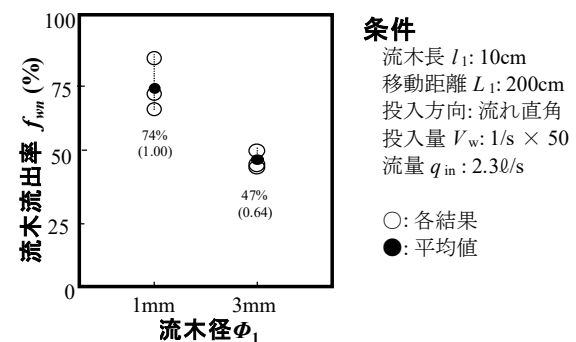


図-9 流木直径の違いによる木除率  $f_{wm}$  の変化

流木軸の投入方向の違いによる木除率  $f_{wm}$  の変化を図-7に示す。図-7に示すように、流木を流れと同じ方向に投入した場合(流れ方向)の木除率  $f_{wm}$  は横断方向に投入した場合(流れ直角方向)と比べて向上することが分かった。なお、実験中の観察によると、流木途中に流木の一部は流水方向へ回転していたが、その他の流木は不規則に回転しているのが確認された。また、流木軸が流れに対して完全に直角方向ではなく傾斜している程度であった場合においても、橋脚への接触に伴って閉塞の可能性が高くなることが確認された。

流木の投入量  $V_w$  の違い(1/s\*50s: 1本/秒を50秒間, 50: 1度に50本)による木除率  $f_{wm}$  の変化を図-8に示す。図-8に示すように、1度に流木を投入した場合においては橋脚部での閉塞確率が向上(木除率  $f_{wm}$  が低下)する傾向が示された。これは、既往研究<sup>3)</sup>で指摘されている流水中における流木密度の違いが閉塞に影響を与えたことによるものと考えられる。ただし、1度に投入した場合の結果はあまり収束しておらず、実験結果の一部においては木除率  $f_{wm}$  が40%程度と同等であり、投入方法(量)の違いによる顕著な差が無いケースも確認された。

使用した流木直径  $\phi_1$  の違いによる木除率  $f_{wm}$  の変化を図-9に示す。図-9に示すように、流木直径が大きくなるに伴

って橋脚部で閉塞する傾向が示され、既往研究<sup>4)</sup>で示された傾向と一致している。ここで、石川ら<sup>4)</sup>は前述のとおり、水路上の狭窄部における流木の捕捉率と、フルード数、流速、水深、狭窄幅、流木直径及び流木長との関係式を提案している。なお、本実験での観察結果によると、流れが速い場合においては流木が橋脚部を回転中に隣の橋脚に接触しても、流水の影響により新たに流木の鉛直方向における回転が加わって閉塞が回避(離脱)され、流木が橋脚間を通過するのが確認された。フルード数が与える影響について更なる検討が望まれる。

次に、木除杭の設置有無と平面配置形式(Type A, Type B: 図-10)の違いによる木除率  $f_{mn}$  の変化を図-10に示す。図-10に示すように、木除杭の設置に伴って木除率  $f_{mn}$  が顕著に向上する傾向が示された(約2倍程度)。なお、木除杭の配置形式の違いに関して、Type Bの方がType Aに比べて有利であることがわかった。これは、観察結果によると、Type Aの場合、木除杭間を通過した流木が中央の橋脚を中心に回転する際に、流木が隣接する橋脚(ただし、 $L_2=0.5l_1$ : 図-2)に接触したことによるものである。

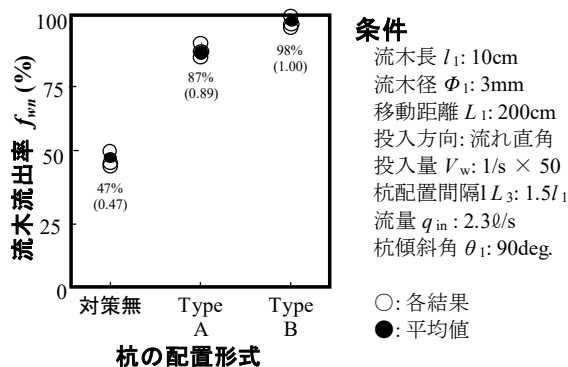


図-10 木除杭の有無と配置形式の違いによる  
流木除率  $f_{mn}$  の変化

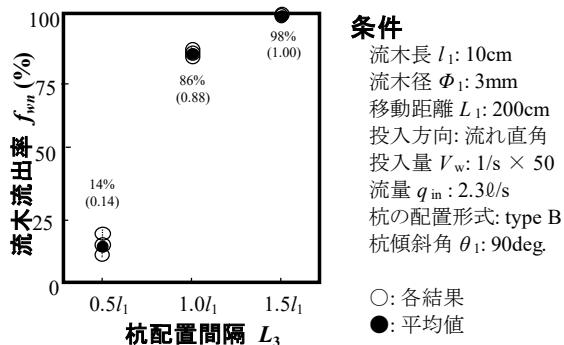


図-11 木除杭の配置間隔の違いによる  
流木除率  $f_{mn}$  の変化

配置形式(Type B)における木除杭の間隔  $L_3$  の違いによる木除率  $f_{mn}$  の変化を図-11に示す。図-11に示すように、木除杭の縦断方向における間隔  $L_3$  については流木長  $l_1$  の概ね1.5倍以上が望まれる傾向が示された。なお、予備実験において、間隔  $L_3$  を流木長  $l_1$  の2.0倍にした場合の結果と1.5倍の結果との比較により両者において殆ど差がなかったことを確認している。これより、流木が木除杭を中心に円滑に回転させるためには、十分な回転させる空間を確保する必要があることが分かった。

最後に、木除杭の傾斜角度  $\theta_1$  (図-4) の違いによる木除率  $f_{mn}$  の変化を図-12に示す。図-12に示すように、上流側に杭を傾斜させた場合、流木の杭による回転が鉛直方向に対して不安定となり、円滑に回転されない様子が確認された。これは、上流側に傾斜させた杭の影響により、杭上流側周辺において鉛直下向きの流れ(二次流)が発生し、流れが乱れたことによるものと考えられる。一方、下流側に杭を傾斜させた場合、流木は円滑に回転するが、回転中に流れの影響を受けるため、流水方向まで完全に回転せずに回転途中で流出してしまうことが確認された。なお、詳細な角度の違いが流木の流向制御効果に与える影響については今後の課題とする。

これまでの結果より、橋脚における流木の閉塞対策として、木除杭を全橋脚対象に千鳥配置(ただし、縦断方向における杭間隔は対象流木長の1.5倍程度)で垂直に設置した配置が有効であることが新たに分かった。なお、流木の投入条件(最大本数等)、比重ならびに水路勾配の違い等が流木の流向制御効果に与える影響に関する更なる検討や、定式化(一般化)が望まれる。

最後に、今後の解析的なアプローチ実施のために、一般的に公開され、今後も汎用的な利用が期待されている流木を考慮した三次元河床変動水理解析モデル(iRIC: Nays CUBE)<sup>10)</sup>を用いて再現計算を行った。なお、本解析モデルは流木を球

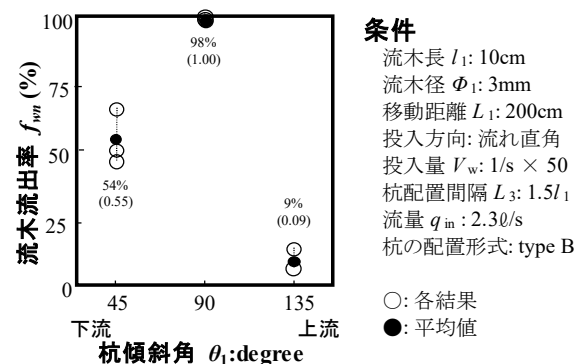


図-12 木除杭の傾斜角度の違いによる  
流木除率  $f_{mn}$  の変化

体の直列接合としてモデル化し、球体群の運動(球体群モデル)として近似している。また、一般的なデカルト座標系の場合においては球体運動の基礎式は比較的簡単に表現できるが、本解析モデルは一般曲線座標系を用いている。そこで、流木に関する定式化部分についても一般曲線座標で表記し、流木を構成する個々の球体の時間ステップ $\Delta t$  時間移動をLagrange 方程式により計算している。なお、Lagrange 方程式を用いた本解析モデルにおける流体中の固体の運動は、

$$\sigma A_3 d^3 = \frac{du_{pi}}{dt} = \frac{1}{2} C_D \rho A_2 d^2 |u - u_{pi}| \left( (u - u_{pi}) + \rho A_3 d^2 \left( \frac{du}{dt} - \frac{du_{pi}}{dt} \right) \right) \quad (2)$$

と表される。ここに、 $\rho$ : 流体密度、 $\sigma$ : 粒子密度、 $C_D$ : 抗力係数、 $A_2$ : 粒子の二次元形状係数( $\pi/4$ )、 $A_3$ : 粒子の三次元形状係数( $\pi/6$ )、 $d$ : 粒径、 $u$ : 周囲流体流速、 $u_p$ : 砂粒子速度、 $t$ : 時間の次元量、 $g$ : 重力である。その他の基礎式は既往文献<sup>10)</sup>を参考されたい。

実験結果を対象に再現計算した結果を図-13に示す。図-13に示されるとおり、水流に伴う流木の挙動及び杭部における回転が表現されており、今後における適用の可能性が期待される。ただし、流木同士の相互作用や流木が流れに及ぼす影響等については考慮されていないため、更なる再現性の向上に向けた本解析モデルの改良が望まれる。

## あ と が き

古くから橋梁における流木等の対策として用いられてきた木除杭の機能について、基礎的な実験により考察するとともに、優位と考えられる杭の配置形式や構造について提案した。

本研究により得られた成果を以下に要約する。

- 1) 木除杭は流木の橋脚への直接的な衝突防止だけでなく、杭を中心とした回転による流木の流向制御に関する機能も期待できることが実験により確認された。
- 2) 木除杭の流向制御効果(木除効果: 木除率)に関して、流速が小さい場合は流木の杭部での回転が不安定となり、木除率の機能が低下することが分かった。
- 3) 木除杭については、全橋脚を対象に杭を上流側へ千鳥に配置するのが有効であることが分かった。さらに、それらの流水方向における杭間隔は対象とする流木長に対して約1.5倍程度とし、垂直に杭を設置するのが優位であることが分かった。

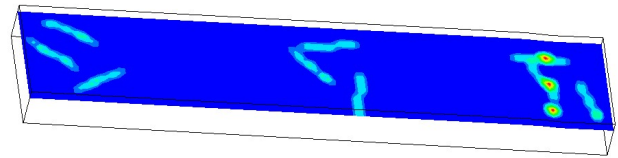


図-13 一般的に公開されて汎用的に用いられている解析モデル<sup>10)</sup>を用いた再現計算結果の一例

## 参 考 文 献

- 1) 石野和夫・橋丸大史・玉井信行: 2004年7月18日福井水害における流木の橋梁への影響調査結果, 土木学会第61回年次学術講演会, No.2, pp.9-10, 2006.
- 2) 伊豆大島土砂災害対策検討委員会: 伊豆大島土砂災害対策検討委員会報告書, 2014.
- 3) 足立昭平・大同淳之: 流木に関する実験的研究, 京都大学防災研究所年報, Vol.1, pp.41-49, 1957.
- 4) 石川芳治・水山高久・福澤 誠: 土石流に伴う流木の発生及び流下機構, 新砂防, Vol.42, No.3, pp.4-10, 1989.
- 5) 後藤仁志・酒井哲郎・林 稔: 粒子法による流木群の堰止め過程のLagrange解析, 水工学論文集, Vol.45, pp.919-924, 2001.
- 6) 清水義彦・長田健吾: 流木形状を考慮した個別要素法による橋脚周辺の流木集積過程に関する数値実験, 水工学論文集, Vol.51, pp.829-834, 2007.
- 7) 渋谷 一・堀口俊行・香月 智・大隅 久・石川信隆: 円形柱集合体要素を用いた個別要素法による根付き流木の捕捉シミュレーション, 土木学会論文集A2(応用力学), Vol.67, No.2, pp. I\_323-334, 2011.
- 8) 松村 博: 江戸の橋, 鹿島出版会, pp.68-70, 2007.
- 9) 財団法人 河川環境管理財団, 流木災害軽減対策と河川流木管理に関する総合的研究, 2008.
- 10) iRIC web site, <http://i-ric.org/ja/>



## 維持管理に配慮した海岸道路の波覆工補修設計

協和設計株式会社 小長谷 克明

### 論文要旨

本稿は、海岸道路に越波対策として設置されている波覆シェッド(上部工)及び海岸擁壁(下部工)の補修設計事例である。波覆工は昭和46年に1期施工120mが竣工、昭和57年に60mが竣工された延長180mの鋼製門形式構造の波飛沫に対するシェッドである。塩害の厳しい環境下であるため、概ね15年間隔で、一部取替、補修工事が実施されている。

更新時期を向かえた波覆工の長寿命化、耐久性向上のため、構造形式、材料、維持管理方法などを見直し、ライフサイクルコストを削減した補修設計報告である。

キーワード: 塩害, ZAM 鋼板, 亜硝酸リチウム, 水洗い

### まえがき

波覆工は越波防止柵などの壁構造では対応できない越波に用いられる構造で、側部パネル、屋根パネルで道路を覆う越波対策である。

越波を直接受ける波覆工は腐食損傷が激しく、これまで長期現道規制する取替え更新が数回行われ、撤去・処分・取替材料等多額の補修費用を要している。



写真-1 越波状況

本稿の波覆工補修設計は、耐久性向上のため、構造形式の見直しなども視野に入れた検討を行い、ライフサイクルコストの削減を図った。

### 1. 構造物の現状

#### (1) 波覆シェッド(上部工)

波覆シェッドは溶融亜鉛めっきによる防錆処理が施された鋼構造で、先行整備された区間の外面パネルの腐食が激しく、断面欠損により穴あきが散見される。

支柱は外面パネルが欠損している箇所、溶融亜鉛めっき劣化度基準<sup>1)</sup>の劣化度Vまで進行し、一部支柱のウェブは欠損、フランジは減厚が確認される。

#### (2) 海岸擁壁(下部工)

海岸擁壁は波覆シェッド支柱の基礎用リブが追加され、先行整備区間は、のちにリブを覆う増厚補強が施されている。

損傷状況は堅壁のひび割れ、うき、底版の剥離、鉄筋爆裂が見られる。室内試験から、表面鉄筋位置で塩化物イオンが鉄筋の腐食発生限界を超えていること、一部で

アルカリ骨材反応が発生している可能性があることが確認されている。



写真-2  
パネル腐食状況



写真-3  
支柱腐食状況



写真-4  
先行整備区間擁壁



写真-5  
延伸区間擁壁



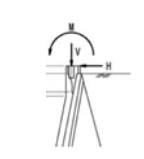
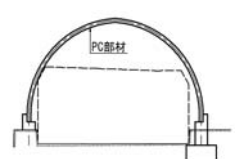
写真-6 全景

## 2. 構造形式

太平洋沿岸 20m までの場所に位置し塩害対策区分 S<sup>2)</sup>の環境下にある当該構造物の対策工は、上部工の取替え、構造形式の変更も含めて検討を行った。

塗装鉄筋、表面保護などの塩害対策を施したコンクリート構造への上部工の変更は、現況の更新サイクルの改善が期待できるため、コンクリート構造の適用可否について検討を行った。検討の結果、コンクリート構造においても安定計算は許容値を満足したが、死荷重増により鋼構造に比べて約 10~15 倍の荷重が作用し、損傷を受けた下部擁壁に更に負荷がかかる状態となる。

表ー1 コンクリート構造の作用荷重

上屋からの作用荷重		概略図		
				
		V (kN)	H (kN)	M (kN・m)
上屋からの作用荷重	常時	2,239 (162)	434 (47)	434 (27)
	風荷重時	2,331 (166)	509 (196)	509 (263)
	衝突時	2,239 (162)	506 (119)	15 (42)
	地震時 (L1)	2,369 (164)	703 (68)	668 (82)
	地震時 (L2)	2,412 (165)	792 (74)	746 (100)

※( )は鋼構造での作用荷重

再構築を必要とする損傷に至っていない既設擁壁の補修再利用を踏まえ、上部構造の更新は鋼構造を基本に防錆機能を向上させる仕様の検討を行うこととした。

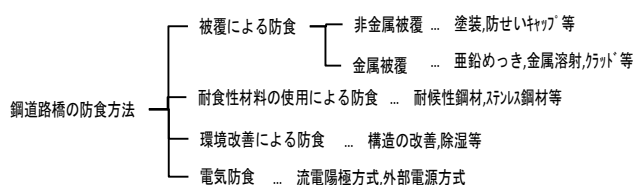
## 3. 補修方針

### (1) 波覆シェッド(上部工)

#### 1) 外面パネル

外面パネルの防錆仕様は、溶融亜鉛めっきの寿命が約 15 年であることが補修履歴から明らかであり、耐久性向上のため、パネル材料および防食方法を検討した。

鋼板の防食法は、下図のように被覆、耐食性材料の使用、環境改善、電気防食の 4 つに大別される。



図ー1 鋼板の防食方法<sup>3)</sup>

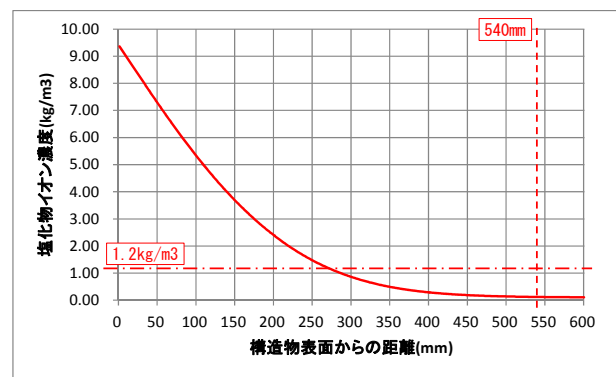
これらのうち、電気防食は著しく経済性に劣ること、耐候性鋼材は海岸環境では適用不可であることより検討対象外とし、塗装被覆、金属被覆、ステンレス鋼材などを対象に比較検討を行った。環境改善については、海水が滞水しにくい構造細目を検討した。

### 2) 骨組部材

骨組部材の補修方針は、腐食による著しい断面欠損が生じている部材の取替えと既設支柱の再防錆とした。防錆仕様は既設の溶融亜鉛めっきは海岸環境での適用性が高くないため、ふっ素樹脂塗装を上塗りに採用した。

### (2) 海岸擁壁(下部工)

表面鉄筋位置で鉄筋腐食発生限界濃度 (1.2kg/m<sup>3</sup>) を超える塩化物イオン (6.8kg/m<sup>3</sup>) が浸透していることが確認されていた。しかし、表面鉄筋は圧縮側であり RC 擁壁の主鉄筋である背面鉄筋の現状と将来予測をフィックの拡散方程式<sup>4)</sup>により予測した。検討の結果、背面鉄筋が将来的にも腐食発生の可能性が低いことを推定し、塩化物イオンが内在する状態での表面鉄筋再劣化防止と健全部の予防保全を補修方針とした。



図ー2 塩化物イオン拡散予測結果 (50 年)

海岸擁壁の補修方針は「塩化物イオンが内在する状態での鉄筋腐食抑制」と、「さらなる飛来塩分などの劣化因子浸入抑制」から、表面保護工併用の断面修復を検討した。

## 4. 材料選定

### (1) 外面パネル

外面パネルは鋼板の防食法に加え、非鉄金属および非鉄金属を比較し、溶融亜鉛めっきと同程度のコストで 4 倍の耐食性を有する ZAM (Zn-Al-Mg 合金めっき) 鋼板<sup>5)</sup>を採用した。

### (2) 下部擁壁補修

#### 1) 断面修復工

塩化物イオンが内在する状態で断面修復を行った場合、未補修部との電位差からマクロセル腐食による再劣化が懸念される。再劣化防止のため、亜硝酸リチウムを添加したポリマーセメントモルタルを採用した。

亜硝酸リチウムの成分のうち、亜硝酸イオンは鉄筋の不動態皮膜を生成する働きがある。また、リチウムイオンはアルカリシリカゲルを非膨張化する効果があるとされておりアルカリ骨材反応が発生している可能性がある当該構造物に有用な材料と考える。

## 2) 表面保護工

表面保護工は表面被覆と表面含侵に大別される。このうち、補修跡が不可視となる表面被覆は、当該構造物の補修規模が大きく経過観察が必要と考え対象外とした。

表面含浸工法には撥水層を形成するシラン系とコンクリートを緻密化するケイ酸塩系の含侵材があり、ともに劣化因子浸入抑制に効果がある。ひび割れ補修を伴う当該構造物ではコンクリート緻密化によるひび割れ閉塞効果を期待し、ケイ酸塩系を選択した。

また、ケイ酸塩系含侵材について、塩害環境下であることを考慮し新技術(NEITS)から鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ表面含侵工法を採用した。

## 5. 景観・構造細目

### (1) 景観検討

当該地は、高台から海岸線および岩礁が一望できる立地である。現況、鋼製パネルに覆われ閉塞された空間となっている波覆工について景観性向上の検討を行った。

対象道路は歩道のない2車線道路であり、歩行者の通行が少なく、一般車および観光バス等の車両通行が主であることより、運転手からの視点を対象に海側壁版に透光性材料を適用し内部景観の向上を図る方針とした。

透光板材料は、同路線の越波防止柵で採用されているポリカーボネート折板(以下ポリカ板)を基本構造とし、ポリカ板の標準支間2mに対応するため、波覆工標準支間3.6mの間に追加支柱を設ける構造とした。

ポリカ板の設置高さは現況の通行状況を踏まえ、中型観光バスで景色を確認できる1.5mを採用した。



図-3 透光板設置イメージ図



図-4 中型観光バス視認性

### (2) 構造細目

現況パネル部材のデッキプレートは波板構造で、排水勾配が付されているものの滞水しやすい構造であるため、打ち上がった海水が速やかに排水できる構造として溝形鋼とフラットパネルによるパネル構造を採用した。

また、溝形鋼(支持材)とパネル材を別構造とすることで、支間部でのパネル接続が可能となり、支柱への塩害リスクを低減した。

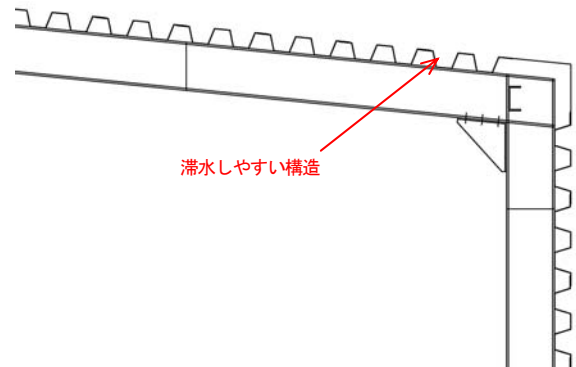


図-5 現況構造

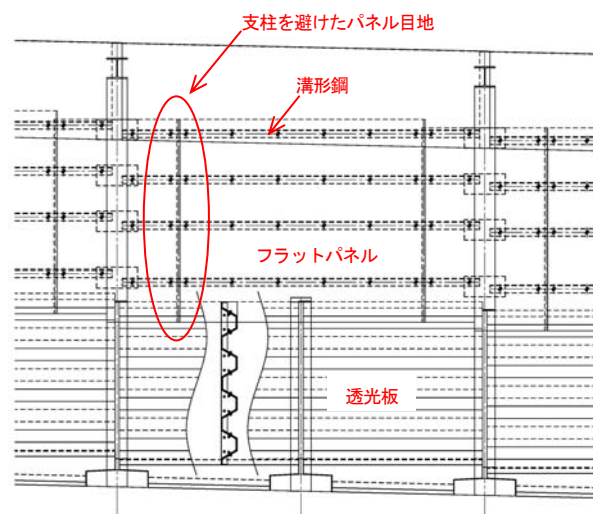
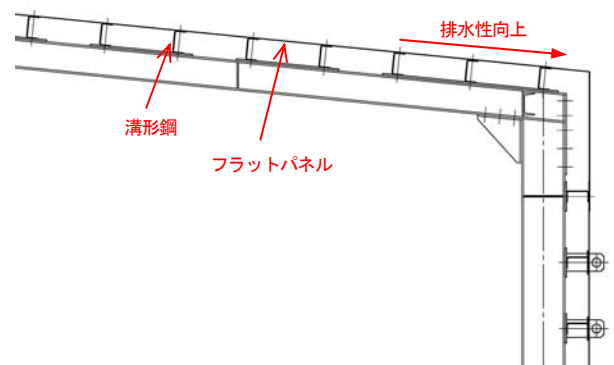


図-6 取替え構造



## 6. 維持管理方法

### (1) 仮設構造取付用金具

海側支柱の天端スペースは 0~400mm 程度と狭く、かつ、仮設物を取付けられる構造でないため、今後の維持管理を考慮し、維持管理時の足場、擁壁点検時のロープアクセスの支点となる吊金具を設ける構造とした。



写真-7 現況擁壁天端状況

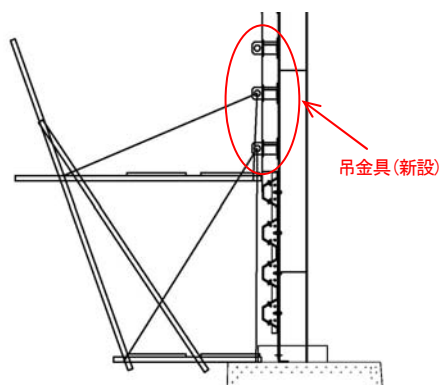


図-7 仮設構造取付金具

### (2) 水洗いによる飛来塩分除去

今後の更新サイクル改善のため耐食性の高い材料・構造を選定してきたが、さらなる更新サイクル向上のため、波覆工の水洗いによる維持管理を提案した。

水洗い工は凍結防止剤の散布影響や飛来塩分の影響が大きい地域の橋梁で採用されつつあり、諸研究で一定の効果が確認されている。

水洗い作業は屋根へのアクセスは梯子で、海側壁へは補修時に設けた吊り金具を利用し、作業足場を構築しアクセスする計画とした。

水洗いサイクルは年1回が望ましいが、洗浄後1年間の塩分付着量が洗浄前の 50~90%という検証結果<sup>6)</sup>もあることより、少なくとも2年に1回実施することが望ましいと考える。

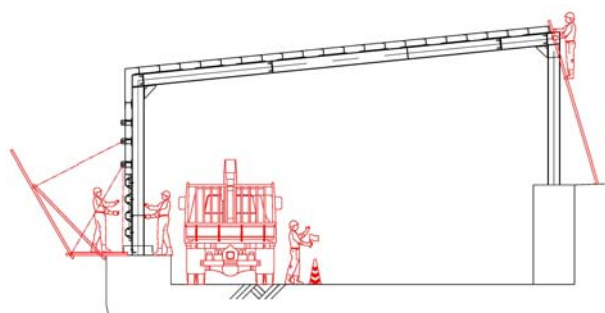


図-8 水洗い作業イメージ図

## あ と が き

塩害環境下の波覆工補修設計において、高耐食材料、排水性向上を考慮した構造、維持管理方法など維持管理更新サイクルの改善を検討し、現況構造より耐久性ある構造を提案できたと考える。ただし、設計段階であるため、今後、維持管理を行っていく中で想定どおりの効果が発揮されるか確認していく必要がある。

最後に、本補修計画にあたり多大なご指導・ご助言をいただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) (社)日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧資料集 H22.9 IV-17
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編 H24.3 175p
- 3) (社)日本道路協会：鋼道路橋防食便覧 H26.3 I-18p
- 4) (社)土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編] H20.3 112p
- 5) 日新製鋼(株)：ZAM 製品カタログ 10p
- 6) 新潟県：第7回新潟県橋梁長寿命化検討委員会資料1 H25.1.29 17p

## 供用中における合流式ポンプ場の改築更新手法

(株) ニュージェック ○鈴木 利幸

相川 晃平

堀谷 昌弘

### 論文要旨

合流式ポンプ場には、污水排除と浸水被害防除を併せもつ機能がある。対象施設は供用開始から約 75 年経過しており、下水道施設に要求される耐震性能が不足し、設備の老朽化が著しいことから、改築更新事業が実施されている。本書は、合流式ポンプ場における污水沈砂池及び雨水沈砂池の改築更新に際し、供用しながら新設構造物を築造するまでの施工ステップと施工時における課題と対策を示すものである。

施工ステップは大きく 2 つに区分される。施工ステップ 1 では、既設污水沈砂池と同じ位置に污水沈砂池と雨水沈砂池の一部を新設し、暫定運用を開始する。施工ステップ 2 では、残りの雨水沈砂池等を新設する。前者における課題は、污水排除の供用を止めず施工することであり、既存施設の一部を仮污水沈砂池として有効利用するなどし、施工の実現化を図った。後者における主な課題は、暫定運用中における上流域への浸水被害防除であり、雨水沈砂池内の水路幅を一時的に広げ損失水頭を下げることで、完成形と同程度の浸水被害対策を図った。

キーワード：合流式ポンプ場、改築更新、供用中施工、狹隘施工

### まえがき

本施設は、昭和 18 年に雨水ポンプ場を構築した後、水処理施設の稼働に合わせ、昭和 39 年に污水ポンプ場を併設した合流式ポンプ場である。現時点の経過年数は、雨水ポンプ場が約 75 年、污水ポンプ場が約 55 年と管理者が管理する施設の中でも非常に古い施設である。近年では設備の老朽化が著しいことに加えて、下水道施設に必要な耐震性能が不足していることにより、全施設の改築更新事業に着手し、現在工事を実施している。

本報文では狹隘な施工条件の下、供用を止めず、既設と同じ位置で施設を新設するまでの施工ステップと施工時における課題と対策を検討した結果を示す。

### 1. 改築更新における諸条件

改築更新前の施設配置と水の流れを図-1 に示す。

対象施設は市街地に位置し、住宅や工場の他、JR 線に面している。水の流れは 2 本の幹線管渠が合流した後、雨水は雨水沈砂池に流入した後、雨水ポンプ室で水を汲み上げ、公共用水域へ排水している。一方、污水は雨水沈砂池上流の固定堰により污水沈砂池側に流入させた後、污水ポンプ室で水を汲み上げ、下水処理場へ送水している。

改築更新における条件としては、①狹隘な敷地内で施設機能を維持しながら施工を行う、②特に、雨水排水については、上流域で浸水被害が発生しているため、暫定運用中

においても万全の対策を講じる、③土留め施工時における JR 線への影響を考慮した対策を行うことである。

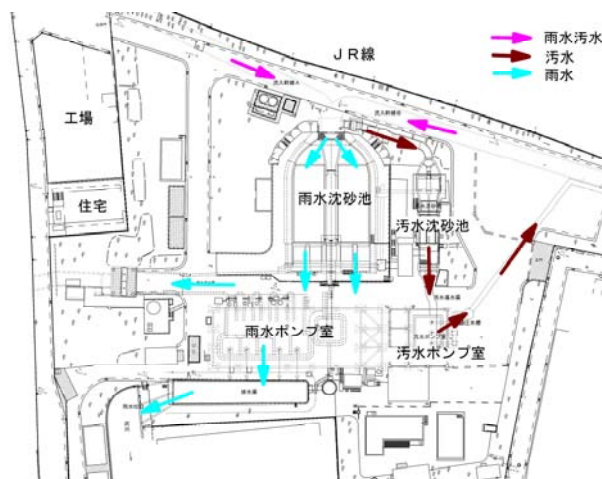


図-1 改築更新前の施設配置と水の流れ

### 2. 施工ステップの概要

施工ステップは大きく 2 つに区分され、施工ステップ 1 では、図-2 に示すよう污水沈砂池と雨水沈砂池 AB（全 4 池のうち、2 池分）を新設し、暫定運用を開始する。

施工ステップ 2 では、図-3 に示すよう残りの雨水沈砂池 CD を新設するとともに、幹線 2 本が合流する位置の変更に伴う流入渠の布設替えを行う。

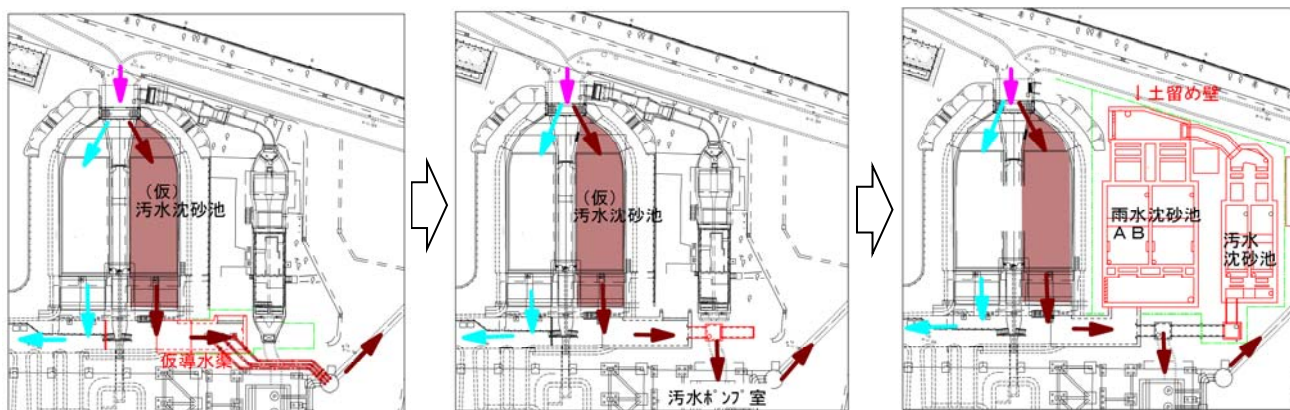


図-2 施工ステップ1 (汚水沈砂池及び雨水沈砂池A B築造)

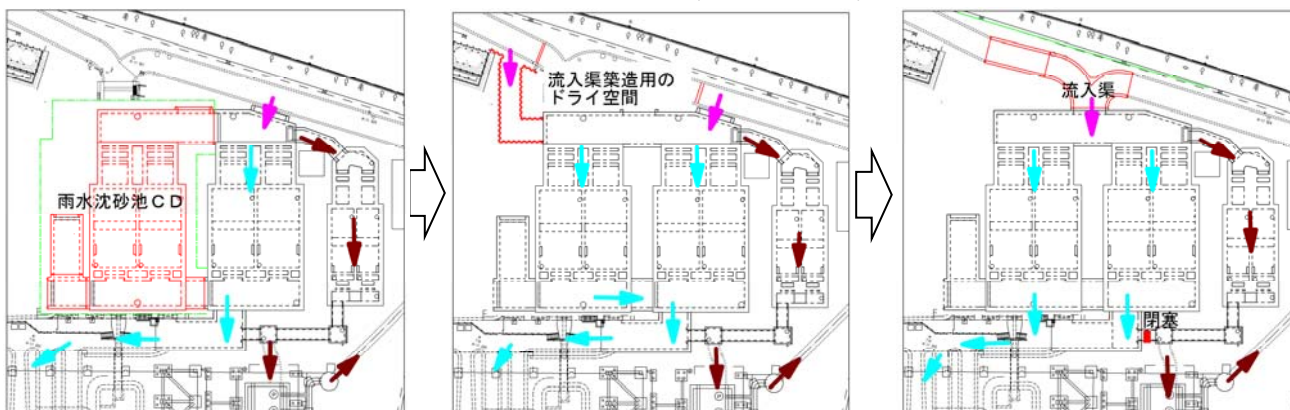


図-3 施工ステップ2 (雨水沈砂池C D及び流入渠築造)

### 3. 施工ステップ1の課題と対策

#### (1) 課題

図-2 に示すよう既設汚水沈砂池の位置に汚水沈砂池と雨水沈砂池A Bを築造するため、汚水を流下させた状態で施工する必要があった。特に、既設汚水沈砂池の一部を撤去し、同位置に新設汚水沈砂池の流出水路(人孔及びボックスカルバート 1500mm×1500mm)を築造する工事は、施工ステップ1の中でも難工事であり、かつ短期間での施工が求められる状況にあった。

#### (2) 対策

既設雨水沈砂池が2池あることに着目し、そのうち1池を仮汚水沈砂池として使用した。仮汚水沈砂池として運用する準備作業として、既設雨水沈砂池と汚水ポンプ室をつなぐ仮導水渠を築造するとともに、短期間施工に適している仮設ポンプ(吐出量 8m<sup>3</sup>/min×3 台)を仮導水渠内に設置した。これにより、汚水ポンプ室を経由せず、下流の下水処理場に送水できる汚水ルートを確認し、汚水沈砂池と汚水ポンプ室を一時的に分断させることで、新設汚水沈砂池の流出水路の一部を築造することが可能となった。

仮設ポンプの規模については、計画汚水量相当のレンタル品がないため、実績汚水量データから仮設ポンプ能力に見合う施工時期を設定した。図-4 に施工ステップ1の中でも特に難工事となった小ステップを示す。

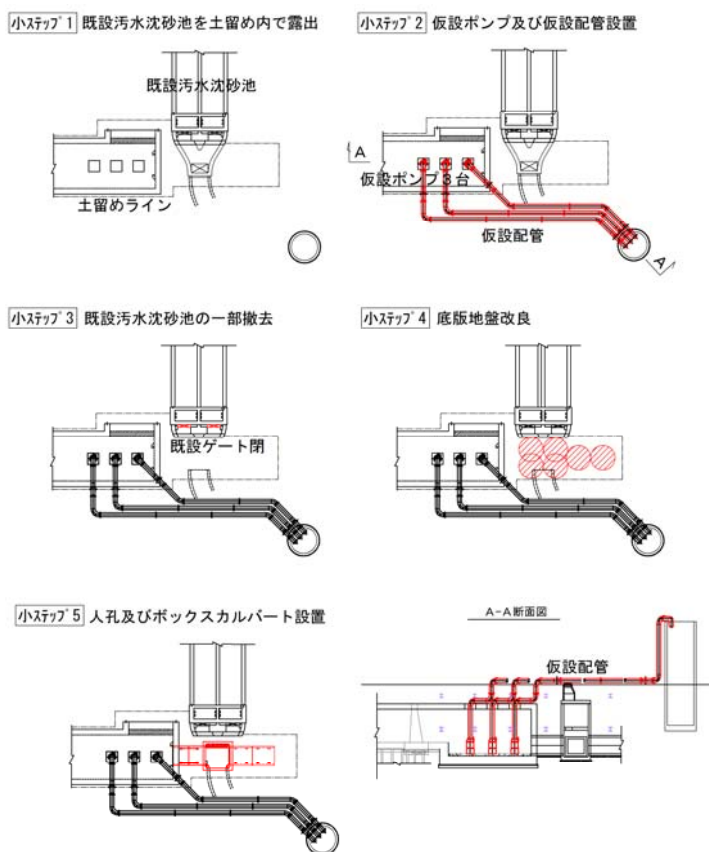


図-4 施工ステップ1における小ステップ



## 4. 施工ステップ2の課題と対策

### (1) 課題

図-3に示すよう既設雨水沈砂池の位置に雨水沈砂池C Dを築造する。施工ステップ2は暫定運用中にあるため、雨水排水は雨水沈砂池A Bで負担することになるが、必要池数の半分しかないため、損失水頭の増加による上流側への浸水被害の防除対策が必要となった。また、土留め工事による JR 線への影響対策として、土留め壁の許容変位量を 38mm 未満にするよう鉄道管理者から求められた。

### (2) 対策1(暫定運用中における浸水被害防除対策)

雨水沈砂池A B内の全損失水頭が既設雨水沈砂池内の全損失水頭以下であれば、暫定期間中においても上流域への浸水被害リスクは既設同様であると考え、両ケースを検討した(表-1)。検討の結果、既設雨水沈砂池の全損失水頭 39cm に対し、雨水沈砂池A Bの全損失水頭が 187cm と大幅に増加するため、図-5に示すよう水路幅を一時的に広げ、全損失水頭を 33cm に低減した。

なお、施工ステップ2が完成した際は、所定の雨水沈砂池数になるため、水路幅を 1.9m に縮小する。

表-1 全損失水頭の比較

	既設雨水沈砂池	雨水沈砂池A B	
		対策前	対策後
全損失水頭	39cm	187cm	33cm

※全損失水頭=スクリン損失+沈砂池流入損失+沈砂池流出損失

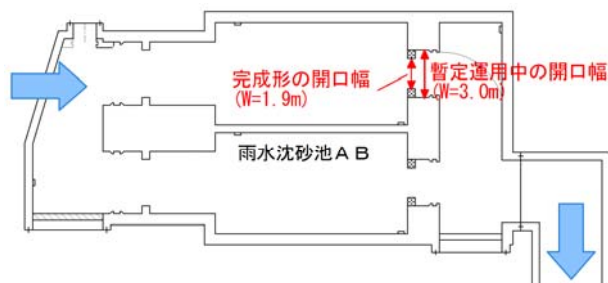


図-5 暫定運用中における浸水被害防除対策

### (3) 対策2(土留め工事による JR 線への影響対策)

当該施設の土留め壁工法は、掘削深さ約 6.8m と比較的に浅いため、鋼矢板(切梁式)を採用した。土留め施工時の近接判定は「近接工事設計施工マニュアル/東日本旅客鉄道株式会社」より、「II 要注意範囲」となる(図-6)。

土留め壁の変位量を弾塑性解析にて算出した結果、鋼矢板Ⅲ型では鋼矢板頭部固定で断面係数を 0.8 に増加しても許容変位量を満足しないため、Ⅳ型を採用し、許容変位量を満足させた。表-2 に各検討ケースにおける鋼矢板の変位量一覧を示す。

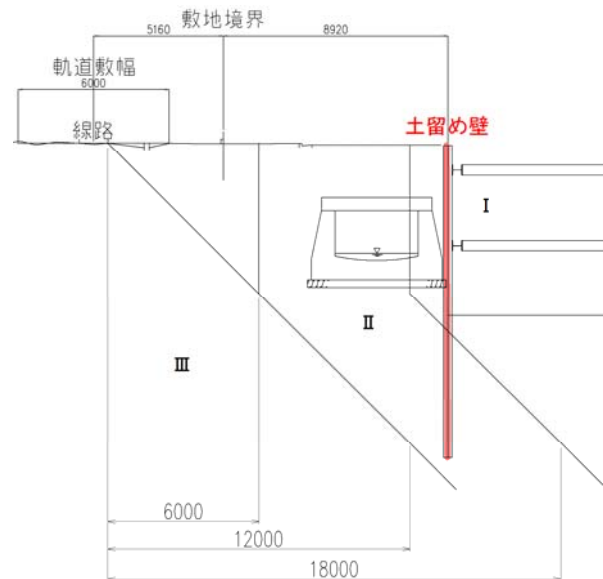


図-6 近接状況の判定図

表-2 鋼矢板の変位量一覧

施工基面 (m)	掘削面高 (m)	掘削深さ (m)	施工ステップ	変位量(mm)		
				Ⅲ型		Ⅳ型
				$\alpha=0.45$	$\alpha=0.80$	$\alpha=0.45$
11.40	4.60	6.80	1次掘削時	31.55	20.20	16.63
			2次掘削時	34.30	21.98	18.26
			最終掘削時	62.41	41.44	35.20
			1次撤去時	62.04	41.16	34.96
			2次撤去時	62.03	41.12	34.90

※ $\alpha$ : 断面係数( $\alpha=0.80$ は鋼矢板継手部の掘削面側を鋼矢板頭部から50cm溶接した状態)

## あ と が き

下水道事業における課題の1つとして、施設の耐震化率の向上が挙げられるが、代替施設のない下水道施設は、施工困難等の理由により耐震化率が低い状況にある(国土交通省下水道部 HP より下水道施設の耐震化率は約 39%)。

一方、施設の老朽化は近年増加傾向にあるため、改築更新により、耐震化率を向上させていく方法も考えられる。

本成果の施工ステップは、細区分すると 45 の小ステップに及んだが、綿密な検討により、施工や水運用上の課題を漏れなく抽出できたと考えている。

最後になりましたが、調査設計時にご指導を頂いた下水管理者の皆様方に、この場をおかりしまして御礼申し上げます。

## 橋梁設計におけるC I Mモデルの活用目的とモデルの詳細度に関する一考察

中央復建コンサルタンツ(株) ○石井 麻織  
中央復建コンサルタンツ(株) 手皮 章夫  
中央復建コンサルタンツ(株) 工藤 新一

### 論文要旨

C I M導入に向け、平成24年から多くのC I Mの試行業務や工事が実施され、景観検討や構造比較検討などC I M導入の効果が明らかとなってきた。その一方で、課題も多くあることが分かってきた。

平成29年3月には、国土交通省 C I M導入推進委員会から「C I M導入ガイドライン」が公開され、C I Mの導入が本格化しつつある。しかし、まだ多くの課題が解決されていない。なかでも、C I Mモデル作成にかかる手間の軽減が大きな課題となっている。

本稿では、C I Mモデル作成の手間とモデル詳細度および活用目的が大きく関連していることに着目し、一般的な橋梁設計をサンプル事例として、C I Mの活用目的とモデルの詳細度の関係性の一例を示し、橋梁設計においては一定以上のモデル詳細度であればC I Mの効果を得られることについて確認した。

**キーワード：**C I M, 詳細度, 橋梁設計

### まえがき

C I Mの導入が本格化される中、モデル作成にかかる手間の軽減が一つの課題となっている。設計業務において、効率的にC I Mを活用するためには、短時間かつ低コストでモデルを作成できるのが鍵となる。

このような課題認識のもと、これまで約200を超える三次元設計・C I M案件の取り組みを通じて、活用目的に応じたモデルの作り込み度(以下「詳細度」と称す)を見極めるべく、試行錯誤を繰り返してきた。

なかでも取り組み実績の多い「橋梁設計におけるC I M活用」を対象に、最適なモデルの詳細度を見極める指標として、モデルの詳細度と目的の達成度における数値化を試み、橋梁設計における効果的なモデルの詳細度について考察する。

### 1. 橋梁設計におけるC I Mの活用

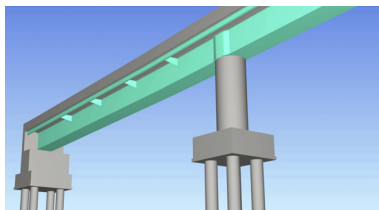
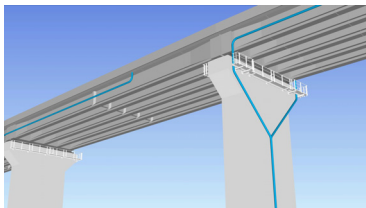
橋梁設計において期待される効果は、概略検討及び詳細設計の効率化、検討内容の綿密化、設計品質の向上などが挙げられる。<sup>1)</sup>

また、その効果は、設計プロセスにおいて様々な目的でモデルを活用することで大きくなる。

ここでは、活用目的と効果との関係性を分析するために、C I Mを適用した橋梁設計を2ケース(表-1)想定し、設計プロセスにおけるC I Mの活用目的とモデル作成に

要する時間(手間)と効果を整理する。

表-1 想定した橋梁設計2ケースの概要

【ケースX】
<ul style="list-style-type: none"><li>・上部工：鋼4径間連続非合成箱桁</li><li>・下部工：逆T式橋台、柱式橋脚</li><li>・基礎工：場所打ち杭<math>\phi</math>1,500、<math>\phi</math>1,200</li><li>・橋長：約200m</li></ul> 
【ケースY】
<ul style="list-style-type: none"><li>・上部工：PC4径間連続ポストテンションコンボ桁</li><li>・下部工：逆T式橋台、張出式橋脚</li><li>・基礎工：直接基礎、深礎杭<math>\phi</math>2,500</li><li>・橋長：約200m</li></ul> 

### (1) 活用目的の整理

これまでの多くの実績から、橋梁設計における代表的なC I Mの活用目的を以下に抽出・整理した。

- ①視認性の照査
- ②景観検討
- ③建築限界の照査
- ④配筋(PC鋼材)の干渉照査
- ⑤数量算出
- ⑥地下埋設物と構造物との干渉照査

### (2) モデル作成に要した時間

今回、ケースX、Yの詳細度が異なるC I Mモデルを作成し、モデル作成に要した時間を表-2に整理した。なお、要した時間は、三次元C A D操作の技術レベルの高い技術者によるものである。

ケースXは、外形形状のみの簡易なモデルとし、ケースYは、高欄や支承、検査路等の付帯構造物を含む、実物に近い精緻なモデルとした。各モデルの拡大図を図-1、図-2に示す。

表-2 モデリングに要した時間(単位:時間)

モデルの種類		ケースX	ケースY
位置図モデル		1	5
橋梁全体モデル	橋梁本体モデル	10	25
	配筋モデル	12	15
	道路モデル	10	35
	地下埋設物モデル	2	7
	地層モデル	2	7
合計		45	107

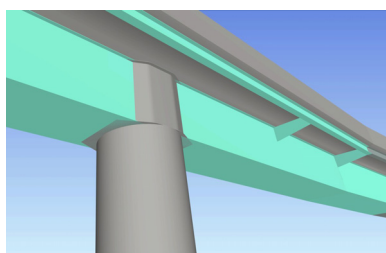


図-1 ケースXモデル(拡大)

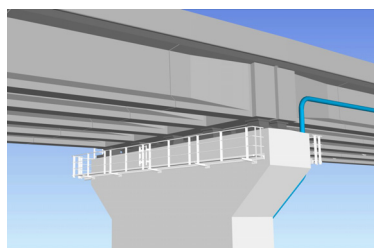


図-2 ケースYモデル(拡大)

### (3) C I M導入の効果

C I M導入の効果は、モデル作成に要する手間などの効率面と、精度向上などの品質面がある。

そのため、ケースX、Yそれぞれの効率面、品質面を評価した。また、総合評価として、効率と品質の効果を総合的に判断した。それら結果を表-3、表-4に整理した。

なお、効率については、従来(二次元設計)で要した時間と比較し定量的に、品質については定性的に評価した。

表-3 C I M導入の効果(ケースX)

活用目的	効率*	品質	総合評価
①視認性の照査	↑30%UP	・安全性評価の高度化	○
②景観検討	↑25%UP	・判断の迅速化	○
③建築限界の照査	↑5%UP	・精度向上	○
④配筋(PC鋼材)の干渉照査	↓40%down	・ミス防止	×
⑤数量算出	↓20%down	・精度向上	×
⑥地下埋設物と構造物との干渉照査	↑10%UP	・照査の高度化	○

表-4 C I M導入の効果(ケースY)

活用目的	効率*	品質	総合評価
①視認性の照査	↑50%UP	・安全性評価の高度化	◎
②景観検討	↑30%UP	・判断の迅速化	○
③建築限界の照査	↑15%UP	・精度向上	◎
④配筋(PC鋼材)の干渉照査	↓40%down	・ミス防止	×
⑤数量算出	↓10%down	・精度向上	○
⑥地下埋設物と構造物との干渉照査	↑10%UP	・照査の高度化	○

※C I Mモデルのみで確認が不十分な箇所については、従来手法で補足した手間を含む。

ケースXでは、モデルの詳細度が不十分で確認ができない項目が多く、従来手法による補足を多く要した。一方ケースYのモデルでは、C I Mモデルのみで確認ができる項目が多く、ケースXよりも効率が向上し、総合的に高い効果を得られた。

この結果により、目的に応じて必要となる詳細度が異なることが明らかとなった。



## 2. モデルの詳細度と活用目的の達成度の関係性

本章では、モデルの詳細度と活用目的との関係性を定量的に測るため、詳細度と効果(目的達成度)を数値化した。

### (1) モデルの詳細度

モデルの詳細度を、モデルの作成時間から以下4段階に設定した。

サンプルとして、下部工モデル例を表-5、配筋モデル例を表-6に示す。

寸法については、いずれの詳細度モデルもデフォルメせず、すべて正確な値であることと定義する。

- A：スケルトンモデル  
B：ベースモデル  
C：付帯構造物モデル  
D：詳細モデル

表-5 詳細度例(下部工モデル)

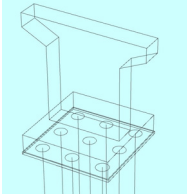
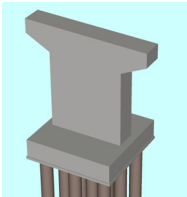
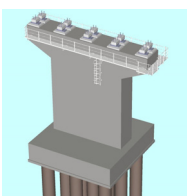
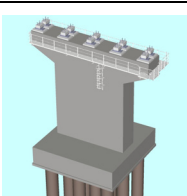
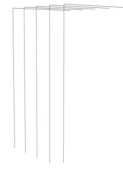
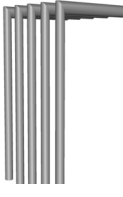
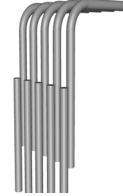
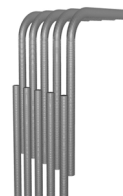
詳細度	下部工モデル	
	サンプルモデル	作成するモデル
A		<ul style="list-style-type: none"> <li>下部工の外形を線でかたどったモデル</li> </ul> <p>(作成時間目安) 約0.3時間/1脚</p>
B		<ul style="list-style-type: none"> <li>本体構造物の形状が分かるソリッドモデル</li> </ul> <p>(作成時間目安) 約0.5時間/1脚</p>
C		<ul style="list-style-type: none"> <li>詳細度Bのモデルに付帯構造物を追加したモデル</li> </ul> <p>(作成時間目安) 約1.5時間/1脚</p>
D		<ul style="list-style-type: none"> <li>詳細度Cにボルトなど全ての部材を追加したモデル</li> </ul> <p>(作成時間目安) 約2.0時間/1脚</p>

表-6 詳細度例(配筋モデル)

詳細度	配筋モデル	
	サンプルモデル	作成するモデル
A		<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋の中心線のみのモデル</li> <li>曲げ、継手は考慮しない</li> </ul> <p>(作成時間目安) 約10.0時間/1脚</p>
B		<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋の中心線をパスとし、鉄筋径でスイープしたモデル</li> <li>曲げ、継手は考慮しない</li> </ul> <p>(作成時間目安) 約12.0時間/1脚</p>
C		<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋の中心線をパスとし、鉄筋径でスイープしたモデル</li> <li>曲げ、継手を考慮する</li> </ul> <p>(作成時間目安) 約15.0時間/1脚</p>
D		<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋の節等、実際の形状を全て表現したモデル</li> <li>曲げ、継手を考慮する</li> </ul> <p>(作成時間目安) 約17.0時間/1脚</p>

### (2) 活用目的に対する達成度の設定

活用目的に対する達成度を0～3の4段階に設定した。

②景観検討を例に評価基準を以下に示した。

- 3：達成した  
現実に近いイメージで確認できる
- 2：概ね達成した  
ある程度のイメージが確認できる
- 1：一部達成した  
周辺構造物との3次元的な位置関係が確認できる
- 0：達成していない  
確認できない

### 3. モデルの詳細度と活用目的の達成度の関係性

ここでは、数値化した詳細度と達成度の関係性を折れ線グラフで視覚化した。(表-7)

なお、達成度は、実際に橋梁設計におけるC I Mの担当者や自身の経験から評価した。

表-7 詳細度と達成度の関係

①視認性の照査	②景観検討
③建築限界の照査	④配筋(PC鋼材)の干渉照査
⑤数量算出	⑥地下埋設物と構造物との干渉照査
<p>— ケースX, Y共通 (凡例) — ケースXのみ — ケースYのみ</p>	

### 4. 考察

詳細度Aでは、ほとんどの活用目的を達成できない結果となった。詳細度Bでは、全ての活用目的で達成度3未満であった。

詳細度C・Dにおいては、6つの活用目的のうち5つ以上で達成度3となり、ほとんどの活用目的を達成できる結果となった。

しかし、詳細度Dは、全ての項目で活用項目が達成されているが、詳細度Cの段階で、すでに目的を達成しているため、必要以上の詳細度であると言える。

このことから、一般的な橋梁設計においては、詳細度C

程度が最適な詳細度であるといえる。

また、詳細度が低すぎると目的を達成できず、詳細度が高すぎると必要コストが高くなり、いずれも費用対効果が低くなる。活用目的に応じた最適な詳細度であれば、C I Mの活用効果が最大となる。その関係性を図-3に示す。

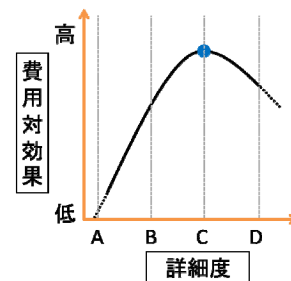


図-3 効果と詳細度の関係

### あ と が き

C I Mの導入目的は、三次元モデルを作成することではなく、建設生産システムの効率化・高度化を図ることにある。

本稿では、橋梁設計を例とし、効率化の観点からモデルの詳細度と活用目的の関係性について示したが、C I M導入に関する課題は、モデル作成の手間だけではない。

技術者育成、ハード・ソフトの環境整備など解決すべき課題もある。

今後もC I M普及に向けた課題解決に取り組み、建設業界の発展に貢献していきたい。

### 謝辞

本考察を行うにあたり、ご指導を頂いた関係者各位に深く感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) C I M導入ガイドライン(案)第5編 橋梁編,  
国土交通省C I M導入推進委員会, H. 29. 3. P. 15

## 京都府景観資産を織り成す 「流れ橋」の再生

セントラルコンサルタント株式会社 須田 花織

### 論文要旨

京都府の久御山町と八幡市を結ぶ、木津川下流部を横過する上津屋橋(以下、流れ橋)は、昭和28年、洪水時に水の流れを阻害しない工夫として流れる構造にて施工されている。この独特の構造より、通称「流れ橋」と呼ばれている。現在では、京都府の景観遺産や文化庁の日本遺産に指定され、八幡市の観光資源のひとつとして多くの方々に愛されている木造橋である。

本業務では、近年の頻発する集中豪雨により流出回数が増えた流れ橋に対して、流れ橋の特性や景観を保ちつつ流出頻度を低減させるために復旧詳細設計を実施した。本稿では、その復旧方針と設計内容について紹介する。

**Key Words :** 木造橋, 流出構造, 復旧, 景観

### 1. はじめに

本業務は、図-1に示す京都府南部を流れる一級河川木津川に架かる橋長 $L=356.5\text{m}$ の流れ橋の復旧設計を行ったものである。

架設位置周辺は昭和20年代当時、上下流 $3\text{km}$ 以内に橋がなく、左岸側にある日本三大八幡宮のひとつである石清水八幡宮への参拝者や近隣住民は、木津川の渡河に渡し船を利用しており、地元から橋梁を設置するよう強い要望があった。そこで、短期間で安価に平水位を渡河できる橋種として、昭和28年に高水敷を結ぶ高さに木造橋が架橋された(図-2)。また、河川の増水時に水の流れを阻害しないように配慮し流れる構造が採用された。



図-1 位置図

流れ橋は竣工以降、60年間で21回(3年に1回程度のペース)流出している。最近は4年連続で流出しており、本業務の着手直前にも台風による大雨で流出していた。近年の流出頻度の増加により、流出後の復旧費用が増加し、流れにくい流れ橋への復旧が望まれていた。

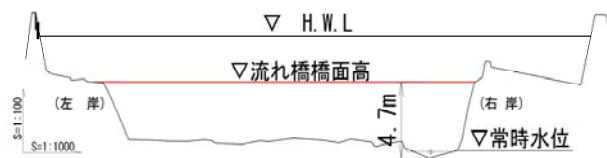


図-2 旧橋上部工天端高とH.M.L.の比較

### 2. 橋梁概要

#### (1) 橋梁諸元

橋梁名	上津屋橋
路線名	府道 八幡城陽線
橋梁規格	人道橋
設計荷重	群衆荷重(載荷幅 $2.0\text{m}$ )
橋長	$356.5\text{m}$
全幅員	$3.3\text{m}$
有効幅員	$3.0\text{m}$
縦断線形	LEVEL
横断勾配	LEVEL
橋梁形式	木造橋



## (2) 流れる構造

流れ橋は河川の増水時、図-3に示すように流れる仕組みとなっている。

- ①大雨により木津川の水位が上昇する。
- ②川の水位が橋桁高さまで増加すると、ユニット化された上部工が浮かび上がり、3径間ごとにワイヤーロープでつながれた13ブロックに分かれる。
- ③各ブロックはワイヤーロープで繫留橋脚に繋がっており、流失することはない。筏のように流れ、大水を受け流し、被害を最小限に抑える。
- ④水位が低下後、流出した上部工を橋脚の上に戻すことによって、流出前の状態に復旧することができる。

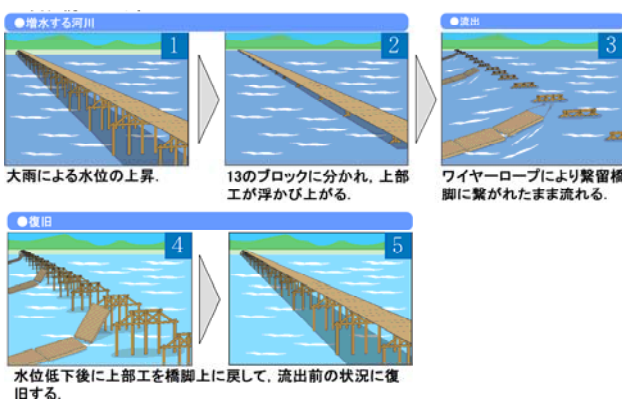


図-3 流れ橋のしくみ

昭和28年当初、上部工は径間毎にバラバラに流出する構造であったが、平成になり被災したところから順に上部工をユニット化し、再利用しやすい形状に改められた。これにより、被災時に上部工が下流まで流出してしまうことがなく、流出した上部工が原型を留めたまま持ちこたえることが可能となった。また、ユニット化した上部工をつなぎとめている橋脚を、繫留橋脚と言う。

この流れる仕組みが流れ橋と呼ばれる所以である。本業務では、この特性を保ったまま流出頻度を低減する復旧設計を行った。

## 3. 旧橋からの変更点

流れ橋は、八幡市の観光資源のひとつであり、景観を損なうことなく流出頻度を低減させる必要があった。これに対し、学識経験者、地元住民の参加した『上津屋橋(流れ橋)あり方検討委員会』が計5回開催された。次に示す要因に対して議論がなされ、対応策が決定された。

### (1) 流出要因

流れ橋の流出回数増加の原因としては、次の3つが考えられる。

- ・集中豪雨の増加による水位上昇回数の増加

- ・橋脚及び橋桁への流木の接触による破損
- ・木杭の老朽化による劣化

### (2) 構造変更時の問題点

流出回数を減らすために構造の変更を行う上で、以下のような問題が考えられた。

- ・水の流れを阻害せず、且つ、景観への配慮から高欄の設置は不可。
- ・端部の繫留橋脚が低水路法面近傍に設置されている(図-5)ため、上部工流出時に法面が削られる。
- ・旧橋では、繫留橋脚とその他の橋脚で構造が違っており、景観を阻害していた。

### (3) 構造変更

(1)に挙げた流出要因へ対応し、(2)の問題点を解決するため、以下の事項について構造変更を行った。

#### a) 橋面の嵩上げ

流出頻度を低減するため、橋面の嵩上げを行った。旧橋のイメージを損うことなく、利用者の高所転落による危険性を考慮し、河床から橋面までの高さを5.7m以内(現況からの嵩上げを1.0m以内)とすることを基本の考え方とした。加えて、5年確率での水位を算出し、河床から橋面までの高さを5.45m(現況からの嵩上げ高さ0.75m)になるよう嵩上げを行った。

#### b) 支間長の延長及び橋脚位置の決定

流木等の橋脚への接触を低減させるため、支間長を現在の2倍程度の間隔まで延長した。また、橋脚位置は、図-4に示したとおり、旧橋の橋脚位置を基本とし、流出しなかった控え木をできるかぎり再利用できる位置として決定した。

橋脚位置を設定した結果、支間長は8.678~10.100m、橋脚数は40基となった。平均径間長は、旧橋の4.9mから9.1mとなった。

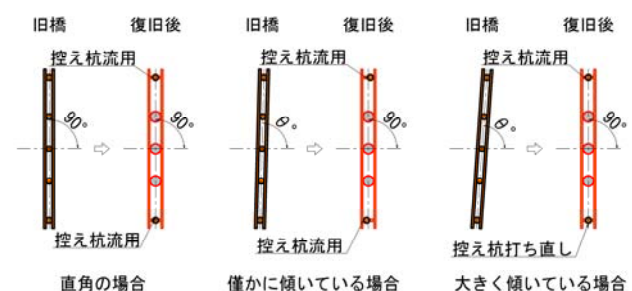


図-4 控え杭流用の方針(橋梁中心線との関係)

#### c) 繫留橋脚の決定

図-5に示すように、旧橋における繫留橋脚は、9~11径間に1箇所端部から順に設けられ、低水路法面近傍にも設置されていた。旧橋のように低水路法面近傍に繫留されたブロックは、低水路法面を損傷させる原因となっており、河川管理者からは改善が望まれていた。

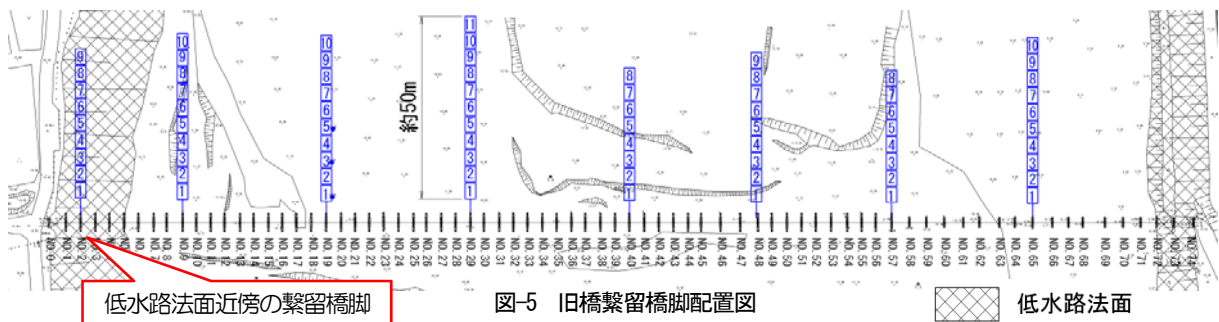


図-5 旧橋繋留橋脚配置図

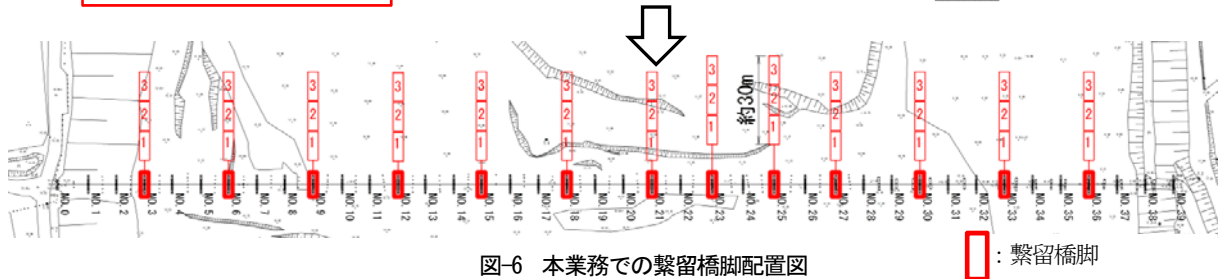


図-6 本業務での繋留橋脚配置図

そこで図-6に示すように、低水路法面近傍から出来るだけ遠ざけたNo.3橋脚より、3スパン毎を基本に13基を繋留橋脚とした。また、繋留橋脚を増やすことで、一体化された上部工ブロックの最大長さを50mから30mと短くできた。これにより、上部工流出時に流れる力を減少させることができ、繋留橋脚とその他の橋脚を同一の構造とすることが出来た。

#### d) 橋脚構造の変更

木材の老朽化による橋脚流出の低減と、支間長が長くなったことによる支持力増強のため、橋脚の杭木を控え杭を除いてPHC杭に置き換えた。また、旧橋のイメー

ジを損なわないよう、PHC杭の大きさを $\phi 300$ とし、杭を木材と同色系に着色し、コンクリート製であることが目立たないように配慮した。

#### (4) 復旧形状

復旧後の橋梁形状は図-7のとおりである。

### 4. 復旧詳細設計

#### (1) 活荷重たわみの許容値

本橋のたわみの許容値は支間長 $L$ の $1/270$ とした。この値は他の基準類に示されるたわみより大きくなっている<sup>12)</sup>が、旧橋における活荷重たわみが支間長 $L$ の $1/270$ 程度であったことに加え、丸太を主桁とした構造としては、意匠の面からも限界であったことに起因する。また、当該許容値は先に示した上津屋橋(流れ橋)あり方検討委員会での承認により採用に至ったものである。

#### (2) 杉材の許容応力度

本橋の桁木である丸太材の曲げ引張の許容値は $9.5\text{N/mm}^2$ とした。これは建築材における、針葉樹製材の繊維方向の許容応力度<sup>3)</sup>である。

#### (3) 杉材のヤング係数

本橋の桁木である丸太材のヤング係数は $7.0 \times 10^3\text{N/mm}^2$ とした。これは新橋で使用する杉材を供給頂く製材所からの提案値である。ちなみに鋼材のヤング係数は $2.0 \times 10^5\text{N/mm}^2$ であり、鋼材の70分の1程度の値である。

#### (4) 上部工断面の検討

支間長が旧橋の約2倍になったことにより、桁木の直

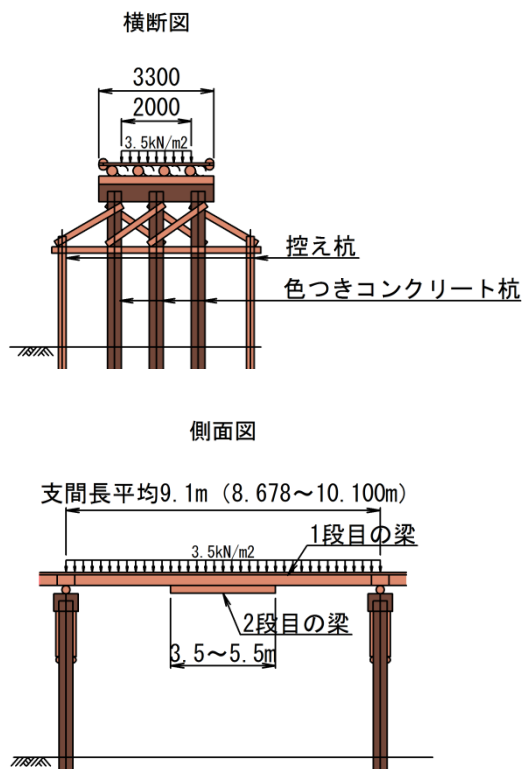


図-7 復旧後の橋梁形状

径を旧橋の22cmから30cmに変更したが、 $\phi 300$ の杉丸太だけでは、許容応力度、許容たわみ量とも満足させることができなかった。ここで設定した直径30cmは、長さ9m以上の杉材で大量に調達できる直径の限界値であった。そこで、旧橋の桁木を曲げモーメントが最大となる支間中央部分に2段目の梁として設置し重ね梁とした。2段目の桁木に旧橋の桁木を流用することで資源の有効利用にもつながった。この2段目の桁木の長さは、モーメント図から必要範囲を決定し、この必要範囲よりも支点寄りに配置されている1段目と2段目の桁木を接合するボルトを包括させるため、必要長(必要範囲)+50cmで決定した。このルールに従い2段目の桁木の長さは、支間長によって変化し10cmラウンドに切り上げ、3.5~5.5mとした。また、桁木だけでは全ての許容値を満足できなかったため、挟み木を構造部材として考慮した。図-8の着色部が構造部材である。

また、全ての部材はボルト接合されており、全ての部材が一体挙動するものとみなし合成断面で設計した。

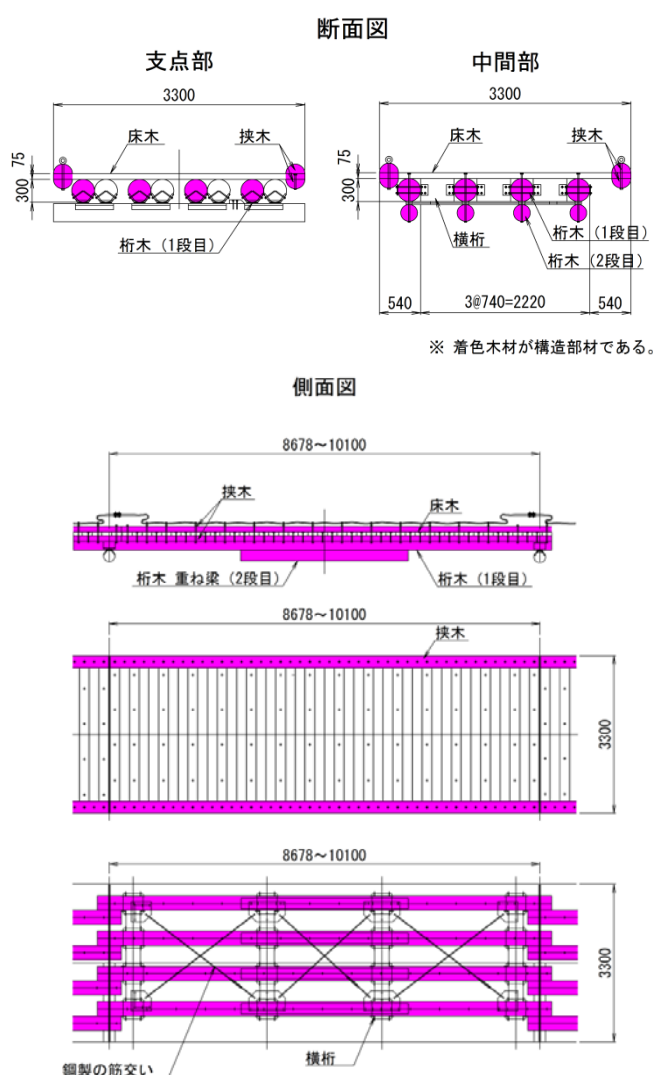


図-8 上部工構造部材

## (5) ユニット化による復旧性の向上

本橋では、上部工部材である桁木、床木、挟み木が流出時にばらばらにならないよう、上部工のユニット化を行った。上部工の各部材をボルトで接合するとともに、1径間毎に2箇所設置した中間横桁によって仕切られたパネルごとに鋼製の筋交いを配置し、形状保持のための補強を施した。

## (6) 下部工の設計

PHC杭及び杭頭部のRC梁については道路橋示方書に準じて設計を行った。ただし、PHC杭の施工にはプレボーリング最終打撃工法を採用した。当該工法は道路橋示方書に規定がないため、他工法を推奨したが、発注者の指定工法として当該工法を採用し、支持力には建築での基準を採用した。しかしながら当社成果としての妥当性検証も含め打ち込み杭工法としての成果も示した上で設計を終えている。

## (7) 橋脚周りの飾り木

PHC杭に取り付けてある飾り木はPHC杭に設置するスタッドボルトを溶植した鉢巻状の鋼製パーツを製作し、これに各飾り木に取り付け孔を穿孔して取り付けた。

## 5. おわりに

流れ橋流出後の復旧工事費は、1回でおよそ3千万程度となる。近年の流出頻度を考えると、2年に1度流出する予測が立てられていた。それゆえ、今後50年のLCCはおよそ7億5千万円程度と想定される。本設計の想定どおり、今後5年に1度に流出頻度が抑えられた場合、50年でのLCCは3億円となる。本設計での工事費約3.8億円を加算しても6億8千万円となり、およそ7千万円のコスト縮減となった。

本業務は、発注者からの評価が高く、橋梁設計にとどまらず、広報用のビデオ・パンフレット・案内看板・模型作成と関連業務を受注するに至っている。

## 参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2012
- 2) 日本道路協会：立体横断施設技術基準・同解説，pp34，1979
- 3) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説一許容応力度・許容耐力設計法，pp158，2006

図-1及び図-2を除く図は下記業務報告書の抜粋であり、図-3は京都府の流れ橋パンフレットからの抜粋である。

「管内一円(八幡城陽線)橋りょう維持修繕業務委託(山北26橋修第999号の2の5)他」



# コンクリート中空床版橋のボイドのかぶり計測調査業務に関する考察

パシフィックコンサルタンツ(株) 富 健 一  
パシフィックコンサルタンツ(株) 中 田 隆  
パシフィックコンサルタンツ(株) ○ 許 佳 奕

## 論文要旨

近年,中空床版橋に関して,施工時のボイドの浮き上がりによるかぶり不足が原因で,舗装の陥没が発生した経緯がある。中空床版橋において,安全で円滑な交通を確保するため,非破壊調査によるコンクリート床版の調査を行い,ボイドかぶり不足の有無等を確認し,その結果を分析することで,コンクリート中空床版橋の維持管理の考え方に關する一考察を示す。

キーワード: 中空床版橋, 非破壊調査, かぶり, 対策区分, 維持管理

## 1. はじめに

中空床版橋とは,中が空洞になった円筒状の鋼製管を床版内に配置した橋梁である。床版の中を空洞とすることにより,橋の軽量化が図れ,経済的に優れているが,施工時のボイドの浮き上がりによるかぶり不足が原因で,舗装の陥没が発生した事例がある。本稿では,非破壊調査によるコンクリート床版の調査を行い,ボイドかぶり不足の有無等を確認し,その結果を分析することで,コンクリート中空床版橋の維持管理の考え方に關する一考察を示す。

## 2. 対象橋梁

対象橋梁は,ある地域ボイドの浮き上がり防止措置に關する事務連絡が H12 に通達されているため,1 年の余裕を考慮し,H13 以前に竣工した中空床版橋を対象とした。

## 3. 調査概要

対象橋梁が非常に多く,かぶり調査は床版上面から実施するため,一般供用しながら調査を実施する必要がある。よって,通行止めが不要な非破壊による調査方法を実施する必要がある。

調査方法としては,高解像度多配列地中レーダー及びカメラを搭載した自走式調査車両(スケルカ調査システム)により橋梁床版内部データ及び舗装面の画像を取得した。これにより通行止めなしで精度よくボイドのかぶり調査を実施することができた。(図-1 参照)



図-1 調査車両の仕様 【出典: ジオ・サーチ株式会社】

## 4. 調査結果の考察方法

現地で取得したデータは,管理図面,現場記録等を使用し整理した。専用ソフトにより,取得データの3次元化処理を行った。図-2,3 のような画像が取得でき,反射信号に基づき床版上面ライン,上鉄筋ライン,ボイドラインを設定し,画像からかぶりを計測した。

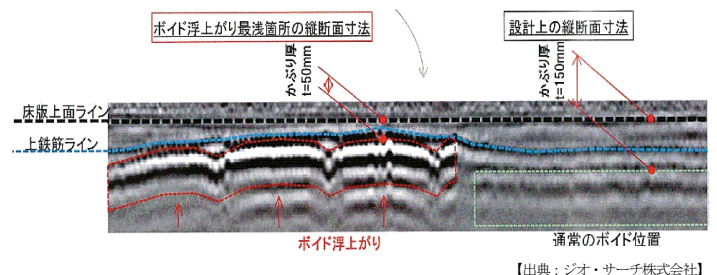
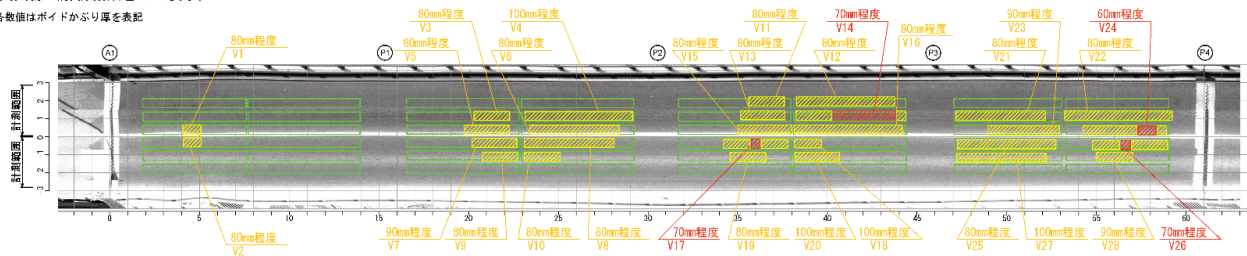


図-2 縦断レーダーデータ解析結果事例 【出典: ジオ・サーチ株式会社】

路面画像(解析結果を全て表示)

※各数値はボイドかぶり厚を表記



平面レーダーデータ(床版上面深度付近)・・・床版上面劣化と見られる異常信号なし

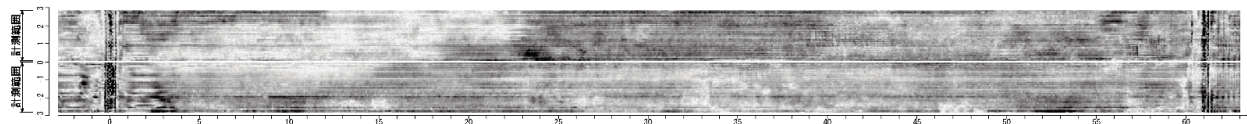
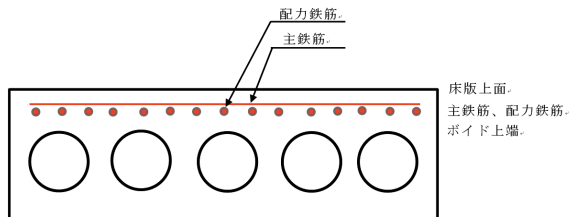


図-3 路面損傷状況及び平面レーダー解析結果整理事例

## 5. 調査結果に対する閾値の設定

- ①道示Ⅲコンクリート橋編 4.6「押抜きせん断に関する照査」により、かぶり 70mm 以下になるとコンクリートの押し抜きせん断応力度が満足しないことから、かぶり 70mm を緊急値に設定した。
- ②道示Ⅲコンクリート橋編 6.6.2「鋼材のあき」により、主鉄筋下面～ボイド上端までの間隔が粗骨材寸法の 4/3 以上確保できているかを目安とし、かぶり 120mm を危険値に設定した。(粗骨材最大寸法 25mm とする。)



## 6. 健全度評価の設定

中空床版調査の解析結果を基に、径間毎に中空床版の損傷程度及び対策区分判定を行った。

ボイドのかぶりと床版上面劣化有無を判断根拠として損傷程度 a-e を設定した。また、対策区分判定は、『「橋梁定期点検要領」(平成 26 年 6 月国土交通省道路局国道・防災課)』の考え方を基本として、損傷程度と舗装の状況(ポットホールの有無)を判断根拠として、ボイドのかぶり調査に関する判定基準を設定した。

損傷程度及び対策区分判定は表-1, 2 を示す。

表-1 損傷程度一覧表

損傷程度	かぶり	床版上面劣化の異常信号の有無
a	125mm～	—
b	75～120mm	無
c	75～120mm	有
d	～70mm	無
e	～70mm	有

表-2 対策区分判定一覧表

対策区分	損傷程度	舗装の状況	健全性の診断
A	a	—	I : 健全
B	b	—	I : 健全
C1	c, d	—	II : 予防保全段階
C2	e	ポットホールなし	III : 早期措置段階
E1, E2	e	ポットホールあり	IV : 緊急措置段階

## 7. 健全度評価結果及び考察

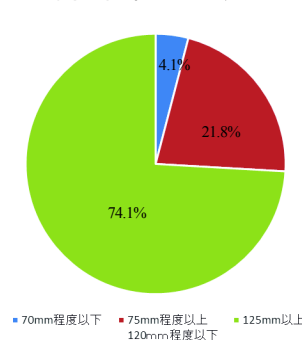
径間ごとで評価を行った結果は以下となる。

- ①対策区分 C1 の橋梁数は約全橋梁数の 15.6%  
対策区分 C1 の径間数は約全径間数の 4.1%
- ②対策区分 B の橋梁数は約全橋梁数の 33.4%  
対策区分 B の径間数は約全径間数の 21.8%

◆ 評価結果として、所定のかぶり 120mm が確保できていない径間は全径間の 25.9%と比較的多い。その内、4.1%の径間でかぶり不足により補修が必要となることが確認できた。(図-4 参照)

◆ ボイド直上において、ボイドのかぶり不足に起因するような床版上面劣化(舗装劣化)は確認されなかった。よって、対策区分判定としては、A、B、C1 の 3 項目となり、緊急措置が必要な橋梁はなかった。

調査結果(径間数)



調査結果(橋梁数)

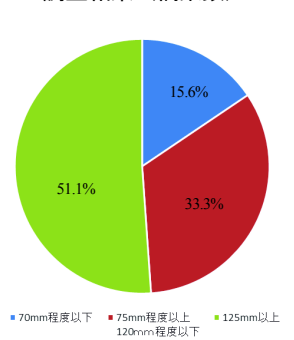


図-4 評価結果

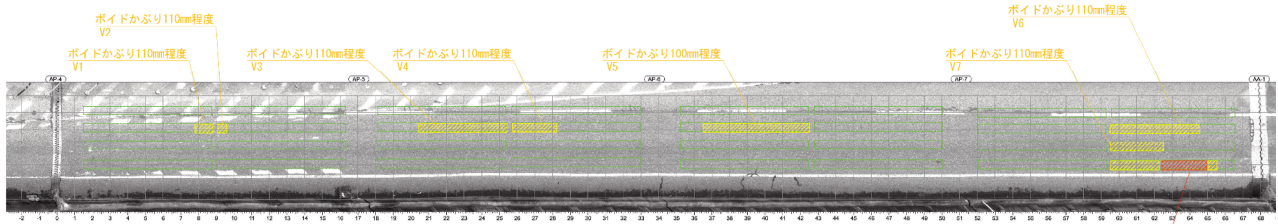


図-5 かぶり不足分布状況(1箇所)

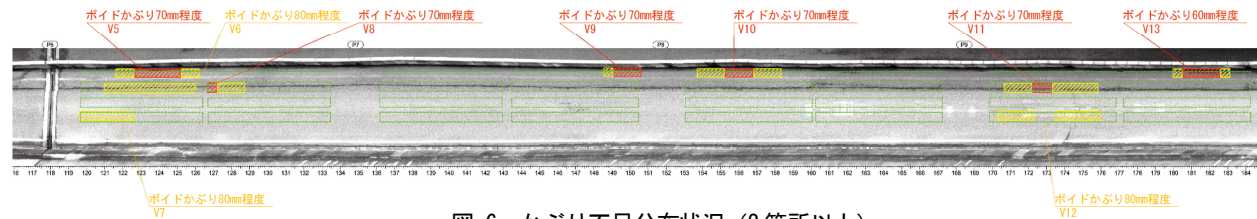


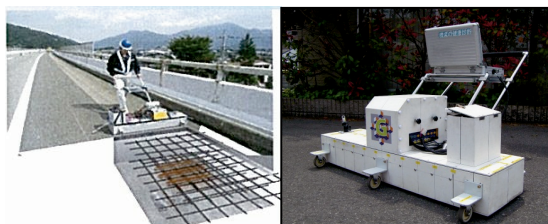
図-6 かぶり不足分布状況(2箇所以上)

- ◆ かぶり不足(対策区分 C1)の発生箇所数について、ほとんどの橋梁では、1橋において1本のボイド内の1箇所のみであることが確認できた。調査結果の一例を図-5に示す。対策区分 C1 となった橋のうち、かぶり不足が2箇所以上発生した橋梁数は全 C1 橋梁数の28.5%であった。かぶり不足発生箇所の分布状況の一例を図-6に示す。
- ◆ 調査結果を考察すると複数箇所かぶり不足がある場合でも、ボイドの一部分である場合がほとんどであり、ボイド全体がかぶり不足である橋梁はなかった。

## 8. 手押し型による詳細調査

車載型調査の結果から、かぶり 70mm 以下となる箇所に対して、調査精度を高めるために、交通規制による手押し型で調査を実施した。(図-7に参照)手押し型調査では、調査範囲 1.0m×1.0m の精度を 0.5m×0.5m の精度で調査することができる。また、路肩などの調査車両が近接できない所についても手押し型で調査ができる。手押し型による詳細調査の結果に関する考察は以下の通りである。

- ◆ 手押し型調査結果において、舗装厚、床版鉄筋かぶり厚、ボイドかぶり厚については、最大誤差は5mmであり、車載型での調査でも十分精度があることが確認できた。
- ◆ 高速走行しながら計測する車載型調査では、路肩部に寄れる限界があるため、ボイドと路肩の縁石が接



【出典: ジオ・サーチ株式会社】

図-7 手押し型調査の様子

近している橋梁で平面誤差が想定された。その橋梁で押し型調査を実施した結果、0.07m のズレが確認された。車載型で一部のみ検出していた路肩寄りボイド部について、手押し式調査で精度高い平面位置を検出することができた。

## 9. 調査結果の活用

本業務で実施した調査の結果について、精度よく調査を実施でき、緊急的な損傷はないことが確認できた。今後の活用に関する考察を以下に示す。

- ◆ 非破壊による調査結果により、かぶり不足が懸念される箇所を把握し、日常点検や橋梁点検等の着目すべき箇所として把握できる。
- ◆ 損傷の早期発見、維持管理のための情報として橋梁カルテに登録して活用できる。
- ◆ 調査の結果、ボイドのかぶり不足となつていと思われる箇所は、今後のパトロールで観察する重点対象橋梁として対応し、損傷が発生した場合の早期発見、事故防止に役立てることができる。

## あ と が き

中空床版橋は、場所打ち床版橋の中で最も一般的に採用されている上部工型式であり、実績が多い型式である。保全予防の視点に基づき、本調査結果に基づいた維持管理を実施することが重要である。今回の知見を活かし、今後、全国の中空床版橋で必要となる維持管理計画立案の一助になれば幸いである。

## 参 考 文 献

- 1) 道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編, 社団法人日本道路協会, H.24.3
- 2) 橋梁定期点検要領, 国土交通省, H.26.6



## 斜角の影響を考慮した橋台踏掛版の検討

東洋技研コンサルタント(株) 技術第4部 田代 信雄  
東洋技研コンサルタント(株) 技術第4部 濱田 良平  
東洋技研コンサルタント(株) 技術第4部 鈴木 仁  
東洋技研コンサルタント(株) ○技術第4部 松下 晟也

### 論文要旨

踏掛版は地震による被災によって橋台背面に段差が生じても路面の連続性を確保できる構造として実績が多く、原則として設置されることが多い。設計手法は、道路橋示方書の参考資料に設計法(案)が示されており、これに準じて設計するのが一般的であるが、斜角が $60^\circ$ 未満の場合はその影響を別途考慮する必要がある。そこで本研究では、斜角の小さい踏掛版についてFEMによる解析を行い、その影響について検証したものである。

キーワード：踏掛版、斜角、FEM、配筋

### まえがき

橋台背面アプローチ部は、橋台と背面側の盛土等との間に位置し、両構造間の路面の連続性を確保するために設ける構造部分であり、橋の安全性や供用性に影響する重要な部分である。基礎地盤や橋台背面アプローチ部が沈下した場合でも、これらの沈下に追随しつつ橋台との一体化を保つことが可能な対策として、踏掛版を設けることが原則とされている。踏掛版の設置幅は車道幅であり、その角度は橋台と道路の交角によって決まるが、交差条件によっては、その交角(斜角)が非常に小さくなるケースがある。

設計手法は、道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 H24.3の参考資料に踏掛版の設計法(案)(以下、道示設計法)が示されており、これに準じて設計を行うのが一般的である。引張側主鉄筋の鉄筋量は、踏掛版の長さの70%を支間とした単純ばりとしての計算で算出される。引張側配筋筋は、斜角を有しない場合は引張側主鉄筋の1/4以上配置することとされているが、斜角が $90^\circ$ 未満 $60^\circ$ 以上の場合は2/3程度とされており、鉄筋量を増やす必要がある。斜角が $60^\circ$ 未満の場合のその比率は示されておらず「斜角の影響を別途考慮すること」とされている。

また、コンクリート標準示方書 設計編 2012年では、斜めスラブについて「斜角が $45^\circ$ 未満の斜めスラブでは、有限要素法、格子解析等を用いた検討を行わなければならない」とされている。

本研究では、斜角 $60^\circ$ 未満を有する踏掛版の引張側配筋鉄筋量について有限要素法(以下、FEM)を用いて検討を行った。さらに、斜角の有無によって引張側主鉄筋・引張側配筋筋の応力度にどのような影響があるかを検討した。

### 1. FEM解析モデル

#### (1) 解析モデル

解析手法は、3次元非線形FEMを用いた。メッシュは $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ 程度とした。解析モデルを図-1に示す。厚さ $0.4\text{m}$ 、幅 $13.0\text{m}$ 、長さ $5.0\text{m}$ とし、斜角については有り $<33^\circ 40'>$ 無し $<90^\circ>$ の2ケースとした。

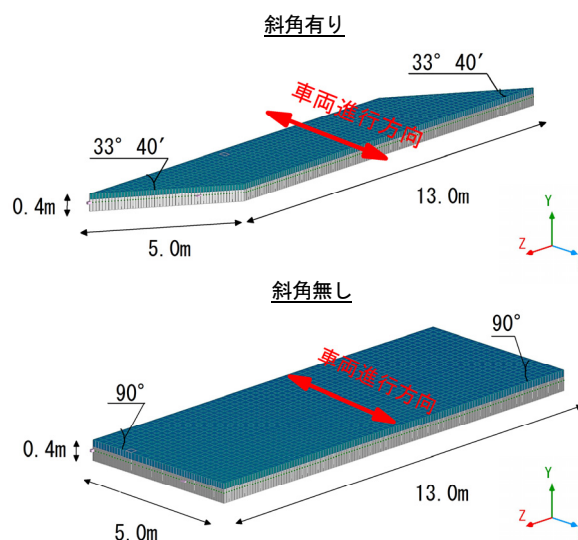


図-1 3次元FEM解析モデル

#### (2) 解析条件

##### 1) 配筋条件

道示設計法における配筋条件を表-1に、本FEM解析モデルの鉄筋配置図を図-2に示す。配筋条件は、道示設計法に基づき設定した。引張側主鉄筋は、踏掛版の長さの70%を支間とした単純ばりとしての計算結果による配筋とした。引張側配筋筋及び、圧縮側主鉄筋・配筋筋は表-1に示す引

張側主鉄筋に対する鉄筋量を配置した。斜角有り・斜角無しどちらのモデルにおいても同様の配筋条件とした。なお、本モデルの斜角は  $33^{\circ} 40'$  であるが、道示設計法に示される斜角  $90^{\circ}$  未満  $60^{\circ}$  以上の配筋とした。

表-1 道示設計法(案)における配筋条件

斜角	下面(引張側)		上面(圧縮側)	
	主鉄筋	配力筋	主鉄筋	配力筋
無し	単純ばりとしての計算による	引張主鉄筋 1/4以上	引張主鉄筋 1/3以上	引張主鉄筋 1/3以上
有り (※)	単純ばりとしての計算による	引張主鉄筋 2/3程度	引張主鉄筋 1/3以上	引張主鉄筋 1/3以上

※斜角 =  $\theta \geq 60^{\circ}$  の場合

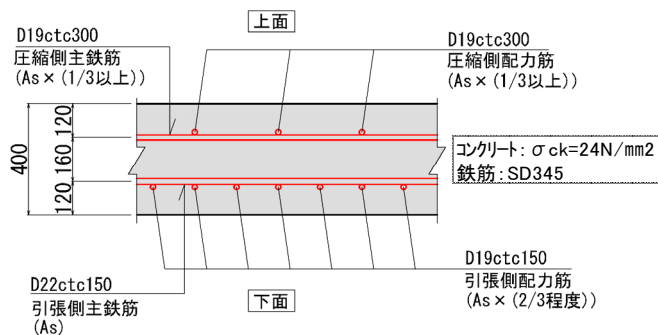


図-2 鉄筋配置図

## 2) 支点

道示設計法と同様に単純ばりモデルとし、支間長は踏掛版の長さの70%である3.5m( $L=5.0\text{m} \times 0.7$ )とした。支点モデルを図-3に示す。

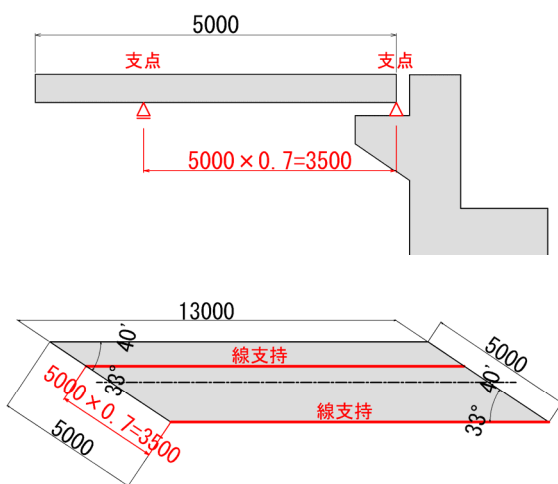


図-3 支点モデル

## 3) 荷重条件

死荷重・活荷重の荷重条件は次の通りである。

死荷重は踏掛版上面一様にアスファルト舗装（ $\gamma=22.5\text{kN/m}^3$ 、 $t=0.19\text{m}$ ）を想定した。踏掛版の自重は鉄筋コンクリート（ $\gamma=24.5\text{kN/m}^3$ ）とした。

活荷重は道示設計法と同様にT荷重を分布荷重として載荷した。荷重値は式(1)に基づいて算出し、載荷幅は図-4の通り舗装厚を考慮した幅とした。載荷位置は図-5に示す通り、支間中央に分布載荷とした。

$$wL = \frac{2 \cdot T \cdot (1+i)}{2.75 \cdot (0.2+2d)} = 163.009 \quad \text{式(1)}$$

ここに、

$wL$ : 活荷重による分布荷重 ( $\text{kN/m}^2$ )

$T$ : T荷重の片側荷重 ( $\text{kN}$ ),  $T = 100.000$

$i$ : 衝撃係数,  $i = 0.300$

$\alpha$ : 断面力に乘じる係数,  $\alpha = 1.000$

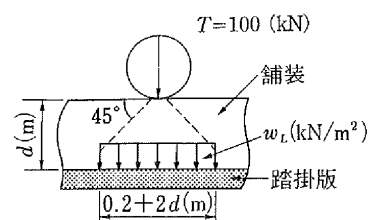
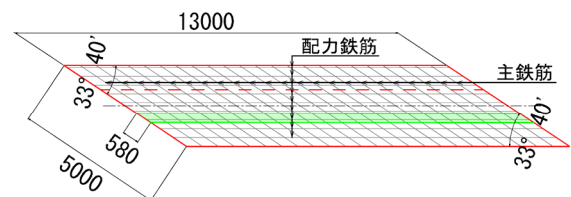
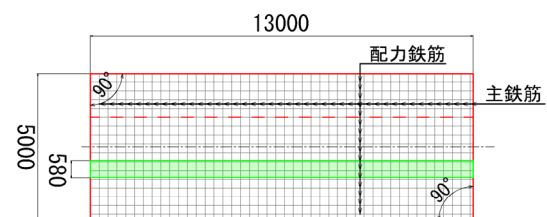


図-4 活荷重載荷幅

## 斜角有り



## 斜角無し



■:  $wL=163.009$  ( $\text{kN/m}^2$ )

図-5 活荷重載荷位置

## 2. FEM 解析モデルの妥当性確認

FEM 解析モデルの妥当性確認のために、引張側主鉄筋の応力度を対象とし検証を行った。検証方法は、1. FEM 解析モデルで設定した斜角無し解析モデル(以下、当初モデル)を用いて、FEM 解析と道示設計法の比較とした。結果として、道示設計法「 $163.009\text{kN/m}^2$ 」に対して FEM 解析「 $18.187\text{kN/m}^2$ 」と 11.2%の応力度であり、大きく異なる結果となった。

このため、解析モデルを次の通り変更し、検証を行った。

#### (1) FEM 解析モデルの変更

下記2点に着目し変更した解析モデルによる検証を行った。

##### ①圧縮側鉄筋(主筋・配力筋)・引張側配力筋を除外する

道示設計法では、圧縮側鉄筋(主鉄筋・配力筋)、引張側配力筋が無視されているが、本解析モデルではそれらを考慮した解析となっている。道示設計法と同様に引張側主鉄筋のみを考慮したモデルとして検証する。

##### ②①に対してコンクリートの断面下半分を除外する

道示設計法では、コンクリートの引張抵抗が無視されているが、本解析モデルでは考慮した解析となっている。道示設計法と同様に引張側のコンクリートを除外し検証する。

#### (2) 解析結果

解析結果を表-2に示す。モデル①は、当初モデルと比較し、引張側主鉄筋の応力度にほぼ差がないことが確認された。引張側主鉄筋の応力度にその他鉄筋の有無の影響はほぼないと言える。モデル②は、引張側主鉄筋の応力度が道示設計法と同程度となった。これより、本解析モデルにおいて引張側コンクリート断面の存在は、引張側主鉄筋の応力度に大きく影響していると言える。なお、モデル②においても道示設計法に対して小さいが、圧縮側コンクリート断面が影響しているものと考えられる。

以上より、引張側主鉄筋の応力度について、道示設計法と当初モデルが大きく異なったのは、コンクリート断面の評価の違いによるものであると考えられる。すなわち、道示設計法は設計曲げモーメントに対して、引張側主鉄筋のみで抵抗する計算方法となっていることに対し、当初モデルではコンクリート部材が大きく抵抗する計算となっている。

引張側主鉄筋の応力度について、当初モデルと道示設計法が大きく異なるのは上述の通りである。斜角の影響及び引張側主鉄筋に対する引張側配力筋の鉄筋量の影響を評価する上で、本FEM解析モデルによる検証は問題ないと考ええる。

表-2 FEM 解析結果の妥当性確認

	引張側主鉄筋 応力度(kN/m <sup>2</sup> )	道示設計法と FEM解析の比率(%)
道示設計法	163.009	—
FEM解析結果		
当初モデル	18.187	11.2%
モデル①	19.203	11.8%
モデル②	119.542	73.3%

### 3. 斜角有りモデルと斜角無しモデルの結果比較

斜角有りモデルと斜角無しモデルの鉄筋応力度の結果を表-3に比較する。引張側配力筋の応力度については、斜角有りの方が大きな値となった(7.22倍)。一方で、引張側主鉄筋の応力度については、斜角有りの方が小さな値となった(0.34倍)。斜角を有することで、配力筋の応力度が大きくなり、主鉄筋の応力度が小さくなっていることがわかる。なお、斜角有りモデルにおいて、主鉄筋の応力度に対する配力筋の応力度の比率は 2/3 程度(=4.000(kN/m<sup>2</sup>)/6.182(kN/m<sup>2</sup>))となり、道示設計法に示される斜角 90° 未満 60° 以上の必要配力筋鉄筋量である 2/3 程度と同等の結果となった。

図-6に引張側主鉄筋・配力側主鉄筋のひずみ分布図を示す。引張側主鉄筋において、斜角有りモデルは踏掛版側面端部に、斜角無しモデルでは支間中央である活荷重載荷位置でひずみが大きくなることが確認できる。斜角有りモデルは斜角無しモデルに対して、応力が配力筋により分散されているためであり、斜角による影響が確認される。

表-3 斜角有りモデルと斜角無しモデルの結果比較

斜角	引張側鉄筋	応力度(kN/m <sup>2</sup> )
有り	主鉄筋	6.182 (0.34)
	配力筋	4.000 (7.22)
無し	主鉄筋	18.187 (1.00)
	配力筋	0.554 (1.00)

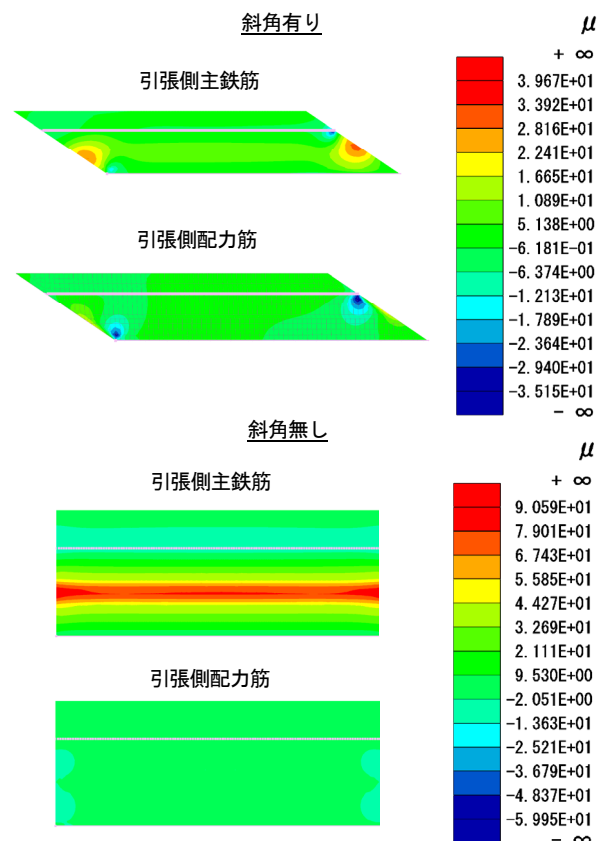


図-6 ひずみ分布図



## 4. まとめ

斜角 $60^\circ$  未満を有する踏掛版についてFEMによる解析を行い、斜角の有無と主鉄筋応力度・配筋応力度を対象に検証を行った。本研究で得られた結果は次の通りである。

- (1)斜角  $33^\circ$   $40^\circ$  FEM 解析モデルにおいて、道示設計法に示される斜角  $90^\circ$  未満  $60^\circ$  以上の引張側主鉄筋に対する引張側配力筋鉄筋量(2/3 程度)を配置し、検証した結果、鉄筋の応力超過は生じないことが確認された。
- (2)斜角  $33^\circ$   $40^\circ$  FEM 解析モデルの引張側主鉄筋の応力度に対する引張側配力筋の応力度の比率は2/3 程度である。これは、道示設計法の斜角  $90^\circ$  未満  $60^\circ$  以上の引張側必要配力筋鉄筋量と同等の結果であった。
- (3)FEM 解析による引張側主鉄筋応力度は、道示設計法に対して非常に小さくなった。これは、コンクリート断面の評価の違いによるもので、道示設計法は設計曲げモーメントに対して引張側主鉄筋のみで抵抗する計算方法となっているが、FEM 解析はそれに対して圧縮側鉄筋・引張側配力筋及びコンクリート部材が抵抗する解析となっているためである。実際は本研究で採用した FEM 解析モデルのように種々の部材が抵抗するものであり、道示設計法は十分安全側の設計になっている。
- (4)斜角を有することで、引張側配力筋の応力度が大きくなり、引張側主鉄筋の応力度が小さくなる傾向である。

## あとがき

本研究では斜角 $33^\circ$   $40^\circ$  の踏掛版についてFEM解析モデルにより検証を実施したが、さらに小さい角度での主鉄筋・配力筋の応力分布について検証の余地がある。また、斜角を有することで主鉄筋の応力度が小さくなることが確認されたが、主鉄筋の鉄筋量を減じることのできる可能性を検討することも今後の課題となる。さらに、本FEM解析モデルの支間長は踏掛版長の70%としたが、より実態に近く地盤分布バネとした条件での検証の余地がある。

最後に本論文の執筆に際し、ご指導・ご助言頂きました関係者の方々に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1)土木学会：コンクリート標準示方書 2012 年
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 H24.3
- 3)近畿地方整備局：設計便覧(案) H24.4
- 4)全日本建設技術協会：建設省制定土木構造物標準設計第 6～12 巻(橋台・橋脚)の手引き(昭和 57 年度決定版)
- 5)中日本高速道路株式会社：設計要領第二集橋梁建設編(平成 28 年 8 月)
- 6)四国地方整備局：設計便覧(道路編)H27.9

## ロッキング橋脚を有する鋼 2 径間連続橋の耐震補強設計

全日本コンサルタント(株) ○ 中 野 誠 嗣  
木 村 泰 三  
田 淵 智 之  
松 下 逸 雄

### 論 文 要 旨

ロッキング橋脚は、自立することができない構造であるため、設定量を超える変位が生じた場合に転倒する可能性がある。近年の大地震により落橋した事例もあり、耐震対策として早急な対応が求められており、国土交通省HPでは「ロッキングピアの橋は3年間で耐震化を終えることを目指す」「熊本地震対応としてロッキング橋脚は完全自立構造を基本とした耐震補強」「速やかな機能回復が期待できる耐震補強を加速化へ」等と記載されている。しかし、ロッキング橋脚の様な構造が採用されている箇所は概して道路や鉄道に挟まれる等、橋脚を設置するための十分な用地が無いケースがほとんどであり、総合的な知見で対策工を検討する必要がある。本稿では、駅や線路に近接した条件の下で落橋防止システムの構築を行った例を報告する。

キーワード：ロッキングピア、ロッキング橋脚、ピボット支承、逸脱防止、鉄道近接、落橋防止

### ま え が き

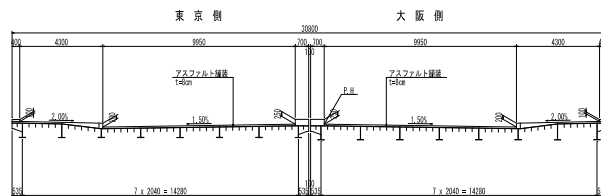
金山駅は、愛知県名古屋市熱田区・中区にある、名古屋鉄道・東海旅客鉄道・名古屋市交通局の合計3社局5路線が乗入れる1日あたり総乗降人数38.8万人のターミナル駅である。金山総合駅東側に位置する大津町線に今回対象の跨線橋「高座橋」がある。大津町線は重要路線であること、橋梁はJRと名鉄を交差していることから、施工計画に配慮した耐震補強計画が必要とされた。また、橋梁の中間支点構造は異なる鉄道事業者に挟まれた箇所に設置されたロッキング橋脚であり、列車運行に支障しない施工法が求められた。



写真－1 金山駅及び高座橋周辺

### (2) 上部構造

2 径間連続鋼床版I 桁橋 (8 主桁×2)  
橋長 40.8m, 幅員 15.35m (全幅員 30.8m)  
斜角 62°



図－1 上部工断面図

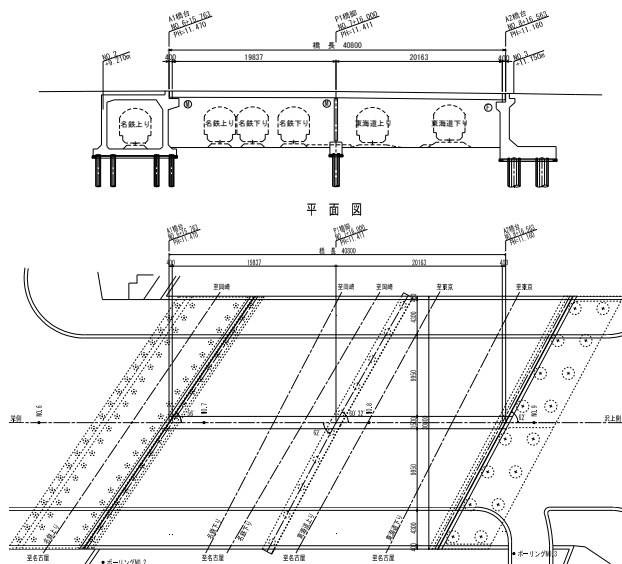


写真－2 橋梁全景(桁下)

### 1. 条件

#### (1) 道路構造

- ・道路規格 第4種1級相当
- ・幅員構成 歩道:4.3m両側 車道:9.95m片側3車線



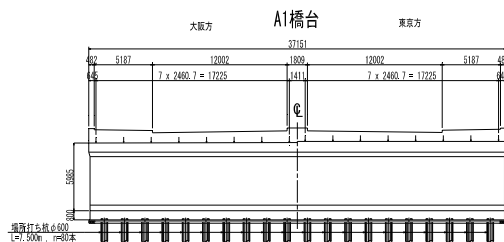
図－2 橋梁側面図及び平面図

### (3) 下部構造・基礎構造

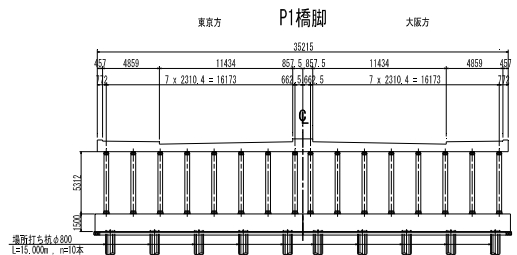
A1：ラーメン式橋台（φ600 場所打ち杭 80 本）

P1：円柱式橋脚（φ400 鋼管×16 本，φ800 場所打ち杭 10 本）

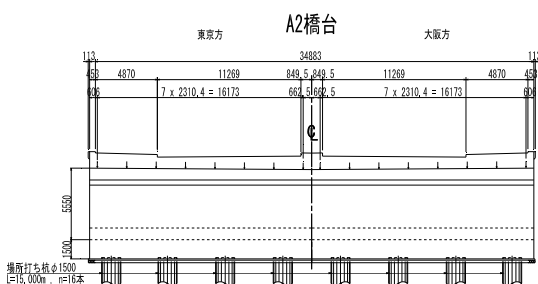
A2：逆T式橋台（φ1500 場所打ち杭 16 本）



図－3 A1 橋台断面図



図－4 P1 橋脚断面図



図－5 A2 橋台断面図

### (4) 支承条件

A1 橋台：可動（鋼製支承Aタイプ）

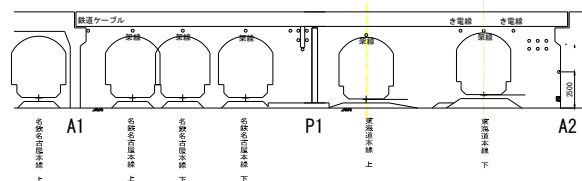
P1 橋脚：可動（ピボット支承）

A2 橋台：固定（鋼製支承Aタイプ）

## 2. 交差条件

・名鉄名古屋本線

・J R 東海道本線



図－6 鉄道横断面図

## 3. 目標とする耐震性能レベル

本橋は跨線橋であり，地域利用性の高い路線であることから，「レベル2地震動による損傷が生じる部位があり，その恒久復旧は容易ではないが，橋としての機能の回復は速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル」を目標とした。

## 4. 設計方針

現況は落橋防止システムが未対策である。また既設の支承部はレベル2地震動に対する耐震性能が確保されていないことが前提であった。施工条件として，鉄道内工事は夜間3時間に限定されること，6車線を有する大津町線の通行止めは周辺への影響が甚大であると予測されたこと等があった。

これらの条件を基に「支承構造のレベル2地震動への対応」「落橋防止システム」「ロッキング橋脚の耐震補強」の3点に対して，それぞれの方針を決定し，橋梁全体としての耐震補強対策を検討することとした。

## 5. 支承構造のレベル2地震動への対応

本橋は昭和58年に竣工されており，設計当時の道路橋示方書(S55)にはレベル2地震動は考慮されていない。しかし，支承取替には通行止めを伴うため，本設計においては，既存の支承には常時及びレベル1地震動により生じる水平力及び鉛直力のみ機能させ，レベル1地震時以上の地震動（レベル2地震動）によって生じる水平力を分担する構造を別途追加設置することとした。

中間橋脚（ロッキング橋脚）のピボット支承については，後述の「8. ロッキング橋脚に対する対策」にて述べることとする。



## 6. 落橋防止システム

本橋梁は両側橋台による掘り込まれた地盤に鉄道が敷かれ、跨線する形で橋梁が架けられている。上部構造は連続桁であり、“橋軸方向に大きな変位が生じにくい橋”に該当する。よって、落橋防止構造は省略可能である。

橋台支承部においては桁かかり長、横変位拘束構造（幾何学条件の判定により必要）の設置によりレベル2地震動以上の力を受け、支承が破壊した際に上部構造が下部構造から落下しない対策とした。横変位拘束構造については、熊本地震により落橋した橋梁（ロッキングピアを有する）は、横変位拘束構造が左右一ヶ所づつ追加設置されていたが、地震により破壊され上部構造の水平変位を制限することができなくなり落橋に至った（図-7）。通常、地震時に橋梁が回転し、抜け出す側に各々一箇所変位拘束構造を設置することで、横方向の変位を制限できると考えられているが、応力が一点集中することは、想定外の外力や挙動に対し破壊のリスクが高いと考えられる。このことより本橋梁における横変位拘束構造は、設置箇所を複数増やすことで応力を分散させ、破壊リスクを低減する構造とした。また、支承周りが煩雑にならないよう構造選定には配慮した。

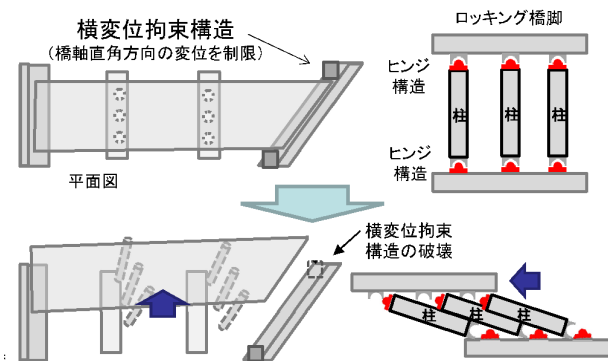


図-7 熊本地震の想定落橋メカニズム『国土交通省 HP』

## 7. ロッキング橋脚の耐震補強

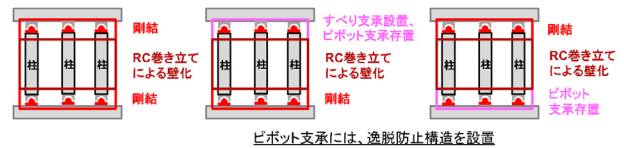
本橋の中間橋脚は、上下端がヒンジ構造の複数の柱で構成され鉛直支持機能と回転機能を有するロッキング構造である。ロッキング橋脚は単独では自立せず、水平方向の上部工慣性力を支持することができない構造であり、設定量を超える変位が生じた場合、転倒する可能性がある。

耐震補強対策としては、複数の柱を RC 巻き立てにより壁化し、支承を剛結若しくは上下いずれかを剛結し、単独自立することにより上部工を支える構造とする『完全自立構造』、上下ピボット支承は逸脱防止構造を追加した上で存置し、複数の柱のみを RC 巻き立て若しくはブレース材により連結し橋軸直角方向の動きを制限し上部工を支える構造とする『半自立構造』等の考え方が国土交通省から示されている。

### 【対策の考え方】

○ロッキング橋脚の安定性を確保するための構造とする

① 単独で自立可能な構造(完全自立構造)を基本とする



ピボット支承には、逸脱防止構造を設置

② 施工上の制約がある場合等には、橋軸方向には単独で自立できないが、橋軸直角方向には自立する構造(半自立構造)とする

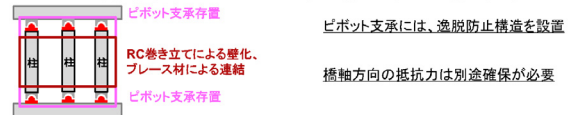


図-8 ロッキング橋脚の耐震補強の考え方

『国土交通省 HP』

完全自立構造については、地震時に慣性力が基礎に作用することから杭基礎構造の場合、杭列追加等の対策が必要となる。本橋においては、金山駅が近接しており、工事に伴う線路移設には駅改良を含む影響が考えられること、支承取替には通行止めを伴うこと等から実現困難であった。

半自立構造については、複数列の橋脚を壁化、若しくは連結された面に対し直角方向へのロッキングが有効となるが、本橋は斜角を有しているため、橋脚面直角方向と橋軸方向が異なり、橋軸方向への上部構造の挙動に追従できない構造となる。

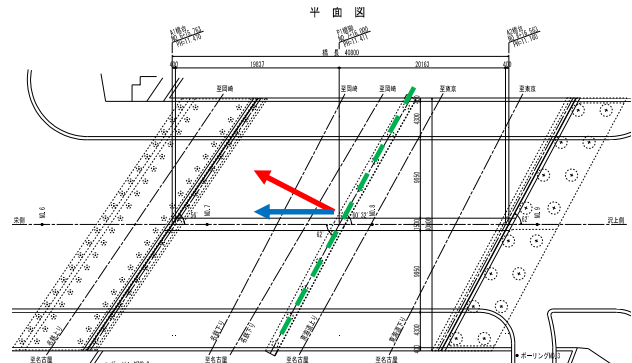


図-9 上部構造と橋脚の挙動方向（半自立構造）

これらの条件から、本橋梁のロッキング橋脚においては上記の耐震補強対策以外の対策が必要となった。

## 8. ロッキング橋脚に対する対策

### (1) 設計思想

両橋台支承部で行う対策（支承補強、落橋防止システム）により上部構造の地震時に発生する水平変位は制限され、中間橋脚は常時及び地震時の水平変位にロッキング構造で追従する。すなわち、ロッキング構造が適正に機能することが前提となる。

水平力を受け持たず、鉛直荷重のみを受け持つロッキング構造にとって避けなければならないのは支承の逸脱で

ある。ピボット支承が逸脱することにより基礎に鉛直荷重を伝達できなくなれば、上部工は落橋に至る。

本設計では、逸脱防止構造をロッキング橋脚に対する対策とした。

## (2) ピボット支承逸脱防止構造

一般的な逸脱防止構造として、レベル2地震時の移動量に対し、上下沓が分離するような変位が発生しないようにピボット支承周りに変位制限装置を設置することが考えられる(図-10)。しかし、本橋は両橋台に支持される構造であること、端支点支承補強構造によりレベル2地震動に対応させていること、横変位拘束構造により支承破壊後の移動量も制限していることから、水平方向への落橋に至る様な大きな変位は発生しないと考えた。

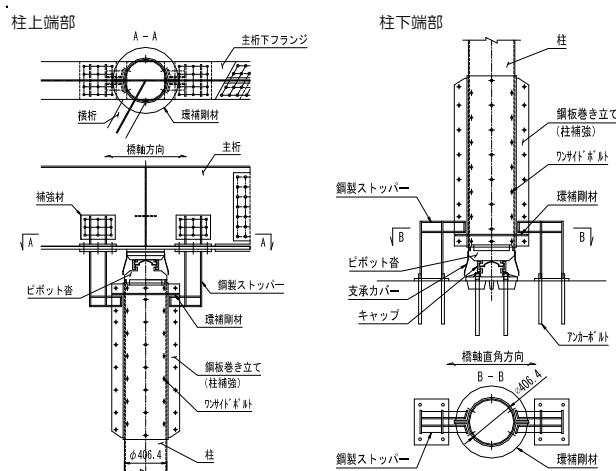


図-10 ピボット支承変位制限構造

そこで本設計では、ロッキング橋脚に対する逸脱防止構造の作用力として上揚力に着目した。本橋におけるピボット支承部では、上下沓を連結するリング状のキャップが設置されており逸脱防止の役割を果たしている(図-11)。しかし、H24道示に対応した設計思想ではないため、別途対策が必要となる。

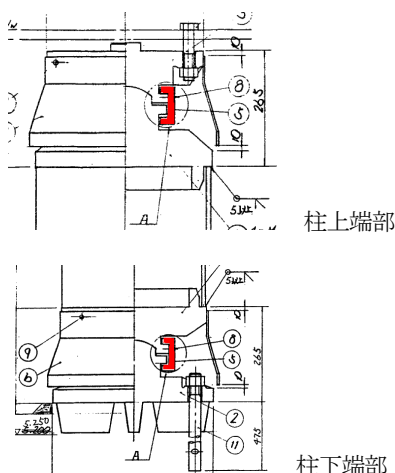


図-11 ピボット支承逸脱防止構造

## (3) ピボット支承補強設計

『道路橋示方書V耐震設計編 15.5 支承部の照査』では、「支承部は、鉛直上向き地震力に対する安全性を十分に確保するために、 $-0.3R_D$ の設計鉛直反力に対する照査を行うことと規定している。これは新設する橋に対してはその設計段階において対応できる事項である。一方、既設橋に対する耐震補強では既設橋に固有な構造的な与条件があるため、対応が困難となる場合もある。そのため、既設橋における支承部の耐震補強では、レベル2地震動による水平力分担構造の追加の他に、H24道示Vの式(15.4.2)により算出される $R_U$ を照査項目とし、レベル2地震時に上下沓が分離しないこととしている(国土技術政策総合研究所資料：既設橋の耐震補強設計に関する技術資料)。

一般的な橋台、橋脚にあるような沓座上に据えられた支承であれば、レベル2地震動を超える外力を支承部が受け、支承部が破壊されたとしても横変位拘束構造が機能し落橋に至らない。しかし本橋梁の場合、中間橋脚がピボット支承であるため、レベル2地震動を超える外力が作用した場合においてもピボット支承の上下沓が分離するような損傷を受けてはならない。すなわち落橋防止システムとして、支承部の設計鉛直反力 $-0.3R_D$ に対応した支承部の補強が必要となる。

本設計においては地震力に対する安全性を十分に確保するために支承部の設計鉛直反力 $-0.3R_D$ を地震時の上揚力として部材設計を行うこととした。

## (4) 逸脱防止構造選定

本設計では鉛直上向き外力作用時に発生する変位を拘束する構造、つまりピボット支承の上下沓が上揚力により分離しないよう、上部工と下部工を連結する「ケーブル連結構造」を提案した(図-12)。また、(図-10)の構造で上揚力に対応する機能を追加することは可能であるが、設置数が多く施工性も劣ること等から本設計では不採用とした。

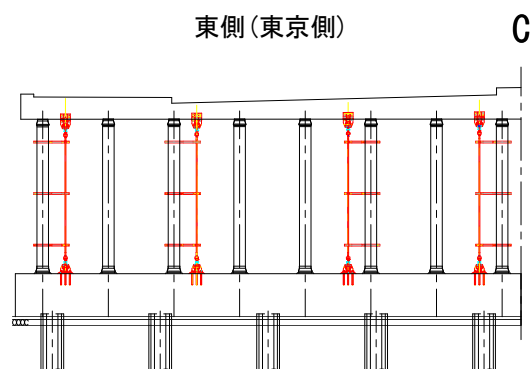


図-12 PCケーブル(逸脱防止構造)配置図

## 9. PCケーブルの設計

(1) 支承部の照査に用いる設計地震力

設計作用力  $P = -0.3R_D = -863.4 \text{ kN}$

(2) 構造細目

設置箇所については、構造的なバランス(対称)、施工の軽減から箇所数とPCケーブルの径(重量)を軽減することを検討し決定した。

ロッキング橋脚8ヶ所(片側)に対しPCケーブルは4ヶ所とした結果、PCケーブル(G390kN)  $\phi 34 \text{ mm}$ で設計を完了した。

また、支承補強構造及び横変位拘束構造についても本設計では上揚力を照査項目として追加している。

## 10. 施工計画

本橋梁で採用した「PCケーブルによる逸脱防止構造」は、上部工と下部工を連結する装置であることから、橋脚への補強を必要とせず、施工時間に制約を受ける工事に有利である。

- ・軌道内工事は、夜間線路内作業時間(大凡1時～4時)の作業となる。
- ・軌道内に足場工等の仮設備を残置することは認められない。
- ・資材搬入は、橋上からのクレーンによる。

等の条件から施工計画を策定した。

ロッキング橋脚における施工日数は準備・後片付けを除き3か月となった。実際の日数は、これに、鉄道事業者の休電日と、2社の休電日を調整した作業日数となる。このように軌道内での作業を伴う工事では作業日、作業時間に制限を受けるため、構造的、施工性等に配慮した計画を行うことで鉄道事業者との協議が円滑に行えると考えた。

## あ と が き

ロッキング橋脚は基礎や橋脚をスリム化できるため、周辺制約等により十分な用地が確保できない場合等に採用されてきたと考えられる。そのため、耐震補強等の対策には施工的な制約を受ける。本設計においても橋脚両側を鉄道が通過する等、非常に厳しい施工制約があった。鉄道内での作業は実質3時間程度であり、施工性を重視すれば単純な構造が望ましい。本設計では、施工性を重視し、合理的な設計を目標とした結果、維持管理性や経済性にも優れた構造を導き出すことができた。

国土交通省等で「完全自立構造」「半自立構造」が提案されているのは、ロッキング橋脚自体に自立性が無いことで地震時に倒壊リスクが高くなると考えられているからである。今回採用した形式は自立性が無い構造であり、国土交通省が推奨する構造とは異なる。採用にあたっては、

周辺条件や構造条件等を考慮した上で、発注者と十分に協議を行うことが必要であると考えた。

今後、順次行われるロッキング橋脚の耐震補強設計に、本設計が一つの考え方となれば幸いである。

最後に、本稿の作成にあたり、ご指導、ご助言頂きました関係各位に深く感謝の意を示す次第である。

## 参考文献(または引用文献)

- 1) 国土技術政策総合研究所資料: 既設橋の耐震補強設計に関する技術資料
- 2) 国土交通省: 課題・論点に対する今後の対応(橋梁分野) p4, p5



## 一定せん断流パネル解析をPC道路橋の設計に用いる場合の モデル化手法の提案

(株) オリエンタルコンサルタンツ ○ 原田健彦

同 上 栗山照雄

同 上 水田崇志

### 論文要旨

本研究では、鋼道路橋の合理的な設計手法の一つとして研究されている一定せん断流パネル要素を用いた解析について、PC道路橋の設計に適用することを前提とし、既往研究では確立されていないPC鋼材、その定着部および偏向部のモデル化ならびにプレストレスの導入方法を提案した後、単純なモデルを用いて試算した。その結果、次の事柄を明らかにした：提案手法により得られた各要素の断面力から、従来の一本棒モデルによる計算応答値と同等の公称応力を得ることができた；要素ごとの断面力から得られる主応力分布は、有限要素解析と同様にせん断変形の影響を考慮した局所的な応力分布性状を示した。これらの結果は、本提案手法を用いた一定せん断流パネル解析をPC道路橋の実橋における設計計算に十分適用可能であることを示唆している。

キーワード：骨組解析、一定せん断流パネル、公称応力、PC箱桁

### まえがき

PC道路橋の設計計算では、主桁全断面を一本のはりとして取り扱い、図-1に示すような平面あるいは立体骨組解析モデルを用いた数値解析を主体として断面力を算出し、断面計算により公称応力を求めることが大半である<sup>1)</sup>。一方、従来の骨組解析で評価することが困難な局所の応力分布の変化は、PC道路橋の耐荷力や耐久性の信頼性に影響を与える可能性があり、必要に応じてシェル要素などを用いた有限要素解析により検討される。しかし、主要な設計計算で用いる許容値や安全率は、公称応力と対比することを前提にした実験の整理結果や経験の積み上げによるものが大部分であり、詳細な計算応答値を得ても公称応力を前提とした許容値の場合には必ずしもそのまま比較できない<sup>2)</sup>。また、有限要素解析モデルを用いた影響線あるいは影響面解析も一般には困難である。そのため、例えばシェル要素などを用いた詳細な有限要素解析を用いたとしても、設計実務でははりモデルを前提にした設計計算の実施も欠かせない。

一方で、はりモデルを前提にした計算では局所的な応力状態がコンクリートに与える影響に対してある程度割り切った対応をせざるをえず、設計実務では経験的に用心鉄筋を配置して補強したり、コンクリート打設などの施工上の工夫で対処したりするのが現状である。

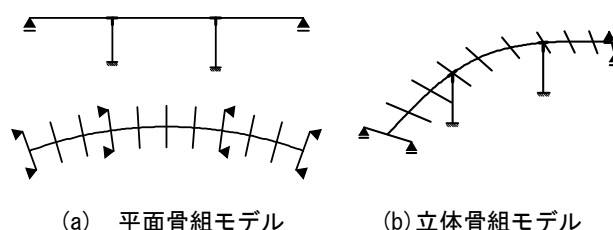


図-1 設計計算に用いるモデル

以上から、PC道路橋の初期品質を向上するためには、設計計算を行う段階で初期ひび割れ発生リスクを最小限にする断面形状や鋼材配置などの検討が望まれる。そこで、骨組解析を主体とし、公称応力と局所の応力状態を同時に算出できる手法があれば、設計の合理化と高度化を両立できるものと考えられる。

鋼道路橋の合理的な設計計算モデルの一つとして研究されている一定せん断流パネル要素を用いた解析は、その定式化上、公称応力と局所のせん断流を同時に算出でき、実橋の設計計算における使用実績もある<sup>3,4)</sup>。PC橋も基本的には上床版、下床版およびウェブなどの版部材により主桁が構成されており、各版部材を弾性体として扱うことで同解析の適用が期待されるが、解析モデルに対するプレストレスの導入方法が確立されていないなどの課題がある。

そこで本検討では、一定せん断流パネル要素を用いた解析手法をPC道路橋の実橋に適用することを想定し、PC鋼材やその定着部および偏向部のモデル化、ならびにプレストレスの導入方法をまず提案した。次に、PC道路橋(PC箱桁橋)を対象に、提案手法と従来法によりそれぞれ求めた公称応力を対比し、従来法と同等の解析精度と作業量による設計照査の実行可否について調べた。そして、解析結果より主応力の大きさや向きを算定し、初期ひび割れ発生の可能性が高い箇所の応力状態の評価を試みた。最後に、本解析手法が従来法に比べて合理化および高度化できる点ならびにPC道路橋の実橋における設計計算へ適用する上での留意点についてそれぞれ整理した。

## 1. 一定せん断流パネル要素を用いたPC箱桁橋のモデル化

### 1.1 一定せん断流パネル要素解析の概念

一定せん断流パネル要素は、図-2に示すように、格子状に組み合わせたはり要素間をせん断変形のみ抵抗する板要素で補間した要素(以下、せん断パネルと称す)であり、板要素とその外周のはり要素(以下、縁(ふち)部材と称す)間には図中の矢印で示すような内力の平衡関係がある。そのため、従来の骨組解析に用いられるはり曲げ理論ではBernoulli-Eulerの仮定に基づいてせん断変形の影響が無視されるのに対し、せん断パネルを用いた解析では板要素に生じたせん断応力度と等価な垂直応力度が縁部材に伝達され、せん断変形の影響を評価できる。

一方、せん断パネルを用いた解析で得られるのは従来の格子解析と同様に各要素の断面力と節点変位であるので、部材単独の応力状態については公称応力として整理することが可能であり、影響線解析なども容易になる<sup>3,4)</sup>。このせん断パネルを用い、上床版、下床版およびウェブなどの各部材をそれぞれ格子状に分割してモデル化し、数値解析を行う手法が「一定せん断流パネル解析」である。

### 1.2 PC箱桁橋のモデル化

#### (1) コンクリート部材のモデル化

PC箱桁橋は、鋼橋と異なり、部材厚が厚くハンチやテーパーを有する。そのため、床版やウェブをモデル化するにあたっては、図-3に示すように格子状に分割した板要素に平均部材厚 $t_m$ とせん断弾性係数 $G_c$ をそれぞれ与えてせん断変形に伴うせん断流 $q$ (せん断応力度 $\tau_{xy}=q/t_m$ )を負担させている。また周囲の縁部材1~4には、表-1に示すように断面積 $A$ および弾性係数 $E_c$ をそれぞれ与えて軸変形および面内曲げ変形に伴う垂直応力 $\sigma_x$ を負担させ、面外曲げ変形に対しては断面2次モーメント $I_y$ を与えて抵抗させてい

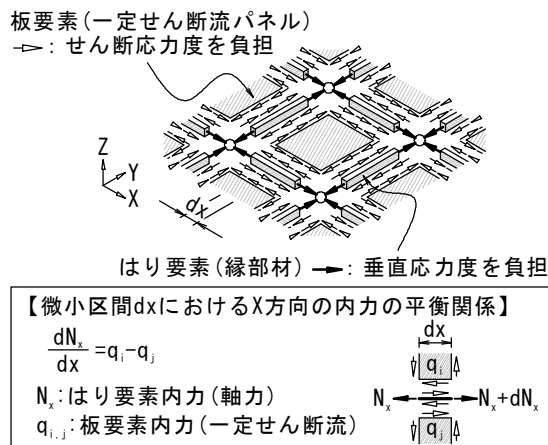


図-2 一定せん断流パネル要素の概念

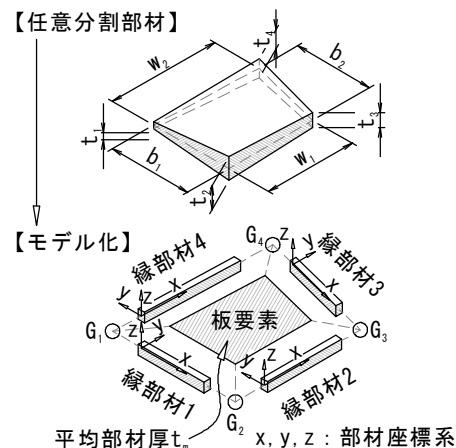


図-3 分割した床版やウェブのモデル化

表-1 せん断パネルに持たせる断面定数

項目	板要素	縁部材	
		1および3	2および4
板厚 $t$	平均厚 $t_m$	—	—
断面積 $A$	—	$t_m(w_1 + w_2)/4$	$t_m(b_1 + b_2)/4$
断面2次モーメント $I_y$	—	$t_m^3(w_1 + w_2)/48$	$t_m^3(b_1 + b_2)/48$
断面2次モーメント $I_z$	—	$I_z \approx 0$	$I_z \approx 0$

※表中の記号は、図-3と対応。

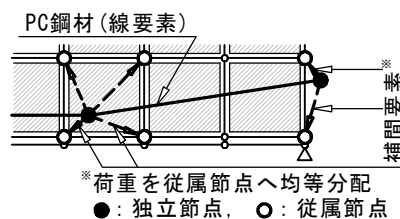


図-4 PC鋼材定着部および偏向部モデル化

る。なお、板要素のせん断変形を拘束しないように、縁部材の面内曲げ方向の断面2次モーメント $I_z$ には小さな値を入力する(本検討では $I_z=10^{-9}\text{m}^4$ とした)。

#### (2) PC鋼材およびプレストレスのモデル化

PC鋼材は線要素を用いて配置し、同要素にはモデル化する1部材あたりのPC鋼材断面積 $A_p$ および弾性係数 $E_p$ をそれぞれもたせる。また定着部および偏向部は、図-4に示す

ように、要素端力を周囲の従属節点に均等分配する仮要素(補間要素)を用いて近傍のせんパネと節点共有させる。

プレストレスは、PC 鋼材を構成する線要素のみに導入応力度相当の鋼材ひずみを生じさせる温度降下  $T_R$  および線膨張係数  $\alpha_p$  をそれぞれ与えて導入する。ここで、導入応力度を  $\sigma_i$  とすれば、 $T_R$  は次式で表される。

$$T_R = \sigma_i / (\alpha_p E_p) \quad (1)$$

またプレストレスを導入するにあたっては、PC 鋼材の実際の伸び剛性  $E_p A_p$  を与えたモデルでは、鋼材自身が軸方向変形を拘束するため、導入プレストレス力 ( $=\sigma_i A_p$ ) を表現できない<sup>5)</sup>。そこで本モデル化手法では、表-2 に示すように、 $\alpha_p$  および  $E_p$  をそれぞれ調整することで、鋼材要素に導入プレストレス力相当の断面力が発生することを確認した。なお、摩擦などによるプレストレスロス、部材を必要に応じて分割し、要素ごとに変化する導入プレストレス力を入力する温度降下の値で調整する。

### (3) PC 単純箱桁橋を対象としたせんパネ解析モデルの適用例

図-5 に示す支間長  $L=50\text{m}$  の PC 単純箱桁橋を対象としたせんパネ解析モデルの適用例を図-6 に示す。提案したモデ

ル化やプレストレスの導入方法の有効性を調べることを主目的としているため、図の例ではハンチを省略して全長にわたり等断面桁とした。また解析モデルは、張出し床版および中間床版をそれぞれ床版支間方向に 2 および 4 分割としており、ウェブは上下に 2 分割とした。橋軸方向には支間長を 40 等分し、ほぼ正方形のせんパネにより上部構造をモデル化した。なお、中間隔壁はせんパネを用いて板状にモデル化し、端支点横桁は多面体の集合としてせんパネを組み合わせるモデル化した。またモデルの境界条件(単純支持形式)は図-6 に示すとおりである。その他は、鋼橋における研究成果<sup>3)</sup>を踏まえ、解析により得られた断面力から断面計算により応力度(公称応力)を算出した。

表-2 PC 鋼材要素の材料定数の調整

項目	調整前	調整後
線膨張係数 $\alpha_p$ [ $1/^\circ\text{C}$ ]	$1.2 \times 10^{-5}$ -	$1.2 \times 10^{-2}$ (1000)
弾性係数 $E_p$ [MPa]	$2.0 \times 10^5$ -	$2.0 \times 10^2$ (0.001)
導入応力度 $\sigma_i$ [MPa]	1000	1000
解析値 $\sigma_p$ [MPa]	920.93	1000.05
再現率 $\sigma_p / \sigma_i$	0.92	1.00

※括弧内数値: 調整前/調整後  
解析値  $\sigma_p$ : 全鋼材平均値

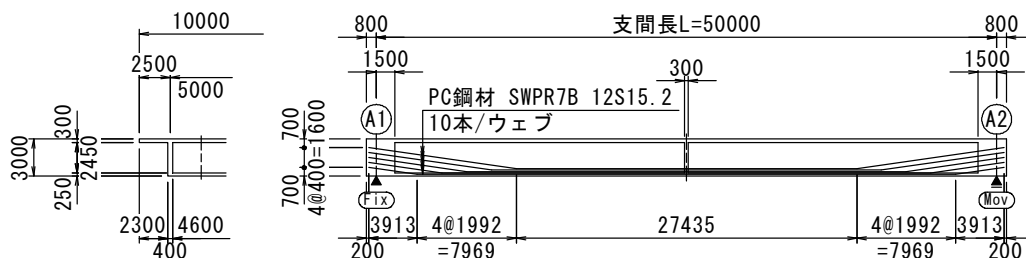


図-5 対象とした PC 単純箱桁橋の断面図および側面図

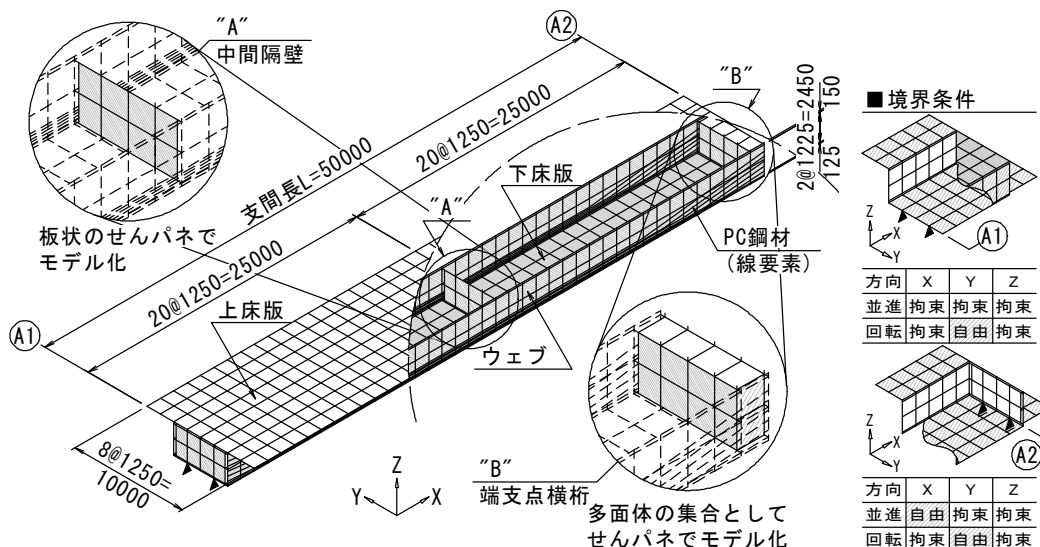


図-6 PC 単純箱桁橋を対象としたせんパネ解析モデルの例

## 2. センパネ解析による試算結果

### 2.1 公称応力の算定

既述したとおり、センパネ解析では従来法と同様に公称応力を得ることができ、さらにその応力度は分割した部材ごとにせん断変形の影響が考慮される。したがって、センパネ解析では、従来法に比べて比較的詳細な応力性状を知ることが可能と考えられる。

図-5 に示す PC 単純箱桁橋を対象とするセンパネ解析による試算結果の代表として、プレストレス作用時 ( $\sigma_t=1000$  MPa ;  $T_R=-416.7^\circ\text{C}$  で全鋼材要素一定) における断面力分布を図-7 に示す。同図(a)に示す上床版：橋軸方向縁部材の軸力分布では、プレストレス力による圧縮軸力と上縁引張の曲げモーメントが発生し、破線で囲んだインフレクションポイントを境に圧縮から引張へ転じている様子がわかる。

これらの断面力分布から公称応力を算定した結果を図-8 に示す。図-8(a)および(b)は、上床版および下床版の橋軸方向縁部材における上縁および下縁応力度  $\sigma_u$ ,  $\sigma_l$  をそれぞれ示したものであり、縁部材両端の断面力から次式により公称応力を算出したものである。

$$\sigma_{U(L)} = N_x / A \mp M_y t_m / 2I_y \quad (2)$$

ここに、 $N_x$  および  $M_y$  は縁部材両端の軸力および曲げモーメントをそれぞれ表す。図中一点鎖線は、従来法による結果を示しており、センパネ解析値は従来法と良く一致する。また端支点付近のセンパネ解析値に着目すると、張出し床版端部とウェブ上の縁部材 (図-8(a) に示す<1>と<3>) で値が異なっていることも分かる。これは、従来法において有効伝達長や有効幅として考慮されるせん断遅れの影響をセンパネにより直接的に評価できたためと考えられる。

図-8(c) は、ウェブを構成するセンパネの板要素におけるせん断応力度  $\tau_{xy}$  を示しており、板要素の断面力 (せん断流  $q$ ) を平均部材厚  $t_m$  で除して公称応力を算出したものである。一方、図中一点鎖線は従来法による結果を示しており、プレストレス力のせん断方向成分  $S_p$  をウェブの断面積  $A_w$  で除した平均せん断応力度である。図に示すとおり、両者は良く一致しており、センパネ解析では図-6 に示すように PC 鋼材を実際の配置に合わせてモデル化し、プレストレスを導入することで  $S_p$  を直接的に評価できることが分かる。

以上のように、センパネ解析で算出した公称応力は一本のはりモデルを用いた従来法による結果と一致しており、提案したモデル化およびプレストレスの導入方法はいずれも有効であること、ならびに設計実務への適用性が確保されていることを確認した。さらに、せん断遅れの影響など、断面の立体的挙動も同時に捉えられることも従来法に比べた利点として確認できた。

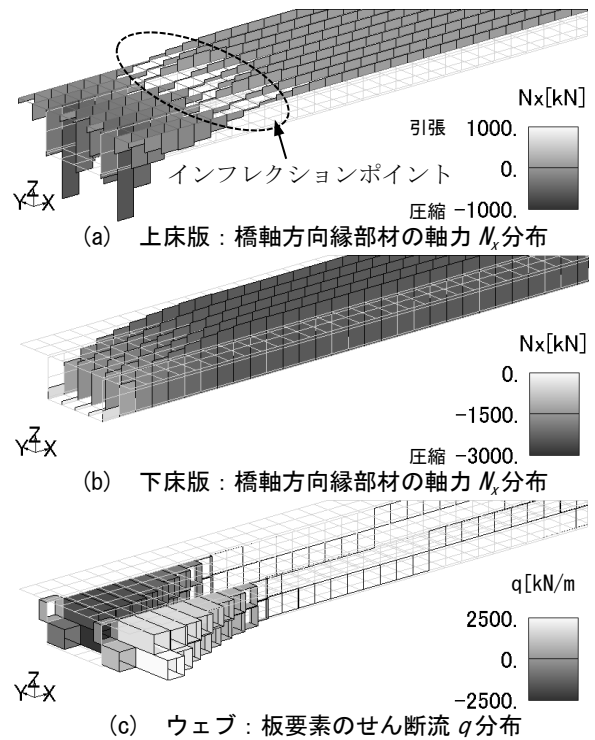
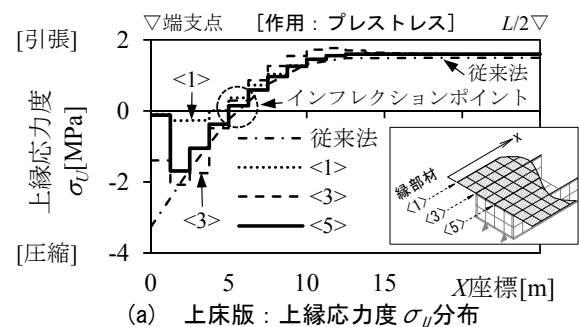
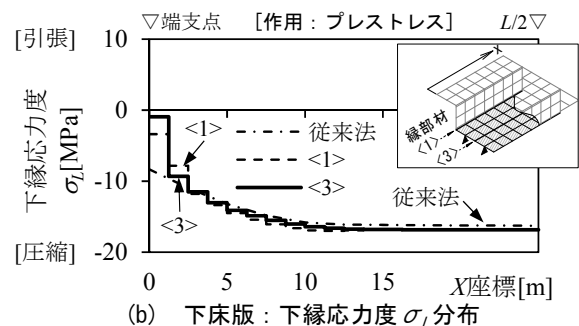


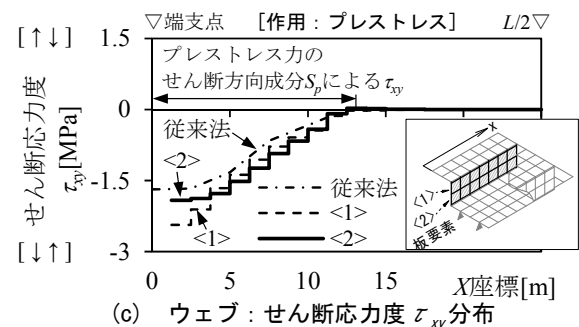
図-7 プレストレス作用時の断面力分布



(a) 上床版：上縁応力度  $\sigma_u$  分布



(b) 下床版：下縁応力度  $\sigma_l$  分布



(c) ウェブ：せん断応力度  $\tau_{xy}$  分布

図-8 プレストレス作用時の応力度分布



## 2.2 主応力の算定

PC 道路橋の初期ひび割れ発生の有無を評価するには、各部材の任意点における主応力の大きさや向きを調べる必要がある。前述のように、せんパネ解析では板要素の外周に配置した各縁部材の部材軸方向の $\sigma_U$  および $\sigma_L$  をそれぞれ得ることができ、これらの直交応力成分と板要素の $\tau_{xy}$  から、別途シェル要素などを用いた計算をやり直すことなく、図-9 に示すように任意点の最大・最小主応力 $\sigma_1$  および $\sigma_2$  の大きさと向きを計算応答値としてそれぞれ得ることが可能となる。

図-10 は、プレストレス作用時における上床版およびウェブの桁端付近における $\sigma_1$  および $\sigma_2$  の大きさと向きをベクトル表示したものである(内向きと外向きの矢印はそれぞれ圧縮と引張を表す)。ベクトルの矢印の向きに着目すると、図-7(a)に示したインフレクションポイント付近で圧縮から引張へ転じる様子が見てとれ、これより支間中央寄りでは橋軸方向の引張応力度が一樣に分布していることが分かる。また桁端付近では、ウェブに対してハの字にベクトルの方向が向いており、図-8(a)に示した $\sigma_U$  分布と同様に、ベクトルの大きさがウェブ上に比べて張出し床版端部が小さく、せん断遅れの影響によるプレストレス力の広がりを表現できている。このように、せん断変形の影響が無視される従来のはり曲げ理論に対し、せんパネ解析では、板要素に生じた $\tau_{xy}$  と等価な垂直応力度が縁部材に伝達されることでせん断遅れの影響を評価でき、有限要素解析と同様に主応力の大きさや向きを評価できることが分かる。

## 2.3 要素分割の細分化による局部の応力状態の評価に対する検討

図-11 は、要素分割を細分化した場合の $\sigma_1$  および $\sigma_2$  分布を示したもので、プレストレス作用時の上床版およびウェブにおける桁端付近の様子をベクトル表示したものである。図-10(a)および図-11(a)に示す上床版の主応力分布に着目すれば、要素分割を細分化することでせん断遅れによる主応力の流れを可視化できている。例えば、緊張端付近における初期ひび割れ発生の有無に対する検討にも有効的に使用できるものと考えられる。また要素ごとの主応力に着目すれば、図-10 に太枠で囲んだせんパネ 1 要素あたりの応答値は、同じく図-11 に太枠で囲んだ 4 要素の主応力分布の平均的な状態を表していることも分かる。

以上のように、せんパネ解析では、要素分割を細分化することで有限要素解析と同様に局部の応力状態を評価することが可能となる。しかし、換言すれば、せんパネ解析では要素分割の程度によって解析結果にばらつきを生じさせ

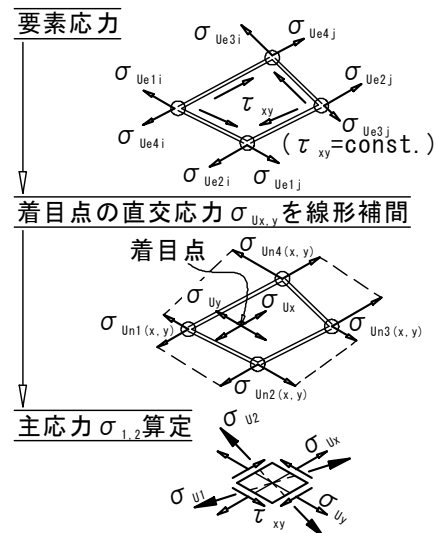


図-9 せんパネ解析による主応力算定の流れ  
インフレクションポイント付近

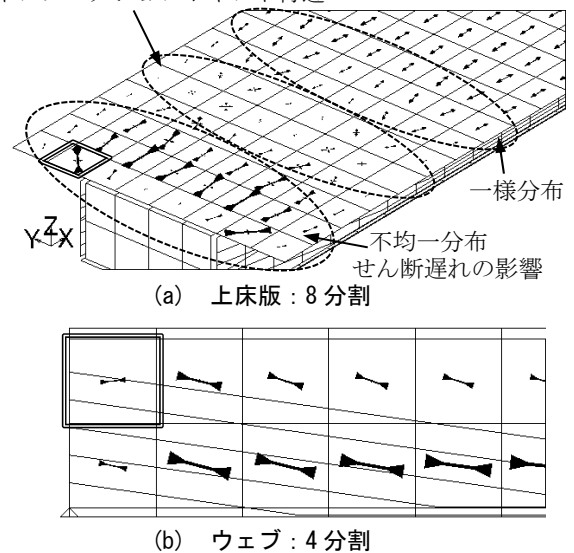


図-10 プレストレス作用時の主応力分布

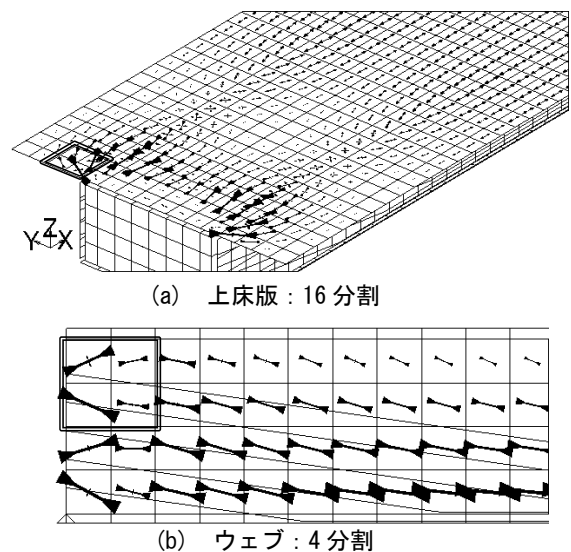


図-11 要素分割の細分化による主応力分布  
(プレストレス作用時)

る可能性があるため、実務設計の解析手法として本手法を適用する場合には、従来法における有効伝達長、有効断面およびせん断遅れなどの考え方との整合性をそれぞれ確認し、モデル化の煩雑性や収束計算の速度を含めたさらなる検証が必要である。

### 3. まとめ

本検討で得られた成果は、以下に示すとおりである。

- [1] PC 鋼材やその定着部および偏向部には線要素や仮想要素をそれぞれ用い、せんパネと組み合わせたモデル化を提案した。またプレストレスは、PC 鋼材要素のみに導入応力度相当の温度荷重を与えて導入した。その際、鋼材要素自身の伸び剛性を小さくすることで導入プレストレス力と等価な断面力を発生させることが可能となった。
- [2] 上記提案手法による単純なせんパネ解析モデルを用いた試算結果では、従来の骨組解析と同等の公称応力を得ることができ、かつ従来の骨組解析では考慮できないせん断変形が応答値に与える影響を直接的にモデルに考慮できることを示した。
- [3] 板要素に生じるせん断流と縁部材両端の断面力を用いて主応力の大きさと向きを算定し、ベクトル表示することで有限要素解析と同様に局部の応力状態の可視化が可能となった。また鋼材定着部周辺などの局部の応力状態は、要素分割を細分化することで評価できる可能性がある。

このように、せんパネ解析は PC 道路橋に対しても十分適用可能であり、従来の許容値や安全率と対比可能な公称応力が得られる上、有限要素解析と同様に局部の応力状態を評価できる可能性を示唆した。ただし、例えば本提案手

法によるせんパネ解析を実橋の設計計算へ適用するにあたっては、要素分割の違いによる感度分析やモデル化手法の統一化などによりモデル化に左右されない応答値を得る必要があり、鋼道路橋ではそのような研究<sup>3)</sup>もされているが、PC 道路橋特有のルール作りについて検討する必要がある。

### あ と が き

本論文は、国土交通省 国土技術政策総合研究所より受託した「一定せん断流パネル解析によるコンクリート橋設計に関する調査業務」の成果の一部をとりまとめたものです。本論文のとりまとめを行うにあたり、同研究所 白戸真大室長をはじめ、橋梁研究室の皆様には懇切丁寧な御指導と御鞭撻を賜りました。この場を御借りして、深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) コンクリート道路橋設計便覧, (社)日本道路協会, 1994.2.
- 2) 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編, (社)日本道路協会, 2012.4.
- 3) 例えば、玉越隆史, 白戸真大, 横井芳輝, 水口知樹: 鋼道路橋の合理的な設計解析手法に関する研究—一定せん断流パネルを主体とした鋼道路橋の設計手法—, 国総研資料第 841 号, 2015.3.
- 4) 例えば、西憲一郎, 稲江清継, 中川実, 黒河武晴: 第二東名高速道路 駒門高架橋(鋼上部工)工事の設計・施工, YBHD グループ技報, No.38, pp.36-43, 2009.1.
- 5) 狩野武, 原田健彦, 松沢政和, 岡田昌之, 水田崇志, 玉越隆史: PC 橋の簡易解析手法に関する基礎的研究, 構造工学論文集 Vol.62A, pp.166-173, 2016.3.

## 熊本地震で被災した南阿蘇橋の損傷メカニズムの検討

(株) エイト日本技術開発 ○木野村宏昭  
(株) エイト日本技術開発 藤田 亮一

### 論文要旨

本論文は「土木学会地震工学委員会 性能に基づく橋梁等構造物の耐震設計法に関する研究小委員会」が立ち上げた「熊本地震による橋梁被害分析ワーキング」のワーキンググループの検討成果の一部を取りまとめたものである。2016年の熊本地震で被災した南阿蘇橋は平成22年に制震ダンパーによる耐震補強がなされた。しかし、熊本地震の影響でダンパー取付け部のRCブロックが破壊し、その機能が十分に発揮されたかどうかなどは未解明のままである。本稿では、骨組みモデルによるサイト波を用いた動的解析や橋台の押し出しを模擬したプッシュオーバー解析を実施し、地震による橋の損傷原因や補強効果について検討する。

キーワード：熊本地震、制震ダンパー、動的解析、損傷

### まえがき

2016年に発生した熊本地震では、斜面崩壊による道路網の寸断や橋梁の落橋など、土木構造物に大きな被害をもたらした。現在では、復旧作業が進められ社会基盤施設は概ね整備されつつあるが、未だに被災時のまま復旧の手が付けられていない構造物も存在する。その一つに南阿蘇橋があげられる。

南阿蘇橋は、過去に耐震補強が施され、制震ダンパーや座屈拘束ブレースなどが設置された。しかし、熊本地震の影響により、耐震補強時に設置されたダンパーの取付け部のRCブロックが損傷し、現在に至ってもなお通行止めとなっている。取付け部の破壊に至った損傷過程や、地震時にダンパーそのものの機能が十分に発揮されたかどうか

などは未解明のままである。

そこで本論文では、橋梁全体を模擬した骨組みモデルによる再現解析を実施し、地震による損傷シナリオや過去に実施された補強効果について検討する。

### 1. 南阿蘇橋の概要と損傷状況

#### (1) 橋梁概要

南阿蘇橋は熊本県阿蘇郡南阿蘇村の国道325号上に位置し、黒川支流の濁川に架けられている。その橋長は110m、総幅員は9m、構造形式は上落式2ヒンジアーチ橋である。本橋は1971年に完成し、2009年度に耐震補強が実施され、制震ダンパーや座屈拘束ブレースが設置された。一般図を図-1に示す<sup>1)</sup>。

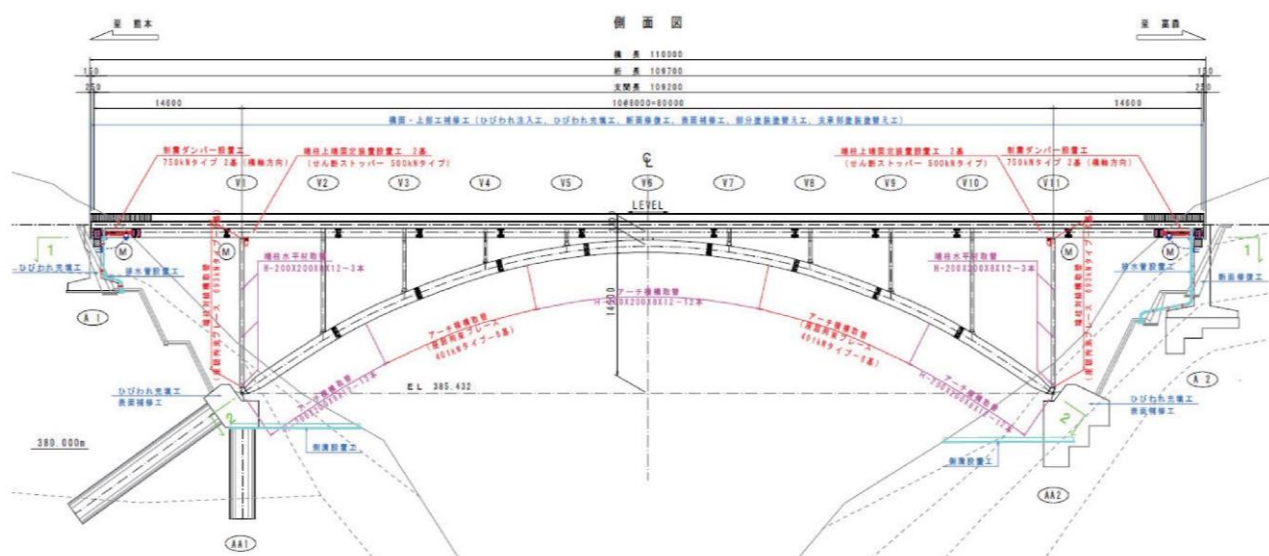


図-1 南阿蘇大橋 補修補強計画一般図<sup>1)</sup>

## (2) 南阿蘇橋の損傷状況

### a) ジョイント部の水平移動と段差

橋梁ジョイント部の損傷状況を写真-1, 2 に示す。写真からわかるように A1 橋台側の被害は A2 橋台側と比較して軽微であった。A2 橋台側ではジョイント部にずれが生じ、写真-2 に示すように橋軸直角方向に 40mm の水平変位と 45mm の段差が生じていた。

### b) ダンパー取付け部のRCブロック

ダンパー取付け部のRCブロックの損傷状況を写真-3に示す。A1橋台側では、補強時に施工された部分のRCブロック隅角部よりひび割れが生じ、上流側においては一部コン

クリートが剥落していた。A2橋台側では、ダンパー取付け部のRCブロックが破壊し、下流側においては、橋台から脱落し、主桁ウェブとの取付け部にぶら下がっている状態となっていた。

### c) ピン支承部の接合ボルト

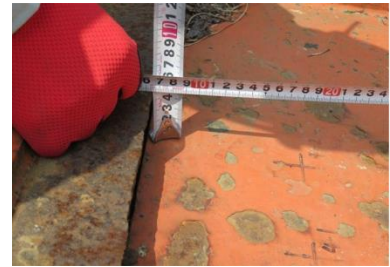
ピン支承の接合ボルトの損傷状況を写真-4 に示す。A1 橋台側の下流側を除いて、ピン支承とアーチ端支柱との接合ボルトが写真-4 に示すように全て破断し、外れていた。一方、ピン支承とアーチリブとの接合ボルトは、接合面に隙間は確認されたものの、すべてのボルトが残存していた。



(a) A1 橋台側

(b) A2 橋台側

写真-1 ジョイント部の損傷状況



(a) 直角方向水平変位 (40mm)

(b) 橋台との段差 (45mm)

写真-2 A2 橋台側に生じた水平変位と段差



(a) A1 橋台側 (上：上流 下：下流)

(b) A2 橋台側 (上：桁下より 左下：上流 右下：下流)

写真-3 ダンパー取付け部の RC ブロックの損傷状況



(a) A1 橋台側 (上流側)

(b) A2 橋台側 (下流側)

(c) セットボルトの破断 (A2 橋台側)

写真-4 ピン支承接合ボルトの損傷状況 (端支柱との接合部)



## 2. 解析モデルと固有地解析

本論文では、可動支承部である橋台を除いて、橋梁全体系を図-2に示すように骨組みモデルによりモデル化し、再現解析を実施する。以下に解析条件を示す。

### (1) 部材のモデル化

南阿蘇橋を構成する鋼部材およびRC床版は線形梁要素でモデル化した。床版と補剛桁は図-3のようにモデル化した。また、南阿蘇橋に用いられた制振装置である粘性ダンパーおよび座屈拘束ブレースは非線形ばね要素でモデル化し、その特性は図-4に示すとおりである。

### (2) 動的解析手法

本論文で実施する時刻歴応答解析の数値積分法にはNewmark- $\beta$ 法( $\beta=0.25$ )を用い、積分時間間隔は $\Delta t=0.01$ (s)とした。また、解析方向は橋軸方向と橋軸直角方向(以後直角方向と称する)の2方向を考慮し、減衰には要素別レーリ減衰を適用した。

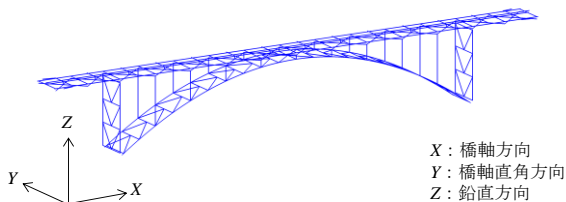


図-2 解析モデル

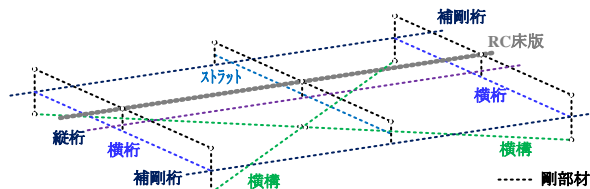
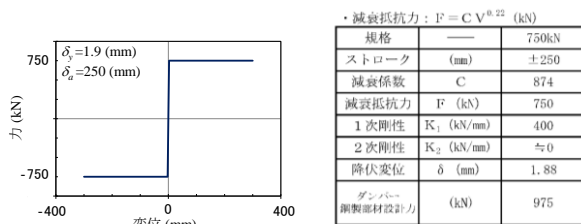
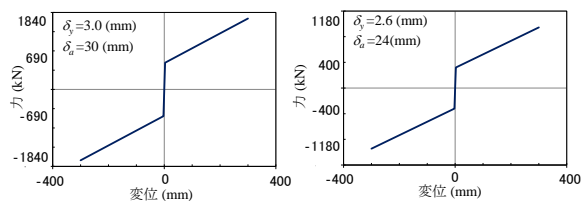


図-3 床版と補剛桁のモデル化



(a) 粘性ダンパー



端柱

アーチリブ

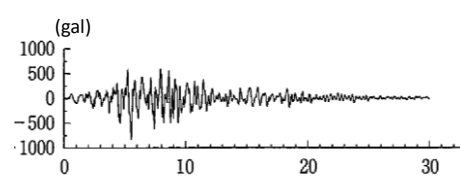
(b) 座屈拘束ブレース

図-4 制振装置の履歴特性

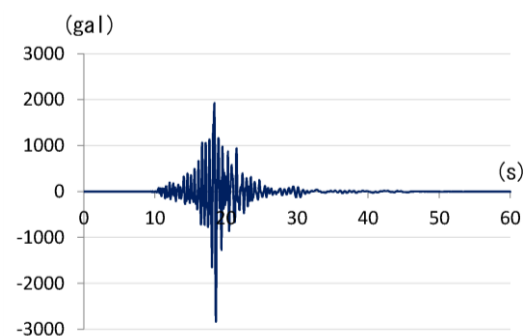
### (3) 入力地震動

本論文で利用する入力地震動を図-5に示す。図-5(a)に示す波は道路橋示方書(以下、道示と称する)で定められたレベル2地震動タイプII地震のI種地盤1波目である<sup>2)</sup>(以下、道示波と称する)。南阿蘇橋の地域区分はB地域(熊本県阿蘇郡)で地盤種別はI種地盤であり、2009年度の耐震補強時の検討でタイプII地震の影響を大きかったという報告が得られていることから、図-5(a)に示す波を道示波の代表として利用した。図-5(b), (c)に示す波は、秦<sup>3)</sup>によって再現された熊本地震時の推定波であり、推定のための解析手法は文献4)に示されている。

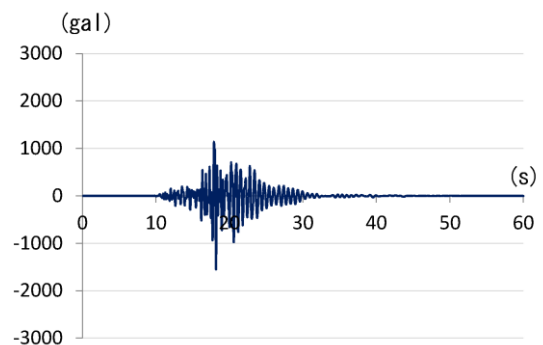
橋軸方向には図-5(a)の道示波(地域別補正係数 $c_z=0.85$ を乗じる)と図-5(b)のサイト波のNS成分(以下、NS波と称する)を、直角方向には図-5(a)の道示波(地域別補正係数 $c_z=0.85$ を乗じる)と図-5(c)のサイト波のEW成分(以下、EW波と称する)を入力波として利用する。



(a) 道示波(L2タイプII-I-1) [橋軸・直角加振]<sup>2)</sup>



(b) 熊本地震サイト波(NS成分) [橋軸加振]<sup>3)</sup>



(c) 熊本地震サイト波(EW成分) [直角加振]<sup>3)</sup>

図-5 入力地震動

#### (4) 固有値解析とレーリー減衰

粘性ダンパーの初期剛性が橋梁の周期特性に影響を及ぼさないよう、固有値解析を実施した。図-6に固有値解析から得られた橋軸方向および直角方向の1次モードを示す。また、表-1にレーリー減衰で剛性マトリクス、質量マトリクスを定めるモード特性と定数 $\alpha$ 、 $\beta$ を示す。

### 3. 動的解析結果

橋軸方向には道示波、NS波を、直角方向には道示波、EW波を作用させ動的解析を実施し、橋梁に生じる被害を評価した。その際、粘性ダンパーの非線形ばねは速度依存型でモデル化した。

#### (1) 主要部材の降伏判定

道示波、NS波、EW波に対する主要部材に生じる最大曲げ応力と降伏応力の比(超過率=応答値/降伏応力)を表-2に示す。

設計地震動である道示波を作用させた場合は橋軸方向、直角方向ともにどの主要部材も超過率が1.0未満となり、降伏には至らない。これは、二次部材も含めすべての部材で同様の結果であった。補強前の現況照査の結果では、設計地震動に対する照査で耐震性を満足しない部材があったことから、補強による効果を確認できた。

一方、推定地震動であるサイト波を作用させた場合、橋軸方向、直角方向ともに複数の部材で超過率が1.0を超え、降伏する結果となった。特に、橋軸方向にサイト波を作用させた場合の超過率の値が大きく、直角方向の場合と比較してかなり厳しい結果であった。これは、サイト波のNS成分の最大加速度がEW成分よりかなり大きな値となっていることに起因する。

これらのことから、南阿蘇橋を構成する部材は設計時の地震動では損傷しないが、サイト波では降伏限界を超え損傷することがわかった。

#### (2) ダンパー取付け部(RCブロック)に生じる力

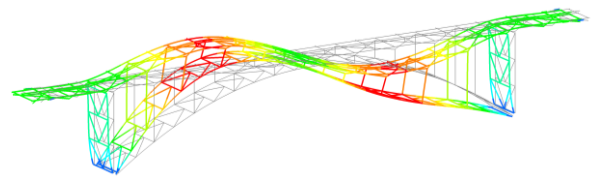
##### a) 橋軸方向の水平力の影響

A1、A2橋台の支承はどちらも可動支承で、端部に働く橋軸方向の力はダンパーに生じる水平力のみとなる。橋軸方向に道示波およびNS波を作用させた場合のダンパーの荷重-変位関係の応答図を図-7に示す。また、RCブロックの設計時の橋軸方向の耐力は1080kNである。

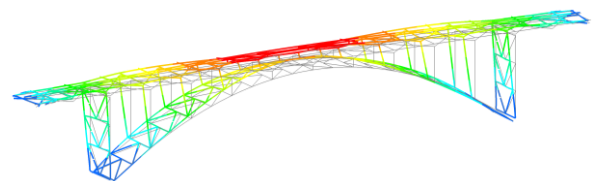
ダンパーに生じた最大応答変位は、道示波の場合(図-7(a))で約25mm、サイト波の場合(図-7(b))で約115mmであった。ダンパーのストロークは図-2(a)に示したように±275mmであり、ダンパー本体は損傷しない。

ダンパーに生じる水平力が最大となったのは、NS波を作用させた場合で、883kNであった(図-7(b))。これは、

粘性ダンパーの規格である750kNを超えた数値である。このように、速度依存の粘性ダンパーでは応答した速度によっては、規格値を超える水平力が作用することがあることに留意する必要がある。しかし、橋軸方向に対するRCブロックの耐力は1080kNであることから、より実際の挙動に近い速度依存モデル化した場合でも、橋軸方向の水平力(883kN)ではRCブロックは損傷しない。ただし、ジョイント部の損傷からも推察できるように、橋台が橋軸方向に押し出されており、この影響でRCブロックが損傷した可能性は考えられる。



(a) 橋軸方向(モード: 1次 T=1.056(s))



(b) 直角方向(モード: 2次 T=0.676(s))

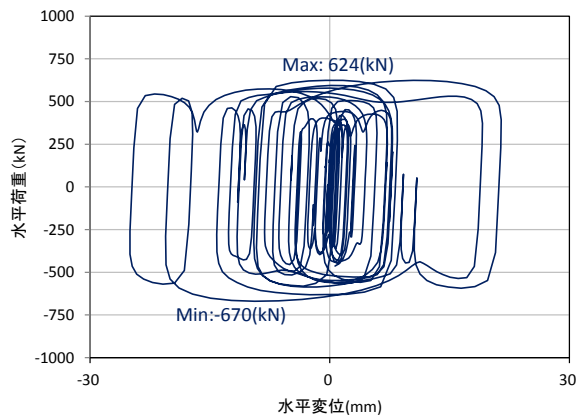
図-6 固有振動モード

表-1 レーリー減衰に用いる定数 $\alpha$ 、 $\beta$

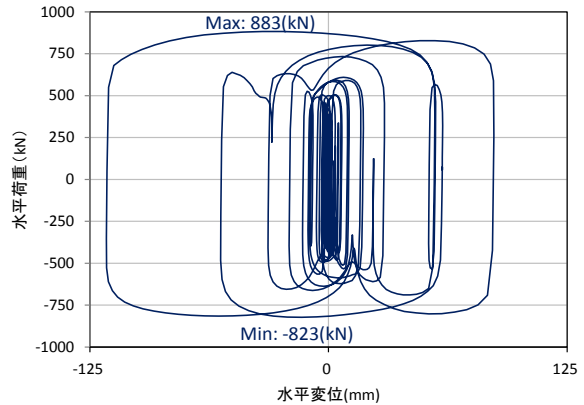
方向	モード 次数	振動数	固有周期	定数	
				$\alpha$ (質量M)	$\beta$ (剛性K)
橋軸	1	0.947	1.056	0.20945	0.0011428
	7	4.182	0.239		
直角	2	1.48	0.676	0.34338	0.0005456
	18	7.084	0.141		

表-2 主要部材に生じる曲げ応力の超過率

部材	Case 1 (道示波・橋軸加振)			Case 2 (道示波・直角加振)		
	曲げ 応力 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏 応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	超過率 ( $\sigma/\sigma_y$ )	曲げ 応力 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏 応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	超過率 ( $\sigma/\sigma_y$ )
アーチリブ	208.9	235	0.889	212.6	235	0.905
補剛桁	243.7	315	0.774	130.0	315	0.413
端支柱	111.3	235	0.473	178.5	235	0.760
アーチ鉛直材	63.3	235	0.269	50.8	235	0.216
アーチカラカ	191.1	315	0.607	135.9	315	0.431
部材	Case 3 (NS波・橋軸加振)			Case 4 (EW波・直角加振)		
	曲げ 応力 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏 応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	超過率 ( $\sigma/\sigma_y$ )	曲げ 応力 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏 応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	超過率 ( $\sigma/\sigma_y$ )
アーチリブ	796.4	235	3.389	301.0	235	1.281
補剛桁	1252.5	315	3.976	315.6	315	1.002
端支柱	471.4	235	2.006	341.7	235	1.454
アーチ鉛直材	177.6	235	0.756	78.4	235	0.334
アーチカラカ	948.2	315	3.010	221.4	315	0.703



(a) 道示波



(b) NS波

図-7 粘性ダンパーの時刻歴応答

## b) 直角方向の水平力の影響

ダンパー取付け部のRCブロックに作用した直角方向の水平力を評価する。直角方向に道示波、EW波を作用させた場合の桁端部の支承部に生じる直角方向の反力を表-3に示す。実際の被害状況において支承部は損傷していなかったことから、ここでは、支承部に生じる反力がすべてRCブロックに伝達されると仮定している。

表-3 からわかるように、道示波を作用させた場合は超過率は0.7未満であり、RCブロックは損傷しない。一方、サイト波であるEW波を作用させた場合、全ての端部で超過率が1.6を超え、RCブロックのせん断耐力を超える力が作用する。以上より、RCブロックは直角方向の水平力に対し設計時の地震動では損傷しないが、サイト波では損傷することがわかった。

## (3) アーチ基部ピン支承のセットボルト

直角方向に道示波、EW波を作用させた場合のアーチリブおよび端支柱の接続ボルトに作用する引き抜き力を表-4にまとめる。ここで、ピン支承部のセットボルトの有効径は27.7mm、1本当たりの断面積は604mm<sup>2</sup>、材質はSS400である。

表-4の超過率に着目すれば、道示波を作用させた場合、アーチリブとの接合面のセットボルトは健全である。それに対し、端支柱部直下の接合面では、超過率が1.0を超え、損傷する結果となった。一方、サイト波であるEW波を作用させた場合、アーチリブ、端支柱部直下、どちらの接合面のセットボルトも超過率が1.0を超え損傷する結果となった。接合面に生じる引張応力の値は端支柱部の方がアーチリブより大きな値となり、破断荷重を大きく上回っている結果となった。

以上のことから、直角方向にサイト波が作用すれば、アーチリブ、端支柱どちらのセットボルトも損傷するが、端

表-3 桁端部に生じる直角方向の反力

入力波	位置		桁端部に生じる 直角方向の 最大水平反力(kN)	RCブロックの せん断耐力 (kN)	超過率
道示波 (Case 2)	A1橋台	上流側	1060	1612	0.658
		下流側	1099		0.682
	A2橋台	上流側	1061		0.658
		下流側	1099		0.682
EW波 (Case 4)	A1橋台	上流側	2660		1.650
		下流側	2638		1.636
	A2橋台	上流側	2648		1.643
		下流側	2641		1.638

表-4 引き抜き力によるセットボルトの損傷

入力波	部材	位置	引き抜き力 kN	ボルト 本数	引張応力 N/mm <sup>2</sup>	降伏応力 N/mm <sup>2</sup>	超過率 (引張/降伏)	
道示波 (Case 2)	アーチリブ	AA1	上流側	53	8	11	235	0.047
			下流側	0	8	0	235	0.000
		AA2	上流側	54	8	11	235	0.047
			下流側	0	8	0	235	0.000
	端支柱	AA1	上流側	1168	4	484	235	2.058
			下流側	1145	4	474	235	2.018
		AA2	上流側	1165	4	482	235	2.052
			下流側	1141	4	472	235	2.010
EW波 (Case 4)	アーチリブ	AA1	上流側	2327	8	482	235	2.050
			下流側	2102	8	435	235	1.851
		AA2	上流側	2326	8	482	235	2.049
			下流側	2100	8	435	235	1.850
	端支柱	AA1	上流側	1516	4	627	235	2.670
			下流側	1520	4	629	235	2.677
		AA2	上流側	1503	4	622	235	2.649
			下流側	1507	4	624	235	2.655

支柱部の方がより大きな損傷を受ける傾向がみられた。これは、道示波の結果からも同様のことが言える。実際のセットボルトの被害状況は写真-4に示すように、端支柱部のセットボルトのみが破断していて、これは解析上で再現したセットボルトの損傷の傾向と一致している。

## 4. プッシュオーバー解析結果

橋台部が橋軸方向に押し出されたことによる損傷を検討するため、桁端部を橋軸方向へ強制変位させ、プッシュオーバー解析を実施した。南阿蘇橋の主桁とパラペットとの遊間は150mmであり、桁と橋台部が衝突した後は橋軸方向の荷重を橋台部の可動支承が受け持つよう、支承をギ

ヤップ要素でモデル化した。

衝突後に橋台部に生じる水平力が、RCブロックにそのまま作用した場合を考える。その際、橋台部の押し出しによる影響でダンパーが突っ張り、十分な性能を発揮できなかったと仮定している。RCブロックにそのまま作用した場合を考える。衝突時の変形図を図-8に、桁端部の強制変位量と衝突後に生じる水平力との関係を図-9に示す。

図からわかるように、150mmの遊間が埋まり、桁と橋台が衝突すれば、衝突したその瞬間から、過大な水平荷重が橋台部に作用することとなる。RCブロックの設計時の橋軸方向の耐力は1080kNであることから、この荷重がRCブロックに作用したとすれば、衝突した後すぐに、RCブロックは損傷する。これらのことから、橋台の押し出しによりRCブロックが損傷する可能性は大いにあり得るが、実際の損傷状況では、桁と橋台の衝突による痕跡は見られなかったため、このような仮定で損傷したとは考えにくい。そのため、あらゆる損傷の可能性、要因を如何にモデル化するかを十分に検討する必要がある。

## あ と が き

熊本地震で被災した南阿蘇橋を対象に、設計地震動である道示波と熊本地震の推定地震動であるサイト波を用いた動的解析や、橋台の押し出しを模擬したプッシュオーバー解析を実施し、その損傷状態について再現解析から評価した。以下にその結果をまとめる。

- (1) 南阿蘇橋を構成する部材は設計地震動では損傷しないが、サイト波では降伏限界を超え損傷する。特に、橋軸方向にサイト波を作用させた場合の超過率が大きく厳しい結果であった。
- (2) ダンパー取り付け部のRCブロックは、ダンパーが正常に機能していたとすれば、橋軸水平方向の力ではサイト波の場合でも損傷しない。一方、直角方向に作用する力では、RCブロックは設計時の地震動では損傷しないが、サイト波では損傷する。ただし、アバットの押し出しによる損傷など様々な可能性が考えられるため、検討が必要である。
- (3) 解析から得られたセットボルトの損傷状態の傾向は、実際の被害状況の傾向と一致しており、損傷するプロセスを解析によって再現することができた。
- (4) 橋軸方向への橋台部の押し出しを模擬したプッシュオーバー解析を実施し、限定された仮定のもと損傷の程度を評価した。
- (5) ダンパーやセットボルトの損傷シナリオは表-5に示すように様々な要因や可能性が考えられる。これらの可能性を一つ一つ評価し、最も妥当な損傷シナリオを推定することが今後の課題として挙げられる。

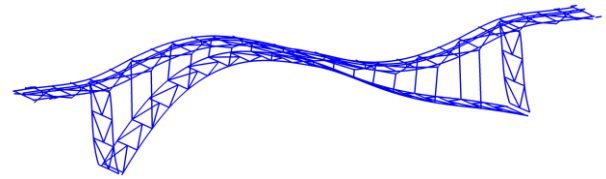


図-8 衝突時の変形図

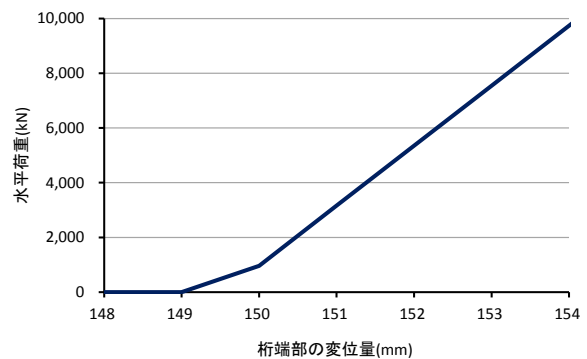


図-9 桁端部の変位量と水平荷重

表-5 ダンパー、セットボルトの損傷シナリオ

損傷箇所	考えられる損傷シナリオ	損傷シナリオに対する解析的なアプローチ
ダンパー取付け部 RCブロックの破壊	地震力による 支承部とRCブロックの衝突	サイト波による動的解析(直角方向)
	橋台の橋軸方向への押しだし	プッシュオーバー解析(橋軸方向)
	斜面崩壊による橋梁全体の 直角方向への引っ張り	プッシュオーバー解析(直角方向)
	ダンパーを介してRCブロックに 作用した想定以上の荷重	サイト波による動的解析(橋軸方向) ※ダンパーを剛部材としてモデル化
ピン支承部 セットボルトの破断	地震力により発生した上揚力	サイト波による動的解析(直角方向)
	斜面崩壊による橋梁全体の 直角方向への引っ張り	プッシュオーバー解析(直角方向)

## 謝 辞

本論文で実施した動的解析では、大阪大学 大学院工学研究科 秦吉弥准教授が作成した熊本地震のサイト波を利用させていただいている。ここに記し、深甚なる謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 国土技術政策総合研究所, 国立研究開発法人土木研究所:平成28年(2016年)熊本地震土木施設被害調査報告, 国総研資料第967号, 土木研究所資料第4359号, 2017-3.
- 2) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 2012-3.
- 3) 臨時余震観測に基づく2016年熊本地震本震時の被災橋梁架橋地点での推定地震動ダウンロードサイト/  
<http://committees.jsce.or.jp/eec204/node/44>
- 4) 秦吉弥:臨時余震観測に基づく2016年熊本地震における西原村および南阿蘇村の被災橋梁に作用した地震動の評価, 構造工学論文集, Vol. 63A, pp.265-278, 2017.



## 免震支承を用いた河川を横過する桥梁の詳細設計業務

八千代エンジニアリング(株) 渋谷 賢志

### 論文要旨

本業務は一級河川を横過する鋼 5 径間連続非合成箱桁橋の詳細設計業務である。本橋は河積阻害率  
のよる橋脚幅の制約、橋脚高さ約 28m と比較的高橋脚であることから静的照査では橋脚に軸方向鉄筋  
D51-2 段(SD490)を使用しても地震時保有水平耐力が許容値に対し余裕がわずかであり、詳細設計時  
には構造成立に課題があった。本業務では支承形式の比較検討及び免震支承の適用可能性を考察し、  
合理的な橋脚形状の検討を行った。

キーワード：桥梁詳細設計、免震支承、河川内橋脚、高強度鉄筋

### まえがき

本業務は一級河川を渡河する橋長 L=298.000m の鋼 5 径  
間連続箱桁橋の詳細設計業務である。本橋は河川阻害率を  
満足するために、橋軸方向の柱幅に制約があったことや、  
橋脚高さ約 28m と比較的高橋脚であることから、構造成立  
に課題があった。

本稿では地盤が堅固であることから免震支承を採用す  
ることで、長周期化による慣性力の低減やその他の支承形  
式との応答の違いに着目して報告する。

### 1. 桥梁諸元

美囊川橋の構造諸元及び桥梁一般図を表-1 及び図-1 に  
示す。

表-1 桥梁諸元

桥梁形式	鋼5径間連続非合成箱桁橋
橋長	L=298.000
径間長	59.5m+3@62.0m+49.5m
下部工	橋台：逆T式橋台 橋脚：張出し式橋脚
地盤種別	I 種地盤
基礎工	直接基礎
支承形式	免震支承

### 2. 予備設計時での構造

河積阻害率を満足するためには橋脚の橋軸幅を 2.5m 以内  
に収める必要があった。予備設計段階では壁式橋脚に  
SD490-D51 鉄筋が 2 段配筋であり、静的照査で許容値に対  
する余裕がわずかであり、全体系解析における構造成立が  
課題であった。図-2 に予備設計段階での橋脚形状及び断面  
形状、表-2 に静的照査における結果を示す。

(代表値として P2, P4 橋脚の値を示す。)

表-2 予備設計時の静的照査結果

橋軸方向	地震時保有水平耐力			残留変位		
	$k_{hc}W$	≦	Pa	$\delta$	≦	$\delta a$
P2橋脚	タイプ I	11914.450	≦	11933.180	0.174	≦ 0.302
	タイプ II	11464.850	≦	11933.180	0.141	≦ 0.302
P4橋脚	タイプ I	11342.960	≦	11356.390	0.179	≦ 0.317
	タイプ II	10922.850	≦	11356.390	0.143	≦ 0.317
直角方向	地震時保有水平耐力			残留変位		
	$k_{hc}W$	≦	Pa	$\delta$	≦	$\delta a$
P2橋脚	タイプ I	22029.010	≦	56061.050	—	≦ —
	タイプ II	34842.460	≦	56061.050	—	≦ —
P4橋脚	タイプ I	21005.480	≦	53358.170	—	≦ —
	タイプ II	33188.660	≦	53358.170	—	≦ —

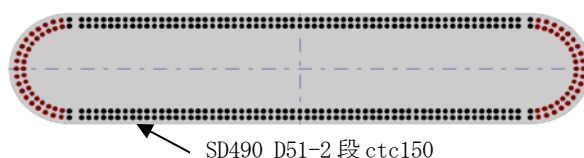


図-2 断面形状

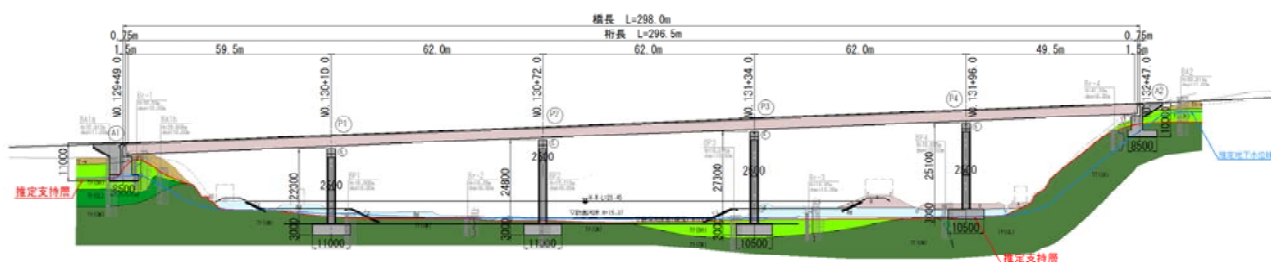


図-1 桥梁一般図

### 3. 支承形式検討

支承の検討に当たっては、架橋位置の地盤状況や固有周期から①免震形式、②地震時水平力分散形式、③多点固定形式の3案で比較を行った。表-3.1, 3-2に支承の応答値の結果を示す。

表-3.1 支承に作用する水平反力比較 (タイプⅠ)

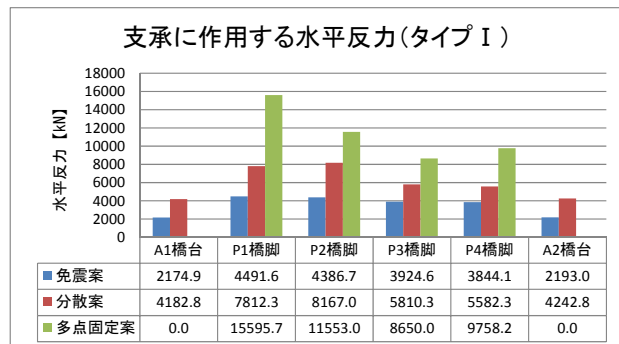
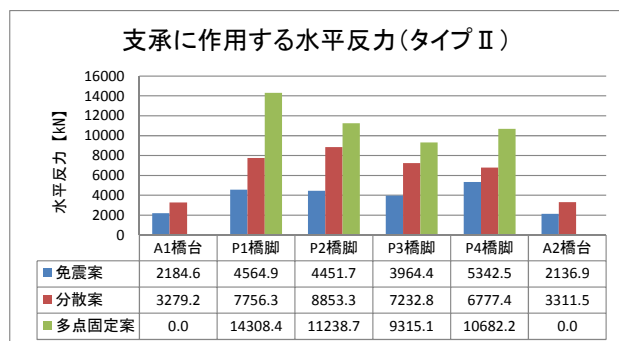


表-3.2 支承に作用する水平反力比較 (タイプⅡ)



次に免震支承によるエネルギー吸収が確実に図れており、下部構造の応答の低減及び塑性化が限定的に留まっている(応答が弾性域に留まっている)かの確認を行った。図-3.1, 3.2に免震支承と地震時分散支承の履歴図及び橋脚基部の変形特性を示す。

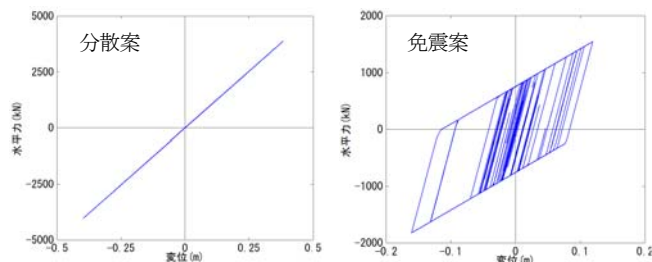


図-3.1 支承の履歴図比較

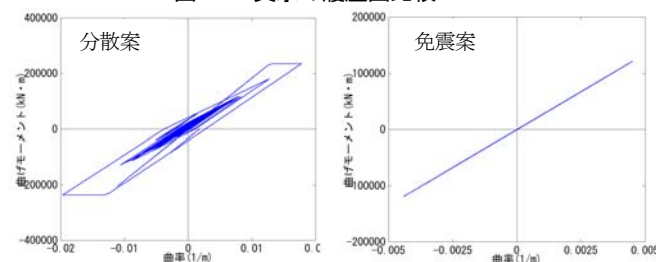


図-3.2 橋脚塑性ヒンジ部履歴特性

免震支承のエネルギー吸収によって橋脚基部の塑性化が限定的に留まっていることが確認できた。分散支承及び多点固定支承では応答変位が免震支承と比較して大きく支承規模も大きくなる。本橋の架橋位置の特性上、橋軸幅が制約されているため、支承規模が大きくなることで支承縁端距離の確保、橋座耐力の確保の観点から余分な張出し構造にする必要性も生じるため、構造上望ましくないと判断し、本橋では免震支承を採用した。

### 4. まとめ

免震支承採用によるエネルギー吸収を図れた結果、橋軸直角方向を当初の壁式 12m の形式から柱幅 8m の張出し式に形式変更が可能となり、コンクリートボリュームの減少を実現できた。

配筋においてはSD490-D51の2.0段配筋→SD490-D51の1.5段配筋となり、鉄筋量の減少が実現できた。図-4 予備段階と本設計の形状の比較を示す。

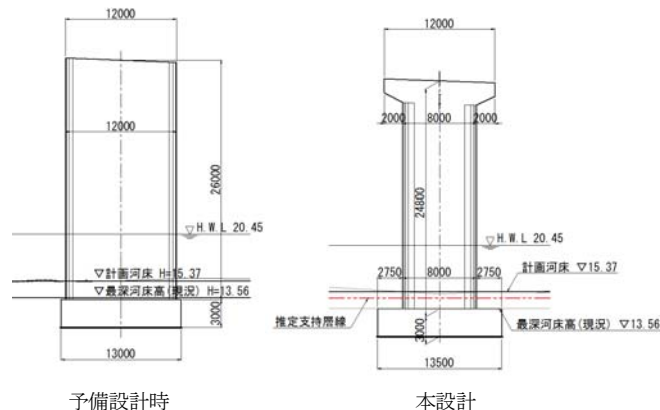


図-4 予備設計時と本設計の橋脚形状比較

### あとがき

本業務では、橋軸幅の制約がある中で全体系としての動的解析による構造成立が課題であった。各支承形式における履歴特性や橋脚基部の断面力を考察し、総合的に優れる免震支承を採用した。

最後に本稿を作成するにあたり、ご指導・ご助言を賜りました関係各位には、心より感謝申し上げます。

### 参考文献 (または引用文献)

- (社)日本道路協会 道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅴ  
平成24年3月

## 都市部港湾の海岸保全施設（自立矢板式護岸）の耐震対策

日本工営(株) ○江 野 翔 紀  
日本工営(株) 日 下 拓 也  
日本工営(株) 佐 久 間 和 弘  
日本工営(株) 藤 森 修 吾

### 論文要旨

本論文は、都市部の狭隘な港湾空間における水深-3mの既設自立矢板式護岸について、耐震対策の検討を行ったものである。対策工法は、①前面が河川、背面が道路という利用条件、②厚く深い液状化層を有する地盤条件を鑑み、地盤改良やグラウンドアンカー等を抽出し、二次元地震応答解析（FLIP）にて耐震性の検討を行った。結果、L2地震時の変形抑制、狭隘空間での施工性を踏まえ、グラウンドアンカー工法を最適工法として選定した。

キーワード：都市部港湾、耐震対策、グラウンドアンカー

### ま え が き

わが国では、沿岸部における津波被害を抑制するための事業の推進が加速している。南海トラフ巨大地震といった将来起こりうる可能性の高い地震および津波に対して、背後地を防護するための海岸保全施設（護岸・胸壁等）の役割は、重要性を増している。

一方で、防護対象の多い都市部の港湾においては、背後に人家が控えていたり、施工区域が限られていたりさまざまな制約を受けている。また、埋立地や河口といった比較的地盤が軟弱なところに巨大地震が作用した場合、液状化による地盤変位が発生し、その被害は広範囲となる。このような状況では施工性や経済性に一層の設計上の配慮が必要となる。

本論文では、都市部の狭隘な港湾空間かつ液状化層が厚く深い地盤条件における自立矢板式護岸の耐震対策の検討を行ったものである。

### 1. 設計対象箇所と現地の利用特性

設計対象箇所を図-1、現況断面図を図-2に示す。

設計対象である自立矢板式護岸は、都市部港湾湾奥の河口に位置している。護岸前面は河川区域であり、パラペット式の防潮堤背後地は、道路を挟み民地がある状況である。

防潮堤背後の道路は利用頻度が高く、拡幅が計画されており、これに伴い、現況の防潮堤は前出しが必要とされる。防潮堤前面の護岸水叩きにおいても歩行者や自転車の通行が多く、常時利用されている状況である。

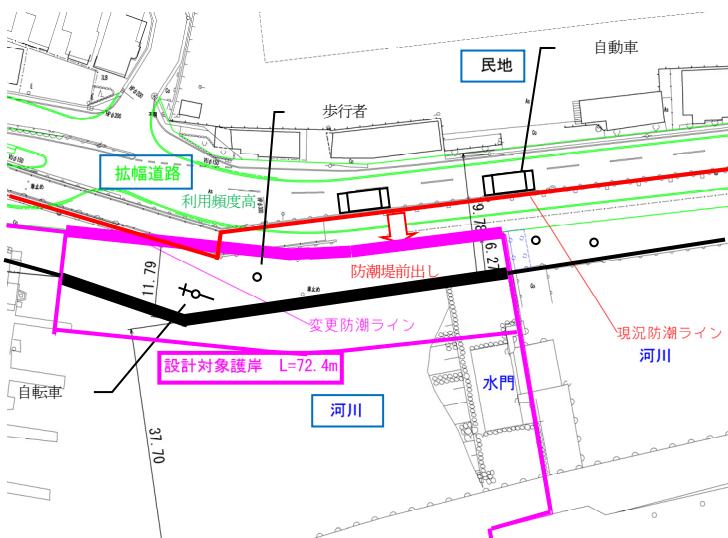


図-1 設計対象箇所位置図

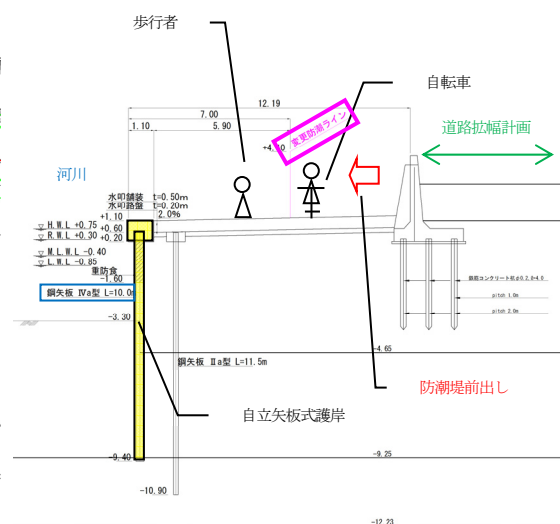


図-2 設計対象の現況断面図

現況の護岸構造は、水深-3m と比較的浅い自立矢板式護岸であり、護岸法線から新設する防潮堤までは 7m～12m 程度の離隔距離がある。

2. 設計条件

(1) 利用・自然条件

対象施設に対する利用・自然条件を表－1に示す。なお、自立矢板は、健全度評価の結果、所定の防食処理が行われており、今後の設計耐用期間での利用が可能な状態である。

表－1 利用・自然条件

条件項目	条件		備考
設計潮位	HWL +0.75m, LWL -0.85m		潮差 1.60m
残留水位	+0.30m		潮差の 2/3
設計水深	-3.3m		
設計高	護岸天端高 +1.10m	防潮堤天端高 +4.10m	
設計震度	0.27		L1 地震相当
上載荷重 (kN/m2)	護岸背後 (永続)5.0 (L1 地震)2.5	防潮堤背後 (永続)10.0 (L1 地震)5.0	

(2) 地盤条件

地盤は、図－3に示すように沖積砂質土層と沖積粘性土層の互層構造である。

L1 地震動においては液状化が発生しないものと予測されるものの、最大クラスの津波を引き起こす地震動（L2 地震動相当）では、二次元地震応答解析（本検討では FLIP を採用）結果より、過剰間隙水圧が上昇し、液状化を呈する状況となる。（図－3 過剰間隙水圧分布図参照）

液状化を呈する土層は B 層、As1 層、As2 層で層厚約 15m となる。また、護岸変状に最も影響を及ぼすと考えられる

As2 層の出現深度は GL-20m と深いことが特徴的である。

(3) その他制約条件

現地の土地利用状況から、対策構造を検討するうえで、以下の制約を受ける。

- ・ 前面は河川区域であり、河道を侵さないこと。
- ・ 防潮堤背後は利用頻度の高い道路である。
- ・ 道路背後の民地境界を侵さないこと。
- ・ 防潮前面の護岸水叩きは、自転車等の往来があり、施工による封鎖期間はできるだけ短期間とすること。

(4) 性能規定値

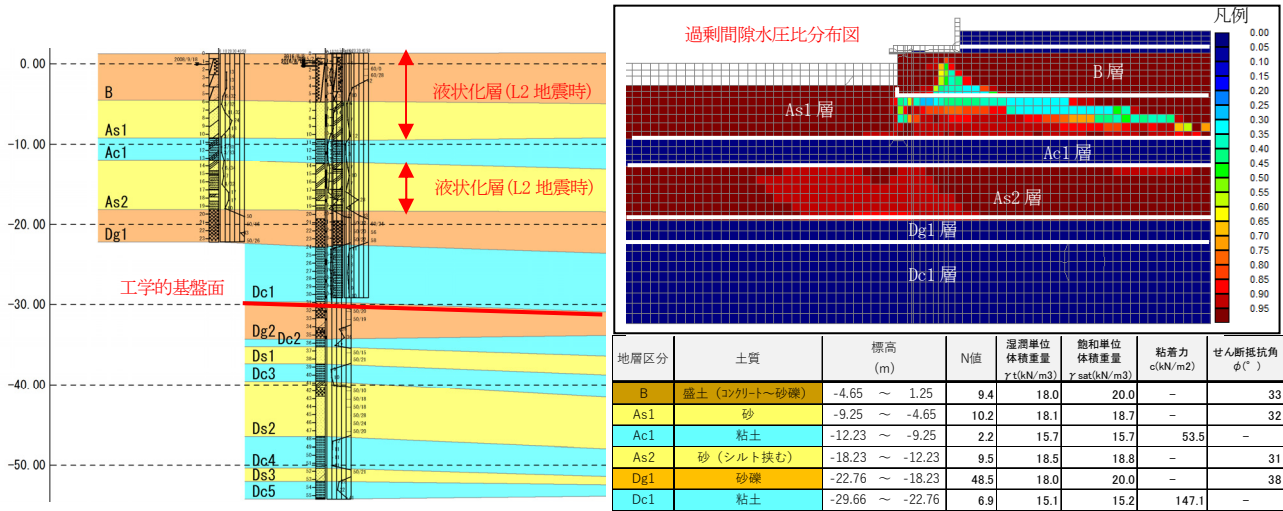
対象護岸および防潮堤は、最大クラスの津波を引き起こす地震動に対し、所定の安全性を満足する必要がある。当該箇所の性能規定値を表－2に示す。なお、このうち、二次元地震応答解析（FLIP）における試算により、液状化による地盤と矢板の移動に伴う護岸天端の水平変位を規定値（1.5m）以内におさめる必要があることがわかった。

表－2 性能規定値

項目	性能規定値
天端高	沈下後の防潮堤天端高＞発生頻度の高い津波の津波水位(+3.0m)
水平変位	1.5m 以内
残留傾斜角	8° 以内

3. 対策工の抽出

自立矢板式護岸の耐震対策を行う場合、地盤改良（裏込土の置換や前面の固化）、構造改良（新設矢板による法線前出しや控え杭）等による対策が考えられる<sup>1)</sup>。また、防潮堤のみに着目すると、重力式基礎直下の地盤改良や杭基礎等が考えられる。



図－3 地質縦断図と土質定数と L2 地震での試算結果



本設計箇所は、護岸前面が河川であるため、新設矢板による法線前出し等の河積を阻害する対策は、採用できない。

また、護岸の既設矢板は、B層およびAs1層の液状化による流動圧の影響を大きく受け、前面地盤の受動抵抗が見込めない。加えて、矢板下端より深いAs2層が液状化するため、地盤全体が移動し、護岸は大きく前傾する。この護岸の変位を抑えるためには、液状化層全体(B層、As1層、As2層)を地盤改良する必要があるが、経済性および施工性の面で現実的ではない。したがって、液状化を許容した上で、護岸の変位を最小限に抑える事が重要な課題となる。

一方、防潮堤背後が道路および民地であることから、控え杭や控え矢板の新設、裏込土の置換等は、施工スペースが必要となり、供用期間に影響するため、対策案として除外した。

以上を踏まえ、対策案として、①グラウンドアンカー案、②地盤改良案の2ケースを抽出した。

①グラウンドアンカー案は、液状化層(B層、As1層、As2層)を許容した上で、非液状化層であるDg1層に定着

したグラウンドアンカーにより、護岸全体の変形を抑制する案である。一方、②地盤改良案は、護岸前面のAs1層を改良することにより、矢板の液状化流動圧抵抗を高め、護岸の変形を抑制する案である。

各ケースの構造概要を表-3に示す。なお、各断面は永続・変動状態において安定性を満足する断面として設定した。防潮堤については、施工の簡易な重力式とした。

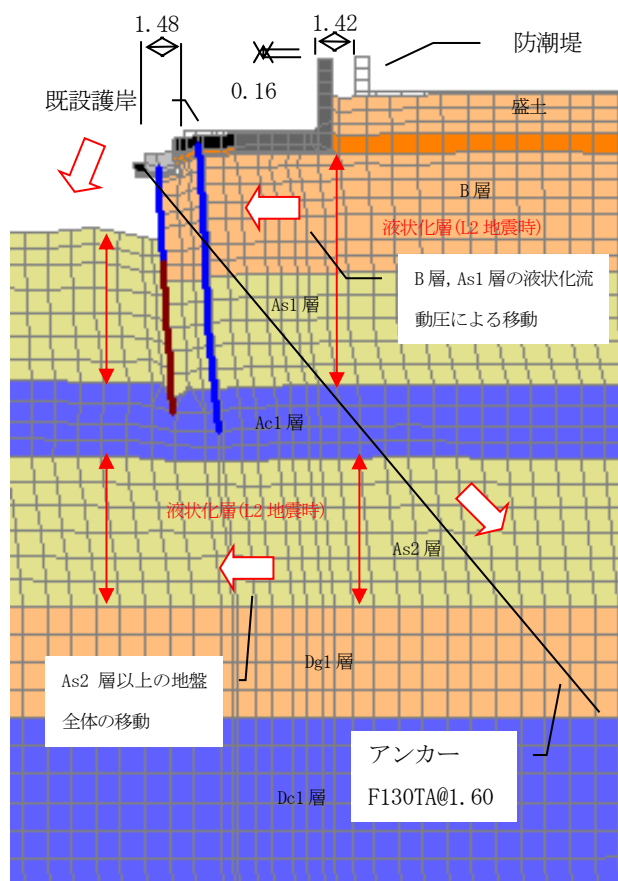
#### 4. 二次元地震応答解析(FLIP)による検証

抽出した対策案の内、①グラウンドアンカー案について、二次元地震応答解析(FLIP)より、耐震性能の検証を行った。変形図を図-4、残留変形量を表-4に示す。

グラウンドアンカーの張力により、護岸の矢板は沈下しているものの背後防潮堤は所定の高さおよび水平変形を満足している結果となった。

表-3 対策案

検討案	①グラウンドアンカー案	②地盤改良案
断面図		
構造概要	・現況自立矢板を利用し、グラウンドアンカーにて性能を満足させる案。アンカーは非液状化層に定着させる。	・地盤改良により前面矢板への受動土圧を増加させ、性能を満足させる案。
断面設定の留意点	・グラウンドアンカーの定着層は深いため、傾斜角は背後の民地境界を侵さないように設定する。	・改良範囲は、L2地震での液状化範囲全ては経済的でないため、前面範囲のみとする。
断面における○利点・×欠点	【施工性】○：海上に施工スペースが必要となるが、施工機は小さいため、規模は法線前面に比較的小規模でよく、水叩きの封鎖期間および範囲は抑えることができる。 【維持管理】○：前面からの張力の点検が可能である。	【施工性】×：海上に施工スペースが必要となり、グラウンドアンカー案同様、水叩きの封鎖期間および範囲は抑えることができるものの施工スペースは比較的広範囲に必要である。 【維持管理】○：半恒久的な対策のため、維持管理においては優位である。
選定	施工や維持管理において利点があるため、FLIPによる耐震性能評価を行う。	施工範囲が広がる可能性があり、経済性に懸念があるため、選定外とする



図ー4 グラウンドアンカー案のFLIP結果(変形図)

表ー4 グラウンドアンカー案のFLIP結果(残留変形量)

	水平変位(m)	天端高(m)	傾斜角(°)
護岸天端	1.48 < 1.50	-	3.1 < 8
防潮堤天端	1.42 < 1.50	3.53 > 3.0	0.5 < 8

## 5. 対策断面の決定と施工時の課題

二次元地震応答解析(FLIP)の結果,グラウンドアンカー案は,液状化層が厚く深い場合においても,直下の非液状化層に定着させることにより,変形量を抑えることができ,耐震性能を確保できることを確認した。

設計対象箇所は,護岸前面が河川区域であり,背面は道路および民地が控えている。グラウンドアンカー案は,施工スペースが比較的小規模で済み,背後の利用状況への影響を抑えられることから,陸上に制約がある場合において,施工性は優位である。また,定期的なモニタリングが可能なことから維持管理においても本設計箇所において優位であり,その他,環境面への影響等も少ないため,最適であると判断した。

ただし,グラウンドアンカーは,定着範囲の確認等が施工時に必要であり,防食対策についても留意する必要がある。

また,本検討においては,現況矢板を利用することができたため,既存ストックを有効活用した対策案と位置づけられるものとする。

## あ と が き

今後,都市部の港湾海岸における耐震対策は加速していくものと考えられる。本検討と類似の設計箇所において,施工性や地盤条件に配慮した断面設計の一助となれば幸いである。

## 参考文献(または引用文献)

- 菅野高弘,野末康博,塩崎禎郎,小濱英司:地震による岸壁の被災・復旧工法・耐震補強工法,港湾空港技術研究所資料, No.1145, 2006.
- 吉田誠,清宮理,三藤正明,田代聡一,合田和哉:グラウンドアンカーで耐震補強した鋼矢板式岸壁の耐震性に関する振動台実験および有効応力解析,構造工学論文集 Vol.57A, 土木学会, H.23.3, pp.63~74.

## 維持管理の容易な河道形状の形成手法の検討

株式会社 建設技術研究所 浦部 真治  
株式会社 建設技術研究所 藤本 和幸  
株式会社 建設技術研究所 ○佐々木 昌俊  
株式会社 建設技術研究所 森川 浩

### 論文要旨

河川維持管理はこれまで以上の効率化が求められており、計画段階から維持管理を考慮した戦略的な維持管理を目指す必要がある。四国地方の急勾配・緩勾配の2河川をモデル河川として、河道特性の把握、河道整形が必要となる区間の抽出、維持管理容易な河道の立案、多面的な評価項目の設定、評価を実施し、維持管理容易な河道として船底河道を選定した。これらの過程を維持管理が容易な河道形状の形成手法としてとりまとめた。

キーワード：河川維持管理，船底河道，河道安定性

### まえがき

全国的に河川整備計画の策定が進む中、河道掘削により河積確保が実施される事例が多くなっている。河道は洪水外力による河床低下や植生繁茂の影響を受けるなど、維持管理上の問題がある。また、社会情勢が変化中、河川維持管理についてはこれまで以上に効率的な費用の低減が求められている。このような状況にあって、計画段階から維持管理の容易性を考慮することで、トータルコストの低減を図る戦略的な維持管理方策の提案が必要とされている。そこで、再堆積や河岸侵食が少なく、維持管理が容易な河道形状の形成手法の開発が求められている。

本研究はモデル河川として四国の急勾配河川である物部川水系物部川と緩勾配河川である那賀川水系桑野川を対象として、戦略的な維持管理手法の検討及び形成手法のとりまとめを行ったものである。本稿では、物部川水系物部川における検討について詳述する。

### 1. モデル河川物部川の課題

表1にモデル河川である物部川における河道特性及び現況河道の課題を記す。物部川(直轄区間)は河幅が300～500m程度であり、河道の二極化に伴う樹林化と局所洗掘が進行している急流河川である(図2)。このような「河床の比高差の拡大に伴い、植生域の樹林化と滞筋の固定化の二極化による局所洗掘の発生」といった現象は全国的にみられ、堤防沿いの局所洗掘による破堤の可能性の増大へつながり、河道管理上の大きな課題となっている。



図1 モデル河川位置図

表1 モデル河川の特徴及び課題

河川	特徴と課題
物部川	①平均河床勾配は概ね一定で 1/280 と急勾配であり、急流扇状地河川である。 ②河川整備計画目標流量に対し、砂州上の土砂堆積や樹木繁茂により流下能力が一部不足している。 ③昭和 40～50 年に堰の統廃合が実施されており、それに伴い平均河床高が低下、局所洗掘が発生し、洗掘対策が検討されている。

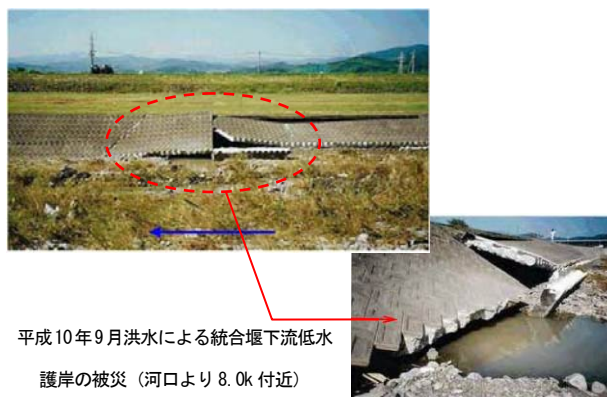


図2 物部川の河道管理上の課題例

## 2. 検討フロー

維持管理の容易な河道形状の検討をおこなうため、図-3に示す検討フローを提案した。初めに、①現況河道における維持管理面での問題を把握するために、全川的な河道変遷と経年的な断面形状の分析を行う。次に、②治水及び維持管理の観点から流下能力・河道の安定性といった指標を用いて河道形状を変更する必要性の判定(河道部の形状判定)を行い、③改修必要区間の抽出及び改修優先度の設定を行う。最終的に、改修必要区間における河道形状を決定するために、①の河道変遷と経年的な横断面形状の分析結果から、④河道形状を決定し、⑤治水・維持管理面での指標に加え事業費や河川環境も考慮した総合的な評価により河道整形案の最適案をトライアルにより見出す。以下には、②河道部の形状判定、③改修必要区間の抽出及び改修優先度設定、④河道整形案の設定および⑤評価方法の考え方および物部川への適用例について詳述する。

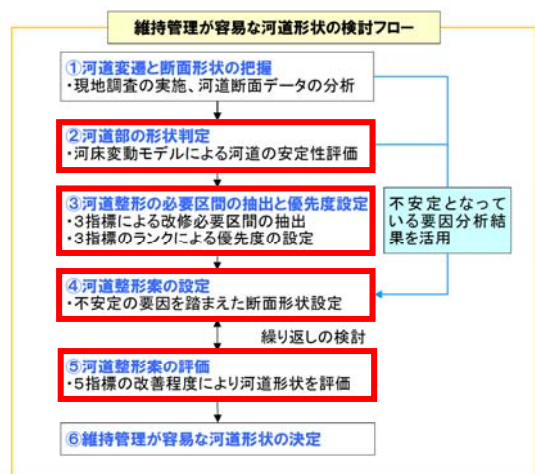


図-3 維持管理が容易な河道形状の検討フロー

## 3. 河道部の形状判定と改修必要区間の抽出及び優先度設定

### 3.1. 河道部の形状判定方法

河道形状を変更する必要があるかの判定(形状判定)を行うために治水及び維持管理の観点から表-2に示す「流下能力」、「河道安定性」、「平面的河床変化」の3指標を用いて評価することを提案した。ここでは、「河道安定性」及び「平面的河床変化」による評価方法について述べる。

河道の安定性評価には最近適用事例の多い「無次元流量-河幅・水深式(福岡の式)」<sup>1)</sup>を活用することとした。ただし、この式は一次元的(縦断的)な河道・水理特性(平均河床高、エネルギー勾配等)に基づいて作成されている。そのため、河幅が広く横断方向に流速差が大きく交互砂州が形成される河川や樹木の繁茂が顕著な区間へ適用する際には留意すべき事項があると想定される。このような課題を踏まえ、以下の手順で評価することを提案した。

①複数の流量規模に対する河道の安定性を評価するため、大・中・小の洪水ハイドロを条件に河床変動解析を行い、無次元の流量-河幅・水深を算出し、洪水時の河幅・水深変化を分析する。

②無次元の流量-河幅・水深の変化が標準値と大きく乖離する場合には、流量規模に応じて河幅が拡大せず、洗掘が進行する等の要因により不安定になっていると判断する。

③無次元の流量-河幅・水深の変化が標準値と同様の傾向で、乖離が小さい場合には、安定していると判断する。

上記③の場合でも、現地状況や河床変動計算結果等から判断すると、河岸沿いの局所洗掘が大きく進行している区間がみられた。このため、新たに「平面的河床変化(局所洗掘等)」の項目も加え、河床の安定性を評価することとしている。

表-2 3指標による河道部の形状判定方法

項目	内容	判定の考え方
流下能力	HWL評価(河積評価)の現況の流下能力を用いて、改修が必要となる区間を検討する。	HWL評価(河積評価)において、目標流量(河川整備計画目標流量等)を満足しない箇所は改修が必要な区間として「不足」と判定する。
河道安定性	福岡の式で評価される河床の安定性について評価する。	大・中・小の流量規模に対して河床変動解析を行い、福岡の式で安定していないと評価される箇所は、場合によっては改修が必要な区間として「不安定」と判定する。
平面的河床変化	河岸際の河床変化や局所洗掘等、堤体への影響を評価する。	河川整備計画において局所洗掘対策が設定されている箇所、河床変動計算において局所的な洗掘が生じると予測される箇所を改修が必要な区間として「影響あり」と判定する。

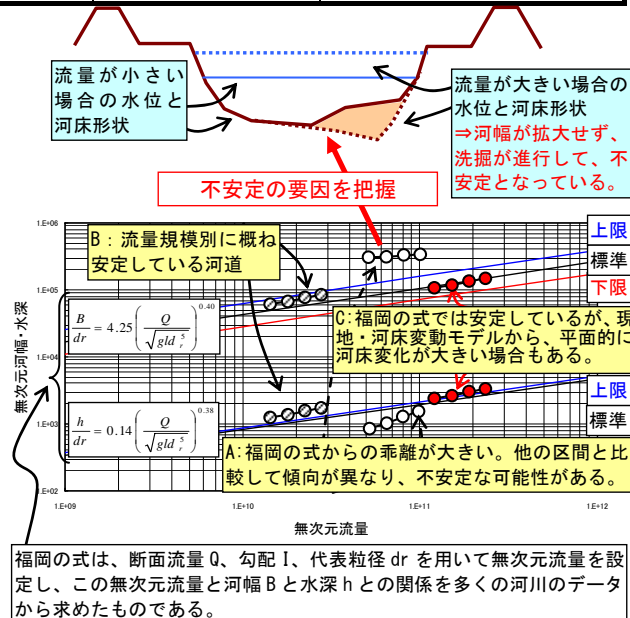


図-4 福岡の式による安定性の判定と分析

### 3.2. 河道整形の必要区間の抽出と優先度設定

河道部の形状判定に用いた3指標により改修必要区間の抽出を行う。



ここでは改修区間の抽出及び優先度設定を物部川等の局所洗掘が河川管理上の課題となっている河川へ適用することを想定し、表-2に示した3指標を表-3のようにランク区分し改修の優先度を簡便に判断できる材料を作成した。3指標の内「河道安定性」については土砂環境・河川環境を改善していく指標として有効に活用できるが、河川整備計画等では破堤に至るような治水上の事象に特に留意する必要があると考え、「流下能力(量的対策)」と「平面的河床変化(質的対策)」に重きを置き、全体的な分布バランスも考慮して6つのランク区分を設定している。ただし、このランク区分の設定は河川特性に応じて変化させる必要があると考えられる。

表-3 改修必要区間の抽出のランク区分

各項目による判定結果			改修の必要性
流下能力による判定結果	河道の安定性による判定結果	河床変化(局所洗掘)による判定結果	
-	安定	影響なし	E
不足	安定	影響なし	C
-	不安定	影響なし	D
-	安定	影響あり	C
不足	不安定	影響なし	B
-	不安定	影響あり	B
不足	安定	影響あり	A
不足	不安定	影響あり	S

### 3. 3. 物部川を対象とした河道部の形状判定と改修必要区間の抽出及び優先度設定

#### (1) 対象流量の設定

河道部の形状判定を行うために対象とする流量を平均年最大流量、河川整備計画の目標流量、計画高水流量とし、規模別の河床変動解析を行った。その上で、平面二次元河床変動解析結果による水理量を用いて、無次元流量-河幅・水深値を算出して、福岡の式との対比を行った。

#### (2) 河道の安定性評価

流量規模別の無次元流量-河幅・水深値と福岡の式における下限値・上限値との乖離程度から河道の断面形状の安定性を評価した(図-5)。

#### (3) 改修の必要区間の抽出と優先度設定

表-3の考え方にに基づき改修の必要区間の抽出及び優先度の設定を行った。結果として物部川では4区間を改修の優先度が高い区間として抽出した(表-4)。なお、平面的河床変化については深掘れ対策が実施されている区間の河床変化や既設護岸の根入れ高を踏まえて現況の最深河床から両河川とも-1.0m以上の局所洗掘が予測される箇所を「影響あり」と判定した。

最終的には、区間①はアユの産卵場付近であること、区間②は整備済みであることから検討対象区間から除外した。区間③と区間④の比較では、治水安全度の観点から区間④の方が改修優先度が高いと判断できるため、以下では区間④の河道整形案の設定および評価について触れる。

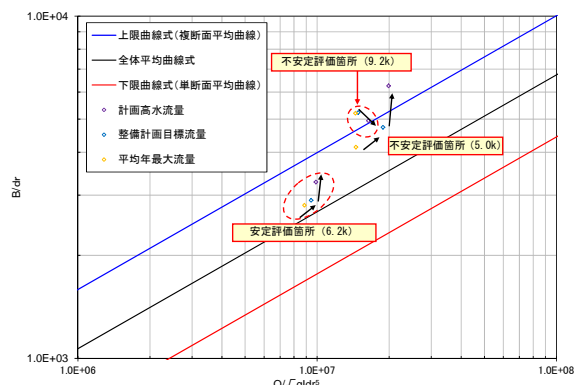


図-5 福岡の式による安定性の判定と分析

表-4 改修必要区間と優先順位の設定

距離標	各項目による判定結果			改修の必要性
	流下能力による判定結果	河道の安定性による判定結果	河床変化(局所洗掘)による判定結果	
10.2k	-	不安定	影響なし	D
10.0k	-	不安定	影響なし	D
9.8k	-	不安定	影響なし	E
9.6k	-	不安定	影響なし	D
9.4k	-	不安定	影響なし	D
9.2k	不足	不安定	影響あり	S
9.0k	不足	不安定	影響あり	A
8.8k	不足	不安定	影響あり	S
8.6k	不足	安定	影響あり	A
8.4k	-	不安定	影響なし	D
8.2k	-	不安定	影響なし	D
8.0k	-	不安定	影響なし	D
7.8k	-	不安定	影響なし	E
7.6k	-	安定	影響なし	E
7.4k	-	不安定	影響あり	B
7.2k	-	不安定	影響あり	B
7.0k	-	不安定	影響なし	B
6.8k	-	不安定	影響なし	B
6.6k	-	安定	影響なし	E
6.4k	-	安定	影響あり	C
6.2k	-	安定	影響あり	C
6.0k	-	安定	影響あり	C
5.8k	-	不安定	影響なし	E
5.6k	-	不安定	影響なし	D
5.4k	-	不安定	影響なし	D
5.2k	-	不安定	影響なし	D
5.0k	不足	不安定	影響なし	D
4.8k	不足	不安定	影響なし	B
4.6k	不足	不安定	影響なし	B
4.4k	不足	不安定	影響なし	B
4.2k	不足	不安定	影響なし	B
4.0k	-	不安定	影響なし	D
3.8k	-	不安定	影響なし	D
3.6k	-	不安定	影響なし	D
3.4k	-	不安定	影響あり	B
3.2k	-	不安定	影響なし	D
3.0k	-	不安定	影響なし	D
2.8k	-	不安定	影響なし	D
2.6k	-	不安定	影響なし	D
2.4k	-	不安定	影響あり	D
2.2k	-	安定	影響あり	C
2.0k	-	不安定	影響あり	C
1.8k	-	不安定	影響あり	B
1.6k	-	不安定	影響あり	B
1.4k	-	不安定	影響あり	B
1.2k	-	不安定	影響あり	B
1.0k	-	不安定	影響あり	B
0.8k	-	不安定	影響あり	B
0.6k	-	不安定	影響あり	B
0.4k	-	不安定	影響なし	B
0.2k	-	不安定	影響なし	D
0.0k	-	不安定	影響なし	D

### 4. 河道整形案の設定および評価

#### 4. 1. 河道整形案の設定方針

河道整形案の設定をおこなうために過去の空中写真及び横断の経年変化を分析し河道断面設定の方針を決める。局所洗掘及び堆積等が比較的生じていない過去の横断及び空中写真を参考とし、河道整形の目標を設定する。

#### 4. 2. 河道断面の設定

局所洗掘対策工法として、小規模な改修としては低水護岸の緩勾配化や急流河川で適用されている巨石を用いた根固め工の設置などが挙げられる。また、大規模な整形案としては比較的河床が安定し(洪水によって河床が変動しても元の河床に戻る河道)、土砂が再堆積しづらい船底河道が挙げられる。船底河道の横断形状は福岡・山坂<sup>2)</sup>らによって関数系による形状が提案されている。

#### 4. 3. 河道整形案の評価

設定した断面について総合的に維持管理が容易な河道かを評価するため「水位・流速」といった治水安全度の指標、「河道安定性」及び「平面的河床変化」に加え、「河川環境」及び「概算事業費」を加えた5項目を用いることを提案した。表一5に各項目の解析による評価方法について記す。

表一5 2指標による河道整形案の評価

項目	内容	解析による評価
水位・流速	・HWL 評価(河積評価)の現況の流下能力を用いて、改修が必要となる区間を検討する。 ・改修断面での流速について評価する。	・目標流量に対する計算水位とHWLを比較。 ・河岸沿いの流速低下について、現況河道、河川整備計画河道と比較(一般的な連節ブロックの耐流速5.0m/sとも比較)。
河床安定性	・福岡の式で評価される河床の安定性について評価する。	・福岡式での安定範囲であるかを確認。 ・無次元水位・河幅の変化を現況河道、河川整備計画河道と比較して改善度合いを評価。
平面的河床変化	・河岸際の河床変化や局所洗掘等、堤体への影響を評価する。	・河岸沿いの局所洗掘・深掘れについて、現況河道、整備計画河道と比較。 ・長期的な河床変動予測による評価。
河川環境	・環境変化(瀬・淵環境)について評価する。	・アユの好適生息域の分布及び上下流連続性。 ・樹木の繁茂予測による評価。
概算事業費	・河床整形の実現性について評価する。	・概算事業費を算出し、改修にかかる費用で評価。 ・河道内での土砂移動も費用を算定。

#### 4. 4. 物部川を対象とした河道整形案の設定および評価

##### (1) 河道整形案の目標設定

図一6に7.0~10.0kにおける昭和40年代からの空中写真及び図一7に9.0kにおける昭和45年以降の横断面図を示す。物部川7.0~10.0kでは昭和40、50年代には当該箇所上流に位置する山田堰により堰直下流から流路は左右岸に分かれていたことがわかる。これは山田堰が斜め堰であったことが要因として考えられる。近年の局所洗掘は昭和57年に、山田堰が撤去され、左岸側で土砂堆積が進行し、右岸側に流路が固定され流れが直線的となったためと推察される。以上から、河道中心部へ流水を導くような河道整形が有効と判断できる。

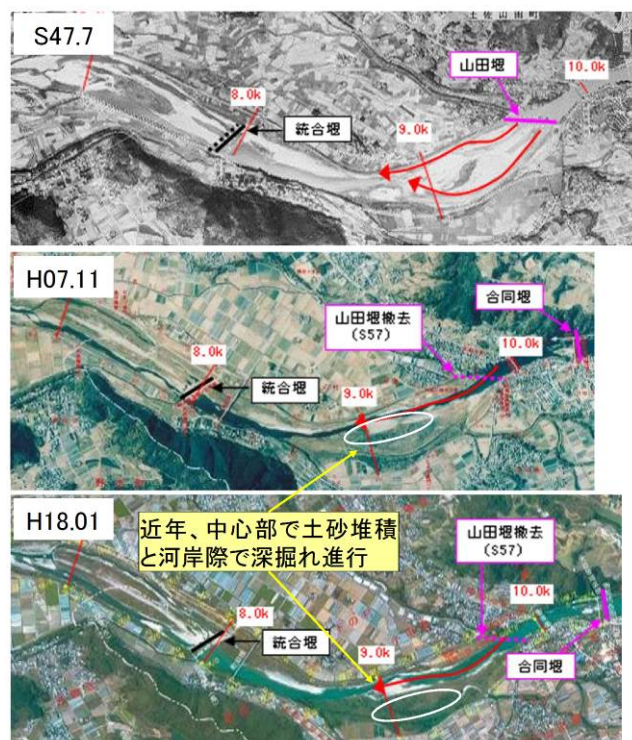
##### (2) 河道整形案の設定

物部川においては当初、遠賀川の事例<sup>3)</sup>を参考とし緩勾配掘削による比較的小規模な河床整形による改修による効果を確認したが、大きく改善しなかったため、河道中心部に流心を移動させる船底型河道による大規模な河床整形を行うものとした。

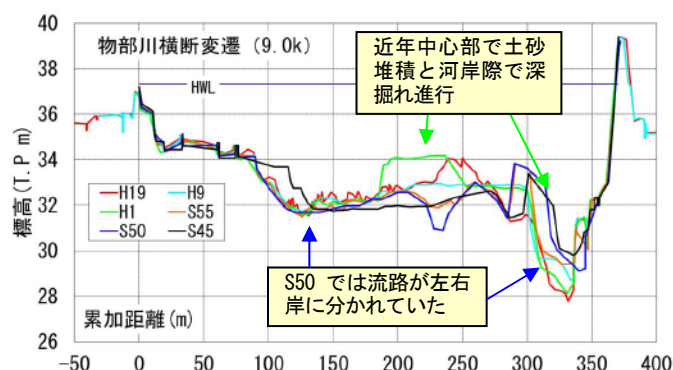
船底河道の作成に当たっては船底の①最深河床高と②最深河床の位置(法線)③横断面を設定する。

①最深河床高の設定では、初期設定として、下流側の船底中心部の河床高は経年的に河床が安定している8.6kを基準とし、上流側では近年河床低下傾向にある9.6k地点を基準として、一定勾配とした(図一8)。その後、3指標:「水位・流速」、「河床の安定性」、「平面的河床変化」の評価により最適な河床高をトライアルにより設定した。

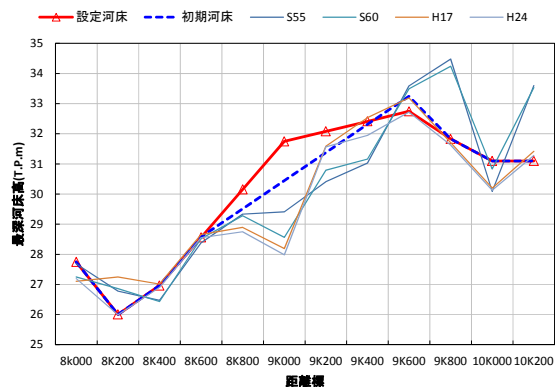
②法線形状は流心を河道中心部に導くため、湾曲中心部に法線を引き、上下流で滑らかに連続するカーブを設定した(図一9)。また、③横断面は福岡・山坂<sup>2)</sup>らによる関数系を参考として設定した。



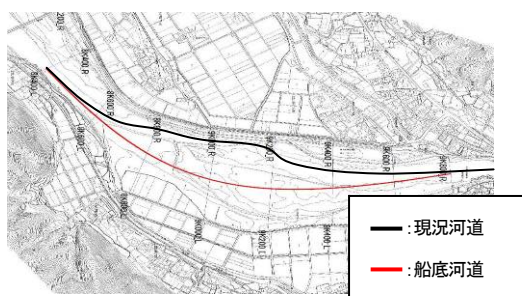
図一6 空中写真(7.0~10.0k)



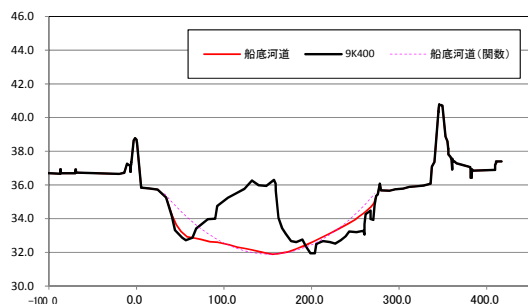
図一7 経年横断面図(9.0k S45~H19)



図－8 最深河床高縦断面図



図－9 船底最深部の法線形決定



図－10 船底河道の設定 (物部川)

### (3) 河道整形案の評価

以下、提案した5指標による河道整形案の評価を現況河道・河川整備計画河道との比較により行なった。

#### ①水位・流速

現況河道では計画洪水ハイドロに対し8.6k及び8.8kで水位がHWLを超過する結果となった(図－11)。一方、河川整備計画河道及び船底河道においては改善が見られ、HWL超過は解消された。また、河岸際の流速に関して、河川整備計画河道では現況河道に比べ流速が3m/sほど増加する箇所が発生した(図－12)。一方、船底河道では河岸際の流速が比較的低下する傾向にあった。船底河道は、河岸沿いが緩やかな傾斜となるため、河岸沿いの流速が低下し、また局所洗掘等の発生防止に有効と考えられる。

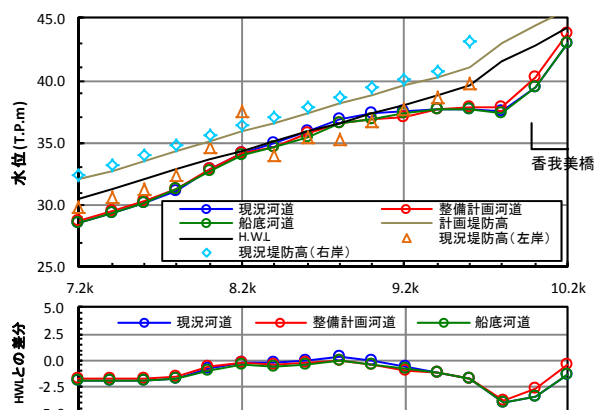
#### ②河床の安定性

河床の安定性については現況河道及び河川整備計画河道では横断形状に段が生じており、流量の変化に伴い各段の冠水により河幅が急変する(図－13)。一方、船底河道においては福岡の式と同様な流量に応じた河幅変化を

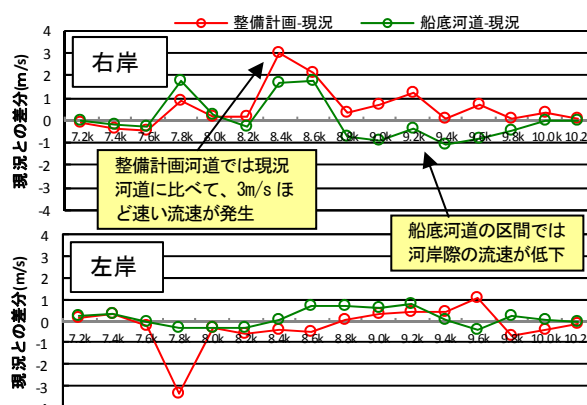
示し安定的な河床と評価される。

#### ③平面的河床変化

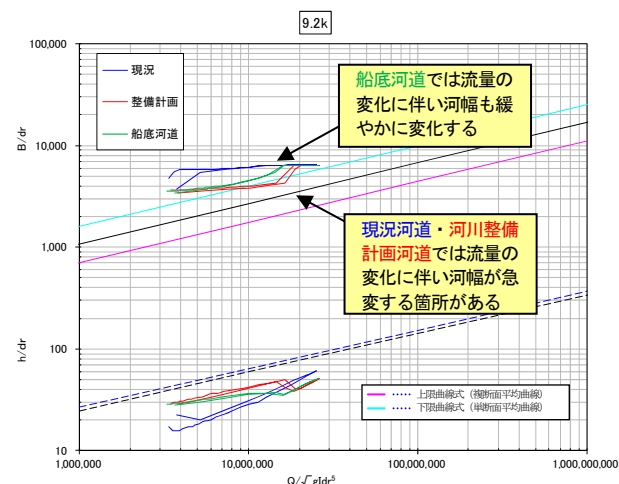
長期予測(10年予測)を行った結果を図－14に示す。河川整備計画河道では9.2k～9.8kにおいて洗掘の傾向がみられ、8.8k～9.2kにおいては、堆積傾向がみられた。一方、船底河道では、8.6k～8.8k及び9.6k～9.8k区間に洗掘の傾向がみられた。洗掘傾向がみられるのは、河川整備計画河道ではやや河岸際(9.0k～9.4k右岸)であり、船底河道においては河道中心部であった。したがって、局所洗掘による護岸等の被災の可能性においては、河川整備計画河道に比べ、船底河道が優位であると考えられる。



図－11 水位縦断の比較

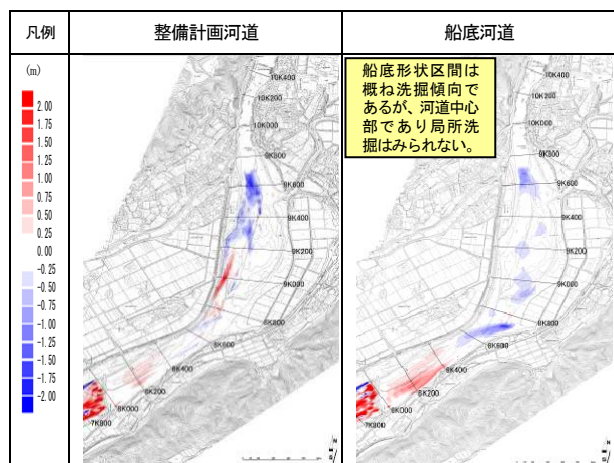


図－12 河岸際流速の比較

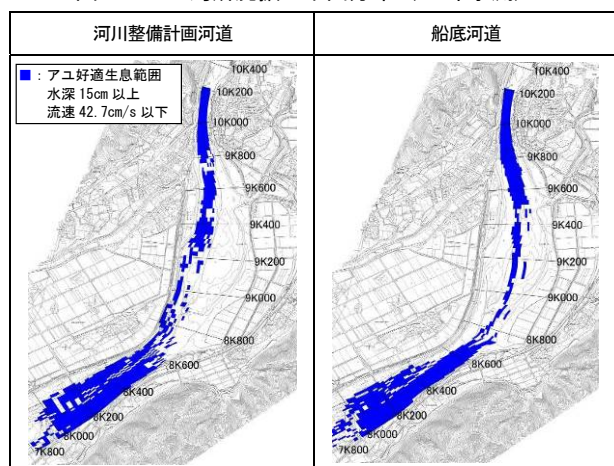


図－13 無次元流量－無次元河幅・水深関係の時間変化

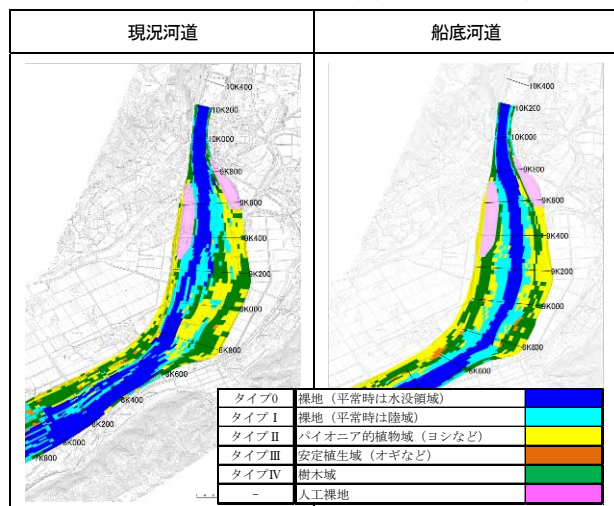




図－１４ 局所洗掘の平面分布（10年予測）



図－１５ アユの好適生息範囲（平水流量時）



図－１６ 樹木繁茂予測結果（10年予測）

#### ④河川環境

河川環境については、平水流量時（12.08m<sup>3</sup>/s）のアユの好適生息範囲（水深：15cm以上、流速42.7cm/s以下）及び植生消長モデルを用いた樹木繁茂域の10年予測による評価を行った。

図－１５に平水流量時の河川整備計画河道及び船底河道のアユ好適生息範囲の平面分布を示す。結果として、河川整備計画河道に比べ船底河道ではアユの好適生息範囲

が8.8k～9.4kにかけてやや狭くなっている。しかし、河川整備計画河道では、アユの好適生息範囲が上下流で連続していない区間が存在し（9.0k～9.2k）、遡上等の行動に影響を及ぼすものと推察される。一方、船底河道では、アユ好適生息範囲は上下流で連続しており、遡上等の行動には影響を及ぼさないものと考えられる。

樹木繁茂域予測結果を図－１６に示す。樹木繁茂域は現況河道に比べ船底河道では減少する結果となった。船底河道は現況河道に比べ水面幅が広く、船底形状の端部に樹木が繁茂するものと考えられ、維持管理が比較的容易であると考えられる。

#### ⑤概算事業費

概算事業費は整備計画河道：9.4億円、船底河道：4.0億円であった。船底河道では、河岸際の流速が低下するため低水護岸が不要であり、河道内での掘削部を「押土」により盛土部へ転用でき、運搬費等の残土処理費を抑えることが可能である。

#### ⑥総合評価

結果として、船底河道は河岸際の流速低下や局所洗掘の改善、水面幅拡大による樹木繁茂域の減少など、維持管理が容易な河道と評価できる。また、事業費についても船底河道がより安価であり総合的に船底河道が改修案として優位な河道と判断できる。

### あ と が き

本検討では、改修必要区間の抽出から、維持管理が容易な河道形状設定及び評価までの過程を実河川に適用し戦略的な維持管理手法の一つとして提示した。本検討でモデル河川とした、物部川においては本手法を適用した河道計画検討を実施しており、今後、全国への展開が望まれる。

また、河道安定性が高いとされていた船底河道について実河川での具体的な設定手順を示すとともに複数項目により多面的に維持管理面での有用性が確認できた。

### 参考文献

- 1) 福岡捷二：札幌川の河道変遷を考慮した治水と環境の調和した安定な河道縦横断面形状に関する研究，北海道河川財団研究所紀要(X XIV)，pp. 123-164，2013。
- 2) 福岡捷二・山坂昌成：なめらかな横断面形状をもつ直線流路のせん断分布と拡幅過程の解析，土木学会論文集，第351号/II-2，1984。
- 3) 福岡捷二・笹木拓真・宮原幸嗣：複断面から船底形断面河道への改修による洪水流況及び低水路河床高の変化，河川技術論文集，第20巻，2014。



## 淀川水系猪名川下流ブロックにおける当面の治水目標及び治水手法の検討

(株)CTIウイング 池内 寛

(株)CTIウイング ○ 芳野 和寿

### 論文要旨

一級河川猪名川の一次支川余野川において、「猪名川の受入れ流量：419m<sup>3</sup>/s」という条件の下、『人命に影響を及ぼす恐れがあるため整備する区間』を設定することにより、河道整備に伴うリスク軽減と事業効率を両立させた当面の治水目標及び治水手法を検討した。

その成果は、「淀川水系猪名川下流ブロック河川整備計画」として大阪府河川整備審議会で諮問、答申された。

キーワード：河道整備、リスク軽減、当面の治水目標、治水手法

### まえがき

本稿は、大阪府の「今後の治水対策の進め方」(平成 22 年 6 月)に基づき、猪名川下流ブロックに属する余野川(一級河川猪名川の一次支川)において、当面の治水目標及び治水手法を検討したものである。

#### 1. 「今後の治水対策の進め方」の基本方針

大阪府では、従来の治水対策(府域の全ての河川で治水目標を時間雨量 80 ミリ程度[1/100 年確率雨量])について、大阪府河川整備委員会「今後の治水対策の進め方」検討部会で検証を行った結果、以下の課題が挙げられた。

- 河川氾濫・浸水被害により被るリスクを府民にわかりやすく説明することができていない。
- 想定外の洪水が発生した場合、河川に洪水を閉じ込める従来の「防ぐ」対策では限界があるとともに、同じ治水安全度であっても河川形態・土地利用等によって被害の大きさは異なる。
- 財政制約下では、将来目標を達成するまでには長期間を要するため、府民が対策の効果を実感できていない。

そこで、今後の治水対策については、「様々な降雨により想定される地先の生命・財産に対する河川氾濫・浸水の危険性を府民にわかりやすく説明し、財政制約のもと限られた期間で実施可能な河川氾濫・浸水の危険性の低減に向けて、府民・行政が一体となり地域の状況に応じた総合的な減災対策に取組む。」こととし、今後 20～30 年程度で目指すべき当面の治水目標(河川氾濫・浸水の危険性の低減目標)を設定・公表し、避難体制の強化などの減災対策、維持管理による治水機能の保全や河川改修などの治水施設整備により、河川毎に効果的な治水手法を組合せて実施する方針となった。

なお、時間雨量 50 ミリ程度[1/10 年確率雨量]への対

策は、家屋への被害が想定される府域の全ての河川で治水施設により最低限確保する。

以下に「今後の治水対策の進め方」(平成 22 年 6 月)の基本的な考え方及び取組み方針を示す。

#### 【基本的な理念】

人命を守ることを最優先とする。

#### 【取組み方針】

- ① 現状での河川氾濫・浸水の危険性に対する府民の理解を促進する。
- ② 「逃げる」「凌ぐ」施策を強化するとともに、「防ぐ」施策を着実に実施する。
- ③ 府民が対策の効果を実感できる期間(概ね 10 年)での実現可能な対策及び実施後の河川氾濫・浸水の危険性をわかりやすく提示する。

#### 2. 「今後の治水対策の進め方」のフロー

「今後の治水対策の進め方」フローを図-1に示す。

ここで、本稿での検討対象は、「1. 地先の危険度評価」と「2. 河川毎の総合的・効果的な治水手法の組合せ」の部分である。

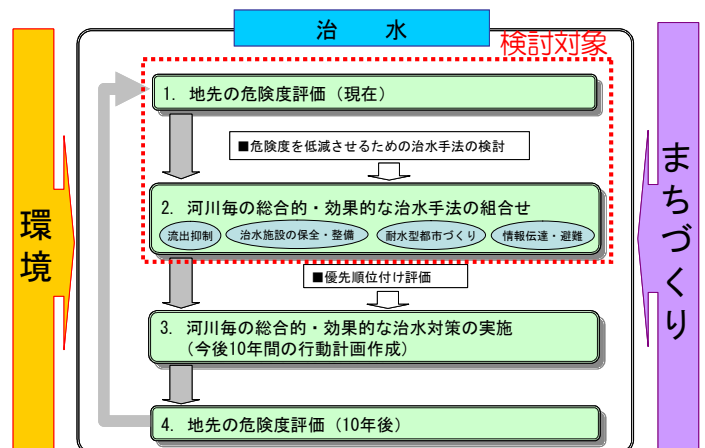


図-1 「今後の治水対策の進め方」フロー

### 3. 地先の危険度評価の考え方

#### (1) 地先の危険度評価指標

現状の地先の危険度については、地先の河川氾濫・浸水による被害に着目し、表－1に示す指標により評価を行う。

表－1 地先の危険度評価指標

○想定浸水深	50 ミリ程度(1/10)、65 ミリ程度(1/30)、 80 ミリ程度(1/100)、90 ミリ程度(1/200) の4ケースの氾濫解析により算出
○家屋流出指数	

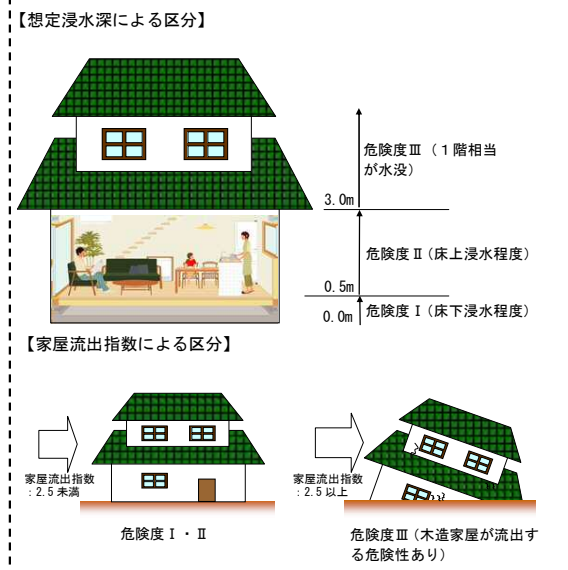
家屋流出指数とは、 $U^2 \times h$  [U：氾濫水の流速(m/s)、h：水深(m)]であり、その値が2.5以上で、木造家屋が流出する危険性があるとされている。

#### (2) 地先の危険度評価の考え方

地先の危険度を表－2に示すようにⅠ～Ⅲに区分する。また、地先の危険度評価イメージを図－2に示す。

表－2 地先の危険度区分

区 分	内 容	危険度
危険度Ⅲ	想定浸水深が3.0m以上、または、 家屋流出指数が2.5以上	大 ↓ 小
危険度Ⅱ	想定浸水深が0.5m以上～3.0m未満	
危険度Ⅰ	想定浸水深が0.5m未満	



図－2 地先の危険度評価イメージ図

### 4. 総合的・効果的な治水手法の組合せ

#### (1) 地先の危険度低減の考え方

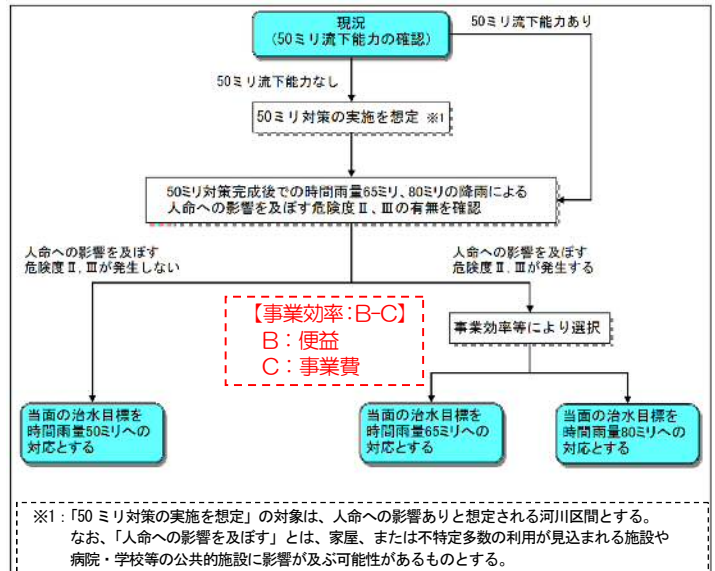
治水手法の組合せについては、全ての流域で流出抑制、治水施設の保全・整備、耐水型都市づくり、情報伝達・避難を実施するものとする。

#### (2) 治水施設の整備の考え方

治水施設の整備については、下流からの河川改修を原則としつつ、流域の状況および地先の危険度評価に応じて、人命を守ること(危険度Ⅱ・Ⅲを解消すること)を最優先とした柔軟な整備(部分的改修)を実施していく。

### 5. 当面の治水目標の設定の考え方

家屋等への被害が想定される、地先の危険度がⅠ～Ⅲと判定される箇所を抽出し、地先の危険度Ⅱ、Ⅲの解消に向けた当面の治水目標を設定し、治水施設の整備規模を図－3のフローに基づき決定する。



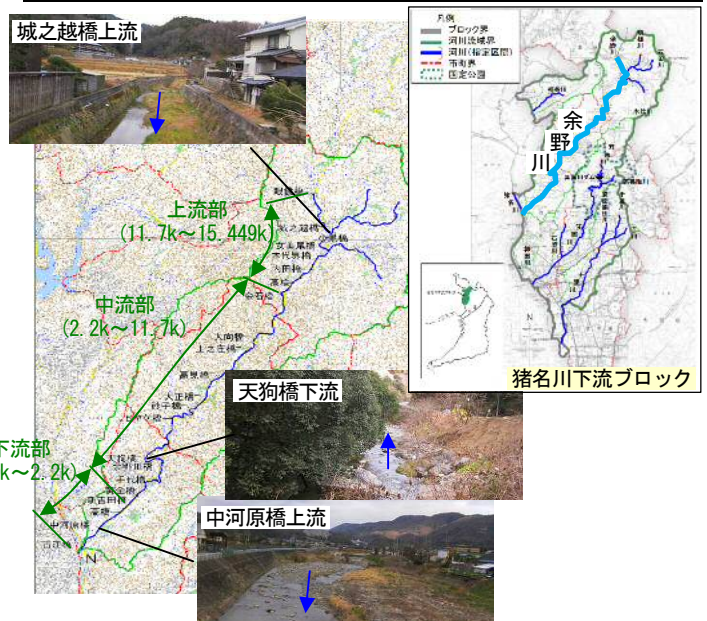
図－3 当面の治水目標の設定フロー

### 6. 余野川の概要

余野川は豊能町の山地に源を発し、国道423号沿いに南西に流下して猪名川に合流する指定区間延長15.449kmの一級河川である。(表－3、図－4参照)

表－3 余野川 区間毎の主な特徴

区 間	主な特徴
下流部	河床勾配：約1/160～1/90、川幅：約30m、住宅が点在する田園風景
中流部	河床勾配：約1/90～1/30、川幅：約15m、岩が露頭する溪流風景
上流部	河床勾配：約1/85～1/55、川幅：約10m、田園地帯を流下する里地景観



図－4 余野川の概要



## 7. 地先の危険度評価

### (1) 氾濫解析の概要

氾濫解析の概要を表-4に示す。

表-4 氾濫解析の概要

項 目	内 容
降雨波形	・中央集中型【豊能地域】(図-5参照) ・時間雨量 50 ミリ程度、65 ミリ程度、80 ミリ程度、90 ミリ程度
境界条件	・下流端水位：猪名川 12.2k の H.W.L. ・上流端流量：特性曲線法による流量ハイドログラフ
河道断面	・現況河道を設定
破壊条件	・計算水位が H.W.L または堤防高+余裕高を上回る地点の中で、被害額が最大となる地点
メッシュサイズ	・25m メッシュを採用
その他	・河道と氾濫原を一体的に解析 ・氾濫水の河道への復流を考慮

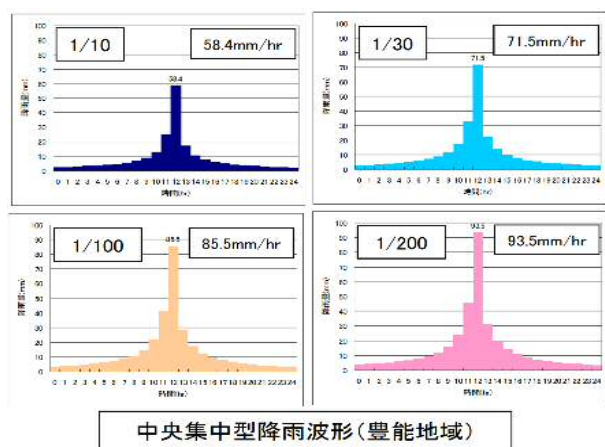


図-5 降雨波形

### (2) 氾濫解析結果

氾濫解析結果を図-6に示す。(例：下流部)

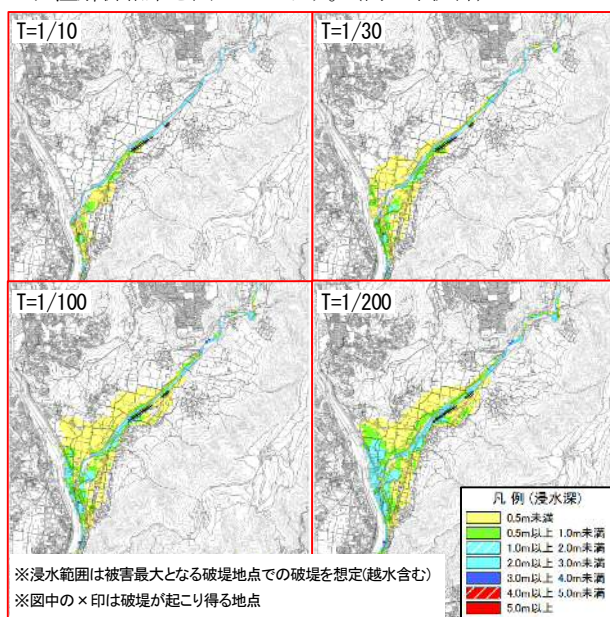


図-6 氾濫解析結果(現況河道)

### (3) 地先の危険度評価

現況河道では、時間雨量 50 ミリ程度の洪水で危険度Ⅱが発生する。(図-7参照)

そのため、50 ミリ程度対策を想定し、対策完成後での時間雨量 65 ミリ程度、80 ミリ程度の洪水による危険度Ⅱ、Ⅲの有無を確認する。

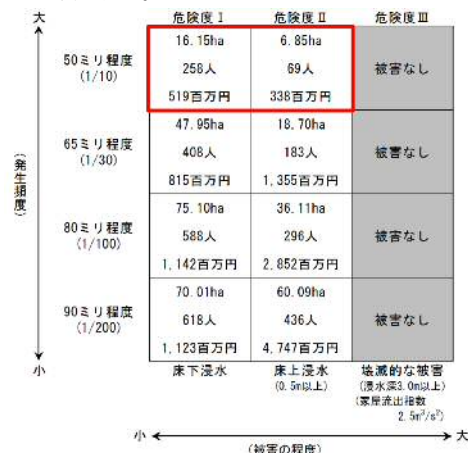


図-7 危険度・被害数量マトリクス(現況河道)

## 8. 当面の治水目標及び治水手法の検討

### (1) 50 ミリ程度〔年超過確率 1/10〕対策の治水手法

50 ミリ程度対策の治水手法は、一般的な「河道改修案」を治水手法案として設定した。

### 1) 50 ミリ程度対策の河道改修案の概要

設定した 50 ミリ程度対策の河道改修案の概要を図-8に示す。

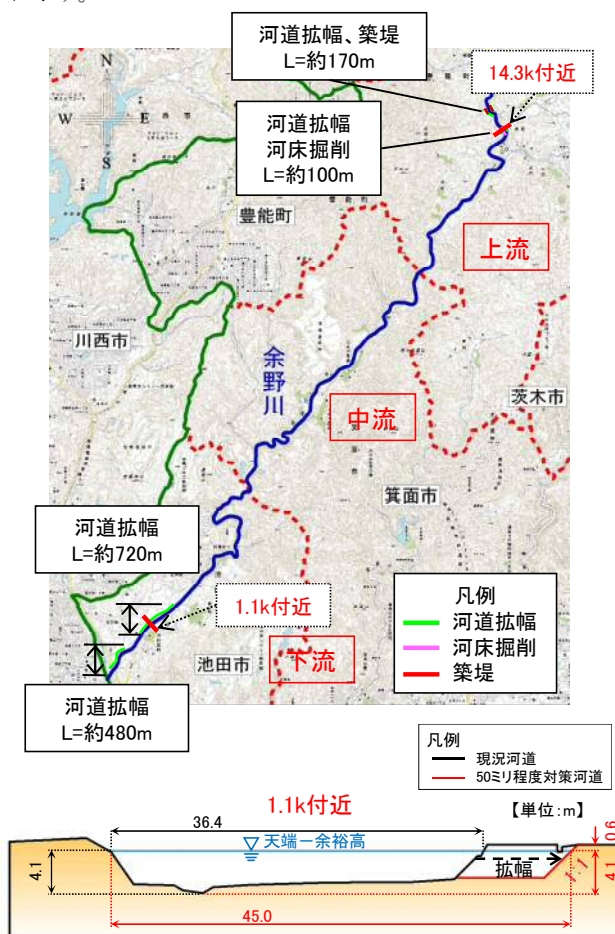


図-8 50 ミリ程度対策の河道改修案の概要

## 2) 50 ミリ程度対策の河道改修案での氾濫解析

氾濫解析の検討条件は、河道断面のみ現況河道から 50 ミリ程度対策河道に変更し、その他の条件は現況河道時と同様とした。(後述の 65 ミリ程度対策、80 ミリ程度対策も河道断面のみ変更し、その他の条件は現況河道時と同様)

上記の検討条件下で実施した氾濫解析結果を図-9 に示す。(例：下流部)

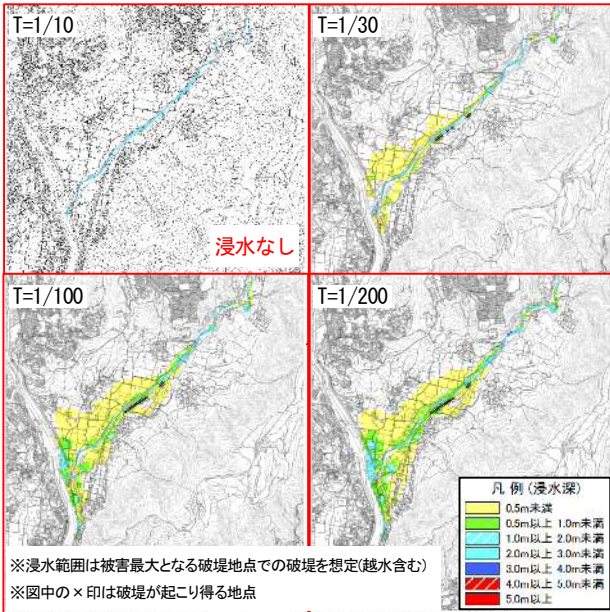


図-9 氾濫解析結果 (50 ミリ程度対策後)

## 3) 50 ミリ程度対策の河道改修案での危険度評価

50 ミリ程度対策の河道改修では、65 ミリ程度、80 ミリ程度の洪水で危険度Ⅱが発生する。(図-10 参照)

そのため、当面の治水目標は事業効率等により選択するものとした。

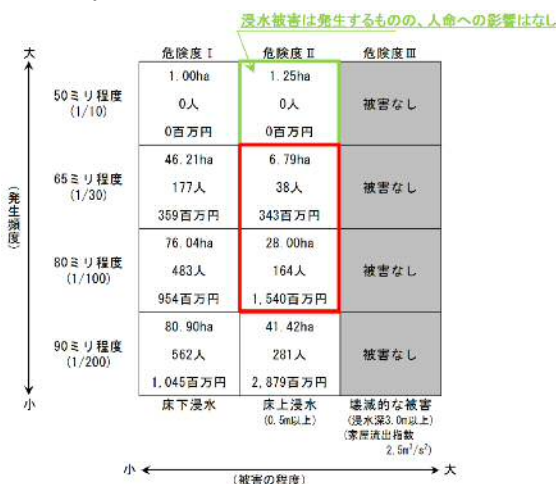


図-10 危険度・被害数量マトリクス (50 ミリ程度対策後)

### (2) 65 ミリ程度 [年超過確率 1/30] 対策の治水手法

65 ミリ程度対策の治水手法としては、一般的な「河道改修案」と、余野川中流部の 9.9k 付近で右岸側に分派する余野川ダム導水路 (図-11 参照) を用いた「貯留施設案」の 2 案を想定した。

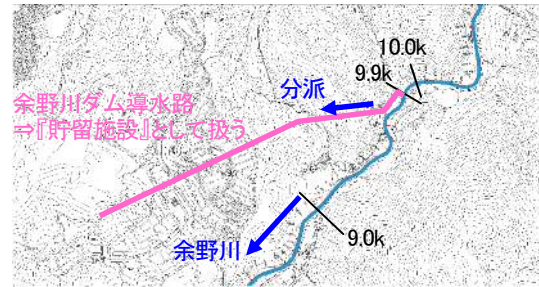


図-11 余野川ダム導水路を用いた貯留施設案

### 1) 65 ミリ程度対策の治水手法の選定

65 ミリ程度対策の治水対策案は、表-5 の比較により、実現性が高く、事業費が安価な「河道改修案」とした。

表-5 65 ミリ程度対策の治水手法の評価

治水対策案	河道改修案(単独案)	貯留施設(余野川ダム導水路)+河道改修案
概要	・流下能力不足区間の河道改修	・貯留施設による洪水調節 ・流下能力不足区間の河道改修
施設規模	・改修延長: 約0.50km ・計画流量: 540m³/s ・改修方法: 河道拡幅、河床掘削	・導水路カット量: 30m³/s ・調節容量: V=101,800m³ ・取水施設: 1箇所、・放流施設: 1箇所 ・排水ポンプ: 1機(1日排水: 約1.2m³/s規模) ・改修延長: 約0.50km、・計画流量: 510m³/s ・改修方法: 河道拡幅、河床掘削
治水上の評価 超過洪水への対応	・工事完了箇所から治水効果が発現 ・超過洪水に対しても一定の効果	・導水路満杯時点で治水効果なし ・取水施設の操作が必要 ・貯留水の排水が必要
自然環境上の評価	・河川環境に影響あり ・現状の河川環境の保全等が必要	同左
社会環境上の評価	河道内改修のため移転家屋なし	トンネル水路を活用するため、移転家屋なし
施工性・実現性	・一般的な手法 ・施工性・実現性は高い	・技術的な課題が多く存在 ・導水路のカット量が小さい ・トンネル内の適切な維持管理が必要
概算事業費	1.0億円	16.2億円
総合評価	実現性が高く、事業費も安価である。 ○	実現性が低く、事業費も高価である。 ×

### 2) 65 ミリ程度対策の河道改修案の概要

設定した 65 ミリ程度対策の河道改修案の概要を図-12 に示す。



※50ミリ程度対策河道からの改修対象区間

図-12(1) 65 ミリ程度対策の河道改修対象区間



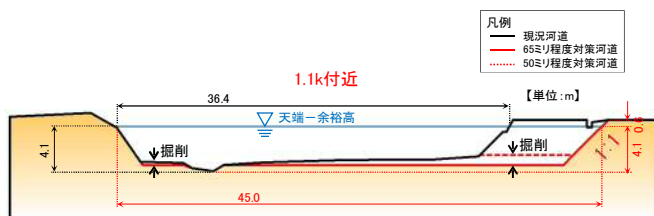


図-12(2) 65 ミリ程度対策の河道改修イメージ

### 3) 65 ミリ程度対策の河道改修案での氾濫解析

氾濫解析結果を図-13 に示す。(例: 下流部)

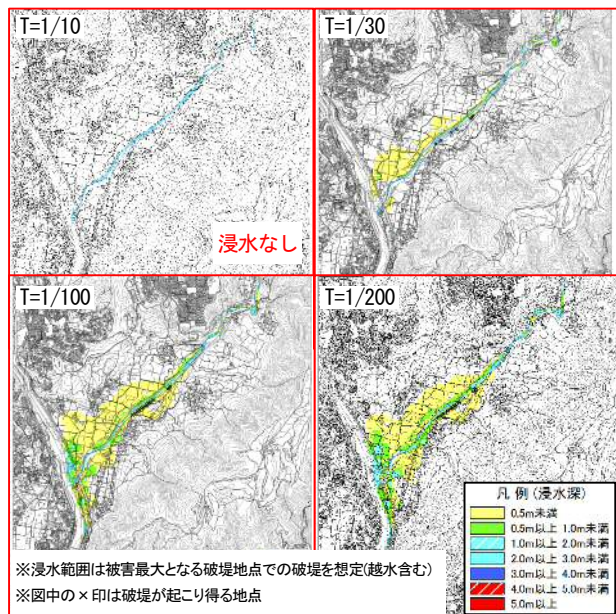


図-13 氾濫解析結果 (65 ミリ程度対策後)

### (3) 80 ミリ程度〔年超過確率 1/100〕対策の治水手法

80 ミリ程度対策の治水手法としては、65 ミリ程度対策と同様に、「河道改修案」と「貯留施設案」の2案を想定した。

#### 1) 80 ミリ程度対策の治水手法の選定

80 ミリ程度対策の治水対策案は、表-6の比較により、実現性が高く、事業費が安価な「河道改修案」とした。

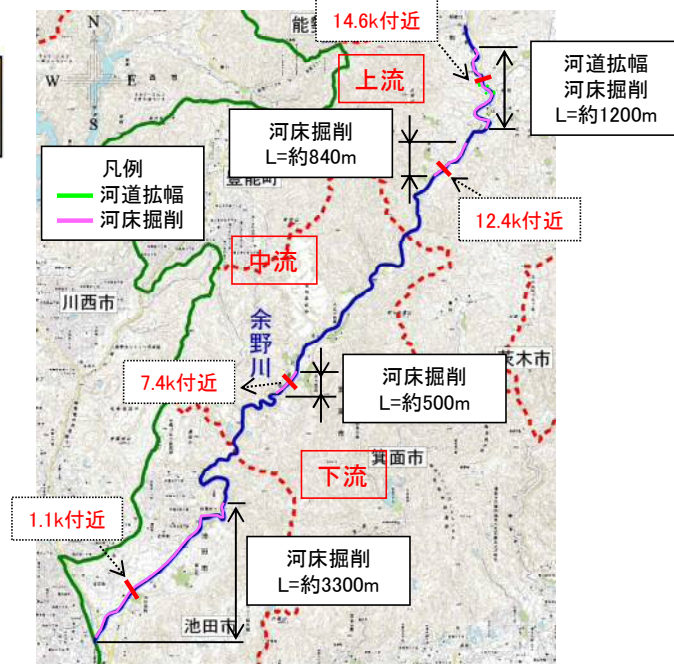
表-6 80 ミリ程度対策の治水手法の評価

治水対策案	河道改修案(単独案)	貯留施設(余野川ダム導水路)+河道改修案
概要	・流下能力不足区間の河道改修	・貯留施設による洪水調節 ・流下能力不足区間の河道改修
施設規模	・改修延長: 約5.84km ・計画流量: 730m³/s ・改修方法: 河道拡幅、河床掘削	・導水路カット量: 30m³/s ・調節容量: V=101,800m³ ・取水施設: 1箇所、・放流施設: 1箇所 ・排水ポンプ: 1機(1日排水: 約1.2m³/s規模) ・改修延長: 約5.84km、・計画流量: 700m³/s ・改修方法: 河道拡幅、河床掘削
治水上の評価	・工事完了箇所から治水効果が発現 ・超過洪水に対しても一定の効果	・導水路満杯時点で治水効果なし ・取水施設の操作が必要 ・貯留水の排水が必要
自然環境上の評価	・河川環境に影響あり ・現状の河川環境の保全等が必要	同左
社会環境上の評価	河道内改修のため移転家屋なし	トンネル水路を活用するため、移転家屋なし
施工性・実現性	・一般的な手法 ・施工性・実現性は高い	・技術的な課題が多く存在 ・導水路のカット量が小さい ・トンネル内の適切な維持管理が必要
概算事業費	29.8億円	43.8億円
総合評価	実現性が高く、事業費も安価である。 ○	実現性が低く、事業費も高価である。 ×

### 2) 80 ミリ程度対策の河道改修案の概要

設定した 80 ミリ程度対策の河道改修案の概要を図-14

に示す。



※50ミリ程度対策河道からの改修対象区間

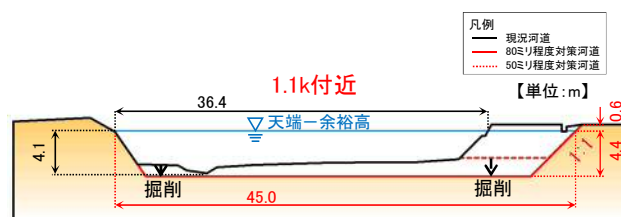


図-14 80 ミリ程度対策の河道改修案の概要

### 3) 80 ミリ程度対策の河道改修案での氾濫解析

氾濫解析結果を図-15 に示す。(例: 下流部)

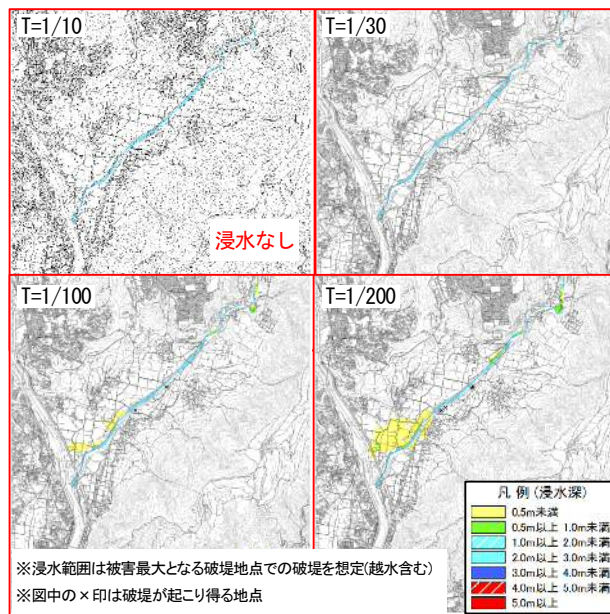


図-15 氾濫解析結果 (80 ミリ程度対策後)

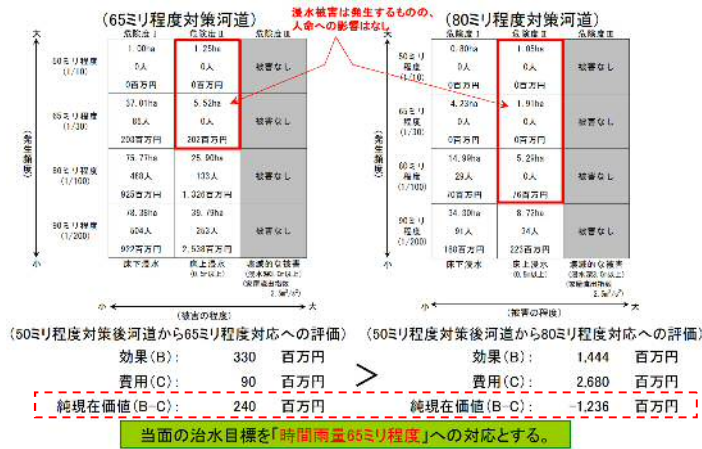
### (4) 当面の治水目標の検討

#### 1) 事業効率等による検討

事業効率等による当面の治水目標の検討結果を図-16



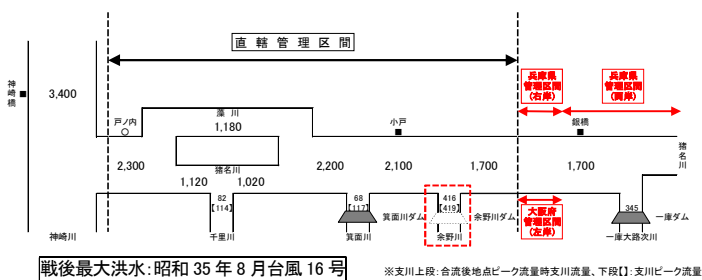
に示す。その結果、65 ミリ程度対策の純現在価値 (B-C) は 240 百万円となり、80 ミリ程度対策の純現在価値 (B-C) は-1,236 百万円となった。よって、事業効率等による当面の治水目標を 65 ミリ程度対策とした。



図一16 事業効率等による検討結果

## 2) 猪名川本川の受入流量を踏まえた確認

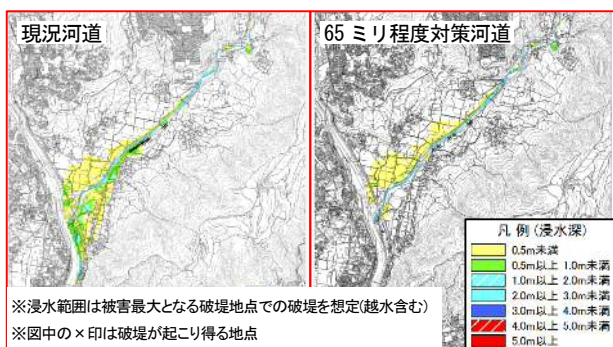
余野川では、淀川水系河川整備計画において猪名川の受入流量が419m<sup>3</sup>/sと定められている。(図一17 参照)



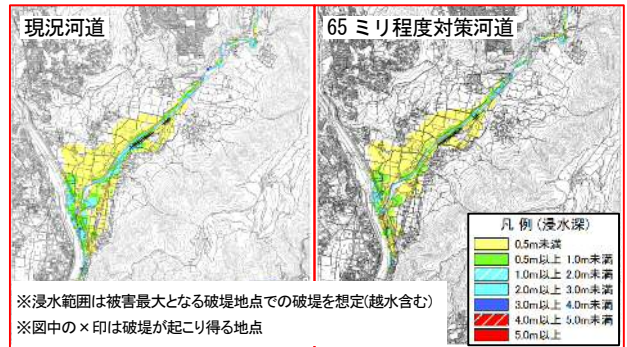
図一17 淀川水系河川整備計画流量配分図

そのため、余野川において当面「流下能力の上限を419m<sup>3</sup>/sに抑えること」を条件とし、人家への危険度Ⅱが生じないように 65 ミリ程度対策河道(流下能力の上限を419m<sup>3</sup>/sとした改修断面、前項(2)の検討)の再設定を行った。

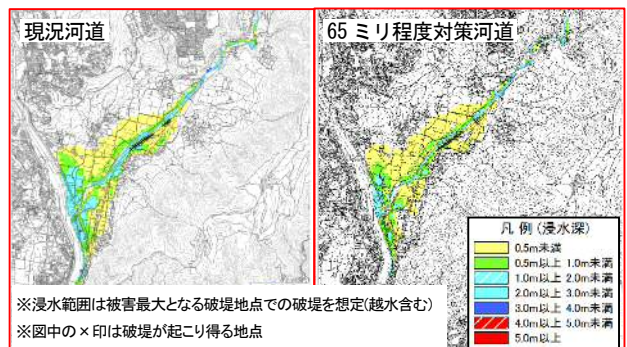
現況河道と比較した場合、浸水リスクの下流部への顕著な転嫁がないことを確認した。(図一18 参照、例: 下流部)



図一18(1) 現況河道と 65 ミリ程度対策の氾濫解析結果(T=1/30)



図一18(2) 現況河道と 65 ミリ程度対策の氾濫解析結果(T=1/100)



図一18(3) 現況河道と 65 ミリ程度対策の氾濫解析結果(T=1/200)

## 3) 当面の治水目標の設定

以上を踏まえ、事業効率等と猪名川本川の受入流量の観点から、余野川の当面の治水目標を 65 ミリ程度対策と定めた。

## あ と が き

本検討において、余野川における、河道整備に伴うリスク軽減と事業効率を両立させた当面の治水目標及び治水手法を定めることができた。

その成果は、「淀川水系猪名川下流ブロック河川整備計画」として大阪府河川整備審議会で諮問、答申された。

謝辞: 本稿を発表するにあたり、大阪府都市整備部河川室、大阪府池田土木事務所建設課河川砂防グループより早く承諾をいただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献(または引用文献)

- 1) 今後の治水対策の進め方(平成 22 年 6 月、大阪府)
- 2) 『今後の治水対策の進め方』補足資料(平成 25 年 3 月)
- 3) 「今後の治水対策の進め方」に基づく氾濫解析の実施にあたって ver.2.1(大阪府都市整備部河川室)
- 4) 平成 28 年度 第 5 回 大阪府河川整備審議会 資料 1-2(平成 28 年 11 月 29 日)

# 雨水流出解析における流出係数設定手法に関する一考察

(株) エース 大 西 貞 男  
(株) エース 黄 国 梁  
(株) エース ○ 美 作 世 紀

## 論文要旨

本研究は、流出解析モデルを用いた水量解析において、降雨損失モデルの流出係数を設定するにあたり、条件設定の効率化と設定根拠を明らかにすることを目的としている。設定手法としては、流域を用途地域毎にブロックとして分割し、ブロック毎の土地利用状況を代表するエリアの抽出を行い、各土地利用種別の面積比率からエリアの流出係数を求め、エリアの流出係数を用途地域毎のブロック全体に適用し、流域の用途地域別面積比率から流域の流出係数を求めるものである。

キーワード：流出解析モデル、流出係数

## まえがき

近年、計画降雨を超える集中豪雨により全国的に都市浸水が多発化しているなかで、想定をはるかに超える豪雨に対して、流出解析モデル（流出シミュレーションソフト）を用いた排水施設の能力診断、対策施設の計画、または、被害予測範囲・避難経路等の地図化といったハード対策およびソフト対策が行われている。

本研究では、流出解析モデルを用いた水量解析について、広範囲の流域モデル作成における効率的かつ算出根拠の明確化がされた流出係数の設定手法を提案する。

## 1. 流出解析の概要

### (1) 流出解析のフロー

流出解析のフローは以下のとおりとなる。

- 1) 基礎調査
  - ・資料収集
  - ・現地調査
  - ・実測調査
- 2) 排水区のモデル化
  - ・数値データ化
  - ・数値データの調整および入力
- 3) キャリブレーション（流出特性の把握）
  - ・キャリブレーション用データの入力
  - ・キャリブレーション
  - ・キャリブレーション結果の整理
- 4) シミュレーション（対策案の検討）
  - ・現有施設の能力評価・問題点の抽出
  - ・対策施設案の検討とその数値データ化・入力
  - ・対策施設案の評価・整理

### (2) 流出解析における流出係数の位置付け

流出係数は、2) 排水区のモデル化において設定するデータで、流出量に直接関わる重要なパラメータである。

流出係数は、降雨量に対する有効降雨量の割合であり、有効降雨量とは、排水施設へ流下せず地表面貯留、浸透、蒸発散等による損失を考慮した降雨量である。

## 2. 現行の流出係数算定手法

一般的な流出係数の算定手法は、工種別基礎流出係数標準値を基礎データとして、流域内に占める屋根、道路、山地等の各工種の面積比率から求めるものである。流域が広範囲である場合、作業簡略化のために流域内の代表エリアを抽出して算出面積を絞り込む手法がある。

また、各工種の面積算出については、国土地理院の数値地図 5000（土地利用）データを利用し、流域内の各土地利用の面積を GIS（地理情報システム）を用いて算出する手法もある。

## 3. 本研究の流出係数算定手法

### (1) 流出係数算定フロー

流出係数算定フローは以下のとおりとなる。

- 1) 流域を用途地域毎のブロックに分割する。
- 2) 用途地域ブロック内の土地利用種別を導出する。
- 3) 用途地域ブロック内から代表エリアを抽出する。
- 4) 代表エリアの各土地利用種別の面積を算出する。
- 5) 各土地利用種別の流出係数を設定し、代表エリアの流出係数を算出する。
- 6) 代表エリアの流出係数を用途地域ブロックの流

出係数として適用する。

- 7) 流域内の各用途地域面積から流域全体の流出係数を算定する。

ここに、

用途地域：都市計画法によって定められた土地利用形態であり、第一種低層住居専用地域、近隣商業地域等の12種類の用途地域に区分される。

土地利用：国土地理院の宅地利用動向調査によって定められた土地利用形態であり、田、工業用地、一般低層住宅、道路用地等の15種類の土地利用に区分される。

## (2) 各算定フローの要旨

- 1) 流域を用途地域毎のブロックに分割する。

用途地域は住居、商業、工業等の市街地の大枠としての土地利用が定められており、地表面の状態、すなわち流出係数が用途地域毎に同程度となると想定し、用途地域毎の流出係数を算出するため、流域を用途地域毎のブロックに分割する。

- 2) 用途地域ブロック内の土地利用種別を導出する。

分割した用途地域毎の流出係数を算定するためには工種別面積を算出する必要があり、工種別面積の算出には土地利用を活用する。工種別の流出係数は基礎データとして取得しているため、各工種と各土地利用を対応させて各土地利用種別の面積を算出すれば用途地域ブロックの流出係数を算定できる。

- 3) 用途地域ブロック内から代表エリアを抽出する。

用途地域ブロック内の各土地利用種別面積を算出すれば、当該用途地域ブロックの流出係数を算定できるが、ブロック全域を計上することは煩雑な作業となるため、ブロック内から代表エリアを抽出する。

代表エリアの選定は、1haのエリアを用途地域ブロックの規模に応じて1箇所または2箇所配置する。1haのエリア配置については、用途地域ブロック全体の土地利用種別の配置状況を確認し、平均的配置である箇所を選定する。

- 4) 代表エリアの各土地利用種別の面積を算出する。

抽出した1haのエリア内の土地利用面積を種別毎に算出する。

- 5) 各土地利用種別の流出係数を設定し、代表エリアの流出係数を算出する。

2)で記載したとおり、工種別基礎流出係数標準値から各土地利用種別の流出係数を設定し、1haの代表エリアの流出係数を算出する。

- 6) 代表エリアの流出係数を用途地域ブロックの流出係数として適用する。

1haの代表エリアの流出係数(エリアが2箇所の場合は平均値)を用途地域ブロック全体の流出係数とする。

- 7) 流域内の各用途地域面積から流域全体の流出係数を算定する。

流域内の各用途地域ブロックの流出係数が算出されたため、ブロックの面積比率から流域全体の流出係数が算定される。

## 4. 流出係数算定手法の比較

現行の流出係数設定手法では、広範囲の流域における各工種別面積を算出することは煩雑な作業となる。また、作業簡略化のために流域内の代表エリアを抽出して算出面積を絞り込んだ場合においては、その代表エリアを選定した根拠が必要となる。

GISを用いて算出した場合においては、ソフトによって算出された値を手動的に確認することは困難である。

本研究の流出係数設定手法は、流域を用途地域ブロック毎に分割し、分割された用途地域ブロック内から土地利用を考慮した代表エリアを選定して流出係数を算出し、用途地域ブロックに適用し、流域全体に適用するものである。

本手法によって算定作業の効率化と算定根拠の明確化を図っており、また、GISを用いた手法と比較し、算定値の手動的確認が可能である。

## 5. まとめ

本研究における流出係数の算定手法は、用途地域ブロック毎に流出係数を算出し、流域全体に適用するものであり、現行手法と比較して算定作業の効率化と算定根拠の明確化がなされている。

本手法の問題点は、用途地域が指定されていない区域に対しては流域のブロック分割が不可となることである。今後、用途地域指定のない白地地域に対する流出係数算定手法についても検討を行うこととする。

## あ と が き

本論文の執筆に際しまして、多大なご協力を賜りました方々に深く御礼申し上げます。

## 参 考 文 献 (または引用文献)

- 1) 流出解析モデル利活用マニュアル(雨水対策における流出解析モデルの運用手引き)、(財)下水道新技術機構、H.18.3.



## 長期的広域的な土砂動態予測法について

いであ株式会社 ○永 谷 直 昌

いであ株式会社 加 藤 陽 平

### 論 文 要 旨

ダムのある流域では、ダム上流の堆砂とダム下流の河床低下が問題となりやすく、このような問題の要因分析や対策検討には、数値解析が重要なツールとなっている。本論文では長期的広域的な土砂動態を分析するため、降雨流出解析と河床変動解析ができる土砂動態解析モデルを構築及び、モデル構築に必要なモニタリングを実施し、ダム上流の堆砂とダム下流の河床低下の現状把握・将来予測を実施した。

キーワード：ダム上流の堆砂，長期的広域的な土砂動態，モニタリング，土砂動態解析モデル

### ま え が き

図-1 は本業務で対象とした B ダム流域のイメージ図である。B ダムは昭和 30 年代に建設され、堆砂の進行が懸念されている。また、上流に C ダムの建設計画があり、B ダムの堆砂スピードへの効果・影響を検証する必要がある。さらに、C ダムの下流では、河床低下が予想され、その影響の定量分析が必要である。本論文では、上記の課題に対する数値シミュレーションによる B ダムの堆砂や、C ダム下流への影響把握手法について述べる。また、シミュレーションの精度向上のために実施したモニタリングについても併せて述べる。

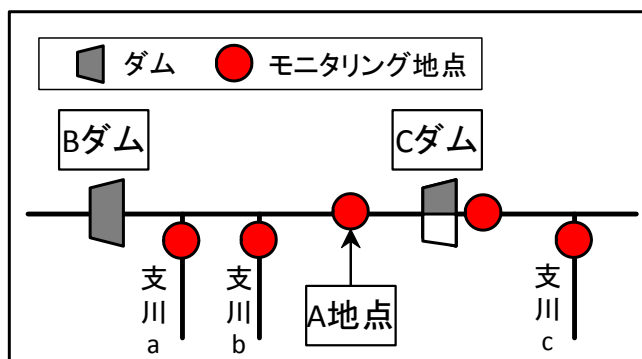


図-1 対象流域のイメージ図

### 1. 土砂動態モニタリング

#### (1) 調査目的

現状把握・将来予測ができる土砂動態把握モデルの精度のため、土砂動態モニタリングを実施した。

#### (2) 調査項目

調査項目としては、各地点におけるの流砂量観測（浮遊砂観測）を実施した。

#### (3) 調査方法

各地点において濁度計を用いて、濁度の連続観測実施した。また、捕砂器により浮遊砂を捕捉し、捕捉した土砂の粒度分析を実施した。捕砂器の設置イメージを図-2に示す。また、捕砂器を用いて出水中の浮遊砂を捕捉し、土砂の粒度分布解析を実施した。

#### (4) 調査結果

濁度計では濁度が計測でき、計測した濁度から浮遊砂量（ $Q_s$ ）を算出できる。濁度から浮遊砂量（ $Q_s$ ）の算出フロー図を示す（図-3）。濁度計によって観測される濁度と、実際の浮遊砂濃度（ss）との関係は、観測に用いた機種や浮遊砂の質によって異なっており、変換するための公式はない。そのため、室内実験により、濁度と浮遊砂濃度の関係式（検量線）を作成する。代表地点の A 地点の検量線を図-4に

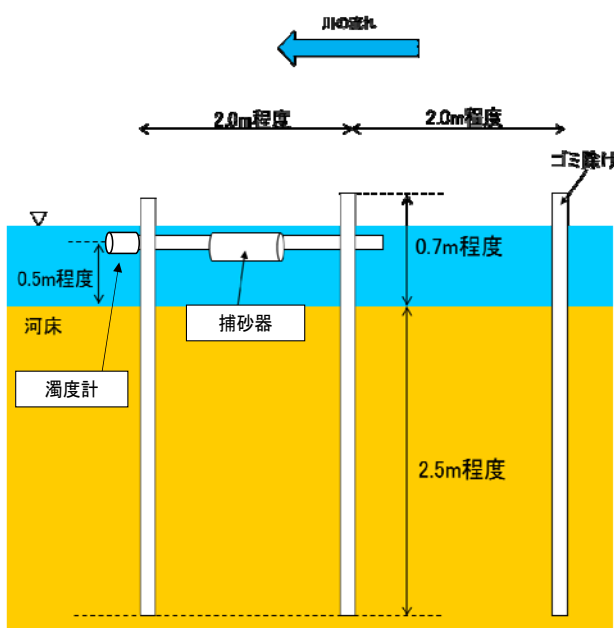


図-2 捕砂器と濁度計の設置イメージ

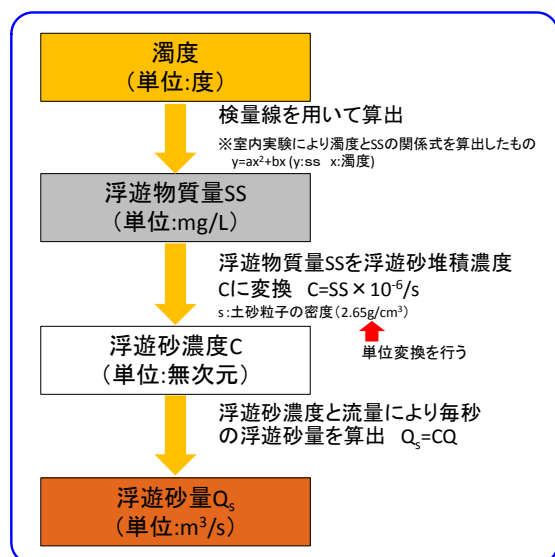


図-3 浮遊物質量の算出フロー

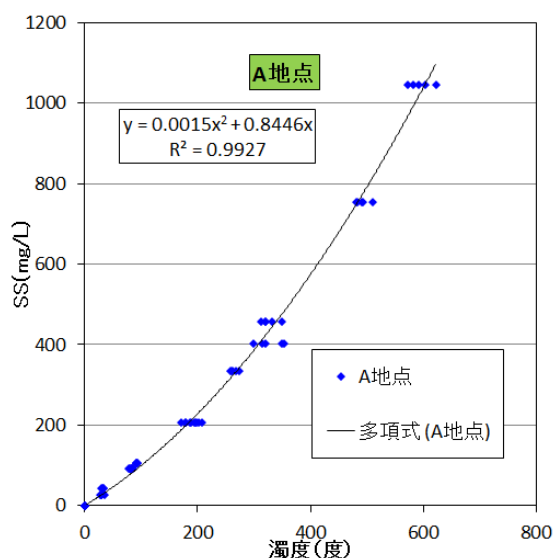


図-4 濁度と浮遊砂濃度の検量線

示す。図-4に示すとおり濁度と浮遊砂の検量線は近似二次曲線を描く。この近似曲線を用いて、濁度を浮遊物質質量(SS)に変換した。次に、浮遊砂物質質量(SS)から浮遊砂濃度(C)への変換は以下のような式を用いた。

$$C = SS \cdot 10^{-6} / \sigma \quad (1)$$

$\sigma$  : 土砂粒子の密度 (2.65m³/s)

次に、浮遊砂濃度を浮遊砂量への変換は以下のような式を用いた。

$$Q_s = CQ \quad (2)$$

C地点の濁度、浮遊物質質量、流量、浮遊砂量を図-5に示す。濁度、浮遊物質質量、流量、浮遊砂量は相関関係があることが確認できる。次に、流量と浮遊砂量の関係を図にプロットした(図-6)。一般的に流量と浮遊砂量の関係について、

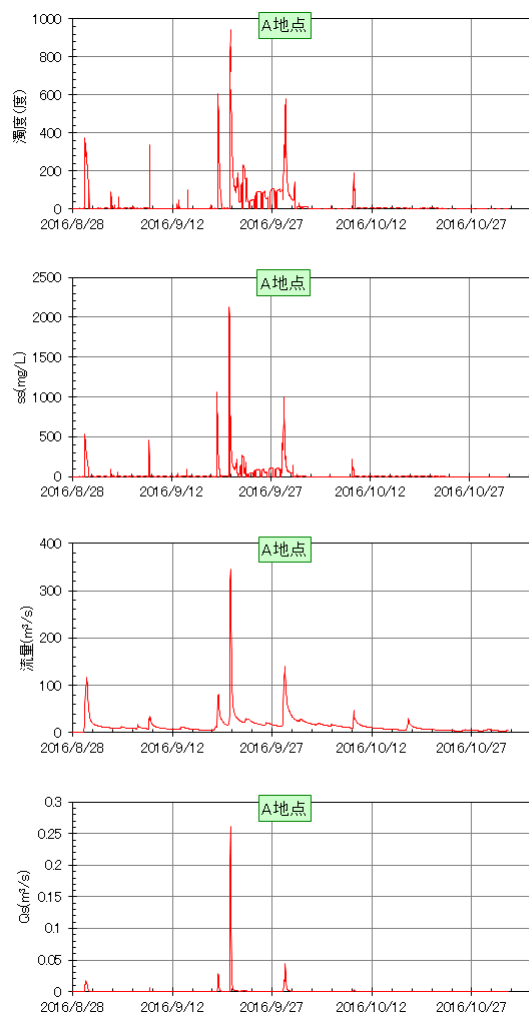


図-5 濁度、浮遊物質質量、流量、浮遊砂量ハイドログラフ

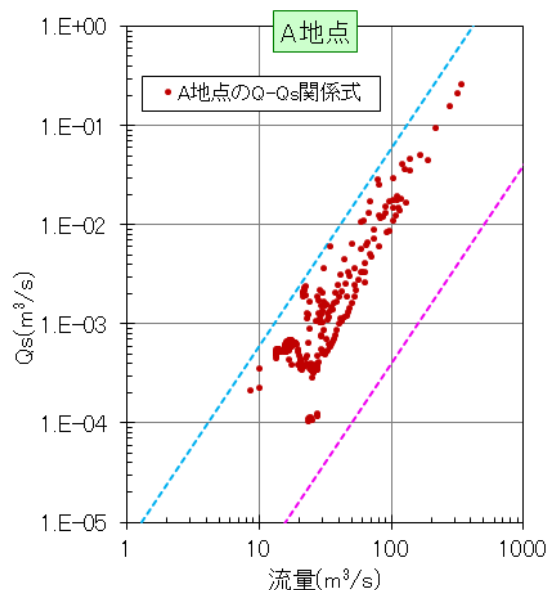


図-6 A地点のQ-Qs関係式

Q-Qs関係図として整理されており、水理公式集等<sup>1)</sup>に全国の事例がまとめられている。その中で、上限値・下限値が目安とされている。今回プロットしたA地点のQ-Qs

関係式は目安とされている上限値・下限値に収まるため、この Q-Qs 関係式を一つの指標として、モデルの構築した。次に捕砂器を用いて、A 地点で捕捉した土砂の粒度分布解析結果を図-7 に示す。A 地点の粒度分布解析結果は砂成分が多い結果となっておりこの河川では砂まで粒径の土砂が浮遊することが確認できる。

## 2. 土砂動態解析モデルの構築

### (1) 土砂動態解析モデルの概要

山地から検討区間の下流端までの土砂移動・河床変動減少一連で解析するモデルを土砂動態モデル<sup>2)</sup>と呼んでいる。土砂動態モデルは分布型降雨流出解析部分と土砂流出・河床変動部分に分かれており、2 つを接続することで、山地から下流端までの流量・土砂流出量を分析できる。

### (2) 支配方程式

#### 1) 斜面の連続式・運動方程式

単位斜面は表層・A 層・B 層・C 層があるものとし、基底流を表現することとした。支配方程式は以下のとおりである。

$$a \frac{\partial h_s}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = (r - f_A) \cos \theta \quad (3)$$

$$\lambda_e \frac{\partial h_B}{\partial t} + \frac{\partial q_b}{\partial x} = (f_A - f_B) \cos \theta \quad (4)$$

$$\lambda_e \frac{\partial h_C}{\partial t} + \frac{\partial q_c}{\partial x} = (f_B - f_C) \cos \theta \quad (5)$$

$$q_s = k_A D_A \sin \theta + \frac{1}{N} \sqrt{\sin \theta} (h_s - D_A)^{5/3} \quad (h_s \geq D_A) \quad (6)$$

$$q_s = k_A h_s \sin \theta \quad (h_s < D_A) \quad (7)$$

$$q_B = k_B h_B \sin \theta \quad (8)$$

$$q_C = k_C h_C \sin \theta \quad (9)$$

ここに、 $h$  : 水深、 $q$  : 単位幅流量、 $R$  : 雨量強度、 $f$  : 浸透能、 $\lambda$  : 空隙率、 $D$  : 層厚、 $N$  : 等価粗度、 $K$  : 透水係数、 $\theta$  : 斜面勾配である。添字  $S \cdot A \cdot B \cdot C$  はそれぞれ表層・A 層・B 層・C 層のパラメータであることを示す。

#### 2) 河道の連続式・運動方程式

図-8 は単位河道の内部構造模式図である、連続式・運動方程式に用いる変数を記載している。

$$\frac{\partial A_{ij}}{\partial t} + (Q_{in} - Q_{ij}) = q_L + q_R \quad (10)$$

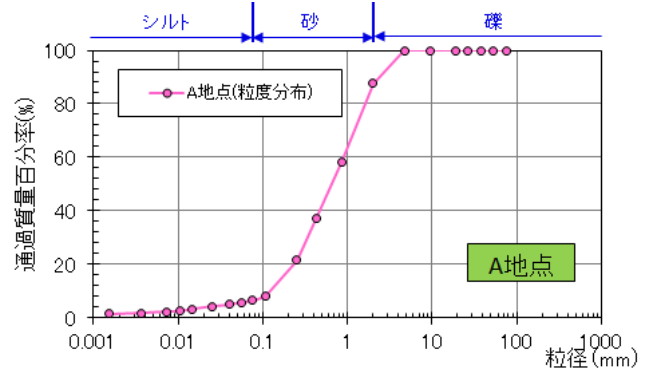


図-7 A 地点の粒度分布(浮遊砂)

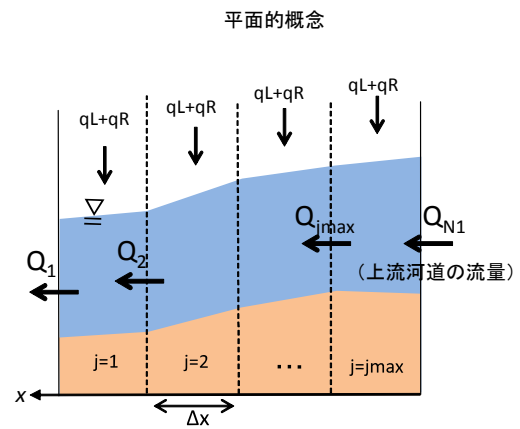
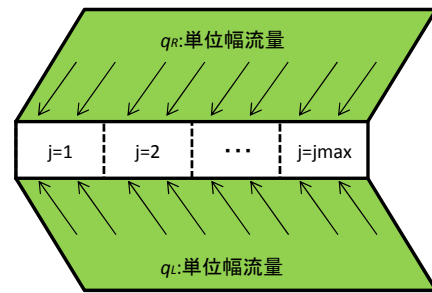


図-8 単位河道の内部構造模式図

$$A_{ij} = B_{ij} h \quad (11)$$

$$Q_{in} = Q_{ij+1} \quad (j < j_{\max}) \quad (12)$$

$$Q_{in} = \sum_{k=1}^K Q_{k1} \quad (j = j_{\max}) \quad (13)$$

ここに  $A$  : 河積、 $Q$  : 河道流量、 $B$  : 河幅、 $h$  : 河道水深、 $q_L$ 、 $q_R$  : 左右岸斜面から流出する単位幅流量 ( $= q_s + q_A + q_B + q_C$ )、 $n$  : 粗度係数、 $I_b$  : 河床勾配、 $K$  : 流入する単位河道の数である。添字  $i$  は単位河道番号、

$j$  は単位河道内のブロック番号である。

### 3) 流砂・河床変動の方程式

河床・浮遊砂の連続式は以下のとおりである。

$$\frac{\partial z_{bij}(1-\lambda)}{\partial t} = \frac{1}{B} \sum_{m=1}^M (Q_{bIN} - Q_{bijm}) \frac{1}{\Delta x} + \sum_{m=1}^M (D_{ijm} - E_{ijm}) \quad (14)$$

$$\frac{\partial (C_{ijm} A_{ij})}{\partial t} = (Q_{sIN} - C_{ijm} Q_{ij}) \frac{1}{\Delta x} + B_{ij} (E_{ijm} - D_{ijm}) \quad (15)$$

$$D_{ijm} = C_{bijm} w_{fm} \quad (16)$$

表-1 計算条件

項目	設定条件
計算期間	昭和57年～平成28年の36年間
計算領域	Bダム流域
河道	流れの計算式
	常流区間: 下流からの不等流計算 射流区間: 等流計算
	流砂量式
	掃流砂: 芦田・道上式 浮遊砂: 板倉・岸式
	粒度分布式
	芦田・江頭・劉の式
初期河床材料	流量配分
	溪流・河道ごとに降雨流出解析結果を与える
	河床横断地形
初期水位	山地部: 基盤地図情報(10mDEM)を用いて作成 河道部: 横断測量結果を用いて作成 Bダム: 横断測量結果を用いて作成
	初期河床材料
上流端供給土砂量	既定の河床材料調査結果
	Bダム
	Bダム貯水位を与える
	掃流砂
ウオッシュロード	平衡給砂条件に年別の倍率を設定する
	浮遊砂
	なし(上流端で掃流砂として発生した土砂が河道内で自動的に浮遊する)
ウオッシュロード	過去の観測結果をもとに、流量 $Q$ と流域面積 $A$ の関係式で設定 $Q_w = \alpha Q^2$ , $\alpha = 2.19 \times 10^{-4} A^{-0.75}$

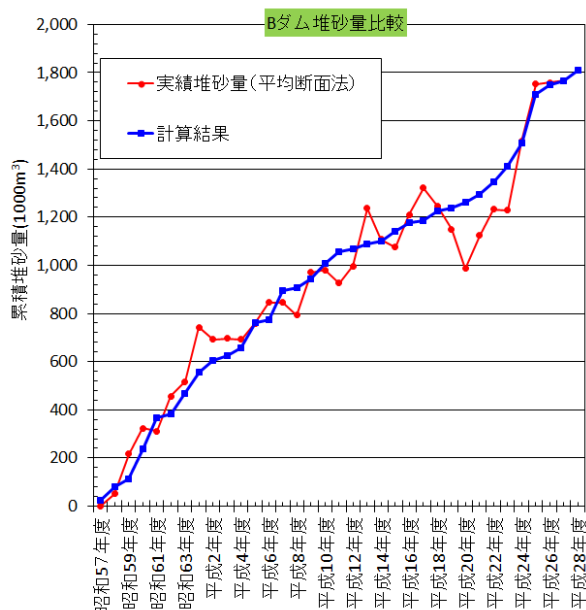


図-9 Bダムの実績堆砂量

ここに、 $\lambda$  : 空隙率,  $Q_b$  : 全幅掃流砂量,  $D$  : 浮遊砂沈降量,  $E$  : 浮遊砂浮上量,  $C$  : 断面平均浮遊砂濃度,  $C_b$  : 基準面浮遊砂濃度,  $w_f$  : 沈降速度である。添字  $m$  は粒径を表す番号である。 $Q_{bIN}$  および  $Q_{sIN}$  はそれぞれ上流ブロックからの掃流砂および浮遊砂の流入量の合計であり、以下のように扱われる。

$$\begin{pmatrix} Q_{bIN} \\ Q_{sIN} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_{bij+1m} \\ C_{ij+1m} Q_{ij+1} \end{pmatrix} \quad (j < j_{\max}) \quad (17)$$

$$\begin{pmatrix} Q_{bIN} \\ Q_{sIN} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^K Q_{bk1m} \\ \sum_{k=1}^K C_{k1m} Q_{k1} \end{pmatrix} \quad (j = j_{\max}) \quad (18)$$

### (3) モデルの精度検証

モデル精度を確保するため、再現計算を実施した。計算区間は下流にあるBダムから山地までとした。計算条件を表-1に示す。再現期間は昭和57年から平成28年の36年

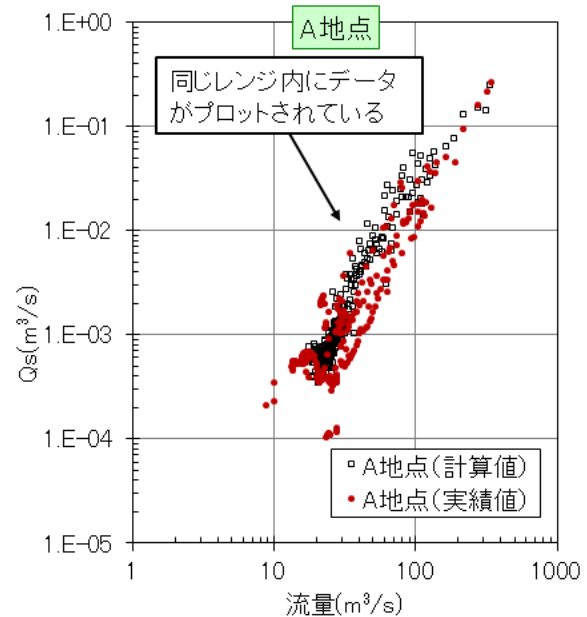


図-10 Q-Qs 関係式によるモデルの精度検証

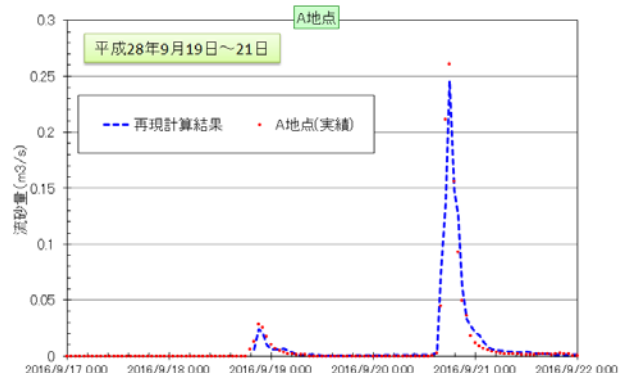


図-11 流砂量ハイドロによるモデルの精度検証



間とした。

図-9はBダムの堆砂量の再現である。概ねBダムの堆砂土砂量を再現できている。

次に図-10、図-11はそれぞれC地点のQ-Q<sub>s</sub>関係式、流砂量のハイドログラフの再現となっており、Q-Q<sub>s</sub>関係式は概ね同じレンジ内にデータがプロットされている。流砂量のハイドログラフについても再現が出来ている。流砂の計算について精度があることを検証ができた。構築したモデルを用いて将来予測を実施した。

### 3. 土砂動態解析モデルによる将来予測

将来予測においては現状の場合(case1)とBダムと上流域の間にCダム設置に加え各領域の対策を実施した場合を仮定(case2)し計算を実施した。基本的な計算条件はモデルの精度検証計算に準じている。将来予測の計算期間は100年間(平成6年～平成25年の20年×5回)とした。計算期間の平成6年～平成25年まで理由としては、平成5年より以前はBダム上流域で砂防施設の設置数が少ないため、土砂量が多いと考えられるため計算期間から外すこととした。また、平成24年、平成25年を含んだ理由としては、流域内で土砂生産(土砂災害)が発生しており、これらを繰り返し発生させる厳しい計画シナリオを設定することとした。また、初期河床高、初期河床材料等については最新データを用いた。Bダム堆積予測を実施した(図-13)。case2の堆砂量はcase1より堆砂のペースが下がることが確認できた。また、100年後ではBダムに堆積土砂量が1,300千m<sup>3</sup>減少した。次に、100年後のCダム下流の河床変動高を比較した(図-14)。case1で堆積傾向部分がcase2では洗掘傾向となる。洗掘傾向になるものの、河床は安定状態である。ダム上流の堆砂とダム下流の河床低下の現状把握・将来予測ができた。

### 4. 参考文献

- 1)水理公式集【平成11年版】：土木学会 pp.170～171
- 2)加藤陽平:透過型砂防堰堤を有する流域の土砂流出予測に関する研究，鳥取大学学位論文

### あとがき

土砂動態解析モデルを用いて、長期的広域的な土砂動態

の予測ができた。長期的広域的な土砂動態を用いて、ダム上流の堆積量やダム下流の河床低下が確認できた。

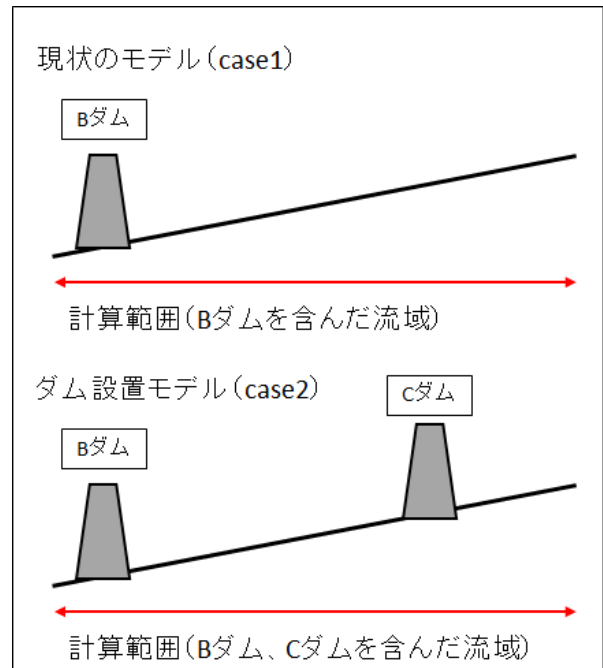


図-12 計算範囲の概略図

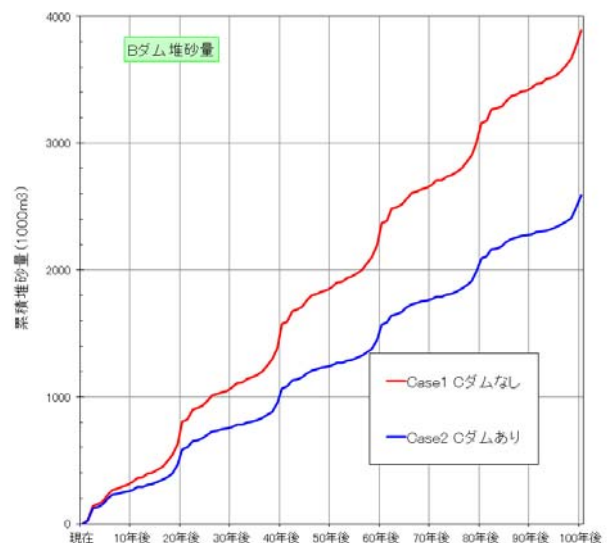


図-13 Bダムの堆砂量(将来予測)

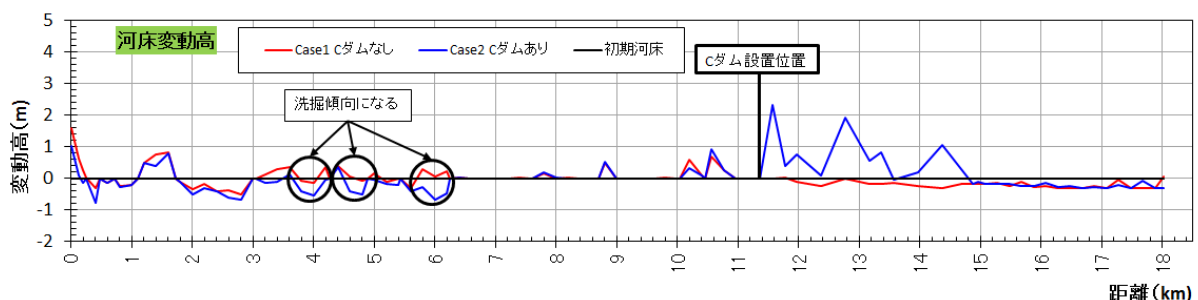


図-14 Cダムありなし河床変動高の比較(Cダム直下流)

## 南海トラフ地震による大規模被害に備えた 和歌山道路啓開に係る行動指針の作成

建設技術研究所 大阪本社

竹 林 弘 晃

加 村 大 輔

野 中 寛 之

栗 生 啓 之

小 林 拓 磨

○ 中 畑 摩 耶

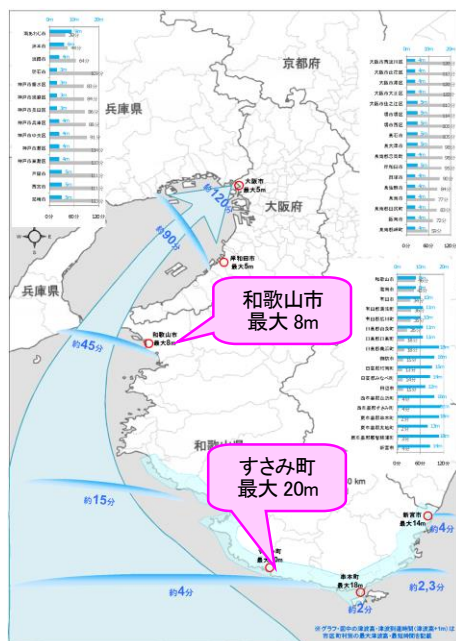
### 論 文 要 旨

南海トラフ地震で甚大な津波被害が想定される和歌山県を対象に、発災後の迅速な道路啓開を実現するための効果的な初動対応方策を検討した。具体的には、和歌山県内の啓開ルート上の被災リスクを分析し、道路啓開に必要な作業量及び時間を算出するとともに、建設業協会等との調整により実効性のある啓開担当割付を設定した。また、県庁内に県と国等で構成した一本化窓口を設置するとともに、振興局を現地活動の拠点として調整を行う情報連絡体制を構築し、道路啓開に係る行動指針をとりまとめた。

**キーワード：**南海トラフ地震、道路啓開、進出ルート、情報連絡体制、啓開担当割付

### ま え が き

和歌山県では、南海トラフを震源とするマグニチュード(M) 8～9 クラスの地震が発生すると、県内全域で震度 6 弱から震度 7 の強い揺れ、沿岸部においては 8～20m の津波が到達すると想定されており、広範囲で甚大な被害が発生することが危惧されている。



図－1 津波高の分布  
(出典：近畿地方整備局 近畿地方地域対策計画)

大規模災害時において、救助・救援活動に必要なとなるのは、その活動に使用する車両の安全な通行の確保である。東日本大震災では「くしの歯作戦」のような迅速な道路啓開が、人命救助や緊急物資の輸送、復旧・復興に大きく寄与した。そこで、近畿地方整備局では南海トラフ地震発生時に、行政機関及び関係業団体等の連携・協力による迅速かつ着実な道路啓開が可能となるよう、平成 27 年に和歌山県内の道路管理者、自衛隊、警察、建設業協会、インフラ事業者等で構成する「和歌山県道路啓開協議会」を設立し、当協議会およびその下部組織である幹事会、部会の議論のもと、道路啓開の基本方針を「南海トラフ地震に伴う津波浸水に関する和歌山県道路啓開計画」としてとりまとめた。

#### 和歌山県道路啓開協議会

・・・近畿地方整備局長、和歌山県知事、各市町村長

#### 沿岸部の幹線道路を対象とした道路啓開幹事会

##### 【構成員】

和歌山河川国道事務所長、紀南河川事務所長、和歌山県道路保全課長、各市町村道路担当課長、自衛隊、警察、インフラ事業者 ほか

#### 部会・・・実質的な検討は部会で議論を実施

##### 【構成員】

和歌山河川国道、紀南河川国道、各振興局、各市町村、建設業協会、測量業協会

図－2 道路啓開協議会の検討体制

平成 28 年度はより具体的な活動計画とすべく、主要拠点までの啓開ルート上の被災リスクの分析、啓開作業量及び時間の算出、必要人員・資機材量のパターンの設定、情報連絡体制を構築を行い、道路啓開に係る行動指針をとりまとめた。

## 1. 啓開ルート計画

### (1) 道路啓開の基本的な考え方

発災時には、和歌山県全域で一刻も早く道を切り開き、人命救助や救援物資の輸送ルートを確認する必要がある。

「和歌山県道路啓開計画」では、優先的に啓開するルートとして、阪和道・紀勢道を「基幹ルート」、主要拠点（市役所等）までのルートを「進出ルート」、国道 26 号及び国道 42 号を「沿岸ルート」と位置付け、図-3 に示す STEP1～STEP3 の道路啓開計画の段階目標を設定している。この段階目標の考え方に基づき、本論文ではSTEP2における主要拠点への進出ルートの選定を行い、道路啓開の具体方策を検討した。

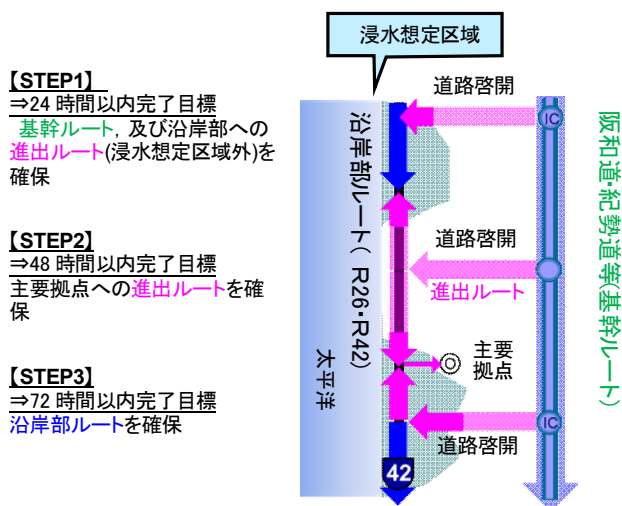


図-3 道路啓開の基本的考え方

### (2) 主要拠点の選定

和歌山県では、発災時に速やかに国の支援を受け入れ、効率的・効果的な応急対策を実施するための「広域防災拠点」や地域の現地活動拠点として「地域防災拠点」を指定している。これらの施設に加え、災害対策拠点や輸送活動拠点など発災時に救助・救援の活動拠点となる 8 種類の主要拠点を定義した。その上で、該当する施設を抽出した上で、図-4 に示すように、全 190 施設を選定した。なお、この中には、部会において確認した各地域の特性に応じた防災拠点（地域の病院等）についても考慮した。

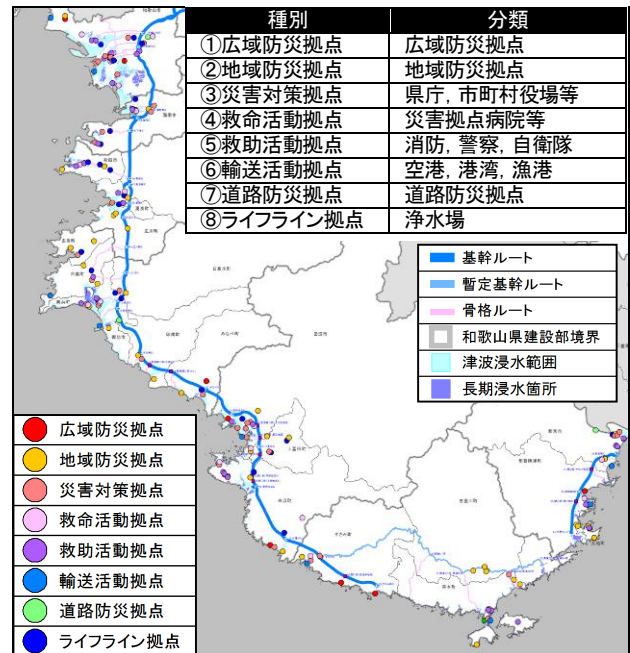


図-4 主要拠点の位置と分類

### (3) 主要拠点への進出ルートの選定

発災時に優先的に啓開するルートとして、基幹ルートの IC 等から主要拠点までのルートを進出ルートとして検討した。選定に際しては、和歌山県が作成している「緊急輸送道路ネットワーク」等を考慮し、幅員が広い道路で、地震や津波の被害を受けにくく、より早く主要拠点へ到達できるルートとすることを基本とした。加えて、現地踏査によって確認した道路の周辺状況および道路の整備状況やアクセス性に関する部会での意見を踏まえ設定した。

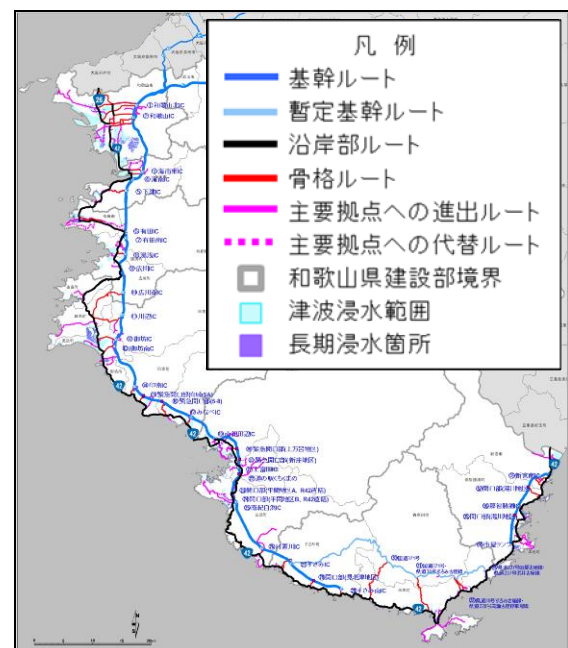


図-5 進出ルートの設定



## 2. 啓開作業計画

### (1) 被災状況の整理

道路啓開を迅速かつ的確に行うためには、被災状況に応じた啓開能力を確保することが必要となる。啓開作業に必要な資機材量や、啓開にかかる必要日数を試算するため、表-1に示す項目について進出ルート上の被災想定を分析した。

表-1 被災想定項目

想定項目	想定内容
①津波浸水被害(泥土)	県が公表している南海トラフ巨大地震による津波浸水想定区域を基に、道路啓開の対象となる道路において、浸水被害の規模を想定
②橋梁被害	津波や揺れによる橋梁の被害(流出、倒壊、段差等)を想定
③落石や自然斜面の崩壊	道路防災総点検結果を基に、落石や自然斜面の崩壊の被害を想定
④盛土法面の崩壊	道路防災総点検結果を基に、盛土法面の崩壊の被害を想定
⑤海岸擁壁の崩壊	津波による海岸擁壁の崩壊の被害を想定
⑥沿道施設の崩壊	地震による沿道施設の崩壊の被害(沿道の建物・電柱の倒壊等)を想定
⑦立ち往生車両と放置車両	立ち往生車両と放置車両の台数を想定
その他	県が公表している南海トラフ巨大地震による津波浸水想定区域を基に、長期浸水箇所を想定

### (2) 啓開作業内容

道路啓開は、図-6に示すように、緊急車両の通行に必要な最低限の幅員である4.0mを確保することを原則とした。発災時に対応が必要となる主な作業として橋梁段差の解消、ガレキ(土砂、災害廃棄物、津波堆積物等)の除去及び路上車両の撤去を想定し、進出ルートごとに作業に必要な資機材や人員、作業手順をとりまとめた。啓開にかかる必要日数については、東日本大震災時の啓開事例等を踏まえ、被災項目ごとに活動原単位を整理し、進出ルートごとの必要日数を算出した。被害想定量や作業量等を定量的に把握することで、被害が甚大な地域や啓開に長時間を要するルートを抽出した。

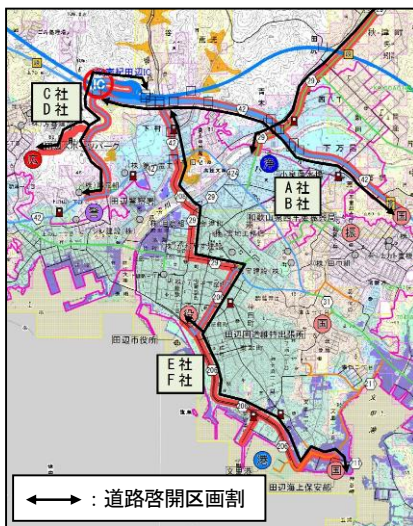
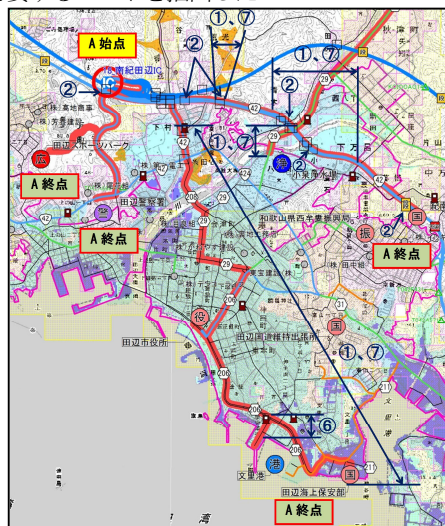


図-8 進出ルート設定・被災想定例(左)、道路啓開担当割付例(右)

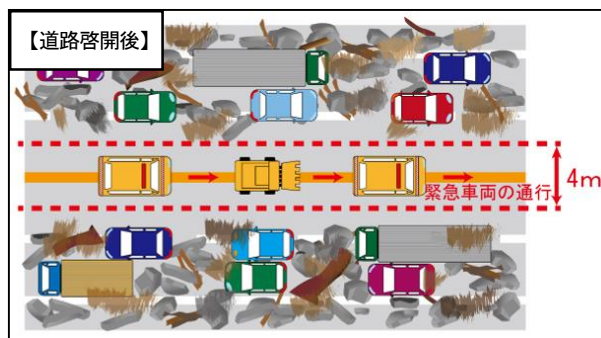


図-6 道路啓開による幅員確保イメージ

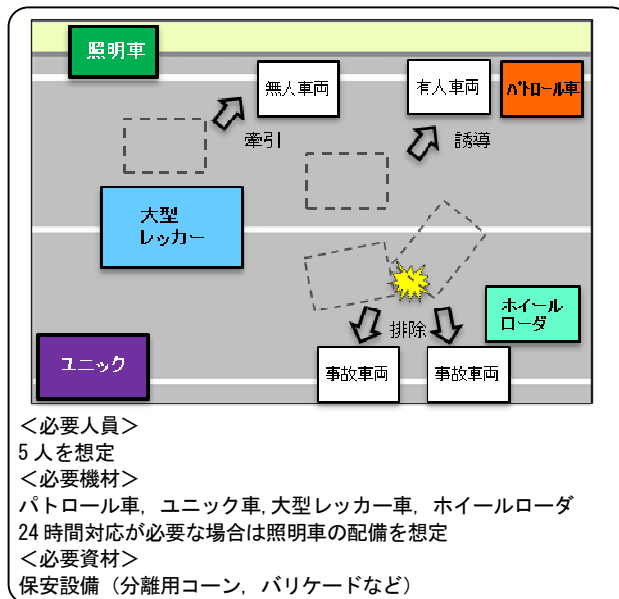


図-7 道路啓開作業イメージ(路上車両の撤去)

### (3) 道路啓開作業体制の立案

現地で活動予定の建設業協会各支部等が円滑に作業できるよう、各地域の被害想定量および建設業者等の保有人員・資機材量等を勘案し、進出ルートに対し啓開作業を担当する業者の割付範囲を部会において設定した。また、不測の事態に備え、原則同一区間に対しメインとサブの複数業者を割付し、県内全域で約270社の割付を設定した。

緊急輸送道路	主要拠点への進出ルート
	第1次緊急輸送道路
	第2次緊急輸送道路
	第3次緊急輸送道路
状況	未供用路線
	人口集中地区
	市街地
被災想定	和歌山県建設部境界
	土砂災害警戒区域
	土砂災害特別警戒区域
	液状化想定箇所(PL値>5)
	津波浸水範囲
	長期浸水箇所



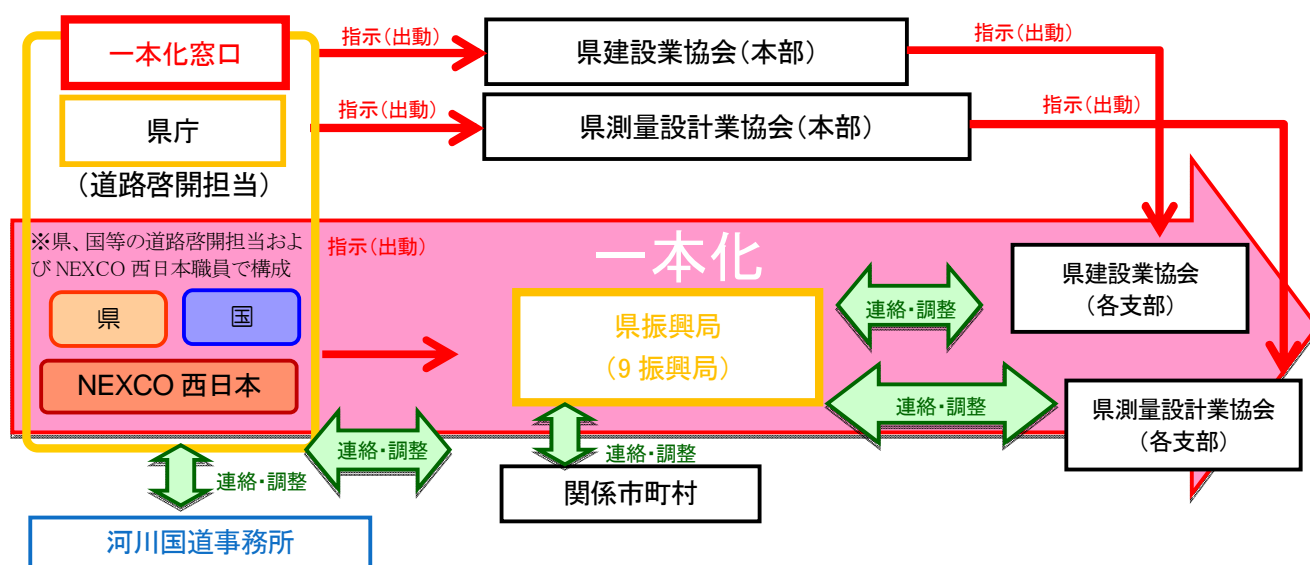


図-9 指揮連絡系統（基本形）

### 3. 情報収集・連絡、連携

広域かつ同時に発生する南海トラフ地震の大規模災害においては、各道路管理者・関係機関の間で、連絡の行き違いや役割分担が不明瞭なことによる未対応、実施すべきタイミングの不整合などの問題が発生する可能性がある。迅速な道路啓開のためには、各道路管理者・関係機関が適切に連携し、機動的に対応することが必要である。

道路啓開では、時々刻々と変化する現地の状況に柔軟に対応し、かつ迅速な道路啓開を実施するために、現場の道路啓開部隊と関係機関との連携が重要となる。指揮連絡系統については、部会を通し、道路啓開の中心的役割を担う建設業協会や測量設計業協会等と協議を行い、より迅速で確実な連絡が取れる体制を構築した。また、和歌山県庁内に県と国等で構成した一本化窓口を設置するとともに、各地域の県振興局を地域拠点として連絡・調整を行うことにより、指示連絡系統の一本化を図る体制とした。

## あ と が き

南海トラフ地震の大規模災害に対し、和歌山県内において道路啓開を迅速に行うための主要拠点、進出ルート、被災想定形態・規模の想定、啓開作業手順の具体的な方策、関係機関との情報連絡体制等を検討し、道路啓開に係る行動指針としてとりまとめた。

また、行動指針の作成にあたり開催した関係者会議には近畿地方整備局と歌山河川国道事務所をはじめ和歌山県、市町村、建設業協会、測量設計業協会等幅広い関係機関が参加し、多くの意見を得ることができたため、具体的な指針となった。

今後、和歌山県道路啓開計画の実効性の向上を図るための各種調整事項や課題、対応策を以下に整理する。

- ・被害が甚大な地域や啓開に長時間を要する進出ルートを抽出した。円滑な道路啓開を達成するためには、人員・資機材の調達計画の具体化が必要となる。担当業者の人員・資機材の確保数量の調査や、不足時の調達計画の検討が必要となる。
- ・高速未整備区間やSTEP3（津波浸水区間）の道路啓開検討を行い、進出ルートのブラッシュアップを行う必要がある。
- ・道路啓開に係る必要燃料および確保燃料の検討が必要である。
- ・本計画を活用した具体的な訓練計画の立案や、訓練の実施が必要となる。

本論文は、受託業務成果からのとりまとめであり、業務実施にあたり、ご指導とご協力を頂きました関係の皆様に対し、記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 土木学会地震工学委員会：「土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書」，平成23年5月9日

## 宮崎県細島港における防波堤の耐津波対策と水理模型実験による検証

パシフィックコンサルタンツ(株)大阪本社 ○ 諸 澤 朱 里  
パシフィックコンサルタンツ(株)大阪本社 辻 尾 大 樹  
パシフィックコンサルタンツ(株)大阪本社 熊 谷 健 蔵

### 論 文 要 旨

東日本大震災を契機として、港湾の防護施設、特に防波堤の津波対策の重要性が認識されている。大規模な津波が発生するポテンシャルを有している、宮崎県の重要港湾・細島港においても例外ではない。本研究は、細島港の防波堤を対象に、設計津波および最大クラスの津波に対して耐津波対策を検討し、水理模型実験を実施して、粘り強い構造化を図ることを目的としている。本研究では、津波シミュレーションによる最大流速を用いたイスパッシュ式での必要質量は、マウンド勾配を考慮すると著しく大きくなり、勾配を考慮しない場合に水理模型実験結果と概ね整合した。水理模型実験結果からアスファルトマットによるブロックの安定性向上の効果を確認した。被覆ブロック質量とマット有無等の対策の組合せから、当該防波堤の最適な対策案を選定した。

**キーワード：**津波、防波堤、水理模型実験、被覆ブロック、粘り強い構造

### ま え が き

2011年の東日本大震災では、東北地方太平洋沖地震で発生した津波の来襲によって、多くの人命や資産が失われた。東北地方の太平洋岸の数100kmに渡る範囲で港湾施設や海岸施設等の防護施設も大きな被害を受けた。特に、湾口防波堤(釜石港、大船渡港など)や第一線防波堤(八戸港や女川港など)が、津波の来襲によって滑動や転倒、倒壊する被害を被った。防波堤の被災メカニズムとしては、津波波圧によるもの、津波の越流による背後マウンド洗掘に起因するケーソンの支持力喪失、内外水位差によるケーソンの不安定化などが指摘されている。

一方、東北地方以外の臨海部でも津波による被害が懸念されている。特に、東海・東南海・南海地震、南海トラフ巨大地震、日向灘地震等、西日本の太平洋岸の沿岸部でも津波リスクが高まっている。宮崎県においても例外ではなく、南海トラフや日向灘等、大規模な津波が発生するポテンシャルを有している。宮崎県の北部に位置する重要港湾である細島港(図1参照)においても災害時における港湾機能を維持するために、防波堤の津波対策が求められている。特に細島港は、沿岸部に物流・海運会社等の民間企業の建物や倉庫が張り付いており、九州東岸の物流拠点であるため、臨災時中あるいは事後の物流機能維持の観点から非常に重要な港湾施設である。

また、東日本大震災による被害を受けて、国土交通省は「防波堤の耐津波設計ガイドライン<sup>1)</sup>」(以下、ガイドライン)に防波堤の津波対策の設計方針を示している。ガイド

ライン<sup>2)</sup>中には、粘り強い構造検討に関して、静的な安定計算に加えて、水理模型実験や解析技術を駆使することが推奨されている。津波に対する粘り強い防波堤の水理模型実験として、辻尾ら<sup>3)</sup>は、ケーソン背後に方塊ブロックや腹付マウンドを設置したケースで水理模型実験を実施している。また、有川ら<sup>4)</sup>は、腹付工による津波越流時に生じる基礎地盤、捨石部の洗掘対策を検証している。三井ら<sup>5)</sup>は被覆材の安定性照査手法の検証を試みている。

本研究は、宮崎県北部に位置する細島港において、港外に位置する2つの防波堤(北沖防波堤、余島防波堤)を対象に、設計津波および最大クラスの津波に対して耐津波対策を検討し、水理模型実験を実施して、粘り強い構造化を図ることを目的としている。

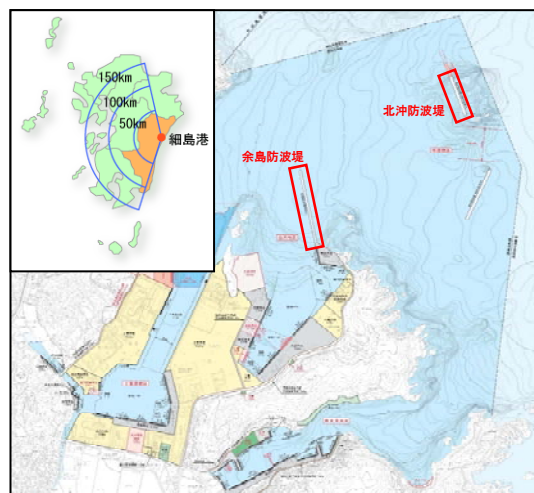


図1 細島港位置図

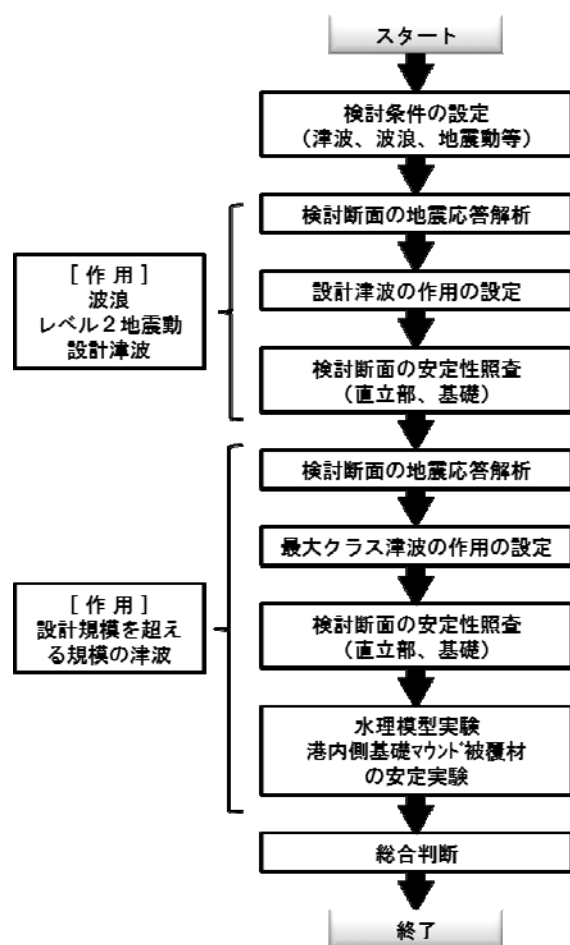


図2 検討フロー

## 1. 検討手法

本研究において、基本的にはガイドライン<sup>1)</sup>での設計フローに従って、防波堤の耐津波対策を検討した。しかし、本施設は既設の防波堤であるため、ガイドライン<sup>1)</sup>の設計フローを少し変更して、図2に示す検討フローで耐津波対策を進めた。なお、本防波堤は、当初、高潮時の波浪に対して安定性を満足するように設計されており、津波は設計対象とされていなかった。

まず、検討対象となる津波、波浪、地震動等の条件を設定する。津波は2種類設定し、発生頻度の高い津波(設計津波、L1津波)と設計規模を超える規模の津波として、最大クラスの津波(L2津波)とした。地震動に関しては、それぞれの津波に先行する地震動とした。また波浪は設計当初から沖波条件が見直されているため、最新の設計波で新たに波浪条件を設定した。

次に、既存の検討断面に対して、L1津波に先行する地震動を用いて、地震応答解析を実施して津波来襲時の沈下量を算定した。また、設定したL1津波条件から津

波シミュレーションを実施して、防波堤地点での津波計算結果を抽出して、設計条件を設定した。これらの設計条件に基づいて、直立部および基礎の安定性照査を実施し、必要に応じて対策断面を検討する。本設計条件では、安定性を満足していたため、現況断面を対象に、次のL2津波に対する検討を実施した。

次に、L2津波に対する検討として、L1津波時と同上に、地震応答解析および津波シミュレーションを実施して、設定した設計条件に基づいて、直立部および基礎の安定性照査を実施した。本研究では、基礎の安定性で対策が必要となったため、水理模型実験を実施して、港内側マウンドの被覆材の安定性実験を実施して、L2津波に対する粘り強さを検証した。最終的には安定性を満足する対策断面の中から施工性や経済性等を総合的に判断して、最適な対策案を決定した。

## 2. 津波シミュレーション

### (1) 計算条件

図2の検討フローに従って、設計条件を設定するために、外力となる津波条件を設定する必要がある。既往検討では、詳細な構造物データを設定されていなかったため、本研究で津波シミュレーションを実施し、構造物地点での津波条件を設定した。対象としたL1津波は、東南海・南海連動型地震(2003年中央防災会議モデル<sup>5)</sup>)である。L2津波は、南海トラフ巨大地震(内閣府<sup>6)</sup>)と宮崎県独自モデル<sup>7)</sup>を比較して、対象地点での最高津波水位が大きい南海トラフ巨大地震を採用した。計算条件は表1に示す通りであり、地形条件として、北沖防波堤の延長が現況の場合と計画まで延伸した場合の2ケースを実施した。

表1 津波シミュレーションの計算条件

項目	設定値
計算モデル	非線形長波方程式(平面二次元非定常モデル)
地形データ	中央防災会議データを更新
格子幅	2730 m→810 m→270 m→90 m→30 m→10 mの6段階のネスティング
波源モデル	L1: 東南海・南海連動型地震 <sup>5)</sup> L2: 南海トラフ巨大地震 <sup>6)</sup>
潮位条件	H. W. L. T. P. + 1.15 m (=D. L. + 2.30 m)
計算時間	6時間



## (2) 計算結果

計算結果として、細島港周辺の L1 津波の最大水位と最大流速を図 3, L2 津波の最大水位と最大流速を図 4 に示す。なお、北沖防波堤の現況天端高は、D.L.+9.0m であり、一方の余島防波堤の現況天端高は、D.L.+7.0~8.0m である。

図 3, 図 4 の最大津波水位の計算結果は、TP基準であることに留意する必要がある。図 3, 図 4 に示すように、北沖防波堤及び余島防波堤の L1 及び L2 津波時の最大津波水位は、それぞれ D.L.+4.0m, +10m 程度であった。L1 津波時には、両防波堤とも、津波高が天端高を上回ることとはなく、越流は発生しない。しかし、L2 津波時には両防波堤とも数 m 規模で越流が発生し、特に余島防波堤では越流深が大きいことがわかった。また、津波来襲時には、津波に先行する地震動によって構造物が沈下している可能性があり、越流深はさらに大きくなることが想定される。

一方、津波流速に関して、北沖防波堤及び余島防波堤周辺での L1 及び L2 津波時の最大流速は、それぞれ約 5 m/s, 7 m/s 程度であった。これらの津波条件を用いて、安定性照査を実施した。

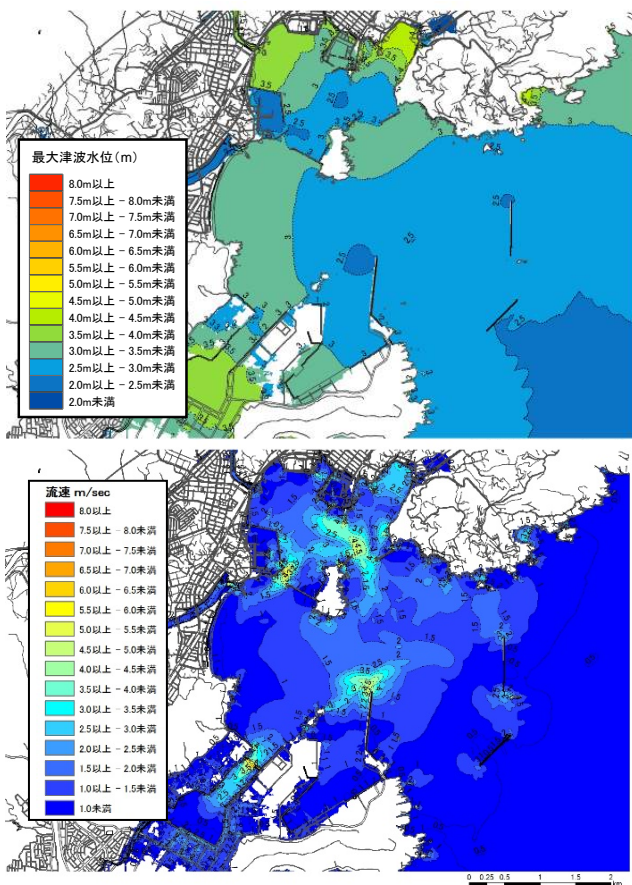


図 3 L1 津波の最大水位(上)と最大流速(下)

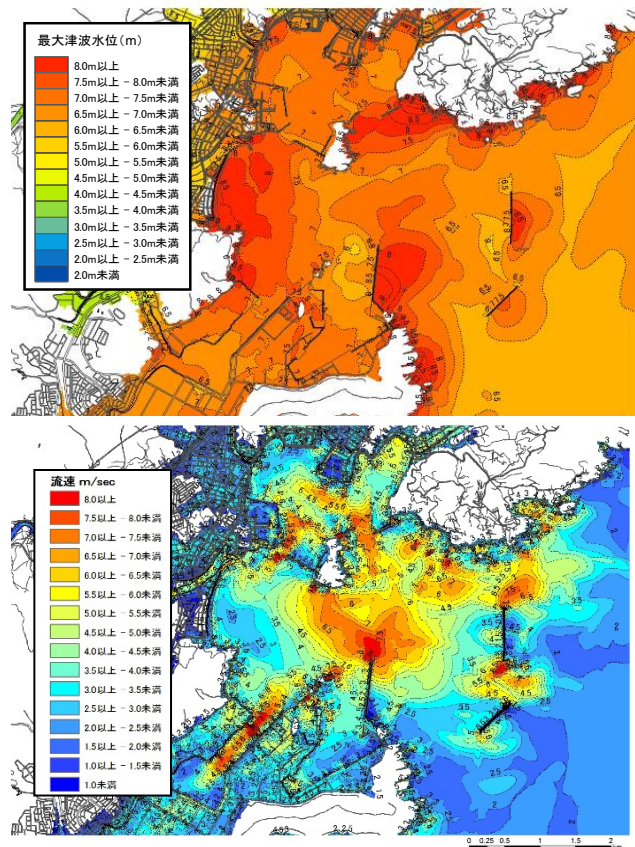


図 4 L2 津波の最大水位(上)と最大流速(下)

## 3. 沈下量解析

### (1) 計算条件

本研究では、2 次元地震応答解析 FLIP<sup>8)</sup> (Finite Element Analysis Program for Liquefaction Process) を用いて、L1・L2 津波に先行する地震動に対する沈下量を算定した。解析対象の断面は、代表断面として北沖防波堤から 2 断面、余島防波堤から 2 断面を選定した。入力地震動は、L1 津波に先行する地震は、中央防災会議 2003 年モデルの工学的基盤での地震動とし、L2 津波に先行する地震は、細島港を対象にして野津ら<sup>9)</sup>の手法で作成された南海トラフ巨大地震の工学的基盤での地震動を用いた。

### (2) 計算結果

計算結果の例として、L1 津波及び L2 津波先行地震に対する余島防波堤の区間 2 の残留変位図を図 5 に示す。図 5 では、L1 津波先行地震時:0.11m, L2 津波先行地震時:1.75m の残留沈下量であり、同一地盤であっても L1 津波時と L2 津波時で沈下量が大きく異なることがわかる。次に、石原・吉嶺<sup>10)</sup>が提案した体積ひずみと最大せん断ひずみの関係図を用いて、排水沈下量を算出した。L1 津波及び L2 津波発生時の初期地盤沈降と FLIP による残留沈下量、排水沈下量を併せて合計沈下量として求め、表 2 に示す。L1



津波時には、北沖防波堤、余島防波堤の合計沈下量は0.16m～0.29m程度と比較的小さかった。一方、L2津波時には、北沖防波堤、余島防波堤の合計沈下量は0.87m～2.7mとなり、直下地盤等の条件によって沈下量が大きく異なることから、安定性照査に適切に反映する必要があるとわかった。

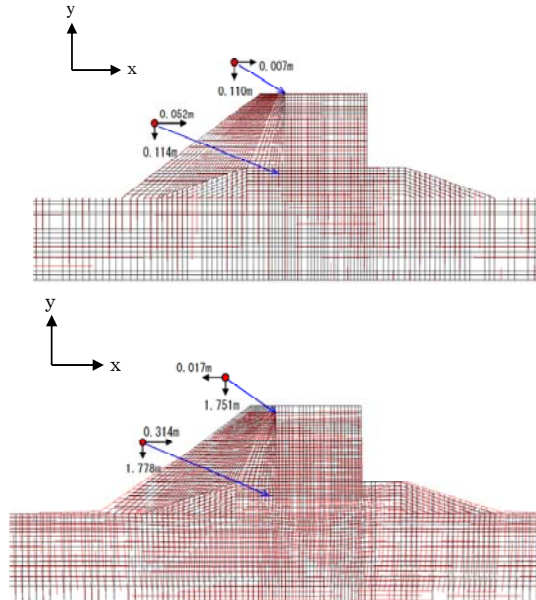


図 5 余島防波堤の残留変位(上：L1津波、下：L2津波)

表 2 沈下量解析結果

津波	防波堤	余島防波堤		北沖防波堤	
	区間	1	2	1	2
L1 津波	地盤沈降量	0.15 m	0.15 m	0.16 m	0.16 m
	残留沈下量	0.14 m	0.11 m	0.00 m	0.00 m
	排水沈下量	0.01 m	0.01 m	0.00 m	0.00 m
	合計沈下量	0.29 m	0.27 m	0.16 m	0.16 m
L2 津波	地盤沈降量	0.83 m	0.83 m	0.84 m	0.84 m
	残留沈下量	0.88 m	1.75 m	0.15 m	0.02 m
	排水沈下量	0.07 m	0.11 m	0.00 m	0.01 m
	合計沈下量	1.75 m	2.69 m	0.99 m	0.87 m

## 4. 安定性照査

### (1) 堤体部の安定性照査

次に、設定した津波条件に基づいて、防波堤の沈下量を考慮して、津波波圧作用時の堤体の安定性を照査した。津波波圧の算出式は、ガイドライン<sup>1)</sup>に従い、越流が発生しない条件では谷本式、越流後は静水圧差式を適用した。越流が発生するL2津波時には、港外側水位最大時に加えて、水位差最大時、越流直前時、越流直後の4パターンで安定性を照査した。沈下量は簡単のため、海底地盤及びマウンド、堤体の施設全体が前章で算出した合計沈下量分、全体的に沈下する仮定した。

安定性照査の結果のまとめを表3に示す。北沖、余島防波堤とも、L1及びL2津波による波圧作用に対して、滑動の耐力作用比1.6～12と十分に安定するとわかった。

表 3 堤体の安定性照査結果

津波	防波堤	余島防波堤		北沖防波堤	
	区間	1	2	1	2
L1 津波	水位最大	○	○	○	○
L2 津波	水位最大	○	○	○	○
	水位差最大	○	○	○	○
	越流直前	○	○	○	○
	越流直後	○	○	○	○

表 4 港内側マウンド被覆材の安定性照査結果

防波堤	余島防波堤 現況：2t		北沖防波堤 現況：1t～75t	
	現況	将来	現況	将来
L1 津波流速 (勾配有) (勾配無)	4.75m/s 2.43t: NG 0.62t: OK	4.68m/s 2.23t: NG 0.56t: OK	2.21m/s 0.07t: OK 0.01t: OK	0.70m/s 0.00t: OK 0.00t: OK
L2 津波流速 (勾配有) (勾配無)	7.24m/s 30.5t: NG 7.72t: NG	7.24m/s 30.5t: NG 7.72t: NG	8.08 m/s 167t: NG 14.9t: OK	4.66m/s 3.67t: NG 0.33t: OK

### (2) 基礎の安定性照査

次に、ガイドライン<sup>1)</sup>に従い、港内側のマウンド被覆材の安定性を照査する。基礎に作用する津波は、大きく、越流後の流れと法線平行方向への流れの2種類ある。前者は水理模型実験で安定性を確認し、後者はL1津波及びL2津波のシミュレーションで算出された最大水平流速を用いて、イスバッシュ式<sup>10)</sup>で評価した。イスバッシュ式には、斜面勾配のパラメーターがあり、マウンドの勾配を考慮した場合と考慮しない場合の2通りの必要質量を算出した。なお、イスバッシュ数は1.08を用いた。

基礎の安定性照査の結果のまとめを表4に示す。マウンドの勾配を考慮しない場合には8tブロック、考慮した場合には30t～170tが必要となり、津波対策が必要であることがわかった。なお、対策は水理模型実験によってその有効性を確認することとした。

## 5. 水理模型実験

### (1) 実験条件

越流時の被覆材の安定性を確認するために、水理模型実験を実施した。実験は、1/50スケールで長水路(長さ20m、幅0.6m、高さ0.7m)を用いて、水路の両端に設置したポンプで循環流を発生させ、L2津波時の港内外水位(例：余島防波堤・区間2はD.L.+10.32m)を再現した。なお、実験においても3章で算出した津波来襲時の総沈下量を考慮して、海底地盤、マウンド、堤体等、構造物全体を沈下させてモデル化を実施した。

まず、現況断面の被覆材を設置して、安定性を確認し、安定性が確保できない場合には、被覆ブロックの質量増加やブロック直下にアスファルト(As)マット(Asマットを5mm厚程度で製作)を設置したケースを実施し、被覆

ブロックの安定性向上の有無を確認した。実験ケースの一覧は表 5 に示す通りである。また、断面方向(法線直角方向)に越流する状況の実験に加え、法線平行方向へ津波流速を作用させた安定性実験も実施した。

表 5 実験ケース一覧および結果

対象施設	構造物/対策工	結果
北沖防波堤 区間 1	・現況(被覆石 1t)	安定
北沖防波堤 区間 2	・現況(被覆石 1t)	安定
余島防波堤 区間 1	・現況(被覆石 2t) ・8t ブロック ・16t ブロック/+As マット	崩壊 崩壊 安定/安定
余島防波堤 区間 2	・現況(被覆石 2t) ・2t ブロック/+As マット ・4t ブロック/+As マット ・8t ブロック/+As マット ・16t ブロック/+As マット	崩壊 崩壊/崩壊 崩壊/安定 安定/安定 安定/安定

## (2) 実験結果

実験状況の例として、図 6 および図 7 に越流状況の図を示す。図 6 余島防波堤・区間 2 における現況の 2t 被覆石、図 7 は対策として 8t ブロックを設置したケースである。図 6 の現況では、越流後の津波流速によって渦状の流れが発生し、被覆石(図中の白色)及び基礎マウンドが流失していることがわかる。一方、図 7 の被覆石の上に 8t ブロックを設置したケースでは、法尻部で一部流失しているが、法肩および法面で被覆材が安定していることがわかる。その他の実験結果は、表 5 に示しているが、余島防波堤・区間 2 において、4t ブロックのみのケースでは、被覆材は崩壊したが、4t ブロック+As マットのケースでは、被覆材は安定していることがわかった。これは、As マットによって被覆材の摩擦が増大したことや浸透力が軽減されたことに起因すると推察される。

また、法線平行方向の津波に対する実験では、余島防波堤の区間 2 以外では、現況被覆材で安定する結果となり、表 4 の勾配無の計算結果と整合する結果となった。



図 6 実験状況(現況 - 2t 石)

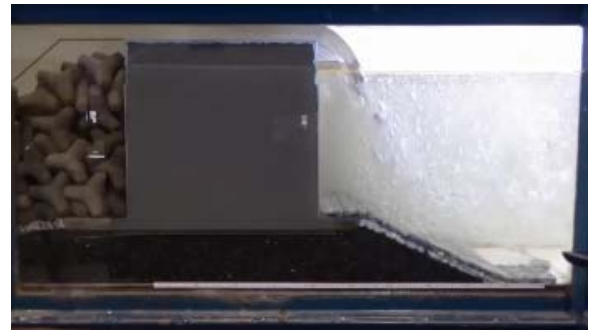


図 7 実験状況図(対策-8t ブロック)

## (3) 対策案の決定

余島防波堤・区間 2 に関して、上記の通り、4t ブロックのみでは不安定、4t ブロック+As マットでは安定であった。また 1 ランク上のブロックの 8t ブロックでも安定であることがわかった。そのため、図 8 に示す 2 つの断面に対して、総合的に比較して、対策案を決定した。図 8 上段 4t ブロック+As マット案は、約 70 万円/m、図 8 下段の 8t ブロック案は、約 50 万円/m となり、その他、施工性等も考慮して、8t ブロック設置案を最適対策案と決定した。

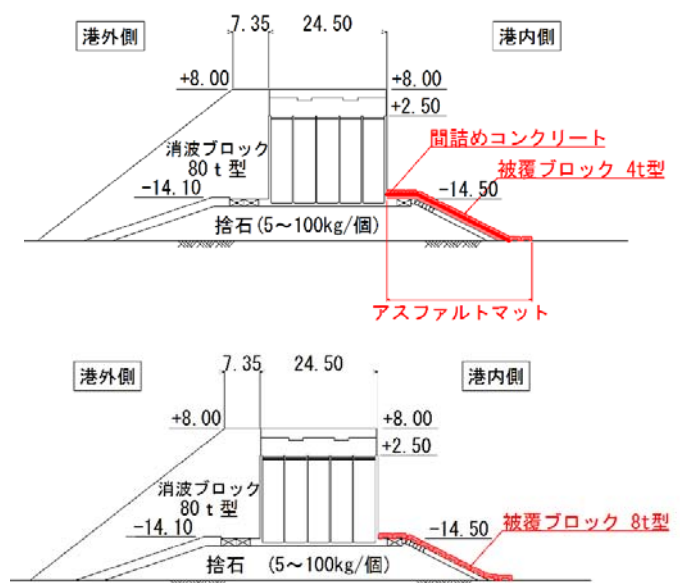


図 8 余島防波堤・区間 2 の対策案断面図

(上: 4t ブロック+As マット設置案、下: 8t ブロック設置案)

## 6. お わ り に

本研究では、細島港港外の北沖・余島防波堤に対して、L1 及び L2 津波に対して、港内側マウンドに被覆ブロックを設置してマウンド補強による粘り強い構造断面を検討した。主要な知見は以下の通りである。

- 1) 本研究では、津波シミュレーションによる最大流速を用いたイスバッシュ式での必要質量は、マウンド

勾配を考慮すると、著しく大きくなり、勾配を考慮しない場合、水理模型実験結果と概ね整合した。

- 2) 水理模型実験結果からAsマットによるブロックの安定性向上の効果を確認した。
- 3) 水理模型実験によって安定性を確認した i) 被覆ブロック 4t+As マット案, ii) 被覆ブロック 8t 案の2案から、経済比較等によって ii) 8t ブロック案を最適な対策案とした。

本研究では、As マットを使用した方が、不経済となったが、津波条件や断面によっては、経済的に優位となる場合もある。さらに、法尻までAs マットを設置することで、海底地盤の洗掘の可能性を低減することができる。そのため、防波堤の津波に対する粘り強い構造化対策は検討対象の条件を考慮して、最適な対策を決定する必要がある。また、海底地盤の洗掘に関しては、水理模型実験を実施することが望ましいが、CADMAS-SURF や粒子法等を用いた洗掘を考慮した数値解析<sup>12)</sup>を併用して洗掘過程を検証する必要があると考える。

## 参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン、平成 27 年 12 月 一部改訂、2015。
- 2) 辻尾大樹、安田誠宏、間瀬肇、森信人、前田恭兵、山口佑太：設定を超える津波に対するケーソン防波堤の補強効果に関する実験的研究、土木学会論文集 B3(海洋開発) Vol.68, pp.I\_473-I\_478, 2013。
- 3) 有川太郎、佐藤昌治、下迫健一郎、富田孝文、廉慶善、丹羽竜也：津波越流時における混成堤の被災メカニズムと腹付工の効果、港湾技術研究所資料、No.1269, 2013。
- 4) 三井順、松本朗、半沢稔：イスバッシュ式の導出過程と防波堤を越流する津波への適用性、土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 71, No. 2, p. I\_1063-I\_1068, 2015。
- 5) 中央防災会議：東南海、南海地震の被害想定について、東南海、南海地震等に関する専門調査会(第 14 回)、資料 2, pp. 38-40,  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/14/>参照 2011-11-23。
- 6) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)(オンライン),  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829\\_2nd\\_report01.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829_2nd_report01.pdf), 参照 2013-12-19。
- 7) 宮崎県：県における南海トラフ巨大地震等に伴う被害想定について,  
[http://www.pref.miyazaki.lg.jp/kiki-kikikanri/kurashi/bosai/documents/4579\\_20160423041700-1.pdf](http://www.pref.miyazaki.lg.jp/kiki-kikikanri/kurashi/bosai/documents/4579_20160423041700-1.pdf), 参照 2017-05-01。
- 8) FLIP 研究会：FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ, <http://www.flip.or.jp/file/jirei.pdf>, 参照 2017-05-01。
- 9) 野津厚、若井淳、長坂陽介：SPGA モデルによる歴史地震の震度分布の再現—その手順の一例—、港湾空港技術研究所資料、No.1290, 2014。
- 10) 石原研而、吉嶺充俊：地震時の液状化に伴う砂地盤の沈下量予測、第 26 回土質工学研究発表会、1991。
- 11) Coastal Engineering Research Center : Shore Protection Manual, U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Govt. Print-ing Office, Vol. II, pp. 7\_213-7\_216, 1977。
- 12) 大久保陽介、熊谷健蔵、辻尾大樹、永澤豪、加藤史訓：津波越流時における海岸堤防の洗掘に関する数値解析モデルの構築、土木学会論文集 B2(海岸工学) 70(2), I\_991-I\_995, 2014。

## あ と が き

本研究を進めるにあたり、宮崎県県土整備部の田上剛氏、疋田大輔氏、宮崎大学工学教育研究部の村上啓介教授にご協力頂いた。ここに、謝意を表します。



## 深層崩壊に起因する土砂災害に対するハード対策の検討

(株)建設技術研究所 柳崎 剛  
(株)建設技術研究所 福島 和彦  
(株)建設技術研究所 ○岸上 直之  
(株)建設技術研究所 和田 孝志  
(株)建設技術研究所 速見 智

### 論文要旨

深層崩壊に起因する土砂災害は、平成23年台風12号により紀伊半島で発生した事例に代表されるように近年、各地で発生し、通常の土砂災害に比べて甚大な被害が発生している場合がある。深層崩壊起因の土砂災害の中でも、天然ダムを形成した降雨中に決壊する短期決壊型天然ダムタイプと土石流タイプは緊急対応が困難の上、影響範囲が広く、事前のハード対策により被害を減ずることが重要となる。

本論文ではA川流域を対象に、蓋然性の高い斜面から下流域を対象に構築した数値解析モデルにより被害軽減効果がある整備メニューを抽出し、既定計画の施設配置についても考慮した上で、深層崩壊対策施設に関する配置計画を取りまとめ、今後の事業化に向けての課題を整理する。

**キーワード：**蓋然性の高い深層崩壊、深層崩壊起因土石流、天然ダム決壊、事前ハード対策、既往施設の活用

### まえがき

深層崩壊の発生頻度は低いものの、崩壊規模が大きいいため、従来の砂防施設単独のみでは対応できない。このため、ハード対策とソフト対策を含めた複合的な対策が求められている。深層崩壊に起因して発生する土石流の流下形態は3つに分類され、①天然ダムタイプ、②土石流流下タイプ、③崩土直撃タイプがある。本論文では影響範囲の大きい①天然ダムタイプと②土石流タイプを対象とする。また、天然ダムタイプは決壊にいたるまでの継続時間によって「短期決壊型」と「長期継続型」<sup>1)</sup>の2つのタイプに分類される。深層崩壊を発生させた降雨期間中に決壊する「短期決壊型」は、天然ダムが形成され決壊に至るまでの間に緊急的な対応が困難であるため、事前にハード対策を施し被害を減ずることが重要となる。

本論文では、深層崩壊の相対的な危険度が高いA川流域(図-3参照)において、短期決壊型天然ダムの決壊や土石流の流下に伴う被害低減を図ることを目的とする。天然ダム決壊タイプの主な検討項目は、天然ダム決壊タイプの分類、決壊時洪水流量と下流の洪水流量との合流を考慮した被害想定、天然ダム上下流での複合的な被害軽減対策であり、土石流タイプの主な検討項目は土石流の流下に伴う被害想定とその対策である。

### 1. 深層崩壊起因の土砂災害のハード対策

#### (1) 天然ダムタイプのハード対策

天然ダムタイプに対する事前ハード対策施設より、以下の2種類の施設を基本に被害低減を図ることとする<sup>1)</sup>。

- ・深層崩壊が生じた場合に天然ダムの高さを減ずる施設【土砂捕捉のための砂防堰堤(鋼製透過型、透過型)】
- ・天然ダム決壊により土石流・洪水流が生じた場合に土砂・泥水の流出を制御する施設【せき上げを生じさせる透過型堰堤(コンクリートスリット型)】

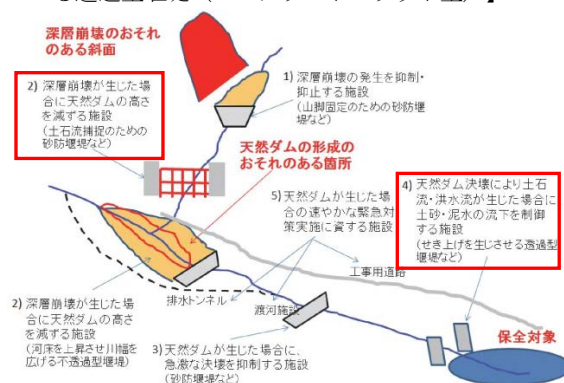


図-1 天然ダムタイプのハード対策イメージ<sup>1)</sup>

#### (2) 土石流タイプのハード対策

土石流タイプに対する事前ハード対策施設より、以下の2種類の施設を基本に被害低減を図ることとする<sup>1)</sup>。

- ・深層崩壊が生じた場合に土石流の規模を減ずる施設【河床勾配を緩くする不透過型砂防堰堤】
- ・深層崩壊が生じた場合に土石流を捕捉する施設【土石流を捕捉する透過型堰堤(鋼製透過型)】

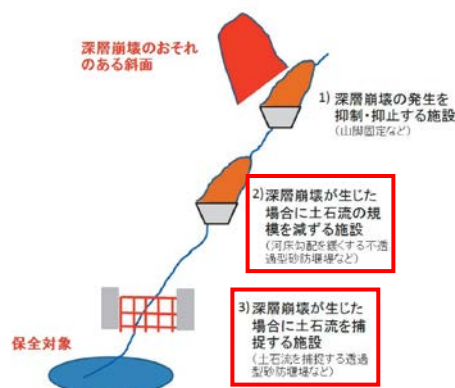


図-2 土石流タイプのハード対策イメージ<sup>1)</sup>

## 2. 深層崩壊のおそれがある地域と崩壊土砂量

### (1) 深層崩壊のおそれがある地域の設定

A川の砂防事業区域は、流域面積約136km<sup>2</sup>、最大流路長約33kmであり、砂防基準点上流はA川本川流域(約58km<sup>2</sup>)とB川流域(約78km<sup>2</sup>)に二分される。地質は和泉層群を主に、中央構造線より北側の領家帯と南側の三波川帯に区分される。

深層崩壊実績としては、B川支流C川の中流部において、約230年前の豪雨により大崩壊(崩壊土量約200万m<sup>3</sup>)が発生し、崩壊土砂が人家を押し潰した後、C川を堰止め天然ダムを形成した<sup>2)</sup>ことが記録されている。既往検討<sup>3)</sup>において、地質特性、地形特性、気候特性の等質性と深層崩壊跡地の分布状況を考慮した上で、蓋然性の高い深層崩壊現象の発生領域として5箇所が抽出されている(図-3の①～⑤)。

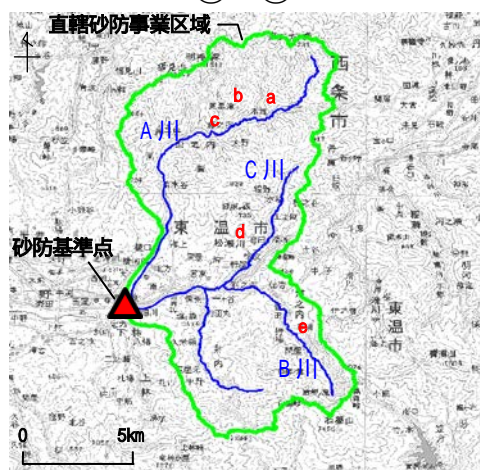


図-3 検討対象位置図

本論文では、蓋然性の高い深層崩壊現象の発生領域5箇所のうち、深層崩壊実績があり、土石流及び天然ダムによる複合的な災害が想定されるC川(図-3の④)及び本川のA川(図-3の③)を例として、深層崩壊に起因する土砂移動現象の計算結果、既往施設及び計画施設の効

果の評価結果を報告する。

### (2) 崩壊土砂量の設定

C川における深層崩壊に伴う土砂量は、蓋然性の高い深層崩壊現象として整理<sup>3)</sup>された標準規模561千m<sup>3</sup>、最大規模1,470千m<sup>3</sup>を採用する。同様にA川では標準規模211千m<sup>3</sup>、最大規模331千m<sup>3</sup>を採用する。

深層崩壊対策技術に関する基本的事項では、「深層崩壊に関するハード対策は河川砂防技術基準における砂防基本計画における深層崩壊・天然ダム等異常土砂対策として実施する」<sup>1)</sup>とある。このため、対象流域における砂防基本計画の計画土砂量と上記の深層崩壊土砂量を比較し、取りまとめた結果を以下に示す。

- ・A川本川においては、単独崩壊の標準規模および最大規模土砂量とともに基準地点の生産土砂量の計画値内でおさまる。
- ・C川の最大規模の深層崩壊土砂量では、計画基準点における計画生産土砂量を上回るため、計画値に最大規模の深層崩壊土砂量を含める場合は基本計画土砂量の見直しが必要である。
- ・深層崩壊規模によってはA川流域における基本計画土砂量の内数となるため、深層崩壊対策による効果を事業の便益として説明できる可能性があることを確認した。

## 3. 深層崩壊に伴う土砂移動現象の検討

### (1) 検討方法

深層崩壊に起因する天然ダムの被害予測には、①深層崩壊土砂の土石流の発生過程、②土石流の流下堆積過程、③天然ダムの越流決壊過程、④天然ダム決壊による土石流・洪水の流下過程、⑤下流域での氾濫・堆積過程の5つのプロセス(図-4参照)を考慮する必要がある。土石流の被害予測では、深層崩壊土砂の土石流の発生過程、土石流の流下堆積過程、下流域での氾濫・堆積過程3つのプロセスとなる。検討では土砂輸送形態の変化に合わせて上記の計算過程を統合して用い、事前対策施設の効果検証を実施している。

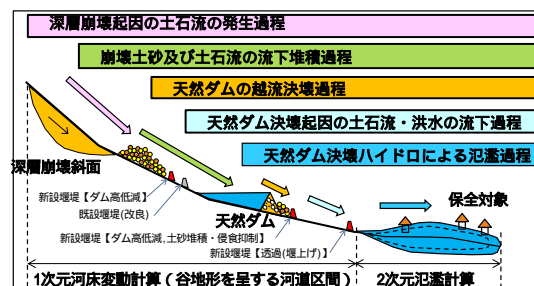


図-4 天然ダムタイプの土砂移動プロセス

## (2) 深層崩壊に起因する土石流の計算(天然ダムタイプ、土石流タイプ)

深層崩壊規模に起因する土石流の流下・氾濫現象を追跡した上で、土石流による河道閉塞に伴い形成する天然ダムの形状を推定する。土石流の流下計算には、「深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算マニュアル(案)<sup>4)</sup>」に準じて、土石流の間隙流体に細粒土砂が取り込まれることによる流体層密度の時間的変化(密度変化の式は以下を参照)を考慮した 1 次元河床変動計算を採用し、深層崩壊直下より天然ダム形成箇所や氾濫開始地点までの通過土砂量を算定する。

$$C_d = (1 - w_d)(1 - P(D_c)) \quad (1)$$

$$r_d = \frac{w_d r_w + (1 - w_d) r_s P(D_c)}{w_d + (1 - w_d) P(D_c)} \quad (2)$$

ここで、 $C_d$ : 土石流中の層流状態で骨格を形成する土石の濃度(土砂濃度)、 $w_d$ : 土石流中の清水の割合、 $P(D_c)$ : 全土石に占める粒径が  $D_c$  以下の土石の割合、 $\rho_d$ : 土石の密度、 $\rho_s$ : 清水の密度である。粗粒分と細粒分の境界の粒径である  $D_c$  は既往河床材料調査をもとに 2mm に設定する。

## (3) 天然ダム形状の決定(天然ダムタイプ)

既往実績より深層崩壊起因の天然ダムの約 90% は河床勾配が 1/10(約 6°) より緩い区間で形成することがわかっている<sup>5)</sup>。そこで、本検討では深層崩壊起因の土石流が河床勾配 1/10 地点まで流下して、土石流の土砂量の全量が天然ダムを形成すると仮定する。

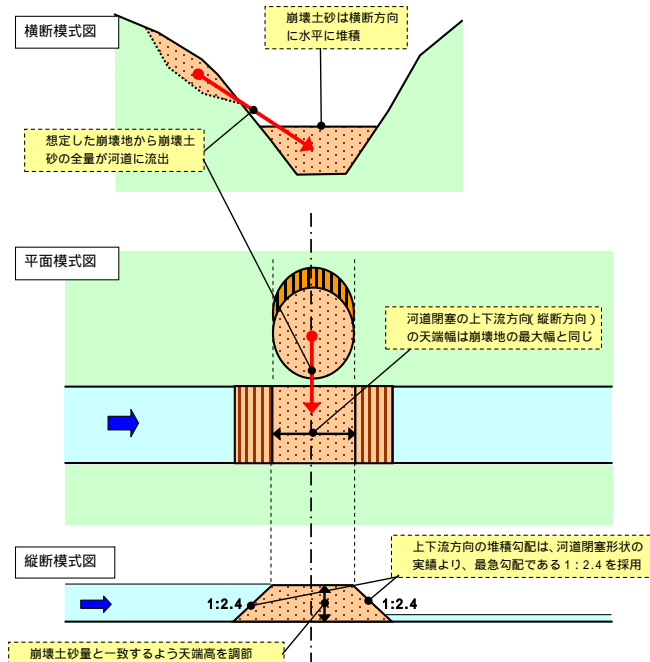


図 - 5 天然ダム設定方法のイメージ

崩壊土砂は溪流の横断方向に対して水平に堆積し、河道閉塞の上下流方向の天端幅は閉塞地点に流入する支流の流路幅と同程度とする。上下流方向の堆積勾配は既往事例を参考に最急勾配である 25° (1 : 2.4) を採用し、天然ダム高は河床勾配 1/10 地点を通過した土砂量と一致するように形状を調整する。上記の内容を整理したイメージ図を図-5 に示す。

C 川の天然ダム形成箇所である 1/10 地点の位置を図-8 に示している。

## (4) 天然ダム湛水規模の検討と決壊タイプの分類(天然ダムタイプ)

(3) で設定した天然ダム位置と高さをもとに天然ダム上流の湛水容量を算定し、天然ダム地点への流入ハイドロは基本計画で対象とする計画ハイドロを面積按分したハイドロを設定する。天然ダムは洪水ピーク流量発生時刻に形成し流入量が湛水容量より大きくなると決壊したとみなし、天然ダムの決壊タイプを分類する。天然ダムの決壊タイプは、発災後の初動対応の目安である 48 時間以内に決壊する場合を短期決壊型とし、48 時間を超えて決壊するものを長期継続型と分類する。

C 川 ④ 領域における標準規模、最大規模それぞれの土砂量に応じた天然ダム決壊タイプの分類結果を表-1 に、天然ダムの決壊を判定したグラフを図-6 に示す。最大規模は決壊まで 48 時間以上の時間的猶予があるのに対し、標準規模は天然ダム形成後 5 時間で決壊する。発災後の応急対応が難しいため、短期決壊型は事前のハード対策により被害を軽減する必要がある。

表 - 1 天然ダム決壊タイプの分類

規模	ダム高 (m)	湛水容量 (千 m <sup>3</sup> )	継続時間 (時間)	決壊タイプ
標準	22.7	901	5	短期決壊型
最大	40.6	2,858	-	長期継続型

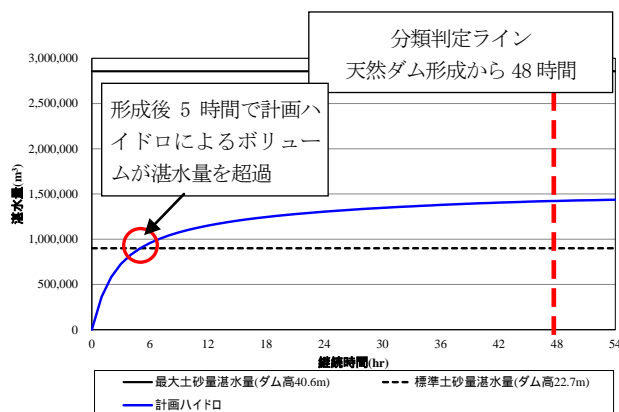


図 - 6 天然ダム決壊判定図



#### (5) 天然ダム下流残流域からの合流を考慮した被害想定 (天然ダムタイプ)

後述する施設効果を評価するため、統合的な土石流シミュレーターである HyperKANAKO を使用し、深層崩壊起因の土石流の2次元氾濫解析、天然ダムの越流決壊解析(1次元)及び下流河道における2次元氾濫解析を実施する。天然ダムの越流決壊解析の対象区間は、各施設の効果を評価するためB川合流点までとし、合流点を2次元氾濫解析の開始点とした。2次元氾濫解析に用いる洪水ハイドログラフは天然ダム形成箇所( $A=10.0\text{km}^2$ )に対し、合流するB川流域( $A=21.9\text{km}^2$ )の流域面積が大きいいため、基本計画で使用する計画ハイドログラフを面積按分した洪水流量を天然ダム決壊ハイドログラフに加えて算定する。上記の内容を整理した設定イメージ図を図-7に示す

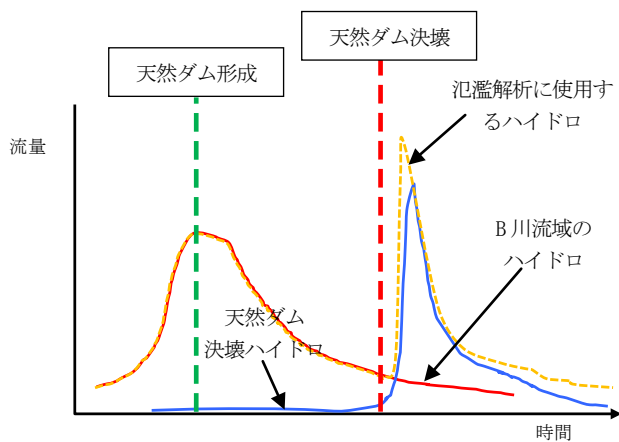


図-7 氾濫解析地点のハイドログラフ設定イメージ図

## 4. 施設による効果の評価

### (1) 施設配置計画

C川(d)領域における既往施設及び砂防基本計画上の計画施設の配置状況を図-8、各計画施設の諸元を表-2に示す。図中の既設砂防堰堤(堤高 $H=10.0\text{m}$ 、不透過型)は、砂防基本計画上では部分透過型への改良が計画されている。

表-2 計画施設の諸元(C川)

配置施設	設置位置	機能	堤高(m)
鋼製スリット型	溪流谷出口	土石流の捕捉	9.5
既設堰堤(改良)	天然ダム下流	洪水流の制御	10.0
コンクリートスリット型	天然ダム下流	洪水流の制御	10.0
コンクリートスリット型	天然ダム下流	洪水流の制御	10.0
コンクリートスリット型	天然ダム下流	洪水流の制御	10.0

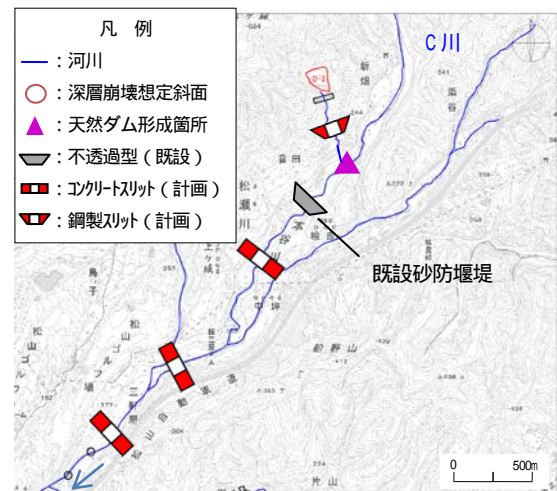


図-8 C川(d)領域から下流の施設配置図

同様にA川(c)領域における既往施設、砂防基本計画上の計画施設及び基本計画から追加・変更した計画施設の配置状況を図-9、各計画施設の諸元を表-3に示す。

表-3 計画施設の諸元(A川)

配置施設	設置位置	機能	堤高(m)
鋼製スリット型(基本計画諸元)	溪流谷出口	土石流の捕捉	9.5
鋼製スリット型(ハイダム案、基本計画諸元から変更)	溪流谷出口	土石流の捕捉	22.0
不透過型(基本計画から追加)	流下区間	土石流の低減	15.0

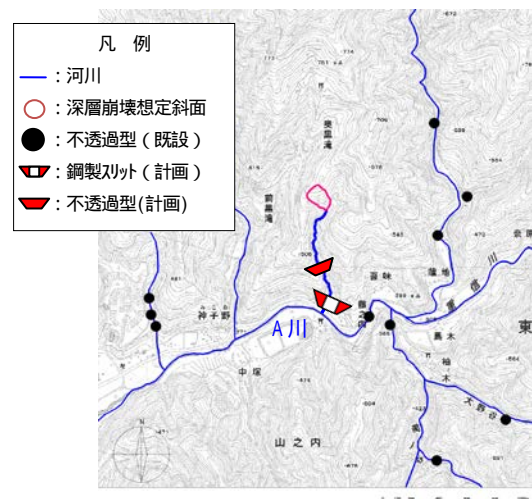


図-9 A川(c)領域から下流の施設配置図

### (2) 天然ダムタイプの施設効果の検討

表-1に示した短期決壊型の天然ダムに対し、施設配置の検討ケースは、case1:無施設、case2:現行施設、case3:計画施設の3ケースとする。各ケースの天然ダム決壊時の氾濫流量ハイドログラフを図-10に、土石流氾濫及び天然ダムの湛水、決壊に伴い想定される複合的な被害の

状況を表-4に示す。図-11、図-12には被害が最大となるcase1の被害想定区域図を示す。図-12にはcase3の施設整備により被害が軽減される区域も示す。

氾濫ピーク流量は、case1の $2,930\text{m}^3/\text{s}$ に対しcase2で約10%、case3で約20%抑制される。一方、case3は、天然ダム上流の施設効果により湛水容量が縮小し、ピーク到達時間は早まる傾向にある。

深層崩壊直下の渓流谷出口に配置する鋼製スリット型堰堤は天然ダム高を1m程度低減させるが、湛水による被害戸数の軽減効果はない。天然ダム下流における既設堰堤の改良及びコンクリートスリット型堰堤3基の一体的な整備により天然ダムの決壊流量を抑制し、被害戸数は55%程度まで減少する。被害をさらに軽減するためには、河川沿いの道路や集落の状況を踏まえて、追加整備を検討する必要がある。

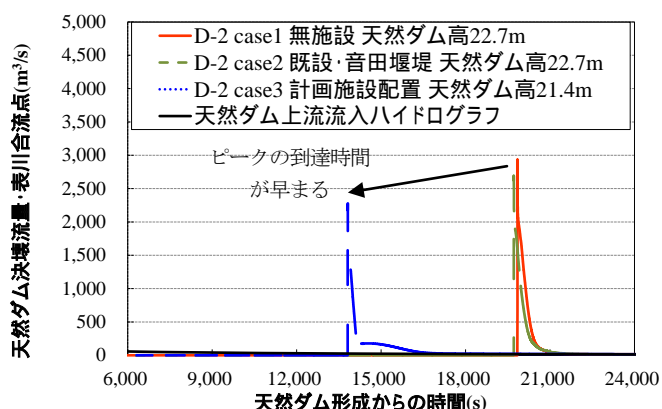


図 - 10 天然ダム決壊時の氾濫流量

表 - 4 対策施設案と被害低減効果

項 目	case1	case2	case3
土石流総流出土砂量(千 $\text{m}^3$ )	491	491	453
土石流被害戸数(戸)	0	0	0
天然ダム高(m)	22.7	22.7	21.4
天然ダム湛水容量(千 $\text{m}^3$ )	901	901	791
湛水被害戸数(戸)	1	1	1
決壊氾濫ピーク流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )	2,930	2,690	2,280
ピーク到達時間(sec)	19,843	19,713	13,815
決壊氾濫被害戸数(戸)	289	265	162

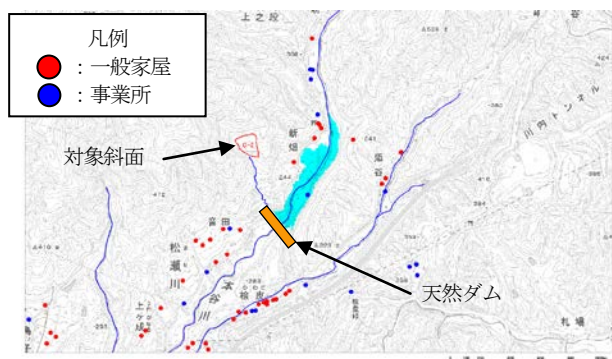


図 - 11 天然ダムによる湛水区域図(case1)

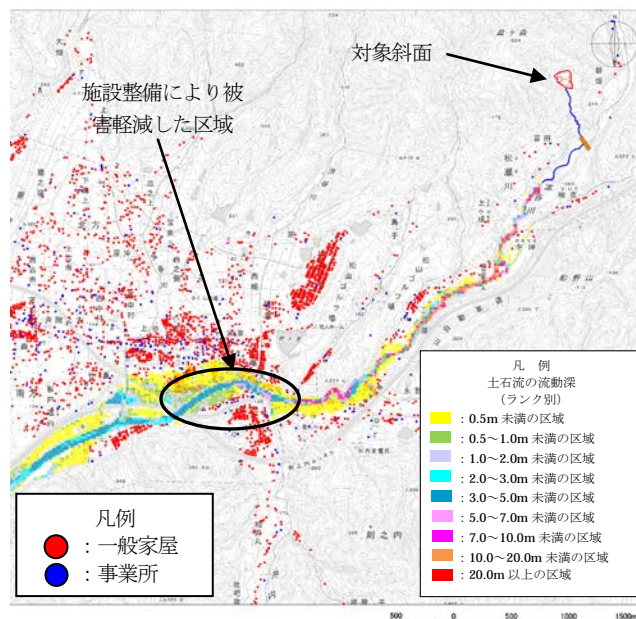


図 - 12 天然ダム決壊による最大流動深図(case1)

ここで計画施設の条件下で、深層崩壊規模と被害軽減効果の関係性に着目し、崩壊土砂量(50%値、25%値、12.5%値)と流出土砂量、天然ダム高を表-5に整理した。標準規模561千 $\text{m}^3$ の25%値、12.5%値に対し、天然ダム高は6.8m、2.6mまで抑制されるため、計画施設の被害軽減効果はより確実に発揮される。このことは、砂防基本計画上、ある程度の崩壊規模であれば深層崩壊対策としての被害軽減効果を便益として考慮できることを示唆している。

表 - 5 崩壊規模と総流出土砂量、天然ダム高

項 目	50%値	25%値	12.5%値
総流出土砂量(千 $\text{m}^3$ )	210	100	40
天然ダム高(m)	12.3	6.8	2.6

### (3) 土石流タイプ

標準規模の土砂量(211千 $\text{m}^3$ )に対し、施設配置の検討ケースは、case1:無施設、case2:基本計画施設、case3:基本計画施設諸元変更案+不透透型堰堤配置の3ケースとする。各ケースの土石流ハイドログラフを図-13に、被害の状況を表-6に示す。図-14には被害が最大となるcase1の被害想定区域図を示す。図-14には、case3の施設整備により被害が軽減される家屋も合わせて示す。

土石流のピーク流量は、case1の $5,863\text{m}^3/\text{s}$ に対し、case2で約5%、case3で約97%抑制される。土石流の総流出量については、case1の96.6千 $\text{m}^3$ に対し、case2で約2%、case3で約77%抑制される。被害戸数については

case3 まで施設を整備すると無被害となる。

この結果から、深層崩壊起因の土石流の被害を抑制するためには、基本計画施設の整備では効果が小さく、施設諸元を見直す必要があることを確認した。

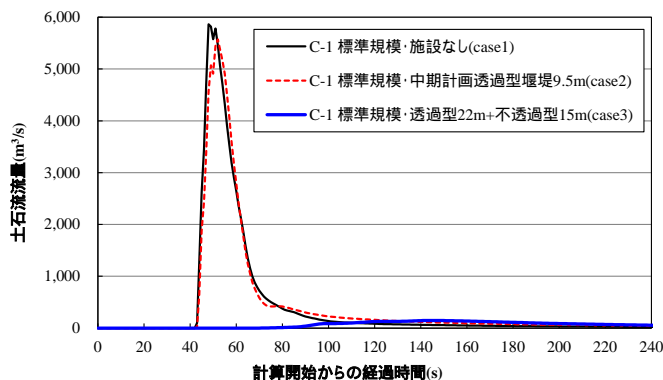


図 - 1 3 土石流のハイドログラフ

表 - 6 対策施設案と被害低減効果

項 目	case1	case2	case3
土石流総流出土砂量 (千 $m^3$ )	96.6	94.9	22.5
土石流被害戸数 (戸)	1	1	0
ピーク流量 ( $m^3/s$ )	5,863	5,572	149

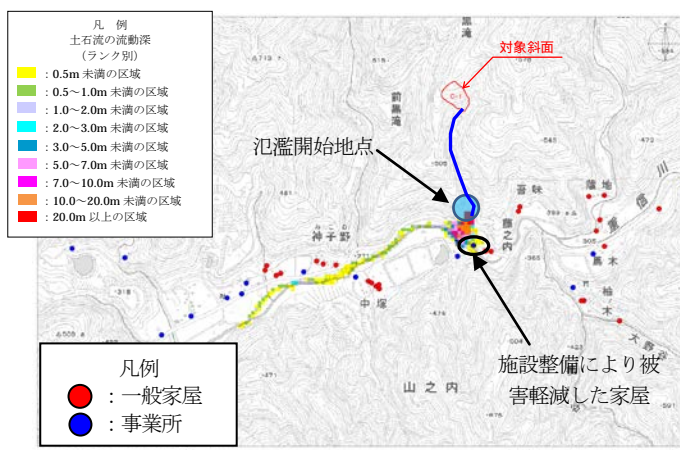


図 - 1 4 土石流の氾濫による最大流動深図(case1)

## 5. まとめ

本検討から得られた知見や今後の課題をとりまとめ、以下に整理する。

- ・深層崩壊に伴う土石流の流下から天然ダムの形成、決壊までを解析できるモデルを構築し、既往施設や計画施設による効果を定量的に評価した。

- ・本論文で対象とした天然ダムタイプおよび土石流タイプの被害想定に対し、計画にもとづく新規施設設置や既存施設改築による被害軽減は十分でないケースがあり、この場合、諸元の見直しや追加の施設配置などを一体的に整備することやソフト対策との組み合わせを検討する必要がある。
- ・天然ダム上流区間における施設整備では、計画規模を超過する土石流外力に対し、安定性を確保する断面形状について、補強方法等も踏まえて詳細に検討する必要がある。
- ・深層崩壊起因の土石流や天然ダムに伴う被害を無被害になる程度まで低減させることは困難であるが、どの程度の規模であれば効果を発揮するかを把握する目的で深層崩壊土砂量と流出土砂量の関係性について、C川④領域を対象に検討を行った。その結果、標準規模の25%値、12.5%値のケースでは、天然ダム高が抑制されるため、計画施設の被害軽減効果は確実に発揮される。
- ・砂防基本計画との整合を確認することを目的に、深層崩壊による土砂量を、砂防基本計画の基本土砂量と比較した。その結果、単独崩壊の標準規模土砂量であれば基本計画の崩壊生産土砂量を超過しないため、深層崩壊対策を事業の便益として説明できる可能性があることを確認した。最大規模の土砂量を対象とすると基本計画の土砂量を超過するケースもあり、この場合は基本計画を見直し、対象とする土砂量を設定する必要がある。

## あ と が き

本論文の執筆に際し、ご指導・ご助言いただいた関係者の方々に謝意を表します。

## 参考文献 (または引用文献)

- 1) 蒲原潤一、内田太郎：深層崩壊対策技術に関する基本的事項、国総研資料第807号、H26.9
- 2) 国土交通省 四国地方整備局 四国山地砂防事務所：四国山地の土砂災害、H16
- 3) 林孝標、高川智、岡田浩孝、桜井亘、内田太郎、池田誠、横尾公博、大塚智久、長塚結花(2016)：深層崩壊に起因する被害想定手法について、平成28年度砂防学会研究発表会概要集、H28.5
- 4) 石塚忠範、山越隆雄、内田太郎、西口幸希：深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算マニュアル(案)、土木研究所資料第4240号、H24.9
- 5) 国土交通省 砂防計画課、国土技術政策総合研究所土砂災害研究部：深層崩壊に起因する土砂災害被害想定手法(素案)〈試行的検討用〉、H27.6



## ASR 対策を併用した潮止水門の耐震補強について

(株) 修成建設コンサルタント ○伊藤 慎悟

### 論 文 要 旨

本報告は、既設潮止水門の耐震性能照査および耐震補強工の検討結果についてまとめたものである。

検討対象となる潮止水門に対する耐震性能照査(L1 および L2 地震動)を行なった結果、L2 地震動に対して曲げ耐力やせん断耐力が不足していたため、耐震補強工の検討を行った。また、当該水門はアルカリシリカ反応(ASR)によるひび割れが生じていたため、その補修を含めた検討を行った。

キーワード：水門・堰、長寿命化計画、耐震補強対策、ASR 対策

### まえがき

水門や樋門、堰等の河川施設は、地震発生時では津波の遡上を防止する重要な施設である。近年、東海・東南海・南海トラフ巨大地震の発生確率が高まっていることを受けて、河川施設の耐震補強や津波対策が急務となっている。

また、河川施設の多くは昭和 40 年代から建設され、竣工から 30～50 年ほど経過している。今後、老朽化に伴う施設の更新、補修(延命化)も必要となってくる。

対象の潮止水門(竣工後 45 年経過)は塩水遡上の防止や高潮防御を目的とした施設であるが、今後は地震(津波)発生時の施設耐力が重要であり、必要に応じた耐震補強や津波対策の他、施設の延命化が急務となっている。

本報告では、竣工から 45 年経過した潮止水門の老朽化並びに ASR 対策に伴う補修(延命化)を含めて耐震補強工の検討を行った事例として紹介する。

### 1. 潮止水門の概要

検討対象の潮止水門(以下「当該水門」と略す)は、塩水遡上の防止や高潮防御を目的として昭和 46 年に竣工された施設で、現在まで 45 年稼働している。

ゲートは上下 2 段シェル構造となっており、下段ゲート閉塞時と全閉時の 2 段階での水位操作によって河川水位を維持するようになっている。

土木施設は劣化状況調査の結果、施設全体にアルカリシリカ反応(ASR)によるひび割れが生じており、表面被覆工が施工されているものの、経年劣化による退色・剥離・磨耗が顕著である。

ゲート設備は劣化が著しく、平成 26 年点検時にゲート設備の一部を応急的に補修しているものの、津波襲来時等の扉体耐力不足から更新が不可欠な状況である。

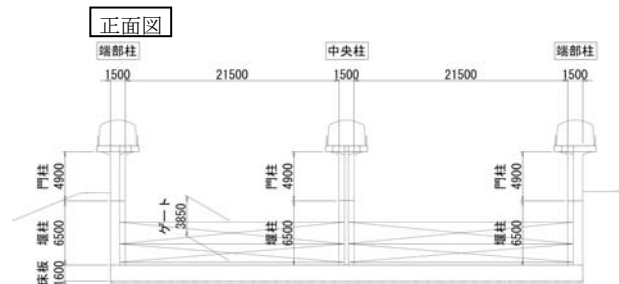
表-1 水門の構造概要

機能	： 高潮防御
構造形式	： 水門
ゲート	： 鋼製シェル型2重ローラーゲート B21.5m×H3.85m×2門
基礎	： 直接基礎
設置年	： S46

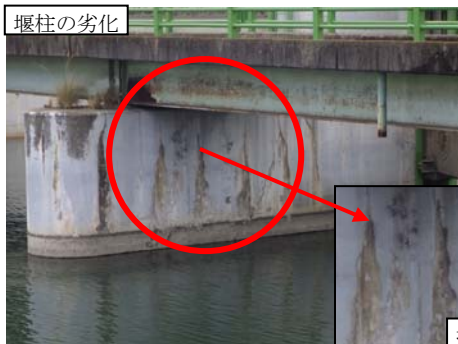
水門の全景写真



正面図



堰柱の劣化



拡大写真

2. 現況施設に対する耐震性能照査

当該水門の耐震性能を照査する手法は、「河川構造物の耐震性能照査指針<sup>1)</sup>」に従い、地震時保有水平耐力法に基づいて行うものとした。

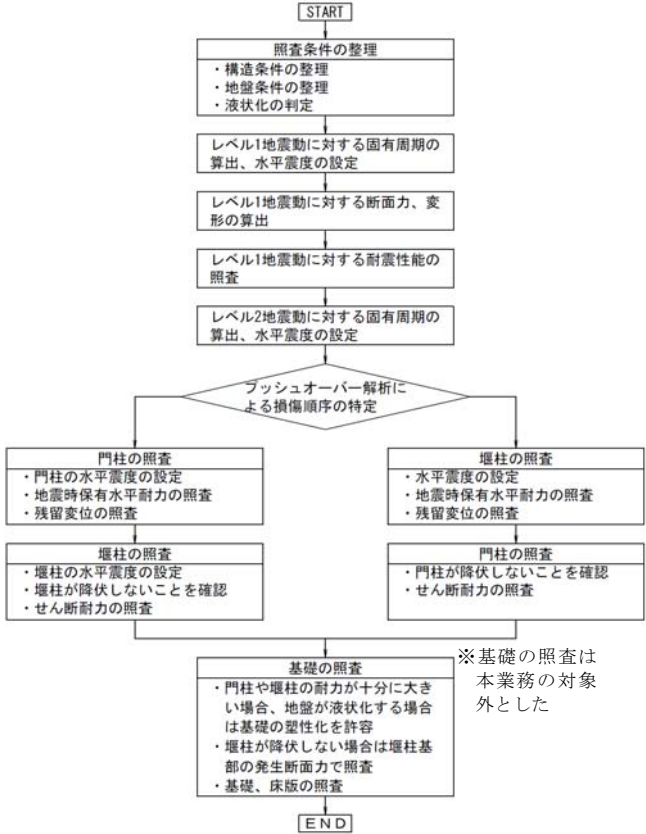


図-1 検討フロー

図-1 の検討フローに従って耐震性能照査を行った結果、当該水門は耐震性能を満たしていないものであった。これは兵庫県南部地震などを契機に耐震設計に関する規定が大きく見直されたことが要因と考える。

L2 地震動に対する照査結果を次に示す。

表-2 耐震性能照査結果

項目	検討方向	地震動	結果
土木施設	水流方向	L2-1	端部: 門柱OK(せん断破壊型)、堰柱基部OK 中央: 堰柱NG(せん断破壊型)
		L2-2	端部: 門柱OK(せん断破壊型)、堰柱基部OK 中央: 堰柱NG(せん断破壊型)
	水流直角方向	L2-1	端部: 門柱NG(せん断破壊型)、堰柱基部OK 中央: 堰柱NG(せん断破壊型)
		L2-2	端部: 門柱NG(せん断破壊型)・堰柱NG(移行型) 堰柱基部NG(曲げ、せん断) 中央: 堰柱NG(曲げ、せん断)
ゲート施設	L1津波に対する耐震照査 (スキンプレート、主桁、ローラ、ローラ軸、戸当りなどNG箇所を記載)		上段扉 扉体NG(曲げ応力度・たわみ度) 主ローラNG(接触応力度) 主ローラ軸NG(曲げ応力度・せん断応力度) ブッシュNG(面圧) 下段扉 扉体NG(曲げ応力度・たわみ度) 主ローラNG(接触応力度) 主ローラ軸NG(曲げ応力度・せん断応力度) ブッシュNG(面圧) 戸当り(下段非ローラ反力)NG(ローラールール曲げ応力度)

L2-1 地震動: プレート境界型

L2-2 地震動: 内陸直下型

3. 耐震補強工の検討

前項で示したように、当該水門は中央柱では堰柱(曲げ、せん断)、端部柱では門柱(せん断)及び堰柱(曲げ、せん断)で耐震性能を満たしていない施設である。この照査結果に従って当該水門の耐震補強工法の選定を行う。

3.1 曲げ対策(堰柱)

曲げ耐力に対してはコンクリート増厚(+鉄筋)やコンクリート巻き立て工法他、鋼板巻き立て工法、繊維巻き立て工法などの対策工法がある。

これらの工法のうち、コンクリート増厚が経済的ではあるが、河川施設では河積阻害率の問題がある。当該水門では、河積阻害率に余裕があり増厚することが可能であることから、当該水門の曲げ対策はコンクリート増厚によるものとした。(図-2、図-3)

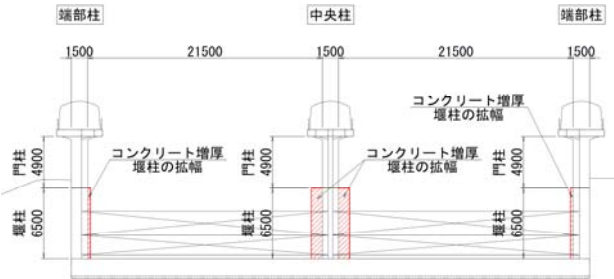


図-2 曲げ対策範囲

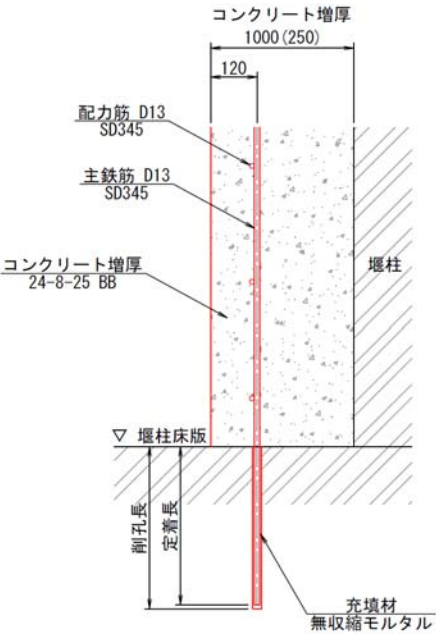


図-3 曲げ対策概要断面

### 3.2 せん断対策(門柱、堰柱)

せん断耐力に対しては曲げ対策に採用したコンクリート増厚の他、あと施工せん断補強筋の挿入などがある。ただし、コンクリート増厚はせん断対策としての効果は低いものである。

以上よりせん断対策について、門柱はせん断補強筋の挿入、堰柱は曲げ対策としてのコンクリート増厚に、せん断補強筋の挿入を追加するものとした。(図-4、図-5)

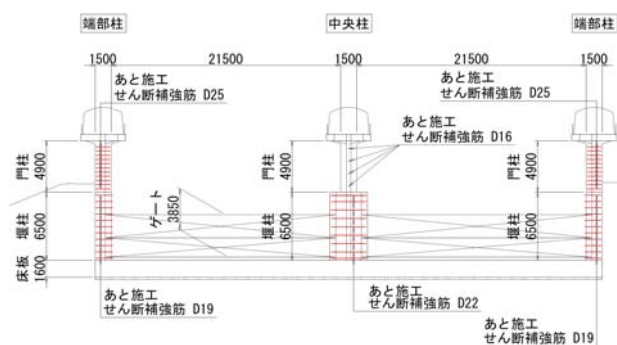


図-4 せん断対策範囲



図-5 せん断対策概要断面

## 4. ASRの対策

当該水門は耐震補強工を土木施設全体で行い、ゲート設備のほぼ全てを更新する大掛かりな工事を必要とする。このような工事を行う当該水門は長期計画に基づき、今後15年は運用する必要がある。

現状の土木施設はASRによるひび割れが発生しているため、当初設計時の強度に対し著しく強度低下が見込まれ、今後15年の運用が困難であることが想定されることからASRの劣化に対して補修する必要がある。

### 4.1 劣化状況

ASRによる構造物の劣化(変状)は、コンクリート内に生成されたアルカリシリカゲルが吸水膨張することでコンクリートに異常な膨張や、これに伴うひび割れが生じるものである。構造物の劣化はアルカリシリカゲルが生成される化学反応過程が十分進行した後に膨張過程が始まるものとされており、竣工して数年から数十年が経

過してコンクリートのひび割れの発生という形で変状が現れることもある。

ASRによる劣化進行は、「潜伏期」「進展期」「加速期」「劣化期」に分けられ、ASRの補修工法を選定するにあたって、どの劣化過程にあるか膨張の進行予測を見極める必要がある。

ただし、ASRが生じていることの確認やASRが生じている場合の劣化進行状況や膨張進行予測の調査は難しく、主に目視による外観変状で判断されている。

当該水門では、ASRが生じていることを確認するために、電子顕微鏡による骨材の種類確認とアルカリシリカゲルの有無を調査した。劣化進行状況は目視による外観変状より判断した。

#### (1) ASRの有無

電子顕微鏡による観察の結果、微小石英および波動消光する石英が確認された。粗骨材中のチャートの一部には、骨材表面及び隣接するクラック中にアルカリシリカゲルが確認された。また、孔隙の一部には針状のエトリンガイトの生成が確認できた。(写真-1)

以上のことから今回のコンクリートには、反応性骨材が含まれていると判断でき、アルカリシリカゲルの生成も認められることから土木施設のひび割れはASRによるものと判断した。

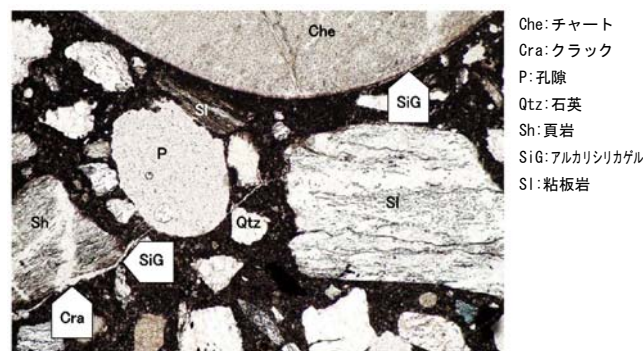


写真-1 電子顕微鏡による調査

なお、コンクリートのひび割れの主な発生原因として、「中性化」「塩害」「ASR」が推定されたため、それぞれに対して調査を行っている。

- ・中性化：理論値どおりであり、発生原因ではない
- ・塩害：塩化物イオン含有量は躯体表面で高い値を示しているが、後述するハツリ調査より鉄筋腐食は小面積であり、発生原因ではない
- ・ASR：前記したとおりであり、ひび割れの発生原因と判断した



## (2) 現時点での劣化状況

躯体表面は全体的にひび割れが生じている。躯体内部は表面ほどの水分の侵入はないが、ひび割れの箇所より水分が供給されてASRが生じていると考えられる。ただし、どの程度進行しているかは不明である。

鉄筋については、ハツリ調査を行って腐食等の状態を確認した。調査した結果、部分的に浮き錆があるが小面積の斑点状態であり、鉄筋性能の劣化には至っていないことを確認した。



写真-2 ハツリ調査(鉄筋劣化状況)

## (3) 劣化過程

劣化過程は、コンクリート標準示方書(維持管理編)<sup>2)</sup>に示してある「外観上のグレードと劣化の状態」を基に判断した。

当該水門の外観上の変状は、表面全体にひび割れが生じており、一部では析出物が付着しているひび割れがある。鉄筋腐食によるさび汁は確認されず、ハツリ調査でも鉄筋の錆はわずかであった。

以上のような外観より、当該水門の劣化状態は表-3のグレードⅡにあたることから「進展期」と判断した。

表-3 外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	ASRによる膨張およびそれに伴うひび割れがまだ発生せず、外観上の変状は見られない。
グレードⅡ	進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し、ひび割れが発生し、変色、アルカリシリカゲルの析出が見られる。しかし、鋼材腐食によるさび汁は見られない。
グレードⅢ	加速期	ASRによる膨張速度が最大を示す段階で、ひび割れが進展し、ひび割れの幅および密度が増大する。また、鋼材腐食によるさび汁が見られる場合もある。
グレードⅣ	劣化期	ひび割れの幅および密度がさらに増大し、段差、すれや、かぶりの部分的な剥離・剥落が発生する。鋼材腐食が進行しさび汁が見られる。外力の影響によるひび割れや鋼材の損傷が見られる場合もある。変位・変形が大きくなる。

【出典：コンクリート標準示方書 維持管理編】

## (4) 将来の劣化予測

前項で、劣化状態は「進展期」と判断している。今後も劣化は進行していくものであるが、多くの水分が供給されていた表面付近の膨張残存性は収束しつつあると判断した。躯体内部では今後もアルカリシリカゲル生成や、それに伴う膨張は生じてくるものと判断した。

## 4.2 補修工法選定の基本方針

ASR補修工法の選定は、現時点での劣化状況や将来の劣化予測、供用期間を考慮して行う。

劣化状況や劣化予測は前項で述べたとおり躯体内部の残存膨張量はある程度残っているものとする。

供用期間と工法選定の基本方針については次のようなものとした。

### (1) 供用期間

竣工後45年経過した施設ではあるものの、長期計画に基づく建設後60年対応に配慮し、今後15年は供用するとしたが、土木施設は耐震補強工、ゲート設備は更新を行うことから、恒久施設として長期運用を続ける方針としている。

### (2) 基本方針

これからの耐用期間は概ね60年程度を目指すことや、躯体内部では水分の供給と共にアルカリシリカゲルの生成と膨張が発生する可能性があることを考慮して、ASR対策は十分に行うものとする。

## 4.3 補修工法の選定

躯体表面は、多数のひび割れが生じていることから断面修復等が必要である。ハツリ調査では、若干ではあるが鉄筋の錆が確認されているため防錆処置が必要である。

躯体内部は、どの程度ASRが進行しているか不明であるが、表面よりは進行が遅く現時点では残存膨張量はある程度残っていると考えてASRの抑制対策を行う。

### (1) 断面修復+鉄筋防錆

断面修復の方法は様々であるが、鉄筋の防錆と断面修復材の鉄筋背面へのまわりを良くするため、鉄筋背面2cm程度まで劣化部のコンクリートをはつり、露出した鉄筋を防錆して断面修復を行う。

### (2) 躯体内部：ASR対策

ASRによる劣化要因は、侵入した水分をアルカリシリカゲルが吸水し膨張するものである。躯体内部の既設コンクリートに対しては次のような対策が有効である。

- ①水分の侵入を遮断する
- ②アルカリシリカゲルの膨張性を消失させる
- ③コンクリートを拘束して膨張させない

躯体表面はコンクリートのハツリを行って断面修復を行うため、①の効果が期待できる。よって、断面修復材は躯体内部の保護工としての機能を果たすことができる材料とする他、水門全体に施工するため広範囲に対して施工が可能な工法を採用するものとする。

断面修復工法は、左官工、型枠を用いた充填工法、吹付工法などがある。広範囲に施工が可能な工法としては、充填工法と吹付工法である。

堰柱は、耐震補強(曲げ対策)によりコンクリート増厚(+鉄筋)するものであり、断面修復と兼ねることとなる。また、追加する鉄筋によって内部コンクリートを拘束して膨張させない機能を果たすこともできる。

門柱や操作台の断面修復工法は、充填工法とした場合、補修仕上がり面はハツリ前よりも断面が大きくなり重量が増加する。そのため、門柱や操作台のような重量の増加により耐震性能上、大きく不利となる箇所では極力避けた方がよい。吹付工法は、施工費は高くなるものの断面修復前から断面が大きくなることはないため、門柱や操作台の耐震性能上の影響は生じない。

以上のことから断面修復工法は、堰柱では耐震補強と兼ねたコンクリート増厚、門柱と操作台では吹付工法とした。(図-6)

断面修復では、ハツリ後の躯体面へ修復材を付着させるものであり、修復材の水分がゲルの生成や水分の吸収・膨張が促進される恐れがある。そのため、ハツリ面に含浸材を塗布して断面修復材の水分から内部への水分供給を防止するようにした。

含浸材は遮水性 95%以上ではあるが、万全を期すために吹付工法では修復材を乾式材とし、ハツリ後の躯体面への水分供給を極力抑制するようにした。

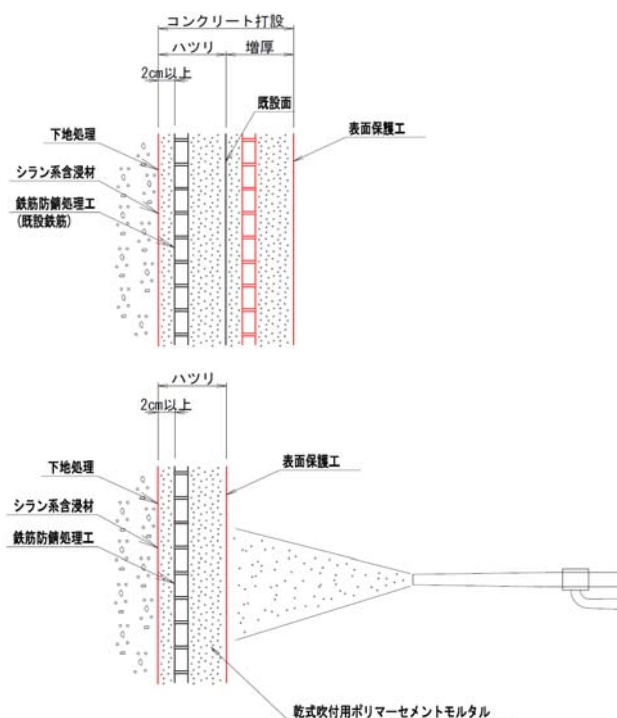


図-6 断面修復の概略断面(上:堰柱部, 下:門柱部)

## あとがき

竣工から数十年経過した施設で、耐震補強工や劣化対策を同時に行う必要があるものが数多くある。

今回は、耐震補強(主にせん断対策)工とコンクリート劣化(ASR)対策を要する構造物であったが、耐震補強工法やコンクリート劣化要因は様々である。対策工と劣化要因との組合せで、最適なものを選定するために多くの知見を集積する必要があると感じた。

また、ASRの将来劣化予測(残存膨張量)は、促進養生試験等を行わず使用条件により推定した。本業務においてASRに主眼を置いて対策工の選定を行ったが、今後の劣化状況の進行については日常点検を行うなどして維持管理を徹底することが重要不可欠と考える。

謝辞：本報告は、受託業務成果から一部を抜粋・追記してとりまとめたものであり、業務実施にあたり、ご指導とご協力頂きました関係者の皆様に対し、記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 河川構造物の耐震性能照査指針：国土交通省水管理・国土保全局治水課，H24. 2
- 2) コンクリート標準示方書維持管理編：土木学会，H25. 10
- 3) コンクリート構造の設計・施工・維持管理の基本：土木学会関西支部，H21. 10

# CommonMP による貯留関数・準二次元不等流計算プロジェクト および機能拡張ツールの構築

(株) ニュージェック ○ 藤 田 暁  
(株) ニュージェック 福 神 和 興

## 論 文 要 旨

CommonMP は、河川の水利・水文に関するさまざまな解析をパソコン上で容易に行うことのできる水利・水文シミュレーションの基盤ソフトウェアであり、国土交通省国土技術政策総合研究所が中心となり、開発されてきた。

本論文は、この CommonMP を用いて、近畿管内の 6 水系を対象とする貯留関数法モデル、および、7 水系を対象とする準二次元不等流計算の計算プロジェクトを構築するという業務を通じ、得られた知見について取りまとめたものである。

また、本論文で対象とした計算プロジェクトのうち、貯留関数法の計算プロジェクトについては、入力データとして流域平均雨量のデータが必要となる。そのデータ作成を容易に行えるよう、雨量観測所の座標と流域界データに基づき、ティーセン法で流域平均雨量を算定することのできる、CommonMP の機能拡張ツールの開発も、合わせて行った。

キーワード：CommonMP、貯留関数法、準二次元不等流計算、ティーセン法

## ま え が き

CommonMP は、パソコン上で、準二次元不等流計算などによる水理解析や、貯留関数法などによる水文解析を行う際に、その具体的な計算モデルを構築したり、あるいはその構築した計算モデルを実行して結果を画面上に表示することのできる、水利・水文シミュレーションの基盤ソフトウェアである。

CommonMP のユーザーは、CommonMP の画面上で、各種の水利・水文演算を行う要素モデルや、インプットデータをファイルから読み込む入力要素などを自由に配置、接続し、さまざまな水利・水文のシミュレーションモデルを作成することができる。

このような CommonMP およびその要素モデルは、国土交通省国土技術政策総合研究所のウェブサイトから無償でダウンロードでき、誰もが自由に利用可能なものとなっている。図-1に、CommonMP の画面を示す。

従来、こうした水利・水文シミュレーションを行うためのソフトウェアは、わが国では各研究機関や企業ごとにバラバラに開発されることが多かったが、今後は、CommonMP を用いることにより、河川の計画・管理に関わる関係者が同じ計算ツール・計算データを共有し、それにより、互いにかみ合った、より有意義な議論ができるようになることが期待されている。

また、CommonMP は、プログラミングに詳しくない人

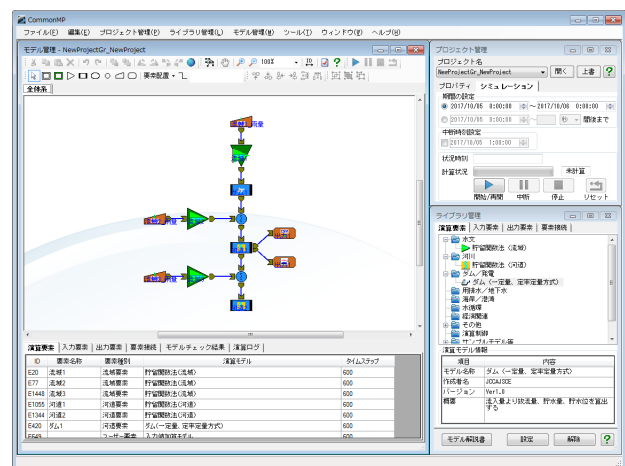


図-1 CommonMP の画面

も扱うことができるため、水利・水文現象の把握や、その計算に対する理解を深める上でも役立つものとなっている。

本論文は、近畿地方整備局水災害予報センターからの委託により、上述の CommonMP を用いて、近畿管内の 6 水系を対象とする貯留関数法モデル、および、7 水系を対象とする準二次元不等流計算の計算プロジェクトの構築を行い、その業務を通じて得られた知見についてとりまとめたものである。

河川管理者においては、河川整備計画等に基づいて事業



を実施したり、河川維持管理計画に基づいて河川の状況を把握する際に、流出解析や水位計算のシミュレーションが必要となる場合があり、そのような場合に CommonMP を利用することで、シミュレーションを簡便に実行できるようにすることが、本論文における計算プロジェクト構築の主たる目的となっている。

## 1. CommonMP 貯留関数プロジェクトの構築

CommonMP による貯留関数プロジェクトの構築は、下記の6水系を対象に行った。

対象水系：新宮川、加古川、揖保川、円山川、由良川、北川

また、これらの各水系ごとに、計算プロジェクトは表-1に示す2種類を作成した。

表-1 構築したCommonMP貯留関数プロジェクト

計算プロジェクト	① 河川整備計画モデル	② 現況モデル
計算条件(河道)	整備計画河道	現況の河道
〃 (ダム)	整備計画の操作ルール	現行の操作ルール
対象洪水	整備計画の対象洪水	近年の代表的な実績洪水

図-2に、CommonMP による貯留関数プロジェクト構築の模式図を示す。

この図に示すように、CommonMP の貯留関数プロジェクト構築は、ほぼ元の貯留関数法のモデル図のとおりに流域モデル、河道モデル、ダムモデル等を配置することにより行っている。また、各流域に対して、CSV ファイルから雨量データを入力するための入力要素を接続し、基準地点に対しては、計算結果を CSV ファイルに書き出す出力要素、および、画面上にグラフ表示する出力要素を接続した。

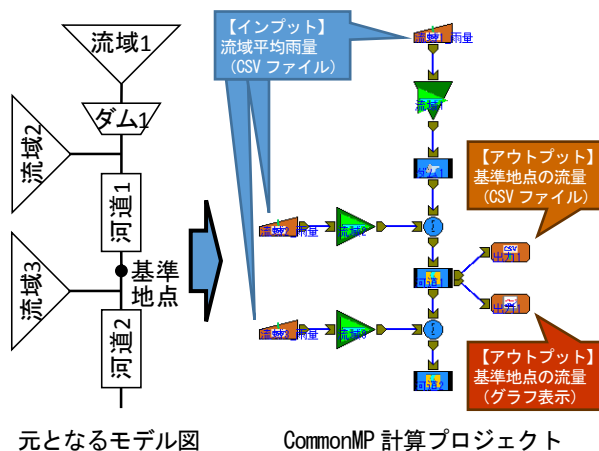


図-2 貯留関数プロジェクト構築の模式図

この図-2のような貯留関数プロジェクトを構成するにあたって、要素モデルとして、貯留関数法(流域、河道)、

および、ダムのモデルが必要となる。

それらの要素モデルは、CommonMP のウェブサイトにおいて、自由にダウンロードできるものが公開されているが、今回対象とする各水系の河川整備計画等で用いられている計算方法を確認したところ、それらの公開されている要素モデルでは対応できない計算も含まれていることが分かった。その主な内容について、表-2に示す。

表-2 CommonMP の既存の要素モデルの計算方法と各河川の計算方法の主な違い(貯留関数法)

	既存の要素モデルにおける計算方法	各河川で用いられている計算方法
一次流出率の扱い(流域モデル)	流域を流出域・浸透域に分ける方式のみを採用している。	流域を流出域・浸透域に分ける方式と、雨量に一次流出率を掛けて有効雨量とする方式がある。
二段河道の対応(河道モデル)	定数 $K$ , $P$ は1段のみであり、2段の $K$ , $P$ には対応していない。	溢水して氾濫原と一体になり流下する河道は、2段の $K$ , $P$ を用いる場合がある。
遅滞時間 $T_L$ の制約(流域モデル・河道モデル)	遅滞時間 $T_L$ が、計算時間間隔 $\Delta t$ の整数倍になっている必要がある。	計算時間間隔 $\Delta t$ の整数倍ではない、きりの悪い遅滞時間 $T_L$ も多く用いられる。
ダムの種類(各種ダムモデル)	定率定量方式、自然調節方式の要素モデルが用意されている。	バケットカット方式、遅らせ操作方式など、左記以外のダムもある。

計算プロジェクトを構築するにあたり、表-2のような既存の要素モデルで対応できない計算処理については、新規の要素モデル<sup>1)</sup>を作成することで対応した。

作成した要素モデルは、貯留関数法(流域および河道)、各種のダムモデル、霞堤モデル等である。

それらの要素モデルを用いて、CommonMP で各水系の貯留関数プロジェクトを構築し、計算を実行したところ、従来の計算結果を概ね再現することができた。

すなわち、大半の河川においては従来の計算結果とハイドログラフがほぼぴったり一致し、また、それ以外の河川においても、ピーク流量の誤差率にして2%程度の高い再現性を得ることができた。

## 2. 準二次元不等流計算プロジェクトの構築

CommonMP による準二次元不等流の計算プロジェクトの構築は、下記の7水系の直轄管理区間を対象に行った。

対象水系：新宮川、加古川、揖保川、円山川、由良川、北川、九頭竜川

また、これらの各水系について、計算プロジェクトは表-3に示す2種類を作成した。

表-3 構築したCommonMP準二次元不等流計算プロジェクト

計算プロジェクト	① 河川整備計画モデル	② 現況モデル
計算条件	整備計画河道	現況の河道
対象洪水	整備計画の対象洪水	近年の代表的な実績洪水

図-3に、CommonMPによる準二次元不等流計算プロジェクト構築の模式図を示す。

この図に示すように、CommonMPの準二次元不等流計算プロジェクトは、本川や支川といった1本ずつの河川ごとに1個の準二次元不等流計算要素モデルを置き、その左側には出発水位や流量配分の入力要素を、また右側には、水位縦断分布の計算結果をCSVファイルに書き出す出力要素、および、画面上にグラフ表示する出力要素を接続している。

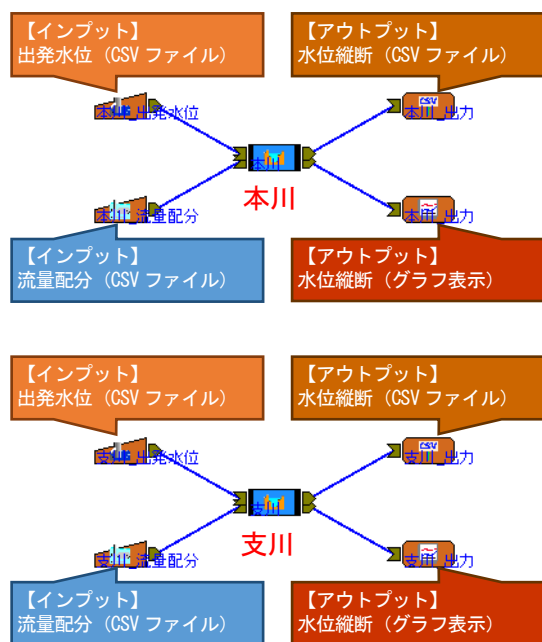


図-3 準二次元不等流計算プロジェクト構築の模式図

この図-3の計算プロジェクトを構成するにあたり必要となる準二次元不等流計算の要素モデルは、CommonMPのウェブサイトにて、自由にダウンロードできるものが公開されているが、今回対象とする各水系の河川整備計画等で用いられている計算方法を確認したところ、その公開されている要素モデルでは対応できない計算も含まれていることが分かった。その主な内容について、表-4に示す。

表-4 CommonMPの既存の要素モデルの計算方法と各河川の計算方法の主な違い(準二次元不等流計算)

	既存の要素モデルにおける計算方法	各河川で用いられている計算方法
境界混合係数	樹木が無い区間で境界混合係数を用いない。	樹木の有無にかかわらず、境界混合係数を考慮する。
射流の判定	フルード数が0.95を超える場合は限界水深とする。	フルード数が1.0以上の場合は限界水深とする。
砂州等による水位上昇量	自動計算される(値の指定ができない)。	河川により設定方法に違いがある。

計算プロジェクト構築にあたり、表-4のような既存の要素モデルで対応できない計算処理については、新規の準

二次元不等流計算要素モデル<sup>1)</sup>を作成することで対応した。

なお、前述の貯留関数法の際には、流域と河道の各モデルについて、それぞれ1個の新規要素モデルを作成することで、それを全河川に適用することができたが、準二次元不等流計算については、表-4に示す以外にもさまざまな計算方法の違いが河川ごとにあり、全河川に適用できるような統一的な要素モデルの作成は困難であった。このため、各河川ごとに、専用の準二次元不等流計算要素モデルを作成するものとした。

それらの要素モデルを用いてCommonMPで各水系の準二次元不等流計算プロジェクトを構築し、計算を実行したところ、従来の計算結果との水位差は5cm以内に収まり、概ね従来の計算を再現できたと評価できる。

### 3. 流域平均雨量算出ツールの作成

上記で構築した計算プロジェクトのうち、たとえば貯留関数プロジェクトは、今後、対象水系で大雨が発生した場合に、流出現象の再現計算をするのに用いることができる。

しかし、貯留関数プロジェクトにおいては、雨量のインプットデータとして、各部分流域の流域平均雨量を与える必要があり、あらかじめ、テレメーターやレーダー等のデータを元に、各部分流域の流域平均雨量を算出しておかなければならない。

CommonMPのウェブサイトでは、流域平均雨量算出の要素モデルが公開されており、ダウンロード可能であったが、この要素モデルは、あらかじめ別途計算されたティーセン係数を用いるものであり、ティーセン係数を計算するツールを持たない場合には、流域平均雨量の算出ができず、このため貯留関数法の計算プロジェクトも使うことができないということが起こりうる。

このため、本論文で構築した貯留関数プロジェクトを有用なものにするためには、ティーセン係数を計算して流域平均雨量を算出するツールも合わせて用意することが必要と考え、そのようなツールの構築を行った。

構築した流域平均雨量算出ツールの機能について、以下に示す。

#### (1) 欠測状況に応じたティーセン係数の算出

流域平均雨量を算出するためのインプットデータは、雨量観測所で観測される地点雨量データとし、計算方法はティーセン法を用いるものとした。

また、計算の際に、ティーセン係数データはあらかじめ用意しておくのではなく、雨量観測所の座標データと流域界の座標データをもとに、毎回ティーセン分割を自動的に実施して算出するものとした。これにより、各時刻毎に、データの欠測状況に応じた流域平均雨量をつねに適切に算出することができる(図-4)。

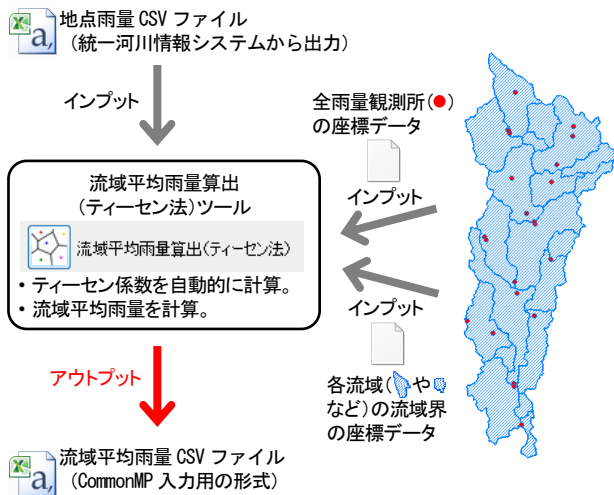


図-4 流域平均雨量算出ツールとその入出力ファイル

コード	観測所名	経度	緯度	標高	所在地	管理区分	所管	種別	雨量	累加雨量	雨量	累加雨量	雨量	累加雨量	雨量	累加雨量
1	深日港	136.25	34.23	598.8	大阪府泉南郡岬町	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
2	岸和田水門	136.25	34.23	598.8	大阪府岸和田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
3	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
4	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
5	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
6	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
7	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
8	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
9	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
10	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
11	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
12	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
13	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
14	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
15	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
16	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
17	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
18	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
19	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
20	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
21	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
22	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
23	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
24	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
25	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
26	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0
27	池田	136.25	34.23	598.8	大阪府池田市	自治体	港湾局	雨量	0	0	0	0	0	0	0	0

図-5 インプットデータ (統一河川情報システムから出力される形式の地点雨量 CSV ファイル)

データ区分	Time	Data0	Data1	Data2	Data3	Data4
1	2011/8/31 1:00	0	0	0	0	0
2	2011/8/31 2:00	0	0	0	0	0
3	2011/8/31 3:00	0	0	0	0	0
4	2011/8/31 4:00	0	0	0	0	0
5	2011/8/31 5:00	0	0	0	0	0
6	2011/8/31 6:00	0.86	1.229	0	0	0
7	2011/8/31 7:00	0	0	0	0	0
8	2011/8/31 8:00	0	0	0	0	0
9	2011/8/31 9:00	0	0	0	0	0
10	2011/8/31 10:00	0	0	0	0	0
11	2011/8/31 11:00	0	0	0	0	0
12	2011/8/31 12:00	0	0	0	0	0
13	2011/8/31 13:00	0	0	0	0	0
14	2011/8/31 14:00	0	0	0	0	0
15	2011/8/31 15:00	4.587	3.073	3.055	1.935	0.1
16	2011/8/31 16:00	0.86	1.229	0	0	0
17	2011/8/31 17:00	0	0	0	0	0
18	2011/8/31 18:00	0	0	0	0	0
19	2011/8/31 19:00	0	0	0	0	0
20	2011/8/31 20:00	0	0	0	0	0
21	2011/8/31 21:00	0	0	0	0	0
22	2011/8/31 22:00	0	0	0	0	0
23	2011/8/31 23:00	0	0	0	0	0
24	2011/9/1 0:00	0	0	0	0	0

図-6 アウトプットデータ

(CommonMP で用いられる様式の CSV ファイル)

## (2) 入出力ファイルの様式

ツールへのインプットデータ (地点雨量データ) は、統一河川情報システムから出力される形式の CSV ファイル (図-5) を用いるものとした。

また、ツールからアウトプットされるファイル (流域平均雨量) は CommonMP で定められる CSV ファイルの様式に従った (図-6)。

雨量観測所の座標データ、および、流域界の座標データは、CSV 形式、SHP 形式の2種類を使用可能とした。このうち CSV 形式のデータは Excel 等で編集できるという利点があり、また、SHP 形式のデータについては CommonMP-GIS 上で表示、編集することができる (図-7、図-8)。

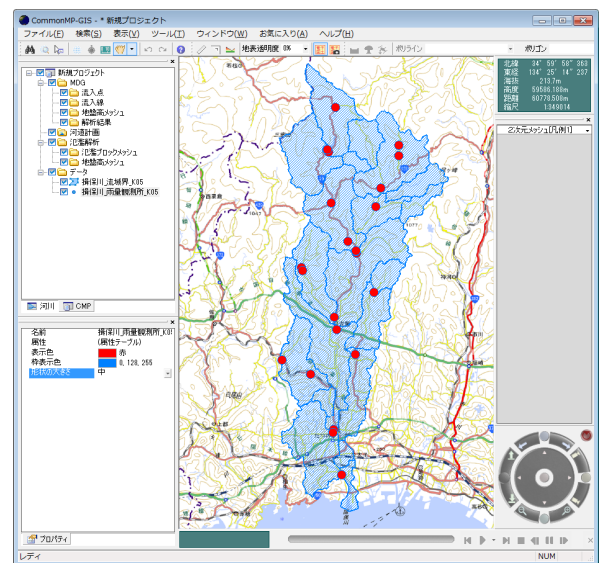
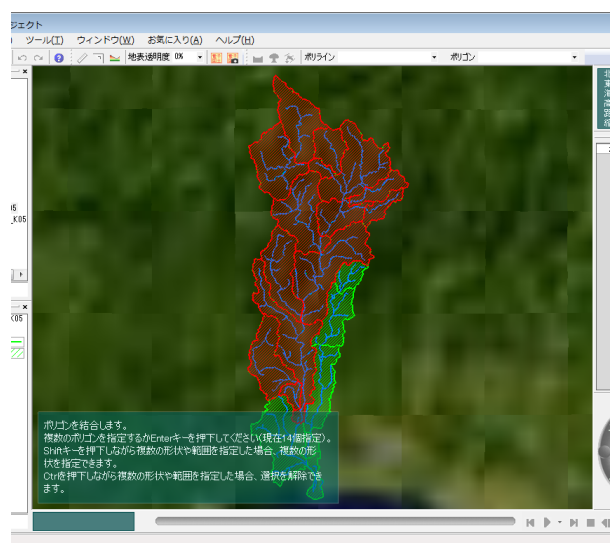


図-7 CommonMP-GIS による雨量観測所、流域界データ (shp 形式) の表示例



(流域を結合し、基準地点より上流を一つにまとめた例。このように上流域を一つにまとめた流域データを作成することにより、基準地点上流の全体的な流域平均雨量の算出等も行うことができた。)

図-8 CommonMP-GIS による流域界データ (shp 形式) の編集の例



### (3) 入力雨量データの確認機能

流域平均雨量計算ツールでは、インプットデータ（地点雨量データ）を読み込んだら、その雨量を地点ごとにグラフ表示させられるものとした（図-9）。これにより、各地点ごとにデータに異常が無いかを確認でき、さらに、異常なデータのある雨量観測所については、流域平均雨量の算定から除外できるシステムとすることができた。

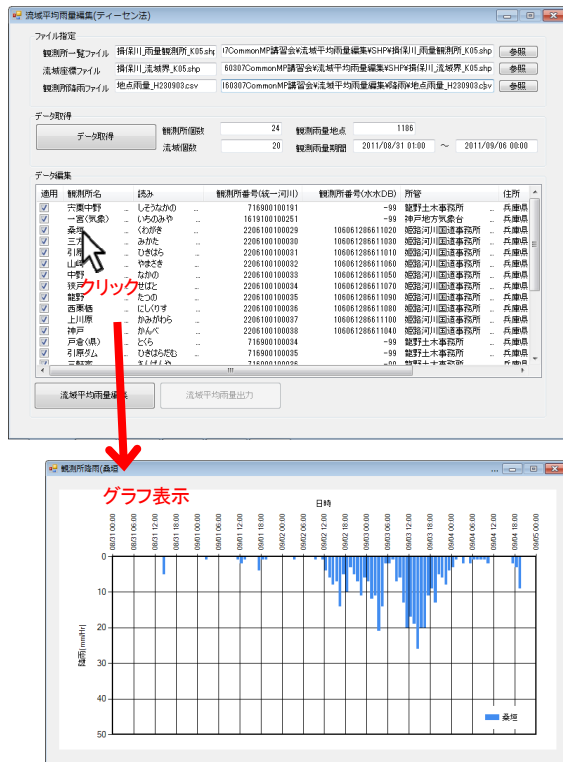


図-9 入力雨量データの確認

### (4) ツールの構築方法

流域平均雨量計算ツールは、CommonMP の機能拡張ツール<sup>2)</sup>として動作するよう、構築した（図-10）。

これにより、本ツールの配布やインストールを行いやすくなることができた。

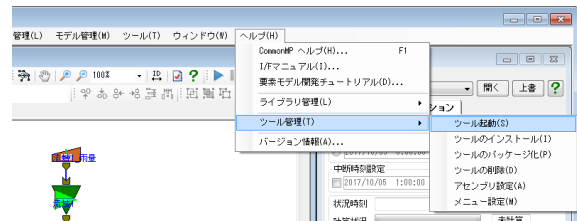
## 4. 本研究の成果

本研究では、CommonMP を用いて、近畿管内の6水系を対象とする貯留関数法モデル、および、7水系を対象とする準二次元不等流計算の計算プロジェクトを構築し、それぞれ、各水系における従来の計算結果を概ね再現することができた。

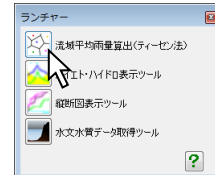
また、貯留関数プロジェクトの入力データとなる流域平均雨量のデータを作成できるよう、雨量観測所の座標データと流域界データに基づきティーセン法で流域平均雨量を算出する CommonMP の機能拡張ツールを作成した。

これらの CommonMP 計算プロジェクトおよび機能拡張ツールにより、図-11に示すように、今後、対象水系で

① CommonMP のメニューで「ツールの起動」を選択。



② 機能拡張ツールのランチャーが現れ、その中に「流域平均雨量算出(ティーセン法)」のアイコンがある。



③ ランチャーから、「流域平均雨量算出(ティーセン法)」を選択すると、ツールが起動する。

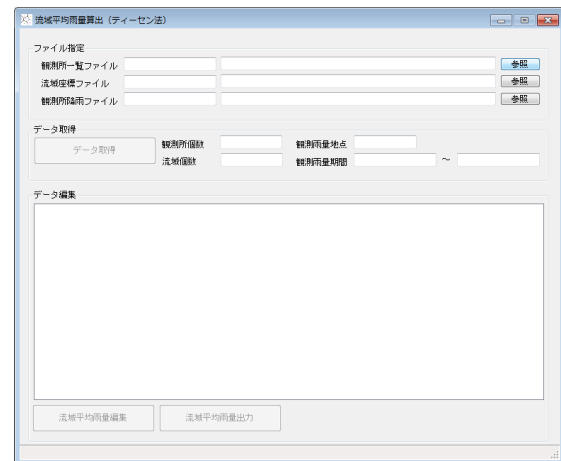


図-10 流域平均雨量計算ツールの起動

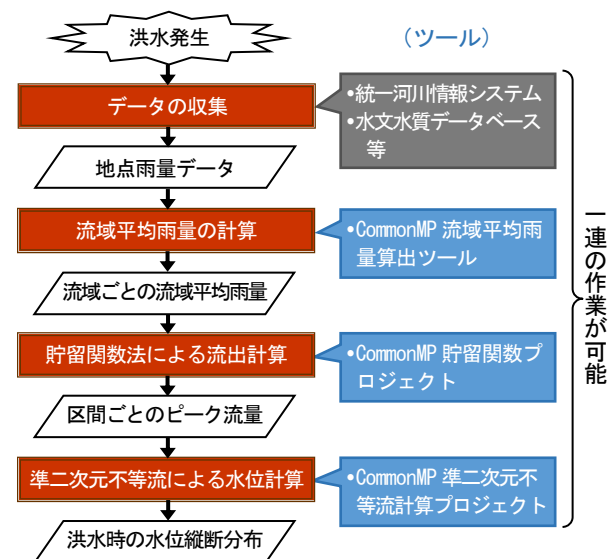


図-11 洪水の水位の再現計算の流れ  
(CommonMP 計算プロジェクトおよび機能拡張ツールの利用)

大雨が発生した場合等に、その流出現象の再現計算、および、河川水位の再現計算を行うことのできる一連のツールを整備することができた。

## あ と が き

本論文で構築した CommonMP 要素モデルや機能拡張ツールについては、その内容をさらに洗練させ、今後の CommonMP の発展、普及に寄与することができれば幸いである。

本研究を実施するにあたり、国土交通省近畿地方整備局水災害予報センター、および、各河川事務所より、貴重な資料を提供していただきました。記して謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 要素モデル開発チュートリアル Ver1.5, <http://framework.nilim.go.jp>
- 2) 機能拡張ツール開発解説書, <http://framework.nilim.go.jp>

## 危機管理型ハード対策における設計時の課題とその対応について

(株) エイト日本技術開発 ○ 藤 井 尚  
(株) エイト日本技術開発 長 谷 川 健  
(株) エイト日本技術開発 小 西 浩 史

### 論 文 要 旨

本論文は、危機管理型ハード対策のうち、裏法尻補強対策工設計時の課題とその対応方法について検討を行ったものである。裏法補強対策工の設計方法は、国土技術政策研究所資料第911号にて基本的な方針が示されているものの、複雑な堤防法尻状況に応じた詳細な設計方針は示されておらず、また、越流水に対しての安定性照査方法も示されていない。そのため、裏法尻補強工の設計時に生じた課題に対しては、工事事務所毎に個別に対応方法を検討している状況である。本論文においては、実際の裏法尻補強工設計時に抽出された課題のうち、詳細な対策箇所の選定方法と裏法尻補強対策工の詳細構造について、対応方法の事例を示した。

キーワード：河川堤防、危機管理型ハード対策、越流対策

### はじめに

平成27年9月関東・東北豪雨では、利根川水系鬼怒川をはじめとして、越水、溢水さらに決壊を伴う氾濫等による災害が発生した。この災害を踏まえ、社会資本整備審議会は、大規模氾濫に対する減災のために「速やかに実施すべき対策」及び「速やかに検討に着手し、早期に実現を図るべき対策」を提示し、答申をとりまとめている。

上記の答申を踏まえ、国土交通省は「水防災意識 社会再構築ビジョン」(以下、「再構築ビジョンと呼ぶ」)を策定し、今後概ね5年間での取り組みを提示した。「再構築ビジョン」の中で示されるハード対策では、氾濫が発生した場合にも被害を軽減する「危機管理型ハード対策」が新たに導入された。危機管理型ハード対策では、河川堤防の天端保護と裏法尻補強を実施する。

裏法尻補強対策工の設計に関する技術的情報は、「国土技術政策総合研究所資料第911号」(以下、「第911号」と呼ぶ)にて取りまとめられているが、複雑な堤防法尻状況に応じた詳細な設計方針は示されておらず、また、越流水に対しての安定性照査方法も示されていない。そのため、裏法尻補強工の設計時に生じた課題に対しては、工事事務所毎に個別に対応方法を検討している状況である。

本論文では、実際の裏法尻補強工設計時に抽出された課題のうち、詳細な対策箇所の選定方法と裏法尻補強対策工の詳細構造について、対応方法の事例を示した。

### 1. 裏法尻補強対策工概要

#### (1) 対象箇所

「再構築ビジョン」によると危機管理型ハード対策は、

災害リスクが高いにも関わらず、当面の間、上下流バランスの観点から堤防整備に至らない区間などについて実施する計画としている。

「第911号」によると裏法尻補強工は、「のり尻近傍の堤内地が、堤防植生に比較して耐侵食力が大きく劣る状態にあり、そのためのり尻周辺から洗掘が発生し、のり面の崩壊へ進展することが決壊の主要因となる蓋然性が高い状態」の箇所に実施するとしており、具体的には、堤内地が耕作地などの裸地の場合や、のり尻周辺で浸透流が湧出する場合、のり尻部が切り立って段落ち形状となっている場合などとしている。

#### (2) 構造概要

裏法尻補強対策工の構造概要は、「第911号」、及び国土交通省からの事務連絡にて示されており、川裏のり面及び平場を合わせて、堤防のり面植生の侵食耐力より強い補強材(コンクリートブロックやかごマット等)で被覆することを基本としている。

図-1に裏法尻補強対策工の概略構造図を示す。のり尻部における官民境界までの平場の有無に応じて、基礎工の有無を決定している。

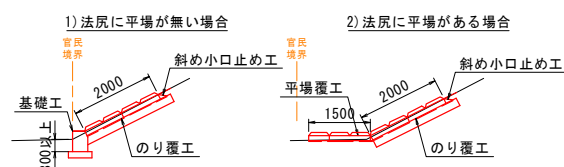


図-1 裏法尻補強対策工概略構造図



## 2. 対策対象箇所選定時の課題と対応例

### (1) 対策対象箇所選定時の課題

実際の河川堤防の裏法尻状況は非常に複雑であり、「第911号」に示される様な平場の有無のみで必要性や対策構造を分類する事は困難である。状況を分類する要素として、例えば、ブロック積擁壁、浸透対策(ドレーン工)、法留工、取付坂路の有無が挙げられる。

上記で示した箇所では、詳細構造の決定法が示されていないだけでなく、危機管理型ハード対策として、裏法尻補強対策工の必要性を判断するための明確な基準が示されていない。

今後、5年間という短い期間の中で「再構築ビジョン」を達成させるためには、現況堤防の裏法尻状況を整理し、越水による決壊までの時間を少しでも引き延ばす観点から適切な対策対象箇所選定を行っていくことが課題となる。

### (2) 対策対象箇所選定例

対策対象箇所の選定は、「第911号」に記載されている裏法尻補強工の機能や実験結果を基に判断した。具体的には、下記の5点に着目した。

#### 1) 法尻部での水はね機能

越流水を水平にはねて地表から高速流域を離す

#### 2) 法尻部での根入れ機能

基礎工下まで洗掘が進行するまでの間、のり面への崩壊波及を防ぐ

#### 3) のり覆工の粗度機能

のり覆工の粗度により流速を低減する

#### 4) 平場覆工の水叩き・根固機能

1)、2)の機能をより強化させた、水叩きとしてより確実に流れを水平に向け、根固めとして洗掘域を堤体から遠ざける

#### 5) 断面の特異性

上下流と比較して、特異的に堤防断面が大きい等の理由により、越流侵食が起こりにくい

これらの点を考慮し、下記の通り対策対象箇所の選定を行った。概略図を図-2に示す。

#### a) ブロック積擁壁

ブロック積擁壁が設置されている箇所については、天端コンクリートによる1)水はね機能と基礎部の根入れによる2)根入れ機能があると判断できるため、対策は不要と判定した。

#### b) 浸透対策(ドレーン工)

裏法尻にドレーン工が設置済みの箇所は、一般的にドレーンの堤脚保護工が設置されている。堤脚保護工は十分な天端幅が無い場合、水はね効果が期待

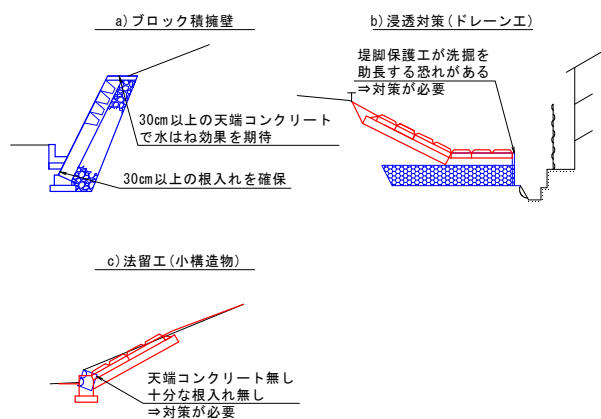


図-2 対策対象箇所判定イメージ図

できず、逆に越流水に対して水衝部となり、法尻部の洗掘を助長すると考えられることから、対策工は必要と判定した

#### c) 法留工

法留工は、堤脚保護や官民境界を目的として川裏側に設置されており、構造が非常に小規模で且つ、空積で天端コンクリートが設置されていないことが多い。したがって、天端での水はね効果が期待できず、法尻部の洗掘を助長すると考えられることから、対策工は必要と判定した。

#### d) 取付坂路

堤内側に設置された坂路箇所は、5)断面の特異性が見られるため、対策工は不要と判定した。

図-2に対策対象箇所判定イメージ図を示す。

## 3. 対策工詳細構造検討時の課題と対応例

### (1) 対策詳細構造検討時の課題

裏法尻で浸透対策としてドレーン工が設置済みの箇所のうち、ドレーン工の堤脚保護工として、かご工構造が採用されていた場合、裏法尻補強対策を実施する場合には、経済性や施工性等の観点から、かご工の追加を行うことが優位となると想定される。

一方、近年の施工実績として、浸透対策として裏法尻にかご工を設置した場所では、景観阻害や組立コイル等による怪我の危険、蛇の住処となる恐れなどから近隣住民から苦情が発生することがある。このような苦情がある場合、越流対策として更にかご工を追加する事は近隣住民との合意形成を図るうえで、困難が生じると想定される。

そのため、ドレーン工の堤脚保護工としてかご工が設置済みの箇所では、かご工の追加以外の裏法尻補強対策案を提示する必要がある。

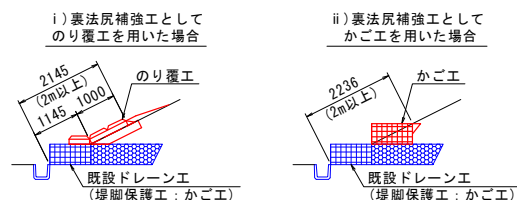


図-3 既設ドレーン工箇所対策概要図

## (2) かご工が設置済みの場合の裏法尻補強対策例

「第911号」では、裏法尻補強構造ののり覆工部分は、川裏法尻から2mを基本として被覆することとしている。

ここでは、既設のドレーン工部分も堤防法面植生の侵食耐力より強いと想定されることから、川裏法尻からドレーン工部分も含めて2m以上となる範囲までのり覆工を設置し、のり覆工の上端では、適切な斜め小口止め工の設置と既設堤防へのすり付けを行う方針とした。

図-3に既設ドレーン工箇所対策概要図を示す。

## あ と が き

本論文では、裏法尻補強工の設計時の課題を整理し、対応方法の事例を示した。現時点にて、裏法尻補強対策工詳細設計時の安定性照査方法が示されていない中では、本論文の様に具体的な課題に対して数多くの事例を示す事が重要であると言える。なお、本論文で示した事例は現在設計段階であり、今後、施工までの間に変更や修正を実施する可能性がある点をご理解頂きたい。

「再構築ビジョン」では、平成32年度を目途に、国土交通省直轄管理区区間の約1,800kmについて危機管理型ハード対策を実施する方針を示している。このような状況の中、平成28年8月、台風10号等の一連の台風によって、中小河川で氾濫被害が発生し、「水防災意識社会」の再構築に向けた取り組みを中小河川も含めて進める方針が示された。

今後、自治体を含めた早期の整備に対応していくためには、より多くの事例を示し、課題対応案を蓄積していく必要がある。

## 参考文献(または引用文献)

- 1) 大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について 答申：社会資本整備審議会，H27.12
- 2) 水防災意識社会再構築ビジョン：国土交通省水管理・国土保全局，H27.12
- 3) 国土技術政策総合研究所資料第911号：国土交通省国土技術政策総合研究所，H28.5
- 4) 中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について 答申：社会資本整備審議会，H29.1

## 3Dスラム式ハンディーレーザースキャナを用いた 微地形を考慮した浸水対策の事例

(株)アスコ大東 向本 敏美

### 論文要旨

3Dスラム式ハンディーレーザースキャナ(以下、レーザースキャナと呼ぶ)とは、小型の三次元計測器のことで、レーザを照射して自己位置と対象物の距離を測定するとともに、同時に基図作成等に必要となる点群データの処理を同時に行うことができるものである。一般的にLPデータや国土地理院の基盤地図情報の数値標高モデル(5.0mメッシュ)を用いて氾濫解析モデルを構築すると、5.0mメッシュでは段差や縁石などによる凹凸の変化などが現れにくい。しかし、このレーザースキャナを用いることにより、広範囲に微地形標高データを面的に瞬時に取得することができる。さらに、このデータで浸水解析をすることで微地形による浸水原因の特定、浸水対策の評価が可能であることが分かった。

**キーワード:** レーザースキャナ、点群データ、氾濫解析モデル、浸水対策

### まえがき

国土地理院の数値標高モデル<sup>1)</sup>には、航空レーザ測量と写真測量の2種類の作成方法がある。そのうちの写真測量の範囲に該当すると標準精度は、70cm以内ということもあり同5.0mメッシュの航空レーザ測量と比較すると40cm程度の誤差があり精度が荒くなる。狭い範囲において精度の高い浸水対策を検討する上では、精度向上に繋がるレーザースキャナが有効であると考えた。本論文は、このレーザースキャナを用いて広範囲の地形データを漏れなく取得し、浸水解析を実施することで浸水原因を特定した結果を述べたものである。

### 1. 微地形データの取得

#### (1) 機器の概要

レーザースキャナは、表-1に示すとおりUAV(Unmanned aerial vehicle、無人航空機、ドローン)のレーザ計測、MMS(Mobile Mapping System、移動計測車両による測量システム)、固定式のものやハンディータイプのものがある。UAVは、遠隔操縦により上空から測量を行うため、公園内であれば短時間で測量することができるが、航空法や条例により規制されることがあることに加え、樹木などがあると地盤までレーザが届きにくくなる傾向がある。MMSは、車体の上にレーザを積んでいるため、道路に面しているところは測量できるが、車両が中に入り込めないところはレーザが届きにくく精度が著しく低下する。固定式は、安定した精度の測量が可能であるが、障害物がある場合は死角ができるため、数箇所から測量が必要であり時間がかかる。ハンディータイプは、GPSデータを必要とせず、連続してスキャンできることが特徴である。片手で持って歩きながらリアルタイムで点群データ(ポイントクラウド)を取得し、3Dモデルを作成することができるため、樹木の下や地下歩道なども測量が

可能である。本論文では、簡単にもれなく精度の良い地形データが取れるため、ハンディースキャナの機器を採用した。

表-1 レーザースキャナの種類

項目	内容	採用
UAV (レーザ計測)	上空から測量を行う。市街地での飛行に制限を受け、地盤高データ取得の際は樹木などの影響を受ける。	×
MMS	車体の上に積載し、移動しながら測量を行う。道路近傍は取れるが、車両が入り込めないところは取得が難しい。	×
固定式	固定設置して測量を行う。障害物がある場合、死角ができるため切り替えが多く時間がかかる。	△
ハンディータイプ	手で持って移動しながら計測することができるため、死角が出来るにくい。	○

本論文は、ハンディータイプのレーザースキャナとしてKAARTA社製のStencil(写真-1)<sup>2)</sup>を使用した。写真-1の上段の円柱部分にあたるところがレーザースキャナになっており、青色箇所から水平方向に対し360°全方位、垂直方向に対し30°(上下±15°)のレーザを放出することで対象物との距離を計測する。下段のボックス部分はIMU(Inertial Measurement Unit、慣性計測装置)になっており、6軸センサーで自己位置の情報を処理する。本体横に付属しているカメラは、対象物の特徴点を見つけるために使用される。これによって本体がレーザだけでは分かりにくい平らな構造物であっても特徴点を見つけ出し、データ合成の処理を行うことができる。レーザースキャナ製品の概要は、表-2、表-3に示すとおりである。



写真-1 レーザースキャナ外観



表-2 レーザースキャナ本体(Stencil)

項 目	仕 様
OS	Ubuntu Linux OS
CPU	Intel NUC i7 Dual Core
IMU	MEMS ベースの IMU を内蔵 200Hz 6 軸センサー (DOF: X, Y, Z, Roll, Pitch, Yaw)
ストレージ容量	250 GB SSD
出力フォーマット	ply
質量	700g

表-3 レーザー(Velodyne VLP-16)

項 目	仕 様
センサータイプ	16 個のレーザー検出器
測定範囲・測定視野	水平 360° 全方位、垂直 30° (±15°)
測定距離	約 100m (1m~100m)
測定スピード	5~20Hz
測定ポイント数	約 30 万ポイント/秒
測定精度	±3cm
角度分解能	水平 0.1° ~0.4° 垂直 2.0°
測定距離方式	LIDAR TOF 方式
レーザークラス	Class 1 Eye Safe
質量	830g

## (2) 現地の概要

本論文に適用した現地は、公園の間に南北の道路が走り、西公園と東公園に分かれている。大雨が降った際に東公園にある既設水路から溢れた水(図-1の溢水発生地点)が北側へ流れ、さらに南北道路を横断して道路の縁石を越流すると言われている(図-1の越流実績箇所)。越流した雨水は、西公園へ流れて最終的には地下歩道まで水が到達し、地下歩道内の浸水原因となっていた(図-1の地下歩道浸水発生)。

## (3) 微地形データの計測

公園内(約2.0ha)の地表面データを取得するため、レーザースキャナを使用して公園内を図-2のルートを2回計測した。計測方法は、写真-2に示すようにレーザースキャナ本体を片手で持ち、高さを維持しながら歩くものである。



写真-2 測量状況写真

1回目は、Loop Closure(ループ処理)というグローバル補正が可能なマッピングを行うために、公園内の外周を回り開始点と終了点が同位置になるように計測した。このループ処理によって、開始点と終了点の位置と高さ関係が合うよう補正され、全体のバランスが調整される。その後、1回目と2回目の開始点との座標の紐付けを行った。

2回目は、同位置から公園の内側を計測することで、公園内にある樹木や構造物等で1回目のレーザー計測で死角ができるところを補うように計測した。

計測時間は、1回目と2回目の演算処理も含めて全体で40分程度であった。

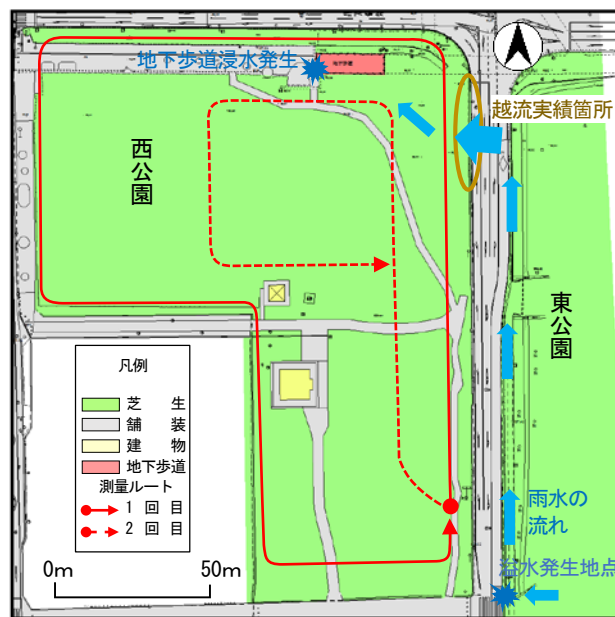


図-1 検討箇所図

## (4) 氾濫解析モデルに用いるデータの作成

計測した微地形データの点群(ポイントデータ)は、図-2、図-3に示すとおり、図-1の平面図と一致していることが分かる。この点群データは、公園内の樹木や道路を走る通行車両などが含まれているため、浸水解析用にそれらを除いたグラウンドデータ(地盤高データ)を作成し、XYZデータを生成した。さらに、Stencilのレーザースキャナ自体は、GPSのような位置座標をもたないため、1/2500都市計画図の標高点(X座標、Y座標および標高値)を基準として用い、出力されるPLYデータを世界測地系に変換した。

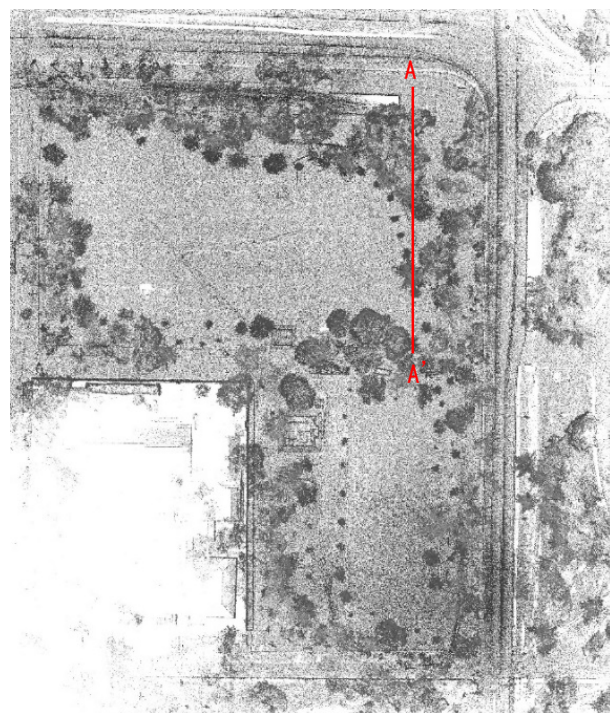


図-2 計測した微地形データ(点群、平面図)

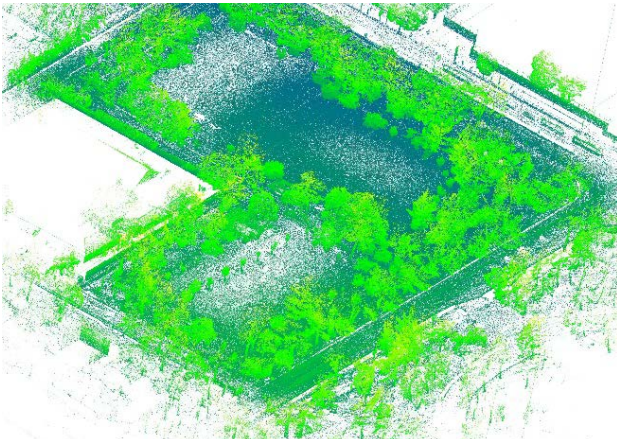


図-3 計測した微地形データ(点群、鳥瞰図)

#### (5) 数値標高モデルとの比較

図-4の国土地理院の数値標高モデル(5.0mメッシュ)と計測した微地形データを比較すると、微地形データの方が微細な地形的特徴を精度良くとらえていることが分かる。数値標高モデルが写真測量の範囲に該当しているため、標準精度が70cm以内あることから標高分布に違いが生じた。

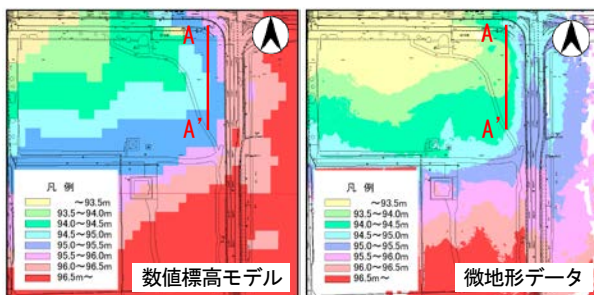


図-4 数値標高モデルと微地形データ 標高データ

次に、図-2のA-A'断面の位置で国土地理院の数値標高モデル(5.0mメッシュ)の標高点、計測した微地形データの標高点および実測横断測量データを比較した結果を図-5に示す。なお、図-5は、縦横比を5倍にして高低差が明瞭になるように表している。

数値標高モデルは、実測横断測量データと比較すると大きく異なる。計測した微地形データは、実測横断測量データの起伏に近く、標準偏差は16cmであった。国土地理院の数値標高モデル(5.0mメッシュ)の航空レーザー測量の標準偏差30cmであるため、微地形データの方が現地の状況に近いことが分かる。

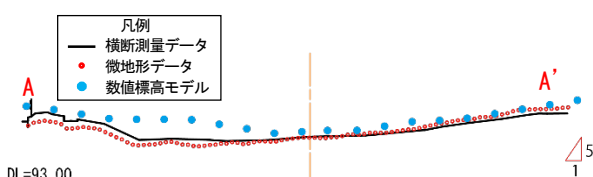


図-5 横断面(図-2のA-A'断面)

## 2. 微地形データを用いた浸水解析の実施

### (1) 浸水解析手法

本論文では、流出解析モデルで一般的に用いられるソフトウェアのうちのInfoWorks ICM(旧名:InfoWorks CS(インフォワークス・シーエス))を用いて検証を行った<sup>3)</sup>。先ほどの点群データを用いて地表面をメッシュ分割することで、隣接するメッシュ間の水の移動により溢れた雨水の平面二次元(XY方向)への移動・拡散現象を解析できるものである。図-6の氾濫解析イメージ図にあるように溢水した水が地表面上を流れていくが、InfoWorks ICMでは、地表面のメッシュが三角メッシュとなるため、使用するグラウンドデータを5.0m~10.0mのメッシュサイズで変換した。

解析に用いた降雨条件は、表-4に示すとおり10分最大雨量が9.5mm、総雨量70.5mmの実績降雨を使用した。図-7に使用する実績降雨のハイトグラフを示す。

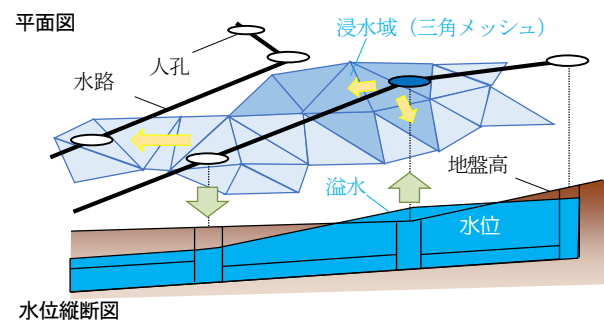


図-6 氾濫解析イメージ図

表-4 解析使用降雨

使用降雨	10分最大雨量 (mm)	時間最大雨量 (mm)	総雨量 (mm)
実績降雨	9.5	33.5	70.5

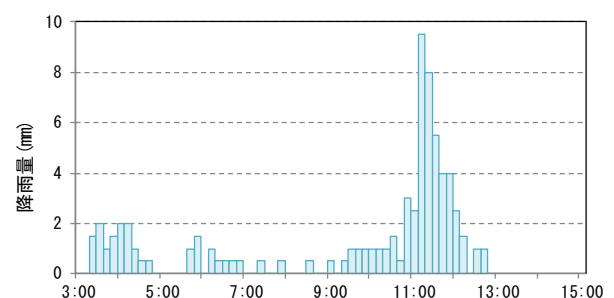


図-7 実績降雨 ハイトグラフ

### (2) 浸水解析ケースの設定

浸水解析は、2ケースを行い、Case1は地表面に国土地理院の数値標高モデル(5.0mメッシュ)を使用し、Case2は地表面に微地形データ(レーザースキャナの測量データ)を使用したものである。



### 3. 浸水解析による微地形データの精度検証

Case1 と Case2 の解析結果を比較する。Case1 では、地下歩道への浸水が確認できてはいるものの、越流実績箇所よりも上流から西公園へ水が移動し、越流実績箇所からの浸水が再現できなかった(図-8)。Case2 は、測量時点では越流実績箇所に簡易な浸水対策として現地で土嚢を積んでいたため、その分越流量が少なくなっているが、越流が起これば地下歩道まで水が流れていることを確認することができた(図-9)。次に、図-10 に両ケースの時系列における浸水状況を示す。

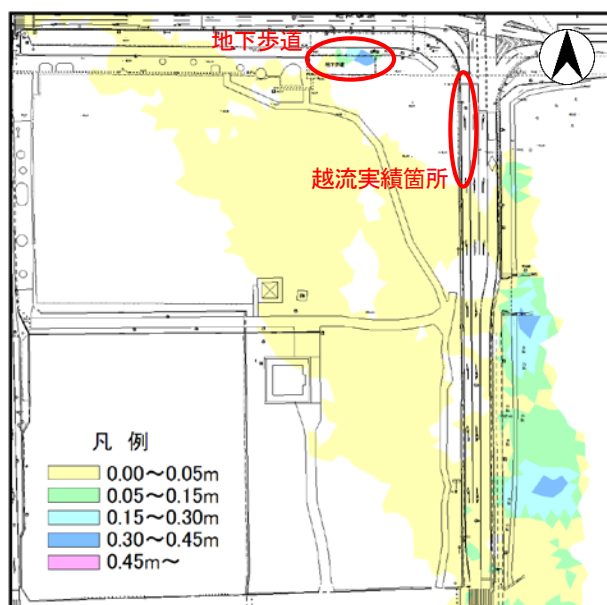


図-8 Case1 解析結果(最大浸水深)

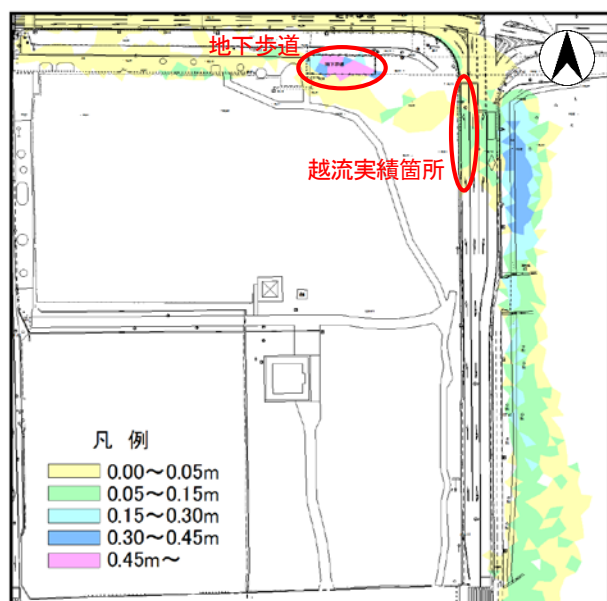


図-9 Case2 解析結果(最大浸水深)

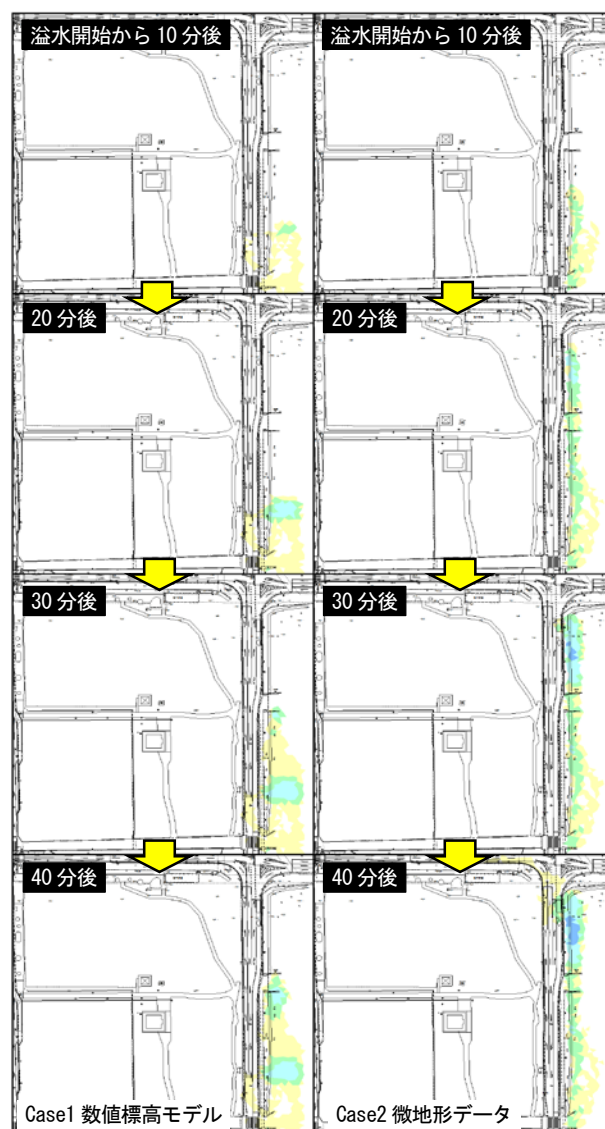


図-10 浸水状況図(時系列浸水深)

### 4. 結論と考察

今回の検討によりレーザースキャナを用いて微地形を考慮した浸水を精度良く再現することができ、短時間に対策案の検討が可能であることが分かった。レーザースキャナは、比較的安価で簡単に精度の良い地形データが取れるため、浸水解析の検討では十分に活用できる。

### あ と が き

今後の展望としては、レーザースキャナを使用することで地下歩道の内部空間もモデル化することが可能であるため、地下歩道内の浸水影響について検討していきたい。

### 参考文献(または引用文献)

- 1) <http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 2) <http://www.kaart.com/>
- 3) 流出解析モデル活用マニュアル(雨水対策における流出解析モデルの運用手引き), 公益財団法人 日本下水道新技術機構, H29. 4. P7-9



## 水辺の小わざ魚道による魚道整備

株式会社ウエスコ ○加瀬瑛斗  
株式会社ウエスコ 徳田 真  
株式会社ウエスコ 河平幹雄

### 論文要旨

兵庫県北部を流れ日本海に注ぐ二級河川矢田川において、河口から上流域に至る一連区間における水生生物の移動環境改善を目的として、農業用取水堰5箇所の魚道設計事例を紹介する。

「水辺の小わざ」の理念のもと、構造が簡易で設計・施工面の利点があり、かつ多様な魚道内流況を創出できる「水辺の小わざ魚道(扇型粗石付き斜路式魚道)」を基本として、流域関係者・学識経験者らで構成される「矢田川水辺の小わざ検討会」で議論を重ね、既設魚道の活用、利水の確保、地域協働、維持管理等に配慮し、現況問題点を解消する「小さな工夫」として、①既設魚道の活用によるコスト削減、②特徴ある露岩環境の保全・活用、③水通しの移設による魚道流量の確保、④二つの出口による水位変動への対応、⑤二段魚道による水叩き下流高落差の解消、⑥スロープ工による水叩き下流低落差の解消、⑦維持管理に配慮した塩ビ管の鳥害防止工、⑧水叩き水深を確保する水寄せアングル工、を採用した。

キーワード： 水辺の小わざ魚道、取水堰、一連区間、小さな工夫

### まえがき

近年、河川における魚道整備は、建設省(当時)の「魚がのぼりやすい川づくり推進モデル事業」(平成3年度～)や、農林水産省の「魚を育む流れづくり推進対策事業」(平成7年度～)等により進められてきたが、未整備の施設も多く残っている。また、既設の魚道についても、経年劣化・転石等による損傷や、河道特性の変化・設計上の不確実性から十分に機能していない場合がある。

生活史上回遊を必要としない種や、河川内回遊を行う種にとっては、1箇所の移動阻害施設を改修することで生息域が拡大し、局所的な改変や汚染等による環境変化に対する冗長性を確保できる。一方、河川と海域との回遊が必要な種にとっては、海との接点である河口から、産卵場や生育場となる河川上～下流域までの連続性が求められ、ここに一連区間を通した整備の重要性がある。

従前、魚道整備は既設堰堤の改変を伴うものが主流であり、整備コストや、水位等の複雑な設計条件に起因する環境変化への脆弱性、堆砂等維持管理の困難さによる機能不全が問題となっていた。

ここでは、一連区間における水生生物の移動環境改善を目的として、矢田川に設置された農業用取水堰5箇所において、既存の問題を解決する「水辺の小わざ魚道」

(扇型粗石付き斜路式魚道)<sup>1)</sup>を基本とした様々な小さな工夫を施した魚道設計を行った事例を示す。

### 1. 対象施設概要

#### (1) 流域

対象となる矢田川は、兵庫鳥取県境の赤倉山に発し、香美町を北流して日本海に注ぐ、本川流路延長約38km、流域面積約277km<sup>2</sup>の二級河川である(図-1)。天然アユが遡上する清流として知られ、アユ漁が盛んなほか、上流域ではアマゴ、サクラマスが見られる。冬季の降雪及び春季の融雪により、非出水期においても河川流量が比較的多く、豊富な流量を利用して、水力発電が行われている。

流域は谷底平野であり、沿川のわずかな平地に農地が広がり、河川に多数設置された農業用取水堰により灌漑が行われている。

#### (2) 取水堰及び魚道

矢田川本川には、河口から上流までの法河川区間に16箇所の農業用及び発電用取水施設があり、横断工作物がない5箇所を除いたコンクリート固定堰11箇所のうち5箇所が、魚道未設置又は機能不全のために移動阻害となっている(図-1)。なお、床止工等の河川管理上の横断工

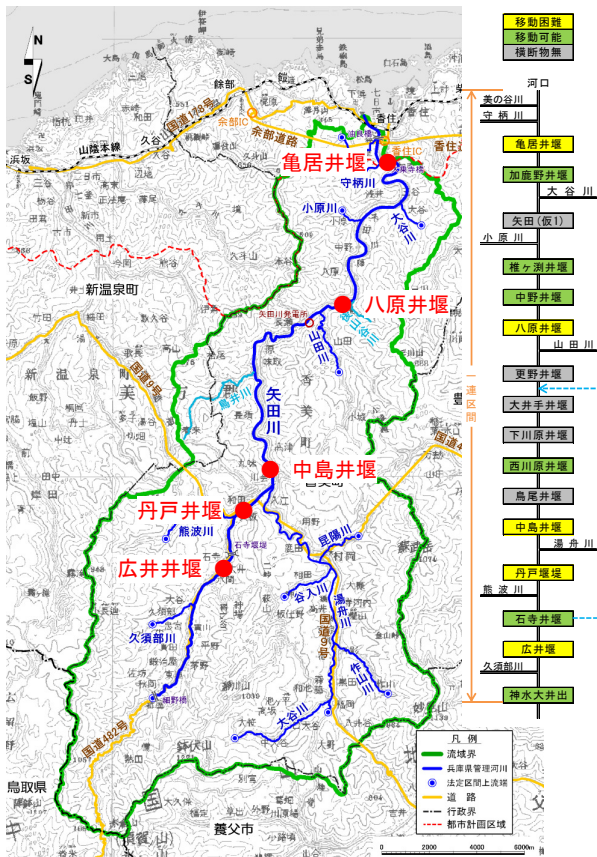


図-1 流域図<sup>2)</sup>及び施設位置図

作物は設置されていない。

魚道整備の対象施設は、上記移動阻害が生じている農業用取水堰5箇所、いずれも設置年は不明であるが、井堰管理者への聞き取りから、設置後50年以上経過していると考えられる。

既設魚道についても、設置時期は不明であるが、流水や転石による破損、砂州・水位等河道条件の変化により、機能不全が生じている(図-2)。

## 2. 水辺の小わざ魚道

### (1) 概要

「水辺の小わざ魚道」(以下、小わざ魚道)は、山口県で生まれた「水辺の小わざ」の理念(流域全体の生態系をより豊かにするために、川の中のいろいろな生きものの一生や川全体の特性を把握し、小規模でありながらもその水辺にふさわしい効率的な改善策を様々な視点で工夫する山口独自の取り組み)<sup>1)</sup>に基づいた扇型粗石付き斜路式魚道である。

既設取水堰や落差工の水叩き上にコンクリートマウンド(一次コンクリート)を構築し、これを基礎として粗石(φ50cm程度)をうろこ状に配置、二次コンクリート

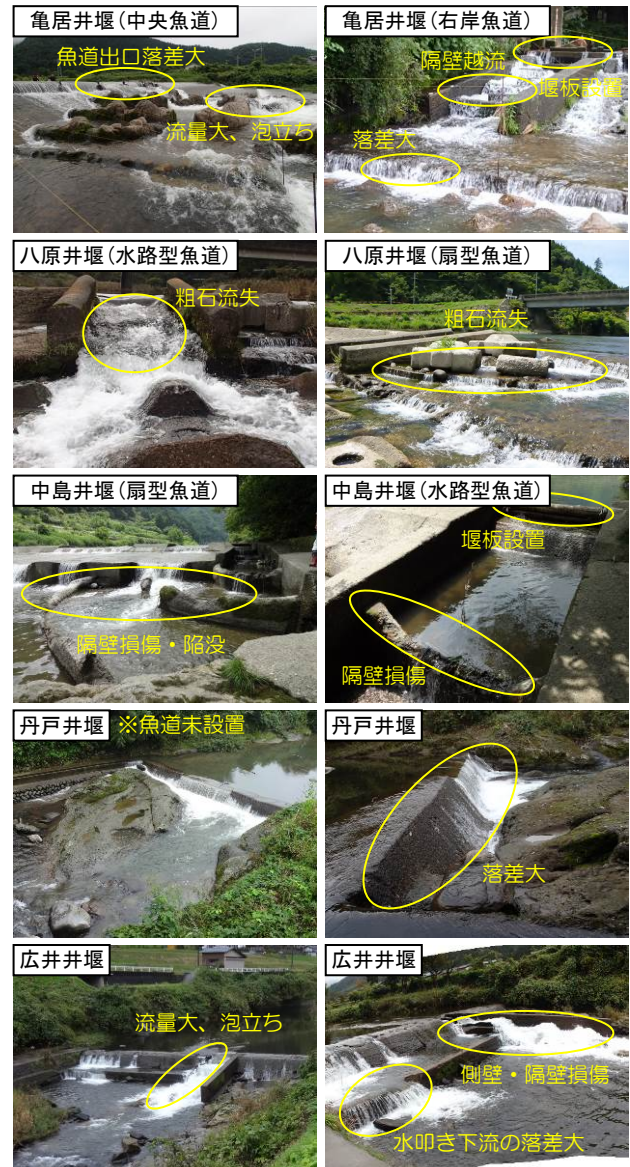


図-2 対象施設現況



図-3 小わざ魚道



図-4 “うろこ状”の粗石配置





図-5 高校生・利水者・漁業関係者らによる施工

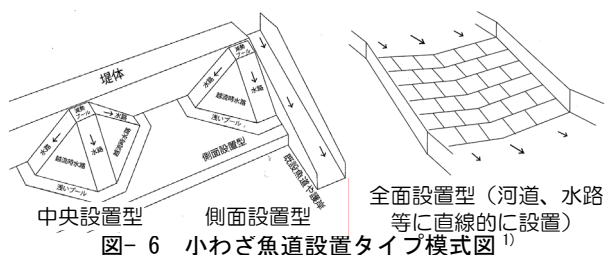


図-6 小わが魚道設置タイプ模式図<sup>1)</sup>

表-1 矢田川における設置タイプ

施設		設置タイプ		備考
		既設位置	新設	
亀居井堰	中央	中	—	
	右岸	※	—	※既設隔壁嵩上げ
八原井堰		側	中	滞筋位置に新設
中島井堰		中・側	—	
丹戸井堰		—	側	既設魚道なし
広井井堰		—	側	滞筋位置に新設

中：中央設置型、側：側面設置型、全：全面設置型

と雑石(φ20cm程度)で間詰めして小さな多段プールを多数形成する(図-3、図-4：先行する隣接河川岸田川の事例)。

## (2) 利点と矢田川への適用

小わが魚道の主な利点は、既設堰堤を大きくさわらず、魚道入口が広く(突出型のように堰堤直下への迷入がない)、多様な流況を持ち(粗石を用いることで設計に基づく画一的な流れではなく、プール毎に多様な流況が形成されるため、様々な魚種が、自分に合った経路を選好できる)、維持管理が容易な(堆砂しない)魚道を、(引き込み型や迂回型魚道に比べて)低コストで実現できることである。また、多段プールを形成するため、一般的な斜路式魚道(勾配1/10程度以下)に比べて急勾配化(1/7～1/3)でき、魚道延長が短縮できる(設置場所の確保やコスト面で有利)。型枠を必要とせず、無筋構造のため施工は容易で、粗石の間に雑石を配置してプールを形成する作業は、地域住民(高校生、利水関係者など)も参加でき、地域協働の魚道整備(川への関心の向上、人材育成等)に貢献する(図-5：岸田川の事例)。

粗石や雑石の配置は魚道の良し悪しに関わるため、不

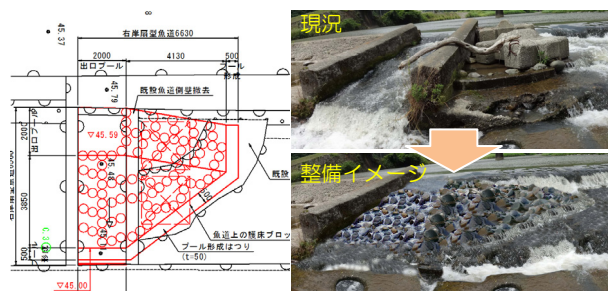


図-7 既設魚道の活用によるコスト削減

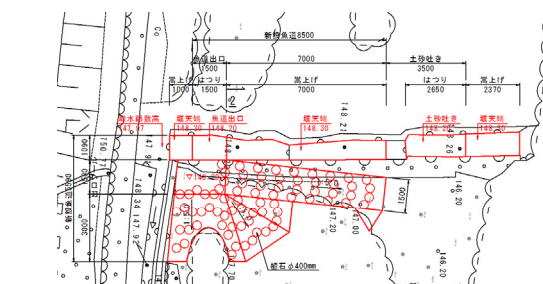


図-8 特徴ある露岩環境の保全・活用、水通しの移設による魚道流量確保

慣れな場合は、魚道の専門家の現地指導が望ましいが、雑石の配置などは、施工後(通水後、モニタリング後)でも修正できる。

小わが魚道は、設置形状に応じて、中央設置型、側面設置型、全面設置型の3タイプに分類される(図-6)。今回の対象施設では、設置位置に合わせて表-1の通り設定した。

## 3. 小さな工夫

山口県で生まれた小わが魚道は、現在では全国に展開している。事例を重ねることで、設計・施工のポイントもブラッシュアップされ、進化を続けている。小わが魚道本体の設計思想は文献等<sup>1)3)</sup>に詳しいため、ここでは、今回現地に合わせて適用した小さな工夫を示す。

### (1) 既設魚道の活用によるコスト削減

斜路式や階段式等の既設魚道を改修する場合は、既設魚道を極力残置することで、粗石の基礎となる一次コンクリート量や既設魚道の撤去手間を削減できる。

八原井堰では、隔壁が流失した既設魚道の上に一次コンクリートを打設し、粗石を配置した(図-7)。



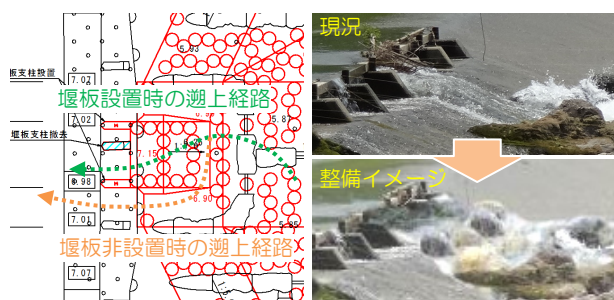


図-9 二つの出口による水位変動への対応

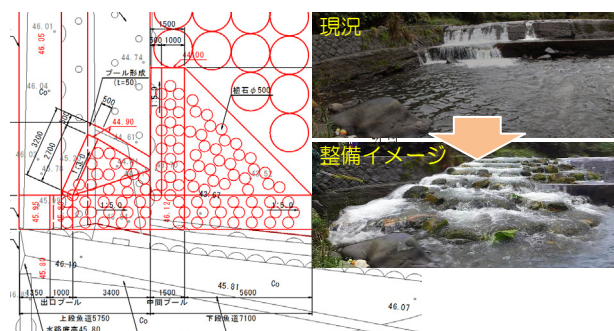


図-10 二段魚道による水叩き下流高落差の解消

## (2) 特徴ある露岩環境の保全・活用

現況の良好な環境(景観)を保全し、活用する。

丹戸井堰は堰下流の露岩が景観上のポイントで、検討会でも残置が求められた。増水時には堰を越流する流れでミオ筋が形成されるが、平常時は通水しない。河川横断方向に設置する魚道に加えて、露岩と堰上流を接続するように魚道を設置し、露岩上に通水することで、移動経路となる自然のステップアンドプールを形成する(図-8)。

## (3) 水通しの移設による魚道流量確保

今回の一連の設計方針の一つは、堰天端高を変更しない(取水位を下げない)ことであるが、丹戸井堰では既設の水通し(土砂吐き、天端高が低い箇所)を移設することで、取水位を下げずに魚道への通水確保と越流水による魚道内の乱れ抑制を狙った。堰中央付近の水通しを、右岸側(魚道出口に設置して通水確保)及び左岸側(魚道を避けて越流水を逃がして乱れを抑制)に分割した。水通しの総幅は現況以下とするため、取水位は低下しない(図-8)。

## (4) 二つの出口による水位変動への対応

利水の要求から、灌漑期のみ堰上げするなど、通年の水位変動が極端に大きい場合がある。

亀居井堰中央魚道では、灌漑期の堰板設置により、非灌漑期に比して恒常的に30cm以上の水位差が生じるた

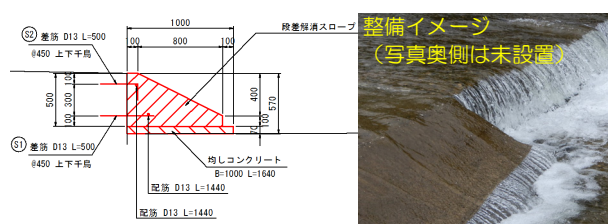


図-11 スロープエによる水叩き下流低落差の解消

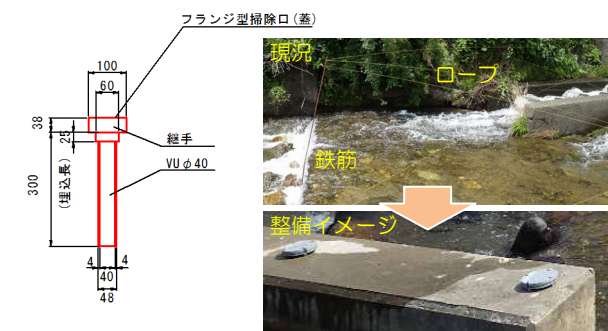


図-12 維持管理に配慮した塩ビ管の鳥害防止工

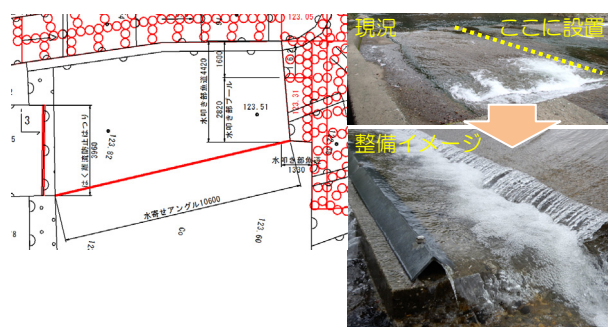


図-13 水叩き水深を確保する水寄せアングルエ

め、魚道出口となる最上段のプールを、灌漑期及び非灌漑期の水位に応じて二カ所設置し、通年で移動経路を確保した(図-9)。

## (5) 二段魚道による水叩き下流高落差の解消

小わざ魚道は、既設堰堤の水叩き上への設置を基本としており、堰下流の河床低下により、水叩きと下流の水面比高が大きい場合は、別途対策が必要となる。

比高が数十cm程度の場合は、後述するスロープ工等に対応が可能であるが、広井井堰は落差が約90cmあったため、水叩き上と下流河床に二段(親子)の小わざ魚道を設置した(図-10)。水叩き上の魚道は、水叩きへの落下魚や、堰中央の既設魚道を途中まで遡上した魚類の遡上経路とした。

## (6) スロープエによる水叩き下流低落差の解消

水叩きと下流河床の落差に対して、護床ブロックや袋詰め玉石を階段状に設置して落差を解消する手法を用いてきたが、伏流により水面が確保できない問題があった。

亀居井堰右岸魚道では、水叩き下流端に現場打ちのコンクリートスロープ（勾配 1:2）を設置し、はく離流と落差を解消した（図- 11）。構造が簡易なため、将来的に河床低下が進行した場合でも、コンクリート充填等で容易に補修できる。

#### (7) 維持管理に配慮した塩ビ管の鳥害防止工

カワウ等による食害が顕著な施設では、水叩きのクラックに鉄筋を挿し、ロープを張って対策している。

亀居井堰（中央魚道及び右岸魚道）では、必要な時に鉄筋を立て込める塩ビ管を設置した（図- 12）。洪水前や不要な時期は取り外すことで、流木やゴミ等の漂着を抑制し、除去等の維持管理手間を削減できる。

#### (8) 水叩き水深を確保する水寄せアングル工

底生魚や甲殻類にとっては、水叩き上の薄い流れも移動経路になりうる。

中島井堰では、既設魚道に並行して扇型魚道～水叩き～水通し（土砂吐き）の移動経路が想定されることから、水叩き上左岸側の流水を確保するために、等辺山形鋼を設置し、水通しの越流水の散逸を防いで水寄せ効果を持たせた（図- 13）。

### あ と が き

今回設計した一連の魚道は、平成 29 年度から順次施工予定であり、現時点で良し悪しは評価できないが、先行して同様のコンセプトで魚道整備が進む隣接河川岸田川（上井堰：平成 27 年度完成）では、地域一体の魚道整備の一環として地元高校生らによる調査が行われ、堰上において多数のアユが確認されている<sup>4)</sup>。また、山口県に

おける従来の粗石付き斜路式魚道との比較では、アユの遡上量（特に、遊泳力が弱い小型个体）、甲殻類の利用度等において、小わざ魚道の優位性が確認されており<sup>5)</sup>、対象施設においても整備効果が期待される。

「小わざ魚道」により、限られた予算の中で、より多くの移動障害を解消し、かつ地域協働を進めて川（河川環境）への関心を高め、川に関わる人材を育成することで、さらに魚道整備が進むことを願う。

本稿は、兵庫県但馬県民局豊岡土地改良センターから受託した業務成果をとりまとめたものである。成果の使用を快諾いただいた同センターの皆様に謝意を表す。また、徳島大学教授浜野龍夫会長をはじめとする矢田川水辺の小わざ検討会委員の皆様には、意見交換の中で、設計のきっかけや助言を多数いただいた。ここに謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 浜野龍夫編：水辺の小わざ《改訂増補第二版》，山口県土木建築部河川課，2016.8.1，285p.
- 2) 兵庫県：矢田川水系河川整備計画，2012.4，16p.
- 3) 古川彰・高橋勇夫編：アユを育てる川仕事，築地書館，2010.6.1，265p.
- 4) 日本海新聞：アユの魚道 効果実感，2016.8.13 付記事（兵庫県立浜坂高等学校ホームページ参照）.
- 5) 畑間俊弘：扇型簡易粗石付き斜路式魚道（“水辺の小わざ”魚道）の設置効果について，山口県水産研究センター研究報告，第 9 号，2011.12，pp.137-164.

## 津波対策における J－A L E R T による水門の自動運転化

(株) エース      奥   村      真  
○ 飯   尾   大   助

### 論 文 要 旨

本文書は、大規模地震により発生する津波から当該地域の人命と資産を守ることを目的に、水門の安全かつ迅速・確実な開操作を行うため、J-ALERT による水門の自動化を行った設計業務を説明するものである。

今後30年以内に70%程度の確率で発生するとされている南海トラフ沿いの大規模地震では、巨大な津波が発生することが想定されている。水門・樋門の操作従事者の安全確保と確実な操作が行えるよう、本業務では対象施設である出合川水門を J-ALERT 信号により自動で開操作できる構造とすることを目的とする。まず、既設水門の諸元を確認し、地震発生から津波襲来までの各所要想定時間を設定して水門施設等の運転フローを検討する。次に、詳細事項として、施設設計を行う。既設水門は、手動操作による自重降下機能を有していることから、J-ALERT 受信設備、自重降下操作盤の増設および開閉機の部分的な改造で自動化を行う計画とする。

キーワード：津波、水門、J-ALERT

### ま え が き

南海トラフ沿いの3つの領域（東海・東南海・南海）では、これまでも約90年から150年周期で繰り返し津波を伴う自信が発生しており、紀伊半島は南海トラフの震源域が近いと、津波により大きな被害を受けている。

文部科学省によると、南海トラフの地震は今後30年以内に70%程度の確率で発生すると評価されている（平成27年1月14日文部科学省地震調査研究推進本部公表）<sup>1)</sup>。

東日本大震災時の水門等の操作に従事した多数の方が犠牲となった。平成26年には海岸法が改正され、操作員の安全の確保が明記された。和歌山県においては、水門・樋門の操作従事者の安全を確保するとともに、津波襲来時の確実な操作が行えるよう、水門、樋門の自動化、遠隔操作化を実施している。本業務では、水門制御盤の J-ALERT 信号受信により水門を自動で開操作することを目的とする。

### 1. 対象施設について

本業務の対象施設である出合川水門は、和歌山県湯浅町にある出合川支川の排水機場の付属施設として本川合流部に設置されている。



既設水門の施設諸元は表－1のとおりである。

既設水門は、電動ラック式ローラーゲートであり機側操作盤または併設されたポンプ場建屋内の操作室から開閉操作を行うことができる。また、自重降下機能を有しており、自重降下レバーを手動操作することで自重降下することができる。

表－1 出合川水門の施設諸元

形式	ステンレス製ローラーゲート
設置数	2門
純径間	2700mm
飲口高	2300mm
水密方式	後面四方ゴム水密
開閉装置	電動ラック式
開閉能力	3t
扉体重量	1.85t
遠隔自重降下	無し

### 2. 運転フローの検討

地震発生から津波襲来までの水門施設等の運転フローを検討する。

- (1) 湯浅町における地震発生時の津波到達時間は、東海・東南海・南海3連動地震で4分4秒、南海トラフ巨大地震で3分5秒と想定されている<sup>1)</sup>。
- (2) 地震発生から津波警報または大津波警報発令までの時間は、気象庁の資料によると2～3分とされているため、地震発生から水門設備の J-ALERT 受信までの時間は3分とする。



- (3) 出合川水門は、船舶等の往来は無く日常的に水門付近に人が立ち入ることは無いが、点検等で周辺に人が存在する場合があるため、水門の自動閉鎖時は注意喚起を行う。注意喚起設備は、スピーカー(音声)によるものと、回転灯により視覚的に行う。
- (4) 水門の開閉速度は毎分0.3m程度であり、昇降距離が2.8mであるため、水門閉鎖時間は約10分とする。
- (5) 水門自動閉鎖の運転フローを図-1に示す。周辺の人の退避時間として J-ALERT 受信から水門の自重降下開始までの時間を5分とすると、南海トラフ巨大地震の津波到達時間35分を想定した場合、17分の余裕ができる。

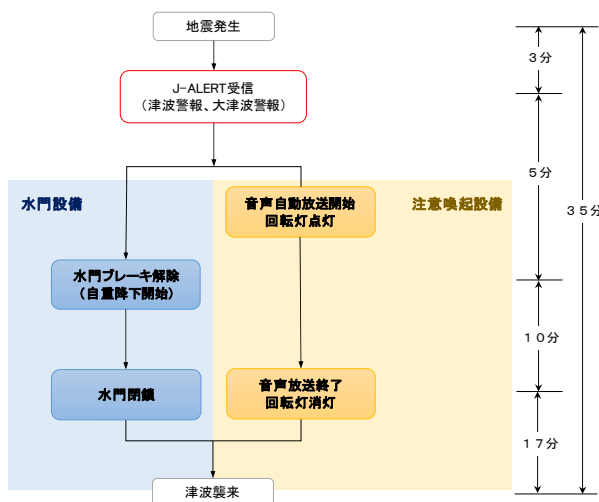


図-1 運転フロー

### 3. 詳細事項

- (1) 操作制御は、津波警報および大津波警報発令時に J-ALERT 信号を水門設備が直接受信して自動で自重降下し、J-ALERT 受信に伴う自重降下後の操作は、管理者等が現地にて操作する。
- (2) 施設の改修範囲は必要最小限とする。既設の機側操作盤内には系統を増設する余剰スペースがないため、J-ALERT 受信用の自重降下操作盤を新設し、既設の水門開閉機に遠隔自重降下装置を取り付けて自動で自重降下できる構造にする。
- J-ALERT 受信(自重降下操作盤)による自重降下は、電動アクチュエータにより機械式多板クラッチを開放し、遠心ブレーキにて降下速度を調整しながらゲートが降下する<sup>2)</sup>。なお、非常時等に備えて手動操作による自重降下機能は残す。
- (3) 各施設の配置は、アンテナをポンプ場建屋屋上に設置し、J-ALERT 受信機・放送用アンプおよびUPS等をポンプ場建屋2階に設置する。自重降下操作盤および注

意喚起設備は水門の操作台上に設置する。

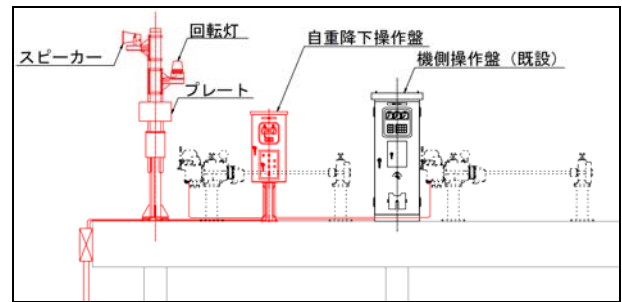


図-2 水門操作台上の施設配置

- (4) 自重降下操作盤の操作要領について

ア) 常時

切換スイッチを「遠隔モード」にあわせて、J-ALERTを受信して水門が自動で自重降下する状態とする。

イ) J-ALERT 受信による自重降下後の水門の開操作

- ① 切換スイッチを「遠隔モード」から「通常モード」に切り替える。
- ② クラッチ入押釦でクラッチを復旧する。
- ③ 既設のゲート機側操作盤により水門の開操作を行う。
- ④ 切換スイッチを「通常モード」から「遠隔モード」に切り替える。

### あ と が き

津波への備えとして、水門の自動閉鎖等のハード対策は重要であるが、津波による犠牲者をなくすためにはソフト対策も重要となる。

- (1) 河川・港湾施設の対策として、緊急時の水門操作を自動化することによる閉鎖作業の負担軽減や迅速化より、水門操作者の避難する時間を確保することができる。
- (2) 水門操作者の安全確保と確実な閉鎖については、操作・避難経路を明確にし、津波発生時に操作を確実に実施できる管理体制を構築する必要がある。
- (3) 津波による犠牲者をなくすためには、迅速な津波情報の伝達、避難経路の確保や住民への教育・啓発等のソフト対策も重要である。

### 参考文献(または引用文献)

- 1) 和歌山県: 和歌山県国土強靱化計画 平成27年9月 p.5, p.7
- 2) 株式会社ミゾタ: 遠隔自重降下装置 取扱説明書 p.1

## 非破壊でスピーディーな『樹木の健康診断サービス』

応用地質(株)	地球環境事業部	○ 芦 葉 弥 生
応用地質(株)	地球環境事業部	梶 野 健
応用地質(株)	地球環境事業部	石 澤 伸 彰
応用地質(株)	関西支社	野々山 一彦

### 論 文 要 旨

近年、高度経済成長期に植えられた街路樹等の樹木が倒れ、歩行者や車両に被害を及ぼす事故が全国で発生している。倒木の要因はさまざまであるが、外観からは把握できない樹木内部の腐朽が要因となっていることが多い。このような倒木を未然に防ぐために様々な樹木の腐朽・空洞診断機器が開発されている。しかし、それらの機器は対象木を傷つけたり、非破壊の方法では装置が大がかりで診断に要する時間も長くなるなど、一長一短がある。そこで筆者らは、共振測定技術及び地中レーダ技術を組み合わせた『樹木の健康診断サービス』を新たに開発した。この方法は非破壊の上、測定時間も短く、簡易診断によるスクリーニングを行うことにより、単価が高い精密診断の本数を絞ることでコストも抑えることができる。なお、同じ地中レーダ技術を用いて「根系の分布診断」も可能である。さらにこれらの診断結果を「樹木管理データベースシステム」で一元管理することができ、管理が多い街路樹や公園木等の活用にも有効である。

キーワード：樹木、腐朽診断、共振測定、地中レーダ、分布診断

### ま え が き

近年、高度経済成長期に植えられた街路樹等の樹木が倒れ歩行者や車両に被害を及ぼす事故が全国で発生している<sup>1)</sup>。街路樹は自然の樹木と異なり、強剪定や周辺の工事等により切断された大枝や根の傷口から木材腐朽菌に感染し根や幹が腐朽して倒れやすいことが指摘されている<sup>2)</sup>。国土交通省、自治体、地方道路公社の管理する全国の街路樹の本数は、平成24年3月現在で高木(樹高3m以上)が約675万本ある<sup>3)</sup>。現在、街路樹は老朽化が進行しており、メンテナンスが必要なインフラとして認識し、その診断と対策が必要な時代になりつつある。

これらの状況を踏まえて、街路樹の健全度調査等により、倒伏や枝折れ等によって発生しうる事故の可能性を事前に評価し、それに基づいた適切な改善処置を検討し、迅速に実施することが重要である<sup>2)</sup>。しかし、調査や事前の評価において、外観から明らかに異常木が判断できれば問題がないが、見た目が正常でも内部の腐朽が進んでいる樹木の場合は、危険木として認識されず、安全管理上の問題がある。昨今の街路樹等の倒木の多くは、ある日突然倒れることで、初めて危険木であったことが認識されることがある。

街路樹は、植栽されて少なくとも数十年の間、維持されることが多いため、多くの地域住民に愛着を持たれている。そのため、安全面を優先したとは言え、主観的な判断で伐採を決定することは、地域住民の理解を得られない恐れが

ある。地域住民への説明責任を果たすためにも、腐朽率などの客観的なデータを示したうえで伐採の判断を行うことは、今後ますます重要になってくると考えられる。

このような背景から、街路樹等の大量の樹木を対象に低コストで効率的に診断できる『樹木の健康診断サービス』を開発した。このサービスは、幹内部の腐朽状況を把握する「腐朽診断」、根系の分布状況を把握する「根系の分布診断」、これらの診断結果等を一元管理できる「樹木管理データベースシステム」から構成されている。

『樹木の健康診断サービス』では、幹内部の腐朽診断において、共振測定装置による樹木の健全度評価を簡易診断として実施する。この技術は「独立行政法人北海道立総合研究機構」が開発したものである。

### 1. 『樹木の健康診断サービス』の特徴

(1) 大量の樹木の迅速診断によるコストダウンの実現  
一般的な樹木診断としては、樹木医による診断に加え、機器を用いた精密診断がある。機器を用いた精密診断としては、最も普及している「貫入抵抗測定器」のほか、「γ線樹木腐朽診断器」、「多点式応力波速度測定器」および「多点式音響波樹木内部診断器」等が用いられている<sup>4)</sup>。

樹木医による診断では、専門知識を持った樹木医が中心となって1本ずつ外観から診断していくため、やや時間がかかり標準的には3名の作業員で1日あたり約25本程度の診断となる<sup>5)</sup>。

機器を用いた精密診断も、表-1に示すとおり、樹木1本(1断面)あたりの現地における作業時間が20~60分程度かかるため<sup>4)</sup>、1度に大量の樹木を診断することは難しい。最も普及している貫入抵抗測定器は、作業時間は1断面あたり2名で20分程度と短いものの、キリの貫入による破壊的な診断であるため、図-1に示すとおり、その傷口から木材腐朽菌に感染してしまう危険性がある。

表-1 精密診断機器の作業時間<sup>4)</sup>

精密診断機器名	現地作業時間(1断面)
貫入抵抗測定器	20分(2名)
γ線樹木腐朽診断器	30~60分(2名)
多点式応力波速度測定器	30分(2名)
多点式音響波樹木内部診断器	50分(3名)



図-1 キリ貫入傷口からの木材腐朽菌の感染事例

なお、精密診断の単価は、対象木の太さ等の条件や使用する機器によっても異なるが、通常1断面あたり1~8万円程度であるため、精密診断を実施する本数をできるだけ抑えることがコストダウンにつながる。

表-2に示すとおり、簡易診断は、1日あたり100~150本、精密診断は1日あたり40~50本の測定が可能のため、短時間で大量の樹木の測定が可能である。本サービスにおける簡易診断、精密診断はともに非破壊であることから、樹木を傷つける恐れがない。

『樹木の健康診断サービス』では、不健全木の疑いがある樹木を抽出する簡易診断(スクリーニング検査)を取り入れることで、高額な精密診断の対象本数を合理的に絞り込むことが可能である。

表-2 本サービスによる腐朽診断の作業時間

診断名	現地作業時間(1断面)	現地測定本数(1日あたり)
簡易診断	2分(2名)	100~150本
精密診断	2~10分(2名)	40~50本

## (2) 掘削が必要ない根系の分布診断の実現

根系を把握するためには、根元の掘削が確実であるが、

その作業は大がかりとなる上、樹木の根を傷つける可能性がある。しかし、電波を照射する地中レーダを用いることにより、根系の分布状況を非掘削で把握することが可能である。根系の分布診断は、表-3に示すとおり1日あたり5本程度の測定が可能である。

表-3 本サービスによる根系の分布診断の作業時間

診断名	現地作業時間(1本)	現地測定本数(1日あたり)
根系の分布診断	1時間(3名)	5本程度

## 2. 幹内部の腐朽診断

幹内部の腐朽や空洞が大きくなると、樹木は倒伏しやすくなる。マテック博士<sup>6)</sup>の実態調査結果によると、腐朽・空洞半径が幹半径の70%を超えると、立っている樹木の本数よりも倒れる樹木の本数の方が多くなることが確認されている。この値を幹の断面積に換算すると49%(約50%)となるため、東京都の「街路樹診断マニュアル」では、腐朽率(幹の断面積に占める腐朽・空洞部の割合)が50%以上の樹木が「不健全(危険)」と判定され、撤去の対象となっている。

『樹木の健康診断サービス』における幹内部の腐朽診断では、腐朽率が高い危険木を効率的に抽出するため、図-2に示すとおり、外観診断、簡易診断、精密診断の3段階に分けて診断を行う。

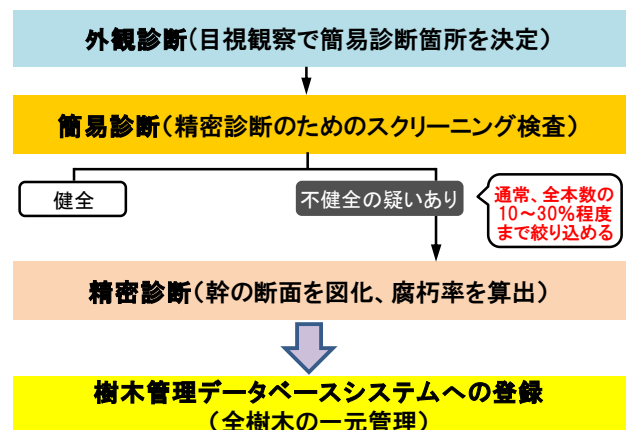


図-2 本サービスにおける幹内部の腐朽診断のフロー

### (1) 外観診断

『樹木の健康診断サービス』における幹内部の腐朽診断の第一段階として、全樹木を対象に外観を観察、基礎情報である樹種名、樹高、幹回(幹径)、空洞の有無、腐朽の有無、キノコの有無、樹勢、病害虫被害を記録する。これらの基礎情報を踏まえて次の簡易診断を行う箇所(高さ)を決定する。簡易診断を行う箇所は、外観診断において腐朽や空洞等の異常が確認された箇所のうち、最も異常が進



行していると判断できる箇所(高さ)を原則とする。外観から幹の異常が認められない場合は、倒伏の際に折れやすい根元付近のうち、精密診断機器を走査可能な高さである地表からの高さ 20~30 cm付近を簡易診断の対象箇所とする。

## (2) 簡易診断

外観診断で決定した簡易診断箇所において、共振測定装置による診断を行う(図-3)。共振測定装置による測定時間は一断面につき約2分と非常に短いため、短時間に大量の樹木を対象とすることが可能である。



図-3 共振測定装置による簡易診断の様子

この共振測定装置は北海道立総合研究機構が開発した樹木診断装置で、「安定した同一物質であれば共振によって得られる音速のばらつきが少なくなる」という原理を利用し、①各共振間での共振周波数のばらつき、②測定位置間の共振周波数のばらつき、③標準的な共振周波数とのずれの割合、の3つのパラメータによって、診断箇所の樹木の健全度(均質度)を「評価1」~「評価5」の5段階で簡易評価する。評価値が小さい樹木ほど均質度が低く、「不健全の疑いのある樹木」と評価され、評価値が大きいくほど均質度が、より健全な樹木と評価される。

簡易診断の結果、「不健全の疑いのある樹木」と評価された樹木は、精密診断の対象木とする。幹内部の腐朽診断を効率的に行うためには、簡易診断により、精密診断対象樹木を可能な限り絞り込む必要があるが、その一方で、絞り込みによって対象外となった樹木の中に危険木が残っていない。そのため、東京都の街路樹診断マニュアルにおいて「著しい被害」とされる腐朽率30%を目安とし、腐朽率30%以上の樹木を抽出できる評価値の選定を行った。

簡易診断を実施した樹木の中から各評価値が含まれるようにプラタナス14本15断面、カラマツ6本6断面の計20本21断面を対象として伐採を行い、簡易診断結果と実際の腐朽率を比較検討した。その結果、腐朽率30%以上の

樹木を抽出するには、「評価1」及び「評価2」と評価された樹木を対象とすることが妥当と考えられた(図-4)。

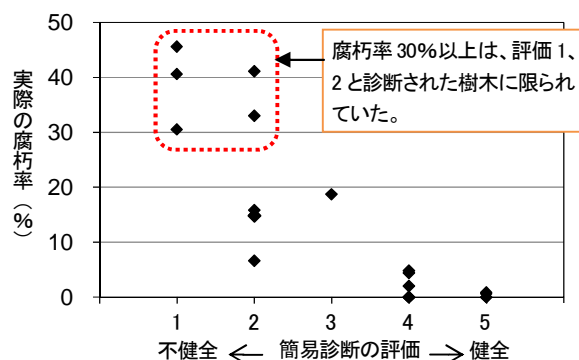


図-4 簡易診断の評価と実際の腐朽率

## (3) 精密診断

簡易診断で「不健全の疑いのある樹木」と判断された樹木について、地中レーダを用いた精密診断を行う(図-5)。精密診断では、幹内部に向かって電波を送信し、健全部と腐朽部の境界面から反射波が戻ってくるまでの時間から、内部の腐朽位置を把握する。精密診断は非破壊診断であるため、診断に伴う傷口から木材腐朽菌が侵入する心配はない。



図-5 地中レーダによる精密診断の様子

測定時間は1断面当たり2~10分程度と短く、1日あたり40~50本程度の測定が可能である。測定結果を基に幹の想定断面を図化し、腐朽率を算出できる(図-6)。算出した腐朽率を基に、撤去する(腐朽率50%以上)、短期周期での観察を継続する(腐朽率30~50%)等の判断が可能となる。

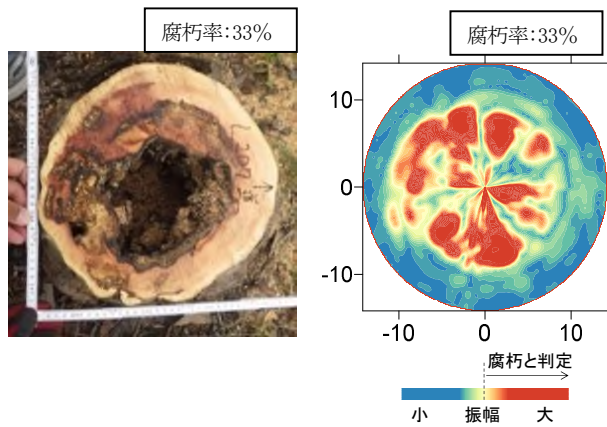


図-6 実際の断面と精密診断結果の例

以上のように、『樹木の健康診断サービス』における幹内部の腐朽診断では、外観診断・簡易診断によって、健康診断のように大量の樹木を診断することが可能である。その中から「不健全の疑いのある樹木」の精密診断を行い、腐朽率を算出する。初めから全樹木対象に精密診断をするのではなく、簡易診断により精密診断が必要な樹木を絞り込むため、低コストでも大量の樹木の幹内部の腐朽診断が可能である。

### 3. 根系の分布診断

当社は地中レーダと自動追尾トータルステーションを組み合わせ、位置情報を自動取得しながら探査を行うことにより、根系の分布状況を掘削することなく視覚的に把握できるシステムを開発した(図-7)。



図-7 根系分布診断の使用機器

このシステムでは、深度約 1m までの範囲にある太さ 2～3cm 以上の根系を検出することが可能である。図-8 に示すとおり、線状に連続した反射を根系と推定することで、根系の分布状況を把握できる。

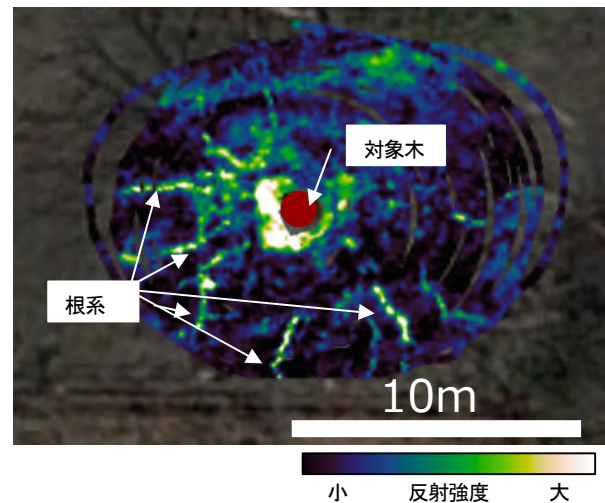
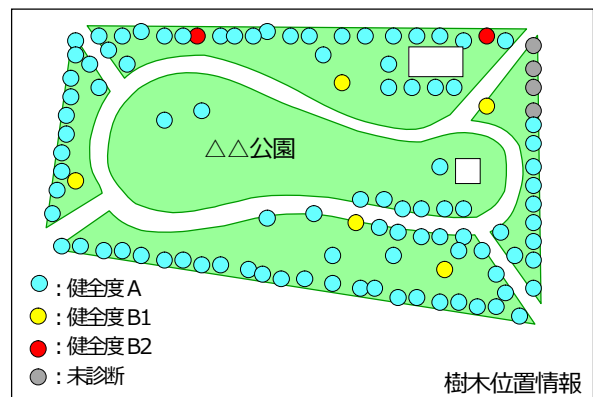


図-8 根系分布診断の結果の例

### 4. 樹木管理データベースシステム

樹木管理データベースシステムには、診断した全樹木の樹種、診断結果(健全度、腐朽率等)、次回診断すべき年度等の情報を登録し、これらの情報をシステム上で一元管理できる(図-9)。登録した情報を基に特定の樹木を検索して、図示、一覧表示、集計等の操作が可能のため、公園木や街路樹の毎年の診断計画や管理計画を効率的に策定することが可能である。



データベース ↑↓ リンク

樹木番号	樹種	簡易診断		精密診断		次回診断年度	次回診断内容
		測定日	評価	測定日	健全度		
1	プラタナス	2016年7月13日	2	2016年8月23日	A	2021年度	予備診断+簡易診断
2	プラタナス	2016年7月13日	5	—	—	2021年度	予備診断+簡易診断
3	ケヤキ	2016年7月13日	5	—	—	2021年度	予備診断+簡易診断
4	ケヤキ	2016年7月13日	4	—	—	2021年度	予備診断+簡易診断
5	プラタナス	2016年7月13日	2	2016年8月23日	B1	2019年度	精密診断
6	プラタナス	2016年7月13日	3	—	—	2021年度	予備診断+簡易診断
7	プラタナス	2016年7月13日	1	2016年8月23日	B2	2017年度	精密診断
8	ケヤキ	2016年7月13日	4	—	—	2021年度	予備診断+簡易診断
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.

図-9 樹木管理データベースシステム

### あとがき

幹の簡易診断で共振測定装置を用いるにあたり、北海道立総合研究機構林業試験場緑化樹センター研究主幹の脇田陽一農学博士の協力を得ました。記してここに感謝いた

します。

今後、街路樹等のさらなる老朽化や頻発する異常気象の発生を踏まえると倒木の危険性が増加し、迅速かつ高精度で低コストも実現した樹木診断のニーズは、さらに増えてくるものと予想される。しかし、今回紹介させていただいた『樹木の健康診断サービス』は端緒についたところであり、改良の余地は多く残されている。現地測定のさらなる迅速化、解析精度の向上と時間短縮、コストダウンなどの課題解決に向けて、さらなる技術開発に取り組んでいきたい。

## 参考文献

- 1) 飯塚康雄、栗原正夫：街路樹再生の手引き，国総研資料 第 885 号，国土技術政策総合研究所，H.28.3，285p.
- 2) 飯塚康雄、松江正彦：街路樹の倒伏対策の手引き，国総研資料 第 669 号，国土技術政策総合研究所，H.24.1，157 p.
- 3) 栗原正夫、武田ゆうこ、久保田小百合：わが国の街路樹Ⅶ，国土技術政策総合研究所資料 第 780 号，国土交通省国土技術政策総合研究所，2014.2，2p.
- 4) 東京都建設局公園緑地部：平成 26 年度 街路樹診断マニュアル，東京都建設局，H26.7，153p.
- 5) 日本樹木医会：調査・診断標準歩掛ガイドライン，1990.7.
- 6) クラウス・マテック：最新樹木の危険度診断入門 マテック博士のフィールドガイド，街路樹診断協会，平成 13 年，11 p.



## 越年生草本カワヂシャの播種・育苗による増殖方法の検討

中央復建コンサルタンツ(株) ○ 重 吉 実 和  
中央復建コンサルタンツ(株) 山 内 寛  
中央復建コンサルタンツ(株) 八 川 圭 司  
中央復建コンサルタンツ(株) 三 原 幸 恵

### 論 文 要 旨

カワヂシャ (*Veronica undulata*) は、水路や水田に生育するゴマノハグサ科の越年生草本である。外来種のオオカワヂシャと生育環境が競合するために自生地が減少しつつあり、また、オオカワヂシャとの交雑により遺伝的な攪乱も起こっていることなどから、環境省レッドリストにおいて準絶滅危惧に選定されている。

本稿は、環境影響評価書に記載された保全対策として実施されていたカワヂシャの播種に対し、過年度に採取し保管されていたカワヂシャの種子を活用して発芽試験を行うとともに、それまで実施されていた直接播種に代わる効果的な保全対策の方法を検討した内容を報告するものである。

なお、本検討は、近畿地方整備局紀南河川国道事務所からの平成 27 年度の委託業務として実施したものである。

**キーワード：**カワヂシャ、保全対策、発芽試験、播種、移植

### ま え が き

本検討の対象路線(近畿自動車道紀勢線 白浜～すさみ間)は、環境影響評価法の対象事業となっており、平成 11 年に環境影響評価書が提出されている。環境影響評価書において、改変により影響を受けるカワヂシャが保全対象種として選定されており、工事の実施にあたっては、専門家の意見を聞きながら、現地で採取した種子によって、生育に適した場所へ播種を行うなどの適切な保全対策を講じることとされている。

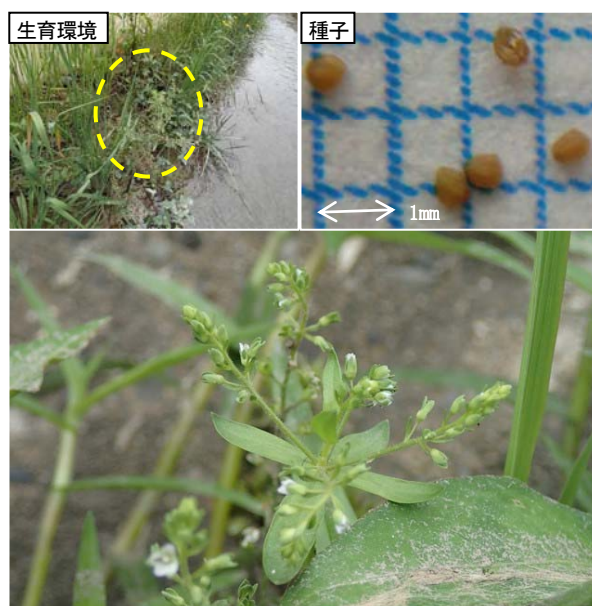
対象路線は平成 22 年度から工事着手されているが、工事着手前に植物相調査が実施され、その後保全対策が検討・実施されている。カワヂシャは越年生草本であり、株を移植してもその株は季節変動とともに消失してしまうことから、改変区域内の株から種子を採取して播種を行うという対策が複数年にわたり取られていた。保全対策後は継続したモニタリングが行われていたが、カワヂシャの種子はサイズが非常に小さく、また、生育環境が水路の水際であるため、出水等があれば種子は容易に流失してしまい、定着率がなかなか向上しないことが課題であった。これらのモニタリング結果を踏まえ、適宜追加の保全対策が検討・実施されていた。

本稿は、カワヂシャについて、保管されていた種子を用いて発芽試験を行うことにより発芽に必要な条件を探るとともに、それまでの播種による保全対策の課題を洗い出し、それを解決するための播種・育苗による増殖方法を検討した内容を報告するものである。

### 1. カワヂシャの生態的特性

カワヂシャは、川岸や水路の縁、水田などに生育する越年生の草本である。草丈は 10～50cm 程度、開花は 5～6 月で、5～15cm の細い花序を出し、15～50 個の花をつける。種子は板状の楕円形で長さ 0.5mm、幅 0.4mm<sup>1)</sup> である。

水流による攪乱が生じるような環境に生育し、土壌シールドバンク(埋土種子集団ともいう。土壌中に含まれ発芽能を持った種子の集団を指す。)を形成する種として知られている<sup>2)</sup>。種子散布後、7～8 月頃には植物体は消失し、種子は 11 月頃に発芽して芽生えの状態で越冬する。



図ー1 カワヂシャ

## 2. これまでの保全対策の実施内容

### (1) 保全対策の内容

カワデシヤの保全対策として、平成 22 年度から平成 24 年度までの間に、現地で種子を採取し、対象路線近傍の農業用の水路内に土砂が堆積してできた小規模な寄州や水辺の裸地等に直接播種を行うとともに、種子の一部を保管している。

### (2) 播種の実施

現地で採取された種子の多くは、採取した年度のうちに現地へ直接播種を行っている。しかし、直接播種を実施した農業用の水路内は、増水などによる攪乱のほか、水路管理上の土砂浚渫の影響を受けることもあり、定着率が低い状況であった(表-1)。

定着率の低さの要因としては、以下のようなことが考えられた。

- ① カワデシヤの種子が非常に小さいことから降雨時の増水により種子や発芽後の個体が流失した。
- ② 播種地土壌の富栄養化のためカワデシヤ以外の草本類が繁茂したことにより、カワデシヤが被圧され消失した。

なお、以上の要因を踏まえ、平成 23・24 年度の播種実施の際には、播種を行う前に他の草本類を除去して裸地化した上で播種を行う、土壌に溝を掘り水流を遅くするなど工夫がなされたが、表-1 に示すとおり、平成 24 年度でも定着率は2%未満となっていた。

表-1 カワデシヤ播種数に対する翌年の定着率

地区	平成 22 年度		平成 23 年度		平成 24 年度	
	播種数	定着率	播種数	定着率	播種数	定着率
A-1	—	—	7,600	0 %	—	—
A-2	—	—	27,600	0 %	—	—
B	—	—	26,450	0.1%	—	—
C	30	0%	—	—	—	—
D-1	30	6.6%	—	—	—	—
D-2	—	—	8,375	1.2%	16,750	1.9%
D-3	—	—	8,583	0.2%	—	—

(注) 定着率 (%) = (翌年の確認株数 / 播種数) × 100

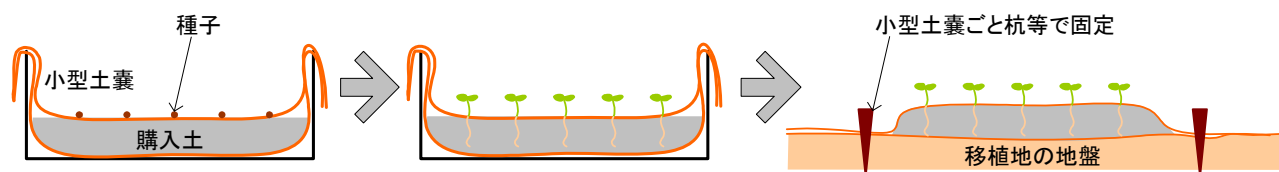


図-3 流失対策及び被圧対策のイメージ

## 3. 播種方法の検討

### (1) 課題の抽出

上記の状況を踏まえ、カワデシヤの播種後の定着率を向上させるための課題を、以下のとおり抽出した。

- 課題1: 種子や出芽が非常に小さく、流失しやすい。
- 課題2: 他種が繁茂すると被圧されて消失する。

以上の各課題を解決するために、流失対策と被圧対策を検討した。

### (2) 流失対策

課題1に対し、流失を防止するため、以下の手法を考案した。

- ・種子を直接散布するのではなく、麻布に土壌を充填した小型の土嚢を作成し、これを播種の基盤として種子を発芽させた上で、発芽後の個体を移植する。
- ・発芽後の個体はサイズが小さく根の支持力も弱いと考えられることから、個体を植え替えるのではなく、土嚢ごと移植する。
- ・土嚢自体の流失を防止するため、土嚢を移植地に移植する際には杭等で固定する。

### (3) 被圧対策

課題2に対し、他種の繁茂による被圧を防止するため、以下の手法を考案した。

- ・移植地は事前に除草する。その際、可能な範囲で根から除去する。
- ・発芽の際に用いる土嚢に充填する土壌は購入土とし、雑草の種子混入を防ぐ。
- ・地表を覆うことで雑草の侵入を遅らせる効果が期待できるため、土嚢ごと移設する。

上記を踏まえ、本検討では、購入土を充填した小型土嚢上に播種を行い芽生えさせた上で、土嚢ごと移植し土嚢を移植地の地盤に固定する方法を用いた(図-3)。

## 4. 発芽試験

### (1) 発芽試験の目的

効果的な播種を行うためのカワデシヤの発芽条件の把握を目的として、また、使用する種子の発芽能力確認のため、発芽試験を実施した。

### (2) 使用する種子

保全対策として播種を行うために、平成 22～24 年度の 3 回にわたって種子が採取されているが、平成 23・24 年度の採取種子のうちの一部の種子は、真空パックされて紀南河川国道事務所内の



図-2 種子の保管状態

冷蔵庫(家庭用小型冷蔵庫)に保管されていた。今回の播種には、これらの種子を使用することとした。

種子の採取は、改変区域内で確認した株を根ごと採取して持ち帰り、採取した蒴果を一つずつ手でつぶして中の種子を出し、0.5mm 程度のふるいにかけて、ごみを取り除いた上で重量を計測し、単位重量当たりの種子数を計数、種子採取量を推計している。なお、種子が未成熟の場合は、株を水につけて養生し、種子成熟後に採取が行われている。

### (3) 休眠解除条件の設定

長期保存使用する種子は真空パックの上冷蔵保存された休眠状態であるため、発芽させるためには休眠を解除する必要があった。一般に、植物の休眠解除に関与する外部からの刺激としては、光(明るさ)や温度(気温)の変化などが知られ、カワデシヤの休眠解除のための条件としては、以下のことがわかっている<sup>3)</sup>。

- ・ 明るい環境下であること(照度条件)
- ・ 一定温度(25℃前後以上)より高くなると発芽しないこと(温度条件)

光については、日光が当たる場所において発芽試験を行い、かつ、播種後に種子を土壌で覆わないこととした。

温度については、自然状態では11月頃に発芽すること、温度が高いと発芽しないことから、11月以降に屋外で発芽試験を行うこととした。

以上を踏まえ、発芽試験は、日常的に観察が可能な場所であることも考慮し、当社屋上(大阪市東淀川区)で平成 27 年 11 月から実施した。

### (4) 発芽試験の方法

先に検討した播種方法を踏まえ、麻布に土壌を充填した小型の土嚢を作成した。土嚢 1 つ当たりの大きさは、移植の際の容易さを考慮し、15cm×30cm(厚さ 3cm)程度とした。

土嚢 1 つ当たり 250 粒の種子の播種を行い、発芽率を算出するために、播種後 1 週間は毎日、その後は 3～5 日に 1 回、出芽数を計数した。

土嚢に充填する土壌は、栄養分を含まない川砂のみとする場合と、市販の園芸用の土(堆肥等を含む培養土)と川砂を半量ずつ混合した場合の 2 パターン設定した。

水分条件については、カワデシヤの生育地の状況から常時湿潤な状態が必要であると考えられたが、適切な水深が不明であったため、土嚢の高さとほぼ同程度の水深 3cm と、土嚢の高さの概ね半分までの水深 1.5cm の 2 パターン設定した。具体的には、土嚢をいれた容器に底から 3cm と 1.5cm の位置に穴をあけることで、一定の水深を保つようにした。(図-4)。

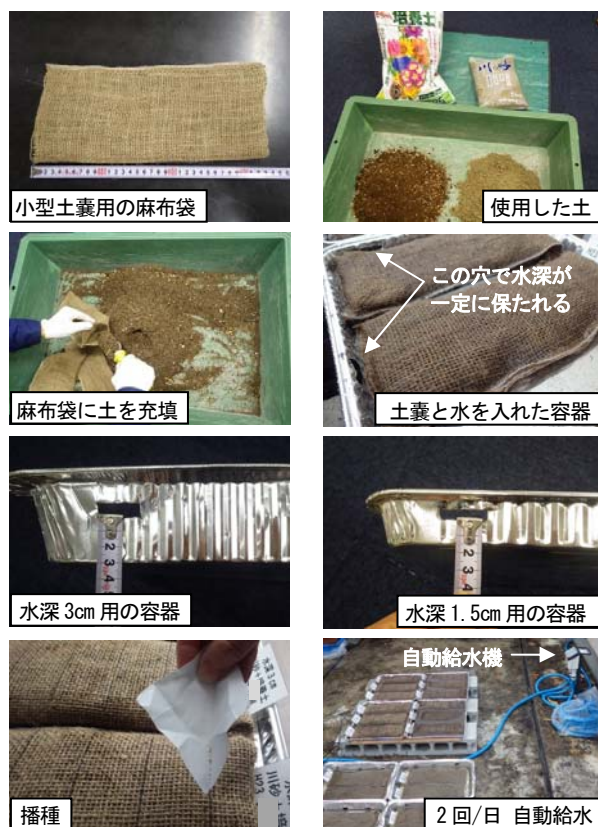
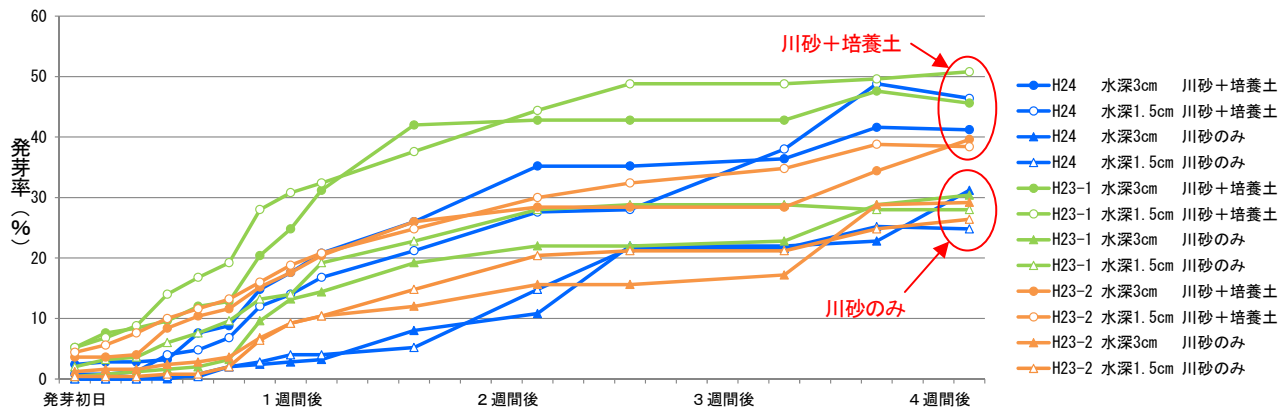


図-4 発芽試験の方法

### (5) 発芽試験の結果

発芽試験の結果、最初の発芽確認後 4 週間で平成 23 年度の種子は 26～51%、平成 24 年度の種子は 25～46%の発芽を確認した。水分条件については、水深 3cm の場合は 29～46%、水深 1.5cm の場合は 25～51%の発芽を確認した。





図－5 カワヂシャの発芽率

土壌については、川砂のみの場合は25～31%、培養土と川砂を混合した場合は38～51%の発芽を確認した(図－5)。

以上のとおり、種子の採取年度や水分条件による明確な違いは確認されなかったが、土壌については培養土と川砂を混合した場合の方が、発芽率が高くなる傾向を示した。

そのため、土壌によるカワヂシャの播種については、培養土と川砂を混合した土壌によって保管種子の発芽・育苗を行うこととした。

## 5. 移植の実施

### (1) 移植地の選定

土壌により発芽させたカワヂシャの移植地は、保管されていた種子が採取された地区への移植を基本とし、移植地の選定を行った。移植地の選定にあたっては、以下の①～④の4つの条件を設定した。

#### ① 生育に適した環境であること

本種は、水田や川岸、田の畔などの湿潤な場所に生育することから、常時水が枯れることなく、流況の緩やかな場所を選定する。

#### ② 富栄養化していないこと

富栄養化した場所では、他の植物の繁茂により生育を妨げられる可能性があり、草刈などの管理が必要となることから、選定しない。

#### ③ 種子採取地の近傍であること

遺伝子の攪乱を避けるため、極力種子採取株の自生地近くとする。

#### ④ 今後人的な改変が行われる可能性が低いこと

水路浚渫などにより堆積土壌が除去されない場所を基本とする。

現地踏査の結果、条件①～④に適合する場所として表－2に示す地点を選定した。現地は、草本が繁茂しやや富栄養化していたが、移植の際は除草を行うこととした。

表－2 選定した移植地

現況写真	移植地の概要
	水門の上流に位置し、滞水した池状の止水域。コンクリート護岸の水路だが、泥が溜まった寄り州があり、カワヂシャが生育可能と考えられる。農業用水路であるが、水路の規模が大きく、浚渫された場合にも生育環境は残ると考えられる。

### (2) 移植地への移植

平成27年11月より播種を行い、土壌によって発芽・育苗を行ったカワヂシャは、平成28年3月16日に、選定した移植地に移植した。移植時には草丈は3cm程度になり、土壌の裏面に多数の根を出していた(図－6)。



図－6 移植時のカワヂシャの生育状態

移植に当たっては、出水等により流されにくくなるよう、土壌が地表と同じ高さになるまで土壌を掘り下げて半分程度埋めるとともに、土壌の四隅に竹串を差し込み、固定した(図－7)。

### (3) 移植後の定着状況

平成28年6月24日、移植地におけるカワヂシャの定着状況の確認を行った。

土壌3個を移植した範囲で、40株のカワヂシャを確認した。土壌1個当たり250粒の種子を散布していることを考慮すると、定着率は約5%であったこととなる。

なお、土壌の袋は移植後3ヵ月で自然分解が進み、1年以内には土に還元されることが予見された(図－8)。

①掘る



②土嚢を置く



③平らに埋める



④竹串で固定する



図-7 移植の手順



図-8 確認されたカワヂシャと土嚢袋の分解状態

## 6. 考 察

発芽試験の結果から、カワヂシャの種子は真空パックで冷蔵保存していた場合、長期保存後でも一定の発芽能力が維持されることがわかった。これは、カワヂシャは永続的シードバンクを形成し、ギャップ形成などの攪乱により発芽すると考えられている既存研究<sup>4)</sup>と整合する。カワヂシャは他種との競合には強くない一方で、貧栄養な環境では発芽率が下がることがわかった。他種と競合する富栄養化した環境であっても、他種が芽生える前の冬季に発芽し、夏を迎える前に種子を散布し終える繁殖戦略は、この発芽条件と適合していると考えられる。

今回の播種・育苗による手法の目的は、①種子の流失防止、②他種による被圧の防止であった。①については、移植した場所で結実期に再確認された個体が多数あったことから、竹串程度の固定でも一定の効果があったと考えられる。②については、3月に移植を行った時点では他種は冬枯れ状態ではば生育していない裸地であったが、6月確認時には多くの種が繁茂しており、土嚢を配置した範囲が他の場所と比較して草本が少ないという状況は確認されなかった。しかし、確認個体は草丈が50cm近いものも多く、多数結実しており、良好に生育していたことから、②

についても一定の効果はあったものと考えられる。

以上のことから、この手法は、カワヂシャはもとより、種子が比較的小さく、水際などの攪乱が生じる環境に生育する草本類の播種方法として、有効であると考えられる。

## 7. 結 論

本稿において調査・検討した結果、得られた知見の概要は、以下に示すとおりである。

- ・カワヂシャの種子は採取後3~4年経過していても、保管状態が良ければ25~50%程度の発芽率が維持される。
- ・カワヂシャの発芽には、光や低温、水分に加え、土壌の養分も必要である。
- ・カワヂシャの播種を行う際には、直接播種を行うより、小型土嚢を作成して発芽させた上で、土嚢ごと移植する方法が有効である。

## あ と が き

今回得られた発芽率については、当年に採取した種子が用意できなかったこともあり、カワヂシャの発芽率として良好であるか判断できなかった。長期保管した種子と採取直後の種子での発芽率の比較を行うことで、長期保存による発芽率の変化について知見を集積することが望ましい。

また、本検討により土嚢ごとの移植は一定の効果が認められたものの、どの程度の流速の出水にまで耐えられるのかはわかっていない。移植時には土嚢を貫通して裏面に多くの根が出ているのを確認しており、根が本来持つ支持力を最大限活かす方法を検討することで、より定着率が上がる可能性も考えられる。

最後に、今回の検討にあたりご指導をいただいた和歌山県立自然博物館館長の高須英樹先生、並びに発注者である近畿地方整備局紀南河川国道事務所調査第二課の方々には、紙面を借りて御礼を申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 佐竹義輔・大井次三郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫：日本の野生植物 草本Ⅲ 合弁花類，平凡社，p.112
- 2) 伊藤浩二・加藤和弘・高橋俊守・石坂健彦・藤原宣夫：河川氾濫原における土壌シードバンクの分布特性と水流の影響，ランドスケープ研究 66(5)，2003 pp.591~594
- 3) 佐々木英代：カワヂシャ，オオカワヂシャの発芽特性について—家庭用電気冷蔵庫を利用した発芽実験—，水草研究会誌 No.80，2004 pp.6~10
- 4) 鷺谷いづみ：外来種対策および事前再生事業に資する植物の発芽特性の研究，河川整備基金事業実績報告書，2005

## 環境DNA多種同時検出法による淡水魚類相調査の試み

近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 河川環境課 後藤 彦幸  
パシフィックコンサルタンツ(株) ○ 渡部 健  
パシフィックコンサルタンツ(株) 上月 佐葉子  
パシフィックコンサルタンツ(株) 松田 尚郎  
パシフィックコンサルタンツ(株) 小菅 敏弘  
パシフィックコンサルタンツ(株) 桑井 孝一  
パシフィックコンサルタンツ(株) 岡田 泰明  
兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 土居 秀幸

### 論文要旨

自然再生事業の整備効果を確認するモニタリングが行われている野洲川河口ヨシ帯を調査地として、環境DNA多種同時検出法(メタバーコーディング)による淡水魚類相調査を試みた。従来の標準手法(河川水辺の国勢調査マニュアル)による採捕調査で確認される魚種と、環境DNA分析により検出される種数を比較した結果、総種数、希少種の種数、特定外来種の種数において、環境DNA分析による検出種数は採捕調査による確認種数を上回った。また、魚種を分類群(科)単位でみると、いずれの分類群でも環境DNA分析による検出種数は、採捕調査による確認種数と同程度以上であった。本研究で得られた結果は、環境DNA分析が、魚類相調査の優れたツールとなる可能性を示すものである。

**キーワード:** 自然再生事業, モニタリング, 環境DNA, メタバーコーディング, 魚類相, 河川水辺の国勢調査

### 1. 緒言

近年、水域に生息する動物の生息状況を把握する新たな技術である環境DNA分析の研究が、急速に進展している<sup>1),2)</sup>。現在では、次世代シーケンサーを用いた多種同時検出法(メタバーコーディング)により、水試料から魚類、その他の広範な分類群を網羅的に検出する技術も開発されている<sup>3),4)</sup>。

環境DNA分析による調査は、現地では数ミリリットルから数リットル程度を採水するだけであるため、従来の生物個体を採捕する調査手法と比較して野外調査コストを大幅に削減できる、調査による環境破壊がほとんど無い、夜行性や生息密度の低い種を比較的容易に検出できる等の利点が指摘されている<sup>5)</sup>。しかし、従来の調査の代替手法として注目される一方で、河川水辺の国勢調査等で実施されている標準的な採捕による調査結果と、環境DNA分析による検出を比較評価した事例は報告されていない。

そこで、滋賀県・野洲川河口部に再生されたヨシ帯を調査地として、環境DNA多種同時検出法(メタバーコーディング)による淡水魚類相調査を試み、検出される魚種を従来の標準手法である「河川水辺の国勢調査マニュアル」に準拠した採捕調査で確認される魚種と比較し、環境DNA分析の検出力を検証した。

### 2. 方法

#### (1) 環境DNA分析

##### a) 環境DNA試料の採水

環境DNA試料の採水は、2016年7月28日(夏季調査)

及び10月12日(秋季調査)に、琵琶湖に流入する一級河川である野洲川の河口の両岸(約360m区間)で実施した(図1)。

左岸の5箇所、右岸の10箇所で、それぞれ1Lの表層水をポリエチレン製容器に採水した。左岸の5箇所及び右岸の5箇所は、ヨシ帯の外側(植生外)で採水し、右岸ではさらにヨシ帯の内側(植生内)の5箇所で採水を行った。

##### b) DNA分析

採水した試料水は、採水から24時間以内に濾過・冷凍し、分析時まで-20℃以下で保存した。

試料に含まれる魚類のミトコンドリア12SrRNAの遺伝子を対象として、ユニバーサルプライマーMiFish<sup>1)</sup>により約172塩基対の領域を増幅後、次世代シーケンサーを用いて配列を決定し、データ・ベースと照合し97%以上の相同性を基準として同定し、魚種の検出を行った。

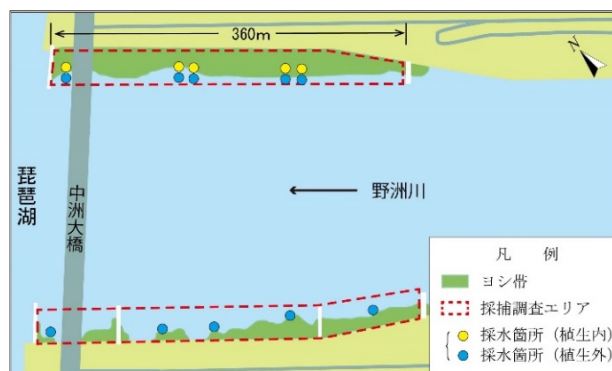


図1 採水箇所と採捕調査範囲の配置



## (2) 採捕調査

採捕調査は、2016年7月28日～29日(夏季調査)及び10月12日～13日(秋季調査)に、野洲川河口の両岸(約360m区間)で実施した(図ー1)。なお、環境DNA分析の試料に影響を与えないよう、採捕調査は採水作業が終了してから実施した。

調査範囲は、河川水辺の国勢調査の調査地点であり、「河川水辺の国勢調査マニュアル」(以下、水国マニュアル)に準拠した採捕調査が経年的に実施されている。本調査でも、同様にタモ網、投網、定置網、刺網、はえなわ、どう、地曳き網、カゴ網、セルびんを使用した捕獲調査を、マニュアルに準拠した努力量で行った(表ー1)。

表ー1 採捕調査における使用漁具と努力量

漁具・漁法	努力量
タモ網	1人×60分(／岸)
投網	12mm:10投(／岸), 18mm: 10投(／岸)
定置網(大)	1張り×一晩設置(／岸)
刺網(一枚網)	1張り×一晩設置(／岸)
刺網(三枚網)	1張り×一晩設置(／岸)
はえなわ	1張り×一晩設置(／岸)
どう	2統×一晩設置(／岸)
地曳き網	1回×5m程度(／岸)
カゴ網	3個×120分設置(／岸)
セルびん	3個×120分設置(／岸)

## 3. 結果

### (1) 確認状況

#### a) 環境DNA分析

次世代シーケンサーを用いた環境DNA分析では、春季に24種、秋季に30種、合計4目10科32種の魚種が検出された(表ー2)。

琵琶湖に流入する河川の中流域から下流域、及び琵琶湖沿岸に生息している種が網羅的に検出された。

#### b) 採捕調査

採捕調査の結果、右岸では4目6科15種、左岸では3目5科16種、両岸を併せた、野洲川河口全体では、4目6科18種の魚類が確認された(表ー2)。

主に、琵琶湖に流入する河川の中流域から下流域、及び琵琶湖沿岸に見られる種が確認された。

#### c) 手法別の確認状況

採捕調査の確認種は、概ね環境DNA分析で検出されていた。採捕調査のみで確認されている種はヤリタナゴ1種で、秋季に右岸で1個体が確認された。一方、環境DNA分析では、ビワヒガイ、タモロコ、ドジョウなど採捕調査で確認されていない種が多く確認された(表ー3)。

#### d) 分類群別の確認状況

分類群(科)単位でみると、いずれの分類群(科)でも環境DNA分析によって、採捕調査による確認種数と同程度か、より多くの種数が検出された(表ー4)。

特にコイ科では、採捕調査と比較して5～6種、多く検出された。採捕調査では魚類を外部形態で分類するため、主要な分類形質が発達していな仔稚魚についてはコイ科

やフナ属と記録することが多いが、環境DNA分析の場合には、基本的に種まで同定が可能である。

表ー2 採捕調査及び環境DNA分析による確認状況

No.	種名	夏季		秋季		2季	
		環境DNA	採捕	環境DNA	採捕	環境DNA	採捕
1	コイ	○	●	○	●	○	●
2	ゲンゴロウブナ	○	○	○	○	○	○
3	ニゴロブナ	○	○	○	○	○	○
4	キンギョ	○	○	○	○	○	○
ー	フナ属		●		●		●
5	ヤリタナゴ				●		●
6	カネヒラ	○	●	○	●	○	●
7	ハス	○		○	●	○	●
8	オイカワ	○	●	○	●	○	●
9	カワムツ			○		○	
10	モツゴ	○	●	○	●	○	●
11	ビワヒガイ			○		○	
12	タモロコ			○		○	
13	ゼゼラ	○				○	
14	カマツカ	○		○	●	○	●
ー	カマツカ属			○		○	
15	ズナガニゴイ			○		○	
16	コウライニゴイ	○	●	○	●	○	●
ー	ニゴイ属		●		●		●
17	コウライモロコ	○		○		○	
ー	スゴモロコ類	○	●	○	●	○	●
18	ドジョウ	○				○	
ー	ドジョウ属	○		○		○	
19	アジメドジョウ			○		○	
20	シマドジョウ属			○		○	
21	ナマズ	○		○	●	○	●
22	アユ		●	○	●	○	●
23	ビワマス			○		○	
24	オヤニラミ	○		○		○	
25	ブルーギル		●	○	●	○	●
26	オオクチバス		●	○	●	○	●
27	コクチバス	○		○		○	
28	ウキゴリ			○		○	
29	イサザ	○				○	
ー	ウキゴリ属		●				●
30	ヨシノボリ属	○	●	○	●	○	●
31	ヌマチチブ	○	●	○	●	○	●
ー	ハゼ科		●				●
32	ドンコ			○		○	
33	カムルチー	○	●	○	●	○	●
計	33種	24種	14種	30種	17種	32種	18種

表ー3 手法別確認状況

共通に確認された種	コイ、フナ属、カネヒラ、ハス、オイカワ、モツゴ、カマツカ、ニゴイ属、スゴモロコ類、ナマズ、アユ、ブルーギル、オオクチバス、ウキゴリ属、ヨシノボリ属、ヌマチチブ、カムルチー
環境DNA分析のみで検出された種	カワムツ、ビワヒガイ、タモロコ、ゼゼラ、ズナガニゴイ、ドジョウ、アジメドジョウ、シマドジョウ属、ビワマス、オヤニラミ、コクチバス、ウキゴリ、ドンコ
採捕調査のみで確認された種	ヤリタナゴ

※一方の手法で種として確認されており、他方では属レベルで確認されている場合、属レベルで共通に確認しているものとした。

表ー4 採捕調査及び環境DNA分析による確認状況

分類群(科)	夏季		秋季		合計	
	環境DNA	採捕	環境DNA	採捕	環境DNA	採捕
コイ科	12	7	15	10	16	10
ドジョウ科	1	0	3	0	3	0
ナマズ科	1	0	1	1	1	1
アユ科	1	1	1	1	1	1
サケ科	0	0	1	0	1	0
ケツギョ科	1	0	1	0	1	0
サンフィッシュ科	3	2	3	2	3	2
ハゼ科	4	3	3	2	4	3
ドンコ科	0	0	1	0	1	0
タイワンドジョウ科	1	1	1	1	1	1
合計	24種	14種	30種	17種	32種	18種

表一 5 希少種の確認状況

No.	種名	環境DNA		採捕調査		選定基準		
		夏季	秋季	夏季	秋季	環境省 RL	滋賀県 RDB	外来生物 法
1	コイ	○	○	○	○	LP	希少	
2	ゲンゴロウブナ	○	○			EN	希少	
3	ニゴロブナ	○	○			EN	希少	
4	ヤリタナゴ				○	NT	危増	
5	カネヒラ	○	○	○	○		危増	
6	ハス	○	○		○	VU	希少	
7	モツゴ	○	○	○	○		希少	
8	ビワヒガイ		○				希少	
9	ゼゼラ	○				VU	希少	
10	ズナガニゴイ		○				危増	
11	コウライニゴイ	○	○	○	○		要注	
12	ドジョウ	○				DD	要注	
13	アジメドジョウ		○			VU	希少	
14	ナマズ	○	○		○		要注	
15	アユ	○	○	○	○		分布	
16	ビワマス		○			NT	要注	
17	ブルーギル	●	●	●	●			特定
18	オオクチバス	●	●	●	●			特定
19	コクチバス	●	●					特定
20	イサザ	○				CR	危惧	
21	ドンコ		○				その他	
計	重要種	17種		8種		10種	18種	3種
	特定外来生物	3種		2種				
<p>&lt;重要種・外来種の指定状況&gt;</p> <p>◇環境省RL:環境省レッドリスト汽水・淡水魚類（平成27年9月） EX：絶滅 EW：野生絶滅 CR+EN：絶滅危惧I類 CR：絶滅危惧IA類 EN：絶滅危惧IB類 VU：絶滅危惧II類 NT：準絶滅危惧 DD：情報不足 LP：絶滅のおそれのある地域個体群</p> <p>◇滋賀県RDB:滋賀県で大切にすべき野生生物) -滋賀県レッドデータブック2015年版-（平成28年3月） 危惧：絶滅危惧種 危増：絶滅危機増大種 希少：希少種 要注：要注目種 分布：分布上重要種 他重：その他重要種 絶滅：絶滅種</p> <p>◇外来生物法：特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に 関する法律 平成16年6月公布・平成26年6月改正 特定：特定外来生物</p>								

表一 6 確認種数の比較

項目	採捕調査	環境DNA分析
確認種数	18種	32種
希少種	8種	17種
特定外来生物	2種	3種

表一 7 季節別の環境DNA分析による捕獲種適合率<sup>1)</sup>

項目	夏		秋		平均
	右岸	左岸	右岸	左岸	
捕獲確認種数	10種	13種	11種	13種	11.8種
環境DNA分析による1検体あたりの平均検出種数(ヨシ帯外側の検体)	15.2種	10.2種	13.2種	13.6種	13.1種
1検体平均・捕獲種適合率	82.0%	58.5%	63.6%	69.2%	68.3%
5検体に含まれる捕獲確認種数	9種	10種	9種	13種	10.3種
5検体合計・捕獲種適合率	90.0%	76.9%	81.8%	100%	87.2%
ヨシ帯内側を含めた10検体に含まれる捕獲確認種数 <sup>1)</sup>	9種	-	10種	-	9.5種
ヨシ帯内側を含めた10検体合計・捕獲種適合率 <sup>1)</sup>	90.0%	-	90.9%	-	90.5%

注1) 捕獲種適合率(%)=(環境DNA分析で確認された種/採捕調査の確認種数)×100

## e) 希少種の確認状況

環境DNA分析により検出された重要種は、ゲンゴロウブナ、カネヒラ、ハス、ナマズなど夏季・秋季を通じて合計17種であった(表一5)。

一方、採捕調査ではヤリタナゴ、ナマズ、アユなど8種が確認された。確認された8種のうち、ヤリタナゴを除く7種は、環境DNA分析でも検出された。

環境DNA分析では、採捕調査で確認されていない重要種として、ビワヒガイ、ゼゼラ、ズナガニゴイ、ドジョウ、アジメドジョウ、ビワマス、イサザ、ドンコを検出した。

特定外来生物の確認状況

採捕調査ではブルーギル及びオオクチバスの2種が確認された(表一5)。

一方、環境DNA分析では、採捕調査で確認されたブルーギル、オオクチバスに加えて、コクチバスが検出された。

以上、採捕調査及び環境DNA分析で確認された総種数、希少種の種数、特定外来生物の種数は

表一6のとおりである。総種数、重要な種数、特定外来種の種数のいずれでも、環境DNA分析による検出種数は、採捕調査による確認種数を上回った。

## (2) 魚類相調査における採水地点数の検討

季節別・左右岸別の採捕調査による確認種数は平均11.3種であった(表一7)。

一方、季節別・左右岸別に集計した、環境DNA分析による1検体(ヨシ帯外側の検体)あたりの平均検出種数は13.1種であり、捕獲確認種数(全ての漁法による確認種数:平均11.8種)より多い値となった。

従来の漁獲手法に代替可能な手法としての環境DNA分析による検出効果を評価するために、環境DNA分析による確認種が、捕獲確認された魚種のどれくらいの割合を検出しているか(捕獲種適合率)をみると、1検体あたりで平均68.3%(最大82.0%、最小58.5%)であった。

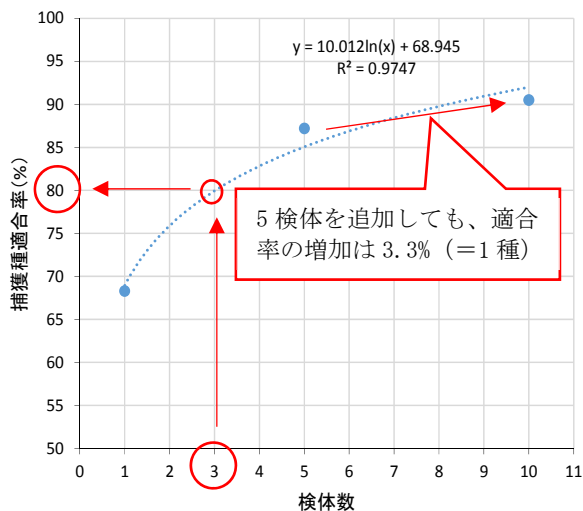
本業務では、右岸・左岸のヨシ帯の外側で各5検体を採水しており、5検体に含まれる種を合わせた捕獲種適合率は、平均87.2%(最大100%、最小76.9%)であった。さらに、右岸では補足的にヨシ帯の内側でも採水していたこと

から、ヨシ帯の内側の検体を加えた合計 10 検体に含まれる捕獲種適合率をみると、平均 90.5% (夏季 90.0%、秋季: 90.9%) を検出していた。

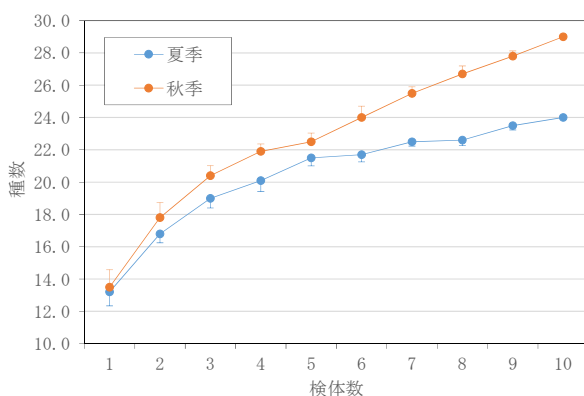
1 検体平均の捕獲種適合率が 68.3%であり、5 検体で 87.2%、10 検体で 90.5%に達することから、この間の増加を対数モデルで近似すると図一 2 のようになる。この推定に基づけば、野洲川河口ヨシ帯の左右岸スケールの魚類相については、1Lの採水容器 3 検体程度の環境 DNA を分析することにより、従来の漁獲調査で確認できる魚種の 80%を網羅する種を検出することが期待できる。

また、5 検体から 10 検体に増加することで、捕獲種適合率について 3.3%の上昇が期待されるが、これは実質的に 1 種数の増加にとどまっており、5 検体より多い検体数による適合率向上の効果は限定的であると考えられる。

一方、環境DNA分析のみで、検体数と検出種数の関係をみると、4 検体までは検体数の増加に伴う検出種数の増加も大きいいが、4 検体以降は、1 検体増やしても、検出種数の増加は 2 種未満であった。



図一 2 検体数の増加の効果に関する対数モデル



図一 3 検体数と検出種数\*の関係 (右岸)

※右岸の 10 検体から、各検体数に応じてランダムに 10 組を抽出し、得られた種数の平均値を示した。エラーバーは標準誤差を示す。

### (3) ヨシ帯の内側と外側で検出される種の比較

多くの種で、夏季・秋季のいずれかの季節ではヨシ帯の内外いずれでも確認されていたが、ビワヒガイ、タモロコなど 9 種は、両季を通じて、ヨシ帯の内外いずれかのみで検出された (表一 8)。

このうち、ヨシ帯の外側でのみ検出されたのは、ビワヒガイ、タモロコ、ズナガニゴイ、スゴモロコ類、アジメドジョウ、シマドジョウ属、コクチバスであった。一方、ドジョウおよびイサザは、ヨシ帯の内側でのみ検出された。

外側でのみ検出された種には、ビワヒガイ、ズナガニゴイ、シマドジョウ属、コクチバスなど、主に砂～砂礫底で、比較的、流れのある開放水面側の環境を好む種が多く含まれている。また、採水箇所はヨシ帯の外側ではあるが、抽水植物の近傍であったことから、タモロコやスゴモロコ類等の生息環境の付近であり、採水環境と検出された種は概ね整合的であるといえる。また、止水の泥底環境を好む種であるドジョウはヨシ帯の内側でのみ確認されており、ドジョウについても、生息環境と採水箇所の環境は整合的であるといえる。

表一 8 ヨシ帯の外側または内側のみで検出された種

種名	夏季		秋季	
	外側	内側	外側	内側
ビワヒガイ			1	
タモロコ			2	
ズナガニゴイ			2	
スゴモロコ類	2		1	
ドジョウ		1		
アジメドジョウ			1	
シマドジョウ属			1	
コクチバス	1		1	
イサザ		1		

### (4) 種別の検出箇所数の季節変化

環境 DNA で検出された種が、各調査時期にどれくらいの箇所検出されたかを、表一 9 に示した。

表では、右岸のヨシ帯外側 5 箇所、ヨシ帯内側の 5 箇所、左岸のヨシ帯外側 5 箇所を単位として、それぞれの種が、5 箇所中の何箇所検出されたかを検出箇所の割合として整理し、以下の 3 階級で整理した。

- ・青色：5 箇所中 4～5 箇所検出
- ・黄色：5 箇所中 2～3 箇所検出
- ・薄赤色：5 箇所中の 0～1 箇所検出

秋季は確認種数が多いが、秋のみに確認された種であるビワヒガイ、タモロコ、ズナガニゴイ、アジメドジョウ等は 1 箇所での検出、カワムツは 3 箇所での検出と、検出箇所数が少なかった。

一方、ビワマスについては、秋季に全ての検体で検出されたが、秋季はビワマスの遡上期に当たり、河川内に多く分布していたと考えられる。

コイ・フナ類をみると、コイは、夏・秋季いずれも多く箇所検出されたが、ゲンゴロウブナとニゴロブナは、夏季には多くの箇所確認されたが、秋季は確認箇所数が少なかった。



表ー 9 ヨシ帯種別の検出箇所数の季節変化

確認種	検出箇所数						検出箇所の割合 (%)								ヨシ帯外側 検出箇所数	
	右岸				左岸		右岸				左岸					
	ヨシ帯外側		ヨシ帯内側		ヨシ帯外側		ヨシ帯外側		ヨシ帯内側		ヨシ帯外側					
	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季		
コイ	5	4	4	3	3	3	100	80	80	60	60	60	5	4		
ゲンゴロウブナ	4	0	3	1	3	0	80	0	60	20	60	0	4	1		
ニゴロブナ	5	0	5	1	3	0	100	0	100	20	60	0	5	1		
キンギョ	5	1	5	0	3	2	100	20	100	0	60	40	5	2		
カネヒラ	5	5	4	5	5	5	100	100	80	100	100	100	5	5		
ハス	5	1	1	0	5	4	100	20	20	0	100	80	5	4		
オイカワ	4	5	0	5	4	5	80	100	0	100	80	100	4	5		
カワムツ	0	2	0	3	0	1	0	40	0	60	0	20	0	3		
モツゴ	0	0	1	1	1	0	0	0	20	20	20	0	1	1		
ビワヒガイ	0	1	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	1		
タモロコ	0	1	0	0	0	1	0	20	0	0	0	20	0	1		
ゼゼラ	3	0	1	0	0	0	60	0	20	0	0	0	3	0		
カマツカ	2	3	1	2	0	5	40	60	20	40	0	100	2	5		
カマツカ属	0	2	0	1	0	0	0	40	0	20	0	0	0	2		
ズナガニゴイ	0	1	0	0	0	1	0	20	0	0	0	20	0	1		
コウライニゴイ	5	5	4	5	5	5	100	100	80	100	100	100	5	5		
コウライモロコ	5	2	0	2	1	2	100	40	0	40	20	40	5	2		
スゴモロコ類	2	0	0	0	0	1	40	0	0	0	0	20	2	1		
ドジョウ	0	0	1	0	0	0	0	0	20	0	0	0	1	0		
ドジョウ属	0	0	3	1	0	1	0	0	60	20	0	20	3	1		
アジメドジョウ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	20	0	1		
シマドジョウ属	0	1	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	1		
ナマズ	1	0	0	1	0	1	20	0	0	20	0	20	1	1		
アユ	0	5	1	5	0	5	0	100	20	100	0	100	1	5		
ビワマス	0	5	0	5	0	5	0	100	0	100	0	100	0	5		
オヤニラミ	1	2	1	1	0	0	20	40	20	20	0	0	1	2		
ブルーギル	5	3	5	3	2	3	100	60	100	60	40	60	5	3		
オオクチバス	5	4	3	5	5	3	100	80	60	100	100	60	5	5		
コクチバス	1	1	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	1	1		
ヨシノボリ属	5	5	5	5	5	5	100	100	100	100	100	100	5	5		
ヌマチチブ	5	5	5	5	5	5	100	100	100	100	100	100	5	5		
ウキゴリ	3	4	1	3	0	3	60	80	20	60	0	60	3	4		
イサザ	0	0	1	0	0	0	0	0	20	0	0	0	1	0		
ドンコ	0	1	0	1	0	0	0	20	0	20	0	0	0	1		
カムルチー	2	1	2	3	1	0	40	20	40	60	20	0	2	3		

以上の結果から、注目種であるコイ・フナ類や、秋季のみに検出された種について、秋季の検出箇所数は少なく、安定して検出されるかどうかには不確実性が残る。調査結果の安定性の観点からは、夏季調査と秋季調査の両季で調査を実施することが望ましいと考えられる。

#### 4. 考察

夏季調査では、環境 DNA 分析で検出された 24 種に、採捕調査で確認された 14 種全てが含まれていた。秋季調査では、環境 DNA 分析で検出された 30 種に、採捕調査で確認された 17 種のうち、ヤリタナを除く 16 種が含まれていた。以上の結果から、野洲川河口で捕獲確認された魚種は、概ね環境 DNA 分析で網羅的に検出されていたといえる。

また、環境 DNA 分析は、希少種の検出及び特定外来種においても、従来の採捕調査を上回る種数を検出しており、MiFish を用いたメタバーコーディングによる手法が、淡水魚類について高い検出力を持つことが示された。

以上の結果は、環境 DNA 分析の手法が、調査対象とした

野洲川河口ヨシ帯を利用している魚類相を把握する手法として優れたツールとなりうる可能性を示すものであるが、検出された魚種は、近畿圏では一般的な種が多く含まれていることから、同様な調査手法が他の水域にも応用可能であると考えられる。

魚類相把握を目的として環境 DNA 分析を実施する場合、検体数を増やすことで検出種の増加が期待されるが、概ね 4 から 5 検体以上は、検体数を増やしても、検出種数の増加は少なくなるため、今回の調査範囲程度(両岸約 360m)の場合では、片岸あたり 5 検体程度の試料数が目安になると考えられる。

季節別での確認状況をみると、捕獲調査と環境 DNA 分析のいずれでも、秋季の確認種数が多い傾向がみられ、特に、環境 DNA 分析では、秋季調査のみで、夏・秋季の合計の検出種(32 種)のうち 30 種(約 94%)の種が確認できている。ただし、秋季のみに確認された種であるビワヒガイ、タモロコ、アジメドジョウ等は 15 箇所での採水地点の中の 1 箇所での検出、カワムツは 3 箇所での検出と、検出箇所数が少なかった。コイ・フナ類をみると、コイは、夏・

秋季いずれも多く箇で検出された。ゲンゴロウブナとニゴロブナは、夏季には多くの箇所で確認されたが、秋季は確認箇所数が少なかった。

一方、ビワマスについては、湖の深層に生息する夏季には確認されなかったが、遡上・産卵期の秋季には全ての検体で検出された。

コイ・フナ類や秋季のみに検出された種について、秋季の検出箇所数は少なく、安定して検出されるかどうかには不確実性が残ることや、生活史の一時期を河川で過ごす種がいることから、野洲川河口域の魚類相を環境DNA分析により網羅的に検出するためには、複数の季節で調査を実施することが望ましいと考えられる。

本研究の結果は、従来の採捕を主体とした調査手法に比べて環境DNA分析手法のほうが、魚類相の検出力が高いことを強く示すものであるが、一方で、河川のような開放水域では、調査地点で捕捉された環境DNAが、上流から流入してきた分子である可能性があり、検出されても、必ずしも採水箇所に検出された魚種が生息していることを示すものではない。今後の課題としては、環境DNAの流下過程における分散や河床への捕捉に伴う環境DNA濃度の減衰速度と、低濃度時の検出限界の関係を明らかにすることで、環境DNA分析により、流況条件に応じて、どの程度の空間スケール(距離範囲)の情報が得られているのかを明らかにしていくことが必要である。

環境DNA分析技術は、採水するだけで生物の生息状況を調査することが可能となる非侵襲的な手法であるという特徴から、調査による生息場のかく乱が懸念されている希少種のモニタリング等への応用が期待される。また、環境DNAの高い検出力は、外来種の侵入の初期で、人目につかないような低密度の段階でもいち早く侵入を把握できると考えられることから、有効な防除を行うための調査ツールとしての活用も期待される。特に、本研究であつかったメタバーコーディングによる魚類相調査の技術は、今後、従来の採捕を主体とした調査手法に代替しうる手法として生態系モニタリングや環境アセスメントなどの現場で広く応用されていくことが期待される。

## 参考文献

- 1) Bohmann K, Evans A, Thomas M. Gilbert P, Carvalho GR, Creer S, Knapp M, Yu DW, Bruyn M. (2014) Environmental DNA for wildlife biology and biodiversity monitoring. *Trends in Ecology & Evolution*. DOI: 10.1016/j.tree.2014.04.003
- 2) Thomsen PF, Willerslev E. (2015) Environmental DNA - An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation* 138: 4-18.
- 3) Miya M, Sato Y, Fukunaga T, Sado T, J. Poulsen JY, Sato K, Minamoto T, Yamamoto S, Yamanaka H, Araki H, Kondoh M, Iwasaki W. (2015) MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. *Royal Society open science*. DOI: 10.1098/rsos.150088.
- 4) Deiner K, Fronhofer EA, Mächler E, Walser JC, Altermatt F. (2016) Environmental DNA reveals that rivers are conveyor belts of biodiversity information. *Nature Communications*. DOI: 10.1038/ncomms12544.
- 5) 高原, 山中, 源, 土居, 内井 (2016) 環境DNA分析の手法開発の現状～淡水域の研究事例を中心に～. *日本生態学会誌* 66:583-599.

## 住宅地における細街路の拡幅設計

協和設計(株) 新川 桃香

### 1. 計画概要

本件は、住宅開発に伴い生じた細街路の道路拡幅詳細設計である。

当該道路は住宅地内の狭隘な行き止まり道路であったが、開発区域への接続道路となるため、拡幅を行う必要があった。

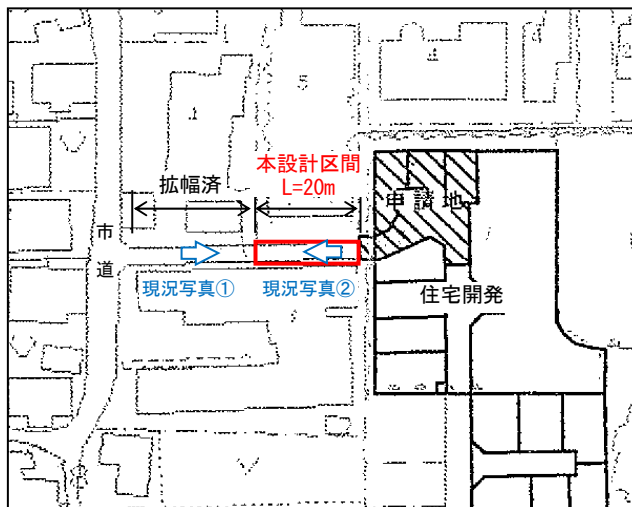


図-1 位置図



図-2 現況写真①



図-3 現況写真②

### 2. 現況把握・地形図の作成

既設構造物の竣工図がなく、業務内での測量実施予定もなかったため、設計に大きく影響を与えない全体地形図は、紙媒体で保存されていたマンション開発計画図等をトレースして作成した。これを基に、拡幅設計において支障となる構造物等(側溝、植樹ブロック、フェンス、樹木)は自ら詳細な位置・形状・寸法を計測し、全体地形図に反映させた。

### 3. 設計計画

#### 3.1 道路拡幅計画

##### 1) 平面計画

細街路の現況幅員は 4.8m である。市の開発指導要綱に規定される道路幅員は 6.3m であるため、1.5m 拡幅する計画とした。

用地は取得済みであったため、用地境界をコントロール条件として計画した(図-4 参照)。

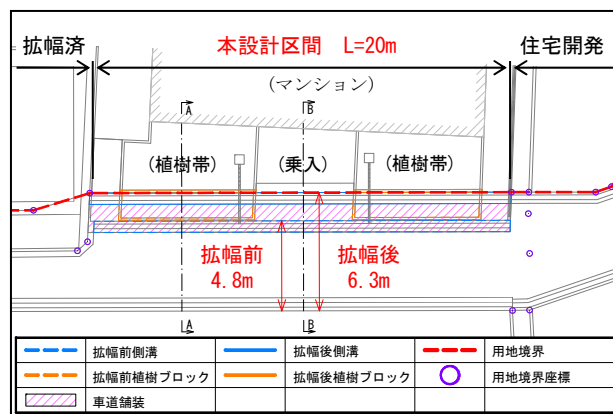


図-4 拡幅計画位置図

##### 2) 縦横断面計画

現道は改修せず拡幅部のみ施工する計画であったため、縦断面計画は現況路面に合わせるものとした。

横断面計画は植樹帯の有無による 2 断面を標準断面として計画した(図-5 参照)。

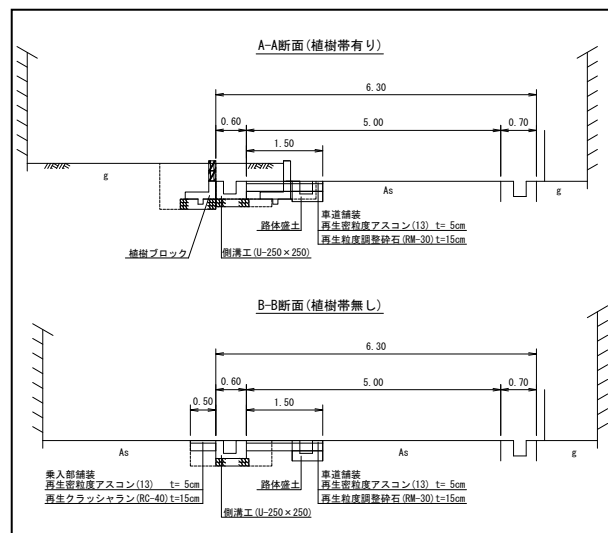


図-5 横断面図



### 3) 舗装計画

市の規定する舗装構成に基づき、アスファルトコンクリート舗装を採用した。使用する材料は再生材を用いるものとした(図-6 参照)。

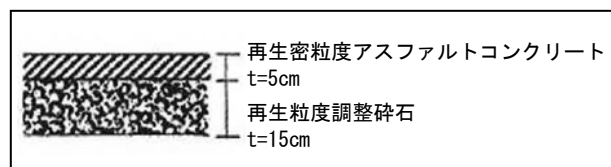


図-6 舗装構成図

## 3.2 現況施設の機能復旧計画

### 1) 排水計画

道路端に存する既設側溝の流末は、既設管渠(φ80)で接続されている民地内の集水桝であった。

現況機能を復旧するため、拡幅側の道路端に側溝を設置し、開発指導要綱に規定される断面で復旧する計画とした(図-7 参照)。

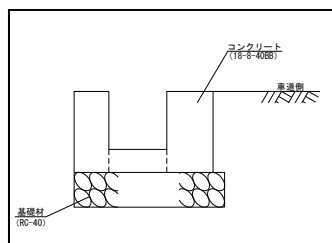


図-7 側溝構造図

また、開発地内の側溝等施設が施工済みであったため、排水流末を民地内の集水桝から開発地内の排水施設に変更した(図-8 参照)。なお、現況の流末管渠(φ80)についてはモルタル充填によって閉塞した。

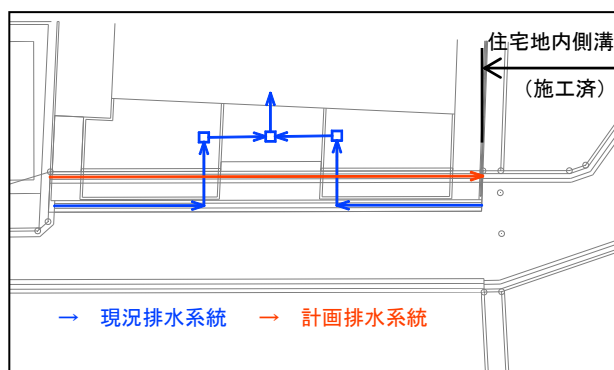


図-8 排水系統図

### 2) 植樹ブロック

現況植樹ブロックは路面からの高さ約40cmの間地ブロック(2段積み)であった(図-9 参照)。



図-9 現況植樹ブロック

現況機能を復旧するため、地上部は既設と類似の製品を用いるものとしたが、基礎形状が不明であったため、宅地造成指針に基づいた擁壁構造として設計を行った。

形状はL型擁壁としたが、底版幅が大きくなり、床掘の影響により植樹の伐採が必要となったため、突起を設けて底版幅を抑える設計とした(図-10 参照)。

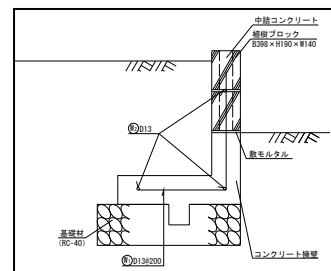


図-10 植樹ブロック構造図

## 4. あとがき

本件は予算や工期の都合上測量を実施することができなかったため、自らの計測と現況把握が重要なものとなった。そのため、度々現地に赴き詳細な位置・形状・寸法を計測することにより、道路の拡幅設計、現況施設の機能復旧とともに現地に合った設計ができた。



図-11 施工後写真①



図-12 施工後写真②

# 車いす勾配降坂時の速度抑制にかかるブレーキ力に関する考察

東洋技研コンサルタント(株) 白 田 尚 暉

## 1. はじめに

我が国では、急速な高齢化により、総人口における 65 歳以上の高齢者の割合(高齢化率)が平成 26 年度に 26.0%と過去最高<sup>1)</sup>となった。それに伴い、身体障害者も年々増加傾向にあり、平成 25 年版障害者白書によると、65 歳位以上の在宅の身体障害者人口は 221.1 万人<sup>2)</sup>である。また、厚生労働省の調査によると平成 25 年時点では肢体不自由は、身体障害者の約半数を占めている。肢体不自由のうち、下肢に障害のある人々には、車いすは欠かせないものである。

このような社会背景から、バリアフリーのための都市整備が求められている。各地方自治体は『福祉のまちづくり条例』を制定し、駅、公園、建物の出入り口、歩道などにエレベーター、エスカレーター、スロープなどの設置を増加している。その中の一つである、段差解消において、一つの手段がスロープである。手動車いすでのスロープ走行による身体負担や速度の評価に関する研究はされている。また、筋電図による身体負担<sup>3)</sup>やトルクを用いた身体負担<sup>4)</sup>など、搭乗者の身体負担の面についての既存研究も存在している。しかし、スロープや勾配の移動方法に関しての研究は、介助者を対象としたもの<sup>5)</sup>が多く、自走時の研究はあまりない。

本研究では、勾配降坂時の後輪にかかるブレーキ力を計測することにより、今後の手動車いすの自動ブレーキの開発やスロープ勾配のあり方について検討するための基礎研究と位置づけられる。

なお、ブレーキをかけるということは、初速度から速度がずっと一定の状態、つまり、加速度と  $\alpha=0$  となる状態である。本研究におけるブレーキ力とは、加速度  $\alpha=0$  となる時に加わる力のことである。

## 2. 実験方法

### 2-1. ブレーキ力について

ある速度で走っている物体は速度  $V$  の二乗×質量  $m$  に比例した運動エネルギーを持っている。この運動エネルギーを減らして速度を落としていくことを減速という。ブレーキをかけると接地面の中に物体を後ろ向きに引っ張る力が発生する。この力をブレーキ力と言い、ブレーキ力が慣性力を上回ると、減速が起きる。

ブレーキ力の算出には、勾配を降ろうとする力、垂直反力、転がり抵抗の 3 つの値が必要となる。また、前述の通り、車いすにおけるブレーキとは、後輪を用いて減速をする。よって、荷重の前後比も必要となる。これらの値を求めるための実験の概要を次の表-1 に示す。

表-1 実験概要

実験内容	試験体
荷重測定	車いす 2 種類
速度計測	車いす 2 種類

### 2-2. 荷重測定

2 種類の車いす(図-1)を平路面、5%、8%の勾配で各車輪にかかる荷重を計測する。

実験コースの一部をくり貫き、コースと平坦な面になるようにはかりを設置(図-2)し、何も乗せていない時、38.20kg のおもりを 2 つ載せた時、人(被験者 2 人)が乗った時、それぞれすべての車輪にかかる荷重を測定し、荷重の前後比を求めた。実験に用いた重りの総重量は 76.40kg であり、この値は、被験者 2 人の体重の平均値をもとに設定した。



図-1 実験に使用する車いす(左から、後輪前より座席位置低(以下、車いす A)、一般的な車いす(以下、車いす B))



図-2 荷重測定実験コース

## 2-3. 速度計測

車いす 2 台 (車いす A, 車いす B) を 7.8%, 13.6%2 つの勾配で走らせた時の速度を計測する。車いすに 38.20 kg の重りを 2 つ載せ、勾配上方 10m にて風速 1m/s 以下になるまで待機し、車いすを支えている手を車いすに力が加わらないように静かに手を離し自走させることを 5 回繰り返す。ゴール地点には 20 cm 間隔で目盛りを作り、横方向へのズレを確認する。実験の様子はビデオで撮影し、動画から速度を算出した。

なお、実験コースの一つである勾配 13.6%だが、荷重測定の際の実験コースでは測定不可能であったため、勾配 0%, 5%, 8%の結果より、近似曲線を用いて線形予測をし、荷重の前後比を求めた。計算方法は以下のとおりである。

実験で求めた速度から車いすの加速度  $\alpha$  を求める。完全に停止した状態から、手を離し走らせたので、初速度  $V_0=0$  となるので、 $\alpha=\frac{v_0}{t}$  となる。

算出した加速度から転がり抵抗係数  $C_{rr}$  を求める。転がり抵抗とは、球や円盤、円筒状のものが転がるときに生じる進行方向と逆向きの抵抗力のことであり、この時の比例定数を転がり抵抗係数  $C_{rr}$  とする。

$$\begin{aligned} F &= m\alpha = \text{坂を降ろうとする力} - \text{垂直反力} \times C_{rr} \\ m\alpha &= mg\sin\theta - mg\cos\theta \times C_{rr} \\ \alpha &= g\sin\theta - g\cos\theta \times C_{rr} \\ C_{rr} &= \frac{g\sin\theta - \alpha}{g\cos\theta} \dots (1) \end{aligned}$$

荷重測定と速度計測の結果から、後輪にかかるブレーキ力を算出する。計算方法は以下のとおりである。(F: 力, m: 質量, g: 重力加速度,  $C_{rr}$ : 転がり抵抗係数,  $\theta$ : 勾配,  $\alpha$ : 加速度)

$$\begin{aligned} F &= m\alpha = \text{坂を降ろうとする力} - \text{垂直反力} \times C_{rr} - \text{ブレーキ力} \\ m\alpha &= mg\sin\theta - mg\cos\theta \times C_{rr} - \text{ブレーキ力} \\ \text{ここで, } \alpha &= 0 \text{ より} \\ 0 &= mg\sin\theta - mg\cos\theta \times C_{rr} - \text{ブレーキ力} \\ \text{ブレーキ力} &= mg\sin\theta - mg\cos\theta \times C_{rr} \dots (2) \end{aligned}$$

## 3. 実験結果

荷重計測の結果を表-2 に示す。

表-2 荷重計測の結果

試験体	荷重の前後比		
	0%	5%	8%
車いす A	2.2:7.8	3.4:6.6	3.3:6.7
車いす B	3.1:6.9	5.1:4.9	4.3:5.7

実験より算出したブレーキ力を表-3, 図-3 に示す。

表-3 算出した車いす全体にかかるブレーキ力

試験体	全体にかかるブレーキ力 (N)
車いす A 勾配 7.8%	34.82
車いす A 勾配 13.6%	49.74
車いす B 勾配 7.8%	26.00
車いす B 勾配 13.6%	46.18

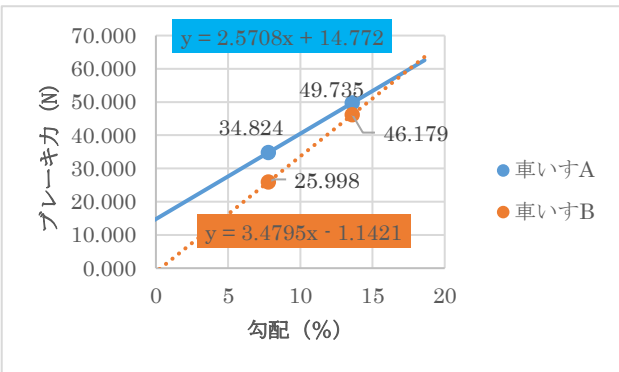


図-3 車いす全体にかかるブレーキ力の一般式の予測

## 4. まとめ

荷重の前後比を比較すると、車いす A の方が後ろ寄りである。また、算出したブレーキ力はどちらの勾配においても車いす A の方が大きかった。このことから、重心位置が後方に寄るほどブレーキ力が大きくなると言える。しかし、荷重計測の結果より、勾配が増すにつれて荷重位置は前方に寄っていくことがわかる。本研究での算出結果では、勾配が大きいほど、つまり言い換えると、荷重位置が前方であるほどブレーキ力は大きくなることがわかった。このことは、前述した、荷重位置が後方になるほどブレーキ力は大きくなる、ということと矛盾する結果となった。以上より考察すると、ブレーキ力は、荷重の前後ではなく車輪の性能や車いすそのものの形状に関係すると言える。

また、今回の研究で求めたブレーキ力は、進行方向に働く力と逆向きの方向かつ同じ大きさの力であり、車輪の動きを止める力を測定したのではない。今後の研究では、そのような力を測定する必要がある。

## 参考文献

- 1) 内閣府：平成 27 年度版高齢社会白書
- 2) 内閣府：平成 25 年度版障害者白書
- 3) 徳田良英：「車いすの下り勾配における身体負担に関する実験研究」, 福祉のまちづくり研究, Vol.11, No.1, pp40-47, 2009
- 4) 川口茂明：「実路面における車いす利用者の身体的負担に関する研究」, 近畿大学修士論文, 2010
- 5) 原武夫ほか：「下り坂での車椅子移送時における感覚特性と挙動解析」, 北陸信越支部第 39 期納会・公演論文集, pp345-346



## 地方都市における逆線引き制度の運用実態に関する研究

(株) オリエンタルコンサルタンツ ○山口 歓

国立大学法人豊橋技術科学大学 浅野 純一郎

地方都市 市街化区域 逆線引き制度  
都市縮退 市街化調整区域 土地利用

### 1. 研究背景・目的

逆線引き制度とは、計画的市街地整備の見込みの無い地区を土地利用基本計画に基づく個別規制法五地域の各担当部局間との調整を図り、市街化区域から市街化調整区域へと編入する制度であり、線引き当初から運用されてきた。

逆線引きに関する既往研究に関しては、地方都市を対象とした市街地縮小方策に関する暫定逆線引きの運用状況と課題を調査した研究<sup>1)</sup>や全国的な逆線引き制度の運用実態を明らかにした研究<sup>2)</sup>、逆線引き後のバラ建ち等の問題が見られる岐阜県を対象としてケーススタディした研究<sup>3)</sup>がある。本研究では、比較的初期の逆線引き事例の中で、逆線引きの境界の不整形さによってその後の土地利用に問題が生じている鹿沼市上殿地区の事例と農地保全を目的として逆線引きされながら、その後の開発需要により土地利用の転換が見られる高崎市中尾高畑地区の事例を取り上げる(表1)。2つの事例のケーススタディから逆線引き制度の問題を明らかにすることを目的とする。

### 2. 研究方法

既報研究<sup>2)</sup>において、地方都市を対象にアンケート調査を2回実施し、15県37市町村142地区(1702.3ha)が抽出され、逆線引き制度の運用時期、従前の用途地域、経緯、現在の開発状況などの運用実態に関する基礎的知見を得た。本研究では、抽出された事例を開発許可制度の見直しが行われた2000年の改正都市計画法を基点として、それ以前に逆線引きされた事例を初期事例、2000年以後の事例を最近事例に区分した。近年、人口減少の進展とともに人口フレームの維持自体が困難になりつつあり、初期事例と最近事例を同時に分析することは、分析観点が異なると考えられる。本研究では、初期事例についての運用実態について明らかにする。その上で2014年では、初期事例を対象として訪問調査<sup>1)</sup>及び現地調査、ヒアリング調査、アンケート調査を行い、個別事例の詳細な経緯について調査を行った。

表1:対象地区の諸元一覧

No.	都市計画区域	自治体	旧市町村(合併年)	地区名	面積[ha]	市街化区域編入決定年月日	市街化区域編入の定期線引き見直し回数	逆線引き決定年月日	逆線引き定期線引き見直し回数	従前の用途地域	逆線引き実施の経緯や理由について	逆線引き後の開発状況
1	宇都宮都市計画区域	鹿沼市	鹿沼市	上殿	21	1970/10/1	当初	1990/9/11	3	旧一住専	営農継続の意思があり、農業的土地利用を担保するため。	開発無し
2	高崎都市計画区域	高崎市	高崎市	中尾高畑	5	1971/3/31	当初	1979/2/6	1	旧住居	当該地区内に営農希望者が多く、土地改良事業の実施することになったため、市街化調整区域に編入。農地部分について、周辺の農地と併せて土地改良事業(団体営土地基盤総合整備事業(高速度関連)54～56年度、53年度調査計画7)を実施するため。	戸建住宅のバラ建ち

### 3. 鹿沼市紙殿地区の逆線引き事例

#### 3-1. 上殿地区の概況

上殿地区は旧北押原村の北部にあたり、鹿沼市市街地の南側、東武日光線新鹿沼駅の南東約1kmに位置する。地区の西側には国道293号線、東・南・北側の都市計画道路に3方を囲まれた地区である。地区周辺には線引き以前からの農村集落が散在しており、地区内全域には、農振白地地域が指定されている。

#### 3-2. 逆線引きの経緯

1970年10月当初線引き時に、土地区画整理予定地として市街化区域に編入された。しかし、地権者からの合意が得られず、事業実施が断念され、1990年9月第三回定期線引き見直し時に逆線引きされた。当初の栃木県の逆線引きの方針として、全体計画の整合性を図りながら、各地権者の要望に応じていたため、上殿地区は穴抜け的な不整形な形で逆線引きされている。

#### 3-3. 上殿地区の問題点・特徴

上殿地区は、個々の地権者要望に対応して逆線引きを行った結果、逆線引きの境界線が非常に不整形な形となった(図1)。現在の土地利用を見ると逆線引きされたエリアは、農振農用地区域の指定が無く農振白地地域にも関わらず、農地保全されている。これは、現在も地権者の営農意欲が高いこと示していると考えられる。しかしながら、逆線引きの境界線が非常に不整形なために市街化区域として残されたエリアの土地利用に影響が出ており、道路、下水道などの基盤整備が未整備のままで、農業経営も非効率化であり、計画的土地利用も進んでいない。

### 4. 高崎市中尾高畑地区の逆線引き事例

#### 4-1. 中尾高畑地区の概況

中尾高畑地区は、高崎市市街地の北東側、関越自動車道前橋ICの南東約500mに位置する。地区の東側には、前橋都市計画区域の市街化区域と隣接し、西・北側を高崎都市計画区域接し、三方を市街化区域に囲

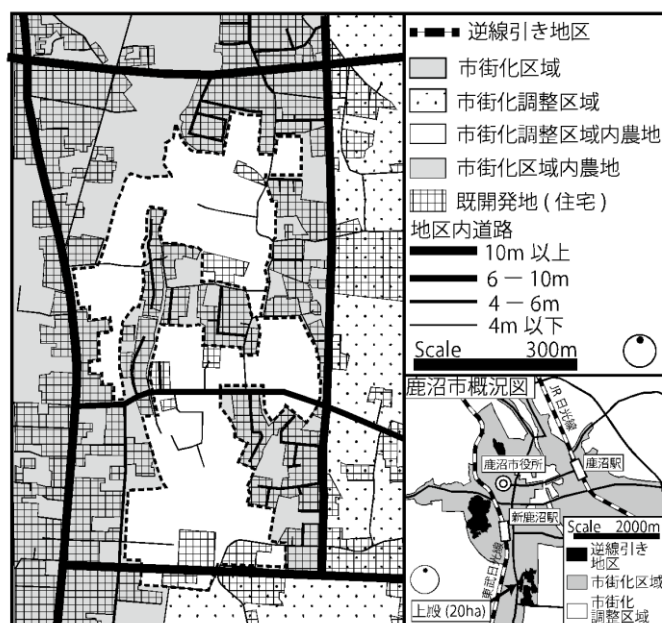


図1：上殿地区概況

まれた地区である。逆線引き地区内では、一部農振農用地区域指定されている。

#### 4-2. 逆線引きの経緯

1971年3月当初線引き時に、用途地域を準工業地域として市街化区域に編入され、1973年に用途変更により、住居地域となった。1977年に関越自動車道整備に伴う土地改良事業が計画され、該当地区内には営農希望者が多かったこともあり、1979年2月第一回定期線引き見直し時に逆線引きが行われ、同時期に土地改良事業が実施され、地区内の一部が農振農用地区域に指定された。

#### 4-3. 中尾高畑地区の問題点・特徴

中尾高畑地区の土地利用経過について、1979年2月の逆線引き時までには、地区南側(A)と西側一部(B)の沿道に戸建住宅や分譲住宅が建っていた。1979年3月には、地区内の一部に農振農用地区域指定がされ、団体営土地基盤総合整備事業(関越自動車道関連)により、1981年までに地区周辺の農地と併せて土地改良が実施された。その後1996年頃から、地区の一部の農用地域外農地で青空利用が始まった。その後2006年の当該地区の位置する旧高崎市と旧群馬町が合併し、高崎市の「市街化調整区域における開発行為の許可の基準に関する条例」(以下、3411条例)が適用された。2009年頃には、3411条例によって戸建住宅が1件開発された(図2)。2014年現在では、農振農用地区域に指定されているエリアでは農地保全がされており、それ以外のエリアでは、青空利用や3411条例による開発が進んでいる。これは当該地区が三方を市街化区域に囲まれており、関越自動車道高崎ICが地区周辺に位置し、流通業務系等の開発需要が高い地区であると考えられる。そのため当初は農地保全で逆線引きがされたものの、農振農用地区域指定されていないエリアは土地的土地利用に転換してしまった事例である。

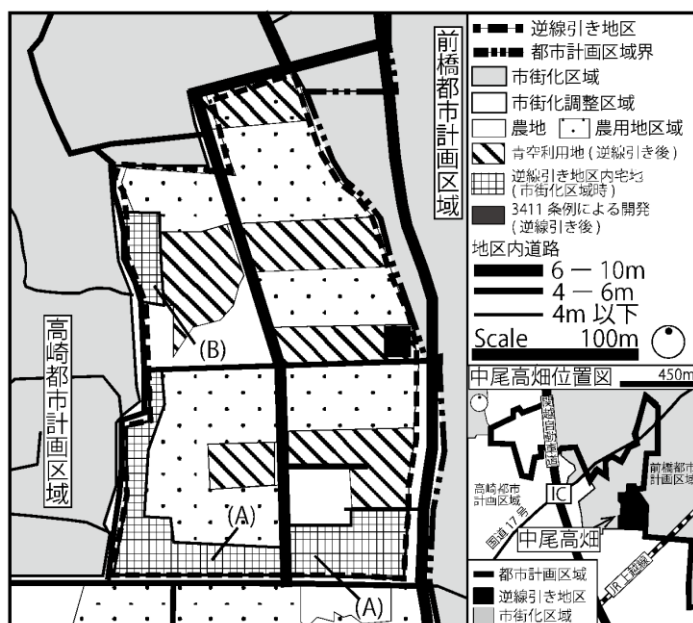


図2：中尾高畑地区概況

#### 5. まとめ

本研究では、鹿沼市上殿地区及び高崎市中尾高畑地区を対象に逆線引きの初期の運用事例について実証的な調査・分析を行った。鹿沼市上殿地区は、個々の地権者要望に応じた逆線引きにより、逆線引き境界が不整形になった事例である。そのことにより市街化区域として残されたエリアの土地利用に影響が出ており、道路、下水道などの基盤整備が未整備のままで、農業経営も非効率化であり、計画的土地利用も進んでいない問題がある。高崎市中尾高畑地区は、農地保全を目的として逆線引きを行った事例である。しかしながら、地区周辺の開発需要により、逆線引き地区内の農用地域外農地で都市的土地利用の転換が進んでいる。

#### 参考文献

- 1) 大平啓太・浅野純一郎(2013)「地方都市における暫定逆線引き制度の運用状況と課題に関する研究」都市計画論文集, Vol. 48No. 3, pp549-554
- 2) 山口欽・浅野純一郎(2014)「地方都市における逆線引き制度の運用実態に関する研究」日本建築学会学術講演会(近畿)
- 3) 山口欽・浅野純一郎(2015)「地方都市における逆線引き制度の運用実態に関する研究-岐阜県を対象として-」日本建築学会東海支部研究集会

#### 【補注】

- (1) 訪問調査はそれぞれ次の日程で行った。2014年7月17日：栃木県庁、鹿沼市都市計画課、2014年7月18日：伊勢崎市都市計画課、高崎市都市計画課、2014年9月16日：瑞穂市都市開発課、各務原市都市計画課、2014年9月22日、上越市都市整備課、2014年9月23日：長岡市都市計画課、2014年11月18日：福山市都市計画課

# ユーティリティデータの特性に着目した広域的な空き家分布推定の試み

摂南大学 指導教員 熊谷 樹一郎

共同研究 小野 裕基

株式会社 エース ○北本 麻奈

## 1. 研究の背景

我が国では、人口減少の中での住宅の供給過多によって空き家が増加し続けている。平成27年2月には国土交通省より「空家等対策の推進に関する特別措置法」が施行され、空き家状態にある住宅の管理方法について指針が定められた。一般に、空き家の実態を把握するには現地調査が必要不可欠であり、広域にわたる現地調査には多くの時間や労力を要する。一方、ガス・水道・電気といったユーティリティデータの使用状況から空き家であるかを判別できる可能性がある。さらに、人口密度の変動や建物の属性などの地理空間データを併用することで、住戸単位といった高い空間解像度で空き家率を算出するとともに、空き家分布を広域的に把握することが期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究では、広域的な空き家分布の把握を前提とした上で、ユーティリティデータとして水道栓データに着目し、住戸単位での空き家の推定を試みる。具体的に目的は以下の3点である。

- ① 既往の文献を調査し、本研究の位置づけと意義を整理する。
- ② 人口密度の変動や建物タイプなどの地理空間データと水道栓データとの関連性を整理し、得られる知見を取りまとめる。
- ③ ベイズ統計を用いて住戸単位で空き家を推定し、現地調査結果との比較より推定精度を評価する。

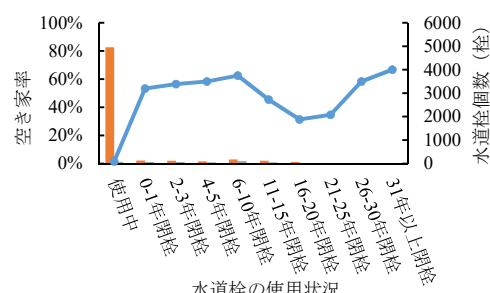
## 3. 研究の内容

本研究の内容は以下に示すとおりである。

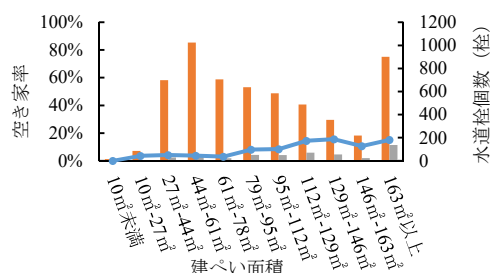
### 3.1 現地調査の実施と水道栓データとの関係について

建物タイプごとに空き家発生の出現状態が異なることから、本研究では寝屋川市の典型5地区を対象に、建物を戸建、長屋、文化住宅、その他の4タイプに判別する現地調査を行った。建物タイプと空き家であるか否かの情報に加えて、閉栓年数、建ぺい面積、人口密度の変動などの地理空間データを水道栓単位で整備し、それぞれの関係を整理した。図-1に水道栓の使用状況、建ぺい面積、水道栓密度(共通の建物内に含まれる水道栓数)について階級ごとの空き家率を示す。図-1(a)では、水道栓が使用中以外では空き家率が30%から

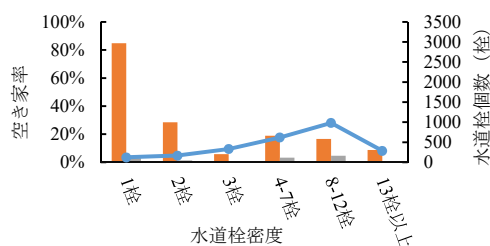
60%と高い値を示している。このことから、水道栓に使用実態が確認できなければその年数に関わらず空き家である可能性が高くなることがうかがえる。図-1(b)では建ぺい面積が大きくなるほど空き家率が高くなる傾向がわかる。同様に、図-1(c)の水道栓密度ごとの空き家率でも水道栓密度8-12栓の階級までは水道栓密度が大きくなるほど空き家率が高くなっている。建物タイプごとの建ぺい面積と水道栓密度の関係について見てみると、文化住宅では建ぺい面積と水道栓密度がともに大きくなる傾向があることから、文化住宅などの集合住宅で空き家が多くなっていることが考えられる。



(a) 水道栓の使用状況



(b) 建ぺい面積



(c) 水道栓密度

図-1 地理空間データと空き家の関係



### 3.2 ベイズ統計を用いた空き家分布推定の試み

(1)水道栓単位での空き家の推定：現地調査によりトレーニングエリアと検証エリアを設定した。トレーニングエリアは事前確率と尤度を算出するために選定したエリアであり、検証エリアは推定の結果の妥当性を確認するために選定したエリアである。水道栓データと地理空間データをベイズ統計の単純ベイズ分類器と二項分布による分類の二種類の手法に採用し、得られた事後確率を空き家の判定に採用した。それぞれの手法より得られた事後確率をトレーニングエリアの空き家・非空き家で区分した上で閾値を設けることで、空き家と推定した水道栓（以降、空き家水道栓とする）と、非空き家と推定した水道栓（以降、非空き家水道栓とする）の二群に判別した。結果として、空き家水道栓の数は、15,162 栓と推定された。対象領域の総水道栓数は、83,066 栓であることから、水道栓単位での空き家率は18.3%となり、平成25年現在の対象領域での空き家率13.8%と比較すると、4.5ポイント高くなった。表-1は検証エリアで空き家に該当した水道栓と推定した空き家水道栓との一致率をエラーマトリクスで表したものである。二種類の手法ともに一致率は85%を上回り、推定手法の妥当性を確認した。

(2)空き家水道栓の地域的特徴：対象領域全域での空き家分布の把握を行うためにメッシュデータを作成し、クラスターの抽出を行った。対象領域の街区面積の最頻値が約1600m<sup>2</sup>であったためメッシュサイズを40mとし、1メッシュ内にある空き家水道栓数を格納した。作成したメッシュデータに空間的自己相関分析を適用した。単純ベイズ分類器と二項分布による分類のクラスターを比較すると、空き家水道栓の多く集まる地域は同様な分布を示した。ここでは単純ベイズ分類器での結果を図-2に示す。検定統計量である $z_i$ 値を見ると、空き家水道栓の多い地区は京阪本線に沿うように集まっていることがわかる。特に図-2(a)の萱島地区で周辺と比べて高い $z_i$ 値が分布している。加えて、図-2の赤丸で示した(b)の黒原・高柳地区と上神田・御幸東地区においても高い $z_i$ 値が表れている。このことから京阪沿線の駅周辺における密集住宅地区だけでなく、南西部の市境付近においても空き家が集中して分布している可能性が示唆された。

## 4. 研究の成果

本研究の成果は次の2点である。

- ① 現地調査結果を精査したところ、水道栓に使用実態が確認されなければ空き家である可能性が高く、建ぺい面積が大きいほど空き家率が高くなる傾向が確認された。水道栓密度については8-12 栓までは水道栓密度が

大きくなるほど空き家率が高くなる傾向が見られた。

- ② ベイズ統計を応用し、水道栓単位での空き家の判別を実施した。現地調査結果との一致率は85%以上となり、ベイズ統計の適用可能性が示された。また、空間解析を適用したところ、空き家の集積箇所は密集住宅地区に加えて市境付近にも分布している可能性が示唆された。

## 5. 今後の課題

本研究の課題は、次の2点である。

- ① 建物タイプ別での空き家率の推定を行うことで、推定精度の向上が期待できる。
- ② 複数のユーティリティデータをもとに、ベイズ更新に用いる地理空間データの組み合わせを検討することでさらなる精度向上が期待できる。

表-1 エラーマトリクス(検証エリア)

(a) 単純ベイズ分類器

		現地調査	
		空き家	非空き家
ベイズ	空き家	0.878	0.112
	非空き家	0.122	0.888

(b) 二項分布による分類

		現地調査	
		空き家	非空き家
ベイズ	空き家	0.878	0.240
	非空き家	0.122	0.760

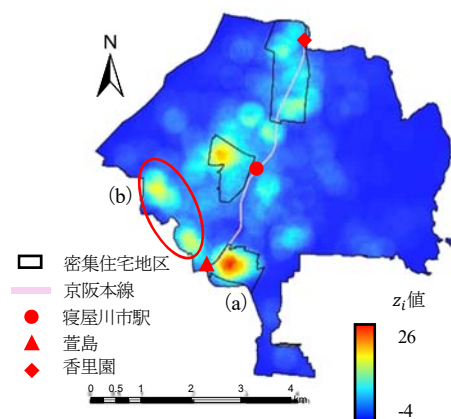


図-2 空間的自己相関分析の結果

## 地域施設の複層的利用にみる社会生活圏形成に関する研究

～大阪市西成区釜ヶ崎を事例として～

(株)オオバ 大宮 風 香

### 1. はじめに

本研究対象地域である釜ヶ崎は、『無縁社会』を代表する地域としてメディアで紹介されているなど、社会問題が集積するまちの一つである。また、この地域には食事・入浴等といった日常生活動作が自宅で完結出来ず、それを補完するため、外に出ざるを得ない、人と交流せざるを得ないという特徴がある。

地域における「ひとのつながり方」を見たとき、『利那縁』ともいえる新たなつながりによって潰れないレジリエントな姿を垣間見ることが多く、その要素として、複層的な「まちの使い方」があると考えている。

そこで本研究では、釜ヶ崎における人々の「まちの使い方」に注目し、地域の施設及び共用空間の利用実態について、実際にまちを活用する人々の体験から調査し、社会生活圏という視点から地域拠点の重要性とつながり形成の手段を明示することを目的とする。

### 2. 地域概要と利用実態調査

大阪市西成区釜ヶ崎は長年「単身日雇い労働者のまち」と言われてきたが、近年は、生活保護などに対する支援の充実した「福祉のまち」といった側面も持つ。

釜ヶ崎は貧困などの様々な課題を抱えた人々の集まる場所であり、多くのNPOや支援団体などによる支援が手厚く行われる。地域内にはクラブ活動の場など居場所形成を目的としたものから、公園や公共施設など偶発的に発生するものまで、様々な形態の居場所・溜まり場となっている場が数多く存在する。これらの多くは他地域では見られない、釜ヶ崎ならではのものであると考える。

### 3. 調査概要

本研究では、日常生活における訪問拠点を経時的に生活領域として整理するために、地域滞在者<sup>(1)</sup>45人に対し対面式のアンケート調査を、施設利用者、地域居住者33人に対しヒアリング調査を行った。調査内容は「まちの使い方」、「1日のスケジュール」、「普段利用する施設」とした。

### 4. 社会生活圏・行動分類

調査対象者の行動を訪れる拠点の数、拠点の種類、行動(行為)の種類、行動範囲によって分類したものを社会生活圏<sup>(2)</sup>として設定し分析を試みた(図-1)。

「拠点の種類」については、日常生活動作のために使う拠点(コインランドリー、スーパーなど)を日常拠点とし、日常生活動作のための拠点が結果として交流を生む場所になっている場合を間接拠点とする。交流型は、交流を目的とした拠点とし、たとえばひと花センターがこれに該当する。したがって、日常拠点よりも交流拠点の方が他者との交流密度が濃くなると考える。「行動種類」については、拠点までの道程を表す。散策型は拠点にたどり着くまでに寄り道をしていく型のため、直行型よりも他者との関わりが発生する可能性が高いといえる。

上記の内容について、対象者78人を図-1右の分類に基づき、分類した。以下に、特徴的な事例を提示する。

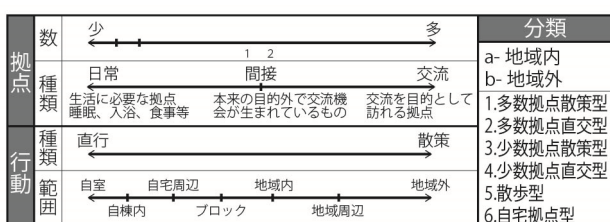


図-1. 行動分類 分類軸

#### 【事例1(a-2) 地域内多様拠点直行型 Aさん】

Aさんは夜間緊急シェルター<sup>(3)</sup>や簡宿<sup>(4)</sup>を拠点として地域で生活している。朝4時半ごろ起床し、5時にシェルターを出る。早朝はセンター<sup>(5)</sup>の2階や新今宮文庫に移動し、眠ることが多い。また、三徳寮の談話室を知人と集まり情報共有を行う場として利用している。昼からはふるさとの家に移動し、食事を済ませるとその場にいた人と将棋を楽しむ。食事は特掃<sup>(6)</sup>や空き缶拾いで得たお金と、炊き出しの利用で賄っている。その後17時にセンターに戻りシェルターへ移動する。Aさんはあらゆる施設を活用し、まち全体を家のように利用し、日々を過ごしている。

#### 【事例2(b-3) 地域外少数拠点散策型 Bさん】

Bさんは生活保護を受け、SHに居住している。毎日、1時間程度の散歩には行くが、それ以外ほとんど家から出ない。毎週月・木曜日は地域外にロト6の購入に出かけ、そのついでに食糧を買い貯め、レンタルショップで数十枚のDVDの調達を行う。

人混みが苦手で人と関わるのが嫌いなBさんは、1日の大半の時間を自宅でTVやDVDを見て過ごしている。

現在居住するSHでは、朝の安否確認や大浴場での入浴、外出時の受付の声かけなどがあるため、わずかではあるが他人と関わりが生まれ、結果的に孤独は避けられている。また、Bさんはそれらの交流を見守り機能と認識している。

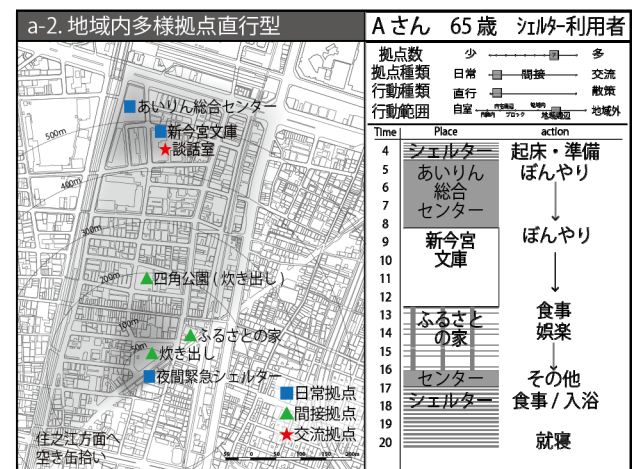


図-2. 【事例1(a-2) 地域内多様拠点直行型 Aさん】

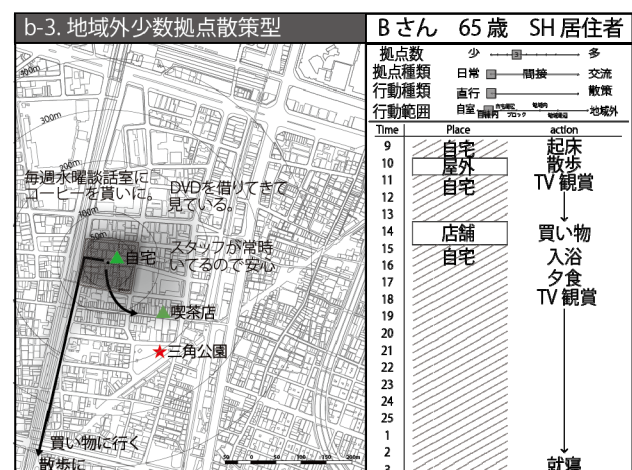


図-3. 【事例2(b-3) 地域外少数拠点散策型 Bさん】



## 5. まちの利用実態—地域施設に関するニーズ

ヒアリングによって主な施設等に関するニーズを整理した。(表-1)

a. あいりん総合センターは「気軽に立ち寄る場」、「友人や労働者が話す場」、「将棋などの娯楽の場」として、いわゆる『その場限りのつながり』を形成する拠点となっている。また、アンケートでは3Fで「布団や段ボールを敷いて眠る」、「施設内の洗面所で洗顔する」等という行為も見られ、居住空間の一部として用いられていることがわかる。

b. ひと花センターは、「アルコール漬けだったが、プログラムに参加してから自然とアルコール摂取量が減り、楽しい毎日になった」、「耳が悪く会話が難しいが、メンバーがそれを理解して受け入れてくれるので楽しい」など、他者交流を促す効果的な場所として成立する拠点となっている。

c. 三徳寮は、「金銭管理や作業を行なうことでギャンブルによる生活破たんを防止している」という安定した生活を送るために欠かせない機能を持つ。また、クラブ活動等を通し他者とのつながり形成を促進されている。入浴や食事といった日常生活動作も、集団で行うため、それをきっかけに交流する間接拠点の役割を果たしている。

また、e. のように支援者の必要性を唱える者も多い。その他にも d. カラオケ居酒屋・f. 公園・ベンダー・コインランドリーなど多様な拠点で交流機会が創出されている。



**a. あいりん総合センター**  
求人等、職安機能のほか、娯楽室や食堂等もあり、団欒の場として利用されている。散歩ついでに利用する人が多く、刹那的な交流が見られる。



**b. ひと花センター**  
会員制の、居場所づくり支援施設。さまざまな体験プログラムが毎日開催されている。特定の人と継続的につながる、交流拠点となっている。



**c. 三徳寮**  
生活保護のための救護施設。集団生活を行なう。クラブ活動やボランティアが開催されており、そこで友人を作る人も見られる。

図-4. 施設例

表-1. 施設に関する意見

		記号:○…肯定意見、積極的意見 ×…否定意見、消極的意見	
a. あいりん総合センター	○	・「行く行く行く。センターも、ずーとぶらーつとするねん。」 ・「あの、将棋が好きだからな。センターの2階でね、」(娯楽室がなくなると)困る。…困るなあ。」	c. 三徳寮
	×	・「あんなん、つぶしていいんちゃう。ー日曜日なんか基本的には募集してないんやで、せやけど、ぶらぶらしてるだけやん。」 ・「もう今は…行きたくないし、行けへん。」	
		・「喋る。あのね、ー運転手と喋ったり。」 ・「センターの中に友達があるから、雑談したりね。ー待ち合わせなんかせえへん。ただ自然に、センターはいったらおるんや。」 ・「そうそう。名前も知らんがいつも将棋しとる。」	
b. ひと花センター	○	・「その前にはもう戻れないでしょう、おれは。楽しいんだもん。いま。教えてもらうのが。」 ・「楽しい言うたら…楽しいかな。だからずっと来てるんや。」	d. カラオケ居酒屋
	×	・「…まあ一応ここがそういう(つながりづくり)目的で入ったんだけどな。ちょっとさみしいから、なあ、多少知り合いになった方がいいと思って。でもなかなかできん。」 ・「聞いたけど、これ全部区役所が運営してるでしよ、だから区役所の目が光つとる、監視をされてるようで嫌だつて。」	
e. 支援員	○	・「休みの日は、ほとんど三徳いってます。行事がなくても、」 ・「デイサービスなんか行っって一生懸命(演奏)したらな、それとか、『よかったよ』言うてね」 ・「いい場所なんでしょうね。楽しいっていうかね」	f. 公園
	×	・「…どこが落ち着くんよ。落ち着かんからうろうろ歩くんや。」	
		・「もう馴染みになっちゃってね。ー話も合うし。」 ・「飲みについて友達がいるから行くしね。ーできたりして。」 ・「そんなとこ行っても、しゃあないやんな。なんも用事ない。」	
f. 公園	○	・「初めて俺って人として見てもらってる。」 ・「信用できるなあっていうか。職員が。」	g. ベンダー
	×	・「知ってる人がおるだろ。たまに、声かけて、『元気ですか』って言って。応答がなかったらもう、すーつとって。」 ・「座って。もう、普通に、おにぎり食べたり。」 ・「(焚き火)してる。ー『寒いなあ』とかね、話してね。」	
		・「わしはもう、割り切ってたから。ここはもう飯食うとこや。」	

## 6. 分析

今回の調査では「まちの使い方」について、社会生活圏・行動の分類を行なった。釜ヶ崎には様々な施設があり、多様な交流機会を創出している。あいりん総合センターの1階寄せ場は、早朝の求人以外はフリースペースとなっており、これといった役割を持たない。しかし、それゆえに人々は自由な発想でその場を利用することができ、何気なく気軽に立ち寄れる、刹那的な交流を行なえる場となっている。

継続したつながりを求める場合、ひと花センターや三徳寮などといったプログラムやクラブ活動をもつ施設による「ついで型」ともいえる拠点のあり方が有効である。

## 7. おわりに

釜ヶ崎は日常生活動作が自宅(自室)で完結しない場合が多いため、まちに行為が溢れだし、他地域よりも共用・共有空間の定義が広い傾向がある。人と関わりたくない、と考えていても結果的に人とつながる、少なくとも誰かの目には留まることになっている。地域施設及び共有空間の利用実態を社会生活圏域という視点からみたことで、様々な行為がまち中で複雑に折り重なるという状況がわかった。

明確に段階的にセグメントされた共有空間ではなく、緩やかに複層的なグラデーションが生活者によって彩られている「まちの使い方」を見たとき、孤立を生まないまちづくりや空間計画デザインにおける一つの手がかりとなるのではないだろうか。

## 註釈

本稿は 2016 年 近畿大学 建築学部 卒業論文「地域施設の複層的利用にみる社会生活圏形成に関する研究～大阪市西成区釜ヶ崎を事例として～」大宮風香著を加筆修正したものである。

## 補注

- (1)特定の住所を持たず、地域内で寝泊まりする者を指す。
- (2)日常生活動作のうち、個人空間以外で行う行為の活動範囲。範囲が広がればそれだけ他者との無意識的な接点・交流確立が上がる。
- (3)日雇い労働者が無料で宿泊できる共同宿泊施設。
- (4)一泊 500 円～1000 円と格安で泊まれる宿。風呂便所共同で、居室は3畳1間程度のものが多い。
- (5)あいりん総合センターを指す。
- (6)高齢者特別清掃事業という。65 歳以上日雇労働者の雇用を対象とした清掃業務である。輪番制で、月に5回、1日5千円程度の収入になる。

## 参考文献

- 1)窪野琢也：地域住民や新規流入者の居場所づくりによる地域ストックの最価値化に関する研究 ,2013
- 2)藤田悠樹：社会的条件不利地域におけるパブリックスペースの多層的利用に関する研究 ,2015
- 3)原口 剛 他：釜ヶ崎のススメ, 洛北出版, 400p, 2011.10.03



## GNSS 解析時における GLONASS・GPS 衛星併用の効果

アジア航測株式会社 上野山明良

### 1. はじめに

平成 24 年 5 月に国土地理院から「移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル(案)」が発行されてから 5 年が経ち、モバイルマッピングシステム(以下 MMS)は測量技術として広く利用されるようになった。また、平成 25 年 10 月より全国の電子基準点で GLONASS データ配信も開始され、複数衛星系の併用測位が本格的に始まった。これにより、測位精度、測位機会の向上に大きく寄与している。しかし、都市部における高架下や高層ビル群など、GNSS の受信環境が悪い場所での位置精度劣化は大きな課題として残っている。そこで本稿では大阪城周辺を対象とし、MMS の移動測位において従来の GPS のみによる場合と、GLONASS を併用した場合を比較し、その有効性について検証した。

### 2. 計測技術

当社の MMS である「GeoMasterNEO<sup>®</sup>」は、レーザスキャナを 2 台と GNSS/IMU・オドメータを搭載し、移動しながら全周囲写真とレーザ点群を取得できる。以下にその外観とシステム仕様を示す(表 1 表 2)。



図 1 GeoMasterNEO<sup>®</sup>外観

表 1 GeoMasterNEO<sup>®</sup>のシステム仕様

器材	メーカー	名称	諸元
GNSS	NovAtel	アンテナ:GPS-702-GG レシーバー:OEMV3	チャンネル
			GPSL1:14 GPSL2:14 GPSL5:6
			GLONASSL1:12 GLONASSL2:12
IMU	IGI	AEROcontrol-III	取得レート:400Hz
			精度:Heading0.007° RMS
			Roll/Pitch:0.003° RMS
オドメータ	KISTLER	Correxit L-350	測定レート:250Hz
レーザ	RIEGL	VQ-250	照射レート:300kHz
			スキャンレート:100Hz
			測距精度:±10mm
カメラ	POINT GREY	LadyBug3	解像度:1600×1200

表 2 測位データ解析ソフト

解析処理	メーカー	名称
GNSS 解析	NovAtel	GrafNav
GNSS/IMU 解析	IGI	AEROoffice

### 3. 検証条件

下記条件にて計測・解析した結果を検証した。計測範囲を図 2 に示す。

- 1) 計測日 平成 28 年 6 月 8 日(水)
- 2) 計測諸元 走行速度 平均 31.6km/h
- 3) 計測範囲 大阪城周辺
- 4) 検証時間 15 時 18 分 17 秒～17 時 06 分 15 秒
- 5) 使用電子基準点 堺(計測範囲から 20km 程度の距離)

(北緯 34° 31' 34" .3188 東経 135° 28' 52" 8288 楕円体高 73.57m)



図 2 計測範囲

## 4. 比較検証

### 4.1 衛星数と PDOP 値

GPS と GLONASS の受信衛星数と PDOP (Position Dilution of Precision) 値を図 3、図 4 に示す。

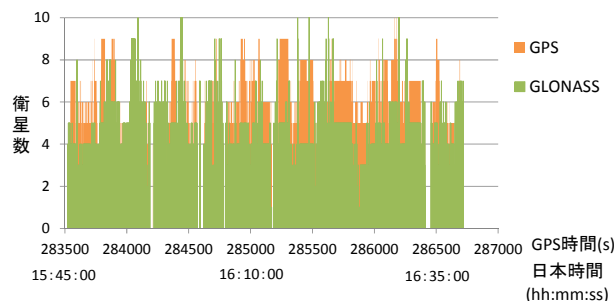


図 3 衛星数

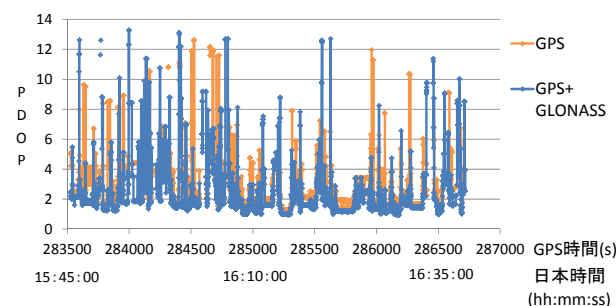


図 4 PDOP

受信衛星数は GPS が平均 6.3 個、GLONASS が平均 4 個、併用により合計平均個となった。PDOP 値は GPS が平均 2.9、GLONASS 併用が 2.5 であり、PDOP 値は全体で平均 0.4 改善していることになる。衛星信号の受信状況が良好で PDOP 値が 2 以下の区間は併用時の方が約 0.4 改善している。

### 4.2 解の品質

GNSS の観測データは GPS のみ、GLONASS 併用のそれぞれで後処理キネマティック解析 (GrafNav 使用) により基線解を求め、解の数と割合を解の品質ごとに整理した (表 3)。この結果、Float 解を含めた解の合計数は GLONASS 併用時に 8.4%ほど増加しているが、Fix 解は減少している。

なお、GNSS の解は今回 0.5 秒ごとに算出したため総数を 5600 個 (約 45 分間分) として割合を算出している。

表 3 解の内訳

	GPS		GPS+GLONASS	
Fix 解	2889 個	62%	2339 個	41%
安定 Float 解	542 個	12%	1498 個	27%
収束 Float 解	930 個	20%	926 個	16%
解の合計	4361/5600 個		4763/5600 個	

### 4.3 予測誤差

基線解析結果の RMS (二乗平均平方根) を予測誤差として水平方向、鉛直方向についてそれぞれ図 5、図 6 に示す。これらのグラフから、GPS のみの解析結果で予測誤差が小さい場合は GLONASS を併用しても目立った効果はないが、予測誤差が大きい場合には精度の向上が確認できる。

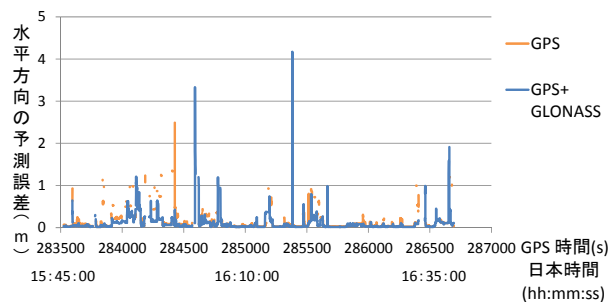


図 5 水平方向の予測誤差

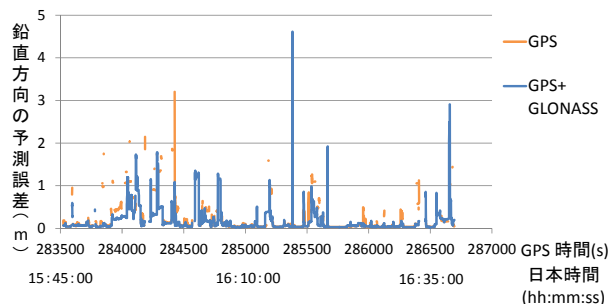


図 6 鉛直方向の予測誤差

## 5. まとめ

本検証では、GNSS の受信状況が悪い環境下において、GPS と GLONASS 併用時に Float 解を含めた測位機会の増加と精度向上を確認できたが、一方で Fix 解が減少するという現象も確認できた。中には GPS のみで Fix 解が連続して得られている箇所で GLONASS 併用により Float 解となる場合も見られた。移動計測においてはサイクルスリップやマルチパスの影響も大きく複雑であり、原因についてはさらに詳細な検証が必要である。

## 郊外型キャンパスに近い市街化調整区域内の1校区を対象とした

### 大学生の居住可能性に関する研究

株式会社オリエンタルコンサルタンツ

河津 憲嗣

#### 1. 背景と目的

100万人規模の政令指定都市X市に位置するA地区は、人口減少と少子高齢化が問題となっている。一方、車で15分の場所には学生、教職員を合わせて15,000人が通うB大学の郊外型キャンパスが位置している。

そこで、本研究ではA地区が大学に近い特性に着目し、B大学の学生に対して聞き取り調査を行う事で、B大学の学生のA校区への居住可能性を明らかにし、学生の居住により、人口問題と空き家問題への影響を明らかにする事を目的とした。

#### 2. A地区の現況

A地区は、X市内の都市部まで車で1時間以内の場所に位置する、人口2,462人<sup>1)</sup>の農漁村地域である。A地区は、古くは遣唐使の船が風待ちをしていたと言われる港などの歴史が残っており、現在は年間500万人の観光客が訪れる半島に位置している。

この政令指定都市X市は、人口が増加している。一方で、同市内に位置するA地区は人口減少と少子高齢化が深刻化している。X市とA地区の人口ピラミッドを比較すると、A地区では75歳以上の人口の割合が高く、20~50歳の人口の割合が低いことが見て取れる(図-1)。さらに、コーホート変化率法によるA地区の将来人口予測を行うと、2040年には、人口が現在の半分程度である1,300人まで減少し、高齢化率が50%以上となることが予測された。人口構成に大きな変化が無い限り、A地区は限界集落と化すと考えられる。

このように、A地区は人口減少、少子高齢化が問題となっているが、一方で他の過疎地域と比較して特徴的な要素を3点併せ持っている。その3つの要素とは、「人口100万人規模の政令指定都市に位置し、都市から非常に近い位置にあること」、「年間500万人の交流人口を有している半島に位置していること」、そして「15,000人の学生、教職員が通う大学が近くにあること」である。A地域にはこれらの人々が来訪する機会は十分にあり、その来訪者の中からA地区への定住を希望する人も一定数存在することは、十

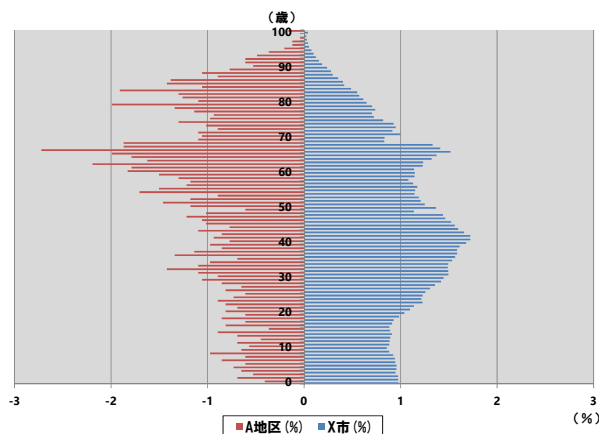


図-1 平成27年9月のA地区とX市の人口ピラミッド比較

分に考えられる。しかしながら、2015年時点で、B大学の郊外型キャンパスには9,511人の学生が通っているにもかかわらず、A校区に居住しながらB大学に通う学生は、筆者含め4人のみであった。

#### 3. 調査方法

対面聞き取り調査の対象は、B大学に通う学生(全キャンパス)の学部1年生から修士2年生までの学生とし、母集団である15,648人から学部、性別の構成比をなるべく母集団に合わせるように、無作為に標本抽出を行った。なお、標本数は統計上十分に有効であると考えられる385人とした。

対面聞き取り調査に当たっては、学生がA地区を知らないことが十分に想定されたため、A地区の様子や暮らしを事前に把握してもらう必要があった。そこで、聞き取り調査開始前に、5分間で写真や地図の資料を用いてA地区の紹介を行い、学生が回答するのに必要十分なだけの情報を提供した。なお、この紹介では、筆者のA地区での生活の様子等も交えながら行ったが、学生の回答を誘導しないために、「自然環境が良い」「交通の便が悪い」等、評価に関する言葉の使用を禁じ、「このような自然環境がある」「バスは1時間に1本ある」などのように説明を行った。

聞き取り調査の質問項目は、表-1に示すように全16項目とした。

1) 2015年9月住民基本台帳



表-1 アンケート調査項目

I.属性に関して
①性別②学年③所属学部
II.嗜好に関して
④アウトドア派かインドア派か⑤自然環境豊かな場所に住むことへの興味⑥地域活動に参加することへの興味⑦住むエリアを選ぶ際に考慮する事項⑧住まいの探し方⑨A地区を知っているか
III.A地区での居住に対する意識に関して
⑩現在のA地区に住みたいか、及びその理由⑪住みたくない理由とどう改善されると良いか⑫A地区で住んでみたい家のタイプ⑬近隣市で行われているような補助制度があればどうか⑭課題が改善されたら、A地区に住みたいか

#### 4. 調査結果

対面聞き取り調査の結果、40人(10%)の学生がA地区に「住みたい」と回答し、218人(57%)の学生が「(A地区での生活上の)課題が解決したら住みたい」と回答した。

次に、A地区に「住みたい」と回答した学生の傾向を把握するため、クロス集計を行った。その結果、A地区に住みたい学生には「アウトドア派である」「地域活動への参加に対し興味がある」「住むエリアを選ぶ際に自然環境の豊かさを重要視する」「A地区を知っている」という傾向があることが明らかになった。

さらに、A地区に住みたい学生の傾向をより深く把握するために、8人(うち対面聞き取り調査で回答した学生は3人)に追加でヒアリング調査を行ったところ、地域から多くの事を経験できる事、人との交流がある事、運動や遊びができる環境がある事を評価していた。

#### 5. 考察

##### (1)A地区の大学生世代割合の回復

学生のA地区への居住可能性が10%であることから、学生のA地区への移住によって人口構成上の課題が解決可能であるかを考察した。

大学1年生から修士2年生を19歳~24歳と仮定すると、2015年9月時点のA地区の大学生世代人口は112人であり、総人口2,462人の内、4.55%を占めている。一方、X市の大学生世代は6.70%である。A地区において6.70%は人数として165人であるため、53人不足している事になる。

ここで、毎年10人ずつ学生が移住し、卒業までの6年間滞在すると仮定すると、6年後には60人の大学生世代が新たに居住することになるため、不足分は満たされ、A地区の大学生世代の人口構成比はX市と同等となる(図-2)。

なお、この大学生のうち郊外型キャンパスに通う学生は9,511人であるため、A地区に「住みたい」と考える10%の学生は951人となり、1学年あたり150人存在することになる。つまり、毎年学部1年生を対象に移住者を探しても、150人の移住希望者の中から10人を探すことになるので、十分な可能な数であると考えられる。

##### (2)学生の移住によるA地区の空き家問題の解決

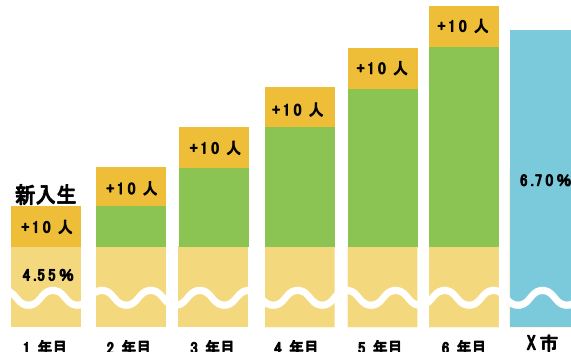


図-2 毎年10人の学生が移住し、6年間定住する場合

A地区の自治協議会が行った調査によると、2015年時点で空き家が33件確認されている。また、単独世帯数と全国の男女別の平均寿命を用いた空き家数の推計を行うと、2015年から2025年の間において、1年あたり4軒の空き家が発生すると予測された。

空き家は管理されない事で雑草の乱立、老朽化に伴う倒壊の問題がある。そこで、発生した空き家に学生が移住することで空き家問題を解決できるかを考察した。

A地区は一般的な学生街のようにアパートがあるわけではなく、一軒家が主である集落であるため、新たに発生する空き家はすべて一軒家を想定した。また、筆者のA地区で生活が、一軒家の空き家に3人でシェアハウス形式での生活であったため、移住した学生も一軒家に3人での生活をするを仮定した。

1年で4軒の空き家が発生し、その空き家に3人ずつ同居する場合、年間で12人の移住者が必要である。(1)と同様に、1学年に150人の希望者がいることになるため、目標となる12人には十分であると考えられる。

#### 6. 結論

本研究は、郊外型キャンパスに通う学生のA地区への居住可能性を明らかにする事を目的とし、対面聞き取り調査を行った結果、学生のA地区への居住可能性は10%であることが明らかとなり、またそれらの学生の傾向が明らかになった。さらに、この10%の居住可能性は、A地区の大学生世代をX市の構成に近づけることや、A地区の空き屋問題を解決するには十分であることが明らかになった。

## 炭鉱地域の環境再生・地域活性化計画に関する研究

パシフィックコンサルタンツ株式会社 勝木安美

### 1. 研究概要

近年、持続可能な都市を構築することが求められる中、地域資源の大切さが見直され、多様な個性のある街は評価される傾向にある。そして、その場所にしかない掛け替えのない風景を創出するためには、街の歴史や風土、文化は様相を変えながら継承されることが、今後重要性を増すと考えられる。

本研究では、“Industrial Nature(産業的自然)”という新しい自然の概念の視点から、産業遺産を活用したドイツと日本の地域づくりを比較・分析し、Industrial Nature が現れる要素・要因を明らかにすることを目的とする。“Industrial Nature(産業的自然)”とは、ドイツ発祥の概念で、放置された産業地に元々ある自然を回復するのではなく、人の活動が介在した後に生まれる植生や産業時代の残った遺構など、全てを含めて自然と捉えようという概念である。

対象プロジェクトは、ドイツ NRW 州ルール地域エムシャー川流域一帯における「IBA エムシャーパークプロジェクト(以下 IBA エムシャー)」と北海道空知産炭地域

の「元氣そらち!産炭地域活性化戦略(以下そらち戦略)」である。日本と共通の都市課題を持ち、持続可能な都市発展に関して先進国であるドイツの地域づくりは、今後日本の地域づくりにおける展開可能性を示す上でとても重要であると位置付ける。

### 2. IBA エムシャーとそらち戦略の実態把握

まず、IBA(国際建設博覧会)とは、ドイツで100年以上の歴史を持つ持続可能な都市・地域に関する開発手法である。IBA エムシャー(1989~1999)とは、エムシャー川の再生とともに産業遺産を活用し、地域全体を活性化するための事業であり、10年間で計123のプロジェクトが実施された。IBA エムシャーの計画は、全体計画と、より具体的な事業に言及した方針テーマ別計画の2種類存在する。IBA エムシャーの目的、目標、方針テーマ、実践意義、戦略の関係性を[図1]に示す。実践意義は、方針テーマや戦略と複雑に関係しており、目的の環境、経済・社会に関する項目以外に幅広い項目(文化、社会、芸術)を含んでいることが、目標の豊かさの創出に繋がっている。

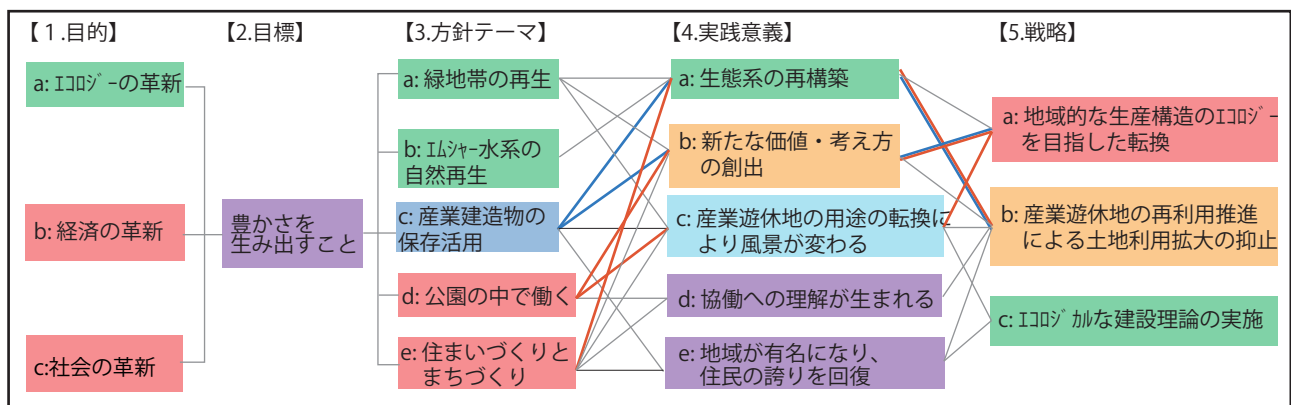


図1 IBA エムシャーの概要関係

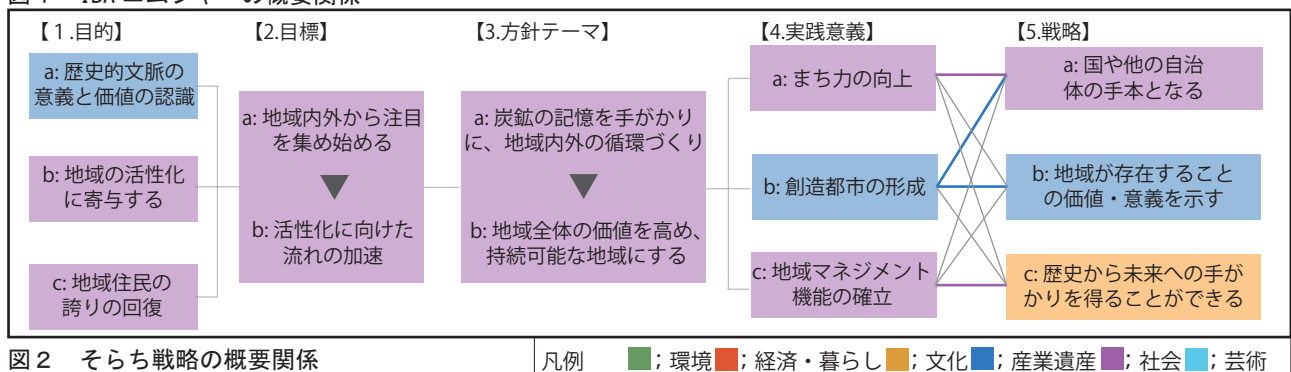


図2 そらち戦略の概要関係

凡例 ■; 環境 ■; 経済・暮らし ■; 文化 ■; 産業遺産 ■; 社会 ■; 芸術 ■

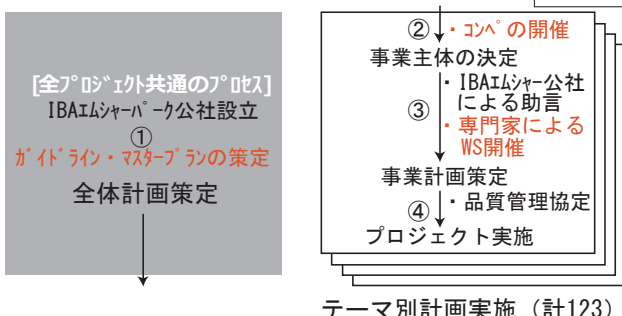


図3 IBA エムシャーの実施プロセス

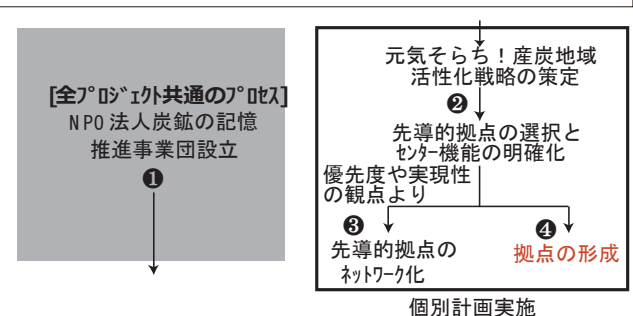


図4 そらち戦略の実施プロセス

ると考えられる。また、IBA エムシャーの実施プロセスを[図3]に示す。IBA エムシャーは、方針テーマに沿って同時多発的に実施し、全体が1つのプロジェクトとして機能するために6つの原則を設けている。

一方そらち戦略は、NPO 法人炭鉱の記憶推進事業団(以下 NPO 炭鉱)の協力の下、民間主導による活動自立化を促進するため、空知支庁によって策定された地域再生のマスタープランである。そらち戦略の目的、目標、方針テーマ、実践意義、戦略の関係性を[図2]に示す。そらち戦略は、地域活性化のための全体計画ではなく、炭鉱の記憶という1テーマによって持続可能な地域にする具体的なプロセスを示す個別計画のみ存在していることがわかる。また、そらち戦略の実施プロセスを[図4]に示す。そらち戦略は、1つ1つのプロジェクトの独立性よりも、全体のプロセスやネットワークを重視している。

### 3. Industrial Nature を導入した具体的事例

Industrial Nature の考え方を導入した具体的事例から、この考え方が実際どのように現れているのかを検討する。

IBA エムシャーは Landschaftspark Duisburg Nord を取り上げ、ランドスケープデザイナー Latz の考えをもとにしたデザインコンセプト、デザイン、意義、成果の関係を[図5]に示す。この事例は、環境再生の1つの手段として Industrial Nature を導入した事例で、鉄製煉所を稼働時の産業建造物を保存し、そこにランドスケープ・デザインを施し再整備した自然公園であり、様々なリクリエーションのための用途へ転換された。

そらち戦略は幌内炭鉱景観公園を取り上げ、活動内容、意義、成果の関係を[図6]に示す。この事例は、地域再生に向けて炭鉱遺産を活用しようと、住民の手により景観公園として整備が進められており、ランドスケープとアートの融合を目指す道を模索している。

Landschaftspark Duisburg Nord は、環境破壊が大きな問題となっており、デザインコンセプト～成果の全てが Industrial Nature に関係している。一方幌内炭鉱景観公園は、豊かな自然を持ち、専門的な立場からの具体的な提言、順路の整備による価値創造・表現へのステップアップ、景観公園としての整備による炭鉱遺産の必要

性と可能性の両立という点において Industrial Nature が現れている。両事例は、産業遺産の残っている規模もその土地の自然環境も異なる。ゆえに、Industrial Nature という同じ概念を導入しているが、具体的なデザインや取り組みが異なり、それによって Industrial Nature の現れかたも変わってくる。

### 4. 結論

各計画を具体的事例より分析すると、IBA エムシャーは、Industrial Nature を創出する要素は全体計画とテーマ別計画の相互に支えられ、Industrial Nature が創出される構造計画になっている。一方そらち戦略は、テーマ計画の中だけで完結しており、Industrial Nature の要素の支えが弱いということがわかった。ゆえに、Industrial Nature とは普遍的な自然の概念であるが、計画や実施プロセスが異なるため、その土地ごとに Industrial Nature の現れかたは大きく異なると言える。

### 5. 展望

今後の展望としては、Industrial Nature をより創出するためにも、また、地域資源を活かした街づくりを進めるためにも、IBA エムシャーに習って横断的なテーマを対象とし、各プロジェクトを全体計画の中に位置づける必要があると考える。また、地域が主体となって取り組み、地域資源の存在を顕在化するランドスケープを人間の手を加えることによって形成することで、多くの人々に愛着を持って利用される空間が生まれると考える。

### 【参考文献】

- ・欧援 <http://www.elfferding.de/profile.html>
- ・都市環境デザインセミナー
- ・そらち「炭鉱の記憶」ガイドマニュアル, NPO 法人炭鉱の記憶推進事業団
- ・炭鉱遺産でまちづくり, 吉岡宏高, 2005.7
- ・元気そらち! 炭炭地域活性化戦略, 空知総合振興局, 2009
- ・明るい炭鉱, 吉岡宏高, 創元社
- ・Landschaftspark Duisburg-Nord HP
- ・市民の手でつくる幌内炭鉱景観公園のパフレット, NPO 法人炭鉱の記憶推進事業団

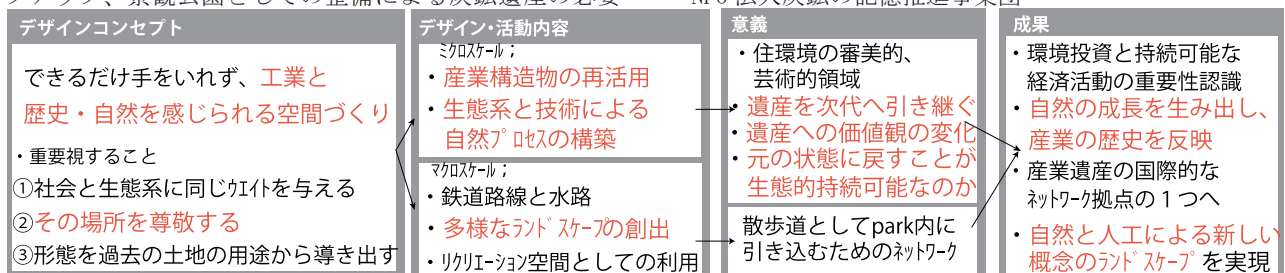


図5 Landschaftspark Duisburg Nord のデザイン、意義、成果の関係

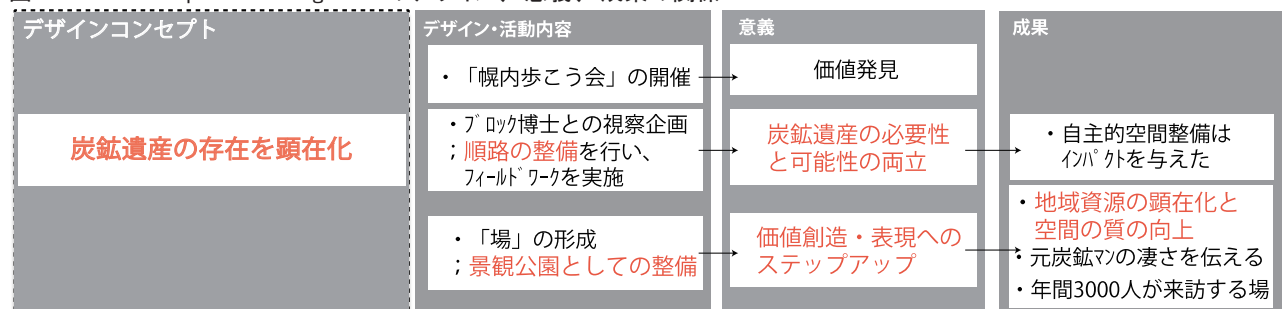


図6 北炭幌内景観公園の活動内容、意義、成果の関係



## 近畿圏における物流実態に関する研究

中央復建コンサルタンツ株式会社 高良麻由

### 1. 研究の位置づけ

京阪神都市圏交通計画協議会では、昭和45年から人の動きに着目したパーソントリップ調査、昭和50年から物の動きとそれに関連する貨物自動車の動きに着目した物資流動調査を実施してきた。

本研究は、平成25年度から平成29年度の5カ年で実施する第5回物資流動調査の集計分析、調査結果とりまとめ方針の検討に該当するもので、事業所の立地や物流実態、保有機能等の一部を集計し、特性を分析するものである。

### 2. 第5回近畿圏物資流動調査の概要

平成27年度に実施した第5回近畿圏物資流動調査の概要は表-1のとおりである。

表-1 第5回近畿圏物資流動調査の概要

項目	内容
調査時期	平成27年10月～11月
対象地域	近畿2府4県(奈良県・和歌山県の一部山間部を除く)
対象業種	製造業、卸売業、運輸業、小売業、サービス業
対象事業所	近畿圏に立地する約58万事業所 <sup>※</sup> の内、物流に関連する業種の中から、約6万5千事業所を無作為に抽出(抽出率:11%) ※:平成26年度経済センサス(総務省)より
調査内容	各事業所における物流機能、立地特性、発生集中量、搬出・搬入圏域

### 3. 近畿圏における物流施策に求められる視点

物流に関する国の動きや、物流を取り巻く社会情勢等の変化及び自治体の施策ニーズ等を踏まえ、近畿圏において物流施策に求められる視点は、「物流施設の適正立地」、「貨物車交通の適正化」、「都市環境の改善」、「大規模災害への対応」が挙げられる。

本研究では、「物流施設の適正立地」、「貨物車交通の適正化」に関して、(1)高速道路整備と物流の実態、(2)事業所の立地特性、(3)求められる物流機能について分析した。

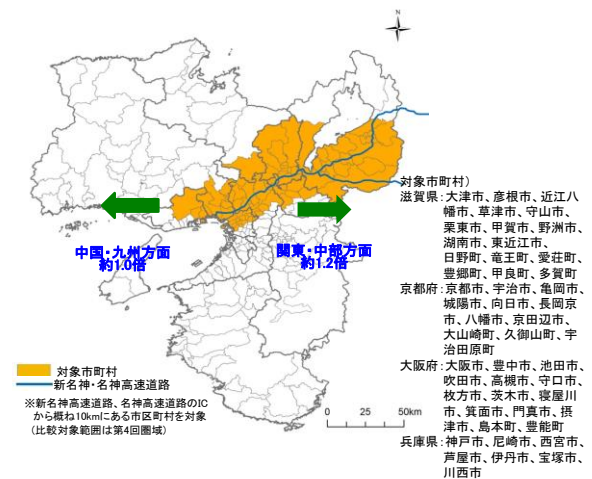
### 4. 第5回近畿圏物資流動調査の結果(概況)

#### (1) 高速道路整備と物流の実態

高速道路周辺地域には、広域的な物流の利便性が高いことから事業所が多く立地している。

近畿圏の高速道路周辺に立地する事業所の物流実態をみると、新名神高速道路周辺地域では大津市、甲賀市、第二京阪道路周辺地域では枚方市、寝屋川市での新規立地がみられる。

さらに、高速道路周辺の事業所から近畿圏外への広域的な物流がみられ、第4回調査(平成17年)に対して、中国・九州方面で同等の物流量がみられ、関東・中部方面においては約1.2倍の物流量となっている。(図-1)



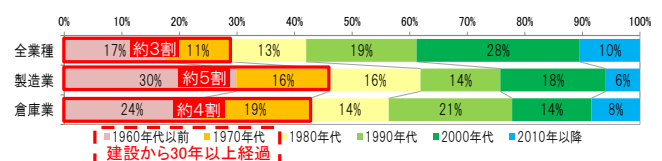
出典:第5回近畿圏物資流動調査

図-1 新名神高速道路・名神高速道路周辺事業所から近畿圏外への物資流動

#### (2) 事業所の立地特性

建設から30年以上経過している事業所は施設の老朽化が懸念されている。これらの事業所の多くが住居系用途地域に立地しており、道路交通や環境面での影響が懸念されている。

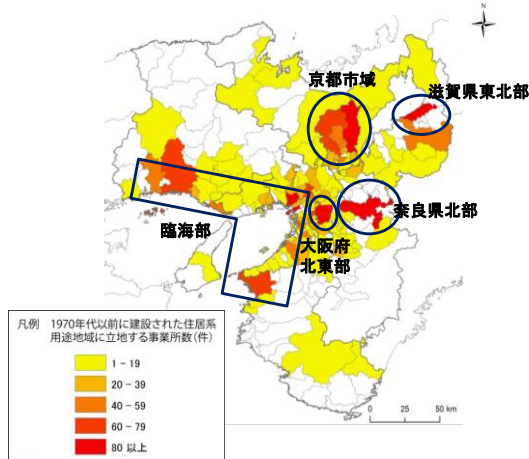
近畿圏に立地している事業所の建設年次をみると、建設から30年以上が経過している事業所の割合は、全業種では約3割、製造業・倉庫業ではそれぞれ約5割・約4割となっている。(図-2)



出典:第5回近畿圏物資流動調査

図-2 近畿圏における事業所の建設年代の割合

また、建設から30年以上が経過している物流機能(保管機能、積み替え機能、荷捌き機能、流通加工機能を総称)を保有する事業所に着目すると、臨海部(概ね、姫路市～神戸市～尼崎市～大阪市～堺市～和歌山市に至る地域)、内陸部では京都市域・大阪府北東部(東大阪市、八尾市)・奈良県北部(奈良市)・滋賀県東北部(彦根市)などの事業所が、住居系用途地域に混在立地している。(図-3)



出典:第5回近畿圏物資流動調査

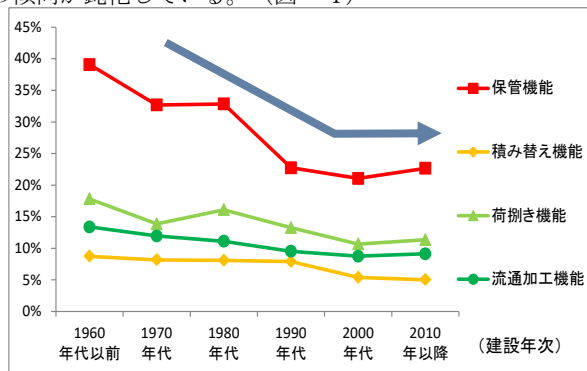
図-3 住居系用途地域における事業所の立地状況

### (3) 求められる物流機能

物流業態の多様化に伴い、物流に関連する事業所の機能・形態にも変化がみられる。

近畿圏における物流機能を保有する事業所(以下、物流関連事業所という)の意向をみると、物流業務を外部委託(すべてまたは一部を外部へ委託)している物流関連事業所の割合は全体の8割を占める。また、物流関連事業所の敷地所有形態は賃貸型の割合が高まっているが、近年はその傾向が鈍化している。

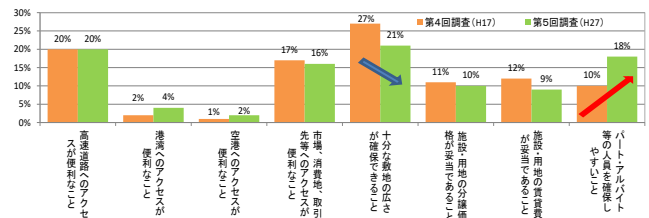
物流関連事業所の機能に着目すると、保管機能を保有する物流関連事業所の割合は減少傾向にあったが、近年はその傾向が鈍化している。(図-4)



出典:第5回近畿圏物資流動調査

図-4 建設年次別にみた事業所が保有する物流機能

また、物流関連事業所が事業所立地に求める条件について、第4回調査(H17)と比べると、十分な敷地の広さが確保できることの必要性が低くなっている。その一方で、パート・アルバイト等の人員を確保しやすいことが重視されている。(図-5)



出典:第5回近畿圏物資流動調査

図-5 事業所を新設・移転する場合に求める条件

## 5. 今後の検討内容

上記4で示した分析結果に対して今後検討される施策は表-2のとおりである。

表-2 今後の検討

分析結果	今後の検討
(1) 高速道路整備と物流の実態 高速道路周辺地域に事業所の新規立地がみられ、近畿圏外への広域的な物流もみられる。	事業所の立地の現状や物の動き、物流に関するニーズ等を分析することにより、広域物流ネットワークの構築、近畿圏における物流施設の適正な立地を促すための施策等が検討される。
(2) 事業所の立地特性 建設から30年以上経過した事業所が約3割ある。	近畿圏における産業の持続的発展を図るため、老朽化が進行している事業所に対しては、適切に機能更新を促す施策等が検討される。また、居住地においては物流施設と住宅の混在による影響への対応が検討される。
(3) 求められる物流機能 事業所の機能・形態やニーズに変化がみられる。	地域や物流業務形態といった観点から、事業者ニーズの変化動向を把握し、物流の効率化や物流施設の適正な立地に資する施策案が検討される。

加えて、物流施設の立地や物資の輸送についての分析や課題に対しての対応策を検討している。

また、その結果から交通計画やまちづくり計画等に展開し、今後の近畿圏の物流面からみた都市交通施策のあり方を検討していく。

## まちづくり活動と連動した空き家活用方策に関する研究

株式会社オオバ 松井 梨奈

### 1. はじめに

近年、少子高齢化や都市への人口流出により過疎化に直面する地方都市では空き家の増加が大きな問題となっている。また、核家族化の進行により今後さらなる空き家の増加が予想される。自治体では空き家バンクを開設し、空き家問題への取組みが進められているが、空き家バンクの開設だけでは空き家問題への対策は難しく、登録件数や成約件数が伸びない自治体も多い。複雑な背景や課題が絡む空き家問題へはまちづくり活動と絡めた複合的な対策が必要なのではないかと考える。

そこで本研究では、空き家の増加により空洞化したまちの隙間を地域再生のチャンスと捉え、まちづくり活動と連動した事例を分析し、複合的な空き家活用方策についての知見を得ることを目的とする。

### 2. 調査方法

①論文検索で「空き家」をキーワードに検索し、その中から具体的な活用事例を取り上げている論文から取組み内容を整理する。

②自治体HPで「空き家」をキーワードにHP内を検索し空き家に関する補助制度、国の事業を活用している事例を収集する。

③抽出した事例の中から、NPOの活動により空き家を活用する移住者が増加していると考えられる徳島県神山町と、行政主導で空き家を活用した移住促進を行い、空き家バンクの成約件数が増加している香川県小豆島町・土庄町を、主体が異なる先進事例として現地調査や主体・移住者へのヒアリングを行い、実態を把握する。追加調査地の神山町、小豆島町、土庄町は過疎地域であり、高齢化率が高くなっている。

### 3. 追加調査地の取組みプロセス

神山町と小豆島町・土庄町の取組みを比較すると、小豆島町・土庄町は他の事例でも実施されている空き家バンクや滞在施設など空き家のマッチングが中心となっており、取組み方に工夫があるのではないかと考えられる。神山町では他の事例ではあまり見られない取組みが実施されている。(表-1)

表-1 追加調査地の取組み

主体	取組み ( <input type="checkbox"/> 共通している取組み)	空き家のマッチング	空き家活用方式	改修サポート	事業費の創出	観光振興	町並み保全活動	定住支援	コミュニティ活動	仕事づくり・仕事探し	空間の整備	その他	取組みの内容
徳島県 神山町	神山町	改修補助金		●									移住者に対する改修補助制度
	NPO	相談窓口	●										移住希望者の相談対応・物件紹介(県と町からの業務委託)
		ワークインレジデンス										●	職種を限定して物件の公募
		サテライトオフィス事業										●	都心オフィスのサテライトオフィス開設のサポート
		神山塾										●	まちでのイベント企画や座学を通じた人材育成事業
		コワーキングスペースの運営										●	旧縫製工場を活用してコワーキングスペースを運営
		お試し居住ハウス(2軒)	●										空き家を活用した滞在施設を移住希望者へ貸出し
香川県 小豆島町	瀬戸内国際芸術祭					●							3年に1度開催する地域資源を活用したアートプログラム
	空き家バンク	●											空き家情報をHPで公開、所有者の紹介
	相談窓口	●											移住の相談、空き家の相談受付
	暮らしガイドツアー	●											1泊2日で島ぐらしの紹介、空き家の見学を行うツアーの企画運営
	改修補助金			●									空き家バンク登録の賃貸物件に対する改修補助制度
	アーティストインレジデンス					●							休校になった校舎を活用し若手アーティストの地域交流型の制作を支援
	お試し居住ハウス(2軒)	●											空き家を活用した島ぐらし体験ができる中長期滞在施設
香川県 土庄町	瀬戸内国際芸術祭					●							3年に1度開催する地域資源を活用したアートプログラム
	空き家バンク	●											空き家情報をHPで公開、所有者の紹介
	相談窓口	●											移住の相談、空き家の相談受付
	暮らしガイドツアー	●											1泊2日で島ぐらしの紹介、空き家の見学を行うツアーの企画運営
	改修補助金			●									空き家バンクを利用した物件に対する改修補助制度
	お試し居住ハウス(1軒2部屋)	●											島ぐらし体験ができる中長期滞在施設
	民間	アーティストインレジデンス				●							小豆島のオリーブや花崗岩を用いたアートの公募



#### (1) 徳島県神山町の取組みプロセス

神山町ではNPOが主体となりまちづくり活動を積極的に行ってきた。取組みプロセスの特徴は、若い世代が少なく、地域に求人も少ないという課題に対し、手に職のある子育て世代を優先して空き家を紹介したり、空き家の公募の際にあらかじめ職種を限定して募集したりすることで、地域に少しずつ雇用が増えたことである。NPOが取組みを行うことで応募順ではなく、地域が求める世代や職種を空き家に呼ぶことができています。また、希望者には最初に家族構成や地域での生活ビジョンを聞き、空き家のマッチングを行うNPOが人の情報と空き家情報の両方を持っていることが空き家バンクの仕組みとは異なる点である。

また、神山町では空き家を活用して地域に必要な機能を埋め込むという、空き家を活用し地域の再開発を行っている。

#### (2) 香川県小豆島町・土庄町の取組みプロセス

小豆島町・土庄町では2007年より小豆島移住交流推進協議会を設け連携体制を構築しながら移住政策を行っている。大きな転機となっているのは2010年から3年に一度開催される瀬戸内国際芸術祭(以下、芸術祭)である。芸術祭では、地域資源を活用し住民と交流を持ちながらアーティストが制作を行う。また、ボランティアサポーターを結成し芸術祭の制作期間や会期中に芸術祭に関わることができるようになっている。この取組みでは、交流人口の増加だけでなく島の魅力発信・再認識することができ、島暮らしのイメージアップに繋がっている。

芸術祭の効果に加え、小豆島町・土庄町では空き家バンク制度や空き家を活用した中長期滞在施設、島ぐらしガイドツアーを行政主体で行っており、暮らしを理解し現実的な計画を立てることができる。このような行政の丁寧なサポートにより移住後の生活のギャップを軽減し、空き家を活用した定住に繋がっていると考えられる。

### 4. 個人ヒアリングからみる取組みの影響

個人へのヒアリングから、自治体やNPOの取組みが地域にどのような影響を与えたのかを把握し、空き家活用のプロセスを3つの型に分類し考察する。

①開業型：場所を選ばない働き方が可能なIT企業やデザイナーなど手に職がある、もしくは新しい土地での店舗開設など明確な目的のあるタイプ。神山町ではNPOから居住や開業の支援を受けており、小豆島町・土庄町では行政が運営する空き家バンクを利用する人や、親族や知人から空き家を手に入れているパターンも見られる。

②一時受皿型：地域おこし協力隊や神山塾のような地域

での活動期間を経て空き家に定住、または開業するタイプ。一時的な受け皿があることで手に職のない人も地域で活動しながら職を探したり、新たに起業したり暮らし方を模索することができる。また、地域に滞在しながら活動するため、活動の中で知り合った住民から空き家を紹介してもらうなど、独自のネットワークを形成して支援を受けていることが分かった。神山町では初期の段階で手に職のある人や店舗を呼び、地域に雇用が生まれ、研修期間を終えた神山塾卒業生の就職先になっていることが分かった。小豆島町・土庄町では芸術祭での制作滞在をきっかけに地域おこし協力隊に就任したパターンが見られ、地域と関わりながらの中長期滞在も一時的な受皿となり得ると考えられる。

③地域雇用型：まちづくり活動によって魅力の高まった地域に興味を持った人が地域で就職するタイプ。現在は県内から通勤している人の中にも空き家を探し移住を希望する人もいます。

個人ヒアリングの結果、空き家に新たな機能や人材を呼び込むことで、地域内外で新たなネットワークが形成され好循環が生まれていることがわかった。空き家活用の取組みだけでなくまちづくり活動と連動し複合的な取組みを行うことでこのような好循環が生まれていると考えられる。

### 5. おわりに

追加調査地の主体・個人ヒアリングからまちづくり活動と連動した複合的な空き家活用の取組みを3つの段階に分けることができた。(図-1) また、神山町のように空き家を利用して地域に必要な機能を補充していくような、まちづくり的視点は過疎地域だけでなく、中心市街地の空き店舗にも応用可能なのではないかと考えられる。

今回は主体の異なる過疎地域を対象に追加調査を行ったが、今後の課題としては中心市街地や歴史市街地などの条件が異なる地域の事例との比較を行うことで空き家活用とまちづくり活動の取組みメニューの組み合わせ方や、地域の条件に合わせてどの段階に力を注ぐかなどの考察が必要であると考えている。

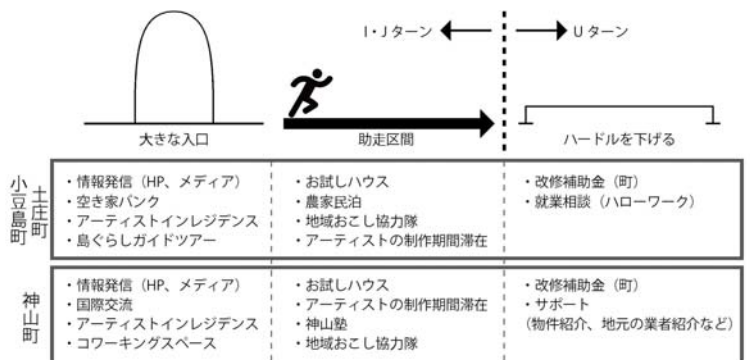


図-1 取組みの3つの段階

## 阿波おどりの時空間分析

東洋技研コンサルタント株式会社 筒井 真輝

### 1. はじめに

近年、日本の地方都市の多くは市街地のスプロール化や都心部の空洞化による中心市街地の衰退が顕著に現れている。それに伴いかつて都市の顔として歴史や文化、芸能がさまざまな中心的機能を担ってきた中心市街地がそれらの機能を失いつつある。都市機能の一つである祭礼は都市に一時的な賑わいを生み、非日常空間へと変容させる。とくに日本の祭礼は都市空間形成や地域社会形成と密接に関係していると考えられることから、地方都市再生のきっかけとして祭礼を媒体に価値ある都市利用のされ方を導き出すことができると考えられる。

最近では祭礼を観光資源として全国に発信する運動も目立ってきた。「東北4大祭りを巡る旅」のように祭礼を観光資源として観光客を誘致することが各地で行われているが、民俗舞踊を観光資源化し成功したのは阿波おどりが先駆けだろう。阿波おどりは屋内ステージや公園などのイベント空間の他に、一般の道路などでも行われる。

### 2. 研究の目的と方法

本研究では、地域の都市機能としての阿波おどりに着目する。今日の地方都市が中心的機能を失いつつあると懸念される中、伝承されてきた文化的かつ個性的要素に注目することは、都市の中心的機能を再構築するうえで効果的であると考えられる。本研究では、「どのような場所に人々が集まっているのか」、「踊りが行われることでそれらの場がどのような使われ方をされているか」、などの視点から阿波おどりと徳島市の都市空間の関係性を明らかにし、将来的な都市再生に必要となると考えられる中心市街地の価値ある場所に関する示唆を導くことを目的とする。

具体的な研究は、空間分析機能に優れている地理情報システム(GIS:Geographic Information System)とビーコン(Beacon モジュール BLEAD)を活用することで、連(踊り手のグループ)の動きを把握する。GIS とビーコンを組み合わせることで、地図上に阿波おどりを踊る人や場所などを示し、どのような場所に人が集まるのか、阿波おどりによって都市がどのような使われ方をするのかなどを視覚的に把握することを試みている。

### 3. 対象地

本研究では、阿波おどりの発祥地である徳島県を対象地としている。阿波おどりは全国各地で行われているが、中でも最大規模を誇る徳島市阿波おどりの開催地である徳島県徳島市が主な対象地である(図-1)。

徳島県は、「鳴門の渦潮」、「大歩危小歩危」、「祖谷のかずら橋」、「脇町うだつの町並み」などの観光資源を有するが、最も観光客を集めているのはやはり徳島市阿波おどりであり、日本を代表する伝統芸能の一つである。



図-1 対象地(徳島県徳島市)

### 4. 分析・把握

阿波おどりの踊りの種類には行進しながら踊る流し踊りや停滞して踊る輪踊り、舞台方の踊りなどがある。踊り手のグループを「連」と呼び、種類は有名連・一般連・学生連・企業連と様々である。踊り手は主に「演舞場」という特設の桟敷や市街地の道路で踊るが、基本的に自由な場所で踊ることができる点は徳島市阿波おどりの最大の特徴といえる。阿波おどり期間中、1000組に及ぶ連が市街地を練り歩く。本研究では徳島市阿波おどり開催時の交通規制区域内を主な対象地とし、「連の集まる場所には人が集まる」という考えのもと、連の動きに着目し調査と分析を行った。そこで、本研究では2015年度より導入され、連の位置がリアルタイムで把握できるシステムを利用し、2015年度徳島市阿波おどりを対象とする。このシステムはビーコン

(Beacon モジュール BLEAD) と専用アプリ (連レーダー) との組み合わせによるものである。連レーダーには 32 組の連が参加した。

連レーダーを利用した結果、連の時間毎の位置を把握することができた。これにより、それぞれが通ったルートを推定することが可能であると考えられる。ルートを推定した後、すべてのルートを重ね合わせることで連同士での混雑推定を行った。次に、現地調査により把握した常に混雑が見られる交差点と重ね合わせると、常に混雑している交差点と混雑が推定される交差点が一致した (図-3)。

さらに、図-3の結果を時間軸とともに分析を行った。その結果、混雑する時間と場所を地図上に可視化することができた。図-4は、紺屋町演舞場と両国本町演舞場間のルート内の時空間での混雑推定結果の1つである。これは 20:00~20:15 前後に図-3でプロットした交差点において最も混雑すると推定できる。

現在、徳島市の最も賑わいのある場所として、紺屋町演舞場の付近が挙げられる。本研究で行った分析結果と、現地調査による結果では、阿波おどり期間中において紺屋町演舞場付近に混雑が確認できなかった。しかし、混雑が確認できたエリア (新町橋・両国橋付近) は、かつて最も賑わいのあった場所である。現在日常的には中心部の様相を失っているエリアであるが、今後再生を試みる場合、この抽出された都市骨格に着目していくことが歴史的、地理的、文化的背景からも妥当といえる。

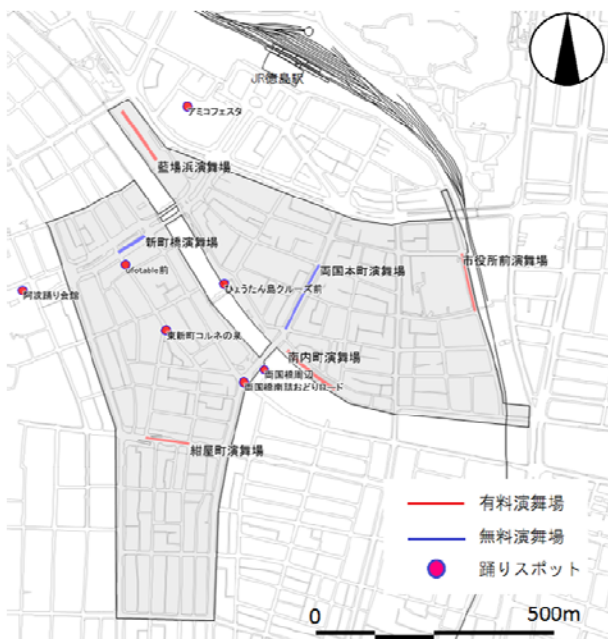


図-2 交通規制区域

## 5. おわりに

本研究では、GIS を活用して、連の動きから混雑する場を推定し可視化した。すなわち、阿波おどり期間中における人の集まる場所を把握することができた。

今後の課題として、交通規制区域内の3次元モデルの作成や阿波おどり期間外における集客状況の分析など、分析と表現の幅を広げることが挙げられる。

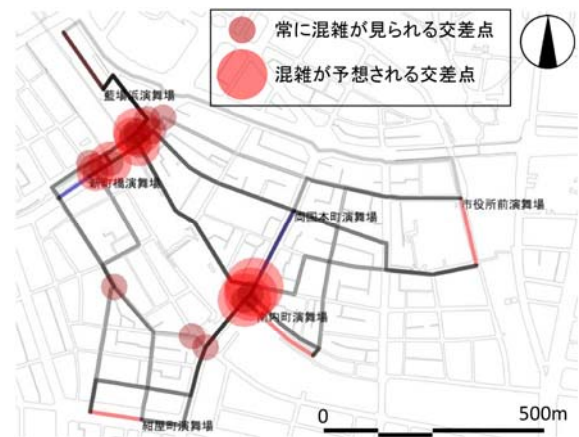


図-3 混雑推定

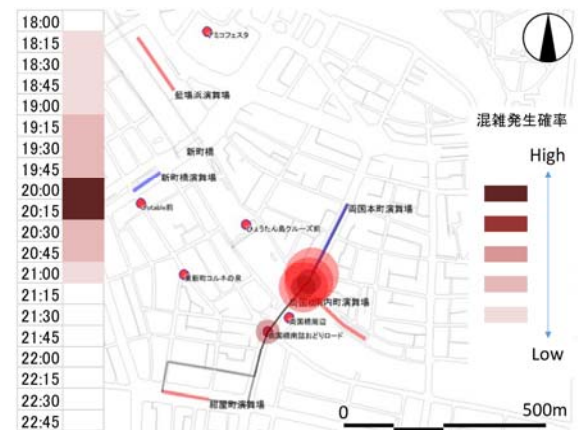


図-4 時空間分析

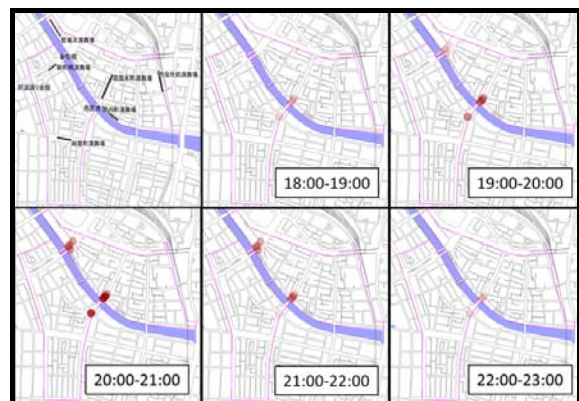


図-5 混雑の時間推移



## バス経路検索履歴データを用いた移動希望特性の分析

(株) 修成建設コンサルタント 香川 喬之

### 1. 研究の背景・目的

これまでバス利用者特性を把握するために、アンケート調査やICカードの利用実績データが用いられてきた。アンケート調査を用いた特性分析では、個人属性と交通行動の関係を詳細に分析できるが、調査は代表的な日に限定されることが多く、長期的かつ継続的な行動を把握できない。一方、ICカードでは長期的かつ継続的なデータ収集が可能であるが、ICカードが導入されていない地方都市では、季節によって変化するバス需要や観光客のバス需要などを把握することは難しい。そこで、本研究では対象地域の交通特性を把握することを目的として、経路検索システムに蓄積されている起終点情報を用いる。ここで、経路検索システムのログデータは、検索行動を表したものであり、実際のバス利用者の行動を表したものではない。しかし、検索行動には、利用者の交通行動希望、あるいは移動予定が含まれている。本研究では、本システムの検索履歴を、移動希望と定義し、移動希望を対象に分析する。

### 2. データ概要と検索件数に関する集計分析

本研究では、鳥取県の経路検索システムであるバスネットのログデータを使用する。また、生活圏域内外の移動を分析するために、日常の生活圏域を中学校区と仮定し、鳥取市を17の中学校区別に分割して分析を行う。

2011年から2013年までの3年間における鳥取市全体の検索件数は、1日の平均が187回であった。検索件数に関する自己相関分析の結果、曜日変動があることが判明し、季節調整法による変動分析の結果、検索件数は金曜日が多く、日曜日が少ないことが明らかになった。

### 3. 分析手順

起終点の組み合わせは17×17地区あり、鳥取市の交通特性を把握するには情報量が多い。そこで、主成分分析を用いて、情報量の縮約を行う。次に、得られた各主成分得点に対して、自己相関分析を用いて曜日変動、月変動の有無の把握を行い、変動「あり」と判定された主成分に対し季節調整法を用いて、主成分得点を周期変動、趨勢変動、不規則変動に分解する。そして、周期変動に対しては季節調整法を用いて曜日、月変動のパターンを把握し、趨勢変動に対しては構造変化点検出法を用いて、統計的に有意な変曲点の抽出を行う。さらに、不規則変動に対しては予測モデルを構築し、特異日に影響をおよぼす要因を抽出する。

### 4. 起終点情報を考慮した移動希望特性の分析

主成分分析の結果、主成分1の寄与率は5.6%と低く、それ以降の寄与率も低い結果となったため、信頼性については一部留保しつつ、主成分1から3までの考察を行う。

#### 1) 主成分1の分析結果

図1に主成分1の移動希望を示す。ここで、図中の矢印は移動希望の起終点を表す。図1より、主成分1は鳥取市中心部(②西、④北)と比較的人口密度が高い地区(①東、③南、⑦湖東、⑩中ノ郷)間の移動を表した主成分と考えられ、自己相関分析の結果、曜日変動と月変動があることが明らかとなった。そこで、季節調整法により、曜日変動と月変動を分析した結果を、図2と図3にそれぞれ示す。図2、3より、移動希望は平日に多く、休日に少なく、冬季に多いことが明らかとなった。図4に趨勢変動分析の結果を示す。図4より、変曲点は2011年12月19日、2012年12月13日となり、雪が降り出す時期に構造変化が起きると考えられる。また、不規則変動分析の結果、気温が低い、または降水量が多いとバス利用が増えることが明らかとなった。これらを踏まえると、主成分1は積雪や路面凍結がある冬季には公共交通を利用するが、普段は公共交通を利用しない通勤・通学者の移動希望と考えられる。

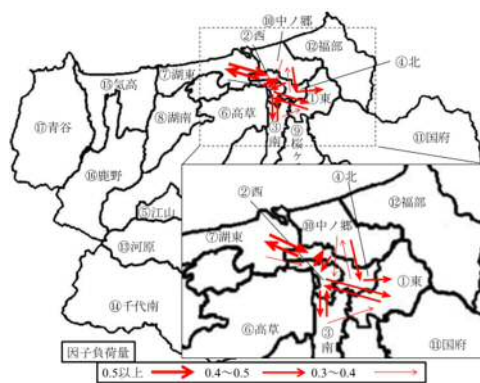


図1 主成分1の移動希望

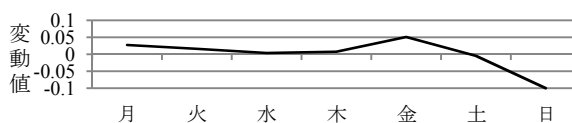


図2 主成分1の曜日変動

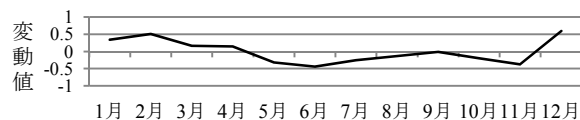


図3 主成分1の月変動

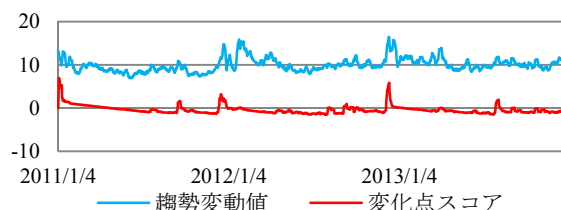


図4 主成分1の構造変化点検出結果

## 2) 主成分2の分析結果

図5に主成分2の移動希望を示す。図5より、主成分2は②西地区と⑫福部地区間の移動、⑦湖東地区と⑫福部地区間の移動を表した主成分と考えられ、自己相関分析の結果、曜日変動と月変動があることが明らかとなった。そこで、季節調整法により、曜日変動と月変動を分析した結果を、図6と図7にそれぞれ示す。図6より、移動希望は平日に少なく、土日に多い。図7より8, 9, 12月に多いことがわかる。図8に趨勢変動分析の結果を示す。図8より、変曲点は2011年12月27日、2012年7月28日、2013年3月2日となった。しかし、これらの日に行動変化を生じさせるようなイベントの特定には至らなかった。一方、不規則変動分析の結果から、降水量が少ないとバス利用者が増えることが明らかとなった。地区特性として②西地区には鳥取駅、⑦湖東地区には鳥取空港があり、⑫福部地区には鳥取砂丘など観光名所があることを考慮すると主成分2は鳥取市の観光客の移動希望と考えられる。



図5 主成分2の移動希望

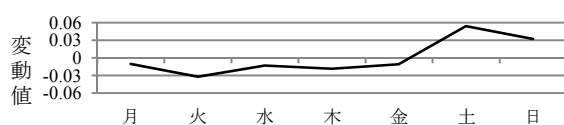


図6 主成分2の曜日変動

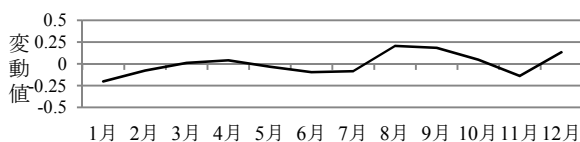


図7 主成分2の月変動

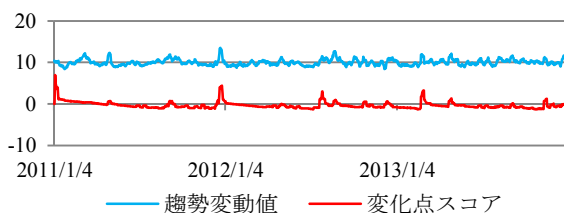


図8 主成分2の構造変化点検出結果

## 3) 主成分3の分析結果

図9に主成分3の移動希望を示す。図9より、②西地区と⑪国府地区、②西地区と⑬河原地区間の移動を表した主成分と考えられ、自己相関分析の結果、曜日変動や月変動がないことが明らかとなった。図10に趨勢変動分析の結果を示す。図10より、変曲点は2012年10月3日となった。これは、鳥取市中心部と河原地区においてバス路線の再編社会実験<sup>2)</sup>が行われた時期と同時期である。また、趨勢変動分析では抽出されなかったが、鳥取市中心部と国府地区間において、2013年4月に鳥取駅と万葉歴史館を結ぶバスが5往復から2往復に減便されたことを考慮すると、主成分3は対象期間中にバスサービス水準が大きく変化した地区の移動希望と考えられる。



図9 主成分3の移動希望

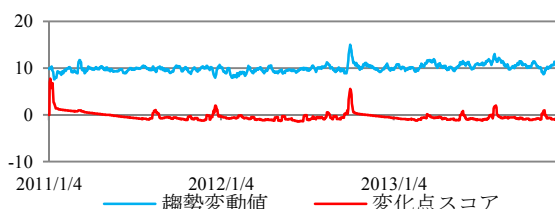


図10 主成分3の構造変化点検出結果

## 5. まとめ

本研究では、経路検索システムのログデータを用いて交通特性の把握を試みた。その結果、積雪や路面凍結がある冬季の通勤・通学者の移動希望や、空港や駅と有名観光地を往来する旅行者の移動希望などの鳥取市の特徴ある交通特性を検出した。今後は、移動希望と実際の利用者数の関係を明らかにする必要がある。

## 参考文献

- 1) バスネット, <http://www.ikisaki.jp/> (2017年6月21日確認)。
- 2) 鳥取市: 南部地域新総合公共交通実証運行の評価・検証報告書, 2014年 (<http://www.city.tottori.lg.jp/www/contents/1385079094786/index.html>)

## 江ノ口川の景観デザイン

いであ(株) 藤 崎 美 貴

### 1. 目的

2015年3月高知市永国寺町に多くの学生が集う複数大学のキャンパスが竣工された。その新しい大学の北側には高知市の中心部を流れる江ノ口川に面しているが、川底にはゴミが溜まり、護岸はコンクリート三面張りとなっており、魅力的な河川環境とは言い難い。この場所を整備することで人々の水辺への関心が高まり、水質の改善・美しい景観形成を促すことが考えられる。よって、キャンパスの魅力を高めるとともに、親水性の向上を図ることのできるデザインを考えるものとした。



図1. 現況写真

### 2. 対象敷地

対象敷地は高知県立大学永国寺キャンパスの北側である。高知市中心部であり、周辺に教育機関や観光地も近く、駅などの交通網も発達している。かつては城下町であり、対象地の少し上流側には高知城の堀へとつながる。デザインを行う範囲として、豊栄橋と中の橋の間の200m程である。



図2. 対象位置

### 3. 現況状況

#### 3.1. 水質について

高知市HP地下水水質調査(H26年)より、生活環境保全に関する環境基準の類型はC評価<sup>1)</sup>(水産3級・工業用水1級)である。以前に比べて水質は目に見えて良くなっているが、江ノ口川に合流する支川では一部下水道が完備されていないため、江ノ口川との合流部で水質の数値が低く出てしまっている。改善していくためには、下水道の完備と水質改善活動の活発化が必要である。

#### 3.2. 交通量調査

キャンパスと川の間には道路があり、歩行者中心の道路とすべく交通調査を行った。調査日は、平日と休日の計3日間行った。調査時間は、7:00~9:00、12:00~14:00、16:00~18:00とし、交通量が多いと思われる朝、昼、夕に2時間ずつ計測した。結果は図3に示す。結果を見ると自転車の交通量が最も多く、周辺に学校が多いため、学生の割合が多い。もともと一方通行であり、時間帯によっては路上

駐車が可能となっている場所であるため、交通量は比較的小さい。また、周辺に道路が多くあるため、仮に工事で通行止めとなった場合でも

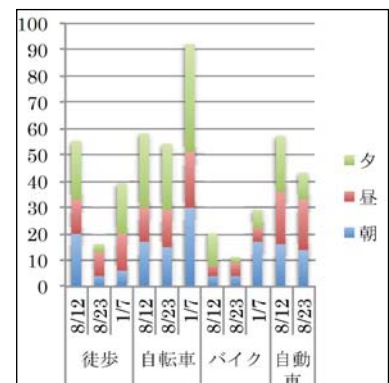


図3. 交通調査結果

大きな問題はないと判断できる。

#### 3.3. 河川の現況断面・水位

大学前の河川の護岸は、パラペットのある急傾斜護岸である。河川内に降りるための階段等はなく、親水性は皆無である。また、対象敷地は下流部に位置するため、水位は潮の影響を受ける。満潮・干潮時の水位は断面図に示す。



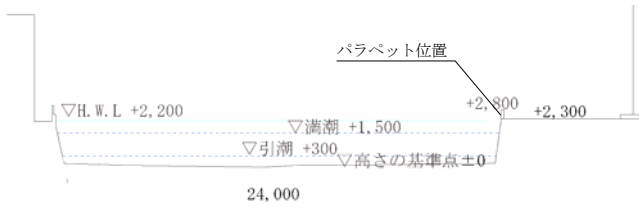


図4. 現況標準横断面

#### 4. 基本方針

基本方針は以下の4つの項目を考慮する。

- ①護岸部の安全性など治水面を考慮する。
- ②親水性を向上させる。
- ③交通は歩行者・自転車のみの通行とする。ただし、対象地の東側の店舗前は自動車の出し入れが必要となってくるため、自動車の走行を許容する。
- ④かつての城下町であり、大学の前であるといった土地の特徴にあったものとする。

これらの方針を含めて、「水辺を楽しむ空間」をコンセプトとする。

#### 5. デザイン概要

水際線は、現況の真っ直ぐであった部分を曲線とした。水際の曲がり部分や階段・スロープの下には水制工を設置することで、緩やかな流れと親水空間を生み出す。その上で、現況よりも川幅を広げないように水際線を曲げることで、河積を狭めることのないようにした。また、敷地東側の大学の駐車場を縮小させオープンスペースを確保した。街路樹には桜並木を配置する。

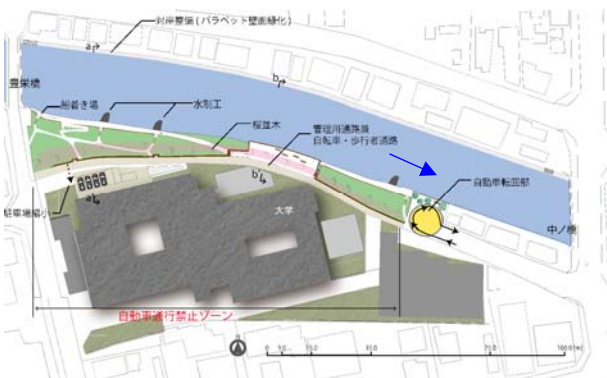


図5. 全体平面図

右岸側護岸形式は、水辺へ近づきやすくするため緩傾斜部と2段式の護岸を組み合わせる形式とした。2段式部の小段に遊歩道を設けることとする。上部を緩傾斜化するため、パラペットをキャンパス側へと後退させることで緩やかな傾斜を可能とした。ただし、キャンパスと護岸の間の幅が狭く、十分な道路の幅を確保できない区間においては、現況の護岸と同じ断面として、パラペットは前面に突出し

ている。計画高水位時には、パラペットの位置まで浸水することを想定している。

現況は休憩スペースであったこの場所を自動車転回部とし、既存樹木はそのまま利用することとした。

護岸は自然石による石積みであり、水際には水生植物や寄せ石を設置することで、川らしさを創出する。左岸側は住宅が護岸に近接しており、手を加えることは現実的でないため、パラペットの壁面緑化を行うものとする。

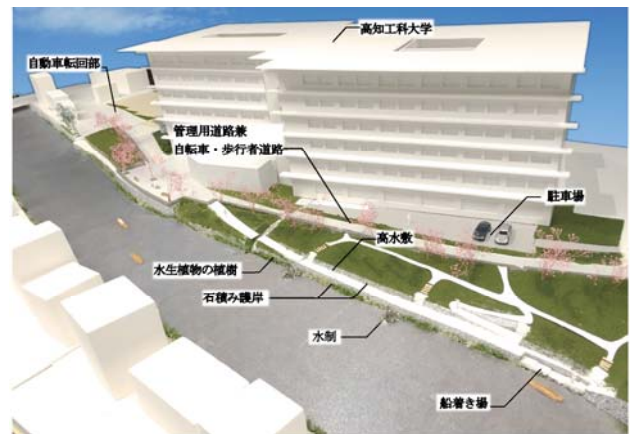


図6. 模型写真

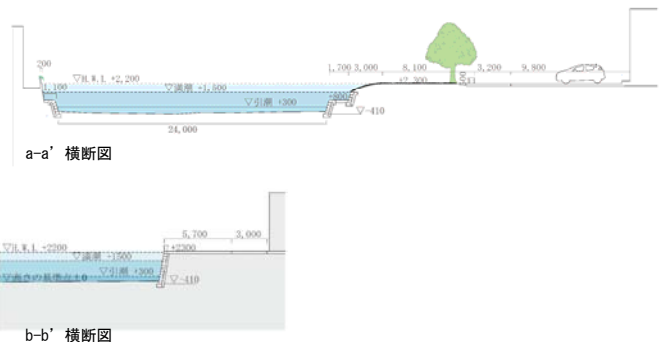


図7. 横断面

#### 6. おわりに

本研究では、大学前の河川空間の親水性の向上を図り、水辺へ近づきやすい空間とするためにパラペットを用いて護岸の形状を変化させ、単調とまらない水際線を検討した。

今回の検討ではこの場所らしさが不十分であったと考える。単に親水性が高いだけでなく、地域の人々に愛着を持ってもらえるような土地の特性を生かした工夫ができればよかったと考える。

#### 7. 参考文献

- 1) 高知県HP 平成26年度公共用水域及び地下水質の水質測定結果 (3) 測定結果総括表・個表  
<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030801/mizu-kekk-a-h26.html>

## 低炭素社会を考慮した超小型モビリティの利用可能性に関する分析

(株)オオバ 川原 悠佑

### 1. はじめに

近年、低炭素化を目指して通常のガソリン自動車の代替的な低炭素車両として電気自動車(EV)やハイブリッド自動車(HV)などのクリーンエネルギー自動車(CEV)が普及している。これらの車両は「次世代自動車」といわれている。最近では、電気自動車の中でも車両の大きさが比較的小さい「超小型モビリティ」(ULV)が提案され、開発・実用化が進められている。超小型モビリティは車両サイズが従来のものより小さい上、最高速度が他の車種よりも低く設定されているなどの性能が異なる。このような特殊車両の普及にともない、環境負荷量の変化や道路交通における交通現象の変化がもたらされると考えられる。そのため、道路交通における安全性、快適性、円滑性を確保するため、多様な車両構成の実態を検討する必要がある。

本研究は、その中でも特殊車両である超小型モビリティの走行特性を整理し、道路交通における利用可能性を検討することを目的としている。

### 2. 超小型モビリティの位置づけ

超小型モビリティとは、国土交通省の定義<sup>1)</sup>によると、「コンパクトで小回りが利き、地域の手軽な移動の足となる1人～2人乗り程度の自動車」とされている。導入・普及により、環境にもやさしい車両交通の抜本的な省エネルギーに資するとともに、都市や地域の新たな交通手段、観光・地域振興、高齢者や子育て世代の移動支援などの生活・移動の質の向上をもたらす新たなカテゴリーの乗り物として注目されている。また、超小型モビリティの位置づけは軽自動車と原付バイクの中間程度とされており、これまで電動車椅子や電動アシスト自転車、あるいは原付バイクなどの利用用途を一部代替することが想定されている。

### 3. 超小型モビリティの交通実態調査

超小型モビリティの加速性能を検証するため、特定の車両を用いた一般道路上での走行調査を行った。本研究は、トヨタ車体の1人乗り4輪車であるコムスを利用した。仕様について表1に示す。比較として5人乗り4輪車のガソリン車両であるトヨタのカローラを用いる。

表-1 超小型モビリティの仕様<sup>2)</sup>

車名	トヨタ車体 コムス
車種	第一種原付
寸法	2,395×1,095m
車両重量	400kg
最高速度	60km/h
最小回転半径	3.2m
乗車定員	1名
航続距離	約50km
充電時間	6h(100V)
出力	定格:0.59kW 最高:5kW
免許	普通
車検	不要
車庫証明	不要

本研究で利用した調査経路を図1に示す。



図-1 走行調査経路

運転による影響特性は個人差があるため、両方の車両に乗車していただき走行性の特徴を抽出する。同条件下で走行を行い、その際に生じた結果から道路交通網への影響分析を行う。調査結果の代表例について図2に示す。

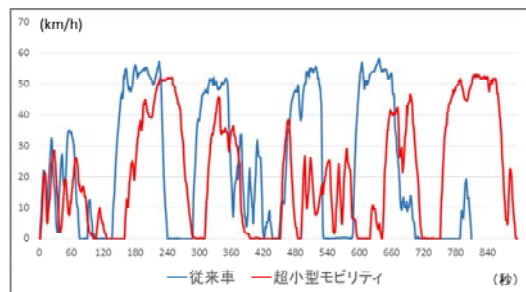
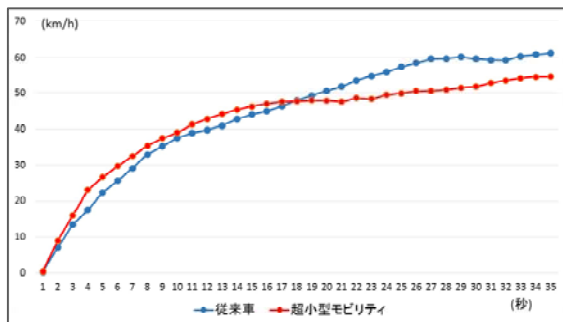


図-2 車両走行結果（代表例：同一被験者）

その結果、「従来車と比較して超小型モビリティの方が所要時間が長いこと」や「超小型モビリティは交差点部以外でも速度のばらつきがみられること」から全体を通して速度が不安定であることが確認できた。また、被

験者インタビューにおいて「超小型車両は大型車両、ビニール製のドアなどが影響となり、信号機や標識の確認がしにくい」という意見が得られたことから、車両規格は改善の必要があるといえる。

次に、走行調査経路上の交差点において、先頭車両に停車時の発進加速について車両別に比較を行った。その結果を図3に示す。車両別に発進加速を比較すると、超小型モビリティの方が高く、従来車よりも前に乗り出せることが分かった。しかし、40 km/h 程度まで加速すると、それ以降は速度が上昇しにくく、後続車の渋滞につながり、道路交通流へ影響を及ぼすことが考えられる。



図－3 発進時の加速度変化（代表例：同一被験者）

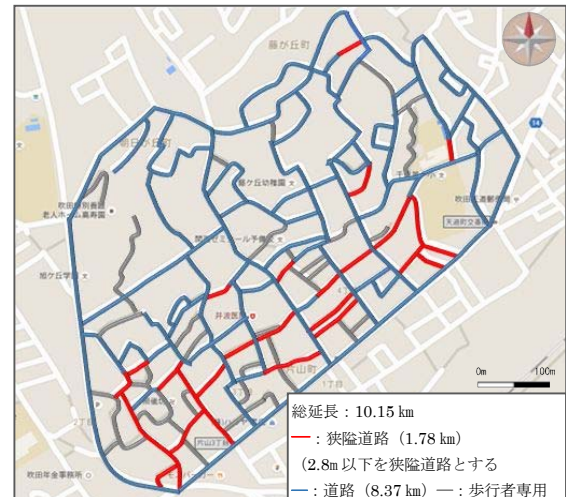
#### 4. 超小型モビリティの利用可能性に関する分析

超小型モビリティの利用の場として期待されている狭隘道路を含む地域で検証を行った。幅員は現地で最大幅員と最小幅員を含めた5ヶ所で測定を行い、平均値を算定した。なお、最大幅員が2.2mの区間では、従来車の通行が困難であったため、超小型モビリティの方が通行するには優位であると判断した。そのため、対象区間は平均幅員が2.3m以上とする。また、ドライブレコーダーによる撮影に加え、GPSを用いた走行座標と速度の記録を行った。1ヶ所に対して計3回の調査を行った。調査結果を表4に示す。対象区間①は大きな変化がみられない。対象区間②と対象区間③は走行時間や平均速度に違いがみられた。自動車の最大幅は2.5m程度であり、通行の際に大きな影響はない。しかし、狭隘道路においての走行は可能であるが速度が出せないことが確認された。

表－2 調査結果一覧

		従来車	超小型モビリティ
対象区間① 幅員:3.48m	平均走行時間(秒)	36	36
	平均速度(km/h)	17.12	17.09
	最高速度(km/h)	22.92	25.21
対象区間② 幅員:2.32m	平均走行時間(秒)	43	35
	平均速度(km/h)	12.63	15.45
	最高速度(km/h)	17.45	20.50
対象区間③ 幅員:2.71m	平均走行時間(秒)	31	23
	平均速度(km/h)	8.90	11.85
	最高速度(km/h)	16.36	19.86

検証結果に基づき、地域を特定し、超小型車両の利用に適した道路区間の提案を行った結果を図4に示す。この区間の移動手段を超小型モビリティに代替すると、荷捌きスペースの最小化をすることができ、他の車両が通行する際の障害をなくす方法のひとつとなる。また、今回の検証結果から赤色で示したルートを選択することで移動時間の短縮にもつながると考えられる。



図－4 超小型車両利用道路提案

#### 5. おわりに

本研究は、超小型モビリティに着目し、性能や車両規格の相違から走行特性および利用可能性の検証を行った。本研究の成果を以下にとりまとめる。

- 1) 超小型モビリティは40 km/h程度までの加速度が高く、それ以降は緩やかになり、従来車に劣る。
  - 2) 平均幅2.8m以下の細街路区間において、超小型モビリティは一般車両と比較すると利用が行いやすい。
- また、これらの結果から超小型モビリティの利用可能性について考察をした。

- 1) 一般道路網において混雑時の有用性は高いが、円滑時の道路交通に非効率な影響がある。
- 2) 一般道路網における総延長の一部は、細街路であり利用可能性が高い。

#### 6. 参考文献

- 1) 国土交通省：超小型モビリティ導入に向けたガイドライン  
<http://www.mlit.go.jp/common/000212867.pdf>
- 2) 超小型EV「コムス」：トヨタ車体  
<http://coms.toyotabody.jp/>



## 震災復興による嵩上げ工事において沿道住民の生活に配慮した施工計画

協和設計(株) 中島 裕章

### 1. 計画概要

本業務は、震災復興事業による嵩上げ盛土計画において、国道の付け替え計画を行ったものである。また、沿道宅地の住民の生活を損なわないため、仮設道路の施工計画を行った。

### 2. 本業務の課題

付け替え対象箇所の国道は、BRT（バス高速輸送システム）の経路となっていることや、工事車両が通るため交通量が多いが、迂回路がない。また、国道沿いには宅地があるため、国道を封鎖するのは不可能である。



図-1 国道（現道）

### 3. 課題の解決

課題解決のため下記の計画を行った。

- ・ 国道の封鎖ができないため国道切回しを行う。
- ・ 宅地から国道にアクセスするため仮設道路を計画。

### 4. 設計内容

#### 4-1. 現地調査、地下埋設物の確認

現地調査を行うことで、盛土による影響範囲の確認、また、支障物の確認を行う。（図-2 参照）ライフラインの切回しも必要なため、地下埋設物との取り扱いを図るため、下水道台帳などを利用し確認を行った。

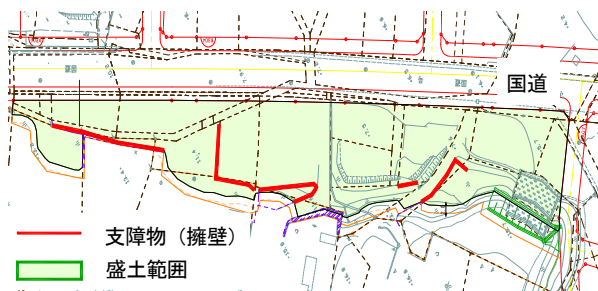


図-2 支障物確認

#### 4-2. 国道切回し計画

切回し道路については、現道の道路附属施設・ライフラインを移設（図-3 参照）するため、起点部においてすみやかに現道から離れるとともに、将来宅盤高を見越した計画高で整備を行った。

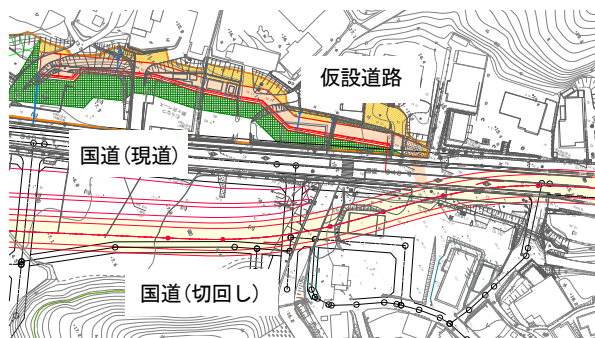


図-3 平面図

#### 4-3. 仮設道路計画

切回し計画に伴い、宅地から国道へアクセス出来なくなるため、仮設道路の計画を行った。仮設道路は、将来宅盤高を考慮し、同等の高さとなるように道路の計画を行った。（図-4 参照）道路の縦断勾配については、路面排水を滞りなく行うため 0.3% の勾配を確保し計画をした。ルートを選定については、住宅からの污水や上水道の引き込み、出入りのしやすさを考慮し、住宅に沿うように設計を行った。

盛土工事完成後及び、国道復旧後、住民の意向に基づき、アプローチ道路の計画を行った。

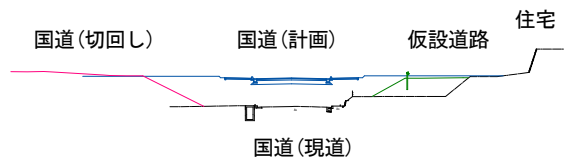


図-4 横断図

### 5. まとめ

現地調査に行くことで、図面からは分からなかった現況の状況がよく分かった。図面には載っていない位置に新設された人孔があり、実際の交通量も思っていたよりも多く感じた。また、切回しのイメージもしやすく、現地調査の重要性に気づかされた。

道路ひとつ切回すにも、工事手順を考慮し、雨水や汚水の付け替えも考える必要があり、多くのことを考える必要があることが分かった。

## 観測条件を反映した Bluetooth スキャナによる MAC アドレス検知確率推定モデルの構築

(株) オリエンタルコンサルタンツ 河野 侑奈

### 1. はじめに

近年, Bluetooth 通信を用いた交通流計測に関して, 諸外国に続き日本でも多くの研究事例が報告されている. この手法は, 複数観測地点において Bluetooth 通信を用いて, 電子機器が個々に持つ MAC (Media Access Control) アドレスを検知することにより, 観測地点間の OD 交通量や旅行時間を観測することが可能となる. また, 従来の交通流計測システムである AVI 等に比べ, 低コストで簡便に計測することも可能である. しかし, Bluetooth を用いた交通流計測では, 取得される MAC アドレスの検知率 (Bluetooth 搭載車両に対する MAC アドレス検知数の割合と定義) には観測条件によりばらつきがあることが報告されている.

そこで, 本研究では, Bluetooth 通信を用いて MAC アドレスを検知するにあたって, 観測条件ごとの MAC アドレス検知状況を把握し, 観測環境が MAC アドレス検知率に与える影響の要因を明らかにする.

### 2. 実験概要

本研究では, MAC アドレス検知率に与える要因を特定するために, いくつかの条件を設定し, 実際に車両を走行させる実験を行う.

#### 2.1 実験概要

Bluetooth スキャナ (以下スキャナとする) を用いた交通流計測において MAC アドレス検知率に与える要因を特定する. 1 台の車両が 1 回の走行で観測できるカーナビの MAC アドレス検知回数を計測するため車両を走行させる. 要因として, 以下の表に示すものを想定する.

表 1. 想定する要因

想定する要因	実験条件
車両速度	20km/h, 30km/h
スキャナの設置角度	0°, 45°, 90°, 135°
タイムアウト時間	3 秒, 5 秒, 10 秒
スキャナの設置高さ	建物の 1 階, 2 階
カーナビの機種	A (HM512D-W) B (NSCP-W64)

#### 2.2 実験内容

本実験では, 4 台のスキャナを観測区間に設置し, カーナビ A を載せた車両とカーナビ B を載せた車両の 2 台を用いる. 同条件のスキャナを建物の 1 階と 2 階に各 2 台設置する. ①走行区間は愛媛大学内で 120m を観測区間とし, 一定速度で走行しているものとする. ②観測地点は中間地点の 60m の地点とする.

③観測区間の開始地点と終了地点には, ビデオカメラと時計を設置し, 車両の通過時刻を 1/10 秒単位で記録する. 2 階の高さは 4.5m であり, 1 階の観測地点の真上になるようスキャナを設置する. また, 車両の通過時刻とスキャナで取得したデータの受信時刻にはズレがないものとする.

以下, 設定した各要因について説明する.

##### (1) 車両速度

Bluetooth の通信範囲は, 電波強度の大きさによって通信範囲が異なってくる. 電波強度は Class1~Class3 に規定されており, 通信範囲は Class1 が 100m, Class2 が 10m, Class3 が 1m とされている. 本実験で使用するスキャナは過去の検知状況により Class1 であると想定される. 移動体 (車両) に対しては通信範囲内に移動体が存在する時間が移動速度によって異なるため, 車両の速度が変われば検知率にも影響があると考えられる. 本実験では, 学内で行うため 20km/h と 30km/h のみで実施する.

##### (2) スキャナ設置角度

西内ら<sup>1)</sup>は, Bluetooth 通信を用いた移動体データ取得のための基礎的分析として, 固定された複数台の MAC アドレス発信機の設置角度や設置距離が検知率に影響することを示している. 角度に関しては, スキャナを地面に対して垂直に置き, 画面が右にあるときを  $\theta = 0^\circ$  とし, BT スキャナを時計回りに  $\theta = 45^\circ$  に傾けたときに検知率が高くなるという結果が得られている. 本研究では, 移動体に対しても同様な結果が得られるか実験を行う.



図 1. スキャナの  
設置角度

##### (3) タイムアウト時間

スキャナにおいて, Bluetooth 探索 API を発行してから次の API を発行するまでの時間をタイムアウト時間と呼んでいる. アプリ内では, タイムアウト時間を 1~12 秒の間で 1 秒ごとに自由に時間を設定することができる. さらに, 1 回の API 発行に対し Bluetooth 機器からの返信は 1 回のみであるが, Bluetooth 機器からの返信が不定期であるためにタイムアウト時間内に Bluetooth 機器から返信があるかは不明確である. そのため, タイムアウト時間の設定により MAC アドレスの検知率に影響があると考えられる. 本実験では, タイムアウト時間を 3, 5, 10 秒に設定し実験を行う.

### 3. 要因分析

#### 3.1 分析方法

分析方法として, ロジスティック回帰分析を用いて要因分析を行う. 検知回数にスキャナからの検知距離や角度を説明変数として加え, 距離と角度の影響を見ることができる.

本分析を行うにあたり, 車両走行区間に 15m ごと (8 区間) の

区間を設定し、区間ごとの検知回数に対してロジスティック回帰分析を用いて要因分析を行う。モデル式は式(3-1)となる。

$$P = \frac{1}{1 + \exp(ax)} \quad (3-1)$$

$P$ : 検知確率、 $x_{1/F}$ : 速度逆数(実数)  $x_{t_2}$ : タイムアウト時間3秒ダミー、 $x_{t_5}$ : タイムアウト時間5秒ダミー、 $x_{1F}$ : スキャナ設置高さ1階ダミー、 $x_{in}$ : 車両がスキャナに近づくときダミー  $x_1$ : 検知距離(実数)、 $x_{occ1}$ : スキャナ①ダミー、 $x_{occ2}$ : スキャナ②ダミー、 $x_{occ3}$ : スキャナ③ダミー、 $x_{\sin(\theta+45^\circ)}$ : 検知地点角度( $\sin(\theta+45^\circ)$ ) (実数)

速度と速度逆数は、純粋な速度だけの影響と逆数をとることで速度変化による時間的な影響を見るためである。今回は2つを説明変数として用いると多重共線性が見られたため、速度を説明変数から除いて分析を行う。検知地点角度は $\sin(\theta+45^\circ)$ を説明変数とする( $\theta$ には検知距離でのスキャナから見た角度とスキャナの設置角度を合わせたものである)。上記の説明変数のうち速度逆数、検知距離、検知地点角度には実数を入力している。速度の逆数を説明変数に加えた理由として、逆数を取ることで速度変化による時間的な影響を見ることができ、車両が1回走行したときのデータ数は、走行区間を8区間に分けているためデータ数は8である。各区間には検知回数が1回以上検知されたときに1、0回のときに0となるように設定してある。検知距離はスキャナからの距離を表しており、各区間で検知回数が0のときは各区間のスキャナからの距離の平均をデータとして用いる。検知角度は、スキャナから見たときの角度を表しており、距離と同様に各区間で検知回数が0のときは各区間のスキャナから見たときの角度の平均をデータとして用いている。

3.2 実験データによる検知距離の特定処理方法

スキャナが取得したデータから検知距離(MACアドレスが取得された地点の観測開始地点からの距離)を特定する方法を記述する。これはそれぞれデータ取得日時(UNIXタイム)とAPI発行後からの経過秒を表している。DATA1の取得日時からDATA2のAPI発行後からの経過秒をひくことで、Bluetooth機器を検知した時間をミリ秒単位で特定することができる。次にビデオカメラで撮影した車両の通過時刻から観測区間の平均速度を求める。通過時刻と求めた平均速度から検知距離を特定することができる。また、MACアドレスを検知した距離によって、スキャナから見た角度が異なるため、走行区間内のMACアドレス検知距離を特定し、その検知距離から検知地点角度を求め、車両とスキャナとの角度関係を明確にする。

検知距離の求め方を以下の式(3-2)に示す。

$$C = (D_2 - D_1) \times \frac{l}{T_2 - T_1} \quad (3-2)$$

$D_1$ : DATA1(取得日時)、 $D_2$ : DATA2(API発行後からの経過秒)、 $l$ : 走行区間(120m)、 $T_1$ : 観測開始時刻(通過時刻)、 $T_2$ : 観

測終了時刻(通過時刻)、 $C$ : 検知距離(m)

3.3 分析結果

ロジスティック回帰分析の結果は以下の表ようになる。

表2. 分析結果

	偏回帰係数 B	有意確率	Exp(B)
タイムアウト3秒	0.684	0.000	1.983
タイムアウト5秒	0.327	0.010	1.387
IN	1.284	0.000	3.610
検知地点	-0.046	0.000	0.955
検知角度( $\sin\theta+45^\circ$ )	0.264	0.000	1.302
速度逆数	10.173	0.000	26177.980
定数	-3.567	0.000	0.028

重決定係数R <sup>2</sup> 乗	0.094
補正決定係数R <sup>2</sup> 乗	0.185

速度逆数、タイムアウト時間、車両がスキャナに近づくとき、検知地点、検知角度( $\sin(\theta+45^\circ)$ )で有意性が見られる。特に検知率対するに影響度が高いと推定された速度逆数は、検知範囲にいる滞在時間の指標であることから、速度が遅く滞在時間が長くなることが考えられる交差点内や交差点出入りにスキャナを設置することが望ましいと考えられる。また、車両がスキャナに近づくときに検知されやすい傾向にあることから、検知確率に対して車両の進入や流動の多い交差点内の設置が適切だと言える。スキャナ設置高さについては、ロジスティック回帰分析の結果から影響はないと推定されるので、歩道橋や外灯へのスキャナの設置も有効であると考えられる。タイムアウト時間については、分析から3秒が最も検知されやすいという結果になっている。

4. おわりに

本研究では、Bluetooth通信を用いて交通流を計測する際のMACアドレスを検知するにあたって、観測条件ごとのMACアドレス検知状況を把握し観測環境がMACアドレス検知率に与える影響の要因を明らかにした。この結果をふまえて、今後実交通での同観測手法を適応させ、モデルの汎用性を検証する必要がある。

参考文献

1) 西内裕品、塩見康博、倉内慎也、吉井稔雄、菅芳樹：移動体データ取得のためのBluetoothMacアドレス検知の指向性に関する基礎分析



## 四国の道の駅の立地特性と施設機能による来訪魅力の違いの特定

(株)エイト日本技術開発 轟木 脩平

### 1.はじめに

近年、地方都市の地域活性化の主要拠点施設のひとつとして道の駅が注目を浴びているが、少子高齢化や競合施設の増加に伴い、来訪者の減少が課題となっている道の駅も少なくない。これに対して、2015年に作られた重点道の駅制度では、道の駅のモデル事業が全国的に選定された。ここでは、道の駅の重点的な拠点機能を、地域の観光を促進するゲートウェイ型と、地域の生活の質を高める地域センター型に分類し、それぞれモデル事業を選定している。しかし、このようなモデル事業は、限られた成功事例のみにしか焦点を当てておらず、問題のある道の駅に対する対策とはならない。よって、来訪者がより一般的にどのような要素に道の駅の魅力を求めているのか定かではなく、多様な道の駅の魅力度を診断する汎用的なツールが必要であると考えられる。また、既往研究<sup>1), 2), 3), 4)</sup>では、道の駅の施設機能と立地特性は個別に研究されており、立地特性を考慮したうえで施設機能を評価した研究はされていない。

そこで、本稿では、四国の道の駅を対象に、立地特性ごとに四国の道の駅を類型化し、施設機能による来訪魅力の違いを特定する。

### 2.道の駅の立地特性と施設機能の要素項目の定量化

まず、道の駅の施設機能の要素項目の整理および定量化を行う。施設機能に関しては、機能別に施設を抽出する。施設の抽出方法としては、四国クリエイティブ協会が収集した四国の道の駅の施設情報データから施設項目を抽出した。そして、選定した施設項目が観光用か生活用か、もしくは両方の機能を持っているかの分類を行った。その結果、駅内観光施設として売店や情報コーナーなど7項目、駅内生活施設は直売所や防災施設など6項目、両方の機能を兼ね備えた施設として、トイレや直売所など7項目を選定した。道の駅の施設機能に関しては、観光・生活・両方の3要素に分類することができ、観光は駅内観光施設数、生活は駅内生活施設数、両方に関しては、立寄機能に関連した施設が多いことから、全ての道の駅が整備している実駐車場の台数を指標値として用いることとする。また、施設機能の要素として四国クリエイティブ協会が行った四国の道の駅運営者・管理者アンケートから施設機能に関する質問事項13個の質問項目の回答結果を指標値として用いる。

次に、立地特性の要素項目の整理および定量化を行う。立地特性に関しては、観光・生活・立寄の機能の要素別に抽出する。要素項目として周辺観光施設数・周辺道路交通量・周辺人口を対象とした。周辺観光施設に関しては、GooglePlaceAPIというウェブサービスを用い、観光名所という検索キーワードで各道の駅の半径10km圏内の件数を抽出した。交通量に関しては、前述の道の駅施設情報データから各道の駅の最寄の主要道路を特定し、昼間12時間自動車類交通量を道路交通センサスから抽出した。周辺人口に関しては、国土数値情報データベースより各道の駅半径5km圏内のメッシュ別2010年の人口データを使用した。

### 3.道の駅の立地特性による類型化

四国の道の駅を類型化するために、立地特性の要素である周辺観光施設数・交通量・周辺人口を考慮してクラスター分析を行った。クラスター数を3個に分けた場合の各グループの立地特性の要素の比較を図-1に示す。この結果、周辺人口が多いことから地域センター型の立地特性をもつグループ1、立地特性の要素の水準値が低いグループ2、周辺観光施設が多いことからゲートウェイ型の立地特性をもつグループ3と3グループに分類することが出来た。

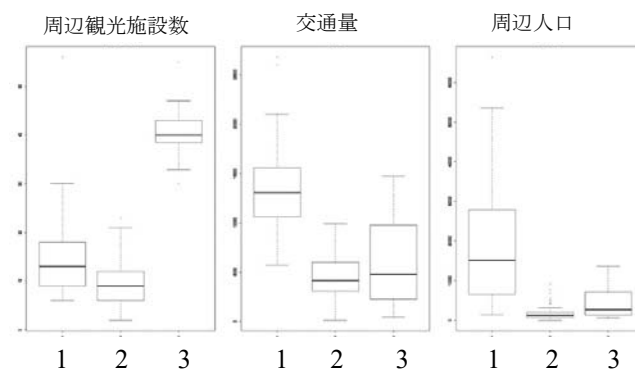


図-1 クラスター数3個の場合の立地特性の要素の比較

グループごとに施設機能を比較してみたところ、グループ1は立寄面の駐車場台数が多い、グループ2に関しては駅内生活施設の整備が進んでいる特徴が見えた。グループ3に関しては、グループ別の道の駅運営者・管理者アンケート評価の結果より、施設機能全体の整備が進

んでいない特徴が見られた。

#### 4.立地特性と施設機能による来訪魅力の把握

立地特性別に施設機能が来訪魅力に与える影響を分析するため重回帰分析を行う。目的変数の魅力度指標として平成 26 年度の年間来客者数を用い、説明変数の要素としては、立地特性の要素である駅内観光施設数・交通量・周辺人口、施設機能の要素である駅内観光施設数・駅内生活施設数・駐車場台数・アンケート評価を用いた。グループ別の重回帰分析結果を表-2 に示す。この結果より、グループ 1 では生活施設の整備、グループ 2 では観光・生活両方の整備が来訪魅力に影響を与えることが示唆された。一方、グループ 3 では施設整備が進んでいない影響から魅力度に影響を与える施設機能の要素を特定できなかった。

表-2 グループ別重回帰分析結果

グループ1	係数(t値)
切片	1.02 × 10 <sup>6</sup> (2.00)
駐車場台数	1.84 × 10 <sup>3</sup> (2.86)
防災拠点	8.54 × 10 <sup>4</sup> (1.99)
地域の貢献	2.62 × 10 <sup>5</sup> (2.92)
補正值R2	0.5064
観測数	18
グループ2	係数(t値)
切片	4.1 × 10 <sup>5</sup> (41.3)
駐車場台数	1.19 × 10 <sup>3</sup> (3.77)
周辺観光施設数	1.67 × 10 <sup>4</sup> (3.97)
交通量	45.4(3.99)
売り場スペース	8.74 × 10 <sup>4</sup> (4.12)
老朽化	7.42 × 10 <sup>4</sup> (3.35)
直売所	5.02 × 10 <sup>4</sup> (2.94)
防災拠点	38.4(2.37)
補正值R2	0.557
観測数	40
グループ3	係数(t値)
切片	1.81 × 10 <sup>4</sup> (0.368)
駐車場台数	1.72 × 10 <sup>3</sup> (4.01)
補正值R2	0.578
観測数	12

#### 6.現地調査による施設の質の評価

前章の重回帰分析で特定されたグループごとの魅力度に影響を与える要素について、現地調査の施設の質を具体化する。現地調査を行う道の駅の選定に関しては、蜜のグループごとの道の駅で、施設機能の要素項目の水準値が高い道の駅と低い道の駅を抽出した。現地調査を行った6つの道の駅から、汎用的に道の駅の施設機能を評価できる項目を作成した(表-3)。なお、施設の質の違いに関しては商品・サービス、インフラ・デザイン、情報の3つの観点から2~3段階に評価項目を分類し、施設機能の評価の基準を設けた。また、施設機能評価項目から、現地調査を行った6つの道の駅の施設機能の評価を行った。その結果、質の差として商品の種類・売り場の大きさ・生活施設の有無の差が大きいことが明らかと

なった。また施設整備に関するインタビュー調査を源平の里むれと空の木もみの木パークで行った結果、運営者と管理者の連携・運営者の人手不足・管理者の意識が施設整備における課題であることが明らかとなった。

表-3 機能別施設機能評価項目

施設要素	施設の評価項目	段階評価
直売所	商品・サービス	商品多、記載有 商品多、記載無 商品少、記載有 商品少、記載無
	インフラ・デザイン	通路スペース 3人可 2人可 1人可
	情報	ネット情報多 ネット情報少 ネット情報無
売店	商品・サービス	商品多、オリジナル商品有 商品多、オリジナル商品無 商品少、オリジナル商品有 商品少、オリジナル商品無
	インフラ・デザイン	特産品コーナー有 特産品コーナー無 生活用品コーナー有 生活用品コーナー無
	情報	ネット情報多 ネット情報少 ネット情報無
トイレ	商品・サービス	トイレ設備有、オストメイト用有 トイレ設備有、オストメイト用無 なし
	インフラ・デザイン	ネット情報多 ネット情報少 ネット情報無
駐車場	商品・サービス	EVスタンド有 EVスタンド無 平均より多い 平均より少ない
	インフラ・デザイン	ネット情報多 ネット情報少 ネット情報無
情報コーナー	商品・サービス	情報種類 4種類 3種類 2種類以下
	インフラ・デザイン	情報端末有、マップ有 情報端末有、マップ無 情報端末無、マップ有 情報端末無、マップ無
飲食施設	商品・サービス	ネット情報多 ネット情報少 ネット情報無
	インフラ・デザイン	地産地消メニュー有 地産地消メニュー無
防災施設	商品・サービス	ネット情報多 ネット情報少 ネット情報無
	インフラ・デザイン	避難場所可、自家発電装置有 避難場所可 自家発電装置有 なし
公園	商品・サービス	ネット情報多 ネット情報少 ネット情報無
	インフラ・デザイン	遊具多、老朽化無 遊具多、老朽化有 遊具少、老朽化有 遊具少、老朽化無
	情報	ネット情報多 ネット情報少 ネット情報無
	商品・サービス	AED有 1点 AED無
	インフラ・デザイン	車イス有 車イス無
	情報	

#### 7.結論

本稿では、四国の道の駅を対象に、立地特性と施設機能による来訪魅力の違いを特定することを目的とした。立地特性ごとに類型化した結果、周辺人口が多く地域センター型の立地特性を持つグループ 1、立地特性の要素の水準値が低いグループ 2、周辺観光施設が多くゲートウェイ型の立地特性を持つグループ 3 の 3 グループに分類された。それから、グループごとに来訪魅力に影響を与える立地特性・施設機能の要素の特定を行ったところ、グループ 1 では生活施設、グループ 2 では観光・生活両方の施設整備が来訪魅力に影響を与えていることが示唆された。一方、グループ 3 では施設整備が進んでおらず、魅力度に影響を与える施設機能の要素も見られなかった。その後、現地調査によりこれらの施設機能の質を具体化した結果、質の差として商品の種類・売り場の大きさ・生活施設の有無の差が大きく、これらの質を整備するためには運営者・管理者の連携、運営者の人手不足、管理者の意識などの課題を克服することが重要であることが明らかとなった。

#### 参考文献

- 1) 秋山：道の駅の機能に関する研究，2011
- 2) 後藤ら：地域振興の拠点となる道の駅に求められている役割—沖縄北部地域 道の駅許田を対象に一，2010
- 3) 小川ら：北海道における「道の駅」の類型分類と特性と特性分析，2001
- 4) 真鍋：道の駅の立地特性が経営に及ぼす影響，2011

京阪神大都市圏における鉄道ネットワーク形成に基づく影響分析

(株) オオバ 長谷 翔平

1. はじめに

近年、京阪神大都市圏において、新駅の開設や新規路線の開通、ターミナル駅の大規模開発など、局所的な開発が起きている。都市の鉄道は、鉄道駅「点」と路線「線」の機能に加え、ネットワーク「網」としての役割も果たしていることから、鉄道ネットワークの形態も大きく変化してきている。都市および郊外を結ぶ鉄道ネットワークが充実することは、都市を結ぶ輸送力の向上につながり、都市内の鉄道交通の発展に大いに影響を与えている。また、都市部の鉄道は、交通結節点としての機能を持ち、商業の集積や都市の中心的役割を果たすなど、都市における重要な社会基盤施設となっている。

本研究は、変化する鉄道交通に着目し、鉄道ネットワーク交通条件を整理することで、近年の京阪神大都市圏における鉄道交通の状況を把握することを目的としている。研究の流れとしては、近年の鉄道ネットワーク形成の変遷を整理し、変化した鉄道ネットワークにおける交通状況を広域および狭域に把握する。

2. 鉄道ネットワーク形成の変遷

鉄道ネットワークが拡大することにより駅間における所要時間の短縮や利用可能経路が追加され、利用者の経路選択は多様化している。鉄道ネットワークの変化をみるため、1981年から2010年における新規路線・延長距離・増加駅数について整理し、5年毎の鉄道ネットワークにおける変化を把握した。特に、2006年から2010年における鉄道ネットワークに大きな変化があった。

表-1 5年毎のネットワーク変化

年代	主な新規路線	合計営業距離(km)	合計増加駅(駅)
1981年～1985年	南港ポートタウン線・中央線	15.2	17
1986年～1990年	近鉄東大阪線・御堂筋線 ・大阪モノレール線	10.7	9
1991年～1995年	南海空港線・大阪モノレール線 ・堺筋線	28	18
1996年～2000年	長堀鶴見緑地線・JR東西線 大阪モノレール線	39.7	32
2001年～2005年	なし	0	1
2006年～2010年	今里筋線・おおさか東線 ・阪神なんば線	40.8	32

最も変化が大きかった2006年から2010年に着目し。鉄道ネットワーク形成の変遷をもとに路線ごとの延長距離と増加駅数をまとめた結果を表2に示す。

表-2 路線ごとの延長距離と増加駅数の変遷

開業年	路線名	鉄道駅名	延長距離(km)	増加駅数(駅)
2006年	① 近鉄・けいはんな線	白旗台・学研北生駒・学研奈良登美ヶ丘 井高野・瑞北四丁目・だいどう聖里	8.6	3
	② 大阪市営・今里筋線	太子橋今市・清水・新森古市・鶴野・緑橋	12	10
2007年	③ 大阪高速・国際文化公園都市線	豊川・彰都西 さくら鳳川※	4.2	2
	JR西日本・神戸線		0	1
2008年	④ 大阪外環状鉄道・おおさか東線	放出・高井田中央・JR河内永和・JR俊徳道 ・JR長瀬・新加美・久宝寺	9.2	7
	⑤ 京阪・中之島線	中之島・渡辺橋・大江橋・なにわ橋	3	4
2009年	⑥ 阪神・なんば線	西九条・九条・ドーム前・桜川・(大阪難波)	3.8	4
2010年	阪急・京都線	摂津市※	0	1

※鉄道駅のみ新設

2006年から2010年における変化の特徴として、郊外部を中心とした新駅の開設や新規路線の開通が行われている。これは鉄道ネットワークが平面的に広がり細部まで行き届くことから、京阪神大都市圏の交通条件の向上につながったと考えられる。

3. 鉄道ネットワークの到達における分析

京阪神大都市圏における鉄道の経年的変化は、新駅の開設や新規路線の開通により利用可能経路および所要時間の変化をもたらしている。そのため、京阪神大都市圏の各鉄道駅(1349 駅)に到着する電車を対象に到達時間変化の分析を行う。鉄道ネットワークが2000年から2005年に大きな変化がなく2006年から2010年で大幅に変化したことから、鉄道ネットワークの形成前後の比較を行えると考えられる。また、鉄道機関のダイヤグラムは、2000年と2010年を利用する。分析を行う時間帯は、平均的な昼間時間帯のダイヤとするため出発時刻を10:00および15:00と設定する。分析対象地域(出発地)は、京阪神大都市圏の主要な都市である大阪(梅田、難波)、神戸(三宮)、京都とする。例えば、出発地を梅田とした場合は、JR大阪駅、JR北新地駅、阪急梅田駅、阪神梅田駅、大阪市営地下鉄梅田駅、大阪市営地下鉄東梅田駅、大阪市営地下鉄西梅田駅の7駅となり、これらすべてが梅田の出発地となる。これを3都市4箇所で行い、最短到達時間の変化を集計する。

表-3 到達時間変化についての集計結果

2000年～2010年	出発地				合計	駅数率(%)
	梅田	難波	三宮	京都		
5分～(増加)	3(3)	3(3)	0(0)	4(4)	10(10)	0(0)
1分～4分(増加)	238(231)	156(158)	255(260)	153(152)	802(801)	14.9(14.9)
0分(変化なし)	756(761)	568(566)	676(674)	843(846)	2843(2847)	52.7(52.7)
-1分～-4分(短縮)	194(196)	462(464)	254(252)	201(199)	1111(1011)	20.7(18.9)
～-5分(短縮)	158(158)	160(158)	164(163)	148(148)	630(632)	11.7(11.8)
計	1349(1349)	1349(1349)	1349(1349)	1349(1349)	5396(5396)	100(100)

○内は、出発時刻15:00の集計結果

到達時間が5分以上増加した駅数は、0～4駅存在している。これは、鉄道駅の新設にともない、ダイヤ改正が行わ



れ、途中駅で優等列車の待ち合わせ時間が増加したことが原因である。出発駅に関わらず、0分の駅(変化なし)は、4都市平均して52.7%を占め、時間の短縮した駅数の方が多い傾向がある。また、鉄道ネットワークの変化がダイヤ改正や停車駅に変化をもたらし、到達時間の増加などの影響が表れている箇所が一部存在している。さらに、新たな利用可能経路が存在する場合においても、その経路を利用しておらず、効果を得られていない箇所も存在している。これは、新たな経路を利用するよりも既存経路を利用する方が、早く到達するなどが原因である。

到達時間の変化が起こる場合は、どの段階で変化が起きているか把握を行い、変化の傾向をパターン分類化する。分類されたパターンから九条駅を例として説明すると2000年の地下鉄九条駅への経路は、大阪市営地下鉄御堂筋線・中央線を利用した経路のみであった。2010年では、2009年に開業した阪神なんば線の利用により新たな経路が追加された。

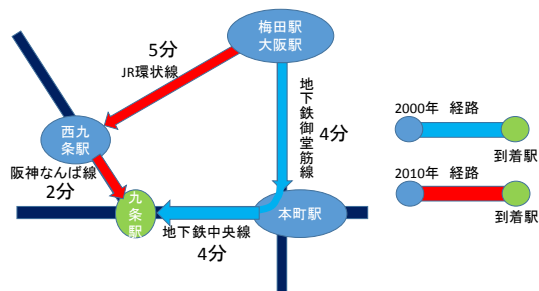


図1 経路変化の例(新規経路：九条駅)

このように、変化の傾向を鉄道ネットワーク形成により分類することで詳細に変化を把握することができた。

#### 4. 鉄道ネットワーク形成による乗降客数の変化

ここでは、新規路線の開通による鉄道本線と周辺路線の関係性および乗降客数の変化を考察する。対象路線は2008年に開通したJRおおさか東線(営業距離：9.2km、駅数：5駅)を対象とする。選定理由は、近年の鉄道ネットワークにおいて最も変化があった2006年から2010年に開通したことや他社線との交差がみられるためである。交差がみられる地域を図2に示す。南北に位置するJRおおさか東線は、JR河内永和駅とJR俊徳道駅において、東西に位置する近鉄線の近鉄河内永和駅と近鉄俊徳道駅に隣接している。

JRおおさか東線の開通以降、JR河内永和駅とJR俊徳道駅は、ともに乗降客数が増加傾向にある。近鉄河内永和駅は乗降客数が増加傾向に転じている。これは、直行する2つの路線が互いに乗り換えの需要が増加したことに起因したものであり、両駅に相乗効果が起きている。



図2 鉄道駅周辺地域の位置関係図

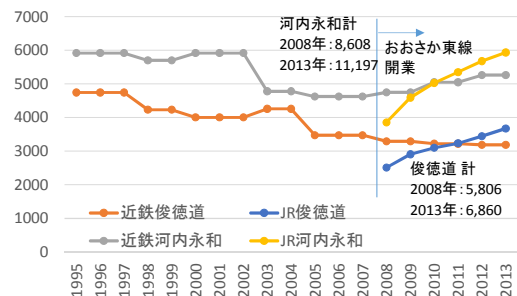


図3 関連鉄道駅乗降客数の推移(JR おおさか東線)

このように、競合区間では、新規路線の影響が顕著に現れており、路線と路線で新たな経路選択が起きていることがわかる。一方で、各駅のJRと近鉄線の乗降客数を合計すると、両駅とも増加しており鉄道駅周辺における鉄道需要はどちらも年々増加傾向にあることが把握できた。

#### 5. おわりに

本研究は、近年の京阪神大都市圏における鉄道交通の変遷を時系列的に整理し、鉄道ネットワークが経年的に変化することによる鉄道ネットワークの影響性、また利用者や周辺路線への変化をまとめた。これにより、鉄道駅間の最短到達時間の増減を整理することができた。また、乗降客数の推移から、近接する鉄道駅での相乗効果を把握した。

鉄道ネットワークは経年的に変化するため、鉄道交通の利用者状況も常に変化する。そのため、今後更に鉄道ネットワーク形成による影響を分析することが必要である。

#### 6. 参考文献

- 1) 国土地理院(2015)「国土数値情報 鉄道時系列データ」
- 2) 大阪府「大阪府統計年鑑(平成8年度-平成26年度)」
- 3) 井ノ口弘昭:京阪神都市鉄道ネットワーク経年変化による旅客流動への影響分析, 交通学研究報, No59, pp133-140, 2016.

## 河川拡幅計画に伴う既存橋梁の延伸設計

協和設計株式会社 藤本 匠

### 1. はじめに

本業務は、河川拡幅計画に伴って生じた既存橋梁の延伸部の詳細設計である。本橋梁が渡河する区間は、堤防が未整備のため、多くの台風で洪水被害が発生している。度重なる被害と平成9年の河川法の改正を受け、連続堤や輪中堤の整備、宅地嵩上げの実施をすることにより、洪水被害の低減や河川環境の保全を図る河川整備計画が立てられた。この計画に基づく河川拡幅計画に伴って、既存橋梁を延伸させることで、地域の交通機能としての役割を果たすことになる。

本論では、業務の中で入社1年目として私が携わった設計条件の確定、橋長及び支間割の検討と護岸の設計について内容の一部を述べるものである。

### 2. 延伸計画の概要

供用中の橋梁は、昭和58年に架設され、単純合成版桁橋4連(L=177m)で構成されている。本橋梁は、橋台背面の暫定盛土により、アクセスが可能となっている。橋台は、延伸計画を考慮し、橋脚として取り扱える構造となっている。そのため延伸計画では、暫定盛土撤去後、堤防を整備し、橋台を橋脚に改修する。延伸計画の設計条件は、予備設計での設計条件の妥当性の確認と現地調査により決定した。

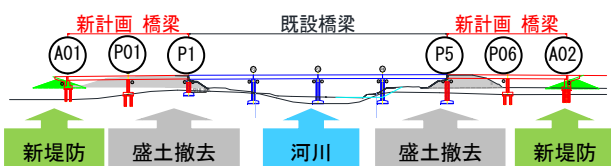


図1 計画概要図

### 3. 橋梁計画

#### ①調査による設計条件の確定

##### (1) 液状化の判定と地盤種別の設定

過年度調査で採取された試料を利用し、液状化判定に必要な室内土質試験を行った。液状化判定結果を表1、地層想定断面図を図2に示す。

<室内土質試験の種類>

土粒子密度、含水比、粒度、液性・塑性限界

<地盤種別>

左岸：Ⅰ種、Ⅱ種混合地盤 右岸：Ⅱ種地盤

表1 液状化判定結果

○【As層】液状化判定 設計水平震度：道路橋レベル2

深度10m以浅の土層			平均値					
孔番	計算深度 (m)	地層区分 (記号)	タイプⅠ地震動			タイプⅡ地震動		
			FL	R	低減係数	FL	R	低減係数
No. 1	3.30	As	0.534	0.234	1/3	0.509	0.251	1/3
No. 3	0.41	As						
No. 4	1.33	As						

○【Ac2層】液状化判定 設計水平震度：道路橋レベル2

深度10m以浅の土層			平均値					
孔番	計算深度 (m)	地層区分 (記号)	タイプⅠ地震動			タイプⅡ地震動		
			FL	R	低減係数	FL	R	低減係数
No. 3	1.40	Ac2	0.311	0.296	0	0.334	0.385	2/3
	2.40	Ac2						
	3.40	Ac2						
	4.40	Ac2						
	5.40	Ac2						

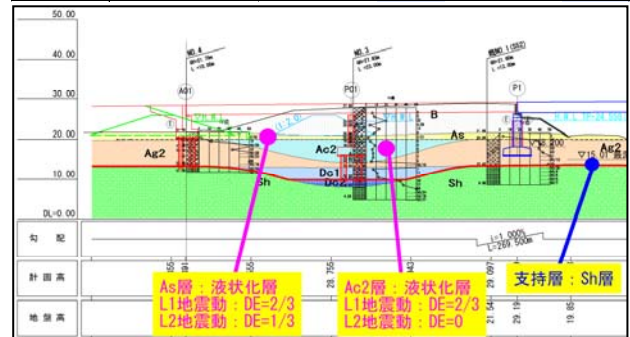


図2 地層想定断面図(左岸側)

#### (2) 現地調査

竣工時の計画を反映した予備設計の計画と現況の整合性を確認するため、P1～P5 橋脚の橋面高の計測と平面位置の調査を行った。

#### (3) 縦断設定：i=-1.0%~1.0%，VCL≒376m，VCR=18800m

予備設計時の縦断計画と現況縦断で誤差が確認できたため、P1及びP5の橋面高をコントロールとして縦断線形の再設定を行った。

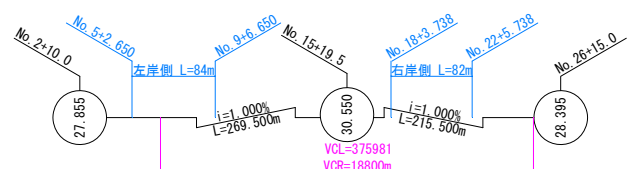


図3 縦断線形

#### ②橋長及び支間割の検討

河川条件、現場調査の結果より、橋長及び支間割の検討を行った。

##### (1) 河川条件

・流量  $Q=4200\text{m}^3/\text{s}$  ・河川幅  $W=336.317\text{m}$

・基準径間長  $L=20+0.005Q^{1/3}$

$$=20+0.005 \times 4200 = 41.0\text{m}$$

・桁下余裕高 1.5m ・堤防天端幅 5.5m

(2) 橋長：左岸 L=84m, 右岸 L=82m

堤防法面と H.W.L の交点をコントロールとし、橋台は堤防と平行に設定した。橋長はメートルラウンドとした。

(3) 支間割：左岸 2@42m, 右岸 41.5m+40.5m

径間長は基準径間長以上を確保しなければならない。左岸側は等径間割とし、右岸側は、流心部以外の部分の特例<sup>1)</sup>(L=25m 以上)を適用し、流心部(P5~P06)L=41.5m, 流心部以外(P06~A02)L=40.5mとした。これは、右岸側だけ低水護岸が設置されていて、さらに P06 橋脚が高水敷に位置しており、流心の変動が将来発生しないと判断できることから特例を適用した。

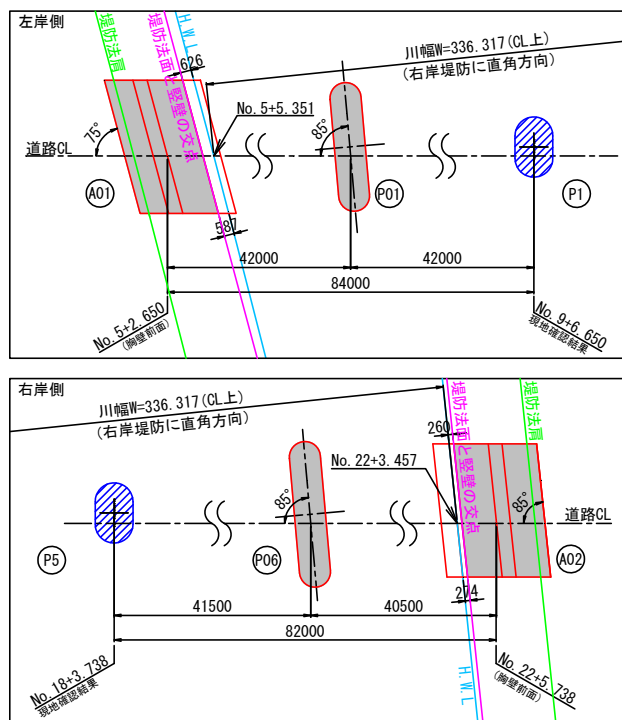


図4 橋台位置と支間割

③形式選定

(1) 上部工形式：鋼2径間連続合成鈹桁橋

鋼桁と床版コンクリートが抵抗断面となるため、「非合成」に比べ鋼重が軽く、経済性に優れる。

(2) 支承支持形式：中間橋脚1点固定

土質定数を零にする土層があるため、免震構造の適用不可。標準的な部材構成が可能で掛け違い橋脚への負担が軽減できる。

(3) 基礎形式：場所打ち杭 Φ1500

中間層に礫径が大きい砂礫層があり、支持層が基盤岩であるため適用性が高い。杭径は Φ1000, Φ1200 に比べ経済性に優れる。

(4) 橋台形式：逆T式橋台

適用高さの範囲(5≦H≦15)で標準的な形式である。

(5) 橋脚形式：壁式橋脚

河道内橋脚であり柱断面は小判型とする。河積阻害率5%以下を確保するため中間橋脚の柱幅は1.8m, 掛け違い橋脚は柱の耐震補強を考慮し2.7mとする。

4. 護岸設計

河道内に設けた橋脚の影響による流水の乱れや流木などに対する堤防の保護、橋台位置での堤防の弱体化に対する補強措置として、橋の付近の堤防には護岸を設ける必要がある。

(1) 設置範囲：左岸側約49m, 右岸側約35m

橋台両端から上下流にそれぞれ10m以上かつ堤防に最も近接する橋脚の上下流端から基準径間長の1/2以上の区間設ける<sup>2)</sup>。

(2) 護岸の高さ

橋梁は堤防への取り付けとして、管理用通路を設置する。護岸の高さは、橋台両端から上下流にそれぞれ10mの範囲までは堤防天端高さ、10m以上の範囲はH.W.Lの高さとする<sup>2)</sup>。

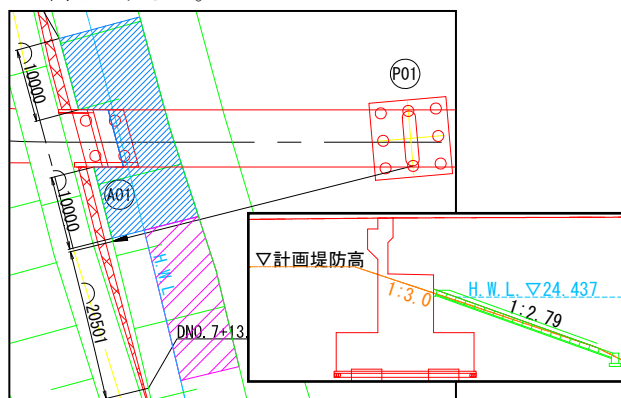


図5 護岸平面図及び断面図(左岸側)

5. まとめ

初めて業務に携わり、業務全体の流れを掴むことができた。初めて打合せで説明をして、自分と相手に分かりやすい資料作りと相手に分かりやすく説明することの大切さを学んだ。打合せを重ねることで、資料の作り方や説明の仕方を改善できた。また発注者や協力会社と積極的に電話でやり取りし、迅速に対応するよう努めた。その結果、大きな手戻りなく円滑に業務を進めることができたと思われる。

参考文献

- (1) (社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令, H.12.2 p.303)
- (2) (社)日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令, H.12.2 p.318)



# 火災による高温履歴を受けたプレテンション PC はり部材の補強に関する研究

(株)オリエンタルコンサルタンツ 山下 尚也

## 1. 研究背景及び研究目的

プレテンション方式の PC 構造物の耐火特性に関する研究は少なく、特に残存プレストレスや残存耐力の評価に関するデータは十分とは言えない。このような背景から、これまでの研究では、火災による高温履歴を受けた場合の PC 鋼材とコンクリートの付着特性並びにプレテンション PC はり部材の残存プレストレスや静的及び疲労特性について検討を進めていた。その結果、これらの特性には、PC 鋼材のかぶりや加熱温度・時間及び加熱範囲が影響を及ぼすものの、かぶり 30mm では残存プレストレス、静的耐力及び耐疲労特性が比較的大きく低下することが確認された。特に、耐疲労性状を回復させるためには、高温履歴によるひび割れやコンクリート強度低下に伴う部材剛性の低下を回復する必要があると考えられた。

本研究では高温履歴による損傷を受けたはりを鋼板及び炭素繊維プレートにより補強し、静的及び疲労耐力の回復効果を検討することを目的とした。

## 2. 供試体概要

実験に用いた PC はり供試体の概要を図-1に示す。PC 鋼材にはφ12.7の PC 鋼より線(SWPR7BLφ12.7)を使用し、コンクリートの設計基準強度は $f_{ck}=40\text{N/mm}^2$ とした。なお、プレストレス導入時のコンクリートの応力度は全断面一様で $5.8\text{kN/mm}^2$ としている。

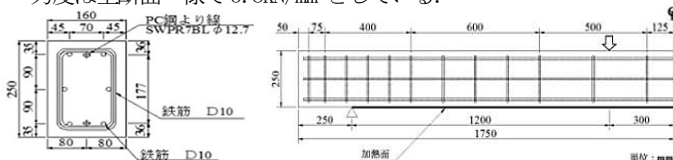


図-1 供試体断面図および側面図

供試体の名称と実験要因

は以下に示す通りである。

例) 30EX700-30W 鋼板 1  
① ② ③ ④ ⑤

①高温履歴 (N: 無,

30EX700: 加熱時間 30 分, 最高温度 700℃

30HC1100: 加熱時間 30 分, 最高温度 1100℃)

②かぶり (30mm), ③加熱範囲 (W: 底面全体)

④補強材料 (鋼板, 炭素繊維プレート), ⑤供試体番号 (1~8)

## 3. 加熱試験結果

### 3-1 加熱試験概要

加熱試験は以下の式(1), (2)に示される火災曲線を用いた。式(1), (2)は Eurocode<sup>2)</sup>に規定される外部火災曲線 (EX 曲線), 油

火災曲線 (HC 曲線) である。

$$\theta_{700}=660(1-0.687e^{-0.32t}-0.313e^{-3.8t})+20 \quad (1)$$

$$\theta_{1100}=20+1080(1-0.325e^{-0.167t}-0.675e^{-2.5t}) \quad (2)$$

### 3-2 コンクリート諸強度

表-1に材料試験により得られた加熱後のコンクリートの諸強度を示す。加熱により各強度は大きく低下し特に、曲げ強度、ヤング係数は著しく低下した。

表-1 コンクリート諸強度

供試体名	圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	曲げ強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	ヤング係数 ( $10^3\text{N/mm}^2$ )
Nシリーズ <sup>*</sup> (*)	53.7	7.51	40.7
30EX700シリーズ <sup>*</sup>	33.1	0.17	19.6
30HC1100シリーズ <sup>*</sup>	10.1	0.03	0.77

## 4. 補強

補強材には鋼板 (SS400, 幅 140mm, 厚さ 2.3mm) と炭素繊維プレート (三菱樹脂/フワテック高弾性 HM1020, 弾性係数  $450000\text{N/mm}^2$ , 幅 100mm, 厚さ 2.0mm) を使用した。補強するに当たって、昨年の加熱試験のデータを用いて減少分の耐力を出し、減少分から回復量を定め補強量を決定した。

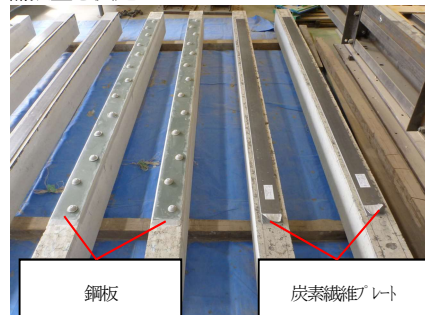


写真-1 1100℃ 補強状況

## 5. 静的載荷試験

### 5-1 載荷試験概要

載荷方法は、せん断パシ 1200mm とした対称 2 点集中荷重方式とし、破壊に至るまで単調漸増型載荷を実施した。

### 5-2 荷重 - 中央変位関係

鋼板で補強した供試体は曲げ破壊し、炭素繊維で補強した供試体は剥離破壊した。図-2に荷重 - 中央変位関係の一例を示す。

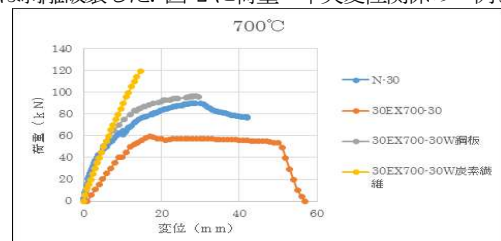


図-2 荷重-中央変位関係 700℃静的試験

鋼板で補強した供試体とN-30の最大耐力を比較するとN-30供試体に対して最大耐力が約7%上昇した。同様に補強していない30EX700-30Wの残存耐力と比較すると、約71%上昇した。炭素繊維プレートで補強した供試体も同様に比較するとN-30に対して最大耐力が約32%上昇した。補強していない30EX700-30Wの残存耐力と比較すると最大耐力が110%上昇した。

## 5-3 載荷試験結果

供試体(Nシリーズ)の曲げ破壊荷重計算値、各供試体の最大荷重の実測値、Nシリーズに対する最大荷重の割合、破壊形式を表-2に示す。

表-2 各供試体の載荷試験結果

シリーズ名	曲げ破壊荷重 Pu(kN)	最大荷重実測値 Pmax(kN)	Pmax/Pu	N-30に 対する割合	破壊形式
N-30	71.2	90.3	1.27	-	曲げ破壊
30EX700-30W	71.2	59.3	0.83	0.66	曲げ破壊
30EX700-30W 鋼板1	71.2	96.5	1.36	1.07	曲げ破壊
30EX700-30W 炭素繊維3	71.2	119.6	1.68	1.34	剥離破壊
30HC1100-30W	71.2	57.0	0.80	0.63	曲げ破壊
30HC1100-30W 鋼板5	71.2	82.2	1.15	0.91	曲げ破壊
30HC1100-30W 炭素繊維7	71.2	80.1	1.13	0.89	剥離破壊

最大荷重のN-30に対する割合に着目すると、700℃で加熱した供試体は鋼板および炭素繊維プレートとも1.0を超えており、所定の補強効果が得られていることが確認された。

一方、1100℃で加熱した供試体ではいずれもN-30に対する割合が下回る結果となった。特に炭素繊維プレートの場合、700℃の場合と比較して最大荷重が大きく減少している。これは、高温履歴による底面コンクリートの劣化がプレートとコンクリートの間の接着強度に影響し、早期剥離が生じ、所定の効果が発揮されなかったことによるものと考えられる。

## 6. 疲労試験

### 6-1 載荷試験概要

疲労試験は、上限荷重を加熱しないPCはりのプレテンションPCに相当する18kN、曲げひび割れ発生荷重に相当する30kNに設定し、各10万回の繰返しを与えた。

### 6-2 載荷試験結果

載荷試験結果、Nシリーズに対する最大荷重実測値の減少率、破壊形式を表-3に示す。

表-3 各供試体の疲労試験結果

シリーズ名	曲げ破壊荷重 Pu(kN)	疲労破壊時の 繰返し回数(回)	残存最大耐力実測値 Pmax(kN)	Pmax/Pu	破壊形式
N-30	71.2	疲労破壊せず	81	1.14	曲げ破壊
30EX700-30W	71.2	疲労破壊せず	59.6	0.84	曲げ破壊
30EX700-30W 鋼板2	71.2	疲労破壊せず	94.8	1.33	曲げ破壊
30EX700-30W 炭素繊維4	71.2	疲労破壊せず	130.2	1.83	剥離破壊
30HC1100-30W	71.2	30kN:9428回	-	-	疲労破壊
30HC1100-30W 鋼板6	71.2	疲労破壊せず	77.2	1.08	曲げ破壊
30HC1100-30W 炭素繊維8	71.2	疲労破壊せず	90.2	1.27	剥離破壊

表-2の最大荷重実測値と表-3の残存耐力実測値を比較すると鋼板で補強した供試体では残存耐力は低下する傾向にあったが、値の差が僅かであった。また、炭素繊維プレートで補強した供試体で

は補強材端部が剥離することにより破壊し、炭素繊維プレートの所定の強度が発揮されていないので有意な差はないと言える。これらより、疲労による残存耐力の低下は確認されなかった。

### 6-3 最大ひび割れ幅

図-3に最大ひび割れ幅の繰返しに伴う変化の一例を示した。

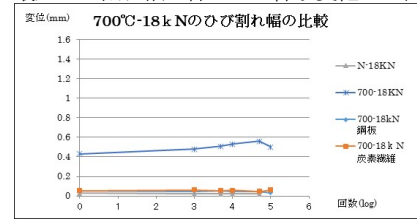


図-3 700℃・18kNのひび割れ幅の比較

補強したはりでは700℃・1100℃いずれの場合も、載荷荷重によらずひび割れ幅はほぼ一定値で推移しており、また、20万回後の最大ひび割れ幅の値もN-30が0.2mmを越えているに対し補強したはりでは最大でも0.14mm程度である。このことから、今回採用した補強工法は使用状態におけるひび割れ進展の抑制効果を十分に有していると言える。

## 7. まとめ

### 7-1 静的耐力

・最大荷重…表-2より健全な供試体の曲げ破壊荷重計算値と最大荷重実測値の比を比較すると、補強した供試体の実測値が計算値を上回ることから、補強の効果があつたと言える。

・荷重-変位中央変位関係…炭素繊維プレートは降伏点を有しない弾性材料であるため、荷重-変位中央変位関係も弾性的な挙動を示し、プレートの剥離とともに急激に荷重が低下する脆的な挙動となる。なお、鋼板及び炭素繊維プレートのいずれも、高温履歴による初期剛性の低下を回復できており、耐力及び剛性の両面から所定の補強効果が得られた。

### 7-2 疲労耐力

・残存耐力…表-3より健全な供試体の曲げ破壊荷重計算値と残存最大耐力の比を比較すると、補強した全ての供試体の実測値が計算値を上回り、補強の効果があつたと言える。特に、1100℃で加熱した供試体が疲労破壊していたことから補強の効果が十分に得られている。

・最大ひび割れ幅…N-30では30kNの際にひび割れ幅が漸増しているのに対し、補強したはりではほぼ一定を保っているため補強の効果があつたと言える。

1) 田淵・井上・三方: 火害を受けたプレテンションPCはり部材の残存耐荷特性に及ぼす受熱範囲の影響, 平成27年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, レ-13, 2015年5月

2) Eurocode1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire

近接施工影響と事業損失リスクに配慮した山間部の開削トンネルの設計

(株) 建設技術研究所 若本 達也

1. はじめに

本バイパス道路における業務区間は、図-1 に示すように、山岳トンネル坑口から始まる土工事、開削トンネル工事、橋梁接続部までの土工事区間で、山間部の閑静な集落を通過する区間となっている。開削トンネル設計区間は、民家の一部が支障物件になるなど、家屋との近接工事となり、工事騒音や振動の影響に加え、土留掘削に伴う地盤変状や工事振動によって家屋にひび割れが生じるといった事業損失も考えられた。

本稿は、周辺の環境保全や近接する家屋への影響に配慮した近接施工対策に加え、工事に起因する事業損失リスク対策を検討し、その結果を設計に反映したものである。

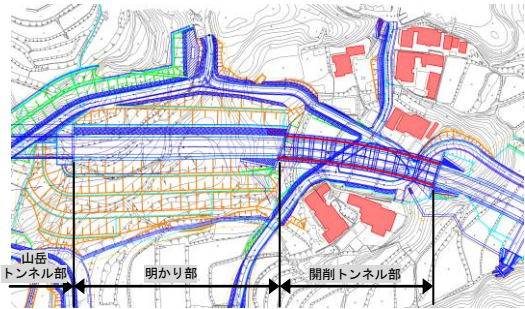


図-1 平面図

2. 地形・地質、周辺環境と課題

当該工区の地質は、山間部であることから、ボックス深部において軟岩および中硬岩が出現することが予想されている。また、閑静な集落内での工事であり、土留壁と最近接家屋との離隔が約 7m 程度と近接しているため、設計上の留意点として、土留壁の変形に伴う地盤変状対策や、騒音・振動に対する工事中の住環境の保全があった。対象箇所においては以下の課題が考えられた。

- ①岩盤掘削に対応した仮設工法の選定
- ②岩盤の出現により、施工法や施工機械による騒音・振動の影響、近接施工による家屋等の損傷

3. 想定される事業損失リスクと対応

上記課題に対して、事業損失リスクという観点で整理すると、以下の検討項目が挙げられた。

- ・岩盤掘削及び土留打設による騒音・振動影響
- ・工事振動による家屋の損傷
- ・土留打設時の地盤変状による家屋の損傷

これらの検討項目に対して、ハード対策を実施した結果を示す。

騒音に対しては、表-1 に示すように、騒音レベルの 90% レンジ上限値 (LA5) は、特定建設作業に関わる騒音の基準値を上回っていたが、防音シート (h=3m) を設置することで、すべての工種で基準値を満足する予測結果となった。しかし、予測値が基準値の上限に近いこと、施工時に基準値を上回る可能性があることが問題としてあり、ハード対策を施すにも費用の限界がある中で、住民の仮移転までを視野に入れた一層の対応が求められていた。

表-1 騒音予測結果

種別	建設機械(ユニット等)	予測結果	予測結果LA5	基準値
		結果LA5	防音シート	
		(dB)	(dB)	(dB)
土留・仮締切工	鋼矢板(油圧圧入引抜工)	93	83	85
掘削工	土砂掘削	94	84	
現場打カルバート工	コンクリートポンプ車を使用したコンクリート工	91	82	
運搬工	ダンプトラック(積載重量32~55t)	88	78	

振動に対しては、表-2 に示すように、振動レベルの 80% レンジ上限値 (L10) は、特定建設作業に関わる振動の基準値を満足したが、振動レベル (L10) は、振動の最大値を予測したものではないため、事業損失リスクに備えるために更なる振動対策を行った。本稿では、低振動型の硬質地盤クリア工法を採用することで、最近接する家屋位置の振動レベルは、通常の油圧圧入工法よりも更に抑制できる結果となった。しかし、地盤の不確実性や、低振動工法の振動データが少ないことが問題としてあり、また、振動による家屋の損傷は、振動の大きさだけでなく、現況家屋の健全性程度によって異なることも挙げられた。

表-2 振動予測結果

工区	種別	建設機械(ユニット等)	予測結果 L <sub>10</sub>	予測結果L <sub>10</sub> 低振動工法		基準値
			(dB)	(dB)		(dB)
開削 トンネル部	鋼矢板打ち込み	鋼矢板(油圧圧入引抜工)	59	硬い地盤	39	75
	鋼矢板引き抜き			軟らかい地盤	46	
	床堀・埋戻し	軟岩掘削	61	-----		
明かり部	掘削工	軟岩掘削	47			
		中硬岩掘削(大型ブレーカ)	51	-----		

地盤変状に対しては、図-2 に示すように、家屋の一部は近接影響範囲に入るが、鋼矢板Ⅲ型で土留構造として成立し、家屋位置での沈下量や傾斜角度も許容値以内に収まっ



た。しかし、地盤変状による家屋の損傷が懸念されたため、更なる対策工を検討し、土留壁の規格をⅢ型からⅣ型へ上げた結果、土留最大変位は約 1/2（沈下量は 12%）小さくなった。硬質地盤クリア工法の鋼矢板の規格は、打設時に鋼矢板が貫入不能にならないようにする必要がある。当該地域は軟岩が支配的な硬質地盤であるため、土留材の貫入不能防止を考慮して鋼矢板Ⅳ型を採用し、土留壁の沈下量及び変形角の低減を図ることとした。

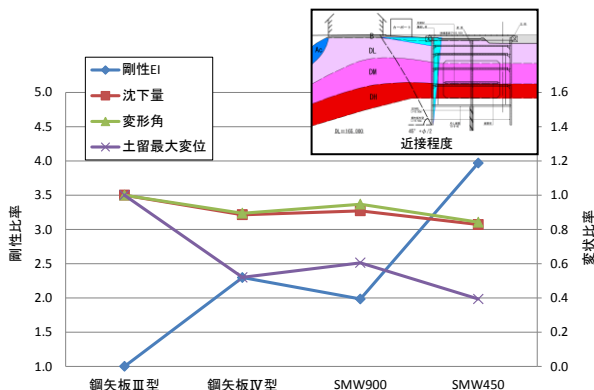


図-2 剛性と変位の比率(鋼矢板Ⅲ型を1.0とした場合)

#### 4. 地元合意に向けた更なる事業損失リスク低減検討

3. で記載したように、ハード対策によって、工事影響は基準値以下となったものの、工事前地元説明において、地元の方の不安を完全に払拭するには至らなかった。特に、騒音影響は予測値が基準値の上限に近いこと、工事振動影響や地盤変状による影響は、地盤の持つ不確実性や現家屋の健全性程度によって異なるため、事業損失リスクに対して、より一層の低減が求められた。

しかし、ハード対策のみでは、コスト面、またその効果の確実性に限界があり、ソフト対策を兼用した対策検討を行うこととした。

ソフト対策としては、機械の稼働時間や出力制限、オペレータへの警告、重機配置の変更等の手段が想定される。このソフト対策の実効性を向上させるために、工事のモニタリング計画を立案した。また、騒音・振動など事務処理要領が定型化されていない種類の事業損失の認定については、因果関係と受忍限度を明確にする必要もあることから、モニタリング計画に加えて、事前の試験施工を提案した。これにより、工事影響の大きさを見える化し、住民との情報共有を図ることで、工事を円滑に進めることが可能になることが期待された。

試験施工では、予測手法の妥当性を確認し、後述する管理基準値を超えた場合の対策工検討を事前に行うことを目的とし、あわせて、振動レベルの最大値が家屋への影響を及ぼすレベルに達するかどうかを確認する。また、受忍限度を超えるかどうかの判断を事前に行い、住民の仮移転

の可否の検討も行う予定である。

工事のモニタリング計画では、予測以上に工事振動が大きくなった場合に、機械の稼働時間と出力の制限、オペレータへの警告、重機配置の変更等の現場対応を瞬時に行う計画である。一方、事業損失による費用負担に備えるため、万が一、家屋に新たな損傷が生じた場合、工事影響との因果関係を立証する一つのデータとして工事のモニタリングを行う。施工時の対応としては、騒音・振動表示器を設置し、掘削に伴う地盤沈下が家屋へ及ぼす影響を監視するため、固定傾斜計を設置する計画とした（図-3）。

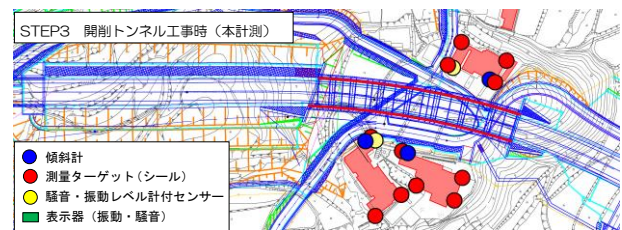


図-3 本計測概要

表-3 に当該工区での開削トンネル工事における振動レベルの管理レベルと安全体制を示す。管理基準値は、特定建設作業の規制値である 75dB を上限として、特定工場等において発生する振動の規制基準である 60dB、一般的に揺れを感じるとされる振動レベルである 65dB を設定した。今回の工事では、低振動工法の採用により、75dB 以上となる振動は発生し得ないレベルであると予測しているが、75dB 以上の振動レベルが確認された場合、直ちに工事を中止し、振動予測手法や施工方法を見直す必要があると考えられる。

表-3 管理レベルと安全体制（案）

管理レベル	管理値	信号 (色)	実施行動
管理レベル1以下 【通常体制】	通常体制	青	定時計測 所定の計測頻度で施工を継続する。
管理レベル1～2 【注意体制】	60	黄	計測頻度強化。計測頻度を増やし、計測値の相互分析を行った上で、想定される予定工事に対する発生振動の予測と、対策工検討を行う。
管理レベル2～3 【警戒体制】	65	赤	計測体制強化。ほとんどの人が揺れを感じるレベルで、苦情が多くなる。さらに計測頻度を増やし、施工内容（作業時間、重機の組合せ）等の検討を行い、対策工を施す。
管理レベル3以上 【工事中止体制】	75	—	工事を中止し、計測結果にもとづいて施工法の再検討を行い、施工法変更等の対策工を検討する。

#### 5. おわりに

本稿では、山間部の閑静な集落を通過する開削トンネルの近接施工影響と環境影響に着目し、事業損失リスクに対して、ハード対策だけでなく、ソフト対策も施すことにより、地域住民との合意形成を図り、工事着手への同意が得られた。今後はモニタリング計測等を実施することで、更なる事業損失リスクの低減に努めていくことが重要と考える。

## 橋梁防水（水切り材）の共同開発

パシフィックコンサルタンツ株式会社 栗原 尚大  
(共同開発社：アオイ化学工業株式会社)

### 1. 目的

道路橋等の土木構造物の老朽化対策として、定期点検の結果に基づく計画的な維持管理が定着してきた。点検時に行われる診断では、対象構造物の材料、構造形式や環境条件等の基本的な特性と、類似構造物で発生した損傷事例等を総合的に参考にしながら損傷原因の推定が行われる。それら損傷原因のうち、構造細目や隣接構造物との取り合い等、比較的局所的な条件下ながら、上記の基本特性や地域によらず多数報告されているものに、雨水や地下水等の漏水がある。多くの土木構造物にとって、過剰な水分の存在は、鋼材の腐食やコンクリートのアルカリ骨材反応等の劣化を促進させるため、細やかな漏水対策が望まれる。そこで、筆者らは、構造物表面を伝う雨水等の通り（以下、「水道」という。）を改良することにより、土木構造物の長寿命化を図る目的の水切り材を開発したので、その概要を報告する。

### 2. 材料設計

#### (1)断面形状（写真-1）

断面形状の検討に際しては、道路橋の地覆外側から張出し床版下面を伝って流下する雨水を一旦遮断し、下方向へ滴下させることにより、さらに内側への侵入を防止すること（図-1 以下、「水切り性」という。）を優先した。また、製造の容易さ、接着取付けの確かさと取回しの容易さ（以上2点を総じて、以下、「施工性」という。）と耐久性も考慮した。その結果、左右対称の正三角形断面からスタートし、水切り性能を向上させるために円弧状の凹曲線を採用するとともに、各頂点部は耐久性と製作品質の確保のために一定量の厚さを持たせることとした。また、接着面に3本の溝を配置することで、接着面積を増加させるとともに、接着剤の充実によるアンカー効果による取付けの確かさ（以下、「接着性」という。）の向上も図った。

#### (2)使用材料

材料の検討に際しては、まず、発泡ポリエチレン樹脂系と発泡ゴム系を対象にして基本的な比較検討を行い、詳細な形状寸法に従った製作の容易さと耐久性の観点から、EPDM（エチレンプロピレンゴム）スポンジを採択した。EPDM スポンジの主な特徴としては、他の原料ゴムと比較

して比重が小さいこと、耐候性（水、温度、オゾン）に優れること、独立気泡構造で吸水性が低いことが挙げられる。つぎに、その製造作業も考慮しながら、重量と変形に着目した最適化を行った結果、硬度 25（重量：約 80g/m）を採用するに至った。なお、これらの化学材料の場合、何らかの原因ではなく落した場合でも、第三者に甚大な被害は及ばないと期待できる。

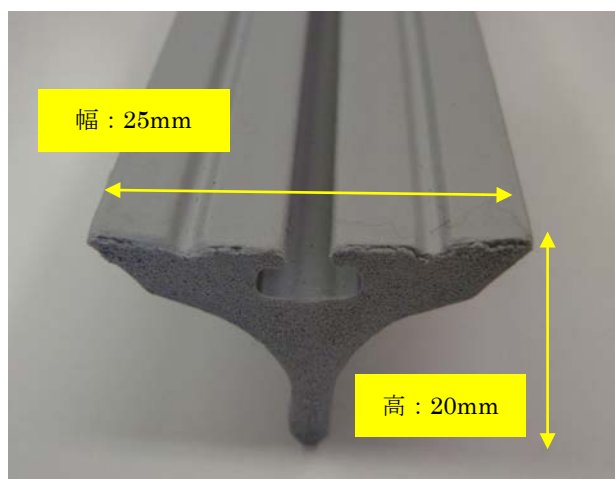


写真-1 水切り材外観

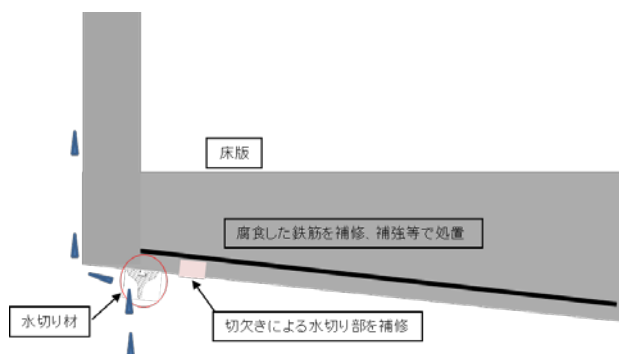


図-1 水切り材使用イメージ

### 3. 性能試験

本開発において実施した性能試験の方法と結果を以下に示す。

#### (1)水切り性試験

開発初期に計画した複数断面形状案の供試体を作成し、それらを張出し床版下面に模した平板に取り付け、雨水を模擬して水を連続的に供給しながら、水切りの定常状態を観察した。その結果、一定の水切り性を有することを確認した。

#### (2)施工性試験

張出し床版を模した既存の建築底の下面を対象に試験施工を行い、一連の施工作業の確認を行った。その結果、施工は1人の作業員で容易に行え、施工直後から14日間後までは離れや脱落は認められず、接着が確実に行ったことを確認した。

#### (3)耐薬品性試験

表-1に示す3種類の薬品を使用し、それぞれ供試体2体ずつ浸漬後(15日間、23℃)に外観を観察した。その結果、いずれも変色や硬化等の変状は認められなかった。これより、本水切り材は、一定の耐アルカリ、耐塩水性、耐酸性を有すると判断できる。

#### (4)接着性試験

図-2に示すように、水切り材をモルタル板に接着した供試体(3体)を用いて、水切り材先端部とモルタル板とを引張することで、接着性を試験した。その結果、接着面でははく離せず、水切り材先端が破断する(平均破断力:  $0.09\text{N/mm}^2$ )ことが確認できた。

#### (5)耐久性試験

石膏ボードに水切り材を接着した供試体を用いて、JIS K-5600-7-7 促進耐候性試験(キセノンランプ法)に準拠し、表-2に示す促進耐候性試験を行った。その結果、本体の変形、変色、硬さ性状の変化等の変状や、接着剤にも変色、はく離は認められなかった。

### 4. 施工性の向上(簡易治具の開発)

上記の施工試験の結果を踏まえ、現場での施工性の向上策として、チップボール製の簡易取付け治具も検討し、製品出荷時に同梱することとした。(写真-3)

### 5. まとめ

形状や材料のみならず、施工性も追及することで、現場で使用し易い水切り材が開発できた。今後、土木構造物の定期点検や補修設計の際に使用され、長寿命化に貢献することを期待する。



写真-2 水切り性試験の状況

表-1 耐薬品性試験の条件(薬品名)

①	飽和酸化カルシウム水溶液
②	3%塩化ナトリウム水溶液
③	5%硫酸

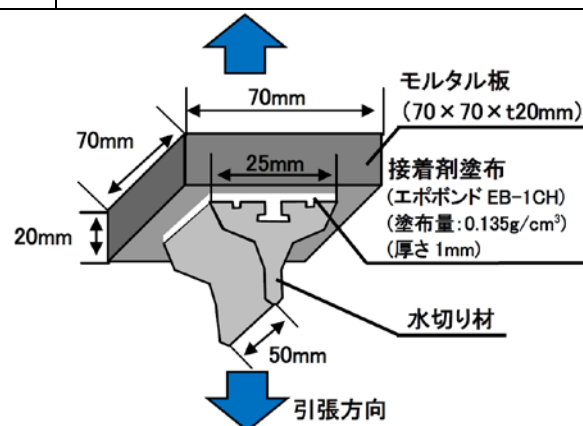


図-2 接着性試験の概要

表-2 耐久性試験の条件

照射時間	350h
散水時間	18min./60min.
間隔時間(乾燥)	1.7h(102min.)
放射照度	120W/m <sup>2</sup>
温度	65℃
乾燥時相対湿度	50%
ドラム回転数	1回転/min.



写真-3 簡易取付け治具(チップボール製)



## 高力ボルトの腐食に関する解析的検討

ジェイアール西日本コンサルタンツ (株) 二宮 僚

### 1. はじめに

近年、多くの鋼構造物の老朽化が進んでおり、主な損傷事例の中で、高力ボルトの損傷は、疲労き裂、鋼桁の腐食に次ぐ比重を占めている。また、高力ボルト継手部は角部が多く塗膜厚が確保しづらいことから腐食の弱点となりやすく、腐食減肉したボルトは軸力の低下が懸念される。腐食があまり進行していない高力ボルト継手においても軸力が抜けている場合があり、緩みやペイントのリラクセーションが原因として考えられるが未だ説明されていない。本研究では、腐食による軸力変化と、繰返し荷重による軸力変化の2つについて検討するが、本紙では腐食による軸力変化についてのみまとめている。簡易な腐食形状のモデル化を行い、腐食形状が軸力に与える影響や、軸力抜けのメカニズムについて考察する。

### 2. 解析モデル

有限要素解析コード ABAQUS を用いて図-1 のような継手のモデル化を行った。F10T-M22 のボルト中央部に軸力205kNに相当するボルト荷重を変位固定で導入した。ボルトヘッドおよびナットの腐食減肉形状について、それぞれ幅方向に関しては図-2 に一例を示すように平均減肉量0mm~3mmにおける、一様型、砂時計型、台形型、逆台形型の4パターンで比較している。高さ方向に関しては一様型でのみ解析を行っている。ボルトのねじ部は本来の螺旋状ではなく簡易な輪状としている。解析条件としては、部材同士が接触している箇所に接触条件を導入し、塑性域を考慮して解析を行っている。

### 3. 解析結果

図-3 には、ヘッドおよびナットの高さ方向に一様に減肉させたときの残存軸力率の関係を示している。両者にほとんど差異はなく、腐食高50%程度であっても軸力が90%近く残っていることから、高さ方向の減肉が軸力に与える影響は小さいことが考えられる。

図-4 にはヘッドとナットをそれぞれ一様に幅方向に減肉させた際の残存軸力率を示している。ナットの減肉の方が軸力への影響が大きいことが分かる。

続いて図-5 ではナットを4パターンの形状で幅方向に減肉させた際の残存軸力率を比較している。平均腐食量は同じでも、残存軸力に差異が生じていることが分かる。

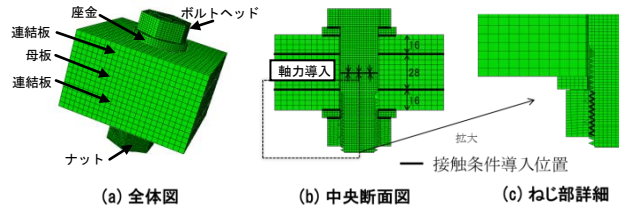


図-1 解析モデル

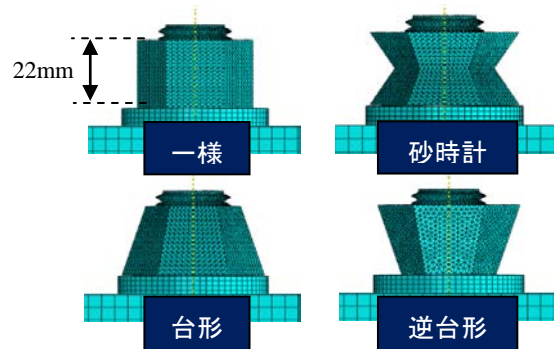


図-2 切削モデルの一例

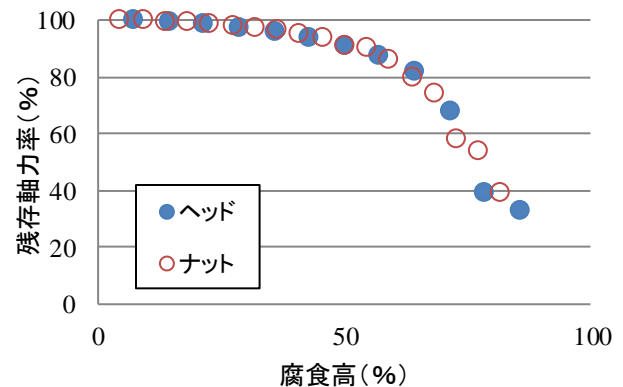


図-3 高さ方向減肉量と残存軸力率の関係

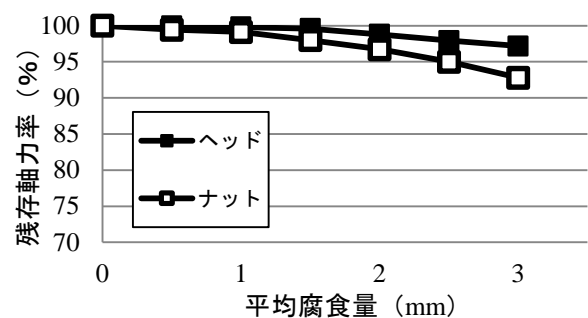


図-4 ヘッドおよびナットの幅方向減肉時の比較 (一様型)

図-6 では、腐食位置の違いによる応力分布の違い等を考慮し、以下の式(\*)を用い腐食量に重みをつけて残存軸力率を比較している。

$$\delta = \frac{\sum_{n=1}^h n^{\alpha} \cdot \delta_n}{\sum_{n=1}^h n^{\alpha}} \quad \dots \dots (*)$$

$\delta$  : ナットの平均腐食量に補正をかけた値

$h$  : 健全時ナット高さ (本モデルでは 22mm)

$n$  : 減肉位置から座金部までの距離 (mm)

$\delta_n$  :  $n$  における腐食幅 (mm)

$\alpha$  : 座金近傍の腐食減肉量の重み係数 ( $\alpha=1,2,3 \dots$ )

図-5 と比較すると、腐食形状の違いによる残存軸力率の差異が小さくなっていることが分かる。

図-7 には軸力残存率約 85%時の塑性ひずみのコンター図を示す。変形倍率は 30 倍としている。図より、軸力抜けは同程度であるにも関わらず、塑性ひずみ分布は大きく異なっている。高さ方向に減肉した場合はボルトねじ部でひずみが大きくなっており、ナットの座金近傍部およびねじ山 2 列目付近でもひずみが生じている。幅方向に減肉した場合は座金近傍部および連結板が塑性化していることが分かる。これにより、高さ方向に減肉した場合と、幅方向に減肉した場合では軸力抜けのメカニズムが違うことが推測できる。高さ方向に減肉した場合は減肉したヘッドやナットが曲げにより変形し、ねじ部に応力が集中し塑性化することで軸力が抜けると考えられる。幅方向に減肉した場合はヘッドやナットの接触面が小さくなり、連結板と座金との支圧部で応力が集中し、連結板が降伏し、座金が回転変形することで軸力が抜けたと考えられる。

#### 4. まとめ

- 1) 高さ方向に腐食減肉した場合は、曲げ応力によりヘッドやナットが変形し、ねじ部の応力集中によりねじ部が塑性化することで軸力が抜けることがわかった。
- 2) 幅方向に減肉した場合は、ナットの接触面が小さくなり、座金との支圧部で応力が集中し、応力伝達により連結板が降伏し、座金が回転変形することで軸力が抜けることがわかった。
- 3) ナットの幅方向の腐食に関して、腐食高さ位置と腐食量を考慮した補正式を用いることで、様々な減肉形状の残存軸力率を一定の精度で評価できる。

#### 参考文献：

橋本国太郎ら：腐食劣化した高力ボルト摩擦接合継手の残存耐力に関する研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.69, No.2, pp.159-173, 2013.5.

下里哲弘ら：腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.725-735, 2013.3.

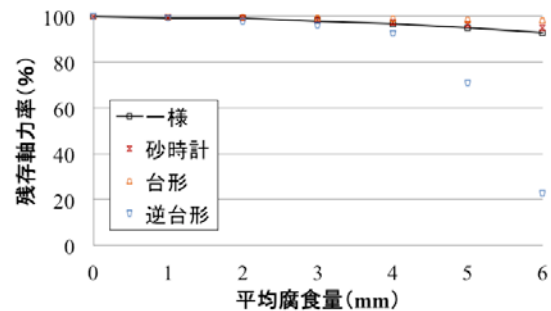


図-5 ナット幅方向減肉の 4 パターンの残存軸力率

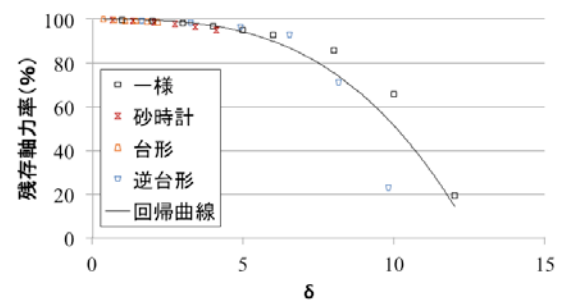
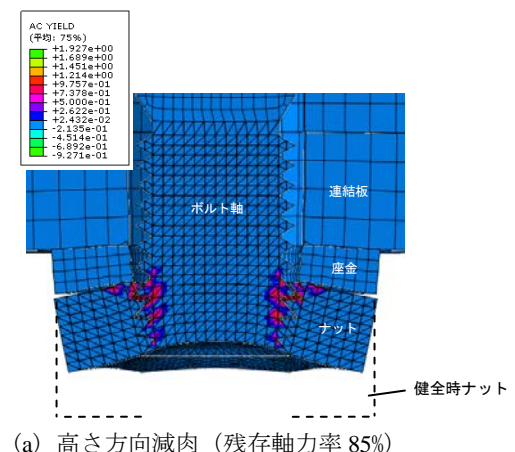
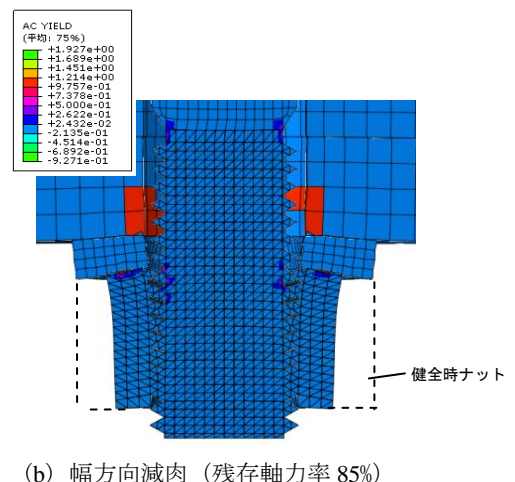


図-6 補正をかけた各形状の残存軸力率 ( $\alpha=3$ )



(a) 高さ方向減肉 (残存軸力率 85%)



(b) 幅方向減肉 (残存軸力率 85%)

図-7 軸力導入時の塑性ひずみコンター図

## こいのぼり鋼製支柱の維持管理に関する一考察

中央復建コンサルタンツ株式会社 小野 拓海

### 1 業務概要

#### 1.1 業務内容と目的

本業務では、鋼管製支柱（以下、支柱とする）の河川愛護イベント時の管理について検討を行った。

当イベントは、高槻市で平成4年より毎年開催され、本支柱12本にはワイヤーで吊った約1000匹のこいのぼりが掲揚される。築25年の経過年数、掲揚時の見栄えを重視したワイヤーの過度の引張やこいのぼりの大型化が年々増す中、支柱の継続的な供用を脅かす可能性があるため、イベント時の適切な管理を目的に12本中状態が一番悪い支柱1本と状態が一番良い支柱1本（以下、支柱①、支柱②とする）を対象に近接目視点検、安全性検討（構造照査）、引張試験を実施した。

#### 1.2 業務の流れ

業務フローを図1に示す。

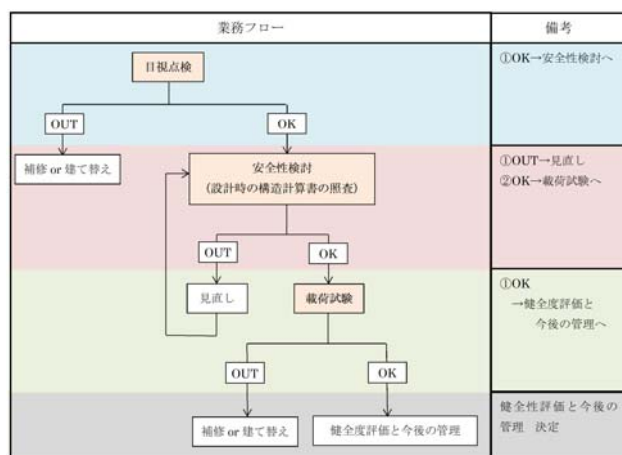


図1 業務フロー

### 2 近接目視点検

#### 2.1 目的

近接目視点検では、調査対象支柱に対して支柱の損傷の有無と対策の要否の判断をすること目的とした。

#### 2.2 点検結果

調査対象支柱の前回（H20年）の目視点検結果を受けて、支柱継手部の補修・補強後、約7年経過するものの、今回の近接目視点検結果では、塗装われや腐食などは確認されたが、支柱の機能に支障が生じる損傷はなかった。

### 3 安全性照査

#### 3.1 目的

安全性照査では、近接目視点検結果を踏まえたうえで、設計時の構造計算書を照査し、調査対象支柱の安全性及び引張試験実行の可否を判断すること目的とした。

#### 3.2 安全性照査結果

当該支柱新設時の構造計算書に加え、前回（H20年）の目視点検結果を受けて支柱継手部の補修・補強検討時の構造計算書についても照査を行い、構造的に問題が無いことを確認した。また、構造計算の結果、支柱の部材の中で耐力的に最も厳しい部材の位置は、支柱中間であった。

### 4 引張試験

#### 4.1 目的

載荷試験では、安全性検討（構造照査）上、耐力的に最も厳しい支柱中間部材の長期許容応力度相当の荷重（11.68 kN）を目安に支柱東部に引張荷重を作用させた。そのときに、支柱にかかる応力と変位量を調査し、支柱の管理値を設定することを目的とした。

#### 4.2 引張試験結果

引張試験の結果は、応力-ひずみの関係性において、ほぼ理論値と一致する結果となった。また、除荷時にはひずみ、変位とも0に戻っており、今回作用させた引張荷重時には、弾性領域内であり、鋼管支柱内部の腐食等、重大な損傷に伴うひずみ・変位の発生はなかったものと判断した。

なお、支柱頭部の実測変位量は、支柱①については理論値とほぼ同じ傾向が得られるものの支柱②については理論値よりも大きくなりバラツキがあった。

### 5 考察

今回の実測変位量をもとにイベント時の管理限界値や運用管理値を設定するのは困難である判断し、理論値の降伏点に相当する変位量を管理限界値と設定した。

また、運用管理値は、降雨に伴うこいのぼり死荷重の増加や突風等、設計上想定していない荷重増加分を考慮し、管理限界値の80%に相当する値とした。

当面は、上記変位量を管理値として運用することで安全



上問題ないと思われるが、毎回、当該管理値を超える変位が生じる場合は、掲揚するこいのぼりを減らすことを視野に入れた管理方法が適切であると思われる。

## 不連続変形法を用いた石垣の崩壊挙動解析

(株) オリエンタルコンサルタンツ ○中西 一仁  
金沢大学 理工研究域 池本 敏和  
金沢大学 理工研究域 宮島 昌克

### 1. はじめに

2016年熊本地震では、前震と本震の2度にわたり、震度7の地震が活動した。このような過去に例を見ない現象により、熊本城内における石垣は甚大な被害を受けた。石垣がどのように崩壊したのかを解明することにより、石垣修復の際、効果的な地震対策を施すことができると考える。そのため本研究では、熊本城にみられる武者返しの石垣について、2次元不連続変形法(DDA)を用いた石垣の崩壊挙動の解明を行った。

### 2. 不連続変形法(DDA)の概要<sup>1)</sup>

不連続変形法(DDA: Discontinuous Deformation Analysis)は、解析対象を要素ブロックの集合体として表し、ブロック内部の弾性変形とブロック間の接触、衝突等の大変形を表現できる手法である。以下にDDAの特徴を述べる。

- 有限要素法(FEM: Finite Element Method)<sup>2)</sup>と同じく、ポテンシャルエネルギーの最小化原理を利用する手法であり、解の唯一性が保証されている。
- 任意形状の個々の要素ブロックにおける重心点で定義する、ひずみ、剛体変位、剛体回転を未知数としており、要素内ではひずみ一定(線形要素の場合)としてFEMと同様に連立1次方程式を解く。
- 個々の要素ブロックの幾何形状、荷重条件、材料定数とブロック接触部での合成や強度定数及び接触時の反発係数を与える。ブロックの接触点では、ペナルティ法による貫入量制御を行うことにより、ブロックの応力、ひずみ、運動、ブロック間のすべりと接触力を計算する。

以上の手順を、時間ステップを追って解析を進めるため、ブロックに非線形構成則を導入することが容易である。

### 3. 武者返しの石垣の解析モデル

熊本城内の現地調査や被害を受ける前の石垣の写真等を参考に、武者返しの石垣のモデルを作成した。ここで、DDAによる解析では要素数が増えるほど解析結果が不安定になるため、要素数が必要最小限になるよう留意した。解析モデルを図1に、モデルの各物性値を表1に示す。また、モデルの詳細を以下に示す。

- 築石は高さ750mm、奥行1000mmとした。
- 裏込め石は石垣に接触する重要な要素であるため、要素をできるだけ細かく設定した。裏込め石の要素は1辺が300mmの正方形とし、滑りを表現するために45°回転させて配置した。
- 盛土は実際には裏込め石より細かいが、盛土の範囲が広いので要素を大きくした。盛土の要素は1辺が1000mmの正方形とし、裏込め石と同様に滑りを表現するために45°鉛直方向に回転させて配置した。
- 石垣上部の櫓は等分布荷重を与えるブロックとして表現した。高さ方向2000mm、奥行方向6000mmとした。

また、入力地震動として、秦ら<sup>3)</sup>による常時微動観測点から推定された、2016年4月16日の熊本地震本震における熊本城内の推定地震動のE-W方向の地震波を入力する。入力地震波を図2に示す。

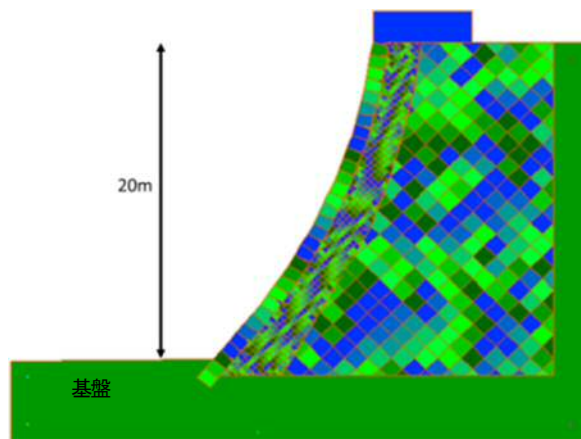


図1 解析モデル

表1 解析モデルの各物性値

	石垣	裏込め石	盛土	基盤	載荷物
粘着力 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	5	5	100	5	5
内部摩擦角 (deg.)	45	45	33	33	33
単位体積重量 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	2.6	2.6	1.9	1.9	1
ヤング率 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	$1.0 \times 10^7$	$1.0 \times 10^7$	$3.0 \times 10^4$	$8.0 \times 10^4$	$8.0 \times 10^4$
ポアソン比	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

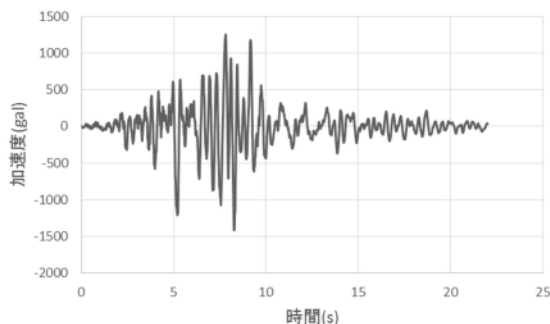


図2 入力地震動

#### 4. 武者返しの石垣の崩壊挙動解析及び考察

築石を石垣上部から順に 1~32 とする。解析結果を図 3 に、築石と基盤（図 1 参照）との相対変位量を図 4 に示す。

解析結果より、次のような崩壊挙動が考えられる。

- 作用する加速度が小さい場合には、築石の変形量は小さく、また背面の裏込め石及び盛土と一体となった連続体として挙動するため、築石は直線状に変形する。
- 築石に作用する加速度が増加すると築石と裏込め石は不連続体としての挙動を示し、築石が前方に変形したときに築石と裏込め石の間に隙間が生じる。
- 築石が前方に変形したことのできた隙間を埋めるように裏込め石が下方に移動するため、裏込め石の上面は沈下する。
- 一度前方へ移動した築石は背面に移動した裏込め石の影響により、もとの位置には移動できないため、築石の中央部付近において築石が前面にはらみだす現象が生じる。

一方、石垣下部の築石は石垣上部の築石と同様に前方へ変位することが明らかとなった。これは今回の解析モデルは 20m の高石垣であることから、石垣下部にかかる築石や裏込め石、盛土の応力が大きく増大したためだと考えられる。

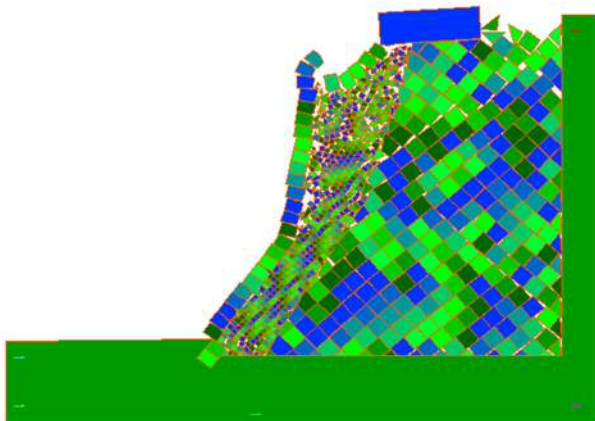


図3 解析結果

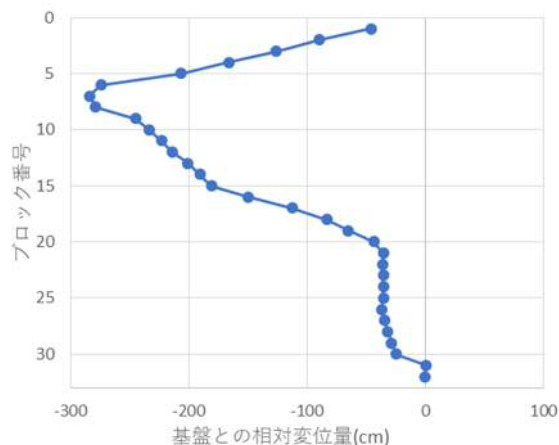


図4 築石と基盤との相対変位量

#### 5. おわりに

本研究では、熊本城にみられる武者返しの石垣について、2次元不連続変形法（DDA）を用いた石垣の崩壊挙動の解明を行った。その結果、熊本地震の本震を入力とした石垣の崩壊挙動が明らかとなった。今後は具体的な地震対策案の検討を行っていく。

#### 謝辞

本研究を実施するにあたり、熊本城調査研究センターの関係者には多大な協力を得た。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 大西有三, 佐々木猛, Gen-Hua Shi : 計算力学レクチャーシリーズ⑥不連続変形法 (DDA), 丸善, pp. 9-57, 2005.
- 2) 鶴飼恵三, 井田寿朗, 若井明彦 : 動的弾塑性 FEM解析による地震時斜面のすべり解析, 日本地すべり学会誌, Vol.32, No.1, pp.8-11, 1995.
- 3) 秦 吉弥, 村田 晶, 池本敏和, 橋本隆雄, 宮島昌克 : サイト増幅特性置換手法に基づく 2016 年熊本地震における熊本城の強震動の評価, 土木学会論文集 A1, Vol.73, No.4, 2017.3.



# 水平慣性力を受ける模型盛土の補強材敷設条件の違いによる補強効果

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 小林 敬尚

## 1. はじめに

近年多くの地震が発生しており、社会に大きな影響を与えている。平成28年に発生した熊本地震では震度7の地震が2回も発生し、大分県の高速度道路の切土で法面崩壊が生じた。この災害は、地震発生まで降雨がほとんどなかったことから地震が直接的な要因で崩壊したと考えられている。このような斜面災害の被害を抑制するために、切土や盛土の補強は重要である。この補強工法の1つとして簡易的な構造で補強ができ、施工性や経済性に優れている地山安定化工法<sup>1)</sup>がある。しかし、地山安定化工法の補強材長さや配置など経験的手法となっており詳細については不明な点が多い。そこで、本研究では盛土の補強効果の把握を目的として地山安定化工法を模擬した実験を行った。具体的には、加速度計を設置して模型盛土の監視を行い、加速度計の挙動、補強材敷設条件(垂直と水平の挿入方向の違い、補強材の長さ、補強材の間隔、補強材の段数)の違いによる比較を行い、補強効果について分析した。

## 2. 装置概要

図1に実験装置の概要を示す。この装置は震度法による斜面安定解析と同様の応力状態を再現することを模擬した。模型土槽の下には車輪を取り付けており、傾斜のあるガイドレール上を滑らせて模型土槽が壁に衝突することで、模型地盤に進行方向の慣性力が作用する仕組みとなっている。なお、衝突時のハネ返りを和らげるため壁には緩衝材を取り付けている。ガイドレールの傾斜角度は $\theta=7^\circ$ であり、模型土槽はガイドレールの傾斜角度と同一の傾斜角度を有しているため、模型盛土に対して水平方向に慣性力が作用させることができる。実験に使用した土槽は、幅70cm、高さ38cm、奥行き15cmである。

## 3. 実験条件

表1に実験条件を示す。用いた試料は三河硅砂V6号( $\rho_{dmin}=1.30g/cm^3$ ,  $\rho_{dmax}=1.60g/cm^3$ ,  $D_{50}=0.295mm$ ,  $G_s=2.65$ )であり、飽和度30%と50%に相当する含水比9.2%, 15.4%に調節した湿潤土で、相対密度56%となるように突固めて斜面を作製した。作製した盛土は、法面勾配 $30^\circ$ の場合、幅70cm、高さ30cm、天端幅25cm、奥行き15cmであり、法面勾配 $45^\circ$ の場合、幅70cm、高さ30cm、天端幅40cm、奥行き15cmである。この実験は実際の1/50サイズを想定しており、補強材はD25の異形棒鋼に相当する太さとなる

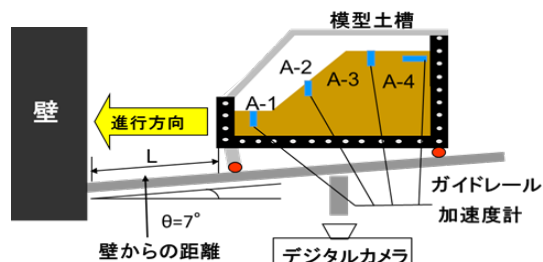


図1 水平慣性力載荷装置

表1 実験条件

実験名	相対密度	飽和度	法面勾配	補強条件	段数	補強間隔	L
CASE1	56%	30%	45°	補強なし	-	-	42cm
CASE2				6cm垂直補強	10	2.8cm	
CASE3				6cm水平補強			
CASE4				補強なし	-	-	37cm
CASE5				6cm垂直補強	10	2.8cm	
CASE6				8cm垂直補強			
CASE7				12cm垂直補強			
CASE8	56%	50%	30°	補強なし	-	-	42cm
CASE9				6cm垂直補強	10	2.8cm	
CASE10				6cm水平補強			
CASE11				9cm垂直補強	6	4.2cm	
CASE12				9cm水平補強			
CASE13				9cm垂直補強	8		
CASE14				6cm垂直補強			

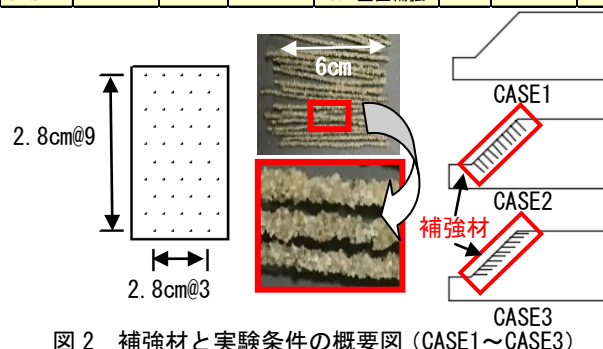


図2 補強材と実験条件の概要図(CASE1~CASE3)

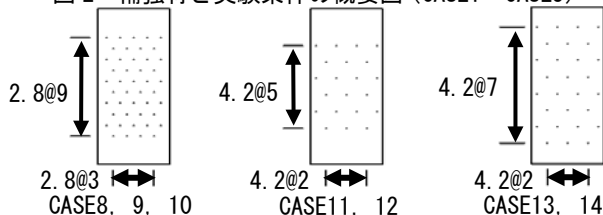


図3 補強材の配置図

よう $\phi=0.45mm$ のステンレス製の針金を用いた。なお、地山安定化工法を模擬するため、針金の表面には接着剤で三河硅砂V6号を貼り付け摩擦抵抗を大きくし、実験上簡易的となるように、法面に対して垂直方向と水平方向に補強材を挿入した。また地山補強土工法は、経験から $2m^2$ に1本程度挿入しなければ効果は期待できないということが認識されているため、 $2m^2$ に相当する間隔2.8cmを基本として実験を行った。ここで、実験の説明として用いた補強材とCASE1~CASE3の実験概要図を図2に示す。他の実験

のCASE4～CASE7はCASE1～CASE3と同じ配置で補強材を挿入し、補強材の長さを変更させた実験である。

CASE8～CASE14では補強材の間隔、段数を変化させ、実験を行った。図3に補強材の配置図を示す。盛土の状況監視のため、加速度計A-1(法先地盤水平方向)、A-2(法面中央水平方向)、A-3(天端水平方向)、A-4(天端鉛直方向)を図1の位置に設置した。加速度は模型土槽が移動する前から静止するまで全ての衝突について測定した。

#### 4. 加速度計の挙動

図4、5にCASE1～CASE7の加速度計A-2の最大加速度と衝突回数の関係を示す。写真1のようにすべり面が目視できた時を崩壊開始とし破線で示している。図より、崩壊開始から最大加速度が減少する結果となった。この挙動は、すべり面が発生することで土粒子のかみ合わせが緩くなり慣性力が伝播されにくくなることで、測定される加速度の波長が長くなり最大加速度が小さくなると推察する。補強材挿入方向については水平方向よりも垂直方向の方が多くの衝突回数に耐えることができ、補強材の長さを長くすることで補強効果が飛躍的に高まる結果となった。写真2にはCASE4とCASE7の崩壊開始時の盛土の様子を示す。長い補強材の方が補強効果が高く、すべり面が後退するため多くの衝突回数に耐えることができると推察する。図6にCASE8～CASE14の加速度計A-2の最大加速度と衝突回数の関係を示す。法面勾配30°の場合も法面勾配45°の場合と同様に垂直方向に挿入した方が多くの衝突回数に耐える結果となった。しかし、CASE13よりもCASE14の方がより多くの衝突回数に耐えていることから、同じ間隔でもただ補強材を長くするだけでは補強効果が現れない結果となった。さらに、CASE13よりもCASE11の方が多くの衝突回数に耐えることができ、間隔を広げると段数を増やしても補強効果が現れない結果となった。これは法面に対して補強材の本数が少ないため、補強材によって補強効果が高まることよりも補強材を挿入した際に盛土を乱してしまうことによる影響の方が大きいためであると推察する。以上より、挿入方向は水平方向よりも垂直方向が良いことが明らかとなり、補強材の長さよりも補強材の間隔の方が補強効果に重要な影響を与える要素であると示唆された。

#### 5. 補強材敷設条件の違いによる比較

前節の加速度計の挙動から、補強材の長さよりも補強材の間隔の方が補強効果に重要な影響を与える要素であると示唆された。法面勾配30°の補強材の間隔と崩壊開始時の衝突回数の関係を図7に示す。なお、CASE8(補強なし)の崩壊開始時の衝突回数を一点破線で示している。図より、補強材間隔が4.2cmの場合、補強材の長さや段数、本数に

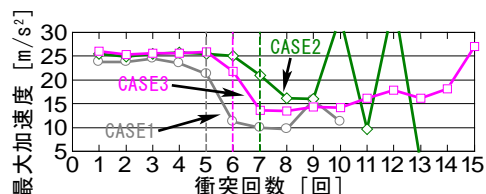


図4 最大加速度(A-2)と衝突回数の関係

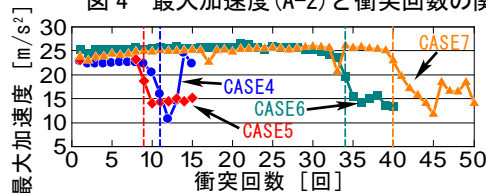


図5 最大加速度(A-2)と衝突回数の関係

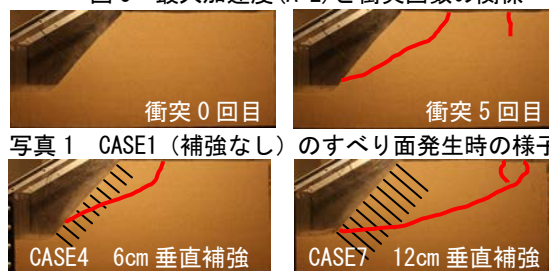


写真1 CASE1(補強なし)のすべり面発生時の様子

写真2 崩壊開始時の盛土

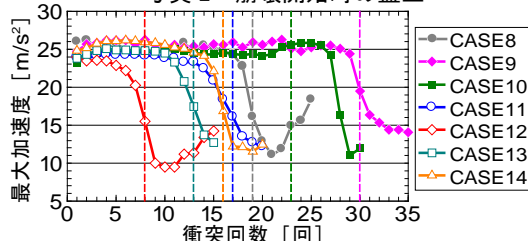


図6 最大加速度(A-2)と衝突回数の関係

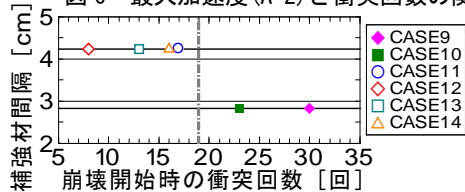


図7 法面勾配30°の最大加速度と崩壊開始時の衝突回数

関係なく補強なしの場合よりも弱くなる結果となった。また、補強材間隔が2.8cmの場合、補強なしよりも強くなった。そのため、実スケールの2m<sup>2</sup>に1本という補強材間隔は補強効果があることが明らかとなった。

#### 6. まとめ

地山安定化工法を模擬した模型盛土の補強効果の分析を行った。その結果、補強材の挿入方向は水平方向よりも垂直方向が良いことが明らかとなり、補強材長を長くすることで補強効果が飛躍的に高まる結果となった。しかし補強材間隔を広げた場合、補強材長さを長くしても補強効果が現れなかったことから、補強材の長さよりも間隔の方が補強効果に重要な影響を与える要素であることが示唆された。また、実験結果から経験的な2m<sup>2</sup>に1本という補強材間隔は補強効果があることが明らかとなった。

【参考文献】 1) 公益社団法人地盤工学会, 地山補強土工法設計・施工マニュアル, 2011, p1-17

# パイピング現象による地すべりダム崩壊前兆現象に関する研究

基礎地盤コンサルタンツ（株） 星元 誠斗

## 1. はじめに

地すべりダムとは、斜面崩壊により発生した土砂が河川に流れ込み、水の流れをせき止め天然のダムを発生させる現象である。ダム堤体は軟弱な構造をもつ特徴があり、決壊する危険性があるため対策が必要となっている。しかし地すべりダムの決壊は堤体内部で進行することもあり予測が困難である。そこで本研究は、室内外での実験及び実際に発生した地すべりダムに対して物理探査を実施することで、パイピング現象による崩壊の発生機構や、地すべりダム崩壊の傾向を捉えることを目的として実施した。

## 2. 実験

地すべりダムを室内外で再現し意図的に弱部を作成することで実際にパイピング現象を発生させ、堤体内部の変化を複数の計測機器を用いて観測を行った。

### (1) 室内実験

室内実験では水槽内に土砂を用いてダム堤体を作成し上流側に水を溜め、地すべりダムを再現した。実験条件を表-1に示す。水槽は高さ0.5m、長さ2m、幅0.5mのものを使用しており、観測には変位計、自然電位計、水位計、定点カメラを用いた。

### (2) 野外実験

野外実験では土砂を用いてダム堤体及びプールを作成し上流側に水を溜め、地すべりダムを再現した。実験条件を表-1に示す。観測には変位計、間隙水圧計、自然電位計、濁度計、水位計、定点カメラを用いた。

表-1 実験条件

	室内実験	野外実験
斜面角(°)	40	37
天端高(m)	0.25	1.7
幅(m)	0.5	9
土粒子密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.72	
内部摩擦角φ(°)	38.7	
粘着力c(kN/m <sup>2</sup> )	6.66	

## (3) 実験結果

室内外実験より、パイピング発生時から崩壊直前にかけて自然電位が低下する傾向が確認された。また、急激なパイピング発生時には水とともに大量の土粒子が流されるため電位に偏りが生じず、自然電位が低下せずにはほぼ一定となる傾向が見られた。

さらに、パイピング現象発生後には、流出水の濁度が上昇する傾向が見られた。

## 3. 現地調査

地すべりダムの内部構造及び流動地下水状況の把握を目的として、新潟県の東竹沢、寺野地すべりダム、キルギスのコルトル湖地すべりダムの3地点に対して自然電位探査、チェーン微動アレイ探査を実施した。

その結果、ダム堤体の湧水箇所付近で軟弱な構造を持つ傾向を観測できた。自然電位測定により地すべりダム堤体内部の流動地下水をとらえることができた。

## 4. まとめ

実験結果より、自然電位や濁度の関係からパイピング現象による崩壊の前兆現象を捉えることができた。また、現地調査結果より地すべりダムの内部構造や流動地下水の状況を把握することができた。

## 5. 参考文献

微動アレイ探査法の拡張の試み：チェーンアレイ探査法の適用について. 地盤工学会誌, 2010, 58.8: 10-13.  
パイピング現象による土砂ダム決壊現象の抽出, 島根大学大学院総合理工学研究科修士論文, 2014, 125p.  
表面波および微動アレイ探査を併用した東竹沢天然ダム堤体の内部構造調査. 日本地すべり学会誌, 2015, 52.5: 233-238.  
新潟県中越地震によって東竹沢・寺野地区に発生した地すべりダム. 日本地すべり学会誌, 2010, 47.6: 349-360.



## 斜面崩壊土砂の堆積形状と到達域に関する室内模型実験

協和設計株式会社 寺 田 幸 太

### 1. 研究背景・目的

山地が多く脆弱な地盤が広く分布し、自然災害が多く発生する日本では、降雨や地震等の発生により山の斜面が崩れ、付近の家屋や住民に大きな被害を与えるケースがある。

さらに山地のすぐそばや山の斜面を切り崩したような危険個所で災害が発生した場合、被害を免れることは難しい。というのも土砂災害は局所的かつ突発的に発生し、土砂と石が高速で移動するためだ。土砂災害から自身の身や財産を守るためには、斜面崩壊時の土砂の堆積形状・到達域を把握し、被害が及ぶ危険区域を避けることが重要である。

1) 2) 3)

そこで本研究では、崩壊土砂の堆積形状・到達域と斜面勾配などの関係について、観察より例示することを目的として室内模型実験を行う。また、Fringe 画像を堆積物に投影し、対象の形状を観測することで、崩壊土砂・斜面傾度と堆積形状の関係について、三次元的な傾向観察を試みる。

### 2. 実験方法

実験は、図-1のようにコンパネで作った斜面板上で砂試料を開放し、試料の堆積形状を記録するという方法で行う。このとき、斜面傾度 $\theta$ を $35^{\circ} \cdot 40^{\circ} \cdot 45^{\circ} \cdot 50^{\circ} \cdot 55^{\circ}$ 、砂の流下質量 $m$ を $100 \cdot 300 \cdot 500 \cdot 700 \cdot 900 \text{ g}$ 、砂の流下長さ(斜面上初期位置)  $L$ を $10 \cdot 20 \cdot 30 \text{ cm}$ と変化させ、計75通りの条件で繰り返し実験を行う。結果から到達長さを測定し、流下試料体積  $V$  の三乗根で相対化し到達域を定量的に表現する。そして変化させる条件が到達域に及ぼす影響を観察・比較する。

試料には鳥取砂丘砂で粒径 $2 \text{ mm}$ 以下かつ気乾燥状態のものを用いる。ここでの気乾燥状態は、砂をシートに広げ、空気が全体に触れるよう何度か混ぜ、1日放置するものとする。

斜面板を流下させる試料の斜面板上の塩ビパイプへの詰め方については、所定質量を容器に準備の上、斜面上に設置した塩ビパイプに入れ、ヘラ棒で砂の表面が斜面と平行になるよう均す。平行については目視で確認する程度とする。この時の密度は、塩ビパイプに $100 \text{ g} \cdot 300 \text{ g} \cdot 500 \text{ g} \cdot 700 \text{ g} \cdot 900 \text{ g}$ それぞれの質量の砂を平面上で測り入れ、ヘラ棒で均したときの高さ $h$ と塩ビパイプの断面積から体積を測り、パイプ内の砂の

質量を測った体積で除して算出する。結果、 $100 \text{ g} \cdot 300 \text{ g} \cdot 500 \text{ g} \cdot 700 \text{ g} \cdot 900 \text{ g}$ それぞれほぼ同じ値となった。5つの平均密度は $1.489 \text{ g/cm}^3$ となり、相対密度で表現すると $32.7\%$ であった。これは中密詰めであるが、ゆる詰めよりの値といえる。本実験ではこの手法による密度で設置した砂を用いて毎回実験を行う。試料特性については、JIS 規定に基づく土質試験の結果より表-1に示す。

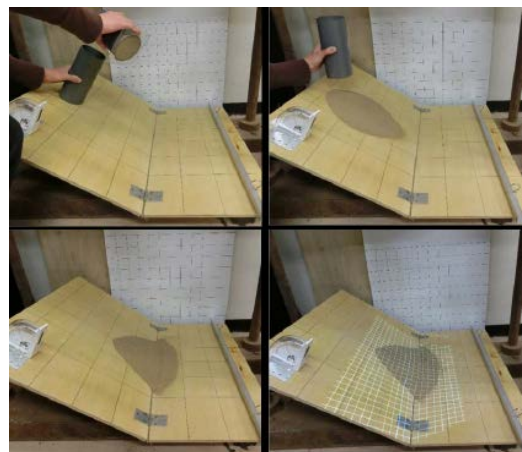


図-1 実験時

表-1 試料特性

	鳥取砂丘砂
土粒子密度	$2.652 \text{ g/cm}^3$
最大密度	$1.719 \text{ g/cm}^3$
最小密度	$1.398 \text{ g/cm}^3$
自然乾燥時の含水比	$0.23\%$
実験時密度	$1.489 \text{ g/cm}^3$
安息角	$30^{\circ}$

### 3. 実験結果

流下試験による流下砂の到達域の計測から得られた結果を、変化させる条件ごとに比較し、斜面流下条件の違いが到達域に及ぼす影響について観察した。

図-2のように最大到達距離を  $D$ 、最大到達幅を  $W$  とする。斜面傾度の増加は  $D$  を大きくする影響を与えるが、 $W$  に与える影響は軽微であることが明らかとなった。それとは逆に、流下質量と流下距離の増加は、 $W$  を大きくする影響を与えるが、 $D$  に与える影響は軽

微であることが示された。

堆積した砂に Fringe 画像をあてたものの1つを図-3に示す。この画像から堆積物の形状を観測し、崩壊土砂・斜面傾度と堆積形状の関係を示すために、本研究では MathWorks の matlab を用いた。matlab によって Fringe 画像を投影した状態の堆積物の画像を二値化し、堆積物に当たり変化した Fringe の線を matlab によって読み取り、画像解析を行う。を二値化したものを図-4として示す。これらの画像から、等高線のように Fringe が変化しているのが確認できる。

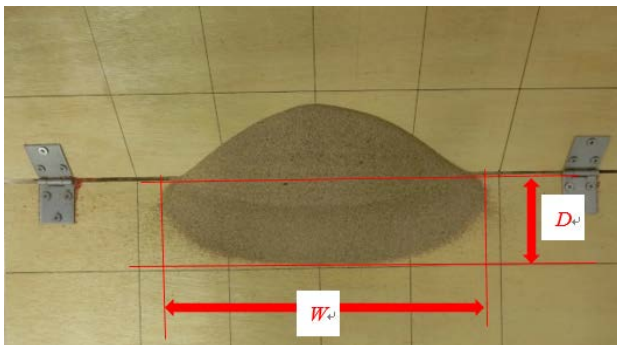


図-2 最大到達距離・最大到達幅

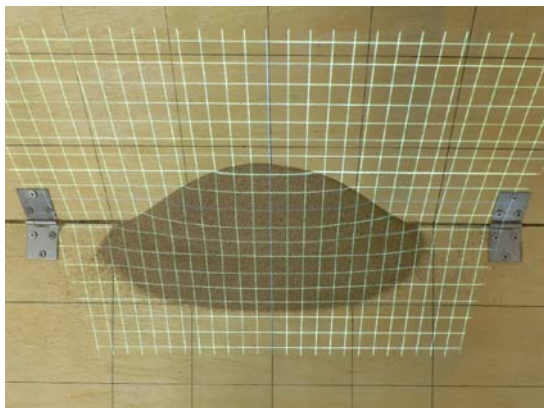


図-3 Fringe 画像投影

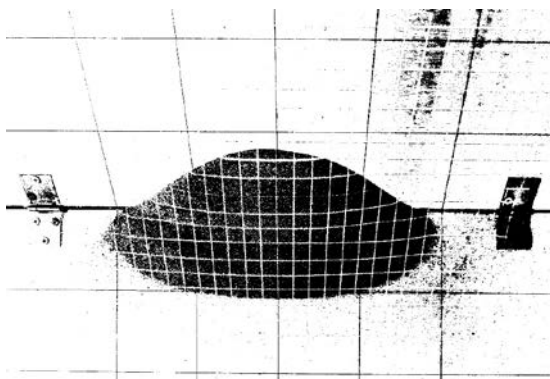


図-4 Fringe 画像投影二値化画像

#### 4. 結論

今回行った実験により、二次元的に堆積形状を把握した。今後の利用について、Fringe の二値化画像から等高線を読み取ることで、そこから堆積物の高さが判断でき、それによって堆積物を立体として把握し、形状の三次元的な傾向観察に利用できればと考えている。

#### 5. 参考文献

- 1) 高野秀夫 (1983)『斜面と防災』築地書館株式会社：179pp
- 2) 土木学会，地盤工学委員会，斜面工学研究小委員会，委員長，後藤聡 (2009)『家族を守る斜面の知識～あなたの家は大丈夫？～』社団法人土木学会：162pp
- 3) 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会「知っておきたい斜面のはなし Q&A」編集委員会，委員長，後藤聡 (2005)『知っておきたい斜面のはなし Q&A－斜面と暮らす－』社団法人土木学会：291pp

## 複合物理探査による切土斜面の工学的評価法に関する研究

株式会社ニュージェック ○ 増 満 岳 也  
関 西 大 学 楠 見 晴 重

### 1. はじめに

我が国の道路は、高度経済成長期から急ピッチで建設され、それに伴い、切土や盛土の斜面も数多く整備された。現在、それらの斜面の老朽化が進んでおり、斜面地盤の安定性、耐久性を把握、評価することが急務となっている。

近年の維持管理コスト縮減への対応策の一つとして、老朽化斜面の健全度調査において、容易に地盤内の2次元情報を得ることができる物理探査法が利用されはじめている。しかし、個々の物理探査には適用範囲や得られる探査精度の限界があり、単独の成果だけでは多様で複雑な地盤に対して正確に工学的評価を行うことは困難である<sup>1)</sup>。

本研究では3種類の物理探査(弾性波探査, 表面波探査, 電気探査)を実際の道路斜面にて実施し、複数の物理探査による斜面地盤評価の有用性や信頼性を確認する。ただし、複数の物理探査結果の総合的な評価手法は確立されていないため、通常は定性的な地盤評価となっている。そこで本研究では、主に情報処理の分野で利用される自己組織化マップ(SOM)<sup>2) 3)</sup>およびk-means法<sup>4)</sup>を用いて、複数の物理探査結果の複合的な評価を試み、研究対象斜面で得られたボーリングデータと比較することで、本手法の有用性や精度の検証を行った。

### 2. 研究対象地点

本研究対象地点は、斜面長約56mの北向き切土斜面である。地質は二疊紀前期～中期の加斗層<sup>5)</sup>で、斜面表層は名田庄コンプレックス由来の緑色岩系の凝灰質千枚岩により全体的に褐色であるが、部分的な貫入・変質等により、超丹波帯由来の千枚岩質頁岩とみられる青色系の地質も混在する。図-1に地質断面図および対象地点にて実施されたボーリング調査(2箇所)の結果を示す。

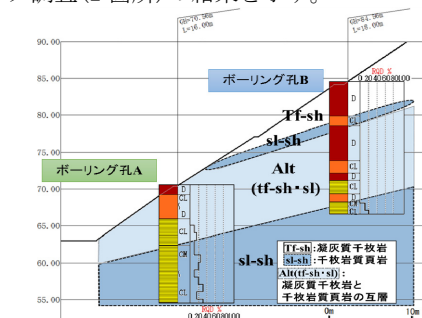


図-1 地質断面図・ボーリング調査結果

### 3. 3種類の物理探査

本研究にて用いた物理探査手法は、高密度弾性波探査(屈折法<sup>6)</sup>)、高密度表面波探査<sup>7)</sup>、電気探査(比抵抗二次元探査<sup>8)</sup>)の3種類である。高密度弾性波探査からはP波速度、高密度表面波探査からはS波速度、電気探査からは比抵抗値の地盤中の分布状況(斜面の断面図)を得ることができる。P波速度からは岩盤の硬軟、S波速度からは水の影響を除外した岩盤の硬軟、比抵抗値からは間隙の有無や含水状態を推定できる。図-2に原位置にて実施した各物理探査の結果を示す。各図の縦軸が標高(Elevation)、横軸が水平距離(Distance)を表している。図上の色が赤いほど、劣化進行の可能性が高いことを示している。

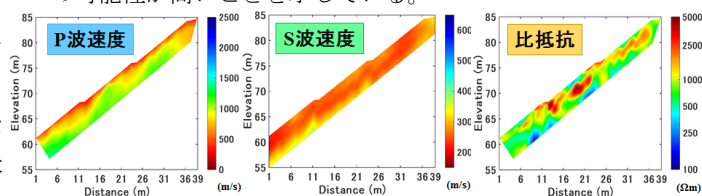


図-2 3種類の物理探査結果

### 4. 解析手法

#### ・自己組織化マップ

自己組織化マップ(SOM)は、ヘルシンキ工科大学のコホネン教授によって1979年に発表された教師なしニューラルネットワークの一種である。SOMの特徴は、類似した特徴を持つデータは近くに、異なった特徴を持つデータは離れた位置に配置し、類似度を距離で示したマップを作成することである。これにより、物理量の異なる高次元データ間の非線形な統計学的関係を簡単な幾何学的関係に変換することができ、データ間の関係性を視覚的に認識することができる。

#### ・k-means法

複数の物理探査結果に対しSOMを適用し、総合的な評価を行うことができるが、SOMにより作成したマップが複雑なために、地盤の解釈に差が生じてしまう可能性がある。そこで、SOMを各物理探査結果の特徴によって明確なクラスターに分類するために、k-means法と呼ばれるクラスタリング手法を用いた。k-means法は、マップ上に形成された各クラスター候補群の重心が最適値になるように、データを分類することができる。k-means法は非階層型クラス



タリング手法であるため、SOM から得られるマップを客観的にクラスタリングすることができる。

## 5. 解析結果

まず、弾性波探査、表面波探査、電気探査の結果を SOM によって1枚の画像として表したものの、およびk-means 法によりクラスタリングされたSOMを図-3に示す。また、SOM を3種の物理探査結果ごとに分解した「構成要素マップ」を図-4に示す。図-3に示すSOMには、3種類の物理探査の特徴が1枚の画像として表されているものの、どの部分が劣化しているか、どの部分に注目すべきか等の線引きが不明瞭である。そのため、k-means 法を用い、SOM に対して、特徴ごとにクラスタリングしたラインを明確に示した。

図-4のクラスタリングされたSOMの中に含まれる位置データを参照し、斜面地盤を複数の物理探査結果により分類した結果を図-5に示す。図-5と各クラスターの平均物性値を参照することにより、斜面上における地盤の特徴とその分布を見ることができる。クラス1はP波速度・S波速度ともに速く、比抵抗値が低いことから、比較的硬質で高含水率な岩盤であると思われる。クラス2はクラス1には劣るもののP波速度・S波速度が速く、比抵抗値が低いことから、やや硬質で高含水率な地質であると推定される。クラス3は比抵抗値が非常に高く、P波速度・S波速度が低いことから、地盤内に空隙が多く、風化の影響により劣化しているものと思われる。表層部に分布するクラス4は、P波速度・S波速度ともに低く、地盤が軟弱であることを示しており、クラス3と同様に劣化しているものと考えられる。

図-5には、ボーリング調査の結果(岩種区分)も示している。これを参考として解析結果とボーリング調査結果を比較すると、岩種区分における強風化粘板岩部や風化粘板岩部が、図-5にて劣化と推定されたクラス3・4部分とよく一致している。したがって、複数の物理探査結果とSOM・k-means 法によって表された斜面分類図が斜面の安全性・耐久性を評価できる可能性が示されたとともに断面的にも評価できる可能性が明らかとなった。

## 6. 結論

本研究では、複数の物理探査の結果を総合的に解釈するため、情報処理工学の分野で幅広く使われている自己組織化マップに着目し、物理探査で得られた物理量のデータを4つのクラスターに特徴付けて分類を行った。

その結果、ボーリング調査で得られた岩種区分、推定さ

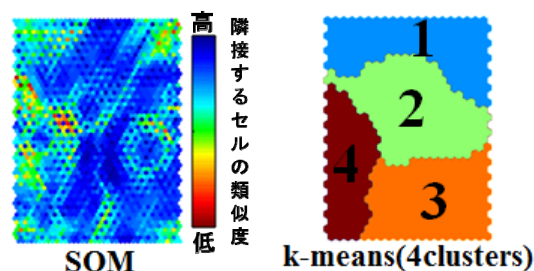


図-3 SOM および k-means 法によってクラスタリングされた SOM

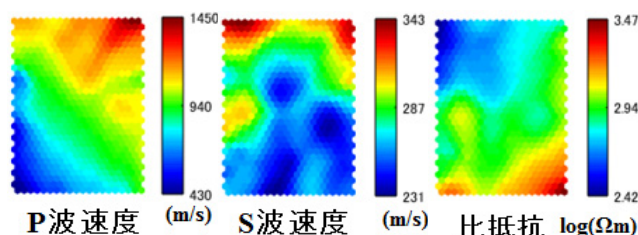


図-4 物理探査ごとの構成要素マップ

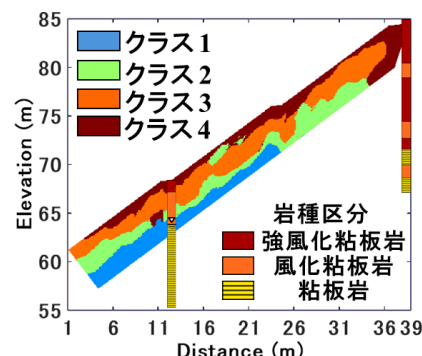


図-5 複数の物理探査結果による斜面分類図

れる地層構造とも概ね整合的な結果が得られた。

今後は、各物理探査の精度向上、および複数の物理探査を用いた継続的な測定において、当解析手法を用いた経時的変化把握の可能性を確かめる必要がある。

## 参考文献

- 1) 災害科学研究所トンネル調査研究会編：地盤の可視化技術と評価法，鹿島出版会，H.21. 22p-32p.
- 2) Kohonen, T. : Simultaneous order in nervous nets from a functional standpoint, Biological Cybernetics, Vol. 50, S.57. 35p-41p.
- 3) Kohonen, T. : Self-Organization and Associative Memory, Springer-Verlag, S.59.
- 4) 宮本定明：クラスター分析入門 ファジィクラスタリングの理論と応用，森北出版株式会社，H.11.
- 5) 通商産業省工業技術院地質調査所：日本地質図大系 近畿地方，朝倉書店，H.8. 36p-37p.
- 6) 物理探査学会：物理探査ハンドブック手法編 第2章屈折法地震探査，H.10. 115p-151p.
- 7) 物理探査学会：物理探査ハンドブック手法編 第4章微動・振動，H.10. 203p-211p.
- 8) 物理探査学会：物理探査ハンドブック手法編 第5章電気探査，H.10. 239p-295p.

## 急傾斜地における崩壊土砂対策に関する基礎実験

全日本コンサルタント(株)

○桑田 有輝

立命館大学

藤本 将光

三井共同建設コンサルタント(株)

原田 紹臣

立命館大学

深川 良一

### 1. はじめに

日本は、地震や台風などの多くの災害に見舞われ、その結果、毎年のように大変多くの土砂災害による被害が発生している。日本ではこれらの土砂災害に対し、土砂災害防止法を制定しており、危険にさらされる区域を土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域と設定している。特別警戒区域については、危険な状態の建築物の所有者などに対して家屋の移転などの勧告を行うが、避難勧告が出ていても、区域内で暮らしを続けている人も多い。これらの現状をふまえ、警戒区域や特別警戒区域内でも安全に生活できるような状態となるのが最も望ましいと考え、現行のものよりも効率よく、より安価な擁壁の考案を目的とした。

斜面崩壊モデルを用いた崩土実験やシミュレーションは行われているが、本研究では、既存の論文では実施されていない、擁壁を想定したモデル実験での崩壊土砂の移動形態他について検証を行った。

### 2. 実験方法

本実験を行うにあたり、土槽にモデル斜面を設置した。これは土槽に延長台を取り付け、その上に傾斜角が  $30^\circ$  の斜面を置いたものである(写真1, 図1)。土層の上部に土塊を支えるシャッターとなる部品を固定し、このシャッターの取っ手を引き上げることによって斜面崩壊による土砂移動を再現する仕組みである。また、延長台には擁壁を取り付けることができ、予備実験より、擁壁は100mmの高さのものを用意した。設置箇所は、斜面の際とした。実験における土塊は、 $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 600\text{mm}$  の大きさを設定した。用いる土試料は、真砂土である。

この土塊をシャッター上部に盛り、シャッターを上げることによって発生する崩壊土砂を、斜面の下端から50mm、100mmのところと120mmおきに4つ取り付けた圧力計で圧力を測定し、その際の崩壊形態を記録した。

斜面傾斜は  $30^\circ$  , 含水比は10%と20%, 擁壁は擁壁なしと擁壁ありの計4パターンで実験を行った(表1)。



写真1 実験装置

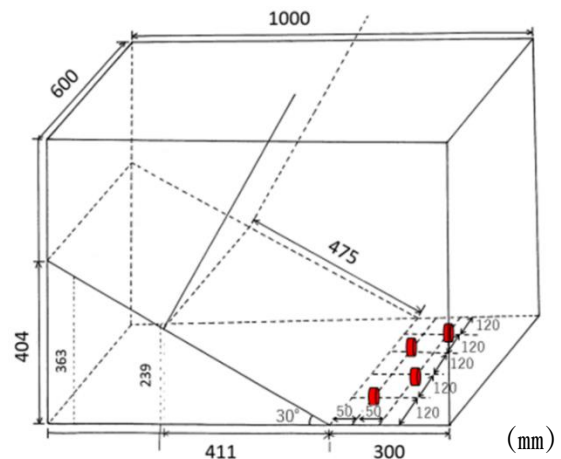


図1 実験装置寸法

表1 実験パターン

	含水比	擁壁
case1	10%	なし
case2	10%	あり
case3	20%	なし
case4	20%	あり

### 3. 結果

case1 の傾斜  $30^\circ$  , 含水比 10%, 擁壁を設置していない場合, 到達距離は, 32cm 程度であった(写真 2). 圧力計の計測結果は平均 1.94N であった. これに対し, 擁壁を設置した case2 の場合, 擁壁を超えた土砂の量は 112.8g であり, ほとんどが擁壁によって堰き止められた. 圧力計の計測結果も, 擁壁に堰き止められた土砂がほとんどであるため, 値の変化が見られなかった. 予備実験の際, 流動深が 100 mm であったため, 壁が 100mm あれば土砂流を防ぐことが出来るだろうとしていた予想は正しかったといえる.

次に, case3 の傾斜  $30^\circ$  , 含水比 20%, 擁壁を設置していない場合, 最高到達距離は, 66cm であった. 10%の実験のときとは違い, 20%の土は飽和状態であり, 流体として流下した(写真 3). 圧力計の計測結果は, 3.00N であった. これに擁壁を設置した case4 の場合, 擁壁を越える結果となった. 含水比が 10%の際と比較すると, 10%では崩壊後, 斜面に土塊が残っているが, 今回の 20%では飽和しており流動性があるため, 斜面に残存している土があまりないため, より多くの土が流下することになり, 擁壁を越えたと考えられる. 最高到達距離は, 40cm であった. 圧力計の計測結果は, 0.23N であり, 擁壁は超えてしまったが, 土砂流の被害を軽減することはできているといえる.

それぞれの実験パターンを比較すると, 到達距離・圧力ともに含水比が大きくなると大きくなっているが, 擁壁の設置によりかなり圧力を抑えることができている(図 2, 3). これらの結果は今後の斜面崩壊モデルを用いた崩土実験で有意義なデータになりうると考えられる.



写真 2 case1 の崩壊形態



写真 3 case3 の崩壊形態

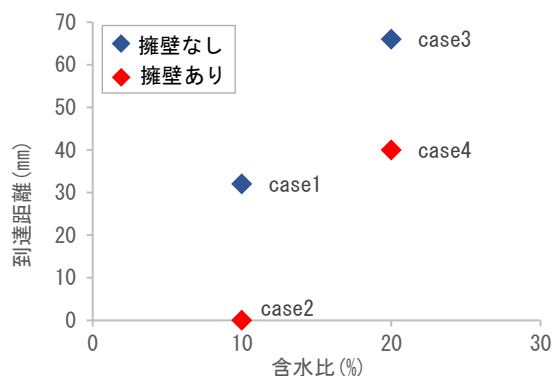


図 2 含水比と到達距離の関係

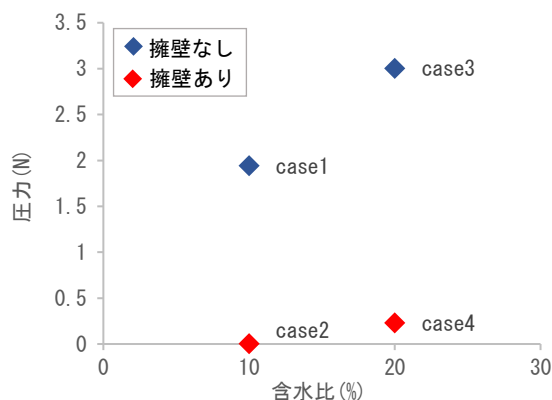


図 3 含水比と圧力の関係

### 4. 課題

今後の課題として挙げられるのは, シャッター開閉が人力であるため, シャッター開閉時に摩擦が発生し結果に影響を及ぼしており, 改良を行う必要があるということである. また, 今回の実験では真砂土を使用した, より実情にあった斜面崩壊モデルを再現するためには, 現場で採取した試料を用いるほうが有用であると考えられる. なお, これについてはサンプリング方法並びに試験装置へのセットの方法について検証が必要である.



## 液状化した地盤の揺動による幹線道路歩道の付き上げ被害の検討

基礎地盤コンサルタンツ(株) 山下 文

### 1. はじめに

東日本大震災では、東京湾岸エリアで大規模な液状化が起き、液状化した地盤が長時間揺すられ続ける「揺動」により、路面が突き上げられたように盛り上がる「突き上げ被害」が生じた。(写真－1)この路面の突き上げは、幹線道路の歩道や一般道路、高架橋・旧護岸の際などの至る所で生じた。その中でも、本論文では千葉県浦安市の幹線道路の歩道で生じた突き上げ被害に着目した。

写真－1の被害箇所は、片側に住宅地の盛土と擁壁があることが特徴であり、これらが揺動による地盤の変位を拘束したために突き上げ被害が起きたと考えられる。

本論文では、盛土と擁壁が歩道の突き上げ被害に与えた影響を2次元応答解析を用いて、地盤内のひずみや変位に着目し、検討を行った。

### 2. 解析概要

#### 1) 解析検討断面

解析検討断面は、写真－1の箇所の幹線道路とした。モデル作成にあたって、地層構成は、付近にある浦安市立高洲小学校のボーリングデータ<sup>1)</sup>を基にした。車道・歩道・公園・工場地帯の幅はGoogle Mapより計測し、擁壁・盛土の高さは現地で計測した値を用いた。作成した断面モデルを図－1に示す。地下水位は、G.L. 0.0m(地表面)、-0.5mの2パターンと仮定した。

#### 2) 解析手法と条件

本検討には、2次元応答解析(FLUSH)を用いた。モデル境界条件は、解析モデル両側は、エネルギー伝達境界とし、底面は剛基盤とした。

入力地震動は、東北地方太平洋沖地震の本震時、東京都

港湾局の夢の島観測所において工学的基盤内で観測された地震波(G.L.-89m, EW方向, 最大加速度-61.47Gal)を解析モデル底面に入力した。

本解析では、液状化した後の揺動を考慮しない通常の地震応答解析(Case 1)と、液状化した後の揺動を考慮した物性を与えた解析を行った。この時の後者では、地下水位以下のB層とF層が液状化したと仮定した。ただし、断面右側の工場地帯は、トラック等の大型車が頻繁に行き交うため、その重量で地盤が締め固まっていたと考え、F層は液状化しなかったと想定した。また、ボーリングデータではF層厚が5.0mであったが、被害当時はF層の下層も液状化していたのではないかと考え、層厚を6.0m, 8.0m, 10.0mと段階的に変化させた。

せん断剛性は、地下水位以下の土層が液状化してさらに揺すられ続けたことにより、初期せん断剛性  $G_0$  の  $1/50$  (Case 2),  $1/100$  (Case 3),  $1/200$  (Case 4) とし、ひずみに依存しなく一定とした解析を行った。その際、減衰定数  $h$  は、20%とし、これもひずみに関係なく一定とした。

物性値は、湿潤単位体積重量  $\gamma t$  (kN/m<sup>3</sup>),  $D_{50}$  (mm), ポアソン比  $\nu$ ,  $N$  値はボーリングデータから用い、S波速度  $V_s$  (m/s), 弾性係数  $E$ , せん断弾性係数  $G$  (kN/m<sup>2</sup>), 初期せん断弾性係数  $G_0$  は以下の式より求めた。

$$S \text{ 波速度 : } V_s = 80N^{\frac{1}{3}} \text{ (m/s) } (1 \leq N \leq 50)$$

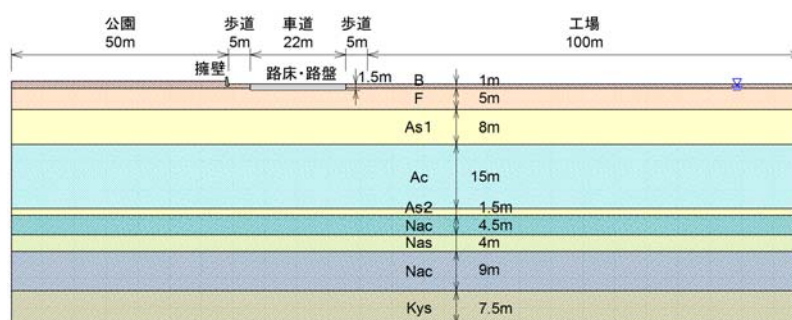
$$\text{弾性係数 : } E = 2800 \left( \frac{V_s}{100} \right)^3$$

$$\text{せん断弾性係数 : } G = \frac{E}{2(1+\nu)} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\text{初期せん断弾性係数 : } G_0 = \frac{\gamma t}{\gamma_w} (V_s)^2 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$



写真－1 幹線道路歩道の突き上げ被害  
(千葉県浦安市)



図－1 解析検討モデル

### 3. 解析結果

解析結果として、図-2に地下水位 G.L.0.0m時の最大変位コンター図を示す。液状化したと設定した左側に大きく変位が出ていることがわかる。また、F層が厚くなるほど変位が大きくなる傾向が得られた。図-3に最大水平ひずみのグラフを示す。擁壁境界部分である歩道部にひずみが出ていることがわかる。これは、擁壁が境界となつて、液状化した地盤の揺れが拘束されたためにひずみが集中したと考えられる。

### 4. まとめ

盛土と擁壁が存在する幹線道路歩道の突き上げ被害箇所の断面に対して、2次元地震応答解析を用いて検討を行った結果、擁壁と路床・路盤の境界部分である歩道部に大きくひずみが出ることがわかった。また、F層の厚さを段階的に変えて解析検討したところ、F層が厚くなるほど歩道部にひずみが集中することがわかった。

### [謝辞]

本研究をご指導くださいました東京電機大学 安田進教授、石川敬祐助教授に深く感謝致します。また、本研究を行うにあたり、浦野倫宏氏、岡本将史氏にご協力を頂きました。末筆ながらお礼を申し上げます。

### [参考文献]

- 1) 浦安市：浦安市液状化対策技術検討調査報告書，第Ⅱ編，2012.
- 2) 安田進，萩谷俊吾：東京湾岸の液状化エリアで発生した平面道路の突き上げ被害，第9回地盤工学関東支部発表会，2012.
- 3) 安田進，石川敬祐，萩谷俊吾：東日本大震災における液状化による平面道路の被害，土木学会第67会年次学術講演会
- 4) 安田進，石川敬祐，五十嵐翔太：地震応答解析による液状化地盤の地下水位と水道管被害の関係，第50回地盤工学研究発表会，2015.

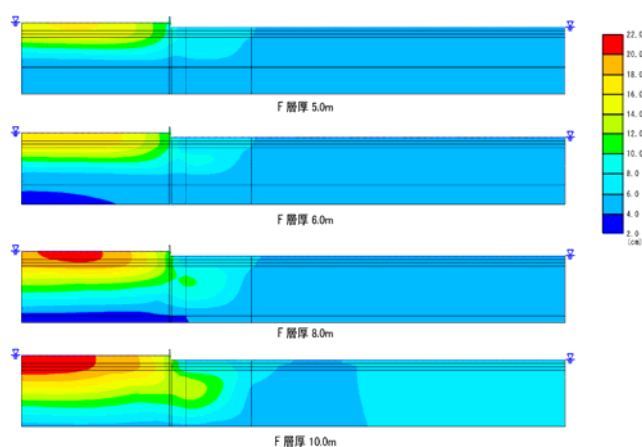


図-2 地下水位 G.L. 0.0m時の最大変位コンター図

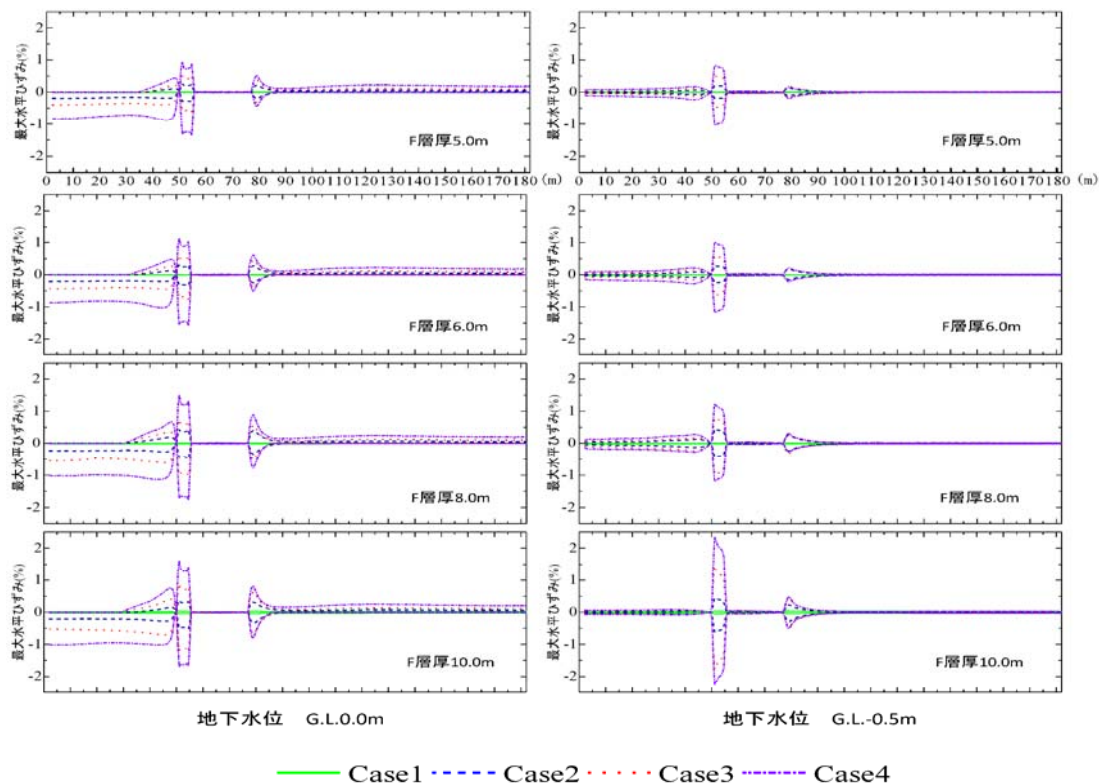


図-3 最大水平ひずみ

## 大分県姫島の完新世後期の地形変化

(株) 日建技術コンサルタント 山下 雄大

### 1. 研究背景と目的

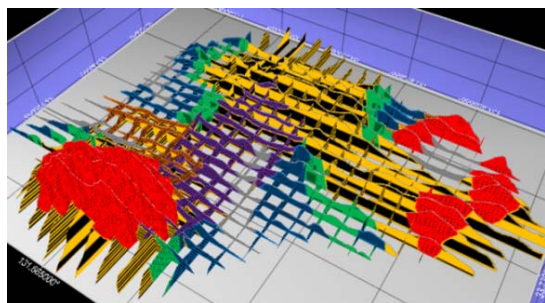
日本における相対的な海水準は完新世後期(約 6,800 年前)の高海面期以降ほぼ一定であった。したがって、この間、海食崖(海岸侵食による地形変化)の発達する場所では、ほぼ一方的に海食崖が発達してきた。そのため、日本では海食崖の発達する地域が多くみられる。大分県姫島の周囲においても、海食崖が発達し過去から現在まで地形変化してきたと考えられる。しかし姫島の海食崖の発達要因や海食に伴う地形変化量(面積)は未解明である。

以上より本研究では、大分県姫島において、海食崖の発達要因、海食に伴う地形変化量を地質調査・岩石の圧縮強度測定・地形解析(古地形の復元)により解明することを目的とする。

### 2. 調査方法

#### (1) 地質調査

本研究では、まず地質の基本的な理解のために五万分の一地質図(伊藤ほか、1997)を参考に地質調査を実施し、一万分の一地質図と姫島中央部において東西南北 100m 毎に地質断面図を作成した。作成した地質図と断面図から三次元可視化ソフトを用いて、三次元地質分布モデル図(第1図)を作成した。姫島は中央部から東部に、姫島火山の基盤である堆積岩類が分布する。また堆積岩類を貫いて数個の火山が地表に噴出し、更新世中期の火山群を形成している(伊藤ほか、1997)。



第1図 三次元地質分布モデル図

#### (2) 岩石の圧縮強度測定

海食崖の後退は、崖基部を構成する岩石の抵抗力と波の

侵食力の二つの力の大小関係によって決まる(砂村、1975)。そのため海食崖後退のプロセスを考える上で抵抗力と侵食力の二つの要因を定量的に把握しなければならない。抵抗力は、圧縮強度などの力学的諸性質や層理・節理などの岩石構造に影響する。これらの性質や構造はそれぞれに独立したものではなく、互いに関連している。しかしその中でも圧縮強度は試験法も確立させており試験も比較的簡単であるため、本研究では抵抗力を圧縮強度のみで代表させることとし、シュミットハンマーを用いて測定する。侵食力は、波のエネルギー・浅海底の地形特性・崖前面の地形特性・海浜堆積物の粒径および量・潮汐などの諸要因の影響を受ける。侵食力の現地観測は現象の複雑さや測定が困難であるため本研究では観測は行わない。岩石の圧縮強度測定の目的は、抵抗力に代表させた圧縮強度を定量的に把握し、後退速度との関係を明らかにしている砂村(1975)と対比し、姫島における岩石の圧縮強度(抵抗力)と海食崖の後退速度の関係から発達要因の一因を明らかにする。

#### (3) 地形解析(古地形の復元)

姫島の周囲には、海食崖が発達し約 6,800 年前から現在まで地形変化してきたと考えられる。木越・宮崎(1966)によると、古奥東京湾地域では約 6,800 年前、縄文海進により現在に比べて海面が 2~3m 高くなり、日本列島の各地で海水が陸地奥深くへ浸入した。その後海面は現在の高さまで低下した。姫島でも古奥東京湾地域と同様に海水準変動したと仮定する。その約 6,800 年前から現在までに、海食崖の後退が進み現在の地形を形成し、現在も後退が進んでいると考えられる。そこで海食崖の後退が始まる約 6,800 年前より以前の汀線(旧汀線)を推定する。旧汀線を推定するために島内の谷(河川)地形の解析を行った。本来、谷(河川)地形は海岸線に向けて緩やかな勾配で下っていき海岸線と交わる。しかし姫島の海岸線では、緩やかな勾配の地形はなく、多くの海岸線で海食崖が露出している。つまり海食崖の後退が進み、地形変化が顕著に現れている。すなわち島内の谷(河川)地形を解析することで

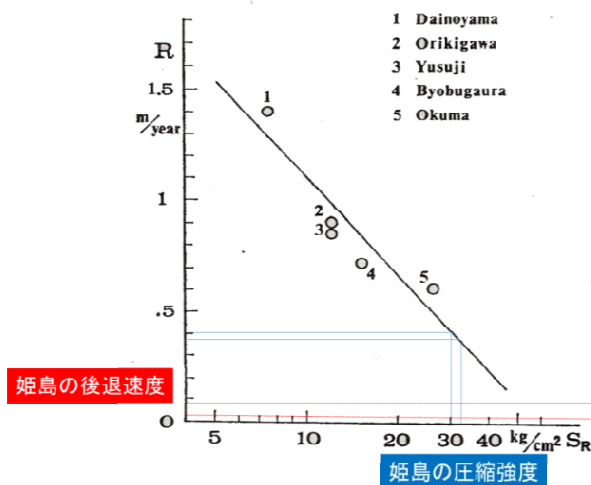


海食崖の後退が始まる約 6,800 年前より以前の汀線(旧汀線)を推定することができ、姫島の古地形の復元が可能で、古地形と現地形を比較することで地形変化量(面積)を求める。

### 3. 結果・考察

#### (1) 海食崖の発達要因

砂村(1975)では、海食崖において第2図に示されるように圧縮強度と後退速度の関係が求めてられている。本研究で算出した圧縮強度を第2図に当てはめて考えると、堆積岩類の圧縮強度  $32-30\text{kg/cm}^2$  では後退速度が約  $0.4\text{m/year}$  となり約 6,800 年間で約 2720m 後退したことになる。しかし地形解析(古地形の復元)による旧汀線位置は、最大でも約 480m となり後退速度は約 6,800 年間で  $0.07\text{m/year}$  である。第2図から後退速度が  $0.07\text{m/year}$  であれば、圧縮強度はおおよそ  $50\text{kg/cm}^2$  となる。第2図を用いて圧縮強度と地形解析(古地形の復元)から後退速度を推定すると、既往研究と違った結果となった。本研究の圧縮強度と地形解析からは、姫島の海食崖の後退速度は極めて遅いことになる。つまり姫島における海食崖の発達、岩石の圧縮強度(抵抗力)ではなく侵食力が海食崖発達の主要因であると言える。



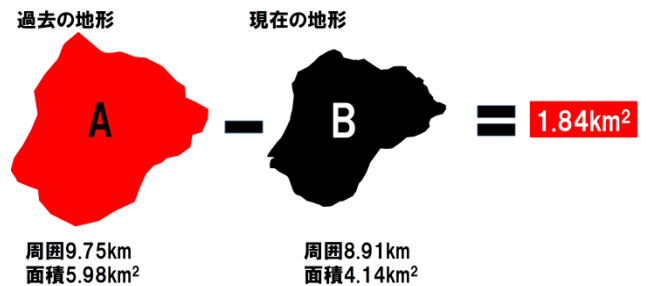
第2図 圧縮強度と後退速度の関係

(砂村、1975 に加筆)

#### (2) 海食に伴う地形変化量

中央丘陵地域における現地形は、周囲 8.91km、面積  $4.14\text{km}^2$  であり、地形解析より推定された古地形は周囲 9.75km、面積  $5.98\text{km}^2$  となった。これら二つの差分は

$1.84\text{km}^2$  となり、約 6,800 年前から現在までの地形変化量は  $1.84\text{km}^2$  である(第3図)。



第3図 地形変化量

推定した結果、中央丘陵地域の北側斜面が圧縮強度の小さい堆積岩類が分布しているため、その他の方位に比べ変化量が大きく、さらに堆積岩分布域が、火山岩分布域に比べて変化量が大きかった。

### 4. まとめ

本研究で以下のことを解明した。

- ① 岩石の圧縮強度と後退速度の関係から、姫島の海食崖の後退速度は極めて遅く、岩石の圧縮強度(抵抗力)ではなく侵食力が海食崖発達の主要因である。
- ② 地形解析(古地形の復元)より旧汀線分布を推定し完新世後期(約 6,800 年前)の古地形を復元した。古地形と現地形を比較した結果、完新世の高海面期以降の地形変化量は  $1.84\text{km}^2$  である。
- ③ 地理的分布や地質分布による変化量の違いを明らかにした。

#### 【参考文献】

1. 伊藤順一・星住英夫・巖谷敏光(1997)、姫島地域の地質。地球地質研究報告(5万分の1地質図幅):地質調査所、p1-74.
2. 木越邦彦・宮崎明子(1966)、沖積層に関連するC-14年代測定:第四紀研究、5、p169-180.
3. 砂村継夫(1975)、波による岩石海岸の地形変化ー最近の研究とその問題点ー:地理学評論、48-6、p395-411.
4. 原口九萬(1930)、姫島の地質:地球、Vol.14、p401-410.

## 津波堆積物形成・保存に及ぼす古地形の影響

国際航業株式会社 武田 開

### 1. はじめに

津波堆積物調査は津波堆積物が形成されやすく、保存されやすい静穏環境を調査地に選定することが望ましい<sup>1)</sup>。しかしながら、そのような場所を調査地として選定しても、地表下にある過去の微地形の影響を受け、津波堆積物が検出されない場合や局所的な層厚変化が起きている場合もある。2011年東北地方太平洋沖地震津波で形成された津波堆積物では大局的には内陸薄層化を示す傾向が見られたが、局所的な地形の影響を受け層厚が大きくばらつくことも報告されている<sup>2)3)</sup>。2011年の津波の場合は道路など人工物の影響が強いと考えられるが、人工物が存在しない過去においては津波襲来時の微地形が津波堆積物の形成や層厚の変化に影響すると考えられる。

そこで、本研究では津波堆積物の形成や保存と過去の微地形の関係を明らかにするために地中レーダー(GPR)探査と掘削調査を行い、古津波堆積物と古地形の関係について検討を行った。

### 2. 調査地域

本研究では宮城県石巻平野を対象地域とした。石巻平野は東西約15km、南北約9kmの浜堤列平野であり、内陸から広渕、第Ⅰ、第Ⅰ′、第Ⅱ、第Ⅲ浜堤列の5列に大別される<sup>4)5)</sup>。本研究では第Ⅰ-第Ⅰ′浜堤列間の堤間湿地进行調査地点とした。

### 3. 調査方法

本研究では90×60mのグリッドを設定し、その中を10m間隔で交差するように測線を設定した。掘削調査はピートサンプラーを用いて測線の交点とGPR反射面が大きく変化する点で行った。また、ハンディジオスライサー<sup>6)</sup>で掘削したコアからイベント堆積物の直上・直下の有機質試料を採取し、<sup>14</sup>C年代測定を行った。<sup>14</sup>C年代測定は地球科学研究所に依頼した。

GPR探査は測線上でプロファイル測定を行った。使用したGPRはSIR-3000(GSSI社製)で送受信一体型の400MHzアンテナを使用した。取得したGPRデータの深度情報を2m間隔で抽出し、ArcGISで面的に補間し、古地形を復元した。

### 4. 結果

掘削調査の結果、79地点中52地点でイベント堆積物を検出し、最大で3層のイベント堆積物を確認した。イベント堆積物の層厚は上位から0.5-5cm、1-12cm、0.5-2.5cmである。イベント堆積物の形成年代は上位から1715-2350 cal BP、2205-2755 cal BP、2720-2970 cal BPと推定される(図-1)。

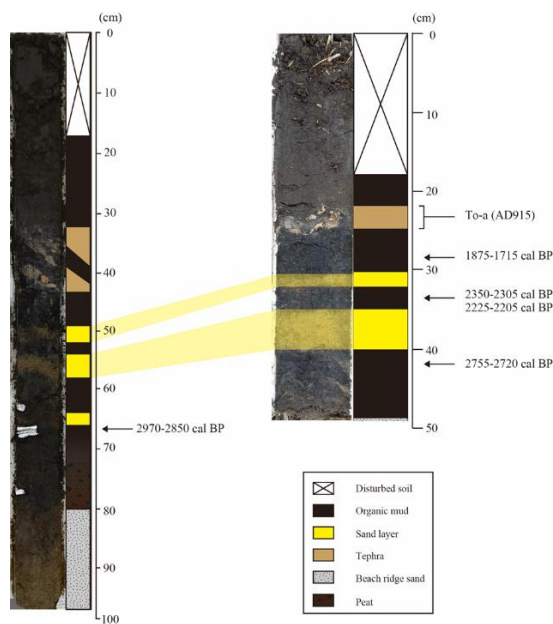


図-1 掘削コアおよび年代測定結果

GPR探査では深度25-100cmの間に比較的強い反射面が観察された。掘削結果との定性的な比較から強い反射面は浜堤構成層の上面深度と概ね一致している。

### 5. 考察

本研究で検出されたイベント堆積物の形成年代

は、本地域における先行研究<sup>7)</sup>、および近接する仙台平野での先行研究<sup>8)</sup><sup>9)</sup>の津波堆積物の形成年代と調和的である。よって、本研究で検出されたイベント堆積物は津波によって形成されたと考えられる。

次に、検出された津波堆積物の分布について検討する。浜堤構成層上面を古地形面とすると、古地形が深い地点では少なくとも津波堆積物が1層検出され、古地形深度が浅い地点では津波堆積物が検出されない傾向があった(図-2)。また、古地形深度が深いほど堆積している津波堆積物の層数が多い傾向も確認できた(図-3)。このように狭い調査範囲でも津波堆積物の検出の有無や層数が変わるため、正確な津波履歴を明らかにするためには、古地形の情報を踏まえた上での掘削調査が必要となる。



図-2 津波堆積物の層厚と古地形深度

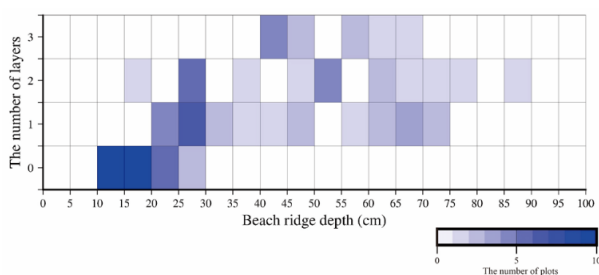


図-3 津波堆積物の検出層数と浜堤構成層深度

<sup>3)</sup> 山田昌樹・藤野滋弘:2011年東北地方太平洋沖地震津波により茨城県・千葉県沿岸低地に形成された津波堆積物の堆積学的特徴. 堆積学研究 72, 2013.

<sup>4)</sup> 松本秀明:海岸平野にみられる浜堤列と完新世後期の海水準微変動. 地理学評論 Ser. A 57, 1984.

<sup>5)</sup> 伊藤晶文:北上川下流低地における浜堤列の形成時期と完新世後期に海水準変動. 地理学評論 76, 2003.

<sup>6)</sup> 高田圭太・中田 高・宮城豊彦・原口 強・西谷義数:沖積層調査のための小型ジオスライサー(Handy Geoslicer)の開発. 地質ニュース 579, 2002.

<sup>7)</sup> 穴倉正展・澤井祐紀・岡村行信・小松原純子・Than Tin Aung・石山達也・藤原 治・藤野滋弘:石巻平野における津波堆積物の分布と年代. 活断層・古地震研究報告 7, 2007.

<sup>8)</sup> 澤井祐紀・穴倉正展・岡村行信・高田圭太・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎・藤原 治・佐竹健治・鎌瀧孝信・佐藤伸枝:ハンディジオスライサーを用いた宮城県仙台平野(仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町)における古津波痕跡調査. 活断層・古地震研究報告 7, 2007.

<sup>9)</sup> 松本秀明・熊谷真樹・吉田真幸:仙台平野中部にみられる弥生時代の津波堆積物. 人間情報学研究 18, 2013.

## 引用文献

<sup>1)</sup> 澤井祐紀:地層中に存在する古津波堆積物の調査. 地質学雑誌 118, 2012.

<sup>2)</sup> Goto, K., Goff, C. Catherine., Fujino, S., Goff, J., Jaffe, B., Nishimura, Y., Richmond, Bruce., Sugawara, D., Szczucinski, W., Tappin, R. D., Witter, C. R., Yulianto, E.: New insights of tsunami hazard from the 2011 Tohoku-oki event. Marine Geology 290, 2011.



## 集中型・分散型草本系バイオマス発電のライフサイクル

### CO<sub>2</sub> 排出量の比較評価 概要書

パシフィックコンサルタンツ (株)

樋熊伸一郎

#### 1. はじめに

東日本大震災の発生により、日本のベースロード電源として稼働していた原子力発電が停止し、原子力で賄っていた電力の多くを火力発電で補っているため大きな環境負荷がかかっている。そこで、自立的なエネルギー確保<sup>1)</sup>のため、植物廃材が注目されている。植物廃材はこれまで堆肥化やマテリアル利用としてチップ化などの利用事例はあるが、植物廃材をエネルギー利用とする事例は少ない。

そこで、本研究では、発生する刈草をバイオマス発電の原料として利用することを想定し、ライフサイクル二酸化炭素排出量(以降、LC-CO<sub>2</sub>排出量と表記する。)に関して算定する。また、バイオマス発電の際に発生する有効な供給手段を検討する。

#### 2. 研究手法

##### 2. 1 評価対象および範囲

草本系バイオマス発電を評価対象とする。加えて、熱利用に関して比較評価するためにトランスヒートコンテナを用いたオフライン輸送を想定した集中型バイオマスプラントとパイプによるオンライン輸送を想定した分散型バイオマスプラントに細分する。

トランスヒートコンテナに関する研究に片山<sup>2)</sup>らがある。それぞれのプラントに関する設定項目は以下の通り。年間の稼働日数は、木質バイオマス発電所へのヒアリングに基づき3ヶ月ごとに1週間のメンテナンス期間を設けることを想定して、330日とし、運転時間は24時間稼働するものとする。プラント規模は集中型プラントを30MW、分散型プラントを3MW×10基と設定し、1日の燃料処理量は発電量と出力規模から337t/日と算出した。

システム境界は図1に示す。廃食油をBDF化するときの過程で、廃棄物として廃グリセリンが発生する。この廃グリセリンを粉砕させた刈草と混合させることでカロリーアップさせ、燃焼カロリーを向上させる。

原料となる草の刈取からバイオマス発電から発生する。

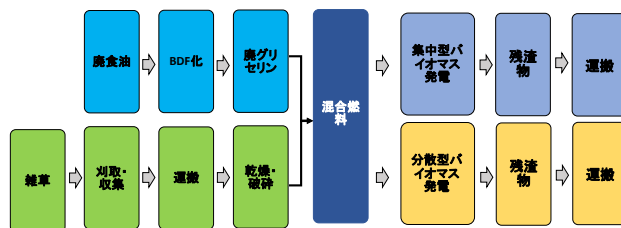


図1 システム境界

##### 2. 2 データの収集と評価指標

熱利用に関するCO<sub>2</sub>の評価に関しては熱利用以前に化石燃料で賄っていたと想定されるエネルギー熱を代替エネルギーとして用いたことによる削減量を推計する。以下に主に用いた算出式を示す。

$$\text{CO}_2\text{排出量} = \text{CO}_2\text{排出係数} \times (\text{単位発電量} \times \text{炭素排出係数} \times 44/12) \times \text{台数} \times \text{運搬日数} \times \text{輸送距離/燃費} \dots \text{①}$$

$$\text{建設費} = \text{基準建設費} \times (\text{施設規模/基準施設規模})^{0.7} \dots \text{②}$$

$$\text{CO}_2\text{削減効果} = 44/12 \times \text{炭素排出係数} \times \text{エネルギー量} \dots \text{③}$$

#### 3. 結果&考察

LC-CO<sub>2</sub>排出量とCO<sub>2</sub>削減効果の結果を以下に示す。LC-CO<sub>2</sub>排出量に関して集中型プランとは1,647.23t-CO<sub>2</sub>/年、分散型プラントは1,830.18t-CO<sub>2</sub>/年という結果が出た。分散型プラントの方がCO<sub>2</sub>排出量が多いという結果が出た。

一方で熱利用では集中型プラントで111,720GJ/年、分散型プラントで1,754,106GJ/年のCO<sub>2</sub>削減効果が見込める。

つまり、LC-CO<sub>2</sub> 排出量では分散型プラントの方が排出量は多いが、熱利用を考慮した場合、分散型プラントの方が削減効果は大きくなる。

#### 4. 参考文献

- 1)環境省ホームページ、環境白書(2012)

<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h24/htmlhj12010301.hym1>

- 2)片山賢、山本祐吾、斉藤修、盛岡通：工場排熱を利用したオフライン熱供給システムの導入による CO<sub>2</sub> 排出削減効果の評価、環境システム研究論文集、vol36、pp97-105、2008

## 山風現象による市街地の冷却効果に関する基礎的研究

中央復建コンサルタンツ株式会社 一色 和明

### 1. はじめに

都市部におけるヒートアイランド現象を緩和する方法の1つとして、「風の道」の整備が挙げられる。都市部における「風の道」の整備とは、海や山、緑地等の冷熱源からの風を都市内へ導き、都市の熱の拡散に活用しようとする試みのことである。そのような風の供給源の一つとして、山地で発生する山風が考えられる。

山風による市街地の冷却効果に関する事例として、神戸市<sup>1)</sup>や長野市<sup>2)</sup>で行われた研究が挙げられる。これらの研究では、夜間において山地から吹き降ろす風が市街地に到達し、気温低下を及ぼすことが明らかにされた。

本研究で調査対象とした京都府八幡市の男山周辺では、地域住民により、夏季の日中において山から吹き下ろす低温な風が生じていることが知られている。日中における低温な山風の発生は珍しい現象であり、ヒートアイランド緩和に活用できる可能性が高い現象であると考えられる。

先行研究<sup>3)</sup>では、日中において山から市街地へ向けて吹く低温な風が確認され、その風による冷却効果が確認された。本研究では、主に男山で発生する冷気流の発生状況や日変化特性について解析を行い、その結果から男山周辺地域における低温な山風を活用したヒートアイランド対策の可能性について考察を行った。

### 2. 研究方法

調査対象地は、京都府八幡市、男山の神應寺の谷とした。観測は2015年8～9月の晴れた日のうち計13日間実施した。

#### (1) 谷口における風の連続観測

神應寺の谷の入口付近で風向風速計を設置し、地上1.5 mにおける風速、風向、気温の経時変化を測定した。

#### (2) 谷口における風の鉛直分布の観測

高さ7.0 mの標尺と熱線式風速計を用いて、神應寺の谷の入口付近で風速、気温の鉛直分布(地上1.5 m、3.5 m、7.0 m)を測定した。風向は、1.0 m間隔で標尺に取り付けた吹流しを目視することにより判別した。

#### (3) 気温、風向風速の移動観測

サーミスタ風速計を用いて、山内から周辺地域にかけての8地点(図-1 移動①～⑧)において風速、風向、気温の移動観測を行った。風向は、風速計に取り付けた吹流しを目視することにより判別した。山風の風速の変動を考慮し、

各測定地点に1分間とどまり、その間の風速の最大値と最小値を記録した。1回の移動観測は30分以内で終了した。

#### (4) 気温の日変化の観測

自記温度計を用いて、神應寺の谷と周辺地域の気温日変化を測定した。設置場所は図-1に示す9ヶ所と、谷の入り口から北へ約300 m離れた市街地の建物に1ヶ所とした。日射の影響を避けるため、放射遮蔽傘を被せた上で地上1.5 mの木陰内に設置し、10分間隔で気温を記録した。

#### (5) 解析方法

使用した機器は、アスマン通風乾湿計を用いて室内で検定を行い、示度差を補正した上で解析に用いた。

風向風速計で得られた風向のデータは方位角で表されており、偏角補正した上で解析を行った。本研究では、方位角50～110°の方向から吹く風を谷風、230～280°の方向から吹く風を山風とした。

一般風のデータとしては、男山から南東へ約7 km離れた地点にある京田辺のアメダスと南南西へ約8 km離れた地点にある枚方のアメダスの風向、風速のデータを用いた。

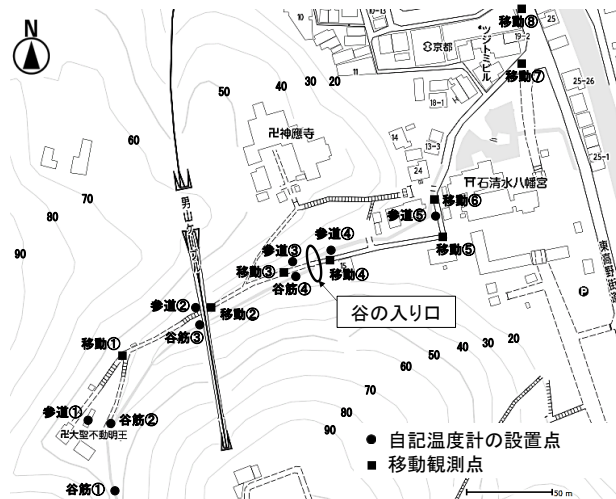


図-1 調査対象地と観測位置

### 3. 結果および考察

計13日間の全観測日において日中、夜間ともに山を吹き降ろす低温な風が観測された。

谷口における風の連続観測(24時間)の結果を図-2に示す。27日の12時までは山風とその他の方向から吹く風との入れ替わりがあったが、12時以降から翌8時までは山風が連続的に吹いていた。山風が安定して吹き始めた時間帯から、



風速も 1.0~2.0 m/s の範囲で安定していた。山風の影響により、谷口付近では日中においても気温がほとんど上昇せず、26.0℃にも満たなかった。自記温度計(市街地)は 16 時に日最高気温 32.4℃を記録したが、同時刻において谷口では 24.9℃であり、気温差が 7.5℃に達した。

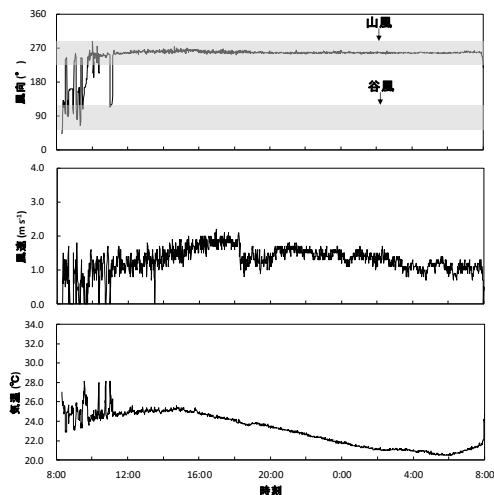


図-2 谷口における風向、風速、気温の変化  
(2015 年 8 月 27 日 8 時~28 日 8 時)

他の観測日においては、日中は山風が連続的に吹く場合、間欠的に吹く場合、谷風と入れ替わりながら吹く場合が確認された。日中における山風は一定のパターンを示さず、その時の気象条件に左右されることが示唆された。一方で、夜間における安定した山風の発生は各観測日で共通しており、一般的に知られている山風と同じ特性を示した。

谷口における風の鉛直分布の観測(図-3)では、日中は地上 1.5 m で地上 7.0 m よりも気温が 1.0~1.5℃低くなっており、地面付近で冷気が形成されていることが確認された。

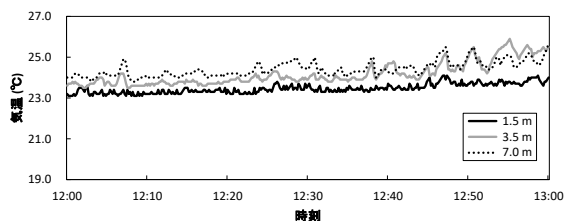
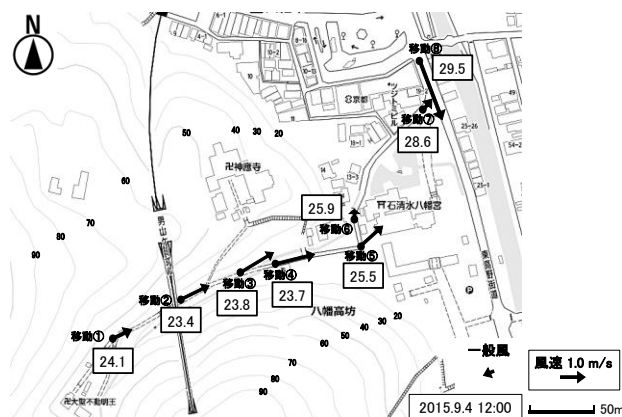


図-3 谷口における気温の鉛直分布(2015 年 9 月 4 日)

2015 年 9 月 4 日 12 時における移動観測結果を図-4 に示す。同時間帯においては、谷口の風向風速計の記録によると連続的に山風が吹いていた。山内における風向は参道沿いを市街地側へ吹いていく方向であった。移動①~④まで風速の最小値が 0 m/s を記録した地点はなく、安定した山風が確認された。移動⑤~⑦において風向は一定であったが、風速の最大値と最小値の差が大きく山風がやや不安定であった。幹線道路上の移動⑧においては風向が南向きになっており、この地点では一般風の影響を受けていると考えられる。山風は市街地に近づくにつれて一般風の影響を

受け、幹線道路上ではさらに交通等の影響も受けて消滅すると推察される。山内の移動①から移動③は気温が低く、移動②では 23.4℃であった。一方、市街地に最も近い移動⑧の気温は 29.5℃で、移動②との気温差が 6.1℃に達した。市街地との中間地点である移動⑤と移動⑥では、それぞれ 25.5℃、25.9℃であり、移動⑧と比較すると気温が低かった。谷口から 80~100 m 程度離れた地点においても、山風による冷却効果が及んでいたと判断できる。



※□内が気温、矢印が風向風速を示す  
図-4 日中の気温、風向、風速分布(2015 年 9 月 4 日 12 時)

#### 4. まとめ

男山における低温な山風の発生状況および冷却効果を考慮すると、夏季において低温な風の及ぶ範囲にある男山周辺のスペースを避暑目的に特化したクールスポットとして活用できる可能性は高いと考えられる。しかし、山風の冷却効果が及ぶ範囲は男山から約 100 m 程度であるため、市街地全体を冷却するような効果は期待できないことが明らかになった。

今後、男山上空の気象状況と山風発生について詳細な調査を行い、日中の低温な山風の発生メカニズムが明らかになれば、他の山地においてヒートアイランド緩和に有効な山風の発生可能性なども検討できると考えられる。

#### 参考資料

- 1)糸川文崇, 竹林英樹, 森山正和: 夏季夜間の冷気流による市街地冷却効果に関する実測研究—神戸市灘区袖谷川周辺市街地における実測結果(98 年夏季): 日本建築学会大会学術梗概集 1999.9, 703-704
- 2)浜田崇, 一ノ瀬俊明: 山風の流入による夏季の都市気温への影響: 地学雑誌, 2011, 403-410
- 3)山田宏之, 鳥羽響子: 京都府八幡市男山周辺で観測される低温な山谷風に関する基礎的解析: 環境システム研究論文集 Vol.38, 2010, 73-80

## 晶析法による養豚廃水中の窒素，リン，カリウム同時回収の生物処理への影響

(株) 修成建設コンサルタント 小田 宮歌

### 1. 背景

近年、化学肥料の需要増大により枯渇が懸念されるリン、カリウムの価格が高騰し、リン鉱石は全量、カリウムもほぼ全量を海外からの輸入に依存する我が国にとって、資源を循環させることが重要な課題となった。一方、リンに加え窒素は閉鎖性水域の富栄養化の要因であり、特に豚舎から排出される尿汚水はリンや窒素、有機物濃度が非常に高い。これらは水質汚濁防止法により一律排水基準が設けられているが、畜産廃水において窒素、リンについては一律排水基準を達成することが困難なことから、暫定排水基準が設けられている。しかし、将来的には一律排水基準まで引き下げられる可能性が高く、畜産廃水処理での窒素、リン除去は重要な課題である。

### 2. 目的

一般的に養豚廃水は、一次処理（固液分離）→二次処理（生物処理）→排水（河川）の順で処理される。資源回収及び環境保護の観点から、窒素、リン、カリウムの回収方法として晶析法に着目した。晶析法とは、リン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )とアンモニウム態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )を含む廃水にマグネシウム源を添加しリン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)を生成させる MAP 法、リン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )とカリウムイオンを含む廃水にマグネシウム源を添加し、リン酸マグネシウムカリウム(MPP)を生成させる MPP 法などがある。通常、MAP 法と MPP 法は最適 pH が異なることから同時生成させることを目的とした実験は少ないが、内菌の研究<sup>2)</sup>により MAP 及び MPP を同時生成して窒素、リン、カリウムを同時回収し、残存リン濃度が一律排水基準を満足する最適な条件が pH9、 $\text{P}/(\text{N}+\text{K})=1.5$ 、 $\text{Mg}/\text{P}=1.35$  と分かった。これらを同時に生成させた上で生物処理を行うことができれば、資源回収及び環境保護の両方を満たし、手間やコストも省かれる。しかし、晶析法で最適とされる pH や、晶析処理の際に加える高濃度の塩素やナトリウムは、生物処理で阻害を起こすとされており、窒素、リン、カリウムを同時回収した後に生物処理をする前例はみられない。本研究では、晶析処理により窒素、リン、カリウムを同時回収した養豚廃水一次処理水の、生物処理への影響を確認する。

### 3. 実験方法

#### (1) 晶析法による窒素，リン，カリウム回収

晶析実験に使用するリン溶液 90000 mg/L とマグネシウム溶液 50000 mg/L を、それぞれ塩化マグネシウム六水和物および濃リン酸を用いて作成した。晶析処理を行うに当たり、MAP と MPP の同時生成に最適とされる条件の他に、晶析処理の際に加える薬剤や pH の生物処理への影響を考慮し、以下の①～④の4条件を設定した。

表-1 晶析処理条件

	pH	P/(N+K)	Mg/P
①	9.0	1.50	1.35
②	9.0	1.75	1.35
③	9.0	2.00	1.35
④	9.5	1.50	1.35

リン溶液、マグネシウム溶液の順で養豚廃水一次処理水に攪拌しながら加え、5M の水酸化ナトリウムを加えて pH 調整を行い、3 時間攪拌した。攪拌後、10000G で 5 分間遠心分離し、5C のろ紙で全量吸引ろ過して結晶化した窒素、リン、カリウムを回収し、ろ液を生物処理原水とした。

#### (2) 回分式生物処理実験による TOC 除去

回分式の間欠曝気法により生物処理を行った。ビーカーに、生物処理に必要とされている汚泥濃度 6000 mg/L となるように、脱窒汚泥 120 mL、(1)で生成した生物処理原水を 180 mL 投入し、ビーカー内の合計体積を 300mL とした。好気条件、嫌気条件を 23 時間サイクルで 10 日間繰り返した。(図-1 参照)実験は好気条件から開始し、好気時間中はスターラーで攪拌しながらエアポンプを用いて 0.1 L/min で曝気した。予備実験の結果から、嫌気時間に攪拌を行うとより高い除去率が得られたため、嫌気時間中はジャーテスターを用いて 60 rpm で攪拌した。

	(経過時間) 0	23	46	48	71	(時間) 94	96
曝気							
攪拌							
採水							

図-1 回分式の好気・嫌気条件

嫌気時間終了後、攪拌を止めてサンプルを静置させ上澄みを採水し、同量の各生物処理原水を投入して曝気を再開した。生物処理実験中は好気時間、嫌気時間それぞれで ORP 及び pH の測定を行い、状態を確認しながら経過を観察した。採水した上澄み水は遠心分離、吸引ろ過し、各分析を行った。

#### 4. 結果と考察

##### (1) 養豚廃水の組成、晶析処理結果

表-2 に未処理の養豚廃水及び晶析処理条件①～④の晶析処理後の各濃度を示す。

晶析処理の際に加えた塩化ナトリウム溶液由来の塩化物イオン、pH 調整のために加えた水酸化ナトリウム由来のナトリウムイオンにより、晶析処理後の生物処理原水中の塩化物イオン濃度、ナトリウムイオン濃度は反応前と比べて高くなり、生物処理において阻害を起こすとされる濃度となった。

##### (2) 生物処理結果

図-2 に各条件の汚泥濃度あたりの TOC 除去率を示す。本実験では、汚泥濃度測定時の抜き取り等により、実験開始時と終了時で汚泥濃度に変化が生じたため、汚泥濃度あたりの除去率を比較して検討した。

実験を通して、時間経過とともに除去率が向上し、8 日～10 日付近で一定になったのは、時間の経過と共に微生物が活性化し8日～10日付近で処理能力が最大となったためと考えられる。①～④の生物処理の結果はいずれも、晶析処理をしなかった未処理のものよりも良い結果となった。

①～③での汚泥濃度あたりの除去率に差はあまりみられなかったが、①と④では④の条件のほうが汚泥濃度あたりの除去率が良い結果となった。このことから、今回の実験では、懸念されていた阻害物質及び pH による生物処理の除去率低下等の影響はみられなかった。

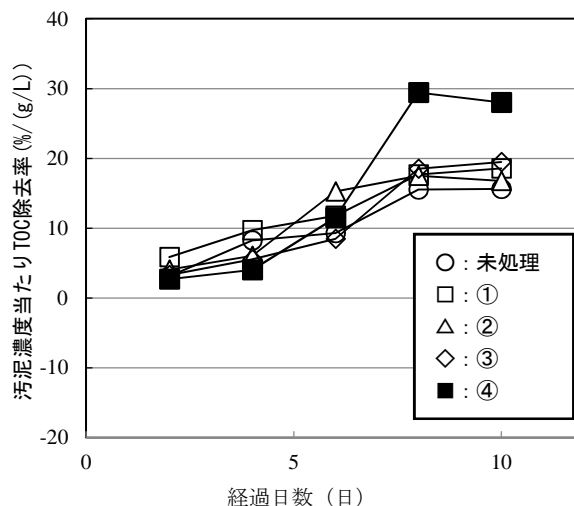


図-2 各条件の汚泥濃度あたりの TOC 除去率

#### 5. まとめ

本研究は、養豚廃水中から晶析法により窒素、リン、カリウムを同時回収した後の処理水の、生物処理への影響を確認することを目的とした。得られた知見を以下に示す。

- ・晶析処理の際に加えた塩化マグネシウム溶液、水酸化ナトリウムによる生物処理原水中の高濃度の塩化物イオン、ナトリウムイオンは生物処理に阻害を起こすとされる濃度であったが、今回の間欠曝気を用いた回分式の生物処理では、汚泥濃度あたりの除去率への影響はみられなかった。また、pH についても汚泥濃度あたりの除去率への影響はみられなかった。
- ・今後の展望としては、より TOC 除去率のより良い生物処理条件の確立、実験スケールの拡大等が期待される。

#### 参考文献

- 1) 農林水産省 HP  
<[http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t\\_info/02\\_haisui/](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_info/02_haisui/)>(2015 年 7 月 17 日閲覧)
- 2) 内菌豪智：晶析法を用いた養豚廃水中の窒素・リン・カリウムの同時回収，宮崎大学工学部社会環境システム工学科卒業論文，2016

表-2 晶析処理結果

	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)	T-P (mg/L)	TOC (mg/L)	T-N (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	C/N
未処理	242	12	903	3	321	24	456	1, 230	1, 170	0.37
①	8, 200	520	424	39	10, 000	11	341	59	25	5.81
②	9, 970	279	147	27	11, 300	21	324	51	21	6.35
③	11, 400	584	115	23	13, 100	10	277	57	25	4.87
④	8, 820	472	280	27	9, 960	6	273	61	27	4.51



## 魚類の粘液を用いた安定同位体比分析法の確立：

### 置換速度に対する水温の影響

近畿技術コンサルタンツ (株)

藤原和也

#### 1. はじめに

生物を構成する元素のうち炭素、窒素といった安定同位体の存在量は、物質の起源や食物網内での各種動物の位置付けなどに関する情報を与えることが出来る。また安定同位体比分析に用いられる窒素、炭素安定同位体比は栄養段階ごとにそれぞれ3~4‰、0~1‰高くなることが知られており、食性や食物連鎖の推定に用いられてきた(DeNiro and Epstein et al. 1978)。また生物の食性被食・捕食関係を知ることは生物資源の管理や生態系機能の保全の基礎となる(Elton et al. 1927)。そのため安定同位体は生態学の研究でよく用いられてきた(Coplen et al. 2002)。

しかし魚類を対象とした従来の $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ は筋肉や全身を使って求めているため(Tieszen et al. 1983)、餌生物の同位体比が対象生物に反映されるまでに3~6ヶ月と長く、同位体比の反映速度のタイムラグが生じ、移動直後の魚や季節変化に対してすることが出来なかった(Hesslein et al. 1993)。また筋肉を使用するため対象生物を殺さなければならず、希少種に対して利用が制限されてきた(Sanderson et al. 2009)。肝臓や血液は筋肉に比べて同位体比の変化が速いことが報告されているが(Buchheister et al. 2010)幼魚を扱う場合死ぬ可能性が高く、また血液採取にある程度の技術が必要なので誰でも安易に使える手法ではない。そこで魚の体表粘液に注目したChurchが、筋肉や骨を使った安定同位体比分析よりも、体表粘液の方が餌の同位体比が反映される時間が速いことがニジマス幼魚の飼育実験により明らかにした(Church et al. 2009)。

しかし魚類の体表粘液を用いた安定同位体比分析法はまだ明確にされていない点が多く存在している。例えば餌生物の同位体比が魚の体表粘液に反映されるまでの時間に水温は関係するのか、また個体差や種間差、同一個体の反復分析による餌同位体比の反映速度への影響や、成長速度による影響も明確にはされていない。これらのことが明確になることで体表粘液を用いた同位体比分析を用いて週~月の生物食性スペースを明らかにすることが出来る。

そこで本研究では餌生物の同位体比が魚の体表粘液に反映されるまでの時間に水温は関係するのかを明らかにする

ことを目的とする。そのため26℃の水槽と19℃の水槽でオイカワ(*Opsariichthys platypus*)の稚魚を200匹飼育し、それぞれの温度での粘液への置換速度の変化をみた。

#### 2. 方法

- 対象生物であるオイカワ約200匹(大型個体100匹、小型個体100匹)を8月下旬に菅浦、9月中旬に知内川で捕獲し、60L水槽に約10匹ずつに分けて飼育した。全個体の同位体比の初期値をそろえるため捕獲時の体重の約10倍になるまで配合飼料(アユ3号)を与え続けた。10倍になってからは餌を攪拌した冷凍ユスリカ幼虫(UVアカムシ)に切り替えた。その後、毎日ランダムに1匹ずつ取り出し、粘液と筋肉を採取して同位体比分析を行った。アユ3号を与える段階では水槽全ての水温を26℃に設定して成長を促し、餌切り替え後は26℃と19℃に分けて設定した。UVアカムシに切り替えてからの $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ の変化は線形回帰で説明し、置換速度を算出した。

#### 3. 結果

配合飼料で小型個体は0.02gから $0.4 \pm 0.1$ gまで、大型個体は0.06gから $0.8 \text{ g} \pm 0.2 \text{ g}$ まで成長させ体重を10倍にした。小型個体での窒素同位体比置換速度は26℃の線形回帰線の方が19℃の線形回帰線より速く、2本の線形回帰線には有意な差がみられた。小型個体の炭素同位体比置換速度も26℃の方が19℃の線形回帰線より速く、2本の線形回帰線に有意な差がみられた。

#### 4. 考察

小型個体の粘液の26℃と19℃の水温差では、窒素、炭素安定同位体比の置換速度に有意な差がみられた。これは水温が上昇すると呼吸量があがり、呼吸量があがると代謝速度が上昇するからであると推測できる。このことから水温は置換速度に影響を与えていると考えられる。しかし大型個体の粘液の26℃、19℃の水温差では窒素、炭素安定同

位体比の置換速度に有意な差はみられなかった。その理由として小型個体に比べて体重の大きい大型個体の方が代謝速度は低下するので、水温の影響を受けにくかったのではと考えられる。

## 5. 引用文献

- Buchheister, A., & Latour, R. J. (2010). Turnover and fractionation of carbon and nitrogen stable isotopes in tissues of a migratory coastal predator, summer flounder (*Paralichthys dentatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 67(3), 445-461.
- Church, M. R., Ebersole, J. L., Rensmeyer, K. M., Couture, R. B., Barrows, F. T., & Noakes, D. L. (2008). Mucus: a new tissue fraction for rapid determination of fish diet switching using stable isotope analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66(1), 1-5.
- DeNiro, M. J., & Epstein, S. (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et cosmochimica acta*, 42(5), 495-506.
- Elton C. S. 1927. *Animal ecology*. University of Chicago Press.
- Hesslein, R. H., Hallard, K. A., & Ramlal, P. (1993). Replacement of sulfur, carbon, and nitrogen in tissue of growing broad whitefish (*Coregonus nasus*) in response to a change in diet traced by  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ , and  $\delta^{15}\text{N}$ . *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(10), 2071-2076.
- Tieszen, L. L., Boutton, T. W., Tesdahl, K. G., & Slade, N. A. (1983). Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for  $\delta^{13}\text{C}$  analysis of diet. *Oecologia*, 57(1-2), 32-37.
- Sanderson, B. L., Tran, C. D., Coe, H. J., Pelekis, V., Steel, E. A., & Reichert, W. L. (2009). Nonlethal sampling of fish caudal fins yields valuable stable isotope data for threatened and endangered fishes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 138(5), 1166-1177.

## 波浪時におけるシジミ幼貝の移動評価実験

(株)エース 川野 裕美

### 1. はじめに

島根県東部に位置する宍道湖は、全国でも1位のシジミ漁獲量を誇る産地であったが、近年では減少傾向にあるため、島根県はシジミ減少原因究明と対策の検討を行っている<sup>1)</sup>。ヤマトシジミの生息にとって重要な環境要因として底質粒度、溶存酸素量、塩分の3つがあげられている。宍道湖の調査と水槽実験によると、ヤマトシジミの生息には、溶存酸素が1.5ppm以上であること、底質の泥含有量が90%以下であることが必要であるとされており、宍道湖においては水深4m以浅の沿岸部に限り生息している<sup>2)</sup>。これらのシジミの生息環境保全にあたって、現在の湖内のシジミの生態を把握するためには、未だ明確ではないシジミの移動の実態を検討することが重要である。

宍道湖においての坂本らの研究<sup>3)4)</sup>によると、ヤマトシジミは成長に伴い沿岸部から水深の深い湖心へと移動しているといえる。また、ヤマトシジミ自体の移動能力はほとんど無いことが示されている<sup>5)</sup>。したがって、移動の要因としては宍道湖内の湖流によるものではないかと推察される。

そこで、本研究では造波装置を持つ水路での実験を行い、波動によりシジミ幼貝が底面を移動する際の底面せん断応力を算出することで掃流移動限界を検討し、移動評価方法の妥当性を示すことを目的とする。

### 2. 方法

本研究では、シジミの移動を底面のせん断応力により評価する。底面せん断応力を算出するための流速は、2次元流体を画像解析により計測するPIV法を用いて求めた。

実験に用いる試料として、対象地である宍道湖で採取した底質とシジミ幼貝を使用する。実験時はシジミ幼貝を殻長毎に1.5~3mm、3~5mm、5~6mm、6~8mm、8~10mmの5つに分類した。

実験装置は、全長10m、幅0.5m、高さ0.6mの水路で、上流端にピストン式造波板のあるものを用い、シジミ幼貝は殻長毎に底質上の水路幅中央から壁面方向へそれぞれ5cm付近、かつ流下方向に一直線になるよう、それぞれ10個前後並べた(図-1)。

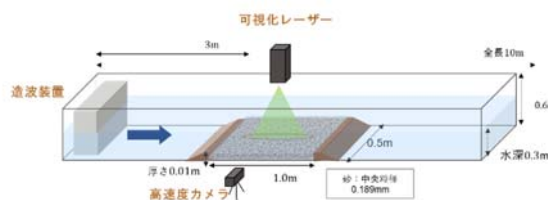


図-1 造波水路概要

実験は水深0.3mとし、任意に設定した波の周期と波高で造波を行った。なお、この実験では、画像解析用のレーザー使用時はシジミ個体の移動との同時観測が困難なため、目視でシジミの移動をみるパターンと、レーザー使用による流速解析用のパターンとで観測対象の異なる2つの手法をとった。

まず、目視の観測では、造波し生じた流れで水路底面に設置したシジミ幼貝がどのような挙動をするのかを記録し、これを周期と波高の組み合わせを変えながら繰り返すという手順をとる。その後、目視で「移動有り」もしくは「移動無し」の場合と同じ周期と波高の組み合わせのケースで造波し、流速解析のためのレーザーを用いた画像を撮影した。

底面せん断応力は次式により算出する<sup>6)</sup>。

$$\tau = \rho u_{*w}^2 \quad (1)$$

$\tau$ は底面せん断応力(Pa)、 $u_{*w}$ は波によって発生する流れの摩擦速度(m/s)である。

シジミ幼貝の移動限界の算出はシジミを砂粒子として扱い、流砂や漂砂の理論から求めることとする<sup>7)</sup>。

シジミ幼貝の限界摩擦速度 $u_{*cr}^*$ は、次式から求まる。この値は、シジミ幼貝が停止から掃流移動を開始する、またはその逆の限界を示している。

$$u_{*cr}^* = \sqrt{gd_s \theta'_c (\rho_s - \rho_w) / \rho_w} \quad (2)$$

ここで、 $u_{*cr}^*$ は限界摩擦速度(cm/s)、 $d_s$ は幼貝の殻長(cm)、 $g$ は重力加速度(=980cm/s<sup>2</sup>)、 $\rho_s$ は粒子の比重、 $\rho_w$ は水の密度(g/cm<sup>3</sup>)、 $\nu$ は動粘性係数(cm<sup>2</sup>/s)、 $\theta'_c$ は遮蔽・露出効果を考慮し修正した限界シールズ数である。

ここでの移動限界算出方法ではシジミの潜砂行動による抗流効果は考慮されていない。本実験では、これらから掃流限界を算出し、どの程度の底面せん断応力でシジミが掃流移動するかを推定した。



### 3. 結果と考察

実験の造波条件は宍道湖の現地観測記録をもとに決定し、周期は0.8s, 1.0s, 1.5s, 2.0s, 波高は1cm毎に変え、計21ケースで検証し、各ケースで目視観測と画像解析用の観測をそれぞれ行った。

本研究の目的は、西村らの研究で宍道湖におけるシジミ幼貝の移動評価に用いた移動限界式が、実際のシジミの移動を評価しているものかを検討するためのものであるため、造波水路での目視の移動観測結果と比較し考察を行った。

移動を評価するにあたり、観測個数のうち半数以上の個体が移動した場合においてその殻長のシジミが移動したとみなした。なお、目視観測中にシジミの浮遊移動はみられなかったため、すべて掃流の移動を評価したものとす。

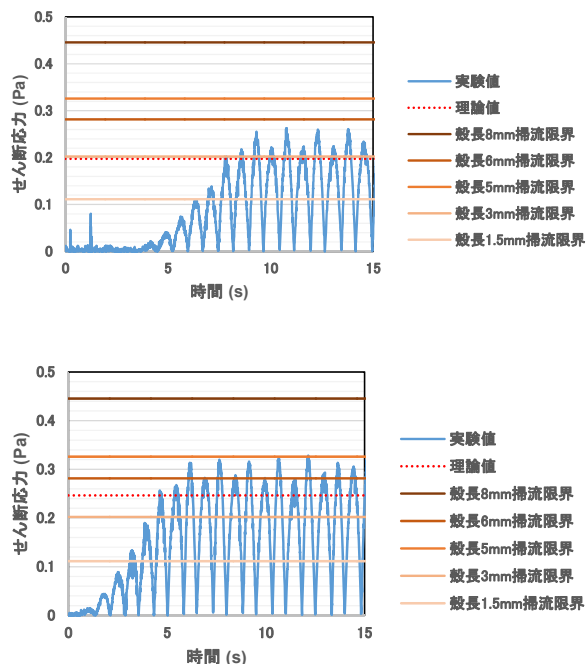


図-2 造波水路実験で得られたせん断応力と各殻長のシジミの掃流移動限界 (上 : H=4cm, T=1.5s, 下 : H=5cm, T=1.5s)

図-2 は造波水路実験で得られたせん断応力とシジミの各殻長毎の掃流限界を示した一例である。このグラフから、殻長6mmのシジミは上のケースでは移動しており、下のケースでは移動していないと評価をすることができる。この結果と目視の観察とを比較した。

実験値と目視の移動評価を比較すると、殻長1.5~3mmが観測では理論式よりも大きいせん断応力で動き始め、

反対に殻長8~10mmは、観測では理論式よりも小さいせん断応力で動き始めたことが示された。殻長3~5mm, 5~6mm, 6~8mmにおいては、実験値と理論値ともに移動限界に多少のずれはあるが、目視観測の評価と概ね一致する結果であった。

### 4. 結論

本研究は先行研究で用いたシジミ幼貝の移動評価方法の妥当性を、造波実験を行うことにより検討した。

移動評価の妥当性については、殻長1.5~3mmにおいては目視と比べて掃流移動限界式ではシジミが移動を始める底面せん断応力が小さく評価され、殻長8~10mmでは反対に掃流移動限界が大きく評価される結果となった。これらは、主に貝殻の形状による影響と考えられた。殻長3~5mm, 5~6mm, 6~8mmにおいては目視と掃流限界式による評価で大きな違いはなく、西村らの宍道湖におけるシジミ幼貝の移動評価において、シジミの生態を考えない砂粒子として評価する方法が概ね有用であることが示された。

今後の課題は、シジミの個体形状を考慮した力学的な検討や、河床に生じる起伏の影響を考慮して現地での移動状況と合わせて評価することや、本研究の結果を用いて湖内におけるシジミの移動シミュレーションを行うことである。

### 5. 参考文献

- 1) 勢村均, 増田一志, 石田健次, 開内洋, 浜口昌巳, 宍道湖におけるヤマトシジミの初期生活史—H24年度調査結果—, 2014.
- 2) 中村幹雄ら: ヤマトシジミの貧酸素耐性, 水産増殖, 45巻1号, pp. 9-15, 2009.
- 3) 坂本巖, 宍道湖のヤマトシジミの生息域としての湖岸ヨシ帯, 汽水湖研究, 2, pp. 7-14, 1992.
- 4) 坂本巖, 宍道湖のヤマトシジミ稚貝の生息域, 汽水湖研究, 3, pp. 5-15, 1993.
- 5) 棧敷真梨子, ヤマトシジミの底質の選択性と流速耐性, 奈良教育大学修士論文, 2008.
- 6) Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model : CADDYDAM v3 v3.2 science Manual.
- 7) 桑原久美, 底質の安定性からみた好適アサリ生息場環境。「アサリと流域圏環境—伊勢湾・三河湾での事例を中心として」, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 61-70, 2009.

# 愛媛県東部におけるナガレホトケドジョウの分布および生息場所利用

## ー 捕食者による影響 ー

(株) 建設環境研究所 青木新吾

### 1. はじめに

淡水魚には生活史の完結が淡水域のみで可能な種と一時期を海で過ごす必要のある種が存在する。一般に純淡水魚と呼ばれるものはその生涯を淡水域のみで終える魚類であり、海水域を通じた分布域の拡大が困難なため、その分布様式は地誌的な影響とその場の環境要因の影響を強く受けていると考えられる。本研究で取り上げたナガレホトケドジョウは生息地が河川の源流域とされ、既往の分布域調査は河川の上流部を対象としたものしかなく、中下流域を含めた水系全体の分布調査の例はない。そのため中下流域での生息の有無は未だ明らかになっていない状況である。生息地が源流域に集中している理由として、水温等の物理環境条件の他に本種の生息域の下流側に分布域を持つドンコやカワムツ等、捕食者となりうる魚類の影響が生息域を制限する要因と考えられていた。本種の生息域と非生息域の環境の差異についても解析的な知見はなく、河川における生息の有無と環境要因との対応は明らかになっていない。そこで本研究では河川内の本種の分布様式および生息域と非生息域との間の環境特性を知ることが目的とした。

### 2. 結果概要

既往の分布域調査から本種の生息域が県の東部に限られることは報告されているが、瀬戸内流入河川の西限は未だ明らかになっていない。本種の分布域の境界を明らかにするため、愛媛県東部の瀬戸内海流入河川12河川において、生息の有無を調査した。その調査結果を元に本種の生息が確認された4河川について、生息の有無および密度と環境要因との対応を把握するため、GLM(一般化線形モデル)によるモデル選択を行った。解析の結果、水温等の要因の他に、捕食者密度が選択され、本種の分布域の制限に捕食者が関係しているという解析的な結果が得られた。また、捕食者の影響の実態を把握するため、本種と近接した分布域を持つカワムツを対象に、瀬や淵等の環境区分スケール・マイクロハビタットスケールでの住み分け等、捕食回避を目的とした生息場所選択がみられるかを調査した。その結果、カワムツの非生息域では瀬淵間で本種の生息密度に差

はみられなかったが、カワムツの生息域では生息密度は極めて小さく、瀬で大きくなる傾向が見られた。マイクロハビタットについてもカワムツの生息域では浅場、非生息域では利用水深に差はみられない等、捕食回避を目的とする生息場所選択が見られた。また、本種の分布域の下限に生息するカワムツの胃内容物分析を行った結果、胃内容物から本種が確認され、カワムツによる捕食の実態が明らかとなった。

### 引用文献

- 1) 青山茂. (2006) 日本のどじょうたち. 島根県立宍道湖自然館ゴビウス(財) ホシザキグリーン財団
- 2) Donlinsek I. J., Biron P. M. & Grant J. W. A. (2007) Assessing the effect of visual isolation on the population density of Atlantic salmon (*Salmo salar*) using GIS. *River Research and Applications* 23: 763-774.
- 3) 伊奈博彦・倉本宣. 2003. 灌漑期と非灌漑期の谷戸の水路における絶滅危惧種ホトケドジョウの生息環境. *ランドスケープ研究*, 66: 627-630.
- 4) A. W. Paterson and A. K. Whitfield (2000) . Do Shallow-water Habitats Function as Refugia for Juvenile Fishes? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 51, 359-364.
- 5) 大高裕幸・安芸昌彦. 2005. 四国, 小豆島および淡路島におけるナガレホトケドジョウ (*Lefua* sp.) の分布. *香川生物 (Kagawa Seibutsu)* (32): 21-34
- 6) 奥山誠一・丸山琢也・東城幸治・村岡敬子・宮崎淳一. (2007) . 絶滅が危惧されているナガレホトケドジョウの保護のための生態学的調査. *山梨大学教育人間科学部紀要* 9巻 38-46
- 7) 片野修. (1999) . カワムツの夏 ある雑魚の生態. 京都大学学術出版会
- 8) 川那部・水野編. (2005) . 山溪カラー名鑑 日本の淡水魚. 株式会社 山と溪谷社

- 9) 児玉浩憲. 1961. ヨシノボリの食性. 日本生態学会誌, 11: 226-231.
- 10) Colin R. Townsend and Todd A. Crowl. (1991) Fragmented population structure in a native New Zealand fish: an effect of introduced brown trout? OIKOS 61: 347-354.
- 11) 高橋弘明. 1999. 愛媛県東部におけるナガレホトケドジョウ *Lefua* sp. の分布. 徳島県立博物館研究報告(9); 39-47.
- 12) 酒井治己・横山智哉・酒井康司・松本聡司・久保田善二郎 (1989) 山口県蓋の井川産インドジョウの生活史特性. 日本生物地理学会会報 44:39-47.
- 13) 潮見 礼也・三宅 洋・上田 竜士・井上 幹生. (2012). 森林河川から農地河川への傾度に沿った河川性動物の群集構造および魚類食性の変化. 土木学会論文集B1(水工学) Vol. 68, No. 4, I\_697-I\_702
- 14) 長津恵・大林夏湖・程木義邦・小野有五・村野紀雄. (2007). 絶滅危惧種エゾホトケドジョウ *Lefua nikkonis* (Jordan and Fowler) の分布と生息環境. 保全生態学研究 (Japanese Journal of Conservation Ecology) 12: 60 -65
- 15) 細谷和海. 1993. ドジョウ科. 中坊徹次編, 日本産魚類検索(全種の同定). p. 231-235, 1260-1261. 東海大学出版会, 東京.
- 16) 細谷和海. 2013. ドジョウ科. 中坊徹次編, 日本産魚類検索(全種の同定). 第三版 p. 334. 東海大学出版会, 東京.
- 17) 平松和也・細谷和海(2006): 大阪府安威川におけるアジメドジョウの河川内分布と生息環境. 魚類学雑誌, 53:39-46.
- 18) 藤田光・大川健治, 1975. 日本産ホトケドジョウの地理的変異について(予報). 魚類学雑誌, 22: 179-182.
- 19) Mary E. Power. (1984). Depth Distributions of Armored Catfish: Predator-Induced Resource Avoidance? Ecology Vol. 65, No. 2 (Apr), pp. 523-528.
- 20) 森宗智彦・足羽 寛・細谷和海. 2006. ハス属とオイカワ属魚類における腸の種間比較. 日本生物地理学会報, 61:99-108.



## 大阪府における社会・環境貢献緑地評価システム（SEGES）の実態と その意義に関する研究 ―「都市のオアシス版」に着目して―

(株) 修成建設コンサルタント 高木幸治

### 1. はじめに

社会・環境貢献緑地評価システム（以下、SEGES）は、企業の自主的な緑化活動内容や取り組み計画、その緑地を評価し、認定を行う制度である。「既存緑地版」「都市開発版」「都市のオアシス版」の3部門からなる。SEGESは国の施策において、『第三次環境基本計画』（2006年）などで緑化整備手法として紹介されている。運用開始から10年以上が経過し、SEGES全体の認定数は年々増加しているが、認定による効果については明らかにされていない。

そこで、本研究では、SEGESを構成する3つの認定のうち緑地計画を評価する「都市開発版」を除いた、企業の緑化活動内容の評価を行う「既存緑地版」と、それ以後にできた「都市のオアシス版」の2つの制度の差異を示した上で、近年、認定数が急増している「都市のオアシス版」に着目し、大阪府下で「都市のオアシス版」の認定を取得している企業にもたらされる効果や取り組みの変化を明らかにする。その後、企業が「都市のオアシス版」の認定を取得する意義を考察する。

### 2. 研究方法

SEGESの運営主体である公益財団法人 都市緑化機構の担当者へのヒアリング調査から、SEGESの〈制度概要と認定状況〉〈行政の関わり方〉等を把握した。また、大阪府における「都市のオアシス版」認定取得企業全5社に対して、〈認定取得の目的〉〈認定取得のための取組〉〈認定取得による変化と効果〉の項目についてヒアリング調査を実施した。加えて、大阪府へのヒアリング調査から、〈認定の位置づけ〉〈連携状況〉を把握した。

### 3. 調査結果・考察

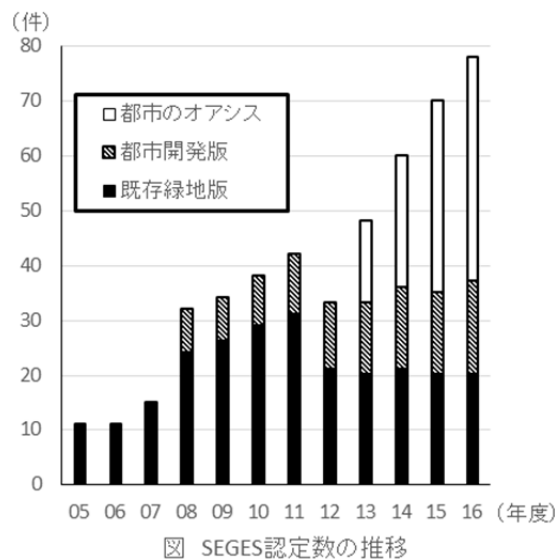
#### 【制度の概要】

事業者による緑地への取り組みを評価する「既存緑地版」と「都市のオアシス版」の認定制度差異を比較する。「既存緑地版」は、3原理（土地利用の持続性、緑地管理、緑地機能の発揮）に基づいた審査項目が81項目あり、審査は毎年行われ、審査費用は3年間で総額60万円である。「都

市のオアシス版」は、3基準（公開性、安全性、環境への配慮）に基づいた審査項目が32項目あり、認定審査は3年に1度行われ、審査費用は15万円である。「都市のオアシス版」は「既存緑地版」に比べ、審査項目・審査回数・審査費用ともに少なく、緑地の公開性や、利用者の快適性を重視する制度であるといえる。

#### 【認定状況】

「既存緑地版」の認定数は、ここ4年の新規認定数が合計2箇所にとどまり、停滞している。一方、「都市のオアシス版」の認定数は、図の通り、2013年の認定運用開始から毎年増加しており、合計46箇所である。建物用途をみると、「既存緑地版」では「工場」が64%で最多、「都市のオアシス版」では「商業施設」が46%で最多であった。認定サイトの平均緑地面積は、「既存緑地版」では5.29ha、「都市のオアシス版」では0.23haであった。これらから、「既存緑地版」では、工場のように一般人が比較的訪れにくい、大規模な緑地が認定されており、「都市のオアシス版」では商業施設のように一般人が比較的訪れやすい、小規模な緑地が認定されている。東京都が「都市のオアシス版」に認定されている緑地が33箇所と最も多く、大阪府は5箇所と東京都に次いで2番目に認定数が多い都道府県であった。



### 【「都市のオアシス版」の認定の実態】

認定取得の目的として、5社すべてが「広報手段の拡充」「企業の認知度の向上への期待」をあげ、また4社は「第三者評価の獲得」にも期待を示した。認定取得後の変化・効果として、「広報」「情報交換」の2点があげられた。具体的な内容として、「広報」では、パンフレットなど一般人への広報手段の拡充が図られていた。「情報交換」では、他企業の環境・緑地への取り組み意識を踏まえた、緑地管理における多様な情報のやり取りが行われていた。

そこで、5社すべてで、認定メリットと認定取得の目的が一致した項目は、表の通り「都市緑化機構による広報」「企業活動のPRとして利用」であり、次いで「社外評価であること」であった。つまり、企業は目的としてあげた「広報手段の拡充」、「第三者評価の獲得」に関して、実際に認定取得による変化・効果として実感できていると言える。また、表の「緑地の改良」の項目では、当初目的と合致しない項目が多くなった。特に「企業間の交流」はすべての企業で当初目的ではなかったメリットとしてあげられ、「情報交換の実施」「視察の実施」は4社で当初目的ではなかったメリットとしてあげられた。以上のように、「広報手段の拡充」、「第三者評価」の獲得に該当する項目はすべて認定メリットと認定取得の目的が一致していたため、認定の主要な効果として企業に受け入れられているといえる。一方、「緑地の改良」に該当する認定メリットの大半は、認定に伴う副次的な効果として企業に受け入れられているといえる。

認定の継続について、5社とも「認定に対する負担感はない」と回答した。その理由として、認定を継続・更新するために新たにに取り組むべき事項がなく、企業は最低限従来通りの管理を継続していれば認定は維持できるためと考えられる。

認定企業は認定制度の普及に期待しており、そのために今後、認定制度に必要な条件として、「認定の認知度が高まること」「認定のブランド化」「認定のメリットがより明確になること」の3点があげられた。「認定の認知度向上」で間接的に企業が保有している緑地のことを不特定多数の人、企業、行政等に知ってもらう機会創出に繋がり、また、「認定のブランド化」が進むことで、認定を取得していることに価値が生まれ、企業イメージが向上する。つまり、認定を受けていない企業緑地と比較した際に、認定緑地を所有している企業はより人々に好印象なイメージを持ってもらうことに繋がり、集客力のある緑地となりうると考えられる。

表 認定メリットと認定取得の目的

メリットとしてあげられた項目		認定サイト					計
		A	B	C	D	E	
緑地の改良	情報交換の実施	◎	○	○	○	○	5
	視察の実施	◎	○	○	○	○	5
	企業間の交流	○	○	○	○	○	5
	都市緑化機構からアドバイス			○	○		2
	起こりうる問題への先見を獲得		○		○		2
	緑地管理を行うモチベーション				○		1
	認定サイトに関する情報を獲得			○			1
広報手段の拡充	都市緑化機構による広報	◎	◎	◎	◎	◎	5
	他社での紹介	◎			◎		2
	企業活動のPRの一つとして利用	◎	◎	◎	◎	◎	5
第三者評価の獲得	社外評価であること	◎	◎	◎	◎		4
	認定が営業を行う際の力添え		◎	◎			2
緑地活用の一環	職員の教育に役買うこと		○		◎		2
○:認定メリットとしてあてはまる項目 ◎:認定メリットとしてあてはまる項目の中で、認定目的と一致している項目							

### 【大阪府の「都市のオアシス版」の認定制度の認識】

大阪府は、SEGES そのものに対して緑地の評価制度として一定の評価をしており、大阪の「都市のオアシス版」の認定企業のことも認知していた。しかし、大阪府の施策に認定制度の位置づけ、施策への明記は行われておらず、認定企業への具体的な支援等は行われていなかった。

## 4. まとめ

企業にとって「都市のオアシス版」の認定の意義は、社外評価の獲得と、広報による緑地の認知機会向上が見込めることである。さらにそれらに加え、認定企業間の情報交換により、企業が管理する緑地の質の維持もしくは向上が期待できることといえる。現状として大阪府ではSEGESは施策に位置づけられていないが、今後、認定サイトを増加させるためには、「認定の認知度の向上」「認定のブランド化」が必要であり、認定緑地が緑地行政にもたらす役割や価値に関する情報を都市緑化機構が地方自治体に提供し、行政における認定制度の利活用を推進することが必要であると考えられる。

## 大阪湾奥部の底泥から溶出する窒素・リンの調査

東洋技研コンサルタント株式会社 坂田 真菜

### 1. はじめに

大阪湾は瀬戸内海東部に位置しており、大阪府西部及び兵庫県南東部・淡路島に囲まれた閉鎖性水域である。大阪湾奥部の沿岸には、工業地帯や住宅等が多数あるため、工業排水や、生活排水による流入負荷が水質に影響を与えている。

水質としては、高度経済成長期に悪化したが、水質総量規制等の対策が行われたため、陸域からの流入負荷が減少し、水質の向上が図られた。しかし、現在でも赤潮が発生している<sup>1)</sup>ことから、その原因物質である窒素及びリンの起源を調査する必要がある。考えられる起源の一つとして、本研究では大阪湾の底泥から溶出する窒素及びリンに着目した。

### 2. 方法

#### 2.1.調査地点及び採泥方法

調査地点は図1に示す大阪湾奥部の st.15 と st.18 である。

コア試料は2015年2月から11月において毎月1回(地独)大阪府立環境農林水産総合研究所の調査船“おおさか”に乗船し、KK式柱状採泥器にアクリル製採泥管(直系4cm)を取り付けて採泥した。コア試料を各地点3本ずつ採泥し、アルミホイルに包んだ状態でクーラーボックスに入れて冷蔵し、倒れることがないように持ち帰った。

#### 2.2.溶出実験方法

溶出実験はマニュアル<sup>2)</sup>に従って行った。持ち帰ったコア試料は、恒温槽を用いて採泥時の水温と同じになるように調節した後、実験を開始した。実験は暗条件で行い、開始から0,3,6,12,24時間ごとに、コアの上部からプラスチック棒で攪拌し、シリンジで25mlを採水した。その際に0.22 $\mu$ mのディスクフィルターでろ過し、採水後は分析まで冷凍保存した。

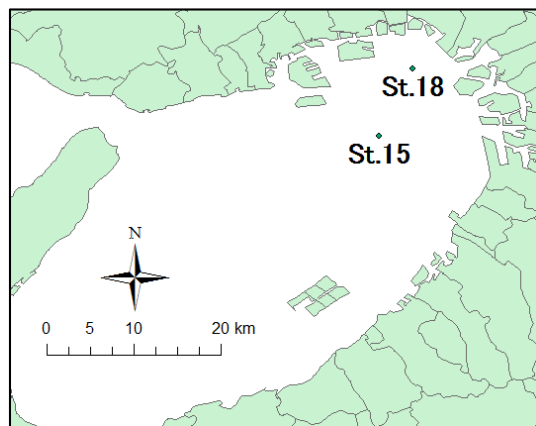


図1. 調査地点

#### 2.3. 分析方法

溶出実験の海水試料は、(地独)大阪府立環境農林水産総合研究所のオートアナライザー(BLTEC 社 SwAAt)を用いて、DTN、DTP、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pの分析を行った。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. NH<sub>4</sub>-N と PO<sub>4</sub>-P 濃度の経時変化

2月から11月までの実験結果の内、特に底泥から溶出していた7月及び8月におけるNH<sub>4</sub>-NとPO<sub>4</sub>-Pの濃度経時変化を図3及び図4に示す。なおNO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nは定量下限値以下であったため、今回の解析対象とはしなかった。

NH<sub>4</sub>-Nについて、図2から0時間の濃度より24時間後の濃度の方が高いため、溶出していると言える。そして、濃度が高くなる地点及び時期はst.15よりもst.18、8月よりも7月であった。

PO<sub>4</sub>-Pについても、図3から0時間の濃度より24時間後の濃度の方が高いため、溶出していると言える。そして、濃度が高くなる地点はst.15よりもst.18であり、時期については、st.15では7月、st.18では8月であった。

#### 3.2.溶出速度

2月から11月におけるNH<sub>4</sub>-NとPO<sub>4</sub>-Pの溶出速度について多田ら(2012年5月改定)<sup>2)</sup>溶出速度式を用いて計算

した。

$Flux = (C_n - C_0)V / (S \cdot T)$ 、ここで  $C_n$ :  $t$  時間後の栄養塩濃度( $\mu\text{mol/L}$ )、 $C_0$ : 0 時間後の栄養塩濃度( $\mu\text{mol/L}$ )、 $V$ : コア内の直上水の体積( $\text{m}^3$ )、 $S$ : コアの断面積( $\text{m}^2$ )、 $T$ : インキュベート時間(day)である。 $C_n$  は 24 時間後の濃度を用いて、単位は  $\mu\text{mol/m}^2/\text{d}$  から  $\text{mg/m}^2/\text{d}$  にした。

$\text{NH}_4\text{-N}$  及び  $\text{PO}_4\text{-P}$  の各月における溶出速度の変化をそれぞれ図 4 及び図 5 に示す。

$\text{NH}_4\text{-N}$  について図 4 より、st.15 では 2 月から 4 月に微量の溶出が見られたが、5 月は平均溶出速度がマイナスの値であったため、溶出していない結果となった。その後、6 月から段階的に平均溶出速度が大きくなり、8 月が最大となった。10 月は最小値と最大値のデータに差が出たが、9 月及び 11 月は 8 月に比べて平均溶出速度が小さくなった。st.18 では 2 月から 4 月に微量の溶出が見られ、5 月から段階的に平均溶出速度が大きくなり、9 月が最大となった。10 月以降の平均溶出速度は小さくなった。

$\text{PO}_4\text{-P}$  について図 5 より、st.15 では 2 月から 3 月に微量の溶出が見られ、4 月及び 5 月ではマイナスの値であったため溶出していない結果となった。6 月から再び溶出を始め、8 月が最大平均溶出速度となった。10 月は最小値と最大値のデータに差が出たが、9 月及び 11 月は 8 月に比べて平均溶出速度が小さくなった。st.18 では 2 月から 4 月において、同月同地点であっても、溶出が見られたコアと溶出が見られなかったコアがあった。しかし、溶出が微量であったためデータに大きな差はない。5 月から段階的に平均溶出速度が大きくなり、8 月が最大となった。9 月以降の平均溶出速度は小さくなった。

以上の結果より、st.15 より st.18 の方が溶出速度が大きいことがわかる。それは、st.18 が都市部に近く、陸域からの流入負荷が要因して底質環境にも影響を及ぼすからである。また、夏季に窒素及びリンの溶出が起こることから、溶出には水温と関係があるといえる。

#### 4. 謝辞

本研究において指導して頂いた大阪工業大学 工学部 環境工学科 駒井幸雄教授、調査及び分析に協力して頂いた(地独)大阪府立環境農林水産総合研究所水産技術センターの中嶋昌紀様、田中咲絵様厚く御礼申し上げます。

#### 5. 参考文献

- 1) 大阪湾環境データシステム H P ;  
<http://kouwan.pa.kkr.mlit.go.jp/kankyo-db/>
- 2) 多田邦尚(香川大学・農学部)ら; 海底堆積物からの栄養塩類溶出量測定マニュアル、2015 年 5 月改訂
- 3) 駒井幸雄; 底質の状況と内部負荷、環境技術 2015.
- 4) 石井ら; 瀬戸内海における赤潮発生状況の長期変動と赤潮優占群の海域特性、2014 年
- 5) Komai, Y., Sakata, M., Nakajima, M. and Tanaka, S., Release of Nutrients from Bottom Sediments in Osaka Bay, Japan in 2015, Proceedings of EMECS 11, Sankt Petersburg, 2016.

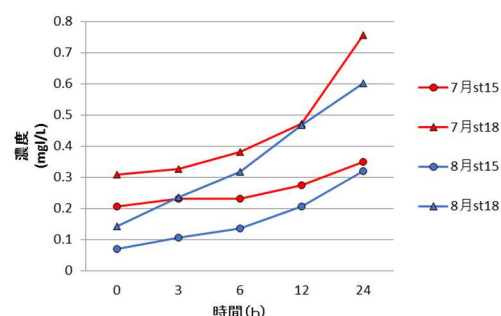


図 2.  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度変化

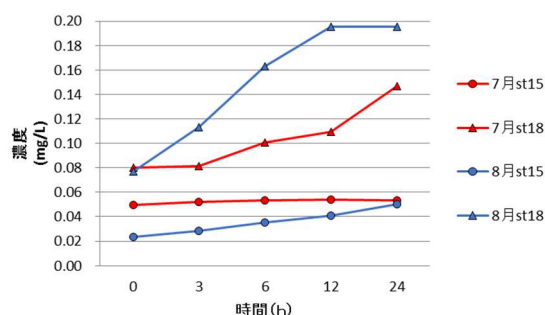


図 3.  $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度変化

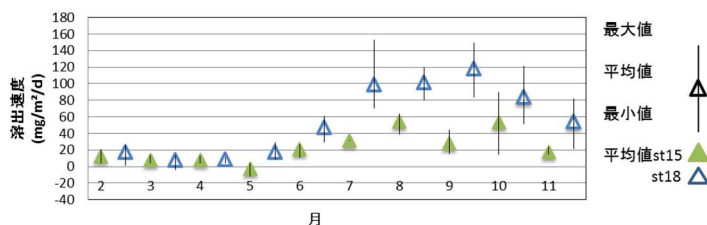


図 4.  $\text{NH}_4\text{-N}$  溶出速度

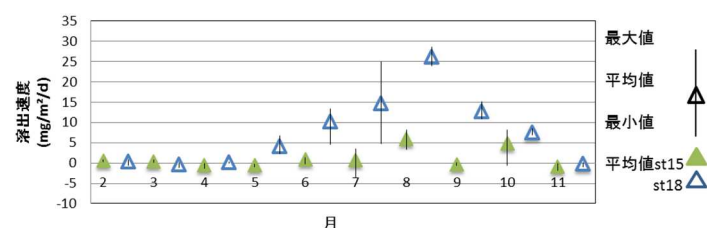


図 5.  $\text{PO}_4\text{-P}$  溶出速度



## 仁淀川源流域における移入イワナと在来アマゴの成長

### - 冬季におけるイワナの有利性 -

(株) ウェスコ 市 守 大 介

#### 1. はじめに

日本の代表的な溪流魚であるイワナとアマゴについては古くより種間競争に関する研究がなされてきた。それらの研究では、多くの場合、両種の採餌行動や攻撃行動といった行動様式から競争における優劣が評価されてきた<sup>1)</sup>。これら2種が共存する場合、イワナの方が採餌様式を変更し底生採餌を行うことから、イワナの方が劣位とみなされている<sup>1)</sup>。このことから、イワナはアマゴから負の影響を受けていると解釈されることが多い。劣位種が優位種から実際に負の影響を被っているかを明らかにするには、成長率、生残率といった点から評価する必要がある。しかしながら、イワナとアマゴの種間関係においては、そのような評価は充分にはなされていない。また、これら2種の競争に関する研究の多くは夏季における資源利用に焦点を当てている。しかし、環境条件や資源の供給様式には季節性があるため、それを考慮することは極めて重要である。例えば、河川への陸生無脊椎動物の供給量は夏季において最も高くなるが、底生無脊椎動物の現存量は、逆に冬季において高くなる<sup>2)</sup>。アマゴは主に陸生無脊椎動物を捕食し、イワナは主に底生無脊椎動物を捕食する<sup>1)</sup>ため、アマゴにとっては夏季の方が冬季よりも餌条件が良いが、イワナでは逆に冬季の方が夏季よりも餌条件が良いと考えられる。したがって、イワナとアマゴの成長に対する種間競争の影響を明らかにするためには、そのような季節性を考慮する必要がある。

四国の仁淀川水系黒川源流域は、元来アマゴの生息域であるが、この15年程度の間に移入イワナの生息域が急速に拡大している<sup>3)</sup>(図1)。前述したように、両種が共存する場合、イワナの方がアマゴのよりも劣位とみなされるが、その場合、黒川源流域におけるイワナ分布域の拡大は既存知見からの解釈と矛盾する。イワナは劣位種とされているが、実際にはアマゴからの負の影響はさほど大きくない可能性が考えられる。本研究では、四季を通じたイワナとアマゴの成長の推移を明らかにするとともに、両種が互いの成長率に及ぼす影響の有無を明らかにすることを目的とした。

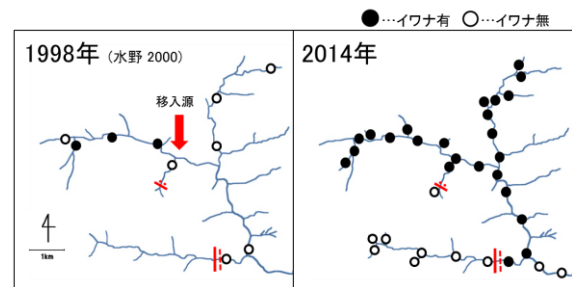


図-1 イワナの生息確認図

#### 2. 調査方法

黒川源流域における移入イワナと在来アマゴの成長の季節変化と種間相互作用を明らかにするため、アマゴとイワナの構成を考慮し、愛媛県喜多郡内子町の小田深山国有林を流れる仁淀川水系黒川源流に14の調査地を設定した(図2)。各調査地におけるイワナとアマゴの生息密度、サイズ、成長に関するデータを得るために、2015年7月、9月、11月、2016年3月、5月、7月および9月の7回にわたり、各調査地で両種の4色のイラストマー蛍光タグを用いて標識再捕調査を行った。また、各調査地で2015年の11月下旬から12月上旬の期間に、落下陸生無脊椎動物量、底生無脊椎動物量および両種の胃内容物を調査した。2015年7-9月、9-11月、11-3月、2016年3-5月、5-7月および7-9月の期間の成長率を算出した。成長に対する相手種の影響の有無を検討するために尾叉長および成長率を目的変数、魚類密度(同種または相手種)と餌量(陸生無脊椎動物落下量、底生無脊椎動物現存量)および尾叉長(成長率に対してのみ)を説明変数として重回帰分析を行った。また、両種の胃内容物中に占める陸生餌割合および胃内容物重量指数に対する季節(夏季、冬季)の影響を検討するために、分散分析を行った。そして、両種の体サイズ、成長率および肥満度に種間で差があるかを、時期ごとに一元配置分散分析により比較した。

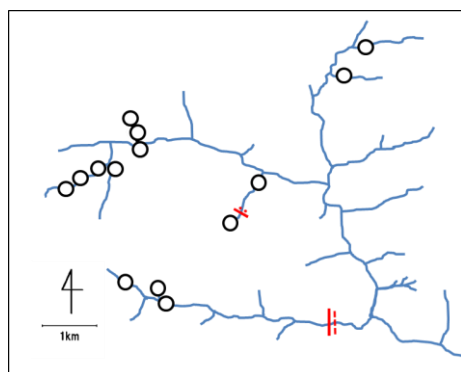


図-2 調査地

### 3. 成長に対する種内・種間相互作用の影響

重回帰分析により両種の当歳魚および成魚の成長を説明する要因を検討した結果、イワナ、アマゴともに成長率は尾叉長、同種密度、総密度のいずれかによって説明され、相手種密度が説明変数となることはなかった。つまり、イワナとアマゴの成長に対して、相手種による強い負の影響は認められなかった。

### 4. 冬季の有利性

本研究の調査地においても、落下陸生無脊椎動物量は夏季に多く、底生無脊椎動物量は冬季に多いことが示された。この季節変化を反映し、イワナとアマゴともに胃内容を占める落下陸生無脊椎動物餌割合は冬季に低下した。また、冬季においても夏季と同様にイワナの方がアマゴよりも底生無脊椎動物餌割合が高いことが示された。このことから、アマゴはイワナに比べ冬にかけて胃内容物重量指数が顕著に低下すると予想され、実際にそのような傾向は見られたが、統計的には有意でなかった。だが、肥満度の季節変化は予想に合致し、アマゴはイワナに比べ冬にかけて肥満度が顕著に低下した。これらのことから、冬季では餌条件はイワナの方がアマゴよりも良く、採餌活性も高いことが示唆された。

体サイズおよび成長率の種間比較は、上記の肥満度の季節変化と整合する結果となった。それぞれの幼魚の成長を2015年7月、9月、11月、2016年3月、5月、7月および9月と追跡した結果、11月まではアマゴの方がイワナよりも有意に体サイズが大きいことが明らかとなったが、3月以降では、両種の平均尾叉長、湿重量に有意な差が見られなくなり、11月から3月の間にイワナの体サイズがアマゴに追いつくことが明らかとなった。また、イワナとアマゴの幼魚期における成長率の推移を見たところ、11月から3月の期間では、イワナの方がアマゴよりも有意に成長

率が高く、イワナがアマゴの成長を上回っていることが示された。以上のことから、冬季はイワナの方がアマゴよりも好条件下にあることが示された。

### 5. 結論

本研究の結果から、イワナとアマゴは、成長において互いに強い影響を及ぼしあっていることが示された。また、餌資源構成の季節変化から、冬季ではイワナの方がアマゴよりも餌条件が良く、冬季においてイワナの方がアマゴよりも成長率が有意に高いことが示された。つまり、イワナはその行動様式からはアマゴに対して劣位とみなされるが、成長という点においてみる限り、実際にはアマゴから強い負の影響を被っていないと考えられる。また、冬季においてイワナの方がアマゴよりも好条件下にある。このようなことが、仁淀川源流域における移入イワナの分布域拡大に寄与していると考えられる。

**謝辞：**本研究を行うにあたり、愛媛大学理学部生物学科の井上幹生教授には調査方法から野外調査、データ解析にいたるまで、多岐にわたり御助力と御指導を頂きましたことを心から感謝致します。愛媛大学理学部生物学科の畑啓生准教授、愛媛大学沿岸環境科学研究センターの大森浩二教授には、ゼミ等で多くの助言を頂きました。四国森林管理局愛媛森林管理署、面河川漁業協同組合の皆様、そして小田深山荘の天野博美氏には調査を行う際、便宜を図って頂きました。また、以上に氏名を挙げた方以外にも、生態学研究室の先輩諸氏、学生諸氏には、ゼミの場などを通して、多大な御支援や御助言を頂きました。このように多くの方々の御協力により、本研究を行うことができました。ここに、深く感謝を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 中野繁・谷口義則 (1996) 淡水性サケ科魚類における種間競争と異種共存機構. 魚類学雑誌, 43(2), 59-78.
- 2) Nakano, S., & Murakami, M. (2001). Reciprocal subsidies: dynamic interdependence between terrestrial and aquatic food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(1), 166-170.
- 3) 水野信彦 (2000) 小田町の川魚. 「小田深山の自然 I」, 575-586. 山本森林生物研究所 小田深山の自然編集委員会, 小田町.

## DPR における降雨非一様性パラメータ推定手法の地上レーダを用いた検証

○ 林翔太(株式会社パスコ), 瀬戸心太, 下妻達也(長崎大学大学院工学研究科)

### 1. はじめに

全球降水観測計画(GPM)主衛星搭載の二周波降水レーダ(DPR)は2014年3月に運用を開始した。DPRは、周波数の異なる2つのレーダ(KuPR: 13.6GHz, KaPR: 35.5GHz)を搭載しており、周波数の高いKaPRにより弱い雨や雪の観測が出来るようになった。DPRの標準アルゴリズム<sup>1)2)</sup>は、運用開始後も改良を重ねており<sup>3)</sup>, 2016年に公開予定のバージョン04では、降雨のビーム内非一様性(NUBF)補正を考慮している。DPRアルゴリズムに組み込まれているNUBF補正は、PR標準アルゴリズムに組み込まれたNUBF補正と基本的に同じ手法が採用された<sup>4)</sup>。しかし、PRやDPRの水平解像度は5kmであり、それ以下の細かい情報は得る事が出来ない。そのため、NUBF補正方法の評価のためには、DPRよりも水平解像度の高い地上レーダデータを用いる必要がある。本研究では、解像度の高い地上レーダデータを用いて、DPRの模擬データを作成し、DPRアルゴリズムにおけるNUBF補正手法の検証を行った。また、図-1に示すKuPRの観測フットプリントから半ピクセルずれたKaPRの高感度観測ビームを使ったNUBF補正手法を検証した。

### 2. NUBF 補正方法

PRやDPRからの電波は観測する高度より高い位置にある降水によって減衰する。上空の降水が強い場合、地表面付近でのレーダ反射因子の減衰は大きい。PRやDPRの標準アルゴリズムでは、レーダ反射因子 $Z_e(\text{mm}^6\text{m}^{-3})$ と減衰係数 $k(\text{dB/km})$ の間に非線形な関係式を仮定して、観測レーダ反射因子 $Z_m$ の減衰補正を行っている。関係式が非線形のため、観測フットプリント内の降水を水平に一樣と判断すると、減衰補正および降水強度推定に誤差が生じてしまう。PR標準アルゴリズムのNUBF補正手法では、積算減衰量PIAがフットプリント内でガンマ分布していると仮定する。PIAの変動係数 $\sigma_n$ をNUBF補正のためのパラメータとして用いる。

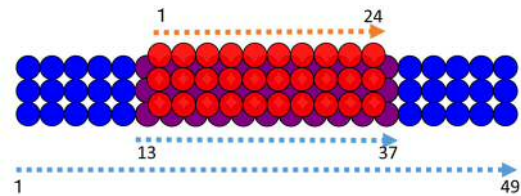


図-1 DPRの観測フットプリント。紫円はKuPRとKaPRにより二周波観測される。青はKuPRのみで観測される。赤はKaPRのみで観測される(高感度観測ビーム)。数字はアングルビン番号を示す。

### 3. 地上レーダデータを用いた検証

気象庁福岡気象レーダの直交座標エコーデータ(解像度1km×1km)を使用した。直交座標エコーデータは反射因子 $Z_e$ である。このデータから式(1)を用いてPIAを計算する。

$$\text{PIA} = 2 \int_0^5 \alpha Z_e^\beta dr \quad (1)$$

ここに、 $\alpha=0.0003$ ,  $\beta=0.78$ である。 $r$ は地表面からの高度(km)である。

図-2に示すように、地上レーダデータをDPRフットプリントに対応させる。各格子は地上レーダデータのグリッドで、25グリッドが1つのDPRフットプリントに対応する。この模擬データでは、実際のDPRフットプリントでは得られないフットプリント内の25個のデータを得る事が出来る。以下の3つの方法で、 $\sigma_n$ を推定しその比較を行った。

#### a) 観測フットプリント内での推定(真値)

DPRフットプリント内25個のグリッドのPIAを使って $\sigma_n$ を算出する。これを本研究では真値とする。

#### b) 3×3の範囲をフラクタルと考えた推定

DPRアルゴリズムやPRアルゴリズムでは、観測フットプリント内の $\sigma_n$ を推定するために、観測フットプリントを含めた3×3の範囲をフラクタルな図形と考えている。つまり9個のフットプリントのPIAを入力として $\sigma_n$ を算出する方法である。

#### c) 2×2の範囲をフラクタルと考えた推定

本研究で新しく提案する方法である。図-2の赤点線で表現

されている KaPR の高感度観測ビームを利用すれば、観測フットプリントにより近い場所の情報を得る事ができる。これにより、 $3 \times 3$  の範囲をフラクタルと考えた推定よりも、真値に近い  $\sigma_n$  の値が算出されると考えた。  $3 \times 3$  フラクタルとは異なり、観測フットプリントをデータに加えず、観測フットプリントに一部重なった 4 つの KaPR フットプリントの PIA を使って  $\sigma_n$  を算出した。

#### 4. 検証結果

図-3 は  $3 \times 3$  フラクタルを利用した推定値と真値の比較結果である。図-3(a)は  $3 \times 3$  フラクタルを使った  $\sigma_n$  の推定値と真値との差分であり、図-3(b)は横軸が  $\sigma_n$  の真値、縦軸が  $3 \times 3$  フラクタルを使った  $\sigma_n$  の推定値で構成された散布図である。図中の CORR は相関係数、BIAS は横軸の値から縦軸の値を引いた数、INUM はデータの数である。図-3(a)において、 $3 \times 3$  フラクタルを使った推定方法では、降雨の境界において真値よりも大きく  $\sigma_n$  を推定している。散布図で  $\sigma_n$  の値が 1.0 以下の部分では、 $3 \times 3$  フラクタルの推定方法が過大評価している。図-4 では、高感度観測ビームを使った推定値( $2 \times 2$  フラクタル)と真値との比較結果を示している。図-4(a)を見ると  $3 \times 3$  フラクタルを利用した推定値に比べて、細かい降水の箇所を除くと真値に近い値となっている。降水の細かい範囲において、図-3(a)では高い値を示していた  $\sigma_n$  が、図-4(a)では真値よりも小さくなっていることが分かる。  $3 \times 3$  フラクタルを使った推定では、広い範囲の PIA の情報を使っているのに対し、  $2 \times 2$  フラクタルを使った推定では、観測フットプリントに近い場所の PIA を使っており、観測フットプリント周りの降水が無いフットプリントを使っていないからだと考えられる。図-4(b)を見ると、  $\sigma_n$  が 1.0 以下の場合において、  $3 \times 3$  フラクタルでは過大評価していた値が、  $2 \times 2$  フラクタルではより真値に近くなっていることが分かる。  $3 \times 3$  フラクタルと  $2 \times 2$  フラクタルを相関係数で比較しても、  $2 \times 2$  フラクタルの推定が 0.13 ほど良くなっているため、  $2 \times 2$  フラクタルを用いた補正手法に期待が持てる結果となった。

#### 参考文献

- 1) Kubota, T., Yoshida, N., Urita, S., Iguchi, T., Seto, S., Meneghini, R., Awaka, J., Hanado, H., Kida, S. and Oki, R.: Evaluation of precipitation estimates by at-launch codes of GPM/DPR algorithms using synthetic data from TRMM/PR observations, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 7, No. 9, pp. 3931-3944, 2014.

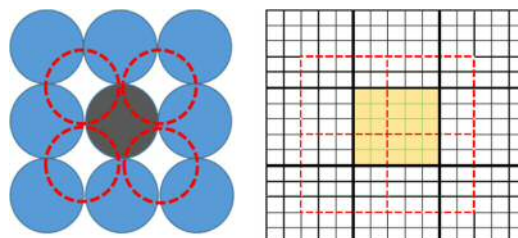


図-2 地上レーダデータによる DPR 模擬データの作成方法の説明図

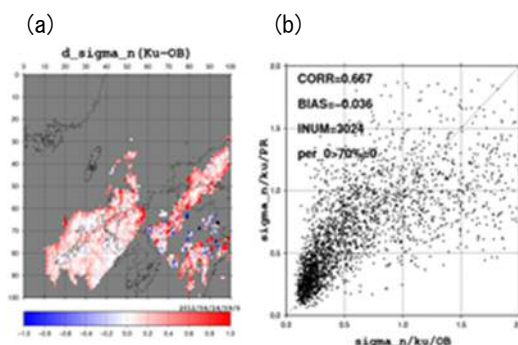


図-3 (a)  $3 \times 3$  フラクタルの推定値と真値の差分  
(b)  $3 \times 3$  フラクタルの推定値と真値の比較

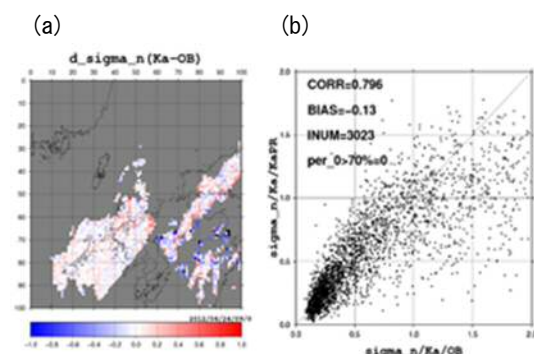


図-4 (a)  $2 \times 2$  フラクタルの推定値と真値の差分  
(b)  $2 \times 2$  フラクタルの推定値と真値の比較

- 2) Seto, S., Iguchi, T. and Oki, T.: The basic performance of a precipitation retrieval algorithm for the Global Precipitation Measurement mission's single/dual-frequency radar measurements, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.51, No.12, pp. 5239-5251, 2013.
- 3) 瀬戸心太: 二周波降水レーダによる雨滴粒径分布推定, 土木学会論文集 B1, Vol.71, No.4, pp.I\_469-I.474, 2015.
- 4) Seto, S., Iguchi, T., Shimozuma, S. and Hayashi, S.: NUBF correction methods for the GPM/DPR level-2 algorithms, 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGRASS) proceedings, pp. 2612-2614, 2015.



## 旭川祇園地区における砂州の切下げによる物理環境変化とその要因に関する研究

(株) ニュージェック 藤田 駿佑

岡山大学 前野 詩朗

岡山大学 吉田 圭介

### 1. はじめに

近年、岡山市を流れる旭川では樹林化が進行している。樹林化は洪水時の流下能力の低下、低水路の深掘れ、固有種の減少などの問題を引き起こす。そこで、旭川下流部の祇園地区では樹林化対策として、2005年に砂州の切下げによる維持管理の施工が行われた。こうした河川の改修は日本全国の河川で一般的に行われてきた。また、河川の治水や物理環境といった要素に与える効果は多くの研究者によって検討されている。ただし、これまでの研究は主に、施工後のわずか数年間で観察される短期間の効果に焦点を当てていたり、またはどちらか一方の要素に与える効果を検討するに留まっている。上記の背景から、本研究では祇園地区での砂州の切下げの複合的な効果を長期間に渡って検討するために、2005年から2014年の10年間の河床変動と植生動態の数値解析を行った。また、比較のために、2005年に砂州切下げを行わなかった状況を考慮した解析も併せて行った。さらに、これらの解析結果を使って、河川生物の生息環境指標を計算した。

### 2. 対象河道概要

本研究の対象である旭川祇園地区における河道の変遷を図-1に示し、図-2に下牧観測所(19.0k)における年最大ピーク流量を示す。対象地区では、中井出井堰より流下した洪水の主流は、14.8k~15.4k付近の左岸側へ張り出した砂州によって、流向は左岸側の堤防沿いに寄せられ、その結果15.0kで著しい河床低下がみられる。2005年には礫河原再生を目的とし、15.0k~15.3k付近の低水路側で砂州を1~2m切下げ、その後発生した2005年9月洪水(1,003m<sup>3</sup>/s)、2006年7月洪水(2,733m<sup>3</sup>/s)では、15.2k~15.4k右岸側の植生が流出していること、15.4k右岸側において2004年から2009年の間に河床低下が生じたことから、洪水時には右岸側にも多くの流量が流れたものと推測できる。また、礫河原再生前に15.4k付近で主流となっていた箇所では、砂州や瀬が創出され、単調であった河道から変化に富んだ流れ場が形成された。2007年から2010年には大きな洪水はなかったが、2011年9月に3,403m<sup>3</sup>/sを記録する洪水が発生し、15.2k~15.4k右岸側で多くの流量が流れ、その後、平常時での水みちが形成された。また、切り下げ箇所の水際(15.0k~15.2k付近)や15.4k付近に形成された砂州には植生が発達している。

また、地元水産関係者へのヒアリングによると、祇園地区の切り下げ箇所に隣接する濶筋部はかつてアユの産卵場であったとされるが、濶筋部の河床低下や、河床材料の粗粒化によりその機能を徐々に失っていた。しかし、2005年に

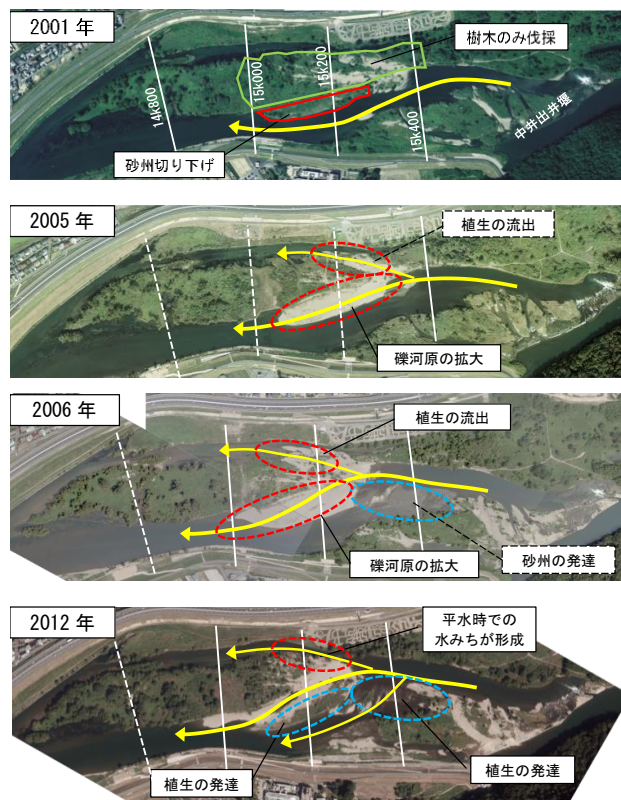


図-1 祇園地区における河道の変遷(2001~2012年)

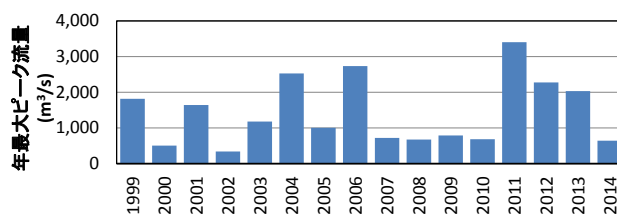


図-2 下牧観測所における年最大ピーク流量(1999~2013)

行われた砂州の切下げにより、洪水中に低水路への流れの集中が緩和され、砂州や瀬が創出されたことにより、以前のようなアユの産卵場に適した状態に回復してきている。

### 3. 解析概要

本研究では、砂州の切下げによる経年的な河道形状や、植生繁茂状況の変化が物理環境へ与えた影響を検討するため、砂州を切下げた場合(以下 Case-1 と呼ぶ)と切下げを行わなかった場合(以下、Case-2 と呼ぶ)について河床変動計算、植生消長計算、生物環境評価を行った。

解析の手順は以下の通りである。①まず、iRIC, Nays2DH ソルバー<sup>2)</sup>を用いて年最大洪水に対して流況解析を行う。

②その結果を踏まえ、前野ら<sup>3)</sup>の植生消長モデルを用いて洪水中の植生の流失・倒伏、洪水後1年間の植生の成長・入植の計算を行う。③最後に、平水流量に対して流況解析を行い、PHABSIMモデル<sup>4)</sup>を用いてアユの産卵場としての適性面積を評価する。得られた地形データは翌年の初期データとし、この計算を繰り返し行う。

## 4. 解析結果と考察

### 4.1 河床変動解析結果

洪水規模の大きな年(2006, 2011)の洪水後の河床変動量の平面図を図-3に示した。Case-1, 2006年洪水後では、洪水時の主流が右岸側に寄ったことから(図-1), Case-2と比べ施工箇所及びその上流で河床低下が著しい。また、礫河原再生前に主流であった箇所では堆積傾向にあり、砂州や瀬の創出が表現できている。2011年洪水後では、植生の繁茂により変動量は少なくなるものの、河床変動の傾向は同様となっている。変動量が少ない原因としては、本モデルでは側岸侵食を考慮できていないためであると考えられる。

### 4.2 植生消長解析結果

図-4に植生消長モデルによる洪水後の植生高の解析結果を示した。まず、Case-1では、2011年洪水により切り下げ砂州上(図-4 黒線内)で一部植生の流失が見られた。また、植生の流失箇所については、航空写真(図-1 下段)と比較しても、概ね一致していることが分かる。

一方、Case-2については、植生の流失は特に見られず、成長するのみであることが分かる。

### 4.3 PHABSIMモデルによる評価

アユ産卵場の適性については、適性値(CSI)が0.8以上となる解析格子の面積で評価すると、図-5に示した通り、Case-1の方が、Case-2と比べ、適性面積が大きくなっていることがわかる。特に、2010年洪水後では2,000m<sup>2</sup>もの差がみられる。

各ケースの経年的な変化について着目すると、Case-2では、面積6,000m<sup>2</sup>程度から、2007年には5,200m<sup>2</sup>程度に減少し、その後も同程度の値で推移している。これは、砂州の樹林化に伴う低水路の深掘れ(図-3 青破線部)により、平水時に冠水する面積の減少や流速が低下する箇所が現れたためである。また、Case-1では、瀬の形成に伴い2010年まで適性面積は増加傾向を示したが、2011年洪水後に600m<sup>2</sup>程度減少した。これは、低水路での堆積(図-3 赤破線部)により一部で早瀬が形成され、流速が増大したためである。

以上より、砂州の切下げによって、新たに瀬が形成され、アユの産卵場の創出につながることがわかった。ただし、一部河床変動解析の再現結果が十分でない箇所が見られるため、側岸侵食を考慮するなど、解析モデルの改良による精度の向上が必要である。

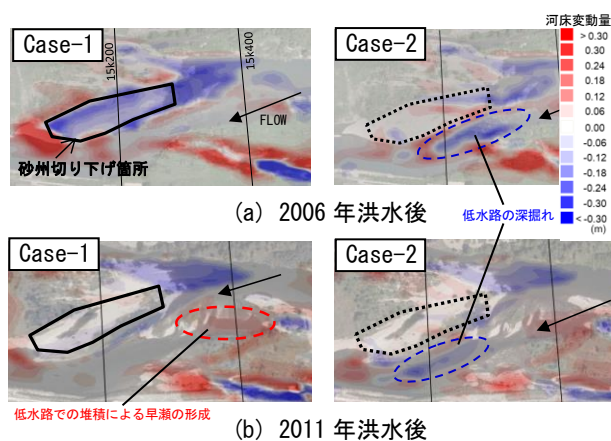


図-3 河床変動量(平面図)

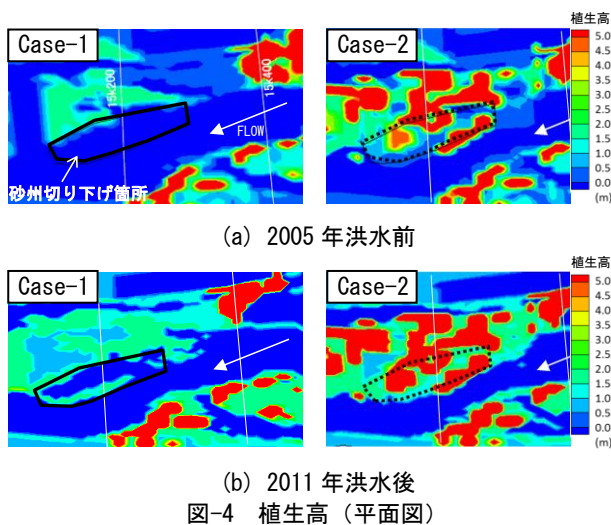


図-4 植生高(平面図)

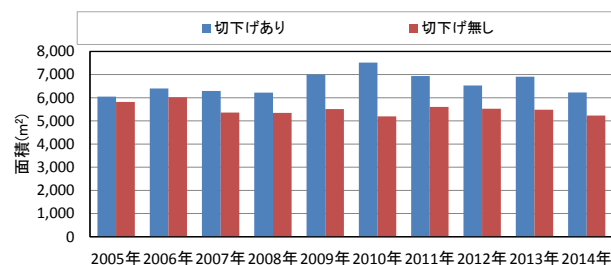


図-5 生息適性面積(CSI≥0.8)

## 参考文献

- 1) 増子輝明, 前村良雄, 森川陽一, 後藤勝洋: 鬼怒川中流部における礫河原再生について, リバーフロント研究所報告, 第21号, pp.9-18, 2010.
- 2) 北海道河川財団: iRIC, <http://i-ric.org/ja/>
- 3) 前野詩朗, 吉田圭介, 松山悟, 藤田駿佑: 旭川大原試験区における植生消長シミュレーションモデルの構築と検証, 土木学会論文集, B1 Vol.70, No.4, pp.I\_1369-I\_1374, 2014.
- 4) 永矢貴之, 釜瀬明日香, 白石芳樹, 鬼東幸樹, 東野誠, 高見徹, 東均, 秋山壽一郎: アユ産卵場の保全と創出を目指した河道掘削断面の選択手法の提案, 河川技術論文集, 第15巻, pp.79-84, 2009.

# Lazy Wave Riser に作用する流体力及び挙動推定に関する研究

A Study of Estimation of Hydrodynamic Loads works on Lazy Wave Riser and the Behavior of Lazy Wave Riser

(株)日建技術コンサルタント 山本 翔太

## ABSTRACT

In last years, attention to riser systems are suitable for the large depth of the water increases because the depth of the water to develop an offshore oil and gas field continues being deepened. Especially Lazy Wave Riser is considered to be suitable for development in ultra-deep waters. Therefore, estimation of hydrodynamic force acting on Lazy Wave Riser is important to perform safety development in ultra-deep waters. In this paper, I inspected validity of analysis method that is used now by the comparison with the model experiment.

## 1. 研究背景・目的

近年、海底油田・ガス田の開発水深は増大し続けており大深度開発に適したライザーへの注目は増してきている。その中でも Lazy Wave Riser はさらなる大深度開発に対応可能な生産ライザーとして主流になりつつある。

Lazy Wave Riser に作用する流体力を推定することは大深度での開発を安全に行っていくために重要である。そのため本研究では、模型実験との比較を行うことにより、ランプドマス法による動的解析法の妥当性を検証した。

## 2. 研究対象

本研究では次のような特性のライザーを研究対象とした。

Table.1 Particular sheet of Lazy Wave Riser

### ライザー部

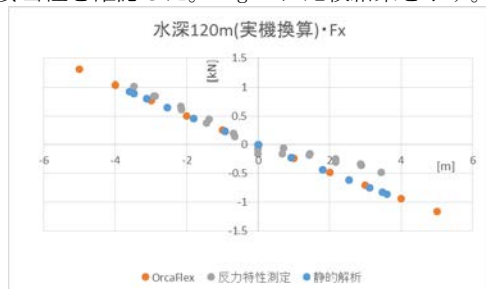
外径[m]	0.3556
単位長さ水中重量[ton/m]	0.1327
曲げ剛性[kN・m <sup>2</sup> ]	124.8694
軸剛性[kN]	711200

### フロート部

外径 1[m]	1.2
外径 2[m]	0.3556
単位長さ水中重量[ton/m]	-0.1143
曲げ剛性[kN・m <sup>2</sup> ]	124.8694
軸剛性[kN]	711200

## 3. 模型設計および静的解析

ランプドマス法でライザーの静的解析を行い、1/12 の実験用縮尺模型のライン構成を検討した。またライザーを静的に変位させた平衡状態でのライザーの形状や上端部における水平方向反力を求め、実験結果との比較により模型設計の妥当性を確認した。Fig. 1 に比較結果を示す。



3) Fig.1 Comparison between experiment and static analysis

## 4. 動的解析および模型実験

設計したライザー模型を用いた強制動揺試験を行い、ライザーの挙動並びに上端部での水平反力の計測を行うとともにライザーに作用する抗力係数を同定し、ランプドマス法を用いた解析プログラム『OrcaFlex』で動的解析を行い、結果を比較した。

解析は実機スケールで行い、実験結果を換算して比較を行った。比較の結果の一例を Fig.3 に示す。

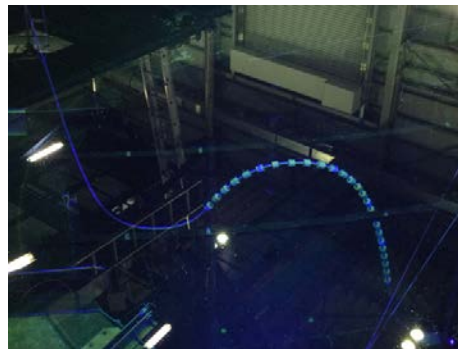


Fig.2 Model for experiments

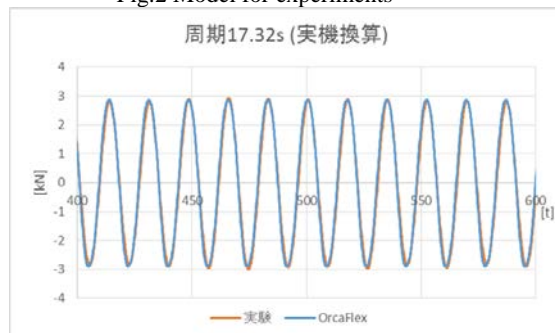


Fig.3 Comparison between experiment and dynamic analysis

## 5. 結言

・模型実験との比較からランプドマス法による静的解析ならびに OrcaFlex による動的解析の妥当性が確認できた。

## 参考文献

- 1) 実践 浮体の流体力学 後編—実験と解析  
(社) 日本造船学会 海洋工学委員会性能部会 編
- 2) Bernt J. Leira : Review and verification of marine riser analysis program, 2010



## 水位情報と予測降雨を用いた大規模地下空間の浸水防止対策の検討

(株)協和設計 ○ 川口徹矢

関西大学環境都市工学部都市システム工学科教授

盛岡通

関西大学環境都市工学部都市システム工学科准教授

尾崎平

### 1. 研究の目的

近年、異常気象による集中豪雨が増加している。それと同時に都市化が進んでおり、それに伴い、地下空間の脆弱性に着目されている。

そこで本研究では、地下空間の浸水対策として下水道に水位計を設置し、その水位情報を基に浸水防止行動を行うケースと、現在の情報収集を基に浸水防止行動を行うケースで流入量とリードタイムの2つの観点から比較する。また、近年精度が向上している予測降雨を用いて浸水防止行動を開始するケースも予測降雨の誤差を考慮し、水位情報と現在の情報収集と比較し、今後の浸水防止行動を開始するタイミングを決定する情報の検討を行う。

### 2. 研究の方法

浸水シミュレーションを用いて、水位計、地上監視カメラ、対象地下街に浸水開始と3つのタイミングで止水板設置開始を行い、リードタイムと流入量の比較をし、水位情報による浸水対策の検討を行った。

また、予測降雨の誤差を決定し、予測降雨通りの降雨と誤差が生じた降雨をInfo Works CSを利用し、リードタイムと流入量を比較して予測降雨を用いた浸水対策の検討を行った。

また、ケース設定として、対象降雨を水位計による方法では、総雨量180mmで60mm/hr、120mm/hr、180mm/hrの3つの外力と実降雨の岡崎豪雨の計4つの外力を対象とした。また、予測降雨による方法では、予測降雨を120mm/hrとし、予測降雨の誤差10%の132mm/hr、誤差30%の156mm/hr、50%の180mm/hrと計4つの降雨を対象とする。

止水板設置開始タイミングは、水位計の方法で次の3ケースで行う。①地下街へ浸水開始となったとき。②ある地上のノードが溢水となったとき。これは現在の情報収集がある地上に設置している地上監視カメラより、防災センター内で監視を行っているため、その地上付近のノードで最も早く溢水した時を設定した。③水位計を用いて、下水道の水位が7割となったとき。これは水位計を設置した箇所では、降雨強度が32mm/hrまではポンプ場が排水可能な降雨強度であるが、33mm/hr以上の降雨ではポンプ場の排水能力を上回り満管状態に達したので、地上にあふれ出し、

地下街へ浸水する可能性があると考えられる。32mm/hrの降雨では最高水位が管渠の69%であるため、管渠の水位が7割を超えると32mm/hrを超える降雨といえる。よって、本研究では、水位が管渠の7割に達した時に止水板設置開始の水位と設定した。

予測降雨の止水板設置開始タイミングでは、次の3つのケースを設定した。①10分前の予測降雨を基に行ったとき、②20分前の予測降雨を基に行ったとき、③30分前の予測降雨を行なったとき。

### 3. 結果・考察

#### 3.1 水位情報シミュレーション結果

図-1より、60mm/hrの降雨強度では地下流入後の方法の総流入量より地上監視カメラと水位計ともに5%削減されている。これより、地上監視カメラと水位計の方法ではほとんど差がない。60mm/hrの降雨強度では止水板設置のタイミングを水位計で早く行動しても、地上監視カメラと総流入量は差がなく、あまり効果がないといえる。

120mm/hrでは、地下街流入後の方法の総流入量が地上監視カメラでは6%、水位計の方法では10%削減された。120mm/hrで地上監視カメラと水位計の差が生じたのは、浸水箇所数が4箇所の差があり、その差の分流入量に差が生じたといえる。

180mm/hrは図-2より、地下街流入後の方法の総流入量より地上監視カメラで7%、水位計の方法では12%削減されている。3つの方法とも地下街に浸水するより先に止水板を設置できなかったため、地下街に浸水開始してから止水板の設置完了するまでにかかる時間の差が流入量の差になったといえる。

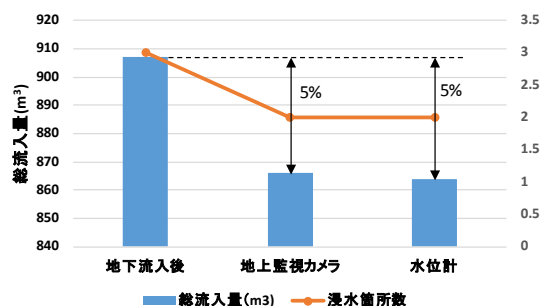


図-1. 60mm/hr の流入量比較



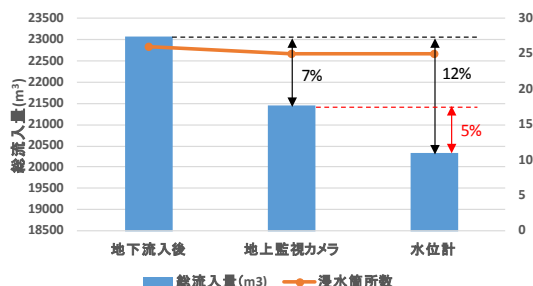


図-2. 180mm/hr の流入量比較

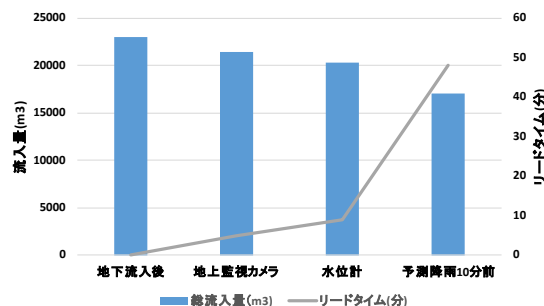


図-4. 180mm/hr の流入量とリードタイムの比較

図-3 より、リードタイムの観点からは、180mm/hr の降雨強度では水位計で判断しても最初に流入する出入り口を浸水するよりも先に設置することが出来ないため、リードタイムは地上監視カメラと比較して 5 分しか長くならず、180mm/hr の降雨強度では、リードタイムが確保できないといえる。しかし、60mm/hr、120mm/hr の降雨強度では、地上監視カメラと比較して、30～40 分長くなったことから、60mm/hr、120mm/hr の降雨強度では、リードタイムを十分確保できるといえる。

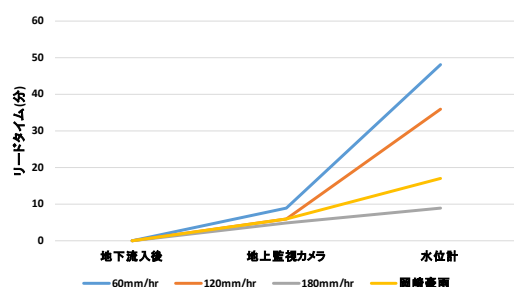


図-3. リードタイムの比較

実降雨の岡崎豪雨では、水位計の方法が地上監視カメラの方法より、総流入量が 4%削減され、リードタイムが 11 分長くなった。よって、実降雨においても水位計の方法が流入量を多く削減でき、リードタイムを確保できている。

### 3.2 予測降雨のシミュレーション結果

120mm/hr と 132mm/hr では、10 分前予測で行動すれば、全ての止水板を設置できるので、総流入量は 10 分前予測と 20 分前予測、30 分前予測の 3 つとも変化しない。156mm/hr、180mm/hr では、10 分前予測で止水板設置より先に浸水する出入り口があったが、浸水してから止水板設置完了までの時間が非常に短いことから総流入量での変化は非常に小さい値となった。よって、180mm/hr の降雨強度までは、10 分前予測で十分であるといえる。

図-4 より、予測降雨の方法は水位計の方法より流入量を 14%多く削減でき、リードタイムが 39 分長くなった。

## 4. 結論

水位計での止水板設置開始の判断は、地上監視カメラと流入量の観点から比較すると、降雨強度 60mm/hr ではほぼ同値の流入量となり、効果がないといえる。しかし、120mm/hr、180mm/hr では地上監視カメラより流入量が約 5%削減されたため、強い降雨強度では効果があるといえる。リードタイムの観点からすると、60mm/hr、120mm/hr では約 30～40 分長くなり十分なリードタイムを確保できているが、180mm/hr では、リードタイムが 5 分しか長くならず、強い降雨強度ではリードタイムを確保できないといえる。

予測降雨による止水板設置開始の判断方法は、10 分前予測と 30 分前予測では流入量の観点から想定される最大の降雨強度でも差がほとんど見られないことから 10 分前予測で十分であるといえる。また、10 分前予測では、水位計による止水板の設置開始判断より流入量が 14%多く削減でき、リードタイムが 39 分長くなった。

よって、今後の浸水対策として 10 分前の予測降雨を用いて行動を開始することで想定される最大規模の降雨に対して流入量を最も抑えることができるといえる。

## 5. 今後の課題

本研究では、浸水防止行動を早くすることで流入量を削減でき、リードタイムを確保することが浸水対策になると述べた。その一方で、予測降雨に満たない降雨の発生により地下街に浸水しないケースに対して、浸水防止行動(避難誘導等)を行うと、地下街利用者・地下街店舗へ経済的被害の発生が予測される。よって、今後は地下街に浸水しない場合の経済的被害を考慮した検討を行う必要がある。

## 6. 謝辞

本研究を行うにあたり下水道データを提供して頂いた自治体に深く感謝するとともに、厚くお礼申し上げます。

## 降雨の時空間分布の違いが河川流量に及ぼす影響に関する研究

(株)ニュージェック ○清水 雄太

(株)東芝 吉見 和紘

中央大学 山田 正

### 1. はじめに

我が国では、従来、河川計画の指標として計画降雨量、基本高水流量を算出している。一般に、基本高水流量を算出する手法として、カバー率の考え方がある。カバー率の考え方では、時間分布、地域分布の著しい偏りのある降雨から計算される流量は棄却される。しかし、将来的に、棄却した降雨パターンと同じ降雨が発生しないとは限らず、棄却した降雨パターンと同じ降雨が発生しても、洪水ピーク流量は総降雨量だけでなく降雨の時空間分布にも依存するため、既往の洪水と同規模の洪水ピーク流量になるとは限らない。そこで、降雨の時空間分布を考慮するための手法として、総合確率法が用いられることが知られている。

一方で、日本で水文データを観測開始したのは過去100年以内であり、データ数が非常に少ない。利根川上流域を例として、計画降雨量を決定するための確率紙を描いてみると、水文データは毎年資料であるため、1950年から観測された利根川上流域のデータでは、約60個の点しかプロットできない。例として、6面のサイコロを振って1つの目が出る確率が6分の1になるための試行回数と誤差の関係を考える。6面のサイコロで1つの目が出る確率が6分の1になる確率は100回や1000回の試行回数どころか5000回の試行回数をもってしても誤差が10%程度となる。つまり、過去100年以内に観測されたデータから計画降雨量や基本高水流量を決定するには、あまりにもデータ数が少ない。

以上の問題に着目し、本研究では、データ数を拡張するため、実測の降雨群の時空間分布パターンを入れ替えることによって1つの降雨イベントを対象に降雨パターンを増やして流出計算を行い、同一の降雨でもピーク流量の取り得る値の違いを検証し、降雨入れ替え前の流量を超過する降雨の時空間分布の解明を行った。また、入れ替え計算を総合確率法に適用し、降雨の時空間分布パターンをより考慮した超過洪水を評価することを目的とする。

### 2. 対象流域及び降雨流出計算の概要

#### (1) 対象流域と対象降雨

対象流域を利根川上流域(流域面積 5,110km<sup>2</sup>)とし、利根川で過去に発生した降雨(カスリーン台風：昭和22年)を用いて降雨流出計算を行った。

#### (2) 流出計算

斜面計算には、山田ら<sup>1)</sup>が従来から提案している鉛直浸透機構を考慮した単一斜面における降雨流出の基礎式を用いた。河道計算は一次元不定流モデルを用いた。なお、河道計算では、2次河道以降を考慮した。

#### (3) 総合確率法

洪水ピーク流量の算出は総合確率法を用いて行った。総合確率法は、流出計算結果を用いて、年最大降雨量の確率分布と年最大洪水ピーク流量の確率分布の関係性を見出し、任意の期間に対応する年最大洪水ピーク流量を決定する手法である。総合確率法の考え方に基づいた年最大ピーク流量の非超過確率と年最大総降雨量の非超過確率の関係(2)式と、年最大洪水ピーク流量の非超過確率と再現期間  $T$ (年)の関係(3)式から再現期間  $T$ 年の年最大洪水ピーク流量を算出することができる。

$$F_{Q_{p\max}}(Q_p) \cong \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_{R_{\max}}(R_i(Q_p)) \quad (2)$$

$$F_{Q_{p\max}}(Q_p) = 1 - \frac{1}{T} \quad (3)$$

ここに、 $N$  は降雨パターンの個数(個)、 $T$  は再現期間(年)、 $F_{Q_{p\max}}(Q_p)$ は年最大洪水ピーク流量の非超過確率、 $F_{R_{\max}}(R_i(Q_p))$ は年最大総降雨量の非超過確率である。

### 3. 雨の入れ替え計算の概要

降雨の時空間分布が河川流量に及ぼす影響を明らかにするために、利根川上流域を4流域に分割し、流域ごとの総降雨量は一定にしたままで、流域ごとに得られた流域平均雨量の時系列を入れ替えることによって、全流域の降雨パターンを256パターン作成し、それぞれ斜面計算及び河道計算を行い、流域の基準点

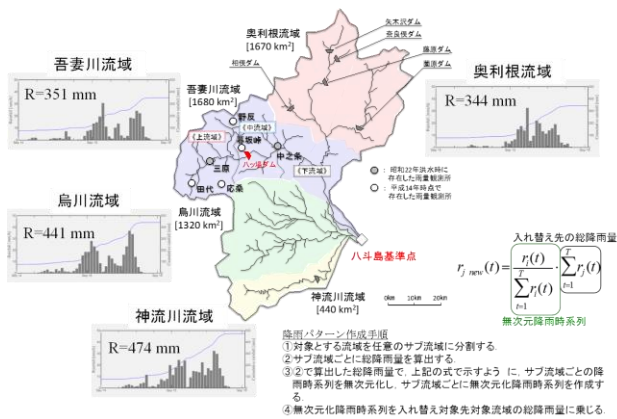


図-1 入れ替え計算の概念図

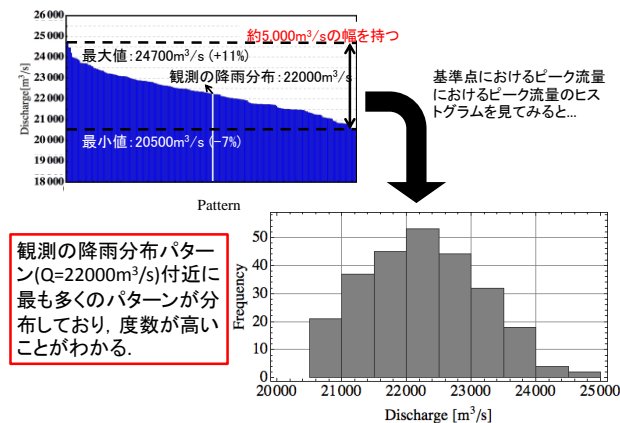


図-2 降雨を入れ替えた場合の基準点におけるピーク流量とそのヒストグラム

で得られるピーク流量の検証を行った。降雨の入れ替えとは、流域毎の流域平均雨量を変えずに降雨の波形のみを入れ替えることである。図-1 に入れ替え計算の概念図、(4)式に降雨の入れ替えに用いる式を示す。

$$r_{new}(t) = \frac{r_i(t)}{\sum_{i=1}^T r_i(t)} \times \sum_{i=1}^T r_j(t) \quad (4)$$

ここに、 $r_i(t)$ は入れ替える降雨時系列の降雨強度、 $r_j(t)$ は入れ替え先の流域の降雨強度[mm/h]である。

## 4. 結果

### (1) 降雨の入れ替え計算結果

利根川上流域で発生した既往最大の降雨であるカスリーン台風を対象に入れ替え計算した結果を図-2に示す。各流域の総降雨量は入れ替えず、降雨の時空間分布パターンを入れ替えることによって、入れ替え前の流量と比べ、最大で11%ピーク流量が大きくなり、-7%~11%の幅をもつことがわかった。また、ヒストグラムが示すように、入れ替え前のピーク流量(約

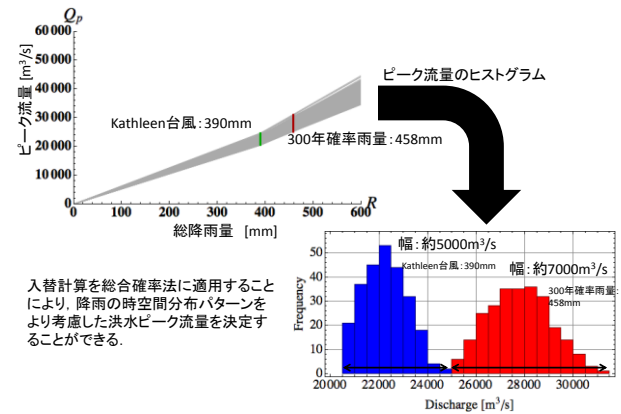


図-3 入れ替え計算の総合確率法への適用

22,000m³/s)付近が最も度数が大きいことが興味深い。河川流量が過大になったケースは、基準点から近い流域で発生した遅いピークの雨と、遠い流域で発生したピークが早い降雨のピーク流量が重なったためピーク流量は入れ替え前に比べ大きくなったと考えられる。

### (2) 入れ替え計算結果の総合確率法への適用

入れ替え計算を総合確率法に適用した結果を図-3に示す。入れ替え計算を行うことによりカスリーン台風1イベントに対しても256パターンの曲線を引くことができる。これにより降雨の時空間分布パターンをより考慮した洪水ピーク流量を決定することができる。また、総降雨量が大きくなるにつれピーク流量が取りえる幅が大きくなる。つまり、総降雨量が大きくなるほど、降雨の時空間分布の違いの影響を受けやすいことがわかった。

## 5. まとめ

本研究の結果から、一つの降雨パターンでも降雨波形を流域内で入れ替えることで取り得るピーク流量に幅を持つことがわかるが、これを総合確率法に適用することにより、一つの降雨パターンでもピーク流量がより過大となる降雨パターンをより考慮した洪水ピークを算出することができることがわかった。

今後の展望として、総合確率法に確率過程論を導入することにより、降雨の時空間分布と入力降雨の不確実性を考慮した年最大洪水ピーク流量を算出することが可能であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 吉見和紘, 山田正: 鉛直浸透機構を考慮した流出計算手法の長期流出解析への適用, 土木学会論文集 B1, Vol.69, No.02, pp101-104, 2013

## 信楽森林流域を対象とした微気象・水文観測に基づく 蒸発散量の推定と土壌水分動態の把握

(株)建設技術研究所 前野彰仁

### 1. 序論

森林は日本の国土面積の約66%を占めており、森林の洪水緩和機能を定量化することは流域管理の観点から必要不可欠である。森林流域内の詳細な水循環過程を明らかにするため、信楽森林流域ではこれまで、広葉樹林を対象として微気象・水文観測を実施してきた。そこで本研究では、信楽森林流域を対象として複数の手法を用いて蒸発散量を算出することと流域内部の土壌水分動態を把握することを目的とする。

### 2. 信楽森林流域における観測の概要

滋賀県甲賀市信楽町の国有林野内において微気象・水文観測を実施している。主な植生は落葉広葉樹林である<sup>1)</sup>。流域の標高は約255~420 mに分布しており、流域面積は約24.6 haである<sup>1)</sup>。流域の最下流において量水観測と降雨観測を2010年より開始している<sup>2)</sup>。流域の最下流から約180 m上流の右岸側斜面では2012年よりフラックス観測を開始している<sup>3)</sup>。図-1は北側から順に量水観測、フラックス観測、土壌水分観測地点を示している。土壌水分の観測は3斜面で実施しており、上流に位置するものから斜面A、B、Cと呼ぶ。斜面A、Bは斜面の上端側から下端側にかけて約20 m間隔で2地点に土壌水分計を設置している<sup>1)</sup>。斜面Cは上端側から下端側にかけて約20 m間隔と約30 m間隔で3地点に土壌水分計を設置している<sup>1)</sup>。斜面Aは地下5 cm、15 cmで斜面B、Cは地下10 cm、20 cm、30 cm、40 cmで土壌水分を観測している。

### 3. 蒸発散量の算定

#### 1) 蒸発散量の算出手法と熱収支式

蒸発散量は次式に示す渦相関法<sup>4)</sup>とボーエン比法<sup>5)</sup>で算出した。

$$E = \rho q'w' \quad (1)$$

$$E = \frac{R_n - G}{\lambda(1 + B_0)} \quad (2)$$

ここで、 $E$ は蒸発散量、 $\rho$ は空気の密度、 $\rho$ は定常性を満たす長さの時間の平均、 $q'w'$ は鉛直方向の風速の時間平均からの変動成分と比湿の時間平均からの変動成分の共分散である。 $R_n$ は純放射量、 $G$ は地中への熱流量、 $\lambda$ は水の気化の潜熱、 $B_0$ はボーエン比を示す。また、地表面では以下の熱収支式<sup>6)</sup>が成り立つ。

$$R_n = H + \lambda E + G \quad (3)$$

ここで、 $H$ は顕熱、 $\lambda E$ は潜熱である。

#### 2) 蒸発散量の補間方法

観測値の欠測により算出できない蒸発散量は以下の手順で補間を行った。

1. 30分あたりの蒸発散量を渦相関法とボーエン比法で計算する。
2. 月単位の蒸発散量を積算して求める。
3. 以下の式より $\alpha$ を計算して、月単位の蒸発散量の積算値に乘じることによって補間したとみなし月蒸発散量を得る。

$$\alpha = \frac{d_{all}}{d_{part}} \quad (4)$$

ここで、 $d_{all}$ は月蒸発散量の算出に必要な30分あたりの蒸発散量のデータの数、 $d_{part}$ は月単位の蒸発散量の積算に用いたデータの数を示す。

#### 3) 渦相関法による月単位の蒸発散量の積算対象

フラックス観測は観測機器内のトラブルや雨が生じた場合に蒸発散量が異常値を示す場合がある。渦相関法についての以下の2通りに分けて蒸発散量を補間した。

1. 全ての30分あたりの蒸発散量を月単位の積算に含めた場合
2. 30分あたりの蒸発散量の算定値が、 $-0.5$  mmから $0.5$  mmの範囲外の蒸発散量を除き、雨が降った時間帯も除いた場合

#### 4) 渦相関法による蒸発散量の算定値の補正

熱収支が閉じない場合は純放射量 $R_n$ と地中への熱流量 $G$ の観測値は正しいと仮定して渦相関法による補間後の月蒸発散量が熱収支式(3)を満たすように補正する。式(5)より $\beta$ を求めて、 $\beta$ で補間後の月蒸発散量を除することで補正した月蒸発散量を得る。

$$\beta = \frac{H + \lambda E}{R_n - G} \quad (5)$$

なお、純放射量 $R_n$ と地中への熱流量 $G$ と顕熱 $H$ と潜熱 $\lambda E$ は単位あたりの数値を用いた。単位当たりとは、月単位の積算値を求め、その積算値を積算に用いたデータの数で除することである。

#### 5) 複数の手法による2013年の月蒸発散量の比較

図-2は、渦相関法とボーエン比法で算出した2013年の月蒸発散量を示している。白色が渦相関法で算出した全ての30分あたりの蒸発散量を積算して補間と補正を行った後の月蒸発散量を示す。緑色が渦相関法による30分あたりの蒸発散量に範囲を設けて雨の時間帯を含めず積算して補間と補正を行った後の月蒸



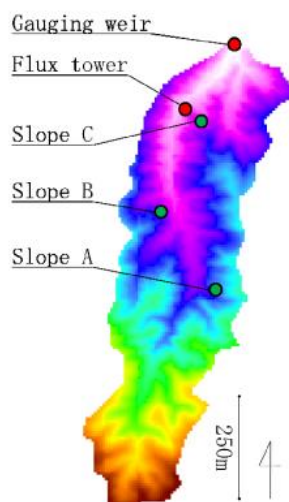


図-1 信楽森林流域図

発散量を示す。桃色がボーエン比法による補間後の月蒸発散量を示す。これらの月蒸発散量より年蒸発散量を計算した。渦相関法の全ての算定値を積算した場合の年蒸発散量は636 mmと計算された。渦相関法の算定値に範囲を設けて雨の時間帯を除いて積算した場合の年蒸発散量は723 mmと計算された。ボーエン比法による年蒸発散量は982 mmと計算された。

#### 4. 土壌水分観測

##### 1) 鉛直浸透と側方流の観測

図-3は斜面Cの最下端側で2015年6月3日と6月21日に観測された土壌水分の時系列変化を示す。図-3(a)に示すように、浸透した雨水に反応して赤色(10 cm)、青色(20 cm)、緑色(30 cm)、紫色(40 cm)の順に土壌水分が上昇していることから鉛直浸透が観測されたことが分かった。また、図-3(b)に示すように降雨終了後に鉛直浸透した赤色(10 cm)、青色(20 cm)の体積含水率が急上昇していることから側方流が観測されたことが分かった。

##### 2) 8月の乾燥過程における土壌水分動態

図-4は斜面Aの上端側で観測された地下5 cm(赤色)と15 cm(青色)の土壌水分の時系列変化を2015年5月1日から示している。7月の終わりから8月中旬までの無降雨期間に鉛直浸透低減後、大きく土壌水分が減少する事例が見られた。土壌水分減少量を見積もると確かに鉛直浸透低減後に土壌水分がさらに減少していた。蒸発散によって土壌水分が減少したと考えられる。

#### 5. 結論

本研究の結論を以下にまとめる。

1. 土壌水分計の時系列変化から鉛直浸透と側方流を観測することができた。
2. 土壌水分計より7月の終わりから8月中旬までの乾燥過程

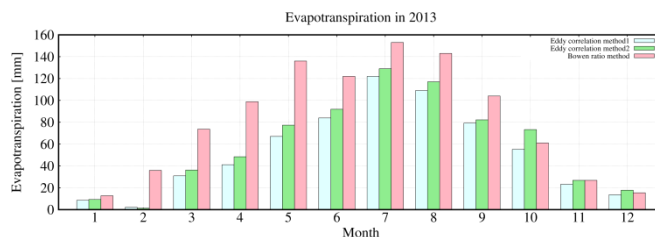
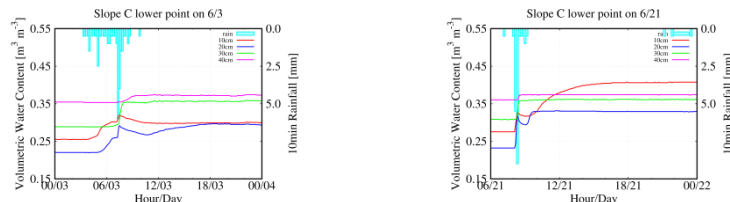


図-2 複数の手法による月蒸発散量の比較



(a) 鉛直浸透(2015年6月3日観測)

(b) 側方流(2015年6月21日観測)

図-3 斜面Cの下端側における土壌水分動態

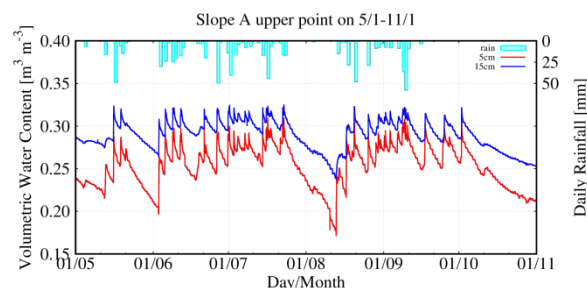


図-4 斜面Aの上端側で観測された乾燥過程の土壌水分動態(2015年観測): 赤色が5 cm、青色が15 cm

において鉛直浸透低減後、土壌水分が大きく減少する現象が観測された。蒸発散の影響により土壌水分量が減少したのではないかと推測される。

3. 渦相関法とボーエン比法による2013年における信楽森林流域の年蒸発散量は600 mmから1000 mmと計算された。

#### 参考文献

- 1) 萬和明, 前野彰仁, 立川康人, 市川温, 今井伸太郎, 戎信宏, 高瀬恵次, 佐藤嘉展, 山口弘誠, 中北英一: 信楽森林流域における多地点土壌水分観測, 2015 土壌水分ワークショップ論文集, 20-26, 2016.
- 2) 高瀬恵次: 広葉樹林流域における水文観測の開始と予備的解析, 水文・水資源学会 2011 年度研究発表会要旨集, 5-6, 2011.
- 3) 戎信宏, 萬和明, 中北英一, 山口弘誠, 田中賢治, 高瀬恵次, 石田祐宣, 福池考記: 落葉広葉樹林における水蒸気・CO<sub>2</sub> フラックス観測, 水文・水資源学会 2014 年度研究発表会要旨集, 284-285, 2014.
- 4) 大槻恭一: 地域環境水文学(田中丸治哉, 大槻恭一, 近森秀高, 諸泉利嗣著), 第3章, 朝倉書店, p. 47, 2016.
- 5) 立川康人: エース水文学(池淵周一, 椎葉充晴, 宝馨, 立川康人著), 第4章, 朝倉書店, pp. 58-59, 2006.

## 排水機場改修検討

(株)キクチコンサルタント 山中廣大

### 1. はじめに

本件は、大規模造成地(約 180ha)の雨水排水を完全自然排水方式に移行した業務である。図 1-1 に幹線および排水機場の位置を示す。

造成当時は、下流側の水路が流下能力不足であったため、一部強制排水を行っていたが、下流側の水路整備に伴い、10 年ほど前から自然排水へ移行している。しかし近年、集中豪雨による災害が増加しているため、一般的な排水路整備で想定されている規模以上の降雨で氾濫解析を行ったところ、低地部での浸水リスクが高いことが判明した。その要因は、3 系統合流による背水(バックウォーター)の影響が考えられた。このため本業務では、排水機場内の水路を改修して、流下能力の改善を図ると共に、氾濫シミュレーション解析など各種検討を行い、低地部での浸水危険エリアの解消を図った。

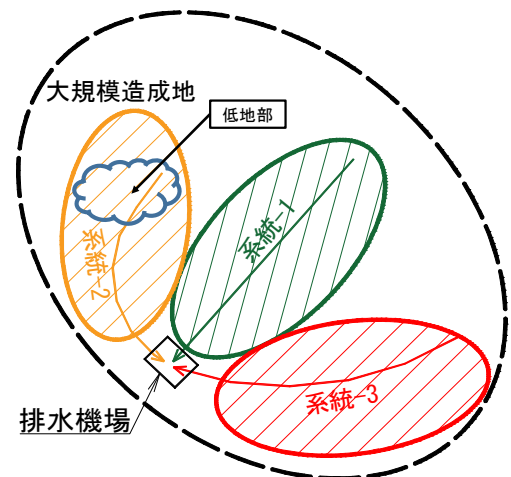


図 1-1 幹線および排水機場

### 2. 排水機場内の水路改修

現況の排水系統は、3 系統が当排水機場で合流し、二連放水渠より排水している。3 系統のうち、系統 1 からの水量と系統 2・3 からの水量に 2 倍近くの差がある。そこで、系統 1 と系統 2・3 分流化することで、浸水の要因である背水の影響を低下できると考えた。図 2-2 に計画図を示す。なお、系統 2 は伏越する構造となるため、損失水頭および流量から断面の検証を行った。

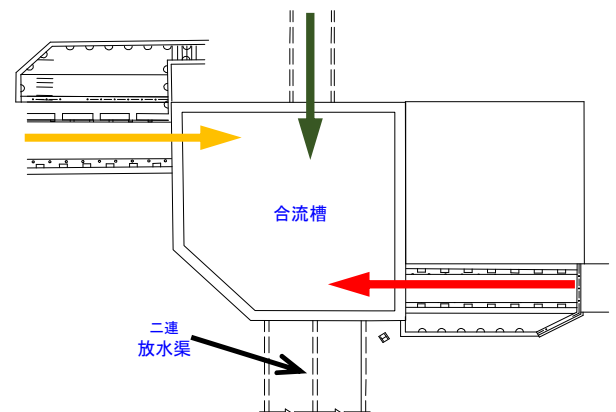


図 2-1 現況放水渠

#### (1) 損失水頭による断面の検証

後述する氾濫解析では、管渠における流れの変化は、流入量と流出量の差のみを考慮しているため、本検証では流出損失のみを考慮する。

流出損失と計画損失水頭を比較すると、どちらも 0.235(m) となった。しかし、損失水頭を求める際に用いた流出損失係数は、管路から流出した水は運動エネルギーをすべて失うとし、 $f_0=1.0$  とした。これは、流出する際の流速が 0 になることを意味し、算出した流出損失は最大値となる。よって、計画損失水頭と最大値が同じになるため、当該断面で問題ない。

#### (2) 流量による断面の検証

流量による断面の検証結果は、以下の式より、

設計断面の流量 ( $Q$ ) = 8.326 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

計画流量 ( $Q'$ ) = 4.079 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) < ( $Q$ )

設計断面の流量が計画流量を上回っているため、計画流量を流すことが可能であり、当該断面で問題ない。

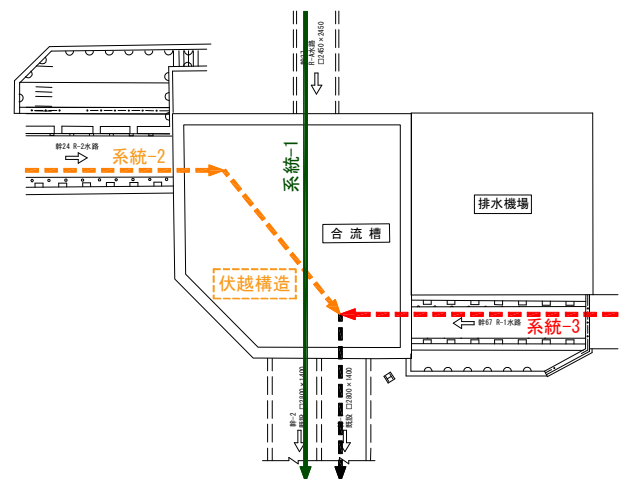


図 2-2 計画図

### 3. 氾濫シミュレーション解析

本件では、水路改修による流下能力の改善効果を解析ソフトの Info Works-CS を用いて、流出解析モデルによる氾濫シミュレーション解析により確認する。流出解析モデルは、流入ハイドログラフを算定する「降雨損失モデル」「地表面流出モデル」と管内の水理現象を計算する「管内水理モデル」の3つから構成され、入力データは、「座標レイヤ」「施設レイヤ」「地表面レイヤ」の3つから構成される。概念図を図3-1に示す。

降雨損失モデルは、二重線形貯留法等の方法を採用し、管内水理モデルは、管渠等の位置情報を明確に定義し、サンヴナン方程式に基づく完全 Dynamic Wave Model または、そのモデルに近似したものを適用する。現況の排水施設等のモデル化にあたっては、流量の変化はマンホールのみで生じるとし、流量が変化する点にマンホールがない場合は仮想のマンホールを設置する。それらの条件を基に、キャリブレーションを行う。キャリブレーションは、浸水現象の再現性を確保するために行う作業であり、再現性の確認は、既往浸水発生降雨を対象にシミュレーション結果と実績との比較により行う。浸水現象の再現性の確認をしたのち、以下に示す流出解析条件を用い、水路改修により低地部での浸水危険エリアの解消をシミュレーション解析により確認する。なお、降雨規模は対象地域における計画降雨量を基に決定した。

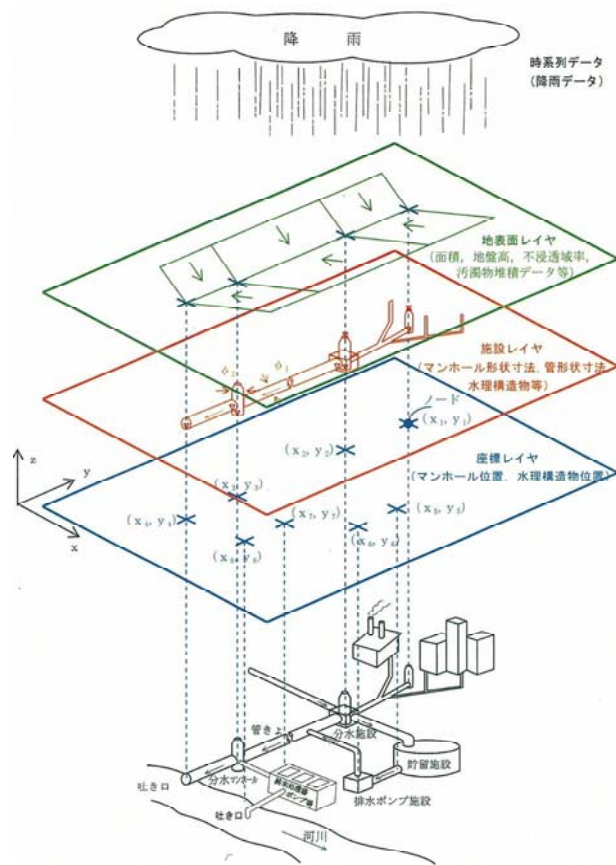


図3-1 入力データ概念図

表3-1 流出解析条件表

条件種別		設定値	
降雨規模		1時間最大降雨量 (mm/時)	10分降雨量 (mm/10分)
	10年確率	61.5	21.2
外水位	計画高水位	T.P+9.2m	
土地利用	流出係数	住宅地部 0.62, 調整区域 0.30	団地部 0.53,
放水渠	排水機場	二連放水渠を分離運用する	

解析結果は、図3-2のように表現される。

管路網を青線で表現しており、満管状態を桃色で表している。また、マンホールを黒丸で示しており、浸水深の深さを、橙→緑→黄の順で表している。

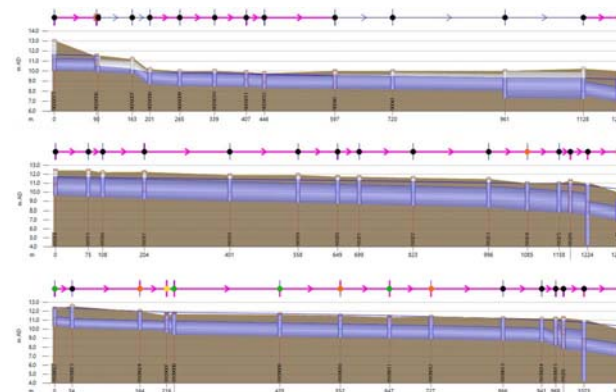


図3-2 氾濫解析結果

### 4. まとめ

本件では、大規模造成地の流末に設けられた排水機場の廃止により発生する浸水被害を解消するため、ボトルネックとなっている流末二連函渠を高段流と低段流に分流化することで、浸水部の水位の低下を図り、その効果を各種検討により立証した。さらに、伏越構造での損失水頭や流量配分を考慮しつつ、氾濫シミュレーション解析を行い、背水による低地部での浸水危険エリアの解消を確認した。

### 謝辞

本発表会への承諾をしてくださった発注者様には深く感謝しております。厚く御礼申し上げます。また、本稿作成にあたり、テーマの決定やまとめ方などにおいて、上司の皆様に丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。



## 鉛直 2 次元解析モデルを用いた 津波越流時の堤防裏法尻における局所洗掘に関する研究

株式会社ウエスコ 田 中 龍 二

### 1. 序論

平成 23 年に発生した東北地方太平洋沖地震による津波は、これまでの想定を超える巨大津波となり、東北地方沿岸域の海岸堤防を越流した。越流した津波は、堤防裏法尻基礎工周辺で局所洗掘を発生させ、堤防裏法尻保護工や裏法面保護工の破壊、さらに堤体内の土砂の吸出しによって堤体本体の破壊をもたらした(図-1)。このように、堤体を越流した流れは堤体そのものの安定性を低下させるが、これまでの河川や海岸堤防の設計では越流を外力として考慮されていない。したがって、精度良い河床変動予測モデルを構築することは、工学的に重要な課題といえる。

研究の第一段階として、従来の研究で用いられている平衡及び非平衡流砂による河床変動を考慮した鉛直 2 次元解析モデルを構築し、堤防裏法尻で生じる高速流や潜り噴流による洗掘の再現計算を行うものとする。特に、モデルの違いに加え、浮遊砂と浮遊砂濃度の移流、噴流による摩擦速度の上昇、浮遊砂濃度によって低下する粒子の沈降速度の効果が与える影響について考察を行う。

### 2. 河床変動解析に関する考察

#### (1) 模型実験による洗掘現象の考察

飯干ら<sup>1)</sup>は、上述した東北地方沿岸域の津波による海岸堤防の破壊メカニズムを解明するために模型実験を行い、堤体を越流した高速流が裏法尻保護工の破壊や堤防背後地盤に急激な洗掘を生じさせることを明らかにしている。模型実験では、図-2、写真-1のように堤防背後に移動河床を設置、上流側(沖側)ではゲート解放によって擬似的な津波を発生させている。

図-3 に、実験によって示された堤防裏法尻の河床位の時間変動値を示した。洗掘孔の下り斜面(上流側)は水中安息角程度を維持したまま、洗掘深が大きくなるにつれて下流側にその位置が移動する。一方、上り斜面(下流側)は洗掘開始直後には緩やかな傾斜で洗掘されていくが、徐々に水中安息角程度まで角度が急になる。また、初期河床位より高い河床位が見られなかったことから、洗掘された土砂は下流まで輸送されたと考えられる。

#### (2) 数値解析による諸現象の効果の考察

表-1 に今回行った解析ケースを示した。浮遊砂及び噴流の効果は平衡流砂モデルでのみ適用し、その効果を考察する。なお、Case3 では浮遊砂濃度により沈降量に変化するように



図-1 仙台湾南部海岸の堤防破壊状況  
(左：陸側、右：沖側)

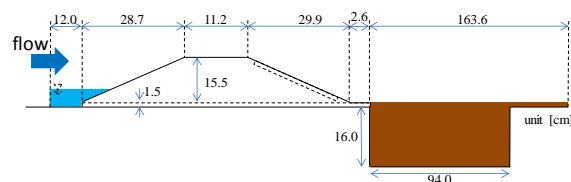


図-2 実験水路の側面図 (左：沖側、右：陸側)

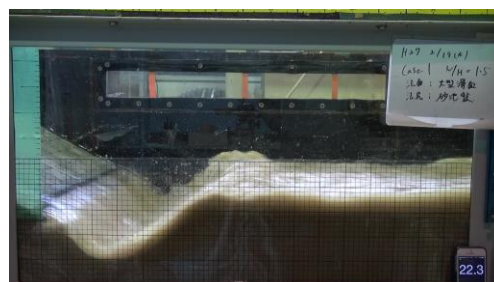


写真-1 洗掘が生じてから 9 秒後の洗掘状況

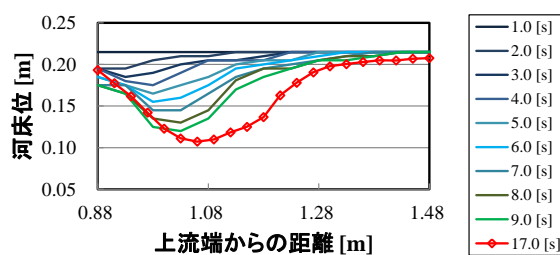


図-3 模型実験で得られた河床位の時間変化  
(最終時刻以外は、映像から読み取った値)

Maude(1958)の式を用いている、また、Case4 では潜り噴流により底面付近の摩擦速度が大きくなると考えられるため、斉藤<sup>2)</sup>の実験で示された摩擦速度の分布式による補正を行った。その他の計算条件は、表-2 に示した。

図-4 に Case1 から Case3 の解析最終時間の河床位を示した。どの河床位も実験値の洗掘深よりも浅く、十分な土砂輸



送が行われていないことが分かる。特に、浮遊砂を考慮した場合、洗掘孔より下流側で初期河床位より高い河床位が見られ、浮遊した砂が下流に十分に流されことなく滞留し、堆積したものと考えられる。

図-5 に Case4 の河床位の時間変化を示した。このケースでは、最大洗掘深が発生する付近まで摩擦速度を補正している。早い段階で Case1 の最大洗掘深付近まで洗掘したが、洗掘孔より下流側でその土砂が堆積したため、それ以上の洗掘が見られなかった。特に、上り斜面の勾配も早い段階で水中安息角程度まで発達している。ただし、洗掘と堆積の高さの差は 10cm 程度であり、摩擦速度の補正を修正することで、河床変動量の再現性が向上すると考えられる。

図-6 に Case5 の河床位の時間変化を示した。6 秒時点で最大洗掘深が実験値程度まで洗掘した。その後、洗掘孔とその下流に堆積していることが分かる。非平衡流砂モデルでは、初期段階に過大評価しており、潜り噴流による洗掘現象の再現が十分になされていない。

### 3. 結論

本研究では、津波越流時の堤防裏法尻の洗掘現象に対し、鉛直 2 次元解析モデルを用いて再現計算の検討を行った。以下に結果を示す。

- 1) 潜り噴流により生じる局所洗掘において、本解析の平衡流砂モデルでは洗掘深を過小評価している。実験結果と異なり、掃流された砂粒が洗掘箇所下流で堆積している土砂輸送の低さと、流速や水深が良好に再現できていない流体計算の再現性に課題がある。
- 2) 非平衡流砂モデルは、洗掘速度が速く、洗掘過程も実験結果と異なる様子を示したが、最大洗掘深は平衡流砂モデルに比べて実験値に近い値となった。

実務では、計算格子の細分化による計算精度の向上や 3 次元解析モデルを用いて複雑な流れを再現するのは現実的ではない。そのため、斎藤の実験式のように、単純なファクターである水位差や距離等を用いて潜り噴流のような現象の再現を行い、洗掘現象の精度向上を行う必要がある。

### 参考文献

- 1) 飯干富広, 前野詩朗, 吉田圭介, 高田大資: 津波越流による海岸堤防裏法尻の洗掘に及ぼす裏法被覆工と法尻保護工形状の影響, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.70, No.2, pp.966-970, 2014.
- 2) 斎藤隆: 水平噴流による洗掘に関する研究, 土木学会論文報告集, 第 282 号, pp.53-63, 1979.

協力: 岡山大学大学院環境生命科学研究科

表-1 解析ケース

Case	河床変動に関する効果	
1	平衡	掃流砂
2		掃流砂+浮遊砂
3		掃流砂+浮遊砂+沈降速度補正
4		掃流砂+浮遊砂+噴流
5	非平衡	掃流砂

表-2 計算条件

解析時間 [s]		17.0
格子幅 [mm]	x 方向	10.0~30.0
	z 方向	5.0~7.5
平均粒径 [mm]		0.23
水中安息角 [°]		30.0
流体の計算時間間隔 [s]		10 <sup>-6</sup> ~
河床変動の計算時間間隔 [s]		10 <sup>-4</sup> ~

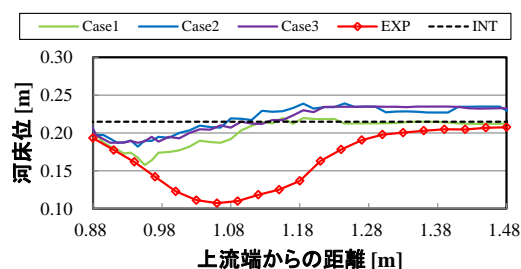


図-4 Case1 から Case3 における最終時刻の河床位 (赤線: 実験値, 点線: 初期河床位)

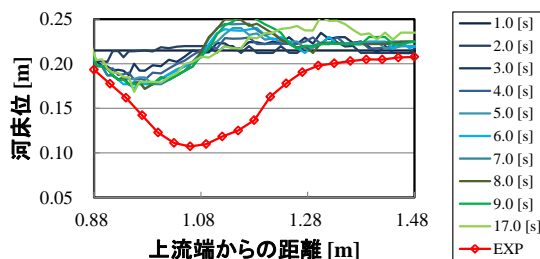


図-5 Case4 における河床位の時間変化

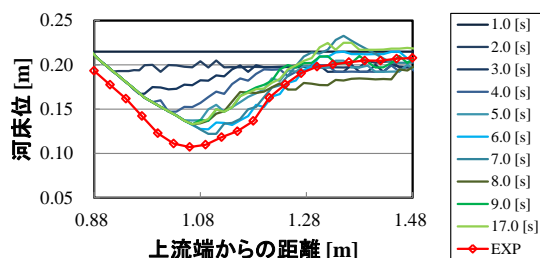


図-6 Case5 における河床位の時間変化

## 河川流量観測における河川表面流画像解析手法に関する研究

パシフィックコンサルタンツ株式会社 建口 沙彩

### 1. はじめに

我が国の河川整備基本方針の策定や河川整備計画では、流域内の降雨によって河道に流出する流量を、安全に流下することができるように河道計画が策定されている。そのため、流量の正確な把握が非常に重要である。近年では、河川監視カメラの映像等に対する画像計測法が開発されている。その中の STIV<sup>1)</sup> (Space-Time Image Velocimetry)はこれまで多くの良好な解析結果を残し、ソフトウェア「KU-STIV」も開発及び実用されている。本研究では、KU-STIV を流速解析における標準ソフトにするために、画像計測に残る課題解決及び KU-STIV の多機能化に対する検討を行った。まず、カメラの種類及び設置位置に対する設定基準を検討した。

### 2. カメラの種類及び設置位置に対する基準

これまでの画像計測では、使用するカメラやその設置位置、撮影アングル等の条件は観測員がその場の状況を見て、それぞれの経験をもとに決定していた。しかし、KU-STIV を用いた画像計測を流量・流速観測における標準手法とするには、各条件の設定基準を設けるべきである。

ここで、STIV の過程で生成される時空間画像(STI)の質を評価するアルゴリズム QESTA(Quality Evaluation of STI by using Two dimensional Autocorrelation function)を能登谷らが開発した。その中に、流速誤差率の推定値を示すせん断歪み型指標(GTI)があり、本研究では GTI を用いた設定基準の検討を行った。

設定基準に関する検討を行ったのは、使用カメラの種類と撮影アングルの2点についてである。まず、ハイビジョンカメラ及び遠赤外線カメラで観測を行い、同時に計測した ADCP<sup>2)</sup>の観測データと比較した。空間解像度が 0.07m/pixel を下回る地点の STI においては GTI が 0.2 以下となり流速を自動算出できた。図-2 及び図-3 では、ハイビジョンカメラの結果のみを示すが、使用カメラの種類に寄らず解像度の値が GTI 及び算出される流速に影響を及ぼすことが確認できた。また、UAV を利用して空中から撮影した画像を用いて同様の解析を行った結果、定在波等の存在から流速の自動算出は困難であった。これは GTI が 0.2 以上になるという結果にも現れていた。

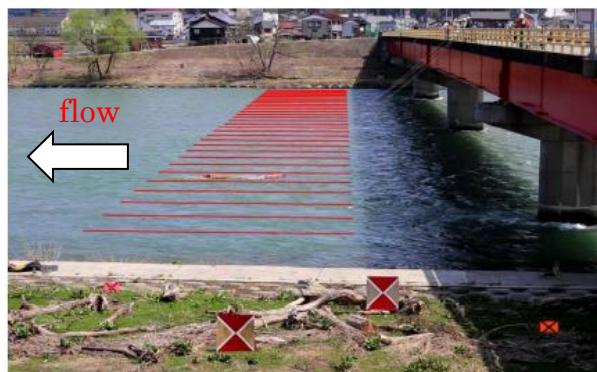


図-1 観測の様子 (ハイビジョンカメラ画像)

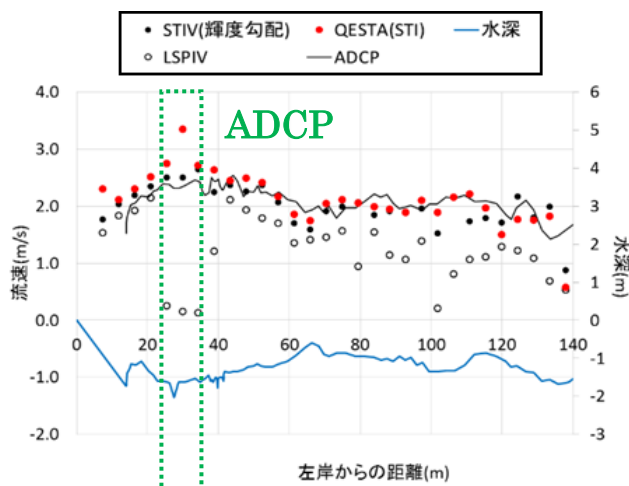


図-2 流速分布

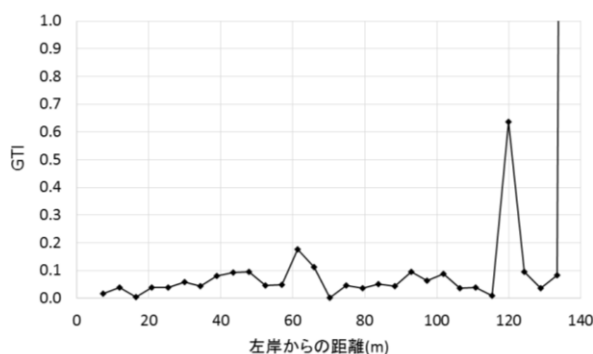


図-3 GTI 分布

### 3. リアルタイム計測

降雨と流量の変化をリアルタイムで観測する需要が高まってきている。本研究では高い圧縮効率で動画収集できるシステムと KU-STIV を組み合わせることで河川流速を準リアルタイムで計測できるシステムを構築し、実河川に適用した。図-4 に撮影画像及び検査線位置を、表-1 に生成された STI を示す。ここでは、システムが問題なく作動していることを確認できた。今後は洪水時でも観測できるようにカメラの設置位置等を再検討するべきである。



図-4 検査線の位置  
(都賀川：遠赤外線カメラ画像)

### 4. 海外での適用

KU-STIV は英語版も開発されており、各国の流量観測におけるニーズに応えることが期待されている。本研究では SATREPS という研究プログラムの一環で、ガーナにおいて KU-STIV を用いた流量観測を 3 地点で行った。Akwadum における流量観測の様子を図-5 に示す。図-6 に示すようにプロペラ式流速計と流量は±20%以内に収まる結果となった。アフリカ大陸にて画像解析による流量観測が行われたのは今回が初めてであり、現地の観測員に対して KU-STIV を用いた流量観測方法を伝授し使用することに成功したため、今後も KU-STIV の海外での普及に期待ができる。


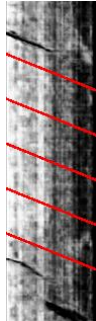
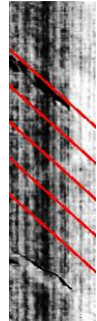
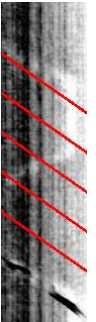
### 5. 結論

流速・流量観測での画像計測におけるカメラの種類や設置位置に対する設定基準を、GTI を用いて定めた。また、実河川において、河川流速及び流量を準リアルタイムで計測できるシステムが問題なく作動していることを確認できた。ガーナでは、現地測定員が KU-STIV を使用して流速及び流量を測定することに成功した。これは、KU-STIV の海外への普及において大きな成果といえる。これらの検討及び検証は、KU-STIV を流速・流量観測における画像計測の標準ソフトにする取り組みの一步となったであろう。

### 6. 参考文献

- 1) Fujita, Ichiro, Hideki Watanabe, and Ryota Tsubaki: Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: The space-time image velocimetry (STIV), International Journal of River Basin Management Volume 5, No 2 2007, p.105-114
- 2) 萬矢敦啓, 岡田将治, 橘田隆史, 深見和彦: 日本における ADCP を用いた高水流量観測手法, 河川流量観測の新時代, 2011.

表-1 リアルタイム計測結果

STI No.	1	2	3	4
流速(m/s)	0.994	1.319	0.429	0.547
STI				
縦(m)	2.33	2.33	2.18	2.14
横(秒)	21			

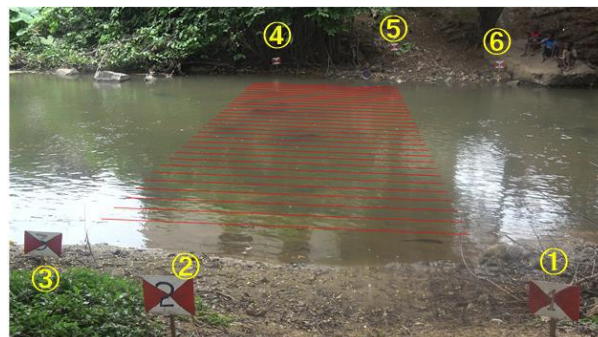


図-5 流量観測の様子  
(標定点及び検査線の位置)

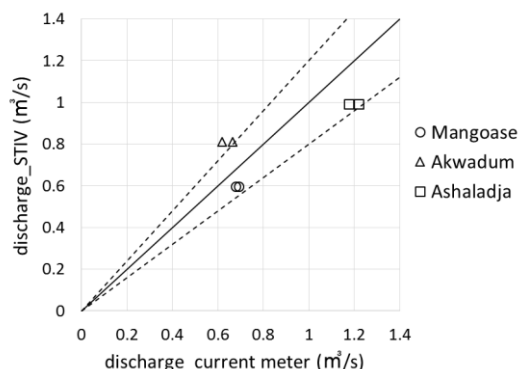


図-6 流量比較図



## 非静水圧を考慮した水路床非均一性による 水面形に関する研究

(株) 建設技術研究所 大阪本社 河川部 洪 尔超

### 1. 研究背景

底面形状が曲率を有する場合、非静水圧が流速分布に影響を与え、静水圧を仮定した基礎方程式では水面形を再現できない。本研究では、ピカールの逐次漸近法を用いた非静水圧を考慮した水面形方程式を提案し、鉛直二次元の実験結果との比較により、その提案式の妥当性を検証した。

### 2. ピカールの逐次近似法による流れ関数

ピカールの逐次近似法は極限としての初期値問題の解を逐次近似して求めている方法である。まず、初期値として水平速度は(1)式のように仮定している。

$$u_0(x, y) = \frac{q}{\eta(x) - z(x)} \quad (1)$$

ここに、 $\eta(x)$ は底面から水面までの高さで、 $z(x)$ は非均一性水路床高さを表している。 $q$ は単位幅流量である。また、ポテンシャル流において、水平速度 $u$ と鉛直速度 $v$ は(2)、(3)式を満足している。

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (2)$$

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (3)$$

$$\psi_n(x, y) = \int u_{n-1}(x, y) dy + y_{n-1}(x, y) \quad (4)$$

ここに、 $\phi$ は速度ポテンシャルであり、 $\psi$ は流れ関数である。境界条件として、水面の流線あるいは $y=\eta(x)$ の時、流れ関数 $\psi(x, y)=Q$ で、 $y=z(x)$ の時、流れ関数 $\psi(x, y)=0$ とする。

そして、初期値 $u_0$ を(4)式に代入して、境界条件を用いて、流れ関数を求めることができる。ピカールの逐次近似法により、 $n=1, 2, 3, \dots$ と大きくすると、流れ関数の次数が一次精度、二次精度と大きくなる。その上、導出した流れ場は、 $n$ が同じ階で非圧縮性流れの連続式に適用でき、 $n$ が大きければ、大きいほど、非回転性流れを満足する。具体的な逐次近似法のフローを図-1に示す。

図-1の中の流れAの繰り返し計算のフローを見ると、 $v(x, y)$ の計算部分と $u(x, y)$ の計算部分はそれぞれポテンシャルより与えられる関数(2)式から得る式である。すなわち、ピカールの逐次近似法はポテンシャルを解いている。

### 3. 水面形方程式の導出

非静水圧を考慮したベルヌーイの定理を(5)式に示す。

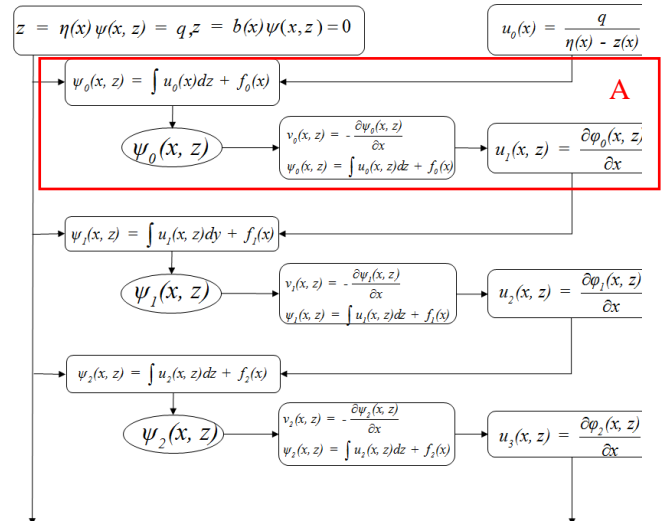


図-1 ピカールの逐次近似法流れ図

$$R = \frac{1}{2}(u^2 + v^2) + gz + \frac{P}{\rho} \quad (5)$$

ここで、圧力 $P$ は静水圧を仮定せずに、直接圧力としている。ピカールの逐次近似法により速度分布を(5)式に代入して、二乗までの項までの式にすることで、非静水圧の水面形方程式(6)式を導出する。

$$(1-R)h^2(x) + h(x)[z(x) + 2kh''(x) + 3kz''(x)] - kh'(x)^2 + 2kz'(x)^2 + 3k^2 = 0 \quad (6)$$

ここに、 $k$ は既知量 $Q^2/6g$ である。上流端の $R=1/2u_0^2+gh_0$ を(6)式に代入すると、 $h(x)$ に関する(7)式を得る。

$$h''(x) = \frac{1}{2h_0^2 q^2 h(x)} (6gh_0^3 - 6gh_0^2 h(x)^2 z(x) - 6gh_0^2 h(x)^3 + h_0^2 Q^2 h'(x)^2 - 3h_0^2 Q^2 h(x) z'(x) + 3Q^2 h(x)^2 - 3h_0^2 Q^2 z'(x)^2 - 3h_0^2 Q^2) \quad (7)$$

(7)式は4次Runge-Kutta法を用いて解くことができる。また、ピカールの逐次近似法により速度分布を用いることで、圧力 $P$ も計算できる。

### 4. 実験の検証と比較

提案式の妥当性検証のため、開水路実験を行う。実験条件は表-1に示す5caseとする。図-2に実験水路を示す。



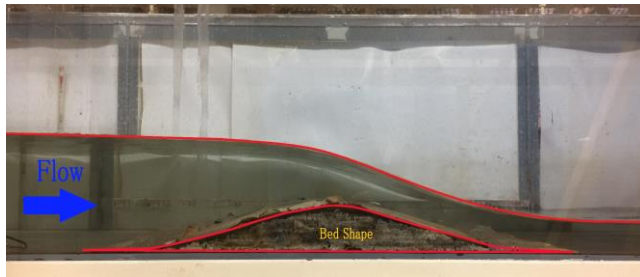


図-2 実験水路

表-1 実験条件

Case	流量 [L/min]	$F_r$	勾配: $i$	凸部の高さ $z_{mx}$ [cm]	粗度係数 [s/m <sup>1/3</sup> ]
1	1030	0.152	1/400	5	0.023
2	1450	0.180	1/400	5	0.023
3	1715	0.195	1/400	5	0.023
4	1450	0.196	1/400	3	0.023
5	1450	0.246	1/400	2	0.023

#### 4.1 水深の検証

図-3に実験水深と計算水深の比較を示す。case1からcase3は同じ底面形状( $z=5\text{Exp}[-x^2/256]$  cm)で、異なる流量による比較結果である。流量規模を変化させても、計算結果は実験結果を良好に再現している。

case2, case4, case5は同じ上流端流量条件で、底面凸部の高さが5cm, 3cm, 2cmと異なる比較結果である。底面形状を変化させても、計算結果は実験結果を良好に再現している。

#### 4.2 底面水圧

N.S.Sivakumaranらの実験<sup>1)</sup>による開水路(底面形状:凸部の高さ20 cm, 流量4032 L/min)で計測された圧力の結果と本研究で提案する(7)式の数値解による底面の圧力の比較を行う(図-4)。計算結果は実験結果を良好に再現している。

一方、静水圧を仮定した底面の圧力は実験結果を再現できていない。このことから、非均一な開水路床において、水圧は静水圧と仮定できず、非静水圧を考慮しなければならないことが分かる。

#### 5. まとめ

本研究において、非均一な開水路床における非静水圧を考慮した水面形方程式を提案した。また開水路実験を行い、提案した式の妥当性を検証した。

1)ピカール逐次漸近法による水面形方程式によって非均一な開水路床におけるポテンシャルフローの流れ場を計算することができた。

2) 提案した水面形方程式は、実験より得た常流から射流への遷移部を良好に再現できた。

今後の課題として、実務へ適用に向けて、河床形状の急変部や横断構造物周辺で発生する跳水現象を対象とした検討のため、エネルギー損失項を考慮した基礎計算式の改良が必要である。

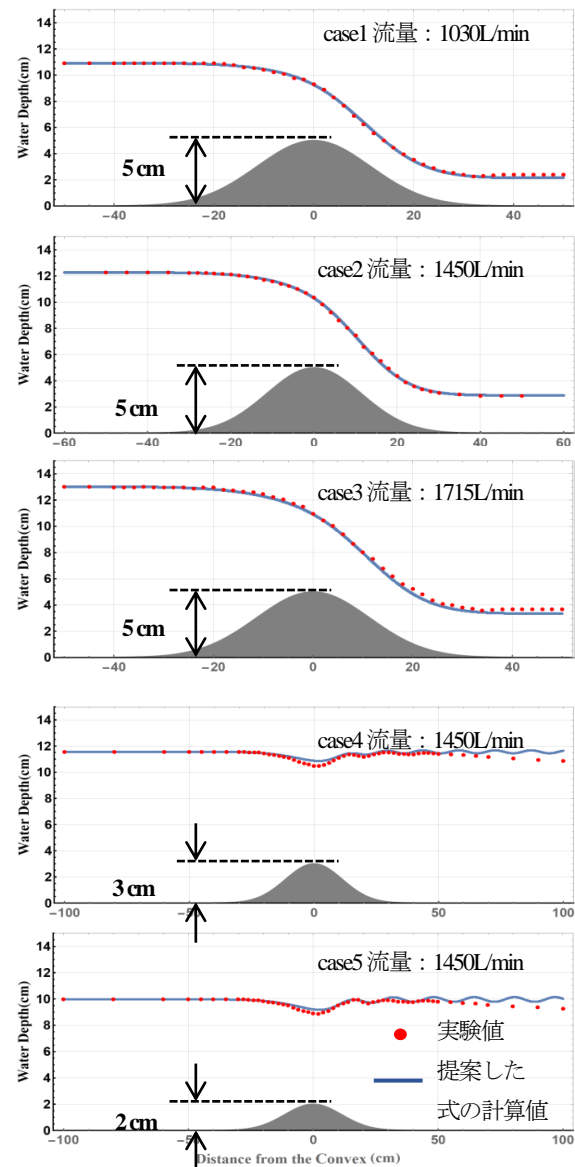


図-3 実験水深と計算水深の比較

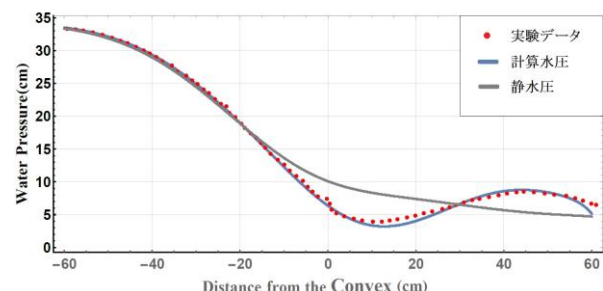


図-4 底面圧力の実験値と計算値の比較

#### 参考文献

- 1) N.S.SIVAKUMARAN, T.TINGSANCHALI AND R.J.HOSKING: Steady shallow flow over curved beds, J. Fluid Mech. (1983), Vol.128p. p. 469-487
- 2) 銭潮潮, 山田正: 2014, 開水路断面の不均一性に起因する不等流の水面形形成に関する基礎的研究, 水利科学, No.336.第58巻.第1号

## 「道の駅」の地域福祉機能がもたらす日常生活満足度の変化に関する分析

和歌山工業高等専門学校 ○ 湊 絵美  
和歌山工業高等専門学校 伊勢 昇

### 1. はじめに

現在、我が国では、「道の駅」による地方創生拠点の形成が進められつつあり、「道の駅」の基本コンセプト(休憩機能、情報発信機能、地域連携機能)に加えて、観光総合窓口、地方移住等促進、産業振興、地域福祉、防災など様々な機能が期待されている<sup>1)</sup>。しかしながら、既往研究の多くは、休憩機能<sup>2)</sup>、地域振興機能<sup>3)</sup>、防災機能<sup>4)</sup>に着目しており、地域福祉機能に関する知見の蓄積は十分とは言えない。

そこで、本研究では、地域福祉機能を備えた「道の駅」の導入によって日常生活満足度が変化する周辺地域住民の特徴を中心に分析することで、「道の駅」の地域福祉機能の必要性に関する定量的評価手法の確立に向けた基礎的知見を得ることを目的とする。

### 2. 対象「道の駅」の概要

本研究では、和歌山県九度山町の「柿の郷くどやま」を研究対象「道の駅」とした(図-1)。当該「道の駅」は、九度山町民へのアンケート調査結果<sup>5)</sup>に基づき、2014年4月26日に開駅した「道の駅」であり、地域福祉の向上が設置目的の1つとして位置付けられていることから、「道の駅」の基本コンセプトに加えて、買い物施設や食事施設、公園といった地域福祉機能を備えている。

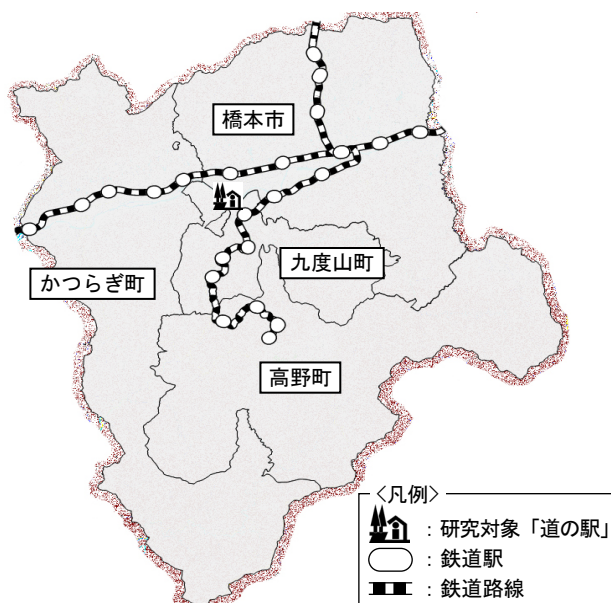


図-1 研究対象「道の駅」

### 3. アンケート調査の概要

本研究では、地域福祉機能を備えた「道の駅」の導入によって日常生活満足度が変化する周辺地域住民の特徴を把握するため、個人属性、周辺環境、「柿の郷くどやま」の利用実態、「柿の郷くどやま」の開駅による日常生活満足度の変化を主たる項目として、2016年10～12月に「柿の郷くどやま」の周辺地域(九度山町、橋本市、かつらぎ町、高野町(図-1))の住民にアンケート調査を実施した(配布世帯数:3,021世帯(6,042人)、回収世帯数:844世帯(1,336人))。

### 4. 「道の駅」の利用実態と日常生活満足度の変化に関する分析

#### 4.1 「道の駅」の利用実態

まず、「柿の郷くどやま」の利用頻度(全体)及び当該「道の駅」の地域福祉機能に該当する各施設の利用頻度について集計した(図-2)。その結果、周辺地域住民の約半数が当該「道の駅」を1か月に1日以上利用していることがわかる。また、各施設について見ると、1か月に1日以上利用している人の割合は、最も多い買い物施設で約40%であり、次いで、食事施設では約25%である一方で、公園については約6%とほとんど利用している人がいなかった。

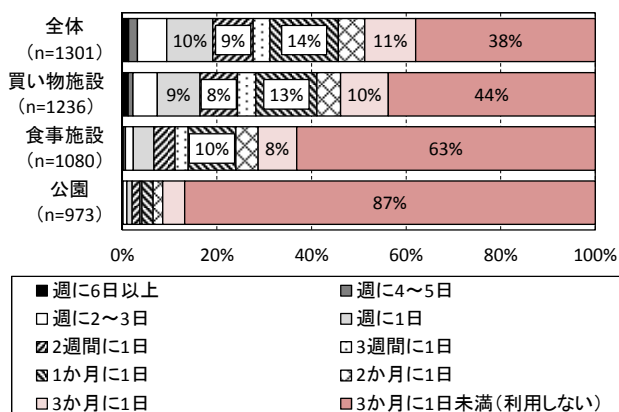


図-2 「道の駅」の利用実態

#### 4.2 「道の駅」の開駅による日常生活満足度の変化

次に、「柿の郷くどやま」の開駅による日常生活満足度の変化について分析した(図-3)。なお、本アンケート調査における日常生活満足度は、当該「道の駅」の開駅前後(二時

点)のそれぞれについて尋ねており、その選択肢は、「大変満足(2点)」、「少し満足(1点)」、「普通(0点)」、「少し不満(-1点)」、「大変不満(-2点)」の5段階である。図-3を見ると、23%の周辺地域住民の日常生活満足度が向上していることがわかる。

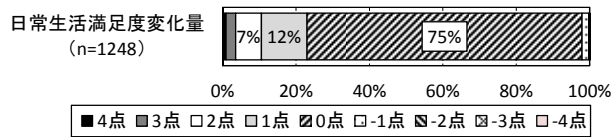


図-3 日常生活満足度変化量

## 5. 地域福祉機能を備えた「道の駅」の導入による日常生活満足度の変化に関する要因分析

### 5.1 本分析の概要

「柿の郷くどやま」に整備されている地域福祉機能に該当する施設(買い物施設、食事施設、公園)に着目した場合、それらの整備の組み合わせパターンは合計7つである(全く整備しないケースを除く)。ここでは、全ての施設が整備された「道の駅」の導入による日常生活満足度の変化に関する要因分析を行う。

要因分析の流れを示すと、第一に、個人属性や周辺環境に関する説明変数と日常生活満足度変化量(目的変数)との関係性について統計的検定を行う。第二に、統計的検定において有意性が認められた説明変数と日常生活満足度変化量(目的変数)に関するデータに重回帰モデルを適用する。

### 5.2 要因分析結果

モデル構築前の統計的検定において有意性が認められた変数は、表1に示す7変数である。

各変数の係数を見ると、女性、専業主婦(夫)、要介護1以下、12~20分の歩行が可能、自宅から「柿の郷くどやま」までの距離が短い、の係数がアイテム内において比較的高くなっていることがわかる。このことから、買い物施設や食事施設、公園が整備された「道の駅」の導入は、「道の駅」の近くに居住しており、かつ、中程度の身体機能を有する専業主婦の日常生活満足度の向上に対して比較的效果があると言える。また、自宅から最寄り鉄道駅までの距離が短い場合に日常生活満足度が高くなることが見て取れる。これについては、当該「道の駅」が鉄道駅から約900mの位置に立地しており、鉄道駅徒歩圏(800m)<sup>6)</sup>外ではあるものの、鉄道駅からの徒歩によるアクセス性が比較的に優れていることが一因として考えられる。さらに、当該「道の駅」と最寄り生鮮食料品店との位置関係も影響しており、最寄

り生鮮食料品店に行くよりも「道の駅」に行く方が近い場合に日常生活満足度が高くなる傾向にある。

表1 日常生活満足度の変化に関する要因分析結果

説明変数		標準 偏回帰係数	t 値
性別	男性	-0.042	-1.394
	女性	0	-
職業	専業主婦(夫)	0.058	1.933*
	専業主婦(夫)以外	0	-
介護認定	要介護1以下	0.037	1.331
	要介護2以上	0	-
歩行可能時間	9分程度以下 or 21分以上	-0.065	-2.354**
	12~20分	0	-
自宅から最寄り鉄道駅 までの距離	3km以下	0.055	1.927*
	3km以上	0	-
自宅から「柿の郷くどやま」までの距離(km) - 自宅から最寄り生鮮食料品店までの距離(km)		-0.133	-4.478***
自宅から「柿の郷く どやま」までの距離	500m以下	0.148	5.057***
	501m~1km	0.118	3.985***
	1km以上	0	-

\*\*\*:1%有意, \*\*:5%有意, \*:10%有意

サンプル数:1209, 重相関係数:0.2986, F値:14.6800\*\*\* (分散分析結果)

## 6. まとめ

本研究では、地域福祉機能(買い物施設、食事施設、公園)を備えた「道の駅」の導入によって日常生活満足度に変化する周辺地域住民の特徴を定量的に明らかにすることができた。今後は、その他の施設整備パターンについて同様の分析を行う必要がある。

## 謝辞

本アンケート調査の遂行にあたり、対象地域の住民の方々や本校の技術職員、本研究室の学生に多大な協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

## 参考文献

- 1) 国土交通省社会資本整備審議会道路分科会基本政策部会：道路が有する新たな価値の創造～「道の駅」による拠点の形成～，第47回基本政策部会配布資料(資料3)，2015。
- 2) 例えば、飯田克弘：利用者の評価・行動結果に基づく道の駅の基本施設・サービスのあり方に関する考察，都市計画論文集，Vol.35，pp.421-426，2000。
- 3) 例えば、大泉剛，安藤昭ほか：東北地方における道の駅の現況および地域振興効果の計測について，都市計画論文集，Vol.34，pp.487-492，1999。
- 4) 例えば、秋山聡，林隆史ほか：道の駅の防災機能に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.47，6pages，2013。
- 5) 九度山町：九度山町第IV次長期総合計画策定に係る九度山町町民アンケート調査報告書，2011。
- 6) 国土交通省都市局都市計画課：都市構造の評価に関するハンドブック，2014。



## 観光地における景観の分析と評価

大阪工業大学大学院 ○ 大崎 雄治

大阪工業大学 吉川 眞

### 1. はじめに

わが国は、豊かな自然、歴史、文化といった地域固有の景観資源を受け継ぎ、美しい都市空間を形成してきた。しかし、急速な経済成長や都市化の影響を受け、良好な景観の喪失などの問題が深刻化している。近年の成熟社会により、景観に対する国民の意識が高まりつつあり、地域固有の景観資源を意識した政策が行われている。したがって、地域の景観資源を知り、都市空間においてそれらの価値を定め、地域に新たな魅力や価値を創造していかなければならない。

一方、スマートデバイスの発達とソーシャルメディアの利用拡大により、位置情報にともなうデータが飛躍的に増大し、注目を浴びている。地域に新たな魅力や価値を創造するために、こうしたビッグデータを活用したまちづくりへの期待が高まっている。これらに関わる情報は、景観デザインに欠かせないものであり、都市をデザインする上でも重要である。

### 2. 研究の目的と方法

観光地において、魅力ある観光地域を向上するため、来訪者の行動に基づく検討や計画が不可欠である。ソーシャルメディアに投稿されるデータを活用することで、容易に来訪者の観光行動を読み解ける。そこで本研究は、観光地に訪れる来訪者の観光行動から景観の分析と評価することを目的としている。

本研究では、ソーシャルメディアから取得した時空間データをもとに観光行動に基づいた景観の分析と評価を試みている。具体的には、各来訪者が投稿するデータから回遊行動や来訪者が眺める景観対象を捉えた。これらの結果をもとに観光地における景観の分析と評価の一例を報告する。

### 3. 対象地

歴史的・文化的資産と自然環境が一体となった歴史的風土が保全され、さらに近年、観光客数が増加傾向にある奈良市を対象とした。奈良市は、東大寺、興福寺、春日大社の大寺社にくわえ、その門前町として栄えた歴史的町家が現存する。来訪者は、こうした観光名所にくわえ、ならま

ち、きたまち、高畑などさまざまなエリアを訪れていることが確認できた。そこで、これらを包含する全域を対象とした(図-1)。この全域は、「奈良町」と呼ばれ、江戸時代中期の奈良町絵図に描かれた区域全体である。本研究では、「奈良町」を各寺社、ならまち、きたまち、高畑などを含む古くからの市街地全域とし、この「奈良町」の範囲を対象地域とし、分析を展開している。

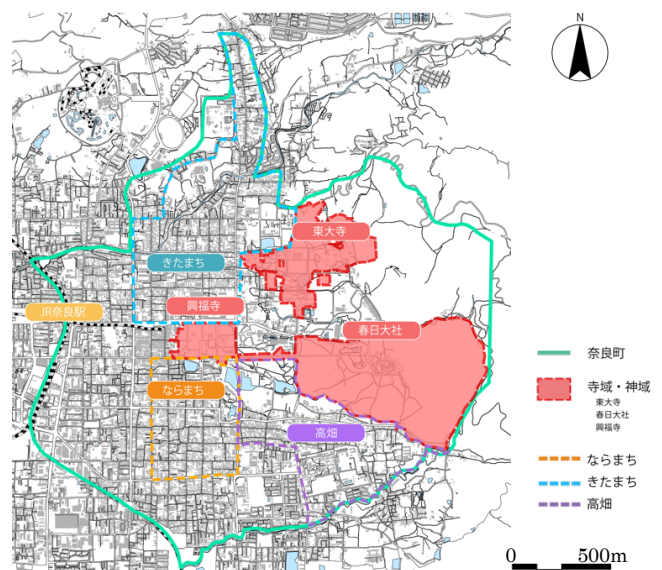


図-1 奈良町

### 4. データベースの構築

来訪者は、関心を持った対象に対してテキストや写真画像をソーシャルメディアへ投稿されることが少なくない。こうした投稿データから、位置情報と関連した多数の情報を抽出することが可能であり、来訪者の行動を把握することができる<sup>1)</sup>。本研究では、来訪者が投稿するデータから観光行動を捉え、Twitter と Flickr が公開している API (Application Programming Interface) から「テキスト」と「写真画像」のデータ取得を行っている。投稿データの取得期間は、Twitter と Flickr の両サイトから同時期に取得できる期間である、2016年2月1日から2017年1月31日までの1年間とした。Twitter ではサンプル数 32,614 ツイート、Flickr では、取得可能な全サンプル数 2,455 枚取得し、本研究では上記のサンプル数を用いて分析を行っている。



## 5. 景観分析

### (1) 被写体情報の抽出

投稿された写真画像は、主対象にくわえ、さまざまな空間要素で構成されている。こうした要素を把握することは、景観評価を行う上で不可欠である。そこで、画像認識から写真画像の被写体情報を抽出した(表-1)。本研究では、Microsoft 社が提供している API の一つである Computer Vision API を使用した。

表-1 Computer Vision API 解析結果


依水園
<u>Tagging Image</u>
"tree", "outdoor", "building", "grass", "water", "river", "nature", "plant", "surrounded", "garden"
<u>Categorizing Image</u>
"Plant_tree"

各エリア毎に、来訪者がどのような対象を撮影する傾向があるのかを捉えるため、Categorizing Image から取得した結果を用い、写真画像の特徴を把握した。例として、特徴があった「東大寺」、「奈良公園」、「ならまち」を挙げる(図-2)。各エリア毎の被写体の撮影傾向を確認すると、「東大寺」では、各伽藍や樹木などを被写体に捉え撮影する傾向がある。また、「奈良公園」では、主に樹木や花など緑を主対象として撮影する傾向がある。一方、「ならまち」では、建物を被写体に捉える傾向があり、とくに歴史的建築物を撮影している。

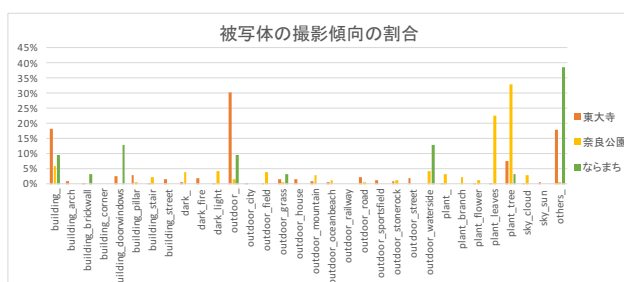


図-2 各エリア毎の被写体の撮影傾向

### (2) 利用ルート上の景観要素の抽出

観光客が眺める景観を把握するために、観光客の動きを詳細に知る必要がある。そこで、Twitter と Flickr で取得した時刻情報と発信位置から各ユーザ毎のルート推定を行った<sup>2)</sup>。結果より、複数のユーザは、東大寺参道入り口から南大門へ向かうルートを利用していることが確認できた。そこで、ルート上で撮影された景観要素の抽出を行った(図-3)。さらにジオタグ情報を用い、撮影された景観要素を特定し、実際に来訪者が眺める景観要素を抽出した。

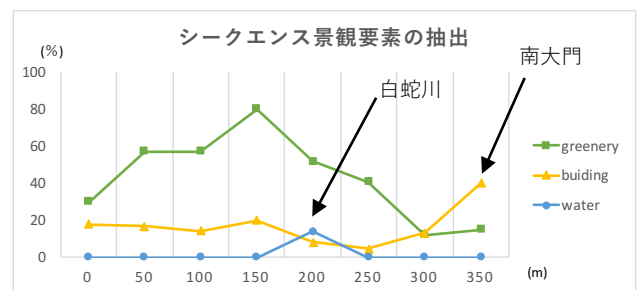


図-3 シーケンス景観要素の抽出

## 6. おわりに

本研究では、観光地に訪れる来訪者がソーシャルメディアに投稿するテキストと写真画像に着目し、ツイート投稿位置と写真撮影位置をもとに、来訪者が各エリアのどこに集積し、良好な視点場の把握を行った。また、取得した写真画像に対し画像認識 API 用い、写真画像内の要素や特徴を捉え、実際に来訪者が眺める景観要素を把握することができた。

今回は一例として南大門付近を通るユーザを対象とした分析しか行っていない。各ルート上で撮影される被写体を把握し、今後は、さらに範囲を拡大し、他のエリアにも展開する必要がある。さらに、精度ある評価指標を確立させるために、両サイトに投稿されるデータから総合的に分析を試みるつもりである。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 26350026 の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 竹村唯, 吉川眞, 田中一成: 地理情報技術を活用した観光地における緑の景観分析, 日本建築学会第 39 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp49-54
- 2) 大崎雄治, 吉川眞, 田中一成: 空間データを活用した参道空間の分析～古都・奈良を対象に～, 景観・デザイン研究講演集, No.12, pp347-350(CD), 2016

## 火災領域が合成桁橋の耐荷力に及ぼす影響

大阪工業大学大学院 高橋 佑介  
大阪工業大学 大山 理

### 1. 緒言

近年、橋梁において大小さまざまな火災による損傷事例が報告されている<sup>1)</sup>。国民生活や経済活動を支える橋梁を安心、安全ならびに恒久的に使用するためにも、鎮火後の橋梁の損傷状況や安全性を適確に診断することが求められている。しかし、文献1)などの被災度判定は材料試験の結果に準じて定められており構造物としての判定は含まれていないのが現状である。そこで、今後、構造物レベルでの被災度判定の規準を定める際の基礎的資料として、火災領域が合成桁橋の耐荷力に及ぼす影響について検討を行った。本文は、2 径間連続合成桁橋(支間 2@21.950m)を対象に、鎮火後の支間中央部における桁と下フランジプレートの継手部における耐荷力評価を行った結果について報告する。

### 2. 熱履歴を受けた各材料の力学特性

対象橋梁に用いられている SM490Y 材、継手部の摩擦接合高力ボルト(F10T)の力学特性を図-1 に示す<sup>2),3)</sup>。

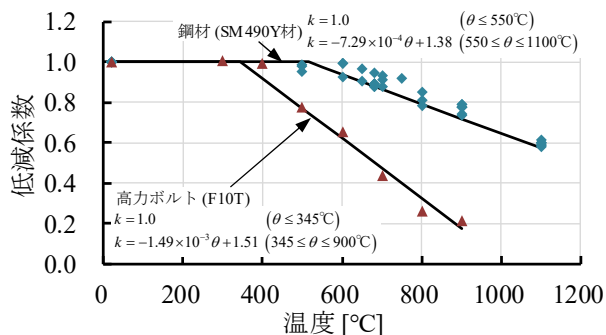


図-1 熱履歴を受けた各材料の力学特性(降伏強度)

同図より、加熱温度の上昇とともに各強度は低下し、SM490Y 材は 1100°C で約 40%、摩擦接合高力ボルトは 900°C で約 80% 低下することがわかる。本解析では図中に示している低減係数の推定式<sup>2)</sup>を用いて解析を行う。

### 3. 熱履歴を受けた合成桁橋の耐荷力評価

まず、熱履歴を受けた合成桁橋の耐荷力を算定するにあたって、各部材における受熱温度を把握するために熱伝導解析を行う。ここで、熱伝導解析は、汎用プログラム SOFiStiK を用い、火災曲線は、Eurocode<sup>4)</sup>を参考にした。本解析において、野焼きや不審火を想定した火災では、EX 曲線(最高温度 680°C)、タンクローリーの横転などを想定した火災では、HC 曲線(最高温度 1100°C)、EX 曲線および

HC 曲線と同様の温度上昇で、最高温度をそれぞれ仮に 500°C、900°C とした 4 種類を用いた。火災は、桁下直下で起きたと想定し、火災領域は、大規模被害(CASE1)として、鋼桁全面およびコンクリート床版下縁、中規模被害(CASE2)として、下フランジおよびウェブの 4 分の 3、小規模被害(CASE3)として、下フランジのみが火災に曝された場合について検討を行う。なお、火災の温度分布が不明確なことをふまえ、CASE2 では、仮定として、火災領域の一部分は最高温度の半分の火災温度として解析を行った。火災時間は過去の事例を参考に 60 分間とした<sup>1)</sup>。

つぎに、熱履歴を受けた合成桁橋の耐荷力評価を行う一つの指標として、米国橋梁設計規準である AASHTO の Load Rating を参考とする。ここで、AASHTO の Load Rating とは、既設橋の耐荷力評価を行う手法であり、その結果は、参照とする活荷重に対し、その何倍、耐荷力を有しているかを示す指標 Rating Factor (RF 値)で表される<sup>5)</sup>。

$$RF = \frac{C - DL}{LL} \quad (1)$$

ここに、C : 部材耐力、DL : 死荷重効果、LL : 活荷重効果である。式(1)より RF 値を算出し、RF 値が 1.0 以上であれば基準としている活荷重に対して安全であると言え、一方、1.0 以下の場合は活荷重に対して安全とは言えず、橋の補修、閉鎖などを施す必要がある。

#### (1) 熱伝導解析

本解析における解析モデルおよび火災領域を図-2、火災時間 60 分における合成桁断面内の温度分布を図-3 に示す。

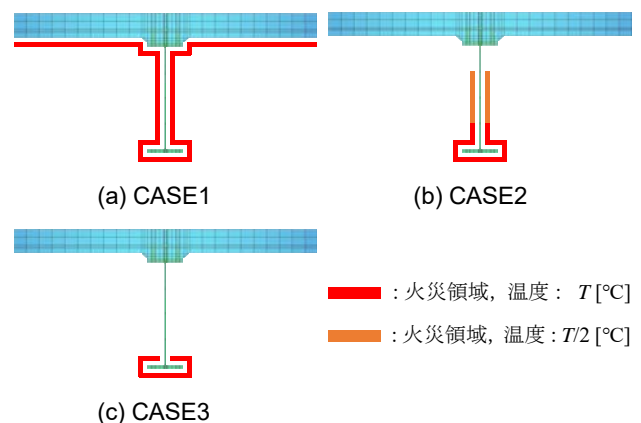


図-2 解析モデル

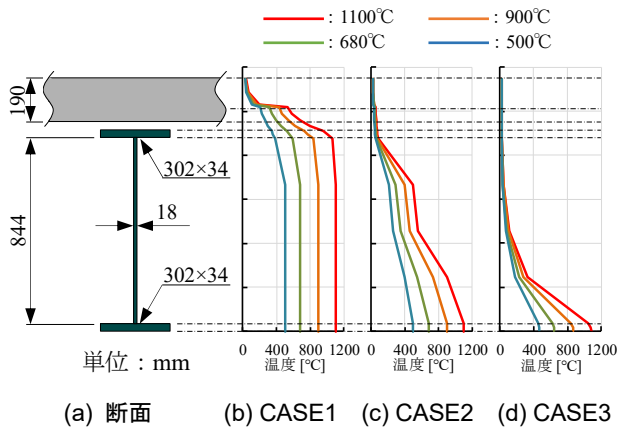


図-3 合成桁断面内の温度分布 (凡例の数値は最高温度)

図-3 より, CASE1 では, 鋼桁断面は最高温度に達しているのに対して, コンクリート床版は火災を受ける下面を除くと, 温度の上昇はほとんど見られない. 一方, CASE2 および CASE3 では火災領域から離れるにつれて温度の上昇はほとんどない結果となった. 以上より, 鋼桁は熱影響を受け易く, コンクリート床版は火災を受ける下面を除くと大半は温度上昇が見られない. したがって, 文献 6) を参考に, 桁の耐力を算出する際, コンクリート床版の熱影響範囲を床版下縁から 50mm とする.

## (2) 耐力評価

適切なずれ止めにより鋼圧縮フランジとコンクリート床版が一体化された合成桁橋は, 正の曲げモーメントを受けた際に, 全塑性状態までに達することができる. そこで, 本解析では, 熱履歴を受けても鋼とコンクリートは一体化が図られ, 火災時に桁の局部座屈が生じていないという仮定の下, 全塑性状態における 2 径間連続合成桁橋の支間中央部における桁と下フランジプレートの継手部の耐力評価を行う.

まず, 支間中央部の桁と下フランジプレートの継手部における耐力(常温時)および断面力を表-1 に示す. 式(1)より常温時における桁および継手部の  $RF$  値を算出し, CASE 毎に比較, 検討を行う.

表-1 耐力, 断面力

	支間中央部	継手部
耐力	7189 kNm	2419 kN
死荷重	669 kNm	315 kN
活荷重	1158 kNm	517 kN

つぎに, 各部材の受熱温度に対する低減係数(図-1)を用いて桁と継手部それぞれの耐力を算出し, 受熱温度と  $RF$  値の関係を図-4 に示す.

同図より, 桁は, CASE1, CASE2 ならびに CASE3 すべてにおいて 1100°C の熱影響を受けた場合,  $RF$  値が 1.0 以上となるため, 活荷重に対して安全であることがわかる.

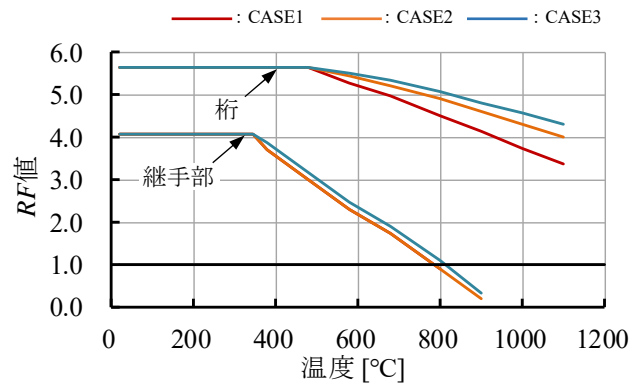


図-4 受熱温度と  $RF$  値の関係

一方, 継手部は, 熱影響による高力ボルトの強度低下により耐力が低下し, 約 800°C の熱に曝されると活荷重に対して安全ではない結果となった.

また, 桁は火災領域が耐力を変動させる主要因となるが, 下フランジプレートの継手部は, すべての CASE において直接熱に曝されるため, 当然のことながら, 火災領域による差異はほとんどないことがわかる.

## (3) 判定

火災領域の違いにより桁の  $RF$  値は異なるが, すべての CASE において制限値を満足している. 判定の一例として, タンクローリー車の横転などを想定した火災が発生した際でも, 本解析条件においては, 高力ボルトの取替えを行うことで通行可能の判断を下せると考えられる.

## 5. 結言

本研究では, 合成桁橋を対象に, 火災領域をパラメータとした熱伝導解析により受熱温度を把握し  $RF$  値による耐力評価を行った. その結果, 火災領域は桁の耐力を変動させる主要因となるが, 火災時に桁の局部座屈が生じていない条件下において, 火災領域によらず桁は活荷重に対して安全である. 一方, 下フランジプレートの継手部は, 火災領域によらず, 約 800°C の熱に曝されると活荷重に対して安全ではない結果が得られた. 今後の課題として, 実橋梁を想定した加熱試験を実施し, 温度分布を明確にするとともに, 解析値の妥当性を検証する必要がある.

### 【参考文献】

- (1) (公社)土木学会: 火災を受けた鋼橋の診断補修ガイドライン, 丸善(株), 2015 年 7 月.
- (2) 高橋佑介, 大山 理: 鋼材の加熱自然冷却後の常温時強度推定式の提案, 平成 29 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, I-14, 2017 年 5 月.
- (3) 古平章夫, 藤中英夫, 高田 司: 高力ボルトの高温時及び加熱冷却後の強度, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.117~118, 2000 年 9 月.
- (4) CEN: Eurocode1-Actions on structures Part 1.2: General actions-Actions on structures exposed to fire, prEN1991-1-2, 2002.11.
- (5) 奥井義昭: 鋼構造物のリダンダンシー検討小委員会活動概要と海外の動向, 第 17 回 鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, pp.15~20, 土木学会, 2014 年 8 月.
- (6) 今川雄亮, 竹原和夫, 柳楽英俊, 大山 理, 栗田章光: 鋼・コンクリート単純合成桁橋の耐火性能評価に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.1107~1116, 2007 年 3 月.

関西大学 ○八重垣 諒太  
関西大学 石川 敏之

— 382 —



対して、ボルト B1 および B2 によって主板から当て板に伝達された軸力の比をそれぞれ  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  として、次式を用いて算出する。

$$\eta_i = \frac{A_s E (\varepsilon_{i-1} - \varepsilon_i)}{P(1 - A_s/A_v)} \quad (1)$$

$\varepsilon_i$  : 実験により測定したひずみ( $i=1, 2$ ),  $\varepsilon_0$  : 無補強部のひずみ( $\varepsilon_0 = P/(EA_s)$ ),  $E$  : ヤング係数( $E=200\text{Gp}$ ),  $P$  : 載荷荷重,  $A_v$  : 主板と当て板の合成断面積,  $A_s$  : 主板の断面積

図-3 に載荷荷重  $P$  と  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  の関係を示す。図には、 $P$  と  $\eta (= \eta_1 + \eta_2)$  の関係も示している。主板と当て板が完全に合成されている場合、 $\eta$  の値は 1 になる。しかし、図-3 では、載荷初期の  $\eta$  の値が 0.8~0.9 程度であった。これは、主板の側面のひずみは、断面の平均ひずみよりも高くなるためであり、完全合成に達していないわけではない。

図-3(a) から、樹脂の充填がない場合、載荷初期では、 $\eta_1$  が  $\eta_2$  よりも高いため、ボルト B1 が B2 よりも軸力を伝達していることがわかる。ボルト B1 と B2 によって伝達された軸力の比  $\eta_1$  と  $\eta_2$  は、載荷荷重  $P$  が 200kN 程度に達するとほぼ同じ値となった。また載荷荷重  $P$  が大きくなると  $\eta$  の値が小さくなるため、すべり係数が低い試験体では、主板から当て板へ軸力が十分に伝達されなくなることがわかる。

図-3(b), (c) から、ボルト孔に樹脂を充填した場合も同様に、載荷初期では、 $\eta_1$  が  $\eta_2$  よりも高くなっており、荷重の増加と共に、両者の差が小さくなっている。一方、試験体によりばらつきはあるものの、ボルト孔に樹脂を充填することにより、樹脂がない場合と比べて、載荷荷重に関わらず  $\eta$  の値が常に大きくなっていることがわかる。したがって、すべり係数が低い場合、ボルト孔に樹脂を充填することにより、樹脂がない場合と比べて、樹脂の支圧効果によって主板の軸力をより当て板に伝達できると考える。

#### 4. まとめ

すべり係数が低い状態に対する高力ボルト摩擦接合による当て板補修に対して、ボルト孔に樹脂を充填することでその支圧効果により、樹脂がない場合と比べて、主板と当て板の相対変位が小さくなり、主板から当て板へより軸力が伝達されることが明らかになった。

#### 謝辞

本研究は科学研究費助成事業(16K06479)の助成を受けて実施した。本研究で用いた樹脂はショーボンド建設㈱の木田秀人氏に提供頂いた。ここに記して、謝意を示す。

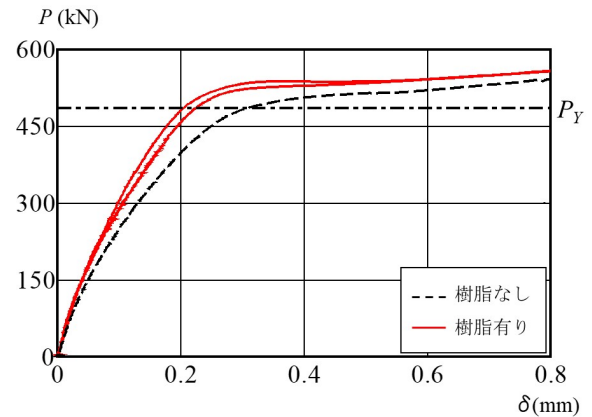
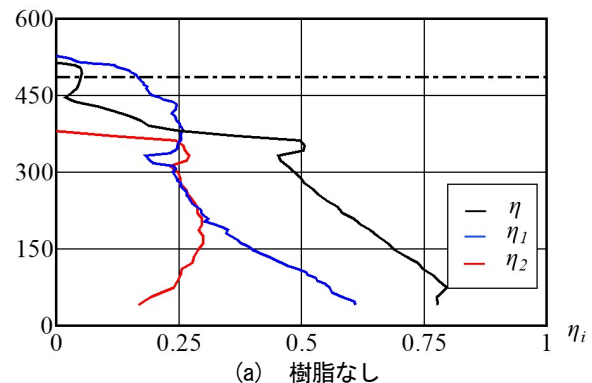
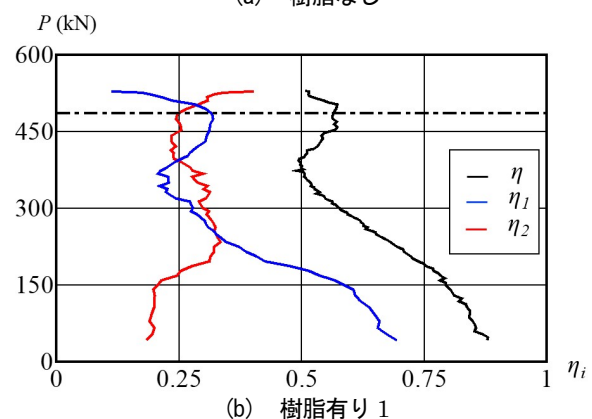


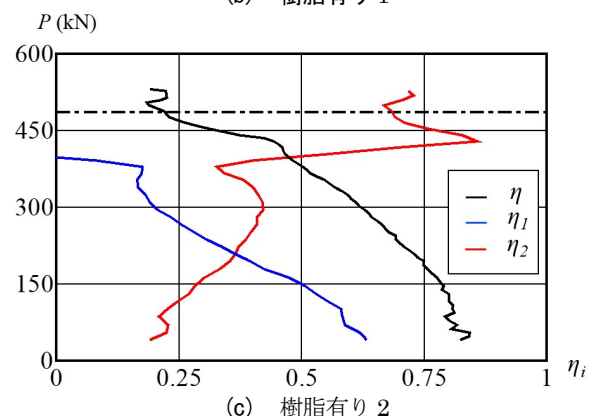
図-2 載荷荷重と主板と当て板端の相対変位の関係  
 $P$  (kN)



(a) 樹脂なし



(b) 樹脂有り 1



(c) 樹脂有り 2

図-3 載荷荷重と各ボルトによる軸力の伝達比

#### 参考文献

- 1) 川合幸三, 寺尾圭史 : 樹脂を注入した高力ボルト継手の支圧挙動に関する実験的研究, 土木学会第57回年次学術講演会概要集, I-124, pp.253-254, 2002.

### 3 重応答スペクトルを用いた RC 橋脚の耐震設計に関する一検討

大阪産業大学大学院 甲田 啓太

#### 1. はじめに

平成 7 年兵庫県南部地震での被災経験から、従来までの仕様設計に対して性能照査型設計の考え方が積極的に取り入れられており、許容できる塑性率の議論は対象とする構造物の耐震性を検討する上で非常に重要な要素となる。

既往の研究<sup>1)</sup>では必要強度と残留変位比の關係に着目し、周期特性の異なる地震動を使用してその分布特性を分析してきた。そして、耐震設計に関する簡易的な指標の作成を目的に、限られた特性を有する地震動を用い、暫定的に作成した図面から耐震性能の照査に対する考察を行ってきた。

本検討では、上記の内容より、非線形応答スペクトルのトリパートタイト表示<sup>2)</sup>から、固有周期を横軸として、強度や残留変位に関する複数の情報を読み取ることができる図面を作成する。そして、道路橋示方書耐震設計編(平成 24 年版)による残留変位の照査<sup>3)</sup>が 3 重応答スペクトルを用いて実施可能であることを示し、耐震設計に対する適応性と応用性を検討する。さらに、本図面から得られる結果と非線形応答解析結果による得られる結果との比較分析を加える。

#### 2. 解析の概要

本検討での非線形応答解析はすべて 1 自由度系により実施し、所定の塑性率へ収束させる。その際、目標塑性率を 2, 5, 8 の 3 種とし、単位質量で固有周期 $T$ は 0.1~5.0 秒の範囲で変化させた。また、数値積分は Newmark の  $\beta$  法( $\beta=1/6$ )を使用し、減衰定数は 5%，時間刻みは 0.001 秒とした。復元力特性には Masing 則に従うバイリニアモデルと骨格曲線がバイリニア型の Takeda モデル(除荷時剛性低下指数  $\alpha=0.5$ )の 2 種を用い、両者とも剛性比 $r$ は 0 とした。入力地震動は、既往の研究<sup>1)</sup>より、平成 7 年兵庫県南部地震 JMA 神戸 NS 成分(以下、神戸 NS)，平成 19 年新潟県中越沖地震 K-NET 柏崎 NS 成分(以下、柏崎 NS)，平成 23 年東北地方太平洋沖地震 K-NET 築館 NS 成分(以下、築館 NS)の 3 波を使用した。

#### 3. 非線形応答スペクトルのトリパートタイト表示

3 重応答スペクトルは一般に地震応答スペクトルに対して適用され、減衰力が微小であるという仮定のもと、固有周期等を介した各スペクトル間の関係式が存在している。

そして、両対数軸であるとき式(1),(2)に示す対数関数として表される。

$$\log S_a = \log p S_v - \{\log T - \log(2\pi)\} \quad (1)$$

$$\log S_d = \log p S_v + \{\log T - \log(2\pi)\} \quad (2)$$

ここに、 $S_a$ ：加速度応答スペクトル、 $p S_v$ ：擬似速度応答スペクトル、 $S_d$ ：変位応答スペクトルである。

トリパートタイト表示では、加速度と変位の軸線は 45 度の傾きを有している必要があり、これは、 $\log T - \log(2\pi)$ の項によって固有周期度に 45 度の傾きが生じるためである。

また、スペクトル間の関係式を降伏変位 $x_y$ に対して適用すると、式(3)のように、弾性固有周期を用いて降伏加速度 $a_y$ が算出され、必要強度と同義であるため、非線形に関連する諸量に対してトリパートタイト表示が可能となる。

$$a_y = (2\pi/T)^2 x_y = (k_1/m) x_y \quad (3)$$

#### 4. 耐震設計への適用

道路橋示方書では、慣性力作用位置の 100 分の 1 として定義される許容残留変位 $x_{Ra}$ と式(4)に示す設計残留変位 $x_R$ から、耐震性能 2 における残留変位の照査<sup>3)</sup>が行われており、設計残留変位が許容残留変位を上回らないことを規定している。

$$x_R = C_R(\mu_r - 1)(1 - r)x_y \quad (4)$$

ここに、 $C_R$ ：残留変位補正係数、 $\mu_r$ ：最大応答塑性率である。

残留変位補正係数は道路橋示方書に準拠すると 0.6 とし与えられ、剛性比は 0 とするため、設計残留変位は塑性率が定まっている場合、降伏変位に定数倍することで算出することが出来る。すなわち、固有周期度に得られる降伏変位のスペクトル形状を変化させないため、軸を追加させることで設計残留変位を読み取ることができる。同様の考え方は、非線形応答の簡便な評価法として知られる所要降伏震度に対しても適用でき、必要強度を重力加速度で除して得られるため、スペクトルに定数倍することで分析することが可能となる。

そのため、3 重応答スペクトルの軸にそれぞれ定数倍した目盛りを加えれば、一つのスペクトルから固有周期を横軸として、強度に対する変位や残留変位に関する諸量を分析することが可能となる。したがって、その他のスペクトル

ルに対しても応用できる可能性がある。

図-1 に、Takeda モデルでの非線形応答スペクトルをトリパートタイプ表示させ、表-1 における3種のRC橋脚の固有周期と同時に示す。各地震動ごとにスペクトルの卓越は大きく異なり、塑性率2に着目すると橋脚1及び2では神戸NSの必要強度が大きい、橋脚3では築館NSが最大となっている。また、疑似降伏速度は塑性率が大きくなるほど短周期側に卓越周期が移行しており、構造物の非線形性によって共振現象の影響を大きく受ける固有周期が変化することが読み取れる。

続いて、残留変位の照査により耐震設計への適応性を検討する。表-1 より慣性力作用位置の情報から、各橋脚の許容残留変位は順に、135mm、105mm、75mmとなる。ここで、神戸NSを例として、図-1 から読み取れる設計残留変位を表-2 に示す。設計残留変位と許容残留変位を比較すると、橋脚1及び3では全塑性率で耐震性能2における残留変位の照査を満足しているが、橋脚2では塑性率8において設計残留変位が許容値を超えたため、許容塑性率に8を設定すると耐震性能2を満足できない結果が得られた。

上記のように図-1 を使用して、耐震性能2における残留変位の照査が簡易的に実施可能であることが分かる。そこで、図-2 に神戸NSで塑性率2を例として、図-1 より得られる結果と非線形応答解析結果により得られる残留変位を重ねて示す。Takeda モデルを用いた場合には、設計残留変位が非線形応答解析結果を上回っており、全体的に安全側の解を与えていることが分かる。しかし、過剰に大きく評価している固有周期も存在しており、橋脚の断面等を過大に評価する可能性がある。

## 5. まとめ

耐震設計に関する簡易的な指標の作成を目的に、3重応答スペクトルを利用することで、その図面の耐震設計に対する適応性と応用性を検討した。非線形応答スペクトルのトリパートタイプ表示によって、ある固有周期における複数の諸量を一度に推定でき、慣性力作用位置の情報があれば、残留変位の照査が実施できるなど、現行の耐震設計との適応性も良いため、設計業務の複雑性を低減できると考えられる。

しかし、得られる設計残留変位は非線形応答解析結果と比較して、過剰に安全側の解を与える可能性もあるため、この点は今後の課題として挙げられる。

謝辞：入力地震動に関して、気象庁及び国立研究開発法人防災科学技術研究所の観測波形を使用させて頂きました。

表-1 各橋脚の固有周期と慣性力作用位置

	固有周期(s)	慣性力作用位置(mm)
橋脚1	0.62	13500
橋脚2	0.46	10500
橋脚3	0.28	7500

表-2 設計残留変位(mm)

	$\mu=2$	$\mu=5$	$\mu=8$
橋脚1	51	80	87
橋脚2	42	89	129
橋脚3	14	40	62

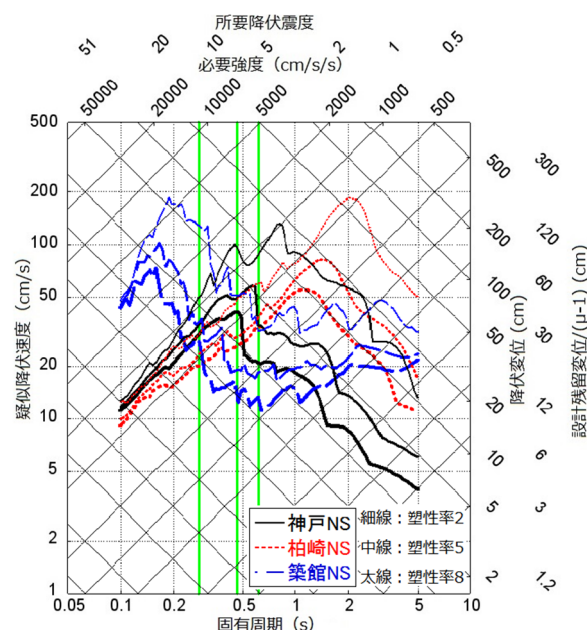


図-1 3重応答スペクトル

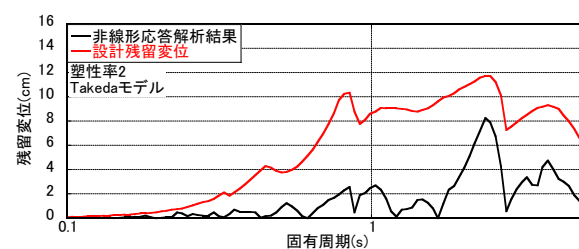


図-2 非線形応答解析結果と設計残留変位

ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 甲田啓太，山下典彦，宮脇幸治郎：RC橋脚の耐震設計に3重応答スペクトルを用いた一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.2，pp.697-702，2017.
- 2) Blume J.A., Newmark N.M. and Corning L.H.：Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions，Portland Cement Association，pp.1-16，1961.
- 3) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善出版，pp.100-103，2012.

## 簡易ツールによる疲労き裂の進展抑制工法の開発

関西大学 ○松原 由典

関西大学 石川 敏之

### 1. はじめに

現在、重交通路線を中心に、鋼橋に多数の疲労き裂が発生していることが報告されている。点検により疲労き裂を発見してから補修するまでに時間を要する場合、疲労き裂が進展しているケースや、新たに疲労き裂が発見されるケースがある。そのため磁粉探傷などのき裂の有無の確認や、通常の点検の際に、特別な装置を必要とせず簡単に疲労き裂の進展が抑制できる工法が望まれている。これまで、疲労き裂の簡易的な補修方法として衝撃き裂閉口処理(ICR処理)<sup>1)</sup>が提案されているが、ICR処理はエアーコンプレッサーやエアーツールの準備が必要であるため、通常の点検の際には利用することができない。

このような背景から、通常の点検の際に容易に施工できる簡易補修法として、先端を加工したオートポンチによってき裂表面を閉口させてき裂の進展を一時的に抑制する工法を提案する。オートポンチは、電力を必要としない手のひらサイズの小型の工具なので、現場で容易に施工を行うことが可能である。本研究では、オートポンチを用いたき裂閉口によるき裂進展の抑制効果および疲労強度向上効果を、板曲げ疲労試験により明らかにする。

### 2. 試験体と疲労試験方法

本研究で用いた面外ガセット溶接継手試験体とひずみの計測位置を図-1に示す。板厚 12mm、幅 200mm の主板 ( $\sigma_f=434\text{N/mm}^2$ ) に板厚 12mm、高さ 100mm のガセットプレートが、下向きで半自動  $\text{CO}_2$  ガスシールドアーク溶接されている。すみ肉溶接は等脚長の 6mm としている。

疲労試験には、図-1に示す板曲げ振動試験機を用い、バネを押し下げて応力比を  $R=0$  として疲労試験を行った。本試験では、繰り返し板曲げを与えた時のひずみを図-1に示すゲージ B と C の値の平均値から求めた応力範囲を公称応力範囲と定義した。本研究では、溶接止端に貼付けた被覆銅線( $\phi 0.05\text{mm}$ )が、まわし溶接部からの疲労き裂の発生で切断了時の繰返し回数を  $N_{\text{toe}}$  とし、疲労き裂が溶接止端から離れて主板を 10mm 進展した段階( $N_{10}$ )で疲労試験を終了した。

試験体としては、溶接したままの試験体(AW)、溶接止端から疲労き裂が発生した段階( $N_{\text{toe}}$ )でバネを除荷しない状態

(平均応力状態)で、溶接止端近傍の主板を叩いてき裂を閉口させた試験体( $N_{\text{toe}}+\text{P}(\text{preloading})$ )、 $N_{\text{toe}}$  でバネを解放して無応力状態でき裂を閉口した試験体( $N_{\text{toe}}+\text{P}$ )、溶接したままの状態に溶接止端にオートポンチで打撃した試験体(AW+P)を準備した。疲労き裂の閉口処理によるき裂進展抑制効果は、き裂閉口処理を行う際の応力状態の影響を受けるので、試験体試験体  $N_{\text{toe}}+\text{P}$  よりも試験体( $N_{\text{toe}}+\text{P}(\text{preloading})$ )の方がき裂の進展抑制効果が高いと考えられる。

### 3. オートポンチの打撃により導入される圧縮ひずみ

オートポンチの打撃により導入される圧縮ひずみを確認するために、試験体 AW+P、 $N_{\text{toe}}+\text{P}$  のオートポンチによる打撃の際に計測した、ゲージ A(図-1 参照)のひずみの変動を図-2に示す。ひずみの大幅な変動の回数からもわかるように、試験体 AW+P では、溶接止端近傍の主板を 2 往復、試験体  $N_{\text{toe}}+\text{P}$  ではき裂の近傍の主板を 3 往復打撃している。図-2 から、一往復の打撃で、圧縮ひずみの 5~7 割程度が

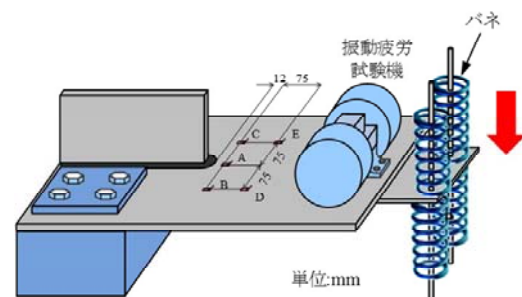


図-1 面外ガセット溶接継手の疲労試験

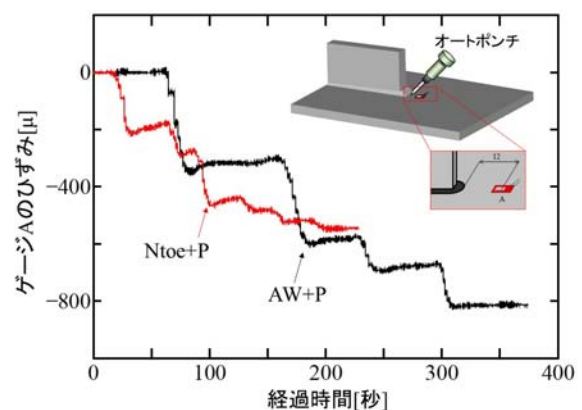


図-2 閉口処理中のひずみの変動



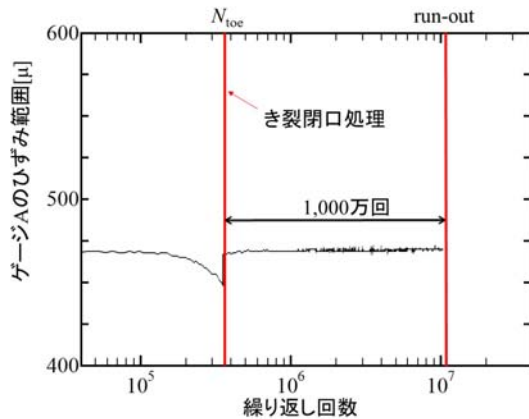


図-3 ひずみ範囲と繰返し回数の関係 ( $N_{toe}+P(\text{preloading})$ )

導入されていることがわかる。試験体 AW+P では、オートポンチによりひずみゲージ A に  $-800\mu$  程度の圧縮ひずみが導入され、試験体  $N_{toe}+P$  でも、 $-500\mu$  程度の圧縮ひずみが導入されているのでき裂が閉口していると考えられる。

#### 4. 疲労試験結果

一例として、試験体  $N_{toe}+P(\text{preloading})$  のひずみゲージ A のひずみ範囲と繰返し回数の関係を図-3 に示す。 $N_{toe}$  の疲労き裂の導入によって、ひずみ範囲が低下していることがわかる。 $N_{toe}$  の疲労き裂をオートポンチで閉口することにより、ひずみ範囲が再びき裂発生前と同程度に回復している。図-3 に示すように、試験体  $N_{toe}+P(\text{preloading})$  では、き裂閉口後、 $\Delta\sigma=60\text{MPa}$  を 1,000 万回繰返し载荷してもひずみ範囲に変動が見られなかったため run-out とした。

図-4 に、疲労強度  $N_{10}$  に対する、各疲労試験の結果の S-N 関係を示す。繰返し回数は、オートポンチを施工してからの繰返し回数を示している。図では、本研究の試験体と同寸法疲労試験結果<sup>2)</sup>もプロットしている。試験体 AW の結果は、文献 2) の結果と同程度の疲労強度であった。

試験体  $N_{toe}+P(\text{preloading})$  では、 $\Delta\sigma=60\text{MPa}$  で run-out した後、応力範囲を  $\Delta\sigma=80\text{MPa}$  として疲労試験を行った結果、約 670 万回の繰返し回数で溶接ルート部から疲労き裂が発生した。ルート部から発生した疲労き裂に対して、平均応力の状態で、き裂の両側面と直上をそれぞれ 2, 3 往復オートポンチで打撃して疲労き裂を閉口し、再び疲労試験を実施したところ、き裂閉口後 1,000 万回繰返し载荷しても溶接止端およびルート部のき裂に進展が見られなかった。このように、平均応力で疲労き裂をオートポンチによって閉口することにより疲労寿命を大幅に遅延できた。

試験体 AW+P も同様に、 $\Delta\sigma=60\text{MPa}$  で 1,000 万回繰返しでもき裂が発生しなかったため、run-out として、応力範囲

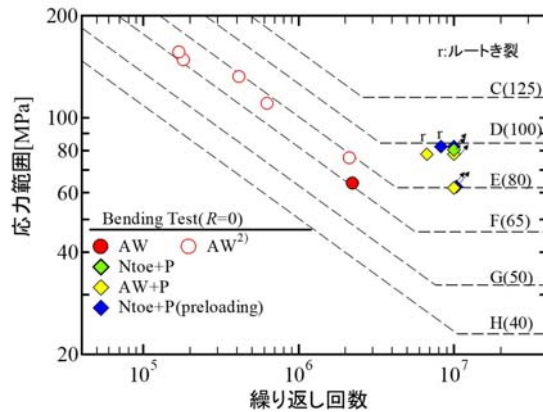


図-4 疲労試験結果

を  $\Delta\sigma=80\text{MPa}$  として疲労試験を行った結果、約 610 万回でルート部からき裂が発生した。バネを解放して無応力状態でルートき裂を閉口し疲労試験を再開したところ、1,000 万回繰返し载荷してもルート部のき裂に進展が見られなかった。したがって、 $\Delta\sigma=80\text{MPa}$  では、無応力状態で疲労き裂を閉口した場合でも、疲労寿命の延命効果が高かった。

試験体  $N_{toe}+P$  でも、 $\Delta\sigma=80\text{MPa}$  で 1,000 万回繰返し载荷してもひずみ範囲に変動が見られなかったため run-out とした。溶接止端に発生した  $N_{toe}$  程度の疲労き裂に対しては、無応力状態でき裂を閉口しても、疲労寿命が延命化できた。

#### 5. まとめ

本研究では、オートポンチを用いた簡易ツールによる疲労き裂の進展抑制工法を提案し、その効果を板曲げ疲労試験により明らかにした。本研究の条件の範囲内に対する主な結論を以下に示す。

- 1) オートポンチによる打撃によって比較的小さなき裂は閉口できることを示した。
- 2) 溶接止端から発生した疲労き裂、ルート部から発生した疲労き裂を、オートポンチによる打撃によって閉口することで、疲労寿命を大幅に延命することができた。
- 3) 溶接ままの状態でもオートポンチによる打撃を行うことで、疲労強度が大幅に向上した。

#### 参考文献

- 1) 石川敏之, 山田健太郎, 柿市拓巳, 李薈: ICR 処理による面外ガセット溶接継手に発生した疲労き裂の寿命向上効果, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.2, pp.264-272, 2010.
- 2) 判治 剛, 穴見健吾: 止端処理による溶接継手の疲労強度改善効果とその鋼材強度依存性, 構造工学論文集, Vol.63A, pp.646-658, 2017.

## 河道の弯曲と堰湛水の影響を受ける河川合流部における 水制による河床変動制御に関する研究

明石工業高等専門学校 建築・都市システム工学専攻2年 久保裕基

### 1. はじめに

加古川は、兵庫県を流れる流路延長 96km、流域面積 1,730km<sup>2</sup> の一級河川であり、河口から 15.8km 付近で美濃川が合流している(図-1)。同河川では、平成元年に治水・利水を目的とした加古川大堰の建設や河道改修が行われた。その影響により近年では合流部右岸側において砂州が固定・肥大化し、滞筋が偏向・固定化するという諸問題が生じている(図-1)。これを踏まえ現地河道では、砂州をフラッシュさせる目的として水制を設置するといった対策が講じられており、検討も行われている。既報<sup>1)</sup>の研究より平面 2 次元の河床変動解析の結果は、水制周辺部の河床変動を除いて実験結果と概ね良好に一致したとなった。この結果を受け、本研究では 3 次元的な流れが生じる水制周辺部の河床変動解析を行うため 3 次元解析を行う。また、模型実験の結果と比較を行うことにより水制の形状による河床変動制御の検討を行う。本報では越流型と非越流型の水制での河床変動制御の検討を行う。

### 2. 模型実験及び数値解析の概要

実験では、模型の縮尺を 1/250 として現地河道をモデル化している。実験水路は、図-2 に示すように、長さ 8m、幅 0.8m の本川に幅 0.48m の支川が  $X=2.83\text{m}$  の地点で本川に直角に合流したものであり、水路勾配は現地河道に合わせて 1/850 としている。支川の落差工として 0.108m の板を合流前 0.45m の位置に設置した。また、水路下流部には高さの調節が可能な堰板を設置し、大堰の操作による湛水効果を模擬した。先行研究<sup>1)</sup>にて越流が確認されたものを不透過越流水制、高さを十分に取って越流しないように作成したものを不透過非越流水制とした。越流水制は、厚さ 5mm のアクリル板を重ねたもので、最大幅 0.06m、最大長さ 0.2m、高さ 0.025m である(図-3)。非越流水制は、幅 0.06m、長さ 0.2m、高さ 0.14m のボックス型である。これらのいずれかを左岸合流部上端から 0.12m 上流に設置した。移動床実験では河床材料は平均粒径 1.3mm、土粒子密度 1.47g/cm<sup>3</sup> の石炭粉を使用し、水路に 0.1m の厚さで平坦に敷きつめた状態を初期条件とした。

数値解析には、iRIC 研究会(International River Interface Corporative)によって開発され、インターネット上で公開



図-1 現地概要図

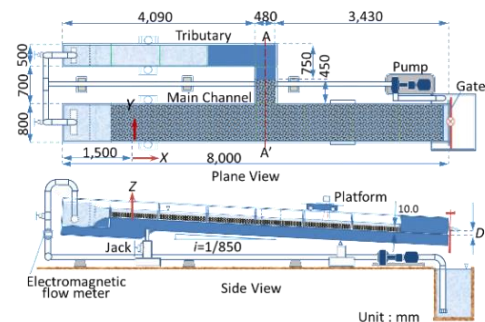


図-2 模型水路及び水制工概要図

されている汎用ソルバーの NaysCUBE (3 次元) を用いた。基礎式は、流れの連続式と運動方程式及び流砂の連続式であり、流れの乱流モデルとしては、 $k-\varepsilon$  方程式を用いている。NaysCUBE は、デカルト座標系の基礎式を移動一般座標系の基礎式 (1) ~ (4) に変換してプログラムが構成されている。本解析モデルを用いて、実験水路と同様のスケールで水制周辺の格子を生成した。境界条件としては、本川及び支川の上流端で流量を与え、本川下流端の水位は、堰高と限界水深の和で与えている。また、粗度係数は  $n=0.018$  とし、河床材料は、実験と同じ石炭粉としている。ここで、 $P$ : 圧力、 $\nu$ : 動粘性係数、 $\rho$ : 流体の密度、 $k$ : 乱れエネルギー、 $\varepsilon$ : 乱れエネルギー散逸率、 $\xi$ : 一般曲線座標、 $V^i$ : 流速ベクトルの反変成分、 $F^i$ : 重力加速度の反変成分、 $\nabla_i$ : 共変成分、 $W^i$ : 格子移動速度、 $\nu_i$ : 渦動粘性係数、 $Z_b$ : 河床高  $\mu\text{e}$ : 動摩擦係数、 $q_{BS}$ : 流線方向の掃流砂量、 $\tau^*$ : 無次元掃流力、 $\tau_c^*$ : 無次元限界掃流力、 $\sigma$ : 河床材料の密度を示している。

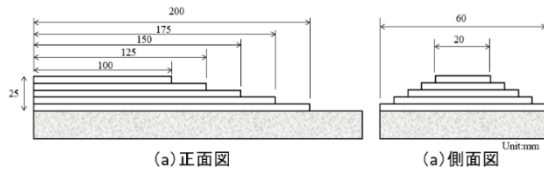


図-3 越流水制緒元

表-1 実験及び解析条件

Case番号	通水時間 T(hr)	本川流量 Q <sub>M</sub> (L/s)	支川流量 Q <sub>T</sub> (L/s)	流量比 λ (Q <sub>T</sub> /Q <sub>M</sub> )	水制工
Case1	1.0	5.0	1.0	0.2	越流型
Case2					非越流型

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial V^{\alpha} \sqrt{g}}{\partial \zeta^{\alpha}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V^t}{\partial t} + \nabla_j [V^i (V^j - W^j)] + V^i \nabla_j W^j + V^i \nabla_j W^i = F^i - \frac{1}{\rho} g^{ij} \nabla_j p + \nabla_j [-\overline{v^i v^j}] + 2\nu \nabla_j e^{ij} \quad (2)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \nabla_j [k (V^j - W^j)] + k \nabla_j W^j = -g_{ij} \overline{v^i v^j} \nabla_j V^i - \varepsilon + \nabla_j \left\{ \left( \frac{V_t}{\sigma_k} + \nu \right) g^{ij} \nabla_j k \right\} \quad (3)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \nabla_j [\varepsilon (V^j - W^j)] + \varepsilon \nabla_j W^j = -C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} g_{il} \overline{v^i v^j} \nabla_j V^i - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \nabla_j \left\{ \left( \frac{V_t}{\sigma_k} + \nu \right) g^{ij} \nabla_j \varepsilon \right\} \quad (4)$$

### 3. 結果及び考察

模型実験における河床変動量を図-4に示し、表面流速ベクトルを図-5、3次元解析による非越流水制周辺の流速(上段:鉛直方向の流速分布及び水深、下段:表面流速)を図-6に示す。

河床変動量及び流速を比較すると、水制による水捌ね効果が確認され最大流速が右岸側へ偏向されている。それに伴い最大流速が発生した区間において河床低下が生じており、水制の上流側面及び先端では、既往の研究にみられるような二次流による馬蹄形の局所洗掘穴が発達している。支川流入による流れの混合域も右岸側にシフトし、合流部下流の右岸側壁に沿って河床が低下している。

非越流水制に関しては、越流水制と比較して流れが完全に偏向されるため水捌ね効果が大きくなり右岸で流速が増大した結果、河床低下量も増大している。また、水制により局所的な堰上げ背水が発生する影響(図-6)により水制上流側での流速及び河床変動量が低下している。

水制下流側面には上流側面にて洗掘された河床材料が支川の流れに沿うように堆積域を形成しており、越流水制での実験結果より顕著に表れているのが確認できる。この結果は越流水制で生じる2次流より、非越流水制の上流側面で生じる2次流の影響が大きく、馬蹄形洗掘が大きくなったことに由来するものと考えられる。

以上より、非越流水制は砂州のフラッシュ効果が大きく見込まれるが安定性を確保するために転倒防止等の対策が必要であると考えられる。

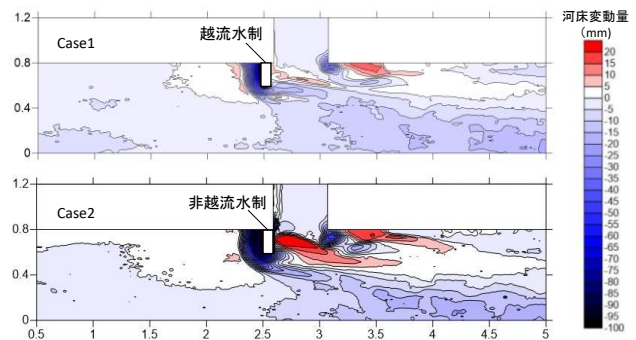


図-4 河床変動量コンター図

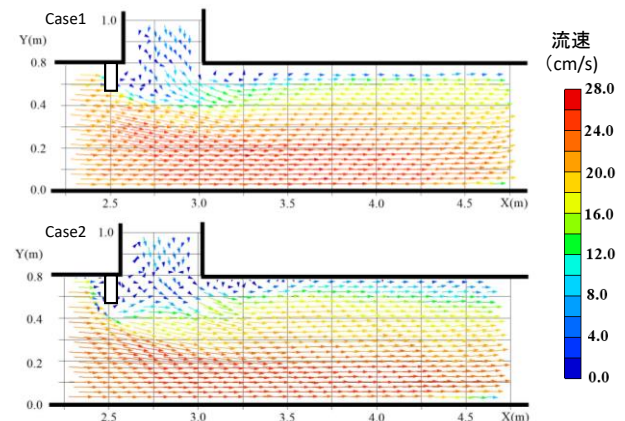


図-5 表面流速ベクトル図

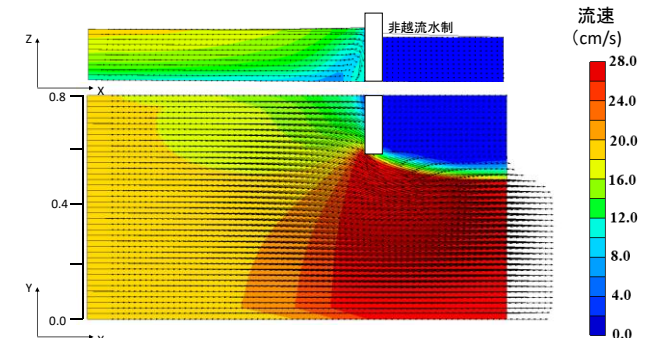


図-6 3次元解析による水制周辺の流速分布

### 4. おわりに

本報では、非越流・越流型の水制工周辺の流れ及び河床変動特性について模型実験及び3次元解析を用いて考察を行った。今後は本実験や数値解析で得られた結果を踏まえ、堰湛水の影響を受ける合流部での水制工による適切な河床変動制御法の検討を行う所存である。

### 【参考文献】

- 1) 高田翔也, 神田 佳一, 道奥康治, 久保裕基, 岡本吉弘: 上流の河道形状と堰湛水の影響を受ける合流部の河床変動とその制御に関する研究, 平成28年度 水工学論文集, 第61巻, 2017
- 2) iRIC 研究会: iRIC 講習会テキスト in KANSAI, 2013



## 大気からの重金属の降下特性に関する基礎的研究

大阪府立大学大学院 ○吉廻翔揮 櫻井伸治 堀野治彦 中桐貴生

### 1. はじめに

大気降下物中には微量であるものの様々な重金属が含まれており、成分によっては陸域や水域における環境に悪影響を与える可能性があるため、大気由来の物質が与える陸域や水域への負荷は無視できるものではない。大気・水環境の保全上、大気降下物のように常時流入負荷となる要素に関しては、長期間のモニタリングが必要であるが、その実態についての知見はあまり多くない。本研究では大阪府堺市において大気降下物を採取し、降雨イベント内や降雨イベントごとにおける負荷量の変動特性や湿性・乾性降下物の負荷量の季節変化について考察した。さらに、重金属同士や重金属と無機イオンの相関の有無を抽出し、各物質間の相互関係から重金属の化学形態の推定も試みた。

### 2. 研究方法

大阪府堺市(大阪府立大学中百舌鳥キャンパス 4 階建学舎屋上)にて、湿性降下物(降雨に付随する降下物質)と乾性降下物(自重による無降雨日の降下物質)を区別して回収した。湿性降下物については分取可能な雨水採取装置(図 1)を設置し、降り始めからおよそ 2.5mm ずつ、積算 12.5mm 相当まで個別のボトルに降雨イベントごとに回収し、12.5mm を越えた雨水は容量 10L タンクにて一括回収した。乾性降下物は、無降雨時にロー



図1 雨水採取装置

ートに沈着した降下物を蒸留水で洗浄収集した。また、雨量計(Onset, HOBO ware)を別途設置し、降雨強度の経時的な記録も行った。対象とする重金属は大気環境問題に関する報告例を基に Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb の 6 種とした。Fe, Zn の 2 種は ICP 発光分析装置(SHIMADZU, ICPE-9000)を、Mn, Ni, Cu, Pb の 4 種は ICP 質量分析計(SHIMADZU, ICPM-8500)を用いて濃度測定し、負荷量で整理した。無機イオンは雨水中の主な成分と思われる  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  の 6 種を対象とし、イオンクロマトグラフ法を用いて濃度を測定した。なお、今回の整理は収集期間 2015/4/1~2017/6/24 の試料を対象としている。

### 3. 結果および考察

#### (1) 降雨 1 イベント内の各重金属負荷量の変動

12.5mm 以上の降雨がみられた 2015/8/19, 2015/11/25, 2016/2/13, 2017/4/26 の 4 イベント内における Zn 負荷量の変動を図 2 に例示する。総じてイベント間で共通する傾向は何も見られない。また、2015/8/19, 2015/11/25, 2016/2/13, 2017/4/26 における降雨 1 イベント内の Zn 負荷量の変動係数はそれぞれ 96%, 71%, 45%, 30% となり、負荷変動の程度もイベントにより異なった。これらのことは他の 5 種の重金属でも同様であった。一般的に大気降下物中の成分は初期降雨において高濃度で検出され降雨継続と共に濃度が減少していくウォッシュアウト効果が観察されると言われているが、本研究では重金属において当該効果が確認されないことが多くあった。このような傾向が確認された理由として降雨強度の差などといった降雨パターンに差異があったことが推察される。

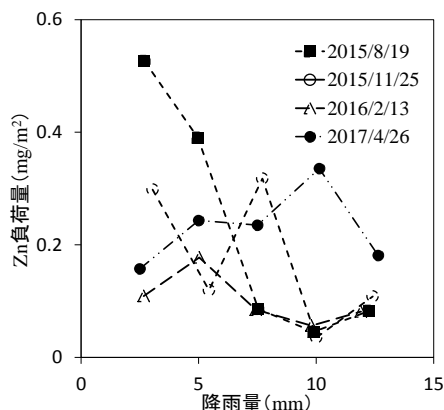


図2 降雨 1 イベント内の Zn の負荷量変動

#### (2) 大気降下物負荷量の季節変化

今回対象とした重金属種において、負荷量と降雨量との対応性の有無から、重金属の降下特性を 2 グループに大別できた。各グループにおいて特に顕著な傾向が表れたのは Zn と Mn であり、期間内のそれぞれの月別総負荷量を湿性・乾性別に図 3 に例示する。Zn は期間内を通じて全降下量のうち湿性降下物が 80% を占めていることから、Zn は降雨に付随して地上に到達することが確認され、Zn は降雨量に伴いその負荷が増大していた。したがって、季節的な特徴としては年間を通じて比較的雨の多い季節である梅雨時期から夏季に負荷量が増大するという傾向



がみられる。また、降雨イベントごとの Zn 負荷量と降雨量の相関をみても、高い相関 ( $R=0.77$ ) が見られた。Zn の降雨イベントごとの負荷量の変動 (図 4) を見ると、湿性降下による負荷量は降水量に一定の相関を持って変動していることがうかがわれる。この Zn 負荷量は他の重金属に比べ、イベント単位や月単位でも降雨量との強い相関性が見られた。このことから Zn は所定の割合で雨水中に存在し、地上へと到達していると考察される。すなわち、降雨イベント毎に見れば濃度の変動は小さく、降雨量の増加に伴い単純に地上への負荷量が大きくなることを示している。また、月ごとに降雨日数が異なることを考慮し、湿性・乾性降下物量をそれぞれその月の降雨日数、晴天日数で除した 1 日あたりの負荷量から変動係数を求めると、湿性の変動係数が 46% であるのに対し、乾性のそれは 29% と小さく比較的安定して地上へ到達していることが示唆される。これらの傾向は Cu, Pb においても同様であった。

一方、Mn は月降雨量と湿性降下物負荷量との相関係数  $R$  が 0.38 と低かった。すなわち、当該重金属種は降雨量の多寡に依らず降下する傾向がみられ、季節的な変動特性は今回の観測期間においては確認されなかった。また、期間内を通じて全降下物量に対する乾性降下物が 43% と湿性降下物量と乾性降下物量は同程度を示し、Cu, Zn, Pb の降下特性と異なった。これらの傾向は Fe, Ni でも同様にみられた。このことからこれらの重金属種は雨水への溶解性が小さいことが予想される。

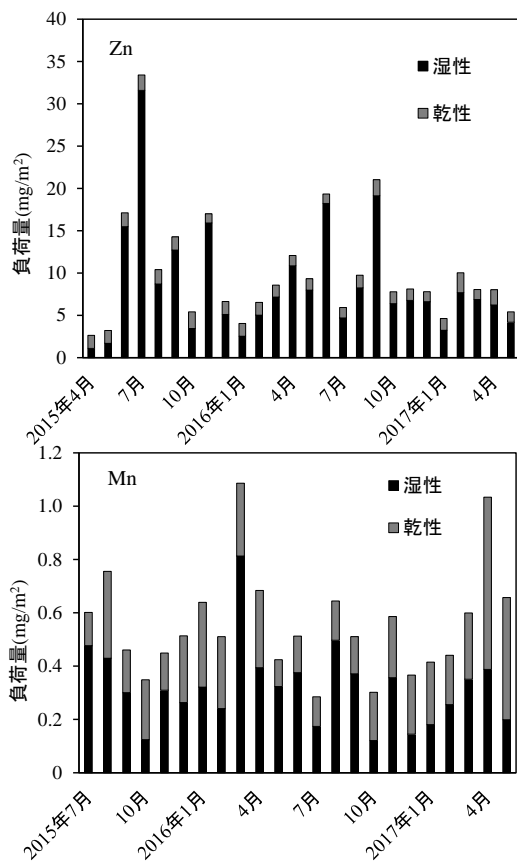


図3 亜鉛とマンガンの月別負荷量

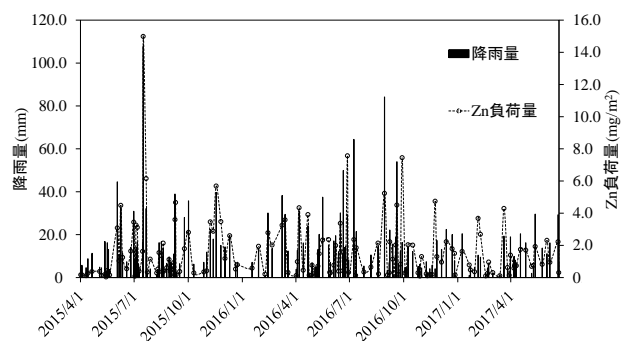


図4 期間内における降雨量と湿性降下による Zn 負荷量の関係

### (3) 雨水中の各重金属間及び重金属と無機イオンとの関連性

降雨イベント単位での各種重金属と各無機イオンの負荷量の相関を表 1 に示す。相関係数  $R$  が高い組み合わせは Cu, Pb, Zn それぞれの組み合わせであり、降雨に付随して地上へ到達していると推察された重金属種同士の相互依存性が認められた。一方、Fe, Mn は他の重金属との相関性は小さい。これは当該重金属の負荷量は降水量との相関性が小さかったことが要因であると考えられる。なお、今回の観測期間において、重金属負荷量と無機イオン負荷量の相関は 0.5 以上を示す組み合わせは確認されず、無機イオンはどの重金属種とも異なる特性で降下し地上へ負荷を与えている可能性が示唆された。ただし、重金属と無機イオンとの化学的な相互作用を解明するには至らなかった。大気降下物中に含まれる重金属は、今回対象としたイオン成分と化合して降下するのではなく、単体または本研究では対象外としたイオン成分と結合していると推察される。

表 1 各物質間の量の関係

	Mn	Ni	Cu	Pb	Fe	Zn	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Mn	—											
Ni	0.34	—										
Cu	0.26	0.34	—									
Pb	0.22	0.33	0.97	—								
Fe	0.63	0.30	0.03	0.01	—							
Zn	0.26	0.38	0.78	0.78	0.15	—						
Na <sup>+</sup>	0.15	0.04	0.02	0.02	0.10	0.06	—					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.17	0.34	0.08	0.11	-0.01	0.01	0.24	—				
Ca <sup>2+</sup>	0.29	0.47	-0.09	-0.07	0.16	-0.03	0.21	0.58	—			
Cl <sup>-</sup>	0.19	0.12	0.11	0.11	0.04	0.14	0.57	0.12	0.09	—		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.19	0.34	0.14	0.18	0.01	0.10	0.00	0.43	0.39	0.57	—	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.46	0.46	0.31	0.31	0.27	0.28	0.19	0.55	0.50	0.13	0.44	—

## 4. おわりに

期間内において、対象重金属の中で、降下量の大部分が降雨に含まれ、地上へ到達するものが数種確認され、これらの重金属種同士は相互的に依存することが確認された。これらの重金属種はイベント単位や月単位で見ると濃度の変動は小さく、降雨量に伴って負荷量が増大する傾向が示された。一方、雨水中の重金属と無機イオンとの相関から化学形態の把握を試みた結果、今回観測期間においては十分な科学種の断定には至らず今後の検討課題である。降雨強度などの気象要素も踏まえて雨水中の重金属の降下負荷の変動特性およびその化学特性について検討を進めていきたい。

## 栄養塩濃度および動物プランクトンの存在に対する 植物プランクトンの応答特性

大阪府立大学 ○人見晃司 中桐貴生 堀野治彦 櫻井伸治

**1. はじめに** ため池などの閉鎖性水域では、河川などに比べ水の滞留時間が長く、植物プランクトンの栄養塩吸収・死滅・腐植(分解)といった生物的作用を長く受けるため、水質変化を受けやすい。したがって、こうした水域において、水質変化の推定や予測を行っていくためには、植物プランクトン量の正確な評価が重要となる。植物プランクトンの動態の評価には植物プランクトンのみでの変動を考慮したモデルが用いられることが多く、動物プランクトンの存在まで考慮されていることは少ない。本研究では、植物プランクトンのみの場合の増減を栄養塩濃度と水温の条件を変えて培養・観測し、その上で動物プランクトンを滴下した培養を行うことで、動物プランクトンの存在による植物プランクトンの増減への影響についても検討した。

**2. 研究方法** 本研究では以下の3つに関する実験を行った。

**2.1 植物プランクトンのみの場合の増減特性** 動物プランクトンが存在しない状態での植物プランクトンの増減特性を把握するため、異なる水温(表1 実験①)ならびに栄養塩濃度(同 実験②)の条件下で、植物プランクトンの培養実験を行った。培養方法はAGP試験に準じ、実験①は2回、実験②は1回行った。両実験とも、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス内のため池(以下、府大池)の水をろ過し、栄養塩濃度を調整したものを培地とし、複数の100mlの三角フラスコに、植物プランクトンを等量に滴下し培養した。できるだけ実際の環境条件に近づけるため、植物プランクトンをまず1日12時間植物育成用蛍光灯を照射する明条件下で増殖させ、ほぼ一定に達した後、アルミホイルで覆って遮光して減少させた。各実験(約20日)の間、各三角フラスコ内のChl a濃度を蛍光法によって順次計測し、植物プランクトンの比増殖速度 $\mu$ および死滅係数 $k_d$ を求め、日変動を観察した。なお、実験には、府大池で採取し、Gorhamの5倍希釈培地で培養した植物プランクトンを用いた。

**2.2 動物プランクトンによる植物プランクトンの減少期への影響**

動物プランクトンが植物プランクトンを捕食し減少させる影響をみるため、2.1と同様に培養した植物プランクトンが自然減少期に差し掛かったところでダフニア(ミジンコ)を滴下する実験(約30日)を、表1の実験③の条件下で1回行い、死滅係数 $k_d$ に捕食が与える影響の大きさを評価した。なお、実験に用いた動物プランクトンは、府大池の水を濾過し動物プランクトンを取り除いたものを培地にして培養したものを用いた。

表1 培養条件

項目	実験①		実験②		実験③	
濃度倍率	D-N × 1 × 5	D-P × 1 × 10	D-N × 1 × 5 × 10	D-P × 1 × 1 × 5 × 10 × 10	D-N × 10	D-P × 10
動物プランクトン	無				有	
水温 (°C)	20, 25, 30		25			
光強度 (lx)	3500～4500					

※2016/9/30の府大池原水の濃度を1倍とする。

**2.3 動物プランクトンと植物プランクトンの相対関係** 実際の環境に近い条件で植物プランクトンと動物プランクトンの相対関係をみるため、府大池で採取した水を希釈だけ行って培養する希釈培養実験を2回行った。希釈は、試水の割合が20, 40, 60, 80%になるように行い、実験②、③と同じ水温、光強度の条件下で24時間培養した。

## 3. 結果と考察

**3.1 比増殖速度および死滅係数の算出** 植物プランクトン量の経時変化は式(1)で表され、減少期と増殖期の初期値でそれぞれ解くと式(2), (3)となる。

$$\frac{dP}{dt} = (\mu - k_d) \cdot P \cdots (1)$$

$$P(t) = P(t_{d0}) \cdot \exp(-k_d \cdot t) \cdots (2)$$

$$P(t) = P(0) \cdot \exp\{\mu - k_d)t\} \cdots (3)$$

$k_d$ は植物プランクトンの死滅係数( $d^{-1}$ )、 $P$ は植物プランクトン量( $\mu g/L$ )、 $t$ は経過日数(d)、 $t_{d0}$ は植物プランクトンの減少開始時の経過日数(d)、 $\mu$ は比増殖速度( $d^{-1}$ )である。

実験毎に減少期に対して式(2)を適用し、死滅係数 $k_d$ を求め、増殖期もそれが不変であるものとして、 $k_d$ を式(3)に代入し比増殖速度 $\mu$ を求めた。たとえば、図1に示す実験②の結果の一部(25°C, D-N×1, D-P×5)に適用すると、 $\mu=1.16$ ,  $k_d=0.116$ が得られた。

**3.2 植物プランクトンの増減特性** 動物プランクトンが存在せず、水温のみによる植物プランクトンの増減への影響を調べた実験①の結果、20~30°Cの設定範囲内では、 $\mu$ および $k_d$ に温度に対する明確な傾向はみられなかった。一方、栄養塩濃度による影響を調べた実験②では、D-N, D-Pのいずれの濃度が上昇した場合も、 $\mu$ ,

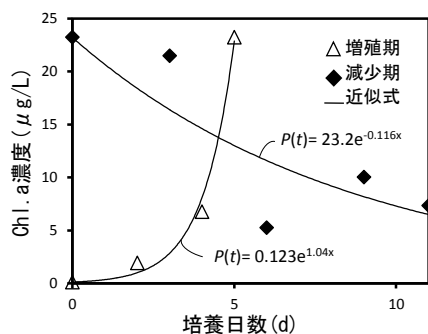


図1 Chl. a濃度の日変化  
(25°C D-N×1 D-P×5)

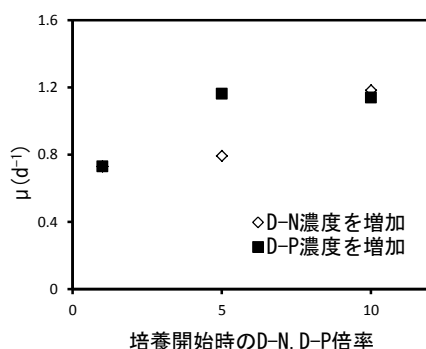


図2 栄養塩濃度のμへの影響

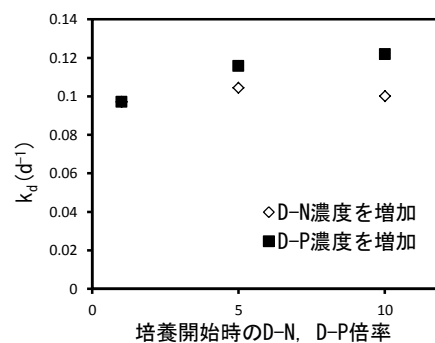


図3 栄養塩濃度のk\_dへの影響

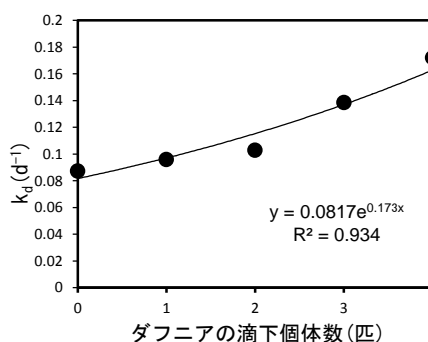


図4 ダフニアのk\_dへの影響

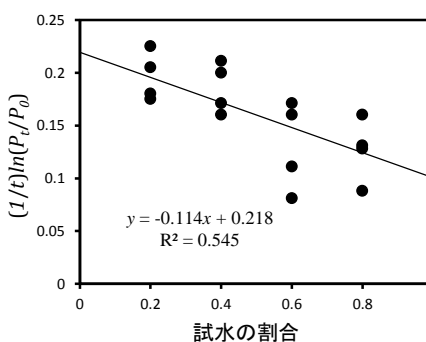


図5 希釈培養法

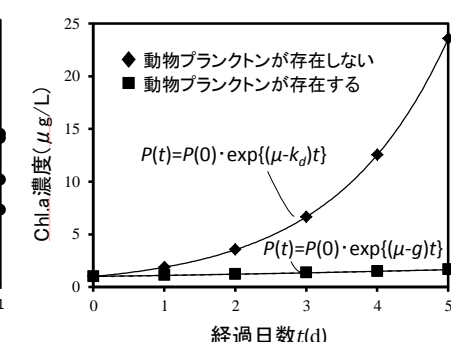


図6 植物プランクトン増殖試算結果

$k_d$ とも値が上昇した(図2, 3)。ただし、 $\mu$ の上昇幅は約0.5であるのに対し、 $k_d$ については0.03程度と、ほぼ一定と見なしても差し支えない程度であった。すなわち、栄養塩濃度は、植物プランクトンの増殖には影響を与えるが、死滅には大きな影響を与えないことがわかる。また、D-N濃度を増加させた場合と、D-P濃度を増加させた場合では、 $\mu$ の増加の仕方に違いが見られたため、別の条件でも実験を行い、検証を行う必要がある。

### 3.3 動物プランクトンによる植物プランクトンの減少期への影響

図4は、実験③の結果としてダフニアの滴下個体数と $k_d$ の値の関係を示したものである。滴下個体数の増加に応じて $k_d$ の値は増加し、その増加量は個体数が多くなるほど大きくなっている。僅か4匹のダフニアを滴下しただけで、 $k_d$ の上昇幅は約0.09となり、実験②の上昇幅の約3倍となった。すなわち植物プランクトンの死滅に対して、栄養塩濃度よりもダフニアの存在が与える影響の方が大きいと考えられる。こうした結果から、滴下数 $x$ に対して $k_d$ が指数関数的に増加するとして、その関係式は $k_d = 0.0817e^{0.173x}$ で表された。いずれにせよ、動物プランクトン量と $k_d$ には正の相関関係があることが確認された。

3.4 動物プランクトンと植物プランクトンの相対関係 希釈培養法の結果として、試水の割合と、次のLandry and Hassett式<sup>1)</sup>から求めた $\mu - cg$ と等価である $(1/t)\ln\{P(t)/P(0)\}$ の対応関係を図5に示す。

$$(1/t)\ln\{P(t)/P(0)\} = \mu - cg \cdots (4)$$

$c$ は希釈後の試水の割合で、 $g$ は動物プランクトンによる植物プラン

クトンの捕食速度( $d^{-1}$ )である。なお、本研究では $g$ には $k_d$ が含まれると仮定した。

回帰直線の切片が $\mu$ 、傾きが $g$ として決定され、希釈率が高い(試水の割合が少ない)ほど、 $\mu - cg$ が大きくなる傾向がうかがわれる。これは、希釈による植物プランクトンの増殖速度変化に比べ、動物プランクトンによる捕食速度の低下がより顕著であることを示し、上記の実験②、③の結果と矛盾しない。

以上の結果を踏まえ、動物プランクトンによる捕食が $k_d$ へ与える影響が無視できるか判断するために、植物プランクトンは増殖始めて5日目で最大量になることが多かったため、府大池における植物プランクトン量について、5日間における変化を例に計算した結果を図6に示す。5日目には、動物プランクトンによる捕食を考慮した場合に対し、それを考慮しなかった場合は約14倍大きな値となったことから、植物プランクトンの増減に対する動物プランクトンの影響はかなり大きく、その制御が水質形成に少なからず関与するものと思われる。

4. おわりに 閉鎖性水域における水質変化には、植物プランクトン量が密接にかかわっているため、そのモデル化を行う上で、植物プランクトン量の変動への影響が大きい栄養塩濃度と動物プランクトンは除外することなく、的確に考慮していく必要がある。各種係数について、より実用的な値を決めていくには、より現実的な環境条件下でのさらなる実現や、他の水域への適用が必要である。

1) Landry, M.R. & Hassett, R.P. : Estimating the grazing impact of marine micro-zooplankton. Marine Biology 67, 283-288 (1982)

## 編 集 後 記

(一社)建設コンサルタンツ協会加盟企業の技術力向上、技術交流、技術者の能力向上を目的に開催されてきた、近畿支部主催の研究発表会も、今年で50回目という節目の年を迎えました。

この研究発表会の活動が半世紀にも及ぶ長きにわたって受け継がれてきたことは、ひとえに関係各位のご支援の賜物と深く感謝しております。

現在、我が国においては、人口減少や少子高齢化等の人口構造の変化、インバウンド観光需要の増加、地震や津波、台風や集中豪雨による洪水等の自然災害の発生、高度経済成長期に整備された社会インフラの老朽化等の多様な課題が顕在化しています。我々建設コンサルタントにおいては、このような課題解決へのソリューションを社会に提案していくうえで、継続的に技術力の向上に努めることが不可欠だと考えます。

研究発表会は、こういった我が国の課題を解決し、経済社会の発展に寄与する立場である建設コンサルタントの技術力の向上に大きく寄与するものと捉えます。

論文発表においては、加盟企業やその技術者の技術力向上に対する高い意欲を反映し、応募数は年々増加しています。このため、今年から新たな取り組みとして、若手技術者を対象としたポスター発表を実施し、多くの発表ニーズに応えるように努めています。

また、京都大学大学院工学研究科の藤井聡教授や国土交通省近畿地方整備局の南後和寛技術調整管理官による特別講演のほか、建設コンサルタントの魅力を多くの学生に知ってもらうための学生発表、近畿支部の各委員会（男女共同参画委員会、インフラ維持管理研究委員会、道路研究委員会）による自由集会、昨年度から開始し好評を得たCM総選挙、現役コンサルタントと学生が気軽に歓談できる場を提供する交流カフェなど、多彩な講演や発表・交流の場を設けております。

このような場を通じて、より多くの方々に建設コンサルタントの魅力を感じていただくとともに、次世代を担う技術者の育成に資することを期待しています。

最後に、本研究発表会の開催にあたり、論文発表者や特別講演者の皆様には、貴重な時間を割いて原稿の作成、発表・講演等をいただきまして、厚くお礼申し上げます。また、研究発表会を運営するに当たり、多大なるご支援、ご協力をいただきました関係各位に心より感謝申し上げます。

平成 29 年 7 月

平成 29 年度研究発表委員会  
副委員長 古田 俊彦

### <平成 29 年度研究発表委員会>

委員長：山下 博康  
副委員長：古田 俊彦  
委員：河平 幹雄（幹事）  
委員：高村 真一（副幹事）  
委員：山本 晋一  
委員：井上 靖生  
委員：河田 皓介  
委員：赤木 昌詩  
委員：中田 哲二  
委員：野津 結衣

### (平成 29 年 7 月現在)

委員：横山 修  
委員：南野 龍平  
委員：岡本 尚武  
委員：田邊 隆  
委員：中川 雄太郎  
委員：五十嵐 大地  
委員：保智 正和  
委員：岩崎 哲也  
委員：神原 明宏  
委員：稲垣 貴広