

## 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被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、ならびに土壌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め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。

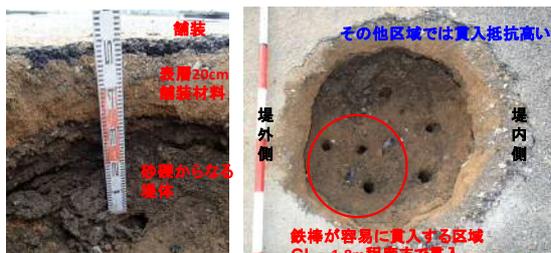


図-2 簡易試掘状況

### (2) 既往資料の収集と現地踏査

詳細調査に先立ち、陥没発生の変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。

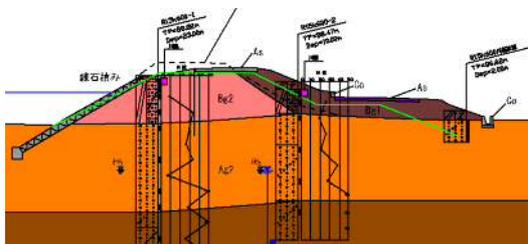


図-3 簡易試掘状況

#### 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。

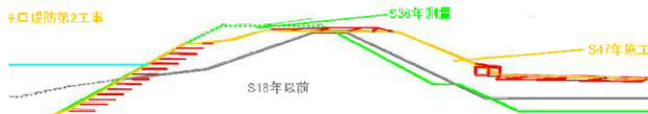


図-5 築堤履歴

### (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。

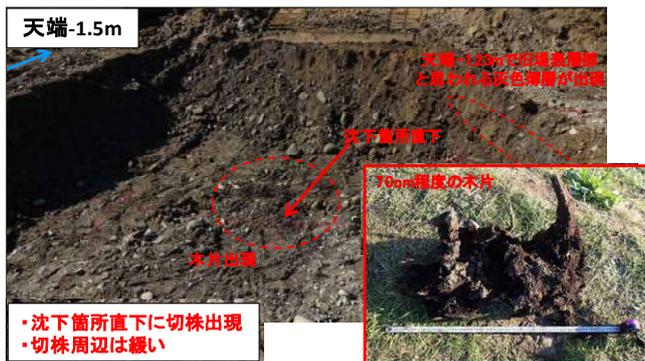


図-6 立木の根茎の埋没状況

#### 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分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。

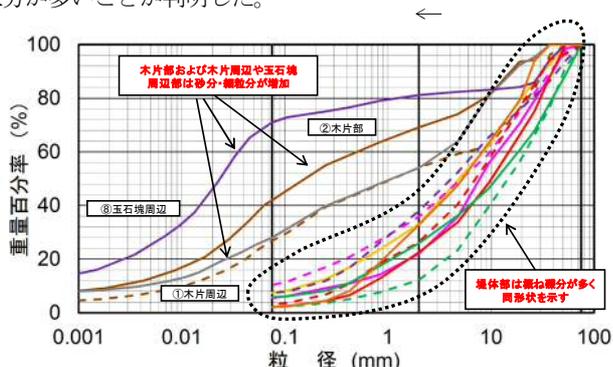


図-7 堤体土の粒度試験結果

### 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

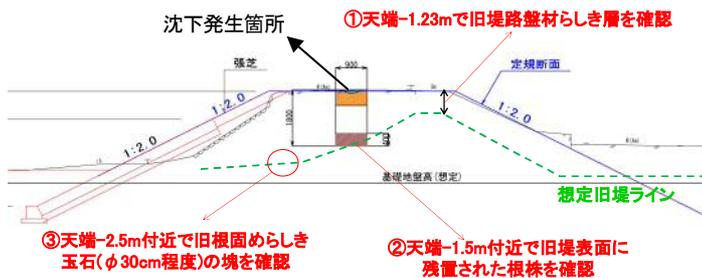


図-8 想定される旧堤防ライン

#### (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対し、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の変化である「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。

**【粒度分布形状による内部浸食挙動の判定基準】**

- ・上に凸の粒度形状  
⇒ 内部浸食を受けにくい(細かい粒子が揃っている)
- ・直線形状の粒度形状  
⇒ ほとんど内部浸食を受けない(細かい粒子が拘束され動きにくい)
- ・下に凸の粒度形状(当該地粒度形状)  
⇒ 内部浸食を受けやすい(大きな粒子が増え、細かい粒子が周りの粒子から拘束されにくく、抜けやすい)

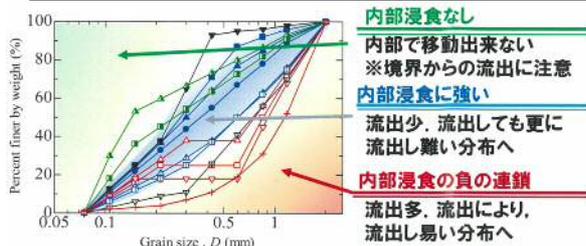


図-9 粒度加積曲線の全体形状による内部浸食に対する安定性の判定基準<sup>5)</sup>

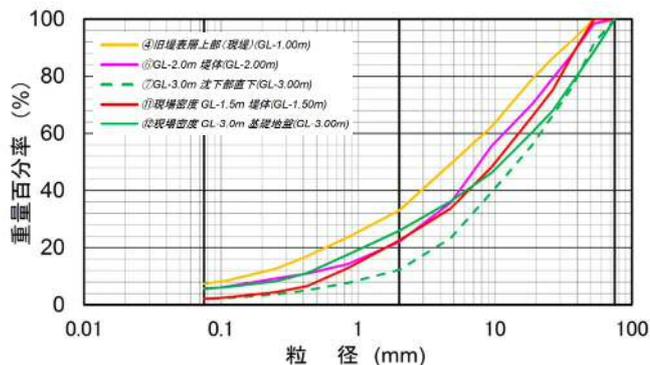


図-10 堤体代表地点の粒径加積曲線

##### 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。

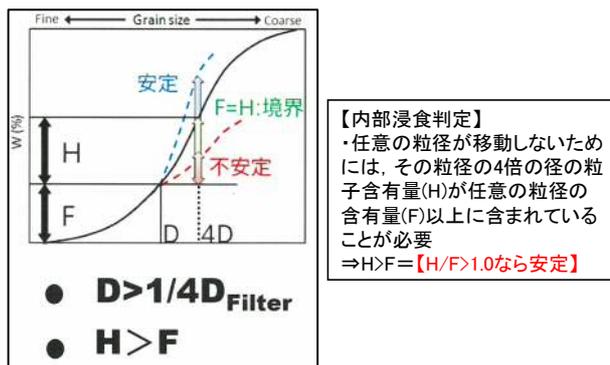


図-11 kenny らの内部浸食への安定性指標<sup>6)</sup>

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(通量重量%)	粒径(mm)	通量重量%	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。

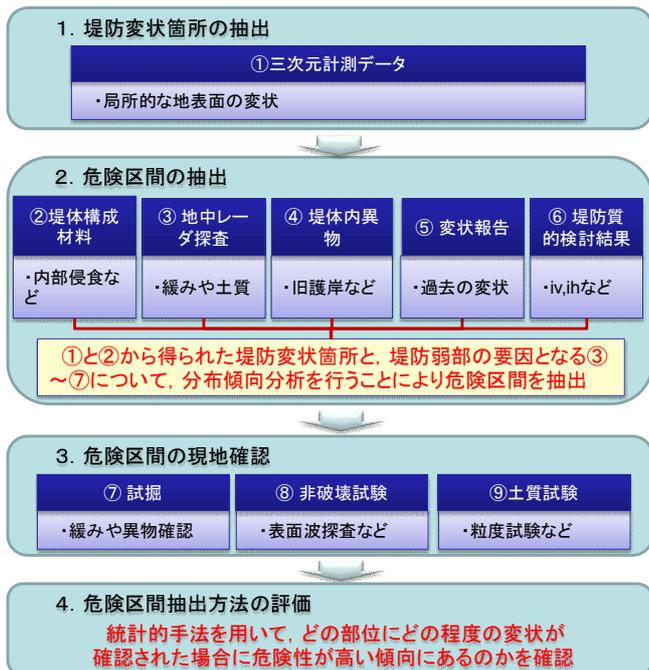


図-12 点検実施フロー

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.