

変状が発生した既設ブロック積及び斜面に対する防災対策設計事例

協和設計株式会社 ○ 丁 経凡 協和設計株式会社 梅本 雄太
協和設計株式会社 川口 徹矢 協和設計株式会社 南部 啓太
協和設計株式会社 夏目 卓生 協和設計株式会社 渡瀬 健司

論文要旨

本稿では、変状が生じた道路沿いのブロック積擁壁及び斜面において、防災対策工を設計した事例を紹介する。設計に先立ち現場踏査によりブロック積擁壁及び背後斜面における変状の様子や進行状況を確認し、ボーリング調査及びサウンディング試験を行い、地質性状を把握した。次にこれらの調査結果を踏まえ、変状の原因・メカニズムを推定した上で、対策案の比較検討により最適案を選定し、地山補強土工及び落石対策工の防災対策詳細設計を行った。

キーワード：地山補強土，落石対策，防災対策

まえがき

盛土・切土や擁壁等の道路構造物において、建設年度の不明な構造物が日本全国に多数存在している。このような構造物は適用設計基準及び計算根拠のみならず、盛土の締固め度、擁壁の配筋や裏込み材等、施工時の仕様も不明であり、道路の潜在的危険因子となる。そこで、国や自治体等の道路管理者は、防災点検により各構造物の現状及び安定度を評価し、道路の防災・減災対策を実施している。本稿では、その一例として、山地に隣接する県道沿いの建設年度不明の既設ブロック積擁壁(以下、「ブロック積」という。)及び背面斜面に発生した変状とその対策について述べる。当該箇所において実施された防災点検によりブロック積の亀裂や背面斜面の崩壊跡等が確認され、対策工を検討することとなった。そこで、現場踏査を行い、ブロック積の変状様子や法面の崩壊跡、落石の分布状況、岩盤露出部の節理の様子等を把握した上で、地質調査を行い、防災対策工の設計を実施した。写真-1に当該箇所の全景を示す。

1. 当該箇所の概要

当該路線は川沿いの山裾を通過する区間である。道路の山側は自然斜面及び切土区間があり、部分的に法面保護工や落石対策工が設置されている。当該箇所には、写真-1に示すように起点側からモルタル吹付区間とブロック積設置区間、岩盤が露出した無処理区間があり、ブロック積の天端には落石防止柵(H=1.5m)が設置されている。今回の対策対象箇所はブロック積(H=4m程度)設置区間であったが、終点側の無処理法面に対しては、現場踏査の結果を踏まえ、対策の必要性を検討の上、対策工を計画することとなった。起点側のモルタル吹付工は、すでにR4年に補修工事が行われている。一方、ブロック積は、ブロック表面の状況より、終点側ブロック積(延長約16m)を設置した後に起点側ブロック積(延長約18m)が設置されたと推定される。ブロック積の背後斜面は、道路用地と民地にかけて複数の崩壊跡がある。そこで、ブロック積及び背後斜面の対策と落石対策を含めた防災対策を行うこととなった。



写真-1 対象地全景(左:起点側, 右:終点側)

2. 変状発生状況

(1) 防災点検記録

当該区間は H29 年 11 月に防災カルテにより新規点検が実施され、R3 年 11 月に 2 回目の点検が行われた(点検項目: 落石・崩壊)。H29 年点検では、ブロック積背後斜面や自然斜面にて崩壊跡が複数確認され、カルテ点検を継続することとなった。R3 年点検では、ブロック積設置区間に点検を行った。本点検でブロック積の表面で斜め方向の亀裂及びクラックの浮き、落石防止柵の基礎部の亀裂等が確認された。さらに、終点側端部では、擁壁背面に 10cm 程度の隙間が生じており、転倒の可能性が確認され、対策工を実施することとなった。

(2) 変状状況(現場踏査)

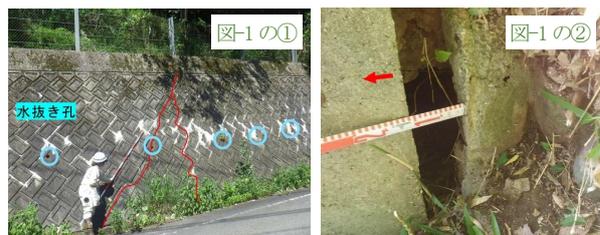
防災点検結果を踏まえ、現場踏査を行い、ブロック積及び背後斜面の変状や落石状況等を確認した(図-1 と図-2)。

a) ブロック積

起・終点両側のブロック積の壁面や小口止めコンクリートに亀裂が多数発生している(図-1, 写真-2(a))。なお、終点側ブロック積では、天端の落石防護柵基礎に亀裂が発生しており、躯体背後に空隙が生じている(写真-2(b))。ブロック積基礎部のせん断変形や損傷はないことから、全体に押し出された様相で転倒の恐れがあると判断した。一方、道路土工擁壁工指針りでは、壁面に 1 箇所/2~3m²の水抜き孔を設置することとしているが、終点側のブロック積には水抜き孔が少なく(1 箇所/10m²程度)、壁面に地下水のしみ出しによる白華現象が生じている(写真-2(a))ことから、豪雨時において壁面に水圧の影響を受けた可能性が考えられる。

b) 終点側無処理法面

法面全体に節理が発達した硬質な基盤岩が露頭しており、開口した節理が多い状況である。表層のゆるみの進行に



(a) クラック発生様子 (b) 擁壁背面の空隙
写真-2 終点側ブロック積の変状発生様子



(a) 節理上方岩盤に移動傾向 (b) 露頭上面付近のハラミ出し
写真-3 終点側無処理区間法面の状況



(a) 節理上方岩盤に移動傾向 (b) 露頭上面付近のハラミ出し
写真-4 終点側無処理区間法面の状況

よって、法面内でハラミ出しや抜け落ちの危険性が認められる(図-1, 写真-3)。

c) 上部斜面

ブロック積の背後法面において、複数の表面崩壊が発生しており、不安定な状態である(図-1, 写真-4)。また、ブロック積背面には崩壊土が堆積しており、ブロック積に土圧が作用していると考えられる。一方、終点側ブロック積の上部の民地では地すべり性変状も確認された(図-1)。

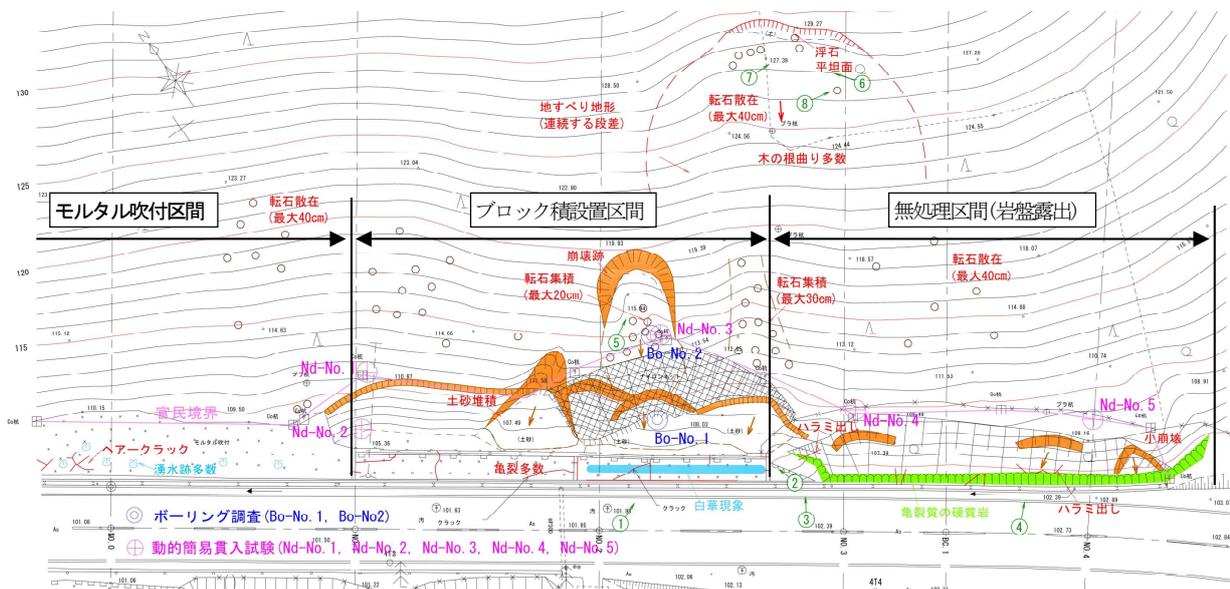


図-1 平面図(現場踏査結果及び地質調査位置表示)

自然斜面全体に転石及び浮石(最大径 40cm 程度)が散在し、付近の立木で停止している不安定なものも存在しており(写真-5)、落石対策が必要であることが確認された。



(a) 浮石(最大径 40cm 程度) (b) 転石(最大径 40cm 程度)
写真-5 落石分布状況

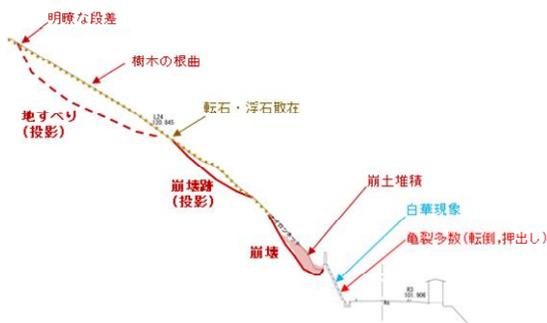


図-2 変状発生模式断面図(No. 2)

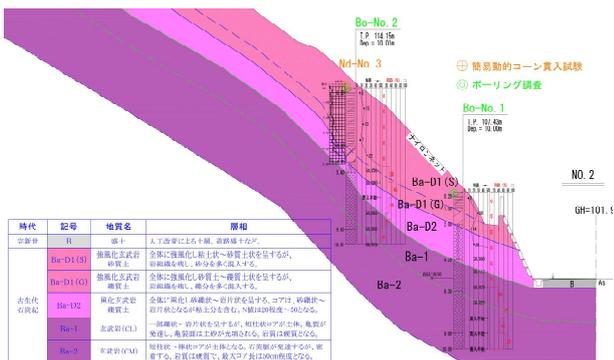


図-3 地層断面図

3. 変状原因推定

当該区間の現地踏査結果を踏まえ、地形・地質状況を確認し、地質調査により当該箇所の地層及び地盤特性を把握の上、変状の原因を推定した。

(1) 地形・地質状況

当該区間の切土部及び自然斜面は概ね 30~35° の傾斜を有している。当該地の地質構造は、北部より中国帯、舞鶴帯、丹波帯、領家帯が分布し、付近には舞鶴帯と丹波帯に挟まれたごく一部に分布する上郡帯に含まれる。上郡帯は舞鶴帯の一部で当は古生代の上層の分布域である。上層層は千枚岩質の粘板岩と塩基性火山岩類となり、塩基性火山岩類は玄武岩溶岩であり、節理が発達する傾向である。

(2) 地盤調査

ブロック積背面地盤及び上部斜面の地盤状況を把握するため、ボーリング調査及び標準貫入試験と動的簡易貫入試験を実施した。図-1 に示すように前者は終点側ブロック

積のクラックが著しく発生した位置において、横断方向に2箇所実施し、地層構成及びN値を確認の上、地層断面を推定した(図-2)。後者はブロック積設置区間と終点側無処理区間において、計5箇所を実施して、土砂層の分布深度及びN値(Nd値より換算)を確認した。常時の地下水位は、道路面付近であることが確認された。

基盤岩は玄武岩であり、表層には強風化玄武岩が分布しており、N値は6~15程度である。各地層の代表N値とN値より推定した地盤定数を表-1にまとめた。ここで、土砂層(Ba-D1(S), Ba-D1(G), Ba-D2)の粘着力cは、現況地形の円弧すべり破壊に対する安全率FSを1.0と仮定して、逆解析により推定した。

表-1 設計地盤定数(参考文献2, 3, 4)参照

地層		設計N値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力 c(kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ (°)
Ba-D1(S)	砂質土	7	17.0	6.03	31.0
Ba-D1(G)	礫質土	22	18.0	4.02	36.0
Ba-D2	強風化玄武岩	34	18.0	5.87	38.0
Ba (CL)	玄武岩	204	21.0	149	37.0
Ba (CM)	玄武岩	-	24.0	1250	40.0

・単位体積重量: 道路橋示方書(土砂部)、NEXCO 設計要領(基盤岩(CL)部)、日本応用地質学会提案値(基盤岩(CM)部)参照
・せん断抵抗角: 道路橋示方書(土砂部)、NEXCO 設計要領(基盤岩部)参照

(3) 変状原因の推定

地質調査及び現場踏査よりブロック積の背面に土砂層が深く分布し、不安定な状況(表層部崩壊跡あり)であることが分かった。これらの調査結果を踏まえ、以下のように変状の原因を推定した。

- ① 設計時に想定していない上部斜面からの土圧作用
- ② ブロック積背面平場に崩土が堆積(荷重増加)
- ③ 豪雨時には雨水の排水不足による水圧作用
- ④ ブロック積背面の岩盤の風化・緩みにより、土圧増加
一方、当初ブロック積の背後において、地すべりが発生し、土塊が荷重として作用する懸念があったが、本調査結果でブロック積を通過するすべり面は確認されなかった。

4. 対策工法検討

当該箇所において、①ブロック積設置区間と②終点側法面無処理区間に対して防災対策を実施することとした。まず、①ブロック積設置区間では、上部法面を安定化させた上、変状が発生しているブロック積に対する対策が必要である。ここで、既設ブロック積を補修・補強して再活用する案と撤去して新しい対策案で対応する案が考えられ、表-2の工法を比較して最適案を選定した。本区間では、ブロック積の背面の状態を確認して確実に対策することが可能であること、僅かな差であるが経済性に優位であることを考

慮し、既設ブロック積を撤去の上、吹付法砕工と地山補強土工(鉄筋挿入)により安定性を図る第3案を採用した。一方、現況のブロック積天端に落石防護柵が設置されているものの、落石防護柵の基礎部で亀裂が発生しており、柵高不足(現況1.25~1.5m)のため、新たな落石対策を検討した。

②終点側法面無処理区間では、岩盤部の風化及びびハラミ出し、節理面での岩盤のすべり破壊に対する対策が必要であると判断され、法面保護工として吹付法砕工を採用した。

上記の両区間ともに落石の持つエネルギーが比較的小さく(最大40cm程度)、落石跳躍高も2m程度と想定された。そこで、落石防護工として、ポケット式落石防護網と落石防止柵が考えられたが⁵⁾、落石防護柵の基礎設置スペースが狭小で、ポケット式落石防護網工を採用した。

5. 対策工詳細設計

(1) 地山補強土工詳細設計

地山補強土工法の補強効果は、図-4に示すように、補強材の引止め抵抗力(Ⓐ)によるすべり力の減少と締付け効果(Ⓑ)による土のせん断抵抗力の増加が考えられ、設計の際には、直線及び円弧すべりなどの斜面の破壊モードに対する極限つり合い式に、これらの効果を反映して安全率を算定する⁶⁾⁷⁾。ここで、安全率計算に適用した設計条件を表-3にまとめた。なお、計画安全率及び施工時の安全率は、「道路土工 切土工・斜面安定指針」を参照して、それぞれ1.2、1.05とした⁷⁾。地山補強土工の設計は、無補強時に計画安全率を満足する抑止力が最大になる円弧すべり破壊に対して、必要な補強材配置(長さ、間隔)を行い、補強後の最小安全率を検討して、補強材の諸元を精査する。

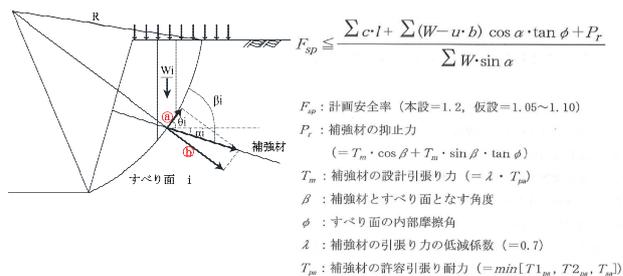


図-4 円弧すべり法による安定計算法(加筆)^{6),7)}

表-3 地山補強土工設計条件(参考文献6),8)参照)

項目	設計値
補強材の許容引張応力度 $\sigma_{sd}(N/mm^2)$	ネジ節棒鋼 (SD345, D19) 200
極限周面摩擦抵抗の計画安全率 F_{sa}	- 2.0
注入材と地盤の極限周面摩擦抵抗 $\tau_{cd}(N/mm^2)$	$\sigma_{ck}=24N/mm^2$ 1.6
注入材と地盤の極限周面摩擦抵抗 $\tau_{pd}(N/mm^2)$	Ba-D1(S) 0.056
	Ba-D1(G) 0.152
	Ba-D2 0.232
	Ba-1 0.800
	Ba-1 1.200
補強材の引張力の低減係数 λ	- 0.7
のり面工の低減係数 μ	吹付法砕工 1.0

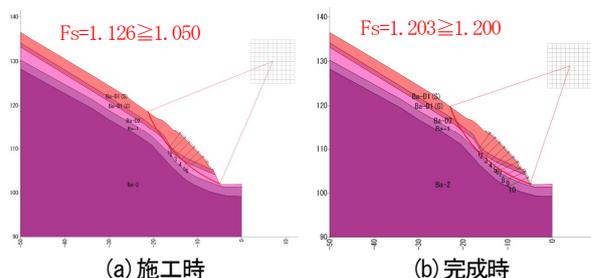


図-5 安定度照査結果

表-2 対策案比較表

	第1案	第2案	第3案(採用案)
概要断面図			
上部斜面	吹付法砕工 + 鉄筋挿入工	吹付法砕工 + 鉄筋挿入工	吹付法砕工 + 鉄筋挿入工
ブロック積	[補修] グラウト注入, 水平排水孔 [補強] 独立受圧板 + 鉄筋挿入工	[撤去] 大型ブロック積新設	[撤去] 吹付法砕工 + 地山補強土工
落石対策	ポケット式落石防護網工(上部法面)	ポケット式落石防護網工(斜面全体)	ポケット式落石防護網工(斜面全体)
施工性	既設ブロック積の補修・補強工種が多く、施工品質管理に注意が必要	ブロック積の新設に伴い、土工が発生し、撤去時に安定性確保が必要	上・下部ともに同じ工種であるが、撤去時に安定性確保が必要
経済性	1.008	1.021	1.000

当該区間では、一連の計算により、 $L=5.0\text{m}$ /本の鉄筋挿入工を $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ の間隔で10段配置した。図-5に施工時及び完成時(最小安全率)における安定度照査結果を示す。一方、施工時の検討により、上部法面に6段の鉄筋挿入工を設置した後に、既設ブロック積を撤去する計画とし、施工時の安定性を確保した。

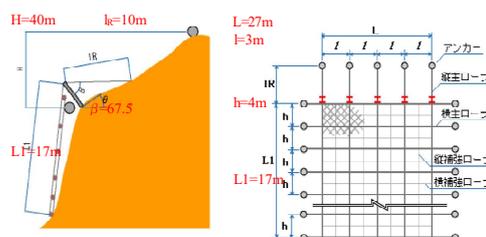
①ブロック積設置区間では、鉄筋挿入工にかかる最大引張抵抗力(補強材力)より生じる地盤反力が法枠に等分布荷重として作用し、鉄筋挿入工との締結部が支点とする梁のモデルを想定して、法枠工の設計を行った。その結果、 $300\times 300\text{mm}$ の法枠工を採用した。ここで既設ブロック積部には、裏側地盤のゆるみを考慮して剛な構造で面を抑えるモルタル吹付工(枠内、 $t=10\text{cm}$)を併用した。一方、上部斜面では法枠工の中詰め材として植生基材吹付工を採用した。②終点側法面無処理区間は、節理が発達した岩盤露出部であり、岩盤部の風化及びハラミ出しや表層土砂部(1m 未満)の破壊を防ぐため、抑制工として $200\times 200(\text{mm})$ の法枠工を適用し、モルタル吹付工(枠内、 $t=10\text{cm}$)を併用した。

(2) 落石対策工詳細設計

当該地は自然斜面全体に転石及び浮石が散在し、径 $20\sim 30\text{cm}$ のものが多く、現場踏査で確認された最大 40cm の落石を対象に設計を行った。また、落下高は斜面が長大となり 40m を超過すると、落石速度は一定値に達する傾向であることから、落下高 40m で落下エネルギーを算定した⁹⁾。落下エネルギー E は、式 $[E=(1+\beta)(1-\mu/\tan\theta)m\cdot g\cdot H]$ により算定した。ここで、 β は回転エネルギー係数、 μ は等価摩擦係数(区分D, 0.35)、 θ は斜面傾斜($=32.2^\circ$)、 m は落下質量($=1.664\text{kN}$)、 g は重力加速度、 H は落下高であるが、本計算では、 β は考慮せず計算して E は 29.7kJ となった。表-4に本設計で適用した設計条件を示す。設計では可能吸収エネルギーがこの落下エネルギー以上になるように設計を行った。可能吸収エネルギーは、金網の吸収エネルギー、ワイヤロープの吸収エネルギー、支柱の吸収エネルギー、吊ロープの吸収エネルギー、衝突の前後におけるエネルギー差の総和であり、計算結果は図-6に示す。また、ワイヤロープ及び吊ロープの張力に対する安全率と地盤定着アンカーボルトのせん断力に対する安定度を評価した(図-6)。

表-4 落石対策設計条件

項目	設計条件
支柱高さ(可動式)	2.5m (跳躍量 $2.0\text{m}+$ 余裕高 0.5m)
支柱間隔	3.0m
金網(径 $3.2\times$ 網目 50)張力	$p=17.0\text{kN/m}$
ロープ 破断荷重及び降伏張力	$T_b=98.1\text{kN}$, $T_y=7.6\text{kN}$
土砂部アンカーせん断耐力	25.0kN
土被り部アンカーせん断耐力	25.0kN



項目	落石防護網			アンカーボルト	
	可能吸収エネルギー(kJ)	ワイヤロープ安全率	吊ロープ安全率	せん断力(kN)	
				横ロープ	吊ロープ
計算値	29.7	4.3	17.7	22.8	5.6
許容値	32.8	2.0	3.0	25.0	25.0
判定	OK	OK	OK	OK	OK

図-6 落石防護網設計諸元及び計算結果

あとがき

本稿では、変状が生じた道路沿いのブロック積擁壁及び斜面において、現場踏査及び地質調査により変状の原因を推定した上、対策工の比較検討を行い、防災対策工の詳細設計を実施した事例を報告した。当該ブロック積は、設計・施工条件が不明の中、背後斜面の崩壊土による土圧増加、排水能力不足による豪雨時の水圧増加、さらに岩盤節理部の風化による土圧増加等が起因して変状が発生したと考えられる。そこで、背後斜面を安定化させる上、ブロック積に対する対策が必要となった。ブロック積の変状に対する補修・補強も考えられたが、施工の不確実性もあるため、既設構造物を撤去して新たに法面を補強する計画とし、鉄筋挿入工と吹付法枠工を採用した。なお、現場踏査より把握した落石分布状況を考慮して、落石防護網を設計の上、当道路の総合的な防災対策を実施することとした。

全国に本事例のように防災・減災対策が必要な構造物は数多く存在し、調査・点検を含めて適切な管理が必要である。その際に本事例が道路構造物の災害予防保全及び老朽化対策の参考資料として活用できると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工 擁壁工指針, H24, p.209.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I.共通編, H29, p.119.
- 3) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社：設計要領 第II集橋梁建設論, H28, p.4-7~4-11.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV.下部構造編, H29, p.536~537.
- 5) 日本道路協会：落石対策便覧, H29, p.12~23, 102, 161~171
- 6) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社：切土補強土設計・施工要領, 2007, p.30-51.
- 7) 日本道路協会：道路土工 土工・斜面安定工指針, H21, p.297.
- 8) 地盤工学会：地山補強土工法設計・施工マニュアル, 2011, p.88~99.