

アンカー荷重計と温度変化の関係

株式会社日さく

○伊藤悠太、伊藤健二、岡部顕、橋本拓弥、野澤玲奈

1. はじめに

ダムサイトのすべり面に設置された複数のアンカーのうち、3基にアンカー荷重計が設置されている。

これらのアンカー荷重計は、季節によって周期的な変化を示すため、温度変化への依存性が疑われた。

そこで、8月と12月に気温・アンカーヘッドの温度とアンカーの緊張力の測定を実施し、温度と緊張力の相関を確認した。

2. 地形地質概要

(1)地形概要

調査位置を図1に示す。

調査位置は静岡県周智郡森町亀久保地先にあり、太田川ダムの堤体左岸下流側に位置する。

調査地周辺の地形は、標高約600m～900mの山地と河川沿いの狭小な低地に大別される。

太田川ダムは、弧張山(標高614m)の南東約2km 付近に位置し、右岸側で北西-南東に伸びる尾根地形と、左岸側で東北東-西南西に伸びる尾根地形に挟まれた、地形的狭窄部に建設されている。



図-1.調査位置図

(2)地質概要

太田川ダム周辺には、四万十帯を構成する三倉層群の堆積岩が分布する。

三倉層群の地層は、緑～黒色の塊状の泥岩と、砂岩-泥岩の互層に由来する海底地すべりによる堆積物からなり、数百mの層厚で交互に繰り返している。

地質構造は、概ね北東-南西の走向で、北西～北北東へ30～70° 傾斜している。この地質構造は、アンカー荷重計のある太田川ダム左岸斜面では流れ盤構造となる。

3. 調査地点および調査方法

(1)調査地点

アンカー荷重計の設置位置を図-2に示す。

調査対象のアンカーは、太田川ダムの堤体左岸下流側に配置されたNo7・No104・Z-17の3基である。



図-2.アンカー荷重計位置図

(2)調査方法

アンカー荷重計の測定方法はロガーによる自記録方式とし、1時間毎に測定結果を収録した。

温度測定は赤外線センサーによる非接触型の計器を使用した。気温の測定は1日中陰がかかる箇所で行った。アンカーヘッドの温度測定は、観測のたびに実施した。8月21日と12月21日のみ、日周期を把握するために1時間おきに測定を実施した。

4.調査結果

温度と圧力計の測定結果を表-1に示す。

同表では、気温およびアンカーヘッド温度の変化に対して、緊張力の観測値が変化していることが示される。

表-1.アンカーヘッドと外気温の測定結果一覧

観測月日	時刻	No.7		No.104		Z-17		気温 (°C)
		観測値 (MPa)	頭部温度 (°C)	観測値 (MPa)	頭部温度 (°C)	観測値 (MPa)	頭部温度 (°C)	
8月21日	10:30	12	36	17	36	24.2	35	33
	11:30	12	37	17	39	24.5	36	32
	12:30	12.5	40	16.8	42	24.8	39	32
	13:30	12.5	41	16.8	42	24.9	42	32
	14:30	12.2	43	16.8	43	25	42	33
	15:30	12.2	45	17	44	24.9	45	34
	16:30	12.1	43	16.9	40	24.9	41	30
	17:30	12.1	39	16.8	37	24.9	38	28
18:30	12.1	37	16.8	35	24.8	36	26	
12月21日	7:30	11	-2	14	-3	22.3	-1	-3
	8:30	11	1	14.5	4	22.3	5	4
	9:30	11	6	14.5	6	22.3	7	7
	10:30	11.1	6	15	11	22.9	12	11
	11:30	11.3	12	15.5	17	23	14	11
	12:30	11.3	13	15.8	19	23.2	17	11
	13:30	11.5	13	15.9	17	23.3	16	8
	14:30	11.5	14	15.9	18	23.3	17	7
15:30	11.3	12	15.5	17	23.2	16	6	

図-3～図-4には、各地点の気温・アンカーヘッドの温度と緊張力の関係を示す。同図には、図中に近似曲線とその決定係数(R²値)を示した。決定係数は1に近いほど高い相関を示す。

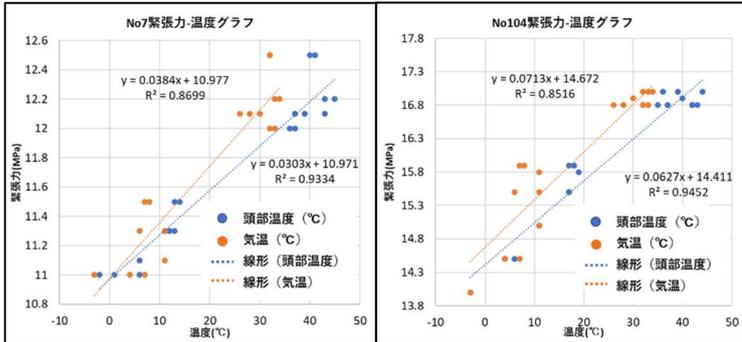


図-3.No7とNo104の緊張力と気温の相関図

気温と緊張力の決定係数は0.85～0.88、アンカーヘッド温度と緊張力の決定係数は0.93～0.97と、すべての地点で温度と緊張力は高い相関を示した。

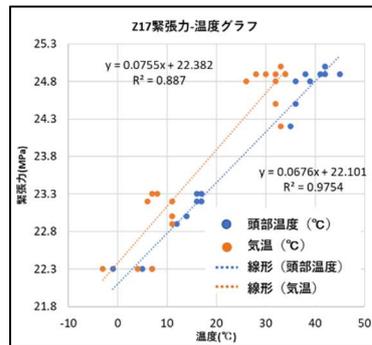


図-4.Z-17の緊張力と気温の相関図

気温と緊張力の間に決定係数0.8を超える

相関が認められたことから、図-3、図-4に示された近似式を利用して、調査地の気温からNo7・No104・Z-7の温度のみによる緊張力を算出した。算出された値は「気温だけから求めた緊張力」であるため、長期の観測で観測値とこの「気温だけから求めた緊張力」に差が生じるとすれば、それは「実際の緊張力の変化」と捉えることができる。アンカー荷重計の測定値と気温だけからの換算値を比較した結果を図-5に示す。

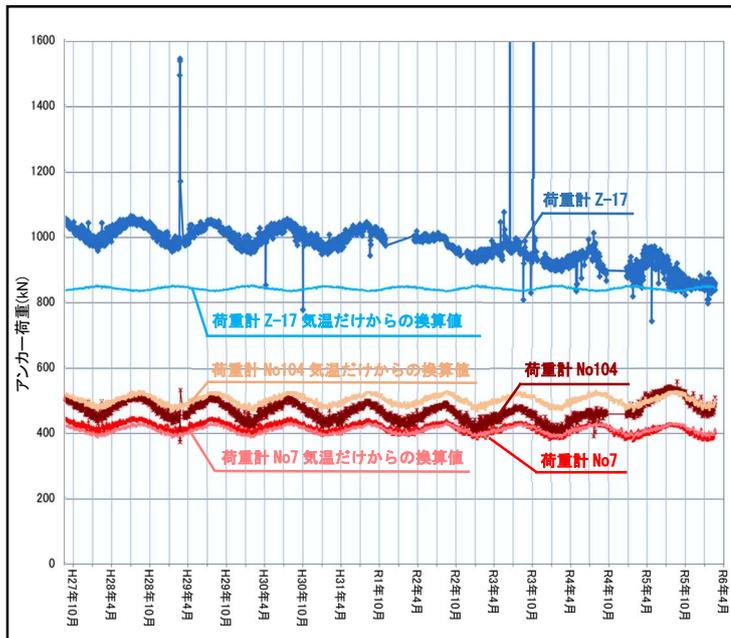


図-5.荷重計の測定値と気温だけからの換算値の比較

(1)No7

測定値は連続したデータを示す。測定値と気温だけからの概算値は概ね一致していることから、本地点で示された荷重の変動は、ほぼ気温変化によるものだと判断できる。

(2)No104

測定値は、令和4年10月に欠測期間がありその後で値の不連続が認められる。そのため、初期値での単純な比較はできない。図のまま読み取れば、平成27年10月から令和6年3月の間にアンカー荷重は約23kN上昇したこととなる。

(3)Z-17

測定値は、令和4年10月と令和元年10月に欠測期間があり、初期値での単純な比較はできない。図のまま読み取れば、平成27年10月に比べてアンカー荷重は約159kN低下したこととなる。Z-17の測定値は近年ばらつきがあるが、それを除いても平成27年からの測定値と温度からの換算値では明瞭な差が認められる。これは、アンカー荷重計が実際の荷重の変化をとらえている可能性がある。

5.まとめ

アンカー荷重計の変動とアンカーヘッドの温度・外気温との相関について、すべての地点で相関が認められ、気温から緊張力を推定することが可能であった。また、気温と緊張力の関係から、Z-17は実際の荷重の変化をとらえている可能性がある。

6.謝辞

本発表では、静岡県袋井土木事務所より観測データなどの資料を提供いただいた。ここに深く感謝いたします。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院地形図(に加筆),(最終閲覧日2025年6月3日)
<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>.
- 2) 気象庁アメダス:観測地点「三倉」(最終閲覧日2025年6月3日),
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>.
- 3) 静岡県袋井土木事務所(2023.3):和5年度〔第35-K1083-01号〕太田川ダム河川維持管理(太田川ダム維持管理)に伴う貯水池周辺観測業務委託【13-07】報告書

グリーントフ地域における地質構造を反映した崩壊発生事例

(株) みすず総合コンサルタント ○井上 賢治, 石関 剛史
長野県上田建設事務所 鈴木 亨汰

1. はじめに

長野県上田市のグリーントフ地域において、同一の尾根で近年連続して岩盤崩落が発生した。調査の結果、玄武岩に発達する節理と脆弱な変質帯に規制された崩壊機構が考えられた。これをもとに残存斜面の危険度区分を行い、対策範囲の検討と抑止工による対策工設計を行った事例を紹介する。

2. 調査地の概要

(1) 地形地質

調査地は美ヶ原高原の北側の急峻な山腹斜面にあり、周辺の河谷はV字谷の欠床谷で下刻が進行している。

北部フォッサマグナ地域にあり地質は新第三紀中新世の海底火山噴出物からなる内村累層の武石層が分布する(図-1)。岩相は淡～暗緑色に変質した玄武岩質の溶岩・火砕岩で中新世のグリーントフに属する。

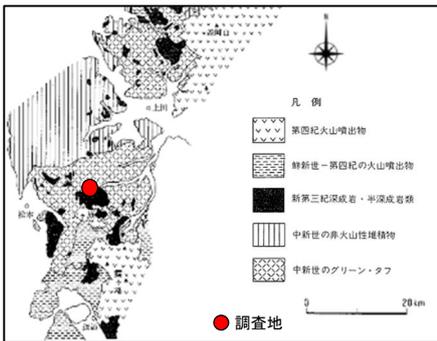


図-1 調査地付近の地質図¹⁾

(1) 地表踏査

滑落崖周辺の風化岩がオーバーハングし崩壊地右側に落ち残りの岩塊が残存する。滑落崖の背後は2つの遷急線を経て徐々に緩傾斜となり上部ほど安定した斜面となる(図-2)。岩盤は緻密で硬質な玄武岩質緑色凝灰岩(玄武岩)からなり滑落崖や遷急線付近は帯状に脆い変質帯を層状に挟んでいる。流れ盤節理と脆弱な変質帯の受け盤層理面を分離面として岩盤がブロック状に崩落している(写真3)。R3崩壊地でも同様の構造がみられる。

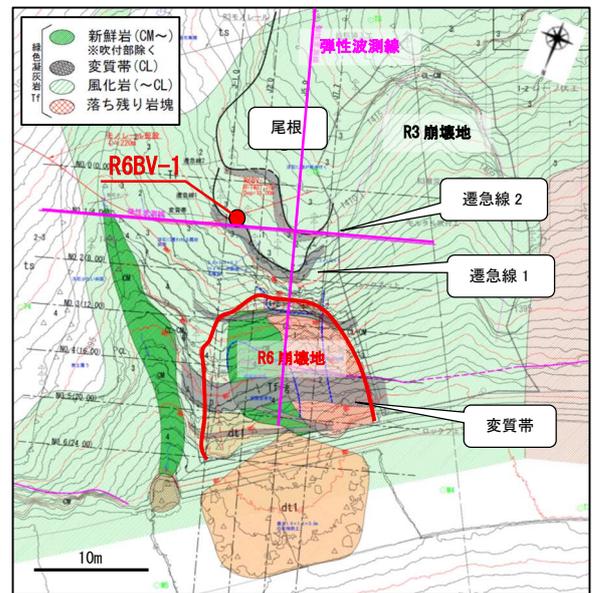


図-2 地質平面図

(2) 被災経緯

被災地は標高1400mの高冷地にあり、令和6年4月の融雪期に凍結融解を誘因として切土法面直上の尾根先端部が幅15m、高さ17mで岩盤崩落し県道を埋積した(写真-1)。地表踏査、ボーリング、弾性波探査により調査設計を行い現在対策工事中である。令和3年にも同じ尾根の側方で幅15m、高さ42mの崩落が発生しており、ロックボルトと吹付により対策されていた(写真-2)。



写真-1 R6崩壊地



写真-2 R3崩壊地

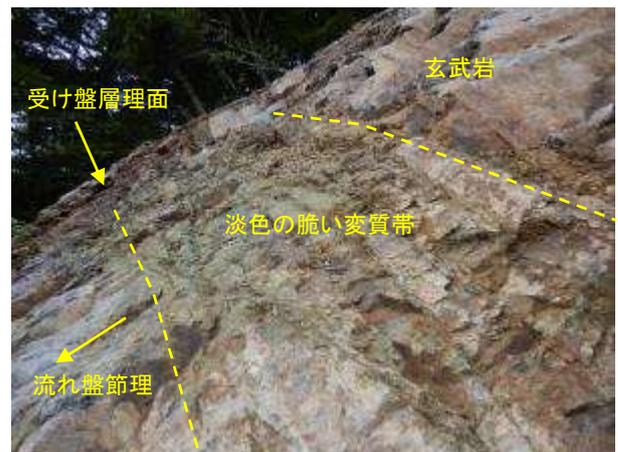


写真-3 崩壊斜面の岩相(変質帯は淡緑色で脆い)

(2) 調査ボーリング

滑落崖上方にて1本実施した(図-3)。3.4mまで亀裂の多い風化岩、以深は暗色の硬質な玄武岩主体に淡色の脆い変質帯が互層する。変質帯の層理面は上部で70°、下部で緩くなる傾向があり、それ以外の節理は低角でばらつきがある。斜面に対して層理面は受け盤、節

3. 調査結果

理は流れ盤に相当し、受け盤の傾斜変化は地表の亀裂状況と合わせてトップリングを示唆するとみられる。変質帯は相対的に比重が小さく吸水性がある。



図-3 R6BV-1コア写真(Tf-w:風化岩, Tf-g:変質帯, Tf:玄武岩, O:変質帯層理面)

(3) 弾性波探査

縦横断方向で2測線実施した(図-4)。Vpは1.0~最大4.0km/secで尾根緩斜面や受け盤斜面で低くなっている(風化帯)。全体に低速度で亀裂が多いことを示す。遷急線付近は速度の高まりがあり浸食に抵抗していると解される。変質帯と堅岩の有意な違いは見られない。

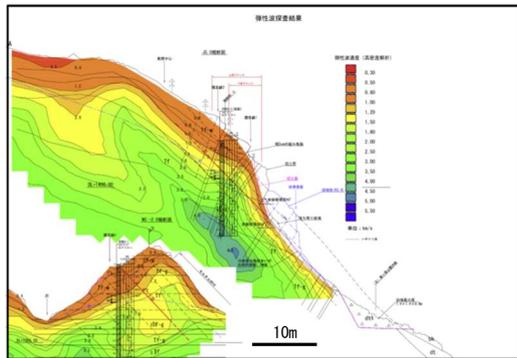


図-4 弾性波探査結果

4. 考察

(1) 崩壊発生機構と対策範囲

尾根先端部急斜面の緩んだ岩盤が春先の凍結融解を誘因として流れ盤節理と変質帯の脆弱な受け盤層理面に沿ってトップリング崩壊し直近の遷急線まで後退した。今後も順次遷急線まで崩壊が後退していく可能性が高い。

上記崩壊機構を踏まえ、対策工範囲は安定度の低い遷急線2下方のCブロックまでとした(表-1, 図-5, 6)。

表-1 斜面ブロックの安定度(図-5, 6凡例)

斜面ブロック		不安定度順位	備考
A	今回の崩落	1	トップリング崩壊 経年で小崩壊あり
B	遷急線1下方	2	植生乏しい急斜面
C	遷急線2下方		
D	準安定斜面	4	安定した尾根緩斜面 大木繁茂

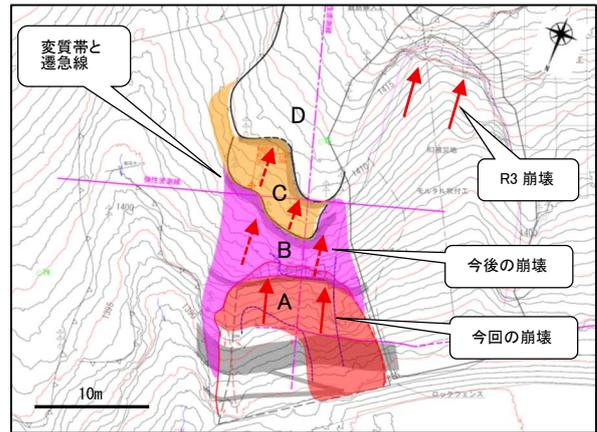


図-5 崩壊機構平面図

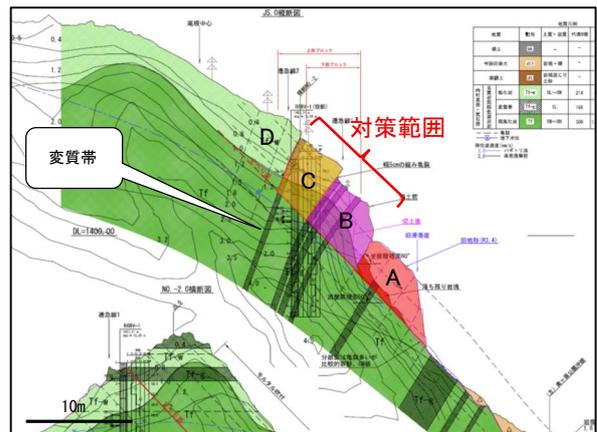


図-6 崩壊機構断面図

(2) 対策工

対策工は切土とアンカーとし施工中の安全を考慮した。①1:0.2で切土しオーバーハングを解消, ②滑落崖上方にロープ伏工(落石対策), ③岩盤接着工により法面を安定化, ④モルタル吹付, ⑤アンカー工により抑止。

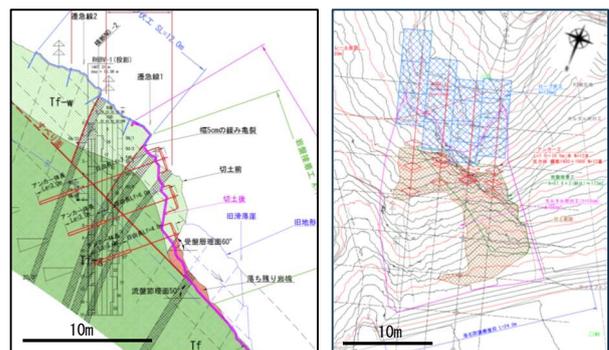


図-7 対策工計画図

5. まとめ

当該地では玄武岩の堅岩中に層状に挟在する脆弱な変質帯と節理・層理面および遷急線に規制された崩壊機構が明らかとなった。グリーンタブ地域ではこのような変質に伴う地形地質構造を考慮して斜面对策を行うことで防災・減災に繋がるものとする。

《引用・参考文献》

- 1) 中野地域地質図幅説明書(1992):地質調査所編, P18 (に加筆)。

鉱山遺跡地内における落石対策の検討事例

川崎地質株式会社 ○徳間 伸介

1. はじめに

新潟県佐渡市の相川金銀山遺跡地内において、平成23年に発生した落石災害を受け、落石対策の検討を行った。保全対象は県道である。落石発生源の状況把握には、現地踏査、及び、UAVによるレーザ測量と写真撮影を採用した。設計対象とする落石エネルギーが大きいため、対策工は落石防護補強土擁壁を採用した。補強土擁壁は、安定照査を行った上で、既往災害による崩積土上に設置した。当該地では鉱山遺跡地内であることや世界遺産への登録を目指していたことを踏まえて景観に配慮し、対策工には在来種を使用した植生工を追加した。

2. 落石対策検討箇所の概要

(1) 相川金銀山の概要

落石対策の検討を行ったのは新潟県佐渡市の相川金銀山の敷地である。相川金銀山は江戸時代より金や銀の採掘が盛んに行われた鉱山で、地質は新第三紀中新世の凝灰岩を主体とする。金鉱床の形成に伴い、多数の金鉱脈が分布し、母岩の凝灰岩も鉱化変質により非常に硬質となっている。同鉱山では、鉱脈に沿って人力で金の採掘が行われ、特に規模の大きい「青盤脈」と呼ばれる最大幅35mの鉱脈では、露天掘りにより山頂部から深部へと採掘が進められた結果、「道游の割戸」と呼ばれるV字状の割れ目が形成された。

今回、落石対策の検討を行った箇所は、道游の割戸から北東へ延長する人力掘削で形成された急崖に位置する。

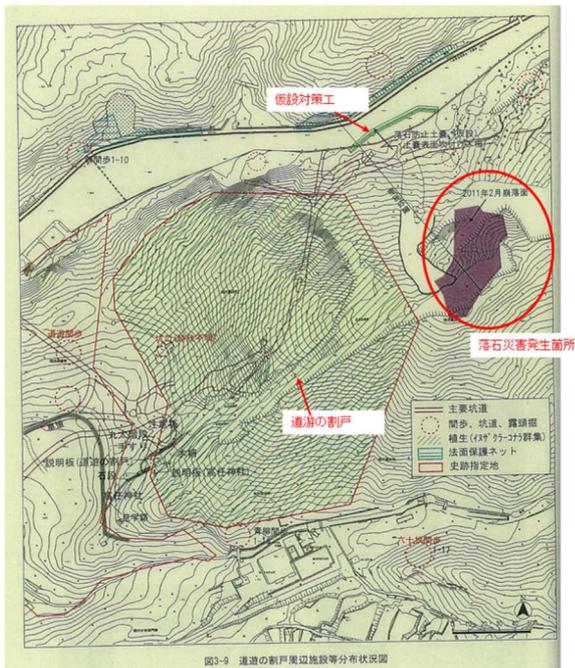


図-1 相川金銀山の概要図と落石発生箇所

(2) 平成23年度に発生した落石災害

本検討箇所では平成23年に急崖地形の頂部より落石崩壊が発生しており、崩壊した岩塊や土砂は末端の県道まで到達した。本報告は、この災害を受けて対策工の検討を行ったものである。

崩落状況 全景(遠景)



図-2 平成23年に発生した落石災害の状況

(3) 世界遺産への登録と対応

検討を行った平成28～29年は、相川金銀山の世界遺産への登録を推進するため、様々な取り組みが行われていた。その中で、本箇所においても、落石対策工は安全性だけでなく、景観性も考慮しながら検討を行うことが求められた。

3. 測量及び調査

(1) UAVを使用したレーザ測量と写真撮影

対策工の検討に際し、落石発生源や斜面末端部及び保全対象である県道の状況を把握するため、UAVを使用したレーザ測量と写真撮影を行った。レーザ測量成果により対策箇所の地形を三次元で表示した。

また、写真撮影により急崖頂部に位置する落石発生源の岩盤状況、亀裂開口状況、緩み状況を確認した。

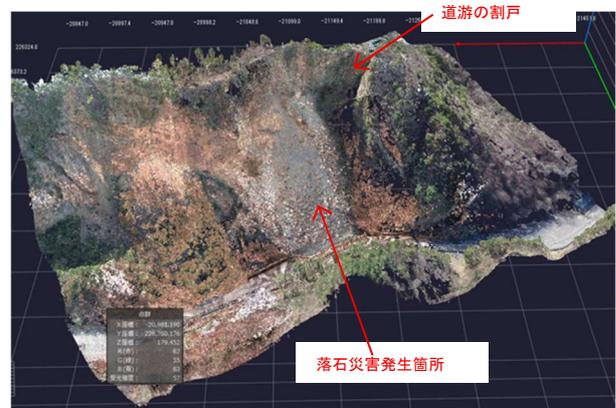


図-3 レーザ測量で得られた検討箇所の3次元画像

(2) 地表踏査結果

安全に登行可能な範囲で、検討箇所の現地踏査を行った。検討箇所の地質は凝灰岩を主とし、層状の構造が

確認され、鈹化変質により非常に硬質である。また高角度の割れ目や破砕帯が多く見られ、割れ目の一部が開口しているため、落石の発生源となっている。

(3) 設計用落石の設定

UAV による測量成果や現地踏査結果に基づき、対策工設計に資する設計用落石を設定した。現地で確認した浮石や転石の安定度評価により、急崖頂部に位置する開口亀裂により緩んでいる岩塊（大きさ 2.6×1.7×1.6m）を設計用落石と設定した。

4. 落石対策工の工法選定

(1) 落石エネルギー

上述した設計用落石で斜面末端部まで到達した場合の落石エネルギーは、4588kJ と非常に大きい。

(2) 対策工の比較検討

非常に大きい落石エネルギーやその他の現地条件に対応できる対策工として、1案) 落石防護補強土擁壁、2案) 落石防護柵、3案) ロックシェッドの3工法で比較検討を行った。その結果、経済性・景観性・施工性・維持管理性に優れる、1案) 落石防護補強土擁壁が選定された。

5 落石防護補強土擁壁の構造検討

(1) 基礎部の対策

当該地には平成23年の落石災害で堆積した崩積土が斜面末端部まで分布していた。選定された落石防護補強土擁壁も斜面末端部に設置するため崩積土の扱いを考慮する必要があった。検討の結果、崩積土自体を掘削すると末端の掘削となり、その上方斜面が不安定化するため掘削はせず、崩積土の直上に落石防護補強土擁壁を設置することとした。設置に際しては事前に安定解析を行い、緩い土砂の強度条件で安全率 $F_s=1.538$ が得られ、一般的な道路土工の計画安全率1.20を満たすことを確認した。

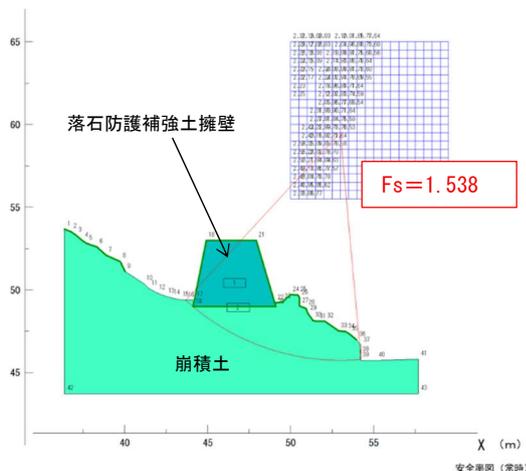


図-4 落石防護補強土擁壁の基礎部の安定解析

また、崩積土の末端は、仮設対策として大型土のうとその前面の岩塊敷設により県道を保護していたが、長期的には降雨等により大型土のうの劣化や破損のリスクがあり、不安定化すると背後に設置する落石防護補強土擁

壁へも影響が懸念された。そこで、仮設対策（大型土のう+岩塊敷設）の表面に、恒久的な劣化・浸食防止対策として長繊維補強土吹付工による法面保護を追加した。

6. 景観の検討

(1) イメージパースの作成

採用された落石防護補強土擁壁について、相川金銀山の世界遺産登録を念頭に景観の検討を行った。補強土擁壁の外観について、①植生と②現地間伐材の2ケースでイメージパースを作成し、有識者委員会にて景観検討が行われ、①植生の案が採用された。



図-5 落石防護補強土擁壁のイメージパース

(2) 景観に考慮した形状の変更

当初、落石防護補強土擁壁の構造は直線形で端部において台形断面が残ることから、有識者委員会による景観検討が行われ、起点側の端部をスロープ状に、終点側端部を山側に巻き込むことで、景観的に圧迫感を与えない形状に修正設計した。

(3) 植栽の検討

対策工の表面は景観対策として植生を施すこととなったが、使用する植物種は、地元有識者の助言を踏まえ、外来種ではなく当該地に生息する在来種を選定した。

具体的には、落石防護補強土擁壁の壁面と長繊維補強土吹付工の表面には、佐渡市の原植生を勘案し、ススキ・ヨモギ・イタドリ・ヤマハギ・メドハギの5種の種子を吹き付けることとした。

また、落石防護補強土擁壁の足元を隠し、景観性を保つ目的で、擁壁前面に中低木を植栽した。植栽の樹種は、常緑樹であるヒメアオキ・マサキ・キャラボク・イチイ・イヌツグと、落葉樹であるウツギの混植とした。常緑樹と落葉樹を混在させることで、周辺環境との調和を図るものとした。

7. 施工後の状況

現在、当該地の落石対策工は施工後数年が経過し、機能が保持されている。また、景観に配慮して施工された植生工は、植生が繁茂し始めて周辺環境との調和が徐々にとれている状況にある。

オーバーハングを有する岩盤斜面における調査及び対策工検討事例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 ○堀 隼風, 根岸 拓真

1. 調査概要

調査対象地は岩盤崩壊により人的・経済的被害が発生した県道法面である。対象の県道は住民のライフラインとなる重要な路線であり、利用者の安全確保のため対策を講じる必要があった。急崖斜面はオーバーハングを有しており、斜面前面には県道及び河川、斜面背後には県指定文化財が控え、切土による不安定岩塊の除去や迂回路新設は困難であった。

本業務では現場条件に適した斜面对策工検討のため、地質構造や特性、崩壊機構及び緩み範囲を推定した事例を報告する。

2. 調査方針

対象斜面は急崖かつオーバーハングを呈しており、斜面一体とした一連の対策のために詳細な地形データが必要であった(図-1)。調査箇所の地形的特徴から空中のみのLP測量ではオーバーハング下端部の地形データが不足すると判断し、地上三次元測量も併せて実施した(図-2)。

さらに、対象斜面の地質構造や地質特性、崩壊機構及び緩み範囲の推定を目的として地質調査を実施した(表-1)。



図-1 現地踏査により確認されたオーバーハング部

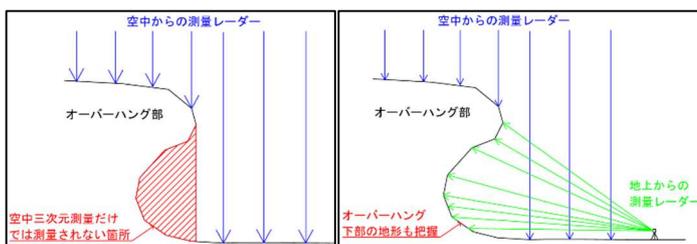


図-2 地上・空中三次元測量概要図

表-1 調査実施項目一覧表

調査項目	調査目的			
	概略調査段階			ブロックごとの調査段階
	凝灰岩の面的分布範囲 地質構造の把握	ゆるみ範囲 の把握	亀裂の特性 の把握	設計に必要な データの収集
① ボーリング調査	◎	◎	○	○
② 標準貫入試験	◎			○
③ 速度検層	○	○	○	○
④ 弾性波探査		◎	○	○
⑤ ポアホールカメラ			◎	
⑥ 室内試験				○

〔『道路土工 切土工・斜面安定工指針(2009)』(公社)日本道路協会』をもとに作成¹⁾〕

3. 調査結果

調査項目ごとの結果を以下の表に示す(表-2)。また、地質断面図-弾性波探査結果重ね図(図-3)および地質平面図(図-4)を示す。

表-2 調査結果一覧表

調査項目	調査結果
① ボーリング調査	対象斜面は火山噴出物で構成された各層で構成。凝灰岩(Tf)や軽石凝灰岩(Pmt)の薄層を複数挟在。
② 標準貫入試験	表層部を除き、 いずれも50以上 を示した。
③ 速度検層	調査結果により得られたP波速度は新鮮部で 1180~2520m/s であった。
④ 弾性波探査	斜面付近に高速度帯(1400~2500m/s)が張り出すように分布する箇所 や、 斜面内部に低速度帯(800~1400m/s)が分布する箇所 を確認。
⑤ ポアホールカメラ	特定の三区間に集中して亀裂が発達していることを確認。加えて、地層境界や層理面の走向傾斜とは異なる方向の亀裂が卓越する傾向を確認。
⑥ 室内試験	密度・一軸圧縮強度:凝灰角礫岩がその他の地層に比べて 密度及び一軸圧縮強度が大きい 。 X線解析試験 : Tss層は膨張性粘土鉱物であるスマクタイトを含有 。 浸水崩壊度試験 : Tb1層がC区 であった。

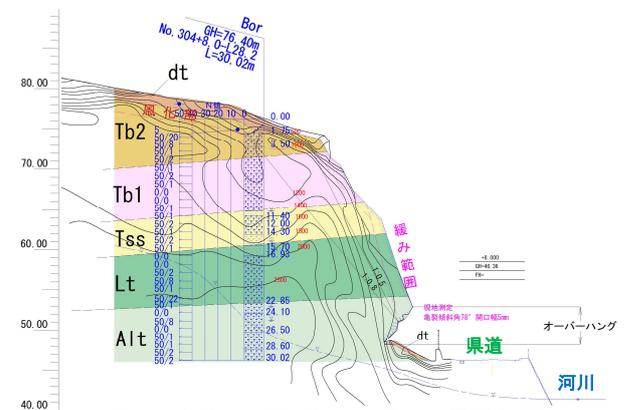


図-3 地質断面図-弾性波探査結果重ね図

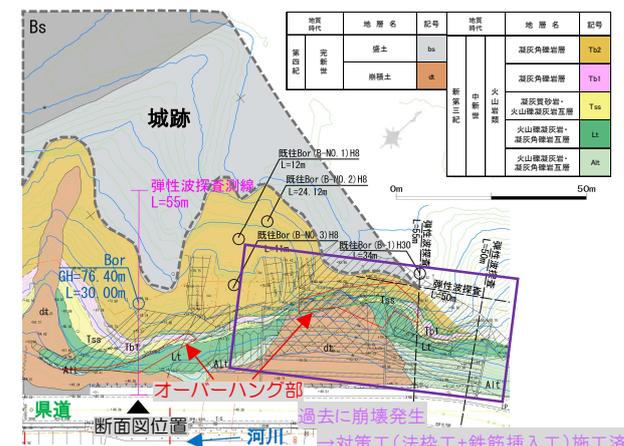


図-4 調査位置図及び地質平面図

4. 崩壊機構の推定

各調査結果をもとに当該調査地に分布する地質を模式柱状図として整理した（図-5）。

以下、崩壊機構について示す（図-6）。

(1) 素因

① 地質的弱部の存在

調査地に分布する地質のうち、Tss 層では、現地にてスレーキングしている状態が確認されている。さらに膨張性粘土鉱物であるスメクタイトが含まれており、侵食に対する抵抗性が低いと判断した。

また、調査地に分布する地層内には凝灰岩（Tf）の薄層を複数挟在しており、Tss 層と同様に侵食に対する抵抗性が低いと考えられる。

② 地質の層序的特徴

上位の地層が下位の地層に比べ、密度及び一軸圧縮強度が共に高い値を示すことが確認された。

以上のことから、下位の軟質な岩が侵食を受けた際に、上位の地層の重さに耐えられず、より強度が低下しオーバーハングが拡大していると考えられる。

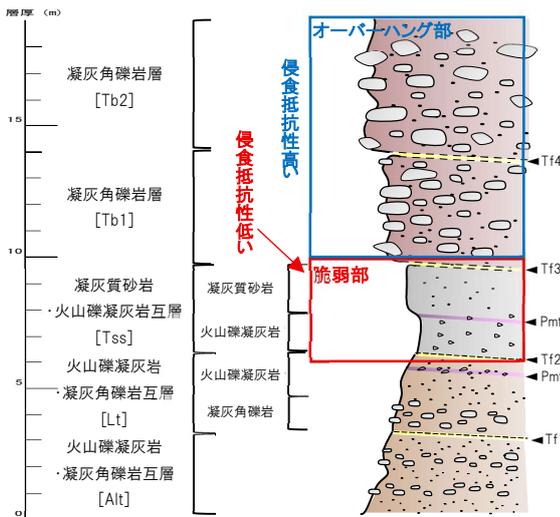


図-5 模式柱状図

(2) 誘因

地山と岩塊との接地面の緩みが地下水や裂隙水により、さらに拡大したことで崩壊が発生したと考えられる。



図-6 崩壊発生のプロセス

5. 対策方針

対策箇所は斜面背後に控える県指定文化財や斜面前面の県道といった用地上の制約があった。

調査により、地質状況や亀裂の発達傾向、緩み範囲から不安定化しているのはオーバーハング下端から斜面前面側におよそ15度の範囲であることが確認された。そのため、現況の斜面形状を維持したまま対策を実施できると判断し、グラウンドアンカー工を併用したPCW工法を提案した²⁾（図-7、図-8）。

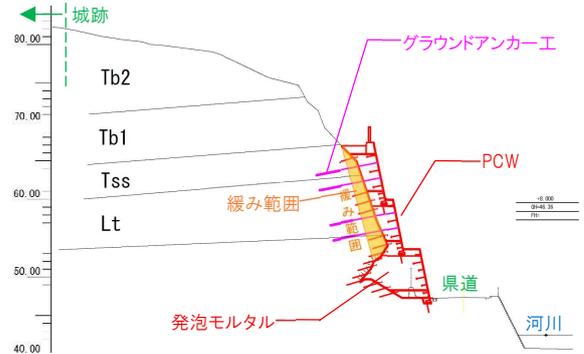


図-7 対策工の一例



図-8 PCW 工法施工状況

6. おわりに

地質調査では、地質と地形の関係を明らかにして、調査目的に応じた有効な調査方針を検討することが重要と考える。

本業務では、現地の地形的特徴（オーバーハング）を考慮した測量、調査計画の立案を実施し、県指定文化財等の用地等の制約を回避した対策工を提案することができた。

今後の業務においても現場条件に適した調査方針を提案し、地質調査を実施することで住民の安心安全を守るため、発注者の課題解決に取り組んでいきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 道路土工 切土工・斜面安定工指針（2009）：公益社団法人日本道路協会、p. 76、127
- 2) S.P.C.ウォール工法（2004）：大見、奥園、竹内 監修、日本S.P.C.工法研究会 編著、理工図書、p. 50-51

老朽化モルタル法面調査・補修設計について

株式会社復建技術コンサルタント ○甲斐 美伎, 大友 伸一

1. はじめに

近年、道路構造物の老朽化が進み、更新時期を迎える道路既存ストックが右肩上がり発生しており、それに伴い、道路災害防除事業が増えている。

当該地では、施工後 40 年以上経過しているモルタル法面において、モルタルの亀裂拡大や浮き等が確認された。今後、老朽化に伴う劣化やモルタルの剥離・落下、背面土の崩壊などが懸念される。本稿では、当該地における道路災害防除を目的とした、現地調査から対策工の比較検討までの内容について紹介する。

2. 調査地の現況

当該モルタル法面は、延長 L=115m、高さ H=22m (5m×5段) を有する。(図-1、2) モルタルの開口亀裂や剥離、表面の苔付着、植生の繁茂などが確認され、老朽化に伴う劣化が顕著である。(写真-1、2) また、小段は狭小でモルタル法面の背後斜面に変状はなく安定している。

背後斜面に、竹林が分布していることから、周辺に地下水が多いことが分かる。一部でオーバーハング地形を呈しており、背後の地山は岩盤であると想定される。(写真-3)



写真-1 開口亀裂20~30mm 写真-2 苔や植生の繁茂状況



写真-3 オーバーハング部状況 図-1 横断図(NO.3)

3. モルタル健全度調査

(1)モルタル打音調査

ハンマーによる打音調査における評価基準は表-1 のとおりである。

クラックやオーバーハングが見られる測線 NO.2~NO.4 及び法面上部において鈍い打音が確認された。起終点側の法面1段目は、モルタルの剥離や表面の劣化が見られたが、概ね金属音が確認され、異常なしと判断した。

これらの打音調査結果と、後述するモルタルコア抜き調査結果は、概ね整合していることが確認された。

表-1 打音判別表

打音区分	状態	判定
清音	キンキン、コンコンといった清音を発し、反発感がある。	健全
濁音	ドンドン、ドストスなど鈍い音がする。	劣化、表面近くに空洞がある。
	ポコポコ、ペコペコなど薄さを感じる音がする。	うき、はく離している。

(2)モルタルコア抜き調査

各段において目地間10mを目安に1箇所程度コア抜き調査を実施した。(写真-4)

クラックやオーバーハングがある付近では、ほぼ全面で空洞が確認された。(図-1) モルタル剥離が分布する法面上部でも空洞が確認された。空洞の深さは2~6cm程度であった。(写真-5) また、各段のモルタルの平均厚は以下の通りであり、既設のモルタル吹付厚は十分である。

1段目：11.7cm 2段目：14.5cm

3段目：16.9cm 4段目：14.0cm 5段目：13.8cm



写真-4 コア抜き調査状況

写真-5 空洞状況

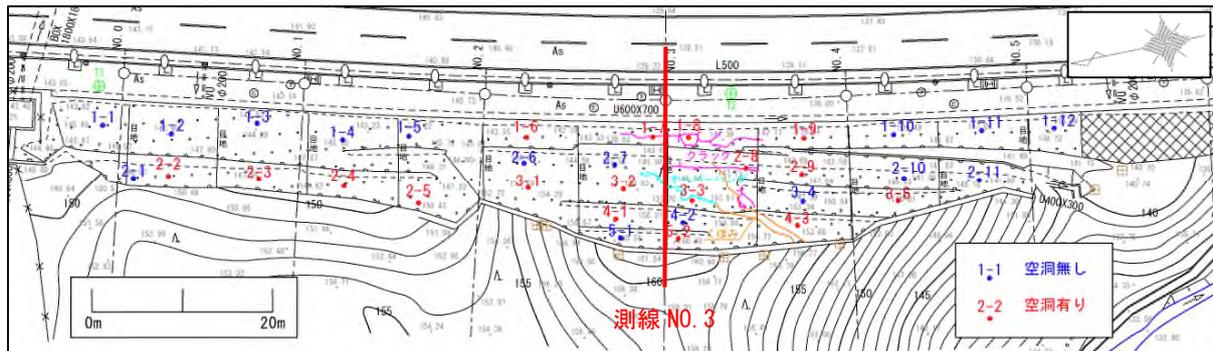


図-2 モルタル健全度調査位置図

4. 諸条件

(1) 対策範囲の検討

現地踏査及びモルタル健全度調査結果より、モルタル法面背後に空洞が無かった箇所も確認されたが、モルタル表面の老朽化により全体的に剥離・劣化が著しいため、法面全面を対策範囲とした。

(2) 安定勾配の設定

コア抜き調査による地山の目視観察結果より、地山を構成する地質は凝灰岩（軟岩相当）と判断した。現況勾配は1:0.5程度であるが、モルタルの変状状況より、地山の安定勾配は1:0.8¹⁾を採用した。これを基本とし、安定勾配を確保できるか否かにより、抑止案と切土案を基本として比較検討を行った。

(3) 設計定数の設定

当該法面の地山を構成する地質は、凝灰岩（軟岩相当）より、単位体積重量 $\gamma_t=20.0\text{kN/m}^3$ ²⁾、内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ ³⁾、粘着力 $C=8.58\text{kN/m}^2$ と設定した。Cは安定解析による逆算法で求め、必要抑止力を算出した。また、現状安全率を $F_s=1.00$ ⁴⁾、計画安全率を $F_s=1.15$ ⁴⁾と設定した。

(4) 既設モルタルの老朽化現象

既設モルタルの老朽化現象について、各現象に適した対策工の検討を行った。吹付法面の老朽化現象は、表-2に示す3つのケースに分類することができる。

表-2 吹付モルタル法面老朽化現象一覧⁵⁾

区分	老朽化現象
① 吹付自体の老朽化・劣化	吹付自体が劣化する。 原因として乾燥収縮等により生じたひび割れが、拡大・連結するケースのほか、凍害、中性化、塩害などが考えられる。 (ひび割れ、表面剥離、強度低下など)
② 吹付と背面地山の密着性低下	吹付の背面地山の風化が進行することにより、吹付と地山の密着性が低下する。この結果、吹付が自重をささえきれなくなり滑動する。また、地山からの湧水とともに吹付背面の強風化部が流出し、背面に空洞が生じる。 (のり面のひび割れ、末端部のせり出し、塵屑、背面空洞など)
③ のり面自体の不安定化	吹付には土圧に対する抵抗力が見込まれていないため、背面地山の風化が進行し、のり面自体が不安定化する(土圧が作用する)と、崩壊につながる。また、割れ目質の岩盤のり面では、割れ目に沿った風化や緩みの進行により、のり面が不安定となる場合がある。 (開口ひび割れ、はらみ出しなど)

①②については、ひび割れ等により、当初の要求機能である地山の風化防止が図れなくなるといった問題のほか、吹付自体が剥落や崩落するといった災害につながる危険性がある。

一方、③については、もともと吹付モルタルには崩壊抑止力が見込まれていないため、背面地山の不安定化が進行すると、法面の崩壊に繋がる危険性がある。

現地踏査及びモルタル健全度調査の結果より、当該法面の老朽化現象は①～③全てのケースに該当すると判断した。

5. 対策工の検討

対策工は、既設モルタルを存置したままモルタルの補修・補強が可能であり、空洞がある箇所には空洞充填工、安定勾配を確保できない箇所には鉄筋挿入工が併用可能であるのリフレッシュ工法を提案した。

当該路線は、主要地方道であり交通量も多いことから、道路交通への支障を極力抑え、施工時には通行止めを必要としない無足場施工を計画した。

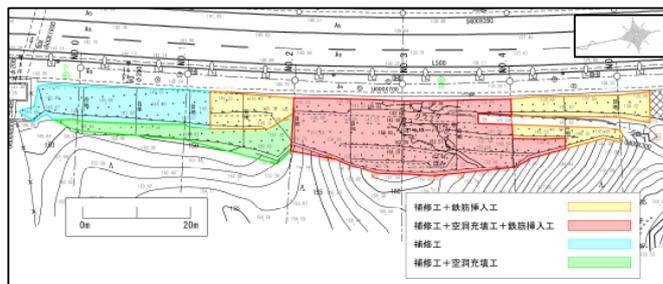


図-2 対策工種分布図

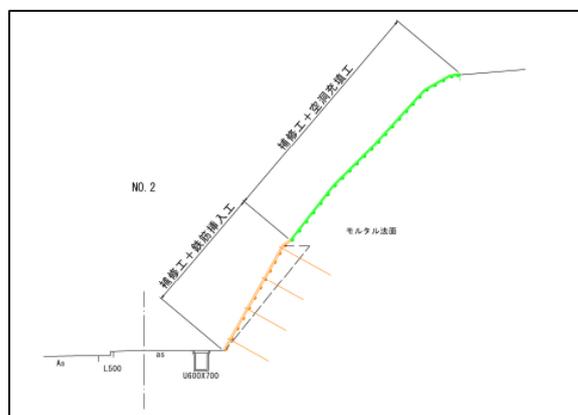


図-3 対策工案

6. おわりに

今回の業務では、産業廃棄物を排出せず、環境に配慮し、かつ現地状況に適した対策工の計画を行う事が出来た。今回のようなモルタル老朽化対策事業も増えていくと思われたため、今後は、本業務で培った経験を活かし、防災設計を通じて強固なインフラ整備に、微力ながら貢献していく所存である。

《引用・参考文献》

- 1) 道路土工-切土工・斜面安定工指針(平成21年度版) p136 一般社団法人日本道路協会 H21.6
- 2) 日本鉱業会誌(1986)
- 3) 軟岩-調査・設計・施工の基本と実例- p116 一般社団法人土木学会 H7.9
- 4) 公共土木施設の災害申請工法のポイントH27改訂版 p.144 一般社団法人全日本建設技術協会
- 5) 「nWAKU」 五大開発株式会社

老朽化モルタル吹付法面の調査事例

株式会社新東京ジオ・システム ○奥山 正人, 中臺 直之

1. はじめに

調査地は、山形県西村山郡朝日町大字大沼地内にある一般県道左沢浮島線（県道 112 号）に面した切土法面である。当該法面にはモルタル吹付工が施工されている（延長 L=約 70m、面積 A=約 1400m²）。モルタル吹付工は老朽化に伴い、広範囲にわたり不安定な状態にあることが事前の点検結果で判明していた。そこで今回は、モルタル吹付法面の健全度を評価するために各種調査（法面目視調査、打診音調査、クラック調査、法面削孔調査結果）を行った。さらに変状箇所の詳細な調査を行い、対策工法設計の基礎データ等を得るための地質調査（鉛直ボーリング及び水平ボーリング）を実施した。

2. モルタル吹付法面の健全度評価

(1) 目視調査結果

吹付表面部では特に法尻部に凍害とみられる薄い剥離や背面地山の露出を伴う剥落が確認され、目地部や開口ひび割れ部では一部段差が生じていた。また、地山が露出した剥落部では背面地山と吹付の間に空洞が確認され、部分的に吹付が浮いた状態であった。露出した背面地山は風化した泥岩と想定され、風化・スレーキングによる土砂化により開口部や水抜きパイプから流出している状況が確認された。一方、吹付と地山の密着性の喪失に伴う吹付の滑動（ズレ落ち）や座屈といった変状はほとんどなく、法尻や側溝に変状はないため背面地山自体は比較的安定していると推測された。



写真-1 法面状況写真

(2) 打診音調査結果

1m×1m程度の範囲を1区画として打診音調査を行い、その結果を以下に示す（図-1参照）。

- ・法面のほぼ全体にわたり不健全～やや不健全箇所が確認され、のり面全体で吹付と背面地山の密着性が低下しているものと考えられる。
- ・法肩部については比較的健全な箇所が多く存在しているが、特に顕著な傾向は確認されない。
- ・一般的に吹付と地山との密着性の低下は、地山の風化の進行によるものと考えられており、今回においても、長年にわたり繰り返された凍結融解作用によ

り、風化が進行しているものと想定される。

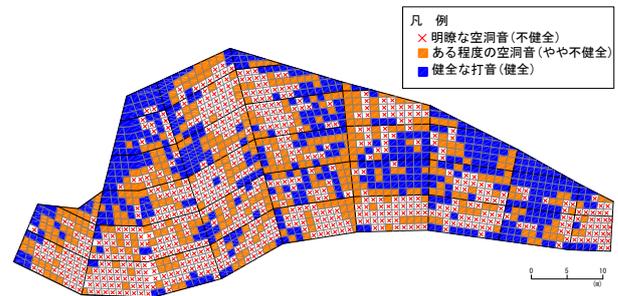


図-1 打診音調査結果

(3) クラック調査結果

法面上のクラックを目視により確認し、その位置、延長を記入した。その結果を以下に示す（図-2参照）。

- ・法面下方に多くのクラックが確認され、単独のクラックが多く、連結して広範囲にわたるものは少ない。
- ・法面下方に剥離・剥落が多く、背面地山が露出している。
- ・クラックは地山まで貫通していると判断される。
- ・クラックの開口幅は1～3mm程度。
- ・目地の所々に植物が侵入している。
- ・当該吹付のり面において湧水は確認されなかった。

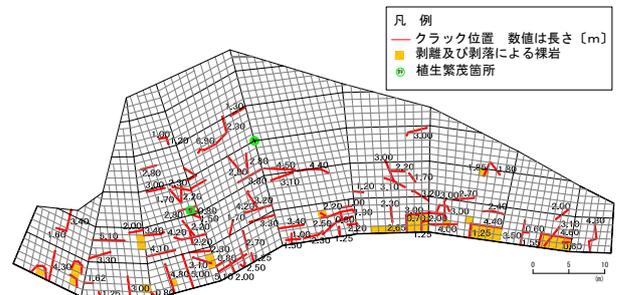


図-2 クラック調査結果

(4) 法面掘削調査結果

法面掘削調査箇所的位置については、打診音調査およびクラック調査の結果を基に図-3 に示す箇所に設定した。その結果を以下に示す（図-3 参照）。

- ・開口調査5箇所の吹付厚さの平均は62mm程度。
- ・背面地山は風化浸食により土砂化しており明瞭な空洞は確認されなかった。吹付が剥離して地山が露出した箇所では吹付の浮き・空洞が確認されているが、のり面全域に空洞が存在しているとは考えにくい。
- ・経年劣化により発生した表面剥離や寒冷地域において繰り返される凍結融解作用により、地山の風化が進行（土砂化）しているものと考えられる。
- ・アンカーピンによる貫入試験の結果は平均で124mm程度であり、背面地山はある程度風化が進行しているものと想定される。

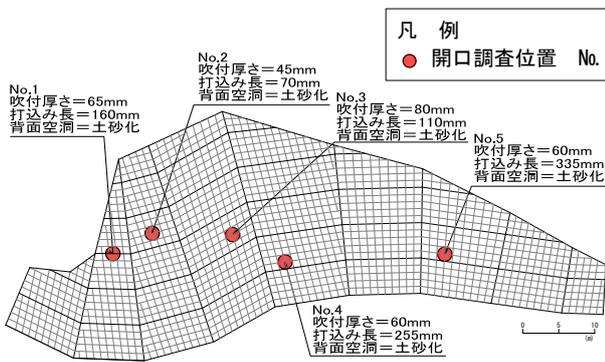


図-3 法面掘削調査結果

(5) モルタル吹付法面の評価

今回は、個々の着目点に対する評価結果に基づき、当のり面の総合的な健全度の評価を表-1に示す。その結果、全体的に当該吹付のり面の性能は低下しているものと判断され、当該吹付のり面の劣化原因・機構に応じた総合的な健全度はC（低下）と評価する。

表-1 のり面の総合的な健全性評価¹⁾

強度厚さ	表面劣化剥離	ひび割れ	滑動	背面空洞	総合健全度
C (低下)	D (著しく低下)	C (低下)	C (低下)	C (低下)	C (低下)

3. 調査ボーリング結果

今回、対策工法を検討する上で風化深度の把握が必要となり、図-4に示す4箇所にて調査ボーリング(B-1~B-3孔:水平削孔角度0°、B-4孔:鉛直)を実施した。

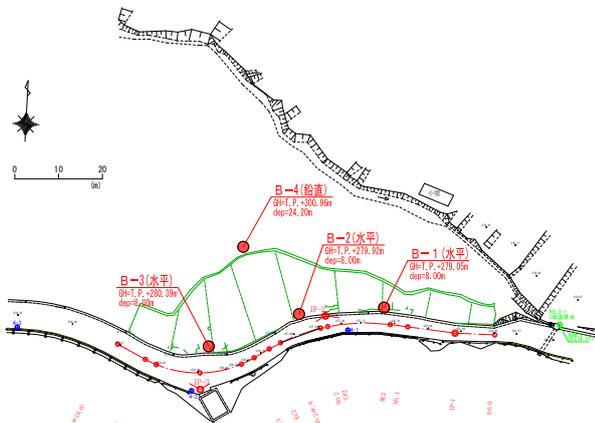


図-4 調査位置平面図

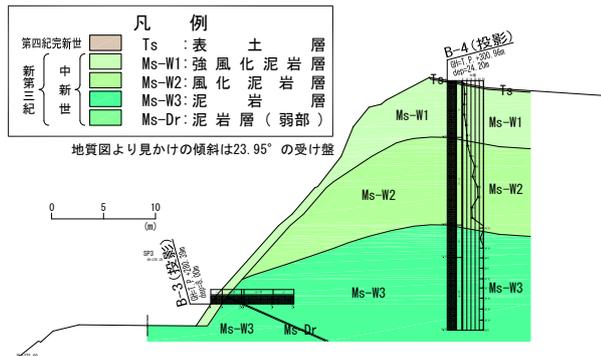


図-5 横断面図 (測線 SP3)

調査ボーリングの結果、地表面より新第三紀中新世に

位置する泥岩 (Ms-W3) が分布し、水平ボーリング (B-1~B-3孔) では GL-0.50~-1.10m 付近まで、鉛直ボーリング (B-4孔) では GL-14m 付近まで風化 (Ms-W1~Ms-W2) が進行していることが判明した。水平ボーリング (B-1~B-3孔) においては、比較的新鮮である泥岩層 (Ms-W3) 中に弱部 (Ms-Dr) を層厚0.25~2.0m 程度で挟入することが確認された。今回は、図-5に示す5層に大別区分し、各層の地質状況及び地盤定数等を表-2にまとめる。

表-2 地層概要表

地層区分	地層名	層厚 (m)	地層概要	N 値 (吹)	調査区分	調査深度 (m)	調査結果 (吹)	調査結果 (吹)	調査結果 (吹)	E・a (吹)	調査結果		
第四紀	Ts	0.15	0.15m以下で、土質は均質な土壌とする。砂質土、粘土を含む。	-	-	-	16	15	15	11,200	1	11,200	1:1.2
	Ms-W1	0.50 ~ 0.15	0.15m以下で、土質は均質な土壌とする。砂質土、粘土を含む。部分的に100~150mm程度の空隙を有する。	3 ~ 10	D	4	16	15	15	11,200	1	11,200	1:1.2
第三紀	Ms-W2	0.50 ~ 0.15	0.15m以下で、土質は均質な土壌とする。砂質土、粘土を含む。部分的に100~150mm程度の空隙を有する。	12 ~ 37	D ~ C	21	16.6	102.5	38.4	21,725	4	98,900	1:1.0 ~ 1:1.2
	Ms-W3	1.45 ~ 0.50	0.50m以下で、土質は均質な土壌とする。砂質土、粘土を含む。部分的に100~150mm程度の空隙を有する。風化は多く褐色化するが、風化・変質は認められない。	42 ~ 114	C _U ~ C _B	103	19.3	368.7	21	65,907	4	350,148	1:1.0
新第三紀	Ms-Dr	0.15 ~ 2.00	0.15m以下で、土質は均質な土壌とする。砂質土、粘土を含む。部分的に100~150mm程度の空隙を有する。風化は多く褐色化するが、風化・変質は認められない。	16 ~ 15	D	-	16	15	15	11,200	1	11,200	1:1.2

設計N値は現場N値(N値)の1.2倍(1.5倍)を指す。E・aは現場E・a値(吹)の1.2倍(1.5倍)を指す。

4. 現地作業時の留意点

調査箇所は通行量は少量であるが、周辺には果樹畑があり、調査時期が収穫時期の最盛期であった。道路幅が約4.5mと狭く、水平ボーリング作業時には、交通規制(車両通行止め)を行う必要があった。迂回路はあるが、30分程度のロスが生じる可能性があった。発注者が地元と協議した結果、果樹畑関係者の通行を確保してほしいとの要望があった。そのため、水平ボーリング作業中は、足場を通常より高くし、果樹畑関係者の軽トラック等に限定して車を通行させながら、無事作業を完了することができた。

5. まとめ

本文は、老朽化したモルタル吹付法面の健全度の評価を各種調査(法面目視調査、打診音調査、クラック調査、法面削孔調査結果)により判定すると共に、法面の地質状況の把握のための地質調査(鉛直ボーリング及び水平ボーリング)を実施した一事例を示したものである。このように複数の調査手法を採用したことにより、調査精度の向上に非常に有効であったと考えられる。今回は、健全度評価にあたり、直接的な手法(法面目視調査、打診音調査、クラック調査、法面削孔調査結果)のみで実施したが、今後は、今回地形的に実施が不可能であった間接的な手法(熱赤外線画像調査)なども採用し、更なる調査精度の向上に努めていきたいと考えております。

《引用・参考文献》

1) 吹付のり面 診断・補修補強の手引き (2017) : のり面診断・補修補強研究会, pp. 86-97.