

# 令和5年6月豪雨により和歌山県北部で発生した河川災害の概要報告

株式会社タニガキ建工 ○谷垣 嘉基, 谷垣 勝久, 田和 照大

## 1. はじめに

令和5年6月1日から3日かけて、梅雨前線が西日本に停滞し、台風第2号により前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、太平洋側を中心に記録的な豪雨となった。6月2日には和歌山県内で初めて線状降水帯が発生し、県北部を中心に最大24時間雨量が300mm以上となり、有田郡湯浅町では観測史上1位となる最大1時間降水量83.5mm及び最大24時間降水量385.0mmを観測するなど、県内で記録的な豪雨<sup>1)</sup>となった。

本報告では、県北西部に位置する海南市の且来を流れる「亀の川」での河川施設の被災状況についてまとめる。

上図の図-1に県内の総雨量分布と、海南市および亀の川近傍の雨量観測所「和歌山」、「湯浅」の位置を示し、図-2に各地点での雨量を示す。

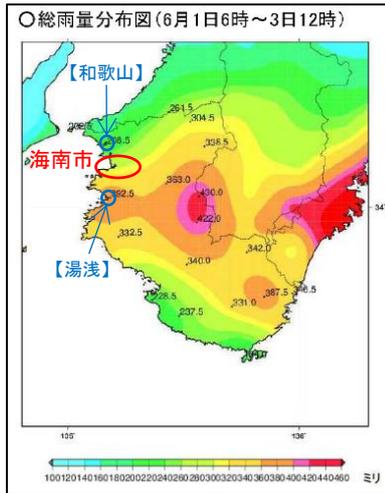


図-1 総雨量分布図<sup>2)</sup>

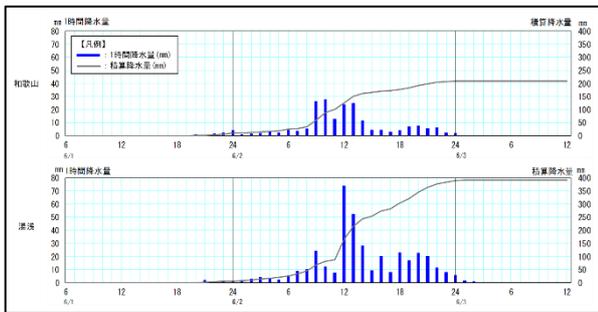


図-2 6月1日～3日の雨量(和歌山・湯浅)<sup>3) 4)</sup>

## 2. 県内の被害状況

この豪雨に伴い、今回報告する亀の川を含む県内12河川で氾濫危険水位を超過し、氾濫により床上浸水964棟を含む3,147棟の住宅被害が発生した。その内約45%にあたる1,418棟の住家被害が海南市で発生し、災害救助法が適用された<sup>2)</sup>。

## 3. 亀の川流域の地形地質概要

### (1) 地形

亀の川は、その源を紀伊山地より東西方向に延びる長峰山中に発し、古亀の川が堆積した地層を深く刻んできた海南市南野上谷から、阪井、小野田の中流部を経て、

且来より下流に広がる沖積平野、布引砂州を西へ切って直進し、和歌浦湾に注ぐ、流域面積21.5km<sup>2</sup>、流路延長約14kmの二級河川である<sup>5)</sup>。

### (2) 地質

亀の川の上流・中流域を中心に変成岩(泥質片岩)を主体とした山地・丘陵地が広がっているが、中流・下流の河道沿いには主に砂層による沖積平野が開け、住宅地や稲作地に利用されている<sup>5)</sup>。

## 4. 被災状況

調査を実施した海南市且来での河川施設災害箇所的位置図を図-3に示し、各地の被災状況と概要を以下に示す。



図-3 被災箇所位置図<sup>6)</sup>

### (1) 1区

1区は直線区間の高さ約4mの護岸工(コンクリートブロック積)が、右岸側約41mにわたり被災した。被災の形態としては、「コンクリートブロックの河川側への転倒(下流側約25m)」、「護岸工の背面土砂及び管理用道路の流出(残る上流側約16m)」が確認された。

被災区間の上流端付近の管理用道路上に流木を確認したことや、近隣住民からの情報提供などから、被災区間より上流側において水位が護岸高を超過し、護岸工の背後地へ溢水したと考えられる。

被災の原因は、溢水により護岸工の背面へ河川水が浸透し、その後、護岸工背面に残留水圧が作用することでコンクリートブロックが転倒したものと考えられる。

なお、現地調査時には次回出水時に背後地や健全な護岸がさらに被災しないよう、応急対策工事(大型土のう工及び袋詰め玉石工)が施工されていた。



写真-1 1区の被災状況(1)



写真-2 1工区の被災状況(2)

## (2) 2工区

2工区は湾曲区間の高さ約4mの護岸工（コンクリートブロック積）が、右岸側約80mにわたり被災した。被災の形態は、「管理用道路のひび割れ（被災全長）」「管理用道路の陥没及び護岸裏込め土砂の流出（下流側約50m）」が確認された。また、被災区間のコンクリートブロックについては、裏込め土砂が流出していたものの、亀裂や傾倒、基礎部の空洞などの変状は確認されなかった。

護岸工沿いのガードレールへの草木の付着や背後地の畑作地の浸水跡から、被災区間より上流側において護岸工背後地へ溢水したと考えられる。

被災の原因は、水衝部での護岸基礎周辺の河床の局所洗堀と、溢水後の河川水位低下時の護岸背面に作用する残留水圧により、洗堀された護岸基礎下部から裏込め土砂が流出し、管理用道路の陥没が発生したと考えられる。

ただし、現地調査時には護岸基礎部の浮き等は確認できなかったため、護岸基礎部付近は水位低下による流速減少時に土砂により埋そくしたものと考えられる。



写真-3 2工区の被災状況

## (3) 3工区

3工区は固定堰の下流側に位置する直線区間となっており、上下流側をコンクリートブロック積工に挟まれた高さ約3mの護岸工（空石積）が左岸側約60mにわたり被災した。被災の形態は、「空石積護岸の流出（5ヵ所）」、「護岸天端盛土の浸食（上流側約20m）」が確認された。

被災区間背後地の雑草が被災の上流端付近から下流に向かってなぎ倒されていることや、対岸の畑作地に細砂

が堆積していたことから、被災区間より上流側において兩岸から護岸工背後地へ溢水したと考えられる。

被災原因は、「側方侵食による空石積の流出」、「河川内の土砂堆積による河道の左岸側への偏り」、「護岸工背後地への溢水」により一部の空石積護岸の流出及び上流側での護岸天端盛土の浸食が発生したと考えられる。



写真-4 3工区の被災状況

## 5. まとめ

今回の被災状況調査で被災が確認された3ヵ所はすべて堀込河道で発生しており、主な被災の原因としては、コンクリートブロック積工の護岸では「残留水圧」「裏込め土砂の吸出し」、空石積工の護岸では「側方侵食」がそれぞれ被災の主な原因であると推測される。

このように現地調査で確認された被災形態から被災原因を推定することで、今後災害が発生した際の対応迅速化や災害復旧等につなげていきたい。

### 《引用・参考文献》

- 1) 気象庁：梅雨前線及び台風2号による大雨（2023年6月23日）（最終閲覧日2024. 5. 29）, <https://x.gd/c7K9r>.
- 2) 和歌山県：令和5年6月梅雨前線及び台風2号による豪雨について（2023年11月）（最終閲覧日2024. 5. 29）, <https://x.gd/IoEjJ>.
- 3) 気象庁アメダス：観測地点「和歌山」（最終閲覧日2024. 5. 29）, <https://x.gd/Ksc1g>.
- 4) 気象庁アメダス：観測地点「湯浅」（最終閲覧日2024. 5. 29）, <https://x.gd/YnR0m>.
- 5) 和歌山県：二級河川 亀の川水系河川整備計画（2010年10月）（に加筆）（最終閲覧日2024. 5. 29）, <https://x.gd/ybZUC>.
- 6) 国土地理院地形図,（最終閲覧日2024年5月29日）. <https://maps.gsi.go.jp/#16>

# 令和5年6月豪雨により和歌山県北部で発生した道路災害の概要報告

株式会社タニガキ建工 ○田和 照大, 谷垣 嘉基, 谷垣 勝久

## 1. はじめに

令和5年6月1日から3日にかけて梅雨前線が西日本に停滞し、前線に向かって台風第2号周辺の暖かく湿った空気が流れ込んだため、大気の状態が非常に不安定となり、線状降水帯が発生した。近畿、四国地方の太平洋側を中心に記録的な降雨となり、この影響により和歌山県内では北部域を中心に土砂災害や、河川の氾濫による浸水など大きな被害が発生した。因みに、この降雨により令和3年度から運用を開始した「顕著な大雨に関する和歌山県気象情報」を、運用後初めて和歌山県内に発表された。

本稿では、和歌山県北部（海南市と紀美野町）で発生した道路災害の事例を報告する。

## 2. 降雨の状況

和歌山県内のアメダスでは、湯浅（74.0mm/h）、清水観測所（70.0mm/h）で日最大1時間降水量の過去最高を記録。また、かつらぎ、湯浅、清水、護摩壇山観測所で日降水量の過去最高を記録した。この降雨は、短時間に集中して発生している特徴がある。

## 3. 地形・地質概要

海南市別院地区は標高200m程度の小起伏山地の山頂部付近に位置しており、北向き斜面である。周辺には地すべり地形はほとんど見られない。また、紀美野町の上ヶ井地区は北東斜面に面した凹状地形部分にあたり、斜面標高は400m程度、周辺には防災科研が示す地すべり地形が数多く確認され、この上ヶ井地区も地すべり地形に該当する。

別院地区および上ヶ井地区には、広域変成作用を受けた三波川帯が分布している。

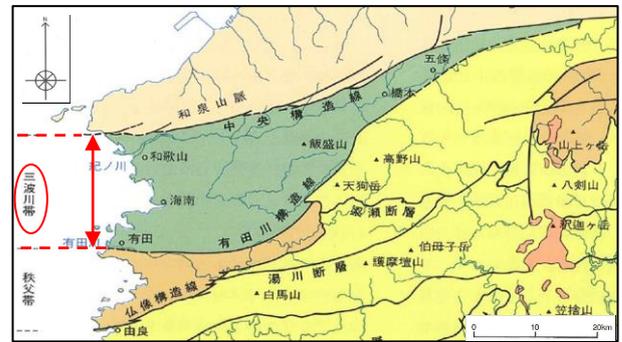


図-3 紀伊半島の地質区分<sup>2)</sup>

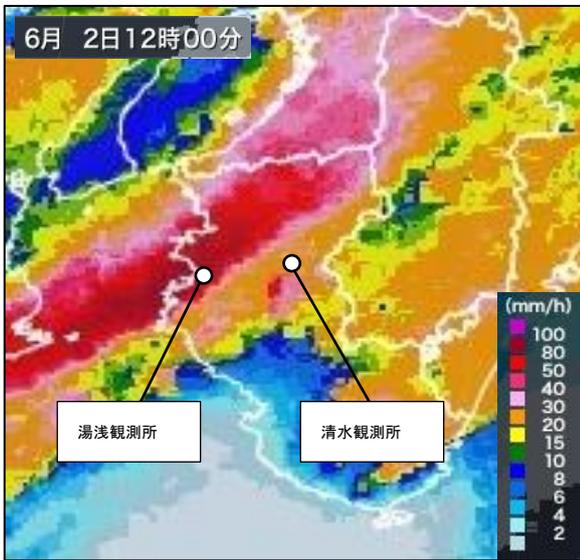


図-1 和歌山県の雨雲レーダー<sup>1)</sup>

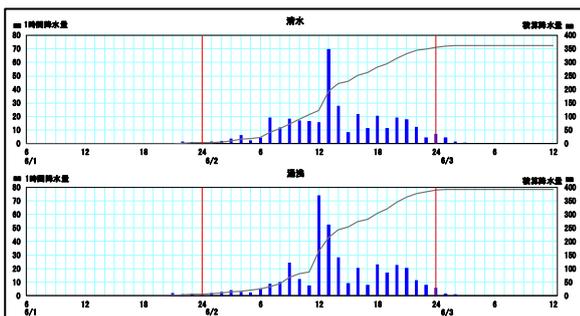


図-2 6月1日～3日の降水量

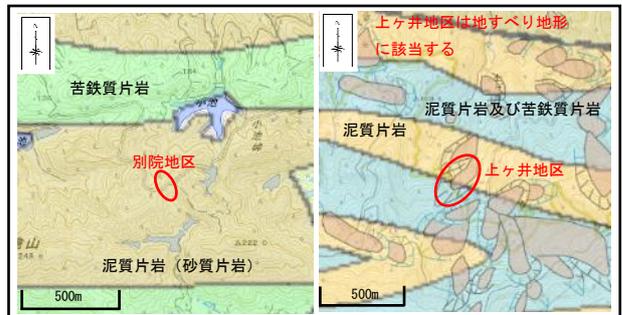


図-4 地すべり地形分布図<sup>3)</sup>

## 4. 被災状況

### (1) 別院地区

6月の記録的な降雨により林道路側が崩壊した。練石積は損壊し、道路路肩はオーバーハングしている。被災地は北向き斜面で崩壊が発生しており、崩壊幅は最大で30m程度、崩壊斜面長は70m程度である。崩壊の背後斜面には崩壊に伴う亀裂等の変状は確認されなかった。また、斜面下部には、崩壊土砂が流動化しており、崩壊地上部には湧水が一部で認められる。

山側にはコンクリート側溝が道路沿いに設けられているが、側溝には土砂が堆積している・排水機能が全く発揮されていない。

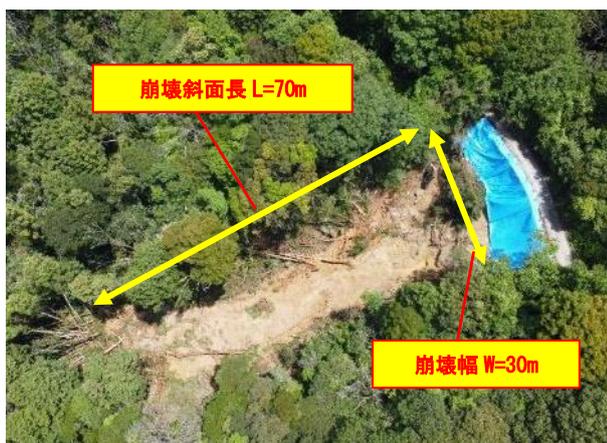


写真-1 別院地区の被災状況

## (2)上ヶ井地区

令和5年6月2日未明、紀美野町上ヶ井地区の主要地方道の谷側路側が崩壊し、路側擁壁やガードレールも損壊したため、全面通行止めとなった。アスファルト舗装には、何度もオーバーレイ舗装で修復された箇所が認められる。崩壊は北東向き斜面で発生しており、崩壊幅は40m程度、崩壊延長は30m程度である。被災地は緩斜面の集水地形で、非常に水が豊富である。斜面下方は旧稲作地で下部は湿地となっている。また、過年度資料で被災地では平成23年度に地すべり変動が確認されていた経緯を有していることが判明した。当時は被災地と隣接している工区で地すべり対策が行われているが、被災地では、地すべり変動が非常に緩慢なため、地すべり対策が未対策であった。今回の崩壊発生の素因の一つに「地すべり」が想定されるため、地すべり調査に着手した。現地調査を行い、地すべりブロック推定し、頭部、側部、ブロック内に地表伸縮計を設置し、調査ボーリングを4ヶ所で行った・なおブロック末端部には、表層崩壊跡が認められ、湧水が確認される。



写真-2 上ヶ井地区の被災状況

## 5. まとめ

今回の降雨は、特に1時間降水量が大きく、短時間で雨水や表流水が崩壊地内へと浸透したと想定される。

別院地区においては、道路沿いの側溝が排水機能を発揮しておらず、本来、側溝を流れる水が道路沿いに集まり崩壊地内へと流下したことが崩壊の主な誘因であると考えられる。

上ヶ井地区では、過去に地すべり変動が確認されていたが、未対策であった。地下水や表流水により、ブロック末端部が浸食されたことにより崩壊し、これに追随する形で、道路路側も崩壊したと考えられる。上記の崩壊により、沈静化していた地すべりが滑動を始めたと想定される。

今回の道路災害では、別院地区、上ヶ井地区以外を含めて盛土の崩壊が多く見られた・道路上に表流水が集まりやすい箇所が多かった・また、盛土の沈下等による舗装の修復跡が多く見られた・地すべり対策を行っている地すべり地区では斜面災害は発生していない。

## 《引用・参考文献》

- 1) tenki.jp: 和歌山県の雨雲レーダー (2023年06月02日)
- 2) (株)クボタ: アーバンクボタ No. 38. 特集「紀伊半島の地質と温泉」, pp. 9, 1999. 9
- 3) 地質図ナビ: <https://gbank.gsj.jp/geonavi/> [R6. 5. 31 取込]

【CO57】

# 河川護岸に接する道路の路面陥没発生要因の推定事例

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○鍵山 昌伯, 春口 孝之, 泉水 友裕

## 1. はじめに

本稿では、河川護岸沿いの道路で発生した路面陥没について、変状発生要因を解析し対策した事例を紹介する。



写真-1 路面陥没発生箇所の状況

## 2. 空中写真判読

空中写真判読結果を図-1に示す。変形箇所付近は水田であり、河川の流路を規制する地形は見当たらない。さらに、今回の陥没箇所の直上流の河川の流路は、橋梁箇所で急に屈曲している。川の本来の流下方向は線路と約15°という角度で交差している。この角度のまま線路が

河川を横断すると、橋梁はかなり長いものとなる。このため、河川を付け替えて、橋梁区間を短くした可能性が高い。陥没箇所直上流に橋梁が設けられ、線路に対して高角度で河川が交差する形となり、河川は橋梁の直下流でもとの流路へ接合された。

付け替え河川と旧流路の関係を図-1に示す。護岸部分は、河川の攻撃斜面となっているため、洗掘を受けやすい護岸である。護岸の変形区間は、ちょうど旧河川の流路を横断している区間と一致している。そのため、旧河川のゆるい堆積物の上に護岸が構築されたことになり、旧河道に堆積していたゆるい層の上に構築された護岸に限定的な変形が生じたと考えられる。

## 3. 現地調査

### (1) 変形結果観察

現地観察の結果を図-3に示す。陥没エリア内に設置されている照明柱は、道路側に3°傾倒している。照明柱基礎部の川側に亀裂は開口しており、道路側はアスファルトにめり込んでいることから、道路側に陥没の中心がある。道路川側は護岸となっており、護岸天端より道路側は約14cm沈下している。

護岸には、図-3に示すようにアーチ状の亀裂が形成されている。ブロック積の上には、直高0.5~1.0m程度の擁壁が設置されている。現地観察では、護岸下端付近に空洞を複数箇所確認していることから、護岸の変形は、洗掘に伴うものと判断する。これに対し、亀裂の上位のブロック積および擁壁に変形はほとんど無く、アーチ状の開口亀裂が発達している。この形状から、護岸上部は一体としてアーチアクションを示していると判断する。

### (2) 地中レーダ探査結果

洗掘による空洞の有無を把握するために、地中レーダ探査を実施した(図-2)。探査の結果、車道部分には、空洞は検出されなかったが、表層で陥没が確認されているエリアでは、深度1~2m以深にゆるみゾーンが検出された。

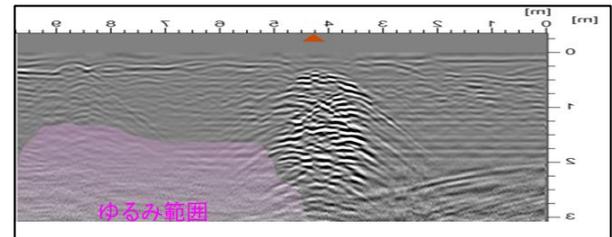


図-2 地中レーダ探査結果例

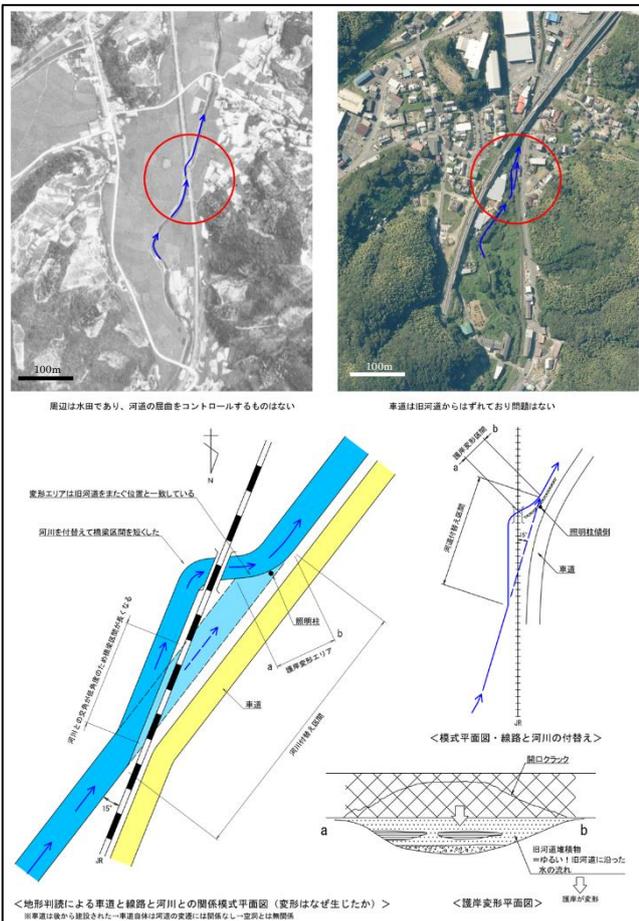


図-1 空中写真判読結果概要<sup>1)</sup>

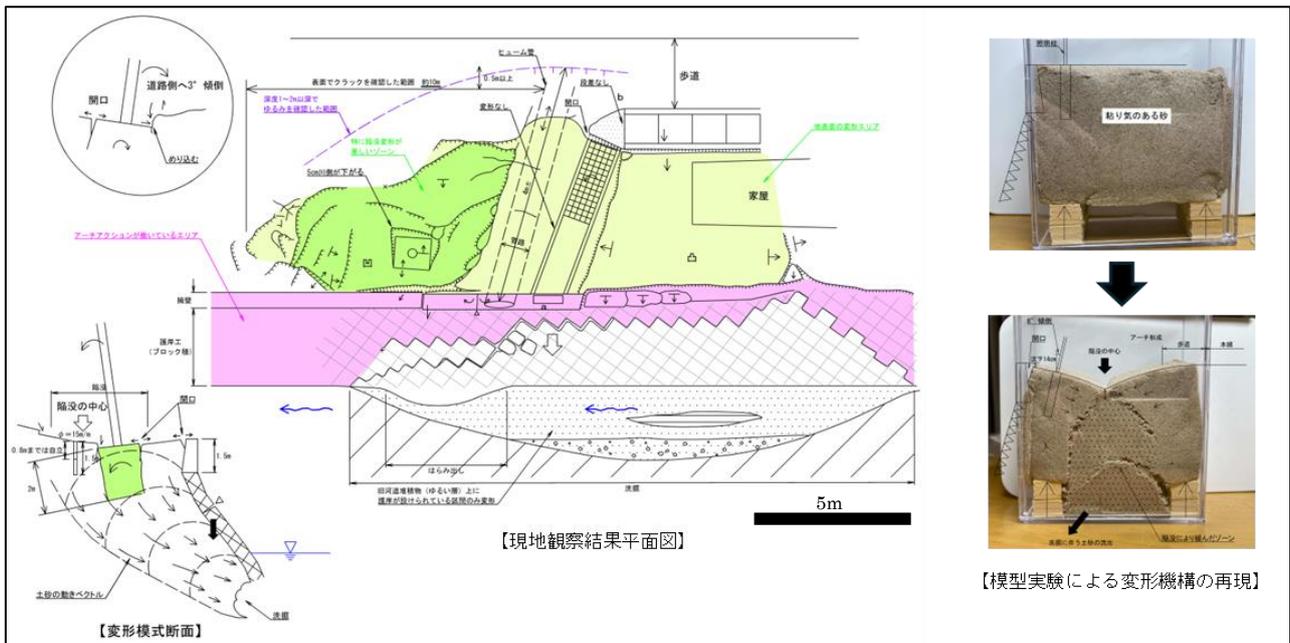


図-3 現地観察結果概要

#### 4. 変状要因

以上の地表面観察結果をもとに推察される変形機構を、図-4に示す。

護岸の洗掘により護岸背面の沈下が発生し、敷設されていた横断管と水路に破断が生じ、中を流下していた雨水が継ぎ目から護岸背面に供給された。この結果、洗掘に起因する陥没に加えて、横断管や水路からの漏水により、照明柱基礎部の土砂が流出し、基礎部に空洞の形成あるいは、ゆるみゾーンが形成されやすい状況となった。

照明柱の変形は、次のような因果関係で生じた。護岸の洗掘、護岸背後の変形→水路や横断管の変形→破断した継ぎ目からの漏水→空洞の形成→陥没の形成→照明柱の傾倒。このように、護岸の変形は護岸の洗掘が要因と判断される。照明柱の基礎は2mあることから、道路側への傾倒は、基礎部の底面(深度2m以深)以深のゆるみが影響していると判断される。照明柱より道路側の亀裂は、亀裂を境に相対的に川側が落ちていることから、陥没の中心は、照明柱の道路側と推定する。

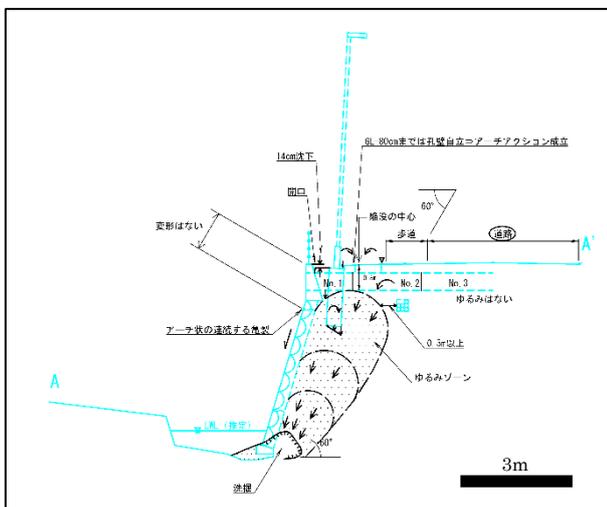


図-4 変形機構概要

#### 5. 調査結果を踏まえた対策

車道部には、空洞およびゆるみゾーンはなく健全と判断している。護岸の洗掘に伴うゆるみが、地表面近くまで到達し、表面の陥没、照明柱の傾倒を引き起こしている。現状は、護岸の洗掘に伴い、護岸下端付近が解放された状態にあり、仮に陥没部分に土砂を投入しても、洗掘部から土砂が抜け出す可能性が高い。そのため、本対策としては護岸の洗掘部分を根つぎし、土砂の流出がなくなったのち、護岸背後の陥没エリアの処理を行うことを提案した。また、応急対策としては護岸前面に大型土嚢を設置および表層の亀裂等から地盤内への雨水の侵入を防止する措置を実施した。

#### 6. おわりに

大型土嚢の設置後、路面上の亀裂や陥没等の変状の進行は収束した。また、現在は本対策が完了しており、令和6年4月17日に豊後水道沖で発生した地震により当該箇所周辺では震度5強を観測したが新たな変状等は発生していない。

初動調査で地形を判読し、その結果を踏まえて現地観察を精度よく行うことで、よりの確な変状要因の推定ができた。地形判読と現地観察を繰り返すことにより精度の高い変形予測が可能となる。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院, 地図・空中写真閲覧サービス, (最終閲覧日2024年5月28日)。

<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>

# 堤内地で発生した漏水（湧水）に関する調査事例

興亜開発(株) ○富山 恵介, 中森 郷子, 宮武 也司弘, 筒井 壮之

## 1. はじめに

豪雨時に堤内地で発生する漏水現象について、漏水が堤体法尻付近で発生したこと、漏水した水が濁水を伴うこと、そして漏水現象が豪雨時に繰り返し発生していることが報告された。

本事象は堤体の健全性が損なわれている可能性が考えられるため、漏水に関する調査を行った。



(漏水周辺の地形図)

## 2. 概要

### (1) 漏水現象について

豪雨の翌日に堤内地側の堤防法尻周辺から漏水が発生した。漏水発生位置および状況を図-1 に示す。

漏水はゴルフボール程度の孔から白濁水を伴って湧出していった。漏水量は不明であるが、発見者からの聞き取りより相当量の水量が漏水していたと考えられる。

また同様の漏水現象は過去にも発生しており、数年に一度程度、今回と同様に豪雨後に漏水が発生している。



(漏水状況)

(平時)

### (2) 漏水現象発生時の気象・河川状況について

漏水現象発生時の降雨量および河川水位の経過を図-2 に示す。漏水発生2日前から時間雨量5~20mmの降雨が続き、72時間雨量は200mmを超えた。

河川水位も降雨の経過時間に伴って上昇し、漏水現象発生時の河川水位は、平時より1.8m程度上昇していたと推測される。

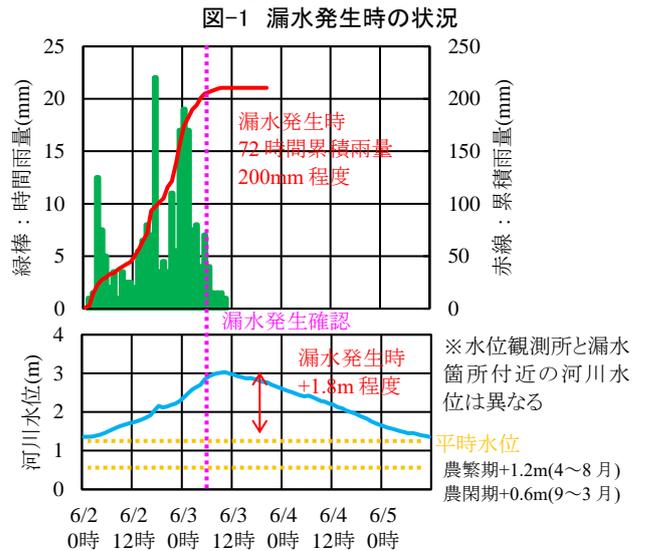


図-2 時間雨量・累積雨量・河川水位の推移

## 3. 調査結果

調査は、(1)資料・文献調査と(2)現地調査を実施した。

### (1) 資料・文献調査結果

#### ① 周辺の地形・地質について

周辺地形は主に台地とこれを下刻してできた低地部からなる(図-3 参考)。低地部は谷底平野と湖岸低地に細分される。低地部は江戸時代頃の干拓事業において陸化されており、以前は湖沼であった。湖岸低地は湖沼時代の自然堤防等の名残りである。

漏水発生地点は、この湖岸低地に位置する。

#### ② 河川について

漏水発生箇所近傍には、谷底平野の中央とその外縁を河川 A, B, C が流下している。

これらの河川は干拓事業に伴って作られた承水路(排水路)であり、いずれも人工河川である。3 河川は江戸時代～昭和初期かけ造成、流路の付け替えなど改修工事の記録があった。時代背景などから、堤体は周囲の台地や低地地盤を材料としていると考えられる。



図-3 周辺の地形分類図<sup>1)</sup>

河川の改修工事は繰り返し発生する水害対策として実施されており、元来から水捌けの悪い土地として苦慮されている地域であった。

## (2) 現地調査結果

現地調査はボーリング調査を、漏水箇所を含む堤体の横断、縦断方向に3箇所実施した。またボーリング調査を補間し、堤体および基礎地盤の土質構成とその連続性を把握するため、比抵抗二次元探査、サウンディング試験を併た。

ボーリング調査においては、堤体や基礎地盤の漏水現象と関係する地下水流動層の有無を把握するために多点温度層、現場透水試験を実施した。

調査結果より作成した堤体・基礎地盤の想定地層断面図を図-4に、比抵抗二次元探査結果図を図-5に示す。

### ① 堤体の土質

堤体は粘性土を主体とした地層構造であった。また構成材料が堤体上部と下部でやや異なり、堤体上部はシルト質、下部は粘土質であった。比抵抗二次元探査結果図からも、堤体表面と深部で比抵抗値が異なる傾向を示し、堤体材料が上下部で異なる結果が得られた。

### ② 基礎地盤の土質

基礎地盤は洪積層が分布しており、厚さ1m程度の砂・粘土互層および厚さ2m程度の粘土層で構成されていた。互層および粘土層は縦断および横断方向に連続性がみられた。これらは周辺の地形・地質の特徴より台地縁部の地層と考えられる。

堤内地の表層には沖積粘性土が層厚2~8m程度で分布することが確認された。

### ③ 地下水位および地下水流動層について

地下水位は、堤体と基礎地盤の境界付近よりやや低い深度、堤内地地盤面より0.5m程度低い位置であった。

温度検層結果を図-6に示す。温度検層を調査深度(GL-1~12m)で実施したが、温度復元率に著しい傾向はみられず、地下水流動層は確認されなかった。

堤体と基礎地盤の境界に分布する砂層の透水係数は $k=1.4\sim 4.4\times 10^{-7}\text{m/s}$ 程度を確認し、低い透水性を示した。

## 4. おわりに

調査結果から、今回の漏水が堤体および基礎地盤を経路として河川水が漏水した可能性が低いことが示唆された。今回、調査時期が非出水期であったこと、漏水時の河川水位・地下水位について、観測データがないことから、今度も継続して調査・検討を行っていく予定である。あわせて、堤防の安全性照査も実施する予定である。

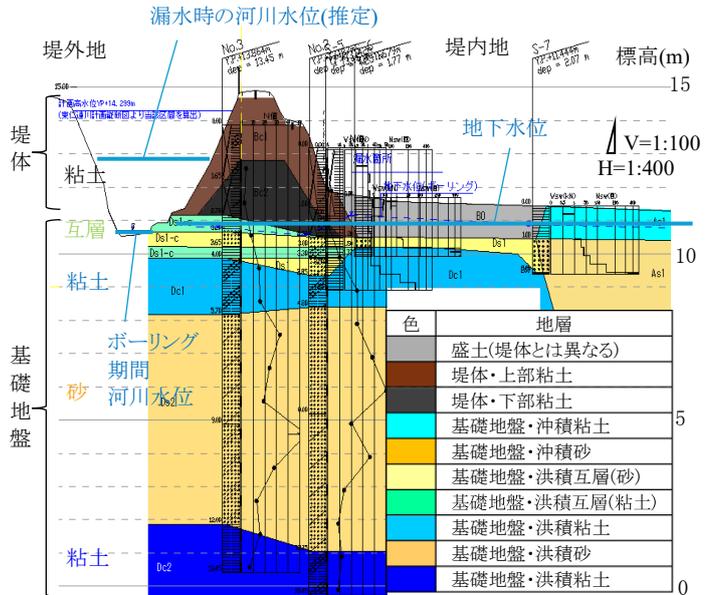


図-4 堤体・基礎地盤の想定地層断面図

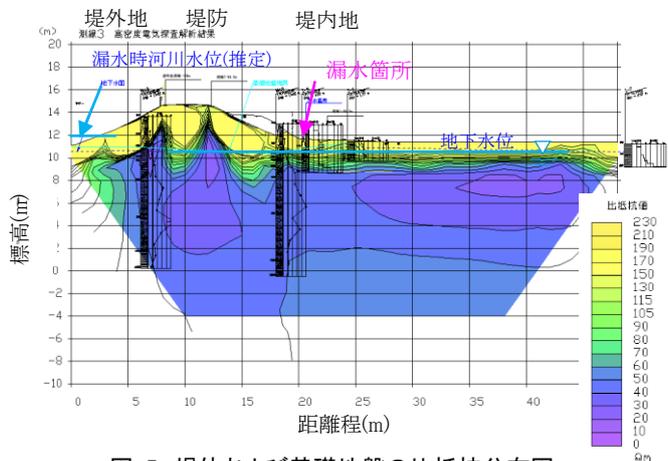


図-5 堤体および基礎地盤の比抵抗分布図

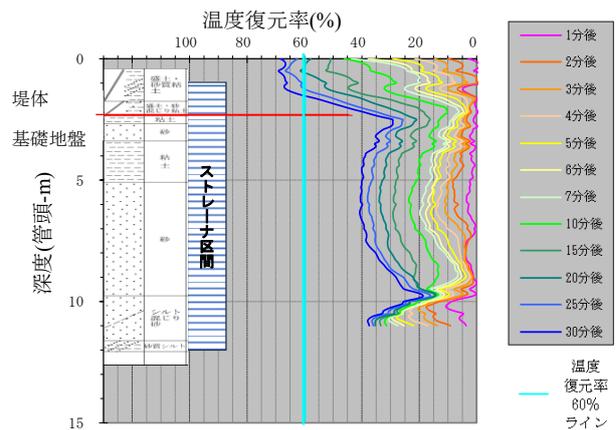


図-6 温度検層結果図

## 《引用・参考文献》

- 1) 茨城県国土調査(1984): 土地分類基本調査 地形分類図 水海道。

【CO59】

海岸急峻地での新道路トンネル計画における地質リスク評価と地質調査事例

株式会社村尾技建 ○池田裕香 江村剛 波形治 長谷川和弘 草野互

1. はじめに

本事例は、海岸部に面した急峻地における新たな道路トンネル計画のための地質調査である。当該道路は主幹線道路である一方で、地形条件の厳しさにより道路線形が悪く土砂災害の危険があるため、抜本的な路線変更が計画されている。このため、地質リスク保有箇所を予察的に抽出し、効果的な調査を行うことが課題であった。課題を踏まえ、赤色立体地図を用いた地形分析を行い、地質リスク保有箇所を抽出・整理し、調査を実施した。

2. 事業目的

対象とする事業は、海岸部に面した急峻地における新たな道路トンネル計画（別線整備）である。

当該道路は高速道路と並走する国道であり、緊急時や物流面で多用される主幹線道路である。一方で、災害危険箇所が存在し、連続雨量による事前通行規制区間が設定されている。このため、通行規制に伴う集落の孤立や交通の滞りなどの問題を抱えている。また、塩害や波浪による構造物の老朽化が進んでおり、補修工事に伴う通行規制も非常に多い。

道路トンネル計画は、これらの防災上の問題や構造物の老朽化といった課題を解消することを目的としており、本事例ではトンネル坑口付近の地質調査を実施した。

トンネルは路線が決定された後では、大幅な変更が難しい。坑口付近の調査結果は施工や維持管理に関連し、トンネル計画段階の調査として重要となる。

3. 調査地域の特徴

(1) 地形

調査地域は、全体として急峻な山地が海にそのまま接して海岸線をなす（図-1）。本事例の対象である4号トンネル新潟側坑口部の既存道路付近には、急斜面と緩斜面および平坦地の地形的な変化が確認される。緩斜面の

東側では河川が直線的に流下する。

調査地付近は、既設道路の他に高速道路や新幹線・在来線が通り、他機関のトンネル構造物が数多く存在する。

(2) 地質

調査地に分布する地質は、白亜紀～古第三紀に形成された火山岩および火砕岩である。同地域の工事記録からは、安山岩およびデイサイトに断層粘土を伴う破砕帯が複数存在することが判明している。このため、地質に由来する災害が非常に多い。

4. 課題

業務に先立ち現地踏査を実施し、地質調査を行う上での課題を整理した。結果を表-1に示す。

表-1\_課題、調査項目、リスクを整理した表

目的	トンネル坑口のリスク要因となりうる地質の把握	
課題	緩い崖錐堆積物の層厚と分布の把握	崖錐堆積物や基岩の性状工学的性質の把握
調査項目	ボーリング調査 弾性波探査	原位置試験・検層 岩石試験
リスク	偏土圧の発生 地耐力不足	近接構造物(高速道路・鉄道等)への影響

表1を踏まえ、本事例の重点事項を以下に述べる。

(1) 坑口周辺の地山条件について

坑口付近には、厚い未固結堆積物とその下位に基岩が分布する。未固結地山の場合、地質リスクとして湧水に伴う地山の流出や切羽の崩壊等が想定される。

このため、緩斜面を形成する未固結堆積物の分布状況、地下水状況の把握が必要となる。

(2) 既設道路への影響について

計画道路と既設道路の位置関係から、トンネル掘削は既設道路に近接して工事することになる。設計段階で近接工の影響を検討する必要がある。このため、影響判断のための工学的性質の把握が必要となる。

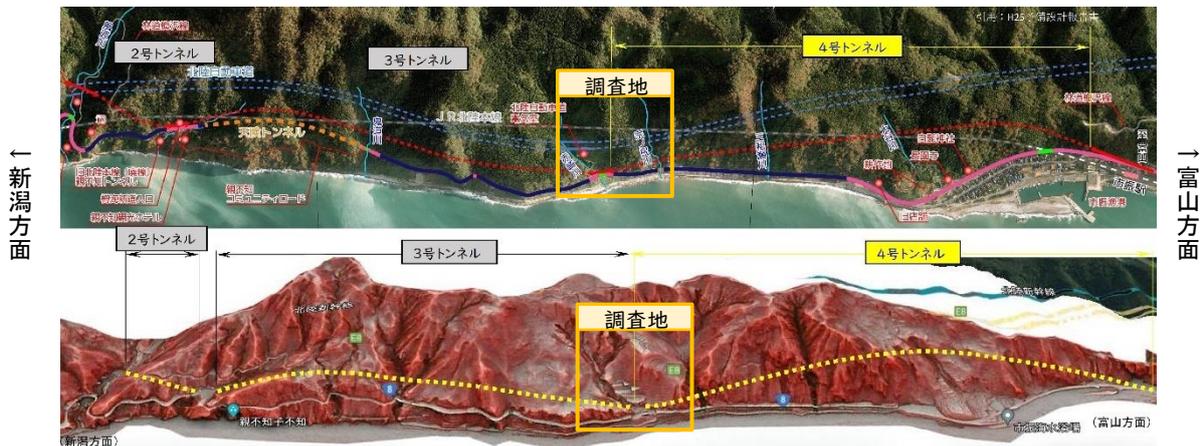


図-1 新たな道路トンネル位置図（上図：航空写真 下図：赤色立体地図（鳥観図））<sup>1)</sup>

## 5. 調査方法の提案と結果

崖錐堆積物の分布状況、基岩の性質および工学的性質を把握するために、複数の手法を用いて総合的な評価を行った。手法を以下に示す。

### (1) 赤色立体地図による微地形判読

**計画：**堆積物の平面的な分布状況を推定するため、赤色立体地図を用いた地形判読を提案し以下の結果を得た。

**結果：**トンネル坑口付近の緩斜面は、沢の流水による浸食をあまり受けていない。付近の河川も出口が狭く直線的であり、河川による浸食の影響も少ないと考えられる。このため、河川左岸側は堆積物が厚く残存していると考えられる(図-2)。

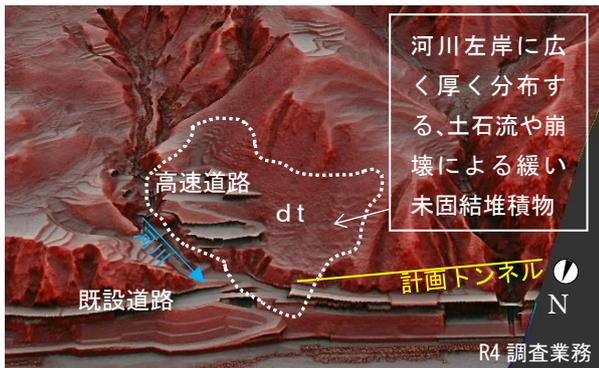
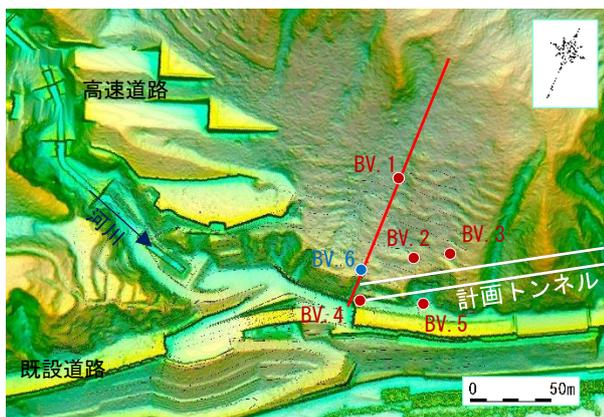


図-2 赤色立体地図(鳥観図)<sup>1)</sup>

地形判読結果は、弾性波探査やボーリング調査の位置選定の基礎資料とした。調査地点として、崖錐堆積物の分布が3次的に評価できる位置、かつ既設道路に対する影響評価に用いる地質工学的情報を得られる位置を選定した(図-3)。



● : ボーリング調査(本調査) ● : ボーリング調査(既存)  
— : 弾性波探査

図-3 調査位置図

### (2) 弾性波探査

**計画：**地形判読結果から未固結堆積物が厚く堆積する箇所を推定し、弾性波探査を提案した。弾性波探査では地震波の伝播速度の違いから深度方向に対する面的な地山の強度評価を行う。

**結果：**弾性波探査結果より、トンネル上部の斜面には、表層から最大で深度 17m 付近まで一般的に沖積層・洪積

層とされる速度値 1.5km/sec 以下の土質が分布し、深度 24m 付近まで速度値 2.0km/sec 以下の土石流堆積物などの砂礫層や亀裂の卓越した基岩等が分布する(図-4)。

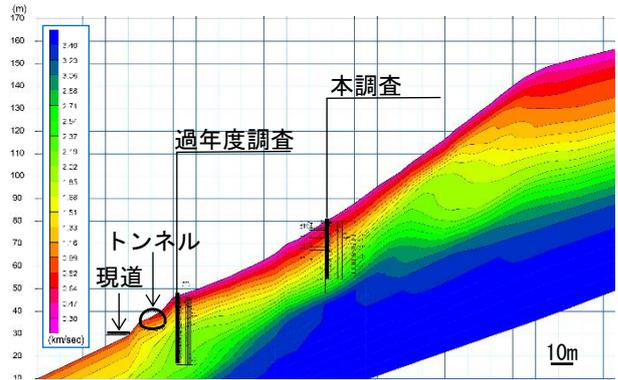


図-4 弾性波探査結果

### (3) ボーリング調査

**計画：**坑口付近における未固結堆積物の分布状況および近接工の影響評価のため、ボーリング調査を提案した。

また、弾性波探査結果と、岩質や地下水の有無などの地質条件をあわせて地山の総合的な評価とするため、未固結堆積物が最も厚く堆積すると想定される地点(BV.1)でボーリング調査を計画した。

**結果：**トンネル坑口から山側に向かうにつれて未固結堆積物の分布深度が徐々に浅くなるのがわかった。BV.4-BV.6、BV.2-BV.5 断面上においてトンネルは岩塊や玉石が混じる未固結堆積物の中を通る一方、BV.3 付近ではN値 300 程度以上の基岩を通ることが判明した。

トンネルが未固結堆積物中を通る箇所では原位置試験を実施し、基岩中を通る箇所では岩石試験を実施した。

### (4) 調査結果の総括

業務に先立ち、机上での空間情報を利用した地形判読や現地踏査により全体を俯瞰し、現地作業、室内試験へと細部へ詰めることで調査の精度向上がはかれた。坑口付近では当初の予想通り、緩い未固結堆積物が分布する。近接工の影響評価として、今後の設計業務において FEM 解析とそれを踏まえた坑門設計を提案した。

## 6. まとめ

本事例は、災害リスクが高く他機関の既設構造物が多く見られる区間において、新たに計画されている道路トンネルのための地質調査を実施したものである。微地形判読、物理探査、ボーリング調査、原位置試験、岩石試験など、さまざまな手段の調査方法を組み合わせることで、高精細な地盤情報を取得できた。

隣接する地域でも同様の道路トンネル計画が進められている。今後も空間情報の利用や物理探査、岩石試験等、総合的な手法として活用できるよう業務に取り組みたい。

### <引用・参考文献>

1) 令和 4 年度糸魚川地区地質調査その 2 業務 報告書

# 斜めボーリングを活用した断層調査の事例

株式会社キタック 岡田 謙也

## 1. はじめに

本調査地は、道路計画地内の、現道である主要幹線道路の国道を南北方向に横断する跨道橋の計画地点である。

調査地付近の既存ボーリング調査結果では、2点間で、西側のみ深度 15m で花崗岩が出現し、対する東側では深度 55m の掘進長でも砂礫しか確認されていなかった。その離隔わずか 6m 間での地質性状の違いから、高角度の断層が推定されていた。その後、80m 終点側で実施された電気探査（二次元比抵抗探査）では、西傾斜で高角度の断層と思われる構造が確認された。

道路の安全性向上の観点より、橋台が断層を跨がないように配置する必要性から、断層の正確な位置を知ることが重要である。しかし、鉛直ボーリングでは、断層位置を把握することが困難であるため、本調査では斜め下方ボーリングを実施した。

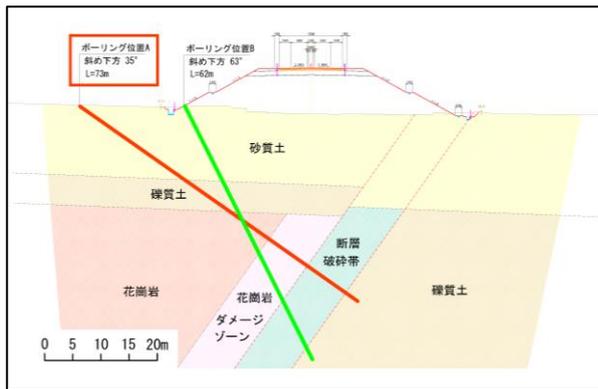


図-1 ボーリング角度の検討

## 2. 調査計画の検討

既存調査結果による地質構成、断層の推定構造から、図-1 に示すような 2 つの調査位置を比較検討した。

下位から花崗岩、礫質土、砂質土で構成される地質において、斜めボーリングで断層を把握するためには、順番に砂質土、礫質土、花崗岩を貫き、再度礫質土が出現することを確かめる必要がある。そのためには、前提条件としてまず、花崗岩を確実に捉えられるようにボーリングを配置しなければならない。

ボーリング位置 A は、推定される断層の傾斜に対して直交方向に貫くような角度（斜め下方 35°）の斜めボーリングである。

対して、ボーリング位置 B は、道路建設用地内で、なるべく花崗岩を捉えつつ掘進長を短くできる角度（斜め下方 63°）の斜めボーリングである。

ボーリング位置 B では、仮に断層が鉛直に近い傾斜であった場合、結果として掘進延長が長くなってしまふ懸

念があるため、断層をより適切に判定することが可能なボーリング位置 A を採用した。

また、断層の走向・傾斜を把握することで延長方向の推定も可能になるため、ボアホールカメラによる断層部の撮影も実施した。

## 3. 調査結果

ボーリング調査の結果より作成した地質構成表を表-1 に示す。

表-1 地質構成表

時代	地質	土質・岩質	記事
第四紀 更新世	扇状地堆積層	礫混じり砂質土	・表層に厚く堆積する。 ・径1~3cmの花崗岩質礫を混入する。 ・不均質に細粒分を混入する。 ・旧表土の有機質シルト・砂を挟在する。
	段丘堆積層	礫混じり粘土 (ダメージゾーン)	・細粒分が多く、乱されて軟質化した礫混り粘土。 ・径1cm程度の礫を混入する。
		砂礫	・コア径1~5cmの礫を多く混入する。マトリックスは粗砂。 ・礫種は花崗岩主体だが、安山岩も混じる。
白亜紀	岩船花崗岩類	花崗岩 (ダメージゾーン)	・強風化し、強度が低下している花崗岩。 ・カッターナイフで削れる程度の硬さである。 ・含まれる長石は白濁化し、原岩組織は不明瞭である。
		花崗岩	・全体に風化が進行し、酸化褐色化している花崗岩。 ・ハンマーでの軽打で容易に砕ける程度の硬さである。 ・風化により割れ目は不明瞭で、部分的に砂礫状を呈する。

当初の想定通り、地表部から砂質土、礫質土、花崗岩、礫質土の順番で地質を確認することができた。花崗岩については、既存調査のコア写真及び柱状図と比較し、同様な花崗岩であることを確認した。

ただし、斜めボーリングであり標準貫入試験が実施できないため、N値は得られていない。そのため、ボーリングコアの花崗岩範囲において針貫入試験を実施した。その結果、深度 44m 付近を境にして、一軸圧縮強度が低下していることや、コアの状況を照らし合わせて、軟質化している範囲を花崗岩のダメージゾーンとして設定した。また、砂礫については、花崗岩との境界付近で細粒分が多く、乱されて軟質化した範囲（礫混じり粘性土）をダメージゾーンとして設定した。

ボアホールカメラは、花崗岩と砂礫の境界付近である深度 51~53m 区間で撮影を行い、走向・傾斜を計測した。

## 4. 断層の評価

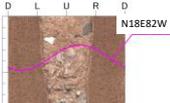
ボーリングコア及びボアホールカメラにより確認された弱面の一覧表を表-2 に示す。

ボーリングコアでは深度 52.31m において、花崗岩（ダメージゾーン）と砂礫（ダメージゾーン）の明瞭な境界が確認された。ボーリングコアでの境界部分の角度は 25° であった。ボアホールカメラの孔壁画像でも同深度において境界部が確認され、解析結果では 80° の西傾斜であった。斜め下方 35° で掘進していることを考慮すると、両者の角度は整合性がある。既存調査により推定さ

れていた「西傾斜で高角度の断層」と構造も概ね一致するため、深度 52.31mの境界部分を断層であると判断した。

また、深度53.05mにおける砂礫とダメージゾーンの境界も解析結果では、断層と類似の構造（西に急傾斜）であった。深度54.80mにおける砂礫中の粘性土も同様であった。断層と類似の構造であるこれらの境界は、断層運動に起因する（断層とほぼ平行な）ものであると考えられる。

表-2 断層構造と整合性確認

深度	性状	コア写真	ボアホールカメラ
52.31m	花崗岩(ダメージゾーン)と礫混り粘土(ダメージゾーン)の境界 断層	 コアでの角度: 25°	 N17E80W
53.05m	礫混り粘土(ダメージゾーン)と砂礫の境界	 コアでの角度: 20°	 N18E82W
54.80m	砂礫中の粘性土の上層	 コアでの角度: 20°	 N17E77W

※ボアホールカメラ撮影画像とボーリングコアでは、深度表記が若干ずれることに留意が必要である。

これらの調査結果（地質区分、断層の位置、ダメージゾーン）を反映し、掘進方向の地質断面図を作成した。

作成した地質断面図（図-2）には、断層位置に対する解釈の違いが起こらないように留意し、以下の3点をプロットした。

- A: 地表面における断層位置
- B: 花崗岩上面における断層位置
- C: 花崗岩上面におけるダメージゾーンとの境界

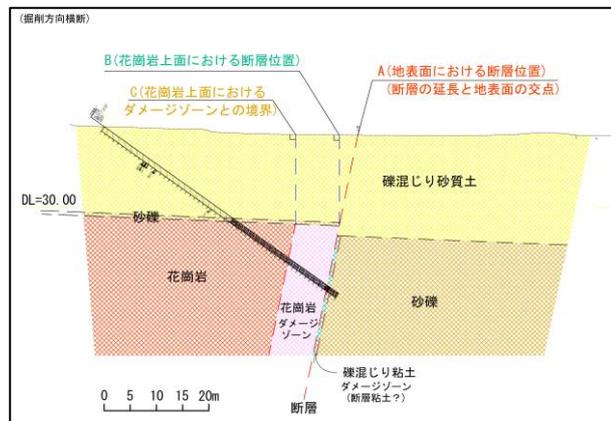


図-2 地質横断面図

### 5. 今後の留意点

ボアホールカメラの解析で、断層の走向は道路の計画線と並走することが判明した。作成した地質横断面図に基づき、想定される断層位置を平面図に示した（図-3）。

この図では、上述の3点（A、B、C）の位置、及びボアホールカメラ画像解析により判明した断層の走向・傾斜（深度 52.31m）をもとにして、想定される断層位置を示している。また、既往調査結果により、ボーリングで花崗岩が確認された位置も考慮した。

#### (1) ダメージゾーンの厚さについて

今回の調査で判明したダメージゾーンの幅は約 10m であった。一方、既存調査のボーリングでは、2 孔間の間隔は 6m であった。したがって、ダメージゾーンは場所によって厚さの変化があると考えられる。

#### (2) 支持層について

ダメージゾーンは、ボーリングコアでは軟質な部分（DL 級）が存在した。したがって、ダメージゾーンは支持層として適さない可能性があると考えられる。

#### (3) 橋台位置について

今後の橋台位置の留意点として、ダメージゾーンの境界部（C）や断層面（B）は、断層活動の際に変位する可能性があるため、橋台位置はこれらをまたがないように計画する必要があると考えられる。

また、花崗岩を支持層とする場合はダメージゾーンの境界部（C）よりも西側に橋台位置を計画する必要があると考えられる。

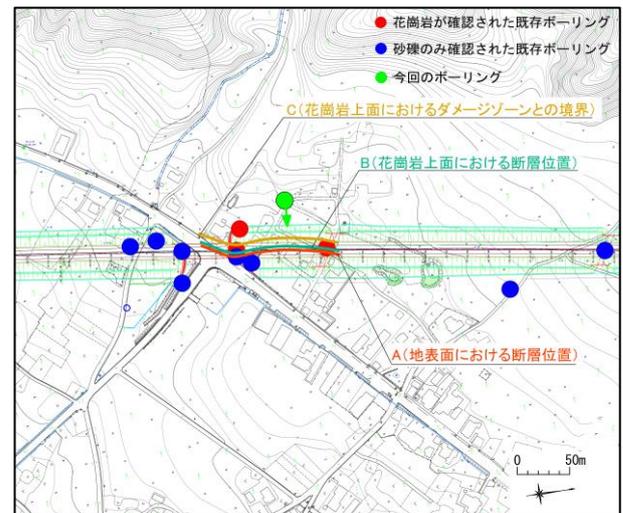


図-3 断層位置平面図

### 6. おわりに

今回のケースでは、斜めボーリングを実施することにより、断層の構造・位置、延長方向を把握し、適切に評価することができたと考えられる。また、斜めボーリングの有用性を確認することができた。

地質調査を行う場合、まずは調査目的を明確にし、その調査目的に応じて、鉛直ボーリングと斜めボーリングのどちらがより目的を達成するために有効かを検討することが重要と考える。

【CO61】

## 物理探査とボーリングを併用した既存橋梁の底版形状の調査事例

株式会社アーキジオ ○菊地 陽向子

富山県新川土木センター入善土木事務所 久保 幹也

### 1. はじめに

一般に、道路橋の耐用年数は50年とされており、架橋後50年が経とうとしている道路橋は、補修や架替を求められている。しかし中には施工当時の記録が不完全で、基礎長や仕様不明なものも多い。本調査事例では、富山県内のある橋梁に対して、磁気探査、速度検層、ボーリング調査を併用し、底版深度と形状を推定した。

### 2. 調査概要

#### (1)調査経緯

本事例では当初、橋梁の架替工事を検討していた。架替工事に先立つ地質調査として、VB-1地点及びVB-2地点で調査ボーリングを行った結果、周辺にはGL-0.8m程度まで盛土、GL-8.0m程度までシルト混り砂礫土が分布していた。以深はN値30以下の沖積層がGL-33.25m程度まで続いており、支持層が深い位置にある事が分かった。

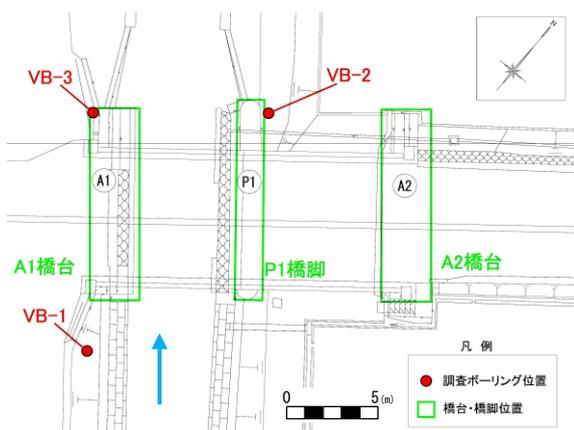


図-1 調査位置平面図

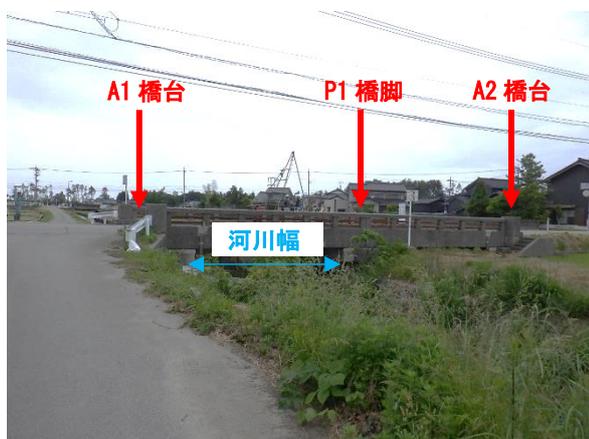


写真-1 現況橋梁の外観

また当該河川は、経緯は不明だが、現在の河川幅が橋長の1/2程度しかない(写真-1)。

以上より、経済性を考慮すると、現況橋梁を撤去した

のちに橋長を短縮し、ボックスカルバート工へ置換することが最も経済的と考えられた。これにより撤去工事の前に、現況橋梁の橋台・橋脚の形状や底版深度を把握する必要が生じたが、施工当時の記録が殆ど残っていないため、以下のような調査を立案した。

#### (2)調査手法

調査計画に先立ち、周辺の事例等からP1橋脚は鉄筋入りコンクリート製、A1橋台は無筋コンクリート製と推定された。

鉄筋入りコンクリート製であれば、磁気探査が有効で、鉄筋の最下端深度を求めることができる。また、鉄筋のかぶり厚を考慮して、速度検層も同時に実施する計画を立てた。立案がVB-2地点の掘削中であつたため、同孔を利用して物理探査を行うことにした。

無筋コンクリートと推定されるA1橋台は、撤去する予定だった事もあり、地表からの鉛直ボーリングを行い(VB-3)、橋台の一部を削孔し、採取したコアを観察することで、底版深度や形状を推定する計画を立てた。

### 3. 調査結果と考察

#### (1)P1橋脚側:物理探査結果

VB-2孔を利用して、GL-12.0m程度まで磁気探査及び速度検層を行った。

磁気探査の結果、P1橋脚では磁気反応がGL-3.9m付近まで検出された(図-2)。速度検層では、走時曲線図から変曲点深度がGL-4.5mとなり、橋脚と調査孔の離隔等を加味して底版の下端深度を計算すると、推定される底版深度はGL-4.1m(T.P.=-0.78m)程度となった。

#### (2)P1橋脚の基礎形状について

磁気探査で得られる深度は鉄筋の最下端深度を反映しているため、速度検層で得られた深度よりも浅くなる。また、VB-2地点では、GL-3.0~4.0mでセメントの付着したコアを採取した(写真-2)。A1橋脚と隣接した箇所であるため、施工中のものと考えられる。以上から、A1橋脚の最下端深度をGL-4.1m(T.P.=-0.78m)と推定した。

#### (3)A1橋台側:VB-3地点ボーリング結果

A1橋台の範囲を推定し、A1橋台と通常地盤の境界部で鉛直ボーリングを行った。その結果、GL-1.0~GL-4.7m(T.P.=4.31m~-0.39m)までコンクリートが確認された。また採取したコアの状況は、GL-1.0~1.15m(コンクリートの上端、T.P.=3.41m~3.16m)で、コンクリートに

約70°の傾斜があることを確認した。

この角度は、A1橋台の側面角度を概ね反映していると考えられる。

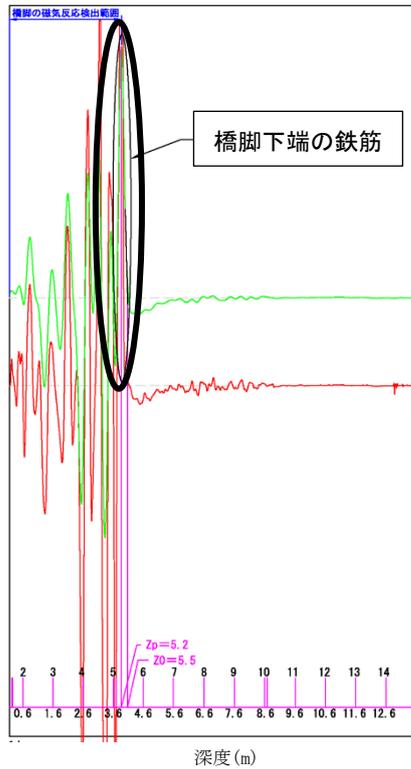


図-2 VB-2地点で行った磁気探査測定記録



写真-2 VB-2地点 (P1橋脚付近) のボーリングコア



写真-3 VB-3地点 (A1橋台付近) のボーリングコア

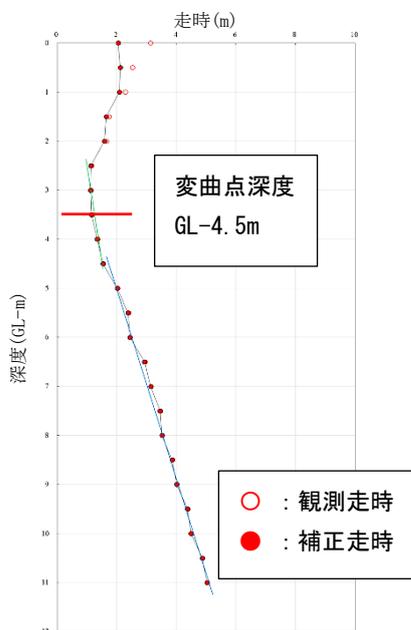


図-3 VB-2地点で行った速度検層走時曲線

(4)A1橋台の基礎形状について

参考として、A2橋台の一部が地上で確認できたため、側面角度を測定したところ、約70°だった。

P1橋脚の底版深度を GL-4.1m (T.P. = -0.78m) とし、A1橋台は底版深度が GL-4.7m (T.P. = -0.39m) で、側面の角度を70°と推定した。

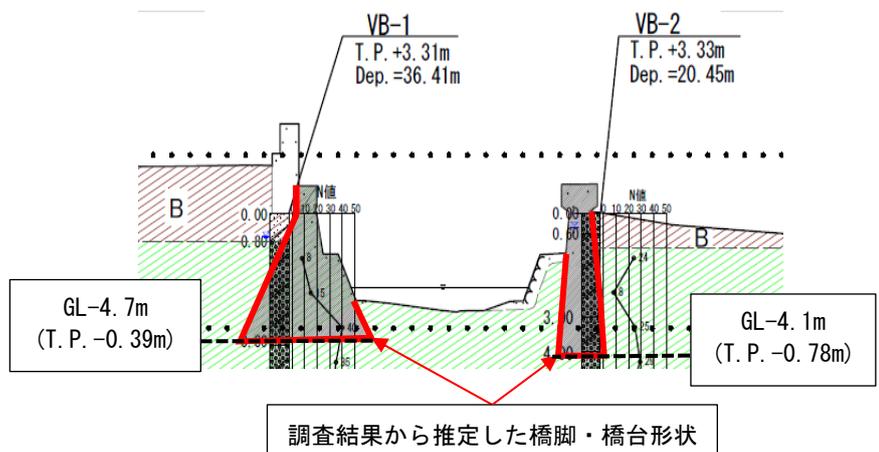


図-4 想定断面図

4. まとめ

調査ボーリング、磁気探査、速度検層を組み合わせることで、より精度の高い橋梁基礎の底版深度及び形状の推定をすることができた。今後、耐用年数の問題により、橋梁調査の業務は増えると予想される。資料がない橋台・橋脚の形状を把握するために、物理探査とボーリング調査を併用することが、有効な手法の一つになると考える。

【CO62】

鉛及びその化合物の汚染による措置対象範囲の絞り込み調査の事例

明治コンサルタント株式会社 ○石川 仁士, 宮田 浩志郎, 齋藤 篤司, 岩村 尚樹

1. はじめに

「土壤汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン」<sup>1)</sup> (以下「土壤汚染対策法」という。)では、対象地の特定有害物質による土壤汚染のおそれが生じた場所の位置の特定のための、試料採取等を行う区画の選定及び試料採取方法等が示されている。

本発表では、既存調査により「鉛及びその化合物」による土壤汚染が確認された対象区画において、措置対象範囲の絞り込み調査を行った事例を報告する。

調査地域は、既存調査によって単位区画のメッシュ分け及び土壤分析が行われており、「鉛及びその化合物」による土壤汚染が確認されているが、基準不適合区画の大半が、汚染発生源とは別の所有者の土地であったため、措置対象範囲の絞り込み調査を実施し、施工時に発生する汚染土壌を絞り込み、対策コストの低減を検討した。

2. 第一回絞り込み調査

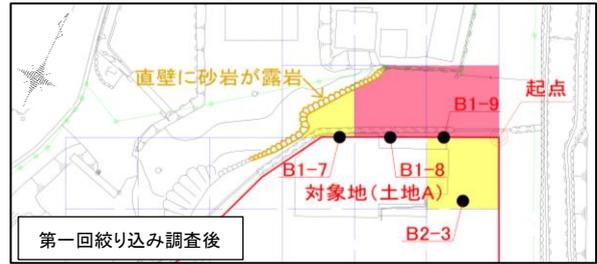
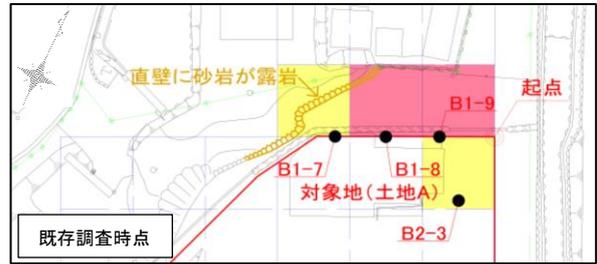
本調査は、既存調査によって地表～深さ50cmまでの土壌が、「鉛及びその化合物」の土壤溶出量基準及び土壤含有量基準に適合しないことが報告された4区画の試料採取地点を対象とし、同地点の深度方向の汚染の広がりを調査した(第一回絞り込み調査、図-1)。調査地域の地層は、表土が地表から最大でGL-2.00m程度の深度で表土が堆積しており、表土の下は新鮮で中硬な砂岩である。また、調査地域の周囲では、地盤中の砂岩と同一の砂岩が直壁に露頭している箇所が確認されている。岩盤は土壤汚染対策法の調査対象外として扱うため、既存調査における基準不適合区画の範囲を見直した(図-1)。また、鉛直方向に関しては、砂岩以浅の土壌を対象とした。試料採取のための掘進作業は、埋設物損傷事故防止のため、ハンドオーガー等を用いてGL-1.00mまで試掘を行った後、砂岩に到達する深度までは、機械式簡易ボーリングマシンを用いて行った(写真-1)。

第一回絞り込み調査の結果、全地点・全深度において土壤溶出量・土壤含有量の基準に適合した(表-1)。

表-1 分析結果一覧(第一回絞り込み調査)

試料名	単位:mg/L	単位:mg/kg
	鉛及びその化合物 土壤溶出量	鉛及びその化合物 土壤含有量
B1-7 1.0m	—	150
B1-7 1.7m	—	25
B1-8 1.0m	0.005未滿	63
B1-8 1.55m	0.005未滿	10未滿
B1-9 1.0m	0.005未滿	14
B1-9 1.5m	0.005未滿	10未滿
B2-3 0.75m	—	10未滿
基準	0.01以下	150以下
定量下限値	0.005	10

**太字斜体下線**: 基準不適合を示す



<凡例> GRAPHIC SCALE 0 10 20 30

- : 対象地
- : 基準不適合区画 (鉛 溶出量・含有量基準不適合)
- : 基準不適合区画 (鉛 含有量基準不適合)
- : 試料採取地点(第一回絞り込み調査)

図-1 調査位置平面図(第一回絞り込み調査)



写真-1 使用機材(左:ハンドオーガー, 右:機械式簡易ボーリングマシン)

3. 第二回絞り込み調査

調査地域における「鉛及びその化合物」の汚染原因者は土地Aの所有者であり、措置対象範囲の大半が汚染発生源とは別の所有者の土地Bであったため、更なる絞り込み調査の必要性が生じた(図-2)。

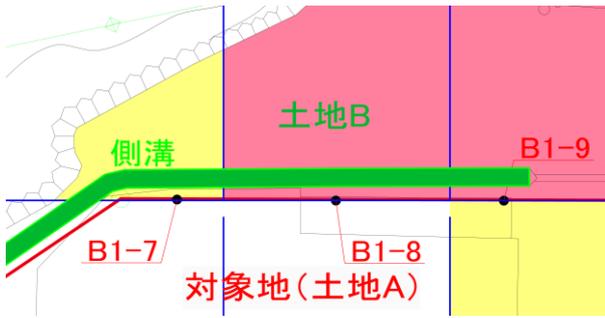
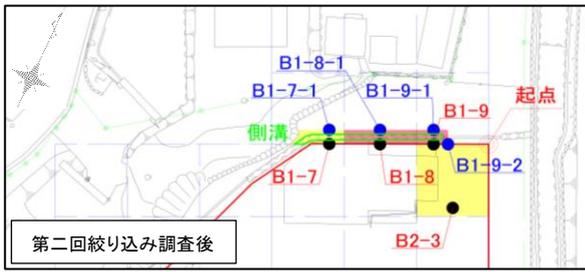


図-2 土地区分と措置対象範囲

土壌汚染対策法では、同一単位区画内で複数の深度調査を行うことにより、基準不適合土壌が分布する平面範囲と深度方向を絞り込む方法が示されており、同法に則って、第二回絞り込み調査を行った(図-3)。試料採取は砂岩に到達するまでの土壌を対象とし、掘進作業は、ハンドオーガー等を用いた。試料採取地点の選定に当たっては、以下の点に着目して、側溝の近傍とした。

- ・重金属である「鉛及びその化合物」の性質上、水平方向への土壌汚染は拡散しにくいと考えられる。
- ・土地Aと土地Bの境界付近には側溝があり、これを越えた先へ「鉛及びその化合物」の土壌汚染は拡散しにくいと考えられる。



<凡例>

- :対象地
- :基準不適合区画 (鉛 溶出量・含有量基準不適合)
- :基準不適合区画 (鉛 含有量基準不適合)
- :試料採取地点(第一回絞り込み調査)
- :試料採取地点(第二回絞り込み調査)

図-3 調査位置平面図(第二回絞り込み調査)



図-4 コア箱からの土壌資料採取

第一回絞り込み調査で既に基準不適合が確認された地点について、基準不適合と基準適合の中間の深度の試料を採取・分析して、基準不適合土壌の深度を絞り込んだ。

コア箱に保管していた基準不適合地点のGL-0.75mの土壌試料を採取し、分析を行った(図-4)。

第二回絞り込み調査の結果、1試料のみ(B1-8 GL-0.75m)について、「鉛及びその化合物」の土壌含有量基準が不適合であったが、それ以外の試料については基準に適合した(表-2)。その結果、基準不適合土壌の土量は375.00m<sup>3</sup>から103.68m<sup>3</sup>に減量した(表-3)。

表-2 分析結果一覧(第二回絞り込み調査)

試料名	単位:mg/L	単位:mg/kg
	鉛及びその化合物 土壌溶出量	鉛及びその化合物 土壌含有量
B1-7 0.75m	-	48
B1-7-1 0.5m	-	77
B1-7-1 0.75m	-	23
B1-7-1 1.0m	-	15
B1-8 0.75m	0.001	350
B1-8-1 0.5m	0.005	65
B1-8-1 0.75m	0.001未満	42
B1-8-1 1.0m	0.001未満	18
B1-9 0.75m	0.001	54
B1-9-1 0.5m	0.001未満	37
B1-9-1 0.6m	0.001未満	10未満
B1-9-2 0.5m	0.001未満	48
B1-9-2 0.7m	0.001未満	10未満
基準	0.01以下	150以下
定量下限値	0.001	10

太字斜体下線: 基準不適合を示す

表-3 「鉛及びその化合物」基準不適合土量

単位区画	鉛及びその化合物 基準不適合	絞り込み 調査 前後	基準不適合 土壌 平面範囲 (m <sup>2</sup> )	基準不適合土壌 深度方向 (GL-m)	汚染 土量 (m <sup>3</sup> )
B1-7	含有量	絞込前	100.00	0.00 ~ 1.00	100.00
		絞込後	14.00	0.00 ~ 0.75	7.78
B1-8	溶出量・含有量	絞込前	100.00	0.00 ~ 1.00	100.00
		絞込後	20.00	0.00 ~ 0.75	10.80
	含有量	絞込後		0.75 ~ 1.00	5.00
B1-9	溶出量・含有量	絞込前	100.00	0.00 ~ 1.00	100.00
		絞込後	8.76	0.00 ~ 0.75	5.10
B2-3	含有量	絞込前	100.00	0.00 ~ 0.75	75.00
		絞込後	100.00	0.00 ~ 0.75	75.00
合計		絞込前	400.00		375.00
		絞込後	142.76		103.68

#### 4. まとめ

措置対象範囲の絞り込み調査を行う際、現場条件や土地境界等を考慮することが重要である。本調査により、汚染土壌を絞り込んだことで、土壌汚染対策にかかるコストを低減することができた。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 環境省 水・大気環境局 水環境課土壌環境室: 土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン(改訂第3.1版), 令和4年8月

# 自然由来重金属等を含む建設発生土の不溶化検討

株式会社キタック ○笹川 由夏

## 1. 背景

トンネルや切土から発生した土砂は、事業用地内で盛土として利用することが理想的で、土工収支のバランスを最適化することが課題である。重金属等に問題がある地質も、覆土などの対策を行ったうえで、事業用地の盛土に活用することが望ましいが、問題の地質が余剰となる場合も考えられる。このような時の対策として、地下への浸透防止、浸出水処理、不溶化、遮水シートによる遮水工封じ込め、場外処分等の方法がある<sup>1)</sup>。本発表はこのうち「不溶化」について試験・考察した。

土壌に含まれる重金属等の不溶化技術は、混和材による解決策があるが、基準超過の程度が小さく、扱う土量が大量な場合、混和材が高価であるため、利用の判断が難しい。また、基準を超過して溶出する可能性がある地質は、泥岩やシルト岩で、トンネルや切土から発生したこれらの地質を盛土等で利用しようとする場合、スレーキング等で泥濁化してそのまま盛土材として利用に課題がある。今回このような条件（基準超過が小さい、扱う土量が大量、泥濁化する地質）の解決策として、まず盛土材として利用するために比較的安価なセメントを混合させて、強度を確保することを考えた。今回の発表では、セメント混合後の重金属等の溶出抑制への効果が得られるか確認した結果について報告する。

表-1 サンプルの土質試験値

番号	サンプル	自然含水比 %	土粒子の密度 g/cm <sup>3</sup>	最大乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	最適含水比 %
①	ふっ素サンプル	14.0	2.672	1.642	20.7
②	酸性化サンプル	62.9	2.408	0.925	58.5

表-2 セメントを混ぜる前の分析結果

番号	サンプル	岩質	カドミウム *1 mg/L	鉛 *2 mg/L	砒素 *3 mg/L	セレン *4 mg/L	ふっ素 *5 mg/L	酸性化 *6 mg/L
①	ふっ素サンプル	砂岩	0.001 未満	0.005 未満	0.001	対象外	1.1	11.2
②	酸性化サンプル	泥岩	0.001 未満	0.005 未満	<b>0.012</b>	0.010	<b>0.85</b>	<b>3.0</b>
基準値*7			0.01	0.01	0.01	0.01	0.80	3.5超
定量下限値			0.001	0.005	0.001	0.001	0.08	-

\*1 JIS K 0102 55.3 ICP発光分光分析法  
 \*2 JIS K 0102 54.3 ICP発光分光分析法  
 \*3 JIS K 0102 61.3 水素化物発生ICP発光分光分析法  
 \*4 JIS K 0102 67.3 水素化物発生ICP発光分光分析法  
 \*5 JIS K 0102 34.4 流れ分析法  
 \*6 水素イオン濃度 [pH(H<sub>2</sub>O)] JIS K 0102 12.1 ガラス電極法  
 検液調整法は、2mm以下に粉砕後40℃で2時間乾燥した試料と、溶媒を重量体積比10%の割合で混合し、6時間振とうした後ろ過し作成した。  
 検液調整法は、地盤工学会基準「過酸化水素水による土及び岩石の酸性化可能性試験方法」(JGS 0271-2020)による。  
 \*7 環境基本法 地下水環境基準

## 2. 試験に用いた地質

今回は次の2つの基準を超過する地質サンプルを用いた。

- ①ふっ素サンプル ふっ素が超過
- ②酸性化サンプル 砒素、ふっ素、酸性化が超過  
セレンは超過しないが溶出あり

参考文献<sup>2)</sup>では、廃石こうボードの再資源化で問題となる「ふっ素」について取り扱っており、セメントの水和反応時に作られる「エトリンサイト」に重金属等が固定され、溶出量が低減するメカニズムがあるとされている。今回対象としたサンプルは両者ふっ素が基準を超えているため、この効果が狙えると考えた。他の砒素や酸性化についても同様に効果を期待した。

セメントを混合させる前のサンプルの物性値を表-1に示す。重金属等の溶出特性を表-2に示す。今回の試験における効果確認は基準を超過した砒素、ふっ素、酸性化とセレンについて実施した。

## 3. 配合試験計画

「配合試験方法」と「配合したセメント」、「効果の確認方法」は次のとおりである。

### (1) 配合試験の方法

配合試験の養生日数や配合量は次のとおりである。

- ・養生日数 7日と28日の2ケース
- ・配合量 50kg/m<sup>3</sup>、150kg/m<sup>3</sup>、250kg/m<sup>3</sup>の3水準

### (2) 配合したセメント

配合に用いたセメントは表-3に示す特性の異なる3種類である。なお、「①ふっ素サンプル」については、含水量が少なく、水和反応が鈍い可能性を考え、含水比を+10%の24%となるように調整した配合も試験した。

表-3 試験に使用した固化材の特徴

固化材	特徴	短所
高炉セメント B種 (略)高炉B	最も安価で、一般的な軟弱な粘性土は固化する 六価クロムが溶出しにくい	配合量が多い
特殊土用セメント (略)特殊土	石こう成分が多くエトリンサイトを生成しやすい た、含水量が多い土でも少ない配合量で固化する 六価クロムが溶出しにくい	高価
高有機質土用セメント (略)高有機	石こう成分が大変多く最もエトリンサイトを生成しやすい ため、高有機質土や火山灰質土が比較的少ない配合量で固化する	最も高価

### (3) 効果の確認方法

配合前に重金属等の溶出特性を、短期溶出試験を行い、配合後はトリータビリティ試験を行い、溶出の変化を確認した。試験方法を表-4に示す。

表-4 効果確認に用いた試験

確認する内容	方法	規格
配合前の重金属等の溶出特性	短期溶出試験	平成15年「環境省告示第18号」
	酸性化可能性試験	地盤工学会「過酸化水素水を用いるpH試験」

配合後の重金属等の溶出特性	トリータピリティ試験 *1	
	短期溶出試験	平成15年「環境省告示第18号」
	硫酸添加溶出試験	一般社団法人 土壤環境センター「GPEC技術標準 重金属等不溶化処理土壌のpH変化に対する安定性の相対的評価方法 GPEC・TS-02-S1～S2」
	消石灰添加溶出試験	

\*1 硫酸添加溶出試験 酸性化での安定性を確認  
消石灰添加溶出試験 アルカリ性化での安定性を確認

#### 4. 試験結果

効果が確認されたものは、次の【効果あり】とした3つで、【効果なし】はセレンであった。

【効果あり】	・砒素 ・ふっ素 ・酸性化
【効果なし】	・セレン（対象外であるが評価）

①ふっ素サンプルでは、高炉 B と高有機で対象外であったセメント由来の六価クロムが基準を超過し、使えるものは「高炉 B+加水」のみで、100kg/m<sup>3</sup>程度以上の配合で効果があった（図-1）。なお、六価クロムの溶出が無ければ高有機が最も少ない配合で効果があった。

②酸性化サンプルでは、セメント由来の六価クロムの溶出は無かった。ふっ素で20kg/m<sup>3</sup>程度以上の配合で効果があり、①ふっ素サンプルよりも少ない配合で効果があった（図-2）。セレンは配合前の段階で、僅かに基準を下回っていたが、配合することによって、反対に基準を超過、配合が増加すると溶出は減少に転じるが、今回の試験の最大配合量である250kg/m<sup>3</sup>でも基準を満足することは無かった（図-3）。酸性化については、僅かな配合で効果があった（図-4）。

また、7日養生と28養生では、大きな差は無い。

#### 5. まとめ

- ・「砒素」「ふっ素」や「酸性化」の基準超過の程度によっては、セメントを混合することによって、飛散防止対策を行えば、無対策土として扱える可能性がある。
- ・セレンが溶出する場所では、セメントの効果は期待できないと考えられる。

#### 《参考文献》

- 1) 国土交通省-建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版）」2010年3月
- 2) (公)地盤工学会関東支部「地盤改良材を中心とした廃石こうボードの再資源化」2013年2月

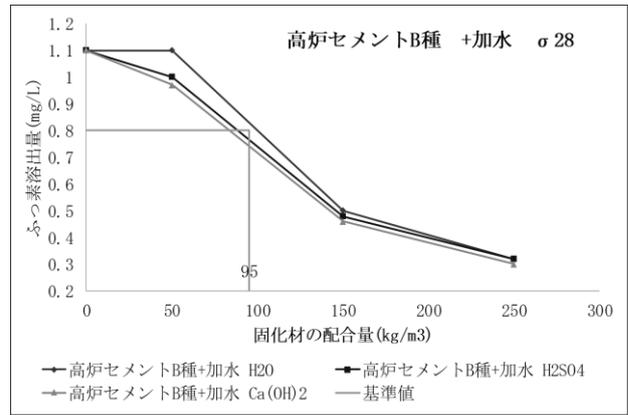


図-1 ふっ素サンプルのふっ素溶出と高炉 B+加水

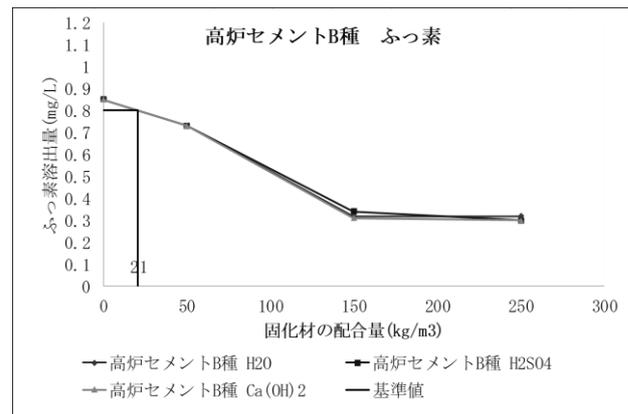


図-2 酸性化サンプルのふっ素と高炉 B

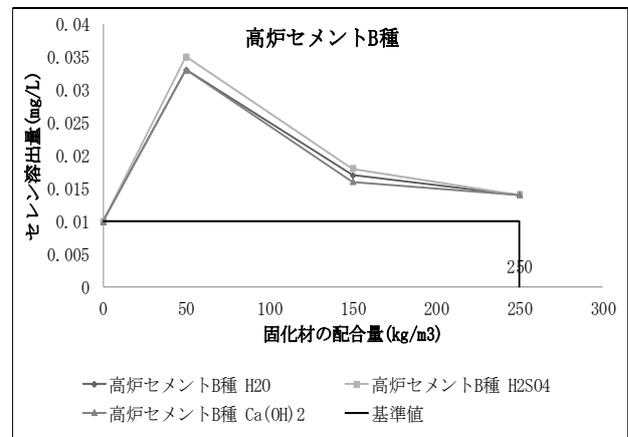


図-3 酸性化サンプルのセレンと高炉 B

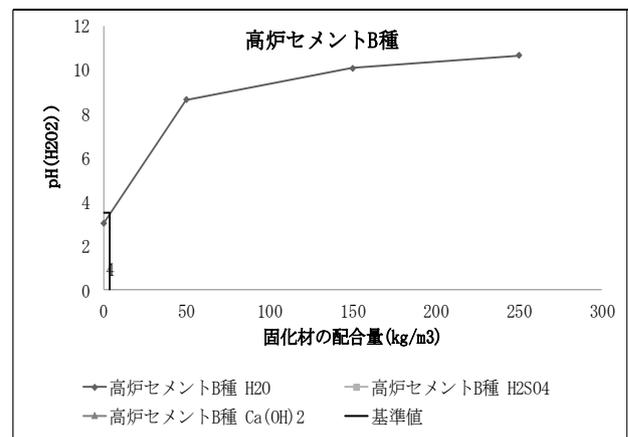


図-4 酸性化サンプルの酸性化と高炉 B