

地盤の特徴を考慮した土工構造物維持管理の取り組み

阪神高速道路(株)管理本部神戸管理・保全部保全事業課	石井 亜也加
阪神高速道路(株)管理本部神戸管理・保全部保全事業課	岡本 信也
阪神高速技術(株)技術部技術統括・開発課	井口 祐樹
阪神高速技術(株)技術部調査点検事業所	宮下 智陽

要 旨

阪神高速道路の土工構造物は約 23.6km、約 600 法面があり、ほとんどは、北神戸線、神戸山手線、湾岸垂水線に位置する。かつ、供用年数が 20 年以上経過したものが多数存在する。近年では、2018 年に北神戸線藍那出口においても法面崩壊が発生した。土工構造物は、災害等により被災した場合、被害が大きく、かつ復旧工事には長い時間を要するため、社会的影響が大きくなる。そのため、日頃の維持管理が重要である。加えて、広い高速道路ネットワークエリアの中に存在する神戸層群、六甲花崗岩、大阪層群などの特徴的な地形、地質にも適切に対応する必要がある。

本稿では、地盤毎の特徴を考慮した土工構造物の維持管理を行うために、阪神高速道路(株)神戸管理管内の地形地質的背景、建設時の対策、供用中に生じた地盤に起因する問題への対策、災害による被災への対応、及び地質毎の特徴に対応した対策をとりまとめた土工部ハンドブックの概要を報告する。

キーワード: 土工構造物, 維持管理, 災害対策, 土工部ハンドブック

はじめに

阪神高速道路の土工構造物のほとんどは、北神戸線、神戸山手線、湾岸垂水線の神戸管理管内に存在しており、供用年数が 20 年以上経過したものが多数存在している。近年、日本各地で地震や集中豪雨に起因する法面崩壊等が発生しており、阪神高速においても 2018 年に北神戸線藍那出口において法面崩壊が発生した。これまで土工部の維持管理における取り組みは、「盛土のり面緊急点検」や「のり面災害に伴う規制基準検証」などがおこなわれてきたが、その情報は必ずしも整理されていない現状があった。

このため、これまでの土工部における維持管理

の取り組みや道路建設及び維持管理に関するこれまでの事象、被災事象や地質的な変状要因を具体的に整理し、それらの情報より今後の維持管理計画上の課題抽出、点検方法検討の基礎資料とすることを目的に、一連の情報をハンドブック（以下、「土工部ハンドブック」という）として編纂した。本稿は、土工部ハンドブックの内容を目次毎の順に沿って、概要を紹介するものである。

1. 阪神高速管内の土工部と地形地質的背景

1-1 路線上の地質と事象

最初に、管内の地質情報がまとめられている。

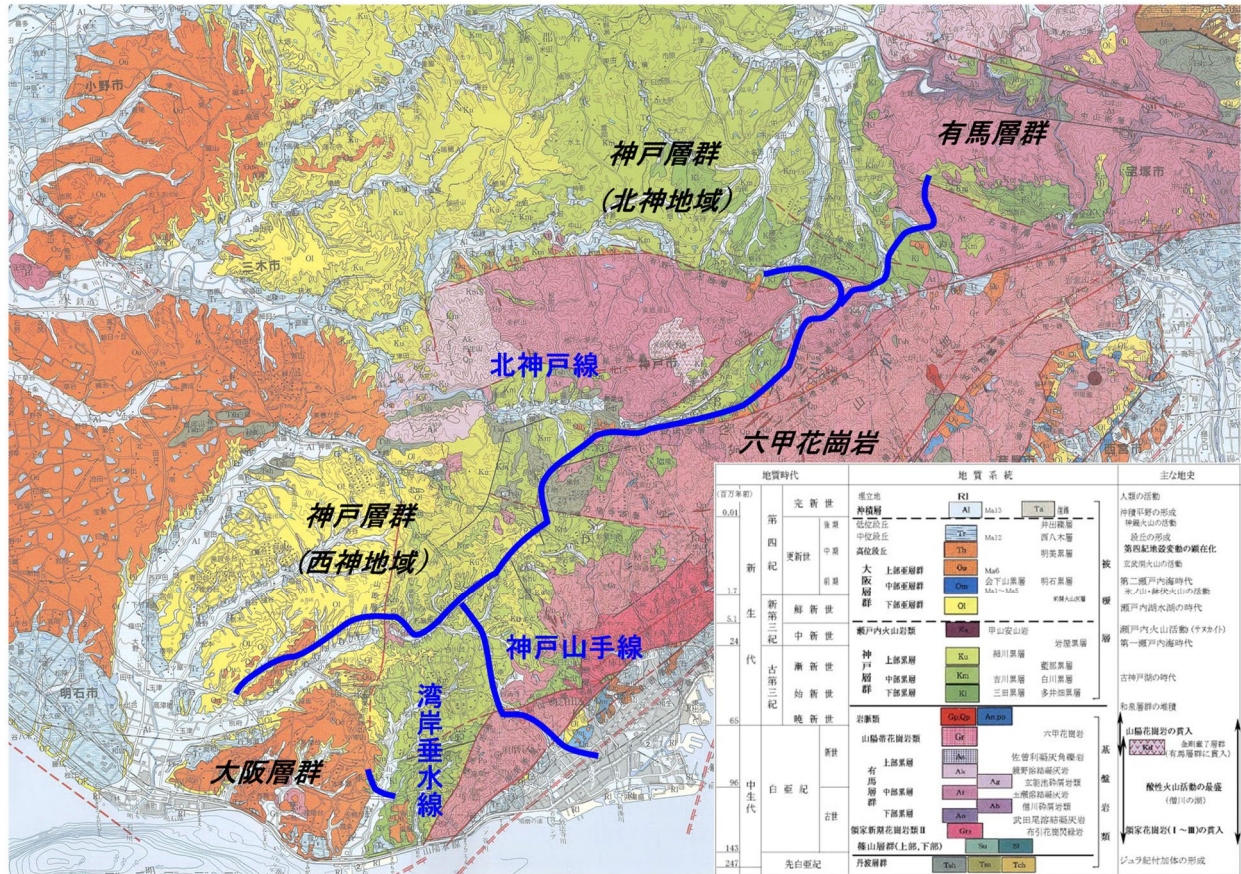


図-1 路線周辺の地質

管内の路線は、神戸市の西部から北部にかけて六甲山を巻き込むように位置している。対象地域周辺の地質図を図-1に示す。地質分布は、西神地域の大阪層群～神戸層群地域、北神地域に分布する六甲花崗岩地域、有馬温泉に代表される有馬層群地域に至る経路となっている。

次に、各地質の一般的な特徴と路線上での特筆すべき事象が、以下のように記述されている。

神戸層群は、西神地域から北神地域にかけて広く分布する第三紀の堆積軟岩である。泥岩、砂岩、礫岩及び凝灰岩から構成される。六甲造山活動の影響で層理面に沿ってせん断破壊が生じ、層状破碎帯が形成されたりするため、層理面が斜面に対して流れ盤となるような場所では、地すべりの発生が報告されている地質である。泥岩や凝灰岩はモンモリロナイトを含むものも多く、吸水膨張による変形も多く報告されている。

六甲花崗岩類は六甲山を構成している岩盤で御影石ともいわれている。新鮮部は非常に硬質な岩

盤であるが、いわゆる「まさ」と呼ばれる表層や割れ目沿いが強風化した箇所では土砂災害が顕著である。北神戸線では新唐櫃トンネル周辺で認められる。神戸山手線では中央換気所から高取山トンネルに脆弱化された状態で確認されている。

有馬層群は流紋岩及び火山噴火物を起源とする凝灰岩類から構成されており、一部は熱水作用が顕著(有馬温泉)である。唐櫃～有野付近で出現し、大規模斜面変形が認められた。また有馬口JCT付近では、変質した状況が認められ、法面対策や橋梁基礎に深礎が用いられた。

大阪層群は、第四紀の堆積層で、粘土、砂、砂礫から構成される未固結～半固結の土砂である。元々緩い地形をなす場合が多い。神戸山手線の長田トンネルは、この大阪層群を低土被りで掘削したため、難航し、多数の補助工法が用いられた。

1-2 断層について

断層については、次のように記載されている。

兵庫県南部地震の引き金となった活断層は、六甲山の南麓を構成する断層系は神戸山手線の起点付近、長田トンネルの坑内にて認められた。また、北神戸線起点付近は、山崎断層系と有馬高槻構造線に近接しているが、大きな破碎帯などの分布は報告されていない。

2. 建設時及び供用路線の対策事例

建設時等に実施された対策が記述されている。

2-1 管内の土工部構造物

管内に設置されている土工部構造物は、「道路構造物の点検要領 共通編・土木構造物編（2021年6月）」にて点検対象となっている。主たる構造物は、法面保護工である。通常の法面保護工は、極めて表層の肌落ちや降雨による雨裂防止など、応力計算を伴わないものが多い。擁壁等は、自体の重量が大きいため、地盤支持力や背面の土圧により、規格や規模が決定される。一方、比較的小規模なものは標準的な構造により設計されている例が多い。グラウンドアンカー工、抑止杭工は、調査結果を基に、機構解析を行い、設計を行う必要がある。これらは特に地すべり対策工として、法面以外でも適用されるため、別途詳細な分類についても示されている。切土補強土は、経験的手法について記載されている例がある。

管内の路線上には、前述した構造物が配置され、法面台帳カルテごとにも整理されている。また、これまで確認された変状に関しては、カルテにその進行状況や評価が整理されている。

2-2 建設時の災害事例

土工部ハンドブックでは、北神戸線及び神戸山手線建設時の主だった災害について、①実際に崩壊に至った事例と②至らなかった事例について原因と対策が整理され、以下の通り記述されている。

【北神戸線】

- ①藍那4工区、藍那5工区、原野1工区、原野2工区、畑山トンネル坑口斜面

- ②藍那トンネル、下谷上3工区、唐櫃2,3工区
- #### 【神戸山手線】

- ①車工区、中央換気所
- ②北白川工区

2-3 供用中の災害事例

供用中の災害は、①兵庫県南部地震時、②豪雨時、③それ以外に分類され、原因と対策が整理し記述されている。

- ①永井谷西行出路テールアルメ損傷、蓮宮換気所
- ②北神戸線北延伸部、新唐櫃トンネル西側坑口上部法面、西宮山口南ランプ、湾岸垂水線（平成16年台風21号、23号）、金仙寺トンネル西側坑口、畑山トンネル西側坑口、花山橋、有馬口、下谷上、花山管理用通路、湾岸垂水線（平成26年台風11号）、藍那ランプ（平成30年7月豪雨）
- ③北神戸線アバットの洗堀、原野工区

本稿では各事例の記述を省略するが、各々の概要は、土工部ハンドブックに原因と対策が整理されているので参照するのが良い。ここでは、事例として平成30年7月豪雨で崩壊した藍那ランプの建設時の対策及び供用中の事例を紹介する。

2-4 藍那4工区建設時地すべり事例

藍那ランプを含む藍那4工区は北神戸線建設時に地すべりによる法面崩壊が生じている。地すべりが発生した箇所は北東より南西に三又状に突き出した尾根地形を呈しており、尾根斜面下には標高約265m～270mの平坦な沢地形が存在し、沢頭には溜池が存在していた。図-2に示すように、地すべり頭部には巾30m、延長150mもの帯状の陥没地形が生じた。この原因としては、陥没地付近に背斜軸が存在し、その付近では地層が急傾斜となっていたため、傾斜上部に施された盛土の荷重が地すべり土塊に滑動側の荷重として作用しやすくなっていたこと、地質が神戸層群であり、粘土化をうけた軟質な亜炭層が流れ盤として存在していたことに加え、斜面上部の盛土により滑動側

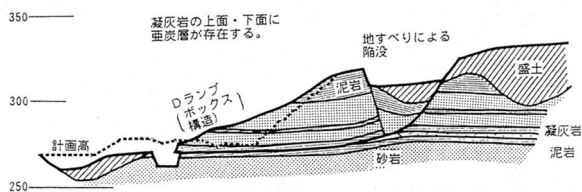


図-2 建設時 地すべり状況

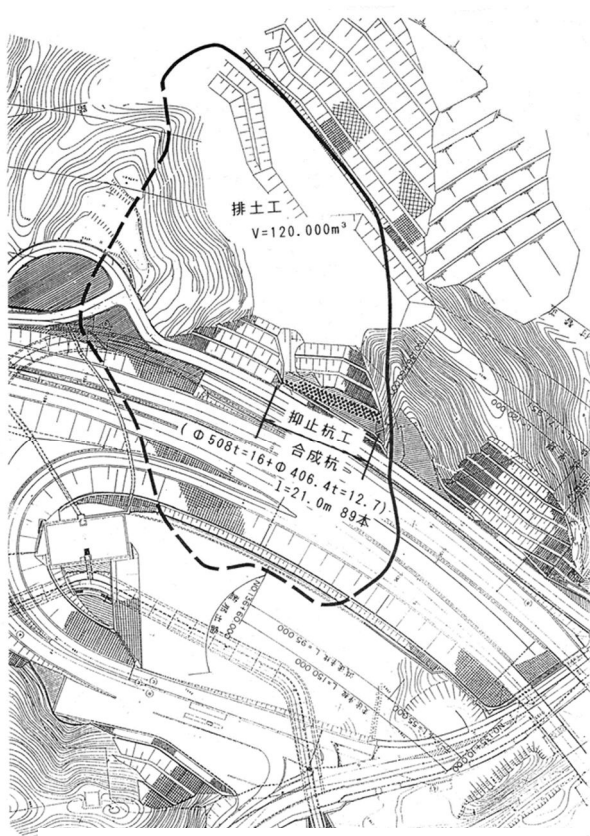


図-3 地すべり対策工

の荷重が増加したこと、斜面粗切土やDランプ掘削により抵抗力が低下したことが考えられた。

この対策として、用地の確保が可能であったことから、応急措置として抑止力低減のため頭部の排土を実施し、カウンターとなる土塊を残すとともに抑え盛土にて成形、その後、残る抑止力に対し抑止杭を施工している (図-3)。

2-5 藍那ランプ平成 30 年 7 月豪雨による被災事例

平成 30 年 7 月 3 日から 6 日間降り続いた集中豪雨に起因し、藍那出路法面にて崩壊が確認された (写真-1)。崩壊地近傍の盛土法面への影響はなかったものの、通行止めが発生し、規模、社会影響ともに大きいものであった。

当該箇所は、点検時に、表層に亀裂が確認されており、監視の対象とされていた。また、旧地すべり地形の末端部付近に位置しており、崩壊は豪雨に併せて旧地すべりの再活動による可能性も懸念された。旧地すべり箇所と 7 月豪雨により崩壊した法面の位置関係を図-4 に示す。既設の法枠や抑止杭、周辺構造物等に全体的な変状は確認されないことから、地すべりの活動は対策工により沈静化しているものと判断された。

このように、維持管理を実施する際には、過去に発生した災害状況やその対策工の情報が、事象発生の要因分析や補修設計の検討するにあたり、重要な基礎資料となる。

今回の被災事例においては、現地調査の結果より、豪雨により表流水並びに亀裂からの地下水の



写真-1 法面崩壊状況

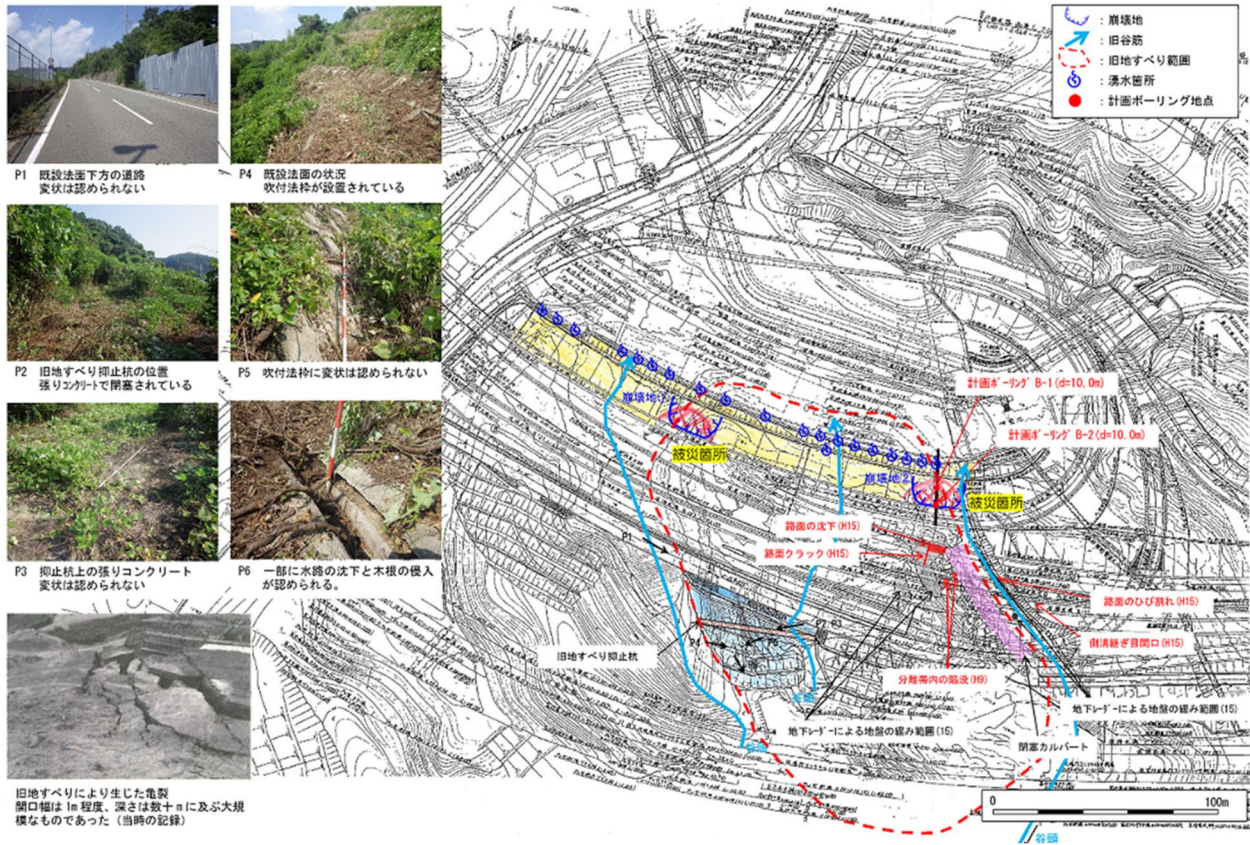


図-4 7月豪雨時現地調査状況

供給量が増加したため、崩壊に至ったものと考えられた。そこで、応急復旧の段階で、大型土のうの他、採石や排水管の設置による地下水対策の実施がなされた。

3. 被災の特徴と課題

ここでは、被災の特徴と課題が記述されている。損傷の主な要因は、①気象条件などの外的影響により発生したもの、②地盤の劣化により発生したものに大別される。①は、台風に想定外の降雨だったり、地震であったりする事例である。一方、②については、①の災害の素因となっているケースもあるが、劣化しやすい地盤として神戸層群が起因となっている場合である。この神戸層群については次節に述べる。

地盤の劣化により生じたものを除き、これまで生じた災害事例から傾向を分析すると、次のように分類される。

1) 大規模な地震災害

- 2) 周辺地域でも災害が多発するような大規模な豪雨による土砂の流出
- 3) 排水設備の不備によるオーバーフローや漏水に起因する土砂の流出
- 4) 防護施設の老朽化

1) 及び 2) については、現在の設計基準以上の対応策がないため、実際にその事象が生じた場合のソフト対策（想定以上の被害に対する緊急復旧や応急措置体制の構築等）を検討しておく必要がある。

一方で、3) 及び 4) については、日常的な管理にて対応が可能となる場合が多い。3) の原因となるのは、土砂等による排水溝の閉塞に伴う経年的な流水により排水溝の側面が洗掘し排水溝が傾倒していたり、盛土の沈下により排水勾配が確保できなくなったり、野生動物が影響していることなどが考えられる。また、4) については落石防護施設の老朽化による機能低下が考えられる。これらは、いずれも急激に進行することはほとんどないため、日常及び定期点検によって十分対応が可能

である。そのため、点検結果や不具合が生じやすい箇所の記録、及び補修履歴の記録を適切に実施する必要がある。

4. 地質的要因における変状傾向と対策

ここでは、特徴のある地質の変状傾向とその対策について記述されている。

4-1 神戸層群の土工部の変状傾向

神戸層群の泥岩や凝灰岩を基盤とする土工部では、外的要因がなくとも、時間経過とともに当初設計時の機能や性能が確保できなくなり変状に至ることが確認されている。神戸層群は、掘削直後は健全な軟岩であるものの、風化に弱く、風雨にさらされると、脆弱化しやすくなる。また、モンモリロナイトを多く含む凝灰岩や泥岩では、雨水との反応による膨潤現象が見られる。採取試料を浸水させた場合の時間経過による変化の状況を写真-2に示す。例えば、藍那トンネルの盤膨れは、乾湿繰り返しによるスレーキング、および強度の低下といった現象が生じることがある。時間経過とともに変状に至る事象が原因となって生じる崩壊パターンは、大きく3つに区分できる。①泥岩（細粒砂岩含む）・凝灰岩の表層が膨潤・スレーキングを起こしての崩壊、②層理面境界に関連し

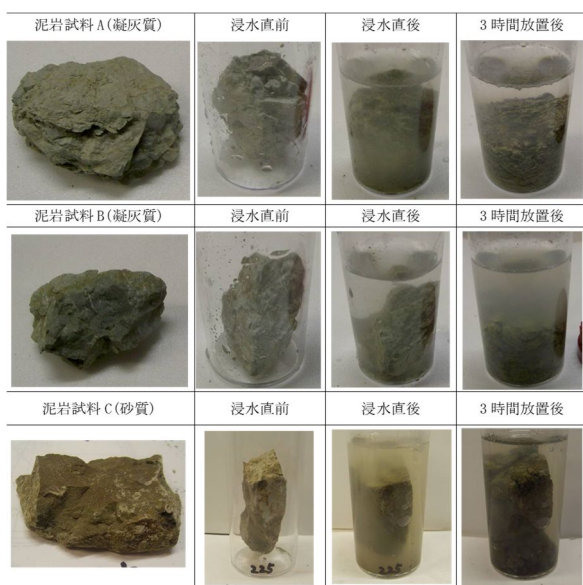


写真-2 泥岩、砂岩資料による浸水崩壊度試験

て、上部土塊が膨潤・スレーキングしての崩壊、③断層、層状破碎帯、軟質凝灰岩、亜炭層等の弱層存在と地下水の影響で、すべり面沿いの大きな崩壊である。

①のパターンは、極めて表層で起こる小規模なものである。しかし、これが構造物背面で生じた場合、顕在化するのが遅れ、やや規模が大きくなる場合がある。西宮山口南の法枠変状の事例などがそれに相当する。メカニズムとしては、図-5に示すようなことが考えられる。

②のパターンは①よりも、やや規模が大きくなり、モルタル吹付のり面の崩壊などが相当する。この現象に対して神戸山手線の車工区(現在の白川南ランプ付近の土工部)では、施工中に多くの変状、崩壊が発生したため、その状況分析を行い、劣化深度をあらかじめ想定し、切土補強土工を適用している。

さらに③のパターンについては、施工中に藍那工区や原野工区にて多くの地すべり現象として被害をもたらしている。これらはいずれも非常に大規模な崩壊が発生し、大規模な排土工や抑止杭工を施工したり、道路線形の変更を余儀なくされたりしている。供用中の事例としては、平成16年台風時の有野工区にて礫岩中に泥岩薄層が流れ盤に分布しており、その地層境界が長期的に劣化し、崩壊に至っている。

神戸層群に起因した法面の崩壊は、神戸山手線の白川南ランプ付近の土工部や上述した藍那工区の地すべり被害が該当し、現在実施されているカルテ点検のきっかけともなった。神戸層群の長期的・遅延的变化は「遅れ破壊」と称され、神戸市周辺の道路法面でいくつも変状事例¹⁾が報告されている。大きな原因としてナトリウム型のモンモリロナイトの含有について研究がなされている。

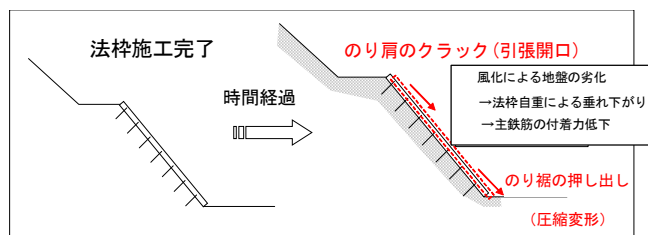


図-5 表層劣化に伴うのり枠変形メカニズム

4-2 神戸層群の変状に対する効果的な対策工法

神戸層群の変状事例から、その特徴と対処方針を整理すると以下ようになる。

特徴①：降雨・乾湿繰り返しによる表層の劣化

特徴②：長期的な劣化の進行

対処方針としては、表面における降雨や乾燥からの保護が重要と考えられる。

通常コンクリート製の排水設備は、神戸層群の膨張変形により継ぎ目が開口したり、スレーキングにより劣化した土砂が流出して排水機能を低下させる可能性があるが、変形しても追従する機能がある排水溝を設置すれば恒久的な排水効果が期待できる。また、通常法枠は神戸層群の膨張によりクラックが生じる可能性があるため、クラックによりコンクリートが落下しない対策を検討する必要がある。土工部の補修検討を実施する際には、土工部の背景となる地質的要因を考慮する必要がある。

4-3 神戸層群土工部の点検における着目点

神戸層群の変状を防止するためには、長期的な劣化を防止するための処理が重要であり、通常は、建設時に行われる。管理の段階において抜本的な対策の実施は、経済性や通行規制などの社会的影響を考慮した場合、効率的ではない。そのため、日常的・定期的な点検が重要となる。現在1回/年の専門技術者によるカルテ点検を実施し、日常的な点検は道路パトロールや日常点検班が実施している。日常的な目視点検においても対象土構造物の基礎地盤がどのような地質であるかをある程度知っておくことが必要となる。なぜなら、構造物に現れた変状が地盤に起因するものかどうかの評価は、緊急的な処置の必要性を判断する指標として重要な情報だからである。

そこで、点検における着目点の代表的な例として、のり尻の着目点とのり肩の着目点について記載する。

(1) のり尻の着目点の事例

約1年前に排水溝山側壁面が3cm程度傾倒しているというわずかな変位が認められ、法枠自体に

大きな変形は認められなかったが、約1年後に大きく傾倒し、排水機能が大きく損なわれる状況となっていた(写真-3)。

同様に、本線のり面上部小段で法尻がはらみだす変形が確認される事例も挙げられている。

また、土砂の流出についても、確実に記録することが重要である。原因は雨水による表層の流出、神戸層群凝灰岩のスレーキングに伴う泥濁化したものの流出、及び野生動物の影響によるようなこともあるなどがある。その原因を確認しておくことが望ましい。

(2) のり肩の着目点の事例

のり肩については、のり尻とセットとして扱うことが望ましく、更へのり尻よりも先に変位が顕在化することに留意が必要である。これは、表層がすべりのような形態で変形している場合で、一般に引張の方が圧縮よりも先に明瞭になることが多いからである。前述したような法枠基礎地盤の劣化が進行してくると継ぎ目の開口が認められる(写真-4)。



写真-3 のり尻排水溝の変位
左1年前、右1年後



写真-4 のり肩の継ぎ目の開口

おわりに

本稿では、土工構造物の維持管理にあたり、地質的特徴や維持管理の取り組みをわかりやすく取りまとめた土工部ハンドブックの概要について紹介した。ハンドブックでは、注視すべき地質的特徴や点検時の着目点がまとめられており、事象に対して検討を行う上で基礎資料となるだけでなく、土工部にかかる技術の継承に取り組むものである。

更に、土工部の分野では、レーザープロファイルデータ（LP データ）を用いた土工構造物の危険個所の抽出や土工部情報、点検結果の情報を 3次元可視化し、異常検知システムの構築について検討している。土工構造物の維持管理は、自然を

相手にする一面があり、変状進行の予測や制御が難しいが、万一の災害の場合は、重大な社会的損失が発生する可能性がある。今後も、一層、効率的な維持管理の充実に取り組んでいく必要がある。

参考文献

- 1) 道路構造物の点検要領 共通編・土木構造物編
- 2) 神戸管理部管内土工部維持管理マニュアル
- 3) 阪神高速北神戸線地質調査取りまとめ業務(施工編)報告書 2002.3
- 4) 神戸市道高速道路 2 号線(阪神高速山手線)地質調査とりまとめ業務(施工編)報告書 2002.3
- 5) 中川ほか：神戸層群凝灰岩の切土掘削に伴う地盤変形と遅れ破壊，日本地すべり学会誌，第 41 巻 4 号，2004.
- 6) 上田勝久，肥田肇，石原雅晃：山岳路線の維持管理概況とその充実に向けた取り組み，阪神高速第 49 回技術研究発表会論文集，2017
- 7) 兵庫の地質，公益財団法人兵庫県まちづくり技術センター 平成 8 年 3 月(平成 15 年 7 月第 3 版)

MANAGEMENT OF EARTHWORK STRUCTURES CONSIDERING GEOLOGICAL CHARACTERISTICS

Ayaka ISHII, Nobuya OKAMOTO, Yuuki IGUCHI and Motoharu MIYASHITA

There are more than 600 earthwork structures on the Hanshin Expressway. Most of them are installed on the Kita Kobe, Kobe Yamate and Wangan Tarumi Routes, and almost all of them have been in service for more than 20 years. The last serious breaking of slope was at Aina Ramp on Kita Kobe line in 2018. If earthwork structures were damaged by disaster, the damage would become to be extensive and require a longer time for restoration, resulting in tremendous social impacts. That is why daily maintenance activities on them are of great importance. In addition, proper measures need to be taken for some unique geological features including the Kobe formation, the Osaka formation and Rokko Granite.

This paper overviews a handbook compiled in 2018 to assist proper maintenance and management of earthwork structures with unique geological characteristics taken into account. This handbook includes the geological background of the area, protective measures taken during construction, solutions to ground-related problems experienced in service, response to disaster damage and proper measures developed for each geological feature.

石井 亜也加



阪神高速道路株式会社
管理本部神戸保全・管理部
保全事業課
Ayaka ISHII

岡本 信也



阪神高速道路株式会社
管理本部神戸保全・管理部
保全事業課
Nobuya OKAMOTO

井口 祐樹



阪神高速技術株式会社
技術部技術統括・開発課
Yuuki IGUCHI

宮下 智陽



阪神高速技術株式会社
技術部調査点検事業所
Motoharu MIYASHITA