

第10回

地質リスクマネジメント 事例研究発表会 講演論文集



令和 元年 1 1 月 1 日 (金)

共催：地質リスク学会、一般社団法人全国地質調査業協会連合会
協賛：国立研究開発法人土木研究所

(表紙写真)

令和元年9月8日夜から9日午前に台風15号が関東地方に接近、通過し、様々な被害をもたらした。特に千葉県では強風による電柱への被害等から、長期にわたり広範囲の停電が生じた。また多くの家屋の損壊被害もたらされた。台風の接近に伴い、暴風雨警報が出されていたものの、予想を超える被害となった。今回、リスクが発現した後の対応には様々な課題が残され、適切で迅速なクライシス・マネジメントの必要性が明確になった。地質リスクマネジメントにおいても、もし重大なリスクが発現した場合のクライシス・マネジメントを事前に検討しておくことは重要である。

(小笠原正継)

はじめに
ー地質リスクマネジメントの将来に向けてー

今年度も、地質リスク事例研究発表会を開催することが出来ましたこと、喜びに堪えません。今回は第10回目と一つの節目を迎える発表会となりました。これもひとえに、投稿・発表して頂いた皆さまの勇気とご努力、会員の皆さまのご支援の賜物であると、心から感謝申し上げる次第です。

10年前、私たちは、「地質リスクマネジメントはリスクマネジメントの根幹の一つ。コスト削減に必ず貢献するはず！」との確信を持って、学会を立ち上げました。しかし当時、「地質リスク」は、見慣れない概念・言葉でした。多くの方から、「日本の公共事業にリスクという概念は存在するの？」「結局、地質リスクマネジメントって、如何にヒューマンエラーを防止するか、っていうことでしょ。」と言われました。国土交通省は2003年と2008年に「公共事業コスト構造改革プログラム」と「公共事業コスト構造改善プログラム」をまとめ、それぞれ34の施策を提示しました。それらの中に、「地質リスクマネジメント」は含まれていませんでした。

10年が経ち、状況は大きく変化しつつあります。

学会の民間技術者の会員の方々からは、「GRE(Geo Risk Engineer)として発注者から頼りにされています！」とのお声を良く聴かせて頂くようになりました。国土交通省では、各地方整備局において「地質リスク検討業務」が発注されています。日本の建設業界において、地質リスクは「市民権」を持ち始めたように感じています。

10年目を迎える今年は、喜ぶべき年であると同時に、地質リスクマネジメントの将来を考える良い機会であるとも思います。ここで、地質リスクマネジメントの目的を再確認することが必要であると思います。

米国と英国での現地調査では、Unforeseen ground conditionsに伴う対立的関係の回避が最重要課題であるとの印象を受けました。米国で開発された Geotechnical Baseline Report (GBR)は、受発注者が責任を負うべき地質条件を baseline として明確に定めたものです。英国では、地質リスクマネジメントプロセスの規定・ガイドライン（例：HD22: Managing Geotechnical Risk）、地質技術顧問（Geo Technical Advisor (GTA)）、契約図書（例：GBR）、分析手法（例：Risk Register）が整備され、頻繁に活用されていました。そこには、「自然は人間によって制御できるもの」との前提が存在するように感じられました。

日本では、自然は大いなる恵みをもたらしてくれますが、同時に、「人間には制御出来ないもの」と捉えられています。さらに近年、地球温暖化の進行と思われる理由によって、自然災害の脅威が増大しています。自然の制御不能性はさらに高まっています。

制御不能である自然と対峙するためには、様々な「資本」を高度に結合し、かつ、それらを継続的に更新していく必要があるように思われます。具体的には、制御不能な「自然資本」を適切にマネジメントするためには、高い能力と意欲を持った人財という「知的資本」の有効活用、各人財間の密な協力（広義の「社会関係資本」）、妥当額（貨幣の資本）の投資が不可欠であり、それを具現化するための「制度資本」の整備・運用が求められていると思います。地質リスクマネジメントでは、

- ・ 知的資本 : 事業ライフサイクルに亘る技術・マネジメント力のさらなる向上
 例: AI 駆使等、Tech IQ の向上・維持
- ・ 社会関係資本 : 整備者側と住民との協力進化（特に計画時）
 例: 「地質調査＝土地買収」という意識からの脱却
- ・ (貨幣の) 資本 : 妥当投資調査額の追究努力・執行
- ・ 制度資本 : 発注者・行政者責任としての地質リスクマネジメント
 コスト構造改革の重要な柱の一つとしての地質リスクマネジメント
 国土交通省における地質に関する政策官の導入
 地質条件の総点検、地質技術顧問・GRE の登用

が重要になると思われます。

地質技術者は、元々複雑な地質条件の下、財源の縮小・少子高齢化が進展する中、益々「狂暴化」する自然を適切にマネジメントしていくことによって、人々の生命と財産を守り続けていく責務を負っています。ラグビーの男子日本代表のように、私たち一人一人の資本の水準を高め、他の資本と一体となって、強く、かつ柔軟なシステムを創り上げることによって、困難な責務を果たしていきたいと、決意を新たにしました次第です。

これまでの皆さまの絶大なるご尽力・ご協力・ご支援に改めて感謝申し上げますとともに、皆さまとご家族の方々の益々のご健勝とご多幸を心よりお祈り申し上げます。

ありがとうございました。

令和1年11月1日
地質リスク学会会長 渡邊 法美

第10回地質リスクマネジメント事例研究発表会
講演論文集 目次

第Ⅰ編 プログラム	1
第Ⅱ編 第1部 全体会	
講演①：「国土地盤情報センターの活動についてー地盤情報の有効活用に向けてー」	5
秋山 泰久 (一財) 国土地盤情報センター 理事 (一社) 全国地質調査業協会連合会 情報化委員会委員長 (国際航業㈱ 防災環境事業部 防災ソリューション部 部長)	
講演②：「地質リスクマネジメントの現状と今後の展開について」	11
渡辺 寛 地質リスク学会 専門委員会 委員 (一社) 全国地質調査業協会連合会 技術委員会委員 (株)日さく 取締役 東日本支社長)	
第Ⅲ編 第2部 事例研究発表会 論文	
論文 No.1 山本 靖志 (株)エイト日本技術開発 地すべり災害ブロックにおけるアンカーチェックボーリング実施例	20
論文 No.2 山部 哲 (株)建設技術研究所 地質調査結果の評価の違いによる地すべり対策工の規模縮小について	26
論文 No.3 寺井 康文 大地コンサルタント(株) 砂防施設袖の掘削による斜面崩壊リスクのマネジメント	32
論文 No.4 竹内 均 (株)日さく 林道開設計画および地すべり対策計画時の地すべりリスク発現事例	38
論文 No.5 池田 学 (株)エイト日本技術開発 長大切土法面における、切り下がりに応じた地すべりの誘発と対策	44
論文 No.6 原 勝重 新協地水(株) 豪雨時表層崩壊斜面のリスク顕在化後の対応事例	49
論文 No.7 千葉 伸一 応用地質(株) 砂防・防災事業部 上信越道金谷山トンネルにおけるⅡ期線施工時の地質リスクを最小限に回避した事例	55
論文 No.8 柴田 達哉 (株) 建設コンサルタントセンター 事前対応したが掘削時に発現した想定外の地質リスク発生事例	61
論文 No.9 山崎 尚明 (株)相愛 道路改良工事中に発生した被災に対する対応事例	66
論文 No.10 高本 博昭 基礎地盤コンサルタンツ(株) 床掘時に発現した地質リスクと対応事例	72
論文 No.11 石川 昌幹 東邦地水(株) 切土のり面で発生した地すべり対応策検討及び既設アンカー工の応急対策工検討及び実施	78

論文 No.12 上原 祐治 応用地質(株) 砂防・防災事業部 九州事務所駐在 三次元電気探査による地すべり地下水対策の効果判定及び計画検討事例	84
論文 No.13 宇田川義夫 (株)フジタ 施工段階における岩盤判定基準・岩盤掘削工法提案による地質リスク回避 ー東日本大震災被災住民の早期高台移転を目指してー	90
論文 No.14 茂木 太郎 基礎地盤コンサルタンツ(株) 東北支社 河川堤防の浸透対策における地質リスクの評価と被災メカニズムに応じた対策工検討	96
論文 No.15 栗林 正樹 川崎地質(株) 北陸支店 地盤改良における発現強度が極めて小さい砂質土への対応事例	102
論文 No.16 山名 真広 基礎地盤コンサルタンツ(株) 中部支社 矢板式護岸の耐震性能照査時に発生した地質リスク評価事例	108
論文 No.17 中川 智博 基礎地盤コンサルタンツ (株) 港湾構造物を対象とした地質調査における地質リスク回避事例	114
論文 No.18 田中 慎吾 基礎地盤コンサルタンツ(株) 橋梁計画箇所に想定された活断層に対するリスク調査事例	118
論文 No.19 渡邊 絵美 応用地質(株) メンテナンス事業部 新規道路の事前調査における自然由来重金属のリスク評価	122
論文 No.20 折原 敬二 基礎地盤コンサルタンツ (株) 海外業務における地質リスク事例	128
論文 No.21 藤原 協 国際航業(株) 道路事業全体での地質リスクマネジメントの事業効果検証事例	134
論文 No.22 松崎 達二 サンコーコンサルタント(株) 九州支社 地質リスクの表現手法の検討 (データフローダイアグラムと階層分析手法を用いた地質情報の評価事例)	140
論文 No.23 松本 和正 北海道土質コンサルタント(株) 札幌市の表層に分布する表層地盤について	146

第Ⅰ編 プログラム

第10回地質リスクマネジメント事例研究発表会 開催案内

共催：地質リスク学会、一般社団法人全国地質調査業協会連合会

協賛：国立研究開発法人土木研究所

<開催趣旨>

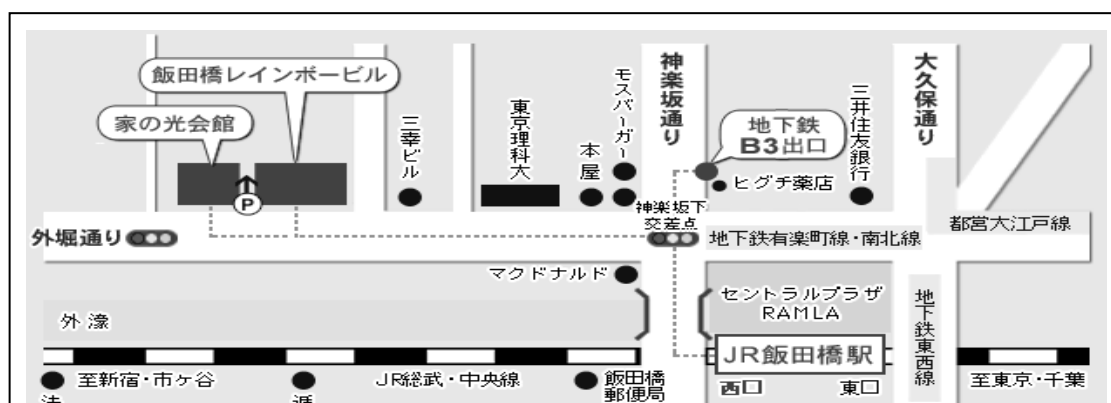
事例研究発表会の主な目的は、建設工事等における地質リスクのマネジメントの実例を紹介し、様々な課題を議論し共有することにあります。

<開催要領>

開催日：令和元年11月1日（金）

開催場所：飯田橋レインボービル

〒162-0826 東京都新宿区市谷船河原町11番地 飯田橋レインボービル TEL 03-3260-4791



<プログラム>

会場：7階 大会議室

・第1部 全体会（10:00～12:00）

開 場： 9:30

開 会： 10:00～

開会挨拶： 10:05～10:15 渡邊 法美 地質リスク学会 会長（高知工科大学 教授）

講演①： 10:15～10:50

「国土地盤情報センターの活動について

ー地盤情報の有効活用に向けてー」

秋山 泰久 （一財）国土地盤情報センター 理事

（一社）全国地質調査業協会連合会 情報化委員会委員長

（国際航業㈱ 防災環境事業部 防災ソリューション部 部長）

講演②： 10:50～11:40

「地質リスクマネジメントの現状と今後の展開について」

渡辺 寛 地質リスク学会 専門委員会 委員

（一社）全国地質調査業協会連合会 技術委員会委員

（㈱日さく 取締役 東日本支社長）

表彰式： 11:40～11:50 第2部事例研究発表会 優秀論文賞授与式

会場：7階 大会議室 / 2階 中会議室

・第2部 事例研究発表会（13:00～16:50） 23編

会場：1階 C・D会議室

・懇親会 （17:00～18:30）

事例研究発表内容一覧

セッション区分	論文No	発表者	所属先	題目	事例の種類
セッションA-1 2F 中会議室 13:00～14:50	1	山本 靖志	(株)エイト日本技術開発	地すべり災害ブロックにおけるアンカーチェックボーリング実施例	A型
	2	山部 哲	(株)建設技術研究所	地質調査結果の評価の違いによる地すべり対策工の規模縮小について	A型
	3	寺井 康文	大地コンサルタント(株)	砂防施設袖の掘削による斜面崩壊リスクのマネジメント	B型
	4	竹内 均	(株)日さく	林道開設計画および地すべり対策計画時の地すべりリスク発現事例	B型
	5	池田 学	(株)エイト日本技術開発	長大切土法面における、切り下がりに応じた地すべりの誘発と対策	B型
	6	原 勝重	新協地水(株)	豪雨時表層崩壊斜面のリスク顕在化後の対応事例	B型
セッションA-2 2F 中会議室 15:00～16:50	7	千葉 伸一	応用地質(株) 砂防・防災事業部	上信越道金谷山トンネルにおけるⅡ期線施工時の地質リスクを最小限に回避した事例	C型
	8	柴田 達哉	(株)建設コンサルタントセンター	事前対応したが掘削時に発現した想定外の地質リスク発生事例	C型
	9	山崎 尚明	(株)相愛	道路改良工事中に発生した被災に対する対応事例	C型
	10	高本 博昭	基礎地盤コンサルタンツ(株)	床掘時に発現した地質リスクと対応事例	C型
	11	石川 昌幹	東邦地水(株)	切土のり面で発生した地すべり対応策検討及び既設アンカー工の応急対策工検討及び実施	D型
	12	上原 祐治	応用地質(株) 砂防・防災事業部 九州事務所駐在	三次元電気探査による地すべり地下水対策の効果判定及び計画検討事例	D型
セッションB-1 7F 大会議室 13:00～14:50	13	宇田川義夫	(株)フジタ	施工段階における岩盤判定基準・岩盤掘削工法提案による地質リスク回避 ー東日本大震災被災住民の早期高台移転を目指してー	A型
	14	茂木 太郎	基礎地盤コンサルタンツ(株) 東北支社	河川堤防の浸透対策における地質リスクの評価と被災メカニズムに応じた対策工検討	A型
	15	栗林 正樹	川崎地質(株)北陸支店	地盤改良における発現強度が極めて小さい砂質土への対応事例	C型
	16	山名 真広	基礎地盤コンサルタンツ(株) 中部支社	矢板式護岸の耐震性能照査時に発生した地質リスク評価事例	B型
	17	中川 智博	基礎地盤コンサルタンツ(株)	港湾構造物を対象とした地質調査における地質リスク回避事例	A型
	18	田中 慎吾	基礎地盤コンサルタンツ(株)	橋梁計画箇所想定された活断層に対するリスク調査事例	D型
セッションB-2 7F 大会議室 15:00～16:50	19	渡邊 絵美	応用地質(株) メンテナンス事業部	新規道路の事前調査における自然由来重金属のリスク評価	D型
	20	折原 敬二	基礎地盤コンサルタンツ(株)	海外業務における地質リスク事例	D型
	21	藤原 協	国際航業(株)	道路事業全体での地質リスクマネジメントの事業効果検証事例	D型
	22	松崎 達二	サンコーコンサルタント(株) 九州支社	地質リスクの表現手法の検討 (データフローダイヤグラムと階層分析手法を用いた地質情報の評価事例)	D型
	23	松本 和正	北海道土質コンサルタント(株)	札幌市の表層に分布する表層地盤について	D型

＊事例種類について

以下の4つに分類されます。

A型：地質リスクを回避した事例

B型：地質リスクが発現した事例

C型：発現した地質リスクを最小限に回避した事例

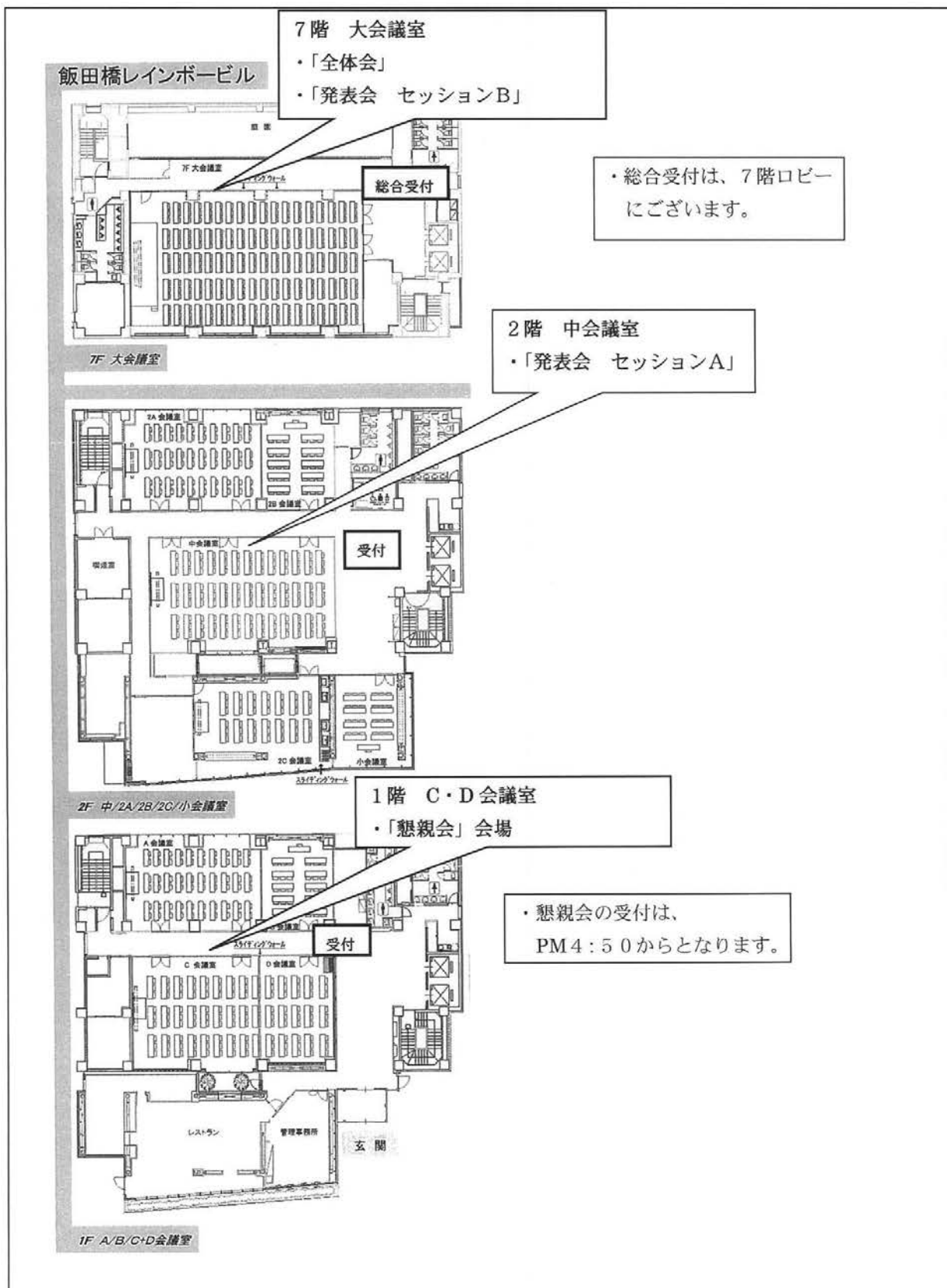
D型：上記のA型、B型、C型以外的事例

＊セッションの司会者について

・セッションA 小笠原正継 (地質リスク学会 副会長)

・セッションB 渡邊 法美 (地質リスク学会 会長)

会場内配置図



第Ⅱ編 第1部 全体会

講演① 国土地盤情報センター の活動について

令和元年11月1日

一般財団法人 国土地盤情報センター 理事 秋山 泰久
(全国地質調査業協会連合会 情報化委員長)

内 容

1. 国土地盤情報センターの設立の背景
2. データベースの構築と運用
3. データの公開
4. 今後の事業展開

2

横浜マンション基礎杭問題（H27）



- ◆ 傾斜が指摘され、調査した結果、一部の基礎杭が支持層に十分達していないことが発覚。さらに、施工管理データが偽装されていたことが分かった。
- ◆ 国土交通省:「基礎ぐい工事問題に関する対策委員会」を設置。

3

横浜マンション問題を踏まえた国交省の動向

基礎ぐい工事問題に起案する対策委員会
中建審・社整審 基本問題小委員会

民間工事指針(H28.7.4)

建築 & 民間、
しかし地質リ
スクマネジメ
ントの考え方
ではないか！

施工リスクを低減させるために、事前
の地盤調査と専門的知見を重視し(リ
スク特定・評価)、その情報を事前協
議し共有すること(リスクコミュニケー
ション)、関係者間の役割分担を明確
にすること(リスク分担)を指摘

4

福岡地下鉄道路陥没事故（H28）

- ◆ 平成28年11月8日に博多駅目で道路陥没事故が発生。
- ◆ 国交省は原因究明のために「福岡地下鉄七隈線延伸工事現場における道路陥没に関する委員会」を設置。



- ◆ 委員会は主な事故原因として、①難透水性風化岩層の強度や厚さ、②地下水圧の影響を上げた。
- ◆ さらに、今後、地下空間に関する情報をできるだけ集めリスクを低減することなどを提言。

5

福岡陥没事故を踏まえた国土交通省の対応

社政審交通政策審議会技術分科会・技術部会
地下空間の利活用に関する安全技術
の確立に関する委員会(大西委員長)

答申(H29.6)

業界からの意見を踏まえた議論
①官民の地盤情報の共有化が重要
②その情報を活用した計画・設計・施
工の各段階における地盤リスクのアセ
スメントが重要

地盤情報
データベース
の活用

6

(一財) 国土地盤情報センターの設立

平成30年4月2日 設立

平成30年4月27日 国土交通省「地盤情報データベースに関する事務事業 実施者」として決定



機関名称の商標登録も取得→

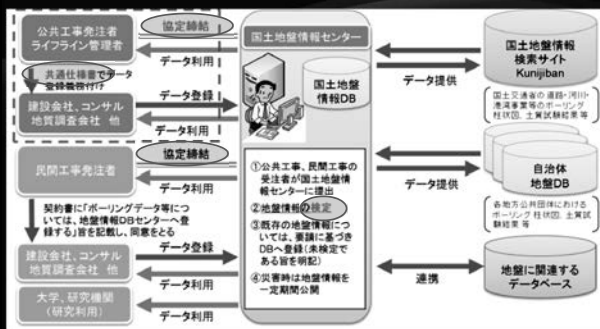
7

内容

1. 国土地盤情報センターの設立の背景
2. データベースの構築と運用
3. データの公開
4. 今後の事業展開

2

国土地盤情報データベースの構築と運用



国土交通省：「発注者責任を果たすための今後の建設生産・管理システムのあり方に関する懇談会」業務・マネジメント部会 資料、2018.11.

9

共通仕様書の改定 (H30. 3)

地質・土質調査業務共通仕様書(案) 第118条 成果物の提出

5. 受注者は機械ボーリングで得られたボーリング柱状図、土質試験結果一覧表の成果について、別途定める検定に関する技術の有する第三者機関による検定を受け、発注者に提出するとともに、発注者が指定する地盤情報データベースに登録しなければならない。

土木工事共通仕様書(案)

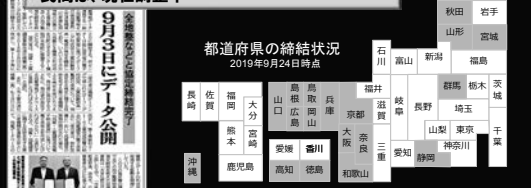
受注者は、設計図書において地質調査の実施が明示された場合、「地質・土質調査成果電子納品要領(国土交通省)」に基づいて電子成果品を作成しなければならない。

なお、受注者は、地質データ、試験結果等については、地質・土質調査業務共通仕様書(案)(建設省技調発第92号平成3年3月30日)の第118条成果物の提出に基づいて地盤情報データベースに登録しなければならない。

10

「地盤情報の収集と利活用に関する協定書」の締結状況

- ・国土交通省
- ・農林水産省
- ・沖縄総合事務局
- ・北海道など16の都道府県と傘下の市区町村
- ・札幌市など5の政令指定都市
- ・NEXCO各社、首都高速・阪神高速
- ・鉄道・運輸機構
- ・民間は、現在調整中



11

地盤情報の検定



12

平成30年8月1日から検定業務を開始



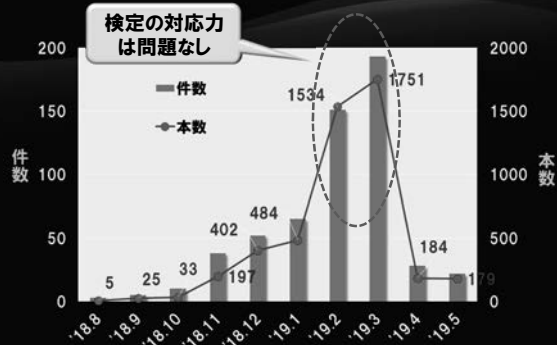
※10月1日にHPリニューアルしました

13

検定するデータの内容

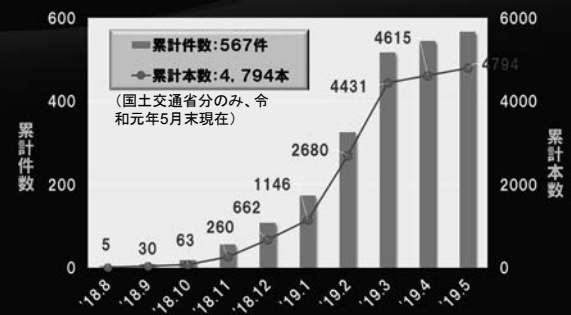
成 果 品	主 な 検 定 内 容
ボーリング柱状図: ・ボーリング交換用データ ・電子柱状図	① ボーリング数量の確認 ② 該当資格者名及び登録番号の確認 ③ 標題情報(調査名、発注機関など)の確認 ④ 緯度経度、座標系の確認 ⑤ 岩種・土質区分、記事、試験結果などの確認
土質試験結果一覧表: ・土質試験結果一覧表データ ・電子土質試験結果一覧表	① 土質試験結果の試験数量の確認 ② 標題情報(調査名、発注機関など)の確認 ③ 土質試験結果の確認

これまでの検定件数と本数



15

これまでの累計検定件数と本数



16

検定運用上の課題

- 検定の際にミスが比較的多い
→電子納品の初期と同様→すぐ慣れる
- 工事におけるボーリングを電子納品を知らない業者が実施している場合が散見される(例:PDF提出)

17

内 容

1. 国土地盤情報センターの設立の背景
2. データベースの構築と運用
3. データの公開
4. 今後の事業展開

2

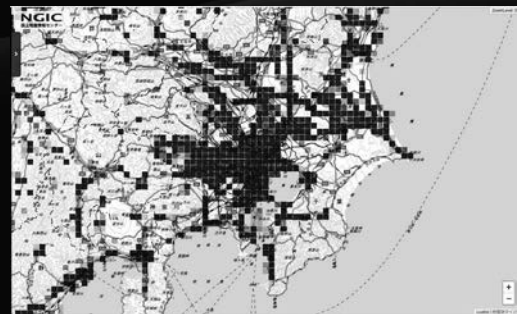
地盤情報公開サイトの開設



※10月1日にHPリニューアルしました

19

関東地区のボーリング位置図



現時点では既存情報(kunijiban)が大半

20

東京都地域（平成31年3月31日時点）



国土交通省直轄データのみ(既存 ■ + 新規 ●)

21

東京都地域（平成31年4月1日時点）



国土交通省(■・●)+東京都既存データ(■)

22

災害時における地盤情報の一定期間公開



平成30年北海道胆振東部地震(9月6日発生)に対する[復興支援]ボーリング柱状図 緊急公開サイトを平成30年9月8日に開設

令和元年7月末に閉鎖

23

平成30年北海道胆振東部地震復興支援のためのボーリングデータ緊急公開サイト



9月8日～9月15日までのアクセス数: 5,246

24

内 容

1. 国土地盤情報センターの設立の背景
2. データベースの構築と運用
3. データの公開
4. 今後の事業展開

2

令和元年度の事業計画

1. 地盤情報のデータプラットフォームの運営
2. WEB・GISによる情報提供機能の開発と供用
3. 品質確保策の検討と実施
4. 関連委員会の設置と検討 → 利活用
5. 関係機関(産官学)への協力依頼
6. その他
 - ① 地盤データの利活用の具体的な事例紹介
 - ② 研究開発(3次元のフリーソフトの開発と提供)
 - ③ ホームページのリニューアル事業
 - ④ 賛助会員制度の導入

委員会を
発足させ
検討予定

26

(1) 地盤情報データベースと地質リスク

地質リスク(マネジメント)

既往資料調査 → 現地踏査 → リスク評価・分析 → 対応方針検討

事故・災害防止
コスト削減

国土地盤情報データベース

i-Construction
生産性向上
品質向上

地質リスク: 建設事業に焦点を当て、その建設コストに極めて大きな影響を及ぼす地質、地盤、地下水などに係る不確実性

27

建設事業		地質リスクの要因
切上のり面	土へり破壊、落石、豪雨時表層崩壊、のり面保護工の劣化、背面空洞化、掘削土の重金汚染汚染	
盛土	土へり破壊、材料劣化、基礎地盤沈下、基礎地盤・盛土材料の液状化、路面下隆、其崩沈下、周辺施設の沈下・傾斜	
道路 橋梁	橋脚・橋台基礎の沈下・傾斜、側方流動、基礎地盤の液状化、仮設構造物の沈下・破壊	
山岳トンネル	異常出水、破砕帯の存在認識、覆土亀裂、坑口斜面崩壊、周辺非の枯涸、ずりの重金汚染汚染、ガス発生	
都市トンネル	地層変化、地表面沈下、建築物の沈下・傾斜、メタンガス発生	
開削	周辺地下水位低下、近接構造物の沈下・傾斜、土留壁の変形・破壊、掘削底面の陥凹・ハバニング	
河川 海 堤防	沈下、土へり破壊、浸透破壊、地震時崩壊、漏水、堤体及び基礎地盤の液状化	
河川・海岸施設 ダム	安定・沈下・傾斜、漏水、地震時安定性、ダム貯水池周辺地すべり	
砂防 砂 防 け す り 石 流	土へり位置、地すべり範囲、対策工の寛狭、水抜き工の不具合 降雨時崩壊、危険度ランク評価、のり面保護工の劣化・背面空洞化 土石流土砂は：崩壊規模想定、流下影響範囲、砂防堰堤の沈下・傾斜	

28

[illegible]

(2) 地盤情報データベースとBIM/CIM

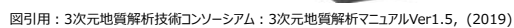
```

graph LR
    A[地質調査結果] --> C[BIM/ CIM  
(3D地盤モデル)]
    B[(国土地盤情報データベース)] --> C
    C --> D[i-Construction  
生産性向上  
品質向上]
  
```

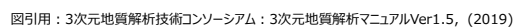
The diagram illustrates a workflow for integrating geotechnical data into BIM/CIM. It starts with '地質調査結果' (Geotechnical Investigation Results) and '国土地盤情報データベース' (National Geotechnical Information Database), both of which feed into 'BIM/ CIM (3D地盤モデル)' (BIM/CIM 3D Ground Model). This model then leads to 'i-Construction', which focuses on '生産性向上' (Productivity Improvement) and '品質向上' (Quality Improvement).

30

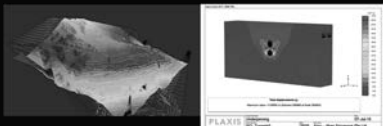
CIMやi-Constructionとの連携



CIMやi-Constructionとの連携



- FEM解析と同様、地質・地盤を知らなくても解析ができてしまう
- 地域の地質、堆積環境に精通した地質技術者が関与しなければならない
- 一気通貫の3Dモデル活用と併せて、そのモデルに潜む地質リスクを何らかの方法で表現し共有化する必要がある



A black and white photograph showing a person's hands typing on a laptop keyboard. A cup of coffee sits on the desk next to the laptop. The background is blurred, suggesting an indoor office or home workspace.

第10回地質リスクマネジメント事例研究発表会
2019年11月1日

講演②

地質リスクマネジメントの現状と 今後の展開について

地質リスク学会 専門委員会・委員
(一社) 全国地質調査業協会連合会 技術委員会・委員
渡辺 寛

1

内 容

1. これまでの取り組みの経緯
2. 関連団体の最近の活動状況
3. 国交省の動き
4. 今後の展開と課題

2

内 容

1. これまでの取り組みの経緯
2. 関連団体の最近の活動状況
3. 国交省の動き
4. 今後の展開と課題

3

地質リスク学会の活動内容

設立趣旨（地質リスク学会HPより引用）2010年

- ① 地質リスクマネジメントの普及のための活動の推進
- ② 地質リスク及び地質リスクマネジメントの効果の計量化、プロセスマネジメントシステムの構築
- ③ 開発についての研究の推進
- ④ 地質リスク関連データの収集様式及びデータの蓄積に関する研究の推進
- ⑤ 地質の技術顧問制度の検討と促進（GRE認定制度）
- ⑥ 地質リスクマネジメントシステムの構築と事業への適用の推進（土研の委員会に参加）
- ⑦ 年次事例発表会等の開催（2010年から開催 9回開催）
- ⑧ 海外交流（実績：米国、英国）

4

地質リスク学会および全地連による 地質リスクマネジメントに関する動き

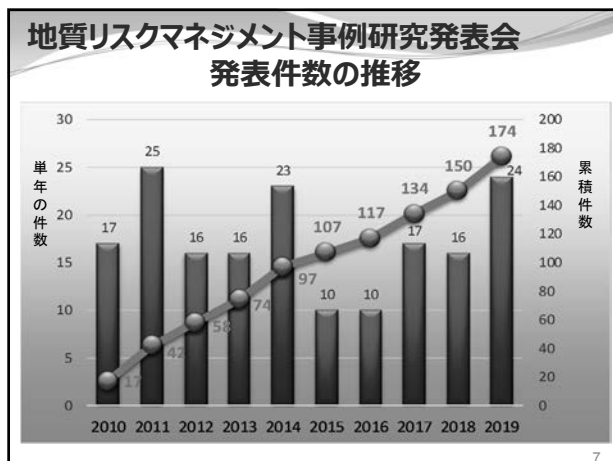
時期	トピック	活動成果（主催・発行元）
H17 2005	全地連地質リスクWG活動開始	地質に係わる事業リスク検討報告書（全地連）
H18 2006		地質リスクに関する調査・研究報告書（全地連）
H19 2007	地質リスクWGによる アメリカへの調査団派遣	地質リスク海外調査ミッション報告書（全地連）
H20 2008		地質リスクとリスクマネジメントシンポジウム（産 新地質情報センター・全地連・地質地産情報協議会） 「地質と調査」2008年第2号において地質リスクマネ ジメント小特集号発行（全地連）
H22 2010	地質リスク学会発足	「地質リスクマネジメント入門」 （オーム社）発行（地質リスク学会・全地連） 第1回地質リスクマネジメント事例研究発表会 （地質リスク学会）（以後毎年開催）
H23 2011		「地質と調査」2011年第3号において地質リスクマネ ジメント小特集号発行（全地連）
H26 2014	プロボ・総合評価ガイドラインで「地 質リスク調査検討業務」の試行開始	地質リスクマネジメント体系化委員会報告書
H27 2015	GRE養成講座開始	
H28 2016		「ジオリスクマネジメント」 （古今書院）発行（全地連訳）
H29 2017	地質リスクWGによる イギリスへの調査団派遣	地質リスク海外調査ミッション報告書（全地連）

5

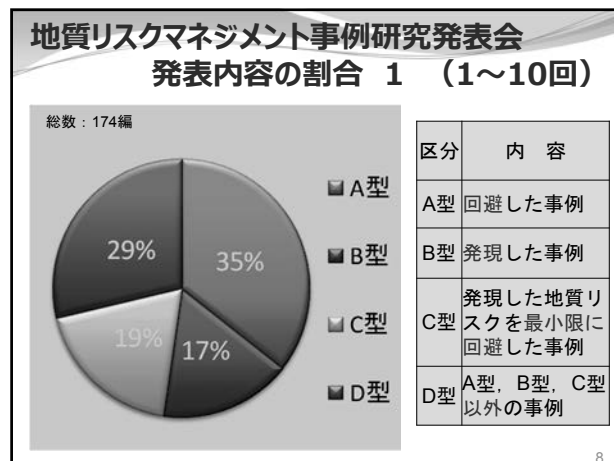
地質リスク学会 会員数の推移



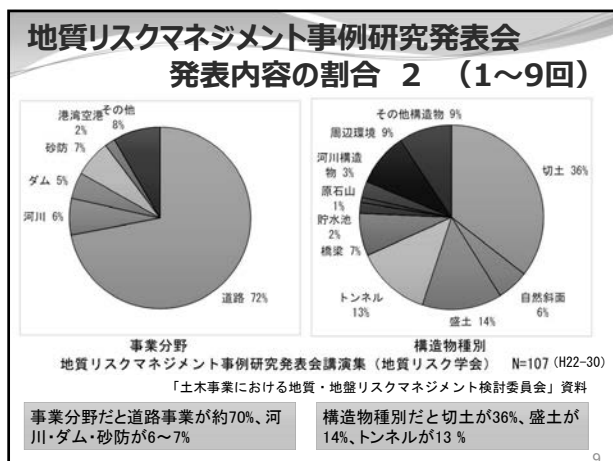
6



7



8



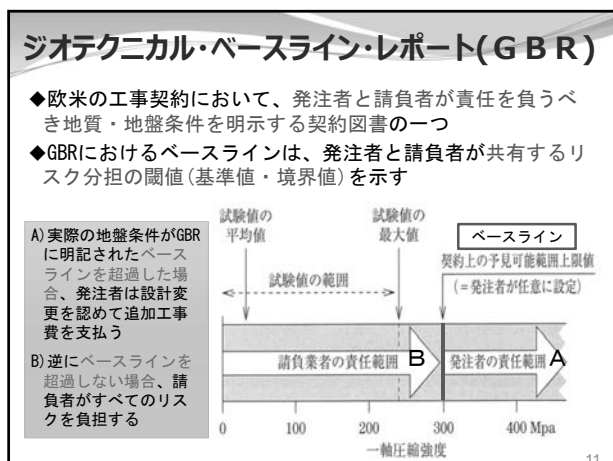
9

「地質リスクマネジメント入門」の出版 (H22 2010)

- ◆ 地質リスク学会の設立と同じ年に発行
- ◆ 地質リスクに関する基本的な内容
- ◆ 地質リスク学会の活動の基本
- ◆ ジオテクニカル・ベースライン・レポート（GBR）の紹介
- ◆ 米国土木学会版 翻訳
Geotechnical Baseline Reports for Construction SUGGESTED GUIDELINE
第1版は1997年、第2版は2007年に出版

第1章 地質リスクとは
第2章 地質リスクマネジメントの課題と対応策
第3章 地質リスクマネジメントの事例研究
第4章 ジオテクニカル・ベースライン・レポート（GBR）とは（米国土木学会版 翻訳）
第5章 建設工事におけるジオテクニカル・ベースライン・レポート

10



11

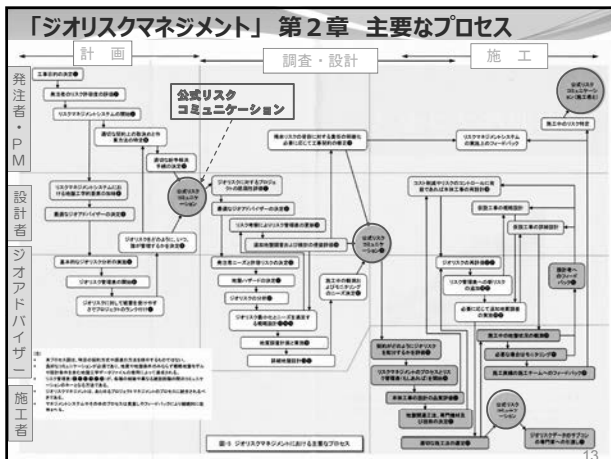
「ジオリスクマネジメント」（翻訳版）の出版 (H28 2016)

- ◆ 原著は英国土木学会が2001年に出版
- ◆ 地質リスクマネジメントにおける発注者、設計者、施工者の役割が明確
- ◆ 英国内外の実務者の間では、地質リスクマネジメントに関する最も重要な解説書

第1章 はじめに
第2章 主要なプロセス
第3章 基本的な考え方
第4章 発注者の役割
第5章 設計者の役割
第6章 施工者の役割

参考文献
付録A リスク管理表
付録B リスク・ソフトウェア
付録C ケースヒストリー

12



地質リスク調査検討業務発注ガイド (2016改訂版、H28.10)

- ◆初版(2014)を大幅に補充した改訂版
- ◆旧版は概要版と資料編(HP掲載)に分けていたが一括化
- ◆地質リスク調査検討業務の必要性、発注の考え方、成果の内容、地質調査計画との関係などについて解説
- ◆内容はQ&A方式
- ◆資料編に特記仕様書例、積算例を掲載

地質リスク「海外調査ミッション」1 (2007) 訪問先 米国サンフランシスコ

- ◆ 2007年9月30日~10月5日
- ◆ 参加人数 11名
- ◆ 目的 「地質リスク」に関する事情・動向の把握。研究機関・政府機関・企業等を訪問し、関係者と意見交換
- ◆ 訪問先：
 - ・米国地質調査所
 - ・カリフォルニア州運輸局
 - ・Fuguro (West)
 - ・Pacific Gas & Electric
 - ・カリフォルニア大学DAVIS
- ◆ 現場見学
 - ・Devil's Slide Tunnel Project
- ◆ 成果
 - ①米国の地質リスクマネジメントの現状と課題についての理解
 - ②Geotechnical Baseline Report の作成

地質リスク「海外調査ミッション」2 (2017) 訪問先 英国ロンドン

- ◆ 2017年10月22日~29日
- ◆ 参加人数 13名
- ◆ 目的 英国地質リスクマネジメント実務と海外学術研究動向の調査
- ◆ Mott MacDonald社, Arup社 (コンサルタント), Highways England (英国道路庁), Ms Amlin社 (保険会社) 訪問・意見交換
- ◆ Dr. Clayton (サザンブリティッシュ大学教授) 講義 & Dr. Matthews (Surrey大) との懇談会
- ◆ 土木学会英国分会との懇談会
- ◆ The Geological Society主催国際学会 "Ground Related Risk to Transportation Infrastructure"への出席・ポスター発表等
- ◆ 地質リスク学会HPからダウンロード可

地質リスクエンジニア(GRE)

2015~2019年 5回開催

GRE (地質リスクエンジニア) とは
地形・地質や地盤に関する高度な専門知識と経験ならびにマネジメント力を有する技術者であって、地質リスク学会が認定した技術者

【認定の手続き】

- ① 全地連が主催する養成講座(e-learning, 2日間の講義・演習)を履修する
- ② 履修者は、地質リスク学会が定めるGRE認定制度へ申請する
- ③ 地質リスク学会による論文審査に合格したものがGREとして認定される
- ④ 認定者は90名(2019年3月現在)

● 資格化については今後の課題

● 地質リスク調査検討業務の管理技術者や技術顧問として最適

内容

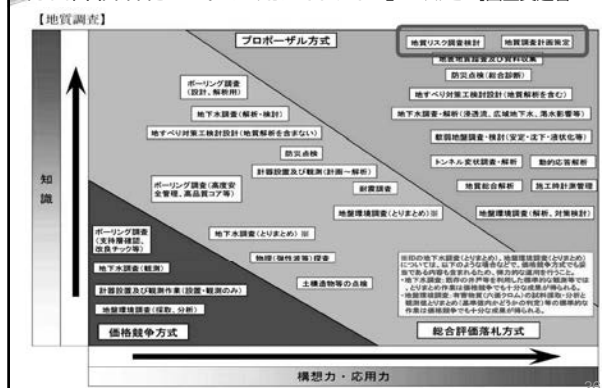
1. これまでの取り組みの経緯
2. 関連団体の最近の活動状況
3. 国交省の動き
4. 今後の展開と課題

内 容

1. これまでの取り組みの経緯
2. 関連団体の最近の活動状況
3. 国交省の動き
4. 今後の展開と課題

25

「建設コンサルタント業務等におけるプロポーザル方式及び総合評価落札方式の運用ガイドライン」を改定 【国土交通省H27】



26

地質リスク調査検討業務等の発注実績

発注年度	発注件数	発注事務所等
H26 2014	2	関東・長野(変更)、近畿・明石(調査計画)
H27 2015	5	東北・能代(変更)、北陸・新潟(変更)、関東・長野(変更)、中国・鳥取(変更)、九州・大隅
H28 2016	7	北海道・小樽(調査計画)、北海道・苫小牧、北陸・千曲川、近畿・紀南(4件)
H29 2017	3	北海道・小樽(調査計画)、四国・那珂川(変更)、九州・大隅
H30 2018	11	本省・技調課(手法検討)、北陸・新潟、関東・長野、中部・多治見、近畿・技術(資料整理)、中国・倉吉(2件)、中国・浜田、四国・中村、九州・佐賀、九州・鹿児島

- ・当初は通常業務の変更処理での実施が多かった
- ・対象は道路が大半

27

地質リスクに関する全国の動き

地方	業務発注件数	その他の動き
北海道	3	■ H30.12 開発局長が地質リスクの特別講演実施 ■ H31.1 北海道技術研修において地質リスクが特別講演で取り上げられた(自治体で初の取組み)
東北地方	1	■ H26年度 秋田県が地質アドバイザー・コンサルタント制度のテーマの一つに地質リスクを採用(実績不詳)
北陸地方	3	■ H31.2 国・県の職員も対象にした講習会開催(その後、新潟県より勉強会の要請あり)
関東地方	3	■ H27から 地盤若手職員研修で講演 ■ H30年度 関東地質調査業協会が関東地盤と勉強会開催、「『地質リスク調査検討業務』実施の手引き」を作成
中部地方	1	
関西地方	6	■ H30.2 近畿地盤：関西地質調査業協会と地質リスクの勉強会実施(マニュアル作成)
中国地方	4	■ 中国建設弘済会主催の講習会で地質リスクマネジメントについて講演
四国地方	2	
九州地方	4	

※発注件数はH30までの地質リスク調査に関する業務(変更分も含む)

28

発注者責任を果たすための今後の建設生産・管理システムのあり方に関する懇談会 業務・マネジメント部会(平成30年度第2回) 平成31年3月6日

高度な技術が要求される発注方式

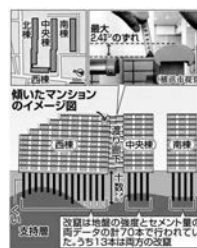
- ・建設生産・管理システムのマネジメントを効率的・効果的に行うためには、技術力を重視する発注方式が必要。このため、業務の特性、地域の実情、入札・契約技術力を重視する入札・契約方式の適定にシフト
- ・事業前期段階における地質調査業務では「地質リスク調査検討」を実施し、下流側の設計・工事の効率化に寄与



29

横浜マンション問題(H27)を踏まえた 国交省の動向

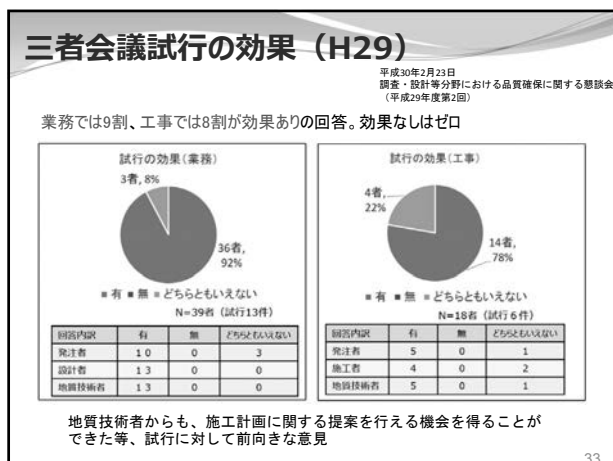
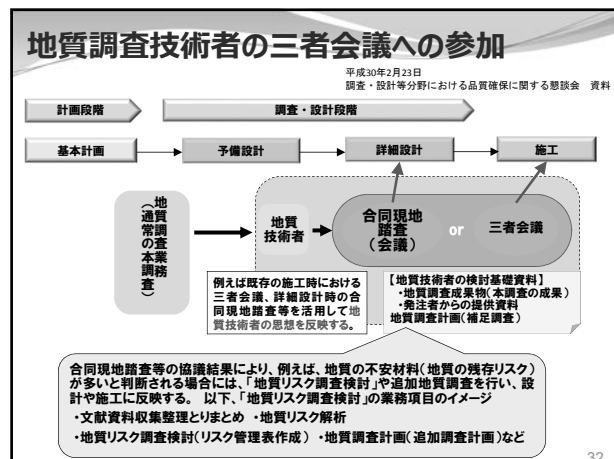
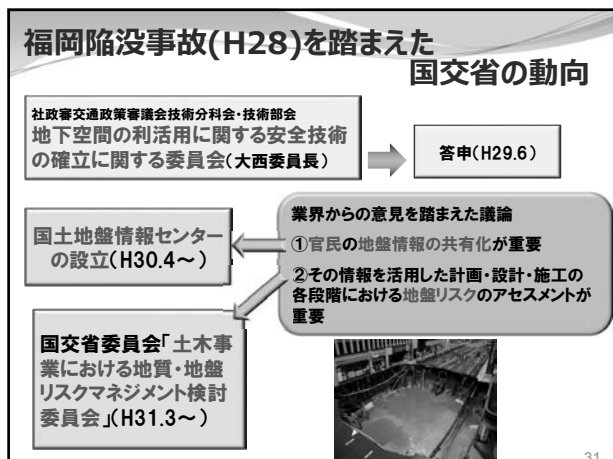
基礎ぐい工事問題に提案する対策委員会 中継審・社整審 基本問題小委員会



民間建設工事の適正な品質を確保するための指針 【民間工事指針】(H28.7.4)

- 施工リスクを低減させるため
- 地盤調査と専門的知見の重視(リスク特定・評価)
- 情報を事前協議し共有(リスクコミュニケーション)
- 関係者間の役割分担の明確化(リスク分担)

30



- ### 内 容
1. これまでの取り組みの経緯
 2. 関連団体の最近の活動状況
 3. 国交省の動き
 4. 今後の展開と課題
- 34

改正 品質法 (令和元年6月 公布・施行)

●公共工事の品質確保の促進に関する法律の一部を
改正する法律 概要

背景・必要性

1. 災害への対応
○全国的に災害が発生する中、災害からの迅速かつ円滑な復旧・復興のため、災害時の緊急対応の充実強化が急務
2. 働き方改革関連法の成立
○「働き方改革関連法」の成立により、公共工事においても長時間労働の是正や過労改善といった働き方改革の促進が急務
3. 生産性向上の必要性
○建設業・公共工事の持続可能性を確保するため、働き方改革の促進と併せ、生産性の向上が急務
4. 調査・設計の重要性
○公共工事に関する調査等の品質が公共工事の品質確保を図る上で重要な役割

法案の概要

4. 調査・設計の品質確保
公共工事に関する調査等(測量、地質調査その他の調査(点検及び診断を含む。))及び設計について広く本法の対象として位置付け

法改正の理念を現場で実現するために、地方公共団体、業界団体等の意見を聴き、基本方針や発注者共通の運用指針を改正

35

改正 品質法 (令和元年6月 公布・施行)

第2 基本理念の改正

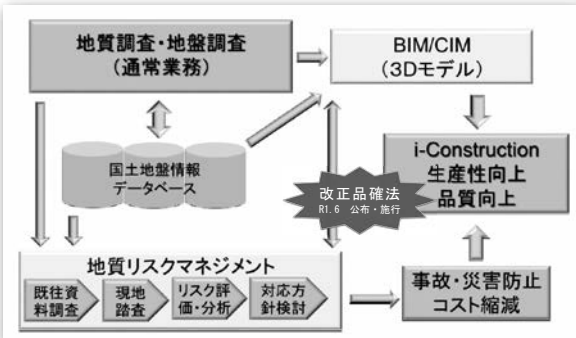
1 公共工事の品質は、地盤の状況に関する情報その他の工事等(工事及び調査等をいう。以下同じ。)に必要な情報が的確に把握され、より適切な技術又は工夫が活用されることにより、確保されなければならないものとする。

「地質リスク」の把握・評価が
公共事業に不可欠なものとして
明確に位置付けられた

地質技術者が積極的に
事業に参加

36

地質リスクマネジメントを取り巻く環境



37

国立研究開発法人 土木研究所 土木事業における地質・地盤リスクマネジメント

- 福岡陥没事故を受けた「地下空間の利活用に関する安全技術の確立に関する小委員会」答申
- 「土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会」が平成31年3月からスタート
- 報告書「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントの基本的な考え方」をまとめ中。完成後は各地方整備局に配布
- 地質リスク学会、全地連の取組みを含めた仕組みが有効

38

国立研究開発法人 土木研究所 土木事業における地質・地盤リスクマネジメント

- ◆ ISO31000のリスクマネジメント
組織としてリスクを特定、分析、評価し、これに対して何らかの対応を行うための活動

建設事業に適用

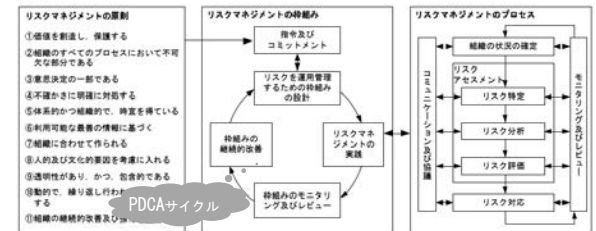
- ◆ 「地質・地盤リスクマネジメント」の定義
事業の各段階で、その時点の最新の地質・地盤の情報に基づいて評価し、リスク対応の意思決定を行うというプロセスを繰り返していくこと

39

JIS Q 31000 「リスクマネジメントー原則及び指針」(2010)

リスクについて、組織を指揮統制するための調整された活動 (JIS Q 31000)

リスクマネジメントの原則、枠組みおよびプロセスの関係 (ISO 31000)



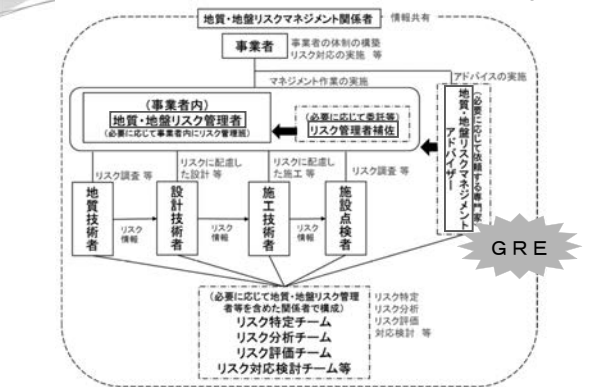
40

地質・地盤リスクマネジメントの流れ (検討中)

- ◆ 体制の構築と計画の立案
 - リスクマネジメントの目的と適用範囲を明確に設定
 - 事業関係者および地質・地盤技術者等の役割や連携体制を定める
 - 地質・地盤リスクを事業段階に応じて適切に把握、共有、引き継ぐための体制を構築すること、リスクマネジメントの計画を立案する
 - 関係者が協力して最適な対応を進める
- ◆ リスクアセスメント (特定、分析、評価)
 - 対応の検討や決定に必要な情報を得る作業
 - 目的・基準に照らして、リスクのレベルがどの程度か評価
- ◆ リスク対応
 - 目的・基準の要求に照らして、対応策を案出し選定する
 - 新たに生み出されるリスクへの考慮も重要
- ◆ リスク情報の共有と引き継ぎ
 - 意思決定に至る情報の取り扱いを含め、後の段階へ引き継ぐ

41

地質・地盤リスクマネジメントの体制 (検討中)



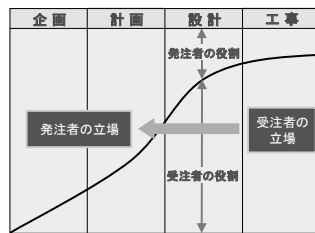
42

地質技術顧問(リスク管理者補佐)への発展

地質リスクをマネジメントするうえで、企画・計画段階から発注者側に立った地質技術者の参画が有効

初期の段階では地質リスク調査検討業務の発注が困難な場合がある

地質技術顧問制度の確立

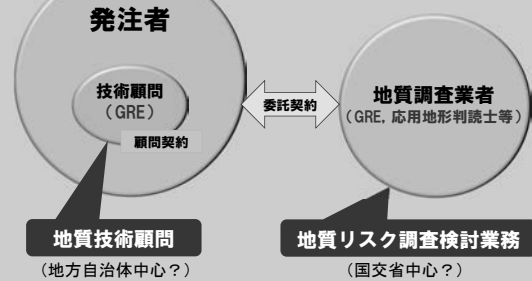


特に、技術者の少ない
地方自治体において有効

43

地質技術顧問、GREの役割

「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントの基本的な考え方」にもとづくシステムの運用



44

地質リスク学会を取り巻く外部環境が整備

- ① 横浜マンション問題 (H27)、福岡陥没事故 (H28) 地質・地盤に起因する事故等が多発
- ② 地質リスク調査検討業務の全国での発注
- ③ 国土地盤情報センターの運用開始
- ④ 改正品確法 (R1) による調査・設計の位置付け
- ⑤ 地質・地盤リスクマネジメント検討委員会設立

これまでに地質リスク学会 (全地連) が取り組んできた事項が実を結ぶとき

45

今後の課題

- ① 学会運営 パーチャル学会による活性化
- ② 事例研究発表会 + α
- ③ 地質リスク調査検討業務等の事例発表
- ④ 地方自治体への展開
- ⑤ 技術顧問制度、GREの運用
- ⑥ GBRの導入、設計・施工一括発注方式 (DB)
- ⑦ 新たな契約方式の検討 コスト・プラス・フィー
- ⑧ 責任の所在 (瑕疵担保責任)

46

ご清聴ありがとうございました



47

第Ⅲ編

第2部 事例研究発表会 論文

【論文 No. 1】 すべり災害ブロックにおけるアンカーチェックボーリング実施例

株式会社 エイト日本技術開発 ○山本 靖志

1. 事例の概要

本事例は、地すべり災害ブロックにおいて調査設計段階で地すべり対策工を決定した上でアンカーのチェックボーリングと引抜試験を実施し、それらの結果を反映してアンカー詳細設計の精度を上げ、施工時の設計変更のリスクを低減した事例である。

対象地の四国地方では平成 30 年 7 月の西日本豪雨により地すべり災害が多数発生した。本事例はこの際に幅 40m、長さ 60m 程度の規模で連続する明瞭な地すべり変状が発生した箇所である。対象の地すべりブロックは、幅 120m、長さ 170m 程度の地すべりブロック内の 2 次すべりブロックであり、ブロック右側方部は緩慢な凹状の集水地形を呈する。

地すべりブロックの形状については、地すべり災害であることから、クラックが明瞭に形成される位置で設定した。

対象地の基盤岩は、三波川帯の泥質片岩・砂質片岩互層主体で、部分的に塩基性片岩と互層状となる。表層は崩積土により被覆され、岩盤露頭は特に認められない。

地すべりブロック中央部の主測線上で 3 本の調査ボーリングを実施した結果、層厚 5～8m 程度の崩積土層の下位に、風化・破碎の進行した脆弱な強風化岩層、その下位に弱風化岩 (CL～CM 級) からなる風化岩層が分布することが確認された。孔内傾斜計観測の結果から今回滑動した地すべりブロックのすべり面は崩積土層内に分布するものと判断された。

地すべり対策工を検討した結果アンカー工を採用することとなったが地すべりブロックの形状等から判断して、地すべり主測線で確認された地層構成はブロックの両端部では変化している可能性が高いものと考えられアンカーの定着地盤も変化していると想定した。そのため、ブロックの両端部でアンカーの定着地盤確認のためのチェックボーリングと定着地盤で引抜試験を行いアンカー計画について詳細に検討した。

このように本事例は、調査・設計段階でより詳細に地盤の評価を行うことにより、施工時の設計変更のリスクを低減した事例である。

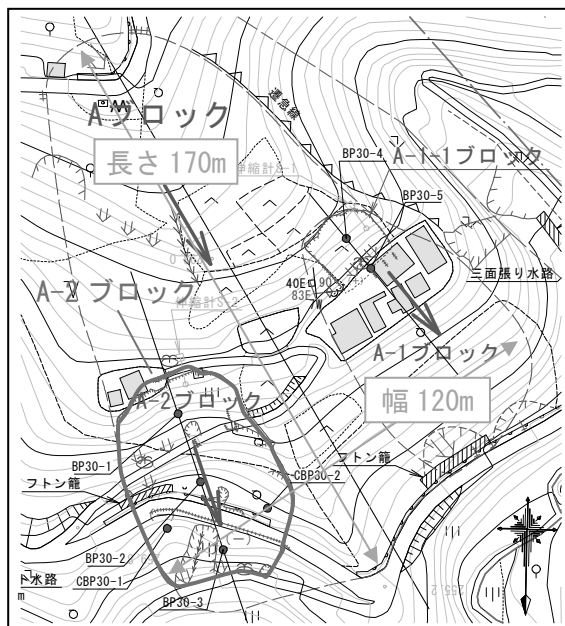


図-1 Aブロック平面図

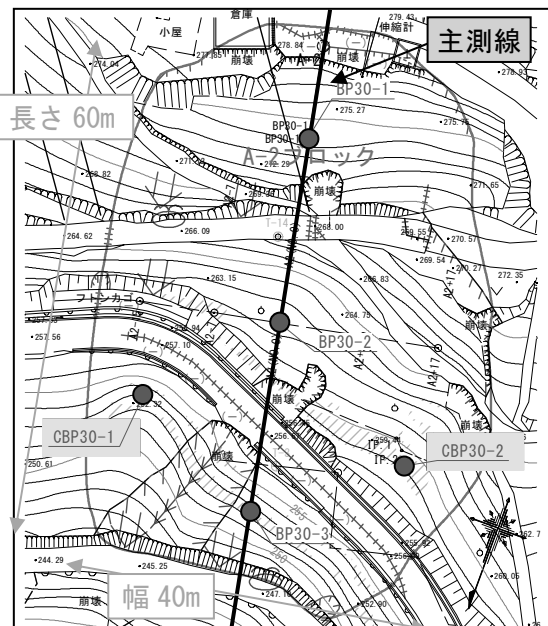


図-2 対象ブロック (A-2) 平面図

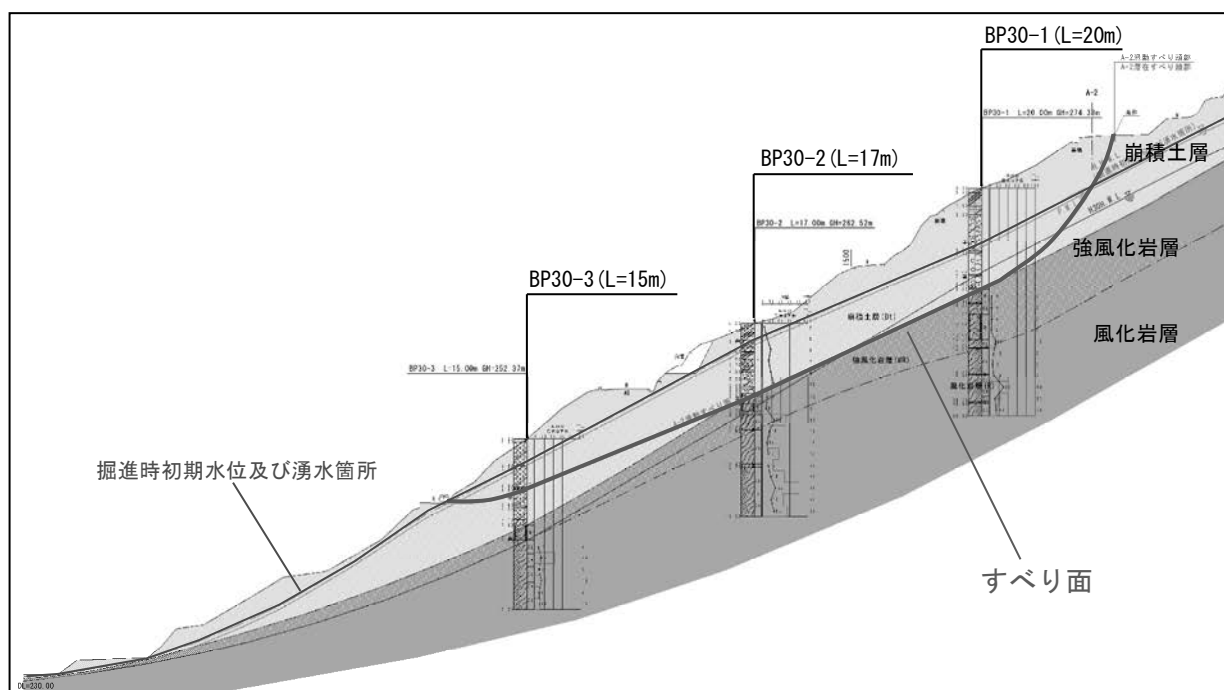


図-3 主測線の地質断面図

以下に主な変状写真を添付するが、地すべりブロックの形状の決定根拠となる明瞭な変状が形成されていた。特に顕著な変状としては地すべりブロック頭部の滑落崖、両側方部の連続したクラック等である。



地すべりブロック頭部の滑落



右側方部のクラック・沈下



左側方部のクラック



ブロック末端部の押出し

2. 事例分析のシナリオ

(1) 背景

当事例は地すべり災害であることから、早急な調査・対策工の検討及び施工が望まれる状況であった。

地すべりブロックの範囲については、明瞭な変状が連続するため決定の根拠となった。また、主測線では調査結果からすべり面位置を把握し、地すべり対策工の検討結果アンカー工が採用されることになった。

ただし、ブロックの地形形状を考慮すると地すべりブロック右側はやや谷地形となり左側は尾根地形となることから、主測線の調査結果をブロック両端部に反映させるのは難しいと判断された。そのため、アンカーの定着地盤が地すべりブロック内で変化することが懸念された。また、定着地盤は風化が進行する結晶片岩であり、定着地盤の周面摩擦抵抗値によってはアンカーの定着層の長さや場合によってはアンカー配置も異なってくる可能性があることも考えた。

大規模な地すべりブロックでは主測線の調査に加えて副測線での調査を実施することが多く、全体の地層構成・アンカー定着地盤の出現位置がある程度精度よく捉えることができるが今回の事例のようなケースでは両端部の地盤状況は主測線の調査結果から推定する方法とするのが一般的であると考えられる。

また、工事着手時にアンカー定着地盤位置や周面摩擦抵抗を確認することが多いが、当初の推定と異なる場合には設計変更が生じ、工事の遅れが出る可能性もある。

(2) リスク回避についての検討

想定されるリスクに対し、発注者と協議の上、調査・設計段階で地すべりブロック両端部でチェックボーリングを行い、アンカー定着地盤位置をより詳細に把握するとともに引抜試験により実際の周面摩擦抵抗を確認する計画とし調査を実施することとなった。

3. データ収集分析

地すべりブロック両端部付近で下向き 20° のチェックボーリングを実施しアンカー定着岩盤の出現位置を確認した。また、CBP30-1 を利用しアンカー引抜試験を実施し地盤の周面摩擦抵抗を確認した。

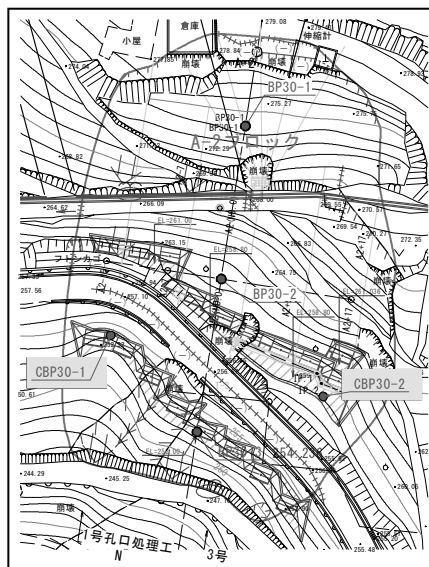


図-4 アンカー計画とチェックボーリング位置

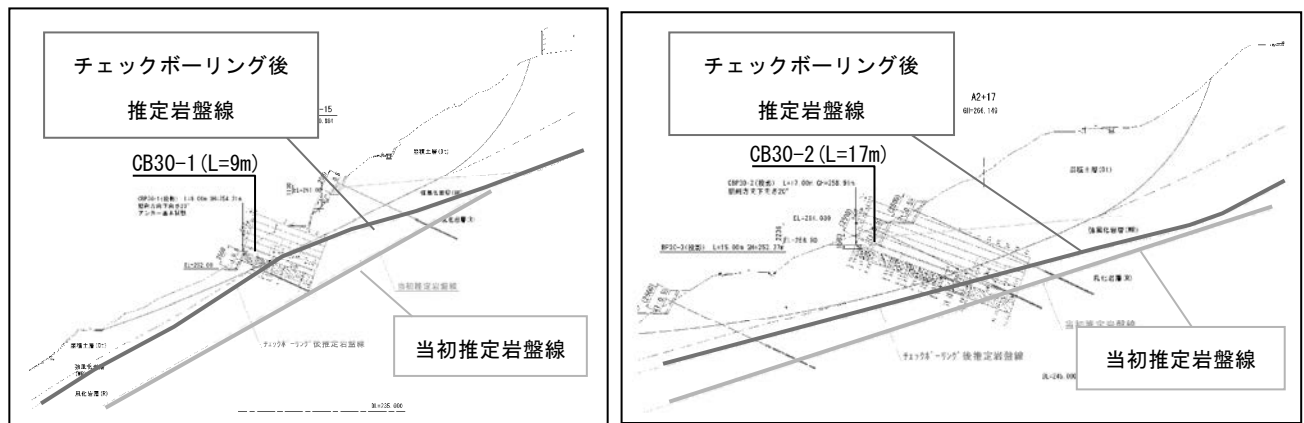


図-5 チェックボーリング結果と評価

チェックボーリングの結果を図-5に示す。いずれの結果も当初推定した位置よりも浅い位置でアンカー定着地盤が出現することがわかった。また CB30-1 の引抜試験結果からは周面摩擦抵抗 $\tau=0.8$ (MN/m²) という結果が得られた。

当初設計段階では表-1 の一般値から τ を設定しアンカー長を計算する手法が一般的であり、当地では主測線の調査ボーリング結果から、定着地盤は風化が進行した結晶片岩であることから $\tau=0.6$ (MN/m²) (風化岩の最低値) を採用していた。

表-1 アンカーの極限周面摩擦抵抗

地盤の種類		周面摩擦抵抗 (MN/m ²)
岩 盤	硬 岩	1.50～2.50
	軟 岩	1.00～1.50
	風 化 岩	0.60～1.00
	土 丹	0.60～1.20

「グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説」より一部抜粋。

これらの結果からアンカー計画について再検討した結果、アンカー定着長は当初の $L=7.5$ m から 5.5 m で対応できることとなった。

設計アンカー力 : $T_d=615.8$ kN/本、アンカー間隔 : 4.0 m、施工段数 : 2 段

4. マネジメント効果

本事例は、調査設計段階でアンカー長を詳細に決定し、工事中の設計変更やそのための工事の手待ちを回避したという点で効果があったと考えられる。

現在、事業主体等で考え方に差があり、どの段階でチェックボーリングや引抜試験を行うかは異なるが、近年では設計変更のリスクを軽減するために調査設計段階で実施するケースも増えてきているようである。地すべりの規模や重要度、緊急性等を考慮する必要があるが、今回の事例のようなケース、地すべりの規模では有効になると考えられる。

A 型マネジメント効果＝①当初工事費－③変更工事費－リスク対応費用である。

①当初工事費

アンカー工+受圧板工：22,700 千円

②リスク対応費用

チェックボーリング、引抜試験費用：3,500 千円

③変更後工事費

アンカー工+受圧板工（アンカー延長変更）：21,200 千円

◎マネジメント効果＝①－③－②

＝22,700 千円－21,200 千円－3,500 千円

＝－2,000 千円

当該事例においては、リスク対応費用を考慮すると、工事費の差額よりも調査費用が大きくなった。ただし、アンカーのチェックボーリングと引抜試験を実施したことにより、地すべり端部におけるアンカー定着地盤位置と周面摩擦抵抗が明確となり、アンカー工の工事費としては 1,500 千円の縮減を図った結果となった。

5. データ様式の提案

本事例は、「地質リスクを回避した事例（A型）」に分類されるものであり、様式を整理し添付する。

A. 地質リスクを回避した事

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		県
	工事名		—
	工種		アンカー工
	工事概要		地すべり対策工事
	①当初工事費		22,700 千円
	当初工期		—
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		調査・設計時
	予測されたトラブル		アンカー定着地盤の変化
	回避した事象		アンカー長の変更
	工事への影響		設計変更による工事期間延長
リスク管理の実際	判断した時期		調査・設計時
	判断した者		調査・設計業者
	判断の内容		アンカー定着地盤の詳細確認
	判断に必要な情報		定着地盤位置と周面摩擦抵抗
リスク対応の実際	内容	追加調査	チェックボーリング、引抜試験
		修正設計	アンカー工
		対策工	延長、数量
	費用	追加調査	3,500 千円
		修正設計	—
		対策工	—
		②合計	3,500 千円
変更工事の内容	工事変更の内容		アンカー工の延長、数量
	③変更工事費		21,200 千円
	変更工期		—
	間接的な影響項目		—
	受益者		—
リスクマネジメントの効果	費用(①－③－②)		-200 千円(工事費は 1,500 千円)
	工期		影響なし
	その他		アンカーの定着地盤位置と周面摩擦抵抗を事前に把握し、工事中の設計変更を回避した。

〔論文 No. 2〕 地質調査結果の評価の違いによる地すべり対策工の規模縮小について

(株) 建設技術研究所 ○山部 哲、改田行司、原 大輔
(地質リスク・エンジニア 登録番号 10)

1. 事例の概要

ダム事業の仮設工事用道路施工時に過去に表層崩壊が発生した斜面において、将来管理用道路として使用するために道路の拡幅が計画され、その道路を保全するための地すべり対策工が計画されていた。表層崩壊発生後にすべり機構を検討するため、機械ボーリング6孔が実施され、すべり面が決定されていた。地すべり対策工を設計するために改めて現地踏査を実施し、地質解析を再度実施した。その結果、過年度の地質断面図が現地の地質構造とあっていないことが判明し、地質断面図を見直した結果、すべり面が過大に評価されていたことが分かった。そこで、すべりの機構とすべりが発生する可能性のある範囲を見直し、その結果により対策工の諸元を決めたことにより、大幅に対策工を縮小することが出来た。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 地質リスクの特定と現地踏査による確認

対策工設計のために過年度調査結果より地すべり機構の検証を実施した。その結果、以下の点で疑問があり、現地踏査で確認することとした。

- 変質帯が厚く分布している（図 1 参照）が、どのような過程で変質したのだろうか？
- 過去に表層崩壊が発生しているが、変質している粘土化帯は滑動しなかったのだろうか？
- 変質した粘土化帯ですべった場合、地すべりブロックの形状はどのようなになるのだろうか？（粘土化帯の分布範囲は？）

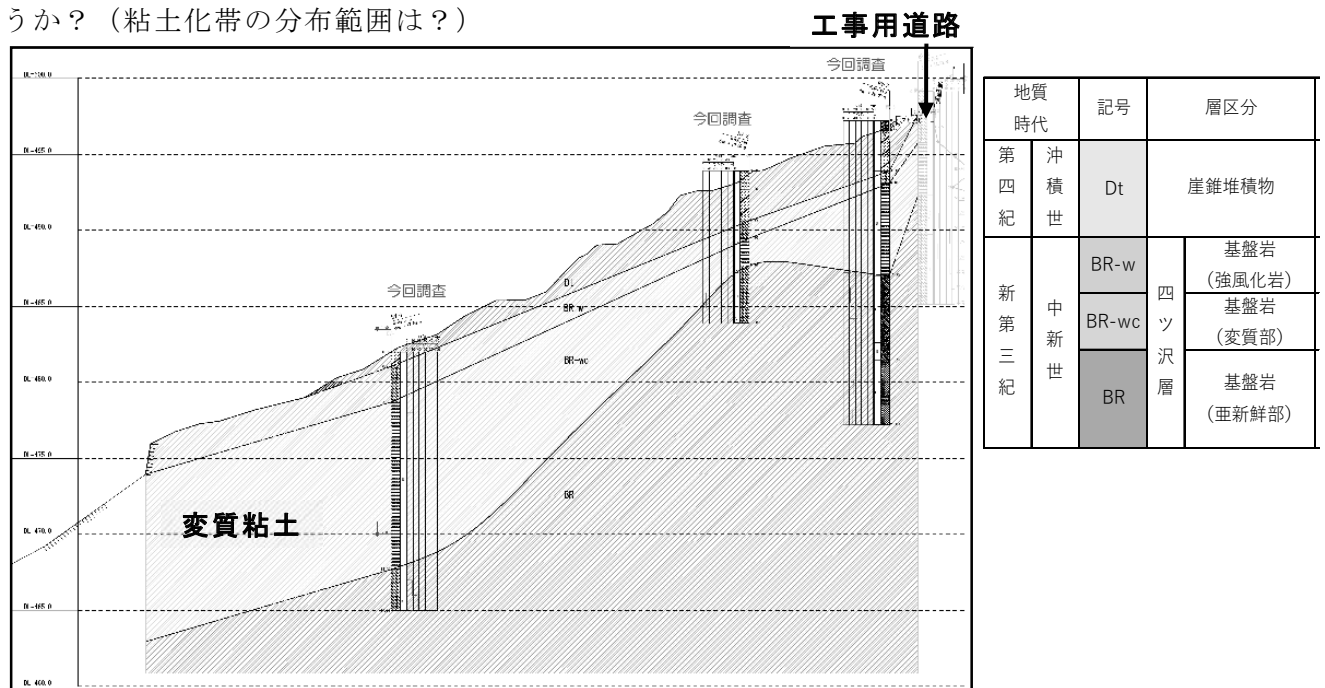


図 1 地質縦断面図（過年度成果）

(2)地質断面図と崩壊機構の見直し

現地踏査を実施した結果、走向傾斜は概ね NE～SW 方向であり、傾斜は 50° ～ 70° NW であり、高角度で川側に傾斜していることが分かった。したがって、変質帯は高角度の亀裂より熱水により変質した粘土化帯と推察した。現地の露頭より変質帯の分布を、地質構造を考慮してつないでみると、良い一致を示した。

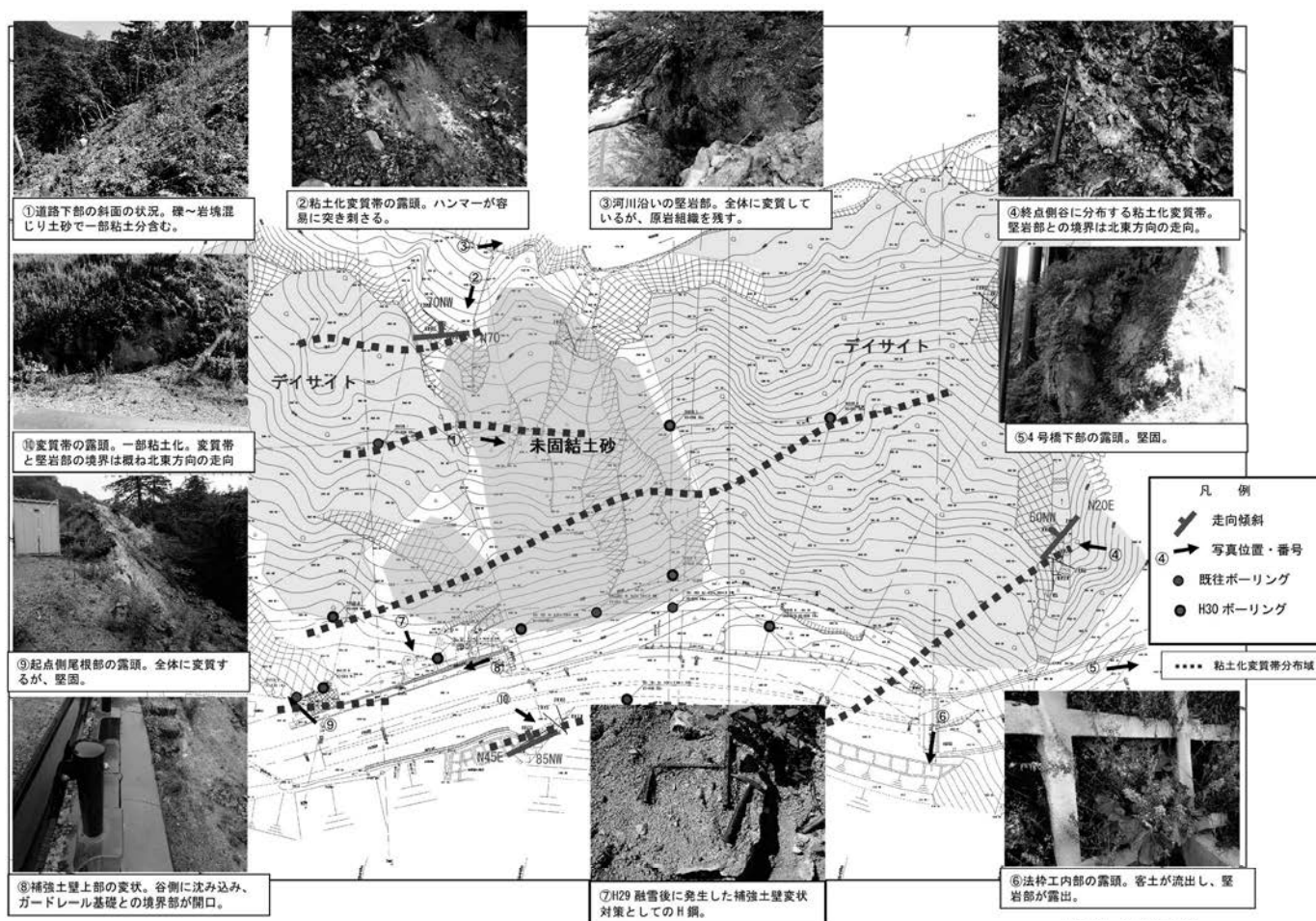


図 2 現地踏査結果

上記結果と同時期に実施した機械ボーリング結果を踏まえ、地質断面図を見直した。その際、表層崩壊後に切土を実施したときのスケッチ図も参照した。見直した断面図を図 3 に示す。

これらの結果をもとに、地すべり機構を見直した。見直した地すべり機構は以下の通りである

【工事用道路上部斜面の安定性】

過年度に表層崩壊発生後、のり面勾配 1:1.2 で切り直した結果、工事用道路上部斜面は安定し植生工もよく根付いて繁茂している。最下部のふとん籠にも変状は認められない。切土時のスケッチでも 1 段目と 3 段目には堅固な岩盤が確認されている。そのため、工事用道路より下部の斜面を対象とした。

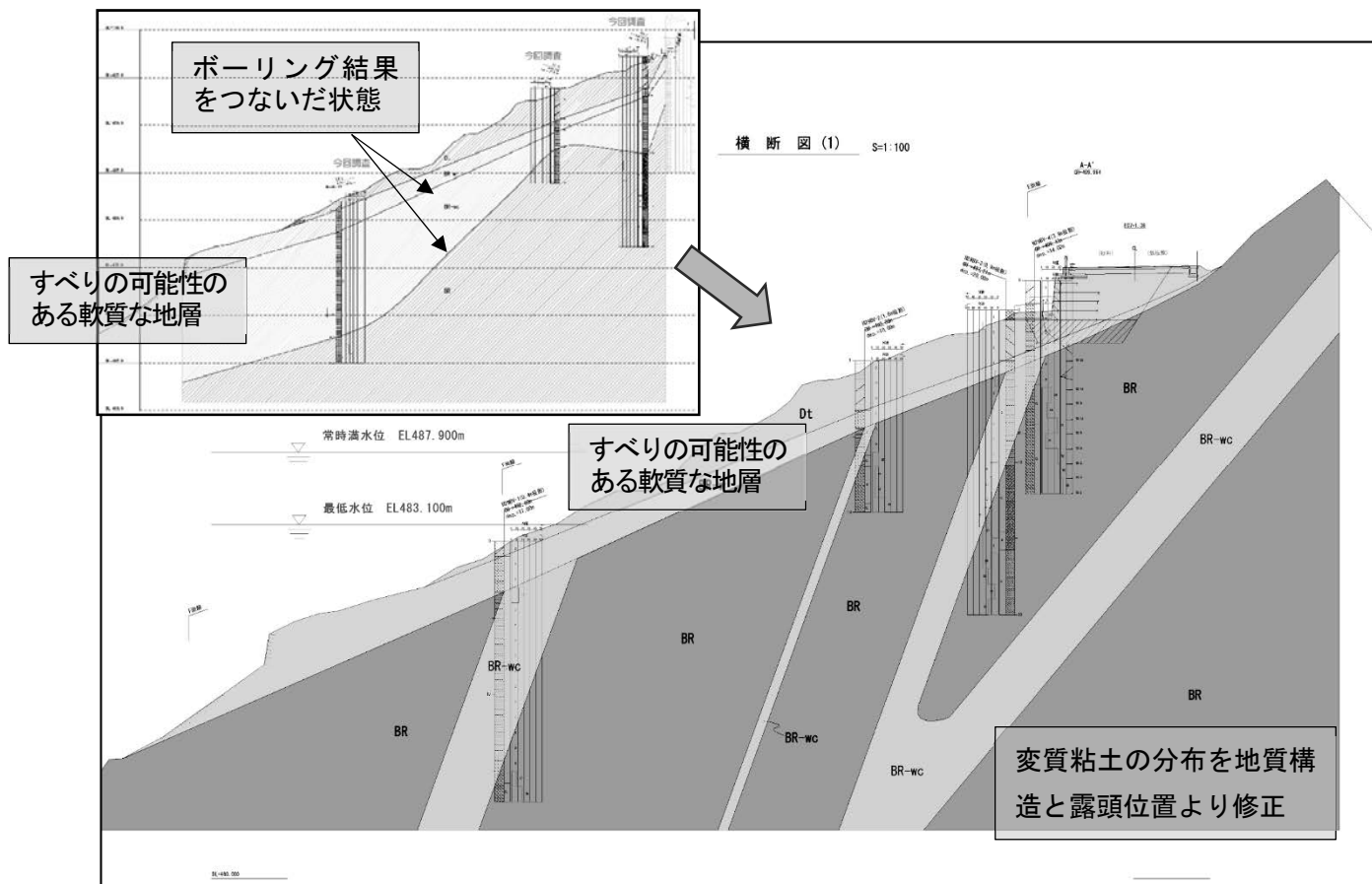


図 3 地質断面図（修正）

【素因】

- ・崖錐堆積物と一部軟質な風化岩が、傾斜角約 $20\sim 25^\circ$ で連続して分布する（未固結部と堅岩部との境界面で流れ盤構造）。
- ・未固結土は N 値 $1\sim 6$ と緩い。
- ・粘土化変質部は、流れ盤となるが、高角度で分布するため、変状を引き起こすような、すべり面となる可能性は低い。

【誘因】

- ・融雪期には、連続して地下水が供給されることにより、地下水位が上昇

【崩壊形態（地すべり機構）】

- ・崖錐堆積物（Dt 層）である未固結土砂が、主に融雪水による地下水位の上昇に伴い崩壊する形態
- ・BR-w 層の軟質部が融雪水による地下水上昇に伴い崩壊

3. データ収集分析

見直した地すべり機構（すべり面）に対して、安定解析を実施し、必要抑止力を算出した。安定解析は Dt 層の斜面崩壊に対して円弧すべりにより最大抑止力となるすべり面計上を決定し、それに対して湛水時の水位変動影響を考慮して必要抑止力を決定した。また、BR-w 層に対しても同様な検証を行い、算出された最大抑止力を前述の最大抑止力と比較

することにより対策規模を決定した。
安定解析の条件は以下の通りである。

単位体積重量：Dt 層、Br-w 層とも
17kN/m³（既往の測定結果）

せん断強度定数(c, ϕ): 逆解析により設
定。 ϕ をN 値より設定し、cを算出
現況安全率：1.0

計画安全率：1.15（管理用道路）

地下水位：孔内水位より設定（試錘日報
より設定）

残留間隙水圧 50%

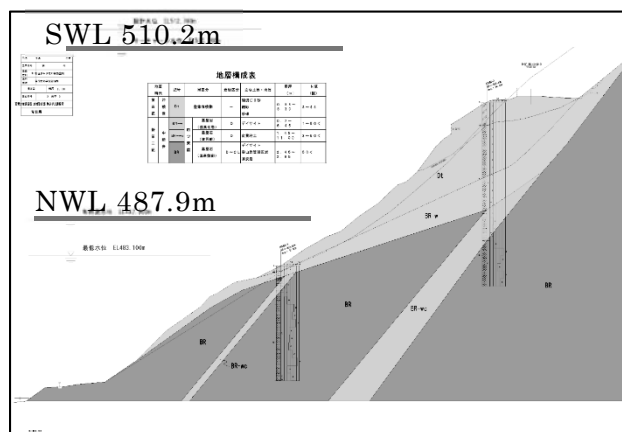


図 4 湛水条件

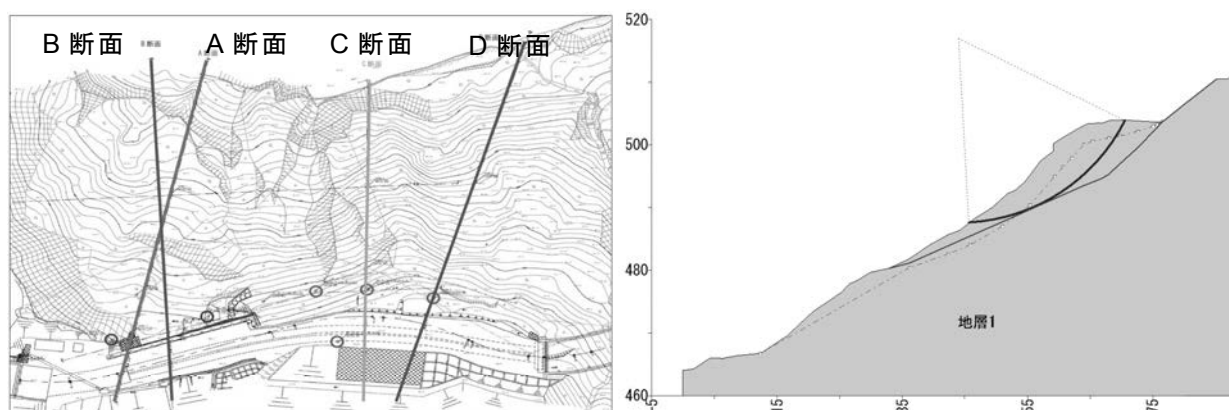


図 5 解析測線位置と D 断面のすべり面

表 1 逆解析結果(B 断面および D 断面)

すべり面	測線名	B断面	D断面
	測点	No.39	No.41+10
	形状	現況	現況
	水位	地下水無	孔内水位
強度定数 Dt	粘着力kN/m ²	4.37	17.12
	内部摩擦角 °	21	27
強度定数 BR-w	粘着力kN/m ²	2.91	17.79
	内部摩擦角 °	24	33

表 2 安定解析結果（B 断面および D 断面）

すべり面	測線名	B断面	D断面
	測点	No.39	No.41+10
	形状	現況	現況
	水位	地下水無	孔内水位
	計画安全率	必要抑止力 kN/m	必要抑止力 kN/m
Dt層円弧 湛水前	1.150	53.5	168.3
Dt層円弧 水位変化	1.150	141.7	412.6
BR-w円弧 水位変化	1.000	114.1	341.2

安定解析結果として、事前解析で必要抑止力の大きくなった B 断面と D 断面の逆解析結果を表 1 に示す。また、算出した必要抑止力を表 2 に示す。いずれの断面も湛水時（水位低下時）の抑止力が最も大きくなる。また、BR-w 層のすべりより Dt 層のすべりの方が、必要抑止力が大きいことが分かる。したがって、D 断面は 412.6kN/m に対する対策規模を検討することとした。

なお、当初の変質帯の粘土部をすべり層として安定解析を実施した場合の湛水時の必要抑止力は、757.8kN/m となり、本検討の約 1.8 倍となっている。

4. マネジメント効果

マネジメント効果を示すために、当初と本検討の結果を表 3 に示す。

本検討では、杭単独で単独で対策を実施することを考えたが、杭種別が抑え杭のため有効抵抗力が見込めないこともあり、杭諸元が「 $\phi 700$ $t=32$ (SKK570)」となり大規模になった（表 3 の右端の欄）。この時点でも当初よりも大幅に対策工費は減少しているが、杭径の大きさや重量を考えると、施工が難航する恐れがあるため、アンカー付き鋼管杭で再度諸元の検討を行った。その結果、「 $\phi 500$ $t=16$ (SKK570 材)」+「アンカー工（杭 2 本に 1 箇所間隔で設置） F100UA 削孔 $\phi 115$ 」で対策が成立した。

最終結果は以下の通りである。アンカー付き鋼管杭とした場合には、単独鋼管杭の約 35% 程度の工費となった。当初計画と比較すると約 20% 程度の工費であり、80% 工費削減となった。

表 3 対策工費の比較

	当初	修正設計	
鋼管杭の種類	抑え杭 (単独鋼管杭)	抑え杭 (アンカー付き鋼管杭)	抑え杭 (単独鋼管杭)
工種	詳細不明	$\phi 500$ $t=16$ SKK570 材相当	$\phi 700$ $t=32$ SKK570 材相当
概算工費	約 280,000 千円	53,724 千円	151,622 千円
評価	×	◎	△

5. データ様式の提案

(1) まとめ

地質構造を考慮することにより、地質断面図を見直した結果、すべりの可能性のある範囲が大幅に小さくなり、結果的に対策規模の縮小が出来た。地質を評価する際には、地質形成史を考え、現地踏査により得られた地質構造や地形・地質等の情報を加えて行くことの大切さを再認識した事例である。

(2)データ様式の提案

A. 地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		〇〇県
	工事名		—
	工種		地すべり対策工
	工事概要		アンカー付き鋼管杭
	① 当初工事費		280百万円
	当初工期		3年
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		施工段階
	予測されたトラブル		過大設計
	回避した事象		事業費の増大
	工事への影響		過大対策となった場合に修正設計 実施中の工事中止
リスク管理の実際	判断した時期		設計段階
	判断した者		地すべりの経験豊富な地質技術者
	判断の内容		変質帯の分布
	判断に必要な情報		現地踏査、ボーリングデータ
リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング調査4孔
		修正設計	—
		対策工	—
	費用	追加調査	5百万円
		修正設計	—
		対策工	—
		② 合計	5百万円
変更工事の内容	工事変更の内容		抑止杭(抑え杭)の縮小化
	③ 変更工事費		55百万円
	変更工期		2年
	間接的な影響項目		—
	受益者		—
リスクマネジメント の効果	費用(①－③－②)		220百万円
	工期		-1年
	その他		—

〔論文 No. 3〕 砂防施設袖の掘削による斜面崩壊リスクのマネジメント

大地コンサルタント(株) ○寺井康文(GRE 登録番号 8)・石井真治(GRE 登録番号 46)
永井啓資(GRE 登録番号 72)・江部直純

1. 事例の概要

(1) はじめに

地すべりや表層崩壊が頻発する地域に計画された複数の砂防床固め工において、袖掘削時の斜面崩壊リスクへの対応方針を地質リスクマネジメントにより決定した結果、1箇所ですべて許容したリスクが発現した。その後の調査及び対策等の対応で生じた事業コスト損失と、事前に対策を行う想定コストの比較を行い、リスクを許容した判断の妥当性を検証する。

(2) リスクマネジメントの経緯

近傍の砂防施設の工事では、袖の掘削に伴う地すべりの助長や掘削面の崩壊が頻発していた。設計業務(平成 25 年度)では、前年度の地質調査で斜面崩壊要因が確認された 2 基の床固工について、斜面崩壊リスクへの対応方針を検討したのち、対策工を設計した。

(3) 対象施設の概要

対象施設は 2 基(21 号, 22 号)の床固め工で、21 号の上流 200m 弱に 22 号が計画された。谷底低地を横断して兩岸の谷壁斜面に袖を貫入させる配置で、本堤幅 50~60m, 堤高 5~6m で、21 号は流木補足工を副堤として備えている。

対象溪流は日高山脈を源流とする二級河川の二次支流で、幅約 40m の谷底低地が形成され、谷壁は勾配約 40°, 比高 30m 程度である。21 号周辺では兩岸に小規模な地すべり地形が分布するほか、斜面上位には地すべり崩積土に被覆された河岸段丘面が確認された。22 号では右岸が平滑な斜面、左岸が地すべりの右側壁にあたる凸状の尾根地形をなす。

地質は強く破碎され風化の進行が速い脆弱な新第三紀の泥岩を基盤とし、地すべり崩積土など斜面堆積物や段丘堆積物、現河床堆積物が被覆する。斜面堆積物で被覆された泥岩の土砂状風化帯は厚さ 2m 以下だが、22 号左岸では 5m 程度の厚い風化帯が形成されている。

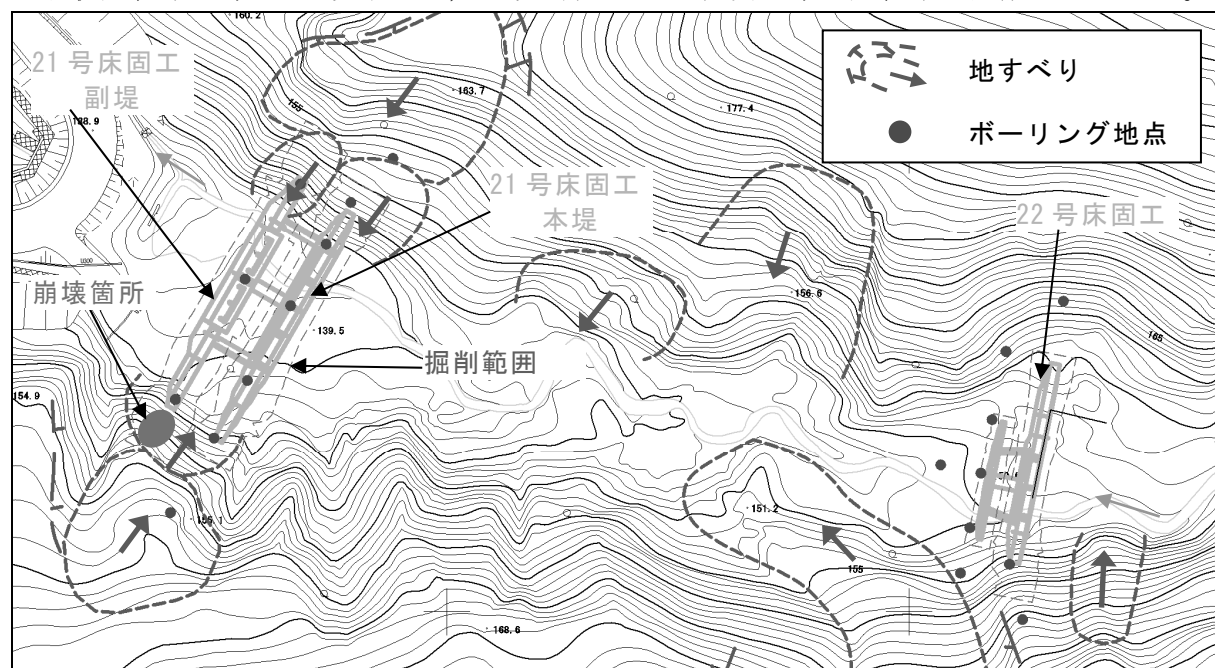


図 1 対象箇所の平面図と地すべり地形の分布

表 1 対象斜面の地形地質条件

対象	斜面形状	地形	斜面の地質	掘削面の主な地質
21号	右岸 比高20m 傾斜35~40°	不規則な斜面で掘削範囲に地すべりが分布。上位斜面は明瞭な地すべりに覆われた段丘面。	掘削範囲の地すべりは延長20m×幅30m×厚6m。上位斜面地すべりは延長40m×幅60m。	地すべり崩積土 (地すべり末端の掘削)
	左岸 比高20m 傾斜35~40°	不規則な斜面で掘削範囲に地すべりが分布。上位斜面は段丘面で、不明瞭な地すべり地形をなす。	掘削範囲の地すべりは延長15m×幅25m×厚3m。上位斜面地すべりは延長50m×幅30m。	泥岩 (地すべり崩積土は概ね除去される)
22号	右岸 比高35m 傾斜35°	比較的平滑な凹状斜面で、掘削範囲は崖錐堆積物が被覆。	崖錐堆積物の層厚3m程度。	崖錐堆積物、現河床堆積物
	左岸 比高15m 傾斜45°	下流側に分布する大規模な地すべり側崖に相当する凸状斜面。	泥岩からなるが、土砂状風化帯が層厚5m程度形成されている。	強風化岩

(4) 対応方針の決定

現在発生している斜面現象を含め、想定されるリスクが多様であるため、リスクの重要性和発生しやすさを箇所ごと評価し、リスクスコアから対応方針を決定した（表2, 3）。

リスクスコア「A」の箇所は事前対策によるリスク回避を行い、「B」は発現時の迅速な対応のためのモニタリング、「C」「D」は三者検討会を活用して施工時に対応する方針とした。

表 2 リスク事象と対応方針

対象	リスク事象	重要性	発生	スコア	対応方針
21号	地すべりの掘削による掘削面の崩壊	β	b	A	安定計算結果から、地すべりを誘発する可能性が極めて高い。山留め工による事前対策を実施。
	上位斜面地すべりの助長による対応範囲の拡大	β	c	B	規模の大きい地すべりが活発化すると対応が困難。モニタリングによる迅速な対応。
	脆弱な地質が主体となった掘削面が崩壊	γ	c	C	事前に対策する根拠が乏しく、対策するための詳細な調査も困難で、三者検討会による対応。
	上位斜面地すべりの助長による対応範囲の拡大	β	c	B	規模の大きい地すべりが活発化すると対応が困難。モニタリングによる迅速な対応。
22号	崖錐斜面の掘削による小規模な崩壊	δ	c	D	掘削高も小さく施工時に対応。
	強風化岩斜面の掘削による崩壊・地すべり誘発	β	b	A	近傍の実績で風化岩の掘削により地すべりを誘発しており、山留め工による事前対策を実施。

表 3 当該事例における重要性・発生しやすさの区分とリスク評価表

重要性	内容	可能性	内容			発現しやすさ					
α	施工中の人命に関わる災害	a	現在発生しているもの			高い	←			→	低い
						a	b	c	d		
β	対応に時間を要し、工事(事業)継続に影響する事象	b	地形改変により発生する可能性が高いもの	重要性	↑	高い	α	A	A	A	A
γ	修正設計等が必要となり中断するが事業継続が可能な事象	c	地質の分布・性状の不均質さで発生するおそれがあるもの			β	A	A	B	C	
δ	変更が生じるが比較的速やかな対応が可能な事象	d	確認された条件からは、発生しないと考えるよいもの			γ	A	B	C	D	
ϵ	施工は進められるが維持管理段階での対応が必要な事象	e	対策(計画)のあるもの			δ	B	C	D	D	
						低い	ϵ	D	D	D	D

(5) リスクの発現

平成28年度の工事において、21号床固め工副堤の左岸袖を掘削中、掘削面に亀裂が発生し、幅10m×延長8mの範囲が下方に2m程度変位した。応急対策として掘削面の脚部を埋め戻し、掘削面を土木シートで被覆して施工を中断した。

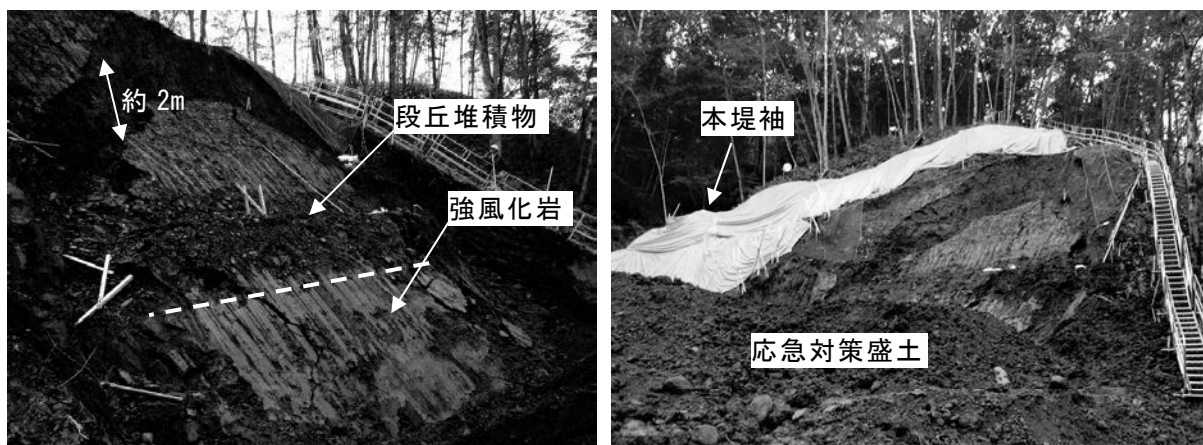


写真 1 崩壊発生状況

(6) 発現したリスクへの対応

簡易動的コーン貫入試験による地質調査を行った結果、強風化岩が掘削面に厚く切り残され、これより上位が最大厚さ 2m で重力変形を起こしていることが確認された。

斜面背後の地すべりに影響させないため、山留め工（アンカー付親杭横矢板）を施工して斜面の安定を確保し工事を再開した。変状が発生していない本堤袖でも掘削後の放置による地山の劣化があったため、対策範囲は本堤副堤を含めた左岸袖全体を対象とした。

予算及び工期から、当初の工事では床固め工の施工範囲を変更し、次年度工事において山留め工及び残工事を施工した。当該施設は当初から 2 ヶ年に分割して施工しており、施設全体は計画どおり平成 29 年度に完成した。

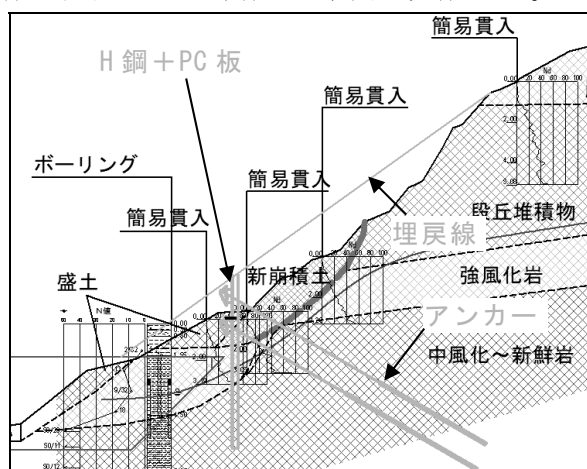


図 2 対策工概要断面図



写真 2 山留め工施工状況

2. 事例分析のシナリオ

(1) リスク発現の原因整理

地質条件と事象の関係では、崩壊の原因は掘削面（勾配 1:0.6）の下部が強風化岩で構成され、勾配と掘削高さに対して不安定な状態となったことであるが、リスクマネジメントの観点からは、以下の原因が挙げられる。

①地質の不確実さ

地すべり崩積土や強風化岩が掘削面に出現することは事前の地質調査で想定されていたが、想定より深部まで分布したため、掘削面の下部が強風化岩で構成され不安定となった。

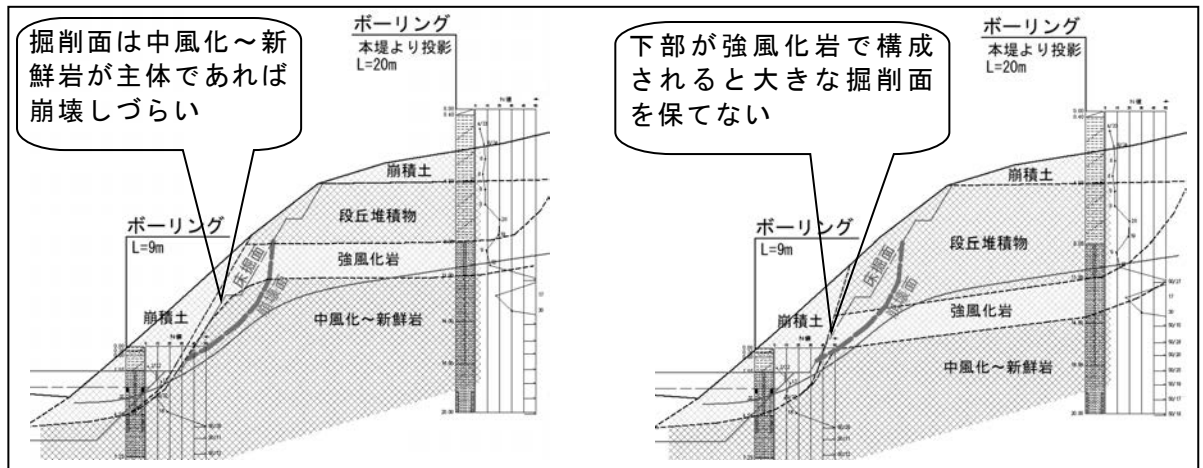


図3 左：設計時の地質断面図 右：崩壊後の調査による地質断面図

②崩壊発生条件の不確実さ

同様の地質が掘削面に出現している本堤では崩壊が発生せず、掘削面の高さ（副堤の掘削面高さ 15 弱 m に対し本堤は高さ 10m 弱）もリスク発現の原因の一つと考えられる。掘削面高さ 10m から 15m の間が閾値となるが、事前に崩壊発生条件を設定することは困難である。

③人為的判断

対応方針の決定において、必ず発生する事象ではないことを踏まえ、発現した場合の影響の大きさや、回避するためのコスト等から、このリスクを許容した。リスク発現は想定内の事象であり、人為的なマネジメントがリスク発現の原因の一つとなる。

(2) マネジメント効果分析のためのケース設定

マネジメントを行って許容したリスクが発現した事例であるため、効果の分析では、リスクが確認された時点（地質調査時）を基準に、二つのケースのコストを比較する。

①マネジメントを行う（実際のケース）

マネジメントによってリスク対応方針を決定したところ、リスクの許容が最適と判断された。結果的にリスクが発現したため、その後の対応に要した費用など、実際のコスト損失を算定することで、当初の定性的な判定をコスト面で定量化する。

②マネジメントを行わない（想定ケース）

地質リスクが確認されているため、マネジメントを行わない場合はリスクを回避する（発現させない）行動を取ることが必然となる。回避するために必要な地質調査及び対策工の設計、対策工事のコストや、その他の便益を算定する。

(3) 効果分析のための費用

費用は以下の条件で設定した。

【ケース①】

- ・ マネジメントの費用は、設計業務に含まれるため、算定しない。
- ・ 崩壊発生による応急対策費用及び損失は、発生土を用いた押さえ盛土や土木シートによる掘削面の保護であるため大きな費用ではないが、工事中断期間の機材の損料等も含め、損失を過小評価しないように算定する。
- ・ 地質調査費用は、施工中で表層の土砂が剥ぎ取られた状態であることや、崩壊の規模が小さいことから、サウンディングのみで地質調査を行ったためコストが抑えられた。地質

調査には各種データを用いた崩壊機構の解析や対策条件の設定も含む。

- ・対策工設計費用は、工期が短く工程の制約があったが、通常業務と同額として算定する。
- ・対策工事費は、崩壊が発生していない本堤も含めた対策を行ったが、本堤側は掘削高が小さいため、副堤に比べて 2/3 程度の規格の山留め工となった。
- ・その他の損失として、設計変更の手続き等で多量の作業が発生している。発注機関及び施工会社の担当者が作業を負担し、その費用は実際には拠出されていないが、リスク発生による損失として見込むべきであり、大まかな人件費を計上する。施設の完成時期には遅延がないため、便益面の損失は計上しない。

【ケース②】

- ・地質調査費用は、自然斜面の地形条件や、確実に安定する地層までの調査が必要なことから機械ボーリングが必要となり、コストが大きくなる。
- ・対策工設計費用は、実際と同様に仮設工を設計することを想定し、同額とする。
- ・対策工事費は、実際と同じ範囲だが、事前の対応では安全な計画となるよう、崩壊深度や親杭の根入れ深度等が実際より深くなると想定され、実際より 1.5 倍の工事費とする。
- ・その他の費用は、リスクを回避できるため発生しない。

3. データ収集分析

(1) リスク発現の原因検討に関わるデータ

当該斜面と崩壊しなかった本堤のほか、右岸袖や前年度完成の 22 号床固め工等近隣の施設との間で、地形や地質、水理、掘削高等の条件を比較して崩壊原因を特定した。崩壊発生の原因、及び想定ケースでリスクを回避するための条件は、十分に信頼性があるものとする。

(2) 効果分析のための費用

ケース①のコストは概ね実際の費用である。応急対策費や人件費など不確実な要素があるが、対策工事費に比べると 1 桁小さいため、効果分析には影響しない。崩壊が確実に生じるとはいえない条件であり、損失コストは発生確率を乗じて低減すべきであるが、発生確率の評価が困難なため、本研究では最大値の 1（発生確率 100%）としている。

ケース②では、不確実さが大きい斜面の地質に対し、確実にリスクを回避する必要がある。今回想定したコストは十分な精度を有さないが、地質調査、対策工事とも、崩壊後の対応に比べて大きなコストとなることが確実である。

4. マネジメントの効果

2 つのケースで費用を比較すると下表のとおりとなり、リスクを回避する場合は実際に比べ 27 百万円多く費用がかかるため、リスクを許容した判断は適切だったと言える。

表 4 地質調査・設計・対策工費の比較

ケース	地質調査	設計	対策工事	その他の効果（損失）	合計
① 実際	簡易貫入試験 7点22m 崩壊機構の検討 3,000千円	詳細設計 2,000千円	アンカー付土山留 22.5m 親杭6～8m アンカー1段～1.5段 30,000千円	応急対策工 機材損料 人件費 3,000千円	38百万円
② 想定	ボーリング 4孔40m 標準貫入試験 崩壊機構の検討 18,000千円	詳細設計 2,000千円	アンカー付土山留 22.5m 親杭8～10m アンカー1.5段～2段 45,000千円	—	65百万円

ここでは1件の効果を検証したが、本事例では6件（表2）の事象を対象に、マネジメントによって必要十分な事前対策を行っており、極めて概略だが27百万円×6箇所のマネジメント効果があったものと考えられ、コストを抑えた円滑な事業遂行に貢献した。

5. データ様式（B表修正）

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		北海道室蘭建設管理部
	工事名		〇〇川砂防工事
	工種		砂防床固工
	工事概要		床固工（一部）
	①当初工事費		160 百万円
	当初工期		平成 28 年 7 月～平成 29 年 3 月
リスク発現事象	リスク発現時期		平成 28 年 10 月
	トラブルの内容		床掘面の崩壊
	トラブルの原因		床掘により概ね除去される見込みだった強風化泥岩が掘削面に広く切り残され、不安定な勾配の掘削面となった。
	工事への影響		山留め工による仮設工を追加施工する必要が生じ、当該工事の施工範囲を変更した。
追加工事の内容	追加調査の内容		簡易動的コーン貫入試験（7 点）により、隣接する本堤の掘削範囲を含めて地質（強風化岩）の分布を把握。周辺施設の実績等も踏まえ、発生機構と対策方針を検討。
	修正設計内容		対策方針に基づき、床掘面を安定させるための仮設工を設計。
	応急対策工事		作業の中断、埋め戻し、土木シート敷設
	追加工事		アンカー付親杭山留工 延長 22.5m
	追加費用	追加調査	3 百万円（調査、解析）
		修正設計	2 百万円
		応急対策工	3 百万円（中断による機材の損料等も含む）
		追加工事	30 百万円
		②合計	38 百万円
	延長工期		約半年（別途工事を発注）
	間接的な影響項目		設計変更の手続きに伴う人件費の損失
負担者		事業者、施工者	
事前にリスクを回避する場合	対応時期		地質調査～設計時
	対応者		地質調査者、設計者
	対応内容		詳細な地質調査を実施して強風化泥岩の分布を把握する。ただし背後に地すべりが控えるため、実際の対応と同様に山留めを行うか、地すべり対策工を計画する必要がある。
	判断に必要な情報		掘削面発生の原因となった地質分布の不確かさを解消できる精度の地質調査データ。
	対応費用	調査	18 百万円 （ボーリング 4 孔程度、標準貫入試験、解析） ※事前の地形等条件から、調査はボーリングが主体となる。
		設計	2 百万円
		③合計	20 百万円
	想定工事	工事概要	アンカー付親杭山留工 延長 22.5m ※実際の対応と同様だが、想定する崩壊深度は安全側を採り、親杭及びアンカーの規格が大きくなると予想される。
		④工事費	45 百万円
工期		1 ヶ月	
リスクを回避する効果 （リスクマネジメントを行わない場合）	費用（（②）-（③+④））		－27 百万円（本体工事費①は変更がないため含めない） ※リスクを回避する場合は、マネジメントによりリスクを許容した実際に比べ費用の損失が生じることを表す。
	工期		－
	その他		施設全体は 2 ヶ年で完成させる計画であったため、リスクを回避しても完成時期は変化なく、便益面も有利とならない。

〔論文 No. 4〕 林道開設計画および地すべり対策計画時の地すべりリスク発現事例

株式会社 日さく ○竹内 均
(地質リスク・エンジニア登録番号 50)

竹田 知史

宮澤 健児

1. 事例の概要

本事例は、新規に開設工事が進められている基幹林道において発現した地すべりリスクに関するものである。この事業では、全体計画策定段階に林道ルートを検討が行われていたが、その検討は地形に関する情報量の少ない森林基本図をベースに行われており、地質リスクに関する検討は不足していた。そのため工事の進捗にあわせて、大小さまざまな規模の地質リスクが発現し、工事進捗の遅れ、事業費の増加が繰り返されてきた。この中で、切土により発生した崩壊とその対策として実施した切土工がさらに大きな地すべりを誘発した事例について報告する。

当該現場は、平均傾斜 35° の急峻な斜面を切土により林道を開設した。工事完了後初めての積雪・融雪期を経てから、切土法面と背後斜面を含む崩壊が発生し、工事の中断が余儀なくされた。この対応として、崩壊土砂を掘削除去する対策を講じたところ、背後斜面により規模の大きな地すべりを誘発する結果となった。これを受け、当初の対策(法切工)は中断し、アンカー工による地すべり抑止を実施するとともに、補強盛土を用いて林道を谷側にシフトすることで斜面安定を損なわずに林道を開設する計画に変更された。

このような計画変更により、当初計画に比べ事業費の増加、完成時期の大幅な遅延が生じる結果となった。本事例は、林道が地すべり地内を通過していることを把握せず、脆弱な地質が分布していることが考慮されていなかった。地すべりリスクを見逃したことで地すべりが発生した B 型の事例にあたる。

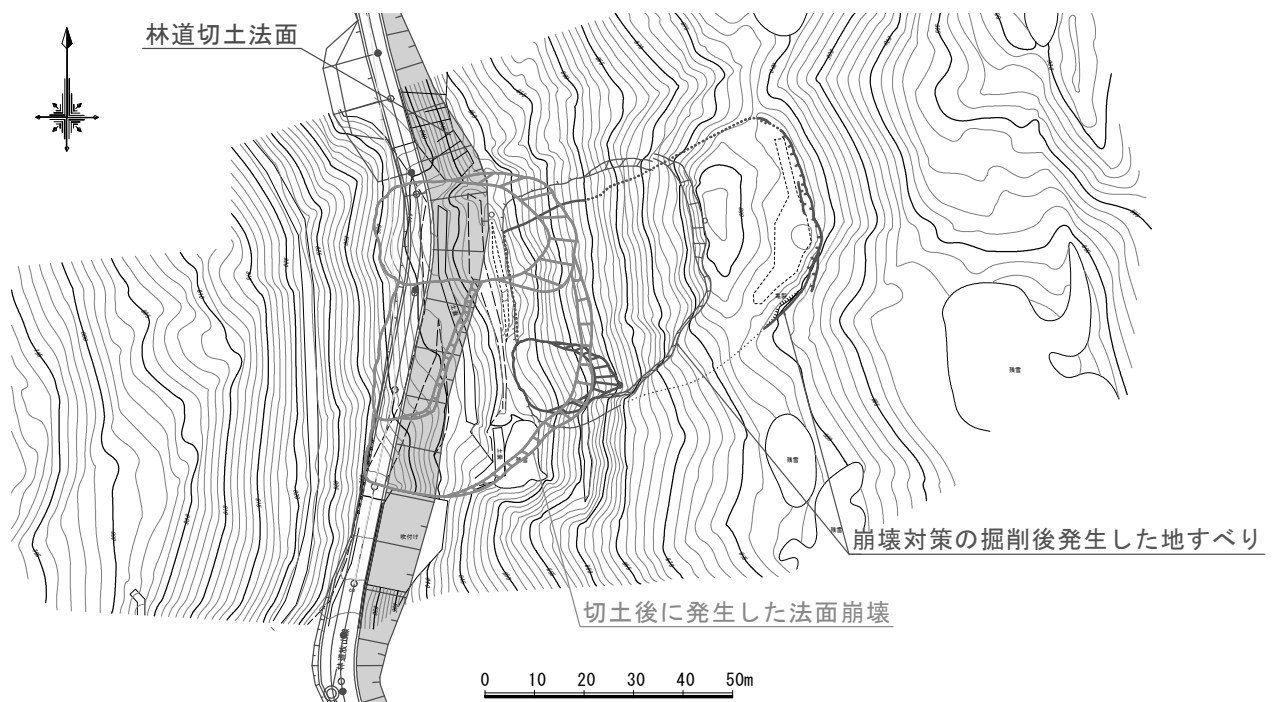


図 1 平面図 (S=1:1,500)

2. 事例分析のシナリオ

(1) 地質リスク発現にいたる過程

① 切土実施後の法面崩壊

本現場は、新第三紀中新世の砂岩泥岩互層の分布域にあたり、硬質な砂岩が卓越し、泥岩の薄層や泥岩砂岩の細互層が伴われる。傾斜約 35 度の地表面に対し、地層の走向傾斜は受け盤の関係にある。林道はこの斜面を横切って開設され、山側に比高約 15m、勾配 1:0.8 の切土法面が施工された。完成した翌年、崩壊の発生が確認された。崩壊の規模は延長 40m、幅 60m、比高約 30m で、崩壊土砂が林道路面を覆った。崩壊が発生した時期は不明であるが、積雪期～融雪期を経た後に発生したことをふまえると、融雪水が関与して崩壊が発生したものと推定される。

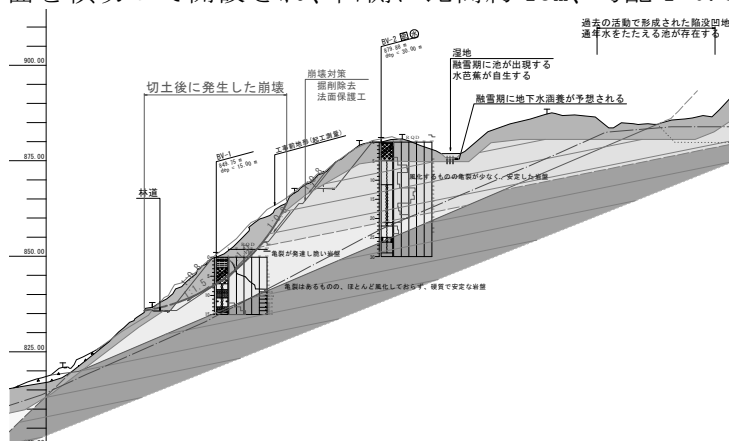


図 2 地質断面図：切土後の法面崩壊 (S=1:2,000)

② 法面崩壊対策中の地すべり誘発

崩壊発生法面の対策として、崩壊土砂をすべて掘削除去する工法が採用された、斜面上部より掘削工事を進め、計画の 3 分の 2 ほどの高さまで進んだ段階で、地すべりの発生が確認されたため、工事は中断された。地すべり変動の発生が、工事の進捗にあわせて発現したことから、掘削工事の影響により地すべりが不安定化したものと判断できる。

事前のボーリング調査ではより深い深度に過去の地すべりのすべり面が識別されていたが、工事に伴って発生した地すべりは過去のすべり面より浅い深度で発生していた。したがって、過去の地すべり斜面内で新たに発生した地すべりと位置づけられるものであった。ただし過去のすべり面の上位には激しく擾乱された破碎帯が層厚 10m 前後で分布しており、今回の地すべりではこの破碎帯内にすべり面が形成されたことから、素因として過去の地すべりにより破碎された地層の存在があったといえる。

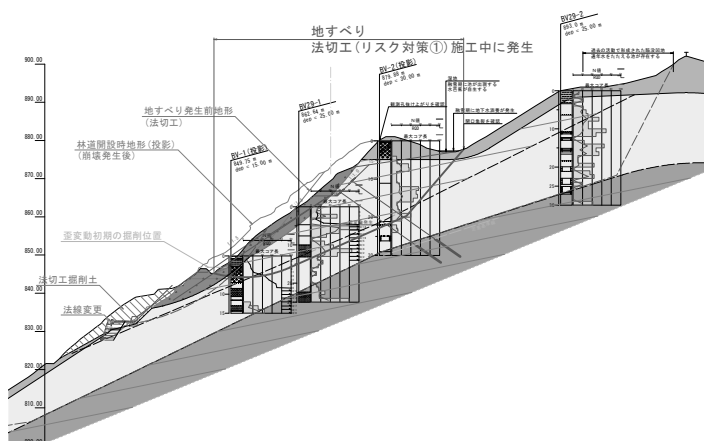


図 3 地質断面図：崩壊対策中の地すべり (S=1:2,000)

③ 地すべり対策と法線変更

地すべりの発生に伴い、崩壊土砂の掘削除去は困難と判断した。林道の復旧にあたっては、崩壊土砂の対策の見直しに加え、地すべり対策を新たに実施する必要性が生じた。林道の復旧については、林道を谷側にシフトし、崩壊土砂の掘削を最小限にとどめ、地すべり末端の掘削を回避する計画とした。地すべり対策については頭部排土工とアンカー工により安定化を図る計画とした。

(2) 崩壊・地すべり発生要因

上記の地質リスク発現に至る過程から、崩壊・地すべり発生要因は以下のように考えられる。

表 1 崩壊・地すべり発生要因

	素 因	誘 因
①崩壊	過去の地すべりの影響で亀裂の発達した砂岩の存在(破碎帯)	切土 融雪に起因する地下水供給
②地すべり	過去の地すべりの影響で亀裂の発達した砂岩の存在(破碎帯)	切土

(3) 想定されるリスクマネジメントのシナリオ

林道計画は主に机上にて設定された法線をもとに、随時修正を加えながら開設工事が進められてきた。また机上設定に用いられた地形情報は、情報量の乏しい森林基本図であり、地質リスクを把握するには不十分であったと考えられる。また急峻な斜面であったにもかかわらず、切土で急斜面を通過するにあたり、法面崩壊や周辺斜面への影響拡大に関する検討も行われていなかった。

本事例では地質リスクが発現するまで、過去の地すべりの存在と、それに伴う厚い破碎帯の存在が認識されずに工事が進められてきた。全体計画段階で過去の地すべり地形を認識し、そこに潜む地質リスク(地すべり再活動、脆弱な地層の存在)を抽出できていれば、ルート変更や事前の対策を行うことで地質リスクの発現を回避できたと考えられる。そこで事例分析で想定するシナリオは、事業の初期段階で地すべりの存在を識別し、地すべりをリスク回避するものとした。

表 2 事例分析のシナリオ

	事例	シナリオ
全体計画	・机上計画(森林基本図) ・現地踏査	・机上計画(航測レーザー測量) ・地質リスクの抽出 ・地質リスクをふまえた現地踏査
地質調査	(実施されず)	リスクの把握に基づく調査 ・ボーリング調査 ・地すべり観測
測量設計	線形、施工性、経済性を優先した設計	リスクの発現回避を考慮した設計 ・線形変更 ・地すべり対策
施工①	・切土 ・L型擁壁	・切土(最小限) ・補強盛土
リスク発現①	法面崩壊発生	—
リスク対策①	・掘削除去	—
リスク発現②	地すべり発生	—
リスク対策②	・アンカー工 ・補強盛土(線形変更)	—

3. データ収集分析

(1) データ収集

分析には、林道全体計画資料、崩壊発生後に実施された地質調査資料、地すべり発生後に追加実施された地質調査資料を収集した。

(2) データ分析

①林道全体計画

全体計画では森林基本図をもとにルート検討が行われていた(図 4)。図 5 には崩壊発生後に使用された航測レーザー測量による平面図を示す。このデータは別機関により作成されたデータを借用し活用した。この図には尾根付近に滑落崖や陥没凹地、二重山稜といった地すべり特有の地形が発達した様子が認められる。高精度な地形情報があれば、初期段階で地すべりリスクを抽出することができた可能性が高いといえる。

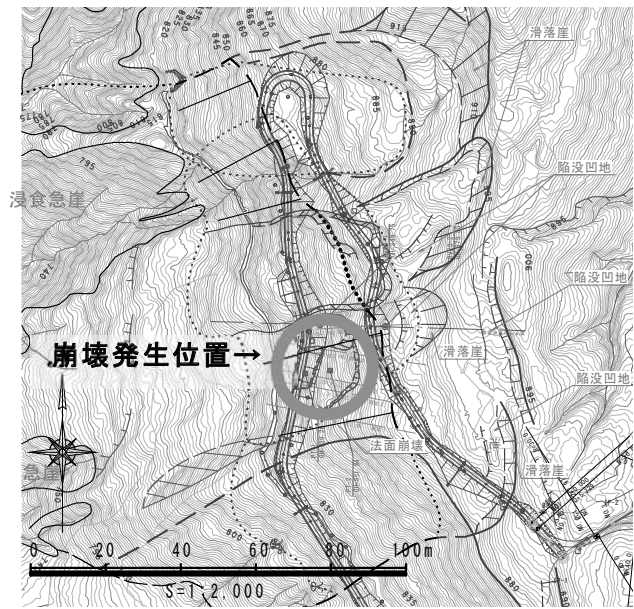


図 4 平面図(森林基本図)(S=1:2,000)

図 5 平面図(航測レーザー測量)(S=1:2000)

②崩壊発生後地質調査と対策

崩壊発生後には、図. 5 の地形情報および現地踏査より地すべりの存在が確認された。また崩壊土砂の分布深度確認と地すべり性状確認のため、2 孔の調査ボーリングが実施された(図. 2)。この調査により、深度 30m 付近まで地すべり活動により破碎された砂岩が厚く分布していることが確認された。崩壊対策は崩壊土砂を掘削除去することとし、地すべりについて、崩壊土砂掘削除去の影響を安定計算により検証したところ、安全率の低下は招かない結果となった。

実際の施工段階においては、想定されたすべり面より浅い深度で、掘削途中の法尻に末端が出現する地すべりが発生した。すべり面は破碎帯上部に形成された。

③地すべり発生後地質調査と対策

地すべりの発生を受け、地すべり斜面とその背後斜面にそれぞれ調査ボーリングを追加実施した。その結果、地すべり斜面は表層に亀裂の少ない堅固な砂岩が分布し、その下位に地すべり活動により亀裂が発達し脆弱化した破碎帯が分布する層状の地質分布が確認された。砂岩の走向傾斜は受け盤であったが、破碎帯の分布が流れ盤を形成しており、地すべりが発生しやすい環境にあることが明らかとなった。また表層を覆う堅固な砂岩を掘削により除去したことで、破碎帯を通過する新しいすべり面が形成されたと結論づけた。

地すべりが発生したことで、崩壊土砂の掘削除去は困難となった。不安定化した地すべりに対しては、頭部排土工とアンカー工を併用することで安定化を図る計画とした。林道の普及については、林道を谷側にシフトすることで崩壊土砂の掘削を回避することとした。

(3) シナリオの検証

シナリオでは、全体計画段階において航空レーザー測量による地形図をもととした地質

リスク分析を想定した。これにより当該斜面が過去に発生した地すべり斜面であることの把握は十分可能であったといえる(図4・5)。地すべりリスクを把握できれば、ルート変更による地すべり斜面の回避、地すべりに影響を与えない線形計画が可能である。地すべり斜面の通過を回避できない場合、事前の地質調査が必要となる。事例では崩壊発生と地すべり発生が2回にわたって地質調査が実施されているが、この調査が一括して実施されていれば、地すべりリスク(地すべり素因)の把握が可能であり、切土による崩壊や地すべり誘発を予見できたと考えられる。

したがって全体計画段階と地質調査段階において地質リスクの把握は可能であり、その結果をふまえて設計段階に進むことで地質リスクを発現させることなく、林道開設が可能であったといえる。シナリオでは、林道前後区間との関係から、地すべり斜面の通過を回避することが困難と判断し、地すべり斜面の切土を極小におさめ、補強盛土で谷側に線形をシフトする計画とした。

4. マネジメント効果

(1) コスト

事例(地質リスク発現)とシナリオについて、事業費の比較を行った。シナリオでは、設計前に地形解析、地質調査を実施し、地質リスクが発現しない林道計画を策定できるものとした。したがって対策工事は見込まず、当初工事に代わる想定工事として補強盛土、土留工を見込んだ。初期段階で地質調査を実施することで、約130,000千円の経済的なマネジメント効果となる。この金額は概ね対策工事に費やした費用に相当する金額である。調査に係わる費用は概ね同程度を見込んでいる。同程度の調査費用であってもその実施タイミングによりマネジメント効果は大きく異なるといえる。

表3 リスクマネジメントの効果

マネジメント	項目		費用(千円)	備考
なし (実績)	当初工事	切土・植生工 L型擁壁	20,000	
	追加調査1)	ボーリング2孔ほか	4,500	崩壊発生後調査
	追加調査2)	ボーリング2孔ほか	5,500	地すべり発生後調査
	修正設計1)		3,700	崩壊対策
	修正設計2)		5,900	地すべり対策
	対策工事1)	切土工	30,000	崩壊対策
	対策工事2)	頭部排土工・アンカー工	69,000	地すべり対策
	追加工事	補強盛土・土留工	33,000	
	合計		171,600	
あり (シナリオ)	調査	地形解析 ボーリング4孔ほか	8,000	追加調査1)+2)を想定
	想定工事	補強盛土・土留工	33,000	追加工事に相当
	合計		41,000	

(2) 工期

当該区間の当初工事は1年で完了した。しかしその後、地質リスクが発現し対策工、追加工事に4年を費やしている。施工完了区間の放棄や計画工事の中断など手戻りが多く発生した。シナリオで計画した想定工事は、当初工事と同程度の期間で施工可能であり、工期面でも大きな効果が得られる。

5. データ様式の提案

本ケースでは2回にわたって地質リスクが発現したことから、各項目の内容は「1)崩壊発生時」と「2)地すべり発生時」に分けて記載した。

表4 データ様式(B. 地質リスクが発現した事例)

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	県	
	工事名	基幹林道工事	
	工種	林道開設	
	工事概要	新規林道開設のため、山側斜面の切土、谷側斜面にＬ型擁壁を設置。	
	①当初工事費	20,000 千円	
	当初工期	1 年	
リスク発現事象	リスク発現時期	1)切土後 2)崩壊土砂掘削除去中	
	トラブルの内容	1)法面崩壊発生 2)地すべり発生	
	トラブルの原因	1)亀裂の発達した地層の切土と融雪水 2)崩壊土砂掘削除去による斜面バランスの変化	
	工事への影響	供用開始時期の遅れ・対策工事の追加 線形変更・完成区間の一部放棄	
追加工事の内容	追加調査の内容		ボーリング調査・簡易貫入試験 地すべり観測
	修正設計内容		1)切土法面設計 2)地すべり対策工設計
	対策工事		アンカー工
	追加工事		補強盛土
	追加費用	追加調査	1) 4,500 千円 + 2) 5,500 千円
		修正設計	1) 3,700 千円 + 2) 5,900 千円
		対策工	1)30,000 千円 + 2)69,000 千円
		追加工事	2)33,000 千円
		②合計	151,600 千円
	延長工期		4 年(対策工事 2 年・追加工事 1 年)
	間接的な影響項目		－
	負担者		県
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期		事業計画時から施工中
	対応(すべき)者		事業主体および地質技術者
	対応(すべき)内容		・計画法線における地質リスクの抽出 ・地質リスクを考慮した法線検討 ・地質リスク対応に必要な調査計画立案
	判断に必要な情報		・詳細地形情報(航測レーザー測量) ・現地踏査 ・ボーリング調査 ・地質解析
	対応費用	調査	8,000 千円
		対策工	－
		③合計	8,000 千円
	想定工事	工事概要	法線変更(追加工事に相当)
		④工事費	33,000 千円
		工期	1 年
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④))		130,600 千円
	工期		事前にリスク管理に必要な情報が得られ、地質リスクが発現しなければ後期は当初想定(1 年程度)に抑えられ、工期延長は発生しない。
	その他		

【論文 No. 5】 長大切土法面における、切り下がりに応じた地すべりの誘発と対策

株式会社 エイト日本技術開発 ○池田 学

1. 事例の概要

当該現場は、地すべり対策として施工中の頭部排土法面であり、切土初期段階から地質リスクが発現し、施工規模に応じて段階的にリスクが増大した事例である。

地質は第三紀の泥質岩主体の混在岩であり、当初設計では、法面の標準法面勾配は1:2.0と設定された。当初設計における法面对策は、1:2.0より法面勾配を起こした区間において、(法面表層のクサビすべりを想定した)グラウンドアンカー工が計画された。

当該地の地すべりは、最大深さ70mに達する規模であったため、頭部排土は、施工幅360m、最大掘削高さ約60m、計画掘削量が100万m³を超える長大切土が計画された。

本現場では、掘削開始後、法面表層や背後地盤にクラックが発生したため、調査観測に基づきアンカー工による対策を行ったが、その後、掘削を再開、法面を切り下げると、より規模の大きなすべりが発生し、先行アンカーが過緊張となったため、増し打ちアンカーにより法面の安定化を図った。また、一旦法面付近の掘削を中断し、法面から離れたエリアの掘削を先行したものの、そのエリアでもすべりや崩壊が多発した。

このような状況の中、工事中断やすべり規模のさらなる増大というリスクに対し、頭部排土完成形の法尻を末端とする想定すべりを対象とする長尺アンカーを計画した。

本事例は、施工の進捗に伴って、顕在化したリスクが増大した事例である。



写1. 頭部排土切土法面の変状



写 2. 排土法面背後の路面に発生した亀裂



写 3. 掘削エリアに発生した段差



写 4. 法枠及び水路の変状



写 5. 掘削法面の状況（含水による軟弱化）

2. 事例分析のシナリオ

(1) リスク発現の素因と要因

対象地の地質は、新第三紀の泥質岩を主体としており、元々脆弱な地質であった。含水時の泥濘化やスレーキングによる細粒化は予想されたものの、当初設計では、標準法面勾配 1:2.0 を確保できない法面に対して、法枠やアンカー工を施す計画であった（図 1 のすべり A）。

ところが、掘削開始後、想定よりやや規模が大きく、すべり面勾配が緩いすべり（図 1 のすべり B）が発生したことから、想定すべり面の勾配を見直した修正設計が必要となり、アンカー体の定着を深く取るようにした。この時のすべり面の深さは、土砂と軟岩の境界部を想定したものであった（図 1 のすべり C）。

そして、法面掘削を再開したところ、軟岩内に新たなすべり面が形成され（図 1 のすべり D）、完成済みの法面や背後斜面に再び変状が発生し、施工済みのアンカーが過緊張となった。

すべりの特徴は、掘削に伴い新たに発生する初生すべりと考えられたが、その後の調査や排土掘削面の観察により、基質である泥質岩の構造が緩勾配の流れ盤となっており、流れ盤方向に対して非常にすべりやすい地質であることが判明した。

【地質リスク発現に対する素因】

- ・脆弱な泥質岩からなる地質
- ・切土に対しての流れ盤構造
- ・地下水の分布

【地質リスク発現に対する要因】

- ・掘削による、流れ盤構造面の解放
(切り下がりに応じてすべりが拡大)
- ・応力開放による地盤の緩み(強度低下)
- ・地下水による泥滓化やスレーキングによる掘削面の劣化



写 6. 泥質岩の地質構造(流れ盤)

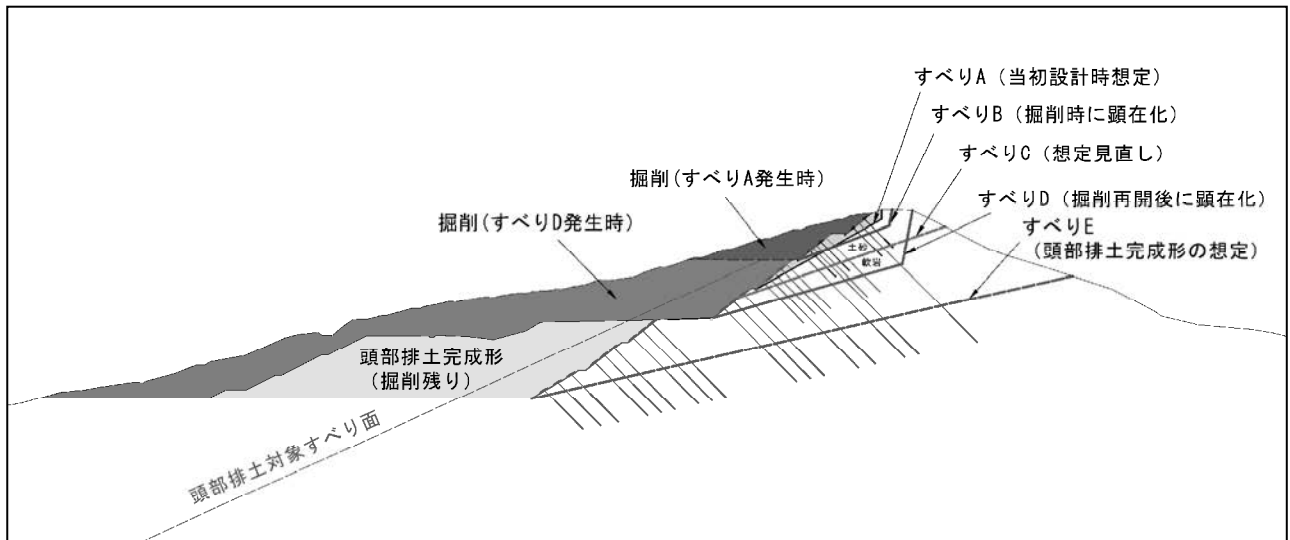


図 1. 頭部排土法面横断面図

(2) リスク発現後のマネジメント効果

本件は、地質リスクが発現した事例であるが、掘削に伴い変状が発生、拡大したことから、法面付近の掘削を一時中断し、調査観測を実施の上、排土法面对策を抜本的に見直す方針とした。

当該地の地質は、切土掘削に対する応答が早かったため、度々工事中断や設計の見直しが生じた訳であるが、そのために、地質リスクおよび地質リスクが工事量に比例して増大する傾向を持つ点について、比較的早期に認識できたものとする。

なお、法面对策は、頭部排土の完成形(最大掘削時)の法尻を末端とする想定すべり(図1のすべりE)に対してアンカー工を計画し、2019年度より頭部排土工事が再開する予定である。

3. データ収集分析

本事例の最終的な法面変状対策としては、頭部排土の完成形（最大掘削時）の法尻を末端とする想定すべりを対象に、グラウンドアンカー工（以下、最終長尺アンカー）を採用した。

本件は、地質リスクが発現した事例（B 型）であるため、マネジメント効果を算出するに際しては、下記式となる。

$$\text{マネジメント効果} = (\text{①当初工事費用} + \text{②追加工事費用}) - (\text{③理想的な対応を行う費用} + \text{④その上での工事費用})$$

理想的な対応としては、当初設計時より、最終長尺アンカーを設計することであったとし、そのためには、地質調査ボーリングのほか、ボアホールスキャナによる流れ盤構造の把握が必要であったものとする。

なお、ここでは、地すべり対策そのものの見直しには言及せず、あくまで頭部排土法面対策におけるマネジメント効果を算出する。

①当初工事費用：320 百万

- ・ 当初設計、調査・修正設計費用：40 百万
- ・ アンカー工事費用：280 百万（当初および修正アンカー）

②追加工事費用：3,120 百万

- ・ 調査・設計費用：20 百万
- ・ アンカー工事費用：3,100 百万（最終長尺アンカー）

③理想的な対応を行う費用：3,130 百万

- ・ 調査、設計費用：30 百万

④理想的な対応を行う上での工事費用

- ・ アンカー工事費用：3,100 百万（最終長尺アンカー）

$\begin{aligned}\text{マネジメント効果} &= (\text{①}320 \text{ 百万} + \text{②}3,120 \text{ 百万}) - (\text{③}30 \text{ 百万} + \text{④}3,100 \text{ 百万}) \\ &= 310 \text{ 百万}\end{aligned}$
--

4. マネジメント効果

今回の事例では、事前にリスクが発現しないようなマネジメントを実施したと仮定すれば、約 310 百万円のコスト縮減ができた可能性がある。また、工事費のみならず、工事中断等も抑制できたと考えられ、時間コストを考慮した場合にはさらなるコスト縮減となる。

その一方で、地質リスクが発現していない段階（当初設計時）において、3,100 百万の法面对策案がスムーズに採用されたかどうかという疑問が残った。

5. データ様式

本事例の検討結果を整理した。

B. 地質リスクが発現した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		
	工事名		
	工種		
	工事概要		
	①当初工事費		320 百万円
	当初工期		
リスク発現事象	リスク発現時期		施工中
	トラブルの内容		切土法面及び背後の変状 アンカー過緊張
	トラブルの原因		緩勾配の流れ盤弱面が分布
	工事への影響		工事中断
追加工事の内容	追加調査の内容		グラウンドアンカー工
	修正設計内容		完成法尻(最大掘削時)を末端とするすべりを想定したグラウンドアンカー
	対策工事		グラウンドアンカー工(短尺)
	追加工事		グラウンドアンカー工(長尺)
	追加費用	追加調査	5百万円
		修正設計	15百万円
		対策工	
		追加工事	3,100百万円
	②合計		3,120百万円
	延長工期		
	間接的な影響項目		工事の遅れ
負担者			
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期		当初設計時
	対応(すべき)者		道路建設の事業主体
	対応(すべき)内容		詳細地質調査の実施
	判断に必要な情報		・近隣の施工事例(地すべり発生事例) ・流れ盤弱面(ボアホールスキャナ等)
	対応費用	調査	30百万円
		対策工	なし
		③合計	30百万円
	想定工事	工事概要	グラウンドアンカー工(長尺)
		④工事費	3,100百万円
		工期	
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④))		310百万円
	工期		
	その他		工期中断の回避

〔論文 No. 6〕 豪雨時表層崩壊斜面のリスク顕在化後の対応事例

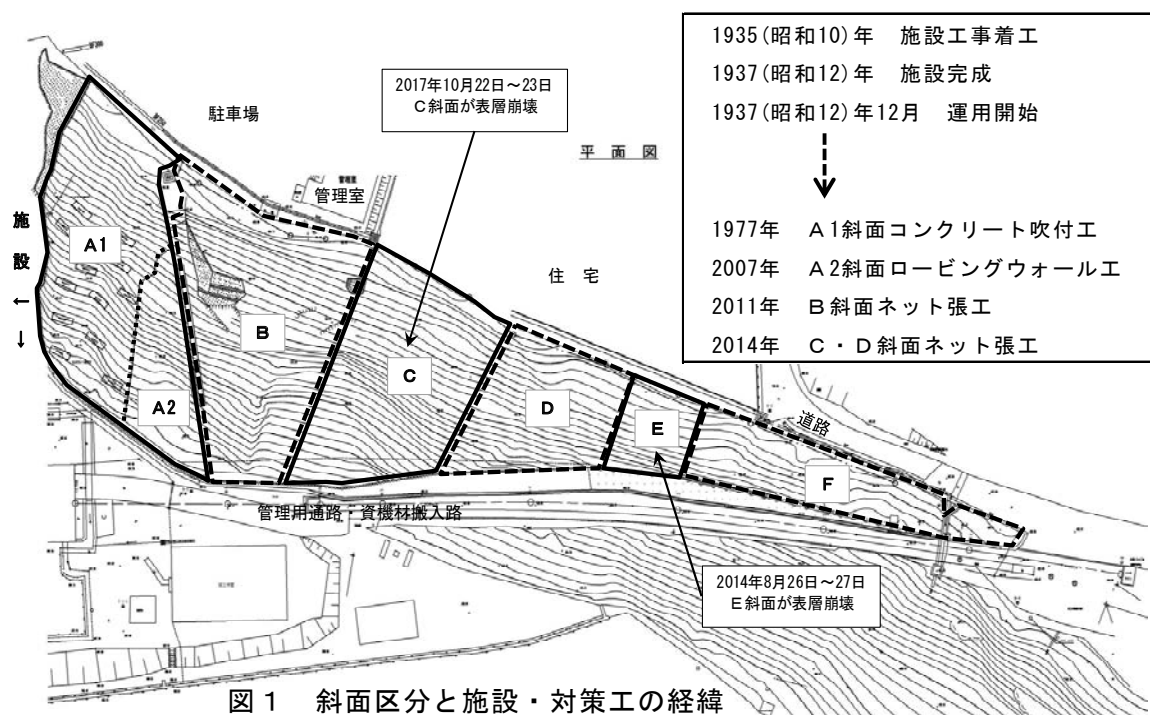
新協地水株式会社 ○原 勝重(地質リスク・エンジニア登録番号 20)

新協地水株式会社 大坪 久人, 株式会社測商技研 小野 春樹

1. 事例の概要

本事例の施設は、1935(昭和10)年に建設をはじめ、1937(昭和12)年12月より82年間稼働している水路式の発電所である。今回対象となった斜面は、施設近傍に位置する。斜面下方には管理用通路や資機材搬入路があり、管理者・資機材搬入者・工事関係者などが通行する。また、斜面の上には、施設の駐車場・管理室の他、一般の住宅や道路がある。

当該施設は、施設の増改築や定期的な点検等の維持管理を行っていると同時に斜面表層崩壊土砂によって施設が破壊されること、破壊に至らなくとも一時停止に追い込まれること、人的被害が出ること、管理用通路・資機材搬入路が一時的に使用不可となることその他、斜面上部に位置する一般住宅や道路などに表層崩壊が後退的に及ぶことがないようにする事業存続計画の一環として施設に近い斜面から予防保全として対策工を施しつつあった。予防保全の対策は、図1に示すように、斜面をA斜面からF斜面の6つの斜面に区分し、順次A斜面からB斜面、C斜面、D斜面と対策工を施しつつあった。



この斜面の一部であるE斜面が2014年8月の豪雨時に幅10mにわたって表層崩壊し、リスクが発現した。調査後に対策工と施工順序を提案し、雨量計と土壌水分計設置観測によるモニタリングを行いつつ対策工事が行われていたが、3年後の2017年10月の台風通過時に残存斜面の一部であるC斜面が幅15mにわたって表層崩壊し、再度リスクが顕在化した。その対応事例について紹介する。

2. 事例分析のシナリオ

(1) リスク発現に至るプロセス

① 地形・地質条件

当該斜面には、図 2 に示すように礫岩層の上に段丘堆積物層が分布する。斜面は、幅 130m、長さ 50～10m、勾配 43～58° と急峻な地形である。表層崩壊したのは段丘堆積物層の礫質土である。また、E 斜面の表層崩壊後には礫岩層と段丘堆積物層の境界付近の段丘堆積物層から湧水が確認された。

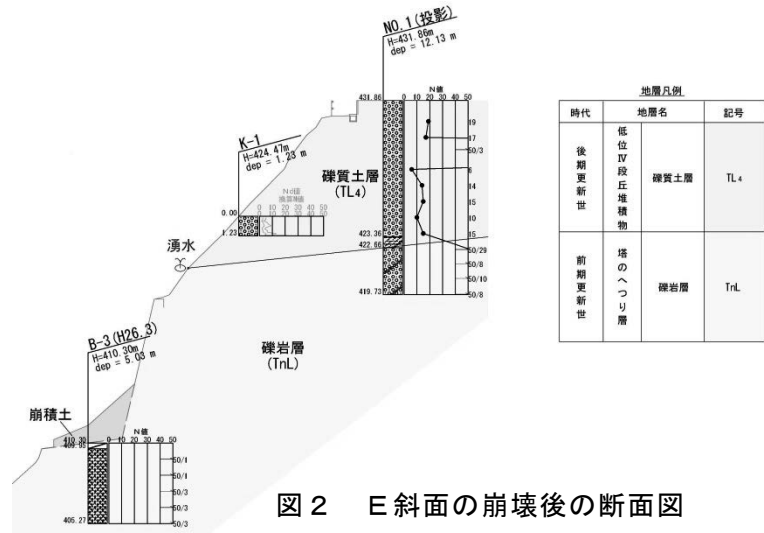


図 2 E 斜面の崩壊後の断面図

② 降水の影響

E 斜面が表層崩壊した 2014 年 8 月は、図 3 に示すように雨が連続的に続き、26 日 17 時までの総降水量 240mm (観測地点：湯本) であったことから段丘堆積物層に多量の降水が地下水として賦存されていたと考えられ、礫岩層と段丘堆積物層の境界付近からの湧出水により段丘堆積物層の斜面末端部が小崩壊し、斜面上部に後退的に崩壊が拡大していったものと推定された。この斜面表層崩壊の素因と誘因は、表 1 に示すようなことが考えられた。

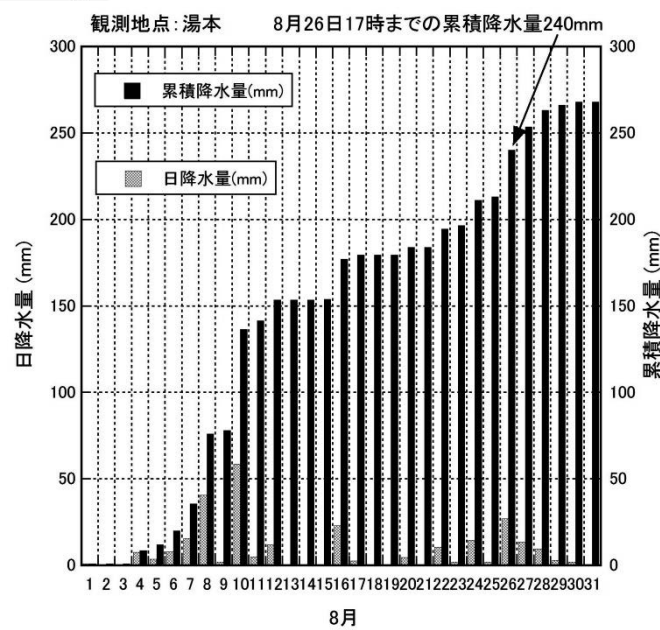


図 3 2014 年 8 月の降水量 (観測地点：湯本)

表 1 当該斜面表層崩壊の素因と誘因

素因	ほぼ水平に分布する礫岩の上に段丘堆積物が厚く堆積すること 礫岩と段丘堆積物の境界から湧水が見られる地質構造であること
誘因	崩壊直前までの 8 月の降水は連続的であり、総降水量が 240mm と多かったために、湧水箇所からの湧水量も多かったこと

(2) 想定したリスクマネジメント

本業務は、2014 年 8 月 26 日夜半から 27 日早朝にかけて E 斜面が幅約 10m、長さ約 15m、層厚 0.6～1.0m で表層崩壊したことから始まった。調査後には表 2 に示す当該斜面の安定度ランクを作成して対策工を立案するとともに施工順序も提案した。また、斜面のモニタリングとして雨量計と土壌水分計の設置・観測を提案して観測を開始した。このときの雨量計と土壌水分計の管理基準を表 3 に示す。対策工は段丘堆積物層の斜面を対象とし、その対策工と施工順序は、E 斜面：Ⅴ緊急対策「吹付砕工＋鉄筋挿入工＋砕内緑化工」、C 斜面：Ⅳ抑止工「吹付砕工＋鉄筋挿入工＋砕内緑化工」、D 斜面・F 斜面・B 斜面：Ⅲ抑制工「樹木を保全した斜面安定工法(ノンフレーム工)」である。

表2 当該斜面の安定度ランク

安定度のランク	内 容
I	継続監視 最近、斜面の補修・補強の対策工が施されたが、豪雨時等の継続監視や定期的な点検が必要である。
II	予防保全 現在、斜面の対策工としてのり面保護工が施されているが、施工から年数が経過しているため、対策工としての健全度を把握する必要がある。
III	抑制工 斜面表層に植生があり、斜面は比較的安定しているものの、湧水があり、豪雨時にはパイピング現象が発現することが予測されるため、湧水対策や表層保護工などの抑制工が望まれる。
IV	抑止工 斜面表層に崩壊地形や段差が認められ、このまま放置した場合には崩壊する可能性がある斜面のため、斜面を補強する抑止工が必要である。
V	緊急対策 表層崩壊した箇所で緊急的に抑止対策が必要な斜面、あるいは、斜面表層部に亀裂や空隙・空洞が認められ、表層崩壊の危険性があり緊急的に抑止対策を行う必要がある斜面である。

表3 雨量計と土壌水分計の管理基準

機器名	管 理 基 準 (案)
雨 量 計	時間雨量 20mm/h 連続雨量 80mm以上 → 通行規制、工事中止、安全確認
土 壌 水 分 計	飽 和 度 80% → 注意喚起 飽 和 度 100% → 通行規制、工事中止、安全確認

3. データ収集・分析

(1) データ収集

図1中に示した施設・対策工経緯に関する資料、地形・地質に関する資料、気象に関する資料などを収集した。

これらの資料をもとに表4の斜面区分表を作成した。斜面区分は、1977年のコンクリート吹付の施工時に施設までの距離をもとに作成されたものと考えられる。ここでは、施設からの距離だけではなく、保全対象、斜面状況、既設構造物、地層構成などを追加した。

(2) データ分析

① リスク顕在化のメカニズム

台風が通過した2017年10月22日から23日朝9時にかけての豪雨による総降水量は、189.5mmであり、23日1時～7時の時間降水量は、10～28mmであった。斜面肩に設置した土壌水分計の値は、23日3時に59.05%となり、斜面上腹の値は、23日3時には124.72%、4時には107.48%と100%を超える値を記録した(図4参照)。このことは、C斜面が降水によって飽和状態となり、段丘堆積物層の粘着力が0となって表層崩壊したものとして推定された。これらの降水量と土壌水分量のデータは、表3の管理基準を越えた

表4 斜面区分表

斜面区分	施設からの距離(m)	保全対象	斜面の状況		斜面の既設構造物	地層構成
			斜面勾配(°)	斜面長(m)		
A斜面	1～18	水管施設 管理用通路 発電施設	46～56	47～50	コンクリート吹付工 ローピングウォール 落雪防止柵	礫岩層の上に段丘堆積物が分布
B斜面	18～38	駐車場(上部) 管理室(上部) 管理用通路	50～51	46～47	覆式ロックネット工 落石防護柵 石積み擁壁	礫岩層の上に段丘堆積物が分布
C斜面	38～58	住宅(上部) 管理用通路 資材運搬路	43～58 上部オーバーハング	43～46	覆式ロックネット工 落石防護柵 石積み擁壁	礫岩層の上に段丘堆積物が分布
D斜面	58～76	住宅(上部) 管理用通路 資材運搬路	51～53 上部オーバーハング	30～43	覆式ロックネット工 落石防護柵 石積み擁壁	礫岩層の上に段丘堆積物が分布
E斜面	76～86	住宅(上部) 管理用通路 資材運搬路	48～52	20～30	落石防護柵 コンクリート擁壁	礫岩層の上に段丘堆積物が分布
F斜面	86～130	道路(上部) 管理用通路 資材運搬路	48～52	10～20	落石防護柵 コンクリート擁壁	礫岩層の上に段丘堆積物が分布

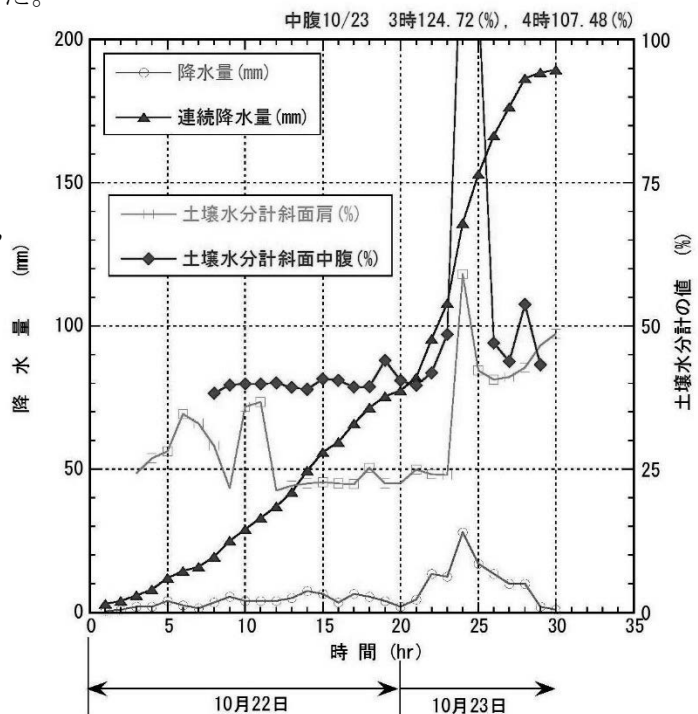


図4 D斜面に設置した雨量計の時間降水量と連続降水量及び土壌水分計の値(10月22日～23日)

場合に警報メールとして関係者10名に伝達されるようにしていたため、直ちに斜面表層崩壊の確認が行えたこと、また、人的被害がなかったことである。

② リスク顕在化後の対応

表層崩壊によりリスクが顕在化したC斜面の対策工は、抑止工としてE斜面と同様に「吹付砕工＋鉄筋挿入工＋砕内緑化工」を提案した。さらに、度重なる豪雨後の斜面表層崩壊を受けて対策工の見直しを行った。抑制工としては「水平ボーリング工」を提案した。これは、段丘堆積物層中の地下水・湧水を排水して、地下水位を上昇させない方法

表5 各斜面の安定度ランクと施工順序及び対策工

斜面区分	斜面表層崩壊の発現時期と規模	斜面の安定度ランクと施工順序及び対策工					
		対策工立案時の施工順序	既設構造物の防護力評価により変更された対策工の施工順序			2017年10月のリスク顕在化後に変更した対策工の施工順序	
		2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
A斜面	—	Ⅱ予防保全 —	Ⅱ予防保全 —	Ⅱ予防保全 —	Ⅱ予防保全 点検調査の立案	Ⅱ予防保全 点検調査の立案	Ⅱ予防保全 点検調査の実施
B斜面	—	Ⅲ抑制工 ⑤ ノンフレーム	Ⅲ抑制工 ④ ノンフレーム	Ⅲ抑制工 ③ ノンフレーム	Ⅳ抑止工 ③ フリーフレーム	Ⅳ抑止工 ② フリーフレーム	Ⅳ抑止工 ① フリーフレーム
C斜面	2017. 10. 22～23 幅15m、長さ15m、厚さ0.6～1.0m	Ⅳ抑止工 ② フリーフレーム	Ⅳ抑止工 ② フリーフレーム	Ⅳ抑止工 ① フリーフレーム	V緊急対策 ③ フリーフレーム	I継続監視 対策済 フリーフレーム	I継続監視 対策済 フリーフレーム
D斜面	2018. 11 段丘堆積物斜面に数本の開口亀裂発見	Ⅲ抑制工 ③ ノンフレーム	Ⅲ抑制工 ③ ノンフレーム	Ⅲ抑制工 ② ノンフレーム	Ⅳ抑止工 ② フリーフレーム	Ⅳ抑止工 ① フリーフレーム	I継続監視 対策済 フリーフレーム
E斜面	2014. 8. 26～27 幅10m、長さ15m、厚さ0.6～1.0m	V緊急対策 ① フリーフレーム	I継続監視 対策済 フリーフレーム	I継続監視 対策済 フリーフレーム	I継続監視 対策済 フリーフレーム	I継続監視 対策済 フリーフレーム	I継続監視 対策済 フリーフレーム
F斜面	—	Ⅲ抑制工 ④ ノンフレーム	Ⅲ抑制工 ① ノンフレーム	I継続監視 対策済 ノンフレーム	I継続監視 対策済 ノンフレーム	I継続監視 対策済 ノンフレーム	I継続監視 対策済 ノンフレーム

であり、C斜面の他、D斜面とB斜面にも提案した。また、E斜面では、段丘堆積物層のみ「吹付砕工＋鉄筋挿入工＋砕内緑化工」の提案であったが、C斜面においては、斜面長が40m以上であるため、礫岩層の表土保護・安定対策として「吹付砕工＋砕内緑化工」の抑制工も提案した。また、D斜面、B斜面についてもC斜面と同様の抑止工と抑制工を行う計画に変更した。なお、表5の2014年の施工順序がE→C→D→F→Bであったものが2015年にはB斜面、C斜面、D斜面にネット張工が施されていることを理由として、F→C→D→Bに施工順序が変更されたこともリスク顕在化の要因の一つと考えられる。

(3) 当初設定シナリオの実証

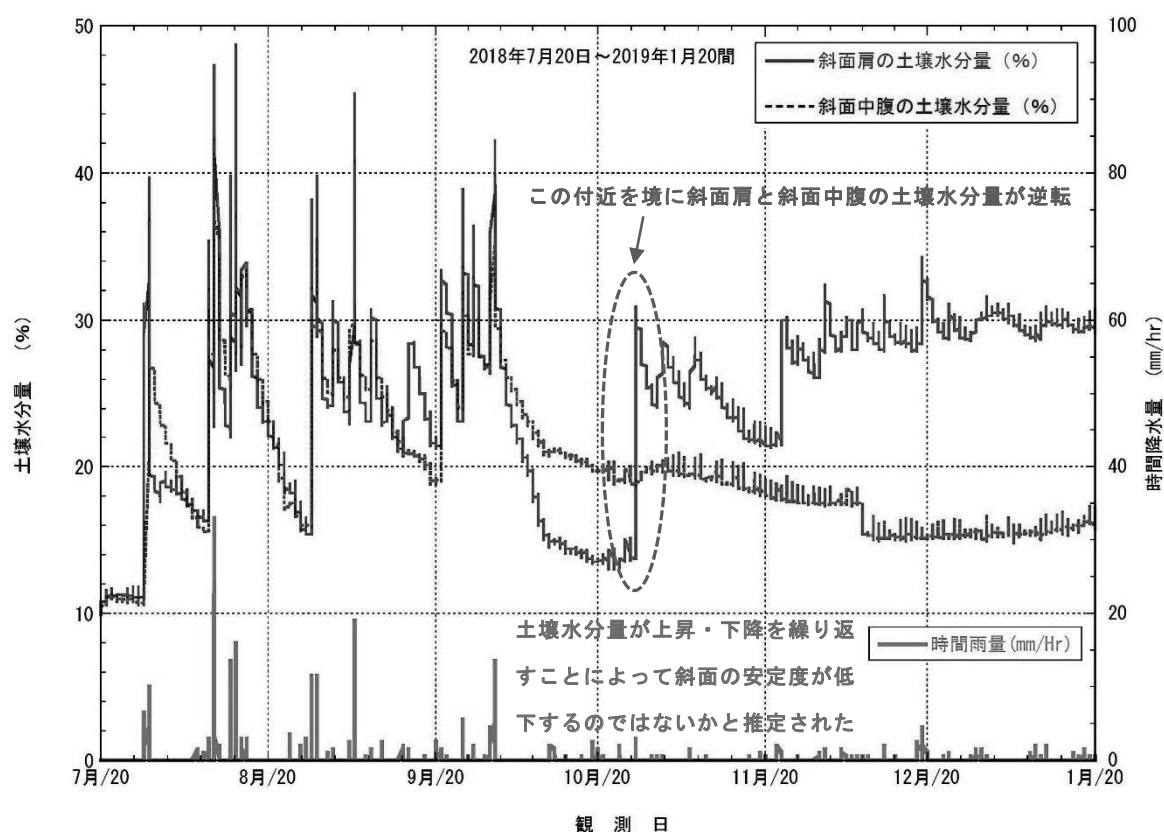


図5 2018年7月から2019年1月までの時間降水量と土壌水分量の変動図

図5には、2018年のC斜面の対策工施工時に測定した降水量と土壌水分量の変動図を示した。この図によると、7月、8月、9月の降水時に土壌水分量が40%から50%近くまで上昇しており、この上昇は、4回確認された。その後、10月27日以降には斜面肩の土壌水分量が斜面中腹よりも大きくなったことから、11月に入りD斜面を確認したところ、開口亀裂が確認された。このため、対策工は予定通りD斜面の施工を行うこととした。

また、土壌水分量の値が50%に至らなくとも繰り返し土壌水分量が上昇と下降を繰り返すことによって斜面にダメージを与えることが推定された。このため、今後も斜面のモニタリングとして雨量計と土壌水分計の計測を継続することとした。現在は、抑制工として「樹木を保全した斜面安定工法(ノンフレーム工)」を施したF斜面に設置してある。

4. マネジメントの効果

(1) リスク発現後

2014年8月の降水によるE斜面の表層崩壊においては、残存斜面も含めて斜面の安定度ランクと対策工の施工順序を提案した。

斜面のモニタリングとして雨量計と土壌水分計をD斜面に設置し、観測することを提案して実施した。

(2) リスク顕在化後

3年後の2017年10月の台風通過時の豪雨に抑止工を提案していたC斜面が表層崩壊し、リスクが顕在化した。このときには、D斜面に設置した雨量計と土壌水分計の測定結果から降水による土壌水分量の急激な増加が誘因となって崩壊したことが確認され、リスク顕在化のメカニズムが明らかとなった。

C斜面の表層崩壊を受けて、C斜面、D斜面、B斜面の段丘堆積物層に対して抑止工と抑制工を行い、斜面下部の礫岩層に対しては抑制工を行う計画に変更した。その結果、対策工金額が¥145,000千円から図6に示すように¥205,000千円と¥60,000千円の増加となり、工事の延期1年、延長1年と2年工期が延びた。

(3) マネジメントの効果

マネジメントの効果としては、当初の計画通りの順番で施工した場合(緊急対策と抑制工)から斜面の恒久対策とモニタリングを行ったことがマネジメントの効果と考えられる。

マネジメントの効果＝抑止対策変更費＋追加抑制対策費＋追加調査費

本事例は、度重なる自然災害(豪雨災害)による斜面表層崩壊に対するリスクマネジメントを表2、表5に示す斜面の安定度ランクと降水量及び土壌水分量の変動結果をもとにリスク顕在化後の対応を行ったものである。世界的な地球温暖化の影響は、日本においても日降水量100mm以上の日数が増加傾向にあり、今後、豪雨に対する斜面災害のリスクマネジメントがますます重要になってくると思われる。

5. データ様式の提案

B型：地質リスクが顕在化した事例としてのデータ様式を作成した。

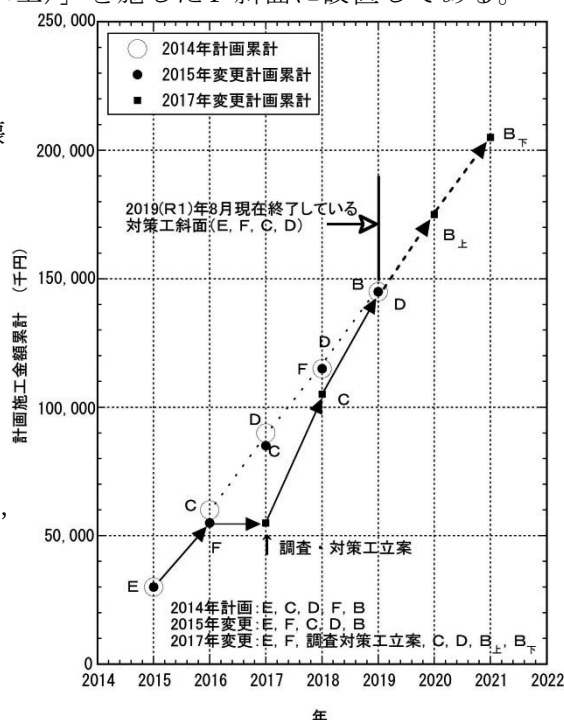


図6 年度毎の施工金額の累計

B. 地質リスクが顕在化した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		施設管理者
	工事名		斜面表層崩壊対策工事
	工種		斜面对策工事
	工事概要		2014 年 8 月の豪雨により表層崩壊した斜面(リスク発現)の抑止工・抑制工
	① 当初工事費		¥147,250 千円 (施工延長 112.0m)
	当初工期		2015 (H26) ～2019 (R01) 年
リスク顕在化事象	リスク顕在化時期		2017 (H29) 年 10 月 22 日～23 日 台風 21 号通過時の豪雨
	トラブルの内容		対策前斜面の表層崩壊
	トラブルの原因		台風時の降水, 対策工施工順番の変更
	工事への影響		工事期間の延期・延長, 緊急対策工の発生, 対策工の見直し
追加工事の内容	追加調査の内容		現地調査, 簡易貫入試験, 対策工見直し
	修正設計内容		排土工, 「現場吹付枠工+鉄筋挿入工+枠内緑化工」, 水平ボーリング工, 「現場吹付枠工+枠内緑化工」
	追加工事		排土工, 水平ボーリング, 斜面抑制工から抑止工への変更
	追加費用	追加調査	¥2,970 千円 (A 斜面の点検調査費と雨量計・土壌水分計の再設置費も含む)
		対策工変更	¥30,000 千円
		追加工事	¥30,000 千円
		② 合計	¥62,970 千円
	延長工期		延期 1 年, 延長 1 年, 計 2 年
リスク管理の理想像	対応すべき時期		対策工立案時から対策工終了まで, 特に E 斜面对策後のリスクマネジメント
	対応すべき者		地質技術者と発注者及び施工者の 3 者協議
	対応すべき内容		豪雨時の斜面表層崩壊リスクと対策工及び対策工の施工順序
	判断に必要な情報		これまでの調査と対策工立案資料 降水量と土壌水分量の測定データ
	対応費用	調査	追加調査¥1,220 千円 (雨量計と土壌水分計の再設置費用を含む, A 斜面は除く)
		対策工	¥60,000 千円
		③ 合計	¥61,220 千円
リスクマネジメントの効果	費用 (①+②-③)		¥149,000 千円
	工期		マネジメントに則り計画的な施工を行うことにより 1 年程度は短縮できる
	その他		B～F 斜面のモニタリングと A 斜面の予防保全のための点検調査を行うことが出来た

[論文 No. 7]

上信越道金谷山トンネルにおけるⅡ期線施工時の地質リスクを最小限に回避した事例

応用地質株式会社 ○千葉 伸一
東日本高速道路株式会社 桑原 和夫
株式会社森組 日野 秀国

1. 事例の概要

上信越自動車道の信濃町 IC～上越 JCT間で進められている4車線化工事区間のうち、上越高田 IC～上越 JCT間に位置する金谷山トンネルⅡ期線工事において、終点側（北側）坑口に地すべりの存在が指摘されていた。位置図を図1に、金谷山トンネル終点側坑口予定地の全景写真を図2に示す。本報告は、トンネル施工前・施工時に行った地質調査に基づきリスク事象を検討したところ、坑口部の切土に伴う地すべりの発生や低土被り部の切羽崩落が懸念されたため、それら発現するリスクに応じた対策検討・対策工事および観測施工を行うことでトンネル施工時の縫い返し等のリスクを最小限に回避した事例である。



図1 位置図（地理院地図より引用）



図2 金谷山トンネル終点側坑口予定地の全景

2. 事例分析のシナリオ

Ⅱ期線は、Ⅰ期線の西側約15m（トンネルセンター間では約25m）に隣接して計画されていることから、Ⅰ期線計画時の地質調査や施工記録を活用してリスクを抽出するとともに、発現したリスクに対して地質調査や対策工を計画する方針とした。

(1) リスクの回避に至るプロセス

① Ⅰ期線の調査と工事資料の整理

金谷山トンネルのⅠ期線の事業は、平成3年度と平成9年度に地質調査が、平成11年に工事が行われている。平成3年度の調査によると、Ⅰ期線の終点側坑口付近に表層すべりと思われる小規模な地すべりが記載され、Ⅱ期線側の西側斜面に坑口へ向かうボトルネック状の地すべりが分布するとされる。平成9年度調査では、Ⅰ期線坑口部には、明瞭な地すべり地形は認められないものの深度9m付近まで地すべり崩積土や強風化帯が分布しており、崩積土と強風化岩の境界や層理面に沿った弱面をすべり面とする地すべりが存在すると推定した(図3～4)。そのため地すべり対策工として施工性と経済性から垂直縫地工が選定され、その後対策工が講じられた。

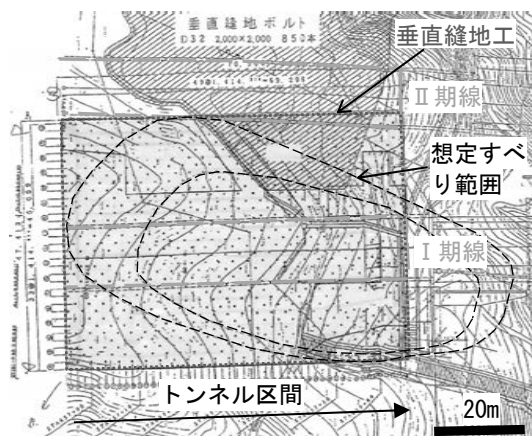


図3 垂直縫地工施工平面図(I期線)

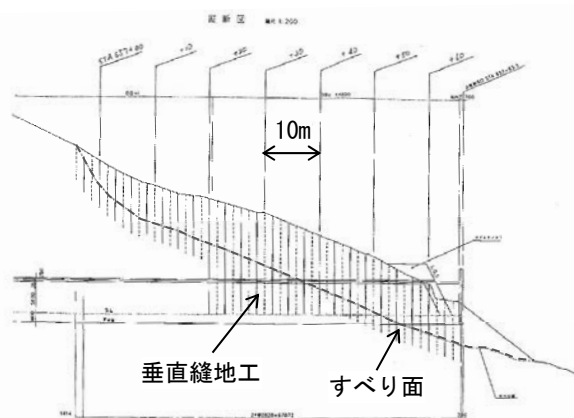


図4 垂直縫地工施工断面図(I期線)

② II期線施工前・施工時の地質調査

I期線の調査時の資料により坑口部の地すべりがリスクと考えられたため、II期線施工前の平成24年度に地質調査が行われた。その結果、抽出された地すべりブロックのうち最大の1ブロックは坑口部を10m以上掘削して坑門を施工する計画のため、施工時の地すべりの不安定化が懸念された(図5)。さらに、施工時の平成26年度の地質調査により地表部は脆弱な崖錐堆積物や地すべり土塊で覆われ、その下位の基盤岩の泥岩も風化により割れ目が開口褐色化していることが確認された。したがって、トンネルに対する地質条件は終点側に50m区間にわたって地すべり土塊が分布し、さらに計画高付近も土砂地山から構成されていること、地形条件は土被りも2Dより小さく偏圧地形をなす区間も多いことから、地山がアーチ作用によって保持され難い状態にあると推察された。

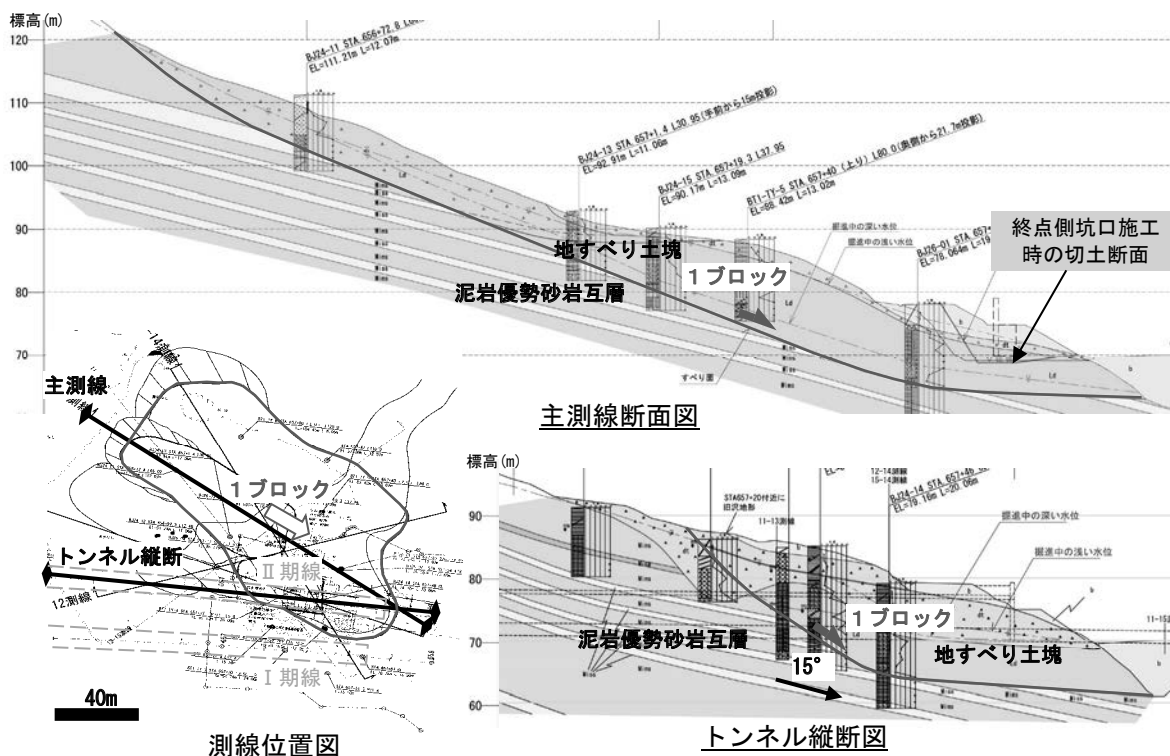


図5 地質断面図

③対策工の検討

地すべり対策として 1 ブロックに対して垂直縫時ボルト工による抑止工を計画するとともに、地すべり土塊の地下水位上昇の抑制と終点側トンネル壁面からの湧水対策として横ボーリング工による地下水排除を計画した(図 6)。また、土被りが 2D 以下の区間について 10～20m 間隔で地質横断面図を検討し、トンネルに対する地形・地質の状況に応じて注入式長尺鋼管先受け工、垂直縫地工の補助工法（地盤改良工）を検討した。

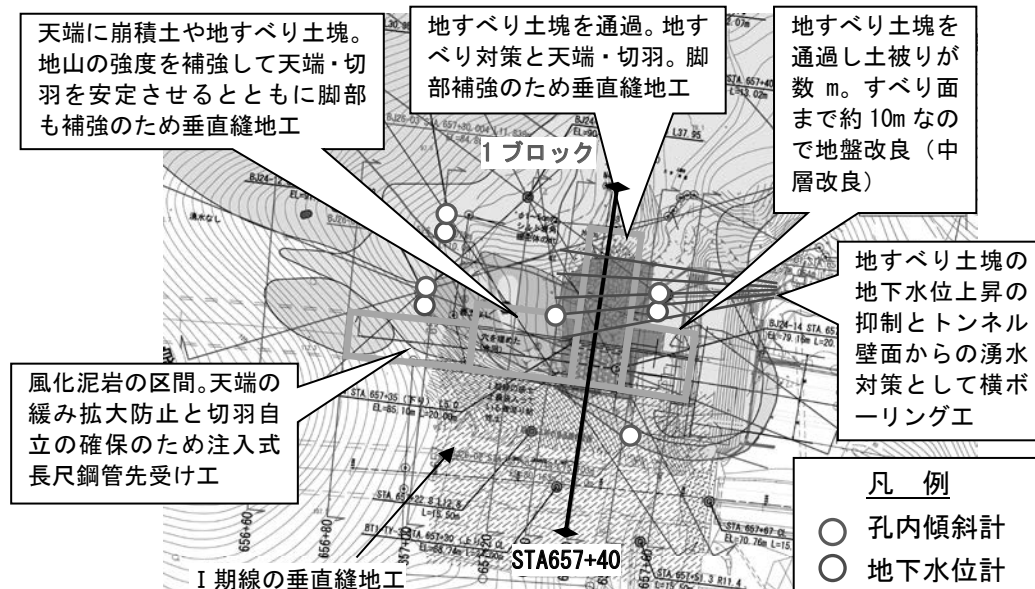


図 6 終点坑口部の対策計画図

(2)リスクの原因

当該地のリスクの原因は、当該地域に分布する新第三紀能生谷層は軟質な泥質岩主体であること、現地踏査およびボーリング調査によりトンネル終点側に向かって 15° 程度の流れ盤をなすこと（前述の図 5）、および地すべりの周辺が集水地形をなすことと考えた（図 7）。



図 7 周辺の地形図（地理院地図より引用）

(3)マネジメントの効果

トンネル施工時の各種動態観測を通じて、事前の対策効果を検証することとした。効果検証として計画した動態観測工の目的と手法は以下の通り。

- ①地すべり対策工の垂直縫地工の効果として、孔内傾斜計等にてトンネル施工および出水時の動態を評価（観測位置は前述の図 6）。
- ②天端、切羽、脚部補強のため垂直縫地工の効果として、ロックボルト軸力計にて地山の吊り下げ効果や脚部補強の効果を評価（図 8、側線位置は前述の図 6）。

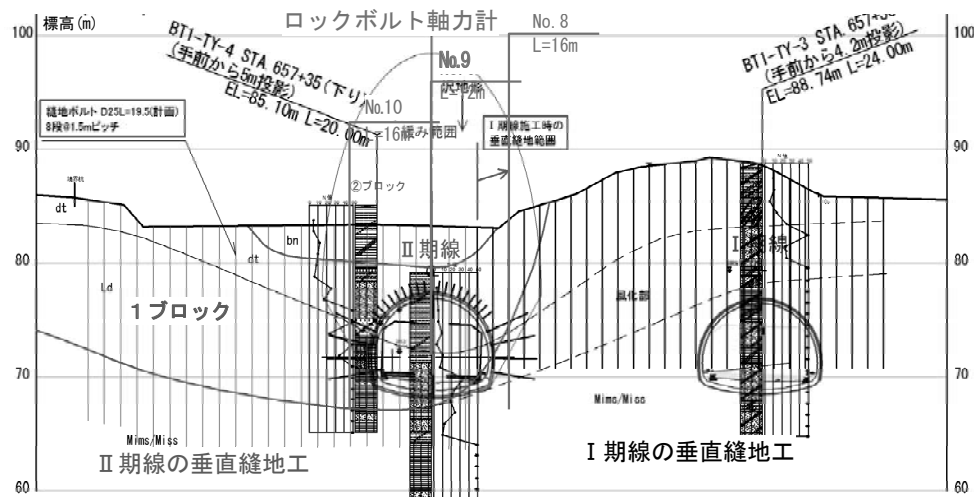


図 8 STA657+40 横断面図

3. データ収集分析

(1)地すべり対策工

トンネル施工時には孔内傾斜計により地すべりの変動は確認されなかった。また、トンネル施工後の平成 28 年 7 月 26 日夜～27 日朝の累計 243mm の降雨時においても地すべり変動は確認されず、横ボーリング工では 4 本で計 1,200l/分の大量の排水を確認した (図 9)。



図 9 横ボーリング工排水状況 (H28/7/27 15:00 撮影)

(2)吊り下げ効果や脚部補強

天端に設置した縫地ボルトNo.9 には、切羽が通過するまでは圧縮応力が、切羽通過後は引っ張り応力が作用していた (図 11、断面上の位置は前述の図 9)。その一方、トンネル側部に設置した縫地ボルトには、切羽通過の前後とも圧縮応力が作用していた。したがって、縫地ボルトによって、トンネル周辺の地山にグラウンドアーチが形成され、トンネル掘削により発生する緩みや地中のせん断帯の形成を防止していることが推定された。

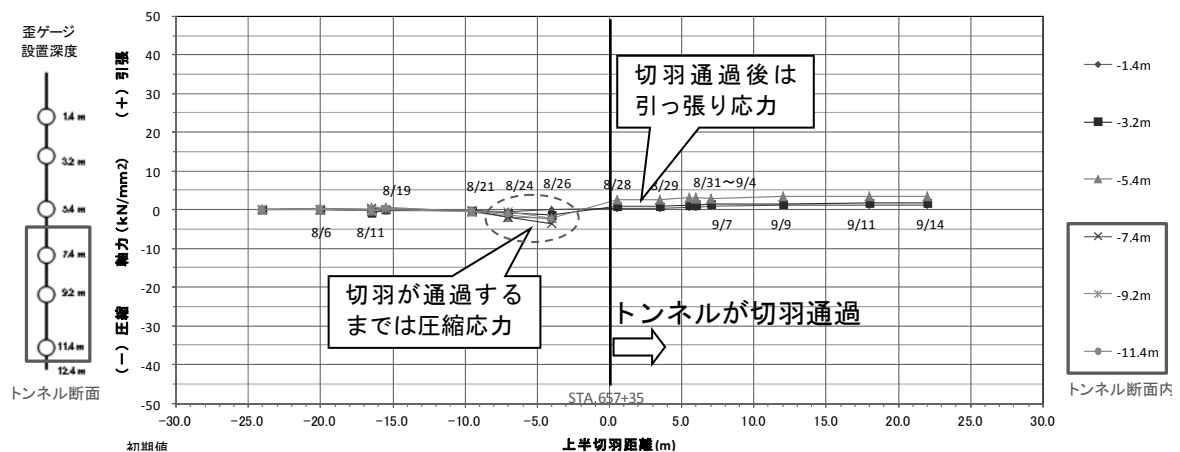


図 10 ボルト軸力計 No. 9 の経距変化図

c)データ収集分析による評価

以上により、垂直縫地工や横ボーリングなどが効果を発揮してトンネルは無事に貫通したことから、地すべりや切羽崩落によるトンネル施工時の縫い返し等のリスクを最小限に回避できたと評価した。

4. マネジメント効果

本事例は、C型の発現した地質リスクを最小限に回避した事例であることから、マネジメント効果は以下の計算式にて試算した。マネジメント効果は 130 百万円程度である。

$$\text{マネジメント効果} = \text{④回避しなかった場合の工事費用} - (\text{①当初工事費用} + \text{②追加工事費用} + \text{③リスク対応費用})$$

④回避しなかった場合の工事費用は、リスクを回避せずに施工した場合地すべりの活動や切羽の崩落が発生して再施工（縫い返し）が生じるものと仮定した。なお、施工時にリスクが発現した場合は 1 年以上の工期延長が、供用後に地すべりが活動した場合Ⅱ期線が通行止めになるなど、経済活動に対する更なる影響が見込まれた。

表 1 マネジメント効果の算出一覧表

費用	内訳	金額(百万円)
①当初工事費用	・トンネル終点側坑口部施工 地すべりや低土被り区間(延長 50m、300 万/m)	150
②追加工事費用	・施工前の地質調査、対策検討 ・地すべり対策（垂直縫地ボルト工、横ボーリング工）	10 120
③リスク対応費用	・施工時の地質調査、対策検討 ・施工時の動態観測（孔内傾斜計、地下水位、軸力計） ・地山安定化対策（垂直縫地ボルト工、地盤改良工等）	10 10 76
④回避しなかった場合の工事費用	・トンネル終点側坑口部施工 ・トンネル終点側坑口部再施工（縫い返し） ・施工時の動態観測（孔内傾斜計、地下水位、軸力計） ・地すべり対策（垂直縫地ボルト工、横ボーリング工） ・地山安定化対策（垂直縫地ボルト工、地盤改良工等）	150 150 10 120 76
マネジメント効果	④回避しなかった場合の工事費用－（①当初工事費用＋②追加工事費用＋③リスク対応費用）	130

5. データ様式の提案

今回の分析結果について、マネジメント効果を計量するためにデータ様式C表に記入した。

表 2 C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目		データ
対象工事		発注者		東日本高速道路(株)
		工事名		上信越自動車道金谷山トンネル工事
		工種		トンネル、盛土
		工事概要		高速道路Ⅱ期線工事
		①当初工事費		150百万円(終点側坑口部)
		当初工期		約4か月(終点側坑口部のみ)
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期		Ⅱ期線施工前
		トラブルの内容		地すべりの存在、土砂状の地山状況
		トラブルの原因		軟質な泥質岩、流れ盤、集水地形
		工事への影響		追加対策、工事約2か月遅延
	追加工事の内容	追加調査の内容		ボーリング調査
		修正設計内容		地すべり対策
		対策工事		垂直縫地ボルト、横ボーリング
		追加工事		—
		追加費用	追加調査	10百万円(工法検討含む)
			修正設計	— (工事の中で詳細設計)
			対策工	120百万円
			追加工事	—
			②合計	130百万円
		延長工期		約1.7か月(地すべり対策)
		間接的な影響項目		—
		負担者		事業者・施工者
最 小 限 に 回 避 し た リ ス ク	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		Ⅱ期線施工時
		予測されたトラブル		土砂状地山の崩落
		回避した事象		トンネル崩落
		工事への影響		地山安定化対策、工事約2.5か月遅延
	リスク管理の実際	判断した時期		トンネル施工時
		判断した者		事業者・施工者・調査技術者
		判断の内容		地盤改良や垂直縫地ボルトを追加
		判断に必要な情報		地質・観測データに加えてⅠ期線の情報
	リスク対応の実際	内容	追加調査	地質調査、坑口部の地質断面詳細検討
			修正設計	地山安定化対策
			対策工	垂直縫地ボルト、地盤改良等
		費用	追加調査	20百万円
			修正設計	— (工事の中で詳細設計)
			対策工	76百万円
			③合計	96百万円
	回避しなかった場合	工事変更の内容		測量、調査、地すべり対策、坑口部再掘削
		④変更後工事費		506百万円
		変更後工期		最低1年以上
		間接的な影響項目		—
		受益者		事業者、道路利用者
リスクマネジメントの効果		費用④－(①+②+③)		130百万円
		工期		最低1年以上
		その他		—

〔論文 No. 8〕 事前対応したが掘削時に発現した想定外の地質リスク発生事例

○株式会社 建設コンサルタントセンター 柴田 達哉
東京都市大学工学部都市工学科 伊藤和也

1. 事例の背景と概要

本事例は、地質リスク対応を行っていたにも関わらず、施工中に想定外に小さな規模の地質リスクが発現し、工期の延期と後続工事工程へ大きく影響を与えた事例である。国道バイパスを建設するにあたり、地すべり多発地帯を通過することから事前のルート選定時から地すべり地をできるだけ避け、地質リスクを回避する対応計画がなされていた。本事例区間は、道路線形では地すべり本体は橋梁で通過できるが、一部橋台はそれを避けることができず、側部背後に地すべりブロックが存在することになった。その地すべりは、幅約 60～120m、長さ 80m、すべり面深さが 7m～17m であるが再活動に際しては、橋台への影響度が大きなものとされていた。したがって、事前の対策を講じるため、現状安全率を 1.03 と仮定して、末端掘削による安全率の低下に対して、水抜きボーリングの水位低下工法でリスク回避を行っていた。

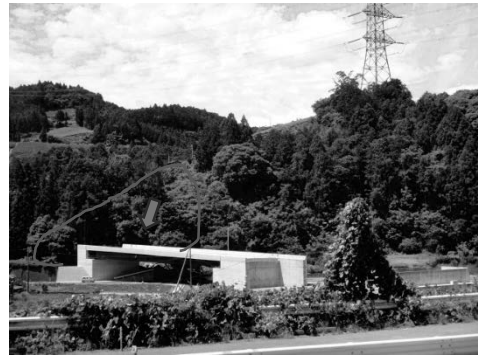


図 1 全景

着手時に橋台構築のために側部山側斜面を数m仮掘削したところのり肩の背後 6m に亀裂が連続して発生し、地山に変位が生じていることが目視で判断された。

早急に押え盛土の応急対策を取り、橋台建設のための対応策を講じるために追加工事を

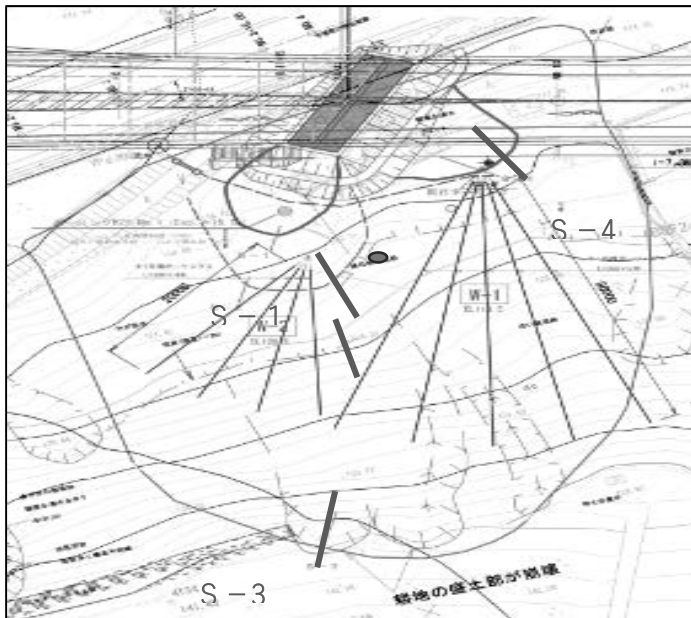


図 2 平面図

余儀なくされた。当初、掘削勾配の不適正と考えられたが、応急対策後も地表変位が継続し、歪計でも地中変位が累積していたため、小規模ながら地すべり性の崩壊と判断した。一方、背後にあった地すべりの再活動やさらなる同様な後退性すべりの発生が懸念されたため地質リスクマネジメントを適用した事例である。

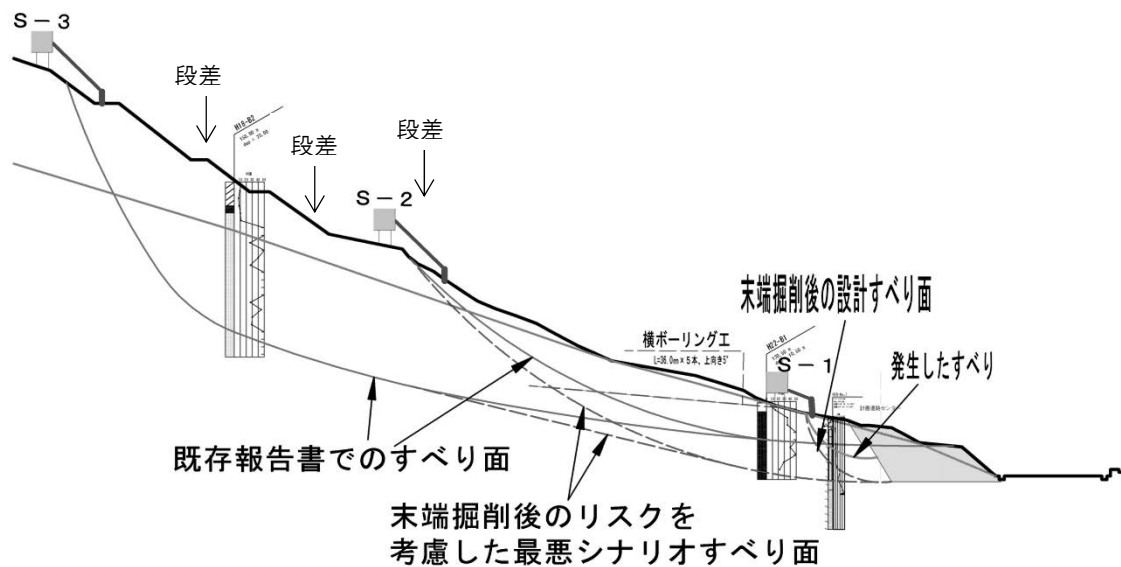


図 3 断面図

2. 事前分析のシナリオ

(1) 地形・地質条件

当該地周辺は、新第三紀泥岩の堆積する地域であり、地すべり多発地帯特有の $20\sim 40^\circ$ の緩斜面を形成し、水田耕作や茶畑に開拓された地域である。また、当該地斜面は特に末端



図 4 頭部クラック



図 5 既設横孔ボーリング孔と背後の滑落崖

が

特に緩斜面で竹林が荒地として放置され、段差も多い。上部斜面は茶畑として利用され、急斜面となることから過去に大きな地すべりが発生したあと、末端部で幾度となく後退性すべりがあったものと推測される。ボーリングコアでも地表より 8m までは著しく風化して粘土化した泥岩であった。また、末端部では既存資料でも地下水も豊富であると知られ、降雨後に掘削面では浅部からの湧水が多くみられていた。

(2) 地質リスク発現後の対応

掘削法肩とクラック間でボーリング調査と歪計及び水位の動態を観測し、すべり面とその時の最高水位を決定した。同時に二次災害が無いように安全管理体制（警報装置・作業員

への周知)を整備した。斜面安定化対策の設計には、最終的に建設される「恒久的に橋台にすべり推力と変位を与えない」ことを設計目標としたので、再活動が懸念された滑落崖も含め背後斜面の段差ごとに伸縮計を設置・観測し、潜在的なすべりの拡大の有無や継続性を把握し、斜面の安定化対策における設計抑止力を最終的に決定した。

応急対策として押え盛土を行ったが、変位は微少ながら継続していた。1 か月の観測ののち、当初クラックの生じた段差にのみ変位があったので、そこをすべり面の頭部として観測地中内変位点を通る円弧すべりとして対策工に対する計算を行った。最低水位時を条件に目標安全率 1.20 となる必要抑止力を算出し、最終的にグラウンドアンカー工にて設計を行った。



図 6 応急対策時

また、押え盛土の撤去と早期の施工の必要性から受圧版はプレキャストパネルとして、逆巻き施工と条件付けした。

3. データ収集分析

今回のリスクマネジメントでのデータは、地山の動態観測の結果が、主たるものであったが、自動観測機器を用いて細かな監視が行うことができた。斜面問題には共通するが、現地踏査による微地形の観察、植生異常、湧水跡などの「気づき」も重要であり、技術者の経験も有益と考える。また、本事業や工事の計画時の地質リスクへの対応方法を計画した報告書も貴重な情報源であった。

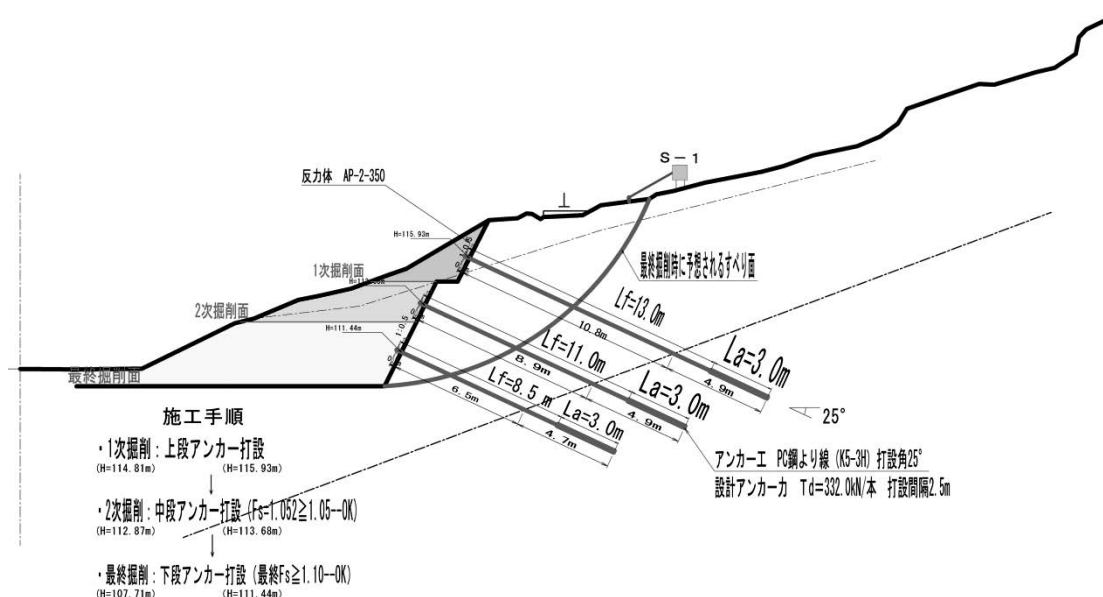


図 7 対策工断面図

4. マネジメントの効果

地質リスクの発現時から早期に対応と迅速な調査・設計・施工により対応し、二次災害もなく、早期道路事業の遅れを最小限とした。

理想的なマネジメントは、末端の小さなすべりにも着目した地質リスクにも対応した当初からのマネジメントが必要であったと考えられる。

斜面崩壊の地質リスクが発現したときは、二次的災害の発生がないように動態観測と共に閾値設定での警報非難体制の構築も重要である。長期間のデータを採取すべきであったが、早期対策施工の必要性とのトレードオフでもあり、短い観測結果で見極めることには、やや安易なマネジメントでもあったと反省する。

5. データ様式の提案

① 地質リスクの発現は人為的か？自然発生的か？の区別

地質リスクの見落としと技術者の当該技術での経験との関係

② 工種ごとの整理

データベース作り方（工種、地形・地質、地すべり地、軟弱地盤など）

③ 地質リスクマネジメント（事前対策）の実施の有無

今回の事例は、事前対策を取っていたが、想定外の地質リスクが発現したので、さらなる探求と詳細なデータ収集が必要と思う。



図 8 斜面安定工完了状況

C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目		データ
対象工事		発注者		地方公共団体
		工事名		道路改良工事
		工種		橋台工
		工事概要		橋台1基(現場打ち杭、躯体)
		① 当初工事費		4,052万
		当初工期		11ヶ月
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期		仮設地山掘削時
		トラブルの内容		橋台側部の山側斜面にクラック発生
		トラブルの原因		地すべりブロックの末端掘削
		工事への影響		施工の中断、応急対策、工期遅延
	追加工事の内容	追加調査の内容		ボーリング調査、動態観測等
		修正設計内容		斜面安定化対策工の設計
		対策工事		押え盛土
		追加工事		アンカー工＋受圧版
		追加費用	追加調査	417万
			修正設計	257万
			対策工	410万
			追加工事	
	② 計		1,084万	
	延長工期		4ヶ月	
間接的な影響項目		施工者の橋台工事実績の消滅		
負担者		納税者		
最 小 限 に 回 避 し た リ ス ク	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		仮設地山掘削時
		予測されたトラブル		背後大地すべりの再活動
		回避した事象		計画変更、背後茶畑の地形変更
		工事への影響		予定箇所への橋台構築
	リスク管理の実際	判断した時期		地山掘削時のクラック発生と現地踏査
		判断した者		発注者・施工者(委託者)
		判断の内容		背後地山変位の有無
		判断に必要な情報		伸縮計などの動態観測
	リスク対応の実際	内容	追加調査	背後地すべりの伸縮計観測
			修正設計	斜面安定化対策工の追加
			対策工	アンカー工＋受圧版
		費用	追加調査	
			修正設計	
			対策工	
			③合計	
	回避しなかった場合	工事変更の内容		大規模地すべり対策
		③ 更後工事費		?
		変更後工期		?
		間接的な影響項目		道路のルート・縦断変更
		受益者		発注者、地権者
リスクマネジメントの効果		費用④－(①+②+③)		?
		工期		長期
		その他		施工管理の重要性

【論文 No. 9】 道路改良工事中に発生した被災に対する対応事例

株式会社相愛 ○山崎 尚明

株式会社相愛 船井 孝誠

株式会社相愛 岸 孝司

(1) 事例の概要

当事例は、県道改良工事中に発現した地質リスク「地すべり性変位」に対する対応事例である。

リスクが発生した箇所は市内から山間部を通り海側に通ずる県道であり、地形分類上は小起伏丘陵地に該当する路線部の改良工区である。改良は切土工により路面を拡幅する計画であり、切土面上位には家屋が立地し保全対象物が隣接する環境であった。

既存調査として調査ボーリングが実施されており、脆弱な風化岩の分布が認められる改良切土法面部には「鉄筋挿入工」が計画され、その施工後に被災が発生した。

被災は鉄筋挿入工を施工した切土法面と上位の家屋敷地にまで及んでおり、家屋敷地の被災は切土を施していない未改良工区にまで達していた。被災延長は 45m であり早急な対応が要求される状況であった。

地盤調査（調査ボーリング・大型動的コーン貫入試験）を実施し、被災メカニズムの解明と対策工法の選定・施工手順を提案したことにより発現したリスクを最小限に回避した。

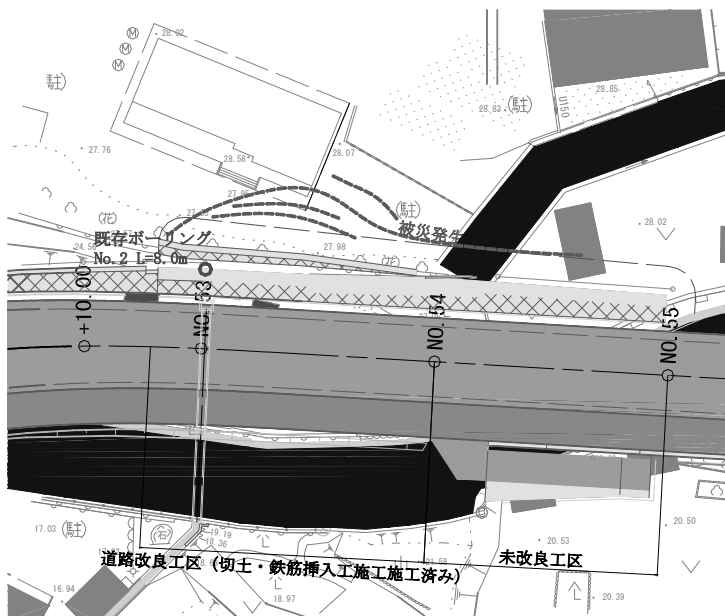


図-1 被災位置平面図



写真-1 被災斜面全景



写真-2 敷地変状状況

(2) 事例分析のシナリオ

本事例は道路改良設計時に持ち越された地質リスクについて、施工時の被災発生直後において早急に対応したものであり、発現したリスクを最小限に回避した事例(C型)に分類した。

設計に際して実施された地盤調査（既存ボーリング）では脆弱な風化岩の分布が確認されていたが、上位家屋を巻き込むようなすべり面の発生リスクまでは想定されていなかった。

ただ切土面には「鉄筋挿入工」が計画・実施されており、露出する風化岩盤の脆弱性は認識されていたものである。

発生した被災の状況から、その緊急性を理解し応急仮設工として「押え盛土工」を提案・



写真-4 押え盛土工施工状況

地盤調査の結果から以下の点が確認された。

- ①極めて脆弱な激風化岩の分布
- ②降雨に敏感に反応する浅層地下水の存在

極めて脆弱な激風化岩の横断的な不連続面は地下水との連動形態を示し、またすべり形成面（円弧すべり）との関連があるものと容易に判定された。

すべり面解析による安定計算の結果、

- ①応急対策工として導入した押え盛土工の抑制効果が十分に発揮されている。
- ②道路改良工事完成断面（大型ブロック擁壁工設置後）では目標安全率が確保される。

以上のことが判定され、施工中の安全と保全対象家屋の安定を確保する為の仮設工を計画することとした。

仮設工としては押え盛土工の上部に残存する切土面へ「アンカー工」を打設し、押え盛土工除去後の緩み破壊を抑止するよう「親杭」と併用させて安定を図ることとした。

仮設工の施工後、押え盛土工の除去と合わせモニタリング（移動杭観測）行なったが、変位の拡大はなく施工中の事故や保全対象家屋への被災といった最悪のシナリオは回避され無事道路改良工事を終えることができた。



写真-3 鉄筋挿入工部の中抜け被災
実施し、変位抑制後に追加の地盤調査（調査ボーリング・大型動的コーン貫入試験）を実施した。

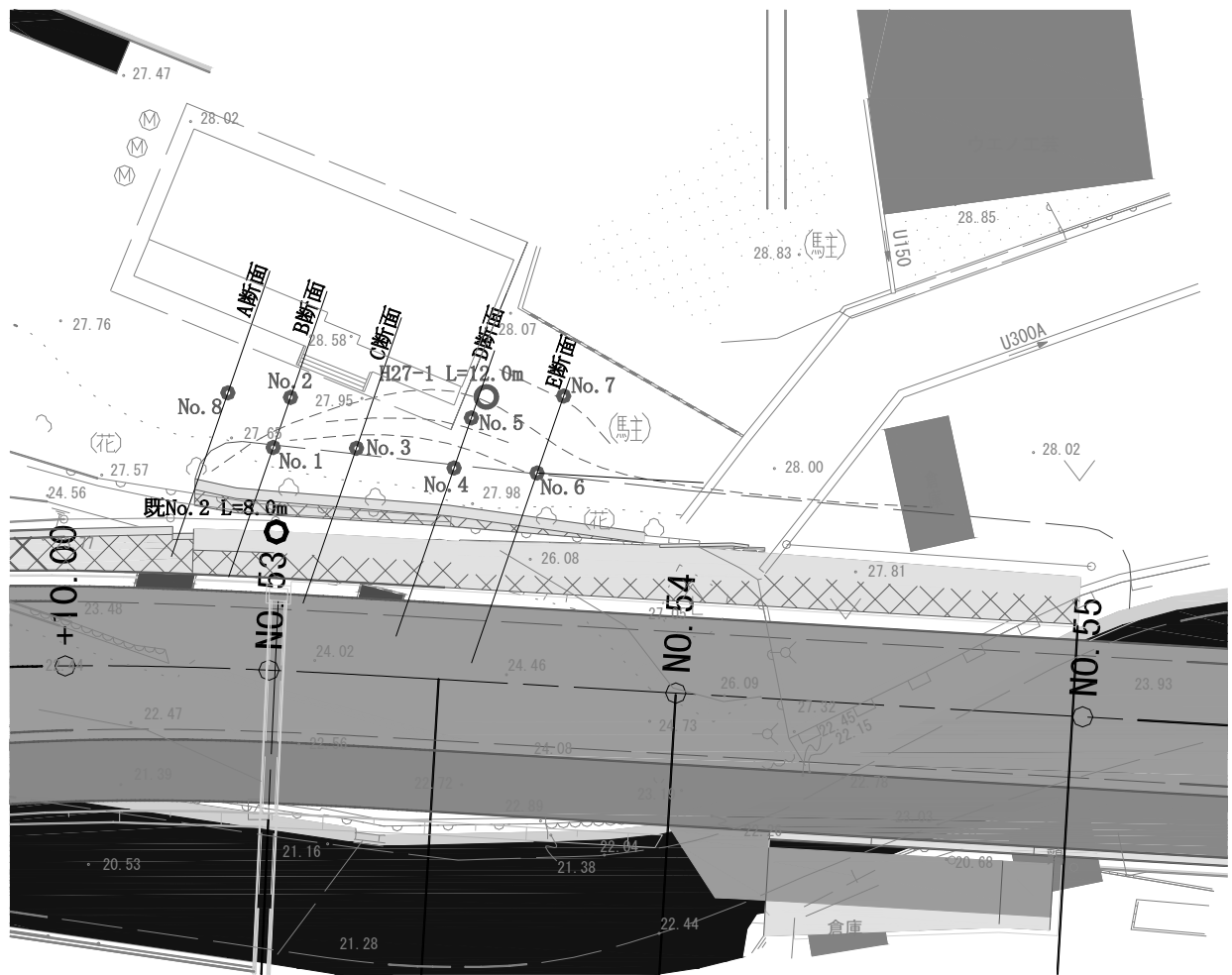


図-2 調査位置平面図

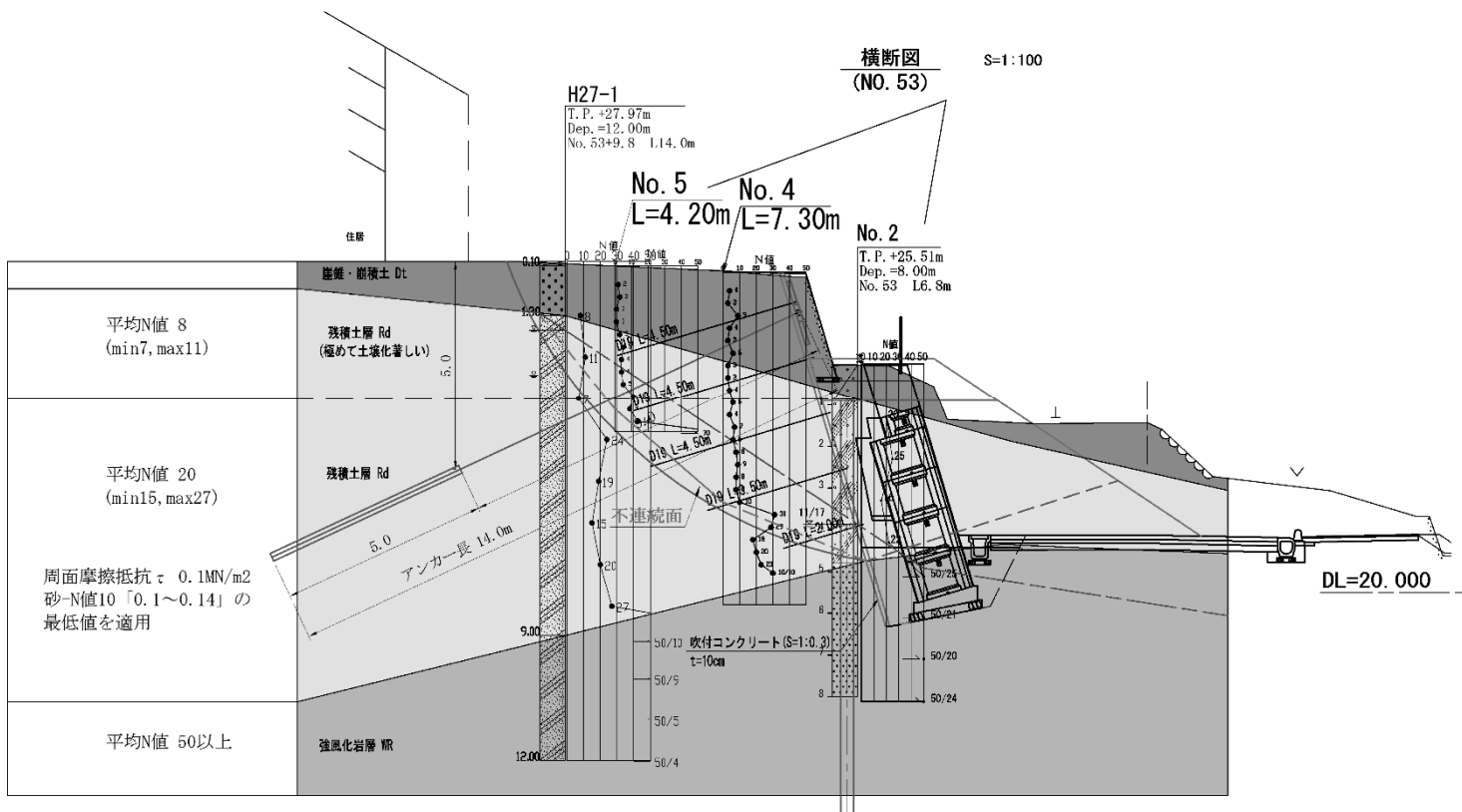


図-3 地質推定・安定解析断面図

(3) データ収集分析

リスク発生の原因については発注者から既存調査資料の貸与を受けるとともに、施工業者へのヒアリングを実施した。当初工事費は請負工事費とし、発現したリスクに対する追加費用については実績値を計上した。

マネジメントを実施しなかった場合の工事費は、経験的な見地から発生しうる最悪のシナリオを想定し推定とした。

(4) マネジメントの効果

本事例のマネジメント効果を以下の通り試算する。

マネジメント効果について

ケース	追加工事費（千円）		工期
① リスクを回避しなかった場合	当初工事費 48,000		5 ヶ月
	追加工事費（推定） ・ 宅地や私道造成整備 ・ 家屋への補償	100,000 （推定）	最低 1 年以上の 延長
② リスクを回避した場合	追加調査費 3,700		3 ヶ月
	対策（仮設）工費 20,400	24,100	3 ヶ月
リスクマネジメントの効果 （①—②）		75,900	遅延回避

本事例は、設計当初における地盤調査（解析）の重要性を改めて痛感させられるものである。脆弱な地層が確認された場合はその連続性やすべりの可能性を判定する為の追加調査を早い段階で提案する必要がある、豊富な地盤情報の採取が要求されるものである。特に当地区のように人工的な切土改変が加わる斜面においては、最悪のシナリオを想定し安定性を重視した設計及び施工計画を立てるよう、基礎となる地盤情報と想定される地質リスクの申送りは極めて重要である。

(5) データ様式の提案

本事例はリスク発現のタイミングが施工段階である。

リスクを回避しなかった場合の工事費等については同程度規模の施工事例に基づいて想定した。リスクを計量化するにあたり、拡大する被災の範囲をどこまでにするのか、その根拠をどうするのがポイントとなる。地形条件や土地利用状況によって異なるものであるが、いずれにしても悲観的想定をせざるを得ないものとする。

C.発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目	データ
対象工事		発注者	県土木事務所
		工事名	県道一線道路改良工事
		工種	道路改良工事（土工・擁壁工・舗装工等）
		工事概要	1.5車線県道を2車線県道に拡幅する。 斜面切土工に伴い大型ブロック擁壁工を設置する。
		①当初工事費	48,000 千円
		当初工期	5 ヶ月
発現したリスク	リスク発現事象	リスク発現時期	斜面切土工（鉄筋挿入工施工直後）時
		トラブルの内容	切土斜面及び上位家屋敷地に開口亀裂発生 すべり変状の可能性
		トラブルの原因	地質調査・詳細設計段階で脆弱地盤の連続性が認識されず、施工段階にリスクが持ち越された為
		工事への影響	線形変更も含んだ改良計画の見直しの可能性 対策工事の必要性
	追加工事の内容	追加調査の内容	
		修正設計内容	
		対策工事	
		追加工事	
		追加費用	追加調査
			修正設計
			対策工
			追加工事
		②合計	
		延長工期	
		間接的な影響項目	
		負担者	

最小限に回避したリスク	リスク回避 事象	予測されたリスク 発現時期		斜面切土工時
		予測されたトラブル		すべりの活発化による斜面崩壊
		回避した事象		斜面崩壊 保全家屋の倒壊 県道への土砂流出
		工事への影響		押え盛土工の施工、3ヶ月中断
	リスク管理 の実際	判断した時期		切土法面及び上位家屋敷地への開口亀裂発生時
		判断した者		発注者（助言）
		判断した内容		斜面安定解析（すべり面解析） ・押え盛土工の抑制効果判定 ・道路改良完成形断面による安定度照査 ・対策工の検討 ・移動杭観測によるモニタリング施工 ・施工時の安全性と保全対象家屋の安定性
		判断に必要な情報		地盤情報、地下水位、移動量の定量把握
	リスク対応 の実際	内容	追加調査	調査ボーリング、大型動的コーン貫入試験 移動杭観測によるモニタリング
			修正設計	斜面安定解析、対策工の検討
			対策工	アンカー工・土留親杭横矢板工
		費用	追加調査	1,200 千円
			修正設計	2,500 千円
			対策工	20,400 千円
			③合計	24,100 千円
	回避しなかつた場合	工事変更の内容		県道改良工事に合わせた宅地や私道の造成整備 保全対象家屋への補償
		④変更後工事費		148,000 千円（推定）
		変更後工期		最低1年以上の延長
		間接的な影響項目		保全対象家屋への影響 仮住まい等の確保と今後の補償
		受益者		保全対象家屋とその周辺関係者 県道利用者
リスクマネジメントの効果	費用 ④—（①+②+③）		75,900 千円	
	工期		6ヶ月（180日以上）	
	その他		保全対象家屋（＝教会）の活動継続	

[論文 No. 10] 床掘時に発現した地質リスクと対応事例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 ○高本 博昭

西 浩二郎

竜崎市役所 建設部

横山 雄次郎

1. 事例の概要

(1) 事例概要

平成 29 年 7 月九州北部豪雨にて道路盛土部が崩壊した。被災箇所は谷埋め盛土部であり、盛土構造は下部が重力式擁壁、上部がブロック積み擁壁の混合擁壁構造であった。降雨による多量の浸透水と地山からの地下水が供給されたことにより、盛土内の地下水位が上昇して擁壁背後の盛土が不安定化し、擁壁基礎が滑動して盛土体の崩壊に至ったと想定される。調査設計後に災害査定を経て施工を進めたところ、床掘時に法面が一部崩落した。崩落した法面上部の民地には建物が位置しており、そのまま施工を続けた場合、建物まで被害が拡大するリスクが生じた。床掘法面の小崩落であったが、施工段階における地質リスクについて検討し、リスク拡大を回避することで早期復旧への近道とした事例である。

(2) 地形概要

当該地は、標高 82m の山岳部西側斜面(標高 10~30m)に位置する。平成 29 年に被災した箇所は、道路のカーブした箇所(復旧延長 L=45m)で、山側は尾根地形、谷側は谷地形を呈した、地形の変化点にあたる。



図1 対象箇所の地形図

(3) 地質概要

基盤は新第三紀の堆積岩類(勝本層:砂岩・頁岩および凝灰岩)からなる。

(4) 周辺状況

平成 30 年床掘時に崩壊が発生した法面には、盛土と風化した泥岩が分布する(写真 1)。泥岩の層理面は法面に対して流れ盤を呈し、節理・層理によりブロック化し土砂化しやすい(写真 2)。背後道路の切土法面に風化した泥岩が分布している(写真 3)。旧地すべり地形末端部に湧水が見られ(写真 4)、更に下方に段差地形(写真 5)が認められる。なだらかな斜面の下部の水田脇の法面に風化した泥岩が分布している(写真 6)。

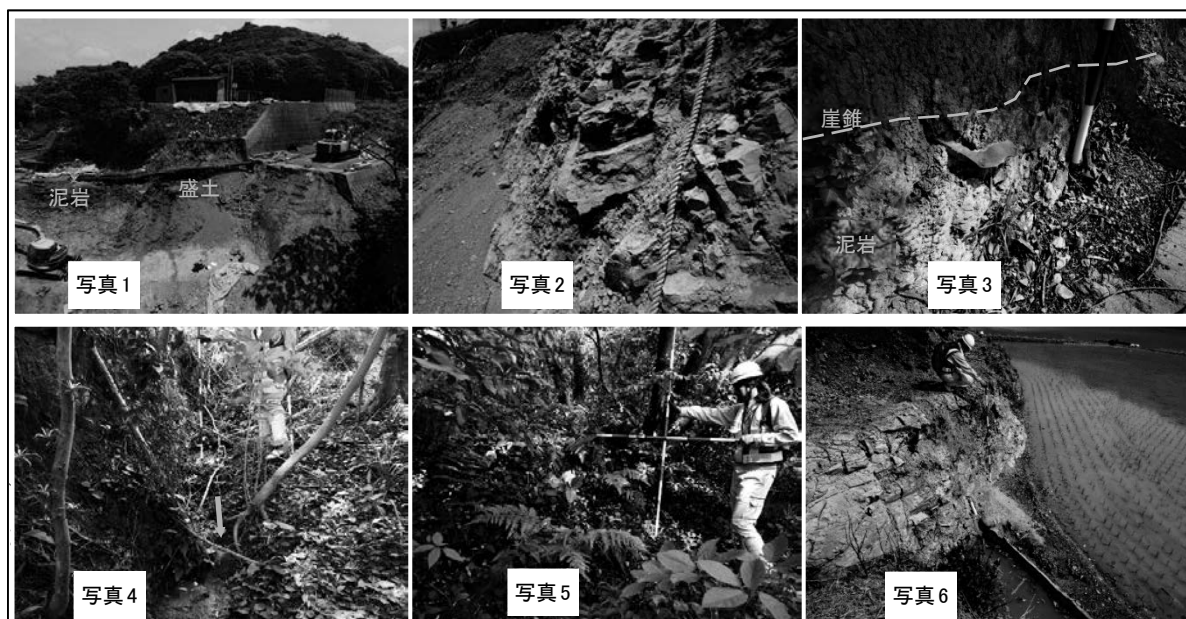
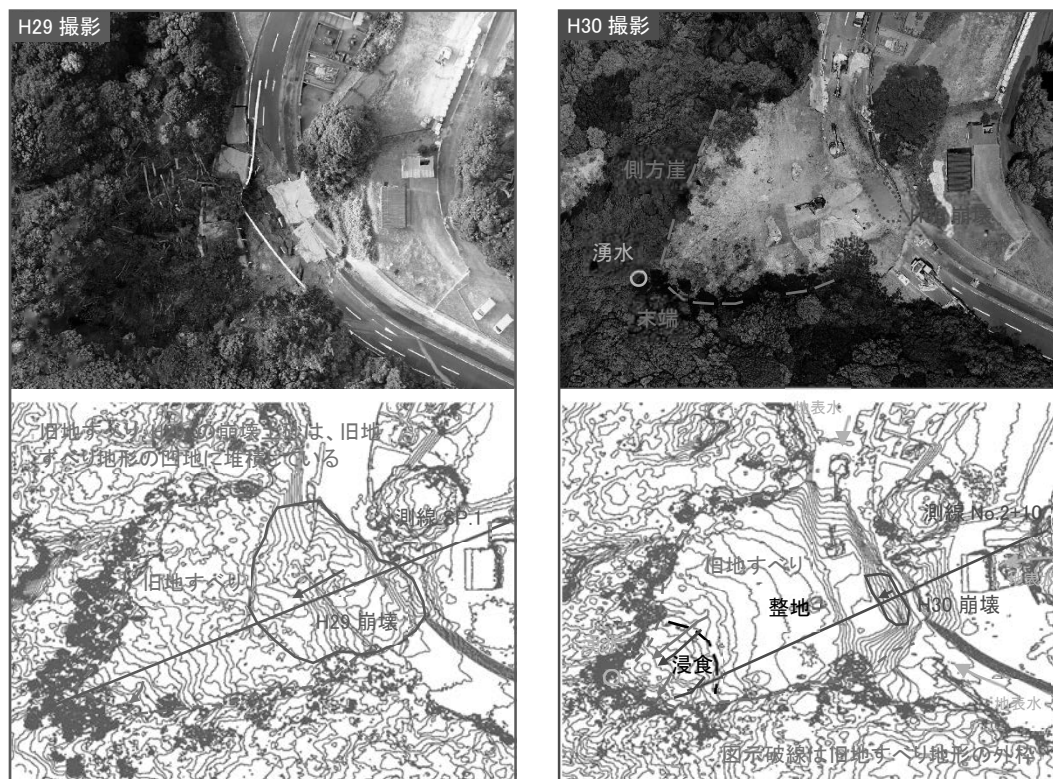


写真 1～6 周辺状況

(5) ドローン写真による地形判読

H29 年の崩壊(地形図赤枠部)は、主に道路盛土部が崩れ、崩壊土砂は旧地すべり地形の平坦地に堆積している。旧地すべり地形は末端～側方崖は明瞭に判読されるが、頭部は造成されているため不明である(地形図桃破線部)。

H30 撮影写真では、旧地すべり末端の土砂が浸食され、数条の谷地形を形成している。



2. 事例分析のシナリオ

図 2 ドローン写真と地形図

(1) 崩壊ステップおよびリスクの想定

ステップ 1：崩土を撤去しつつ床掘面に沿って掘削し、盤下げを行う。

ステップ2：さらに盤下げするために、床掘面に沿って勾配 1 : 0.6 で掘削を行う。

ステップ3：床掘法面が、崩落する。

ステップ4：法面上部の建物に影響する法面崩壊が懸念される場合は、対策を実施し、リスクを回避する。

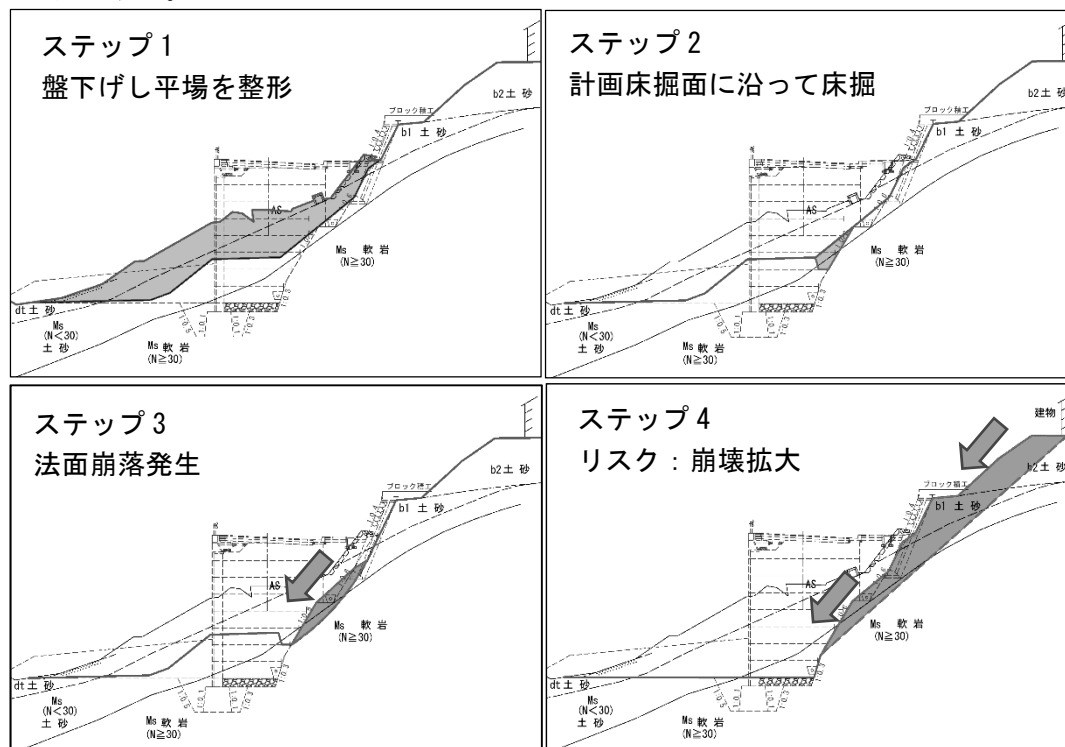


図3 崩落ステップとリスク予測

(2) マネジメント効果

施工を継続した場合、床掘期間中に同様の崩落が発生し、民地の建物に損傷が及ぶリスクがある。リスク回避対策を行うことで、床掘期間中に同様の崩落が発生する可能性は低くなり、民地建物を含む被害の拡大を回避できる。

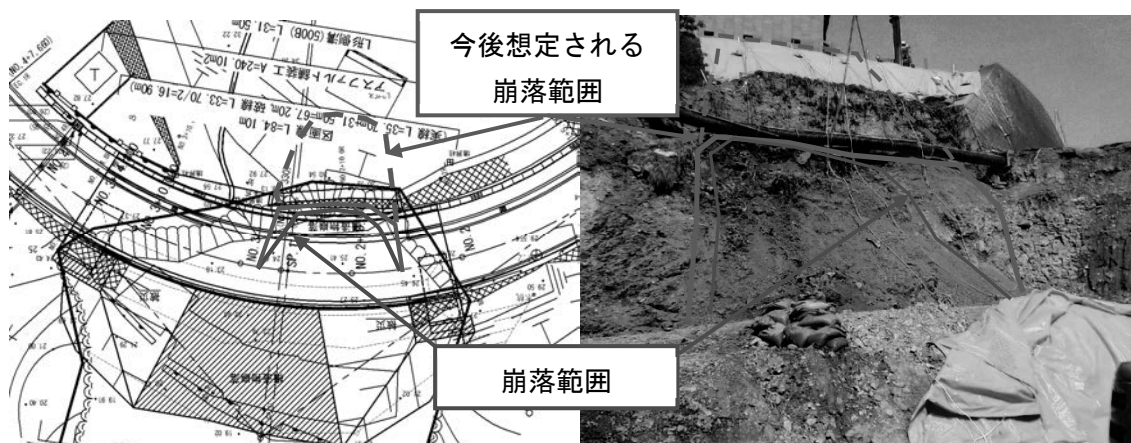
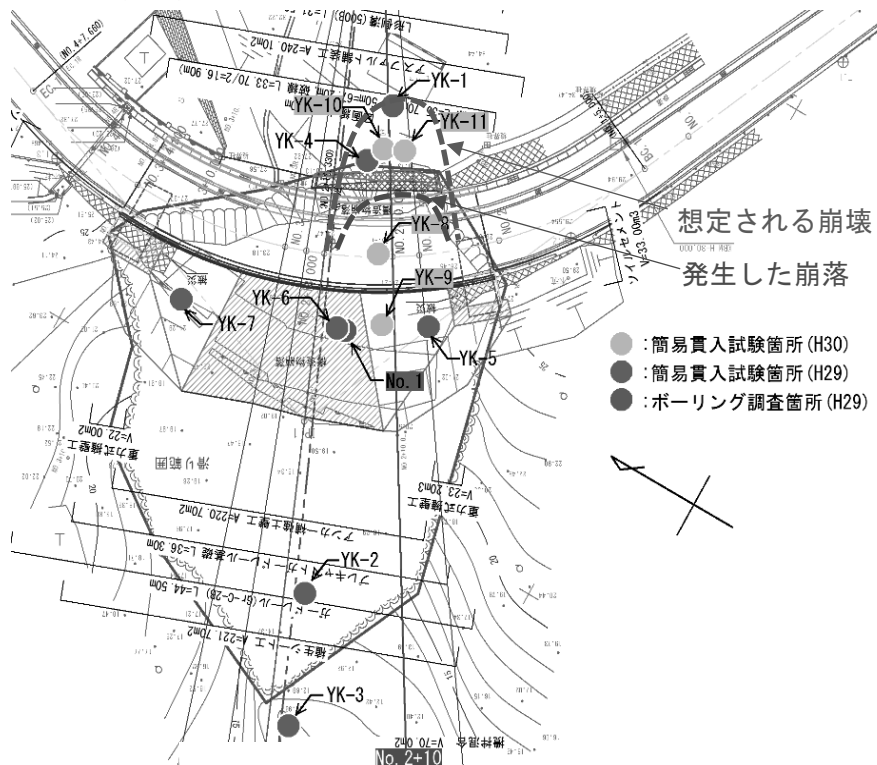
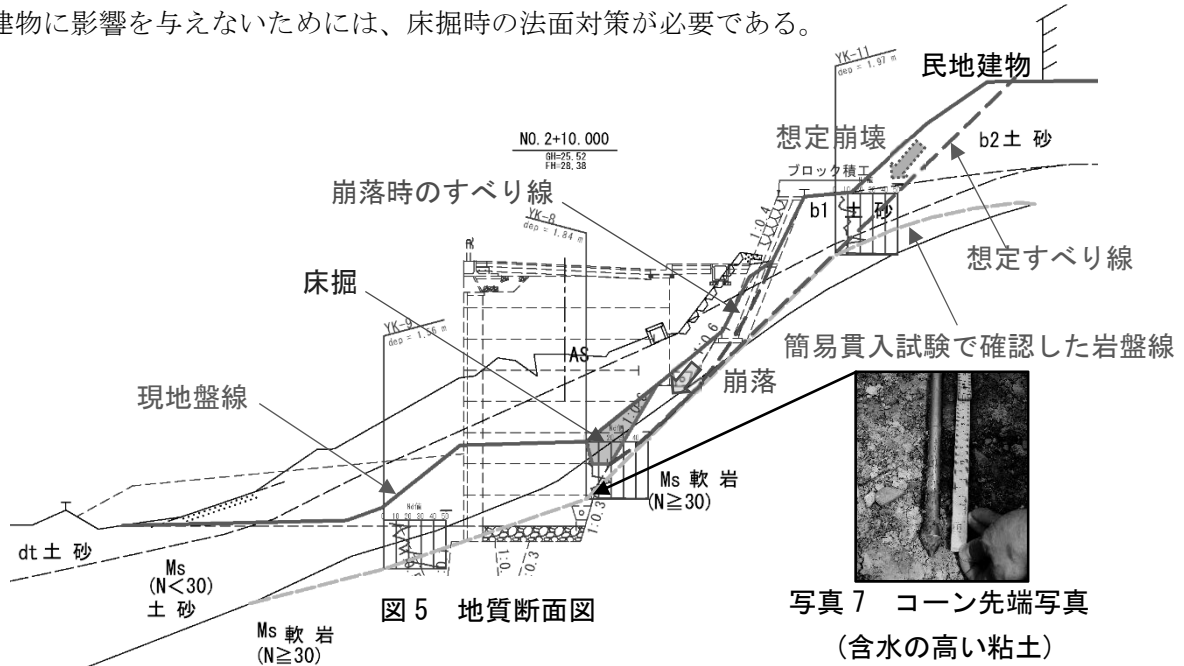


図4 崩落範囲と今後の想定崩落範囲図

3. データ収集分析

崩落箇所 No.2+10 の当初地層断面は、周辺の調査結果を投影して想定していた。今回、簡易貫入試験を用いて崩落部の地質調査を実施した結果、当初想定した地層線と若干の修正はあるものの概ね相違なかった。地下水については、床掘法尻付近で実施した簡易貫入試験において含水比の高い粘土が貫入コーン先端に付着していたことから、岩盤との層境付近に地下水があることがわかった。岩盤と土砂の境界に存在する地下水により土のせん断強度が減少し、地層境界をすべり線とした法面崩落が生じたものと考えられる。地層境界線をすべり線とした法面崩壊を考えると、法面上部の民地建物付近まで影響する。したがって、建物に影響を与えないためには、床掘時の法面对策が必要である。



4. マネジメントの効果

ここでは、リスク回避に要した費用と、リスク回避しなかった場合の費用を算出し、リスクマネジメント効果を費用の面から計量的に評価する。

(1) リスク回避した場合

床掘法面の小崩落に際し、今後の法面崩落拡大をリスクとして想定し、リスク回避に向けて対策を実施する。対策検討に先立ち、岩盤線を、簡易貫入試験で確認する。リスク回避対策は、施工時の安全性が確保されるように、床掘法面を鉄筋挿入工で補強する。法面補強後は、当初計画通り、補強土壁工で盛土を立ち上げる。

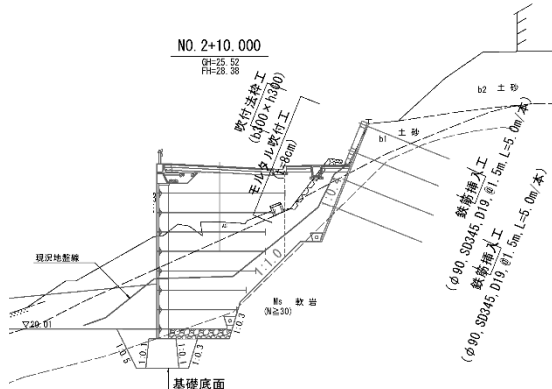


図7 リスク回避対応図

表1 リスク回避対応費用一覧表

費目	工種	費用 (千円)
当初工事費		30,000
リスク回避対応費		12,900
	調査	1,300
	設計	3,100
	土工 (床掘)	400
	法面工	8,000
	舗装工(追加分)	100
合計		42,900

(2) リスク回避しない場合

岩盤に沿って斜面崩壊が発生する。復旧工は、崩壊部を除去し岩盤線に沿って安定勾配で掘削を行い、当初計画通り補強土壁工で盛土を立ち上げる。崩壊が法面上部の民地建物に影響するため、民地の用地買収費および建物の撤去復旧費が高む。

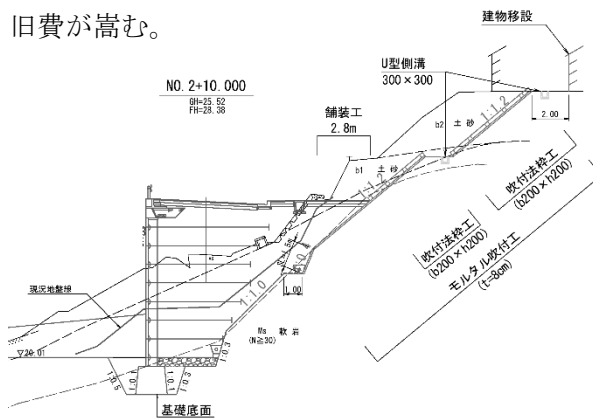


図8 崩壊後対応図

表2 崩壊後の対応費一覧表

費目	工種	費用 (千円)
当初工事費		30,000
崩壊後の対応費		17,100
	調査	1,300
	設計	3,100
	土工(オープン掘削)	3,500
	法面工	6,800
	舗装工(追加分)	200
	用地費 (追加買収)	200
	建物撤去復旧費	2,000
合計		47,100

(3) マネジメント効果

リスク回避した場合の効果は、4,200 千円程度のコスト回避と試算される。

表3 リスク回避対策費用一覧表

費目	費用 (千円)
リスクマネジメント有り	42,900
リスクマネジメント無し	47,100
差額	-4,200

5. データ様式の提案

施工時に発現した地質リスクを最小限に回避した事例として、様式Cを用いて整理する。

表 4 C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目		データ
対象工事		発注者		地方公共団体
		工事名		公共土木施設災害復旧工事
		工種		道路工事
		工事概要		豪雨被災箇所の道路擁壁復旧
		① 当初工事費		30,000 千円
		当初工期		8 カ月
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期		床掘時
		トラブルの内容		床掘小段の小崩落
		トラブルの原因		雨水と地層境界の弱部の存在
		工事への影響		一時工事中止、工事遅延
	追加工事の内容	追加調査の内容		地質踏査
		修正設計内容		-
		対策工事		ブルーシートによる法面養生
		追加工事		-
		追加費用	追加調査	-
			修正設計	-
			対策工	-
			追加工事	-
		②合計		-
	延長工期		4 カ月	
間接的な影響項目		道路復旧延期、		
負担者		市民、施工者		
最 小 限 に 回 避 し た リ ス ク	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		床掘進行時
		予測されたトラブル		周辺構造物に影響する法面崩落
		回避した事象		周辺構造物に影響する法面崩落
		工事への影響		法面崩落
	リスク管理の実際	判断した時期		床掘小段崩落後の現地踏査後
		判断した者		発注者、建設コンサルタンツ
		判断の内容		調査し施工の安全を確認する
		判断に必要な情報		地質データ、安定解析データ
	リスク対応の実際	内容	追加調査	簡易貫入試験
			修正設計	対策工比較設計、切土補強土工
			対策工	切土補強土工
		費用	追加調査	1,300 千円
			修正設計	3,100 千円
			対策工	8,500 千円
			③合計	12,900 千円
	回避しなかった場合	工事変更の内容		周辺構造物の撤去復旧、土工
		④変更後工事費		47,100 千円
変更後工期		4 カ月+地権者協議、用地交渉		
間接的な影響項目		関係機関協議		
受益者		市民、施工者、発注者		
リスクマネジメントの効果		費用④－(①+②+③)		4,200 千円
		工期		数カ月(地権者等の協議期間)
		その他		-

[論文 No. 11] 切土のり面で発生した地すべり対応策検討及び

既設アンカー工の応急対策工検討及び実施

東邦地水株式会社 ○石川 昌幹

出口 裕二、寺地 啓人

三輪 哲生、高森 陽一

野崎 英行、荻田 誠実

1. 事例の概要

供用中の国道バイパス切土のり面で地すべり（地質リスク）が確認され、通行止めが実施されていた。本事例は、切土のり面で発生した地すべりに対し、安定性（滑動性）評価を行った上で計測監視システムを配置し、通行止め解除を行ったものである。その結果、通行止めに伴う経済的損失を回避できた。また、既設アンカー工では、過緊張で破断の危険のあるアンカー工に対し飛び出し防護工を設置し、第三者に対する被害を防止した。

本事例対象である国道バイパスは交通量約 3,700 台/日であり、地域の主要道路である。切土のり面の変状は、7 月下旬に国道バイパス沿いの草木の伐採時に確認された。側溝が割れ、切土のり面末端部付近の道路では盛り上がり等の変状も確認され、道路管理者の判断で安全を考慮し通行止めが実施されていた。

道路管理者からの依頼で現地状況の確認を行った所、吹付砕工等に地すべり滑動に伴う亀裂や変位が確認されたが、現地状況から地すべりは以前から豪雨時等に徐々に滑動していたもので、短期間で崩壊する危険はないと判断した。

念のため、計測監視システムを設置し、地すべり滑動が活発化した場合に通行止を行う体制を構築したうえで、通行止めを解除する提案を行い実施した。

既設アンカー工は、健全性評価の結果、破断の危険がある過緊張アンカーが確認され、今後、破断したアンカーが道路にまで達し、道路利用者に被害が発生する危険があることを確認した。そのため、今後、破断する危険性の高い過緊張アンカー工に対し応急対策として飛び出し防護工を設置し、破断時の道路利用者への被災を防止した。

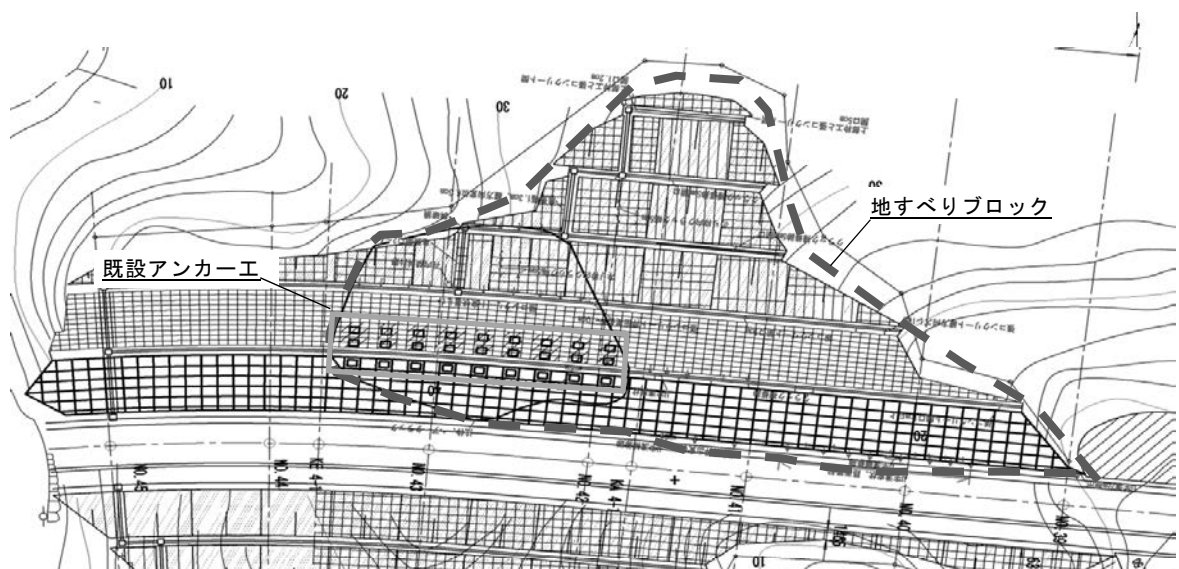


図 1 切土のり面内、地すべりブロック平面図

2. 事例分析のシナリオ

今回のリスクマネジメントのポイントは地すべりの安定性（滑動性）評価及び既設対策工の健全性評価である。図2に対象地域の地すべり対応（シナリオ）を示す。

なお、図2の赤矢印が今回の対応を示し、通行止めに伴う経済的損失の最小化を図った。

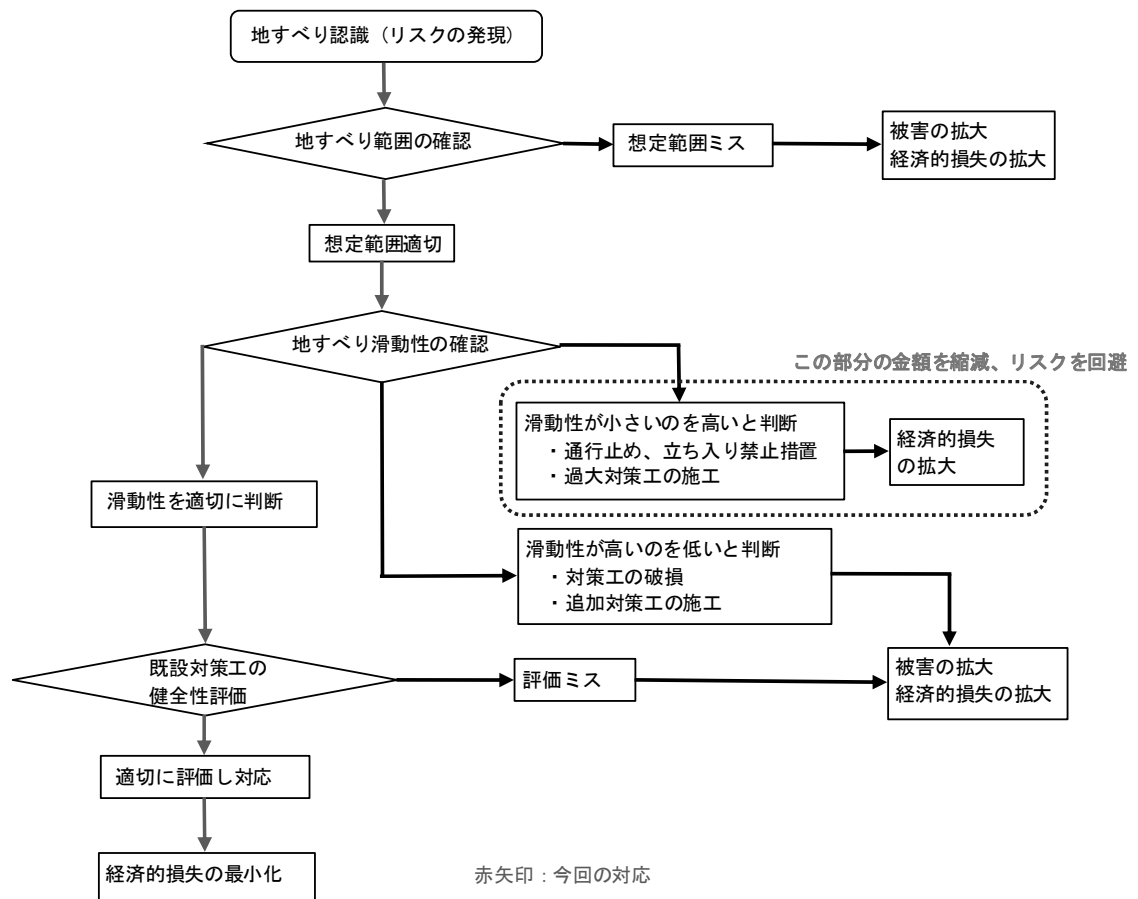


図2 対象地域の地すべり対応（分析シナリオ）

（1）地すべりの範囲及び安定性評価

地すべり発生時には、以下の確認を行うことが重要となる。

- ①滑動範囲（拡大の可能性も考慮）
- ②滑動性（安定性）
- ③滑動方向
- ④保全対象

今回検討では、上記項目の内、①②について現地踏査時に特に注意し確認を行った。

なお、③は地質構造、既設構造物の変位方向から予測すると共に、④は地すべり末端部の位置を予測後、滑動方向に位置する保全対象に対し評価を行った。

①の評価にミスがあると被害の拡大等のリスクが発生する。今回、滑動範囲については、亀裂分布状況や既設構造物の破損範囲から判断した。なお、切土のり面の背面奥には亀裂や段差地形は確認されないことから、退行性地すべりの可能性は低いと判断した。

②の評価では、「滑動性が高いのを低いと判断」した場合には、被害を拡大させるリス

クが伴う。逆に「滑動性が低いのを高いと判断」した場合には、通行止や立ち入り禁止措置の実施、過大対策工の施工による経済的損失が大きくなる。

対象となった地すべりでは、吹付砕工等に地すべり滑動に伴う亀裂や変位を確認したが、亀裂は古いものがほとんどであり（写真 1 参照）、地すべりは以前から豪雨時等に徐々に滑動していたもので、短時間で崩壊する危険はないと判断した。



写真 1 押出により U 字溝が潰れている。
押出による変位約 10cm 亀裂面は古い箇所が多い

（２）既設対策工の健全性評価

対象切土のり面では、既設対策工としてアンカー工が施工されていた（図 1 参照）。

既設対策工の健全性評価についても評価にミスがあると「被害の拡大」を誘発するリスクがある。アンカー工周辺の法砕工等に亀裂が確認されることから、アンカーの緊張力等について確認することが重要と判断し健全性評価を行うこととした。

（３）計測監視システムの設置及び既設対策工に対する追加対策工の施工

地すべりは、現地状況から短期間で崩壊する危険は無いと判断した。しかし、動態観測は実施されておらず、また、現地確認時は 7 月末であり、今後、台風等の豪雨時に滑動が活発化することも予測された。そのため、地盤伸縮計を利用した計測監視システムを配置し、地すべり滑動が活発化した場合の通行止めの体制を構築したうえで、通行止めを解除する提案を行い実施した。

既設アンカー工は、リフトオフ試験を実施した結果、破断の危険のある過緊張アンカーが確認され、今後、破断したアンカーが道路にまで達し、道路利用者に被害を及ぼす危険があることを確認した。過緊張のアンカー及び、今後、過緊張まで変化する危険のあるアンカー工に対し追加対策としてアンカー飛び出し防護工を設置し、破断時の道路利用者への被災を防止した。

3. データ収集分析

（１）分布地質及び地質構造



図 3 地すべり周辺の地質構造

対象切土のり面は付加体の四万十帯が分布しており、図 3 に示すように地質構造は切土のり面に対し流れ盤構造を示している。地すべりの素因として、この流れ盤構造が挙げられる。

（２）既往資料の確認

対象切土のり面では、平成 17 年施工時に地すべりが発生しており、平成 18 年に対策工としてアンカー工が施工されている。今回確認された地すべりは、平成 17 発生時の地す

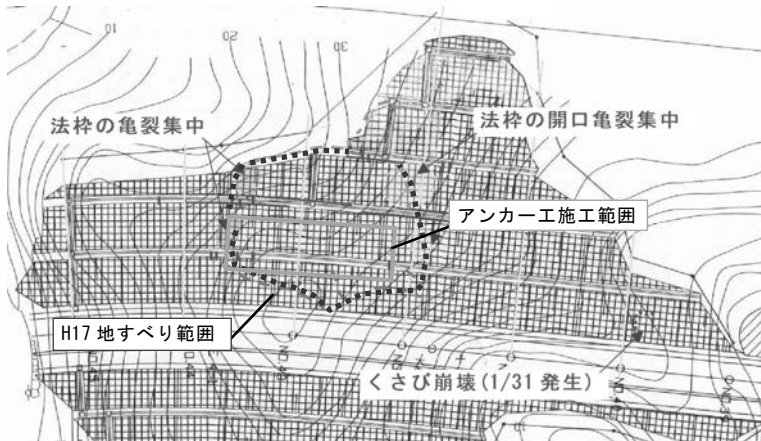


図 4 平成 17 年 地すべり範囲

べりが拡大したものと判断される。なお、地すべり発生時の記録を確認したが、図 4 に示す範囲以外では、明瞭な変位は確認されていなかったため、当時、地すべり拡大の予測は困難であったと考えられる。

(3) 計測監視システム

計測監視システムは、現地変状状況を考慮し、地盤伸縮計 2 台を地すべり頭部亀裂箇所、末端部変状箇所を対象に設置した（図 5 参照）。

計測データは Web 上で監視できるシステムとし、管理基準値は以下のように設定を行った。

警戒	: 2mm/時間
通行止め	: 4mm/時間



図 5 計測監視システム配置図

(4) アンカー健全性調査

対象切土のり面では、平成 17 年に発生した地すべりに対しアンカー工が施工されていた。アンカー工周辺の法枠工の亀裂分布状況から、地すべり滑動の影響でアンカー工が過緊張状態であることが予測された。

そのため、リフトオフ試験を計画実施した。リフトオフ試験の結果、図 6 に示すように、残存緊張力は地すべり主測線側で大きい傾向があることを確認した。

特にアンカー C-9 では「健全度 E+」であることを確認し、周辺の変状状況から、アンカ

ーB-9も「健全度 E+」であると予測される。

なお、アンカーC-8は「健全度 D+」と予測されるが、周辺状況及び図6の残存引張り力分布から、今後、地すべり滑動に伴い「健全度 E+」に変化する可能性があった。

上記、3箇所のアンカーは、今後、破断・飛び出しが発生する危険があった。

そのため、破断・飛び出しに伴う第三者被害防止のため、3箇所のアンカーに対しアンカー飛び出し防護工を設置した（写真2参照）。

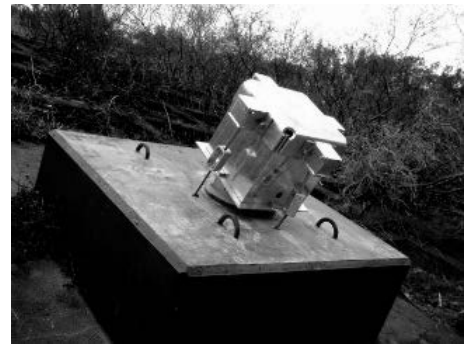


写真2 アンカー飛び出し防護工設置状況

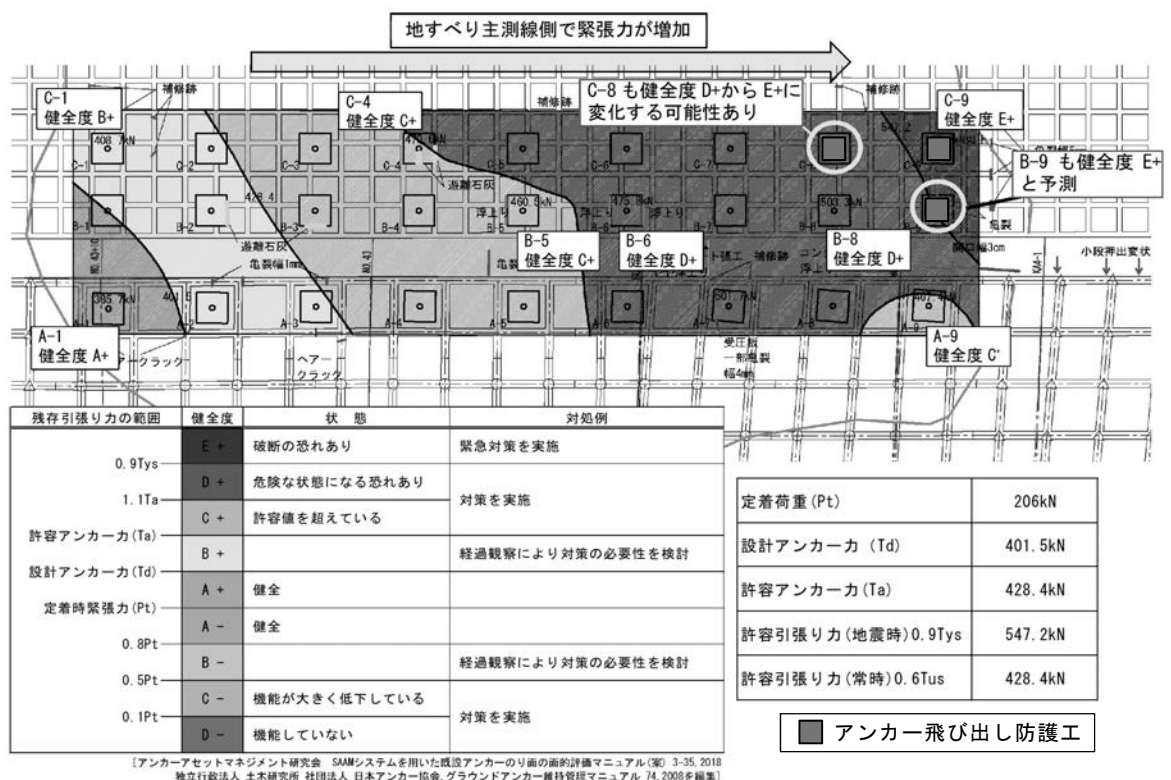


図6 アンカー健全度評価結果

4. マネジメントの効果

本事例のマネジメント効果を表1に示す。

本報告は、「リスクを保有」した上で、計測監視を行い、リスクが増大した場合には通行止めを実施（リスク回避）する事例と考えられる。

地すべりの滑動性評価を行わずに通行止めを継続した場合には、約5,100万円/月の経済的損失となっていたと予測される。

計測監視システムの配置及び運用、既設対策工の健全性調査等により約580万の費用が新たに発生するが、通行止めに伴う経済的損失を約4500万円/月回避できたと試算できる。

なお、アンカー工飛び出し防護工設置に伴う第三者被害防止効果に対しては、被害想定が困難であるため計上していない。

表 1 リスクマネジメント効果の内訳

項目	内容	金額	備考
①リスク対応の実際	計測監視システム設置	地盤伸縮計 2 台×監視機器 1 式	2,850,000
	計測監視システム監視		50,000
	既設アンカー詳細調査	頭部詳細調査、リフトオフ試験	1,900,000
	アンカー飛び出し防護工	3か所	1,000,000
	合計		5,800,000
②リスク対応を行わなかった場合	通行止め（通行止めによる迂回に伴う時間ロス10分） ¹⁾	交通量3700台/日	51,000,000
リスクマネジメントの効果	②-①		45,200,000

5. データ様式の提案

本事例のデータ様式を表 2 に示す。

表 2 D. 発現した地質リスクを保有し、危険時に回避可能な対応を実施した事例

大項目	小項目	データ
発現したリスク	リスク発現事象	リスク確認（発現）時期
		道路維持管理に伴う草木伐採時
		トラブルの内容
		地すべり
	リスク発現事象	トラブルの原因
		切土掘削後の応力開放（供用開始後13年）豪雨時ののり面内の間隙水圧の上昇
	リスク発現事象	道路への影響
		通行止め
	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期
		豪雨時
		予測されたトラブル
		地すべり崩壊
	リスク回避事象	回避した事象
		通行止め
	リスク管理の実際	判断した時期
		変状発見時
		判断した者
		道路管理者
	リスク管理の実際	判断の内容
		通行止め
		判断に必要な情報
		道路構造物の変状状況
最小限に回避したリスク	リスク対応の実際	追加調査
		現地踏査、アンカー詳細調査
		追加対策工設計
		アンカー飛び出し防護工
	リスク対応の実際	ソフト対応
		計測監視システムの設置
	リスク対応の実際	追加調査
		¥1,900,000
		追加対策工設計、設置
		¥1,000,000
	リスク対応の実際	ソフト対応
		¥2,900,000
リスクマネジメントの効果	回避しなかった場合	①合計
		¥5,800,000
		対応
		通行止め
	回避しなかった場合	②経済損失(1か月あたり)*
		¥51,000,000
		間接的な影響項目
リスクマネジメントの効果	回避しなかった場合	物流への影響
		道路利用者、道路管理者
リスクマネジメントの効果	回避しなかった場合	費用②-①（1か月あたり）
		¥45,200,000
リスクマネジメントの効果	回避しなかった場合	その他

※通行止めによる迂回に伴う走行時間ロスを前提として計算

使用文献

1) 国土交通省 道路局 都市局(平成 30 年 2 月): 費用便益分析マニュアル, pp7

【論文 No. 12】 三次元電気探査による地すべり地下水対策の効果判定及び計画検討事例

応用地質株式会社 ○上原祐治 大内博夫、宮島和紀、山下善弘
村嶋光明、能見忠歳、渡邊亮太

1. 事例の概要

建設中の高速道路 A トンネルの掘削中にトンネルを巻き込む大規模地すべりの滑動による変状が発生し掘削が中断された。その後、地質調査が実施され、排水トンネル及び集水ボーリングによる地下水排除及び頭部排土による対策工が実施された。これらの対策工の進捗により、地すべり滑動は徐々に抑制され、トンネル掘削は再開されたものの、頭部排土に伴う浅層地すべりの誘発が新たな地質リスクとして顕在化した。そのため、頭部排土を中断し、改めて地下水排除工を増強し安定化を図ることとなった。本事例は、効果的な追加の地下水排除工を計画するためにボーリング調査、地表踏査に加えて、三次元電気探査を活用し、水理地質構造の解明、地下水排除工の効果判定を行った事例である。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 地すべり概要

本地すべりは、幅 350m、長さ 500m、最大すべり深さ 75m の椅子型すべりである。地質は、第三紀の付加体堆積物であり、地すべり移動体は、砂岩を層状～塊状に含む泥質混在岩、下位の不動岩盤は、主として砂岩泥岩互層となる。トンネル掘削中に坑口沈下や支保工の変形、地表面クラックの発生等の変状が確認され、地すべり発生当初の変位速度は、0.5~2mm/月であった。

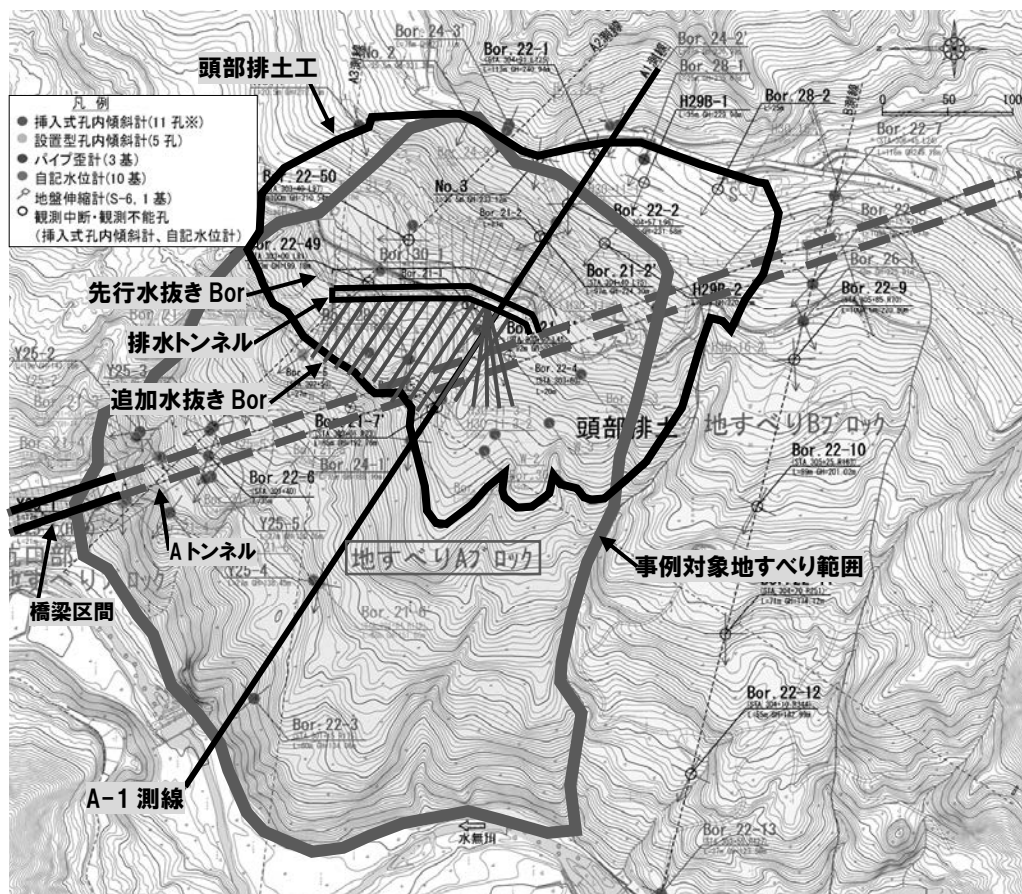


図1 地すべり概要

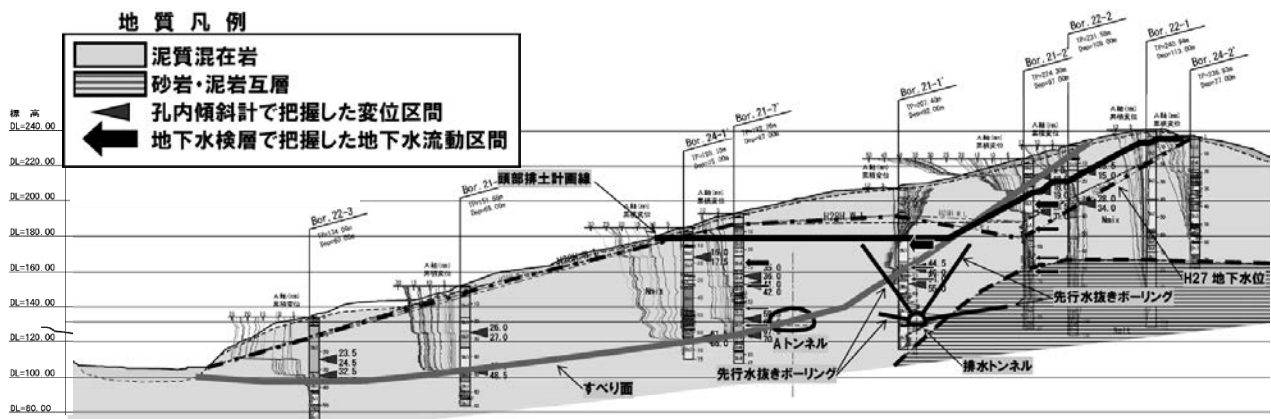


図2 当初対策工設計時の地質断面図（A-1 測線）

(2) 発現した地質リスクと対応の経緯

①発現した地質リスクと対応の経緯

A トンネルの掘削中に、湧水に伴う切羽崩壊や地山荷重の増加、支保部材の変形などの変状が発生すると同時に、地表面にひび割れの発生が確認され、トンネルを巻き込む大規模な地すべりの滑動が確認された。その後、地すべり機構を明らかにするための地質調査、観測が実施され、排水トンネルからの集水ボーリング工と頭部排土工による対策工の実施が決定された。先行して実施された地下水排除対策工では、明瞭な地下水低下がみられなかったことから、頭部排土工が対策工の基幹工法と位置付けられた。しかしながら、頭部排土工の初期段階から浅層地すべりが繰り返し誘発され、ついに頭部排土工も施工中断を余儀なくされた。

頭部排土工の中断により、事業の遅延、新たに誘発された地すべりに対する対策工費の増大など事業に与える影響が顕在化し、対策方針の見直しが必要となった。改めて、地下水排除工の可能性を追求することとなり、その検討を筆者らが受託した。

②既設地下水排除工の効果の再評価

先行実施された地下水排除工は、全体に排水量は少なく、水位観測孔による水位低下も限定的であったことから対策効果は小さいと評価されたが、既設の水位観測孔はすべり面の間隙水压を測定する構造となっていないため、観測水位のみで対策効果を判定することは適切でないと判断した。そこで、地下水排除工効果を対策工施工前後の地すべり移動速度の変化に着目して検討した。図3にすべり面の累積変位量と累積降雨量の関係図を示す。その結果、地下水排除工施工後に明らかに降雨に対する地すべり変位速度が低下し、地下水排除工の効果が発現していることを確認した。これより、地下水排除工の追加施工の実施が決定され、施工計画の詳細検討を行うことになった。

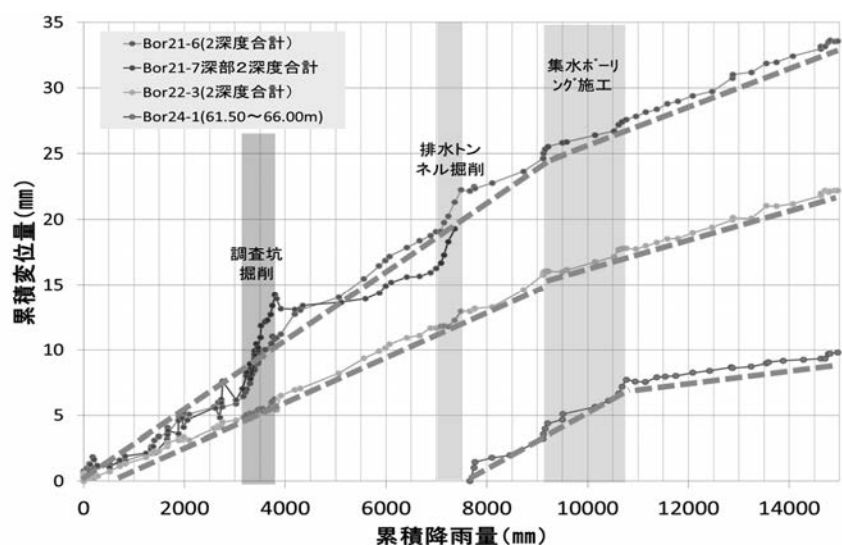


図3 累積変位と累積降雨量の相関図

(3) 地質リスク要因と水理地質構造の検討

発現した地すべりの素因となる地質リスク要因と追加地下水排除工を検討するための水理地質構造の検討を行った。既往地質平面及び断面図の再検討結果、頭部排土法面の詳細地質観察結果を図4～6に示す。地質平面図に示される砂岩層の北東-南西方向の伸びや層理面等の走向傾斜より、SE フェルゲンツで低角度 NE プランジの非対称褶曲を推定した。混在相/整然相境界には 150～200m波長の褶曲がみられ、50m間隔に砂岩卓越層が繰り返す。砂岩卓越層の軸部は、中角度流れ盤方向に傾斜し開口割れ目の発達する高透水帯を形成すると推定した。特に、褶曲軸②付近では地表面に湧水点が点在するとともに、ボーリングでは、複数の被圧地下水や褶曲軸面付近の砂岩層中に高角度の開口割れ目が確認されている。

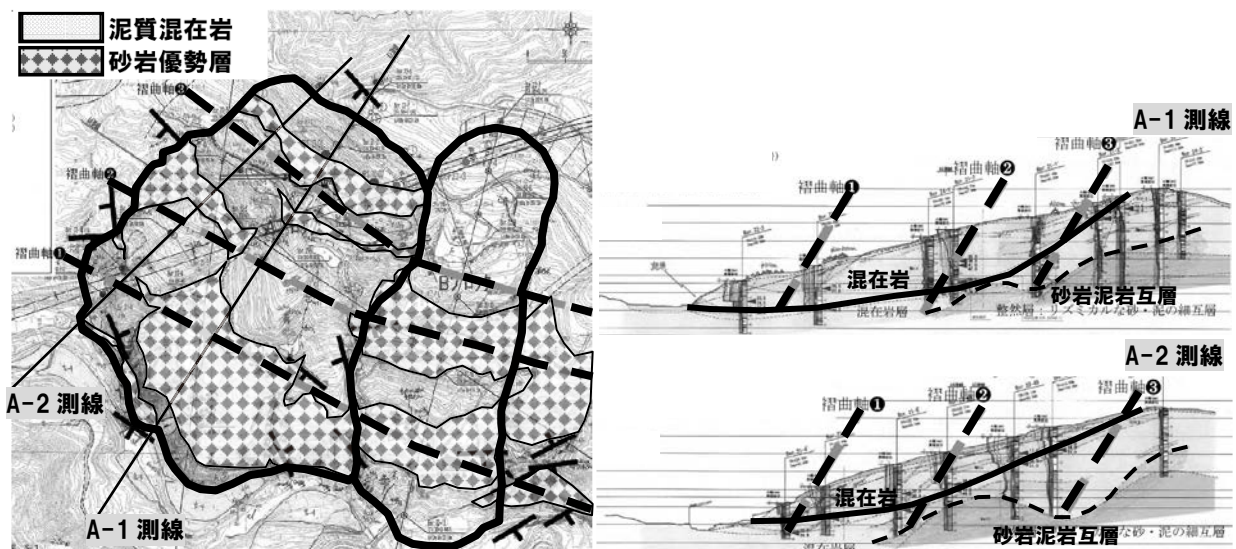


図4 既往地質平面及び断面図の再検討により推定した褶曲構造

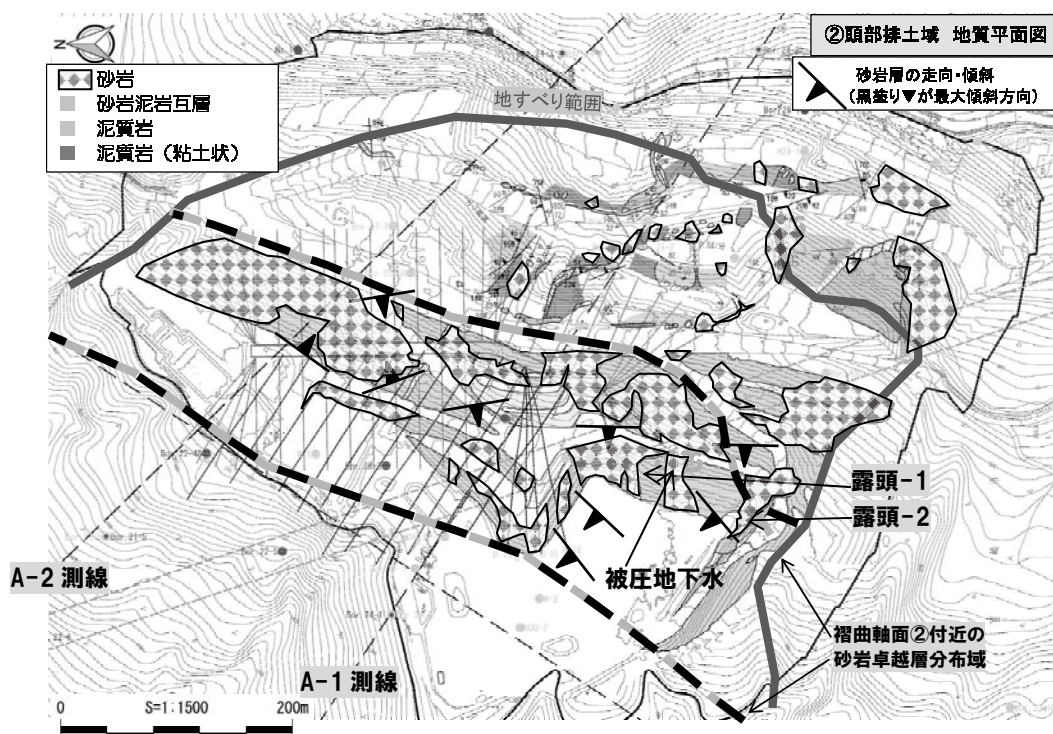


図5 頭部排土法面の詳細地質観察結果

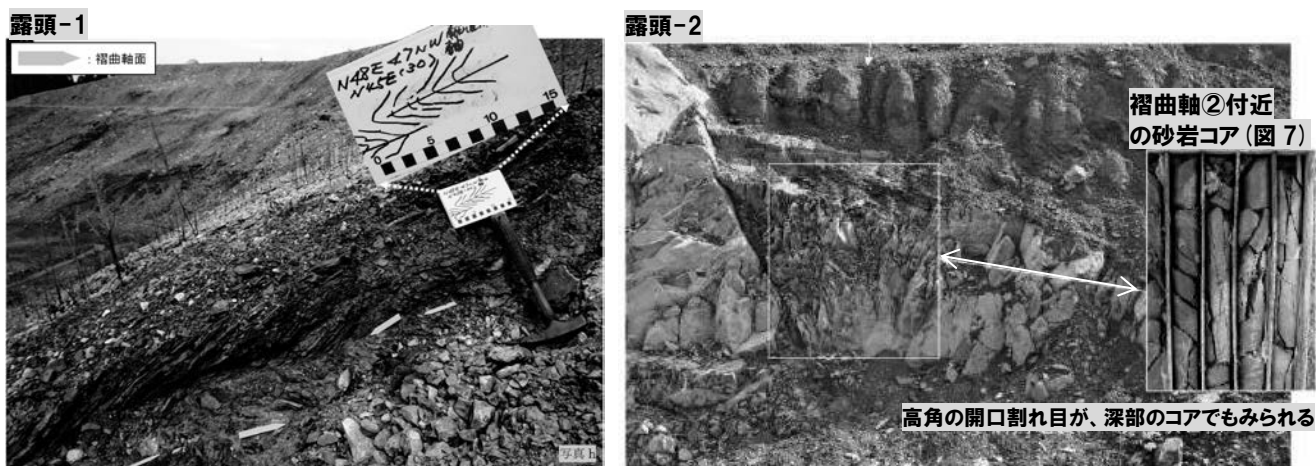


図 6 地質リスク要因 NE 走向の褶曲軸面(露頭-1)及び軸部の砂岩卓越層の開口割れ目(露頭-2)

(4) 追加地下水排除工の計画と試験施工効果の検証

①追加集水ボーリングの計画検討

追加の集水ボーリングは、上記の検討結果より NE 走向・中角度流れ盤方向の褶曲軸面②付近の砂岩卓越層に対して、既設の排水トンネルより、これを貫く配置で計画した (図 7,8)。

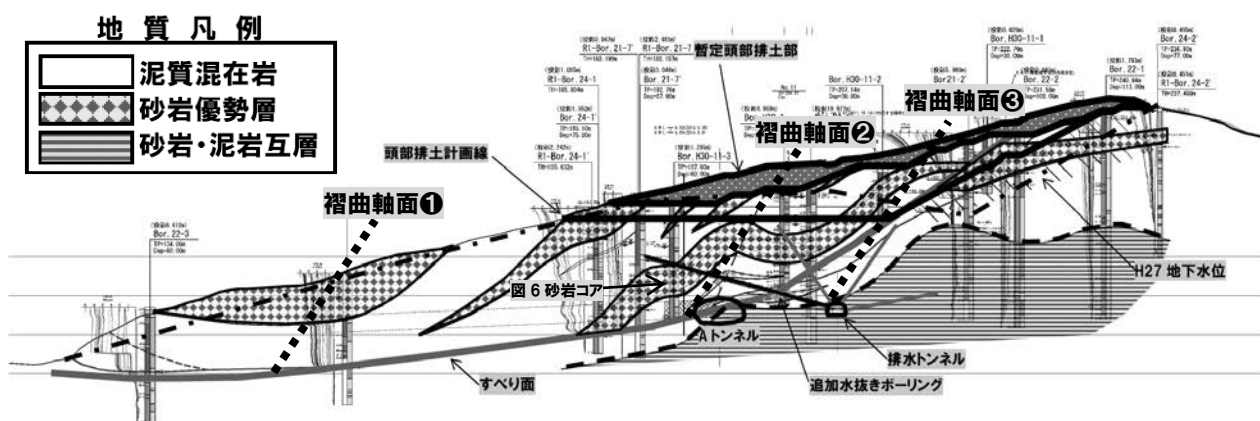


図 7 追加の地下水対策 (排水トンネルからの集水ボーリング) (A-1 測線)

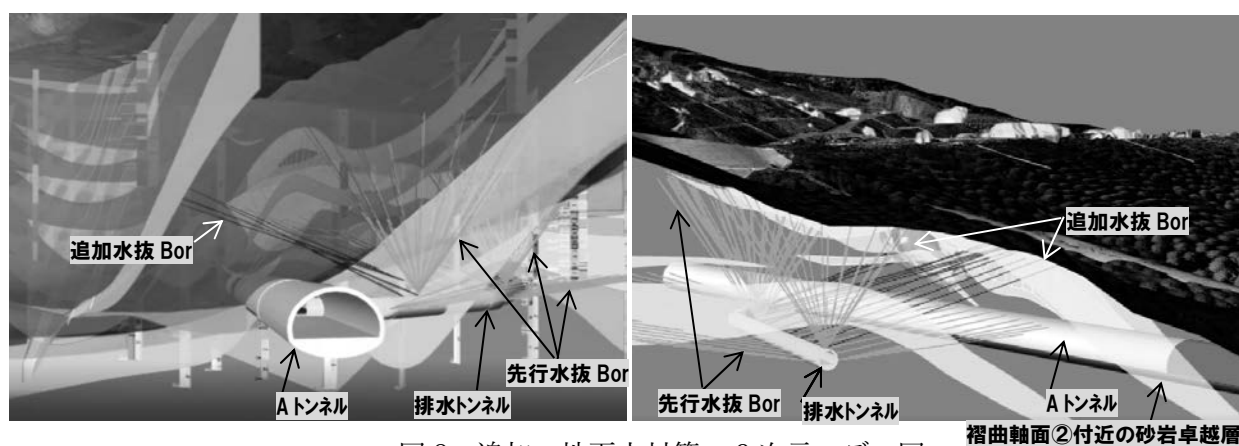


図 8 追加の地下水対策の 3 次元モデル図

②三次元電気探査による地下水対策の効果検証

追加の集水ボーリングの試験施工の結果、実施した全 16 孔から排水が確認され、周辺の地下水観測孔において最大 5m 超の水位低下が確認された。また、対象領域の地質構造（砂岩卓越層の分布域）と地下水低下領域の 3 次元的な拡がり把握し、集水ボーリング効果の検証と追加対策が必要な領域を可視化する目的で三次元電気探査をした。

三次元電気探査は、ケーブルレスで広範囲を面的に短時間に測定可能な FullWaver 電気探査を適用し、集水ボーリングの施工前後の 2 回測定（電極配置は GNSS で高精度で再現）し、その比抵抗変化（差分解析）から地下水低下領域を判定した。

この結果、砂岩層が卓越する褶曲軸面②方向と概ね一致する南北～北東南西方向に高比抵抗を示す領域が確認され、施工前後の差分解析では、比抵抗増加領域（飽和度の低下）が褶曲軸方向に分布し、特に集水ボーリングにおいて最も排水量が多かった B-11 孔の周辺では顕著な紡錘状の比抵抗増加領域が検出された。この領域に設置された地下水観測孔では、最大 5m の地下水低下が観測された。

なお、追加の集水ボーリング施工後に 3 日間雨量が 300 mm を越える豪雨を 2 回経験したが、地下水位の上昇は抑制され、地すべり変位も観測されなかった。これより、本地すべりにおいては、褶曲軸面②付近の砂岩卓越層が顕著な地すべり推力となる被圧帯水層を形成しており、この領域の地下水を効果的に低下させることが地すべり全体の安定性向上に大きく寄与すると判断された。



図 9 三次元電気探査測定装置

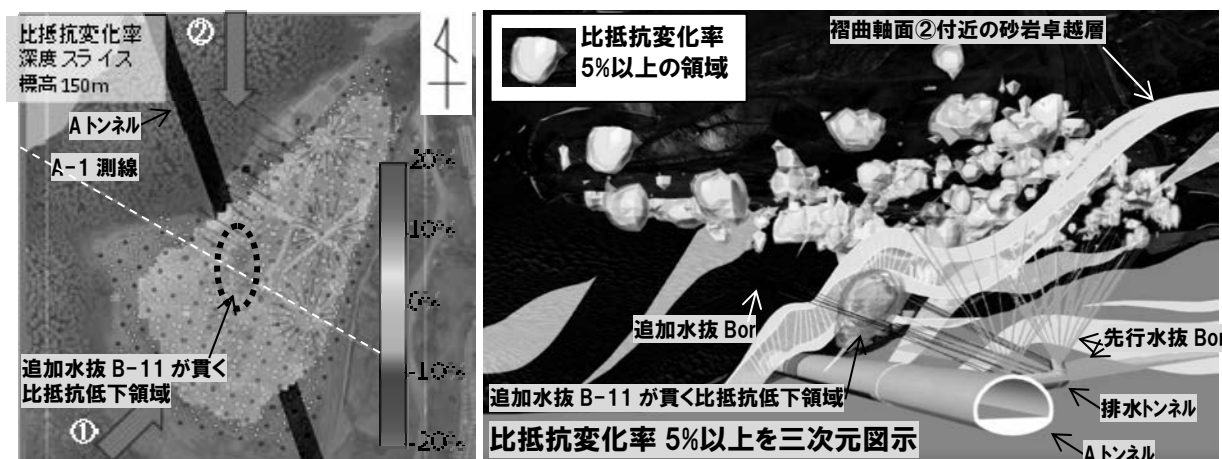


図 10 三次元電気探査結果（施工前後の比抵抗変化率）

③集水井の三次元設計

排水トンネルのないトンネルの南西領域の地下水低下対策は、頭部排土のり面の地質精査と三次元電気探査結果に基づき、追加集水ボーリングで確認した褶曲軸面②付近の砂岩卓越層の連続部を対象に集水井による地下水排除対策工を計画した（図 11）。

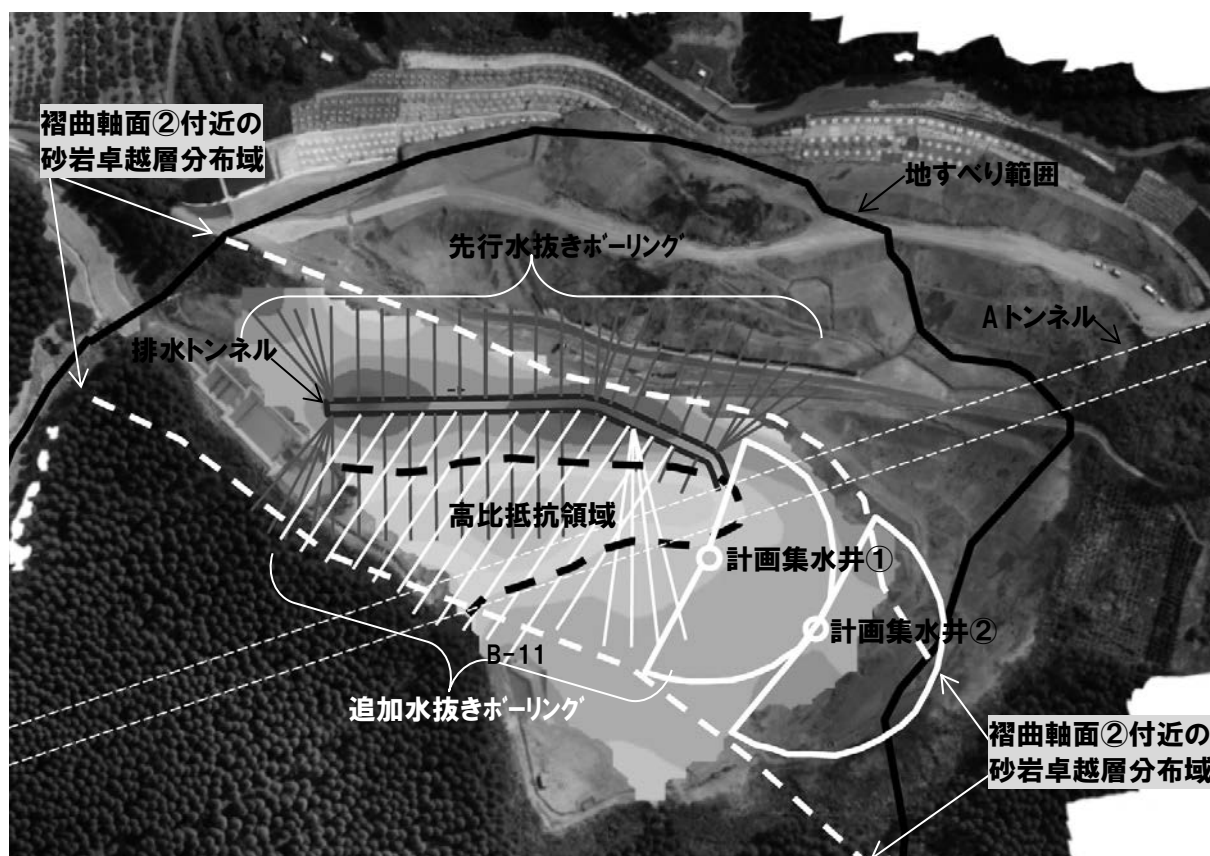


図 11 3次元電気探査結果スライス平面図（施工後・標高 150m）及び集水井計画配置図

3. マネジメントの効果

本事例は、施工中に発現した重大な地質リスクに対して、施工過程で得られた種々の情報を多角的に分析することで、地質リスク要因とリスクの発現メカニズムを明らかにし、地すべり対策工の見直し、設計、効果の判定を的確に行うことで、発現したリスクの最小化、新たなリスク発現の回避の可能性を検討した事例である。地質・地盤リスクのマネジメントにおいては、三次元での検討が不可欠であり、地表踏査やボーリング調査などの一次元、二次元の情報を三次元モデルに展開するためには、今回適用した三次元電気探査等の三次元物理探査技術の活用が非常に有効なツールとなる。

本事例では、今後、集水井戸等の地下水排除工をさらに増強するとともに、その効果を三次元で評価・可視化し、安定検討（三次元安定解析）につなげることで、頭部排土工を最小化し早期の事業完了（供用開始）を目指す方向性となった。

本発表では、事例の種類を D 型（A 型、B 型、C 型のマネジメントタイプに属さないタイプとして、リスクの検討内容について紹介するものとした。詳細なコスト比較は実施していないが、排土に際しては、重金属汚染度の処理費用等も加わるため、追加の地下水対策によるマネジメント効果は、数 10 億円、工期は 1～2 年の縮減が見込まれる。

〔論文 No. 13〕 施工段階における岩盤判定基準・岩盤掘削工法提案による地質リスク回避
ー東日本大震災被災住民の早期高台移転を目指してー

株式会社フジタ ○宇田川 義夫
(地質リスク・エンジニア 登録番号 57)

1. 事例の概要

東日本大震災の津波によって壊滅したT地区の高台移転先としての敷地造成工事において、当初想定されていた軟岩である砂質粘板岩の掘削範囲に中硬岩・硬岩である砂岩層が現れたため、地質リスクとして、岩盤判定に係わるリスク（工程遅延、コスト増大）ならびに岩盤掘削に係わるリスク（環境、安全、工程遅延、コスト増大）が想定された。

本事例は、追加調査ボーリング、岩盤状況の精査の実施ならびに地質リスクマネジメントをおこない、独自の岩盤判定基準と岩盤掘削工法の提案をおこない、地質リスクを回避し、工程短縮、コスト縮減を達成した事例である。

2. 事例分析のシナリオ

工事場所（以下「T団地」という）周辺には、中生代三畳紀の砂質粘板岩と砂岩が層状に分布している。4本の既往調査ボーリングの結果から、施工段階当初においては、軟岩である砂質粘板岩が全面的に分布しているとの想定から、一般的に軟岩掘削に使用されている油圧ブレイカーとリッパ付ブルドーザの組み合わせで掘削をおこなうようになっていた。

ところが表土を剥いだところ、砂質粘板岩の中に、非常に硬い砂岩の岩体を確認された。このため、掘削範囲における砂質粘板岩層と砂岩層の境界、砂岩層の地質状況（風化、亀裂状態）などの把握のため、追加調査ボーリングを2ヵ所で実施した。この追加調査ボーリングにより、砂岩層は、ほぼNS方向の走向で西側に35～45°傾斜しており、砂質粘板岩の地層の間を層厚10～20m程度で分布していることが判明した（図1）。

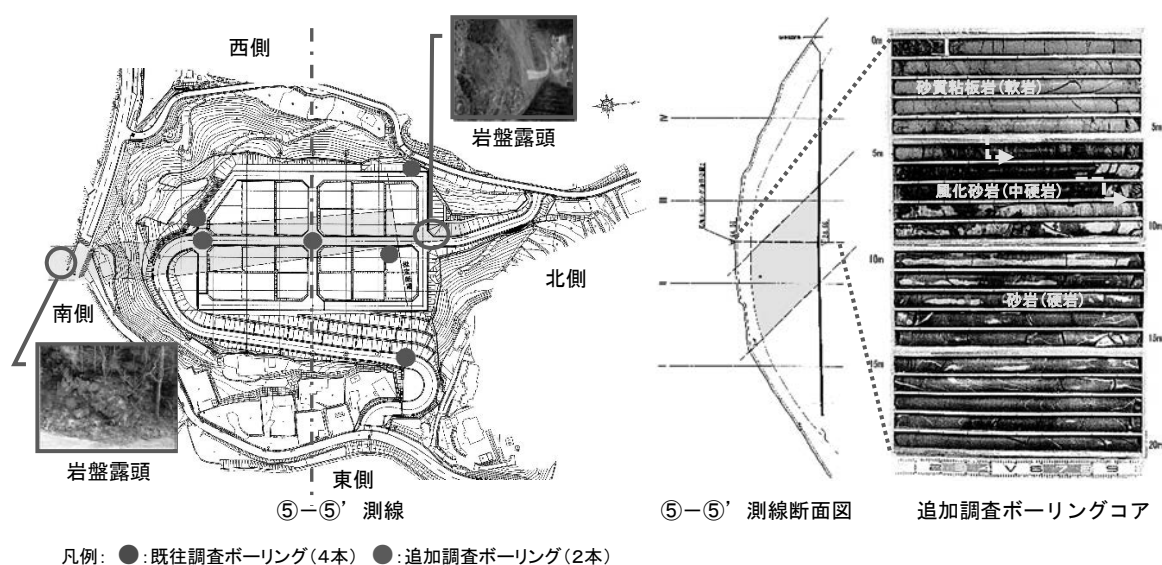


図1 砂岩層分布推定図

岩盤掘削は岩石の硬さによって掘削工法が異なってくるが、岩石の硬さだけでなく、岩盤の分布状態、風化程度、亀裂の発達程度、地形、施工ヤードの広さ等の各種条件によっても大きく変わってくる。

本事例では、軟岩、中硬岩ならびに硬岩の岩盤判定に係わるリスク（工程遅延、コスト増大）が内在している。さらに中硬岩・硬岩では、岩盤掘削に係わるリスク（環境、安全、工程遅延、コスト増大）も懸念されたことから、岩盤判定方法ならびに岩盤掘削工法についてリスクマネジメントをおこなう必要が生じた。

3. データ収集分析

(1) 岩盤判定に係わるリスク

岩盤の軟岩・中硬岩・硬岩の判定基準は、社団法人日本道路協会の道路土工要綱¹⁾で、岩盤の亀裂間隔と弾性波速度によって区分されている。また菊地による岩盤等級区分基準²⁾では、軟岩は一軸圧縮強度 $\sigma_c \leq 20\text{N/mm}^2$ 、中硬岩は $20\text{N/mm}^2 < \sigma_c < 80\text{N/mm}^2$ 、硬岩は $\sigma_c \geq 80\text{N/mm}^2$ と具体的な数値が示されている。このように、岩盤の軟岩・中硬岩・硬岩判定を客観的におこなおうとすれば、一軸圧縮強度試験や原位置での簡易弾性波速度試験をおこない、物性値を求めるしかないのが現状である。

従来の方法では、岩盤の硬軟判定をおこなうために、発注者の検査官が指定した箇所から岩石のコアをサンプリングし、一軸圧縮強度試験を行い、硬軟を判定していた。この方法では、結果が出るまでに時間と費用がかかるという、工程遅延リスクならびにコスト増大リスクがあった。そこで、従来の岩石試験による硬軟判定に代えて、現場で迅速かつ広範囲に実施できる、岩盤の強度（シュミットロックハンマー反発値）と岩盤の亀裂状態（ロックハンマーの打撃、亀裂間隔）による岩盤判定基準案（表1）を考案、発注者に提案した。

表1 岩盤判定基準案

岩盤の強度 岩盤の亀裂状態	シュミットロックハンマー反発値 33以下 $\sigma_c \leq 20\text{N/mm}^2$	シュミットロックハンマー反発値 33～64 $20\text{N/mm}^2 < \sigma_c < 80\text{N/mm}^2$	シュミットロックハンマー反発値 64以上 $\sigma_c \geq 80\text{N/mm}^2$
ロックハンマーの打撃で容易に割れる 全体に褐色を帯びており風化が進んでいる もの 亀裂間隔30cm以下（※参照）	軟岩	軟岩	
ロックハンマーの強い打撃で割れる 風化のあまり進んでいないもの 亀裂間隔30cm～50cm	軟岩	中硬岩	中硬岩
ロックハンマーの打撃で割れない 亀裂がまったく無いか、少ないもの 亀裂があっても密着の良いもの 亀裂間隔50cm以上		中硬岩	硬岩

※ 亀裂間隔 = $\frac{\text{走査線の長さ(cm)}}{\text{走査線と不連続面との交点の数}}$

（注）亀裂間隔の測定は、直線区間で、標準的な走査線の長さを200cmとし、不連続面とは、節理、亀裂などの岩石の強度や変形などの力学的な連続性を絶つ面のことであり、不連続面の本数には、褐色を帯びた開口性の亀裂をカウントする。不連続面とは見なされない、白色のカルサイト脈および密着した亀裂はカウントしない（図3参照）。

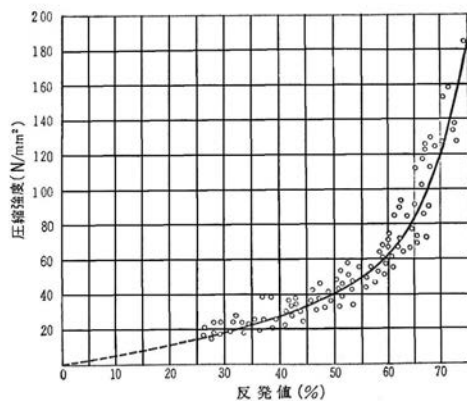


図2 圧縮強度とシュミットロックハンマー反発値との関係³⁾ (SI 単位に修正)



白色のカルサイト脈（黄色矢印）・・・連続面→カウント対象外
密着した亀裂（水色矢印）・・・連続面→カウント対象外
褐色を帯びた開口性の亀裂（赤色矢印）・・・不連続面→カウント対象

図3 不連続面(カウント対象)の考え方

(2) 岩盤掘削に係わるリスク

出現した砂岩の新鮮部では、ロックハンマーの打撃で金属音を発し、シュミットロックハンマー反発値も 70 以上であることから、一軸圧縮強度 $\sigma_c \geq 120 \text{ N/mm}^2$ 、弾性波速度 $V_p = 5.0 \text{ km/sec}$ 程度を示す硬岩であると判定された（図2参照）。リップパビリティに関しては、現場で配置可能なD8 クラスのリップ付きブルドーザでは、地山弾性波速度が 2.0 km/sec 程度が掘削限界値であり、 3.0 km/sec を超えると掘削が困難となる。岩盤中の亀裂が少なく、地山新鮮部の弾性波速度が $V_p = 5.0 \text{ km/sec}$ 程度とすると、リップ付きブルドーザによる掘削は不可能であると考えられた（土木研究所資料³⁾より判定）。

岩盤掘削においては、以下に述べる、環境リスク、安全リスク、工程遅延リスクならびにコスト増大リスクが想定された。

① 環境リスク

T団地の北東側には民家と県道 225 号が隣接し、南西側には国道 45 号線があることから、岩盤掘削時の騒音・振動には注意が必要であり、連続して大きな打撃音が発生する大型ブレイカーの台数を増やしての作業や、火薬を使用した発破による掘削工法は適さない。

② 安全リスク

硬岩が出現した時点では、まだ掘削作業がメインであったが、掘削作業の進捗に伴い、のり面工事、道路側溝工事、擁壁工事などの作業が始まるため、施工ヤード内に多数の重機、資機材、作業員が混在する。このため、大型重機を複数使用する工法は、狭いヤード内で作業効率を著しく低下させ、安全面のリスクも高くなる。

③ 工程遅延リスク

T団地の硬岩の分布を見ると、馬の背状に山の中心部に多く存在しており、盤が下がるに従い数量も増える見込みである。仮に硬岩掘削を、時間の掛かる大型ブレイカー工法のみで行うと、その他の軟岩掘削や法面整形などの作業機械が稼働できる範囲が狭いため、工程が大幅に遅れる恐れがあった。

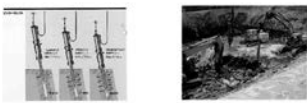
④ コスト増大リスク

発破工法を除くと、施工能力の高い工法は施工単価が高価になることが予想され、逆に施

工単価が安価な工法は施工能力が劣ることが予想される。しかしながら、施工能力が低い工法では工程が遅れ、昼夜突貫工事などで工程回復を余儀なくされた結果、施工単価が逆に高くなることも考えられた。

これらのリスクを最大限に回避することを念頭に、油圧割岩機工法と蒸気圧破碎剤工法のそれぞれについて比較検討した。この比較検討により、リスクが少なく、経済性に優れた蒸気圧破碎工法が最適であると判断し、発注者に提案した（表2）。

表2 岩盤掘削工法比較表

工 法	油圧割岩機工法	蒸気圧破碎剤工法
工 法 概 要	 大型クローラードリルで岩盤に削孔したφ100mm穴に、油圧クサビをバックホウで吊り下げて入れ、油圧でクサビを押し広げることでより割岩していく工法。	 岩盤をクローラードリルで削孔した孔に、カプセル状の蒸気圧破碎剤を装填し、着火具により反応させ蒸気化したガス圧による引張応力で岩盤を破砕する工法。
環境リスク（周辺への適用性）	△：割岩機による連続した騒音が発生	○：発破よりも騒音・振動が少ない。
安全リスク（施工場所への適用性）	×：使用施工機械が多く、狭小な施工ヤードでの施工は困難	○：小規模な施工ヤードでの施工が可能
工程遅延リスク（施工能力）	△：中硬岩84m ³ /日、硬岩48m ³ /日	○：中硬岩112m ³ /日、硬岩61m ³ /日
コスト増大リスク（施工単価）	×：中硬岩9,200円/m ³ 、硬岩15,000円/m ³	△：中硬岩8,300円/m ³ 、硬岩13,000円/m ³
総 合 評 価	×	○

4. マネジメントの効果

(1) 岩盤判定コスト

岩盤判定コストについて、VE手法により、従来の岩石試験による判定方法と改善案であるロックシュミットハンマー反発度と亀裂間隔長による方法（独自の岩盤判定基準）とを比較した（表3）。改善案である独自の岩盤判定基準の採用により、現場で迅速かつ広範囲に岩盤判定を実施でき、コストも大幅に縮減した（VE節約額2,633,250円、VE節約率92%）。

表3 岩盤判定コスト比較表

コストの比較	従来方法					改善方法				
	項目	数量	単位	単価	金額(円)	項目	数量	単位	単価	金額(円)
	岩石供試体採取	105	本	¥22,250	¥2,336,250	シュミットロックハンマーリース料	6	ヶ月	¥38,000	¥228,000
	一軸圧縮強度試験	105	本	¥5,000	¥525,000					
	合 計				¥2,861,250	合 計				¥228,000
特長	岩盤の硬軟判定をおこなうために、発注者の検査官が指定した箇所から岩石のコアをサンプリングし、一軸圧縮強度試験を行い、硬軟を判定する。この方法では、結果が出るまでに時間と費用がかかる。					従来の岩石試験による硬軟判定に代えて、現場で迅速に、広範囲に実施できる、				
VE節約額			¥2,633,250			VE節約率			92%	
改善案の留意点		掘削後、時間経過とともに、応力解放により岩盤が緩む。このため、岩盤検査時期によってシュミットロックハンマー反発値が変わり、硬軟判定に差異を生じる可能性がある。								

(2) 岩盤掘削コスト

中硬岩・硬岩掘削の施工能力から岩盤掘削の工程を比較すると、油圧割岩機工法を採用した場合は11ヶ月、蒸気圧破碎剤工法を採用した場合は8ヶ月となり、蒸気圧破碎剤工法の採用によって3ヶ月の工程短縮となった（表4）。

また岩盤掘削コストについては、

① 油圧割岩機工法の場合

中硬岩 $9,200 \text{ 円/m}^3 \times 6,540 \text{ m}^3 + \text{硬岩 } 15,000 \text{ 円/m}^3 \times 44,940 \text{ m}^3 = 734,268,000 \text{ 円}$

② 蒸気圧破碎工法の場合

中硬岩 $8,300 \text{ 円/m}^3 \times 6,540 \text{ m}^3 + \text{硬岩 } 13,000 \text{ 円/m}^3 \times 44,940 \text{ m}^3 = 638,502,000 \text{ 円}$ となり、岩盤掘削コストは、差し引き 95,766,000 円のコスト縮減となった。

(3) トータルコスト

上記(1)(2)を合わせると、トータルで 98,399,250 円のコスト縮減を達成した。

表4 工程表(上:油圧割岩機工法の場合、下:蒸気圧破碎剤工法の場合)

工種	数量	2014年								2015年				
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
油圧割岩機工法														
岩盤掘削 軟岩	残 109,000m ³													
岩盤掘削 中・硬岩	残 51,480m ³													
	計 160,440m ³													
蒸気圧破碎剤工法														
岩盤掘削 軟岩	残 109,000m ³													
岩盤掘削 中・硬岩	残 51,480m ³													
	計 160,440m ³													

5. データ様式の提案

本事例について「地質リスクを回避した事例（A型）」として表5にデータ様式を提案する。想定された地質リスクの回避に取り組み、最終的に工期短縮、コスト縮減を達成したことは大きな喜びであるが、それ以上に、東日本大震災の津波で住居を失い被災された住民の皆様に、安心して暮らせる高台移転先を早期に提供できたことが最大の喜びである。

後日談として、T団地では宅盤沈下、路面陥没や巨石混入等のトラブルもなく、住民の方々は安心して平穏な生活を送っているとのことである。今後とも、“公衆の安全、健康、財産、福利”を守ることを第一義とし、地質技術者としての職務に専念していく所存である。

引用文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路土工要綱（平成21年度版）、p.85、2009.6.
- 2) 菊地宏吉：地質工学概論、土木工学社、pp106-107、1990.1.
- 3) 土木研究所：土研資料1184号 岩石掘削工法に関する試験調査ーリッパ掘削に関する実験的研究ー、1977.2.

表5 地質リスクを回避した事例(A型)

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者	宮城県〇〇郡〇〇〇町	
	工事名	防災集団移転(T団地)敷地造成工事	
	工種	宅地造成工事	
	工事概要	東日本大震災によって壊滅したT地区の高台移転先の宅地造成工事	
	① 当初工事費(油圧割岩工法を採用した場合)	734,268,000円(岩盤掘削コスト)+2,861,250円(岩盤判定コスト)=737,129,250円	
	① 当初工期(同上)	11ヶ月	
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	施工段階(表土掘削後)	
	予測されたトラブルおよび回避した事象	岩盤判定に係わるリスク(工程遅延・コスト増大) 岩盤掘削に係わるリスク(周辺環境への影響・安全性の低下・工程遅延・コスト増大)	
	工事への影響	工程遅延・コスト増大	
	判断した時期	追加調査ボーリング、現地精査後	
リスク管理の実際	判断した者	発注者、施工業者(地質技術者)	
	判断の内容	岩盤判定基準・岩盤掘削工法の提案	
	判断に必要な情報	シュミットロックハンマー反発値、ロックハンマー打撃、亀裂間隔	
	判断に必要な情報	シュミットロックハンマー反発値、ロックハンマー打撃、亀裂間隔	
リスク対応の実際	内容	追加調査	オールコアボーリング2ヶ所 計35m
		修正設計	—
		対策工	—
	費用	追加調査	1,000,000円(①、③ともに必要な費用)
		修正設計	—
		対策工	—
		② 合計	1,000,000円(①、③ともに必要な費用)
変更工事の内容	工事変更の内容	岩盤判定方法、岩盤掘削工法	
	③ 変更工事費(蒸気圧破碎工法)	638,502,000円(岩盤掘削コスト)+228,000円(岩盤判定コスト)=638,730,000円	
	③ 変更工期(同上)	8ヶ月	
	間接的な影響項目	被災者の早期移転	
	受益者	東日本大震災T地区被災住民	
	費用((①+②)-(③+②))	98,399,250円	
リスクマネジメントの効果	工期(①-③)	3ヶ月	
	その他	被災住民早期移転に伴う費用対効果	
	その他	被災住民早期移転に伴う費用対効果	

[論文 No. 14]

河川堤防の浸透対策における地質リスクの評価と被災メカニズムに応じた対策工検討

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 東北支社 ○茂木 太郎

1. 事例の概要

本事例は、河川堤防の浸透対策において、適切に評価した地質リスク（裏法尻付近の被覆土層厚の分布）に応じて、追加の調査・解析（三次元浸透流解析により対策効果を定量的に評価）を行い、最適工法を検討したものである。

河川堤防の浸透対策においては、堤体・基礎地盤の水理特性の把握が必要不可欠となる。特に、堤防裏法尻付近の被覆土の有無については、被災メカニズム（漏水による堤防の浸透破壊）に大きく関与するため、精緻な調査・検討が求められる。

表 1 浸透に対する安全性の照査基準¹⁾

項目	部位	照査基準
パイピング破壊（浸透破壊）に対する安全性	被覆土なし	$i < 0.5$ i ：裏のり尻近傍の基礎地盤の局所動水勾配の最大値
	被覆土あり	$G/W > 1.0$ G ：被覆土層の重量 W ：被覆土層基底面に作用する揚圧力

被覆土の有無により、被災メカニズム・照査方法が異なる

被覆土なし

$$i_v = \frac{\Delta \phi}{d_v} = \frac{\Delta \phi - d_v \cdot \rho_w}{d_v} \quad (\text{鉛直方向})$$

$$i_h = \frac{\Delta \phi}{d_h} = \frac{\Delta \phi}{d_h} \quad (\text{水平方向})$$

ここに、
 i_v ：鉛直方向の局所動水勾配
 i_h ：水平方向の局所動水勾配
 $\Delta \phi$ ：節点間の全水頭差(m)
 d_v ：節点間の鉛直距離(m)
 d_h ：節点間の水平距離(m)
 ρ_w ：水の密度 ($\rho_w = 1.0 \text{ t/m}^3$)

被覆土（裏のり尻近傍の堤内地盤の表層が粘性土で被覆）あり

$$G/W = (\rho_t \cdot H) / (\rho_w \cdot P) > 1.0$$

ここに、
 G ：被覆土層の重量 (t/m^2)
 W ：被覆土層基底面に作用する揚圧力 (t/m^2)
 ρ_t ：被覆土層の密度 (t/m^3)
 H ：被覆土層の厚さ (m)
 ρ_w ：水の密度 (t/m^3)
 P ：被覆土層基底面の圧力水頭（全水頭と位置水頭の差） (m)

当該地は、概ね透水性の堤体・基礎地盤となる。ただし、堤内地盤の表層は粘性土であるため、鉛直方向の浸透破壊に対しては、 G/W （基盤漏水による盤ぶくれ破壊）による照査が必要となる。

堤内地盤の表層について、既往調査では、砂質土と評価して局所動水勾配に対する照査としていたが、実際には粘性土であったため、揚圧力に対する照査が必要となる

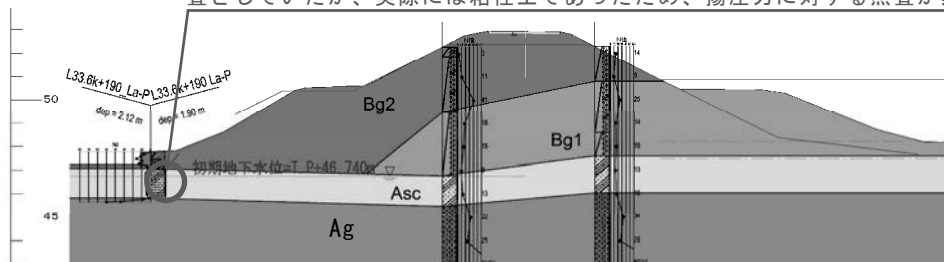


図 1 想定地質断面図

そのため、裏法尻付近の被覆土層について、横断方向・縦断方向で詳細に調査を行い、被災に係る地質リスク（裏法尻付近の被覆土層厚の分布）の抽出を行った。

本事例では、地質リスクに応じた最適工法として、従来工法（連続配置によるドレーン工法）に替わる代替工法（離散配置によるウェルドレーン工法）を採用したことで、建設コスト縮減に寄与した。

2. 事例分析のシナリオ

河川堤防の浸透対策においては、適切に地盤条件を評価した上で、被災に係る地質リスクと対応する対策工の効果を定量的に評価することが重要である。

本事例では、地質リスク（裏法尻付近の被覆土層厚の分布）を明らかにして、最適工法を検討し、対策工を施工することで被災（漏水による堤防の浸透破壊）を回避した事例であり、事例の種類はA型（地質リスクを回避した事例）に分類される。

本事例分析のシナリオについて、下記のフローにて示す。

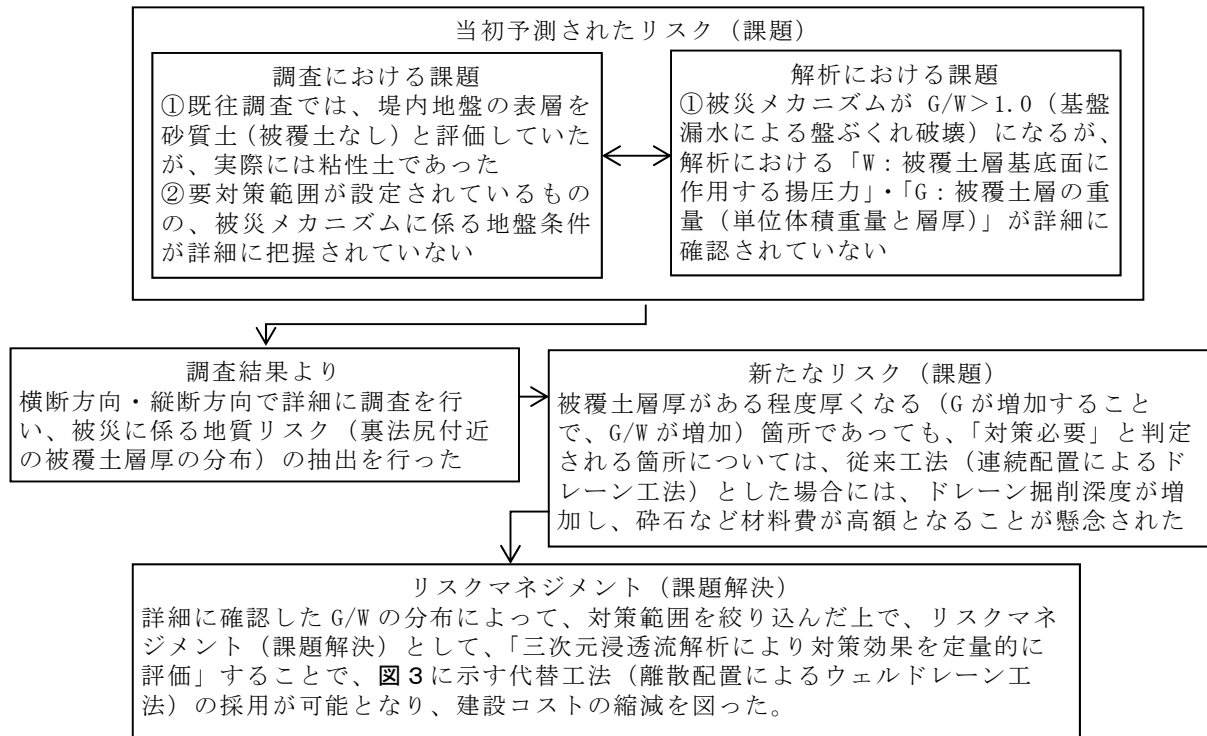


図2 事例分析の流れ

従来工法（連続配置によるドレーン工法）

被覆土層厚が厚い場合には、碎石などが大量に必要⇒材料費が高額となる

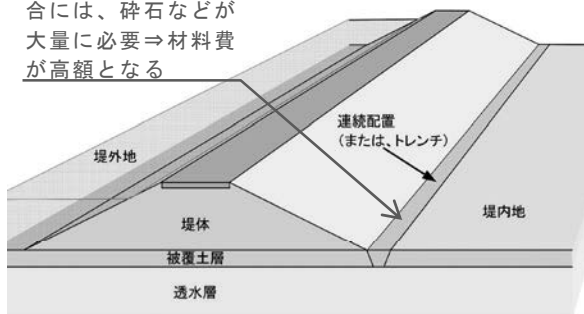


図1.3 連続配置（または、トレンチ）の概念図

代替工法（離散配置によるウェルドレーン工法）

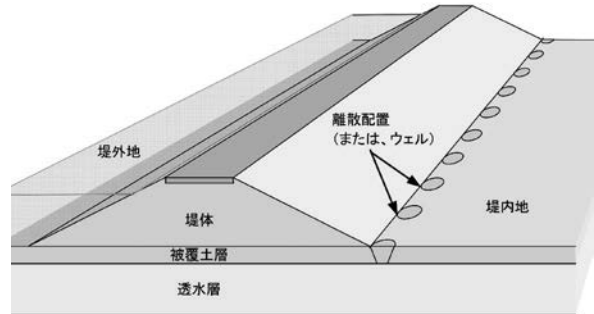


図1.4 離散配置（または、ウェル）の概念図

図3 G/W （基盤漏水による盤ぶくれ破壊）における対策工の型式²⁾

（左：連続配置（またはトレンチ）・右：離散配置（またはウェル））

(1)被災（漏水による堤防の浸透破壊）メカニズムの検証（浸透対策工の必要性検討）

河川水位の上昇に伴い透水層内の水圧が高まり、被覆土層を押し上げる力（揚圧力）が作用することで、堤内地の被覆土層が膨らむように盤ぶくれし、被覆土層の突き破りや水・土砂の噴出等が発生する。

この揚圧力 W は、透水層の透水係数が高いほど、河川水位と堤内地盤高の水位差が大きいほど、大きくなる。

一方、被覆土層の重量 G は、被覆土層の層厚が厚いほど、被覆土層の単位体積重量が大きいほど、大きくなる。

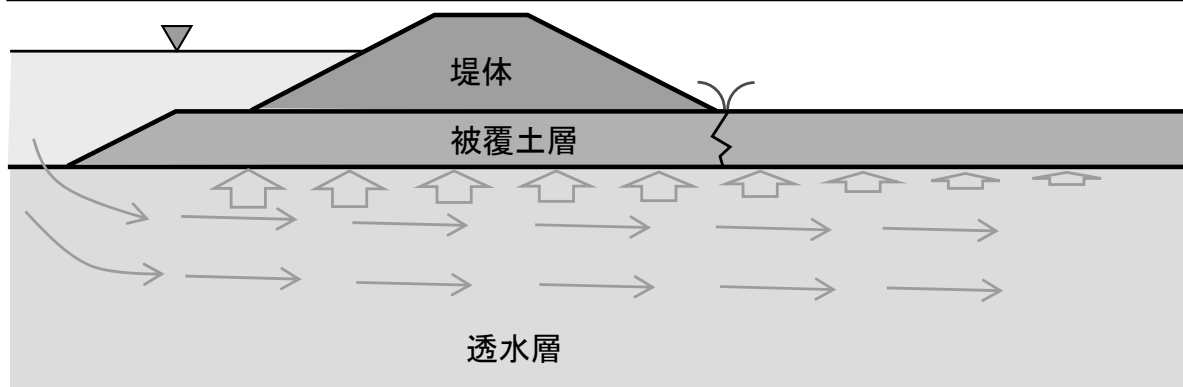
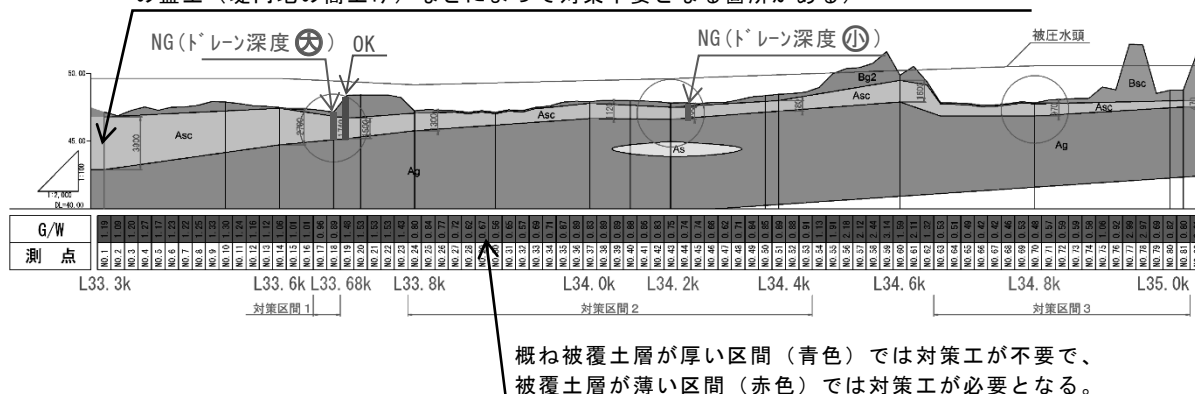


図4 被災メカニズム（基盤漏水による盤ぶくれ破壊）の概念図

浸透対策工の必要性検討においては、被覆土の層厚がクリティカルな条件になったことから、堤防横断方向と特に縦断方向にかけて、追加で詳細調査を行った。堤防裏法尻付近の被覆土層厚の分布について、**図 5**に示す。

堤防縦断方向における被覆土層（水色）の分布
（概ね下流側に向かって層厚が厚くなるが、長い堤防延長においては、被覆土の上位の盛土（堤内地の嵩上げ）などによって対策不要となる箇所がある）



*対策要否の判定（OK・NG）については、区間毎の代表断面での照査結果による

図5 堤防裏法尻付近の被覆土層厚の詳細調査結果

(2) 地質リスクに応じた最適工法の検討

調査・解析結果より、「被覆土が比較的厚くなる箇所であっても、（被覆土層厚が 3m 以上となれば対策不要となるが）対策必要と判定された箇所については、従来工法（連続配置によるドレーン工法）とした場合には、碎石などが大量に必要となり、材料費が高額になる」という新たなリスク（課題）が挙げられた。

そこで、リスクマネジメントとして、「三次元浸透流解析により対策範囲を定量的に評価」することで、地質リスク（裏法尻付近の被覆土層厚の分布）に応じて、最適な対策工法を検討した。

具体的には、従来工法に対して、碎石などの材料が低減できる「離散配置によるウェルドレーン工法」が検討対象として選定された。ただし、代替工法は、試行工法であったため、三次元浸透流解析による定量的な評価を行うことで、採用に至った。

図 6 に示す通り、離散配置によるウェルドレーンをモデル化した三次元浸透流解析において、ウェルドレーンの径とドレーン間の離隔を複数ケース計算することで、最も材料費が安価となるウェルドレーンの条件（径と離隔）を設定することが可能となった。

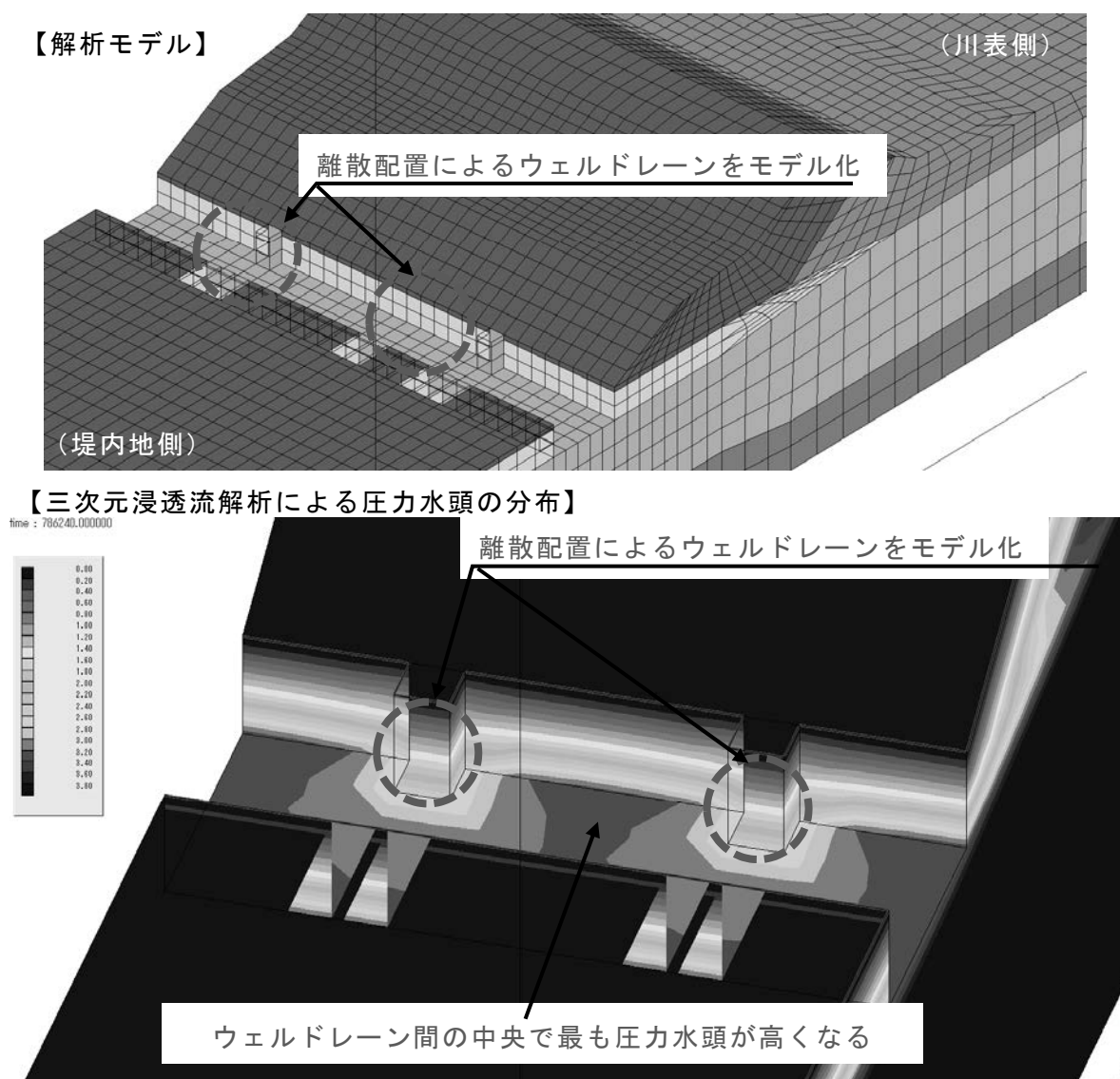


図 6 離散配置によるウェルドレーン工法の浸透流解析

4. マネジメントの効果

本事例では、地質リスク（裏法尻付近の被覆土層厚の分布）を明らかにして、最適工法を検討し、対策工を施工することで被災（漏水による堤防の浸透破壊）を回避した事例である。

本事例では、対策延長が長く、従来工法（連続配置によるドレーン工法）では対策費用が高額となるリスクが新たに挙げられたことから、従来工法に替わる代替工法（離散配置によるウェルドレーン工法）について、三次元浸透流解析による定量的な評価によって適用可とした。

よって、ここでは、リスクマネジメント効果としては、「①従来工法での工事費-②本事例における調査・解析検討費-③本検討によって採用された離散配置によるウェルドレーン工法」として評価し、データ様式 A 型で整理した。

【参考文献】

- 1) (財)国土技術研究センター；河川堤防の構造検討の手引き(改訂版), P47, 平成 24 年 2 月
- 2) (国研)土木研究所；堤内基盤排水対策マニュアル(施行版), P4, 平成 29 年 1 月

5. データ様式の提案

本事例では、①を従来工法での工事費とし、②を本事例における調査・解析検討費、③を本検討によって採用された離散配置によるウェルドレーン工法の工事費として整理した。

表2 データ様式（A. 地質リスクを回避した事例）

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		---
	工事名		---
	工種		河川堤防改修
	工事概要		河川堤防改修工事
	①当初工事費		240,000 千円
	当初工期		---
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		---
	予測されたトラブル		---
	回避した事象		---
	工事への影響		---
リスク管理の実際	判断した時期		詳細設計時
	判断した者		地質調査担当者
	判断の内容		被災メカニズムを踏まえて、裏法尻付近の被覆土層厚を詳細に確認する必要があると判断
	判断に必要な情報		被覆土層厚の分布
リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング調査、簡易貫入、三次元浸透流解析
		修正設計	---
		対策工	---
	費用	追加調査	5,000 千円
		修正設計	詳細設計で修正
		対策工	---
		②合計	5,000 千円
変更工事の内容	工事変更の内容		離散配置によるウェルドレーン工法
	③変更工事費		180,000 千円
	変更工期		---
	間接的な影響項目		
	受益者		
リスクマネジメントの効果	費用（①－③－②）		55,000 千円
	工期		---
	その他		---

【論文No. 15】地盤改良における発現強度が極めて小さい砂質土への対応事例

川崎地質株式会社 北陸支店 ○栗林 正樹

川崎地質株式会社 北陸支店 樫淵 俊樹

1. 事例の概要

一般に、セメントによる地盤改良工において、改良対象が砂質土の場合は、強度が発現しやすいと言われている。しかし、当該地区に分布する砂質土は、極めて発現強度が小さく、通常の添加量では目標強度を確保できない地質リスクが発生した。本報告では、この地質リスクに対し、「発現強度が小さい原因を特定するための各種分析」および「目標強度を確保するための検討(配合試験)」を実施し、当該砂質土の地盤改良工に対応した事例について述べる。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 地盤改良工法と目的

当該地区では、軟弱地盤上に盛土が計画されており、「液状化対策」および「難透水ゾーンの構築」とともに「トラフィカビリティの確保」が必要であった。そのため、地盤改良の目標強度を以下のとおり設定した。

目標室内強度： $q_u=250(\text{kN/m}^2)$ [室内:現場=2.5:1]
普通ブルドザ(15t)におけるトラフィカビリティ $100(\text{kN/m}^2)$ の確保($100[\text{kN/m}^2]$)

地盤改良工法は、軟弱地盤解析の結果において改良規模が浅層・中層域となること、および改良区間が風の強い田園地帯である地形・環境条件を考慮してパワーブレンダーによる地盤改良を採用した。

本工法は、原位置土とセメント系固化材に水を加えたスラリーを鉛直に攪拌混合して改良体を造成する地盤改良工法であり、高品質かつ低コスト改良を可能とし、併せて、施工性を確保していることから、近年普及が著しい地盤改良工の1つである。

(2) 当該砂質土の問題点

当該砂質土は火山灰質であり、見かけ団粒状を呈するが、写真1に示すように指圧で潰すことで細粒化する特徴を有する。また、その細粒化した試料を観察すると「比較的粒径が揃っている」ことが確認された。

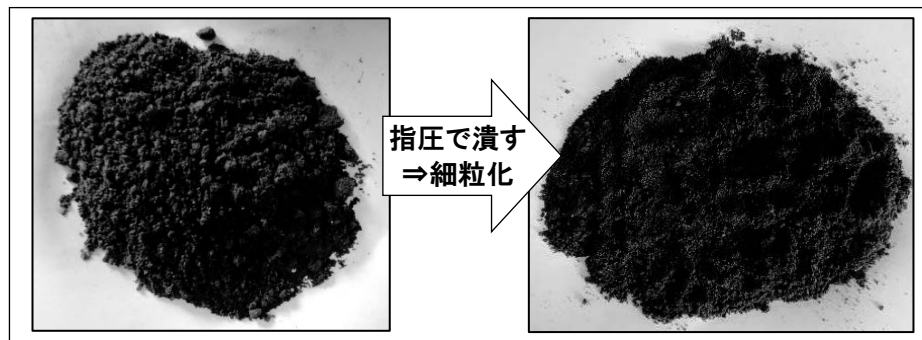


写真1 当該砂質土の攪拌による細粒化

図 1 に、当該砂質土の問題点および必要な検討（事例分析）を示す。

当該砂質土は、通常の固化材・添加量では目標強度を確保できない問題が判明した。なお、水セメント比を低下させても目標強度を満足できなかった。そのため、この問題に対して、目標強度を確保できない原因の追究および目標強度を確保できる改良仕様の検討が必要となった。

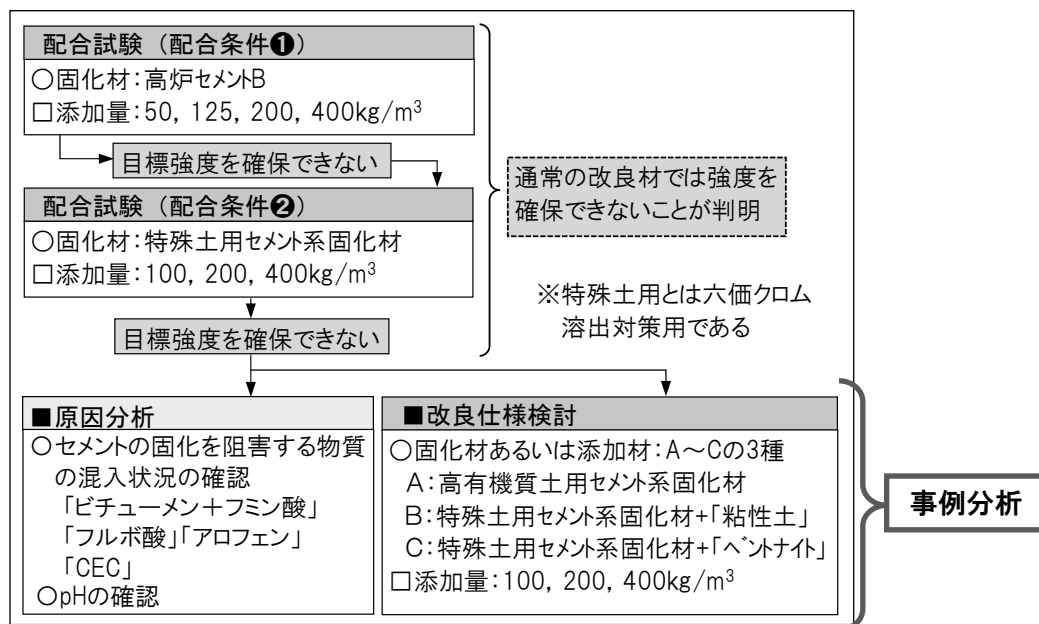


図 1 当該砂質土の問題点および必要な検討（事例分析）

3. データ収集分析

(1) 原因分析結果

発現強度が小さい原因として、セメントが固化しない成分が当該砂質土に含まれている可能性があった。そのため、本分析では、セメント固化を阻害する物質として考えられる有機物（ピチューメン、フミン酸およびフルボ酸等の腐植物）、アロフェンおよびCEC（陽イオン交換容量）の含有量と併せて、当該砂質土が示す土のpHの影響の把握を試みた。

表 1 に、化学的成分分析結果一覧表を示す。

表 1 化学的成分分析結果一覧表

分析項目		単位	当該砂質土の含有量・pH	セメント固化を阻害する含有量・pH
腐植物	ピチューメン	%	<0.1	10% (ピチューメン+フミン酸)
	フミン酸	%	0.8	
	フルボ酸	%	3.4	10%
アロフェン		%	18.5	35%
CEC（陽イオン交換容量）		cmol(+)/kg	6.7	>10cmol(+)/kg (通常5~10cmol(+)/kg)
pH		-	4.93	<4.5

① 腐植物

分析の結果、ビチューメンおよびフミン酸の含有量が約1%、フルボ酸の含有量が3.4%となった。これより、図4に示すとおり、腐植物の含有量が10%以上で発現強度への影響が大とされることから、当該砂質土に含有する腐植物は、固化を明らかに阻害する量ではないことが判明した。

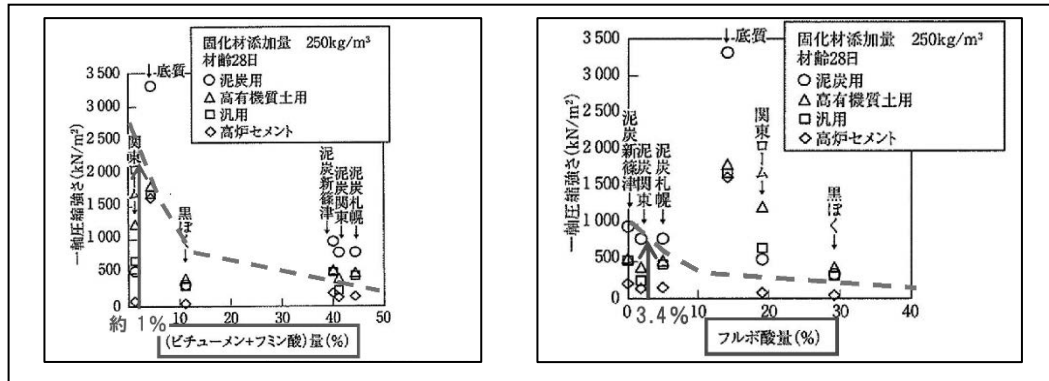


図4 腐植物含有量の分析結果

② アロフェン

分析の結果、アロフェンの含有量が18.5%となった。これより、図5に示すとおり、含有量35%以上で発現強度への影響が大とされることから⁴⁾、当該砂質土に含有するアロフェンは、固化を明らかに阻害する量ではないものの、ある程度の影響を及ぼすと考えられる含有量であった。

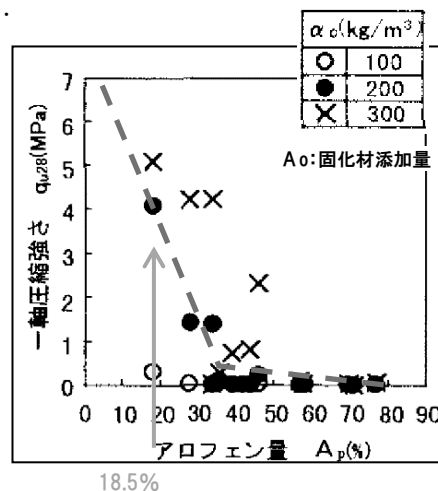


図5 アロフェン含有量の分析結果

③ CEC (陽イオン交換容量)

分析の結果、CECの含有量は、6.7cmol(+)/kgであった。これより、通常の砂質土が有するCECが5~10cmol(+)/kgであることから、当該砂質土に含有するCECは固化を明らかに阻害する量ではないことが判明した。

④ 土のpH

分析の結果、pH値は4.93であった。これより、当該砂質土のpHは強度の発現に影響を及ぼす酸性度 (pH<4.5) に該当しないことが判明した。

⑤ 過剰な水分

当該地盤改良は、難透水ゾーンの構築（所定の透水係数の確保）および現場周辺環境の観点から、改良材はスラリー添加となる。そこで、これに伴う過剰な水分がセメント固化を阻害する原因の一因であると推察し、水セメント比を変化させた配合試験を試みた。

図6に、スラリー添加時の水セメント比を変化させた配合試験結果を示す。

試験の結果、水の減量により発現強度が向上したことを確認した。したがって、本試験結果は、過剰な水分がセメント固化を阻害する一因であることを示唆する結果であると考えられる。

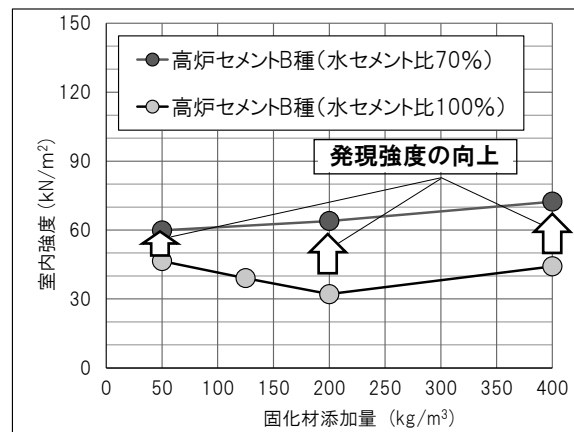


図6 水セメント比を変化させた配合試験結果

(2) 改良仕様検討結果

発現強度が小さい（セメントが固化しない）原因は、下記に示す事項の複合的な作用と推察した。

- ・当該土に含まれるアロフェン（セメント固化を阻害する成分）が一定の影響を及ぼす含有量であること。
- ・スラリー添加に伴う過剰な水分を分散しきれないこと。

以下、上記の原因を検証するため、原因を考慮した改良材による改良仕様検討を行った。表2に、検討に用いた改良材を示す。

表2 強度を確保するための改良仕様検討に用いた改良材

改良材 A: 高有機質土用セメント系固化材
改良材 B: 特殊土用セメント系固化材+粘性土(混合量10, 20%)
改良材 C: 特殊土用セメント系固化材+ベントナイト(混合量5, 10%)

図7に、改良仕様の検討結果を示す。

図より、高有機質土用セメント系固化材の使用は、「セメント固化を阻害する成分」および「過剰な水分」に対応できたため、強度の発現性が良化した試験結果を得た。また、粘性土やベントナイトの混合においても、「過剰な水分」に対応できたため同様の結果が得られた。以上より、本検討に用いた改良材は目標強度を満足する仕様と判断される。

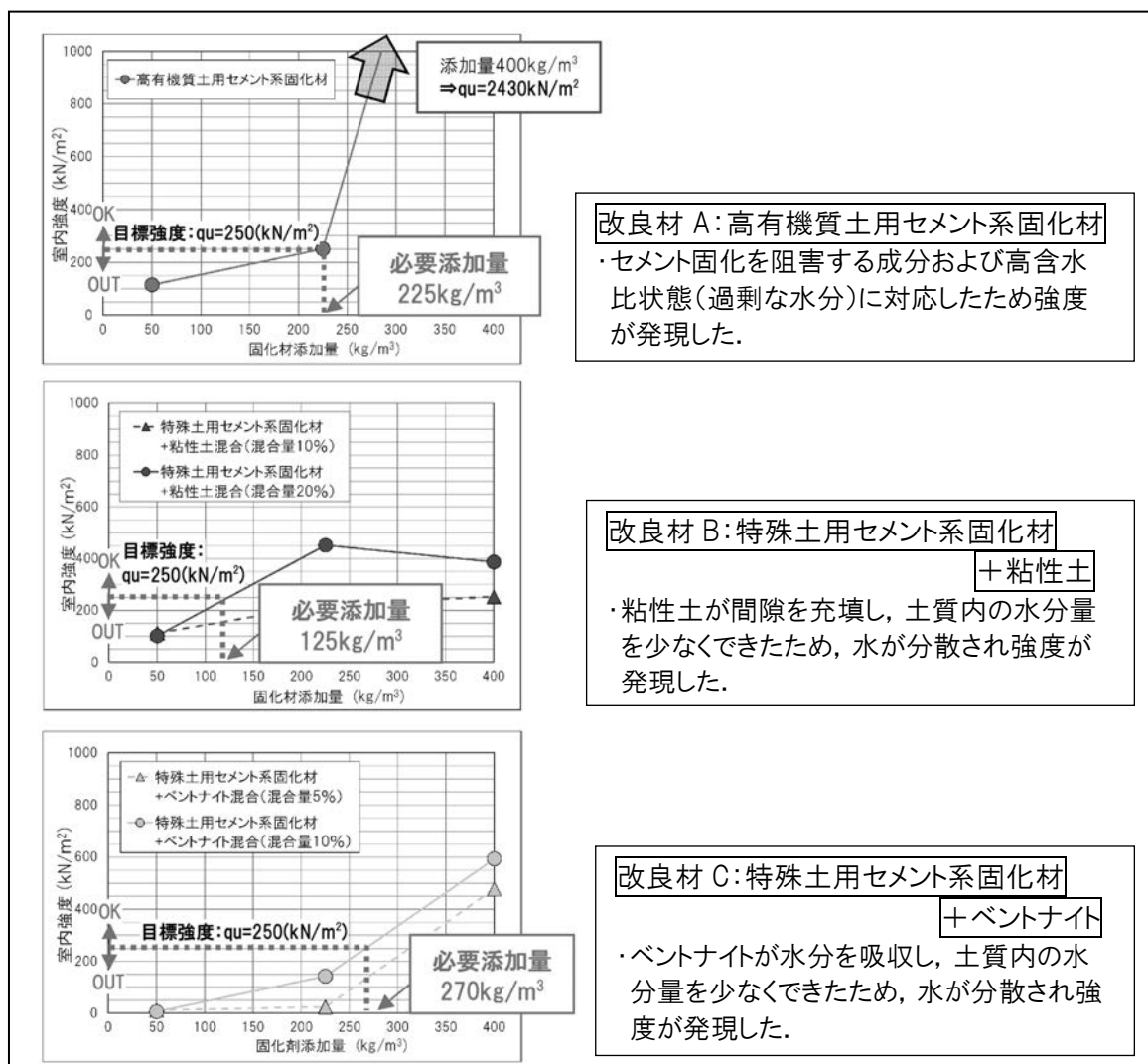


図7 強度を確保するための改良仕様検討結果(配合試験結果)

4. マネジメントの効果(当該砂質土に対応した改良仕様)

検討の結果、最終的な改良仕様としては、表3に示すとおり、最も経済的である「高有機質土用セメント系固化材」を採用することを提案した。以上より、マネジメント効果としては、改良土量が10万 m³と仮定すると、約74,000千円の効果があることが試算される。

$$[\text{マネジメント効果}] = [\text{リスク発生時の改良費}] - ([\text{リスク対策検討費}] + [\text{採用した改良費}]) \\ = 1,120,000 \text{千円} - (5,000 \text{千円} + 375,000 \text{千円}) = 740,000 \text{千円}$$

※なお、上記のマネジメント効果には「機械運搬組立費」や「施工段階の現場配合試験費」を計上していない

表3 改良仕様における経済比較表

改良材の種類			経済性	評価
リスク発生時	特殊土用セメント系固化材 ([推定]必要添加量800kg/m ³)		11,200円/m ³	—
検討結果	A	高有機質土用セメント系固化材	3,750円/m ³	◎ 【採用案】
	B	特殊土用セメント系固化材 + 粘性土(混合量20%)	5,050円/m ³	○
	C	特殊土用セメント系固化材 + ベントナイト(混合量10%)	11,290円/m ³	△

5. データ様式

本事例を「発現した地質リスクを最小限に回避した事例（C型）」として下表（データ様式）に整理した。

C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目	データ	
対象工事		発注者	北陸地方整備局新潟国道事務所	
		工事名	朝日温海道路 地盤改良工事	
		工種	地盤改良	
		工事概要	重金属対策(難透水ゾーンの構築)かつ高規格道盛土の安定を目的とした地盤改良	
		①当初工事費	—(改良仕様が未決定のため)	
		当初工期	—	
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期	調査段階(配合試験)	
		トラブルの内容	当該地盤がセメント固化しないこと	
		トラブルの原因	過剰な水分 セメント固化を阻害する成分	
		工事への影響	—	
	追加工事の内容	追加調査の内容	リスク対策検討(成分分析,配合試験)	
		修正設計内容	—	
		対策工事	—	
		追加工事	—	
		追加費用	追加調査	5,000千円
			修正設計	—
			対策工	—
			追加工事	—
			②合計	5,000千円
		延長工期	—	
間接的な影響項目	—			
負担者	発注者			
最 小 限 に 回 避 し た リ ス ク	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	施工段階	
		予測されたトラブル	添加量が極めて多量となること	
		回避した事象	多額の施工費	
		工事への影響	施工段階における改良仕様検討	
	リスク管理の実際	判断した時期	調査段階	
		判断した者	調査業者	
		判断の内容	当該地盤に対応した改良仕様	
		判断に必要な情報	改良仕様検討結果(配合試験結果)	
	リスク対応の実際	内容	追加調査	—
			修正設計	—
			対策工	地盤改良(高有機質土用セメント系固化材)
		費用	追加調査	—
			修正設計	—
			対策工	—
			③合計	375,000千円
	回避しなかった場合	工事変更の内容	添加量が極めて多量となる地盤改良	
		④変更後工事費	1,120,000千円	
		変更後工期	—	
		間接的な影響項目	—	
		受益者	—	
リスクマネジメントの効果		費用④－(①+②+③)	740,000千円	
		工期	—	
		その他	—	

【論文No. 16】 矢板式護岸の耐震性能照査時に発生した地質リスク評価事例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 中部支社 ○山名 真広
基礎地盤コンサルタンツ株式会社 中部支社 五十嵐 央

1. 事例の概要

矢板式護岸の耐震性能照査業務において、一部の護岸構造が不明な範囲に軟弱層が厚く堆積していることが明らかとなった(図1参照)。隣接範囲の護岸構造を基にモデル化すると、軟弱地盤が厚く分布しているため矢板の根入れ不足が生じ、地震時地盤変形の抑制効果が期待できないことが想定され、対策規模が大きくなることが予想された。本稿では、非破壊探査や試掘調査の提案・実施により護岸構造を明らかにした上で耐震性能照査を実施し、耐震対策費用を低減した事例を報告する。

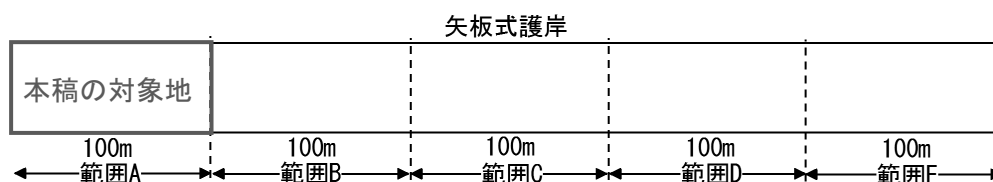


図1 対象地の簡易平面図

2. 事例分析のシナリオ

(1) 範囲Aの護岸構造について

範囲Aは、護岸構造等の情報が不十分であったため、図2に示す隣接範囲の標準断面図を参考にすることとした。

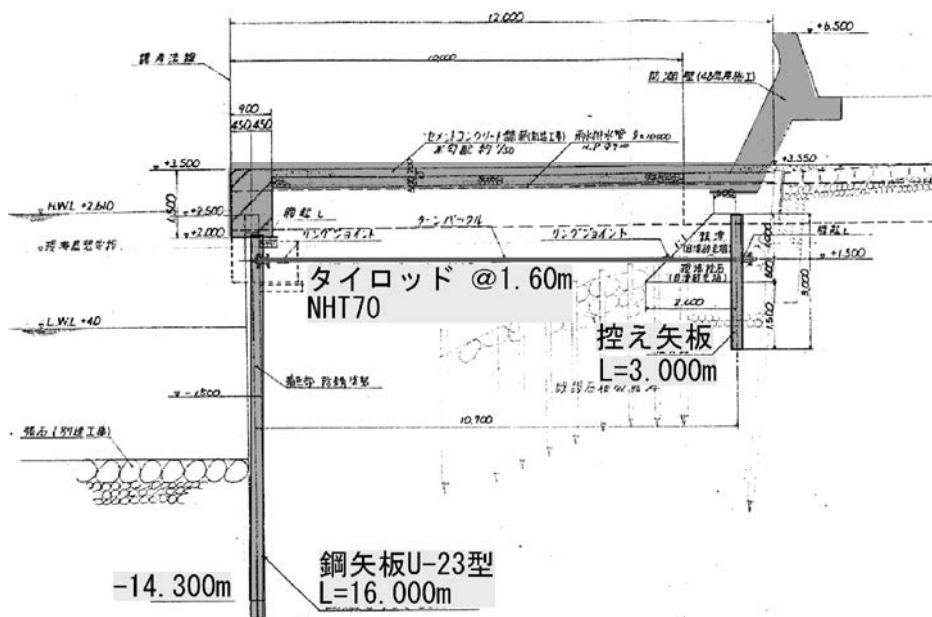


図2 隣接範囲の護岸標準断面図

(2) 発現したリスクについて

図3に範囲A～範囲Bの地層想定縦断面図を示す。地質調査結果から範囲Aは、比較的N値が高い第三紀層の傾斜によって範囲Bよりも軟弱な沖積層が厚く堆積していることが明らかとなった。そのため、図2に示した隣接区間の標準断面を基にした鋼矢板長では、軟弱な沖積粘性土層(Ac)に鋼矢板が根入れされている可能性があった。

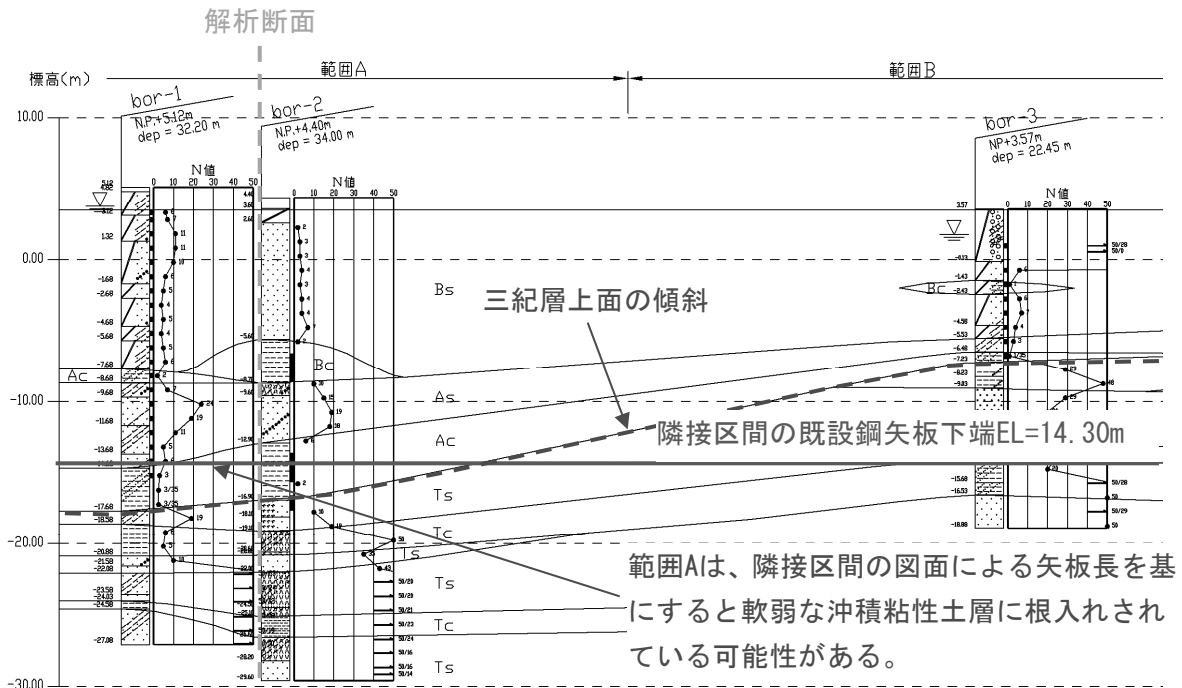


図3 地層想定縦断面図から読みとったリスク

(3) 提案した追加調査

提案した調査内容は、表1に示すとおりである。鋼矢板長を把握するためにインティグリティ試験を実施し、タイロッドについては試掘による目視確認や延長を把握するための磁気検層を提案し、実施した。

表1 提案した追加調査内容

構造物	提案した調査	目的
鋼矢板	インティグリティ試験	鋼矢板長の把握
タイロッド	磁気検層 試掘調査	分布・延長の確認

(4) シナリオ

現状では、鋼矢板の根入れ不足によって地震時地盤変形の抑制効果が期待できないことが想定され、対策規模が大きくなる可能性があった。しかし、鋼矢板が軟弱地盤に根入れされているとは考えにくく、表1に示した追加調査結果によって既設構造物の情報等を把握することで、液状化による耐震対策費用を低減できる可能性があると考え、追加調査結果反映の有無を比較し、耐震解析の試算を行った。

3. データ収集分析

(1) 追加調査結果の報告

① 鋼矢板長の把握を目的としたインティグリティ試験結果

範囲Aにおける既設鋼矢板の長さを把握するために、インティグリティ試験を実施した。図4に示したインティグリティ試験結果から、鋼矢板長は21.6m程度と予測され、沖積粘性土層ではなく比較的N値が高い第三紀層(Ts)に根入れされている可能性が高いことが明らかとなった。

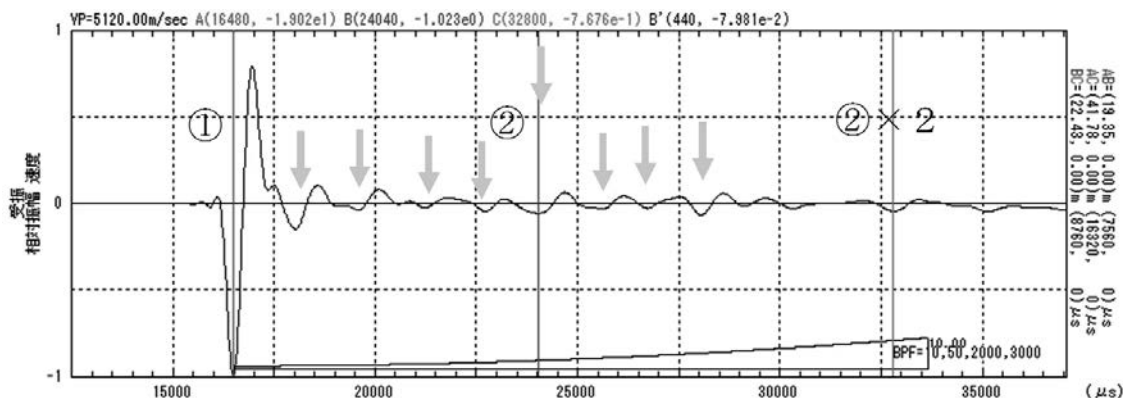


図4 鋼矢板のPIT探査結果

② タイロッドの分布確認を目的とした磁気検層及び試掘調査

タイロッドの分布、延長を把握するために、試掘調査、ボーリング、磁気検層を実施した。試掘調査結果と磁気検層結果を図5に示す。この結果からタイロッドの目視確認や想定していたタイロッドの深度付近で明瞭な磁気反応が得られたため、範囲Aにはタイロッドが分布していると判断した。

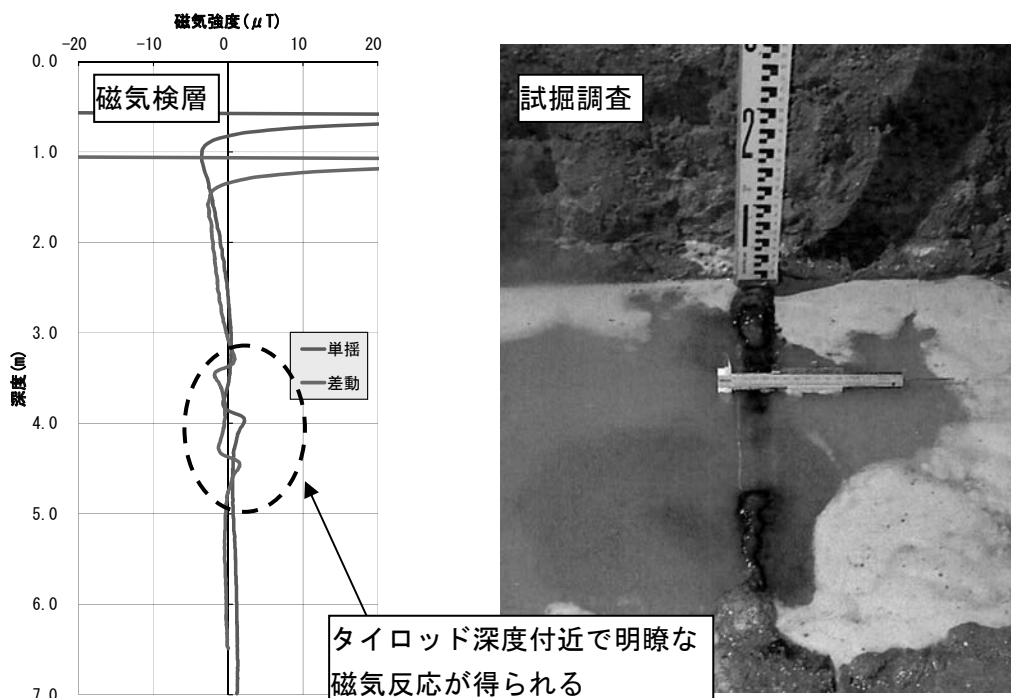


図5 磁気検層、試掘調査によるタイロッドの確認

(2) 耐震性能照査結果の比較

① 追加調査結果を反映しない条件での解析結果(ケース1)

隣接区間の護岸構造をモデル化したケースでは、図6に示すとおり護岸部の側方流動による水平変位量が4.5mとなり、護岸に求められる要求性能を満足しない結果となった(要求性能:1.0m)。これは、埋土砂質土層(Bs)や沖積砂質土層(As)が液状化することで海側へ側方流動し、鋼矢板がその効果を発揮できていないため、過大な水平変位量になったと考えられる。

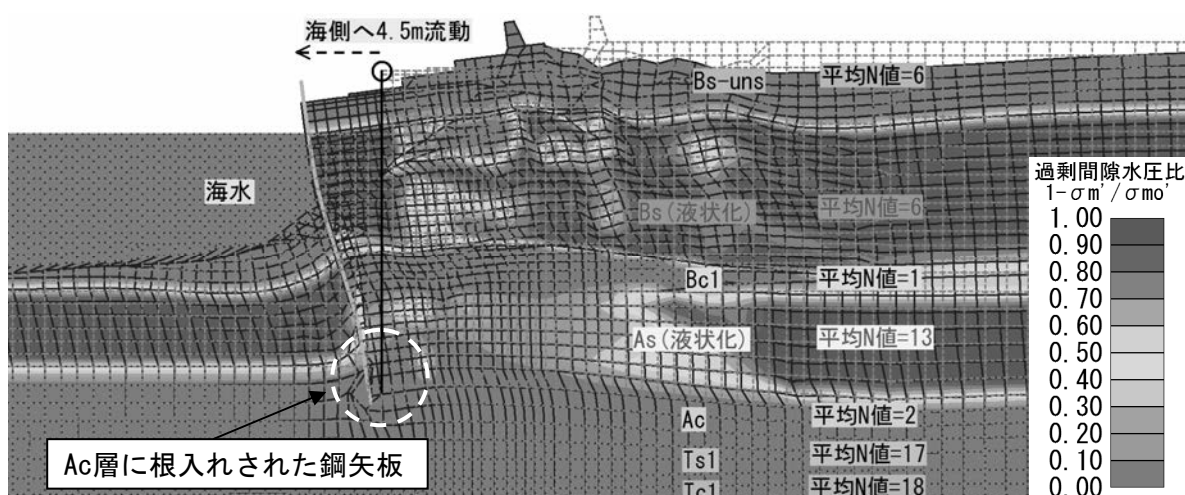


図6 追加調査結果を反映しない解析結果(過剰間隙水圧比)

② 追加調査結果を反映した解析結果(ケース2)

追加調査によって明らかとなった、鋼矢板の根入れ長やタイロッドの分布を考慮した解析結果を図7に示す。この結果から、海側への側方流動による水平変位量は2.6mとなり、ケース1の結果と同様に要求性能を満足しなかったものの、水平変位量は2.0m程度小さくなった。過剰間隙水圧の発生についても、埋土砂質土層(Bs)、沖積砂質土層(As)で発生しているが、第三紀層に根入れされた鋼矢板やタイロッド、控え矢板を考慮したことでケース1よりも、海側への側方流動量が小さくなったと考えられる。

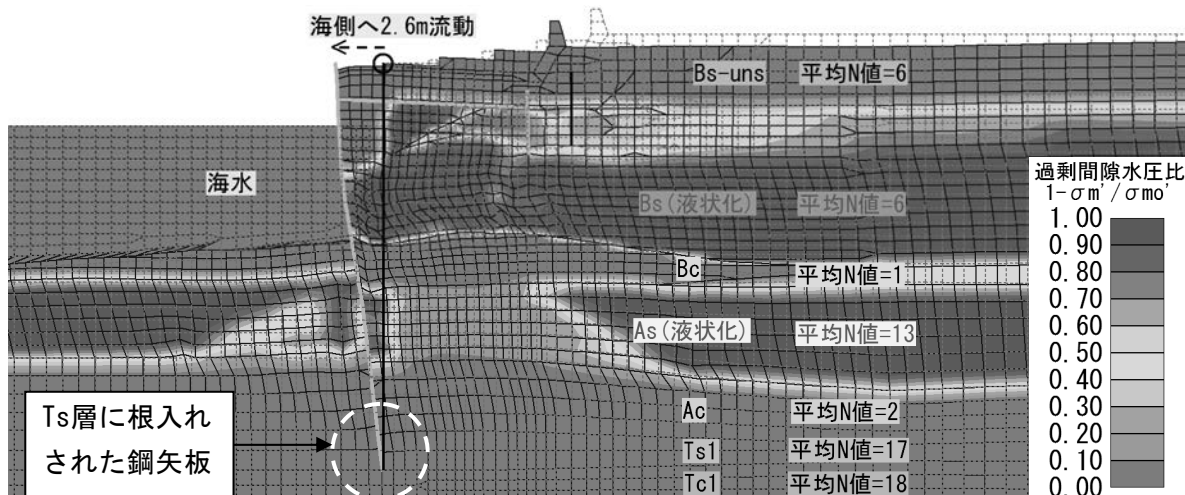


図7 追加調査結果を反映した解析結果(過剰間隙水圧比)

(3) 耐震性能照査結果のまとめ

解析ケースごとの側方流動による水平変位量を表2に整理した。

表2に示すように、追加調査によって明らかとなった鋼矢板長やタイロッドを反映することにより、護岸の側方流動変位量が約2.0m小さくなることが明らかとなった。結果的にいずれのケースにおいても、照査基準値は満足できなかったが、対策規模を大きく縮減することに繋がった。

表2 側方流動による水平変位量の比較

解析ケース (追加調査結果)	要求性能	側方流動による 水平変位量(m)	水平変位量 の差(m) ②-①
ケース1(考慮しない)	1.0m	4.5	-1.9
ケース2(考慮する)		2.6	

4. マネジメント効果

既設構造物(タイロッド、鋼矢板)の分布が不明な範囲Aに対して、インテグリティ試験や磁気検層及び試掘調査を実施した。その結果、タイロッドについては、試掘調査でタイロッドを目視確認し、磁気検層結果で明瞭な磁気反応が見られたため、タイロッドが分布していると結論づけた。さらに、隣接区間の標準断面による矢板長を基にした場合、堅硬な地盤に到達していないと考えられていた鋼矢板は、インテグリティ試験結果から比較的N値が高い第三紀層(Ts)に根入れされている可能性が高いことが追加調査によって明らかとなった。

これらの解析試算結果から、いずれのケースにおいても護岸に求められる要求性能は不満足であったが、追加調査結果を反映することにより、液状化に起因する海側への側方流動量が小さくなった。

今回事例紹介した追加地質調査費用(ボーリング、磁気検層、インテグリティ試験、試掘調査)は、300万円程度である。追加調査を実施しなければ、大地震時に過大な変形量が予測されることを考えると、多大な施工費が発生した可能性がある。

本稿で紹介した事例は、施工年代が古く既設構造物等に関する情報が不十分な場合に比較的安価で簡易な非破壊探査等の実施により、その後の耐震対策費用を低減させた事例である。

B. 地質リスクが発現した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		－
	工事名		－
	工種		地質調査
	工事概要		護岸の側方流動対策
	①当初工事費		－
	当初工期		－
リスク発現事象	リスク発現時期		耐震性能照査に伴うボーリング後
	トラブルの内容		三紀層の傾斜、矢板の根入れ不足、タイロッド分布の有無
	トラブルの原因		護岸構造物等の情報が不十分
	工事への影響		地盤改良範囲や対象層
追加工事の内容	追加調査の内容		インティグリティ試験、ボーリング、磁気検層、試掘調査
	修正設計内容		－
	対策工事		－
	追加工事		－
	追加費用	追加調査	300万円程度
		修正設計	－
		対策工	－
		追加工事	－
		②合計	300万円程度
	延長工期		1月程度
	間接的な影響項目		無し
負担者		発注者	
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期		調査・設計段階
	対応(すべき)者		発注者、地質技術者、設計技術者
	対応(すべき)内容		既設構造物の情報を明らかにした上での解析結果の算出
	判断に必要な情報		地盤構成、探査結果
	対応費用	調査	－
		対策工	－
		③合計	－
	想定工事	工事概要	－
		④工事費	－
		工期	－
リスクマネジメントの効果	費用 $((①+②)-(③+④))$		300万程度
	工期		－
	その他		－

[論文 No. 17] 港湾構造物を対象とした地質調査における地質リスク回避事例

基礎地盤コンサルタンツ(株) ○中川 智博

栃尾 健

遠藤 正悟

星野 笑美子

白井 康夫

(地質リスク・エンジニア 登録番号 35)

1. 事例の概要

埋立て造成された港湾施設にから、防波堤が延伸される計画があり対象防波堤の法線に対してボーリング調査を実施するにあたった。

本論は防波堤計画路線の地質について、調査前に地質リスクを検討し、設計・施工時の地質リスクを回避した事例である。

計画防波堤は岸壁から約 140m の延長で施工される計画であった。この防波堤の設計・施工に必要な地盤情報を得るため、海上ボーリング調査が 2 箇所計画された。調査の主な趣旨としては防波堤の基礎形式に必要な支持層ラインの確認である。

防波堤の起点側（陸上部）には既存のボーリングデータがあり、今回のボーリングは法線の終点＋中央部で計画されていた。

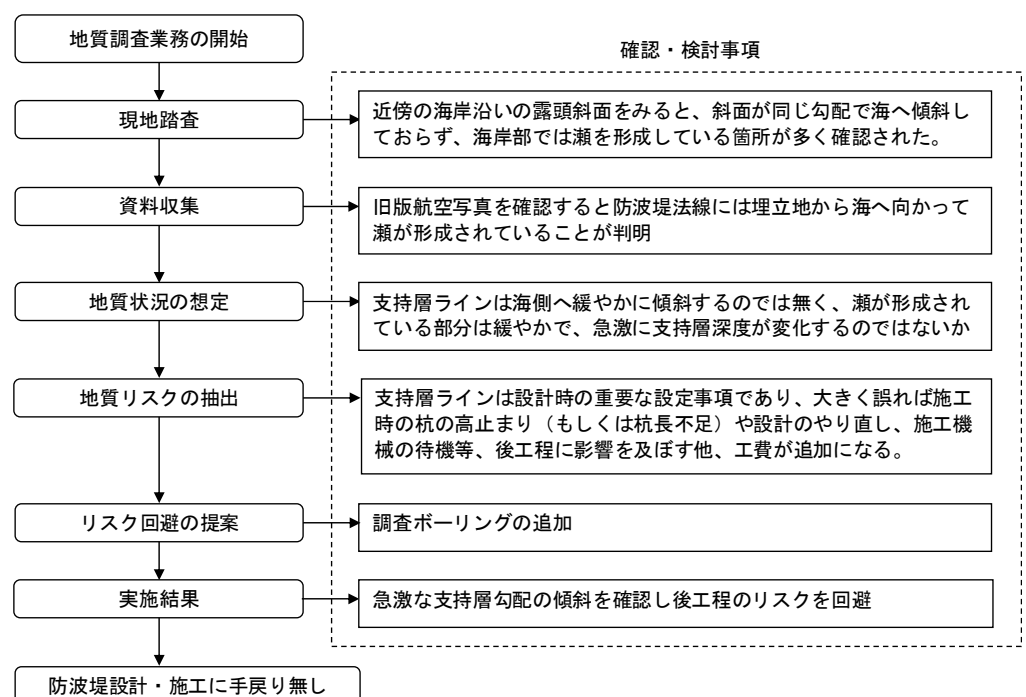
調査を着手するにあたり周辺の地形や地質を検討した際、旧版航空写真から防波堤法線上には後背斜面からの岩盤が浅く分布しており、瀬が形成されていたことから支持層の分布が急激に変化する可能性があり、設計・施工時の問題となりうると判断し、追加でのボーリング調査を実施した。

追加ボーリングの結果、2 本のボーリングでは想定しえなかった支持層の傾斜を確認でき、設計・施工の手戻りが回避でき事業の効率化や経済性に寄与できた。

2. 事例のシナリオ

本件の地質リスク回避に至ったシナリオは右のフロー通りとなる。

地質リスクの抽出に至った経緯としては海上ボーリングでの地質調査においても入念な現地踏査および既存資料収集を怠らなかったことが要因に挙げられる。



3. データ分析収集

(1) 現地踏査

当該地の現地踏査写真を写 1 に掲載した。写真に示すように、後背の丘陵地の斜面は急崖を成している。一方、裾部では急崖がそのままの傾斜で海底へ連続するのではなく、海岸沿いに瀬を形成して、一定の区間に平坦な地形を形成していることが確認された。



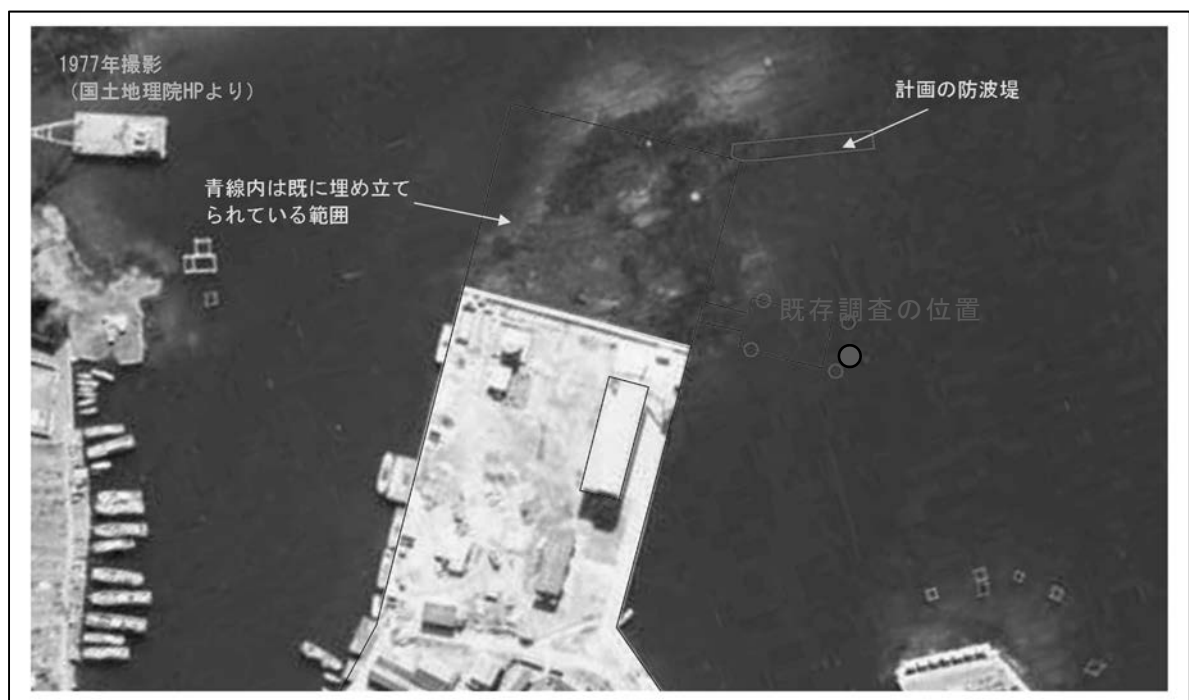
写 1 周辺に露頭する基盤岩の状況

(2) 旧版航空写真の収集

写 2 には旧版の航空写真と計画の防波堤の位置を示した。

写真内の青線分はすでに埋立が完了し港湾施設として利用されている箇所である。港湾施設は瀬を埋め立てるように造成されており、現況では瀬を確認することはできない。一方、既存調査位置では 10m 程度の沖積層が確認されていたため、計画の防波堤の法線上に支持層ライン（岩盤ライン）は急激な変化があると推定した。

施工時に支持層の不陸が発生した場合、工事中止等が発生するリスクがあるため、追加調査を行い、支持層の不陸を確認することを提案した。



写 2 旧版航空写真と港湾説との位置関係

(3) 追加ボーリング結果

追加ボーリングは、旧版航空写真や既存ボーリングを参考として、図 1 に示すように、先行する 2 本のボーリングの中間地点で実施することを提案した。

追加ボーリングを実施する前と実施した後での防波堤付近の地質縦断図の比較を図 1 に示す。

同図に示す通り、当初計画されていたボーリング 2 本の結果からでは支持層の出現深度を点で結び滑らかな曲線で支持層ラインを表現することになる。中間地点で追加ボーリングを実施したことで、支持層ラインがある No. 3 付近までは勾配がなだらかで、沖側では急激に深くなることを確認した。ただし、No. 3 地点と沖側の No. 2 地点間の支持層の不陸についてはリスクが残り、堤防法線直交方向についても不陸の恐れがあることを申し送り事項としてとりまとめた。

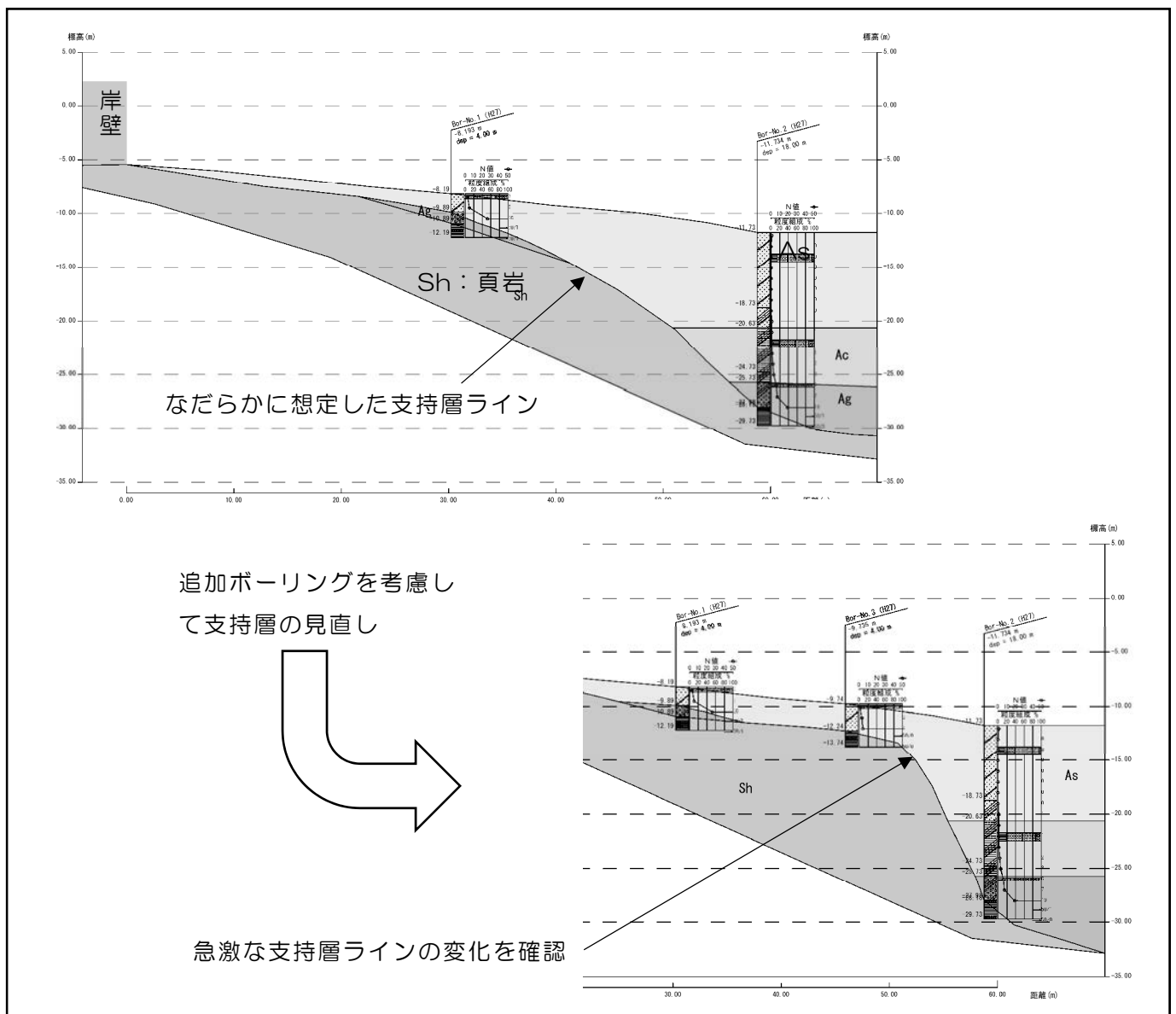


図 1 追加ボーリングによる支持層ラインの変化

4. マネジメント効果

表 1 にマネジメント効果表を掲載した。調査業務の中で追加ボーリングを実施したことから変更増額は新規でボーリングを行う場合よりも抑えられた。

また、施工時に支持層の誤りが判明した場合は追加ボーリング、修正設計、施工機械の待機損料等が発生するため、本件の地質リスク対応は事業の効率化・経済化に寄与できたと判断できる。

表 1 マネジメント効果表

単位：千円

マ ネ ジ メ ン ト 効 果	今回調査追加費用	
	追加ボーリング費用	2,000
	合計①	2,000
	地質リスクを回避できなかった場合追加費用	
	追加ボーリング	4,000
	修正設計費	3,000
	杭打設機器待機料	10,000
	合計②	17,000
	②－①	15,000

5. データ様式の提案

「地質リスクを回避した事例（A型）」として、表 2 にデータ様式案を示す。

表 2 A. 地質リスクを回避した事例

対象工事	発注者		—
	工事名		—
	工種		防波堤新設
	工事概要		漁港整備
	①当初工事費		—
	当初工期		—
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		一次調査時
	予測されたトラブル		基礎杭の施工不能
	回避した事象		施工中止期間の発生
	工事への影響		—
リスク管理の実際	判断（した）時期		調査計画時
	判断した者		発注者、調査担当者
	判断の内容		追加調査の実施
	判断に必要な情報		支持層の傾斜
リスク対応の実際	内容	追加調査	追加ボーリング
		修正設計	—
		対策工	—
	費用	追加調査	2,000 千円
		修正設計	—
		対策工	—
		②合計	2,000 千円
変更後の工事内容	工事変更内容		—
	③変更後工事費		17,000 千円
	変更後工期		—
	間接的な影響項目		—
	受益者		漁港利用者
リスクマネジメントの効果	費用（①－③－②）		15,000 千円
	工期		—
	その他		適切な追加調査で施工時の修正設計、工事機械の待機を回避した。

基礎地盤コンサルタンツ(株)

○田中慎吾

佐藤静流

白井康夫

(地質リスク・エンジニア 登録番号 35)

1. 事例の概要

(1) 概要

平成28年熊本地震により新たに判明した活断層が橋梁計画箇所の河川を横断する形で想定されており、橋梁基礎形式を選定するにあたり、事業者にとって大きな負担となり得る地質リスク(橋梁直下の活断層の分布)の存在有無が問題となった。本稿では、浅層反射法探査とボーリング調査を組み合わせ実施し、活断層のリスクについて検討することで、橋梁直下に明瞭な活断層が出現する可能性は低いことが考察された事例を紹介する。

(2) 背景

熊本県上益城郡益城町には熊本市内と阿蘇郡高森町を結ぶ県道28号熊本高森線が通っている。本線は緊急輸送道路に位置付けられているにもかかわらず、平成28年4月に発生した熊本地震では、倒壊家屋等により通行ができなくなるなど(右写真参照)、物資の輸送や救急活動等に大きな支障となっていた。熊本県ではこのことを重く受け止め、本線を益城町の復興計画の中心軸とした上で、新たに「都市計画道路益城中央線」として4車線化とする事業が進められている。



※都市計画道路益城中央線(県道：熊本高森線)ほか1線の都市計画決定に係る説明資料より引用

その一方で、益城町では平成28年熊本地震後に国土交通省による活断層の調査及び検討が行われた¹⁾。調査の結果、同町内の市街地に新たな活断層の存在が報告されている(図1参照)。

益城中央線の道路拡幅事業において、益城町市街地を流れる鉄砂川に架橋予定である馬水橋はこの活断層の近傍に位置していたため、橋梁設計の基礎資料とするための地質調査と併せて、橋梁計画箇所における活断層の有無についても確認する必要があった。



図1 活断層分布想定図

※国土交通省都市局,(2017),熊本地震からの益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する報告書 最終報告より引用・加筆

2. 事例分析のシナリオ

(1) 調査における問題点

既存資料の収集整理結果より、当該地の断層活動の状況・分布を確認した。当該地域に分布すると推定される活断層は3本(活断層A～C)あり、そのうちの活断層Bおよび活断層C(C')が橋梁計画箇所付近に近接していることが判明した。

しかし、当該道路計画は4車線化を基本とした道路拡幅事業であり、道路線形の変更は困難であるため、橋梁設計時に活断層の分布位置によっては活断層の変動量を見据えた橋梁の構造を検討する必要がある。そのため、橋梁設計をする上で、橋梁計画地での活断層の分布位置やその性状について把握することが求められた。

活断層の分布位置や性状を把握するに当たって、以下の問題点が考えられた。

- ① 当該地は市街地で露頭がなく、地震後1年半が経過しており復旧工事により周辺の路面亀裂等の変状が確認できないため、地表での活断層の分布位置が不明である。
- ② 既往資料より当該地には阿蘇火砕流堆積物の非溶結部等の未固結地盤(表1)が深部まで厚く堆積しており、岩盤と土砂部の境界のズレを明確に把握することが困難である。

表1 調査地周辺の地質層序表

時代	地層名	記号	代表的なコア写真	性状
完新世	盛土	b		道路造成時の盛土。
	沖積層	a		φ10～20mm程度の礫を混入する不均一な砂～砂質粘土からなり、鉄砂川下流側で粒径が小さくなる。N値は1～9回を示す。
	ローム	lm		暗灰色の有機質粘性土からなり、部分的に砂分を混入する。植物片を多く混入し、中位の含水がある。N値は1～5回を示す。
第四紀	Aso-4二次堆積物	A4-S		褐色の不均一な中～粗砂を主体とし、φ5～20mm程度の礫主体部が所々繰り返して分布する。N値は1～15回を示す。
	Aso-4火砕流堆積物	上部層 A4-U		淡灰色を呈する粘土混じり火山灰質礫～中砂からなり、白～黄白色の軽石を多量に混入する。下方に向かい、徐々に粗粒化し、軽石の混入量も増加する。N値は1～5回を示す。
		下部層 A4-L		粘土混じり火山灰質砂礫からなり、φ5～30mm程度の異質岩片を主体とし、軽石も混入する。N値は11～17回を示す。
	Aso-4/3間隙層	A4/3		褐色のシルト質砂からなり、半固結状を呈する。N値は4～15回を示す。
更新世	Aso-3火砕流堆積物	上部層 A3-U		火砕流堆積物の非溶結部。褐～淡褐色を呈する礫混じり火山灰質砂からなり、φ5～20mm程度の異質岩片やスコリア片を混入する。N値は3～21回を示す。
		下部層 A3-L		火砕流堆積物の弱溶結部(～非溶結)。φ5～20mm程度の異質岩片やスコリア片を混入する火山角礫状を呈し、溶結している。ハンマーで容易に崩れる程度である。N値は概ね30回以上を示す。

(2) 調査計画

本調査地の東側にて実施された既存調査では、断層帯を挟んだ2地点間(220m)において、阿蘇火砕流堆積物間の間隙層(表1赤枠内)に最大約15mの標高差が認められ、この間隙層の標高差を活断層のズレの指標としていた。そこで、本調査でもこの層を鍵層として、出現標高の差を活断層位置の推定の手掛かりとし、橋梁計画箇所及び活断層直交方向にオールコアボーリングを群列に配置した(図2参照)。



図2 既存資料に基づく推定活断層位置及び調査位置図⁴⁾

また、二次元的に把握可能な物理探査を活断層 B の延長線上及び活断層 C の推定位置を跨いだ箇所ではボーリング調査前に実施することにより、効果的なボーリング配置計画を立案した。

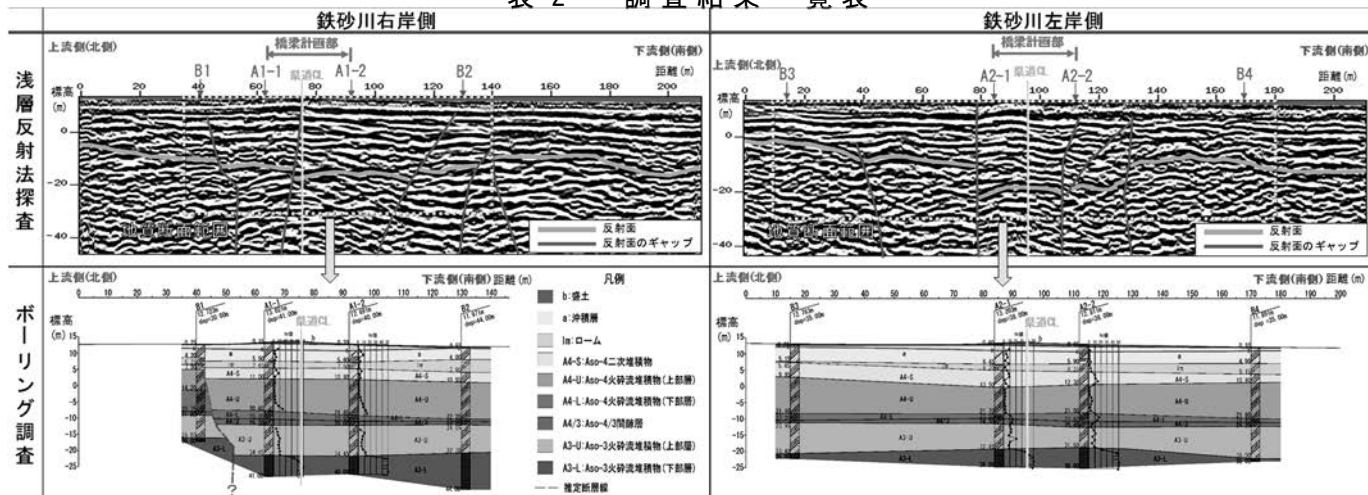
なお、物理探査については本調査地の特徴(市街地で地形に起伏がなく密度差のある地層が堆積していること)を踏まえて、**地層のズレを把握しやすい浅層反射法探査**を実施した。さらにより精度を高めるため探査測線を鉄砂川兩岸に配置し、受振器間隔を通常の 2.0m から 0.5m ピッチに変更し測定を行った。

3. データ収集分析

(1) 浅層反射法探査結果

表2の上段に示す通り、兩岸で標高0~-20m 付近において反射面が想定された。また、断面中にギャップが認められたため、深度方向に比較的連続するものを赤線で示した。これらは地層の乱れを現し、ギャップの内外で地層のズレが生じていると考えられ、活断層の可能性を示した。

表 2 調査結果一覧表



(2) ボーリング調査結果

上記のギャップを挟んで実施したボーリング調査結果(表2下段)より、鉄砂川左岸側では地層は概ね水平に分布し、鍵層である Aso-4/3間隙層の出現標高にも大きな差は生じていなかった。一方、右岸側では、A1-1~B2地点間では鍵層の出現標高に差は生じていなかったが、北側の B1~A1-1地点間にて鍵層に2.25m の標高差が生じていた。同様にその上下位層の Aso-4火砕流堆積物及び Aso-3火砕流堆積物にも出現標高に差が認められた。なお、Aso-4火砕流堆積物下部層については B1地点のみ層厚が厚いのも特異的である。

(3) 考察

調査結果より当該地周辺の活断層の有無について評価を行った。活断層位置の推定については国土交通省都市局の報告書¹⁾に示される以下の事項(①明瞭な段差地形の有無、②地表に現れる連続的な亀裂の有無、③活断層の繰り返しにより

柔らかくなった地層（破碎帯等）の有無、④同一地層の標高差の有無）に則り考察した。

①及び②については既存文献調査や現地調査でも新たな情報を得ることはできなかった。③についてもボーリングコアの観察にて破碎帯等の地層の乱れは認められなかった。④に関しては調査地全体を通して、水平に地層が分布する中で、探査でギャップが認められた B1～A1-1地点間(23m)にてボーリングでも鍵層に2.25mの標高差が生じている。この標高差は、縦横比で見ると、既存資料で活断層の根拠としている2地点間(220m)のボーリングでの標高差(15.1m)よりも大きいことから当該箇所には活断層が存在する可能性がある。しかし、左岸北側の B3～A2-1地点間には同様の高低差が認められないため、現段階では兩岸を活断層としてつなぐことは難しい。

以上のことから、当該地域の活断層は橋梁計画箇所よりも北側に位置する可能性は完全に否定できないが、橋梁直下に明瞭な活断層の出現は考えにくいと考察された。

4. マネジメントの効果

本調査のような周囲に露頭のない市街地でも、浅層反射法探査とボーリングを組み合わせることで活断層が存在する可能性があるエリアを抽出することができた。また、計画橋梁の直下に明瞭な活断層の出現は考えにくいことから、事業者・設計者との協議の結果、**活断層変位を見込まない計画通りの架橋が可能**と判断され、**事業者にとって大きな負担となり得る地質リスク（橋梁直下の活断層の分布）を回避**することができた。

しかし、今回はあくまでも橋梁の基礎調査が主体であり、橋梁直下には明瞭な活断層の出現は考えにくかったため、活断層そのものの分布性状の把握までには至っていない。今後、橋梁計画箇所に活断層の存在が想定された場合には、ステップの可能性や横ずれ断層等を考慮して、地層分布の特異性（層厚の変化）等を踏まえた上で、活断層のより詳しい性状を確認するために、浅層反射法探査にて想定された反射面のギャップを跨いだ斜めボーリングの追加実施等により、地質情報を増やして活断層評価の精度を引き上げる必要があると考える。

《引用・参考文献》

- 1) 国土交通省都市局：熊本地震からの益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する報告書 最終報告，p.8-63，2017.3
- 2) 国土地理院：都市圏活断層図「熊本」改訂版，2017.10
- 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：布田川断層帯・日奈久断層帯の評価（一部改訂），p12-31，2013.2
- 4) 国土地理院：基盤図データ，
<https://www.gsi.go.jp/>（確認日：2019.6.10）

〔論文 No. 19〕 新規道路の事前調査における自然由来重金属のリスク評価

応用地質株式会社

○渡邊 絵美

井原 拓二（地質リスク・エンジニア 登録番号 85）

竹田 好晴・古宮 一典・山本 定雄

1. 事例の概要

本事例で対象とした事業は、平成 29 年度に事業化された四国西南部の自動車専用道路（延長 14km）の新規道路計画である。昨年度に弊社が実施した調査は、事業の初期段階にあたり、事前調査段階における地質リスクの特定・分析・評価を行い、道路事業の各段階（詳細調査・設計・施工・維持管理）でのリスク低減のための対応方針（表 1）を検討した。

本事例は、上記調査のうち、事業コストに大きな影響を与える自然由来重金属や酸性水に関するリスクについて述べるものである。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 自然由来重金属を含む地質の整理

調査地は、四国西南部の太平洋沿岸部に位置し、計画路線沿いには、四万十帯（付加体）に属する海成の頁岩や砂質岩が分布する（図 1）。

一般に、海成の堆積岩には、自然的要因（堆積過程における粘土鉱物への吸着等）により、重金属が含まれることが多いとされている。こうした地質の建設発生土等からの有害な重金属等が漏出した場合、人体や環境の汚染、構造物の強度低下など、様々な影響を及ぼす可能性がある。また、調査地周辺には旧鉱山（銅鉱床・アンチモン鉱床）が分布しており（図 2）³⁾、旧坑道からの酸性水の発生や路線沿いにおける類似鉱化帯の分布も考えられる。このような地質リスクを事業の早い段階で発見し、リスク低減のための対応方針を検討することは、後続の調査・施工・維持管理段階での費用の増大や



図 1 調査地の地質状況(小柳津ほか(2002)¹⁾に加筆)

表 1 地質リスク検討の流れ²⁾

地質リスク調査検討の流れ	
地質リスクの特定	地質リスクを発見、認識及び記述するプロセスである。地質リスクの発生確率や影響度に関係なく想定されるリスク要因を洗い出し地質リスク要因一覧表を作成する。
地質リスク分析	地質リスクの特質を理解し、リスクをランク付けするプロセスである。「地質リスクの特定」にて洗い出された地質リスクの発生確率と、リスクが顕在化した場合の影響度を分析する。
地質リスク評価	「地質リスク分析」の結果をもとに、地質リスクへの対応策と、対策の実施する優先順位を検討する。



図 2 計画路線周辺の鉱山の分布³⁾

工期延長等を低減することに繋がる。

(2) 地層区分に着目したリスク検討

付加体堆積物は、海洋プレートの沈み込みと陸側への付加過程において、せん断・変形作用を受けており、地層の初生的な堆積関係や側方への連続性の保存程度に応じて、①整然ユニット、②破断ユニット、③分断ユニット、④混在岩ユニットに分類される（図 3）⁴⁾。計画路線沿いに分布する四万十帯の頁岩や砂質岩は、地層レベルでは、堆積年代や破断の程度が異なる複数の地層（下位より蕨岡層・浮鞭層・石見寺層・伊田層・加持層）¹⁾が分布する（表 2）。本業務では、頁岩・砂質岩双方の地質性状が路線沿いの地質リスク分布と関係がある可能性も考え、地層区分に着目したリスク検討を行い、詳細調査の必要性について検討した。

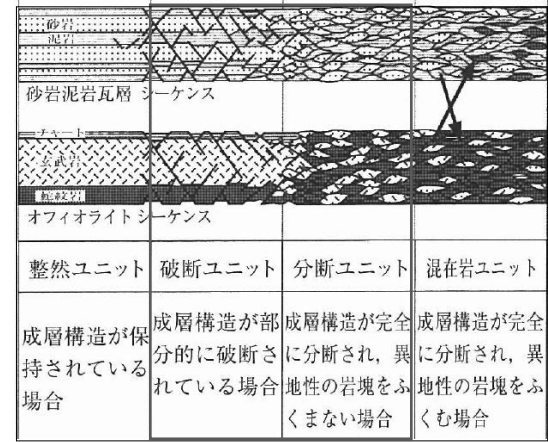


図 3 地層の破断の程度による分類⁴⁾

表 2 地質構成表(層序区分は文献¹⁾に基づく)

時代	地層名	記号	地質	記事
古第三紀	加持層	K	Sh	層状 (レンズ状砂岩を含む)
	伊田層	Id	Sh	層状 (レンズ状砂岩を含む)
			Ss	塊状
	石見寺層	Is	Sh	層状 (レンズ状砂岩を含む)
			Ss	塊状
白亜紀	浮鞭層	Uk	Sh	層状 (レンズ状砂岩を含む)
			Ss	塊状
	蕨岡層	W	Sh	層状～塊状

3. データ収集分析

(1) 地表地質踏査

現地では、地表地質踏査を実施し、路線沿いの地質について、分布や性状、地質構造等を確認した上で地質区分を行った。

頁岩および頁岩優勢層（図 4 上）は、せん断や変形により、成層構造は部分的に破断ないし完全に分断されていた。また、変形に伴い多くのへき開が発達しており、特に石見寺層や加持層では、変形が顕著で褶曲構造が発達し、頁岩は鱗片状を呈していた。頁岩優勢層に狭在する砂岩層は、定向性を有したレンズ状を示していた。

一方、砂質岩は、塊状で非常に硬質な砂岩と砂岩優勢の砂岩頁岩互層を確認した（図 4 下）。露頭で確認した砂岩には、層理に直交するような節理構造が見られた。

地質構造は、対象範囲全域で路線と高角度に交

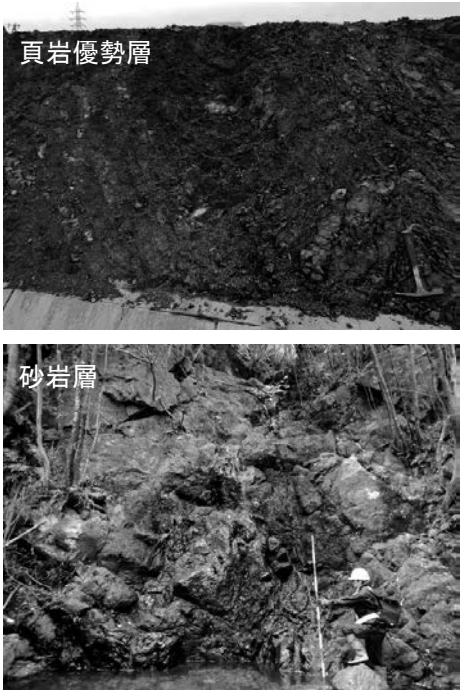


図 4 路線沿いに分布する地質

差している。ルートの特出側では北傾斜が卓越し、中間～終点側では、北東―南西方向～南北方向へ卓越する傾斜方向が変化する傾向がみられ、既往文献との整合を確認した。

(2) 重金属・酸性水のリスク検討に関する調査

詳細調査に先立ち、自然由来重金属の溶出可能性を概略で把握するために、路線沿いの地質に対して以下の簡易試験を実施した。

- ①ハンドヘルド XRF による元素含有量測定
- ②簡易酸性化試験
- ③簡易スレーキング試験

本業務は、事前調査段階であるため、路線全体の重金属リスクの有無を把握することが重要である。そのため、簡易試験は、路線沿いに分布する全ての地層区分について代表する岩種に対して行った。試料は、外的作用（風化や汚染等）の影響を最小限にするため、各地層の露頭から未風化部を採取した。

また、計画路線中間部の道路中心から 300m ほど北側の地点に旧鉱山を確認した（図 5）。周辺の転石は酸化して褐色を帯びており、酸性水の流入等が考えられることから、今後、路線への影響を検討するため、鉱山周辺からも試料を採取し、同様の試験を実施した。



図 5 旧鉱山周辺の様子

①ハンドヘルド XRF による元素含有量測定

一般に、重金属のリスク評価は、粉碎試料を用いた室内試験を実施した上で行う。しかし、事前調査において重金属リスクの概略分布を把握した上で、室内試験を実施することが望ましいと考えられる。本調査では、室内試験と比べて精度は劣るものの、迅速かつ非破壊で測定可能なハンドヘルド XRF（図 6）による測定を行い、対象となる重金属含有量の大小を把握し、概略の分布リスク（存在確率）を確認した。測定項目は、土壤汚染対策法や農用地土壤汚染防止法で定められた項目のうち、クロム、カドミウム、水銀、ヒ素、セレン、鉛および銅と、酸性水の発生に関与する硫黄の含有量である。



図 6 ハンドヘルド XRF の測定状況

測定した結果、対象とした項目については、ほとんどの地層では含有量基準値を下回った。ただし、頁岩優勢層の一部は、鉛やヒ素の含有量がスクリーニング基準値を超過するため、溶出量への注意が必要がある。また、浮鞭層では、鉛の含有量が最大で 207ppm（土対法基準値 150ppm）を記録し、地層内にスポット的に高い部分を確認した（図 7）。浮鞭層

は、銅の含有量も基準値（125ppm）を超過しており、他の地層と比べて溶出のリスクが高い可能性があるため、後続調査では詳細な検討を行うことが望ましいと判断した。

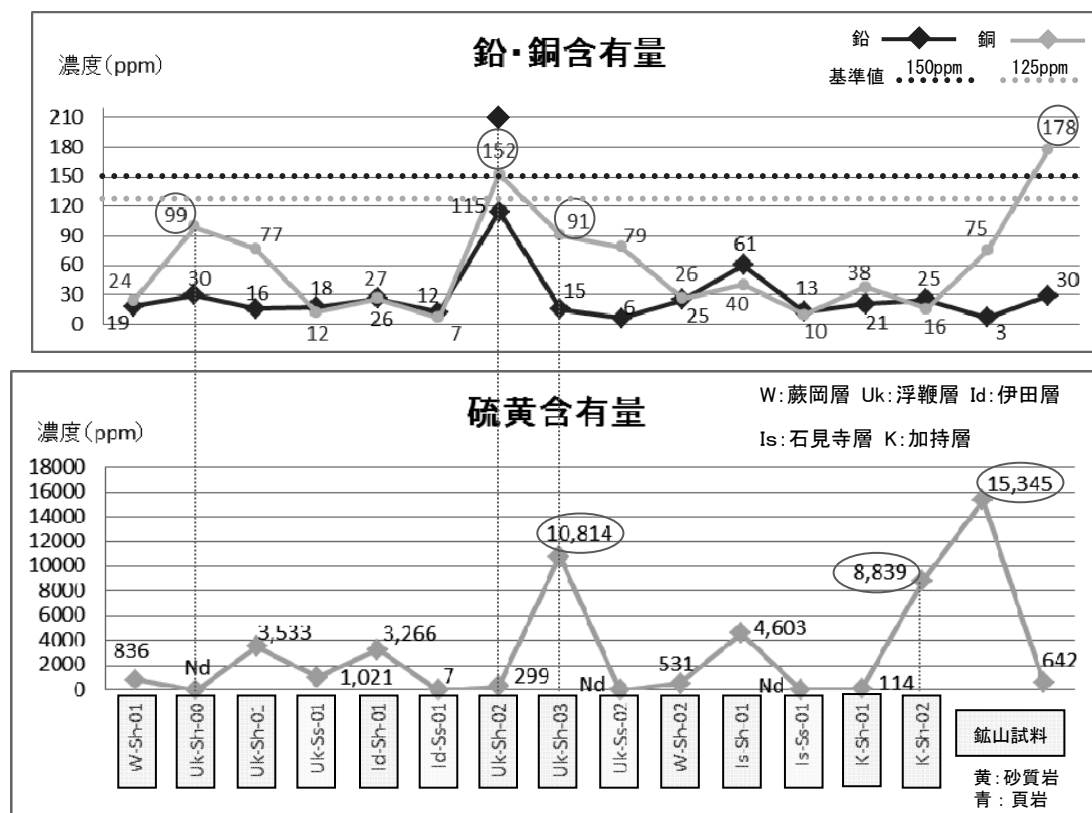


図7 測定結果（数値は平均値）

蕨岡層以外の頁岩優勢層では、砂岩優勢層と比べて硫黄の含有量が高く、特に浮鞭層や加持層および鉾山周辺では 10,000 ppm 前後の高い数値を示した（図7）。

②簡易酸性化試験

掘削土の暴露に伴う酸性化は、重金属の溶出を促進させる可能性がある。そのため、現地調査では、酸性水の発生可能性に関する基礎データを得るため、簡易酸性化可能性試験を実施した。試料に対して 3%過酸化水素を塗布し、pH 試験紙で確認したところ、ほとんどの地層では pH5.0～7.0 程度を示した。しかし、浮鞭層や石見寺層の頁岩優勢層では、一部の試料において酸性の傾向を示した（pH4.0 程度）また、鉾山周辺の試料では、pH2～3 の強酸性を示した（図8）。



図8 酸性を示した試料

③簡易スレーキング試験

既往研究では、スレーキングと酸性化が同時に進行するケースが報告されている⁵⁾ことから、岩石のスレーキング試験方法「JGS2124-2009」に準拠し、採取した試料について、簡易スレーキング試験を実施した。

路線沿いに分布する地質のうち、石見寺層と加持層の頁岩（図 9）は、一回のスレーキング試験で細片化が確認された。この両層の頁岩は、現地踏査の際も、露頭でのスレーキングを確認している。両者は、浮鞭層の頁岩と共に、他の地層と比べて高い硫黄含有量を示しており、酸性水のリスクを保有していると考えられる。

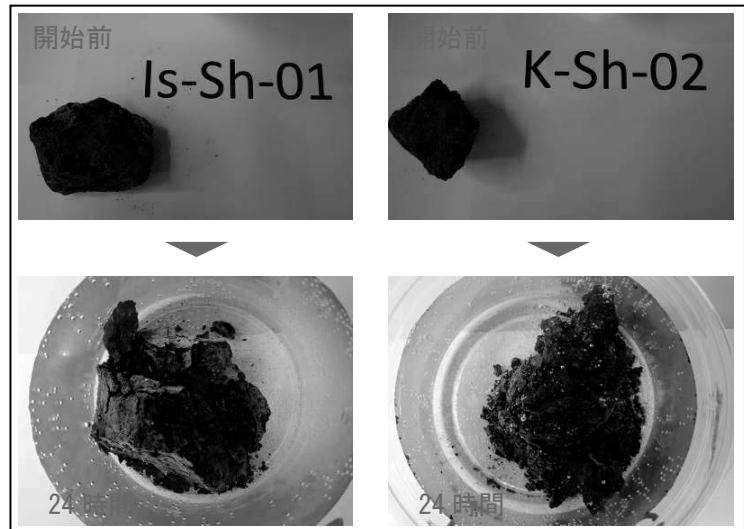


図 9 スレーキング特性を示した試料

(3)地質リスクの分布

本事例は、重金属含有量と酸性水の発生しやすさから、当該路線の概略の重金属リスクを抽出したものである。調査の結果、計画路線における重金属リスクは、浮鞭層・石見寺層・加持層の頁岩優勢層が分布する区間で発現可能性が高く（図 10）、優先的かつ詳細な調査が必要であると評価した。

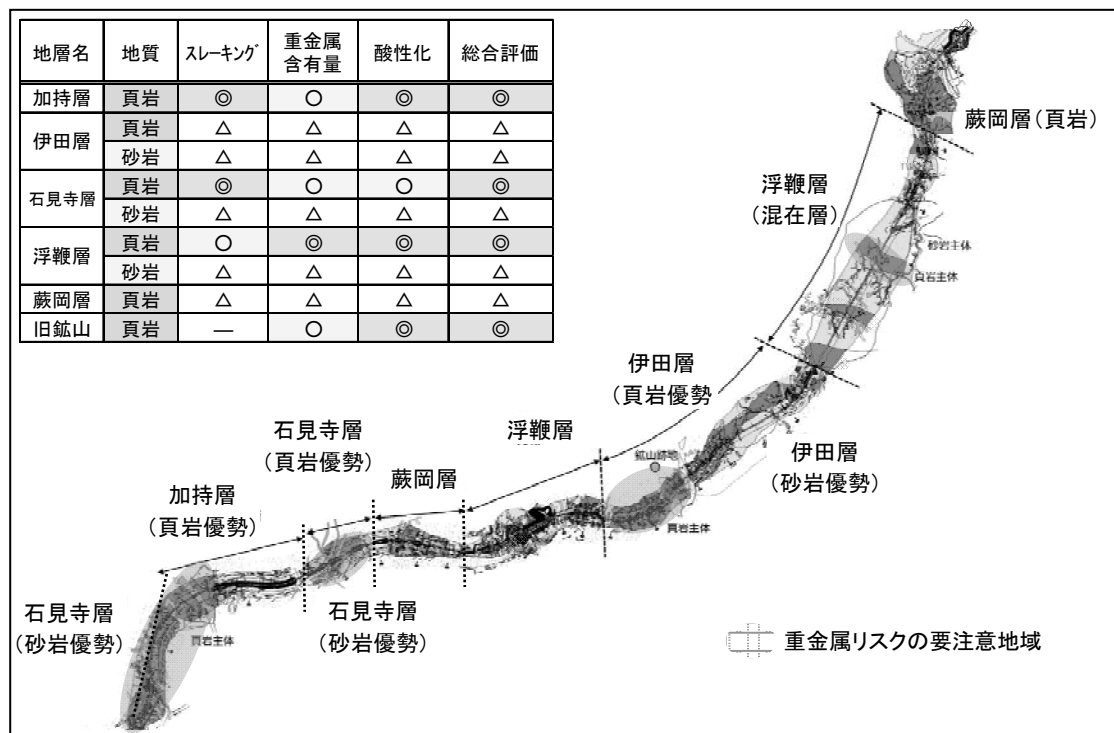


図 10 重金属・酸性水のリスクが高いと考えられる範囲

4. マネジメントの効果

マネジメントの効果は、①地質リスク検討を実施しない場合、②事前調査をせずに詳細調査を実施する場合、③事前調査を実施する場合（本事例）のケースについて検討した。各ケースについて、調査段階ならびに事業全体で想定される事象を表3に示す。

本事例で示したように、事業の初期段階において検討した地質リスクを詳細調査・設計・施工・維持管理段階へと共有することによって、各段階における適切なリスク対応方針を明確化でき、結果として、予想外のコスト（費用や時間）の発生を回避・抑制することに繋がると考えられる。

表3 マネジメントの効果

想定されるケース	想定される事象(○良い効果 ●悪い効果)	
	調 査	事 業
① 地質リスク検討を実施しない場合	実施しない	●調査段階で重金属の存在を発見できず、土壌汚染や地下水汚染に対する適切なリスク対応(設計変更・施工時の対策)をとらないまま設計・施工を実施。 ●施工時のズリや供用後の盛土材等から重金属が溶出し、土壌汚染や地下水汚染が発生し、処分や賠償のための費用や工期遅延等が発生する。
② 事前調査をせずに詳細調査を実施する場合	●路線全体からサンプリングを行うため、試験数量が多くなり、試験費用増加する。 ●サンプリング密度が粗いため、リスクの見逃しが増える可能性がある。	●見逃しが発生した場合、事後対応を求められるため、処分場の追加や施工手順の見直し等が発生する。
③ 事前調査を実施する場合(本事例)	○路線において重金属の溶出可能性が高い地質と低い地質を把握でき、効率的な詳細調査が可能となる。 ○課題の多い地質の試験密度を高めることができ、費用対効果の高い調査となる。 ○抽出したリスクへの対応方針を検討できる。	○調査段階で抽出したリスクを設計に反映し、施工業者・維持管理者と情報を共有することが出来る。 ○適切なリスク対応(重金属含有度の処分やシートによる遮水・モニタリング等)により、リスクの低減が可能となる。
リスクマネジメント効果	リスク事象の発現事象を低下させることで、予定外のコストの削減や工期遅延の予防が期待できる。	

<参考文献>

- 1) 小柳津篤, 君波和雄. 四国西部の四万十累層群の地質と放散虫年代. 2002, 地質学雑誌, vol. 108, no. 11, pp.701-720.
- 2) 国土交通省近畿地方整備局: 地質リスク低減のための調査・設計マニュアル(案). 2018.2.
- 3) 原 英俊, 植木岳雪, 岡村行信, 大野哲二, 駒澤正夫, 岸本清行, 上嶋正人. 20 万分の 1 地質図幅「窪川」, (独) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター
- 4) 中江訓: 付加複合体の区分法と付加体地質学における構造層序概念の有効性. 地質学論集第 55 号 pp.1- 15,2000.
- 5) 鈴木素之, 横矢直道, 西村昌也, 都築俊輔, 岡本憲治, 山本哲郎. のり面工の劣化を生じた酸性度の光学的性質とその残土改良. 2008, 土木学会論文集 C, vol.64, No.2, pp327-339.

[論文 No. 20] 海外業務における地質リスク事例

基礎地盤コンサルタンツ（株）海外事業本部 ○折原敬二、安田智広、木村亨輝
基礎地盤コンサルタンツ（株）営業本部新事業開発部 西田功児

1. はじめに

筆者らは、長年、世界各地で ODA および非 ODA プロジェクトに携わり、様々な地質リスクに遭遇してきた。リスクの多くは、現地の地盤調査会社の品質不足に起因するものと現地の特殊な地盤性状に起因するものであり、そこに海外契約に対する理解不足や発現したリスクへの誤った対応が重なり、経済的損失、工期の大幅な遅延、さらには事故や争議に至ることもあった。本稿では、海外で遭遇した地質リスクを紹介する。

2. 地盤調査の品質に起因するリスク

世界各地でプロジェクトを推進するとき、日本から調査会社を帯同し地盤調査を実施することは稀で、通常は現地の地盤調査会社が調査を行うが、日本と異なる調査手法や試験技量と品質意識の低さに悩まされる。国際入札プロジェクトの入札図書に添付される地盤調査報告書は、ほぼ例外なく現地会社が現地の基準で実施したもので、英語圏なら英国基準、アメリカ基準、ユーロコードなど馴染みの基準が採用されている。一方、非英語圏では旧植民地宗主国の基準や慣行が採用され、旧フランス植民地なら標準貫入試験ではなくプレッシャーメーター試験が 3m 毎に実施されていたりする。ロシアと中央アジアで採用されるロシア基準は、見慣れない土質分類と室内試験によって土質定数が決定され、基本的に標準貫入試験は実施されない。その上、非英語圏では入札英文図書に誤訳が多く、試験結果の解釈と評価に苦勞する。このような地盤調査報告書をもとに行う地盤設計や工事には、固有のリスクが存在する。以下に、様々な国で遭遇した個別事例と、それらにどう対処したかを示す。

(1) 調査深度

ベトナム中部の工場用地では、敷地造成機関が実施したボーリング調査の深度は 20～30m で、標準貫入試験は実施されず、固さや圧縮性が不明確な柱状図だけが与えられた。工場には重量機器の設置が予定されていたために、支持層確認の追加ボーリング調査を、現地会社に依頼し実施することになった。現場管理を行いながら調査を行った結果、基盤岩は石灰岩であり、岩盤出現深度 40～70m の大きな不陸、石灰岩直上に N 値 5 以下の局所的脆弱部の存在、最大深度厚 14m の複数の石灰岩空洞が見つかった。

空洞処理や基礎工事に多大な費用と困難が予想されたが、幸い、工場敷地取得前であったため代替地を捜すことを提案し、地質リスクを回避することができた。

(2) 標準貫入試験

タイ中部の発電所工事で入札図書の既往調査と同じ地点でボーリングを行ったところ、図 1 に示すように N 値が大きく異なることが判明（2 回目）し、どちらが正しいか確認するために第三者による検証（3 回目）を実施した。いずれも地元調査会社が行ったものであるが、2 回目と 3 回目は、筆者らが表 1 や図 2 に示す管理を行った結果である。

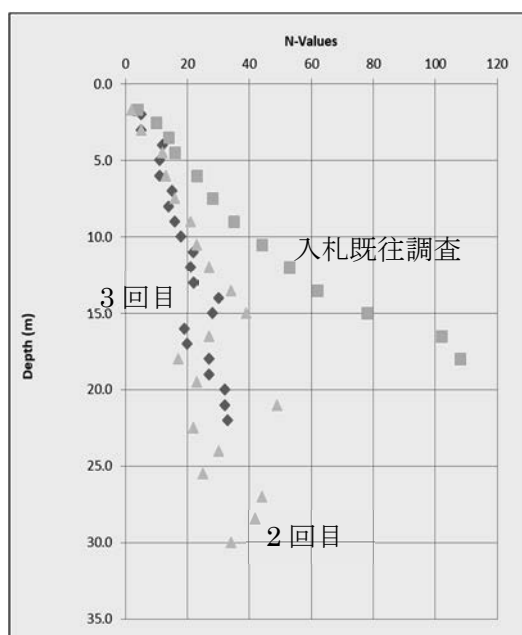


図 1 3 社による標準貫入試験の比較



図 2 不良シュアの交換

表 1 標準貫入試験における不適切行為と是正および効果

不適切な項目	是正内容	効果
ボーリングロッドの継手不具合	良質ロッドに変更	エネルギーの正常伝達
サンプラーの先端の破損と摩耗	新品に変換	貫入時の過大抵抗低減
ローププーリー法	トンビ使用の推奨	打撃エネルギーの正常化
ハンマー自由落下高さ不均一性	同上および厳格管理	同上
試験深度の不確実性	試験深度の計測	スライム除去
ケーシング掘り	禁止	ケーシング内に溜まったスライム内での試験を排除

当業務の基礎工事は、設計施工による一括契約であった。新しい N 値を基にすると杭長は入札時の約 2 倍になり、プロジェクトの採算に大きく影響する事態となった。問題発覚後、発注者立会いの下で上述の検証を行い、既往調査の問題点を指摘することで、発注者より設計変更を勝ち取ることができた。

筆者らの経験では、アジアアフリカ諸国の標準貫入試験は多かれ少なかれ表 1 に示した不適切行為が常態としてあり、N 値が 3 倍にもなってしまう危険性が潜んでいる。特に砂地盤の N 値は過大になる傾向があり、杭の設計や液状化判定には注意が必要である。

(3) 軟弱地盤の強度・圧密特性

図 3 は、ベトナムのホーチミン市で日本製水管式シンウォールサンプラーを用いて採取し、日本の試験室で試験を行った沖積粘性土の非排水強度の深度分布図である。比較のために同一現場の地元会社による試験結果を示す。地元会社の強度と破壊ひずみが繰り返し試料と同レベルであるように、明らかに試料の品質に問題があることがわかる。

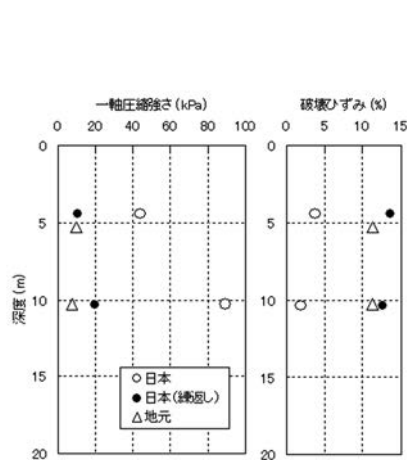


図 3 軟弱粘性土の非排水強度

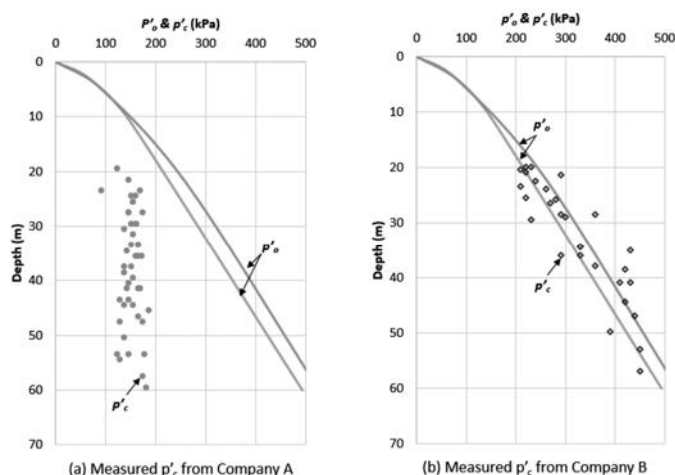


図 4 軟弱粘性土の先行圧密荷重

図 4 はシンガポールの海成粘土の先行圧密荷重を有効土被り圧と共に示した深度分布図である（文献 1）。右図は筆者らがサンプリングし圧密試験を行った結果で粘性土はほぼ正規圧密状態ということがわかるが、左図の地元業者による先行圧密荷重は深度方向に変化がない。図 3 と同様、図 4 の地元業者による試験結果も試料の乱れが原因であり、比較的品质管理が厳格だとされるシンガポールでもこのような状況である。軟弱粘性土の強度と圧縮特性は、すべての土木構造物の設計に影響し、特に埋立や道路盛土で採用される圧密促進工法では、殊更、工費と工期に直結することを認識する必要がある。

筆者らは、アジアアフリカ諸国の地元業者が、軟弱粘性土から高品質サンプルを採取することはほぼ不可能だという認識を持っている。対処法は、日本よりボーリング機材と掘削技術者を送り込むことであるが極めて高額になる。次善の策として、サンプリング専門家とサンプラー一式を現地に持ち込み、現地の掘削機を用いて採取する方法であるが、地元会社の協力がなければ成り立たない。採取した試料は乱れない処置をしたうえで日本などの信頼できる試験機関に送る。図 3 のケースはそうにして得た結果である。室内土質試験も現場調査同様に、機材の維持管理や試験員の技量が国際水準に達していないケー

スがほとんどで、大学機関も同程度の場合がある。試料の乱れの影響を受けない現場ベーンやピエゾコーン（3 成分コーン）を採用することも対処法のひとつであるが、使用する機材の品質管理と試験員の技量の問題は残る。

（４） 平板載荷試験

平板載荷試験は、浅い基礎の支持力や沈下の推定に最も信頼性の高い試験方法であり、ロシア基準でも実施が推奨されている。しかし、中央アジアで地元会社が提示した試験結果は、N 値から予想していた変形係数を大きく下回る値であった。試験の実施状況は現地で確認し試験方法に問題はなかったため、荷重計の問題が懸念された。そこで、図 5 のリング型荷重計を日本より持参し、使用した荷重計を検定することとした。その結果、荷重計の校正係数に誤りがあり、実際には 1.5 倍の載荷圧力が加わっていたことが判明した。修正により、軽量構造物の大半を浅い基礎形式に変更することができた。

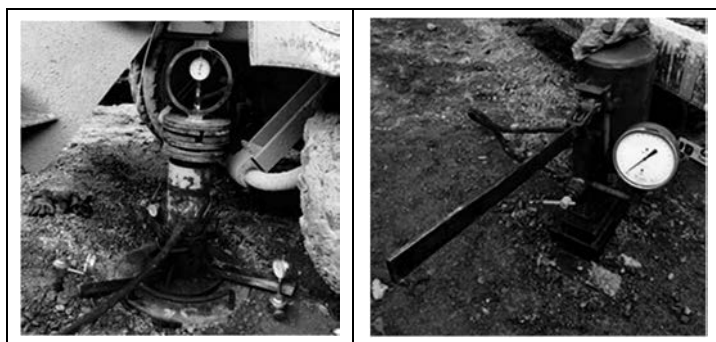


図 5 リング型荷重計（左）と地元の荷重計（右）

3. 特殊な地盤

（１） 膨張土

インドの黒綿土（Black Cotton Soil）やインドネシアの膨張土（Expansive Soil）は、モンモリロナイトやスメクタイトなどの膨潤性粘土鉱物を含有する。膨張土による障害には、膨張土を用いて道路盛土や擁壁の裏込めを行ったために道路のヒービングや擁壁のはらみ出しを起こす例（図 6）、膨張土の上に工場の土間を建設し雨季になって床が持ち上がり、床コンクリートが割れた例、場所打ち杭でコンクリート打設前に掘削孔壁面が膨潤し強度低下を起こし、期待した周面摩擦力が得られなかった例などがある。地元の地盤調査では膨張度を測定する Free Swell Test や特殊な圧密試験が実施されるので、結果をもとに対策を検討する。膨張土対策には、地表面、盛土、路床などの影響箇所を非膨張土に置換、セメント混入による改良、土間を構造床とし床下に空間を設ける方法などが採用されている。



図 6 道路の浮き上がり（左）、用水路のはらみ出し（右）

(2) スレーキング

東南アジアの風化残積土や堆積軟岩の中には、スレーキングを起こす土や岩があり、掘削後の応力開放や浸水により著しく強度低下を起こす。スレーキングを起こしやすい土は、トリプルチューブサンプラーなどの循環水によって採取サンプルがスレーキングし著しい強度低下を起こす例も報告されている（文献 1）。

海外ではスレーキング現象に対する認識不足と試験基準がないことから、地盤報告書をもとにスレーキングの判断ができない。スレーキングが重要な安定要素となる切土斜面や掘削工事では、土塊を水浸させて観察する簡易判定の実施を推奨する。

シンガポール政府発注の岸壁工事においてケーソンの床掘面の地盤がスレーキングを起こし、設計で定められた強度や変形係数が得られず、床掘深度を何度も変更せざるを得ない事態が発生した。施工業者によるクレーム申請が発注者との長期論争になった一因として、スレーキングに対する理解不足があげられる。その後の同様工事では、地盤工学会基準によるスレーキング試験が実施されている。

(3) 崩壊岩、崩壊土

タイの南海岸地方の工場団地に出現した花崗閃緑岩は雨水や地下水流により崩壊し、直接基礎の過大沈下や切土斜面の崩壊が発生した。図 7 に示すように岩片を水浸させたところ、C 級岩塊が 3 分ほどで完全土砂化することが判明した。この工業団地では、斜面の切り直しや崩壊土砂にセメントを混ぜて締め固め直すなどの対策を施した。

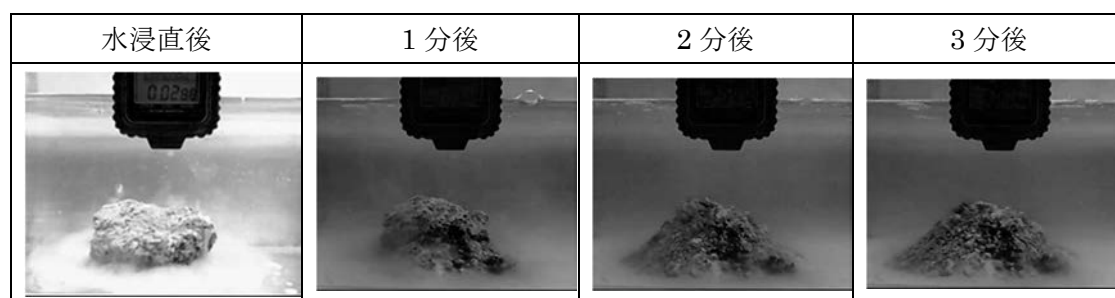


図 7 花崗閃緑岩の浸水崩壊の様子

その他、世界各地の有機質土、ロシアなどの凍土、ボルネオ島の亜炭層、空洞の多い石灰岩、浸食に弱い熱帯のラテライト質土などが知られている。プロジェクトの推進に際しては、特性と対策事例の予備知識を得ておくことが重要である。

4. リスク対策

海外での地盤調査の品質と特殊土に対し推奨する地質リスク対策を以下にまとめる。

- 現地を事前に踏査すること。特に地盤調査が十分でない山岳地では、地すべりや土砂流リスクの判定、露頭の地質・風化・変質状態を把握する

- 地盤調査がどのような品質管理で実施されているかを現地で確認する
- 調査や試験の確認試験（スポットチェック）を実施する
- 地元調査員の技量に左右されにくい試験を選択する
- 重要なプロジェクトでは、少し高額でも品質に信頼のおける調査試験を実施する
- 特殊土は論文資料の収集と信頼のおける地元コンサルタントのアドバイスを受ける

5. 契約上のリスク

海外工事の設計施工契約では、地質リスクは基本的に施工業者が負うことになる。一方で、FIDIC などの契約には **Adverse Physical Condition (APC)** 条項があり、地盤で想定外の事象が発生した場合には、設計変更（クレーム）が認められている。ただし、発注者が設計変更を認める条件として、「経験のあるコントラクターであっても予見できない事象」という付則があるため、多くの場合、早期解決は困難で、時に仲裁裁判にまで発展する。

筆者らが関与した地質リスクによる仲裁裁判例として、(1)インドネシア東部ジャワで掘削中の岩盤切土斜面上段に亀裂が入り深礎杭による追加対策が余儀なくされたのは設計瑕疵か APC かという発注者と設計施工会社の争議、(2)シンガポール高層ビルの過大沈下により追加杭が必要になったのは設計瑕疵か施工不良かという施工業者と設計会社の争議、(3)シンガポール地下高速道路の仮設山留が変形しグラウトを追加したのは設計瑕疵か APC かという発注者と設計施工会社の争議がある。(1) は地すべりの予見性、(2) は杭の支持層への根入れ長の正当性、(3) は軟弱粘性土の物性という、いずれも地盤の解釈や調査試験精度が争点で、結審までに数年、多大な訴訟費用と労力を要した。(2) のケースで敗訴した設計会社の賠償額は巨額で設計賠償責任保険（PI 保険）では賄えない額であったため、会社の存続にまで影響した。

近年、海外の契約では、発注者と施工業者の責任を明確化しクレームや争議を低減する目的で、**Geotechnical Baseline Report (GBR)**（文献 2）が契約文書に加えられるようになった。トンネル工事保険には、GBR に相当する **Ground Reference Condition Report (GRC)** という契約図書（文献 3）もある。例えば、トンネル掘削時に遭遇する岩盤の一軸圧縮強度の範囲が GBR や GRC に記載されると、範囲外の岩盤が出現した場合にのみ設計変更が認められ保険が適用される。GBR や GRC によって契約上の地質リスクを低減し移転する仕組みである。しかし、ここでも地盤調査や試験の品質が国際水準であることが前提である。

参考文献

- 1) K.S.Wong, C.P.Seh, T.Nonaka, R.Julijanto, P.L.Teo : Evaluation of Field and Laboratory Test Results, Geotechnical Society of Singapore 10th Anniversary Conference, 2017
- 2) 岩崎公俊・折原敬二：GBR について、地盤工学会誌 57-5、2009.
- 3) 折原敬二・野中毅：シンガポールの公共工事における地質リスクマネジメント、地質と調査、2011(3)、20-23、土木春秋社

【論文No. 21】 道路事業全体での地質リスクマネジメントの事業効果検証事例

国際航業株式会社 ○藤原 協（地質リスク・エンジニア 登録番号40）、篠田繁幸、山田優子、堀中敏弘、坂本拓二、鳥居和樹（地質リスク・エンジニア 登録番号67）

1. 事例の概要

当事例は、バイパス道路事業の詳細設計実施段階において、事業区間全体に係る地質リスクを抽出、検討、リスク対策を行うことによって、当該事業全体での地質リスクマネジメント効果を取りまとめたものである。

当該バイパス計画地は、脆弱地質（熱水変質帯、破碎帯）や火山灰質特殊土（ローム、黒ボク）が分布する他、近傍の同地質帯において、トンネル切刃の崩壊や大量湧水等の事象が発生しており、内在する地質リスク要因が多い地域であった。そのため、これらのリスク要因への対応を誤ると、最悪の場合は大きな事故につながる他、事業費の増大や事業工程の遅延、事業損失補償問題の発生等が想定された。したがって、それらのリスク要因を事前に把握し、回避もしくは最小化することが非常に重要と考えられたことから、詳細設計のための地質調査を実施する段階で、地質リスクを抽出し、リスク対策を検討していった。当該事業は、発注者が地質リスクに理解があったため、継続的（約4年間）に検討を実施すると共に、実施した地質リスクマネジメント結果に基づき、リスク対策の事業効果に関して総括的に整理した。

当該道路事業の概要と抽出・検討した主な地質リスクを図1に示す。対象事業区間は延長約2kmの区間で、トンネル・橋梁・盛土・開削（掘削）等の構造よりなる。当該事業で抽出した主要な地質リスクを、種類（分野）で区分すると、次の4つに分けられた。

①斜面安定リスク、②土捨て場（受入地）選定に係るリスク、③建設発生土処理（自然由来重金属等、酸性水）に係るリスク、④周辺水環境（事業損失等）への影響リスク

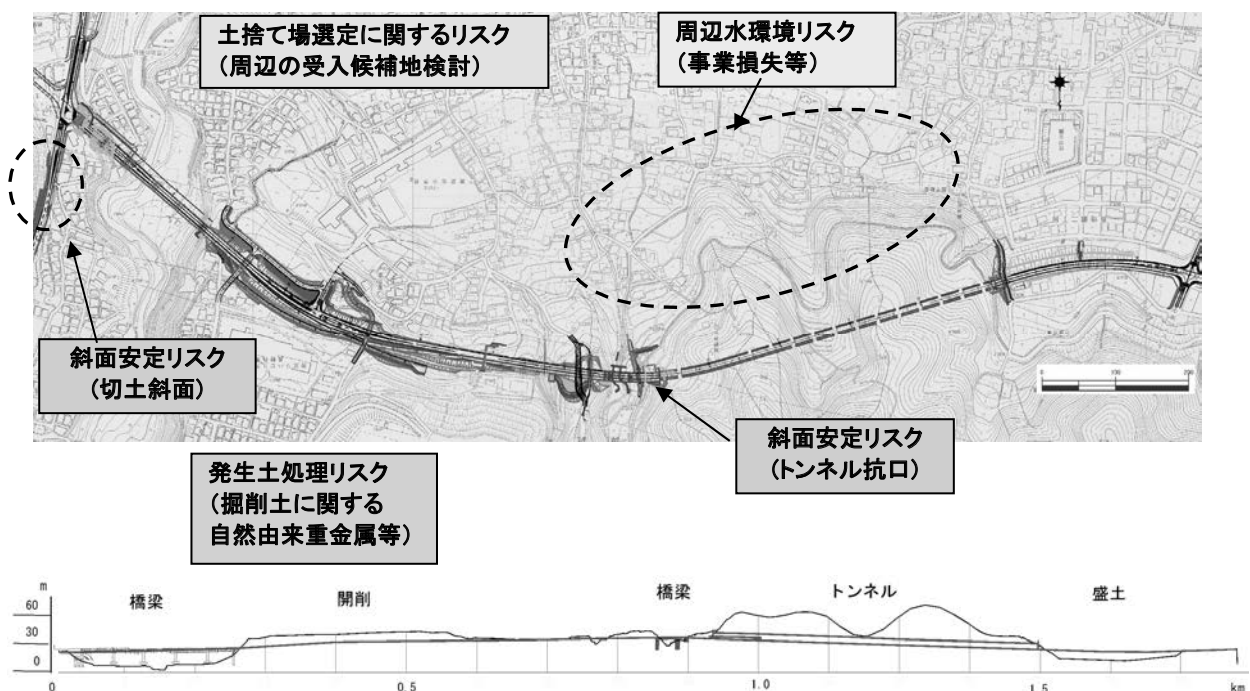


図1 対象道路事業の概要と抽出・検討した地質リスク

2. 事例分析のシナリオ

当該道路事業における地質リスク検討の流れを図2に示した。

どのようなリスクが存在しているかを抽出する「リスクの抽出・特定」から始まり、「リスク分析」及び「リスク評価（対応方針の決定）」により、そのリスクが無視（許容）できるものか、対応策が必要かを検討した。その結果、「リスク対策」が必要と判断された事項については、具体的な対応方針を検討した。

また、抽出したリスクに関しては、単独のリスク対応だけで完結するものは少なく、各項目でのリスク評価～対応方針の決定に際しては、相互の評価結果をあわせて検討し、最適な対応方針を決定していった。例えば、トンネル抗口斜面安定の対策と周辺水環境への影響対策や発生土（自然由来重金属等）対策と土捨て場選定に関する対応検討は、密接な関連があり、事業全体としてのリスクマネジメントの視点が不可欠であった。

3. データ収集分析

抽出した地質リスクに対し、データ収集・分析評価した結果に基づき、リスク対策を行った。各課題に対するリスクの状況、評価対策結果の概要は以下の通りである。

（1）斜面安定に関するリスク

対象バイパスは、トンネル区間、盛土区間、高架橋区間が多いが、明かり区間の切土斜面やトンネル坑口においては、斜面防災上の課題があった。

① 国道沿い切土斜面

《リスク概要》一般道取り付け部における、国道改良の切土計画斜面周辺部は急勾配斜面よりなり、崩壊発生が懸念されたため、適切なリスク評価と経済的な斜面安定対策が求められた。

《評価対策》当該箇所の崩壊危険性と危険範囲について、追加で実施した地質踏査及びボーリング調査により把握し、斜面安定対策工法の最適化を図った。特に当該箇所の交通量はやや多く、う回路はあるものの市街地内の狭隘な市道や林道となり、通行支障による損失が少なからず発生すること等も考慮し、対策必要性を評価した。

② トンネル起点側坑口の緩斜面

《リスク概要》起点側坑口部に地すべりの疑いのある緩斜面があり、この斜面が地すべり跡地と判断するか、崖錐堆積物と判断するかにより、斜面安定対策に大幅な内容変更と対策経費増大のリスクがあった。

《評価対策》既往調査では地すべりと評価され、地すべり対策設計が予定されていたが、追加の踏査・ボーリング調査・室内試験・地下水調査（検層、揚水試験等）を実施して、当該緩斜面を崖錐堆積物と判断し、斜面安定工法の変更を行った。さらに、後述する水利用への支障に関するリスク検討結果も合わせて評価することで、地下水排除対策及び代替水源確保の両方を兼ねた合理的な対応策を決定することができた。

（2）土捨て場選定に関する地質リスク

《リスク概要》一般に、山間地～中山間地におけるトンネルを伴う事業で土捨て場の確保が重要な課題の一つとなることが多い。当該地でも、安定した盛土処理が比較的容易な平坦地は既に土地利用されている場合が多く限定的となり、山地部の沢部等に盛土処理する

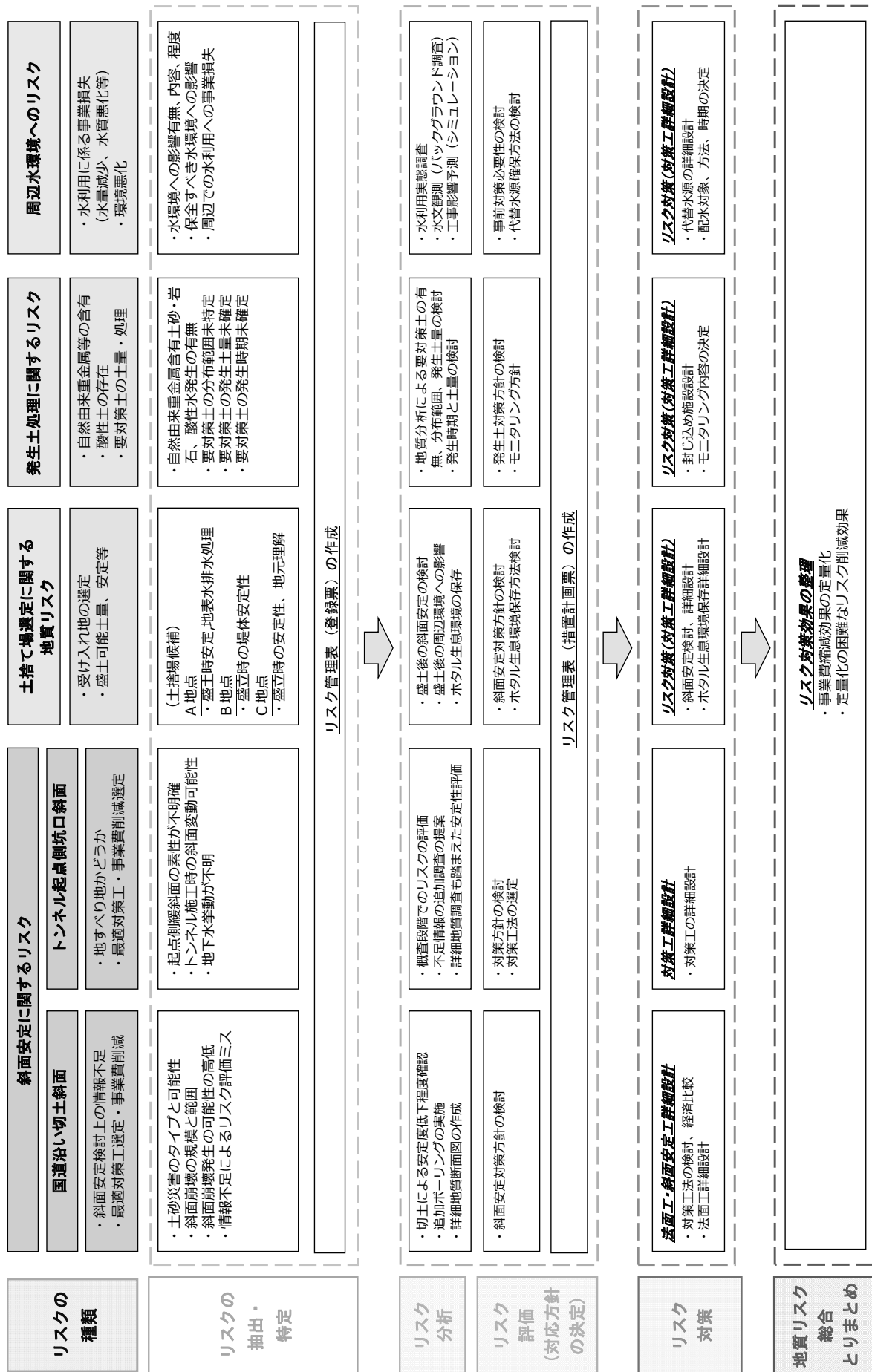


図2 当該道路事業全体の地質リスク検討の流れ（まとめ）

場合は、盛土可能量や盛土の安定、地下水処理などの対応が懸念となった。多数の土捨て場候補地について、その適性や課題などについて検討した。

《評価対策》候補地について、個別箇所の地形地質状況に応じた追加の地質調査・試験を実施して適性や課題を比較検討し、設計業務と調整の上、盛土形状等を比較検討した。特に、有力な土捨て場候補地において、既存の盛土内に安定性に課題がある旧盛土の粘性土層が分布していたことから、旧盛土の排土の実施有無等による、リスク対策効果等を比較検討し、対応方針を決定した。

（３） 発生土処理に関するリスク

《リスク概要》地質は、新第三紀鮮新世～第四紀更新世の安山岩および凝灰角礫岩よりなり、主として安山岩が分布する。また、所々熱水変質による軟質部や断層破碎部が分布し、全体的に脆弱な地質状況であり、強酸性の温泉等も存在した。そのため、酸性水の懸念もあり、一般に自然由来重金属等のリスクが高い地質条件であった。建設時の発生土処理や盛土後の段階で、これらの問題が発覚した場合は、円滑な事業遂行に大きな影響を及ぼすため、リスクとして抽出し、対応を検討した。

《評価対策》事業区間全体について、事前の調査段階で自然由来重金属等や酸性水に対する発生土対策必要性に関する検討を行い、要対策土、対策不要土の区分を完了した。そのため、発生土処理対策を詳細設計・施工計画に組み込むことができ、円滑な事業推進に大きな効果が見込めた。また、トンネル部では、要対策となる自然由来重金属等の基準を超過した区間に対し、技術的検討（鉍物分析）を追加することにより、要対策区間の絞り込みを行い、対策費用の縮減も実現した。

（４） 周辺水環境へのリスク

《リスク概要》トンネル区間においては、掘削に伴う地下水位低下が予想され、沢水や既設水源井戸等の既存の水利用に支障が出る可能性があった。近隣の既存トンネルの施工に伴い、過去に水利用への影響が発生していたことから、新たな工事による代替水源等への影響評価・対策と共に、地域の方々への水問題への懸念に対する最大限の配慮が必要な状況であった。

《評価対策》水収支シミュレーションの結果、既設水源等への影響が発生すると評価し、代替水源を検討した。代替水源は、トンネル施工時の安全性確保を兼ねるとともに、恒久的な水利用を考慮して、自然流下が可能な位置、工法を選定した。予め対策を実施することで、地元とのリスクコミュニケーションを図ることができ、事業費に表れないリスク低減効果についても見込めた。

4. マネジメントの効果（リスクの計量化）

（１） リスク対応効果の種類と性質（計量化可能な効果と計量化困難な効果）

リスクマネジメントの効果を検証するにあたっては、地質リスク検討を実施した場合と実施しなかった場合の事業費を算出し、リスク対応の効果量を算出することを基本とした。

一方で、事業費として計上しにくいリスクマネジメント効果も多くあり、場合によっては、その方が効果の中心となることも考えられる。したがって、それらを合わせて地質リ

リスク対応効果として評価する必要があると考え、計量化可能な効果と、計量化困難な効果の両方について検討した。検討にあたり、主な効果を表1のように整理区分した。

表1 リスク対策効果の計量化可能なものと困難なものの区分（案）

計 量 化 可 能 な も の	① リスク対策の主たる費用が計上可能（例：対策方法や調査方法の最適化など）
	② リスク対策を実施しなかった場合の発現リスクや発現後の対応費用が計上可能 ・例えば、不適切な対策方法や調査方法の選択による経費ロス、崩壊等の事故が発生した場合の復旧費用など）
	③ リスク対策の検討内容が、ある程度限定されたエリアの課題で、対応の考え方や方法が複雑でない場合
計 量 化 困 難 な も の	①リスク発現による事業遅延とその影響 ・事業遅延により、計画していた事業効果（例：道路開通効果）の発現の遅れ等
	②リスク発現による推定影響範囲が、複数想定されるなど決定しがたい場合 ・想定被害範囲が、発生規模やその他の影響により不確実性が大きく、事前に確定しにくい場合は、被害量の算出が容易でない。
	③リスク発現による被害が、人的被害を含むなど多大になるもの ・人的被害が発生する場合や被害範囲や内容が広範・多岐に及ぶ場合には、被害量の算出が容易でなく、リスク対策効果の定量的比較が困難となる。
	④ 事業に対する地域の方々の感情の悪化等 ・リスクコミュニケーションに係る地域への対応に関しては、状況により費用と時間を大きく左右する。また関連他事業も含めた、長期的な課題ともなり得る。

（2）当該事業全体の地質リスクマネジメント効果のまとめ

当該事業における地質リスクに対するマネジメント効果について、効果量を計量化できたものとできなかったものを合わせて表2に示した。

事業費の縮減量として計量化したものは、合計で約4.1億円となる。一方で、それ以外の計量化が困難であったマネジメント効果についても、どのリスク検討項目でも抽出されており、これらも重要なマネジメント効果として評価すべきと考えられる。

5. 地質リスクマネジメントを有効なものとするために必要なこと（提言）

地質リスクマネジメントのプロセスにおいて最も重要となるのは、初期に実施する「リスクの特定・抽出」と考えることができる。なぜなら、内在する可能性のあるリスクとして抽出されていれば、そのリスクが別途対応（リスクの評価分析・リスク対策）の必要なものか、「保有」もしくは無視できるものかを事業進捗の中で判断することができるが、抽出されていない（認識されていない）リスクは、気づかれぬまま進捗して事故などの重大なリスク発現に結び付く恐れがあるからである。

さらに、本事例のように、ある地質リスク項目への対応に関し、その他のリスク項目への対応と合わせて検討することで、より精度が高く合理的な対応につながる場合も多いと考えられる。そのため、同一事業内では総合的に地質リスクマネジメントを実施する必要があり、広域的・継続的に全体視点で行うと共に、進捗に応じて新たに判明したり、変更が必要となったりした事項を適宜反映・見直しを行うことが望まれる。

さらに、複雑な実際の地質地盤のモデル化には限界があることを認識することも重要である。対象が、地盤や地質をある程度正確にモデル化可能な地区か、正確なモデル化に限りがある地区なのか、その認識をリスク評価に反映することが必要と考えられる。

表2 当該事業全体の地質リスクマネジメント効果のまとめ

リスク 検討項目	計量化可能なマネジメント効果			計量化が困難なマネジメント効果 (マネジメントにより回避した事象)
	リスク対策案	比較案	マネジメント効果量 (万円)	
斜面安定 (国道沿い 切土)	適切な斜面 安定対策の 実施	無対策	復旧工事費 発生回避 2,700	・崩壊発生による通行止め期間の発生 ・狭隘な、う回路利用による支障 ・公共事業に対する地元感情の悪化
斜面安定 (トンネル 坑口斜面)	崖錐堆積物 としての安定 化対策	地すべり対 策としての 安定化対策	工費増大回避 6,800	・工期の延長(トンネル施工時のロックボルト 切断作業の発生)
土捨て場 選定 (候補地の 斜面安定等)	粘性土を含 む旧盛土を 排土処理	旧盛土を排 土せずに施 工し、盛土 崩壊発生、 崩壊処理な ど再施工	復旧工事費 発生回避 5,700	・水道施設敷地内への流入土砂の排土なら びに施設の復旧 ・水道施設復旧までの代替水源の確保 ・崩壊盛土の搬出先の確保 ・当該道路事業に対する地域感情の悪化、 それに伴う事業進捗の遅れ
発生土処理 (要対策土の 縮減等)	鉱物分析に よる要対策土 量の絞り込み	ボーリング 結果のみに よる要対策 区間の設定	要対策土量 の削減 26,000	・施工時に対策必要性が判明した場合の工期遅延 ・対策必要性判定のためのストックヤードの確保 ・想定外の対応検討のための工期遅延 ・トータル事業コストや周辺環境影響(風評含む)を考慮した対応方法の検討
周辺水環境 (水利用に係 る事業損失 対応等)	地表からの水 抜き対策 (自然流下)	トンネル坑 内からの水 抜き対策	差異は小さい 30	・事前の保障対策に係る説明により、地域感情の悪化を低減 ・トンネル掘削工期の増大(切羽での水抜きボーリング作業が発生)、あるいは、拡幅部や作業坑の設置など、大幅な工費増大(切羽での作業を回避する場合)。
マネジメント 効果合計	—	—	41,230 (約4.1億)	・工期遅延、周辺環境・施設等への影響、地域感情の悪化等

(データフローダイアグラムと階層分析手法を用いた地質情報の評価事例)

ことの重要性を指摘している。

また、横田(1989)⁴⁾は、土木地質の観点から地盤情報の空間分布に関わる確からしさの取り扱いについて、その解釈情報に着目して、表現方法と伝達方法の方向性について論じている。地層処分の分野でも同様の考えで、リスク、不確実性といったものの空間分布の把握・表現に取り組んでおり、Kurihara, et al.(2010)⁵⁾は、精密調査相当での調査データを基とし確率論を用いた表現方法について検討している(②相当)。本研究では、データ量の乏しく確率的検討が困難な文献調査～概要調査相当¹⁾での表現手法について検討した(③～④相当)。手法検討に際しては岩盤評価の空間分布に関する表現手法に絞って検討した。なお、広義的な名称として以降では、②～④を不確実性と呼称し記述する。

(2) 表現方法の検討

地層処分事業で、地質環境のうち対象岩盤に調査初期段階で期待する必要条件は、大局的には下記の2項目である^{1,6)}。

- (a) 対象岩盤が十分な深度に分布し、かつ十分な空間的拡がりを持つこと。
- (b) 対象岩盤が地下施設を建設できる力学的安定性を有すること。

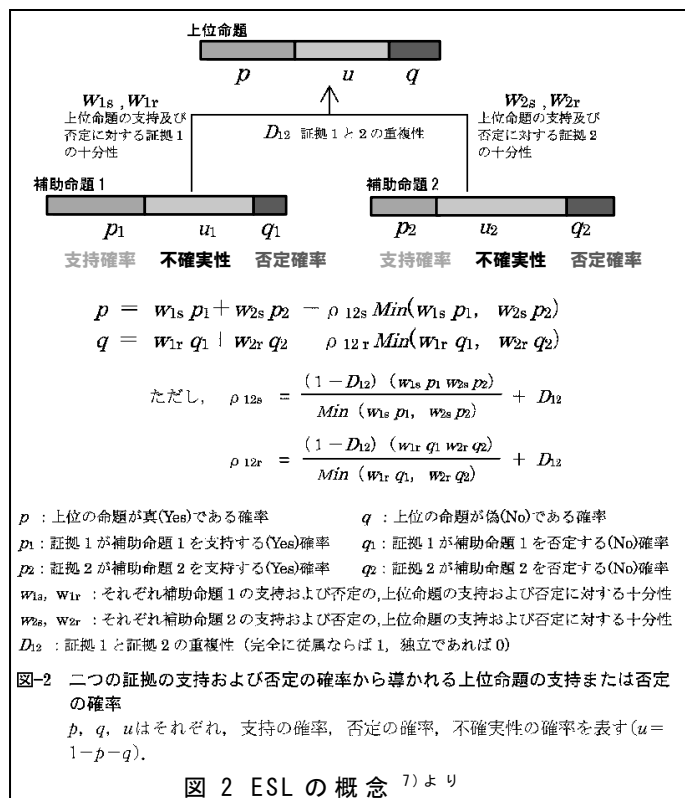
ここで課題となりうる点としては、(a)に対して対象岩盤や境界条件の位置情報の精度・分解能の向上、(b)に対して物性値とその分布の確度向上があげられる。よって、本検討では、精度・確度の向上過程での不確実性の空間分布とその変遷過程を表現することを具体的な目標として設定した。また、岩盤評価の空間分布に内在する不確実性は、調査データの質と量や、定性的解釈・類推の確からしさに起因して生じることから、次の2つを組み合わせた表現方法とした。

① 位置情報に関わる精度・分解能の表現方法

位置情報の精度・分解能は、直接データの有無とその種類・組み合わせに大きく依存する。このため、基礎的な精度・分解能の表現として、調査項目の有無とその組み合わせにより空間を分割し、かつ精度の差を分割単位の大小として表現するものとした。

② 特性値情報の確度の表現方法

特性値(物理・力学特性など)の空間分布は、直接調査(ボーリングなど)での取得と、間接的調査(物理探査)を用いた対比解析による外挿により求められる。特性値の空間分布の確度は、直接調査での定性的・定量的データによる評価結果と、間接調査のデー



タ品質および外挿手法の論理的過程・根拠に依存する。

このため、特性値の空間分布の確度表現には、取得・解釈情報の確からしさと、外挿手法の確からしさの双方に着目し、その解釈に至る評価・判断過程を、命題として分解し、階層分析手法を用いて点数化し表現するものとした。

(3) 階層分析手法の検討

① ESL

具体的な点数化には、ESL(Evidential Support Logic)⁷⁾を用いた。ESLは、命題とその補助命題との関係を階層構造として表現し、その命題間の相互関係について、重みづけを表現する十分性を介して、支持確率、否定確率、として確からしさの度合いを数値表現する手法である(図2)。

中安昭夫ほか⁸⁾は、幌延地域の複数の調査事例にESLを適用し、不確実性の発生原因をもたらし調査項目を特定し、不確実性の程度を定量的に表しその有効性を示した。また、意思決定プロセスの論理の階層構造や十分性の値については、新知見の取得や考え方の付加や更新など、調査研究の進展に合わせ定期的に更新していく必要性を指摘している。

② 統合化データフローダイアグラム

論理的評価過程の分析およびその命題設定と階層構造構築には、統合化データフローダイアグラム⁶⁾を用いた(図3)。統合化データフローダイアグラムは、多岐分野にわたる(a)地質環境調査から(b)解析モデル化を経て(c)特性評価結果の取得までの一連の作業・解析過程と相互依存関係を系統的にトレースし、連関性を含めて整理・記述したフロー図である。

③ ESLと統合化データフローダイアグラムを組み合わせたアプローチ

本研究では、以上のESLと統合化データフローダイアグラムの2つを組み合わせたアプローチによって命題の階層構造を構築し、特性値の確度を表現するものとした(図4)。統合化データフローダイアグラムを上記(c)から(a)へと逆向

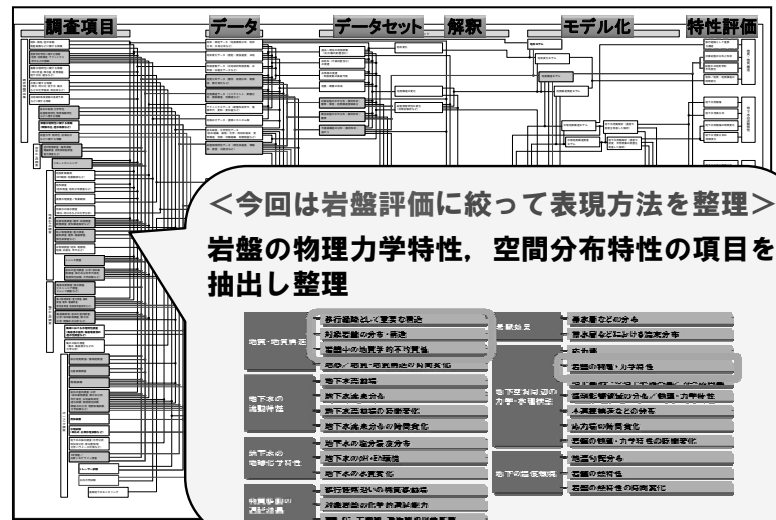


図3 統合化データフローダイアグラムと今回の抽出項目

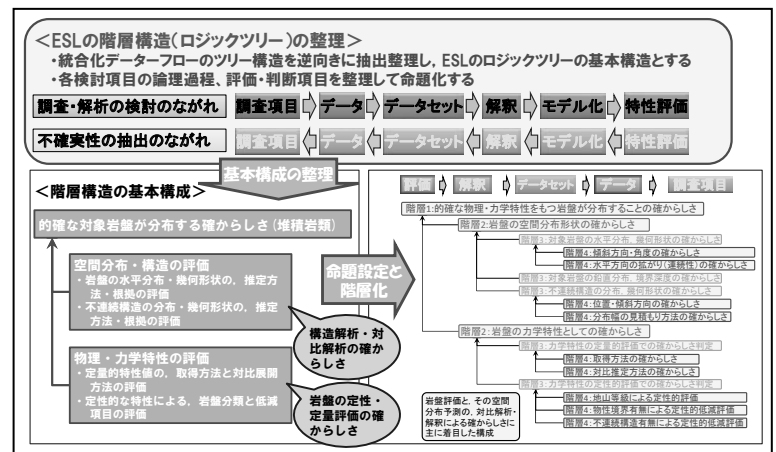


図4 命題-補助命題の階層化によるロジックツリー

きにトレースし命題化・階層構造化することで、主要命題・補助命題の漏れや命題間の論理上の連関性を漏れなく記述した。

この手法を用いて、支持確率・不確実性・否定確率をパターン検討・整理し定量化するものとした。本研究では松崎ほか¹⁰⁾で求めたパターン検討をより詳細に分類し検討を試みた。

4. リスクの計量化

幌延沿岸域での地質環境調査は、数年間に及ぶプロジェクトとして、段階的に実施され、その段階に応じて調査データの蓄積および地質環境の評価解釈の更新を行っており、本手法の適用先としての好例と言える。

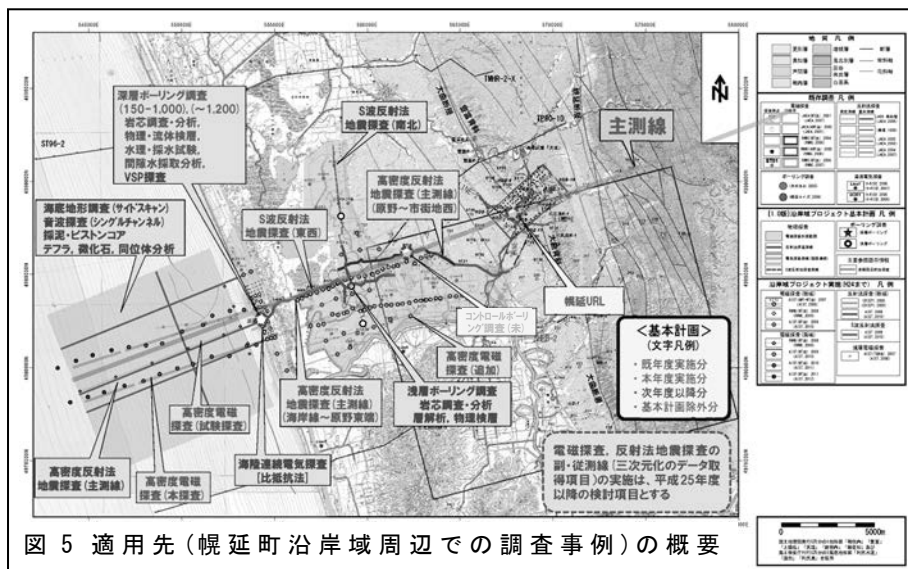


図 5 適用先(幌延町沿岸域周辺での調査事例)の概要

調査地域の概要として、対象地盤は、新第三系堆積岩類～第四系未固結堆積物であり、緩やかな褶曲構造を有する。調査対象範囲は、陸域～海域にかけての延長約 20 km、幅約 10 km の範囲で対象深度は約 2 km である(図 5,7)。調査主要項目は、陸域～海域にかけての物理探査(電磁探査, 反射法地震探査)、深層ボーリング調査である。

これらの成果を参照し、ESL と統合化データフローダイアグラムを組み合わせた今回の表現手法を、幌延沿岸域の主測線断面(延長約 20 km, 深度 2 km)への適用し不確実性の空間分布の表現を試みた。具体的には、

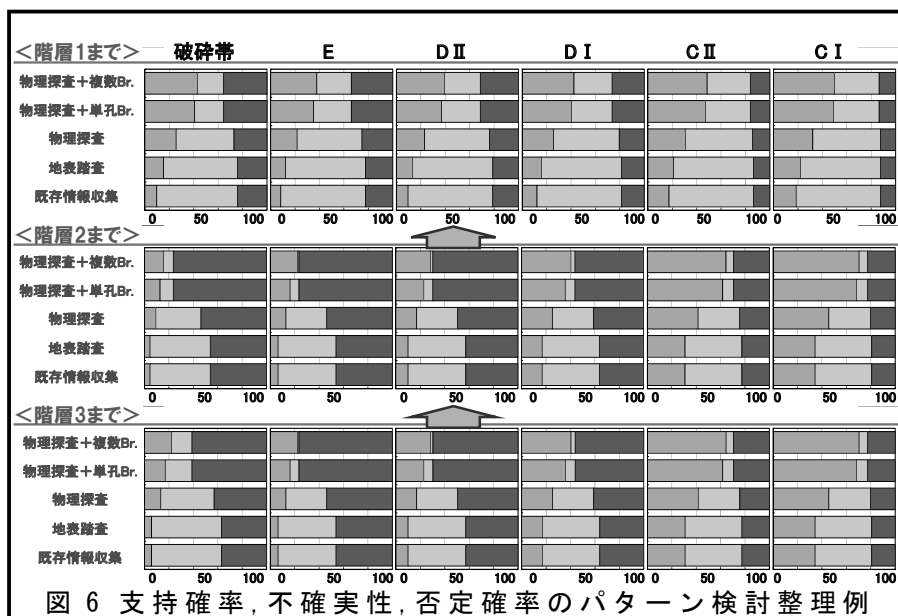
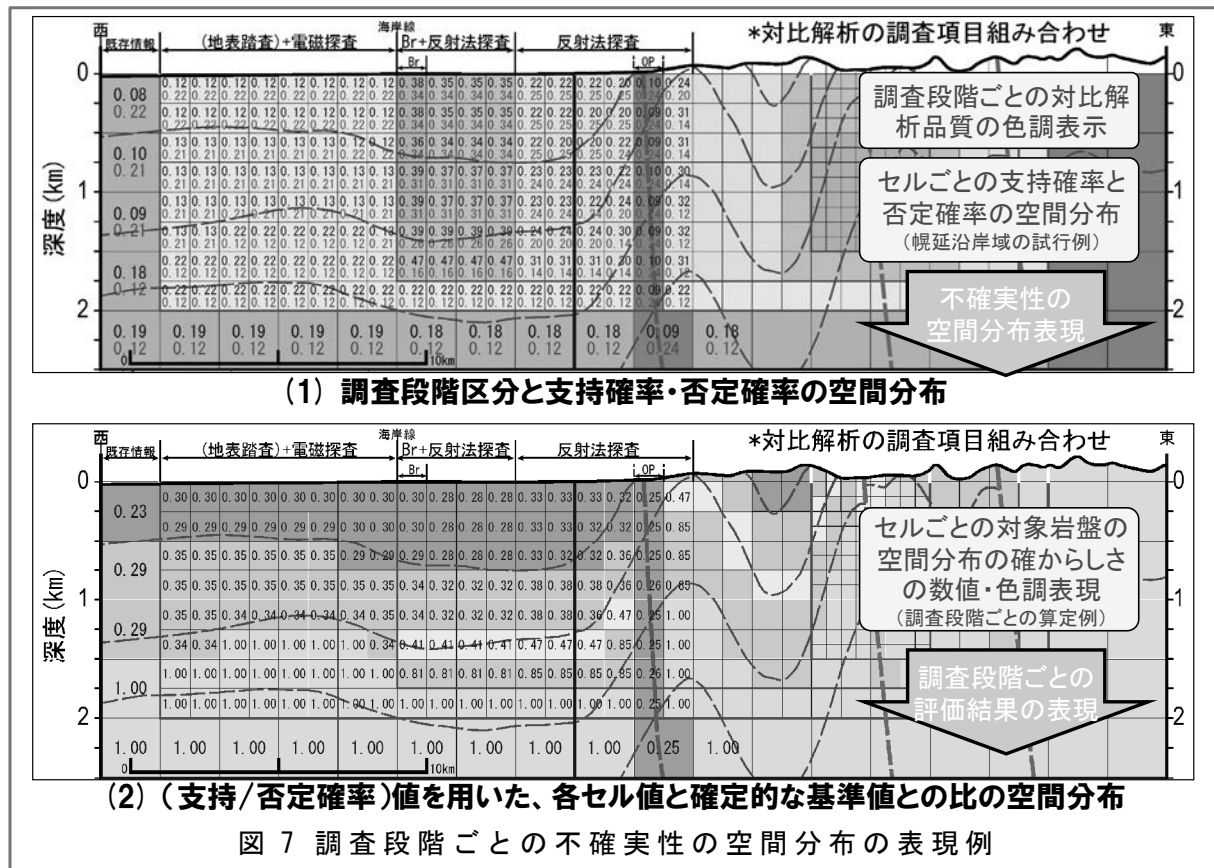


図 6 支持確率, 不確実性, 否定確率のパターン検討整理例

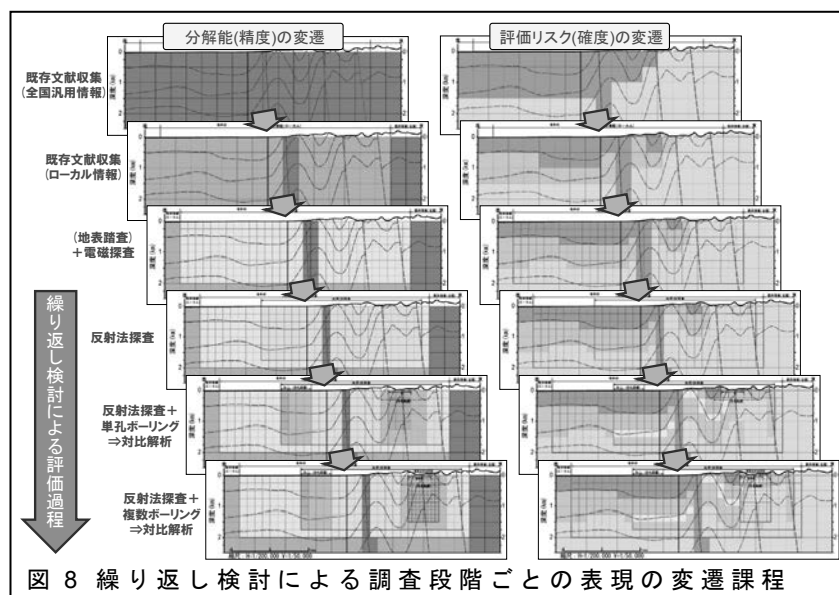
精度・分解能表現として、上記範囲を分割(約 200 セル)し、調査項目の有無とその組み合わせにより調査段階を 7 つとし分割単位の大小を設定した。また、特性値情報の確度表現として、最上位命題を「力学的安定性を有する岩盤が存在す

る」として、命題を階層構造化し、調査段階ごとと分割単位（セル）ごとに支持確率、否定確率を求め、パターン検討を行った（図 6）。さらに、セル相互の相対値として、直接調査により最上位命題を確定的に満たすセルでの値（支持/否定確率）を基準として、各セルの値（支持/否定確率）との比を求めた。それぞれの数値に対して、閾値設定し色調表示とした（図 7）。



5. まとめ

以上の結果、本アプローチにより、空間的分布および調査段階ごとの変遷過程での不確実性の度合いを定量的に表現する手法を整理することができた。今回の研究では岩盤評価に絞り検討したが、地質環境の他分野（水理・水質など）の空間分布への適用や他地域への適用性が今後の課題である。また、意思決定プロセスの論理の階層構造や十分性の値



については、新知見の取得や考え方の付加や更新など、調査研究の進展に合わせ定期的に今後も更新していく必要がある。

＊ 本研究は経済産業省の平成 24 年度委託事業「地質環境総合評価技術高度化開発」の成果の一部である。

6. 文献

- 1) 原子力発電環境整備機構(2011): 地層処分 of 安全確保(2010 年度版)-確かな技術による安全な地層処分の実現のために- NUMO-TR-11-01.
- 2) 地質調査総合センター(2008): 地質リスクとマネージメントー地質事象の認識における不確実性とその対応ー, 地質調査総合センター研究資料集, no. 472, p.42.
- 3) 脇坂安彦(2010): リスクマネージメントにおける地質学的解釈の重要性, 地質ニュース, no.675, pp.52-66.
- 4) 横田修一郎(1989): 地質情報の伝達媒体としてみた土木地質図, 応用地質, vol.30, no.3, pp.23-32.
- 5) Kurihara, A., et al. (2010): Quantitative evaluation of fault distribution uncertainty: Applicability of an analytical method for evaluating 3-D geological models in the Mizunami Underground Research Laboratory Project, Proc. Int. Symp. Earth Sci. Tech. 2010, pp.453-456.
- 6) 大澤英昭ほか(2008): 地質環境総合評価技術高度化開発ー次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発ー, JAEA-Research 2008-085.
- 7) 若松尚則ほか(2007): 水理地質にかかわる地下環境影響評価への Evidential Support Logic の適用, 応用地質, vol.48, no.1, pp.2-14.
- 8) 中安昭夫ほか(2014): Evidential Support Logic を用いた調査・解析結果の不確実性評価・隆起速度の算出に関する調査・解析の事例-, 情報地質, vol25, no.4, pp.189-203.
- 9) (独)産業技術総合研究所(2011): 平成 22 年度沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発 成果報告書, ISSN 1881-8838.
- 10) 松崎達二ほか(2013): データフローダイアグラムと階層分析手法を用いた地質情報の不確実性表現手法の検討, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.145-146.

[論文 No. 23] 札幌市の表層に分布する表層地盤について

北海道士質コンサルタント株式会社 ○松本 和正
(地質リスクエンジニア No.13)
同 上 遠藤 秀博

1. はじめに

平成 18 年 11 月、弊社の創立 55 周年記念誌として「札幌地盤図」を刊行した。この地盤図は札幌市の山地を除く平野や丘陵地を対象にして東西及び南北方向に約 3 km 間隔で 6 本ずつ計 12 本の地盤断面図を作成したものである。解析断面の総延長は約 200km 以上となり、約 1,200 本のボーリング柱状図を使用した。当地盤図は、これらの多数のボーリング資料に基づき忠実に土層区分した点が特徴である。また、1994 年に発行した「札幌表層地盤図（2 m 深図）」に、旧沢地を周辺に分布する火山灰で埋め立てられた造成範囲（以下、沢埋め盛土）を追加した。当報告では、札幌地盤図作成で判明した表層地盤のうち土木や建築上問題となる軟弱層（海成粘土、泥炭）と地震時の液状化が問題となる沢埋め盛土に着目し、分布や工学的特徴（*N* 値、物理的性質）について報告する。

2. 土層区分と地形区分

(1) 土層区分と時代

土層区分は地盤工学会の分類を基本とし、これに地質学的な要素を加味して図1の分類とした。第四紀層の区分は“沖積層”と“洪積層”に区分しているが、“沖積層”は工学的意味での「軟弱地盤地質系統」（湊ほか,1968）で、地質学的な意味では更新世末期の海進堆積物をも含んでいる（図1）。

(2) 地形区分と構成土層

札幌市の地形は、大まかに J R 函館本線～千歳線の南側の扇状地・丘陵・台地・山地と北側の低地とに2分される（図2）。

① JR 函館本線～千歳線の南側の地形

札幌市の南西部は新第三紀層の火山岩で構成される標高300～1,000m級の独立峰が連なる西部山地が発達する。

真駒内川を境として「東部丘陵」は標高25～250mで、野幌丘陵や月寒台地と周辺の凹地を埋め尽くした支笏軽石流堆積物(V)およびその二次堆積物（Sv）からなる火山灰台地が連続する。「西部山地」と「北部低地」の境には、扇状地群・崖錐（旧扇状地）群が発達する。最も規模が大きい豊平川扇状地は小山内ほか（1956）が札幌扇状地と呼んだもので、玉石を混入する砂礫（G-Ft）が主な堆積物となる。

地質・土質区分		地層記号	主な地層名
第 四 紀 層	沖 積 層	盛 土	Bk 人口造成地など
		泥 炭	P 後背湿地堆積物
		粘土 泥炭混じり粘土	C1 後背湿地堆積物、谷底低地堆積物
		粘 土	Cm 海成粘土
	洪 積 層	砂（一部砂礫）	S-Dm 紅葉山砂丘堆積物
		火山灰質砂	Sv 支笏火山噴出物の二次堆積物
		砂 礫	G-Ft 豊平川扇状地堆積物
		砂 礫	G-Fh 発寒川扇状地堆積物
		細砂、砂質シルト	S 自然堤防堆積物、現河床堆積物、海浜砂 完新世初期～更新世末期の堆積物
		砂 礫	Gc 現河床堆積物 完新世初期～更新世末期の堆積物
		粘 土	C2 完新世初期～更新世末期の堆積物
		角礫混じり粘土	G 崖錐堆積物
		砂 礫	G-Tr 河岸段丘堆積物
		火 山 灰	V 支笏火山噴出物（軽石流堆積物）
		シルト質粘土	Cd 月寒粘土層、輪厚砂礫層、野幌層 または野幌層相当の埋没洪積層
		シルト質細砂 細砂	Sd
		砂 礫	Gd
	先 第 四 紀 層	シ ル ト	Mr 岩盤風化土
		岩 盤	R 新第三紀層 (泥岩、砂岩、凝灰岩および安山岩類)

図 1 土層区分

②北側の地形

紅葉山砂丘以东の「北部低地」には石狩川やその支流の後背湿地・谷底低地や現河床・旧河道、伏竜川などの自然堤防が続いている。北部低地の代表的な土層は泥炭(P)と海成粘土(Cm)、粘土(C1)、砂(S)などである。

3. 海成粘土と泥炭の特徴

3. 1 海成粘土(Cm層)

Cm層は約1.0～0.7万年前の縄文海進時に石狩湾に堆積したと考えられており^{1)、2)}、こね返すと容易に泥状化する非常に軟弱な黒色系の粘土で、カキなどの貝化石が混じるなど、静穏な内湾性の還元環境の特徴を示す。

(1)分布

- ①分布範囲はJR函館本線～千歳線以北の南北約10km、東西20kmであり、隣接する石狩市や当別町に及ぶ。分布層厚は10m以下の地域が大半であるが、北東側は層厚が10m以上を示す地区が多い(図3)。
- ②層厚が10～20mと厚く分布するのは北区に集中しており、特に篠路町福移地区では20m以上にも達する。
- ③Cm層の上部は砂層(S層)に覆われることが多く、上面標高は0～-5mを上限として概ね一定であり、現在の海水面を上回っていない。

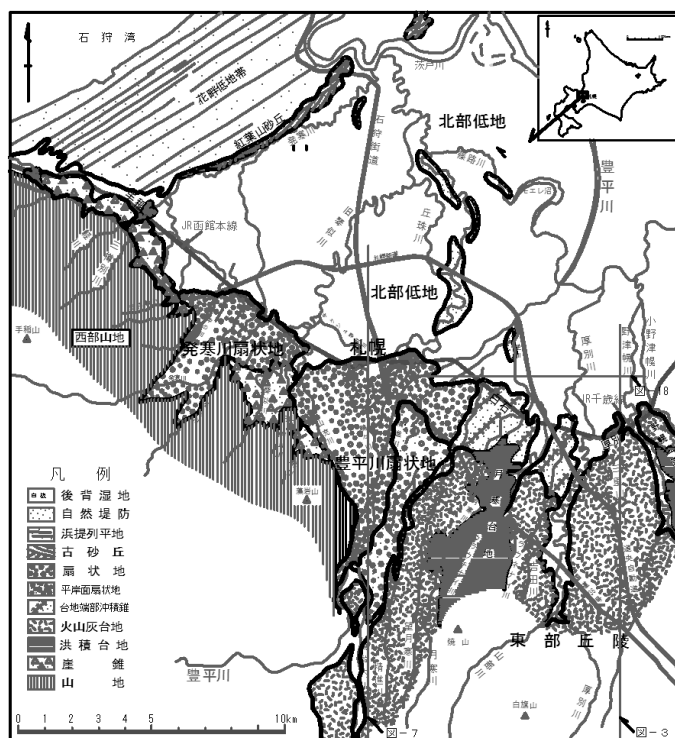


図2 地形区分

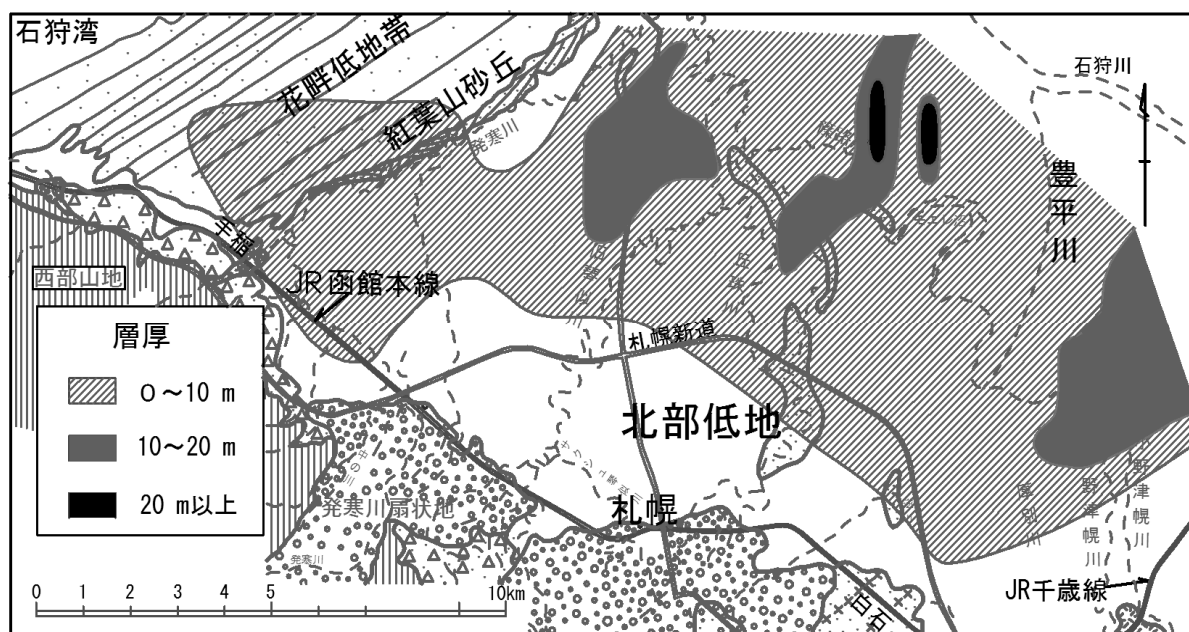


図3 Cm層の等層厚線図

(2) N 値と q_c 値

図 4 に調査結果の一例を示す。C_m 層の N 値は大半が 0 ～ 2 を示し、非常に軟らかい。調査例のように N 値が 0 を示す場合が多く、設計定数の推定ができない場合が多い。これに対して機械式コーン貫入試験での q_c 値は、 $q_c = 250 \sim 800$ (kN/m²) を示し、 $q_c = 45 \times Z$ (kN/m²) の勾配でほぼ直線的に増加する。

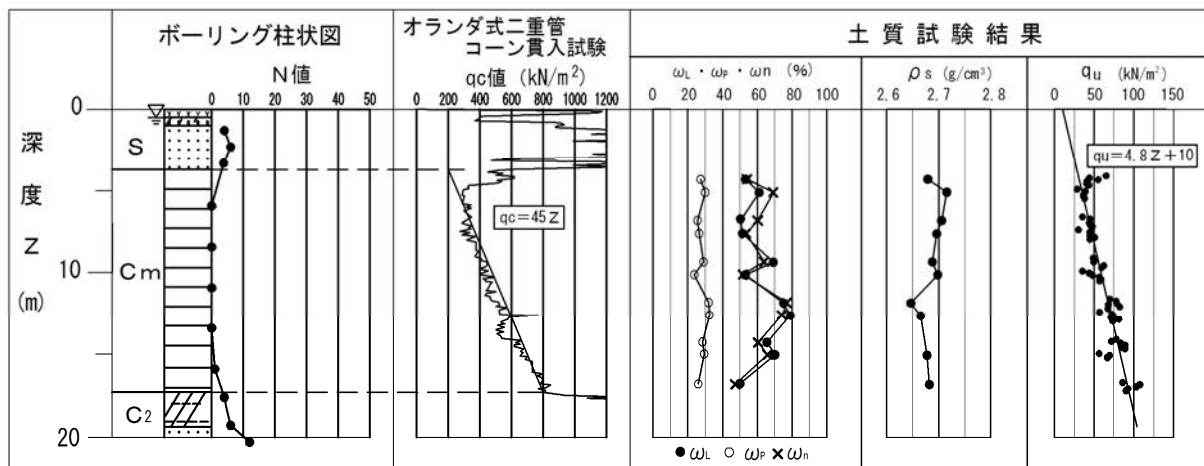


図 4 Cm 層の N 値， q_c 値，土質試験結果例（北区あいの里地区）

(3) 室内土質試験結果

- ① 自然含水比は $\omega_n = 40 \sim 100\%$ を示し、土粒子の密度は $2.65 \sim 2.75 \text{ g/cm}^3$ の範囲にあり、一般的な値を示している。
- ② 粒度組成は 90% 以上がシルトや粘土で工学的分類は大半が (CH) となる。
- ③ 自然含水比は液性限界 ω_L 付近に分布し、 $\omega_n < \omega_L$ となることも珍しくなく、鋭敏な粘性土と評価される。
- ④ 一軸圧縮強度 q_u は q_c 値と同様に深度方向に直線的増加傾向を示す。 q_u から推定した粘着力 c と N 値並びに q_c 値を対比して図 5、図 6 に示した。 N 値が 0 を示す場合でも $c = 20$ (kN/m²) 程度の粘着力が期待できることを示している。 q_c 値と粘着力の関係は平均的に $c = (0.05 \sim 0.1) \times q_c$ (kN/m²) となる。

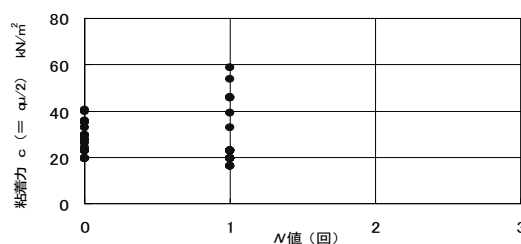


図 5 N 値と粘着力 c の関係

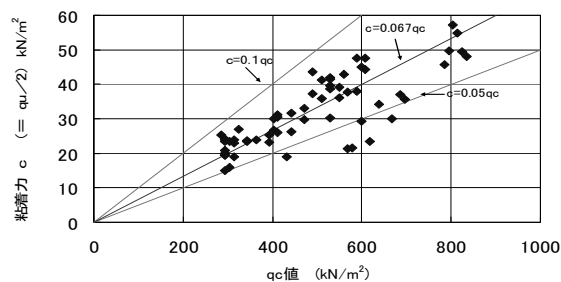


図 6 q_c 値と粘着力 c の関係

3. 2 泥炭、P 層

冷涼な気候下で湿地に植物遺体が堆積し、分解よりも堆積作用の方が優勢なときに泥炭が形成される。札幌地区では古石狩湾が砂州で閉塞され沼沢化したのち、5,000 ～ 4,000 年前の冷涼気候への移行期から泥炭の堆積が始まったとされる（松下ほか，1985）。工学的な意味では有機物含有量 20% 以上を泥炭性軟弱地盤と扱う（北海道開発局，1988）とされ、本地盤図の分類もこの区分を採用している。なお分類上は、札幌周辺のものは未分解なものが多いことから {Pt} として一括した。

(1) 分布

- ① P層は、札幌北部低地と呼ばれる沖積低地内に分布する。南北約15km、東西約20kmの広い範囲に及ぶ（図7）。
- ② 分布は標高約15m以下の低所に分布し、層厚は3m以下が多いが厚別地区は厚く、粘土や砂の薄層を挟みつつ層厚が8～10mに達することもある。

(2) N値とqc値

図8に厚別区山本地区の調査結果を示した。当地区においては表層から深さ5.5mまでP層が分布する。P層のN値は0～1を示し、非常に軟弱である。

qc値は表層の1mを除くと $q_c = 200 \sim 400$ (kN/m²)を示しており深度方向に微増している。qc値は強度の変化を敏感に反映しており、海成粘土と同様に静的なサウンディングが調査方法として有効である。

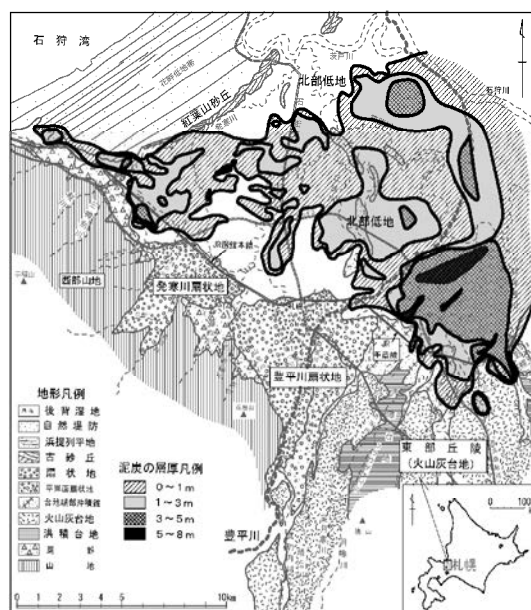


図7 泥炭（P層）の分布と層厚

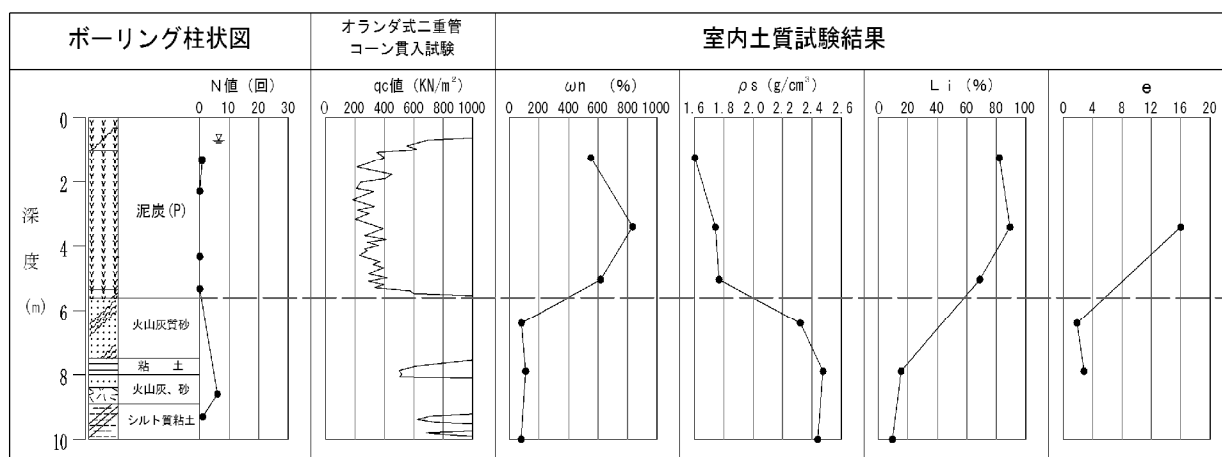


図8 泥炭地盤の調査例（厚別区山本地区）

(3) 室内土質試験結果

- ① 自然含水比は $\omega_n \approx 200 \sim 800\%$ と高含水比である（図9）。
- ② 土粒子の密度は $\rho_s \approx 1.5 \sim 2.4$ (g/cm³)に集中し一般土砂より著しく小さい。
- ③ 強熱減量が $Li = 70 \sim 90\%$ と高く有機物を多量に混入する。

4. 沢埋め盛土

札幌市南東部の火山灰台地は元々、河川により開析された沢地形が数多く発達する起伏の大きい地形であった。台地を構成する火山灰は支笏火山（現在の支笏湖）を噴出源として今から4～4.5万年前³⁾に噴出した支笏軽石流堆積物（V層）である。この火山灰は、堆積時の高温と圧力のため火

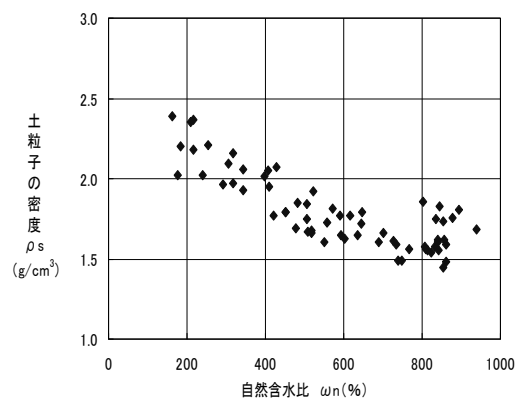


図9 土粒子の密度と自然含水比の関係

山灰粒子が膠結する溶結作用を受けていることが特徴の1つであり、同じ N 値を示す砂質土よりも大きな強度を示す。一帯は、昭和40年代から都市開発が活発化し、切土・盛土による造成によって沢の大半は、周辺に分布する火山灰で埋め戻された。2003年に発生した十勝沖地震では札幌市清田区美しが丘地区で住宅や道路、上下水道等に液状化等による被害が発生したが、発生場所はまさに沢地形埋め盛土地域であることが報告された。この報告から、同様な沢埋め盛土の分布を調べ、札幌地盤図で公表した。

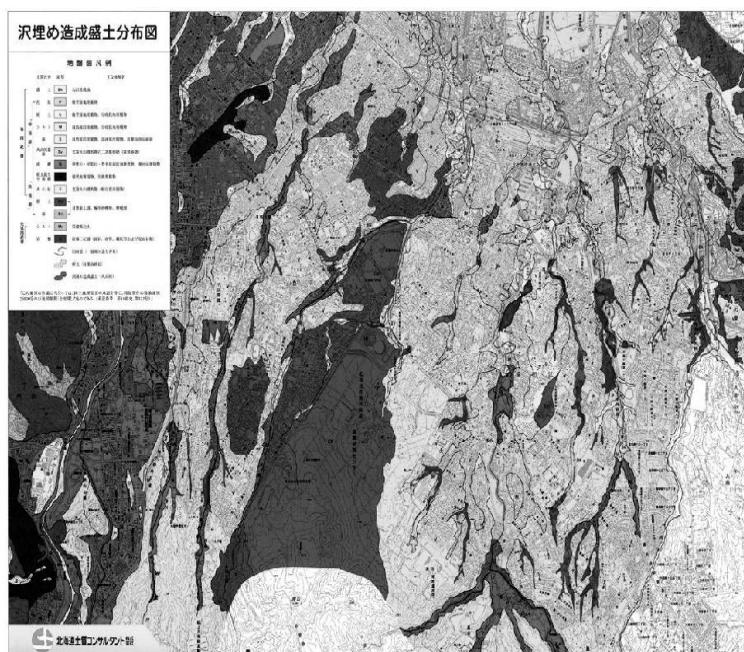


図10 沢埋め盛土の分布（赤い塗色部）

4. 1 分布と工学的特徴

(1) 分布

図10に沢埋め盛土の分布を示す。沢埋め盛土を赤く塗色して示した部分である。一帯の地形を反映して、概ね南～北方向に発達する旧沢地形となっている。沢埋め盛土は広範囲に分布していることが解る。

(2) N 値

札幌市清田区でのボーリング調査例を図11に示す。現在は平坦地であるがA、B、C地点のうちA、B地点は切土部でC地点は盛土部となっていることが地形解析から解っている。盛土部の層厚は旧表土の有機質シルトの分布深度から約5mであり、見かけは原堆積の火山灰（地山）と大きな違いがない。地山の N 値は溶結作用によって深度方向に大きくなる傾向を示すが、盛土の N 値は2～5を示し地山と比べて明らかに小さく深度方向の変化がない。これは溶結作用を受けた火山灰の膠結力をときほぐしたことに要因があると考えられる。このような N 値が小さい火山灰は地下水で飽和されると地震時に液状化し易い状態になると想定される。

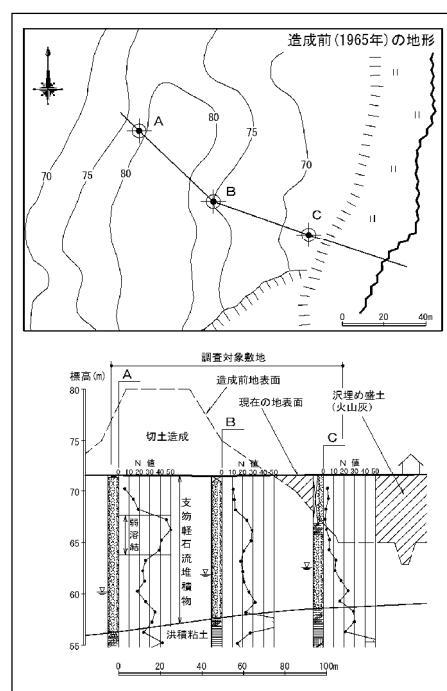


図11 ボーリング調査例

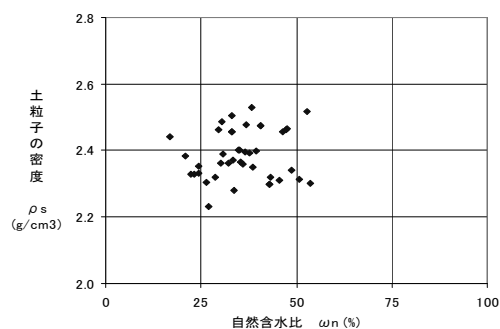


図12 土粒子の密度と含水比

(3) 室内土質試験結果

- ① V 層の土粒子の密度 ρ_s は $2.2 \sim 2.5$ (g/cm^3) を示しており一般的な砂質土よりも小さな値となる。これは、多孔質で密度の小さな軽石が多く含まれるためである (図12)。
- ② 自然含水比の範囲は、火山灰部分では $\omega_n \div 20 \sim 60\%$ と保水性の高い軽石や火山灰を混入するため高い範囲を示す。
- ③ 細粒分含有率は $F_c = 20 \sim 40\%$ 、礫分含有率は $10 \sim 20\%$ の範囲にあり、粒径変化が少ない。粒度配合が良く締固め特性に優れることから盛土材として多用されている (図13)。

4. 2 沢埋め盛土の分布の把握方法

沢埋め盛土の分布の把握は、札幌市が所有する古い現況図 (1965年版と1969年版)、及び現況図の基礎となった空中写真を判読して作成した。最初に空中写真を反射実体鏡で観察し、沢地形の分布を空中写真及び現況図に書き込む。次に沢地形付近の造成面の標高を読み取り、造成前の等高線との比較により沢埋め盛土の範囲を定めた。

図14に札幌市豊平区内の埋め盛土の判読例を示す。造成前の等高線と造成後の標高の比較から沢埋め盛土の分布が把握できる。

5. むすび

札幌市内で実施したボーリング資料を基にして表層に分布する土層の分布を示した「札幌地盤図」から、土木や建築上問題となる軟弱層と評価される海成粘土 (Cm) と泥炭 (P) について分布や工学的特性を報告した。さらに、火山灰分布地域で行われた造成で形成された沢埋め盛土部の分布を示した。沢埋め盛土部では、2003年の清田区に続き2018年9月の胆振東部地震において札幌市清田区里塚地区で液状化被害が発生した。同様の現象は、将来的に他の沢埋め盛土部でも発生する可能性を有していると考えられることから、公表した資料は、今後の防災計画の基礎資料になると考えている。

< 参考・引用文献 >

- 1) 加藤誠・二ッ川健二・菊池純・松本和正：札幌市の表層地盤と沖積層の構造，土質工学会北海道支部技術報告集第35号 pp82～89，1995.2
- 2) 島田一功・大竹幸雄・若松幹男・池田晃一：稲積北部地区の地盤，土質工学会北海道支部技術報告集第16号 pp.53～62，1976.2
- 3) 町田洋・新井房夫：新編火山灰アトラス，東京大学出版会，2003.9

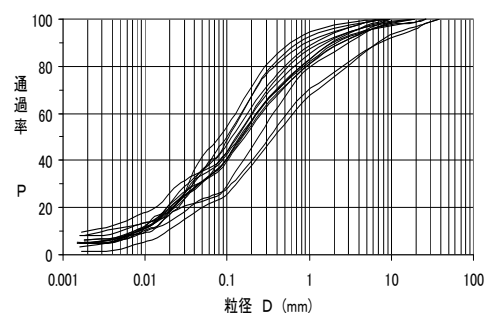


図13 V層の粒度分布

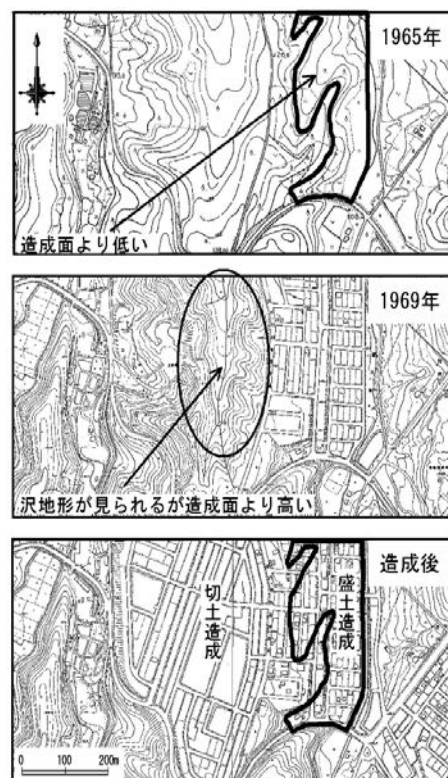


図14 沢埋め造成盛土分布図

※本論文集は、地質リスク学会のホームページで公開しています。

URL⇒<http://www.georisk.jp/>