

第9回

地質リスクマネジメント 事例研究発表会 講演論文集



平成30年11月2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
協力：特定非営利活動法人地質情報整備活用機構
後援：国土交通省国土技術政策総合研究所
協賛：国立研究開発法人土木研究所

はじめに
—社会におけるリスクコミュニケーションの認知—

今年度も、地質リスクマネジメント事例研究発表会を開催することができ、事例研究発表会での講演をいただく皆さま、また研究発表会に参加していただく皆さまに心から感謝いたします。

本年度開催した地質リスク・エンジニア（GRE）養成講座には参加枠を超える申し込みがあり、一部の申込者へはご希望に沿うことができませんでした。しかし多くの参加申し込みに示されるように、地質リスクマネジメントの必要性については、地質調査業界の中で認知されつつあると実感いたします。また社会の中でも、リスクマネジメントの必要性が認識されてきていると感じます。本年も様々な自然災害が多発し、リスクマネジメントの在り方に重要な課題を提供しました。またその中には地質に関する様々な災害事象も発生し、地質リスクマネジメントの視点からの分析も必要となると考えます。

今年の 1 月 23 日に草津白根山の噴火があり、残念なことですが人的被害がありました。草津白根火山については白根火山の湯釜での噴火を対象として火山防災マップが作成されていましたが、本年の噴火は白根山の南に位置する本白根山で噴火が起きました。このようなことから、2018 年度中に本白根山も含めた火山噴火ハザードマップが草津町により作成されることとなりました。9 月末時点では草津白根山はまだ活動的であり、今後作成されるハザードマップの内容が地元および観光客に理解され、噴火が起こったときには適切な対応がなされることが期待されます。

今年 7 月の西日本豪雨で大きな浸水被害があった岡山県倉敷市では洪水・土砂災害ハザードマップの改定版が 2016 年に作成されていました。また 2016 年の倉敷市の広報ではハザードマップの活用法も解説されています。ハザードマップに示されていた浸水想定区域と今回の浸水被害地域はほとんど一致しており、もしこのハザードマップの内容が地元住民および行政機関等で理解され、また活用されていれば、被害の減少に役立ったのではと感じます。行政機関では様々な方法で洪水・土砂災害に関するリスクコミュニケーションをはかっていたものと考えられますが、さらなるコミュニケーションの重要性が示唆されています。

今年 9 月 6 日北海道胆振地域を震源とする M6.7 の地震が発生し、北海道に大きな被害がもたらされました。ちょうどその時、9 月 5 日から 7 日の予定で日本地質学会の学術講演会が北海道大学で開催されており、私も参加するため札幌に滞在していました。ただし、地震の影響で学会の予定は 6 日の一部と 7 日のすべての予定がキャンセルとなりました。

地震直後に停電し、この停電は北海道全域での停電、すなわち広域のブラックアウトとなりました。私の滞在しているホテルに電気の供給が戻ったのは 7 日の夜で、約 2 日間電気の無い中でのホテル生活を過ごしました。街中のコンビニエンスストアは閉店するところが多く、また開いていても食料や飲料の在庫が無くなっていました。ホテルの水道水は屋上

のタンクに電気でポンプアップしているため、タンク内の水を消費すると後は使用できなくなり、近くの公園の水道水を汲みに行き飲料水を確保しました。電気が安定的に供給されている環境で生活していると、電気の供給が停止した時、社会がいかに脆弱であるかを知ることが少ないと感じます。私は海外での研究を行うこともありますが、国によっては電力事情が悪いため、計画停電が日常化しているケースもあります。そのような国ではホテルやレストラン等には自家発電装置があり、計画停電中でもエアコンや照明機器を初め、電気機器が問題なく使用できるようになっています。それらの施設では電気の供給不安に対しては以外にも脆弱性が少ないのではと感じます。ただし一般家庭では自家発電装置を持つことができないので、日常的な計画停電に対しては生活のサイクルをその停電に合わせることで対応がされています。このように計画停電が日常化すると社会が様々な方法で適応することになります。

今年は台風の直撃も多い年でした。9月4日に関西を直撃した台風21号は、関西空港を初め多くの施設に対して被害をもたらしました。9月30日に本州を縦断した台風24号に対しては、それまでの教訓を生かし、かなりの事前対応がなされ、被害や混乱が最小限に抑えられたのではと思います。台風への対応としてJR東日本の在来線では初めてとなる計画運休が実施され、時間的余裕を持ってその計画運休の実施の周知がなされたことはリスクコミュニケーションの在り方にとっての事例となりました。

地質調査から得られる様々な情報をいかに適切に伝えるかは重要な課題であり、GRE養成講座では実習として地質リスク管理表の作成を通してリスクコミュニケーション手法を概観していただいています。また地質リスク調査検討業務や地質技術者の参画による品質確保のスキーム等によるリスクコミュニケーションの機会をもつことで、より適切な地質リスクマネジメントがなされることが期待されます。

平成30年11月2日

地質リスク学会 副会長 小笠原正継

第9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	
特別講演： 10:15～11:45	
「地質リスクマネジメントと地質技術者の生きがい」	5
地質リスク学会 会長 渡邊 法美（高知工科大学 教授）	
第Ⅲ編 第2部 事例研究発表会 論文	
論文 No.1 宮本 浩二 応用地質（株） トンネル坑口急崖斜面における岩盤崩壊リスク低減の取り組み	7
論文 No.2 塚本 将康 川崎地質（株） 段階施工を実施した大規模盛土における湿潤化調査の事例	13
論文 No.3 渡邊 陽介 応用地質（株） 道路トンネル坑口部における施工技術者による地質リスクマネジメント事例	18
論文 No.4 高橋 浩之 （株）興和 東北支店 不均質な軟弱地盤上の道路盛土に対する対策工検討事例	24
論文 No.5 山下 隆之 （株）アバンス 雨水調整池整備計画における地質リスク検討事例	30
論文 No.6 吉田 健司 （株）建設技術研究所 最終処分場建設事業に対する地質リスクマネジメント事例	36
論文 No.7 宮原 仁 （株）セイコー 礫地盤を支持層とした杭基礎のリスク回避事例	42
論文 No.8 梅崎 基考 （株）アバンス 施工中の岩判定・地質判定における地質リスクの回避	48
論文 No.9 寺地 啓人 東邦地水（株） 地質リスクマネジメントによる地すべり災害回避事例	54
論文 No.10 田中 敏行 （株）ダイヤコンサルタント 台風豪雨による地すべり災害の再発について	60
論文 No.11 徳留 亮 （株）地圏総合コンサルタント 比抵抗分布による地すべり評価	66
論文 No.12 村井 政徳 川崎地質（株） 新設バイパス切土区間において潜在地すべりの滑動という地質リスクを回避した事例	72

論文 No.13 本間 宏樹 応用地質 (株)	
高速道路の施工中に顕在化した地すべりに対するマネジメント事例	78
論文 No.14 津田 義則 (株) 五星	
台風により発生した斜面崩壊に対するマネジメント事例	84
論文 No.15 斉藤慶一郎 (株) 興和	
河道掘削に伴う掘削のり面の崩壊リスク回避事例	90
論文 No.16 井原 拓二 応用地質 (株)	
地表地質踏査を主体とした切土のり面のリスク検討事例	94
＜参考資料＞	
「地質リスク・エンジニア (GRE)」養成講座と認定制度について	100

第Ⅰ編 プログラム

第9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

協力：特定非営利活動法人地質情報整備活用機構

後援：国土交通省国土技術政策総合研究所

協賛：国立研究開発法人土木研究所

＜開催趣旨＞

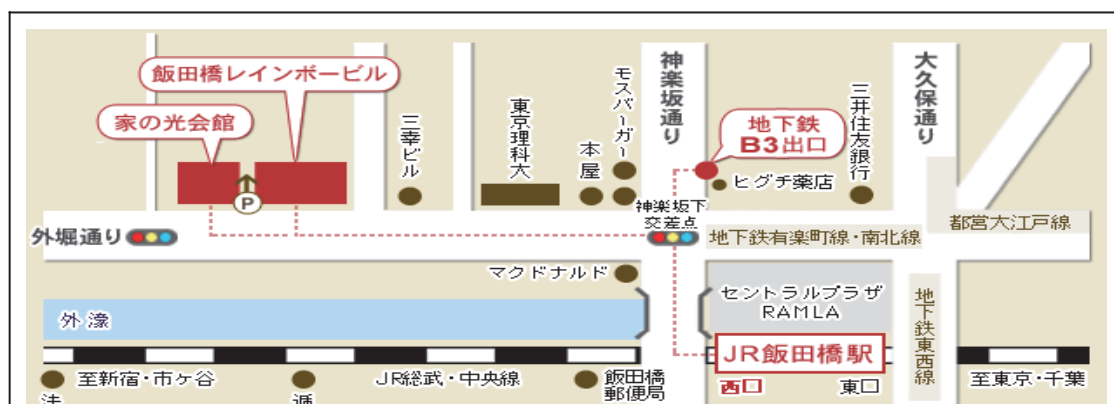
事例研究発表会の主な目的は、建設工事等における地質リスクのマネジメントの実例を紹介し、様々な課題を議論し共有することにあります。

＜開催要領＞

開催日：平成30年11月2日（金） 定員：200名

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 地質リスク学会 副会長 小笠原 正継
（国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質情報研究部門 客員研究員）

特別講演： 10:15～11:45
「地質リスクマネジメントと地質技術者の生きがい」
地質リスク学会 会長 渡邊 法美（高知工科大学 教授）

表彰式： 11:50～12:00 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（13:15～16:30） 16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

論文No	発表者	所属先	題 目	事例種類
1	宮本 浩二	応用地質(株)	トンネル坑口急崖斜面における岩盤崩壊リスク低減の取り組み	D型
2	塚本 将康	川崎地質(株)	段階施工を実施した大規模盛土における湿潤化調査の事例	B型
3	渡邊 陽介	応用地質(株)	道路トンネル坑口部における施工技術者による地質リスクマネジメント事例	C型
4	高橋 浩之	(株)興和 東北支店	不均質な軟弱地盤上の道路盛土に対する対策工検討事例	A型
5	山下 隆之	(株)アバンス	雨水調整池整備計画における地質リスク検討事例	A型
6	吉田 健司	(株)建設技術研究所	最終処分場建設事業に対する地質リスクマネジメント事例	D型
7	宮原 仁	(株)セイコー	礫地盤を支持層とした杭基礎のリスク回避事例	A型
8	梅崎 基考	(株)アバンス	施工中の岩判定・地質判定における地質リスクの回避	A型
9	寺地 啓人	東邦地水(株)	地質リスクマネジメントによる地すべり災害回避事例	A型
10	田中 敏行	(株)ダイヤコンサルタント	台風豪雨による地すべり災害の再発について	B型
11	徳留 亮	(株)地圏総合コンサルタント	比抵抗分布による地すべり評価	D型
12	村井 政徳	川崎地質(株)	新設バイパス切土区間において潜在地すべりの滑動という地質リスクを回避した事例	A型
13	本間 宏樹	応用地質(株)	高速道路の施工中に顕在化した地すべりに対するマネジメント事例	D型
14	津田 義則	(株)五星	台風により発生した斜面崩壊に対するマネジメント事例	C型
15	斉藤 慶一郎	(株)興和	河道掘削に伴う掘削のり面の崩壊リスク回避事例	A型
16	井原 拓二	応用地質(株)	地表地質踏査を主体とした切土のり面のリスク検討事例	A型

＊事例種類について

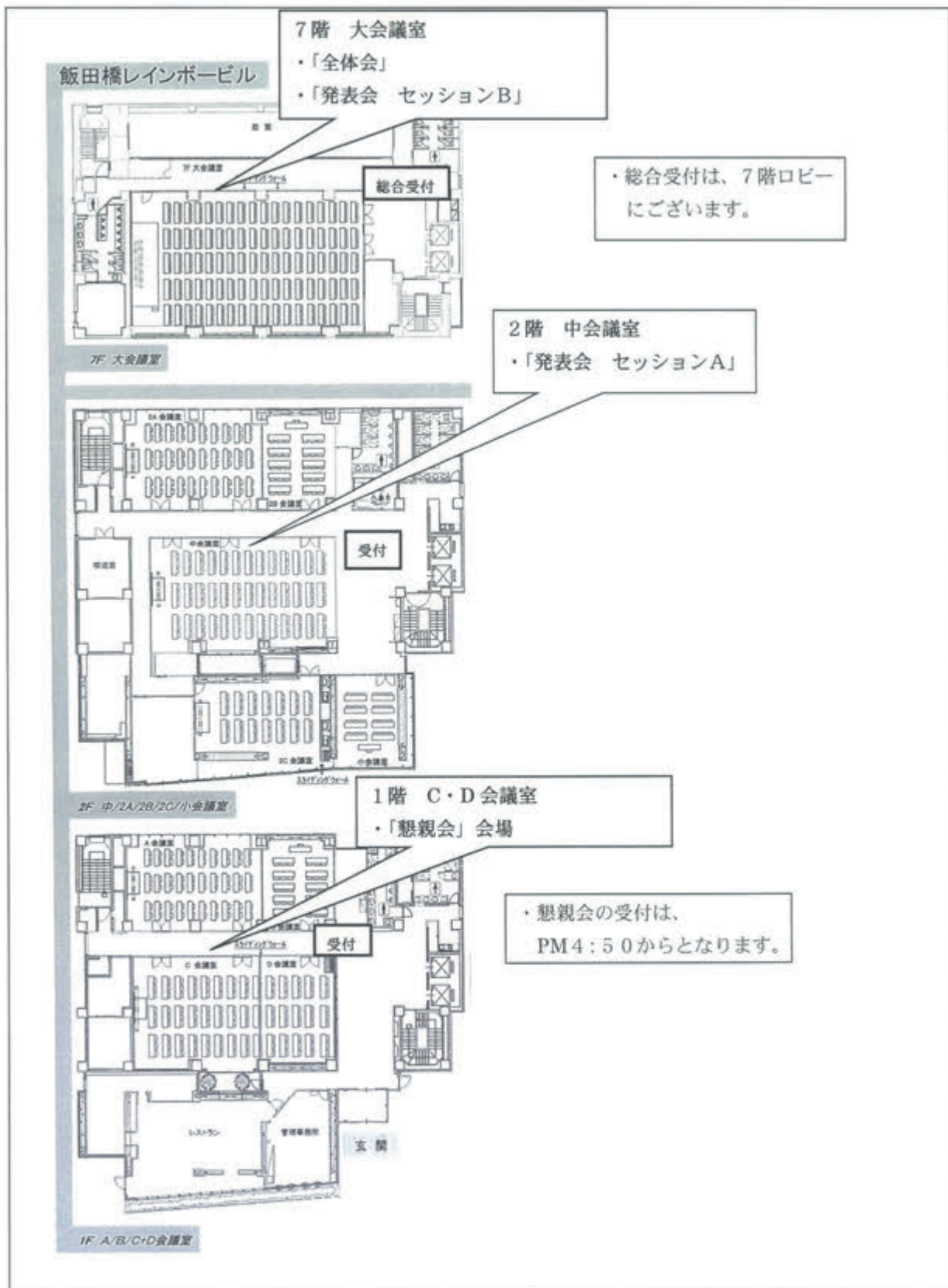
以下の4つに分類されます。

- 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型以外の事例

＊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

特別講演 要旨
「地質リスクマネジメントと地質技術者の生きがい」

地質リスク学会 会長 渡 邊 法 美(高知工科大学)

A. 公共調達制度改革とモチベーション

- ・ 4つの仮説:
受発注者役割分担空白領域出現・拡大
建設業界パフォーマンスと実務者モチベーション低下!?
- ・ 不公正リスク回避→実務者モチベーション低下!?
⇒公共調達におけるリスク最適化が重要

B. 内発的動機づけについて(デンシ、フラスト:「人を伸ばす力」から 新曜社、1999)

- ・ 内発的動機づけ
- ・ 心理的欲求としての自律性・自己決定の感覚
- ・ 人は主体的に周囲の世界に参加していく中で、生命としての統合プロセスを経て発達
- ・ 二つの内在化:統合(integration)と取り入れ(introjection)
- ・ 統合⇔内発的動機づけ、統制⇔取り入れ
- ・ 良い親・教師・管理者・医者 of 共通点:自律性を支援する態度を持つ
他者の視点から状況が理解できるように、オープンに話を聞くことから始まる

C. 物部川の試練とミュージカルプロジェクト

- ・ 物部川の多くの試練→解決には市民活動の盛り上がりが不可欠
- ・ 環境保全活動における内発的動機づけ:川ガキ=内発的動機づけ
- ・ 学力とは
「きき上手」の学力:自分とは異質なものを、自分との関係においてうまく位置づける
⇒学力=統合
詰め込み教育とは統制
- ・ 人生とは統合化の旅
- ・ 近年の公共調達では、「統制⇔取り入れ」の一面が存在
- ・ 統制から統合へ:自律性支援が不可欠
⇒モチベーション・生きがいの根源!

D. 地方建設会社社員のモチベーション:徳島県の(株)大竹組、北海道の(株)砂子組の調査

- ・ 内発的動機づけ 3 要素(自律性、有能感、関係性)が随所に存在
→社員の内発的動機づけは全体的に高い
- ・ リスクマネジメントの目的は価値の創造・維持(ISO31000)との原則が実践
- ・ 社員の自律的行動は、「水面下」での職位上位者の自律支援の連鎖によって実現

E. スイス地方公共工事のマネジメント

- ・ 競争入札市場が健全に機能、生き生きとした現場労働者、高い建設労働安全—その理由は
- ・ スイス地方公共工事における定置式水平ジブクレーン活用の実態調査
(団長:東京大学名誉教授 國島正彦先生 総勢 16 名、2018. 9. 23~10. 1)
- ・ 意識・哲学—制度の設計・運用—工事計画・入札・経営
- ・ 意識・哲学:Time is money!=労働時間のマネジメント、利潤獲得、fairness、詳細な計画立案
- ・ 制度の設計・運用:小規模地方自治体における民間エンジニア登用、工事日報、労務賃金協定、地質技術顧問の絶対的権威
- ・ 工事計画・入札・経営:
 - 工事とはモノを所定の場所に運ぶこと(國島名誉教授)
 - クレーン設置が工事計画の基本→(中小工事では)定置式水平ジブクレーン活用が不可欠!
 - 自前施工(地域の人々に雇用機会を与えたい!自社で育て欲しい!)
- ・ クレーンは人々の生活と共存!?
- ・ 技能向上機会、昇給、休暇、温かい社内関係→現場労働者が生き生きしない訳がない!
⇒「担い手」ではなく「創り手」の言葉を用いるべき
- ・ 不確実性とリスクは人を惑わす
⇒地質技術顧問の役割とは、全ての事業関係者を正しく導き、受益者に安全・安心を与えること

F. 地質技術顧問と地質リスク海外調査ミッション

- ・ 地質リスク学会の目的
 - a)発注者の側に立つ技術顧問制度 b)プロセスマネジメントシステム確立 c)リスクの計量化手法研究
- ・ 英国調査からの示唆
 - a) 地質条件が複雑な日本で、従来方式(非公式な技術顧問・曖昧な契約制度・未確立な分析ツール)でやってこれたのは、ある意味奇跡的では?
 - b) 英国の仕組みは参考になるが、無条件に礼賛する必要は無い
 - c) 相互信頼、技術者の高い内発的動機づけ、技術力が日本の強み(生命線)
 - d) それらを正業として発揮出来るビジネスモデル(=市場)の構築が喫緊の課題
 - e) 学会の役割:質の高い事例研究、優れた GRE 輩出、研究成果の積極的海外発信
 - f) 発注者は組織を挙げて地質リスクに対応すべき:
 - 発注者側に立つ地質技術顧問
 - コスト構造改革の柱の一つとしての GRM
 - 地質条件の総点検
 - 国交省における地質に関する政策官

G. 地質技術者の生きがいについて

- ・ 厳しい自然・社会環境(複雑な地質条件,施設老朽化,財源縮小,人口減少,自然災害頻発化)
- ・ 階層的意識決定構造下で、行政、経営者、技術者・技能者が腹をくくり、矜持を持つべき!
- ・ 今後は民間地質技術者も自らがリスクをマネジメントしていこう!とする意志・情熱が必要
- ・ 行政・経営者による自律性支援連鎖が重要!

第Ⅲ編

第2部 事例研究発表会 論文

[論文 No. 1] トンネル坑口急崖斜面における岩盤崩壊リスク低減の取り組み

応用地質株式会社 ○宮本 浩二, 村本 将司, 本間 宏樹, 金井 哲男
東日本高速道路株式会社 関東支社 小暮 英雄, 田口 潤壺
東日本高速道路株式会社 佐久管理事務所 鈴木 二郎

1. 事例の概要

本事例は、上信越自動車道の北野牧トンネル（松井田妙義インターチェンジ～碓氷軽井沢インターチェンジ間）の西側坑口直上に位置する大規模急崖斜面を対象に、岩盤崩壊リスクの検討を行った事例を紹介するものである。

当該箇所では、平成 8 年 2 月の国道 229 号豊浜トンネル崩落事故を受けて、これまでに地質調査と落石予防工の実施および継続的なモニタリングを行っている。有識者委員会の検討では、直ちに岩盤崩落につながる可能性は低いものの、緊急輸送道路としての信頼性向上、道路利用者の安心・安全確保の観点から抜本的な対策が必要との提言がなされ、現在、急崖岩盤斜面の掘削除去工の実施に向けた準備が進められている。

当該箇所は施工条件が厳しい山岳地帯であること、これまで前例のない供用中高速道路に近接した大規模岩盤掘削工事となることから、設計段階から施工予定者が技術的に関与する ECI（アーリー・コントラクター・インボルブメント）方式が採用された。これにより、施工上の課題を設計条件に適切にフィードバックできたことに加え、設計・施工計画段階から事業者、設計担当者、施工予定者で地質リスクを共有することが可能であった。さらに岩盤斜面の 3 次元モデルを活用することで、効率的により確実な設計・施工計画を策定することができた。

2. 事例分析のシナリオ

(1) リスク要因の抽出

① 急崖岩盤斜面の性状

急崖岩盤斜面の状況を写真 1 に示す。急崖岩盤斜面の傾斜は平均で約 70° であり、トンネル天端からの比高は約 70m に達する。地質は新第三紀中新世の安山岩質凝灰角礫岩を主体とし、層厚 2～5m の自破碎状溶岩を層状に挟在している。

② 不連続面の分布と性状

不連続面の分布と性状は、既往資料、地質踏査、UAV を用いた不連続面調査およびボーリング調査により把握した。ボーリング調査は急崖岩盤斜面の背後から岩盤を貫くように水平方向に掘削し、ボアホールスキャナにより割れ目の開口状況や構造の確認を行った。岩盤斜面の不連続面の分布状況を写真 2 に、ボーリングコアで確認された開口割れ目の状況を写真 3 に示す。これらの調査・解析の結果、急崖岩盤斜面の向きとほぼ平行な北北東－南南西方向の高角度の節理群と、これと斜交する北東－南西方向の高角度の変質脈の組み合わせによって形成されるくさびブロックが抽出された（図 1）。さらに、このくさびブロックの

下端には脆弱な自破碎状溶岩の薄層がオーバーハングをなして分布しており、不安定化しやすい形

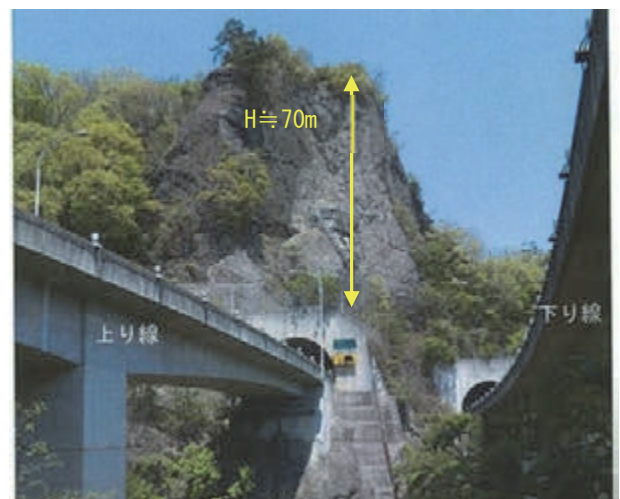


写真 1 トンネル西側坑口の急崖岩盤斜面状況

態となっている。

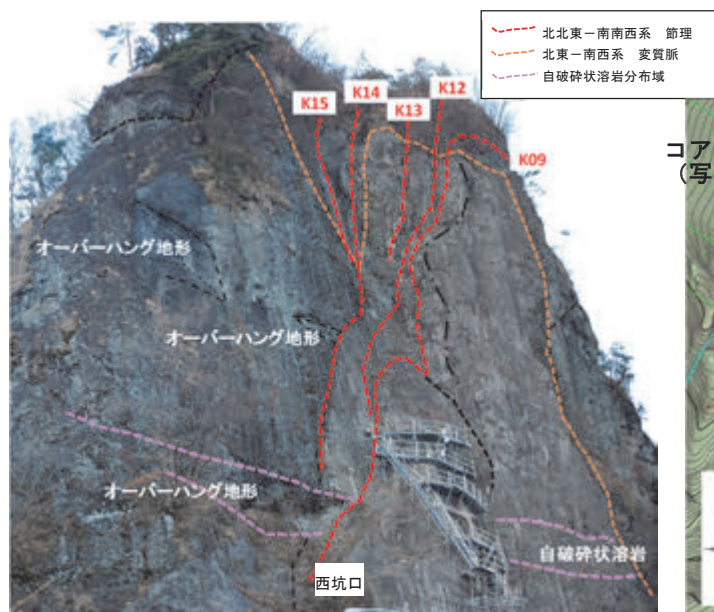


写真2 トンネル西側坑口の不連続面の分布状況

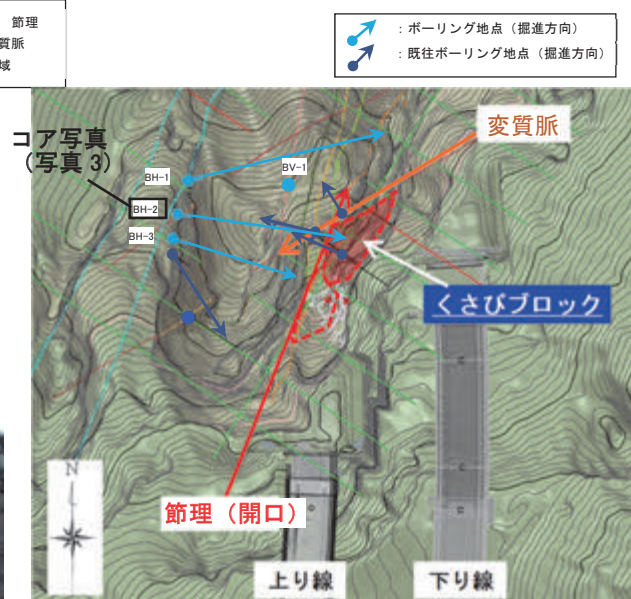


図1 トンネル西側坑口のくさびブロックの推定範囲

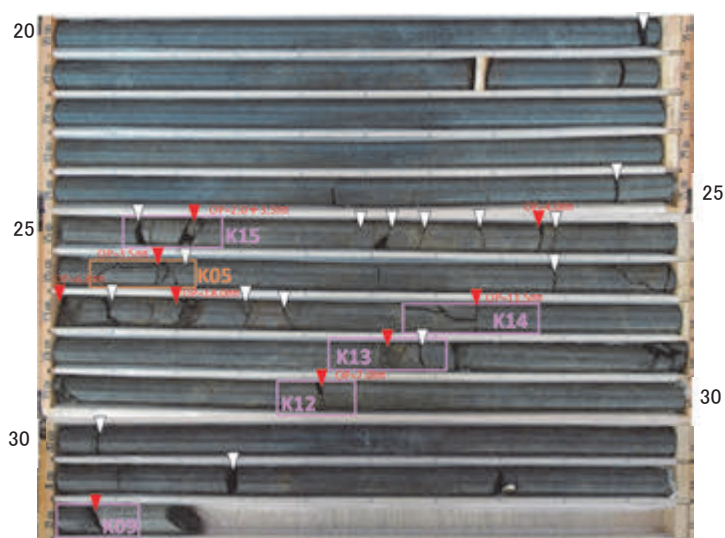


写真3 ボーリング BH-2 孔（水平孔）で確認された開口割れ目

(2) 想定される地質リスク

① 岩盤崩壊の発生機構

急崖岩盤斜面の不連続面の分布・性状を図2に示す。急崖岩盤斜面における岩盤崩壊の発生機構は図3に示すように、①節理面に規制された急崖斜面の形成と自破砕状溶岩層でのオーバーハング部の形成、②亀裂の伸長とオーバーハング部の拡大、③岩塊の滑動、崩壊の流れが想定される。

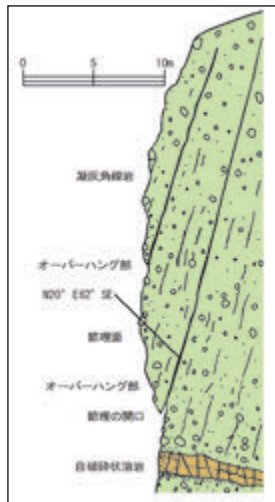


図2 急崖岩盤斜面の亀裂状況

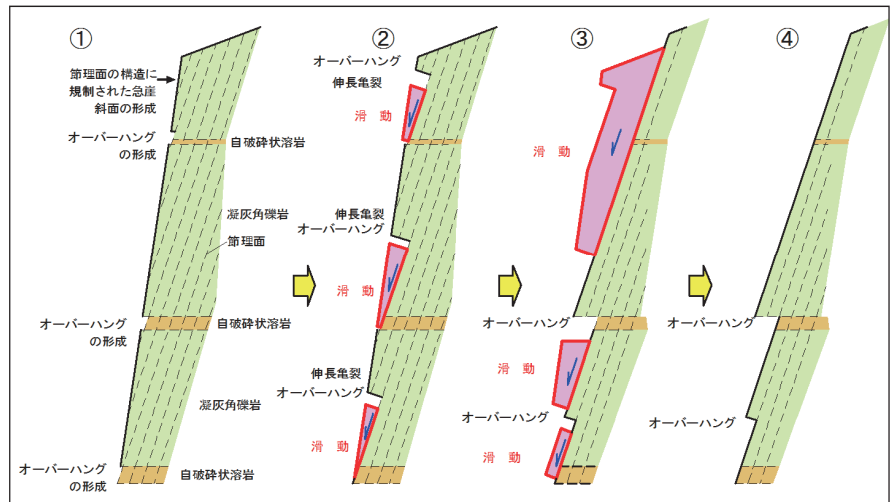


図3 岩盤崩壊の発生機構模式図

② 急崖岩盤斜面で想定される地質リスク

急崖岩盤斜面で想定される地質リスクとして、以下の事項が考えられる。

発現事象：くさびブロックの転倒・崩落、岩塊崩落による本線および通行車両への被害と通止めの発生。

原因（素因）：節理面沿いの亀裂の開口、変質脈のせん断・分離、（誘因）自破砕溶岩層の風化、浸食の進行、および大規模な地震の発生

(3) 不連続面の3次元解析によるくさびブロックの想定

節理や変質脈等の不連続面の分布と地質構造の3次元モデルを作成し、不安定化が懸念されるくさびブロックの分布について検討した。急崖岩盤斜面の3次元モデルの鳥瞰図を図4に、断面図を図5に示す。解析の結果、急崖岩盤斜面の最前面の節理（K09）と変質脈（K05）および自破砕状溶岩層の組み合わせにより、高さ40m以上のくさびブロックが想定された（図4、図5）。急崖岩盤斜面の内部にはその他に存在する節理（K12～K15）と変質脈（K05, K20）の組み合わせにより、さらに大規模なくさびブロックの可能性が想定された。

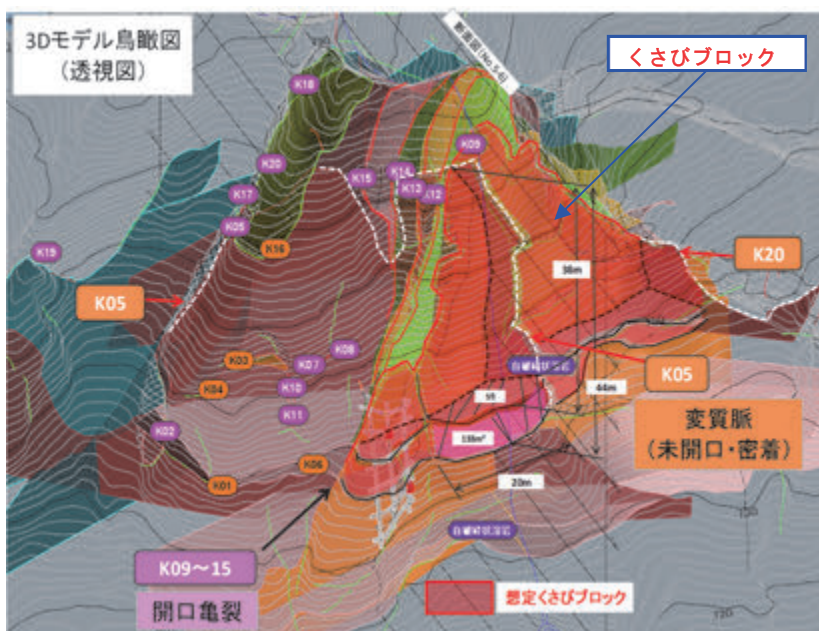


図4 急崖岩盤斜面の不連続面の3次元モデル（透視図）

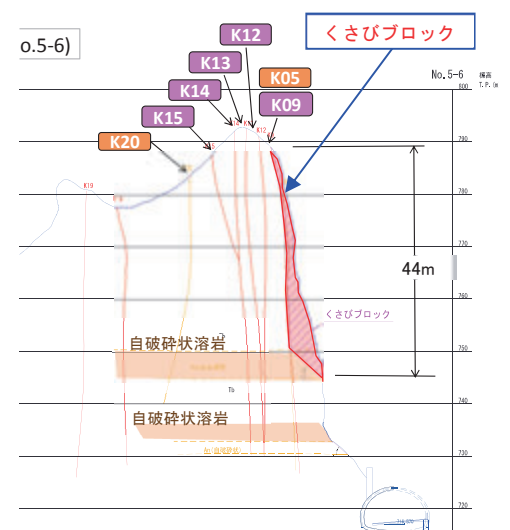


図5 急崖斜面内部の不連続面分布

(4) 急崖岩盤斜面の安定性の検討

① 急崖岩盤斜面の応力状態の検討

急崖岩盤斜面の応力状態を把握する目的で、2次元弾塑性解析（PLAXIS）を実施した。解析条件として、自破碎状溶岩層が風化作用により強度低下した状態を想定し、現状の50%強度を用いた。解析の結果、岩盤斜面の変形はトップリング形態を示すことが確認された（図6）。これより、長期的に自破碎状溶岩層の強度低下が進行した場合、割れ目の開口や岩盤の緩みが進行し、くさびブロックの転倒またはすべり崩壊の発生が懸念された。

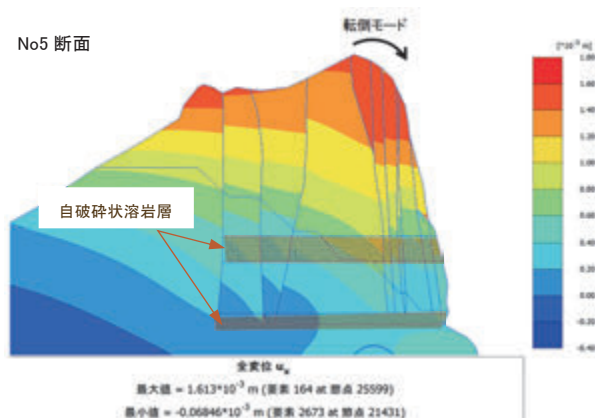


図6 FEM 解析結果図（X 方向変位量コンター図）

② 岩盤崩壊の発生頻度の検討

急崖斜面下方の自然斜面には過去の岩盤崩壊による岩塊（径 1～2m 程度）が散在している。当該地周辺には北西約 18km の浅間山を供給源とする降下軽石（1783 年天明噴火による浅間 As-A）が広く分布している。そこで、崩落岩塊と降下軽石両者の被覆関係について調査した結果、図7に示すように斜面表層が軽石に被覆される領域（領域 A）、軽石の上に岩塊が散在する領域（領域 B）、岩塊等に覆われ軽石が確認できない領域（領域 C）に区分されることを確認した。これより、領域 B と領域 C で崩落岩塊が軽石を被覆することから、岩盤崩壊は 1783 年以降に発生したと考えられる。また、領域 C では領域 B と比較して小径の岩塊が多く、岩塊の分布状況が異なっている。このことから、約 230 年前以降、少なくとも 2 回の岩盤崩壊が発生した可能性が示唆される。

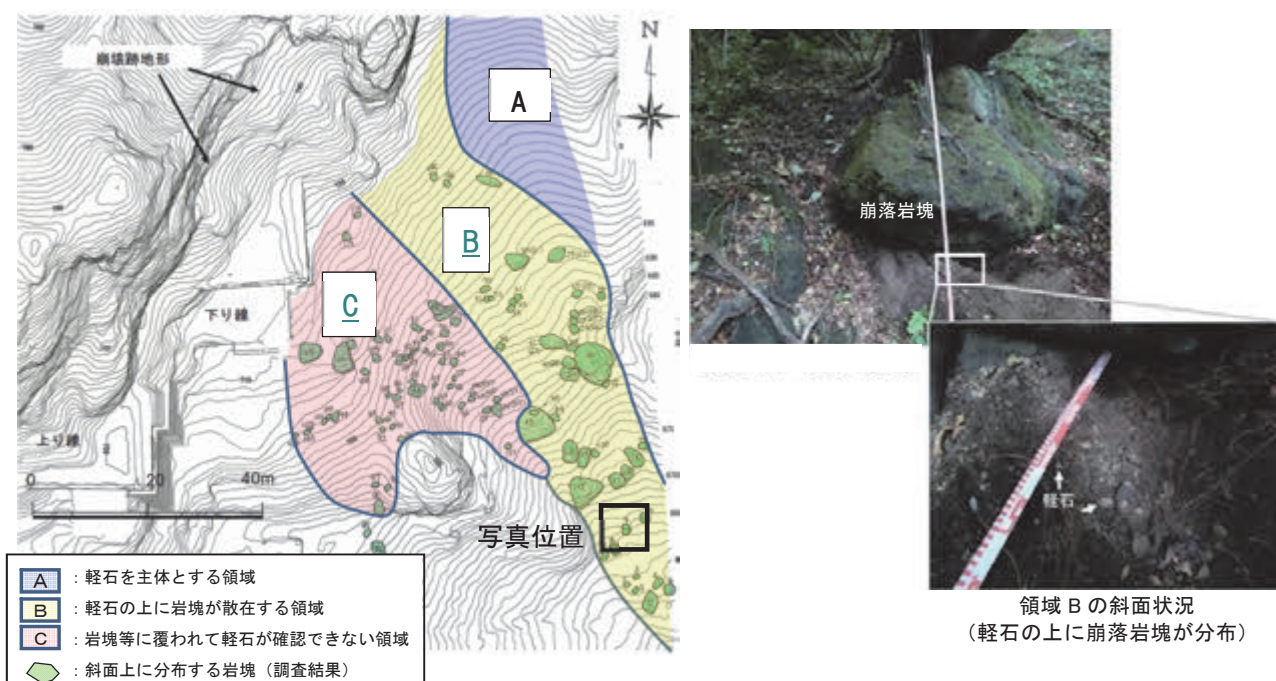


図7 急崖斜面下方の崩落岩塊の分布と軽石との被覆関係による斜面区分

(5) 急崖岩盤斜面のくさびブロックの地質リスクとその対応

抽出したくさびブロックは、現状では顕著な変状が確認されていないことから、直ちに崩壊に至るものではないと判断している。しかしながら、有識者委員会では、約 230 年前以降に複数回の大規

模な岩盤崩壊が発生した可能性があり、現状の急崖岩盤斜面の応力状態から、将来的にくさびブロックを含む岩盤斜面が不安定化し、岩盤崩壊に至るリスクを有すると判断し、くさびブロックを含む急崖岩盤斜面を掘削除去する方針が決定された。

(6) 地質リスク検討結果の施工計画への反映

施工中および施工後に残存する地質リスク要因については、リスク対応方針をとりまとめ、リスク低減に努めることとした。地質リスク検討結果を踏まえた施工計画上の主要な検討事項を以下に示す。

① 掘削範囲

急崖岩盤斜面の掘削範囲は、リバウンドによるトンネルへの影響を考慮して設定する。

② 切土方向

掘削除去工の切土方向が急崖斜面や不連続面の方向に斜交する場合、局部的にくさびブロックが不安定化する懸念があるため、切土方向は急崖斜面に対し直交方向となるように基本形状を検討した。

③ 掘削工法の選定

掘削工法は、振動による岩盤崩落の誘発リスクを最小とするため、発破工法ではなく、低振動岩掘削工法の適用を検討した。

④ 掘削時の落石・飛散対策

掘削除去工施工中のくさびブロックの不安定化の防止、落石防止の対策を検討した。

⑤ モニタリング計画の立案

現在、掘削工事着手前の岩盤変位のモニタリングとして、地盤傾斜計、アンカー荷重計、トータルステーションによる定点観測、多段式岩盤変位計、挿入式孔内傾斜計、岩盤変位計、地震計による観測を実施している。現時点では岩盤の変位は検知されていない。今後、工事着手に向けて急崖岩盤斜面およびトンネル内部の岩盤変位のモニタリング項目を更新していく予定である。

3. マネジメント効果

本事例は、岩盤崩壊のリスクを有するトンネル坑口直上の大規模急崖斜面に対し、抜本的対策として掘削除去を行うことでリスク回避を図ったものである。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）としてリスクの検討内容について紹介するものとした。以下に本事例で採用したECI方式と3次元解析の導入効果について述べる。

(1) ECI方式の採用効果

本事例では設計段階から施工予定者が技術的に関与するECI方式が採用された。ECI方式の採用事例はまだ少なく、現在、事業者においてECI方式の採用効果に関する検証を行っている段階であるが、本事例ではECI方式を採用したことにより、事業者、設計者、施工予定者間で地質リスクを共有することが可能となり、地質リスクを設計・施工計画への確に反映することができた。これらのことから、地質リスクマネジメントの観点からみて、ECI方式は今後、効果が期待できるものと考えられる。

(2) 3次元地質解析の導入効果

地表踏査とボーリング調査で確認された不連続面の分布や構造を3次元モデル化し、不連続面の幾何的組み合わせをもとに岩盤崩壊リスクの解析を行った。3次元モデルは、不連続面の分布やくさびブロックの形態が視覚的に理解しやすいため、地質リスクの見逃しや関係者間での地質リスクの

共有がしやすく、合意形成の迅速化や高度化が可能であり、リスクコミュニケーションツールとして有効であった。

4. おわりに

現在、急崖岩盤斜面の掘削除去工の着手に向けて準備工が進められている。本事例は供用中高速道路に近接した前例のない急崖斜面の掘削工事となるため、施工においては多重の安全対策を施し、現地状況に最も適切なモニタリングの導入を計画している。一般的に岩盤崩壊は崩壊の形態が多様であり、変位が現れてから崩壊に至るまでの時間が短く、斜面の安定度や崩壊の発生時期を定量的に評価することが難しい現象である。今後は、不測の事態の発生を防ぐために、掘削工事着手に向けて、より一層地質リスクマネジメントを進めるとともに、モニタリングデータや施工過程を 3 次元的に可視化することで安全かつ効率的な工事の遂行に寄与していく。

〔論文 No. 2〕 段階施工を実施した大規模盛土における湿潤化調査の事例

川崎地質株式会社 ○塚本 将康

川崎地質株式会社 大坪 智博

川崎地質株式会社 太田 史朗

1. 事例の概要

大規模な堤防の築堤においては、治水効果の早期発現や圧密の沈下を考慮した段階的な盛土工事が行われている。このような段階施工を行った東北地方にある全長約 6km、高さ約 12m、敷幅約 70m の大規模な堤防において、常時堤体表面に湧水や水たまり等の湿潤化が確認され、のり面にこれが原因とみられる変状が発生した。本事例では、この湿潤化の原因究明および変状に対する調査・設計および対策工事を実施したものである。これによって必要となった事業費の増額は、調査～対策工事及びモニタリングまでを含めて 477,000 千円となった。

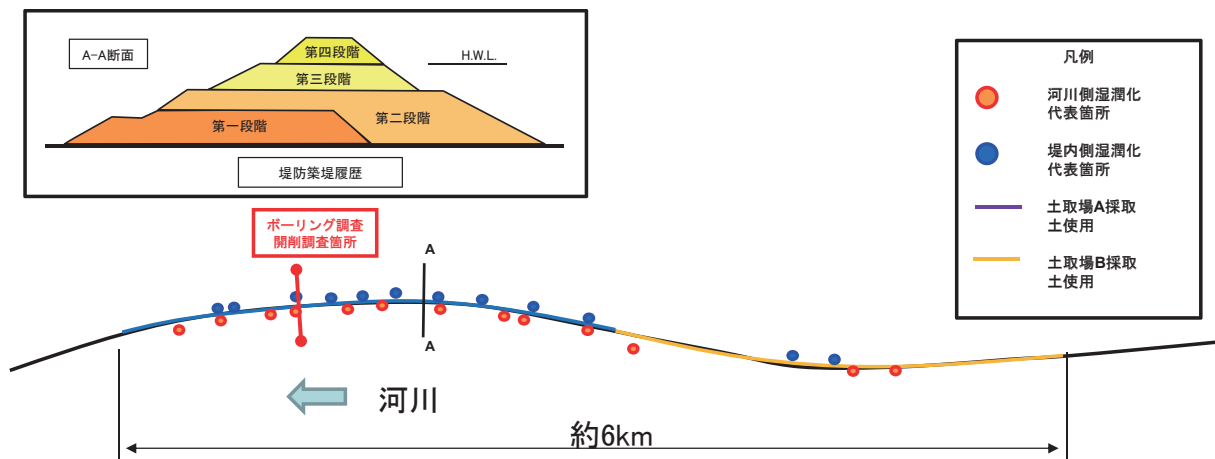


図1 調査地の堤防湿潤化状況

2. 事例分析のシナリオ

堤防の湿潤化原因を究明するために対象地区の盛土材料の採取場所、盛土部の基礎地盤、施工方法を整理した上で、堤防表面踏査、ボーリング調査、堤防開削調査等を実施した。それぞれの調査目的・手法は下記の通りである。

- (1) 既往資料調査 湿潤化が確認された堤防の事業着手当時（昭和 47 年頃）以降の地質調査資料や築堤材を採取した土取場の地質に関する資料を調査するとともに、施工方法（段階施工）についての概略調査を実施した。
 - (2) 堤防表面踏査 湿潤化が確認された堤防の全長約 6km において踏査を実施し、湿潤化箇所とそうでない箇所を分類した。
 - (3) 堤防土質調査 既往資料調査、堤防表面踏査を基に湿潤化の特に著しい箇所において実施した。調査ではボーリングおよび堤防の一部を開削し、土質構成、強度、宙水の有無を把握した。また、表層土質の強度分布を把握する目的でポータブルコーン貫入試験を密に実施した。
 - (4) 堤体内水位観測 堤体内で確認された宙水の水位変化、および基礎地盤の地下水位変化をモニタリングする目的で、ボーリング孔を利用して水位観測を実施した。
- これらの調査結果を踏まえ変状のメカニズムを解明し、対策工事を実施した。

3. データ収集分析

(1) データ収集

①既往資料等調査および堤防表面踏査

既往資料等調査から、対象堤防は主に2つの土取場から採取された土砂により築堤されている。これらは、エリア A、エリア B のそれぞれの築堤区間に対して用いられた。また、当該地域には、N 値 2～4 程度の粘性土層が約 5m 程度堆積しており、これらの沈下と治水効果の段階的な発現を目的として主に4段階にわたって築堤が行われている。図 1 に堤防表面踏査の結果を示す。湿潤化が発生している区間は、主にエリア A に多く存在した。この区間に築堤された土を採取した土取場 A の地質層序表を表 1 に示すが、主に礫岩・砂岩と泥岩の互層状になっているのがわかる。

表 1 土取場 A での地質層序表

地質時代	地層名		記 事
第四紀	T 層	礫岩	こぶし大までの円礫で巨礫もたまに見られる。礫質は粘板岩・チャート・緑色片岩等。マトリックスは荒く、シルト分も混じるところもあるが、粗粒砂である。
新第三紀	M 層	泥岩	白灰色の凝灰質泥岩。軟らかい。
		礫まじり砂岩	全体に粗粒であるが、中粒砂岩のところもある。礫は3cm くらいまでの軽石が多いがチャートや安山岩質の0.5cm 大位までの細礫も見られる。一部凝灰質泥岩を挟む。
		泥岩	凝灰質で所々砂質や軽石質で、0.5cm 大の細礫を混じえる。固い棒状コアが採取される。

②湿潤化による変状箇所での土質調査

今回調査を実施した断面のうち代表例として湿潤化の著しい箇所での堤防横断図を図 2 に示す。本断面位置では、川裏側のり尻部で変状が発生した箇所である。ここではボーリングとともに川裏側変状部で開削調査を実施した。本断面では粘性土と砂質土層が互層状に築堤されている。これは土取場の土質に応じてこのような築堤構造となったものと考えられる。またボーリング調査では、堤体内において主に2つの宙水が形成されていることを確認した。これらの宙水は堤体基盤部および段階施工による築堤履歴の境界部で粘性土層より上部に形成されており、堤防表面の湿潤化位置とも調和していることが明らかとなった。

開削調査では、掘削時に堤体内から宙水が浸出し、その水位はのり尻から約 70cm の高さに達していた。また図 3 に示すように、この部分には衣土と思われる厚さ 30cm 程度の粘性土層 (B①c1) が堤防のり面を被覆していた。これがキャップ効果を発揮することによって多くの宙水が溜まっていたと推定される。本調査箇所におけるのり面の変状は、表層 (衣土) のみの変状であったため、堤体内からの宙水の浸透により衣土の含水比が高くなることによって軟弱化するとともに、宙水の揚圧力等により変状に至ったものと推察される。

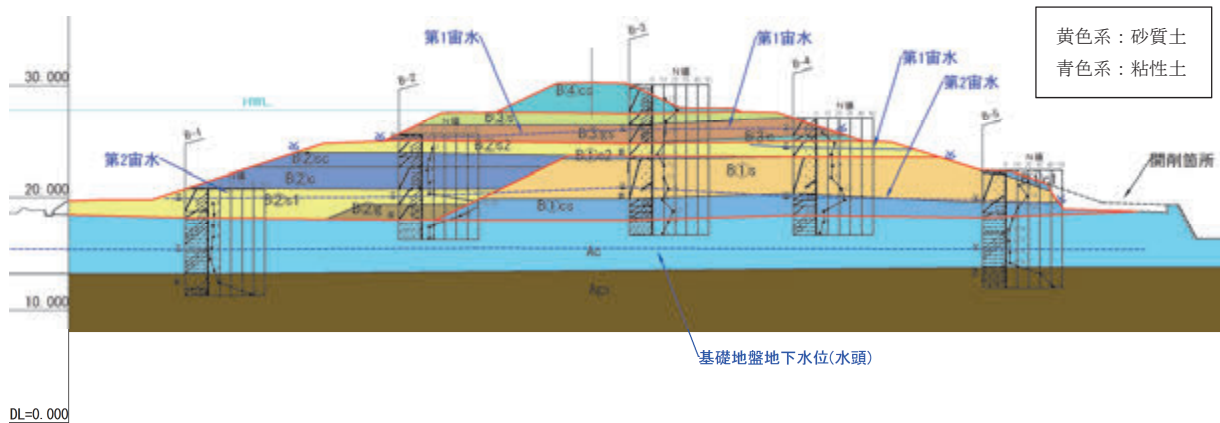


図2 湿潤化が著しい箇所での堤防横断面図

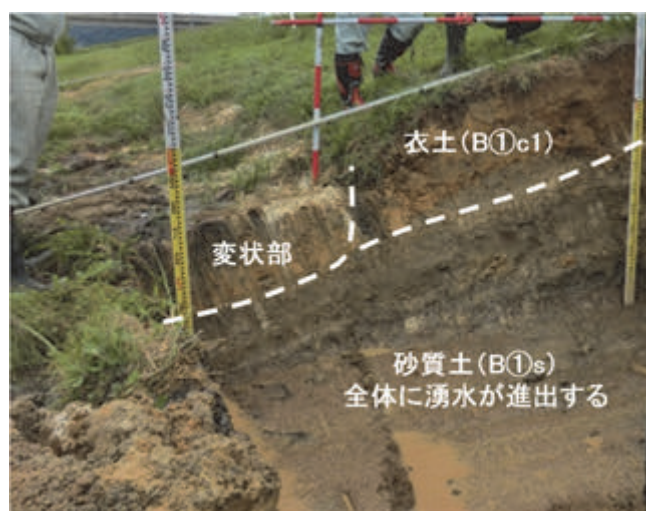


図3 堤防開削時の開削面の状況

③堤体内水位観測結果

図4に堤体内水位観測結果を示す。ここにはボーリング調査で明らかとなった2つの宙水（第1宙水、第2宙水）と、基礎地盤の帯水層の水位変化を示したものである。宙水の水位変化をみると、降雨に応じて変化している傾向が見られることから、宙水の供給源は主に降雨によるものと判断される。

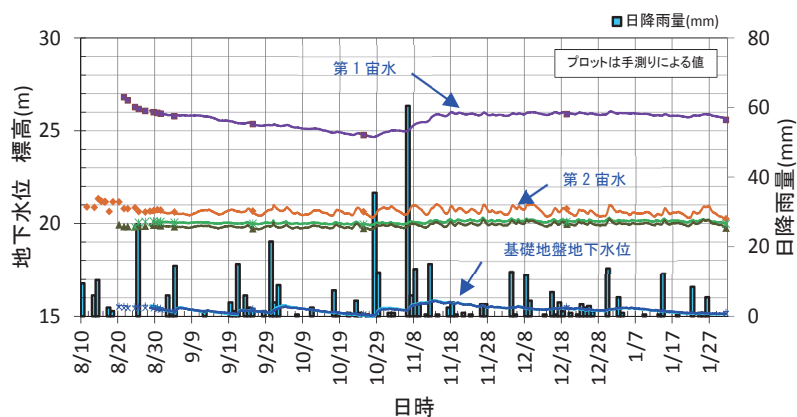


図4 堤体内水位観測結果

(2) 変状のメカニズムの分析

今回の湿潤化調査から、堤体は土取場の土質に対応して粘性土・砂質土層の互層状に施工され、粘性土層（遮水層）上位の砂質土層が帯水層となって宙水が形成され、この宙水が堤体表面に浸出して湿潤化しているものと考えられる。さらに、この宙水の浸出部に粘性土の衣土があるとさらに溜まりやすくなり、のり面に変状が発生することが明らかとなった。

4. マネジメントの効果

堤防築堤当時にこのような湿潤化現象が起きることを予見して、調査・設計・施工していた場合を想定し、コスト比較を行った結果を表2に示す。このように土取り場での地質調査および築堤箇所での地質調査は概ね実施されていたものの、土取り場での掘削計画や各種材料に応じた盛土計画について、調査設計段階で追加の検討を行い、施工段階においても浸透した雨水等の排水対策を取れていれば、湿潤化およびそれに起因する変状のリスクは除去できていたものと考えられ、マネジメント効果としては、460,000 千円として試算される。

表2 湿潤化による変状対策想定コスト比較

費目		費用（千円）		工期
①追加調査・工事 （実績）	調査等（ボーリング等）	27,000	計 592,000	調査～工事～モニタリン グ終了まで4年
	追加工事	565,000		
②事前対策 （想定）	調査等	6,000	計 132,000	盛土材料評価・沈下検討 排水対策
	工事	126,000		
マネジメント効果（①-②）		460,000		

5. データ様式

B. 地質リスクが発現した事例

対象工事	発注者	公的機関
	工事名	A 河川堤防整備工事
	工種	土工工事
	工事概要	堤防延長約 6km，堤防高さ約 12m （盛土工約 400 万 m ³ ）
	①当初事業費	—（当該工事に対しては不明）
	当初工期	昭和 50 年代～平成 10 年代後半
リスク発 現事象	リスク発現時期	平成 10 年代前半ごろから
	トラブルの内容	堤防表面が変状（すべり）
	トラブルの原因	堤防表面が常時湿潤化していた
	工事への影響	築堤時はリスク発現するも影響は無し
追加工事 の内容	追加調査の内容	資料調査，調査ボーリング 8 本，開削調査，堤体内水位観測（モニタリング）
	修正設計内容	土配検討，ドレーン工検討
	対策工事	—
	追加工事	良質土置換工法，ドレーン工法

	追加費用	追加調査設計	27,000 千円
		対策工	—
		追加工事	565,000 千円
		②合計	592,000 千円
	延長工期		追加調査，設計，工事の期間として 4 年
	間接的な影響項目		
	負担者		追加調査，設計，工事：発注者
リスク管理の理想像	対応（すべき）時期		調査段階，設計段階，施工段階
	対応（すべき）者		調査段階：地盤技術者 設計段階：設計技術者 施工段階：工事業者，発注者
	対応（すべき）内容		調査段階：土取り場での地質構成，およびそれを築堤材として用いる場合の留意点の整理 設計段階：土取り場での地質構成，留意点を考慮した築堤材の検討（土砂混合含む） 施工段階：築堤材として用いる土砂の品質管理
	判断に必要な情報		土取り場での地質構成および性状
	対応費用	調査	約 2,000 千円（土取り場での地質調査費）
		設計	約 4,000 千円（土配検討費等）
		③合計	約 6,000 千円
	想定工事	工事概要	排水対策(ドレーン工)
		④工事費	約 126,000 千円
		工期	約 2 年
リスクマネジメントの効果	費用（((①+②)－(③+④))		約 460,000 円
	工期		約 2 年
	その他		

[論文No. 3] 道路トンネル坑口部における施工技術者による地質リスクマネジメント事例

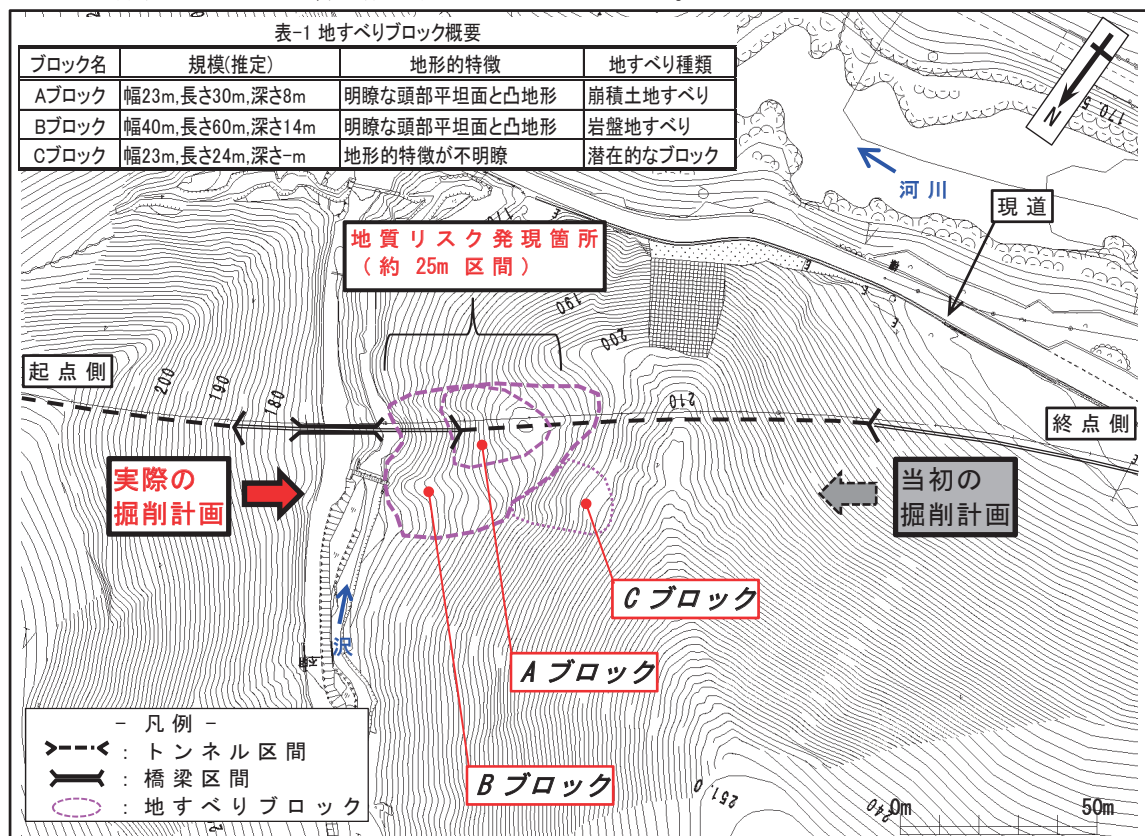
株式会社 森組 日野 秀国
応用地質株式会社 ○渡邊 陽介
(地質リスク・エンジニア 登録番号 60)

1. 事例の概要

本事例は、道路トンネル坑口部の地すべり地形における地質リスクについて施工技術者が問題提起し、マネジメントした事例である。

既存資料によると、当該地の地質は付加体である二畳紀の堆積岩コンプレックス、及びそれを不整合に覆うジュラ紀の整然層より構成された箇所であり、トンネル施工時の課題は「重金属」と「起点側坑口の地すべりブロック」の存在であった。本稿では、このうちの「起点側坑口地すべり」について述べる。

図1に示すとおり、地質リスク①である「坑口地すべり」は3つの地すべりブロック（Aブロック、Bブロック、Cブロック）が抽出されており、それぞれの概要は表1の通りである。当初計画は、終点側掘削で、押え盛土+地すべり土塊の緩みをAGFで防止する計画であったが、周辺工事の兼ね合いで起点側掘削に変更となったため、地すべり対応が焦点となった。工程の都合上、トンネル施工前の地すべり対策が困難であったことから、今回は、施工技術者が問題点や地質リスク②を想定し、考案した対策方法について地質技術者がサポートしながらの計測施工でリスクマネジメントした結果、地質リスク②である地すべり移動土塊の緩みによる影響が認められたものの、地質リスク①の地すべり活動については最小限に回避したものである。



2. 事例分析のシナリオ

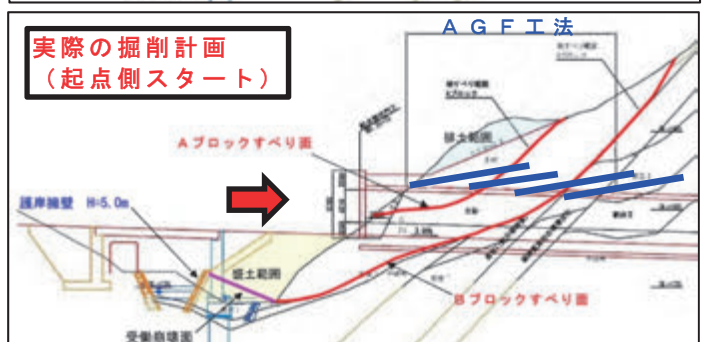
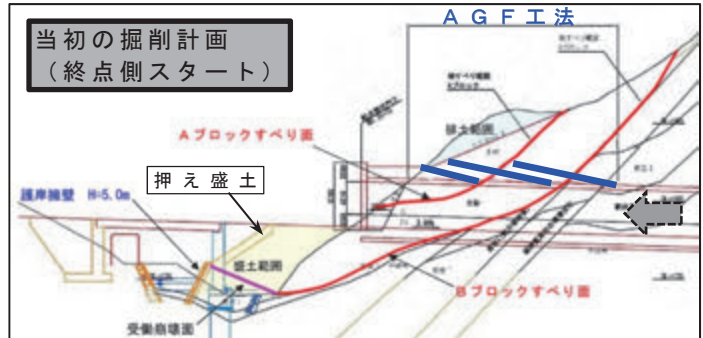
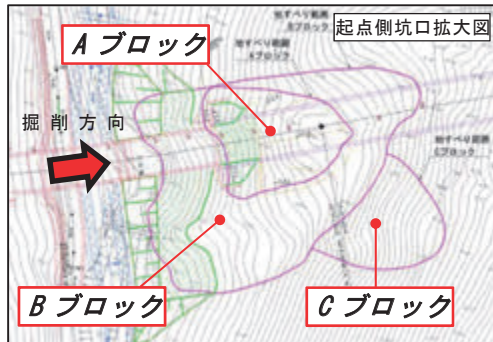
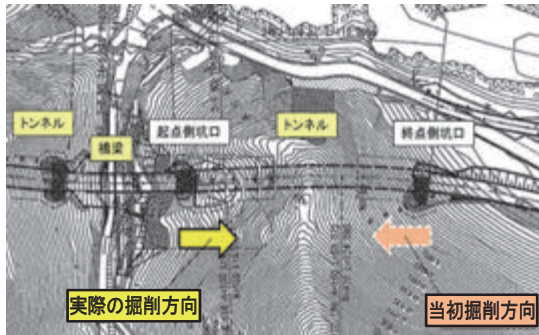
表2に各段階におけるリスクマネジメントの経緯を整理し、図2にシナリオを示す。
表1の中で本事例に該当する部分は(4)～(8)である。このシナリオにおけるリスクマネジメントの重要なポイントは下記2つの対応と考えられる。

- ・ポイント1；地質リスクの想定 → 施工技術者が事前に新たな地質リスクを想定
- ・ポイント2；将来的な地質リスクの回避 ⇒ 施工情報より将来的な地質リスクを見据えた対応

表2 事例における地質リスクマネジメントの経緯

事業の経緯		リスクマネジメント情報	地質リスクの状態
(1)	道路改築事業開始 (測量調査設計段階)	・ 起点側坑口地すべりの存在 (地質調査・測量設計報告書) ・ 重金属の存在 ★トンネルは終点側より掘削計画	地質リスク①潜在 (地すべり、重金属)
(2)	工事公告・発注	・ 上記以外に追加情報なし	〃
(3)	工事開始 (施工段階調査)	★トンネルは起点側より掘削計画 ⇒ 斜面の安定性を再検討 ・ AGF で前方地山確認 ⇒ 既存ボーリングデータと異なる 地山状況の可能性を確認	・ 潜在地質リスク①を確認 ・ 新たな地質リスク②を想定 ⇒ 予想より悪い地山状態 (地すべり土塊の不安定化を懸念)
(4)	トンネル坑口付け	・ B計測体制構築 (地表・地中変位計測) ・ 地すべり活動は無し (小規模崩落あり)	・ 地質リスク①潜在 (地すべり) ・ 地質リスク②想定 (地山の劣化状況)
(5)	トンネル坑口部掘削 (坑口より7基目)	・ 地すべり活動は無し ・ 地すべり土塊の支持力不足 ⇒ トンネル全体が沈下	地質リスク②発現Ⅰ
(6)	トンネル坑口部掘削 (坑口より上半14基)	・ 地すべり活動は無し ・ 地すべり土塊が不安定化 ⇒ トンネル内空側へ傾動	地質リスク②発現Ⅱ
(7)	トンネル坑口部掘削 (坑口より上半22基)	・ 地すべり活動は無し ・ 地すべり土塊が不安定化 ⇒ トンネル内空側へ傾動 トンネル右側脚部が沈下	地質リスク②発現Ⅲ
(8)	坑口部の安定化対策	・ 地すべり活動は無し ・ 地すべり土塊を緩ませると坑口部が不安定化する可能性あり ⇒ 地山の安定化対策実施	最小限で地質リスク②回避の対策実施 (工期30日延長)
(9)	安定化対策＋計測施工で坑口部完了	・ 地すべり活動は無し ・ 地すべり土塊も沈静化 ⇒ 平成30年7月豪雨経験し、 大量の湧水があったものの、 地表及び地中に累積変位無く、 坑口部の安定状態を確認。	将来的な 地質リスクを回避。

(1) ~ (3) 調査～工事開始までの経緯



施工方法の変更

施工技術者が事前確認で地すべりとは別の地質リスクを想定
⇒ 地すべり土塊が調査データよりも悪い地山状況

(4) ~ (9) 施工中の経緯

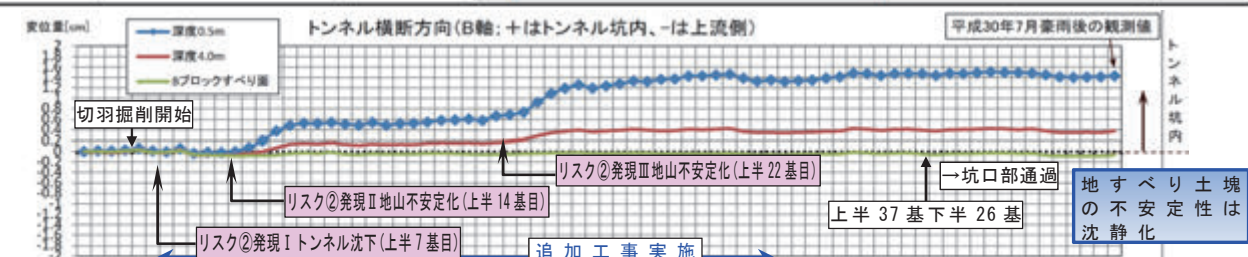
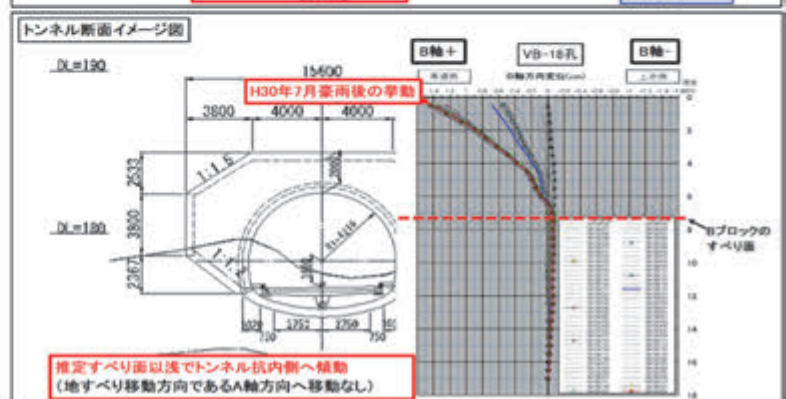
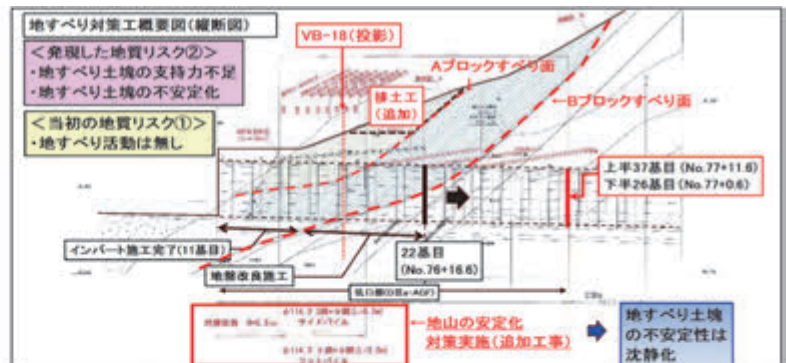
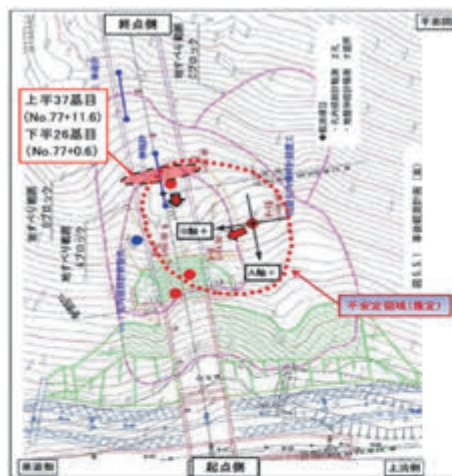


図2 各段階における地質リスクマネジメントのシナリオ

ここでは、図2のシナリオを説明する。本事例では、測量調査設計段階で「坑口地すべり」という地質リスク①が抽出され、Bブロックについては押え盛土工、Aブロックについては坑内からの補強工法で対応が計画されていた（終点側からの掘削計画）。本トンネル工事着手前には、押え盛土工が実施された状態であった。

ところが、施工直前になって「起点側からの掘削計画」に変更となったものの、工事計画は「終点側からの掘削計画」のままであった。そのため、施工技術者が、既存資料および現地状況を確認し、坑口地すべりの安定性再検討とAGFで地山状況の確認をおこなった。その結果、坑口地すべりという地質リスク①に加えて、地山状況が既存調査データよりも悪いことが判明した。ここで特筆するのは、施工技術者が複雑な地質分布域におけるトンネル施工中にトンネル天端崩壊トラブルを経験していたことから、今回の地山状況をみて、新たな地質リスク②として「地山の劣化状況（地すべり土塊の不安定化）」を想定して、事前にある程度の対応方法を想定して施工管理したことである。

C型（発現した地質リスクを最小限に回避）のリスクマネジメントのポイントの一つは、「発現後の迅速な対応」が重要と考える。なぜならば、想定外のことが起きた場合、初動が遅く、現地状況を十分に把握できない場合には、素因・誘因の見落としや応急処置方法の不適切さによって、本対策までに手戻りが生じる可能性があるからである。

今回は、施工技術者が計測施工により想定状況を確認するとともに、日々の進捗情報を地質技術者と情報共有しながら、複眼的に対応方法とその後の方向性を検討できた。そのため、タイムロス可能な限り最少にし、次の段階へ円滑に移行できたと考える。

もう一つのポイントは、施工技術者が、坑口部に地すべり土塊という地質リスク②が残存するため、地すべり土塊が不安定化した場合、地質リスク①を引き起こす可能性が想定されたことから、坑口部の長期的な安定化を図るために追加工事で坑口部の脚部・側部改良や上載荷重の除去等の対策を実施した点である。これはトンネルを安心して掘進する上で必要なことであるが、ともすれば、工事が遅延するため発現してから対応しようという考えになりがちである。しかし、今回は「工事の遅延リスク < 将来的な地質リスク」を優先事項と考え、トンネル掘削を進めている間に新たな地質リスクが坑口部で発現しないように追加工事を立案・実行された。その結果、坑口部の地すべり土塊の緩みは沈静化し、その後のトンネル施工は安心して進められたとのことである。

3. データ収集分析

リスク発生の要因については、既存資料（地質調査及び地すべり対策設計）や施工前段階の現地確認時に現地の地形や地質構造、地山性状に関する情報を入手するとともに、計測施工中の動態観測情報等も収集した。工事費については、収集した情報を基に費用を算定した。また、発現したリスクに対する追加調査・設計費用については実績を採用した。

リスクマネジメントを実施しなかった場合については、線形を見直す等の事業全体の見直しに掛かるシナリオは想定せず、地すべり対策や（垂直縫地ボルトや横ボーリング工）トンネル坑口部の再施工等を想定した。

4. マネジメント効果

本事例のリスクマネジメント効果を表3の様に試算した。その結果、今回の対応は、想定するリスクを回避しなかった場合に較べて8千万円程度のコスト回避に値する。

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

表3 マネジメント効果の算出一覧表

費 用	内 訳	金 額 (千 円)
① 当初工事費用	・ トンネル坑口部施工 (起点側坑口部 25m 区間)	72,000
	小計① =	72,000
② 追加工事費用	・ 動態観測	3,000
	・ 対策工 (支保パターン変更)	9,000
	・ 鏡ボルト、サイドパイル、地盤改良等	37,000
	小計② =	49,000
③ リスク対応費用	・ 地すべり調査、動態観測、対策設計	20,000
	・ 地すべり対策費用 (押え盛土)	27,000
	小計③ =	47,000
④ リスクを回避しなかった 場合の工事費用	・ 地すべり調査、動態観測、測量設計	20,000
	・ 斜面安定化対策 (垂直縫地、護岸)	89,000
	・ トンネル坑口部施工	72,000
	・ トンネル坑口部再施工	72,000
	小計④ =	250,000
リスクマネジメントの効果	C型マネジメント = ④ - (① + ② + ③) =	82,000

※リスク対応＋追加工事で30日の工期延長、

回避していなければ測量調査・対策設計・再施工で1年以上の工期延長

5. データ様式の提案

本事例は、施工時に発現したリスクを最小限に回避するとともに、事業継続に関わる地質リスクを施工技術者が主体となってマネジメントとしたものである。今回は、最小限に回避した事例をC型マネジメントのデータ様式C表を用いて整理した。

本事例の問題点は、当初設計計画時では終点側からの掘削であったが、その後事業計画の中で掘削方向の変更がなされたにも関わらず、地質リスク①に関する再検討がされていなかった点が挙げられる。今回は、施工技術者の経験や隣接する起点側トンネル掘削実績による事前検討により、坑口地すべりに加えて、「地山状況 (地すべり土塊) の劣化」を地質リスク②と想定し、トンネル沈下や地すべり土塊の不安定化が顕著になる前に対応されて事なきを得ている。このような施工技術者の判断 (想定) は重要な要素と考えられることから、C型様式に加えることが望ましいと考える。

なお、得られた知見としては、地質構造の乱れた地域では工事発注前段階で、地すべり土塊自体の物性の再検討や坑口部地質構造の三次元モデル化等による地山状況の精査が必要であることや、事業の担当者が定期的に変わることによる情報共有リスク (特に設計データ) も地質リスクの一種であると考え、ある一定以上の期間を要する事業では、当初から一貫して地質リスクをマネジメントする機関や制度が必要と考える。

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	道路改良事業		
		工種	トンネル工事		
		工事概要	地すべり内の道路トンネル坑口部工事		
		①当初工事費	72,000 千円		
		当初工期	60日（ 起点側坑口部のみ ）		
発現したリスク	リスク発現事象	リスク発現時期	坑口付け切土、坑口部掘削時		
		トラブルの内容	・天端崩落、脚部沈下 ・地すべり土塊の不安定化 （地すべり活動は無し）		
		トラブルの原因	・設計計画（掘削方向）の変更 ・地山の想定		
		工事への影響	対策区間延長、工事30日遅延		
	追加工事の内容	追加調査の内容	動態観測（地表伸縮計、孔内傾斜計）		
		修正設計内容	－		
		対策工事	一部区間で支保パターン変更		
		追加工事	鏡ボルト、サイド・レッグパイル、地盤改良、排土工		
		追加費用	追加調査	3,000 千円	
			修正設計	－	
			対策工	9,000 千円	
			追加工事	37,000 千円	
			②合計	49,000 千円	
		延長工期	トンネル工事が30日遅延		
		間接的な影響項目	後続工事に部分引き渡しより影響減少		
		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	坑口付けの切土、トンネル掘削中
				予測されたトラブル	地すべり活動によるトンネル損壊
				回避した事象	地すべり
工事への影響	斜面崩壊、坑道閉塞				
リスク管理の実際	判断した時期		詳細設計時		
	判断した者		設計技術者・事業者		
	判断の内容		押え盛土工、終点側からの掘削のため垂直縫地ボルトは見送る		
	判断に必要な情報		地質データ、動態観測データ、安定解析データ		
リスク対応の実際	内容		追加調査	地すべり調査	
			修正設計	地すべり対策	
			対策工	地すべり対策（押え盛土、垂直縫地ボルト）	
	費用		追加調査	20,000 千円	
			修正設計		
		対策工	27,000 千円（押え盛土）		
		③合計	47,000 千円		
回避しなかった場合	工事変更の内容	測量調査、動態観測、斜面安定対策、トンネル坑口部再工事			
	④変更後工事費	250,000 千円			
	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）	82,000 千円		
		工期	1年以上		
		その他	－		

【論文 No. 4】 不均質な軟弱地盤上の道路盛土に対する対策工の検討事例

(株) 興和 東北支店 ○高橋浩之
(地質リスクエンジニア 登録番号 2)
(株) 興和 石黒圭一郎

1. 事例の概要

沖積平野内の軟弱地盤上に、高盛土構造の高規格道路の新設(延長 4.9km)が計画されていた。本報告は、軟弱地盤中に不規則に分布する砂質土の圧密排水層としての効果を、試験盛土・動態観測工を実施することによって確認し、これにより、当初計画されていた圧密促進工法の必要性がなくなり、工事費のコスト削減を達成した事例である。

(1) リスクの特定

当該地の地盤構成は、軟弱な粘性土が主体に分布するが、不規則に砂質土の薄層が挟在し、粘性土と砂質土が互層状に分布する区間と粘性土が優勢な区間の２区間に区分された。この不規則に分布する砂層については、圧密排水層としての効果が不明瞭であるため、その効果を評価する必要性から、地盤構成の違う２地点で試験盛土、動態観測を実施した。

(2) 事前検討結果

A地点：粘性土と砂質土が互層となる区間（図1）

限界盛土高は相対的に高くなり、圧密沈下は比較的早期に収束する結果となった。このため、対策工法は、サーチャージ工法のみとなった。

B地点：粘性土が優勢となる区間（図2）

限界盛土高はかなり低く制限され、圧密沈下量は大きく、沈下が終了するには、かなりの時間を要する結果となった。このため、対策工として圧密促進工法の併用が必要となった。ただし、当該区間においても、砂層の薄層が不規則に分布することが確認されていたが、解析モデル上は考慮していない。このため、この不連続な砂層に圧密排水効果がある場合は、無処理でも圧密が早期に収束する事が考えられた。

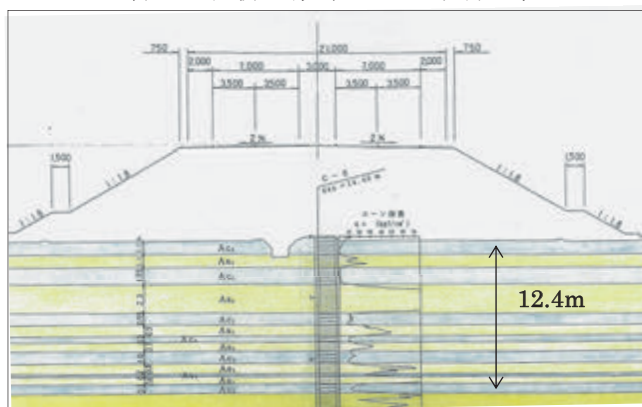


図 1 地質横断面図 A

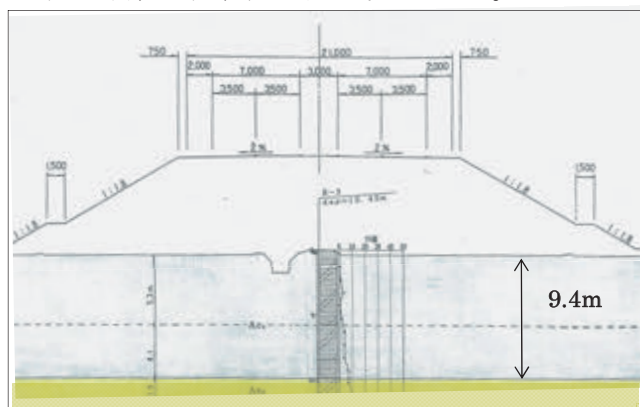


図 2 地質断面図 B

(3) リスクの回避

試験盛土・動態観測を実施し、A、B両地点の沈下・変位を把握した。この結果、両地点では同等の圧密進捗状況を示し、粘性土優勢な地盤(B地点)においても比較的早く圧密沈下が収束した。このため、B地点の圧密促進工法は不必要であると判断され、これより、砂層の不連続に起因する地質リスクは回避され、経済的な盛土施工方法が提案できた。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 不均質な軟弱地盤の地盤構成に着目

当該地の地盤構成は、粘性土が主体の軟弱地盤となるが、全体に砂層が不規則に挟在する傾向がある。粘性土が比較的優勢な区間(B 地点)については、不規則な砂層の分布が、圧密の進捗に大きな影響を与える事になり、この砂層の評価が対策工（圧密促進工法）の必要性の根拠となる。

(2) 試験盛土・動態観測の実施

地盤の不均一性の地質リスクを回避する目的で、試験盛土・動態観測を2つの異なる地盤条件で実施する。

A地点：粘性土、砂質土が互層となる地盤

B地点：粘性土が優勢な地盤

(3) 結果の考察

試験盛土・動態観測による沈下、変位の観測結果から、圧密、強度の情報を整理する。

- ・最終沈下量について
- ・圧密進行状況について
- ・盛土立ち上がり時の安定性について

これら、実際の挙動を踏まえ、圧密促進工法の必要性を判断する。

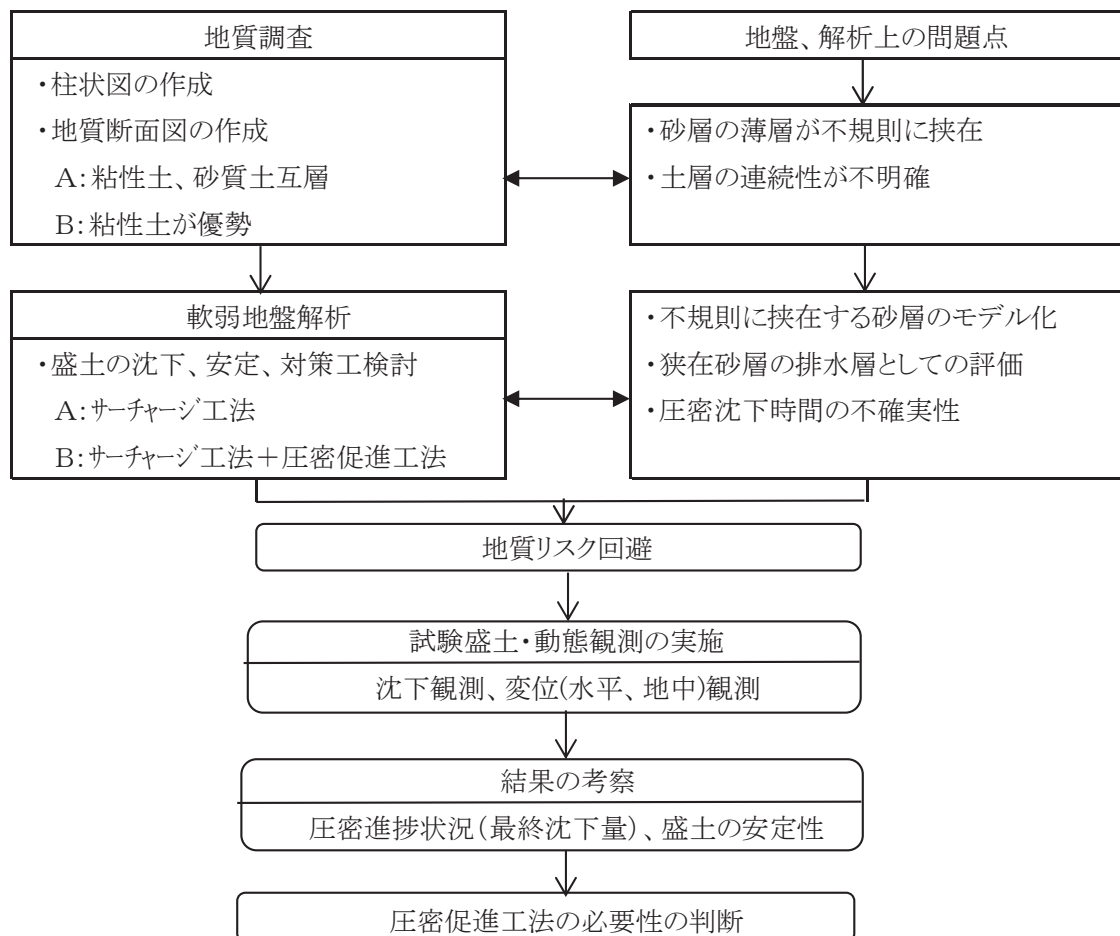


図3 事例分析のシナリオフロー

3. データ収集・分析

(1) データ収集

試験盛土・動態観測工は、自動計測ユニットを活用して、沈下、変位量の計測を行い、沈下管理、安定管理はリアルタイムで実施した。

(2) データ分析

①圧密進捗状況：実測沈下量 St を経時変化で整理する。(図 4)

観測期間：盛土開始から 10 ヶ月 (300 日) 程度

A 地点(盛土高：8.8m)

B 地点(盛土高：6.6m)

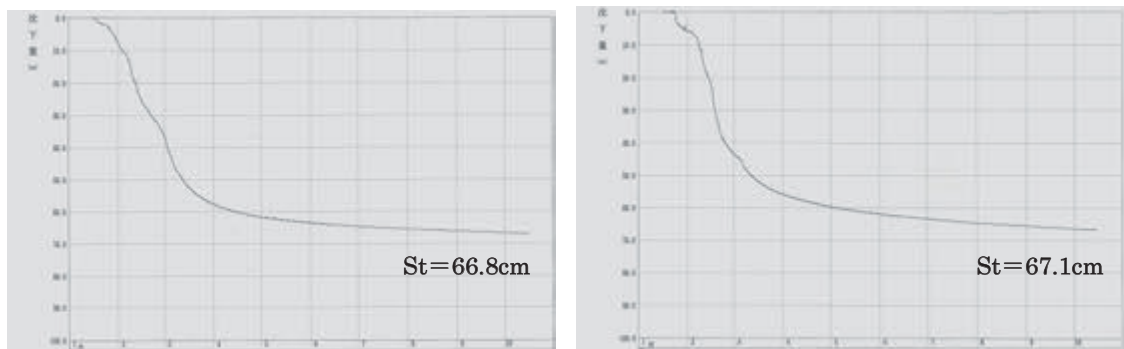


図 4 沈下量経時変化図

観測された実測沈下量 St から、双曲線法で最終沈下量 Sf を推定する。(図 5)

A 地点：粘性土、砂質土互層

B 地点：粘性土優勢

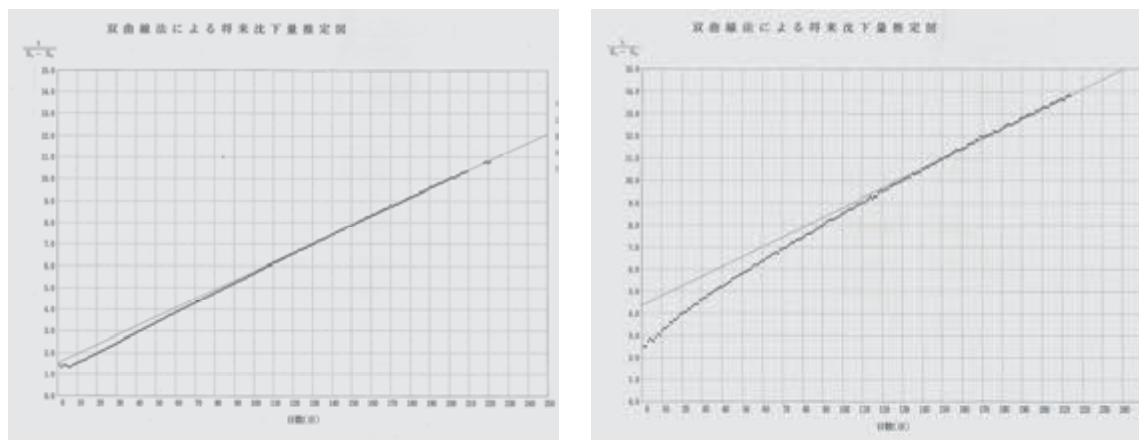


図 5 最終沈下量 Sf の推定(双曲線法)

A 地点、B 地点ともに、同様な圧密進捗状況を示している。このため、B 地点(粘性土優勢)でも、挟在する砂層の圧密排水効果で、圧密の進行が当初設計(※)より早くなっている。

この事は、粘性土優勢の B 地点でも、圧密促進工法が必要ない事を示している。

表 1 圧密進捗状況 対比表

地盤条件	A 地点：粘性土/砂質土互層	B 地点：粘性土
実盛土高(m)	8.8	6.6
経過日数t(日)	272	265
実測沈下量 St (cm)	66.8	67.1
最終沈下量 Sf (cm)	70.2	74.0
圧密度U(%)	95.2	90.3

(※)当初設計 A 地点:圧密度 90%→200 日 、B 地点:圧密度 90%→1160 日

②盛土の安定性：安定管理図と安定計算より盛土の安定性を評価する。(B 地点)

・安定管理図 (松尾・川村の方法)：安定管理図(図 6)より、限界盛土高さを評価する(表 2)。

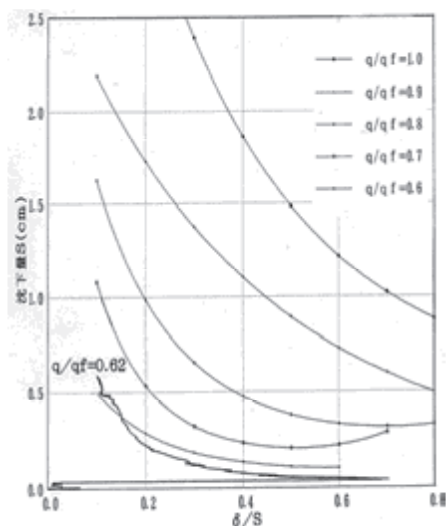


図 6 安定管理図

表 2 限界盛土高(安定管理図)

地盤条件			B 地点
			粘性土
安定管理図	破壊基準	$q / q f$	0.62
	実盛土高 (m)	H	6.6
	限界盛土高 (m)	$H_c = H / (q / q f)$	10.64
	補正限界盛土高 (m)	$H_c' = 0.8 \times H_c$	8.5
	想定安全率	F_s	1.10

※補正限界盛土高 H_c'

破壊基準 $q/qf=0.8 \sim 0.9$ でクラックが発生する事例が多い。このため、限界盛土高は、 H_c に補正係数 0.8 を乗じて補正する(H_c')。

・安定計算：安定管理図で評価された補正限界盛土高 $H_c' 8.5m$ の安全率を求める。(図 8)
潜在的なすべり面は、傾斜計の変位が急激に変化する深度(4m～6m)とする。(図 7)

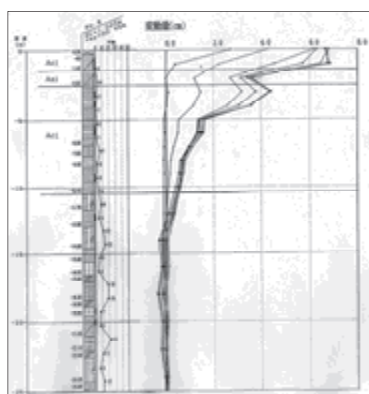


図 7 傾斜計変位図

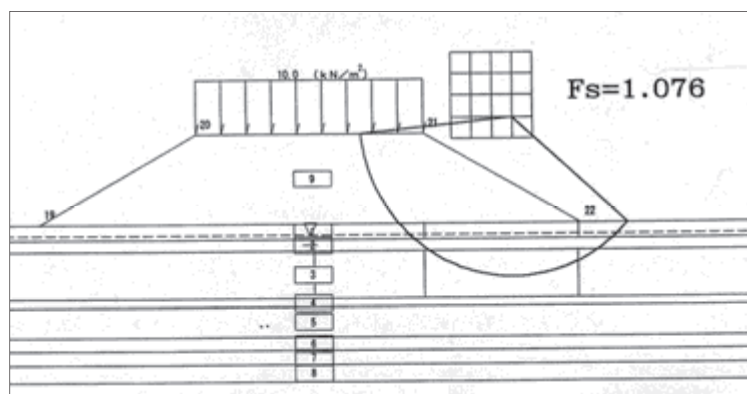


図 8 安定計算結果

表 3 安定性の評価 (安定管理図・安定計算)

安定性の評価方法	安定管理図 (松尾・川村の方法)	安定計算
実盛土高	8.5m	8.5m
盛土速度	15cm/日	15cm/日
盛土立ち上がり時の安全率	$F_s = 1.10$	$F_s = 1.076$

安定性(限界盛土高)は、安定管理図と安定計算で概ね一致する結果となった(表 3)。この事は、実際の圧密進行状況(実測沈下量/推定最終沈下量)と当初設定のせん断強度に整合があり、強度定数(室内土質試験から設定)は、実地盤の挙動を反映していると評価できる。

4. マネジメント効果

(1) マネジメント効果の計量

本業務では、試験盛土・動態観測工を実施し、実挙動(圧密沈下、変位)を評価することによって、圧密促進工法が必要ないことが確認された。

マネジメント効果の計量は試験盛土・動態観測工の計器材料費、設置費、観測費、解析費と当初に計画されていた軟弱地盤対策工法：圧密促進工法(ペーパードレーン)の施工費となる。

①.試験盛土・動態観測工

- ・計器材料、設置費 15,000 千円
地表面沈下板、層別沈下計、間隙水压計、傾斜計、自動観測ユニット
- ・観測費 5,000 千円
自動観測、測量
- ・解析費 5,500 千円
データ整理、将来沈下量の推定(圧密度の評価)、安定計算

※盛土工：サーチャージ工法施工時にも必要となるため計上しない。

②当初計画軟弱地盤対策工

- ・圧密促進工法(ペーパードレーン) 92,400 千円
仕様：径 d=5.0cm、深度 L=10m
打設間隔 1.0m
打設幅 B=40m
道路延長：1,050m
打設延長：幅 40m×延長 1,050m×深度 10m=420,000m

※サンドマット工：サーチャージ工法でも必要となるため計上しない。

(2) マネジメントの効果

試験盛土・動態観測工の総額は、①15,000 千円+5,000 千円+5,500 千円=25,500 千円となる、

また、当初計画されていた軟弱地盤対策工(圧密促進工法：ペーパードレーン)の対策工費は、②92,400 千円となる。

このため、マネジメント効果は、【②当初計画軟弱地盤対策工費と①試験盛土・動態観測工の差額】となる。

$$\begin{aligned}\text{マネジメント効果} &= \text{②当初計画軟弱地盤対策工費} - \text{①試験盛土・動態観測工費} \\ &= \text{②92,400 千円} - \text{①25,500 千円} \\ &= \text{66,900 千円}\end{aligned}$$

となる。

5. データ様式の提案

本事例は、Aタイプの事例であることから、学会のデータ様式Aを用いて整理する。

表4 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		軟弱地盤対策工
	工事概要		圧密促進工法：ペーパードレーン工
	①当初工事費		92,400千円
	当初工期		—
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		地質調査、解析実施時
	予測されたトラブル		圧密促進工法の必要性
	回避した事象		圧密促進工法
	工事への影響		—
リスク管理の実際	判断した時期		試験盛土・動態観測工：解析実施時
	判断した者		地質調査業者、発注者、
	判断の内容		粘性土優勢地盤において、不連続に分布する狭在砂層の圧密排水層としての有効性を確認した
	判断に必要な情報		試験盛土による沈下、変位（水平、地中）観測結果、安定管理図
リスク対応の実際	内容	追加調査	試験盛土工・動態観測工
		修正設計	試験盛土・動態観測結果の整理・解析
		対策工	—
	費用	追加調査	20,000千円
		修正設計	5,500千円
		対策工	—
		②合計	25,500千円
変更工事の内容	工事変更の内容		圧密促進工法なし
	③変更工事費		0
	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）		66,900千円
	工期		—
	その他		—

【論文 No. 5】雨水調整池整備計画における地質リスク検討事例

株式会社アバンス ○山下 隆之
藤本 一輝

1. 事例の概要

(1) 事例の概要

本事例は、沖積層が厚く分布する地域に計画された雨水調整池（洪水時に一時的に雨水を貯留する施設・図-1 参照）において、本体施設および付帯施設（接続水路）の設計・施工に際し、大口径ボーリング調査や水文調査等を実施することで、計画地に存在する地質リスクを評価し、建設コスト削減および施工工程の遅延や大幅変更等の防止を行ったものである（タイプA）。

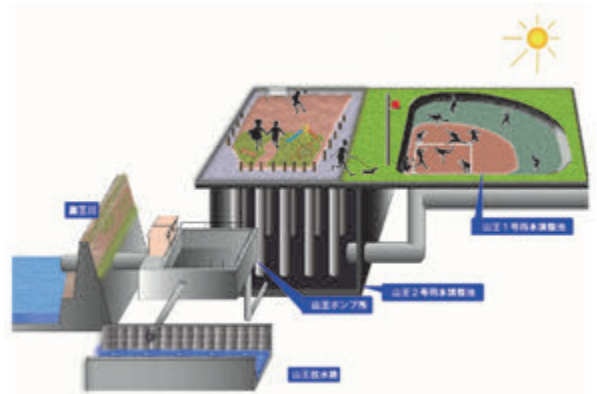


図-1 調整池の整備例
（福岡市 HP より引用）

(2) 対象地の概要

対象地は表層に締まった砂礫層が分布するが、その下位に軟弱な砂層が20m程度分布し、構造物の支持層となる地盤が深く、周辺の水道水源（家庭用井戸）となっている被圧地下水を有する地盤である。

対象地では、大規模な雨水調整池（41m×41m、深さ最大10m）が計画されており、軟弱地盤対策、床掘時の安定問題、支持層掘削時における被圧地下水の影響に関する地質リスクが抽出された。以下に、これらの地質リスクの抽出とその対応をまとめる。



写真-1 対象地周辺の表層部に分布する細砂層の掘削例（ボーリング発生）

2. 事例分析のシナリオ

本事例における地質リスク回避に至るシナリオを以下に示す。

(1) 資料の収集・整理（類似箇所での地質リスク情報収集等）

対象地が位置する沖積平野は、軟弱な土砂（特に緩い砂）が分布するだけでなく、市街地化が進んでおり、地質リスクによる公衆への影響が生じやすい特徴がある。

このため、既存の調査、設計、施工事例の収集を行い、類似箇所での地質リスクおよびそのリスク対応事例を修正・整理した。その結果を表-1に示す。



写真-2 対象地周辺の施工事例

表 1 対象地周辺の地質リスク情報収集

地質リスク	対応策	地質リスクの評価		
		発生確率	影響度	リスクスコア
地下水・緩い砂による床掘時のボーリング	地盤変形により施工中止（数ヶ月） 事業損失による補償発生	高い	高い	A
支持層の土質・傾斜による施工時の掘削能率低下・杭長変更	礫の掘削に想定以上に時間を要した 杭長の見直し発生（工程遅延）	高い	中程度	A
玉石混じり砂礫層の過少評価 および掘削能率低下	過大な設計（杭基礎・地盤改良） 掘削能率低下による工程遅延	高い	低い～ 中程度	B～A
周辺井戸の濁り・苦情発生	井戸洗浄・給水対応が発生 事情説明・施工への理解を得るまで 施工遅延が発生	高い	中程度 ～高い	A
矢板引き抜きや薬液注入による 地盤変状	地盤変形により施工中止 事業損失による補償発生	中程度	低い～ 中程度	B～A

（2）リスク回避のための方針

対象地周辺の地質リスク事例、対象地の地形・地質状況をふまえ、表-2 に示す方針で追加調査の実施および解析を実施した。調査結果等の情報は、設計にフィードバックかつ地質リスクを発注者・設計者と共有することで、地質リスクの回避を行った。

表-2 地質リスク回避のための方針

地質リスク	対応策（今回）	留意点
地下水・緩い砂による床掘時のボーリング	密な調査の実施および発注者・施工会社の合同打合せを実施し各種情報の共有・引き継ぎを行う	特に表層部の土質は今回の調査では完全に把握できないことを補足する
支持層の土質・傾斜による施工時の掘削能率低下・杭長変更	施設外で追加調査を実施し支持層の傾斜状況やN値の特性を把握	付帯施設の調査を増掘することで対応する
玉石混じり砂礫層の過少評価および掘削能率低下	大口径ボーリングによる詳細土質判定を実施する	液状化に関する補足検討や矢板等の打設工法検討にも適用可能
周辺井戸の濁り・苦情発生	井戸調査の実施	事業説明も兼ねることが出来る
矢板引き抜きや薬液注入による地盤変状	（特になし）	他調査項目で補完

3. データ収集分析

表-2 に沿ってデータ収集（追加地質調査）および分析（解析）を行った結果を以下に整理する。なお、今回の地質リスク検討は、予備設計完了後に、地質調査担当者と発注者だけでなく、設計者もふくめ合同打合せを実施した。その打ち合わせ時に、地質リスクのポイント、追加調査で明確になる事項、設計側で必要性の高い事項等に関して、すり合わせを実施した（調査をやることが目的とならないようにするため）。

(1) 地下水・緩い砂による床掘時のボイリング

密なボーリング調査を実施することで、掘削区間に「緩い砂」は確認されなかったが、掘削による地下水低下により沈下が懸念される粘性土が確認された（図-2）。このため、支持力が不足する区間があること、対象地は民家に隣接する区間のため、地盤変状に留意が必要であることに関して、発注者・設計者と情報共有を行った。

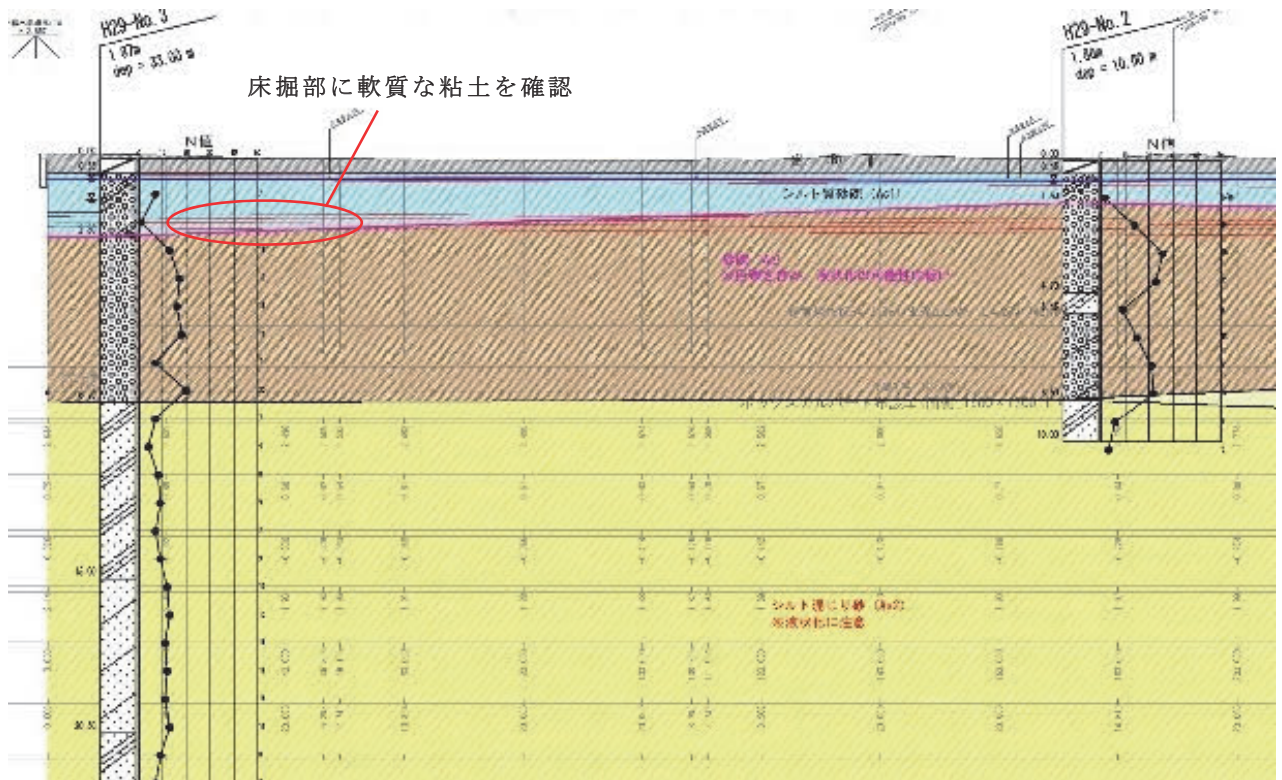


図-3 軟質な粘性土の分布

(2) 支持層の土質・傾斜状況の確認

付帯構造物の地質調査を増掘し、調整池の支持層レベルまで調査を実施した（図-3 参照）。その結果、対象地周辺では、支持層の大きな傾斜がある可能性が低いことを確認した。ただし、支持層（砂礫層）中に砂層を挟むため、支持層上面深度を下げることを提案した。

また、この支持層は被圧地下水を有することが確認されたため（GL-1m程度、調整池基面では基面より 8m 程度上位に水頭が存在する）、杭施工基面の変更が実施された（杭を調整池の床掘前に先施工性し、調整池掘削後に余分となる部分を調整する手法）。

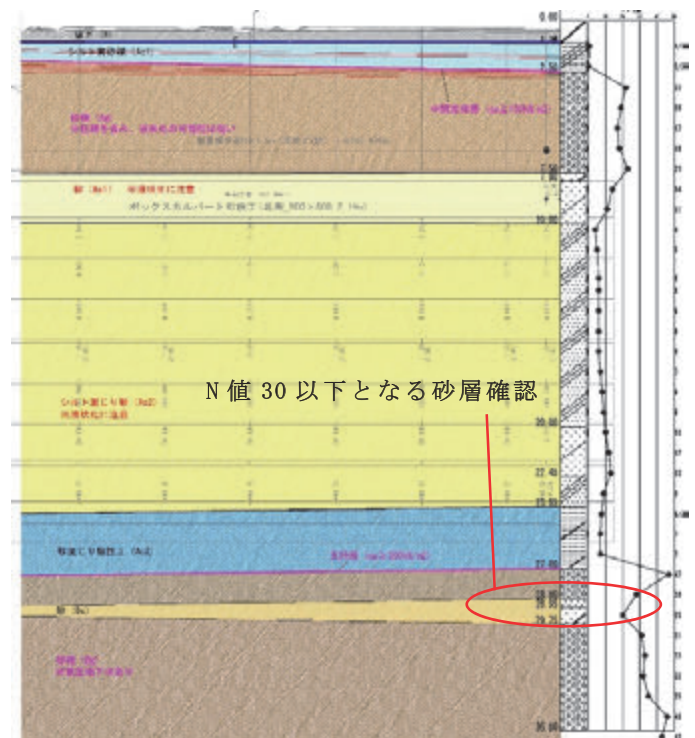


図-4 支持層中の軟質部状況

(3) 玉石混じり砂礫層の土質評価

付帯構造物の支持層となるかどうか（層厚の確認）、また土質状況（特に礫径）の確認のため、φ116mmオールコアを実施した（写真-3）。結果、層厚は5m以上、最大礫径は100mm程度（端部がビットで削られていない自形の礫で礫径を確認）であることを確認し、付帯構造物の設計や各種仮設工法の検討に活用した。



写真-3 φ116mm掘削コア

(4) 施工対象地周辺の井戸調査を実施

大規模な床堀（深度10m程度まで）および土留・止水（長尺矢板）のための施工実施する施工ヤード周辺で井戸調査（約40箇所）を実施した。

また、調査時は、発注者に同行をお願いし事業の説明および井戸調査の目的・協力を依頼して頂いた。結果、対象地周辺には杭を打設する地層を対象とする井戸の有無把握、施工前の水質把握および事業の趣旨を理解頂くことができた。

あわせて、井戸が多数確認されたため、観測孔の設置および施工前の長期観測（実態把握）を実施し、施工中止基準の検討等の基礎資料を得ることとした。

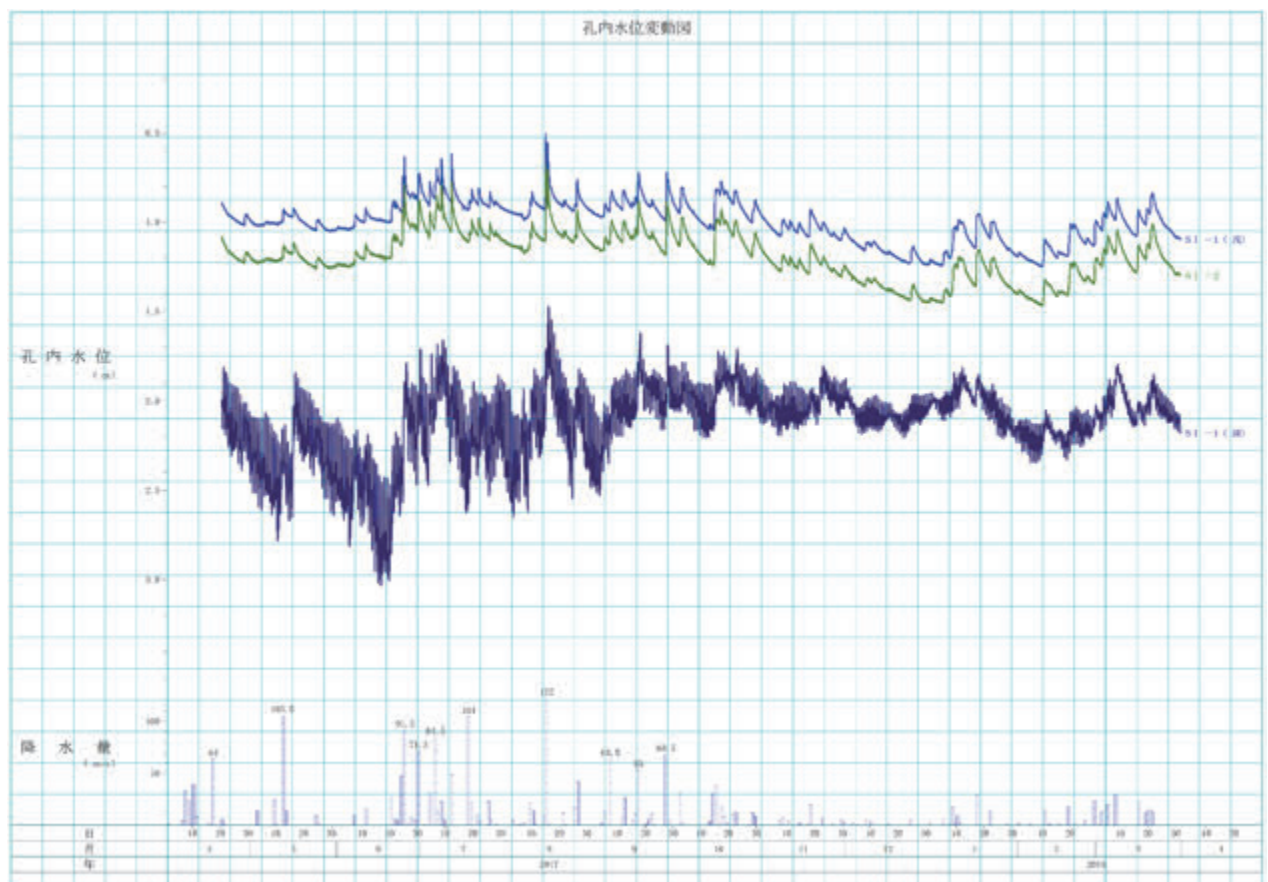


図-5 地下水観測結果（現在も継続中）

4. マネジメントの効果

今回のマネジメント効果を算定するために、表-3 に今回の対応および結果（成果）を表-4 にリスクマネジメントの効果算定表を整理する。

今回の成果として、費用的な効果だけではなく、①周辺住民と密な関係を構築し、トラブルに迅速に対応できる下地ができた、②施工による地下水影響出現を最小化するため、長期観測結果を実施し、中止基準の検討資料を得ることができた、③対象地の地形・地質特徴およびこれまでの地質リスク発現状況を設計側だけではなく、発注者と共有することができた、といった事業の円滑な実施に必要な成果も得ることができた。

表-3 地質リスク回避のための対応結果

地質リスク	対応策（今回）	成果
地下水・緩い砂による 床掘時のボーリング	追加調査による土質確認	砂層が確認されなかった。 床掘時に変形が懸念される粘性土を確認。 砂層の分布に注意が必要であることを発注者・設計者と共有。
支持層の土質・傾斜による施工時の掘削能率低下・杭長変更	追加調査による土質確認	支持層中の軟質部を確認。 杭長の一部変更。
玉石混じり砂礫層の過少評価 および掘削能率低下	追加調査による土質確認	付帯構造物の支持層を確定。 建設発生土としての流用可否について検討を実施。 巨礫が含まれる可能性が非常に低いことを確認、
周辺井戸の濁り・苦情発生	井戸調査を実施 観測孔の設置・観測を実施	井戸の把握、事業説明を実施し周辺住民と密な関係を構築できた。 長期観測を実施し、施工中止基準（影響の最小化）の検討を実施

表-4 リスクマネジメントの効果算定表

項目		費用（千円）	備考
① 当初工事費用		700,000	
① -1 事業損失（概算）		200,000 以上	井戸水枯渇時、家屋変形時の対策（既存資料等から概算）
② リスク対応費用		23,000	下記詳細の合計
詳細	追加地質調査	6,000	ボーリング調査
	井戸調査	3,000	聞き取り、水位・水質測定
	観測孔設置・観測	4,000	地下水観測
	設計変更業務費 追加対策工	10,000	詳細設計業務の項目追加および工期延長等
③ 変更工事費用		800,000	仮設工法変更、杭基面の変更 地質リスク項目の申し送り実施
マネジメント効果 （①-③-②）		77,000	（リスクの最小化もあり）

5. データ様式の提案

本事例を「地質リスクを回避した事例（A型）」として以下の表にとりまとめた。

表-5 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	市町村（補助事業）	
	工事名	-	
	工種	下水道事業（土工主体）	
	工事概要	調整池・接続水路等の新設	
	①当初工事費	700,000（千円）	
	①-1 事業損失（概算）	200,000（千円）以上	
	当初工期	24ヶ月	
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	設計・施工段階	
	予測されたトラブル	軟弱地盤・地下水に起因する各種地盤トラブル	
	回避した事象	苦情や事業損失による工事遅延を回避	
	工事への影響	当初設計時に想定された地下水トラブルや杭長の変更等の不確定要素を低減	
リスク管理の実際	判断した時期	予備設計完了時	
	判断したもの	発注者（調査担当者からの提言）	
	判断の内容	周辺で発生した地質リスクに起因する事業損失事例	
	判断に必要な情報	対象地周辺の深部までの地盤状況、表層砂礫層の土質、地下水特性把握	
リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング（増掘）、大口径ボーリング、井戸調査、地下水観測等
		修正設計	仮設工変更、杭長の変更、杭施工基面の変更、
	費用	追加調査	13,000（千円）
		修正設計	10,000（千円）
		②合計	23,000（千円）
変更工事の内容	工事変更の内容		床掘底面の薬液注入工追加、杭長、矢板工法への変更
	③変更工事費		800,000（千円）
	変更工期		（変更なし）
	間接的な影響項目		地質リスクの共有
	受益者		周辺住民、市民（整備効果の早期発現）
リスクマネジメントの効果	費用（①-③-②）		77,000（千円）
	工期		（変更なし）
	その他		事業説明を実施し周辺住民と密な関係を構築できた

〔論文 No. 6〕 最終処分場建設事業に対する地質リスクマネジメント事例

(株) 建設技術研究所 ○吉田健司、和田卓也、湯浅忠、橋本和茂

1. 事例の概要

一般・産業廃棄物最終処分場の建設事業では、地下水や水源地汚染への不安等から周辺住民から合意が得られず計画が停滞したり、撤回を余儀なくされるケースがある。そのため、事業の初期段階である適地選定段階では、計画埋立容量の確保、施工条件だけでなく、対象地の地形・地質条件（本論では、地下水に関わる条件も含めて地形・地質条件と述べる）から地質リスクの要因となる事象を抽出・評価することが重要である。加えて、事業を円滑に推進するには、それら検討結果について、適宜地域住民へ情報開示する等のリスクコミュニケーションを図ることも重要である。

本発表は、最終処分場のライフサイクル（計画・設計段階、施工段階、運用段階、維持・管理段階）の中で想定される地質リスクを適地選定段階で抽出・評価し、概算費用を比較・検討した事例を紹介する。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 地質リスクを考慮した適地選定の視点

最終処分場の適地選定を行ううえでの重要な視点として、浸出水による周辺への環境汚染リスクが挙げられる。その理由として、①最終処分場建設に反対する住民の大きな理由の一つが、浸出水の漏洩による地下水ならびに水源地の汚染であること、②最終処分場の供用後に浸出水の漏洩が判明した場合、遮水工の補修には莫大な対策費用と工期がかかるだけでなく、周辺住民は事業主体に対し不信感を持つことになり、事業停止に追い込まれる可能性もあるためである。地形・地質的に良好な土地が選定されていれば、万が一、浸出水が漏出しても、影響を最小限に抑えながら合理的な対策を講じやすいといえる。

また、最終処分場の施工では様々な土工事を伴うため、重金属を高濃度で含有する地質帯の場合、周辺への重金属汚染（土壌、地下水、表流水）が生じる可能性についても事前に考慮することが重要である。

(2) 地質リスクマネジメントの内容

①地質リスク要因の抽出

候補地選定の検討対象範囲は舞鶴帯、超丹波帯、丹波帯に位置し、古生代～中生代の堆積岩類が広く分布する。これらは主として、粘板岩、砂岩、チャートなどが複雑に重なり合った層状岩盤であり、褶曲や断層が発達する。

地質リスク要因として、舞鶴帯の一部では、蛇紋岩に由来する大規模な地すべり地が分布、丹波帯の一部では石灰岩ブロックが分布する等の特徴が挙げられる。更に、粘板岩や蛇紋岩分布範囲の一部では、自然由来重金属として、鉛や砒素等を高濃度で含む事案が報告されている。これらを考慮のうえ、本検討を行うにあたり、最終処分場建設事業で想定される地質リスク要因を抽出した。（表1）

いずれの項目もリスクが発現した場合、最終処分場の遮水システムならびに周辺地下水に影響を与える可能性が想定される。

表 1 抽出した地質リスク要因一覧

地質リスク要因	地質リスクが発現した場合に生じる事象
1 活断層(第四紀断層)	・地震動により、構造物、遮水工が破損を受けたり、埋立盛土が崩壊する可能性がある
2 地質分布(蛇紋岩、石灰岩)	・蛇紋岩が分布する場合、造成時に斜面崩壊を生じる可能性がある ・石灰岩が分布する場合、浸出水の漏出経路となる可能性がある
3 地質構造(流れ盤)	・流れ盤斜面の場合、豪雨、地震動、切土などが誘因となり斜面崩壊が生じる可能性がある
4 地すべり、崩壊地、軟弱地盤	・造成に伴い斜面が不安定化する可能性がある
5 自然由来重金属	・様々な土工事に伴い、周辺への重金属汚染(土壌・地下水、表流水)が生ずる可能性がある

②検討フロー

本事案では、前節で抽出した地質リスク要因を各候補地選定段階で評価し、候補地の絞り込みを行う際の指標とした。図 1 に検討フローを示す。

候補地の選定条件となる埋立容量、敷地面積等を設定したうえで、①一次候補地の抽出、②二次候補地の選定、③最終候補地の選定の 3 段階で候補地の絞り込みを行い、最終候補地の概略施設計画の作成を行った。

①一次候補地の選定段階では、法規制により、最終処分場の建設が困難と判断される地域を検討範囲から除外した。②二次候補地の選定段階では、一次候補地の中から、地形勾配や防災条件(活断層、地すべり地形等)について評価した。③最終候補地の選定段階では、現地調査を行い、最終候補地を選定した。また、各候補地の概略施設計画を作成し、それに基づいた概算費用を算出した。

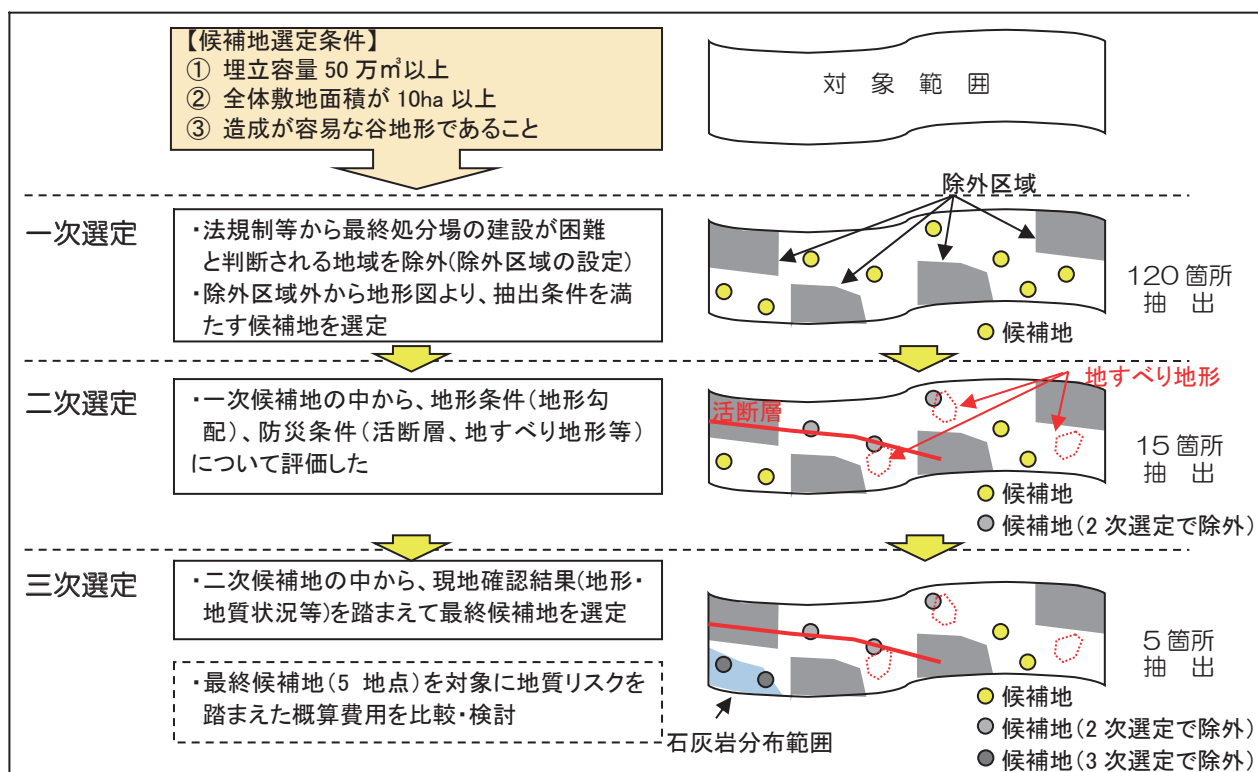


図 1 検討フロー

(3) リスク評価方法

一般に地質リスクの評価は、「影響発生の確からしさ（発生確率）」×「影響の大きさ」の積を用いることが多い。

しかしながら、本事案の対象範囲は1,000km²程度（除外範囲を含む）と広範囲であり、地質リスクの評価は、主に文献資料や概査レベルの現地調査結果によるため、発生確率を算出することは困難であった。そのため、リスクのランク付けは、想定される影響の大きさのみから定性的な評価を行った。

これらの評価は、定性的な指標として表2に示す3段階に区分した。また、各段階における地質リスクの評価方法について図2に示す。

【二次選定段階】(文献資料による評価)

〈使用した文献資料〉

①活断層:新編 日本の活断層(1991)
東京大学出版会 等

②地すべり:地すべり地形分布図
(国研)防災科学技術研究所

【三次選定段階】(文献資料、現地踏査による評価)

〈現地踏査確認項目、使用した文献資料〉

①地形・地質分布:地質構成、地すべり地形の有無等

②地質構造:層理面等の走向・傾斜

③自然由来重金属:日本の地球化学図
(国研)産業技術総合研究所

図2 地質リスクの評価方法

表2 影響の大きさのランク付け例

対応	ランク	対応方針	発現事象の例
回避	A	・技術面、コスト面で対策が困難であるため、候補地から除外する	・大規模地すべりが分布し、斜面对策工に膨大な費用が必要 ・石灰岩の分布による浸出水漏洩対策に膨大な費用が必要
低減	B	・対策工によりリスクを低減する	・崖錐堆積物や風化岩盤が分布する、あるいは層状岩盤が流れ盤となる切土法面が不安定化する
保有	C	・事前の予測が困難であるため、施工段階へとリスクを保有する	・層状岩盤が切土法面に分布する

①二次選定段階(文献資料に基づく地質リスク評価)

二次選定段階では、一次選定により抽出された候補地を対象に文献資料を用いたリスク評価を行った。評価項目は、①活断層、②地すべり地形の2項目である(表3)。

活断層については、「ダム建設における第四紀断層の調査と対応に関する指針(案)」を参考に二次調査(詳細調査)が必要となる300m以内の範囲は候補地から除外した。また、地すべり地形については、対象流域内に大規模地すべりが分布する場合、計画可能な工法による対応が困難であったり、対策工に莫大な費用が発生し、事業自体に大きな影響を及ぼすため候補地から除外した。

表3 影響の大きさの配点(二次選定段階)

手法	ランク	二次選定段階(文献調査)			
		①活断層		②地すべり地形	
		評価区分	配点	評価区分	配点
回避	A	活断層から300m以内	回避	対象流域内に大規模地すべりが分布	回避
低減	B	—	—	対象流域内に小規模地すべりが分布 または、対象流域に接する周辺流域に大規模地すべりが分布	3
保有	C	—	—	該当なし	5

※配点が高いほど優位

②三次選定段階(現地調査に基づく地質リスク評価)

三次選定段階では、二次選定により抽出された候補地を対象に現地調査を行い、地質リスク要因の評価を行った。評価項目は、①地質分布、②地質構造、③自然由来重金属の3項目である(表4)。

地質分布については、対象地に石灰岩が分布する場合、浸出水漏水リスクが高いこと、蛇紋岩が分布する場合、造成法面の崩壊や発生土の自然由来重金属汚染リスク(カドミウム等)が高いため、候補地から除外した。地質構造については、埋立地側斜面の一部が流れ盤となる場合、地すべり発生の素因となるリスクが高いが、追加対策で対応可能と判定し、Bランクと評価した。

また、重金属を高濃度で含有する地質帯である場合、建設発生土等からの有害な重金属類の溶出による周辺環境への土壌地下水汚染が発生する可能性がある。そのため、重金属を高濃度で含有する地質帯のうち、候補地と流域が接する周辺地域に重金属を対象とした鉱山の実績がある場合はAランク、鉱山の実績がない場合はBランクと評価した。

表4 影響の大きさの配点(三次選定段階)

手法	ランク	最終選定段階(現地調査・文献調査)					
		①地質分布		②地質構造		③自然由来重金属	
		評価区分	配点	評価区分	配点	評価区分	配点
回避	A	石灰岩、蛇紋岩地質	回避	—	—	重金属を高濃度で含有する地質帯のうち、対象流域と接する周辺地域に重金属を対象とした鉱山の実績あり	回避
低減	B	対象地の地質構成が複雑	3	埋立地の一部が流れ盤構造 地質図幅に地質断層、褶曲軸が記載	3	重金属を高濃度で含有する地質帯のうち、対象流域と接する周辺地域に重金属を対象とした鉱山の実績なし	3
保有	C	上記以外	5	該当なし	5	上記以外	5

※配点が大きいほど優位

3.データ収集分析

一次選定で抽出した候補地120地点から、二次選定段階で15地点、三次選定段階で5地点の絞り込みを行った。三次選定段階における候補地選定表を表5に示す。

三次選定段階では、評価項目として、地質分布、地質構造、自然由来重金属に加え、候補地周辺の民家の有無、幹線道からの景観、アクセス道路からの距離等も評価項目とし、それらの合計点数から、上位5箇所を最終候補地として選定した。

表5 候補地選定表(最終候補地)

		最終候補地				
		A	B	C	D	E
環境 条件	周辺民家	1	3	3	1	5
	景観	1	3	3	3	5
	土地利用	5	5	5	5	5
	水道水源	5	5	5	5	5
施設 建設 条件	地質分布	5	3	5	5	3
	地質構造	3	5	3	5	5
	自然由来重金属	3	5	5	3	3
	アクセス道路	3	1	3	3	3
	施工性	3	3	5	3	3
	拡張性	5	3	3	3	3
点数	合計	34	36	40	36	40

※配点が大きいほど優位

4. マネジメント効果

本事案では、各選定段階で事業全体に大きな影響を与える地質リスクが発現することが想定される場合は、候補地から回避する対応とし、対策工によりリスクを低減することが可能な事象については、マネジメント効果の検証を試みた。

最終候補地として選定した5候補地を対象に、自然由来重金属に由来する地下水汚染が発現した場合を仮定し、事前にリスクを低減できた場合のコストについて比較を行った(表6)。なお、本結果は最終候補地の全体事業費にも反映させた。

(1) マネジメントを実施した場合

各候補地で造成に伴い発生する残土量から、重金属の濃度を把握するための調査・分析および汚染土壌を場外処分した場合に発生する費用を算出した。事前に自然由来重金属によるリスクを把握している場合、事前調査で汚染土壌の分布範囲を特定し、管理型処分場で場外処分を行う予定とした。なお、場外処分の対象となる汚染土壌は、発生する残土の10%を見込んだ。

(2) マネジメントを実施しなかった場合

発生する残土を場外土捨て場に仮置きすると仮定し、地下水への汚染拡散に伴い必要となる調査・分析および対策費用を算出した。対策として、揚水による浄化および残土の場外処分を想定した。また、本ケースでは、場外土捨て場の整備費用も計上した。

(3) マネジメントの効果

仮に候補地Eを選定した場合、最大で1.66億円の事業コストをマネジメントの効果として削減することができるといえる。また、事前にリスクを把握し、適切な対策を行うことで、コスト面でのマネジメント効果だけでなく、周辺住民・地元自治体等との信頼関係構築等のコスト換算できない効果も期待される。

表6 マネジメント効果の検討結果

		費用(千円)				
		候補地A	候補地B	候補地C	候補地D	候補地E
①リスクを低減するための想定費用	調査・設計費(分析、対策設計)	11,500	0	0	9,000	16,000
	対策費(場外処分)	220,000	0	0	120,000	320,000
	小計	231,500	0	0	129,000	336,000
②リスクを低減しなかった場合の想定費用	調査・設計費(分析、対策設計)	18,000	0	0	15,000	16,000
	対策費(浄化、場外処分、土捨て場整備)	356,400	0	0	162,000	486,000
	小計	374,400	0	0	177,000	502,000
リスクマネジメントの効果(②-①)		142,900	0	0	48,000	166,000

5. さいごに

最終処分場の立地条件は、設計、施工、運用、維持・管理段階への影響が大きいため、ライフサイクルを考慮した地質リスクを抽出・評価することが重要といえる。特に、地質リスクは事業の早い段階ほど不確実性が大きく事業損失をもたらす可能性が高いので、で

きるだけ早い段階から実施することが有効である。

しかしながら、用地取得のしやすい場所を候補地にするなど立地ありきで適切な適地選定を行っていない場合も多く、本事案の通り、事前に抽出した地質リスク事象を調査・設計に反映させることで、施工や維持・管理段階での損失を最小限に回避することが可能になる。また、最終処分場の建設において地域住民との合意形成が必要不可欠であるため、適地選定プロセスも含めて、住民への情報公開をタイミングよく行うことも重要である。

〈参考文献〉

- 1) 社団法人全国都市清掃会議：廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領, 2010 改訂版
- 2) 福本ほか：住民参加を考慮した最終処分場の立地選定プロセスのシステム化, 廃棄物学会論文誌 Vol. 11, No. 2, P101-110, 2000
- 3) 建設省河川局開発課：ダム建設における第四紀断層の調査と対応に関する指針（案），昭和 59 年 5 月

D. 地質リスクマネジメント事例のまとめ

大項目	小項目	データ
対象工事	発注者	—
	工事名	—
	工種	掘削、切土、盛土
	工事概要	最終処分場建設事業
	当初工事費	—
	当初工期	—
リスク回避事象	予測されるリスク発現時期	計画・設計段階、施工段階、運用段階、維持・管理段階
	予測されるリスク	構造物等の損傷、造成に伴う斜面崩壊、発生土に起因する重金属汚染
	回避した事象	建設コストの増大
	工事への影響	工事遅延
リスク管理の実際	判断した時期	適地選定段階（計画段階）
	判断した者	発注者
	判断の内容	最終処分場適地選定時の地質リスク要因
	判断に必要な情報	文献資料、現地踏査結果
リスクマネジメントの効果	費用	166,000 千円（最大）
	工期	—
	その他	事業の円滑な推進

1. 事例の概要

本事例の対象構造物は、九州の一級河川筑後川の支川である花月川に計画された城内頭首工である。頭首工は、杭基礎が計画されており業務開始時点で以下に示す様な課題が存在していた。

- ①頭首工は激甚災害対策特別緊急事業であり、緊急を要することと、基礎杭施工を非出水期内で完了することが求められていた。工事期間は、基礎杭の発注・製作の期間を含めたものであり、施工しながら段階的に杭長を決定したり、途中での杭長変更をすることは事実上不可能であった。その中で、工期短縮のひとつの方策として試験杭を打たずに先端支持力の確認をする方法を求められていた
- ②設計段階での地質調査ボーリングは比較的距離が離れており（約50m）、下流側杭施工範囲の支持層分布が十分に把握されているとは言い難い状況であった

業務は、「調査計画；平成27年9月初旬」「杭長決定；平成28年1月中」であり、奇しくも同年10月に横浜市マンション杭工事のデータ偽装が発覚したのと同時期の事例である。

本業務において丁寧なコア確認を行ったことで、設計時に確認出来なかった事実を捉え、支持力不足や工事途中での杭長変更等の事象を回避し、結果として大幅なコスト縮減につながったと考えられる事例の報告である。

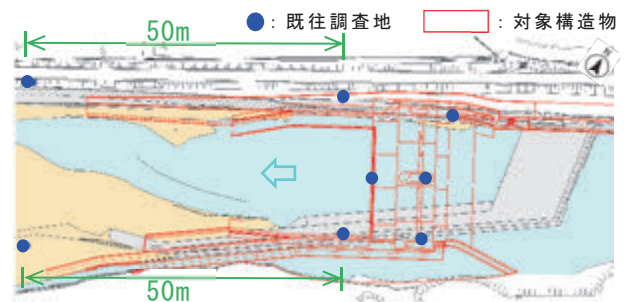


図-1 過年度の概略調査位置図

2. 事例分析のシナリオ

(1) 当初設計の諸元と調査対応

過年度の調査で調査地の地層は、図-2に示すように4層に大別されていた。設計の考え方は、「①周面摩擦を考慮しない先端支持のみを考慮した杭基礎」「②支持層はDg層で $N > 50$ （杭先端の極限支持力度が $\leq 10,000 \text{ kN/m}^2$ ）が条件」「③設計根入れは、ボーリング結果で最も低い標高」で設定されていた。

先端支持力の推定は、孔内水平載荷試験（中圧）を行うことで推定することを提案し、あわせて支持層の分布状況とそれに基づく設計杭長の妥当性を評価することが求められた。

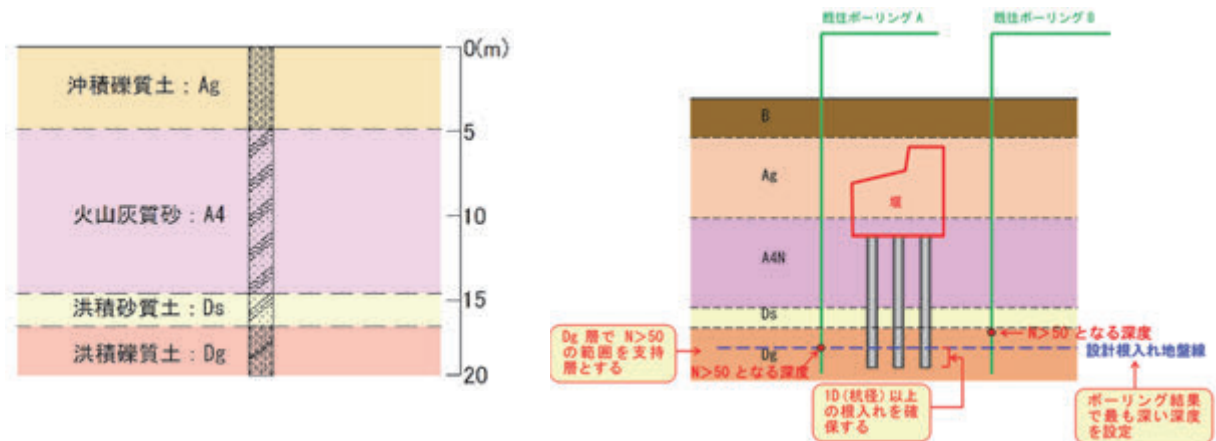


図-2 設計当時の地層構成と設計思想¹⁾

(2) 追加調査の実施

当該地では、調査が粗であった取付擁壁の縦断的な支持層分布状況の確実な把握や堰構造物全体の杭長の最終的な決定も目的のひとつとして、追加調査を実施した。早期の杭発注を目指す中での調査であったが、システムチックに実施し、本調査により以下に示す2点の問題点が明らかとなった。

①Dg 層が2層に区分される

Dg 層は設計時には1層とされていたが「Dg1層（上位）」「Dg2層（下位）」の2層に区分出来ると判明した。コアの観察より Dg1（上位）層は、マトリックスが「灰色」、「締りが緩い」、「礫の混入量が少ない」特徴があり、Dg2層は、マトリックスが「褐色」、「Dg1層に比べ締りが密」、「礫や玉石の混入量が多い」特徴があることがわかった。その時点で、既往調査のコアも提示してもらい再観察を行ったが同様の状況である事がわかった。

また、既往調査では、標準貫入試験の礫障害について考慮されておらず、打撃回数内訳への配慮、補正、考察などが行われていなかった。そのため結果として Dg1層の評価にやや問題があったと考えられる。

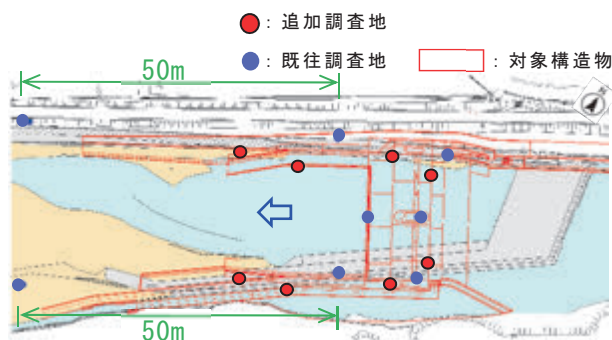


図-3 調査位置図

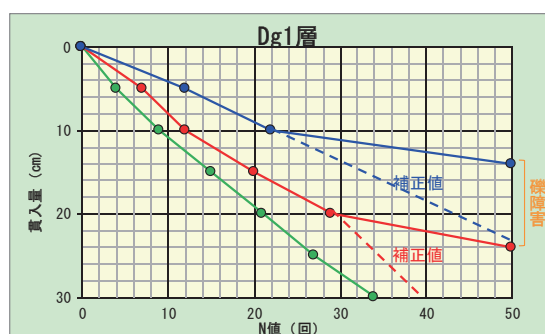


図-4 礫障害補正の例¹⁾

②Dg 層中に砂層（Ds2層）が分布すること

当該地の左岸側では、前述の Dg1層および Dg2層に挟まれる形で、1m 程度の砂層（Ds2層）が分布することが確認された。これからも前述の2層に区分することの妥当性が言える。砂層は、一部で計画された杭の先端付近に分布することとなっていた。本層の N 値は30程度と比較的締まりは密であるものの、設計上 $N > 50$ が求められていた当該現場においては、支持力不足となることがわかった。

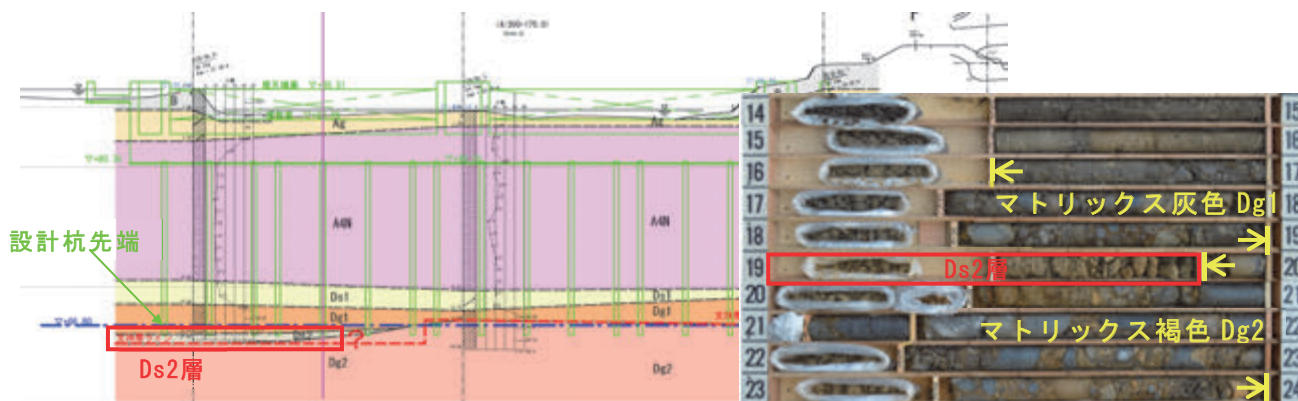


図-5 Ds2層分布モデル断面図¹⁾

上記事項と合わせて Dg2層における孔内水平載荷試験を実施し、極限支持力を満足することを確認した。

3. データ収集分析

調査を進めた結果 Dg1層や礫層中に介在する Ds 層は支持層として不適であることがわかった。調査箇所数は、業務内で4箇所、工事管理として4箇所の合計8箇所で実施した。あわせて

データの収集においては、発注者のコア倉庫で保管されていた既往調査のコアも合わせて確認し、「Ds 層の面的な分布を捉えること」や「Dg1層と Dg2層の区分とそれら各々の地層に対する評価を適正に行うこと」に注力した。

また、工事着手を急ぐ左岸側と次年度以降の工事となる右岸側に分け、杭長決定委員会を実施する為、調査の優先度等も考慮した上で作業をすすめた。

既往調査コアの再観察では、複数の既往調査地点でも最終確認深度付近に Ds 層が分布していたことがわかった。

追加調査のデータと既往調査の再確認によって縦断図および横断図を修正し、面的な地層の分布を捉えることが出来た。これらの情報を基に杭の支持層は、Dg2層とすることを提案した。

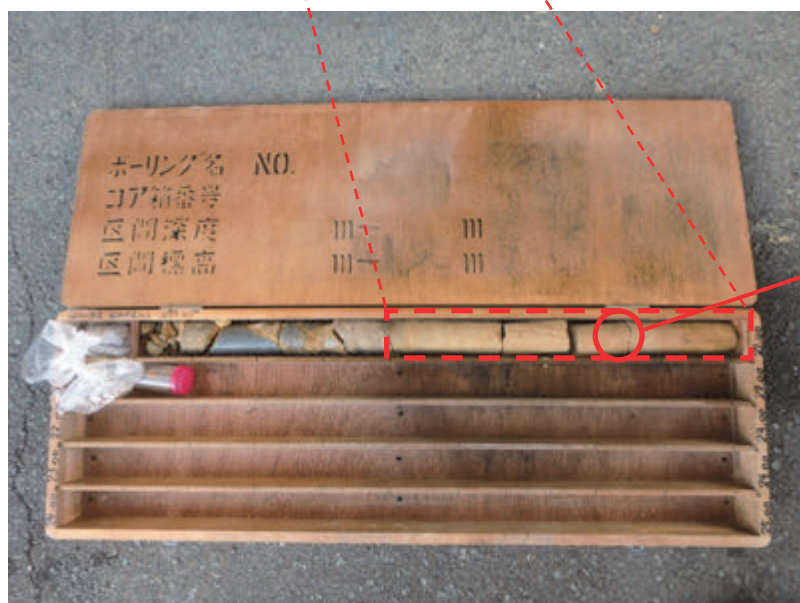
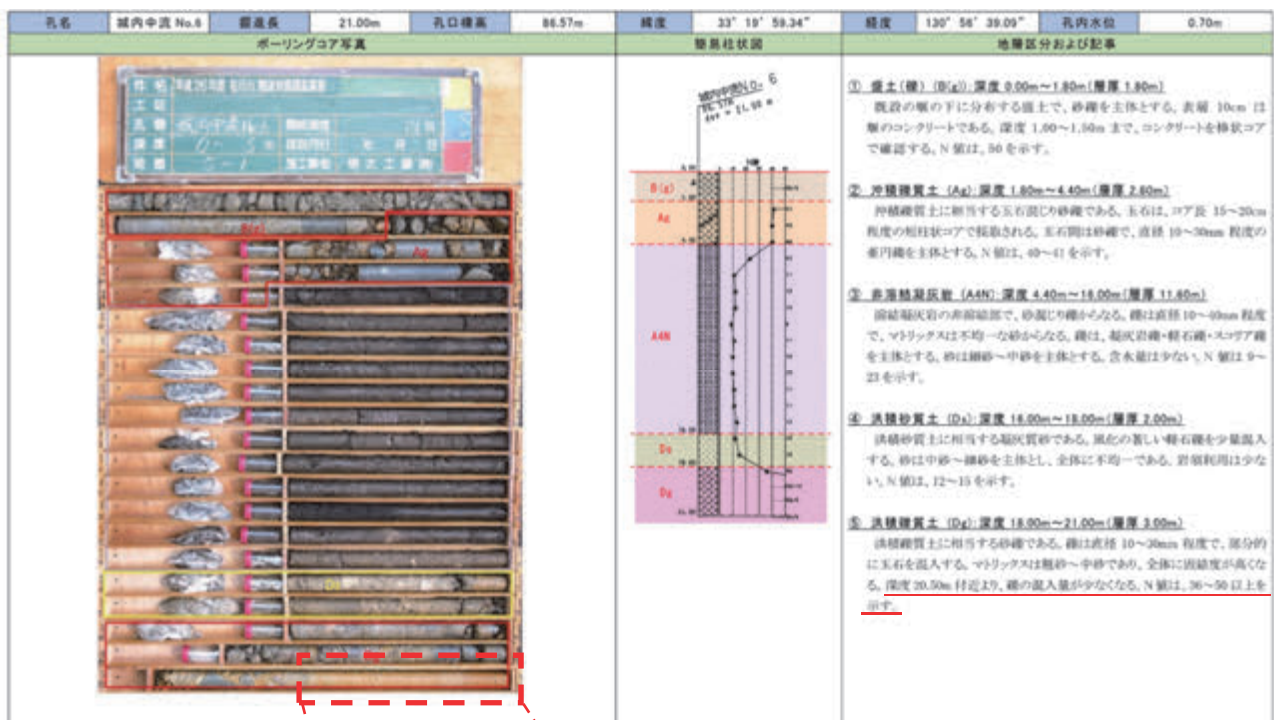


図-6 既往調査の代表的コア観察結果状況¹⁾

4. マネージメントの効果

支持層は、前述のとおり Dg2層を支持層とすることを提案した。

Dg2層の分布状況は、図-7に示すように捉えられたことから、当初の設計で一律の標高を杭先端としていたものを、構造物のブロック毎に変更させることも提案した。

このことから事前対策によって以下に示す2点についてリスクを回避できたと考えている。

設計変更による効果は、追加対策となるので見た目上マイナスとして表現しているが現実的には増加発生と言うよりは適正な施工となっただけとらえることもできる。

ブロック毎の対応では僅かでは、あるが効果を得られたと考えている。

なお、今回の事例では、工事前に Ds 層の存在が確認され対応を行ったが、工事完了後に構造物に変状が生じるなどして支持力不足が判明した場合、工事費用すべてが損失となる可能性もあったといえる。

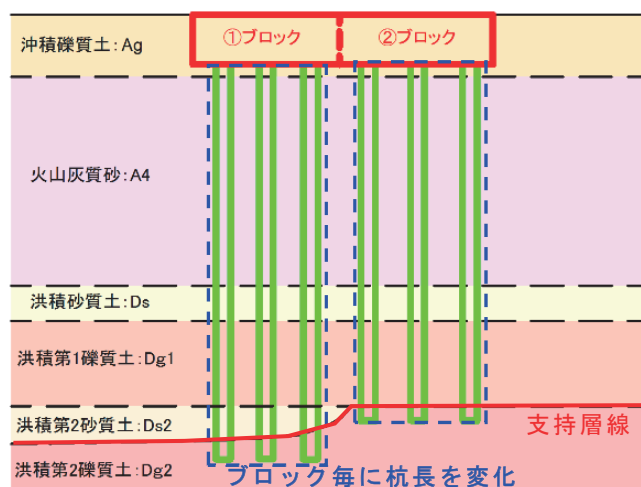


図-7 ブロック毎の杭長変更概念図

表-1 マネージメント効果一覧表

	項目	内容	数量等	想定効果
マネージメント効果	事前対策による経済効果	杭発注後の再作製による損失	76本	38,000千円
			1123m	
	事前対策による工期短縮	杭発注後の再作製による損失	76本	再製作日数60日 調査, 解析日数60日 合計120日
	設計変更による経済効果	杭長延長による追加費用	1123m	26,500千円 ▲ (現実的にはマイナスではないが追加費用)
		ブロック毎の杭長設定による削減費	60m	8,700,千円

5. データ様式の提案

本事例では、問題が発覚するタイミングによって工事への影響が変わる。このためタイミング毎の影響について記述を行った。

また、マネージメント効果についても同様なことが言えるほか、「施工に関する損失回避」と「判明したことによる設計修正による損失回避」があるため対応した記述欄に変更している。

どの段階でのリスク回避であったかによって記入欄の変更が必要かもしれない。

表-2 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	九州地方整備局 筑後川河川事務所	
	工事名	花月川城内頭首工改築工事	
	工種	頭首工	
	工事概要	杭基礎および頭首工工事	
	①当初工事費	814,000千円	
	当初工期	2015/9/～2016/7	
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	基礎杭注文前の杭長決定時期	
	予測されたトラブル	杭長不足	
	回避した事象	支持力不足および杭長不足による構造物被害	
	工事への影響 および回避した事例	【工事中に発覚した場合】 ・長さが不足する杭の再発注 ・工事中止	
		【工事後に発覚した場合】 ・構造物の取り壊し,再構築(全損失)	
リスク管理の実際	判断した時期	工事杭作製発注直前	
	判断した者	国土交通省、担当専門官	
	判断の内容	当初設計時に1層であった Dg 層を2層 (Dg1,Dg2)に区分し、確実な支持層として Dg2層を提案した	
	判断に必要な情報	精査された標準貫入試験結果	
リスク対応の実際	内容	追加調査	調査ボーリング8箇所
		修正設計	杭長修正
		対策工	杭長の変更
	費用	追加調査	8,000千円
		修正設計	0(軽微な修正のみ)
		対策工	26,500千円
		②合計	34,500千円
変更工事の内容	工事変更の内容	杭長の変更	
	③変更工事費	詳細不明	
	変更工期	なし	
	間接的な影響項目	大きくは無し	
	受益者	河川管理者	

	項目	内容	数量等	想定効果
マネージメント 効果	事前対策による 経済効果	杭発注後の再作 製による損失	76本 1123m	38,000千円（材料費のみ）
	事前対策による 工期短縮	杭発注後の再作 製による損失	76本	再製作日数60日 調査、解析日数60日 合計120日
	設計変更による 経済効果	杭長延長による 追加費用	1123m	26,500千円 ▲ （現実的にはマイナスではないが追加費用）
		ブロック毎の杭 長設定による削 減費	60m	8,700,千円

引用文献

1)平成 27 年度 筑後川河川事務所管内地質調査業務報告書 第一編;城内地区地質調査

【論文 No. 8】 施工中の岩判定・地質判定における地質リスクの回避

株式会社アバンス ○梅崎 基考, 山下隆之, 岩内明子

1. 事例の概要

第四紀更新世の火山岩地帯で施工されているトンネル坑口部において、最小土被り厚 9 m のトンネル断面直上に供用中の道路がある。この供用中の道路は、地震の影響で長期通行止めされている国道の迂回路として利用されており、代替のできない重要な道路である。そのため、事前の調査・設計段階において、供用中の道路が沈下するなどの影響がないように FEM 解析や補助工法が計画されていた。

トンネルは施工延長が長く、避難坑および本坑があり、避難坑を先行して施工を開始していたところ、設計時の想定と異なる地質状況が確認された。当初想定よりも良好な岩盤状況であったが、より大断面で施工される本坑において想定と異なる軟質な地盤状況が出現した場合、直上で供用中の迂回道路における安全性が懸念された。

本事例は、そのような状況で施工時に実施した追加ボーリングおよびトンネル切羽観察による地質断面の見直し、トンネル切羽の岩片で実施した岩石試験により FEM 解析時の地盤定数（変形係数）を再設定し、施工時に岩判定を適切に再評価したものである。調査後に掘削したトンネルは、直上の供用中道路に影響なく安全に施工を完了し、地質リスクを回避できた事例である（タイプ A：地質リスクを回避した事例に分類）。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 塊状溶岩の不均質性（地質リスク①）

対象トンネルには、約 50～80 万年前の年代値を示す両輝石安山岩質の塊状溶岩（図 1 の c）が分布する。塊状溶岩は、芯部の塊状部は非常に硬質であるが、周辺部を取り囲む自破碎部は、赤褐色化した砂状～岩塊混じり砂状である。自破碎部は不規則に分布し、トンネル断面に分布する地質が当初想定と異なることが予測されるリスクを潜在した地質である。

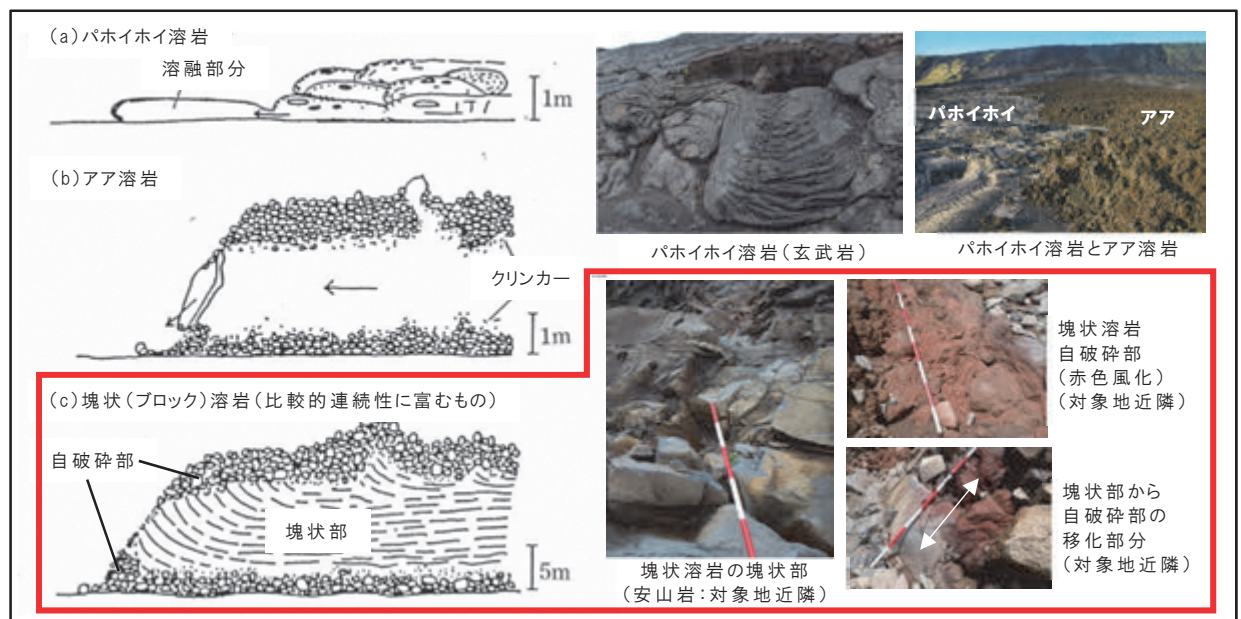


図 1 溶岩流の内部構造を示す模式断面と代表的な露頭写真

本事例でも当初設計段階には、トンネル直上に供用中道路があるため、本坑直上で密に調査を実施し、水平および鉛直ボーリングにより地質を確認した。既存ボーリング No.10 で確認された塊状部は部分的であり、避難坑本坑ともに自破碎部を想定していた(図 2 上)。

先行して掘削した避難坑で、硬質な塊状部が厚く分布したことで、自破碎部が分布する本坑との地層の連続性が不明瞭となった。場合によっては、避難坑から本坑に向かって軟質な自破碎部が厚くなることも想定された(地質リスクの発現)。

リスク回避のため、1) 自破碎部が厚いと思われる本坑の谷部で追加ボーリング、2) 避難坑の切羽観察、3) トンネル坑口部の切土のり面観察、によって地質断面図を修正した。

(2) FEM 解析に用いる変形係数の妥当性(地質リスク②)

設計段階の FEM 解析により、トンネル掘削による低土被りの供用道路への影響がないかを確認していた。解析には事前調査の孔内水平載荷試験によって得られた変形係数を用いて解析が実施されていた。事前の設計段階では、本坑の上部は、N 値 15~30 の強風化した自破碎部(PA(Lb-gc))とし、下部はN 値 50 以上の自破碎部(PA(Lb-g))としていた。いずれも孔内水平載荷試験により、 $E=30\sim60\text{MN/m}^2$ と比較的小さな値が提案されており、その物性値にて、解析が行われていた。

施工に入り、避難坑の切羽状況では、調査段階にN 値で2 層に区分した安山岩溶岩の自破碎部を判別することは難しく、PA(Lb-g)層は、PA(Lb-gc)層に統一することとした。その場合、FEM 解析に用いる変形係数も安全側に小さい値に統一し、解析を行ったところトンネル掘削により供用中の道路で変位が大きくなる結果となった(地質リスクの発現)。地層区分を変えただけで解析結果が変わり、補助工法を追加するかの問題となった。補助工法を追加する場合、工程の遅れが生じる可能性が生じた。

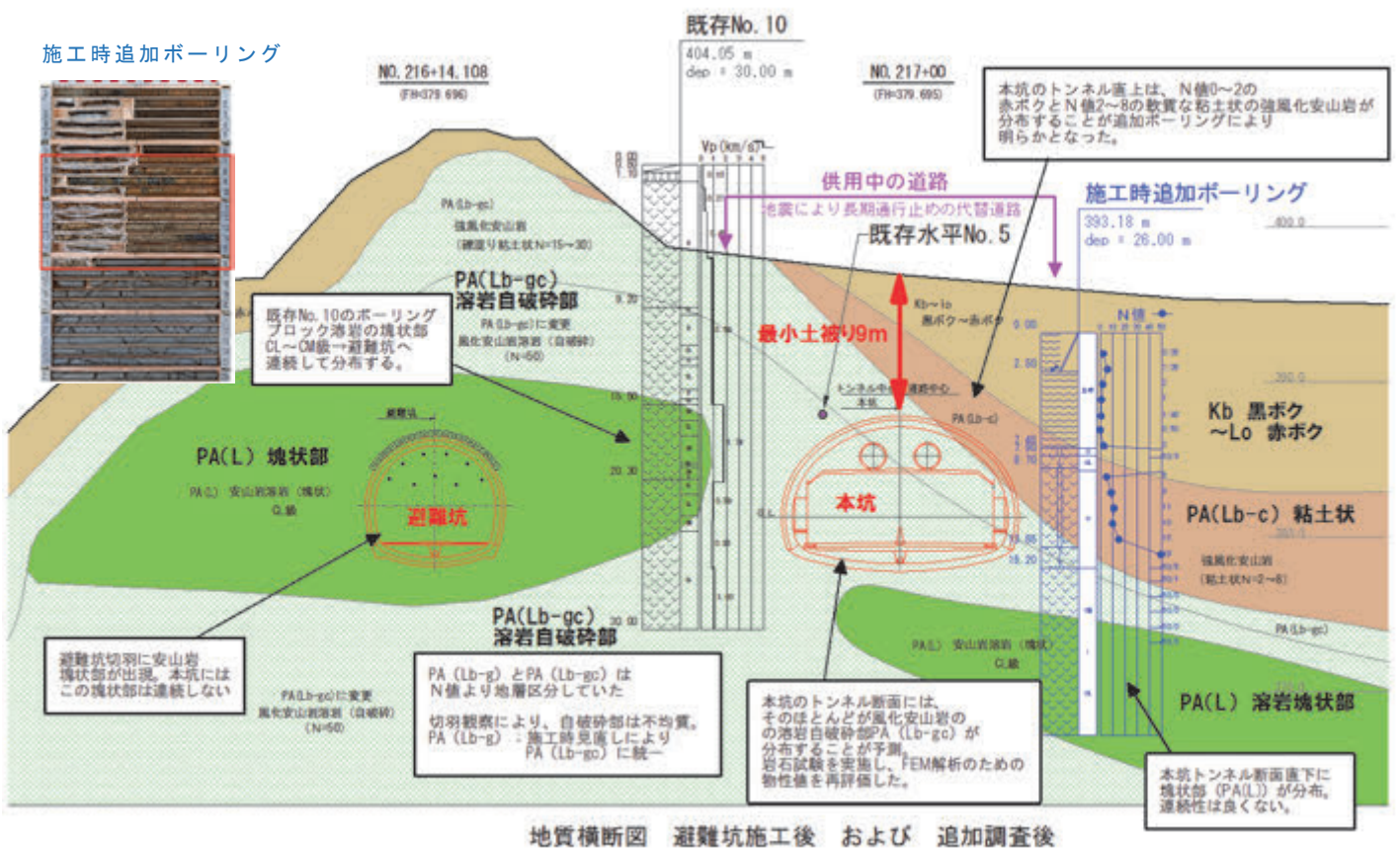
リスク回避のため、1) 避難坑切羽の自破碎部からのブロックサンプリングにて一軸圧縮試験(E50)の実施し、2) 既存調査を再整理、によって変形係数の再評価を行った。

3. データ収集分析

(1) 地質断面図の修正(地質リスク①のデータ収集)

追加ボーリングを1 孔実施した。避難坑は先行して掘削しており、その切羽観察結果も踏まえ、供用道路通過区間における地質断面図を見直した(図 2)。地質断面図の主な変更点は、以下のとおりである。

- ・ 本坑のトンネル直上は、N 値 0~2 の黒ボク・赤ボクとN 値 2~8 の軟質な粘土状の強風化安山岩が分布することが追加ボーリングにより明らかとなった。
- ・ 切羽観察の結果、溶岩自破碎部は、不規則に硬岩部や軟岩部と礫混じり粘土状部が混在し、明瞭な境界は認められない。全体としては礫混じり粘土状と評価される。そのため、PA(Lb-gc)とPA(Lb-g)は同一層として評価した。本坑のトンネル断面は、そのほとんどが、自破碎部(PA(Lb-gc))となる。
- ・ トンネル断面の直下に、塊状部(PA(L))が分布する。ただし、その分布の連続性は、あまり良くない。このような岩盤が脚部に連続して分布すれば、トンネルの支持力も十分と考えられるが、連続性が良くないため、自破碎部が脚部に分布する場合、早期インバートなどの対策が必要と考えられた。



— 50 —

(2) FEM 解析に用いる自破碎部の変形係数の再評価（地質リスク②のデータ収集）

避難坑切羽の自破碎部からのブロックサンプリングにて一軸圧縮試験（E50）の実施し、変形係数を再評価した。岩石試験を実施したサンプルは、避難坑の供用道路直下付近で、本坑の供用道路直下に出現が予測される安山岩自破碎部である。切羽では礫混じり粘土状に強風化し、ハンマー軽打で容易に砕ける軟質岩である。

表 1 地山物性値（当初設計時）

岩盤名	記号	N 値	地山速度	単体重	変形係数	粘着力	内部摩擦角
				γ t(kN/m ³)	E(MN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
黒ボク～赤ボク	Kb～lo	1～3	0.2～0.4	14	1.4	25	20
強風化安山岩（粘土）	PA(Lb-c)	2～8	0.5～0.6	14	4.2	48	20
風化自破碎安山岩（礫混粘土）	PA(Lb-gc)	17～37	0.7～0.8	16	30	60	30
自破碎安山岩（軟岩）	PA(Lb-g)	50～80	1.0	18	60	90	30
安山岩（塊状）	PA(L)	-	1.7～2.0	25	450	500	40

表 2 地山物性値（岩石試験結果および切羽観察より修正）

岩盤名	記号	N 値	地山速度	単体重	変形係数	粘着力	内部摩擦角
				γ t(kN/m ³)	E(MN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
黒ボク～赤ボク	Kb～lo	1～3	0.2～0.4	14	1.4	25	20
強風化安山岩（粘土）	PA(Lb-c)	2～8	0.5～0.6	14	4.2	48	20
自破碎安山岩（礫混粘土）	PA(Lb-gc)	15～50	0.7～1.0	16	150 試験値 308～625	60	30
安山岩（塊状）	PA(L)	-	1.7～2.0	25	450	500	40

- 図 3 は、トンネルを対象とした 27 件の設計（解析）事例から、一軸圧縮強度と変形係数の関係を示したものである。同図から変形係数 $E = (20 \sim 500) q_u$ の関係が認められる。
- 当初設計時の孔内水平載荷試験結果では、自破碎部 PA (Lb-gc) および PA (Lb-g) は、変形係数 $E = 30 \sim 120 \text{ MN/m}^2$ の試験値が得られている。
- 今回、避難坑切羽よりブロックサンプリング岩石試験の一軸圧縮強度は、 $q_u = 1.8 \sim 2.8 \text{ MN/m}^2$ の試験値が得られた。一軸圧縮強度 3.0 MN/m^2 以下と軟質な強風化岩であるが、変形係数 E50 は $308 \sim 625 \text{ MN/m}^2$ の値が得られている。
- 孔内水平載荷試験は、ボーリング掘削後に測定ゾンデを挿入し載荷試験を

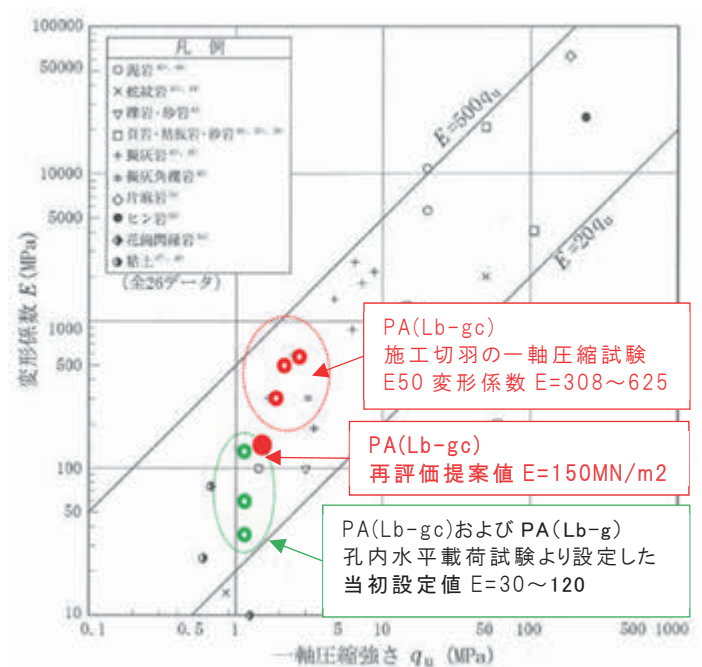


図 3 一軸圧縮強さと変形係数の関係（調査結果をプロット）

行うため、地山の緩みが生じ、変形係数がやや小さい可能性がある。一方、岩石試験は、地山切羽から採取できたものであり、岩塊であるため想定よりもやや大きい値が考えられる。両者ともに地山の強度であり、両者の中間程度の値として $E=150\text{MN/m}^2$ を強度として設定することを提案した。

・ 4. マネジメントの効果

今回のリスク回避のため、表3に示す追加調査検討を行った。

表3 地質リスク回避のための対応策

施工時に発現した地質リスク	リスク回避対応策
<u>塊状溶岩の不均質性による地質断面図の不確実性</u> 先行して掘削した避難坑で、硬質な塊状部が厚く分布したことで、自破砕部が分布する本坑との地層の連続性が不明瞭となった。場合によっては、避難坑から本坑に向かって軟質な自破砕部が厚くなることも想定された。	<u>地質断面図の修正</u> 1) 自破砕部が厚いと思われる本坑の谷部で追加ボーリング 2) 避難坑の切羽観察 3) トンネル坑口部の切土のり面観察
<u>FEM解析に用いる自破砕部の変形係数の評価</u> 避難坑の切羽状況では、調査段階にN値で区分した安山岩溶岩の自破砕部を判別することは難しく、PA(Lb-g)層は、PA(Lb-gc)層に統一することとした。その場合、FEM解析に用いる変形係数も安全側に小さい値に統一し、解析を行ったところトンネル掘削により供用中の道路で変位が大きくなる結果となった。	<u>変形係数の再評価</u> 1) 避難坑切羽の自破砕部からのブロックサンプリングにて一軸圧縮試験(E50)の実施 2) 既存調査を再整理

リスク回避の追加調査検討の結果、以下の効果が得られた。

- ① 地質情報がより豊富に得られる施工段階にて、追加調査を行った結果、適切に岩判定を行うことができ、施工に直接フィードバックすることができた。特に本坑近傍で施工している避難坑の地山状況を確認することで、地質断面図のイメージを描くことが可能となった。新たな切土のり面などもあり、施工時に地質技術者が地質データの更新を行うことで、地質リスクをより効果的に回避できた。
- ② 調査設計段階では、N値15と50の地層を同一層と評価することは難しいと思われる。しかしながら、本事例で示した溶岩など不均質な地質では、その不均質を考慮した上で地層区分を行うことが非常に重要である。その判断により、過度な補助工法が実施され、無駄な工程の遅れが生じかねない。地質技術者としても調査設計段階から、施工をイメージして調査結果をまとめ、どのような地質リスクがあるのか予測できるようにしなければならない。
- ③ 本事例では、変形係数の再評価を行った。孔内水平載荷試験結果と、施工時の切羽で得られたブロックによる岩石試験結果をとりまとめた。原位置試験である孔内水平載荷試験と施工切羽でサンプリングした試験結果をどのようにとりまとめるかは、地質の状況に応じて評価する必要がある、非常に難しいと感じた。
- ④ 本事例ではトンネル直上の供用道路影響範囲の掘削が完了している。長尺鋼管フォアパイリングおよび長尺鏡ボルトにより天端およびトンネル断面の地山を補強し、インバートの早期閉合も合わせ、地表面の沈下を20mm以下に抑制している。

5. データ様式の提案

本事例を「地質リスクを回避した事例（A型）」として以下の表にとりまとめた。

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	トンネル	
	工事概要	長尺フォアパイリング(N=128 本 L=12.5～18.5m @5～9m)、長尺鏡ボルト(N=88 本 L=12.5～19.5m @5～9m)	
	① 当初工事費	約 5 億円(供用道路通過部の坑口部のみ)	
	当初工期	約 4 ヶ月(坑口部のみ)	
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	トンネル掘削時	
	予測されたトラブル	トンネル直上の供用中の道路の沈下変状	
	回避した事象	トンネル変状	
	工事への影響	-	
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	発注者、施工会社、地質調査会社	
	判断の内容	トンネル出現地質の岩判定	
	判断に必要な情報	地質構成、解析に必要な地盤定数	
リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング調査、切羽の岩石試験
		修正設計	FEM 解析による再チェック
		対策工	当初と同様の工事内容
	費用	追加調査	300 万円
		修正設計	-
		対策工	-
		① 合計	300 万円
変更工事の内容	工事変更の内容		当初と同様の工事内容
	③変更工事費		-
	変更工期		約 4 ヶ月(坑口部のみ)
	間接的な影響項目		-
	受益者		道路利用者
リスクマネジメントの効果	費用(①-③-②)		-
	工期		遅延なく、安全に施工を完了
	その他:本事例の効果は、地質状況を適切に再評価することで、代替のできない重要な道路を通行止めすることなく施工を完了できた事である。仮に地質リスクが発現し、供用中の道路が通行止めとなった場合、多大な損失が発生したと考えられる。		

[論文 No. 9] 地質リスクマネジメントによる地すべり災害回避事例

東邦地水株式会社 ○寺地 啓人
石川 昌幹

1. 事例の概要

本事例は、重力式擁壁に発生したクラックの要因として地すべりの存在を確認し、調査・観測結果に基づき対策工法を検討したものである。

対象地は四万十帯泥質混在岩が分布する山地を通る国道沿いの斜面である。

対象地周辺は果樹園として利用されていたが、1985 年頃に宅地造成に伴う斜面の切土、沢部の盛土が行われ、斜面下方に人家が建築された。また、2015 年には消防署が移転されている(写真1 参照)。

対象地では豪雨を要因として、2009 年および2013 年に斜面、のり面崩壊が発生した。対策として 2009 年に斜面下部に重力式コンクリート擁壁工、落石防護柵工が施工され、2013 年に崩壊部分に対して吹付砕工が施工された(写真2 参照)。

2013 年に斜面下部に設置された重力式擁壁にクラックが発生したため(写真3 参照)、その発生原因を特定し、対策工を検討することを目的として 2015 年に調査業務が発注された。

業務発注時には、クラック発生 の 要因として斜面からの偏圧や擁壁基礎の根入れ不足による沈下が想定されていた。しかし、現地確認の結果、重力式擁壁のクラックは水平方向に押し出されたようなズレが確認され、人家のコンクリート床面にも亀裂等の変状を確認した。そこで、空中写真判読および現地踏査を実施したところ、2 つの地すべり(対象地すべり、背面地すべり)を確認し、地すべりの滑動に伴いクラック等の変状が発生していると予測した(図1 参照)。

そのため、調査ボーリング、地すべり動態観測を実施して地すべりの規模(すべり面深度)と滑動形態、地下水位状況を把握し、対策工法を検討した。



写真2 対象斜面全景

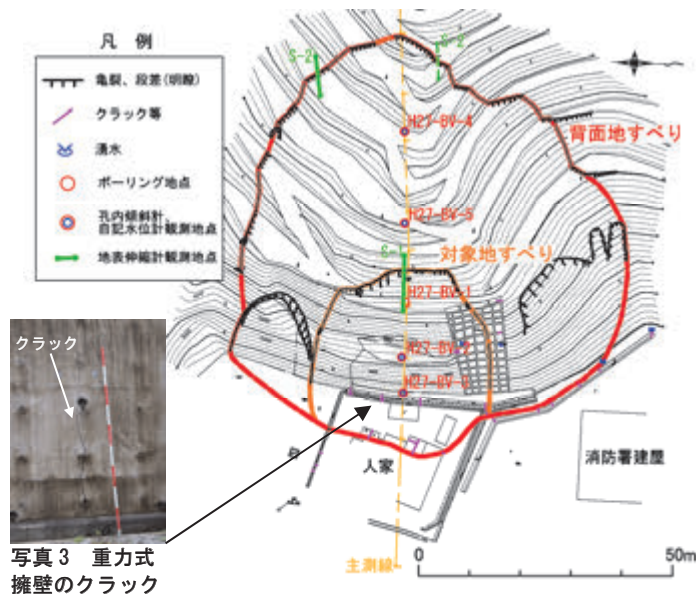


図1 平面図



写真3 重力式擁壁のクラック

2. 事例分析のシナリオ

本事例は、地質リスク（地すべり）の存在を明らかにして対策工法を検討し、対策工を施工することで、斜面下方の人家、消防署施設、国道への被災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。

図2に事例分析のフローを示す。

(1) 予測されたリスク

当初、重力式擁壁にクラックが発生した要因として斜面からの偏圧や擁壁基礎の根入れ不足による沈下が想定されており、地すべり滑動に伴う変位として認識されていなかった（地質リスク）。

地すべりの存在を認識できずに適切な対策が行われない場合、記録的な豪雨時に地すべり滑動が活発化して斜面下方の人家、消防署施設、国道への被災が予測された。また、重力式擁壁の再設置時に床掘が行われた場合、地すべり末端部の掘削に伴う不安定化により崩壊が発生し、作業員が被災することが予測された。

(2) 地質リスクの推定

① 空中写真判読

対象地の過去の地形変遷を把握することを目的として、造成前の空中写真を用いて空中写真判読を行った。その結果、斜面の切土が行われる前の対象地には明瞭な地すべり地形が認められ、宅地造成に伴い地すべり末端部が掘削され、地すべりは不安定化していると予測された。また、上方斜面の尾根部にも不明瞭ではあるが地すべり地形が判読された（写真4参照）。

② 地表地質踏査

土地立ち入り許可後に地表地質踏査を実施し、既設構造物、対象斜面および上方斜面で明瞭な亀裂や段差が認められ、幅約35m、長さ約35mの対象地すべりと、幅約75m、長さ約80mの背面地すべりが存在することを確認した（図3参照）。

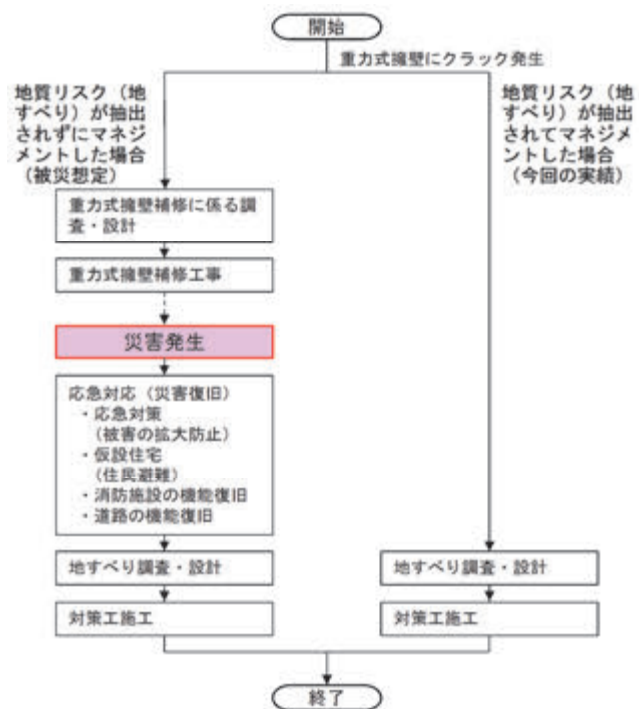


図2 事例分析のフロー

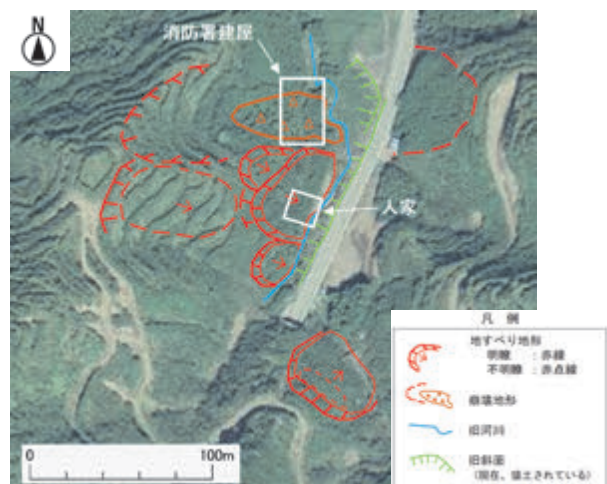


写真4 空中写真(1975年)

③ 斜面変状の要因

斜面変状の要因（素因）として以下の項目を予測した。

- ・ 斜面を構成する四万十帯泥質混在岩の節理面は大半が斜面に対して流れ盤構造となっており、不安定化しやすい斜面であった。
- ・ 斜面末端部の掘削に伴う応力解放により斜面の不安定化が進行した。
- ・ 地すべり地形末端部の掘削により不安定化が進行した。

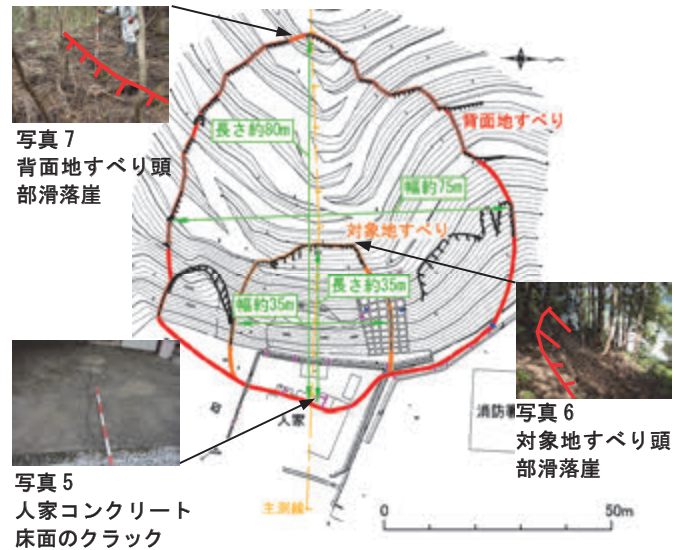


図 3 平面図

(3) リスクマネジメント

① 地質リスクの把握

ボーリング調査結果、動態観測結果を基に、地すべり機構解析を実施し、地すべり規模を把握するとともに、地すべりの滑動形態（対象地すべりと背面地すべりが同時に滑動する）を予測した。

② 対策工検討

機構解析結果を基に安定解析を実施し、算出した必要抑止力 P_r を基に対策工法を検討した。

③ 計測管理

地すべり動態観測を実施し、豪雨時には地すべりが滑動することを確認したため、臨時観測基準を設定し、計測を実施した。

3. データ収集分析

(1) 地質リスクの特定

① 地すべり規模の把握

ボーリングコアおよび孔内傾斜計観測結果からすべり面深度を確認した（図 4 参照）。

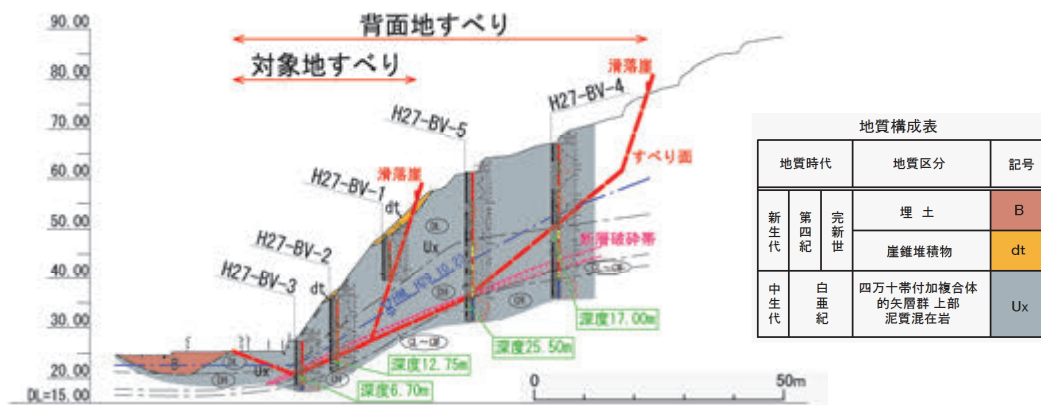


図 4 地質断面図

② 地すべりの滑動形態

地表伸縮計観測および地下水位観測結果から、対象地の地すべりは常時の滑動性は低いと判断されるが、図5に示すように集水井工施工中の2017年10月20日～23日の台風21号による豪雨（累積雨量504mm、日最大雨量406mm：10/22）に伴い、地表伸縮計S-2'（背面地すべり）で変位量10.6mmの明瞭な変位が観測され、地すべり滑動が活発化した。地表伸縮計S-1（対象地すべり）では変位は観測されていない。以上から、対象地すべり、背面地すべりは同時に滑動すると判断し、機構解析での予測が正しいことを確認した。

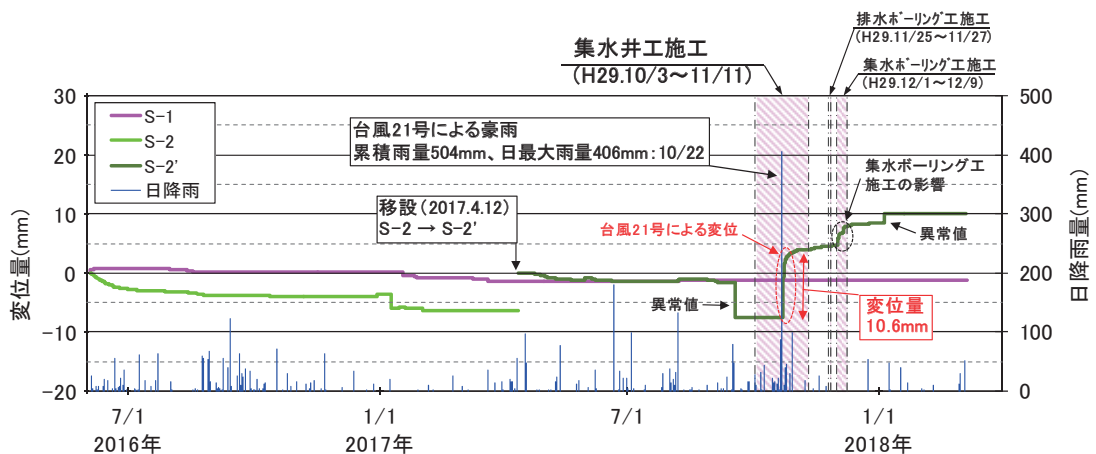


図5 地表伸縮計観測結果

(2) 対策工検討

① 安定解析

対象地すべりと背面地すべりが同時に滑動することを条件として安定解析を行った。

初期安全率を $F_s=0.98$ として各すべり面のせん断強度を設定し、これを基に計画安全率 $P.F_s=1.20$ とした場合の必要抑止力 (Pr) を算出した。また、抑制工による水位低下を考慮して、背面地すべりに対して安全率が5%上昇するために必要な水位低下量を算定し、その水位低下量 (4.10m) を見込んだ必要抑止力を算出した。

② 工法検討

複数の工法案について比較検討を行い、経済性等を考慮して「集水井工+アンカー工+法枠工+横ボーリング工（応急対策工）」を採用案とした（図6、図7）。

また、対策工費が約4億7000万と予測され費用が膨大となることから、段階施工を考慮した検討を行った。

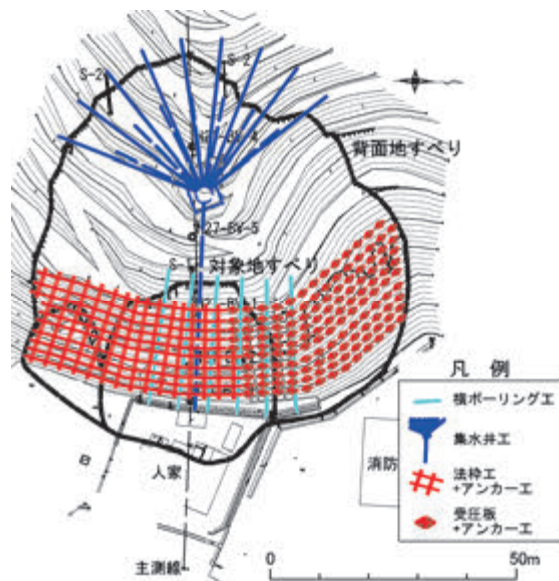


図6 対策工平面図

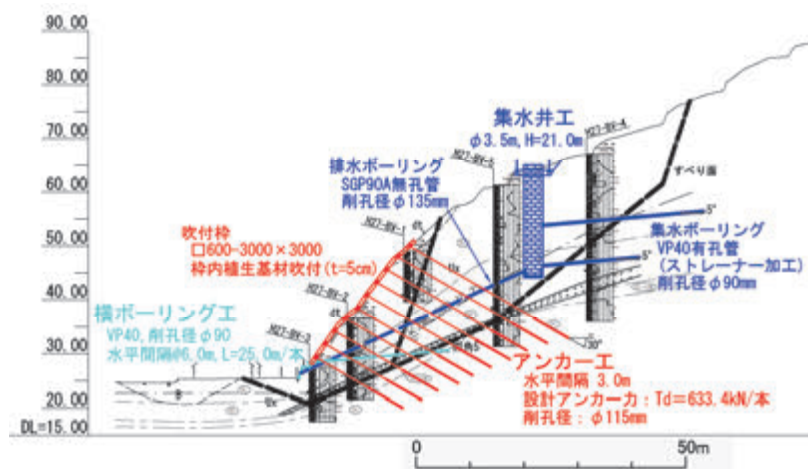


図7 対策工標準断面図

③ 施工状況

2016年に応急対策として対象地すべりを対象とした横ボーリング工を先行して実施し、2017年に抑制工として集水井工が施工されている。また、地すべりの安定性評価、対策工（抑制工）の効果判定を行うことを目的として、動態観測を継続して実施している。

4. マネジメントの効果

認識されない可能性があった地質リスク（地すべり）を地質調査によって明らかにし、対策工法を検討した。現時点（2018年度）において、応急対策工（横ボーリング工）および抑制工（集水井工）が施工済みであり、今後、アンカー工+法枠工の施工が予定されている。これら対策工施工により斜面下方の人家、消防署施設、国道への地すべり滑動による被災を回避することができると考えられる。

今回実施したリスクマネジメントによるリスク低減効果について、地すべり対策を実施せずに斜面下方の人家、消防署施設、国道が被災した場合を想定し、今回の実績と対比してリスク低減効果を検証した。図8にマネジメント効果結果図を示す。

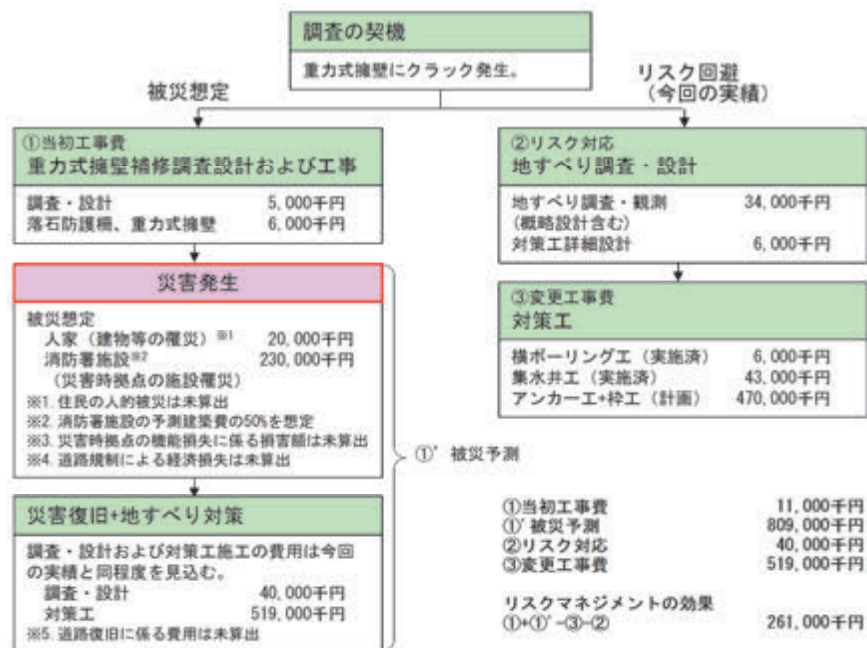


図8 マネジメント効果結果図

5. データ様式の提案

本事例はA型（地質リスクを回避した事例）であることから、データ様式Aをもとに一部変更してとりまとめた。

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	重力式擁壁、落石防護柵
	工事概要	斜面変状に伴う調査・設計および重力式擁壁、落石防護柵の再設置
	①当初工事費	1,100万円
	当初工期	—
リスク回避事例	予測されたリスク発現時期	記録的豪雨時、重力式擁壁施工に伴う床掘時
	予測されたトラブル	地すべり崩壊による災害
	回避した事象	斜面下方の人家、消防署施設、国道への被災、重力式擁壁施工時の作業員の被災、国道の通行障害
	①'被災予測	記録的豪雨時を想定 人家（建物等の罹災）※1 2,000万円 消防署施設の罹災※2 2億3,000万円 ※1. 住民の人的被災は未算出 ※2. 消防署施設の予測建築費の50%を想定 ※3. 災害時拠点の機能損失に係る損害額は未算出 ※4. 道路規制による経済損失は未算出 災害復旧+地すべり対策 調査・設計 4,000万円 対策工 5億1,900万円 ※5. 道路復旧に係る費用は未算出
リスク管理の実際	判断した時期	地質調査着手時
	判断した者	地質調査業者
	判断の内容	斜面内の地すべりの確認
	判断に必要な情報	過去の地形変遷を空中写真判読により実施 土地立入り許可後の地表地質踏査による確認
リスク対応の実際	内容	追加調査 調査ボーリング、孔内傾斜計観測、地表伸縮計観測、地下水位観測
		修正設計 横ボーリング工、集水井工、アンカー工+枠工
		対策工 変更工事に記載
	費用	追加調査 3,400万円
		修正設計 600万円
		対策工 —
		②合計 4,000万円
変更工事の内容	工事変更の内容	地すべり対策工
	③変更工事費	横ボーリング工（実施済） 600万円 集水井工（実施済） 4,300万円 アンカー工+枠工（計画） 4億7,000万円
	変更工期	—
	間接的な影響項目	—
	受益者	人家住民、消防関係者、道路管理者
リスクマネジメントの効果	費用（①+①'－③－②）	2億6,100万円
	工期	—
	その他	人家および住民への被災防止、災害時拠点の機能維持、道路の機能維持

【論文No. 10】 台風豪雨による地すべり災害の再発について（Bタイプ）

株式会社ダイヤコンサルタント ○田中敏行

小野 晃

松場康二

1. 事例の概要

（1）地すべり発生箇所の概要

平成25年9月に一般国道において、台風の豪雨により既設のり柵及び擁壁工の変状を伴う災害が発生した。当該箇所は平成8年度より道路防災点検の防災カルテ点検の対象箇所で、過去数回にわたり降雨による小崩壊が発生し、ボーリング調査や仮設防護策などの応急対策が実施された切土のり面である。平成16年には台風豪雨により、道路のへ土砂流出により道路が一時的に通行止めとなった履歴があり、その当時は現場打のり柵工及びもたれ式擁壁工によりのり面対策がなされていた。その後の平成25年9月の台風豪雨では連続雨量303mmが確認され、異常気象後の防災カルテ点検の結果、平成16年に施工された現場打ちのり柵工や擁壁工に座屈やひび割れが確認されたことから、豪雨後にのり面が地すべりの発生により変形した可能性が高く、斜面崩壊に至った場合は道路への土砂流出が懸念された。この状況を無対策のままで放置すると、今後の降雨により地すべり土塊がさらに不安定化、地すべり土塊が国道に崩落し、道路および下方の民家を埋積する危険性があった。

このため、新たに現地踏査、ボーリング調査および動態観測を行い災害発生のメカニズムを解明し、これらの結果をもとに応急対策及び恒久対策を講じた。この結果、地すべり土塊の安定を確保することができ、災害の発生を未然に防ぐことができた事例である。

（2）地形・地質概要

当該地には泉層群の強風化砂岩・泥岩が確認される。平成16年までに実施されたボーリング調査の結果でも深度20m程度まで酸化のため褐色を呈し礫混じり砂～砂礫状コアが確認されている。空中写真判読では二重山稜地形が認められ、これらの強風化岩は二重山稜地形が形成されたときの山体崩壊が原因で形成された可能性があり、当初より不安定であった可能性が高い。

また、露頭で確認された砂岩泥岩互層の走向傾斜は、のり面に対し流れ盤構造であり、道路横断方向に地すべりが発生しやすい地質構造を有することが確認された。これらの地質構造が地すべりの素因で、台風豪雨が誘因となり、潜在的な地すべり地形が滑動して既設のり柵工や擁壁工の変状が発生したと考えられる。

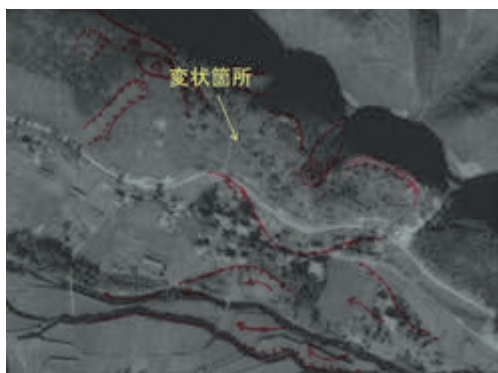


図-1 地形判読結果図

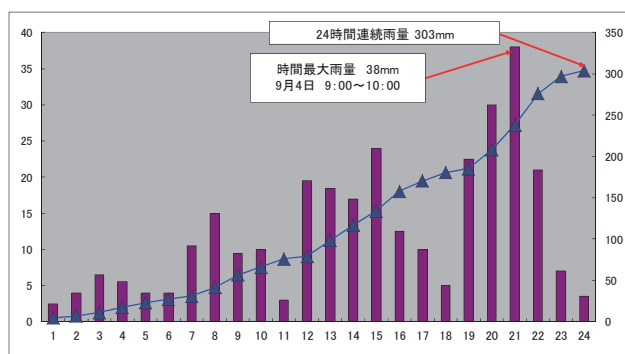


図-2 災害発生時の降雨

(3) 地すべり発生の際

当該箇所は、過年度より降雨時で小崩壊が発生したり、落石が発生したりする不安定な斜面であった。崩壊や落石が小規模なため、仮設防護柵や簡易な落石防護ネットに対応していた。その後の平成16年9月に台風豪雨により斜面全体が崩壊し、道路が通行止めとなったため、全面的に恒久対策を行った。その際には、調査ボーリングを実施し、ボーリング作業中は崩壊頭部に地盤伸縮計を設置して安全管理を行い、ボーリング後は挿入式孔内傾斜計を設置して約半年間の観測を行った。その結果、いずれも明瞭な変位は認められず、斜面崩壊は表層崩壊と判断され、対策工として現場打ちのり砕工が採用され施工された。対策工の施工後は、防災カルテ点検で1回／年の点検が実施され、異常が確認されなかったことから平成20年度に点検を休止した。

その後、平成25年9月に連続雨量303mmが観測され、異常気象後のカルテ点検を行ったところ、のり砕工および擁壁工に座屈やせん断ひび割れが確認された。この結果を受け、空中写真判読やボーリング調査を実施した結果、地すべり地形やすべり面が確認され地すべりの分布が明らかとなった。被災直後に平成16年度に設置された孔内傾斜計を観測した結果、深度14.5mで道路側への変位が認められた。

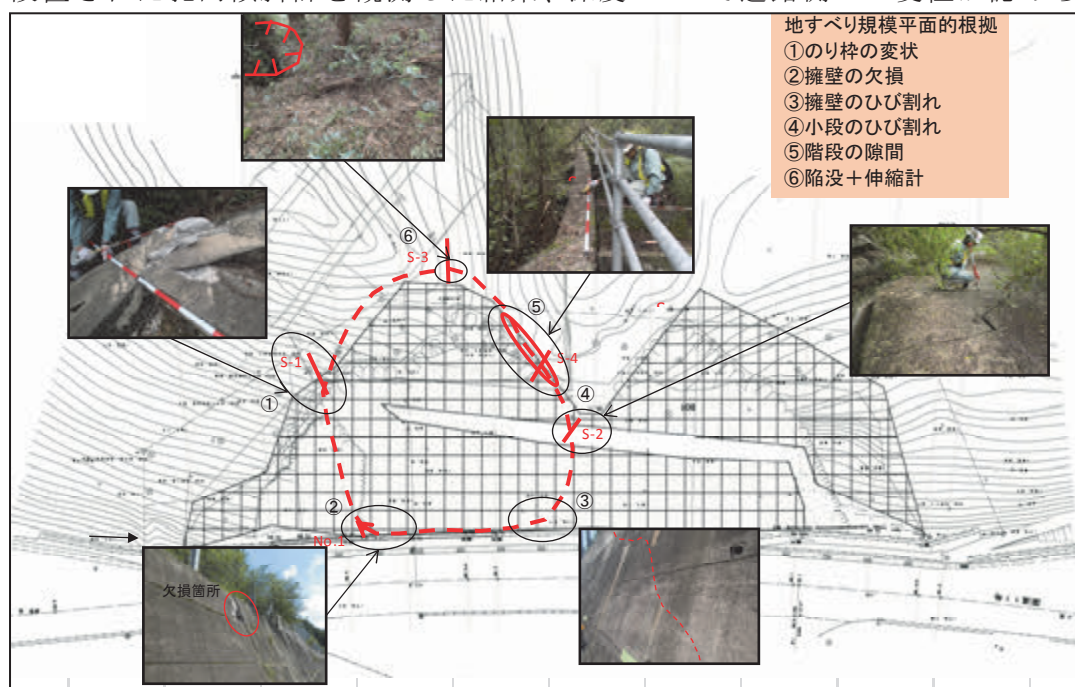


図-3 地すべりによる変状発生箇所位置図

このため、地すべり頭部付近に地盤伸縮計3基、ボーリング孔に挿入式孔内傾斜計、自記水位計を設置して動態観測を行うとともに、応急対策工として地すべり頭部の排土工を行った。排土工の施工直後の平成25年10月に再び台風豪雨に見舞われたが、自記水位計で地下水の急激な上昇が認められたものの、地盤伸縮計、孔内傾斜計に変位は認められず、地すべりの安定は確保できた。

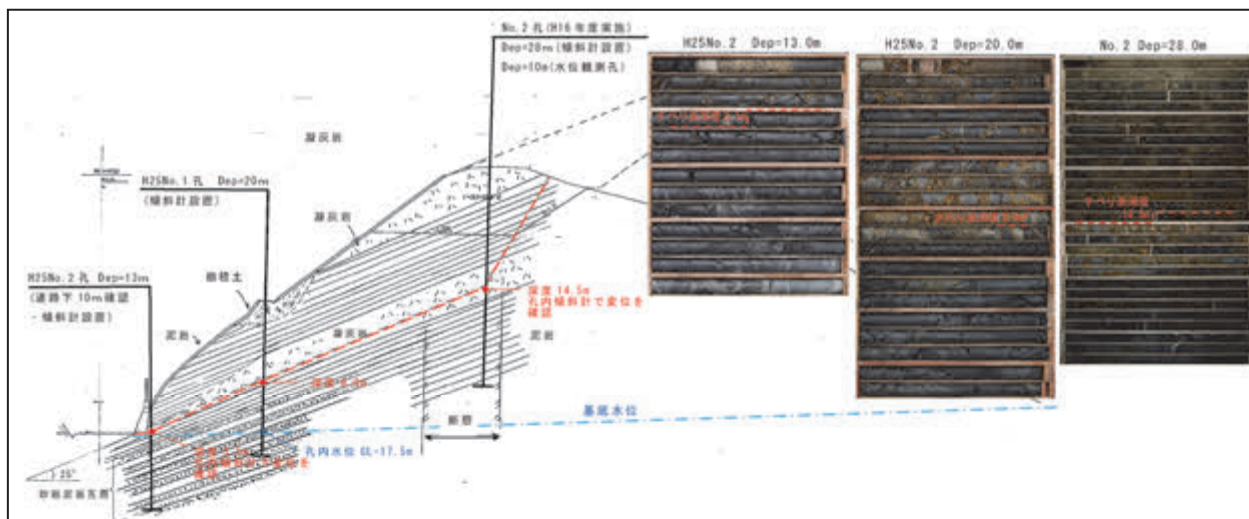


図-4 地質断面図およびコア写真

その後、恒久対策として、独立受圧板によるグラウンドアンカー工、地下水排除工の設計を行い、平成26年度で工事が完了した。施工中、施工後の1年間に動態観測による監視を継続した結果、豪雨にともなう地下水の急激な上昇、孔内傾斜計や地盤伸縮形の変位は認められず、対策工の効果は検証できたと判断した。

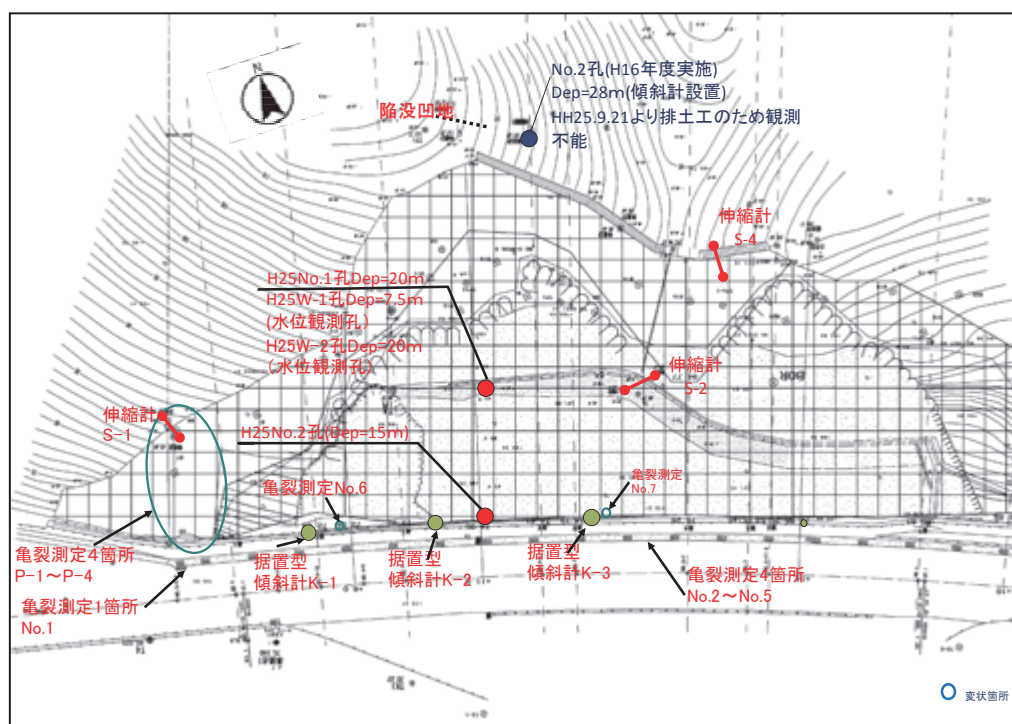


図-5 追加調査位置図

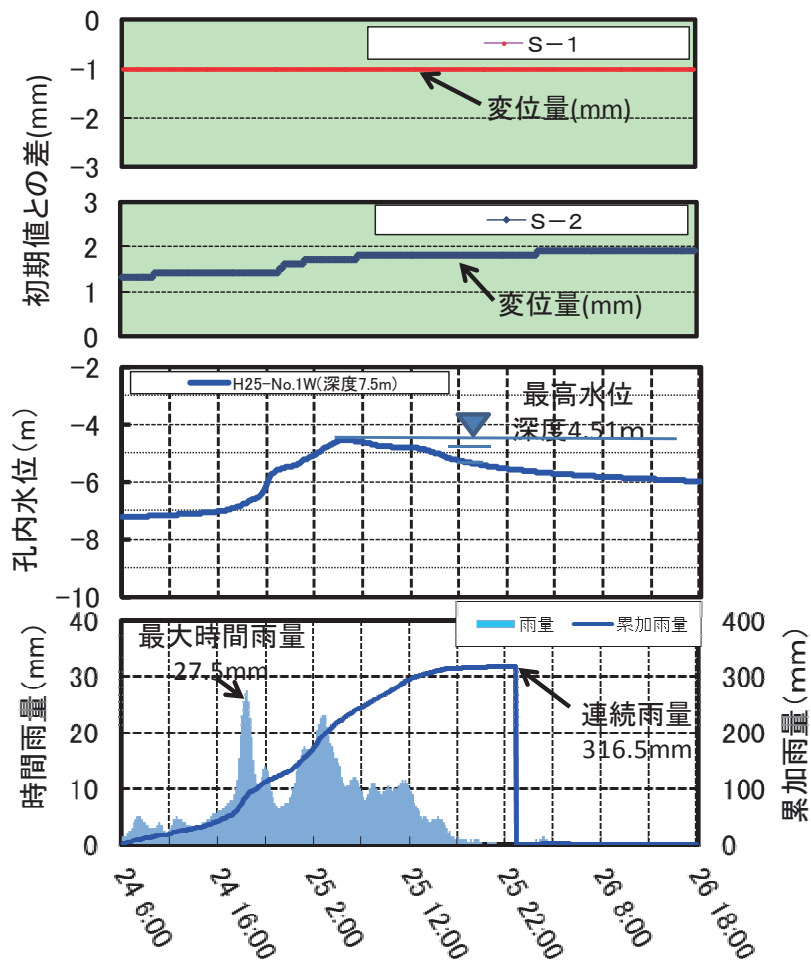


図-6 排土工後の台風豪雨及び伸縮計観測結果

2. シナリオ分析

今回のように過去の災害に対し恒久対策を講じ、変状が確認されていないのり面について、豪雨による変状が発生する前に対策を講じることは困難ではある。しかし、防災カルテ点検で降雨による小崩壊が確認されていたことや平成16年度の台風豪雨災害で深度30m程度のボーリング調査が実施され土砂状の強風化岩が確認されていることから、当時の災害で地すべりが想定できた可能性は高い。

さらに、地山の挙動を把握するため平成16年度に設置された孔内傾斜計を梅雨時期または台風時期の豪雨時に観測することで、地すべりの分布を判断できた可能性が高い。また、空中写真で二重山稜地形が判読できたことから、事前に地すべりの分布が把握できた可能性が高い。

3. データ収集分析

平成25年9月の台風豪雨後の地質調査で、以下のデータが収集できた。

- 砂岩泥岩互層の強風化帯およびすべり面
- 孔内傾斜計による地すべりの挙動
- 空中写真判読による二重山稜地形
- 現地踏査による頭部陥没地形
- 現地踏査によるのり枠工、擁壁工の変状による地すべり翼部、末端部の位置

○自記水位計による降雨時の地下水の大幅な上昇

以上の収集データにより、当該箇所は概ね地すべりであることが確認でき、平成16年度に施工された現場打ちのり枠工のみでは対策が不十分と判断された。

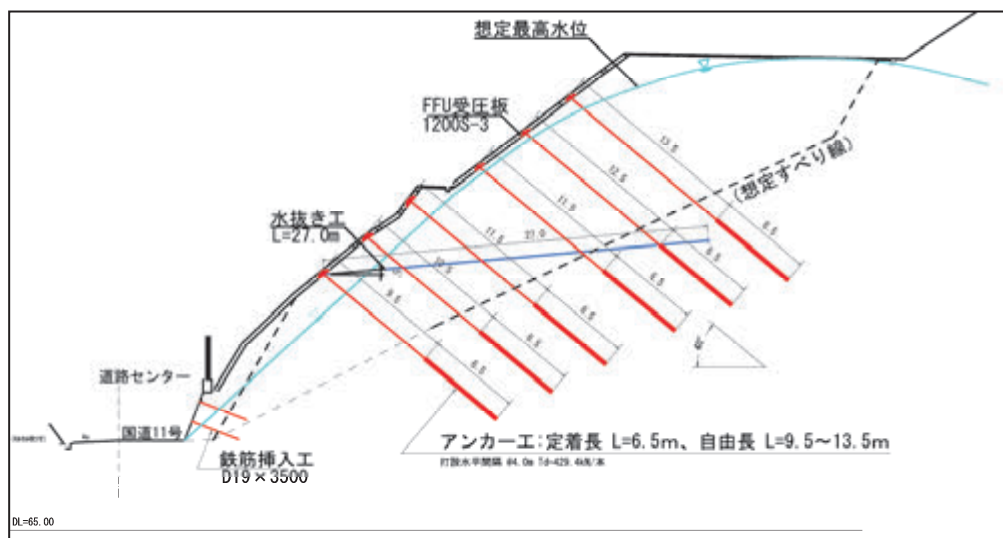


図-7 追加対策断面図

4. マネジメント効果

マネジメント効果は、平成16年度の台風豪雨時に地すべりが確認され、その当時に適切な対策が講じられた場合と平成25年の台風豪雨で追加実施した対策の経済効果で判断する。平成16年度の災害時にグラウンドアンカー工による地すべり対策が講じられた場合は、受圧体としてののり枠工または独立受圧板のいずれかが選定されるため、のり枠工・独立受圧板のどちらかが不要となる。また、排土工を行った場合は、グラウンドアンカー工自体が不要となった可能性がある。いずれの場合も、平成25年度の台風豪雨で追加対策したことによる経済損失が生じており、災害発生当初に的確な地質リスクマネジメントを行うことが重要であるといえる。

表-1 想定コスト比較結果

	費目	費用(千円)
①平成25年豪雨後の追加調査・対策費用	グラウンドアンカー工	42,000
	鋼製受圧板	19,000
	地下水排除工	5,500
	排土工	35,000
	調査ボーリング・地すべり観測	10,000
	対策工設計	10,000
	小計①	121,500
②平成16年当時に地すべり対策を実施した場合の工種・費用	グラウンドアンカー工(のり枠工費含む)	82,000
	地下水排除工	5,500
	対策工設計	5,000
	小計②	92,500
マネジメント効果(①-②)	小計①-小計②	29,000

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 (既設のり面)	発注者		—
	工事名		道路維持管理
	工種		のり面对策工
	工事概要		グラウンドアンカー工
	①当初工事費		40,000千円
	当初工期		—
リスク発現事象	リスク発現時期		前回の災害対策完了から8年
	トラブルの内容		既設のり面工の変状
	トラブルの原因		大雨による地すべりの活動
	既存構造物への影響		既存対策工の損壊
追加工事の内容	追加調査の内容		動態観測・ボーリング調査
	修正設計内容 (追加設計)		排土工・地下水排除工・グラウンドアンカー工
	対策工事(H16災害時)		のり枠工
	追加工事(H25災害時)		地下水排除工・グラウンドアンカー工・排土工・鋼製受圧板
	追加費用	追加調査	10,000千円
		修正設計	10,000千円
		対策工	101,500千円
		追加工事	なし
		②合計	121,500千円
	延長工期		なし
	間接的な影響項目		道路の通行止め
	負担者		道路管理者
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期		平成16年の災害発生時の対応時
	対応(すべき)者		災害対応者
	対応(すべき)内容		・空中写真判読、現地踏査による地すべり地形の評価 ・ボーリングコア観察、動態観測結果による地すべりの評価
	判断に必要な情報		地形情報、地質情報(地山の風化状況)、動態観測結果
	対応費用	調査	—
		対策工	のり面对策工設計 5,000千円
		③合計	5,000千円
	想定工事	工事概要	地形判読、現地踏査、ボーリング調査結果により地すべり規模を推定して、横ボーリング工による地下水排除工、のり枠工+グラウンドアンカー工等の抑止工によるのり面对策工の実施
		④工事費	87,500千円
		工期	—
リスクマネジメントの効果	費用(②)-(③+④))		29,000千円
	工期		—
	その他		—

【論文 No. 11】 比抵抗分布による地すべり評価

(株)地圏総合コンサルタント ○徳留 亮
中川 清森
高取 亮一
小野里 直也
佐藤 真

1. 事例の概要

調査地は明瞭な主滑落崖を形成する幅 120mの馬蹄形の地すべりが分布し、主滑落崖の背面に二重山稜を形成する。本地すべりを切土で横断する道路線形が計画されている（当初はトンネル計画）。

既往調査ではトンネル計画高以深に「岩盤すべり」だけの分布が想定されていたが、既往ボーリングコアの再観察と現地踏査結果から、表層部の切土計画高付近に「崩積土すべり」が、より深部に「岩盤すべり」が分布する可能性が考えられた。また、主滑落崖の背面側にある二重山稜とこれらのすべり面との関連性も不明であった。

道路建設に伴う切土を行うことで、これら地すべりの滑動を誘発した場合、押え盛土工などの緊急対応、恒久的な地すべり対策工実施のために多大な追加費用と時間が必要となり、事業者にとっては大きな負担となる地質リスクが存在すると判断される。そのため、計画されている切土に対して、これら地すべりの安定性を評価し、リスクの回避・低減等を検討する必要があった。

本件は、切土区間の地すべりにおいて、既往調査段階では未抽出だった崩積土すべり把握、二重山稜と各すべり面との関係、切土に対する各地すべりの安定性評価を、現地踏査とボーリング調査、電気探査で行った事例である。

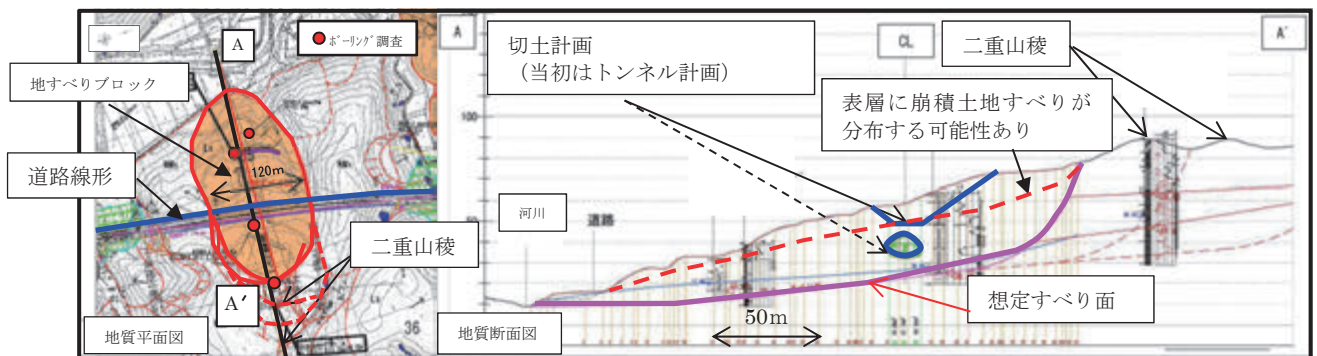


図 1 既往調査での地すべり評価

2. 事例分析のシナリオ

(1) 既往調査の地すべりの再評価

既往ボーリングコアの再観察と現地踏査結果を踏まえて、本地すべりを下記の通り整理した。

- ①新期地すべり（崩積土すべり）：明瞭な滑落崖を形成する地すべり地形の幅は 120m程度、延長 220m、明瞭な滑落崖を 3 箇所形成する。末端部では表層崩壊があり、湧水が認められる。ただし、道路面の変状は認められておらず、動態観測でも明瞭な変位は確認していない。ボーリングコアは完全に土砂化しており「崩積土」に該当する。
- ②古期地すべり（岩盤すべり）：対象となる地質は第三紀の泥岩である。層理面は流れ盤構造を示し、地すべりの滑動方向と概ね一致する。ボーリングコアは亀裂が発達した

岩片～柱状コアが主であり、熱水変質を被り珪化や粘土化している部分がある。動態観測で明瞭な変位は確認していない。末端部に段丘堆積物が分布する。

- ③地下水の状態：地下水位は深く、「新期地すべり」内に地下水は分布せず「古期地すべり」に分布する。

(2) 本事例におけるシナリオ

- ①調査地は、地すべりの再評価から「新期地すべり」と「古期地すべり」の2つの地すべりがあると想定した。切土計画における地質リスク（地すべりの再滑動の可能性）の評価はこの2パターンに対して検討した。

- ②「新期地すべり」は主滑落崖を地すべり頭部として調査計画段階で考えていたが、二重山稜に認められる線状凹地まで及んでいる可能性も否定できないため、その関係を明確にすることが「新期地すべり」の地質リスク評価における重要な課題と考えた。本地すべりブロックには地下水が分布しないこと、崩積土と岩盤では比抵抗値が異なることが期待されたため、電気探査による比抵抗分布と新たな調査ボーリング結果を組み合わせ、新期地すべりブロックの分布域を把握することが有効な手法であると判断した。

- ③「古期地すべり」は末端部に段丘堆積物が分布する。段丘堆積物と本地すべり面の関係は不明であったが、段丘堆積物よりすべり面が深い位置にある場合は、すべり面が河床に至っていることから現状では比較的安定であると推測される。また、段丘堆積物付近でも、段丘堆積物をすべり面が切っていないければ、段丘堆積物の形成時期を考慮すると、その滑動時期は古いと考えられる。これらの理由から末端部付近のすべり面位置とその性状の確認が「古期地すべり」の地質リスク評価における重要な課題であった。そのため、既往ボーリング結果から末端部のすべり面深度を想定し、新たな調査ボーリングで確認することが有効な手法であると考えた。

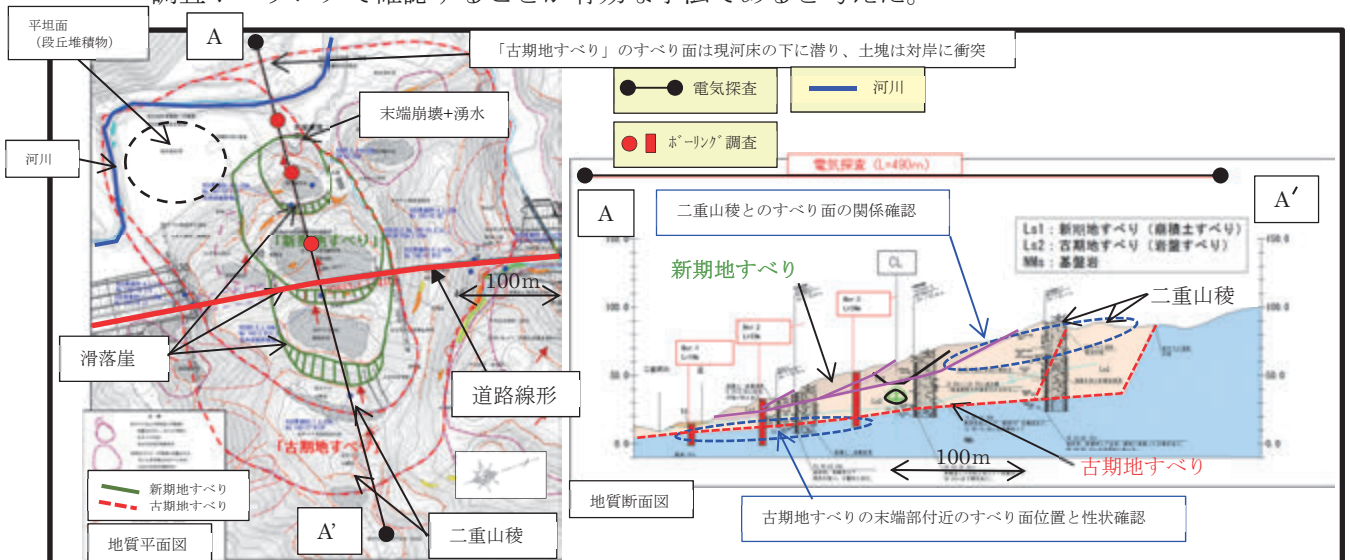


図2 現地踏査と既往調査資料整理による地すべりの再評価

3. データ収集分析

(1) ボーリング調査 (図4 参照)

- ①「新期地すべり (Ls1)」：層厚 8～15m で表層部に連続的に分布する。ボーリングコア

は土砂状で下位の古期地すべりと明瞭な境界をもつ。

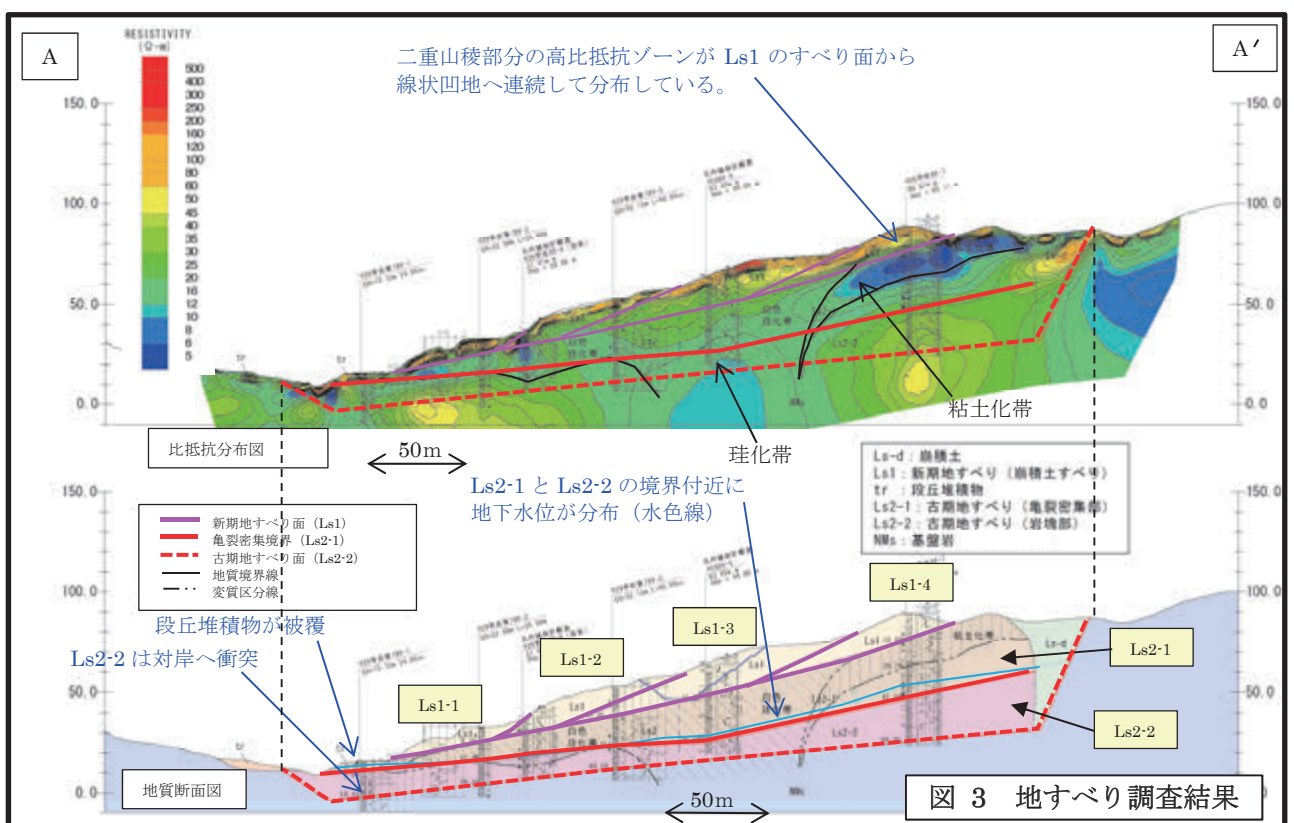
- ②「古期地すべり (Ls2)」：すべり面は、新鮮岩盤（不動岩盤）の上位に低角の方解石脈を伴う破碎構造が連続的に見られる。地すべり土塊中には、珪化帯及び粘土化帯の変質ゾーンを形成し、珪化帯は開口亀裂が発達する。「古期地すべり土塊」の風化亀裂発達部を Ls2-1 とし、未風化岩塊主体部を Ls2-2 として区分した。Ls2-1 及び Ls2-2 の境界は一部褐色化した分離面が認められる。地下水は概ね Ls2-1 と Ls2-2 の境界付近に分布する。
- ③「古期地すべり (Ls2)」：段丘堆積物は Ls2 末端部 (Ls2-2 上部) に被覆する。また、現河床より 11m 程度深い位置にすべり面があり、古期地すべりが対岸へ衝突した構造が推定される。

(2) 電気探査 (図 3 参照)

- ①「新期地すべり (Ls1)」は高比抵抗分布域に該当する。高比抵抗分布域はボーリング調査結果による Ls1 の地質分布と一致した。
- ②二重山稜に位置する高比抵抗ゾーンは、「新期地すべり」のすべり面から連続的に線状凹地まで分布する。この部分の二重山稜は「新期地すべり (Ls1)」の土塊と考える。
- ③「古期地すべり (Ls2-1)」分布域で低比抵抗ゾーンを確認した。珪化帯及び粘土化帯で低比抵抗分布域を示していると想定され、熱水変質構造を反映している。

(3) 地すべりブロックの評価 (図 3 及び図 4 参照)

- ①「新期地すべり (Ls1)」は、主滑落崖の背面に位置する二重山稜部分を含んだ範囲を本地すべりブロックと判断した。滑落崖の形状から Ls1-1、Ls1-2、Ls1-3、Ls1-4 (二重山稜) にブロック分けとなるため、各ブロックの安定性評価が必要であった。
- ②「古期地すべり (Ls2)」は、対岸へ衝突した構造となり安定化していると判断した。ただし、亀裂の発達する Ls2-1 は Ls2-2 との境界で一部分離面を形成していることから、Ls2-1 を地すべり土塊として考え、切土計画における安定解析を行い、切土前後の安全率の変化を確認した。



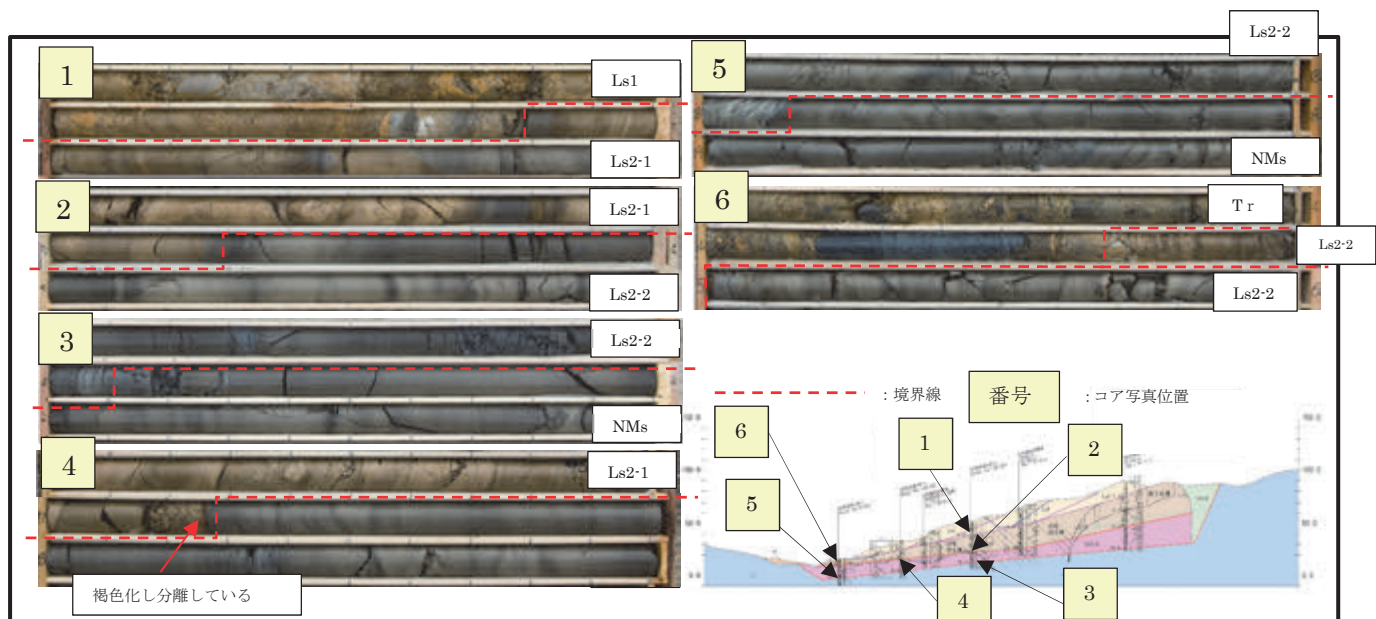


図 4 代表的な地すべり境界付近のコア写真 (3m 区間)

(4) 切土計画に対する安定解析

- ①「新期地すべり (Ls1)」: 切土法尻末端部を通るすべりを設定し、切土後の本線 R 側の Ls1-3 ブロック及び Ls1-4 (二重山稜) ブロックの安全率を算出した。切土後の安全率は Ls1-3 ブロックが 0.743、Ls1-4 (二重山稜) ブロックで 0.900 であり、切土後は再滑動する可能性が高い(赤破線枠)。計画安全率を 1.20 とした場合の必要抑止力は Ls1-4 (二重山稜) が最大で 2060 (kN/m) であった。これらの結果をふまえ、本線の切土施工にはアンカー工等の地すべり対策工が必要であると判断した。
- ②古期地すべり (Ls2): 切土後の影響について Ls2-1 を地すべり土塊として安全率を算出した。切土後の Ls2-1 ブロックの安全率は 1.0 を確保できる (青破線枠)。この結果もふまえ、古期地すべりは本線の切土施工に対しても安定であると判断した。

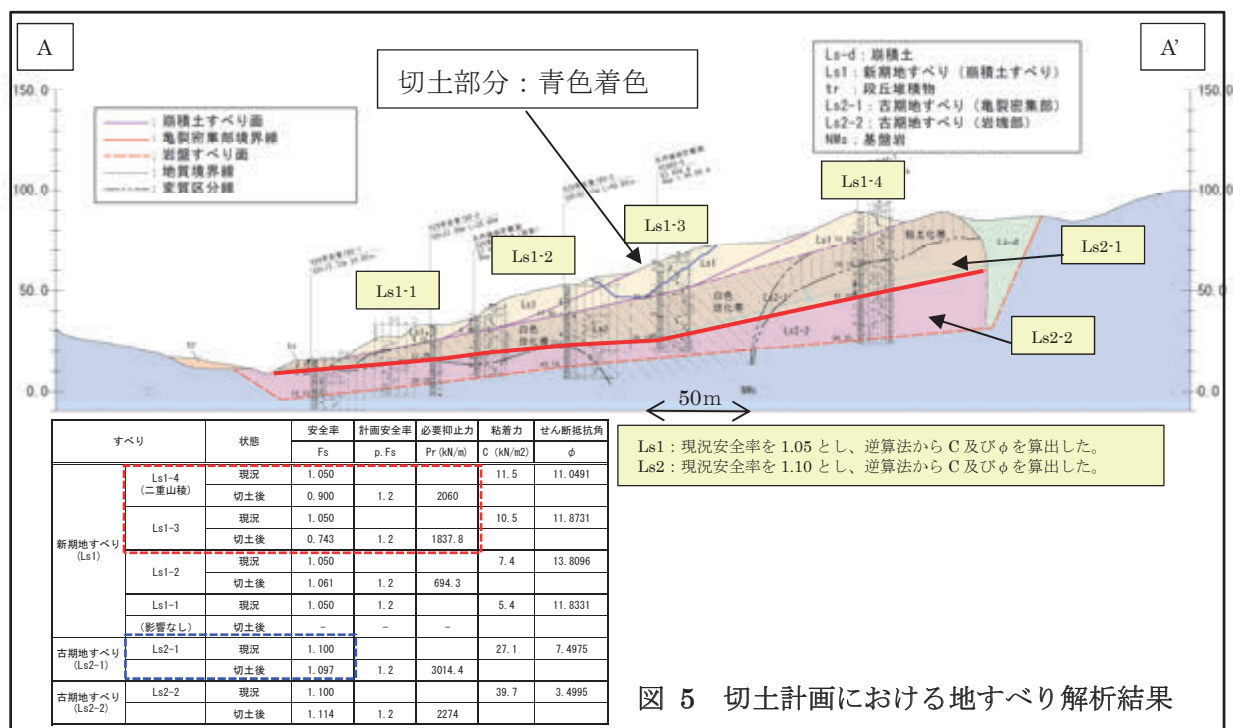


図 5 切土計画における地すべり解析結果

4. マネジメントの効果

(1)「新期地すべり (Ls1)」の抽出

既往調査段階では潜在する「新期地すべり（崩積土すべり）(Ls1)」の抽出ができていない。そのため本調査を実施しない場合は、無対策で切土を施工することになる。切土施工後は本線 R 側で切土法尻を抜ける「新期地すべり（崩積土すべり）(Ls1)」の再滑動が発生したものと想定できる。その場合、押え盛土工の緊急対応と恒久的な地すべり対策工実施のために多大な追加費用と時間が必要となり、この地すべり区間の建設が長期間休止となることが想定される。本調査を行うことでこの地質リスクを回避することができた。

押え盛土工について、安全率 1.05 を確保する場合、盛土断面 $200 \text{ (m}^2\text{)} \times$ 盛土幅 $120 \text{ m} = 24000 \text{ m}^3$ 程度必要となる。切土による発生土を利用する場合でもその概算工事費は 650 万円が見込まれる。

(2)「新期地すべり (Ls1)」の規模の把握

電気探査による比抵抗 2 次元分布は「新期地すべり」の抽出に加え、その規模を明確にすることができ、効果的な必要抑止力の算出を行うことができた。計画安全率 1.20 とした場合の必要抑止力は Ls1-4（二重山稜）ブロックで 2060 (kN/m) 、Ls1-3 ブロックで 1837 (kN/m) である。電気探査を実施しない場合はこの差分 213 (kN/m) を見落とすことになり、必要安全率を確保できない状況となる。

(3)「古期地すべり (Ls2)」の安定性評価

「古期地すべり (Ls2)」はすべり面が河床に至っていることから、現状では比較的安定な構造である。また、本地すべり土塊の末端部に段丘堆積物が被覆することから、長期的に安定化している。

「古期地すべり土塊」の風化亀裂発達部を Ls2-1 とし、未風化岩塊主体部を Ls2-2 とし、細分した。Ls2-1 は Ls2-2 の境界で一部分離面を形成している。そのため Ls2-1 を地すべり土塊と考え、切土後の安定解析を行いその安全率を算出した。切土後の Ls2-1 の安全率は 1.0 を確保しており、Ls2-2 を含め、「古期地すべり (Ls2)」全体が本線の切土施工に対して安定であると判断した。

これらの検討結果をふまえ、「古期地すべり (Ls2)」は本線施工の影響を受けないものと判断でき、本地すべりに対する対策は不要とすることができた。

D. 地質リスクマネジメント事例のまとめ

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		—
	工事名		—
	工種		切土区間
	工事概要		道路事業
	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		5 次調査
	予想されたトラブル		地すべりの再滑動
	回避した事象		緊急対応（押え盛土工）
	工事への影響		工事休止（対策工検討までの期間）
リスク管理の実際	判断した時期		調査段階
	判断した者		発注者
	判断の内容		地すべり対策工
	判断に必要な情報		「新期地すべり」と「古期地すべり」のモデル図（地質断面図）
リスク対応の実際	内容	追加調査	現地踏査、ボーリング調査（3 本 L=106m）、電気探査（490m）
		修正設計	地すべり対策工
		対策工	アンカー工
リスクマネジメントの効果	費用		650 万円（押え盛土工、回避分）
	工期		—
	その他		①緊急対応と対策工検討のための工事休止の回避 ②効果的な抑止力の算定 ③本線施工に対する「古期地すべり」の安定化確認（対策不要）

[論文No. 12]

新設バイパス切土区間において潜在地すべりの滑動という地質リスクを回避した事例

株式会社川崎地質株式会社 九州支社 ○村井 政徳

園田 篤史

山地 孝昌

1. 事例の概要

本事例は、新設バイパスの切土区間において、のり面工の詳細設計段階で、地すべりに関して経験豊富な地質技術者が既設工事実績・既往地質調査結果の精査及び現地踏査を行うことによって当該地特有の地質リスクを検出し、設計条件を見直して「潜在地すべりの滑動」という地質リスクを回避した事例である。

2. 事例分析のシナリオ

2.1 地質リスクの特定とリスクの要因

事例対象として扱う新設バイパス切土区間の周辺では、これまで切土掘削施工中に地すべりの滑動による法面変状が発生し(図-1)、複数の箇所では地すべり対策工の追加施工や設計の見直しが行われてきた。設計対象であるNo.32～No.37にかけての切土区間においても、図-1に示すように明瞭な滑落崖が認められ、地形判読及び現地踏査によって休止中の地すべりが存在することが明らかとなった。

当該地には古第三紀始新世の砂岩・礫岩・泥岩が互層し、凝灰岩薄層が挟在することが明らかとなった。凝灰岩層は異質礫を含むほか降下軽石を多く含む特徴があり、他の岩相に比べて軟質で一部粘土化しグリス状になる部分が認められた。層理面の走向は北東－南西方向で、南西に緩く傾斜する同斜構造である。したがって、起点から終点側に向かって右側の切土のり面は、斜面の傾斜と地層の傾斜が同じ方向の“流れ盤構造”，左側の切土のり面は斜面の傾斜と地層の傾斜が逆方向の“受け盤構造”となり、右側の斜面は地すべりが発生しやすい地質構造であることが確認された。

以上を踏まえ、地質的弱層である凝灰岩層は掘削に伴う地山応力の開放やカウンターウェイトの消失の影響ですべり面が形成され、潜在地すべりが滑動すると推測した。



図-1 切土掘削施工中に発生した地すべり変状 応急対策として押さえ盛土工を施工

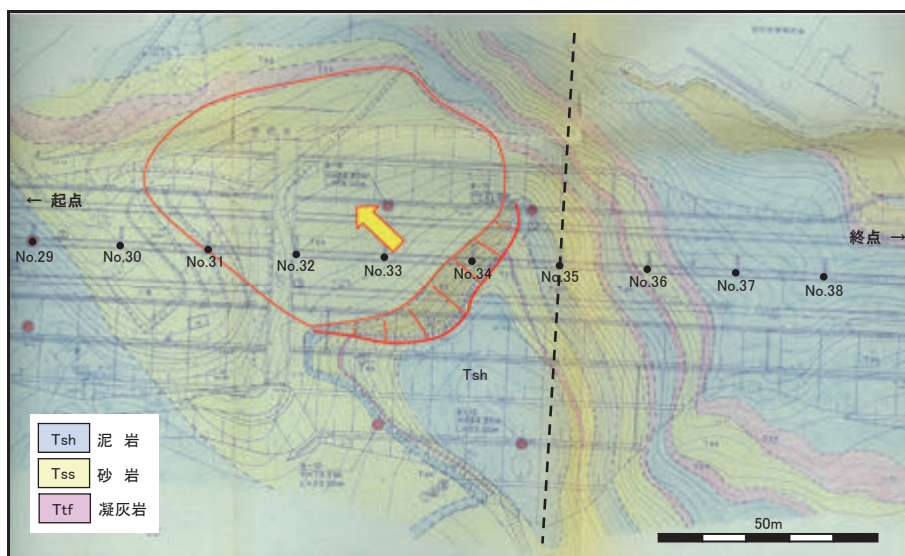


図-2 No.31～No.35区間に分布する地すべり

2.2 地質リスク回避のシナリオ

(1)すべり面形状の推定

当該地の地形・地質条件から地すべりの形状は、図-3に示すような各凝灰岩層の下底面(凝灰岩とその下位の地層の境界)をすべり面とする“椅子形の平面すべり”を想定した。地すべり頂部から凝灰岩層までの縦方向のすべり面は、基盤岩中に存在する潜在的な高角度の割れ目が掘削に伴う地山応力開放によって緩み、その不連続面が連続することによって引張亀裂が生じ、地山から分離すると考えた。実際、図-2に示すNo.31～No.35の区間に認められる地すべりには、図-4に示すような明瞭な頭部滑落崖が認められ、切り立った崖が形成されている。また、滑落崖には高角度の開口した割れ目が多数分布する緩んだ岩盤が露出している(図-5)。

追加実施したボーリング調査の結果、当該のり面には4枚の凝灰岩層が分布することが明らかとなった(図-6)。

掘削後の斜面安定解析は、確認された4枚の凝灰岩層に対して、図-7に示すパターン①、パターン②の地すべりが各小段法肩から発生すると想定して解析することとした(図-8)。

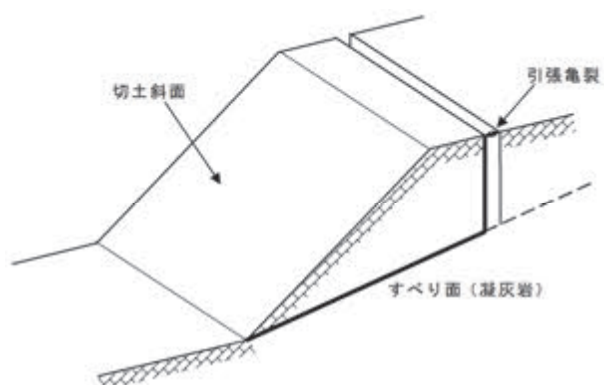


図-3 切土掘削に伴って発生が懸念される平面すべりのイメージ図



図-4 既地すべりの滑落崖

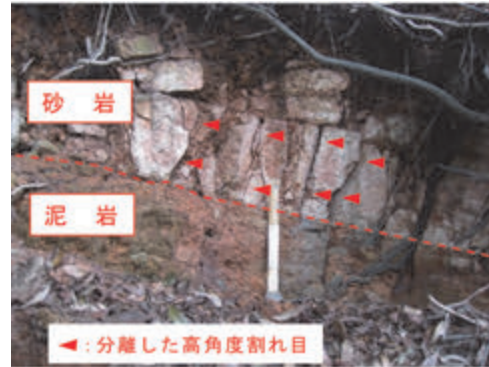


図-5 基盤岩に発達する高角度割れ目

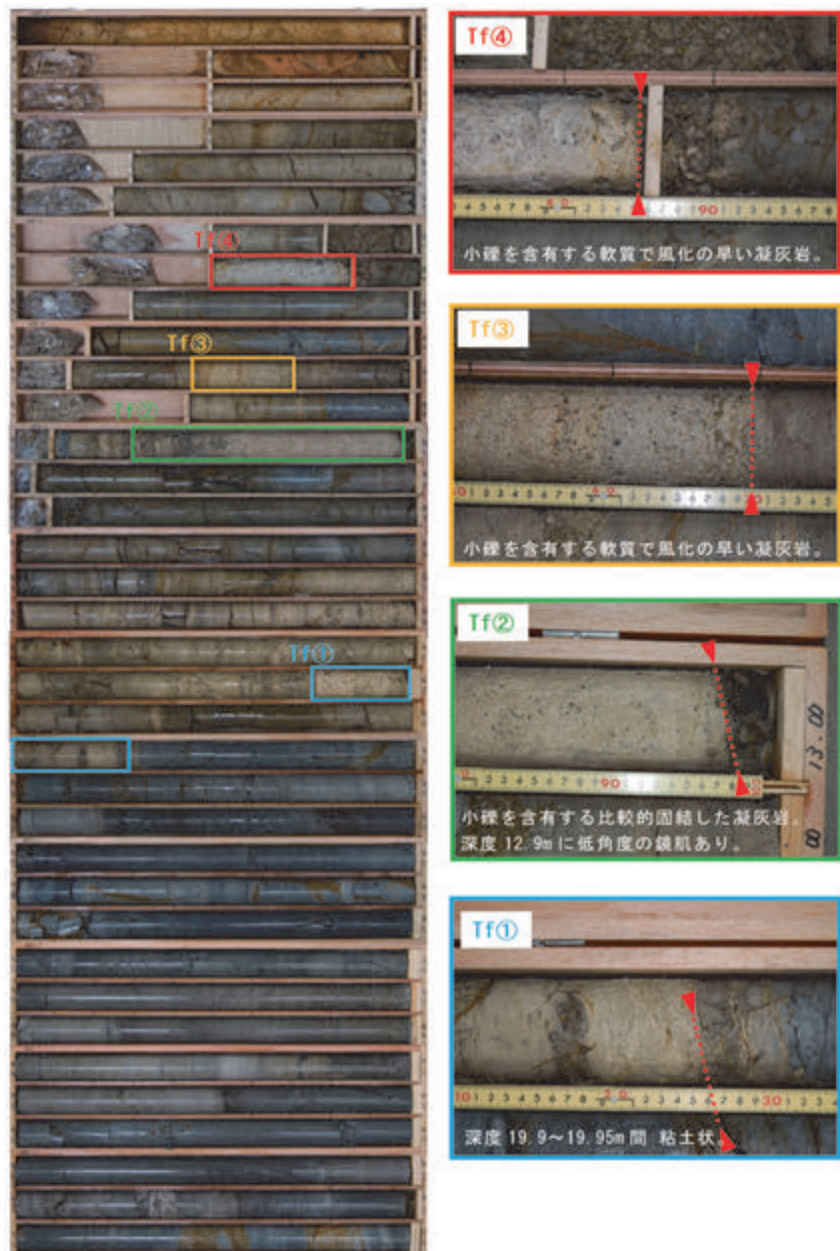


図-6 追加ボーリング調査のボーリングコア(4枚の凝灰岩層が挟在)

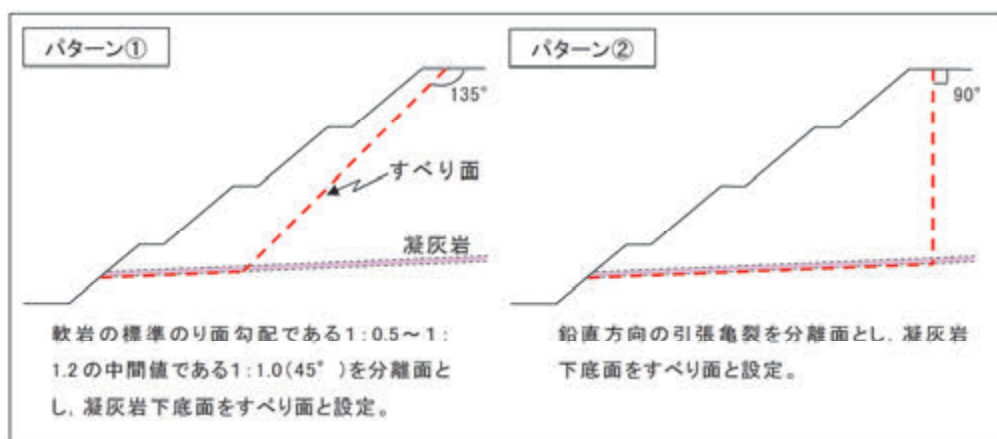


図-7 すべり面形状を示す模式図

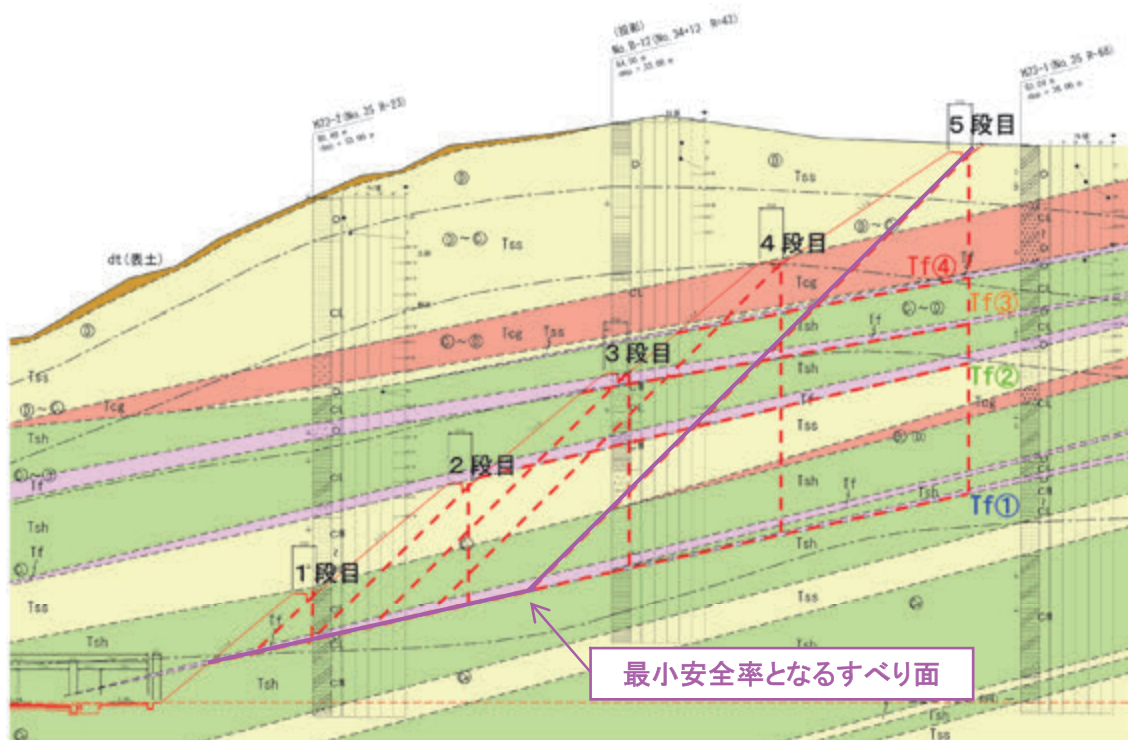


図-8 地すべり発生が想定されるすべり面形状

(2)すべり面定数の設定

現状で滑動中でない地すべり、崩壊兆候のない斜面では、現状の安全率を精度よく推定することは困難である。「地すべり安定対策が必要」と判断されれば、逆算法を用いて現況安全率を $F_s = 1.00 \sim 1.05$ などとして必要抑止力を算出し、対策工の設計を行うことができる。しかし、切土がされていない現状安全率が $F_s = 1.00$ を大きく上回る斜面において、切土掘削後の想定すべり面の現況安全率を $F_s = 1.00 \sim 1.05$ として逆算法によりすべり面定数を求めたとするならば、それはかなり過大な設計をすることになる。

そこで、Tf①の試料を用いて繰返し一面せん断試験を実施し、完全軟化強度を求め、順解析による安定解析を行った。

3. データ分析収集

以上の結果, もっとも危険となるすべり面は図-8に示すすべり面であり, 切土掘削後の安全率は $F_s=1.143$, 目標安全率 $PF_s=1.20$ に対する必要抑止力は $Pr=161.2\text{kN/m}$ となった。

表-1 各想定すべり面における安定解析結果

すべり面	すべり面形状	地すべり頭部位置	安全率 : F_s
Tf①	垂直	下から5段目法肩	2.448
		4段目法肩	3.000
		3段目法肩	3.470
		2段目法肩	4.376
		1段目法肩	8.670
	45°	下から5段目法肩	1.143※
		4段目法肩	1.448
		3段目法肩	1.754
		2段目法肩	2.080
		1段目法肩	1.276
Tf②	垂直	下から5段目法肩	2.984
		4段目法肩	3.501
		3段目法肩	6.927
	45°	下から5段目法肩	1.427
		4段目法肩	1.838
		3段目法肩	3.239
Tf③	垂直	下から5段目法肩	3.728
		4段目法肩	4.899
	45°	下から5段目法肩	1.400
		4段目法肩	2.336
Tf④	垂直	下から5段目法肩	5.183
		4段目法肩	9.527
	45°	下から5段目法肩	1.664
		4段目法肩	3.020

※計画安全率 $PF_s=1.20$ を満たさないケース

4. マネジメント効果

本事例における地質リスクは, ①ボーリング調査データの不足によるすべり面形状の不確実性と②すべり面定数の不定量化である。

①については, 追加のボーリング調査を行うことによって, すべり面となりうる凝灰岩薄層の分布を把握することができた。適切な地すべり解析モデルを構築して安定解析を行ったことで, 標準切土勾配で無対策とした場合, 潜在地すべりが発生する危険性を回避することができた。

②については, 繰返し一面せん断試験によってすべり面定数を直接試験で求め, 順解析を行うことによって過度に安全側となる設計によるコスト増を抑えることができた。

5. データ様式の提案

本事例を「地質リスクを回避した事例(A型)」として以下の表に取りまとめた。

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		〇〇県〇〇県土整備事務所
	工事名		〇〇バイパス新設工事
	工種		のり面工
	工事概要		アンカー工
	① 当初工事費		250,000千円
	当初工期		12月
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		切土掘削工事中～対策工施工後
	予測されたトラブル		潜在地すべりの発生 過大設計
	回避した事象		—
	工事への影響		追加対策工事によるコスト増大および工期延長
リスク管理の実際	判断した時期		設計条件整理の段階
	判断した者		地すべりに関して経験豊富な地質技術者
	判断の内容		潜在地すべりとなりうる凝灰岩層の分布,
	判断に必要な情報		ボーリングデータ, 繰返し一面せん断試験による完全軟化強度(c, ϕ)
リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング調査, 繰返し一面せん断試験
		修正設計	5,000千円
		対策工	—
	費用	追加調査	5,000千円
		修正設計	—
		対策工	—
		② 合計	10,000千円
変更工事の内容	工事変更の内容		アンカー規格の縮小化
	③ 変更工事費		206,000千円
	変更工期		9月
	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)		34,000千円
	工期		-3月
	その他		—

【論文 No. 13】 高速道路の施工中に顕在化した地すべりに対するマネジメント事例

○本間宏樹・山根誠・村本将司・黒澤貴之・古川舞（応用地質株式会社）

田中昌幸（東日本高速道路株式会社）

1. 事例の概要

本事例は、施工中の高速道路の仮設切土のり面で発現した小崩壊への対応を発端として、潜在していた地すべりによる地質リスクを明らかにし、供用後に発現する可能性がある地すべり災害を防止するとともに、道路線形の変更により地すべりへの施工の影響を抑え、地すべり対策工費を低減することにより地質リスクを最小限に回避したものである。

対象の路線のうち、当該地の道路構造は切土、盛土、橋梁、ボックスカルバート、擁壁からなり、路線計画段階では、大規模な地すべり地形の末端を通過すると指摘されていたが、その後の調査では路線への地すべりの影響はないと判断されていた。

道路施工は平成 24 年度から施工が開始され、当初は問題なく経過したが、平成 26 年度から工事用道路やプラントヤードの仮設切土のり面に変状が発生するようになった。本線の施工では切土施工をさらに実施することから、念のため再調査を実施したところ、末端部が道路にかかる滑動中の大規模な地すべりの存在が確認された。顕在化した地すべりへの対応のため、地すべり対策工が計画されたが、工費が多額（約 30 億円）になると試算され、事業実施工程に著しく影響を与える可能性が高いと予想されたことから、地すべりの回避を含めた抜本的な対応を行うこととなった。リスクへの対応は、地すべり区間で可能な限り縦断線形を上げ、地すべりの不安定化への影響を可能な限り小さくした。その結果、対策工費を当初の 6 分の 1 程度に抑え、地すべり滑動を停止させ、地質リスクを最小限に回避した。

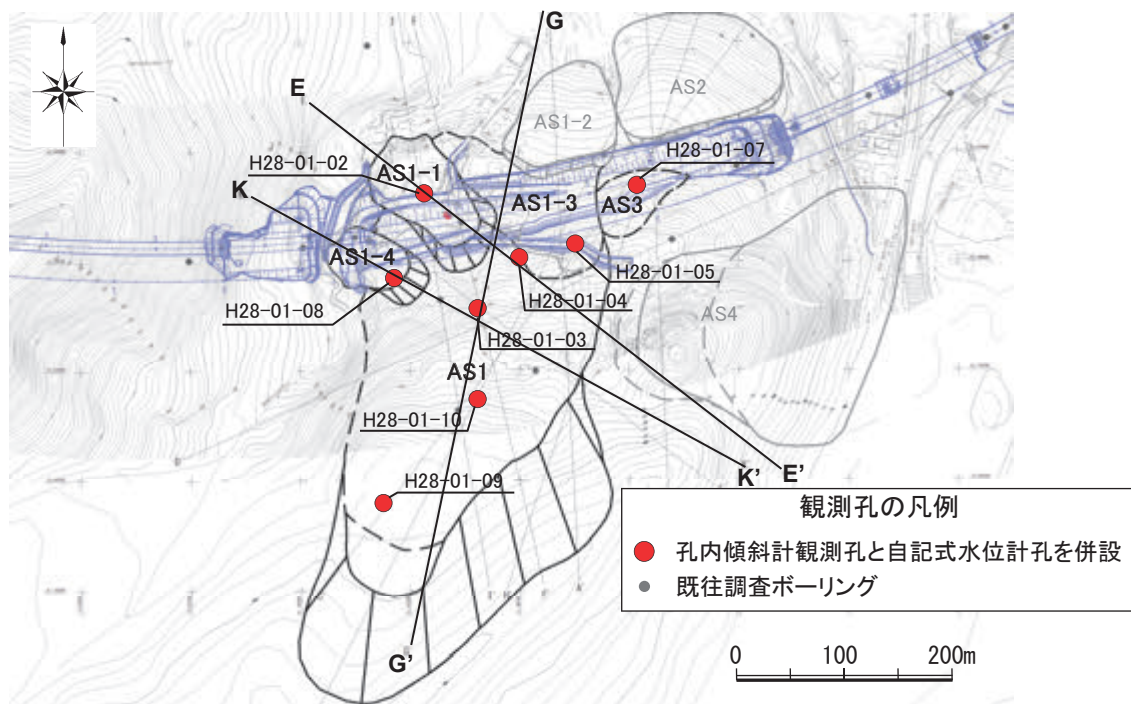


図 1 当該地の地すべりブロックと路線の位置関係

2. 事例分析のシナリオ

(1) 変状発生

平成 26 年 4 月～10 月に、工事用道路やプラントヤードの仮設切土のり面に小崩壊等の変状が発生した。人的被害はなかったが、今後はさらに切土施工を進める計画であったことや、平成 18 年度の路線計画段階の広域踏査までは、当該地が大規模な地すべり地形の末端として記載されていた経緯があることから、施工中の安全確保を考慮し、変状箇所周辺においてボーリング調査を実施することとした。

(2) 地質リスク要因の分析

現地踏査およびボーリング調査の結果、当該地は緩やかな流れ盤をなす新第三紀の火砕岩や溶岩からなり、上位はハイアロクラスタイト及び砂岩・礫岩からなる岩屑堆積物、下位は軽石を含む低強度の砂岩・礫岩からなることが確認された（図 2）。

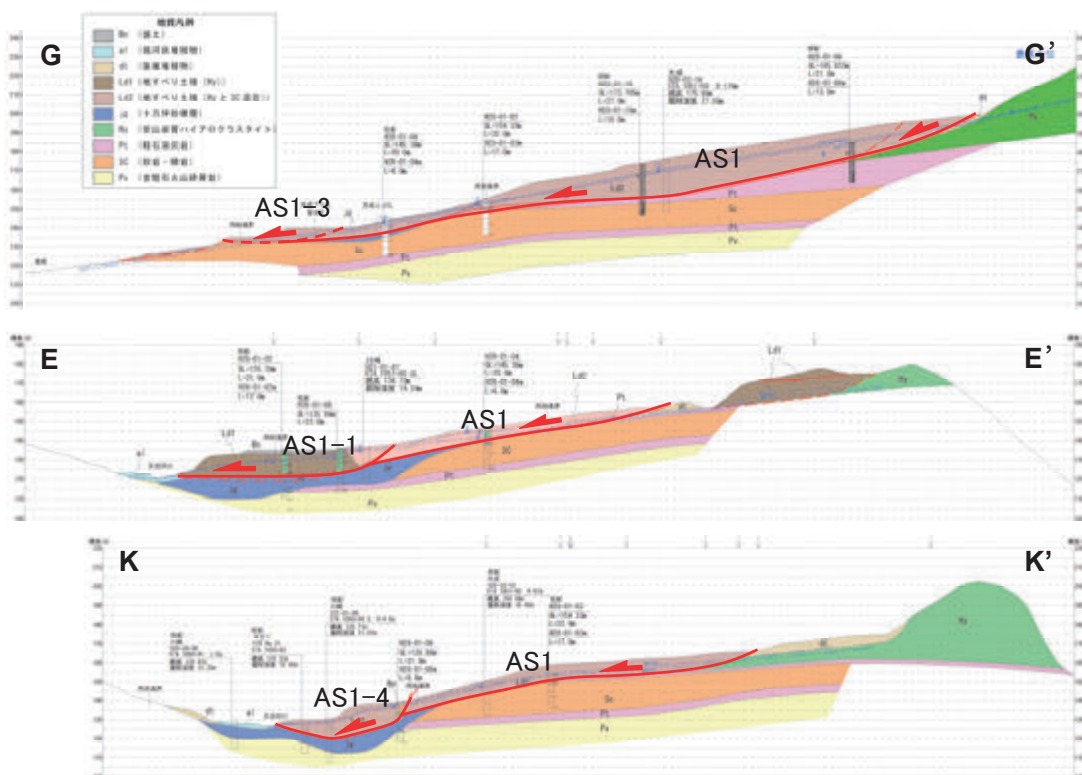


図 2 主要な地すべりブロックの主測線断面図（AS1、AS1-1、AS1-4）

また、下位の火砕岩の最上部は、層厚数 m から 10cm のせん断変形した白色の軽石凝灰岩からなることが確認された（図 3）。さらに、路線が位置する地すべり地形の末端部で実施したボーリング調査では、段丘砂礫（十万坪砂礫層）の上にハイアロクラスタイトの岩屑堆積物がのし上げ、この境界にもせん断変形した軽石凝灰岩の薄層が存在することが確認された（図 4）。そして、平成 29 年 3 月の融雪期には、孔内傾斜計観測によりせん断変形した軽石凝灰岩に相当する深度において、せん断変位が確認されたことから、路線計画段階で指摘されていた大規模な地すべり地形は、滑動中の地すべりであったと判断した。

また、上記の調査の結果から、地すべりの素因と誘因を以下のように推定した。

- ・素因：軽石凝灰岩からなる流れ盤の層面断層

- ・ 誘因：地下水位上昇

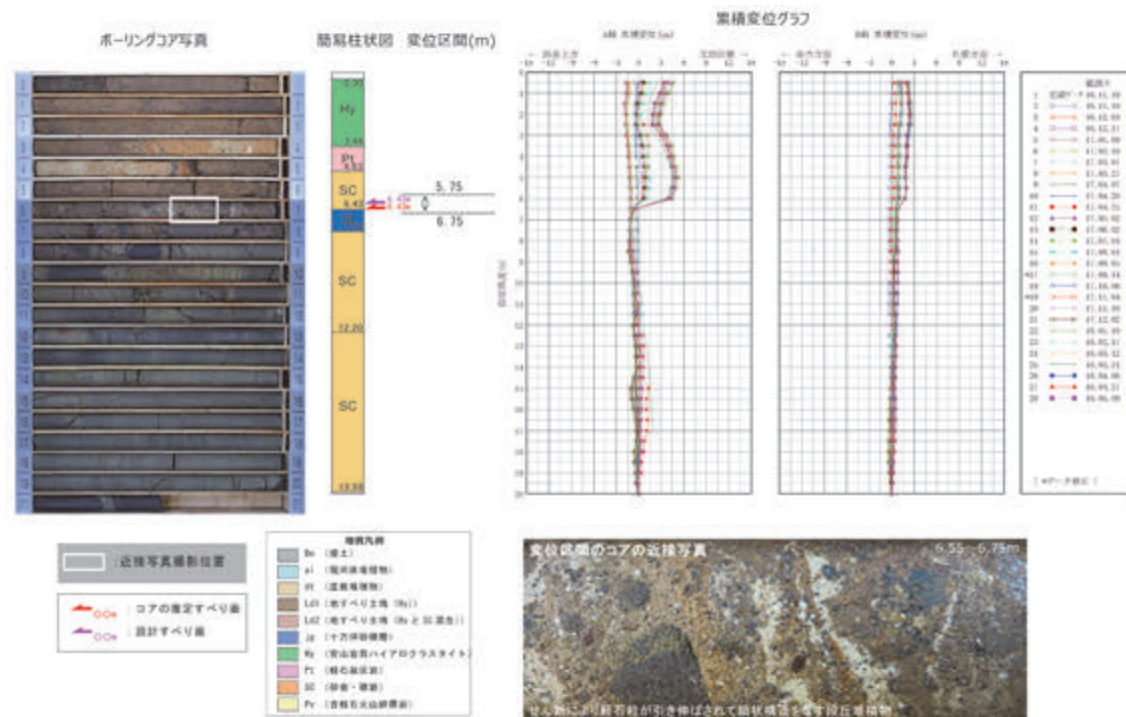


図3 孔内傾斜計観測結果とコア状況の対比 (AS1 ブロック : H28-01-04 孔)

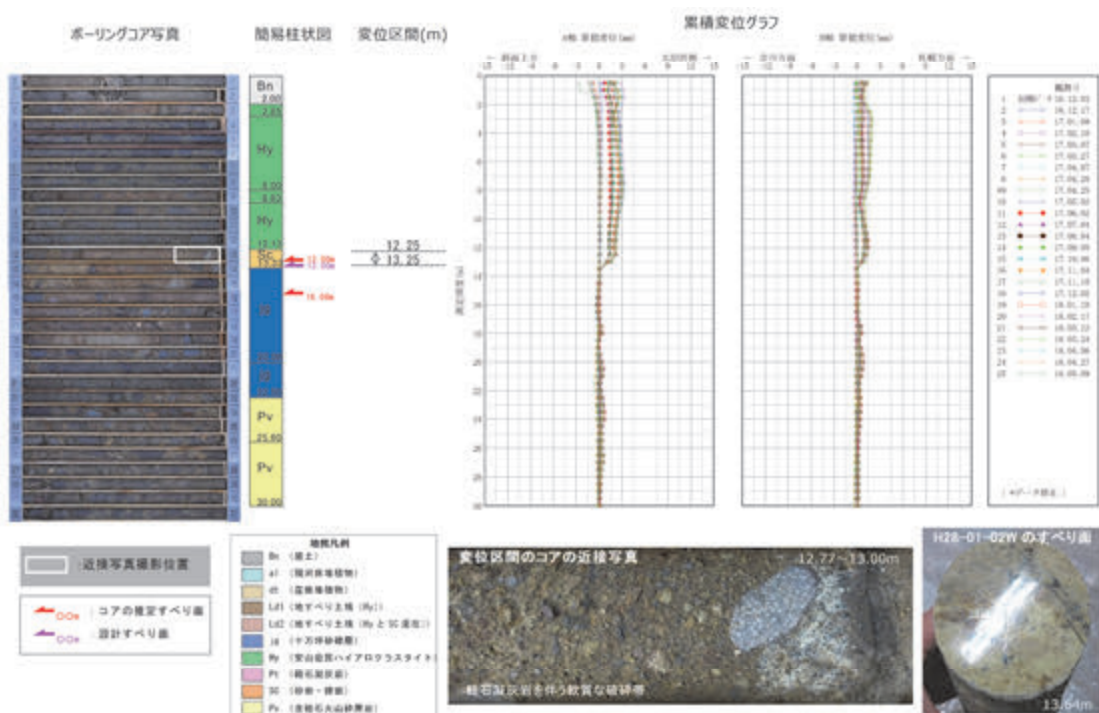


図4 孔内傾斜計観測結果とコア状況の対比 (AS1-1 ブロック : H28-01-02 孔)

(3) 発現する可能性がある地質リスク

地すべりの動態観測の結果、変位が発生した融雪期における総変位量は約1cmであり、無対策の状態では10年で10cm、50年では50cmもの変位量となることが予想された。この

ため、供用時には切土のり面では崩壊、橋台、ボックスカルバート、擁壁などの構造物では、クラックなどの変状が発生・進行し、供用に影響が出ることが想定された。また、道路施工により、地すべりの末端部をさらに切土施工することから、供用中だけでなく施工中においても、地すべりが不安定化して、のり面が崩壊するなどの被害が発生することが想定された。

(4) 地質リスクへの対応

①事業環境

事業は建設段階であり、地すべりへの対応期間は、平成 30 年度内の供用までの約 2 年であった。

②リスクへの対応方針

対策工費を予察的に検討すると、地すべりの安定化に必要な抑止力は、3,000kN 以上と算出され、地下水排除工による抑制工、深礎杭による抑止工を合わせると対策工費用が多額となることが見込まれたことから、地すべりの回避を含めた抜本的なリスク対応が求められた。しかし、この段階でのルートの変更は、隣接する起点側のトンネルと終点側の橋梁が既に施工が終わっているため、地すべりを回避するほど大幅な変更をする場合は、これらのトンネルや橋梁にも影響が発生し、事業実施工程に著しく影響を与える可能性が高いと考えた。このため、前後の隣接するトンネルと橋梁の位置や変更可能な線形をコントロールポイントとして、当該地の縦断線形を可能な限り高い位置に変更するなど、切土量の削減を図ることにより、必要抑止力を最小化し対策工費を抑えるとともに、道路施工の変更区間を短縮し工期への影響も可能な限り小さくする方針とした（図 5）。

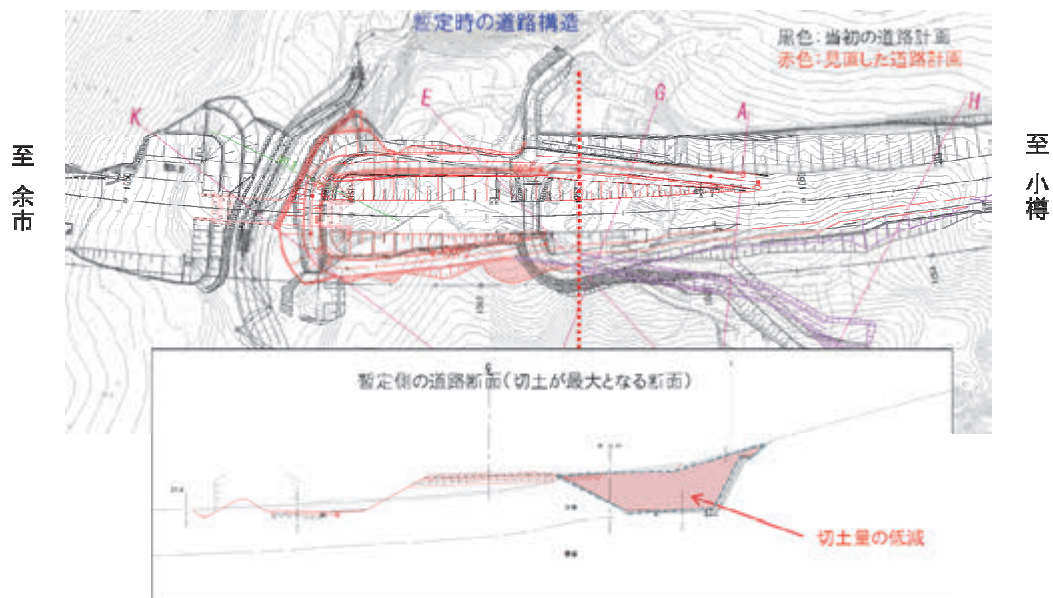


図 5 道路計画の見直しによる地すべり末端部の切土量の低減

③工費と工期の算定とリスクへの対応

縦断線形を可能な限り上げた結果、深礎杭工はより安価な抑止杭工とすることが可能となり、対策工費は大幅に抑えられることとなり、工期は供用に間に合う計画となった。ただし、工費は依然として高いことから、最も規模が大きく対策工費の嵩むブロック（AS1）

については、平成 30 年の融雪期まで動態観測を継続し、地下水排除工の効果を判定した上で抑止杭の必要性を検討した。その結果、AS1 を含む路線に影響する全ブロックの滑動停止が確認された。このことから、抑止杭は直ちに実施せず、AS1 は今後 5 年間にわたり動態観測による監視を続けることとした。その結果、調査・解析・設計・工事の合計費用を約 5 億円に低減できた。

3. データ収集分析

(1) 地質リスクの検討に関わる資料

地質リスクの検討は、周辺の地質文献、既往報告書、施工記録の収集・整理結果のほか、空中写真による地すべり地形判読結果、現地踏査結果、ボーリング調査結果、動態観測結果（挿入式孔内傾斜計、自記式水位計）を参考に実施した。

(2) 費用の算定

調査・設計費用は、実績を採用した。また、工事費については、既往報告書の対策工の算定額、リスクを回避しなかった場合の被災した道路の復旧工事等の費用は不確定であるため、想定される最低値とした。

4. マネジメントの効果

本事例における地質リスクへのマネジメント効果を表 1 に示す。マネジメント効果の算定は、①リスク対応の予察検討（道路計画を変更せずに地すべり対策工を行った場合）、②リスク対応の実際（道路計画を変更して地すべり対策を行った場合）、③リスクを回避しなかった場合（地すべり対策を実施することなく供用を開始した場合）の 3 つのケースの費用の差額から算定した。

表 1 マネジメント効果一覧表

項目	内容	金額	備考
①リスク対応の予察検討 （道路計画変更なし）	調査・解析・設計（地すべり対策）・ 施工（深礎杭工＋地下水排除工）	約 30 億円	
	合 計	約 30 億円	
②リスク対応の実際 （道路計画変更あり）	調査・解析・設計（地すべり対策＋道 路計画変更）・施工（抑止杭工＋地下 水排除工）	約 5 億円	
	合 計	約 5 億円	
③リスクを回避しなかつ た場合	被災した道路の復旧工事等	約 5 億円以上	
	調査・解析・設計（地すべり対策＋道 路設計）・施工（深礎杭工＋地下水排 除工）	約 40 億円	
	合 計	約 45 億円以上	
マネジメント効果	③（回避せず）－①（予察対応）	約 15 億円以上	
	③（回避せず）－②（実際対応）	約 40 億円以上	
	①（予察対応）－②（実際対応）	約 25 億円	

5. データ様式の提案

本事例は、道路施工段階で将来的な発現を予測した地質リスクへの対応であるため、当初工事費は考慮せず、発現した地質リスクに対する一般的な対策と回避したリスクに対する対策を比較してリスクマネジメントの効果として算出し、表2に整理した。

表2 D型マネジメントのデータ様式

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		第二天神トンネル工事
		工種		トンネル、切土、盛土、橋梁
		工事概要		高速道路建設工事
		当初工事費		－
		当初工期		平成 30 年度
発現したリスク	リスク発現事象	リスク発現時期		平成 26 年 4 月～10 月
		トラブルの内容		工事用道路の切土のり面の変状・小崩壊
		トラブルの原因		滑動中の地すべりへの遭遇
		工事への影響		地すべり対策工の追加施工、工期遅延
	リスク対応の予察検討	追加調査の内容		ボーリング調査
		修正設計の内容		－
		対策工事		深礎杭工、集水井工
		追加工事		－
		追加費用	追加調査	－
			修正設計	－
			対策工	－
			追加工事	－
		① 合計		約 3,000,000 千円
		延長工期		※完成時期の遅延
	間接的な影響項目		－	
	負担者		事業者	
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		数年以内
		予測されたトラブル		約 1 年間の通行止め
		回避した事象		路面変状、のり面崩壊、橋台クラック等
		工事への影響		対策工の追加施工
	リスク管理の実際	判断した時期		道路施工中
		判断した者		東日本高速道路(株)
		判断の内容		道路線形の変更、地すべり対策工の実施
		判断に必要な情報		地すべりの範囲と活動性、地下水状況
	リスク対応の実際	内容	追加調査	現地踏査、ボーリング調査、動態観測
			修正設計	道路線形
			対策工	抑止杭、集水井、横ボーリング
		費用	追加調査	－
			修正設計	－
			対策工	－
			② 合計	約 500,000 千円
	回避しなかった場合	費用	通行止めによる損失便益	－
			被災した道路復旧工事	約 500,000 千円以上
			調査・解析	－
			設計	－
			施工	約 4,000,000 千円（調査・解析・設計込）
			③ 合計	約 4,500,000 千円以上
		工期延長		想定 1 年（地すべりが滑動停止するまで）
	間接的な影響項目		周辺への観光、物流	
リスクマネジメントの効果		（費用①-②）～（費用③-②）		約 2,500,000～4,000,000 千円以上
		工期		－
		その他		供用後の被災を回避

1. 事例の概要

当事例は、斜面崩壊災害の調査から設計において発生した地質リスクである「斜面崩壊」に対する対応事例である。筆者は地質技術者として本事例に参画した。

2017年9月17日から18日にかけて、台風18号に伴う豪雨により、急傾斜地崩壊防止区域ののり面において斜面崩壊が発生し、当該箇所甚大な被害をもたらした。

本災害により、家屋の1棟が全壊、1棟が半壊している(図1)。



図1 被害状況

斜面崩壊が発生した区域について、当初の現場状況は崩壊堆積土砂、竹木及び倒壊家屋が散乱しており、詳細な現地状況(地形・地質等)の把握が困難な状況であった。

その後、現地の崩壊土砂や家屋等が撤去されて、崩壊斜面等の現地状況が露わになり、詳細な調査・設計が可能となった。

当初時と実施時において、地質調査及び対策工法検討に関して金額・工程面を縮減した地質リスクを最小限に回避した事例を示す。

2. 事例分析のシナリオ

図2に本事例のシナリオを示す。

今回のリスクマネジメントのポイントは、以下に示すとおり、斜面崩壊地の現場状況（当初時と実施時）により調査方法及び対策工法がコストの面で優劣が考えられる事である。

詳細な斜面崩壊対策を実施する為には、現地の地形・地質状況の詳細な確認が必要である。そのためには、当初時の現地状況下で調査・設計を実行しても、施工時には大きな変更が予想され、金額及び工程面において非常にリスクが高いことが想定される。

今後の災害復旧計画の工程とも鑑みて、発注者と協議して工程上の時間的スケールから、現地の崩壊堆積土砂、竹木及び倒壊家屋が撤去した後に現地調査及び設計することとなり、施工時の変更度合を軽減することとなった。

当該地の調査から設計に関して、当初時と実施時における調査方法及び対策工法設計を下記に示す。

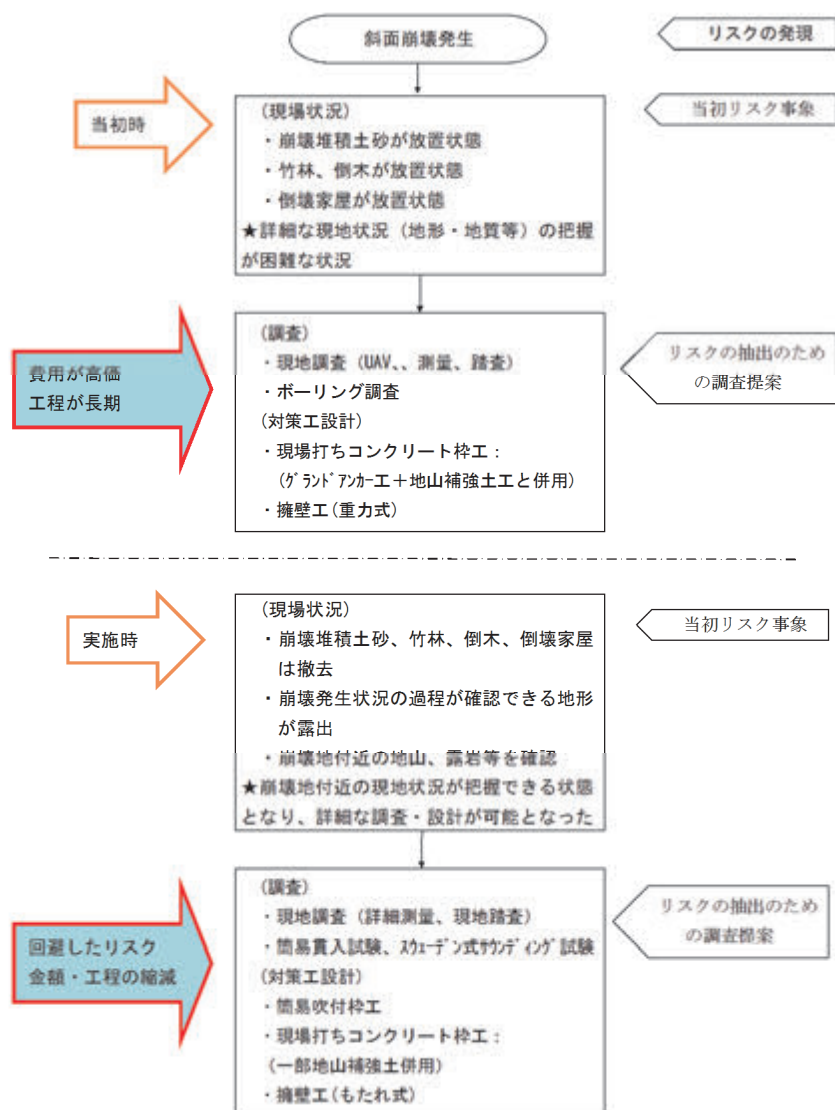


図2 本事例のシナリオ

3. データ収集分析

本事例のシナリオの判断根拠となるデータについて、調査・設計における収集状況を以下に示す。

(1) 現地踏査

① 当初時

斜面崩壊発生直後で崩壊堆積土・竹木・倒壊家屋が放置状態であり、現地状況（崩壊状況・地山・露岩等）の詳細な情報は得られなかった。

② 実施時（図3 表層地質図を参照）

現地踏査により、斜面崩壊堆積土の排土、竹木及び倒壊家屋が撤去された後であり、現地状況（斜面の亀裂・変状の斜面崩壊情報、露岩及び地山土質状況等）の斜面情報が得られた。

(2) 地形測量

① 当初時

上記の現地状況のとおり、斜面崩壊対策工の設計において最小限に必要な地形情報（崩土、地山、露岩等）が得られる現地状況でなく、簡易地形測量と UAV（空撮）を使用した調査を実施して、概略図面を作成して現時点での調査及び対策工設計の資料とした。

② 実施時（図3を参照）

上記の現地状況のとおり、詳細測量（地形・崩壊横断面測量）により排土や家屋撤去により現地が整理され、斜面の亀裂・変状の斜面崩壊情報、露岩及び地山状況が明らかになった。

(3) 地質調査

① 当初時

上記の現地状況のとおり、詳細な斜面の現地情報が得られない状況下であり、現時点での対策工（現場打ちコンクリート法枠、擁壁工）を想定したボーリング調査（3箇所：斜面崩壊地の頭部、のり肩部、のり裾部）を計画した。

② 実施時（図3を参照）

スウェーデン式サウンディング試験（SW 試験）、簡易動的コーン貫入試験（PPT 試験）を実施した。

調査結果から、崩壊斜面断面の地層状況、各地層の換算 N 値等を整理して、のり面对策工の資料とした。

（調査リスク）

ボーリング調査結果では調査本数に限りがあり、崩壊斜面の対策工法設計においてに對して主観的で且つ大規模な計画を想定した方向となりがちである。

崩壊土砂等の撤去により現況の斜面情報、現場の足回り等が良好となり、原位置試験の実施は、当該地区の斜面地盤情報が数多く得られ、今後の斜面对策工設計として総合的且つ有益な調査となった。

- ・ PPT 試験 : 7 地点（大規模斜面崩壊部 : 5 地点、小規模崩壊部 : 2 地点）
- ・ SW 試験 : 3 地点（斜面崩壊裾部 : 3 地点）

（調査結果の資料整理）

調査結果から換算 N 値を算出して、地層推定線（N 値上限線 : $N < 4$ 、 $4 \leq N < 10$ 、 $10 \leq N < 30$ 、

30≦N) を作成した。

(4) 対策工設計

① 当初時

上記の現地状況のとおり、詳細な斜面の現地情報が得られない状況下であり、斜面崩壊区域で崩積土が厚く、斜面崩壊裾部では厚い崩積土により地山や露岩は未確認であった。

よって、現時点での対策工は現場打ちコンクリート法枠（グラントアンカー工＋地山補強土工と併用）を計画し、主観的で且つ大規模な計画を想定した対策工法の設定を想定した。

② 実施時

上記の現地状況のとおり、現地踏査、詳細測量及び地質調査結果から、主として簡易吹付法枠工（一部地山補強土併用）と現場打ちコンクリート法枠工を採用して、当初時の計画から工程面、施工面及びコスト面を縮減した。

（対策工法選定）

工法選定において、区間 A、B、C-1 は標準切土勾配（道路土工-切土工・斜面安定工指針）による切り直しが可能であるが、区間 C-2 に限っては斜面上端部に家屋があり、建物の位置が切土のり面ののり肩付近となることから、切土により不安定化を促す結果となりかねない。以上のことから、C-2 区間においては、別途工法（切土補強土工との併用）となった。

- ・区間 A ： 現場打ちコンクリート法枠工（のり面勾配 1 : 1.0）
- ・区間 B ： 簡易吹付法枠工（のり面勾配 1 : 1.5）
- ・区間 C ： 現場打ちコンクリート法（一部地山補強土工併用法枠工（1 : 0.5））
(C-1、C-2)

以下に、対象範囲及び検討区間（図 4）を示す。

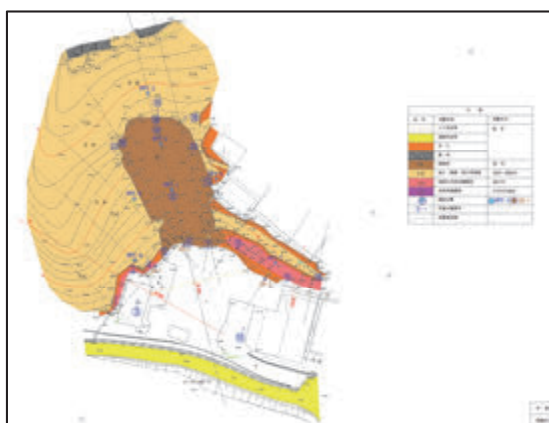


図 3 表層地質図

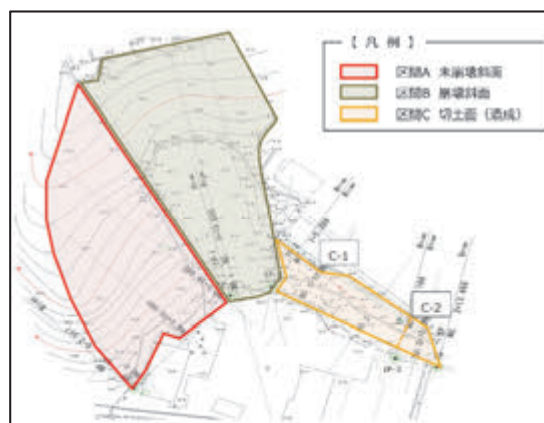


図 4 対象範囲及び検討区間

4. マネジメント効果

本事例のリスクマネジメント効果を表 1 のように試算した。今回のマネジメントによりコスト面で 9 百万円程度 of マネジメント効果が表れ、施工時の変更設計の軽減にも有益である。

(1) 回避したリスク

① 現地踏査

- ・当初時（崩壊状況・地山・露岩等）の詳細な情報は得られない

→ 実施時（斜面の亀裂・変状の斜面崩壊情報、露岩及び地山土質状況等）の斜面情報が得られた

崩壊土砂等の撤去により、現場の足回りが良好となり作業効率が UP し、詳細な現地状況が明らかになったため、工程面、コスト面は UP したが、対策工法を検討する上では技術資料面として有益である。

② 地形測量

- ・当初時（簡易地形測量、UAV により、詳細な地形情報は得られない）

→ 実施時（詳細測量により、斜面変状、露岩等の斜面崩壊情報が得られた）

工程面、コスト面は UP したが、対策工法を検討する上では技術資料面として有益である。

③ 地質調査

- ・当初時（ボーリング調査により、確実な地盤情報（土層、N 値等）が得られるが、コスト面で調査本数に上限がある）

→ 実施時（PPT 試験及び SW 試験により、必要な調査本数が確保され、詳細な斜面地盤情報（土層、簡易 N 値等）が得られた。）

対策崩壊土砂等の撤去により、現場の足回りが良好となり、作業効率が UP して工程面、技術資料面及びコスト面を縮減した。

④ 対策工法設計

対策崩壊土砂等の撤去により、詳細な斜面情報が得られて、作業効率が UP して工程面、技術資料面及び施工後の変更設計の軽減に有益である。

コスト面では、当初時と実施時の増減は同額となる。

⑤ 対策工法

- ・当初時（現場打ちコンクリート法枠（アンカー工、地山補強土工等の併用）、擁壁工）

→ 実施時（簡易吹付法枠工（一部地山補強土工併用）、擁壁工）

詳細な斜面情報が得られて、作業効率が UP して工程面、技術資料面及び施工後の変更設計の軽減に有益である。

コスト面でも、当初時に計画した対策工法に比べて、実施時には工事費用が大幅に縮減した。

表 1 マネジメント効果の算出一覧表

項 目	⑦当初時	⑦コスト (千円)	⑧実施時	⑧コスト (千円)
①土 工	擁土工	—	擁土工	1,200
②現地踏査	現地確認	100	現地踏査	300
③地形測量	簡易地形測量 UAV (空撮)	300	詳細測量	1,000
④地質調査	ボーリング調査	2,500	PPT 試験 S _H 試験	250
⑤工法設計	斜面対策工設計	3,600	斜面対策工設計	3,600
⑥対策工法	現場打ちコンクリート砕工 (アウター、地山補強土 工併用) 擁壁工(重力式)	25,600	簡易吹付法砕工 (一部地山補強土 工併用) 擁壁工(もたれ)	17,000
合 計: ① +②+③+④+⑤+⑥		⑩32,100		⑪23,350
		マネジメント効果		8,750

5. データ様式の提案 (C 案)

本事例は「C 型：発現した地質リスクを最小限に回避した事例」と想定し、様式 C に若干の変更を加えて、以下のようにデータ様式をとりまとめた。

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	三豊市役所
	工事名	急傾斜地崩壊防止事業測量調査設計業務委託
	工種	測量・地質調査・設計
	工事概要	斜面崩壊対策工調査設計
	当初工事費	32,100千円
	当初工期	4ヶ月(12月～3月)
	リスク発現事象	リスク発現時期 台風18号(豪雨時)
		トラブルの内容 斜面崩壊災害
		トラブルの原因 豪雨による斜面の崩壊
		工事への影響
発 現 し た リ ス ク	追加工事の内容	調査の内容
		設計内容
	対策工事	現場打ちコンクリート砕工、擁壁工
		費用
	調査	調査 2,900千円
		設計 3,600千円
	対策工	設計 25,600千円
		①合計 32,100千円
	工期	4ヶ月(12月～3月)
	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期 調査開始時
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 調査開始時
		予測されたトラブル
	回避した事象	崩壊堆積土砂、倒木、倒壊家屋等の放置状態により、詳細な現地状況が把握できない
		土砂等の搬出により、詳細な現地状況が確認できた
	リスク管理の実態	判断した時期
		判断した者
	判断の内容	判断した者
		判断に必要な情報
	リスク対応の実態	内容
		調査
回 避 し た リ ス ク	設計	現場踏査、詳細測量
		簡易動的貫入コン貫入試験 スウェーデン式サウンディング試験
	対策工	斜面崩壊対策工
		簡易吹付法砕工(一部地山補強土工)
	費用	土工 1,200千円
		調査 1,550千円
	設計	設計 3,600千円
		対策工 17,000千円
	②合計	23,350千円
		②合計
回 避 し な か つ た 場 合	工事変更の内容と影響	対策工法及び工期の変更
		間接的な影響項目
	費用①-②	地権者、市、施工業者
		8,750千円
リ ス ク マ ネ ジ メ ン ト の 効 果	工期	4ヶ月(12月～3月)
	その他	対策工の変更を最小限に回避

1. 事例の概要

(1) 事例の概要

本報告は、軟弱地盤上で計画される新規河道計画でのリスク回避事例である。対象地における軟弱粘性土は、河道掘削に伴う応力解放により強度低下を起し、掘削のり面が崩壊する恐れがあった。本事例では、室内試験で粘性土の強度低下を評価し、対策工を検討・適用することで、掘削のり面の崩壊を未然に防止した。

(2) 河川改修計画

対象河川は、川幅が狭く蛇行しており、かつ市街地を通過するため、度重なる氾濫による被害が生じている。そこで河川改修事業に着手し、市街地を回避するルートで新規の河道掘削が実施されている

(図-1)。河道掘削は総延長 2.3km に及び、計画横断は掘削深さ 4～5m、河川堤防高 1～2m、幅約 40m となっている。

(3) 地盤構成

計画地は軟弱な粘性土を主体とする地盤構成となっており、軟弱層厚は約 20m 程度である。特に河道掘削の対象深度付近は、N 値 0～1 程度の極軟質な粘性土が主体となっている (図-2)。

(4) 経緯とリスクの特定

本事例の発端は掘削のり面の崩壊であった。無対策にて河道掘削後、河川堤防の構築時に延長約 100m 区間で掘削のり面崩壊が発生した。事後調査により、掘削面以深の強度が設計強度よりも小さいことが判明した (図-3)。この時の崩壊は事後調査結果による追加対策工の設計・施工により復旧したが、同様の掘削のり面の崩壊が今後継続する河道掘削でも発生する可能性がある(リスク)、以降の安定性検討での評価・検討が求められた。

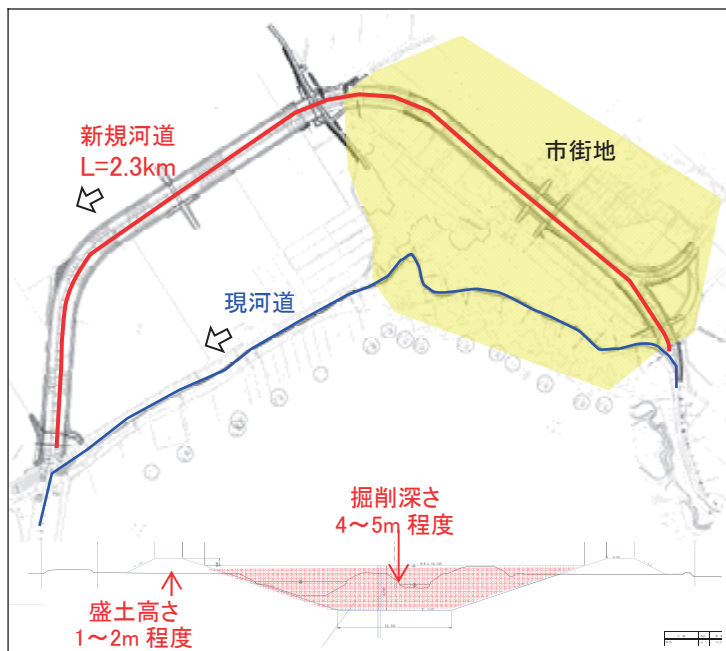


図-1 河川改修計画図

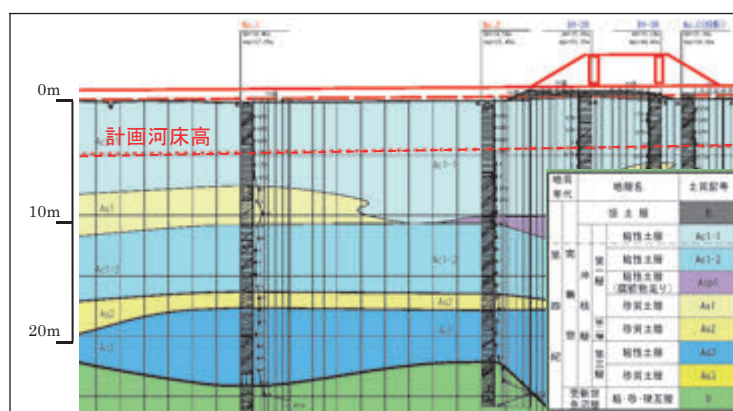


図-2 地盤構成

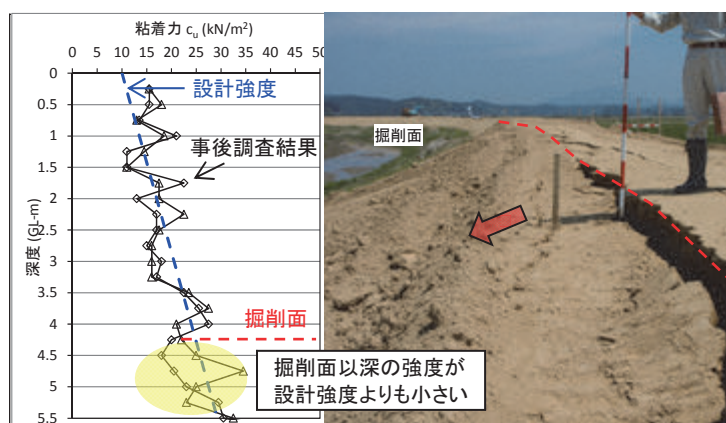


図-3 変状と事後強度分布

2. 事例分析のシナリオ

本事例の課題は、以降の対策工設計に活かす評価手法を確立することである。そのために（１）崩壊要因の特定、（２）崩壊要因の定量的評価・数値化、（３）対策工設計への適用までの分析評価フローを作成した（図-4）。

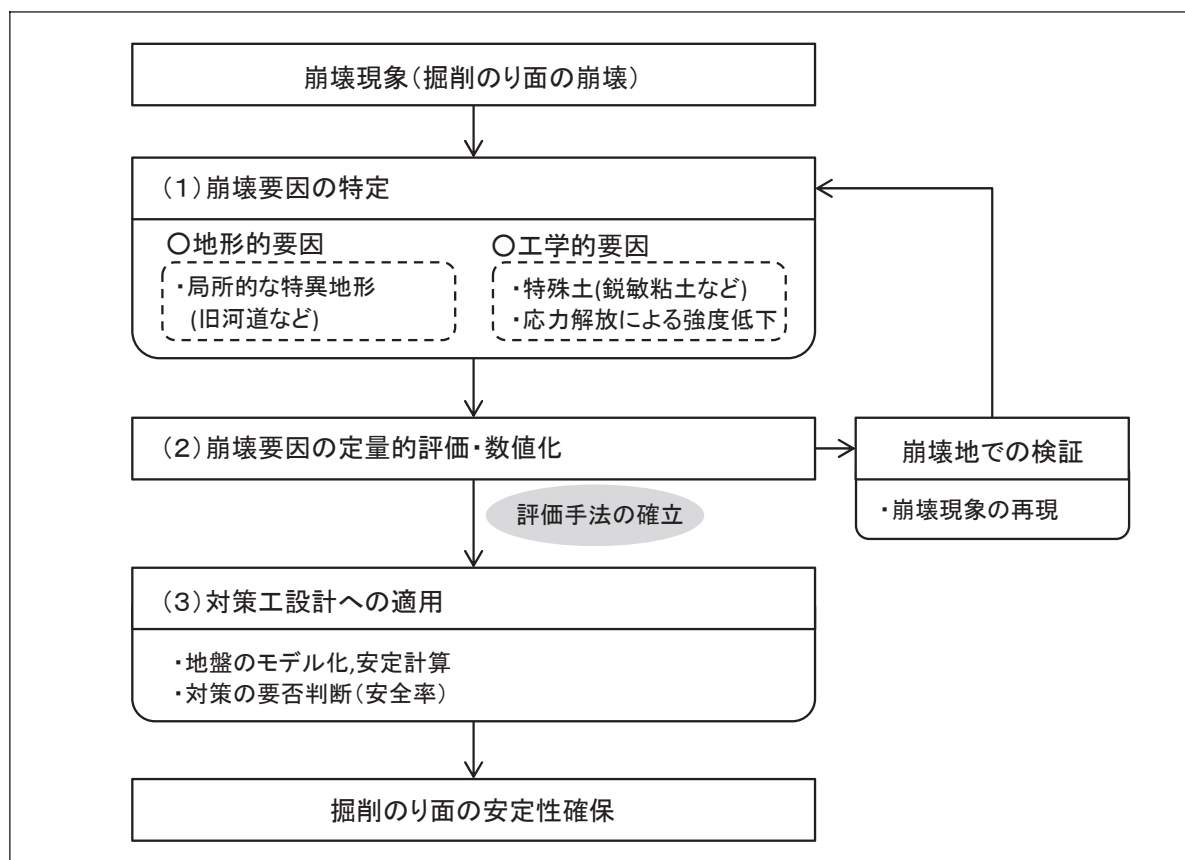


図-4 掘削のり面の安定性確保への分析評価フロー

3. データ収集分析

以上の分析評価フローに従い、データ収集分析を行った。

(1) 崩壊要因の特定

崩壊要因としては、①地形的要因、②工学的要因の2要因が考えられた。①地形的要因について、対象地は軟弱地盤を形成するいわゆる沖積低地の分布域であり、過去の地形資料等から特徴的な要因を見いだすことは出来なかった（図-5）。次に②工学的要因の可能性を特殊土、応力解放の面で検討した。過去の土質試験結果を評価した結果、当地に分布する粘性土は鋭敏粘土のような特殊土の性状はなく、いわゆる一般的な沖積粘土の性状を示した。従って地盤掘削による応力解放による強度低下の可能性が最も有力となった。

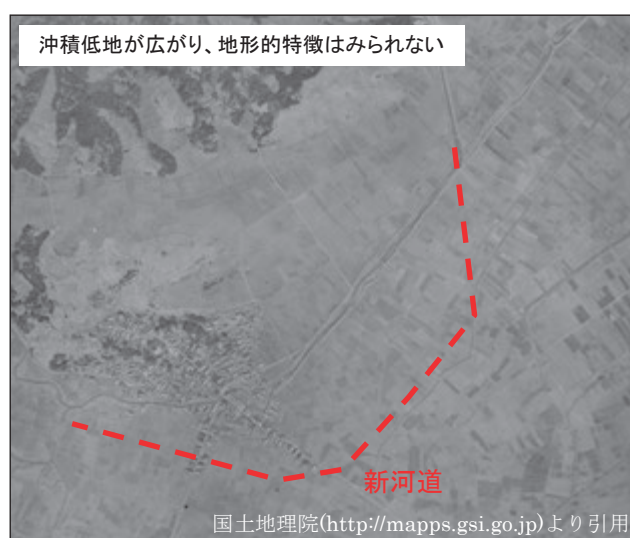


図-5 過去の空中写真(S25 撮影)

(2) 崩壊要因の定量的評価・数値化

軟弱地盤を掘削する場合、応力解放の影響で地盤は膨張し、せん断強度が低下する。この現象を室内試験で再現した。室内試験は三軸圧縮試験(CRU 条件；圧密吸水膨張非排水条件)を採用した。

三軸圧縮試験(CRU 条件)の試験結果は、過圧密比と強度減少比の関係で表される(図-6)。過圧密比は地盤掘削前後の地盤の応力状態を示し、掘削深さが深いほど大きな値となる。従って掘削量に応じた過圧密比をとり、対応する強度減少比を基準となるせん断強度(掘削前の初期強度)に乗じることで、掘削により低下したせん断強度を推定できる。

得られた強度減少比を用いて、先の崩壊現象の再現を試み、安定計算を実施した(図-7)。なお再現計算に使用した基準せん断強度は当初設計時のせん断強度とした。結果、当初設計時 1.26 だった安全率は、応力解放による強度低下を考慮することで 1.05 まで低下した。基準としたせん断強度が崩壊区間内での調査データではないため安全率 1.00 は下回らなかったものの、対策工が必要と評価され、崩壊要因を定量的に評価することができたと考えられる。

(3) 対策工設計への適用

以上、以降の河道掘削範囲においては、応力解放による強度低下を考慮した安定計算を適用して掘削のり面の安定性を評価し、対策工の必要性を判断した。なお対策工は、施工が容易で経済的に有利な「木杭工法」を採用した(図-8)。この工法の適用により、発端となった崩壊以降、安定した河道掘削を実施している。

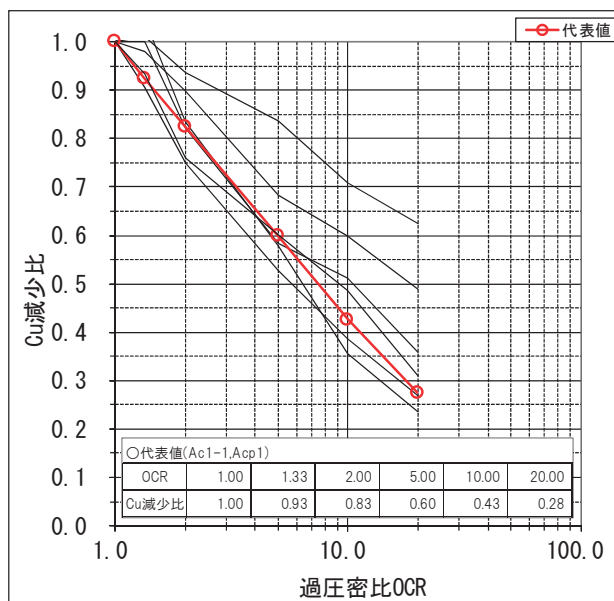


図-6 三軸圧縮試験(CRU 条件)による強度減少比

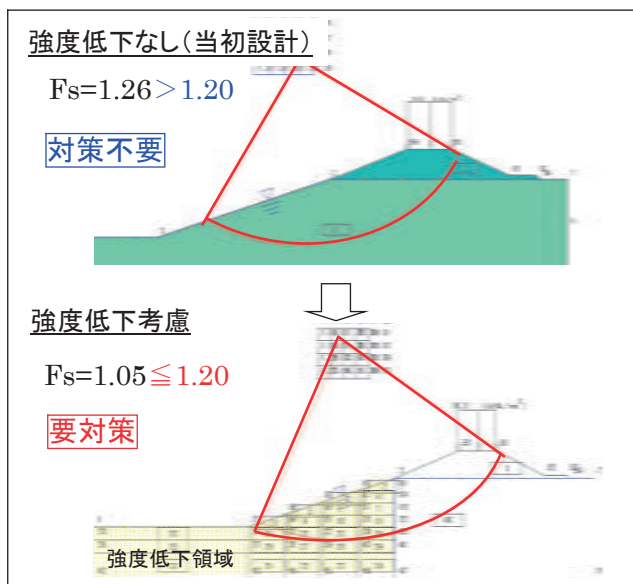


図-7 強度低下を考慮した安定性評価

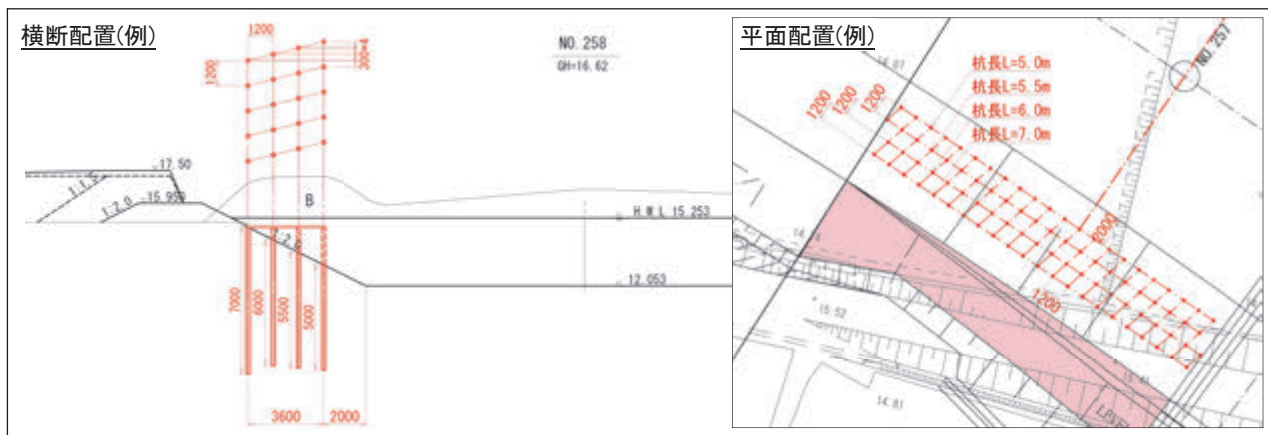


図-8 安定対策工

4. マネジメント効果

本事例による費用、工期の比較表は表-1 のとおりである。比較は延長 100m で行い、通常の調査解析及び盛土、掘削などの同一工種は除き、リスクが発現した（のり面が崩壊した）と仮定した場合の復旧費用と比較した。今回の評価手法の適用により、リスクが発現した場合と比較して掘削延長 100m あたり 110 日の工期削減（21%）、6,200 千円（44%）の費用削減効果が期待できる。

表-1 マネジメント効果の比較表（同一工種は除く）

分類	リスク回避 (①)			リスクが発現した場合 (②)		
	項目	費用 (千円)	工期 (日)	項目	費用 (千円)	工期 (日)
調査、解析費	三軸圧縮試験 (CRU 条件)	300	10	調査ボーリング、土質試験、 追加・修正解析	3,000	90
施工費	軟弱地盤対策工 (木杭工法)	4,500	20	崩壊土砂撤去、再盛土 軟弱地盤対策工（木杭工法）	8,000	50
計		4,800	30		11,000	140

マネジメントの効果 (①－②) 費用：6,200 千円（44%削減）
 工期：110 日（21%削減）

5. データ様式の提案

本事例は A 型様式にて整理する。

表-2 データ様式（A 型）

対象工事	発注者		—
	工事名		—
	工種		河道掘削、軟弱地盤対策工
	工事概要		河道掘削工事
	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		・別工区の河道掘削時 ・地質調査、軟弱地盤解析時
	予測されたトラブル		河道掘削に伴う掘削のり面の崩壊
	回避した事象		掘削のり面崩壊
	工事への影響		(リスク発現時) 追加調査、検討、復旧工事 〔推定〕費用：11,000 千円、工期：120 日
リスク管理の実際	判断（した）時期		地質調査、軟弱地盤解析時
	判断した者		地質調査業者、発注者
	判断の内容		河道掘削による応力解放で地盤強度が低下する
	判断に必要な情報		応力解放に伴う強度減少比
リスク対応の実際	内容	追加調査	三軸圧縮試験 (CRU 条件)
		修正設計	—
		対策工	木杭工法
	費用	追加調査	300 千円 (三軸 CRU 試験)
		修正設計	—
		対策工	4,500 千円 (木杭工法, 100m あたり)
変更後工事の内容	②合計		4,800 千円
	工事変更の内容		軟弱地盤対策工 (木杭工法)
	③変更後工事費		4,500 千円 (100m あたり, 土工を除く)
	変更後工期		20 日 (杭の打設のみ, 土工を除く)
	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)		〔推定〕3,700 千円 (発現時復旧費用－②)
	工期		〔推定〕120 日 (発現時復旧日数)
	その他		発現時の復旧費用、日数を基準とした

〔論文 No.16〕 地表地質踏査を主体とした切土のり面のリスク検討事例

応用地質株式会社 ○井原 拓二
渡邊 絵美
株式会社 本間組 曾我 拳宣
芳賀 渉

1. 事例の概要

本論は、施工準備中の新規切土計画において、隣接するのり面で発現した地質リスク事象をもとに、切土のり面の地質リスクを検討した事例である。

隣接のり面には、第三紀の泥岩が分布するが、活撓曲の影響とスレーキングの影響によって地すべり変状が発生し、のり面勾配1:3.5での排土工による地すべり対策を実施した。

当該区間ではのり面勾配1:1.0～1:1.2の切土が計画されており、当初は隣接区間と同様に泥岩の分布が想定され、変状発生を懸念していた。

地表地質踏査と既存資料の見直しを行った結果、当該区間には、凝灰岩および凝灰質砂岩優勢層が主体に分布し、隣接区間と異なる地質状況であることが明らかとなったことから、隣接のり面で発生したような地すべり変状のリスクは、小さいと判断した。また、当該地の安定勾配としては、凝灰質砂岩優勢層にもスレーキングが認められたことから、スレーキングの影響を考慮し、計画よりも緩い1:1.4～1:1.6と判断した。計画切土は、用地の成約上、1:1.2切土勾配での施工となる。そのため、施工時の地質リスクの低減案として、①施工時ののり面観察を行うこと、②地下水排除工を湧水箇所には実施することを提案した。

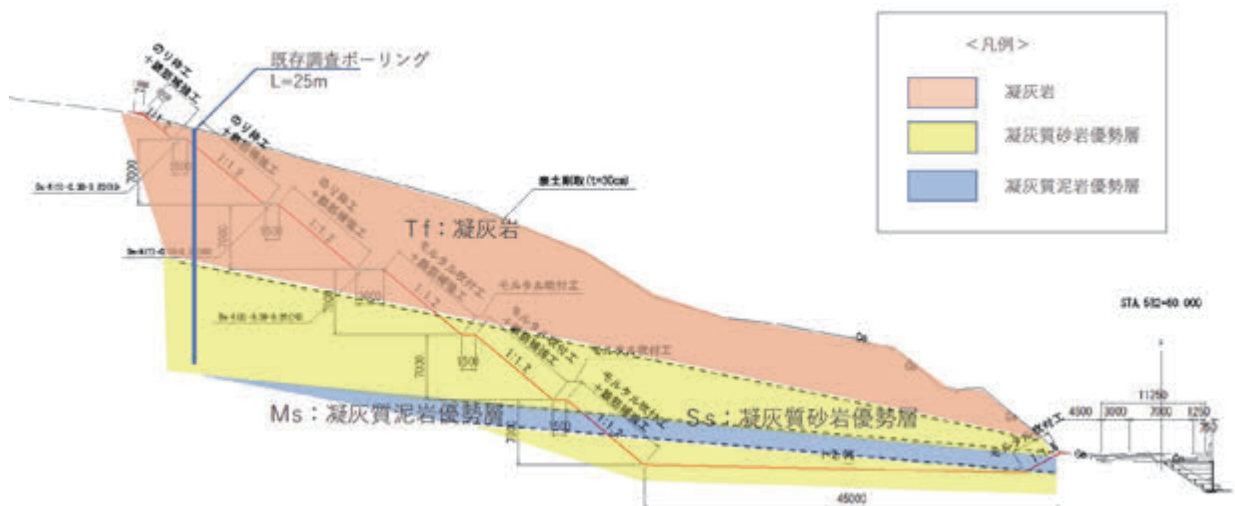


図1 切土計画と地質断面図

2. 事例分析のシナリオ

(1) 隣接区間での地質リスク発現事象の概要

隣接区間では、当初トンネル構造が計画されていたが、建設時に天端崩落が発生したため、切土構造（切土勾配 1 : 1.5）への構造変更がなされ、1 期線が供用された。しかし、供用後ものり面変状が発生したことから、変状原因調査が実施され、最終的にはのり面勾配 1 : 3.5 の排土、集水井、排水ボーリング工による対策がなされた。

隣接区間には、スランプ層や活撓曲の影響を受けた地層が分布し、変状は、これらの地層が地山掘削に伴うリバウンドの影響により、地すべりを誘発したことで発生したと考えられる。また、当該地に分布する砂岩泥岩互層のうち、ぜい弱な泥岩のスレーキングが進行したことも変状に影響したと考えられる。



写真1 スランプ層(施工記録より)



写真2. スレーキングした泥岩

(2) 当該切土計画での想定されるリスク

当該のり面は、変状が発生した隣接区間から 200m 程度しか離れておらず、同様の地形・地質条件にあることが想定された。そのため、計画切土勾配（1 : 1.0～1 : 1.2）の安定性を検討する必要があった。特に、当該切土計画においては、隣接区間と同様に最大 1 : 3.5 程度の緩い勾配を想定した切土計画に見直す必要性の有無を判断することが重要であった。

一般的な対応としては、変状箇所が近接するのり面であるため、地質情報が不明な場合には、新規に調査ボーリングを行い確認していく必要がある。しかし、当該のり面は施工準備中であったため、伐採も進み、露頭も確認できたことから、地表地質踏査による地質データを取得する方針とした。

調査によって、隣接区間と同様の地質分布が確認された場合には、切土による浅層部の地すべり発生も考慮して詳細調査を実施していく必要がある。一方、地質分布が隣接区間と異なることが確認できた場合には、地質岩盤状況に応じた切土勾配と必要に応じて対策案を検討していく必要がある。

以上より、本事例においては、①文献調査、②既往の調査資料、施工資料の確認、③地表地質踏査によって現地の地質状況を確認し、切土計画後の切土のり面に分布する地質を想定した上で、施工上における地質リスクを検討し、必要に応じて詳細調査を実施していくことを提案した。

3. データ収集分析

(1) 文献調査

防災科学技術研究所「1:50,000 地すべり地形分布図」、空中写真判読により、当該のり面周辺では地すべり地形が確認されたものの、当該切土計画箇所では、地すべり地形は確認されなかった。

(2) 既存資料収集

既存資料を確認したところ、平成4年に実施された1期線調査のボーリングデータを確認することができた。

ボーリング調査の記録によると、以下の地質情報を確認することができた。

- ・切土区間には、主に、凝灰岩（強風化シルト岩）と砂岩優勢互層が分布する。
- ・地質構造は、低角度で、大きく乱れた様相は確認できない。
- ・泥岩優勢層の掘進前後で、掘進水位の変化が確認されており、被圧水が推測される。また、泥岩優勢層の境界付近では、地下水の分布が推定される。

(3) 地表地質踏査

当該地には、第三紀の凝灰岩と砂泥互層が分布する。地表地質踏査では、表1に示す地質分布を確認し、施工時の分布は、図2で示すような分布を推定した。当該のり面では、隣接のり面で確認された泥岩優勢層の分布範囲は一部であり、主として、凝灰岩や凝灰質砂岩優勢層が広く分布すると推定した。凝灰岩と砂岩泥岩互層は、いずれも風化やスレーキングによって軟質化しており、スレーキングの程度は、凝灰質泥岩優勢層が最も顕著で、凝灰岩や凝灰質砂岩優勢層では小さい傾向を示した。また、凝灰質砂岩優勢層と凝灰質泥岩優勢層の地質境界付近では湧水を確認した。

地表地質踏査結果は、既往のボーリング調査データの地質分布とも整合しており、全体的な地質構造は、切土計画に対して低角度の流れ盤構造を示している。

(4) 切土計画の検討

① 安定勾配の検討

計画切土面には、主に凝灰岩と凝灰質砂岩優勢層が分布し、地質リスクが発現した隣接のり面と同様の地質状況ではないことから、安定勾配を確保すれば、切土の安定性は確保できると判断した。

しかし、当該地の地質はスレーキング性を有するため、スレーキングを考慮した安定勾配を検討する必要がある。切土面に出現すると推定される地質区分のうち、スレーキングが生じる可能性があるのは、凝灰岩、凝灰質砂岩優勢層および凝灰質泥岩優勢層である。

凝灰岩は、地表部および既往ボーリング結果において、強風化したシルトとして確認されており、当該地周辺で確認されるような「掘削により露出後、直ぐにスレーキングする」という性状とは異なる。当該地の凝灰岩は強風化により既に土砂化した性状であり、安定勾配を考えるとときには、土砂地山として考えるのが妥当と判断した。また、凝灰質砂岩優勢層、凝灰質泥岩優勢層は、スレーキングにより掘削後軟質化しやすいことから、スレーキングを考慮した安定勾配を提案した。

以上より、当該のり面の安定勾配は、表2に示す値を提案した。ただし、用地上の制約により、計画切土勾配は1:1.2とし、補強を実施することとなった。

表1 のり面に分布する地質構成表

種 別	地質区分名	地質記号	代表的な露頭写真		分布および特徴
第三紀	凝灰岩	Tf			切土①では全体的に広く分布しており、切土②の下部にもみられる。 風化が顕著で、半口ボロと露れる。 場所によってスレーキングが認められる。 岩相は粘性土～砂質土主体であり、まれに細礫を含むものや構造が不明瞭な塊状のものも見られる。
	砂泥互層 (凝灰質砂岩優勢層)	Ss			STA切土①の低標高部で見られる。 凝灰質砂岩と砂質シルトの細かな互層が認められるものもあるが、塊状のものもある。 部分的に泥岩をブロック状、層状に挟む。 凝灰岩よりも層理面が発達し、スレーキングの程度は小さい。 泥岩との境界部付近では、湧水が確認される。
	砂泥互層 (凝灰質泥岩優勢層)	Ms			切土①東側の切土部および切土②南側の法面に分布する。 やや凝灰質で黒色を呈し、泥岩主体の層からなる。 スレーキングが顕著であり、破砕された様相を呈する箇所もある。 部分的に凝灰質砂岩層をブロック状、層状に挟む。 堆積構造は、一定ではない。

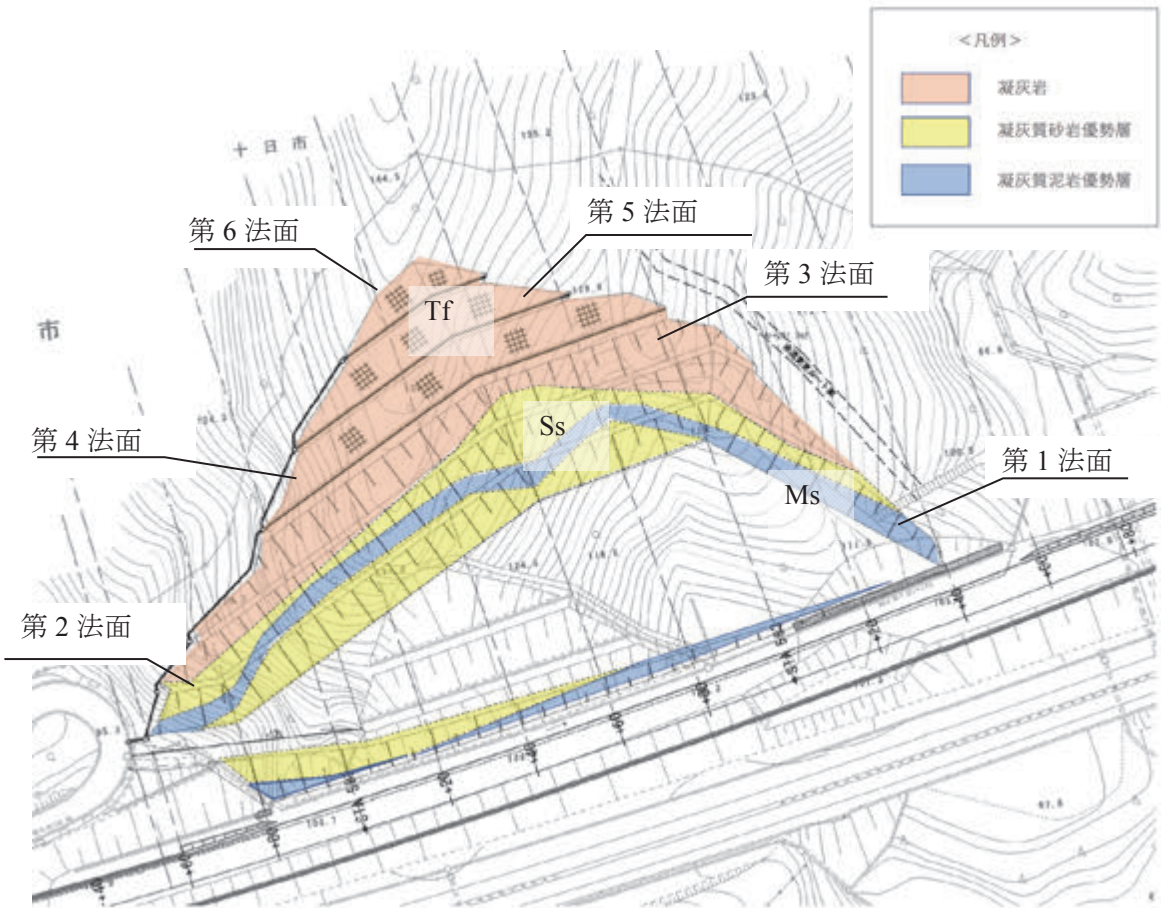


図2 切土①掘削時推定地質平面図

表 2 安定勾配の提案

地質区分	安定勾配（提案）
凝灰岩	1 : 1.4
凝灰質砂岩優勢層	1 : 1.4
凝灰質泥岩優勢層	1 : 1.6

②施工時の地質リスク

地表地質踏査を主体とした調査により、隣接区間と同様の地質リスクは発現する可能性が低いと評価したが、施工時には以下の地質リスクへの対応は必要である。

- ・のり面観察：大局的には図 2 に示す地質分布が想定されるが、複雑な地質分布が想定されるため、施工時には、のり面観察を行い、必要に応じて追加対策も検討する。
- ・地下水対策：スレーキングの影響を受けやすい地質であるため、地下水排除工を湧水箇所には実施する必要がある。

4. マネジメント効果

本事例においては、切土計画段階において、調査ボーリングを実施する前に、既存資料の確認と地表地質踏査により切土の地質リスクを評価した。

切土のり面の評価としては、調査ボーリングを実施したとしても、同様の評価を得ることができるため、マネジメント効果としては、調査・設計費用と検討期間に重点を置いて評価する。

①マネジメントを実施しない場合（調査・設計費：約 7,000 千円、検討期間：約 6 ヶ月）

隣接区間の状況を勘案すると、2 本以上の調査ボーリングが必要と考えられる。また、既存資料や地表地質踏査等によりスレーキング等の地質特性を把握しない場合、施工時には、想定外の追加対策が必要となる可能性がある。

②マネジメントを行った場合（調査・設計費：約 3,000 千円、検討期間：約 2 ヶ月）

本事例においては、既存資料と地表地質踏査により、掘削面での地質分布を確認した結果を切土計画に反映させた。

③マネジメント効果（約 4,000 千円、検討期間：4 ヶ月）

マネジメントの有無による効果は、調査費用だけでも 4,000 千円の効果が見込まれる。また、検討期間は、約 4 ヶ月程度の短縮効果が得られた。

5. データ様式の提案

本事例は、地質技術者が地質の評価を行い、地質リスクを回避した事例（A 型）として整理した。本事例の情報をデータ様式原案（A 型）に記入すると、表 3 の通りとなる。なお、表 3 にはリスク対応における期間について追加した。

本事例では、施工時に計画された切土計画に対する地質リスク検討事例であるが、施工業者とともに対処することで、地質リスクを共有できた。本事例のように、施工時においても、地質技術者の参画が重要と考えられる。

表.3 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		道路事業者
	工事名		〇〇道路工事
	工種		切土計画および切土施工
	工事概要		6 段切土
	当初工事費		—
	①当初調査・設計費		7,000 千円
	④当初工期		約 6 ヶ月（切土施工開始まで）
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		切土工施工時
	予測されたトラブル		切土の不安定化による想定外の対策工の追加
	回避した事象		切土工の不安定化
	工事への影響		工事の中断
リスク管理の実際	判断した時期		切土工施工前
	判断した者		道路事業者、施工業者 地質調査会社
	判断の内容		切土工の安定勾配
	判断に必要な情報		地表地質踏査データ ボーリング調査データ
リスク対応の実際	内容	追加調査	地表地質踏査
		修正設計	切土計画
		対策工	—（鉄筋挿入工、法枠工）
	費用	追加調査	1,000 千円
		修正設計	2,000 千円
		対策工	—
		②合計	3,000 千円
	⑤検討期間		約 2 ヶ月
変更工事の内容	工事変更の内容		鉄筋挿入工、法枠工
	③変更工事費		—
	変更工期		—
	間接的な影響項目		—
	受益者		道路事業者
リスクマネジメントの 効果	費用（①－③－②）		4,000 千円
	工期（④－⑤）		約 4 ヶ月
	その他		—

＜参考資料＞

「地質リスク・エンジニア（GRE）」養成講座と認定制度について

1. 地質リスク・エンジニア（GRE）養成講座について

平成 27 年度より特定非営利活動法人地質情報整備活用機構が主催して開催しています。

地質調査業としては、今後、これまでに得られた「地質リスク」に関する成果を実務に展開し、地質調査の新しい領域を創造するとともに従来の地質調査を深化させることが重要であり、また、責務であると考えます。そして、これは、単に地質調査業の利益に適うだけではなく、地質リスクに起因する事業損失を地質技術力とマネジメント力の投入により回避・予防・低減するものであり、社会的に見ても極めて公益性の高いものだと思います。

このためには、地質に関する高度な技術を持ち、かつ、マネジメント力を有する技術者を相当数養成し、地方公共団体を含め全国展開を図ることが必要です。さらに、養成にあたっては、契約制度を含む公共調達市場に関する知識と理解を学ぶ必要があります。そこで、当機構では、地質リスク学会と（社）全国地質調査業協会連合会の支援を得て本講座を開催しています。

講座の内容は、「地質リスク」に関する項目のほか、実務に役立つ次の内容が含まれます。

- ◆地質リスクマネジメントとは（概念と意義）
- ◆地質リスクマネジメントの投資効果とその計量化並びに評価手法
- ◆地質リスクを反映した地質調査業務の領域
 - ・技術顧問（発注者との契約に基づく技術指導） ・CM方式への専門家としての参加
 - ・地質リスク調査検討業務（プロポーザル方式による契約） ・地質調査計画策定業務（プロポーザル方式による契約）
 - ・地質調査業務受注後の調査計画の変更提案（契約書に基づく） ・地質リスクを意識した成果物の作成（通常業務）
- ◆公共調達市場の特性、業者選定方式、契約制度
- ◆地質リスクにおける発注者責任と受注者の果たすべき責任の範囲
- ◆地質リスクに関わる技術者に必要な資質と知識（技術者倫理、技術力、マネジメント力等）
- ◆地質調査業の成り立ちと将来を見据えた新たな視点
- ◆参加者の経験に基づく演習

本講座は、当面、少人数を対象にゼミナール形式で開講しますが、今後、必要に応じ養成方法を多様化することも検討してまいります。

また、講座の受講修了者を「地質リスク学会」から「GRE」として認定していただいておりますが、現時点で、資格とすることは考えておりません。

2. 地質リスク・エンジニア（GRE）認定制度について

平成 27 年度より地質リスク学会が主催して実施しています。

以下に応募要領を示します。

主催：地質リスク学会 地質リスク・エンジニア（GRE）認定制度 応募要領

地質リスク・エンジニア（GRE）認定試験は、提出課題の審査によって実施します。認定試験受験のための応募要領は、以下のとおりです。

記

応募資格

特定非営利活動法人地質情報整備活用機構が主催する「地質リスク・エンジニア（GRE）養成講座」を履修し、履修証明書を受領していること。

提出課題（小論文）について

以下の作成要領に基づき課題の小論文を作成し提出して下さい。

[小論文作成要領]

テーマ：「地質調査業務における技術者倫理について」

執筆分量：A4/1 枚（1, 600 字）× 2 枚＝3, 200 字

体裁：A4 用紙縦長、横書き

受験料について

5, 000 円（審査、認定・登録料として）

更新制度について

期間：登録後、5 年毎に更新する。

条件：以下のいずれかの実績を有すること。

- ・毎年 1 件以上の技術顧問（自己申告）業務の実績
- ・地質リスクマネジメント事例研究発表会等で 5 年間に 1 回以上の発表実績

更新料：無料

* 「認定試験事務局」について

認定試験事務局が行う事務処理業務は、地質リスク学会から事務代行を委託された特定非営利活動法人地質情報整備活用機構が担当する。

地質リスク・エンジニア（GRE）の認定者は、現在66名で、地質リスク学会のホームページで名簿が公開されています。

地質リスク・エンジニア 認定者名簿			平成29年12月1日
登録番号	氏名	所属	有効期限
1	二木 重博	(株)エイト日本技術開発	2021年3月31日
2	高橋 浩之	(株)興和	2021年3月31日
3	大賀 政秀	(株)ダイヤコンサルタント 関東支社	2021年3月31日
4	佐藤 豊	(株)キタック	2021年3月31日
5	東野 圭悟	中央開発(株)	2021年3月31日
6	尾上 秀司	応用地質(株)	2021年3月31日
7	秋山 道生	大地コンサルタント(株)	2021年3月31日
8	寺井 康文	大地コンサルタント(株)	2021年3月31日
9	緒方 康浩	(株)日本地下技術	2021年3月31日
10	山部 哲	(株)建設技術研究所 東北支社	2021年3月31日
11	橋尾 宣弘	(株)エイト日本技術開発 東北支社	2021年3月31日
12	三谷 由加里	(株)建設技術研究所 九州支社	2021年3月31日
13	松本 和正	北海道土質コンサルタント(株)	2021年3月31日
14	前原 恒祐	(株)開発調査研究所	2021年3月31日
15	常川 善弘	(株)相愛	2021年3月31日
16	清水 順二	明治コンサルタント(株) 北海道本店	2021年3月31日
17	中島 昇	(株)地研	2021年3月31日
18	山崎 尚明	(株)相愛	2021年3月31日
19	江川 千洋	(株)キタック	2021年3月31日
20	原 勝重	新協地水(株)	2021年3月31日
21	坂西啓一郎	モニー物探(株)	2021年3月31日
22	永田 和之	(株)藤井基礎設計事務所	2021年3月31日
23	江村 剛	株式会社 村尾技建 上越支店	2022年3月31日
24	陣内 龍太郎	応用地質株式会社 関西支社	2022年3月31日
25	正岡 久典	共立工営株式会社	2022年3月31日
26	蚊爪 康典	応用地質(株) エンジニアリング本部	2022年3月31日
27	居川 信之	(株)エイト日本技術開発 中部支社	2022年3月31日
28	藤原 康正	(株)エイト日本技術開発 関西支社	2022年3月31日
29	原 靖	(株)ドーコン 地質部	2022年3月31日
30	城井 浩介	中電技術コンサルタント(株)	2022年3月31日
31	山田 靖司	応用地質株式会社	2022年3月31日
32	吉岡 崇	(株)愛媛建設コンサルタント	2022年3月31日
33	中根 久幸	株式会社 地研	2022年3月31日
34	加藤 猛士	川崎地質株式会社	2022年3月31日
35	白井 康夫	基礎地盤コンサルタント(株)	2022年3月31日
36	久保田 耕司	基礎地盤コンサルタンツ(株) 関西支社	2022年3月31日
37	結城 則行	川崎地質(株)	2022年3月31日
38	鈴木 俊司	株式会社 ドーコン	2022年3月31日
39	境 正樹	応用地質株式会社 東北支社	2022年3月31日
40	藤原 協	国際航業株式会社 中部支社	2022年3月31日
41	渡辺 平太郎	(株)アサノ大成基礎エンジニアリング 東北支社	2022年3月31日
42	杉山 直起	(株)ダイヤコンサルタント	2022年3月31日
43	内村 雄一	応用地質(株) 熊本支店	2022年3月31日
44	近藤 桂二	(株)ダイヤコンサルタント 北海道支社	2023年3月31日
45	小島 央彦	川崎地質(株) 西日本支社	2023年3月31日
46	石井 真治	大地コンサルタント(株)	2023年3月31日
47	梶本 泰浩	川崎地質(株)	2023年3月31日
48	嵐 正治	国際航業(株)	2023年3月31日
49	長瀬 真央	(株)開発工営社	2023年3月31日
50	竹内 均	(株)日さく 上越支店	2023年3月31日
51	高田 正治	(株)エイト日本技術開発 広島支店	2023年3月31日
52	小松 慎二	応用地質(株) 関西支社	2023年3月31日
53	尾高 潤一郎	基礎地盤コンサルタント(株) 関東支社	2023年3月31日
54	田窪 裕一	(株)愛媛建設コンサルタント	2023年3月31日
55	万木 純一郎	(株)建設技術研究所 大阪本社	2023年3月31日
56	武田 茂典	基礎地盤コンサルタント(株) 東北支社	2023年3月31日
57	宇田川 義夫	(株)フジタ	2023年3月31日
58	松井 宏樹	応用地質(株) 岡山支店	2023年3月31日
59	仲間 真紀	四国建設コンサルタント(株)	2023年3月31日
60	渡邊 陽介	応用地質(株) 神戸支店	2023年3月31日
61	西 達也	(株)キタック	2023年3月31日
62	岸本 圭	国際航業(株)	2023年3月31日
63	柴田 達哉	(株)建設コンサルタントセンター	2023年3月31日
64	大曾根 啓介	応用地質(株)	2023年3月31日
65	清水 豊	応用地質(株) 東京支社北陸支店	2023年3月31日
66	改田 行司	(株)建設技術研究所	2023年3月31日

※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/>