

第11回

地質リスクマネジメント 事例研究発表会 講演論文集



令和 2年10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
協賛：国立研究開発法人土木研究所

(表紙写真)

羽田空港では空港利用者の増加から、D 滑走路の建設と国際線ターミナル（現在は第3ターミナル）の整備がなされ、平成22年から供用が開始された。D 滑走路の建設業務には設計・施工一括発注方式が採用され、地質リスクを含む様々なリスクに対して適切で効率的なマネジメントがなされた。D 滑走路は埋め立て部分と、多摩川の河口における河川の流れをブロックしないための栈橋構造部分からなる（写真参考）。また国際線ターミナルの建設にはPFI方式が用いられ、新たな手法による整備がなされた。

令和2年1月に中国武漢市での新型コロナウイルスによる感染症(COVID-19)の広がりが明らかになり、日本でもその感染者が認められ、3月2日から全国の小中高等学校の臨時休校が求められた。さらに4月7日には政府による一部地域の、また16日には全国を対象とする緊急事態宣言が発令された。生活に必要な店舗以外の営業自粛または営業時間短縮、自宅勤務とするテレワークの推奨を始めとする様々な自粛要請がなされた。5月14日、21日に、緊急事態宣言は、一部の都県を除いて解除され、また最終的に5月25日にすべての地域で解除された。新型コロナウイルスの国内への感染を防ぐため、航空機を利用した外国との往来は制限され、また国内においても県境をまたがる移動の自粛から、フライトが欠航となり、羽田空港の駐機場には多くの航空機が待機することとなった。今回、リスクが発現した後の対応には様々な課題が残され、感染症に対しても適切で迅速なリスクマネジメントの必要性が明確になった。

(小笠原正継)

はじめに
—新型コロナウイルス感染拡大と社会の変化：リスクマネジメントの視点から—

今年は新型コロナウイルス(COVID-19)の感染拡大により、国内外において社会活動に様々な影響がありました。現在のところ日本では急激な感染拡大は抑えられているものの、まだ感染の収束の見通しが立たない状況にあります。このような時期ではありますが、今年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、開催準備を担当される関係者の皆さま、事例研究発表会での講演をいただく皆さま、事例研究論文を投稿いただいた皆様、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。

新型コロナウイルスの感染防止のため、今年は多くの研究集会の開催が見送りやウェブ開催となっています。地質リスク学会では、感染リスクを最大限抑えるため開催規模の縮小や一部の内容の変更を加え、また会場内での様々な感染防止対策を取り、事例研究発表会を開催することになりました。参加者の皆さまには、会場内での感染防止への注意をしていただきつつ、有意義な研究集会となることを期待いたします。また参加可能人数を制限したため、事例研究発表会への参加ができなかった皆さまにおかれては、本事例研究発表会講演論文集から今年の研究成果をみていただき、今後の業務や研究に役立てていただければと思います。

新型コロナウイルスの感染防止対策のため、政府は全国の小学校、中学校、高校等に3月2日から春休みに入るまでの臨時休校の要請を行い、また4月7日から東京や大阪などの7都府県に緊急事態宣言を出しました。4月16日からは全国が緊急事態宣言の対象となり、5月25日に解除されました。この間、多くの企業、オフィスでは在宅勤務すなわちテレワークへの移行がなされました。すでに企業の多くの業務はデジタル化がなされていますので、業務で使用するテレワーク用機器の持ち出しやセキュリティ対策がなされれば、テレワークへの移行が可能な状況であると言えます。緊急事態宣言への対応は、企業におけるテレワークの在り方について、大きな実験がなされた場であったとも言えます。

地質調査業分野では、文献調査や既存データの解析の後に、現場での調査が実施されますが、その現場での調査業務は、通常の勤務オフィスに対してはテレワークまたはリモートワークとしての性格があり、この種の業務形態に長い実績があると言えます。ただし緊急事態宣言が発出されている間は、移動の制限があり、現場に出向くことにも制限があったかと思います。

新型コロナ対策では政府や地方自治体の発する指示や意見が、適切に個人や企業等に伝わっていたかの課題が多く議論され、リスクコミュニケーションの重要性が指摘されていました。地質リスク学会における大きな検討課題の一つはリスクコミュニケーションであり、地質リスクマネジメントにおける効果的なリスクコミュニケーションの在り方については、すでに様々な議論がなされてきています。一般社会の中でのリスクコミュニケーションの在り方の議論は、専門的な判断の伝達法においても参考になります。

今年の7月、梅雨前線が停滞し、九州や中国地方、また東北地方でも多くの洪水被害をもたら

しました。特に熊本県では、7月3日からの豪雨で、4日に球磨川水系で氾濫が生じ、甚大な被害が生じました。また、8月から9月にかけて、立て続けに沖縄・九州地方を台風8号、9号、10号が通過し、雨と風による被害が生じました。今回の風水害では、新型コロナウイルス感染の状況下での避難や復旧作業が必要となりました。避難所ではソーシャル・ディスタンスを保つため、収容人数が少なくなり、また復旧作業の大きな力となるボランティアは県外からの受け入れができず、作業の遅れが指摘されています。このような新型コロナウイルスの感染と自然災害とによる複合災害は、新型コロナウイルスの感染拡大の収束まで継続するため、新たな自然災害対策の構築が必要となってきています。

昨年の10月に本州を直撃した台風19号は長野県や茨城県等で大規模な洪水被害を生じました。その後、洪水被害を減少させる対策として、既存ダムの洪水調節機能強化に向けた指針が決められ、今年の4月に国土交通省は、既存ダムの洪水調節機能強化に向けた事前放流ガイドラインを策定しました。台風の場合、かなりの精度で降雨予測ができ、適切な事前放流がなされることにより、洪水被害を低くすることができます。また、このガイドラインでは事前放流後に水位が回復せず、利水者に特別の負担が生じた場合に損失の補填をすることが決められています。もし降雨が予想よりも少なく利水者に損失が出た場合の損失補填がコストとなりますが、事前放流による洪水抑制の便益は多大なものとなる可能性があります。洪水による人的被害や家屋の浸水による個人資産の被害などへの抑制効果の意義は重要です。この施策による効果はハツ場ダムの容量の50個分に相当する洪水調節容量となると示されました。このガイドラインの策定は、ソフト的な対策ですが、社会資本マネジメントの在り方として重要な視点を提供しています。

地質リスク・エンジニア（GRE）養成講座は昨年をもって終了し、来年度からは地質リスク・エンジニア認定試験制度となります。昨年からの継続で今年も養成講座を計画していた場合、新型コロナウイルスの感染防止のため中止となっていた可能性があります。地質リスク・エンジニア養成講座では、地質リスクマネジメントの基本的知識に関する講義の他、リスク登録表（管理表）の作成などの実習が含まれていました。ここ数年、地質リスクマネジメント事例研究発表会の講演論文には、リスク管理表を作成して、事業者へ地質リスクの内容を適切に説明し、工事計画に反映させている例が増えてきています。これらの例では、事業の早い段階で地質リスクマネジメントがなされています。このような地質リスクマネジメントの業務内容の在り方は地質リスク・エンジニア養成講座で目的としていたものの一つでもあります。リスク管理表等の作成とその活用は、徐々に定着してきていると考えられます。

今年は新型コロナウイルスの感染拡大から社会に大きな変革があり、その中でリスクコミュニケーションの重要性が認識されることが多々ありました。このような社会におけるリスクマネジメントも参考にしつつ、地質リスクマネジメントが社会資本整備事業においてさらに貢献できることを期待いたします。

令和2年10月2日
地質リスク学会 副会長 小笠原正継

第11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 事業報告	
事業報告	3
渡邊 法美 地質リスク学会 会長 (高知工科大学 教授)	
第Ⅲ編 第2部 事例研究論文	
論文 No.1 蚊爪 康典 応用地質 (株)	
地震を誘因とした岩盤崩落と道路の再度災害リスク回避への対応 ―能登半島地震の道路災害 復旧のための八世乃洞門新トンネルの開通―	7
論文 No.2 上松 昌勝 (株) 興和	
工事用道路施工に伴う地すべり発生リスク回避事例	13
論文 No.3 前原 恒祐 (株) 開発調査研究所	
深層崩壊箇所の災害復旧にあたっての地質リスクマネジメント	17
論文 No.4 内藤 真弘 基礎地盤コンサルタンツ(株)	
切土・盛土境界に発生した道路クラックに対する対応事例	23
論文 No.5 山田 靖司 応用地質 (株)	
三次元化技術を利用した排土工による地すべり対策で地質リスクを回避した事例	29
論文 No.6 長谷川勝喜 基礎地盤コンサルタンツ (株)	
平野部の道路事業における地質リスク評価手法の検討事例	35
論文 No.7 三田村圭祐 (株) 建設技術研究所	
大阪都市部地下開発 (淀川左岸線延伸部事業) における地質リスクの抽出および評価	41
論文 No.8 赤嶺辰之介 サンコーコンサルタント (株)	
中央構造線に近接する山岳道路の事業初期段階における地質リスクマネジメントの適用	47
論文 No.9 堀川 滋雄 サンコーコンサルタント (株)	
捨石たい積場からなる急傾斜面の強振動時安定性評価事例	53
論文 No.10 入川 史義 (株) エイト日本技術開発	
地すべり対策調査・設計段階でのチェックボーリング実施例	59
論文 No.11 向井 理史 サンコーコンサルタント (株)	
3次元地質モデルを活用した沖積低地の地質リスク検討事例	65
論文 No.12 内田 篤貴 日本物理探査 (株)	
街路灯倒壊リスクを回避するためのインテグリティ試験の活用	70
論文 No.13 猪俣 陽平 復建調査設計 (株)	
地形解析と模型実験による発生リスクが高い土石流危険渓流の検討	76
論文 No.14 岸本 圭 国際航業 (株)	
新規道路事業における地質リスク検討業務の事例	82

第Ⅰ編 プログラム

第11回地質リスクマネジメント事例研究発表会 開催案内

共催：地質リスク学会、一般社団法人全国地質調査業協会連合会

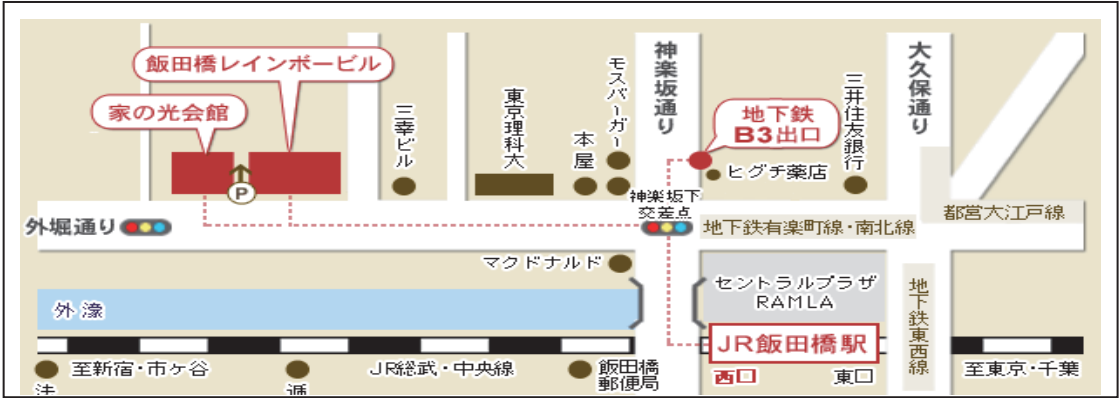
協賛：国立研究開発法人土木研究所

<開催趣旨>

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

<開催要領>

開催日：令和2年10月2日（金）
開催場所：飯田橋レインボービル 7階「大会議室」
〒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>

開 場：12:30
開 会：13:00～
事業報告：13:05～13:30 渡邊 法美 地質リスク学会 会長 （高知工科大学 教授）
事例研究発表会：13:30～16:00 （途中休憩を入れて、発表編数は8編とします。）

<事例研究発表会について>

①1セッションの基本時間割

*口頭発表時間は、1編当たり15分とする。

		発表編数	6編
①	セッション開始挨拶（司会者）	1分程度	
②	発表	60分（15分×4編）	
③	全体質疑応答&まとめ	9分	
合計時間		70分	

②セッション司会者

小笠原正継（地質リスク学会 副会長）

事例研究論文一覧

ご発表いただける論文数を8編に限定して論文を募集いたしました。今回ご応募いただいた論文数が15編（1編途中辞退）となったため、地質リスク学会で発表者を選定させていただきました。ご発表者は、以下一覧の論文 No.1 から論文 No.8 までの方々に決定いたしました。

なお、論文集には、ご提出者全員の論文を掲載します。

事例研究論文一覧

1. 発表者

セッション区分	論文No	発表者	所属先	題目	事例の種類
セッション1 道路/岩盤崩壊、地すべり事例 13:30～14:40	1	蚊爪 康典	応用地質（株） 流域・砂防事業部	地震を誘因とした岩盤崩落と道路の再度災害リスク回避への対応 — 能登半島地震の道路災害復旧のための八世乃洞門新トンネルの開通 —	A型
	2	上松 昌勝	（株）興和	工事用道路施工に伴う地すべり発生リスク回避事例	A型
	3	前原 恒祐	（株）開発調査研究所	深層崩壊箇所の災害復旧にあたっての地質リスクマネジメント	C型
	4	内藤 真弘	基礎地盤コンサルタンツ（株）	切土・盛土境界に発生した道路クラックに対する対応事例	C型
セッション2 道路/地すべり事例、事業初期における地質リスクマネジメント 14:50～16:00	5	山田 靖司	応用地質（株） メンテナンス事業部	三次元化技術を利用した排土工による地すべり対策で地質リスクを回避した事例	C型
	6	長谷川勝喜	基礎地盤コンサルタンツ（株） 中国支社	平野部の道路事業における地質リスク評価手法の検討事例	D型
	7	三田村圭祐	（株）建設技術研究所	大阪都市部地下開発（淀川左岸線延伸部事業）における地質リスクの抽出および評価	D型
	8	赤嶺辰之介	サンコーコンサルタント（株）	中央構造線に近接する山岳道路の事業初期段階における地質リスクマネジメントの適用	D型

2. 以下の方々の論文は、論文集に掲載します。

論文No	論文執筆者	所属先	題目	事例の種類
9	堀川 滋雄	サンコーコンサルタント（株）	捨石たい積場からなる急傾斜面の強振動時安定性評価事例	A型
10	入川 史義	（株）エイト日本技術開発	地すべり対策調査・設計段階でのチェックボーリング実施例	A型
11	向井 理史	サンコーコンサルタント（株）	3次元地質モデルを活用した沖積低地の地質リスク検討事例	D型
12	内田 篤貴	日本物理探査（株）	街路灯倒壊リスクを回避するためのインテグリティ試験の活用	D型
13	猪俣 陽平	復建調査設計（株） 地盤環境部	地形解析と模型実験による発生リスクが高い土石流危険渓流の検討	D型
14	岸本 圭	国際航業（株）	新規道路事業における地質リスク検討業務の事例	D型

* リスクマネジメント事例の種類は以下の4タイプとなっております。

A型：地質リスクを回避した事例

B型：地質リスクが発現した事例

C型：発現した地質リスクを最小限に回避した事例

D型：上記のA型、B型、C型以外的事例

第Ⅱ編 第1部 事業報告

第 11 回地質リスクマネジメント事例研究発表会 事業報告
「プロジェクトマネジメントにおける My Model と Our Model」要旨

高知工科大学 渡邊 法美
地質リスク学会 会長

A. はじめにー背景と目的

- ・ 「地質リスク」という用語の「市民権」の獲得
- ・ 各学会員は地質リスクマネジメントの My Model を有し、実践しているはず [1]
- ・ 既往研究を参考に、My Model を統合して Our Model, “J-Model”に発展させていくことが重要
- ・ 地質リスクマネジメント(地質 RM)もプロジェクトマネジメントの一つ
- ・ プロジェクトマネジメント(PM)の Our Model 構築のため、My Model の試案を紹介

B. プロジェクト(PJ)とは

- ・ 一般的記述:目標設定、有期、唯一無二、多くの不確実性→低い成功確率
- ・ 筆者解釈:PJ は人生の「分子」⇒PJ の成功は人生の幸福の基盤
- ・ 適切な PM の探求と実施は極めて重要な課題!

C. ドラッカーから得られる PM の構成に関する示唆 [2]

- ・ 仕事(work)と働くこと(working)すなわち労働とが根本的に異なる
- ・ 仕事の論理(生産的)と労働の力学(成果への満足)の双方に沿ってマネジメントする必要
- ・ 仕事の理解への必要事項:①分析、②プロセスへの統合、③管理手段の組み込み
- ・ 働くことの 5+1 の側面:①生理、②心理、③社会、④経済、⑤政治、⑥分配
- ・ PMBOK は仕事、特に、分析とプロセスへの統合に関する極めて精緻な知識体系(結晶)
- ・ (ちなみに、地質リスク学会も、仕事を理解するために、分析・統合・管理、に焦点)
- ・ 働くこと(working)に焦点を当てた PM Model の構築も必要!

D. ドラッカーから得られる PM の原理に関する示唆 [3]

- ・ 仕事の成果←仕事に責任を持つ必要(責任の組織化)＝働くことのマネジメントの共通基盤
- ・ そのための 3 要素
 1. 仕事を生産的に←仕事の分析、プロセス化、管理手段への組み込み、ツールの設計
 2. 成果についての情報のフィードバック
 3. 継続学習

E. リスクマネジメントを視座とする理由

- ・ 責任(遂行)とリスク(マネジメント)とは双対概念ではないか! ?
責任(遂行)の組織化＝リスク(マネジメント)の組織化! ?
- ・ リスクマネジメント(RM)は動機づけ変化と直結
- ・ 様々な研究結果が示す、動機づけ向上における「最適な挑戦」の重要性 [4], [5]
ーマクレランド:意欲の強さと努力の程度は成功率 50%で最大

- ーフロー状態(チクセントミハイ):挑戦のレベルと行為者能力のレベルが高次でつりあう
- ーセルフエフィカシー(バンデューラ):自己の能力への確信の程度。
一例として、達成体験(困難に打ち勝って成功した経験)によって形成
- ー学習性無力感(セリグマン):自分の力で対象を制御しようと思えることが無気力にならない鍵

F. 座右の書としての「実用企業小説 プロジェクトマネジメント」近藤哲生氏著 [6]

- ・モチベーション & メンバーの自律性の重要性を強調→大きな共感
- ・プロジェクト成功の法則六箇条
 1. PRP(PJ 再計画)の実施とスポンサーシップの活用→成功の条件と明確化と承認
 2. DPM(問題解決会議)の実施と運営→メンバーの士気高揚、PJ の高速回転
 3. 問題処理票の活用
→問題の早期摘出と対策の促進、進捗の正しい把握、メンバーの自律促進
 4. 隠れている能力の発掘と活用→能力の顕在化による個人の育成と組織の柔軟化
 5. 理念とコンセプトの共有→意識の結集、活動の合理化
 6. 全員が納得する合理的な進捗管理→進捗管理の精度向上、管理の呪縛からの解放

G. My Model の原則試案

表 1:リスクマネジメントプロセス(ISO31000)の構成・実施時リスク・対応方針案と
My Model 原則試案、動機づけとの関連の一例

構成	リスク (プロセス実施時)	対応方針案	原則試案	動機づけとの 関連の一例
組織の状況 の確定	価値不明確 ・非共有	価値明確化・ 共有	価値明確化・共有	熟達接近目標
リスクアセスメント (特定・分析 ・評価)	過小申告・評価	問題発見感謝	新 PJ 完了基準 (全問題解決)浸透	セルフ・エフィカシー 結果期待
	過大申告・評価	能力向上奨励	自律的 RM 能力向上	課題関与
リスク対応	押し付け	最適リスク配分	自律的 RM 能力向上	最適な挑戦
監視及び レビュー	見かけの管理 「犯人」糾弾	問題発見感謝 ・問題解決	新 PJ 完了基準浸透 自律的 RM 能力向上	セルフ・エフィカシー 結果期待
コミュニケーション 及び協議	表面的なやりとり 一部のみ発言	開かれた場 問題解決優先	価値明確化・共有 新 PJ 完了基準浸透 自律的 RM 能力向上	関係性深化 有能感向上 自律性向上

文献[5], [6], [7], [8]に基づき、筆者作成

- ・ My Model 原則試案
 - ー価値の明確化・共有(個人、PJ、組織、顧客、社会)
 - ー新 PJ 完成基準～全問題解決(全リスク≤許容値)～の浸透
 - ー自律的リスクマネジメント(RM)能力向上の促進
 - ープロジェクトマネージャーの真摯さ(integrity)→上記 3 原則の具現化

H. 価値の明確化・共有(個人、PJ、所属組織、顧客、社会)

- ・ リスクマネジメントの本質は価値の創造と保護(ISO31000)
- ・ 価値の創造と保護が出発点
- ・ 各階層(PJ 全体、各班、上司 & 部下…)での実施が望ましい
- ・ 価値(意味のある目標)は、熟達接近目標(能力向上・課題挑戦)達成貢献に期待
- ・ 創造・保護すべき価値の一例
 - －メンバーの成長、所属組織戦略、顧客の声(含 魅力要因(delighter))
- ・ メンバーの成長、顧客の声に関する留意事項
 - －NPO からの示唆－貢献を実感するための顧客の声
 - 「銀行の仕事は好きだ。銀行にも使命はある。しかし、具体的に何に貢献しているのかが実感できない。ネイチャー・コンサーバンシーでは、何のために働いているかを実感する」[9]
 - PJ は人生の分子!を想起すべき。NPO だけに委ねてはいけない。
 - －現在の顧客だけでなく、過去、未来の顧客の声に耳を傾ける必要(特に地質技術者)

I. 新 PJ 完成基準～全問題解決(未解決問題処理票がゼロ [6]):全リスク $\leq$ 許容値への浸透

- ・ 当該問題(未)解決状態の定義
 - 「リスク $\leq$ 許容値」:問題が解決された状態
 - 「リスク $>$ 許容値」:問題が未解決の状態
 - ・ 問題解決能力を有する者の積極的登用
 - 「焦点は仕事に合わせなければならない」とのドラッカーの原則[3]にも合致
 - ・ 新 PJ 完成基準浸透の効果
 - －早期問題発見の奨励
 - －不正な問題隠しの排除
- ⇒自律的リスクマネジメント(RM)能力向上促進の制度基盤

J. 自律的リスクマネジメント(RM)能力向上の促進

- ・ 自律的(偽りのない自分)でいられる場・時間
 - －開かれたコミュニケーション
- ・ リスクの階層構造における各メンバーにとっての最適なリスク配分
 - －リスクの最適垂直配分の実施:他者への転嫁(押し付け)は絶対にしない
- ・ 成果に関する効果的フィードバックの実施
 - －問題発見感謝・賞賛 [6]
- ・ 継続学習
 - －自己研鑽の奨励、OJT、…

⇒フォロアーズ(PJ 組織)のレディネス向上 [4]

⇒危機管理時の対応力向上

K. プロジェクトマネージャーの真摯さ(integrity)

- ・ 真摯さ: マネジメントが後天的に獲得できない唯一の資質
- ・ 真摯さに欠ける者は組織を破壊する
- ・ マネジメントであることを不適とする真摯さの欠如の例
 - 一人の強みよりも弱みに目が行く者
 - 一何が正しいかよりも、誰が正しいかに関心を持つ者
 - 一自らの仕事に高い基準を設定しない者 [10]

⇒上記 3 原則を一貫して実施することが必要

L. おわりに

地質リスクマネジメントを円滑に行うためには、My Model を持ち、適宜更新していく必要があります[1]。

今後、私たちの中で、My Model、そして Our Model の議論が活発化することを願っています。

ご家族の皆さまのご健勝と、(僭越ながら)皆さまの益々のご発展を心からお祈り申し上げます。

ありがとうございました。

参考文献

- [1] 金井壽宏; Theory 12「自分や周りの人のやる気に働きかける」, 鹿毛雅治編 モチベーションをまなぶ 12 の理論, 金剛出版, 2012
- [2] P.F. ドラッカー(上田惇生訳); 第 16 章「仕事と働くことと働く人たち」, 課題、責任、実践(上), ダイヤモンド社, 2008
- [3] P.F. ドラッカー(上田惇生訳); 第 21 章「仕事への責任」, 課題、責任、実践(上), ダイヤモンド社, 2008
- [4] P・ハーシー, K・H・ブランチャード, D・E・ジョンソン, (山本成二・山本あづさ訳); 行動科学の展開 新版, 生産性出版, 2000
- [5] 鹿毛雅治編; Theory 6, 7, 9, 11, モチベーションをまなぶ 12 の理論, 金剛出版, 2012
- [6] 近藤哲生; 実用企業小説 プロジェクトマネジメント, 日本経済新聞社, 2004
- [7] 野口和彦; リスクマネジメント, (社)日本品質管理学会監修, 2009
- [8] エドワード・L・デシ, リチャード・フラスト(桜井茂男監訳); 人を伸ばす力, 新曜社, 1999
- [9] P.F. ドラッカー(上田惇生編訳); チェンジ・リーダーの条件, ダイヤモンド社, 2000
- [10] P.F. ドラッカー(上田惇生訳); 第 31 章「マネジメントの仕事」, 第 36 章「成果中心の精神」, 課題、責任、実践(中), ダイヤモンド社, 2008

第Ⅲ編

第2部 事例研究論文

— 能登半島地震の道路災害復旧のための八世乃洞門新トンネルの開通 —

(地質リスクエンジニア 登録番号 26)

平成 19 年 3 月 25 日、石川県の能登半島西岸で発生したマグニチュード (M) 6.9 の地震が発生した。この地震により能登半島で最大震度 6 強の揺れが観測され、石川県内の道路、鉄道、空港の各施設に被害が発生した。この地震 (直後の余震) で珠洲市真浦町と輪島市曾々木地内をつなぐ国道 249 号上のロックシェッド「八世乃洞門」が崩落岩塊の直撃により被災し、道路が通行止めとなった。道路の復旧にあたり、再度災害の発生リスクならびに周辺域の被災リスクを検討した。道路の被災リスクと対策コストの検討により、現道復旧よりも有効なバイパストンネルによる新規ルート案の採用に至り、平成 21 年 11 月に道路の再開通が実現した。

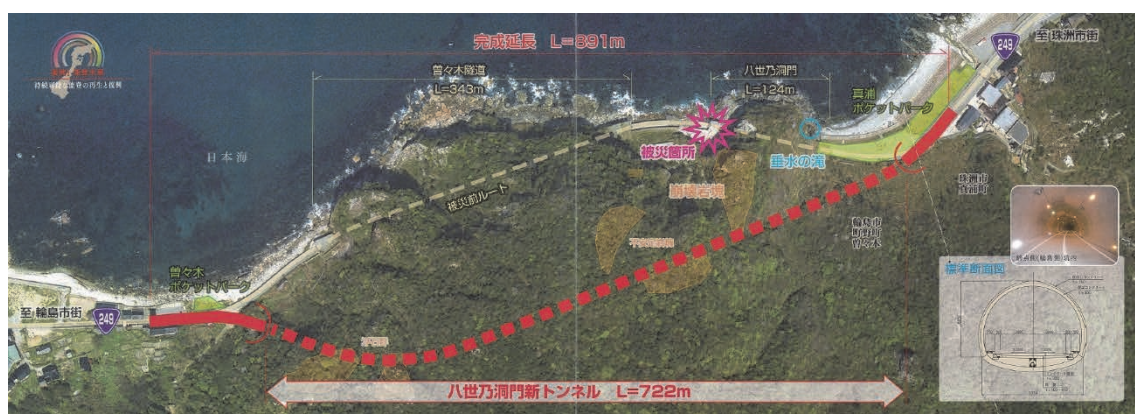


図1. 道路被災箇所と被災リスク回避のための新設トンネルルート（出典：一般国道249号道路災害関連事業「八世乃洞門新トンネル」パンフレット，平成21年11月，石川県土木部道路整備課）

県の重要道路の岩盤崩落による通行止め被害であり、通行の確保に緊急性を要したことから、まずは被災箇所への応急対策に加え、未崩落岩塊の監視を継続しながら、道路の仮復旧（片側交通開放）がなされた。本復旧対策の検討は、応急対策と並行して実施した。本対策の検討に際しては、道路の安全性、特に再度災害リスクの回避が念頭に置かれた。

道路被災箇所の斜面には、割れ目の発達した流紋岩質の凝灰角礫岩からなる未崩落岩塊（不安定ブロック）が残置しており（図2）、さらに被災地周辺の道路斜面は、崩壊岩塊部と類似した急崖地形が連続する状況にあった。本復旧対策の検討にあたっては、まずは現道での復旧を前提に、岩盤斜面对策の検討を進めた。一方で、対策工事の際の安全性と交通再開後の再度災害の発生リスクを勘案し、事業の経済性の面からも有効なリスク回避案を検討した。



図2. 八世乃洞門 被災状況全景（平成19年 3月末被災時）

3. データ収集分析

不安定ブロック（図2）の安定性検討のため、岩盤斜面の登はん調査を実施するとともに岩石試料（物性値評価）、岩盤斜面のモニタリングデータを取得し、岩盤崩壊リスク検討のための数値シミュレーション（DDA解析）を実施した。シミュレーション結果からは、被災時と同程度の地震動や岩盤の除去工等の振動により崩壊が促進される恐れがあることが予測された。

また、道路沿いの周辺岩盤の情報を地質踏査により確認した。周辺斜面の調査の結果、未崩落の不安定岩塊群が3カ所以上確認され、現道の開通のためには、これらの岩塊への対策も必要となることが確認された（図3）。

さらにトンネルルート案の検討における、背後地山の地質構造と地山強度情報の入手のため、地質調査および弾性波探査を実施した。

これらの状況を総合的に検討し、現道復旧に加えて、新設バイパスルート案も含めた最適案の検討を実施した。



図 3. 被災箇所の不安定ブロックのほか周辺にも分布する不安定岩塊（Ⅰ～Ⅲ）

4. マネジメント効果

再度災害の防止（被災リスク回避）と対策工費の優位性から、海岸沿いの現道ルートに代えて、山側を通る新規トンネル迂回案（第2案）を選定した（図4）。

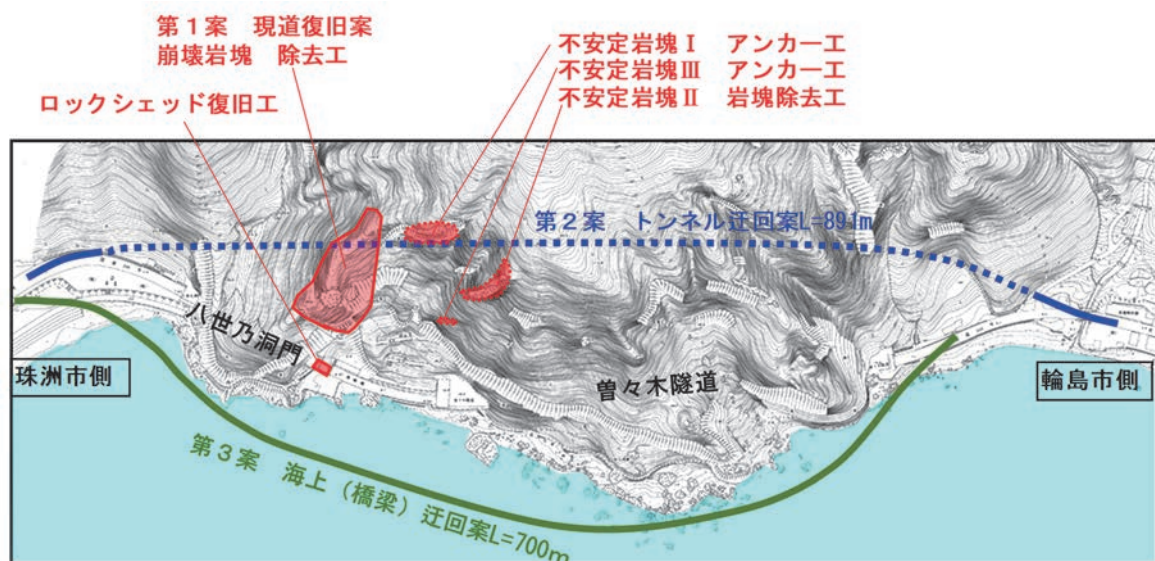


図 4. 本復旧工法案比較図

3つの工法比較（第1案；斜面对策・現道復旧案，第2案；トンネル迂回案，第3案；海上迂回案）

代替えトンネルバイパスルート案による事業費のコスト削減は、概算で 500 百万円となる（表 1）。現道での対策は、不安定岩塊の規模から原位置での対策が必要となり、高コストとなる上、施工時の安全性へのリスクと対策後も周辺岩盤斜面からの落石発生等の再度災害のリスクが残る形となることが確認された。

■コスト削減効果（概算）

$$502.5 \text{ 百万円} \quad \equiv \quad 2,520 \text{ 百万円} \quad - \quad 1,979 \text{ 百万円} \quad - \quad 38.5 \text{ 百万円}$$

$$\equiv (\text{現道復旧案}) - (\text{トンネル案採用後の事業費}) - (\text{トンネル案追加設計・調査費})$$

表 1. 対策工種および事業費の比較

	第 1 案：現道復旧案	第 2 案：トンネル迂回案	第 3 案：海上（橋梁）迂回案
工 法 概 要	①岩塊除去工（親災） ②H18災害対策（親災） ③洞門撤去復旧（親災） ④岩塊除去工（災関） ⑤アンカー工、法枠工（災関） ⑥補強土防護擁壁（災関）	①坑口部の抱き擁壁、人工地山構築（ソイルセメント） ②トンネル掘削、覆工コンクリート ③坑門工	①仮設工、下部工 ②上部工 ③消波ブロック
工 期	・ 30ヶ月（準備工含む）	・ 22ヶ月（準備工含む）	・ 26ヶ月（準備工含む）
メ リ ッ ト	・ 道路通行時の自然景観に優れている。 ・ 現在の土地利用（散策等）ができる。	・ 災害リスクエリアを回避でき、安全性が高い。 ・ 工期が短い。 ・ 経済的である。 ・ 施工時および完成後において、気象的な条件に左右されない。	・ 不安定岩盤の分布域を回避できる。 ・ 道路通行時の景観上、優れている。
デ メ リ ッ ト	・ 第 2 案より不経済となる ・ 工期が長くなる。 ・ 恒久的な安全の確保が難しい。	・ 珠洲側坑口の抱き擁壁が長くなるため、景観上の工夫が必要である。 ・ 景勝地を迂回するため、第 1 案に比べ景観上劣る。	・ 供用後も冬季の波浪等の条件によっては通行規制を伴う可能性がある。 ・ 国指定名勝・天然記念物の「曾々木海岸」においては、景観上の問題がある。 ・ 工事費が最も高額となる。
工 種	不安定ブロック（岩盤除去工） 不安定岩塊Ⅰ（アンカー工等） 不安定岩塊Ⅱ（岩盤除去工） 不安定岩塊Ⅲ（アンカー工等） 浮石群Ⅰ、Ⅱ（補強土防護擁壁）	トンネル工 トンネル部 722m、明かり部 169m 関連工事等	橋梁工（上部工、下部工） 消波ブロック
事 業 費	概算事業費（百万円） 2,520	概算事業費（百万円） 1,979	概算事業費（百万円） 4,088
評 価		○	

5. データ様式の提案

(1) データ様式の提案

検討データを A 表原案（表 2）に示す。

前述のとおり、再度災害の防止（被災リスク回避）と対策工費の優位性から、新規トンネル迂回案（第 2 案）を選定した。周辺斜面を含めた再度災害のリスクも含めた総合的なリスクマネジメントの実施により、現道の復旧対策を実施するケースに対して、安全性が高く、経済的な対策の提案に至っている。

(2) まとめ

一連のリスク判断に際しては、以下の状況を考慮した。

- ①主要被災岩塊の規模が大きく、対策規模が大きくなり、施工性、工費の面でデメリットが大きい。
- ②被災岩盤が不安定化しており、対策中の安全確保が難しいこと。
- ③周辺斜面にも不安定岩塊が点在し、再度災害の恐れがあり、施工性、工費の面でもデメリットが大きい。
- ④海上の栈橋案などの比較案は、現地の冬季の気象状況から通行止め期間が多くなることや施工費から現実的でない。

災害対策は原形復旧が基本であるが、再度災害リスクを考慮すること（災害関連事業の導入）により、安全性が高く、経済的なトンネルバイパスルートが実現された。



写真 1. 平成 21 年 11 月に開通した八乃洞門新トンネル

謝 辞

本事例の発表にあたり、石川県土木部道路整備課には、ご承諾ならびに、多大なご配慮をいただいた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 石川県土木部道路整備課（平成 21 年 11 月），一般国道 249 号道路災害関連事業「八世乃洞門新トンネル」パンフレット

表 2. A 表原案（修正なし）への記入

大項目	小項目	データ
対象工事	発注者	石川県 土木部道路整備課 奥能登土木総合事務所
	工事名	一般国道 249 号道路災害関連事業
	工種	斜面对策（検討）、トンネル
	工事概要	トンネル、応急仮工事（ボックス補強）、
	① 当初工事費	約 2,520 百万円 ※現道復旧案での検討時の概算事業費
	当初工期	平成 19 年 3 月（発災） ～平成 21 年 11 月（道路開通）
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	平成 21 年 11 月以降（道路開通後）
	予測されたトラブル	再開通後の落石再発による道路通行止め（斜面災害）
	回避した事象	岩盤崩落、落石（再度災害）
	工事への影響	現道復旧工事案の場合、施工時の 2 次災害発生による工事の中断と災害対処が生じる恐れがあった。
リスク管理の実際	判断した時期	平成 19 年 7 月

	判断した者		災害復旧検討会委員、石川県土木部道路整備課、奥能登土木総合事務所、調査・設計会社の技術者
	判断の内容		再度災害リスク回避と事業費の優位性から、現道復旧に代えて、新規トンネル施工案を採用した。判断に際しては、以下の状況を考慮した。1) 主要被災岩塊の対策規模が大きくなること。2) 被災岩盤が不安定化しており、安全確保が難しいこと。3) 周辺斜面に不安定岩塊が点在し、再度災害の恐れがあること。4) 海上栈橋案などは、現地の冬季の気象状況から通行止め期間が多くなることや施工費からも現実的でないこと。
	判断に必要な情報		被災および周辺斜面調査結果、岩盤モニタリング、被災履歴、気象条件
リスク対応の実際	内容	追加調査	トンネル調査、周辺岩盤調査
		修正設計	トンネル設計
		対策工	—
	費用	追加調査	約 7.5 百万円（トンネル調査；弾性波探査、追加ボーリング調査 ほか）
		修正設計	約 31 百万円（トンネル設計）
		対策工	—
		② 合計	約 38.5 百万円
変更工事の内容	工事変更の内容		トンネル工事
	③ 変更工事費		1,979 百万円（総額）※概算
	変更工期		—
	間接的な影響項目		—
	受益者		石川県
リスクマネジメントの効果	費用(①－③－②)		502.5 百万円（≒2,520 百万円－1,979 百万円－38.5 百万円）
	工期		—
	その他		江戸時代から「能登親知らず」として知られた交通の難所沿いに位置していた道路の安全性が向上した。

以上

【論文 No. 2】 工事用道路施工に伴う地すべり発生リスク回避事例

株式会社 興和 上松昌勝

1. 事例の概要

当事例の対象地で計画された工事用道路の施工に際し、沢部を盛土にて通過する個所に地すべり地形の存在が疑われた(地質リスク)。

この地質リスクを考慮せず道路盛土を施工した場合、沢部の地すべりの安定度が著しく低下することが想定され、その場合は、移動土塊となった道路盛土を含む地すべりへの応急対策および恒久対策工が別途必要となったと見られる。

ここでは、工事用道路造成時におけるリスク回避事例（A型）を報告する。



図1 工事用道路計画平面図

2. 事例分析のシナリオ

工事用道路造成に先立ち、当初計画時点では想定されていなかった沢部に連なる小規模な地すべり地形群の存在を確認し、これを地質リスクとして特定・対応した。

想定された地すべり地形群は、現地踏査によりA～Cブロックの3つの地すべりブロックに区分され、地質調査により地質構成と地すべり規模が確認された。この結果、A、Cブロックでは沢部を通過する工事用道路（施工ヤード含む）を施工する場合、地すべりを誘発する事態となり、この対応として、別途、地質調査、水抜きボーリング等による応急対策工、抑止工（鋼管杭工等）による恒久対策工が必要となったと考えられる。今回の事例では、事前に地すべり発生を予測し、その対応として施工性・経済性を考慮した上、すべり面を含む移動土塊の強度増加を図る地盤改良工を道路盛土に先立ち実施した。無対策で工事用道路を施工し地すべりを活動させてしまった場合に必要となる調査・応急・恒久対策工との工費・工期との差分がリスクマネジメント効果となる（図2）。

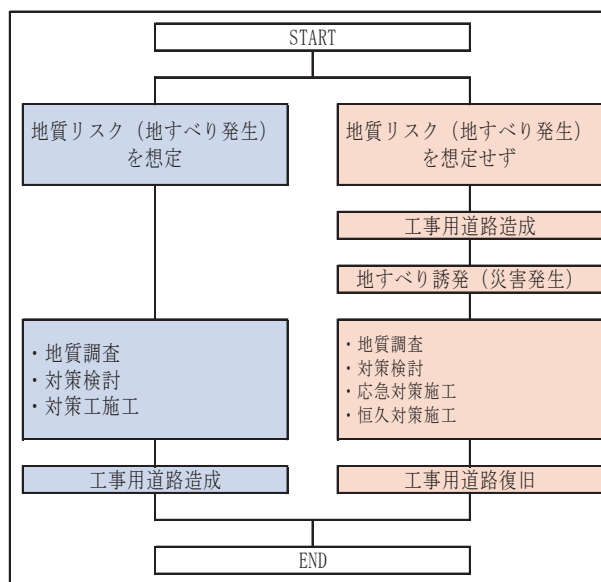


図2 事例分析のフロー図

3. データ収集分析

(1) 地質構成把握

沢部に分布する3つの地すべりブロックにて実施された調査ボーリング結果では、花崗岩を不整合で覆う砂礫岩の上面にすべり面が想定された。また、地すべり土塊は軟質なシルト質細砂からなり、すべり面深は比較的浅部に分布することが確認された（図3）

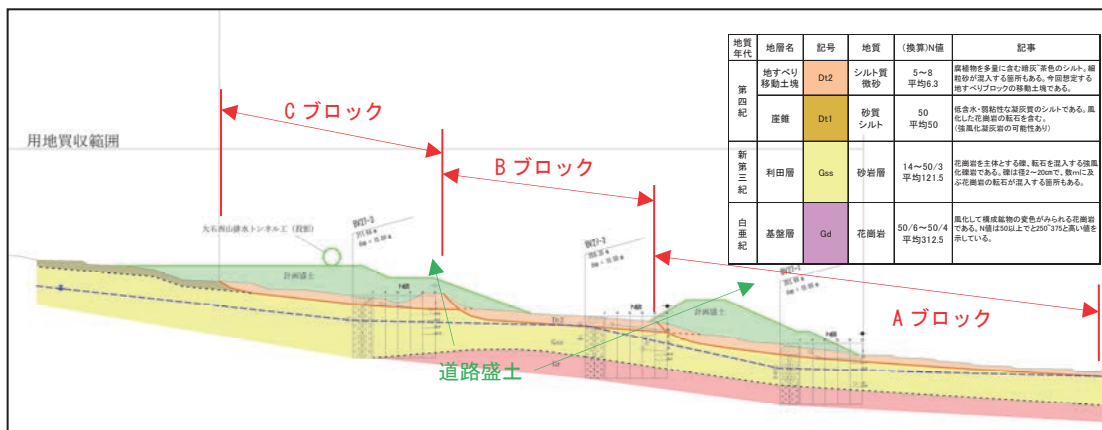


図3 地質断面図と計画盛土形状

(2) 無対策での工事用道路盛土後の地すべり安定度の把握

計画工事用道路盛土施工後の各ブロックの安定度を把握する目的で、簡便法による斜面安定解析を実施した。盛土施工後の安定度を試算した（図4）。

AブロックおよびCブロックで特に安定度が低下する結果となり、無対策で道路盛土を施工した場合、道路盛土をも移動体とした地すべりが発生する可能性が高いことを把握した。このことから、工事用道路施工に先立ち、A、Bブロックでは何等かの対策が必要であることが分かった。

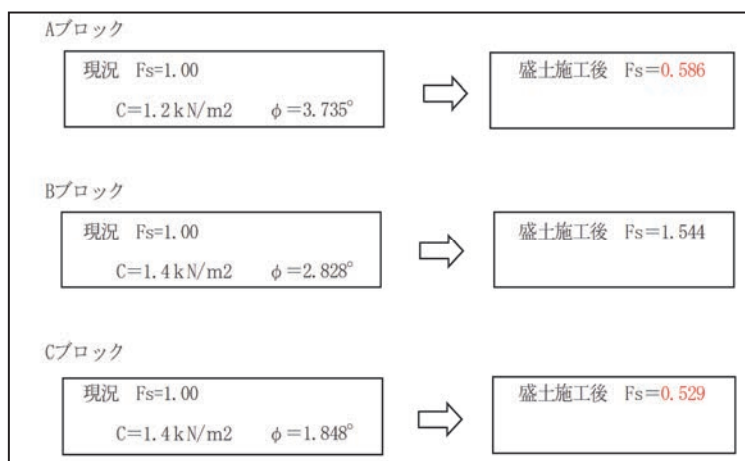


図4 安定解析結果

(3) 対策工の条件と選定

対策工の選定に当たっては、調査結果より地すべり土塊の厚さは2m以下と薄いこと、砂礫層中に地下水位が確認されるが、概ね地すべり土塊には地下水位が確認されないことを考慮し、①置換工法、②地盤改良工法、③鋼管杭工法について比較検討し、施工性・経済性・工期を考慮した上、すべり面を含む移動土塊の強度増加を図る②地盤改良工を選定し、道路盛土に先立ち実施することとなった。計画地盤改良範囲を図5に示す。

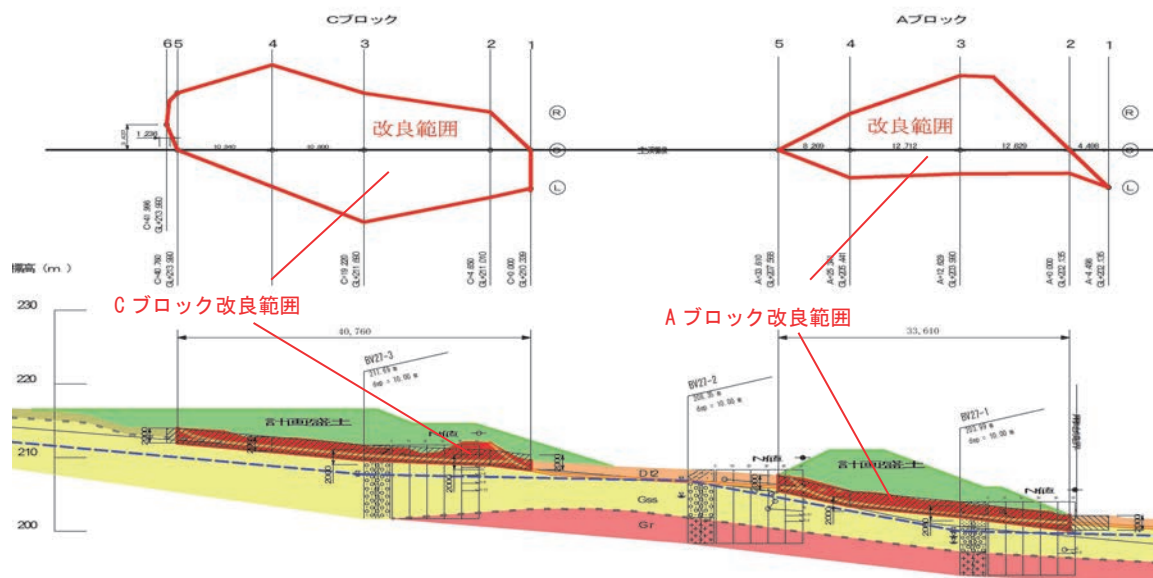


図5 対策工（地盤改良工）計画図

(4) 地盤改良工による安定度の把握について

地盤改良工については、すべり防止を目的とした地盤改良において設計基準強度 q_{uck} の実績は $0.1 \sim 0.6 \text{ MN/m}^2$ ($100 \sim 600 \text{ kN/m}^2$) が全体の 80%を占めるため、最低ラインである設計基準強度 $q_{uck} = 0.1 \text{ MN/m}^2$ (100 kN/m^2) を用い、すべり面を含む浅層部の地盤改良を行った上で、計画盛土を上載させた場合の円弧すべり計算を行い、最少安全率が計画安全率 $F_{ps} = 1.20$ (恒久安定目的)を上回るかを確認・把握した。

その後、Aブロック、Cブロックに対し地盤改良を予め実施し、道路盛土を施工した結果、地すべりの発生はなく無事工事用道路は完成した。

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の通りである。盛土（土工）など同一工種は除き、リスクが発現した（地すべりが発生した）と仮定した場合の調査・応急・復旧費用と比較した。この結果、16,500千円（58%）の費用低減、3カ月（60%）の工期短縮が見込まれた。

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 (月)	項目	費用 (千円)	工期 (月)
調査・解析費	調査ボーリング・解析 (道路盛土施工前に実施)	3,500	1	調査ボーリング・解析 (道路盛土施工後)	5,000	1
施工費	地盤改良工	19,500	2	水抜ボーリング工 (応急対策) 鋼管杭工 (恒久対策)	34,500	4
計		23,000	3		39,500	5

マネジメント効果 (②-①)

費用：16,500千円（58%に低減）

工期：3カ月（60%に低減）

5. データ様式の提案（A）

本事例はA型様式にて整理する。

表2 データ様式（A型）

発注者		—
工事名		—
工種		土工（道路造成）
工事概要		工事用道路造成
①当初工事費		—
当初工期		—
予測されたリスク発現期		工事用道路施工時
予測されたトラブル		工事用道路造成に伴う地すべりの誘発
回避した事象		地すべり滑動
工事への影響		（リスク発現時）盛土上部からの調査、検討、応急対策、恒久対策 （推定）費用約 39,500千円、工期約5カ月
判断（した）時期		工事用道路施工前（起工測量時）
判断した者		施工者、地質調査業者
判断の内容		沢部の道路盛土で誘発される地すべりへの事前対策
判断に必要な情報		地質構成、すべり面深度、地盤強度
内容	追加調査	地質調査
	修正設計	—
	対策工	地盤改良工
費用	追加調査	3,500千円（地質調査、工法検討）
	修正設計	—
	対策工	19,500千円（地盤改良工）
	②合計	23,000千円
工事変更の内容		地盤改良工
③変更後工事費		23,000千円（土工を除く）
変更後工期		3カ月
間接的な影響項目		—
受益者		—
費用（①-③-②）		（推定）16,500千円（発現時復旧費用-②）
工期		2カ月短縮
その他		—

【論文 No. 3】 深層崩壊箇所の災害復旧にあたっての地質リスクマネジメント

株式会社 開発調査研究所 ○前原 恒祐

荒 朋紀

小竹 純平

磯貝 晃一

1. 事例の概要

豪雨を誘因とする深層崩壊の復旧対策にあたり、崩壊箇所の地質特性を考慮した地質リスクマネジメントを実施した。

地質調査結果を基に被災箇所に分布する地質の岩質・地盤特性を考慮し地質の不確実性を定性的に評価し、評価結果に基づき対策工法・施工順序を検討した。

施工時には多少の地質リスクの発現が予想されたものの、全体コストへの影響は低いと評価しリスクを保有するものとした。施工中には想定した地質リスクの一部が発現したものの、クラウドを活用した常時観測を併用し、事業全体への影響を最小限に留め無事竣工することができた。

(1) 被災概要

崩壊の規模は幅約 40m、深さ最大約 15m、斜長約 70m で記録的豪雨後に一般道道の既設切土法面と自然斜面部の両領域に渡って発生し、崩積土の流出により現道が閉塞した（図 1、図 2 参照）。

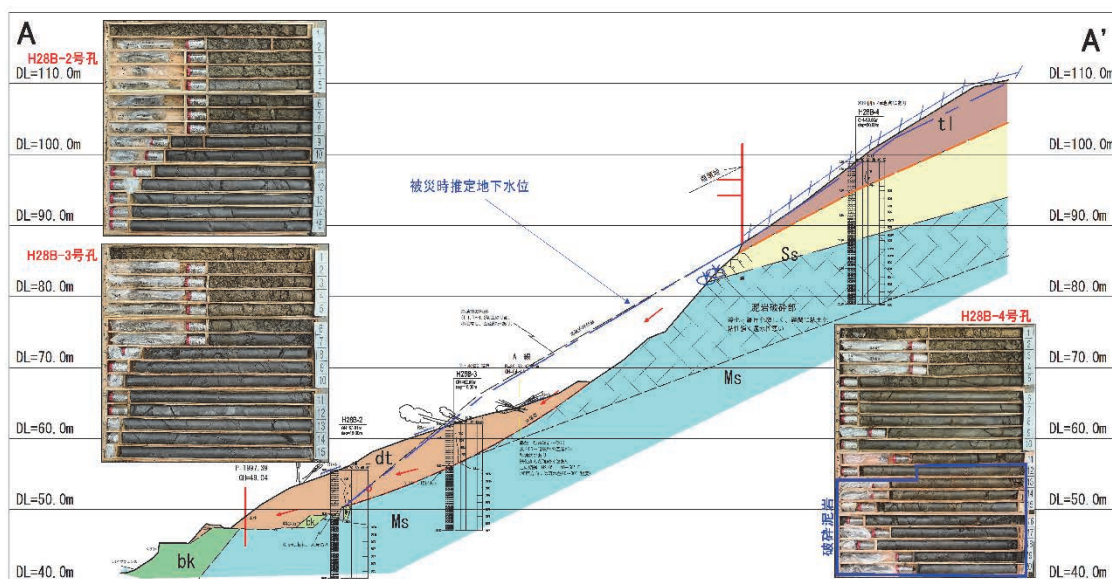


图 1 A-A' 地质断面图

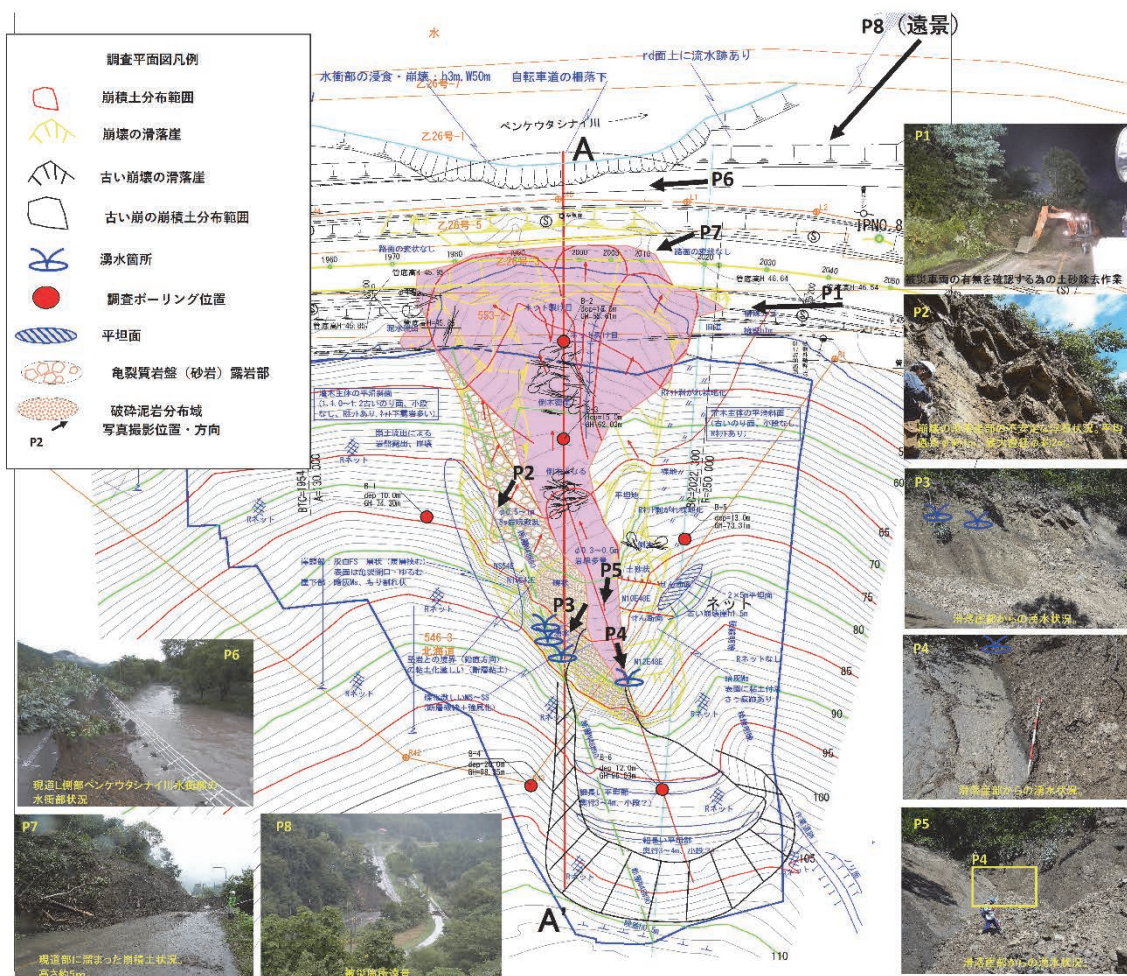


図2 調査平面図

(2) 地質リスクの特定と評価

本事例ではインフラの一刻も早い復旧を目標とする為、地質調査の量や期間に限界があったことや、施工時の安全性や現道通行への影響の懸念のほか、対策工の着工が厳冬期に掛かり、融雪・積雪の繰り返しや地盤の凍上等、寒冷地特有の斜面不安定化など、事業を進めてゆく上で様々な調査・施工上の多くの制約があった。その為、地質リスクマネジメントを駆使し事業方針を取りまとめた。

本事業での地質リスクマネジメントの取り組みとして、被災箇所分布する各地層の安定性の不確実性について、被災箇所の湧水状況、各地層の岩質・土質特性、地層の層理面、節理面構造、断層破碎部の有無等や被災箇所における気象状況等と、地形・地質状況に起因し発現する懸念のある地質リスクを落石・岩盤崩壊・表層崩壊・地すべりとして定性的に評価した。

その結果、リスク発現の可能性が高い順に、頭部滑落崖部に分布する崖錐堆積物で表層崩壊・地すべり・落石の、左側崖部に分布する泥岩で表層崩壊の、右側崖部に分布する砂岩で落石の地質リスクが伏在すると評価した。

表 1 地質リスクが事業へ与える影響の重要性評価

地質リスク発現の可能性 事業への影響性			非常に高い	高	中	小
			目視でリスク発現の 前兆が確認されるもの	精査でリスクの 発現や伏在が 確認されるもの	短期的な観測で リスク発現の 前兆や伏在が明らかに 確認されるもの	長期的な観測で リスク発現の 前兆や伏在が僅かに 確認されるもの
			a	b	c	d
非常に 大きい	現道の通行止め、 全工事の長期中止を要する、 事業全体の見直し・変更に影響する	A	I	I	I	II
大	現道の一時通行止め、 全工事の一時的中止を要する、 事業の部分変更・見直しに影響する	B	I	II	II	III
中	現道通行可能、 部分的な工事を継続し対応可能、 事業の部分変更・見直しに 僅かに影響する程度	C	II	III	III	IV
小	現道通行可能、 全工事を継続しながら対応可能、 事業見直しに影響しないレベル	D	III	IV	IV	IV

2. 事例分析のシナリオ

地質調査の優先性や調査方法、施工順序について表 1 を用い各地層の地質リスクマネジメントの重要性ランクを評価し、表 2 に示す地質調査・対策工設計方針を決定した。なお、表 2 には施工中に発現した地質リスクへの対応も併せて示した。

表 2 各地質リスクの地質調査・対策工設計方針

重要性 ランク	当初想定した 地質リスク	地質調査・ 対策工設計の 対応方針	精査	対策工 設計	施工時に発現した 地質リスク	追加地質調査	リスク発現後の 対策工設計方針
I	頭部滑落崖部：表層崩壊 右側崖部：落石	地質リスクの 積極的除去・低減、 常時モニタリング	ボーリング調査 地すべり観測 (歪計・地下水位)、 定点観測	アンカー 併用法面	頭部滑落崖部： 小規模表層崩壊	観測の強化 (歪計・地下水位)、 定点観測	アンカー併用法面 を崩壊面に沿った 形状とした
II	頭部滑落崖背後斜面部： 地すべり	地質リスクの低減、 常時モニタリング	ボーリング調査、 地すべり観測 (歪計・地下水位)、 定点観測		—	観測の強化 (歪計・地下水位)、 定点観測	—
III	左側崖部： 局部的な斜面変状	地質リスクの保有、 週1回程度の目視確認	定点観測	安定勾配 切土	断層破碎部の 局部的すべり破壊	—	不安定化部を 排土
IV	頭部滑落崖部：小落石	地質リスクノ保有、 月1回程度の目視確認	—	アンカー 併用法面	—	—	—

施工中には、頭部滑落崖部において積雪と融雪の繰り返しを誘因とする小規模表層崩壊が、左側崖部の断層破碎部で排土に伴う応力開放により局部的なすべり破壊等の地質リスクが発現した。このことから、追加地質調査として地すべり観測・定点観測の頻度を上げ抽

出した地質リスクを改めて評価した。その結果、当初想定していた地質リスクの一部が発現したものであり、事業全体に大きな影響は与えないと評価した。但し、頭部滑落崖部のアンカー併用法枠工設計の一部見直しと、左側崖部のすべり破壊の排土工設計を検討する必要があると生じた。

3. データ収集分析

本発表でのコスト算出については、当初設計の工事を実施し何も変状が発生しなかった場合、綿密な調査を実施し想定される地質リスクへの対策工を実施した場合、実際の施工の場合の3ケースについて工費を比較した。

(1) 発現した地質リスクを考慮した追加地質調査

頭部滑落崖部及び周辺の観測強化（歪計観測・定点観測）により、背後斜面部を巻き込む地すべりの有無を確認した。左側崖部のすべり破壊についてはリスクの発現が限定的であることから、目視による拡大の有無の確認程度に留めた。

(2) 追加地質調査結果を考慮した地質モデルの再検討

発現した際に最も大きな地質リスクとなる頭部滑落崖背後の古い不安定土塊は、地すべり観測の結果からほぼ安定していると評価した。しかし、頭部滑落崖の表層崩壊が更に進行した場合には、背後斜面の不安定化を誘発する恐れがあった。また、左側崖部のすべり破壊について、破碎部は法面に斜交することから、法面部に現れる脆弱部は限定的であると評価した。

(3) 発現した地質リスクを考慮した新たな設計

頭部滑落崖部に分布する崖錐堆積物は安定勾配よりも急立することや、背後斜面の不安定化を誘発する恐れがある為、これ以上の掘削は背後斜面部の不安定化を招く恐れがあると評価し法枠工を現況崩壊面に沿った形状へ変更した。それに伴いアンカー本数が僅かに増工となった。また、左側崖部のすべり破壊については断層破碎部分布域に限られたものであることから、排土した。その後の工事では大きなトラブルも無く、無事竣工した。

4. マネジメントの効果

表3に当初設計と地質リスク発現後の全体工事費の比較を示す。当初設計段階である程度地質の不確実性を考慮した施工方針としたことで、発現した地質リスクへの対策費を可能な限り軽減させることが出来た。

表 3 当初設計と地質リスク発現後の全体工事費の比較

－想定－ 当初設計通りの施工で大きなトラブルが無かった場合 合計 225,510,000円 土工 37,800,000円 法面工 152,000,000円 排水工 2,880,000円 撤去・仮設工 11,520,000円 調査費 21,310,000円 －想定－ 綿密な調査を実施し、地質リスクの発現を前提とし 対策工を設計した場合 合計 257,670,000円 土工 37,800,000円 法面工 167,840,000円 排水工 2,880,000円 仮設工(地表面保護) 9,720,000円 撤去・仮設工 11,520,000円 調査費 27,910,000円		－本事例－ 当初地質モデルの不確実性を考慮し 常時観測を実施しながら施工し、 発現した地質リスクを最小限に留めた。 合計 234,280,000円 土工 46,080,000円 法面工 156,600,000円 排水工 2,880,000円 撤去・仮設工 11,520,000円 調査費 25,160,000円
---	--	---

5. データ様式の提案

本事例は、発現した地質リスクを最小限に回避した事例に該当するものであり、データ様式 C 表を用い詳細を表 4 に取りまとめた。

表 4 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目	データ
対象工事		発注者	北海道
		工事名	XX 災害復旧工事
		工種	災害復旧工事
		工事概要	切土法面工・排土工
		① 当初工事費	225,790,000
		当初工期	平成 28 年 8 月～平成 29 年 12 月
発現したリスク	リスク発現事象	リスク発現時期	施工中
		トラブルの内容	表層崩壊、すべり破壊
		トラブルの原因	急激な暖気の到来による融雪、切土後の応力開放
		工事への影響	法面工の一時中止
		追加調査の内容	地すべり観測、定点観測

	追加工事の内容	修正設計内容		グラウンドアンカー工・排土工の増工
		対策工事		グラウンドアンカー工・排土工
		追加工事		土工（排土・運搬）、法枠工、グラウンドアンカー工
		追加費用	追加調査	2,200,000
			修正設計	なし
			対策工	なし
			追加工事	なし
			②計	2,200,000
		延長工期		なし
		間接的な影響項目		工事中断、豪雨・地震時の通行規制強化
		負担者		発注者
最小限に回避したリスク	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		施工中
		予測されたトラブル		地すべり
		回避した事象		頭部滑落崖部の不安定化
		工事への影響		切土工事の一時中断
	リスク管理の実際	判断した時期		平成 29 年 1 月
		判断した者		株式会社 開発調査研究所
		判断の内容		斜面不安定化の懸念があった。
		判断に必要な情報		滑落崖背後の斜面不安定化の有無
	リスク対応の実際	内容	追加調査	地すべり観測、定点観測他
			修正設計	切土設計勾配の変更、不安定土塊の除去
			対策工	グラウンドアンカー工、排土工
		費用	追加調査	なし
			修正設計	1,650,000
			対策工	1,2880,000
			③計	14,530,000
	回避しなかった場合	工事変更の内容		グラウンドアンカー併用法枠工、仮設工（地表面保護）
		④変更後工事費		257,670,000
		変更後工期		平成 29 年末
		間接的な影響項目		なし
		受益者		発注者
リスクマネジメントの効果		費用④－（①+②+③）		15,430,000
		工期		平成 28 年 8 月～平成 29 年 12 月
		その他		特になし

【論文 No. 4】切土・盛土境界に発生した道路クラックに対する対応事例

基礎地盤コンサルタンツ(株) ○内藤 真弘
奈良 啓示

1.事例の概要

本事例は、山間地の国道において地山の風化（脆弱化）を要因として発生した地質リスクの事例である。

地質リスクが発生した国道は、山側を切土工・谷側をテールアルメ工法による盛土工で施工された急峻な山間地に位置する。本国道は、施工の２年後に道路面にクラックが発生し、クラック補修を行った。その３年後には再度同じ箇所にはクラックが発生し、今度はクラックや段差の進行が確認されたため、地質調査等を実施して、リスクを最小限に回避した事例である。

2.事例分析のシナリオ

(1) 変状状況

調査地は、国道約 80m 区間にわたり連続的なクラックや段差の変状が確認された。クラック補修を実施して経過観察を行った所、同一箇所にクラックが発生したため、進行していることを確認した。

テールアルメ部には、パネルの変状や破損などが確認されたが、末端部にはらみ出し等の変状は確認されなかった。また、テールアルメの下方の斜面は一部倒木や段差地形などが確認された。

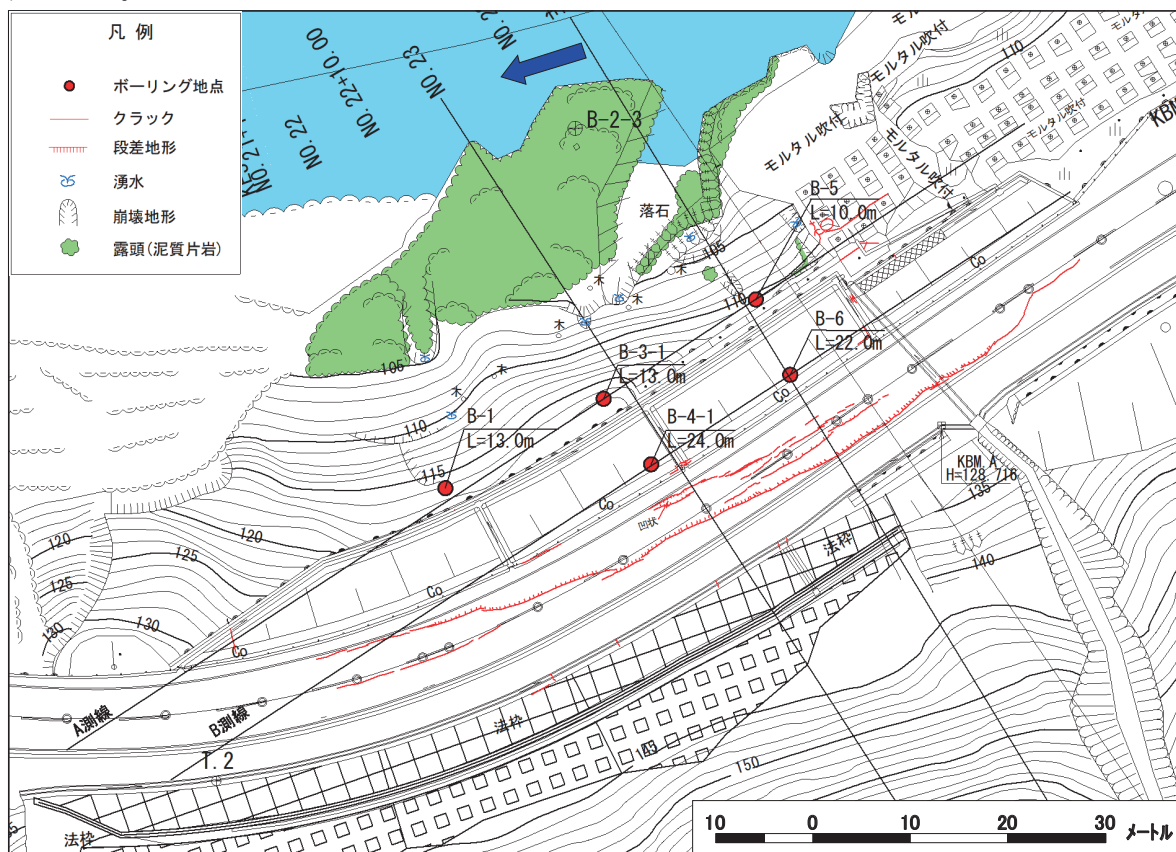


図 1 変状箇所位置図



道路面のクラック状況



テールアルメ末端付近の変状



テールアルメの下方斜面の状況

図 2 現地状況写真

(2) 変状要因の推定

道路面のクラックや段差は明瞭であり、進行していることを確認したが、斜面末端付近の変状は不明瞭であり、道路面のクラックが盛土斜面にどのように影響を与えているか不明な状況であった。

道路面に見られたクラックの位置は、道路建設時の図面を確認したところ、切土と盛土の境界付近であり、道路付近では盛土が変状していることが分かった。しかし、テールアルメは、補強材で安定を図っているため、使用されている補強材に不備があり変状が生じているとは考えにくい。また、盛土のみの変状であれば、テールアルメ末端部にせん断クラックが多く確認されるはずであるが、現状ではテールアルメ末端部にせん断クラックがほとんど見られない。

そのため、下記のように今回の変状の要因を推定した。

- 調査地の岩盤は、三波川帯の泥質片岩が分布するため、地下水の流動により粘土化しやすい特性がある。
- 盛土は、腹付け盛土となるため、背後の地山から地下水が流入して、地山と盛土の境界付近が脆弱化しやすかったものと思われる。
- テールアルメの基礎部は、建設時に堅岩が分布していたが、掘削に伴う応力開放や山側からの地下水供給等により、風化が進行して岩盤が脆弱化したものと想定される。

以上より、山側からの地下水が供給され、岩盤と盛土の境界付近やテールアルメの基礎部分の風化が進行することにより、盛土を包括するように地山を含んだ地すべりが発生したものと推測した。

なお、三波川帯の泥質片岩は、元々硬質な岩盤であるが、泥岩特有のスレーキング作用により、地下水による乾湿繰り返しに伴い風化が進行したため、施工前に地質リスクとして評価して対応するのが難しかったと考える。

(3) 調査および検討の提案

今回生じた変状は進行していたため、徐々に変位が加速して崩落に至るものと想定され、変位が収束することは考えにくい。崩落した場合は、迂回路や片側交互通行などが必要となり、地域住民に対して大きな影響を及ぼすと共に、盛土の造成を行った上で対策工を検討する必要があるため、建設費用も増加する。

以上のことから、地すべり滑動が活発化する前に対策を実施する必要があると判断し、(2)で推定したすべりに対する調査として、盛土内とテールアルメ末端部の下方斜面の計 5 か所に対してボーリング調査および地下水位計・パイプ歪計観測を実施した（図 1 ボーリング地点参照）。

3. データ収集分析

ボーリング調査及び動態観測の結果、降雨に伴う変動が確認された。

盛土内のボーリング地点では、盛土と地山の境界付近に変位が生じ、テールアルメ下方の斜面では地山内に変位が確認された。

以上より 2. で推定したすべり面が確認された。なお、地すべり末端部の地形は、不明瞭であったが、ボーリング地点のすべり面深度を基に微地形（段差等）より末端部を推定して、地すべりブロックを確定し、対策工を実施した。

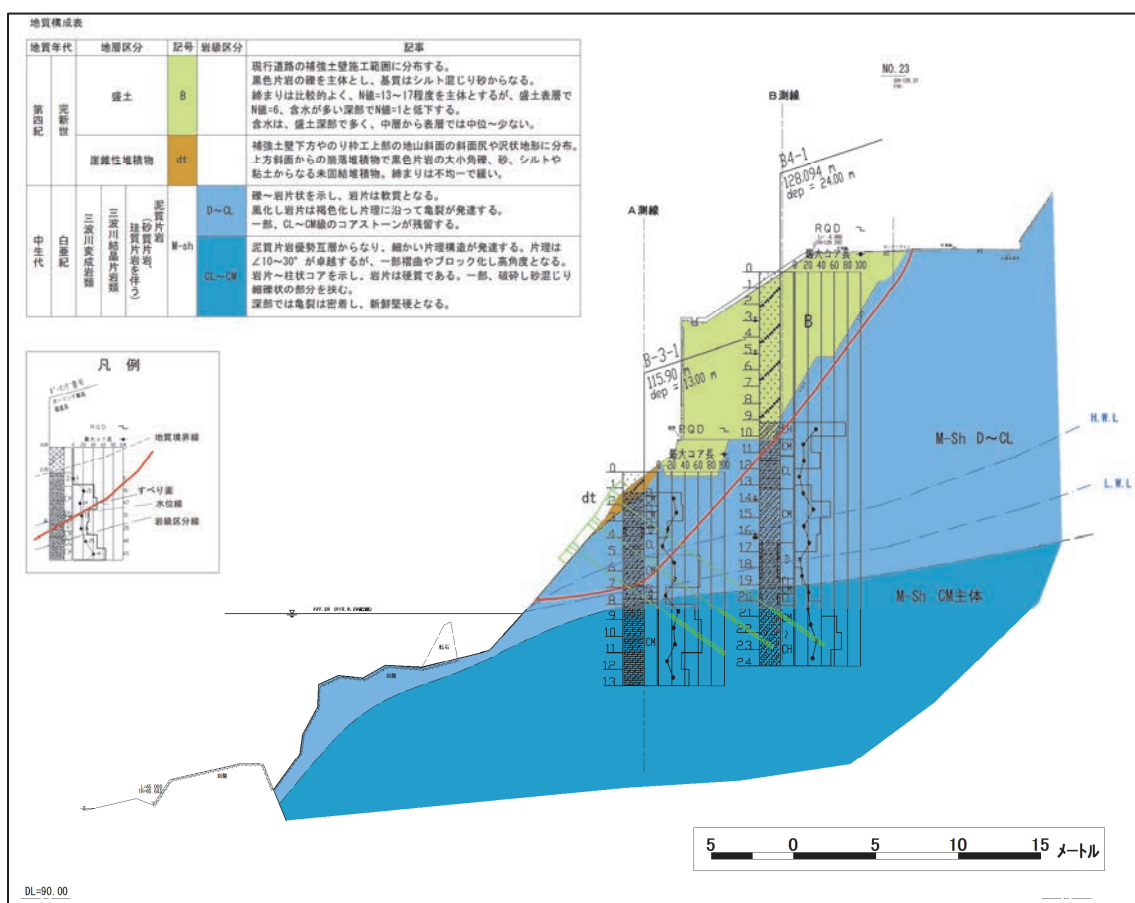


図3 想定地すべり断面図（緑線（アンカー、法枠）：地すべり対策工）

4. マネジメント効果

マネジメントの効果としては、リスク回避時の実際とリスク発生時の比較を実施した。しかし、リスク発生時の対策費用については、不確定要素が大きいため、あくまで目安として崩落後の盛土の構築と対策工に対して費用を算定した。

当地区においては、山側および谷側共に急斜面を呈しており、切土・盛土で構築された道路であるため、被災した際に道路を別ルートに変更することが困難である。そのため、被災時には再度盛土を構築して道路建設を行う必要がある。ただし、現在と同じ状態では再び変状が生じるため、少なくとも実際に実施した対策工と同等の抑止効果を持つ対策工を実施しなければならない。

以上より、表1に示す②リスクを回避した場合（実績）に対して、「盛土工・補強土壁工」を追加して施工するイメージの対策費用となり、推定として66,000千円のリスクを回避できたこととなる。

また、工期としては、リスクを回避しなかった場合には、崩落後に調査・設計等が行われるため、6か月程度は余分に時間を要すると考えられる。

今回の事例では、道路面クラックは連続性があるものの、降雨時に変状が進行する程度の変状速度であり、急激に崩落するものではない状態であった。しかし、地すべりは対策を行わずに変状が収まることはなく、いずれ崩落することを考えると、変状が加速する前に対策

を行い、リスクを回避することが重要である。

今回のような道路変状は、盛土の沈下や路面の陥没など様々な要因により生じる可能性がある。そのため、地質技術者として、1つの変状だけでなく、上部斜面・下方斜面など様々な変状状況を確認した上で、変状の評価を行うことにより、的確な調査提案や対策工設計を行うことができ、マネジメントができるものとする。

表 1 マネジメント効果について

ケース	対策工事費用	工期
①リスクを回避しなかった場合	・構造物撤去工 ・盛土工 ・補強土壁工 ・横ボーリング工 ・アンカー工もしくは杭工	222,000 千円
②リスクを回避した場合（実績）	・構造物（補強土壁）復旧工 ・横ボーリング孔 ・法枠付きアンカー工	156,000 千円
リスクマネジメント効果（①-②）		66,000 千円

5. データ様式の提案

今回の事例は、道路供用後の維持管理段階において発生したリスクであった。データ様式は、工事中に発生したリスクに対して工事費と追加工事費でマネジメントすることとなっていたが、今回は当初の工事費を未記入として C 表原案に記入して修正は加えなかった。様式の統一化に対しては、地質リスクの発現時毎に区分すれば、より見やすくなるものとする。

C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目	データ
対象工事		発注者	
		工事名	
		工種	
		工事概要	
		①当初工事費	
		当初工期	
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期	道路供用中（維持管理段階）
		トラブルの内容	道路面にクラックが発生
		トラブルの原因	風化に伴う地山の脆弱化を予測できなかった。
		工事への影響	
	追加工事の内容	追加調査の内容	
		修正設計内容	
		対策工事	
		追加工事	
		追加費用	追加調査

最 小 限 に 回 避 し た リ ス ク			修正設計	
			対策工	
			追加工事	
			②合計	
		延長工期		
		間接的な影響項目		
		負担者		
	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		道路供用中(維持管理段階)
		予測されたトラブル		変状の進行に伴う道路の崩落
		回避した事象		地すべり対策工事
		工事への影響		
	リスク管理の実際	判断した時期		道路面にクラックが発生し、クラック補修を行い、再度クラックが発生した段階
		判断した者		地質調査業者
		判断の内容		地すべり調査の提案
		判断に必要な情報		地質情報(地盤性状) 変状状況(変動深度) 地下水状況
	リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング調査 6 箇所 パイプ歪計観測 地下水位観測 (警報装置等を含む)
			修正設計	横ボーリング孔 法枠付きアンカー工 構造物(補強土壁)復旧工
			対策工	横ボーリング孔 法枠付きアンカー工 構造物(補強土壁)復旧工
		費用	追加調査	25,000 千円
			修正設計	6,000 千円
			対策工	125,000 千円
			③合計	156,000 千円
	回避しなかった場合	工事変更の内容		崩落後の盛土造成工事 ・構造物撤去工 ・盛土工 ・アンカー工もしくは杭工 ・補強土壁工
		④変更後工事費		222,000 千円(推定) (調査・設計費を含む)
		変更後工期		約 1 年
		間接的な影響項目		片側交互通行が施工完了(約 1 年)まで継続。
		受益者		道路管理者, 地域住民, 納税者
	リスクマネジメントの効果	費用④－(①+②+③)		66,000 千円(推定)
		工期		約 1 年(推定)
		その他		

[論文No. 5]

三次元化技術を利用した排土工による地すべり対策で地質リスクを回避した事例

応用地質株式会社 ○山田 靖司

株式会社熊谷組 石濱 茂崇

株式会社熊谷組 若林 宗人

(地質リスク・エンジニア 登録番号31)

1. 事例の概要

上信越自動車道の信濃町ICから上越JCT間で進められていた4車線化工事区間のうち、新井PA～上越高田IC間に位置する上信越自動車道青田工事において、STA. 612+60付近の切土のり面で、拡幅施工中に地すべりが発生した。図1に地すべり発生位置を、図2にドローンで撮影した地すべりの全景写真を、図3にLPデータから作成した三次元形状図を示す。本報告は、地すべり対策工を選定するうえで、ボーリングや現地踏査等の地質調査結果を三次元化し、周辺の地質構造や地すべりの発生機構を正確にわかりやすく表現し、維持管理で有利な大規模な排土工を選定することができ、さらに背後斜面で発生することが想定された地すべりのリスクについても回避した事例である。



図1 位置図（地理院地図より引用）



図2 切土のり面の地すべりブロック全景

2. 事例分析のシナリオ

(1) 発現した地質リスク

地すべり発生箇所には新第三系の砂岩泥岩互層が分布する。周辺は地すべり多発地帯であり、当該箇所にも切土前の地形に地すべり地形が認められていた。今回の地すべりの範囲はUAVで取得したLPデータや現地踏査により頭部滑落崖、末端部の押し出しや地盤の隆起、側部の亀裂で囲まれた幅60m、延長40mと確認された（図4）。

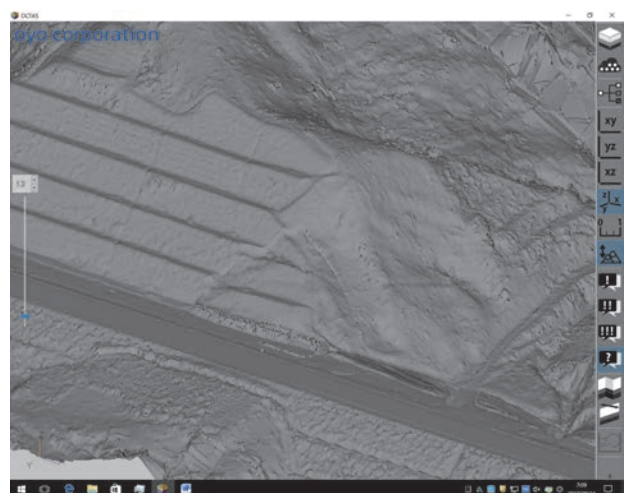


図3 LPデータから作成した3次元形状図

変状確認後に大型土嚢等の押え盛土、水抜きボーリングによる応急対策がなされ、地すべりの活動は概ね停止した状態となった。

(2) リスク発現の原因

リスク発現の原因は、変状発生直前にⅡ期線側に切り残されていた斜面下部を1 m程を切り下げたことと、切土のり面の小段側溝が地すべり付近に流下する構造となっており、豪雨時にそこからオーバーフローした表流水が土塊内に流入したことが地すべりを誘発したものと推定される。

応急対策と並行して実施した主測線上の3本のボーリング（図4に併記）と動態観測により、地すべり面の形状や活動性、地すべり

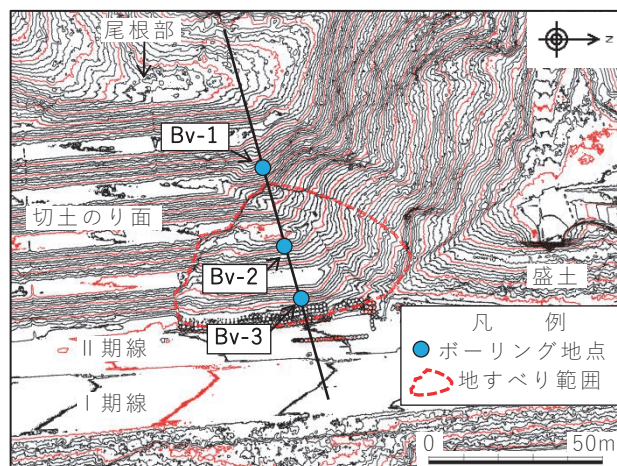


図4 地すべりブロック平面図

土塊部分の流れ盤状の地質構造、軟質な地山の性状を確認した。地すべりの右側部に北西－南東走向で北東方向に60°程度傾斜する断層が認められ、地すべり土塊の右側部から頭部の範囲を規制するものと判断された。地質平面図を図5に、地質断面図を図6に示す。

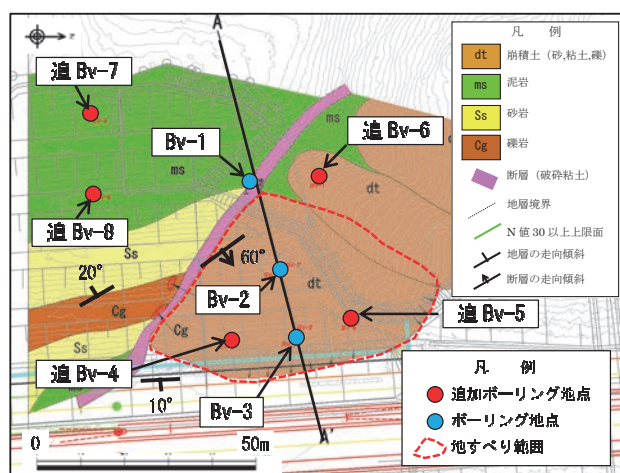


図5 地質平面図

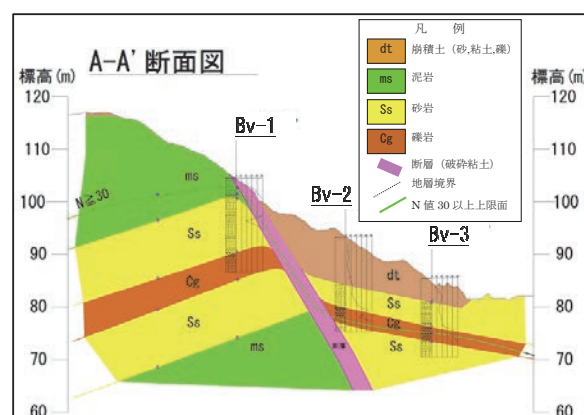


図6 地質断面図

(3) 対策工法の検討とリスク回避のための追加調査提案

地すべり対策工はアンカーや抑止杭による抑止工と排土工等が検討され、供用後の維持管理性を考慮して排土工を選択することとなった。

なお、本地すべりがゆるい流れ盤状の地質構造に規制された椅子型のすべりであると推定されたことから、切土勾配を緩くし地すべり土塊の一部を除去する形状では安全率の向上が見込めず、地すべりのリスクを回避するためには移動土塊をすべて除去する必要があった。

ただし、この場合、排土対象の地すべり土塊の三次元的な形状を正確に把握することと、排土により新たに同規模の切土のり面が形成されることからその切土のり面の安定性についても検討する必要があった。

これらを解決するため、地すべり土塊内部で2本、土塊の外側で3本のボーリングを追加で実施し、切土のり面やその周辺で現地踏査を行い地質分布を確認した（図5に併記）。

3. データ収集分析

(1) 調査結果の三次元化による解析

各種調査により把握された地質、地山状態のデータを三次元表示ソフト（OCTAS 応用地質(株)製）を用いて、三次元モデルを作成し立体的に把握することで(図7～図9)、各ボーリングのコアや切土のり面において確認された礫岩層が鍵層として明瞭に追跡できた。また、地すべり右側部から頭部方向に連続する断層を境として、地すべり土塊側は流れ盤構造で深部まで軟質な地山状態であるのに対して、山側は受け盤構造で比較的浅い位置から新鮮硬質な地山が分布することを明らかにした(図7)。

これにより、排土により形成される切土のり面が不安定化する可能性は低いと判断することができた。

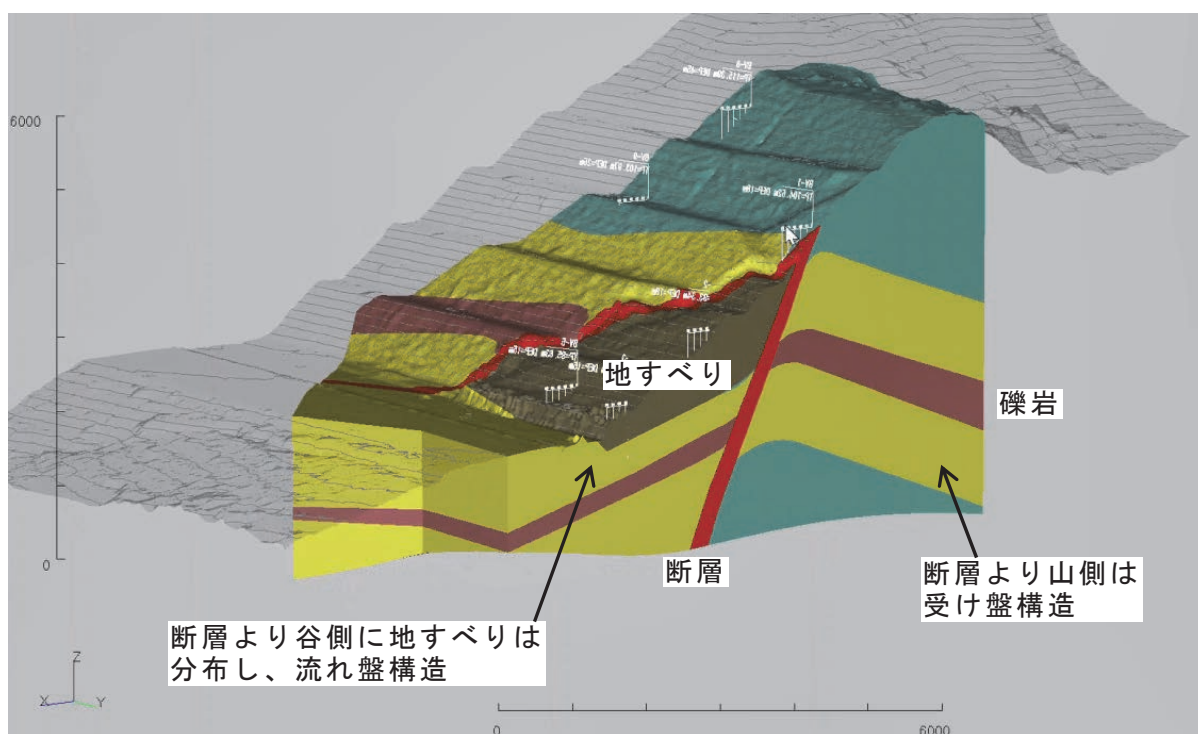


図7 三次元地盤モデル（解析主側線付近で切断）

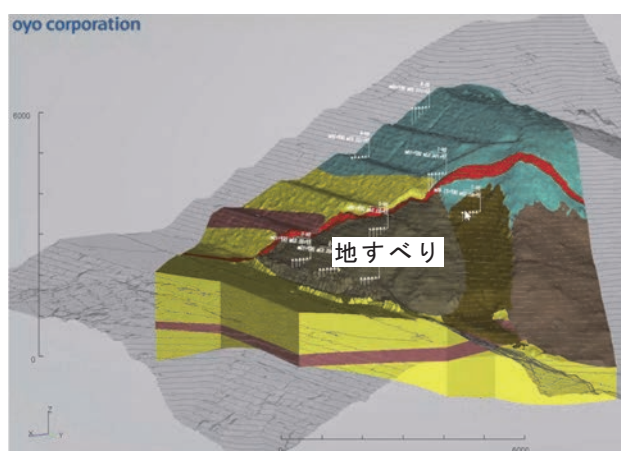


図8 三次元地盤モデル（表層地質分布）

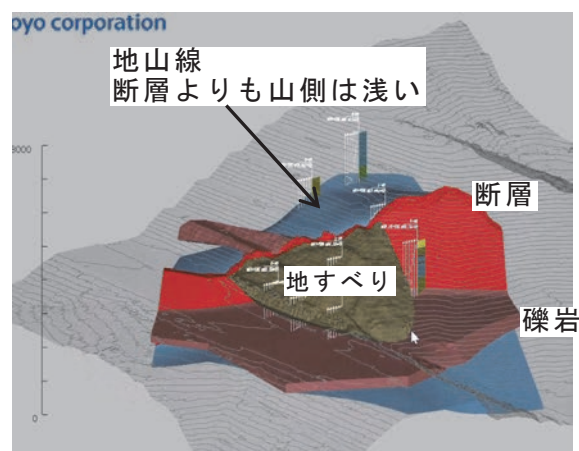
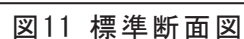
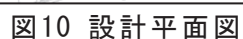


図9 三次元地盤モデル（主要地質分布）

対策工を検討する際にも三次元地盤モデルを活用することで、仮設対策の配置、切土のり面の形状、のり面保護工の配置や規格を地山状態に即した形で配置することができた。

図14に切土施工後の現地状況写真を示す。



4. マネジメント効果

本業務を実施することにより、以下のようなマネジメント効果があったものとする。

- a) 通常のアンカーや杭等の抑止工と比べて、排土工は構造物を用いた工法ではないことから、供用後に発生するメンテナンスにかかる手間と費用を削減することができた。
- b) 排土工により地すべり土塊を完全に除去していることから、地すべり解析の不確実性から地すべりが再活動するリスクを除去できた。
- c) 詳細な地質調査や三次元化モデルにより、背後斜面が受け盤構造で、地山状況も良いことが判明したことから、別途の崩壊対策が不要となった。
- d) 仮設対策を工夫し、Ⅱ期線供用後に排土対策ができるようにしたことで、Ⅱ期線の供用開始を遅らせることが無かった。
- e) のり面を山側へセットバックすることにより、道路との間にポケットが設けられ雪崩対策が不要となった。

なお、本件の場合、費用、工期とも地すべり抑止工と比べて排土工の方が大きくかかる結果となっているが、地すべり土塊を残すというリスクを残存させないことにより、地すべり対策施設や雪崩対策施設の維持管理、施設更新まで見据えた場合の手間や費用が軽減されることを優先し、本排土対策を実施することとなった。

表1 マネジメント効果の算出一覧表

項 目	内 訳	金額(千円)
①当初工事費用	・地すべりが発生しなかった場合は、特に対策や費用の発生は無し。	—
②追加工事費用	・リスク発現後、測量調査設計費用 ・地すべり対策(仮設工、排土工、のり面对策工) ●合計	¥ 59,000 ¥ 873,000 ※ ¥ 932,000
③回避しなかった場合の工事費用	・リスク発現後、測量調査設計費用 ・地すべり対策費用(仮設工、アンカー付き杭工) ・雪崩対策費用(雪崩止め柵、巻きだれ防止柵) ・維持費用(リフトオフ試験 2本 @3,000千円)×5回 (1回/10年 50年間の維持費を想定) ●合計	¥ 59,000 ¥ 434,000 ※ ¥ 51,000 ※ ¥ 15,000 ¥ 559,000
リスクマネジメントの効果	③－② 維持管理にかかる手間や費用が小さくなること、地すべり土塊を残すというリスクを残存させないことを優先	¥ -373,000

※ ここに示す工事費は、設計段階での概算金額であり、実際の施工費とは異なる。

5. データ様式の提案

本事例を「発現した地質リスクを最小限に回避した事例(C型)」として、以下の表に示す。

C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目		データ
対象工事		発注者		東日本高速道路株式会社
		工事名		上信越自動車道 青田工事
		工種		のり面工
		工事概要		Ⅱ期線側拡幅に伴う切土のり面工等
		①当初工事費		－
		当初工期		－
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期		2017年8月
		トラブルの内容		地すべり
		トラブルの原因		降雨、切土
		工事への影響		新たに地すべり対策工事が必要
	追加工事の内容	追加調査の内容		－
		修正設計内容		－
		対策工事		－
		追加工事		－
		追加費用	追加調査	－
			修正設計	－
			対策工	－
			追加工事	－
		②合計		－
		延長工期		－
間接的な影響項目		－		
負担者		－		
最 小 限 に 回 避 し た リ ス ク	リスク回避事象 排土工で対応	予測されたリスク発現時期		－ 回避後リスクなし
		予測されたトラブル		－ 回避後リスクなし
		回避した事象		－ 回避後リスクなし
		工事への影響		－ 回避後リスクなし
	リスク管理の実際	判断した時期		2017年12月
		判断した者		東日本高速道路株式会社
		判断の内容		排土工による対策
		判断に必要な情報		施工期間
	リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング、測量、動態観測
			修正設計	排土工（地すべり対策）
			対策工	排土工（地すべり対策）
		費用	追加調査	44,000
			修正設計	15,000
			対策工	873,000 ※
			③合計	932,000
	回避しなかった場合 アンカー付き杭工で 検討	工事変更の内容		アンカー付き杭工、雪崩止め柵
④変更後工事費		59,000(調査設計)+485,000(工事)※		
変更後工期		仮設8カ月 本体14カ月 計22カ月※		
間接的な影響項目		地すべり施設の維持管理、更新		
受益者		東日本高速道路株式会社		
リスクマネジメントの効果		費用④－(①+②+③)		－373,000
		工期		仮設8カ月 本体35カ月 計43カ月※
		その他		維持管理を考慮した工法選定

※ ここに示す値は、設計段階で試算した概算金額や工期であり、実際の施工費や工期とは異なる。

【論文No. 6】平野部の道路事業における地質リスク評価手法の検討事例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 中国支社 ○長谷川勝喜
 基礎地盤コンサルタンツ株式会社 関東支社 永川 勝久
 (地質リスク・エンジニア 登録番号88)
 国土交通省中国地方整備局倉吉河川国道事務所 波戸 秀浩
 国土交通省中国地方整備局倉吉河川国道事務所 竹内 康博

1. 事例の概要

本事例は、山陰沿岸の砂丘地帯に計画されている北条道路における地質リスク評価手法の検討事例について紹介する。

北条道路は、鳥取県から島根県を経て山口県に至る日本海側ネットワークの骨格をなす山陰道のうち、鳥取県の県庁所在地である鳥取市と同県2位の人口を誇る米子市とのほぼ中間に整備が計画されている一般国道9号と並行する自動車専用道路である（図1参照）。

当該道路は、道路土工構造物や橋梁構造物等が計画され、事業進捗に応じて各工区で地質調査、予備設計、詳細設計が実施されているほか、路体盛土が不連続に残置している（表1参照）。

表1 北条道路の諸条件

項目	特記事項
道路構造	道路規格：1種2級、暫定2車線、計画幅員10.5m
計画構造物	盛土、補強土壁、橋梁、ボックスカルバート等
地形条件	北条砂丘で平坦な地形が連続するが、事業予定地には路体盛土が不連続に残置。 路体盛土や基礎地盤の力学特性の確認が必要。
地質条件	砂丘砂層、沖積砂質土層は液状化の可能性が高い(鳥取県中部地震(H28)で確認)。部分的に軟弱粘性土層が厚く分布し、安定や圧密沈下の懸念。



図1 北条道路の位置図

当該地は主に砂丘からなる平野部に位置し、道路計画地周辺では過去の地震において液状化現象を確認されている。また、部分的に軟弱な粘性土が厚く分布するため、安定や圧密沈下などの地質リスクが懸念される地盤条件である。

このような条件のもと、今後の事業展開の各段階において地質リスクが要因となる事業の手戻りを最小限にする必要がある。

そのため、構造物ごとに想定される地質リスクを抽出し検討を行った。また、今後の事業展開に地質リスクを引継ぐため、地質リスク管理表（登録表と措置計画表）を作成し、後続調査計画を整理した。橋梁区間では、概略設計段階成果と今回調査結果をCIM化することにより橋梁基礎の支持層の不陸の見える化が図られ、詳細設計に向けて三者会議を開きリスクの洗い出しと対応方針を決定した（三次元地質モデルによるリスクコミュニケーション）。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 地質リスクの抽出

北条道路は、図2に模式的に示される地形地質条件の地盤上に盛土や橋梁、補強土壁・カルバ

ートボックスが施工される予定である。

ここで、道路構造物の各建設事業段階で想定されるリスクを表2に整理した。

図2の地盤状況において各地層で考えられる地質リスク（基礎地盤の安定・変形（沈下）、L2地震時の液状化、支持層の傾斜・不陸・薄層支持、杭施工における中間層の施工障害、地下水位障害、暫定盛土の路体の支持力）は、地質（地盤）固有のリスクだと判断できる。

つまり、事業の各段階で発現する地質リスクを分析すると、事業の各段階で評価する地質リスクは段階ごとに変わるものではなく、原地盤に対する固有のものと考えられる。

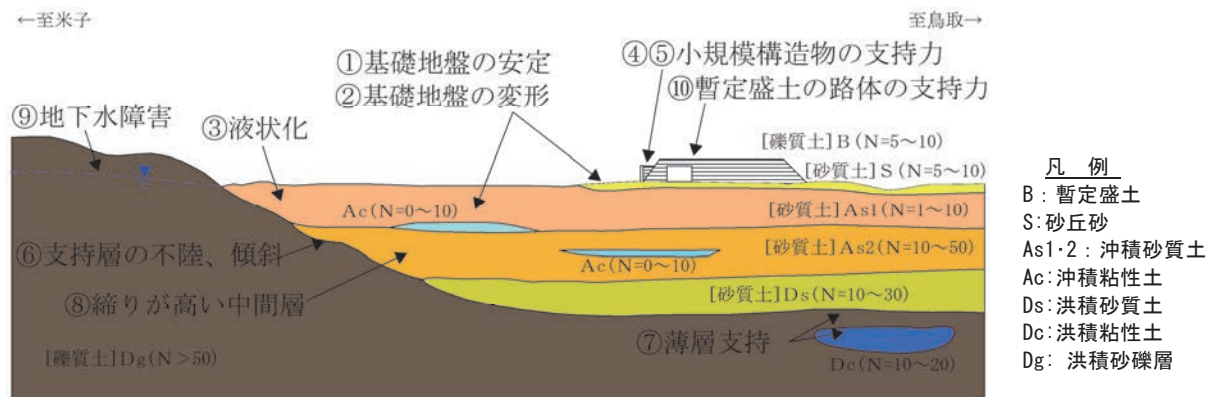


図2 北条道路計画地の地盤状況及び地質リスク

表2 各建設事業段階で考えられるリスク（構造物ごと）

構造物	施工時	完成後(常時)	完成後(地震)	維持管理
盛土	・沈下・すべり・側方変位 ・盛土材の強度 ・水質、水位影響	・沈下・すべり ・側方変位・盛土材の強度	・慣性力、液状化による盛土のすべり ・基礎地盤の液状化による路面の沈下 ・盛土材の強度	・経年劣化
擁壁・カルバート	・基礎の施工障害 ・基礎の支持層未到達 ・水質、水位影響	・支持力不足による沈下（支持層未達、薄層支持） ・基礎地盤の圧密沈下 ・側方変位	・慣性力、液状化による構造物のすべり	・経年劣化
橋梁	・基礎の施工障害 ・基礎の支持層未到達 ・水質、水位影響	・支持力不足による沈下（支持層未達、薄層支持） ・基礎地盤の圧密沈下 ・橋台の側方変位	・慣性力、液状化による下部構造物の損傷	・経年劣化

(2) 地質リスクの評価手法（リスクマトリックス）

地質リスクの評価手法は、抽出した地質リスク毎に発生規模Eと発生確率Lの各指標について検討しスコア評価できる「リスクマトリックス評価」を採用した（図3参照）。以下に、発生規模Eと発生確率Lの考え方を示す。

○発生確率（L）：リスクの発生する可能性の高さ

地形、地質、N値やPL値（液状化）などを参考にできるだけ定量的な尺度を設定。

○影響度（E）：リスクが発生した場合のコストや工期に与える影響

ある事象に対して、一般的な対策規模に主眼を置き設定を行った。影響度は、リスクが顕在化した際の手戻り時間や追加事業費などが考えられるが、道路計画、予備設計の段階ではその詳細を決めることは困難であった。よって、対策を行う場合を考慮し対策深度や対策の容易さなどにより定性的に重みづけを行った。

○影響度E、発生確率Lとも3段階（低い、中程度、高い等）で評価した（図3参照）。

○各地質リスクにおける影響度Eと発生確率Lとの指標を表3に示した。

表3 地質リスクごとの発生規模と発生確率

地質リスク	影響度Eの指標	発生確率Lの指標
①基礎地盤の安定	地盤の層厚	N値
②基礎地盤の変形 (圧密沈下、周辺地盤の変形)	粘性土の層厚	圧密降伏応力(P _c) N値
③L2地震時の液状化	砂質土層の層厚、 分布深度	PL値(液状化指数)
④小規模構造物(カルバート)の支持力	支持力不足の地層層厚	N値
⑤小規模構造物(抗土圧構造物)の支持力	支持力不足の地層層厚	N値
⑥支持層の傾斜・不陸	支持層の出現深度	地形・地質
⑦支持層の薄層支持	支持層の層厚	N値
⑧杭施工における中間層 (締った砂質土層)	中間層の層厚	地盤とN値
⑨地下水障害	利用状況等	道路線形からの距離
⑩暫定盛土の路体の支持力	盛土材料	締固め度

			リスクの定性的な尺度:可能性の高さL(発生確率)		
			すべり、圧密沈下、液状化等の発生の可能性		
			低い【1】 (ほぼ発生しない)	中程度【2】 (発生するかもしれない)	高い【3】 (発生する)
			指標値 地形、地質、N値、PL値等を参考に定性的に設定		
影響度E (コストや工期に与える)	低い【1】	対事業規模に模対する一般的な設定	C	C	B
	中程度【2】		C	B	A
	高い【3】		B	A	A
【リスクの評価基準(リスクランク)】リスクの程度R=E×L					
低減 A(地質地盤リスクが発生する可能性が高い)			=6~9点		
低減 B(地質地盤リスクが発生する可能性が中程度)			=3~4点		
保有 C(地質地盤リスクが発生する可能性が低い)			=1~2点		

図3 基本的なリスクマトリックス

具体的なリスクスコア評価例として、「安定、変形、液状化」を図4に示す。同図におけるリスクスコアA,Bは、リスクに対して軟弱地盤対策工を講じ道路の性能を確保するためのリスク低減を図る。リスクスコアCは、設計段階で道路性能を確認した後、リスク保有を図ると考えた。

○基礎地盤の安定

リスクスコア A=6~9点 B=3~4点 C=1~2点			リスクの定性的な尺度:可能性の高さL(発生確率)		
			基礎地盤がすべり破壊を生じる可能性(常時)		
			低い【1】 (ほぼ発生しない)	中程度【2】 (発生するかもしれない)	高い【3】 (発生する)
			指標値 N値=5~10	N値=2~4	N値=0~1
リスクの許容度:影響E コストや工期に与える影響	低い【1】	厚さ合計1m以下 (無処理、表層処理)	C	C	B
	中程度【2】	厚さ合計1~3m (小規模な地盤改良・掘削置換等)	C	B	A
	高い【3】	厚さ合計3m以上 (地盤改良・中間・深層地盤改良等)	B	A	A

○基礎地盤の変形(圧密)

リスクスコア A=6~9点 B=3~4点 C=1~2点			リスクの定性的な尺度:可能性の高さL(発生確率)		
			圧密沈下発生の可能性		
			低い【1】 (ほぼ発生しない)	中程度【2】 (発生するかもしれない)	高い【3】 (発生する)
			(有効土被り圧+盛土荷重)<P _c	(有効土被り圧+盛土荷重)=P _c	(有効土被り圧+盛土荷重)>P _c
			指標値 粘性土N値=5~10	粘性土N値=2~4	粘性土N値=0~1
リスクの許容度:影響E 基礎地盤のすべりや工期に与える影響	低い【1】	厚さ合計1m以下 (無処理、表層処理)	C	C	B
	中程度【2】	厚さ合計1~3m (小規模な地盤改良・掘削置換等)	C	B	A
	高い【3】	厚さ合計3m以上 (地盤改良・中間・深層地盤改良等)	B	A	A

○L2 地震時の液状化

リスクスコア A=6～9点 B=3～4点 C=1～2点				リスクの定性的な尺度:可能性の高さL(発生確率)			
				液状化発生の可能性			
程度				低い【1】 (ほとんどなし)	中程度【2】 (小さい～中程度)	高い【3】 (激しい～非常に激しい)	
				指標値(地震動L2)			
				盛土	構造物		
リスクの許容度:影響E	液状化がコストや工期に与える影響	低い【1】	厚さ合計1m以下(無処理、表層処理)	液状化層の出現深度21m以深	C	C	B
		中程度【2】	厚さ合計1～3m(小規模な地盤改良・掘削置換等)	液状化層の出現深度10～20m	C	B	A
		高い【3】	厚さ合計3m以上(地盤改良・中間・深層地盤改良等)	液状化層の出現深度10m未満	B	A	A

図4 マトリックス評価の事例

(3) 地質リスク対応の検討とリスク管理表の運用について

評価した地質リスクに対して、後続事業へ引き継ぐシステムとして地質リスク管理表(登録表

つまり、最後の段階で作成したリスク管理表を用いてPDCAサイクルを施行することにより改善を図ることが肝心である。

[illegible]

予定道路構造物	盛土、カルバートボックス、補強土		
地形	砂丘、沖積平野(河口部)	地質	沖積層、洪積層
保全対象・環境	国道9号(現道)、耕作地、横断BOX(水路)		

地 質 地 盤 リ ス ク	発生が考えられる地質地盤リスク		リスクスコアによる地質地盤リスク評価					
	項目	内容	影響度E		発生確率L		リスク評価	
			考察	点数	考察	点数	評価 E×L ラン	
①基礎地盤の安定 (すべり)		橋台背面埋戻し盛土等により、S・As1層で常時、地震時にすべりが発生する可能性	【高い】厚さ合計3m以上 【中程度】 上(地盤改良：中間・深層地盤改良等)	3	【S,As1層のN値=2~4以上であり、すべりの発生確率は中程度	2	6	A

後発事業への地質リスクの引継ぎ(リスク管理表)と対応方針の明記(すべり)を校測により、盛土オーレイによるすべりが討する。料

合同会議による地質リスクコミュニケーション

(4) 地質リスクに関する合同協議（リスクコミュニケーション）

今回作成したリスク管理表は、関係者と共有し、今後の事後進捗に伴い改善していく必要がある。改定は調査設計関係者、工事実施関係者など他部署で改定される可能性があり、共有化を図るシステムも必要と考えられ、合同会議等の場が必要と考えられる（リスクコミュニケーション：図5参照）。

(5) 三次元地質モデルによる地質リスクの見える化（BIM/CIMの活用）

地盤の三次元モデルと予備設計段階の計画橋梁のCIMデータの合成を試みた。同モデルによると、予備設計成果では杭の根入れが不足している状況が視覚的に見える（図6参照）。このように、BIM/CIMでは地質の不確実性を加味し後工程へ継承するために有効である。

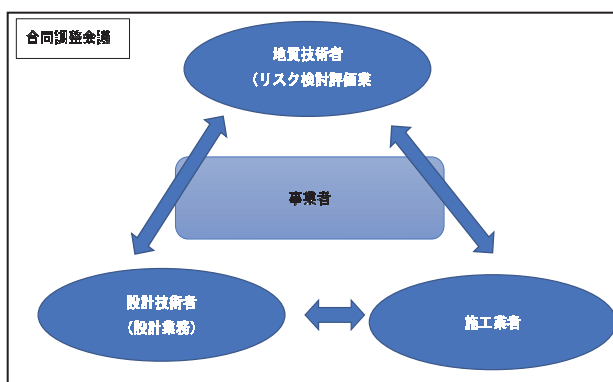
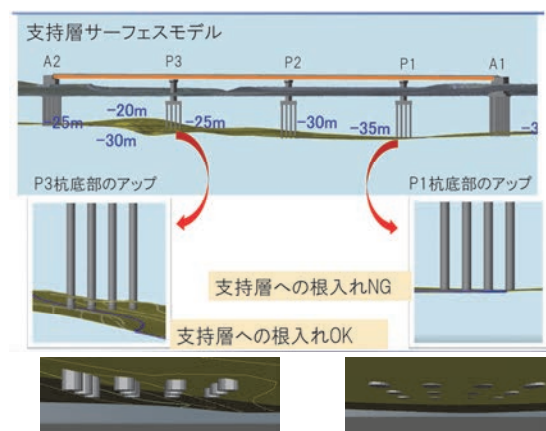


図5 リスク共有のイメージ



支持層下方からの杭先端の根入れを「可視化（見える化）」

図6 橋梁区間の支持層サーフェスモデル

3. マネジメント効果

(1) 原地盤固有のリスク評価基準の有効性

今回地質リスクを各構造物の事業進捗ごとに洗い出したが、各事業段階で大きく異なるものではないことが判明した。したがって、リスク評価基準は、原地盤固有のものであり、事業段階毎に変化することはないと考えられる。

また、各事業段階において種々のリスクに対して対策を講じ（例えば軟弱地盤対策工）、道路の性能を確保するため、リスク低減を図ることにより、リスクスコアは改善される。

(2) リスク管理表によるリスクの引き続き

地質リスクの評価結果および後続事業における対応方針をまとめた地質リスク管理表（登録表と措置計画表）により、リスクスコア「A・B（低減）」を「C（保有）」に向けたリスクマネジメントを構築した。

リスクスコアは、現地の地盤固有のリスクの評価点である。道路土工構造物技術基準に基づく性能は、そのリスクを低減して北条道路として確保しなければならない基準である。そのため、措置計画表に従い、事業の各段階で明らかになったリスクに対して「ひとつひとつ」低減、保有等の方針を明確化し、道路性能を確保すべきと考える。

低減例：改良対策範囲の追加や調査を行い、リスクスコアA・BをCへ低減。

保有例：各事業段階で大きな問題が発生する可能性は低いため、想定内の地質リスクを保有（リスクスコアCのまま保有）。

同管理表は、後続の各事業で実施した対応による残存リスクの再評価結果を追記するため、リスク評価の更新内容が確認できる。その結果、残存リスクの見落としの減少、リスクの先延ばしによる施工中の地質リスク顕在化を防ぐ効果が期待される。

(3) 三次元地質モデルによる地質リスクの見える化とリスクコミュニケーション

詳細設計業者を交えた三者会議を開催した。予備設計段階の構造物と地質調査による地層構成を三次元化した結果、橋梁基礎の支持層の不陸の見える化が図られた。また、設計業者から検討対象の基礎杭の種類により杭基礎形式の検討に必要な薄層支持のリスクが問題視された。三者会議により地質リスクの抽出と対応方針（詳細地質調査の追加）を決定した。

支持層の不陸の見落とし施工時に支持層不足が発覚した場合、工事費の増大、工事期間の延長による供用開始時の遅れが生じる可能性があった。また、薄層支持の未検討により供用後に橋梁が沈下した場合、杭の追加工事が必要となった。

このように、三次元地質モデルの活用によるリスクコミュニケーションや地質リスクの見える化により追加調査は必要となったが、施工中および供用後のリスクに伴う工費増大を回避できると考えられる。

4. おわりに

本事例のような建設プロジェクトにおいてリスクを見落とさないためには、北条道路全体で考えられるリスクを初期段階で抽出し、どの工区でも考えられるすべてのリスクに対してリスク評価を行うことにより、リスクの見落としを最小限にできると考えられる。

また、詳細設計、施工段階等、事業進捗の各段階において合同会議を開催し、リスク対応の確認を行い、情報の更新および確実に引き継がれていくことが重要と考える。

そして、プロジェクトの初期段階からこのような地質リスク評価を行うことが重要であり、初期段階であれば、リスク回避などの選択肢やコスト縮減に向けた検討が可能と考える。また、事業の各段階において合同会議を開催し、リスク対応の確認を行い、情報の更新および地質リスク評価を確実に引き継ぐことが大切である。さらに、地盤情報の不足によるリスクスコア評価への影響が懸念される場合は、追加の地質調査の実施や評価決定について判断することが重要であると考えられる。

このような点に留意し、より効果的、効率的なプロジェクトの運営が可能になり、事業の段階毎でのリスク管理マネジメントを遂行し、事業の手戻りを少なくできると考える。

また、三次元モデル（BIM/CIM）の活用によりリスクの見落とし回避、リスクコミュニケーションの有効性が確認できた。その他特に山岳地では、LP（レーザープロファイラー）データによる微地形解析や衛星SAR（synthetic aperture radar）による地盤変動解析は、山地の斜面上の不安定箇所等に対し新たな地質リスクの抽出に有効な技術と考える。

今後は、北条道路の後続事業段階において地質リスク検討箇所の状況や対応等を引継ぎ、本事例の地質リスク評価と対応方針が有効なものであったかを検証されることが重要と考える。

その結果、さらなる地質リスク技術の高度化につながっていくと考えている。

[論文 No. 7]

大阪都市部地下開発（淀川左岸線延伸部事業）における地質リスクの抽出および評価

株式会社 建設技術研究所 大阪本社

○ 三田村 圭祐

あべ松 保貴、吉田 健司、藤井 哲夢

国土交通省 近畿地方整備局 浪速国道事務所

滋野 勝稔

国土交通省 近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所

中村 佳正

国土交通省 近畿地方整備局 河川部

大京 真也

1. 事例の概要

淀川左岸線延伸部は、大阪の都市中心部をトンネル構造（一部は 70m 以深の大深度地下利用）で横断する延長 8.7km の自動車専用道路であり、都市計画決定後、平成 29 年度に事業化され、国、阪神高速(株)、西日本高速道路(株)により設計等が進められている（図-1）。

都市域における地下開発事業は土地利用による平面・深度方向への制約が厳しく、線形変更によるリスク低減・回避が事実上困難であり、設計段階において高精度のリスクマネジメントが必要とされる。本稿は計画路線の東部約 2km の開削工法区間とシールド工法区間を対象に、地質リスクの抽出・評価、設計や施工に向けたリスク回避・低減策の提言、およびリスクの評価精度向上のための補足調査計画の立案等によりリスクマネジメントを実施した事例を紹介する（図-2）。

本路線東部では上位から沖積砂層（As）および超鋭敏～鋭敏性を示す沖積粘土層（海成粘土 Ma13）、高被圧・高透水性の洪積砂礫層（Dsg）、礫・砂・粘土の互層からなる第四紀大阪層群（Os, Ma）が不陸を伴い分布する（図-3）。検討は、これらの層序、層相、構造、土質工学特性を集約・再整理し、技術基準書等で指摘される“留意が必要な地形・地質要素”から着眼点を広く抽出したうえで、リスク発現事例における具体的地質条件や因果関係と比較する段階的な手法をとった。これにより、計画構造物の種別・深度と出現地質に応じたリスク事象を可能な限り細分化し、分析を試みた。



図-1 淀川左岸線延伸部位置図

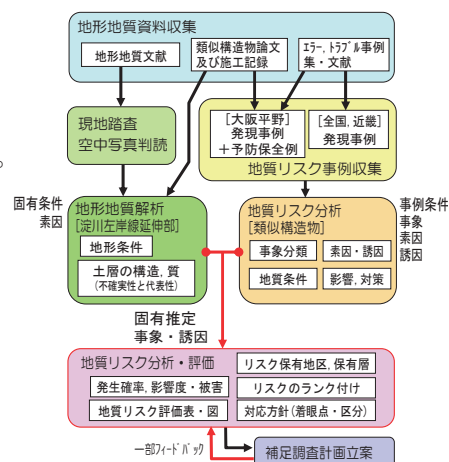


図-2 地質リスク分析・評価フロー

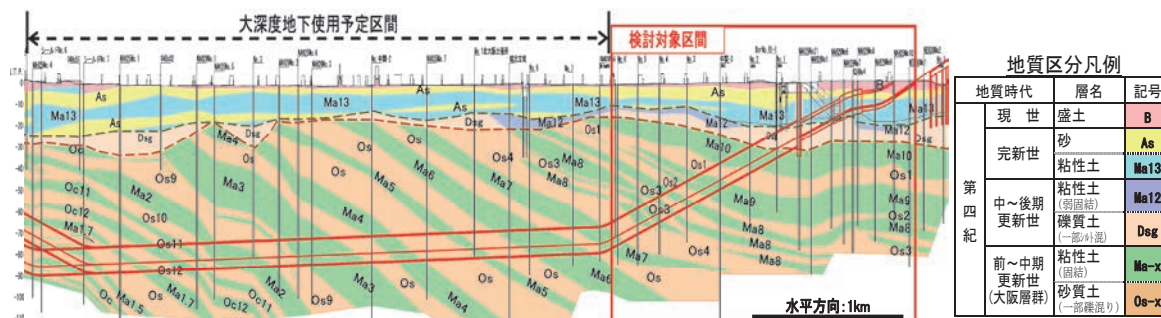


図-3 淀川左岸線延伸部中～東部地質縦断面図

2. 事例分析のシナリオ

本検討では、開削工法・シールド工法に大別し、以下の段階で行った。

- 広く一般に指摘される要留意地形・地質要素の抽出
- 具体のリスク発現事例における地質条件の整理
- ボーリングコアの見直しや周辺既存資料による地質条件の精査と事例比較

2.1 要留意地形・地質要素の抽出

「道路土工指針」をはじめとする技術基準類や、建設工事におけるトラブル地盤に関する文献類により、設計・施工・維持管理時に留意すべき地形・地質要素が指摘されている。これらの要留意地形・地質要素は、多数の事例や経験にもとづき、地質年代と層区分によって一般化されたものと考える必要があるが、地層の工学的特性を概括的に推定し、地質リスク分析の着眼点を広く抽出するにあたりきわめて重要である。

本検討ではまず、複数年度にわたり行われてきた地質調査・試験資料を集約整理したうえで、こうした地形・地質要素との類似性を持つ地層を抽出した（表-1）。

表-1 類似性が指摘される要留意地形・地質要素

要留意地形・地質	想定トラブル事象 および 検討対象区間で該当するおそれがある範囲・土層			
	開削工法区間（立坑発着部含む）		シールド工法区間（非開削掘進含む）	
地	A1 盛土等造成地	軟弱層・大礫・異物混入	B 観見緑地・花博通	軟弱層・大礫・異物混入
形	A2 旧河道・湿地（大規模）	軟弱層・大礫・異物混入 出水 液状化	As（立坑周辺）	軟弱層・大礫・異物混入 出水 液状化
要	A3 旧水路・池・沼（小規模）	軟弱層・大礫・異物混入 出水 液状化	As（No349, No373 付近）	軟弱層・大礫・異物混入 出水 液状化
素	A4 急崖 段丘崖	土層や地下水位の急変	該当なし	土層や地下水位の急変
地質要素	B1 軟弱粘土（N=0~4）	過大変形・ヒズグ、基礎・周辺地盤の沈下	Ma13	先行～後続沈下、推進精度低下
	B2 固結粘土	土留め壁削孔時の崩壊 改良不良	Ma12, Ma10, Ma9	切羽閉塞 排土管等閉塞
	B3 均質細砂、緩い砂	出水 バイキング、ボイル、改良不良 液状化	As	切羽崩壊 崩壊、姿勢制御困難 改良不良
	B4 大礫、硬質礫	出水 改良不良 壁体強度・止水不良（孔曲り）	Dsg, Os1	異常摩耗 排土管等閉塞 施工精度低下、途切
	B5 互層、不均質層	出水 根入れ不足 止水不良 改良不良	Dsg, Ma10, Ma9	切羽崩壊 振動 不規則水頭 排土管等閉塞
	B6 高透水層、被圧帯水層	盛ぶくれ・出水 地下水低下工法による沈下	Dsg, Os1	排土管等坑内噴発
	B7 地下水流動層（工事深部）	地盤沈下・井戸漏れ（水位低下）、浮力・漏洩（水位上昇）	As, Dsg	地盤沈下・井戸漏れ（水位低下）、浮力・漏洩（水位上昇）
	B8 可燃性・有害ガス保有層	可燃性ガス、酸欠空気、有害ガス	（Dsg 未調査）	可燃性ガス、酸欠空気、有害ガス
	B9 酸性土壌	掘削面、掘削土の強度低下、酸性水発生	Ma13, Ma10（1箇所）	掘削土の強度低下、硫化水素・酸性水発生
	B10 自然由来重金属含有層	発生土処理における技術・法令上の制約	As, Ma13, Ma10（1箇所）	発生土処理における技術上の制約
	B11 不陸、傾斜構造	根入れ不足（強度・止水）	Ma10, Ma9	対応可
	B12 褶曲構造（ドーム構造）	可燃性ガスの濃集	（Dsg 未調査）	可燃性ガスの濃集
	B13 硬質岩盤 玉石巨礫	根入れ・掘削不能	該当なし	姿勢制御困難 掘進不能
	B14 破碎帯	崩壊 出水 土層や地下水位の急変	該当なし	崩壊 出水 土層や地下水位の急変

2.2 リスク発現・予防保全事例の収集・整理

地層の堆積条件、固結度、構成粒子の由来、地質構造（隆起・浸食履歴）や地下水の状況は地域（堆積盆）により異なるため、地質リスクを具体的に抽出・分析するためには、地質状況が詳細に記載されたリスク発現事例を収集・整理し比較する必要がある。

本検討では、原則として公表されている資料から、全国および大阪平野域のリスク発現事例を収集・整理した。特に本事業と同一の堆積盆となる大阪平野域については、リスク発現に関する記載だけでなく、工事記録全体を掘り下げることで、予防保全を講じた際の着眼点や具体の対応策（リスク非発現事例）も分析した（図-4）。

事例分析の結果、開削工法では大阪平野

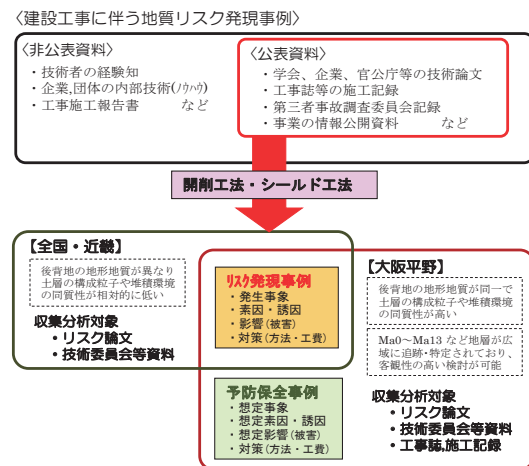


図-4 地質リスク発現事例収集・分析対象

部：54件、大阪平野を除く近畿と全国：27件、シールド工法では大阪平野部：39件、大阪平野を除く近畿・全国：71件となった（図-5）。

(1) 開削工法によるリスク発現と予防保全事例

本稿での開削工法に関する収集事例対象は土留壁により構築された立坑・開削トンネル・掘割を指し、立坑ではシールドトンネル発着部の出水等を含む。開削工法によるリスク発現事例の整理結果を図-5に示す。

大阪平野におけるリスク発現事例は計54件であり、そのうち75%を「被圧帯水層（Dsg層）の出水」、「鋭敏粘土層（Ma13層）の変状」が占める。前者は大規模な出水や地表陥没などの大きな被害を伴い、後者はヒービングによる大規模な土留崩壊を伴うことによって施工の長期中断等が発生した。大阪平野の浅部には前述したリスク保有層が広域に分布するため、開削工法では概ね被圧帯水層による出水防止や鋭敏粘土層の変形防止に対する予防保全が講じられている。

(2) シールド工法によるリスク発現と予防保全事例

本稿でのシールド工法に関する収集事例対象は泥圧式・泥土圧式シールドを指す。シールド工法によるリスク発現事例の整理結果を図-5に示す。大阪平野におけるリスク発現事例は39件であり、そのうち70%は「取込み過多、泥土圧不安定」、「排泥設備等障害」、「泥土不調」、「胴締め」が占める。これら事象の素因は主として高透水性、高被圧性を有する洪積砂礫層や大阪層群砂層であると考えられている。また、残置物との遭遇、セグメント変位による出水等施工条件の影響が高い事象も残り30%を占め、事象区分は複雑・多様である。予防保全事例では、労働安全衛生規則（安衛則）の法令に基づく、地中ガス（可燃性）対策が全体の40%を占めている。

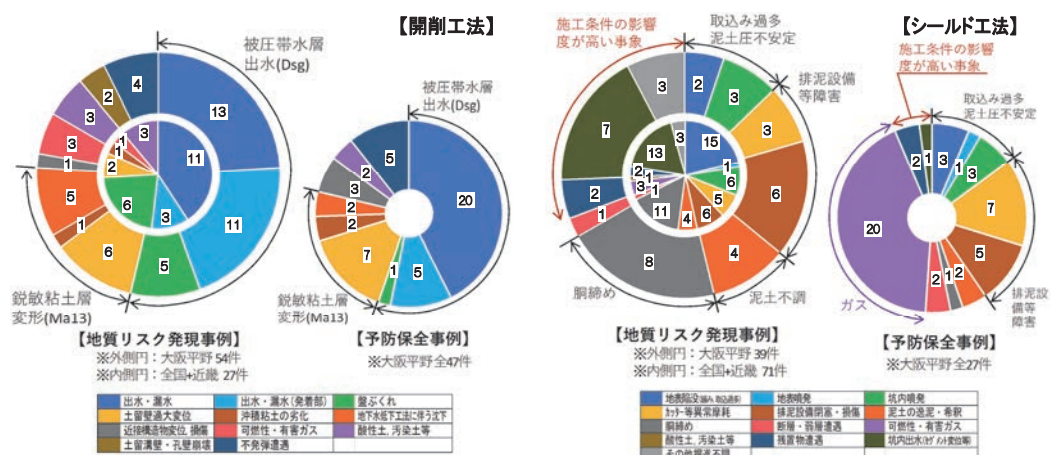


図-5 地質リスク発現事例・予防保全事例の事象別件数（左：開削工法、右：シールド工法）

2.3 事業路線の地形地質精査

上記の事例分析結果、特に層序や層特性の対比が可能な大阪平野域の事例から抽出されたリスク事象と地質要素（因果関係）をふまえ、本事業路線で以下の精査を加えた。

(1) 地形解析、地質構造の面的解析、性状精査

空中写真による地形判読、旧版地形図、大阪平野古地理図を比較検討した結果、検討対象地の浅部は南北方向と北東-南西方向の旧河道が交互に作用し、浸食・堆積を繰

り返す中で地層境界の不陸が形成されてきた。また、検討対象区間における大阪平野内のボーリング情報等から入手した既往柱状図を含めた 569 本から各層上面の等高線図を作成した（図-6）。層境界の空間的追跡により、計画構造物の止水根入れ（土留壁）やガス濃集箇所について検討が可能となった。土留壁には粘土層への着実な根入れによる止水性の確保がリスク発現の回避につながるため、粘土層の上下境界部を中心にボーリングコアを見直し、砂の介在や混入の有無・状態・層厚を詳細に把握した。コア精査の結果、砂混り部の厚さは最小 0.35m、最大 2.2m 認められ、土留壁の止水性が低下する可能性があることが示唆された。

(2) 各層の不均質性と代表性の評価

線形構造物を計画する際、路線縦断沿いを基本とし必要に応じ横断方向を追加する地質調査となるが、本事業では高度な土地利用状況の制約が厳しく横断方向の調査・試験が困難であった。このため、固結度が低く工学的性質のバラツキの影響を受けやすい開削工法区間では、計画路線周辺 500m 圏内の既往他事業による試験値との乖離がないことを確認した。特に、土留壁や周辺地盤の安定性に大きく影響する沖積粘土層（Ma13）の物理性・力学特性、出水リスクの高い洪積砂礫（Dsg）の透水性と細粒分含有量についても有意な差異は認められず、これより下位の各地層についても同様であることを確認した。

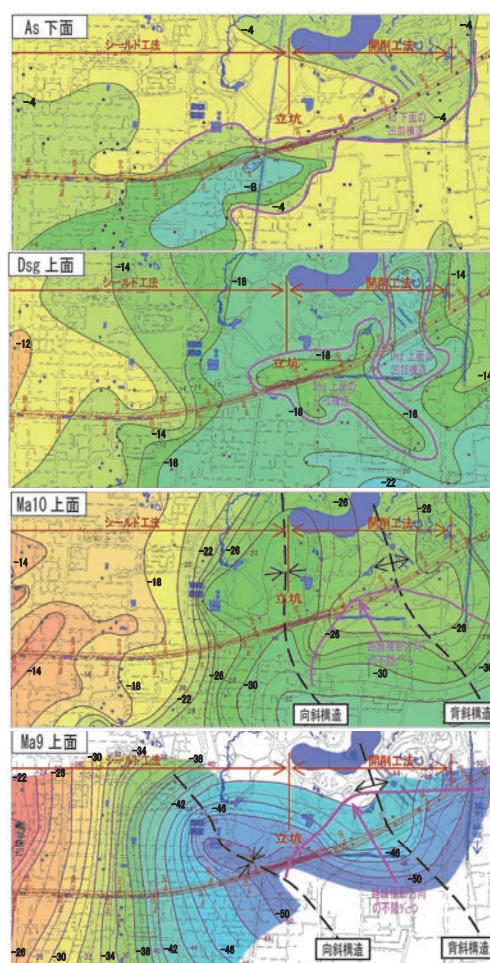


図-6 主要地質境界等高線図（図中数字：標高 m）

3. データ収集分析・リスク評価

事例分析の結果と本事業路線の地形地質精査による地質条件と計画構造物との関係から、想定されるリスク事象を抽出し、それぞれの発生確率・影響度にもとづく地質リスクランクの評価指標を作成した（表-2）。特に開削工法区間では掘削面や土留め工の根入れ深度も異なる計画となることから、区間を細分化したうえで分析した（表-4、図-7）。

開削工法区間では、土留壁の強度・止水性に関するリスク事象が多く、それぞれに関連するリスク保有層に留意すべき性状が強い（強度＝鋭敏粘土：Ma13 層、止水性＝高被圧帯水層：Dsg 層）ことから、全体としてリスクランクが高めとなるものが多い。地下水位低下工法の併用に関しては、揚水対象となり得る帯水層（Dsg 層、Os1 層）の上位に厚い鋭敏粘土（Ma13 層）や N 値 10 以下を含む弱固結粘土（Ma10 層）が広く分布することから、特にディープウェル併用時には広範囲の地下水位低下と地盤沈下の影響が懸念される。シールド工法区間では、立坑近傍の低土被り区間の断面において高い被

圧水頭を有する洪積砂礫層（Dsg）、直上位に鋭敏粘土層（Ma13）が分布する条件となることから、地山のゆるみや出水に関するリスクランクが高くなる。これ以外の浅深度～中深度区間においては、高い被圧水頭を有する砂礫（Dsg、Os1）や砂（Os2～4 層）を貫くため、坑内噴発に留意が必要となる。

表-2 地質リスクのランク評価指標（マトリクス）

		発生確率		
		低い	中程度	高い
		○類似条件の先行工事での発現事例または近傍の先行工事(論文・工事記録)における予防保全事例がある ○技術基準書等で指摘されている要留意地形・地質と類似する条件がある	○類似条件の先行工事での発現事例または近傍の先行工事(論文・工事記録)に予防保全事例が複数ある ○技術基準書等で指摘されている要留意地形地質と一致する条件が複数ある ○土壌・ガス等法令基準を一部地点で超過	○類似条件の先行工事での発現事例または近傍の先行工事(論文・工事記録)に予防保全事例が相当数ある ○技術基準書等で指摘されている要留意地形地質と一致する条件が相当数ある ○土壌・ガス等法令基準を複数地点で超過
影響度	大きい	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ
	大きい～中程度	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ
	中程度	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ
	小さい	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ
Ⅰ：リスク回避することが望ましい事象（回避のための詳細な検討及び補足調査を実施）		Ⅱ：リスク低減を講じるべき事象（低減のための検討及び必要に応じて補足調査を実施）		Ⅲ：リスク回避や低減対策を必要とせず、施工段階へリスクを留保することが可能な事象

4. マネジメント効果

前項までに抽出した地質リスクの想定事象に対し、補足調査による評価精度向上（表-3）、設計条件の反映と対応および施工管理・維持管理への情報共有につなげていくことで、トータルコストの縮減・工程遅延の予防・施工安全性の向上に資すると考える。そのため、本検討期間においても発注者・設計者と複数回の意見交換をおこない、設計上の課題と今後の申し送り事項を提示した。また、この段階でリスクランクが高い事象に関しては地質リスク管理台帳として施工時の留意事項および予防保全事例を整理した。これにより、設計、施工など段階的に進める中で、空白化しやすい情報の共有を可能とした。

表-3 補足調査項目一覧

調査項目	補足調査実施の理由
洪積砂礫層（Dsg）の透水性精査	・細粒分を不規則に含む特徴があり、透水性の既往試験値におけるバラつきが大きい。
可燃性・有害ガス精査	・大阪平野や近傍の先行事業で防爆等対策事例が複数存在する。
ボーリング観測孔の閉塞	・掘削時のボイルンクや底盤出水要因となる。
シルト・粘土近傍井戸等の構造精査	・密閉型シルト工法であるが、通過帯水層の水頭が高く、気泡侵入や泥土圧過多による地表漏気等の可能性あり
既設構造物付近の地質精査	・既設構造物との近接工事となり、計画基礎面付近にはDsg層（高被圧高透水かつ可燃性ガスが溶存）が出現する。
土壌精査	・開削区間の先行調査により、一部で土対法基準を超える重金属が検出された。
周辺井戸調査	・開削区間周辺で予想されている地下水流動阻害に伴い水位低下等の恐れがあり、周辺には既設井戸が分布する。
地下水観測孔の設置および観測	・地下水流動保全を行う区間周辺では、工事影響と保全工法の効果を確認する。

5. おわりに

本稿は、大阪平野を中心とした事例収集および地形地質要素を把握した上で、淀川左岸線延伸部の計画路線固有の地質リスクを抽出・評価し、設計上の留意点・補足調査の計画、リスク低減・対応方針を提言した。開削工法区間で想定されるリスク事象の重層的で複雑であり、リスク発現時の損失コストを系統的に算定するに至らなかったが、工事の安全性や事業工程の遅延に関わる部分については当然に回避すべきものであり、目

的を達したと考える。

地質リスクマネジメントは過去事例に学び、事業地ごとの地質特性を的確に把握し、計画、調査、設計、施工を段階的に進めるなかで、空白化しやすい条件や情報を共有・蓄積・更新し、施工時のリスクを予見・検証することが安全かつ円滑な事業に繋がると考える。

表-4 地質リスク評価表（淀川左岸線延伸部東部地区）

構造 区分	区間	リスク事象	リスク分析 確率 影響	リスク ランク	構造 区分	区間	リスク事象	リスク分析 確率 影響	リスク ランク	構造 区分	区間	リスク事象	リスク分析 確率 影響	リスク ランク
掘削	Ⅰa	Ⅰa-1 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	低 小	Ⅳ	Ⅲ 立坑	Ⅲ-1 （全体共通事項）	Ⅲ-1 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ	Ⅳ 浅埋トンネル	Ⅳ-1	Ⅳ-1 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	低 小	Ⅳ
	Ⅰb	Ⅰb-2 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-2	Ⅲ-2 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	低 中	Ⅳ		Ⅳ-2	Ⅳ-2 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ
開削 トンネル	Ⅱ （全体共通事項）	Ⅱ-1 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ	Ⅲ 立坑	Ⅲ-3	Ⅲ-3 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ	Ⅳ 浅埋トンネル	Ⅳ-3	Ⅳ-3 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	低 中	Ⅳ
		Ⅱ-2 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-4	Ⅲ-4 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-4	Ⅳ-4 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	低 小	Ⅳ
		Ⅱ-3 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-5	Ⅲ-5 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-5	Ⅳ-5 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-4 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-6	Ⅲ-6 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-6	Ⅳ-6 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-5 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-7	Ⅲ-7 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-7	Ⅳ-7 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-6 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-8	Ⅲ-8 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-8	Ⅳ-8 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
	Ⅱ （全体共通事項）	Ⅱ-7 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ	Ⅲ 立坑	Ⅲ-9	Ⅲ-9 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ	Ⅳ 浅埋トンネル	Ⅳ-9	Ⅳ-9 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-8 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-10	Ⅲ-10 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-10	Ⅳ-10 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-9 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-11	Ⅲ-11 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-11	Ⅳ-11 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-10 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-12	Ⅲ-12 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-12	Ⅳ-12 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-11 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-13	Ⅲ-13 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-13	Ⅳ-13 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-12 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-14	Ⅲ-14 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-14	Ⅳ-14 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
掘削 トンネル	Ⅱ （全体共通事項）	Ⅱ-13 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ	Ⅲ 立坑	Ⅲ-15	Ⅲ-15 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ	Ⅳ 浅埋トンネル	Ⅳ-15	Ⅳ-15 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-14 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-16	Ⅲ-16 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-16	Ⅳ-16 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-15 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-17	Ⅲ-17 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-17	Ⅳ-17 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-16 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-18	Ⅲ-18 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-18	Ⅳ-18 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-17 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-19	Ⅲ-19 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-19	Ⅳ-19 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-18 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-20	Ⅲ-20 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-20	Ⅳ-20 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
	Ⅱ （全体共通事項）	Ⅱ-19 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ	Ⅲ 立坑	Ⅲ-21	Ⅲ-21 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ	Ⅳ 浅埋トンネル	Ⅳ-21	Ⅳ-21 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-20 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-22	Ⅲ-22 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-22	Ⅳ-22 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-21 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-23	Ⅲ-23 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-23	Ⅳ-23 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-22 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-24	Ⅲ-24 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-24	Ⅳ-24 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-23 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-25	Ⅲ-25 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-25	Ⅳ-25 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ
		Ⅱ-24 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅲ-26	Ⅲ-26 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 中	Ⅲ		Ⅳ-26	Ⅳ-26 掘削面、土留壁の 変形・崩壊	中 大	Ⅲ

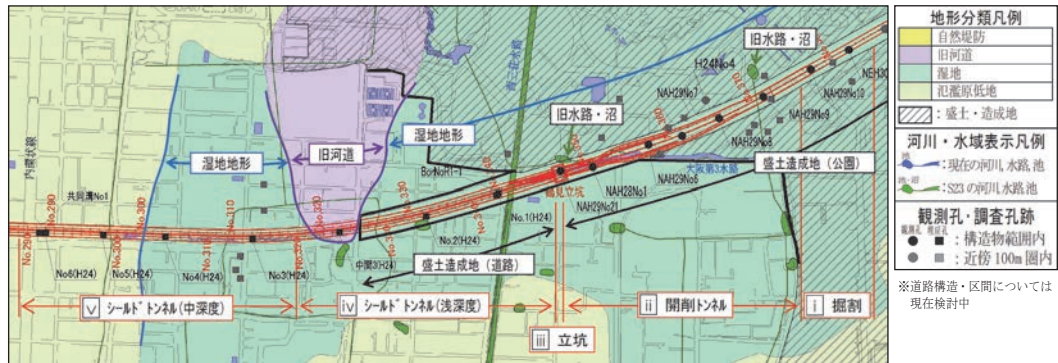


図-7 地形区分図(上)、リスク想定事象分布縦断図(下)（淀川左岸線延伸部東部地区）

[論文 No. 8]

中央構造線に近接する山岳道路の事業初期段階における地質リスクマネジメントの適用

サンコーコンサルタント株式会社 ○赤嶺辰之介、伏木治、中村静也（地質リスク・エンジニア 登録番号 114）、山中義彰、八木祐介、松崎達二

1. 事例の概要

当該事例は事業初期段階（道路予備段階）における地質リスクマネジメントとなる。本計画路線は、中央構造線に併走し、全体の約8割が山岳トンネル区間となる（図1）。線形は比較的地質条件の良い内帯側（領家帯）に計画されているが、周辺は領家花崗岩類及び領家変成岩類からなる急峻な斜面が形成されており、現道沿いでは地すべりや崩壊、落石等の斜面災害が比較的多く発生している状況にある。このことから、期待される整備効果の発現においては事業の早期段階で地質リスクを抽出し、これらを継続的にマネジメントするが重要と考えられる。

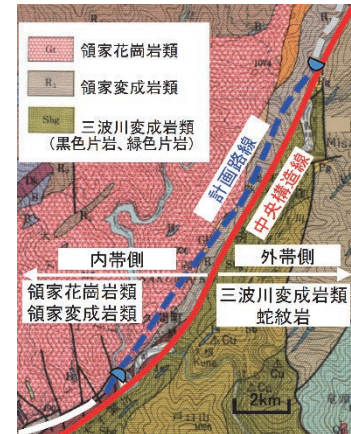


図1 計画路線沿いの地質

2. 事例分析のシナリオ

(1) 地質リスクの抽出

事業初期段階の地質リスク検討では、「漏れの無い地質リスクの抽出」が重要となる。一方で本道路が中央構造線に近接する急峻な山岳地において10数kmの延長を有すことから、地質リスク源（地形地質特性）も多岐に渡ることが想定された。そこで、事前に資料調査・地形解析及び予察踏査を行い、重要な地質リスク源を抽出した上で詳細な地表地質踏査を実施した（図2）。また、近接目視困難な急崖におけるリスクの見落としの回避や設計見直しにつながる可能性のある重要なリスク源と計画の関係性を把握するため、広域に適用でき、かつ経済性に優れたクライミング調査や比抵抗二次元探査などの補足調査を実施した。これらの結果と地域の特性（資料調査の結果）を踏まえることで、計画路線沿いに潜在する地質リスクの把握に漏れが無いように留意した。

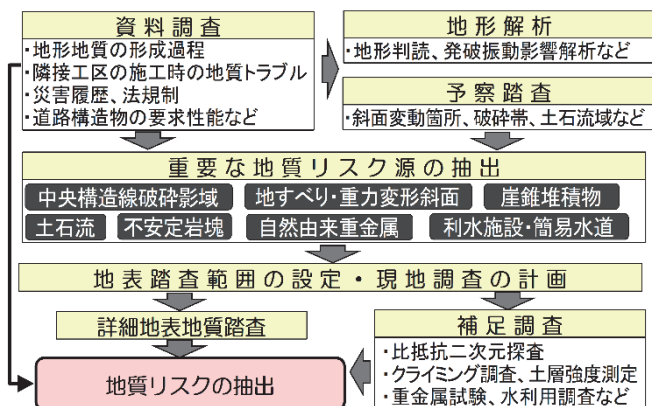


図2 地質リスク抽出の流れ

(2) 地質リスクの評価

抽出した各地質リスクへの対応（回避、低減、保有）を決定するため、「影響度」と「発生確率」によるマトリクスランク表を用いてリスクを評価する方針とした。事業推進への影響を考慮すると、影響度については追加対策のコストや期間以外に走行車両の安全性、環境面、維持管理性の視点での評価も必要であった。そこで、TRANSIT NEW ZEALAND (2004) のリスクマネジメントプロセスマニュアルを参考に定量的な影響度の評価基準を設定した。

発生確率を「%」や「確率年」で設定するには多くの事例が必要であり、現段階で本路線

に合わせた解析は難しい。発生確率については、各種技術指針等（斜面：道路防災総点検要領の安定度評価表、トンネル：Q 値法（Barton(1975)）など）を参考に個別に整理した。

(3) リスク対応（路線変更）

リスク対応としての路線変更の効果の最大化を図るため、事業者、地質リスク技術者、設計者間で路線変更効果の相互確認が可能なリスク比較図の運用や変更路線の反復評価を行った。

3. データ収集分析

(1) 地質リスクの抽出

地質リスク抽出箇所は当初路線沿いで 177 箇所にのぼり、これらは発現事象のタイプによって右記の 7 つに大別された。

以下に抽出された地質リスクのうち、特に重要な地質リスクについて概説する。

- A 法面、自然斜面の不安定化に関わる事象（38 箇所）
- B 土石流に関わる事象（14 箇所）
- C 落石に関わる事象（24 箇所）
- D 支持層、中間層の不確実性に関わる事象（65 箇所）
- E 地盤の沈下、液状化に関わる事象（11 箇所）
- F トンネル地山の不安定化に関わる事象（18 箇所）
- G 発生土、地下水の環境影響に関わる事象（7 箇所）

①中央構造線破碎影響域、擾乱帯

中央構造線は内帯・外帯側に幅数百 m の破碎域を伴い、対象地ではこれに沿った方向の破碎帯と擾乱帯と呼ばれる褶曲、小断層の発達する岩盤劣化帯も確認されている。隣接工区ではトンネル施工時にこのような路線に平行な破碎帯に起因した側壁の押出しによる縫い返しが複数箇所で発生している。当初路線は過年度の空中電磁探査結果により、中央構造線破碎影響域を避けたルートが設定されていた。そこで、沢部を中心とした破碎帯追跡踏査を行い、破碎帯の範囲について照査を行った。その結果、一部のトンネルでは、中央構造線破碎影響域や擾乱帯区間がそれぞれ約 800m、約 450m に及ぶことが想定され（図 3、図 4）、施工時に長区間にわたって支持力不足や切羽・天端の不安定化、側壁の押出し等が懸念された。

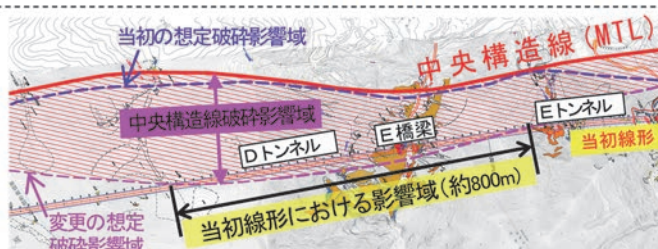


図 3 中央構造線破碎影響域の評価

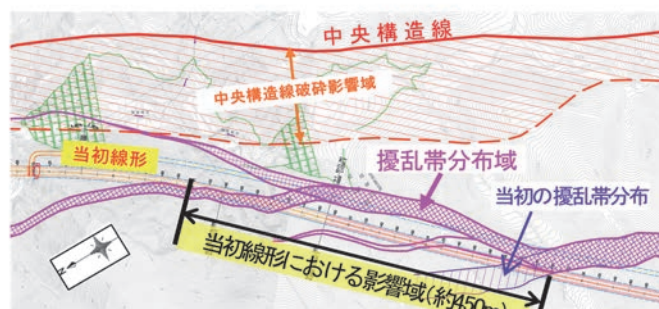


図 4 擾乱帯分布の評価

②地すべり、重力変形斜面

計画路線周辺の岩盤崩壊は凸型の緩んだ尾根斜面で比較的多く発生しており、地形判読や予察踏査では地すべりに加え、重力変形斜面も抽出した（計画路線沿いの 13 箇所）。図 5 はトンネル坑口付近で確認された地すべりであるが、ここではリスク評価に必要な地すべりの規模・安定性を把握するため、詳

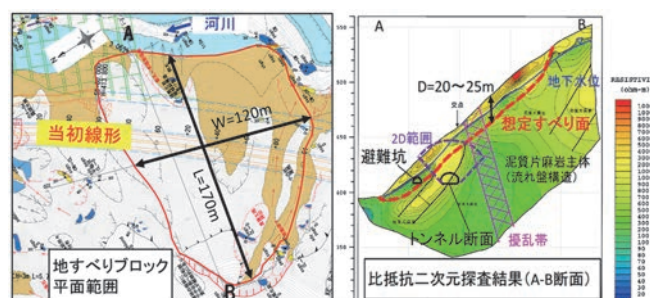


図 5 地すべりの平面範囲と比抵抗二次元探査結果

細踏査に加え比抵抗二次元探査を実施した。その結果、地すべりブロックの層厚は 20～25m と想定され、避難坑・本坑と地すべりブロックとの位置関係から、トンネル施工による地すべり活動の誘発とこれに伴うトンネルの損壊、河道閉塞等が懸念された。また、地すべり活動に対する必要抑止力は 7,680kN/m と試算され、大規模な対策となることが想定された。

③土石流

計画路線は複数の溪流を横断し、特に北部域の溪流の多くが土石流危険溪流等に指定されている。一部のトンネル坑口では、現河床との比高や上・下流部の流出土砂や流木の状況などから、土石流による計画路線への土砂の流入が懸念された。

④不安定岩塊

浮石・転石の安定度調査の結果、多くの坑口や土工区間で落石の発生が懸念される(図 6)。また、発破振動影響解析の結果から一部区間ではトンネル施工時に現道への落石発生の可能性もある。広範囲に落石堆積物(礫が緩詰め状態で堆積)が分布する区間では切土法面の不安定化等が懸念される。花崗岩分布域では落石の発生量が多く、対策施設の維持管理上の課題も挙げられる。



図 6 坑口斜面上の不安定岩塊(クライミング調査)

⑤利水施設、自然由来重金属

計画路線沿いには沢水取水施設等が分布し、トンネルや橋梁基礎等の施工による渇水影響等が懸念される。露頭試料を対象とした重金属調査の結果、泥質片麻岩や破碎帯、熱水変質帯の試料の一部で溶出量基準を超過する砒素等が確認された。そのため、発生土等からの重金属溶出による環境影響が懸念される。

(2)地質リスク基準の設定

抽出した各地質リスクへの対応(回避、低減、保有)を決定するため、リスクを「影響度」と「発生確率」によって評価するマトリクスランク表を作成した(表 1)。

影響度については、TRANSIT NEW ZEALAND (2004)のリスクマネジメントプロセスマニュアルを参考に、事業推進への影響が大きいと考えられる事象を踏まえて、評価の基本項目を[コスト]、[期間]、[安全]、[環境]とし、コストや期間については影響度「低い」～「非常に高い」に応じてそれぞれ閾値を設定することで定量的な評価を行った。各基本項目の評価の内で最も高い影響度を当該リスク顕在時の影響度とした。

発生確率は、地形要因や地質要因、地下水要因、履歴等のそれぞれの要因が相互に関連しているため、各項目の評価結果に基づき総合的に評価するものとした。これらに基づき抽出したすべての地質リスクに対し

てリスクランクを設定した。影響度と発生確率の評価表の例(F: トンネル地山の不安定化を例示)を表 2 に示す。

表 1 マトリクスランク表

		発生確率			
		低い	中程度	高い	
影響度	非常に高い	A	A	AA	AA 線形変更等により、リスクを回避することが望ましい事象
	高い	B	A	A	A 詳細な地質調査を実施して、完全な対策を講ずべき事象
	中程度	B	B	A	B 地質調査等を行い、結果に応じて適切なリスク低減対策を講ずべき事象
	低い	C	B	B	C 施工段階へリスクを留保することが可能な事象

表 2 影響度・発生確率評価表
(トンネル地山の不安定化(破砕帯等による切羽・天端の崩壊、突発湧水等)に関わる事象)

	影響度					発生確率		
	低い	中程度	高い	非常に高い		低い	中程度	高い
コスト	破砕帯の延長は数m以下で、支保パターンの大幅な変更等はない。	破砕帯の延長が10m以上に及ぶ。支保パターン変更等による増加費用1000万円以上(CI~CII地山⇒DI~DII地山)	破砕帯の延長が30m程度以上に及ぶ。支保パターン変更や補助工法の追加等による増加費用10億円以上(CI~CII地山⇒DI~DII地山、補助工法追加)	破砕帯の延長が350m程度以上に及ぶ。支保パターン変更や補助工法の追加等による増加費用10億円以上(CI~CII地山⇒DI~DII地山、補助工法追加)	破砕・変質の程度	[1]多亀裂※1	[2]多亀裂~細片状※2	[3]細片状~粘土状
期間	現場対応が可能なもの、軽微な追加対策で対応可能なもの(対応期間:1ヶ月以内)	支保パターンの変更などで対応可能なもの(対応期間:1年以内)	支保パターンの変更や補助工法の追加、及び調査・各種検討の実施により、1年前後以上の工事の遅延。	大幅な工事の遅延が生じることから路線計画の変更が必要となるもの	破砕帯の構造(計画路線との平面交差角)	[1]高角度交差(90°~60°)	[2]中角度交差(60°~30°)	[3]鋭角交差(30°以下)
周辺環境への影響(突発湧水時)	準備した湧水処理施設で処理可能な湧水の発生	準備した湧水処理施設を一時的に上回る湧水の発生	準備した湧水処理施設を継続的に上回る湧水が発生し、周辺環境(河川、利水施設等)に影響を及ぼす。	—	高圧・大量湧水の可能性	[1]水圧0.1MN/m2以下、または、湧水量0.05m3/分以下	[3]水圧0.1~1MN/m2以下、または、湧水量0.05~0.5m3/分	[5]水圧1MN/m2以上、または、湧水量0.5m3/分以上
					膨潤性粘土鉱物の有無	[1]殆ど含まれないと推定される。	[2]含まれると推定される。或いは未詳。	[3]多量に含まれる可能性有り。
					地山強度、土被り	[1]塑性土圧発生の可能性は低い(地山強度比:4以上)。	[3]軽微な塑性土圧発生の可能性あり(地山強度比:4~2)。	[5]塑性土圧発生の可能性あり(地山強度比:2以下)。
発生確率(各項目の合計点)						5~9	低い	※1亀裂間隔5~20cm
						10~14	中程度	※2亀裂間隔5cm以下
						15~19	高い	

(3) リスク対応 (路線変更)

AA ランク及び一部の A ランクの地質リスクに対しては路線変更でリスクを回避し、それ以外のものは後続の地質調査や対策工検討等を通じて事業の各段階で不確実性を含めたリスクの低減を図る方針とした(表3)。

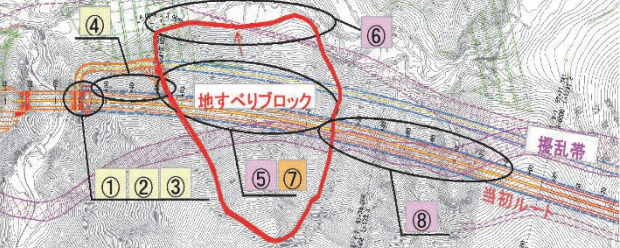
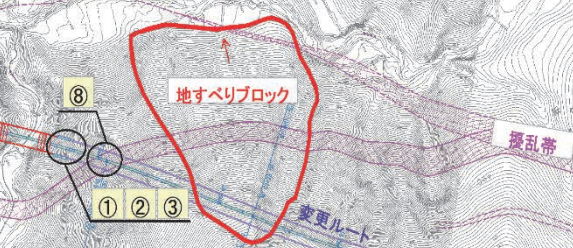
線形変更の際には、事業者、設計者、地質リスク技術者間で表4に示すリスク比較表を用いて線形変更の効果を相互に調整しながら検討を進めるとともに、変更路線に対してもリスク抽出・評価、対応検討を繰り返すことでリスクの低減を図った(図7)。

表 3 本事業におけるリスクランクと対応方針

対応	リスク	想定事象と対応方針	発現事象の例
回避	AA	事象が発現した場合、通常計画可能な構造物や対策工による対応が困難である。通常容認される以上の事業費がかかる。 → 路線変更により回避 ※	・大規模地すべりが発生し、通常の対策工での対応が困難になる。 ・破砕帯が長区間にわたり、補助工法の追加等で大幅な事業費の増加、工事遅延が発生。
低減	A	事象が発現した場合、構造形式の変更が必要となる場合や、安全性が著しく低下する可能性がある。 → 路線変更や構造変更で回避 或いは リスクを低減 → 詳細な調査を実施して、完全なリスク低減を実施	・支持層が予定より深く基礎形式が変更となる(基礎形式や施工手順の大幅変更)。
	B	事象が発現時、軽微な追加対策や、対策範囲の変更により対応可能。 → 通常の地質調査を行い、調査結果に応じて対策工を検討	・施工時の発破振動等で道路・現道に落石が発生し、別途落石対策が必要となる。
保有	C	事前の低減対策等の必要性が低いとため、施工段階や維持管理段階にリスクを保有。	・切土法面からの湧水が認められたため、水抜きを実施。

※重金屬に関わるリスクについては、重金屬を含有すると推定される地質が広範囲に分布し、現時点では回避が困難と考えられるため、事業の早い段階から対応検討を進める方針とする。

表 4 地質リスク比較表(当初線形、変更線形)

当初線形		対象箇所 F トンネル起点側		変更線形		対象箇所 F トンネル起点側	
							
リスク比較	結果	事象(()内は図-2との対応)	リスク源(自然的)	結果	事象(()内は図-2との対応)	リスク源(自然的)	
	① 坑口変状	支持力不足(D)	土砂、強風化岩分布	① 坑口変状	支持力不足(D)	土砂、強風化岩分布	
	② 坑口斜面の変状・崩壊	すべり破壊、崩壊拡大(A)	崩壊地形・緩み岩盤	② 坑口斜面の変状・崩壊	すべり破壊、崩壊拡大(A)	崩壊地形・緩み岩盤	
	③ 計画路線への落石、土砂流出	落石、表層崩壊(C)(A)	不安定岩塊、崩積土	③ 計画路線への落石、土砂流出	落石、表層崩壊(C)(A)	不安定岩塊、崩積土	
	④ 内空変形・変状、トンネル崩壊	偏土圧・破壊(F)	側方の低土被り				
	⑤ 土圧発生・トンネル崩壊	地すべり滑動(A)	地すべりブロック分布				
	⑥ 河道閉塞・谷側構造物の変状	地すべり滑動(A)	地すべりブロック分布				
	⑦ 切羽・天端の崩壊	破砕岩盤による地山変形(F)	地すべりブロック分布				
	⑧ 切羽・天端の崩壊、内空変形・側壁押し出し	地山変形等長区間化、突発湧水(F)	擾乱帯が路線に平行分布	⑧ 切羽・天端の崩壊	地山変形、湧水の増加(F)	擾乱帯の分布(No.61付近)	
	リスクランク	発生確率	AA 線形変更等により、リスクを回避することが望ましい事象	リスクランク	発生確率	AA 線形変更等により、リスクを回避することが望ましい事象	
		非常に高い	低い	中程度	高い	A 詳細な地質調査を実施して、完全な対策を講ずべき事象	
		高い	①			B 地質調査等を行い、結果に応じて適切なリスク低減対策を講ずべき事象	
		中程度	②	④		C 施工段階へリスクを留保することが可能な事象	
		低い	③				

効 ◆ルート変更により地すべりブロックを回避することでこれに関わるリスクはすべて回避された【AA→A無し】

果 ◆線形変更では擾乱帯を最短かつ直交方向で突破させることで、破砕岩盤の長区間化や側壁の押し出し等のリスクを低減【AA→B】

路線変更により、大規模な追加対策費と工程遅延が懸念される AA ランクの地質リスク 5箇所がすべて回避された。また、A ランクの地質リスクも大幅に減少した（図 8）。

4. マネジメントの効果

(1) 路線変更によるマネジメント効果

事業初期段階の検討のため、マネジメント効果（費用・工期）の詳細を算出するのは難しいが、10 億円以上の追加対策費と多年の工事遅延を想定した AA ランク 5 箇所が全て回避されたことから、少なくとも 50 億円程度の効果量があったと評価される。また、計量化の難しい安全性の向上等に加え、AA～A ランクの地質リスクの回避が可能となったことは、道路構造物に求められる要求性能の長期安定性の確保にも寄与するものと考えている。

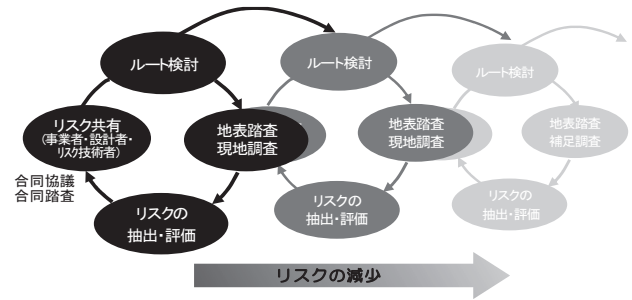


図 7 変更路線の反復評価によるリスクの低減

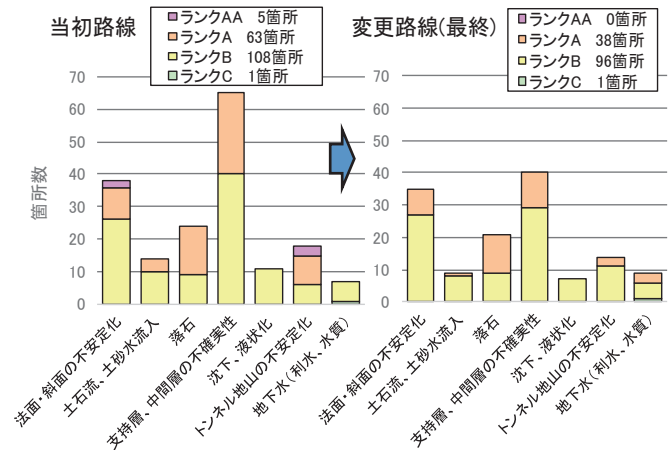


図 8 当初路線と変更路線の地質リスクの比較

(2) 今後のリスクマネジメント手法

今後、計画路線沿いに残存する A,B ランクの地質リスクに対して、地質調査や対策工の設計・施工、これらによるリスク評価を繰り返すことで更なる事業コストの低減、事業工程の遅延回避が可能になると考えられる。そのためには地質リスクの確実な引継ぎが重要となる。これを踏まえ本事業における地質リスクの引継ぎ管理表を作成した（表 5）。これにより前段階のリスク評価に基づいた計画や対応方針の立案等が可能となる。また、事業初期段階では地質リスクに関わる地質評価そのものの不確実性が相対的に高いが、管理表に地質評価上の課題や未調査項目等を記録し、後続段階でフィードバック（追加調査、詳細調査等の実施）することで、事業の進展に合わせて地質評価の不確実性も低減すると考えられる。さらに、施工時に発現した地質リスクとその措置を記録に残すことで維持管理段階での有効活用も期待できる。

表 5 地質リスク引継ぎ管理表（一例）

		No59+90切土	7号トンネル
地質リスク検討段階	リスク源	流れ盤亀裂の発達した緩み岩盤、擾乱帯の分布	未固結堆積物、低土被り、偏圧地形
	事象・結果	すべり破壊による切土変状、崩壊	天端崩壊、断面変形、L側斜面不安定化（保全対象への影響）
	リスクランク	A	A
地質調査段階	地質評価上の課題	風化性状、緩み範囲、地質構造の変化等が未詳	未固結層性状、基盤岩との境界形状、地下水位状況が未詳
	調査計画	（予）オールコアボーリング2箇所、ホアホールカメラ、弾性波探査、岩石試験 （詳）ボーリング1箇所（起点側）	（予）ボーリング4箇所、標準貫入試験、室内試験（粒度・含水） （詳）ボーリング2箇所、孔内水平載荷試験
	調査結果	当初想定よりも風化帯は薄く、幅の広い破砕帯も確認されない。	強度の低い未固結層がトンネル断面～天端付近、隣接斜面に分布していることを確認。
設計段階	リスクランク	B	A
	地質評価上の課題	（予）表層に開口岩盤の分布が予想され、法面対策必要。	（予）終点側で基盤岩境界の不陸が大きく、詳細確認必要。
	リスク対応	表層付近の風化帯の崩壊を抑制するため、鉄筋挿入工を計画	補助工法として長尺先受工法を計画するとともに、緩みを抑制する掘削工法を計画。
施工段階	概算対策費等	15～20百万	150百万
	リスクランク	C	B
	地質評価上の課題	切土範囲の変更により、起点側の対策範囲（緩み範囲）が未詳	施工時に斜面の動態監視が必要。数値解析に必要な物性値の取得。
維持管理段階	施工計画	逆巻工法を採用。施工時は地山が緩み崩壊が発生しないよう観測する。	機械施工で地山の緩みの最小化を図るとともに、掘削時に斜面動態モニタリング実施。
	頭在化したリスクと対応	切土施工時に一部の亀裂から湧水が発生し、その周辺部で小規模な崩壊が発生したため、水抜き孔を施工。	モニタリングの結果、変位は許容値内に収まっていることを確認。
	リスクランク	B	C
維持管理方針	維持管理方針	水抜き孔の目詰まりの確認や、降雨時に崩壊箇所周辺の異常の有無を確認する。	通常の維持管理で対応。

青字：新たな地質評価上の課題に対するフィードバック内容
（予）：予備設計時点、（詳）：詳細設計時点

事業の各段階で的確かつ継続的に地質リスクマネジメントを進めるためには、当該事業に即したリスクマネジメント手法の体系化も求められる。そのため、ここでは当該事業の地質リスク対応マニュアルを策定した。今後、事業の進捗や外部状況の変化等を適宜モニタリング、レビューし、これらに基づきリスクマネジメント手法の継続的な改善（マニュアルの改訂等）を行うことで地質リスク対応の最適化が可能になると考えられる。

【論文No. 9】 捨石たい積場からなる急傾斜面の強振動時安定性評価事例

サンコーコンサルタント株式会社 ○堀川 滋雄, 越谷 賢, 佐々木 猛, 片田 良之
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福嶋 繁, 小原 義之

1. 事例の概要

当該捨石たい積場は、風化花崗岩を基盤とする斜面勾配約35度の谷地形に坑道掘削土砂を投下している。たい積場末端部は河川に隣接し、想定される直下型地震が発生した場合、斜面を形成する捨石土砂が河川内に流入することが懸念された。本稿では地震による捨石たい積場斜面が抱える潜在的风险を事前に回避することを目的に、マニフォールド法(以下、NMM)と不連続変形法(以下、DDA)を組み合わせ、地震入力基盤は連続体のNMMに入力し、上部の捨石土砂は回転自由度を持つDDAでモデル化して、捨石斜面の強振動時安定性を事前予測した。現状斜面における予測解析では、捨石土砂は斜面上部から中央部で円弧状に最大で約3m移動することが判明した。これらの移動を抑える対策工として鉄筋挿入工を計画し、施工後における地震時の斜面安定性を再解析した。その結果、捨石土砂の移動量は40%から70%程度低減する結果が得られ、本対策の施工により強振動時の斜面安定性に効果を発揮することが判明した。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 背景

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では広範囲にわたって受けた津波被害をはじめとして、宅地造成地や道路など多くの盛土構造物が地震動によって被害を受けたほか、いくつかの旧鉱山捨石たい積場ではスラグが液状化し、ヒ素や鉛を含む鉱さいや鉱廃水が河川、鉄道あるいは林道などへ流出して環境汚染やインフラ被害を引き起こした。

鉱山における保安の確保に関することを所掌する経済産業省では、このような惨状を踏まえて全国に分布する旧鉱山捨石たい積場のレベル2地震動に対する集積場たい積物の地震時安定性を評価する作業を進めることとなった。(国研)日本原子力研究開発機構人形峠環境技術センターが所掌する麻畑2号坑捨石たい積場は、斜面勾配が約35度の谷地形に掘削土砂をそのまま投下堆積させたたい積場である。捨石たい積場末端部は二級河川に隣接しており、想定される断層型地震が発生した場合には地震動に伴って約35度の斜面を形成している捨石土砂が河川内へ流れ込み、上・下流域への被害が懸念される地点であったため、その被害範囲や環境影響などを予測し、その結果によっては斜面を対策する必要があった。

本稿ではマニフォールド法-不連続変形法連成解析(NMM-DDA)を用いて、捨石たい積場斜面の直下型地震時における斜面安定性を検討・評価し、導き出された強振動時の被害予測結果を踏まえて対策工を実施した事例について報告する。

(2) 強振動時の斜面安定性を予測するための解析手法の検討

捨石たい積場斜面の強振動時安定性を評価する代表的な手法のうち、これまで一般的に採用されてきた巨大地震時での捨石たい積物の安定性を評価する方法としては、地震応答解析(動的FEM解析)において得られた地震時要素応力時刻歴データ、および節点応答加速度時刻歴データを基にして2次元FEMモデルによる動的すべり安定解析が実施され、解析は動的時刻歴計算(ニューマーク法)によって滑動量を算出している。これは捨石たい

積場のスラグが主に含水の多い細粒砂から構成され、線形連続体として扱えることを前提として使われているものである。

しかし当該地点では連続体としての基盤岩の挙動と不連続体としての捨石たい積物の挙動を同時に応答解析し、捨石土砂の大変形（弾塑性挙動）まで考慮できる解析手法が必要とされた。DDA(Discontinuous Deformation Analysis)¹⁾は地震時の崩落形状、到達時間、崩落速度などの斜面崩落現象が再現でき、NMM(Numerical Manifold Method)²⁾は不連続性岩盤の応力、変形を解くことが可能な解析手法である。Miki et al.³⁾、三木ら^{4),5)}はNMMの長所と限界、すなわち基盤ブロックの局所的な変形を考慮することはできるが、崩落岩塊の大きな回転を伴った運動を再現することが困難なこと、DDAの長所と解析限界、すなわち崩落岩塊の大きな回転を伴った運動の再現は考慮することができるが、基盤を単一のブロックと仮定して基盤の局所的な変形が考慮できない部分を踏まえて、解析手法として連続体と不連続体を同時に扱える解析手法としてNMM-DDAの連成定式化を行っている。当該地点での地震応答解析では対象とする基盤岩はNMMで、捨石たい積物はDDAでモデル化した連成解析をおこなった。両者はともにHamiltonの運動方程式を陰解法で解いていることから比較的容易に連成解析が可能となる。

(3) 解析対象斜面の地質状況と解析モデル区分

当該地点周辺の地質は中生代後期に侵入した花崗岩である。斜面は主にφ10～20cmの亜角状の捨石からなり、基質部分は風化して細粒化した土砂からなる。それらは場所によるものの層厚5～6.5m程度堆積している。解析用モデル区分は、捨石たい積場内で実施した2箇所のボーリング調査結果ならびに周辺部地表地質踏査結果を踏まえて作成した地質モデル区分を基本とした(図-1参照)。

捨石堆積物の地質区分はボーリングコア観察結果及び粒度試験結果から評価し、基盤岩の区分は本州四国連絡橋公団が花崗岩を対象に作成した分類基準によった。

捨石堆積物の上部は細粒分含有率で細粒土優勢層と砂質土優勢層の2種の土層が互層状に出現したが、本来は土層に連続性を持たない投下堆積物であるため解析用モデルでは細分せずひとと区分とし、両者の物性値を重み付け

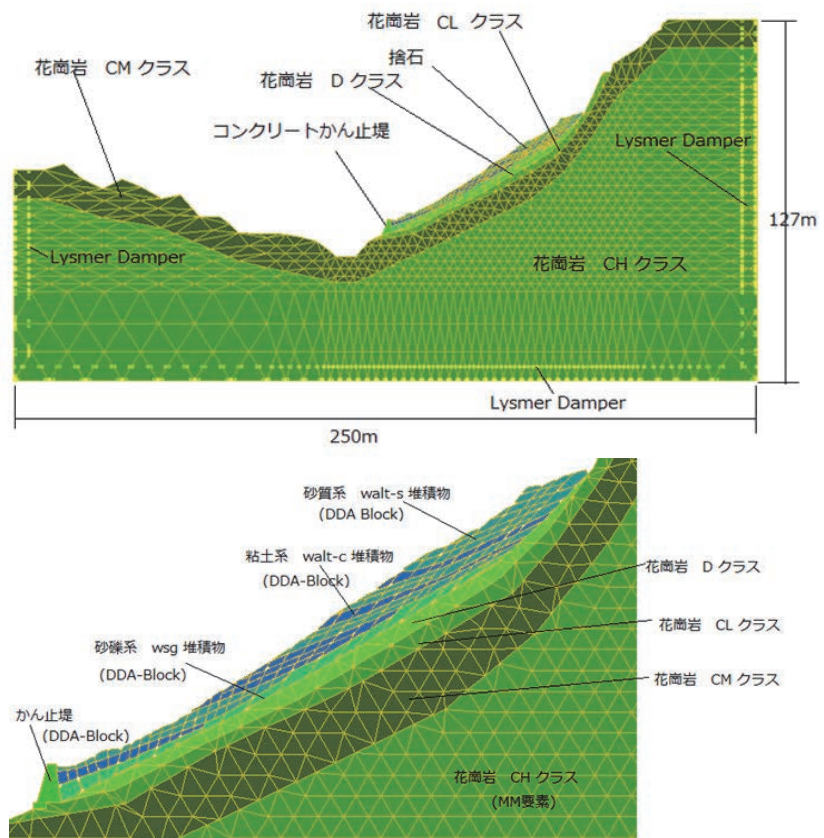


図-1 解析断面の初期状態解析境界条件と物性区分

平均して入力物性値とした。捨石堆積物の下部は地質区分と同様に岩片優勢部として区分した。基盤岩は風化状況（強風化，風化，弱風化，未風化）により4区分した。物性区分した解析断面を図-1に，動的解析用モデルの入力物性値一覧を表-1に示す。

(4) 入力地震動の設定

強振動時安定性評価に用いるレベル2地震動は，本地点が鳥取県内に位置しているため，鳥取県（2015）が公表している断層型地震のうち鹿野・吉岡断層（1943年鳥取地震）に

よる地震動を採用した。水平方向加速度を図-2に示した。最大水平加速度は約400galである。図-3は上下方向加速度を示す。

(5) 解析領域と物性区分

解析領域は水平方向が250m，上下方向が127mである。解析断面のメッシュ図と初期状態（自重）解析境界条件は図-1に示す通りである。本解析では水平および上下の入力地震加速度を基盤のNMM要素に同時に物体力として与えた。そのためNMM要素の側方および下方境界にポテンシャルエネルギーを持つ，P波とS波に比例する粘性境界を与えた。

3. データ収集分析

2000年鳥取県西部地震の際に布部ダムで得られた波形を原種波形として，鹿野・吉岡断層で発生する地震動（等価震源距離式による）を想定した地震応答解析結果を示す。計算に用いた時間刻みは0.002秒である。初期主応力分布図（4秒後-2000ステップ）を図-4に示す。初期主応力は花崗岩斜面のCH，CMクラス領域で斜面の傾斜に沿う様に分布しているが，CL，Dクラス領域の境界部でやや乱れている。80秒後（4000ステップ）の主応力分布

表-1 動的解析用モデル入力物性値一覧表

	土質・地質						
	捨石堆積物			基盤岩（花崗岩）			
	walt-c 細粒土 優勢	walt-s 砂質土 優勢	Wsg 岩片 優勢	swGr (強風化)	wGr (風化)	wwGr (弱風化)	Gr (未風化)
湿潤密度 ρ_t (kN/m ³)	15.7	20.1	20.6	21.0	22.0	24.0	25.0
粘着力 c (kN/m ²)	41	12					
内部摩擦角 ϕ (°)	13.2	36.0	35	35.0	37.5	40.0	42.5
変形係数 E_s (kN/m ²)	9,900	15,600					
ポアソン比 ν_s	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
P波速度 (m/sec)	430	1,140	1,500	2,000	2,400	3,000	
S波速度 (m/sec)	128	214	400	450	700	1,000	
動的せん断 変形係数 (剛性率) G_d (MN/m ²)	30	90	340	450	1,200	2,500	
動弾性係数 E_d (MN/m ²)	89	270	1,000	1,330	3,450	7,300	

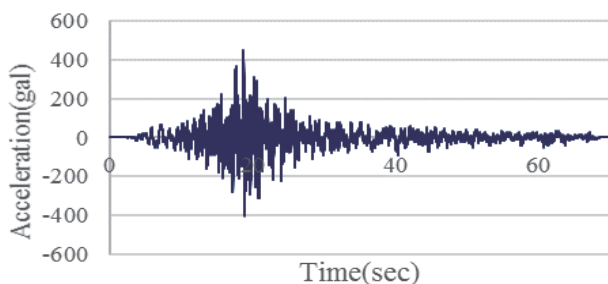


図-2 入力地震動（水平方向）

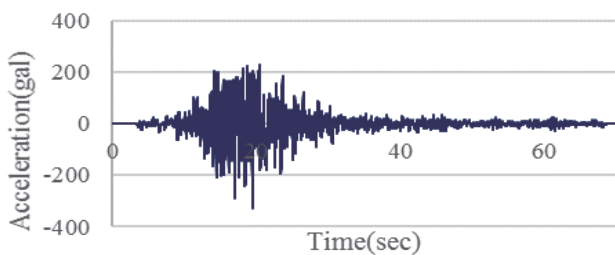


図-3 入力地震動（上下方向）

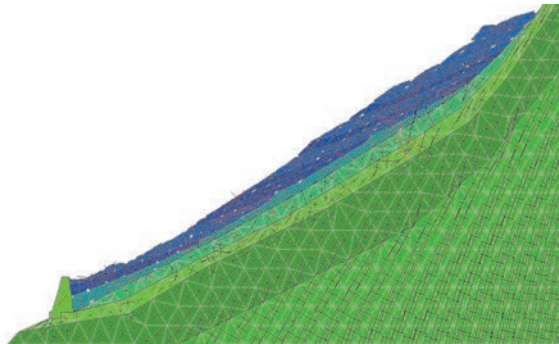


図-4 初期主応力分布図

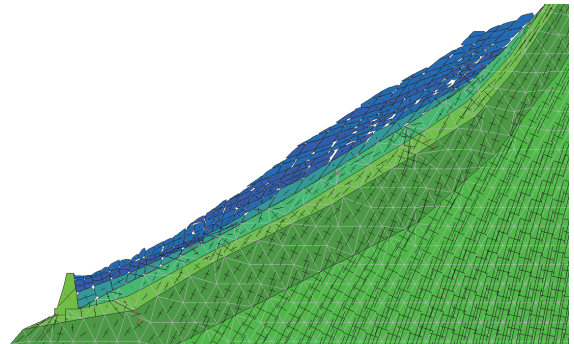


図-5 初期主応力分布図（80秒後）

図を図-5に示す。CH、CMクラス領域では初期応力とほぼ同様であるが、CL、Dクラス領域内の斜面下部にやや応力集中が見られる。80秒後の斜面ブロックの変位量図を図-6に示す。これによれば、捨石土砂は末端部のかん止堤を超えて河川まで到達することではなく、最大斜度付近に相当する斜面中腹部分にわずかに緩みが生じ、斜面上部のブロックが最大で約3m程度下方へ移動することが想定される結果となった。

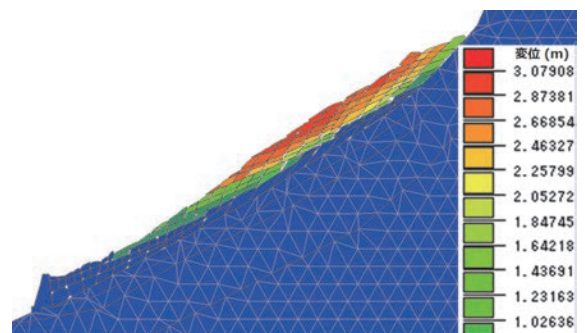


図-6 変位量分布図
(80秒後、最大3.08m)

4. マネジメント効果

斜面安定対策として鉄筋挿入工を計画・施工(R1年度)した。この対策工の妥当性を把握することを目的に、同じ地震動を用いて応答解析を行った。図-7は解析に使用した鉄筋挿入工モデルである。図中の赤色の線が鉄筋である。鉄筋はトラス要素でモデル化している。これらの鉄筋長は8mとし、径は2.54cmである。トラス要素は斜面の表面部にあるDDAブロックと斜面基礎部のNMM要素を結合している。図-8は80秒後の変位分布図である。これらの最大変位は斜面中央の上部ブロックで約1.80m であるが、斜面上部で平均約0.3m程度である。その結果、対策なしの変位量と比較して相対的に4～7割低減する結果が得られた。

強振動時の斜面被害予測結果を踏まえた対策工が、地震時の斜面安定性に効果を発揮していることが判明した。

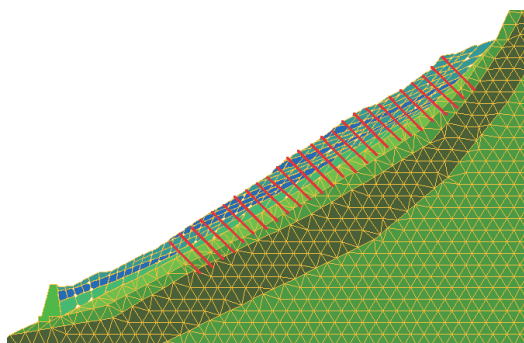


図-7 鉄筋挿入工解析モデル

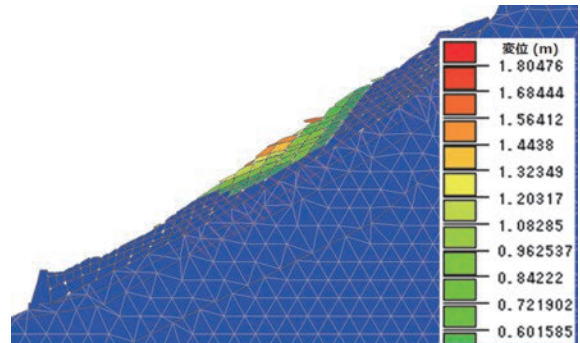


図-8 鉄筋挿入工対策後の変位量分布図
(80秒後、最大1.80m)

5. データ様式の提案

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

6. 文献

- 1) Shi, G.H. and Goodman, R.E. : Generalization of two-dimensional discontinuous deformation analysis for forward modeling, *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech*, Vol. 13, pp. 359–380, 1989.
- 2) Shi, G.H. : Manifold method of material analysis, *Transactions of the 9th Army Conference on Applied Mathematics and Computing*, Report No.92-1, U.S. Army Research Office, 1991.
- 3) Miki, S., Sasaki, T., Koyama, T., Nishiyama, S. and Ohnishi, Y. : Development of Coupled Discontinuous Deformation analysis and Numerical Manifold Method (NMM-DDA), *International Journal of Computational Methods*, Volume 7, Issue 1, pp.131-150, 2010.
- 4) 三木 茂, 佐々木 猛, 大西有三, 小山倫史 : マニフォールド法－不連続変形法解析 (NMM-DDA) の開発, 計算工学講演会論文集, Vol.17, 計算工学会 , 2012.
- 5) 三木茂, 大西有三, 小山倫史, 佐々木猛 : NMM-DDAの地震時大規模地すべりへの適用, 第21回計算工学講演会, OS14マルチステージ破壊シミュレーション, 2016.

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	(国研)日本原子力研究開発機構	
	工事名	麻畑2号坑捨石たい積場の安全対策工事	
	工種	鉄筋挿入工	
	工事概要	斜面安定対策	
	① 当初工事費	115,500千円	
	当初工期	令和元年7月5日～令和2年2月28日	
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	解析・設計段階	
	予測されたトラブル	斜面崩壊	
	回避した事象	崩壊土砂の河川流出・土石流	
	工事への影響	—	
リスク管理の実際	判断した時期	解析・設計段階	
	判断した者	経験豊富な解析技術者	
	判断の内容	NMM-DDA連成解析	
	判断に必要な情報	現地踏査、ボーリング、岩石試験等	
リスク対応の実際	内容	追加調査	—
		修正設計	—
		対策工	—
	費用	追加調査	—
		修正設計	—
		対策工	—
		② 合計	—
変更工事の内容	工事変更の内容	—	
	③ 変更工事費	—	
	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)	—	
	工期	—	
	その他	—	

【論文 No. 10】 地すべり対策調査・設計段階でのチェックボーリング実施例

株式会社 エイト日本技術開発 ○入川 史義

1. 事例の概要

本事例は、地すべり災害における対策工のうち、アンカー工の調査設計段階でチェックボーリングと基本試験を実施し、その結果を反映してアンカー詳細設計の精度を向上させて、施工時の設計変更リスクを低減した事例である。

当該地は2018年7月豪雨（西日本豪雨）により発生した地すべりの一つであり、梅雨末期の線状降水帯がもたらした豪雨により、当該地を含む西日本一帯では多くの地すべり災害や水害が発生した。

本事例はこの際に幅80m、長さ110mの範囲で発生した明瞭な地すべり災害箇所である。地すべりブロック頭部では、落差8mの滑落崖が発生し頭部滑落崖から連続して両側方へ滑落崖が続いている。末端部には水量の豊富な溪流が流下し、押出により河道が左岸側へ移動している。当該地の溪流の下流には県道や集落があり、被災後の崩壊等により溪流が閉塞された場合は土石流による2次被害が懸念され早急な対策が望まれた。

対象地の地質は、三波川帯と領家帯和泉層群の境界に近い和泉層群側に位置し、主に砂岩優勢の砂岩泥岩互層が基岩として分布している。

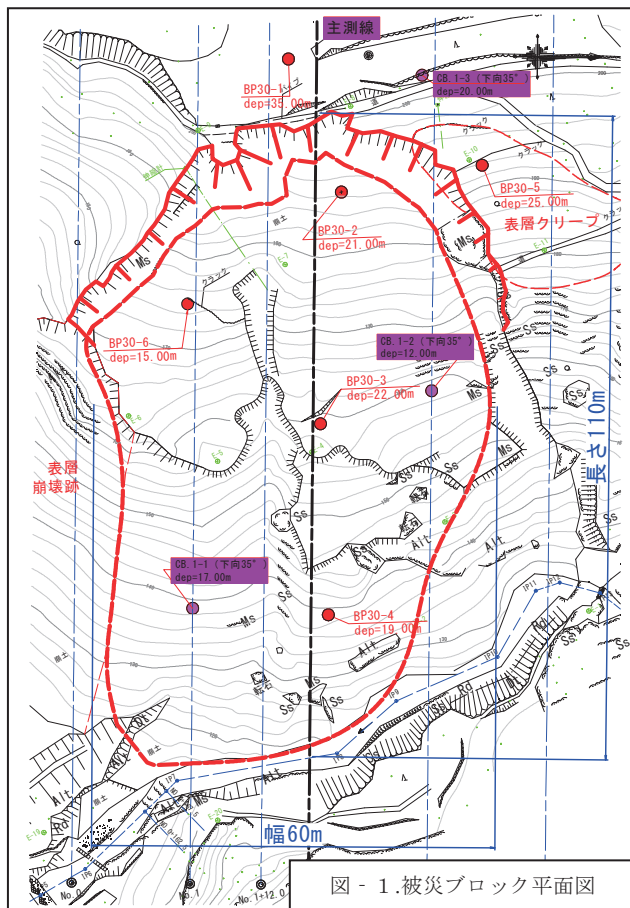


図 - 1. 被災ブロック平面図



図 - 2. 被災ブロック全景

調査では、地すべりブロック中央部の主測線沿いで4箇所、起点側と終点側測線上で1箇所毎の調査ボーリングを実施した。その結果、層厚8～10m程度の崩積土層の下位に、風化・破碎の進行した脆弱な強風化岩層が分布し、その下位に弱風化岩(CL～CM級)から

なる風化岩層が分布することが確認された。すべり面としては孔内傾斜計等の観測とボーリングコアの状況から強風化岩層下端の脆弱部と判断した(図-3 参照)。

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

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

次に主な被災状況写真を添付する。地すべりブロックの形状は滑落崖及び側方崖が連続して追跡することが可能であり被災範囲はこれらの滑落崖と亀裂、末端の押出地形を繋ぐラインとした。ブロックの背後には地表踏査により、潜在地すべりブロック(背後ブロック)が存在することも確認され、この背後からの潜在地すべりブロックについても、検討を行い合わせて対策を実施するよう計画した。

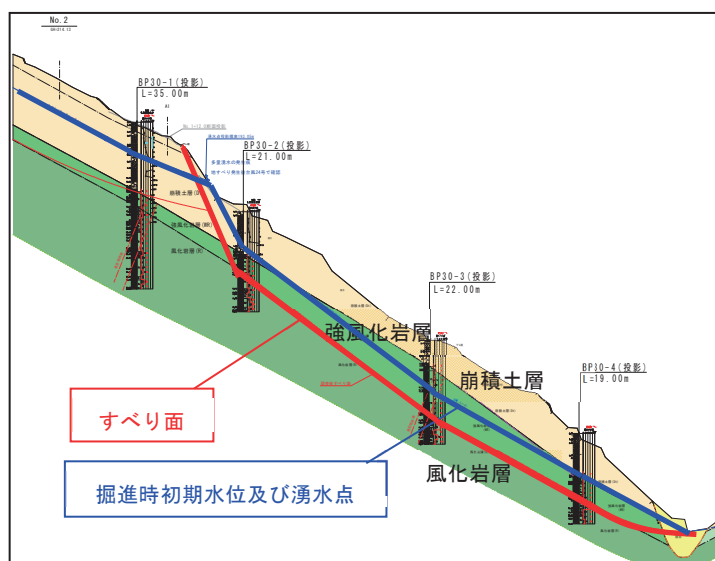


図 - 3 主測線の地質断面図



図-4. 地すべりブロック頭部の滑落

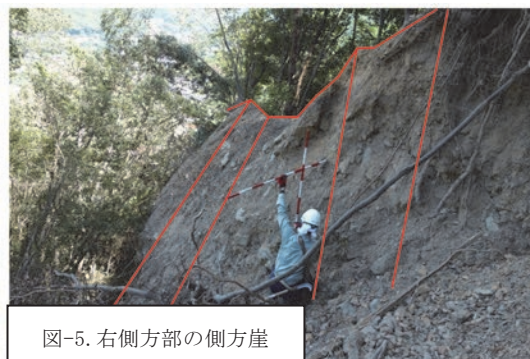


図-5. 右側方部の側方崖

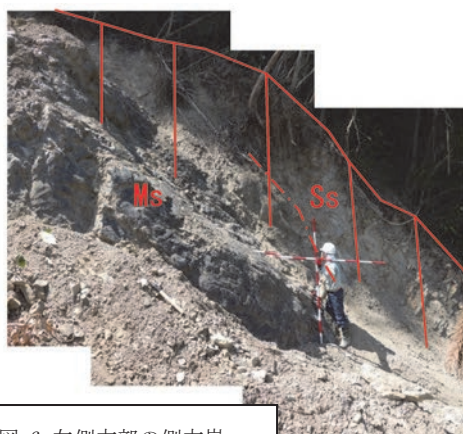


図-6. 左側方部の側方崖



図-7. ブロック末端部の押出し

2. 事例分析のシナリオ

(1) 背景

当事例は災害関連緊急地すべりであり保全対象が近接していることから、早急な対策工の検討及び対策工の実施が望まれる状況であった。

地すべりブロックの範囲については、変状が連続するため決定根拠が明瞭であった。また、主測線では調査・観測結果からすべり面位置を把握し、地すべり対策工の検討結果アンカー工が採用されることになった。しかしながら、ブロックの規模が大きく岩盤の露頭状況がブロック左側方崖では比較的塊状な岩盤が見られるが、右側方崖では破砕質な状態であることから、主測線の調査結果をブロック両端部に反映させるのは難しく、アンカーの定着地盤が地すべりブロック内で複雑に変化することが懸念された。また、対象地が中央構造線系の断層に近く、定着地盤は部分的に非常に破砕質で風化が進行する砂岩泥岩の互層であり、定着地盤の周面摩擦抵抗値によってはアンカー定着長や場合によってはアンカーピッチも変更になる可能性が考えられた。

小規模な地すべりブロックでは主測線の調査結果から、定着地盤を両側方に展開し推定した上で設計を進め、施工時のチェックボーリングや基本試験にて軽微な設計変更で対応することも多いが、ブロック幅が広く地質的に定着層の変化が激しいことが予想される地すべりでは、大きな設計変更を伴う可能性があり、工事に着手してからの検討による手待ちや資材の変更は、災害対策を早急に進めるうえで大きなリスクと考えられた。

(2) リスク回避についての検討

想定されるリスクに対し、発注者と協議の上、調査・設計段階で地すべりブロック端部でチェックボーリングを行い、アンカー定着層深度をより詳細に把握するとともに基本試験を実施して実際の周面摩擦抵抗を確認する計画とし調査・詳細設計を進めることとなった。

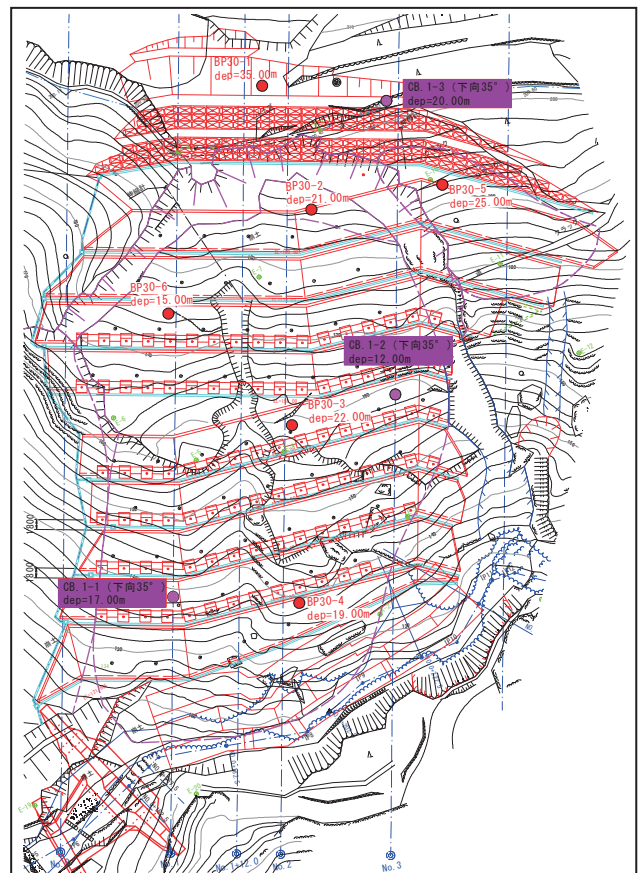
3. データ収集分析

地すべりブロック両端部の測点No.1 とNo.3の測線上で下向き 35° のチェックボーリングを実施しアンカー定着岩盤の出現位置を確認した（図-8、図-9 参照）。

また、各孔にてアンカー基本試験を実施し地盤の周面摩擦抵抗を確認した。

チェックボーリングの結果、すべての箇所アンカー定着深度が当初推定より深い位置に分布することが確認できた。

また各孔の基本試験結果からは周面摩擦抵抗は $\tau=0.6$ (MN/m²) という結果が得られた。周面摩擦抵抗については、当初想定から定着岩盤の状態が脆弱であるため低く設定していたが、実際に試験を実施することでその根拠が明確となった。



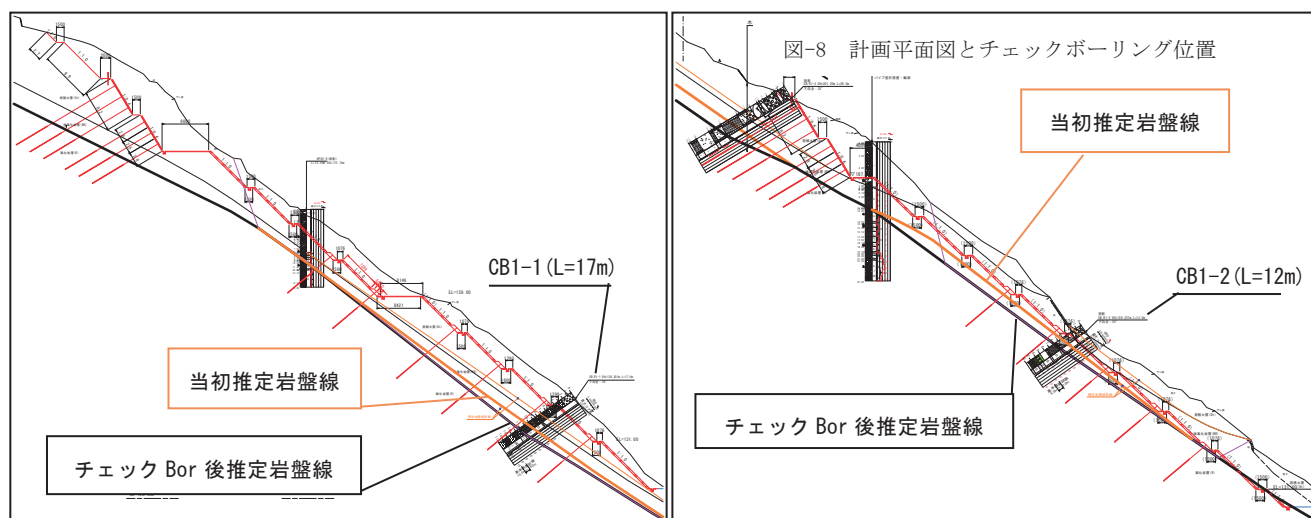


図-9 チェックボーリング結果

調査ボーリング結果から、定着地盤は破碎及び風化が進行した砂岩・泥岩互層であり、一般値では $\tau=0.6$ (MN/m²) は風化岩の最低値である。

表-1 アンカーの極限周面摩擦抵抗

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

「グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説」より一部抜粋。

これらの結果からアンカー計画については、アンカー定着長は当初の想定での設計で、背後ブロック L=7.0m、被災ブロック L=6.0mで問題ないことが確認できた。またアンカー自由長は定着層の変更により 0.5mから 2.0m長くなった。

背後すべり 設計アンカー力：Td=590.3kN/本、アンカー間隔：2.5m、施工段数：6段
被災ブロック 設計アンカー力：Td=328.5kN/本、アンカー間隔：4.0m、施工段数：6段

4. マネジメント効果

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

アンカーのチェックボーリングや基本試験を、どの段階で実施するかについては、発注機関や事業のタイミングによりさまざまであるが、災害対策事業のように施工着手から完成までの期間を短縮することが望まれる現場や、地すべりのような不安定な土塊に対する施工では施工期間の安全を確保する上でも、ロスなく速やかに施工を完成させる必要があり、設計変更でのリスクを軽減するために調査設計段階で考えられる調査を密に実施することが望ましく、今回のような現場では先行したチェックボーリングや基本試験の実施

は有効であると考えられる。

A 型マネジメント効果＝①当初工事費－③変更工事費－リスク対応費用である。

① 当初工事費

アンカー工+受圧板工（掘削及び付帯工は別途）：92,500 千円

② リスク対応費用

チェックボーリング、引抜試験費用：6,500 千円

③ 変更後工事費

アンカー工+受圧板工（アンカー延長変更）：94,300 千円

◎マネジメント効果＝①－③－②

＝92,500 千円－94,300 千円－6,500 千円

＝－8,300 千円

今回の事例では、アンカーのチェックボーリング及び基本試験を実施したことで、アンカーの延長が長くなり結果的にトータルコストとしては8,300千円の増加となった。また地質リスク回避の観点からは、詳細な調査の実施によりアンカー定着長不足を未然に防止した設計ができた。今回の事例ではアンカーの周面摩擦抵抗や定着層までの層厚が比較的当初想定に近似していたため、大きな設計変更に至らなかったが結果によってはアンカーピッチの変更など修正設計に時間を要する場合も想定される。以上より調査・設計段階で調査精度を向上させて不確定要素を解明しておくことは、計画的で迅速な施工を実現するうえで重要であると考えられる。

5. データ様式の提案

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

A. 地質リスクを回避した事

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		県
	工事名		—
	工種		アンカー工
	工事概要		地すべり対策工事
	①当初工事費		92,500 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		施工時
	予測されたトラブル		アンカー定着地盤の変化
	回避した事象		アンカー長及び配置の変更
	工事への影響		設計変更による工事期間延長
リスク管理の実際	判断した時期		調査・設計時
	判断した者		調査・設計業者
	判断の内容		アンカー定着地盤の詳細確認
	判断に必要な情報		定着地盤位置と周面摩擦抵抗
リスク対応の実際	内容	追加調査	チェックボーリング、基本試験
		修正設計	アンカー工
		対策工	延長、数量
	費用	追加調査	6,500 千円
		修正設計	—
		対策工	—
		②合計	6,500 千円
変更工事の内容	工事変更の内容		アンカー工の延長、数量
	③ 変更工事費		94,300 千円
	変更工期		—
	間接的な影響項目		—
	受益者		—
リスクマネジメントの効果	費用(①－③－②)		-8,300 千円
	工期		影響なし
	その他		アンカーの定着地盤位置と周面摩擦抵抗を事前に把握し、工事中の設計変更を回避した。

[論文 No. 11] 3次元地質モデルを活用した沖積低地の地質リスク検討事例

サンコーコンサルタント株式会社 ○向井理史

辻野裕之

1. 事例の概要

今回の発表は、砂浜湖岸とその後背湿地に計画されたグランピング施設の建設に伴う地質調査を実施し、調査結果から3次元地質モデルを作成して抽出した軟弱地盤や浚渫土からなる盛土の有無や分布等の地質リスクを可視化することで、地質技術者と設計技術者、そして専門的知識を持たない事業関係者との間で地質リスクの共有化を図った事例である。

2. 事例の分析

(1) 調査における問題点

調査地はほぼ平坦な砂浜湖岸沿いの沖積低地に位置し、低地の背後約2～4kmのところには花崗岩から構成される山地～山麓斜面が広がる。調査地である沖積低地は山麓斜面から湖までの距離が比較的近く、いわゆる臨湖扇状地としての特徴をもつ。この特異な沖積低地にグランピング施設の建設が計画され、室・土質調査を実施することとなった。一般に、沖積低地における地質リスクとしては表1のような地質的問題があげられる。

表1 沖積低地の代表土層と地質リスク（(社)地盤工学会（2004）を基に作成）

地形条件		地質概要	問題事項
沖積低地	扇状地	粗大な分級不良な厚い砂礫層	流路不安定 被圧地下水 洗掘
	自然堤防	砂質土	地震時の液状化の可能性
	後背湿地	軟弱な粘土、シルト 細砂 ピート	軟弱地盤 洪水帯水
	三角州	軟弱な細砂 粘土層の厚い堆積	深い軟弱地盤 表層砂層の地震時の液状化
	おぼれ谷	極軟弱なピート シルト 粘土	極軟弱地盤

既往文献調査および表層地表踏査の結果、当該地において次の地質的問題点が想定された。

- ①自然堤防が形成され、その背後に停滞水域ができたことによる軟弱粘性土層の存在
- ②高有機質土（高含水・高圧縮性）の存在

さらに、当該地には花崗岩のマサ土からなる浚渫土が締まりの悪い盛土として分布しているため（図1）、次の問題点も地質的課題として予見された。

- ③トラフィカビリティの確保

(2) 調査計画

前節で述べた地質的課題の検討のため、当該地における地質調査から地盤の構成層、特に軟弱

粘性土層と高有機質土層の有無，地層分布状況，地層の層厚のほか，地下水状況を把握することが求められた。

本事例の場合，計画構造物の支持層を確認するボーリング調査と，盛土の性状・地質特性の把握と基礎地盤の確認を行うボーリング調査とに分けてボーリングを 7 箇所配置した（図 1）。加えて，ボーリングの補完としてスウェーデン式サウンディング試験を 4 箇所，浚渫土からなる盛土の締めり具合と層厚の確認のため同試験を 11 箇所計画した。

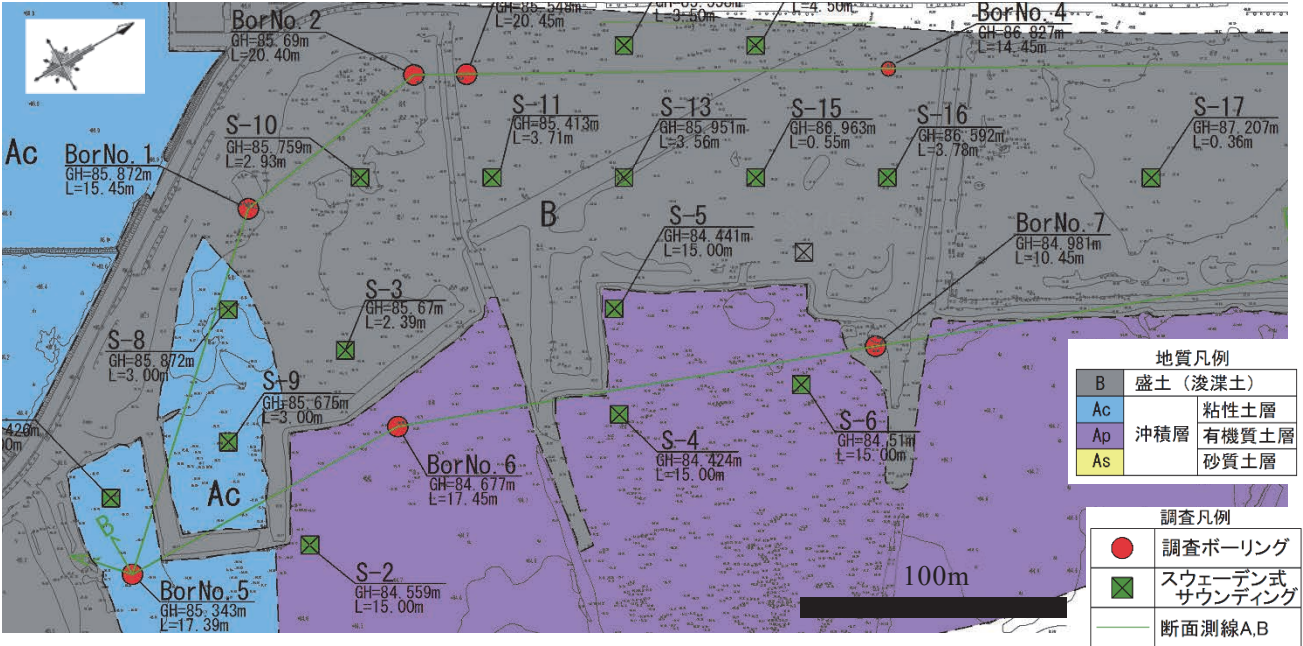


図 1 当該地の表層地質図と調査位置図

(3) 地質リスクの共有化とアカウンタビリティの確保

筆者らの事業関係者は，国や地方公共団体の土木系技術職員である場合が多い．その場合，2 次元図面を用いた専門技術者の説明により，地質技術者と設計技術者，事業関係者間における意思疎通や共通認識をもつことはある程度可能であるが，抽出した地質リスクの細部に至る共通認識や正確無比な引き継ぎ等は困難である．本事例のように，事業関係者が専門的知識を持たない場合，地質リスクの共有化のために（設計・施工には必ずしも必要ではない）多くの図面の用意や，説明に多くの時間を費やす可能性がある。

そこで，抽出した地質リスクに関する共通認識を関係者間でもつため，調査結果を基に 3 次元地質モデルを作成して協議用資料として利活用することを試みた．3 次元地質モデルの利活用のメリットとしては，「対象構造物と地盤の相互関係が 3 次元で把握しやすくなる」，「素人目にもわかりやすく，速やかな合意形成に役立てられる」などが述べられている（3 次元地質解析技術

表 2 3 次元地質モデル作成の仕様細目一覧

項目	仕様
モデル化範囲	500m×350m
用いたデータ	ボーリング柱状図：7本 スウェーデン式サウンディング試験：15本 露頭情報（地表踏査結果）
使用ソフトウェア	Autodesk社製 Civil3D（ver.2020） CTC社製 GEORAMA（ver.2020）
モデル形式	サーフェスモデル，パネルダイアグラム，ボーリングモデル
モデル化の対象	地層境界サーフェス，柱状図モデル
地形データ	国土地理院の5m航空レーザー測量データ 現地での測量結果

コンソーシアム，2019) ほか，データの整合性チェックへの利用，説明性の向上などがあげられる．本事例の3次元地質モデル作成の仕様細目については，表2のとおりである．

3. データ収集分析

(1) 地質調査結果

ボーリング調査結果から，当該地には表3に示す8層が分布していることが明らかになった．

浚渫土からなる盛土(B)はN値1~9とバラツキが見られること，粘性土層(Ac)が1層あり，N値2の軟弱地盤であること，高有機質土層が砂層に挟まれて2層あり，上位の高有機質土層(第1有機質土層:Ap1)はN値0~3，下位の高有機質土層(第1有機質土層:Ap2)はN値3~5であるという地質特性や，当該地の計画構造物の支持層としては第4砂質土層(As4)が候補としてあげられることも把握できた．また，盛土(B)，粘性土層(Ac)，第1砂質土層(As1)を除く地層は調査範囲内で連続することや，第1有機質土層の層厚が場所により異なること(図2)が当該地の地質リスク評価の際の新たな事象となることが明らかとなった．

表3 当該地の地質構成一覧

土質区分	記号	N値範囲 (平均N値)	記事
盛土	B	1~9 (3.8)	概ね浚渫土に該当する．礫混じり砂を主体とし，一部に粘性土を含む．南西側で薄くなる．サウンディングS-15付近では良く締まっているが，これ以外は緩い．
粘性土層	Ac	2	南西側の盛土の直下に分布する．軟らかい粘土が主体である．
第1砂質土層	As1	6~15 (10.5)	Ac層の下位でAc層と同様に南西側に分布する．礫混じり砂が主体である．
第1有機質土層	Ap1	0~3 (1.1)	南及び南東側に比較的厚く堆積し，北及び北東側に薄くなる傾向が認められる．北から南に傾斜している．上部に粘性土を認めるが，「非常に軟らかい」有機質土が主体である．一部，砂質土を挟む．
第2砂質土層	As2	1~42 (11.1)	北および北西側に比較的厚く堆積し，南及び南東側に薄くなる傾向が認められる．北から南に傾斜している．礫混じり砂が主体である．粘性土を薄く挟む．
第2有機質土層	Ap2	3~5 (3.6)	ほぼ同じ層厚(1m程度)で分布する．北から南に傾斜している．砂質土を挟む．
第3砂質土層	As3	6~40 (21.5)	一部で粘性土を挟む．礫混じり砂が主体である．
第4砂質土層	As4	21~50以上 (39.3)	本調査地域全体に広く分布する．黄白灰色の礫質砂が主体である．全体に締まっており，支持層として適する．

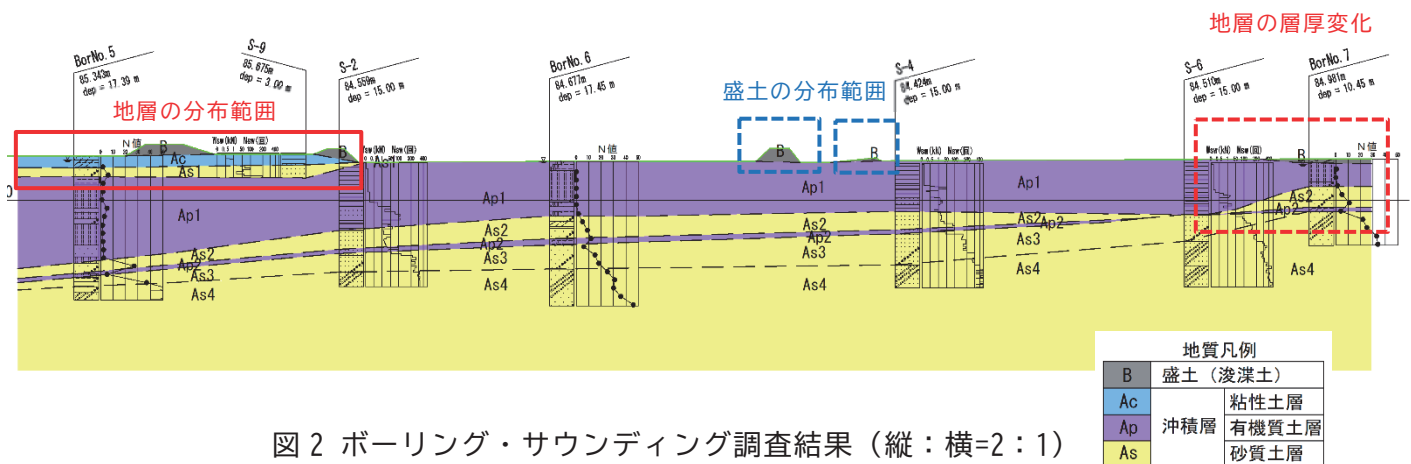


図2 ボーリング・サウンディング調査結果 (縦:横=2:1)

(2) 3次元地質モデルの作成結果

ボーリングおよびサウンディング試験結果から、表 2 に示す仕様細目のとおり 3 次元地質モデルを作成した。本事例では、抽出した地質リスクの要因となる軟弱粘性土層（Ac）と高有機質土層（Ap1, Ap2）の分布範囲と層厚の変化、締まりの悪い浚渫土からなる盛土の分布範囲と層厚変化を可視化することに加え、作成した 3 次元地質モデルの不確実さを説明するため、3 次元地質モデルのうち、ボーリングモデル、パネルダイヤグラム、サーフェスモデルを作成した（各モデルの詳細は 3 次元地質解析技術コンソーシアム（2019）等を参照）。ここでは、例としてパネルダイヤグラムを示す（図 3）。

図 2 に示す 2 次元の地質断面図から地質の部分的な分布（地質の連続性）や地層の層厚変化は把握できるが、その断面上にはない箇所での地表下の地質層序や地層の形状、計画構造物との関係性を把握することは、多少の訓練を積まないと理解しにくい。一方で、図 3 に示すパネルダイヤグラムや地層境界サーフェスモデルであれば、地質技術者が想定する上記の地質的問題点について専門的知識を持たない者であっても正しく伝達することが可能となり、早期に共通認識をもつことができた。本事例のように、地質技術者と専門知識を持たない事業者とのコミュニケーション手段として 3 次元地質モデルの利活用は有効であったと言える。

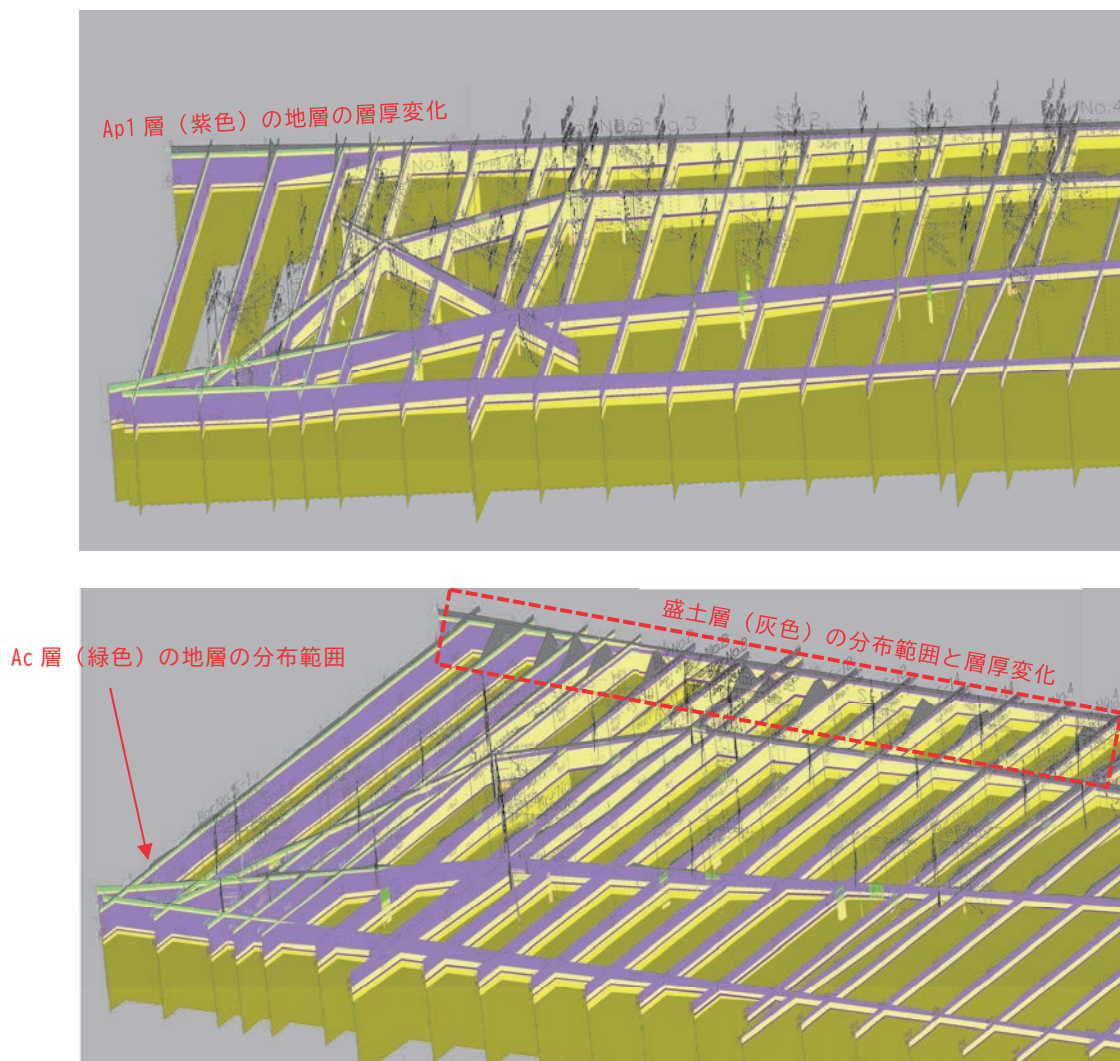


図 3 3次元地質モデル作成結果（パネルダイヤグラム）
（上図は図 1 の下方上空からの鳥瞰，下図は図 1 の右下方上空からの鳥瞰）

4. マネジメント効果

本事例のように、地質技術者と設計技術者、そして専門的知識を持たない事業者とのコミュニケーションの手段、特に地質技術者が各種地質調査結果を基に予見し、評価を行う地質リスクについて相互に意思疎通を行い、共通認識を持つために 3 次元地質モデルを活用した説明は有益なツールとなりえることができると考えられる。結果、事業の今後の計画にあたり、地質リスクの回避・低減・許容や解決策が明確となり、事業者にとってコストの面で負担となり得る地質リスクを回避することができた。

その一方で、3 次元地質モデルを活用したことによる新たな課題も見られた。3 次元地質モデルは、局部を除いて表層地表踏査やボーリング調査、サウンディング試験の調査結果から、地質技術者が客観的に解釈した想定モデルであるため、出来上がった 3 次元地質モデルが細部に至るまで正確に表現されていないのが実状である。地盤の構成や分布状況など可視化されているため、素人目にもわかりやすいというメリットもあるが、不確実性に関する認識や不確実性の程度が地質技術者と他者との間で共有できているか、地質調査後の設計・施工、維持管理を行う上で許容できる程度の客観性・妥当性を持つ 3 次元モデルかどうかについても共通認識をもつことが求められる。

今後、建設事業は 3 次元の形状モデルと属性情報からなる CIM/BIM の実運用へと急激に移行する。本事例から、地質技術者には事業の地質・土質に関する地質リスクを抽出、予見、評価して、リスクの回避や低減、対応策を判断する能力が必要なのはもちろんのこと、CIM/BIM モデルを活用することによる新たな地質リスクの発現についても理解し、評価を行い、地質技術者と事業者をはじめとする関係者との意思疎通、共通認識をもつことが必要である。

引用文献

公益社団法人地盤工学会（2004）「地盤調査の方法と解説」．p.1222．丸善出版株式会社．

3 次元地質解析技術コンソーシアム（2019）「3 次元地質解析マニュアル Ver2.0.0」．

https://www.oyogeotools.com/3dgeoteccon/3D_Geological_Analysis_Technology_Consortium_3D_Manual_Ver.2.0.0.pdf?utm_source=3dgeoteccon&utm_medium=referral&utm_campaign=3D_Manual_Ver.2.0.0．（確認日：2020.8.28）．

〔論文 No. 12〕 街路灯倒壊リスクを回避するためのインテグリティ試験の活用

日本物理探鑛株式会社企画本部 ○内田篤貴
日本物理探鑛株式会社九州支店 愛甲崇信、伊藤明、城之内明
北九州市建設局道路部道路維持課

1. 事例の概要

本事例は、街路灯基礎が腐食することにより転倒することを事前に防止することを目的に、調査方法が簡便で経済的負担が少なく、定性的評価が可能なインテグリティ試験を適用した事例である。

鋼製の街路灯は、塩害、昨今の強風豪雨、土壌に起因する支柱の腐食等により、倒壊する事故が全国から報告されている。設置後数十年を経過した街路灯は非常に多く存在し、倒壊などによる第三者への危険性が増加している。表 1 に街路灯転倒事故の事例の一部を示す。

表 1 街路灯転倒事例（一般社団法人日本公共施設保守点検研究所 HP より編集）

発生年月日	自治体名	照明灯転倒の状況
2017.8.2	広島市	高さ約 7 メートルの鉄製の照明灯が倒れ、走行中の車を直撃しました。倒れたのは昭和 40 年代に設置された照明灯で、地中約 15 センチの場所が腐食していました。この照明灯は、去年 2 月の点検で表面のさびが確認されていましたが、異常なしと判断されていましたが（テレビ朝日）。
2017.5.11	北九州市	道路脇に設置された高さ 8 メートルの鉄製の照明灯が倒れ、片側 2 車線の車道を一時ふさいだ。市によると、通行人や車に被害はなかった。37 年前に設置され、根元部分の腐食が原因とみられる。照明灯は直径十数センチで、重さ約 140 キロ。市が 5 年に 1 回、定期点検しており、平成 25 年の点検では異常はなかった（産経新聞）。
2016.2.11	池田市	鉄製の照明柱（高さ約 4.5m、直径約 14 cm）が倒れ、近くにあった大阪市内の小学 4 年の女子児童（10）が左手をはさまれて人さし指切断の重傷を負った。照明柱を管理する池田市が 12 日発表した。根元がさびて折れており、市は腐食が原因とみている（朝日デジタル）。
1999.11.17	四日市市	鋼管の根元部分が腐食 土台から 40cm で折れる。8 月の目視と打音の点検では、緊急の対策必要なしと判断（中日新聞）。

いずれのケースも地際または地中の腐食が原因となり倒壊に至ったことが示されている。

特に、地際においては、硫黄分を含む腐食性土壌、イオンを多く含む抵抗の小さな土壌、草木が繁茂し pH の低い酸性雨を滞留させる状況等が存在することにより、街路灯の支柱の腐食を促進する。腐食の要因を整理し、表 2 に示す。

表 2 腐食の要因

部 分	原 因	現 象	点検方法
支柱	硫黄酸化物、塩害、風力、	塗膜の剥離・変色、肉厚の減少	目視、物理探査
支柱下部	硫黄酸化物、塩害、風力、ペット	塗膜の剥離・変色、肉厚の減少、ひび割れ	目視、物理探査
地中	土壌、含水、水質	肉厚の減少、ひび割れ	物理探査

しかし、街路灯すべてを点検するためには、かなりの時間と経済的負担が必要である。

本論で使用したインテグリティ試験は、杭長、杭断面の変化、クラック等の性状について杭頭を打撃することにより、杭中を伝播する弾性波がインピーダンスの異なる境界で反射する現象を利用して杭の長さ、健全度を診断する装置である。

試験は、図 1 に示すように街路灯の支柱にセンサを固定し、プラスチックハンマの打撃位置は、センサ固定部と同じ高さとした。弾性波を正確に伝えるため、打撃方向は支柱に対して斜向する角度とした。波形記録の信頼性を上げるため、必要に応じて打撃位置を変え数回試験を行った。

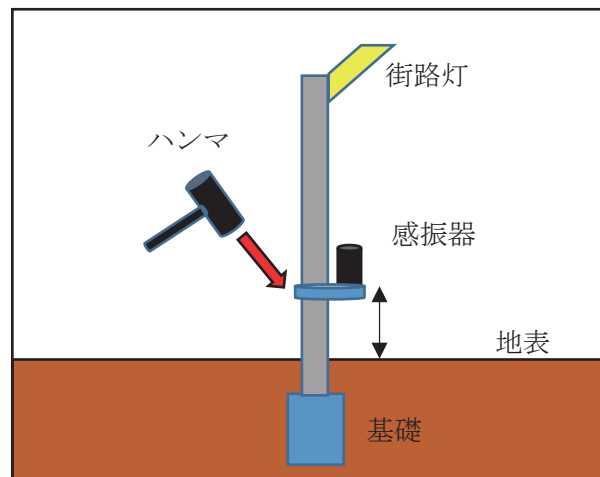


図 1 試験の模式図

健全性の判定は、図 2 に示すように、打撃位置から杭先端までの波形内に急激な凹凸の特徴の有無を確認し判定した。特に、入力波と同じ上向き（凸型）の波形は断面の減少を示すため、留意して確認した。

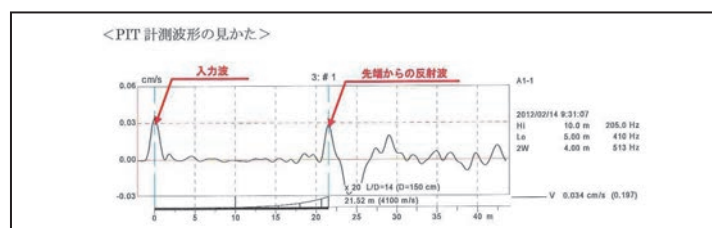


図 2 インテグリティ試験の波形

計測波形は、計測した加速度を積分し速度で表示している。縦軸は速度、横軸は波動の伝播時間から計算した杭の深度である。時間と杭の深度の関係は以下のとおりである。

$$t=2L/c \quad c=\sqrt{E/\rho}$$

ここで、 t ：時間

L ：杭長（支柱の打撃位置から先端までの距離(m)）

E ：支柱のヤング率

ρ ：支柱の密度

図3に調査により得られた健全な波形と劣化の進んだ波形を示す。

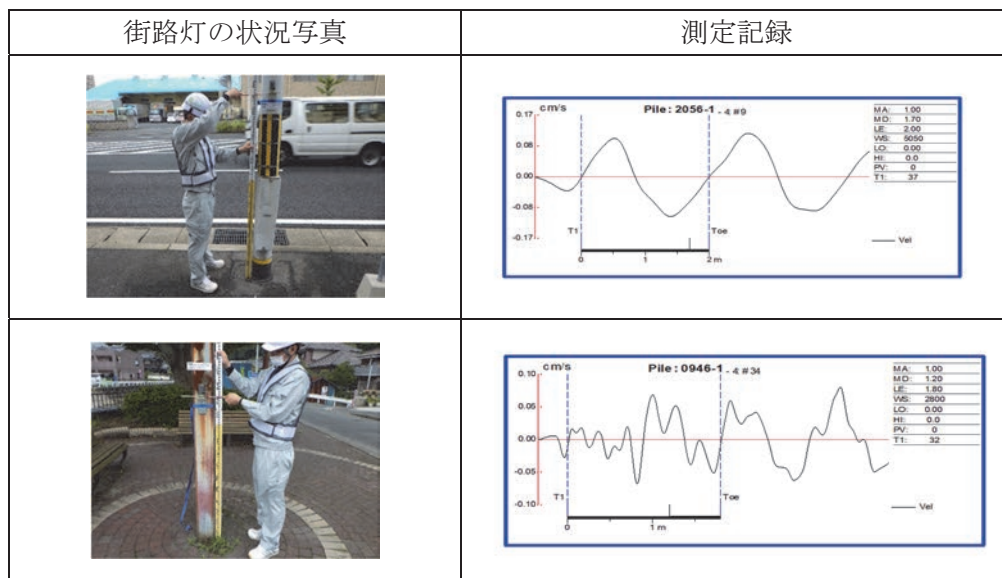


図3 健全な街路灯（上図）と劣化の認められる街路灯（下図）

インピーダンスが減少した場合は、入力波と同じ向きの反射波が戻ってくる。したがって、支柱先端からの反射波は通常、入力波と同じ向きとなる。インピーダンスの減少と同様の反射波となるのは、クラック等の欠損があり鋼材のヤング率が低くなっている場合である。インピーダンスが増加した場合は、入力波とは逆向きの反射波が戻ってくる断面積の増加と同様の反射波となるのは、地盤抵抗が高いヤング係数または支柱の密度が高くなっている場合である。インテグリティ試験の後、支柱の肉厚との関係を調査するため、地表部と地中部の肉厚測定をそれぞれ4方向測定し平均値を求めた。図4は、経過年数と地中肉厚を地表肉厚で除して百分率で表したものである。併せて近似曲線を併記した。

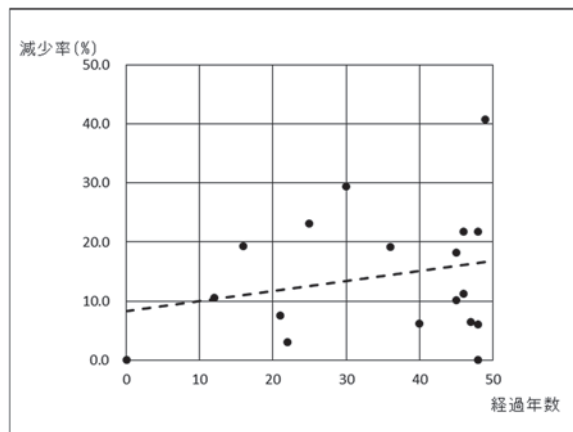


図4 街路灯の経過年数と肉厚減少率 $[(100 - (\text{地中肉厚} / \text{地表肉厚} \times 100))]$

図 4 によると、年数が増加するほど肉厚は減少する傾向が全体的に表れている。それに反して、経過年数以上に肉厚が減少する場合とそうでない場合の傾向も見ることができる。

2.事例分析のシナリオ

経済的に安価な目視調査は全数可能であるが、表面の変化を点検することに限られるため、内部または地面下の埋め込み部分については、異常を検知することが難しい。劣化を物理的に精度よく調査するためには表面塗膜を剥離し、機材を支柱に密着させる必要があるため、高価な調査となり、経済的に全数を実施することができない。

そこで、一律に点検するのではなく、街路灯の劣化状態に応じた分類を行い、補修の優先度をつけることにより効率的かつ経済的な街路灯の更新に寄与できると考えた。そこで、試験結果を、国土交通省（2019）「附属物（標識・照明施設等）定期点検要領」に当てはめることにした。表 3 に国土交通省（2019）の基準を、図 5 に調査のフローを示す。

表 3 判断区分（国土交通省（2019）による。）

区分		定 義
①	健 全	構造物の機能に支障が生じていない状態。
②	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
③	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
④	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

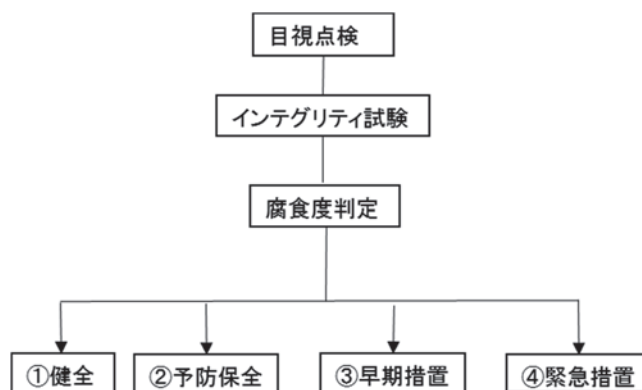


図 5 試験のフロー

図 6 はインテグリティ試験により得られた波形を、国土交通省（2019）の分類に区分してみた例である。

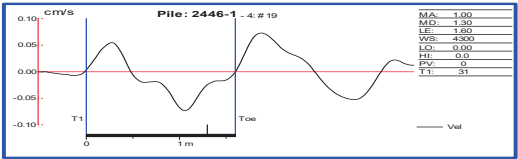
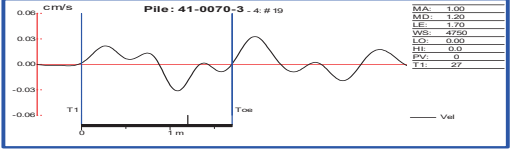
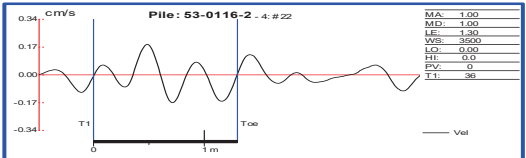
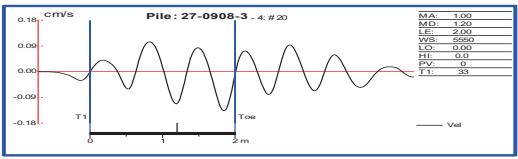
区 分		波 形 と 特 徴	
①	健 全		上側に凸の波形がない
②	予防保全段階		上側に凸の波形の振幅が初動より小さい
③	早期措置段階		上側に凸の波形の振幅が初動より大きい
			上側に凸の波形の振幅が連続する

図 6 インテグリティ試験波形と健全度分類
(健全度の分類は、国土交通省（2019）の分類を用いた）

3. マネジメントの効果

コスト削減の可能性を提案できる理由は、以下のとおりである。

- ①腐食の原因を想定し計画段階から地盤調査技術者が参加できたこと。
- ②調査の検証が可能（新品の支柱と劣化の進んだ支柱）な予備調査のフィールドを提供いただけたこと。
- ③調査結果に基づき、地際の試掘、鋼材の肉厚測定等を実施し、腐食の進行を確認したこと。

マネジメントの効果を表現するためにトータルコストを比較したものが表 4 である。なお、表 4 はあくまでも試算である。

16000 本の街路灯について全数目視調査を行い、その内 10000 本に何らかの異常がある判断されたという想定をした場合である。

上段は、現状のマネジメント効果なしの場合で、5 年に 1 回目視調査と非破壊検査の試験を行う場合とした。下段は調査結果に基づき、健全、予防保全、早期措置に分類し点検計画を立て、インテグリティ試験を実施した場合である。効果は表 4 のとおりである。

街路灯の状況を①健全、②予防保全、③早期措置以上の 3 段階に分類し台帳を作成し、今

後の交換計画策定の根拠資料とすることを目的としている。併せて今後の調査間隔に重みづけを付与し点検頻度を変更することも可能である。

①健全、5年に1度の点検

③予防保全：5年に1度の点検

②早期措置以上：5年に1度の点検で優先的に調査を行う

表4 街路灯点検のマネジメント評価

マネージメント効果	分類	調査内容		1 年目	2 年目	3 年目	4 年目	5 年目	合計(1-5 年)
なし		目視調査	本数	16,000					16,000
			金額	68,800,000					68,800,000
		非破壊検査	本数		2,500	2,500	2,500	2,500	10,000
			金額		125,000,000	125,000,000	125,000,000	125,000,000	500,000,000
	合計金額								568,800,000
あり	健全	目視調査	本数	6,000					6,000
			金額	25,800,000					25,800,000
		インテグリティ試験	本数						
			金額						
	予防保全段階	目視調査	本数	9,000					9,000
			金額	38,700,000					38,700,000
		インテグリティ試験	本数			3,000	3,000	3,000	9,000
			金額			30,000,000	30,000,000	30,000,000	90,000,000
	早期措置段階	目視調査	本数	1,000					1,000
			金額	4,300,000					4,300,000
		インテグリティ試験	本数		1,000				1,000
			金額		10,000,000				10,000,000
	合計金額								168,800,000

今後、インテグリティ試験結果と街路灯の劣化の関係をさらに明らかにしていくとともに、劣化の判断材料要素として、地盤の抵抗値、pH、海岸からの距離、風速等を含めた評価方法を検討していきたいと考えている。

参考文献

- ・国土交通省、2019、門型標識等定期点検要領。
- ・国土交通省道路整備課、2019、小規模付属物点検要領。
- ・国土交通省道路局 国道・技術課、2019、附属物（標識・照明施設等）定期点検要領。

〔論文 No. 13〕 地形解析と模型実験による発生リスクが高い土石流危険渓流の検討

復建調査設計株式会社 ○猪俣 陽平

山口大学大学院 中田 幸男

1. はじめに

日本では豪雨が毎年のように発生するなど降雨状況が変化してきており、1 時間降水量 80mm/hr 以上の年間観測回数の推移は増加傾向にある。近年では、平成 26 年 8 月豪雨、平成 29 年九州北部豪雨、平成 30 年西日本豪雨が挙げられ、これらの豪雨により土石流やがけ崩れなどの土砂災害が発生し、甚大な被害をもたらすなど大きな問題となっている。これら気象変化による豪雨に伴う土砂災害の増加を踏まえて、土砂災害に対する対策は重要である。現在、様々な防災・減災対策が実地されているなかで、本研究では砂防堰堤に注目した。砂防堰堤は土石流が発生した際に大きな岩や流木などを含む土砂を貯め、下流への被害を防ぐ効果が期待されるが、堰堤一基を建設するにも高いコストや時間が必要とされる。そこで、砂防堰堤による対策を最も効率的に行うために、より土石流発生危険度の高い渓流を選定し、優先的に対策を進めるようにすることが重要となってくる。

ここでは、土石流発生危険度が高い渓流を選定するために、土石流の発生メカニズムをより明確にし、把握することが重要と考えた。この発生メカニズムは降雨により地下水位が上昇し、せん断強度の低下により崩壊に至るなど土質的メカニズムだけでなく、崩壊発生源になりやすい、いわゆる壊れやすい地形の把握といった視点での解明も重要である。崩壊発生源になりやすい地形を解明していく手法に地形解析が挙げられる。地形解析とは航空レーザ測量などで得られた測量データを数値標高モデル(DEM)に加工し、この数値標高モデルで等高線図および地形イメージの作成などを言う。この解析を実行することで地形特性が容易に取得でき、土砂災害の規模や位置、災害の進捗度が把握可能になる。机上で地形の把握ができる点や、広範囲を対象に分析できる点などが地形解析の最大の利点と言える。そこで本研究では、平成 26 年 8 月豪雨により広島市で発生した土石流を解明の対象とし、最初に GIS を用いた地形解析を行う。ここでは、土石流の源頭に注目し、土石流発生と未発生の源頭を比較することで崩壊の諸要因を選定する。また地形解析で選定した源頭形状の違いによる崩壊要因に関して、豪雨を再現可能な降雨装置と模型土槽を使った模型実験を行い、源頭形状の違いによる斜面挙動を評価する。地形解析の結果と模型実験の結果を複合的に判断し、発生リスクが高い土石流危険渓流の検討を行う。

2. 土石流源頭部の地形解析による崩壊の諸要因

(1) 平成 26 年 8 月豪雨で発生した土石流とその源頭

被害の発生した広島県内には土石流危険渓流に指定された渓流が約 1 万箇所存在している。そのうち災害発生時には、土石流が発生した渓流と未発生の渓流が生じた。そこで土石流が発生した渓流を崩壊渓流、土石流未発生の渓流を未崩壊渓流と定義し、最も甚大な被害が生じた広島市安佐南区安佐北区において全 29 渓流(44 箇所)の調査を行う。崩壊渓流の滑落箇所や未崩壊渓流の最高標高地点周辺 15m×15m の範囲を本源頭と定義する。より詳細な分析を行うために、本源頭よりも標高の高い地点を仮源頭 a、仮源頭 b と定義する。崩壊

溪流において崩壊は本源頭から下流にかけて発生し、より標高の高い仮源頭 a、仮源頭 b では崩壊が起っていない。実際に崩壊があった崩壊溪流の本源頭を崩壊源頭、それ以外の源頭(崩壊溪流の仮源頭 a、仮源頭 b、未崩壊溪流の仮源頭 a、仮源頭 b および本源頭)を未崩壊源頭と呼ぶ。地形解析では、26 個の崩壊源頭と 106 個の未崩壊源頭を対象とした。これら源頭の略図を図 1 に示す。

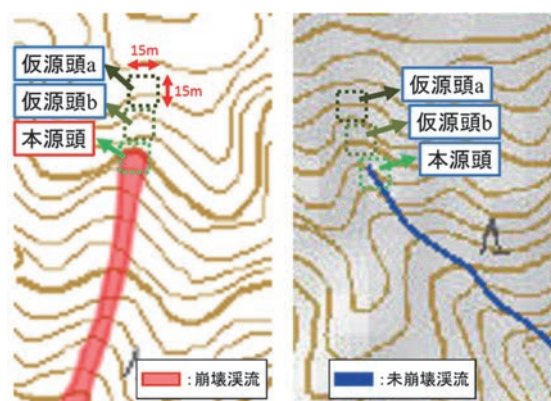


図 1 崩壊溪流と未崩壊溪流における源頭

(2) 地形解析の方法と結果

①解析方法

定義した崩壊溪流と未崩壊溪流の源頭形状を把握するために地理情報システム(GIS)を用いて地形解析を行う。地理データは国土地理院の標高データ(5×5m メッシュ)を用い、傾斜角や集水域の地形イメージ図を生成した。傾斜角は対象セルと近接セルの高度を比較し、最大高度変化が対象セルの傾斜角となり、この時の最大高度変化方向が傾斜方向となる。今回、各源頭の傾斜角を源頭傾斜角と呼ぶ。集水域の算出は最初に流向を求めるが、これは傾斜方向と同じとみなし、傾斜方向に流下していくものとする。流向から累積流量が算出され、この時の累積流量が大きな箇所は流れが集中しているエリアと特定できる。この累積流量の大きな箇所を辿ると流路が特定され、この流路に降雨が流下していく範囲を流向で特定することで集水域を定める。今回、各源頭に降雨が流下してくる範囲を源頭集水域と呼ぶ。

②源頭傾斜角と源頭集水域の影響

図 2 は崩壊源頭および未崩壊源頭の傾斜角ごとの箇所数分布について示す。源頭傾斜角は 23～44° の範囲を有する。また、平均傾斜角は 33.4°、標準偏差は 5° を示す。そのうち崩壊源頭については全て 33° 以上の源頭傾斜角を有している。しかし、未崩壊源頭でも一部で 33° 以上の源頭傾斜角を有しているが、崩壊が発生していないのは源頭集水域が影響していると考え、各源頭における源頭傾斜角と源頭集水域の関係についてまとめた。

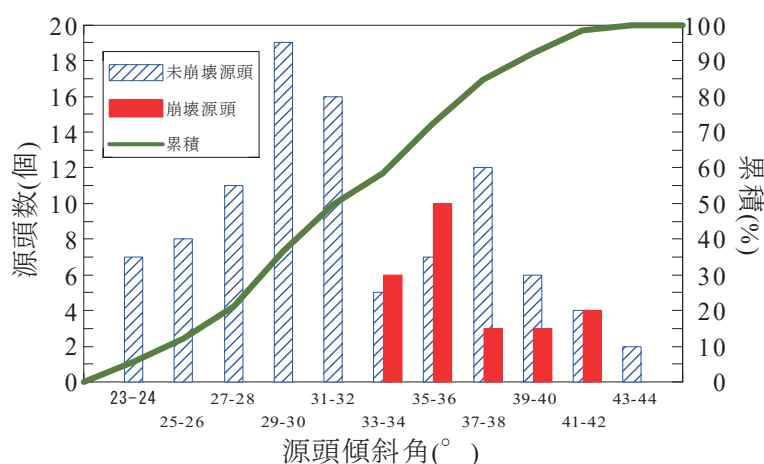


図 2 源頭傾斜角の箇所数分布

図 3、4 に崩壊源頭と未崩壊源頭の源頭傾斜角と源頭集水域の関係を示す。源頭集水域が広大になるほど、より多くの降雨が源頭に集まり地下水位を上昇させ崩壊を誘発させる推測している。図 4 では未崩壊源頭のプロットを示しているが源頭傾斜角が 33° 以上を有した源頭でも、源頭集水域が狭小であった場合は崩壊が発生していない。源頭傾斜角が急であるほど崩壊が起こりやすいが、崩壊が起こるのは一定値以上の源頭集水域を必要とすることが想定される。ただし、広大な源頭集水域を有している場合でも、源頭傾斜角 33° 未満の源頭は崩壊していない。この源頭傾斜角と源頭集水域の関係を崩壊発生メカニズムの 1 つと考え図 3、4 に境界を引いた。今回調査した源頭では源頭傾斜角 33° 以上かつ源頭集水域 2000m^2 以上を有していれば崩壊は発生しやすいとわかる。この境界を越える条件の源頭は 31 箇所存在し、26 箇所(約 84%)で崩壊が発生している。ただし、未崩壊の 5 箇所はこれから崩壊する可能性もあると考える。

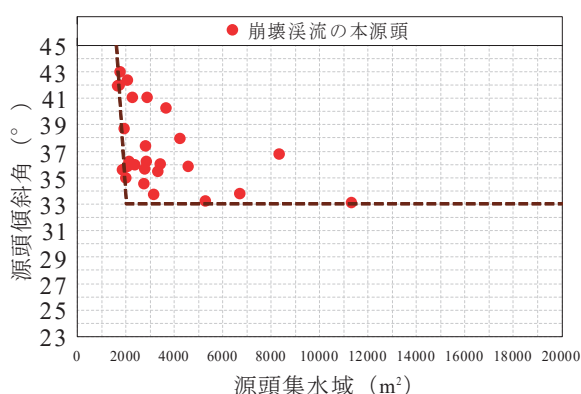


図 3 崩壊源頭の源頭傾斜角と源頭集水域

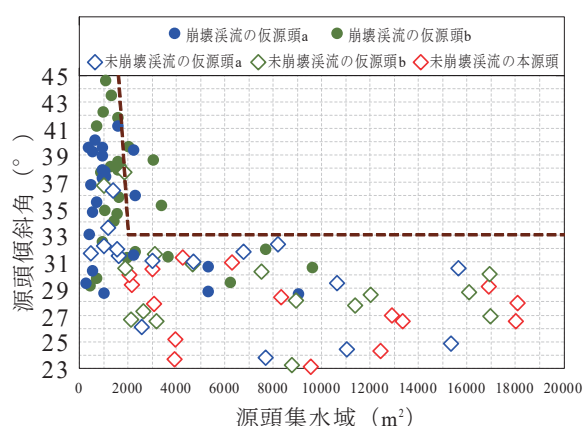


図 4 未崩壊源頭の源頭傾斜角と源頭集水域

③源頭断面パターンの影響

源頭断面パターンとは源頭を縦断面的に見た時の形状で、各源頭の上下源頭傾斜角の勾配差からこれを算出する。そのため、勾配差がマイナス値のパターンは、急な上部斜面と緩やかな下部斜面を表す凹型の源頭断面を示す。逆にプラス値のパターンは、緩やかな上部斜面と急な下部斜面を表す凸型の源頭断面を示す。図 5 に源頭の勾配差分布を示す。調査した源頭における勾配差は $-9.0^{\circ} \sim 11.0^{\circ}$ に分布しており、そのうち崩壊源頭においては $-9.0^{\circ} \sim 2.6^{\circ}$ に分布し、平均すると -3.1° であった。26 箇所の崩壊源頭の 8 割 (21 箇所) はマイナス値を示し、多くが凹型の源頭断面を有していることがわかった。

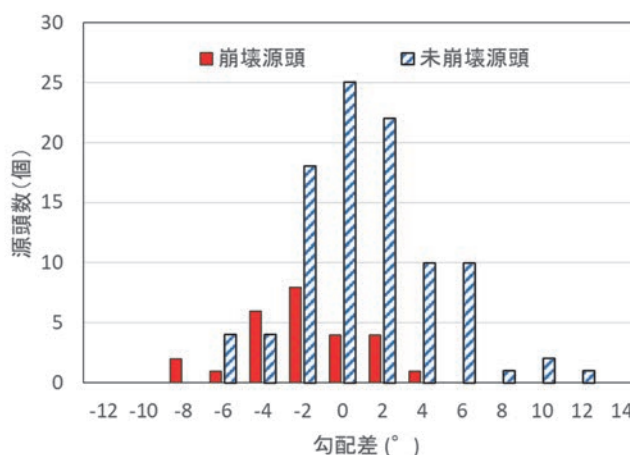


図 5 源頭傾斜角の勾配差分布

(3) 模型実験の方法と結果

①実験概要

図 6 に本研究で用いた模型土槽を示す。模型土槽は長さ 70.0cm、幅 30.5cm の上部斜面と、長さ 60.0cm、幅 30.5cm の下部斜面からできている。斜面に取り付けた傾斜角変更ネジを伸び縮みさせることで傾斜角を自在に変更し、様々な源頭断面パターンを再現できる。また模型土槽の上部に降雨装置を設置した。降雨装置はモーター動噴から給水した水がスプレーノズルから噴出される仕組みになっている。降雨強度を圧力やバルブの開閉で設定し、ノズルの個数および間隔等で斜面全域に均一な雨が降るように調節した。

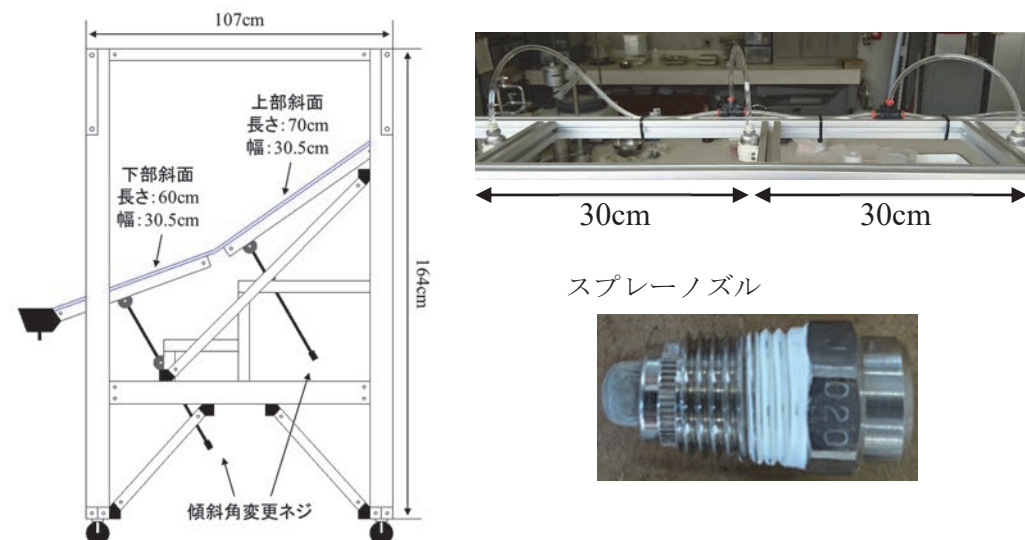


図 6 模型土槽と降雨装置

実験試料は平成 21 年中国・九州北部豪雨において、土石流が発生した防府市松ヶ谷で採取したまさ土を用いた。表 1 に示す実験条件は試料を採取した時の自然含水比や、平成 26 年 8 月豪雨の災害現場で行われた試験の乾燥密度を参考に決定している。また、降雨強度は災害と同等の集中豪雨を再現するものとし、平成 26 年 8 月豪雨で 10 分雨量が 20mm 以上の集中豪雨を記録したことを参考に 120mm/hr 決定した。そして降雨開始から斜面崩壊が発生するまでの斜面および間隙水圧の挙動を観察するために、加速度計と間隙水圧計を用いた。加速度計は傾きのみでも感知するため、実験での用途は斜面に挙動が見られるかどうかの判断に使うものとする。また斜面作製途中に、各層の境界にガラスビーズを設置した。ガラスビーズは画像解析による斜面挙動把握を目的とし、最上段左から 1-1、1-2、とし、最下段は左から 6-1、6-2、とする。図 7 に計測装置の概略図を示す。加速度計と間隙水圧計、ガラスビーズから斜面の挙動を観察し、源頭断面パターンが崩壊に与える影響をみる。

表 1 実験条件

降雨強度 (mm/hr)	含水率	乾燥密度	間隙比	飽和度
	$w_0(\%)$	$\rho_d(g/cm^3)$	e	$S_r(\%)$
120	11.29	1.205	1.169	25.24

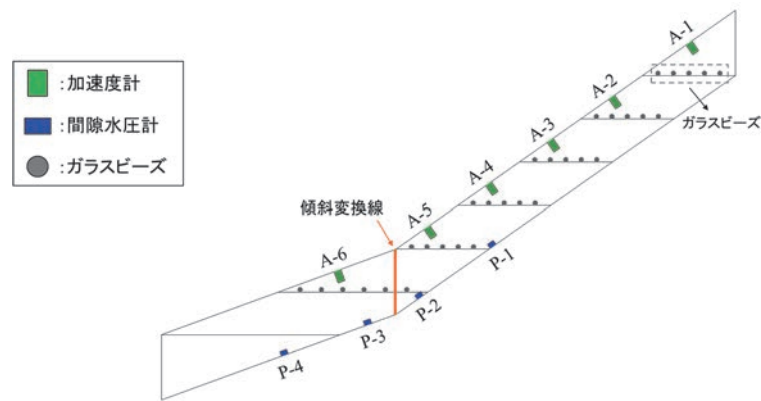


図 7 計測装置の概略図

②実験結果

地形解析の結果を参考に、傾斜角や源頭断面が異なる全 7case の実験を行った。表 2 に実験結果を示すが、傾斜角や源頭断面の違いによって崩壊の有無や、崩壊時間および発生箇所、崩壊領域など挙動にも差が生じることがわかる。崩壊の発生箇所は、傾斜変換線からの水平距離で示し、崩壊領域は設置したガラスビーズの移動個数から算出した。

写真 1 に case4 の実験結果を示す。実験開始から 1731 秒後、2、3 層目の境目付近から斜面崩壊が発生した。本実験では崩壊まで斜面に亀裂等の変状は見られなかったが、720 秒後に地下水流出を確認した。図 8 に加速度計と間隙水圧計による挙動を示す。間隙水圧は P-1 は 500 秒で突然上昇し、崩壊直前には 2.9kPa に達した。また P-2～P-4 は 930 秒、585 秒、790 秒で上昇し、崩壊直前にはそれぞれ 0.60kPa、1.13kPa、0.75kPa に達した。加速度計による傾きは斜面下方向に傾くとプラス値を示す。A-6 の傾きはマイナス値を示し、A-1、A-4、A-5 の傾きはプラス値を示した。いずれにせよ P-1 の間隙水圧が突然上昇した 500 秒ごろより、全ての加速度計 A-1～A-6 において表面の傾きが顕著になった。

表 2 全 7case の実験結果

実験case	斜面傾斜角(°)		勾配差(°)	崩壊の有無	崩壊時間(s)	発生箇所(cm)	崩壊領域(%)
	上部	下部					
case1	30	20	-10	無し	-	-	-
case2	30	30	0	無し	-	-	-
case3	30	40	10	崩壊	1466	20.4	86.0
case4	35	20	-15	崩壊	1731	34.3	61.3
case5	35	30	-5	崩壊	1529	34.6	64.5
case6	35	40	5	崩壊	1083	24.0	93.0
case7	20	35	15	無し	-	-	-

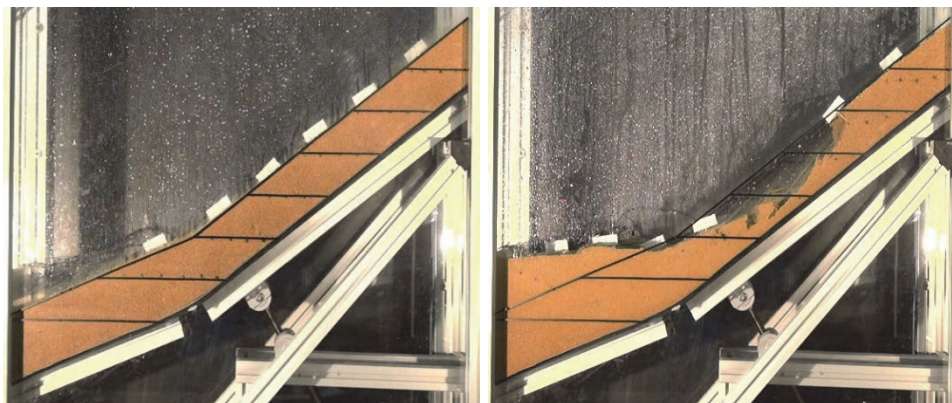


写真 1 case4 の実験結果（左：開始時、右：崩壊時）

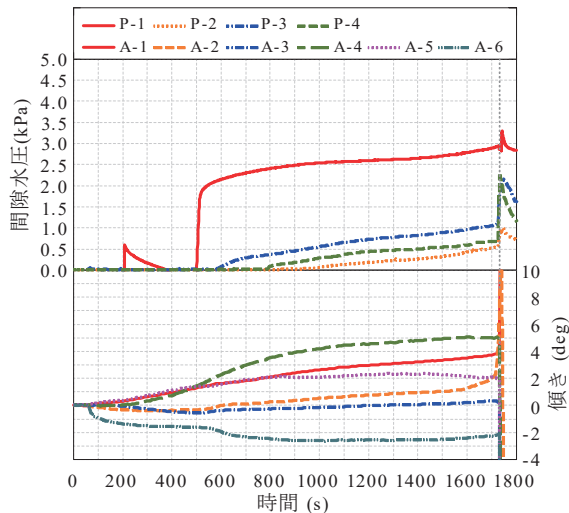


図8 case4 の傾きと間隙水圧挙動

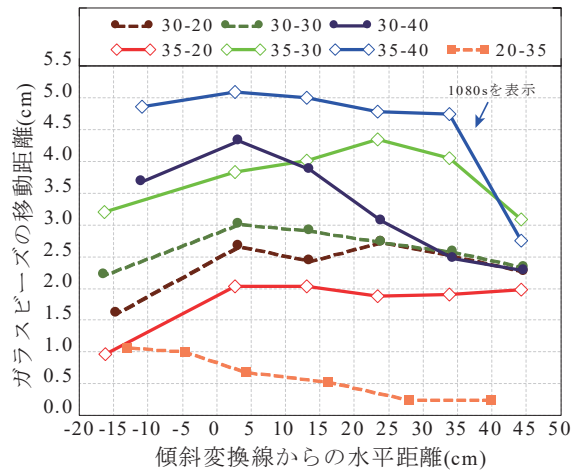


図9 1440s 経過後の斜面全体の挙動

表層側ガラスビーズ(1.1~6.1)の 1440s 後の全体の挙動を図 9 に示す。設置したガラスビーズは降雨開始後、斜面下方向に移動していく。画像解析によって移動距離を分析し、源頭断面パターンによる斜面挙動の違いを評価する。全 7case のうち、崩壊が発生したのは 35° 以上の急な傾斜角を含む case 3~6 である。平均的な傾斜角が急なほど、崩壊の規模は大きく、また発生までの時間も短い傾向にあり、ガラスビーズの移動距離も大きい。斜面挙動もまた、最も傾斜が急な箇所により顕著に表れている。ただし、case4 と 7 についてはどちらも 35° 以上の傾斜角を含むが、源頭断面の違いで比較する。凹型断面である case4 は凸型の case7 と比べると、崩壊も有無だけでなく、ガラスビーズの移動距離も case4 が大きい。これは凹型断面が集水しやすい特徴を持つ地形であることが影響すると考えられる。

4. まとめ～期待されるマネジメント効果～

本研究では平成 26 年 8 月豪雨で発生した土石流の源頭部を対象に、地形解析と模型実験から崩壊発生源になりやすい、いわゆる壊れやすい地形特性を検討した。以下の特徴を有する源頭をもつ溪流は、より発生リスクが高い土石流危険溪流であることが考えられる。

- ・地形解析より、 33° 以上の傾斜角と 2000m^2 以上の集水域を持つ源頭は崩壊しやすく、これに当てはまる源頭の 84%は崩壊した。また崩壊源頭の 8 割は凹型源頭断面であった。
- ・模型実験より、 35° 以上の傾斜角を含む case は崩壊が発生した。傾斜角が急であり、凹型の源頭断面を有する場合は崩壊の規模も大きく、その挙動も顕著であった。

豪雨災害が増加傾向にあるなか、対策の一つでもある砂防堰堤の建設は重要である。しかし、堰堤一基を建設するにも高いコストや時間が必要とするため、土石流発生後の対策として建設するなど事後対応になっていることが多いと考えられる。そこで、上記の手法で発生リスクが高い土石流危険溪流を選定し、危険度が高い溪流から優先的な対策を進めることを検討した。危険溪流選定の精度が向上すれば、土石流災害を未然に防ぐことができると考えられ、砂防堰堤による防災対策を最も効率よく発揮する効果が期待される。今後、より高い精度で危険溪流を選定するために、様々な要因に目を向け検討することが求められる。

【論文No. 14】新規道路事業における地質リスク検討業務の事例

国際航業株式会社 ○岸本 圭 (GRE-No. 62)、篠田 繁幸、堀中 敏弘、鳥居 和樹 (GRE-No. 67)、東田 正樹、嵐 正治 (GRE-No. 48)、藤原 協 (GRE-No. 40)、山田 優子、原田 政寿

1. 事例の概要

(1) 検討対象計画路線及び事業初期段階における地質リスク検討の位置づけ

対象の道路計画は、低地部から山地部に計画されている新規道路である。計画道路は山地部では多くの区間がトンネルで計画されている。低地部は高架橋・盛土の計画である。事業の初期段階において、様々な地質リスクを“漏れなく”抽出して、それらのリスク要因に対する対応方針・方向性を適切に指摘することが、事業全体の成否を決定する重要事項である。

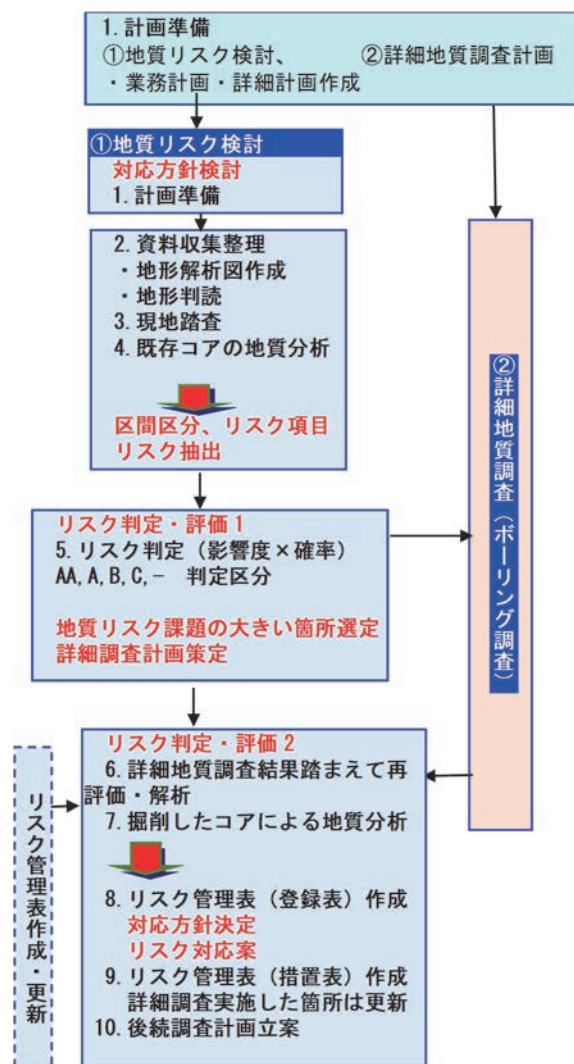
(2) 事例の検討目的

新規道路の計画ルート検討を進めるにあたり、地質リスクを考慮した設計を行うため、「地質リスク評価検討」(地質リスク項目設定、リスク抽出、判定、評価)を実施することを目的として実施した。

2. 事例分析のシナリオ

①「地質リスク検討」

- 計画準備
- 既存資料調査
- 地形判読・地形解析
- 地形地質現地踏査
- 水文環境現地踏査
- 既存コア・本業務コアを利用した地質分析
- 地質リスク評価検討
 - 1) 地質リスク項目 ⇒9項目設定
 - 2) 地質リスク検討区間区分 ⇒計画ルート区間を49区分割
 - 3) 地質リスク判定 ⇒AA・A・B・C (リスク対策により4区分)
 - 4) 地質リスク評価 ⇒判定結果から対応検討 ⇒「優先度が高い」と判断される地区選定
詳細地質調査計画 ⇒計画策定・実施



②「詳細地質調査 (ボーリング調査)」

図1 地質リスク検討フロー

「地質リスク評価検討」にて、地質リスク課題が大きいと判断される区間を選定し、詳細地質調査を実施した。詳細地質調査結果を踏まえ、設計、対策検討に必要な地質リスクを管理表に整理し、計画立案を実施した。

本事例における地質リスク検討の流れは、当該事業が予備設計段階であったため詳細な地質調査がほとんど実施されておらず、資料収集整理・現地踏査からリスク判定を行った。

3. データ収集分析

3.1 地質リスク抽出時におけるリスクの種類の分類（類型化）

計画ルート案全体の地形・地質特性・災害特性・地盤環境・水文環境を把握し、地質リスク項目の設定をした。この中で、検討すべき事項をまず、大きく3区分した。

1. 「地形地質・土砂災害」
2. 「地盤環境」
3. 「水文環境」

そのうえで、新規道路事業実施に伴う「地質リスク項目」として9項目を設定した。設定した「地質リスク9項目」、想定される課題事項、要因特定のために明らかにすべき事項を表1に示した。

表1 選定した地質リスク項目および明らかにすべき内容の明確化

地質リスク9項目	地域特性・計画ルートの課題事項	要因特定のために明らかにすべき事項
地形地質・土砂災害		
①地すべり・②土石流・③斜面・岩盤崩壊・落石	活断層分布、断層崖形成。 急崖発達し、土砂災害発生危険高い。 ハザードマップ（土砂災害危険箇所分布）。	地形判読・地形解析、現地踏査結果及びハザードマップにより計画ルート周辺の斜面災害危険箇所を整理する。次に、計画ルート・構造物との位置関係から想定される土砂災害の規模・危険度を評価する。
地盤環境		
④断層（活断層）・破砕帯 ⑤不良地山（低土被り区間含む）	活断層分布、破砕帯分布。 トンネル掘削時には脆弱岩盤となる。 断層による地下水分布規制有無	地形判読・解析、現地踏査、地質調査結果から断層分布・構造を推定する。 トンネル掘削時に影響する区間を推定し、危険度を評価する。 断層により規制された地下水分布とトンネル掘削による影響を評価する。
⑥軟弱地盤、圧密沈下・液状化	起点側低地部は軟弱地盤が分布。 圧密沈下・砂地盤の液状化が想定される。	軟弱粘性土層の性状、分布範囲を明らかにし、圧密特性を評価する。 砂質土層の性状、分布、地下水位分布を明らかにし、液状化危険度を評価する。
⑦自然由来重金属	トンネル計画区間の地質は隣接工区と同様に、 重金属を含有する可能性が高く、熱水変質区間では酸性水発生の可能性が高い。	ボーリングコアによる、短期溶出試験、全含有量試験、酸性化可能性試験等を行い、重金属及び酸性水発生の危険度・規模を明らかにし、掘削ズリ対策の必要性を評価する。
地下水環境		
⑧地表水 ⑨地下水・温泉	ルート直下から下流側に位置する湧水、沢水利用、温泉源湯への影響が懸念される。	トンネル掘削により発生が予想される地下水位低下範囲・規模、影響範囲と、その周辺の水源利用実態を明らかにし、取水影響発生リスクと対策の必要性について評価する。

3.2 抽出された地質リスクのとりまとめ様式の提案

抽出された地質リスクに対しては、優先度や対応方針を考慮するにあたり「適切な範囲設定」と、各リスクの影響を「分かりやすく見える化」する点が、対象年度以降、事業を進めてゆく中で地質リスクの管理をおこなうための重要事項と考えた。

(1) 地質リスク検討区間の区間設定（新規道路計画区間⇒49区間）

対象事例は新規道路計画区間の地質リスク検討であり、「地質リスク検討のための区間設定」が必要である。このため、①地形条件（地形特性）および②計画道路構造（土工、構造物、トンネル等）に着目して区間設定を行った。区間設定は、50～500m程度の範囲を目安とし、事例では、地質リスク検討単位を49の区間に区分した。49区間の区間区分は1/2000地形解析・地質踏査平面図に示し、区間内の地質リスク（斜面災害・地盤特性）との関係を検討しやすい成果とした。

(2) 地質リスク判定表

リスク分析は、リスク程度(R)＝影響度(E)×発生確率(L)のスコアから判定した(表2)。要素の区分に関しては、当初5段階での分類を検討したが、事業初期段階では、発生確率と影響度の細分は困難であると判断し、3段階にて判定した。

(3) 地質リスク検討区間延長が長い場合の評価結果整理方法

「計画ルート全体の見える化」の方法として、計画ルート縦断図帯に「9つの地質リスク項目」・「地質リスク判定結果」を色区分して整理した(図2)。図では、検討単位49区間のそれぞれの間に対し、①地すべり～⑨地下水・温泉に係るリスクの判定結果を、「AA：重点的リスク対策が必要な事象」、「A：要対策」、「B：リスク発現時の対策」、「C：リスク内包」の4つに区分し、段彩化によりリスクが集中する箇所の視認性向上を図った。

表2 地質リスク判定表（本事例）

			可能性の高さ(発生確率) L		
			低い (評価点:1)	中程度 (評価点:2)	高い (評価点:3)
影響度 E	低い (評価点:1)	遅延ない。または対応 にて遅延なし。	C	C	B
	中程度 (評価点:2)	損失を受ける。遅延が ある。	C	B	A
	高い (評価点:3)	事業が中断または大 幅な遅延となる	B	A	AA

(注)リスクスコア(リスク程度 $R=E \times L$)
 AA: 確率・影響ともに高く、重点的リスク対策必要な事象(R=9)
 A : リスク対策必要な事象(R=6)
 B : 発生の場合はリスク対策必要な事象(R=3~4)
 C : 通常対応にて対応可能な事象(R=1~2)

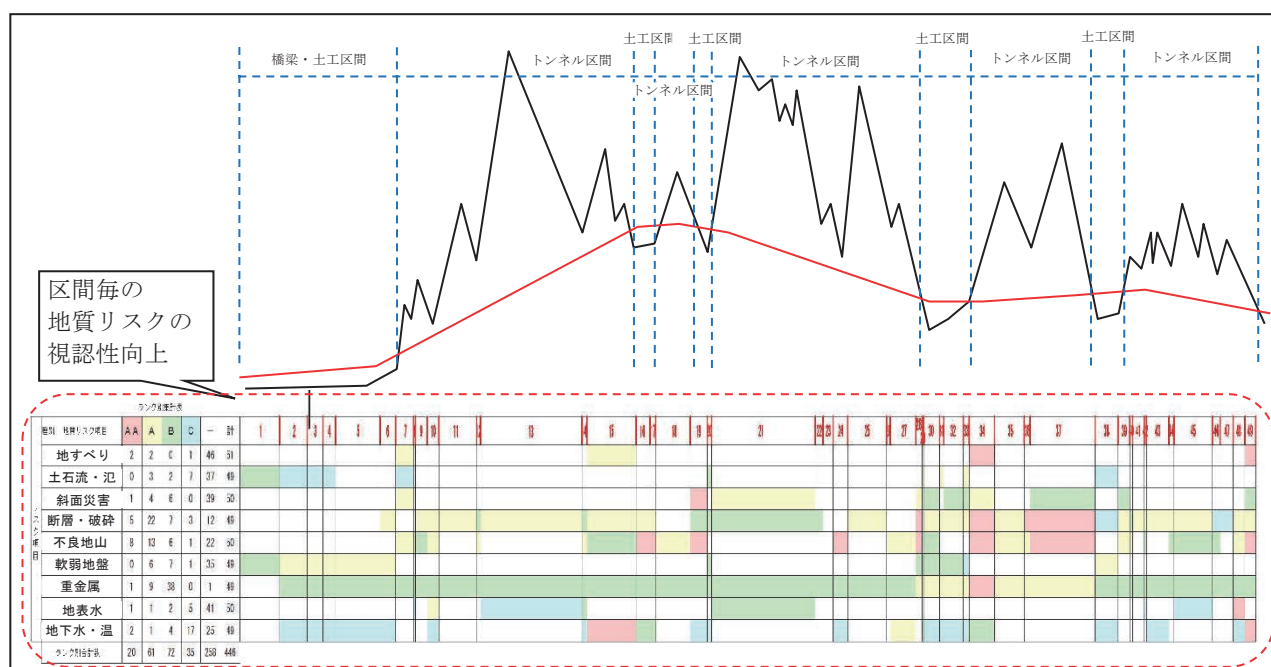


図2 地質リスク判定結果を道路計画縦断図（地質縦断図）にまとめた例（本事例）

(4) 区間毎の地質リスク検討結果整理方法

既存資料調査、地形判読・地形解析結果、現地踏査結果、水文情報、災害履歴、法規制、災害危険箇所等は、区間毎の地質リスク検討にあたり、重要な情報であるが、データ整理箇所が別々の場合は、全体検討に時間を要することになる。このため、A3版帯表にてデータを整理し、基礎調査結果とリスク評価結果を確認できるようにした。これにより、情報の一元管理ができるようになり、地質リスク検討の効率化を図った（表3）。

表3 地質リスク項目別抽出・判定表の例（本事例）

区間番号		33				34				35				
地形		扇状地				山地				山地				
[下り線] (湖側)	測点(No.)	568		— 573		573		— 584		584		— 601		
	区間延長(m)	100.0				220.0				340.0				
計画ルート案構造		補強土・函渠				切土・坑口				トンネル				
[上り線] (山側)	測点(No.)	572		— 575		575		— 588		588		— 603		
	区間延長(m)	60.0				260.0				300.0				
計画ルート案構造		切土・補強土・函渠				坑口・トンネル				トンネル				
地形特性		・河川流路 ・凹状谷斜面 ・崖錐斜面				・凹型谷斜面 ・地すべり地形 ・崖錐斜面 ・斜面上方に近年滑動した地すべりブロックあり。				・凸型尾根斜面 ・凹型谷斜面				
地質特性 (既存ボーリング)		第四紀完新世～更新世 ・扇状地堆積物 新第三紀鮮新世～第四紀更新世 ・火山岩類 凝灰角礫岩				第四紀完新世 ・地すべり移動土塊 ・崖錐堆積物 新第三紀鮮新世～第四紀更新世 ・火山岩類 凝灰角礫岩・安山岩				第四紀完新世 ・崖錐堆積物 新第三紀鮮新世～第四紀更新世 ・火山岩類 凝灰角礫岩・安山岩				
水文情報		・計画ルート案周辺に民家等多い				・後背斜面の地下水が染み出した湧水で、畑用に利用されている				—				
被災履歴		—				—				—				
斜面変動傾向 (H20～H29間LPデータによる 差分解析・3D-GIV解析結果)		・上流約230、420m地点の斜面に変動の可能性あり				・斜面に変動の可能性あり				—				
法指定 ハザードマップによる評価 防災科研地すべりマップ 等		・砂防指定地 ・土砂災害特別警戒区域(急傾斜地) 管理番号 ・土砂災害警戒区域(地すべり) 管理番号 ・土石流危険渓流 管理番号 L=0.57km(A=0.10km2)				・土砂災害警戒区域(地すべり) 管理番号				—				
リスク項目	種別	地質リスク項目	影響度 E	発生確率 L	リスク判定 R=E×X	リスク内容	影響度 E	発生確率 L	リスク判定 R=E×X	リスク内容	影響度 E	発生確率 L	リスク判定 R=E×X	リスク内容
	①	地すべり	—	—	—	—	3	3	AA	地すべり地形	—	—	—	—
	②	土石流・氾濫	3	2	A	土石流・氾濫・冠水	—	—	—	—	—	—	—	—
	③	斜面災害	—	—	—	—	2	3	A	地すべり滑動、崩壊	—	—	—	—
	④	断層(活断層)・破砕帯	2	3	A	断層破砕帯が近接する。	3	3	AA	断層破砕帯・リニアメントが近接する。	3	2	A	断層破砕帯が近接する。
	⑤	不良地山	—	—	—	—	3	3	AA	低土被り区間 地すべりブロック内通過	2	3	A	断層破砕帯が近接する。
	⑥	軟弱地盤	2	2	B	支持地盤深度変化	—	—	—	—	—	—	—	—
	⑦	自然由来重金属	3	2	A	重金属分布 酸性水分布	3	3	AA	重金属分布(試験結果あり)、酸性水分布	3	2	A	重金属分布 酸性水分布
	⑧	地表水	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	⑨	地下水・温泉	1	1	C	井戸影響(湧・濁水)	1	3	B	湧水影響(湧・濁水)	—	—	—	—
調査提案		○土工に伴う地下水取水障害(湧り、水位低下)の恐れあり ・利水実態調査(井戸) ・定期モニタリング(井戸) ○地すべり地形内の坑口設置および低土被り区間のトンネルで通過 地すべりの不安定化が懸念される ○詳細地質調査 ・ボーリング調査(上・下線側斜面) D≒40mm×1孔φ86mmオールコア D≒30mm×1孔φ86mmオールコア ・標準貫入試験(別孔にて実施) ・現場透水試験 ・孔内水平載荷試験 ・各種土質・岩石試験 ・挿入式孔内傾斜計設置・観測(モニタリング) ・地下水位観測孔設置・観測(モニタリング) ○土工に伴い湧水消失の恐れあり ・定期流量モニタリング(湧水)												

4. マネジメントの効果（リスクの計量化）

表4、表5に本事例で作成したリスク管理表（登録表、措置計画表）を示した。リスク管理表は、49区間毎に想定されるリスク項目を示し、リスク詳述、計画道路構造、リスク判定、リスク発生シナリオ、リスク分析評価、対応計画を示した。地質リスク判定にて高ランクと判定された箇所は、リスク管理表（措置表）にて詳細地質調査計画を立案した。

表4 リスク管理表（登録表）の例（本事例：一部区間のみ抜粋）

※【リスク区分】															※【優先度】														
AA: 確率・影響ともに高く、重点的リスク対策が必要な事象(R=9)															AA: 長期の事前調査・検討が必要で事業への影響度が大きい。事前に万全の対策・検討が必要リスク。														
A: リスク対策に必要な事象(R=6)															A: 事業影響度が比較的高く、早期にリスク措置の方向性を決定する必要があるリスク。														
B: 発生の場合はリスク対策が必要な事象(R=3~4)															B: 事業影響度は比較的低いが、長期の事前調査・検討が必要。ないし早期にリスク措置の方向性を把握することが必要なリスク。														
C: 通常対応にて対応可能な事象(R=1~2)															C: 事業影響度が比較的低く、事業の適切な段階で調査を実施することが可能なリスク														
計画 路線	リスク 番号	1.地質リスク 項目	リスク内容	リスク評価 (素図・断面)	計画道路構造		リスク発生予測 ※マトリクス表参照		点検 R	リスク 区分	リスク発生シナリオ	リスク分析 評価	対応計画概要	優先度 ※															
					影響度	発生確率	影響度	発生確率																					
34	①	地すべり	地すべり地形	・斜面部には明瞭な地すべり地形あり。 ・段差地形あり。 ・斜面上方、近年の滑動履歴あり。滑動履歴明瞭。 ・移動土塊が斜面上方に残る。 ・断層破砕帯による破砕帯が広く分布する。	切土・坑口／坑口・トンネル	影響度 高い	3	発生確率 高い	3	9	AA	地すべり滑動 ⇒トンネル部・トンネル掘削に伴う安全の低下 本工事の発生 ⇒明かり部・法面崩壊・地すべり災害 発生可能性が高い。	影響度：計画ルート案位置が地すべりブロック内に位置する可能性大。 発生確率：段差地形、断層斜面等、明瞭であり、断層破砕帯による破砕帯が広く分布することから、地震発生時、豪雨時、計画ルート案施工に伴い発生する可能性が高い。	・計画道路と地すべりブロックの位置関係、地質性状、滑動履歴把握。地質調査を実施する（早期実施）。 ・発生機構、施工時の安定性を検討するための地すべり解析を実施する。	AA														
	②	土石流・泥	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
	③	斜面災害	地すべり滑動、崩壊	・地すべりブロック内の土工（法面施工）となる。 ・破砕帯形成⇒地盤の脆弱化。	切土・坑口／坑口・トンネル	影響度 中	2	発生確率 高い	3	6	A	脆弱な地盤・地すべり滑動 ⇒明かり部・法面崩壊・地すべり災害 発生可能性が高い。	影響度：破砕帯が幅広（形成され、特に地すべりブロック内では脆弱化が想定されるため切土及び背後斜面の崩壊発生の可能性あり。 発生確率：破砕帯が大きく、変状発生確率が高い。	地すべり調査、断層破砕帯の調査で得られた結果に基づき対応を検討する。	A														
	④	断層（活断層）・破砕帯	断層破砕帯・リニアメントが近接する。	・断層破砕帯に近接する。 ・同方向のリニアメント分布。NW-SE方向の断層沿いは幅広い破砕帯形成⇒地盤の脆弱化 ・斜面部には明瞭な地すべり地形	切土・坑口／坑口・トンネル	影響度 高い	3	発生確率 高い	3	9	AA	脆弱な地盤・地すべり滑動 ⇒トンネル部・切羽崩壊、先端崩壊 トンネル掘削、トンネル構造の破壊 ⇒明かり部・法面崩壊・地すべり災害 発生可能性が高い。	影響度：破砕帯が幅広（形成されて、特に地すべりブロック内では脆弱の可能性がある） 発生確率：破砕帯が大きく、変状発生可能性が高い。（変状量6mm/回）	・計画ルート案と断層破砕帯の位置関係、地質性状を把握する。地すべり調査とあわせて物理調査、ボーリング調査を実施する（早期実施）。 ・計画ルート案方向の断層破砕帯の面的な広がりを把握する。	AA														
	⑤	不良地山	低土被り区間 地すべりブロック内通過	地すべり土域内を低土被りで通過する。	切土・坑口／坑口・トンネル	影響度 中	3	発生確率 高い	3	9	AA	脆弱な地盤・地すべり滑動 ⇒トンネル部・切羽崩壊、先端崩壊 トンネル掘削、地震時の変形、坑門工地耐力不足 ⇒明かり部・法面崩壊・地すべり災害 発生可能性が高い。	影響度：破砕帯が幅広（形成され、特に地すべりブロック内では脆弱の可能性が高い）。 発生確率：破砕帯が大きく、変状発生可能性が高い。	・計画ルート案と断層破砕帯の位置関係、地質性状を把握する。地すべり調査とあわせて物理調査、ボーリング調査を実施する（早期実施）。 ・計画ルート案方向の断層破砕帯の面的な広がりを把握する。	AA														
	⑥	軟弱地盤	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-														
	⑦	自然由来重金屬	重金屬分布（試験結果あり）、酸性水分布	・粘土化に伴う断層破砕帯分布	・坑口〜トンネル	影響度 高い	3	発生確率 高い	3	9	AA	重金屬・酸性水分布 ⇒対策必要	影響度：土捨て増検計、処理対策必要。 発生確率：粘土化に伴う断層破砕帯分布域であり発生確率が高い。	地質調査の進捗に合わせて地質分析を実施し、対策必要区間、地質特性を把握し、対象範囲の絞り込みを図る。	AA														
	⑧	地表水	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-														
	⑨	地下水・温泉	湧水影響（湧・漏れ）	・後背斜面の地下水が染み出した湧水あり（畑用に利用）	切土・坑口／坑口・トンネル	影響度 低い	1	発生確率 高い	3	3	B	切土工 ⇒区間周辺の地下水位低下、地下水の湧り（細粒土の流出等）	影響度：畑用利用であることから影響度は低い可能性が高い。 発生確率：湧水は直接改変で消失する可能性がある。	①工事開始前に井戸、湧水の利水実態調査（聞き取り・アンケート）を実施する。 ②補償対応を考慮し施工前（1年前程度）から定期モニタリングを行う。	B														

表5 リスク管理表（措置表）の例（本事例：一部区間のみ抜粋）

区分 番号	リスク 番号	地質リス ク項目	リスク内容	リスク 区分 ※1	措置 進捗 状況	措置対策				優先度 ※2	措置に係る概算コスト (単位：千円) 各区分単独で業務発注の場合	
						事業段階	通(本)年度の対応状況	実施業務件名 (受注者)	次年度以降の対応内容		既存コスト	新コスト
34	①	地すべり	地すべり地形	AA	着手	地質調査	地質調査（坑口区間、地すべり縦・横断方向の地質分布・性状把握） ・ボーリング調査（上・下線側斜面） D=40m×1孔 φ86mmオールコア D=30m×1孔 φ86mmオールコア ・標準貫入試験（別孔にて実施） ・現場透水試験 ・孔内水平載荷試験 ・各種土質・岩石試験 ・挿入式孔内傾斜計設置・観測（モニタリング） ・地下水位観測孔設置・観測（モニタリング）	A社	【地すべり縦断方向の詳細調査・解析】 ・追加ボーリング調査（上・下線坑口斜面） D=30m×2孔 φ86mmコア D=30m×2孔 φ86mmノコワ ・現場透水試験・湧水圧試験、ポアホールカメラ ・孔内水平載荷試験 1式 ・挿入式孔内傾斜計設置・観測 2孔 ・地下水位観測孔設置・観測 2孔 ・室内土質・岩石試験 1式 ・弾性波探査 700m ・地すべり解析（機構解析・安定解析）	AA	20,000	29,000
				AA	未	—	未	—	詳細調査結果で対策工検討と概算工費算出比較検討に基づき対策工法・線形シフトの検討線形シフトに係る関係機関協議	—	22,000	
	④	断層(活断層)・破砕帯	断層破砕帯・リニアメントが近接する。	AA	着手	地質調査	①地すべり対象のボーリング調査で概要を把握リスクの詳細を検討	A社	・弾性波探査/解析（TN坑口縦・横断） 1500m（区間34～37間のトンネル縦横断測線 全て） （線形シフト可能な場合はその後弾性波実施）	AA	—	9,000
36	④	断層(活断層)・破砕帯	断層破砕帯が斜交する。	AA	未	—	—	—	【トンネル概略調査・解析】 ・ボーリング調査（上下線間） D=37m×1孔(上下線間) φ66mmコア ・標準貫入試験 1式 ・物理検層 1式 ・湧水圧・孔内水平載荷試験 1式 ・地下水位観測孔設置 1孔 ・室内土質・岩石試験 1式	AA	—	10,500

(1) リスク管理表（登録表）

地形地質・土砂災害、地盤環境、地下水環境の地質リスクが想定される区間での検討にあたっては、精度の高い地形図情報（レーザ計測データ等）の整備が重要である。本検討でレーザ計測データによる高精度の地形解析図を基本ベース図として検討することによりリスク発生予測（影響度、発生確率）の検討も精度向上を図ることができた。土石流等の斜面災害危険箇所の評価でも精度の高い地形図であれば、計画ルートとの位置関係比較が

ら評価・検討が可能である。地質リスク評価は、これら災害地形解析とあわせ、基礎資料調査、各項目の専門技術者による総合解析により、より精度の高い評価が実現されると考える。本事例では、専門技術者として地質・水文・土壌汚染・軟弱地盤解析・道路設計・トンネル設計・地形解析の技術者集団で対応した。

(2) リスク管理表（管理表）

地質リスク判定にて高ランクと判定された箇所の調査計画を示した。措置計画表は、事業の初期段階では具体的な「措置のコスト」の算出が極めて難しいため、設計・施工時のコストには踏み込まず、概略調査・詳細調査段階におけるコスト算出と、優先度の設定を行った。これにより、今後の事業において優先的に対応が必要な項目と測量・調査費に係る概算事業費の見通しを、事業計画の中で確認できるようにした。

5. 提 言

本事例では、道路事業初期段階における地質リスクの判定と整理方法について紹介した。マネジメント効果は事業の各段階で判定されるものだが、事業初期段階の地質リスク検討において、最も重要な点は「事業に影響する地質リスクの漏れの無い抽出」と、適切なリスク判定結果に基づく「事業の各段階における対応優先度と方向性の提案」といえる。

参考までに、図3に業務中に提案した道路事業における地質リスク検討の流れを示す。

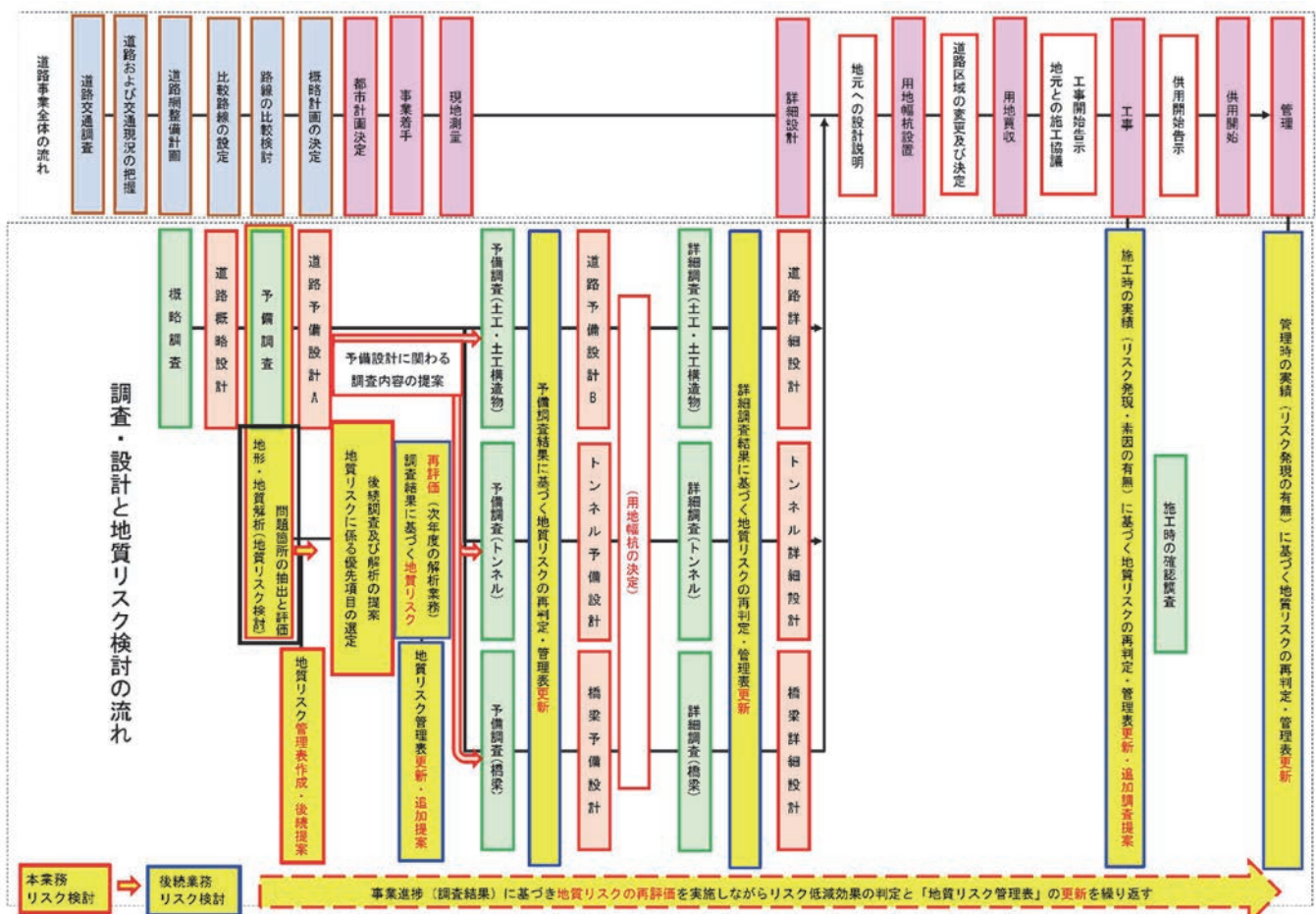


図3 道路事業における地質リスク検討の流れ

※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/>