第８回

地質リスクマネジメント事例研究発表会講演論文集

平成２９年１１月３０日（木）

共催：地質リスク学会、一般社団法人全国地質調査業協会連合会
協力：特定非営利活動法人地質情報整備活用機構
後援：国土交通省国土技術政策総合研究所
協賛：国立研究開発法人土木研究所

はじめに
－英国調査から得たこと－

今年度も、地質リスク事例研究発表会を開催することが出来ましたこと、喜びに堪えません。今回は第 8 回目の発表会となりました。投稿・発表して頂いた皆さまの勇気とご努力に心から感謝申し上げます。

今年度は、10 月 22 日から 29 日の日程で、英国の地質リスクマネジメントの実務と海外学術研究の動向を調査するために、小笠原副会長をはじめ総勢 14 名でロンドンを訪問いたしました。ドーバー海峡・ロンドン自然史博物館見学、Mott MacDonald 社、Arup 社（コンサルタント会社）及び Highways England（英国道路庁）、Ms Amlin 社（保険会社）への訪問・意見交換、Dr. Clayton（英国サウザンプトン大学名誉教授）のご講義拝聴とその後の Dr. Matthews（Surrey 大学）を加えた懇談会、土木学会英国分会の皆さまとの懇談会、The Geological Society（英国地質学会）主催の国際学会“Ground Related Risk to Transportation Infrastructure”への出席・ポスター発表等、とても充実した調査旅行となりました。

事前の準備、並びに現地での対応に関して、小笠原副会長と全地連事務局の高橋様をはじめ、（株）コラボレート研究所の清水和明様、三井住友海上火災保険（株）の吉田篤史様、並びに調査団員の皆さまに大変お世話になりました。本当にありがとうございました。

詳細は、報告書をお読み頂きたいと思いますが、私が特に印象に残ったのは以下の三点です。

第一に、地質リスクマネジメント(Geo Risk Management: GRM)では、個別施設整備プロジェクトの GRM に加えて、アセットマネジメントとしての施設群戦略的 GRM も重要であると認識しました。後者について今回は、英国やカナダの交通インフラ管理の状況を学ぶことができました。施設老朽化や地球温暖化に対応するために、GRM を、中長期的視点を持ちつつ効率的に実施していくことが求められているようです。

第二に、英国の個別施設整備プロジェクトの GRM では、Unforeseen ground conditions に伴う対立的関係の回避が最重要課題であると思われました。そのために、地質リスクマネジメントプロセスの規定・ガイドライン（例：HD22: Managing Geotechnical Risk）、地質技術顧問（Geo Technical Advisor (GTA)）、契約図書（例：Geotechnical Baseline Report (GBR)）、分析手法（例：Risk Register）が整備され、頻繁に活用されている印象を受けました。英国滞在中、複数の方に GRM の重要性を質問しましたが、全員、プロジェクトライフサイクルに亘る GRM が不可欠！とのご回答を頂きました。

第三に、地質リスク学会の重要性を再認識したことです。現地のコンサルタント会社との意見交換の中で、我が学会を紹介し、その主な活動が、有無比較による GRM 価値試算の事例研究の収集・発表・分析であることを伝えました。すると、それまであまり関心がなさそうにしていた先方の技術者から突然、「英国ではこのような事例研究、特に「失敗事例」を表に出す研究は決して出来ない！あなた方はどうして出来るのか？」との質問を受けま

した。これに対し「発表者の勇気です！」と回答したところ、「そうか」と、小さく、しかし、しっかりと頷いて頂いたことが印象に残っています。その後は予定の時間を 1 時間超過するほど、日本の方式への質疑が続きました。別のコンサルタント会社では、「紹介して頂いた事例研究ではマネジメント価値の主な構成要素がアンカーボルト等の材料費用の節約となっていますが、人件費は含まれていないのでしょうか。英国では、工期遅延に伴う損害が極めて大きいので、（間接費等の）人件費を含めると、（without の）損害額の桁が 1 つ増えるはずです。」との貴重な質問・コメントを頂きました。英国の実務者が、我々の有無比較による GRM 価値試算の事例研究に大きな関心を持ち、評価して頂いたことを、とても嬉しく感じた次第です。

昨年の事例研究発表会でも申しましたが、今回の英国調査で、「地質リスクマネジメントは重要な発注者責任の一つ」であり、その具体的施策案は、「発注者側に立つ地質技術顧問の導入」、「コスト構造改革の重要な柱の一つとしての地質リスクマネジメント」、「地質条件の総点検」、「国土交通省における地質に関する政策官の導入」になるとの感を一層強く致しました。

私たちの主張・提言の説得力をさらに高めるためには、質の高い事例研究を継続していくこと、並びに、優れた地質リスク・エンジニア（GRE）を輩出していくこと、が最低条件であると思っています。今回の第 8 回目の事例研究でも、有無比較によるマネジメント価値が、しっかりと試算されています。これほどの量と質を持つ事例研究は、世界で唯一無二ではないかと、ちょっぴり自画自賛している次第です（笑）。また、英国調査でも、複数の団員の方から「GRE の資格を持っているので派遣されました」との嬉しい経緯を伺いました。事例研究の投稿・発表に際しては、発表者の皆さまは幾多の困難を経験されていることと思います。本学会は、その困難を乗り越えようとする各会員の勇気とご努力を、全ての会員と共有し、前に進んで行く所存であることを、改めて強調させて頂きたいと思います。

皆さまとご家族の方々の益々のご健勝とご多幸を心よりお祈り申し上げます。

ありがとうございました。

平成 29 年 11 月 30 日

地質リスク学会会長　渡邊　法美

第８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　・・・

論文 No.10　二木　重博　（株）エイト日本技術開発
斜面防災工事中の落石発生に伴う応急対策によるリスク回避事例　・・・・・・・・・・・・・・・・・　７２

論文 No.11　西　　俊憲　基礎地盤コンサルタンツ(株)
山岳トンネルにおける落石災害最小化のための調査・設計業務事例　・・・・・・・・・・・・・・・・　７８

論文 No.12　岡野　　肇　応用地質（株）中部支社
富士山落石災害事故を受けての被害回避事例　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　８３

論文 No.13　秋山　道生　大地コンサルタント（株）
岩盤の時間経過後の風化特性を考慮したのり面勾配の再設定　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　８９

論文 No.14　西　　達也　(株)キタック
軟弱地盤上の築堤における地質リスク回避事例　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　９５

論文 No.15　杉山　直人　基礎地盤コンサルタンツ(株)　関東支社
自然由来重金属を含む盛土材の対処方法の提案　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　１０１

論文 No.16　多久和　豊　島建コンサルタント（株）
JR 早期復旧を目的とした、地すべり災害におけるすべり面決定の妥当性　・・・・・・・・・・・・・　１０７

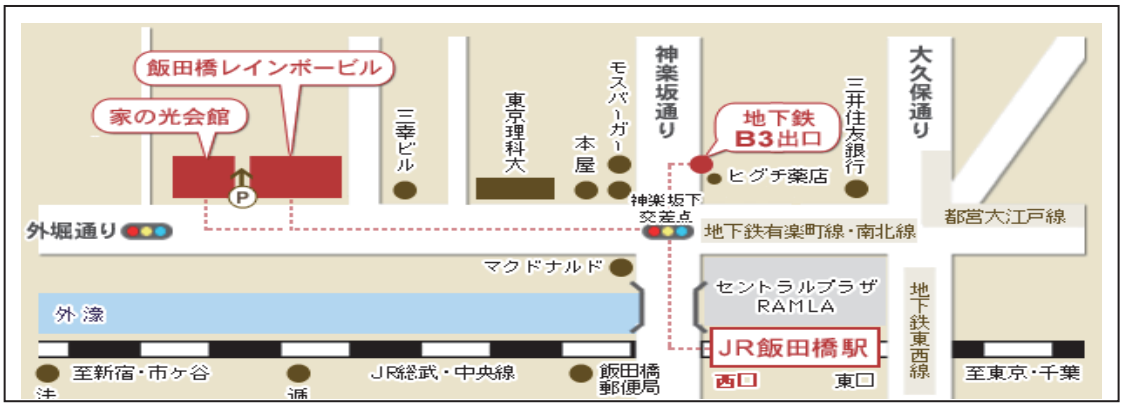
論文 No.17　常川　善弘　（株）相愛
地質リスクを考慮した維持管理におけるアンカーのり面の健全性評価について　・・・・・・・・・・　１１３

＜参考資料＞
「地質リスク・エンジニア（ＧＲＥ）」養成講座と認定制度について　・・・・・・・・・・・・・・・　１１９

第Ⅰ編　プログラム

第８回地質リスクマネジメント事例研究発表会　開催案内

共催：地質リスク学会、一般社団法人全国地質調査業協会連合会
協力：特定非営利活動法人地質情報整備活用機構
後援：国土交通省国土技術政策総合研究所
協賛：国立研究開発法人土木研究所
＜開催趣旨＞
　事例研究発表会の主な目的は、建設工事等における地質リスクのマネジメントの実例を紹介し、様々な課題を議論し共有することにあります。
＜開催要領＞
　開催日：平成２９年１１月３０日（木）　定員：２００名
　開催場所：飯田橋レインボービル
　〒162-0826 東京都新宿区市谷船河原町 11 番地 飯田橋レインボービル　TEL 03-3260-4791



＜プログラム＞

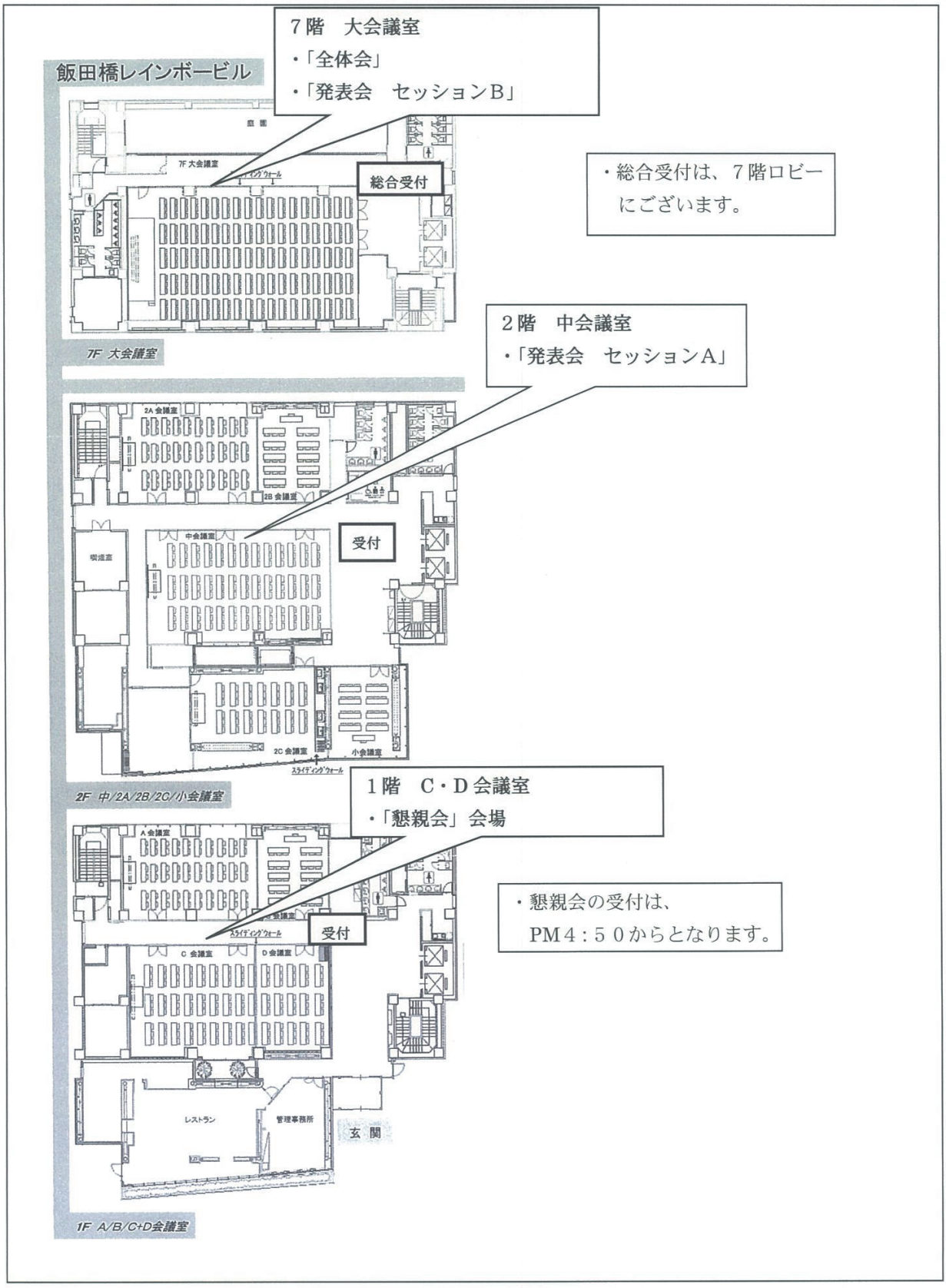
会場：７階　大会議室
・全体会（10:00～12:00）

　開　場：　9:30
開会挨拶：　10:00～10:15　地質リスク学会　会長　渡邊　法美（高知工科大学　教授）
［第１部　現状報告］
　講演①　　10:15～10:45　学会の活動報告
「地質リスク 海外調査ミッション“英国における地質リスクへの対応状況調査”結果について」
　　地質リスク学会　副会長　小笠原 正継
　　（国立研究開発法人産業技術総合研究所　地盤情報研究部門　客員研究員）
　講演②　　10：45～11:15　特別講演（1）
「一般社団法人関西地質調査業協会の地質リスク検討調査に関する取り組み」
　　一般社団法人関西地質調査業協会　副理事長（技術委員会委員長）　東原　　純 氏
　講演③　　11:15～11：45　　特別講演（2）
「国立研究開発法人土木研究所の取り組み」
　　国立研究開発法人土木研究所　地質・地盤研究グループ（地質）
　　上席研究員　浅井　健一　氏
　表彰式　　11:50～12：00　第２部事例研究発表会　優秀論文賞授与式

会場：７階　大会議室　/　２階　中会議室
・第２部　事例研究発表会（13:15～16:30）　17 編）

会場：１階　C・D 会議室
・懇親会　　（17:00～18：30）

会場内配置図


7階　大会議室
・「全体会」
・「発表会　セッションB」
飯田橋レインボービル
7F大会議室
総合受付
・総合受付は、7階ロビーにございます。
7F 大会議室
2階　中会議室
・「発表会　セッションA」
2A会議室
2B会議室
中会議室
受付
喫煙室
2C会議室
小会議室
2F 中/2A/2B/2C/小会議室
1階　C・D会議室
・「懇親会」会場
A会議室
C会議室
D会議室
受付
・懇親会の受付は、PM4：50からとなります。
レストラン
管理事務所
玄関
1F A/B/C+D会議室

事例研究発表内容一覧

セッション区分	論文No	発表者	所属先	題目	事例種類
セッション A-1	1	清水　豊	応用地質(株)	道路改良事業中に発生した地すべり災害の事例	B型
2F 中会議室	2	皆川 広太	(株)興和	地すべり背後斜面に潜む地質リスクの発現事例	B型
13:15～14:45	3	松村 法行	(株)ダイヤコンサルタント 関西支社	道路事業における地質リスク検討業務の事例	D型
	4	田邊 裕明	中央開発(株) 関西支社	地質リスク評価を目的とした文献調査による災害発生確率の検討事例	D型
セッション A-2	5	近藤 桂二	(株)ダイヤコンサルタント 北海道支社	泥岩地帯の切土のり面工事中に発生した地質リスク事例	C型
	6	植田　律	応用地質(株) 関西支社岡山支店	豪雨により発生した地すべりに対するマネジメント事例	D型
2F 中会議室	7	藤白 隆司	(株)福山コンサルタント	変状した切土法面の崩壊リスクの回避	C型
15:00～16:45	8	工藤 健雄	(株)エイト日本技術開発 松江支店	供用後10年程度で発生した切土法面の変状事例	B型
	9	小口 和明	基礎地盤コンサルタンツ(株) 関東支社	ボーリングと物理探査を併用した線状構造物の地質調査例	A型
セッション B-1	10	二木 重博	(株)エイト日本技術開発	斜面防災工事中の落石発生に伴う応急対策によるリスク回避事例	C型
	11	西　俊憲	基礎地盤コンサルタンツ(株)	山岳トンネルにおける落石災害最小化のための調査・設計業務事例	A型
7F 大会議室	12	岡野　肇	応用地質(株) 中部支社	富士山落石災害事故を受けての被害回避事例	C型
13:15～14:45	13	秋山 道生	大地コンサルタント(株)	岩盤の時間経過後の風化特性を考慮したのり面勾配の再設定	A型
セッション B-2	14	西　達也	(株)キタック	軟弱地盤上の築堤における地質リスク回避事例	A型
	15	杉山 直人	基礎地盤コンサルタンツ(株) 関東支社	自然由来重金属を含む盛土材の対処方法の提案	A型
7F 大会議室	16	多久和 豊	島建コンサルタント(株)	JR 早期復旧を目的とした、地すべり災害におけるすべり面決定の妥当性	D型
15:00～16:30	17	常川 善弘	(株)相愛	地質リスクを考慮した維持管理におけるアンカーのり面の健全性評価について	D型

＊事例種類について

以下の４つに分類されます。

Ａ型：地質リスクを回避した事例

Ｂ型：地質リスクが発現した事例

Ｃ型：発現した地質リスクを最小限に回避した事例

Ｄ型：上記のＡ型、Ｂ型、Ｃ型以外の事例

＊セッションの司会者について

・セッションＡ　小笠原正継　（地質リスク学会　副会長）

・セッションＢ　渡邊　法美　（地質リスク学会　会長）

第Ⅱ編　第１部　現状報告

講演①

地質リスク海外調査ミッション“英国における地質リスク対応状況調査”結果について

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

１．はじめに

2017 年 10 月 22 日－29 日の日程で地質リスク海外調査ミッション“英国における地質リスク対応状況調査”が実施された。英国における地質リスクマネジメントへの取り組みに関しては、2010 年に出版された“地質リスクマネジメント入門”の“海外の地質リスクマネジメント”で紹介し、また Clayton 教授の著書“Managing Geotechnical Risk”の簡単な概要と意義についても示している(小笠原, 2010)。地質リスク学会地質リスクマネジメント体系化委員会(2014)の報告書において“海外の社会基盤整備における地質リスクマネジメント”の項目の中で、英国道路庁の現状や Clayton 教授の著書が紹介されている。また 2015 年の地質リスクエンジニア養成講座でも Clayton 教授の著書の内容が紹介された。その経緯をふまえ、文献調査が主体であるが、2015 年の地質リスクマネジメント事例研究発表会において英国における地質リスクマネジメントへの取り組みが報告されている(小笠原, 2015)。そこでは Clayton 教授の著書と英国道路庁の地質リスクマネジメントの基準とも言える HD22/08 の意義が示された。このような背景もあり、2016 年 11 月に Clayton 教授の著書“Managing Geotechnical Risk”の翻訳版が全国地質調査業協会連合会により出版された。この間の経緯については小笠原(2016)で紹介された。2015 年から開始された地質リスクエンジニア養成講座ではリスク管理表の作成を演習として行っているが、その意義について梅本(2016)が解説しており、また Clayton 教授の著書巻末には英国コンサルタントによる実例が示されている。英国の例が大変参考になっていた。

2．調査団派遣に至る経緯

このような背景もあり、2017 年 6 月に実施された地質リスクエンジニア養成講座の後に講座事務局および講師等から“英国における地質リスク対応状況調査”の可能性について検討がなされ、調査団を年内に実施する案が出た。英国の状況を調べていると英国地質学会主催の“Ground Related Risk to Transportation Infrastructure”をテーマとするカンファレンスが 2017 年 10 月 26－27 日にロンドンで開催されることが分かり、このカンファレンス参加を含め、この時期に調査団を派遣することが有意義ではないかと考えられた。調査ミッションでは Clayton 教授にお会いし、直接に、著書の出版の背景とその後についてお聞きできれば参考になると考えた。また英国における発注者および地盤調査・設計コンサルタントとの面談ができれば英国における地質リスク対応状況が理解でき、さらに英国道路庁の発行している HD22/08 の役割やリスク管理表の作成と運用の実態が把握できれば国内に地質リスクマネジメント業務の在り方に関しての視点が明らかになると考えられた。

調査団の詳細日程に関しては、7月から出発直前まで、調整がなされた。調査団は、地質リスク学会会長渡邊教授、副会長の小笠原、およびミッションコーディネーターとして全地連事務局次長の高橋氏が中心に準備スケジュール調整等を行い、調査団メンバーは公募することとなった。調査団メンバーは最終的に10名となった。ツアーコーディネーター1名、また英国の保険会社訪問にあたっては日本から三井住友海上火災保険（株）からもコーディネーターとしてご参加をいただいた。

9月初旬には英国ミッション派遣の目的を明確にする議論があり、渡邊会長から、地質リスク学会が派遣するミッションなので、本来、地質リスク学会が目指している「地質技術顧問」や「フィー」の問題等について意見交換することを主な目的として、Geotechnical Certification（Managing Geotechnical Risk)の運用実態調査は、その中の1つの目的とするとの方向性が決まりました。この内容については英国到着の翌日、実際の調査が開始される前日である23日の夕食会で渡邊会長から説明がありました。英国道路庁の発行しているHD22/08の役割やリスク管理表の作成と運用の実態調査より、主に地質技術顧問の在り方やその価値に関しての調査を行うことが示された。

9月28日には調査ミッション事前説明会が開催され、団員には調査ミッションのスケジュール、質問事項の検討・とりまとめの依頼、また報告書作成の段取り等の説明がなされた。

10月に入ると団員による質問事項の検討がなされたが、英国調査においては実際に質問事項のすべてを質問し、また回答を得られたわけではないが、質問事項の検討自体は関連する状況把握にとって役に立ったと考えられる。

3. 英国ミッションの概要

既に示したが調査団は、団長高知工科大学渡邊教授、副団長産総研地質情報研究部門小笠原、団員リーダーとして川崎地質（株）中山、サブリーダーとして基礎地盤コンサルタンツ（株）仲井、また（株）アサノ体制基礎エンジニアリングの大森、（株）愛媛建設コンサルタントの吉岡、応用地質（株）の井田、サンコーコンサルタント（株）の越谷、中央開発（株）の東野、（株）開発調査研究所の前原、（株）ダイヤコンサルタントの斎藤、国際航業（株）の藤原の各氏からなり、ミッションコーディネーターが全地連の高橋、ツアーコーディネーターとして（株）コラボレート研究所の清水、また英国の保険会社訪問にあたっては日本から三井住友海上火災保険（株）の吉田氏にもコーディネーターとして参加をいただいた。

調査団は10月22日成田を出発したが、この日あいにく台風21号が日本に接近しており、参加者が無事成田に到着できるか、また無事成田を出発することができるかの心配もあったが、全員成田に集合でき、予定の便で出国できた。渡邊団長に関しては、一足早く羽田よりロンドンに出国していたので、台風の影響を避けることができた。また帰国は10月29日であるが、この日も台風22号が日本列島に接近しており、羽田到着および、その後の各地への帰路について心配もあったが、全員予定どおり、帰着できた。

以下に今回の調査ミッションの内容を日程ごとに示す。

10 月 22 日　成田集合　ロンドンへ移動、

10 月 23 日　ドーバー地域への巡検、夜は団員会議を兼ねた夕食会

10 月 24 日　Mott MacDonald 社訪問、ダーウイン生家訪問
Clayton 教授、Matthews 博士とのワークショップおよび会食

10 月 25 日　MS Amlin 社訪問、自然史博物館研究部門見学、
Arup 社訪問（Highways England 社の担当者にもレクチャーをいただき、また質問にも答えていただいた。）
土木学会英国分会との懇親会

10 月 26 日　英国地質学会主催カンファレンス参加

10 月 27 日　同上

10 月 28 日　ロンドン出発

10 月 29 日　羽田到着、解散

Mott MacDonald 社と Arup 社は世界規模で事業を展開している調査・設計コンサルタントである。MS Amlin 社は保険会社で、リスクマネジメントに関する保険会社としての取り組みを伺った。

10 月 24 日は Mott MacDonald 社の意向で。面談参加者は 5 人となったが、ほかの団員はダーウイン生家訪問を訪問した。また 10 月 26 日と 27 日の午前中に保険会社 Lloyd's の本社の見学を交代で行った。

4.　英国ミッションの成果

今回のミッションでは英国側コンサルタントとの間で、多様な意見交換ができた。また地質リスク学会の活動に関しても説明ができた。成果の詳細は 11 月中にまとめられる「地質リスク海外調査ミッション“英国における地質リスク対応状況調査”　報告書」に詳細に記述されており、今後の地質リスクマネジメントにおいて参考となればと考えている。また英国地質学会のカンファレンスの発表の資料はウエブで公開されており、今後の参考になる。

引用文献

小笠原(2010) 1.3 海外の地質リスクマネジメント. 地質リスクマネジメント入門, 11-14.

小笠原(2015) 英国における地質リスクマネジメントの現状. 第 6 回地質リスクマネジメント事例研究発表会講演論文集, 12-15.

小笠原(2016) 英国土木学会「ジオリスクのマネジメント」の翻訳本の発行について. 第 7 回地質リスクマネジメント事例研究発表会講演論文集, 11-14.

梅本(2016)「調査～設計～施工間のリスクの受け渡し―リスク管理表の活用について―」. 第 7 回地質リスクマネジメント事例研究発表会講演論文集, 5-10.

講演②

一般社団法人関西地質調査業協会の地質リスク検討調査に関する取り組み

一般社団法人関西地質調査業協会副理事長　東 原　純

１．関西協会と地質リスク検討との出会い

一般社団法人関西地質調査業協会（以降は関西協会と略す）は、国土交通省近畿地方整備局をはじめとする発注者との意見交換会及び勉強会において、地質調査の重要性と専門性を訴えて来た。しかし、「地質調査は誰でも実施でき、得られる成果は大差ない」と言う返答をしばし受け、我々の主張はなかなか理解してもらえなかった。このような過程において、全国地質調査業協会連合会（以降は全地連と略す）から「地質リスク」と言う考え方を提供していただき、その考え方に準じて「地質調査の重要性」をアピールすることとした。これが、関西協会と地質リスク検討の出会いである。

２．地質リスク検討の重要性を発注者にアピール

関西協会は下記の項目を中心に、国土交通省近畿地方整備局等に積極的にアピールした（H27 以降）。

- 地質リスクとはどのようなものか。リスクを低減するためにはどうするべきか。
- 地質リスクを見抜き、適切な評価を行うためには、技術レベルが高い地質や土質の専門技術者が担当する必要がある。
- 紀南河川国道事務所で、地質リスクの一般考え方とローカル地質の観点から、どのような検討をするべきかを、講演等を通じて提案した。結果として地質リスク検討業務の試行的実施につながった。
- 地質リスクを低減するためのマニュアルを、建設コンサルタンツ協会と共同で作成した（実質的には関西協会が作業を行った）。本マニュアルは、紀勢道路の建設過程で、設計段階では予想していなかった斜面崩壊が施工時及び供用開始後に発生し、事業費増加がしたことを受けて、国土交通省近畿地方整備局から依頼されたものである。

３．地質リスク検討業務の対応

平成 28 年度に、紀南河川国道事務所から地質リスク検討業務がプロポーザル方式により 4 件発注された（表-1）。関西協会では、業務を提案していた経緯もあり、受注企業のバックアップを行った。具体的な活動を以下に示す。

表-1　紀南河川国道事務所から発注された地質リスク検討業務

	業務名	担当企業
①	すさみ串本道路西地区地質リスク検討業務	中央開発㈱
②	すさみ串本道路東地区地質リスク検討業務	応用地質㈱
③	紀南東部串本地区地質理数検討業務	中央開発㈱
④	紀南東部新宮地区地質理数検討業務	㈱ダイヤコンサルタント

- 担当企業が連携して業務を進めるために、幹事会社を決め業務追行の基本方針を統一した。
- 地質リスクの抽出と評価方法を共同で検討した。成果品の形式と内容を統一した。
- 資料収取と分析を担当企業ごとに割り振りし、成果を共有した。
- 現地踏査に先立ち、各企業の地質技術者が合同踏査を実施し、着目点及び評価基準を統一した。
- 事務所長に対する成果報告は、担当企業が合同で関西協会として実施した。
- 業務成果の一部を、発注者と連名で学会等に発表した。
- 地質リスクマネジメント業務の実施を提案した。

４．地質リスク検討業務の概要

地質リスク検討業務の内容を表-2 に、成果の一部を表-3 示す。

表-2　地質リスク検討業務内容と業務成果の概要

業務内容	業務成果の概要
①計画準備	発注者と協議の上、業務計画書を作成した。
②資料収集整理	1) 地形地質水文文献資料、被災履歴、既往地盤調査資料、供用区間の工事履歴、道路防災点検カルテ等を収集整理（収集資料リストに整理）した。 2) 紀勢道路（田辺～すさみ区間）のローカル地質リスクを抽出（土軟硬・地質構造・地下水等）。現地踏査に反映した。 3) 広域的地形特性、地質特性を確認。主な災害発生形態（地質リスク要因）を確認。過去約600年の災害記録から豪雨災害の発生頻度は概ね14年に1回と評価した。
③地形図・航空写真等による地形判読	1) ②で確認した内容（特に地質リスク要因）に基づき、地すべり・表層崩壊・土石流滑落崖・断層・リニアメント（線状構造・河川状況・急崖・地形遷急線等を判読した。 2) 地形判読結果に基づき、現地踏査計画を立案した。
④現地踏査	1) 計画地域を網羅的に踏査した。リスクランクに関係なく地質リスクを抽出した。 2) 現地踏査範囲はルート帯の周辺において、地質リスクの抽出が十分行える地域を設定（斜面部は尾根まで、谷部は土石流発生領域とした。；提案事項
⑤地質リスク評価検討	1) 計画地域の地形地質の特徴と危険区域の抽出 2) 過去の災害履歴と被害想定 3) 地盤環境の特徴とリスク保有地区の抽出 4) 地下水環境の特徴とリスク保有地区の抽出 5) 地質リスクの発生確率と被害規模の予測 6) リスクのランク付け 7) リスク保有に際しての対応策の検討
⑥合同調整会議	発注者と設計担当者と2回開催。早期着工区間を優先して、地質リスクが高い箇所における対応方針を説明した。 会議内容は、打合せ資料（本線及び工事用道路関係）、打合せ簿に内容を整理した。
⑦後続調査計画の立案	地質リスク評価結果に基づいて、後続調査計画を立案。 調査実施方針を設定。道路事業の各設計段階に対応する調査目的・方法及び内容を提案。 道路構造物の種類・立地条件・検討内容別に調査・試験方法を提案（近畿地整の一般的な調査内容に、地質リスク評価結果を勘案して追加すべき内容を提案。

道路の計画ルートが決定しているか、有力なルート候補がある場合は、地質リスク検討結果の要点を、地質リスク管理表に整理した（表-3）。同表には、計画路線の上下ともに、構造物毎（切土、盛土、橋梁、擁壁、トンネル等）に切れ目なく、地質リスク要因、発事象、発生確率、影響度、地質リスクランク、対応方針を記述した。

また、地質状況、現地状況および検討項目、既往地質調査、計画・設計に関するコメント、後続調査計画案に関しても整理した。

道路の計画ルートが決定していない場合は、250m～500m のメッシュで検討対象地域を分割し、メッシュ毎に、地質状況、活断層、地形等に関して地質リスクを評価し、その内容を重ね合することにより、リスクランクを平面図に表現した。

地質リスク検討の成果は、予備設計等に反映された。具体的な事例を下記に示す。

- トンネル坑口付近で、落石のリスクが高い斜面を確認した。落石対策工を予備設計で計画し、必要な用地幅を設定した。
- 切土斜面の勾配を検討し、その結果に基づき用地幅（幅杭）を設定した。

表-3　地質リスク管理表の一例

項　目		区　間
下り線	計画構造物	
	地質リスク要因	
	発生事象	
	発生確率	
	影 響 度	
	地質リスクランク	
	対応方針	
上り線	構 造 物	
	地質リスク要因	
	発生事象	
	発生確率	
	影 響 度	
	地質リスクランク	
	対応方針	
地質状況		
現地状況および検討項目		
既往地質調査		
計画・設計に関するコメント		
後続調査計画案		

５．地質リスク低減のためのマニュアル作成

道路事業を想定して、地質リスク低減のためのマニュアルを作成した。概要を以下に示す。

(1)　地質リスクの定義

地質や地下水を素因として、施工段階以降に事業損失を発生させる事象とする。また、地質リスクの存在を認識していない場合も、広義の地質リスクと考える。

(2)　地質リスク低減の考えかた

地質リスクを低減するためには、各設計業務に並行して「地質リスク検討」を実施する必要がある。特に、事業開始当初のルート選定の過程において、潜在的な地質リスクを評価し、相対的に地質リスクが少ないルートを選定することが重要である。以降は、地質リスクを網羅的に抽出し、リスクの評価・ランク付けを行い、リスクの回避・低減・保有等を基本方針とする対応策を検討することが非常に効果的である。

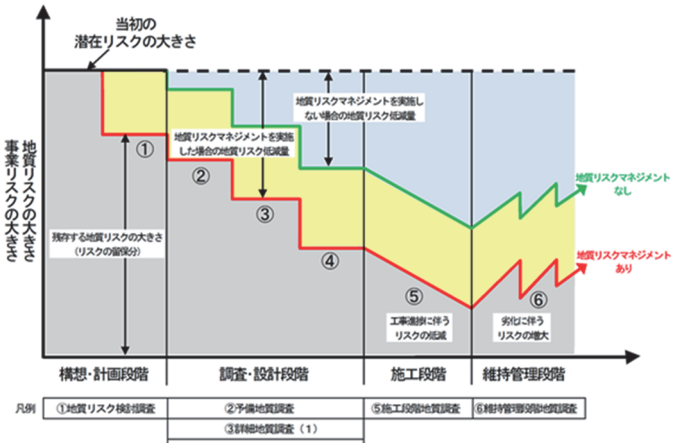


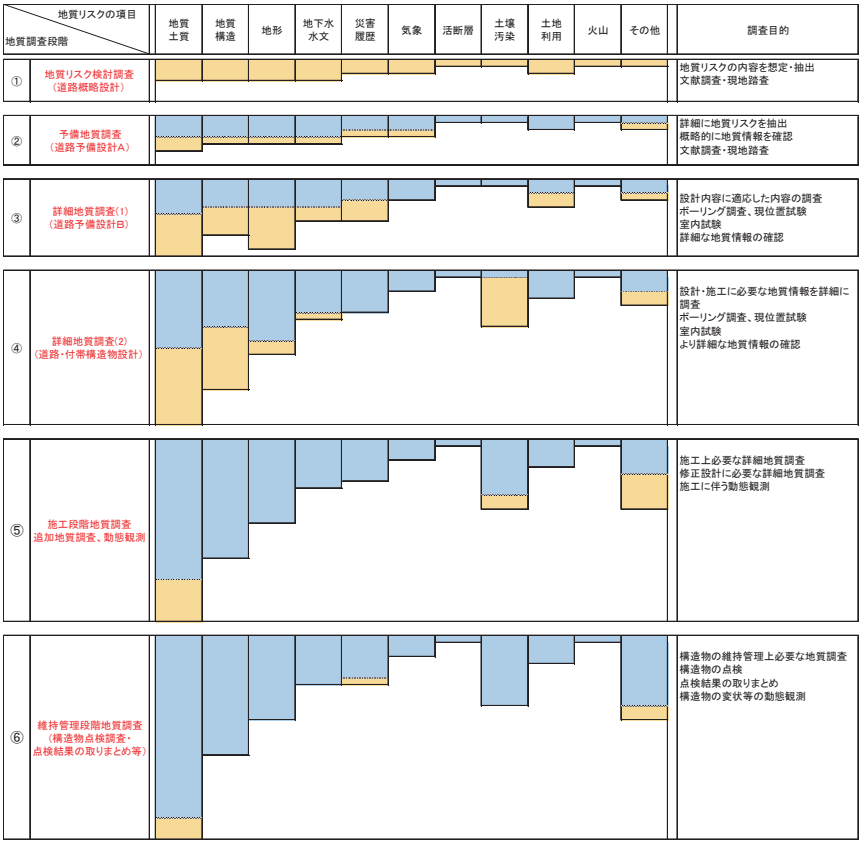
図-1　地質リスク低減の考え方

全地連：地質リスク調査検討業務発注ガイドの図 2-1 に加筆

(3)　地質リスク検討業務の流れ

道路事業リスクを低減するためには、地質リスクに関する情報を概略設計段階から設計業務に適格に反映することが重要である。事業開始当初は、地質リスクを網羅的に抽出し、リスク評価を順次行う。リスクの発現確率が高い事象に関しては、詳細な地質調査を実施し、より精度良く地質リスク評価を継続的に行う（図-2）。

また、各調査段階において、地質情報及び地質リスク評価結果を発注者・設計技術者と共有する（合同調整会議等）ことにより、成果を設計業務へ反映する。



注）① 道路事業の計画段階では、地質リスクの項目を抽出し、設計業務の進行とともに、必要な調査を実施して地質情報を確認する。
② グラフの長さは、地質情報の多少を示す。長いと詳細な情報を多く確認していることを示す。
③ 調査が進むに従い調査対象が絞込まれ、より詳細が調査が実施される。
水色の部分は既往の地質調査で得られた情報を示し、黄色の部分は当該地質調査で得られる情報を示す。

図-2　地質調査と地質リスク絞込みの概念

(4)　発注形式

専門性が高いため、プロポーザル方式とする。業務の規模によっては、総合評価落札方式（価格評価点：技術評価点＝1：3）の採用も検討する

６．地質リスクマネジメントの提案

事業期間が長い道路事業等では、事業の進捗に伴って地質リスクマネジメントを実施することを関西協会は提案している。マネジメント業務の流れを図-3 に示す。要点は下記の通りである。

- 地質調査・設計及び施工に伴い、地質情報の収集・分析と地質リスク評価の見直しを継続的に実施し、事業に反映する。
- 設計用地盤モデルの検討を行う（設計業務の支援）。
- 後続調査業務内容の検討を行う（発注業務の支援）。
- 地質的なトラブルが施工時等に発生した場合は、迅速に現地で対応し、具体的な対策を検討する。
- 地質リスクの内容とリスクが発現した場合の処置過程を記録し、維持管理業務へ申し送りする。

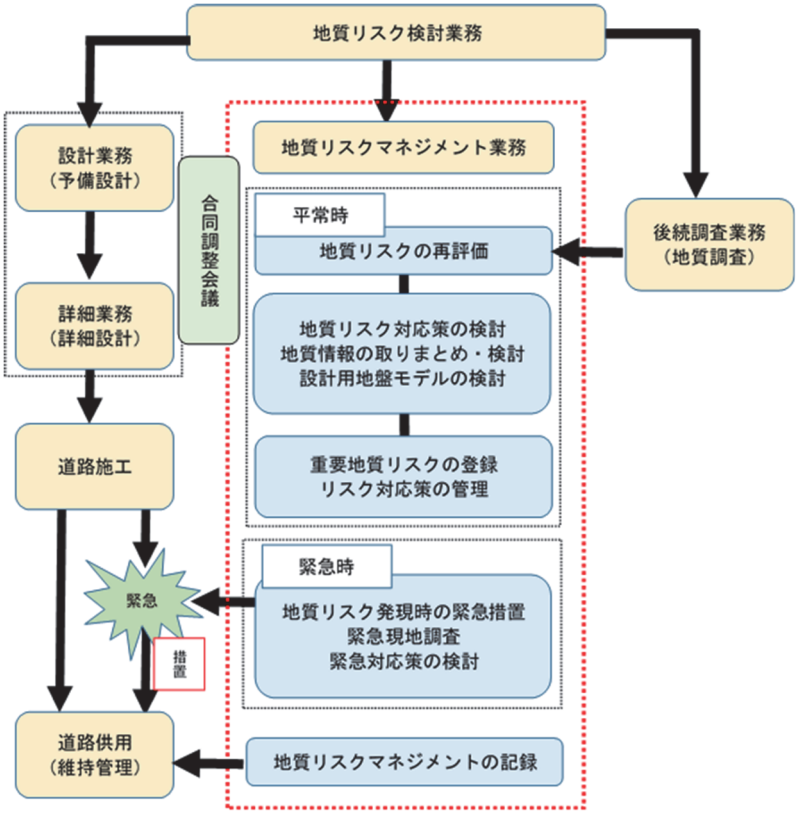


図-3　地質リスクマネジメントの流れ

７．地質リスク検討の課題

(1)　地質リスクの評価手法が確立されていない

地質リスク評価は、「影響度」と「発生確率」の決定が非常に重要である。しかし、その手法が確立されていない。今回の業務では、地質リスクのタイプ別に、既往の調査結果及び基準等を活用して設定したが、今後の情報を集積して妥当性等を評価検討する必要がある。

(2)　地質リスク抽出の過程で、リスクの見落としを誰が責任をとるか

地質リスクの抽出が完璧行われるとは限らない。見落としのリスクは必ず存在する（人為的なミスも含む)。また、地質リスク評価が諸情報に応じた適切なものであるとは限らない。事業の進捗の伴い地質情報等の集積に伴い、地質リスク評価を継続的に実施して、適切な対応をとることでリスクを低減する。能力が高い技術者を選任し、見落としのリスクを低減する。見落としが発生しても、にその責を技術者のみに求めるのではなく、事業全体で対応するべきである。

(3)　地質リスクを発見・確認する目的の調査の実施を認めてもらえるか

地質は不均質性や曖昧さを有している。直接設計等に反映する成果が得られなくても、地質リスク評価では必要であることを広く理解してもらい、必要な地質調査の実施を求める必要がある。

(4)　地質リスク検討に必要な情報とリスク評価結果の情報共有は可能か

地質リスクの存在が確認されても、責任や利害が関係するため、情報共有は困難かもしれない。地質リスクに関する情報は、様々な事業の遂行に際して、重要であることを広く認識してもらう努力を通じて、情報共有の仕組みを構築する必要がある。

講演③

国立研究開発法人土木研究所における地質・地盤リスクマネジメントに関する取り組み

国立研究開発法人土木研究所　浅井健一、佐々木靖人

１．はじめに

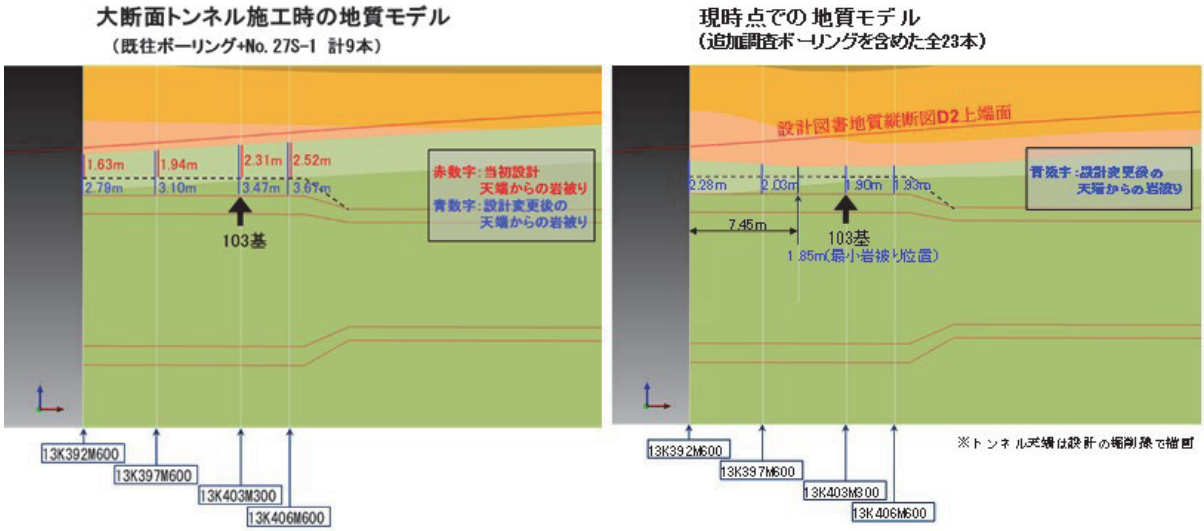
近年、建設工事や建設終了後において地質・地盤に起因する重大な事故や不具合が顕在化する事例が目立っている。博多駅前の地下鉄工事現場における陥没事故（平成 28 年）や横浜市におけるマンションの傾斜の問題（平成 27 年）[1)]はその代表例であり、報道等で大きく取り上げられたことは記憶に新しい。このような地質・地盤に起因する事故や不具合に至るリスク（以下「地質・地盤リスク」）への対応は事業者、調査実施者、設計者、施工者、管理者のいずれにとっても重要な課題といえる。

国土交通省の社会資本整備審議会・交通政策審議会でもその重要性は指摘されており、「地下空間の利活用に関する安全技術の確立に関する委員会」の答申 [2)]では今後の方向性と対応策として「計画・設計・施工・維持管理の各段階における地盤リスクアセスメント」「地盤リスクアセスメントの技術的手法の確立」が明記されている。したがって、今後国土交通省内においても地質・地盤リスクマネジメントの技術的手法の検討が加速していくと考えられる。

このような状況のもと、土木研究所においても地質・地盤リスクマネジメントに関する取り組みは重要と考えており、所内で検討会を実施したり、関係機関との意見交換を行うなど、検討を始めているところである。また、博多の陥没事故の件では事故原因及び再発防止策の検討委員会を土木研究所が主体となって開催するとともに、委員としても参画し議論を行った。

２．博多駅前の地下鉄工事現場での陥没事故における土木研究所の対応

平成 28 年 11 月 8 日早朝に発生した博多駅前の福岡地下鉄七隈線延伸工事現場で発生した陥没事故においては、福岡市からの委託により、土木研究所が主体となって「福岡地下鉄七隈線延伸工事現場における道路陥没に関する検討委員会」を開催するとともに、佐々木地質研究監（当時



施工段階での地質モデル：地層境界が直線に描かれ、不整合面に凹凸がないものとして設計

事故後の調査を加味した地質モデル：地層境界に凹凸が判明

図-1　博多駅前の陥没事故現場の地質モデル（縦断面図）[3)]

地質チーム上席研究員）を含め２名が委員として参加し、事故原因及び再発防砂策について検討を行った。当該委員会の議論の内容及び報告書については土木研究所ＨＰにおいて既に公開されている[3]が、当該箇所の地質の状況は設計段階での想定（均質で岩盤上面の不整合面に凹凸がないものとして設計）と異なり、不整合面に凹凸があることによりトンネル上部の岩盤の厚さが設計での想定よりも薄く，岩盤自体も風化や亀裂により局所的に弱部を有し不均質であったことが示されている（図-1、図-2）。

また、佐々木（2017）[4]は当該委員会での検討及び当該現場のボーリングコアの観察で明らかになった地質状況を踏まえながら、地質上の教訓として「事業の早期からの地質リスクマネジメントの必要性」と「土木地質学的リスクアセスメントの必要性」を指摘し、改善点として「行政の地質リスクマネジメントの体系化」「土木地質学的リスクアセスメント技術の体系化」及び「関係者の地質リスク教育プログラムの体系化」を提案している。

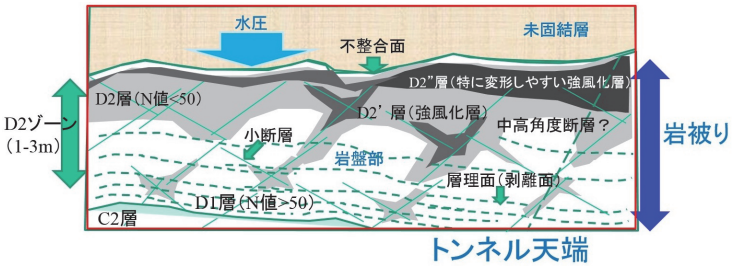


図-2　博多駅前の陥没事故現場のトンネル天端付近の岩盤状態の模式図（文献 3）に追記）

３．岩盤を支持層とする杭基礎の不具合に対する土木研究所の対応

横浜市におけるマンションの傾斜については、基礎杭の一部が支持層に到達していないことが原因とされている。七澤（2016）[5]は岩盤を支持層とする杭基礎の不具合（沈下、傾斜等）の要因として、「岩盤が固くない」「施工で乱してしまう」「支持層に達していない」ことを指摘している。これらのうち，「岩盤が固くない」ことについては岩盤の風化や堆積年代に関係し、「支持層に達していない」ことについては支持層となる岩盤の深さ変化と関係することから、地質・地盤リスクに含まれるものである。これらに対しては、予備調査から本調査へ進んでいく中で、岩盤の深さ変化、風化の程度と風化層厚の変化、岩盤の強度等を適切に評価できる調査が必要であり、その方法について現在、（国研）土木研究所，（一社）コンクリートパイル建設技術協会，（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会，（一社）日本基礎建設協会および（一社）全国地質調査業協会連合会で行っている「岩を支持層とする杭基礎の設計・施工法に関する共同研究」の中で検討中である。

４．地質・地盤リスクマネジメントに関する対応策

上記で述べた地質・地盤リスクに対する対応策として、以下のような方策が必要と考えられる（佐々木（2017）[4]）。

（１）行政の事業体系へのリスクマネジメントの導入

地質・地盤リスクに関する問題点の１つは、地質・地盤リスクが認識されないまま事業が進んでいくことにあると考えられる。したがって、行政の事業体系の中に、事業の初期段階から維持管理までを通じた地質・地盤リスクマネジメント体系を導入し、関係者間で地質・地盤リスクに関する情報を共有しながら事業を進めていくことが重要である。導入方法としては、例えば「土木・建設事業における地質・地盤リスクマネジメントの手引き」（表-1）といったものを国から発出し、それに従って事業を進めたり受発注者間の課題等を解決していくことが考えられ、今後そ

れらの内容を検討していくことが必要である。

（２）地質・地盤リスクアセスメント技術の体系化

地質・地盤リスクマネジメントを的確に行うためには、「地質・地盤リスクアセスメント」を適切に行い、その結果を受けて適切にリスク対応していくことが重要である。地質・地盤リスクには様々なものがあるため、個別の要素技術の開発だけでなく、地質・地盤リスクアセスメント技術全体を体系化していくことが必要である。また、博多駅前の陥没事故の例のように、地質・地盤リスクは地質の成り立ちや性状と関連しているため、特に「土木地質学的リスクアセスメント」は重要である。

体系化にあたっては、計画、調査設計（概査、予備設計、詳細調査、詳細設計）、施工、維持管理と進んでいく事業段階に応じた調査・評価・対応技術を提案していくことが必要である。

（３）地質調査業務へのリスクアセスメントの内包化

博多駅前の陥没事故の発生要因の 1 つとして、トンネル上部の岩盤上面の不整合面の凹凸の可能性や岩盤自体の風化や亀裂による強度の不均質性といった地質・地盤リスクが考慮されないまま、ボーリング孔間の地質境界を直線的に結んだ断面図を用いて均質な岩盤として設計されていたことがあげられる。そのような事態を避けるためには、地質調査結果に含まれる不確実性と想定される地質・地盤リスクを適切に明記し事業者、設計者、施工者等に引き継ぐことが必要である。そのためには、地質調査業務の報告書の要件として、調査結果の不確実性や想定される地質・地盤リスクを明記することを必要条件とすることが重要である。内容等については今後検討が必要である。周知方法としては例えば「地質調査業務報告書作成マニュアル」の形で発出する等が考えられる。

表-1　地質・地盤リスクマネジメントの手引き（目次イメージ）[4)]

土木・建設事業における地質・地盤リスクマネジメントの手引き（素案）

1. 本手引きの目的
2. 適用
3. 用語の定義
4. 地質・地盤リスクマネジメントの流れ
   4.1 概要
   4.2 リスクマネジメントを実施すべき事業
   4.3 リスクマネジメントの実施方法
   4.4 リスクマネジメントの実施時期
5. 地質・地盤リスクマネジメントの実施体制
   5.1 概要
   5.2 地質・地盤リスク管理者の設置
   5.3 地質・地盤リスクアドバイザーの設置
   5.4 関係者の役割の明確化
   5.5 関係者間の情報・意識共有の場の実施
   5.6 事業者の体制
   5.7 地質調査者の体制
   5.8 設計者の体制
   5.9 施工者の体制
6. 地質・地盤リスクマネジメントの計画
7. リスクの調査計画と調査
8. リスクの抽出
9. リスク評価
10. リスク対応
11. リスク情報の共有と引き継ぎ

（参考資料）地質・地盤リスクと対応の事例

（４）教育・啓発体系の構築

地質・地盤リスクマネジメントを適切に進めていくためには、事業者、調査実施者、設計者、施工者、管理者のいずれもが地質・地盤リスクについて理解している必要があるが、地質・地盤リスクは目に見えにくいリスクでありわかりにくいため、地質に関わらない土木技術者や行政関係者・事業者には理解されていない場合が多いと考えられる。博多駅前の陥没事故を例にとれば、地質技術者（主に調査実施者の立場）から見れば岩盤上面の「不整合面には凹凸がある」「風化の厚さも局所的な変化がありうる」のは当たり前であり、ボーリングコアの亀裂や破砕の状態（写真-1）を観察すれば「岩盤内に局所的な亀裂や破砕部等の弱部が存在しうる」ことも想定できるが、設計者と設計成果を受け取った事業者にはそのような理解はなかったと考えられる。したが

って、手引き、マニュアル等を発出するだけでは不十分であり、地質・地盤リスクについての教育・啓発を行うプログラムを構築し、行政・事業者・管理者、土木技術者（主に設計者、施工者の立場）及び地質技術者の意識・技術の向上を図っていくことが必要と考えられる。これらの技術者は役割も技術レベルも教育に割ける時間も様々であるため、一律の教育プログラムでは難しく、状況に応じたプログラムが必要である。

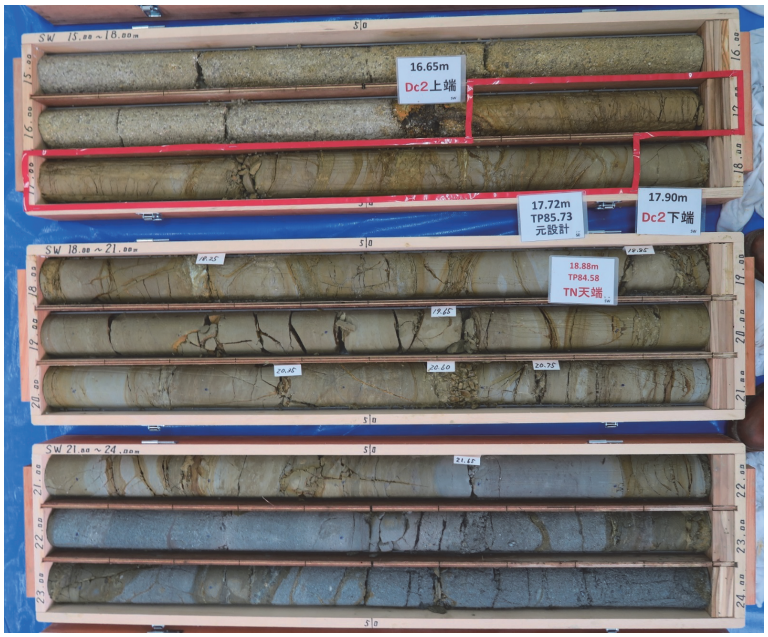


写真-1　博多駅前の陥没事故現場のボーリングコアの例（陥没部の南西、事故後の追加調査孔、深さ 15～24m、佐々木撮影。同一コアの全体写真は文献3）で公開）

上記（1）～（3）の他の対応策でも同様であるが、このような教育プログラムの開発と実施には複数組織の連携が重要である。連携の方法としては例えば、関係する研究組織・学会、全地連・建コン協等の業界団体で連携して「地質・地盤リスク対策協議会」のような組織を設立し、プログラムの開発、教育・啓発事業を実施することなどが考えられる。

5．まとめ

博多駅前の陥没事故を代表例とする、地質・地盤リスクの顕在化を受けて、地質・地盤リスクマネジメントの重要性が高まっている。それに向けての考えられる対応策については4．のとおりであるが、土木研究所においても地質・地盤リスクマネジメントに関する取り組みは重要と考えており、所内関係者による検討会や関係機関との意見交換を始めている。今後、事例分析等を通じてリスクアセスメント技術（リスクに「気づく技術」、リスクを「見つける技術」「見せる技術」）やリスク対応技術等の検討を行いながら、関係機関と連携して地質・地盤リスクマネジメントの体系化に努めていきたいと考えている。

参考文献

1)　基礎ぐい工事問題に関する対策委員会：基礎ぐい工事問題に関する対策委員会中間とりまとめ報告書，2015年12月，国土交通省ＨＰ，http://www.mlit.go.jp/common/001114896.pdf，2017年10月30日現在.
2)　国土交通省社会資本整備審議会・交通政策審議会：地下空間の利活用に関する安全技術の確立について（答申），国土交通省ＨＰ，http://www.mlit.go.jp/common/001200765.pdf，2017年10月30日現在.
3)　国立研究開発法人土木研究所：福岡地下鉄福岡地下鉄七隈線延伸工事現場における道路陥没に関する検討委員会，国立研究開発法人土木研究所ＨＰ，http://www.pwri.go.jp/jpn/ kentou- iinkai/ kentou-iinkai.html，2017年10月30日現在.
4)　佐々木靖人：トンネル陥没事故例等からみた地質リスク回避手法に関する考察，日本応用地質学会平成29年度研究発表会講演論文集，pp17-18，2017年10月
5)　七澤利明：岩盤を支持層とする基礎の設計・施工，基礎工，Vol.44，No.12，pp.2-5，2016年12月

第Ⅲ編

第２部　事例研究発表会　論文

［論文 No. 1］道路改良事業中に発生した地すべり災害の事例

応用地質株式会社　○清水　豊

1. 事例の概要

本事例は、切土を主体とする道路改良工事区間において、降水をきっかけに発現した地質リスクである「地すべり」に対する事例である。

対象地は、標高 200～300m、河床比高 60～80m の尾根が東西に連なる丘陵性山地である。地質は新第三紀中新世の堆積岩が分布し、泥岩を主体に砂岩、凝灰岩を挟む。層理面は緩く北に傾斜しており、地質構造を反映して尾根は非対称な形状をなし、北向き斜面は比較的傾斜が緩く、所々に水田耕作がなされている。

道路改良工事は、緩い北向き斜面の中腹を通過する現道に隣接し、現道の拡幅と線形改良のため、最大法高 17m（1:1.2 勾配、3 段）、延長 140m の切土を主体に工事に着手した。切土工事は、事業費などの都合上、平成 22 年 6 月から平成 24 年 10 月までの間に断続的に進められ、地すべり発生直前までに一部に掘削を残す状態であった。

地すべりは、平成 26 年 12 月、雨と積雪、融雪をきっかけに、切土施工範囲において幅 100m、長さ 100m、深さ 17m、崩壊土量約 12 万 m^3 の規模で発生した。切土法面背後の水田には幅 30m の陥没帯が出現し、現道と改良工事区間は約 15m 川側に押し出され、渓流に設置されていた砂防堰堤の袖部が堰堤本体から分離し、破損した。地すべり発生後、地質調査による地すべり規模の特定と動態把握、対策工検討がなされ、頭部排土工やアンカー工による地すべり対策、改良線形での道路復旧と破損した堰堤の復旧を行った。

本事例では、事業の計画・施工の間を通じて各段階で担当した地質技術者が、発現した規模の「地すべり」の可能性を指摘できず、「誰もが予測できずに発生した災害」として捉えられた側面がある。しかし、調査・設計・施工の各段階において、地質リスクとして認識されるべきチャンスが存在したことも事実である。地質リスクが見逃され、発現してしまった事例として紹介し、地質技術者の立場で検証する。

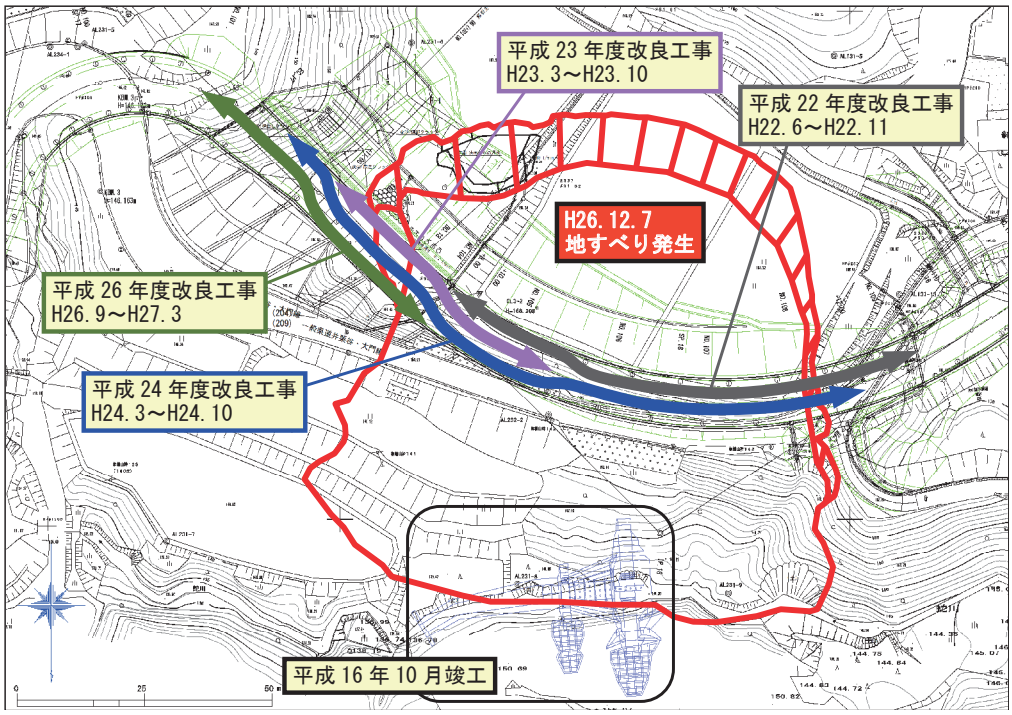


図 1　道路改良工事の施工進捗と地すべり発生位置

2. 事例分析のシナリオ

(1) リスク発現に至るプロセス（事象の因果関係）

① 地すべり発生の直接的な要因

地すべりが発生する 8 日前より断続的に降雨があり、その連続降水量は平成 24 年以降最多の 212mm に達した。さらに地すべり発生の 2 日前から積雪し、発生の 4 時間ほど前から気温上昇により積雪深が減少した。このことから、地すべり発生の直接的な要因は、長期にわたる降水と融雪による地下水位の上昇であったと推定する。

② 道路改良工事による影響

地すべりが切土工事区間で発生したことから、切土により土塊バランスが崩れ、地すべりが発生したと推定する。ただし、切土は斜面末端ではなく、どちらかと言えば斜面上部で行われており、地すべりを想定したとしても一般的には頭部排土という認識を持つ場所であるため、検証が必要である。

③ 地形・地質条件

地すべり地形分布図（防災科学技術研究所）によれば、当該斜面には地すべり地形は抽出されていないものの、周辺緩斜面には大規模な地すべり地形が抽出されている。流れ盤斜面であることを考慮すれば、当該斜面も古期の地すべり地である可能性が考えられる。

(2) 想定されるリスクマネジメント

本事例での対応状況と、望ましいであろうリスクマネジメントを表 1 に示す。本事例で実際にリスクマネジメントがなされたのは、地すべり発生によるリスク発現の後（Ⅶ）であったが、Ⅰ、Ⅱ、Ⅴの段階で、望ましいシナリオへ移行できるチャンスがあったと考えられる。しかし計画段階（Ⅰ）でリスクが抽出されなければ適正なリスクマネジメントを行うことは困難と考えられる。よって、想定されるリスクマネジメントは、望ましいシナリオとしたように、計画段階よりリスクが抽出され、工事完成までリスクマネジメントがなされるものとした。

(3) マネジメントの効果の計量方法

本事例と、望ましいシナリオにより想定したリスクマネジメントを行った場合とを比較し、調査・工事費用で比較する。

リスクマネジメント効果＝実際の工事費用－事前の対策費用

実際の工事費用＝地すべり対策費用＋砂防堰堤復旧費用＋調査費用

事前の対策費用＝地すべり対策費用＋調査費用

なお、道路供用開始までに要する期間もリスクマネジメント効果として現れると考えられるが、事業費の割り当て状況により、本事例の実際の地すべり対策に要した期間と事前対策に要する期間で相殺される可能性があるため、効果として検証し難いと考えた。また、現道までもが被災したため迂回を強いられたことによる経済的な損失についても算出が困難であるため効果として算出しないこととした。

表 1　本事例の実際と望ましいシナリオによるリスクマネジメント

事業段階	本事例		望ましいシナリオ	
	リスクマネジメント	リスクの状態	リスクマネジメント	リスクの状態
Ⅰ 計画	リスク「地すべり」が抽出されず、マネジメントされない。 ＜実施内容＞ ・地表地質踏査⇒渓流沿いに脆弱な粘土層の露頭を確認したが、リスクとして抽出せず。 ※空中写真判読等の地形解析なし	潜在 移行チャンス	リスク「地すべり」が抽出され、マネジメントが開始される。 ＜実施内容＞ ・空中写真判読⇒地すべり地形 ・地表地質踏査⇒地すべり粘土露頭 ・リスクの想定 ・リスク確認のための調査計画立案	抽出
Ⅱ 詳細調査	リスク「地すべり」が把握されず、マネジメントされない。 ＜実施内容＞ ・設計条件確認のための地質調査	潜在 移行チャンス	リスク「地すべり」が特定され、回避・低減・移転・容認の検討、判断がされる。 ＜実施内容＞ ・リスク確認調査（ボーリング） ・動態観測 ・機構解析 ・対応策の検討	特定
Ⅲ 設計	リスクが把握されず、マネジメントされない。 ＜実施内容＞ ・道路改良設計	潜在	リスク対応方針に従って地すべり対策設計がなされる。 ＜実施内容＞ ・地すべり対策設計 ・道路改良設計	特定
Ⅳ リスク対策	－	－	地すべり対策とその効果確認。 ＜実施内容＞ ・動態観測 ・想定したリスクの検証	低減 回避
Ⅴ 改良工事 （初期）	大規模地すべり発生リスクが想定されていないが、法面安定性に関わるリスクマネジメントが一時的に行われる。 ＜実施内容＞ ・小崩壊に対する局所的な調査、助言	顕在化の兆候 移行チャンス	道路改良工事は観測施工により、リスクをコントロールする。新たなリスクがないか確認する。 ＜実施内容＞ ・動態観測 ・積極的な法面観察 ・追加調査 ・想定したリスクの検証	低減 回避
Ⅵ 改良工事 （末期）	予期しない大規模な地すべりの発生。	発現		
Ⅶ リスク対策	発現したリスクに対し、最小限に回避するためのマネジメントを開始。 ＜実施内容＞ ・発現したリスクの実態調査、新たなリスクの抽出、特定調査（ボーリング、動態観測） ・リスク低減・回避の方針検討 ・設計、施工	新たなリスク潜在	－	－
Ⅷ 道路供用	リスク低減・回避の確認を行う。 ＜実施内容＞ ・動態観測	低減 回避	リスク低減・回避の確認を行う。 ＜実施内容＞ ・動態観測	低減 回避

3. データ収集分析

(1) データ収集

道路改良事業計画段階の概査資料、道路設計時の調査資料、地すべり発生後の調査・設計資料を収集した。なお、実際の地すべり対策費用は工事中に大幅な変更はなかったため、設計資料を参照した。そのほか、事業計画時にリスクを抽出することが可能であったかどうかを検証するため、対象地周辺の空中写真を収集した。表 1 の本事例の経緯は、データ収集結果に基づいて作成したものである。

(2) データ分析

① リスク発現前の地質条件解明プロセス

道路改良事業計画時（Ⅰ）において、空中写真判読による不安定斜面の抽出作業は行

われていない。一方、計画ルート周辺の概査において地表地質踏査は行われており、当該斜面直下の渓流沿いに脆弱な粘土層が露出していることが確認されている。この粘土層は古期地すべりのすべり面の可能性があるが、当時は地すべりの存在を示唆する認識には至らず、地質リスクとして対応が図られることはなかった。

また、切土施工が進む段階で小規模な法面崩壊が発生しており（V）、法面の地質観察が数回行われている。このとき、正断層センスの地層のズレや、薄い破砕層、岩盤の風化が確認され、局所的に古い地すべりが存在していたと推定されたが、事業に重大な影響を与える地質リスクとしては認識されなかった。

② リスク発現後の対応

地すべり規模と動態把握のため、地形測量（LP）、過去の空中写真判読、地表踏査、ボーリング調査（7 孔）、動態観測が行われた。

③ 古期地すべりの認定

過去の空中写真判読の結果、本事例で発生した地すべりによる頭部陥没帯の位置に溝状地形があるほか、不明瞭ながらその背後にさらに規模の大きな地すべり地形が判読された。地表踏査では、渓流沿いに層理面に沿って低角度に連続する粘土層が確認され、その下部は新鮮硬質な岩盤である一方、上部は亀裂の多い風化した岩盤であった。この粘土は、本事例で発生した地すべり末端部へ潜り込むように連続しており、古期地すべりのすべり面と推定した。

以上から、本地すべりは古期地すべりが何らかの誘因により再活動したものと考えた。

④ 地すべり面の設定

ボーリング調査の結果、連続性のよい凝灰岩層を鍵層として精度よく地質構造を推定できた。鍵層の 3m 上部には厚さ 10cm ほどの破砕した粘土が連続し、明瞭な条線が確認できたことから、これを地すべり面として設定した。

層理面は、緩い北傾斜でありながらも褶曲しており、地すべり頭部で 15°程度傾斜し、中央から末端付近にかけては 3～5°ときわめて低角度であった。地すべり面はこれに沿い、低角度な面に沿って滑動したため、スプレッド型の地すべりが形成したと推定した。

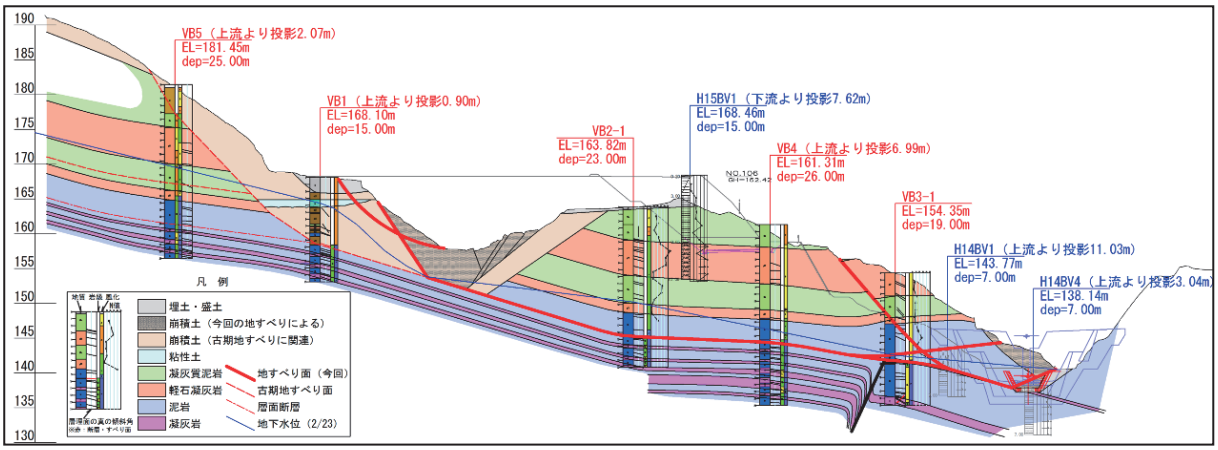


図 2　地すべり断面図

⑤ 地すべり対策

地すべり対策は、応急対策として実施した横ボーリング工、発生した地すべりに対する頭部排土工およびアンカー工、破損した砂防堰堤および護岸構造物の復旧が行われた。

(3) 当初設定シナリオの実証

空中写真判読と現地踏査によるすべり面の確認が行われていれば、対象斜面を古期地すべり地であると認定し、地質リスクとして抽出できる。したがって事業計画段階からリスクマネジメントを行うことが可能である。また、ボーリング調査によって地すべり面の認定が可能であり、地すべり規模の推定と、道路改良による切土工事の影響も事前に評価することができる。したがって、想定したシナリオ通りのリスクマネジメントを行うことは可能であったと判断する。

4. マネジメント効果

(1) リスク（低減）の計量化

地すべり発生後に実施した調査・対策費用をもとに、計画段階からリスクマネジメントを実施した場合を想定した事前調査、事前対策費用を推定してコスト比較を行った(表 2)。この結果、リスクマネジメントにより事前調査、事前対策を行った場合のコスト縮減額は、264 百万円と算出された。

表 2　地すべり対策想定コスト比較

	追加調査費用	対策費用
リスク発現によって生じたコスト（実際）	調査ボーリング7孔 動態観測 修正設計 18,000千円	・応急対策（横ボーリング工）：8,000千円 ・頭部排土工（掘削＋残土処理）：141,000千円 ・背後地すべり抑止工（アンカー＋横ボーリング工）：68,000千円 ・地すべり抑止工（アンカー工）：146,000千円 ・砂防堰堤復旧（土砂撤去＋残土処理＋構造物復旧）：47,000千円
リスク削減のための事前コスト（想定）	調査ボーリング7孔 動態観測 対策設計 18,000千円 ※同等の調査を想定	・地すべり抑止工（アンカー工）：146,000千円 ※地すべり抑止対策のみ同規模を想定
コスト増	**0円**	**264,000千円**

(2) マネジメントの方法

リスクマネジメントは、事業計画当初段階から事業終了までを通じてリスクの抽出→特定→回避・低減策の検討、効果確認を行う必要がある。地質技術者は地質リスクが見逃されないように、リスクチェックリストなどを用いて後続業務へと引き継いでいく必要がある。また、当初段階でリスクを抽出できなかったとしても、事業途中段階では積極的にリスク抽出と特定に心がけ、調査提案を行い、できる限り早い段階で地質リスクの抽出と特定を行うことが重要である。

本事例は、地質事象の把握における不確実性が要因となったといえる。地質技術者は、地質リスクの存否に対して重大な責任を持つ意識が必要である。地質リスクが存在する場合だけでなく、否定できる場合のどちらにおいても、それを明確にするための調査を提案していくべきだと考える。

5. データ様式の提案

B 表原案に基づき、データ様式を整理した（表 3)。計画時よりリスクマネジメントを行った場合、リスク回避案としてルート変更の検討の余地があるが、本事例ではルート線形は変更せず、地すべり対策を行うものとして検討した。

表 3　B 表様式への記入

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		県
	工事名		道路改良事業
	工種		道路改良工事 （切土法面工、盛土工、道路工）
	工事概要		現道に隣接して山側斜面を切土し、道路拡幅と線形改良を行う。
	①当初工事費		−
	当初工期		−
リスク発現事象	リスク発現時期		切土工事後、工事一時休止期
	トラブルの内容		地すべり発生
	トラブルの原因		降水、地すべり土塊内部での切土掘削
	工事への影響		道路供用開始の延期、対策工事の発生
追加工事の内容	追加調査の内容		ボーリング調査、動態観測
	修正設計内容		地すべり抑止対策、砂防堰堤の復旧設計
	対策工事		横ボーリング工、頭部排土工、アンカー工、砂防堰堤復旧工、護岸工
	追加工事		−
	追加費用	追加調査	14,000 千円
		修正設計	8,000 千円
		対策工	410,000 千円
		追加工事	−
		②合計	432,000 千円
	延長工期		2 年
	間接的な影響項目		現道不通による迂回、民地水田の崩壊と用地取得
	負担者		県および国（災害）
リスク管理の理想像	対応（すべき）時期		事業計画時から供用開始まで
	対応（すべき）者		地質技術者および事業主体
	対応（すべき）内容		・ルート沿線の地質リスク把握（地すべり） ・リスク特定のための積極的な調査提案。 ・リスク対応、およびその効果確認
	判断に必要な情報		・ボーリング調査、動態観測、地質解析
	対応費用	調査	14,000 千円
		対策工	146,000 千円＋8,000 千円（設計）
		③合計	168,000 千円
	想定工事	工事概要	−
		④工事費	−
		工期	−
リスクマネジメントの効果	費用（(①+②)−(③+④)）		264,000 千円
	工期		計画的な施工を行うことにより、延長工期は 1 年程度に抑えられる。
	その他		現道を供用したままの施工が可能。

［論文No.2］地すべり背後斜面に潜む地質リスクの発現事例

株式会社　興和　○皆川　広太
株式会社　興和　　井藤　嘉教

１．事例の概要

本事例は、地すべり防止区域内で想定されていた第三紀層地すべりにおいて、当初計画された頭部排土工を対策工法として施工したところ、施工後に地すべり背後斜面にあたる切土法面内に変状が生じた、という地質リスク事例である。その後変状は雪解けを経て地すべりの様相を呈するに至り、地質調査、修正設計、追加対策を含めた再施工が行われることとなった。現地の模式図について、図１に示す。地質リスク発現による工事費の増額は、およそ7,000万円と見込まれる。

排土工の計画当初、地すべり地内では数箇所で調査ボーリングが実施され、すべり面深度、すべり面以深の地質に関する情報が得られていた一方、実際に排土対象となる地すべり背後斜面においては調査ボーリングが実施されていなかった。地すべり背後斜面の分布地質の不確実性という地質リスクを抱えたまま設計・施工が行われた結果、竣工後の法面においてその地質リスクが発現し、法面崩壊～地すべり背後拡大という状態に至った。

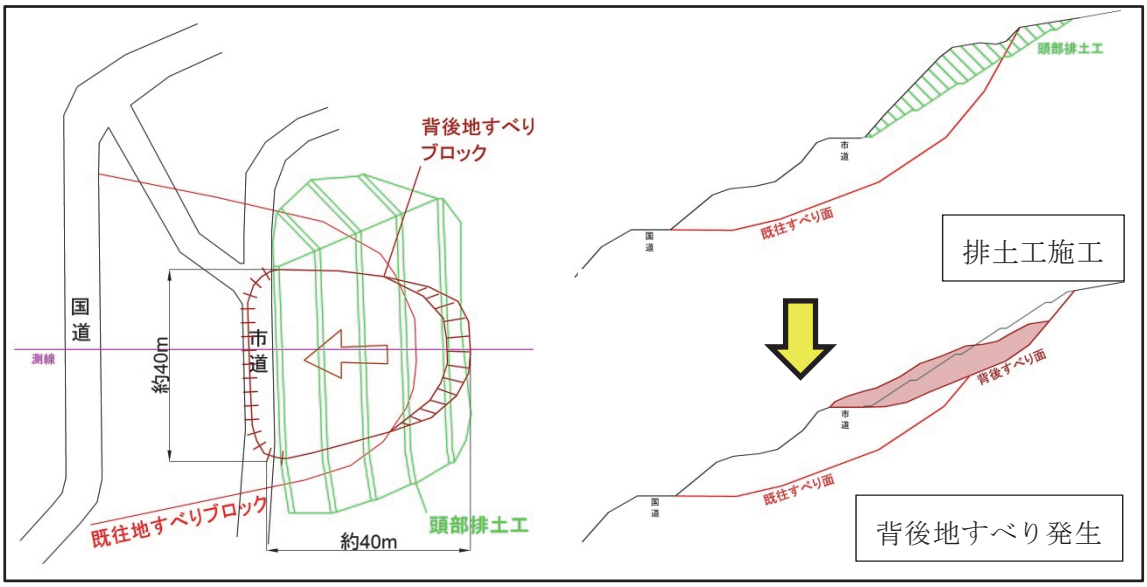


図１　対象地区模式平面図・模式断面図

２．事例分析のシナリオ

（１）背景

当該地すべりにおいては、地質図幅及び地すべり地内で実施されたボーリング調査により、すべり面以深の不動層は新第三紀中新世の塊状泥岩からなることが確認されており、地すべり背後斜面においても同様の塊状泥岩が分布しているものと想定されていた。そのため、頭部排土工計画当初の地質断面図でも対象地区の地質は一様に塊状泥岩として記載されており（図２左）、当初計画の排土工は、地すべり地内のボーリング調査によって得られた塊状泥岩に相応の設計基準に従い設計された。塊状泥岩は新第三紀の軟岩であり、

未風化部であればN値50程度を記録する比較的固結度の良い地層であったため、切土勾配は1:1.5勾配、法面保護工として植生工が計画・施工された。

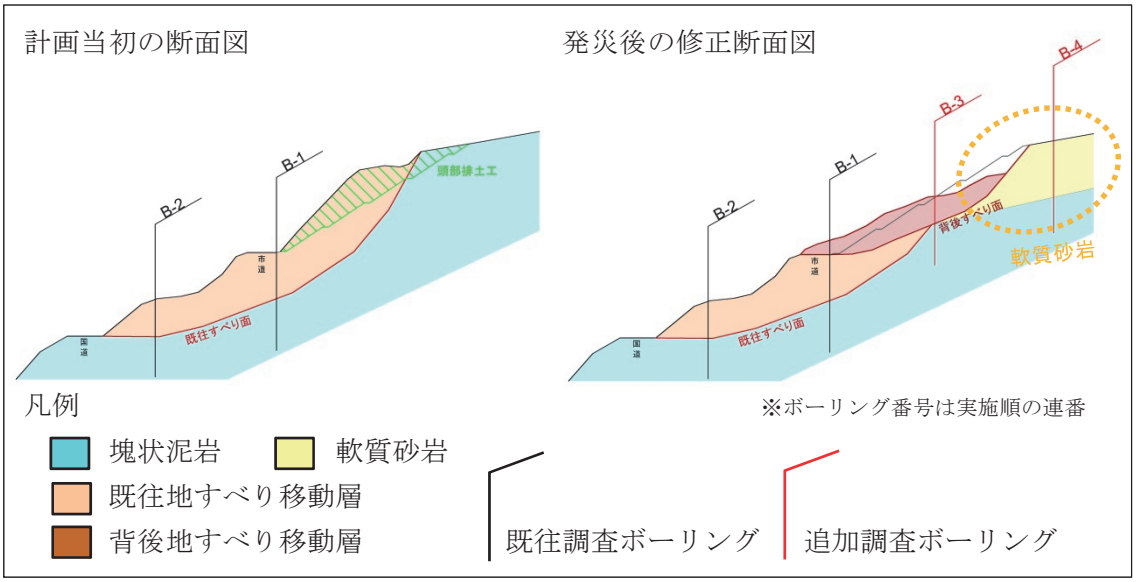


図２　地質断面図模式図

しかし排土工施工時、塊状泥岩の上位に想定とは異なる固結度の低い砂岩層が確認された。その境界の層理面は緩い流れ盤構造を呈し、地層境界付近の一部からは湧水が認められていた（写真１、写真２）。その後も施工は継続され、竣工には至ったものの、竣工後の11月に連続した降雨に見舞われたことにより、排土斜面内に亀裂が生じ、その後の積雪・融雪を経て法面崩壊～地すべり発生に至った。

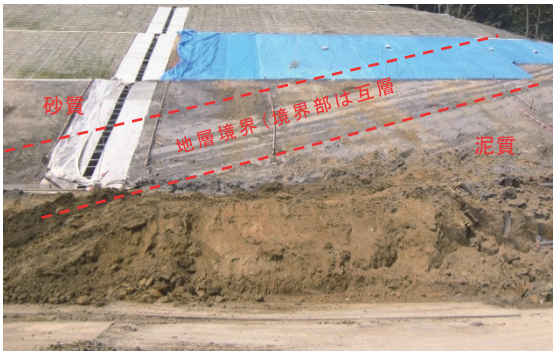


写真１　層理面

写真２　湧水の形跡

（２）地質リスク発現後の対応

地すべり発生後、その地内と背後斜面で追加の調査ボーリングが実施され、地すべり背後斜面の上部は想定していた塊状泥岩ではなく、新第三紀鮮新世の固結度の低い砂岩からなることが明らかとなった(図２右)。この砂岩の岩相を踏まえて排土工の修正設計が実施され、地すべり土塊の除去及び排土工・水路工の再施工に加え、風化侵食防止と小崩壊抑止を目的とした簡易法枠工、地下水排除工として横ボーリング工、また地すべり残土の土留工として大型フトンカゴが追加で施工された。

以上の発災後の対応のうち、地すべり地内での調査ボーリング、修正設計、地すべり土塊の撤去および排土工・水路工の再施工、大型フトンカゴについては、地質リスクの評価が適切に出来ていれば不要であったと考えられる。

また、活動直後の地すべり地内での調査ボーリング・追加対策施工にあたり、降雨等により地すべりが不安定化し、再活動する可能性が懸念されたため、調査ボーリングから排土工着手に至るまでの間、地すべり地内に設置した埋設型の傾斜センサーによる監視を実施した（図３）。この監視に掛かるコストも追加で必要となった。

追加対策は当年中に竣工し、工期は約1年の延長となった。その間、斜面直下の市道は通行止めとなり、地域住民への負担も増加してしまった。

追加対策施工後は、水位観測、動態観測、目視による動態点検等でも顕著な変状は認められずに現在に至っている。

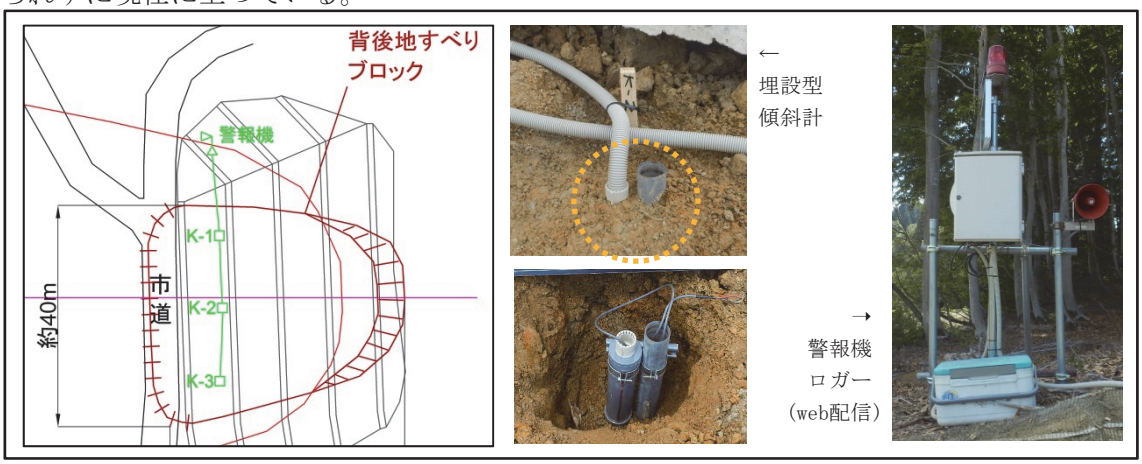


図３　斜面監視体制

（３）リスク回避についての検討

このような地質リスクの発現を事前に防止するためには、設計・施工段階それぞれで以下の様な対応が必要であったと考えられる。

①設計段階

頭部排土工の計画においては、地すべり地内の地質情報のみならず、実際に排土対象となる地すべり背後斜面の地質情報を把握することが必要となる。追加の調査ボーリング提案や、その結果を踏まえた設計が求められる。

②施工段階

設計で想定された地質とは明らかに異なる地質が表出した場合、当初計画のまま施工を継続してよいのか、修正が必要なのか発注者や設計業者等と協議を行う必要がある。地質の違いを見抜く知識と、地質の変化に柔軟に対応する判断が求められる。

本事例においては、地すべり調査における背後斜面でのボーリング調査の重要性が焦点となっている。地すべり災害が発生した際には、地すべり地内でのボーリング調査によるすべり面深度や不動層の地質、物性等の把握は一般的に行われているが、地すべり背後斜面での調査ボーリングは実施しない場合も多い。本事例のような排土工を計画する場合や、地下水排除工を計画する場合、地すべりの背後拡大が懸念される場合などは、地すべり背

後斜面でも調査ボーリングを行い、地山の性質や地下水特性等を把握しておくことは、地質リスク低減のために非常に重要であると考えられる。

３．データ収集分析

本事例の経緯は対象地すべりの調査・観測資料、頭部排土工の当初設計資料、発災後の調査・修正設計資料及び施工資料等から情報収集を行った。これらの中で、地すべり背後斜面の地質については、初期調査の段階から施工に至るまで中新統の塊状泥岩と記載されている。対象地区周辺では表土及び植生に覆われており、崩壊地を除いては露頭箇所は認められていない。そのため、地すべり地内で実施された調査ボーリングの結果や、地質図幅を参考に背後斜面の地山は塊状泥岩という記載になったと考えられる。しかしながら、新第三紀堆積岩層の場合、整合関係にあれば上位ほど時代が新しい、すなわち軟らかい傾向にあるのが一般的である。本事例の教訓も踏まえると、現地踏査や調査ボーリングにおいて未確認であるにもかかわらず、安易に調査箇所よりも上位について調査箇所と同等と評価するのは危険であると考えた方がよさそうである。

費用関係については、調査・設計に掛かる費用及び斜面監視に掛かる費用は精算額に近い数字を使用しているが、工事に掛かる費用は資料未入手のため、設計時に算出した概算工事費を参考にした施工規模からの推定額となっている。

４．マネジメント効果

理想的な手法として、当初設計に加え、「事前に地すべり背後斜面において発災後と同等の調査ボーリングを行い」、その結果、「簡易法枠工、横ボーリング工を追加工種として盛り込んだ」場合を想定してコスト比較を行った結果を、表１に示す。

表１　コスト比較結果

項目			費用(千円)		工期他
①実績	当初工事	排土工・水路工・植生工	60,000	170,000	19か月(4月～翌11月) 市道の通行止め期間も延長
	調査ボーリング		3,000		
	修正設計		4,500		
	追加工事	排土工・水路工・植生工	50,000		
		簡易法枠工	35,000		
		横ボーリング工	5,000		
		大型フトンカゴ	10,000		
	斜面監視		2,500		
②理想	想定工事	排土工・水路工・植生工	60,000	102,000	7か月(4月～11月)
		簡易法枠工	35,000		
		横ボーリング工	5,000		
	調査ボーリング		2,000		
マネジメント効果(①−②)				68,000	1年

あらかじめ地すべり背後斜面で調査ボーリングを実施し、必要な対策工法を盛り込んだうえで施工した場合、リスクが発現し再施工となった場合に比べて約7,000万円のマネジメ

ント効果が得られた勘定になる。これは本事例の場合、背後地すべりにより当初工事で施工した排土工・水路工・植生工のほとんどが台無しとなり、一からの再施工となっているため、ほぼ当初工事一式分の工事費用に相当している。

一方で、地質リスク把握のために地すべり背後斜面で行う調査ボーリングに掛かる費用は、各種試験や解析・検討を含めても200万円程度で済む。この1本の調査ボーリングの有無が、工事の明暗を大きく左右したことがわかる。

５．データ様式の提案

本事例の情報を、データ様式原案に記入すると、表２の通りとなる。

本事例は「地形」「地質・岩相」「地質時代」等の情報が特に重要な事例であったため、こういった項目もデータ様式に加わると、より同種工事における活用がしやすくなるものと考えられる。

表２　B表修正案への記入（網掛：修正箇所）

大項目	小項目	データ
地形・地質	地形	地すべり地形
	地質・岩相	堆積岩(塊状泥岩、軟質砂岩)
	地質時代	新第三紀中新世～鮮新世
対象工事	発注者	公共機関
	工事名	○○地区地すべり対策工事
	工種	頭部排土工
	工事概要	地すべり防止区域内で想定されていた第三紀層地すべりの対策工法としての頭部排土工を施工し、法面保護工として植生工、小段・法尻部に水路工を施工。
	①当初工事費	60,000千円
	当初工期	4月～11月
リスク発現事象	リスク発現時期	11月(排土工竣工後)
	トラブルの内容	地すべり背後斜面にあたる切土法面に亀裂→雪解けにより地すべり発生
	トラブルの原因	当初設計・施工においては、地すべり背後斜面の地質は中新統の塊状泥岩と想定されていた。しかし、崩壊発生後の調査によって、背後斜面上部は固結度の低い鮮新統の砂岩からなり、さらに斜面に対して流れ盤構造を呈していることが明らかとなった。 排土工竣工後の11月に降雨が連続し、上部の砂岩部に亀裂が生じたところから、雪解けを経て地すべり様相を呈するに至った。
	工事への影響	再施工が必要となった。

追加工事の内容	追加調査の内容		調査ボーリング2本 ・地すべり地内　L=9m　・地すべり背後斜面　L=16m 標準貫入試験、簡易揚水試験
	修正設計内容		・地すべり土砂撤去　・排土工 ・小段、法尻水路工　・簡易法枠工 ・横ボーリング工　・大型フトンカゴ
	対策工事		施工時に地すべり滑動が懸念されたため、埋設型傾斜計による斜面監視を実施
	追加工事		修正設計内容+据付盛土
	追加費用	追加調査	3,000千円
		修正設計	4,500千円
		対策工	2,500千円
		追加工事	110,000千円
		②合計	120,000千円
	延長工期		約1年間
	間接的な影響項目		市道の封鎖(約1年間)、観測業務の長期化
	負担者		発注者
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	設計時	排土工を計画するにあたり、背後斜面の地質調査を行っていなかった。
		施工時	排土工施工中に、想定とは異なる地質、傾斜した層理面、湧水等が認められていたにもかかわらず、施工を継続した。
	対応(すべき)者		発注者、設計業者、施工業者
	対応(すべき)内容	設計業者	地すべり背後斜面での追加調査の提案、調査結果を受けての修正設計。
		施工業者	想定と異なる地質、傾斜した層理面、湧水等が認められた段階での発注者、設計業者との協議。
	判断に必要な情報		地すべり背後斜面の地質情報、地下水特性
	対応費用	調査	調査ボーリング(地すべり背後斜面) L=16m　標準貫入試験、簡易揚水試験
		対策工	—
		③合計	2,000千円
	想定工事	工事概要	地すべり対策工法として排土工を施工。排土後の斜面に侵食風化防止、小崩壊対策として簡易法枠工を施工。地下水排除工として横ボーリング工を施工。
		④工事費	110,000千円
		工期	当初と同じ
リスクマネジメントの効果	費用(((①+②)−(③+④))		68,000千円
	工期		1年短縮
	その他		市道封鎖期間の短縮、観測業務期間の短縮

［論文 No. 3］道路事業における地質リスク検討業務の事例

（株）ダイヤコンサルタント　関西支社　　○松村　法行
応用地質（株）　関西支社　　小松　慎二
中央開発（株）　関西支社　　田邊　裕明
国土交通省近畿地方整備局紀南河川国道事務所　　立田　安礼
国土交通省近畿地方整備局紀南河川国道事務所　　芝山　功

１．はじめに

道路事業は，構想から計画，調査・設計，施工，維持管理と段階的に事業が展開する。各段階で必要な事項は十分検討され慎重に事業は進められるが，施工段階や維持管段階で不具合やトラブルが発生することも少なくない。

そこで，施工時や供用後の法面崩壊など，地形や地質等を素因として生じる事象を「地質リスク」と捉まえ，設計，施工に地質リスクをあらかじめ反映させることで適切な対策を行うことを目的として，地質リスクの検討を行う業務が試行的に導入された。

ここでは,検討内容について事例的に紹介する。

２．事例の概要

今回，地質リスク検討業務を行った「すさみ串本道路」は，近畿自動車道紀勢線(南紀田辺～すさみ南：以下，紀勢自動車道)と連続し，紀伊半島沿岸部における大阪府から和歌山県南部地域を結ぶネットワークの一部を構成する 19.2km の自動車専用道路である（図 1)。異常気象時通行規制区間の解消，災害時の代替路確保等を主な目的として早期開通が望まれている道路であり，2014 年に事業化されて，本業務の実施時は予備調査・設計が行われている段階であった。

図１．すさみ串本道路位置図

本業務の流れを図 2 に示す。当時の段階での地質リスクの抽出・検討を行い，後続調査計画，詳細設計及び施工時への留意点をまとめ，結果として，想定されるリスクの最小化を目指した。

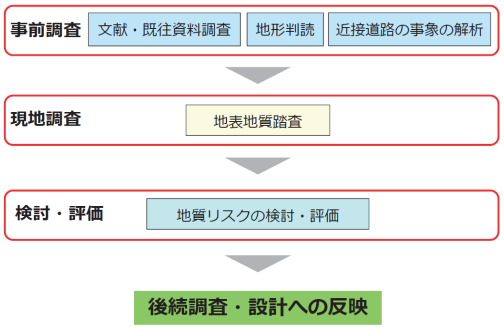


図２．地質リスク検討業務のフロー

３．事前調査

（１）文献・既往資料調査

文献にて大局的な地質状況を確認するとともに，既往調査結果を整理して事業地における地質リスクの検討資料とした。また，各既往調査資料で異なっていた地質の名称や分類，地層境界位置などを統一・修正し，現地踏査結果とあわせて，ルート全体を通した地質図を作成した。

（２）地形判読

地形判読では，地すべりや崩壊地形，断層地形等を判読した。特に航空レーザ測量データ（レーザープロファイラ：LP 図）を利用することで微地形の判読が可能となり，地形判読の精度向上を図った。

（３）近接道路の事象の解析

①近接道路の地質リスク発現状況

今回対象とした箇所の主な地質は，古第三紀の付加体である牟婁層群と，新第三紀の堆積岩である熊野層群からなっている。牟婁層群は主として砂岩，泥岩，チャートなどが複雑に重なり合った地層からなり，各所に褶曲や小断層などの地層の変形を伴っている特徴がある。熊野層群は牟婁層群より変形は小さいが，スレーキング性を有する特徴があった。

今回対象箇所に隣接し，同じ地質の分布域である紀勢自動車道（2015 年供用）では道路建設中に地すべりやクサビ崩壊等が複数箇所で発生し，一部の工事において対策費の増加や進捗の遅延につながった。また，那智勝浦道路（2015 年供用）では，自然由来の重金属を含有する地質に遭遇し，掘削ズリの処理を工事開始後に追加対策として行うこととなった。したがって，これらと隣接している「すさみ串本道路」においても，同様の地質を素因とする事象が発生する可能性が高いと考えられた。

②近接道路建設時の事象解析（切土法面）

施工時の法面変状は工事費の増加や工事進捗の遅延を招くだけではなく，安全管理上も重要な課題となる。ここでは，周辺道路建設時に特にリスクの発現による事業への影響が大きかった切土法面の事象について事例解析を行った結果を示す。

先に供用された紀勢自動車道では，施工した切土法面箇所全体の 17%，16 箇所で変状が確認され，うち 14 箇所は地質構造が流れ盤を呈する法面で岩盤崩壊が見られた（図 3）。なかでも，地質の流れ盤構造において，法面の見かけ傾斜 10～20° のもので変状発生が多かったことが判明した（図 4）。

また，すべり面に断層破砕帯や層理面沿いの破砕泥岩が狭在する場合も多く，大規模な変状のケースではすべて破砕帯の狭在が確認されていた。

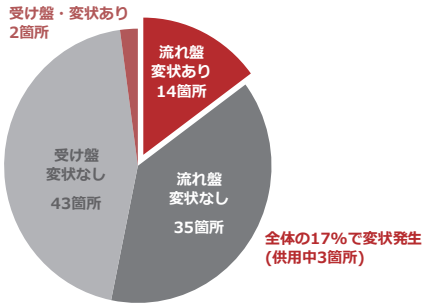


図３．見かけ地質構造別変状箇所

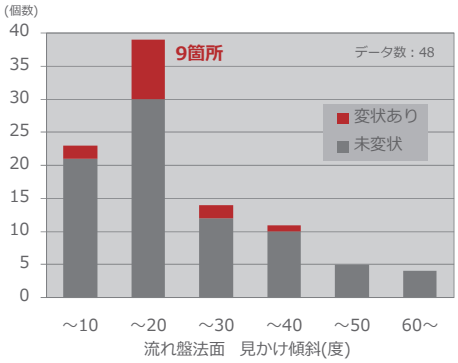


図４．見かけ傾斜別変状箇所

これらのことから，すさみ串本道路における切土時の地質リスク要因として以下の点に留意する必要があると判断した。

- 調査地の地質（牟婁層群・熊野層群）は流れ盤構造を素因とする切土法面崩壊が特徴である。土軟硬による評価のみでは地質構造的素因によるリスクを見逃す可能性が高い。
- 見かけ傾斜が 10～40° までの流れ盤構造の切土法面では変状・崩壊のリスクが高い。
- 断層破砕帯や破砕泥岩等の弱線をすべり面とする崩壊の発生も見られたことから，それら弱線が確実に把握できる良質なボーリングコアの採取が重要である。

以上より，切土法面の地質リスク抽出時は，①地質構造に着目した地表地質踏査と，②破砕帯の狭在の有無に着目した地表地質踏査を行い，その時点で確認できない部分については，後続調査計画に申し送りを行う必要があると考えた。

③近接道路の維持管理での事象

すさみ串本道路に並走する国道 42 号や近隣の県道における工事記録や点検パトロール日誌等から過去の被災事例を収集し，ルート沿いの地質特有の崩壊形態を整理した。その結果，維持管理の段階でも流れ盤構造における崩壊が発生しているほか，自然斜面や岩盤露頭からの落石，緑化不良による法面浸食等が確認された。

４．地表地質踏査

地表地質踏査では，地形判読で判読された地すべりや崩壊地形等と，地質分布やその構造などの現地確認を行った。また，地質リスク要因を漏れなく把握するため，踏査の範囲を十分に広く設定することに留意した。例えば，計画道路に接する斜面部（切土予定箇所）では尾根までとし，落石発生の有無や０次谷での崩壊源や土砂水の発生状況を確認することとした。また，谷部は土石流発生の可能性や，谷底堆積物の層厚や性状等を推定した。また，計画ルート全体の地質構造を把握することに留意し，露頭が不足する箇所では海岸露頭等の広域情報を収集し，解析精度の向上を図った。

５．地質リスクの検討・評価

（１）地質リスク要因の抽出

対象とした箇所で発現する可能性がある地質リスク要因を表１のように構造物別(切土，盛土，橋梁，トンネル）にタイプ分けし，リスク評価や留意点を整理した。

表１　地質リスク要因と構造物ごとの想定発現事象のタイプ分け

構造物 / 地質リスク要因	切　土	盛　土	橋　梁	トンネル
地すべり等 （岩盤崩壊、深層崩壊）	法面の不安定化 滑動誘起	滑動誘起 地下水位上昇	滑動誘起	坑口斜面の不安定化 断面変形 滑動誘起
崩壊地形 崖錐堆積物など	法面の不安定化	地すべりの誘発	支持層の不陸による強度不足	坑口斜面の不安定化
風化帯・ゆるみ帯	法面の不安定化	地すべりの誘発	支持層の不陸による強度不足	坑口斜面の不安定化
表流水、湧水、地下水	法面の不安定化 利水への影響	湿潤によるすべりの発生	仮設切土法面の不安定化 グラウチング材の流出 利水の影響	切羽の崩壊 利水への影響
集水地形	法面の不安定化 土砂水の流入	湿潤によるすべりの発生	－	坑口斜面の不安定化 土砂水の流入
浮石、転石	自然斜面からの落石	自然斜面からの落石	自然斜面からの落石	坑口への落石
流れ盤構造(断層、層理面、節理面、スラスト、低角度断層）	法面の不安定化	地すべりの誘発	仮設切土法面の不安定化	坑口斜面の不安定化 切羽の崩壊
高角度の受盤 （見かけ傾斜60°以上など）	法面の不安定化	－	仮設切土法面の不安定化	坑口斜面の不安定化
断層破砕帯、熱水変質脈、岩脈などの不連続面 （砕屑岩脈含む）	法面の不安定化	地すべりの誘発	支持層深度の急変 仮設切土法面の不安定化	出水による切羽の不安定化 利水への影響
特異な水理地質構造 （水ミチなど）	法面の不安定化	湿潤によるすべりの発生	仮設切土法面の不安定化	出水による切羽の不安定化 利水への影響
スレーキング	法面の不安定化 （遅れ破壊）	法面の不安定化 圧縮沈下	－	覆工の変状 路盤の膨張
軟弱地盤	－	沈下、側方流動 液状化	沈下、側方流動 液状化 地盤改良範囲、工法の変更	坑門工の沈下、側方流動 液状化
支持層分布 （土軟硬分布）	法面の不安定化 （不適切な切土勾配）	不同沈下	定着不足	支保の大幅変更
土石流堆積物 （渓床・渓岸堆積物など）	土石流、土砂水の流入	土石流・土砂水の流入 横断管閉塞による排水不良	物性値のバラつき 玉石等との遭遇による施工機械の不適合	坑口法面の不安定化
有害物質 （硫化鉄物、重金属含有鉱物）	土壌汚染材料の拡散 植生不良	土壌汚染 地下水汚染	－	土壌汚染材料の拡散

（2）地質リスク評価手法の検討

事業期間や事業費に多大な影響を与える可能性のある地質リスクに対しては早期にリスク対応方針を決めておき，リスクの分析による不確実性の評価と，優先度を決めることが重要となる。

道路事業における地質リスク評価事例はほとんどないことから，一般的なリスクマネジメントの手法を取り入れ，土木学会や地質リスク学会等の既往文献によるリスク評価手法を参考に，リスク対応策(保有，低減，回避)を作成した。

① リスクランクの設定

一般的なリスクマネジメントでは，リスクへの対応として「保有」「低減」「回避」「移転」がある。このうち，「移転」は保険を掛けるなどでの対応であり，道路事業への対応が難しいため，「保有」「削減」「回避」について表 2 のとおりリスクランクを定義した。

今回の検討では地質リスクランクをできる限り客観的に定量評価するため，既往文献を参考として「影響度」×「発生確率」でマトリクス表（図 5）を作成して評価した。

表２．本業務における地質リスクランク定義

手法	リスクランク	想定事象と対応方針	発現事象の例
回避	AA	**計画可能な工法による対応が困難**である．通常容認される以上の事業費がかかる．⇒**路線を変更**等を行う．	・**大規模な地すべり**が発生し，計画可能な対策工での対応が困難．
低減	A	**構造形式の変更**や，安全性が低下する可能性がある．⇒**詳細な調査**を行い，完全なリスク低減を講じる．	・支持層が予定より深く基礎形式が変更．
低減	B	軽微な追加対策や，対策範囲の変更により対応できる．⇒**通常の調査**を行い，結果に応じて対策工を行う．	・崖錐堆積物層の分布範囲が広くなり鉄筋挿入工の範囲が変更．
保有	C	**事前の低減対策等の必要性が低い**ため，施工段階リスクを保有する．(構造物の規模が小さいものを含む)	・擁壁基礎地盤にわずかな不陸があり置き換えにより対応した．

② 影響度の設定

影響度は，土木学会(2010)[1] の事例では「費用(コスト)」と「期間」で，地質リスク学会の事例では「衛生面と安全面」「イメージと世評」「環境」「利害関係者の関心」「コスト」「期間」で評価され，それぞれに点数が割り振られている。今回の検討では「費用」「期間」「安全」「環境」の 4 項目について，文献を例に基本方針(めやす)を設定し，各事象(落石，崩壊，土石流，支持地盤の不確実性など)の閾値を決定した。

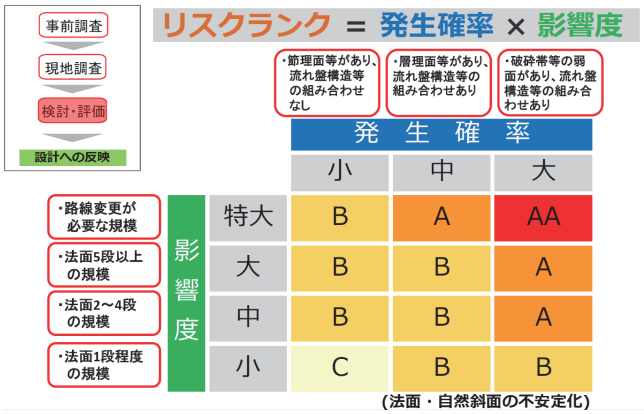


図５．リスクランク設定例

③ 発生確率の設定

発生確率は，土木学会や地質リスク学会の事例では「%」と「確率年」で評価されている。一方，%や確率年の設定は多くの事例が必要であり，現段階で今回の検討に合わせた解析は難しかったため，本検討では紀勢自動車道での事例に加え，各技術指針等を参考に，個別に発生確率を整理した。

６．地質リスク評価結果

地質リスク評価結果は，地質リスク管理表として，地質図，地質リスク要因，発現事象，リスクランク，リスク措置計画等を一覧表として整理した。特に，地質リスク発生要因の位置や事象，検討項目や検討結果などが一目でわかるよう，地質リスクマップとしてまとめた（図 6）。記述する項目は，①地質の種類および地質構造，②地質リスクの種類および保有地区，③リスクのランク，④留意点および必要な対応策などを記述した。

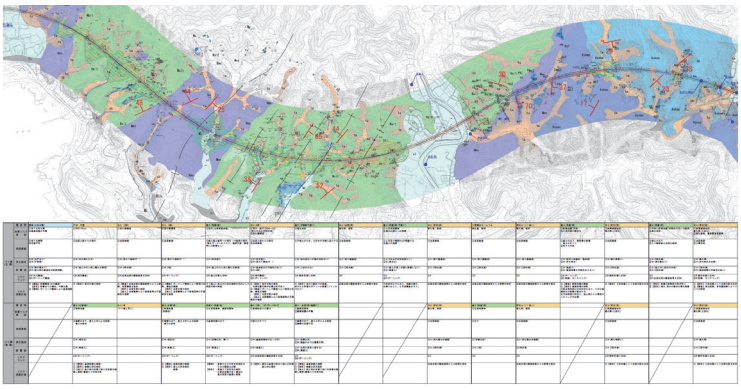


図６．地質リスクマップ（例）
※上段に地質図，下段に各計画構造物別に地質状況やリスク評価，留意点および対応策等を記述

表３．要因別地質リスクランク結果

（単位：箇所）

リスクランク	法面・自然斜面	土石流	落石	支持地盤	沈下・液状化	地下水・土壌汚染	合 計
A	8	0	4	0	0	2	14
B	96	13	24	50	19	27	229
C	39	2	16	22	11	12	102
合 計	143	15	44	72	30	41	345

なお，すさみ串本道路では全線を通じて，リスクランク「回避：AA」の箇所はなかった（表 3）が，リスクランク「低減：A」の箇所は 14 箇所あり，これらの箇所では事前に詳細な調査を実施して地質リスクを把握し，リスクランクを低減する必要があると考えた。特に，法面・自然斜面のリスクランク「低減：A」の 8 箇所はいずれも流れ盤構造を素因とした地すべり発生リスクが高い箇所と判断した。紀勢自動車道での経験を踏まえ，対策が必要となる可能性が高く，事前に変状を予測して予め対策を行うことにより，工事遅延，工事対策費の増加を防ぐことができると考えられることから，地質リスク評価と並行して実施した予備設計に反映させることとした。

７．後続調査計画

切土や盛土区間の地質調査では，ボーリングによる土軟硬確認に主眼が置かれることが多く，地域特有の地質に対する検討プロセスは統一されていない。そこで，今回の地質リスク検討では，地質リスク評価の結果を踏まえ，構造物ごとに予想されるリスクを考慮した調査地点，調査方法を提案した。

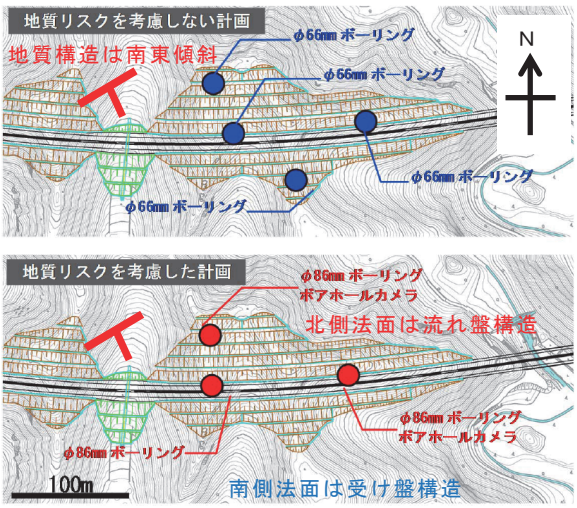


図７．長大切土法面での後続調査計画例
（図面上の切土法面が流れ盤構造になる）

図 6 に本検討で提案した長大切土法面での後続調査計画例を示した。この法面では，地表地質踏査により熊野層群の砂泥互層の層理面が南東傾斜で出現することが推定された。さらに露頭の一部では層理面沿いに破砕帯を狭在しており，北側の法面では見かけ傾斜が 16° 前後の流れ盤構造を呈すると推定された。通常の調査では，北側南側の長大切土予定地に合計 4 箇所のボーリング調査を計画するこ

とが想定されるが，地質リスク評価を踏まえた今回の後続調査計画では，周辺の熊野層群の地質構造は連続性がよく，南側法面が緩傾斜の受け盤構造となることから，南側のボーリングは省略できると判断した。また，北側の法面では，高品質ボーリング(φ86mm)とボアホールカメラ(孔内画像撮影)を実施することにより，見かけ傾斜の取得と弱面の有無を確認する計画とした。これにより，コストを縮減した上で，対策工検討に必要な地質情報を取得することができると考えた。

８．マネジメントの効果（リスクの計量化）

今回の業務のように事例解析や地表地質踏査の結果で抽出した地質リスクを設計へ反映することにより，構造物ごとに予想される地質リスクを踏まえ，後続調査計画を策定することにより，精度向上とコスト縮減だけでなく，その後の施工や維持管理段階での損失を回避する効果も大きいと考えられる（表 4)。

表４．マネジメント効果について

想定ケース	想定される対応
① 地質リスク検討は行わず，調査を行う場合	・各工区ごとに発注される調査業務において，地質リスクへの対応（調査方針）が設定されず，ボーリング結果からの解析となる。 ・地域特有の地質リスクを設計や施工へ十分に反映できない可能性がある。
② 地質リスク検討を実施した上で，調査を行う場合	・地質リスクを踏まえた調査（大口径ボーリング，ボアホールカメラ等）を実施し，地域特有の地質リスクを把握できる。 ・地質リスクを適時，設計や施工，維持管理に反映させることができる。
リスクマネジメントの効果	予定外の工事費増加の抑制，工事進捗遅延の予防

９．おわりに

道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成 21 年度版)には，すべりの可能性がある場合は「詳細な調査が必要」とされている。

今回の地質リスク検討では，広域的な地質状況を把握した上で，地域に特有な地質リスクを抽出し，詳細調査が必要な箇所の抽出や，対応優先度の検討を試行的に行った。今後も調査－設計－施工－維持管理へと移行する各段階において地質リスク検討箇所の状況・影響等を確認し，本検討が有効なものであったのかを検証していく必要がある。

〈参考文献〉

1) 土木学会：道路事業におけるリスクマネジメントマニュアル(Ver.1),2010.3
2) 地質リスク学会：地質リスクマネジメント体系化委員会　報告書,2014.12
3) 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：地質リスクマネジメント入門,2010.4
4) C.R.I.Clayton：ジオリスクマネジメント-地質リスクマネジメントによる建設工事の生産性向上とコスト縮減-,英国土木学会(編集)全国地質調査業協会連合会(翻訳),古今書院,2016.12

［論文No.4］地質リスク評価を目的とした文献調査による災害発生確率の検討事例

中央開発株式会社　関西支社　　○田邊　裕明
国土交通省近畿地方整備局　紀南河川国道事務所　　立田　安礼
国土交通省近畿地方整備局　紀南河川国道事務所　　芝山　功
中央開発株式会社　関西支社　　東原　純

１．はじめに

リスクマネジメントとは、一般的には、想定されるリスクの特定、リスク事象の発生確率（発生頻度）と影響度の積からリスクレベルを評価、リスクのレベルに応じた対応を検討・実施する一連の過程や、あるいはリスクによる被害を最小限に抑える活動とされている。

地質リスク事象のリスクレベルを評価する場合に用いる、発生確率を求めることを目的として、対象地域の県誌や町史、自治体の防災計画資料等の一般に公開されている文献資料を収集して、地質リスク事象の発生確率を求めることを試みた事例について報告する。

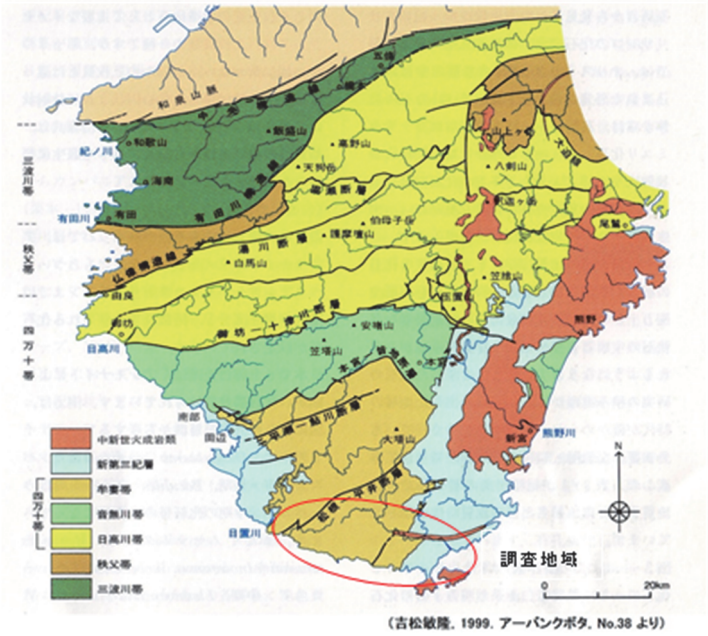
２．事例の概要

地質リスク評価の対象となる計画道路は紀伊半島の南部の海岸線に沿って計画されている自動車専用道路であり、道路構造物は橋梁、トンネル、切土、盛土が計画されている。

計画道路は延長 20 km近くあり広範囲である。分布地形は**「山地」・「丘陵地」・「段丘」・「三角州及び海岸平野」**と地形区分も多様である。

紀伊半島における地質は、中央構造線に平行な東西性の伸長方向を示して帯状に、**三波川帯・秩父帯・四万十帯**の順に配列している（図 1）。紀伊半島の中央部から南部は四万十累帯が広く分布しており、北から南へ**日高川帯、音無川帯、牟婁帯**の 3 帯に区分されている。これらはいずれも、海洋プレートと大陸プレートの下に沈み込む際に境界となる海溝の陸側に形成される地質構造であり**「付加体」**と言われる。

また、紀伊半島の南端部には、付加体の上部のくぼみに土砂が堆積した**「前弧海盆堆積体」**と言われる**田辺層群**と**熊野層群**も分布している。当該業務地域では、西側に**「牟婁層群」**が、東側に**「熊野層群」**が分布しており、太地、玉の浦から一雨までの古座川中流域を結ぶ谷に沿って、熊野層群を貫いてほぼ東西に伸びる弧状の**貫入火成岩体（花崗岩・凝灰岩）**が存在する。



（吉松敏隆，1999，アーバンクボタ，No.38 より）

図.１　紀伊半島の地質区分

このように対象範囲が広域であり、分布地形・地質も多様であることから、想定される地質リスク事象は多岐に渡ることが想定された。公開されている文献資料から災害履歴を調査することにより、過去に発生した災害の種類や発生間隔についての文献調査を行い地質リスク事象の発生確率を求めることを試みた。

３．事例分析のシナリオ

文献調査を行うにあたり、当初の想定した地質リスク事象としては、当該地の地形・地質条件から、台風や集中豪雨を誘因とする斜面崩壊を含めた広義の地すべりや土石流などの土砂災害と洪水災害を想定した（図.2）。また、当該地の周辺では内陸部の活断層分布は確認されないが、南海トラフ地震の影響圏であるため、地震による災害として地盤の液状化や津波災害を想定した。これらを含めた災害記録を県誌や町史などの公開文献から抽出して、災害の種類と発生頻度について調査を行うこととした。

ただし、道路に対する地質リスク要因としては、土砂災害に関するものが主体となると考えられるため、土砂災害についての災害発生頻度に着目して検討を行った。

また、土砂災害の誘因となる降水量については文献中の降水量に関する記録や過去のアメダスデータも合わせて整理することにより土砂災害発生との関係を調べることとした。

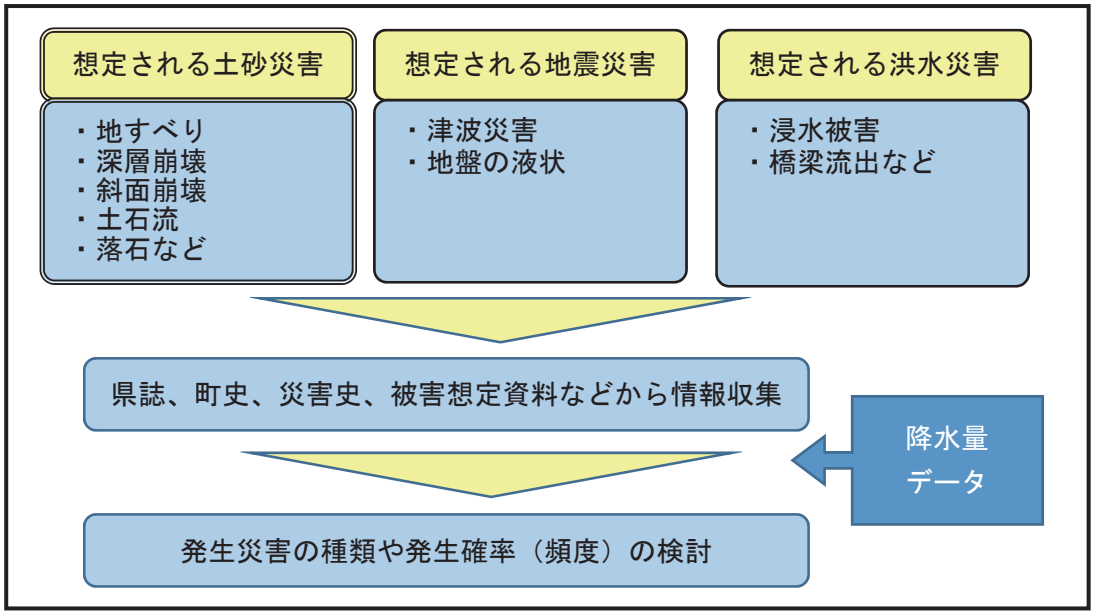


図.2　事例分析シナリオのイメージ

４．データ収集分析

(1) 収集資料

収集した資料は大きく区分すると、①県誌や町史と②被害想定資料と③気象データである。

① 県誌、町史等

地質リスク事象の種類と発生確率を検討するために収集した、県誌や町史等は参考文献 1)～9）に示している。県誌、町史からは、災害発生年や災害の種類や規模のデー

タを収集した。これらの資料から得られた災害関係のデータでは被災箇所の詳細な特定は困難であるが、おおよその被災地区、災害規模、発生日時情報を収集することが出来た。

また、各資料により記載されている災害記録の年代に差はあるが、古いものでは室町時代（1407 年）の災害記録を記載したものあるが、概ね明治時代以降に発生した災害が記載の主体である。ある程度詳細な情報は昭和時代、特に第二次世界大戦後に発生した災害についてのものとなる。

町史ではその他に地質リスク事象のうちで、土壌汚染や地下水汚染に関わる有益な情報として、すでに閉山した鉱山や小規模な鉱床について記載されている場合もあった。

② 被害想定資料（ハザードマップ含む）等

収集したハザードマップを含めた被害想定資料は参考文献 10)～15）に示している。

被害想定資料では、南海トラフ地震による想定震度や想定津波高が記載されている。

例えば、道路計画段階での最低計画道路高の検討に用いることにより、津波被害を避ける計画立案が可能となる。

収集したハザードマップには、土砂災害、洪水災害（浸水被害）について記載されていた。土砂災害ハザードマップは、地すべり防止区域や土石流危険渓流などの土砂災害が発生する危険性がある箇所を記録したものであるため、災害発生確率検討に直接的な利用はできなかった。しかし、個々の計画道路構造物に対して影響する可能性がある地質リスク事象や、広域的に発生する可能性がある地質リスク事象を机上で見当をつけるには有効な資料になると考えられる。

③ 降水量データ（アメダスデータ）

降水量データについては、先に述べたように収集した県誌や町史に記載された記録とアメダスデータを検討材料とした。アメダスデータについては、1913 年 1 月（大正 2 年）からの日降水量データ、1937 年 1 月（昭和 12 年）からの 1 時間降水量のデータがあり、計画地域内で最も観測開始時期が古い気象庁潮岬観測所のデータを用いて、文献資料に記録がある土砂災害発生日の前後の日降水量データを整理して、土砂災害発生時の降水量検討に用いた。

(2) 災害発生記録

収集資料から得られた災害発生記録は、文献に記載されている応永 14 年 12 月以降から平成 23 年 9 月までの期間の地震災害、風雨災害（土砂災害、洪水災害、強風被害）について時系列に整理した。整理した結果は表.1 に示すとおりである。

(3) 災害発生時の降水量記録

収集・整理した降水量データについて、土砂災害、洪水災害発生時の日降水量と連続降水量、１時間ごとの最大降水量を整理したものを表.2 に示す。

(4) 災害発生確率の検討

災害記録を整理した表.1 と降水量データを整理した表.2 をもとに地震災害、風雨災害について分析した結果は、以下に示すとおりである。

表.1　文献記載災害記録一覧

西暦	年号	月 日	災害区分					概要
			地震		風雨			
			津波被害	地震被害	土砂災害	洪水被害	強風被害	
1407 年	応永14年	12月		○	○			山崩れ、家屋倒壊の記載
1442 年	嘉吉2年	8月20～25日				○		家屋損壊、浸水、氾濫の記載
1455 年	康正2年	12月30日		○				家屋損壊
1487 年	長享元年	8月9日				○		家屋流出
1498 年	明応7年	6月11日		○				強震あり、被害不明
1498 年	明応7年	8月25日	○	○				沿岸部高潮で滅亡
1520 年	永正17年	3月7日		○				家屋損壊
1538 年	天文7年	1月27日						被害不明
1605 年	慶長9年	12月16日	○					大津波あり。
1652 年	承応元年	2月9日			□	○		水死者、船流出。 すさみ町　山津波伝聞
1653 年	承応2年	6月6日				○		水死者、材木流出。
1664 年	寛文4年	6月12日		○				新宮の城崩れる。
1674 年	延宝2年	6月14日				○		水死者。
1703 年	元禄16年	11月	○	○				津波、家屋損壊
1707 年	宝永4年	10月4日	○□	○				津波、家屋損壊、崖崩れ
1788 年					□			すさみ町　山津波　伝聞
1808 年	文化5年	7月25日					○	家屋損壊、立木傾倒
1848 年	嘉永元年	8月8～9日				○		浸水等
1854 年	安政元年	6月13日		○				家屋損壊
1854 年	安政元年	11月4日	○	○				家屋損壊、津波（突波）
1869 年	明治2年	7月12～13日						長雨、暴風雨　稲作被害
1870 年	明治3年	9月7日				○	○	家屋損壊、激波
1870 年	明治3年	9月18日				△		河川氾濫
1876 年	明治11年	12月24日					○	漁船沈没
1881 年	明治14年	9月13日				○	○	家屋損壊、流出
1884 年	明治18年	7月1日						被害不明　新宮降雨519.3mm
1889 年	明治22年	8月18日			○	○□		十津川水系の山崩れ、熊野川氾濫　すさみ町伝聞
1893 年	明治26年	8月17～18日			□	□		台風、周参見川欠損
1896 年	明治29年	9月3～11日				○		新宮　累積雨量528.1mm
1910	明治43年	5月10～11日					△	道路、橋梁損壊
1912 年	大正元年	9月22日					□	家屋、船舶被害　台風による高潮
1921 年	大正10年	9月25～26日				○		台風　家屋流出
1925 年	大正14年	8月17日				○		熊野川浸水、太田川出水甚だしい
1926 年	大正15年	9月4日				○	○	台風、東牟婁軍は家屋流出、破壊、山林、道路、橋梁被害多い 色川で雨量257mm
1926 年	大正15年	12月7日					○	暴風雷雨、難破船続出
1929 年	昭和4年	10月25～26日			○	○		色川累積雨量598.2mm、色川村山崩れ
1934 年	昭和9年	9月21日				□	□	室戸台風　県下で死傷者465名　すさみ町家屋被害、船舶流出
1938 年	昭和13年	8月1～2日				▲		台風で古座川橋流出
1939 年	昭和14年	9月						新宮総雨量641mm、潮岬雨量が開所以来の記録
1939 年	昭和14年	10月15～17日				○▲		豪雨と大洪水　下里で全雨量702mm　古座川橋流出
1944 年	昭和19年	12月7日	○	○▲				東南海地震　那智勝浦、太地、串本は津波で大被害
1946 年	昭和21年	12月21日	○▲□	○				南海地震　大津波　被害大　古座橋流出
1947 年	昭和22年	7月18～22日				○●		色川総雨量470mm、大田村大被害
1948 年	昭和23年	9月16日				○		太田水害
1948 年	昭和23年	11月16～19日				○		アグネス台風　太田は3度の泥海化
1949 年	昭和24年	7月5～6日			□	○▲□		太田橋を初めほとんどの橋が流失　色川の雨量400mm越え　すさみ町水害
1950 年	昭和25年	9月3日			▲	▲□	□	ジェーン台風　色川で総雨量412.8mm　古座川町では県道、町道、林道被害　橋梁流出
1953 年	昭和28年	6月29日			□	□		すさみ町28～29日にかけて雨量200mm　すさみ町周参見川氾濫、道路、橋梁被災、山崩れもあり
1953 年	昭和28年	7月17～18日				○□		一八水害　紀南地方の24時間雨量100～200mm　太田村被害
1953 年	昭和28年	9月25日				□		台風13号　すさみ町道路損壊12か所
1954 年	昭和29年	6月22～23日			○	○		暴風雨により山崩れ、土砂崩れ、河川増水や氾濫　雨量349mm
1954 年	昭和29年	9月17～18日			○			台風14号　6時間雨量248.3mm、総雨量398mm、色川村山崩れ
1955 年	昭和30年	7月23日				□		すさみ町　県道、国道の橋が流出　道路、農地も被害
1956 年	昭和31年	10月30日			○			集中豪雨　新宮市高田地区山津波
1958 年	昭和33年	8月25日						すさみ町　台風17号被害　災害救助法適用
1959 年	昭和34年	9月23～26日				□	□	伊勢湾台風　雨量は南部沿岸2～300mm、山間部で4～600mm　被災詳細不明　すさみ町橋梁流出、家屋倒壊 災害救助法適用
1960 年	昭和35年	5月24日						チリ沖地震津波
1961 年	昭和36年	6月24～29日				○	●	六月豪雨　降雨量は色川で643mm、浸水や道路、堤防決壊
1961 年	昭和36年	9月16日					●	すさみ町　室戸第二台風で災害救助法発動
1962 年	昭和37年	7月27日						台風17号　色川雨量625mm　災害詳細不明
1962 年	昭和37年	8月25～26日						台風14号　色川雨量258mm　勝浦湾桟橋流没　その他不明
1967 年	昭和42年	10月27日				●	●	すさみ町　台風34号
1979 年	昭和54年	10月17日				○●		台風20号　浸水被害
1982 年	昭和57年	7月25日				□●		すさみ町　集中豪雨
1982 年	昭和57年	8月1日				○		台風10号　浸水被害
1986 年	昭和61年	9月17日				○●		秋雨前線の大雨　雨量258mm　堤防決壊
1988 年	昭和63年	2月25日			○	○		低気圧の大雨　新宮市で1時間雨量133mm　土砂崩れ　橋流出　浸水被害　降水データと不整合。日時誤記載
1988 年	昭和63年	9月25日				○●		連続雨量300mm　堤防決壊
1990 年	平成2年	9月19日			▲	□	○●	台風19号　強風被害の記載　古座川町では道路、崖崩れ
1990 年	平成2年	9月30日			▲	●	●	古座川町　道路被害
1991 年	平成3年	1月4日			□			国道42号　見老津　崖崩れ　原因不明
1994 年	平成7年	10月2日			○			新宮市では連続降雨量297mm　新宮市で土石流
1997 年	平成9年	7月25日						台風9号　累積雨量268mm　災害記載ない　すさみ町河川増水
1998 年	平成10年	9月22日					□	すさみ町　家屋被害
2001 年	平成13年	8月20～22日			▲？	▲		古座川町　台風11号　累積雨量634mm　時間最大63mm　道路橋梁被害39か所（洪水、土砂災害区分不明）
2011 年	平成23年	7月19日			□	□		すさみ町　台風6号　河川氾濫　土砂崩れ
2011 年	平成23年	9月2日				□		すさみ町　台風12号　橋梁被害　道路陥没

○：日刊南紀新聞の記載（新宮市周辺に比重）
□：すさみ町関係資料の記録
△串本町関係資料の記録
●：那智勝浦町関係の記録
▲：古座川町関係の記録

①　地震災害の特徴

・家屋の倒壊などの被害頻度が、津波による被害より発生頻度が高い。

・津波災害は収集資料から 1498 年、1605 年、1703 年、1707 年、1854 年、1944 年

表.2　土砂災害、洪水災害記録時の降水量データ

土砂災害、洪水災害発生記録日	日降水量(mm)	連続降水量(mm)	1時間最大降水量(mm)
1929年10月25～26日	290.3	371.7	
1949年7月5～6日	161.2	883.5	9.0
1950年9月3日	56.0	224.7	19.5
1953年6月29日	154.0	414.8	57.0
1954年6月22～23日	138.9	138.9	33.1
1954年9月17～18日	109.4	443.0	36.2
1990年9月19日	142.0	317.0	39.5
1990年9月30日	125.5	222.5	46.5
1994年10月1日	124.0	138.0	23.5
2001年8月20日	293.5	324.0	37.0
2011年7月19日	175.5	208.0	25.0
平均	160.9	335.1	32.6
最大	293.5	883.5	57.0
最少	56.0	138.0	9.0
洪水災害発生のみ記録日	日降水量(mm)	連続降水量(mm)	1時間最大降水量(mm)
1921年9月25～26日	21.7	71.9	
1925年8月17日	62.2	215.2	
1926年9月4日	164.7	194.6	
1934年9月21日	34.7	65.2	
1938年8月2日	41.9	365.0	8.4
1939年10月15～17日	420.7	585.4	112.5
1947年7月18～22日	158.0	305.2	62.0
1948年9月16～19日	29.8	129.6	9.0
1953年7月17～18日	192.9	312.8	45.0
1953年9月25日	152.9	226.5	31.8
1955年7月23日	227.6	361.7	70.2
1959年9月23～26日	120.6	226.3	16.3
1961年6月24～29日	252.1	359.5	53.2
1967年10月27日	405.6	427.2	109.8
1979年10月17日	96.5	152.5	20.5
1982年7月25日	138.5	175.0	28.0
1982年8月1日	148.5	150.0	25.0
1986年9月17日	158.0	247.5	57.5
1988年9月25日	206.5	386.5	68.0
2011年9月2日	129.0	160.0	12.0
平均	158.1	255.9	45.6
最大	420.7	585.4	112.5
最少	21.7	65.2	8.4

※災害記録日付近の最大値を記載。日時誤記、原因不明なものは除く

1946年に発生しており、概ね100～150年の間隔で津波を伴う地震が発生している。

② 風雨被害の特徴

・土砂災害と洪水被害を見ると、土砂災害は洪水災害と同時に発生した記録が多く土砂災害単独で記録されている事例は少ない。

・土砂災害や洪水災害の発生は雨量と明確な相関性を有している。

・風雨災害については地震津波のように発生間隔の規則性は見られない。

・洪水被害については同じ箇所が繰り替えし被災する傾向が見られる。
・**土砂災害**については、記録がある 1407 年から 2011 年の 604 年間で 18 回の発生が記録されており **概ね 34 年間に 1 回の頻度**で発生したことになる。
・**洪水災害**については、記録がある 1407 年から 2011 年の 604 年間で 43 回の発生が記録されており**概ね 14 年間に 1 回の頻度で発生**したことになる。

③ 土砂災害発生確率の考察

洪水災害では河川堤防の決壊による浸水被害に代表されるように影響範囲が広く、罹災者が多くなるため災害記録として残りやすい傾向があると推察され、土砂災害については局所的な被害で罹災者が少ない傾向がある場合も多いと考えられる。また、人目につかない山中の土砂災害については発見されないため、記録に残っていないことが考えられる。洪水災害も土砂災害も発生時の降水量は同様であるため罹災者がいない土砂災害は洪水災害と同様な頻度で 14 年に 1 回程度発生している可能性が考えられる。

５．マネジメントの効果

今回試行した資料収集整理と検討の結果から、地質リスク評価に用いるリスク事象の発生頻度（発生確率）を求めることは困難であると考えられる。ただし、これらの資料収集整理・検討の有効性として、以下の事項が挙げられる。

発生計画初期段階で被害想定資料や洪水ハザードマップを用いることにより、地震時の津波や洪水時に計画構造物が被害を受けることを回避することが可能になると考える。

土砂災害ハザードマップを収集・検討することで、対象地の周辺の地形・地質特性により潜在的に発生する可能性がある地質リスク事象の抽出に有効と考える。

また、現地踏査前の机上調査に用いることで、効率的な地質リスク事象の抽出に有効でもあると考える。

町史などの文献資料収集と過去の気象データを用いた検討で、対象地域内での土砂災害発生の頻度と、土砂災害が発生する降水量の傾向について想定することができた。

６．データ様式の提案

今回の事例報告は文献調査による地質リスク事象の発生確率の推定を試みたものでありデータ様式の作成は実施できていない。

<参考文献>

1）和歌山県(1963)：和歌山県災害史. 2）和歌山県(1993)：和歌山県史 全 24 巻のうち近現代二. 3）那智勝浦町(1980)：那智勝浦町史 上巻. 4）太地町(1979)：太地町史. 5)古座川町(2013)：古座川町史通史編. 6）串本町(1924)串本町誌 皇太子殿下御慶典記念. 7)和歌山県(1914)：和歌山県誌上巻. 8)国土交通省近畿地方整備局(2013)：2011 年紀伊半島大水害記録. 9)南紀新聞社：日刊 南紀州新聞 平成 13 年 9 月 6 日. 10)すさみ町(2014)：すさみ町津波ハザードマップ. 11)すさみ町(2014) すさみ町地域防災計画 H26 年度版. 12)串本町(2015)：串本町津波防災地域づくり推進計画 H27. 13）串本町(2006)：串本町津波防災対策基本計画 H18. 14）那智勝浦町(2008)：那智勝浦町地域防災計画 H20. 15）和歌山県：わかやま土砂災害防災マップ sabomap.pref.wakayama.lg.jp/MZSMWakayama/default.htm

［論文 No.5］ 泥岩地帯の切土のり面工事中に発生した地質リスク事例

株式会社ダイヤコンサルタント北海道支社　○近藤　桂二
原　　享
渡辺　一樹

１．事例の概要

本事例の工事対象路線である道路は、道路改良工事が開始され、ルート変更による回避が困難な施工段階において、切土のり面変状の発生から地すべりの地質リスクを想定・認識し、調査提案、対策工施工により地質リスクの発現を最小限に回避した事例である。

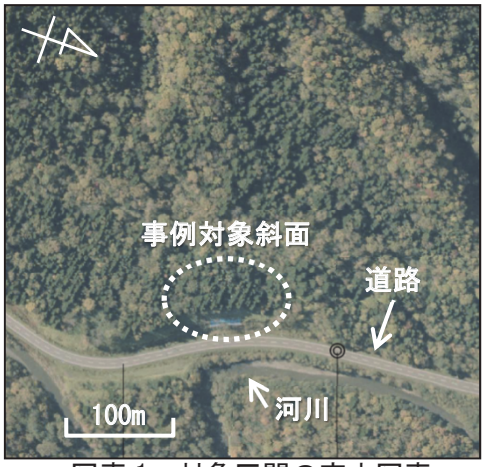


写真１　対象区間の空中写真

地質リスクが顕在化した対象斜面の地質は、中生代白亜紀の泥岩を基盤岩とし、その上位に段丘堆積物、崖錐堆積物などの未固結堆積物が分布している。対象斜面の地形は丘陵地に挟まれた河川沿いの道路斜面であり、高さ最大 13m 程度、勾配約 40 度の切土のり面である。のり面には当時のり枠工が施工されていたが、一部で土砂が流出していた。背後斜面は傾斜 15～20 度のほぼ一定勾配の緩斜面地形である。

当該箇所は、新たな道路改築工事（落石対策）として切土のり面整形＋のり面保護工（のり枠工）が計画され（図1）、平成25年度に対策工事が実施された。

切土工事中にのり面に変状が発生したため（写真2）、筆者らはその知らせを受け現地へ急行し、応急対策と地質リスクを想定した調査計画を助言・立案し、その後に判明した地すべり活動に対する安定解析・応急対策の検討、のり面監視方法立案・定点観測、恒久対策設計に携わった。現在は恒久対策工が無事施工され、新たな問題は発生していない。

本事例では、切土工事中に地質リスク（地すべり）を推定・特定し、応急・恒久対策を施工できたが、地すべりの想定をせずに単にのり面の変状と捉えていた場合、地すべりの存在を認識できたチャンスを逃し、斜面崩壊＋後背の地すべり不安定化 ⇒ 道路に多量の土砂流出 ⇒ 人災の発生に繋がっていた恐れも否定できない。

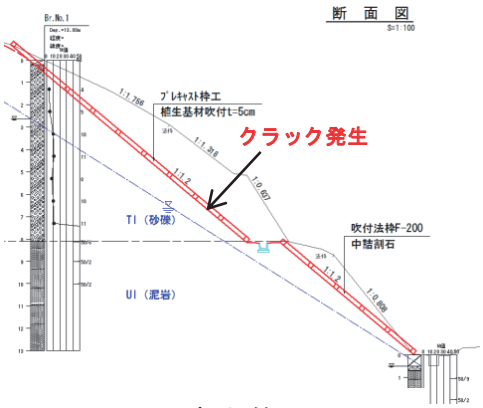


図１　当初対策工断面図

写真２　切土法面に発生した変状

２．事例分析のシナリオ

本事例は、当初調査段階で持ち越された地質リスクが切土施工時に発現し、それに対応した事例であり、発現したリスクを最小限に回避した事例(C 型)に分類される。

事例分析のフローを図 2 に示す。

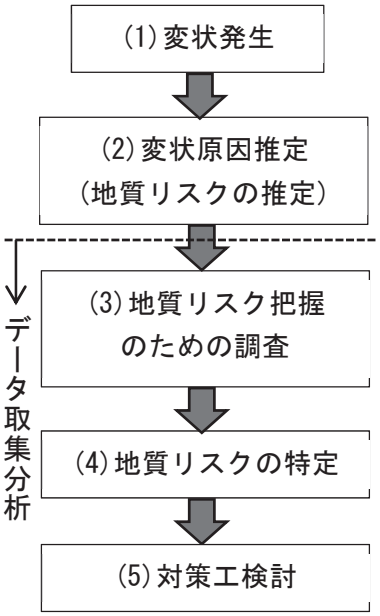


図 2　事例分析のフロー

(1) 変状発生

切土のり面施工中(切土勾配 1:1.2)にのり面にクラック・はら見出しや法肩で最大 40cm 程度の開口クラックが生じるなどの変状が発生したため、発注者から防災カルテ点検業務を請け負っている筆者らに相談があった。

(2) 変状原因推定(地質リスクの推定)

筆者らは詳細な地形･地質情報を取得するため､既往文献、地形図による地形分析、空中写真判読、既往調査結果の把握等の机上調査とともに､地表地質踏査の現地調査を実施した。その結果、下記に示す状況を確認したため、本変状原因は地すべりによる可能性が高いと判断した。

①既往文献(北海道の地すべり地形(1993), 山岸宏光編, 北海道大学図書刊行会より)では、調査地域周辺はいくつかの地すべり地形が抽出されていた。

②空中写真判読の結果、後背斜面上に比較的明瞭な滑落崖が形成されており、7 つのブロックで形成された地すべり地帯の可能性が高いと判断した(図 3)。

③現地踏査の結果、のり面の背後には集水地形による沼地と滑落崖が存在していた。

(3) 当初調査段階で地質リスクを認識できなかった原因(推定)

本事例のように、切土のり面の施工中に変状が発生する事例は少なくない。調査・設計段階で認識できなかった地質リスクに対して、何故認識できなかったのかを推察することは、今後、事前に地質リスクを把握できる良い事例となるため、以下に推察する。

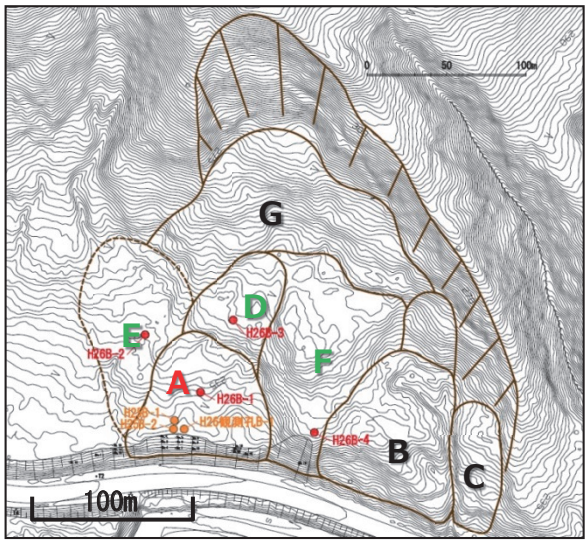


図 3　対象区間の地すべりブロック区分図

①先入観による地質リスクの見誤り

他社が切土施工前に実施した地質調査報告書では“対象斜面の上部自然斜面では立木の根曲がりもないこと、道路の変状、河川の流路変形等も見られないことから対象のり面近辺の斜面は地すべり地形ではないと判断される”と述べられており、地すべりの存在を地質リスクとして認識できていなかった。当時の判断では、既往文献には本箇所は地すべり地形として抽出されていないこと、道路防災カルテでは“地すべり”ではなく､”落石・崩壊(ランクⅠ)“箇所であったことなどの情報により、当該地は地すべりではないというバイアス(先入観)が働いていた状態で現地踏査等を実施していたのではと推測される。

②ボーリングコアの品質

当該地区は基盤岩の上位に未固結の段丘堆積物(砂礫)の分布が想定されていたため、無水掘りによるコア採取を実施していたものと思われる(コア写真がないため想定)。少しでも地すべりの可能性を疑い送水掘りによりコアの品質を高める努力をしていれば、鏡肌等の情報がコアの観察から入手でき、地すべりの存在を認識できていた可能性がある。

３．データ収集分析

(1)パイプ歪計・地下水位観測結果(地質リスク把握のための調査・地質リスクの特定)

当該区間は当時、変状原因追究のためボーリング調査を計画していた。筆者らは、地すべりによる地質リスクを推定していたため、発注者と協議し歪計と地下水位計の設置を提案実施した。その後、観測開始から2.5ヶ月後の3月末に、H25-B-1孔にて累積歪量が13,000μstrainを記録したため(図4)、変状の原因が地すべりであることが特定された。

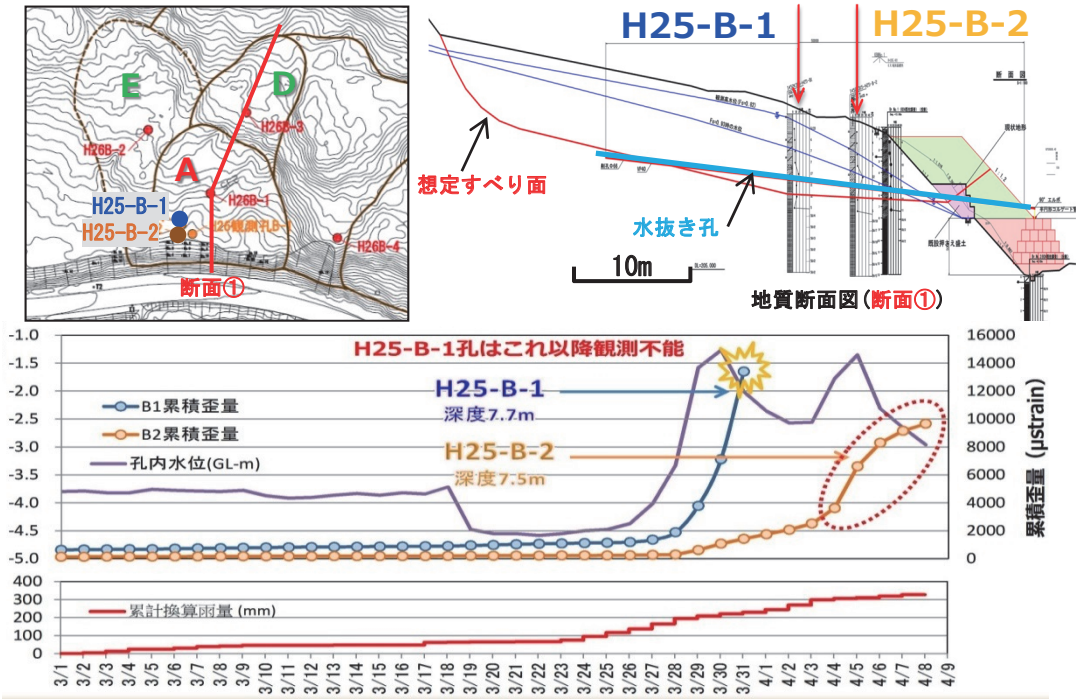


図４　歪計観測結果

(2)応急対策工

累積歪量が確定変動(5,000μstrain/月以上)を示したことから、当該箇所を夜間通行止めとし、24時間定点観測により監視した。地すべり範囲は地形判読結果から想定し、計画安全率(Fsp= 1.05)を満足する押え盛土の形状(土量約6,000m³)を算出した。また、応急対策を迅速に施工(昼夜2交代)することにより10日後に通行規制を解除することが出来た。

写真３　押え盛土の施工状況

写真４　定点観測状況（夜間）

(3) 地すべり調査

恒久対策の規模や範囲を決定するため、A ブロックとその周囲に接する D・E・F ブロックについて各1孔ずつ、計4孔の追加ボーリング調査を行った(ブロック区分は前述図1参照)。その結果、A ブロックでは GL-8.5m 付近に粘土化した部分が確認され、本深度がパイプ歪計で変動が確認された深度と一致したため、当深度を A ブロックのすべり面と判断した。

H26B-1 のコア写真(0～10m)

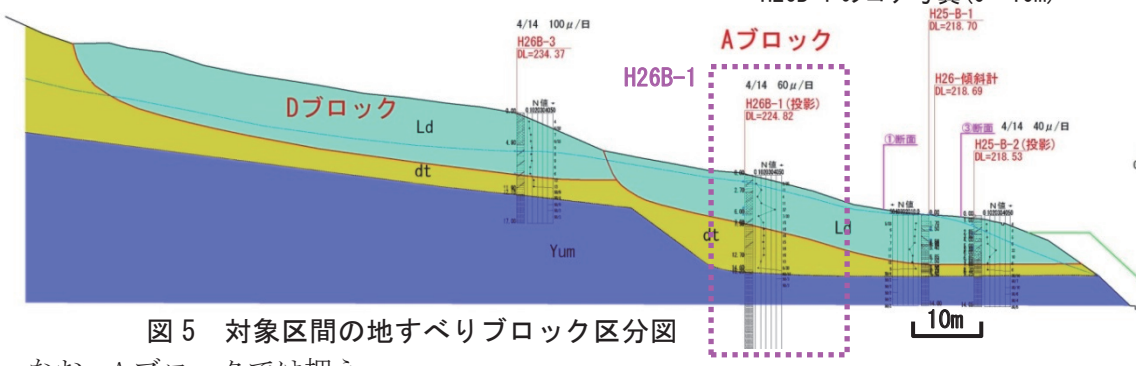


図 5　対象区間の地すべりブロック区分図

なお、A ブロックでは押え盛土施工後、608 μ strain/月の変動 C 相当の累積歪が確認されたが(図 6)、D～F ブロックでは歪の変動が認められなかった。このため、A ブロック周囲の地すべりは現在停止していると判断し、対策工は A ブロックのみを対象にした。

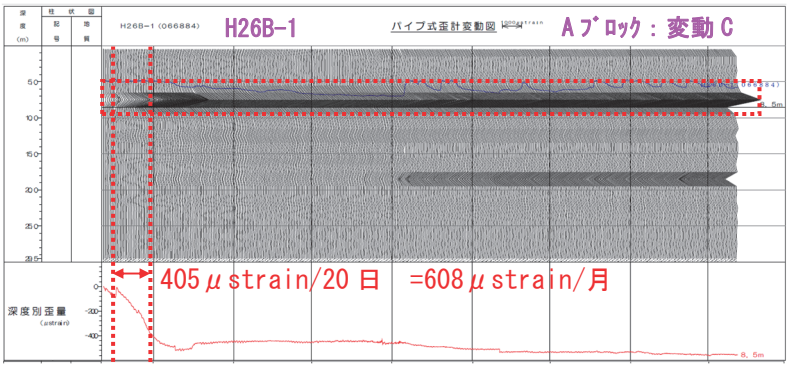


図 6　押え盛土後の歪計測結果（A ブロック）

(4) 恒久対策工の検討

安定解析の結果、必要抑止力が 450kN/m と算出された。恒久対策は工期、経済性、施工条件から独立受圧板+グラウンドアンカー工に選定した(図 7)。特に、工期は融雪期に備えるため短く、施工条件では押え盛土を撤去しながら逆巻き施工する必要があった。

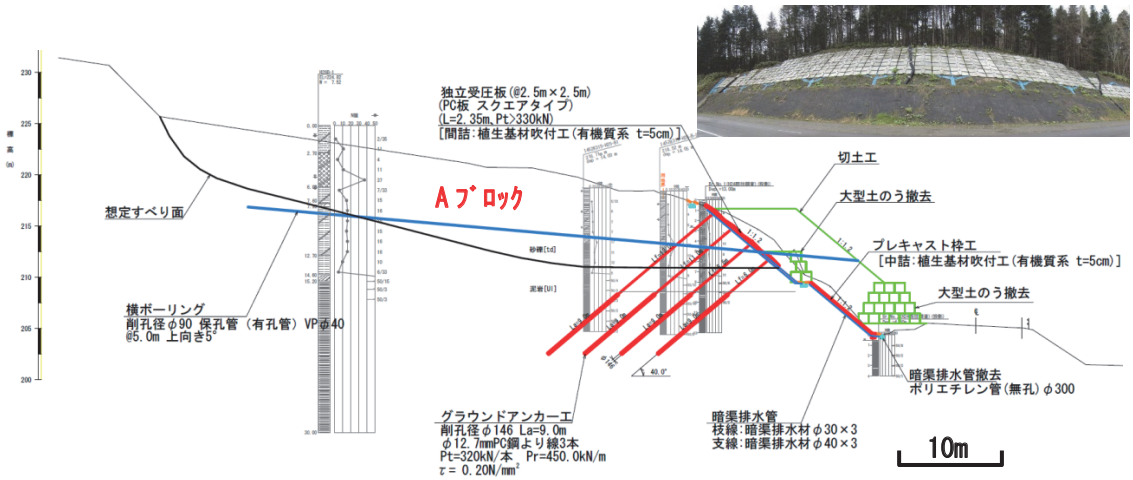


図 7　対策工施工標準断面図

４．マネジメントの効果

今回の事例では、切土工事の開始直後にのり面に変状が発生したが、地すべりの潜在リスクに気づき、早急に調査計画を立案・実施することで、地質リスクの発現（地すべりによるのり面崩壊）を最小限に回避することができた。今回の事例における費用に関するマネジメントの効果は以下のとおりである。

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

(1) マネジメントを実施した場合（①＋②＋③）

ここで、①の当初工事費用とは切土工とのり面保護工である。次に②の追加工事費用は、地すべり調査・設計および恒久対策工となる。ただし、のり面保護工は①と重複するため除外した。③のリスク対応費用は、地すべりの発現を最小限に回避するために投じた費用であり、24 時間のり面監視測量と応急対策の押え盛土工である。なお、押え盛土施工で発生した通行止めは 10 日間と短期間であるため、それらによる損害額は考慮していない。

(2) マネジメントを実施しなかった場合（④）

この場合の費用は、A ブロックが地すべり崩壊に至ったのち、これが誘引となり後背部に存在する未活動の地すべりブロック（D、E の 2 ブロック）が不安定化に至るケースを想定した。工事費用の項目は、表 1 の①＋②＋③と想定されるが、②と③は A ブロックと A･D･E ブロックの体積比より想定し、3 倍を見込んだ。

(3) マネジメントの効果（④－(①＋②＋③)）

表 1 に示すように、今回の事例では地質リスクを最小限に回避することにより、総額 4.8 億円の損害を未然に防止することができたと想定される。ただし、実際④のケースが発生した場合、長期間に至る道路通行止めや最悪の場合、人災の発生による第三者被害も想定されるが、被害額算出が困難であるため今回は考慮していない。

表 1　マネジメント効果の算出一覧表

費用項目	調査・対策項目	金額(千円)
①当初工事費用	1) 切土工	6,300
	2) のり面保護工	27,500
②追加工事費用	1) 地すべり調査	10,000
	2) 地すべり対策工設計	3,000
	3) 独立受圧板＋ｸﾞﾗｳﾝﾄﾞｱﾝｶｰ工	162,000
	4) 横ボーリング工	33,000
	小計	208,000
③リスク対応費用	1) 24 時間のり面監視測量	6,000
	2) 押え盛土工	27,000
	小計	33,000
①＋②＋③	小計	274,800
④リスクを回避しなかった場合の工事費用（想定）	①＋(②＋③)×3	756,800
リスクマネジメントの効果	C 型=④－(①+②+③)	482,000

５．データ様式の提案

本事例はＣ型であるため、Ｃ表の一部を修正して整理した。

表 2　C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目		データ
対象工事		発注者		国土交通省
		工事名		道路改良工事
		工種		のり面対策
		工事概要		切土、のり面保護工
		①当初工事費		33,800 千円
		当初工期		0.5 年
発現したリスク	リスク発現事象	リスク発現時期		切土施工時
		トラブルの内容		切土のり面にｸﾗｯｸ等の変状発生
		トラブルの原因		地すべり部の末端掘削
		工事への影響		施工中断、応急対策、工程遅延
	追加工事の内容	追加調査の内容		現地踏査、ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ、歪計動態観測
		修正設計内容		地すべり対策工設計
		対策工事		独立受圧板＋ｸﾞﾗｳﾝﾄﾞｱﾝｶｰ工など
		追加工事		―
		追加費用	追加調査	10,000 千円
			修正設計	3,000 千円
			対策工	195,000 千円
			追加工事	0 千円
			②合計	208,000 千円
		延長工期		0.3 年
		間接的な影響項目		夜間通行止め
		負担者		納税者
最小限に回避したリスク	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		切土施工時
		予測されたトラブル		地すべり崩壊、背面地すべりの不安定化
		回避した事象		長期間通行止め、対策工事の追加
		工事への影響		修正対策工検討のため一時中断
	リスク管理の実際	判断した時期		歪値の急増確認時
		判断した者		発注者
		判断の内容		地すべりの存在
		判断に必要な情報		地山性状,すべり面,動態観測ﾃﾞｰﾀ
	リスク対応の実際	内容	追加調査・調査設計	24 時間監視測量
			対策工	応急対策として押え盛土工
		費用	追加調査・修正設計	6,000 千円
			対策工	27,000 千円
			③合計	33,000 千円
	回避しなかった場合	工事変更の内容		抑止杭などの地すべり対策工
		④変更後工事費		756,800 千円
		変更後工期		崩壊発生から 2 年程度
		間接的な影響項目		道路利用者(観光,周辺工事車輌等)
		受益者		納税者、発注者、道路利用者
リスクマネジメントの効果		費用④－(①+②+③)		482,000 千円
		工期		約 1.4 年短縮

［論文No.6］豪雨により発生した地すべりに対するマネジメント事例

応用地質株式会社　○植田 律
根本 雅夫
西野 勝裕
松井 宏樹

1. 事例の概要

地すべり災害では、復旧に向けた迅速な対応が求められるが、しばしば、地すべりの規模や機構の見誤りによる二次災害が発生している。本報文では、地すべり機構に着目してリスクマネジメントを実施し、地質リスクを最小限に回避した事例を示す。

2016年6月19日から24日にかけて、梅雨前線の活発化に伴う豪雨により、道路沿いの法面において変状が発生した。変状は当初、道路法面の既設法枠の座屈、法肩部のクラックと法面下端の歩道の隆起といった狭い範囲で確認されたが、その後の降雨に伴い、斜面上方へ変状が拡大していった（図１）。地質調査の結果、当該地すべりは、風化・変質した凝灰岩中に存在する緩く傾斜した地質的弱面を地すべり底面として、移動範囲が順次背後へ拡大する退行性地すべりであると判断した。この機構解析結果に基づき、対策工の検討にあたっては、斜面下方の当初変状範囲及び背後の地すべり活動範囲のいずれのブロックにおいても安定を図れる工法を採用することとし、地すべり下方部でのアンカー工、水抜きボーリング工を提案した。

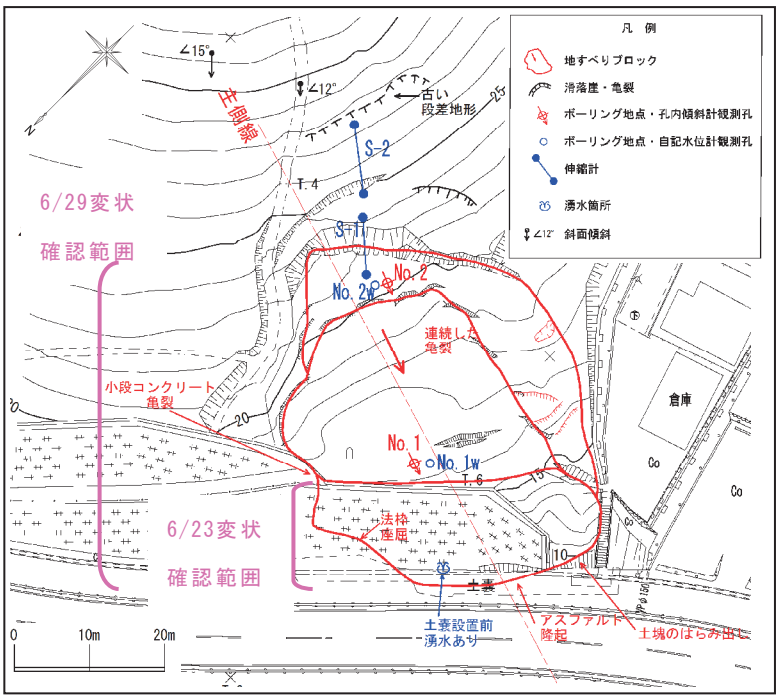


図１　地すべりブロック平面図

2. 事例分析のシナリオ

図２に本事例のシナリオを示す。今回のリスクマネジメントのポイントは、解析時における地すべり機構の検討である。

一般的な地すべり（円弧すべり等）を想定した場合、上方斜面の土地利用がなければ、対策工としては、頭部排土工を実施することがコストの面で有益である。

しかし、本事例では、変状が徐々に上方斜面に拡大していったことから、地質リスクとして「退行性地すべり」を想定した。これにより、最もコストが安価であると考えられる頭部排土工は、上方斜面への更なる地すべりの拡大を誘発させ、施工中に作業員が二次災害に巻き込まれる危険がある上に、二次災害発生後の再調査・設計の実施や追加対策工の施工等、よりコストがかかることとなる可能性が高い。

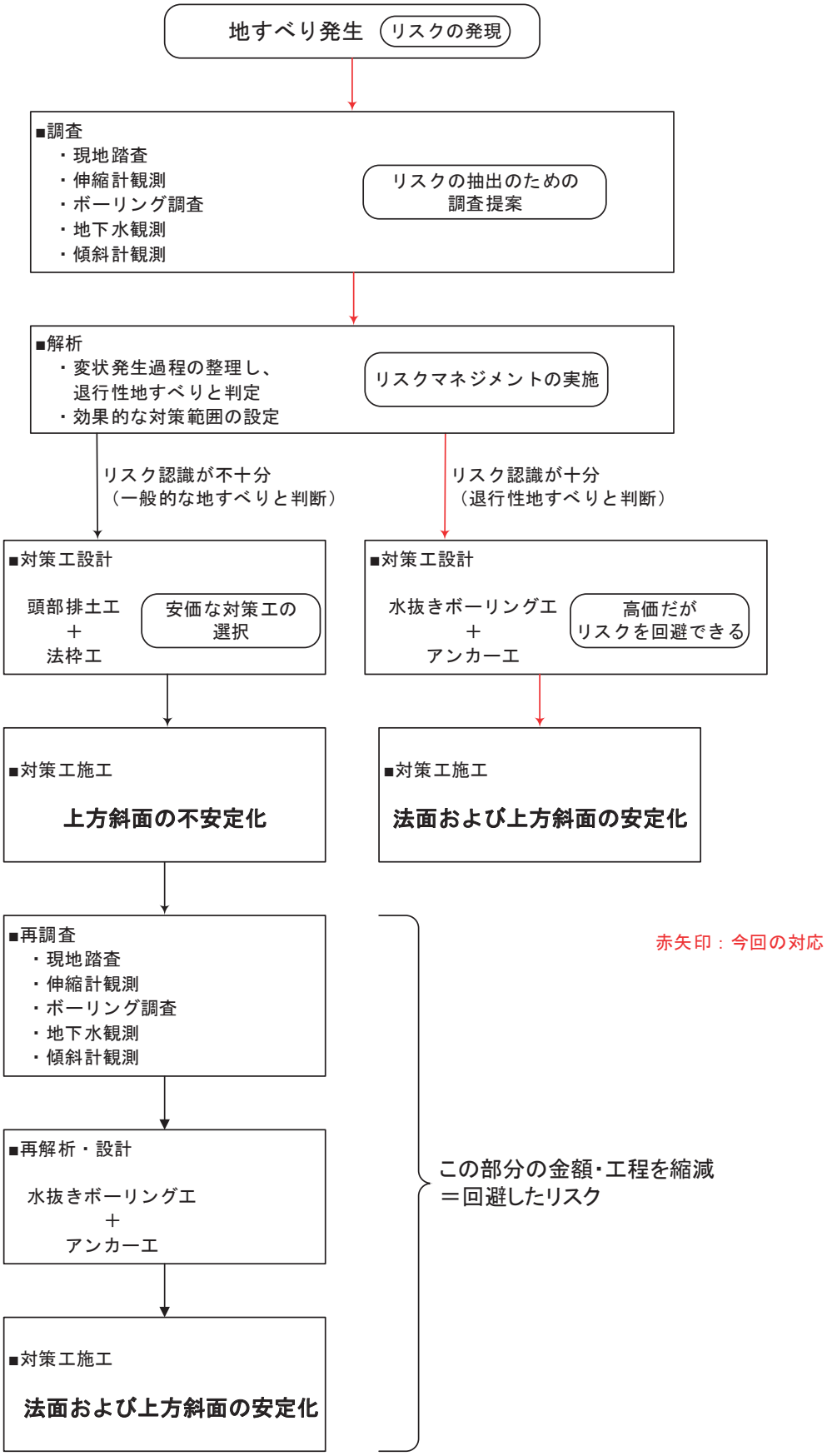

地すべり発生
リスクの発現
■調査
・現地踏査
・伸縮計観測
・ボーリング調査
・地下水観測
・傾斜計観測
リスクの抽出のための
調査提案
■解析
・変状発生過程の整理し、
退行性地すべりと判定
・効果的な対策範囲の設定
リスクマネジメントの実施
リスク認識が不十分
（一般的な地すべりと判断）
リスク認識が十分
（退行性地すべりと判断）
■対策工設計
頭部排土工
＋
法枠工
安価な対策工の
選択
■対策工設計
水抜きボーリング工
＋
アンカー工
高価だが
リスクを回避できる
■対策工施工
上方斜面の不安定化
■対策工施工
法面および上方斜面の安定化
■再調査
・現地踏査
・伸縮計観測
・ボーリング調査
・地下水観測
・傾斜計観測
赤矢印：今回の対応
■再解析・設計
水抜きボーリング工
＋
アンカー工
この部分の金額･工程を縮減
＝回避したリスク
■対策工施工
法面および上方斜面の安定化

図２　本事例のシナリオ

3. データ収集分析

上記シナリオの判断根拠となるデータについて、各調査・解析段階における収集状況を以下に示す。

(1) 現地踏査

変状発生直後（6月23日時点）に行った現地踏査では、法面部や法尻の歩道、法肩に変状は認められたものの、法面上方の斜面には地表の亀裂等の変状は認められなかった。

その後も降雨が続き、6月29日に再度現地踏査を行ったところ、法面周辺の変状の進行とともに、背後の斜面においても地表の開口亀裂が連続しているのを確認した。このことから、法面背後の斜面を含む地すべりであると判断し、応急対策として、法尻への大型土のうの設置と開口亀裂への雨水流入防止のためのシート設置を提案した。

(2) ボーリング調査（図３）

ボーリング調査は、地すべりの頭部付近（No.2）と法肩付近（No.1）の2箇所で実施した。いずれも孔内傾斜計観測孔と地下水観測孔の2孔ずつの掘削とした。その結果、当該斜面には凝灰岩および泥質片岩が低角度の流れ盤で分布することが明らかになった。このうち、凝灰岩は深部まで風化・変質しており礫混り粘性土状を呈していたため、地質構造に起因しない円弧すべりの可能性を想定した。

しかし、コア観察時において、強風化部でも岩組織を残していることや、傾斜10°前後の亀裂沿いに、条線を伴う鏡肌が複数確認できることから、流れ盤構造を使った直線すべりに分類されると判断した。

(3) 孔内傾斜計観測（図３）

孔内傾斜計観測により、ボーリングNo.1孔で深度7.5m前後が滑動していることが明らかになった。これは、ボーリングコアで複数確認された鏡肌のうちの1つと一致する。ただし、ボーリングNo.2孔では、深度9m付近に鏡肌が認められたものの、孔内傾斜計の変位は深度3.5mで確認された。この深度は、地すべり底面でなく、滑落崖から地中方向に延長される地すべりの背面であると考えた。

(4) 伸縮計観測（図４）

孔内傾斜計観測により変位が現れた後、地すべり滑落崖背後に設置した伸縮計S-2に微小な変位を確認した。ただし、地すべり頭部のボーリングNo.2孔の孔内傾斜計では、深部に変位が確認されなかったため、伸縮計の変位は地表付近の変状によるものであり、地すべりが背後に拡大したものではないと判断した。

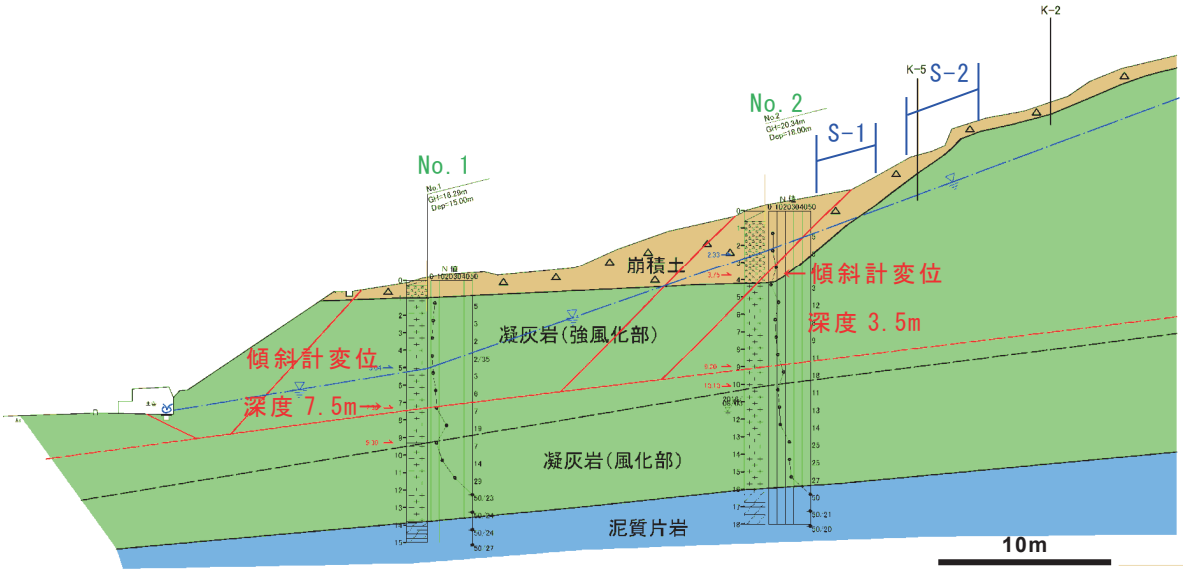


図３　地質断面図

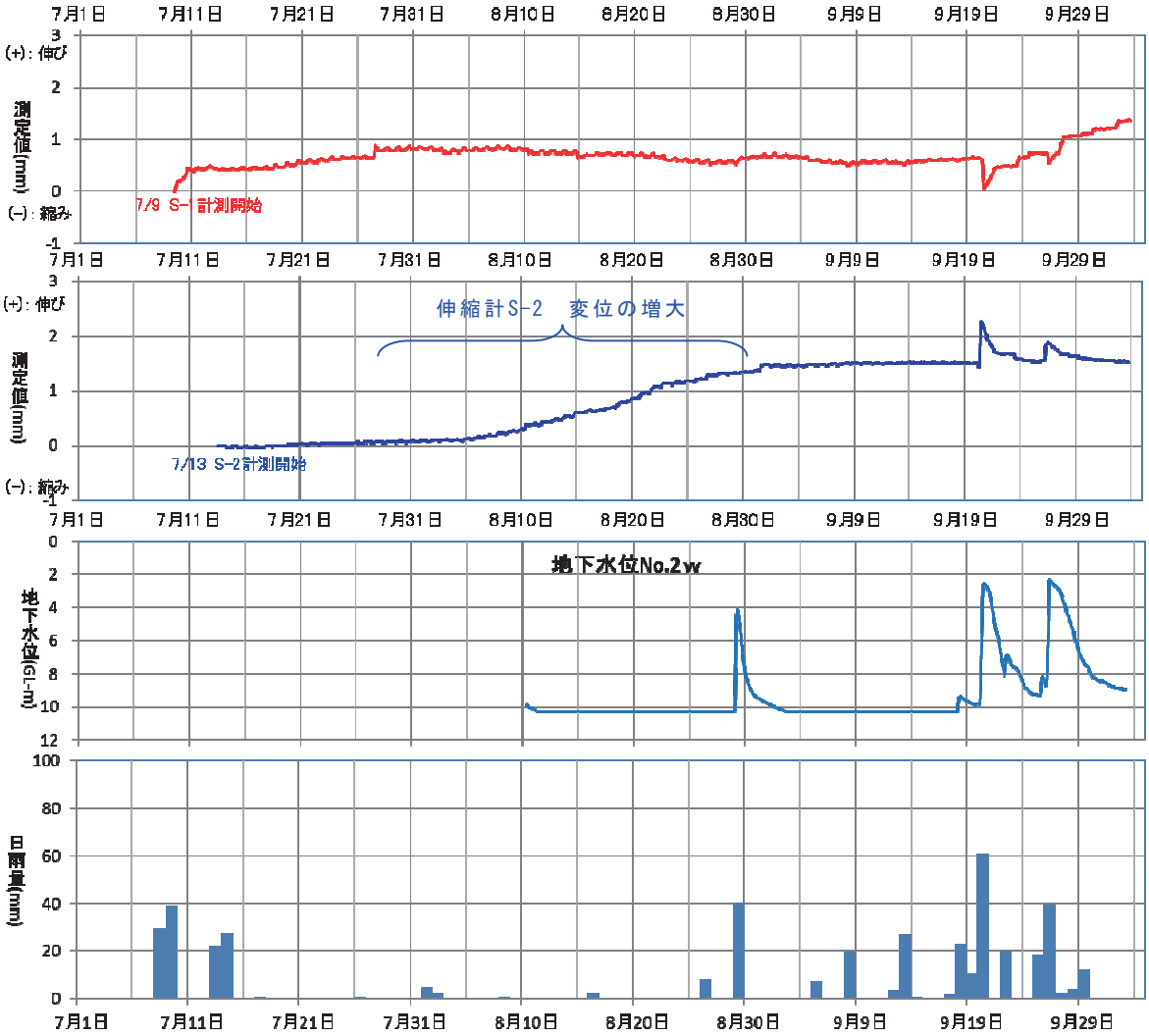


図４　伸縮計変位グラフ

（5）解析

上記調査結果より、地すべりの素因は、強風化・変質した凝灰岩中に地質的弱面が低角度の流れ盤で存在することである。6月19日から24日にかけての豪雨が誘因となり、まず、法肩を頭部とする小規模な地すべりが発生した。その後、降雨が継続することにより、連続する弱面を利用して、徐々に上方斜面に地すべりが拡大した「退行性地すべり」であると判断した。

（6）対策工設計

当該斜面の地すべりは、上方斜面に拡大しており、地すべりの更なる拡大が懸念されたため、頭部排土工は不適であると考えた。その上で、被災当初の変状範囲である法面と、上方斜面のいずれのブロックにおいても安定を図れる工法として、法面部でのアンカー工と水抜きボーリング工を採用した（図５）。当該地すべりは通常の地下水位は低いが、降雨時には地下水位が急上昇するため、水抜きボーリングの実施は特に重要と考えた。

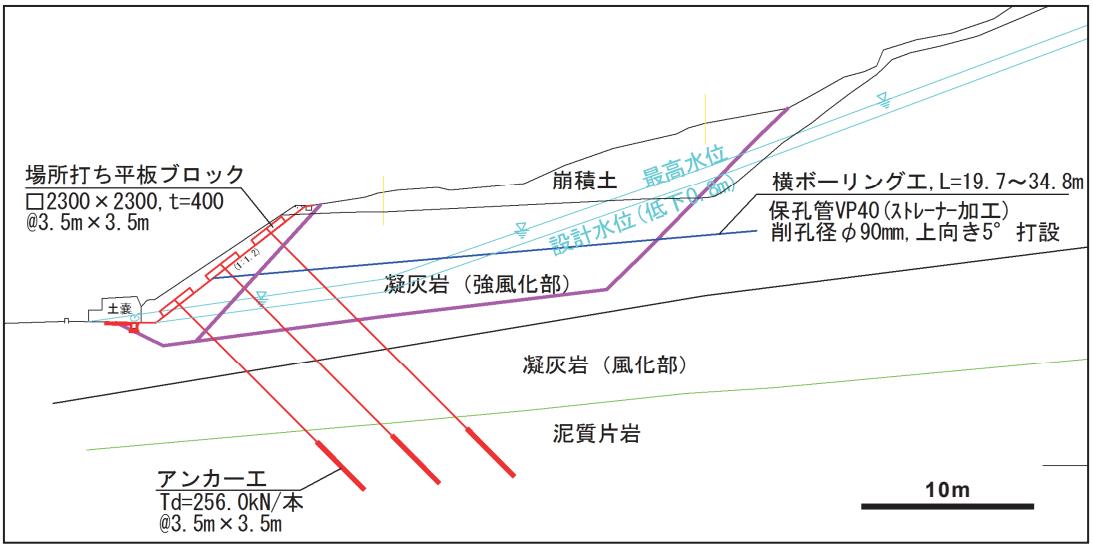


図５　対策工標準断面図

4. マネジメントの効果

本事例におけるリスクマネジメント効果について、表２にまとめた。

粘性土中の円弧すべりと考えた場合、表２中の①の対応費用が想定される。しかし、今回のような退行性地すべりの発生した斜面では、頭部排土を実施すると地すべりが上方斜面に拡大し、②の追加調査・対策費用が必要となる。

一方、解析により地質リスクを十分に把握した場合、③の費用が発生する。このとき、①に比べて高価な対策となるが、②の追加対応の懸念が除外できるため、大きなマネジメント効果が得られる。リスク回避による効果は、およそ30,000千円と試算できる。

表２　マネジメント効果一覧表

項　目	内　容	金額 （千円）	備　考
①想定される対応費 （一般的な対応）	調査・解析・設計費 施工費（法枠工＋頭部排土工）	15,000 13,000	 一般的な対策工
②回避しなかった場合の費用 （①による追加対応）	再調査・解析・設計費 施工費（水抜きボーリング工＋アンカー工）	15,000 22,000	二次災害後の対応 追加対策工
③リスク対応費 （今回の対応）	調査・解析・設計費 施工費（水抜きボーリング工＋アンカー工）	15,000 20,000	
合計　①+②-③		30,000	マネジメント効果

5. データ様式の提案

本事例では、道路供用後、5年以上経過してから発生した災害であるため、当初工事費は様式に記載していない。あくまで、発現したリスクに対する一般的な対策と、回避したリスクに対する対策を比較してリスクマネジメントの効果として算出している。

表３　データ様式

Ｄ．発現した地質リスクを最小限に回避した事例（回避しなかった場合との比較）

大項目		小項目		データ
発現したリスク	リスク発現事象	リスク発現時期		豪雨時
		トラブルの内容		地すべり災害
		トラブルの原因		豪雨による地下水位上昇
	想定される対応	調査の内容		ボーリング調査、動態観測
		設計内容		地すべり対策工
		対策工事		法枠工、頭部排土工
		費用	調査	10,000千円
			設計	5,000千円
			対策工	13,000千円
			①合計	28,000千円
		工期		12ヶ月
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		施工時、さらなる豪雨時
		予測されたトラブル		地すべり範囲拡大による 人的被害、交通障害
		回避した事象		地すべり範囲の拡大
	リスクを回避しなかった場合	工事への影響		被害増大、工期延長
		内容	追加調査	ボーリング調査、動態観測
			追加設計	地すべり対策工
			対策工	水抜きボーリング工、アンカー工
		費用	追加調査	10,000千円
			追加設計	5,000千円
			対策工	22,000千円
			②合計	37,000千円
		工期		12ヶ月延長
	リスク管理の実際	判断した時期		現地踏査時
		判断した者		調査担当者
		判断の内容		退行性地すべりの可能性
		判断に必要な情報		亀裂範囲の拡大、 地すべりの活動性
	リスク対応の実際	内容	調査	ボーリング調査、動態観測
			設計	地すべり対策工
			対策工	水抜きボーリング工、アンカー工
		費用	調査	10,000千円
			設計	5,000千円
			対策工	20,000千円
			③合計	35,000千円
		間接的な影響項目		人的被害、交通障害
		受益者		国交省（災害査定）、県
リスクマネジメントの効果		費用①+②−③		30,000千円
		工期		12ヶ月
		その他		地すべりの影響を最小限に回避

［論文 NO. 7］変状した切土法面の崩壊リスクの回避

株式会社　福山コンサルタント　藤白　隆司

1．事例の概要

本事例は、供用中の国道切土法面で発現した地質リスク（斜面崩壊）に対処し、通行止めや土砂流出の災害発生に至ることなく、最小限に回避したものである。

対象法面は、交通量約 4 万台/日（H27 センサス）[1)]の国道の側道に面して構築された高さ約 15m、延長約 70m の切土法面である（図 1）。国道は、平成 2 年に供用開始されたバイパス路線で、建設時に起点側の法面に吹付け法枠＋グラウンドアンカー工が設置され、供用後（平成 4 年）、終点側に同様の規格の吹付け法枠＋グラウンドアンカー工が追加設置された。

法面の崩壊に伴う変状は、起点側の吹付け法枠＋グラウンドアンカー工の設置区間を中心に顕在化し、終点側においては、起点側に近い範囲で次第に変状が拡大していった。

法面の変状の発生は、平成 25 年に確認され、平成 26 年以降、地質調査、変位観測等が実施された。変位は断続的に拡大していることが確認されたため、地下水排除孔や押さえ盛土の設置を試みたが、変位は収束することなく、平成 28 年 6 月の豪雨時に最大の変位が発生し、追加の地質調査、変位観測、押さえ盛土の設置を行った。

その後も断続的に変位の拡大は発生したが、これまでの地質調査や観測データを基に対策工として、受圧板＋グラウンドアンカー工の設計を行った。即座に施工を実施し、平成 29 年 2 月に完了し、押さえ盛土等は撤去され、元の道路供用形態に戻った。対策工設置以降、今夏まで変位観測を行ったところ、変位の進行は停止しており、法面の新たな変状の発生や拡大は見受けられず、法面の安定性が確保されていることが確認され、無事、斜面崩壊のリスクを回避することができた。

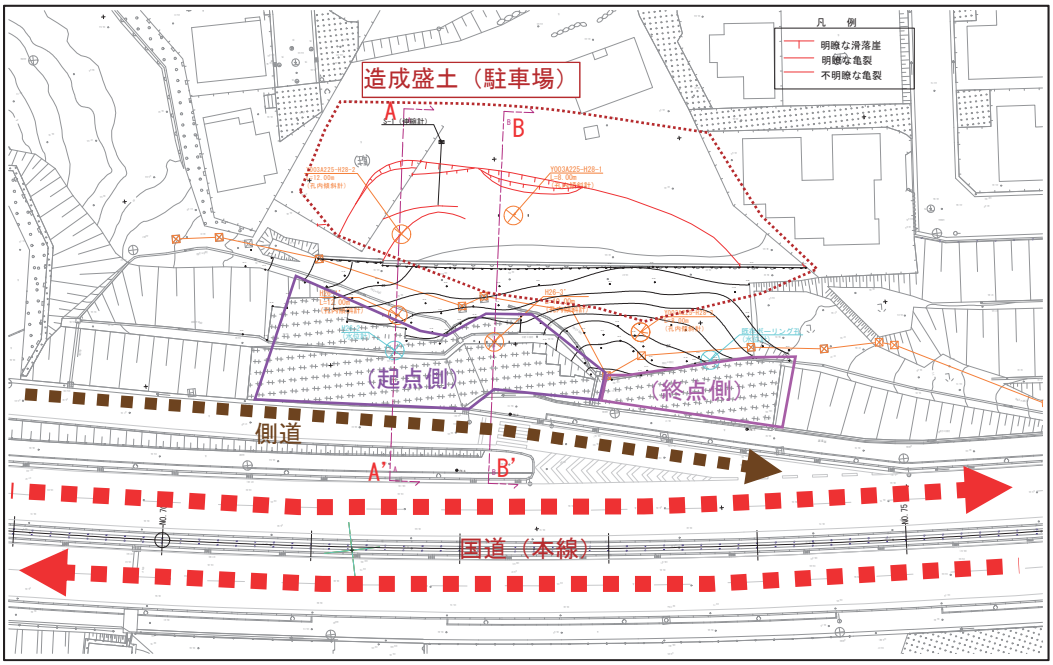


図 1　対象法面平面図

2．事例分析のシナリオ

(1)経緯

本事例発生の経緯を以下に示す。平成 26 年以降、地質調査、変位観測、水位観測、測量を実施し、状況に応じ適宜、地下水排除や押さえ盛土の応急対策を行ってきた。

・平成 2 年　BP 暫定供用
・平成 4 年　終点側法枠＋アンカーの追加施工
・平成 5 年　宅地盛土造成(推定)
・平成 8 年　道路防災総点検実施⇒変状なし
・平成 21 年　構造物定期点検⇒支障なし
・平成 23 年　構造物定期点検⇒支障なし
・平成 25 年　防災現地診断(ドクター診断)　⇒詳細調査、対策工の検討が必要
・平成 26 年　詳細調査、観測
(ボーリング調査、孔内傾斜計観測、地下水位観測、岩石試験、横断測量、アンカー調査)
・平成 27 年　追加調査(ボーリング調査、地下水排除孔)、観測、対策工詳細設計
【押え盛土(大型土のう)設置】
・平成 28 年 【側道仮移設】
顕著なすべり変位の発生(6 月)
→【押さえ盛土追加設置】(図 2)
<u>追加調査(ボーリング調査、横断測量)、観測、対策工設計再検討</u>
⇒対策工法を見直し、<u>グランドアンカー工法へ変更</u>し、施工完了

図 2　側道移設 (H28.5)、押え盛土設置状況
(H28.6 の変状発生直後に設置)

(2)拡大した変状

平成 28 年 6 月の豪雨後に確認された主な変状は以下のとおりである。

図 3　法面上方の民地に発生した滑落崖(矢印)
2 条の明瞭な滑落崖が発生、その後この段差は次第に拡大する。

図 4　法面上方の民地に発生した滑落崖の全景(破線)
手前の駐車ますは、この後、使用不能となる。

図 5　アンカーより線の抜け出し、法枠の浮上り

図 6　終点側法面アンカー頭部の浮上り、回転

また、その後に観測した横断測量の結果、図 7 に示すように H26 の観測結果に比べ、最大約 70cm も法面が前面に変位していることが確認された。

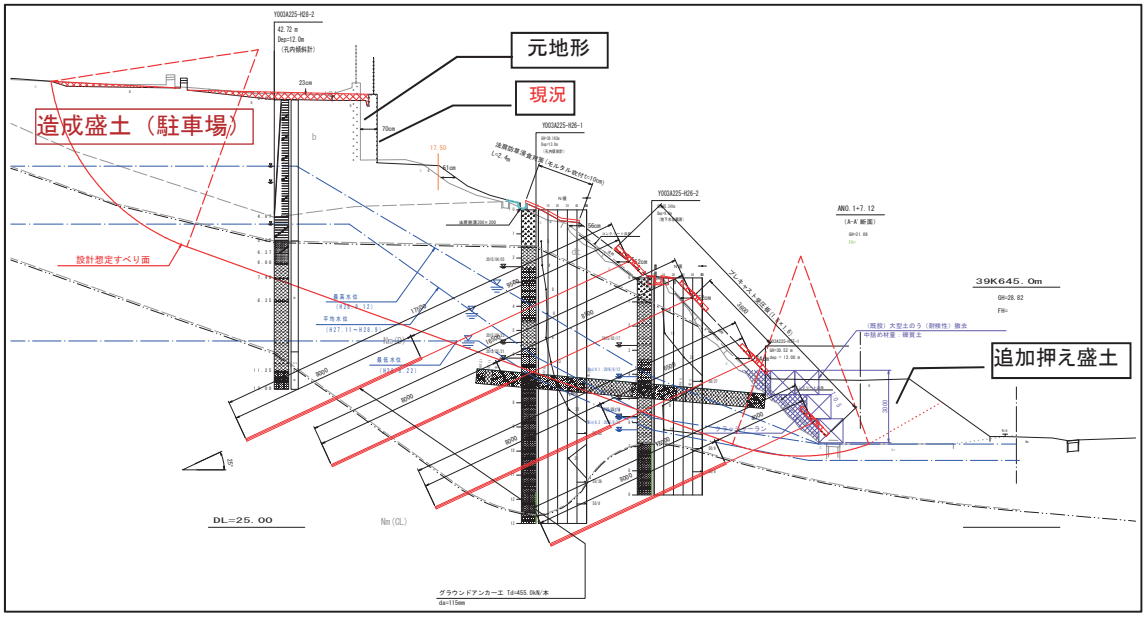


図 7　代表横断図（A-A’）

(2) 変状の原因と対策工の方針

これまでの経緯、調査、観測結果を踏まえると、当該法面の変状の主な原因は、地山を構成する泥質岩の風化の進行による不安定化と想定され、表層の強風化部に複合したすべり崩壊が発生していると推察される。図 8 に変状の原因を図示する。

すべり面は、孔内傾斜計の確認された変位発生深度、地表面の変状位置（滑落崖や隆起）、ボーリングコアの状況から総合的に判断し、複数のすべり面が推定されるので、それらを包括する最大のすべり面を設計推定すべり面とした。

ボーリングコアにおいて表層部分は、亀裂が多く発達し、半固結状を呈し、深部は土棒状のコアをなすことが確認されたことから、すべり崩壊により地山が移動したことで亀裂が多く発達し、土砂状をなしていると考えられる。

対策工は、安全性を確保し、施工性、経済性、維持管理性を踏まえ、グラウンドアンカー工＋鋼製受圧板とした（図 7）。

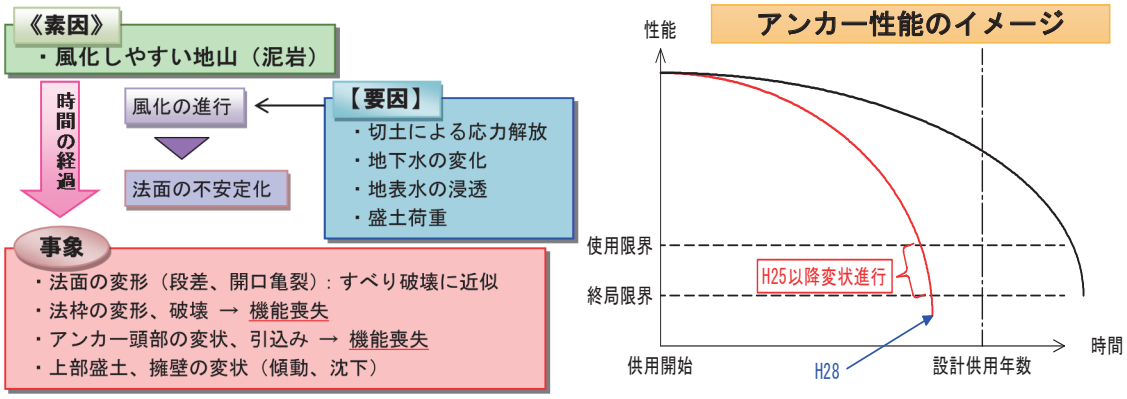


図 8　変状原因とアンカーの機能喪失の模式図

(3) 対策工の効果の確認

アンカー工の設置は 2 月に完了した（図 9）。それと同時に地表面伸縮計の変位も停止し、その効果が現れていると見られる。また、その後（5 月、8 月）の孔内傾斜計観測結果においても変位の停止が確認されており、アンカー工の抑止効果により法面の安定性が確保できていることが確認できた（図 10）。

図 9　対策完了後の法面全景（終点側）

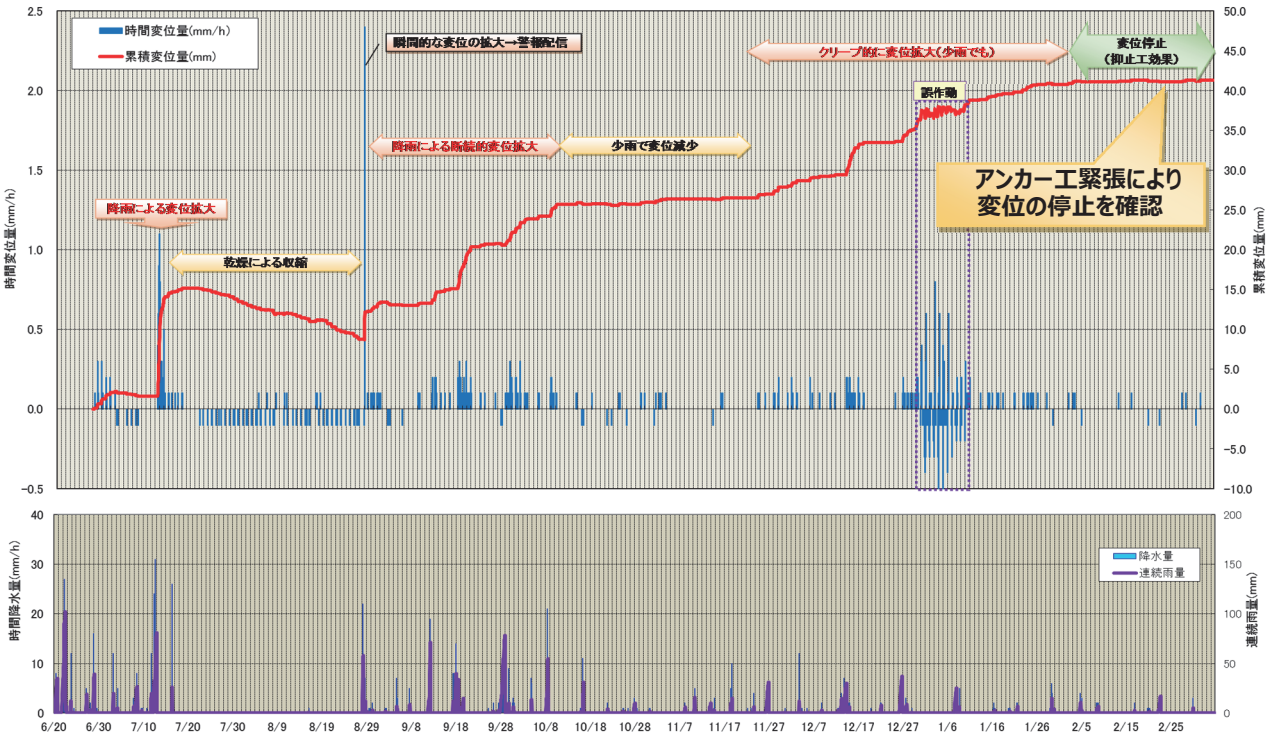


図 10　地表面伸縮計経時変化（上段）と降水量図（下段）

３．データ収集分析

平成 26 年以降、継続的に地質調査および対策工の検討業務を当社が担当したことで、現地状況に関する必要な調査資料（地形、地質、用地、変位状況等）を得ることが出来た。

道路の建設時期が比較的新しいこともあり、施工時の情報や資料は、国道事務所の工事史や古い道路台帳により得ることが出来た。ただし、既設の吹付け法枠＋グラウンドアンカー工に関する設計図書が残存しておらず、現況の安定照査、造成盛土荷重増加による既設アンカーへの影響評価を実施することが出来なかった。

発現したリスクに対する調査、設計、対策工費は、実績を諸経費込みで計上した。

リスク回避しなかった場合の工事費については、被災時の対策規模等の想定が困難であるため、経験的な見地からの推定とした。

４．マネジメント効果

本事例のリスクマネジメントにより、供用中の国道の側道および、歩道、本線への土砂流出、法面上方の擁壁や駐車場の崩落という最悪のシナリオは回避することが出来た。場合によっては、通行車両の被災、人命の喪失という甚大な災害となった可能性も想定されるが、その効果を費用換算することは出来ないため、ここでは、法面崩壊対策にかかる費用のみを計上する。

なお、法面対策工事は、リスク発現後に発注されたため、当初工事、追加工事は計上せず、リスク対応費用として、実施した調査、対策工の内容、工事費を計上する。

リスクマネジメントの費用効果の内訳を表 2 に試算する。

表 2　リスクマネジメント効果の内訳

大項目	内容			金額（千円）
リスク対応の実際	追加調査	平成26年度調査	ボーリング調査、観測、岩石試験、横断測量、アンカー調査	8,000
		平成27年度調査	ボーリング調査、地下水排除孔）、観測	7,000
		平成28年度調査	ボーリング調査、横断測量、観測	11,000
		計		26,000
	修正設計	対策工詳細設計		3,500
	対策工	グラウンドアンカー＋鋼製受圧板ほか	640千円/m×70m×1.7	76,000
	③合計			105,500
回避しなかった場合	④工事費	地すべり調査、測量、設計		10,000
		法面復旧、安定対策工	50千円/m2×15m×70m×1.7	90,000
		駐車場盛土復旧		100,000
		現道清掃復旧		10,000
		合計		210,000
リスクマネジメントの効果	費用④－（①+②+③）			104,500

５．データ様式の提案

本事例を表 3 のデータ様式に整理する。

引用文献

1)　平成 27 年度　全国道路・街路交通情勢調査　一般交通量調査
http://www.mlit.go.jp/road/census/h27/

表 3　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		国土交通省
		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		豪雨時（梅雨）
		トラブルの内容		斜面崩壊
		トラブルの原因		地山の風化の進行、地下水位等
		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	−
			修正設計	−
			対策工	−
			追加工事	−
			②合計	−
		延長工期		−
		間接的な影響項目		−
		負担者		−
最小限に回避したリスク	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		変状発見時
		予測されたトラブル		斜面崩壊による土砂流出
		回避した事象		通行障害
		工事への影響		−
	リスク管理の実際	判断した時期		変状発見時
		判断した者		道路管理者
		判断の内容		対策工の実施
		判断に必要な情報		地形、地質の状況、変位の状況
	リスク対応の実際	内容	追加調査	地質調査、変位観測、水位観測
			修正設計	法面安定対策詳細設計
			対策工	アンカー＋受圧板
		費用	追加調査	26,000 千円
			修正設計	3,500 千円
			対策工	76,000 千円
			③合計	105,500 千円
	回避しなかった場合	工事変更の内容		測量・調査・設計・復旧対策
		④変更後工事費		210,000 千円
		変更後工期		−
		間接的な影響項目		道路の寸断、通行障害
		受益者		道路利用者、道路管理者
リスクマネジメントの効果		費用④−（①+②+③）		104,500 千円
		工期		−
		その他		被災無

［論文 No.8］ 供用後 10 年程度で発生した切土法面の変状事例

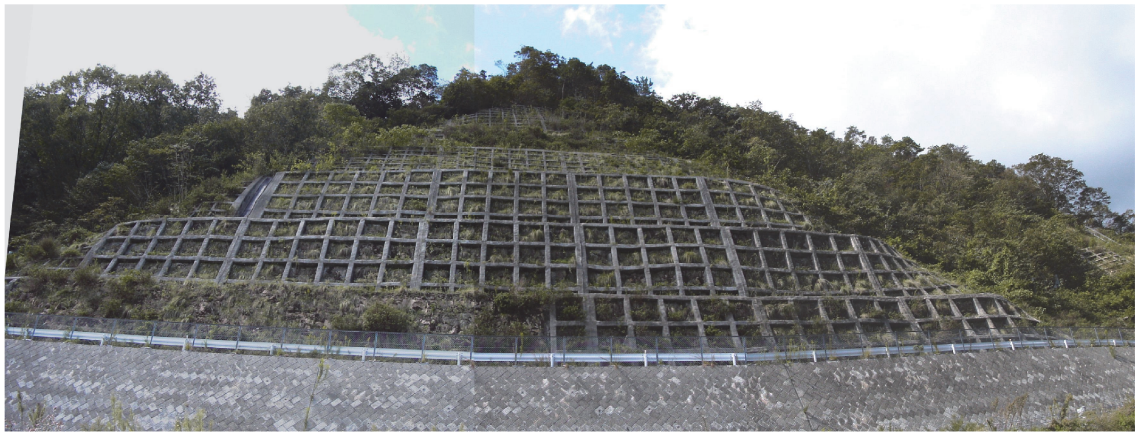
株式会社 エイト日本技術開発　　○工藤 健雄

1.事例の概要

この事例は、供用開始後 10 年程度経過した高規格道路の切土法面で地質リスクが発現した事例である。対象の切土法面は、高規格道路の側道から 6 段（直高約 40m）で施工された大規模な切土法面である。当初の道路設計時には、道路センター付近でボーリング調査が 1 箇所実施されているが、硬質な花崗岩の分布が確認されたため、大きな地質的問題点は指摘されず、硬岩 1:0.5、軟岩 1:0.8、土砂 1:1.0 の切土法面勾配で切土が施工され、法面の大半には吹付法枠工(F300)も施工された。

しかし、供用開始から 10 年程度経過した後、切土法面の小段や管理用階段に複数の開口亀裂が発見され、亀裂の開口幅が徐々に拡大する事象が発生した。このため、切土法面の変状状況と変状の要因を把握することを目的とし、地表踏査、高精度表面波探査、調査ボーリング、目視調査、孔内傾斜計観測、X 線分析を実施した。その結果、切土法面の変状は､応力開放による緩みによって生じており､進行するとすべり破壊に至ると考えられた。このため､すべり破壊を抑止するためのグラウンドアンカー工が施工されることになった。

本事例は、一般的に安定した地質であると考えられる硬質な花崗岩であっても、岩脈や熱水変質によって生成した膨潤性粘土鉱物の存在などが要因となり、地質リスクが発現する可能性があるという事例である。



写 1.切土法面の全景

写 2.小段に発生したクラック

写 3.管理用階段に発生したクラック

2. 事例分析のシナリオ

(1) リスク発現の素因と要因

対象地には、中生代白亜紀の山陽型花崗岩が広く分布している。当初の道路設計段階では、地表踏査と道路センター付近でのパイロットボーリングが 1 箇所実施されている。この際、地表踏査では、花崗斑岩の貫入岩脈の存在が確認されていたが、ボーリングにおいては道路計画高付近に硬質な花崗岩の分布が確認されたため、それ以上の詳細な地質調査は実施されず、地質リスクは低いと判断された。

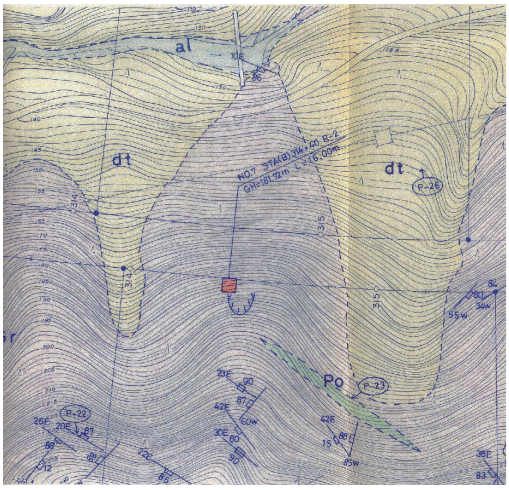


図 1. 当初設計時の調査位置と地質図

このようにして、ごく標準的な切土法面勾配が採用されて施工されたが、共用開始後 10 年程度で切土法面にオープンクラックなどの変状が発生（地質リスクが発現）した。

図 2 は切土法面に変状が発生した際に実施した高密度表面波探査、調査ボーリング、目視調査、孔内傾斜計観測の位置図、表 1 は調査結果の要点、図 3 は調査結果の総括図を示したものである。これらの調査結果を分析すると、法面に変状が発生した素因と要因として以下のものが挙げられる。

【素因】

- 花崗斑岩（岩脈）の分布による熱水変質帯の存在。
- 熱水変質により生成したスメクタイトの存在。

【要因】

- 切土施工による地山の応力開放。
- 風化など地山の経年劣化

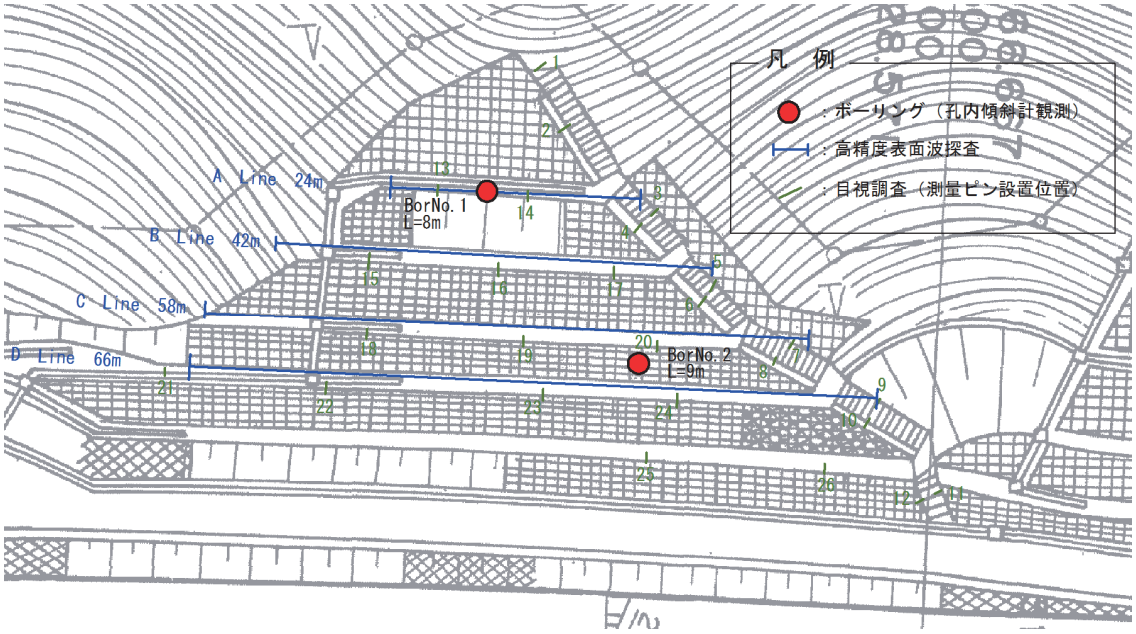


図 2. 調査位置図

表 1. 調査結果の要点

調査項目		要点
地表踏査		・法面を構成する地質は、花崗斑岩と砂岩フォルンフェルス ・法面の上 2 段は DH～CL 級の軟岩が分布 ・法面の下 3 段は CM～CH 級の硬質岩盤が分布 ・法面周辺には崩壊や地すべりは認められない
高精度表面波探査		・法面表面から鉛直下方に 3～5m の緩み領域が存在する ・緩み領域は法面の端部で顕著だが、中央部にも存在する
調査ボーリング	BorNo. 1	・花崗斑岩が確認された ・表層 5m 程度は風化、土砂化している ・深度 3m 付近に空洞が存在する
	BorNo. 2	・CL～CM クラスの砂岩フォルンフェルスが確認された ・多数の亀裂が発達する
目視調査		・最大 16cm 開口したクラックが存在する ・法面の上段ほど変状が大きい(クラックの頻度や開口幅) ・クラック計測では、観測期間中最大 1.4mm の変位を確認 ・変位の大きい箇所と変状の著しい箇所が一致する
孔内傾斜計観測		・観測期間中の変位は 2.2mm～2.7mm であった ・せん断的な変位ではなく、クリープ的な変位であった。 ・変位には明らかな累積傾向が認められた
X 線分析		・花崗斑岩、砂岩フォルンフェルスともにスメクタイトが含まれる

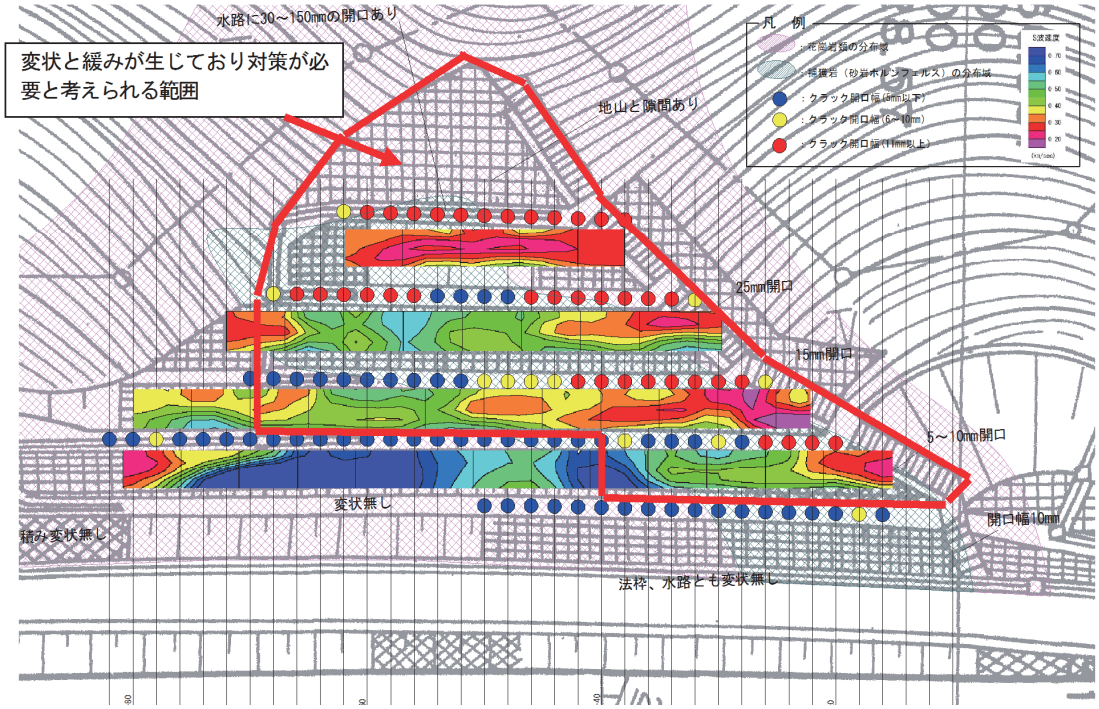


図 3. 調査結果総括図

(2) リスク発現を未然に防ぐためのマネジメント

ここで要因として挙げた「地山の応力開放」と「風化など地山の経年劣化」は、切土を施工すれば必ず発生する現象であり、実際には、切土施工後に時間が経過しても変状が発

生しないケースが大半である。しかし、今回の事例では、熱水変質帯が存在したり、スメクタイトを含む地質が分布することが素因となって、切土による応力開放で著しい緩みが発生したり、経年劣化の速度が早くなり、現況の切土法面勾配では安定を保つことが出来なくなったと考えられる。したがって、リスクの発現を未然に防ぐためには、予めリスクの芽となる地質的な素因を十分に把握し、設計・施工計画に反映することが重要であると考えられる。

具体的には、本事例のような大規模な切土計画であれば、パイロットボーリングだけでなく、追加ボーリング、弾性波探査、高密度電気探査、X 線分析などの詳細調査を実施しておけば、地質的な問題点を事前に把握できる可能性が高い。そして、設計段階から切土法面勾配を緩く設定したり、鉄筋挿入工などの法面工を計画することで施工後の長期的な安定を確保し、地質リスクの発現を未然に防止できる可能性があると考える。

3. データ収集分析

本事例の最終的な法面変状対策としては、グラウンドアンカー工が採用されている。このため、事前に設計段階で詳細な地質調査を実施しリスクが発現しなかったと仮定した場合の発生費用（ケース 1）と変状発生後に生じた対策費用(ケース 2)を比較し、大まかな経済損失額を算出することとする。

【ケース 1：事前に地質調査を実施し、リスクが発現しなかったケース】

当初設計時に詳細地質調査を実施し、切土法面勾配を標準勾配より緩く設定したと仮定する。地質調査は、調査ボーリング 2 箇所(ΣL=80m)、弾性波探査(L=300m)、高密度電気探査(L=300m)、X 線分析(20 試料)を想定する。また、切土法面勾配は、硬岩 1:0.8、軟岩 1:1.0、土砂 1:1.2 とし、切土量の増加分として V=7,000 ㎥を見込む。これらにより道路建設時に発生するコストの増額は、以下のようになる。

①詳細地質調査の概算費用：約 1,000 万円

②切土量増加に伴う工事費の増加分：約 3,300 万円

①＋②ケース 1 の増加コスト：約 4,300 万円

【ケース 2：本事例のように地質リスクが発現した後に対策したケース】

本事例では、リスクが発現した後に地質調査を実施し、対策工としてグラウンドアンカー工が採用されている。これらの費用は、以下のようになる。

①地質調査、設計の概算費用：約 800 万円

②グラウンドアンカー工の工事費：約 6,000 万円

①＋②ケース 2 のコスト：約 6,800 万円

4. マネジメント効果

今回の事例では、事前にリスクが発現しないようなマネジメントを実施したと仮定すれば、約 2,500 万円のコスト縮減ができた可能性がある。

この事例では、リスクが発現したのが側道横の切土法面であったことから、対策工事中の通行止めなど、他の経済損失は出ていない。しかし、同様の事例であってもリスクが発現する場所によっては、長期間の通行止めが発生するなど、多額の経済損失が発生する可能性も考えられる。

5. データ様式の提案

本事例は、共用後の切土法面で発生した法面変状に対する地質調査を実施したものであり、検討結果をB表に整理した。

B. 地質リスクが発現した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		
	工事名		
	工種		
	工事概要		
	①当初工事費		
	当初工期		
リスク発現事象	リスク発現時期		共用開始後10年程度
	トラブルの内容		切土法面に発生したクラックなどの変状
	トラブルの原因		設計時の調査不足
	工事への影響		
追加工事の内容	追加調査の内容		ボーリング、表面波探査、X線分析、孔内傾斜計観測、地表踏査、目視調査
	修正設計内容		
	対策工事		グラウンドアンカー工
	追加工事		
	追加費用	追加調査	500万円
		修正設計	300万円
		対策工	6,000万円
		追加工事	
		②合計	6,800万円
	延長工期		
	間接的な影響項目		
	負担者		道路管理者
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期		当初設計時
	対応(すべき)者		道路建設の事業主体
	対応(すべき)内容		詳細地質調査の実施
	判断に必要な情報		・施工規模と地質調査計画のバランス ・事例の情報
	対応費用	調査	1,000万円
		対策工	
		③合計	1,000万円
	想定工事	工事概要	切土(法面勾配変更による土量増加)
		④工事費	3,300万円
		工期	
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)−(③+④))		2,500万円
	工期		
	その他		

［論文 No.9］ボーリングと物理探査を併用した線状構造物の地質調査例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社　関東支社　○小口　和明
基礎地盤コンサルタンツ株式会社　関東支社　　和田　英孝
基礎地盤コンサルタンツ株式会社　関東支社　　豊嶋　賢治
基礎地盤コンサルタンツ株式会社　関東支社　　赤坂　幸洋

１．事例の概要

東京湾に面した神奈川県内の埋立地において延長約 500m の線状構造物（配管橋）の建設が計画されていた。これに対し，当該地区の支持層を構成する泥質岩は複雑で起伏に富んだ埋没地形を有することが知られていた。調査地においても，既往調査結果から支持層の起伏が確認されていた（図１参照）。このような地盤で杭基礎を適用する場合，事前の地質調査で支持層出現面の形状を十分に捉えることができず，杭の施工時に杭長不足による支持層未達や高止まりのリスクが懸念された。これらのリスクが生じると，杭長不足による杭材の追加調達あるいは高止まりによる材料ロスなど，工期および工費に大きな影響を与える恐れがあった。また，杭が支持層に未達の状態で供用された場合には，不測の沈下等の障害が発生することも懸念された。このため基礎杭の設計では支持層の形状を精度よく捉える必要があった。本事例は，ボーリング調査を補間する目的で物理探査を併用することにより調査精度を向上し，杭の設計･施工で懸念されるリスクを低減したものである。

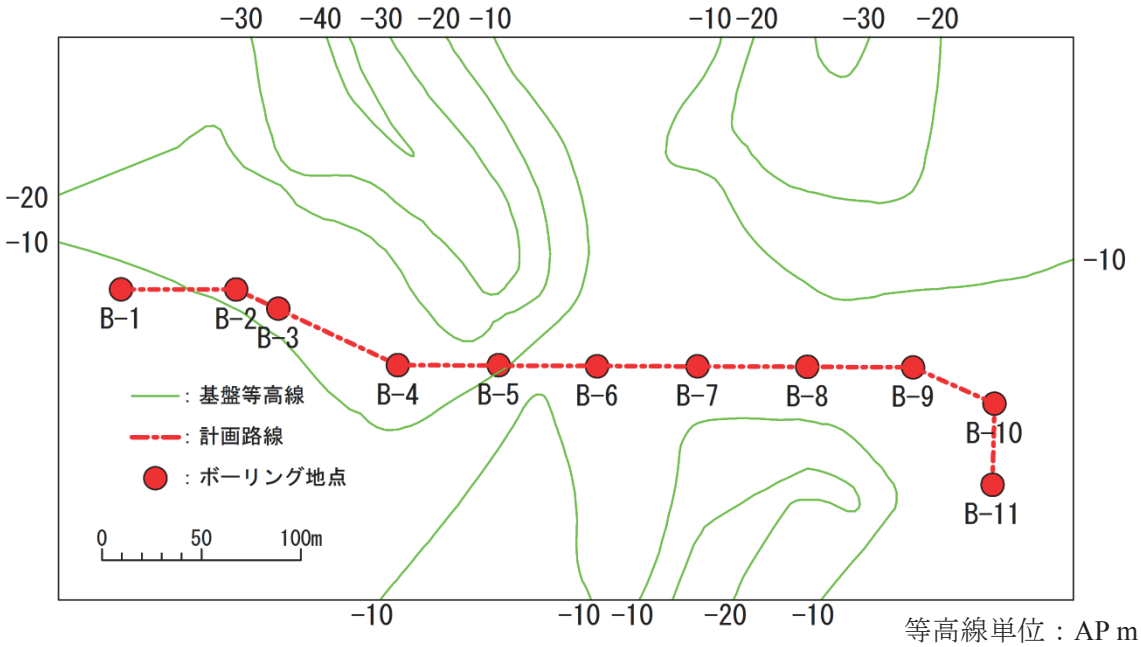


図１　調査敷地の想定支持層等高線図（調査前）

２．事例分析のシナリオ

(1)　当初の地質調査方針

地質調査の実施時には，およそ 500m の区間で，15m 間隔に基礎を設置する計画であった。これに対し，ボーリング調査は概ね 50m 間隔で 11 本が計画されていた。

平面的に地層変化が小さい敷地であれば，当初のボーリング調査計画で十分であると考えられるが，当該地の様に地層の変化が大きい敷地では，基礎間隔の 3 倍以上の調査地点間隔では支持層の出現深度の確認精度に懸念があり，補足調査の必要性が求められた。ただし，調査現場が稼働中の工場内であることから空間的・時間的な制約がありボーリングを追加することが困難な状況であった。以上の現場条件から，補足調査は現地での作業時間が短く，計画路線を包括できる手法が必要であった。そこで，物理探査を補足調査として採用することとした。

(2)　追加調査方針

物理探査は，使用する物性値により弾性波探査や電気探査が挙げられる。弾性波探査は弾性波伝播速度により地層を区分する手法である。電気探査は地中の比抵抗分布を測定し地層を区分する手法である。電気探査は地層の硬さよりも土質や地下水に対して感度が高く今回の補足調査には適さない。このため弾性波探査を採用することとした。

弾性波探査は屈折法と反射法に分けられる。屈折法は伝播速度が異なる地層の境界を弾性波が通過する際に屈折する性質を利用して地層を弾性波伝播速度で区分する手法である。反射法は，伝播速度が異なる地層境界で弾性波が反射する性質を利用する手法で境界上下の伝播速度の差異が大きいほど反射が強く表れる。

当該敷地の地盤は固い基盤の直上に軟らかい沖積層あるいは埋土層が分布しており，支持層と被覆層との硬さの差異が大きい。また，探査の目的が「伝播速度の異なる地層の境界面（支持層の出現深度）」を求めるという点から，反射法による弾性波探査を採用した。探査に用いる弾性波は地下水の影響を受けず，地層の硬さが反映される S 波（せん断波）とした。探査の分解能を高めるために，送受信間隔が短い，浅層反射法（図２参照）を採用した。また，探査精度を向上するため，計画路線上の主測線に加え，主測線に直交する副測線を設けた。

調査計画案を図３に示す。

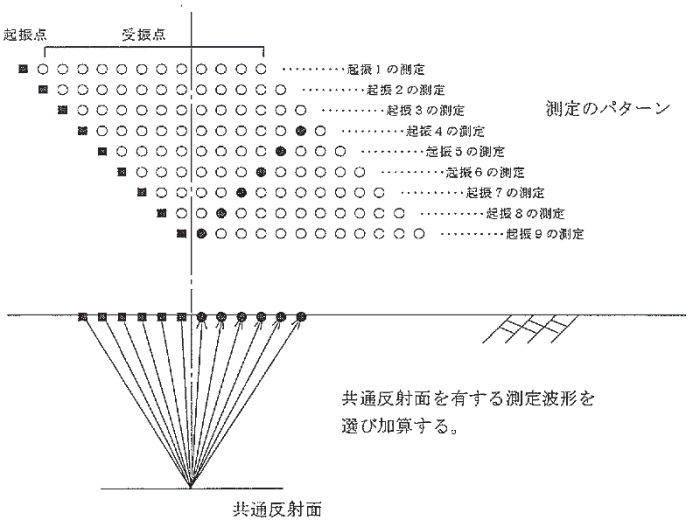


図２　浅層反射法による弾性波探査概念図

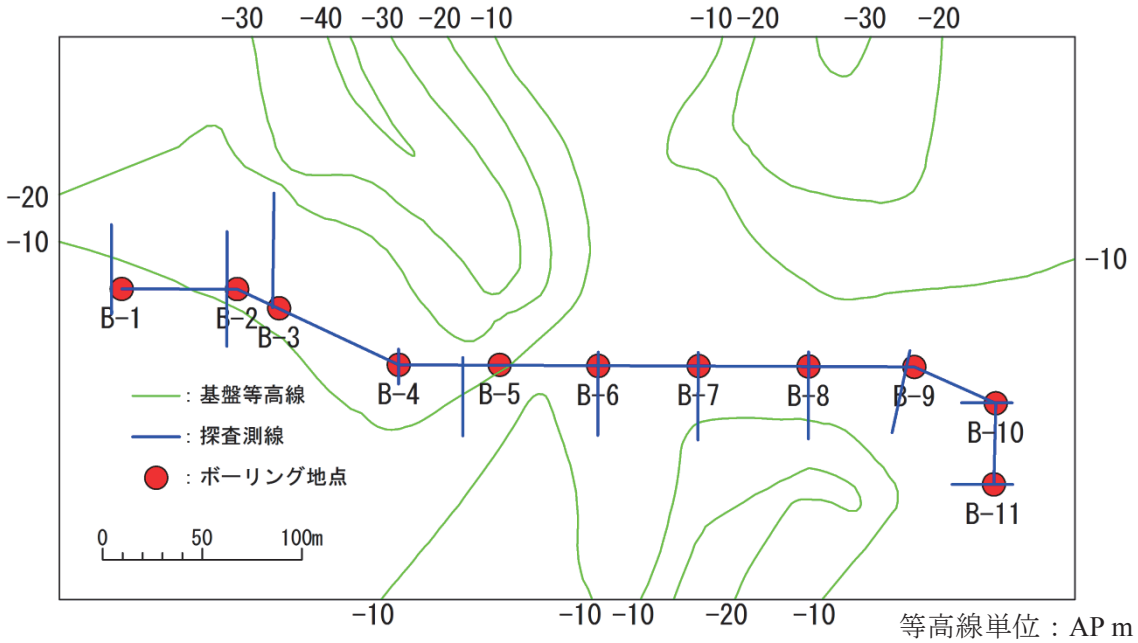


図３　ボーリング地点と弾性波探査測線配置図

３．データ収集分析

(1)　ボーリング調査による支持層分布の推定

11 箇所のボーリング結果から推定される地層断面図を図４に示す。全体の地層構成は上総層群の泥岩を基盤とし，その上位に沖積層の粘性土・砂質土および粘性土主体の埋土層が乗る。基盤の泥岩が構成する埋没地形は，B-1 地点～B-6 地点間で大きな起伏を示し二筋の埋没谷が認められる。B-2 地点～B-3 地点間では 40°程度の傾斜を示す。一方，B-6 地点から終点側は概ね平坦で，沖積層は存在せず基盤の上に直接埋土層が乗る。

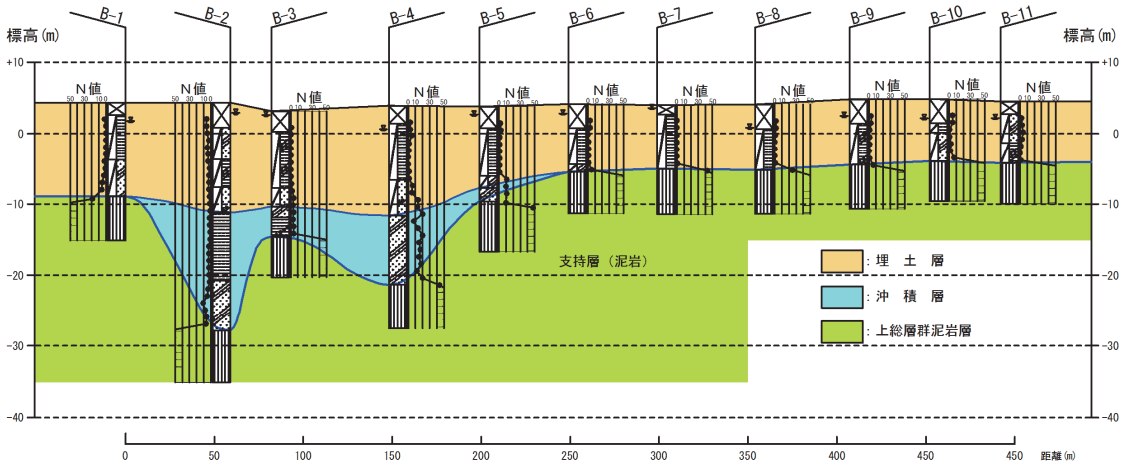


図４　ボーリング調査による推定地層断面図

(2)　浅層反射法による弾性波探査

浅層反射法による弾性波探査により得られるデータは，反射波の走時（地表から発振された弾性波が反射面で反射して地表に戻るまでの時間）である。したがって，反射波の走時の半分の値に，反射面より上位に分布する地層の弾性波伝播速度を乗じることで走時を深さに換算する。

図５は，B-4 地点～B-8 地点間の測定結果を示している。図５によると B-4 地点から起点側に向かう平坦面や B-7 地点～B-8 地点間にくぼみが見られるなど，ボーリングでは確認できなかった基盤の埋没地形が明らかになった。全区間の探査結果を反映した地層断面図を図６に示す。浅層反射法弾性波探査により以下の点が明らかとなった。

B-1 地点～B-2 地点間に平坦面が存在し，谷の傾斜が大きいこと。

B-2 地点の終点側に B-2 地点の基盤出現深度より深い未知の谷底があること。

B-3 地点～B-4 地点間の埋没谷は幅が広く，谷底が平坦であること。

B-7 地点～B-8 地点間に 2m 程度のくぼみがあること。

B-8 地点＝B-9 地点間に 2m 程度の高まりがあること。

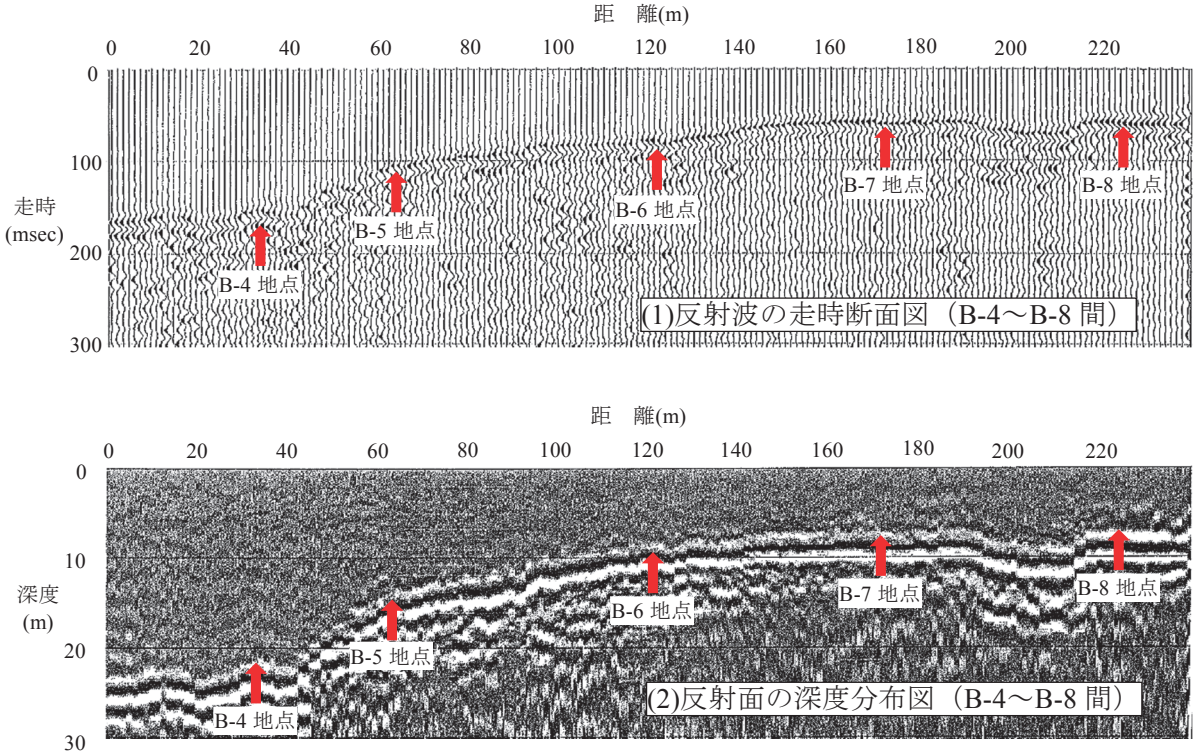


図５　浅層反射法弾性波探査結果図（一部抜粋）

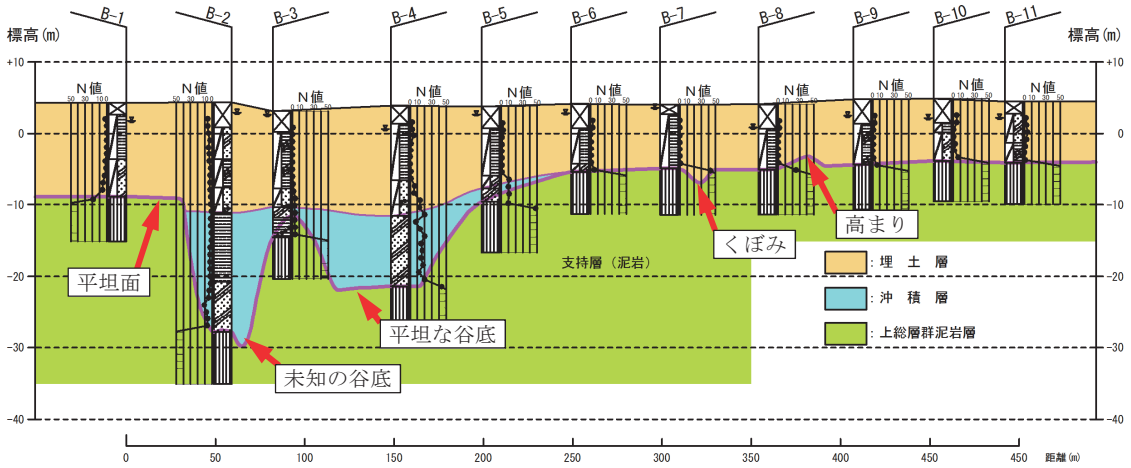


図６　浅層反射法弾性波探査結果を反映した想定地層断面図

４．マネジメントの効果

追加調査として浅層反射法弾性波探査を行った結果，ボーリング調査のみではとらえられない支持層出現面の形状を把握することができた。図７は B-1 地点～B-5 地点間の埋没谷において探査実施前後の支持層出現線を対比したものである。これによれば，探査実施前後で支持層出現深度に 1～10m の差異が確認されており，追加調査により杭設計におけるリスクが大きく低減された。

今回の事例では，ボーリング調査費が概ね 600 万円，追加調査の浅層反射法弾性波探査費用が 500 万円であった。全ての基礎に対してボーリングを行った場合 1200 万円程度の追加調査費が見込まれることから，探査の採用は調査費の低減にも寄与したことがわかる。

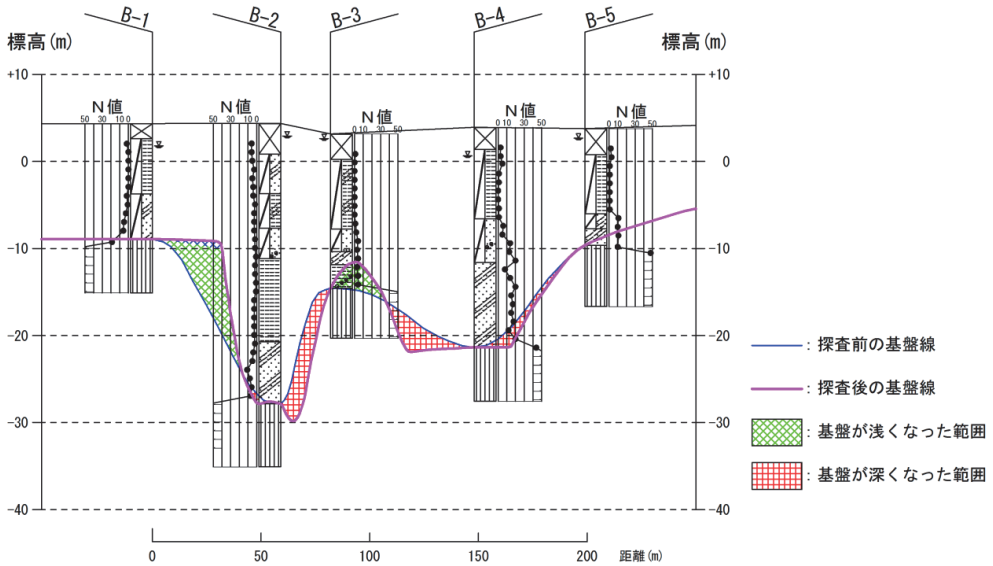


図７　浅層反射法弾性波探査実施前後の基盤出現深度の対比

５．データ様式

A. 地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		某民間企業
	工事名		―――
	工種		配管橋の基礎工
	工事概要		支持杭工（既成杭）
	①当初工事費		―――
	当初工期		―――
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		杭打設時
	予測されたトラブル		杭長不足，杭高止まり
	回避した事象		―――
	工事への影響		追加調査や資材調達による費用増加と工期延長
リスク管理の実際	判断した時期		地質調査時
	判断した者		地質調査業者
	判断の内容		支持層の出現深度
	判断に必要な情報		地盤情報
リスク対応の実際	内容	追加調査	浅層反射法による弾性波探査
		修正設計	―――
		対策工	―――
	費用	追加調査	5,000千円
		修正設計	―――
		対策工	―――
		②合計	5,000千円
変更工事の内容	工事変更の内容		設計前のため変更なし
	③変更工事費		同　上
	変更工期		同　上
	間接的な影響項目		同　上
	受益者		同　上
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］　斜面防災工事中の落石発生に伴う応急対策によるリスク回避事例

株式会社 エイト日本技術開発　○二木　重博
株式会社 エイト日本技術開発　中谷　伸行
株式会社 エイト日本技術開発　田中　伸浩
株式会社 エイト日本技術開発　石田　泰則
株式会社 佐野組　山内　民男

１．事例の概要

この事例は、防災対策工事中の斜面で実際に落石が発生したため、工事を一時中断して応急対策を検討したものである。

対象の道路は一般国道で、斜面防災対策として高エネルギー吸収型落石防護網を施工するため仮設足場を施工中に、100mほど上方からφ=3m程度の落石が発生して、仮設足場の一部を破壊し道路面に達した。工事箇所の上方斜面には落石の危険性のある転石・浮石が散在し、仮設足場の位置の 15mほど上方には緩み岩盤の崖面も見られることから、工事を中断して斜面上の崖面や散在する転石・浮石の安定性を再確認し、工事の安全確保のための応急対策の検討を行った。

斜面上方の転石・浮石については、とくに落下の危険性が高いものは小割りして危険な状態を解消したが、直上の緩み岩盤の崖面に対しては、簡易的な対応が困難な状況であったため、応急対策の検討を行った。最終的な応急対策の採用案は、緩み岩盤を可能な限り道路方向に落とし、除去後の崖面にモルタルの吹付工を行う案が採用された。この案の採用にあたっての一番の懸案事項は、全面通行止めを必要とすることであるが、斜面になるべく不安定要素を残さず確実に施工中の安全を確保するために、通行止めを容認した事例である。

写１　対象斜面の状況と緩み岩盤の崖面

２．事例分析のシナリオ

(1) リスクの発現〔落石の発生状況と発生機構〕

平成 29 年 2 月 6 日、直径 3mほどの転石が斜面の上方およそ 100mから落下した。落石発生時には防災対策工事のための仮設足場が組み上がった所であったが、落石は仮設足場の一部を破壊し、国道の道路面まで達して停止した。幸い、落石の発生が明け方であったため作業員がいなかったことや、運良く通行車両にも直撃しなかったため、人的被害は無かった。

写２　現地地形と落石の発生経路

写３　落石（φ=3m程度）

写４　落石が破壊した仮設足場

対象地付近は表－１に示すように花崗岩類と変成岩類の分布する地域であるが、落石発生源は塊状の花崗岩類が分布している。この斜面は、道路防災点検において落石・崩壊に対する「要対策」箇所と判定されており、地質リスクはすでに顕在化していた。

落石の発生要因となる事項としては以下が挙げられる。

表１　対象地の地質構成表

地質時代	地　質　名	性　　状
新生代 第四紀	崖錐堆積物	基盤岩の風化物、崩壊物が堆積したものであり、花崗岩の分布域では岩塊主体のガレ場になっていることが多い。
中生代 白亜紀	広島花崗岩類 （粗粒花崗岩）	新鮮部は硬質緻密で塊状を呈しており、斜面の中腹や谷地形の両側には急崖を形成していることが多い。
（古生代）	三郡変成岩類 （泥質・珪質片岩）	調査地付近では最も古い地層とされ、広域変成作用を受けた泥質岩、珪質岩よりなる。 対象斜面では、斜面の上方の稜線付近に露頭が見られる。

① 基盤の地質は硬質塊状の花崗岩を主体としており、斜面上に塊状の岩塊が散在する。

② 発生源の状況から、崩落した岩塊は緩みを生じた岩盤から分離したものである。

③ 落石が抜け落ちた部分には土砂が付着することから、降雨時の表流水・浸透水の影響により岩塊周辺が浸食されていたものと推察される。

④ 岩盤の崩落時に、岩塊の根元付近の樹木をなぎ倒していることから、雨水の侵食とともに、強風が樹木を揺らした影響で岩塊周辺に緩みが生じていた可能性もある。

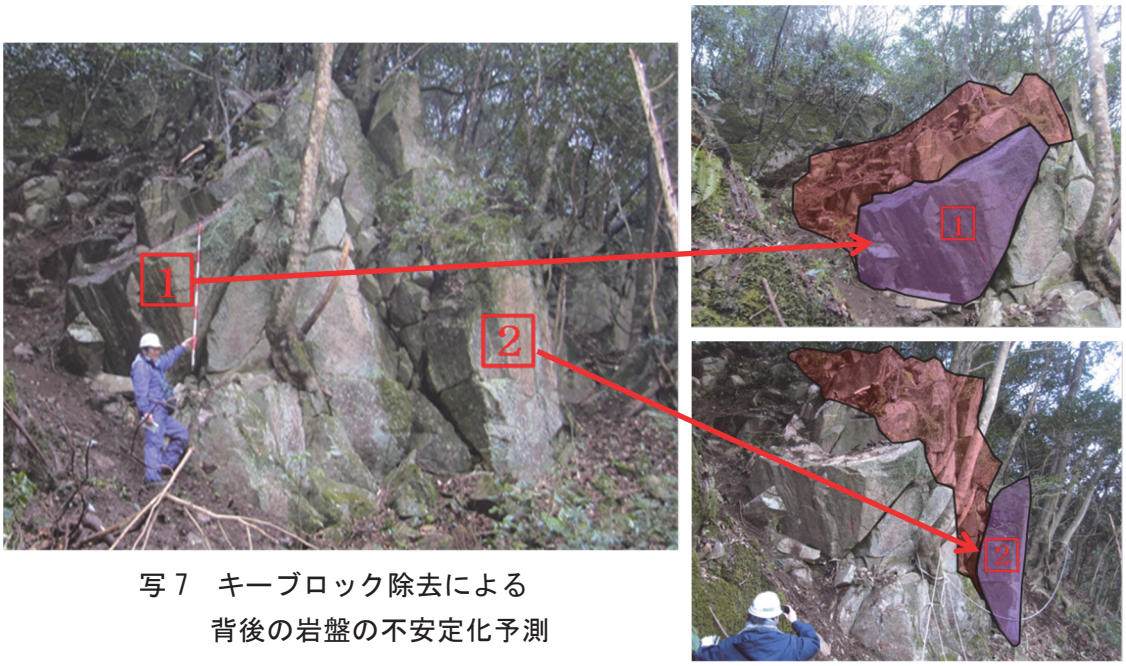
⑤ 発生時には雪がチラついていたことから、時期的に凍上の影響も考えられる。

写５　落石の発生源（抜け落ち跡）

写６
落石発生源
の倒木

以上の５つの要因が重なって、落石が発生したものと推察される。斜面上には、このような転石・浮石や緩み岩盤が散在することから、恒久対策のほかに、防災対策工事中の安全を確保するための応急対策が必要な状況である。

現地踏査の結果では、防災対策工事の準備段階で斜面上方の転石・浮石のうち特に不安定なものは小割り除去等で危険な状態を解消しているが、施工ヤードの上方 15m付近の緩み岩盤の崖面については、下図に示すように個別の岩塊の対応ではなく崖面全体の対策が必要な状況（キーブロック1、2の除去により背後の岩塊群が崩落する）である。



写７　キーブロック除去による
背後の岩盤の不安定化予測

(2) リスク回避のためのマネジメント〔工事中の安全確保〕

この斜面の防災対策工は高エネルギー吸収型落石防護網を施工することとなっているため、工事が完成すればこの崖面の崩落に対しても耐え得るものとなる。しかし、施工中に崩落した場合は施工ヤードの防護が無いため、上記の緩み岩盤の崖面に対する応急対策が必要である。とくに、2の緩み岩盤は、つま先立ちをしているような形状で、転倒崩壊の危険性が高い非常に不安定な状況である。

周辺の岩盤状況を踏まえた応急対策案としては、次の２つが挙げられる。

①案：不安定な浮石とこれに付随して崩落する恐れのある転石群を除去する（落とす）
除去後は、岩盤状況にもよるがモルタル吹付工（仮吹き）を行う
〔礫の抜け落ち防止、および変位が発生した場合のモニタリング用〕

②案：特に不安定な浮石1，2の根固め工またはロープ掛け工（仮留め）による固定を行った後、高強度特殊モルタル吹付工で岩盤接着的な効果を見込む

※ 現地の地形、安定岩盤の分布状況から恒久対策としてのロープ伏工は不可能

それぞれの案の利点・欠点は次の通りである。

【①案】利点：除去後の背後の岩盤状況にもよるが、不安定要素はほぼ確実に除かれる。
欠点：岩塊を落とすために、下方の仮設足場、仮設防護柵の一次撤去や高エネルギー吸収柵のネットの除去などが必要となる。また、段取り等を含めて１ヵ月程度の全面通行止めが必要となる。（迂回路の設定は可能）

【②案】利点：下方の仮設物等の一時的な撤去は不要である。また、応急対策の施工時に全面通行止めは必要としない。（片側交互通行規制で施工可能）

欠点：対策施工時の作業員の安全確保に細心の注意を要する。（特に地震時）
想定外の豪雨や地震時に崩壊が発生する可能性を有する。

３．データ収集分析

応急対策の①案、②案のそれぞれについて、概算工事費やおおまかな経済損失額の想定は次の通りである。

(1) 応急対策工の概算工事費

①案の工法と概算工事費

〔緩み岩盤の除去工〕

・緩み岩盤の崖面うち、崩落の危険性が高い部分を除去する（落とす）。

・岩塊を落とす作業の岩除工（約 540 万円）と落とした岩塊の搬出費（約 80 万円）からなる。

【概算工事費：約 620 万円】

〔付帯工事費（仮設物一次撤去等）〕

・岩塊を落とす際に、安全対策や仮設物の保護のために実施する。

・具体的には、高エネルギー吸収型落石防護柵のネットの撤去と復旧（約 217 万円）落石防護柵の撤去・復旧（約 36 万円）、大型土のうの設置・撤去（約 30 万円）、防災対策工事の仮設足場の撤去・再設置（約 42 万円）、支障木伐採費（約 91 万円）が挙げられる。

【概算工事費：416 万円】

〔仮設モルタル吹付工〕

・表層を除去した崖面からの礫の抜け落ちや新たな緩みの進行を防止する。

・ラス金網は施工せず、モルタルを厚さ 5cm 程度で吹き付ける。

【概算工事費：約 32 万円】

∴ ①案の応急対策の合計概算工事費：約 1,068 万円（**直接工事費**）

②案の工法と概算工事費

〔高強度特殊モルタル吹付工による表層保護と根固め効果〕

・緩み岩盤の全体を対象として計画する。

・崖面の上方からのつり下がり施工となる。

・2の緩み岩盤の足元には厚塗り施工し、根固め効果を期待する。

【概算工事費：約 820 万円】

〔ロープ伏工（仮設）〕

・恒久対策としてのロープ伏工は、地形的に適切なアンカー位置が確保できないためあくまで施工中の安全確保のための応急対策的なものとなる。

【概算工事費：約 300 万円】

∴ ②案の応急対策の合計概算工事費：約 1,120 万円（**直接工事費**）

以上から、①案の実施に基づく工事費と②案の比較案の想定工事費は、ほぼ同額となっている。

(2) 経済損失について

①案の迂回に伴う経済損失額

・崖面の不安定岩塊を下方に落として除去する場合は、下方に位置する国道を全面通行止めにする必要がある。

・通行止めの期間は、段取り・岩塊除去作業・搬出作業・仮設モルタル吹付工までの全体で１ヵ月ほどが必要である。

・迂回に伴う移動時間の増加分を経済損失として、概略の損失額を算出する。

【迂回に伴う概略経済損失額：約 1,905 万円】

②案に対する最大損失（想定外の崩落による人身（死亡）事故）

・防災対策工事中に大地震が発生した場合、応急対策の崖面は足元がそれほどしっかりした岩盤ではないため、崩壊するリスクを有している。

・最悪の事態としては、崖面の崩壊による人身（死亡）事故が想定される。
（防災対策工事が完了すればほぼ防護可能となる。）

【人身（死亡）事故に伴う概算損失額：約 24,567 万円】

４．マネジメント効果

緩み岩盤の崖面に対する防災対策工事中の安全確保を目的とした応急対策として、前述のように①案と②案を最終の比較案とした。その選定を決定する際の最も重要なポイントとなった事項は、次の２点である。

1) 経済損失を含めた応急対策の全体工事費が経済的であること

2) ①案の場合、ほぼ１ヵ月の国道の全面通行止めを必要とすること

応急対策の工事費は、①案、②案はほぼ同様の金額であるため、上記の 1)に関しては、優劣を付けがたい状況であったが、現地を近接も駆使した三者（発注者・施工業者・地質技術者）の共通的な見解としては、斜面上からなるべく不安定要素を排除することが望ましいため、①案を推奨する意見で一致していた。

写 8 防災対策工事完了後の状況

最終的に経済損失の要素を加味し、人身事故の危険性を排除することを重視して、１ ヵ月の全面通行止めによる落石除去工が実施された。

なお、不安定岩塊の除去後の崖面は、亀裂の発達した花崗岩であったため、小礫の抜け落ち防止と岩盤の変形の有無を早期に察知する安全管理のモニタリング的な目的で、ラス網無しの仮設モルタル吹付工を提案し実施された。

写 9 不安定岩塊除去の崖面状況と仮設モルタル吹付

応急対策の完了後に、高エネルギー吸収型の落石防護網工も無事完成した。

５．データ様式の提案

本事例は、落石防災対策工事の施工中に発生した落石により工事が中断した現場に対して、工事中の安全確保を目的とした応急対策を検討したものであり、検討結果をＣ表に整理した。

C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目		データ
対象工事		発注者		
		工事名		
		工種		高エネルギー型落石防護網工
		工事概要		道路防災点検の要対策箇所に対する落石防護対策工事
		① 当初工事費		4,250万円 （高エネルギー吸収型防護網工工事費）
		当初工期		平成29年3月24日
発現したリスク	リスク発現事象	リスク発現時期		平成29年2月6日未明
		トラブルの内容		φ3mの落石が高さ100m付近から落下し、仮設足場を破壊して道路面に到達（人的被害は無し）
		トラブルの原因		斜面上方には不安定な転石・浮石が散在しており、その1つが雨水による侵食や凍上の影響により落下
		工事への影響		工事を中断し、斜面上方の状況の再確認を行い、工事の安全確保のための応急対策を検討
	追加工事の内容	追加調査の内容		応急対策のための落石防護対策工事領域周辺の踏査
		修正設計の内容		根本的な対策内容には変更なし
		対策工事		高エネルギー吸収柵のネットの一次撤去と工事後の復旧 応急対策範囲の支障木の伐採
		追加工事		高エネルギー吸収柵の支柱の補修工事（建て替え1本）
		追加費用	追加調査	―
			修正設計	―
			対策工	当初対策工法と変更なし、施工延長2m増
			追加工事	補助ネット追加
			② 合 計	680万円 （全体工事費：4,930万円）
		延長工期		平成29年9月30日
		間接的な影響項目		全面通行止めに対する通知等 （通行規制予告看板、電光掲示板、迂回路の設定・協議、迂回路案内表示等）
		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		落石対策工の施工中
		予測されたトラブル		緩み岩盤の崖面の崩壊、浮石の崩落
		回避した事象		通行車両の落石衝突、工事作業時の人身事故、物損事故
		工事への影響		本来の対策工事は約4ヵ月中断
	リスク管理の実際	判断した時期		落石発生から約1ヵ月後
		判断者		地質調査者・工事業者との協議 → 発注者の決断
		判断内容		緩み岩盤に対する応急対策工法の選定
		判断に必要な情報		地形・地質状況、転石・浮石の安定度、想定落石エネルギー
	リスク対応の実際	内 容	追加調査	緩み岩盤の崖面の近接目視調査、斜面上方の落石調査
			修正設計	―
			対策工	緩み岩盤の除去工（落とし工） モルタル吹付工（仮吹き、ラス無し）
		費 用	追加調査	278万円 （斜面上方の落石の追加調査、解析含む）
			修正設計	―
			対策工	1,973万円
			③ 合 計	2,251万円
	リスク対応の比較案	内 容	追加調査	緩み岩盤の仮留めは地震時等の崩落のリスクが残る
			修正設計	緩み岩盤の崖面を崩落防止するための応急対策
			対策工	高強度特殊モルタル吹付工、ロープ伏工（仮設）
		費 用	追加調査	278万円 （斜面上方の落石の追加調査、解析含む）
			修正設計	―
			対策工	2,069万円
			③' 合 計	2,347万円
	その他の考慮要素	応急対策に伴う付加的損失		全面通行止め（1ヵ月）による経済損失
		④ 上記の経済損失額		1,905万円
		リスク発現による損失予測		落石の発生による作業員の人身（死亡）事故
		⑤ 上記の最大損失額		24,567万円
リスクマネジメントの効果		工事費 ①＋②		4,930万円
		応急対策費用 ③'＋⑤-(③＋④)		22,758万円
		工 期		応急対策の期間分延長された
		その他		

【論文 No. 11】山岳トンネルにおける落石災害最小化のための調査・設計業務事例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社　○西　俊憲

1. 事例の概要

本事例は落石供給源が多数存在したトンネル上部斜面において現地踏査により落石供給源の危険度を評価し、落石到達範囲を落石シミュレーションで把握して必要最低限の落石対策工を設計し、建設コスト削減に寄与した事例である。

本事例周辺の地質は新第三紀中新世の火山噴出物である凝灰岩が主に分布していた。大部分が塊状であるが部分的に層理が発達し、数 10cm～数 m 間隔の開口亀裂も多く発達していた。調査地付近の層理はほぼ南北、西 50°の走向傾斜を持ち、斜面では受け盤を構成している。節理や開口した亀裂にそって岩塊が抜け落ちやすく、多数の落石供給源が分布していた。調査地は平成 13 年度から落石対策が実施され、落石予防工として除去・切土工、根固め工、落石防護網(ロープネット含む)、落石防護工として落石防護柵が実施されていた。

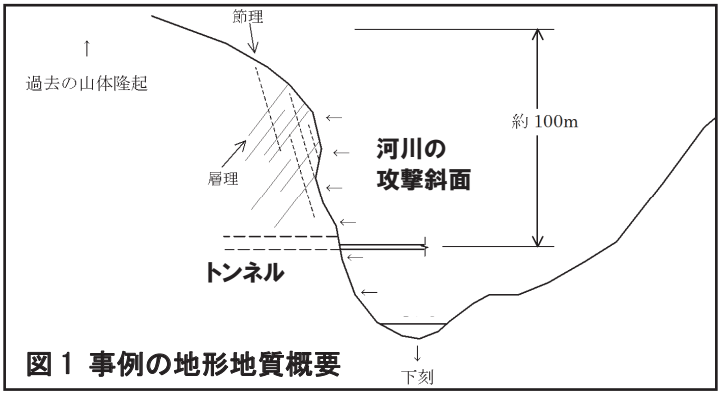


図 1 事例の地形地質概要

(1) 地質リスクの認識段階

落石対策工完了後も落石の痕跡が継続的に確認された。そのため、平成 22 年に現地踏査を実施した結果、対策を実施した斜面以外にも多数の落石供給源があることが新たに判明した。

(2) 想定されたリスク

①道路への影響
- 落石による道路施設への被災
- 落石による交通事故の発生

②道路管理者への影響
- 被災した道路施設の補修費の発生
- 交通事故に対する補償費の発生
- 災害対応のための新たな調査、設計の費用、工事費の発生

③社会的影響
- 地域の主要道路であり、落石による通行止めは地域の社会基盤、防災面等大きな影響を及ぼす。

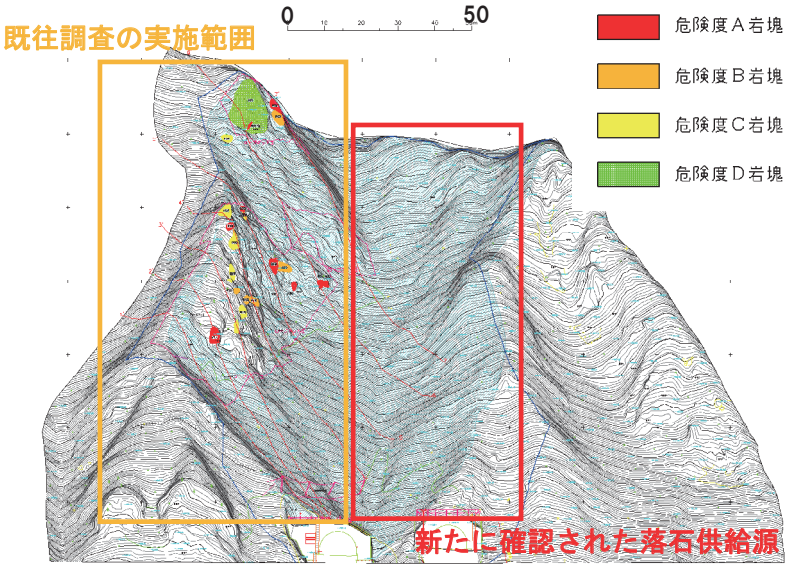


図 2　事例区間の平面図

2. 事例分析のシナリオ

分析のフローを図 3 に示す。

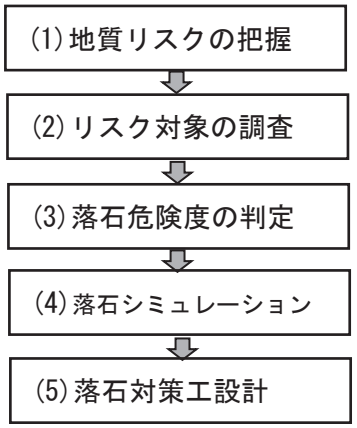


図 3　分析フロー

(1) 地質リスクの把握

既往の調査では新たに確認された落石供給源の調査が実施されていなかったため、落石供給源の危険度評価、落石規模、落石が道路まで達する可能性を総合的に調査する必要があると判断した。

(2) リスク対象の調査

落石の危険度を評価するため、以下の調査を実施した。

・地表踏査…落石の規模、節理や亀裂の間隔、開口状況の把握、落石供給源の危険度判定

・落石シミュレーション…落石エネルギー、道路まで到達する落石供給源の把握

(3) 落石危険度の判定

落石供給源は斜面に分散し、多数確認されていた。全ての落石供給源で落石対策を短期間に実施することは時間的にも財政的にも困難であった。そのため、道路への被害が大きい順に落石対策を実施する必要があると判断し、各落石供給源の危険度を判定した。

危険度評価は落石供給源で現地踏査を実施し、転石・浮石の状況を確認して近い将来確実に落石が発生する（危険度Ａ）～落石の危険性はない（危険度Ｄ）の 4 段階に区分した。

(4) 落石シミュレーション

既存の落石防護柵による対策工効果を検証するため、落石供給源全箇所の落石シミュレーションを実施し、落石エネルギーおよび落石到達範囲の把握を実施した。

(5) 落石工対策計画

地表踏査、落石シミュレーション結果から落石供給源での対策としてワイヤーロープ掛工（ネット併用）を採用した。

落石が発生するリスクは低いが、落石が発生した場合、道路施設に甚大な被害が発生する可能性のある地点が 2 箇所で確認された。この地点については岩盤の挙動を監視するソフト対策を計画した。

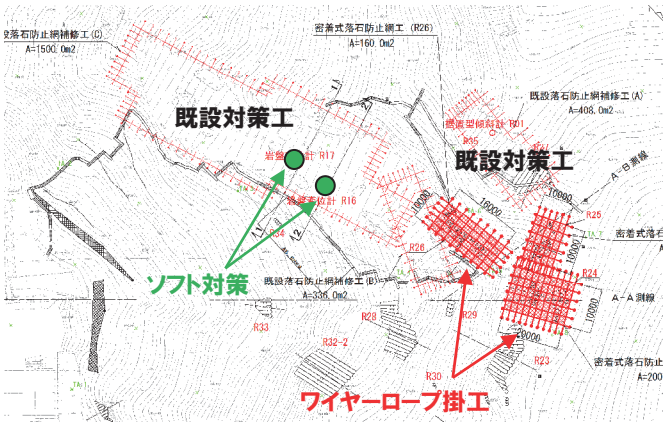


図 4　落石対策工平面図

3. データ収集分析

(1) 地すべり危険度評価結果

現地踏査による落石供給源の危険度評価結果を図 5 に示す。落石供給源は全部で 16 地点あり、早期の対策が必要な危険度Ａは 3 地点と評価した。

(2) 落石シミュレーション結果

落石供給源 16 地点で落石シミュレーションを実施し、落石エネルギー、落石到達範囲を照査した。落石シミュレーションの結果、径 1m 以上の岩塊が標高 336m 以上に分布する場合、既設の落石防護柵の吸収可能エネルギーを超えることが明らかになった。落石の跳躍高の観点では、落石シミュレーションの信頼度 95%とした場合、最大跳躍高が 1m 前後であり、既設の落石防護柵を飛び越える危険性は低い結果が得られた。落石エネルギーが 3

地点で突出して高いため、3 地点で落石対策を検討することにした(図 6 参照)。

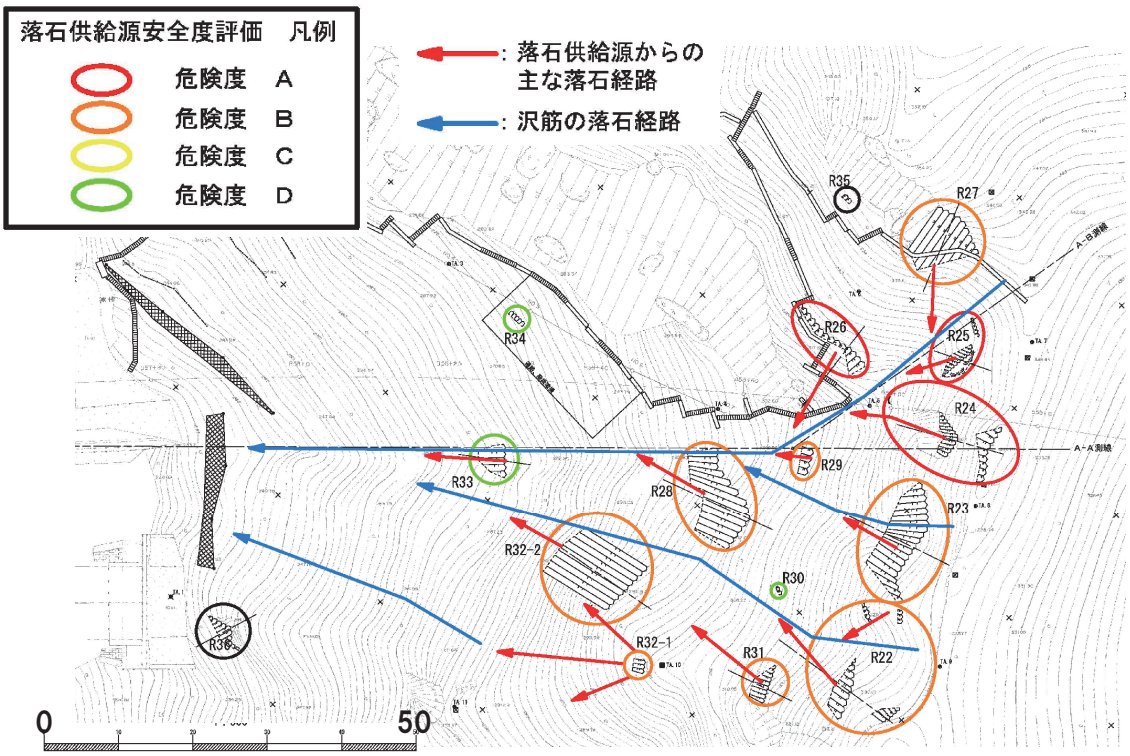


図 5　危険度区分結果一覧図

落石エネルギー>落石防止柵の吸収エネルギー
対策工を検討する落石供給源

図 6　落石シミュレーション結果

(3) 落石対策工計画

落石防止柵の吸収エネルギーを上回る落石エネルギーが発生する 3 地点については落石供給源で予防工を計画した。ソフト対策は岩盤変位計を設置し、岩盤挙動を継続的に監視している。監視状況はインターネットで 24 時間確認できる警報システムを構築している。併せて管理基準値を設定し、管理基準値を超えた変位が観測された場合、警報メールが関

係者に発信されるシステムも併設している。

(4) 施工の現状

平成 28 年度までにワイヤーロープ掛工(ネット併用)が施工され、落石対策工は無事完了している。岩盤変位計は現在も継続して岩盤変位を監視中である。

4. マネジメントの効果

今回の事例は供用中の道路で新たに落石が発生する潜在リスクが確認され、落石調査と対策工設計等の対応により、想定されるリスク(落石による道路施設の破損、交通事故の誘発、落石災害の発生等)を回避することができた。当初は落石供給源全てで対策を検討していたが、以下のリスクマネジメントを実施した結果、建設コストの削減を実現した。

・落石供給源の危険度評価による対策工優先度の決定

・新たに確認された落石供給源に対し、既設の落石防護柵による落石対策効果を検証するため、落石シミュレーションによる落石エネルギー及び到達範囲の照査を実施した。その結果、既往落石防護柵で対応できない範囲のみ新たな落石対策工を設計することが実現できた(最小限の対策を実施)

今回実施したリスクマネジメントによる費用低減効果を計量的に算出する。費用低減効果はリスク回避を実施した場合とリスクを回避しなかった場合の事業費で効果を検証した。検証結果を表 1 に示す。

表 1　リスクマネジメントの効果算定表

ケース	費目	費用(千円)	備考(算定根拠)
リスク回避を実施 (今回の実績)	①追加調査	¥18,000	現地踏査および落石シミュレーション
	②追加設計	¥12,000	落石対策工設計
	③追加対策	¥28,000	ワイヤーロープ掛工(3地点)
	事業費計	¥58,000	
リスク回避なし	①追加調査	¥0	
	②追加設計	¥0	
	③当初工事	¥84,000	ワイヤーロープ掛工(16地点)
	事業費計	¥84,000	
リスクマネジメントの効果		¥26,000	

本事例では追加の調査や設計で 3,000 万円の事業費が必要となった。リスクマネジメントを実施した結果、当初の工事費を 8,400 万円から 2,800 万円まで削減し、追加調査・設計費を含めても 2,600 万円の工事費低減という効果が得られた。

リスク回避がない場合、落石が発生した場合の道路施設の補修費、交通事故への補償費などが加わり、新たな費用が発生した可能性がある。適切なリスクマネジメント効果により、調査設計・工事費以外の支出も抑える効果が得られた。

(5)データ様式の提案

本事例はＡ型：地質リスクを回避した事例であることから、学会のＡ表を用いて整理した。

表２　Ａ.地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		－
	工事名		－
	工種		落石対策工
	工事概要		落石対策
	①　当初工事費		16 箇所　8,400 万
	当初工期		なし
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		数年以内
	予測されたトラブル		落石による通行止め
	回避した事象		道路への落石
	工事への影響		なし
リスク管理の実際	判断した時期		道路供用期間
	判断した者		地質調査会社
	判断の内容		道路へ到達する落石が発生するリスク
	判断に必要な情報		現地踏査により危険度判定 既存対策工の効果確認
リスク対応の実際	内容	追加調査	落石調査（危険度評価） 落石シミュレーション
		修正設計	落石対策
		対策工	ワイヤーロープ掛工
	費用	追加調査	1,800 万
		修正設計	1,200 万
		対策工	2,800 万
		②　合計	5,800 万
変更工事の内容	工事変更の内容		
	③　変更工事費		3 箇所　2,800 万
	変更工期		－
	間接的な影響項目		－
	受益者		道路管理者
リスクマネジメントの効果	費用（①－③－②）		2,600 万
	工期		なし
	その他		－

[論文 No.12] 富士山落石事故を受けての被害回避事例

○岡野　肇・増田三男・本多　豊（応用地質株式会社）
飯田　温（静岡県）

1.　事例の概要

本事例は、落石事故発生をうけて抽出した潜在地質リスクである「浮石分布斜面」を回避したＣタイプのマネジメント事例である。

潜在地質リスクを抽出した箇所は、落石災害が発生した道路からの比高400m以上にも及ぶ大規模斜面である。**図１**に落石災害発生箇所上方斜面の地形を示す。落石の発生した斜面は、富士山の南向き斜面に位置し、落石災害箇所の駐車場の標高は2,378mである。斜面の傾斜は20°～30°であり、駐車場から山頂へ向かう方向に細長い沢地形が分布する。この沢地形の幅は斜面下部では100m程度であり、斜面上部では50m程度となっている。また、沢地形の上方は細長い馬蹄形の崖に取り囲まれており、不安定な浮石が多数分布する斜面であった。

平成21年7月13日夜(午後8時頃)一般県道富士公園太郎坊線（通称富士山スカイライン）の富士宮口五合目駐車場において落石事故が発生した。

事故発生直後から発注者と受注者の地質調査者が連携し、有識者による落石対策検討委員会を編成し迅速な対応を行うことで潜在する地質リスク（不安定な浮石の分布する顕著な急崖、転石の密集する範囲）を考慮し、落石による地質リスクを最小限に回避できたものである。

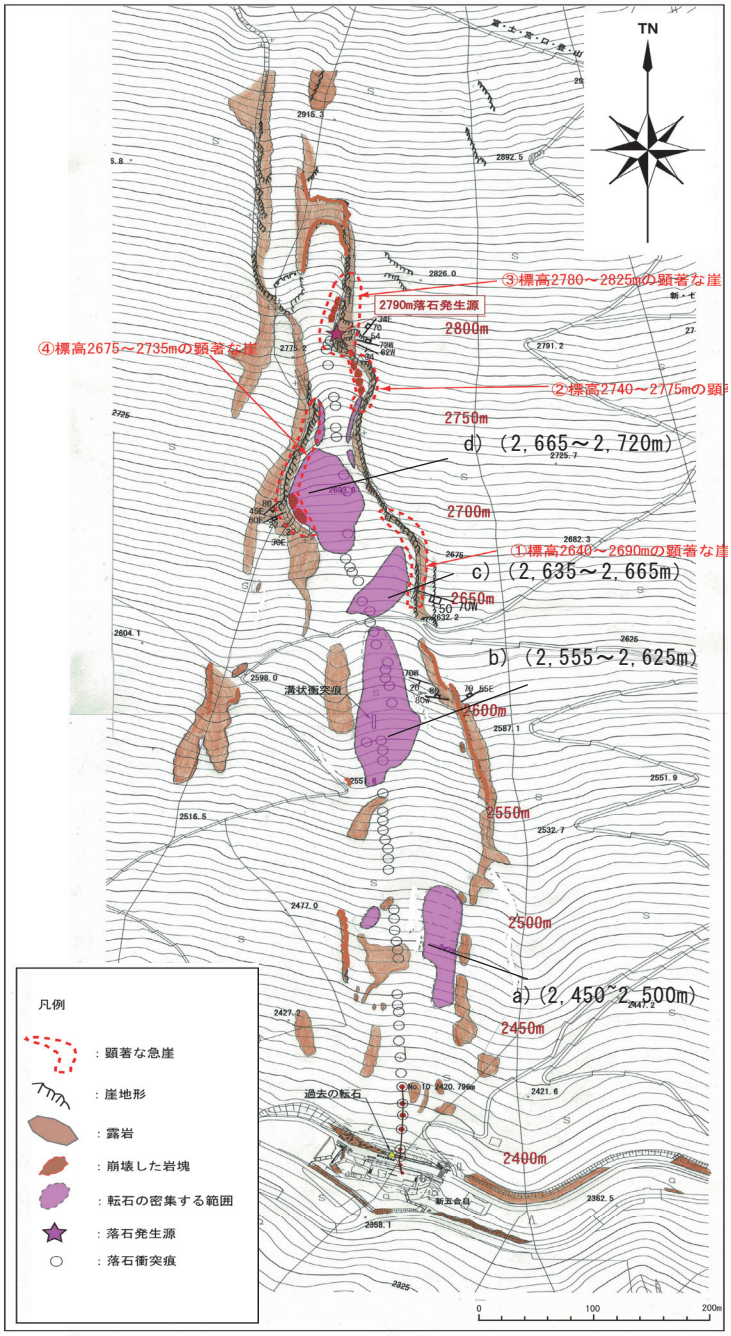


図１　落石災害発生箇所上方斜面の地形

2. 事例分析のシナリオ

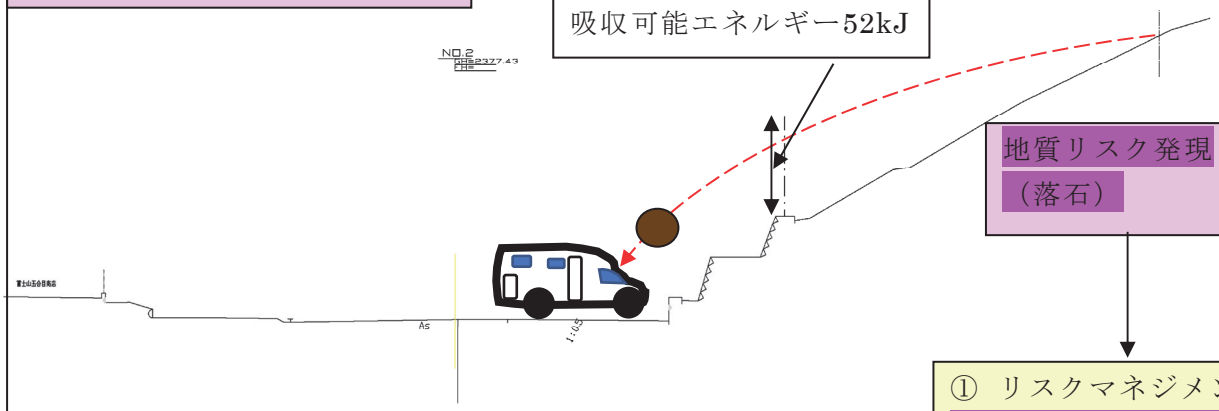
表 1 に各段階におけるリスクマネジメントの経緯を整理し、図 2 にシナリオを示す。

表 1　富士山富士宮口 5 合目駐車場上方の浮石における地質リスクマネジメントの経緯

既存施設の変遷	リスクマネジメント情報	地質リスクの状態
1969 年年 7 月 1 日、旧登山道を改修し供用開始。県が維持管理	リスクマネジメント不明	潜在の可能性あり
1976 年 3 月 30 日 スラッシュ雪崩	標高 2,750m付近を発生源とするスラッシュ雪崩により落石防止柵が被災。同年災害復旧事業により落石防止柵を復旧。柵高は 1.5m。	潜在の可能性あり **（落石のリスクは潜在のまま）** 1976 年～1982 年の間に柵高 2.0mの落石防止柵を施工
1982 年 7 月 24 日 落石（地質リスク）	6 合目付近からの落石が、落石防止柵を飛び越え、駐車中の車両 2 台を破損。落石は、直径 50 ㎝程度	地質リスク発現・（低減） **（落石のリスクは潜在のまま）** 落石防止柵高の柵高を変更 （H=2.0m から H=3.0m に変更）
1994 年「静岡県道 152 号富士公園太郎坊線」無料解放	リスクマネジメント不明	**（落石のリスクは潜在のまま）**
2007 年 3 月 25 日 スラッシュ雪崩	標高 2,800m付近を発生源とするスラッシュなだれ発現・落石防止柵が被災。同年落石防止柵を原形復旧 1982～2007年は落石防止柵高 H＝3.0m と推測。	潜在の可能性あり **（落石のリスクは潜在のまま）** 落石防止柵を原形復旧。 （可能吸収エネルギー52kJ（落石対策便覧））
2009 年 7 月 13 日夜 落石事故発生	体積 0.42 ㎥、重量 1.03t の落石が落石防護柵を突き破り乗用車を直撃	地質リスク発現
2009 年 7 月 14 日朝 緊急調査	事故発生駐車場・上方斜面への立入禁止 上方斜面を緊急調査	地質リスクの低減① **（落石のリスクは潜在のまま）**
2009 年 7 月 15 日～ 落石発生源・地形地質調査	落石発生源の特定・転石の大きさの測定・浮石の分布範囲把握	潜在地質リスクの抽出 浮石・転石の大きさ、分布標高、落石エネルギー
2009 年 7 月 22 日	第 1 回富士山富士宮口落石検討委員会　大型土のう工による応急対策	地質リスクの低減② （潜在のまま）
2009 年 8 月 25 日	第 2 回富士山富士宮口落石検討委員会　土堰堤工による応急対策	地質リスクの低減③（潜在のまま）
2010 年 7 月	土堰堤設置（ジオロックウォール工法）	発現箇所およびその周辺の 落石の地質リスクを回避

2009 年 7 月 13 日の落石発生時

既設落石防止柵 H=3.0m
吸収可能エネルギー52kJ



地質リスク発現
（落石）

① リスクマネジメント
潜在地質リスク抽出
・斜面上方の浮石
・落石の地質的素因
・落石のエネルギー

2009 年 7 月 15 日～
落石発生源・地形地質調査

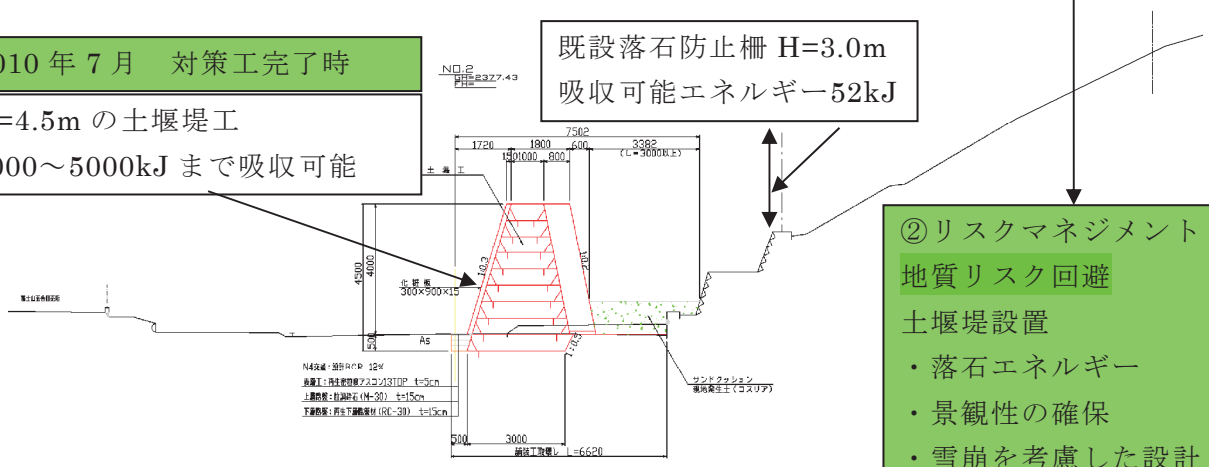
■落石発生箇所上方 600m の広範囲を地質踏査。
■浮石の分布範囲を確認
■転石調査から設計対象の落石規模を決定

落石発生源

2010 年 7 月　対策工完了時

H=4.5m の土堰堤工
1000～5000kJ まで吸収可能

既設落石防止柵 H=3.0m
吸収可能エネルギー52kJ



②リスクマネジメント
地質リスク回避
土堰堤設置
・落石エネルギー
・景観性の確保
・雪崩を考慮した設計

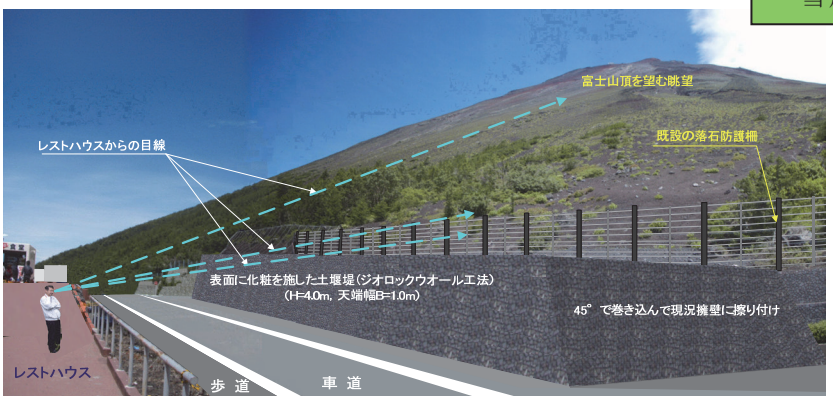


図 2　各段階にける地質リスクマネジメント

1）落石事故発生までの経緯

表1に示すように今回の落石事故発生以前にも地質災害が発生している。このうち、スラッシュ雪崩については地質リスクが発現する時期は登山客・観光客が訪れる登山シーズンではないため、直接的にリスク回避する対象とはせず、登山シーズンと重なる落石による災害を回避すべき地質リスクとして以下に述べる。

落石事故が発生した静岡県道 152 号富士公園太郎坊線富士山富士宮口 5 合目駐車場では 1982 年 7 月 24 日に落石事故が発生している。この時は柵高 2m の落石防止柵を飛び越えて直径 50 ㎝程度の落石が発生したが柵高 3m の落石防止柵により復旧している。当時は LP 地形図のような詳細な地形図も無い中での調査であったため、比高 600m、水平距離も 1000m 以上と広範囲の背後斜面の中から発生源を特定することや他の不安定な浮石の分布斜面を抽出するのは困難な状況であったと考えられる。1982 年の落石事故以降は登山シーズンに落石発生も無く、落石防止柵の破損は 2007 年 3 月 25 日のスラッシュ雪崩であり、災害後の復旧は原形復旧であった（吸収可能エネルギー52kJ）。

落石事故（体積 0.42 ㎥、重量 1.03t）発生した 2009 年 7 月 13 日は登山道解放の前夜であり、二次災害の発生が懸念されたため、翌 7 月 14 日朝 7 時から登山道・駐車場の一部を閉鎖した。また、事業者および地質調査者による落石の痕跡の追跡、発生源の特定を行った結果、周辺に不安定な浮石等の潜在する地質リスクが確認された。このことから緊急に有識者による落石対策委員会が編成され、今後発生する可能性のある落石の対策が検討されることとなった。

2）潜在地質リスクの抽出

① 不安定な浮石分布斜面

富士山富士宮口 5 合目駐車場の落石発生箇所の背後斜面は植生の繁茂が少なく、被覆層の堆積物や露岩がむき出しの斜面からなる。地形的には幅 50～100m の割れ目火口の両側に傾斜 60° から直立した急崖に挟まれた沢地形となっている。標高 3100m 付近の最上部では馬蹄形の急崖となっている。

崖を形成する地質構成物は新富士火山の火山噴出物のうち、スパター堆積物と呼ばれる割れ目火口からの噴出物である。スパター堆積物は高温の噴出物が堆積後に溶結・流動・固化した地質からなる。このため、溶岩流や溶結凝灰岩のように中央部が塊状で冷却節理のような割れ目の発達した地質構造を持ち、斜面勾配と平行な傾斜 20° ～30° の流れ盤の構造で成層する。

図 1 に示すような不安定な浮石が分布する急崖が抽出された。これらは差別浸食により塊状溶岩部がオーバーハングした急崖となっていた。また、斜面内に留まる転石の集中する範囲の存在も明らかとなった。これらから今後発生する可能性のある落石災害を想定し、回避する地質リスクとしてリスクマネジメントを行った。

3．データ収集分析

リスク発生の要因については、発現段階の落石発生源・地形地質調査時に現地の地形・地質に関する文献収集、地質踏査を行い、斜面崩壊の地質的素因に関する情報を整理し、過去の災害履歴等の情報も収集した。工事費については、委員会資料の対策工の算定額を引用した。また、潜在する地質リスク抽出に要した調査・設計費用について

は実績を採用した。

リスクマネジメントを実施しなかった場合については、原形復旧の工事費に加え、災害再発生時に富士宮登山口から訪問する登山客約 5.5 万人の経済効果(入山料収入 2 億 900 万円（￥1,000＋シャトルバス￥1,800＋お土産代￥1,000）/1 人）として算定した。

4. マネジメント効果

本事例のリスクマネジメントを表 2 の様に試算した。その結果、今回の対応は想定するリスクを回避しなかった場合に比べて2億4千600万円程度のコスト回避に値する。

C 型マネジメントの効果
=④リスクを回避しなかった場合の工事費用（原形復旧 2 回）+⑤間接的な影響費目
－（①当初工事費用+②追加工事費用+③リスク対応費用

表 2　マネジメント効果の算出一覧表

費用	内訳	金額（千円）
① 当初工事費用	土堰堤工（ジオロックウォール工法）	50,000
	小計①=	50,000
② 追加工事費用	応急処置工（L=66m 区間） 大型土のう工	4,000
	小計②=	4,000
③ リスク対応費用	発生源調査、ボーリング調査、対策設計	13,500
	小計③	13,500
④ リスクを回避しなかった場合の工事費用	・再構築・応急処置工含む 落石防護柵補強（落石復旧 2 回分）	9,800
	・落石調査、測量設計	14,000
	小計	23,800
⑤ 間接的な影響費目	入山料収入他　@￥3800×5.5 万人	290,000
	小計	290,000
リスクマネジメントの効果	C 型マネジメント=（④+⑤）－（①+②+③）	246,300

5. データ様式の提案

本事例は施工時に発現したリスクを最小限に回避するとともに、間接的な影響として登山客による入山料収入等の経済効果ももたらした事例である。C 型マネジメントのデータ様式 C 表を用いて整理した。

表 3　C 型マネジメントのデータ様式 C 表

大項目		小項目		データ
対象工事		発注者		静岡県
		工事名		落石対策事業
		工種		落石対策工事
		工事概要		道路上方からの落石対策としての土堰堤工の実施
		①　当初工事費		50,000 千円
		当初工期		1 年
発現した地質リスク	リスク発現事象	リスク発現時期		落石事故発生時
		トラブルの内容		浮石発現
		トラブルの原因		落石発生
		工事への影響		既設工法の妥当性確認と 追加対策工法の検討
	追加工事の内容	追加調査の内容		追加調査なし
		修正設計内容		工事修正設計なし
		対策工事		–
		追加工事		大型土のう工
		追　加 費用	追加調査	0 千円
			修正設計	0 千円
			対策工	0 千円
			追加工事	4,000 千円
			②　合計	4,000 千円
		延長工期		1 年
		間接的な影響項目		–
		負担者		事業者、施工会社
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		落石発生後調査
		予測されたトラブル		・不安定な浮石の崩壊
		回避した事象		・落石災害
		工事への影響		1 年工事中断（調査設計待ち）
	リスク管理の実際	判断した時期		落石事故発生時
		判断した者		事業者（地質技術者の助言）
		判断の内容		設計対象落石の検討、対策工検討
		判断に必要な情報		浮石の分布、過去の転石の大きさ
	リスク対応の実際	追加調査・修正設計		浮石・転石調査、落石対策工選定
		費用		13,500 千円
	回避しなかった場合	工事内容		・既設落石防護柵の補強
		④　工事費		23,800 千円
		工期延長		最低 2 年
		間接的な影響項目		290,000
リスクマネジメントの効果		費用④+⑤−（①+②+③）		246,300 千円
		工期		1 年
		その他		

［論文No.13］　岩盤の時間経過後の風化特性を考慮したのり面勾配の再設定

大地コンサルタント株式会社　札幌支社　秋山　道生

1.事例の概要

本事例は、北海道中北部で計画されている地方道の切土対象箇所での時間経過、掘削後の風化特性の変化を考慮した適正のり面勾配の再設定により地質リスクを事前に回避した事例である。紹介したシナリオ、データ収集分析について紹介する。

当該路線は延長2.6km程度で、東西に沢地形で分断された市街地間をつなぐルートとなっており、斜面腹付け盛土・沢埋め盛土等に加え、丘陵部に両切土が計画されている。このうち、両切土箇所は比高30m、延長150mで5段程度ののり面が計画されている。

当該地域の地形は、標高70m程度のなだらかな丘陵地形よりなり、その中央に南東－北西方向に流下する沢地形よりなる。地質は、新第三紀鮮新世の塊状の砂岩・シルト質砂岩よりなり、沢沿いに第四紀完新世の沖積層が分布している。また、沢沿いの斜面には薄く基盤岩起源の斜面堆積物や河川性の段丘堆積物が分布している。斜面中に岩盤の露出はほぼ確認されず、斜面勾配も30°程度主体である。沢底には岩盤の露出が確認され、斜面基部では傾斜40°程度となっている。

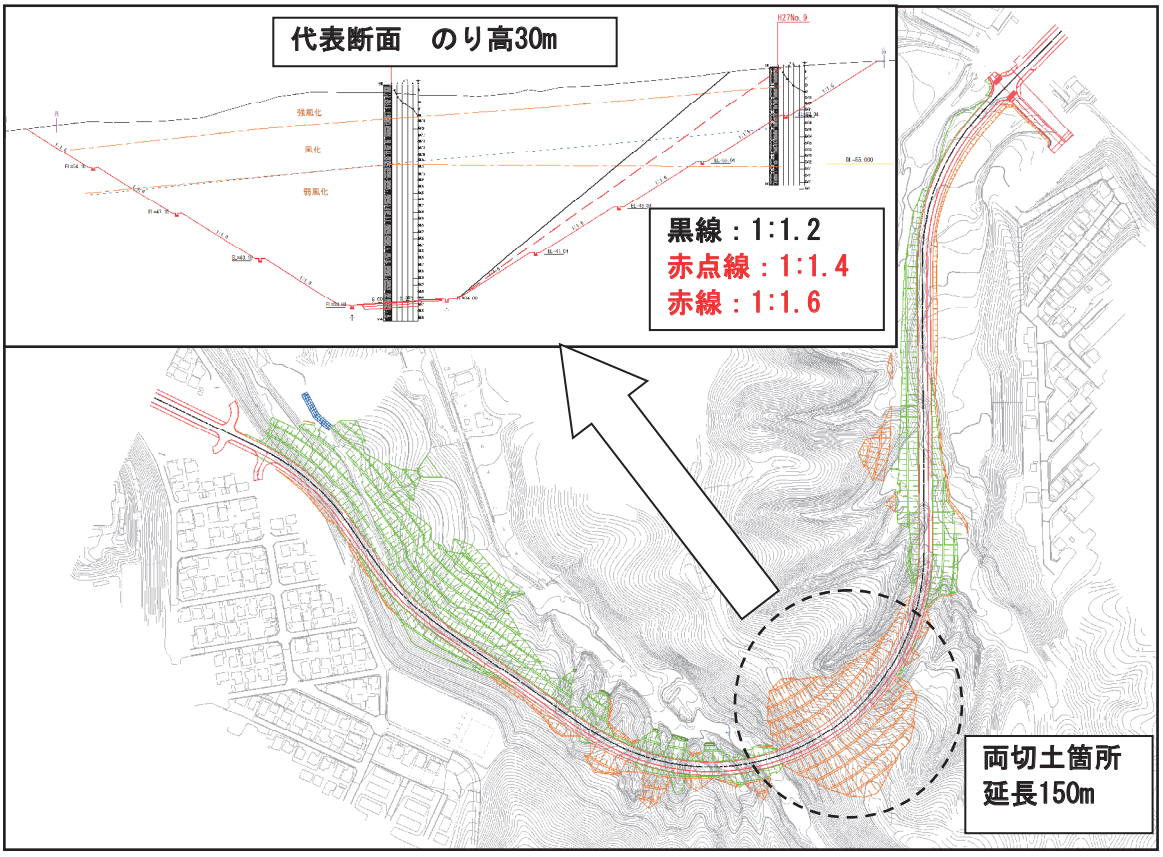


図１　対象箇所平面図・代表断面図(non-scale)

ボーリング調査では、被覆層はほぼ確認されず、強風化・風化・弱風化部が確認される。強風化部は土砂相当（砂質土）、風化部及び弱風化部は軟岩相当層である。

切土対象が新第三紀鮮新世の堆積軟岩であるため、ボーリングコアを使ったスレーキング特性の確認結果に基づく二次的強度低下を考慮した適正のり面勾配の設定が行われていた。

適正のり面勾配は、出現する地層のうち最大切土対象で最下部に分布する弱風化部を対象に設定していた。当初設定の適正のり面勾配は、スレーキング試験結果の吸水量増加率が10回あたりの平均値で1.8%となり、風化劣化を考慮しない値（表2でのB）であるとされ、20m以上での設定値である1:1.4が採用されていた(表3での硬さ区分はⅡ、図3ではⅡB)。

ただし図2の赤線データに示すように、一部の試験値で試験後半に吸水量増加率の急勾配化が確認されているため、新期の堆積性軟岩で泥質岩ではないが固結度も低く含有する粘土鉱物の吸水が粒子分離後に促進する可能性があり、急勾配部を時間経過・風化進行後の劣化特性と評価することが適切と判断し、急勾配部の試験値で吸水量増加率の見直しを行った。

その結果の吸水増加率は5.6%で風化劣化を考慮する～しないの中間の値（表2でのAとBの中間）になり、適正のり面勾配も1:1.6(岩質AとBの中間値)が適するとの結果となった(表3での硬さ区分はⅡ、図3ではⅡA-B)。

表1　吸水量検討結果表

地質			砂岩(弱風化)								
吸水量	1回目	(%)	21.58	19.07	20.66	18.76	17.72	22.27	21.31	20.91	
	2回目		21.70	19.10	20.68	18.77	17.74	22.30	21.32	21.01	
	3回目		22.13	19.64	20.85	19.27	18.06	24.15	22.09	21.65	
	4回目		23.69	20.47	21.81	20.27	19.02	25.64	24.31	22.84	
	5回目		24.67	20.18	21.70	20.61	19.23	26.66	27.58	22.93	
	6回目		27.11	21.61	22.65	22.34	20.22	28.38	35.42	24.18	
	7回目		28.44	22.32	22.86	23.35	20.82	28.99	42.39	24.67	
	8回目		31.95	23.66	23.37	27.18	21.91	31.62	49.27	25.97	
	9回目		37.19	25.61	24.37	32.87	23.20	33.85	52.49	27.76	
	10回目		44.19	30.40	25.75	41.43	25.09	36.54	52.76	29.65	平均
吸水量増加率	平均	(%/回)	2.51	1.26	0.57	2.52	0.82	1.59	3.99	0.97	1.8
	急勾配箇所	(%/回)	5.25	4.80	-	6.02	-	-	6.24	-	5.6
	算出範囲		7～10回	9～10回		7～10回			4～8回		

吸水量が急激に増加する箇所

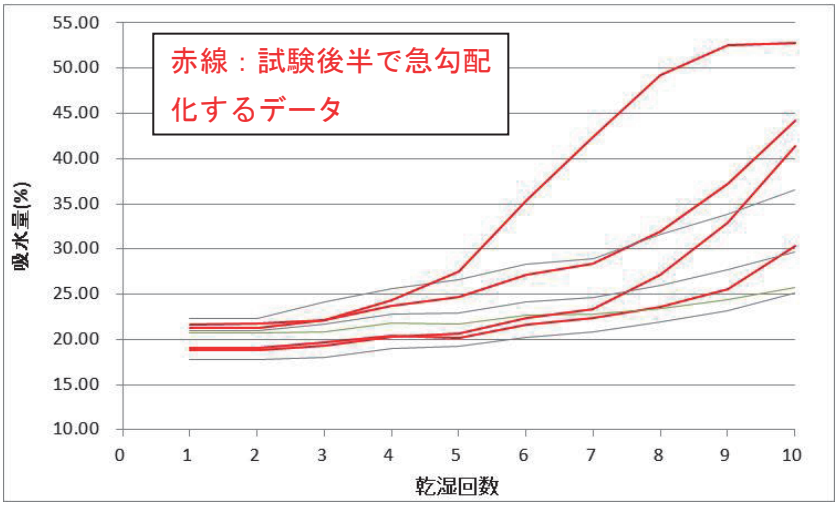


図2　吸水量変化図

表2　岩質区分のための二次的強度低下を考えた判別基準（NEXCO設計要領）

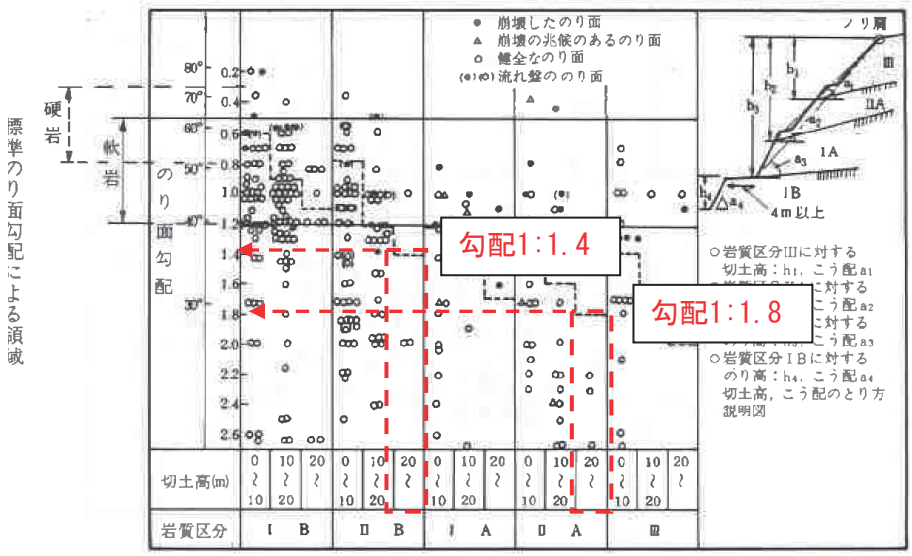
区分A:吸水量増加率＞10%、区分B：吸水量増加率≦5%

調査 ＼ 区分	室内試験			
	自然吸水	液性限界と吸水量増加率		
	膨張率(%)	液性限界(%)		吸水量増加率(%)
A	1.5以上	60＜	(and)	10＜
B	1.5以下	40≧	(or)	5≧

表3　硬さによる岩質区分（NEXCO設計要領）

※新期の砂岩のため、弱風化部は岩質区分Ⅱと評価

岩質区分	岩の見掛け	ハンマーによる打診	土壌硬度
Ⅰ	新鮮で硬い。 岩の組織構造は完全に認められる。	たたいたとき澄んだ音あるいはにぶい音がする。 ハンマーの先端は全然突きささらないか非常に困難である。 ハンマーの強い打撃で割れるが，層理や亀裂に沿って割れる。 偏平な小岩片でも手では割れない。泥岩，シルト岩の場合には両手でやっと割れる程度。 ハンマーで塊状サンプルが採取できる。	30 以上
Ⅱ	時代が新しく固結度の低い岩，あるいは風化によって軟化した岩。 風化の場合には岩の微細な組織は消えかけている。	たたいたとき，にぶい音がする。ハンマーの先は突きささる。容易に割れ，亀裂や層理に無関係にも割れる。 偏平な小石片は指で割ることができる。 こわれやすいのであまり大塊のサンプルは採取困難である。	24～30
Ⅲ	未固結の堆積物あるいは風化や変質を強く受けた岩。 岩の形状を示さないで，むしろ土砂として扱うべきもの。	たたいたとき崩れるように割れるか，ハンマーがめり込んでしまう。 ハンマーの先は容易につきささる。 岩片は指先でつぶれる。 ハンマーでは不攪乱サンプルを採取できない。	24 以下



注）図中のり面勾配は，適用に示す平均のり勾配であるので，標準のり面勾配領域と若干異る。

図3　泥岩・凝灰岩の岩石区分と適正のり面勾配（NEXCO設計要領）

岩質区分ⅡB：勾配1:1.4，岩質区分ⅡA:勾配1:1.8，**岩質区分ⅡA-B:勾配1:1.6**

この結果を検証するため、追加で以下の２パターンの試験を実施した。

検証１：弱風化部の貫入試験試料での試験（時間経過したためコア試料での実施回避）

吸水量が7.6%となり、当初実施の表１での急勾配箇所と同じ評価（評価AとBの中間）となった。当初試験とは異なり勾配変化は確認されず、収束した（初期より増加率検討可能）。

貫入試験試料は、貫入試験シューを強制的に岩盤に貫入させ破壊を伴った試料であり、掘削により岩盤に小亀裂が生じた条件を近似できる。本条件での試験結果は、掘削のり面表面付近での岩盤状態を表しており、掘削により岩盤表層は風化劣化を考慮する～しないの中間の状態（表2のA-B）に変化することがうかがえる。

検証２：風化部での試験

吸水量が17.1%となり、表2では風化劣化を考慮する（評価A）結果となった。

表4　吸水量検討結果表（検証試験）：X線分析併記

地質			砂岩(弱風化):貫入試料			砂岩(風化)		
吸水量	1回目	(%)	29.70	33.30	32.40	49.20	53.80	44.30
	2回目		45.70	50.00	38.50	67.80	75.50	64.50
	3回目		52.00	53.10	40.00	67.80	75.50	66.00
	4回目		52.50	56.80	40.90			66.10
	5回目		52.70	57.00	41.60			
	6回目		52.80	57.00	42.00			
	7回目		52.80		42.00			
	8回目		52.80		42.10			
	9回目		52.80		42.20			
	10回目		52.80					
吸水量増加率		(%/回)	11.15	7.83	3.80	18.60	21.70	10.85
平均			7.6			17.1		
X線分析	石英		◎	◎	◎	◎	◎	◎
	長石		○	△	△	△	○	△
	角閃石			－		－	－	－
	ジプサム					－		
	雲母		－	－	－	－	－	－
	緑泥石			－		－	－	－
	スメクタイト		＋	－	＋		＋	＋

■：吸水量算出試験値

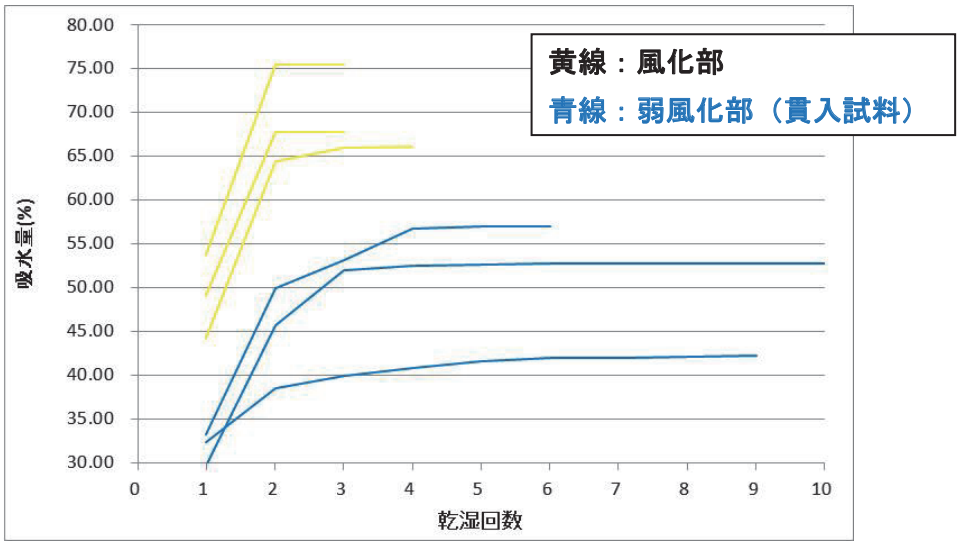


図4　吸水量変化図（検証試験）

2. 事例分析のシナリオ

対象箇所が比高30m・延長150mの両切りの切土箇所であり、勾配不一致のままでは掘削中・掘削後の崩壊発生の可能性があり、のり面の切り直し等による工費の増大・工期の遅延につながる。

今回の検討は、岩盤の風化特性が地山内で人為的作用を受けていない状態から、時間経過、風化進行後及び掘削による亀裂の発生後に変化することに着目したものである。

新期の堆積性軟岩は、泥質岩以外でも固結度が小さいため古生層や火成岩と比較して粒子の分離が進み易く、粒子分離が進むにつれて含有している粘土鉱物の吸水が促進され、風化劣化がより進行する可能性がある（粘土鉱物の含有は表4参照）。

この新期の堆積性軟岩の岩盤特性に注目したことで、施工中・施工後の岩盤状態に適した最適な適正のり面勾配の設定につながったものと判断される。

3. データ収集分析

今回実施した追加試験では、当初実施した試験値の見直しにより想定された、風化劣化後の条件の風化部で“評価A:風化劣化を考慮する”、掘削法面表面：貫入試験試料で“評価A-B：風化劣化を考慮する～しない”条件の吸水量増加率となる試験結果が得られた。

これにより、当初想定した粒子の分離後の粘土鉱物の吸水量の促進がある程度確認され、岩盤が地山内部→掘削・時間経過→風化進行に伴って、風化に対する耐性が変化することが確認された。

4. マネジメントの効果

マネジメントの効果は、当初適正のり勾配での設計・施工実施の場合、施工中・共用後に崩壊が発生し、切り直し工事を実施することを想定して検討した。

○マネジメントなし

勾配1:1.4でののり面掘削→施工・供用後ののり面崩壊→切り直し（適正のり面勾配1:1.6）

当初工事費＋崩壊による切り直し工事費

2.9億円(直工)+1.9億円(直工)

=4.8億円（直工）

○マネジメントあり

勾配1:1.6の適正のり面勾配での掘削

工事費＋追加試験費

3.9億円（直工）＋0.007億円

＝3.9億円（直工）

※追加試験費はデータ様式原案参照

表5　適正のり面勾配と施工費の概算

工種	規格	切土工(1:1.6)＋植生工	切土工(1:1.4)＋植生工	崩壊後切り直し(1:1.6)+植生工	備考
		金額（万円）	金額（万円）	金額（万円）	
土工		25,600	18,700	7,855	
	BH掘削　土砂	2,200	1,812	388	掘削差分
	リッパ掘削　軟岩Ⅰ	18,242	15,209	3,033	掘削差分
	運搬残土(全体)	4,130	787	3,343	掘削差分
	土砂	132	125	132	新期掘削面を対象
	軟岩Ⅰ	959	802	959	新期掘削面を対象
法面工		5,000	4,300	5,043	
	植生基材吹付 t=5cm	5,043	4,305	5,043	新期掘削面
排水工		800	700	420	
	U-300B	804	767	420	半分破損と想定
落石雪害防止工		7,200	5,500	4,602	
	H=2.0m(各小段)	5,610	5,280	2,970	半分破損と想定
	ケミカルアンカー	1,632	1,536	1,632	新設
直接工事費計		38,600	29,200	17,920	

5. データ様式の提案

以上の結果をデータ様式に記入し以下に示す

A. 地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		—
	工事名		—
	工種		のり面計画箇所での地質調査
	工事概要		道路改良区間中のH=30m,L=150mの両切土区間。
	① 初工事費		当初工事費＋崩壊による切り直し工事費 当初のり面工事費：2.9億円（直工）+切り直し後法面工事費：1.9億円(直工)=4.8億円（直工）
	当初工期		−
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		施工中、供用後
	予測されたトラブル		適正のり面勾配の不一致（実際より急傾斜で設定し、設計施工に及んだ）
	回避した事象		のり面崩壊
	工事への影響		切り直しにより工期延伸。供用後の再工事。
リスク管理の実際	判断した時期		地質調査内
	判断した者		受注者
	判断の内容		室内試験を再評価・追加実施し、時間経過後の岩盤の風化耐性を考慮した適正のり面勾配を設定した。
	判断に必要な情報		室内試験結果
リスク対応の実際	内容	追加調査	乾湿繰り返し試験,X線分析
		修正設計	適正のり面勾配1:14→1:1.6
		対策工	
	費用	追加調査	乾湿繰り返し試験 40千円＊6試料=24万円 X線分析 70千円*6試料=42万円 合計　66万円（0.007億円）
		修正設計	
		対策工	
		② 計	0.007億円（直工費）
変更工事の内容	工事変更の内容		切土勾配の変更（緩化）
	③変更工事費		3.9億円（直工）
	変更工期		短縮
	間接的な影響項目		崩壊・変状の防止。切り直しによる工期の延伸。
	受益者		道路管理者、周辺住民
リスクマネジメントの効果	費用（①−③−②）		4.8−3.9−0.007≒0.9億円
	工期		施工中や供用後の崩壊後の再施工の必要性なく短縮
	その他		用地の再取得不要

［論文 No. 14］軟弱地盤上の築堤における地質リスク回避事例

株式会社キタック　○西　　達也
株式会社キタック　　金子　敏哉
株式会社キタック　　佐藤　　豊

1. 事例の概要

本事例は、河川堤防の築堤工事において発現が懸念された地質リスクである「鋭敏な粘性土に起因するすべり破壊」に対するマネジメント事例である。

軟弱地盤上の河川堤防の築堤工事において、当初は基礎地盤対策無しで築堤が可能との解析結果が得られていたが、近傍の類似地盤上の堤防嵩上げ工事において盛土直後にすべり破壊が発生した事例があったことから、当該区間でも同様の地質リスクの発現が懸念された。

近傍のすべり破壊が発生した堤防嵩上げ工事においては、設計段階では基礎地盤対策無しで堤防の嵩上げが可能と判断されていたが、施工時にすべり破壊が発生し、液性指数の高い鋭敏な粘性土が施工時の振動等により強度低下した可能性が指摘されている。

本事例においては、追加調査により当該地の地表面付近に分布する粘性土について液性限界試験や繰り返し一軸圧縮試験を実施し鋭敏比を求めたところ極めて鋭敏な粘性土が確認された。このため強度低下後のせん断強度を適切に設定し軟弱地盤解析を実施したところ、基礎地盤対策が必要との検討結果が得られた。

施工前に地質リスクを把握し、基礎地盤対策（地盤改良工法）を設計することで、施工時のすべり破壊発生という地質リスクを回避した事例である。

【A 型：地質リスクを回避した事例に分類】

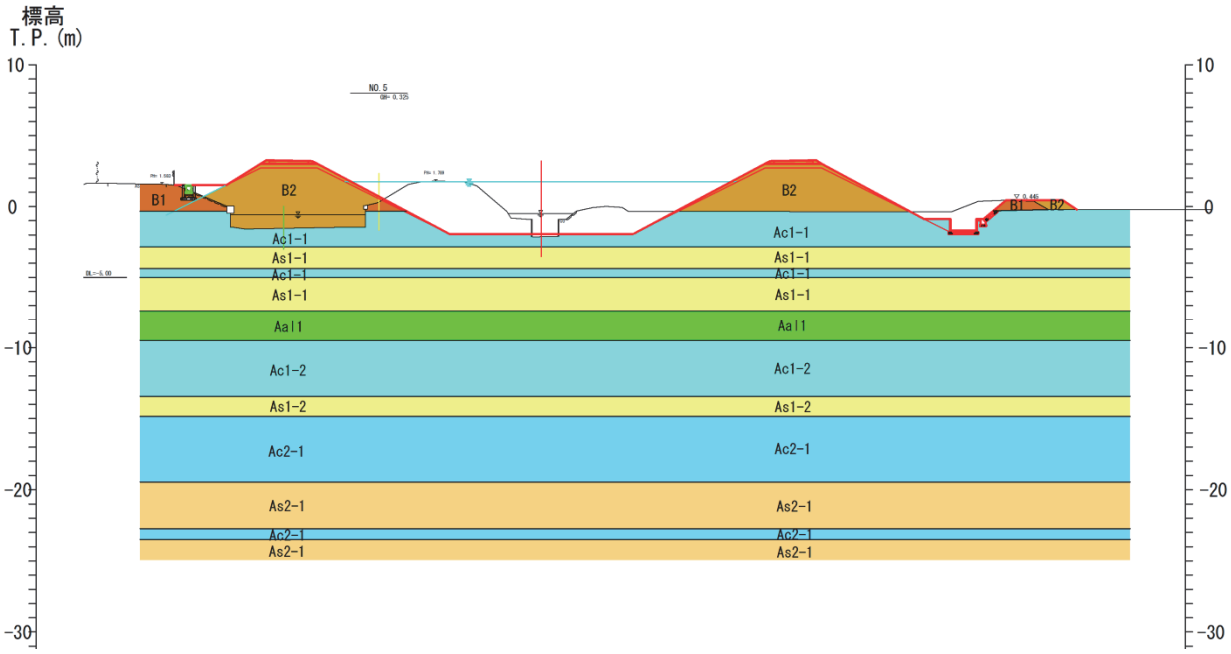


図 1　築堤計画及び地質断面図

2. 事例分析のシナリオ

本事例におけるリスク回避に至るプロセスを以下に示す。

(1) 既往設計段階（地質リスクの予見なし）

既往の築堤設計段階では、原位置から採取された乱れの少ないサンプリング試料を用いて一軸圧縮試験や三軸圧縮試験が実施されており、通常の状態の地盤のせん断強度が設定されていた。しかし「鋭敏な粘性土に起因するすべり破壊」のリスクの認識は無く、当該地の地表面付近に分布する粘性土が鋭敏であり、強度低下の可能性があることや、強度低下に伴うすべり破壊の可能性があることについては予見されていなかった。

(2) 別事業でのすべり破壊発生

本事例の箇所と地理的に比較的近く、地盤状況も類似している施工現場がある。その施工現場では堤防の嵩上げ工事が行われていたが、施工直後に堤防のすべり破壊が発生した（写真 1 参照）。

写真1　類似地盤でのすべり破壊事例

その堤防嵩上げ工事について設計段階においては、基礎地盤対策は不要ではあるが、施工中は盛土中央付近の沈下量と法尻付近の側方変位量を観測し、関係図を作成することで堤防の安定を確認しながら施工を進める提案がされていた。実際には動態観測が実施されていなかったために、すべり破壊にまで至ってしまったと考えられるが、このすべり破壊の原因としては、液性指数の高い鋭敏な粘性土が施工時の振動等により強度低下した可能性が指摘されている。

この現場では施工を一旦停止し、地質調査および対策工の設計・施工を行っていることから、事業進捗の大幅な遅れや事業費の増加があったと考えられる。

(3) 鋭敏な粘性土について

鋭敏比の高い粘性土が分布している地盤では、施工時の振動や衝撃等で強度低下を引き起こす可能性があることが一般に言われている。また、液性指数と非排水せん断強さ、鋭敏比の間に相関性があることも一般に言われており、液性指数と鋭敏比の関係図も示されている（図 2 参照）。

(4) 追加調査の実施

本事例と、すべり破壊が発生した施工現場の事業主体は同じ地方公共団体であることから、すべり破壊が発生した時点で、地理的にも近く、地盤状況が類似しており、基礎地盤対策無しで築堤を計画している本事例の情報もあるため、本事例においても同様の地質リスクの発現が懸念された。

そこで本事例の事業主体より依頼を受けて、まず追加の地質調査を計画した。

①液性指数の分布把握

鋭敏比と液性指数との間に相関性があることから、既往調査結果の整理を行い、液性指数の分布把握を行った。既存資料の無い区間については追加調査を提案した。

②鋭敏比の設定

液性指数の分布把握と、対象区間の地形分類による区間区分を基に、強度低下を引き起こす可能性のある区間を設定し、代表地点で乱れの少ない試料を採取し、繰り返し一軸圧縮試験を実施することにより鋭敏比の設定を試みた。繰り返し一軸圧縮試験は試験点数が少ないことから、関係図を用いて液性指数から設定した鋭敏比も考慮して鋭敏比を設定した。

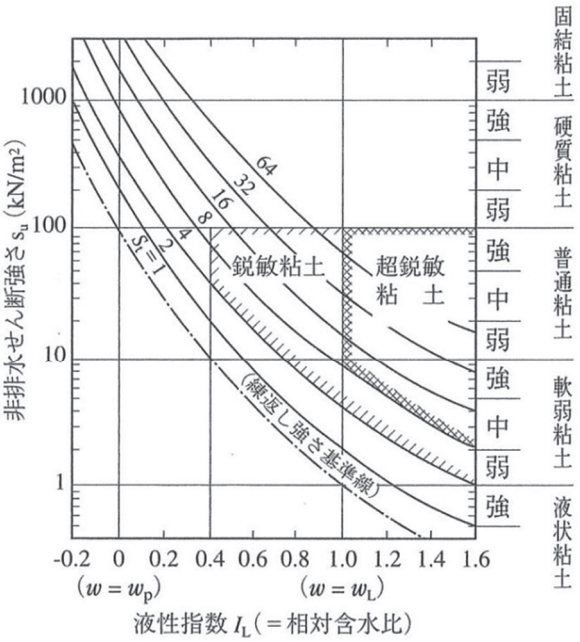


図2　土の状態図

出典:土質試験　基本と手引き(社団法人　地盤工学会)

(5)対策工設計

地形分類による区間区分ごとに鋭敏比を用いて強度低下後のせん断強度を設定し、施工の振動等による強度低下を考慮しても築堤が安定するための対策工を検討した。

3.データ収集分析

(1)液性指数の分布把握

地表面付近の粘性土層について、既往調査結果に追加調査結果を加えて、本事例の設計区間の液性指数分布を整理した。

整理の結果、地表面付近の粘性土層の液性指数は0.9～1.6程度を示し、土の状態図からの判断に寄れば、「超鋭敏粘土」に分類され、強度低下の可能性が高いと判断された。

(2)鋭敏比の設定

鋭敏比の設定は、乱さない試料の一軸圧縮試験結果と練り返した試料の一軸圧縮試験結果の比から算出する方法と、非排水せん断強さと液性指数の関係を示した「土の状態図」から求める方法がある。

＜鋭敏比 St の算出方法＞

①乱さない試料と、練り返した試料の一軸圧縮試験結果の比から算出する方法

St＝qu/qur

qu　：乱さない試料の一軸圧縮強さ（kN/m²）

qur：練り返した試料の一軸圧縮強さ（kN/m²）

②土の状態図から求める方法

液性指数と非排水せん断強さから、土の状態図（図２参照）を用いて鋭敏比を求める。

本事例では、新たにサンプリングした試料については、「①乱さない試料と練り返した試料の一軸圧縮試験結果の比から直接、鋭敏比を求める方法」と、「②液性指数から間接的に求める方法」の両者を実施し、既往調査試料については、練り返し一軸圧縮試験は実施されていなかったため、液性指数から間接的に求める方法を用いた。

採取した土質は極めて鋭敏であったため、練り返した試料は、一軸圧縮試験の供試体を整形しても自立しない状態となる試料もあった。

２ 種類の方法で鋭敏比を求めた結果から、試験結果から直接鋭敏比を求める①の方法での鋭敏比と、状態図から間接的に求める②の方法での鋭敏比の比を求めた結果、本事例の土質については、直接求めた鋭敏比が、間接的に求めた鋭敏比の２倍程度の大きさとなった。

そこで本事例では、直接求めた鋭敏比の方の精度が高いと考え、間接的に求めた鋭敏比に比率の係数を掛けて、約２倍の値として各試料の鋭敏比を設定した。

(3) 強度低下後の粘着力の設定

各試料の強度低下前の粘着力を、設定した鋭敏比で割り、各試料について強度低下後の粘着力を設定した結果、強度低下前の粘着力が 10～30kN/m^2 程度であったのに対し、強度低下後の粘着力は 0.4～5 kN/m^2 程度と設定された。

本事例の設計区間は縦断方向で地形分類が変化するため、地形分類毎に強度低下後の粘着力の平均値を求め、安定計算に用いるせん断強度を設定した。

(4) 対策工設計

類似地盤での地質リスクの発現（すべり破壊の発生）を受けて、施工時の振動等によるせん断強度の低下を見込んだせん断強度設定を行い、築堤施工の安定性を再検討した。

再検討の結果、無対策では計画形状の築堤を行った際にすべり破壊が発生する結果となったため、対策工の比較検討の結果、地盤改良工法を選定し、地盤改良工法の設計を行った。現在は、地盤改良工を含む築堤詳細設計を実施中である。

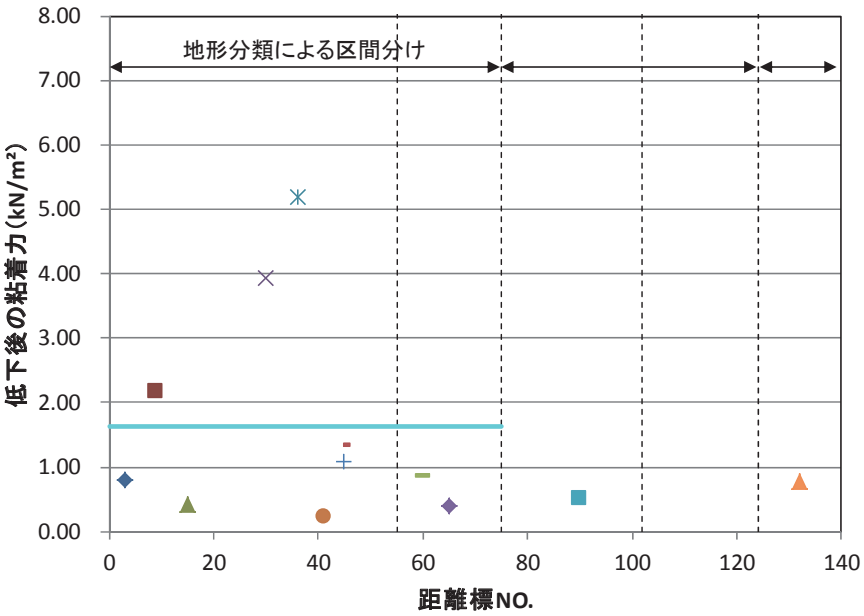


図3　強度低下後の粘着力分布図

4. マネジメントの効果

本事例においては、施工前に鋭敏な粘性土の潜在リスクに気付き、地質調査と基礎地盤対策工設計等の対応を実施したことにより、想定されるリスク（築堤施工時のすべり破壊の発生）を回避することができた。

リスク回避の過程で地質調査費用、設計費用、対策工事費等の事業費の増大は避けられなかったが、リスク回避のための事業費と、リスク発現時（築堤施工時のすべり破壊の発生）の想定事業費を対比し、以下のようにマネジメント効果の算出を試みた。

(1) マネジメントを実施した場合

既往設計の築堤工事費用に、すべり破壊のリスク回避のための調査費用、設計費用、地盤改良費用を加算した。

(2) マネジメントを実施しなかった場合

施工中（工事進捗 50%）に地質リスクが発現に至るものと想定し、リスク発現後に対策を開始する条件で事業費を想定した。

地質リスクの発現は、築堤施工がある程度進捗した後、施工によって発生する振動により地表面付近に分布する鋭敏な粘性土が強度低下を引き起こし、築堤盛土の荷重によりすべり破壊が発生するシナリオを想定した。

マネジメントを実施しなかった場合の事業費は、既往設計の築堤施工費の 150%（施工済みの 50%区間について再施工が必要と仮定）、追加地質調査の費用、基礎地盤対策工の設計費用、基礎地盤対策工の施工費用、周辺の水田の被害想定額を計上するものとする。

(3) マネジメントの効果

本事例のリスクマネジメント効果を表 1 のように試算した。今回のマネジメントにより 3.3 億円のマネジメント効果が現れたものと評価することができる。

表 1　マネジメント効果の算出一覧表

大項目	小項目	データ
対象工事	①当初工事費	500,000 千円（築堤工事のみ）
	①’すべり破壊時の対応	1,750,000 千円
リスク対応の実際	追加調査	3,000 千円
	修正設計	5,000 千円
	対策工	5,000 千円
	②合計	13,000 千円
リスクマネジメントの効果	費用（①+①’－③－②）	337,000 千円

5. データ様式の提案

本事例は【A 型：地質リスクを回避した事例】であることから、様式 A に若干の変更を加えて、以下のようにデータ様式をとりまとめた。

表 2　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		地方公共団体
	工事名		-
	工種		河川改修事業
	工事概要		築堤工、護岸工
	①当初工事費		500,000千円（築堤工事のみ）
	①’すべり破壊時の対応		1,750,000千円
	当初工期		約6ヶ年
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		築堤工事中
	予測されたトラブル		築堤盛土のすべり破壊
	回避した事象		すべり破壊による工事の大幅な遅れ
	工事への影響		築堤工事の中断
リスク管理の実際	判断した時期		築堤詳細設計後
	判断した者		発注者
	判断の内容		築堤前に地盤改良を実施する
	判断に必要な情報		類似地盤でのすべり破壊の発生
リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング調査
		修正設計	築堤設計に地盤改良工の追加
		対策工	地盤改良工
	費用	追加調査	3,000千円
		修正設計	5,000千円
		対策工	5,000千円
		②合計	13,000千円
変更工事の内容	工事変更の内容		地盤改良
	③変更工事費		1,900,000千円
	変更工期		約8ヶ年
	間接的な影響項目		事前対策による安全性確保
	受益者		周辺耕作地の地権者等
リスクマネジメントの効果	費用（①+①’－③－②）		337,000千円
	工期		すべり破壊が発生した場合、工事中断等の影響が及ぶ。

［論文 No. 15］自然由来重金属を含む盛土材の対処方法の提案

基礎地盤コンサルタンツ株式会社　○杉山直人　龍野敏晃
小山修司　大出悟

1. 事例の概要

(1) 事例概要

本事例は、新規道路建設事業において自然由来重金属を含んでいるトンネル掘削ズリ(発生土)を盛土材として使用する際の処理方法の提案を行い、事業コストの拡大を回避した事例である。

当事業のトンネル計画地においては、既往調査により新第三紀層火砕岩等に自然由来重金属が溶出されることが着目されており(図 1)、その発生土は同事業内の盛土材に使用され、盛土は山間部以外に集落に近い河川沿いの沖積平野に計画されていた(図 2)。

自然由来重金属を含んだ発生土を盛土材に用いる際、従来の土壌汚染対策法による不溶化やシートによる封じ込め工等の対策工は、高コストであるだけではなく、シートの場合、封じ込め対策工とその上の覆土に材料的差異が大きく、滑り変状などが誘発されることや対策工の劣化による重金属の流出などが懸念される。図 2 において河川側に集落があることからその影響も懸念された。

本事例ではサイト概念モデルを用いたリスク評価に基づく対策工選定を行った。サイト概念モデルは、平成 22 年に国土交通省から公表された「建設工事における自然由来重金属含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版)」(以下「マニュアル」)に取り入れられたリスク評価で、従来の土対法による対策よりも低コスト化が期待でき注目が高まっている。

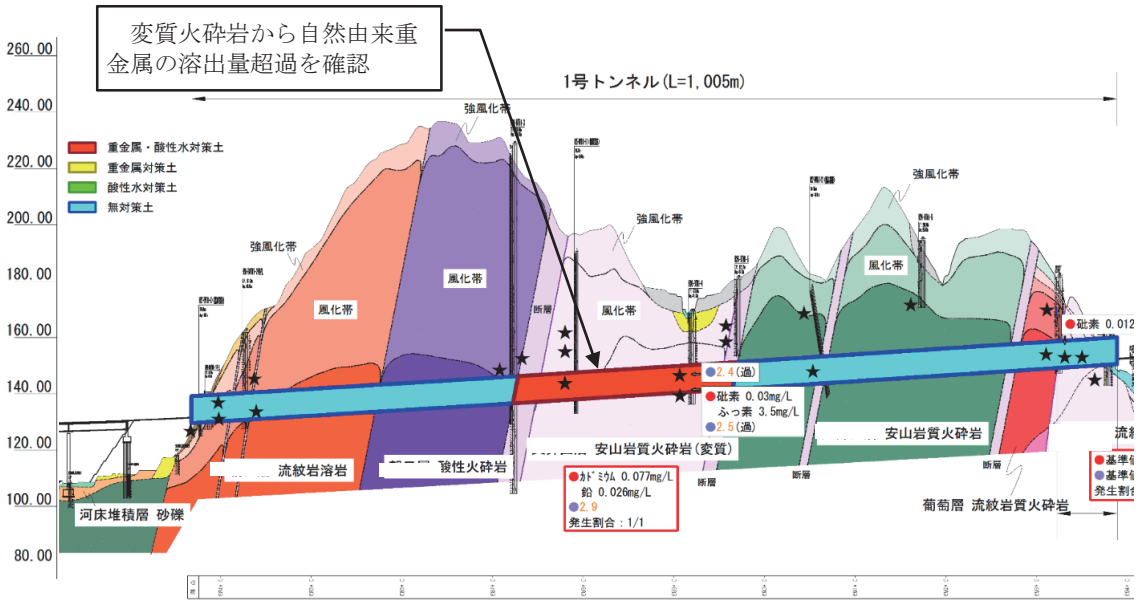


図 1　道路事業のうち自然由来重金属が含まれるトンネル縦断図

(2) サイト概念モデルの概要

従来の土対法による対策は、自然由来重金属等による汚染の可能性がある場合、発生源の除去等の措置（封じ込めなど）を実施することとなる。対してサイト概念モデルは、その評価地点を敷地境界や保全対象近傍とし、それに達するまでの地盤特性（吸着性・拡散

性・透水性等）を考慮し、地下水濃度を移流分散解析等により求める。評価地点において基準値を超える場合は必要な程度まで低減させる対策を取ればよく、条件の良い地盤での処理が可能な場合、大幅に処理コストの削減が可能である(図 3)。

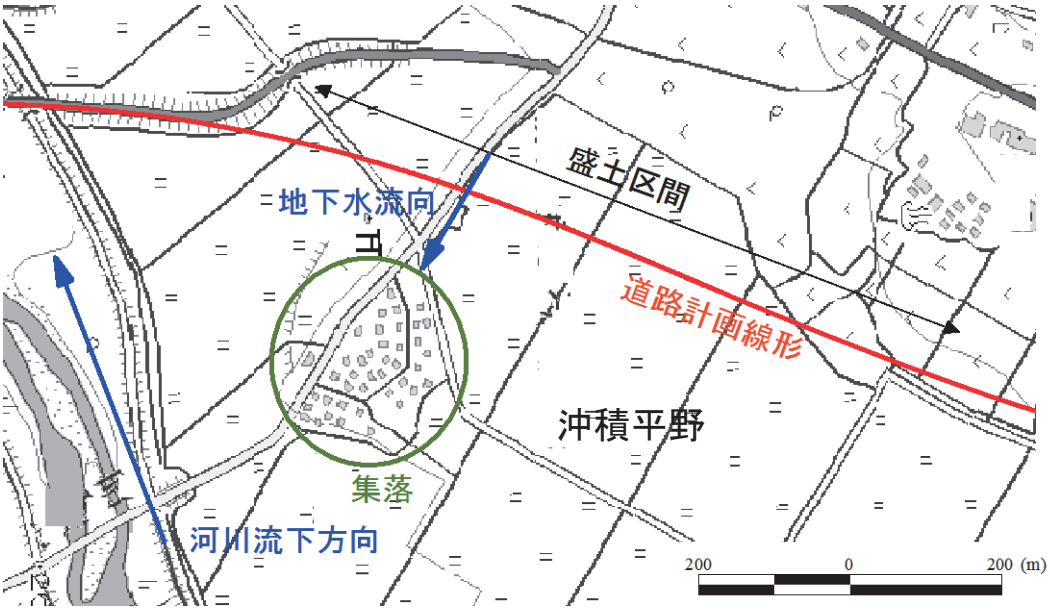


図 2　道路事業のうち自然由来重金属が含まれる発生土を材料とした盛土位置平面図

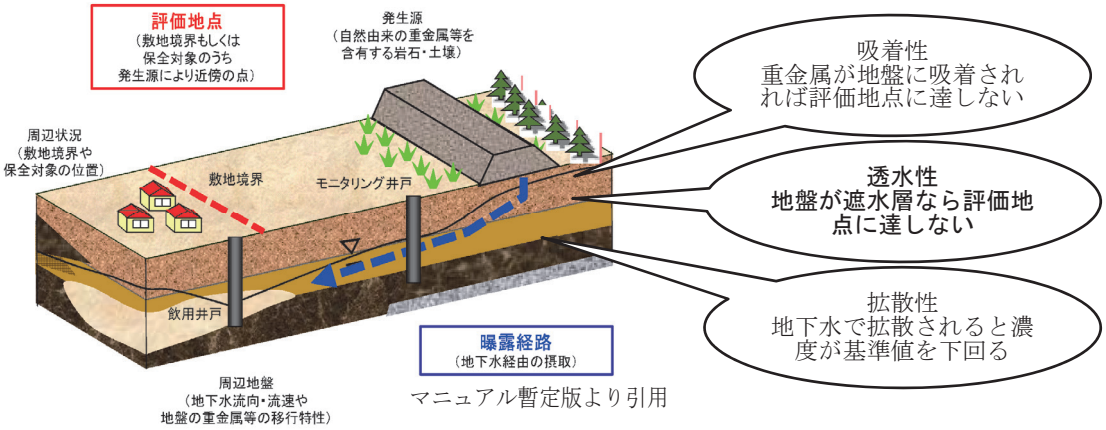
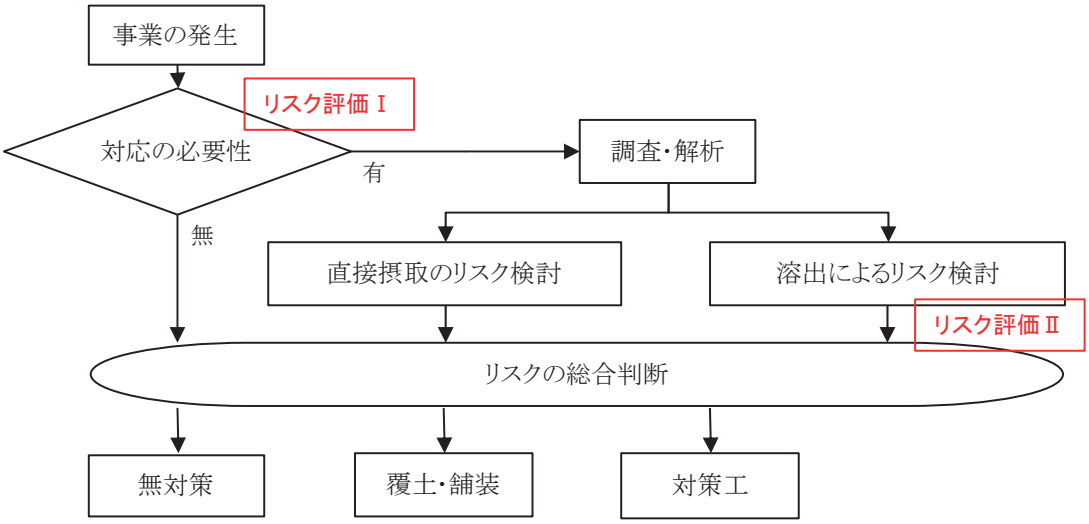


図 3　サイト概念モデルの概念図

2. 事例分析のシナリオ

本事例では、リスク評価をⅠとⅡに分けて段階的に評価を行っている（図 4)。リスク評価Ⅰは既往調査結果を基に重金属対策の概略検討を行い、リスク評価Ⅱとする詳細検討の必要性について検討を行った。ここでは、既往調査のデータだけでは遮水層として期待できる粘土層の分布と透水性が把握できない、汚染土の判定が決まらない岩種がある、それまで行った土壌分析（短期溶出試験や促進酸化試験）では重金属の溶出量が過大に評価されている等のリスクが考えられたため、詳細な調査･解析を行い、リスク評価Ⅱを実施している。



一般的な自然由来重金属対策の判断の流れ

リスク評価Ⅰ
リスク概要の把握、詳細調査・解析の必要性検討
○発生土量の検討
○周辺地盤への影響検討
○盛土対策工の概略検討

リスク評価Ⅱ
リスク評価Ⅰの低減のための評価、提案
○実現象再現試験(曝露、カラム試験等)
○解析(浸透流、移流拡散解析等)
○その他追加調査(水文、地下水観測等)

図４　一般的な自然由来重金属対策の流れと業務におけるリスク評価

リスク評価ⅡはⅠのリスクを低減するため、いくつかの室内試験、水文調査、地質調査を実施し、詳細な評価を行った。そのうち実現象再現試験は、リスク評価Ⅰで過大に評価された重金属の溶出量を「どの程度の濃度」、「どの程度の時間」で盛土周辺に溶出されるかを評価する試験であり、各試験の重金属溶出量～時間変化は図５のような関係の概念がもたれる。

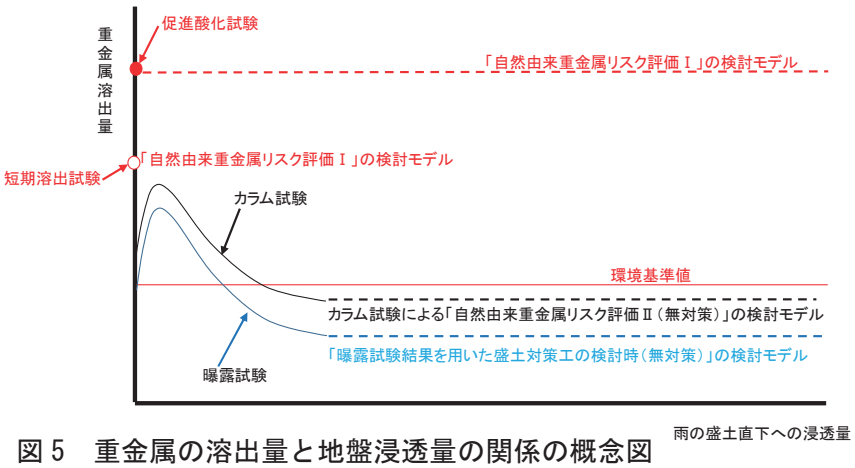


図５　重金属の溶出量と地盤浸透量の関係の概念図

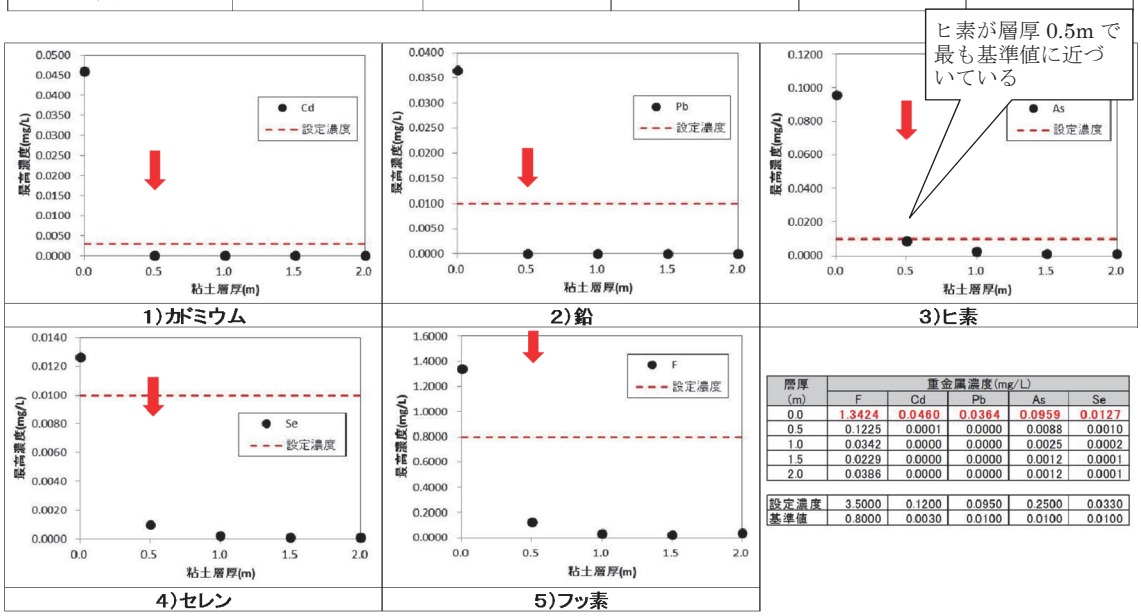
3. データ収集分析

各種試験結果（短期溶出、カラム、曝露）を踏まえて、対象とした重金属および設定濃度を表１に示す。何れも短期溶出試験による溶出量が最大となり、安全側としてこれらを解析の設定濃度とした。

設定濃度を基に行った解析の結果を図７図８に示す。粘性土の層厚が 1.0m 以上ある区間（透水係数 1×10-8m/s 以下）では、何れの重金属も問題なく基準値以下の濃度であり、粘性土層を遮水層として有効に利用することができるのに対し、粘性土の層厚が 0.5m の区間では、ヒ素に関して基準値は越さないが近い濃度となった。

表１　各種試験法における重金属の最大濃度および設定値（単位：mg/l）

重金属		カドミウム			セレン			鉛			ヒ素			フッ素		
水質汚濁防止法	地下水基準	0.003			0.01			0.01			0.01			0.8		
	排水基準	0.03			0.1			0.1			0.1			8		
試験法		短期	カラム	曝露	短期	カラム	曝露	短期	カラム	曝露	短期	カラム	曝露	短期	カラム	曝露
泥岩類・凝灰岩類		0.12	—	—	0.033	—	—	0.095	—	0.014	0.25	—	—	1.7	3.2	2.0
深成岩類・火成岩類		—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—	0.81	—	—
火山岩類		—	—	0.077	—	—	—	0.012	—	0.026	0.03	—	—	3.5	—	—
設定値		0.12			0.033			0.095			0.25			3.5		



層厚 (m)	重金属濃度(mg/L)				
	F	Cd	Pb	As	Se
0.0	1.3424	0.0460	0.0364	0.0959	0.0127
0.5	0.1225	0.0001	0.0000	0.0088	0.0010
1.0	0.0342	0.0000	0.0000	0.0025	0.0002
1.5	0.0229	0.0000	0.0000	0.0012	0.0001
2.0	0.0386	0.0000	0.0000	0.0012	0.0001

設定濃度	3.5000	0.1200	0.0950	0.2500	0.0330
基準値	0.8000	0.0030	0.0100	0.0100	0.0100

図７　基礎地盤が粘性土地盤の解析結果

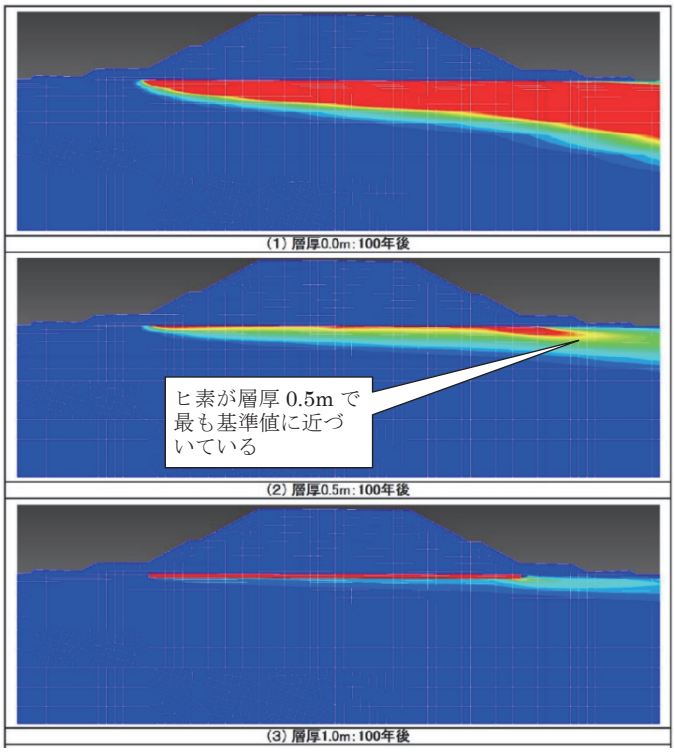


図８　沖積層粘性土地盤の解析結果（ヒ素の場合）

対策工検討では、粘性土層を利用するとコストが安く工期も短いため、地質リスクが少ないとして最も評価が高い。解析の結果、粘土層厚 0.5m でも重金属は地下水基準を超過しないが、粘土層は自然堆積であるため、局部的な粘性土層の厚さの変化に対応させるため、必要な粘土層厚は 1.0m とし、1.0m 未満の区間では、対策工が必要であるとした。

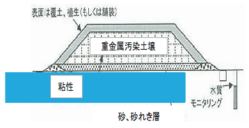
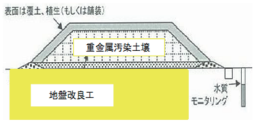
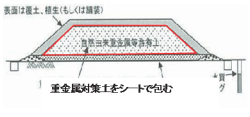
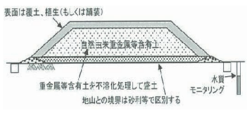
対策工として挙げたのは地盤改良、転圧工、吸着層である。地盤改良は粘土層厚が不足している場合にふ頭水層を設ける対策であり、盛土材を選ばず地質リスクが少ない。転圧工は細粒化しやすい地質の場合に適用する工法であ

る。吸着層は吸着剤が効果であるため、地盤改良、転圧工が適用できない場合の対策として提案した。

4. マネジメント効果

本業務のマネジメント効果を算定するために表２にサイト概念モデルと土壌汚染対策法の対策工の比較を示した。このうち、粘性土層を利用する案１がコストが安く工期も短いため、地質リスクが少ないとして最も評価が高く、続いて地盤改良を行う案２が比較的地質リスクが低く評価が高い。土壌汚染対策工による封じ込め対策工はシートで包む案３は比較的低コストであるが、長期の維持に問題がある。不溶化を行う案４はコストが膨大である。

表２　対策工の比較検討（粘性土地盤）

対策案	サイト概念モデル		土壌汚染対策法	
	案1）自然の遮水層(粘性土)を利用	案2）地盤改良	案3）封じ込め(シート)	案4）封じ込め(不溶化)
概要	自然遮水層(厚さ1.0m以上)を利用する	地山を地盤改良して遮水層とする	汚染土をシートで包み盛土を行う	汚染土を予め不溶化して盛土を行う
概念図				
特記	溶出した重金属の拡散防止	効果を事前に確認でき確実	重金属の溶出及び流出の防止	不溶化による長期的な安定
工期	通常の盛土とほぼ同じ	通常の盛土の1.7倍	別途シート処理の工程が必要	別途不溶化処理の工程が必要
経済性	370千円/m(通常の1.0倍)	820千円/m(通常の2.2倍)	1,078千円/m(通常の2.9倍)	55,250千円/m(通常の149倍)
総合評価	◎(地質リスク少ない)	○(地質リスク少ない)	△(長期の維持が問題)	×(高コスト)

マネジメント算定表を表３に示す。ここではサイト概念モデルを用いた案１の自然遮水層と従来の土対法による封じ込め対策の案３のシートで包む対策工で算定した。算定は層厚１ｍ以上の粘性土層が分布する 300m 区間に換算してリスク評価検討にかかった費用を差し引いて行った。

この他、サイト概念モデルによるリスク評価には、重金属のバックグラウンド調査、施工前～施工後の水質モニタリング、発生土をヤードにストックし対策土判定を行うコストがかかるが、従来の土対法処理においても同様に必要となるため、ここでは挙げていない。

表３　リスクマネジメントの効果算定表

項目		費用(千円)	備考
①当初工事費用		323,400	案3封じ込め(シート)
②リスク対応費用		29,240	
	実現象再現試験	17,000	曝露、カラム、バッチ試験等
	解析	11,000	浸透流、移流拡散解析等
	その他追加調査	1,240	水文、オーガー、地下水観測等
③変更工事費用		111,000	案1自然遮水層(粘性土層)を利用
マネジメント効果(①-③-②)		183,160	

粘性土地盤の盛土 300m 区間の工費盛土断面積 460m2(天端 23m、下面 62m、高さ 10m)

5. データ様式の提案

本事例を「地質リスクを回避した事例（A型)」として以下の表に取りまとめた。

表 3　A地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		―
	工事名		―
	工種		盛土
	工事概要		自動車専用道路新設工事
	①当初工事費(千円)		323,400
	当初工期		―
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		調査段階
	予測されたトラブル		自然由来重金属による汚染、コスト大、盛土の変状
	回避した事象		―
	工事への影響		―
リスク管理の実際	判断した時期		一次調査時
	判断した者		調査担当者
	判断の内容		従来の土対法による対策からサイト概念モデルによるリスク管理型への変更
	判断に必要な情報		盛土予定地の地質構成、透水性、地下水情報、重金属の周辺への影響予測解析情報
リスク対応の実際	内容	追加調査	水文調査、地質調査、実現象再現試験、解析
		修正設計	―
		対策工	―
	費用 (千円)	追加調査	29,240
		修正設計	詳細設計で対応
		対策工	―
		②合計	29,240
変更工事の内容	工事変更の内容		―
	③変更工事費(千円)		111,000
	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)(千円)		183,160
	工期		従来通り
	その他		―

［論文 No.16］JR 早期復旧を目的とした、地すべり災害におけるすべり面決定の妥当性

島建コンサルタント株式会社　○多久和　　豊
和田守　直行
森　山　　誠
坂　田　聖二

1.　事例の概要

平成 28 年 1 月 30 日午後 10 時頃、島根県出雲市多伎町口田儀地内の JR 田儀駅南側斜面において、突発的な地すべり災害が発生した。地すべりは、斜面下方に位置する市道柳谷田儀駅前線と市道内に埋設される上下水管を損壊し、その移動土塊は JR 田儀駅の構内まで及んだ。JR 軌道北側には国道 9 号が併走する。地すべり規模が拡大し JR 軌道や国道 9 号が被災した場合には、島根県東西の交通が寸断されることとなる。また、市道柳谷田儀駅前線は、平成 30 年の開通が予定されている山陰自動車道多伎～朝山間建設工事の工事用道路として利用されている。

本事例は施工主体である出雲市が、インフラ利用者や関係機関から早期の復旧を迫られる中、地すべり規模（すべり面位置）の特定を迅速に行うべく提案したボアホールスキャナ観測と、経験豊富な発注側に立つ技術者による妥当性の確認を行うことにより、大幅な工期短縮とコスト縮減を達成した事例である。

写真１　地すべり災害全景

写真２　JR田儀駅構内軌道への土砂流入

2.　事例分析のシナリオ

(1)　地すべり規模と被災状況

発生した地すべりの規模は、崩壊幅49m、頭部からJR軌道内への崩積土流出範囲を含めた延長は約45mとなる（写真１）。地すべり頭部には、落差高約11mの急崖斜面（滑落崖）が形成され、地すべり形態は末端部が解放された椅子型の特徴を有している。

地すべりの発生は突発的なもので、地表水が滞留し易い地形や流れ盤を形成する互層が素因となり、断続的な降雨による地下水の過剰供給等の誘因が重なり、地形バランスが崩れたことにより発生したものと考えられる。

移動土塊は市道を完全に遮断し、その先端部は駅構内下り線軌道を覆いつくした（写真２）。単線である山陰本線の本駅での列車の離合は困難となり、列車ダイヤの変更を余儀無くされた JR 西日本からは出雲市に対し、1 日も早い正常ダイヤへの復旧が要求された。

(2)　早急な復旧への対応(リスク１)

地すべり斜面及びその周辺は、礫岩、砂岩等の堆積岩の分布域であり、大局的には JR 軌道側に向い 10～15°程度の地層傾斜を有す流れ盤構造を呈している(図 1)。地すべり面位置を高い精度で判定するためには、定量評価が可能となるボーリング孔内のパイプひずみ計や孔内傾斜計等による計測調査が必要とされている。本地すべりにおけるすべり面位置の決定においても、降雨量の多い梅雨時期を含めた 3 ケ月以上の観測期間を経て決定することが望ましいと考えられた。しかし、早急なインフラ機能の回復が求められた本災害復旧において観測期間の猶予は協議の対象とならなかった。

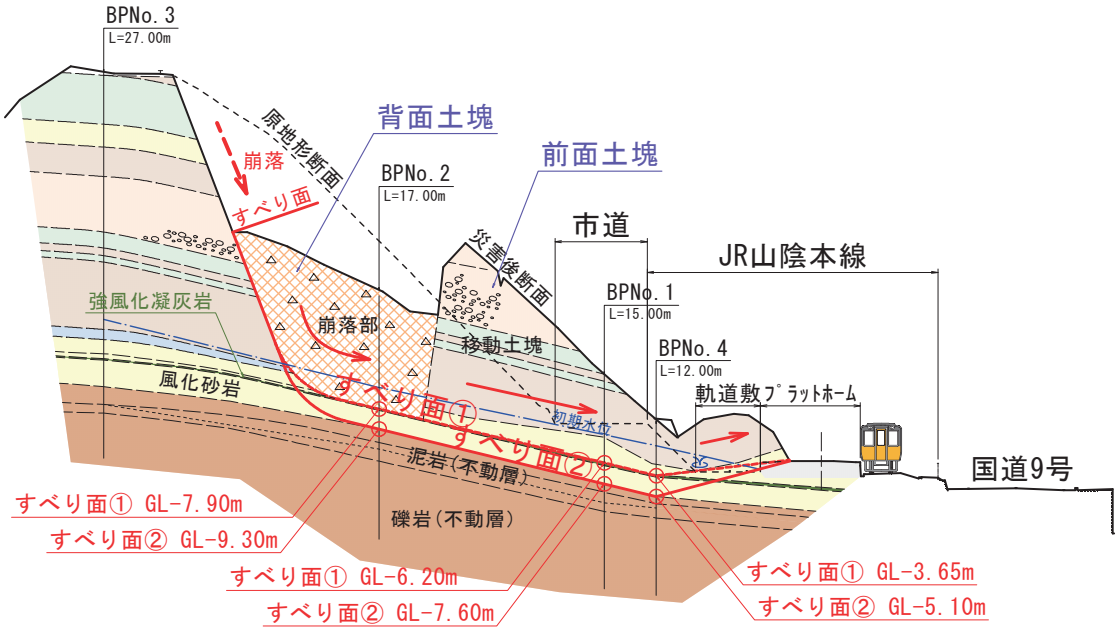


図１　解析断面図

(3)　すべり面位置の不確実性(リスク２)

調査ボーリングコア観察(図２)から判定されるすべり面位置は、互層を形成する風化層のコアの色調や硬さの明瞭な差異より、基盤岩である泥岩の地層境界以浅(すべり面②)であると推定された。観測期間を要す孔内観測が行えないため、安全側となるすべり面②への対策工を計画することも方法のひとつと考えられた。

これに対し、地すべり移動土塊内 BPNo. 1、BPNo. 2、BPNo. 4 各々のボーリング孔を利用したボアホールスキャナ観測(図２)による孔壁の展開画像の解析を提案し採用されることとなった。解析結果から、層厚 10cm 程度の強風化凝灰岩層より下層では、地すべりによる堆積構造の乱れがなかったことから不動層と判断し、また強風化凝灰岩層の粘土化が著しいことからすべり面①がすべり面であると特定することができた。

すべり面位置の決定に際しては、ボアホール解析結果を提示した国土交通省災害査定官の指導により、大学教授や土木研究所研究員の意見を聞くことができ、その妥当性を確認できたと考えている。

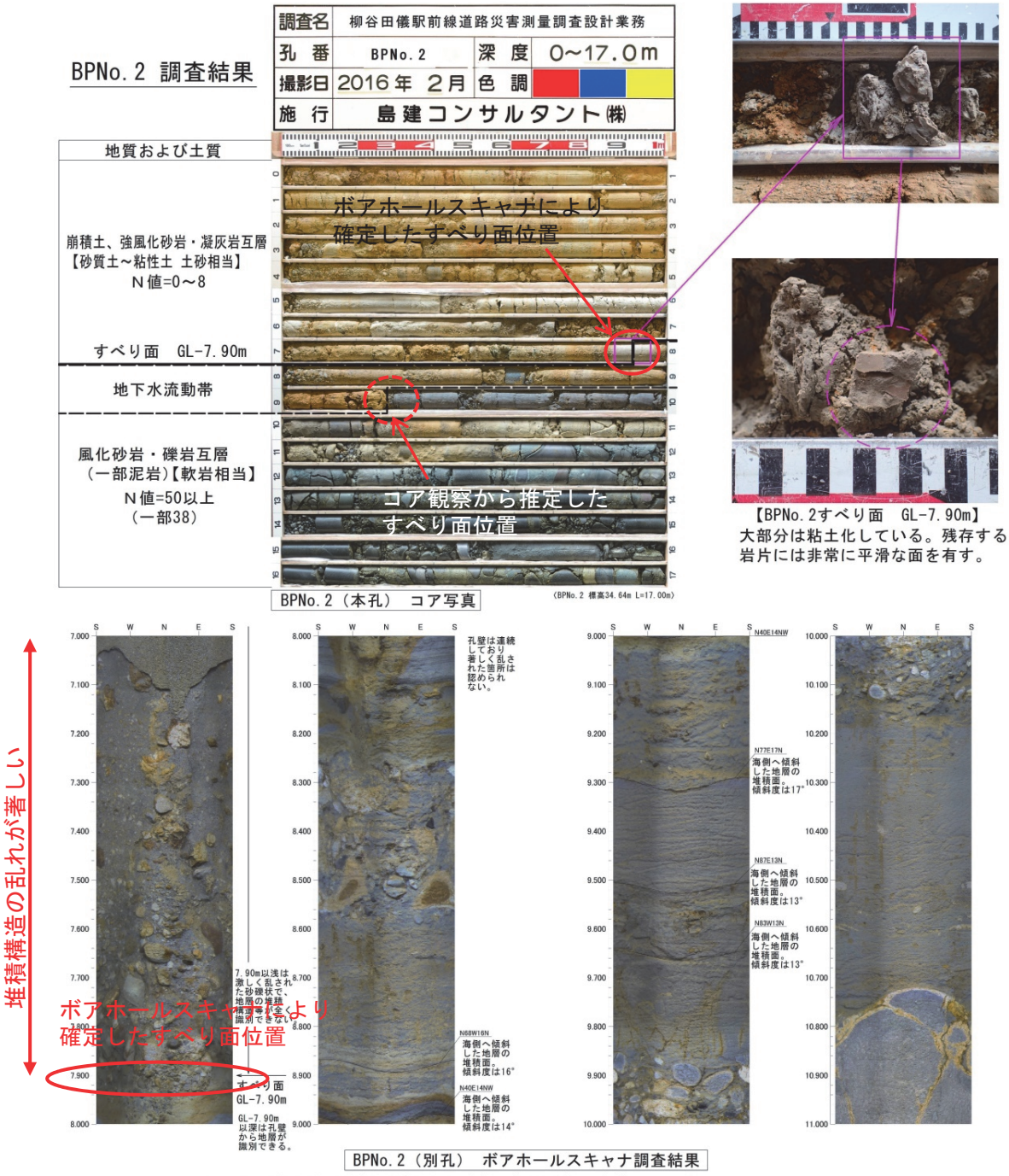


図２ ボーリングコア状況とボアホールスキャナ観測結果(BPNo. 2)

3.　データ収集分析

以上の結果、すべり面①を移動土塊とした対策工はすべり面②とした場合に比べ、グラウンドアンカー必要抑止力で P=146.4kN/m⇒95.5kN/m となり、全アンカー本数を 47 本から 20 本に減らすことができた(図３、図４)。

リスク対応のシナリオを、フロー図として図５に示す。

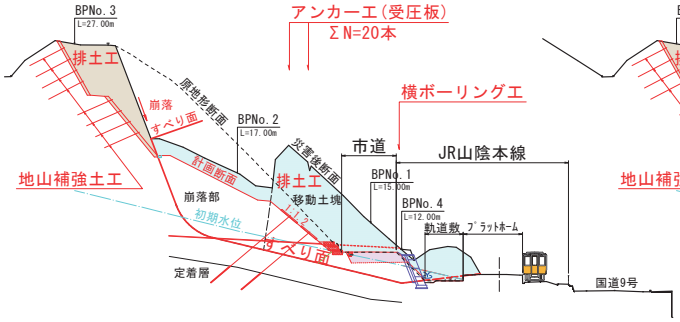


図３　すべり面①　対策工断面図

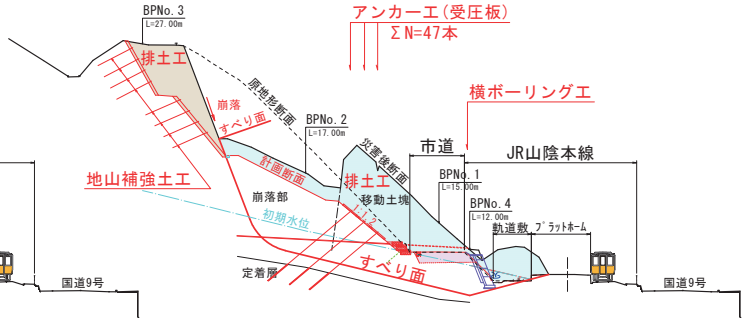


図４　すべり面②　対策工断面図

【対象検討項目】	地すべり対策工計画(すべり面位置の決定)		
【設計条件】	観測期間猶予なし		観測期間猶予あり
【調査内容】	提案 ボアホールスキャナ観測	コア判定	ひずみ計観測
【すべり面位置の決定】	すべり面① ※照査	すべり面②	すべり面①
【復旧期間】	6ケ月	6ケ月	12ケ月
【直接工事費】	2,800万円	3,600万円	2,800万円
	パターン１	パターン２	パターン３

※リスク１
早急な復旧への対応

※リスク２
すべり面位置の不確実性

※照　　査
技術顧問による妥当性確認

図５　リスク対応シナリオフロー図

4.　マネジメント効果

本事例における地質リスクは、限られた期間で実施する地質調査結果の不確実性である。リスクの計量化は、図５のパターン１、パターン２、パターン３各々に対する工事費(調査設計費含む)及び工事期間の算出により行う(表１)。

検証の結果、ボアホールスキャナ観測によりすべり面①が移動層であることを確認できたことで６ケ月の工期短縮と、すべり面②への対策に比べ 800 万円の工費削減、更に安全率の早期回復を実施することができた。特に工期短縮による市道、JR 及びライフラインの早期復旧は、大きな費用対効果をもたらした。

表１　工種別・安全率・工事期間・工事費一覧表

種別	工種	安全率 Fs	工事期間		直接工事費	
			パターン１・２	パターン３	パターン１・３	パターン２
調査	すべり面観測	1.00		5 ケ月	※200 万円	
設計	調査・設計		1 ケ月	2 ケ月	1,000万円	1,000万円
工事	横ボーリング	1.05	1 ケ月	1 ケ月	200万円	200万円
	排土工	1.08	1 ケ月	1 ケ月	400万円	400万円
	アンカー工	1.20	3 ケ月	3 ケ月	1,000万円	2,000万円
合　計		—	6 ケ月	12 ケ月	2,800 万円	3,600万円

※ボアホールスキャナ観測、ボーリング孔内ひずみ計観測の調査費は共に 200 万円

・地すべり頭部に形成された急崖斜面(滑落崖)対策工事は対象外とする

5.　データ様式の提案

本事例は、リスク１(工期)とリスク２(工事費)の発現後に対応したマネジメントであり、採用案に対する比較対象は工期がパターン３、工事費がパターン２と異なる。ここでは、検証結果を「地質リスクを回避した事例」のデータ様式を用いＤ型として表２に示す。

図６は表１を図化したものである。本事例のようにマネジメント効果(工事費や安全率)が時間軸に左右される場合、図化することでその効果をわかりやすく表現できる。

本事例では､ボアホールスキャナ観測の採用により地質リスクを回避することができた。地質リスクマネジメントを円滑に行うためには、地質に関する知識はもちろん、設計、工事費の算出等を含めた総合的な技術力が必要である。

今後も技術の研鑽に励むと共に、新技術の採用等を含めた「効果的かつ積極的な地質調査の提案が大切である」ことを、インフラ利用者や発注者に理解していただける活動に尽力していきたい。

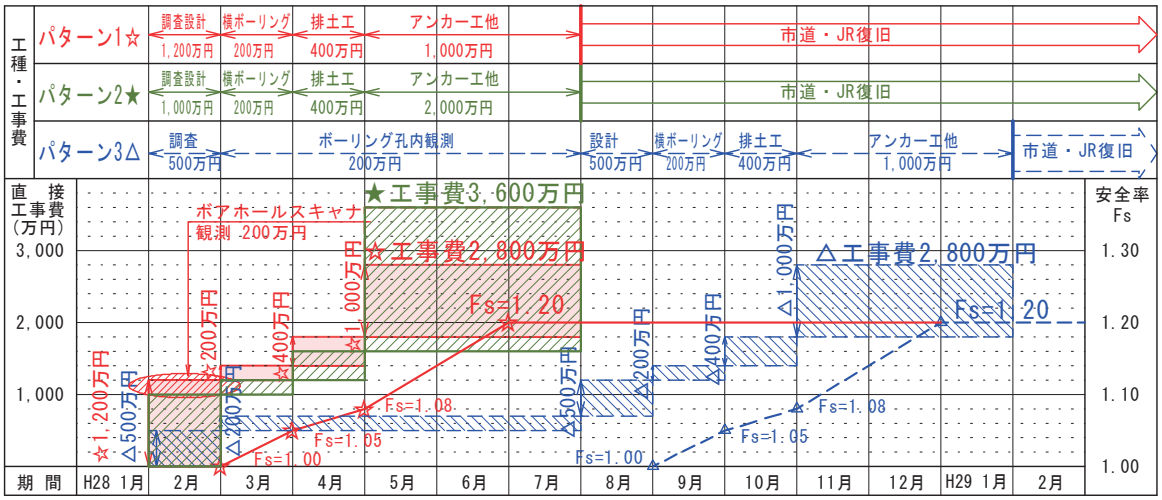


図６　工種別工事費・安全率―工期グラフ　（パターン１☆は採用案）

表2　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		出雲市役所
	工事名		柳谷田儀駅前線道路災害復旧工事
	工種		地すべり対策工事
	工事概要		横ボーリング工・排土工・アンカー工
	①　当初工事費（パターン2）		2,600万円(調査設計費1,000万円除く)
	❶　当初工期（パターン3）		12ケ月
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		インフラの早期復旧要請後
	予測されたトラブル		すべり面位置の不確実性に伴う工期、工事費の増大
	回避した事象		観測期間無しによるすべり面位置の確定
	工事への影響		観測期間の省略
リスク管理の実際	判断した時期		ボアホールスキャナ観測後
	判断した者		発注者、調査設計業者
	判断の内容		すべり面位置の確定
	判断に必要な情報		ボアホールスキャナ観測結果
リスク対応の実際	内容	追加調査	ボアホールスキャナ観測
		修正設計	—
		対策工	—
	費用	追加調査	200万円
		修正設計	—
		対策工	—
		②　計	200万円
変更工事の内容（パターン1）	工事変更の内容		すべり面①対策
	③　変更工事費		1,600万円(調査設計費1,200万円除く)
	❸　変更工期		6ケ月
	間接的な影響項目		安全率の早期回復
	受益者		市道、JR利用者及び管理者
リスクマネジメントの効果	費用(①－③－②)		800万円
	工期(❶－❸)		6ケ月
	その他		インフラの早期回復に伴う費用対効果

[論文 No.17]

地質リスクを考慮した維持管理におけるアンカーのり面の健全性評価について

○ (株)相愛　常川　善弘（地質リスク・エンジニア 15）
(株)相愛　弘田　朋志
(株)相愛　東　　豊一
(株)相愛　市橋　義治
三重大学大学院　酒井俊典

１事例の概要

（１）背景

アンカーのり面の維持管理において、地震や豪雨による変状以外に、地盤の風化や降雨による浸食などによる表層部の微小変形も抑止機能の低下に影響する場合があり、経年的な抑止機能の低下特性とのり面の安定性に関する評価は重要となる。

本報告は、急傾斜地対策アンカーのり面の維持管理における健全性調査事例を踏まえ、地質リスクを考慮した効果的な維持管理手法の取り組みについて報告する。

写真１　急傾斜地対策のアンカーのり面

（２）事例の概要

急傾斜地対策施設の維持管理点検において、施工後 15 年経過したグラウンドアンカー工が施工されたのり面の外観目視および打音点検を実施し、アンカー頭部の浮きが複数個所確認された（写真１、写真 2)。

アンカー工は、図１に示すように、現場打ち法枠工を受圧板とする設計アンカー力 Td=223.4kN、アンカー自由長 lf=4m、アンカー体長 la=3m の合計 N=15 本が施工され、地質層序は、上位から崩積土が約 1.5m～２m、風化土層が約 1.5m、軟岩(泥質片岩)となっている。

アンカー対策は、降雨による崩積土層の表層崩壊の発生により対策を行っているが、地質調査結果により風化土層までを潜在的な不安定土塊とした対策設計となっている。

今回確認されたアンカー頭部の浮きについて、アンカー工の腐食破断や定着部の引抜けおよびアンカーの抑止機能の低下によるのり面の不安定化の可能性も懸念されるため、アンカーのり面の健全性調査を実施し、地質リスクマネジメントを踏まえた対策のり面の対応と維持管理計画の立案を行った。

写真２　アンカー頭部の浮きと防錆油の流出

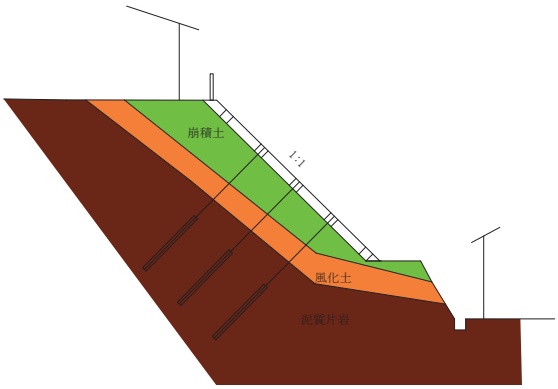


図１　アンカー対策断面図

２事例分析のシナリオ

近年、グラウンドアンカー工の維持管理点検において、急傾斜対策で施工されているアンカー頭部の浮きが確認される事例が多く報告されている。これは、急傾斜地対策で使用されるアンカー工は、表層崩壊に近い比較的薄い不安定土塊の対策に使用されるため、アンカー自由長が短く定着までのテンドンの伸び量が小さい。このため供用後のアンカー受圧板背面の地盤の沈下や降雨による吸出し等により、定着時のテンドン伸び量よりアンカーの受圧構造物の沈下等が大きくなると、アンカー頭部が浮き上がった状態になることが原因にあげられる。

本事例分析のシナリオについて、上記の急傾斜地アンカーの特性も踏まえ、アンカー頭部の変状原因を確認し、適切な対応を行うため，図２のアンカーのり面の維持管理における健全性調査フローに基づき、赤矢印経路で調査を実施した。

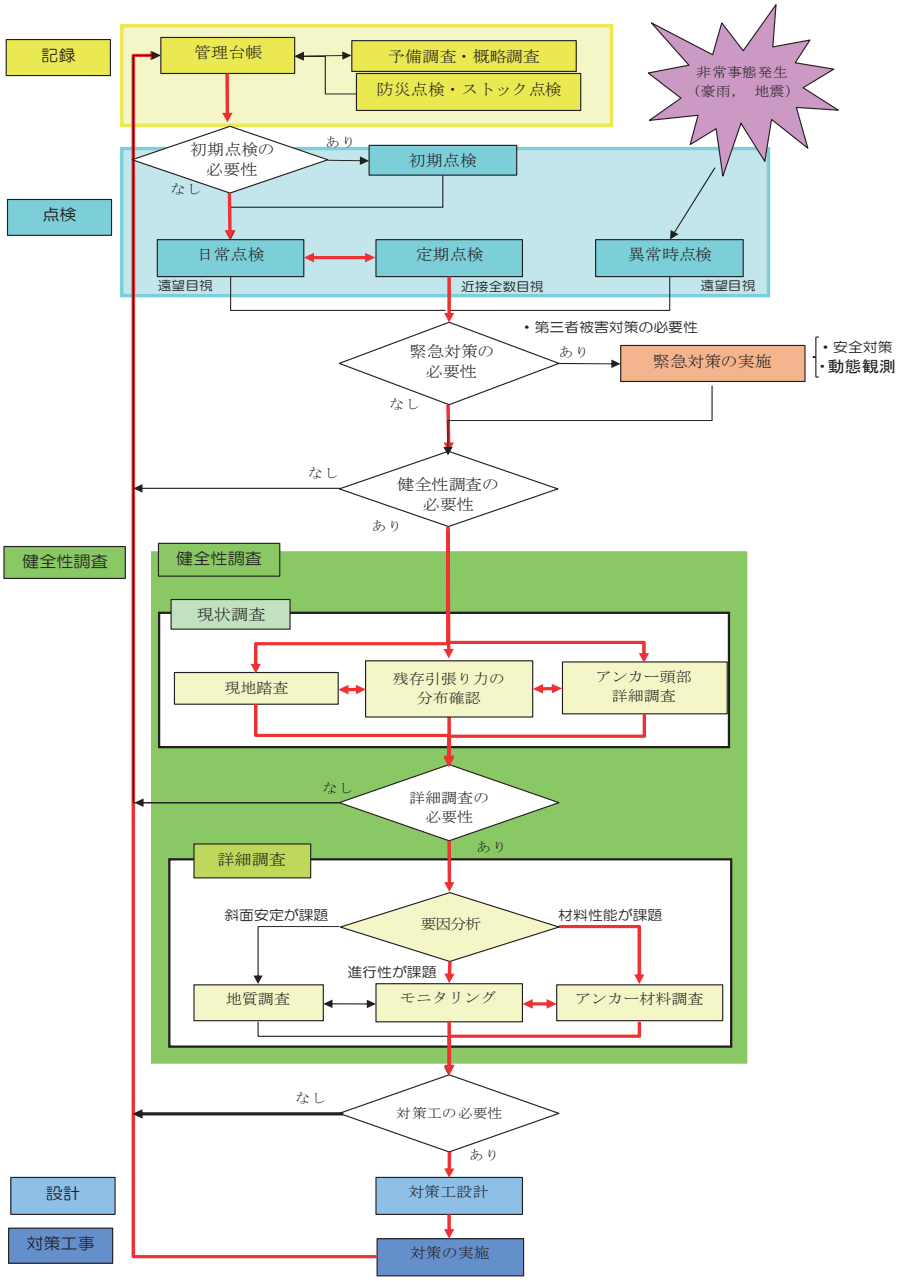


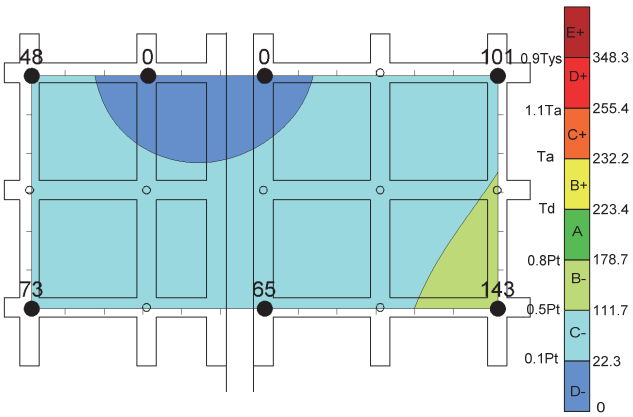
図２　アンカーのり面の維持管理における健全性調査フローの提案

3　データ収集分析

（1）アンカーのり面の健全性調査（現状調査）

アンカーのり面の現状確認において、アンカーのり面の残存引張り力の分布確認、現地踏査、アンカー頭部詳細調査（頭部露出）を実施した。

アンカーのり面の残存引張り力の分布確認は、リフトオフ試験（残存引張り力確認）にて、N=5本の概略調査を実施し、図3に示す健全度区分図に整理した。現状調査の結果、法枠上部のアンカー頭部の浮きが見られ箇所については、アンカー頭部の腐食等劣化損傷は見られず、また、残存引張力の分布は、全体に設計アンカー力の約20%～50%の分布の低い値を示し、アンカーの健全度区分では「機能が大きく低下（C-）」または「機能していない（D-）」の「対策を実施」の評価となった。以上より、のり面の不安定化による緊張力の増加傾向はなく、現地踏査においても変状は見らなかったため、現状ではのり面は安定していると判断される。



残存引張り力の範囲	健全度	状　態	対処例
0.9 Tys	E+	破断の恐れあり	緊急対策を実施
1.1 Ta	D+	危険な状態になる恐れあり	対策を実施
許容アンカー力（Ta）	C+	許容値を超えている	
設計アンカー力（Td）	B+		経過観察により対策の必要性を検討
定着時緊張力（Pt）	A+	健全	
0.8 Pt	A−	健全	
0.5 Pt	B−		経過観察により対策の必要性を検討
0.1 Pt	C−	機能が大きく低下している	対策を実施
	D−	機能していない	

引用：(独)土木研究所（社）日本アンカー協会共編　「グラウンドアンカー維持管理マニュアル」p74, 2008.7

図3　アンカー健全度区分図

（2）アンカーのり面の健全性調査（詳細調査）

現状調査の結果より、アンカー頭部の浮きはアンカーのり面の変状に伴う過緊張による損傷ではないことが確認された。このため、アンカー自由長部やアンカー体の劣化損傷の可能性の有無について、アンカー頭部の浮きが確認された2本で、設計アンカー力までのアンカー耐力確認を行った。試験の結果、2本とも図4に示すように設計アンカー力にまでの載荷と荷重保持が確認でき、荷重変位曲線からも理論伸び量に近く、アンカー材料の劣化破断等の断面欠損の傾向も見られなかった。

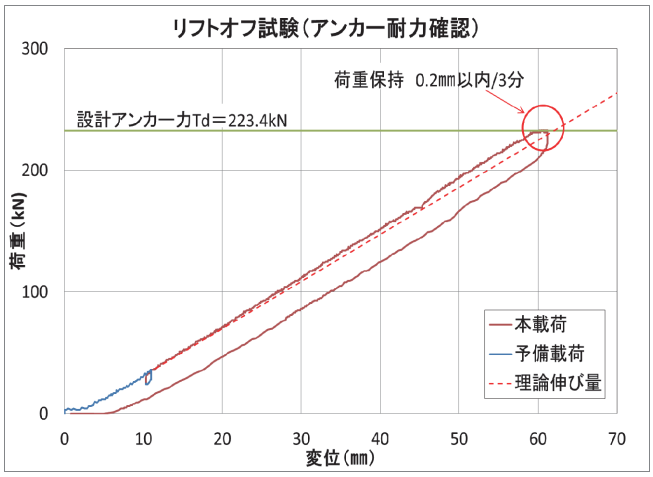


図4　リフトオフ試験（アンカー耐力確認）

以上のアンカーのり面の健全性調査結果より、現状のアンカーのり面は安定しており、アンカー頭部の浮きは、法枠背面の崩積土の沈下や降雨による流出による法枠の沈下が原因と判断される。今後の調査結果において被災履歴のある崩積土層の表層崩壊対しては、法枠工と現在の残存引張り力によるアンカーの抑止効果にて安定を維持していると評価できる。また、当調査地アンカーは潜在的な風化土層のすべりに対しては、アンカー長が短く、待ち受けアンカーとしても設計アンカー力までのテンドン伸び量は6cm前後に留まるため、地表面ののり面変位も小さいと推察される。このため、現在、アンカーとして機能していない頭部の浮きが確認された箇所について、応急対策として、周辺の残存引張り力と同程度（設計アンカー力の50%）に再定着し、経過観察対応とした。

4　マネジメントの効果

本報告のマネジメントの効果について,「リスクを管理した事例」として D 型の評価提案を行い、想定されるマネジメント効果を表 6 に示す。

地質リスクマネジメントの観点から、維持管理点検により発見した急傾斜対策施設のアンカーの変状について、土工構造物として健全性調査にて、のり面およびアンカー材料は健全であることを確認したものの、背面地盤の経年変化によるアンカー工の抑止機能の低下が確認された。

この対応について、地質マネジメントの観点から、当初設計を基準とした緊張力低下箇所の全数の再緊張対策は、背面地盤の経年変化やその変化特性により、どの程度再緊張効果が持続できるか不明確である。

このため、経年変化における不確実性（背面地盤特性による機能低下）に関する想定される地質リスクを抽出し、そのリスクを安全に管理しながら、対象のり面の経年変化特性の把握に努め、適切な安全かつ効果的な維持管理提案を行うことが重要であると考える。

以上より、現状ののり面状況とリスクについて、表 7 リスク管理表（概略版）にまとめ、定期点検は 1 回/5 年の近接目視とし、その間の変状確認については、のり面に隣接する地権者とのリスクコミュニケーションを行い、同様のアンカー頭部の浮きが確認されたら管理者へ連絡を入れていただく形とした。

表 1　マネジメント効果

リスクマネジメントの効果	費用（③－①-②）	1,100～13,100千円
	工期	18日～3ヶ月
	その他	-

表 7　リスク管理および措置計画表（概略版）の活用（一部）

リスク要因	リスク	対応	損害予測	発生確率	対策案	措置
のり面変状	小	リスク低減	表土層の劣化によるアンカー機能低下とアンカー変状等（頭部の浮き等）	高い	アンカー耐力試験・再緊張工 N=変状箇所	H○年○月応急対策（Pt=0.5Td 再緊張工）N=2 本
					定期点検 1 回/5 年（近接目視）	○年予定
					日常点検（地元）	-
	小	リスク留保	風化土層のすべりによるのり面変状	中位	経過観察	-
	大	リスク低減	不安定土塊の拡大によるのり面変状、アンカーの損傷	低い	地質調査 対策工	-
アンカーの飛び出し	大	リスク低減	のり面変状に伴う過緊張破断	低い	飛出し防護･緊張力の緩和	-

5　データ様式の提案

D 型：地質リスクを管理した事例のデータ様式案を表 8 に示す。

表 8　D 型　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 （既設のり面）	発注者		○○県○○土木事務所
	調査名（仮定）		アンカーのり面の健全性調査業務
	工種		維持管理調査（地質調査）
	調査概要		維持管理におけるアンカーのり面の健全性評価と対応の検討
	①当初調査費（概算）		1,500千円（1のり面）
	当初工期		3ヶ月（5月～8月）
リスク管理事象	予測されたリスク発現時期		不明。供用期間中に発生。
	予測されたトラブル		アンカーのり面の変状よる民家への影響
	回避した事象		アンカーのり面の崩壊と民家の損傷
	供用時の影響		生活への影響
リスク管理の実際	判断した時期		維持管理段階
	判断した者		維持管理点検者
	判断の内容		健全性評価と地質リスク評価
	判断に必要な情報		アンカーのり面緒元（既存資料） アンカーのり面の健全性調査結果
リスク対応の実際	内容	追加調査	特になし
		修正設計	特になし
		対策工	応急対策の再緊張工　N=2本
	費用	追加調査	400千円
		修正設計	なし
		対策工	応急対策の再緊張
		工期	2日
		②合計	400千円
工事の内容 想定（最小：機能回復～最大：のり面被災）	工事の内容		全数再緊張工（最少）～災害対策工事（最大）
	③対策工事費（推定）		3,000千円（最小）～15, 000千円（最大）
	工期		20日～3ヶ月
	間接的な影響項目		生活への支障
	受益者		対象のり面の民家
リスクマネジメントの効果	費用（③－①-②）		被災想定額3,000～15,000-維持管理調査費1,5000-リスク対策費400＝1,100～13,100千円
	工期		18日～3ヶ月
	その他		-

6　おわりに

維持管理（供用）段階での地質リスクの検討について，地山や土質材料の経年劣化は、現場条件ごとに大きく異なるため変状予測が困難である。このため、保全対象に応じて想定される変状については、定期的に点検等を行い保全対象に対する安全性や要求性能を管理（性能管理）することが重要と考える。

地質リスクマネジメント効果の評価について,「地質リスクを管理する」提案型のＤ型について取り組んでいるが、リスク発現時の被災想定や対策工事等の工程の設定が難しく，定性的な評価となる前提条件（評価条件）の検討が必要である。

今後も供用段階の土工構造物の維持管理において,様々な維持管理事例を収集しながら,地質リスクマネジメントを活用した効果的で効率的な評価手法について取り組んでいきたいと考える。

＜参考資料＞

「地質リスク・エンジニア（ＧＲＥ）」養成講座と認定制度について

１．地質リスク・エンジニア（GRE）養成講座について

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

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

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

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

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

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

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

平成 29 年度の募集要項を次ページに示します。

平成 29 年度　「地質リスク・エンジニア（GRE)」養成講座　募集要項

主　　催：特定非営利活動法人地質情報整備活用機構
協　　力：一般社団法人全国地質調査業協会連合会
認定団体：地質リスク学会
開催日程：平成 29 年 6 月 22 日～6 月 23 日（２日間）
開催場所：飯田橋レインボービル
　　〒162-0826　東京都新宿区市谷船河原町 11 番地
参 加 費：３０，０００円（税込）
募集定員：２５名
　　（最少催行人数：１０名）
受講要件：以下２つの要件を備えた方

１．以下のいずれかに該当する方

・過去に開催された地質リスク学会主催「地質リスクマネジメント事例研究発表会」において既に発表された方

・過去に開催された地質リスク学会主催「地質リスクマネジメント事例研究発表会」において既に発表された方が提出した発表論文の共同執筆者の方

・平成 29 年度に開催される地質リスク学会主催「地質リスクマネジメント事例研究発表会」*1 で発表される方

［＊１：平成 29 年度の地質リスクマネジメント事例研究発表会は、１１月３０日に開催されます。］

・「総合技術監理部門」の関連分野の技術士

・発注者、教育機関が推薦*2 する中核的技術者もしくは中核技術者として期待する方

［＊２：発注者、教育機関からの推薦状（形式任意）が必要となります。］

２．講座開始までに以下について事前の準備ができる方

①関係資料の事前学習を行える方

指定された関係資料（「地質リスクマネジメント入門」、「過去の事例研究発表会の発表事例」、「e-Learning による講習」等）を講座開催前までに読んでおくこと。

②講座で実施する演習課題について準備すること。

募集期間：平成 29 年 4 月 5 日～5 月 16 日（定員になり次第、募集を終了します。）
応募方法：別紙「受講申込書」に必要事項をご記入の上、ファックスでお申込下さい。

応募先・お問合せ先
特定非営利活動法人地質情報整備活用機構
〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13　内神田 TK ビル 3 階
TEL. 03-6689-5353　FAX: 03-3518-4901
e-mail：office_to@gupi.jp
＊お問合せは、できるだけ e-mail でお願いします。

平成 29 年度　地質リスク・エンジニア（ＧＲＥ）養成講座　プログラム

カリキュラム	講義内容
Ⅰ．地質リスクマネジメント概要	
講義 1 地質リスクマネジメント（総説）	1.1　地質リスクとは　－その概念と意義－ 1.2　リスクマネジメントとは 1.3　地質リスクをマネジメントする　－発注者と受注者の役割－ 1.4　専門家の活用と GRE の認定 1.5　地質リスクの取組み経緯
講義 2 地質事象の把握における不確実性と地質リスクの類型化	2.1　はじめに 2.2　地質事象の把握における不確実性と地質リスク 2.3　地質リスクマネジメントの事例区分と効果の計量化における各種費用の概念 2.4　地質リスクマネジメント事例研究の成果と意義
講義 3 地質調査業における地質リスクの意義と活用	3.1　地質調査業の成り立ちと将来を見据え今考えるべきこと 3.2　公共調達市場の特性と制度 3.3　地質リスクの活用に向けて

上記「Ⅰ．地質リスクマネジメント概要」は、全地連の e-learning 講座で事前に受講するものとする。

第１日目　平成 29 年 6 月 22 日

８：３０集合

カリキュラム	講義内容	講師（敬称略）
Ⅱ．技術顧問契約（6/２２）９：００～１７：００		
オリエンテーション **9:00～9:15**	講座の進め方について	事務局
講義概説 **9:15～10:00**	地質リスクマネジメント（概説）	小笠原
講義 4　10:00～11:00 GBR（ジオテクニカル・ベースライン・レポート）	4.1　GBR とは 4.2　ベースライン 4.3　海外における適用事例 4.4　国内への適用性	黛
講義 6　11:10～12:00 **13:00～13:50** **14:00～14:50** 技術顧問の調査・設計・工事・維持管理各段階における技術支援	6.1　共通事項 6.2　基本計画および地質調査業務の支援のポイント 6.3　設計業務の支援のポイント 6.4　工事契約の支援のポイント 6.5. 工事の設計変更支援のポイント 6.6　維持管理事業への支援のポイント 6.7　斜面安定対策業務の支援のポイント	6.1　6.2　6.3　仲田・小田部 6.4　6.5　西柳・渡辺 6.6　6.7　梅本
講義 5　15:00～16:15 技術顧問の意義と役割	5.1　技術顧問の位置づけ 5.2　地質技術顧問の業務 5.3　地質技術顧問の契約標準	渡邊
演習について **16:15～17：00**	「Ⅲ．事例演習」の実施方法について	黛・小笠原
懇親会　17：00～18：30		

第２日目　平成 29 年 6 月 23 日

Ⅲ．事例演習（６/２３）　９：００～１６：００		
演習(1)　9：00～12：00 GBR 作成（講義４に対応）	・受講者の個々の発表事例をもとに (1) GBR の作成 　・ベースライン項目と基準設定 (2)発表	黛 （小田部、梅本、渡辺、小笠原、仲田、西柳）
演習(2) 13：00～15：00 GRE の業務展開 （講義３、講義５に対応）	・受講者の発表と討論 （課題は、事前に講師より提示します。）	小笠原 （黛、小田部、梅本、渡辺、仲田、西柳）
まとめ　15:15～15：45 総括討議	・参加者との意見交換	小笠原 （黛、小田部、梅本、渡辺、仲田、西柳）
履修証明書授与　15:45～16：00		

[講師一覧（敬称略）]

渡邊　法美　地質リスク学会　会長（高知工科大学　教授）
小笠原正継　　〃　　副会長（国立研究開発法人産業技術総合研究所　客員研究員）
黛　　廣志　　〃　　専門委員会　委員　/　NPO 地質情報整備活用機構　人材育成担当
小田部雄二　　〃　　専門委員会　委員
渡辺　　寛　　〃　　専門委員会　委員
梅本　和裕　　〃　　専門委員会　委員
仲田　寛雄　（社）全国地質調査業協会連合会　地質リスク WG
西柳　良平　　〃

■履修証明書について

全課程の履修者には、履修証明書を授与します。また、履修者は、地質リスク学会が別途定める GRE 認定制度へ申請できる資格者となります。

NPO 主催 GRE 養成講座履修者	→ ←	地質リスク学会主催　　ホームページ GRE 認定申請・論文審査・認定書発行　⇒「認定者名簿」掲載

＊現在、全国で４３名（本講座履修者）が地質リスク・エンジニアとして地質リスク学会から認定されています。

２．地質リスク・エンジニア（GRE）認定制度について

平成 27 年度より地質リスク学会が主催して実施しています。
以下に応募要領を示します。

主催：地質リスク学会
平成 29 年度　地質リスク・エンジニア（ＧＲＥ）認定制度
応募要領

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

記

応募資格

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

提出課題（小論文）について

以下の作成要領に基づき課題の小論文を作成し提出して下さい。
［小論文作成要領］
テーマ：「地質調査業務における技術者倫理について」
執筆分量：A4/１枚（１，６００字）×２枚＝３，２００字
体裁：A4 用紙縦長、横書き

受験料について

5，000 円（審査、認定・登録料として）

更新制度について

期間：登録後、５年毎に更新する。
条件：以下のいずれかの実績を有すること。
・毎年１件以上の技術顧問（自己申告）業務の実績
・地質リスクマネジメント事例研究発表会等で５年間に１回以上の発表実績
更新料：無料

応募の申請書類と応募方法

認定試験のために提出いただく申請書類は、以下のとおりです。
・受験申込書

・受験料の振り込み票（写）

・「地質リスク・エンジニア（GRE）養成講座」履修証明書（写）

上記の申請書類一式を認定試験事務局宛に FAX して下さい。

認定試験実施のフロー（概要）

＜平成 29 年 8 月 8 日付けで、該当者に案内を送付する。＞

↓

＜受付期間：平成 29 年 8 月 9 日～平成 29 年 8 月 31 日＞

① 申請書類一式を上記期間内に認定試験事務局*宛にファックスで送付する。

② 認定試験事務局が申請書類の内容をチェックし、受験申込者に通知する。

↓

＜課題（小論文）提出期間：平成 29 年 9 月 1 日～平成 29 年 10 月 7 日＞

① 課題（小論文）を執筆し、提出期間内に認定試験事務局へ送付する。

↓

審　査

↓

審査結果発表　平成 29 年 12 月 1 日

↓

認定書発行　地質リスク学会 HP に有資格者名を掲載

応募先・お問合せ先「認定試験事務局」

特定非営利活動法人地質情報整備活用機構

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13　内神田 TK ビル 3 階

TEL. 03-6689-5353　FAX: 03-3518-4901

e-mail：office_to@gupi.jp

＊お問合せは、できるだけ e-mail でお願いします。

＊「認定試験事務局」について

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

地質リスク・エンジニア（GRE）の認定者は、現在４３名で、地質リスク学会のホームページで名簿が公開されています。

	地質リスク・エンジニア　認定者名簿		平成28年12月1日
登録番号	氏名	所属	有効期限
1	二木　重博	㈱エイト日本技術開発	2021年3月31日
2	高橋　浩之	㈱興和	2021年3月31日
3	大賀　政秀	㈱ダイヤコンサルタント　関東支社	2021年3月31日
4	佐藤　豊	㈱キタック	2021年3月31日
5	東野　圭悟	中央開発㈱	2021年3月31日
6	尾上　秀司	応用地質㈱	2021年3月31日
7	秋山　道生	大地コンサルタント㈱	2021年3月31日
8	寺井　康文	大地コンサルタント㈱	2021年3月31日
9	緒方　康浩	㈱日本地下技術	2021年3月31日
10	山部　哲	㈱建設技術研究所　東北支社	2021年3月31日
11	橋尾　宣弘	㈱エイト日本技術開発　東北支社	2021年3月31日
12	三谷　由加里	㈱建設技術研究所 九州支社	2021年3月31日
13	松本　和正	北海道土質コンサルタント㈱	2021年3月31日
14	前原　恒祐	㈱開発調査研究所	2021年3月31日
15	常川　善弘	㈱相愛	2021年3月31日
16	清水　順二	明治コンサルタント㈱ 北海道本店	2021年3月31日
17	中島　昇	㈱地研	2021年3月31日
18	山﨑　尚明	㈱相愛	2021年3月31日
19	江川　千洋	㈱キタック	2021年3月31日
20	原　勝重	新協地水㈱	2021年3月31日
21	坂西啓一郎	モニー物探㈱	2021年3月31日
22	永田　和之	㈱藤井基礎設計事務所	2021年3月31日
23	江村　剛	株式会社 村尾技建　上越支店	2022年3月31日
24	陣内 龍太郎	応用地質株式会社　関西支社	2022年3月31日
25	正岡　久典	共立工営株式会社	2022年3月31日
26	蚊爪　康典	応用地質㈱ ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ本部	2022年3月31日
27	居川　信之	㈱エイト日本技術開発　中部支社	2022年3月31日
28	藤原　康正	㈱エイト日本技術開発　関西支社	2022年3月31日
29	原　靖	㈱ドーコン　地質部	2022年3月31日
30	城井　浩介	中電技術コンサルタント㈱	2022年3月31日
31	山田　靖司	応用地質株式会社	2022年3月31日
32	吉岡　崇	㈱愛媛建設コンサルタント	2022年3月31日
33	中根　久幸	株式会社 地研	2022年3月31日
34	加藤　猛士	川崎地質株式会社	2022年3月31日
35	白井　康夫	基礎地盤コンサルタンツ㈱	2022年3月31日
36	久保田 耕司	基礎地盤ｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ㈱　関西支社	2022年3月31日
37	結城　則行	川崎地質㈱	2022年3月31日
38	鈴木　俊司	株式会社　ドーコン	2022年3月31日
39	境　正樹	応用地質株式会社　東北支社	2022年3月31日
40	藤原　協	国際航業株式会社　中部支社	2022年3月31日
41	渡辺 平太郎	㈱アサノ大成基礎ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ東北支社	2022年3月31日
42	杉山　直起	㈱ダイヤコンサルタント	2022年3月31日
43	内村　雄一	応用地質㈱ 熊本支店	2022年3月31日

※本論文集は、地質リスク学会のホームページで公開しています。
URL ⇒ http://www.georisk.jp/