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

平成２７年１１月２０日（金）

主催：地質リスク学会
協力：特定非営利活動法人地質情報整備活用機構、一般社団法人全国地質調査業協会連合会
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
－地質技術顧問制度導入の本格普及に向けて－

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 6 回目の発表会となり、遂にこれまでの事例研究の発表件数は 100 件を超えるまでになりました。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。

皆さまのおかげで、今年度は、地質リスク・エンジニア(GRE)の養成講座を 2 回開講することが出来ました。地質技術顧問制度導入の本格普及に向けて、力強い一歩を踏み出すことが出来たと思います。

養成講座では、受講者の皆さまそれぞれに地質リスクスコアの評価を行い、発表する演習を行って頂きました。私には、この演習がとても印象に残りました。各受講者の方が携わった事業において、各地質リスクの発生確率と（発生した場合の）損害を算定し、その積である損害期待値を参考として、地質リスク対策の優先順位と対策内容の妥当性を振り返るとの内容です。それぞれの皆さまが、複数の種類の地質リスクを扱っていらっしゃっていたこと、地質リスクの中には未だに何が最善の対応方法であったかが必ずしも明確ではないものがあったこと、その中で最善を尽くそうとのぎりぎりの選択を行っていらっしゃったことに、深い感銘を受けました。さらに、現場の状況を充分に調査し、調査結果を分析し、最善の対応策を求め、判断を下す作業は、技術者としての原点であること、発表して頂いた業務はまさに「技術顧問」としての業務であったこと、技術顧問として研鑽を積むために、各地質リスクの発生確率と損害の推定方法、優先順位の付け方と対応策に関して、意見交換を行うことはとても有益であることを実感した次第です。

養成講座では、技術者倫理実践の重要性も一つの焦点となりました。私は、それに加えて、コーポレートガバナンスの重要性も強く感じました。岩井氏は、その中核は、①忠実義務：自己の利益ではなく、信任関係の相手の利益にのみ忠実に仕事をおこなう、②注意義務：その仕事はそれぞれの立場に要求される通常の注意を払っておこなわなければならない、にあるとし「経営者が「社会の公器」としての会社のいわば生命を預かっている存在であることから　生じてくる倫理的な義務にほかならない。」と述べられています。（岩井克人「会社はこれからどうなるのか」、平凡社、2003）私たちは、社会、国、地域または業界、会社等の組織の中で、個人として生きています。私は、理想のリスクマネジメントとは、この構図を社会が最下層に、個人が最上位層に位置する「逆ピラミッド」の階層構造として捉えた上で、各階層に位置する主体が実施すべきリスクマネジメントを行うことにあると思います。下位層にある主体は上位層にある主体が活動しやすいように最善を尽

くして支えることが必要であり、決して上位層の主体にリスクを押し付けることがあってはなりません。地質リスク学会は、各階層におけるそれぞれの主体が最善のリスクマネジメントを尽くすことの必要性を強く主張する学会でありたいと、改めて感じている次第です。

最後に、今回の事例研究の投稿・発表に際しても、幾多の困難を経験されたことと思います。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 27 年 11 月 20 日

地質リスク学会　会長　渡邊　法美

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　目次

第Ⅰ編　プログラム　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1

第Ⅱ編　第１部　現状報告
講演①　学会の活動報告　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　5
「地質リスク・エンジニア制度の創設と地質技術顧問委託契約書（案）について」
NPO 地質情報整備活用機構　人材育成担当理事　黛　廣志

講演②　海外事例報告　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　12
「英国における地質リスクマネジメントの体系化の現状」
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③　業界の現状報告　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　16
「国土通省の試行業務について（地質リスク調査検討とアドバイザー・コンサルタント制度）」
地質リスク学会　専門委員会委員　小田部雄二

第Ⅲ編　第２部　事例研究発表会　論文

論文 No.1　藤原　康正　（株）エイト日本技術開発
斜面崩壊発生後に生じる地すべり活動事例　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　23

論文 No.2　松井　宏樹　応用地質（株）山口支店
地すべりのすべり面設定の検討事例　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　29

論文 No.3　二木　重博　(株)エイト日本技術開発
新規トンネル計画箇所の掘削工法に関するリスク回避事例　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　35

論文 No.4　吉岡　崇　（株）愛媛建設コンサルタント
砂防えん堤の掘削に伴う地すべりの誘発に対する対応事例　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　41

論文 No.5　江川　千洋　（株）キタック
新規高速道路のルート選定に向けた地質リスクの抽出と回避事例　・・・・・・・・・・・・・・・　47

論文 No.6　寺井　康文　大地コンサルタント（株）
地すべり対策工事における歪計自動観測の効果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　53

論文 No.7　阿南　辰弥　復建調査設計（株）
道路盛土造成後の不同沈下によるアーチカルバートの変状　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59

論文 No.8　居川　信之　(株)エイト日本技術開発
山岳道路における斜面災害最小化のための調査・点検業務事例　・・・・・・・・・・・・・・・・・　65

論文 No.9　野々山一彦　応用地質(株)　関西支社
土石流の成長タイプに応じた災害リスクの推定と対策方針－2014 年広島土砂災害の事例－　・・・　71

論文 No.10　常川　善弘　（株）相愛
地質リスクマネジメントを活用したグラウンドアンカー工の維持管理手法の取り組み　・・・・・・・　77

第Ⅰ編　プログラム

第６回地質リスクマネジメント事例研究発表会

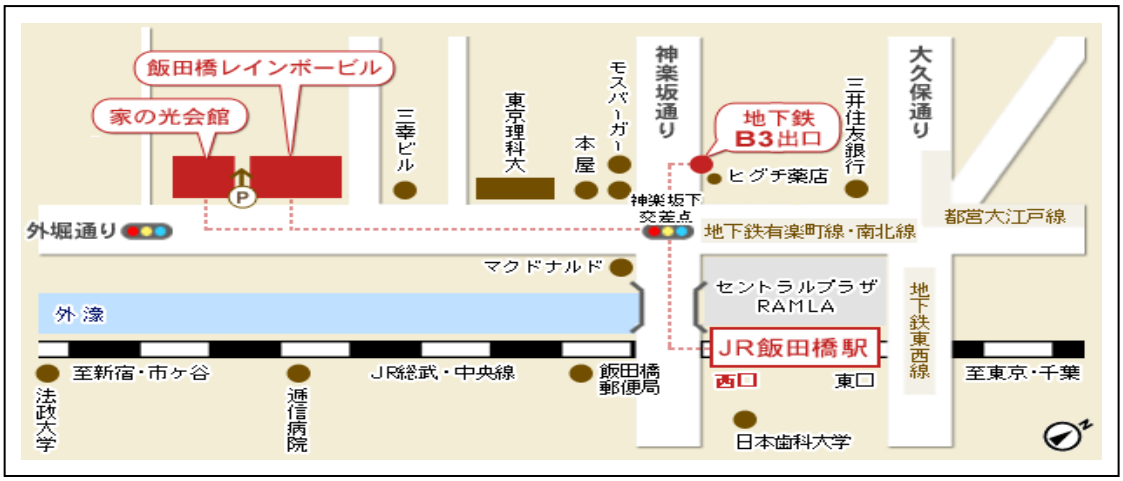
主催：地質リスク学会
協力：特定非営利活動法人地質情報整備活用機構、一般社団法人全国地質調査業協会連合会
後援：国土交通省国土技術政策総合研究所
協賛：国立研究開発法人土木研究所

＜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２７年１１月２０日（金）　定員：２００名
開催場所：飯田橋レインボービル
〒162-0826 東京都新宿区市谷船河原町 11 番地 飯田橋レインボービル　TEL 03-3260-4791



JR 総武線飯田橋駅西口または、
地下鉄有楽町線･南北線･東西線･大江戸線飯田橋駅の神楽坂下 B3 出口より徒歩約 5 分

＜プログラム＞

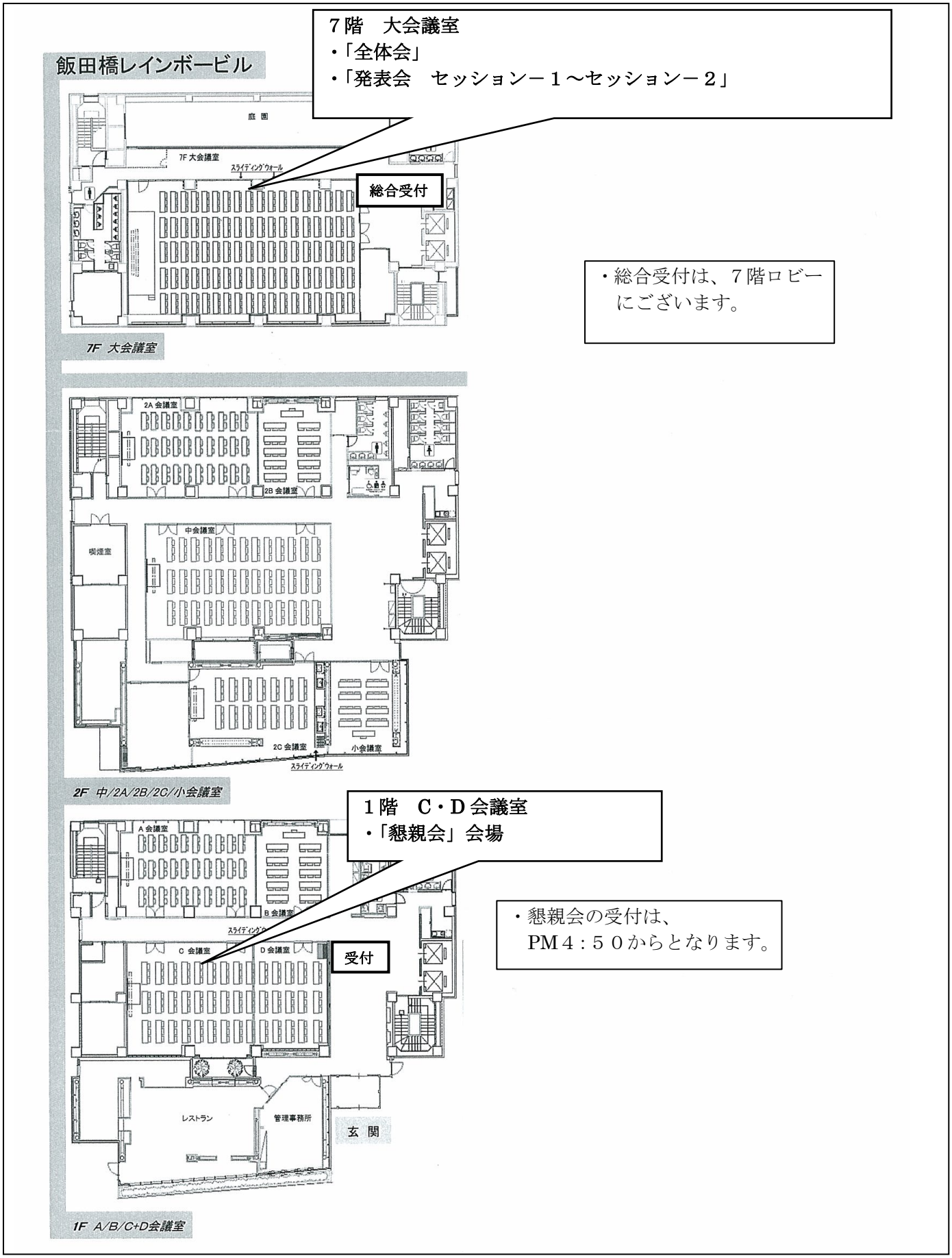
・第１部　全体会（10：00～12:00）

開　場：　9:30
開会挨拶：　10:00～10:10　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　10:10～10:30　学会の活動報告
「地質リスク・エンジニア制度の創設と地質技術顧問委託契約書（案）について」
NPO 地質情報整備活用機構　人材育成担当理事　黛　　廣志
講演②　10：30～11：15　海外事例報告
「英国における地質リスクマネジメントの体系化の現状」
地質リスク学会　副会長　小笠原正継
（国立研究開発法人産業技術総合研究所　地質情報研究部門　客員研究員）
講演③　11:15～11：45　業界の現状報告
「国土通省の試行業務について（地質リスク調査検討とアドバイザー・コンサルタント制度）」
地質リスク学会　専門委員会委員　小田部雄二
表彰式　11:45～12：00　第２部事例研究発表会　優秀論文賞授与式

・第２部　事例研究発表会（13：15～16：40）　１０編

・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－１～セッション－２」

・総合受付は、７階ロビーにございます。

１階　C・D会議室
・「懇親会」会場

・懇親会の受付は、
PM４：５０からとなります。

事例研究発表内容一覧

発表者	所属先	題目	事例種類
藤原　康正	(株)エイト日本技術開発	斜面崩壊発生後に生じる地すべり活動事例	D型
松井　宏樹	応用地質株式会社 山口支店	地すべりのすべり面設定の検討事例	A型
二木　重博	(株)エイト日本技術開発	新規トンネル計画箇所の掘削工法に関するリスク回避事例	A型
寺井　康文	大地コンサルタント(株)	地すべり対策工事における歪計自動観測の効果	A型
阿南　辰弥	復建調査設計(株)	道路盛土造成後の不同沈下によるアーチカルバートの変状	B型
吉岡　　崇	(株)愛媛建設コンサルタント	砂防えん堤の掘削に伴う地すべりの誘発に対する対応事例	C型
居川　信之	(株)エイト日本技術開発	山岳道路における斜面災害最小化のための調査・点検業務事例	D型
江川　千洋	(株)キタック	新規高速道路のルート選定に向けた地質リスクの抽出と回避事例	A型
野々山一彦	応用地質(株) 関西支社	土石流の成長タイプに応じた災害リスクの推定と対策方針－2014年広島土砂災害の事例－	D型
常川　善弘	(株)相愛	地質リスクマネジメントを活用したグラウンドアンカー工の維持管理手法の取り組み	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
　　小笠原正継　（地質リスク学会　副会長）
＊事例研究発表会の時間配分について
　・セッションは、以下の２つの時間帯で実施する。
　　１３：１５～１４：５０
　　１５：０５～１６：４０
　・口頭発表時間は、１編当たり１５分とする。

第Ⅱ編　第１部　現状報告

講演①　学会の活動報告

地質リスク・エンジニア（ＧＲＥ）養成講座の開設にあたって

特定非営利活動法人地質情報整備活用機構

一般社団法人全国地質調査業協会連合会（以下「全地連」という）では、平成 17 年以降、技術委員会を中心に「地質リスク」という視点から地質調査の使命や役割を見直し、地質調査の関わる領域を拡げる取り組みを進めてまいりました。その後、平成 21 年には、特定非営利活動法人地質情報整備活用機構（以下「地質活用機構」という）が事務局となり「地質リスク学会」を創設しました。ここでは、産業界のみではなく、産官学から参加された多様なメンバーにより活動を展開し、理論面の学術研究、技術発表会による具体的な事例研究、海外における地質リスク問題の情報収集と紹介、地質リスクを取り巻く制度的課題の検討、「地質リスクマネジメント入門」の発行など、着実に成果を挙げてきております。

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、当地質活用機構では、地質リスク学会と全地連の支援を得て標記養成講座を開設することとしました。

講座の詳細なプログラムは別紙の通りで、「地質リスク」に関する項目のほか、実務に役立つ次のような内容が含まれます。

◆地質リスクマネジメントとは（概念と意義）

◆地質リスクマネジメントの投資効果とその計量化並びに評価手法

◆地質リスクを反映した地質調査業務の領域

・技術顧問（発注者との契約に基づく技術指導）

・ＣＭ方式への専門家としての参加

・地質リスク調査検討業務（プロポーザル方式による契約）

・地質調査計画策定業務（プロポーザル方式による契約）

・地質調査業務受注後の調査計画の変更提案（契約書に基づく）

・地質リスクを意識した成果物の作成（通常業務）

◆公共調達市場の特性、業者選定方式、契約制度

◆地質リスクにおける発注者責任と受注者の果たすべき責任の範囲

◆地質リスクに関わる技術者に必要な資質と知識（技術者倫理、技術力、マネジメント力、コミュニケーション力）

◆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く予定にしておりますが、現時点で、資格とすることは考えておりません。

地質リスク学会　試案
2015 年 7 月 10 日

地質技術顧問委託契約書（案）

○○○○○（委託者）と○○○○○（受託者）は、委託者が実施する建設事業等（防災・減災事業、維持管理事業を含む）に関し、受託者が地形・地質・土質・地下水等に係る技術的課題に対し助言、支援等を行う地質技術顧問契約を次のとおり締結する。

（総則）

第１条　委託者、受託者、受託者が選任した地質技術顧問は、この契約を信義に則り、誠実に履行する。

（地質技術顧問）

第２条　受託者は、契約締結後すみやかに、地質技術顧問として、地質リスク学会が認定する「地質リスク・エンジニア（ＧＲＥ）」資格を有する者を選任し、氏名、所属部署、役職、保有技術者資格、主な業務経等を記載した書面を委託者に提出する。

２　受託者は、必要に応じ、地質技術顧問をサポートする部署、技術者名等を書面にして委託者に提出する。

（業務の目的）

第３条　建設事業等の全ての段階において、地形・地質・土質・地下水等に起因する地質リスクを抽出、分析、評価し、それらの結果に基づき地質リスクを回避、低減、共有、または受容する等適切にマネジメントすることにより、事業損失の回避または低減することを目的とする。

（業務の内容）

第４条　前条の目的を達成するため、地質技術顧問は次の業務の全て又は委託者が指定する一部業務を行う。

（１）　建設事業等を行う地点及び周辺地域に関する既存資料・既存データの収集

（２）　建設事業等を行う地点及び周辺地域の現地踏査

（３）　前号(1)、(2)により得られた情報に基づく各建設事業等の「リスク登録表」、「リスク措置計画表」の作成とマネジメント

（４）　地質調査業務に係る競争方式選択に関する助言、支援等

（５）　地質調査業務に係る技術提案方式（プロポーザル方式）を採用する場合における技術提案項目の選定、技術提案審査基準の作成、技術審査等に関する助言、支援等

（６）　地質調査業務に係る総合評価落札方式を採用する場合における評価項目の選定、

総合評価基準の作成、総合評価の審査に付する検討資料の作成等に関する助言、支援等

（７）　調査計画立案を含む地質調査仕様書作成に関する助言、支援等

（８）　地質調査成果品のチェックと評価及び後続調査の必要性に関する助言、支援等

（９）　契約書に基づく業務内容の変更提案があった場合におけるその妥当性の評価に関する助言、支援等

(10)　建設工事の契約変更の妥当性を判断するために必要となる「ジオテクニカル・ベースライン・レポート（ＧＢＲ）」の作成とその運用に関する助言、支援等

(11)　以上各号の他、「リスク管理表」や「リスク措置計画表」のマネジメントによる「設計」、「施工」、「維持管理」の各段階での発注条件等に関する助言、支援等

(12)　委託者の職員を対象にした教育・研修に関する支援等

(13)　委託者の職員からの地質技術に関する相談への対応

（業務の実施場所と実施方法）

第５条　地質技術顧問は、委託者が選任する担当者と第４条各号に示す業務のうち、実施する業務内容、履行期間、履行場所について事前に調整する。

２　業務を実施する場所は、現地踏査を除き業務内容に応じ委託者又は受託者の事務所とし、実施した業務内容は日付と場所とともに書面に記載し保存する。

３　軽微な業務については、電話又はインターネットメールで行うことができるものとし、その内容は日付とともに書面に記録し保存する。ただし、インターネットメールについては、交信記録を出力した用紙に代えることができるものとする。

４　前項２、３の保存された書面等は、業務の完了報告時に付属資料として委託者に提出する。

（業務の履行期間）

第６条　この契約の業務の履行期間は、平成〇〇年〇〇月〇〇日から平成〇〇年〇〇月〇〇日までとする。

２　履行期間は、委託者、受託者が協議の上、当該年度を超えない範囲で延長できるものとする。

（委託料等）

第７条　委託料等は、次のとおりとする。

（１）　基本料（一契約あたり）

（２）　業務の履行に伴い発生する経費（受託者は業務を行った技術者の職種ごとの人件費を積算した経費内訳表を委託者に提出し、委託者はこれを検証し、金額を決定する）

（３）　業務成果に見合う報酬（受託者の自己申告額を基に委託者が決定する）

２　基本料は契約締結後、受託者から請求があった日から 20 日以内に支払う。

３　基本料以外の経費、報酬は委託者と受託者の協議が整い次第、受託者は委託者に決定した金額を請求し、委託者は請求にあった日から 20 日以内に支払う。

（権利義務の譲渡等）

第８条　受託者は、この契約により生ずる権利又は義務を第三者に譲渡し、又は継承させてはならない。ただし、あらかじめ委託者の承諾を得た場合はこの限りではない。

（著作物の譲渡等）

第９条　受託者は成果物が著作物に該当する場合、当該著作物を委託者に無償で譲渡する。また、この場合、受託者は、委託者が当該著作物を利用目的実現のためにその内容を改変しようとするときは、その改変に同意する。

２　受託者は、成果物が著作物に該当するとしないとにかかわらず、委託者が承諾した場合には、当該成果物を使用又は複製し、その内容を公表することができる。

（秘密の保持）

第 10 条　地質技術顧問は、業務を履行する上で知り得た秘密を他に漏らしてはならない。

２　地質技術顧問は、業務の履行によって得られた記録、資料等を他に閲覧させ、複写させ、又は譲渡してはならない。

（個人情報の保護）

第 11 条　地質技術顧問は、業務を履行するため個人情報を取り扱う場合は、個人情報を保護しなければならない。

（行政情報の流出防止）

第 12 条　地質技術顧問は、委託者から貸与された行政情報を外部に流出させてはならない。

（中立性・公平性の堅持）

第 13 条　地質技術顧問は、発注に係る業務や成果物の評価に係る業務にあたる場合、所属企業等特定の利害関係者に便宜を供してはならず、中立で公正な立場で業務を履行しなければならない。

（業務の調査等）

第 14 条　委託者は、必要に応じ、受託者に業務の処理状況を調査し、又は受託者から報告を求めることができる。

（土地への立入り等）

第 15 条　受託者が業務を履行するために、第三者が所有し、又は占有する土地に立入る場合において、当該土地の所有者等の承諾が必要なときは、委託者がその承諾を得るものとする。

２　業務の履行のために必要な地元関係者等との協議、交渉等は委託者が行うものとするが、委託者の指示がある場合、受託者はこれに協力しなければならない。

（業務完了に伴う報告）

第 16 条　受託者は、契約期間終了後すみやかに、契約期間内に実施した業務の処理状況を報告書にまとめ、作成した資料等を添えて、委託者に提出する。

（業務履行に伴い発生した損害の負担）

第 17 条　受託者の業務履行に伴い委託者に損害（第三者に及ぼした損害は除く）を及ぼした場合の損害は受託者の負担とする。ただし、損害の発生が委託者の責に帰すべき事由による場合は、この限りではない。

２　受託者の助言、支援等の業務に基づく委託者の行為により第三者に損害を及ぼした場合の損害は委託者の負担とする。ただし、その損害の発生に受託者の責に帰すべき重大な過失があるときは受託者が負担する。

３　第１項の受託者の責任限度額は当該委託料等までとし、第２項の受託者の責任限度額は当該委託料等の２倍までとする。

（委託者の解除権）

第 18 条　委託者は、受託者が次の各号のいずれかに該当する場合、契約を解除できる。

（１）　受託者が正当な理由がなく、当該業務に着手しないとき。

（２）　受託者の責に帰すべき事由により、履行期間を過ぎても当該業務を完了する見込みがないとき。

（３）　前２号のほか、受託者がこの契約に違反し、その違反により契約の目的を達することができないと認められるとき。

２　前項の規定により契約を解除した場合において、委託者に損害が生じたとき、受託者はその損害を賠償しなければならない。賠償額は委託料等を限度として、委託者と受託者が協議して定める。

３　第１項の規定により契約を解除した場合であっても、委託者は受託者に引渡しを受けた既済業務に対する委託料等を支払うものとし、支払額は委託者と受託者が協議し

て定める。

（受託者の解除権）

第 19 条　受託者は、委託者が次の各号のいずれかに該当する場合、契約を解除できる。

（１）　委託者がこの契約に違反し、その違反により契約の履行が不能となったとき。

（２）　受託者がこの契約を履行することにより多大な損害を被ったとき。

２　前項第１号により契約を解除した場合において、受託者に損害が生じたとき、委託者はその損害を賠償しなくてはならない。賠償額は委託者と受託者が協議して定める。

（定めのない事項）

第 20 条　この契約に定めていない事項及び契約に疑義が生じた場合においては、委託者と受託者が協議して定める。

この契約の成立を証するため、本書２通を作成し、委託者、受託者双方が記名、押印のうえ、各自１通を保有する。

平成○○年○○月○○日

委託者

受託者

講演②　海外事例報告

英国における地質リスクマネジメントの体系化の現状

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　小笠原正継

1. はじめに

地質リスク学会の地質リスクマネジメント体系化委員会では、主として国内事例の分析から地質リスクマネジメントの体系化を行い、2014 年に最終報告書を公表した。その中では海外の地質リスクマネジメントの体系化の現状についても簡単に紹介したが、ここでは英国における地質リスクマネジメントの取り組みと体系化の現状を紹介する。地質リスクマネジメントの英語訳としては、“Geo Risk Management”または“Geological Risk Management”が考えられるが、海外で一般に用いられている“Geotechnical Risk Management”の表現も英語訳として考慮する。“Geotechnical Risk Management”は“GeoRM”と略されることもある。

海外における地質リスクマネジメントに関しては、オランダと英国において、基礎的な研究と建設事業における適用が進んでいる。今年の 10 月、オランダのロッテルダムで開催された“Fifth International Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR)”では、“Short Course on Geotechnical Risk Management”が Martin van Staveren と Martin van der Meer により準備され、地質リスクマネジメントに関する体系的な講義が提供された。1 日のショートコースであるが、ウエブに公開されたショートコースの概要を見ると、理論から実務までをカバーする以下の内容が提供されている。

1) Geotechnical uncertainty
2) Geotechnical risk
3) Geotechnical risk perception
4) Geotechnical management
5) Geotechnical risk analysis
6) Geotechnical risk remediation
7) GeoRM and Human Factor
8) 4 件の実例についての GeoRM 理論の適用

このショートコースの内容は、地質リスク学会と地質情報整備活用機構により今年から始まった地質リスク・エンジニア(GRE)養成講座の内容と近似している部分があり興味深い。ただし、GRE 養成講座は 3 日間のコースであり、時間的に見ればより詳細な講義と実習が提供されていると考えられる。このショートコースの講師である Van Staveren は、地質リスクマネジメントに関する重要な基礎的資料として 3 冊の本をあげている。

Van Staveren (2006) Uncertainty and Ground Conditions- A Risk Management Approach. Oxford, Elsevier/Butterworth-Heinemann, p.321.
Essex (2007) Geotechnical Baseline Reports for Construction: Suggested Guidelines. ASCE.
Clayton (2001) Managing Geotechnical Risk - Improving Productivity in UK Building and Construction. London, Thomas Telford Publishing, p.80.

１冊目は彼の著書で、不確実性とGeoRMの在り方の基礎的説明を行っている。2冊目のEssex (2007)の日本語訳は地質リスク学会・全地連(2010)の地質リスクマネジメント入門に含められている。3冊目は英国サウザンプトン大学のClayton(2001)によるもので、地質リスクマネジメントに関する実務が詳細に記述されている。この本は英国の実務者の間で教科書として広く用いられており、2011年には出版後10年を記念して、英国地質学会による“Geotechnical Risk Management: adding value to construction projects”と題するシンポジウムが開催されている。

そこで本講演ではClayton(2001)本に示された地質リスクマネジメントの体系化のまとめと英国における地質リスクマネジメント取り組みの現状を紹介する。

２．Clayton(2001) Managing Geotechnical Riskの概要

この本はInstitution of Civil Engineers(ICE:英国土木学会)に対して委託された英国政府環境・運輸・地域省（2001年当時の機関名）の技術開発プロジェクトでまとめられたもので、プロジェクトには多くのコンサルタントがアドバイザーとして参加している。

この本は、以下の6章からなる。

第1章　はじめに
第2章　Geotechnical Risk Managementの要素と過程
第3章　基礎
第4章　発注者の役割
第5章　設計者の役割
第6章　建設者の役割
文献
付録A　リスク登録の詳細と実例、および業界2社のリスク登録書式の解説
付録B　リスクマネジメントの支援ソフトウェア
付録C　実例　4件

本書はA4サイズの80ページの冊子で、それぞれの章において、課題が明確にまとめられている。第３章では、“Geotechnical Risk Management”の基礎的事項が解説されている。

総建設費用に占める現場調査費用の割合と、建設開始後の建設費用の増加額に明確な負の相関があることを示した図が掲載されているが、この図は多くの研究で引用されている。また“Geotechnical Risk”が適切にマネジメントされないと、建設コスト、品質、工期、環境、安全と関係者の健康に大きな影響が生じることから、リスクマネジメントシステムの構築の重要性が示されている。第４章から第６章ではそれぞれの立場において、リスクマネジメントとして何をすべきかが示されている。付録 A のリスク登録書式の例示は、実際にリスクマネジメントを実施するに当たって、参考となる具体的項目が示されており役に立つ。

３．英国における 2001 年から 2015 年までの地質リスクマネジメントの取り組みの概要

英国における地質リスクマネジメントに関しては、主として 3 機関が積極的に取り組んでいる。発注者である英国政府機関、英国土木学会、英国地質学会応用地質部会である。

A)．英国政府機関等発注者による取り組み

ここでは資料の多い、道路関係のインフラ整備における地質リスクマネジメントについて紹介する。英国政府関連機関の建設する道路と橋に関しては HD22“Managing Geotechnical Risk”のマニュアルがあるが、2008 年にその改訂版 DMRB Vol.4 HD22/08 が、英国道路庁(The Highway Agency)、スコットランド州政府、ウェールズ州政府、北アイルランド州政府により作成された。そのマニュアルには“Geotechnical Risk”をマネジメントするための４つの段階とそこですべき事項、また事前認証、設計・施工認証の書類の書式およびプロセスの詳細な記述が示されている。

英国道路庁は 2010 年、コンサルタントの ARUP に委託して、“A Risk-based framework for geotechnical asset management Phase 2 Report”を作成した。

B)．英国土木学会

英国土木学会は土木技術者および研究者の組織として、“Geotechnical”分野についても様々な情報および資料を提供している。学会誌も発行しているが、単行本も多い。

地質リスクマネジメントに関連する本としては以下のものがある。

A Short Course in Geotechnical Site Investigation (2002)
Risk and Variability in Geotechnical Engineering (2007)
UK Specification for Ground Investigation, 2nd edition (2011)
Effective Site Investigation (2013)

これらの本の目次を見ると、に関する項目があり、Ground Investigation の調査技術的側面だけでなく、Geotechnical Risk Management に関連した記述が見いだされる。

英国土木学会はClayton (2001)の本をまとめるにあたっての受け皿となった学会でもあり、建設マネジメント関係の情報を多く得ることができる。

C). 英国地質学会 応用地質部会(Geological Society, Specialist Group: Engineering Group)

英国地質学会　応用地質部会では地質調査技術やマネジメントに関して定期的にセミナーを開いている。GBR の本の著者である、Essex 博士を招へいし、GBR に関するセミナーも開催したことがある。地質リスクマネジメントに関するテーマでもセミナーが行われている。

最近では 2012 年に“Managing Risk - The Views of the Built Environment Professional”と題するシンポジウムを開催しており、リスクとリスクマネジメントの議論を行っている。

さらに 2014 年には“International Perspectives on the Integration of Geotechnical Risk Management and Project Management”と題するセミナーを開催し、ISSMGE TC304-TF3 が 2013 年に公表した、表記のレポートの紹介をしている。講師はこの国際プロジェクトの英国の代表者である。このセミナーのパワーポイントファイルは公開されている。その中で、英国の現状を紹介しているが、Clayton (2001)の本の意義についても示している。

４．おわりに

英国では地質リスクマネジメントに関する分析と研究が 1990 年代から系統的に行われており、その体系化が進んでいる。特に英国政府環境・運輸・地域省（2001 年当時の機関名）の技術開発プロジェクトとして、多くのコンサルタントおよび大学研究者が参加してまとめられた Clayton (2001)の Managing Geotechnical Risk を見ることで、英国の状況が理解できる。講演ではこの本で記述されていることを紹介し、さらにその後の状況を示し、英国での地質リスクマネジメントの体系化の現状を報告する。

講演③　業界の現状報告

国土交通省の試行業務について

ー地質リスク調査検討業務と
アドバイザー・コンサルタント制度ー

平成27年11月20日

地質リスク学会
専門委員会　委員　小田部 雄二

1

内　容

1. 地質リスク調査検討業務
1.1　本業務の必要性と背景
1.2　本業務の効果
1.3　発注段階と発注方式
1.4　調査検討の手順・内容
1.5　発注状況

2. アドバイザー・コンサルタント制度
2.1　地質技術顧問
2.2　地質技術顧問と本業務の関係

3. 今後の課題

2

1. 地質リスク調査検討業務

1.1　本業務の必要性と背景
1.2　本業務の効果
1.3　発注段階と発注方式
1.4　調査検討の手順・内容
1.5　発注状況

3

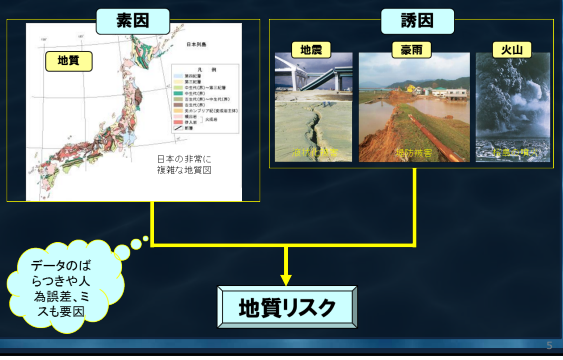
(1)地質リスクとは

地質に係わる事業リスク、
特に、コスト増大リスクに着目（コスト縮減への貢献）、事業コスト損失そのものと、その要因の不確実性を指す

- 地質リスクは建設事業に焦点を当て，その**建設コストに極めて大きな影響を及ぼす**地質，地盤，地下水などに係る不確実性のこと。
- 計画，調査，設計，施工ならびに維持管理の各建設段階において、そのリスクを管理することによりできるだけ**トータルコストを抑えること**を主目的としたものである。当然の事ながら、災害や事故を防止することも含まれる。

4

(2) 地質リスクの素因と誘因



5

(3)発注者にとっての地質リスク

- 従来は、当初条件と異なる場合に比較的容易に設計変更が行われてきた。
- ところが、地質条件の変更による**工事費増大への見方が厳しく**なってきており、監査で問題になったり、極端な場合、議会承認が得られない可能性もある。
- 工事費が税金であることから、発注者としてエンドユーザーである**国民への説明責任**が問われてきている。

6

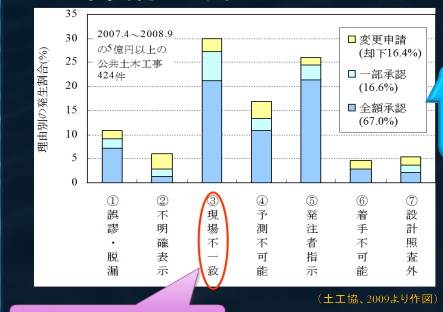
1.1 本業務の必要性と背景

(4)受注者にとっての地質リスク

- 調査、設計技術者は、**予見すべき地質リスク**を予見しなかった場合、**瑕疵責任**を問われる可能性がある。
- これらの問題に対して保険制度があるが、最近では大きな賠償額を要求されるケースが散見されるため、**地質リスクは経営に影響を及ぼす問題**としても捉える必要がある。
- 一方、地質リスクは、工事受注者にとっては**原価への悪影響**に直結することがある。

1.1 本業務の必要性と背景

(5)工事契約と地質リスク －設計変更の理由－



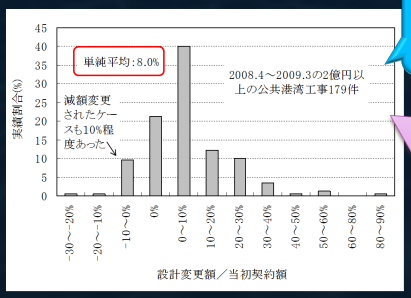
（土工協、2009より作図）

地質リスクに起因した設計変更が多いようである

地盤状況の相違が多い

1.1 本業務の必要性と背景

(6)工事契約と地質リスク－設計変更額の実際－



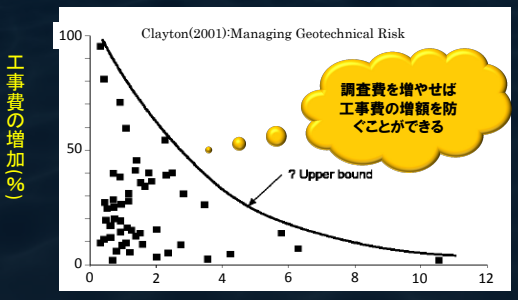
（埋浚協、2009より作図）

設計変更は発注者・受注者双方にとって大きな問題

平均で８％の増額
↓
変更が得られるかどうかは受注者にとって大きな経営課題
↓
発注者にとってはコスト増大

1.1 本業務の必要性と背景

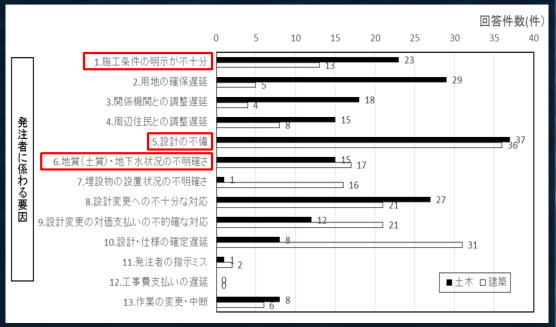
(7)設計変更増額と調査費の関係例（英国）



調査費を増やせば工事費の増額を防ぐことができる

1.1 本業務の必要性と背景

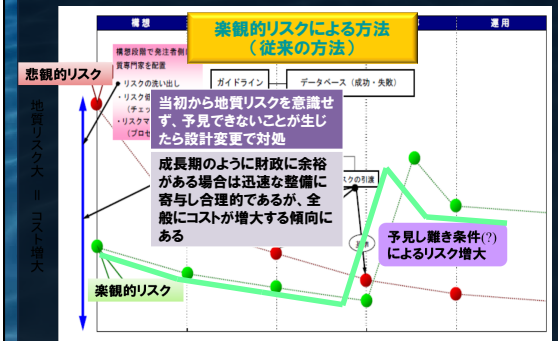
(8)工事の原価に影響を及ぼす要因



（建設経済研究所、2008）

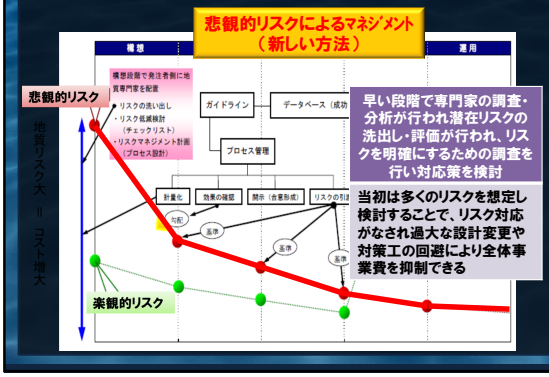
1.2 本業務の効果

(1)地質リスクの従来の扱い －楽観的リスク－



1.2 本業務の効果

(2)地質リスクの新たな扱い －悲観的リスク－



13

1.2 本業務の効果

(3)従来の流れと本業務の流れ

従　来		地質リスク調査検討業務
地域特有の地質リスクを特に意識せず ↓ 通常の調査・設計 ↓ 工事中のトラブル発生 ↓ 設計変更で対処 ↓ 手戻り／追加対策	今後	早い段階で地質リスク抽出 ↓ 適切な地質調査 ↓ 適切なリスク対応、設計 ↓ 工事中のトラブル抑制 ↓ トータルコスト縮減

14

1.2 本業務の効果

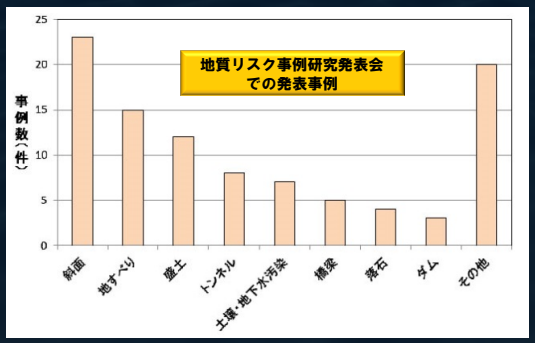
(4)地質リスク調査検討業務の効果

- 事業の各段階で地質に起因する**リスクを抽出**することで、適切なリスクマネジメントが展開できる。
- 事業の各段階で後段階への**リスク引渡し**内容が明確となる。
- 従来のリスク発生後の**事後対応から事前のリスク管理型**となる。
- 関係者の**リスクコミュニケーション**が図られる（リスク共有、リスク共生）。

15

1.2 本業務の効果

(5)地質リスクマネジメントの効果



16

1.2 本業務の効果

(6)リスクマネジメントの効果費用の例

区分	事例総数（件）	計量事例数（件）	最小値（千円）	最大値（千円）	平均値（千円）
A型	32	30	3,500	5,473,800	323,085
B型	18	12	3,606	2,500,000	275,699
C型	19	10	1,800	2,173,000	288,555
D型	28	10	1,259	385,000	54,671

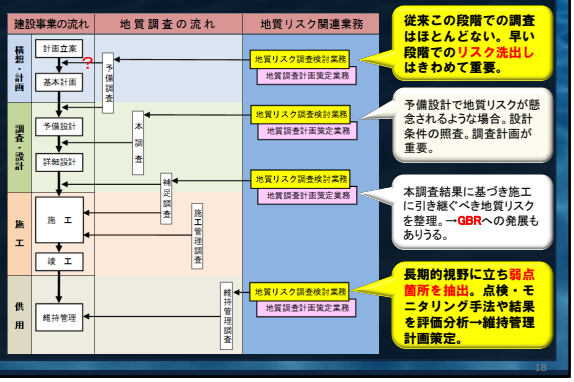
区分	内　容
A型	地質リスクを回避した事例
B型	地質リスクが発現した事例
C型	発現した地質リスクを最小限に回避した事例
D型	A型、B型、C型以外の事例

（地質リスク学会地質リスク体系化委員会、2014）

17

1.3 発注段階と発注方式

(1)本業務の発注段階



18

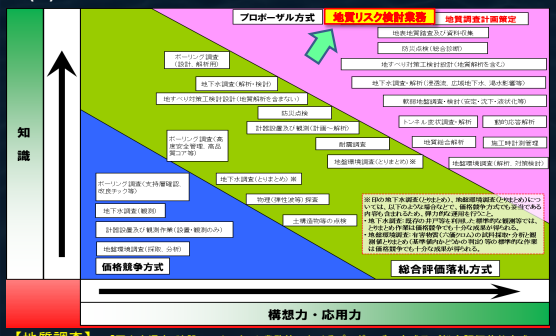
参考

GBR(Geotechnical Baseline Report)
ジオテクニカル・ベースライン・レポート

- GBRにおけるベースラインは、発注者と受注者が共有するリスクの分担の基準値をいう。
- 実際の地盤条件がGBRで明記されたベースラインを超過した場合、発注者は設計変更を認め追加工事費を支払う。
- ベースラインを超えない場合、受注者が全てのリスクを負担する。

19

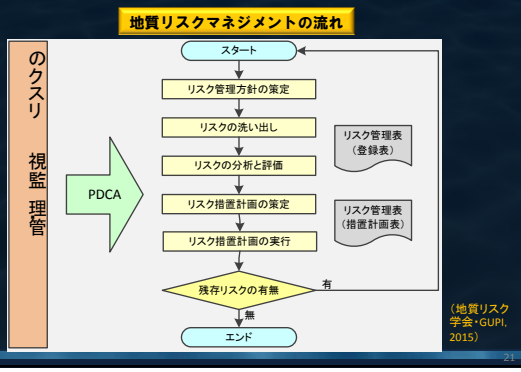
1.3 発注段階と発注方式
(2)ガイドライン案による発注方式



【地質調査】 【国土交通省：建設コンサルタント業務等におけるプロポーザル方式及び総合評価落札方式の運用ガイドラインの一部見直しに向けた試行の運用について，平成26年5月】

20

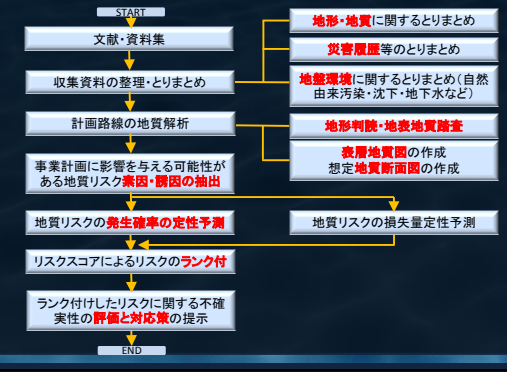
1.4 調査検討の手順・内容
(1)調査検討の手順・内容



（地質リスク学会・GUPI, 2015）

21

1.4 調査検討の手順・内容
(2)基本計画段階での検討手順例



22

1.4 調査検討の手順・内容
(3)リスク洗出しの一例（GBRチェックリスト）

項目	内容
序論	名称、発注者、設計者、・照査者、GDR、制約・条件
プロジェクト概要	位置、目的、内容・仕様など
地質・地盤工学情報の出典	GDR, 既往調査報告書、既存地盤情報など
プロジェクトの地質環境	地質・地下水、堆積環境、土地改変履歴、露頭の状況、地層層序、地層断面図など
既往の施工実績	近接工事、既往工事の問題点など
地盤特性	各層の性状・特性値、地下水の状況など
設計への考察	地山区分、支保工、計測管理方法
施工への考察	予想地盤挙動、施工手順、ベースライン推定根拠

GDR：通常の地質調査報告書、Geotechnical Data Report）

23

1.4 調査検討の手順・内容
(4)地質リスク検討のための調査項目例

1） 既往文献収集・とりまとめ
- ・地形・地質
- ・災害履歴（地震、斜面、土石流など）
- ・地盤環境（沈下、地下水、水文、汚染など）

2） 地質解析
- ・地形判読
- ・航空写真判読
- ・地表地質踏査
- ・表層地質図作成
- ・地質断面図作成

3） 地質リスク素因・誘因の抽出
- ・素因の抽出
- ・誘因の特定

4） 地質リスクの発生確率と損失量の定性予測
- ・発生確率のランク区分設定
- ・損失量のランク区分設定
- ・発生確率予測
- ・損失量予測
- ・リスクスコアによるリスクランク区分
- ・不確実性の評価
- ・対応案の提示

24

1.4 調査検討の手順・内容
(5)地質リスクの分析例

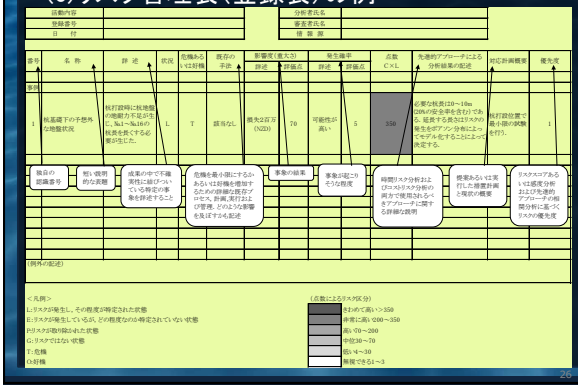
AA：リスク回避(路線変更)
A ：リスク低減(万全な対策)
B ：リスク低減(調査結果に応じて対策)
C ：リスク留保(施工へ持越し、モニタリング)

			発生確率				
			① 50年に一度以上	② 10～50年に一度	③ 5～10年に一度	④ 1～5年に一度以上	⑤ 1年に一度以上
損失量	①	事業の継続に影響を与えない	C	C	C	C	C
	②	軽微な修復で事業継続可能となる影響	C	B	B	B	B
	③	大きな損失を受けるが事業は継続可能で、遅延がある	B	B	A	A	A
	④	事業が中断または大幅な遅延となる影響	B	A	A	A	AA
	⑤	事業の継続不能となる影響	A	A	A	AA	AA

（注1）①非常に低い、②低い、③中程度、④高い、⑤非常に高い
（注2）評価者の判断が入りやすいため、条件や判断結果に対する不確実性を明示する

25

1.4 調査検討の手順・内容
(6)リスク管理表（登録表）の例



26

1.4 調査検討の手順・内容
(7)リスク管理表（措置計画表）の例

27

1.4 調査検討の手順・内容
(8)リスク管理表の例（簡略版）

区間	リスク要因	リスクスコア	リスク対応	未対応時損害予測	対策案	次段階への提言
	液状化	A	完全なリスク低減	基礎杭の液状化による支持力低下で沈下	液状化対策工（例）SCP、概算直工費4,000万円、（20m×100m, △1.8m×Z=10m）	詳細ボーリング2本、液状化詳細検討
	橋台を含むすべり	B	調査結果に応じて対策	基礎底面掘削時に地すべり誘発の危険性		

28

1.5 発注状況
(1)本業務の発注状況

1. 国土交通省における発注業務

- ➢**関東地方整備局**：「斜面安定に関する地質リスクマネジメント」が**受注業務の中**で要請され実施
- ➢**九州地方整備局**：「平成27年度牛根境地区地質調査総合解析業務」において、地質リスク調査検討、並びに地質調査計画策定業務を**発注仕様に記載**
- ➢**北陸地方整備局**：「平成26年度道路地質調査その6業務」において**受注後の提案**により採択され増工

2. 地方自治体

- ➢ 予備調査の段階で地質リスクを意識した発注

29

1.5 発注状況
(2)「平成27年度牛根境地区地質調査総合解析業務」の**特記仕様書**

1. 地質リスク調査検討：
概略設計に先立ち**地質リスクを抽出**し設計・施工上の留意事項を検討し、明らかにする。

2. 地質調査計画策定：
地質リスクを踏まえ、事業目的に合致した適切で経済的な地質調査計画を策定する。

30

2. アドバイザー・コンサルタント制度

2.1 地質技術顧問
2.2 地質技術顧問と本業務の関係

31

2.1 地質技術顧問

(1) GREの育成

- 建設事業における技術顧問のうち、地質に関連する分野の技術顧問としてGRE（地質リスクエンジニア）を育成している
- 一般的な技術顧問は特定事業分野に限定して活用するが、それぞれの事業分野には地質に関連する技術的課題が潜在する
- GREはあらゆる事業分野の地質に関連する技術的課題に対し横断的に活動する

32

2.1 地質技術顧問

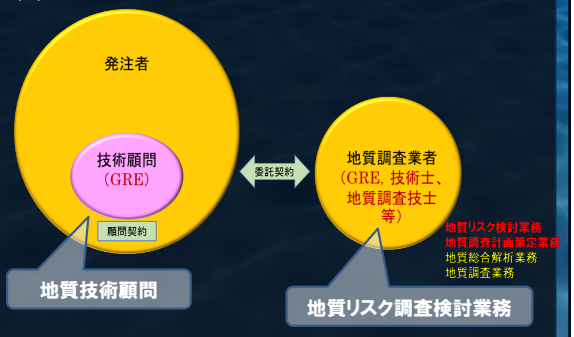
(2)発注状況

- 国交省でアドバイザー・コンサルタント制度公募・発注（東北地方整備局）
- 自治体で土砂災害関連の技術アドバイザー委託（秋田県等）

33

2.2 地質技術顧問と本業務との関係

(1)GREと本業務との関係



34

3. 今後の課題

35

3.今後の課題

(1)リスク評点の妥当性

- **リスク評点**については、より客観性を持たせる意味で定量化の試みが必須と考える
- しかし、リスク評点の定量化は難しく、妥当な評価とするためには事例を積み重ねる必要がある

みなさまの事例発表が重要です

36

3.今後の課題

(2)地質調査の投資効果

- 地質リスクの洗出しは地質リスクマネジメントの第一歩である。
- これを本格的なマネジメントに発展させるには、計画する**地質調査の投資効果**を明示することが必要である。
- 想定されるリスク事象による被害額と、地質調査投資額を対比し、投資効果を示すことは、地質リスク調査検討業務の一部と考える。
- その際、現在使用している地質リスク事例シートを活用することが可能である。

37

3.今後の課題

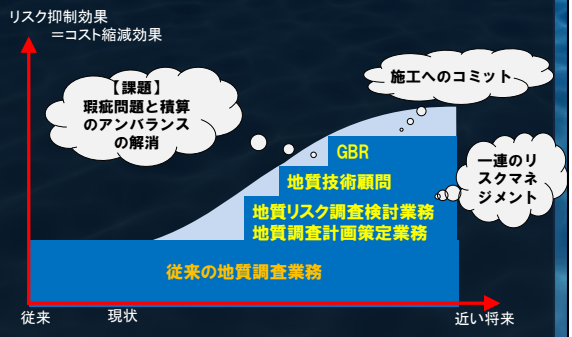
(3)地質技術顧問と本業務との関係

- **地質技術顧問**は、将来発注者側に立った支援業務としてアドバイザリー契約を行い、地質リスクのマネジメントを実施することが目標の一つである。
- この制度を最終目標として見据えながら、個々のプロジェクト単位で地質リスクマネジメントを行うのが地質リスク調査検討業務である。
- 本業務が地質リスクマネジメントの必要性を広め、地質技術顧問の制度化に繋がることを期待する。

38

3.今後の課題

地質リスク関連業務の発展イメージ



39

完

ご清聴ありがとうございました

40

第Ⅲ編

第２部　事例研究発表会　論文

［論文 No.1］斜面崩壊発生後に生じる地すべり活動事例

株式会社　エイト日本技術開発　○藤原　康正
〃　佐田　真
〃　森　由希奈

1. 事例の概要

豪雨などにより比較的表層の斜面崩壊が発生したのちに、数年たって地すべり活動が顕在化する場合がある。表層崩壊発生時の現地踏査などにより比較的明瞭な地すべり地形を呈する場合もあれば、地すべり地形と認識できない場合もある。当初より地すべり地と認識できた場合とできなかった場合の事例を各々紹介する。

(1) 事例１：地すべり地形と認識できた事例

表層崩壊発生後の現地踏査により背後に明瞭な滑落崖が確認されたため、滑落崖に地盤伸縮計を設置し、崩壊発生直後から多雨期を通し約１年間の観測を実施したが、背後斜面の変動は確認されなかった。表層崩壊発生から３年目の豪雨により背後の地すべり活動が顕在化し、新たに地すべり対策を実施したものである。概略の経緯は以下の通りである。

① 日雨量 118 ㎜、最大時間雨量 23mm の豪雨により表層崩壊発生。背後の地すべり地形を認識し、地すべり観測を実施したが変動なし。
② この際のボーリング調査は、崩壊肩付近の１箇所で深度 30m 程度まで行い、パイプ歪計による観測を行ったが、約半年間の間には明瞭な変動は発生しなかった。
③ 対策工としては、表層崩壊対策として崩壊面の整形を行った後に吹付法枠工を実施。
④ 表層崩壊発生の約４年経過後、日雨量 466.5 ㎜、最大時間雨量 54.5 ㎜の豪雨により地すべりが顕在化し、施工済み法枠に変状が発生。
⑤ 再度、背後滑落崖に地盤伸縮計を設置し、観測を開始するとともに、深度 30～40m のボーリング調査を実施し、地中変位観測を実施。地盤伸縮計、地中変位観測ともに明瞭な地すべり変動を確認。
⑥ 対策として、排土工およびアンカー工を実施した。変状の発生した吹付法枠工については、補修を行った。

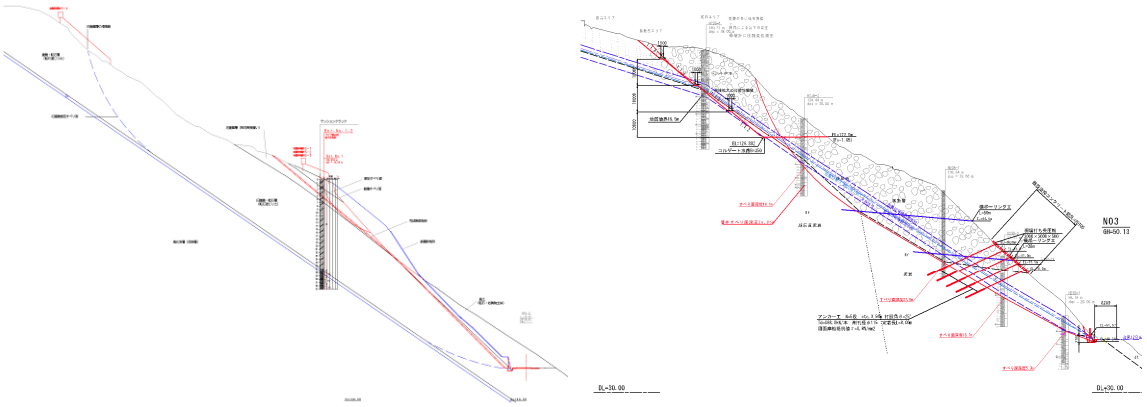


図 1.表層崩壊発生時の対策（左）と地すべり顕在化後の対策（右）

(2) 事例 2：地すべり地形と認識できなかった事例

表層崩壊発生後の現地踏査では、新旧含め滑落崖や段差地形は確認されておらず、崩壊規模の比較的小規模であったことからボーリング等の地質調査も実施されなかった。この表層崩壊発生から 4 年目の豪雨により地すべり活動が顕在化し、顕著な滑落崖が形成されるとともに、施工済み法枠に変状が発生した。この間の概略の経緯は以下の通りである。

① 日雨量 302 ㎜、最大時間雨量 46.0 ㎜の豪雨により表層崩壊発生。
② 現地踏査では滑落崖等の斜面変状が確認されなかったため、測量のみを実施し詳細な地質調査は未実施であった。
③ 対策工としては表層崩壊対策として、崩壊面の整形を行った後に吹付法枠工を実施。
④ 表層崩壊発生の 4 年後、日雨量 327 ㎜、最大時間雨量 37.5 ㎜の豪雨により法枠に座屈変状が発生。現地斜面を確認したところ、滑落崖を発見。
⑤ 地すべり観測および詳細な地質調査を行い、対策工としてアンカー工を実施。

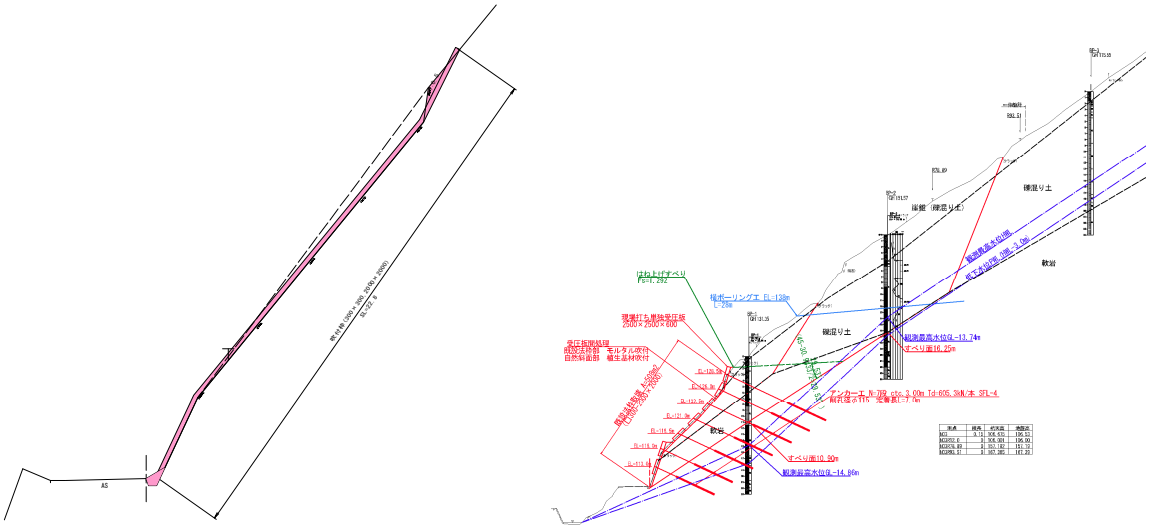


図 2.表層崩壊発生時の対策（左）と地すべり顕在化後の対策（右）

2. 事例分析のシナリオ

本 2 事例は、表層崩壊発生後に豪雨に見舞われ再度斜面災害が発生したものである。1 例は地すべりとしての危険性を認識していた場合であり、他の 1 事例は地すべりとしての危険性を認識できなかった場合である。この 2 事例に共通する課題としては以下が挙げられる。

① 地形的な特徴を問わず現地踏査やボーリング結果からの災害リスク評価
② 被災時の降雨と既往の降雨履歴などから生じる気候的リスクの評価

災害リスク評価については、周辺を含む広域の地質構造などから潜在的に地すべりが生じる危険性のある地質状態にあることが推察できるか、また推察が可能であった場合にボーリング調査などにより検証を行うことができるかがリスク回避の最初となる。また、表層崩壊がどの程度斜面に影響を及ぼしているかが数値的裏付けとなるであろう。

気象的リスクについては、通常は斜面対策の考え方に確率降雨や確率地下水位を考慮しないことや経年的な地山の劣化などの問題もあり、極めて困難な課題ではあるが、被災時

雨量がどの程度の確率雨量であったかを把握しておくことは、潜在するリスクを考慮するうえで有益になると考える。このため、主に地形地質的要因の有無、表層崩壊が斜面に及ぼした影響の程度（安定性の低下）および被災降雨と確率雨量の関係の 3 点について検討を行う。

写真 1.事例 1 の表層崩壊発生時のすべり面付近のコア状況

3. データ収集分析

(1) 地形地質的要因の有無

事例 1 については表層崩壊発生時の現地踏査により古いながらも明瞭な滑落崖を確認し、ボーリング調査によっても、移動土塊と想定される撹乱された岩盤を確認していた(写真 1)。このため、地中変位観測を実施したが、観測期間中には地すべりに伴う変動は確認できなかった。

一方、事例 2 では崩壊が比較的小規模で地表面に地すべり変状が発生していなかったためボーリング調査そのものが未実施であった。このような場合、現地踏査が最も重要となる。

現地の岩盤状態を見ると表層崩壊発生箇所を挟んで左右で岩盤の風化状況に大きな違いが認められる(写真 2 および 3)。また地層は崩壊箇所右側に向かって流れ盤となっており、素因的には風化の境界や流れ盤構造等の存在を示しているが、地すべりを指摘できるほどの決定的根拠には乏しいと考えられる。

写真 2.事例 2 の崩壊右側岩盤

写真 3.事例 2 の崩壊左側岩盤

(2) 表層崩壊が斜面に及ぼした影響について

表層崩壊前、表層崩壊後の地形形状から地すべりの安定検討を行った。検討条件は以下の通りである。

① 地形条件は表層崩壊発生前後の地形および地すべり活動が顕在化した（表層崩壊対策後）の地形とする。
② 地下水位データは地すべり活動が顕在化した際の安定計算に用いた水位とする。
③ 表層崩壊発生前の安全率を Fs=1.00 として、表層崩壊発生後、地すべり顕在化時の安全率を算定する。

事例 1 の場合、表層崩壊発生当時より地すべりの存在を想定していたため、表層崩壊や

対策工による地形の改変の影響が検討されていた。ただし、当時地すべりに対しての十分な調査が実施されていなかったため、すべり面は1箇所のボーリング結果からの想定であった。またすべり面強度についても、表層崩壊斜面から求めた強度をもとにした順算解析を行っていた。加えて表層崩壊発生時に観測された地下水位が低く、地すべりに対して過大な安定度評価となっていることがわかる。

地すべり顕在化時の詳細な調査に基づくすべり面および地下水位を用いた場合の試算では、対策工の実施により約2%の安定度の低下をもたらす結果となっている。

一方、事例2の場合、表層崩壊規模が小さく表層崩壊発生箇所も末端付近の除荷となるため顕在化した地すべりへの影響はほとんどない結果となった。

表1.安全率の推移

事例	表層崩壊前地形	表層崩壊発生後地形	地すべり顕在化時地形（表層崩壊対策完了時）	備考
1	1.239	1.325（変化量0.086）	1.234（変化量0.005）	表層崩壊発生時に想定していた地すべりでの当時の試算結果
1	1.000	1.055（変化量0.055）	0.981（変化量0.019）	地すべりが顕在化したのちに調査の結果確認したすべり面での試算結果
2	1.000	1.001（変化量0.01）	1.001（変化量0.01）	表層崩壊発生後と地すべり顕在化時で地形変化なしのため同一値となる

(3) 被災時降雨とその前後期間降雨および確率降雨の関係

各事例近傍のアメダスデータによる各事例の表層崩壊発生前3年間と表層崩壊発生から地すべり顕在化までの年最大24時間降雨量及びそれらの確率年を示す。確率降雨量については、アメダスデータを用い一般財団法人国土技術研究センター作成の水文統計ユーティリティーにより岩井法も用いて算定した。なお、確率降雨量の算定に用いたデータ数は事例1では39年分であるが事例2では16年分となっている。

事例1では表層崩壊発生前の3年間の24時間雨量は表層崩壊発生時の降雨量を上回っているが、確率雨量としてはいずれも2年確率以下と小さな雨量である。その後、地すべり顕在化までの降雨量も比較的小さい雨量しか経験していなかった。このような状態ののちに20年確率程度の大きな降雨に見舞われて地すべり活動が顕在化している。

一方、事例2では、表層崩壊発生時の降雨は発生前3年間の降雨より2倍程度大きい降雨量で発生している。その後も同程度の降雨に見舞われ、地すべり発生時には50年確率程度の雨量を経験している。

これらのことから事例1では、経年的に斜面の変形が進みながらその結果として表層崩壊が発生し、表層崩壊による斜面の不安定化がより進んだ上に大きな降雨を経験したことにより地すべり活動が顕在化したものと考えられる。

事例2では、表層崩壊発生自体が20年確率降雨の際に発生しており、その後の繰り返し

の豪雨により斜面の緩みが進行し、潜在的な地すべり素因を有していた斜面が滑動したものと考えられる。

事例 1 では表層崩壊発生雨量自体が比較的小さくこの点からも、斜面変動の可能性をうかがわせるが、事例 2 で地すべりを予見することは極めて困難と考えられる。事例 2 のような場合のリスク回避としては綿密な現地踏査と最低 1 箇所のボーリングは不可欠である。

表 2. 被災時雨量およびその前後の雨量と確率雨量の関係

経　年	被災時 24 時間最大雨量（確率年）	
	事例 1	事例 2
発生 3 年前	265.0（3 年確率相当）	102.0（2 年確率以下）
発生 2 年前	162.0（2 年確率以下）	168.0（3 年確率相当）
発生 1 年前	241.0（2 年確率相当）	138.0（2 年確率以下）
表層崩壊時	130.0（2 年確率以下）	311.5（20 年確率相当）
発生翌年最大値	233.5（2 年確率相当）	134.5（2 年確率以下）
発生 2 年目最大値	158.0（2 年確率以下）	332.5（20 年確率相当）
発生 3 年目最大値	469.5（20 年確率相当）	175.0（3 年確率相当）
地すべり顕在化時		372.5（50 年確率相当）

4. マネジメントの効果

事例 1 について表層崩壊発生時に地すべり発生を予見し対策できたと仮定し、その場合の二重施工を回避した法面対策工事費と調査解析費の合計と、実際の事例の費用の比較を表 4 に示す。

表-1　地質リスク発現時と予見対応時の対策費用比較（事例 1）

	実際の費用		地すべり発生を予見した場合の見込み費用
工事期間	表層崩壊対策：15 ヶ月 地すべり対策：20 ヶ月		28 ヶ月
測量調査設計費（千円）	表層崩壊時	12,000	42,000
	地すべり時	38,000	
	小 計	50,000	42,000
施工費（千円）	表層崩壊時	290,000	865,000
	地すべり時	720,000	
	小 計	1,010,000	865,000
合 計（千円）		1,060,000	907,000
差 額（千円）		153,000	

地すべり発生を予見した場合の対策は、アンカー工施工範囲以外の部分に対して吹付法枠工を想定している。

全体費用としてはリスク予見時が経済的で工事期間も短く、地質リスク予見によるコスト縮減効果は 153,000 千円減（7 ヶ月減）となっている。

5. データ様式の提案

本事例は、地質リスクが発現した事例であり、データ様式 B 表を用いる。

B. 地質リスクが発現した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		県
	工事名		県道復旧工事
	工 種		切土工、法面工
	工事概要		吹付法枠工
	① 初工事費		290,000,000円
	当初工期		15ヶ月
リスク発現事象	リスク発現時期		供用開始 4年後
	トラブルの内容		地すべり変状の発生
	トラブルの原因		豪雨による地すべり発生
	工事への影響		供用開始後であり工事影響なし
追加工事の内容	追加調査の内容		ボーリング調査N=5孔 L=140m 動態観測
	修正設計内容		地すべり解析＋法面工詳細設計
	対策工事		単独受圧板＋アンカー工＋横ボーリング工
	追加工事		なし
	追加費用	追加調査	30,000,000円
		修正設計	8,000,000円
		対策工	720,000,000円
		追加工事	0円
		② 計	758,000,000円
	延長工期		2年
	間接的な影響項目		現道通行止め
	負担者		県、国
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期		表層崩壊発生時
	対応(すべき)者		発注者、コンサルタント
	対応(すべき)内容		地すべり挙動の詳細確認
	判断に必要な情報		確率雨量を考慮した地すべり解析
	対応費用	調査	30,000,000円
		対策工設計	12,000,000円
		③ 計	42,000,000円
	想定工事	工事概要	法面工＋アンカー工＋横ボーリング工
		④ 事費	907,000,000円
		工期	28ヶ月で完成
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④))		153,000,000円
	工期		7ヶ月短縮(リスク発現なし)
	その他		

［論文 No.2］　地すべりのすべり面設定の検討事例

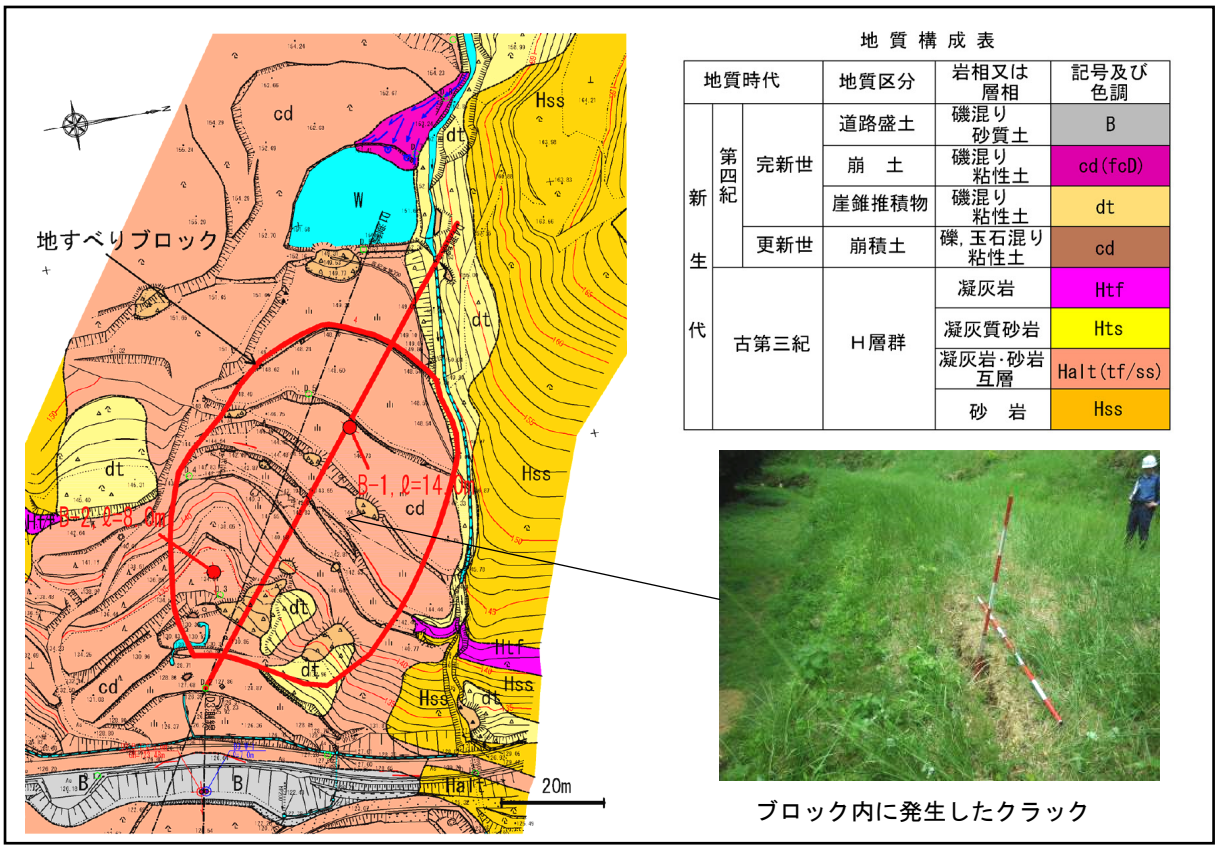
応用地質株式会社　○松井宏樹
応用地質株式会社　　根本雅夫
応用地質株式会社　　土肥 清
応用地質株式会社　　植田 律

１．事例の概要

地すべり対策工検討に資するすべり面の設定は、通常、ボーリングコア観察による地質性状の確認と孔内傾斜計観測等における変位発生深度の確認結果を総合的に判断し行う。しかし、本事例では、2013 年 7 月に連続雨量 184mm（日最大雨量 93mm）の降雨で発生した地すべりに対し、安全確保・農地保全の観点より、2014 年豊水期までには対策工事を完了させる必要があり、豊水期を含んだ十分な地すべり観測期間を設けることができなかった。

そこで、地表踏査、ボーリングコア観察により、すべり面を設定し、対策工検討を進めながらも、すべり面の設定精度を向上させるため、並行して地すべり観測を継続し、観測結果いかんでは速やかに修正設計を可能とするよう、監視を強化した。

その結果、対策工事直前に、設定すべり面より深部で地すべり変位を確認でき、直ちに、ボーリングコアとの照合を行い、すべり面の見直し、対策工の修正設計を実施し、工事着工までに妥当な設計成果を提示することができた。



ブロック内に発生したクラック

図１ 平面図

２．事例分析のシナリオ

(1)リスクの特定

地すべり面設定にあたり、その設定根拠が不十分であり、対策工の効果が不十分あるいは過大設計となる可能性があった。

(2)リスクの原因

豊水期を含んだ十分な観測期間を確保できず、ボーリングコア観察による地質性状の確認のみですべり面を特定しなければならなかった。

(3)リスク回避のためのマネジメント方針

①地表踏査、ボーリングコア観察により、すべり面を設定し、対策工検討を進めながらも、すべり面の設定精度を向上させるため、並行して地すべり観測を継続し、観測結果いかんでは速やかに修正設計を可能とするよう、監視を強化した。

②第三者的な専門技術者による確認

専門技術者の現地視察を受け、現状のデータから判断した地すべりブロック及びすべり面の設定および、孔内傾斜計観測による監視を継続することの妥当性を確認した。

３．データ収集分析

工事開始直前に、設定すべり面より深部で、微小変位の累積として地すべり変位を確認した。直ちに、ボーリングコアとの照合を行い、すべり面の見直し、対策工の修正設計を実施し、工事着工までに妥当な設計成果を提示した。修正設計に基づき実施した対策工施工後、2013 年 7 月の地すべり発生時とほぼ同様の降雨（連続雨量 160㎜、日最大雨量 160㎜）を経験したが、地すべり変位は生じず、地すべり対策工の効果を確認できた。

(1)孔内傾斜計観測による地すべり変位の確認

対策工設計後の継続観測により、孔内傾斜計 2 孔で微小変位の累積が認められ、ブロック下部孔のすべり面深度をコア観察による設定すべり面深度より 1.7m 深部に修正した（図 2, 写真 1）。

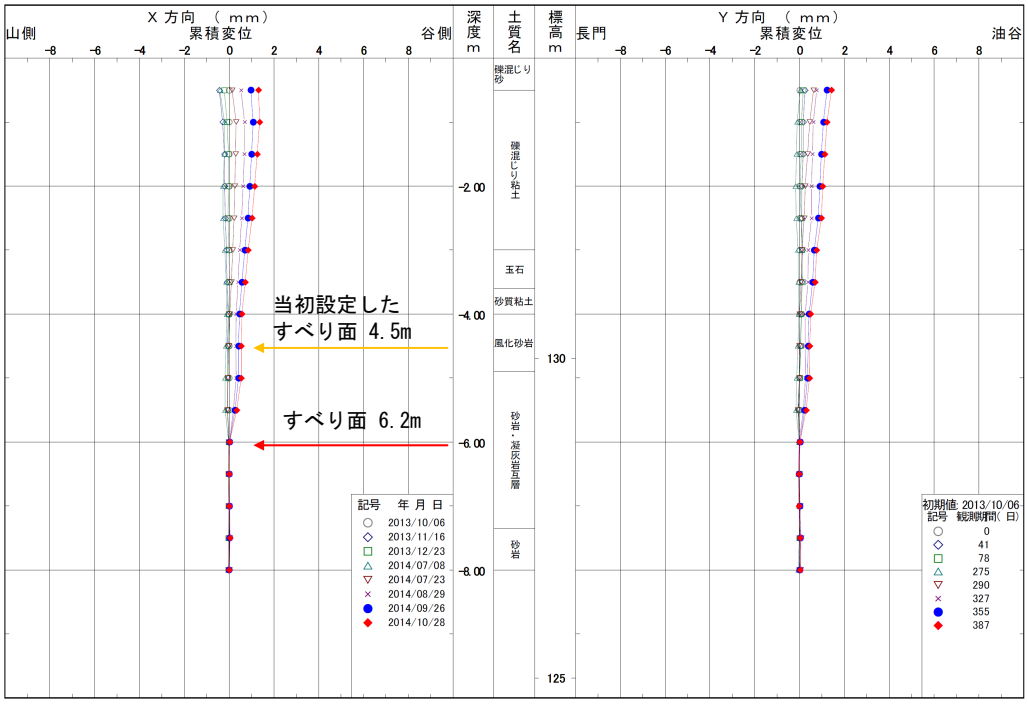


図 2　すべり面を確認した孔内傾斜計観測結果

写真 1
コアのすべり面位置

地 質 構 成 表

地質時代			地質区分	岩相又は層相	記号及び色調
新生代	第四紀	完新世	道路盛土	礫混り砂質土	B
			崩　土	礫混り粘性土	cd(fcD)
			崖錐堆積物	礫混り粘性土	dt
		更新世	崩積土	礫，玉石混り粘性土	cd
	古第三紀		H層群	凝灰岩	Htf
				凝灰質砂岩	Hts
				凝灰岩･砂岩互層	Halt(tf/ss)
				砂　岩	Hss

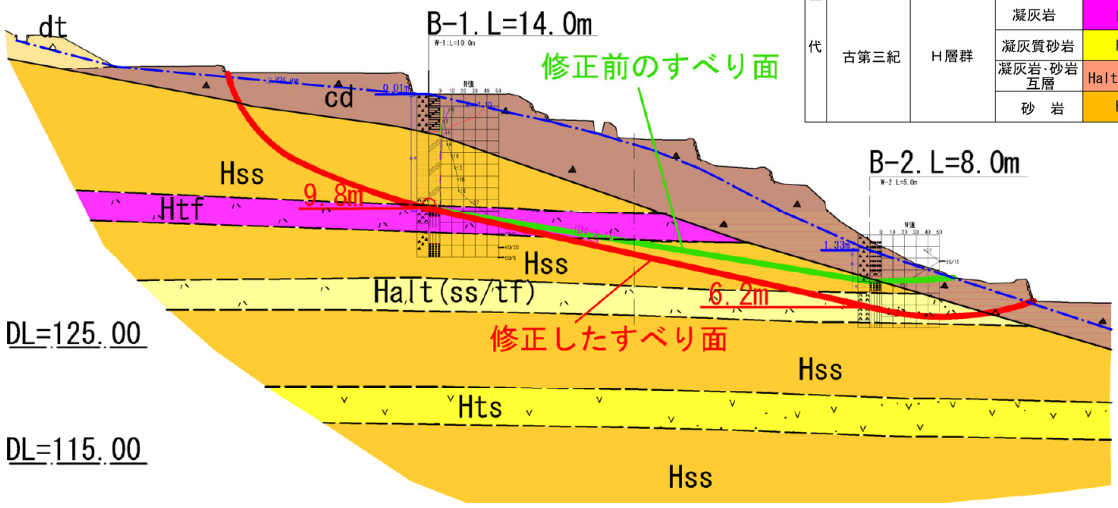


図 3　地すべり断面図

当初設定した深度 4.5m のすべり面は、強風化岩と弱風化岩の境界としていたが、孔内傾斜計の深度 6m 付近で変位を確認したため、すべり面を、コアで厚さ約 2cm のせん断面が複数分布する深度 6.2m に修正した（**写真 1**）。

(2)修正設計

修正したすべり面および地下水位に基づき安定計算を行い、対策工の修正設計を行った。すべり面深度が深くなったことで、必要抑止力が 133.4kN/m から 185.8kN/m に増加した。対策工は、抑止杭工および水抜きボーリング工で設計しており、施工準備に支障をきたさぬよう、修正設計では工種は変更せず杭工の規格と深度の修正で対応した（**図 4, 5, 表 1**）。

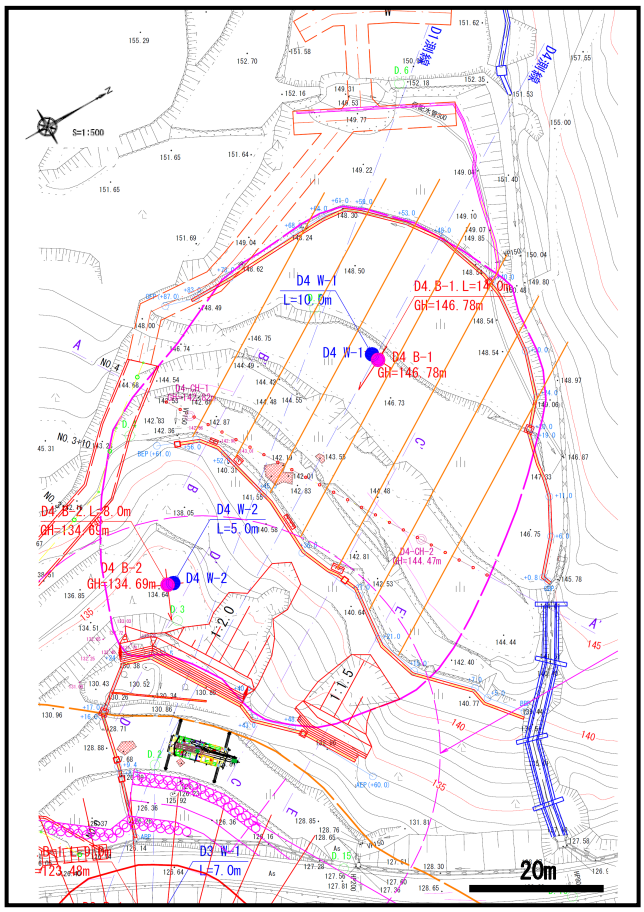


図 4　対策工平面図

表 1　対策工設計概要

安定解析 ・安全率 初期安全率 Fs=1.0, 計画安全率 Fs=1.15 ・必要抑止力（排水 Bor 施工後） 当初 133.4kN/m, 修正 185.8kN/m
対策工 ・抑止杭工 当初φ318，L=14.0m，24 本 修正φ400，L=15.5m，24 本 ・水抜きボーリング工 L=30~45m，7 本

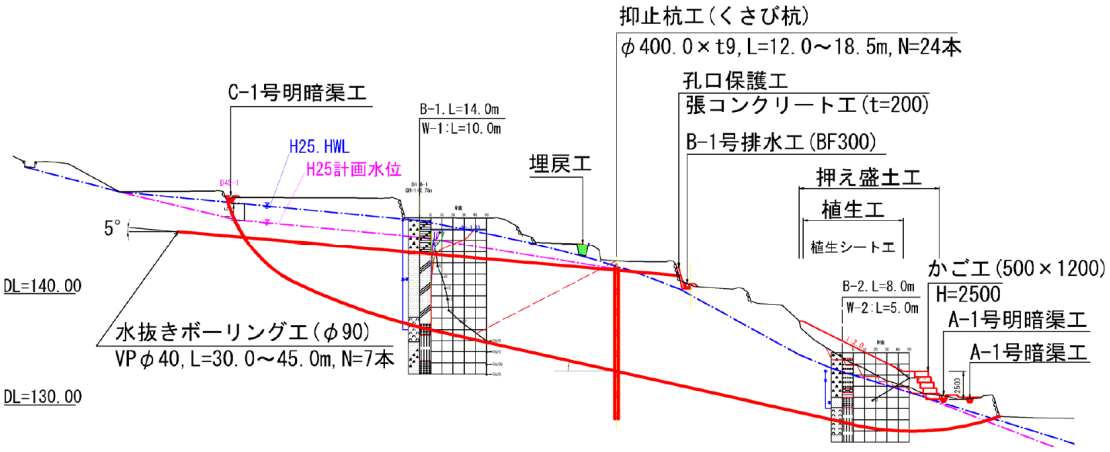


図 5　対策工断面図

(3)対策効果確認

①地すべり変位の収束

修正設計に基いた対策工の施工後では、地すべり発生時と同程度の降雨（連続雨量 160mm、日最大雨量 160mm）を経験したが、地すべり滑動は認められなかった（**図 6**）。

②水抜きボーリング工からの湧水

水位観測では明瞭な変化は認められないが､水抜きボーリング工から常時排水があり、降雨後はさらに排水が増加することから対策効果を確認できた。

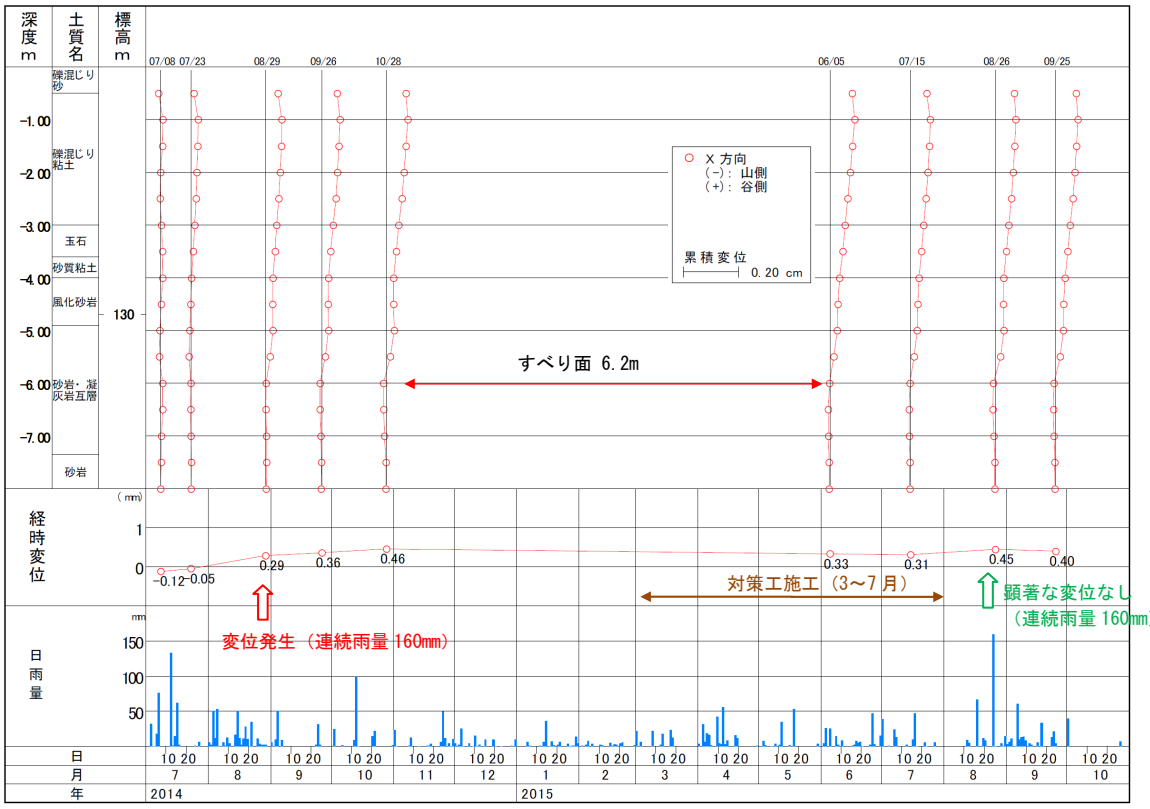


図 6　孔内傾斜計による対策効果確認　下部孔（B-2 孔）

4．マネジメントの効果

当事例では、設計後も孔内傾斜計計測を継続し、微小変位の累積により、すべり面深度を正確に把握し、その結果を速やかに反映した修正設計により適切な対策工事を行うことができた。

一方、当初の計画より必要抑止力が 52kN/m（40%）大きくなっており、当初設定すべり面に対応した対策工を実施した場合、地すべりが再滑動し、被害や復旧が大きな負担となった可能性がある。すべり面の設定根拠が不十分な場合に設計、施工を進めることは、施工後に変状が発生したり過大設計となるリスクがある。地すべりの危険度や保全対象などの制約条件にもよるが、基本は、地すべり観測を一定の降雨を経験するまで行い、すべり面深度の精度を確保した上で、設計に反映させることが重要である。

また、対策工施工後の動態観測による管理は、施工後 1 年と限定する場合があるが、地域に応じて設定した降雨量以上の降雨を経験するまで、動態観測による管理を継続するなど慎重な対応が必要と考える。

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り A 型原案を基本とした。なお、リスクマネジメント効果の算出は下記とした。

（リスクマネジメント効果）＝（地すべり滑動が発生した場合の被害額）－（リスク対応のための計測費）－（修正設計後の対策工事費）

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		公共
	工事名		ー
	工種		地すべり対策
	工事概要		・抑止杭工（φ400mm，L=15.5m，24本） ・水抜きボーリング工（L=30~45m，7本） ・水路工（140m）他
	①当初工事費		対策工費：50,500千円
	当初工期		ー
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		施工前
	予測されたトラブル		地すべり滑動による道路等の被害
	回避した事象		地すべり滑動
	工事への影響		想定被害金額：124,700千円 （a）
リスク管理の実際	判断した時期		降雨後に地すべり変位が発生
	判断した者		調査・設計者，専門技術者
	判断の内容		地すべりの規模・機構，対策工
	判断に必要な情報		ボーリング等調査データ，計測データ
リスク対応の実際	内容	追加調査	孔内計測（孔内傾斜計，水位計）
		修正設計	すべり面深度を修正しての安定計算，抑止杭工の規格と長さの修正
		対策工	抑止杭工の規格向上，長さ延長
	費用	追加調査	500千円 （b）
		修正設計	ー
		対策工	修正設計後の工事費　64,600千円（c）
		②合計	65,100千円
変更工事の内容	工事変更の内容		ー
	③変更工事費		ー
	変更工期		ー
	間接的な影響項目		ー
	受益者		ー
リスクマネジメントの効果	費用（①ー③ー②）		59,600千円　　（a-b-cで算出）
	工期		ー
	その他		ー

［論文 No. 3］新規トンネル計画箇所の掘削方式に関するリスク回避事例

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　　入川　史義

１．事例の概要

この事例は、バイパス計画区間に２本の連続するトンネルが計画される箇所における掘削方式の変更事例である。

下図に示すように、計画ルート状の地形は、比較的なだらかな低山地～丘陵地状の地形を呈しており、軟質な地質が分布することが予想されるような地形状況である。

トンネル計画部付近の地質は、右表の地質構成表の中生代白亜紀の四万十帯（メランジュ）に属する堆積岩類であり、主に泥岩（泥岩優勢層）を主体とした脆弱な地質が分布している。

表-1　対象地の地質構成表

地質時代		地質区分		地質状況
新生代	第四紀	表土 崖錐堆積物		基盤岩の風化土や崩積土であり、斜面下部および小谷状地形部や旧崩壊地形内部等に分布する。礫混じりシルト～礫質土で、φ5～30㎜の砂岩・泥岩の風化角礫を混入する。
		谷底堆積物		礫混じり粘土～粘土質砂礫状を呈する。主に谷底低地部に分布する。
中生代	白亜紀	四万十累層群（メランジュ）	泥岩層および泥岩優勢砂岩泥岩互層	四万十累層群のメランジュである。泥岩優勢の砂泥互層を主体とし、構造運動により攪乱されて亀裂が発達した地層であり、内部に局部的に礫状～レンズ状の緑色岩や珪質砂岩を包有する。部分的に硬質な砂岩層を挟む部分も見られる。 A・Bトンネル付近の基盤を成す地層であり、露頭部の岩級はCL～CM級主体で、尾根部の露頭には部分的にDH級の強風化部が見られる。
			砂岩層および砂岩優勢砂岩泥岩互層	泥岩優勢層と同様に、攪乱されて亀裂の発達した地層である。砂岩優勢の砂岩泥岩互層、または比較的硬質な珪質砂岩を呈する。山腹斜面部の露頭や渓床露岩部等に認められ、尾根部や崩壊跡内部に点在する転石としても分布する。 A・Bトンネル付近では明瞭な分布は見られない。
		緑色岩		玄武岩質の枕状溶岩起源で、弱い変成作用を受けている。Aトンネル起点側坑口付近、Bトンネル終点側坑口付近の露頭やボーリングコア中に局部的に認められる。

概略調査に基づく概略設計の段階では、Ａ・Ｂ両トンネルともに、掘削方式は機械掘削方式として設計されていた。これに対して、本事例紹介の詳細調査では、２トンネルの両坑口付近から水平ボーリングを実施しており、その結果からは、Ａトンネルは当初の想定通り機械掘削方式で施工が可能な岩盤状況であることが確認されたが、Ｂトンネルは随所に硬質な岩盤が挟在し、機械掘削が困難な部分を挟むことが判明した。このため、今後の修正設計により、Ｂトンネルの掘削方式は発破方式に変更される予定である。

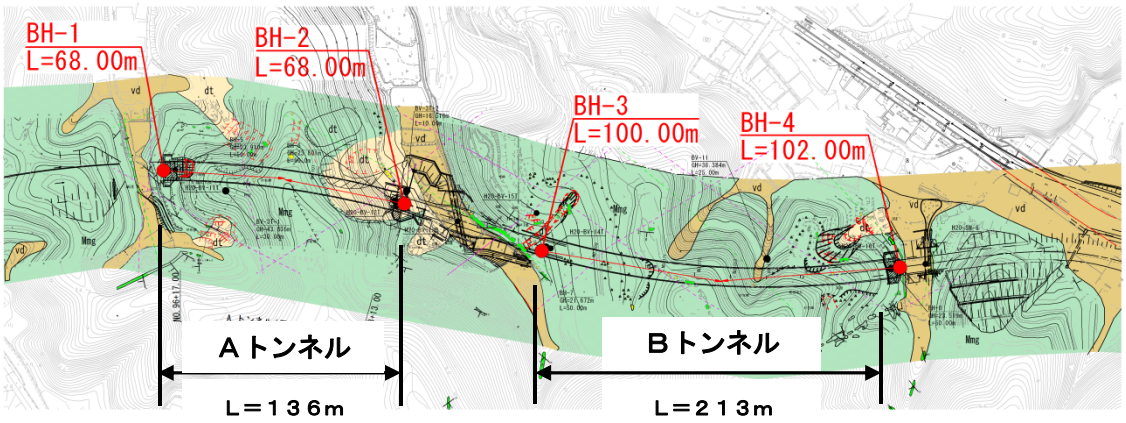


図-1　Ａ・Ｂトンネル計画部の地形状況と水平ボーリング位置

２．事例分析のシナリオ

(1) リスク発現のプロセスとその要因

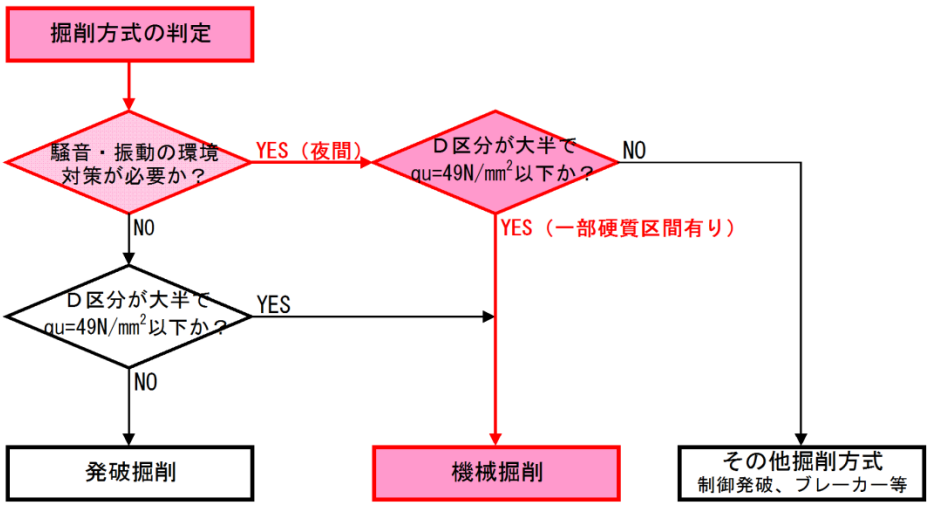
トンネル設計における掘削方式の選定は、下図のフローに基づいて検討される。

Ａ・Ｂトンネルの概略調査で実施されたボーリング調査は、鉛直ボーリングと坑口付近の短い水平ボーリングのみであり、ボーリングコアの状況は、硬質な砂岩を局部的に挟むものの、大半が亀裂の非常に発達した泥岩を主体としていた。下図のフローで「大半」の定義が９０％程度とされていることからも、概略調査の段階での判断として、掘削方式をＡ・Ｂ両トンネルともに機械掘削方式とすることには妥当性がある。

ただし、概略調査の段階では、トンネル一般部の特に尾根地形の直下付近の岩盤状況については不確定要素が残されていた。周辺の現地踏査の結果からも、尾根の中心付近に硬質な岩盤が分布する可能性を秘めていた。

地形的には類似しているＡ・Ｂトンネルであるが、詳細調査の水平ボーリングの結果からは、対照的な結果が得られた。すなわち、Ａトンネルは概略調査の結果からの想定通りの岩盤状況であったが、Ｂトンネルに関しては予想に反して硬質な岩盤を随所に挟んでいることが判明した。

トンネル設計においては、ボーリング調査は両坑口付近に限られ、弾性波探査結果の速度層区分を重視して地山分類を行い、この地山分類に基づいた設計パターンを設定することが多い。また、設計パターンは、トンネル天端から上方に１～２Ｄの位置の岩盤状況で設計することとなっている。Ｂトンネルの掘削方式についても、設計パターンはこの考えに基づいて検討され、掘削方式も設計パターンから設定されている。しかし、弾性波探査結果ではＢトンネル中央付近の速度値はＶ＝4～4.7km/s であり、一般的に硬質な岩盤である可能性が高い。当地区に分布する地質が四万十帯のメランジュで不均質な岩盤状況であることから、本事例では、支保パターンと掘削パターンが異なることが予想されることから、確実な調査手法により岩盤状況を確認して掘削方式を再検討した。



（注）大半の区分は、90%程度を目安とする。

図-2　岩の硬さと掘削手段

(2) マネジメント効果を分析するシナリオ

本事例は、設計段階での不確定要素を詳細地質調査により明確化し、設計条件（Ｂトンネルの掘削方式）の変更提案を行ったものである。したがって、マネジメント効果の判断は、このリスク（困難な掘削方式）を保有したまま事業が進行した場合との比較となり、その後のリスクの発現時期によって、事業費等の損失の度合いに違いが生じる。

本事例では、Ｂトンネルの掘削方式が機械掘削方式のまま施工に着手し、硬質岩盤に当たって掘削困難になった時点で掘削方式の段取り替えを行ったと仮定した場合と、詳細設計時点で掘削方式を変更した現状とを比較し、リスク判断分析を行う。

なお、Ｂトンネルが機械掘削方式であった当初設計での工事工程は、次の通りである。

- 準備工　3.0 ヵ月
- 本体工　213.0m
- 覆工　１方施工（２日に１回打設）標準部　94.05m/月
  ※Ｎ＝9.0÷2×20.9（日/月）≒94.05m/月
- 掘削と覆工の間隔　1.0 ヵ月
- 排水工・舗装工等　400m/月
- 後片付け　1.0 ヵ月

３．データ収集分析

Ａ・Ｂトンネルの掘削方式の検討のための基礎資料となる地質データを以下に示す。

(1) 弾性波探査結果

対象地の弾性波探査結果では、表-2 のような速度地が示されている。速度と岩質との関係が示されている。Ａトンネルは、ＦＬ付近の岩盤の速度値も 2.0km/s 層が主体であるため、亀裂の発達した軟質な岩盤状況（ＤⅠ級）が想定された。一方Ｂトンネルは、ＦＬ付近の速度値は 4.0～4.7km/s 層でありＣⅡ級の岩盤と想定されたが、トンネル天端から1～2D程度上方の岩盤が 2.0km/s 層であることから、トンネルの設計パターンはＤⅠとされていた。

表-2　弾性波探査結果と地質状況

地質	岩区分		記事	弾性波速度 (km/s)
表土・崖錐堆積物	－		締りの緩い礫及び粘性土から構成される。 斜面に分布する。	0.3～0.5
砂岩泥岩互層 （混在相）	土砂	土砂Ⅰ	D級相当岩盤。コア形状は土砂状コアを示し、局所的に岩組織が認められる。シングルコアチューブにて掘進可能である。 N値は３０未満である。	0.5
		土砂Ⅱ	D級相当岩盤。コア形状は土砂状コアを示す。岩組織は概ね認められる。全体的に締りはよい。メタルクラウンビットによる送水掘削で掘進が可能である。N値は概ね３０以上である。	1.0
	軟岩	軟岩Ⅰ	ＣＬ級相当岩盤。岩芯まで風化した軟質な岩片～柱状コアを示し、ハンマー打撃により破砕できる。ダイヤビットによる送水掘削で掘進可。粘土状コア・角礫状コアと岩片状コアが交互に繰り返され、やや硬質なものを含む。	2.0
		軟岩Ⅱ	ＣＭ級相当岩盤。岩質は概ね硬質で、ハンマー打撃で半金属音を呈する。コア形状は概ね柱状コアを示し、コア表面は滑らかである。 岩片状～柱状コアが混在する。	4.0～4.7
	低速度帯		基盤速度層中に分布する。破砕帯と想定。	2.0

以上のように、Ａ・Ｂトンネルともに設計上の地山分類がＤⅠであったことが、両トンネルともに機械掘削方式とされた根拠の一つになっている。

これに対して、今回トンネル中央付近までの水平ボーリングを実施し、採取されたコアを用いて岩石試験を実施した結果を表-3 に示す。この表から、Ａトンネルに関しては、すべての試験試料の準岩盤強度が機械掘削可能な値（目安：49N/mm^2 以下）であったのに対し、Ｂトンネルの試験試料の準岩盤強度は 49N/mm^2 がを越えるものが 8 試料中 4 試料と

いう結果であり、機械掘削方式が困難な岩盤を多く挟むことが確認された。このことから、Ｂトンネルは掘削方式が発破に変更されることになった。

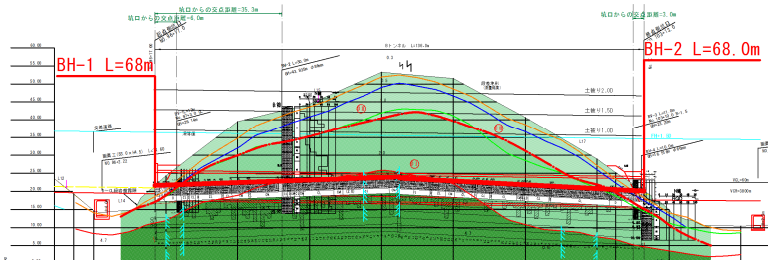


図-3　Ａトンネルの地質縦断状況

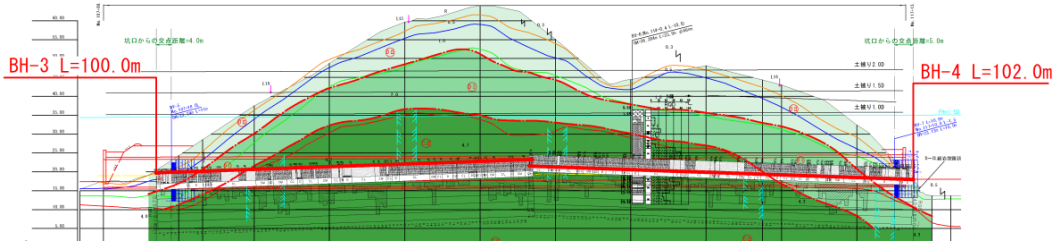


図-4　Ｂトンネルの地質縦断状況

表-3　準岩盤強度の想定一覧表

施工区分	試料番号	土被り高さ h (m)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	地山の弾性波速度 VP(km/s)	地　質	試料の弾性波速度 vp(km/s)	試料の一軸圧縮強度 qu(N/mm^2)	地山強度比 $\frac{(Vp/vp)^2\ qu}{\gamma\ h}$	準岩盤強度 qu'=(VP/vp)^2×qu (N/mm^2)
Aトンネル	1	12.57	23.42	2.0	泥質混在岩	1.5	4.4	14.8	4.4
	2	16.67	26.36	2.0	泥質混在岩	3.2	9.4	8.4	3.7
	3	19.44	26.58	4.7	泥質混在岩	3.3	3.8	7.4	3.8
	4	33.89	26.05	2.0	泥質混在岩	4.3	27.0	6.6	5.8
	5	33.2	25.86	4.7	泥質混在岩	2.7	2.6	3.1	2.6
	6	19.8	24.82	2.0	泥質混在岩	4	32.3	16.4	8.1
	7	12.29	24.00	1.0	泥質混在岩	1.9	3.9	3.7	1.1
	8	10.93	26.20	1.0	泥質混在岩	2.2	8.1	5.8	1.7
Bトンネル	9	16.2	26.09	2.0	砂岩	4.3	64.2	32.9	13.9
	10	26.68	25.97	4.7	砂岩	4.6	130.0	187.6	130.0
	11	39.61	26.27	4.7	砂質泥岩	4.6	39.0	37.5	39.0
	12	33.16	26.4	4.7	砂岩	5.2	157.0	146.5	128.3
	13	12.12	26.48	4.7	泥質混在岩	3.7	41.7	129.9	41.7
	14	15.05	26.32	4.7	泥質混在岩	4.0	97.9	247.1	97.9
	15	17.16	26.09	4.7	泥質混在岩	5.4	230.0	389.2	174.2
	16	19.39	26.25	2.0	砂岩	5.6	215.0	53.9	27.4

Ａトンネルの
中心付近の岩盤

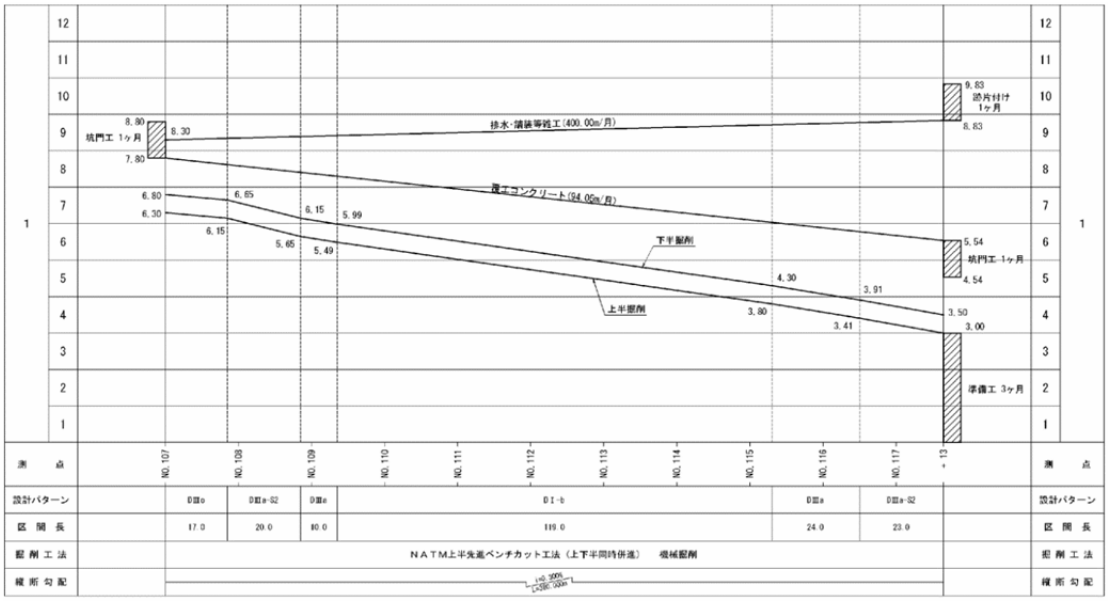
Ｂトンネルの
弱風化部の岩盤

Ｂトンネルの
硬質岩（砂岩）

４．マネジメント効果

Ｂトンネルの掘削が機械掘削方式とされていた時点での工事工程表は、下表の通りであり、準備工から後片付けまで、およそ 10 ヵ月が見込まれていた。

表-4　工事工程表



Ｂトンネルの掘削方式を発破併用とした場合の詳細設計はまだ成されてないため、発破方式による工事工程表は示せないが、機械掘削として現場着手し、途中段階で発破方式に段取り替えすることになった場合、上表の工程が途中で停止して工期が延伸することになる。また、費用的にも追加費用が発生することになる。段取り替えの時点で、どの程度の追加費用が発生するかは、以下の事項により変動するものと考えられる。

◎ 機械掘削→発破掘削への段取り替えに関連した追加費用、損失

- トンネル坑口部への防音壁の設置費の可能性
- 掘削機械のリース替えに伴う違約金や補償費、追加機械の経費
- 切羽停止および掘削速度の低下に伴う工期延伸に伴う金利負担増など

ほぼ確定している掘削機械の入れ替えに伴う経費は、下表の通りである。

表-5　掘削機械の入れ替えに伴う経費

分解・組立　　円

区分		歩掛	単位	労務単価	費用
労務歩掛	特殊作業員	9	人	20000	180000
クレーン運転歩掛		1.8	日	20000	36000
運搬費等率		357	%		771120
諸雑費率		7	%		15120
					1002240

運搬時の損料費は未計上

全体工期の増減に関しては、上記の段取り替えに伴う作業停止のほかに、機械掘削と発破掘削の作業効率も関係するものと考えられるが、トンネル長が比較的短いため、切羽の停止に伴う遅延の影響度は大きく、全体工期は延伸する可能性が高いと考えられる。

５．データ様式の提案

本事例は詳細調査により、施工時のリスク（段取り替え、切羽の停止、工期延伸、経費増）を回避したものであり、Ａ表に整理した。

A. 地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		
	工事名		
	工種		
	工事概要		
	①当初工事費		－
	当初工期		10ヵ月
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		トンネル概略設計段階
	予測されたトラブル		トンネル掘削方式の段取り替え
	回避した事象		掘削方式の確定による手戻り防止
	工事への影響		設計段階のため影響なし
リスク管理の実際	判断した時期		トンネル詳細調査時
	判断した者		発注者及び地質調査者
	判断の内容		地山分類（岩の圧縮強度）
	判断に必要な情報		岩片の一軸圧縮強度、亀裂係数
リスク対応の実際	内容	追加調査	調査ボーリング（水平）、岩石試験
		修正設計	トンネル詳細設計
		対策工	掘削方式の変更
	費用	追加調査	10,000千円
		修正設計	12,000千円
		対策工	－
		②合計	22,000千円
変更工事の内容	工事変更の内容		機械掘削 → 発破掘削
	③変更工事費		1,000千円（掘削機械入れ替え費） 30,000千円（防音壁設置費）
	変更工期		＋半月～1ヵ月
	間接的な影響項目		火薬保管場所の追加確保等
	受益者		発注者、工事業者
リスクマネジメントの効果	費用（①－③－②）		諸費用の発生を抑制
	工期		延伸の可能性を回避
	その他		－

［論文 No.4］砂防えん堤の掘削に伴う地すべりの誘発に対する対応事例

株式会社　愛媛建設コンサルタント　吉岡　崇

(1) 事例の概要

当事例は、砂防えん堤の詳細設計段階から施工時において発現した地質リスクである「地すべり」に対する対応事例である。筆者は地質技術者として本事例に参画した。

リスクが発生した箇所は、海岸に面した狭小な低平地に人家が密集する地域の上流で、低平地は、流域面積 0.1km^2、流路延長約 500m 程度の小渓流（平均勾配１/6）の出口に広がっている(図１)。　地すべりは、概略設計時点では地質リスクとして認識されておらず、詳細設計時点に筆者らによる空中写真判読及び地表踏査で発覚した。このため、通常の基礎地盤調査に加えて地すべりの動態に関する調査を実施し、地すべりの安定性を評価するとともに対策工に関する提言を行った。また、施工時には動態観測を行うとともに、施工時の地すべり動態から追加対策工を提案し発現したリスクを最小限に回避した。

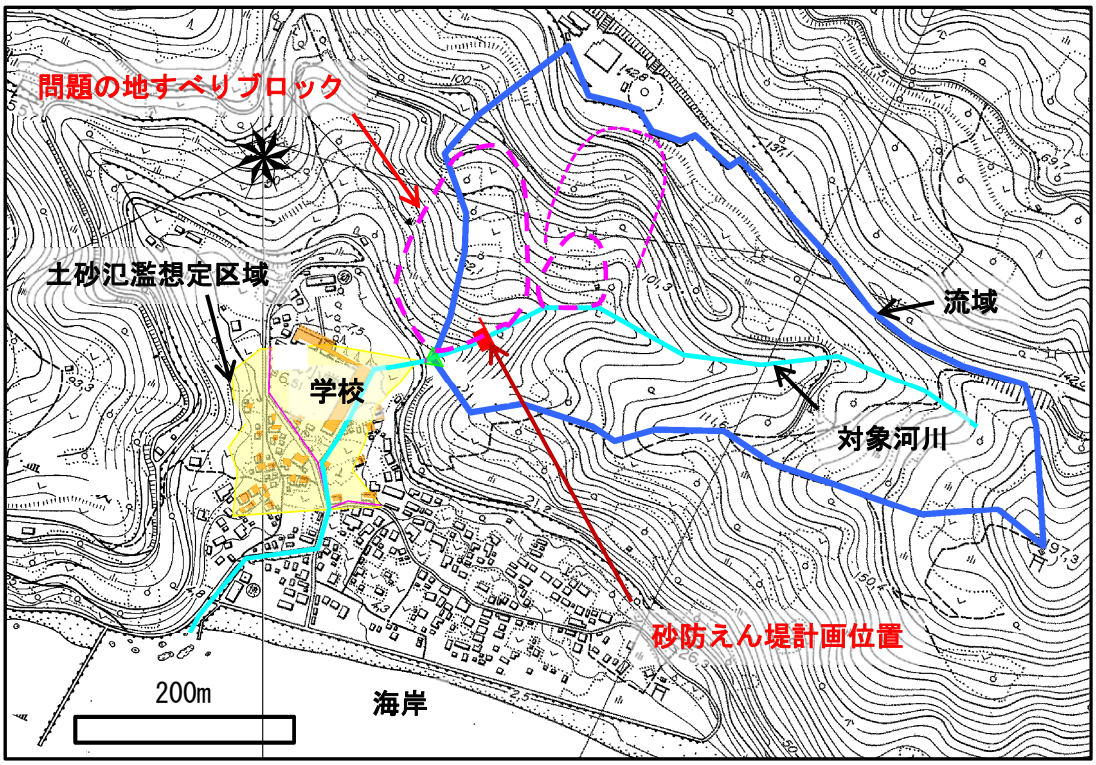


図１　計画えん堤と地すべり

(2) 事例分析のシナリオ

図２に各段階におけるリスクと対応（模式断面図）を示す。

本事例は、予備設計で持ち越された地質リスクについて、詳細設計段階から施工段階にかけて対応したものであり、発現したリスクを最小限に回避した事例（C 型）に分類した。

予備設計時点の地質概査では、右岸に露岩が少なく崩積土が厚い状況は認識されていた

ものの、地すべりの存在までは認識されていなかった。

詳細設計段階における地質調査の初期には、以下の状況から、右岸斜面に地質リスクとして「地すべり」が存在する可能性が高いと判断した。

①当箇所周辺は地すべり多発地帯であること。

②右岸には岩盤の露出がほとんど無く崩積土が厚く堆積していること。

③右岸斜面上方は緩傾斜面が連続していること(地すべり地形)。

④緩斜面の上部には滑落崖に相当する急傾斜面が連続すること(地すべり地形)。

このため、通常の基礎地盤調査に加えて右岸の地すべりの分布と動態の把握を目的とした調査を追加提案した。

地形判読により推定される地すべりは、厚さは約 20m、長さ約 170m、幅約 100m の規模である。地すべり調査の結果、以下の理由により現在は休眠中の地すべりと判断した。

①地すべりの末端部に設置した孔内傾斜計による動態観測で変位が確認されない。

②施工後 30 年程度経過した既設の流路工（コンクリート三面張）に変状が認められない。

③地すべり地形は開析が進んで形状がやや不明瞭。

ただし、この判断については観測期間が十分でないこともあり、施工時に新たなリスクが生じる結果となる。

掘削に伴う地すべりの安定性について試算したところ、掘削規模を小さくすれば、地すべりにほぼ影響を与えない結果となった。右岸斜面は土砂が厚いにもかかわらず 40° 以上の急勾配斜面であり、表層は多数の崩壊地が認められる状況であった。そのため、試行計算で求めた円弧すべりに対して抑止工（アンカー工）を導入して掘削時の斜面安定を図ることにした。併せて、施工中に地すべり動態観測を行い、地すべりの性状を監視しながら施工を行った。

施工は掘削面をアンカーで押さえながら逆巻きで実施した。掘削及び掘削面へのアンカー工がほぼ終了した時点で、孔内傾斜計に変位が認められ

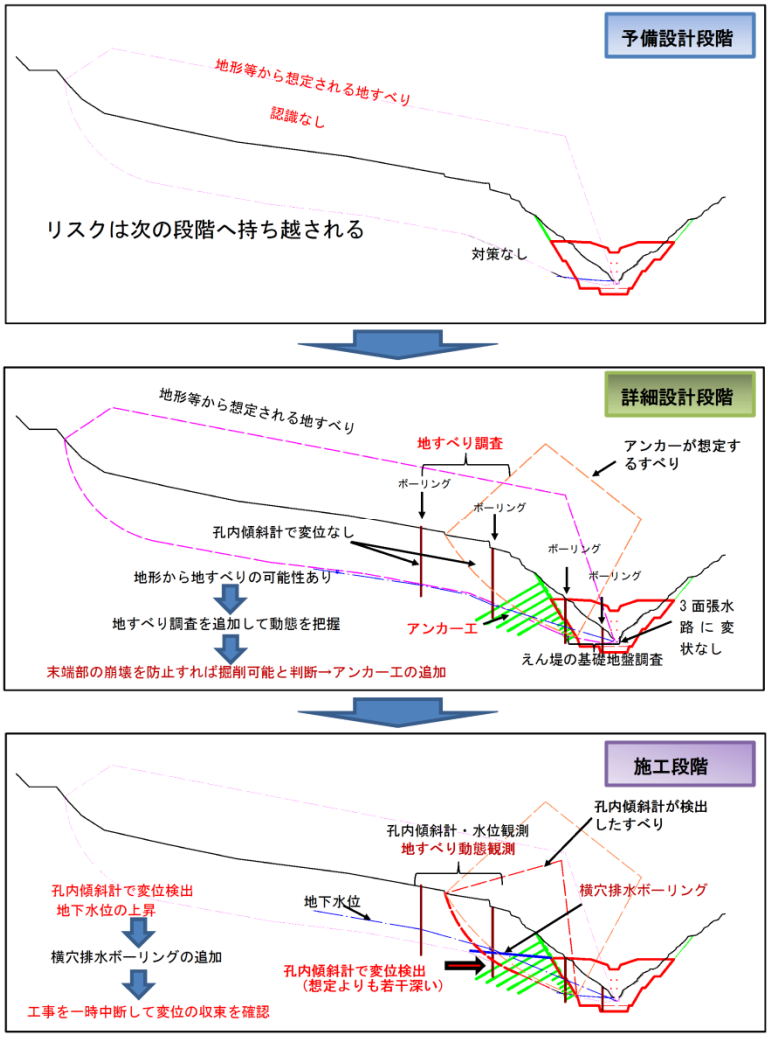


図 2 各段階におけるリスクと対応（模式断面図）

た（施工時に新たなリスクが発生)。掘削は少雨期に行われていたが、季節外れの日雨量100㎜を超える降雨により、孔内傾斜計で月間変位量0.2㎜オーダーの微少な変位が観測された。当箇所は，常時の地下水位は想定すべり面よりも低い位置にあったが、変状発生時には自記水位計の観測により地下水位の急上昇が認められたため、横穴排水ボーリング工の追加を提案した。

その後の観測では、地すべり変位は収束しており、地すべりの再滑動という最悪のシナリオは回避された。

(3) データ収集分析

リスク発生の原因については予備設計段階の経緯について発注者から成果報告書の貸与を受けるとともに、設計業者へのヒアリングを実施した。当初工事費は予備設計段階での想定工事費とした。

発現したリスクに対する追加費用については、詳細設計時点の数量から推定した。追加調査については，実績値を採用した。

マネジメントを実施しなかった場合の工事費算出には、追加調査や解析等が必要であるために被災時の対策費等は算定困難である。経験的な見地から大規模地すべりがある程度ゆっくりとした移動速度で再滑動した場合に発生しうる地すべり対策工を想定し、集水井2基とアンカー工の増し打ちによる対応を考えた。地すべり土塊が急激に移動して集落を飲み込むような破局的リスクまでは想定しなかった。

(4) マネジメントの効果

本事例のマネジメントの効果を次のように試算した。

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＋リスク対応費）

＝ 310,000千円－（150,000千円＋46,000千円＋10,000千円）
＝ **104,000**千円

①当初工事費用＝150,000千円
予備設計段階（リスクを認識していない段階での想定金額）
②追加工事費用≒46,000千円
地すべり対策工　アンカー工（33基）≒36,000千円
横穴排水ボーリング工≒10,000千円
③リスク対応費用
地すべり調査≒10,000千円

④リスクを回避しなかった場合の工事費用≒310,000 千円

地すべり対策工　集水井工（2 基）@30,000 千円×2

アンカー工　85,000 千円

調査測量設計費用　15,000 千円

（工期延期 1 年 6 ヶ月以上）

えん堤の再構築　当初工事費用を計上＝150,000 千円

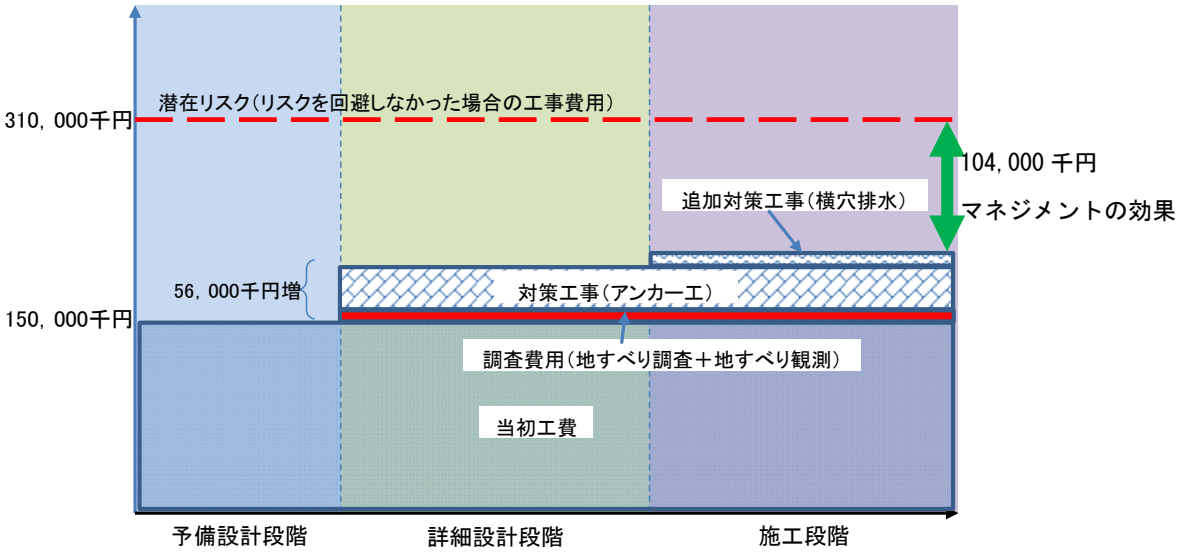


図 3　マネジメントの効果

本事例では、施工段階に入る前にある程度リスクに対応できたために、施工不能となるような事態に陥ることはなかった。また、実施設計段階の調査で把握できなかった地下水の性状と地すべりの動態について、施工段階で計測施工を行うことにより、施工中に発生した変状に対して速やかに対応できた。

本事例は、地質調査のあり方について 2 つのことを示唆している。一つは初期段階における地質の「見立て」の重要性であり、もう一つは、状況変化への柔軟な対応である。前者は地形判読、地表踏査等の地質技術者としての基本的スキルに負うところが大きく、この段階で地質リスクが認識されない場合、後段階で大きな変更を余儀なくされる。後々の手戻り・予期せぬコスト増を考えれば、予備設計段階にこそ地質技術者のセカンドオピニオンが必要と考える。後者は、発覚した地質リスクに対して限られた工期と予算の中で、柔軟に対応する必要がある。地質データはたくさんあるほど客観的な判断が可能となるが、調査に係る費用対効果と時間の制約をマネジメントする能力が地質技術者に求められている。

(5) データ様式の提案

本事例はリスク発現のタイミングが詳細設計段階と施工段階の 2 回あるので、C 表原案に発現したリスクの欄を追加して記入した、リスクを回避しなかった場合の（想定の）工事費・工期は、経験（過去の同程度の規模の施工事例）に基づいて行った。リスクを計量化するにあたり、トラブルの範囲をどこまでにするのかが、一番の問題となるとともに，評価する技術者によって差が出やすいところであろう。評価する際のデータが少ないと、悲観的想定をせざるを得ない。

C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目		データ
対象工事		発注者		◎◎県
		工事名		某川総合流域防災事業
		工種		砂防工事（えん堤工）
		工事概要		土石流対策として集落上流の渓流にえん堤（H=14.5m）1基を設置する.
		①当初工事費		150,000千円
		当初工期		3年（実施設計・用地取得含む）
発現したリスク1	リスク発現事象	リスク発現時期		詳細設計着手時
		トラブルの内容		右岸が地すべり地の可能性
		トラブルの原因		計画（予備設計）段階で認識されず次段階にリスクが持ち越されたため
		工事への影響		えん堤工の適正についての再検討 構造形式変更の可能性 追加工事の必要性
	追加工事の内容	追加調査の内容		地すべり調査 調査ボーリング 孔内傾斜計観測 地下水位観測
		修正設計内容		詳細設計段階での対応のため，修正設計は生じていないが，以下のリスク対応を行った. ・えん堤工の適正についての再検討 ・構造形式の再検討 ・えん堤形状の変更（掘削形状の最適化についての検討） ・掘削に対する地すべりの安定解析 ・斜面安定解析 ・抑止工の検討
		対策工事		掘削時の斜面安定化
		追加工事		アンカー工
		追加費用	追加調査	10,000千円
			修正設計	ー
			対策工	アンカー工　N=33
			追加工事	36,000千円
			合計	46,000千円
		延長工期		ー
		間接的な影響項目		
		負担者		発注者

発現したリスク2	リスク発現事象	リスク発現時期		施工時（床掘り終了時）
		トラブルの内容		孔内傾斜計で想定よりも深い位置で変位を検出 地下水位の上昇
		トラブルの原因		詳細設計段階でリスクを軽視 全体の工程から観測期間が十分でなかった
		工事への影響		施工の中断 対策工の追加
	追加工事の内容	追加調査の内容		切土面の定点観測の追加 工事の中に地すべり動態観測（孔内傾斜計・地下水位観測）を盛り込んであったため大幅な費用増は発生していない.
		修正設計内容		斜面安定解析 横穴排水ボーリング工
		対策工事		斜面安定化
		追加工事		横穴排水ボーリング工
		追加費用	追加調査	ー
			修正設計	ー
			対策工	横穴排水ボーリング工　L=280m
			追加工事	10,000千円
			合計	10,000千円
		延長工期		変位の収束が確認されるまで約3ヶ月の中断
		間接的な影響項目		
		負担者		施工業者
発現したリスク1と2の合計（②）				47,000千円
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		本堤掘削時
		予測されたトラブル		地すべりの滑動により河道が閉塞 施工不能 重機の埋没
		回避した事象		地すべりの不安定化
		工事への影響		観測結果待ちのため3ヶ月中断
	リスク管理の実際	判断した時期		掘削時
		判断した者		発注者（地質技術者の助言）
		判断の内容		対策工の追加　経過観察（地すべり動態観測）
		判断に必要な情報		地下水位　地すべりの動態
	リスク対応の実際	内容	追加調査	地すべり調査　地すべり動態観測
			修正設計	掘削時の斜面安定化対策の追加
			対策工	アンカー工　横穴排水ボーリング工
		費用	追加調査	10,000千円
			修正設計	ー
			対策工	47,000千円
			③合計	57,000千円
	回避しなかった場合	工事変更の内容		地すべり対策工（集水井工，アンカー工）えん堤やり直し
		④変更後工事費		310,000千円
		変更後工期		最低1年6ヶ月以上の延長
		間接的な影響項目		
		受益者		土石流氾濫想定区域の関係者
リスクマネジメントの効果		費用④－（①+②+③）		113，000千円
		工期		3ヶ月中断
		その他		

【論文 No.5】新規高速道路のルート選定に向けた地質リスクの抽出と回避事例

株式会社キタック　○江川　千洋
国土交通省北陸地方整備局新潟国道事務所　木村　祐二

1. 事例の概要

国土交通省北陸地方整備局により計画されている朝日温海道路(日本海沿岸東北自動車道)は、新潟県と山形県の県境にあたる山岳地帯を貫く高速道路である[1)]。この地域には、約 30 種類の地質が分布し、活断層や大規模地すべりに加え、過去に多数の鉱山が存在していたとの報告もあり、新規に道路を計画する上で多種多様な地質リスクが存在することが想定された。本稿では、既往文献調査、空中写真判読、地表踏査による地質リスクの抽出とマネジメントを行った結果、リスクを回避するルートが選定された事例について報告する。

(1)現場の概要

本稿で紹介する朝日温海道路は、新潟県村上市朝日から山形県鶴岡市温海にかけての山岳地に計画された延長 40.8km(調査対象区間は新潟県内の延長 34.1 km)の区間である。本区間には、山間地に点在する集落のほか、景勝地である笹川流れがあり、3 ルートが候補として検討されていた(図 1)。

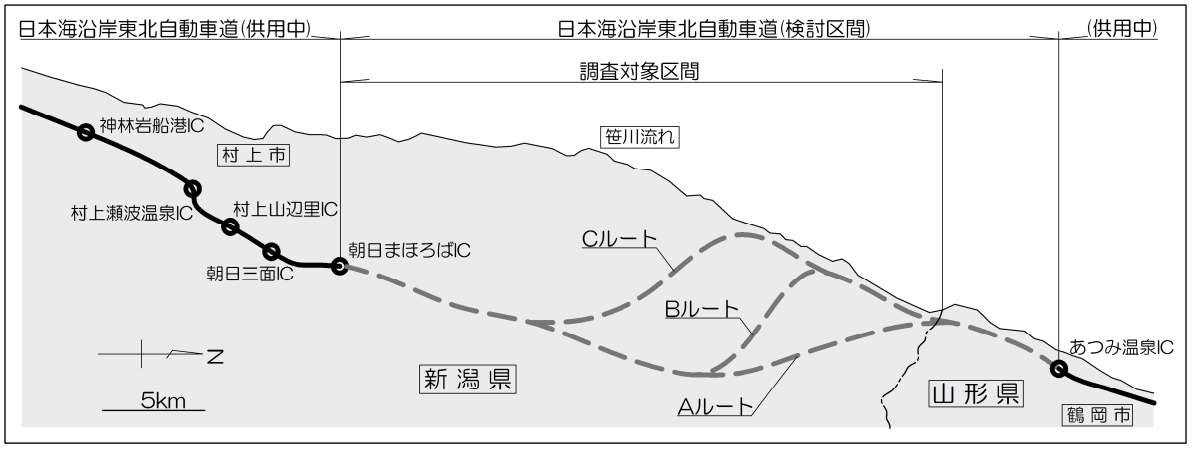


図 1　調査位置図[1)]

(2)地質リスクの概要

本区間には、活断層、大規模地すべりが存在することに加え、過去には大小さまざまな鉱山が点在していたことが既往資料から把握することができた。これらは、道路構造物の被災及び第三者被害に結びつくものであり、道路の安全性・信頼性、建設コストに大きく関係する。

一方、鉱山周辺には重金属の濃集量が少ない「弱い鉱化変質帯」が形成されていることがある。「弱い鉱化変質帯」は鉱山としての価値はないものの、ここから搬出される建設発生土は、重金属の溶出や酸性水発生といった環境汚染を引き起こすリスクがあり問題視されている[2) 3)]。活断層や大規模地すべりとは異なり、「弱い鉱化変質帯」を適切に抽出する調査手法は確立していないのが現状であり、調査時に見落とされるリスクもある。以上より、次の事例分析では、「弱い鉱化変質帯」を特定するために実施した事例について詳述することとした。

2. 事例分析のシナリオ

(1)高速道路建設に対する考え方

高速道路を建設する際には、その地域で生活している人たちの安全性、生活環境、自然環境等々について考慮しなければならない。その一方で、道路建設にかかるコストも非常に重要な要素である。とくに、地質リスクの種類によっては、道路建設コストが大幅に増加したり、供用後に問題が顕在化し、その後長期にわたり維持管理コストがかかることも少なくない。以上より、高速道路のルート選定にあたっては、地域住民のことを考慮しつつ、地質リスクとそれにかかるコストについても考慮して検討されなければならない。

(2)シナリオ

地質リスクの特定にあたっては既往文献調査、空中写真判読、地表踏査を行うことで可能であると考えた。ただし、弱い鉱化変質帯については見落とす可能性が高いと想定されたため、変質帯を「岩石の状態」と「岩石の硬さ」によって区分するとともに、代表岩石における重金属の溶出及び含有量、pH 値の相関性を議論することで弱い鉱化変質帯を特定できると考えた。

「岩石の状態」: 本地域の鉱山は熱水鉱床であり、地下の火山活動に起因する蒸気や熱水が亀裂や断層等の割れ目沿いに上昇することによって形成されたものである。そして、重金属が濃集した鉱脈周辺には「粘土」や「ヤケ(赤褐色化)」が形成される[4)]。地表踏査では岩石の状態を、表 1 の通り 3 段階に区分した。

「岩石の硬さ」: 母岩を構成する鉱物は、熱水や高温の蒸気と反応することで変質鉱物となり、強度が低下する。地表踏査では露岩部をハンマーで打撃し、そのときの音や割れ方から母岩の一軸圧縮強度を表 2 の通り 5 段階に区分した。

表 1　変質帯区分

変質帯区分	岩石の状態
Ⅰ	粘土化
Ⅱ	ヤケ(赤褐色化)
Ⅲ	新鮮

表 2　岩石の硬さ

岩石の硬さ	推定一軸圧縮強度(qu)
A	800kg/cm^{2}以上 (80MN/m^{2}以上)
B	400～800kg/cm^2 (40～80MN/m^2)
C	200～400kg/cm^2 (20～40MN/m^2)
D	50～200kg/cm^2 (5～20MN/m^2)
E	50kg/cm^{2}以下 (5MN/m^{2}以下)
F	未固結 (粘土状・砂礫状)

熱水や高温の蒸気によって変質をうけた母岩には、鉛、砒素などの第二種特定有害物質に指定されている重金属のほか黄鉄鉱が形成される。黄鉄鉱は還元状態で安定しているものの、酸化状態におかれると酸化・溶解し酸性水を発生する。上記の変質帯区分の中から代表岩石を選定し、短期溶出試験、含有量試験、pH 試験を実施し、変質帯区分との相関性について評価した。

3. データ収集分析

(1 活断層・大規模地すべり・鉱山の調査

既往文献調査、空中写真判読、地表踏査を実施し、本地域における活断層、大規模地すべり、鉱山位置を特定した。

(2)弱い鉱化変質帯の調査

変質帯区分と岩石の硬さの関係性については表 3 に整理した。各地質とも新鮮部が本来の硬さを有していると考えると､変質によりヤケが進行すると新鮮部よりも 2～3 ランクの強度低下が認められ、粘土化した礫岩においては 4 ランクの低下が認められた。このことは、変質の進行に伴って母岩の軟質化が進行していることを示している。

表 3　変質帯区分と岩石の硬さの関係

変質帯区分	硬軟区分						
	火砕岩1	火砕岩2	泥岩・凝灰岩1	泥岩・凝灰岩2	花崗岩	礫岩	安山岩
Ⅰ 粘土化	－	-	－	－	F （4ランク低下）	F （4ランク低下）	－
Ⅱ ヤケ (赤褐色化)	E or F （2～3ランク低下）	E or F （2～3ランク低下）	E or F （2～3ランク低下）	E or F （2～3ランク低下）	D or E （2～3ランク低下）	D or E （2～3ランク低下）	E （2ランク低下）
Ⅲ 新鮮	C	D	D	D	B	B	B

変質帯区分と重金属の溶出及び含有量との関係性については表 4 に整理した。変質帯区分と重金属との相関性ははっきりしない結果が得られた。この原因として、地表に露出する露頭は風雨に晒されており、すでに重金属がある程度溶出してしまった可能性が考えられる。ただし、泥岩・凝灰岩 1 については深海性の海成堆積物であることから、初生的に多量の重金属を含有している可能性が高いと考えられる。

表 4　変質帯区分と重金属の溶出及び含有量の関係

変質帯区分	基準値を超過する重金属						
	火砕岩1	火砕岩2	泥岩・凝灰岩1	泥岩・凝灰岩2	花崗岩	礫岩	安山岩
Ⅰ 粘土化	なし	鉛・砒素	なし	なし	なし	なし	なし
Ⅱ ヤケ (赤褐色化)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
Ⅲ 新鮮	なし	なし	鉛・砒素	なし	なし	なし	なし

変質帯区分と pH 値との関係性については表 5 に整理した。泥岩・凝灰岩 2 の pH 値は新鮮部で pH(H_2O)=7.61、pH(H_2O_2)=6.57 を示すが、変質によりヤケ(赤褐色化)が進行すると pH(H_2O)=5.76、pH(H_2O_2)=4.61 に低下する。また、礫岩の pH 値は新鮮部で pH(H_2O)=7.62、pH(H_2O_2)=8.58、ヤケ(赤褐色化)で pH(H_2O)=7.20、pH(H_2O_2)=7.86、粘土化で pH(H_2O)=3.08、pH(H_2O_2)=1.80 と変質が進行するにつれ pH 値が低下していく傾向が認められた。変質帯区分と pH 値(H_2O)の相関性は良いと考えられる。

表 5　変質帯区分と pH 値の関係　　網掛：基準値超過(酸性)

変質帯区分	水を用いたpH試験値 ()内は平均値						
	火砕岩1	火砕岩2	泥岩・凝灰岩1	泥岩・凝灰岩2	花崗岩	礫岩	安山岩
Ⅰ 粘土化	-	5.58	-	-	5.60~8.66 (7.13)	3.08	-
Ⅱ ヤケ (赤褐色化)	5.14~6.36 (5.60)	-	4.52	4.86~6.54 (5.76)	5.96	7.20	6.48~8.42 (7.31)
Ⅲ 新鮮	7.04~9.66 (8.28)	5.64~6.51 (6.08)	5.00~7.10 (5.66)	6.64~8.58 (7.61)	6.38~7.00 (6.69)	7.62	8.84~8.96 (8.90)

変質帯区分	過酸化水素水を用いたpH試験値 ()内は平均値						
	火砕岩1	火砕岩2	泥岩・凝灰岩1	泥岩・凝灰岩2	花崗岩	礫岩	安山岩
Ⅰ 粘土化	-	2.31	-	-	5.54~6.30 (5.92)	1.80	-
Ⅱ ヤケ (赤褐色化)	4.64~6.62 (5.43)	-	2.60	2.42~6.43 (4.61)	6.51	7.86	7.70~9.32 (8.40)
Ⅲ 新鮮	7.78~9.94 (9.07)	6.34~7.08 (6.71)	4.84	5.97~7.16 (6.57)	4.97~7.37 (6.17)	8.58	9.74~9.93 (9.84)

以上より、変質帯区分は岩石の状態や岩石の硬さにより区分することが可能であり、酸性水を発生させる岩石かどうかを評価することは可能と判断した。一方、重金属の溶出及び含有量が基準値を超過するか否かについては、明瞭な相関性は認められなかった。しかし、新鮮部で基準値超過した泥岩・凝灰岩 1 は初生的に重金属を含有している岩石であることを考慮すれば、火砕岩 2 では変質の最も進行した粘土化で重金属が検出されており、変質帯区分は概ね妥当であると評価できる。結論として、本地域における弱い鉱化変質帯は表 6 のように整理し、その分布範囲を特定するとともに、変質帯区分Ⅰ「粘土化」と同等の特徴を有する泥岩・凝灰岩 1 については、その分布範囲全域を地質リスクとして特定することとした。

表 6　変質帯区分とその特徴

変質帯区分	特　徴
Ⅰ 粘土化	建設発生土からは基準値を超過する重金属が溶出する可能性が高い。また、黄鉄鉱を多く含むため徐々に酸性化が強くなり長期的に重金属が溶出しやすくなる可能性が高い。
Ⅱ ヤケ (赤褐色化)	建設発生土からは基準値を超過する重金属が溶出する可能性は低い。また、黄鉄鉱も多くないため長期的に重金属が溶出する可能性も低い。ただし、建設発生土からは基準値を超過する酸性水が発生する可能性が高い。
Ⅲ 新鮮	建設発生土から基準値を超過する重金属や酸性水が発生する可能性はない。ただし、深海性の泥岩・凝灰岩の分布する範囲は新鮮部であっても変質帯区分Ⅰと同様の特徴を有している。

(3)地質リスクへの対応方針

それぞれの地質リスクに対しては、以下のように対応する方針とした。

① 活断層⇒復旧困難な橋梁、トンネル等は避ける。盛土による通過は問題ない。
② 大規模地すべり⇒回避する。もしくはトンネル等で地すべりに対し地形改変しない。
③ 鉱山⇒回避する。
④ 変質帯区分Ⅰ、泥岩・凝灰岩 1⇒極力回避する。もしくは重金属対策を行う。
⑤ 変質帯区分Ⅱ⇒酸性水発生対策を行う。

4. マネジメントの効果

(1)マネジメントを実施した場合

ここでのマネジメントとは、計画ルート沿いの地質リスクを特定したことで、地質リスクを考慮した事業費の比較検討がなされたことである(表 7)。これに掛かった費用は調査費約 3,000 万円(このうち弱い鉱化変質帯の特定に 1,200 万円)、設計費約 3,000 万円である。

表 7　各ルートの概要 [1)]

ルート	延　長	構造物延長	事　業　費
A	約39km	約20km	約1,800～2,000億円
B	約41km	約20km	約1,700～1,900億円
C	約41km	約22km	約1,900～2,100億円

最終的にB案の採用が決定

(2)マネジメントを実施しない場合

マネジメントを実施しない場合についてであるが、地質リスクをまったく特定せずに事業が進むことはないと考えられる。とくに活断層や大規模地すべりを見逃した場合は、対策費用のみでなく、道路の安全性・信頼性も損なわれる事態となる。

本稿では弱い鉱化変質帯の調査費と対策費について検討を行った。弱い鉱化変質帯を特定するために掛かった費用は、調査費(地表踏査+重金属分析費)約 1,200 万円である。次に、弱い鉱化変質帯からの建設発生土を盛土として利用する際の対策費については、以下のように推定した。重金属対策には様々な工法があるが、安価なものでも 25～50 万円/m 程度であることから、例えば弱い鉱化変質帯内を通過する延長 1 kmのトンネルの掘削土を盛土として利用する際の対策費は 1 億 2 千 500 万～2 億 5 千万円となる。C ルートは A 及び B ルートよりも、弱い鉱化変質帯中を 5 kmほど多く通過する計画となっている。よって、弱い鉱化変質帯を地質リスクと捉えずマネジメントを実施しなかった場合は、重金属対策費として少なくとも 6 億 2,500 万円～12 億 5,000 万円(重金属の量によっては対策費が 5～10 倍にもなる)が掛かると推定される。

(3)マネジメントの効果

マネジメントを実施することで、事業費のコスト縮減、道路の安全性・信頼性の向上が達成されたと考えられる。また、弱い鉱化変質帯を地質リスクと捉え、これを特定することで少なくとも 6 億 2,500 万円～12 億 5,000 万円のコスト縮減が可能になったと考えられる。

引用文献

1) 国土交通省 東北地方整備局・北陸地方整備局(2011)：計画段階評価(試行)　日本海沿岸東北自動車道(朝日～温海).

2) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会(2010):建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版).

3)(独)土木研究所(2015):建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック.

4) 丸茂克美(2006): 自然由来の重金属に起因する土壌汚染問題の現状と対策, 地質と調査, No.108.

5. データ様式の提案

本事例は、A タイプの事例であることから、学会のデータ様式 A を用いて整理した(表8)。ここでの地質リスクは、弱い鉱化変質帯のみを対象とした。

表 8　A 地質リスクを回避した事例

対象工事	発注者		国土交通省北陸地方整備局　新潟国道事務所
	工事名		---
	工種		道路建設(盛土・切土・橋梁・トンネル等)
	工事概要		---
	①当初工事費		重金属対策費が6億2,500万円～12億5,000万円
	当初工期		---
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		道路詳細調査時もしくは道路建設時
	予測されたトラブル		道路盛土周辺の環境汚染
	回避した事象		弱い鉱化変質帯
	工事への影響		一時中断
リスク管理の実際	判断した時期		ルート選定段階の地質概査
	判断した者		発注者、地質調査業者
	判断の内容		ルート上に複数の鉱山が存在することから、地表踏査と重金属分析によって弱い鉱化変質帯を適切に評価し抽出する。
	判断に必要な情報		鉱化変質帯の形成機構と岩石の工学的特性
リスク対応の実際	内容	追加調査	地表踏査、重金属分析
		設計	地質リスクを考慮したルートの比較検討
		対策工法	---
	費用	追加調査	1,200万円
		修正設計	3,000万円
		対策工法	---
		②合計	4,200万円
変更工事の内容	変更設計の内容		---
	変更設計に伴う追加費用		---
	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(①-②)		5億8,300万円～12億800万円
	工期		---
	その他		---

［論文 No.6］地すべり対策工事における歪計自動観測の効果

大地コンサルタント（株）　寺井　康文

1.地すべり対策工事における地質リスク管理の課題

地すべり斜面内での工事では、地山の掘削や建設機械等の荷重増加により地すべり活動を助長することがある。一般的には、施工中は地盤伸縮計や移動杭の計測を行い、一定の累積変位量または変位速度（管理基準値）を超過した場合には工事中断、応急対策などの措置を取ることで工事の安全を確保する。ところが現実的には以下のような問題がある。

1)一般的な管理基準値に達した場合であっても、崩壊の危機が迫っており応急対策が必要な状態か、あるいは崩壊まで猶予があり工事を継続したほうが安全となるか、個々の地すべりによって危険性が異なる。

2)計測された変位データには、地すべり活動によるものだけでなく、野生動物の接触や人為的な計測ミスなど危険性のないデータが含まれる場合がある。

3)管理基準値を超過して工事中断となった場合、工事を再開してよいか、応急対策を行うか、技術的判断が必要となる。

4)危険を回避するためのみの受動的な監視として位置付けられることが多く、事業コスト縮減に供する能動的なリスク管理となっていない。

1)2)については、高頻度あるいは連続的に計測データを取得することで、工事や気象との対比から発生原因の特定が可能となり、危険性のないデータを識別することもできる。また変位速度の増減から崩壊予測を行うことも可能となる。しかし地盤伸縮計など自記式の計測器以外では、取得される計測データは 1 日 1～2 点で、崩壊予測等の詳細な検討を行うためには不十分なデータであることが多い。

3)については、計測データや現地調査をふまえて判断を行うが、地質調査技術者など工事に直接関与しない技術者への依頼が必要となる場合が多く、また計測データが不十分であれば変位発生原因の特定が困難で、判断までに時間がかかる。

4)について、変位発生による工事中断期間が長ければ人件費や機材損料等が失われる。1)～3)で述べたとおり計測データが充実していれば中断や再開の迅速な判断が可能となりコスト損失の軽減が見込める一方で、計測データを取得するためにはコストがかかる。適切なリスク管理のためにはコストと効果を定量的に評価する必要がある。

2. 事例の概要

本事例は、地すべり斜面末端の切土となる区間での法面工（掘削＋アンカー工）工事において、パイプ歪計の自動観測システムを導入して地すべりの監視を行った結果を、地質リスクマネジメントの観点で整理したものである。法面工は平成 22～24 年にわたって施工されたが、本事例でのマネジメント効果は平成 23 年の工事と観測を対象とした。

(1) 設計時の監視計画

対象は新規に建設される道路で、約 150m の区間が地すべり末端の切土となるため、地すべり対策工としてグラウンドアンカー工が設計された。逆巻き施工でアンカーを 1 段ずつ打設するが、掘削時は安全率が低下するため、事前に切土法面の背後斜面にパイプ歪計を埋設し施工中の監視を行う計画が立てられた。

(2) 地形地質条件

道路は概ね傾斜 30° 程度の山地斜面中腹を片切土で敷設され、3 個の地すべりブロックを横断する。切土高さは最大 20m 程度、施工中に最も大きな変位が計測された F ブロックでは法高は 15m である（図 1）。

地質は新第三紀の泥岩が基盤で、層理構造が発達し流れ盤構造をなすため、対象となる斜面を含め地すべり地形が多数分布する。表層は厚さ 3m 程度の降下火山灰が被覆し、地すべりが活発化しても亀裂等の地表面現象は確認しづらい。

地すべりは、特定の弱層をすべり面とし、河川浸食や人為的な地形改変を誘因として、風化岩および火山灰が滑動している。区間で最も大きな地すべりブロックは延長 130m×幅 70m×層厚 20m、F ブロックは延長 50m×幅 20m×層厚 8m 程度の小規模なブロックである。

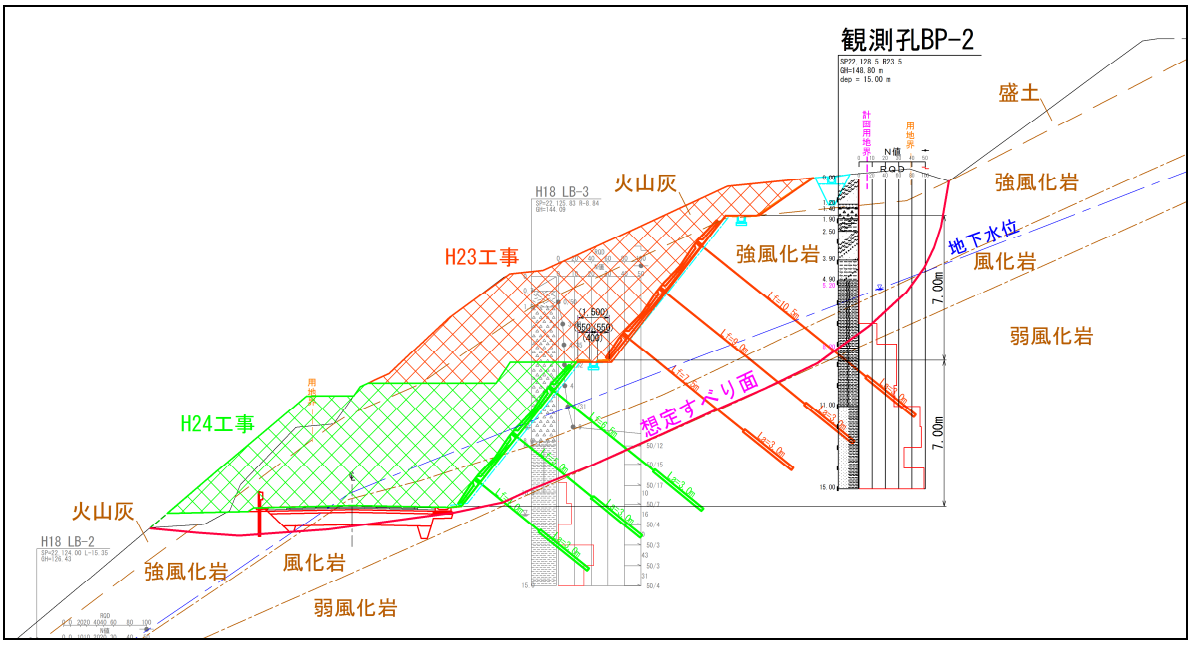


図 1　F ブロック地すべり断面図

3) 地質リスク

掘削により地すべり活動が活発化することが懸念される条件であるが、本事例研究では「施工中に変位が計測されたため工事を中断する場合を想定し、中断期間に発生する人件費や機材損料」を地質リスクとする。

中断期間が短くなれば損失が減少するため、中断期間の損失と、迅速な判断を行うためのコストとを比較し、対象の地質リスクに対してマネジメントが有効か検証する。

4) 地質リスクマネジメント方法

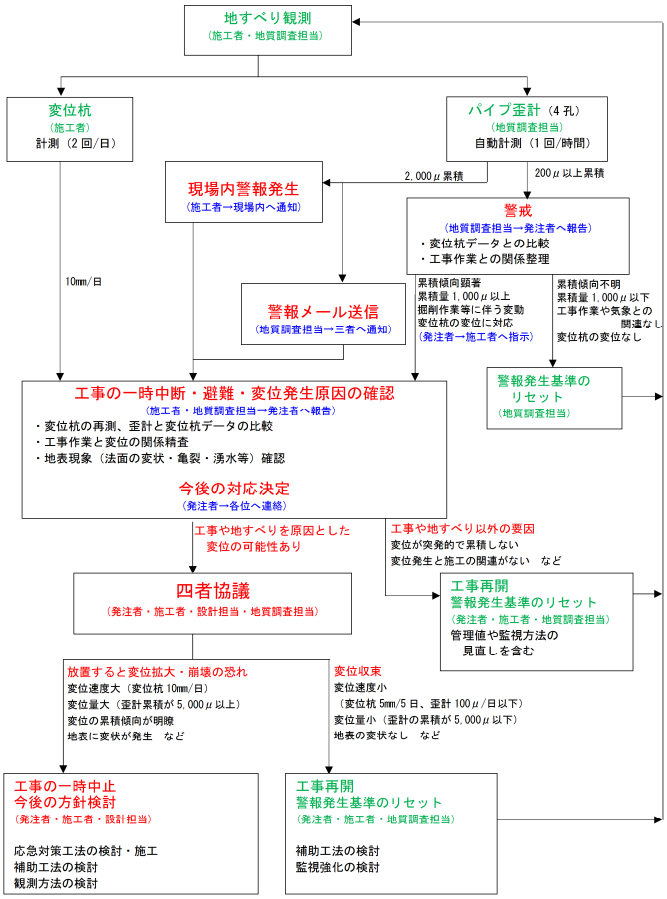
・自動観測システムの導入

パイプ歪計の自動観測システムを導入して計測を行った。

前述したとおり、頻度の高い計測データを取得することで、工事中断の必要性や、中断後の再開または応急対策追加の判断を速やかに行うことが可能となるほか、気象や工事作業との比較により、変位発生原因を判定するための重要な資料が得られる。

・変位発生時の対応フロー策定

変位発生時に関係者（発注者、施工者、設計担当者、地質調査担当者）が速やかに対応できるよう、管理基準を設定し、基準値を超過した場合の対応フローを策定した（図 2）。



		計測頻度	計測担当者	警戒	工事中断・避難	工事再開	一時中止・応急対策
基準値	歪計	自動（1回/時）	地質調査担当者	累積200μ以上	累積2,000μ以上	100μ/日以下 累積量5,000μ以下	累積量5,000μ以上
	移動杭	1回/日	施工業者	－	10mm/日	5mm/日以下で収束傾向	10mm/日以上
対応				計器誤作動の有無の確認。 変位杭、伸縮計データの確認	工事を中断して避難。 現地確認（クラック、変状、湧水など）。 計測データと工事内容との関連の見直し。 四者で協議。	変位量が小さく崩壊につながらないと判断し、四者協議のうえ工事再開。	変位量や変位速度が大きく、工事を継続すると崩壊の恐れがあると判断し、応急対策を検討。

図 2　変位発生時の対応フローと管理基準表

5）結果

Ｆブロックでは、アンカーを打設する 2 段目法面の掘削開始後、想定すべり面付近で顕著な歪計の変位が計測され、地すべり活動によるものと判定された。

計測の結果、掘削やトラフ設置を行っている期間は 100μ(s)/日程度の速度で累積するが、変位速度の上昇は確認されず、また作業休止中は変位速度が低下する。このため崩壊までには猶予があり、速やかにアンカー打設を行うことが安全と判断された。監視を続けながら工事を継続したところ、崩壊等の災害発生はなく、アンカー緊張後は変位の累積が停止した（図 2）。

実際には変位量は警戒レベルに止まったが、仮に工事中断・避難レベルの変位が発生していたとしても、工事内容と変位発生時期の関係が明瞭で、崩壊予測や変位発生原因の特定が容易であるため、工事再開または応急対策追加を即断可能だったと評価できる。

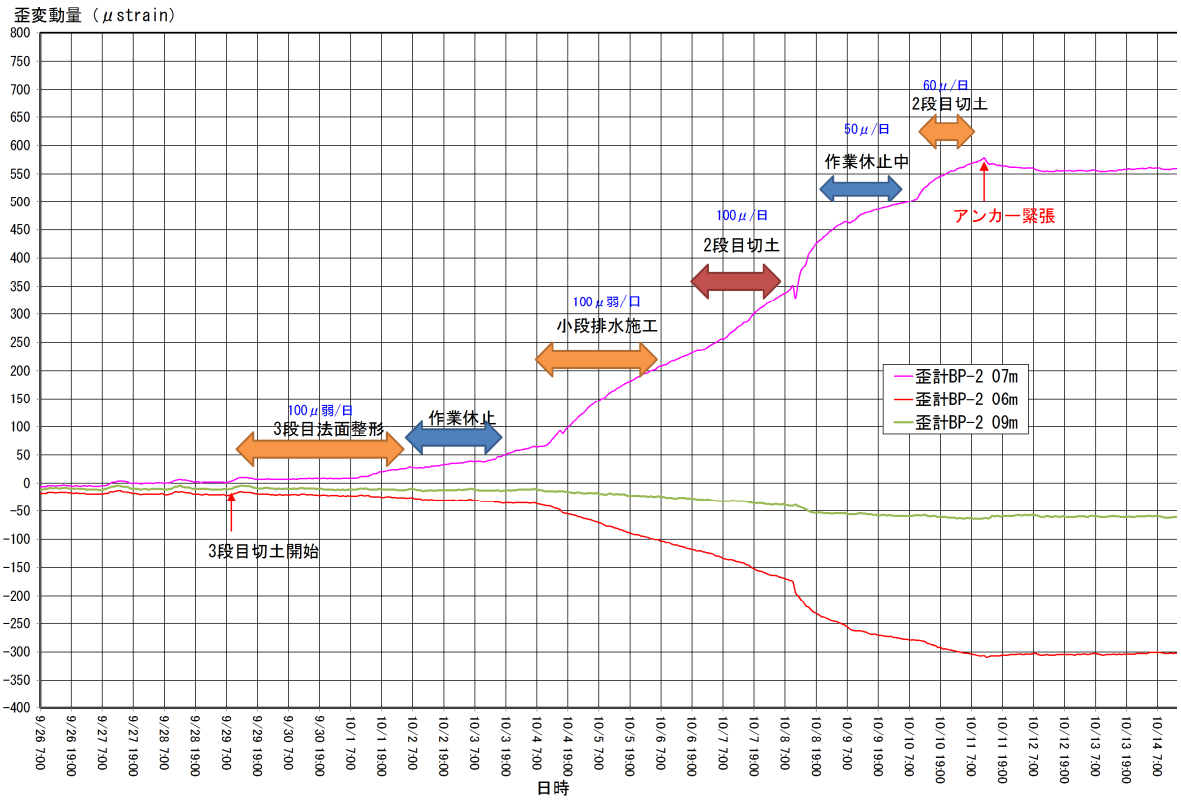


図 3　2 段目法面上部のアンカー打設までの歪計深度別累積量

2. 事例分析のシナリオ

本事例では、工事中断（地質リスク）は発現しなかったが、管理基準値をより安全な（小さい）値で設定していた場合や、変位の有無のみで監視した場合、また計測値の異常が発生した場合は、崩壊の危険がない変位量でも工事を中断した可能性がある。マネジメント効果検証のため、工事が中断したことを仮定し、以下の 2 ケースを想定する。

1) 高頻度の変位計測データがない場合の工事中断から再開まで

設計や地質調査担当者が現地に赴き、亀裂や変状の有無、また計測器の状態などを確認し、崩壊の危険性が小さいことを判断したうえで工事を再開することとなる。計測データが不十分であればさらに 1～2 日の計測データを取得して評価する必要が生じ、担当者の移動時間等を考慮すると、平均的に 3 日の中断期間が発生すると想定する。

2) 自動観測で高頻度の変位計測データがある場合の工事中断から再開まで

担当者が現地に赴かずに計測データの検証を行い、変位発生原因の特定や変位速度から、災害発生の危険がなく工事を再開してよいか、応急対策追加が必要か、変位発生の当日中に判断が可能な場合が多い。中断期間による損失は生じないとみなす。

3. データ収集分析

本事例研究では、地質リスク（工事中断）が発現しておらず、分析シナリオは「工事中断が発生した」という仮定から始まるため、各種データには大きな不確実さが残っている。

1) リスクの生起確率に関わる地質条件

本事例では、以下に述べる不確実さをふまえ、「地すべり 1 ブロックごとに 1 回発生す

る」という仮定に基づき効果を算定する。

対象となる3個の地すべりブロックは､事前の安定解析では掘削により安全率がFs=0.76～0.96まで低下する。近接する工区で崩壊が発生した履歴があり、工事中に変位が発生する可能性は極めて高いと予想され、実際に施工中2ブロックで明瞭な変位が計測された。

一方で、工事中断となるほどの変位量が生じるかどうかは、対象となる地すべりの特性や、歪計設置深度とすべり面の位置関係、施工中の地下水位など地質的条件のほか、掘削の速度、掘削後にアンカーが打設されるまでの期間などの工事条件にも影響を受けるものと考えられ、定量的な予測がほぼ不可能である。またアンカー1段毎に掘削を行うため、一連の工事中にリスクが発現する回数も不明確である。

2)技術者の判断と想定されるトラブル

事前に対応フロー等を設定しているが、最終的には担当技術者の判断が必要となる。本事例では工事作業と変位累積の関係が明瞭であり、担当技術者が現地へ赴かずに工事継続の判断を行うことができた。しかし工事作業と気象条件が複合して発生した変位や、変位量が大きくなった場合、また地すべりに起因しない変位が発生した場合などは、シナリオどおりに短時間で判断できるか不確実で、中断期間が延びることもあり得る。

3)事業費への影響

ごく短期間の中断は、工事の経費に含まれ一般的には設計変更の対象とはならない。しかし中断期間が長引き、リスクが一連の工事中に複数回発生すれば、無視できない支出の増加（利益の減少）が発生するため、本事例では短期間であっても損失として算出した。

4.マネジメント効果

1)工事中断による損失

〈人件費（土工、法枠工、アンカー工）〉

一般世話役、運転手(バックホウ)、ブロック工、特殊作業員（削孔機）：各1人

普通作業員：6人　　→　158千円/日

〈機材損料〉

バックホウ、ラフタークレーン、ボーリングマシン：各1台　　→　139千円/日

〈計〉

（158千円/日　＋　139千円/日）×　3日　＝　891千円：中断1回3日あたり

891千円/回　×　3回　＝　2,673千円：1工事中に中断3回

2)マネジメントのコスト

〈自動観測システム〉

歪計自動記録器、現場内無線、ソーラー蓄電システム：各4基　→　320千円/月

WEBサーバー・閲覧ソフト使用料：一式　　→　28千円/月

NTT回線使用料、通信料：一式　　→　25千円/月

〈計〉

（320千円/月　＋　28千円/月　＋　25千円/月）×　6ヶ月　＝　2,238千円：工事期間あたり

3)マネジメント効果

効果は（中断による損失）－（マネジメントコスト）で表され、下式のとおり直接的なマネジメント効果は小さく、中断回数がこれより少ないとコストのほうが大きくなる。

2,673 千円 － 2,238 千円 ＝ 435 千円

ただし計測データは作業の安全管理に利用することができており、また判断を行う際の合意形成が容易となり、担当技術者の負担が大幅に軽減されたメリットが大きい。

5.データ様式

表 1　データ様式 A 表

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		北海道室蘭建設管理部
	工事名		北進平取線特定交付金 3 工事
	工種		法面工
	工事概要		土工、法枠工、グラウンドアンカー工
	①当初工事費		235 百万円
	当初工期		7 ヶ月
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		施工中（掘削時）に計測データが管理基準値を超過し工事を中断した時期
	予測されたトラブル		工事継続または応急対策追加の判断まで工事中断し、その間の人件費や機材損料を損失する
	回避した事象		工事中断期間の延長
	工事への影響		なし
リスク管理の実際	判断した時期		詳細設計時（リスク管理の計画） 施工中
	判断した者		発注者、設計担当者（リスク管理計画時） 地質調査担当者（施工中の判断）
	判断の内容		管理基準を含めた監視体制を構築する（リスク管理計画時） 工事中断・継続の判定（施工中）
	判断に必要な情報		高頻度の歪計観測データ
リスク対応の実際	内容	追加調査	歪計（4 孔）の自動観測
		修正設計	－
		対策工	－
	費用	追加調査	373 千円（4 孔 1 ヶ月あたり）×6 ヶ月
		修正設計	－
		対策工	－
		②合計	2,238 千円
変更工事の内容（想定）	工事変更の内容		工事中断期間の人件費、機材等リース料 （工事請負者の負担増＝利益減少）
	③変更工事費		－
	③減益		2,673 千円
	変更工期		9 日（想定される中断期間）
	間接的な影響項目		・工程の遅れによる事業便益の減少 ・設計・地質調査担当者による現地確認コストの追加
	受益者		工事請負者、発注者
リスクマネジメントの効果	費用（①－③－②）		効果が修正③（減益）のみに影響するため、 ③－②＝435 千円
	工期		変更なし
	その他		施工中の安全管理の目的で歪計の定期観測を行ったため、追加調査費のすべてがリスク管理のためのコストではない。 技術者の負担が軽減された効果もある。

［論文 No.7］ 道路盛土造成後の不同沈下によるアーチカルバートの変状

（B 型：地質リスクが発現した事例）

復建調査設計㈱
阿南　辰弥

１．事例の概要

本事例は、国道バイパス建設に伴う盛土造成の途中施工段階において、盛土直下に埋設したアーチカルバート（以下、AC という）躯体が、不同沈下の影響により損傷や剥離、躯体間の目地の開き等の変状が発生した地質リスクの事例である。上流側から下流側にかけて全長 100m 程度の AC 躯体内において、下流側のある範囲において AC 躯体内のコンクリートの剥離等の変状が顕著であった。道路盛土施工前における事前調査において、ボーリング調査は 2 箇所（上流側に 1 箇所、下流側に 1 箇所）であった。変状が顕著な範囲にはボーリング調査が実施されておらず、地層構成と地盤特性の把握が不十分であったために不同沈下の発生の地質リスクを予測できなかったと推測される。不同沈下に伴う AC 躯体の変状の発生より、盛土造成は中断され、追加ボーリング調査及びそれらの結果を用いて地盤解析を実施し、現状の把握・今後の施工への影響の評価を行った。

２．事例分析のシナリオ

（1）不同沈下の発生と原因

道路盛土設計前の事前調査段階として、地層構成及び地盤特性を正確に把握できていなかった。そのため、不同沈下発生の地質リスクを回避できず、生じた不同沈下の影響により AC 躯体が変状した。原因としては、事前の調査段階におけるボーリング調査数量の不足により地質リスクを抽出できなかった点が挙げられる。周囲が山に囲まれた谷地形である当該地において、現地踏査の実施等により、不同沈下等の地質リスクを考慮した適切なボーリング数量及び調査位置の選定が必要であった。

（2）追加調査及び解析結果とその評価

AC 下流側において、AC 躯体の変状が一部顕著な範囲が確認された。これらの範囲を主とし、ボーリング調査、原位置試験（孔内水平載荷試験）及び物理探査（弾性波探査）を実施し、詳細な地層構造及び地盤特性の把握を行った。追加ボーリング調査結果より、当該範囲では基盤岩が急傾斜しており、その上位に N 値 5～15 程度の砂礫層が分布していることが確認された。室内土質試験、孔内水平載荷試験及び弾性波探査結果より、盛土及び在来地盤の地盤定数を設定した後、推定地層モデルを作成した。推定地層モデルを用いて弾性床上のはり解析、FEM 解析、沈下解析、カルバートの支持力の照査を実施し、AC 躯体への盛土の影響を解析した。また、沈下解析結果から、AC 躯体間の目地の開き量及び段差量を数学的に算出し、現況の変状と沈下解析結果を用いた推定の目地の開き量及び段差量を用いて止水性能の照査及び変状の傾向を比較し、定量的に評価を行った。

（3）盛土造成再開への影響と対応

上記の解析結果より、今後、盛土造成を再開した場合、AC の沈下及び目地の開き等の変状が進行する可能性があると評価した。実際に盛土を再開する際は、①施工時の観測、②躯体間の止水対策、③盛土完成後の定期点検などの対応策が挙げられる。しかしながら、当該工事は現在に至っても中断されており、今後の対応については検討中である。

３．データ収集分析

（1）事前調査と AC 施工時の情報

事前調査段階では、ボーリング調査は上流部と下流部に各 1 箇所合計 2 箇所であった。そのため、地層構成の把握において基盤岩が下流側のある位置にて急落することを予測できなかったと推測される。AC 施工段階の工事写真（写真 1 参照）では、基盤岩の露出が確認されており、追加調査の結果から、当該位置から下流側にかけて基盤が急落していた。さらに、AC 施工完了後の工事管理資料より、急落する基盤岩の深度分布や、AC 直下に砕石が敷設されていることが確認された。事前調査における下流側ボーリング結果より、GL-3m付近まで N 値が 1～3 程度であったため、砕石置換を実施したとされる。

（2）不同沈下原因の予測と追加調査情報

不同沈下の原因として、砕石層及び在来地盤に緩い層が基盤岩上に存在すると想定された。追加調査の結果、下流側の追加ボーリング結果より、砕石層 4m、その直下に在来砂礫層が確認された。砕石層は N 値 5～20 程度でばらつきがあり、在来砂礫層は上部に N 値 3～20 程度の比較的緩い層が存在した。事前調査の下流側ボーリング結果より、在来砂礫層は N 値 30～40 程度であり、追加ボーリング結果と比較すると硬い層であった。また、砕石層は層厚 4mであり、N 値 5～20 程度で比較的緩く、不同沈下の原因として挙げられる。

４．マネジメントの効果

（1）マネジメント費用の算出

「事前調査ボーリング調査段階に、当該地が谷地形であり、基盤岩の急落や沈下の発生リスクを考慮したボーリング調査を実施した」と想定してコスト比較を行った結果を表 1 に示す。なお、想定の事前対策としては、事前調査のボーリング 2 箇所に加え、補間のボーリング調査を 2 箇所追加で実施した場合を想定している。

表 1　アーチカルバートの不同沈下対策想定コスト表

費目		費用（千円）	
①追加工事（調査・解析）実績	ボーリング調査（4 箇所）、弾性波探査等	17157	24855
	地盤解析（FEM 解析、沈下解析等）	7698	
②事前対策（想定）	ボーリング調査 2 孔（15m×2＝30m）	3000	3000
	対策費用（砕石層の締固め等）	3000	3000
マネジメント効果（①−②）			18855

AC 設計の事前調査段階において、地盤沈下の地質リスクを予め想定していた場合の調査費用と、不同沈下発生後の追加調査による費用から算定した地質リスクマネジメント効果は約 1900 万円となった。追加調査及び解析の費用が想定の事前対策費用を上回り、約 1900 万円の余分なコスト消費であると評価された。なお、地質リスクを考慮し、事前対策としてボーリング調査を実施した場合、沈下対策としての費用として砕石層の締固めを施したと想定している。しかしながら、費用の積算の定義が曖昧なため金額はボーリング調査と同額の 300 万円と仮定している。

５．データ様式の提案

本事例では、今後の工事や対策等が検討中であり、明確な費用が不明である。したがって、「事前に地質リスク（不同沈下）を考慮し調査を行った場合の費用」と、「地質リスク（不同沈下）が発現して、追加調査及び解析を実施した費用」の差額をマネジメントの効果として概略的に軽量化している。このような事例を軽量化することにより、地質技術者が調査の段階で地質リスクをいかにして抽出・評価を行い、次段階における設計や施工に反映できるかが重要であるかが認識できる。また、表 2 に、本事例におけるデータ様式を示す。

【本事例としての地質リスクを回避するには】

本事例としての地質リスクを回避するためには、事前調査の段階で以下に述べる地質リスクコミュニケーション等の地質技術者としてのマネジメントが可能であったと推察する。

① 調査数量の指摘

AC 設計上、延長方向距離（約 100m）に対し、ボーリング調査数量 2 箇所は、調査の

精度が低いと考える。調査間に 1 箇所の追加、もしくは平面的に調査箇所を追加し、AC の延長方向と AC の垂直方向に対し、支持層及び基盤岩の深度の確認を行う。

② 現地踏査等を実施し、当該地の地形的特性の把握

周囲は山に囲まれ、当該地は谷地形となっている。盛土施工の側近の山は地山が露出しており、山の傾斜から、基盤岩が深部に存在するおそれがあると想定できた可能性も考えられる。

③ 事前調査として弾性波探査の実施

AC 設計の事前調査段階に AC 設置側線に対し弾性波探査を実施、地層構成を概略的に把握する。緩い層や、基盤岩の深度の想定により、リスク抽出を行う。

表２　Ｂ案　データ様式（修正加筆有り）

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		自治体
	工事名		国道バイパス建設工事
	工種		道路盛土造成
	工事概要		アーチカルバート（延長約 100m）
	当初工事費		情報非公開
	当初工期		情報非公開
リスク発現事象	リスク発現時期		盛土施工段階
	トラブルの内容		アーチカルバートの不同沈下
	トラブルの原因		道路盛土設計前の事前調査として、ボーリング調査数量が十分でなかった。そのため、地層構成及び地盤特性を正確に把握できていなかった。
	工事への影響		盛土施工中断
追加工事（調査）の内容	追加調査の内容		ボーリング調査、弾性波探査による地層構成及び地盤特性の把握
	修正設計内容		－
	対策工事		検討中
	追加工事		検討中
	追加費用	追加調査、解析	約 25000 千円
		修正設計	－
		対策工	－
		追加工事	－
		②合計	約 25000 千円
	延長工期		－
	間接的な影響項目		－
	負担者		追加調査：発注者
リスク管理の理想像	対応（すべき）時期		調査段階、設計段階、施工段階
	対応（すべき）者		調査段階：地質技術者、設計段階：設計技術者、施工段階：施工業者、発注者
	対応（すべき）内容		調査段階：地形を考慮し、アーチカルバート延長方向に追加ボーリングを実施
	判断に必要な情報		地層構成及び、支持層及び基盤岩深度の把握
	対応費用	調査	約 4000 千円
		対策工	－
		③合計	約 4000 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	費用（(②)−(③)）		約 21000 千円

効果	工期	対策に伴う工期が追加されるが盛土施工中断されず、計画通りの工期施工となる。
	その他	－

［論文 No.8］ 山岳道路における斜面災害最小化のための調査・点検業務事例

(株)エイト日本技術開発　○居川信之
(株)エイト日本技術開発　　斎藤正朗
(株)エイト日本技術開発　　中川遼也

1. 事例の概要

当該道路は、中部地方の山岳地域に位置し、標高 200m～1200m の区間を通る全長 17km の自動車道路である。道路際にはほぼ全線にわたり切土法面や自然斜面が連続するため、斜面災害リスクの高い道路といえる。本報告では、本道路における防災対策方法について紹介し、国や自治体等で一般的に実施されている防災対策方法との相違点や斜面災害リスクの合理的な低減手法について考察する。

国や自治体等が管理する一般の道路においては、斜面災害を防止する施策として道路防災点検[1]及び防災カルテ点検[2]による安定度評価や道路防災点検が定期的に実施されている。これらに基づく点検によって、道路斜面は「要対策」「カルテ対応」「対策不要」の 3 ランクに大きく評価され、「要対策」と評価された斜面について計画的・段階的に対策工が施工されるとともに年 1～2 回程度の防災カルテ点検により変状の進行が監視される。一方、本事例で紹介する道路は民間企業が運営する観光を目的とした有料道路であり、通行形態、管理体制、施設管理予算等に特殊性があることから、公的な道路とはやや異なった防災対策方法をとっている。その特徴を列挙すると以下のようである。

・道路管理者が常駐し、日常的に詳細な落石データの取得や変状の監視を実施している。
・防災対策に当っては景観性及び経済性を重視し、規模の大きい構造物による防護工の設置は必要最小限としている。
・冬季（11 月末～4 月上旬）は積雪のため全線通行止めとしている。
・防災点検は年 4 回実施し、道路管理者・コンサルタント・法面工事会社が合同で現地踏査を行い、合理的な防災対策について協議している。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 防災対策の流れ

本道路における年間の防災対策は、図 1 の流れで実施している。このうち年 4 回の点検を通じてコンサルタントの立場でリスクマネジメントを提案している。

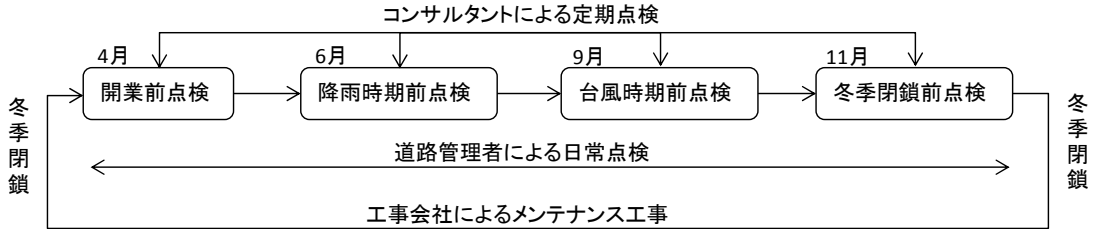


図 1.　本道路における年間の防災対策の流れ

(2) 落石の現状

当該道路における 2008 年度～2014 年度における落石の状況は以下の通りである（デー

タは既報告 3)よりの引用)。なお、本データにおける落石とは、落石現象そのものではなく道路上で確認された落下後の岩塊(吹付モルタルの破片を含む)をさしており、落石による被害を示すものではない（通行車両や人への被害は基本的には発生していない)。

①大きさ別発生頻度

大きさ別の落石個数を表-1 に示す。1 種が全落石数の半分以上を占め、1 種と 2 種といった小規模落石でほぼ 9 割近くに達する。

表 1.　大きさ別落石個数（2008～2014 の合計）

落石の大きさ	個　数	割　合
1 種：こぶし大程度以下	1751	55.4%
2 種：こぶし大～人頭大より小さなもの	1040	32.9%
3 種：人頭大程度	295	9.3%
4 種：人頭大より大きなもの	58	1.8%
5 種：人力で持ち上げられないもの	11	0.3%
6 種：岩盤崩落	4	0.1%
合　計	3159	100%

②原因別発生頻度

原因別の落石個数を表-2 に示す。原因については主に「動物の移動による(と推察される)もの」「風雨によるもの」「地震によるもの」の 3 つに分類している。野生動物に起因するものが多数を占める。

表 2.　原因別落石個数（2008～2014 の合計）

原　因	個　数	割　合
動物の移動による	2228	70.5%
風雨による	929	29.4%
地震による	2	0.1%
合　計	3159	100%

③年度別発生頻度

図 2 に年度別の発生件数を示す。グラフには年間降雨量及び降雪量もあわせて示す(データは最寄のアメダスデータを使用)。なお、降雪量は当該年度直前の 12 月～3 月の降雪量の合計値で、降雨量に換算して示してある（1cm→1mm)。1 年おきに落石数の増減が認められる。降雨量の変動とはあまり関連が見られないが、降雪量とは 2014 年を除いて比較的良い相関性が認められる。

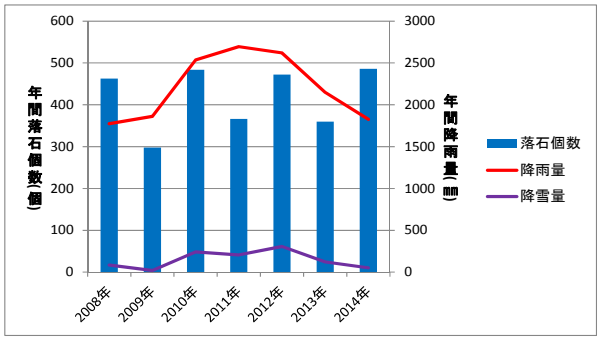


図 2.　年度別の落石個数と降雨量･降雪量との関係

④時期別発生頻度

図 3 に時期別の落石個数を示す(各時期の件数は 7 ヵ年の平均である)。グラフには同時期の降雨量の平均値をあわせて示す。6 月上旬までは降雨量との関連はあまり見られないが、6 月下旬以降は降雨量との関連がうかがわれる。落石個数

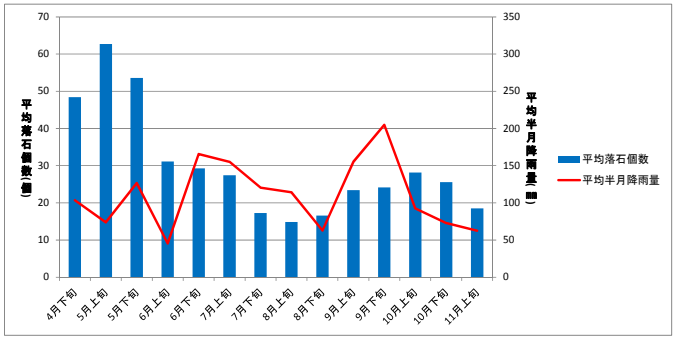


図 3.　時期別の落石個数と雨量との関係

については春季(5 月上旬)と秋季(10 月上旬)の 2 時期にピークが認められる。これらのことから、春季は融雪に関連した落石が多く、秋季は台風や秋雨前線に関連したものが多いと考えられる。

⑤箇所別発生頻度

道路際の斜面を図 4 のように区分した時の斜面区分別の落石頻度を図 5 に示す。このグラフは、斜面区間毎に集計した 2008 年～2014 年の累積落石個数を示したものである。また斜面崩壊の発生回数を赤色の矢印であわせて示す。比較的標高の高い(斜面番号の若い)箇所で多くの発生が見られる。

また、当道路の地質は、大きく石灰岩地帯と砂岩・泥岩地帯に分けられる。石灰岩地帯は砂岩・泥岩地帯よりも高標高部に分布するため、凍結融解に起因すると思われる落石･崩壊が多く発生している。

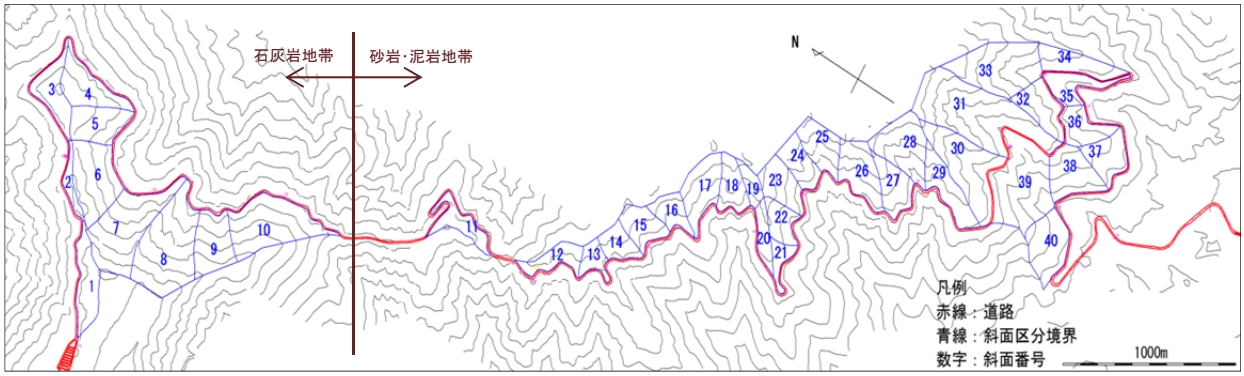


図 4.　本道路の平面形状及び斜面区分(等高線間隔は 50m)

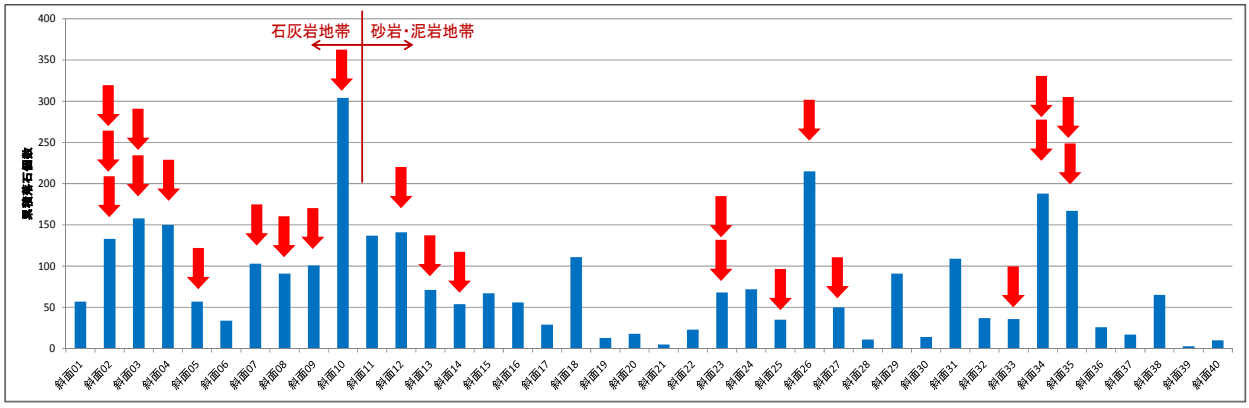


図 5.　斜面区間別の落石及び斜面崩壊の発生頻度(赤色の矢印は斜面崩壊の発生箇所・回数を示す)

(3) 箇所別の危険度評価区分

のり面の危険度に関しては、箇所ごとに次の区分により評価している。

- Ａ　　災害発生箇所（緊急対策必要）
- Ｂａ　変状が明らかに進行し危険度高い（年次計画にて対策工を実施）
- Ｂｂ　変状の進行が予想され危険度やや高い（重点監視対応）
- Ｃ　　変状の進行が予想されない（日常保守対応）

点検結果を踏まえた今後の対応（対応度）に関して、次の区分により表している。

・Ⅰ－１　緊急な対応を要する
・Ⅰ－２　年度内の対応を要する
・Ⅱ－１　次年度以降の対応を要する
・Ⅱ－２　軽微な対応を要する
・Ⅲ　　継続的に監視を要する
・Ⅳ　　当面対応の必要はない

以上より表 3 のような評価区分が設定され、箇所別の危険度評価に用いる。

表 3.　本道路における斜面の危険度評価区分

対応度 / 危険度	Ⅰ-１	Ⅰ-２	Ⅱ-１	Ⅱ-２	Ⅲ	Ⅳ
A	災害が発生し緊急的な対応が必要	災害発生箇所であるが緊急的な対応の必要性は低い	－	－	－	－
Ba	－	災害の予兆があり次年度開業までに対応する必要あり	将来的に変状が進行し災害が発生する恐れがある	比較的軽微な対応により災害を防止できる	－	－
Bb	－	－	－	災害に至る可能性は低いが軽微な対応により安全性が向上する	対策済みまたは変状はあるがその進行が認められない	－
C	－	－	－	－	災害要因は存在するが変状は認められない	災害要因が認められず対応の必要がない

(4)防災点検方法

以上のような落石･崩壊の発生状況及び箇所別の危険度評価を踏まえ、効率的な防災点検方法を計画する。点検計画に当って考慮した事項は以下の通りである。

①点検実施時期

落石等の発生時期の特性を踏まえ、以下のタイミング（年 4 回）で定期点検を実施することとした。

・春季開業前（以下 4 月点検とよぶ）：春先に融雪に伴う落石が多いことを踏まえ、4 月上旬に行う。
・降雨時期前（以下 6 月点検とよぶ）：6 月下旬以降、降雨に伴う落石や崩壊が発生することを踏まえ、6 月上～中旬に行う。
・台風時期前（以下 9 月点検とよぶ）：台風時期に落石が増えることを踏まえ、9 月中旬に行う。
・冬季閉鎖前（以下 11 月点検とよぶ）：次年度の点検･対策計画を立案し、閉鎖期間中に実施する対策内容を検討するために 11 月中旬に行う。

②点検箇所

・4 月点検：積雪により新たな危険箇所が発生している可能性があるため、原則として全斜面を対象とする。

・6 月及び 9 月点検：表 3 に示す A 及び Ba 箇所を対象とし、Bb 及び C 箇所については、当該年度の点検日までの期間に落石発生が顕著であった箇所のみを点検対象とする。
・11 月点検：A・Ba 及び当該年度に落石発生が顕著であった全ての箇所を対象とする。

③点検方法

・4 月点検：積雪に起因して新たな転石･浮石が生産されていることから、斜面に登って点検を行う。不安定なものについてはその場で人力により落下処理する。
・6 月・9 月・11 月点検：基本的に路上からの目視点検とする。特に法面構造物及び落石対策工の変状や機能確認を主体とした点検を行う。

なお、点検は基本的に道路管理者、コンサルタント、法面工事会社の 3 者による合同現地踏査の形態で実施する（図 6)。各者の役割は以下の通りである。

・道路管理者：日常点検において気になる箇所を現地で示す。落石･崩壊等の発生時（発見時）の状況を現地で説明する。防災対策実施に関する意思決定を行う。
・コンサルタント：変状の原因を判断し、危険度の評価を行う。また有効な対策方法を提案する。
・法面施工会社：点検時に確認された倒木や転石の除去を速やかに実施する。対策工法の施工手順を検討し費用を算定する。

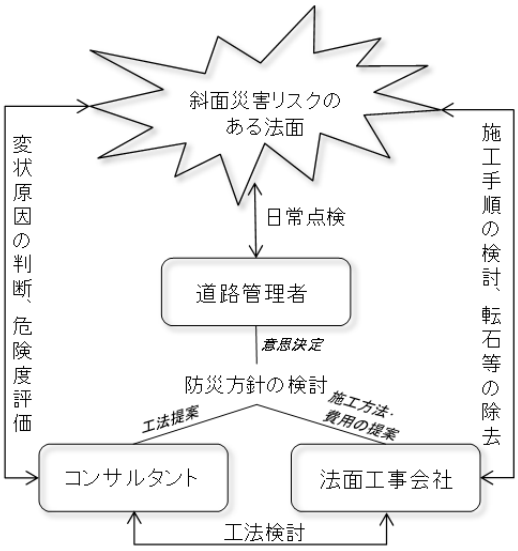


図 6.　本道路における防災点検実施体制

(5) 防災対策の実施状況

防災対策の実施に当っては、経済性、施工性、景観性を重視した工法を選定する。本道路で特に実績の多い工法は以下の通りである。

・転石除去工：4 月点検において集中的に実施する。調査員及び作業員が斜面上に上がり、法肩より上方数十 m 程度の範囲について、不安定な転石･浮石を人力で除去する。
・ロックメント工法：本工法はラス金網を併用する接着工法であり、不安定な露岩部や小崩壊斜面及びモルタル吹付工の劣化部に施工する。また不安定岩塊（土塊）除去後の法面に施工する。植生基材を併用することにより緑化も可能である。
・簡易落石防止柵：樹脂性ネットや万能鋼板を用いた高さ数十 cm 程度の柵を法尻や既設擁壁上に設置する。応急的な工法であるが 1 種～2 種の跳躍量の小さい小規模落石に効果がある。
・落石防止柵（脱着式）：落石防止柵の支柱（H 型鋼）を基礎に固定せず、さや管に挿入して脱着可能な構造としたもの。積雪による柵の破損を回避するため、冬季閉鎖時は一時的に撤去する。
・ポケット式ロックネット：特に落石の多い法面には落石捕捉効果の高い同工法を採用する。積雪による破損を防ぐため 2 分割巻き上げ式のものを使用する。ただし工事費及び維持管理費が上記の工法と比べて高いためその適用は最小限としている。

3. マネジメントの効果（リスクの計量化）

本報告で示した点検方法のメリットを列挙すると以下の通りである。

・道路管理者･コンサルタント･法面工事会社の３者が合同で点検を行うことによって、迅速な意思決定が行われ、対策実施までのプロセスが簡略化できる。

・点検時に転石除去を行うことにより、落石リスク自体を低減できる。

・道路管理者の日常点検に加え定期点検を年４回と高頻度で実施することにより、斜面災害リスクの高い箇所を高精度で絞り込むことができる。

・これらにより簡略な対策工を施工してその効果を監視することが可能となり、対策費用の低減が図られる。

簡略な対策工+法面点検による管理方法を採用したときのマネジメント効果を試算すると以下のようである。

①通常の落石対策（落石危険法面に防護工としてポケット式ロックネットを施工する）

条件設定:落石リスクのある 500m2 規模の法面が路線内に 30 箇所存在すると仮定する。

対策工施工後 10 年当りの費用：ポケット式ロックネット施工費　300,000 千円

ポケット式ロックネット維持管理費　30,000 千円

合計　330,000 千円①

②本道路における落石対策

条件設定:上記 30 箇所の法面のうち 15 箇所について簡略な対策工+法面点検を適用する。

10 年当りの対策・管理費用：ポケット式ロックネット施工費　150,000 千円

ポケット式ロックネット維持管理費　15,000 千円

法面点検費用（点検時に転石除去を行う）4,500 千円

簡略な対策工の設置費及び維持修繕費　7,500 千円

合計　177,000 千円②

マネジメント効果(①－②)　153,000 千円

＜参考文献＞

1) (財)道路保全技術センター（2007）：道路防災点検の手引き(豪雨･豪雪等)

2) (財)道路保全技術センター（1996）：防災カルテ作成・運用要領

3) 居川信之･斎藤正朗･中川遼也（2015）：山岳道路における落石発生に関する要因分析と防止対策の検討例，全地連「技術フォーラム 2015」名古屋

[論文 No.9]　土石流の成長タイプに応じた災害リスクの推定と対策方針
－2014 年広島土砂災害の事例－

応用地質株式会社　○野々山 一彦
山 根　　誠
池 上　　忠

1.事例の概要

本事例は，2014 年 8 月に広島市を中心に発生した土石流において，土石流の発生機構と土石流成長プロセスを推定し，地質及び地形的な特徴によりタイプ分けしたものである．

2014 年広島土砂災害における土石流の発生機構は，地形・地質踏査や土砂収支解析ならびに三次元浸透流解析から，大量の降雨の浸透で上昇した地下水圧に起因する小規模な崩壊を引き金にした単成の崩壊-土石流のモデルが想定できた．土石流の成長プロセスは，緩やかな丘陵性山地渓流で単成崩壊-土石流が合流して成長する並列タイプと，急峻な山地渓流で最上流の単成崩壊-土石流が下流の崩壊を誘起して土石流が肥大化する直列タイプの 2 つに大別された．また，土石流の規模が拡大した渓流としなかった渓流における，それぞれの地質的な特徴が推定された．

(1)2014 年 8 月に発生した広島土砂災害の概要

2014 年 8 月 15 日から 20 日にかけて，前線が本州付近に停滞し，前線上を低気圧が東に進んだ．前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で，九州北部地方や中国地方を中心に大雨となり，局地的に猛烈な雨が降った．特に，広島県周辺では，バックビルディング形成による南西から北東に延びる線状降水帯が形成され，19 日から 20 日にかけては，広島県広島市三入観測所において最大 1 時間降水量が 101 ミリ，最大 3 時間降水量が 217.5 ミリ，最大 24 時間降水量が 257 ミリとなり，いずれも観測史上 1 位の値を更新した．先行降雨が少なく，非常に強い雨が極めて短時間かつ局所的に集中していることが，今回災害時の降雨の特徴である(図 1)．

この大雨により広島市を中心に発生した土石流等によって，死者 74 名，全壊家屋 133 戸，半壊家屋 122 戸，一部損壊家屋 174 戸という激甚な被害が生じた．

（以上全体について文献引用）[1)]

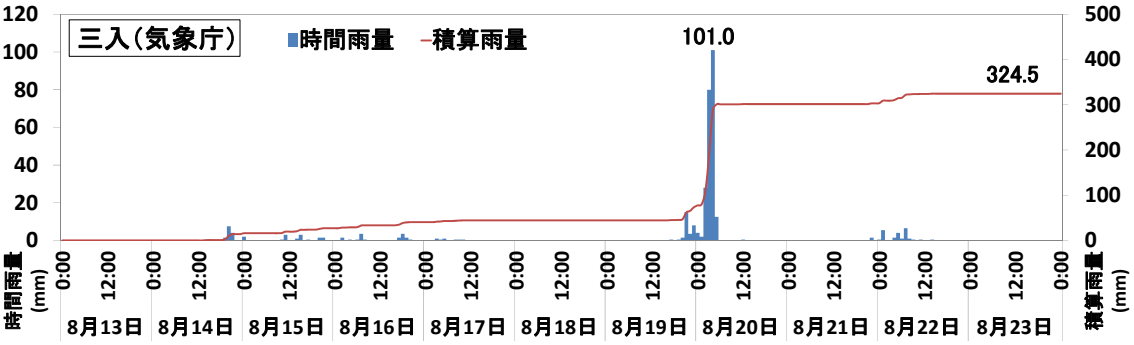


図 1　三入観測所におけるハイエトグラフ [1)]

(2)災害発生地周辺の地形・地質の概要

調査地は標高 22～737m に分布し，傾斜角区分は 20～40° が大半を占めており，中起伏山地または小起伏山地に区分される．

調査地の地質は，広島花崗岩類，高田流紋岩類，玖珂層群であり [2]，渓流の位置や発生域への水の経路を規制する水理地質構造として，カタクレーサイトや濁沸石をともなう断層などがある．また，山麓や谷沿いには広く岩屑堆積物が分布し，アカホヤ火山灰に覆われていることが多い．

2.事例分析のシナリオ

(1)調査・検討の方針

家屋や人的被害が大きかったのは土石流堆積域であるが，災害直後から堆積域において復旧活動に入った地元への配慮，ならびに山地災害の機構解明を行うため，堆積域より上流の発生・移送域での調査に重点を置いた．また，災害復旧のための調査・検討であり，短期間で多数の渓流の調査を行わなければならないという制約があったことから，通常行われるような概査から精査へ調査領域を絞り込み，調査精度を高めていく段階的な方法を採らず，初期段階から精査レベルの地形・地質調査を実施した．同時に，崩壊の広域的な全体傾向の把握のためにDEMデータに基づく地形解析や，誘因となる短期豪雨の降雨パターンにおける地表流・浸透流の特異性を明らかにするための三次元浸透流解析を行い，近傍での既往災害(2010年庄原災害など)の降雨パターンとの違いも検討した．

(2)発生機構の検討対象渓流と調査内容

発生機構の検討対象とした渓流は，**図2**に示す国有林および民有林内の15渓流である．地形・地質精査は国有林および民有林内の15渓流，発生源66か所を対象に，のべ131人(21人の技術者)によって，高精度LP図を用いて1/500～1/1,000 スケールで土石流発生渓流を図化した．調査対象の渓流内および周辺の斜面において，地形、地質、土石流の堆積状況、地表の変状、植生、湧水箇所といった地表地質踏査に加えて，**表1**に示す発生域の崩壊の状況と下流域への土石流誘起の実態の把握にポイントをおいた現地踏査を実施した．

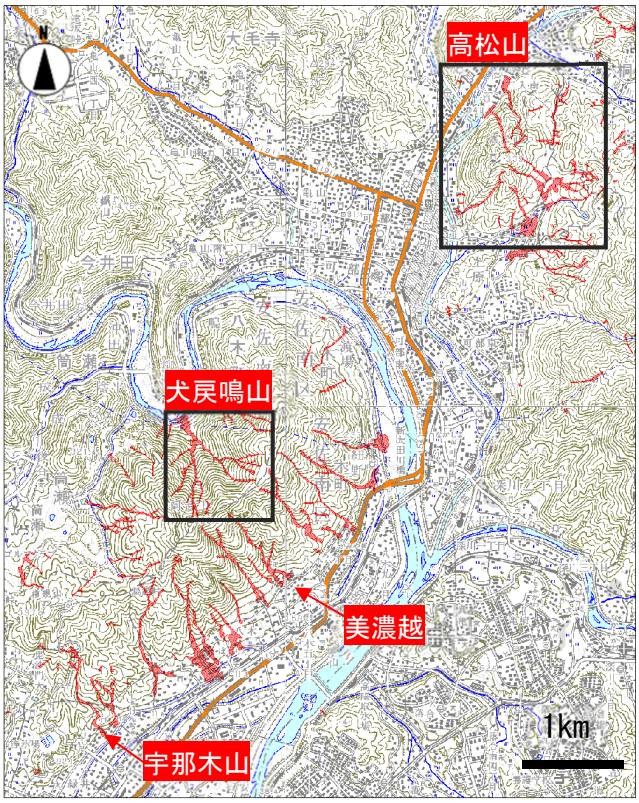


図2　調査渓流位置図（広島市北部）[3]

表1　土石流誘起の実態把握にあたっての現地調査時の着目点

a)発生域(崩壊源)
- 地質構成(岩種、節理・断層などの不連続面、マサ化などの風化状況、岩屑堆積物等)
- 透水性(ゆるみ、パイプの有無等)
- これらを滑落崖の断面、崩壊面で確認

b)移送域
- 樹幹などに付着した泥しぶき（飛沫）の高さ
- 地表流が表層を削剥せずに流走した範囲
- 侵食面の地質構成および透水性

3.データ収集分析(土石流の地質・地形的特徴)

(1)土石流の発生機構

①単成の崩壊-土石流のモデル

発生域の崩壊を引き金にした土石流発生の形態は，異なる渓流でも類似性があり，**図 3** に示すような単成の崩壊-土石流のモデルを想定することができる．

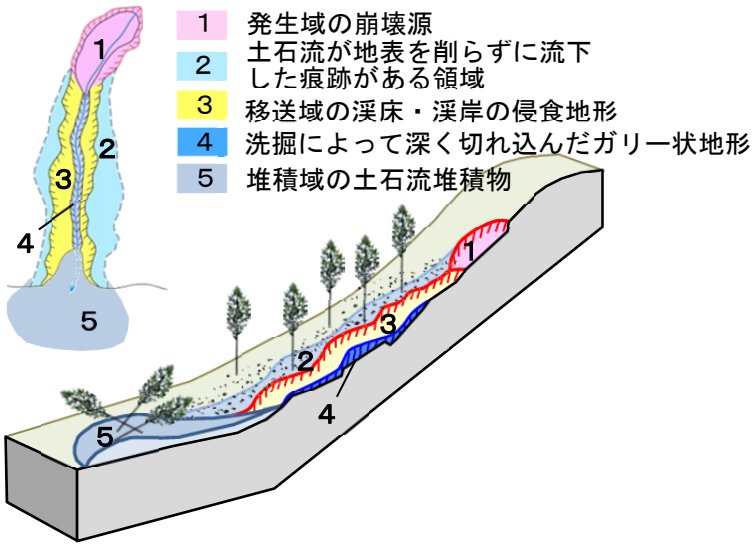


図 3　単成の崩壊-土石流モデルの模式図 [1)]

土石流は，(1) 0 次谷の源頭部の 100m³ 前後の小規模な崩壊源を発生域とし，その崩壊物が (2) 地表流がほとんど地表を侵食せずに流下し，(3) その後，発生源下流の谷地形を構成する岩屑などが崩壊，侵食し，渓岸崩壊なども加わることで侵食地形が形成され，(4) さらに渓床の谷筋の中心に，後続流による洗掘によって深く切れ込んだガリー状地形を形成し，(5) 下流に土石流堆積物が堆積している．

②発生域崩壊源の特徴

発生域崩壊源 66 箇所の規模の平均値を**表 2** に示す．例外的に規模が大きい 1 箇所（崩土量 2400m³）を除いた崩壊深の平均値は 1.1m であり，崩壊土量は 136.4m³ である．崩壊源の崩壊面の地質は，基盤岩が 77%を占める．

表 2　崩壊源の規模の平均値

項　目	崩壊源の平均値※
幅(m)	10.2
斜面長(m)	16.1
崩壊深(m)	1.1
推定崩土量(m³)	136.4
滑落崖標高(TPm)	287.6

※例外的に規模が大きい 1 箇所を除いた平均

発生域の崩壊源の多くは，斜面浅層部がボトルネックの形状で崩壊し，崩壊面には多くの場合，割れ目に富んだ基盤岩が露出している．また，崩壊物質は大量の水とともに水しぶきを上げながら土砂流として流下し，その痕跡が立木の樹幹に付着した泥しぶき(飛沫)として残っている．さらに，発生域崩壊源で表層が「溶け出すように」流出する状況も複数確認している(**写真 1**)．

表土層下位の砂層が流出し，表土層は植生がついたまま垂れ下がっている．

写真 1　崩壊源滑落崖の状況

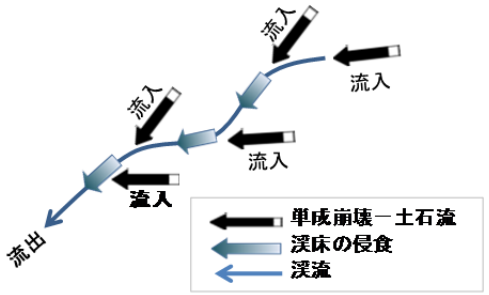
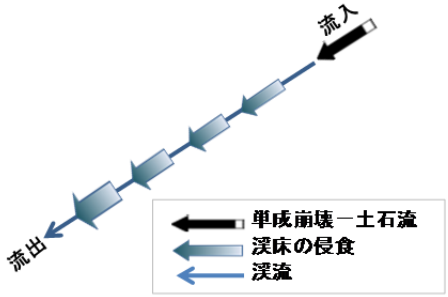
(2)土石流の成長の機構

発生域では単成の崩壊-土石流がみられるが，多くの渓流において，土石流は，下流の移送域で新たな崩壊の誘起による発生域の拡大や，支流からの崩壊-土石流の付加による肥大・複合化をしながら成長していた．このような渓流における土石流の拡大・複合プロセスは**表 3** に示す 2 つのタイプに大別された．**図 4** に並列的に複数の単成崩壊-土石流が流入・合流した例を，**図 5** に最上流の単成崩壊-土石流が下流の渓床の浸食や渓岸崩壊を誘起して直列的に土石流が肥大化した例を示す．ただし，並列タイプと直列タイプとが複合した中間型の渓流もある．

並列タイプと直列タイプの土石流の成長は，地形条件を反映しており，河床勾配の緩急によく表れている．調査実施渓流等を勾配の急な渓流から配置し，それぞれ崩壊発生箇所

を投影した渓床縦断図を**図 6** に示す．直列タイプと並列タイプは，渓床勾配 20° 付近を境界としており，地形が急峻な渓流では直列タイプが，支流の多い緩やかな渓流では並列タイプが卓越する．

表 3　渓流における土石流の成長タイプ(今回災害の場合) [1)]

区分	並列タイプ	直列タイプ
模式図		
特徴	単成崩壊-土石流が渓流へ流入・合流して土石流が成長	最上流の単成崩壊-土石流が渓床侵食や渓岸崩壊を誘起し、土石流が肥大化
地形	緩やかな丘陵性山地	急峻な山地

＊ただし、今回災害の降雨パターンである「先行降雨無し・短時間豪雨型」の場合である。

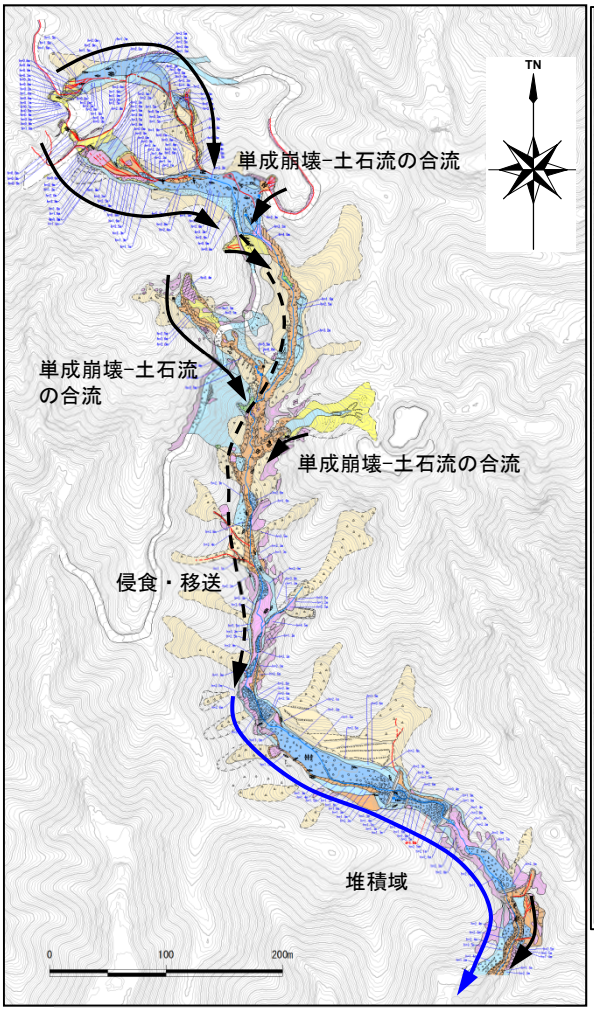
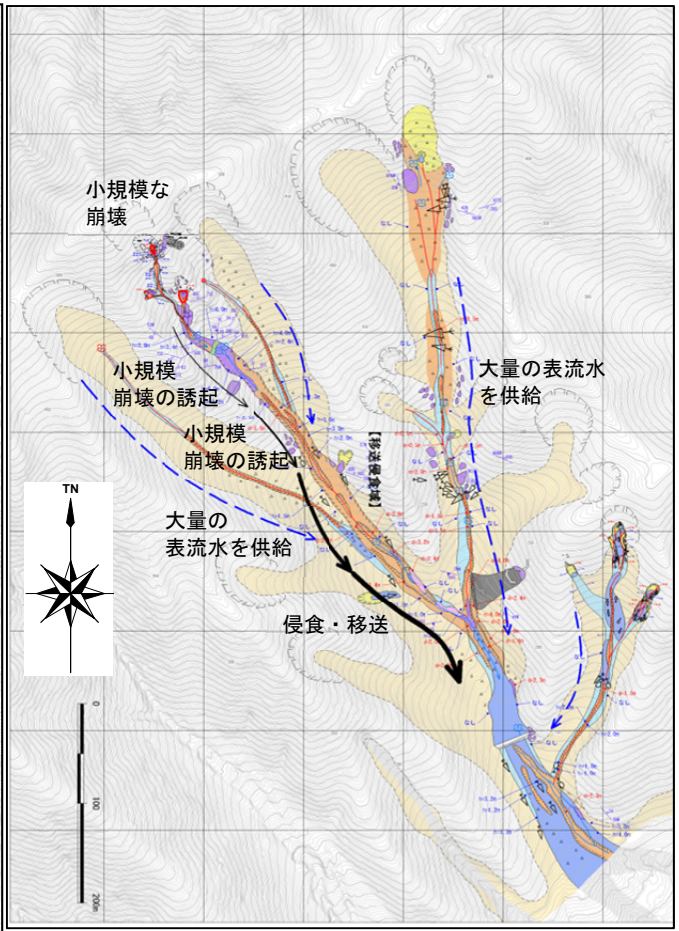


図 4　並列タイプの事例(宇那木山) [1)]



※図 4,5 の地形図は国土交通省太田川河川事務所および朝日航洋株式会社提供の航空レーザー測量データ(H26)を基に作成

図 5　直列タイプの事例(美濃越) [1)]

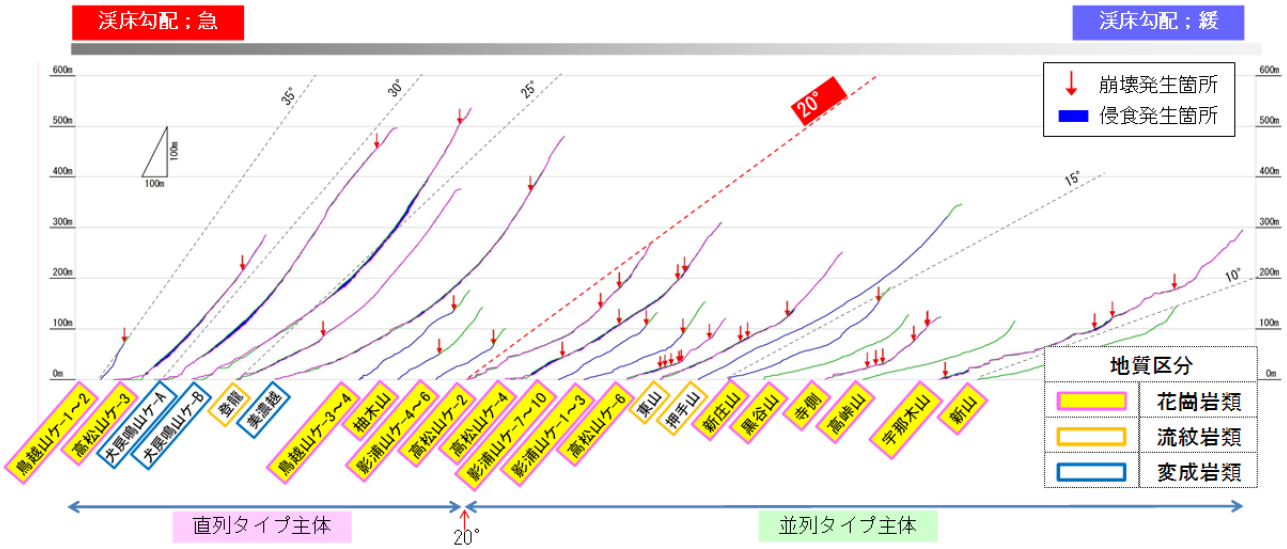
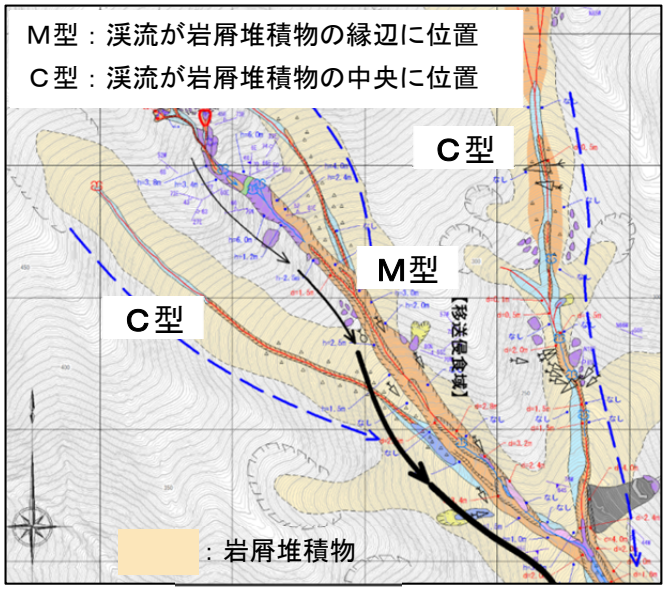


図 6　渓流の縦断線と土石流の成長タイプ [1)]

(3)規模が拡大しない土石流の特徴

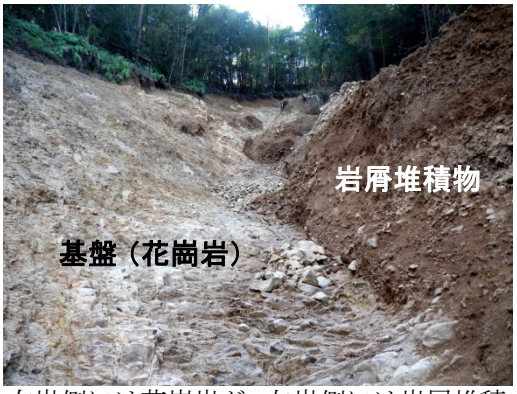
地形・地質踏査を実施した渓流には，0 次谷で発生した単成崩壊–土石流がその下流で土石流の規模が拡大しない渓流がみられた（**図 7**）．土石流化した渓流と土石流化していない渓流には次のような違いが見られた。

土石流が成長する渓流のうち特に直列タイプのものには，土石流が発生する渓流の位置が，岩屑堆積物分布域の輪郭の縁辺部に沿った堆積物/基盤境界である場合が多い（M型：渓流が岩屑堆積物の縁辺に位置）（**写真 2**）．流下域で侵食が拡大する傾向は，基盤が浅く分布する発生域と類似した地盤条件が流下域にも連続するM型のような場合であることが推定される．一方，土石流の規模が成長しないものは，土石流が発生



※地形図は国土交通省太田川河川事務所および朝日航洋株式会社提供の航空レーザー測量データ(H26)を基に作成

図 7　岩屑堆積物と渓流の位置関係の例 [1)]



右岸側には花崗岩が，左岸側には岩屑堆積物が分布しており，土石流の規模が拡大している．

写真 2　M型の渓流での土石流の状況（高松山 3 号地）

崩壊源末端で，表土層が浸食されずに残存．

写真 3　C型の渓流での土石流の状況（高松山 2 号地）

した渓流の位置が，岩屑堆積物分布域の中心に沿った堆積物が最も厚い位置である場合が多い（C型：渓流が岩屑堆積物の中央に位置）（**写真 3**）．崩壊源から流出した土石流は地表を削らずに堆積物が地表を薄く覆い，後続流によるガリー侵食が発達するのみである．

このような違いは，発生場の予測や，対策を考える上で重要な発生特性と思われる．

4.本事例からマネジメントへの活用

本災害で発生した土石流のデータ収集分析結果より，以下のことが推定された．

①時間雨量 100 ミリを超える降雨により，大量の雨水が斜面に流入し，0 次谷の一部の狭い範囲において，溶け出すように表層が崩壊・流出した．

②今回の土石流では，土石流の引き金となった崩壊源の規模は小さいものが多い．

③土石流は渓流を流下する過程で成長し肥大化しており，そのタイプは，支流から崩壊-土石流が付加されて土石流が複合化する「並列タイプ」と，移送域で下流の新たな発生域を誘起し発生域が拡大する「直列タイプ」に大別される．

④並列タイプと直列タイプは，渓床勾配 20° 付近を境界としており，地形が急峻な渓流では直列タイプが，支流の多い緩やかな渓流では並列タイプが卓越する．

⑤土石流化した渓流は，その位置が岩屑堆積物分布域の縁辺部に沿っており，土石流化していない渓流は，その位置が岩屑堆積物分布域の中心に沿っている傾向がみられた．

本災害においては既設治山ダムの有無により土石流氾濫域には明らかな違いが認められている [1)]．復旧・予防計画（施設規模・配置や発生源対策）の検討にあたっては，地質・地形的な災害リスクを考慮した対策方針（**表 4**）を踏まえることにより，施設等による減災の効果をより高めつつ，経済性や対策順位の最適化ができると考えられる．

表 4　土石流の成長タイプに応じた対策方針 [1)]

想定される土石流タイプ	単成崩壊-土石流（C型）	並列タイプ	直列タイプ型
災害規模（今回の災害の場合）	源頭部の崩壊土砂量 ⇒100～150 ㎥ 1単元の流出土砂量 ⇒1,000 ㎥前後	流入土砂量: ⇒1,000 ㎥前後×3～6 箇所 流出土砂量: ⇒7,000～13,000 ㎥	流入土砂量 ⇒1,000 ㎥前後×1 箇所 流出土砂量 ⇒12,000～20,000 ㎥
対策方針案	通常の山腹工（山腹基礎工・山腹緑化工），森林整備，治山ダム工	個々の単成崩壊-土石流に対して山腹工を実施すると共に，治山ダム工により流下域の渓床固定を図ることで流域全体を保全する．	流出土砂量，流体力・衝撃力が極めて大きいことから，渓流部において治山ダムを階段状に配置することが必要． 勾配が急であることから複数の施設を要し，事業規模は大きくなる．

参考文献

1) 林野庁近畿中国森林管理局・広島県（2015）：8 月 19 日からの大雨による広島市における山地災害対策検討会検討結果とりまとめについて，http://www.rinya.maff. go.jp/kinki/press/tisan/150210.html，参照 2015-02-10　ほか「8 月 19 日からの大雨による広島市における山地災害対策検討会」検討会資料

2) 高木哲一，水野清秀（1999）：海田市地域の地質，地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅 / 地質調査所[編]

3) 国土地理院 HP：平成 26 年(2014 年)8 月豪雨による被害状況に関する情報，http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h26-0816heavyrain-index.html

［論文 No.10 ］地質リスクマネジメントを活用したグラウンドアンカー工の維持管理手法の取り組み

○㈱相愛　常川　善弘
㈱相愛　弘田　朋志
㈱相愛　東　豊一
㈱相愛　谷崎　優也
㈱相愛　市橋　義治

1. はじめに

土工構造物の一つであるグラウンドアンカー工は，斜面安定対策の主要工法として広く利用されており，橋梁やトンネル等と同様に維持管理は重要である.

道路防災点検やストック総点検等の外観目視点検が実施されているが，アンカー工の構造のほとんどが不可視な地中部にあるため目視点検だけでは十分評価できない.これを受けて，2012 年に地盤工学会の「グラウンドアンカー工の設計施工基準，同解説 JGS4101-2012」の改定において，目視点検後の「健全性調査」が追記され，健全性調査の実施により，目視点検では確認できなかった様々な斜面変状や材料損傷事象が確認されている.

以上より，アンカー工の抑止機能は，供用期間中の地震や豪雨等を含め，地盤や地質特性等の経年変化によって様々に変化することが確認されており，アンカー工の機能の低下より斜面が不安定化している場合，道路機能の損失や第三者被害が発生する恐れがある.本発表では，アンカーのり面の維持管理（運用段階）において，地質リスクマネジメントを活用したアンカーのり面の維持管理手法の取り組み事例について報告する.

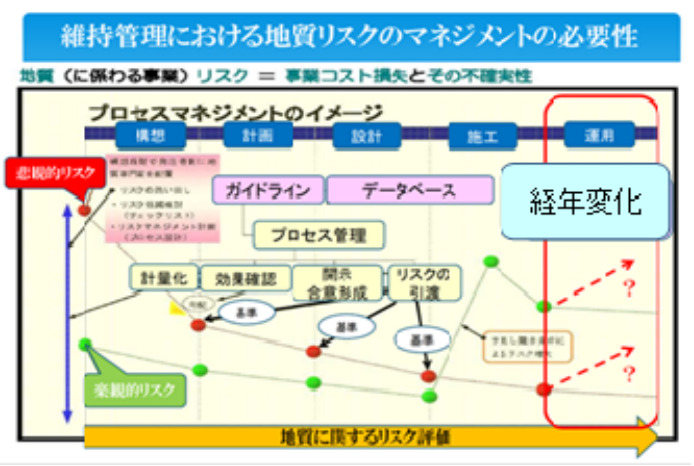


図 1. 地質リスクマネジメントのイメージ(一部加筆)

2. 事例の概要

アンカーのり面の維持管理において，道路機能の損失と第三者被害の観点から，①不安定化履歴（過緊張状態及び荷重増加の可能性）があるのり面と，斜面が不安定化していなくても材料劣化によるリスクとして，②アンカーの飛び出し（特に鋼棒アンカー）と，③頭部コンクリートの剥落，④独立受圧板の落下（アンカー破断後の2次的被害）の発生リスクの有無を点検・調査し整理することが重要である（写真1～4）.

写真-1.道路機能の損失
(崩壊したアンカーのり面)

また，維持管理においては，アンカーのり面の基本情報となる台帳整理作成が必要であり，アンカー施工箇所（保全対象の利用目的や重要度・地形地質的条件），アンカー本数・規格（抑止対象ののり面規模と被災想定規模），調査・設計・施工・維持管理時の既存資料（供用年数，変状履歴の有無や変状機構）の情報の整理を行う.特に，施工前，供用後ののり面変状の有無に関する動態観測（観測位置や経年変化結果）や道路防災点検等の評価情報が重要となる.

写真-2.アンカーの飛び出し

写真-4.独立受圧板の落下

写真-3.頭部コンクリートの剥落

3. 事例分析のシナリオ

3. 事例分析のシナリオ

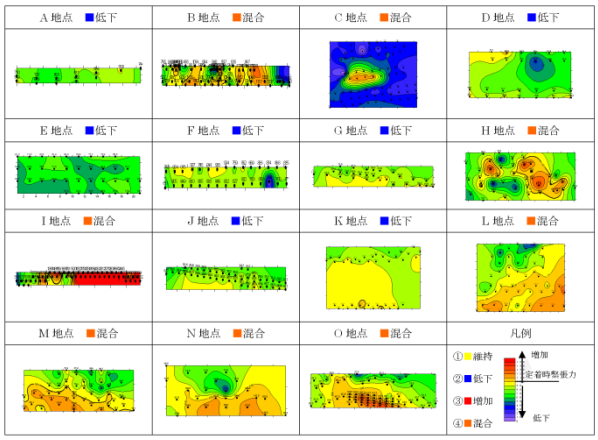


図 2.アンカーのり面の緊張力分布図

道路のり面を対象に検討を行う場合，管轄路線内において複数個所のアンカーのり面が存在し，各のり面の健全性評価に基づく優先順位をつけ，優先順位の高いものから詳細調査を実施し，リスク低減策を実施する流れとなる.特に,供用後のアンカーの抑止機能は，図 2 のアンカーのり面の緊張力分布図に示すように，背面地質や材料劣化等により様々に変化しており，優先順位の評価には，健全性調査を含めた定量的な調査が必要と考える.

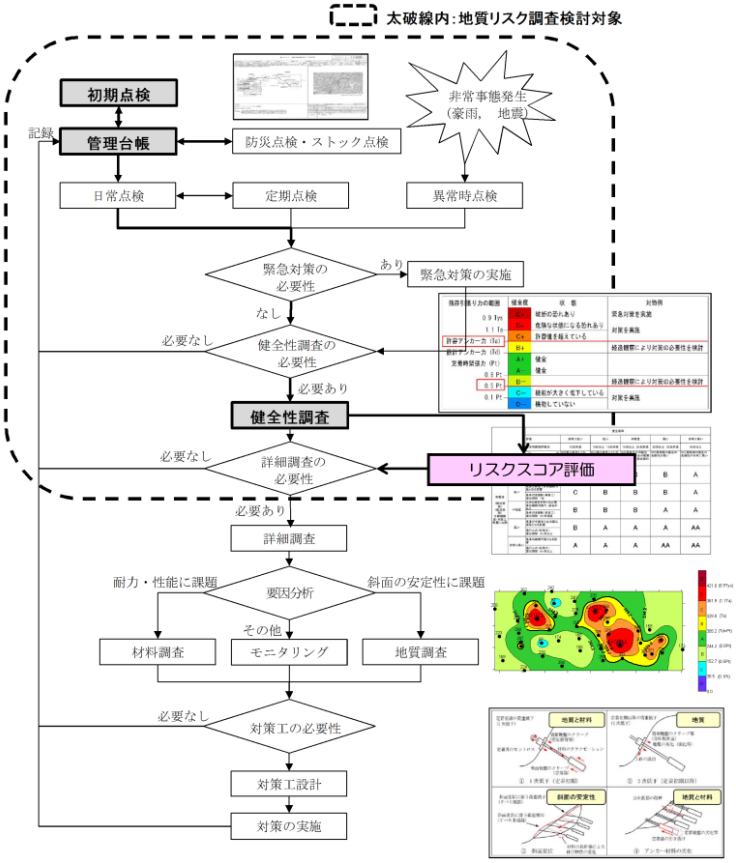


図 3. 地質リスク評価を踏まえた維持管理フロー（案）

事例分析のシナリオとして，旧タイプアンカーの材料に関する劣化のみでなく，アンカーのり面の背面地質の経年劣化を含む引き抜けや緊張力の低下など，様々な地質・地盤に関する抑止機能の低下事例が確認されている.これまで，アンカー材料の劣化を主体とした

維持管理の取り組みがなされていたが，背面地質や斜面の安定性評価の観点からの評価も重要である．以上の事から，既存のアンカーの維持管理フローに，地質リスクにおける「リスクスコア」評価を加味することで，図 3 に調査フローにてアンカーのり面の健全性調査をより効果的に実施し，リスクスコアにて管理対象の優先順位を定性的に評価できると考える．

(1)リスクスコアによるランク付け

地質リスクマネジメントにおいて，事業リスク（リスク発現時の影響度と事業コスト）と不確実性（発生確率）について定性的な評価について，発生確率と影響度を指標とした「リスクスコア」によるランク付けにより評価を行う．

管理台帳作成段階でのリスクスコア評価に必要な情報を付加していく作業と，現地調査での変状状況と健全性調査（リフトオフ試験）結果にて，加点評価方式として，ランク付けを行う（表 1)．

表 1.地質リスクスコアに関する評価項目（案）

既往文献収集・とりまとめ	地形・地質	○	机上・現地踏査
	被災履歴	△	既存資料の有無
	地盤環境(地下水等)	○	
地質解析	地表地質踏査	△	
	航空写真・地形判読	△	LPデータの活用検討
地質リスク素因・誘因の抽出	素因の抽出(既存資料調査)	△	既存の地質調査報告書
	誘因の特定(既存資料調査)	△	既存の地質調査報告書
現地調査	アンカーのり面踏査	◎	
	アンカー健全性調査	◎	頭部詳細点検・リフトオフ試験
地質リスクの発生確率と損失量の定性予測	崩壊想定規模	○	復旧までの対策費
	復旧想定期間	○	復旧までの期間
	発生確率のランク区分設定	○	提案
	損失量のランク区分設定	○	提案
	発生確率予測	○	提案
	リスクスコアによるリスクランク区分	○	提案
	不確実性の評価	△	
	対応策の提示	△	対策に向けた詳細調査の提案
○概略調査、◎詳細調査、●補足調査、△適宜抽出・補足調査			

(1)発生確率

発生確率については，これまでの調査事例を踏まえ，変状履歴と抑止機能度（残存引張り力による健全度区分　表 2）にて，表 3 に示す崩壊の発生確率として評価区分を作成した．

のり面崩壊の発生確率に供用期間を考慮しないのは，既往の調査において，のり面変状が発生する場合（アンカー緊張力の増加）は，供用初期の 5 年以内に発生するケースが多く，供用後 30 年以上のアンカーのり面で，抑止機能が低下（設

表 2. 残存引張り力による健全区分

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	
	B+		経過観察により対策の必要性を検討
設計アンカー力（Td）	A+	健全	
定着時緊張力（Pt）	A−	健全	
0.8 Pt	B−		経過観察により対策の必要性を検討
0.5 Pt	C−	機能が大きく低下している	対策を実施
0.1 Pt	D−	機能していない	

（一部加筆　引用：地盤工学会，グラウンドアンカー設計・施工基準同解説 JGS4101-2012p206）

計アンカーの 50%以下）しているケースでもアンカー緊張力の増加が見られない場合は，長期に安定していることが確認されている理由による．

したがって，のり面崩壊の発生確率について，踏査でのクラック等の変状確認や健全性調査でのアンカー荷重の増加（特に許容アンカー力の 1.1 倍以上）しているケースは，発生確率が高いと判定する．

一方,抑止機能が低下(設計アンカーの 50%程度以下）するが，荷重増加履歴や斜面変状が見られないケースは，現状において安定していると判定され，相対的に発生確率が低い評価とする．

ただし，動態観測等にて変状履歴がある場合や，旧タイプアンカーを含めアンカー材料の劣化・損傷等の進行が見られる場合は，斜面の不安定化および第三者被害の防止の両面からリスクスコアに評価を反映させた．

表 3.発生確率に関するリスク評価（案）

項目		点数	備考
健全度区分	E+	10	残存引張り力Pe＞0.9Tys
	D+	5	0.9Tys≧Pe＞1.1Ta
	C+	3	1.1Ta≧Pe＞許容アンカー力Ta
	B+	2	Ta＞Pe≧Td
	A+	1	設計アンカー力Td≧Pe＞定着時緊張力Pt
	A−	0	Pt≧Pe＞0.8Pt
	B−	2	0.8Pt≧Pe＞0.5Pt
	C−	3	0.5Pt≧Pe＞0.1Pt
	D−	4	0.1Pt≧Pe
防災点検結果	要対策	5	
	カルテ対応	2	
	対策必要なし	0	
被災・変状履歴	被災あり	5	施工前(既存資料調査)
	変状あり	5	施工後(健全度区分 A+～E+は加点)
	進行性あり	5	モニタリング等で確認できる場合は加点
	安定評価	-20	供用後、動態観測で安定評価された場合
地形・地質	劣化しやすい	3	第三紀(泥岩・シルト岩)・結晶片岩・その他
	断層・破砕帯	3	机上調査等
	切土勾配	3	標準切土勾配より急勾配
	湧水・地下水あり	2	のり面踏査
材料損傷の有無	旧タイプアンカー	3	
	5%未満	3	
	5%以上	5	

(2)影響度

地質リスクにおける影響度は，のり面崩壊による被災時から復旧までの「復旧工事費」と「復旧期間」および復旧工事区間の「通行規制の条件」として評価する．

影響度は,アンカー対策範囲(対策ブロック，アンカー本数等）を基本とした崩壊規模（土量等）想定とするが，崩壊パターン（図 2）によって，復旧までの影響度は異なる．既存資料や現地踏査結果を加味して崩壊パターンの想定区分を行うことになるが，詳細については，管理者による防災計画内容を反映し協議により影響度の評価区分を決定するものとする．

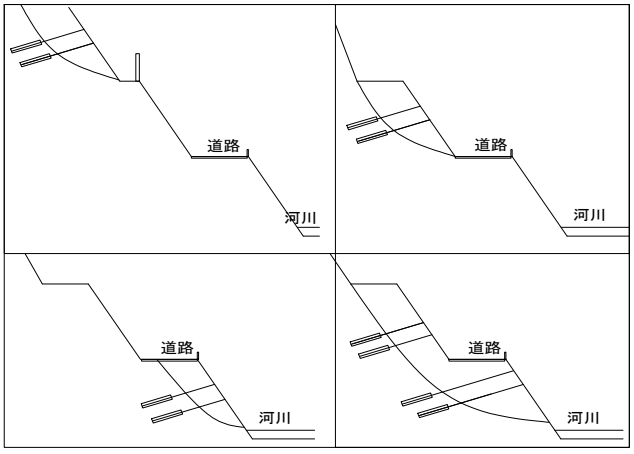


図 2.アンカーのり面の崩壊パターン（例）

(3)リスクスコア

上記の発生確率と影響度を 5 段階評価に区分したリスクスコア(案)を表 4 に示し、表 5 に，7 地点でのシュミレーションでの評価結果を示す．

尚，リスクスコアの影響度において，まず，復旧工事に関するコスト評価を基本とする

表 4.アンカーのり面の地質リスクにおけるリスクスコア（案）

		発生確率（健全性評価）						備　考
		評価	非常に低い	低い	中程度	高い	非常に高い	
		健全性調査評価点	10点未満	10点以上　15点未満	15点以上　25点未満	25点以上　30点未満	30点以上	
		評価＼評価	のり面は安定しており、定期点検の継続	のり面は安定しているが、変状の可能性があり、定期点検の継続	のり面変状の可能性はあるが、安全の範囲内にあり、定期点検の継続	のり面崩壊の発生の危険性が高い	のり面崩壊の発生の危険性が非常に高い	
影響度（事業費） （被災規模） （復旧期間） ※詳細調査・対策工事費に比例	非常に低い	事業の継続に影響を与えない 規制なし（異常無し） 復旧期間　0日	C	C	C	B	A	迂回路による評価は、別途、加味して総合評価する。
	低い	軽微な修復で事業継続可能となる影響 条件付き規制（補修工） 復旧期間　7日	C	C	B	B	A	
	中程度	大きな損失を受けるが事業は継続可能で、遅延がある 条件付き規制（対策工） 復旧期間　3ヶ月程度	B	B	B	A	A	
	高い	事業が中断または大幅な遅延となる影響 通行止め（対策工） 復旧期間　3ヶ月以上	B	A	A	AA	AA	
	非常に高い	事業の継続不能となる影響 通行止め（対策工） 復旧期間　6ヶ月以上	A	A	A	AA	AA	
	AA：リスクを回避することが望ましい事象							
	A：詳細な地質調査を実施して、完全なリスク低減対策を講じるべき事象							
	B：動態観測や材料評価等の補足調査を行い、調査結果に応じたリスク低減対策を講じるべきリスク事象							
	C：リスク回避や低減対策を必要とせず、継続して維持管理段階でのリスクを留保することが可能な事象。							

為，迂回路の有無による通行条件は加味していない.このため，防災対策の観点から重要対策のり面の優先順の評価は，リスクスコアによる評価後に，迂回路による通行条件を別途加味して，総合的な最終評価とする流れになる.

表 5　地質リスクスコア評価結果一覧（7 地点）

	調査項目＼調査地点		A地点	B地点	C地点	D地点	E地点	F地点	G地点
発生確率	健全度区分	E+	10						
		D+							
		C+							
		B+						2	
		A+							
		A−			0				
		B−				2	2		
		C−		3					
		D−							4
	防災点検結果	要対策	5						
		カルテ対応							
		対策必要なし		0	0	0	0	0	0
	被災・変状履歴	被災あり	5	5				5	5
		変状あり	5						
		安定評価		−20					
	地形地質	劣化しやすい	3	3	3		2	3	3
		断層・破砕帯		2	2	2			
		湧水・地下水あり	2	3	3				3
	材料損傷の有無	旧タイプアンカー	3	3			3		
		5%未満	3						3
		5%以上							
	発生確率評価		36	−1	8	4	7	10	18
	評価		非常に高い	非常に低い	非常に低い	非常に低い	非常に低い	低い	中程度
影響度	崩壊想定規模		条件付	条件付	通行止	通行止	通行止	条件付	通行止
	復旧想定期間		3ヶ月	1ヶ月	3ヶ月	3ヶ月	3ヶ月	7日	6ヶ月
	評価		中程度	中程度	高い	高い	高い	低い	非常に高い
リスクスコア			A	B	B	B	B	B	A

4.マネジメントの効果

マネジメントの効果の評価について，これまでの事例を踏まえた調査路線の管理対象 7 箇所のアンカーのり面シュミレーションの段階の為，詳細の評価はできていないが，基本的には，維持管理段階による定期的な調査の特性から，リスクを回避した事例の A 型または，リスクを最小限に回避した事例 C 型での評価となると考える.（なお，維持管理調査後の地質リスク事象が発生した場合は，B 型，C 型での評価で対応可能と考える。）

被災想定額および地質リスク検討調査後のリスク対策費はまだ，算出できていいないため費用対効果については未定であるが，被災想定を考えれば積極的な維持管理調査及び地質リスク検討での効果は期待できると考える。

表 1　マネジメント効果（概算費）

リスクマネジメントの効果	費用(③－①-②)	被災想定額-維持管理調査費-リスク対策費
	工期	－
	その他	－

5.データ様式の提案

シュミレーションの段階の為，今回，データ様式の作成まで実施できていないが，通常の A 型：地質リスクを回避した事例または，C 型：地質リスクを最小限に回避した事例のデータ様式で対応可能と考えている.尚，最終的な路線単位での評価を考える場合は，個別のり面ごとでの様式を取りまとめた総合評価の様式になると考えるが，今後の取り組みとしたい.

6.おわりに

アンカーのり面の斜面安定性評価において，地質の経年変化に関する事例は様々で，変状ブロックの拡大等，アンカー対策工範囲内だけの限定的なものではないため，運用段階（維持管理段階）における定期的な維持管理調査は重要である.

また，運用期における地質情報の管理においてもデータベース化に向けたカルテの作成をはじめ，地質情報の量・質を含め効果的な管理手法や管理技術の取り組みが始まっており，道路防災点検等との様々な維持管理情報を有効に活用していく必要がある。

グラウンドアンカー工をはじめ補強土工法や補強土壁工法などを切土，盛土などの維持管理を必要とする土工構造物は多くあり，地質リスクマネジメントの観点からも，より効果的で安全な維持管理評価手法および維持管理の普及に向けて，今後も取り組んでいきたいと考える.

＜参考文献＞

1)（社）全国地質調査業協会連合会：「地質リスク調査検討業務発注ガイド」
2)（社）地盤工学会;「グラウンドアンカー設計・施工基準同解説 JGS-4101-2012」, 2012.5
3)（社）日本道路協会；道路土工「切土工・斜面安定工指針」, 2009.6
切土工・斜面安定工指針」, 2009.6

地質リスク学会　事務局
NPO 地質情報整備活用機構　事務局内
〒101-0047　東京都千代田区内神田１－５－１３　内神田ＴＫビル３Ｆ　３０１号室

(社)全国地質調査業協会連合会　事務局
〒101-0047　東京都千代田区内神田１－５－１３　内神田ＴＫビル３Ｆ　３０２号室
電話：０３－３５１８－８８７３　FAX：０３－３５１８－８８７６