

第13回

地質リスクマネジメント 事例研究発表会 講演論文集



令和4年11月4日（金）

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

(表紙写真説明)

2022年3月16日に発生したマグニチュード7.4の令和4年福島県沖地震では宮城県や福島県で最大震度6強の揺れが観測された。この地震により福島県北部の阿武隈川にかかる道路橋の損傷、福島と宮城の県境付近では東北新幹線の高架橋の損傷また新幹線の脱線が生じた。その後、東北新幹線の全線再開通には29日間を要した。モノクロ写真は宮城県白石市での新幹線の脱線した場所での復旧工事状況を示し、一部の電柱被害も見る事ができる。カラー写真は福島県国見町の新幹線架道橋の柱の基部が破壊した部分の補修状況を示している。この2か所は、福島・宮城県境の国見峠の山地から北の白石分盆地内及び南の伊達盆地内に位置しており、山地と盆地の境界部に近い。高架橋の損傷した場所と地質・地盤のとの関連がないかは興味もたれる。この令和4年福島県沖地震の被害の評価から、国土交通省は新幹線高架橋の耐震補強工事の前倒しを要請したが、今後、高架橋の耐震補強が進むことで、日本の重要なインフラである新幹線の地震に対するリスクが低減されることが期待される。

(地質リスク学会 副会長 小笠原正継)

はじめに 地質リスクマネジメントの将来

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。これもひとえに、投稿・発表して頂いた皆さまの勇気とご努力、会員の皆さまのご支援の賜物であると、心から感謝申し上げる次第です。

皆さまのご努力のおかげで、地質リスクという用語は徐々に浸透し、市民権を獲得しつつあります。ただし今、業界は、少子高齢化の急速な進展という環境の激変に直面し、人材継承・人材不足の問題が深刻化しています。この体制で、厳しい予算制約の下、「凶暴化」している自然に対応することが本当に可能なのか、不安に感じている方も少なくないのではないのでしょうか。

2019年に改正された公共工事の品質確保の促進に関する法律（品確法）では、「施工技術及び調査等に関する技術の維持向上が図られ、並びにそれらを有する者等が公共工事の品質確保の担い手として中長期的に育成され、…」と述べられています。「担い手の（中長期的）育成」が最重要課題の一つであると考えられます。

その基本要件の一つとして、筆者には、公共調達におけるくじ引き落札の低減が急務であると思われまふ。落札者がくじ引きで決定されるということは、発注者が入札者に対して、「皆さんのこれまでの活動成果、及び、当該事業の調査・マネジメント計画の優劣は、受注には関係ありませんよ」と言っているようにさえ聞こえます。この状況で、「地質リスクマネジメントは、国民の生命と財産を守る建設事業の根幹を創造するやりがいのある仕事。是非、この分野で自分を活かして働きたい！」と思う意欲的な若者を惹きつけることができるでしょうか。筆者は、そのような若者に、「新3Kの中の『希望』なんて、所詮、口先だけじゃん！」とそっぽを向かれてしまうことを危惧しています。

「価格と品質で総合的に優れた調達」という改正品確法の目的の実現が、やりがいを求める意欲的な若者に希望を与えることにつながると思います。現時点で、改正品確法の目的が必ずしも十分に浸透していない一因には、新型コロナウイルス感染症の影響があると思います。建設業も、コロナ・ポストコロナ・with コロナに対応することに精一杯で、その他のことに取り組む余裕はありませんでした。しかし、世の中は、漸く「日常」を取り戻しつつあります。今この時が、改正品確法実現の真の開始時期と言えるのかもしれません。

そのためには、地質技術顧問・GRE が、発注者の側に立って十分な活動が出来るかが、決定的に重要であると思ひます。地質技術顧問・GRE が活躍する「背中」を見て、若手技術者が育ち、やがて、先輩の後を継いでいく—そんな好循環が生まれ、機能している将来を夢見ながら、今回、以下の原稿を作成・提出させて頂きました。

建設関連業務公共調達に関する一考察

1. 背景と目的

地方自治体が発注する建設関連業務では、プロポーザル方式・総合評価方式による発注が少なく、価格競争で落札者が決定される場合が多い。この調達方式の問題は、様々な所で指摘されている。木下は、「一部の地方公共団体においては、価格競争の結果、下限価格に複数の建設コンサルタントの入札価格が張り付いてくじ引きによって落札者を定める事態が生じている。目先の安値を求めて結果として後世につけを回してしまうことになりかねない。」¹⁾と、くじ引き問題を重視する。その上で、「価格競争による弊害は、土木や建築に関する技術業務にとどまらず、書類作成や登録業務、車両運行管理業務、警備業務といったさまざまな専門知識や習熟を要する役務全般についてもいえることである。役務を安易に価格競争により調達することによって業務の質の低下など、さまざまな問題が生じている。役務の調達について品質重視の受注者選定方式の適用を拡大する必要がある。」¹⁾と主張する。

業界においても、「地域において地質調査業務の低入札が繰り返され、業界全体が疲弊し、担い手の確保もままならなくなるといった悪循環は根絶する必要がある。」²⁾との主張がなされている。

日本では、工事の公共調達方式に関して数多くの調査研究が実施されてきた。それらの知見に基づき、実際の調達方式が設計され、適宜更新されてきた。一方、建設関連業務の公共調達方式に関する調査研究は、極めて限定的にしか実施されてこなかった。

本稿では、主に地質調査関連業務の公共調達方式、特にくじ引き落札の問題に焦点を当てた予備的考察を行う。

第2章では建設関連業務公共調達での価格競争方式の問題に関する予備的考察を行う。第3章では発注者と入札者のリスク認知と相互関係を分析することによって、問題の根本的発生原因を明らかにする。第4章では第2、3章の考察・検討結果に基づいて、改善策を提案する。

2. 価格競争方式の問題の予備的考察

(1) 問題の一例

建設関連業務公共調達における価格競争には、少なくとも四つの問題があると考えられる。第一に、「正直者が馬鹿を見る」可能性が少ないことである。その結果として、事業執行の有効性と効率性が損なわれる可能性が存在することである。第二に、多くの応札額が最低制限価格に集中して、くじ引き落札の割合が高まることである。第三に、受注調整行為を誘発し、社会的公正が損なわれる可能性が存在することである。仮に、このような調整行為が存在し、それが公知の事実となった場合は、甚大な損害を地域の社会経済にもたらす危険性がある。第四に、建設関連業務従事者のやりがい向上が阻害される可能性が存在することである。

次節では、各問題について詳述する。

(2) 第一の問題

工事の場合は、工法・現場作業の工夫等によって、作業の時間・人員を低減できる場合が少なくない。建設関連業務の場合も、応札者が高い技術力を有している場合、或いは、現場条件に精通している場合は、そうではない者と比較して、業務を効率的に実施することが可能である。ただし、例えば、現場条件が事前に十分に把握されていない現場、或いは、条件（例えば地質）の不確実性が大きい現場において、標準的な調査・設計に基づいて施工を実施した場合、施工の途中で「想定外の」事象に遭遇し、大幅な工事費の増大、工期の遅延というリスクに直面することを余儀なくされる場合もある。これらの場合は、適切な事前の調査・検討が必要である。

ただし現実には、適切な事前の調査・検討が実施されるとは限らない。まず、これらの事前の調査・検討が、標準的な積算項目に含まれていない場合、これらを含めた応札は、予定価格を超過するため失格となる可能性が高い。また、発注者がこれらの事前の調査・検討費用を予定価格に含めたとしても、入札の競争相手が、これらの調査・検討を不要と「判断」し、応札額に含めない場合もある。この状況では、これらの調査・検討業務を含めた応札者が落札する確率はゼロとなる。このように、価格競争入札では、応札者が地質リスクに真剣に向き合った結果、その事前対策費用を計上しても、落札することが著しく困難となる可能性が高い。現行の制度は、「正直者が馬鹿を見る」可能性を生み出す執行制度であると考えられる。

現行方式は応札者に影響を与えるだけではない。発注者、並びに、納税者と事業の受益者にも影響を及ぼす。

残念ながら、日本の公共発注者組織では、地質の専門家は極めて限定的にしか存在しない。このことは、多くの発注者は、地質調査業務の成果品の良し悪しを必ずしも正確に判断できないことを示唆している。仮に「粗悪な」成果品が納入された場合、問題は施工時に顕在化することが少なくない。不可逆的な損害が発生する場合も有る。最善ではない対策が実施された場合、問題解決策に莫大な費用を要する。これは、事業の効率性を損なう。

(3) 第二の問題

価格以外に競争する余地が無いのであれば、応札者が受注の可能性を求めて、最低制限価格を予測し、その額で応札することは、合理的な対応の一つと言える。その結果、応札額が最低制限価格に集中し、落札者をくじ引きで決定するようになるのは当然の帰結であると言える。

二宮と渡邊³⁾は、数値シミュレーションモデルを構築して、工事発注において落札者が全てくじ引きで決定される状況を分析した。その結果、くじ引き入札の繰り返しは、「くじ運」まかせの不安定経営を余儀なくするだけでなく、不誠実な業者を排除できない危険性を有していることを示した。ここでも、「正直者」の業者は「選別」・淘汰される危険性が存在するのである。

(4) 第三の問題

現行方式の下では、経営リスクを十分に低減するための方法は、極めて限定されていると

考えられる。受注調整行為は、その有力な手法の一つになり得る。言い換えると、現行の価格競争制度は、受注調整という反社会的行為を誘発・招来する危険性を絶えず含んでいることを示唆していると考えられる。

受注調整、所謂、談合は、建設業界の文化の一つとして、実施されてきた。右肩上がりの時代、社会基盤施設の絶対量が不足し、大量の建設が求められていた時代には、指名競争と予定価格制度と相まって、効率的な慣習であったとの見解も存在する。しかし、世の流れは大きく変わり、また建設業界も工事に関しては、入札行動に大きな変化が見られている。その中で、近年、脱談合をさらに促進させる法改正が行われた。令和元年の独占禁止法改正であり、具体的には、課徴金算定方法の改訂である。それまでは、摘発後3年前迄遡った収入の合計に基づいて課徴金の額を定めていた方法を、10年前迄遡るよう改訂された⁴⁾。課徴金が過去10年間の収入に基づいて算定され課金される制度下では、違反行為が摘発され多大な罰則が科されることに伴う経営リスクは極めて大きいと言える。

ここで、経営者の中には心理的ジレンマに陥っている方も少なくないように思われる。経営安定化のために「談合」は、「喉から手が出るほど」手にしたい対策と捉えられている可能性もある。しかし、違反行為が摘発された場合、それは会社に不可逆的損害をもたらす危険性が高い。改正独占禁止法とくじ引き落札を容認する現行の調達制度は、必ずしも互いに整合していないと考えられる。

(5) 第四の問題

このような状況は、優秀な人材を求める上で、大きな障害となると考えられる。落札者がくじ引きで決定される場合、民間技術者がどのような努力を行っても、それが報われることは少ない。このような状況において、働くことへのモチベーションを高め・維持することは、難しいと考えられるからである。

1983年に発刊された Machungwa と Schmit が行った「Work Motivation in a Developing Country」という研究論文がある⁵⁾。これは、ザンビアの五つの職種における341名の労働者のモチベーションについて調査・分析したものである。ここで、注目すべきは、「動機づけられる出来事とは」に対する回答である。その第一位と二位には、

- ① A lot of work or difficult work (not too much or too difficult)
- ② Work itself (interesting, challenging, important, has variety)

が挙げられている。

ベトナムの建設技能者を対象に行った調査では、技能者の制御された動機づけ(controlled motivation)に加えて、自律的動機づけ(autonomous motivation)も、労働生産性に有意に影響するとの結果が得られている⁶⁾。

発展途上国では、制御された動機づけ(お金等)が自律的動機づけよりも重要であるとの「常識」が未だに存在するように思われる。しかし、上で示した研究は、面白い、挑戦的である、重要である等の自律的な動機づけも重要であることを示している。これらの項目は、国の経済発展の水準にかかわらず、人間に共通した動機づけ要因の一つであるように思われる。

落札者がくじ引きで決定される状況では、人間に共通した動機づけ要因が不充分となることが危惧される。事実、日本の業界の職員の離職率は決して低くなく、人材確保に苦労しているとの声も聞かれる。この状況を打開するため、最近では、外国人技術者を採用する会社も出てきている。しかし、この状況は、業界の新たなスローガンとして掲げられている「新3K」に大きく乖離している状況ように思われるのである。

3. 発注者と入札者のリスク認知と相互関係

問題の根本原因を明らかにするためには、原因と結果との関係を明らかにする必要がある。各主体は、それぞれ目的を持って行動しているが、目的達成を阻害する不確かさが常に発生する。したがって、不確かさの発生原因を明らかにし、その対応策の妥当性を検証することが有益である。ISO31000では、リスクは「目的に対する不確かさの影響」と定義されている。そこで、発注者と入札者の入札時におけるリスク認知（目的、不確かさ、リスク、対策）、結果、及び、それらの相互関連性を図-1に示した。

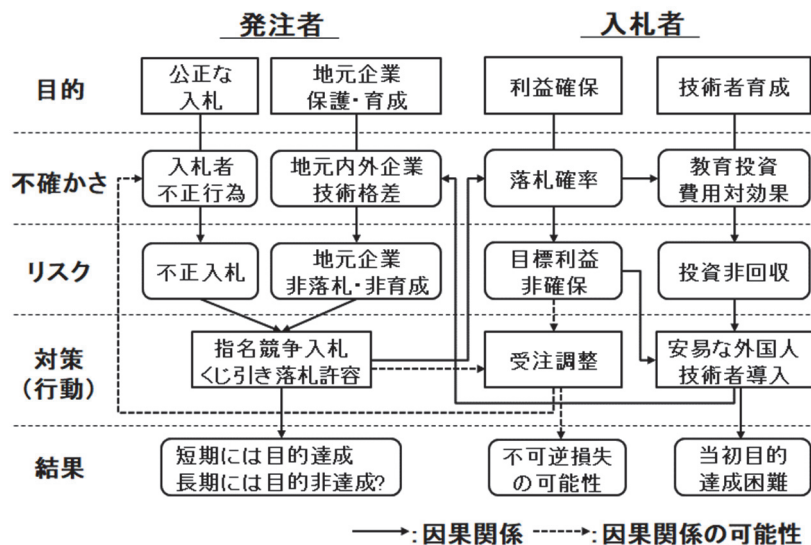


図-1 発注者と入札者のリスク認知・結果と相互関連性

多くの発注者にとって、主な目的の一つは、公正な入札の実施と地元企業の保護・育成であると考えられる。ここで、不確かさとしては、入札者が不正行為を行う可能性が挙げられる。また、県外業者も参加可能である一般競争入札+総合評価方式を採用した場合、高い企業評価点と技術者評価点を持つ県外企業が応札する可能性も、発注者にとっての不確かさになると考えられる。その結果、不正入札と地元企業が落札できないという状況が、発注者が認知するリスクとなる。これらのリスクへの対応策として採用される対策が、業者を指名し価格を競わせる入札方式である。発注者は、この入札方式を、二つのリスクを当座回避する対策として実施していることが少なくないと思われる。地元企業のみを指名すれば、非地元企業の落札を回避することができる。また、落札者を価格のみ、同額の場合にくじ引きで決定すれば、発注者の恣意は入ることが無く、公正な入札が担保されるからである。こ

の方式の採用によって、発注者は、当初目的を達成したと理解していると思われる。

入札者の中には、利益確保の他に技術者育成という目的を持っている者が多いと考えられる。しかし、発注者のリスク対応策は、入札者に負の影響を与えると考えられる。まず、くじ引き落札に「参加」する入札者が増えるほど、落札確率は低下する、すなわち、受注の不確かさは増大する。これは、目標利益が確保できないというリスクを増大させることになる。また、受注の不確かさの増大は、教育投資の費用対効果の不確かさも増大させると考えられる。業務を受注できなければ、実践教育の場が得られないからである。これは、教育投資が回収できないリスクを生み出すことになる。

目標利益非確保リスクの有力な低減策の一つが、受注調整であると考えられる。ここで、以下の二点に留意すべきである。第一に、公共調達関係者は、「指名は談合の温床」という社会的批判が繰り返しなされてきたことを忘れるべきではない。「指名競争入札であっても、くじ引き落札の割合は高いので、入札の公正さは担保されている」との理解は、現象・問題の本質を必ずしも正確に捉えていない危険性があると考えられる。第二に、言うまでもなく、受注調整は「諸刃の剣」である。この行為は、公正な入札という発注者の目的達成を阻害する。独占禁止法改正によって、会社にも、発覚した場合、不可逆的損失をもたらす可能性が高い。

技術者不足リスクへの窮余の策が、外国人技術者の導入である。ここで、重要な点は、外国人技術者を、決して安価な代替技術者として見てはいけないということである。言葉も文化も異なる外国人技術者を育成するためには、日本人技術者よりも多大な時間と労力が必要となる可能性もある。この点を軽視して外国人技術者を導入しても、技術者育成との当初目標は達成されず、地元企業の保護・育成という発注者の目的も水泡に帰してしまうと考えられる。最後に強調すべき点は、入札者による受注調整、並びに、安易な外国人技術者導入という行動は、それぞれ、入札者不正行為と地元企業内外技術格差という発注者にとっての不確かさの増大に繋がる危険性があるという点である。

以上を要すると、現行方式の特徴は、発注者の行動によって、入札者の不確かさ、それに伴うリスクが増大していること、入札者がそれらのリスクを回避するために安易な対策を採用すると、発注者の不確かさとリスクが増大する悪循環を生む可能性が存在する点にあると思われる。

4. 制度変革の提案

前述したように、現行制度下では、発注者と入札者の間で、不確かさとリスクが増幅する悪循環が生じる危険性がある。制度変革は、両者が減少する好循環を生み出すものでなければならない。

以下は、地域を支える一民間技術者の感想である。

「国土強靱化のための対策として実施されている調査や点検事業から分かることは、作り続けてきた公共財についてその役割と機能を正しく評価するのは人（技術者）だけということである。」これは、改正品確法において「施工技術及び調査等に関する技術の維持向上が図

られ、並びにそれらを有する者等が公共工事の品質確保の担い手として中長期的に育成され、…」と述べられている「担い手の（中長期的）育成」が最重要課題であることを示している。

この点を意識して、提案した変革制度を図-2 に示す。制度変革の要点は三点ある。第一は、上述の民間技術者の感想に基づいて、発注者の目的を「地元企業の保護・育成」から「技術者の育成」に変更した点である。第二は、その際に生じる「発注者技術力」に関する不確かさ、及びそれに伴う「技術調達困難」というリスクの存在を認め、その低減策として「技術顧問を導入」する点である。現行制度下でも、これらの不確かさとリスクが存在する。にもかかわらず、これらへの対策を採らずに、結果として入札者に「転嫁」したことが、前述した不確かさとリスク増幅の悪循環の根源的一因になっていると考えられる。第三は、地元内外企業の技術格差という不確かさ、それに伴う地元企業非落札・非育成というリスクに対して、発注者が技術顧問・総合評価・プロポーザル方式を導入し、入札者の技術者育成を促すという「リスク共有」対策を採用していることである。

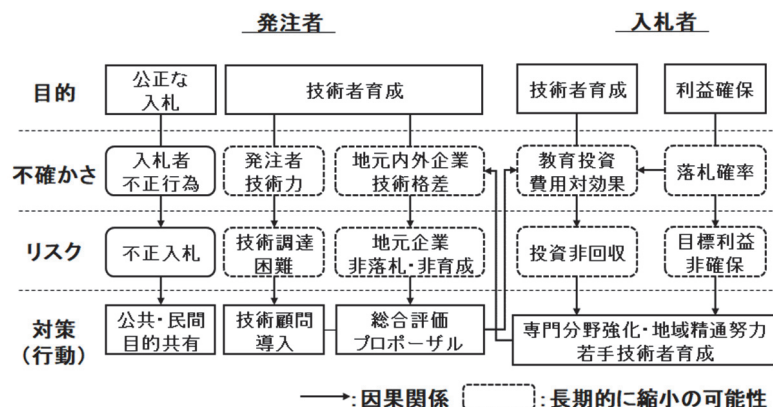


図-2 提案制度下において期待される発注者と入札者のリスク認知と相互関係の一例

特に第三の点は、動機づけと大きく関連する。図-3 は、あるタスクの成功の主観的確率（難易度）と達成動機づけの強さとの関係の一例を示したものである⁷⁾。人の達成動機づけが最も強くなるのは、難しすぎる、或いは、易しすぎるタスクではなく、頑張れば出来る！というタスクを遂行する時である、という主張である。現行制度において、入札者は、くじ運の不確かさに伴う「目標利益非確保」のリスクに直面している。これは、対策の難易度が極めて高いリスクである。（業者は祈ることしか出来ないとと言っても過言ではない。）総合評価・プロポーザル方式を導入する提案制度下においても、落札確率の不確かさに伴う目標利益非確保のリスクが存在するが、これは、専門分野強化等の対策によって低減できる。このリスクは頑張れば対応が可能なリスクであるため、技術者の動機づけ向上につながる可能性がある。このように、リスクと動機づけには密接な関係がある。提案制度では、各主体が最適なリスクを担当し、最適な挑戦を行うことによって、各々の動機付け・やりがいを向上させることができる可能性がある。

以下に具体の施策を提案する。

- ・ 地域政策の中で、地域の担い手となる域内の土木事業者・技術者のあり方について明確な目標（量と質の確保）を立て、それを確実に実現するための施策を実施する。
- ・ 熟練技術者の役割を次世代の技術者の育成と支援とし、管理技術者について若手の起用を優位なものとして評価する入札制度とする。
- ・ 業務成果の評価（評価点の決定等）は第三者評価を交えて実施し、その業務過程の確認（主たる業務の実施が所属技術者により行われていることや、外部事業者への委託内容や割合の確認についても契約書類の確認等により）を建設工事と同様に実施する。
- ・ 技術者（民間会社と公共機関の双方）の育成を産官学で協力し行うため、その機会と場所を大学に設け、共に学び、交流することを奨励する。

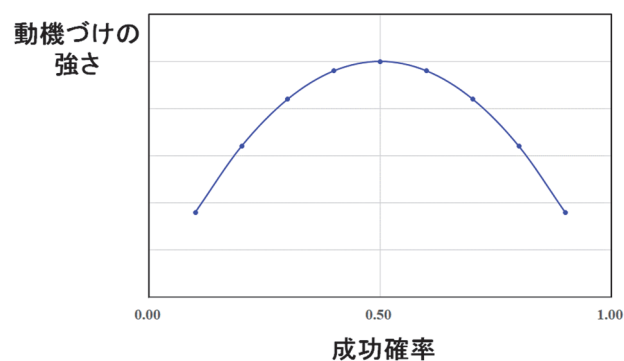


図-3 成功の主観的確率（難易度）と達成動機づけの強さとの関係の一例⁷⁾

（文献7)に基づいて、筆者作成）

5. おわりに

改正品確法の目的が必ずしも十分に浸透していない一因には、新型コロナウイルス感染症の影響があると思われる。建設業も、コロナ・ポストコロナ・with コロナに対応することに精一杯で、その他のことに取り組む余裕はなかったと言える。業界も、漸く「日常」を取り戻しつつある。今この時が、改正品確法実現の真の開始時期と言えるように思われる。

本稿が、ささやかながら、「価格と品質で総合的に優れた調達」という改正品確法の目的実現の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 木下誠也；公共調達解体新書，一般社団法人 経済調査会，2017.
- 2) 一般社団法人 全国地質調査業協会連合会；新たな時代の地質調査業発展ビジョン～2020年代を駆け抜けるための地質調査業の羅針盤～，2022.
- 3) 二宮仁志・渡邊法美；地方における入札・契約システムと建設業の持続可能な経営に関する一考察，土木学会論文集 F4（建設課マネジメント）特集号， Vol. 66, No. 1, pp. 139-146, 2010.
- 4) 公正取引員会 令和元年独占禁止法改正による新制度について（課徴金制度改正編）

https://www.jftc.go.jp/dk/kaisei/r1kaisei/index_files/10katyoukin.pdf

- 5) P. D. Machungwa and N. Schmitt ; Work Motivation in a Developing Country, Journal of Applied Psychology, Vol. 68, No. 1, pp. 31-42, 1983.
- 6) T. V. Nguyen, et. al ; Importance of Autonomous Motivation in Construction Labor Productivity Improvement in Vietnam: A Self-Determination Theory Perspective, Buildings, 12, 763, 2022.
- 7) John W. Atkinson ; Motivational Determinants of Risk-Taking Behavior, Psychological Review, Vol. 64, No. 6, pp. 359-372, 1957.

これまでの皆さまの絶大なるご尽力・ご協力・ご支援に改めて感謝申し上げますとともに、新型コロナウイルスによる感染の収束を願いつつ、皆さまとご家族の方々の益々のご健勝とご多幸を心よりお祈り申し上げます。

ありがとうございました。

令和4年11月4日
地質リスク学会会長 渡邊 法美

第13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

はじめに	i
第I編 プログラム	1
第II編	
招待講演 「シンガポール地下鉄事故の概要について」 折原 敬二 氏 (土木学会地下建設における地盤リスクマネジメント検討部会委員)	3
第III編 事例研究発表会 論文	
論文 No.1 太田史朗 川崎地質 (株) 鳥海山麓の道路施工における埋没谷に堆積した高有機質土への対応事例	17
論文 No.2 杉山幸太郎 国際航業 (株) 道路トンネルにおいて長尺水平ボーリングにより施工時の地質リスクを低減した事例	21
論文 No.3 久野 高明 基礎地盤コンサルタンツ (株) 道路ルート検討段階における地質リスク検討の重要性 ～特に LP データによる微地形解析と衛星 SAR による地盤変動解析に 基づく地質リスク評価について～	27
論文 No.4 仲間 真紀 四国建設コンサルタント (株) トンネル坑口に分布するトップリング性の緩み岩盤への対応	33
論文 No.5 榊原 信夫 川崎地質 (株) 河川護岸工事における地すべりリスク発現と対応事例	38
論文 No.6 利根穂志美 川崎地質 (株) 傾斜地盤における側方流動の発生と対策について	43
論文 No.7 長谷川智史 (株) 日さく 河川小堤施工における地質リスクの発現事例(堤体基礎地盤の崩壊事例)	49
論文 No.8 澁谷 奨 (株) 地圏総合コンサルタント 高規格道路の切土法面において発現した地質リスクと対応事例	55

第 I 編 プログラム

第 13 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

<開催趣旨>

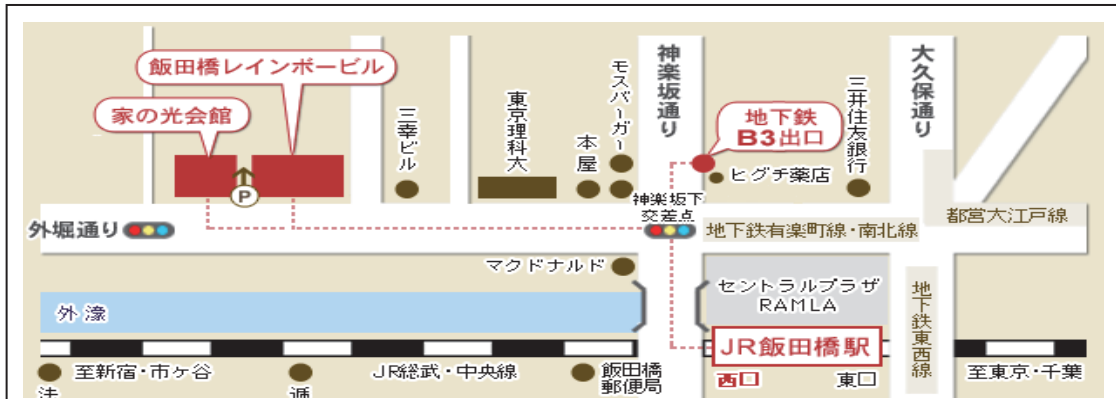
事例研究発表会の主な目的は、建設工事等における地質リスクのマネジメントの実例を紹介し、様々な課題を議論し共有することにあります。

<開催要領>

開催日：令和4年11月4日（金）

開催場所：飯田橋レインボービル 7階「大会議室」

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



<プログラム>

開 場： 12:15

開 会： 12:30～

開会挨拶： 12:35～12:50 渡邊 法美 地質リスク学会 会長 （高知工科大学 教授）

表彰式： 12:50～13:00 事例研究発表会 優秀論文賞授与式

招待講演： 13:00～13:40 「シンガポール地下鉄事故の概要について」

折原 敬二 氏

（土木学会地下建設における地盤リスクマネジメント検討部会委員）

休憩： 13:40～13:50

事例研究発表会： 13:50～16:50 （途中休憩 15分）

閉会挨拶： 16:50 小笠原正継 （地質リスク学会 副会長）

<事例研究発表会について>

(1) 1セッションの基本時間割

*口頭発表時間は、1編当たり15分とする。

発表編数 6編

①	セッション開始挨拶（司会者）	1分程度
②	発表	45分（15分×3編）
③	質疑応答	5分
④	発表	45分（15分×3編）
⑤	質疑応答	5分
⑥	全体質疑応答&まとめ（司会者）	10分
	合計時間	110分

(2) セッション司会者

小笠原正継 （地質リスク学会 副会長）

事例研究論文一覧

論文No	発表者	所属先	題目	発表内容	事例の種類
1	太田史朗	川崎地質 (株)	鳥海山山麓の道路施工における埋没谷に堆積した高有機質土への対応事例	日本海沿岸の高規格道路の計画地には、海岸から一段高い標高20～40mの丘陵地に鳥海山の泥流堆積物、その上位に小規模な沖積層が分布する。構造物箇所での地質調査では、軟弱地盤は層厚1～2mと薄かったものの、地元の方から軟弱地盤の存在を示唆する情報があり、サウンディング調査を追加で実施したところ、場所により層厚5～7mの軟弱層が分布することが判明した。それを受けて、路線全体でサウンディング調査を実施した結果、溺れ谷状の軟弱地盤が随所で確認され、先の箇所も含めて合計7箇所にものぼった。本報告では、施工前に顕在化し	A型
2	杉山幸太郎	国際航業 (株)	道路トンネルにおいて長尺水平ボーリングにより施工時の地質リスクを低減した事例	本事例は、新潟県の朝日温海道路で施工中のトンネル拡幅部において、延長475mの長尺水平ボーリングを実施し、安全側の設計となっていた支保パターンを変更することで、事業コストの縮減と工期短縮に寄与した事例である。従来の地表面からの地質調査手法では推定が困難な地質リスクに対して、新たな解決策と期待される調査手法について紹介する。	A型
3	久野 高明	基礎地盤コンサルタンツ (株)	道路ルート検討段階における地質リスク検討の重要性 ～特にLPデータによる微地形解析と衛星SARによる地盤変動解析に基づく地質リスク評価について～	本稿では、道路ルート検討・中心線決定に必要な地質リスク検討(特に地すべり)を行い、地質リスクの事前回避に寄与した事例を報告する。 事例対象は、計画段階の地域高規格道路である。当該道路予備設計段階において、既往資料収集整理、地表地質踏査、高精度地形データ(LPデータ)による微地形解析、衛星SARによる地盤変動解析等を用いた地質リスク分析・評価を行い、ルート検討に必要な基礎資料とした。	A型
4	仲間 真紀	四国建設コンサルタント (株)	トンネル坑口に分布するトップリング性の緩み岩盤への対応	山岳トンネルの坑口計画箇所には、既往の弾性波探査およびボーリング調査などの結果から、空隙を有する低速度の緩み岩盤領域が分布することが判っていた。この緩み岩盤の地質特性と性状を把握し、適切な坑口設計を行う事を目的として調査提案および緩み岩盤の解析を行った。結果、緩みが著しい箇所を切土により除去し、坑口位置を変更することとして、地質リスクを最小限に回避した。	A型
5	榊原 信夫	川崎地質 (株)	河川護岸工事における地すべりリスク発現と対応事例	河川護岸擁壁工事の掘削の際に、緩傾斜で河川に抜ける地すべりが活動して周辺の家屋等に変状が生じ、地質リスクが発現した事例を報告する。 原因は、地すべり末端部での床掘削削り融雪時の河川増水による河床浸食である。 応急対策で抑え盛土を実施し被害を最小限に抑えた。その後対策工が計画・施工され地すべりは安定し護岸工事も終了した。 事前に、護岸工や河床洗堀等の地すべりリスクを見込んだ安定性照査を行う必要があった。	C型
6	利根 穂志美	川崎地質 (株)	傾斜地盤における側方流動の発生と対策について	本事例は、河川の後背地に建設した築堤兼用道路の盛土設置箇所において、軟弱層が傾斜していることにより、盛土に継続的な変位が生じたため、対策工の検討を行った事例である。変位の要因としては、有機質土の層厚が事前調査時の想定より厚く、「二次圧密」「基盤傾斜に沿った軟弱層の側方流動」「改良体の強度発現不良」などの地質リスクが考えられた。これらに対し、変位を抑制し、堤防や道路機能への影響を軽減するための対策工として地盤改良工法を選定し、これに伴う現地調査及びFEM変形解析の実施により最適な改良範囲や深度を検討した。	C型
7	長谷川智史	(株) 日さく	河川小堤施工における地質リスクの発現事例(堤体基礎地盤の崩壊事例)	河川小堤の施工に伴い、堤体荷重を原因とする小堤の基礎地盤の崩壊が発生した。河川沿いにおける地質構造が当初想定よりも複雑であり、地質構造推定の不確実性が原因と考えられる。本発表では、崩壊発生後の追加調査と対策工の検討を通じて、地質リスクの発現事例として紹介する。	B型
8	澁谷 奨	(株) 地圏総合コンサルタント	高規格道路の切土法面において発現した地質リスクと対応事例	本発表事例は高規格道路の切土法面において、豪雨時に変状(地質リスク)が発現した事例である。地質リスク発現は高規格道路の供用後に発生した。対象法面は流れ盤構造の断層と複数の亀裂を有する地質からなり、雨水が法面内部に浸透して地下水位が急激に上昇したことが地質リスク発現の原因であった。本発表では、発現した地質リスクの評価結果、地質リスク発現後の対応およびマネジメント効果について発表する。	B型

* リスクマネジメント事例の種類は以下の3タイプとなっております。

A型：地質リスクを回避した事例

B型：地質リスクが発現した事例

C型：発現した地質リスクを最小限に回避した事例

第Ⅱ編 招待講演

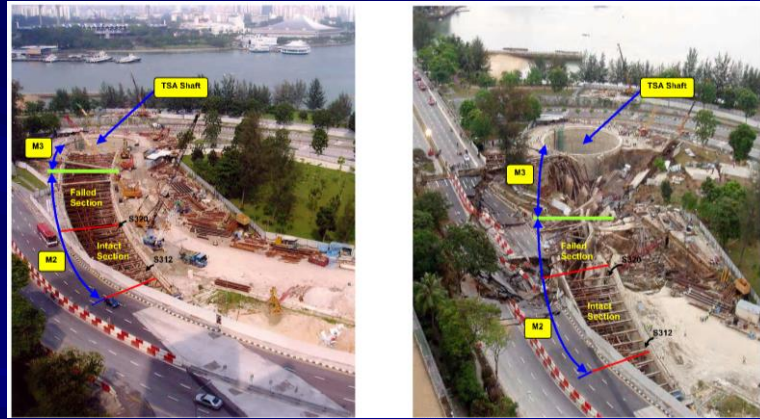
「シンガポール地下鉄事故の概要について」

折原 敬二 氏

(土木学会地下建設における地盤リスクマネジメント検討部会委員)

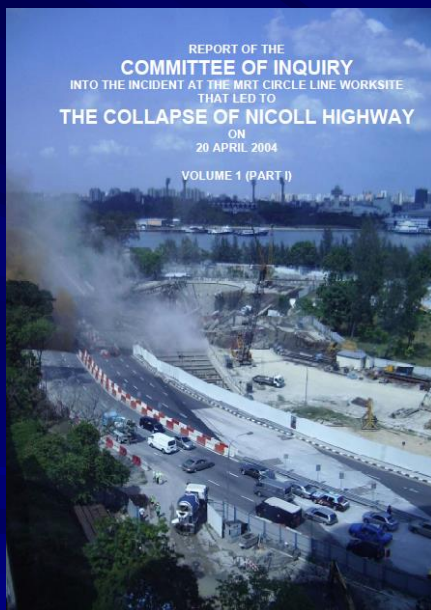
シンガポール地下鉄事故(2004)の概要

1. 事故の概要
2. 事故を教訓とした制度変更(リスク管理)



2022年11月4日 地質リスクマネジメント事例研究発表会
 土木学会地下建設における地盤リスクマネジメント検討部会委員
 基礎地盤コンサルタンツ(株) 折原敬二

事故調査を審議した査問委員会の最終報告書



Report by the Committee of Inquiry into the Incident at the MRT Circle Line Worksite that led to the Collapse of Nicoll Highway on 20 April 2004

TABLE OF CONTENTS

VOLUME 1 (PART I)

Report of the Committee of Inquiry into the Incident at the MRT Circle Line C824 Worksite that led to the Collapse of the Nicoll Highway on 20 April 2004

	Page
Condolences	
Executive Summary	
Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Project Review : Ground Condition and Design Concepts	16
Chapter 3 Events leading up to the Collapse	36
Chapter 4 The Collapse	65
Chapter 5 Causes and Findings of the Collapse	88
Chapter 6 Criminal Liability	177
Chapter 7 Safety	238
Chapter 8 Lessons, Recommendations and Observations	290
Annex A The Committee of Inquiry	339
Annex B The Regulatory Framework	347
Annex C The Contractual and Tendering Process	364
Annex D Jet Grout Piles (JGP)	369
Acknowledgements	383
Glossary	386

査問委員会 (2004年8月2日～2005年1月17日)

■ 審議官 3人 (裁判官 / 地盤工学専門大学教授 / 構造力学専門技術者)

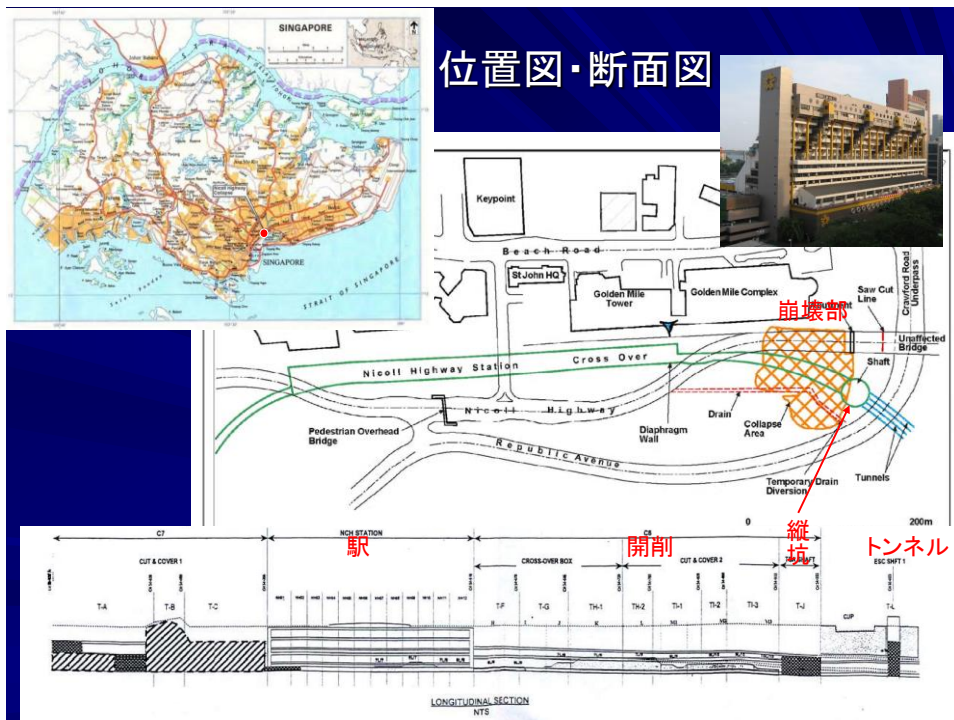
■ 関与団体

- 発注者 (LTA)
- 保険会社
- 労働管理局
- 施工会社
- 設計会社
- 下請会社
- 個人 (工事のPE)
- 遺族

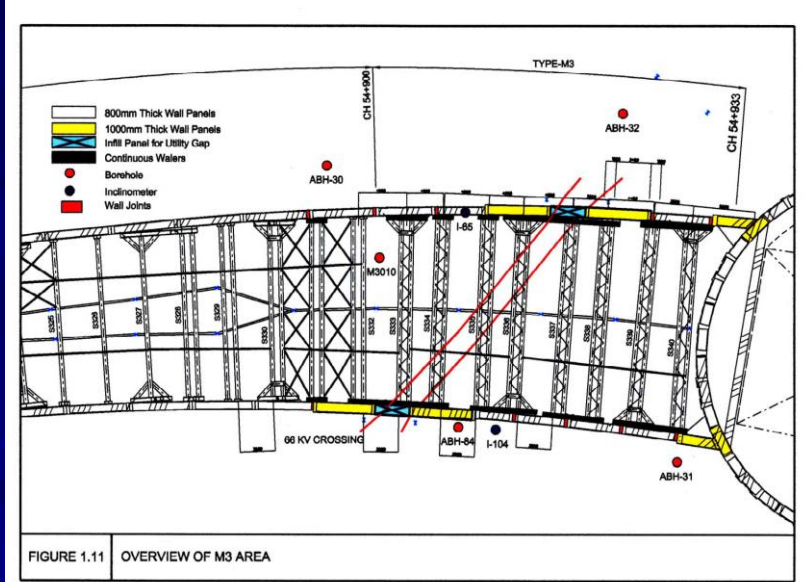
それぞれに弁護士と地盤工学などの専門家 (Expert Witness) がつく

査問委員会最終報告書
労働大臣宛
2005年5月10日提出

■ 証人 166人



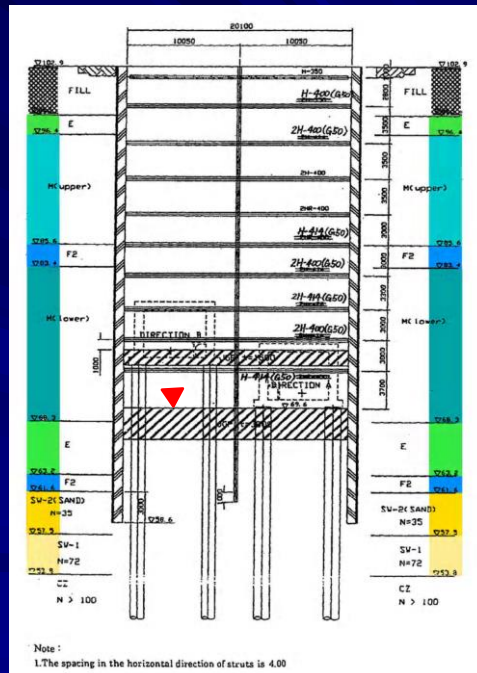
崩壊部平面図(連壁と切張りによる開削工法)



5

崩壊部 山留壁断面図

連壁
幅=800~1000mm
長さ=45m
切張り=10段
掘削深度=33.3m
先行水平グラウト
JGP=2層



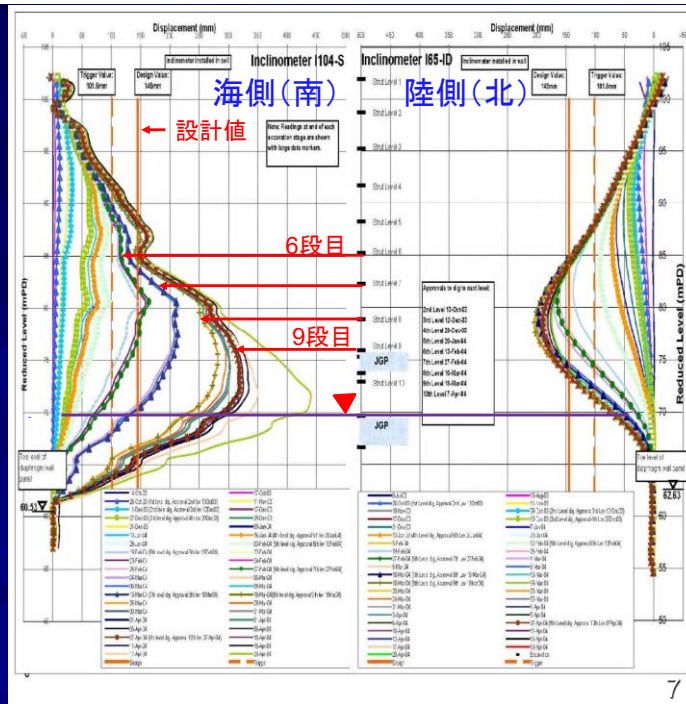
盛土

軟弱地盤
(有機質土、海成粘土2層など
層厚約40m)

洪積半固結砂層

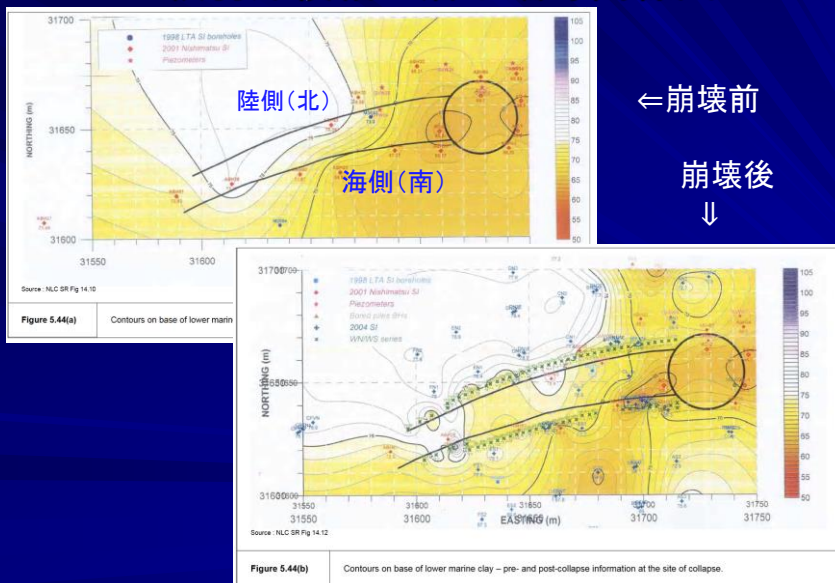
6

連壁の 水平変位 (実測値)



7

崩壊前後の地盤調査による 軟弱沖積粘土層下端等高線図



8

査問委員会の結論

崩壊原因 → 人為ミス

1. 解析ミス — FEMの解析モデル
2. 腹起しの補強ミス — C形鋼
3. 予兆の看過
 - バックアナリシス
 - 連壁の過大変形
 - 地盤沈下
 - 腹起しの変形
 - 土砂・地下水の流入
 - 切バリ軸力の低下
 - キシミ音

9

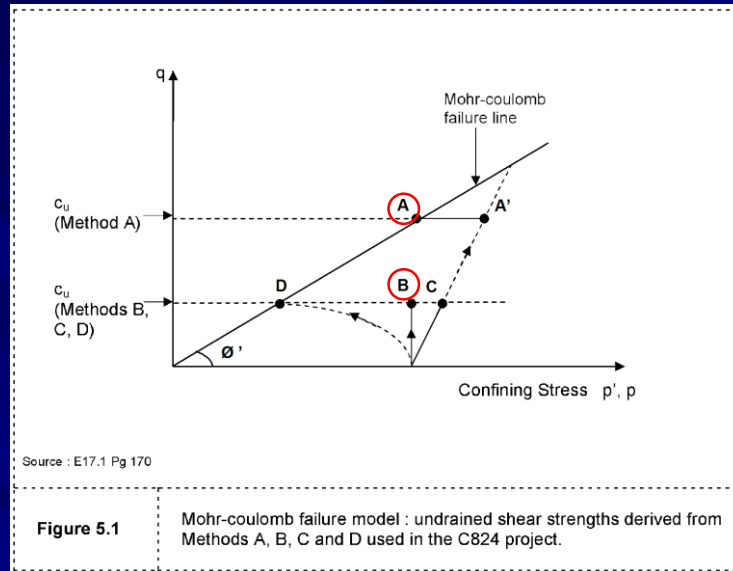
PLAXIS(FEMプログラム) 解析モデル

Table 5.1 Definitions of Methods A, B, C and D

Undrained Behaviour					
Method	Plaxis Material setting	Material Model	Parameters		Computed stresses
			Strength	Stiffness	
A	Undrained	Mohr-Coulomb	c', ϕ' (effective)	E', ν' (effective)	Effective stress and pore pressure
B	Undrained	Mohr-Coulomb	c_u, ϕ_u (total)	E', ν' (effective)	Effective stress and pore pressure
C	Non-porous	Mohr-Coulomb	c_u, ϕ_u (total)	$E_u, \nu_u=0.495$ (total)	Total stress
D	As in Method A, for other soil models				

10

PLAXISにおける応力経路



11

PRAXIS 解析結果

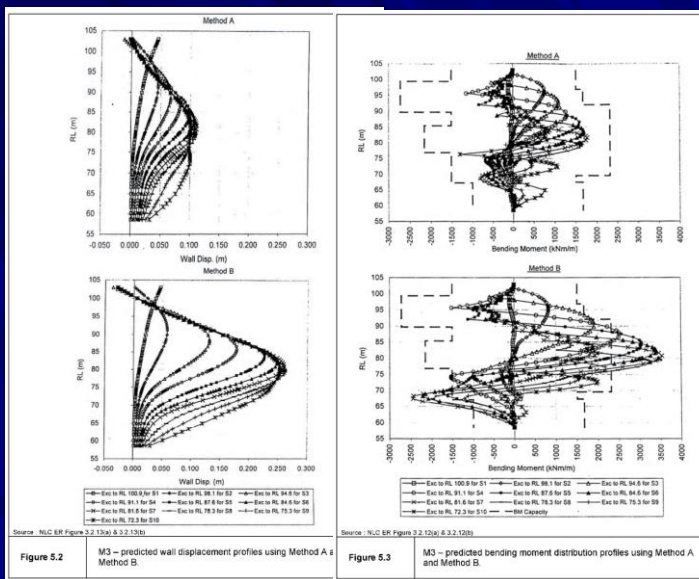
壁の水平変位

曲げモーメント

Method A

Method B

同じc、φを入力しても結果が異なる



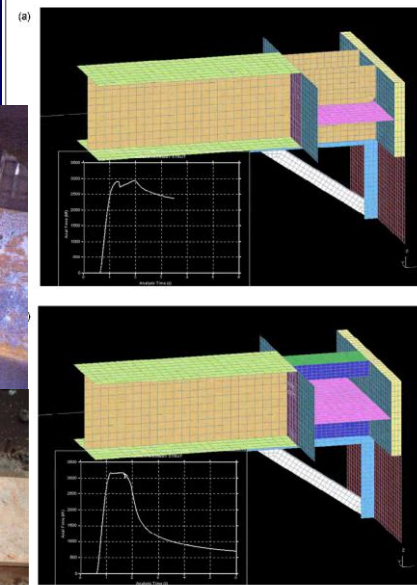
12

通常と異なる腹起しの補強方法を採用

通常
上段



C形鋼
9段目



Source: Ariva EP Slide 28 & 29

Figure 5.14 Finite element model for (a) double plate stiffeners (b) C channels.

9段目腹起しの変状と C形鋼による補強 事故当日



トンネルの地山条件と近接構造物位置に応じたリスク分類 (BCA)

Risk Categories for various tunnelling conditions			
地山条件 近接構造物位置	Category 1: Fresh to moderately weathered rock / Hard residual soil / Hard OA	Category 2: Ground other than Categories 1 and 3	Mixed Face Category 3: Mixed Face [^]
Case 1: Greenfield	Low	Low	Medium
Case 2: Building within tunnelling influence zone	Low	Medium	High
Case 3: Tunnelling directly or partially underneath buildings (Case 3a) or within a horizontal distance of χ m from the 直上 (Case 3b,	Medium	High	High

[^]Mixed face refers to the presence of:-
a) boulder/core-stone; or
b) rock (grade III or less weathering) with rock content between 25% to 80%; or
c) rock content < 25% in which the rate of advancement of TBM drops by more than 50% below normal average due to ground condition; or
d) interface between soft soil and hard soil, for example between Marine Clay and OA.

17

トンネル掘削による地表面沈下論文

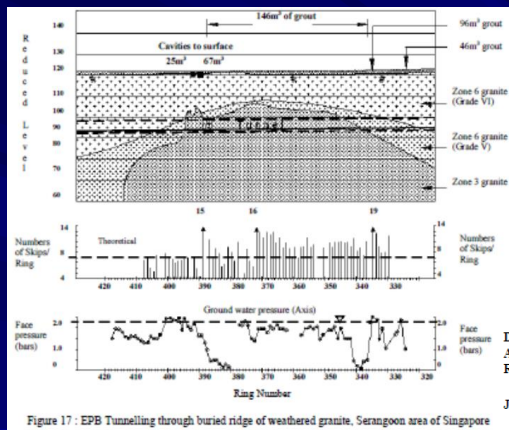
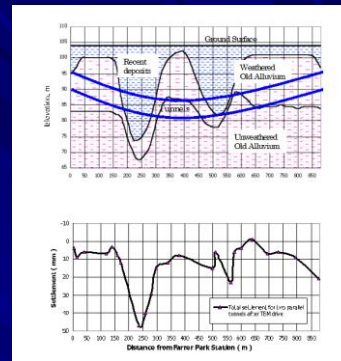


Figure 17 : EPB Tunnelling through buried ridge of weathered granite, Serangoon area of Singapore

Mixed Facesや溺れ谷をトンネルが通過するとき、土圧喪失、過大な地表面沈下や陥没が発生している



溺れ谷と地表面沈下の関係

DESIGN AND CONSTRUCTION ISSUES FOR EXCAVATION AND TUNNELLING IN SOME TROPICALLY WEATHERED ROCKS AND SOILS

J. Nicholas Shirtaw¹, Stephen R. Hencher² and Jian Zhao³

ABSTRACT

In tropical areas, weathering is common down to several tens of metres, and can occur to depths of over a hundred metres. Tunnels and excavations in such areas are therefore very likely to encounter weathered rock. Weathering involves progressive weakening of the rock, ultimately to a soil-like condition. Despite this soil-like nature, the weathered rock retains many structural features of the original rock. This means that the behaviour may be significantly different from an apparently similar deposited soil. Both the pattern of weathering development and this retained structure are important to understanding the behaviour of weathered rocks. Some of the issues involved in tunnelling and underground excavation in tropically weathered rocks are illustrated with examples of observed performance in four selected rocks found in Hong Kong and Singapore. The four selected rocks consist of two granitic rock formations and two sedimentary rock formations. The development of weathering in these rocks is examined, and related to the nature of the fresh rock. The observed behaviour of the weaker and more soil-like weathering grades of the rocks is discussed in terms of the Tunnelman's classification. Particular issues discussed include mixed face conditions, abrasion, assessment of strength, swelling, rock joints, erosion, heave and collapse.

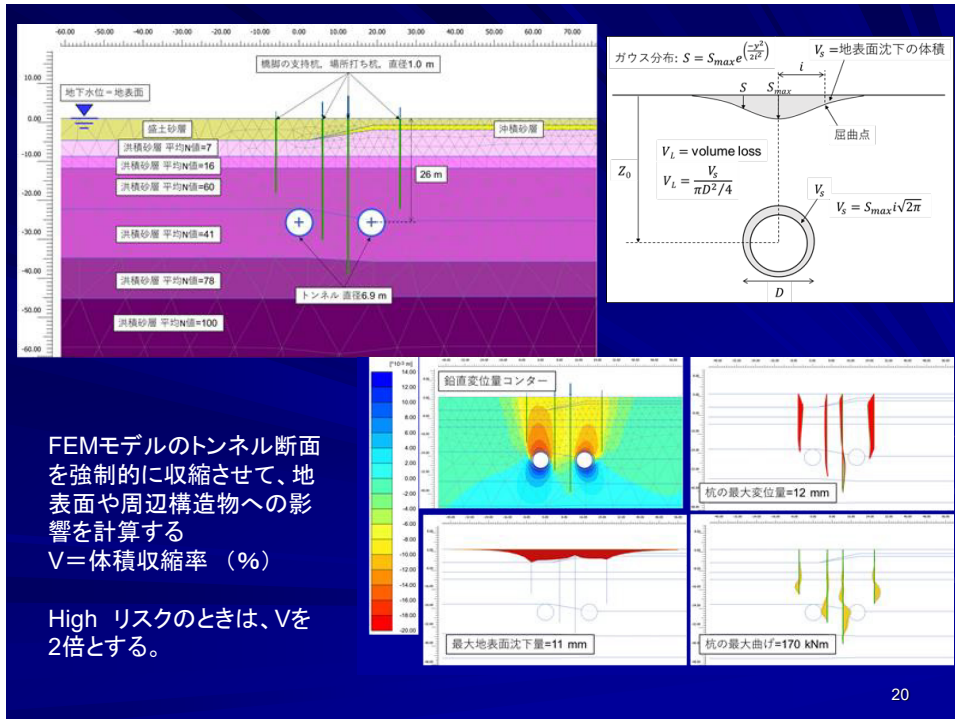
トンネル掘削リスク 設計者、発注者、管理 者、近隣オーナー 毎のリスクに応じたア クション規定 (BCA)

17	[For Case 3 which involves tunnelling in close proximity to buildings] Site investigator/consultant are to be provided, as a minimum, one on each side of the building when tunnelling commences to the building or along the side of the building when tunnelling in close proximity to the building. In addition, depending on a continuous profile of ground reaction along the entire alignment, such additional investigator/consultant is to be provided when there is a potential ground loss condition. A recommendation that tunnelling and the tunnel (if present) is to close from the surface of the TBM segment.	QP(D)	Builder
		Builder	
18	[For Case 3 which involves tunnelling in close proximity to buildings] Submit a schedule for tunnelling in close proximity to each building during Public Application and provide updates to BCA whenever there are any changes. Obtain from the responsible body of the responsible building an agreed tunneling route in close proximity to relevant signs of distress on the ground either above or below the TBMs in any segment within the control zone.	QP(D)	Developer
		Developer	
19	Control zone is defined as a zone covering the immediate building site. This zone shall also include buildings or TBMs in close proximity to the main tunneling route in the same level of the tunnel, unless such other the required safety measures are in place. QP(D) or DS shall inspect the building on a daily basis and submit detailed inspection reports.	QP(D)	QP(D)
		QP(D)	
20	Ensure builder carry out secondary grouting and segment pipe when over-allowance loading is observed beyond the control zone.	QP(D)	Builder
		Builder	
21	When non-excavation is suspended, ensure builder carry out investigation by independent and any grouting if the tunneling end.	QP(D)	Builder
		Builder	
22	Ensure builder implement, as and when required, and on behalf of tunneling RY and grouting non-excavation scheme.	QP(D)	Builder
		Builder	
23	Ensure builder implement a temporary ground reinforcement including aims to reduce TBMs and safety group underground a structure in building.	QP(D)	Builder
		Builder	
24	Ensure builder carry out CH to ensure TBMs in good condition before entering the control zone.	QP(D)	Builder
		Builder	
25	Design and implement building protection measures, such as ground improvement, recharge and of building strengthening if required.	QP(D)	Builder
		Builder	
26	[For Case 3 which involves tunnelling in close proximity to buildings] Provide non-excavation monitoring on buildings, including: • 3D camera, tiltmeter, water table or level • settlement markers, tilt observations, etc. • vibration meters - continuous monitoring The above non-excavation monitoring shall be applicable throughout the period when the face of the TBMs is within the building.	QP(D)	Builder
		Builder	
29	No Flooding in TBM		Builder
29	[For Case 3 which involves tunnelling in close proximity to buildings] Develop an emergency preparedness plan (including arrangement for clearing and communication) plan as contingency.		Developer
30	[For Case 3 which involves tunnelling in close proximity to buildings] Assess the need to carry out appropriate grouting at the front of TBMs shield.		QP(D)
31	[Required for the following buildings under Case 3: • Tunnelling underneath and within a horizontal distance of 3m from the buildings - Category 1 (Medium risk) • Tunnelling underneath and within a horizontal distance of 6m from the buildings - Categories 2 and 3 (High risk)] QP(D) to carry out detailed structural assessment, taking into consideration the existing condition of the building to establish ALL of the following building capacity limits: a) Building Settlement (monitored using building settlement markers or theoretical Building Settlement between 2 foundation adjacent columns (monitored using building settlement markers or equivalent) b) TBMs (monitored using tiltmeters or gravimeters) The above building capacity limits and the "Specific actions for QP(D) upon the breach of Building limits" are to be included in the approved plans. Specific actions for QP(D) upon the breach of Building limits: 1) Upon breach of Work Suspension Limit of any of the above items, QP(D) shall carry out inspection on the building at least once daily to ascertain if there are any signs of building distress, and submit to CRC only for confirmation of structural integrity of the building and assessment of any safety concerns, and for recommendation on safety measures and the need for de-rating. 2) QP(D) shall recommend to CRC the activation of de-rating plan upon: i) Breach of building capacity limits of a) or b) or c), in combination with signs of structural distress or key structural elements, or ii) occurrence of structural cracks on key structural elements that lead to compromise an structural safety.		QP(D)
		QP(D)	

- 32 a)ルート変更、b)近隣居住者の一時退去、c)地盤改良かアンダーピーニング
33 地盤改良などを含む緊急対策の準備(有効な場所にスタンバイさせる)

High	32	(For High risk categories under Case 3) Assess and submit the assessment report to BCA on the need to: a) change the alignment; or b) temporarily decant the occupants; or c) provide ground improvement or strengthening/underpinning building foundation to ensure tunnelling works pass through safely.	設計者 QP(D)
	33	Provide full contingency measures on standby at critical locations. The measures shall include but not limited to, drilling and grouting capabilities.	発注者 Builder

19



20

事故後の制度変更

Land Transport Authority (LTA、国土交通庁)
地下鉄工事の発注者

1. 工事とコンサルタント入札での技術評価の配点増
2. GIBR (GBR) と Impact Assessment
3. 入札時の地盤リスクアセスメント (入札審査対象)
4. 第三者による計測
5. 第三者管理コンサルタントによる施工管理
6. 責任分担の明確化
7. 地盤調査と品質管理の分離発注

21

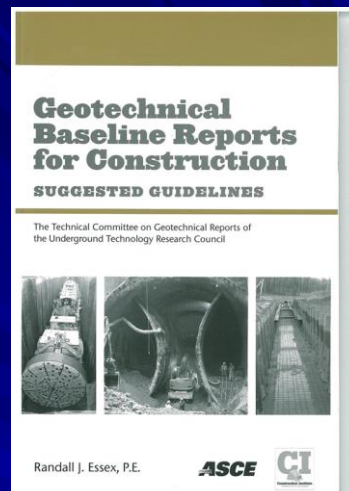
GBR (GIBR)

発注者と請負者が地盤とリスクを共有し、工事中に遭遇する課題を適切に分担できるように、**地盤状況の基準 (Baseline)** をあらかじめ設定しておく。この基準に記載がない地盤が出現したときは発注者負担、逆は請負者負担とする。

欧米では導入済み

- 英国規準
- CIRIA C580
- ユーロコード
- アメリカ基準

シンガポールは、2007年以降に導入
契約文書の一部



22

GIBR導入の背景

1. 減らない事故とリスク低減に対する社会的ニーズ
GIBRに、リスク管理機能を持たせる
2. 発注者と請負者による公平な責任分担
3. クレームの省力化と訴訟の回避
4. 入札価格の適正化・公正化（同じ条件で入札する）



23

地下鉄工事仕様書が規定するGIBRの内容 (発注側の設計コンサルタントが作成)

1. サイトの地質、土質および岩盤分類
2. 各種地盤定数
3. 最低限必要な設計地盤定数とその設定根拠
4. 想定地層断面図、特に沖積層と基盤層の境界コンター図と断層・褶曲は必ず記載すること。地層境界は変動幅を表示すること
5. 各地層のコンター図
6. 概念的な地盤改良工法の提案
7. 地盤と地下水の挙動予測
8. 工事に関わるリスクの抽出
9. 仮設と永久構造物の施工リスク
10. 施工時のリスク管理方法の提案

24

施工時のリスク管理と対策

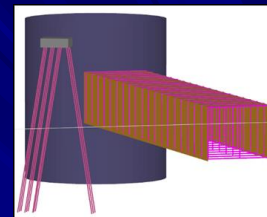
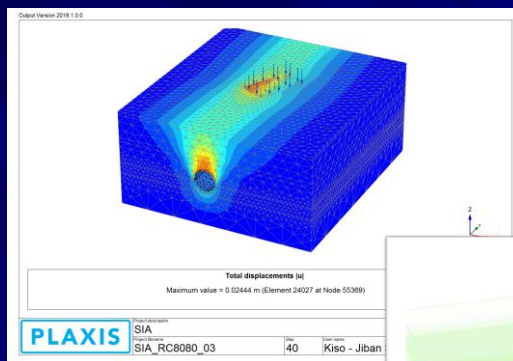
- 警報レベル(許容値の70%)
 - 計測の増強
 - バックアナリシスと設計の見直し
 - 掘削工程の見直し
 - 補強と追加対策工
- 作業停止レベル(許容値)
 - 掘削停止
 - 埋め戻し
 - 掘削法の抜本的見直し

表-1 既設地下鉄構造物の管理値

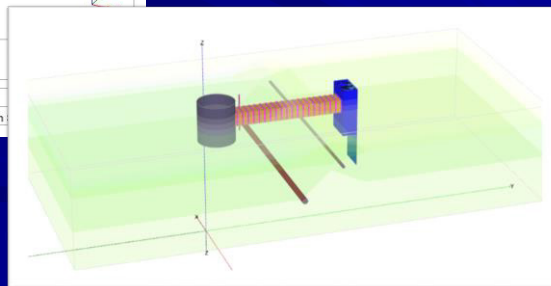
既設構造物の管理項目	計測方法	管理値	
		警報レベル	作業停止レベル(許容値)
変位量	トンネル内の自動光波測量	11 mm	15 mm
応力度	既設構造物の応力変化を解析で示す	—	±15 kPa
傾斜	トンネル内の自動傾斜測定	1/1500	1/1000
地表面の沈下量	沈下板測量	20mm 保証期間内	

25

仮設設計コンサルタントによる Impact Assessment (影響評価) トンネルによる地表面沈下予想



地下通路建設による 既設杭と埋設管への影響



26

シンガポールのリスクマネジメントの特徴

1. 徹底した性能設計(許容値管理)
2. 計画、設計、施工まで、一貫したリスクマネジメント
設計コンサルタント(個人)は全工程に責任を負う。
設計図書、施工図面、完成図面にサイン
3. 明確な責任分担 (個人)
第三者照査、管理コンサルタント、仮設設計コンサルタント
責任に応じた報酬
4. BCAと事業者(LTAなど)による二重の許認可
5. リスク、事故、対策の透明性
地盤工学会、トンネル学会、LTA、大学主催の
事例を重視する研究発表会(2年毎)
6. 大学の関与 (プロジェクトを通して様々な立場で)
大学教育へのフィードバック、新卒即戦力の輩出
7. 地盤調査の質量向上による経済性と安全性のバランス
8. 工事保険の充実

27

第Ⅲ編

事例研究発表会 論文

【論文 No. 1】 鳥海山麓の道路施工における埋没谷に堆積した高有機質土への対応事例

川崎地質株式会社 ○太田 史朗

岩田 孝信・松下宏彦

(1) 事例の概要

本事例は、海岸から一段高い標高 20~40m の丘陵地に計画した高規格道路の施工に先立ち、埋没谷に堆積した層厚 5~7 m の高有機質土層の存在が明らかになり、対策を講じた事例について、地質リスクの観点で対応状況を紹介するものである。

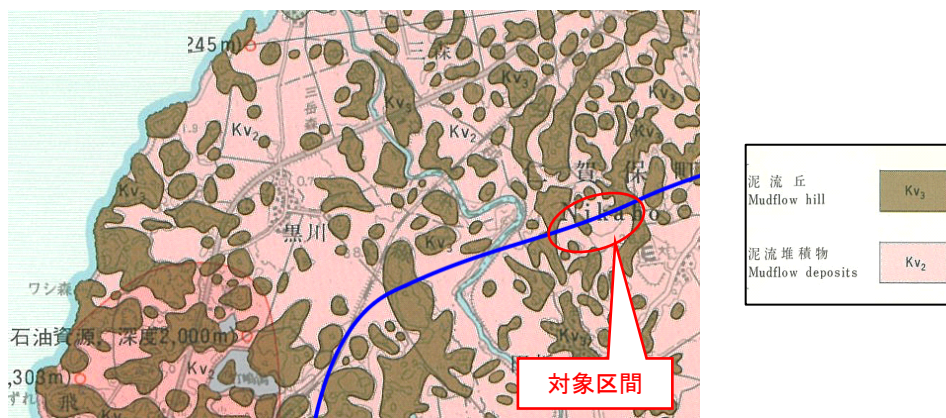


図 1 当該箇所地質図 (出典：象潟地域の地質,地質調査所,1982.3)

(2) 事例分析のシナリオ

軟弱地盤の存在 (地質リスク) に対する回避に至るプロセスについて、「調査・設計段階での対応」と「施工段階での対応」に着目して事例を分析する。

調査・設計段階で軟弱地盤の存在を認識出来た要因として、「段階的な調査」と「地元へのヒアリング」があげられる。1年目の調査で軟弱地盤が未確認であった地区では、2年目の調査準備段階で、軟弱地盤の存在を示唆する情報が地元関係者から提供された。1年目の調査結果から作成された地質断面図 (図 2) を俯瞰すると、軟弱地盤が少なからず分布しており、2年目の調査実施段階において、担当技術者が前年の調査結果に違和感を持っていた可能性が考えられる。

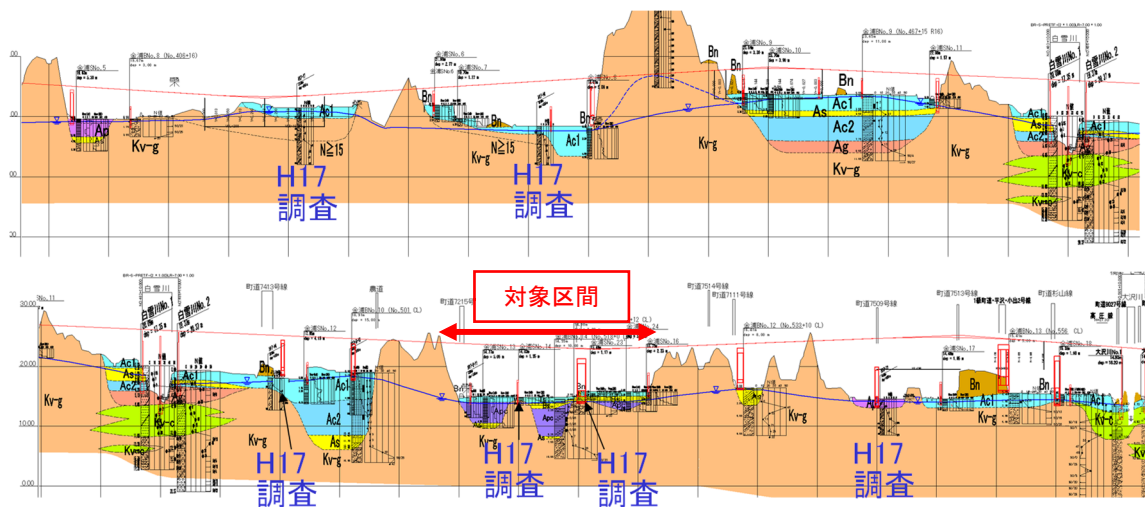


図 2 地質状況のイメージ図

(3) データ収集分析

1年目の調査では代表箇所のボーリング調査と、スウェーデン式サウンディング試験で路線全体の地質状況を把握している。2年目の調査では、構造物の詳細設計に供する地盤状況や地盤定数を得るために、各構造物計画箇所でのボーリング調査を行うものとしていたが、図2及び図3に示した対象区間の用地交渉を行う際、地元の土地所有者の方に不具合の有無を聞き込んだところ、軟弱地盤の存在を示唆する事象として、過去に1～2mの盛土を仮置きした際に、数日で半分が地中にめり込んだエピソードについて提供を受けた。このことを受けて、構造物の計画箇所以外において、軟弱層の有無を確認するためのボーリング調査とスウェーデン式サウンディング試験を実施している。

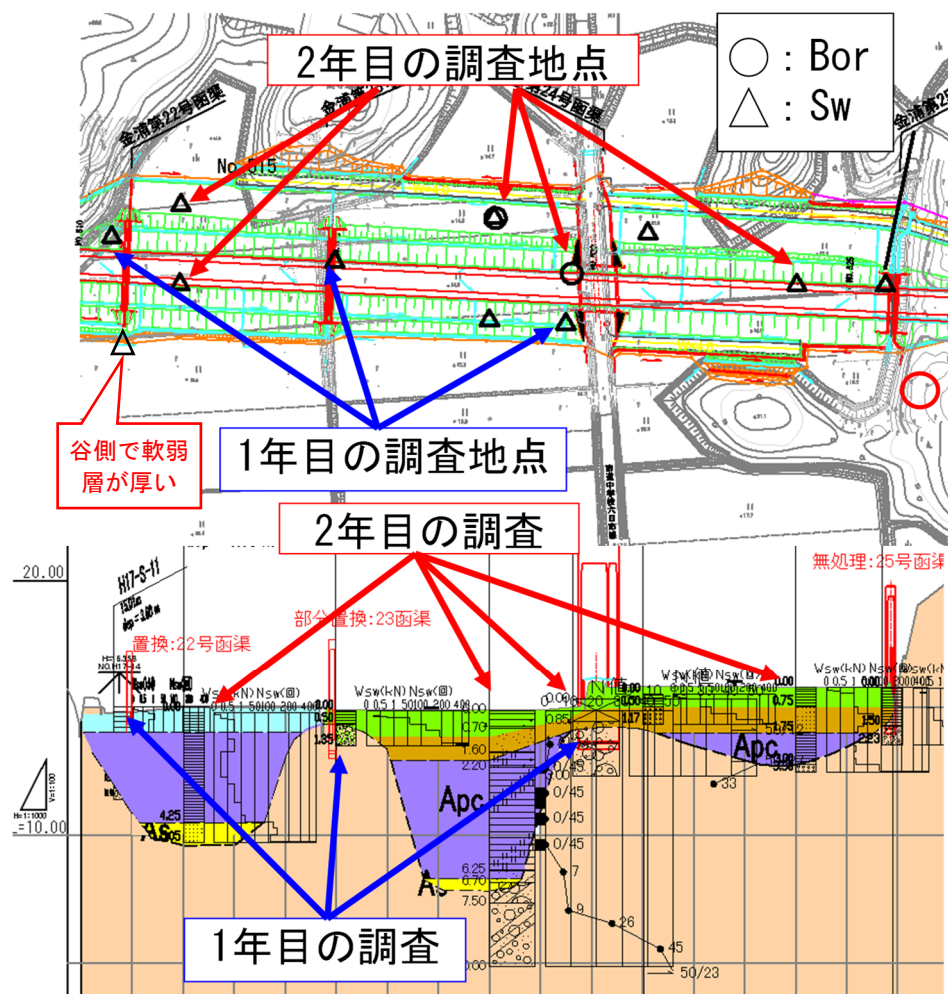


図3 2年目の調査で明らかとなった軟弱地盤の分布状況

調査の結果から、新たに調査した区間では、泥石流堆積物が不規則に起伏して埋没谷を形成し、その埋没谷には含水比 200～800%の高有機質土が、4～7mの層厚で堆積していることが把握されている。その結果を受けて、当該箇所では、盛土の緩速施工及び計測施工、函渠及び補強土壁で浅層混合処理工を計画したものの、軟弱層の起伏が激しいことによる地盤改良の深度に過不足が生ずるリスクを念頭に、施工段階の確認調査の結果を踏まえて対策工を最適化するプロセスを導入している。

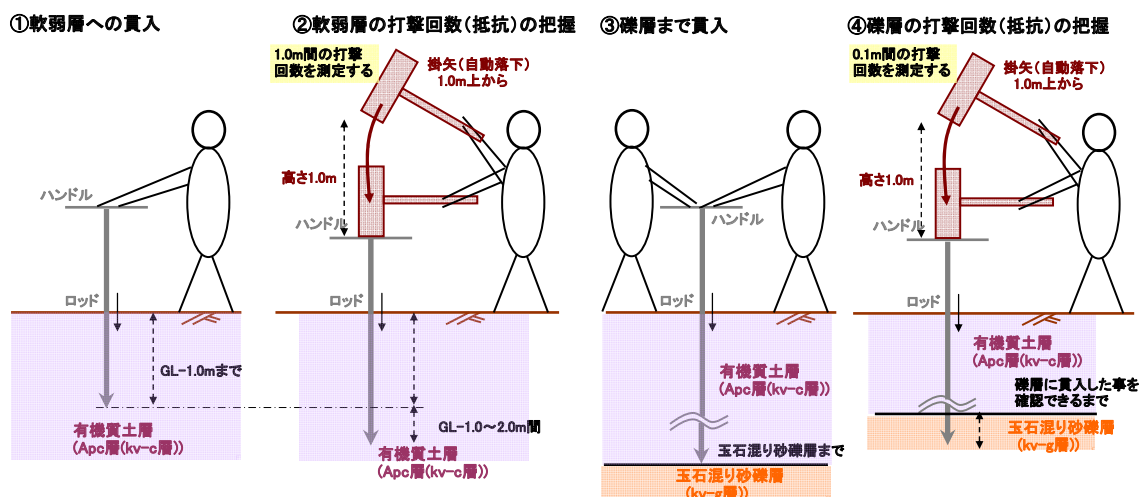


図4 施工段階における軟弱層厚の確認調査のイメージ

軟弱地盤の層厚ならびに確実な支持層を確認調査で把握することで、確実な対策を行い、供用後のトラブルを防止するものとしている。なお、図4に示す確認調査では、スウェーデン式サウンディング試験のロッドを使用し、専用機器でロッドの引き抜きを行ったが、軟弱地盤の深度が浅い場合は単管パイプや鉄筋棒などでも調査も可能なようである。

(4) マネジメントの効果

地元の方から軟弱地盤の存在を示唆する情報が得られなかった場合、構造物計画箇所で行った地質調査結果から、無対策で盛り立てが可能と判断し、結果として、盛土施工中のすべり破壊、盛土施工後の構造物本体や周辺盛土の不同沈下等の不具合が発生し、変状した構造物の撤去・再設置、追加の地盤対策などが必要になったと推察される。以上、収集した資料と分析結果に基づき、地質リスクマネジメントの効果について検討し表1に示した。

表1 マネジメントの効果について

ケース	追加工事費(千円)		工期
①リスクを回避しなかった場合(想定)	追加調査・設計費	¥16,000	盛土や構造物の再構築の日数増加(最大1年)
	追加地盤改良	¥20,000	
	盛土撤去・再構築	¥46,000	
	構造物撤去・再構築	¥80,000	
②リスクを回避した場合(概算工事費)	調査・設計費	¥10,000	¥120,000
	施工段階調査費	¥12,000	
	地盤改良	¥20,000	
リスクマネジメントの効果(①-②)	経済的には同規模であるが、安全性が大きく向上する。		遅延回避

(5) データ様式の提案

検討内容に基づき、従前のデータ様式に記入するとともに、必要と考えられるデータ様式の提案を行った。

表2 A表への記入（地質リスクを回避した事例）

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		国土交通省
	工事名		—
	工種		道路盛土、函渠工、地盤改良
	工事概要		—
	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		施工中～施工後
	予測されたトラブル		盛土施工中のすべり破壊、盛土施工後の構造物や周辺盛土の不同沈下
	回避した事象		変状した盛土や構造物の撤去・再構築
	工事への影響		トラブル対応で1年程度の工期増大
リスク管理の実際	判断した時期		地質調査・詳細設計段階
	判断した者		地質調査会社・発注者
	判断の内容		地盤改良の追加
	判断に必要な情報		地質調査データ、軟弱地盤解析結果
リスク対応の実際	内容	追加調査	地質調査、軟弱地盤解析
		修正設計	軟弱地盤対策工設計
		対策工	盛土の緩速施工及び計測施工、函渠及び補強土壁における地盤対策工（浅層混合処理工）
	費用	追加調査	¥17,000（事前調査＋施工時調査）
		修正設計	¥5,000（対策工設計）
		対策工	¥20,000（浅層混合処理）
		②合計	¥42,000
変更工事の内容	工事変更の内容		地盤改良工の追加
	③変更工事費		¥20,000
	変更工期		配合試験も含めて2ヶ月程度
	間接的な影響項目		事業費が増加
	受益者		国土交通省、秋田県
リスクマネジメントの効果	費用（①－③－②）		¥120,000
	工期		1年程度
	その他		施工段階で詳細な調査に基づく対策工の最適化を行うことで、供用後に不具合が発生するリスクも低減された。

[論文 No. 2]

道路トンネルにおいて長尺水平ボーリングにより施工時の地質リスクを低減した事例

国際航業株式会社 ○杉山幸太郎、岸本圭 (GRE-No. 62)、
 嵐正治 (GRE-No. 48)、大畑雅彦
 大成建設株式会社 板垣賢
 旭ボーリング株式会社 菊池範昭、及川一也
 国土交通省北陸地方整備局羽越河川国道事務所 池田明寛

1. 事例の概要

日本海沿岸東北自動車道（日沿道）は、新潟県・山形県・秋田県の主要都市を結び青森県に至る延長約 322km（新潟空港 IC～青森 IC）の自動車専用道路である。このうち、新潟・山形県境の「朝日まほろば IC～あつみ温泉 IC」区間（延長約 40.8 km）は、平成 25 年に「朝日温海道路」として事業化された。

当該トンネル(朝日温海道路 11 号トンネル)は、国土交通省北陸地方整備局が上記事業の中で発注した工区延長 1140m の道路トンネルであり、NATM 工法で施工されている(施工中)。このトンネルでは、調査～設計時点で大土被り区間(最大土被り約 200m)における延長 235m のいわゆる”重い”設計支保パターン(二重支保や全断面早期閉合)区間が想定されていたが、地山状況の実態との乖離(安全側の設計)が懸念された。

そこで地山の工学的性質の再確認を目的に、トンネル拡幅部から延長 475m の長尺水平ボーリング(シールドリバーズ工法)を行い、採取したコアで室内試験を実施した。室内試験結果を用いて三次元 FEM 解析によるトンネル設計支保パターンの見直しが行われた結果、二重支保を一重支保に変更することが可能と判断された。これらの検討により、再調査・再設計費用を含めても総工事費が 2 億円削減見込みであり、さらに工期についても 5 か月短縮される見込みである。



図 1. 朝日温海道路計画図（11号トンネルおよび方位記号、縮尺を加筆）
 (出典：朝日温海道路パンフレット，令和元年 9 月，国土交通省北陸地方整備局)

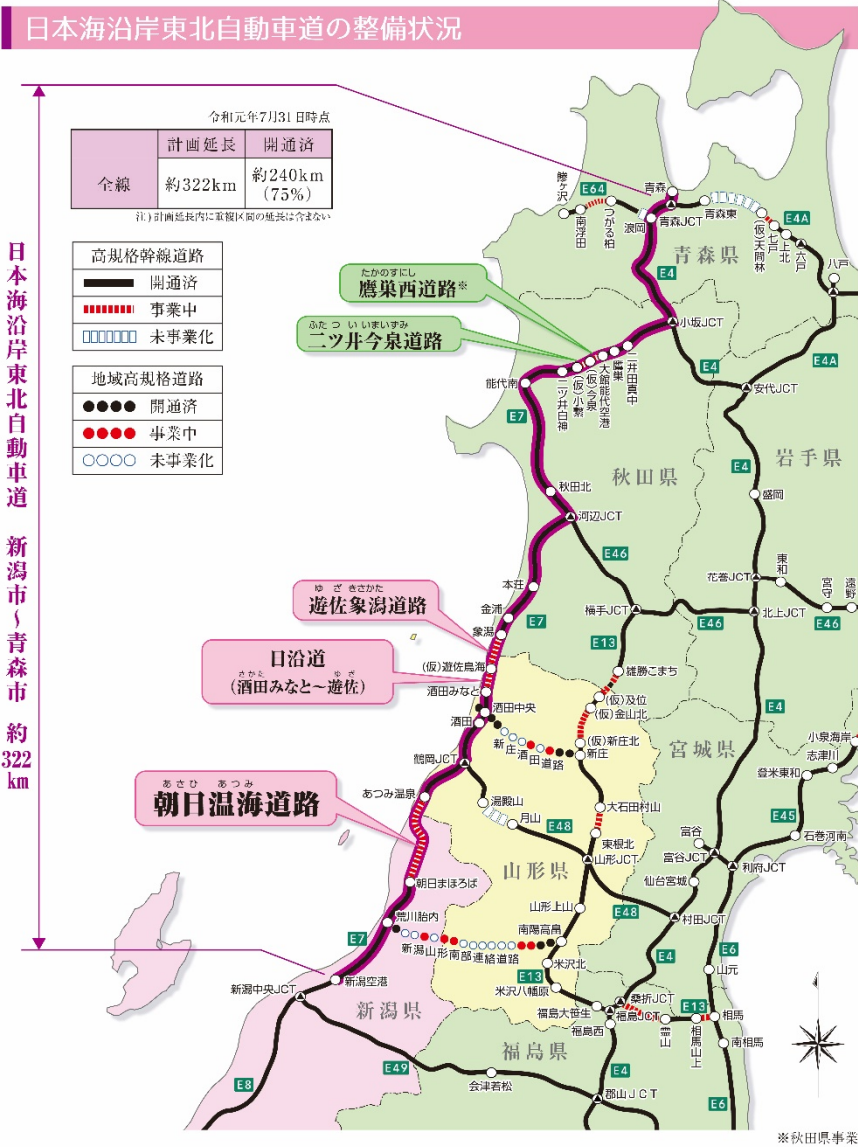


図 2. 日本海沿岸東北自動車道の整備状況

(出典：朝日温海道路パンフレット，令和元年 9 月，国土交通省北陸地方整備局)

2. 事例分析のシナリオ

当該地域には新第三紀中新世中期の堆積岩類からなる「上郷層」および貫入岩のドレイイトが分布する。二重支保が設計された区間は上郷層上部層に属する泥岩からなる。この区間はトンネル位置における室内試験結果が得られていないため、工学的性質は弾性波探査および浅部のボーリングコアから推定されていた。浅部のボーリングコアにおける上郷層上部層の一軸圧縮強度は 3.78MN/m^2 を示していたことから、高規格・早期閉合・二重支保と重い支保パターンで設計された。なお、室内試験における P 波速度 $v_p; 1.98\text{km/s}$ に対して地山弾性波速度 V_p が 3.4km/s を示し $V_p > v_p$ となっていたほか、室内試験より膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトの含有も確認されていたが、吸水膨張率および吸水膨張応力が小さいことから施工時の地山の膨張性は低いものと推定されており、重い支保パターンの直接の原因ではないが、懸念点の 1 つであった。

このように、設計に用いた地山性状に不確定な要素が多いことは調査～設計段階で認識

されており、当該区間に対して上郷層上部層の泥岩性状や低速度帯、ドレライトとの境界部確認を目的とした先進ボーリングの実施を推奨されていた。実際の調査にあたっては、

- ・L=200m以上の長尺掘削ができる工法であること
- ・室内試験可能なコアを採取できる工法であること
- ・切羽並行作業が可能であること

の条件を満たす水平ボーリングの工法が検討され、すべての条件を満たすシールドリバー工法が採用された。現状、一般的にトンネル前方調査に使用されることが多く、候補に挙がっていた工法は表1の通りである。

表1. 先進ボーリング工法比較

	削孔深度	削孔速度	試料	コントロール	大量湧水	不良地山
超長尺ボーリング	1000m超 (1200m実績あり)	約30m/日 (1000mを3ヶ月)	× (スライム試料)	◎ (方向制御)	○ (3t/minまで)	△ (ケーシングやセメンチングにより対応)
シールドリバー	500m程度 (300m~400mが多い)	約15m/日 (500mを3ヶ月)	○ (コア試料)	× (削孔後に孔曲り計測)	◎ (13t/minまで実績あり)	○ (ケーシング追従)
PS-WL工法	100m程度 (50m~100mが多い)	約50m/日 (100mを2日間)	△ (打撃コア試料)	×	△	△
普通工法	100m程度 (最大200m程度、50mまでが多い)	約10m/日	○ (コア試料)	× (孔曲りが生じやすい)	△	△ (ケーシングやセメンチングにより対応)

3. データ収集分析

ボーリング調査は坑内の非常駐車帯において実施した。作業前半は切羽並行作業で、作業後半は坑口側のインバート施工と並行して作業を行った。削孔長は当初 280m を予定したが、分布状況が不明瞭なドレライトを確認するために延長し、475m まで削孔を行った。作業日数は搬入搬出を含めて 29 日、削孔日数は 475m で 22 日、日進は 21.6m/日であった。

ボーリング調査で得られたコアから室内試験を実施し、一軸圧縮強度および変形係数を求めた。また、地質縦断図の再検討を行った。調査結果から、当初想定されていた大規模なドレライト岩脈が分布せず、代わりに上郷層下部層の凝灰質堆積岩類および二重支保の対象である上郷層上部層の泥岩がその分広く分布することが確認された。その他、不確実な地山状況が本調査により明らかとなった。本調査で判明した地山状況を下記に示す。

- ・当初想定よりも泥岩分布域の地山の強度が高い(室内試験より)
- ・上郷層下部層の凝灰質堆積岩類および問題となっていた上郷層上部層の泥岩が想定よりも広く分布し、大規模なドレライト岩脈は分布しない(コア観察より)
- ・地山の膨潤性は小さいがスレーキング性を有する(削孔状況およびコア観察、室内試験より)

- ・地山中にわずかではあるが可燃性ガスが含まれる(可燃性ガス測定より)
- ・断層破碎部が頻繁に認められる(コア観察より)
- ・湧水量は比較的小さく、本ボーリングで水抜き効果が期待できる(湧水量測定より)

切羽前方の泥岩に対して実施した室内試験結果の変形係数は、当初設計で用いた値と比較し約3倍の値を示した。そこで当初問題となっていた支保パターンに関して、三次元 FEM 解析によるトンネル設計支保パターンの見直しを行った結果、二重支保から一重支保への計画変更が可能と判断された。



写真 1. 上郷層上部層の泥岩コア



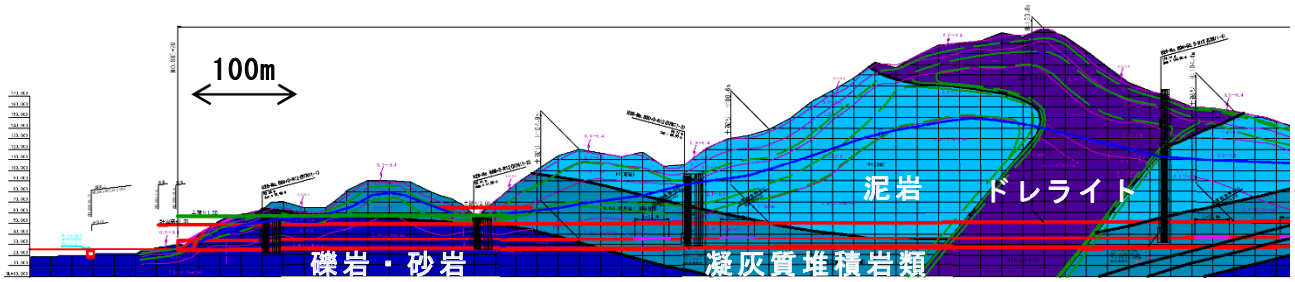
写真 2. スレーキングを示すコア

4. マネジメントの効果

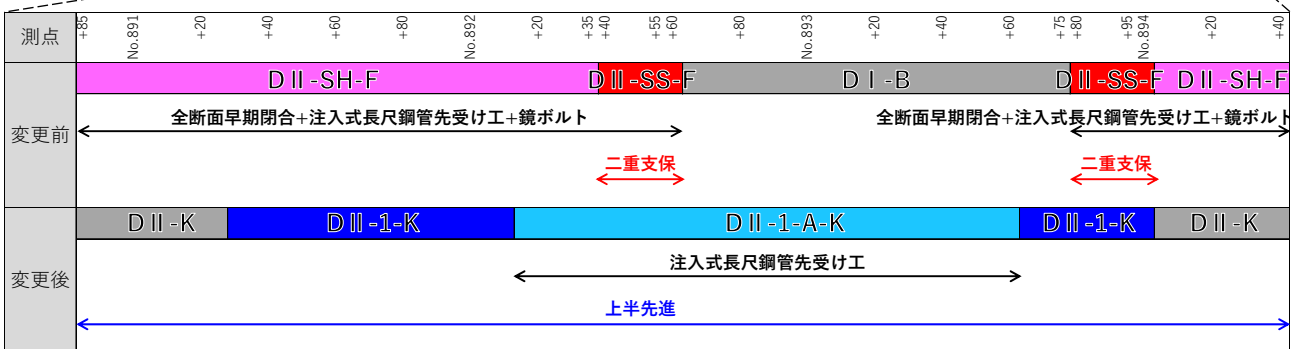
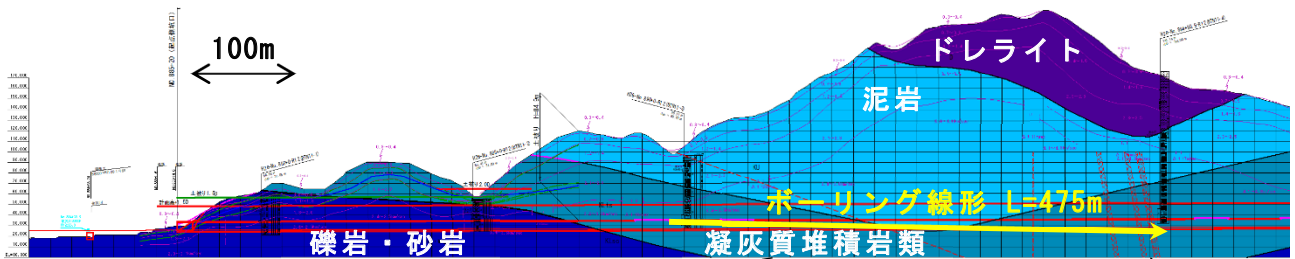
本事例では、調査結果に基づきトンネル設計支保パターンの見直しを行ったことで、二重支保を一重支保に変更することとなった。これにより再調査・再設計費用を含めても、総工事費が2億円削減見込みであり、工期は5か月短縮見込みである。地質の不確実性により生じたリスクをタイムリーにマネジメントし、コスト削減を達成した事例といえる。

近年、トンネルの長大化が進み大土被りの区間が増加している。大土被りの地質データの乏しいトンネルはそもそも事前調査が困難な領域が多く、他の土木工事と比較しても、地質の不確実性が非常に高い状態で工事に臨むことが多い。大土被りのトンネルにおいては、施工と並行し先進ボーリングによって地質リスクマネジメントを行うことが、より効果的・効率的な地質リスクへの対応となると考えられる。

＜当初想定された地質縦断図＞



＜シールドリバースボーリング結果から再検討した地質縦断図＞



※変更区間のみ抜粋

※全断面早期閉合等や二重支保、鏡ボルトの区間はなくなり、注入式長尺鋼管先受け工についても必要な区間が詳細に把握された。

図 3. 地質縦断図(当初：上、変更後：下)およびトンネル設計支保パターン変更実績

5. データ様式の提案

本事例は、新潟県の朝日温海道路で施工中のトンネル拡幅部において、延長 475m の長尺水平ボーリングを実施し、安全側の設計となっていた支保パターンを変更することで、2 億円の事業コスト縮減と 4 か月の工期短縮に寄与した事例である。従来の地表面からの地質調査手法では推定が困難な地質リスクに対して、新たな解決策と期待される調査手法を紹介した。

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

A. 地質リスクを回避した事例

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	国土交通省北陸地方整備局	
	工事名	朝日温海道路11号トンネル工事	
	工種	NATMトンネル本体工事	
	工事概要	工区延長1140m	
	①当初工事費	4,887.3百万円	
	当初工期	2020年2月5日～2023年3月4日	
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	2022年3月	
	予測されたトラブル	大土被り区間における延長235mの重い設計支保パターン(二重支保)区間の発生(実態との乖離)	
	回避した事象	安全側の設計による費用の増加・工期の延長	
	工事への影響	-	
リスク管理の実際	判断した時期	2021年11月	
	判断した者	発注者、施工者	
	判断の内容	長尺水平ボーリングの実施	
	判断に必要な情報	地山の工学的性質の再確認 (得られたコアから室内試験を実施)	
リスク対応の実際	内容	追加調査	長尺ボーリング L=475m
		修正設計	三次元FEM解析によるトンネル設計支保パターンの見直し(二重支保を一重支保に変更)
		対策工	-
	費用	追加調査	170百万円
		修正設計	15百万円
		対策工	-
		②合計	185百万円
変更工事の内容	工事変更の内容	支保パターンの変更(二重支保を一重支保に変更)	
	③変更工事費	4,502.3百万円(見込み)	
	変更工期	5ヶ月短縮(見込み)	
	間接的な影響項目	-	
	受益者	発注者、施工者	
リスクマネジメントの効果	費用(①-③-②)	-200百万円(見込み)	
	工期	5ヶ月短縮(見込み)	
	その他	-	

【論文 No. 3】 道路ルート検討段階における地質リスク検討の重要性

～特に LP データによる微地形解析と衛星 SAR による地盤変動解析に基づく地質リスク評価について～

基礎地盤コンサルタンツ（株） ○久野 高明、高田 嘉典、及川 真宏、川原 範子

1. 事例の概要

本事例は、道路ルート検討・中心線決定に必要な地質リスク検討を行い、地質リスクの回避に寄与したものである。本稿では、ルート検討時のコントロールポイントの一つとなった地すべりに着目して報告する。

検討対象の道路は事業計画段階であり、主要構造物として、橋梁、トンネルが計画されている（図 1）。ルート帯には魚沼層群（新第三紀鮮新世～第四紀更新世）の礫、砂、シルトの未固結～半固結の地層が分布し、これまで当該道路技術検討委員会にて地質リスク要因として、未固結地山、膨張性地山、地すべり、豊富な地下水、可燃性ガスなどが挙げられてきた。

当該道路予備設計段階での山地部トンネルルート（2号、3号、4号トンネル）において、特に地すべりのリスク発現による事業費の増加が懸念されたため、既往資料収集整理、地表地質踏査、高精度数値標高データ（以下、LP データ）による微地形解析、衛星 SAR による地盤変動解析等を用いた地質リスク検討を行った。

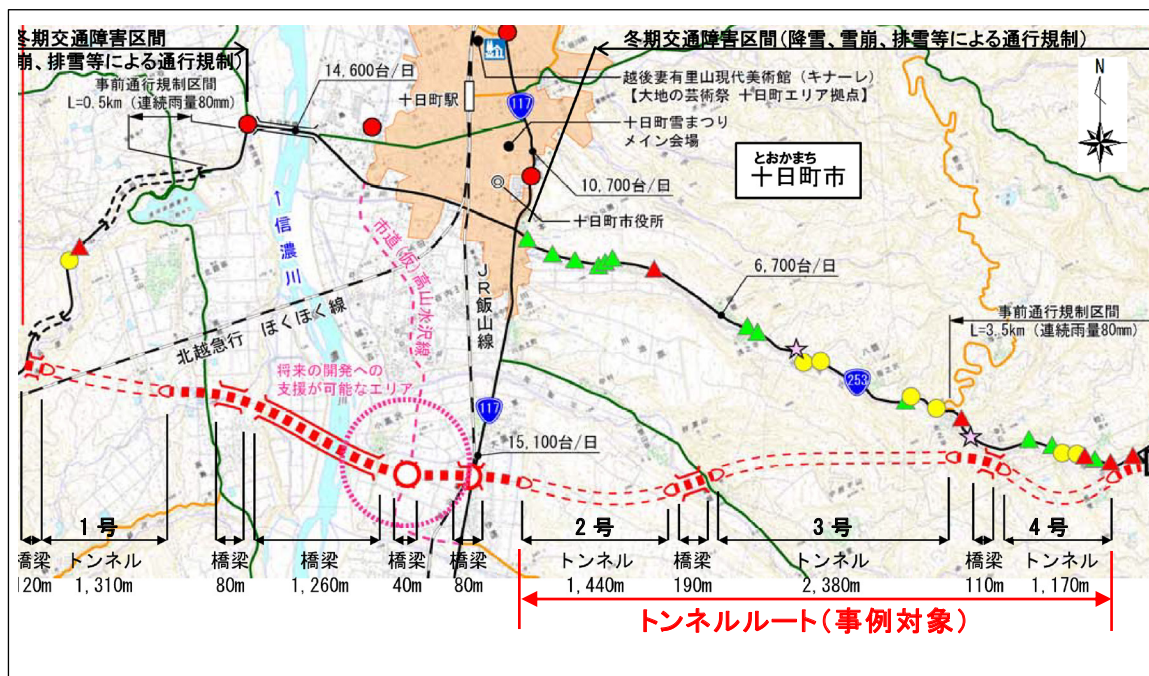


図 1 事例対象平面図¹⁾

2. 事例分析のシナリオ

(1) リスク回避に至るプロセス

当該道路は、地質的に極めて脆弱な半固結～未固結地山である「魚沼層群」を通過し、

信濃川に向かって西側へ緩く傾斜する流れ盤構造であり、山地部に地すべり地形が多数分布する状況である。そのため、山地部トンネルルートにおいて、坑口部でのトンネル掘削に伴う大規模な地すべりの発生が懸念された（図2）。

当該道路にて地すべりによるリスクが顕在化すると、対策費や工期などに与える影響が大きくなることから、ルート検討時のコントロールポイントの一つとして地すべりを考慮する必要があった。

図3に当該事例のリスク回避プロセスフローを示す。フロー中「①地質リスクの抽出」は、地質リスクの発見、認識、整理するプロセスである。ここでは文献調査、微地形解析、地盤変動解析、地表地質踏査を実施し、地質リスク要因の抽出、整理を行う。「②地質リスクの分析」は、地質リスクランクを決定するプロセスであり、計画構造物（本事例ではトンネル）を対象としたリスク発現事象ごとに地質リスクランクを決定する。「③地質リスクの評価」は、地質リスクへの対応方針を検討するプロセスである。ここでは地質リスク分析結果および対応方針を管理表にまとめ、後続調査計画を立案する。

これら地質リスクの評価結果を、事業者および道路設計者と情報共有を図り、道路予備設計へ引き渡すことで、事前に事業コスト損失に繋がるルートを回避することが可能と考えた。

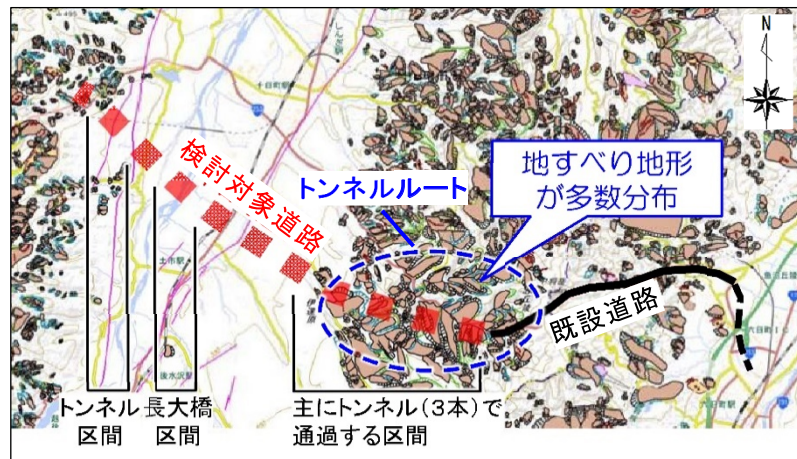


図2 地すべり地形分布図¹⁾

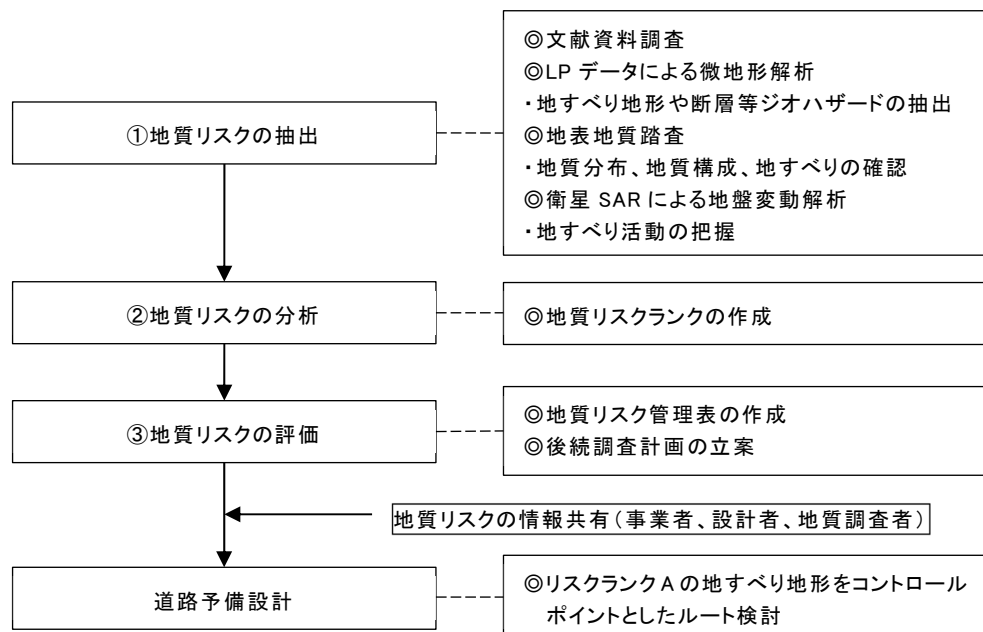


図3 リスク回避のプロセス

(2) 地質リスクの検討

①地質リスクの抽出

地質リスクの抽出において、主に実施した作業内容を以下に整理する。

【文献資料調査】対象となる地質リスクに着目して文献資料を収集、整理する。

【LP データによる微地形解析】計画ルート沿いの地すべり地を把握するため、LP データを使い CS 立体図²⁾や傾斜量図を作成し、ジオハザード抽出のための微地形解析を行う。

【地表地質踏査】計画ルート沿いの地形、地質構成、地質分布、地質構造を把握し、文献資料調査や微地形解析によって把握された地質リスク情報を現地確認する。

【衛星 SAR による地盤変動解析】地すべり活動を把握するため、衛星 SAR データによる時系列解析により、長期間にわたる地表変位の累積変位や変位速度を求める。時系列解析は長期間の変動を追跡することにより、年間数mm程度の速度で進行する微小な定常変動を捉えることができる。本事例では山地部の地すべりが対象のため、面的な変位量および変位速度を得ることが可能な SBAS 解析を行う。なお、後述する地質リスクランクを決定するための「可能性の高さ」の設定は、衛星 SAR による地盤変動解析結果を用いて評価する。変動量の評価は、地盤伸縮計結果による地すべり判定基準表を参考に、変動種別 A~D³⁾ に区分する。

②地質リスクの分析

リスク対応方針を検討する際、リスク程度の大きさが重要になる。リスク程度の大きさは、一般的なリスクマネジメントの方法を参考に、「影響度 E」と「可能性の高さ L」の掛け合わせにより算出される「リスクスコア R」で評価する（表 1）。

- ・『影響度 E』は、対策規模をイメージして「低い」、「中程度」、「高い」の区分とした。なお、本事例においては予備設計段階であり線形および構造物も決まっていないため、一律「中程度」と評価する。
- ・『可能性の高さ L』は、「衛星 SAR による斜面変動解析により変位が認められた箇所」（地盤伸縮計による変動種別 C 以上）を対象に、「トンネル土被り 2D 範囲内に地すべりが分布する箇所」について「高い（可能性高い）」と評価する。
- ・リスクランクは次の 3 つとした。A：リスク回避・低減、B：リスク低減、C：リスク保有
- ・地質リスクランクは、「影響度 E」と「可能性の高さ L」のそれぞれの程度の大小に応じて 1~3 点を与え、リスクスコアにより算出する。

表 1 リスクスコアと地質リスクランクの関係

			可能性の高さ(発生確率)L			地質リスク ランク	地質リスクランクの対策方針		
			低い[1] (可能性低い)	中程度[2] (可能性あり)	高い[3] (可能性高い)				
コストや 工期に 与える 影響(影 響度) E	程度	指標値	衛星SARによる斜面変動解析、 トンネル土被り2D範囲内			A	リスク回 避・低減		
	低い [1]	事象に対 する一般 的な対策 規模等 による設定	C	C	B			B	リスク 低減
	中程度 [2]		C	B	A				
高い [3]		B	A	A					

【地質リスクランクの評価基準】リスクスコアR=E×L

A(回避もしくは詳細な地質調査を行い完全な低減対策を講じる)=6~9点

B(地質調査を行い調査結果に応じた適切なリスク低減対策を講じる)=3~4点

C(低減対策を必要とせず、施工段階へリスクを保有することが可能)=1~2点

③地質リスクの評価

地質リスクの評価は、地質リスク分析結果をもとに地質リスク管理表としてとりまとめる。地質リスク管理表への記載項目は、「地質リスク要因、発現事象、リスクランク、調査実施状況、後続調査計画」である。

(3) マネジメントの効果計量方法

マネジメント効果として、トンネルルートが地すべりを回避することで発生しない地すべり対策事業費分（調査、設計、対策工事）が相当すると考える。なお、本事例ではトンネルルートの概算事業費の比較にて効果判定を行う。ただし、算出した概算事業費については、不確定要素を含むため、あくまでも目安としての評価となる。

3. データ収集分析

(1) データ収集

収集したデータは、「道路概略設計報告書、既往地質調査報告書、空中写真、航空レーザープロファイラデータ、衛星 SAR データ」である。

(2) 地質リスクの検討（抽出、分析、評価）

LP データから作成した CS 立体図による微地形解析例と衛星 SAR による地盤変動解析例を図 4 に示す。この抽出結果を参考にルート周辺の地表地質踏査を実施した結果、トンネルルート沿いにこれまで認識されていなかった地すべりを含め、複数の地すべり地形が分布することが認められた。なお、計画トンネル断面にかかる地すべり断面形状については、既往および今回地質調査結果などを踏まえて推定した。

次に、衛星 SAR による斜面変動解析の結果、トンネルルートにかかる 6 箇所（推定規模 10 万～40 万 m³）にて年間数mm程度（地盤伸縮計での変動種別 C 相当）の斜面変動が確認された。

これら調査結果を踏まえて「影響度」と「可能性の高さ」の関係からリスクランク付けを行った結果、トンネルルートにおいて前述した 6 箇所の地すべりが A ランクと評価された。そして、地質リスク要因やリスクランクなどを記した地質リスク管理表を作成し、計画ルート地質平面図に併記して取りまとめた。図 5 は本事例の一例であり、トンネルルートで想定される地質リスク要因や発現事象を漏れなく洗い出し、4 号トンネル区間で該当する地質リスクを抽出後、管理表としてまとめたものである。

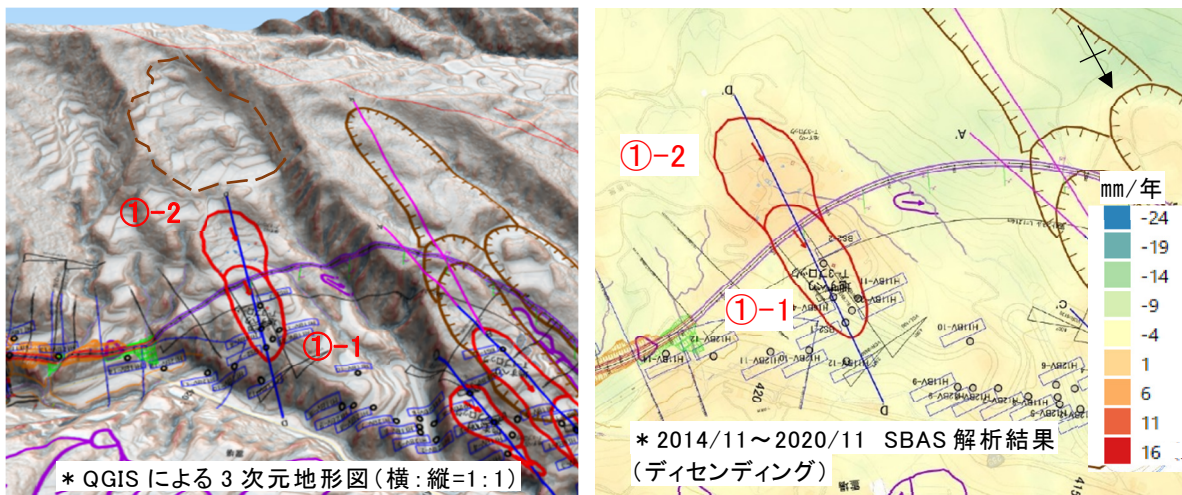


図 4 CS 立体図による微地形解析例 (左) と衛星 SAR による地盤変動解析例 (右)

5. データ様式の提案

本事例は A タイプであることから、データ様式 A を用いて整理した（表 3）。

表 3 A 表原案（修正なし）への記入

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		—
	工事名		道路事業
	工種		道路建設（事例ではトンネルを対象）
	工事概要		予備設計段階におけるルート検討
	①当初工事費		約 630 億円（ルート検討前概算事業費）
	当初工期		—
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		道路施工段階
	予測されたトラブル		トンネル施工に伴う地すべりの誘発
	回避した事象		地すべり対策による事業費の増大
	工事への影響		地すべり対策工事の発生、工期の増大
リスク管理の実際	判断した時期		道路予備設計段階（ルート検討）
	判断した者		事業者、調査者、設計者
	判断の内容		<ul style="list-style-type: none"> 調査者によるトンネルルートにおける地質リスクの抽出、分析、評価 設計者によるリスクランク A の地すべりをコントロールポイントとしたルート検討 事業者によるルート選定
	判断に必要な情報		LP データによる微地形解析結果、地表地質踏査データ、衛星 SAR による斜面変動解析結果、地質リスク評価、ルート比較データ
リスク対応の実際	内容	追加調査	LP データによる微地形解析、衛星 SAR による斜面変動解析
		修正設計	リスクランク A の地すべりをコントロールポイントとしたルート検討
		対策工	—
	費用	追加調査	—
		修正設計	—
		対策工	—
		②合計	—
変更工事の内容	工事変更の内容		地すべり回避ルートでの道路施工
	③変更工事費		約 620 億円（ルート検討後概算事業費）
	変更工期		—
	間接的な影響項目		—
	受益者		—
リスクマネジメントの効果	費用（①－③－②）		約 10 億円（推定）
	工期		—
	その他		地すべり対策事業費分のリスク回避

《引用・参考文献》

- 1) 北陸地方整備局：平成 31 年度新規事業候補箇所説明資料
- 2) 戸田堅一郎：曲率と傾斜による立体図法（CS 立体図）を用いた地形判読，森林立地 56（2），2014
- 3) 国土交通省砂防部、（独）土木研究所：地すべり防止技術指針及び同解説，平成 20 年 4 月
- 4) （大）東京大学・基礎地盤コンサルタンツ（株）：合成開口レーダー（SAR）の道路土構造物の維持管理への活用マニュアル（案），令和 3 年 7 月

【論文No. 4】 トンネル坑口に分布するトップリング性の緩み岩盤への対応

四国建設コンサルタント株式会社 ○仲間 真紀（地質リスクエンジニア登録番号 59）
宮本 凌也，木野 辰哉，大岡 和俊

1. 事例の概要

山岳トンネルの坑口計画箇所では、既往の弾性波探査やボーリング調査などの結果から、空隙を有する低速度の緩み岩盤領域が分布することが判っていた。この緩み岩盤の地質特性と性状を把握し、適切な坑口設計を行う事を目的とした地質調査と緩み岩盤の解析を行った。結果、緩みが著しい箇所を排土により除去し、坑口位置を変更することで地質リスクを回避した事例（A型）を報告する。

2. 事例分析のシナリオ

(1) 想定地質リスク

① 既往調査で把握されていた坑口斜面の地形・地質状況

坑口が計画されている斜面は、山岳地で繰り返し蛇行する河川沿いに位置し、約 40～50° の急傾斜となっている。また、当該斜面の中腹には滑落崖と考えられる遷急線が連続すると共に、等高線に乱れがあり、小規模な崩壊地形が散在するなど概ね台形の変状地形が認められる。

当該地の地質は、四万十帯南帯に位置する古第三紀の砂岩優勢砂岩泥岩互層である。計画トンネルの坑口位置から縦断方向の水平ボーリングでは、坑口から約 55m までの区間で幅数 10cm～100cm 超の空隙が多数確認され、開口割れ目が発達した緩み領域が分布することが判っていた（図 1）。また、これに先駆けて実施されたトンネル縦断方向の弾性波探査では、坑口斜面で弾性波速度が 1.5～2.5km/sec と下がり、斜面にみられる変状地形と併せて緩み岩盤状の「地すべり（Bブロック）」の分布が指摘されていた。

② トンネル設計への地質リスク

別途実施されていたトンネル詳細設計にあたり、緩み岩盤が地すべりの場合は、地すべり対策やトンネル補助工法などで対応できるとなった。しかし、緩んだトップリング岩盤の場合は、施工事例が殆どないことに加え、少ない変位量で岩盤破壊に至ることや破壊時の崩壊速度が速いため、施工時に岩盤崩壊発生などの重大リスクが発現する可能性があり、対策が極めて困難なことが判った。

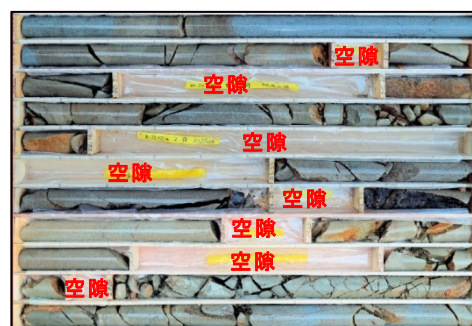


図 1 トンネル坑口コアの空隙状況

以上より、緩み岩盤が地すべりなのかトップリングなのかを適切に評価することがトンネル設計上の最重要課題となり、この解析結果を待ってトンネルや排土などの最適構造の検討や、ルート変更等を検討することとした。

(2) 地質構造の推定と地質リスク評価のための追加調査

緩み岩盤を地質的に評価するために、地表地質踏査および既往ボーリングコアを再鑑した。結果、調査地の地質構造は、斜面に対して受け盤の層理面と南北落ちの 2 つの節

理面で規制された面構造を持つことを確認した(図2)。さらに既往コアには斜面に対して流れ盤方向となる明瞭なすべり面が認められないことから、岩盤の緩みはトップリングに起因すると推定した。また、地形特性から緩み領域(Bブロック)を推定した(図2)。

これより、地質リスクとなるトップリングの分布範囲と性状の把握を目的として、斜面の横断方向で、弾性波探査、ボーリング(鉛直、水平)、ボアホールカメラ観測(BorNo.1)、各孔での孔内傾斜計および孔内自記水位計観測などを計画実施した(図2)。

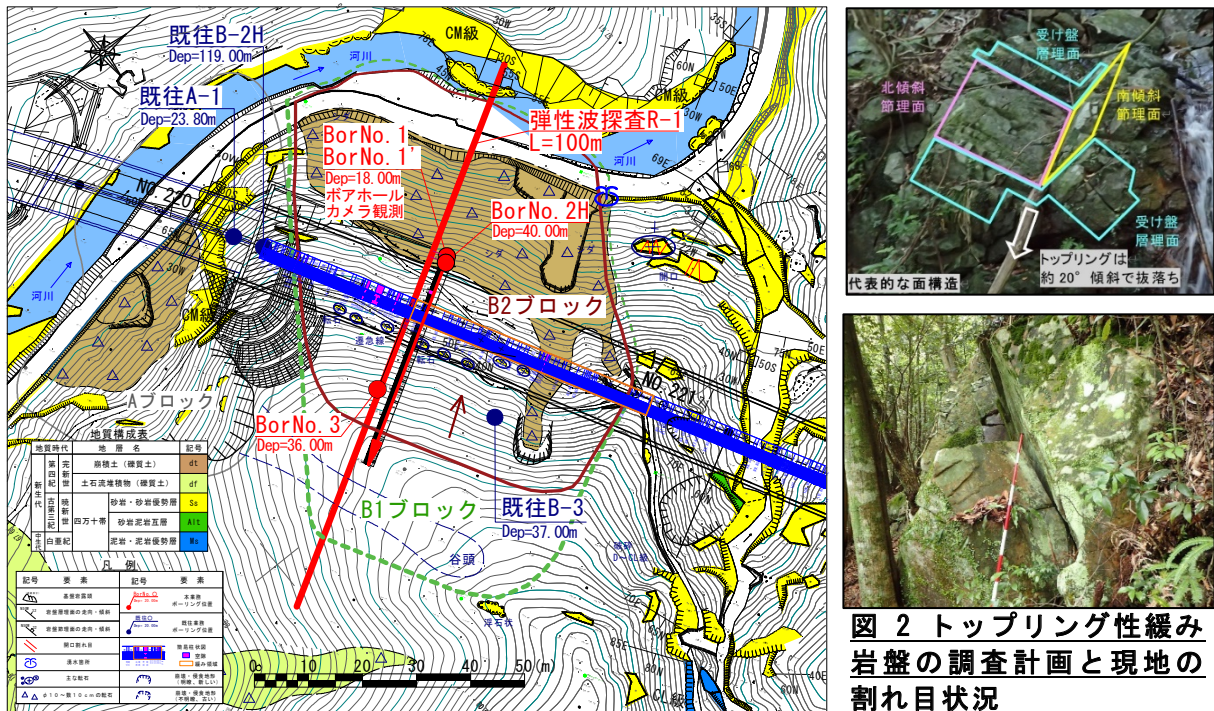


図2 トップリング性緩み岩盤の調査計画と現地の割れ目状況

3. データ収集分析

(1) 地質調査結果と緩みの状況

- ① 弾性波探査結果：はぎ取り法において表層から約 GL-5m までは 0.3km/sec、約 GL-13～18m までは 1.0km/sec 以下、約 GL-18～25m までは 2.45km/sec、以深は 3.4km/sec が確認された(図6)。
- ② ボーリング調査結果：硬質な塊状砂岩および砂岩優勢の砂岩泥岩互層が分布し、トンネル近傍の鉛直および水平ボーリングにおいて既往調査と同様に空隙が土砂層を介在する状態で確認された(図3)。
- ③ ボアホールカメラ観測結果：以下の結果から、トップリングによる岩盤の傾倒と緩みが進行していると判った。

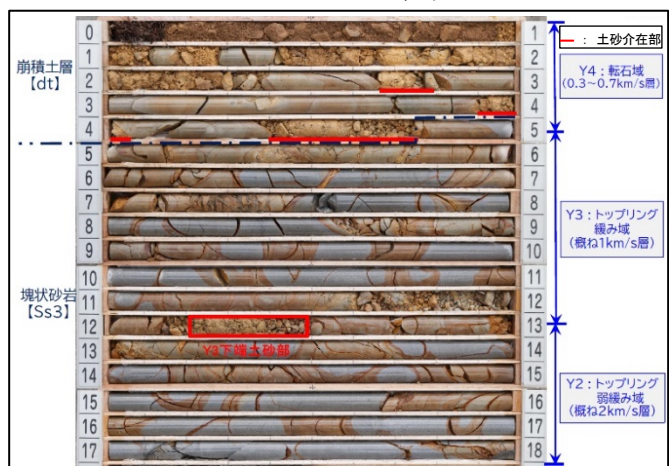


図3 鉛直ボーリングコアの空隙状況

- ・塊状砂岩主体で層理面は少ないものの、地質構造は地表地質踏査の結果と同じく、斜面に対して受け盤の層理面と、谷向き(流れ盤)の節理の組み合わせが優勢である。
- ・GL-5m 付近までは、岩塊の間に層厚 10～30cm で空隙に土砂が流入している。

- ・ GL-12.5m 付近は空隙に 90cm の土砂を挟む。層理面はこれを境として、上位が 45~60°、下位が 70° となり、上部で傾倒が見られる。また、GL-12.5m より上位は開口量が約 7m 区間で 130cm を超え、以深は、上位に比べて緩みの程度は少ない(図 4)。

(2) トッピング領域の評価

地質状況と弾性波探査結果の相関が良い事が確認されたため、当該斜面のトッピングにおける緩み状況を緩み地山区分として Y1~Y4 および W1 (表 1) に分類した。なお、区分に当たっては、表 2 の「岩盤ゆるみ度区分」を参考とし、坑口斜面とトッピングのイメージを図 5 に示す。

また、平面分布として、Y4 転石域と Y3 トッピング緩み域を B2 ブロック、この背面に分布する Y3' トッピング背面緩み域を B1 ブロックとした (図 6)。

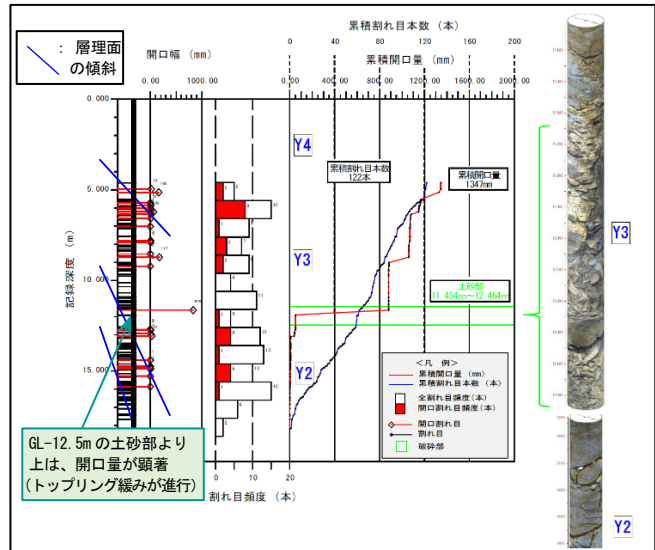


図 4 ボアホールカメラ観測による開口量の比較

※ Y2~Y4: 「表 1 緩み地山区分」を参照

表 1 緩み地山区分と岩盤の性状

記号	緩み地山区分	岩盤の緩み性状
Y1	安定岩盤域	緩みの影響がほぼ無い、安定した基盤岩。斜面下方より砂岩、砂岩泥岩互層、砂岩混在岩層。CM 級岩盤主体。地下水位より下方に位置する。弾性波速度は 3.6km/s (はぎ取り法)。
Y2	トッピング弱緩み域	トッピングによる緩みが軽微な領域。所々に層厚数 cm の流入土砂を介在する。混在岩では割れ目沿いに劣化が進行する。弾性波速度は概ね 2km/s (はぎ取り法)。
Y3'	トッピング背面緩み域	トッピング緩み域の背面に位置し、緩みの影響を受けている領域。砂岩泥岩互層および砂岩主体で概ね D 級岩盤。弾性波速度は概ね 1km/s (はぎ取り法)。
Y3	トッピング緩み域	トッピングによる緩みが進行し、層厚 10~90cm の土砂部を介在する領域。混在岩相では泥岩部が細片化。開口割れ目が発達し、透水性が高い。D~CL 級岩盤。弾性波速度は概ね 1km/s (はぎ取り法)。
Y4	転石域	φ 数 10cm~1m 程度の転石を含む緩い崩積土。転石は砂岩主体。トッピングによる著しい緩み箇所を含む。表層は植物根を含む表土。弾性波速度は概ね 0.3~0.7km/s (はぎ取り法)。
W1	強風化岩域	尾根筋に分布する強風化岩領域。風化により軟質劣化していると考えられる。砂岩主体で概ね D 級岩盤。弾性波速度は概ね 1km/s 以下。

※ ■ はトンネルや切土のり面で不安定となる岩盤

表 2 緩み区分の例

表 1 岩盤ゆるみ度区分の模式図と記載
模式図の黒色は割れ目(空隙やそれを充填する細粒分を含む)、白・灰色は種類の異なる岩石。

ゆるみ度区分	模式図	記載
Y1		割れ目は存在するが肉眼的に明確な開口は認められない。
Y2		1~10cm 程度の開口割れ目が認められる。単位長当たり累積開口幅でみると、1m あたり 5~10cm 程度である(岩盤性状によって単位長を変える)。岩盤の構造は粗粒に劣る。
Y3		個々の割れ目を認識するのが困難な「石積み状」の岩盤。割れ目は 10cm 以上と大きく開口している箇所があるが、基本的に破砕(岩塊)支持の枠組みを持ち、露頭スケールで岩盤の構造は残っている。ゆるみの進行にともなう新しい割れ目の形成や重力変形構造が認定できる場合がある。
Y4		岩盤の構造をほとんど残さず、一見崩壊植物状をなす状態。あるいは細粒物による基質支持で空隙の少ない凝固土状態。

「野外調査における岩盤ゆるみ度区分の提案」※応用地質, 第 58 巻, 第 2 号, 102-107 頁, 2017 参照

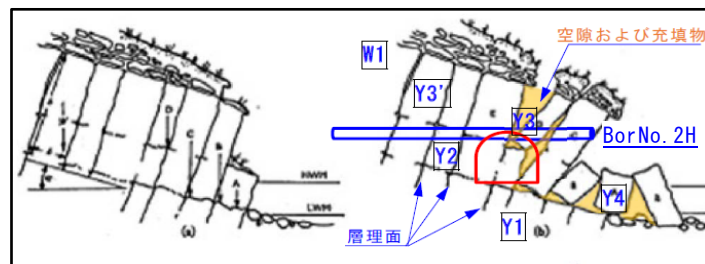


図 5 坑口斜面とトッピング状況のイメージ

※上野将司 2012 より抜粋加筆

前述の分類における斜面の緩み状況と評価を以下に示す。

- ・ボーリングおよびボアホールカメラ観測の結果、トンネル近傍では GL-12.5m 付近より上側は土砂を介在する空隙があり、トップリングによる緩みが進行している事が判った。また、弾性波速度は 1km/s 以下と低く、地質性状と整合する。緩み地山区分は、**Y3**~**Y4** であり、トンネル施工時に落盤の可能性が非常に高い区間と判断した。
- ・また、GL-12.5m 以深は、上位に比べてトップリングによる緩みの影響は軽微であり、弾性波速度は 2km/s 以下(はぎとり法による)である。緩み地山区分 **Y2** に区分され、道路の支持や排土において、施工対応が可能な区間と判断した。

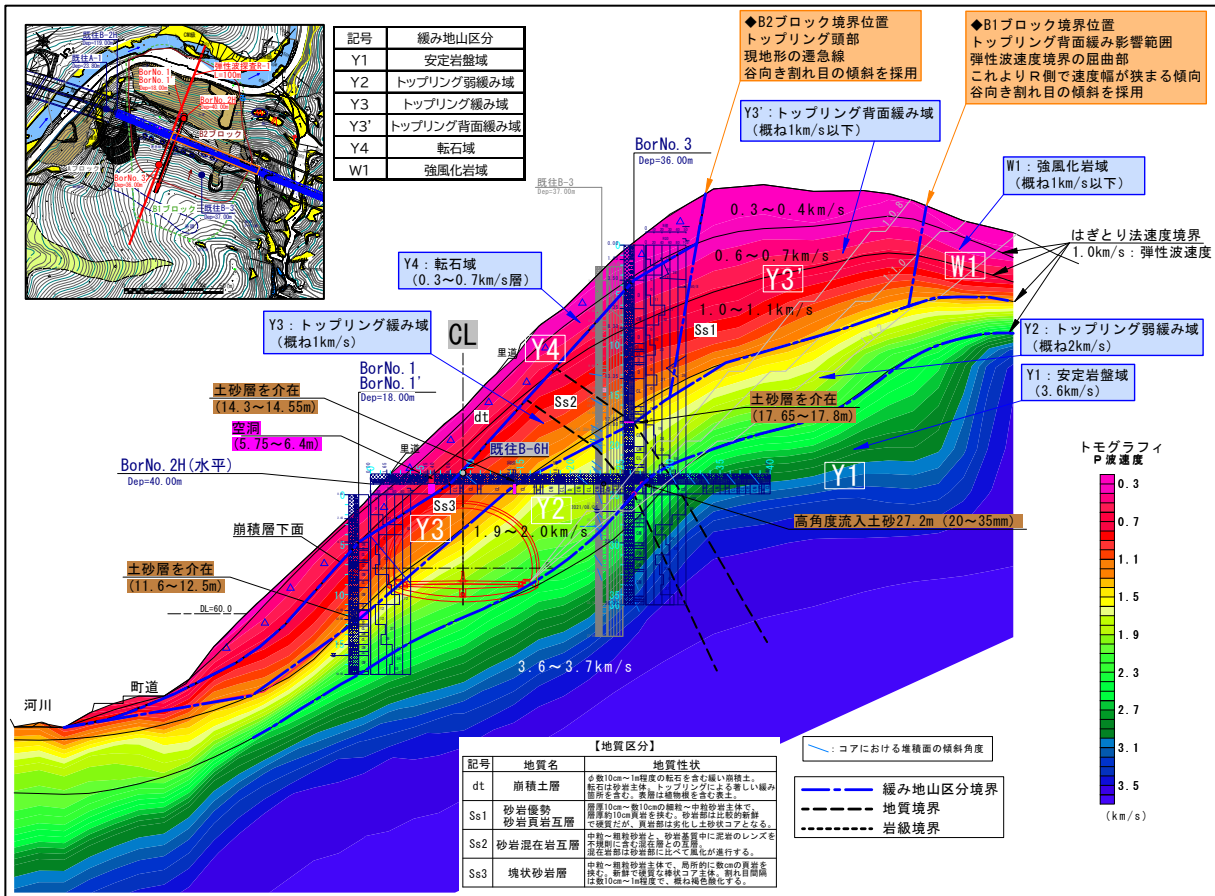


図6 トップリング性緩み岩盤の調査結果まとめ

4. マネジメント効果

上述の調査結果を基に、トンネルの詳細設計では、トップリングのリスクを考慮した対策を実施するとともにトンネル延長を変更した。

まず、施工時に落盤などのリスクが高い「緩みが著しい **Y3**~**Y4**」を排土により明かり区間とした。また、排土により生じる長大のり面には、「トップリングの素因を有する **Y3'**」が残るため、排土後のトップリング変形を考慮した FEM 解析を実施し、ロックボルトによる法面対策工を採用し、将来的な地質リスクの低減を図った。

コスト比較を行った結果を以下に示す。

【A 型マネジメント効果 = ①当初工事費 - ③変更工事費 - ②リスク対応費用】

① 当初工事費 (トンネル工事費 : 約 300 百万円 + 緩み岩盤対策費 : 約 120 百万円)

② リスク対応費用（追加調査費：22 百万円+ 修正設計費：10 百万円）

③ 変更後工事費（排土および法面工費：302 百万円）

◆マネジメント効果＝①－③－②：86 百万円

なお、トップリング領域を排土することにより、岩盤崩壊の地質リスクを回避した効果が高いと考えられる。

5. データ様式の提案（A）

本事例は A 型様式にて整理する。

A. 地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		—
	工事名		—
	工種		トンネル
	工事概要		山岳トンネル起点側坑口対策
	① 当初工事費		¥5 百万×延長 60m= 約¥300 百万 +緩み岩盤のグラウトやフォアポーリング 等が必要 約¥120 百万(未定)
	当初工期		約 42 ヶ月
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		初期調査時(初年)～追加調査時(4 年目)
	予測されたトラブル		坑口周辺の落盤
	回避した事象		空隙を含む岩盤の緩み
	工事への影響		大
リスク管理の実際	判断した時期		詳細設計時
	判断した者		発注者、地質調査会社、詳細設計会社
	判断の内容		空隙を含む岩盤の緩み領域をランク分けし、トンネル施工が可能な箇所までを排土とし、坑口位置を変更した。
	判断に必要な情報		岩盤緩み領域の性状と分布に関する地質情報
リスク対応の実際	内容	追加調査	追加踏査、地形解析、調査ポーリング、ボアホールカメラ、孔内載荷試験、ルジオン試験
		修正設計	FEM 解析 坑口位置変更、切土追加
		対策工	トップリング部を排土し、切土箇所に残存する緩み域をロックボルトで補強
	費用	追加調査	¥ 22 百万
		修正設計	¥ 10 百万（設計・FEM 解析）
		対策工	¥270 百万（排土工、法面工）
		② 合計	¥302 百万
変更工事の内容	工事変更の内容		排土
	③ 変更工事費		¥270 百万 直工
	変更工期		—
	間接的な影響項目		¥未定 【線形変更に伴う修正設計】
	受益者		—
リスクマネジメントの効果	費用(①－③－②)		¥86 百万
	工期		—

【論文 No. 5】 河川護岸工事における地すべりリスク発現と対応事例

川崎地質株式会社 企画・技術本部 ○榎原 信夫
北日本支社 磯 高之

1. 事例の概要

本事例は、豪雪地帯の河川護岸工事の仮設工や異常増水による河床洗堀を誘因として、河床に抜ける地すべり活動が発生した地質リスクの事例である。

地質リスクが発生した工事箇所は、県管理の河川で河川等災害関連事業として施工延長226m間で掘削工、築堤工、護岸工、根継工、排水工、護床工が実施されていた。

本災害関連事業は、地すべり防止区域内で施工されるものであったことから、地すべり解析を行い慎重に工事を進めていた。想定地すべりブロックから外れた下図黄色のエリアで護岸工等の施工を行っていたところ、左岸部で想定よりも広範囲での地すべりが発生し（図1）、地盤変動により建物3棟が破損し工事損失が発生した。

その後、自治体職員、施工業者とともに、応急対策を早急を実施して、被害を最小限に抑えることができた。

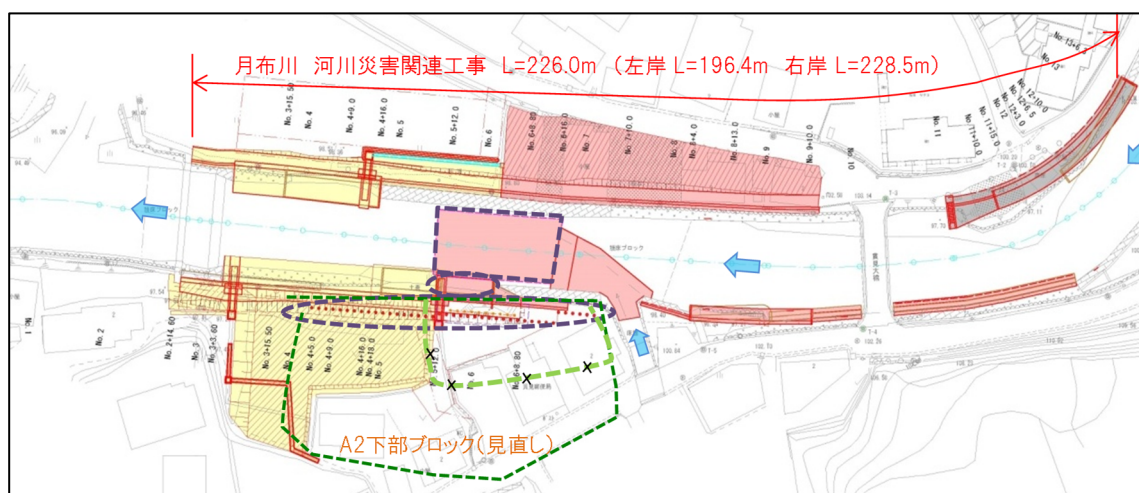


図1 施工箇所・地すべりブロック平面図

2. 事例分析のシナリオ

河川工事が設計・施工される前から、当該箇所の泥岩中に低角度傾斜の地すべりブロックが分布する事が把握されていた。そのため、地すべり調査が実施され、パイプひずみ計・地下水位計による動態観測体制が構築されていた。施工前には、パイプ歪計で変動は認められず、ボーリングコア観察よりすべり面深度を想定し、すべり面形状を想定していた。

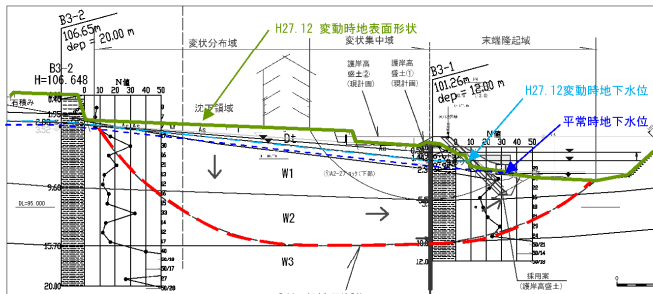
非出水期になった11月に河川護岸工事が始まり、その後、12月および翌年2月に降雨および融雪により地下水位が上昇し、微小な地すべり変動が認められていた。その後、仮締切大型土のうを一時的に撤去した3月に変動が発生した。そのため、応急対策として大型土嚢+抑え盛土工を実施し、地すべり変動は一時的に収束した。

さらに、4月に約50mm/日の降雨により融雪が進行して河川増水・水位上昇により、

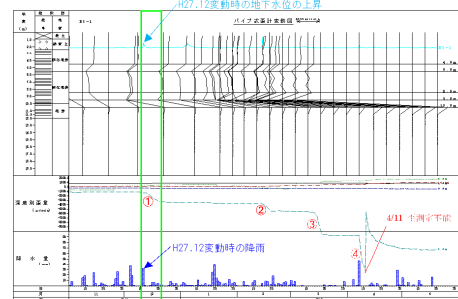
誘因

1) 地下水位の上昇による地すべり抵抗力の低下

平成27年12月および平成28年2月の変動の際は、降雨・融雪に起因する地下水位の上昇が約0.8m認められた。平成28年2月の変動では、地すべり末端部の大型土嚢および仮締切の流出の影響も重複していたと考えられる。



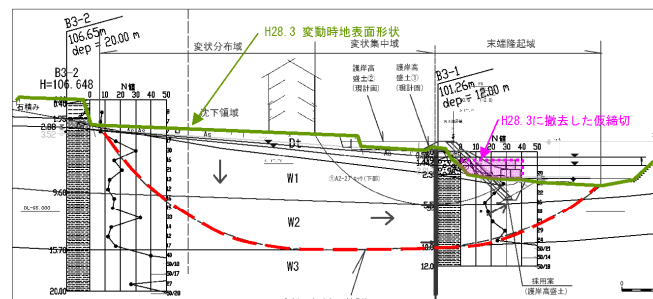
断面図 (H27.12の地下水位の上昇時)



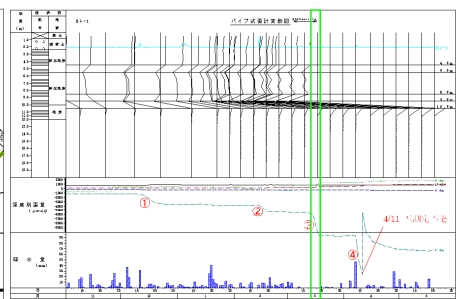
B3-1変動状況図 (緑枠内: H27.12の変動)

2) 土工による地すべり末端部の荷重の除去

平成28年3月の変動は、仮締切撤去の時期に一致する。仮締切の除去により、仮大型土嚢設置まで、地すべり末端部の荷重が除去された状態となっていた。降雨や地下水位の上昇はなかったため、土工（仮締切撤去）により、地すべり変動が発生したと考えられる。



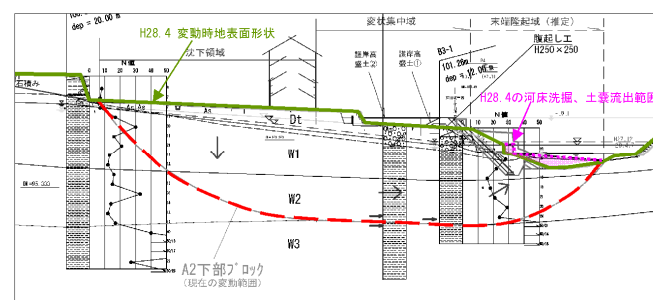
断面図 (H28.3の地下水位の上昇時)



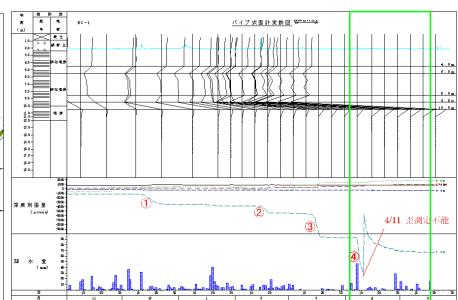
B3-1変動状況図 (緑枠内: H28.3の変動)

3) 河川水位上昇に伴う河岸部の流出および河床部の洗掘

平成28年4月の変動では、河床部が大きく高さ1m程度洗掘され、一部の大型土嚢が流出した事が確認されている。河床部の洗掘および大型土嚢（河岸部）の一部流出により、地すべり末端部の荷重が除去された状況となったため、変動が発生したと考えられる。



断面図 (H28.4の河床洗掘時)



B3-1変動状況図 (緑枠内: H28.4の変動)

図2 パイプ歪計・地下水位計動態観測グラフ

抑え盛土の流出、河床土砂の洗掘が生じ、地すべり変動が活発化した(図2)。近隣の建物では、壁面クラックや床の傾動、ドアの開閉障害ならびに近隣の道路には路面クラックなどの変状が顕在化した(図3)。

早急に既設観測機器データの1時間ごとの確認と変状の拡大監視を昼夜交代で実施する

とともに、応急対策を発注者および施工業者とともに検討し、大規模の抑え盛土と河床洗堀箇所への袋詰め玉石を設置した。その結果、地すべり変動は沈静化した。

応急対策工と同時に、地表伸縮計を設置するとともに、追加ボーリングを実施しパイプ歪計を設置する事で、観測体制を強化するとともに、ボーリングコア観察と動態観測結果より、すべり面深度を把握し、既往調査段階のすべり面形状を見直した。

見直したすべり面形状より、安定解析および恒久対策工を検討した。その結果、建物への変位を最小限とするため『アンカー付き抑止杭工』を恒久対策工として選定した。

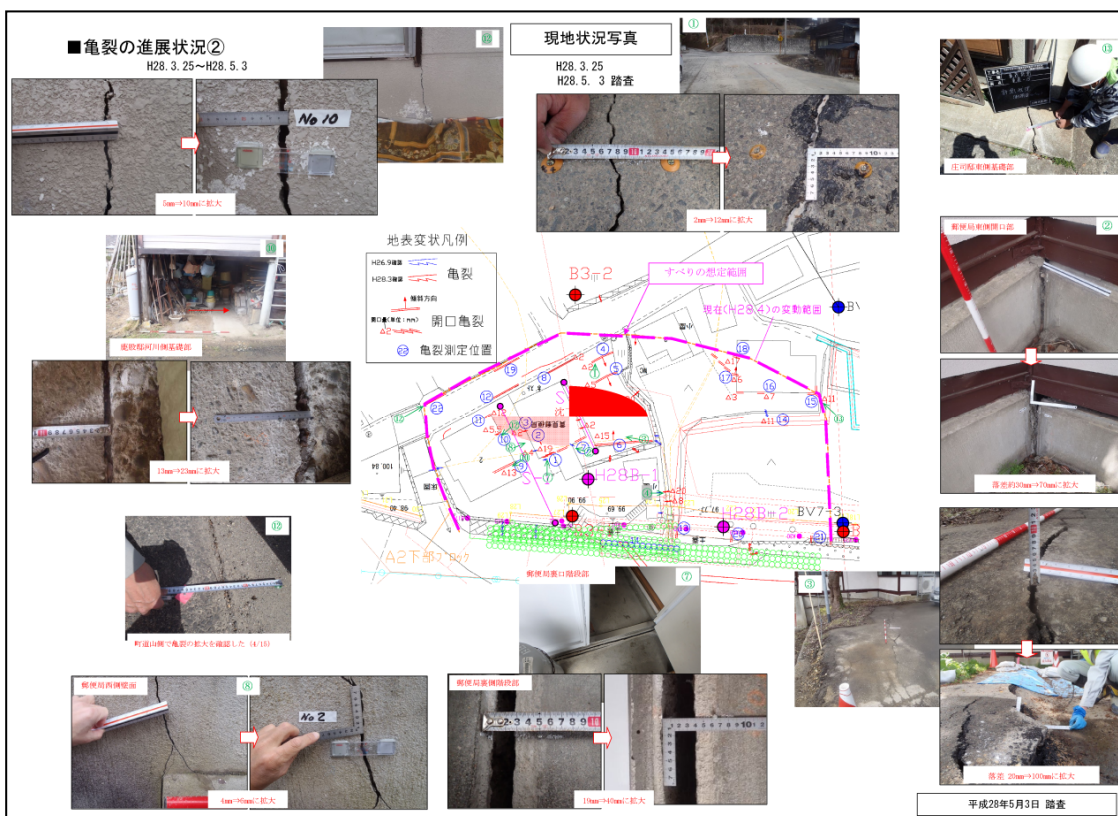


図3 建物変状写真

3. データ収集分析

(1) 既往調査結果の評価

今回発生した地すべりのすべり面形状は、既往調査で想定していた形状と異なっていた。すべり面形状の想定が異なっていた理由は以下のとおりである。

- ・ボーリングコア観察では、泥岩中に破碎部が多く認められたため、すべり面を絞り込むことが難しかった。
- ・施工時まで、動態観測では変動が認められなかった。
- ・周辺は家屋や道路があり地形改変が著しく、地形判読から地すべり範囲を想定する事が難しかった。
- ・以上の事から、N値の低い箇所をすべり面として判定してすべり面形状を想定した。

変動発生後の観測結果から、泥岩中の破碎部が分布する範囲の下端で変位が確認された。すべり面形状を判定する際には、安全側に地すべり破碎範囲の下端ですべり面形状を想

定し、施工時の安全性照査を行う事で、リスク回避に努める必要があったと考えられる。

(2) 地すべり変動要因の評価

地すべり変動発生要因として、以下の予測困難な事象が発生した。

- ・融雪期に日雨量 50mmの豪雨が重なり、河川流量が非常に大きくなった事で、仮設の抑え盛土が流出した。
- ・同時に河床洗堀が発生し、地すべり末端部のカウンターとなる土砂が大幅に流出してしまった。

これらの事象は事前にリスクとして予測することが困難であったが、豪雪地帯である地域的な特性も考慮して、融雪期の増水に配慮した『仮設の袋詰め玉石の河床部への設置』などの河床洗堀対策を実施する事で、被災規模を低減できた可能性がある。

(3) 地すべり恒久対策工の評価

4月の変動後の応急対策により地すべり変動は沈静化した。その後、追加のボーリング調査を実施して、すべり面形状を見直した。地質調査結果に基づき、地すべり機構解析、安定解析を実施し、恒久対策工を実施した。

対策工は、以下の現地条件を踏まえて計画した(表1)。

表1 恒久対策工法の選定一覧表

対策工法	現地条件との適合性	適否
地下水排除工	河川水位の影響を受けるブロックであり水位低下させることができない。	×
アンカー工	護岸施工を伴うため、反力体を設置できない。	×
杭工	施工に支障がなく、現地条件との整合性が最も高い。	○

杭工は、周辺建物の変状発生を防止するため、杭頭変位の発生を抑えるため、『アンカー付き抑え杭』を選定した。

対策工後に実施予定の河川護岸工事の中では、床掘削時が最も安全率が低下する。そのため床掘削時のケースを対象に断面形状で必要抑止力を算出し、その後の施工時の災害発生リスクも考慮した対策工を計画した。

4. マネジメント効果

(1) 地すべりリスクの事前の予見

本事例は、河川の異常増水による河床洗堀という事前にリスクの予見が困難な事象と、すべり面形状の想定が不適切であった事が重複する事で、地すべり災害リスクが発現したケースである。

すべり面形状の想定では、観測機器による変位が確認でき、すべり面を特定できれば、正確にすべり面形状を想定する事ができる。今回のように事前に変位が確認できない場合

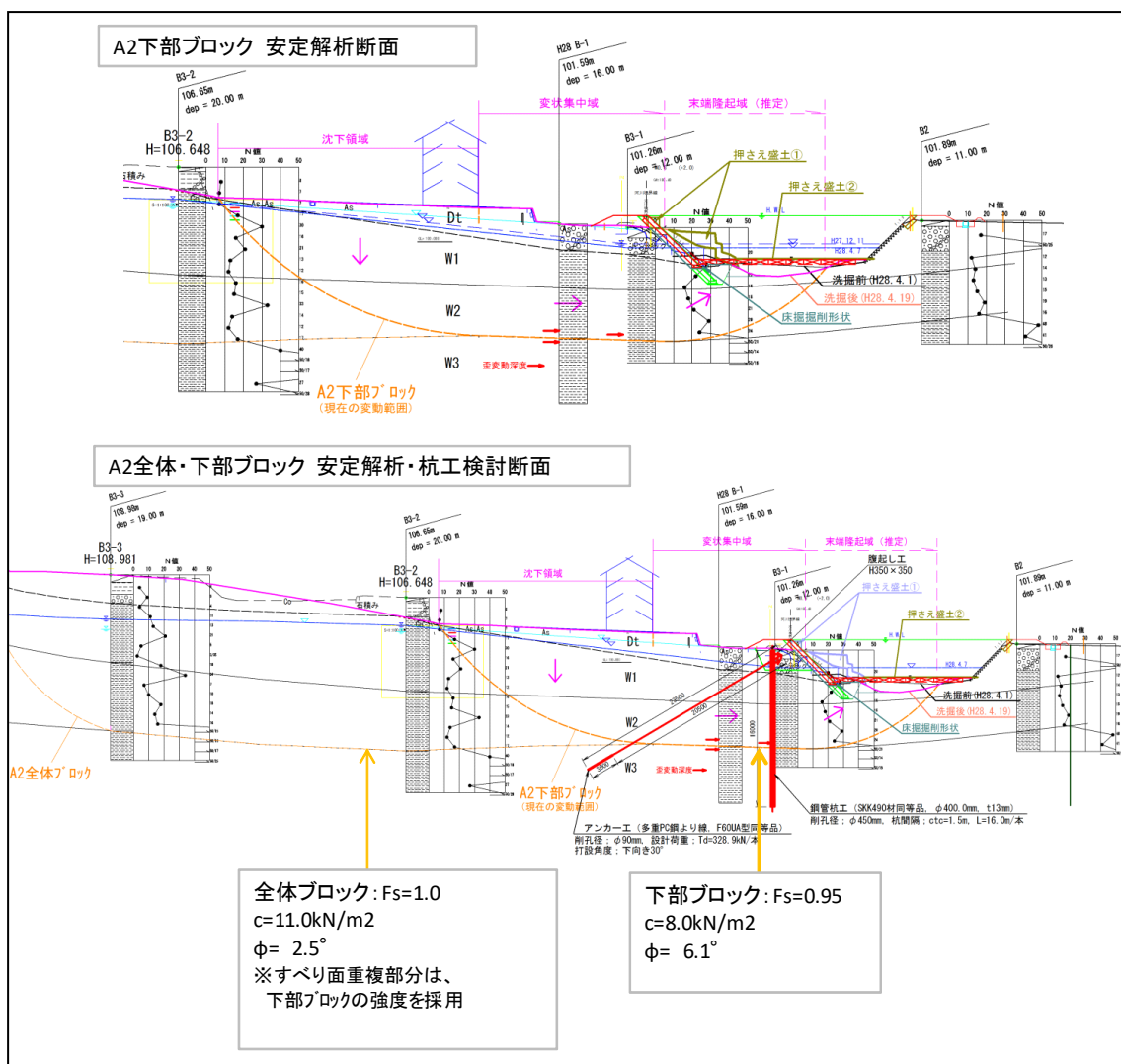


図 4 安定解析・対策工法検討断面

は、ボーリングコアや地形からすべり面形状を想定する事となり、想定精度が低くなる懸念がある。

このような場合には、発注者に十分に説明した上で、できるだけ安全側ですべり面を評価するなどの配慮が必要になると考えられる。

(2) 恒久対策工のリスクマネジメント

災害発生後の恒久対策工検討の際には、施工計画を考慮して、最も安全率が低下する施工段階を対象に安定解析と対策工を検討する事で、リスク回避に努めた。

工法検討に際しても、周辺建物への影響がないように、杭頭部の変位を抑えたアンカー付き抑え杭を計画した。

既に地すべり対策工と護岸工事は終了している。工事終了後3年間にわたり地すべり観測と周辺の変状確認を行った結果、豪雨時や増水時にも地すべり変動や建物への変状は発生していないため、対策工は適切であったと考えられる。

【論文 No. 6】 傾斜地盤における側方流動の発生と対策について（Cタイプ）

川崎地質株式会社 ○利根 穂志美

太田 史朗・野尻 峰広・飯田 誠

(1) 事例の概要

本事例は、河川の後背地に建設した築堤兼用道路の盛土設置箇所において、軟弱層が傾斜していることにより、盛土に継続的な変位が生じたため、対策工の検討を行った事例である。

変位の要因としては、有機質土の層厚が事前調査時の想定より厚いことによる「二次圧密」、路面クラックに開口が認められることによる「基盤傾斜に沿った軟弱層の側方流動」などの地質リスクが想定された。

これらに対し、変位を抑制し、堤防や道路機能への影響を軽減するための対策工として地盤改良工法を選定し、これに伴う現地調査及び FEM 変形解析の実施により最適な改良範囲や深度を検討した。

なお、本事例は、工事段階で発現したリスクとも考えられるが、追加対策の内容自体が、事前にリスクを予見出来た場合と大きく変わらないため、施工後の沈下計測によって、リスクを予見した事例（Cタイプ）として整理した。

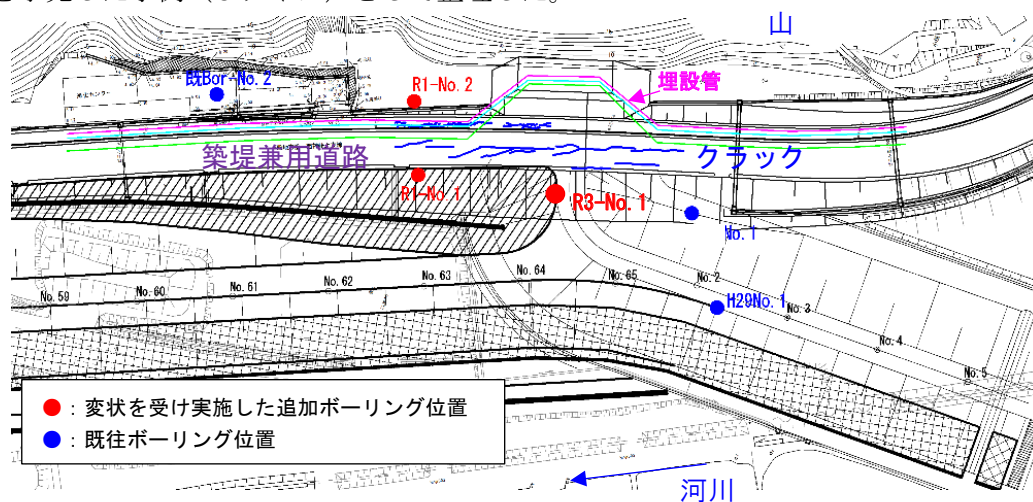


図 1 平面図



写真 1 路面に発生したクラックの状況

(2) 事例分析のシナリオ

当該地では、築堤工事後の完了後に路面クラックが発生し、一度補修工事を実施したものの、すぐに再変状が生じている状況にある。

図3に示す当初の地質断面図では、路面クラック発生箇所の軟弱層厚は薄く、一般的には沈下は早期に収束すると考えられるが、現地では層厚に不相応の変位が続いていた。

このため、変位が継続している要因を確認すべく、新たに地質調査を行うものとし、オールコアボーリングによる有機質土 (Apc) の層厚確認、間隙水圧測定による圧密沈下の収束状況の把握、ボーリング孔を用いた地中変位の観測を行うものとした。

また、河川側に軟弱層が厚くなっている状況から、側方変位や変位に伴う路面の沈下は、長期にわたり継続する可能性があるため、FEMによる変形解析を行うものとした。

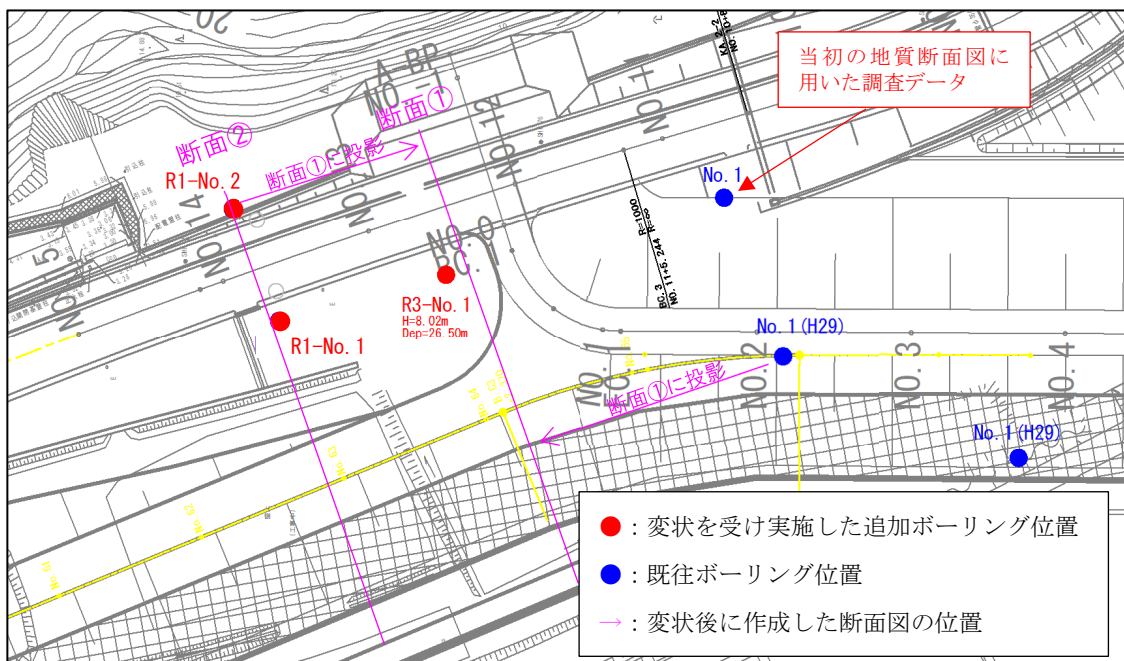


図2 追加ボーリング位置と断面図の作成位置

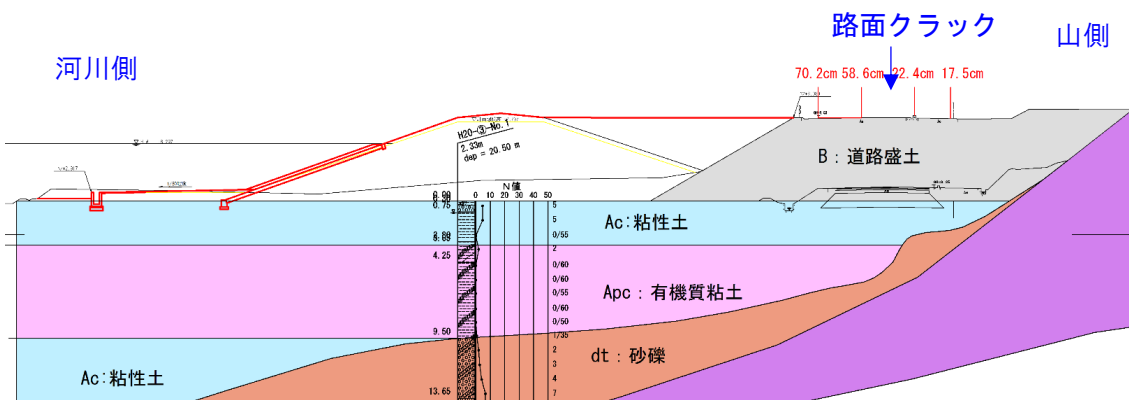


図3 当初の地質断面図 (断面①)

(3) データ収集分析

追加調査結果に基づき作成した地質断面図を図4及び図5に示す。

路面クラックが顕著な断面①(図4)では、高圧縮性で軟弱な有機質土(Apc)が層厚5m程度で分布し、下位に分布する崩積土層(dt)の傾斜も当初の想定よりも急勾配となっている。路面クラック発生区間の下流端の断面②(図5)では、有機質土(Apc)の層厚が薄く、下位に分布する崩積土層(dt)の傾斜も相対的に緩い状況にある。このような局所的な有機質土の分布や基盤の傾斜状況の差異については、事前のボーリング調査1箇所では捉えきれない事象であったと判断される。

地盤内の間隙水圧から求めた圧密度は72~92%を示し、圧密沈下は収束傾向と判断されるが、図6に示す地中変位の観測結果では、有機質土層(Apc)の下端から上部にかけて、河川側に側方変位が継続していることが確認された。

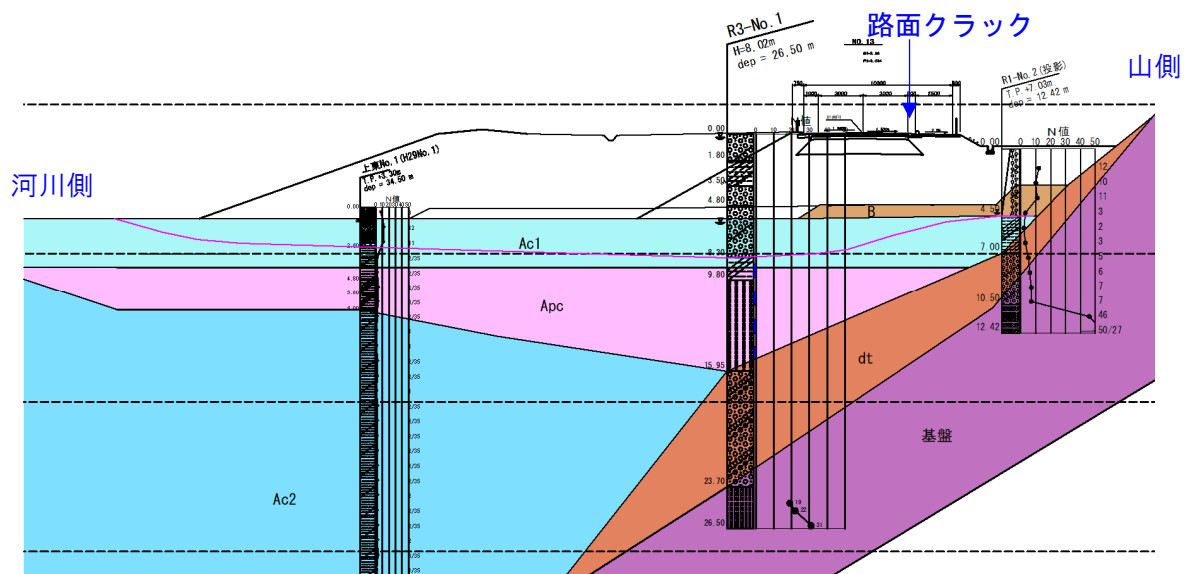


図4 追加調査に基づく地質推定断面図(断面①)

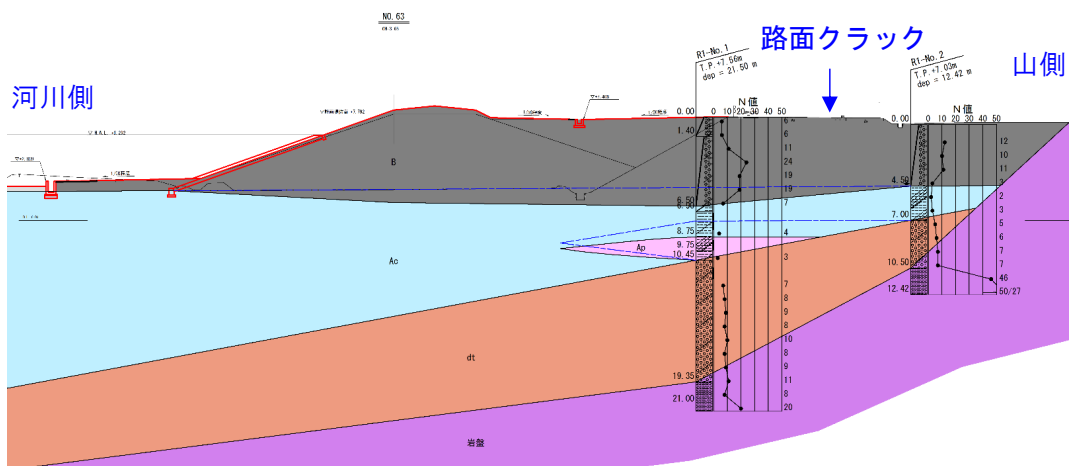


図5 追加調査に基づく地質推定断面図(断面②)

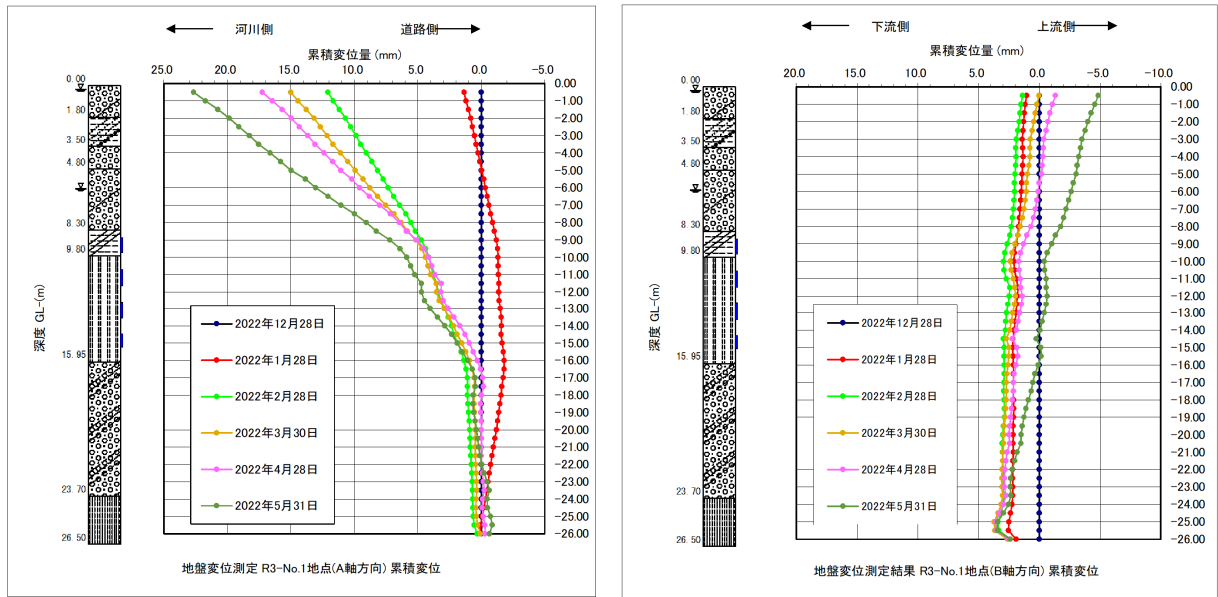


図6 地中変位の状況

これらの事象は、FEM 解析によっても再現することが出来、地盤対策を行わない場合、側方変位の影響で道路の水平変位や沈下が長期にわたり発生し、更には、将来的に、堤防内にもクラックが発生し耐浸透機能に影響を及ぼすことが懸念されたため、固化改良による地盤対策により、側方変位を抑制するものとした。

対策工の細部検討としては、改良率、改良幅、改良深度、改良強度を検討・整理した。また、対策工の施工時に想定される地質リスクの1つである「改良体の強度発現不良」については、当該地の有機質土で土の pH 試験を行った結果、水和反応が阻害される pH3.5~4.0 を示し、通常のセメントでは、固化不良を引き起こす可能性が示唆されたため、高有機質土用の固化材を適用するものとした。

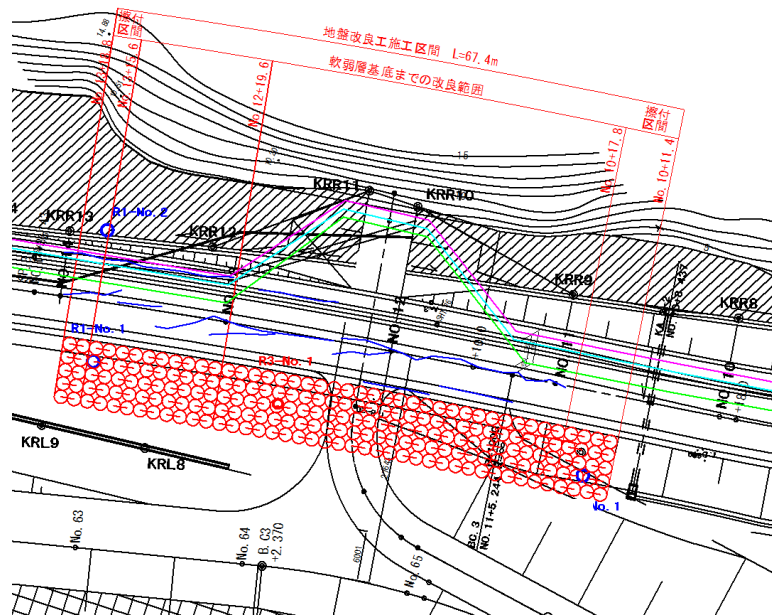


図7 提案した地盤改良範囲

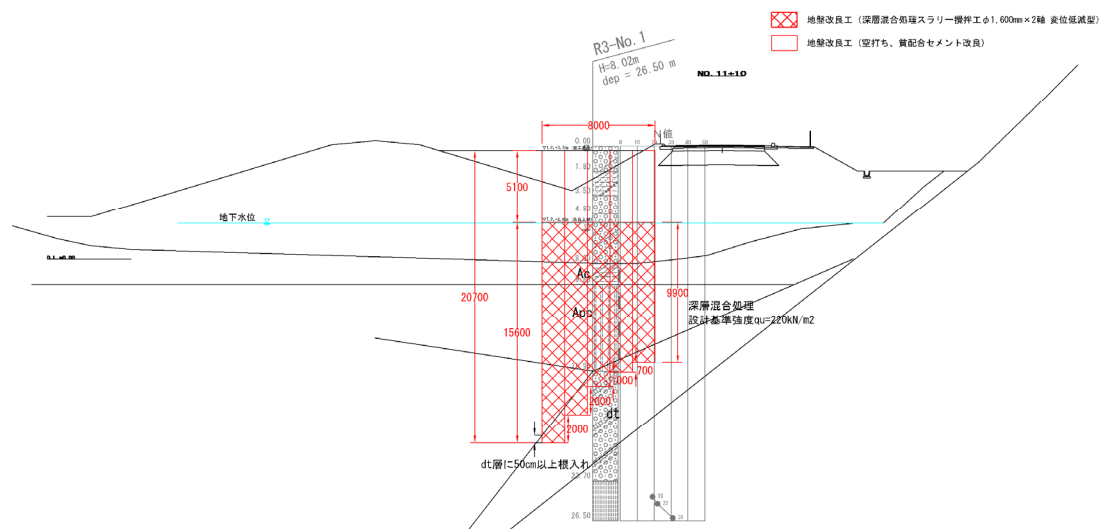


図 8 提案した地盤改良幅と改良深度

(4) マネジメントの効果

路面クラックが再発した状況を経緯として、変状の要因が、沈下ではなく側方変位によることが明らかになり、この地質リスクを放置した場合、路面の補修が長期間にわたり発生したと想定される。

表 1 に示すマネジメントの効果では、地盤対策工を施工してリスクを回避した場合が経済的にも有利と判断されるとともに、開口を伴う路面（車道、歩道）クラックを防止することで、道路の安全性が確保され、地域（車両、歩行者）への影響回避も期待される。

表 1 マネジメントの効果について

ケース	追加工事費(千円)		工期
①リスクを回避しなかった場合(想定)	築堤兼用道路補修費	¥60,000	30年間、沈下や側方変位が継続
	埋設物修理費		
②リスクを回避した場合(概算工事費)	調査・設計費 ¥10,000	¥60,000	1年間
	地盤対策費 ¥50,000		
リスクマネジメントの効果(①-②)	経済的には同規模であるが、安全性が大きく向上する。		補修に伴う道路交通への影響回避

(5) データ様式の提案

発現した地質リスクに対し変位を抑制し、堤防や道路機能への影響を軽減するための対策工として地盤改良工法を選定し、これに伴う最適な改良範囲や深度を検討した。工事はこれから行われるものであり、対策工設計で見込んだ概算工事費を計上した。

表 1 C 案現表への記入

大項目		小項目		データ
対象工事		発注者		非公表
		工事名		非公表
		工種		非公表
		工事概要		非公表
		①当初工事費		非公表
		当初工期		非公表
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期		堤防の施工完了後の計測管理中
		トラブルの内容		築堤兼用道路（築堤盛土）に開口クラックが発生
		トラブルの原因		軟弱層が傾斜し、河川側に側方変位が発生
		工事への影響		なし
	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		リスクを放置した場合は、長期にわたる補修工事が発生		
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		30年間側方変位が継続
		予測されたトラブル		道路の変状が長期間継続 埋設物の破損
		回避した事象		長期にわたる補修工事 埋設物修理
		工事への影響		
	リスク管理の実際	判断した時期		盛土完了後に発覚
		判断した者		発注者・地質コンサルタント
		判断の内容		地盤改良の提案
		判断に必要な情報		地質情報、地中変位の計測結果
	リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング調査、間隙水圧試験、サンプリング、室内土質試験（物理試験・力学試験）、傾斜計観測、
			修正設計	二次元 FEM 解析
			対策工	地盤改良
		費用	追加調査	¥5,000
			修正設計	¥5,000
			対策工	¥50,000
③合計			¥60,000	
回避しなかった場合	工事変更の内容		クラック箇所の補修工事、道路の安全性低下、埋設物の破損修理	
	④変更後工事費		¥60,000	
	変更後工期			
	間接的な影響項目		・維持補修費の増大および地域への影響と信頼感の低下	
	受益者		管理者、地域住民	
リスクマネジメントの効果		費用④－（①+②+③）		経済性としては同等
		工期		
		その他		

[論文 No. 7] 河川小堤施工における地質リスクの発現事例(堤体基礎地盤の崩壊事例)

株式会社日さく ○長谷川智史・堀信雄(地質リスク・エンジニア登録番号 120)・

石川恵司・竹田知史

1. 事例の概要

本事例の対象となる河川は沖積低地を流下しているが、当該区間においては、河川左岸側に洪積台地が迫っている。当該区間をはじめ、台地近傍では堤防未整備区間が点在しており、今後、本堤整備が計画されている。

問題となった河川小堤は、本堤築堤までの期間における仮設小堤としての位置づけで、盛土高 3.0m として計画・施工されたものである。

小堤施工段階において、盛土高 3.0m までの盛土を行った直後、盛土高 3.0m の施工区間の一部において、基礎地盤の崩壊が生じ、堤体盛土と地山層を含む移動土塊が川表側へ滑動し、移動土塊は河道部へ 20m 程度押し出されて堆積した。

本論は、小堤の崩壊を受けて、調査・設計・対策工を実施した事例となる。

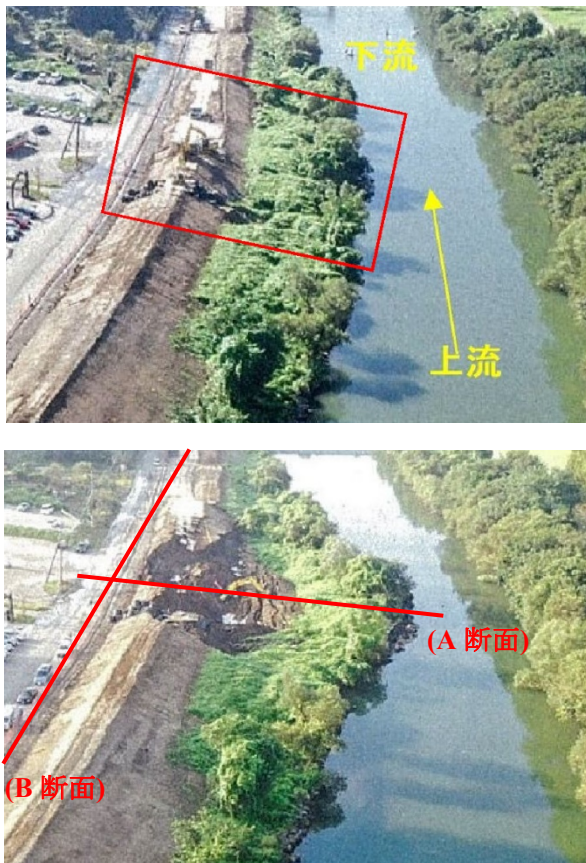


図1 崩壊地の状況
(上)崩壊前、(下)崩壊後

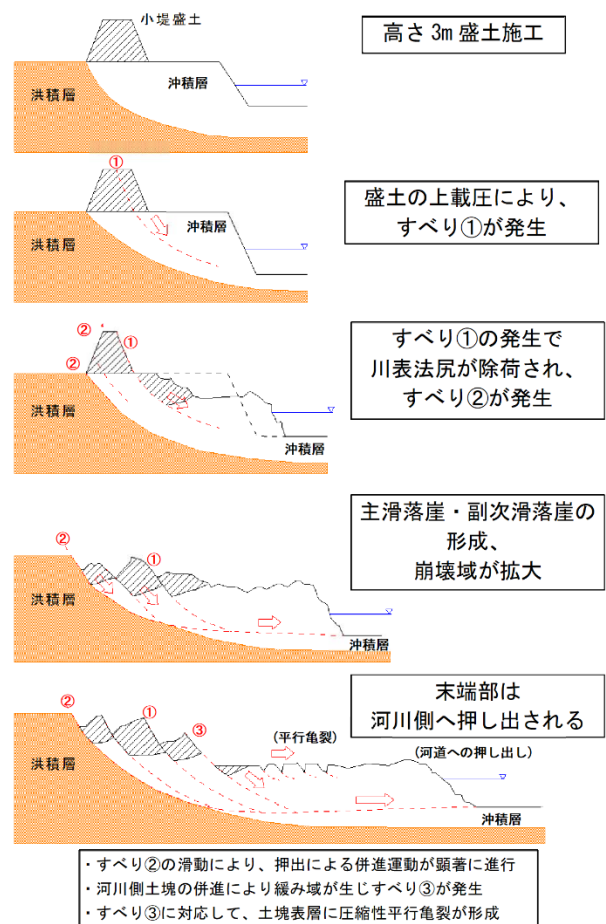


図2 崩壊メカニズムの想定機序

2.事例分析のシナリオ

(1)盛土崩壊の状況

崩壊が発生した日には、盛土高 3.0m までの段階盛土が施工された。当該施工日の夕方、3.0m まで盛土された区間において崩壊が発生した。崩壊後の調査で想定された崩壊の機構は以下の通りである。

小堤の川表側法尻部において最初の崩壊が生じ(図 2①)、その後、小堤全体を引きずるように、主滑落崖が形成された(図 2②)。その際、冠頭部側のすべり面は、洪積層-沖積層境界部を滑っており、円弧すべり状である。一方、移動土塊の末端部においては、概ね水平なすべり面となっており、軟弱な沖積層が水平に押し出され、20m ほど河川側へ併進運動したと推定される。その後、ゆるみ域において3度目の崩壊が生じ(図 2③)、移動土塊表面に圧縮性の平行亀裂が生じた。

(2)崩壊要因

盛土施工に伴う基礎地盤の崩壊であり、盛土高 3.0m 区間において崩壊が発生していること、盛土直後の崩壊であることから、盛土荷重を誘因とするすべりの発生と考えられる。崩壊発生後に実施された追加調査(後述)によると、下記の3点が素因として指摘された。

- ①軟弱層の広範な分布：河川近傍の沖積低地であり、腐植土を含む軟弱な沖積層が厚く、広く分布していた。このため、移動土塊の併進運動が生じ、崩壊頭部の規模に対して、崩壊末端域が大きく拡大したと想定される。
- ②急傾斜面をなす埋没洪積台地：当該河川の左岸部には洪積台地が迫っており、洪積台地上の谷や尾根に連続した地形が沖積層下位に埋没している。崩壊の起点となった箇所では、洪積台地の尾根地形が張り出して急傾斜面を形成し、河川側に傾斜する「流れ盤」となっている。このため、崩壊起点近傍では、すべり面となる洪積層-沖積層境界か河川側へ急傾斜しており、滑りやすい素因の一つと推定される。
- ③地下水位の高い集水地形：洪積台地の尾根の両端には浅い谷地形があり、台地上では集水地形となっている。このため、崩壊域周辺では隣接する集水地形のため、地下水が集まりやすく、地下水位も高くなっていた可能性がある。こうした浅い地下水が、当初の法尻崩壊に関与した可能性がある。また、洪積層砂質土層は被圧地下水の帯水層となっており、すべり面に間隙水圧が働いた可能性がある。

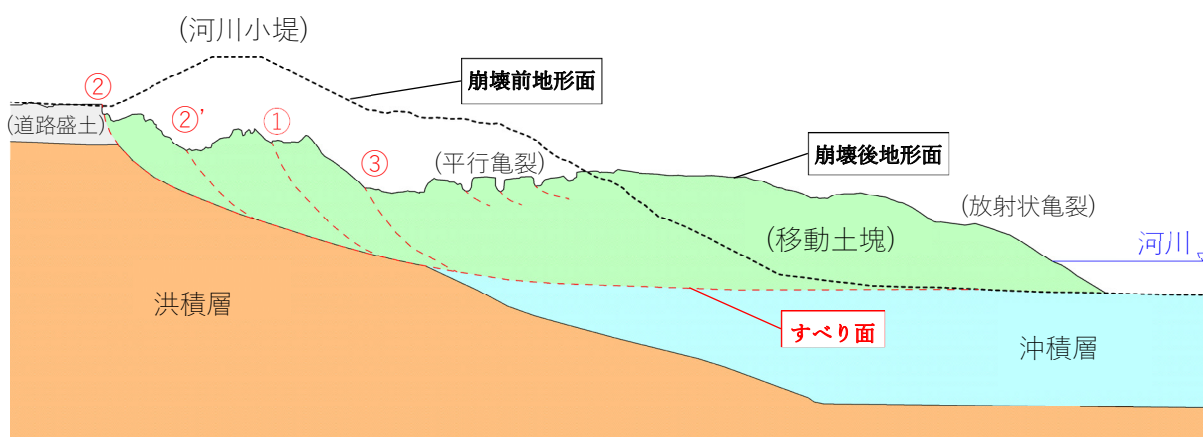


図3 崩壊域主部の地質断面図(A断面)

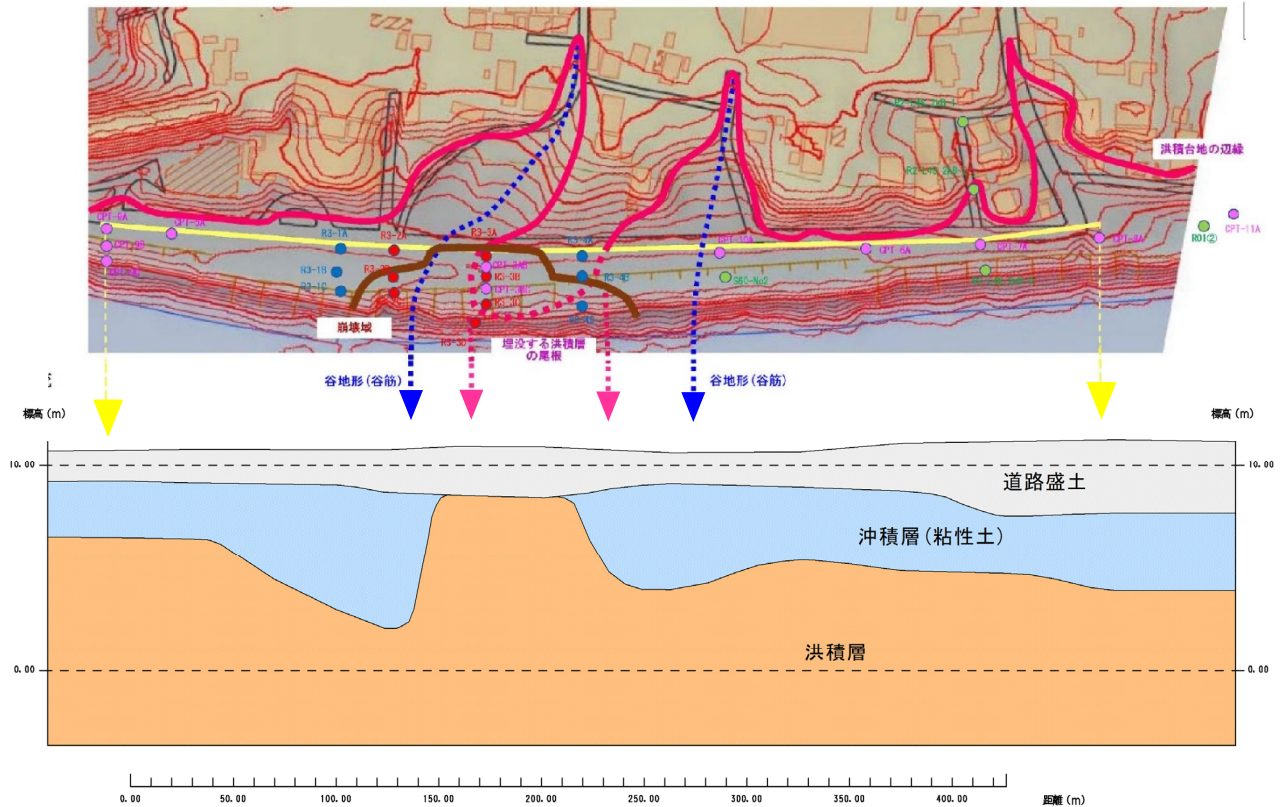


図4 河川沿いにおける追加調査後の地質断面図(B断面)

(3)追加調査

崩壊発生後、崩壊域の地層構成と物性値を把握する目的から、崩壊域における現地踏査1式、ボーリング調査13本(洪積砂質土を確認する深度まで)を行った。標準貫入試験と室内土質試験(物理・圧密・三軸)より強度定数を把握した。また、崩壊域中央部においてパイプ歪計2箇所を設置し、すべり面深度の把握と動態監視を行った。その結果、すべり面深度は深くても概ねG.L.-8m程度と想定された。

併せて、旧地形面の形状が崩壊の素因として重要と考えられたため、周辺において同様の崩壊が発生する可能性がある箇所を把握するため、崩壊域の上下流の河川沿いにおいてCPT(三成分コーン貫入試験)14地点を実施し、洪積層-沖積層境界の分布深度を把握した。その結果、河川沿いの測線において、洪積層と上位の沖積層は水平に堆積しているわけではなく、洪積層の尾根や谷が複雑に入り組んでいることが判明した。

(4)対策工

本崩壊地における対策工については、今後低水護岸の施工が行われることを考慮し、崩壊土の処理、施工上必要となる地耐力の確保、すべりの安定性の確保、施工工程、経済性の5つの観点から、崩壊土を除去し、地盤の強度増加を図る工法が想定された。

3.データ収集分析

小堤の設計に用いた事前の地質調査では、概ね200mに1箇所のボーリング頻度で調査が実施されている。ただし、河川沿いの当該区間については、洪積台地が近接しており、沖積層下位に分布する埋没地形の形状が複雑であったことから、旧地形の詳細な把握は困難で

あったと考えられる。また、小堤設計時の安定計算は、崩壊地ではなく、近傍の代表断面において検討されていたが、調査地における複雑な地質状況を反映し、代表断面と崩壊地の地質状況は、結果として異なるものであった。

今回の地盤崩壊の要因を整理すると、以下のようになる。

- ① 台地近傍であり、想定外に複雑な地層構造となっていたため、埋没している旧地形の形状が十分把握できなかった。
- ② 上記の点に関連して、小堤の安定計算を行った代表断面が、必ずしも当該区間の全般にわたって分布する断面とはなっていなかった。
- ③ 崩壊地においては、急傾斜な旧地形面や地下水の集水地形があり、崩壊しやすい素因をなしていた。

本事例のように、事前の調査ボーリングを適正に実施した場合であっても、想定外の地層状況がありうるため、「地質構造の推定に伴う不確実性」のリスク自体は依然として存在する。可能な限り、「不確実性」を低減する必要があるが、そのためには、事前調査のボーリング配点や設計・解析上の代表断面の選定にあたって、周辺の地形や地層構成を考慮した慎重な検討が必要である。本事例では、崩壊事象が発生したため、追加の調査を行うことができたが、崩壊発生以前に、机上検討や現地踏査結果のみから、軟弱層の分布を想定できたかは、現実的にはかなり難しいと考えられる。

4. マネジメント効果

地盤崩壊を防止できた理想的なケースの場合、崩壊対応にかかる費用(地盤改良、崩壊土砂の撤去、崩壊に伴う盛土等)が回避できるというマネジメント効果が生まれる。しかし、それ以上に、事業目的や地元対応等を考慮した場合、地盤崩壊の発生を防止し、安全に施工を行うこと、崩壊発生に伴う工期延長の回避など、地元住民の安心・信頼を確保する意味でのマネジメント効果も大きいと考えられる。また、崩壊発生に伴う対応など発注者(事業者)側の労力低減なども、定量化の難しい項目であるが、マネジメント効果として考慮されるべきである。

表1 地盤崩壊を阻止できた場合との比較

費目		工期
①追加工事 (想定) ^{※1}	地質調査(ボーリング等) 低水護岸工事 (対策工含む)	矢板護岸工
		仮設工
		崩壊土撤去工
		地盤改良工
		河川土工
		法覆護岸工
		約12ヶ月 ^{※2}
②事前対策 (想定) ^{※3}	地質調査(ボーリング等) 低水護岸工事 (対策工含む)	地質調査(ボーリング等)
		矢板護岸工
		仮設工
		地盤改良工
		河川土工
		約8ヶ月 ^{※4}
マネジメント効果(①-②)		約4ヶ月の短縮

※1：工事内容は実績ではなく、シナリオ上の想定であるため、実際の施工内容とは異なる

※2：追加調査、設計及び対策工の計画・準備・実施を含む期間(想定)

※3：※1の想定工事内容から、崩壊発生に係る項目を減じている

※4：地質調査期間を除く

※5：対策工は崩壊土砂撤去工、地盤改良工、河川土工としている

5.データ様式の提案

本事例では、発現した地質リスクに対して、事前調査により適切な設計を行った理想的な場合のコストを想定することによって、地質リスクマネジメントの効果を計量化した。これらを考慮してB表に記入した。なお、B表には、トラブルの原因の背景の問題点(網掛)を追記した。

表2 B表への記入

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	-	
	工事名	-	
	工種	河川盛土	
	工事概要	小堤築堤	
	① 当初工事費	-	
	当初工期	-	
リスク発現事象	リスク発現時期	施工中	
	トラブルの内容	小堤および基礎地盤の崩壊	
	トラブルの原因	堤体荷重に対する基礎地盤の地耐力不足	
	原因の背景	基礎地盤が小堤の荷重に耐えきれずに崩壊した。周辺は集水地形に当たり地下水位が高かったことに加え、洪積層の尾根が張り出した箇所にあたり、旧地形の急傾斜斜面に相当する。移動方向には、腐植土を挟在する軟弱な沖積層が分布することから、沖積層ブロックの併進運動を生じ、崩壊範囲が拡大した。	
	工事への影響	施工を中断し、応急復旧を実施 対策工の追加施工	
追加工事の内容	追加調査の内容	・現地踏査1式 ・ボーリング調査13箇所を実施 ・CPT調査14地点を実施 ・歪計観測2箇所	
	修正設計内容	-	
	追加工事 (低水護岸工事)	崩壊土地盤改良、崩壊土撤去・埋戻し・盛土等	
	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	約12ヶ月(元々予定していた低水護岸工事含む総工期)	
	間接的な影響項目	-	
負担者	-		
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	調査段階	
	対応(すべき)者	調査段階:地質技術者、発注者	
	対応(すべき)内容	調査段階:旧地形の谷・尾根を考慮した調査ボーリングを提案・実施、土質定数の提案	

	判断に必要な情報		軟弱層の分布と物性値を把握するためのボーリング柱状図、N 値、土質試験結果
	対応費用	調査	-
		対策工	-
		③ 合計	-
	想定工事	工事概要	小堤築堤・低水護岸
		④ 工事費	-
工期		8ヶ月	
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④))		-
	工期		4ヶ月程度の短縮
	その他		安全施工・地元対応(安心確保)・事業者の負担軽減

引用文献

- ・古谷尊彦,1996,ランドスライド 地すべり災害の諸相,古今書院,213p.
- ・藤原明敏,1981,地すべり調査と解析,理工図書,222p.
- ・地すべり災害復旧技術研究会(編),2006,災害復旧事業における地すべり対策の手引き,(社)全国防災協会,189p.
- ・国土交通省大臣官房技術調査課,2020,土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン,69p.
- ・Clyton,C.R.I(著),英国土木学会(編),全国地質調査業協会連合会(訳),2016,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.古今書院,108p.

[論文 No. 8] 高規格道路の切土法面において発現した地質リスクと対応事例

株式会社 地圏総合コンサルタント ○澁谷 奨、高橋 拓也、
小畑 英樹、福岡 航治、米虫 聡

1. 事例の概要

当該切土法面は国道バイパスとして施工された道路の長大切土法面（延長 120 m、切土 6 段、比高 35 m）である（図 1）。この切土法面は、2001、2003 年度に地質調査が行われ、地山浅部の移動土塊を切土で除去し、CL～CM 級岩盤の法面になるように設計され、2012 年度に切土勾配 1 : 1.2 で施工された。この法面を含む道路は 2016 年 3 月に供用され、約 3 年後の 2019 年 2 月に法面小段の沈下、法面の段差や開口亀裂など、複数の変状が確認された（写真 1～3）。そのため、変状に対する調査・設計と対策工事が行われた。これにより必要となった費用は、調査・設計費と工事費を合計して約 2.45 億円となった。当該地では秩父帯（付加体地質）の破碎された地質構造に起因する、断層破碎帯の不連続面分布などの不確実性を地質リスク事象とする事例で、リスク発現によって追加の工事費が発生した。

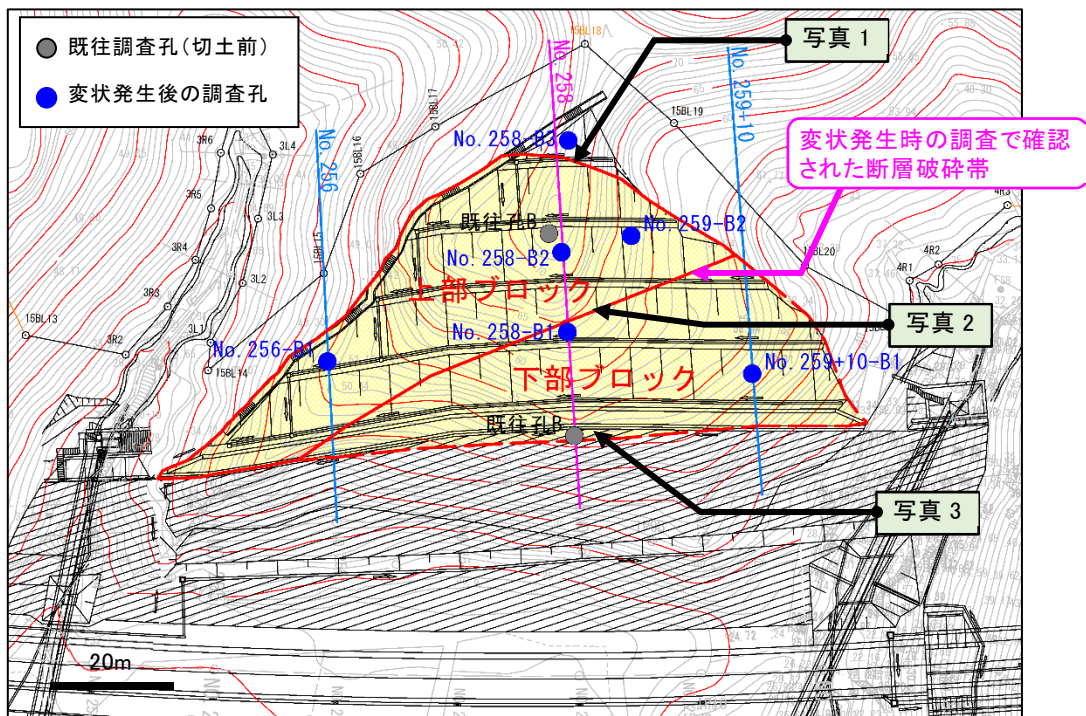


図 1 当該箇所の平面図



写真 1 法面小段の沈下



写真 2 破碎部と開口亀裂



写真 3 法面末端の隆起

2. 事例分析のシナリオ

(1) 既往地質調査段階での地山評価

当該箇所における既往地質調査では、地山には厚い風化部（D～CL 級岩盤）が存在し、コア性状や亀裂の走向傾斜から、トップリング性の崩壊や層理面・節理面をすべり面とする地すべり性の崩壊が発生する地質リスクが示唆されていた。さらに、高角度の流れ盤構造の断層破碎帯と考えられる脆弱部の存在も確認され、切土施工において除去すべき移動土塊とすべり面が示された（図 2）。また、孔内傾斜計観測が既往孔の 2 箇所で行われたが、調査時における地中変動は確認されなかった。設計段階では、地質調査結果を受けて、D～CL 級の大部分の風化部と移動土塊を除去し、予備設計の当初切土勾配 1:1.0 から 1:1.2 のより緩い切土勾配へと変更することで、主に CM 級岩盤の新鮮部が切土面に残るように設計された。

(2) 地質リスク（変状）が発現した原因

変状が確認された 2019 年 2 月末の気象は、100 mm を超えるような豪雨や大きな地震（震度 4 以上）はなかった。変状が発現した原因解明のために行われた変状発生後の地質調査の結果、豪雨直後に地山が変動する降雨応答のある法面動態が確認された。そのため、法面内部を分断する断層破碎帯の存在、断層が遮水層として機能して断層の背後地山に地下水が貯留する環境であったこと、背後地山の法面の風化が進行して降雨等の水が流入しやすい状況であったこと、などを素因とし、豪雨による切土法面内の水圧上昇を誘因として変状が発生したと考えられる。

(3) 変状発生後の対策

対策工として、豪雨時に断層の背後地山に滞留する地下水を排除することを目的とした横穴排水ボーリング工、移動土塊となった地山の安定化を目的としたグラウンドアンカー工、ゆるみ域に対する表層崩壊抑止のための地山補強土工が行われた（図 2）。対策後、1 年間の地表および地中での動態観測を行った結果、地下水位の低下が認められ、すべての動態観測孔（B1～B3 孔）で地中変位が無いことを確認し、防災工事が無事完了した。

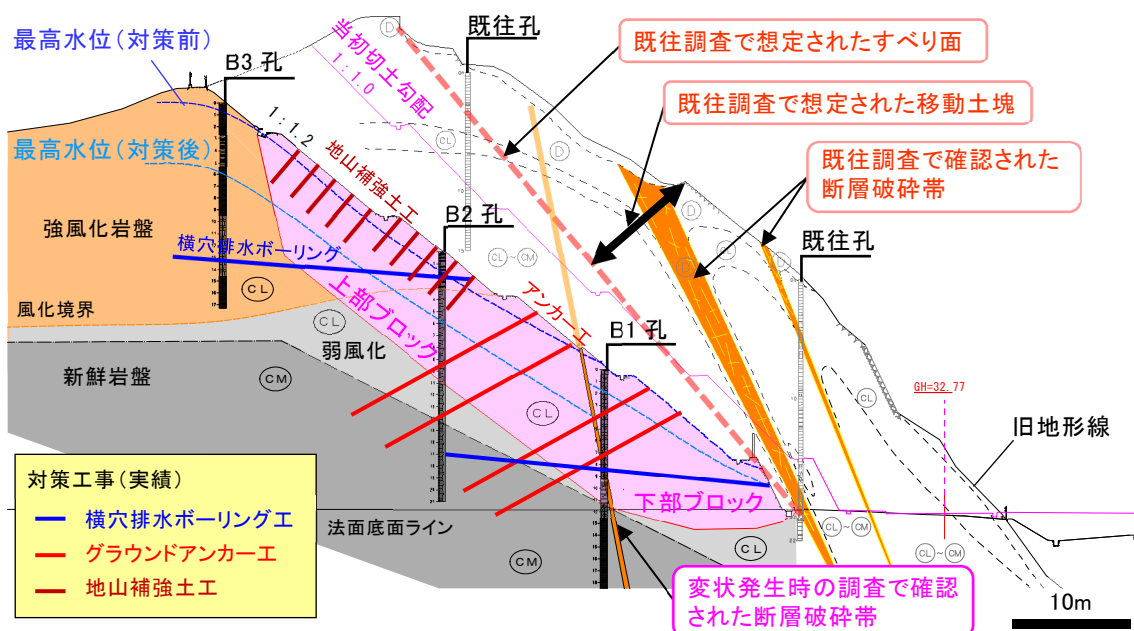


図 2 切土前の旧地形と対策工を示す断面図

(4) 調査段階における地質リスクの発現防止案

本事例のような地質リスクの発現を防止するためには、調査段階において、高角度で流れ盤構造を有する断層破碎帯の存在に着目して、切土の頭部と末端部だけでなく中間部でも調査ボーリングを行い、高品質コアによる断層の有無の評価、地山の透水性状、被圧地下水の存在などを把握し、その結果を踏まえて、設計技術者へ当該切土法面の地質リスクを伝達することが考えられる。特に、地質技術者として「断層破碎帯の存在から当該法面内での被圧地下水の発生、これに伴う切土法面の不安定化のリスク」を想定する必要があった。設計段階においては、地質リスクを踏まえて、横穴排水ボーリング工とグラウンドアンカー工を採用する。工事段階では、切土面の地質が想定した岩盤性状であったかや、断層破碎帯の有無を確認するために、地質技術者による岩盤評価を行う対応が考えられる。

(5) マネジメント効果の試算方法

マネジメントの効果は、リスク発現を防止するためのマネジメントを行った場合の費用（想定）と実際に発生した対策工事費（変状発生後の調査・設計費を含む総工事費）を比較して下記の式から試算した。

$$\text{マネジメント効果} = \text{実際の対策工事費} - (\text{想定の前調査・設計費} + \text{対策費})$$

3. データ収集分析

事前地質調査の内容から、設計前段階での地質技術者による当初の地質の見立て、判断（設計上の留意点など）を知ることができた。当初の判断では、厚い風化部（D～CL 級岩盤）と断層破碎帯が当該斜面に存在することが認識されていた。風化部を主体とした地山浅部は、断層破碎帯の破碎部をすべり面とした移動土塊と想定され、移動土塊を掘削除去するように切土することが設計技術者へ伝達された。その後、設計段階では、移動土塊の排土対策の位置付けで切土を計画し、地質状況が悪いことを踏まえて切土勾配が予備設計段階の1:1.0から1:1.2へ変更された。結果、事前の調査・設計段階では、当該切土法面が1:1.2の切土勾配で恒久的に安定すると評価された。地質技術者は事前調査段階で、当該箇所に複数の断層破碎帯が存在することに着目していたが、脆弱な風化部（移動土塊）を掘削除去することで当該地の地質リスクが無くなったと考えていた。

変状は、切土法面の中間部を斜めに横断する断層破碎帯を頭部とする下部ブロック、このブロックの滑動に伴い背後から後退すべりとして滑動する上部ブロックの中で発生した。変状発生後の地質調査（調査費 18,000 千円、観測費 8,000 千円）と機構・安定解析では、下部ブロックと上部ブロックの切土法面全体が移動土塊であると評価された。対策は、地質リスクの発現の誘因となった地下水の排除を目的とした横穴排水ボーリング工（20,000 千円）、上部と下部の両ブロックの移動土塊を抑止するための計 4 段のグラウンドアンカー工（123,000 千円）、上部ブロックの移動土塊の岩盤のゆるみを考慮した表層崩壊防止の地山補強土工（69,000 千円）が行われた。

4. マネジメントの効果

本事例は地質リスクが発現した事例（B型）である。ここでは、「切土法面に出現する断層破碎帯の分布を事前地質調査により把握し、工事段階で事前に横穴排水ボーリング工とグラウンドアンカー工を逆巻施工で実施した」と想定してコスト比較を行った（表1）。

表 1 法面对策の想定コスト比較

費目		費用(千円)		
(A) 対策工事 【実績】	調査費	調査ボーリング 6 孔・動態観測	26,000	245,000
	設計費	横穴排水ボーリング工、グラウンドアンカー工、地山補強土工	7,000	
	工事費	横穴排水ボーリング工(2 段、N=18 本)	20,000	
		グラウンドアンカー工(4 段、N=81 基)	123,000	
		地山補強土工(A=900m ²)	69,000	
(B) 事前対策 【想定】	調査費	調査ボーリング 5 孔・動態観測	22,000	150,300
	設計費	横穴排水ボーリング工、グラウンドアンカー工	5,000	
	工事費	横穴排水ボーリング工(2 段、N=18 本)	18,200	
		グラウンドアンカー工(4 段、N=81 基)	105,100	
		地山補強土工	0	
マネジメント効果 (A)-(B)			94,700	

本事例の地質リスクを想定し、あらかじめ対策を講じていた場合の事前対策費（表 1 の (B)事前対策【想定】）と実際の対策工事費（表 1 の (A)対策工事【実績】）を比較した地質リスクマネジメント効果は調査・設計費の増分も含めると 9,470 万円となった。

本事例は道路供用中で地質リスクが発現した事例であったが、法面が崩落するという最悪のシナリオとなる前に対策を無事完了し、第三者被害を防止することができた。しかし、地質リスクの発現によりコスト増になった。

(1) マネジメント有りによるリスク低減効果の考え方

表 1 の (B)事前対策【想定】の試算の考え方は次のとおりである。事前調査段階の調査費は、変状が発生する前のため、主測線断面と起点、終点の位置（計 5 箇所）で調査ボーリングを実施した場合、旧地形面からの調査のため掘削長が増加するものの、400 万円の調査費減が見込める。設計費と工事費は、それぞれ 200 万円減と 8,870 万円減と想定した。この理由は、当該切土法面の変状は、初めに下部ブロックが滑動し、背後の岩盤がゆるみ、次に上部ブロックが滑動したと考えられた。つまり、下部ブロックを滑動しないように抑止しておけば、上部ブロックの岩盤にゆるみが発生しないため、岩盤のゆるみ域を対策対象とした地山補強土工が不要と考えられ、これを想定事前対策の設計費と工事費から除外した。また、リスク発現後の詳細地質調査の結果、上部ブロックの岩盤は当初想定 of CL～CM 級岩盤ではなく CL 級主体の岩盤であり、下部ブロックと同様に不安定化のリスクがある破砕部を伴う岩盤であった。そのため、事前に地質調査を行った場合でも、下部と上部の両ブロックがグラウンドアンカー工による抑止対策の対象となると考えた。また、切土工と合わせて逆巻施工で対策工を行うと考えると、実績では必要であった法面中段付近での足場仮設が不要となり、横穴排水ボーリング工とグラウンドアンカー工の足場仮設費 1,970 万円の工事費減が見込める。なお、試算にあたっての前提条件として、切土工に係る設計費と工事費は、同じ費用が実績と想定で発生するため試算から除外した。

(2) 本事例での理想的なリスクマネジメントと教訓

当該切土法面は長大切土であり、法面変状等の異常が発生した場合の対応・対策にかかる費用が大幅に増となることが想定される。つまり、当該事例のような地質条件の場合は2箇所調査ボーリングの間の高角度の断層破碎帯の見逃しの可能性を考慮し、切土後の法面内の被圧地下水の有無を検証するような、地質条件の不確実性を考慮した地質調査(断層破碎帯分布を知るためのボーリング配置での高品質ボーリング)を実施しておくことが重要であったと考えられる。

本事例の調査段階において、地質リスクランクの設定を行った場合、“発生のしやすさ”は断層破碎帯の幅が1m以内であり連続性の不確実性があるものの断層が流れ盤構造であることを考えると「中」相当で、“影響の大きさ”は対策費が約2億と高いため「大」と考えられる。そのため、地質リスクランク＝“発生のしやすさ”×“影響の大きさ”を踏まえると、「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リスク事象」であったと考えられる。工事段階においては、施工時に切土面に岩盤が露出するため、この時に地質技術者により法面の地質が調査・設計段階と同じ岩盤評価で問題がないかをチェックすることができていれば、下部ブロックが滑動する前に当初設計からの修正対応ができた可能性がある。今後、工事段階での地質技術者の三者会議等への参画が強く望まれる。

5. データ様式の提案

本事例は道路供用段階で地質リスクが発現した事例であるため、B表の様式を用いた。対象工事の当初工事費は、当該切土法面が切土工のみであり、当初工事と追加工事で同様の工事費であるため空欄とした。以下にB表の様式のとりまとめ結果を示す。

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	国
	工事名	国道バイパス整備工事
	工種	道路切土工事
	工事概要	切土工(延長120m、比高35m)
	①当初工事費	—
	当初工期	～2015年度(2016年3月供用開始)
リスク発現事象	リスク発現時期	道路供用段階
	トラブルの内容	切土法面・小段の変状(段差、開口亀裂)、法面末端の隆起
	トラブルの原因	当該法面は多亀裂な付加体地質、かつ、流れ盤構造の断層破碎帯を有する岩盤からなり、雨水が法面内部に浸透して、断層破碎帯の背後岩盤での地下水位が急激に上昇したことが地質リスク発現の原因であった。
	原因となった(楽観的)リスク評価	調査段階: 調査ボーリングで確認した断層破碎帯をすべり面とする移動土塊を切土工で除去するように設計技術者へ提案し、孔内傾斜計でも地中変位が確認されなかったため、法面対策は不要 設計段階: 調査段階の移動土塊を除去する計画としたため、法面対策は不要 工事段階: 岩盤であるため法面対策は不要
	工事への影響	工事費の増大

追加工事の内容	追加調査の内容		地表地質踏査、調査ボーリング、孔内傾斜計・自記水位計の設置・観測、地盤伸縮計の設置・観測、機構解析
	設計内容		横穴排水ボーリング工、グラウンドアンカー工、地山補強土工
	対策工事		横穴排水ボーリング工、グラウンドアンカー工、地山補強土工
	追加工事		—
	追加費用	追加調査	調査費:18,000千円、観測費:8,000千円 合計 26,000千円
		設計	設計費:7,000千円
		対策工	横穴排水ボーリング工 20,000千円、グラウンドアンカー工 123,000千円、地山補強土工 69,000千円 合計 212,000千円
		追加工事	—
	②合計		245,000千円
	延長工期		—
間接的な影響項目		法面末端平坦地の供用中断	
負担者		国	
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期		調査段階、設計段階、工事段階
	対応(すべき)者		調査段階:地質技術者 設計段階:設計技術者 工事段階:工事業者、発注者
	対応(すべき)内容		調査段階:地表地質踏査とLP図を用いた微地形判読の結果を基に、断層破碎帯分布を把握する高品質ボーリング調査を提案、被圧地下水の有無を調査で確認 設計段階:法面对策の採用 工事段階:掘削切土面の地質状況(断層破碎帯の有無など)のチェックを提案、地質技術者による岩盤評価
	判断に必要な情報		高角度の断層を把握するためのボーリングコア状況、水位観測孔による豪雨時の水位変化、水位変化に伴う法面の安定性評価結果
	対応費用	調査・設計	27,000千円
		対策工	—
		③合計	27,000千円
	想定工事	工事概要 ^{※1}	断層破碎帯の背後地山の地下水排除を目的とした横穴排水ボーリング工、斜面変動の可能性がある岩盤を抑止するためのグラウンドアンカー工
④工事費		横穴排水ボーリング工 18,200千円、グラウンドアンカー工 105,100千円 合計 123,300千円	
工期		—	
リスクマネジメントの効果	費用 (((①+②)-(③+④)) ^{※2}	94,700千円	
	工期	実際の対応と対策を2年間で行ったが、事前にリスクマネジメントを行った場合は、この期間が1年間程度に抑えられた。	
	その他	—	

の網掛け：原案（様式）修正箇所

※1：事前対応を行った場合の工事

※2：道路供用段階のため①当初工事費は不要とし、次の式により費用を算出した。

②追加費用－（③対応費用＋④想定工事）

※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/>