

地質・地盤リスクマネジメントの必要性

～令和6年能登半島地震の被害に学ぶ～

国立研究開発法人土木研究所 ○宮武裕昭

□令和6年1月1日、石川県能登地方を震源とするマグニチュード7.6の地震は、石川県志賀町、輪島市で最大震度7を観測し、死者（災害関連死含む）・行方不明者284名、負傷者1,326名、住家被害は全壊8,429戸、半壊21,370戸にのぼる被害を出した¹⁾。今期の地震では山がちで低平地に乏しい半島部において、最大4mもの隆起を伴う強烈な地盤変動が生じ、海岸沿いの国道249号をはじめ、同時多発的な土砂崩落、甚大なインフラ被害をもたらしたことを大きな特徴とする。特に半島という地形的制約から限られている道路ネットワークで復旧や被災地支援活動のアクセスルートとなる能越自動車道などの幹線道路が被災し、初動における被災状況の把握や復旧等の対応が困難化した。特に集水地形上に構築された盛土を含む区間の被災が多く確認されており、耐震性を含めた性能について不確実性の高い道路土工区間のあり方についての課題が浮き彫りになった。²⁾

能登半島では平成19年3月にも大きな地震が発生しており、当時の能登有料道路（現のと里山海道）が大きな被害を受けているが、その後の復旧や被災に関する研究による基準



道路土工(能越道)の被災調査結果の概要

〇のと里山海道(徳田大津IC以北)、輪島道路、穴水道路区間(現地調査)

・H19年地震で被災し復旧した場所に隣接し(同じリスク要因を有する)、
H19年未被災だった部分が、R6地震では重度の被災(大きく沈下)



7

図-2 道路土工(能越道)の被災調査結果の概要⁴⁾

類の見直しなどが被災の防止に大きな成果を上げていることが分かった。一方で二つの地震被害の比較分析により、新たに見えてきた課題もある。

本報告では、令和6年能登半島地震における能越自動車道の盛土被害に焦点を当て、被害分析から得られた教訓、今後の対応の方向性について報告するとともに、不確実性が大きい道路土工構造物のマネジメントを例に、地質・地盤リスクマネジメントの必要性を述べる。

《引用・参考文献》

- 1) 内閣府：令和6年能登半島地震に係る被害状況等について（政府非常対策本部） 2024年7月1日14時00分現在
https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_47.pdf
- 2) 第65回国土幹線道路部会【資料4】令和6年能登半島地震を踏まえた緊急提言（案）
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001750195.pdf>
- 3) 国土交通省 令和6年能登半島地震における被害と対応について（第13報）被害状況位置図等,
<https://www.mlit.go.jp/common/001716604.pdf>
被害状況位置図等 <https://www.mlit.go.jp/common/001716765.pdf>
- 4) 第21回道路技術小委員会【資料2】令和6年能登半島地震 道路構造物の被災に対する専門調査結果（中間報告）
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001725117.pdf>

「花崗岩地帯における切土施工で発現した地質リスク事例」

東邦地水株式会社 ○寺地啓人(地質リスク・エンジニア 登録番号 93)

1. 事例の概要

本事例は、道路改良工事の切土掘削において、土砂状の風化岩が分布すると推定された箇所に硬岩が分布し、工事の支障となった事例である。

当該事業では、現市道における狭あい箇所の解消を目的として、切土工(区間長約 160m, 切土高 17m, 4 段切り, のり面勾配 1:1.0)を伴う道路改良(バイパス化)が計画されていた。

対象地は中部地方の領家帯花崗岩類で構成される丘陵地にあり、小河川沿いの丘陵斜面に位置する。この丘陵地は開析が進み、谷や幅の狭い谷底平野が樹枝状に発達し、切土が計画された斜面の上方は 15° 未満の緩やかな傾斜であるが、下部は 30° 以上で急傾斜の様相を呈する。

設計・施工に先立ち、切土高が最も高くなる横断付近で 2 箇所の調査ボーリングが実施され、切土最下段ののり尻付近には CM~CH 級の硬質な岩盤が部分的に分布するものの、切土範囲の大半は、まさ状に風化した DL~DH 級岩盤が分布すると推定されていた。

切土施工が開始され、上方の 4 段目~3 段目の掘削時には調査結果から推定されたまさ状の強風化岩盤が分布していたが、2 段目の掘削において推測されていなかった硬質な CM~CH 級岩盤やコアストーンの分布が確認された。硬岩が分布する箇所ではブレーカ工法等による岩盤掘削が行われたが、対象地の近傍に民家があり、騒音・振動の問題が生じたため、2 段目の掘削途中で工事が中止された。

設計・施工の見直しを行うにあたり、対象地の地盤状況を詳細に把握する目的で新たに地質調査業務が発注された。当該業務では、地表地質踏査、調査ボーリング、弾性波探査、岩石試験が実施され、切土区間の一部において既往調査結果から推定されるよりも高い位置に CM~CH 級の硬質な岩盤が分布すると推定された。

本論では、各事業段階で確認された事象を整理して地質リスクが発現したリスク要因を特定し、地質リスクの発現防止について考察した結果を報告する。

2. 事例分析のシナリオ

本事例は、地質リスクのリスク要因(変化に富む岩盤分布状況の存在)を把握できていない状態で設計・施工が進められ、地質リスクが発現した(土砂状の強風化岩盤が分布すると推定された切土範囲に硬岩が分布し支障が生じた)事例であり、事例の種類は B 型(地質リスクが発現した事例)に分類される。ここでは各段階で確認された事象を整理する。

(1) 調査設計段階での地山評価

対象地では区間長約 160m, 切土高 17m, 4 段切り, のり面勾配 1:1.0 の切土が計画され、地盤状況の把握のため図-1 に示す位置で調査ボーリングが実施された。

切土高が最も高くなる横断付近で、のり肩付近とのり尻付近の 2 箇所で調査ボーリングを実施し、図-2 に示す地質断面が推定された。

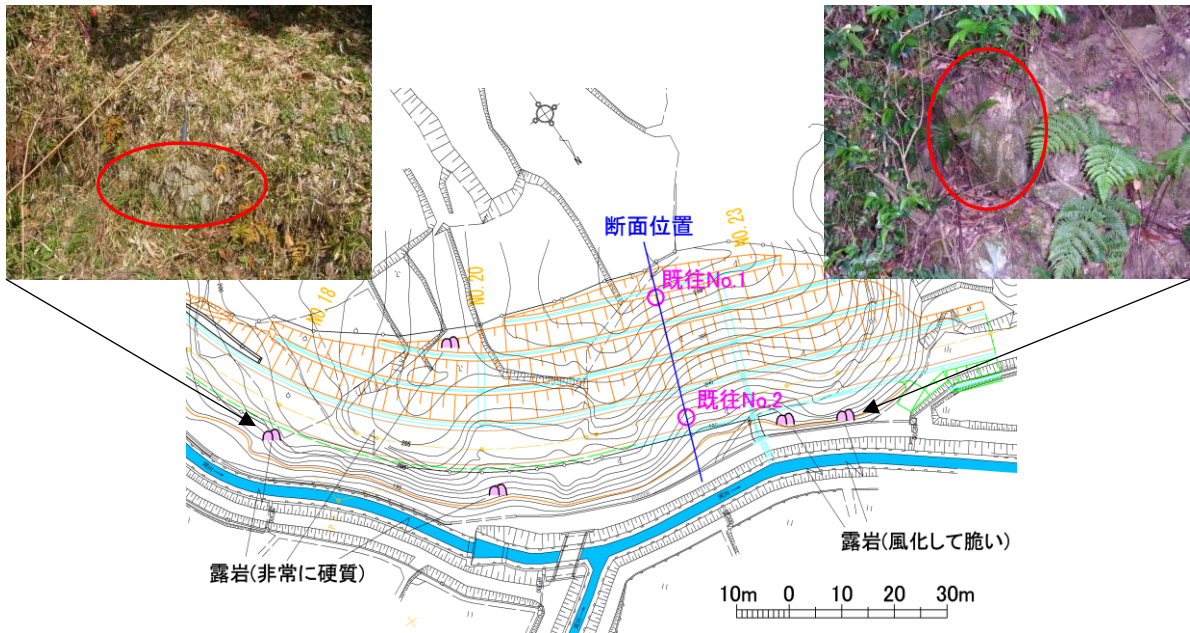


図-1. 調査地点位置図(調査設計段階)

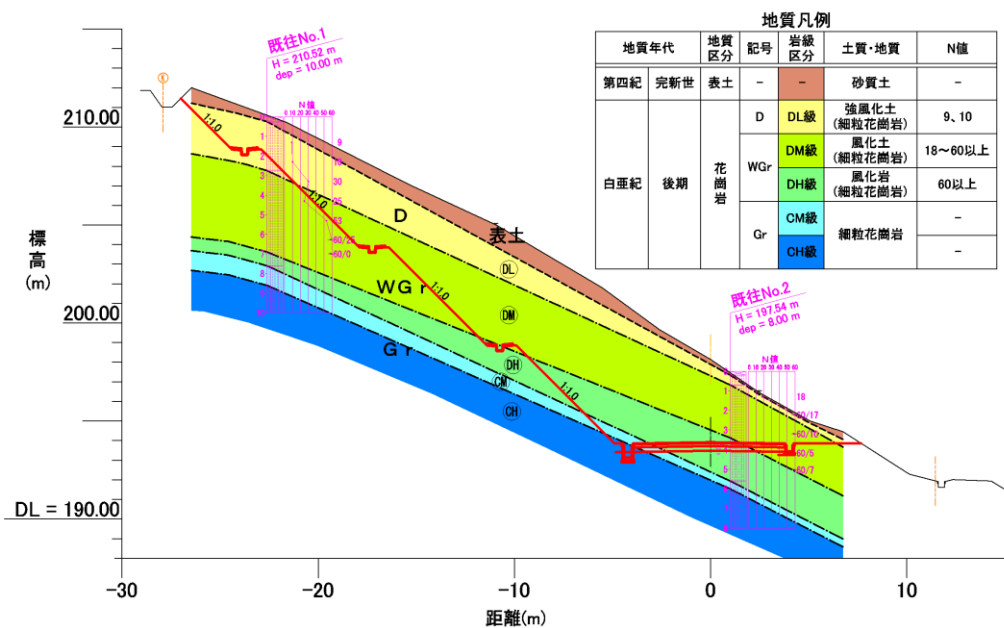


図-2. 地質断面図

調査ボーリングにより、対象地には花崗岩が分布し、深度5~7m付近までは風化により土砂化したDL~DH級岩盤が、以深には非常に硬質なCM~CH級岩盤の分布が確認された。これにより、計画切土では最下段(1段目)ののり尻付近に硬質なCM~CH級岩盤が分布するものの、切土範囲の大半は土砂状に風化したDL~DH級岩盤であると推定された。なお、地表踏査では岩盤の露頭が確認され、多くは風化により非常に脆くなっていたが、起点側の一部で非常に硬質なものが確認されていた。

(2) 切土施工で確認された事象

計画切土の上方4段目~3段目は、調査結果より推定された土砂状の強風化岩盤が分布し、計画どおり施工が進められた。2段目の切土を起点側(東側)から施工したところ、測点No.18+10付近から終点側で硬質な花崗岩が分布し、終点側へ向かって岩盤の分布標高が

高くなることが確認された(図-3 参照)。

岩盤掘削はブレイカ工法により実施されたが、近傍の民家に対する騒音・振動の問題が生じ、静的破砕剤(ブライスター)を用いた工法が試みられた。しかし、作業効率が悪いことなどから測点 No.20 までの掘削およびのり面整形が終了した段階で工事が中止された。



写真-1. 岩盤露出状況

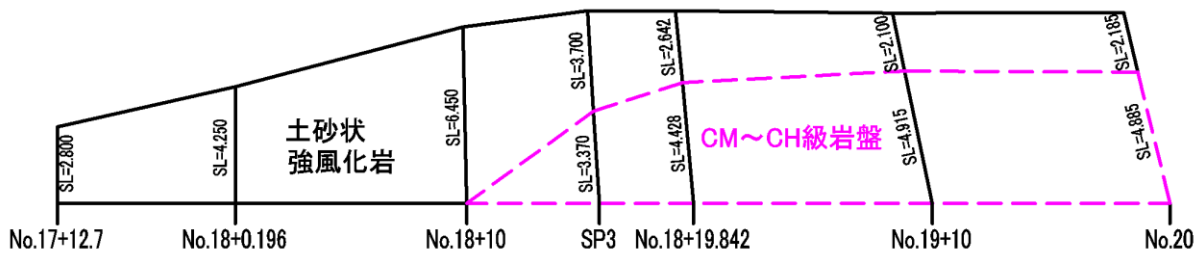


図-3. 工事におけるのり面仕上げ出来形展開図

(3) 施工中止後の調査で把握した地山評価

設計・施工の見直しにあたり、対象地の地盤状況を詳細に把握する目的で新たに地質調査業務が発注され、地表地質踏査、調査ボーリング、弾性波探査(トモグラフィ解析)、岩石試験を実施した。図-4 に調査地点位置図を示す。

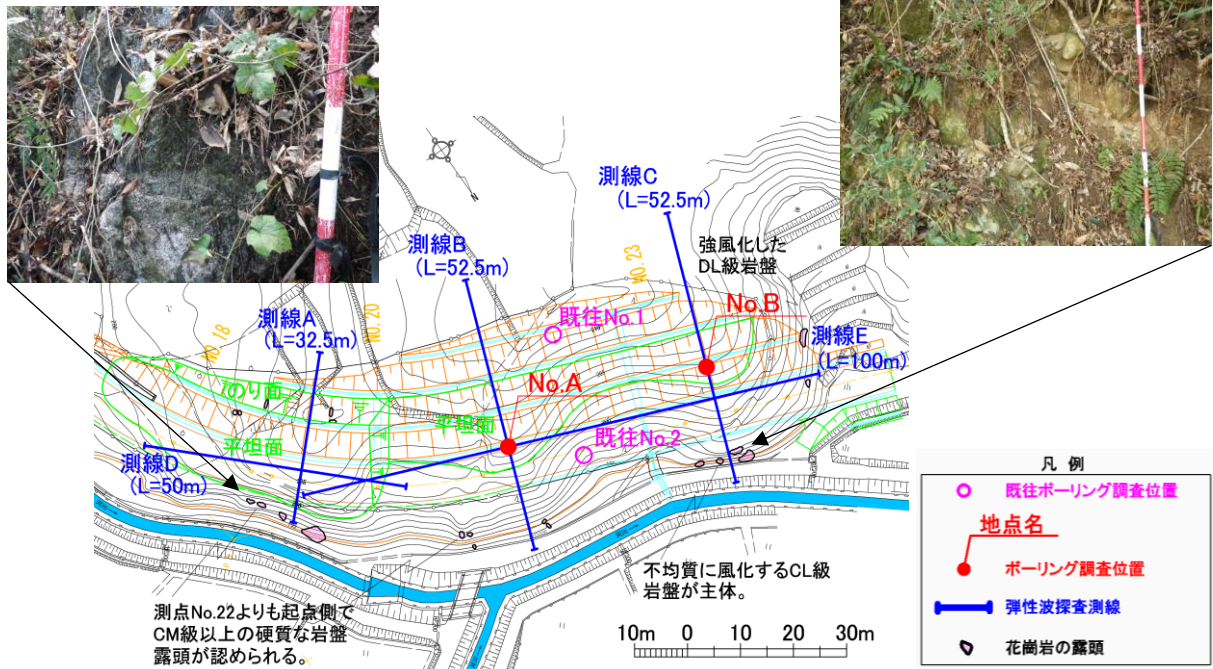


図-4. 調査地点位置図(施工後の調査)

調査ボーリングは、2段目の施工が未実施である測点 No.20 より終点側に 2 地点を配置し、弾性波探査は計画切土範囲において道路縦断方向で 2 測線(測線 D, 測線 E)、横断方向で 3 測線(測線 A, 測線 B, 測線 C)を配置した。

調査結果を基に作成した岩盤等級区分結果図を図-5 に示す。

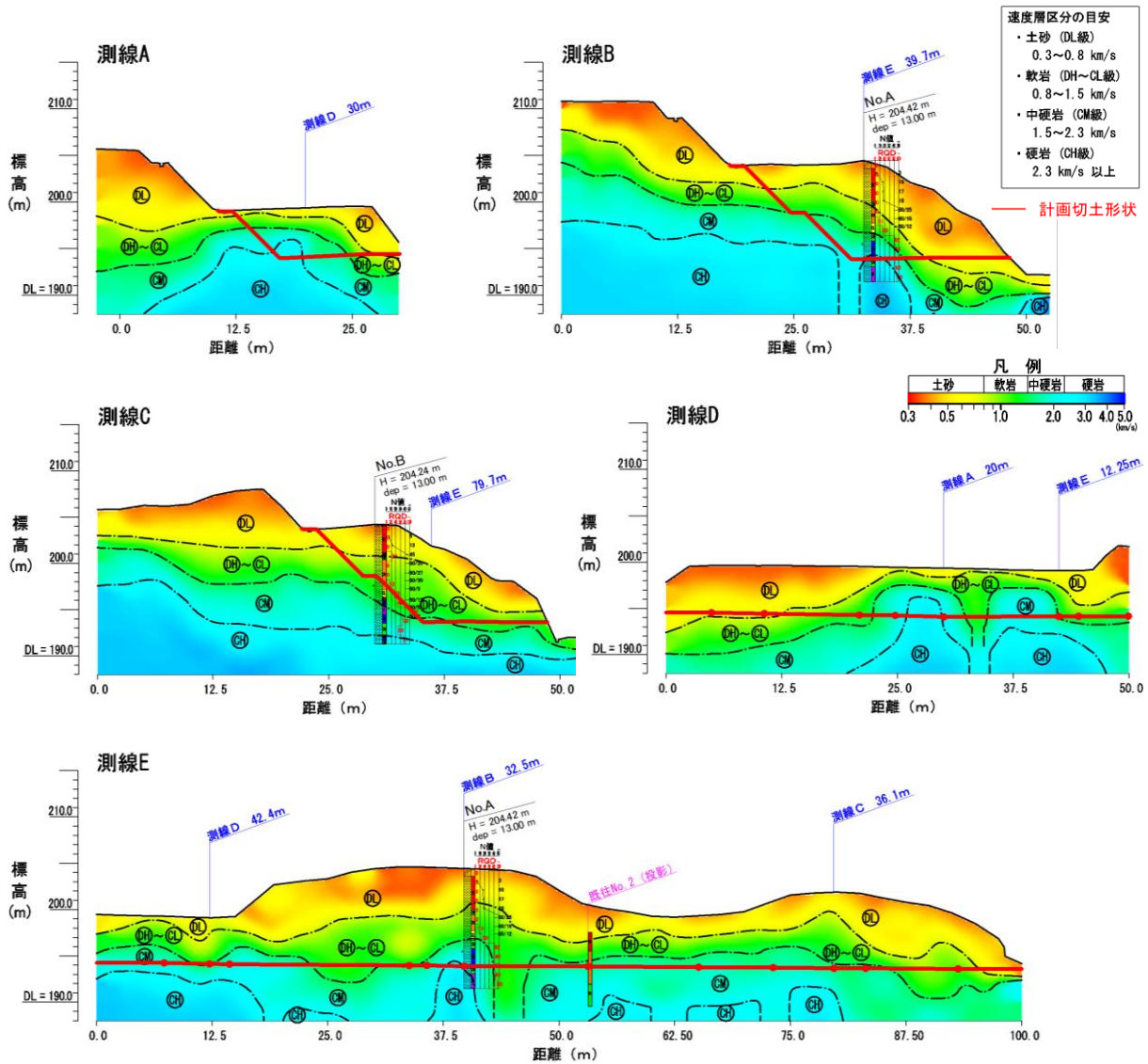


図-5. 岩盤等級区分結果図（分布地質：花崗岩）

調査結果より、測点 No.18+10～No.23 付近の範囲で道路計画高よりも上方に硬質な CM 級岩盤が分布し、特に測点 No.20 より起点側では、より高い位置に CM 級岩盤が分布すると推定された。

地表地質踏査では切土施工区間や河川沿いなどで岩盤露頭を確認し、測点 No.22 よりも起点側で CM 級以上の硬質な岩盤露頭が認められ、終点側では亀裂の発達した CL 級や、風化の進行した DL～DH 級岩盤が認められた。なお、対象地に分布する花崗岩の岩相は、有色鉱物を多く含む優黒質の細粒黒雲母花崗岩(写真-2)と、中粒～粗粒の黒雲母花崗岩(写真-3)の 2 種類が確認された。



写真-2. 細粒花崗岩



写真-3. 粗粒花崗岩

3. データ収集分析

(1) 地質リスクについて

本事例は、道路改良工事の切土掘削において、土砂状の強風化岩盤が分布すると推定されていた箇所に硬岩が分布し、工事の支障となった事例である。

本事例のリスク要因は、図-5 に示したとおり、計画切土範囲で花崗岩の岩盤等級区分(硬軟, 風化)が複雑に変化していたことにある。これは、対象地に分布する花崗岩の岩相が細粒花崗岩, 粗粒花崗岩が混在して不均質であることや、花崗岩の節理の走向傾斜が複数認められ、節理を介した風化の進行が不規則であることなどに起因する。

計画切土の規模を考慮すれば、設計段階の調査として、切土高が最も高くなる付近の断面で 2 箇所の調査ボーリングを実施しており、必要十分の数量であったと考えられる。ボーリング結果からは、表層から深部に向かって岩盤状態が良くなる一般的な岩盤分布状況が推定され、追加調査提案はなされていないことから、設計段階で硬岩の分布標高が部分的に高くなることを予測することは困難であったと考える。また、工事中止に至った要因としては、対象地の近傍に民家があり、一般的な岩盤掘削を実施できなかったという周辺環境があったことも本事例における特徴として挙げられる。

(2) リスクの発現防止について

本事例では、花崗岩の岩盤等級区分(硬軟, 風化)が複雑に変化している状況(地質の不均質性)を設計段階で把握できていなかったことが、地質リスクの発現につながったと考える。

花崗岩は深部で形成される特性上、地殻の隆起や浸食作用により地表に現れると、応力解放に伴う膨張により亀裂・節理の発生と成長が促される¹⁾。さらに、発達した節理や岩相の異なる岩脈などを境界として風化が進行し、岩盤状況が複雑に変化しやすい²⁾。

調査段階において、地質技術者が資料等調査や地表地質踏査の結果を基に、花崗岩の岩相や風化の特徴等を考慮して、縦断方向に対する変化を確認するための追加調査を提案し、実施することが出来ていたら、リスク要因を事前に把握できた可能性があったと考える。

地質・地盤は不均質であることが一般的であり、調査を実施したとしても結果には自然的要因による不確実性が含まれる。地質技術者としてそのことを意識して、過去事例を通じて地質リスクに関する知識の向上等に努めるとともに、発注者、設計者、施工者へ地質リスクを的確に伝達できるように取り組んでいきたい。

4. マネジメントの効果

リスクが発現した本事例の場合を【CASE1】、追加調査を実施し、事前に地質分布状況を把握してリスクが発現しない理想的な場合を【CASE2】として概算費用を算定した。なお、リスクの発現による工事中止に加え、追加調査の発注に伴う全体工期の変更に伴い工事費が大きく変化することから、ここでは調査費、設計費の比較とした。

【CASE1】 本事例の場合

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| ・ 設計時の地質調査(追加なし) : 300 万円 | ・ 設計費 : 1,000 万円 |
| ・ 追加調査費 : 500 万円 | ・ 変更設計費 : 1,000 万円 |
| 合計 : 2,800 万円 | |

【CASE2】 事前に地質分布状況を把握し、リスクが発現しない場合

- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| ・ 設計時の地質調査(追加あり) : 約 700 万円 | ・ 設計費 : 約 1,000 万円 |
| 合計 : 1,700 万円 | |

本事例では、地質技術者の提案により理想的な地質リスクマネジメントが実施できたと仮定すれば、1,100 万円のコストを縮減できたことに加え、工事中止期間や追加調査の発注、変更設計に伴う期間等の全体工期も短くできた可能性がある。これにより、早期に道

路整備が進むことで、快適で安全な道路環境による有益な効果が早期に発現できると考える。

5. データ様式の提案

本事例はB型（地質リスクが発現した事例）であることから、データ様式Bをもとに整理した。

B.地質リスクが発現した事例

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	市	
	工事名	道路改良	
	工種	切土	
	工事概要	市道バイパス化に伴う切土工 (区間長約160m, 切土高17m, 4段切り)	
	①当初工事費	-	
	当初工期	-	
リスク発現事象	リスク発現時期	2段目の切土掘削時	
	トラブルの内容	推定されていなかった硬質な岩盤(花崗岩)が分布し、掘削が困難となった。	
	トラブルの原因	不均質な岩盤(花崗岩)の分布を把握できていなかった。 岩盤掘削により近傍民家への騒音・振動問題が生じた。	
	工事への影響	工事中止	
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2箇所, 弾性波探査5測線(トモグラフィ解析), 岩石試験1式。	
	修正設計内容	道路線形の見直し	
	対策工事	-	
	追加工事	-	
	追加費用	追加調査	500万円
		修正設計	1,000万円
		対策工	-
		追加工事	-
		②合計	1,500万円
	延長工期	-	
間接的な影響項目	-		
負担者	市		
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	設計段階の地質調査	
	対応(すべき)者	地質技術者, 設計者	
	対応(すべき)内容	地域の地質や岩盤特性等から想定される地質リスクを地質技術者, 設計者で共有し, 設計に反映する。	
	判断に必要な情報	現地踏査, ボーリング調査, 弾性波探査等の地質調査結果	
	対応費用	調査	設計段階での追加調査
		対策工	-
		③合計	400万円
	想定工事	工事概要	地質状況が把握され, 適正な設計の元で実施される工事。
④工事費		-	
工期		-	
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④))	1,100万円	
	工期	中止して以降の経過年月	
	その他	早期に道路整備が進むことで, 快適で安全な道路環境による有益な効果が早期に発現される。	

《引用・参考文献》

- 1) 土質工学会(1979)：土質基礎工学ライブラリー16 風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用, 土質工学会.
- 2) 横田修一郎(1991)：岩盤の風化・劣化過程における節理面の役割, 構造地質, 第37号 pp. 23-30.

道路防災点検における地質リスクが発生した事例

川崎地質株式会社 ○宮崎 靖二
榊原 信夫、住 武人

1. 事例の概要

本事例は、道路防災点検対象箇所において、ポケット式落石防護網工の施工中に落石が発生した事例である（写真-1）。当該地周辺では、融雪後の道路防災点検時に、度々、路肩において落石が発注していた。その後、浮石・落石調査、詳細設計に基づき、延長約 20m のポケット式落石防護網工が施工されることとなった（写真-2）。

対策工施工期間中に新たに落石が発生し、落石箇所が施工範囲の端部であったため、現状の対策範囲・対策工法では効果がえられない懸念があった（図-1）。そのため、斜面上部を広範囲にわたって、再度、浮石・転石調査を実施した。調査の結果、落石抜け落ちの痕跡より、落石は対策範囲の上部斜面にある小沢部から落石したことが判明した（写真-4）。また、対策範囲外において、落石する可能性がある浮石・転石が認められなかったことから、対策範囲は現状の範囲で妥当であると評価した。



写真-1 落石時の路面状況



写真-2. 施工後のポケット式落石防護網工

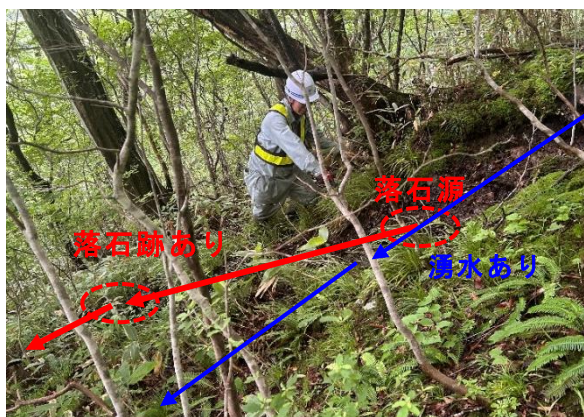


写真-3 沢部の浸食・浮石状況（遠景）

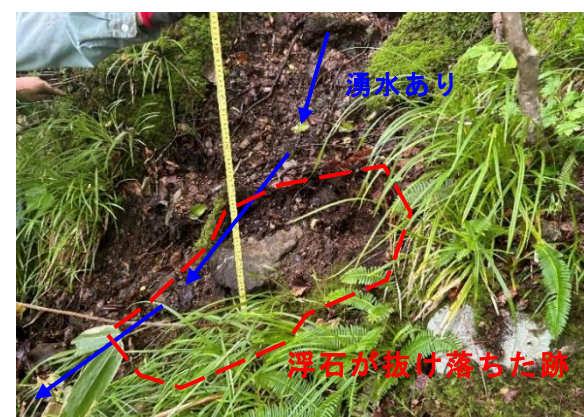


写真-4. 沢部の浸食・浮石状況（近景）

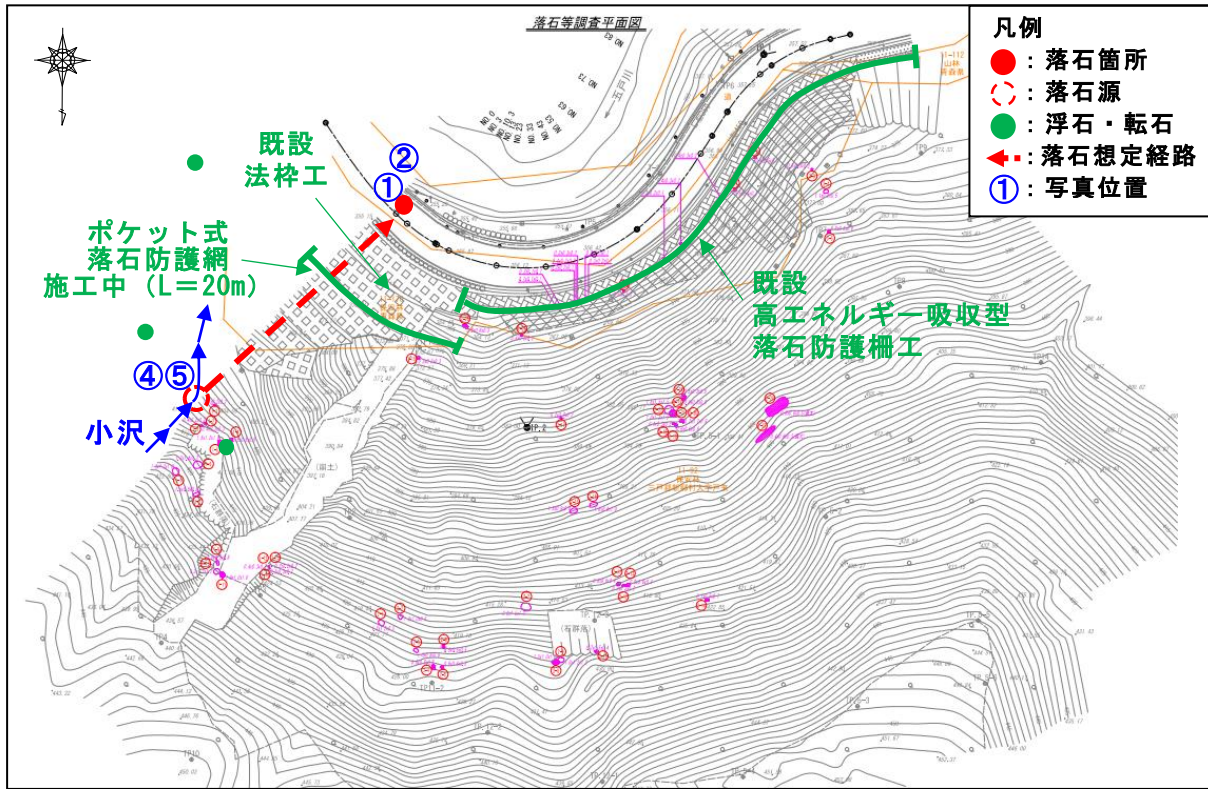


図-1 調査位置図

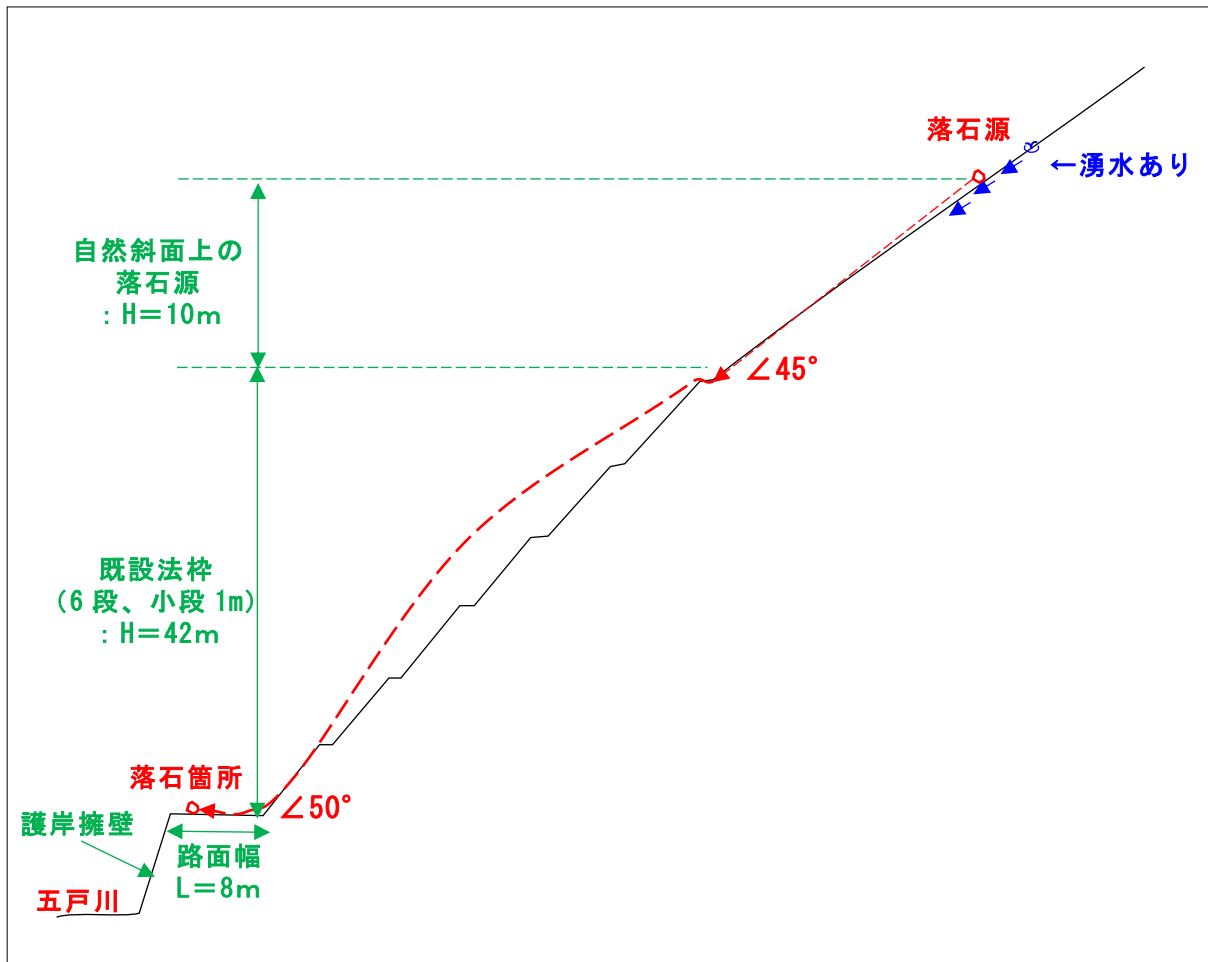


図-2 落石箇所断面図

2. 事例分析のシナリオ

(1) 落石リスク発現の素因と誘因

今回のリスク発現の素因を以下に示す。対象地周辺は、河川の浸食により急斜面の地形でかつ、集水地形を示す（図-1）。地質は、更新世の八戸軽石流堆積物（デイサイト軽石及び火山灰）、後期中新世の舌崎層・和田川層の砂岩泥岩互層である。現地踏査の結果、当該地には更新世のデイサイトが分布しており、表層は風化し土砂・岩塊状となっている。防災点検カルテの履歴では、平成30年に表層崩壊が融雪期に発生している。また、斜面上には、0.5～1.7mの浮石・転石が多数あり、表層にも岩塊を含んだ地山となっている。

リスク発現の誘因としては、湧水による地表面の浸食が考えられる。融雪期や豪雨後に、沢部では湧水し地表面を流下する（写真-3、写真-5）。そのため、沢部は浸食され、細粒分は流出する一方、岩塊は露出し経年的に不安定化が大きくなる懸念がある。特に岩塊の下側が浸食されると落石の発生リスクが高くなると考えられる（写-6）。

本事例の落石リスクの素因・誘因をまとめると図-6のとおりとなる。

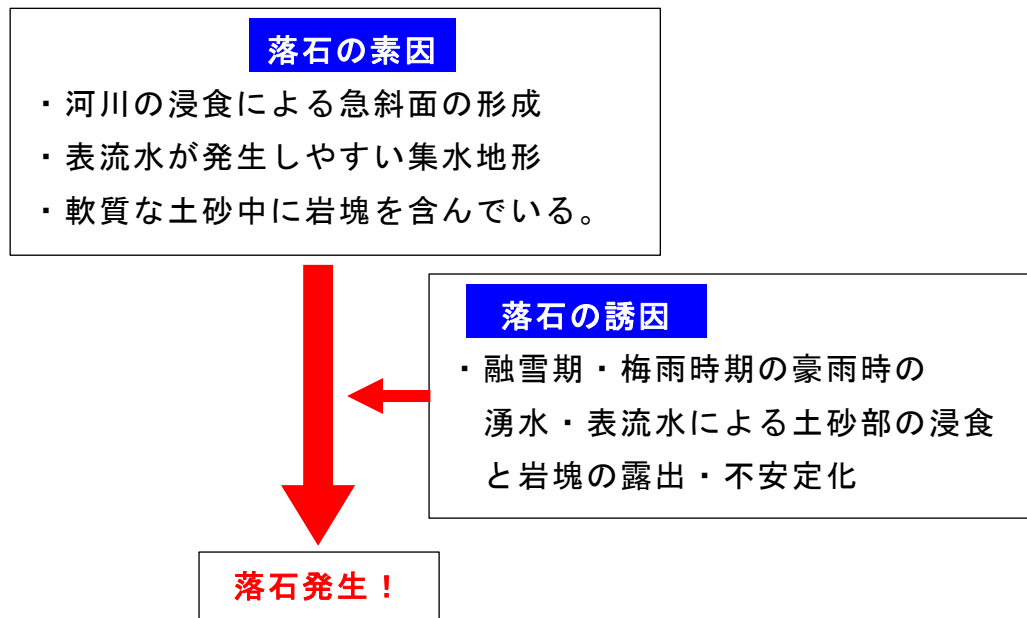


図-3 落石の素因と誘因の関係



写真-5 斜面末端部の湧水状況



写真-6 浸食による露岩状況

(2) 落石リスク発現を予防するためのマネジメント

当該地で発生した落石の素因として、「地形・地質」、誘因としては「湧水による浸食」が考えられた。路面への落石リスク軽減のためには、落石源の把握と対象地山の安定度の長期的な変状を評価し、対策工検討に反映しておく必要がある。本事例の場合、対策範囲よりさらに広い範囲において、浮石・転石調査、安定度調査を実施していたのであれば、今回、新たに追加で調査を行う必要はなかったと考えられる。そのため、対策範囲より広い範囲において、現状の地山状況を把握し、落石源の安定度の経年変化を考慮した対策工の検討を実施することで落石リスクを低減できると考えられる。

3. データ収集分析

本事例では、落石対策として延長約 20m のポケット式落石防護網工が採用されている。今回の落石リスクは、路面への落石の径が小さく、斜面上に 2m 以上の浮石が存在しなかったため、工法比較検討・詳細設計の見直しにはならなかった。しかしながら、斜面上部には 1～2m の岩塊もあり、今後このような岩塊が湧水による浸食で新たに露出し、落石するケースもあると考えられる。そのため、リスク低減を図るには、広範囲における浮石・落石調査と湧水による浸食で落石が発生する可能性を考慮した対策工の検討が必要と考えられる。以下に、対策範囲が妥当でなかった場合に係る概算費用を算出し、大まかな経済損失額を想定した。

(1) 対策範囲が妥当でなかった場合に係るコスト

対策範囲が妥当ではなく追加で浮石・転石調査、工法検討・詳細設計の見直しが発生し、対策工の範囲が現在の延長の約 2 倍（40m）必要だった場合、以下の費用となる。ただし、本事例ではポケット式落石防護網工の増工のみで済んだ場合とし検討した。

①当初ポケット式落石防護網工施工費用	: 約 1,310 万円
②追加の浮石・転石調査に係る費用	: 約 12 万円
③対策工見直しによる工法比較検討・詳細設計にかかる費用	: 約 290 万円
④ポケット式落石防護網工増工に係る費用	: 約 1,310 万円
○概算費用（①+②+③+④）	: 約 2,922 万円

4. マネジメントの効果

今回の事例では、対策範囲の見直しで範囲が 20m 広くなると仮定した場合、さらに約 1,310 万円のコストが掛ることになる。

当該地周辺の一連の斜面で、未対策区間で今後、同様に落石が発生する可能性が考えられる。そのため、落石発生時には想定範囲を広めにとり、浮石・落石調査を実施し、浸食による経済的な不安定化を考慮して落石対策工を検討していく必要がある。

5. データ様式の提案

本事例は、施工中の斜面で発生した落石・崩壊に対する地質調査を実施したものであり、検討結果をB表に示す。

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	三八地域県民局 地域整備部	
	工事名	十和田三戸線外道路管理工事	
	工種	土木一式工事	
	工事概要	ポケット式落石防護網工	
	①当初工事費	1,310 万円	
	当初工期	半年	
リスク発現事象	リスク発現時期	対策工施工時	
	トラブルの内容	路面への落石、第三者への被害	
	トラブルの原因	降雨による地表面の浸食	
	工事への影響	なし	
追加工事の内容	追加調査の内容	浮石・転石調査	
	修正設計内容	法面工詳細設計	
	対策工事		
	追加工事	ポケット式落石防護網工	
	追加費用	追加調査	12 万円
		修正設計	290 万円
		対策工	
		追加工事	1,310 万円
		②合計	万円
	延長工期	半年	
間接的な影響項目			
負担者	道路維持管理者		
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	基本設計時	
	対応(すべき)者	道路建設の事業主体	
	対応(すべき)内容	浮石・落石調査、 法面工詳細設計	
	判断に必要な情報	浮石・落石調査結果 法面工詳細設計	
	対応費用	調査・設計	302 万円
		対策工	1,310 万円
		③合計	1,612 万円
	想定工事	工事概要	
		④工事費	
工期			
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④))	1,310 万円	
	工期	半年	
	その他		

埋没谷の分布するトンネルにおける地質リスク評価事例

基礎地盤コンサルタント株式会社 ○山口 剛史、田中 慎吾
東風平 宏（地質リスク・エンジニア 登録番号 74）

1. 事例の概要

本事例は、国道の拡幅事業に伴い計画された新設道路トンネルの調査段階において、先行調査として実施した弾性波探査によりトンネル中央部に凹状の速度層構造が検出され、詳細調査の結果、地形と不調和な埋没谷の分布が明らかとなり、分布に伴うトンネルへの影響を適切に評価し、事前に地質リスクの回避・低減に努めた事例について報告する。当該地は起伏の少ない丘陵地に、延長 350m、最大土被り 40m 程度のトンネルが計画されており、当該地周辺の地質は古第三紀堆積岩類を基盤として、第四紀の火砕岩類が不整合に薄く覆っており、既往調査では、トンネルは堆積岩類を通過する想定であった。

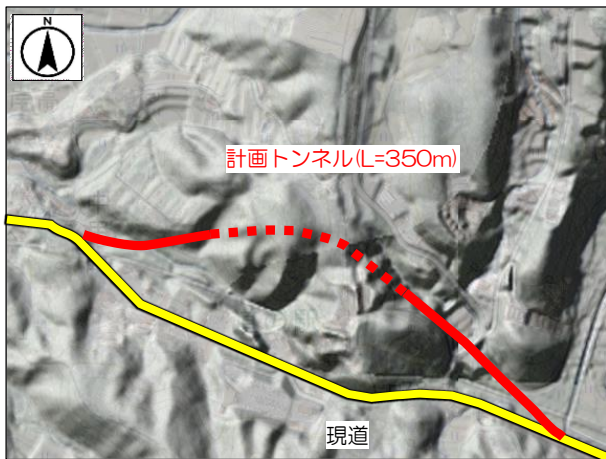


図-1 調査地の地形図¹⁾

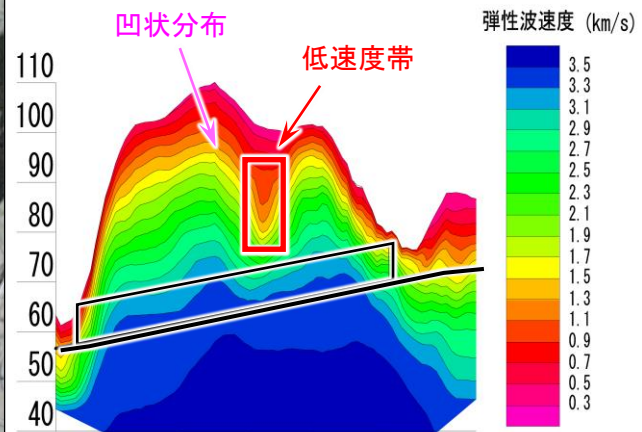


図-2 弾性波速度分布図(縦横比=5:1)

2. 事例分析のシナリオ

本事例では、トンネル縦断上で幅 30~40m 程度の低速度帯が検出され、高密度弾性波探査解析による速度層構造も鉛直方向に計画トンネル断面付近まで凹状構造が及んでいた

(図-2)。弾性波探査で検出される低速度帯や凹状の速度層構造は、断層破碎帯や埋没谷等の地質的弱部の存在が疑われ、地質リスク要因を有する可能性がある。リスクが発現した際の事象として、断層破碎帯が分布する場合は、施工時に突発湧水や切羽の崩壊、トンネル断面の変形等が挙げられる。また、埋没谷が分布する場合は、旧地形を埋めるものにもよるが未固結堆積物の場合は、切羽の崩壊や地表面沈下等が懸念される。

検出された凹状速度層構造は、トンネル工事に多大な影響を及ぼす可能性も想定されたため、詳細を把握することとした。事前の文献調査や地形判読等では明瞭な断層分布の可能性は確認されず、埋没谷の分布の可能性も想定し、それらの分布や性状等の把握を行うため、地表地質踏査・ボーリング調査等の各種詳細調査を計画し、トンネルとの位置関係も踏まえ、地山の評価および設計・施工上の留意点についてとりまとめることとした。

3. データ収集分析

(1) 凹状速度層構造箇所の地質分布

ボーリング調査の結果、上位の第四紀火砕岩類（凝灰角礫岩、凝灰岩）が周囲より厚く堆積していることが明らかとなり、古第三紀堆積岩との境界部には層厚 5m 程度の半固結状の堆積物の分布が確認された。基盤の古第三紀堆積岩類および上位の第四紀火砕岩類には、顕著な破碎等は認められなかった。

以上より、凹状の速度層構造部は断層破碎帯ではなく、旧谷地形を火山砕屑物で埋めた埋没谷であると判断した。第四紀火山岩類と古第三紀堆積岩類との境界部に確認された半固結状の堆積物は、旧地形時に堆積した古期崖錐堆積物であると推察した。

ボーリング調査にて確認した埋没谷の底部は、トンネル天端付近に位置しており、天端および切羽の一部に古期崖錐堆積物が分布すると想定された（図-3）。

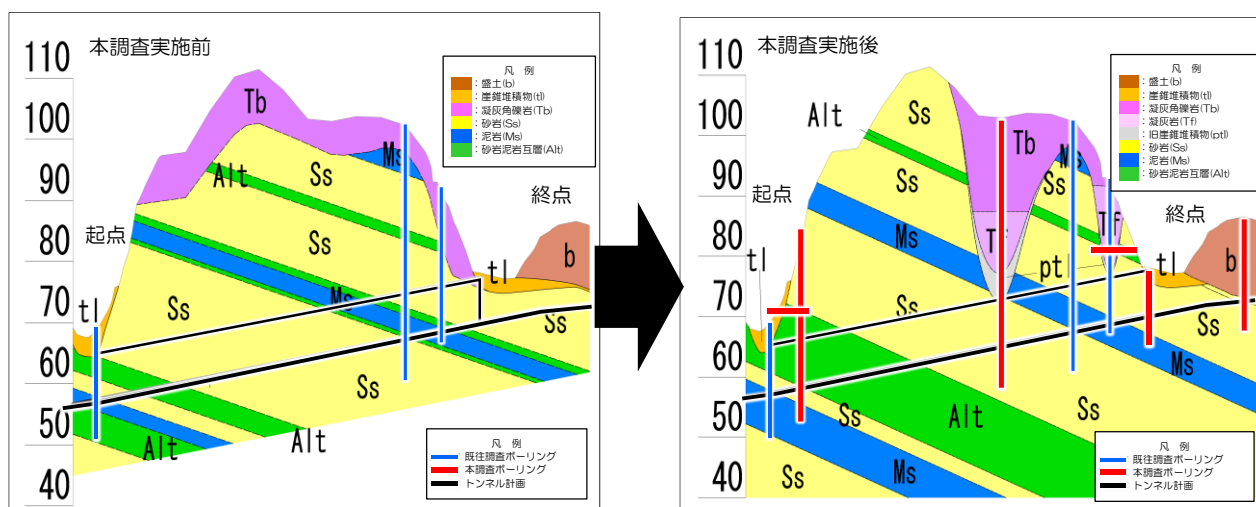


図-3 詳細調査実施前後の地質縦断図（縦横比=5:1）

(2) 地山の評価

古期崖錐堆積物は半固結状を呈し、マトリックスは細粒砂、礫種は基盤である古第三紀堆積岩（主に砂岩）で構成されていた。N値は50以上を呈するものの、岩石試験結果は一軸圧縮強度：0.7MN/m²、超音波伝搬速度（Vp）：0.8km/sと周囲の岩盤に比べ著しく低い値を示し、準岩盤強度による地山強度比（Gn'）も1.4と小さい値であった。

したがって、埋没谷とトンネルが近接する区間では、トンネル断面内は古第三紀堆積岩類の砂岩が主として分布することが想定されるものの、天端付近に半固結状の堆積物が分布し、掘削時には緩みが生じやすい地山性状である等と考えられることから、地山等級を「DII」等級として設定した。

地下水位はトンネル断面より上方の埋没谷中（第四紀火砕岩類）に認められ、古期崖錐堆積物と古第三紀堆積岩類との不整合面付近の透水係数は10⁻⁵m/s程度と透水性は低いものの、掘削時の緩みに伴い突発的な湧水が生じる可能性も想定された。

(3) 埋没谷とトンネルとの近接区間への対応提案

古期崖錐堆積物が切羽や天端に分布する場合は地山のアーチ作用が期待できず、切羽崩壊や天端崩落が懸念されたため、早期の断面閉合や天端付近の補強による緩み・先行変位の

抑制、切羽の安定化が期待できる長尺の先受け工等の補助工法の併用を提案した。

また、埋没谷および古期崖錐堆積物の分布は、鉛直ボーリング 1 孔および弾性波探査結果に基づく想定であり、分布形状については不確実性を伴うため、施工時には水抜きを兼ねた先進ボーリングや切羽前方探査等による分布の確認を行う旨を申し送り事項としてとりまとめた。

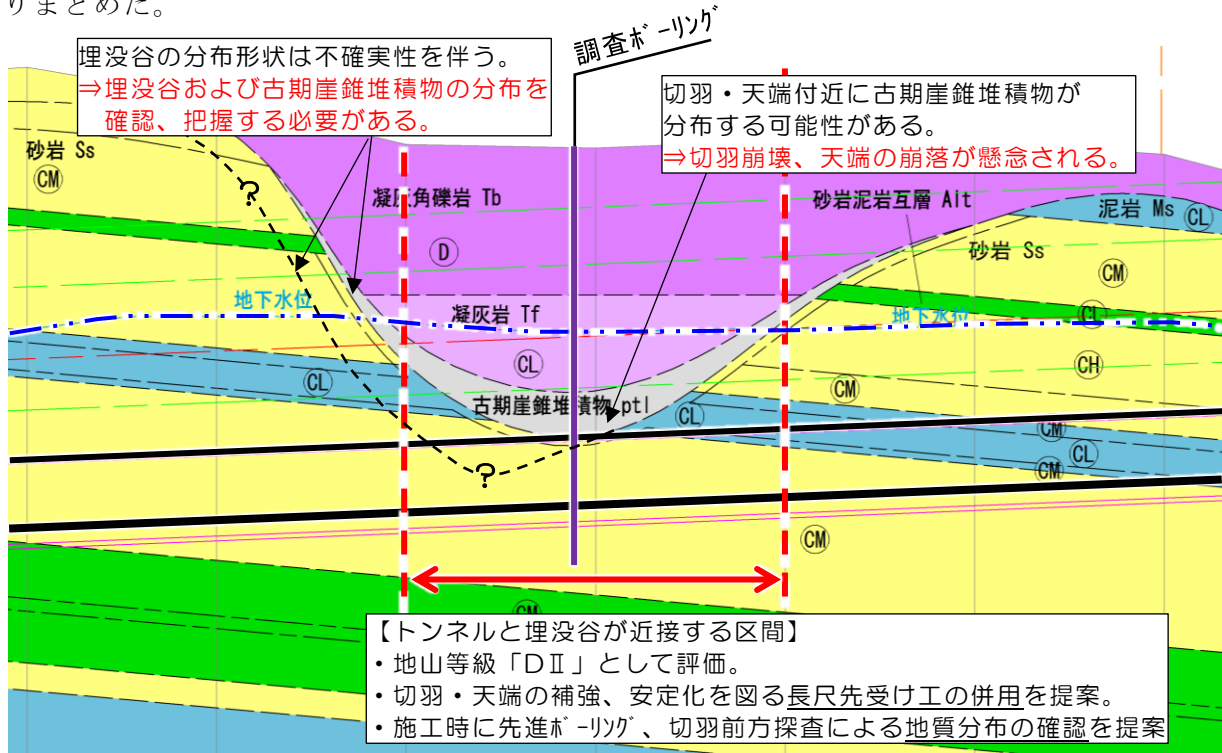


図-4 埋没谷が近接する区間の地質縦断図 (S=800, 縦横比=1:1)

4. マネジメントの効果

先行調査（弾性波探査）にて得られた地形と不調和な凹状の速度層構造から、地形判読や既存文献調査等からは想定し難い地質リスク要因（埋没谷と軟質な堆積物の分布）の可能性を見落とすことなく詳細地質調査を計画・実施し、地質リスク情報の抽出および地質リスクに対する対応案を提案することで、地質リスクの低減に寄与できたものとする。

仮に既往調査（概略地質調査）時点で、設計→施工へと段階を進めた場合、トンネル断面は古第三紀堆積岩類を通過する想定であり、埋没谷との近接区間では、切羽崩壊・天端崩落の発生とともに、原因究明のための地質調査、対応案の検討、検討結果に基づく修正設計、追加資材の手配等、工程の遅延や追加対策による事業コストの損失は免れなかったものと推察される。

5. データ様式の提案

「地質リスクを回避した事例（A型）」として、表-1 にデータ様式案を示す。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/>)

表-1 データ様式（地質リスクを回避した事例；A型）

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		非公表
	工事名		—
	工種		道路トンネル
	工事概要		道路拡幅事業
	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		トンネル施工時
	予測されたトラブル		想定外の軟質な地質分布に伴う対応（工程遅延・事業費増）
	回避した事象		切羽崩壊、天端崩落など
	工事への影響		—
リスク管理の実際	判断した時期		調査・設計時
	判断した者		発注者、調査・設計受注者
	判断の内容		詳細地質調査の実施
	判断に必要な情報		地質分布及び性状
リスク対応の実際	内容	追加調査	追加ホーリング、室内試験の実施
		修正設計	—
		対策工	補助工法の追加、先進ホーリング・切羽前方探査の実施
	費用	追加調査	—
		修正設計	—
		対策工	—
		②合計	—
	変更工事の内容	工事変更の内容	
③変更工事費		—	
変更工期		—	
間接的な影響項目		—	
受益者		—	
リスクマネジメントの効果	費用（①－③－②）		—
	工期		—
	その他		現在、調査・設計段階であり、リスクを考慮した設計、不確実性解消のための施工時対応により、リスクを回避・低減できるものと考えられる。

国道 402 号における豪雨時の通行規制基準緩和へ向けた 地質リスク検討事例

株式会社キタック ○長谷川 大輔・遠藤 雄治・田中 義成
新潟県 長岡地域振興局 地域整備部 与板維持管理事務所

1. 事例の概要

□国道 402 号は、日本海に沿って並行なルートを取り新潟県柏崎市から新潟市中央区に至る実延長約 57km（重用延長を除く）の一般国道である（図-1）。このうち長岡市寺泊山田地区においては、海食崖の直下を道路が通過しており、豪雨時に土砂災害の危険性が高いことから、時間雨量 25mm、連続雨量 100mm で通行止めを実施する異常気象時通行規制区間として延長約 500m が指定されている（図-2）。

本調査ではこの区間を含む延長約 800m を対象に、今後の通行規制基準緩和に向けた基礎資料作成を目的として地質リスクの抽出、解析、対応方針の検討を実施した。



図-1 国道 402 号位置図
(Google マップに加筆)



図-2 調査地のドローン画像（起点から 400m 区間）

2. 事例分析のシナリオ

本調査の流れを図-3 に示す。

(1) 既往資料の収集

既往の地形図、地質図、被災履歴等の資料を収集し、地形・地質的な特徴、災害発生時の気象条件等を整理する。

(2) 現地踏査

現地踏査により、地形・地質状況や被災箇所の特徴を調査する。

(3) 地質リスク解析

既往資料、現地踏査結果から地質リスクを抽出し、発生確率と影響度から評価する。

(4) 地質リスク対応検討

地質リスクの評価結果を踏まえて、対応方針について検討する。

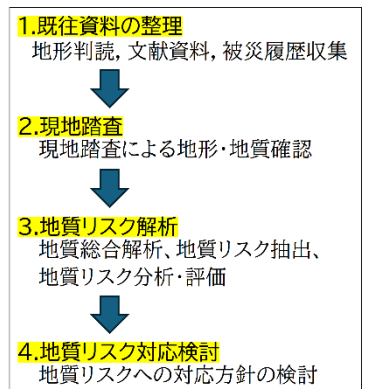


図-3 調査フロー

3. データ収集分析

(1) 既往資料の整理

① 調査地の地形・地質概要

調査地の特徴は、国道 402 号と平行した明瞭な尾根地形が連続し、この尾根地形を境に北西側(国道側)が斜面勾配約 40°の急斜面、南東側が緩い傾斜の丘陵地で南東～東方向に伸びる樹枝状の沖積谷地形が発達していることである(図-4)。これは、かつて南東方向に傾斜する緩い地形に発達した谷地形があり、この源頭部にあたる山地を日本海の波浪等が侵食し国道側が急斜面となったものと推定される。



図-4 調査地周辺の地形状況図

調査地の地質は、新第三紀中新統の椎谷層(砂岩・シルト岩互層)を基盤岩とし(小林ほか, 1993¹⁾、これを崖錐堆積物や溪床堆積物などの未固結堆積物が被覆している。南東方向に約 30° 傾斜し、国道に対して受け盤構造となっている。

② 被災履歴

検討区間において、記録に残っている被災履歴は 4 回で合計 30 箇所の崩壊が確認された。4 回のうち 3 回は規制雨量を超える降雨によって崩壊したものであった。なお、近隣で発生した中越沖地震時には崩壊や落石等の発生は無かった。図-5 に平成 16 年 7 月に発生した新潟・福島豪雨後の被災状況を示す。



図-5 平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨後の被災状況(長岡地域振興局と板維持管理事務所撮影)

(2) 現地踏査結果

現地踏査を実施し、現地の地形・地質状況や湧水状況の確認、過去に崩壊した箇所の崩壊規模の計測等を行った。現地踏査で確認された地質を表-1 に示す。また踏査結果図の一部(起点から 300m 区間)を図-6 に示す。

表-1 調査地の地質構成表

時代	地層名	地質・土質区分	記号	主な土質・岩質
—	盛土	—	—	ゴルフ場の建設に伴い谷地形を埋めて盛土した人工改変地。平坦～緩斜面となっている。(平成8年7月開場)
第四紀 完新世	地すべり崩積土	岩片混り粘性土	ld	起点側の駐車場の地すべり防止区域の地すべりブロック土塊。周辺で湧水が多く、末端で災害履歴あり。
	崖錐堆積物	岩片混り粘性土	dt1	斜面末端部の国道脇に平坦面を形成して分布する崖錐堆積物。流水による崩壊履歴あり。
			dt2	斜面末端部～中腹に緩斜面や急勾配で分布する崖錐堆積物。谷地形や急勾配によって崩壊・流出しやすいもの。
			dt3	斜面中腹～上部に緩斜面で分布する崖錐堆積物。地形状況より薄く堆積し、現状で安定しているもの。
旧崖錐堆積物	岩片混り粘性土	od	高い標高に分布する古い崖錐堆積物。背後の谷地形周辺や尾根地形周辺にあり、段々地形で畑に利用されていた。	
溪床堆積物	砂混りシルト質粘土	rd	尾根背後の谷地形の底部に分布する堆積物。区間8では層厚7mで確認される。軟弱な粘性土を主体とする。	
新第三紀 中新世	椎谷層	砂岩・シルト岩互層	Sy	層相変化の多い砂岩・シルト岩互層で軟岩クラスの基盤岩。ナイフで削れる程度の固結度。

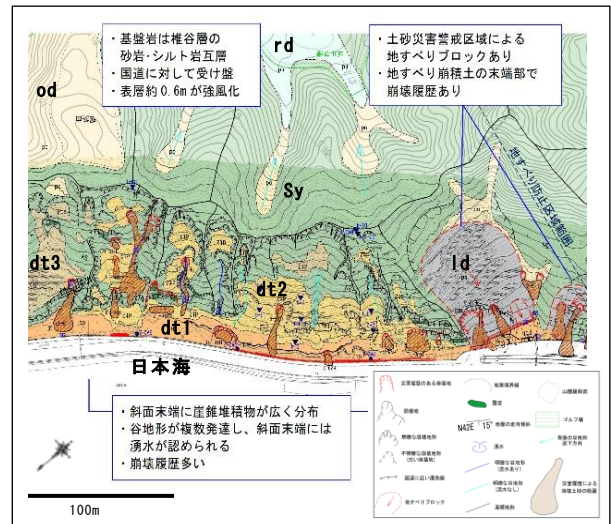


図-6 現地踏査結果(起点側から 300m 区間)

(3) 地質リスク解析

①地質リスクの抽出

被災履歴及び現地踏査結果から、検討区間では表-2 に示す 5 種類の地質リスクを抽出した。災害の形態は崩壊、土石流、地すべりであり、崩壊については該当する地質によって、発生規模や発生位置が異なることから 3 種類に区分した。

表-2 地質リスク一覧表

地質リスク	該当する地質	概要	崩壊事例
①道路脇の崖錐堆積物 (dt1) の崩壊	崖錐堆積物 (dt1)	斜面末端の道路脇に堆積する崖錐堆積物の崩壊。崩壊発生箇所は背後の斜面に谷地形が存在していることから、豪雨時には谷地形で流下する多量の地表水や地下水が dt1 に流れ込み崩壊するリスクとする。	
②急斜面に分布する崖錐堆積物(dt2)の崩壊	崖錐堆積物 (dt2)	斜面に分布する崖錐堆積物の崩壊。災害履歴では、斜面中の急勾配の部分が多いため、豪雨等によって安定勾配より急な部分のdt2が崩壊して国道に流出するリスクとする。	
③谷地形に分布する崖錐堆積物(dt2)の土石流化	崖錐堆積物 (dt2)	災害履歴では、斜面中腹から下方まで長い距離を流下したことが確認されているため、豪雨等によって谷部周辺のdt2が下方に流出し、土石流のように流動化して道路に流出するリスクとする。	
④風化による基盤岩(Sy)の表層崩壊	椎谷層砂岩・シルト岩互層 (Sy)	経年劣化により基盤岩(Sy)地表付近が風化・土砂化し、豪雨等によって安定勾配より急な部分が表層崩壊した土砂が国道に流出するリスクとする。	
⑤地すべり	地すべり崩壊土 (ld)	地すべりは、検討区間の起点側の駐車帯(規制区間外)に位置しており、災害履歴でも末端部の崩壊が確認される。この地すべりが滑動した場合は、国道に影響することは必ずであるためリスクとする。	

②地質リスクの分析・評価

上記の各地質リスクについて、リスクの重大性を評価するために、影響度 (E) と発生確率 (L) の掛け合わせから算出されるリスクスコアを作成した。

影響度 (E) は、地質リスク①～④については国道と発生源との水平距離で 3 段階に区分した。閾値は被災履歴での土砂流出距離や土砂災害防止法の区域設定基準 (新潟県土木部, 2014²⁾) 等を参考とした。地質リスク⑤の地すべりは規模を影響度とした。

発生確率 (L) は各地質リスク発生条件等を考慮して設定した。ここでは例として地質リスク①について記載する。

地質リスク①の対象となる崖錐堆積物 (dt1) の崩壊の発生位置を確認すると、いずれも背後の斜面に谷地形が存在していることから、豪雨時には多量の地表水や地下水が dt1 に流れ込み崩壊したと考えられる。このため、谷地形の有無、現地踏査時における湧水、流水状況を発生確率の区分の要因とした。作成したリスクスコアを図-7 に示す。

【地質リスク①】 道路脇の崖錐堆積物(dt1)の崩壊			発生確率			
			低い (Low) 1	中程度 (Medium) 2	高い (High) 3	
事業への影響			指標値: 崖錐堆積物(dt1)背後の地形状況			
			背後に谷地形なし	背後の谷地形に流水(湧水)なし	背後の谷地形に流水(湧水)あり	
影響度	低い (Low) 1	軽微な修復で事業継続可能となる影響	発生源と国道の水平距離 50m以上	C	C	C
	中程度 (Medium) 2	大きな損失を受けるが事業は継続可能で遅延がある	発生源と国道の水平距離 15m以上 50m未満	C	C	B
	高い (High) 3	事業が中断または大規模な遅延となる影響	発生源と国道の水平距離 0~15m未満	C	B	A

※1
 AA: リスクを回避(ルート変更や改築等)することが望ましいリスク事象
 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リスク事象
 B: 地質調査を行い、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、道路バトロールやカルテ点検等でリスク管理することが可能な事象

図-7 地質リスク①のリスクスコア

地質リスク②～⑤についても同様にリスクスコアを作成した。リスクスコア作成後、斜面形状等から検討区間を16区間に区分し、各区間の地質リスク①～⑤について、リスクスコアを用いて評価した(図-8)。

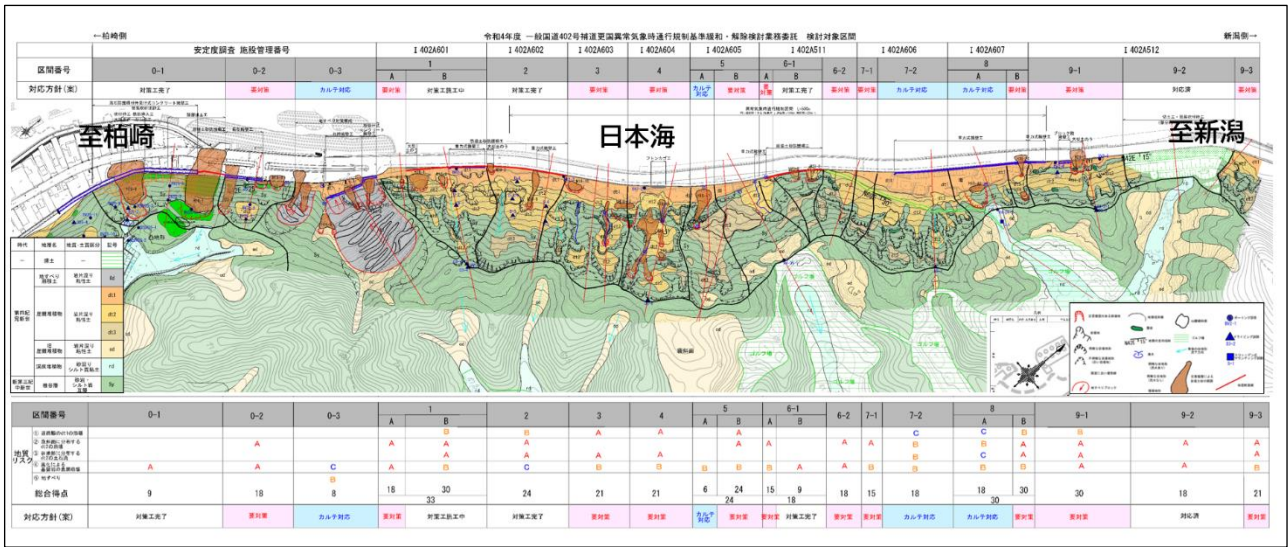


図-8 地質リスク評価結果

③地質リスクへの対応検討

リスクスコアのA評価は影響度(E)、発生確率(L)ともが高いため、A評価の地質リスクが1つでも含まれる要対策と判断した。また、B、C評価のみの区間は道路防災カルテを作成し定期的に点検を実施することとした。対応検討の結果、全16区間のうち要対策が11区間、カルテ対応が4区間、対策済みは5区間となった。要対策箇所については地質リスクの総得点から対策優先度の決定と対策工の概略検討を行い、規制基準緩和へ向けたロードマップをまとめた(図-9)。

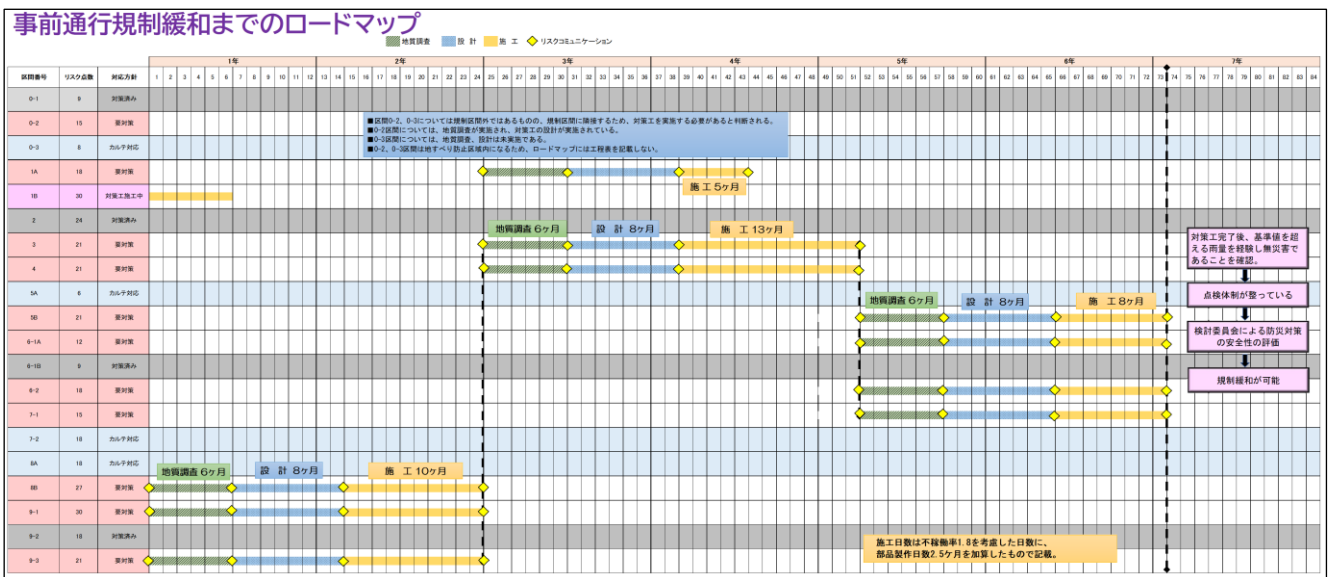


図-9 事前通行規制緩和までのロードマップ

4. マネジメントの効果

今回の地質リスクマネジメントにより、対策が必要な箇所、優先度を整理し規制緩和へ向けた道筋を示した。要対策箇所の調査、設計から対策工完了までは6年程度かかる見込みである。今後は、規制緩和に向けた調査、設計、施工を順次進めていくことで道路の安全性の向上が図られる。

5. データ様式の提案

本事例は豪雨時の通行規制基準緩和に向けて、地質リスクの抽出、分析し、対応方針を検討した業務であり、ここでは、地質リスクを回避したものとして、A型のデータ様式を用いて整理した。

表-3 データ様式

A. 地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		-
	工事名		-
	工種		-
	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		道路供用時
	予測されたトラブル		豪雨による斜面崩壊
	回避した事象		斜面崩壊による国道、通行車両の被災
	工事への影響		-
リスク管理の実際	判断した時期		地質リスクマネジメント実施時
	判断した者		地質リスクマネジメント実施者
	判断の内容		要対策箇所、対策優先度の判断、対策工概略検討
	判断に必要な情報		被災履歴、現地踏査結果
リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング調査、サウンディング試験
		修正設計	崩壊土砂防護柵
		対策工	崩壊土砂防護柵
	費用	追加調査	1200万円
		修正設計	1800万円
		対策工	3億7000万円(直接工事費)
		②合計	4億円
変更工事の内容	工事変更の内容		-
	③変更工事費		-
	変更工期		-
	間接的な影響項目		-
	受益者		-
リスクマネジメントの効果	費用(①-③-②)		4億円
	工期		対策工完了まで約6年
	その他		-

《謝辞》

本稿執筆にあたり、新潟県長岡地域振興局与板維持管理事務所の皆様には、ご多忙の中、資料提供等にご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。

《引用・参考文献》

- 1) 小林ほか：出雲崎地域の地質，1993.
- 2) 新潟県土木部：基礎調査マニュアル（案）急傾斜地崩壊偏，2014.
- 3) 新潟県土木部：新潟県道路防災事業ガイドライン，2019.