

水窪佐久間道路における地質リスク検討

松尾賢二・赤嶺辰之介・伏木 治

1. はじめに

三遠南信自動車道水窪佐久間道路は、中央構造線に近接することから破碎帯を始めとした脆弱な地質への対応が事業推進の大きな課題となっている（図-1）。この課題に対し、事業早期から地質リスクを抽出し、継続してマネジメントすることで地質に起因するトラブル回避の機会が飛躍的に増大すると考えられる。ここでは水窪佐久間道路の事業初期段階における地質リスクマネジメントの適用結果と今後のマネジメント手法を報告する。

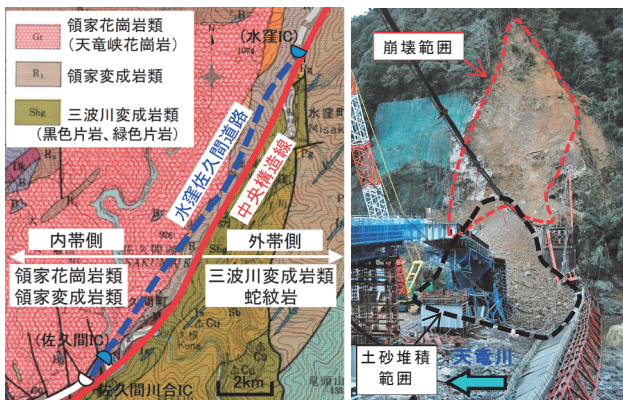


図-1 計画路線沿いの地質と現道沿いの斜面災害
(右：H27.1岩盤崩壊による原田橋の崩落)

2. 事業の概要

平成31年4月に事業化した水窪佐久間道路は長野県飯田市から静岡県浜松市に至る三遠南信自動車道の一部を構成する道路で、災害時に信頼性の高い道路ネットワークの確保、地域医療サービスの向上等の整備効果が期待されている。中央構造線に併走する本道路は、全体の約8割が山岳トンネル区間で、比較的地質条件の良い内帯側（領家帯）に計画されているが、周辺は天竜峡花崗岩及び領家変成岩類からなる急峻な斜面が形成されており、地すべりや崩壊、落石等の斜面災害が比較的多く発生している状況にある。このため期待される整備効果実現においては地質リスクへの対応が重要となる。

3. 地質リスクの抽出

事業初期段階のリスク検討では、「漏れの無い地質リスクの抽出」¹⁾が重要となる。一方で本道路が中央構造線に近接する急峻な山岳地において14.4kmの延長を有することから、地質リスクも多岐に渡ることが想定された。そこで、事前に資料調査及び地形解析、予察踏査を行い、重要な地質リスク源を抽出した上で詳細な地表地質踏査を実施した（図-2）。また、近接目視困難な急崖におけるリスクの見落しの回避や設計見直しにつながる可能性のある重要なリスク源と計画の関係性を把握するため、広域に適用でき、かつ経済性に優れたクライミング調査や比抵抗二次元探査等の補足調査を行った。これらの結果と地域特性（資料調査の結果）を踏まえることで、計画路線沿いに潜在する地質リスクの漏れが無いように留意した。

抽出の結果、当初計画路線に潜在する地質リスク要因は177箇所を上り、これらを想定される事象ごとに大別して整理を行った（図-2：A～G）。

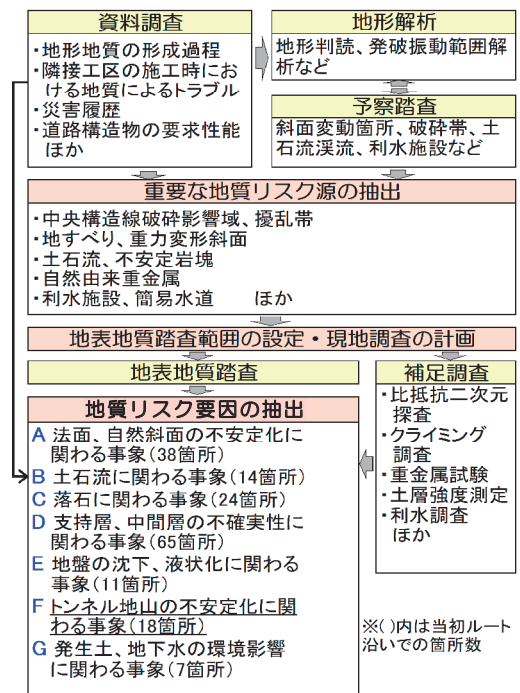


図-2 地質リスク要因抽出の流れ

以下に重要な地質リスク源について概説する。

(1)中央構造線の破砕影響域

中央構造線は内帯・外帯側に幅数百mの破砕影響域を伴っており、供用中の隣接工区では、路線に平行な破砕帯に起因した側壁の押出しによりトンネル支保の変形が発生している。このような事象を避けるべく、当初計画は空中電磁探査結果等を踏まえ、中央構造線破砕影響域を避けたルートが設定されていた。そこで、想定分布範囲の精度向上を目的に、沢部を中心とした破砕影響域追跡踏査を行った。その結果、破砕影響域の分布範囲が当初よりも広範囲となることが想定され（図-3）、一部のトンネルでは長区間にわたって施工時の側壁の押出しや支持力不足等が懸念された。

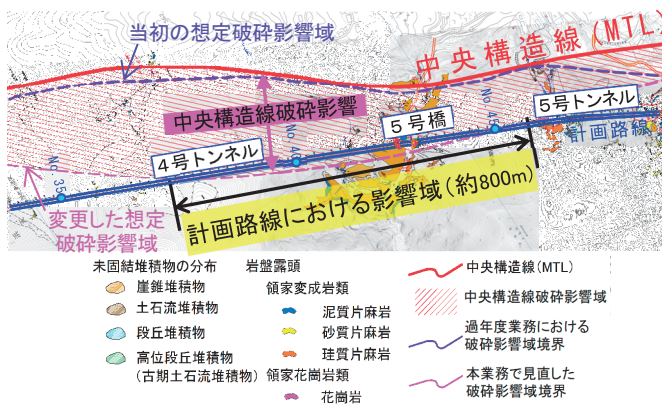


図-3 中央構造線破砕影響域の評価

(2)地すべり、重力変形斜面

計画路線周辺の岩盤崩壊は凸型の緩んだ尾根斜面で比較的多く発生しているため（図-2参照）、地形判読や予察踏査を実施し、地すべりに加えて重力変形斜面の抽出を行った。その結果、一部の坑口付近で大規模な地すべりブロックが確認されたことから、詳細踏査に加え比抵抗二次元探査を実施した（図-4）。調査の結果、地すべりブロック層厚は20～25mと想定され、トンネルと地すべりブロックとの位置関係から、トンネル施工による地すべり活動の誘発とこれに伴うトンネルの

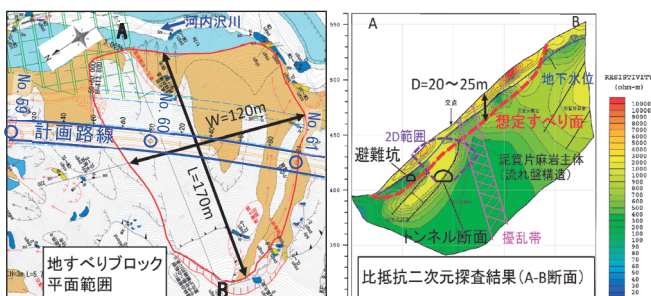


図-4 地すべりの平面範囲と比抵抗二次元探査結果

損壊、隣接する河道閉塞等が懸念された。また、地すべり活動に対する必要抑止力は7,680kN/mと試算され、大規模な対策となると想定された。

(3)土石流

計画路線は複数の溪流を横断し、特に北部域の溪流の多くが土石流危険溪流等に指定されている。一部の坑口では、現河床との比高や上・下流部の流出土砂や流木の状況などから、計画路線への土砂の流入が懸念された（図-5）。



図-5 土石流による土砂流入が懸念される箇所

(4)不安定岩塊（落石、岩石崩壊）

浮石・転石の安定度調査の結果、多くの坑口や土工区間で落石の発生が懸念される箇所が確認された。花崗岩分布域では落石の発生量が多く、対策施設の維持管理上の課題も挙げられる。

(5)自然由来重金属

露頭試料を対象とした重金属調査の結果、泥質片麻岩や破砕帯、熱水変質帯で採取した試料の一部で溶出量基準値を超過する砒素等が確認された。そのため、発生土からの重金属溶出が懸念される。

4. 地質リスク基準の設定

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

表-1 マトリクスランク表

		発生確率		
		低い	中程度	高い
影響度	非常に高い	A	A	AA
	高い	B	A	A
	中程度	B	B	A
	低い	C	B	B

- AA 線形変更等により、リスクを回避するのが望ましい事象
- A 詳細な地質調査を実施して完全な対策を講ずべき事象
- B 地質調査を行い、結果に応じて適切な低減対策を講ずべき事象
- C 施工段階へリスクを保留することが可能な事象

影響度と発生確率の評価表の例（F:トンネル地山の不安定化）をそれぞれ表-2、表-3に示す。

影響度の評価項目は、Transit New Zealand (2004) 2)を参考に、本事業の整備効果や地域特性、一部供用区間での課題等を踏まえ、事業推進

への影響が大きいと考える[コスト]、[期間]、[安全]、[環境]とした。コストや期間は、影響度に応じてそれぞれ閾値を設定することで定量的な評価を行った。閾値は文献2)を参考に、本事業の事業費、事業工程を踏まえ設定した。各基本項目の評価において最も高い影響度を当該リスクの影響度とした。

発生確率は地形、地質、地下水、履歴等の各要因が相互に関連しているため、各項目の評価結果に基づき総合的に評価するものとした。各評価項目は対象地の斜面災害要因や隣接工区施工時に生じた変状の要因検討結果、各種文献・安定度評価基準(表-3の場合、Barton他によるQ値法や竹林ほか(2003)³⁾など)を参考に設定した。

これらに基づき、抽出したすべての地質リスクに対しリスクランクを設定した。

表-2 影響度評価表(「トンネル地山の不安定化」の例)

	影響度			
	低い	中程度	高い	非常に高い
コスト	破砕帯の延長は数m以下で、支保パターンの大幅な変更等はない。	破砕帯の延長が10m以上に及ぶ。支保パターン変更等による 増加費用1000万円以上 (CI~CII地山⇒DI~DII地山)	破砕帯の延長が30m程度以上に及ぶ。支保パターン変更や補助工法の追加等による 増加費用1億円以上 (CI~CII地山⇒DI~DII地山、補助工法追加)	破砕帯の延長が350m程度以上に及ぶ。支保パターン変更や補助工法の追加等による 増加費用10億円以上 (CI~CII地山⇒DI~DII地山、補助工法追加)
期間	現場対応が可能なもの、軽微な追加対策で対応可能なもの(対応期間:1ヶ月以内)	支保パターンの変更などで対応可能なもの(対応期間:1年以内)	支保パターンの変更や補助工法の追加、及び調査・各種検討の実施により、1年前後以上の工事の遅延。	大幅な工事の遅延が生じることから 設計図の変更が必要となるもの
周辺環境への影響(突発湧水時)	準備した濁水処理施設で処理可能な湧水の発生	準備した濁水処理施設を一時的に上回る湧水の発生	準備した濁水処理施設を継続的に上回る湧水が発生し、周辺環境(河川、利水施設等)に影響を及ぼす。	—

表-3 発生確率評価表(「トンネル地山の不安定化」の例)

	発生確率		
	低い	中程度	高い
破砕・変質の程度	[1]多亀裂 ^{※1)}	[2]多亀裂~細片状 ^{※2)}	[3]細片状~粘土状
破砕帯の構造(計画路線との平面交差角)	[1]高角度交差(90°~60°)	[2]中角度交差(60°~30°)	[3]鋭角交差(30°以下)
高圧・大量湧水の可能性	[1]水圧0.1MN/m ² 以下、または、湧水量0.05m ³ /分以下	[3]水圧0.1~1MN/m ² 以下、または、湧水量0.05~0.5m ³ /分	[5]水圧1MN/m ² 以上、または、湧水量0.5m ³ /分以上
膨潤性粘土鉱物の有無	[1]殆ど含まれないと推定される。	[2]含まれると推定される。或いは未詳。	[3]多量に含まれる可能性有り。
地山強度、土被り	[1]塑性土圧発生の可能性は低い(地山強度比:4以上)。	[3]軽微な塑性土圧発生の可能性あり(地山強度比:4~2)。	[5]塑性土圧発生の可能性あり(地山強度比:2以下)。
発生確率(各項目の合計点)	5~9 10~14 15~19	低い 中程度 高い	※1)亀裂間隔5~20cm ※2)亀裂間隔5cm以下

5. リスク対応

AAランク、一部のAランクの地質リスクに対しては線形変更でリスクを回避し、それ以外のは後続の地質調査や対策工検討を通じて事業の各段階で不確実性を含めたリスクの低減を図る方針とした。線形変更に際しては、発注者、地質技術者、設計者間で表-4の比較表を用いて線形変更の効果や相互に調整しながら検討を進めた。また、変更路線に対してもリスク抽出・評価、対応検討を繰り返すことでリスク低減を図った(図-6)。

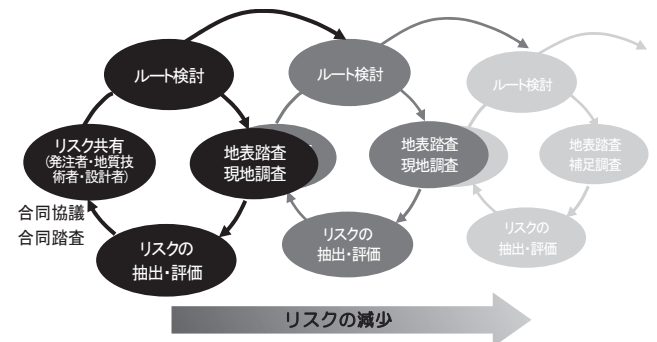


図-6 変更路線の反復評価によるリスクの低減

表-4 地質リスク比較表(当初線形、変更線形案)

当初線形			対象箇所:6号トンネル起点側			変更線形			対象箇所:5号トンネル起点側						
リスク比較	結果		←	事象 ()内は図-2との対応	←	リスク源(自然的)		結果		←	事象 ()内は図-2との対応	←	リスク源(自然的)		
	① 坑口変状 ② 坑口斜面の変状・崩壊 ③ 計画路線への落石、土砂流出 ④ 内空変形・変状、トンネル崩壊 ⑤ 土圧発生・トンネル崩壊 ⑥ 河道閉塞・谷側構造物の変状 ⑦ 切羽・天端の崩壊 ⑧ 切羽・天端の崩壊、内空変形・側壁押し出し			支持力不足(D) すべり破壊、崩壊拡大(A) 落石、表層崩壊(C)(A) 偏土圧・破壊(F) 地すべり滑動(A) 地すべり滑動(A) 破砕岩盤による地山変形(F) 地山変形等長区間化、突発湧水(F)		土砂、強風化岩分布 崩壊地形・緩み岩盤 不安定岩塊、崩積土 側方の低土被り 地すべりブロック分布 地すべりブロック分布 地すべりブロック分布 擾乱帯が路線に平行分布		① 坑口変状 ② 坑口斜面の変状・崩壊 ③ 計画路線への落石、土砂流出 ④ 内空変形・変状、トンネル崩壊 ⑤ 土圧発生・トンネル崩壊 ⑥ 河道閉塞・谷側構造物の変状 ⑦ 切羽・天端の崩壊 ⑧ 切羽・天端の崩壊、内空変形・側壁押し出し		支持力不足(D) すべり破壊、崩壊拡大(A) 落石、表層崩壊(C)(A) 偏土圧・破壊(F) 地すべり滑動(A) 地すべり滑動(A) 破砕岩盤による地山変形(F) 地山変形等長区間化、突発湧水(F)		土砂、強風化岩分布 崩壊地形・緩み岩盤 不安定岩塊、崩積土 側方の低土被り 地すべりブロック分布 地すべりブロック分布 地すべりブロック分布 擾乱帯が路線に平行分布			
	発生確率							発生確率							
	非常に高い 低い 中程度 高い								非常に高い 低い 中程度 高い						
	⑤、⑥、⑧ ⑦ ④ ③								① ②⑧ ③						
リスクランク								リスクランク							
影響度								影響度							
非常に高い 高い 中程度 低い								非常に高い 高い 中程度 低い							
AA 線形変更等により、リスクを回避することが望ましい事象 A 詳細な地質調査を実施して、完全な対策を講ずべき事象 B 地質調査等を行い、結果に応じて適切なリスク低減対策を講ずべき事象 C 施工段階へリスクを留保することが可能な事象								AA 線形変更等により、リスクを回避することが望ましい事象 A 詳細な地質調査を実施して、完全な対策を講ずべき事象 B 地質調査等を行い、結果に応じて適切なリスク低減対策を講ずべき事象 C 施工段階へリスクを留保することが可能な事象							
効果															
◆ルート変更により地すべりブロックを回避することでこれに関わるリスクはすべて回避された【AA・A→無し】															
◆線形変更では擾乱帯を最短かつ直交方向で突破させることで、破砕岩盤の長区間化や側壁の押し出し等のリスクを低減【AA→B】															

6. リスクマネジメント効果

事業初期段階の地質リスク検討によって、大規模な追加対策費と工程遅延が懸念されるAAランクの地質リスク5箇所が全て回避された。また、Aランクの地質リスクも大幅に減少した(図-7)。

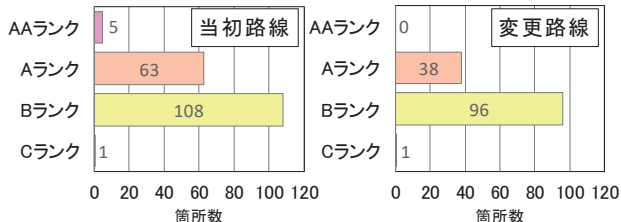


図-7 当初路線と変更路線の地質リスクの比較

7. 今後のリスクマネジメント手法

今後、計画路線沿いの残存リスク（A、Bランク）に対して、詳細な地質調査や対策工の設計・施工、及びこれらによるリスクの再評価・対応検討を繰り返すことで更なる事業全体のコスト縮減や事業工程の遅延回避が可能になると考えられる。そのためには地質リスクの引継ぎが重要となる。

ここではリスク評価等を後続段階に引継ぐための管理表を作成した(表-5)。これにより前段階のリスク評価に基づく計画や対応方針の立案が可能となる。また、地質評価上の課題や未調査項目を記録し、後続段階でフィードバック(追加調査等を実施)することで、事業の進展に合わせて地質評価の不確実性も低減すると考えられる。さらに施工時に発現した地質リスクとその措置を記録することで維持管理段階での有効活用も期待できる。

また、本事業の各段階における地質リスクマネジメントを的確かつ継続的に進めるためにリスク対応マニュアルを策定した(図-8)。今後、事業進捗や外部状況の変化に応じてリスクマネジメント手法の継続的な改善(マニュアルの改訂等)を行うことで地質リスク対応の最適化を図っていく。

表-5 地質リスク引継ぎ管理表 (一例)

7号トンネル終点側①	
地質リスク検討段階	リスク源 事象・結果 リスクランク 地質評価上の課題
	未固結堆積物、低土被り、偏圧地形 天端崩壊、断面変形、L側斜面不安定化(保全対象) A 未固結層性状、基盤岩境界形状、地下水位が未詳。
地質調査段階	調査計画 調査結果 リスクランク 地質評価上の課題
	(予)ボーリング4箇所、標準貫入試験、室内土質試験 (詳)ボーリング2箇所、孔内水平載荷試験 A (予)基盤岩境界の不陸大。詳細確認必要。
設計段階	リスク対応 概算対策費等 リスクランク 地質評価上の課題
	長尺先受工法と緩みを抑制する掘削工法を計画。 150百万 B 施工時の動態監視と数値解析に必要な物性値取得。
施工段階	施工計画 顕在化したリスクと対応 リスクランク
	機械施工による緩みの最小化。斜面モニタリング。 変位は許容値内に収まっていることを確認。 C
維持管理段階	維持管理方針 通常維持管理で対応。

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

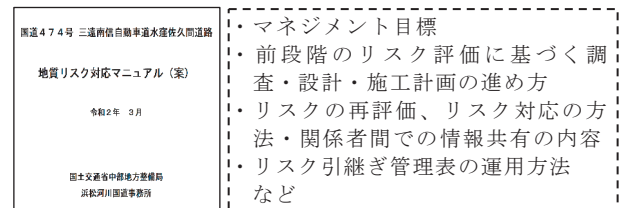


図-8 地質リスク対応マニュアル

8. まとめ

ここでは、事業に対して地質リスクがもたらす工程遅延や事業費増大などの影響を大幅に低減することを目的として、地質リスク検討の効果を具体的事例に基づいて述べた。今後は残存する地質リスクに対して、事業の各段階でリスク評価、引継ぎ等を確実にを行うことで、厳しい地質条件を有する水窪佐久間道路の更なるリスク低減が期待でき、円滑で安全な事業の推進に寄与すると考える。

参考文献

- (一社) 全国地質調査業協会連合会：地質リスクに関する調査・研究、61p、2007
- Transit New Zealand：Risk Management Process Manual, 48p, 2004
- 竹林亜夫・滝沢文教・木村正樹：湧水によるトンネル切羽の不安定化に関する地質工学的研究、応用地質技術年報、No.23、pp19～54、2003

松尾 賢二



国土交通省 中部地方整備局
浜松河川国道事務所 計画課長
MATSUO Kenji

赤嶺辰之介



サンコーコンサルタント(株)
名古屋支店 技術部長
AKAMINE Shinnosuke

伏木 治



サンコーコンサルタント(株)
名古屋支店 地質課主任
FUSHIKI Osamu