

# 豊岡道路（Ⅱ期）事業における地質リスクへの取り組みについて

曾根 大輔<sup>1</sup>・松谷 翔<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup>近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 計画課 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3)

北近畿豊岡自動車道が通過する但馬地域には、道路土工切土工指針で崩壊発生の懸念がある凝灰岩が広く分布している。このような地形で高規格道路を建設するためには、あらかじめ凝灰岩等を起因とする地域特有の様々な技術的課題を克服する必要があり、凝灰岩の出現による切土工に特化した対策工法の選定と実施工への適用を主目的とする「凝灰岩設計施工マニュアル（案）」の策定を実施することとした。本稿は、上記マニュアル（案）を用いた豊岡道路（Ⅱ期）事業における地質リスクへの取組内容について報告を行うものである。

キーワード 地質・地盤の不確実性（地質リスク）、リスク評価、リスク対応措置

## 1. はじめに

北近畿豊岡自動車道は、豊岡市から丹波市に至る延長約73kmの高規格道路であり、兵庫県北部の但馬地域と丹波地域の連携及び活性化を支援する自動車専用道路である。そのうち豊岡道路（Ⅱ期）は、兵庫県北部に位置する5.1kmの暫定2車線の道路計画であり、現在は調査設計及び用地取得の段階となっている。

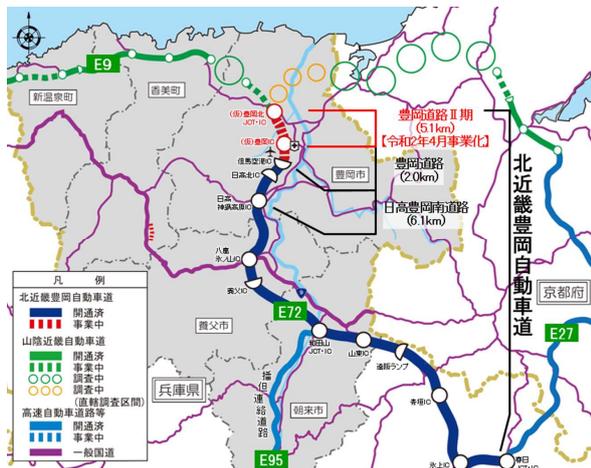


図-1 北近畿豊岡自動車道路線概要図

計画ルート付近は、但馬山地に属し、標高20～125m程度の丘陵性の山地である。後述する地質のため侵食が進み、谷沿いでは45度近い急斜面が形成されている。

地質は新生代新第三紀に堆積・形成された北但層群豊岡累層の礫岩を主としており、その中に凝灰岩および凝灰質砂岩・砂岩が挟在している。

これらの基盤岩類は形成年代が新しく、固結度が低い「堆積軟岩」であり、風化が進行しやすいため、他事業

を含めた周辺の切土斜面では降雨等により凝灰岩や凝灰質砂岩などの弱層をすべり面とする地すべり・崩壊が多発している。

豊岡道路（Ⅱ期）区間についても例に漏れず凝灰岩が見つかっており、従来の道路土工指針や示方書のみを用いた道路切土計画をそのまま適用することについては、特に安全性という点では解決すべき問題が多い。

したがって、凝灰岩を有する切土で高規格道路を建設する場合に関して、従来の切土工に地質リスクの観点を踏まえ、最新の被災事例から得られた知見を反映させた、「凝灰岩設計施工マニュアル（案）」（以後、本マニュアル（案）と呼ぶ）を策定し、凝灰岩の出現による切土工に特化した、地質・地盤調査、設計、施工管理、品質管理などを提案することとした。本稿では、地質・地盤調査、設計の取組内容について報告する。

## 2. 本マニュアル（案）の適用の範囲

本マニュアル（案）の適用範囲は、道路土工指針、道路橋示方書などの基準を基本としながら、北近畿豊岡自動車道の計画路線の地域特性を考慮し、「地質リスク低減のための調査・設計マニュアル(案)改訂版(R3.3)国土交通省 近畿地方整備局」（以後、地質リスクマニュアル（案）と呼ぶ）における地質リスクの考えに準拠しつつ、凝灰岩の出現による切土工に特化した地質・地盤調査、設計、施工管理、品質管理などとし、前述したとおり従来の切土工に地質リスクの観点を踏まえ、最新の被災事例から得られた知見を反映させたものとした。

また、適用条件としては、豊岡道路（Ⅱ期）は既に都市計画決定されており、R2年度に新規事業化していることから、道路予備設計（B）以降の調査、設計と施工

および維持管理までを対象とした。

### 3. 地質・地盤の不確実性（地質リスク）

本マニュアル（案）における、地質・地盤リスクの概念は「目的に対する不確かさの影響」、定義は「当該事業の目的に対する地質・地盤の不確実性」とし、具体的には、事業のコスト増大や工期の延長等に結びつく可能性のある地形・地質や地下水、地盤等に起因する事業リスクのことを指している。

豊岡道路（Ⅱ期）区間では、切土区間における凝灰岩類は、掘削によるゆるみ、応力解放、含水量の変化によって短時間に粘土化し、周辺の切土斜面同様に地すべりや崩壊に繋がる危険性を孕んでおり、供用済区間である日高豊岡南道路（山本地区）では、施工2年経過した法面での変状発生が確認され、通行止めや対策の追加施工が行っている。

地質リスク検討の流れを図-2に示す。

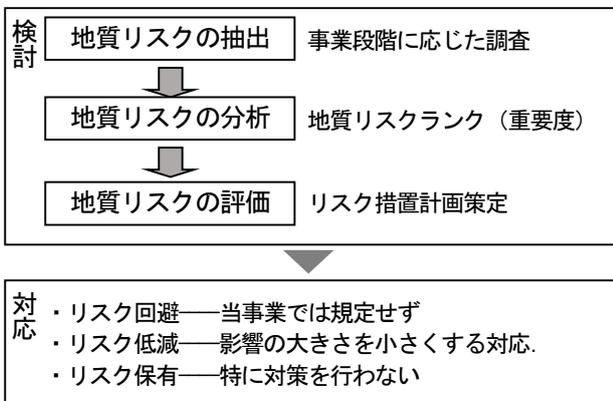


図-2 地質リスク検討の流れ

道路事業においては、事業の進捗に応じて、地質地盤情報が增加するため、各事業段階で、地質リスクの再評価を行い、対応方針の見直しを行う必要があることから、設計・施工に際して、各事業段階で凝灰岩に関連する地質リスク要因を抽出することとした。

また、地質リスクの存在による発現事象を想定し、切土区間ごとに凝灰岩と切土の関係から発現事象を設定した上で、「発生のしやすさ」「影響の大きさ」から地質リスクランク（重要度）を決定するものとした。

決定した地質リスクランクは、ランクに応じ6章にて後述する対応の検討を行い、検討結果は切土区間ごとに表-1に示す引継ぎ帳票に整理する方針とした。

表-1 引継ぎ帳票(例)

不確実性	地盤条件			
	凝灰岩を代表とする風化が早い岩			
想定崩壊事象	風化帯・ゆるみ帯 「表層崩壊」「浸食崩壊」「大型地すべり崩壊」	すべり面となる地質構造(流れ層)	地下水、地表水	地すべり等活動履歴
対応内容・調査	調査ボーリング…風化層の確認	地表調査…凝灰岩の分布(傾斜)の把握 調査BOR…すべり面傾斜の確認	地表調査…斜面内家流水の確認 調査ボーリング…地すべり地形の確認	文献調査(地すべり分布図、空中写真)、地表調査… サンプリングによるスレーキング試験
対応内容・予備設計	切土勾配の緩勾配化、抑止工検討、崩壊時の被害最小となる用地余裕幅を考慮	切土勾配の緩勾配化、抑止工検討、崩壊時の被害最小となる用地余裕幅を考慮	切土勾配の緩勾配化、地下水排除工、崩壊時の被害最小となる用地余裕幅を考慮	切土勾配の緩勾配化、抑止工検討、地下水排除工、崩壊時の被害最小となる用地余裕幅を考慮
対応状況 (上段：実施事項等) (下段：未実施の内 容、理由、留意事項、フィードバックの 必要性等)	実施した調査ボーリングにより深部までの風化を確認した。	現地調査及びボーリングの連続性から凝灰岩の流れ層を確認した。	地質調査で表流水の存在を確認した。	採取された材料がすでに劣化状態にあったため、(供試体)に外装し、崩壊面や劣化層がない試料を用いる必要がある。

### 4. 地質リスク検討方針と想定事象の整理

地質リスク検討方針の対象は、切土による「のり面または自然斜面を含む不安定化」として、崩壊事象は凝灰岩の出現が懸念される豊岡道路（Ⅱ期）区間の状況から以下の2項目とした。

- 「1) 表層法面崩壊」
- 「2) 大型椅子型すべりの発生」

図-3に想定崩壊事象の概要図を示す。

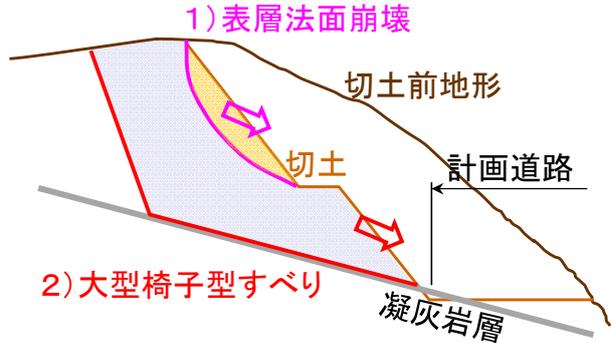


図-3 想定する崩壊事象2項目の概要図

検討方針は、道路土工切土工斜面安定工指針(H21.6)の凝灰岩の記載内容により以下の3項目とした。

■方針1：将来風化が進んでも崩壊しない安定勾配の設定または法面对策工を適用する

◇想定事象を考慮した設定理由

一切土による応力開放や急速に風化するため崩壊の発生を想定し、安定勾配か法面对策工により対応する。

■方針2：凝灰岩が切土部に介在し流れ盤となる場合は安定計算を実施し安定性を評価する

◇想定事象を考慮した設定理由

深い層に凝灰岩があり、かつ流れ盤形状となっている場合、凝灰岩が弱層となって深く広い範囲の崩壊が発生するリスクを考慮して、凝灰岩層のせん断強度を設定し安定解析を実施する。

■方針3：凝灰岩が切土部に介在し、受け盤と想定される場合も崩壊リスクを考慮して、設計段階で取りうるリスク対応を行う

◇想定事象を考慮した設定理由

設計段階での調査ボーリングでは凝灰岩の面的な把握が困難である場合があり、切土施工時に想定できなかった凝灰岩の介在が生じた場合の対応を想定する。

### 5. 地質リスクランク設定の検討

地質リスクランク設定では、道路予備設計（B）段階での設定として以下の設定を行った。

切土による「のり面または自然斜面を含む不安定化」を対象として、地質調査および切土検討より「影響の大きさ」と「発生のしやすさ」を定めて、それぞれの想定

の大・中・小のマトリックス表により地質リスクランク (A, B, C) を設定した。なお、地質リスクマニュアル(案)でのAAは回避対象であり、既に都市計画決定されている本路線では不可避との考えにより規定していない。

地質リスクランクは、表-2 のマトリックスにより、それぞれの影響度を考慮して設定した。

**地質リスクランク**  
 = 「影響の大きさ」 × 「発生のしやすさ」

表-2 地質リスクマトリックス表 (切土：凝灰岩) 道路予備設計 (B) 段階

		発生のしやすさ		
		小	中	大
影響の大きさ	大	B・低減3	A・低減2	A・低減1
	中	B・低減3	B・低減3	A・低減2
	小	C・保有	B・低減3	A・低減2

- 低減1**：標準的な工法以上の対策を行うため詳細な調査を実施し、確実なリスク低減策を行う
- 低減2**：通常の調査を実施し確実なリスク低減策を行う
- 低減3**：通常の調査を実施し標準的な工法で対応する

影響の大きさを図る指標として、事業継続の可能性、施工への影響、通行車両への影響、周辺への影響の4項目から、一定の定量的な評価が可能な指標を表-3のとおり設定した。

また、凝灰岩による地質リスク要因にみた、調査結果の信頼度の序列と、発生のしやすさの大・中・小について、「影響の大きさ」を表-3に、「発生のしやすさ」を表-4にまとめた。

表-3 各指標による影響の大きさマトリックス表 (切土：凝灰岩) 道路予備設計 (B) 段階

指標	影響の大きさ		
	小	中	大
<b>事業継続の可能性</b>	法面1段程度の変状 ●対策費用1000万円未満	変状範囲が切土法面内の複数段に及ぶ(～40万㎡) ●対策費用1000万円以上	対策費用が甚大(40万～200万㎡)用地外を含む大規模すべり ●対策費用1億円以上
<b>施工への影響</b>	現場対応が可能軽微な追加対策(対策完了までに1か月以内)	追加対策などで対応可能(対策完了までに1か月～半年程度必要)	構造形式の変更のため追加調査や対策工の検討が必要(対策完了までに半年以上)
<b>通行車両への影響</b>	発生後数日で通行規制を解除できる	発生後数週間で通行規制を解除できる	一旦発生すると長期間の通行規制が必要
<b>周辺への影響</b>	通行車両には直接影響しない人家や周辺道路がない	通行車両に間接的に接触する可能性がある人家等の周辺道路に影響を及ぼす可能性がある	通行車両に直接接触する可能性がある

### 6. 地質リスク対応措置の検討

地質リスク対応措置は前項で定めたリスクランク (A, B, C) および対応方針に応じて、具体的な対応と想定事象が発現状態になった際の措置計画を定めた。

表-4 地質リスク要因と発生のしやすさマトリックス表 (切土：凝灰岩) 道路予備設計 (B) 段階

地質リスク要因	発生のしやすさ		
	小	中	大
<b>風化帯ゆるみ帯断層破砕帯</b>	切土1段以上に及ぶ深層風化(岩質区分III)や深部までゆるんだ地山が分布する	切土2段以上に及ぶ深層風化(岩質区分III)や深部までゆるんだ地山が分布する	切土3段以上に及ぶ深層風化(岩質区分III)や深部までゆるんだ地山が分布する
<b>すべり面となる地質構造(流れ盤、クサビ崩壊)</b>	層理面等が受け盤となる。	層理面等が見かけ傾斜5～10°以上の流れ盤構造で、凝灰岩や白色粘土層の介在なし	凝灰岩や白色粘土層が見かけ傾斜5～10°以上の流れ盤構造で介在する。
<b>地下水地表水</b>	表流水は切土計画位置から離れた谷部でのみ確認される。	表流水は斜面内の谷部で確認され、切土対象位置より高い場所から流下している。または、ボーリングで確認された水位がやや高い。	斜面内で湧水または滞留した地表水が確認される。または、ボーリングで確認された水位が極めて高い。
<b>地すべり等活动履歴(道路土工指針解表3-4参照)</b>	段差地形等が認められない。切土箇所及び上位斜面に表層崩壊跡が見られない。	段差地形等が認められる。切土箇所及び上位斜面に表層崩壊跡が見られる	明瞭な地すべり地形が認められる。現地踏査により根曲がり等の滑动性が確認される。
<b>スレーキング</b>	スレーキング区分0又は1	スレーキング区分2又は3	スレーキング区分4または、試験に供するための塊状試料が採取できない。(礫岩の礫のみ採取し、試験は行わない)

スレーキング区分は(公社)地盤工学会「岩石のスレーキング試験方法(JGS2125)」による試験結果で、値が大きいほどスレーキングしやすい岩石であることを示す。

設計での具体的な対応は、リスクランクに応じて以下とした。

- ・リスクランクAでは、構造物や周辺環境に影響が出ない範囲へ回避もしくは標準的な工法以上の対策を講じる(詳細な調査や検討が必要)事業化後の段階であり、詳細な調査を実施して、確実なリスク低減策を講じる。
- ・リスクランクBでは、標準的な工法で対応(共通仕様書等に示される調査手法で対応)通常の地質調査を行い、調査結果に応じて対策工を検討する。
- ・リスクランクCでは、次の事業段階へリスクを保有

### 7. 地質リスク評価の検討

地質リスク評価は、各切土対象別に、以下の点を整理した上で、前項で定めたリスクランクによりランク設定し、リスク措置計画について、設計対応と、必要により調査、施工の観点から整理する。

#### □整理対象項目

- ・平面図(地質踏査結果, 調査箇所, 切土計画入り)
- ・横断面図(地質調査結果, 切土計画(検討案))
- ・計画諸元 一位置, 切土方角, 切土段数, 最大高
- ・地質リスク要因
- ・発現事象
- ・発生のしやすさ
- ・影響の大きさ

今回の道路予備設計（B）段階における1次調査では、調査実施本数に限界があり、事前確認より優先的な箇所から調査を実施したため、定量的な判定ができた箇所を区分-1とし、地質調査が実施できなかった箇所を区分-2とした。区分-1の中から、定量的なリスク評価を行い、低減1～3に区分した。区分-2では定性的なリスク評価となるため、道路土工指針（切土工斜面安定工指針）より、

標準的な切土計画を行い、リスク低減3またはリスク保有と評価した。

豊岡道路II期での検討フローを図-4に示す。

また、リスクランクおよび対応方針別で、豊岡道路（II期）で設定した具体的な対応計画を、予備設計への反映については表-5に、後続調査および申し送りへの反映については表-6に示した。

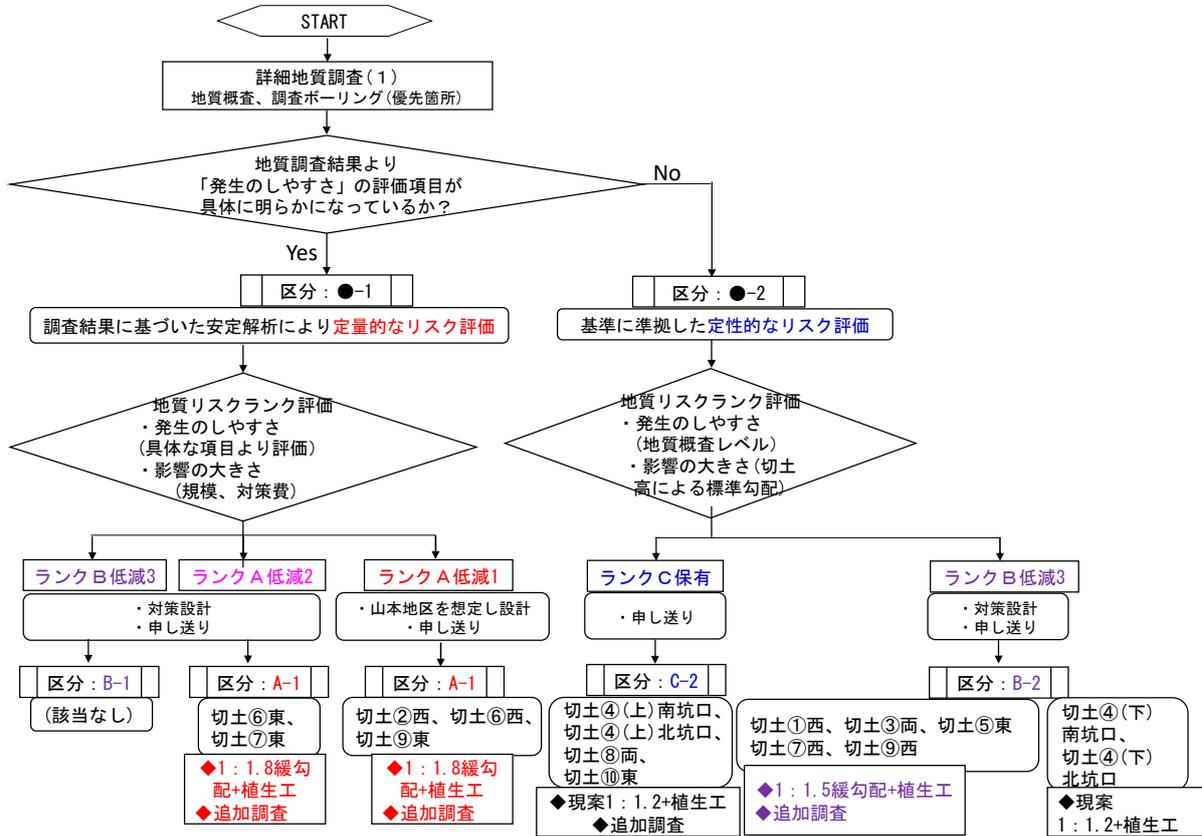


図-4 豊岡道路II期での検討フローと区分別リスク措置計画

表-5 リスクランクおよび対応方針別の対応計画（予備設計への反映）

リスクランク	対応方針	具体的な対応	想定事象の発現状態による対応計画（予備設計への反映）	
A	低減1・低減2	構造物や周辺環境に影響が出ない範囲へ回避もしくは標準的な工法以上の対策を講じる（詳細な調査や検討が必要）	想定事象が発現した場合、構造形式の変更が必要となる場合や、安全性が著しく低下する事象 ○対応案 ○切土計画 ○用地計画	
		事業化後の段階であり、詳細な調査を実施して、確実なリスク低減策を講じる。 ⇒斜面安定計算による検討より安全性と経済性から評価する	切土勾配見直し 切土勾配1:1.8 or 1:1.5 法面保護工対応 抑制工（または抑制工併用） (ex)グラウトアンカー工、杭工、切土補強土工（鉄筋挿入） ※切土勾配1:1.2（現案のとおり）	用地余裕幅は設計便覧の標準値 別途用地余裕幅を考慮 (ex)抑制工-アンカー工の先端考慮 抑制工-排土工余裕考慮
B	低減3	標準的な工法で対応（共通仕様書等に示される調査手法で対応が可能） 通常の地質調査を行い、調査結果に応じて対策工を検討する ⇒道路土工_切土工斜面安定工指針の標準勾配により設定。 次の事業段階へリスクを保有	想定事象が発現した場合、軽微な追加対策や、対策範囲の変更により対応できる事象 ○対応案 ○切土計画 ○用地計画	
C	保有		切土勾配見直し 切土勾配1:1.5or1:1.2 法面保護工対応 部分的な法面対策工、抑制工 (ex)法枠工（一部鉄筋挿入工併用）、(ex)抑制工-鉄筋挿入工の先端 地下水排除工	用地余裕幅は設計便覧の標準値 別途用地余裕幅を考慮 (ex)抑制工-鉄筋挿入工の先端考慮
			事前の低減対策等の必要性が低いため、施工段階や維持管理段階にリスクを保有する事象 ○対応案 ○切土計画 ○用地計画	切土勾配見直し 1:1.2（現案：都計計画のとおり） 法面保護工対応 植生工、簡易法枠工

表-6 リスクランクおよび対応方針別の対応計画 (後続調査および申し送り事項への反映)

リスクランク	対応方針	具体的な対応	想定事象の発現状態による対応計画(後続調査、申し送り)		
A	低減1	構造物や周辺環境に影響が出ない範囲へ回避もしくは標準的な工法以上の対策を講じるための詳細な調査や検討を行う。 事業化後の段階であり、詳細な調査を実施して、確実なリスク低減策を講じる。	想定事象が発現した場合、構造形式の変更が必要となる場合や、安全性が著しく低下する事象 ○対応案 追加調査計画 施工時の調査観測体制	○内容 調査ボーリング 水位観測 地すべり観測 地すべり観測 法面観察	○方針目的 凝灰岩層の分布の追加把握と観測孔設置 豊水期、融雪時の地下水挙動把握 現状の安定度の把握(法面内外のパイプ歪計) 動態観測による監視体制を併用した切土施工(パイプ歪計、法面内代表点の変位測量) 発注者/地質/設計/施工技術者による切土面の風化状況、凝灰岩分布、湧水状況の把握
	低減2	共通仕様書等に示される調査手法で対応 通常の地質調査を行い、調査結果に応じて対策工の必要性について検討する。	想定事象が発現した場合、軽微な追加対策や、対策範囲の変更により対応できる事象 ○対応案 追加調査計画 施工時の調査観測体制	○内容 追加調査計画 施工時の調査観測体制	○方針目的 切土施工時の観測孔として利用できる調査項目を検討 「低減1」と同等とする
B	低減3	共通仕様書等に示される調査手法で対応 通常の地質調査を行い、調査結果に応じて対策工の必要性について検討する。	想定事象が発現した場合、軽微な追加対策や、対策範囲の変更により対応できる事象 ○対応案 追加調査計画 施工時の調査観測体制	○内容 追加調査計画 施工時の調査観測体制	○方針目的 豊水期、融雪時の地下水挙動把握 動態観測による監視体制を併用した切土施工(法面内代表点の変位測量) 施工者による切土面の風化状況、凝灰岩分布、湧水状況の把握
C	保有	次の事業段階へリスクを保有	事前の低減対策等の必要性が低い場合、施工段階や維持管理段階にリスクを保有する事象 ○対応案 追加調査計画 施工時の調査観測体制	○内容 追加調査計画 施工時の調査観測体制	○方針目的 (異常があった場合に計画する) 施工者による法面の目視点検(亀裂、肌落ちなど異常の有無)

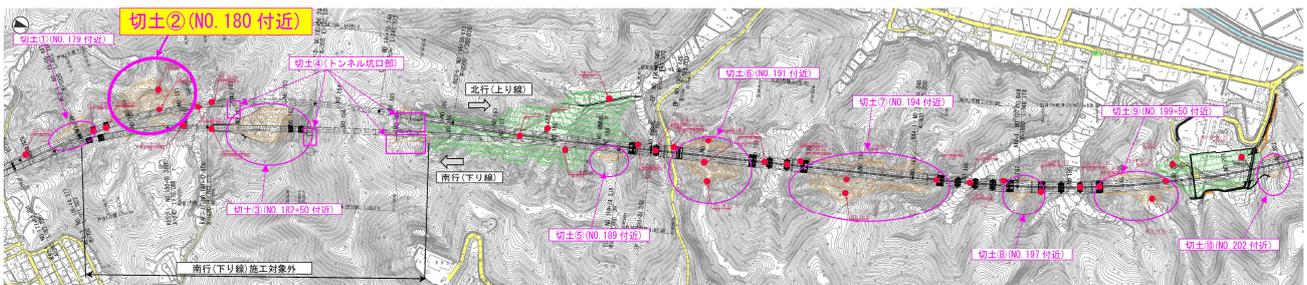
切土箇所の対応方針検討の一例として、地すべり地形を有する切土箇所の検討(図中:切土②箇所)を示す。

ここでは、地表調査および2本の鉛直調査ボーリングより、切土対象の礫岩が強風化され強度が低いことと、凝灰岩が切土に対して流れ盤で傾斜して出現する状況が確認されたため、崩壊対象事象として「1) 表層法面崩壊」「2) 大型椅子型すべりの発生」を想定した。

リスク対応計画として、切土法面勾配を1:1.2、

1:1.5, 1:1.8の3案により安定解析を実施し、各案で必要な法面对策工(植生工, グラウンドアンカー等)を計画し、安定性や経済性の比較から、切土勾配は1:1.8として法面保護工を植生工とする計画が、安定性(斜面安全率)と経済性が良い(都市計画時の計画からの追加コストが低い)と判断した。

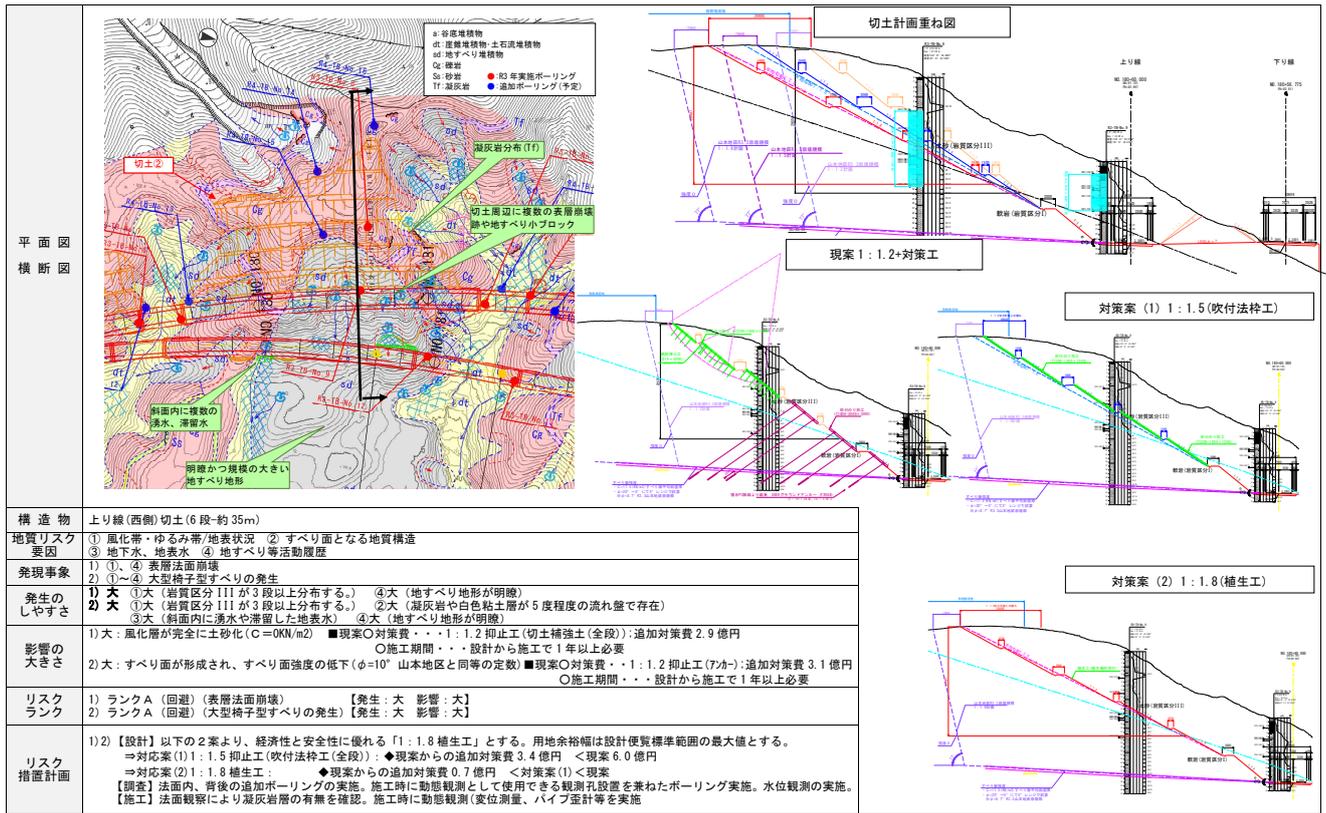
図-5に検討例箇所の位置図およびリスク評価結果を示す。また表-7に切土②箇所の検討例を示す。



地区	切土箇所	測点	R3年ボーリング	最大切土高	【地質リスクランク】 ◆対応措置	区分	地質リスク検討			留意点
							崩壊形態	発生のしやすさ	影響の大きさや評価	
戸牧地区	切土②	No. 180	R3-TB-No. 8 R3-TB-No. 9	西:約 35m	<b>【ランクA低減1】</b> <b>発生:大×影響:大</b> ◆1:1.8 植生工 ←斜面安定解析結果より 理由:安定性(斜面安全率)が高く追加コスト最も低い ◆追加調査	A-1	1) 表層法面崩壊 2) 大型椅子型すべり	1) 大 (岩質区分IIIが3段以上、地すべり地形が明確) 2) 大 (岩質区分IIIが3段以上、凝灰岩の流れ盤、斜面内に湧水等、地すべり地形が明確)	1) 大: 風化層が完全に土砂化(C=0KN/m2) ■ 現案・・・1:1.2 抑止工(切土補強土(全段))2.9(+3.1)億円 ー 口対応案(1)1:1.5 抑止工(吹付法砕工(全段)):3.4億円 ー 口対応案(2)1:1.8 無対策:0.7億円 2) 大: すべり面が形成され、すべり面強度の低下(φ=10°山本地区と同等の定数) ■ 現案・・・1:1.2 抑止工(アカー):(2.9+)3.1億円 ー 口対応案(1)1:1.5 すべりに対しては対策不要⇒1)の対応案踏襲 ー 口対応案(2)1:1.8 すべりに対しては対策不要⇒1)の対応案踏襲	砂防指定地

図-5 対応方針検討箇所位置図および地質リスク検討整理表(切土②例示)

表-7 切土②箇所事例 地表踏査および切土比較検討により対応計画検討整理表



8. まとめ

当事業は一部区間で法面予備設計が完了し、これまでの地質リスク検討結果により、事業管理者、設計技術者、地質技術者による三者会議により、リスク対応措置を決定した段階である。

今後、詳細設計段階へ引継ぐべき項目について、地質リスク引継ぎ票に整理して、今後の課題を示した。

引継ぎ時に地質リスクについて不明確な事項があれば追加の調査計画を行うなど、不確実性を低減させる方向で以下のような内容を検討する予定である。

- ①凝灰岩などの弱層が確認されている場合は、その連続性について把握できているか。把握できていない場合は、法面計画位置背後も含めた追加調査ボーリングを計画する。
- ②道路縦断方向に法面延長が長く、法面全体の地質状況が把握できていない場合も同様に追加調査ボーリングを計画する。
- ③1次調査における資料調査、現地踏査、調査ボーリング結果で地すべり等の懸念がある場合は、2次調査以降において孔内傾斜計やパイプ歪計などの機器の設置を検討すること。なお、法面背後の調査ボーリングなど、切土範囲外の調査ボーリング孔は施工時及び供用時の動態観測に使用する可能性についても検討する。

④調査精度の向上が期待される調査手法として、高品質ボーリングや口径の大きなボーリング調査によるすべり面深度の確認、ボーリングコア等のスレーキング試験等による材料特性の把握等の例があり、限られた調査の中で精度向上が期待できる手法があれば検討する。

一旦凝灰岩に起因する地質リスクが発現すると、その規模によっては事業全体工程の見直しや大幅な工法変更が必要な可能性も大きい。

今後事業段階が進行した段階において検討を行った箇所の状況を確認し、本検討で整理した本マニュアル(案)の見直しを行い、地質リスクに関する情報について時間軸を設けて、施工や維持管理段階まで共有できるよう整理を進めていきたい。

以上

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工指針切土工斜面安定工指針(平成 21年度版)(H21.6)
- 2) 近畿地方整備局：地質リスク低減のための調査・設計マニュアル(案)改訂版(R3.3)
- 3) (公社)地盤工学会地盤材料試験の方法と解説[第一回改訂版](R2.12)

謝辞：本論文を作成するにあたりご協力いただきました(株)エイト日本技術開発(豊岡道路(2期)戸牧地区道路予備設計他業務)のご担当者様、また、関係各位に感謝を申し上げます。