

# すさみ串本道路事業における地質リスクの 試行的導入と調査・設計への適用について

芝山 功

近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第三課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)

紀南河川国道事務所では、一般国道42号すさみ串本道路で早期供用を目指し、事業に取り組んでいるところであるが、先に供用した紀勢線では、道路施工中に調査設計時に想定していない法面崩壊等が発生し、工事費の増加がみられた。隣接する区間である一般国道42号すさみ串本道路では、これらの地形や地質等を素因として生じるものを「地質リスク」と捉まえ、各種基準類、既往の文献調査に加えて、紀勢線での事例を分析・抽出し、対策を行うことを目的として地質リスク検討業務を試行的に導入し、今後の調査・設計に反映することを試みた。本論文では、紀南河川国道事務所管内のすさみ串本道路において地質リスク検討業務で試行的に行った検討内容について事例的に紹介する。

キーワード パイロット事業、地質調査、設計

## 1. はじめに

和歌山県南部地域では、近い将来発生すると予想される南海トラフ大地震による津波の影響で、すさみ町から串本町を繋ぐ唯一の幹線道路が浸水し、通行不能になると予測されている。そこで、紀南河川国道事務所が進める一般国道42号すさみ串本道路は救命・救助及び復旧支援活動を支える「命の道」として一日も早い供用が望まれるところであり事業を進めている。

先に開通した紀勢自動車道では、**図-1**に示す写真のように、荒堀地区の切土工事施工中に調査・設計段階では予想していない法面崩壊が発生し、対策の実施等により工事費の増加や工事進捗の遅延が見られることがあった。

一方で、**図-2**に示す江住地区では、法面段数13段(高さ約90m)の大規模な切土であるため、高品質ポーリング等、詳細な調査・解析を行い施工を行った。

その結果、施工中に崩壊することはなく、現在も安定した法面を構築している。

荒堀地区のような箇所では一般的な調査・設計を行い施工を行った場合、崩壊が発生した一方で、条件が厳しくても詳細な調査・解析を行った箇所では、崩壊が発生しなかったことがわかる。このことから、詳細な調査を行い、地質の状況を把握することにより、対策を行うことができるものと考えられる。

**図-1**で紹介した事例のような道路事業における地質や土質、地下水を素因として施工段階以降で生じる事象を「地質リスク」と捉まえ、当事務所では、一日も早い供用が望まれているすさみ串本道路において、紀勢自動車道施工中に生じたような現象を少しでも低減し事業を進めていくため、地質リスク検討業務を発注し、調査検討を行った。本論文では、その内容について事例的に紹介する。



図-1 紀勢自動車道荒堀地区の崩壊事例

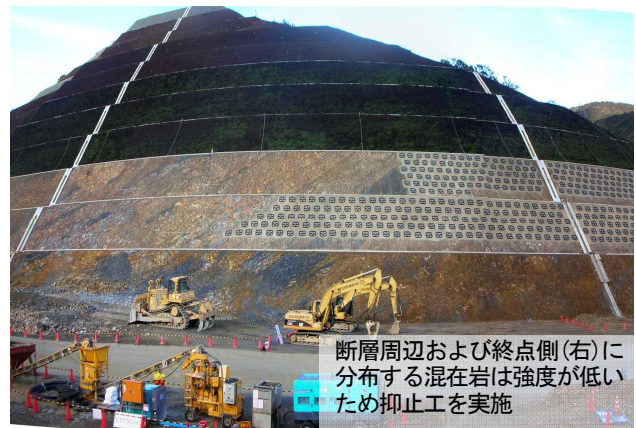


図-2 紀勢自動車道江住地区の法面对策状況(施工中)

## 2. すさみ串本道路の概要

すさみ串本道路は、すでに供用している近畿自動車道紀勢線に接続し、国道42号の和歌山県域における、異常気象時通行規制の解消、防災・災害時の代替道路確保等を主な目的とした延長19.2km、完成2車線の自動車専用道路であり、2014年4月に事業化された。災害復興に加えて、救急医療及び観光客活性化の面でも地元からの期待が高く、早期に開通が望まれる道路である。



図-3 すさみ串本道路位置図

## 3. 地質リスク検討業務について

地質リスクは、1. はじめに述べたように、工事段階において、地質や土質、地下水に起因した崩壊等の諸現象を起こしうるリスクである。設計、施工が進むにつれ、並行して調査や経過観察等により、そのリスクは変動する。

本検討は、幅杭設置位置を設定するために、構造形式を決定する予備調査・設計段階にあったすさみ串本道路において、現段階での地質リスクの抽出・検討を行い、今後の調査計画、詳細設計及び施工時への留意点をまとめたものである。結果として、想定されるリスクの最小化を目指し、リスク対応（保有、低減、回避、移転）を試行的に行うものである。図-4にすさみ串本道路での地質リスク検討業務を取り入れたフロー図を示す。

地質リスク検討の内容は主に以下に行った。

- (1) 既往の調査・事例による地形判読・分析
- (2) 現地調査
- (3) 地質リスク評価検討
- (4) 後続調査計画の立案

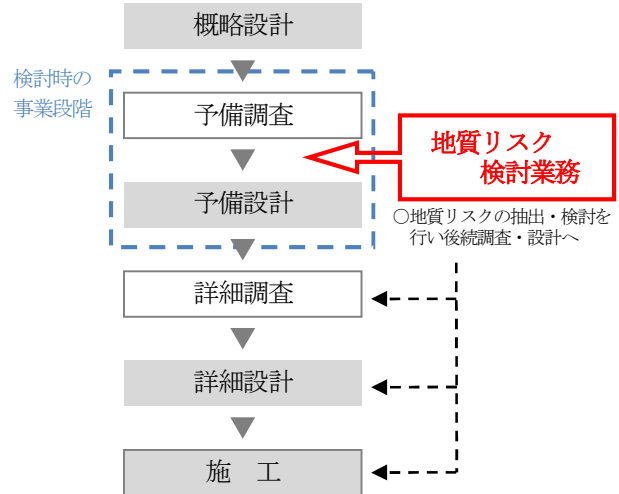


図-4 地質リスク検討業務を取り入れた流れ

## 4. 地質リスク要因の抽出・分析

### (1) 近接道路の地質リスク発現事例の解析

今回、地質リスク検討業務を試行的に導入したすさみ串本道路事業計画箇所周辺では平成27年度に紀勢自動車道(田辺～すさみ区間)が供用している。紀勢自動車道では道路施工中に調査設計時に想定していない地すべり等が発生する事象が見られた。すさみ串本道路は紀勢自動車道と同様の地形地質を有することから、これらの地質リスクを踏まえた調査設計が必要と考えられる。特に、切土法面の変状は増工や工期の遅延を招くだけでなく、安全管理上も重要な課題となる。ここでは、周辺道路施工時に於ける切土法面の地質リスク発現事象について事例解析を行った結果を示す。

図-5に紀勢自動車道全94法面の地質構造別変状記録を示す。紀勢自動車道では全体の17%、16箇所に変状が記録されている。このうち14箇所は地質構造が流れ盤を呈する法面で発生しており、特に標準貫入試験が貫入不能となる岩盤中で発生したものが多く見られた。

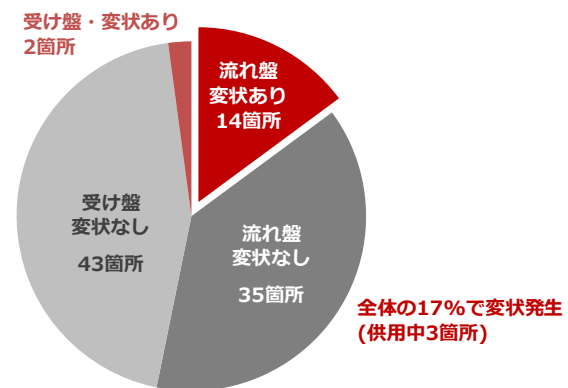


図-5 地質構造別変状記録

一方、受け盤の2箇所は、表層崩壊と断層が複数分布する脆弱部で発生している。また、地質構造が流れ盤構造を呈する法面における見かけ傾斜と変状箇所の関係を図-6に示す。変状箇所の見かけ傾斜は、10~20°と緩傾斜なものが最も多く9箇所となっている。

つづいて、図-7に紀勢自動車道の変状1箇所ずつのデータと田辺西BPや那智勝浦道路の変状事例を加えて、土質工学会(1976)<sup>2)</sup>による各崩壊事例における見かけ傾斜と法面傾斜の関係にプロットした。法面勾配1:1.2よりも急勾配の切土では、この事例と同様の結果を示すものの1:1.2より緩傾斜、特に見かけ傾斜20°以下の領域では、境界域や安全側の範囲で多くの変状が発生していることがわかる。次に、すべり面の性状と変状規模(切土段数)の関係を図-8に整理した。すべり面に断層破砕帯や層理面沿いの破砕泥岩が狭在する箇所は全28箇所中の18箇所であった。特に3段以上の変状のケースではすべて破砕帯等の狭在が確認されている。

これらのことから、切土時の地質リスク要因として下記に留意する必要があると考えた。

- ・土軟硬による評価のみでは地質構造的素因によるリスクを見逃す可能性が高い。
- ・見かけ傾斜が10~40°までの流れ盤構造を呈する法面では変状・崩壊のリスクが高い。
- ・特に破砕した泥岩や断層破砕帯を狭在する箇所は、法面勾配のみで対応できない可能性が高いため、抑止工の計画が必要となる。

以上より、切土法面の地質リスク抽出時は、①地質構造に着目して地表地質踏査を実施する必要がある、②破砕帯の狭在の有無に着目して調査を行い、その時点で確認できない部分については、後続調査計画に申し送りを行う必要がある。

(2)事業計画箇所の地質リスク要因の抽出

ローカルな地質リスク要因を漏れなく把握するため、事業計画箇所周辺の地形判読、地表地質踏査を行った。地形判読は、計画路線周辺のLPと空中写真を用いて、断層、地すべり地、崩壊地形、土石流、段丘面、植生、微地形、後背低地、自然堤防などの判読を行った。これらの地形情報を踏まえたうえで、地表地質踏査を行い、地すべりや断層の有無を確認した。

地表地質踏査は斜面部(切土)は尾根までとし、落石発生源の有無や土砂水の発生状況を確認した。谷部は土石流発生源の領域までとし、広域の地形解析の結果から、堆積物の性状を推定した。道路施工後に残る自然斜面についても、表層崩壊、頭部からの落石の可能性を確認のための踏査を実施した。また、露頭が不足する箇所では海岸露頭等の広域の情報を収集し、解析精度の向上を図った。

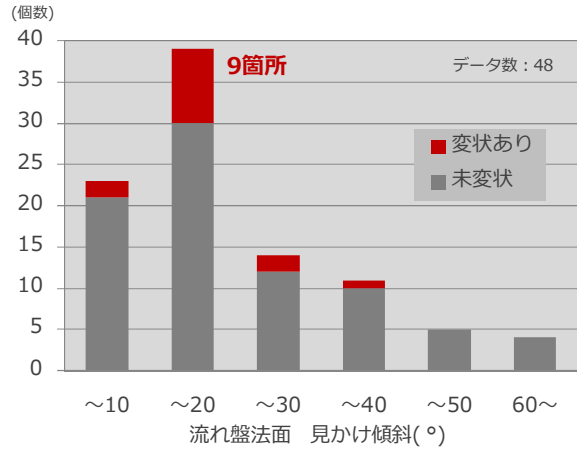


図-6 見かけ傾斜別変状記録

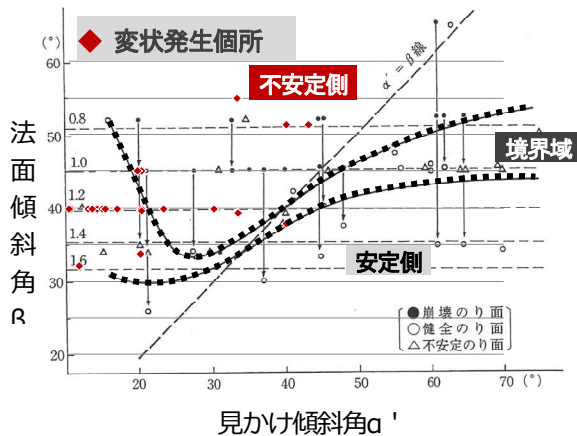


図-7 各崩壊事例における見かけ傾斜と法面傾斜の関係

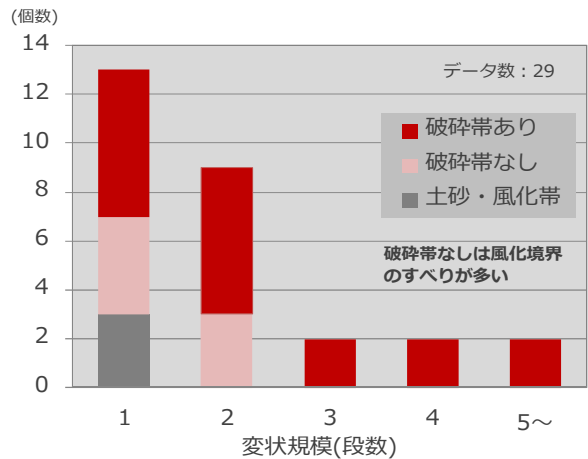


図-8 すべり面の性状と変状規模

事業計画箇所が発現する可能性がある地質リスク要因は、次の7つに大別して整理した。

- ①主に法面・自然斜面の不安定化に関わる事象
- ②主に土石流、土砂水流入に関わる事象
- ③落石に関わる事象
- ④主に支持地盤の不確実性に関わる事象
- ⑤主に沈下、液状化に関わる事象
- ⑥主に地下水、土壌汚染に関わる事象
- ⑦トンネル施工に関する特有の事象

### 5. 地質リスク対応方針の検討

本検討では、事業期間や事業費に多大な影響を与える可能性のある地質リスクに対しては早期にリスク対応方針を決めておき、リスクの分析による不確実性の評価と、優先度を定めることが重要となると考えた。

道路事業における地質リスク評価事例はほとんどないことから、一般的なリスクマネジメントの手法を取り入れ、既往文献<sup>1)3)4)5)</sup>によるリスク評価手法を参考に、リスク対応策(保有、低減、回避)を作成した。

#### (1) リスクランクの設定

一般的なリスクマネジメントでは、リスクへの対応として「保有」「低減」「回避」「移転」がある。このうち、「移転」は保険を掛けるなどでの対応であり、PFI事業等を除けば道路事業への適用が難しいため、「保有」「削減」「回避」について表-1のとおり設定した。

本検討でのリスクランクは、できる限り客観的に定量評価するため、既往文献を参考として「影響度」×「発生確率」でマトリクス表を作成して評価を行うこととした。(表-2)。

#### (2) 影響度の設定

影響度は、土木学会の事例では「費用(コスト)」と「期間」で、地質リスク学会の事例では「衛生面と安全面」「イメージと世評」「環境」「利害関係者の関心」「コスト」「期間」で評価され、それぞれに点数が割り振られている。本業務では、紀勢自動車道(田辺～すさみ区間)、那智勝浦道路、周辺の道路維持管理の経験から「費用」「期間」「安全」「環境」の4項目について、既往文献を例に基本方針(めやす)を設定し、本検討での各事象(落石、崩壊、土石流、支持地盤の不確実性など)の閾値を設定し、検討を行った。

例えば、法面・自然斜面の不安定化に関わる事象では、法面が5段以上及び「コスト」として対策費が事務所発注上限額である3億円を超える場合は影響度を「大」とした。

#### (3) 発生確率の設定

発生確率は、土木学会の事例では「%」で、地質リスク学会の事例では「%」と「確率年」で評価されている。一方、%や確率年の設定は多くの事例が必要であり、現段階で本事業に合わせた解析は難しい。このため、本検討では、紀勢自動車道(田辺～すさみ区間)に加えて各事象における技術指針等を参考に、個別に発生確率を整理するものとした。

例えば、法面・自然斜面の不安定化に関わる事象では、3章に示した事例解析結果を踏まえ、地質構造が流れ盤で見かけ傾斜10~40°、破碎帯等の弱面を狭在する場合は発生確率を「大」とした。

表-1 本事業における地質リスクランクの定義

手法	リスクランク	想定事象と対応方針	発現事象の例
回避	AA	事象が発現した場合、通常計画可能な構造物や対策工による対応が困難。通常容認される以上の事業費がかかる。⇒路線を変更する等により回避する。	大規模な地すべりが発生し、通常計画可能な対策工での対応が困難になる。
低減	A	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可能性がある。⇒詳細な調査を実施して、完全なリスク低減を講じる。	支持層が予定より深く基礎形式が変更となる。 切土により地すべり(法面崩壊)が発生しグラウンドアンカー工が必要となる。
	B	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。⇒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。	軟弱地盤の範囲が予定より広くなり改良範囲が変更となる、 崖錐堆積物層の分布範囲が広くなり鉄筋挿入工の範囲が変更となる、
保有	C	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。(構造物の規模が小さいものを含む)	擁壁基礎地盤に不陸があり置き換えにより対応した。 切土法面からの湧水が著しく認められたため、水抜きを行った。

表-2 リスクランク設定例  
(主に法面・自然斜面の不安定化に関わる事象)

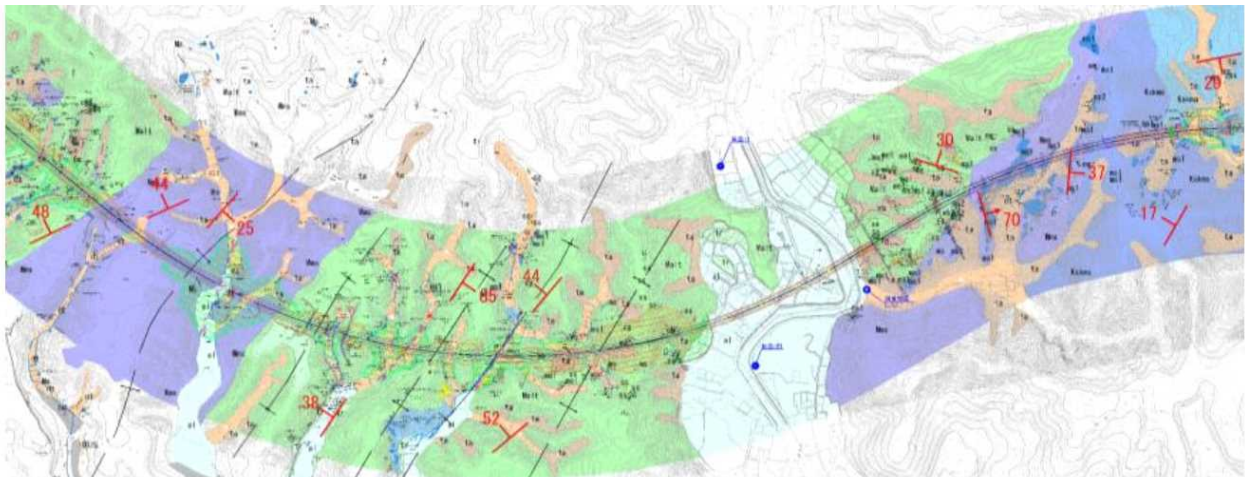
		発生確率		
		小	中	大
影響度	特大	B	A	AA
	大	B	B	A
	中	B	B	A
	小	C	B	B

6. 地質リスク評価結果

地質リスク評価結果は、地質リスク管理表として、地質図、地質リスク要因、発現事象、リスクランク、リスク措置計画等を一覧表として整理した(表-3)。並行して実施したボーリング調査の結果も踏まえ地質リスクを評価し、並行して実施した予備設計に反映した。例えば、トンネル坑口等で落石リスクが高い箇所は予備設計の中に落石対策工を計画し、必要な用地幅を設定した。また、切土法面の不安定化リスクが懸念される箇所では、法面勾配を1:1.2と緩く計画する等、地質リスク要因を盛り込んだ計画を策定した。なお、本検討の評価手法によると、影響度「特大」の箇所は見られず、リスクランク「回避:AA」の箇所はないと考えられる。

次に、すさみ串本道路(L=19.2km)の地質リスク要因別のリスクランクを表-4に示す。本検討の評価手法に基づくリスクランクAの箇所は14箇所あり、これらの箇所では事前に詳細な調査を実施して地質リスクを把握し、リスクランクを低減する必要があると考えられる。特に、法面・自然斜面のリスクランクAの8箇所はいずれも切土法面での流れ盤構造を素因とした地すべりリスクが高い箇所であり、紀勢自動車道での経験を踏まえ、対策が必要となる可能性が高いと考えられる。事前に変状を予測して予め対策を行うことにより、工事遅延、工事対策費の増加を防ぐことができると考える。

表-3 地質リスク管理表の例



構造物	切土(4段)		盛土(両盛7段)		切土(6段)	
	地質リスク要因	①浮石・転石(20cm~1m) (特に中央の沢状凹地) ②流れ盤構造	①軟弱地盤(沢部) ②上流沢部に酸性水	①流れ盤、ゆるみ		
発現事象	①法面上部からの落石 ②法面崩壊	①盛土の沈下、横断管の破損 盛土のすべり ②地下水汚染	①法面崩壊(地すべり)			
発生確率	①大(安定度2) ②中(見かけ傾斜35°)	①大(粘性土地盤有、湿地帯) ②中(赤水発生)	①大(見かけ傾斜16°)			
影響度	①中(直接被災の可能性はあり) ②中(4段)	①中(高盛土) ②中(直接被害の可能性は小さい)	①大(長長大法面)			
リスクランク	①B(落石調査) ②B(ボーリング)	①B(ボーリング) ②B(試験、モニタリング)	①A(詳細調査:高品質ボーリング、ポアホールカメラ)			
リスク措置計画	①【設計】落石対策の検討 ※原位置対策が必要な巨石あり ②【調査】ボーリング調査により弱面の有無、構造を確認 【設計】法面対策の検討 【施工】法面観察により節理面等の不連続面を確認	①【調査】軟弱地盤の調査 ①【設計】基礎処理の検討 ※起点側袖部の沢状凹地もあり、十分な暗渠排水の設置が必要 ②汚染範囲の特定と、施工前からの環境モニタリングが必要	①【調査】詳細なボーリング調査により地質性状の確認 【設計】予備設計段階:軟岩の最緩傾斜1:1.2で計画 ※破砕帯等を挟む場合は抑止対策が必要			

表-4 地質リスク要因別リスクランク

リスク ランク	(単位:箇所)						合計
	法面・ 自然斜面	土石流	落石	支持地盤	沈下・ 液状化	地下水・ 土壌汚染	
A	8	0	4	0	0	2	14
B	96	13	24	50	19	27	229
C	39	2	16	22	11	12	102
合計	143	15	44	72	30	41	345

## 7. 後続調査計画

リスクランクは対策を行うことによりランクダウンを図る。例えば、切土による法面5段の崩壊が発生する可能性が考えられる場合(ランクA)は、グラウンドアンカー工などの対策を行うことにより、ランクダウン(C)を図れる。また、地表踏査の結果から地質構造等が予測しづらい法面では、後続調査による地質の確認により、ランクの見直しを行う必要がある。

切土や盛土区間のこれまでの地質調査は、ボーリングによる土軟硬確認に主眼が置かれることが多く、地質構造を踏まえた調査場所や方法を検討するプロセスは軽視されていた。地質リスク検討業務では、地質リスク評価の結果を踏まえ、構造物ごとに予想されるリスクを踏まえた調査地点・方法を提案する。

図-9に長大切土法面での後続調査計画例を示す。この法面では、地表地質踏査の結果により熊野層群の砂泥互層(泥勝ち互層)の層理面が南東傾斜で出現することが想定される。露頭の一部では層理面沿いに破砕帯を狭在しており、北側の法面では見かけ傾斜が16°前後の流れ盤構造を呈することが予想される。

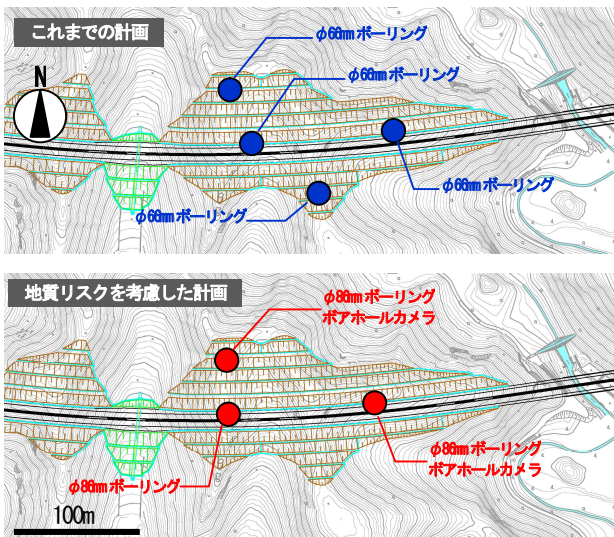


図-9 長大切土法面での後続調査計画例

当初の調査計画では北側南側ともに長大切土となること、切土区間の延長が100mを超えることから4箇所程度のボーリング調査を計画していたが、地質リスク評価を踏まえた後続調査計画では、周辺の熊野層群の地質構造は連続性がよく、南側の法面が緩傾斜の受け盤構造となる可能性は極めて高いことから、南側のボーリングを省略できると判断した。一方、北側の法面では、道路土工指針等に示される詳細調査項目の高品質ボーリング(φ86mm)とボアホールカメラ(孔内画像撮影)を実施することにより見かけ傾斜の取得と弱面の有無を確認する計画した。これにより、コストを縮減した上で、対策工検討に必要な地質地盤情報を取得することができる。

## 8. おわりに

一旦地質リスクが発現すると、その規模によっては事業全体の見直しや大幅な変更が必要なケースも少なくない。

例えば、道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成21年度版)には、すべりの可能性がある場合は「詳細な調査が必要」とされている。しかし、これまでの地質調査や設計業務プロセスでは詳細な調査が必要な箇所を抽出したり、対応優先度を決定するプロセスが軽視されていた。

本業務では、すさみ串本道路の全線に渡り、地質リスクに対する検討を試行的に行った。今後、調査-設計-施工-維持管理と移行する各段階において検討を行った箇所の状況・影響等を確認し、本検討が有効なものであったのかを検証していく必要がある。

## 参考文献

- 1) 土木学会：道路事業におけるリスクマネジメントマニュアル(Ver. 1), 2010. 3
- 2) 土質工学会：土質基礎工学ライブラリー12 切土ノリ面, 1998. 12
- 3) 地質リスク学会：地質リスクマネジメント体系化委員会報告書, 2014. 12
- 4) 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：地質リスクマネジメント入門, 2010. 4
- 5) C. R. I. Clayton：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-, 英国土木学会(編集)全国地質調査業協会連合会(翻訳), 古今書院, 2016. 12