

山間部の地すべり地形に配慮した ルート決定手法について

神谷 毅¹・森 俊彦²

¹近畿地方整備局 奈良国道事務所 計画課 (〒630-8115奈良県奈良市大宮町3-5-11)

²近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 工務第二課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

急峻な山間地域では、近年のゲリラ豪雨等の異常気象とも相まって、潜在的な地すべりや深層崩壊など土砂災害発生リスクの高い箇所が多い。

道路計画においてルートを検討する場合には事前にこれらの土砂災害リスクを把握していなければ、トンネル掘削時に地すべりを誘発し、事後の調査と対策に多大な費用と工期を費やすことになりかねない。また、供用後においても土砂災害による円滑な交通確保に支障をきたしたり、維持管理費の増大を招く恐れがある。

本稿では、2011年の紀伊半島大水害により深層崩壊が多発した山間地域に計画された長殿道路のルートの決定にあたり調査・計画段階でのプロセス事例を報告するものである。

キーワード 地すべり, 防災検討会, ルート決定

1. はじめに

長殿道路を含む一般国道168号五條新宮道路は和歌山県新宮市と奈良県五條市を結ぶ延長約130kmの地域高規格道路である。「紀伊半島アンカールート」の一部を形成し、高規格幹線道路の空白地帯である紀伊半島内陸部を南北に縦貫する極めて重要な幹線道路である。住民の生活と安全を守る「いのちの道」として、防災面のみならず、人と物の流れを活発化し、地域の活性化を図るうえで必要不可欠な道路であるが、現在も未改良区間が多く有り、国と県で早期完成に向けて整備中である。

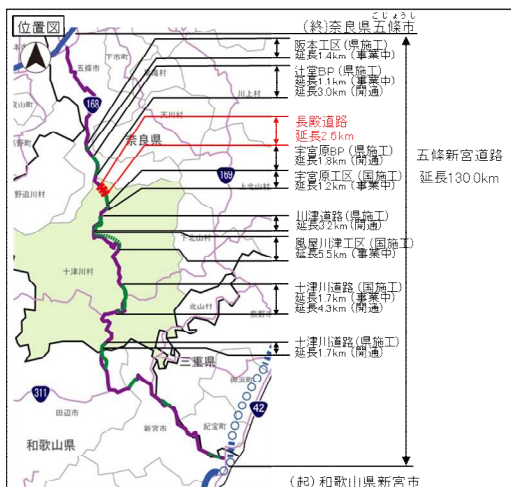


図-1 五條新宮道路 (位置図)

長殿道路は、通行止めによる迂回の回避等を目的に、地形条件が厳しく整備に高度な技術を要する区間であることから国土交通省権限代行事業として、整備を進めている延長2.6kmの道路である。

2. 地形・地質概要

(1) 地形

当該地域の東側には、紀伊山地中央を南北に走る大峰山系が、西側には護摩壇山・伯母子岳を中心とした山系がそびえる。紀伊山地は第四紀地殻変動による隆起帯に当たり、山地の隆起に伴い、大峰山系と護摩壇山・伯母子岳山系の間を南流する十津川は、穿入蛇行をして深い溪谷を形成している。

十津川流域の山地では、1889年の明治十津川大水害及び2011年の紀伊半島大水害で、河川閉塞を伴う深層破壊が多発した。同地域では、深層崩壊跡地の他、地すべり地形や岩盤クリープ地形といった斜面変動地形が認められる。また、将来的に深層崩壊が発生しうる斜面にしばしば認められる微地形(山頂緩斜面、多重山稜、線上凹地、円弧状クラック)も多く見られ、斜面変動のポテンシャルが高い地域であることが想定される。

(2) 地質

当該地域の山地を構成している基盤岩は白亜紀の四万十帯日高川層群美山層と呼ばれる砂岩・頁岩・チャートなどの堆積岩からなる。地質構造は、走行が概ねで、北へ45°～70°程度で傾斜する。従って、北向きの斜面では流れ盤となってくる。被覆層は、崩積土が広く分布しており、谷部及び凹状の斜面ではやや厚く分布している。



図-2 標高区分図¹⁾

- ・落石崩土発生履歴箇所 : 2箇所 (2006～2015年)
- ・狭隘な幅員 (W<5.5m) : 18区間
- ・急カーブ (R<50m) : 36箇所

また、紀伊半島大水害で甚大な被害が生じており、現国道沿いにおいてテラ谷、濁谷で大規模な土砂崩れが発生し、国道168号が崩壊した。また、長殿谷川及び赤谷で河道閉塞が起こり、大規模な土砂ダムが発生し、周辺地区への長期間の避難指示など甚大な影響が生じた。

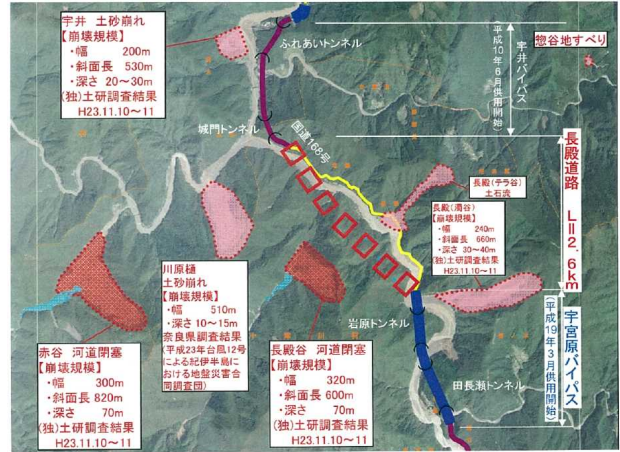


図-4 紀伊半島大水害 長殿地区の被害状況

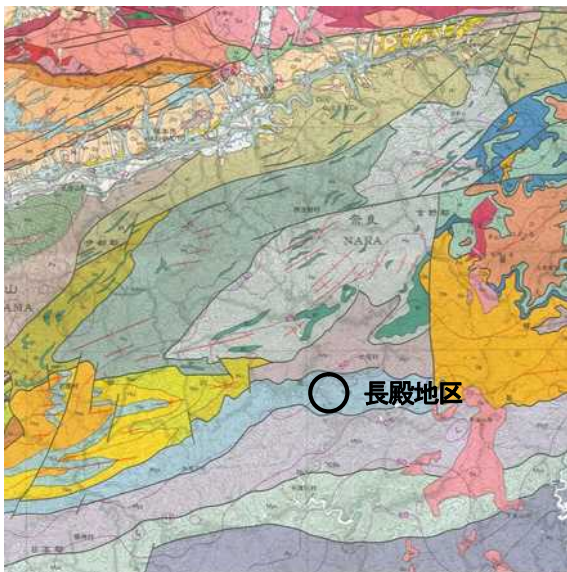


図-3 地質図²⁾

3. 国道168号 (長殿地区) の交通上の課題

国道168号の長殿地区は、大半が災害に脆弱な区間である。

- ・防災点検要対策箇所 : 7箇所

4. ルート設定検討の経緯

奈良県では、2004年8月に発生した国道168号宇井地区地すべりの発生を契機として、国道168号防災検討会を立ち上げ、道路防災事業を推進している。抽出した不安定斜面で、地すべりの可能性がある斜面については、防災検討会で現地を確認し、現状の安定度、今後の調査方針等について提言を頂いている。

長殿道路のルート検討は、2010年より開始され、最終のルート決定は2016年までと約7年に渡り実施されているが、その間防災検討会において防災上の観点から提言を頂きながら、必要な地質調査を行い進めてきたところである。

(1) 紀伊半島大水害前のルート検討 (2010年以前)

整備効果が早期に発現できるように、順次施工、供用ができる現道拡幅を基本ルートとして、長殿地区の不安定斜面、長殿発電所の重要施設をコントロールとしてルートの比較検討を進めていた。

防災検討会からは、地元への影響、利便性を考慮すること及び不安定斜面について橋梁への影響や右岸側斜面の安定性についても調査し比較検討するよう指摘を受けているところであった。

- ルート1 : 左岸BP+現道拡幅
- ルート2 : 右岸BP (発電所) + 現道拡幅
- ルート3 : 右岸BP (発電所・集落) + 現道拡幅

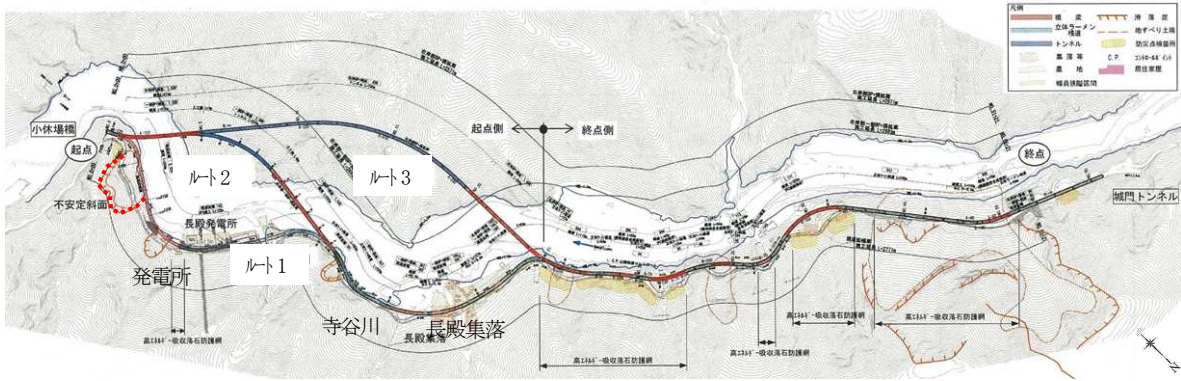


図-5 ルート検討図 (紀伊半島大水害前)

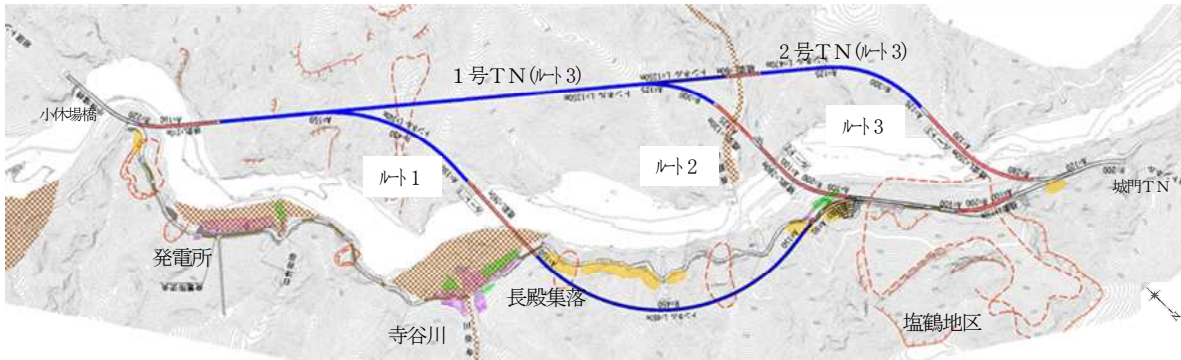


図-6 ルート検討図 (紀伊半島大水害後)

(2) 紀伊半島大水害後のルート検討 (2011年以降)

紀伊半島大水害によって、周辺に多数の崩壊、土石流が発生し、国道168号が通行不能となったことから、奈良県南部の主要幹線道路である重要性を鑑み、橋梁とトンネルを主体とした極力土砂災害のリスクを回避する方針に転換され、以下の条件を満たすルートを検討することとなった。

1. 被災した寺谷川及び長殿発電所を回避
2. トンネル坑口については、斜面傾斜が比較的緩い斜面を選定
3. 十津川をできる限り直角にかつ短く渡河
4. 起点側 (新宮側) は現道線形に沿った形で擦付け
5. 現道沿いの集落 (長殿地区) を避ける

以上の条件を踏まえて設定したルート3案を比較した結果、経済性も安価で現道交通への影響や地すべり等の対策が最も少ないルート3を基本ルートとして進めることとした。

- ルート1：被災箇所を回避し現道沿いにBP整備
- ルート2：被災箇所及び防災点検要対策箇所を回避
- ルート3：被災箇所を回避し、塩鶴地区の地すべり地を回避 (十津川右岸をトンネルで抜く)

5. トンネル坑口の安定度検討

基本ルートは橋梁とトンネルが連続し、長殿地区の斜面崩壊懸念箇所を回避する計画であるため、特にトンネル坑口の安全性に配慮した線形の設定を行った。

まず、地形判読や現地踏査結果をもとにした安定度の概略評価を行い、防災検討会においても現地確認を行い、提言をいただいた。

表-1 トンネル坑口の安定度検討

位置	地層の傾斜	トンネル軸線と地形との関係	安定度の評価 (地質調査前 2012年)		安定度の評価 (地質調査後 2013年)
			概略評価 (地形判読、現地踏査)	防災検討会 (検討会及び現地検討会)	
1号トンネル南坑口	受け盤	斜面斜交型	斜面に地すべり地形は認められず、特に大きな問題はない。	特に問題はない。	坑口斜面には未固結で崩壊しやすい礫・転石からなる崖錘が10m程度堆積しており、安定対策の検討が必要である。
1号トンネル北坑口	流れ盤	斜面直交型	斜面が急勾配を呈しているが、地すべり地形は認められないことから特に大きな問題はない。	斜面として特に問題はない。	岩盤がほぼ表層から分布するため、坑口斜面は安定している。
2号トンネル南坑口	受け盤	谷部進行型 ↓ 尾根部進入型	斜面に地すべり地形は認められず、特に大きな問題はない。	沢状の崩壊跡地形となっており、崖錘堆積物が上方斜面から落石等の恐れがあることを指摘。 ↓ 坑口を西側の尾根部部分に移動	岩盤がほぼ表層から分布するため、坑口斜面は安定している。
2号トンネル北坑口	流れ盤	尾根部進入型 (尾根幅は数十m)	斜面に地すべり地形は認められず、特に大きな問題はない。	上方斜面に分布している緩斜面について、トンネルとの位置関係を把握するよう指摘	坑口斜面の表層から約19mの層厚で崖錘が堆積しており、その下部の深度50m付近までは攪乱された土砂をはさむ岩盤が確認された。(図-7)

その後、坑口付近を中心とした地質調査を行い、坑口の安全性や計画上の新たな不安定斜面に対する知見が得られた。特に、2号トンネルの北側坑口付近については攪乱された土砂を挟む岩盤の層が谷底から尾根地形上部まで連続することが判明したため、深層の岩盤すべりによる移動岩塊と推測するに至った。(表-1)

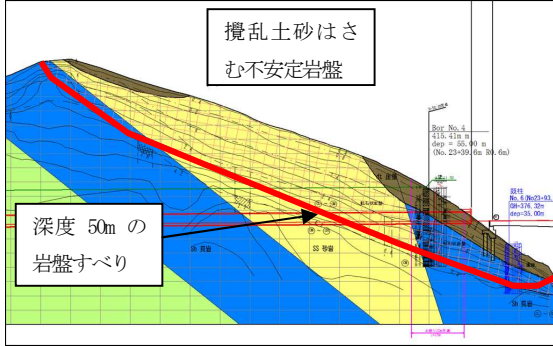


図-7 地質断面図(2号トンネル北側坑口)

6. 2号トンネル ルート変更の検討

地質調査で得られた2号トンネル坑口付近で確認された大規模な岩盤地すべりブロックについては、不安定化した場合の影響が大きいことから、2号トンネルのルートは回避する方針とした。

(1) 岩盤地すべりのすべり面の設定

基本ルートの課題を解消する新たなルート導入の検討に際し、岩盤地すべりブロックを回避するため、その形状を把握する必要があった。

a) 岩盤地すべりのブロック形状の精査

LPデータ計測を用い、微地形判読を行うとともにブロック形状を設定した。

頭部：尾根末端部に滑落崖、その基部に緩斜面
(岩盤地すべりの存在を示唆)

中腹部：不明瞭ながら滑落崖ができ、その直下に凹状地形(岩盤クリープの進行)

末端部：小崩壊地形が発達(斜面の不安定化が進行)

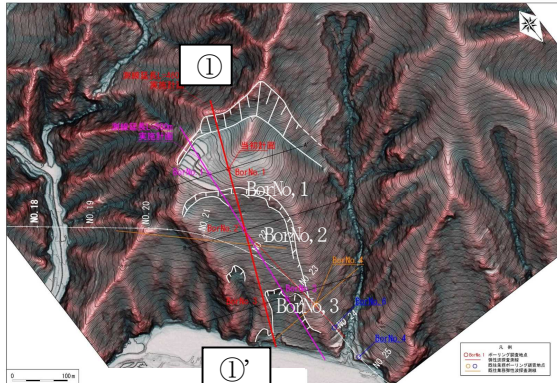


図-8 地形表現図による微地形判読結果

b) すべり面形状の精査と現況の活動度の評価

すべり面の深度を確認するためさらなるボーリング調査や弾性波探査を行い、ボーリング孔を活用して孔内傾斜計観測などにより岩盤地すべりの機構を把握した。

①-①'断面における弾性波探査の結果からは、Bor.No.1及びBor.No.2地点表層付近は低速度部分が厚く岩盤が緩んでいるかあるいは崖錘性の堆積物が分布するような地質状況を示唆していた。(図-9)

また、Bor.No.1~Bor.No.3の地点において孔内傾斜計で初期値と約1ヶ月後の値を観測したが、いずれの地点においても変位は認められず、現況においては不安定化の兆候は見られない状況であった。(図-10)

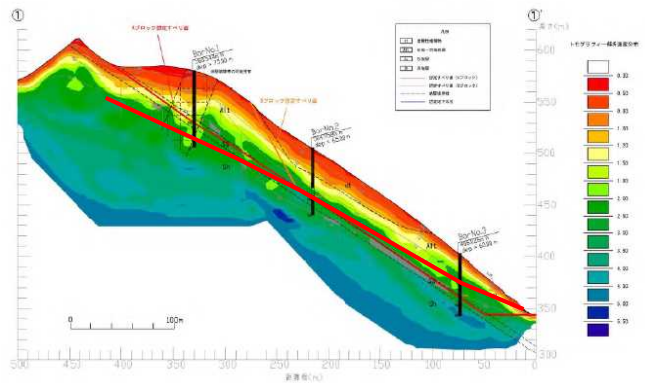


図-9 弾性波探査トモグラフィー解析断面図(①-①'断面)

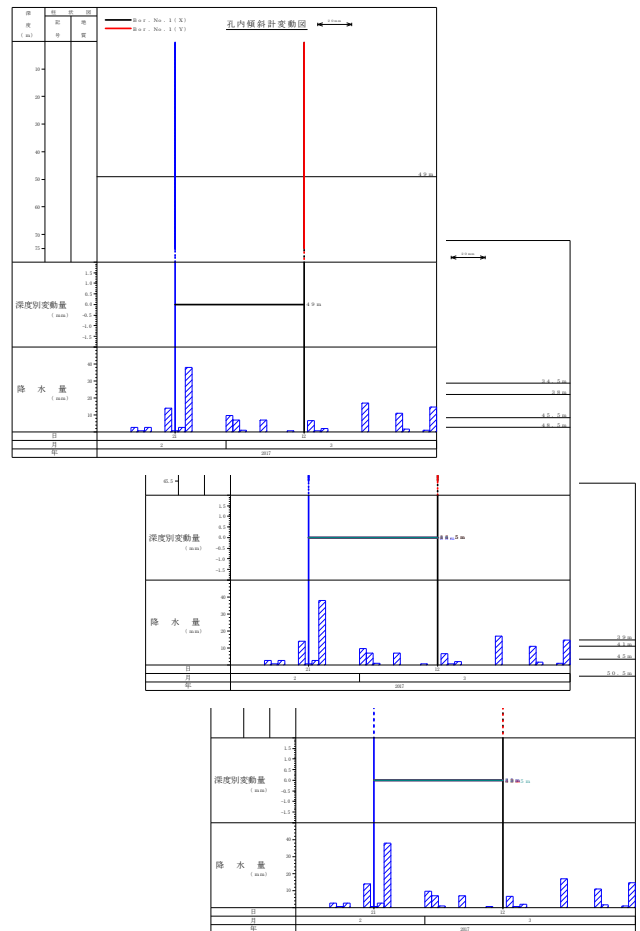


図-10 孔内傾斜計観測結果(上No.1、中No.2、下No.3)

(2) 変更ルートの検討

起終点および2号トンネル起点側坑口の制約から、線形検討の基本方針は、以下の平面・縦断コントロールポイントに留意し前後の影響を最小限に抑えることとした。

- ① 1号トンネルの平面・縦断線形を固定
- ② 城門トンネルの平面・縦断線形を固定
- ③ 想定すべり面以深を通過 (40m以上)
- ④ 沢部トンネル土被り 3m以上の確保

ルート検討に際し、防災検討会からはすべり面から2D (Dはトンネル掘削幅) 以上の離隔を取るよう指摘をうけた。

比較ルートについては、比較的線形が現行ルートに近く沢部の低土被りをさけるため沢部を橋梁で渡河させる1案と防災検討会の意見を踏まえすべり面から2D以上の離隔を取り曲線半径をそれぞれ変えた3案を設定した。

(表-2)

表-2 比較ルートの概要

	曲線半径	概要
ルート1	650	沢部のトンネル低土被りを避けるために、沢部を橋梁で渡河
ルート2	285	トンネル内視距幅が不要な曲線半径で設定
ルート3	230	沢部におけるTN土被りを極力確保しつつ、片勾配を極力抑えた平面線形
ルート4	200	設計速度60km/hに対する望ましい曲線半径で設定

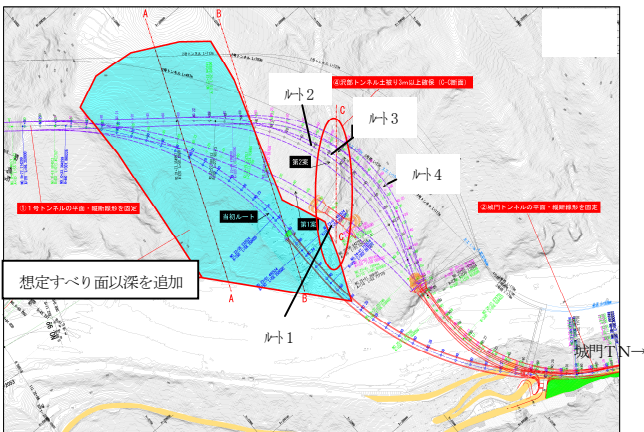


図-11 2号トンネルルート検討のコントロールポイント

a) トンネル掘削の影響評価

線形的に基本ルートに近いルート1は岩盤地すべりのすべり面にトンネル掘削に伴うゆるみが生じ、安定性を低下させる可能性があり、また、防災検討会から指摘を受けているすべり面から2Dの離隔が確保できていないことからトンネル掘削に伴うゆるみを考慮した安定解析を実施することとした。

安定解析は図-13に示す緩みゾーンを考慮して行った。解析結果は、表-3に示すように現況より安全率が低くなり、トンネル掘削により大きく不安定化する可能性がある結果となった。

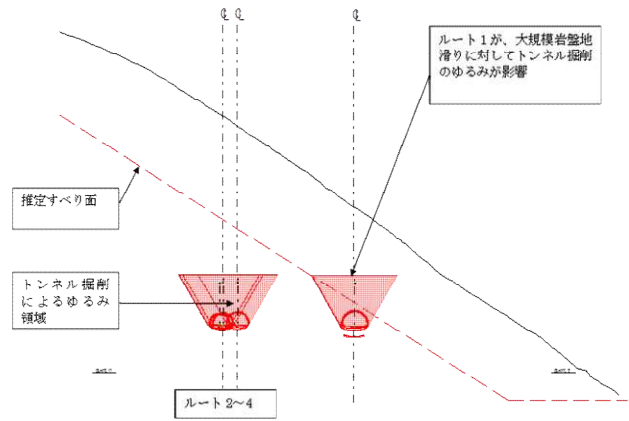


図-12 B-B断面図

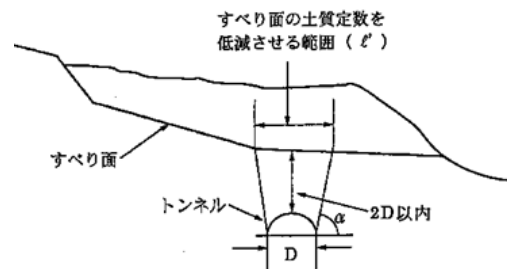


図-13 地すべり地外にトンネルがある場合のゆるみゾーン³⁾

表-3 安定解析結果

項目	安全率 (Fs)	計画安全率 (Fsp)	必要抑止力 (kN/m ²)
現況での安定解析	1.10	1.20	15,432
トンネル掘削を考慮した安定解析 (ルート1)	1.08	1.20	17,227

b) 変更ルートの比較検討

岩盤地すべりに影響があるルート1は危険と判定し、地すべり面から2Dの離隔を確保するルート2~4より選定することとした。

比較検討の結果、沢部でのトンネル土被りが1.5D以上確保でき、防災機能面及び対策工費が少なく経済性に優れたルート3を採用した。

7. まとめ

一般的に深層崩壊の危険性が認識され出したのは2011年の紀伊半島大水害による深層崩壊の多発が契機となっている。このような状況により、2012年度頃までのルート検討時点では深層崩壊に対する配慮が一般的ではない状況であった。また、大規模な不安定斜面はすべり面深度が深いこともあり既往資料調査や現地踏査だけでは、ルートとの関係が検討し難い面もあり、地質調査等が実施されるまでは十分な検討が実施できなかった面がある。

長殿道路のルート決定までの経緯を踏まえ、今後、このような地すべりが懸念される山間地域で道路事業を推進していくための留意点を以下に整理した。

(1) 概略設計段階における地すべり発生リスクの把握

五條新宮道路のような斜面変動のポテンシャルが高い地域では、概略設計段階で周辺地域の地すべり等の懸念地の分布を明らかにしておくことが、ルートを検討する上で有効である。

例えば、ダム計画時に行われる概査のように、机上調査や現地踏査、空中写真判読の結果から、不安定化する可能性のある地すべりブロック等の範囲を図に明示するとともに、得られた情報や地すべりの規模等をカルテに整理し、それぞれの地すべり箇所が不安定化した場合のリスクを把握しておく、ルート検討時に精度の高い比較ルートが選定できる。

(2) 沢地形部の坑口計画の是正

五條新宮道路の場合、急峻地形が多く、尾根谷が複雑に入り込んでいることから「尾根部進入型」や「谷部進入型」の坑口計画とすることが多くなっている。しかし、「尾根部進入型」では、崖錘が浸食を受けて凸形状を呈している場合がある。急峻な地形では大規模土工の採用は困難な場合が多く、ルート変更を選択せざるを得ない可能性が高いので、横断方向の土被りの確認や凸部の不安定斜面の可能性の有無を把握しておく必要がある。

また、「谷部進入型」で計画されている場合には、地下水位が比較的高い場合が多く、土石流などの自然災害を受けやすい斜面となるので、尾根部に移す結果となることも多いため極力避けた計画とすることが望ましい。

(3) 坑口部の不安定地形の把握

ルート検討段階においては大規模な不安定斜面はすべり面深度が深いこともあり既往資料調査や現地踏査だけでは、ルートとの関係が検討し難い。そのため、ボーリングによる概略把握を早期の段階で実施することが事業進捗を早める手立てとなる。

さらに、不安定斜面が想定される場合には、「回避」するか「対策」で対応するかの判断が必要となる。

特に地すべりブロックの深度が深い深層崩壊が発生しう斜面上においては大規模土工の採用は困難な場合が多いため、概略でも安定計算を行い抑止力の規模や概算の対策費用を把握したうえでルートを検討する必要がある。

(4) 不安定地形とトンネル本体部との位置関係の把握

トンネル本体部の場合、概略調査も大規模なものが主体となるため広域の地形判読や現地踏査が特に重要となる。ルート検討段階では崩壊深度とトンネルの位置関係の検討が困難な場合も多いが、空中電磁探査を活用して概略の深度を把握することも有効である。

8. おわりに

長殿道路の場合、起終点取りつき位置の制約から、ルート変更検討は基本的には平面線形の変更で対応したが、土被りやすべり面の位置想定により縦断線形の変更で対応可能な場合もある。

ルート選定にあたっては不安定化が懸念される箇所を早期の段階で立体的に把握・評価することにより、安全性が高くかつ経済的なルートを選定でき、事業進捗に寄与することができると考えられる。

参考文献

- 1) 近畿地方土木地質図編纂委員会：近畿地方土木地質図解説書，1981年3月
- 2) 地質調査所：20万分の1地質図幅「和歌山」，1997年
- 3) 東日本高速道路（株）、中日本高速道路（株）、西日本高速道路（株）：設計要領 第一集 土工編，2014年