

国道168号（土河屋トンネル）の 覆工変状に対する安全対策について

堅田 憲司¹

¹和歌山県 県土整備部 道路局 道路保全課 (〒640-8585 和歌山県和歌山市小松原通1-1)

一般国道168号土河屋トンネルにおいて、2012年7月にトンネル終点側坑口付近の覆工に亀裂が発生していることが確認され通行止めを行った。その後、変状の原因と暫定的な対策工法を検討するため、トンネル等の専門家による安全対策検討会を設置し、同検討会で決定した、集水ボーリング工、鋼アーチ支保工、金網張工を実施するとともに、異常発生時に迅速な対応を可能とする監視システムを構築し、2014年12月に通行止めの解除を行った。本発表では、変状確認から通行止め解除に至る過程で行った技術的な検討事項について報告するものである。

キーワード 防災 トンネル 覆工変状 地すべり 監視システム

1. 土河屋（つちごや）トンネルの概要

土河屋トンネルは、和歌山県新宮市と奈良県五條市を結ぶ一般国道168号において、和歌山県・奈良県県境直近の標高300m程度の山地をほぼ南北方向に貫いて建設された全長970mのトンネルである（図-1、表-1）。NATM工法により施工され2004年3月に竣工、2005年3月に供用を開始した。

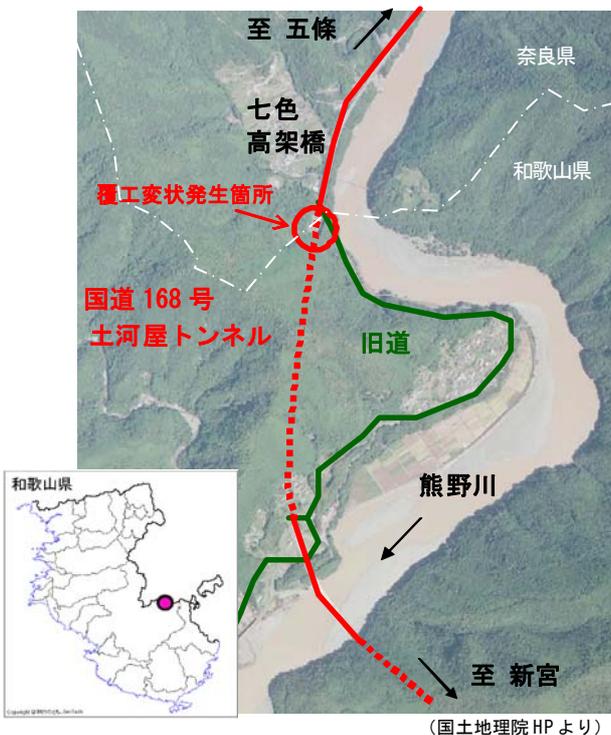


図-1 位置図

2. 経緯

2012年7月、トンネル終点側坑口付近で覆工を横断する亀裂が生じていることを確認し、直ちに通行止め措置を行った。その後、地質調査やトンネル・地盤の変位計測等を行いつつ、学識経験者および近畿地方整備局からなる安全対策検討会を組織し、覆工の変状が発生する機構や通行止め解除に向けた対応策について議論を進めてきた。その結果、現状の評価として次の3点が結論づけられた。

- 1) トンネルの覆工変状は、この周辺の地盤深部に分布する攪乱層の地すべり的な地盤変位により発生したものであること。
- 2) 地盤変位の範囲はトンネル周辺の複数計器での変位発生状況や攪乱層下面等高線と地形等高線との関係から、ある程度推測できること。
- 3) 豪雨時においても地盤変位量は微小で、覆工に損傷を与えることもなかったこと。

和歌山県ではこれらの議論をもとに、通行止め解除に向け、変状区間で集水ボーリング工、鋼アーチ支保工、金網張工の施工を行うとともに、トンネル覆工および地

表-1 土河屋トンネルの諸元

路線名	国道168号(本宮道路)	
トンネル名/全長	土河屋トンネル/L=970m	
位置	和歌山県田辺市本宮町土河屋	
竣工	2004年3月	
(変状発生区間の工事期間)	(2003年9月~2003年11月)	
供用	2005年3月	
幅員/高さ	10.5m/4.7m	
断面形状	単芯円:R=6160mm	
変状発生区間	終点側坑口付近の約60m区間	(約30m区間)
(変状の著しい区間)	NO34+65~NO35+30=坑門	(NO34+65~NO34+95)
	覆工BL.82~88	(BL.82~85)
変状部の支保形式	主にDIパターン: インバート厚:45cm、覆工厚:30cm、吹付厚:15cm 支保工:H-125 @1.0m、RB:4m、@1.2×1.0m(周×延長)	

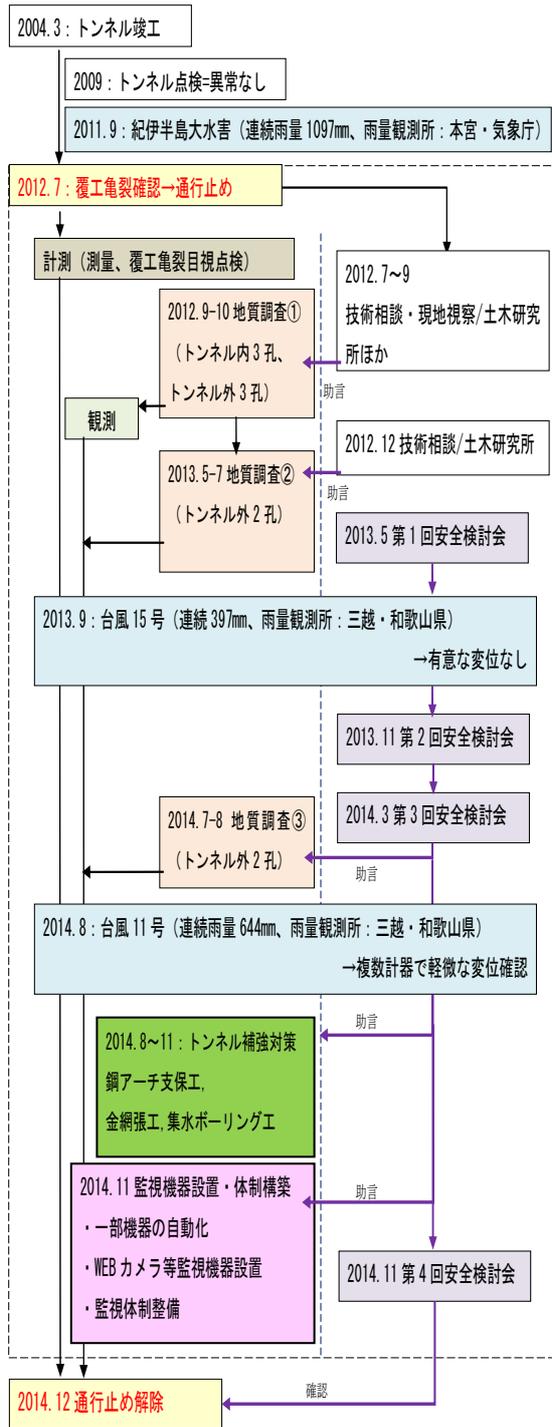


図-2 経緯フロー

盤計測での異常を検知した際に直ちに通行止めできるような監視体制を構築した。そのうえで、2014年12月に通行止め解除を行った (図-2)。

本発表では、土河屋トンネルの亀裂変状を対象として、これまでに実施した調査・計測結果ならびに覆工の変状発生機構の概要と、暫定対策および構築した監視体制など、通行止め解除までの取り組みについて報告する。

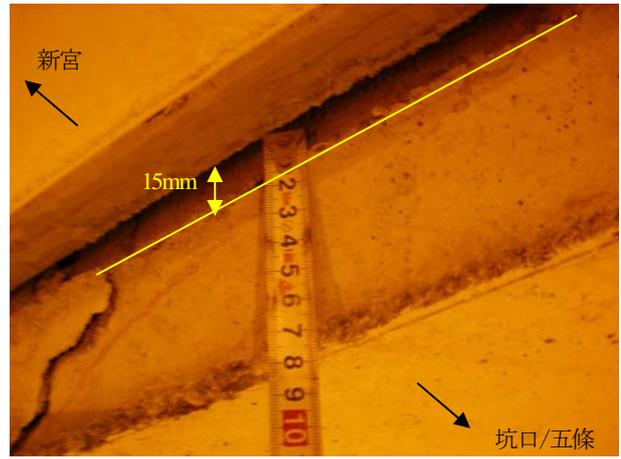


写真-1 覆工変状 (段差, 天頂部目地)



写真-2 覆工変状 (亀裂, 山側壁面)

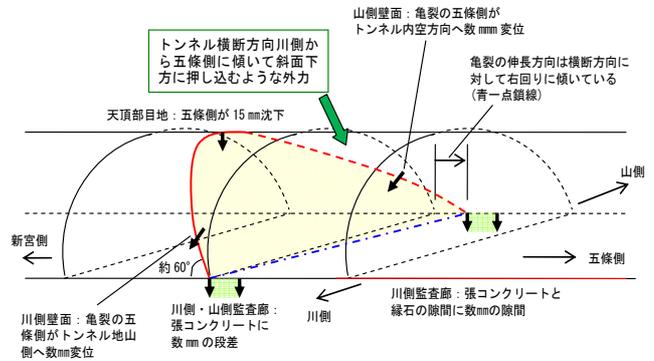


図-3 覆工変状の形態

3. 覆工変状

トンネル覆工の変状は奈良県側坑口から60mの位置で発生し、覆工目地・亀裂を境として五條側が15mm程度下がり、段差が生じた (写真-1)。亀裂の伸長方向はトンネル横断方向に対してやや川側に傾いている (写真-2, 図-3)。

この後の覆工観察結果では、ヘアクラックの増加を確認したものの、上記変状の拡大傾向は認められなかった。

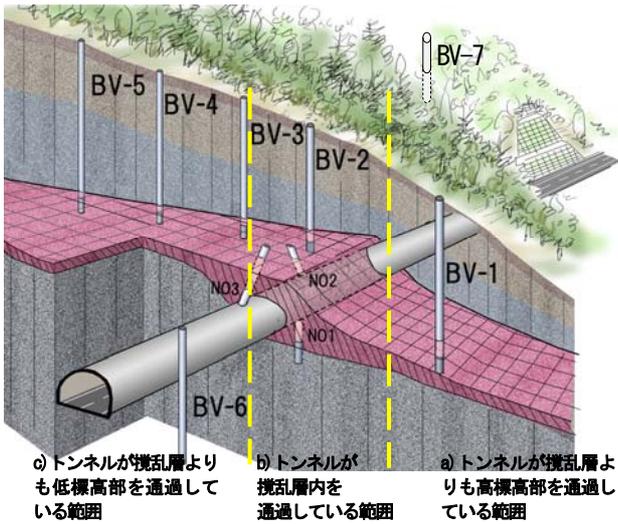


図-4 攪乱層とトンネルの位置関係

4. 地形・地質特性

トンネル周辺斜面の微地形判読や現地踏査からは、変状発生箇所周辺にて大規模な地すべりや地盤変動の履歴をうかがわせる要素は認識されない(図-7A)。

トンネル内外の地質調査の結果、次の地質特性が確認された。1) 地表から25~80mの深部に土砂~岩片状に破碎された攪乱層がトンネルの斜め横断方向に対し低角で分布している(図-4, 図-7B)。2) 攪乱層はトンネル縦断方向にも連続しており平面的な拵がりをもって分布している(図-5, 図-7C)。

また、トンネル施工時の切羽記録によると、今回の覆工変状発生区間では土砂状部に遭遇しており、位置的にみて、これが上記攪乱層に相当するものであることが確認できた(図-4, 図-5)。

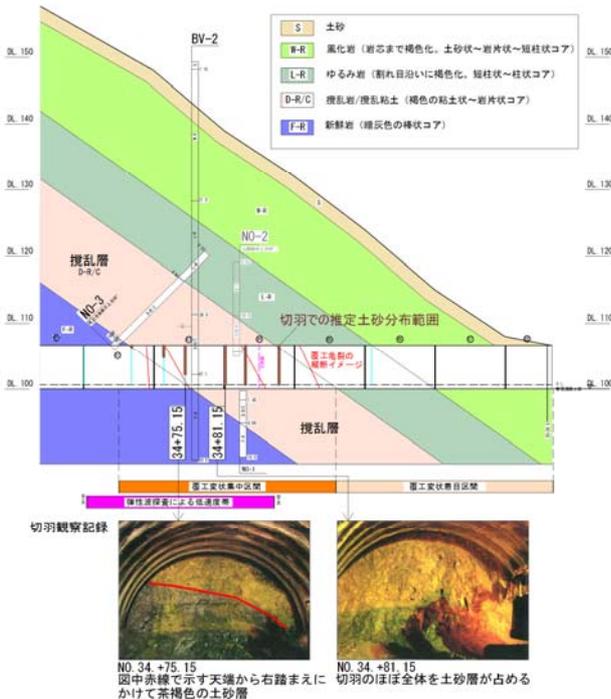


図-5 縦断面図と切羽の土砂状況(施工資料より)

5. 地盤変位の計測結果

2014年8月の台風11号では、紀伊山地に大災害をもたらした2011年9月の台風12号以降で最大規模となる連続雨量644mmの降雨を経験した。その際、トンネル周辺斜面に設けた各観測孔で最大25m程度の水位上昇を記録するとともに、複数の孔の攪乱層相当深度で1mm内外の地盤変位を検知した(図-6)。一方で、覆工に新たな損傷が生じることはなかった。

6. 覆工の変状発生機構

地質調査・地盤計測結果より、覆工の変状発生機構を次のように推測した。

- 1) トンネル周辺地山の深部に分布する攪乱層の一部がトンネルに掛っているため、その地圧がトンネルに作用していた。
- 2) 攪乱層の変位は豪雨に相関して増大する地すべり的な特性を有している。



図-6 地中内部変位(孔内傾斜計)の一例

- 3) トンネル完成後2番目の規模の降雨であった2014年台風11号時にはトンネル周辺の攪乱層にて1mm内外の地盤変位を検知したが覆工に新たな損傷が生じるまでには至らなかった。
- 4) このことから、3章で示した覆工の明瞭な損傷はトンネル完成後の最大規模の豪雨であった2011年台風12号豪雨時(累積降雨量1097mm)に生じた可能性が高い。
- 5) 以上から推定される地盤変位(地すべり)の規模は、幅約200m・長さ約250m・深さ約70mである(図-7)。

なお、2014年台風11号時には、BV-7は観測開始前であったため、五條側側部については未確定である。図-7ではBV-2とBV-7間の沢部を暫定的に側部としている。

7. 対策の実施・監視体制の構築

2014年8月の台風11号豪雨でも覆工に損傷は生じなかったことから、地盤変位の抑制工、覆工補強対策や監視体制を整えることで通行止め解除が可能と判断した。

(1) 対策工

対策工として、地盤変位の誘因と目される地下水位の上昇抑制を狙って集水ボーリング工を実施し、さらに、トンネル覆工耐力を現状よりも向上させるとともに剥落片の落下防止を図るために、鋼アーチ支保工・金網張工を施工した(写真-3, 4, 5)。

集水ボーリング工からは常時排水が見られ、これに伴って直近の水位観測孔の水位が約2.5m低下した。

(2) 監視体制

供用するにあたっての監視体制は、(ア)異常をリアルタイムで確認できること、(イ)異常検知時にただちに対応できることを条件として監視機器の配置および体制の構築を行った。(表-2)。

a) リアルタイム監視

トンネル内外に自動計測可能な地盤変位計測機器を設置し、遠隔地からでも監視できるシステムを構築した。これらの自動計測機器については、変位量等に対して管理基準値を設定し、超過時には関係者に警報メールを送信するとともに、現地のトンネル両坑口付近に設置した回転灯・電光表示板の点灯が連動する警報機器を設置・運用した。また、トンネル内の状況をリアルタイムで遠隔監視できるようトンネル内の変状発生区間の起終点側にWEBカメラを設置した。

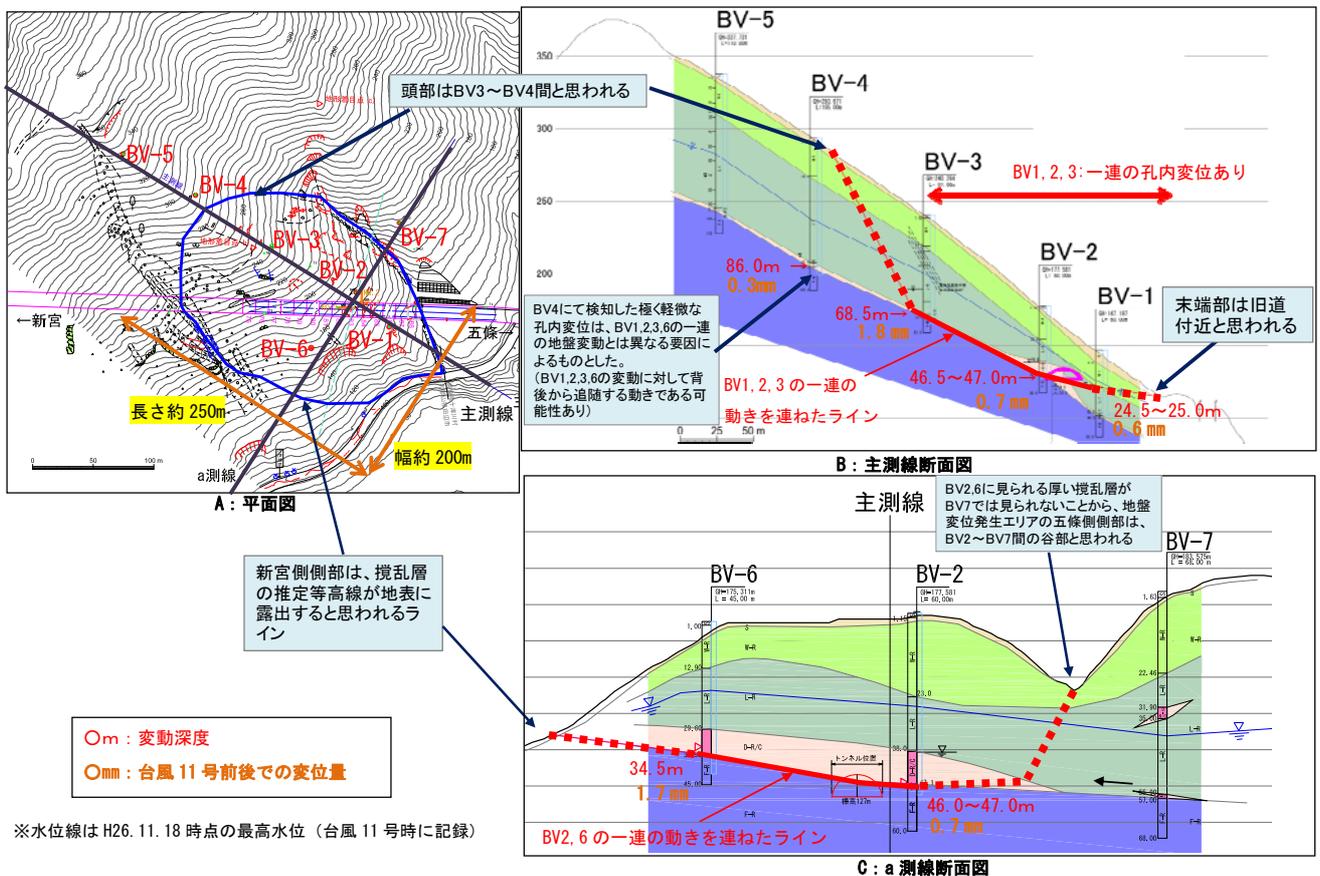


図-7 地盤変位発生原因の推定



写真-3 鋼アーチ支保工設置状況



写真-4 金網張工設置状況



写真-5 集水ボーリング工排水状況

b) そのほかの監視機器・項目

a) に示すリアルタイム監視の他、職員のパトロールおよび専門技術者による目視点検を定期的に行う体制を構築した。この定期点検は、点検者で違いがでないように、点検表を作成し確認項目を明確化するとともに、定点写真撮影箇所を設定し、経過がわかるような内容とした。

そのほか、トンネル補強対策として設置した鋼アーチ支保工に併設した歪計により支保工応力度の監視や、覆工亀裂の開口変位の計測を行う体制とした。

表-2 監視機器一覧

監視対象	監視計器・調査計器		概要	
	項目	自動観測		
トンネル内	全体	パトロール	-	・職員により覆工Conの剥離等の変状や落下物等の異常を目視確認する
		Webカメラ	○	・監視計器での異常検知時に、現地状況を把握する ・事務所PCの他、携帯電話からも閲覧可能
	覆工亀裂	亀裂変位計	-	・亀裂開口量を計測する
		定期点検	-	・専門技術者により、亀裂の進展状況を詳細に点検する
	支保工応力度	H調査計	-	・補強対策で設置する鋼アーチ支保工の変形を把握する
	覆工変位	測量	-	・縦断測量を定期測量する
		内空変位	-	・内空断面を定期測量する
	地中変動	岩盤変位計	○	・トンネル周辺の地山の緩み変位を計測する
		パイプ歪計	○	・トンネル覆工周辺の地山の断面の位置を把握する
		孔内傾斜計	○	・トンネル覆工周辺の地山のたわみや断面の深度と変動量を把握する
地下水排除	流量計	-	・集水ボーリング工の流末排水に設置し、集水量を計測する	
トンネル外	地中変動	孔内傾斜計	-	【BV1.2.3' .4~7】全深度観測を継続する
			○	【BV3】擾乱層付近のみ自動観測計器を設置し監視する
	地下水位計	-	・継続観測する	

(3) 通行止め解除後の調査項目

被災原因である地盤変位の範囲については特定できていないことから、トンネル外の孔内傾斜計・地下水位計の変動状況が注目される。これまでの調査結果ではまとまった降雨後に変位の増加が確認されているため、「大雨警報発表後」を目安に観測を行う体制とした。

(4) 異常発生時の対応

(2) で設定した管理基準値を超過した場合や、定期点検時に異常確認された場合などの異常事態時には、WEBカメラや自動観測計器の計測値をモニタリングしながら現地状況を把握するとともに、職員および現場周辺の契約業者の協力の下、通行止めの措置を行う体制を構築した。

8. まとめ

本発表では調査・施工時には予見が困難な大規模かつ変位量が微小な地盤変位によりトンネルが被災した事例を紹介した。想定外の事態となった場合、かつ、被災原因である地盤変位の範囲や変動状況が完全には解明されていない状態においても、調査結果に基づき、現状の地盤変位の安定性評価を適切に行って、監視体制の構築、補強対策を施工することで通行止め解除を判断することが可能とした事例でもある。

本事業を進めるなかで道路管理者として、変状確認後ただちに通行止めを判断した結果、物的・人的被害を出すことが避けられた。学識経験者からなる検討会を設置・活用することにより、効率的な調査の実施ならびに安全で効果的な対策工の検討・施工が実施できた。なお、

防災・保全部門:No.14

本トンネルは重要度が高く通行止めの影響は大きいものの、迂回路として利用した旧道が2車線を確保できる規格であったことは条件が良かった点である。

今後の課題として、被災原因と考えられる地盤変動範囲の特定と、恒久対策の検討が残っているが、当面は引き続き経過観測を行いながら対応を見極めていく所存で

ある。

謝辞：本トンネルの変状確認から通行止め解除までの過程で、安全検討会の委員各位に有益な議論・助言をいただきました。ここに謝意を表します。