

報告 Technical report

■国道197号名取トンネル地すべり災害復旧事例

Disaster recovery project of Route 197 Natori Tunnel landslide

柴崎宜之* Nobuyuki SHIBASAKI / 日本工営株式会社 Nippon Koel Co., Ltd.

藤田康司 Kouji FUJITA / 愛媛県土木部土木管理課 Public Works Administration Division, Ehime Pref.

東 幸孝 Yukitaka HIGASHI / 日本工営株式会社 Nippon Koel Co., Ltd.

山下憲治 Kenji YAMASHITA / 愛媛県八幡浜土木事務所 Yawatahama Public Works Office, Ehime Pref.

キーワード：トンネル，地すべり災害，迂回，注入式長尺鋼管先受工法，エアモルタル
Key words : tunnel, disaster of landslide, bypass, forpairing industrial method, air-mixed mortar

1. はじめに

名取トンネルは松山市の南西約65km，佐田岬半島を東西に縦走する一般国道197号沿いの斜面に位置する(図-1)。この国道は，九州と四国を結ぶ観光，産業，生活の幹線道路であり，北に瀬戸内海，南に宇和海を望む風光明媚な景観を有する道路として親しまれている。

周辺地域は豊かな自然の恵みに囲まれる一方，沿線斜面は急峻な地形と脆弱な地質(ケスタ地形と地すべり多発地帯の三波川帯結晶片岩類)からなるため，土砂災害はあとをたさない。

本報告は，過去3回の災害履歴を持つ地すべりが平成17年にトンネルを通行止めにした事例を紹介するとともに，その復旧対策で行われたトンネル迂回路選定，新トンネル掘削に伴う地すべり土塊の緩み防止対策，被災したトンネルの閉塞対策の事例を紹介するものである。

2. 過去の災害発生経緯と復旧の概要

名取トンネル(L=640m)は，昭和51年の佐田岬側からのトンネル掘削でその上部の国道(現町道)に地すべり性変状が発生して以来，これまで3回の災害に見舞われている。このため，愛媛県土木部は平成6年までに地下水排除工，頭部排土工，押え盛土工等の災害復旧対

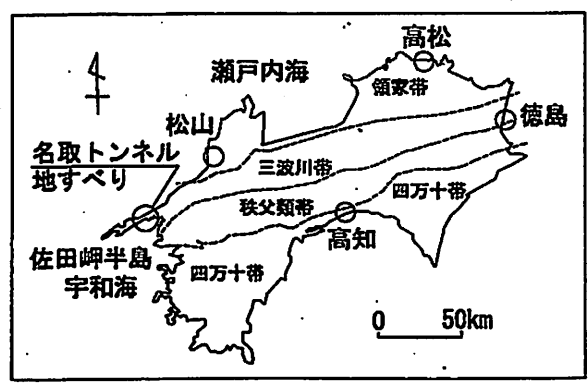


図-1 四国地方の地質帯と名取トンネルの位置

* 連絡著者 / corresponding author
〒102-8539 東京都千代田区麹町5丁目4番地
4, Kojimachi 5-chome Chiyoda-ku, Tokyo 102-8539 JAPAN

策を行いながら道路を供用してきている(表-1)。

3. 平成17年に発生した地すべり災害

3.1 トンネルの被災状況

平成6年に対策が完了した後，地すべりは沈静化していたが，平成13年頃から頭部排土工平場面に雁行状亀裂等の地すべり変状が現れ始め(図-3，写真-1)，平成17年にトンネル内の変状が顕著になった。平成17年の変状は平成元年災害で対策したトンネル補強(PCL版)に

表-1 災害発生経緯と復旧の概要

昭和61年 (1976年) 9月24~29日	<トンネル掘削時の地すべり性変状> ・切羽が八幡浜坑口より32m付近(掘工位置59m付近)の時にトンネル上部の国道(現町道)に亀裂が発生。亀裂は5日で約30mm拡大した。 ・切羽が八幡浜坑口より23m付近の時に幅約2m、長さ約3mの大きさとトンネル上部斜面が陥没。
昭和68年9月 (1983年) ~ 昭和62年3月 (1987年)	<1回目の災害> ・昭和58年台風10号(連続雨量283mm/3日、最大日雨量216mm)により地すべり発生。横ポーリング、集水井工11基(図-2)、トンネル補強(ロックボルト等)45mで対策。
平成元年9月 (1988年)	<2回目の災害> ・平成元年台風22号(日雨量155mm)により八幡浜側坑口約19m~227mの掘工に亀裂発生。トンネル補強(PCL版、ロックボルト等)で対策。
平成2年5月 (1990年) ~ 平成6年2月 (1994年)	<3回目の災害> ・平成2年日雨量85mmにより八幡浜側坑口(H2大ブロック)および八幡浜坑口上部(H2小ブロック)の2箇所地すべり発生。 ・H2大ブロックは頭部排土工40万m ³ 、押え盛土工41万m ³ 、集水井工5基、H2小ブロックはアンカー付鋼管杭工52本で対策(図-3)。

よりアーチ部が覆われてその部分の変状を確認できないが八幡浜坑口~57m区間が最も顕著で, その他100m~

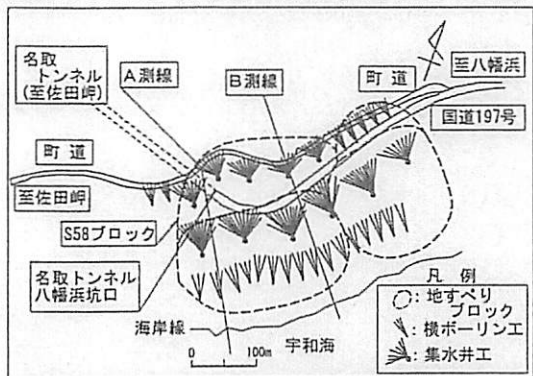


図-2 昭和58年地すべり平面図 (1回目の災害)

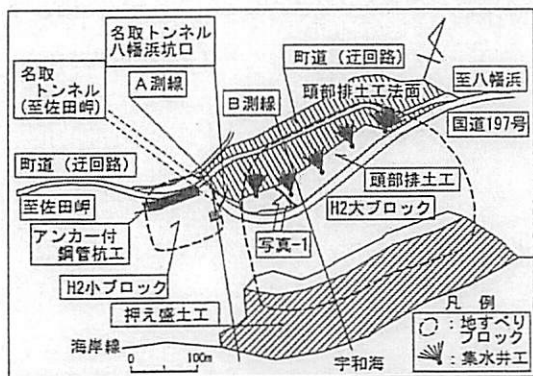


図-3 平成2年地すべり平面図 (3回目の災害)

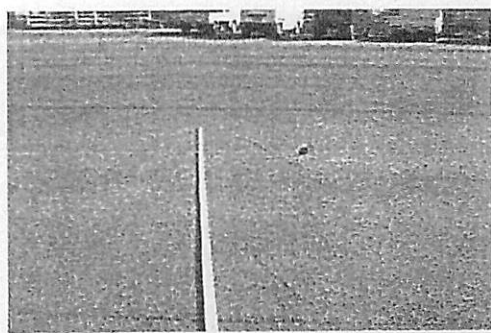


写真-1 排土平面の雁行状亀裂 (H17.4月撮影)

120m区間, 220m~230m区間に集中していた (図-4)。

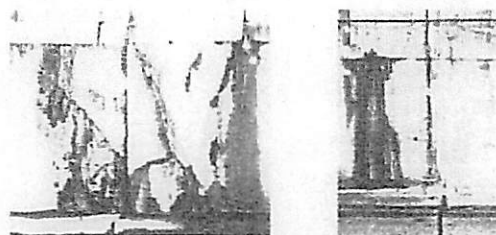
(1) 八幡浜坑口~57m区間の変状

この区間では亀裂等の変状が拡大する傾向があった。特に八幡浜坑口から40m付近ではPCL版を支持する側壁に多数の亀裂が入り目地が年数mmの速さで開くとともに, 舗装版目地が約60mm開口していた (写真-2)。

また, 一般的にトンネル掘削位置とすべり面の離隔が2D (D:トンネル幅) 以内にある時に, トンネル掘削によるゆるみが地すべりの安定度に影響を及ぼす³⁾と考えられている (図-5)。今回の事例においては, トンネル掘削でトンネル上部の地山がゆるむことにより, すべり面が通過する八幡浜坑口より約40mの地点から約17mまでの区間 (すべり面から概ね2Dの区間) のトンネルが地すべり変動の影響を受けた (図-6)。

(2) 八幡浜坑口100~120m区間と220~230m区間の変状

これらの区間においてはPCL版や側壁にヘアークラックが発生していたが, 八幡浜坑口~57m区間に比べてその規模は小さく変状の拡大性は確認できなかった。



a) 海側側壁の亀裂²⁾ b) 山側側壁と舗装版目地の開き
写真-2 八幡浜坑口40m付近の変状 (H17.2.23撮影)

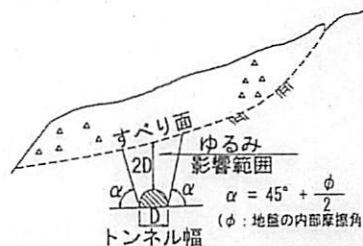


図-5 トンネル掘削とゆるみ範囲の関係図 (引用文献3)の図を修正して作成)

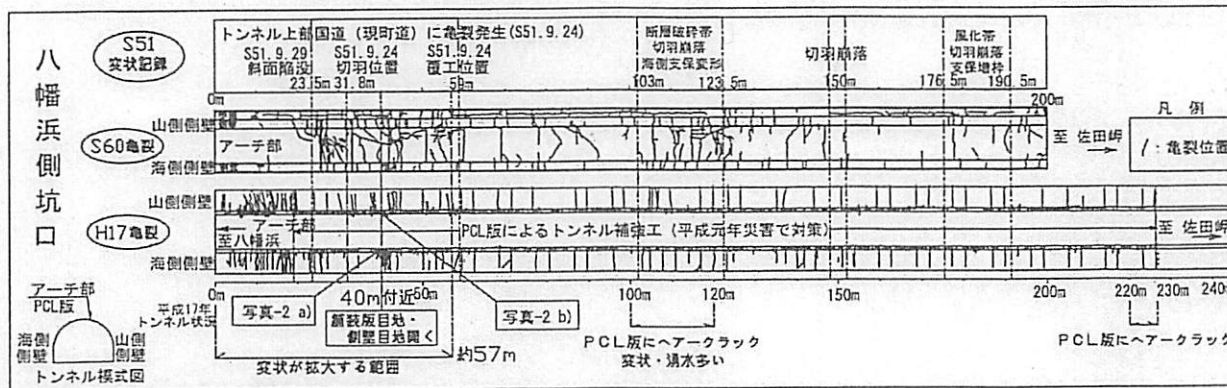


図-4 昭和51年トンネル工事中の変状記録と昭和60年および平成17年のトンネル亀裂分布

(3) 変状発生の原因

「平成17年にトンネル変状が顕著になった範囲」と「昭和51年トンネル工事中に町道等へ亀裂等が発生した時の切羽位置」, 「昭和60年のトンネル亀裂分布」および「平成元年災害のトンネル補強範囲」は, 殆ど同じであった(図-4)。このため, 名取トンネルは八幡浜坑口から約40m付近にすべり面が通過する地すべりとそれより奥部(100~120m区間あるいは220~230m区間)にすべり面が通過する地すべりにより被災したと判断した。

また, 現状のままトンネルを供用し続けた場合においてはPCL版が落下する危険性があったため, 道路管理者である愛媛県はトンネル上部の町道約1.8kmを迂回路にした上で平成17年5月9日からトンネルを通行止にした。

3.2 通行止めによる社会的影響

国道197号は八幡浜市と伊方町を結ぶ唯一の幹線道路であり, 九州-四国間の物流の要となっている。一方で迂回路は道幅が狭く, 急カーブが連続しており, 以下①~④の社会的影響が発生していた。

- ①トンネル通行止め後の大型車の交通量は, 通行止め前の平成11年の交通センサス調査結果に比べて約4割減少した(図-7)。
- ②重要な地場産業である鮮魚の搬送車両は11t車から8t車に変更を余儀なくされた。
- ③通過時間がトンネルを利用した場合の約1分に比べて迂回路では5~10分要し利便性が劣った(写真-3)。
- ④迂回路が通行止めになった場合に約1600世帯, 約3800名が孤立する可能性があった。

以上, 社会的影響を鑑みると, 地域生活に安全で安心な道路を一刻も早く復旧することで通行止めを解消し, 観光・産業の活性化を促すことが必要であった。

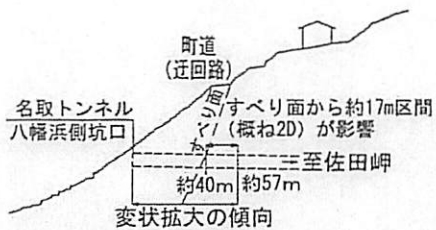


図-6 地すべり変動がトンネルへ影響を与えた範囲

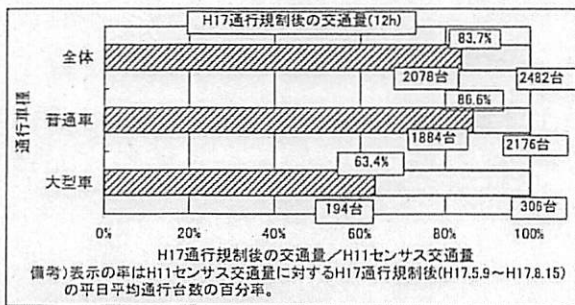


図-7 国道197号交通量調査結果⁴⁾

3.3 トンネルが被災した地すべりの形態

八幡側坑口付近には, 地盤伸縮計S17-1, S17-2において, それぞれ約0.3mm/月, 約1mm/月の割合で引張変位が増加する幅約210m, 奥行き約200mの「H17親災ブロック」と陥没帯などの地すべり現象は確認できるものの, 地盤伸縮計S17-4~8や孔内傾斜計BV17-1で地すべり変動を確認出来なかった幅約250m, 奥行き約450mの「H17関連ブロック」があった(図-8)。

前者は町道路路面を頭部とし八幡浜坑口から40m付近にすべり面が通る深さ約50mの椅子型すべり面を呈する風化岩すべりであった(図-9)。

後者は継続的な観測によりすべり面を捉えた後に, その復旧工法を検討することが望ましい。しかし, この場合通行止めを長期化させ, 地域生活への影響が大きいことから, 早期の復旧と通行の安全性を最優先する方針と



写真-3 迂回路の混雑状況

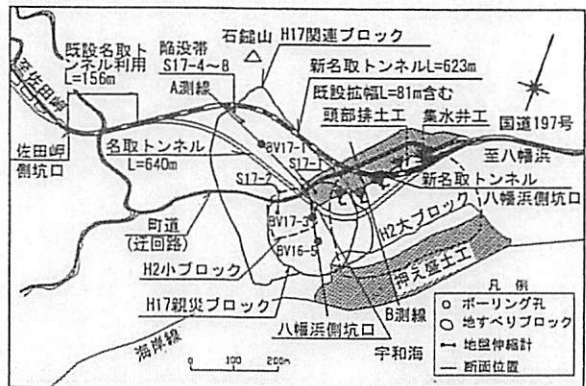


図-8 名取トンネル八幡浜側坑口の地すべり平面図

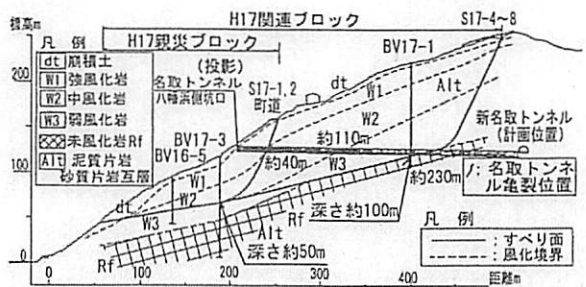


図-9 名取トンネル地すべり断面図(A測線)

した。その結果, 現時点で想定可能な最大規模となる山頂付近の陥没帯を頭部とし, 八幡浜坑口から220m~230m区間にすべり面が通る深さ約100mの地すべりを推定した(図-9)。

4. 災害復旧工法

4.1 復旧工法選定

復旧工法は「H17関連ブロック」を対象に「地すべりを止める案」で1案, 「路線変更により地すべりを回避する案」で2案, 計3案を比較検討し, 以下の理由により第3案を採用した。

(1) 地すべりを止める案

i) 第1案: 頭部排土と押え盛土の併用案

地すべりが大規模であることと経済性を考慮して頭部排土と押え盛土を併用する案である。第3案に比べて経済性で劣ることから不採用とした。

(2) 路線変更により地すべりを回避する案

i) 第2案: 土工を主体とするバイパス案

切土・盛土・橋梁等により地すべりを回避する案である。他案より確実に復旧できる点では優れているが, 復旧までの工事期間が長くなることと経済性で劣ることから不採用とした。

ii) 第3案: トンネルによるバイパス案

トンネルにより地すべりを回避する案である。検討に当たっては, 地すべりを避けるとともに, 路線延長を極力短くすることが重要である。

現地踏査の結果, 名取トンネルの八幡浜側坑口付近の斜面には地すべり地形が連続する上に(図-10), 路面の沈下, 擁壁の亀裂や目地の開き等の地すべり現象が多数見られた。このように本案では八幡浜側の新トンネル坑口位置選定等の路線計画に問題点があった。しかし, 平成2年地すべり災害で対策した頭部排土工平面より上部の地すべり土塊については, 現地踏査および視測調査でその安定を確認できたため, 平成2年災害で対策した頭部排土工法面を八幡浜側の新トンネル坑口に選定することが可能と判断した。ただし, 新トンネル掘削による地すべり土塊の緩み, 町道路路面等の沈下が懸念されたため, 次節の対策を併用するものとした(図-11)。

4.2 新トンネル掘削による地すべり土塊の緩み防止対策

トンネル外周部に沿って直径100mm, 長さ12.5mの

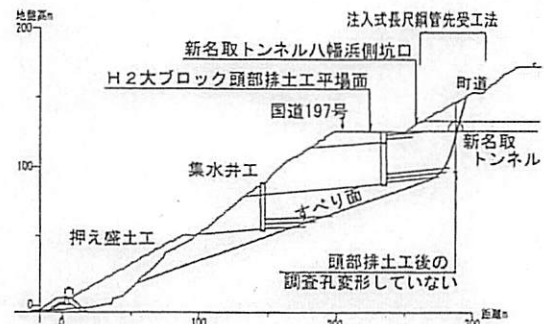


図-11 H2大ブロック地すべり断面図(B測線)

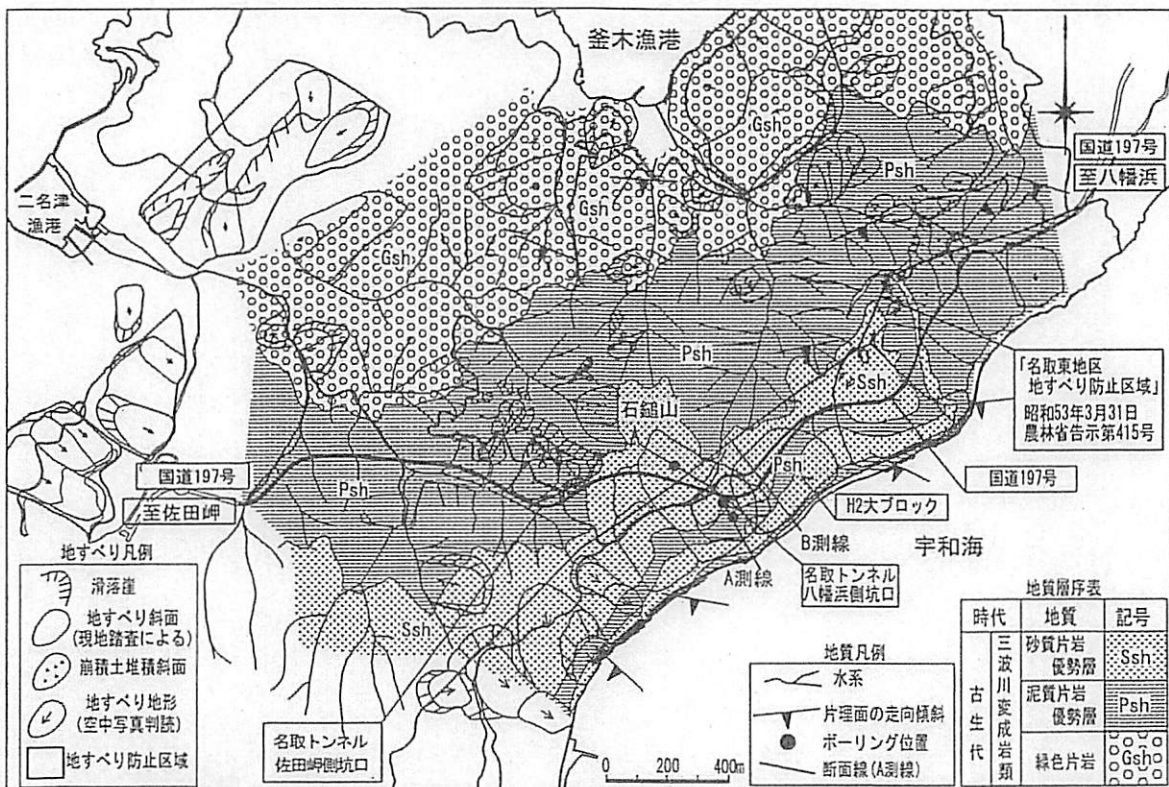


図-10 名取トンネル周辺の地すべり等分布図

鋼管を打設した上で、鋼管内からシリカレジンを注入し、鋼管の剛性と地山改良効果により新トンネル掘削による地すべり土塊の緩み等を防止する注入式長尺鋼管先受工法を採用した(図-12、写真-4)。

施工によりH2大ブロックのすべり面付近で毎分300リットルの湧水が発生したものの、地山の改良効果により地すべり土塊の緩みは認められなかった。また町道路面等の沈下量も最大11.5mmで施工することができた。

5. 被災した名取トンネルの閉塞対策

被災した名取トンネル覆工が崩落した場合の町道への影響を数値解析した結果、町道が約1m陥没することが試算された。このため、トンネルの変状が拡大している八幡浜坑口から57mまでのトンネル覆工の崩落対策は、作業の安全性を考慮して内部作業が不要なエアモルタルによる閉塞とした(図-13)。

八幡浜坑口57mから120m区間については、トンネルの変状が拡大傾向に無かったため内部作業が可能と判断できたことと、トンネル崩落時における上部斜面の建物への影響を考慮して、エアモルタルと土砂により閉塞した(図-14)。

八幡浜坑口120mより奥部については、トンネル上部に建物等の施設がなかったため、可能な限り押土により閉塞した。

なお、エアモルタルの設計基準強度は湧水及び打設時の流動等によるエアモルタルの強度低下を考慮してトン

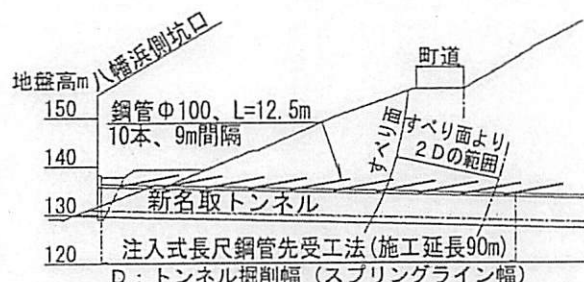


図-12 緩み防止対策箇所と迂回路との関係

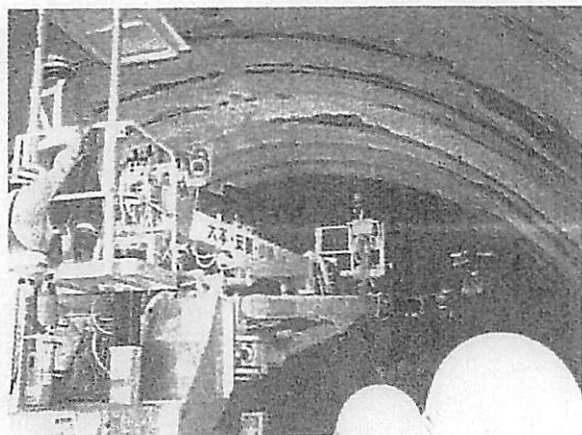


写真-4 緩み防止対策工事状況 (H18.8.1撮影)

ネルの覆工背面空洞充填対策と同様の 1.5N/mm^2 とした(表-2、表-3)。

また、被災した名取トンネルの閉塞前後の状況は、写真-5、写真-6の通りである。

6. まとめ

本報告の結果を、以下にまとめる。

- ① 平成17年に名取トンネルを被災させた地すべりは、

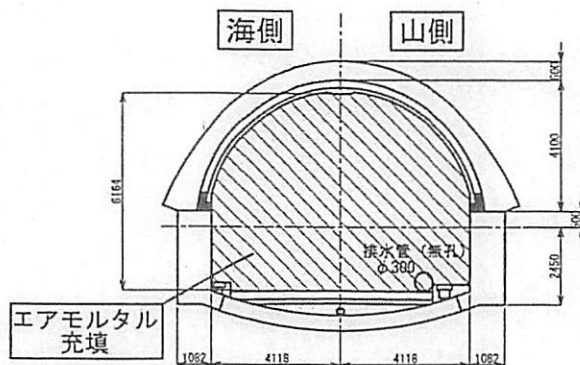


図-13 坑口～57m区間の閉塞工断面図

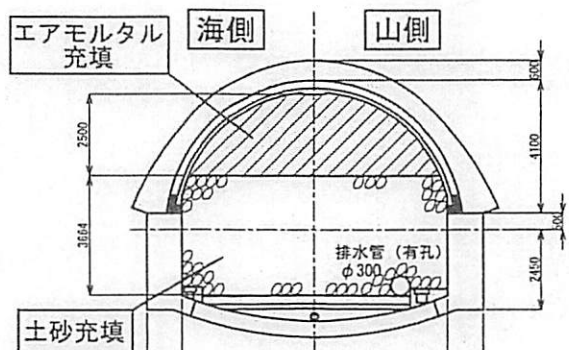


図-14 57m～120m区間の閉塞工断面図

表-2 被災した名取トンネルの閉塞対策

範囲(坑口から)	閉塞材料	備考
坑口～57m	エアモルタル 図-13	地すべりによりトンネル変状が拡大している範囲。従業員の安全性を考慮。
57m～120m	土砂+エアモルタル 図-14	上部斜面建物への影響を考慮。押土により可能なだけ土砂を入れ、残り空隙部にエアモルタル。
120m～	土砂	将来の地表面への影響を考慮。押土により可能なだけ閉塞。

表-3 エアモルタルの配合および設計基準強度

70-値	空気量	セメント	水	細骨材	起泡材	水セメント比
mm	%	kg	kg	kg	kg	%
200±20	50±5	250	210	500	3.1	84

設計基準強度	C : S	セメント	細骨材	水
		kg	kg	kg
1.5N/mm^2	1:2	515	1,031	433

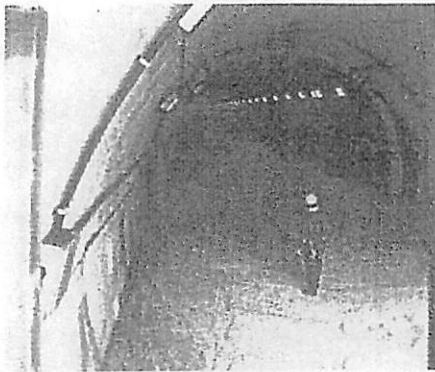


写真-5 名取トンネルの閉塞前状況 (H18.5.23撮影)

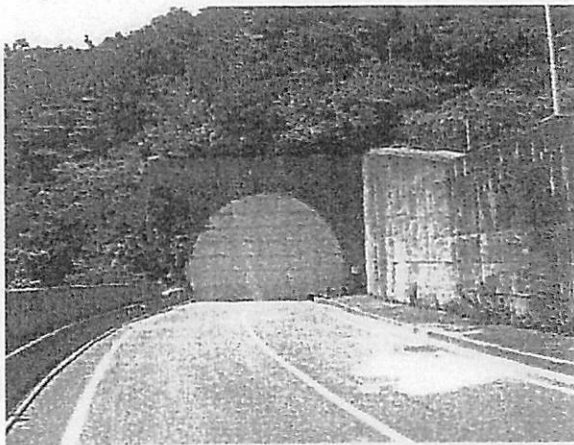


写真-6 名取トンネル閉塞後状況 (H18.8.1撮影)

幅約210m, 奥行き約200m, 最大移動層厚約50mのH17親災ブロックと, 幅250m, 奥行き約450m, 最大移動層厚約100mのH17関連ブロックと判断される。

- ② 被災した名取トンネルで変状の拡大傾向が見受けられた範囲は八幡浜側坑口～約57m区間であった。すなわち, 今回の事例においては, トンネル掘削でトンネル上部の地山がゆるむことにより, すべり面が通過する八幡浜坑口より約40mの地点から約17mまでの区間 (すべり面から概ね2Dの区間) のトンネルが地すべり変動の影響を受けた。
- ③ 本災害復旧では, 通行の安全性と早期の復旧を最優先し, 地すべりをトンネルで回避する工法を採用した。その結果, 2年3ヶ月でトンネルを復旧することができた (写真-7)。
- ④ 平成2年災害で対策した頭部排土法面を八幡浜側の新トンネル坑口にしたことによるトンネル掘削に伴う地すべり土塊の緩みは, トンネル外周部から鋼管を打設して鋼管内からシリカレジンを注入し地山を



写真-7 新名取トンネル開通 (H19.7.25撮影)

改良する注入式長尺鋼管先受工法で防止した。

- ⑤ 被災したトンネル覆工の崩落による町道等への影響を避けるため, 被災したトンネルはエアモルタル等で閉塞した。

7. おわりに

名取トンネルは地すべりにより供用から27年で道路機能を失った。トンネルや長大構造物を含む道路は土工を主体とした道路に比べて, 工事着手後あるいは完成後の部分的な路線変更等が困難なため, 路線の計画段階でいかにして地すべりと疑われる箇所を抽出し回避するかが重要である。このためには, レーザープロファイラー測量や空中写真による微地形調査等に加えて, 詳細な現地踏査が最も有効であると考えられる。

8. 謝辞

名取トンネル地すべり災害復旧の検討に当たっては, 独立行政法人土木研究所地すべりチーム藤澤上席研究員およびトンネルチーム真下上席研究員に多大なる指導を賜った。ここに厚くお礼を申し上げる。

引用文献

- 1) 大成建設株式会社 (1991): 国道197号道路災害復旧工事施工計画書。
- 2) 藤澤和範・江田充志・真下英人・高橋近敏・山田康晴 (2005): 土木技術資料47-8, pp.4-8。
- 3) 新潟高速道路調査会 (1981): トンネル坑口周辺の地すべり・崩壊対策に関する研究報告書, pp35-92。
- 4) 愛媛県八幡浜地方局 (2008): 国道197号名取トンネル災害復旧関連工事の記録, 419p。
- 5) 日本工営株式会社 (2007): 国道197号名取トンネル数値解析委託業務報告書, 72p。
(原稿受付2009年5月12日, 原稿受理2009年9月29日)