

円弧すべり直下における 海老坂トンネル計画について

河野 弘実¹

¹高島土木事務所 道路計画課

国道303号は岐阜県岐阜市から福井県三方上中郡若狭町に至る一般国道であり、道路改築計画箇所は滋賀県高島市今津町の4.4km区間である。計画区間は、道路線形が悪く幅員も十分でないため、通行車両の衝突や転落事故、冬期のスリップ事故等が発生し、早急な対応が望まれてきた。

(仮称)海老坂トンネルは、同区間内に位置する延長294mの山岳トンネルであり、両坑口部において円弧すべりが確認され、トンネル施工に伴う緩みの影響からすべり挙動への誘発が懸念された。そのため、地質調査および現地踏査結果からすべり規模を推定し、その抑制対策として、両坑口部に「押え盛土併用アンカー工」を採用した。また、トンネル掘削の緩み抑制対策を計画した事例について紹介する。

キーワード 円弧すべり, 押え盛土, アンカー工, 先受け工, 鏡補強工

1. はじめに

国道303号の今回計画区間は、一応の道路整備は終わっているものの、約50年間前の規格で整備されている。事故等の解消を図るため、高島土木事務所ではバイパス区間を含む全体4.1kmについて、2009年から事業に取り組んでいるところである。

本トンネルは、同区間内に位置する延長294mの山岳トンネルであるが、両坑口部において円弧すべりが確認され、トンネル施工に伴う緩みの影響からすべり挙動への誘発が懸念された。そのため、円弧すべりの抑制対策として地表面およびトンネル坑内からの対策工を計画した。

図-1に事業全体の計画平面図を示す。

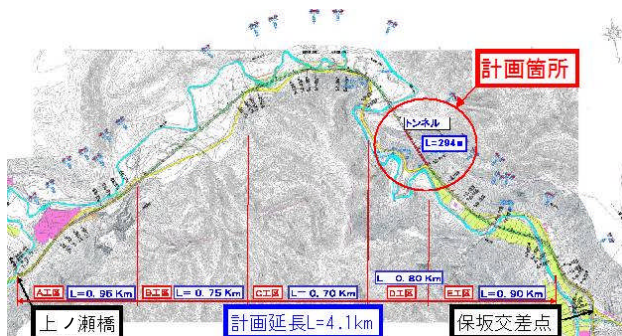


図-1 計画平面図

2. 地形・地質概要

(1)地形概要

石田川の浸食により、トンネル計画区間の山地は痩せ尾根となり、河道沿いには段丘地形が形成されている。

起点側坑口付近は、段丘地形と山麓の境界部に相当し、石田川の旧河道沿いに位置し、側方浸食の影響により岩盤の凹凸は著しいと考えられる。終点側坑口付近は石田川の現河道の攻撃斜面に位置する。現道の供用以前には、斜面末端部が浸食されていたと考えられ、斜面の不安定化が進行していたと想定される。

(2)地質概要

計画地の地質図を図-2に示す。計画地付近では、中生代三畳紀からジュラ紀にかけて形成された丹波帯の棕川コンプレックスと、新生代第四紀に形成された段丘堆積物、崖錐堆積物、沖積層が分布する。

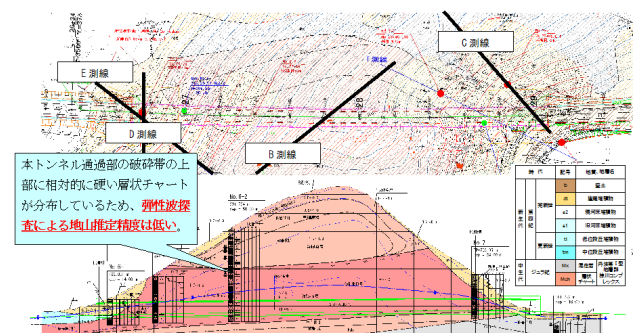


図-2 地質平面・縦断図

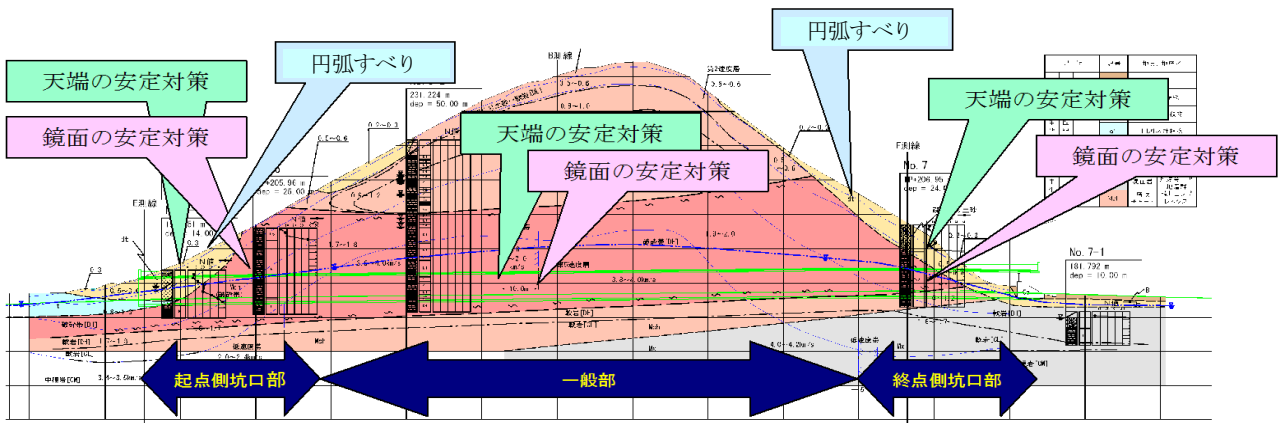


図-3 本トンネルの技術的課題

3. 技術的課題

本トンネルにおける技術的課題（図-3参照）としては、地形・地質条件から以下が考えられる。

- ①両坑口部における円弧すべりの滑動，偏土圧作用。
- ②未固結地山における天端・切羽面の不安定化。

①については，両坑口部の円弧すべりをトンネルが通過することによって円弧すべり土塊の滑動が懸念される。

②については，トンネル全線に破碎帯が分布し，ボーリングコアからも礫状の未固結地山が確認されていることから，トンネル掘削に伴い天端の安定および切羽面の安定が課題となる。

a) 起点側坑口

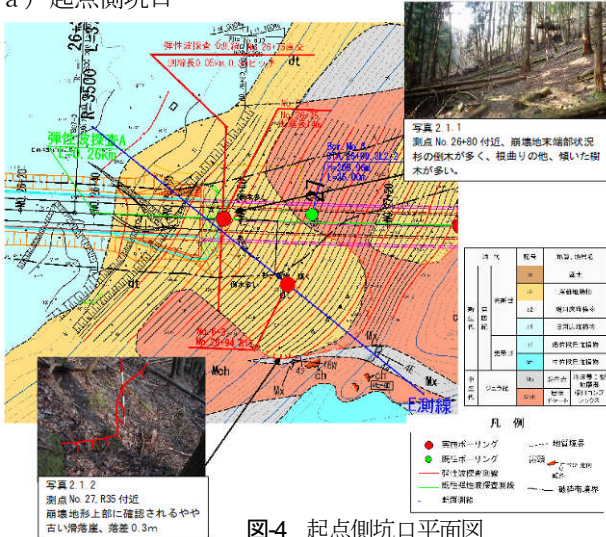


図-4 起点側坑口平面図

斜面上方R側に古い崩壊地形がある。崩壊地末端部付近では深度9mまで崖錐堆積物が確認された。地形状況から深層崩壊跡と推定される。

b) 終点側坑口

現地状況から，崩壊地には円弧すべりが分布する可能性がある。地表踏査結果から，トンネル上方での崩壊地では，最近滑動したと判断されるような明瞭な滑落崖は確認されない。また，道路沿いの落石防護擁壁にも亀裂は確認されない。以上から，トンネル計画沿いに想定される円弧すべりは現時点では滑動性が低いものと考えられる。ただし，傾いた樹木が多数確認されることから，表層が個別に不安定化している可能性はある。

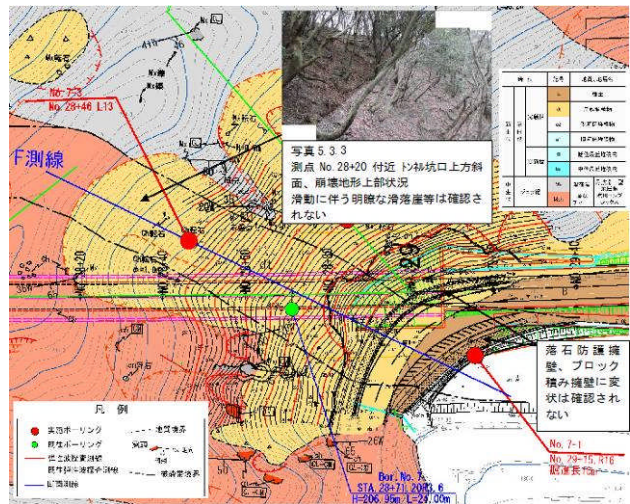


図-6 終点側坑口平面図

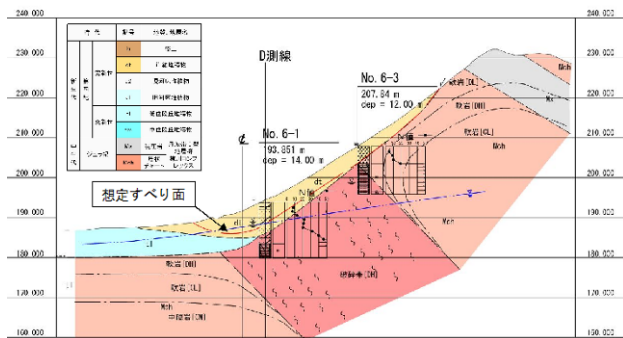


図-5 E測線地質断面図

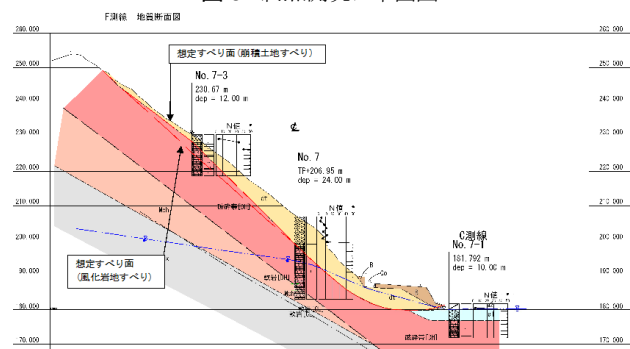


図-7 F測線地質断面図

4. 技術的課題に対する解決策

(1) 円弧すべり抑止対策

①安定解析

想定される円弧すべり面に対し、トンネル掘削による地山欠損の影響を加味して、すべり安定解析を実施した。安定解析手法は、「道路土工 切土工・斜面安定工指針」に規定されている修正フェレニウス法を、トンネル掘削の影響評価は「設計要領第一集 NEXCO」の規定に従い低減を行った。なお、保全対象が国道 303 号、および石田川となり重要度が高いため、計画安全率は $F_s=1.20$ とした。

安定解析結果は、表-1のとおり全ての解析断面において、計画安全率 $F_s=1.20$ を下回り、すべり対策工が必要と判断される結果となった。

表-1 安定解析結果一覧

■E測線						
CASE	安全率 F_s	すべり面強度			計画安全率 Pf_s	必要抑止力 $Pr(kN/m)$
		○φパターン	粘着力C(kN/m ²)	内部摩擦角φ(°)		
現況時	1.000	標準部	5.0	23.34	1.200	427.9
トンネル考慮時	0.668	標準部	5.0	23.34	1.200	1146.1
		緩み領域部	4.5	22.49		
		TN欠損部	3.6	16.85		

■F測線						
CASE	安全率 F_s	すべり面強度			計画安全率 Pf_s	必要抑止力 $Pr(kN/m)$
		○φパターン	粘着力C(kN/m ²)	内部摩擦角φ(°)		
現況時	1.000	標準部	5.0	32.00	1.200	815.2
トンネル考慮時	0.941	標準部	5.0	32.00	1.200	1027.4
		緩み領域部	4.0	29.77		
		TN欠損部	3.3	22.31		
トンネル考慮時(道路面掘削)	0.773	標準部	5.0	32.00	1.200	1445.9
		緩み領域部	4.0	29.77		

■C測線						
CASE	安全率 F_s	すべり面強度			計画安全率 Pf_s	必要抑止力 $Pr(kN/m)$
		○φパターン	粘着力C(kN/m ²)	内部摩擦角φ(°)		
現況時	1.000	標準部	5.0	31.20	1.200	922.6
トンネル考慮時	1.025	標準部	5.0	31.20	1.200	838.6
		緩み領域部	3.0	26.52		
		TN欠損部	0.0	0.00		

②斜面安定対策

地すべり対策工法を比較対象とし、抑制工、抑止工の中から、当地に適用可能な対策工を3案抽出し、比較検討を行った。

第1案：押え盛土工

第2案：排土工

第3案：押え盛土併用アンカー工

比較検討の結果、最も経済的となる「押え盛土併用アンカー工」に決定した。

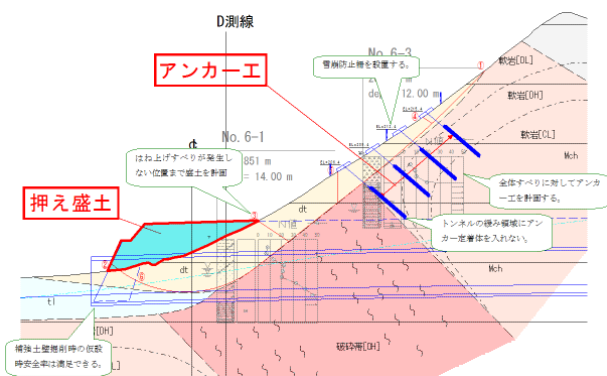


図-8 E測線地質断面図

(2) 天端・切羽安定対策

①一次選定

表-2により補助工法の一次選定を行う。

a) 先受工：注入式フォアポーリング、長尺鋼管フォアパイリング

b) 切羽面の補強：鏡吹付コンクリート、鏡ボルト
先受け工について、フォアポーリングは3.0m程度の充填ボルトを天端部に挿入し地山を拘束するものであるが、地山改良は期待できず十分な先受け効果が得られないことから採用不可である。パイプルーフ、水平ジェットグラウト、プレライニングは、地表に重要構造物等を有する場合の極めて剛性が高い工法であり、専用機械も必要で工費が高く、当該条件において過大である。

表-2 補助工法の一次選定¹⁾一部加筆

工法	目的と適用地山	補助工法の目的				適用地山条件 土砂
		安定対策	天端の	鏡面の安定対策	沈下対策 地表面	
先受工	フォアポーリング	◎	○	○	◎	
	注入式フォアポーリング	◎	○	○	◎	
	長尺鋼管フォアパイリング	○	○	○	◎	
	パイプルーフ	○	○	◎	○	
	水平ジェットグラウト	○	○	○	○	
鏡面の補強	プレライニング	○	○	○	○	
	鏡吹付コンクリート		◎	◎	◎	
	鏡ボルト		◎	○	○	

◎：比較的良好に用いられる工法、○：場合によって用いられる工法

②二次選定

a) 先受工

円弧すべり影響区間における先受け工について、表-3に示すように、経済性は若干高いが地山のゆるみ抑制効果が高く円弧すべりの誘発に対して抑制効果を発揮する長尺鋼管フォアパイリングを採用する。

表-3 補助工法の二次選定

比較項目	注入式フォアポーリング	長尺鋼管フォアパイリング
工法概要	切羽面から上半アーチ外周部に5m未満の短尺ボルトを打設し、急硬性注入材にて地山改良する工法。	切羽面から上半アーチ外周部に10m以上の長尺鋼管を打設し、セメントやウレタンで地山改良する工法。
天端・鏡面安定効果	○ 効果は同程度	○ 効果は同程度
ゆるみ抑制効果	△ 円弧すべり抑制効果に不安が残る。	◎ 円弧すべり抑制効果が高い。
施工性	○ 専用機不要	○ 専用機不要
経済性	135万円/m	150万円/円
評価	△	○

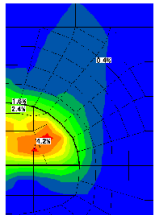
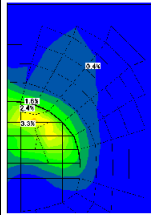
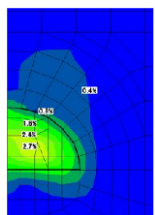
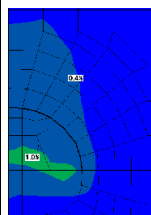
b) 切羽面の補強

鏡面の補強について、表-4の検討結果および表-5の解析結果により切羽の自立性が困難であることから、鏡面の安定対策として鏡吹付けコンクリートと鏡ボルトを採用する。図-9に対策工概要を示す。

表-4 切羽安定性評価の検討結果一覧

検討手法	検討結果	備考
1. 見かけの弾性係数と土被り比による実績	切羽評価は 不安定～崩壊	
2. 切羽安定に必要な $c/\gamma D$ と土被り比、内部摩擦角の関係	粘着力 10kN/m ³ の場合、 崩壊 粘着力 45kN/m ³ の場合、 安定	
3. 極限解析法： 杭山の式	粘着力 10kN/m ³ の場合 坑口部： 切羽の自立性が悪い ゆるみは切羽前方 3.0m 水平押し力 166.2kN 一般部： 切羽の自立性が悪い ゆるみは切羽前方 1.5m 水平押し力 167.8kN 粘着力 45kN/m ³ の場合、 坑口部、一般部ともに 安定	坑口部：産雑性堆積物 一般部：破砕帯（層状チャート）
4. 極限解析法： 簡易安定計算法	粘着力 10kN/m ³ の場合、安全率 0.38 安全率を満足しない 粘着力 45kN/m ³ の場合、安全率 0.70 安全率を満足しない	
5. 数値解析法	補助工法なし、核残し、長尺鋼管フォアパイリングでは限界ひずみの上限値を超えるため 切羽の自立が懸念 される。一方、長尺 GFRP 鏡補強工を入れることで切羽は 安定 する。	

表-5 解析的手法による切羽安定性評価

ケース① 補助工法無し	ケース② 核残し
 <p>24%以上のひずみ領域が鏡部に発生し、切羽の安定性の確保が懸念される。 ×</p>	 <p>24%以上のひずみ領域が鏡部に発生し、切羽の安定性の確保が懸念される。 ×</p>
ケース③ 長尺鋼管先受け工 (φ114.3)	ケース④ 長尺鋼管先受け工 (φ76.3) +長尺GFRP鏡補強工
 <p>24%以上のひずみ領域が鏡部に発生し、切羽の安定性の確保が懸念される。 ×</p>	 <p>24%以上のひずみは発生せず、他のケースに比較し、切羽の安定性が確保されている。 ○</p>

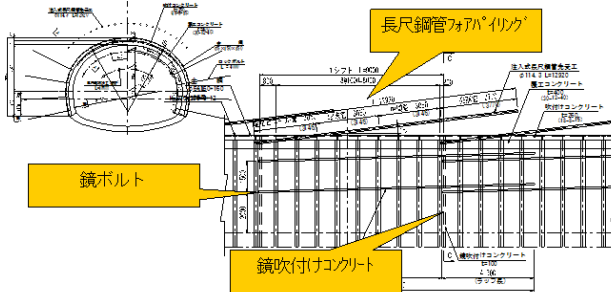


図-9 天端・切羽安定対策概要図

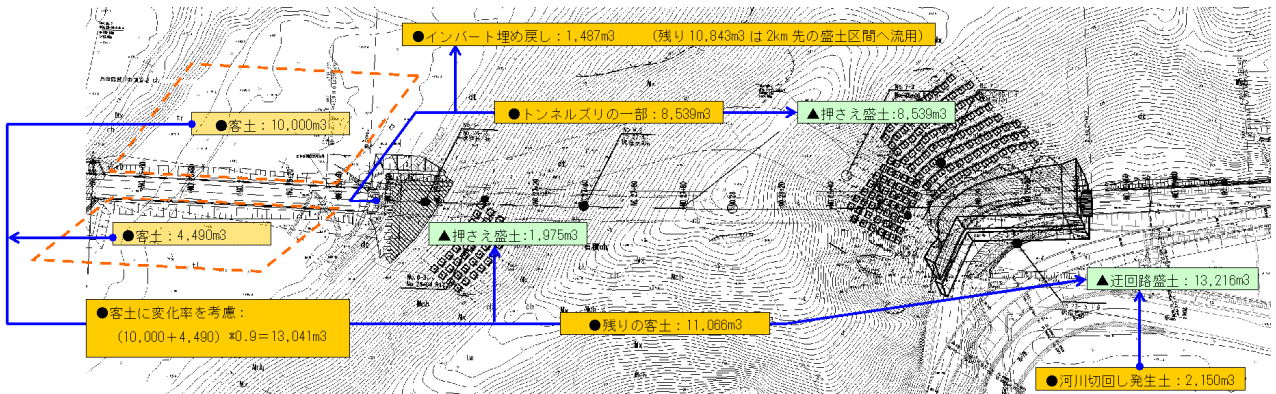


図-10 工事区間における土配計画

項目	対象数量	2011												2012												備考
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
河川切回し	L= 120m	←												←												
迂回路工事	L= 280m V=12,750m ³	←												←												数量/日当り工期/稼働率
起点側坑口押し盛土	V= 2,450m ³	←												←												12750/500/0.73=35
起点側坑口法面補強工	n= 36本	←												←												2450/150/0.73=22
終点側付替道路		←												←												36/1.0/0.73=49
起点側からトンネル掘削	L= 297m	←												←												準備工 (0.0) → (3.0) → (8.0) → (12.3) → 掘削・覆工・排水工
舗装工	L= 297m	←												←												【トンネル工程表より】
照明・防災設備	L= 297m	←												←												3ヶ月
終点側地盤改良工	n1= 80本 n2= 230本	←												←												230/2.0/0.73=158
終点側坑口押し盛土	V=7,650m ³	←												←												7650/150/0.73=70
終点側坑口法面補強工	n= 190本	←												←												190/2.0/0.73=130
附帯工工事 (落石防止柵、排水工)	起点 215m 終点 450m	←												←												215/5/0.73=59, 450/5/0.73=123

図-11 工事区間における工事工程計画

5. 施工ステップの工夫

工事区間における土配計画および工事工程計画について図-10, 図-11に示す。

施工手順としては、図-12の通りとなる。

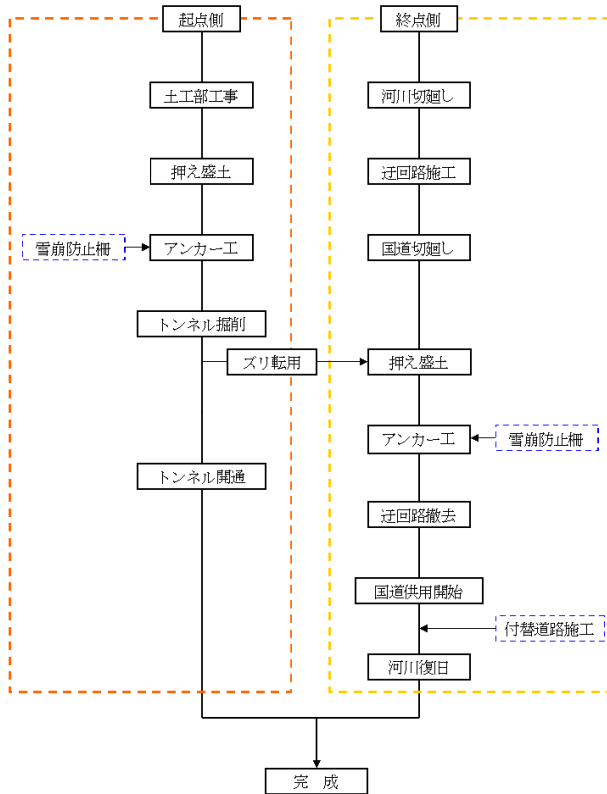


図-12 施工順序図

工事着手時に必要となる起点側の押え盛土については、路線に流用できる残土等が存在しないため、仮設ヤード造成により生じる土砂や他工事から流用する方針とする。終点側の押え盛土も、仮設ヤード造成やトンネル掘削ズリを転用しながら施工する方針とする。

6. おわりに

本計画においては、法面对策の明かり工事とトンネル工事とが一体となって進行しないと成しえない工事であり、工事の安全を確保するためには、十分な計測等による安全監視が必要である。今後は、地山状況の変化に対応しながら適切な地山評価および対策工の検証を行う所存である。順調に進めば、2014年6月に工事完了予定である。工事中の安全を確保しつつ、一日も早く供用できるよう努力したいと考えている。

謝辞：本報告は平成21年度第B3R1-05号のトンネル詳細設計での検討事項を基に作成しました。本稿作成にあたり改めて御教示いただいた、株式会社エイト日本技術開発関西支社の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説，平成 15 年 11 月