

# 一般国道230号新ルートにおけるトンネル工事報告

Tunnel construction on the new route of national highway route 230

北海道開発局室蘭開発建設部 ○正会員 山田弘幸(Hiroyuki Yamada)  
 北海道開発局室蘭開発建設部 正会員 東 茂(Shigeru Azuma)  
 北海道開発局室蘭開発建設部 正会員 小尾 稔(Minoru Obi)  
 北海道開発局室蘭開発建設部 正会員 佐藤昌志(Masashi Satoh)

## 1. はじめに

一般国道230号は、道央圏～西胆振圏～道南圏の社会・経済・生活活動において極めて重要な役割を担うとともに、国道37号と有珠山の噴火以前には年間708万人の観光客の入り込みを有した洞爺湖温泉街地区を連結し、観光産業や地域住民の生活を支えている広域幹線道路である。

2000年3月31日の有珠山噴火により、道路上に噴火口や断層が発生し、現ルートでの復旧は困難となり、新たなルートでの整備を進めることになった。(ルート選定については、「2000年有珠山噴火による一般国道230号の復旧対応と効果検証」という題目で投稿している。)

本稿では、新たなルート(以降、新ルートと称す)全延長4.6kmのうち約80%を占める2本のトンネルの設計・施工時における技術的な検討事項について報告するものである。

## 2. 新ルートおよびトンネルの設計

図-1に新ルート位置図を示す。新ルートは、洞爺湖側の珍小島から太平洋側の清水地区を結ぶ延長約4.6kmである。ルートの選定にあたっては、「有珠山火山災害道路復旧委員会」(2000年9月発足、委員長角田與史雄北海道大学工学部教授ほか12名)を設立し、理学、工学の観点から助言を受けながら、①有珠山の火山活動に対する防災性(噴石、火砕サージ、火砕流に襲われる可能性のある区域を回避)、②国道としての幹線性、③洞爺湖温泉街地区をはじめとする西胆振地域の早期復興支援、④避難路としての活用性等を考慮して決定した

1)。この結果、新ルートの約80%は、三豊トンネル、青葉トンネルの2本のトンネルが占めている。

図-2にトンネルの標準断面図を示す。トンネル坑口は、今回の噴火で被災しなかった北海道電力導水路トンネルより西側に設けた。トンネル内には今後の噴火災害



図-1 新ルート位置図



写真-1 三豊トンネルの非常駐車帯

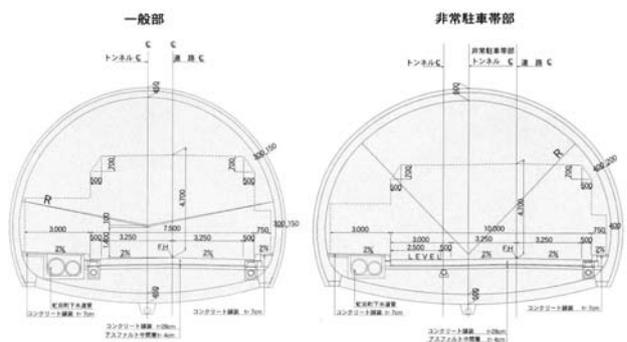


図-2 トンネル断面図

に備え、幅 3.0m の歩道を設け避難路としての機能を持たせた。さらにトンネル内には避難スペースを兼ねた幅 3.0m の非常駐車帯を設けたが、特に三豊トンネルの洞爺湖側坑口から約 100m の位置にも非常駐車帯を設けた。写真-1 に非常駐車帯を示す。

### 3. 既設導水路トンネルとの近接交差部の施工<sup>2)</sup>

新ルートは将来想定される噴火による被害を受けないエリアに計画されたため、青葉トンネルと、洞爺湖水を導水して発電する目的で昭和 14 年に建設された内径 3.5m の導水路トンネルとの間に、鉛直離隔約 11m、平面角度約 25° で交差する箇所が生じた。図-3 に青葉トンネル平面図・縦断面図を示す。

図-4 に導水路交差部地質断面図を示す。導水路トンネル交差区間の地質は、月浦溶岩の変質岩から構成され、変質の程度や分布が複雑で地山性状も不均一である。このため、青葉トンネルの掘削時に塑性地圧の発生や掘削時の緩みに起因する悪影響が及ぶ可能性があった。そこで、青葉トンネルの掘削が導水路トンネルに与える影響や掘削時の対策工法を検討するため有識者で構成される「一般国道 230 号洞爺道路トンネル技術検討会」（座長三上隆北海道大学教授ほか 5 名）を設立し、その指導のもと三次元 FEM 解析を行い、補助工法の計画や管理基準値、計測管理手法の設定を行った。図-5 に解析対象俯瞰図を示す。解析対象範囲は、交差部を中心として縦 250m 横 240m の範囲とした。また、施工時における逆解析では効率的な掘削ができないこと、三次元 FEM 解析で表現できない詳細な施工ステップを評価するために、事前に二次元 FEM によるステップ解析を行った。

なお、三次元 FEM 解析の結果では、青葉トンネルの変位が導水路トンネルに与える影響が大きく、トンネルの変位を抑えるための補助工法が必要となった。

このため、青葉トンネルの天端沈下と、導水路トンネルの底面沈下、覆工の応力、および傾斜角と相関関係から、青葉トンネルの変形を抑制することで導水路トンネルへの影響が抑制されるものとして管理した。このとき、導水路トンネルの覆工に発生する応力の管理基準値を覆工コンクリートの圧縮強度試験より求めた引張応力 (2.31MPa) 以下とし、傾斜角の管理基準値を「建築基礎構造物設計指針」（日本建築学会）の下限変形角 ( $0.3 \times 10^{-3} \text{rad}$ ) と設定した。そしてこれらの値を事前

に FEM 解析結果より逆算して青葉トンネルの天端変位の管理基準値を設定した。表-1 に管理基準値を示す。

交差部の施工にあたり、変形抑制に対して採用した補助工法は、AGF・180° 2 段、ウィングリップ、鏡吹付け、長尺鏡ボルト、高強度吹付コンクリートである。

交差部の影響の監視は、A 計測および坑内 B 計測をオ

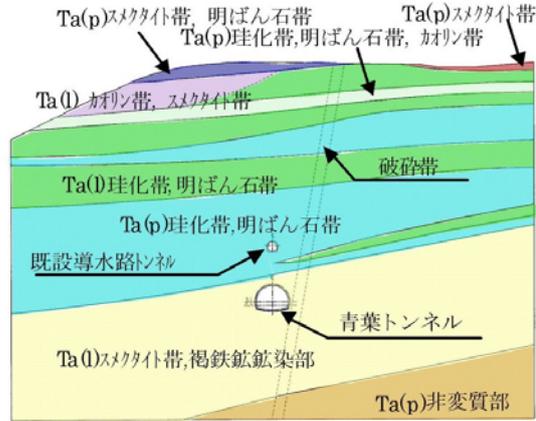


図-4 導水路交差部地質断面図

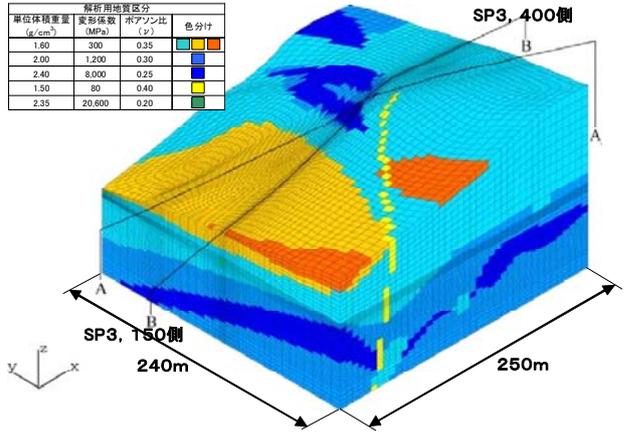


図-5 解析対象俯瞰図

表-1 管理基準値

		1次管理値	2次管理値	3次管理値
青葉トンネル	天端部絶対沈下量(mm) (+)隆起 (-)沈下	-15	-18	-25
導水路トンネル	覆工発生応力(MPa) (+)引張 (-)圧縮	2.0	-	-
	縦断方向最大傾斜角 ( $10^{-3} \text{rad}$ )	-	-	0.29

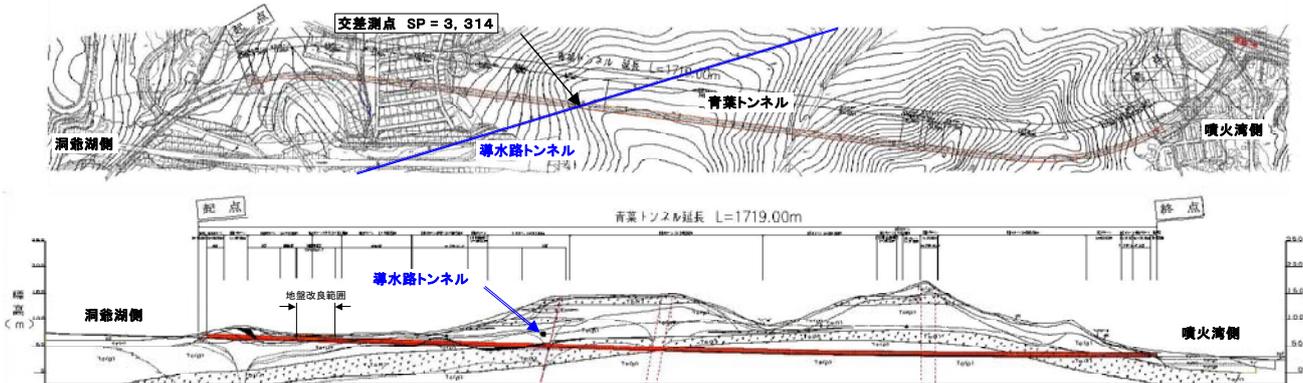


図-3 青葉トンネル平面図・縦断面図

ンライン方式で実施し、得られた値を二次元 FEM 解析による逆解析によって地山及び補助工法の評価に活用した。これらの結果、先行変位は微小であり、切羽通過後も変位は進行せず、緩み領域も最大でも 4m 程度と小さく、沈下量も 5.7mm 程度と管理レベル (15mm) を下回る良好な結果となり、導水路トンネルに影響を与えることなく施工することができた。

4. 低土被り部掘削における対策工<sup>3)</sup>

青葉トンネルの起点側約 150m 区間は、土被り 0.5D 以下 (最小は河川部で 28cm) の低土被り区間で、低盛土区間の地質はシルト及び火山灰質粘性土を主とする未固結堆積物が覆っており地下水位も高いことから、地表面沈下・切羽の崩壊等の危険性があった。

そこで、トンネル掘削補助工法の位置付けとしては初めてパワーブレンダー工法を採用し、地表面からの地盤改良を行った。パワーブレンダー工法は、地中にトレンチャー (攪拌翼) を挿入しスラリー状のセメント系固化材と原地盤を強制的に攪拌混合する地盤改良工法である。

図-6 に改良範囲縦断面図を示す。パワーブレンダー工法による改良範囲は、トンネル掘削時の天端崩落や地表面沈下抑制対策を目的としているため、トンネル 120° 範囲から上方、地表までの深さ約 8m とした。またパワーブレンダーの施工可能深度が 6m であったことから施工を 2 段階に分割した。

施工の結果、他のトンネル掘削補助工法 (AGF) を実施した区間と比較し、沈下量は約半分の 15mm 程度以下、コストは約 20% 縮減された。

5. 非鋼繊維補強覆工コンクリートの施工<sup>4)</sup>

復旧ルートに位置する 2 本のトンネルのうち、三豊ト

ンネルは、有珠山の火山活動による噴石、火砕サージ、火砕流に襲われる可能性のある区域に近接しているため、将来の再噴火により覆工が損傷を受ける可能性がある。

このため、覆工の靱性を向上させコンクリートの剥離、剥落を防止する目的で D II パターン以下の覆工に対し繊維補強コンクリートを採用した。

繊維コンクリートの配合は、日本道路公団「トンネル施工管理要領 繊維補強コンクリート編」を指標に検討を行った。また、繊維選定は、酸性硫酸塩土壌が確認されていることを考慮して行った。

繊維には、従来から採用されてきた鋼繊維と近年開発が進められてきた樹脂繊維があり、材質の違いで様々なものがあるが、繊維補強コンクリートとして実績や研究成果があり、十分な性能の確認が得られている鋼繊維、ビニロン、ポリプロピレンの 3 つについて検討を行った。表-2 に各繊維の比較検討結果を示す。

その結果、酸性硫酸塩土壌による錆の恐れがないこと、経済性などを考慮しポリプロピレンファイバー (L=48mm、W=1.0mm、t=0.5mm、繊維添加量 0.3% (容積比)) を採用した。

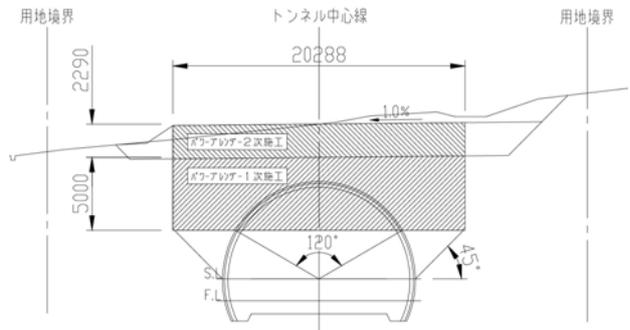


図-6 改良範囲横断面図

表-2 繊維補強材の比較検討結果

材 料	鋼繊維		ポリプロピレンファイバー		ビニロンファイバー	
	スチール		ポリプロピレン		ビニロン	
投 入	○	エアー圧送、または、ベルコン投入となる。エアー圧送機を使用することによりベルコン足場等の設備が不要。またエアーにてアジテーター車のドラム奥まで均一に練り混ぜが可能。	◎	送風による機械投入、または、手で投入となる。手投入の場合でも、もともと比重の軽い材料のため負荷は少ない。風の影響を受けやすく投入設備に強風対策は必要。	◎	送風による機械投入、または、手で投入となる。手投入の場合でも、もともと比重の軽い材料のため負荷は少ない。風の影響を受けやすく投入設備に強風対策は必要。
打 設	○	エアー圧送機を使用することで通常よりもファイバーが均一に混ざりスランプロスが少ないためトラブルが少ない。	○	比重が生コンに比べて軽いため、練り混ぜ時に上の方に片寄る傾向はあるが、問題となるレベルではない。	○	比重が生コンに比べて軽いため、練り混ぜ時に上の方に片寄る傾向はあるが、問題となるレベルではない。
強 度	◎	材料がスチールであるため安定した強度を確保できる。ファイバー系材料の中では最も高靱性。圧縮強度も高め。	○	樹脂のためスチールの様な高靱性は望めない。ただし、道路公団の基準は充分クリアする。	○	PPFよりも強度は得られるがスチールの様な高靱性は望めない。
耐 火 性	△	融解点が高いため、爆裂の恐れがある。	○	爆裂によるコンクリートへの影響は小さい。	○	爆裂によるコンクリートへの影響は小さい。
外 観	△	鉄線素材のため表面に出た場合には錆が発生する可能性がある。酸性硫酸塩土壌が確認されており、状況によっては錆びやすい環境となる恐れがある。	◎	表面に出ても錆の心配はない。	◎	表面に出ても錆の心配はない。
コ ス ト	△	樹脂ファイバーに比較して、割高となる。 ¥23,470/m <sup>3</sup> PPより¥1,900UP	○	比重が小さいため、添加重量が少なく、最も安価となる。 ¥21,570/m <sup>3</sup>	○	スチール > ビニロン > ポリプロピレン ¥22,770/m <sup>3</sup> PPより¥1,200UP
実 績	◎	従来より広い分野で使用されてきた。トンネル吹付け、覆工、法面等々	△	建築用土間等に多少使用実績はあるが、トンネル分野ではまだまだ少ない。	△	別の分野では実績はある様だが、トンネル分野ではほとんど無い。
総 合 評 価	○	高靱性の必要性と多くの実績、技術サービスにおいて最も適していると思われるが、扱いやすさやコストに弱点がある。	◎	道路公団の基準を満たした上、安価であり、扱いやすく、総合的に有利である。	○	コスト、効果とも中間に位置する。

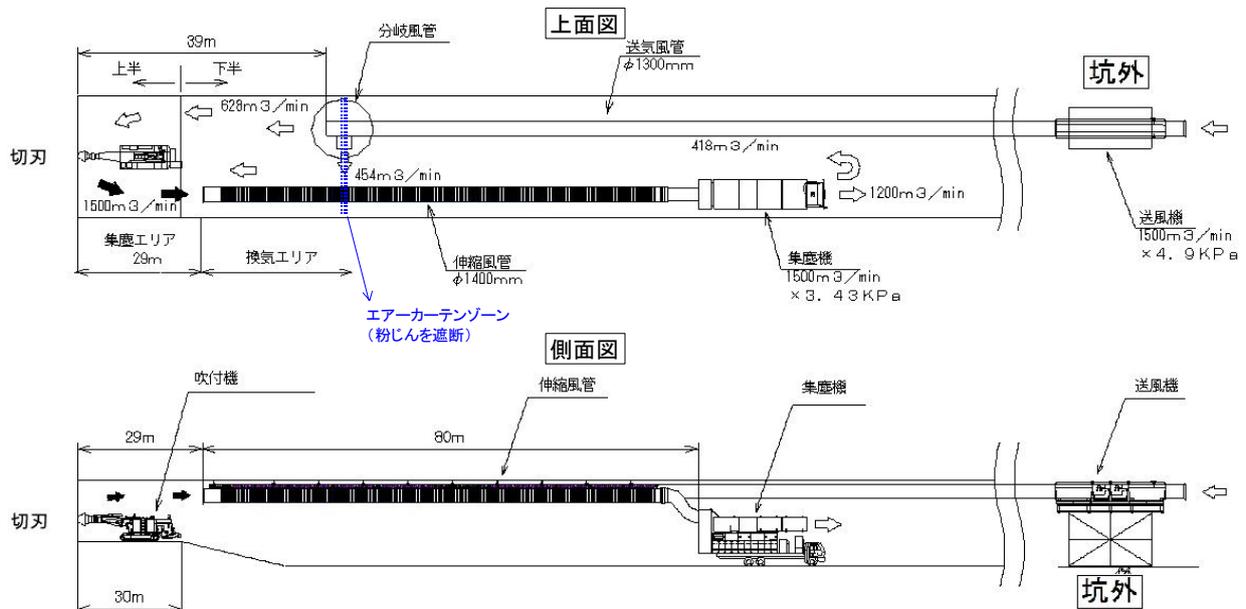


図-7 換気システム概念図

## 6. トンネル工事における新換気システムについて<sup>5)</sup>

厚生労働省が策定した「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」及び「ずい道等建設工事における換気技術指針」では、粉じん濃度の目標レベルは  $3\text{mg}/\text{m}^3$  以下とされている。しかし、青葉トンネルにおいては機械掘削により地山を粉碎しながら施工を行うため、地山の特性及び経験より、掘削時の粉じん濃度は  $10\text{mg}/\text{m}^3$  を超え、ズリ積込時においては  $7\sim 8\text{mg}/\text{m}^3$  と予想された。従来の希釈方式でこの規制値を満足するには、大容量の送風機と集じん機が必要となるなど設備だけで対応することには限界があった。そこで伸縮風管付集じん機と、風向・風量制御風管を組み合わせた新換気方式として土木研究所が官民共同研究として検証されていた「伸縮風管付集塵機と風向・風量制御風管を組合せた換気システム」を導入した。

図-7に換気システムの概念、写真-2に風管設置状況を示す。本システムの原理は、坑外の送風機から送気された清浄な空気が、風管の先端部に設けた分岐風管によって切羽面と側面に分流させ、この場所にエアーカーテンゾーンをつくり、切羽の濃度の高い粉じんを封じ込めるものである。封じ込めた粉じんを自在に伸縮できる伸縮風管で、上半・下半施工時の作業に支障を来すことなく、粉じん発生作業の近傍で直接吸引・捕集することで拡散が防止され、トンネル内を常に良好な環境に保つことができた。

## 7. おわりに

復旧ルートは、2007年3月28日に開通した。本新ルートを完成させる上で、ご指導・ご尽力を賜った委員会の皆様、円滑な事業進捗に関わった関係機関、地元関係者の皆様に深甚の謝意を表します。



写真-2 風管設置状況

左側：伸縮風管、右側：坑内送気風管・先端に分岐風管

## 参考文献

- 1) 中屋宏則、成瀬豊、柳原優登：有珠山噴火により被災した一般国道230号の復旧ルートの検討について、第45回(平成13年度)北海道開発局技術研究発表会
- 2) 高橋渉、荒野広、甲斐明：トンネル工事における近接交差部の計画・施工について一既設導水路トンネルと交差する青葉トンネルの事例一、第48回(平成16年度)北海道開発局技術研究発表会
- 3) 三並孝史、荒野広、佐野敦志：トンネル工事における低土被り掘削の事前対策について一地盤改良工(パワーブレンダー工法)の施工一、第47回(平成15年度)北海道開発局技術研究発表会
- 4) 前田公治、荒野広、佐野敦志：非鋼繊維補強覆工コンクリートの計画について一覆工の剥落防止における最適な非鋼繊維の選定一、第48回(平成16年度)北海道開発局技術研究発表会
- 5) 福田裕紀、荒野広、福原潤二：トンネル工事における新換気システムについて一伸縮式風管付集じん機と風向・風量制御風管併用による換気方式一、第48回(平成16年度)北海道開発局技術研究発表会