

# 【技術報告】 函館新外環状道路 函館市 見晴トンネル工事

伊藤・宮坂 特定建設工事共同企業体 齊藤 寛治

## 1. はじめに

函館新外環状道路は、函館 IC から函館空港 IC へ至る延長 10km の自動車専用道路である。

本事業は、高速ネットワークの拡充による近隣都市間の連絡機能の強化を図り、地域間の活性化及び重要港湾函館港・拠点空港函館空港への物流効率化等を支援するとともに、函館市内の交通混雑の緩和、交通事故の低減などを目的としている。見晴トンネル工事は、空港道路のうち函館市滝沢町から高丘町において、延長 799m の新規トンネルを建設するものである。

## 2. 工事概要

工事名：函館新外環状道路 函館市  
見晴トンネル工事  
発注者：北海道開発局 函館開発建設部  
工事場所：函館市滝沢町～高丘町  
工期：平成 28 年 10 月 6 日～平成 30 年 3 月 22 日  
工事内容（NATM 工法）

トンネル延長：L=799m  
内空断面積：66.4m<sup>2</sup>（DII パターン）  
掘削方式：機械掘削方式



図-1 位置図

掘削工法：上半先進ベンチカット工法  
掘削補助工法：AGF, 鏡ボルト, 鏡吹付け  
インバート吹付け, 増しRB

## 3. 地形・地質概要等

本トンネルは、函館市街地に近接した全長 799m の山岳トンネルである。本トンネルの特徴は、最大でも 26.5m しかない低土被り型のトンネルということに加え、強度が低くスレーキングによる劣化が生じやすい新第三紀主体の泥岩に、脆弱な変質安山岩が複雑に貫入した地質状況にある（次項写真-2）。

トンネルの地表面にはゴルフ場や函館市道があり、またトンネルの終点側には函館市の 1/3 という広範囲に水を供給している配水管φ800 が埋設されており、さらには携帯基地局の鉄塔も存在した。このため、先進ボーリング時に FEM 解析を実施して沈下量を予測し、地山状況に適した沈下対策を発注者と協議・検討しながらのトンネル掘削作業となった。



写真-1 見晴トンネル起点側坑口

本稿では、上記の沈下対策のほか、本工事における ICT の活用や、覆工コンクリート養生システムの開発などの取組み等について報告する。

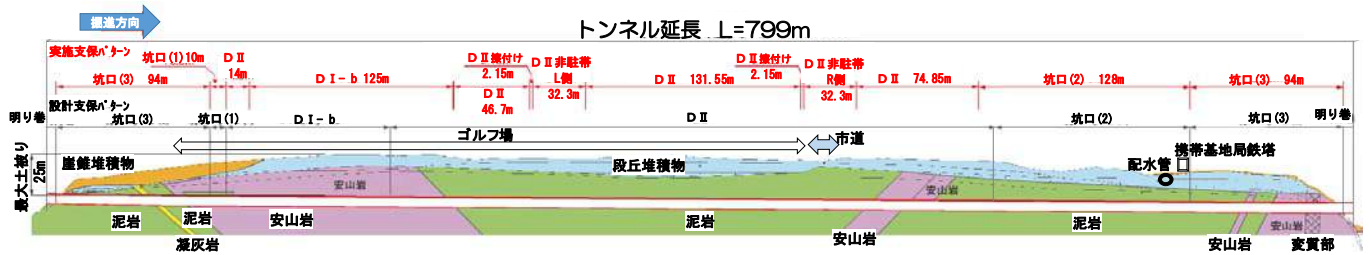


図-2 見晴トンネル縦断面図



写真-2 泥岩に安山岩が貫入した地質

#### 4. 本工事の取組み

##### (1) FEM 解析・前方探査

低土被り地形で一軸圧縮強度が 5MPa 程度と脆弱な泥岩が主体の本トンネルを掘削するにあたり、地表面沈下の許容値は、現場の諸条件からゴルフ場：50mm、道路直下：40mm、配水管：30mm、鉄塔基礎：20mm と設定された。このため、トンネルや地表面の沈下を事前に把握して適切な対策工を選定する必要があることから、先進ボーリングで得た物性値を基に二次元 FEM 解析(図-3)を実施して、トンネル天端と地表面の沈下量を予測した。

解析では、AGFの有無、インバート早期閉合、ロックボルトの長さ等の検討を実施し、切羽状況やそれまでの計測結果と照合して、地山状況に適した対策工について、発注者と随時協議を行った。

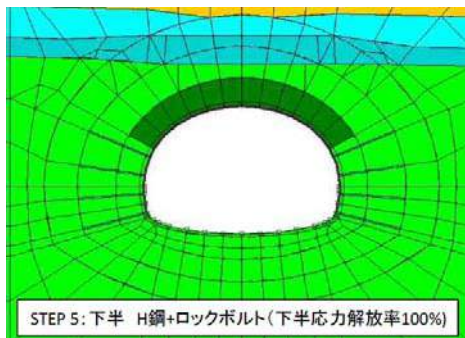


図-3 二次元 FEM 解析

また、掘削作業の安全を確保するうえで、泥岩と安山岩の地質変化点での走向傾斜や、脆弱箇所を事前に把握するため、穿孔探査法 DRISS を天端と左右側壁の 3 箇所 (L=30m/本) で実施した。穿孔時には図-4 のように 1m 毎にスライムを採取して、穿孔エネルギーと比較して地質状況をより正確に把握するとともに、切羽状況を不安定化させる粘土質の混在等についても事前に把握する計画とした。

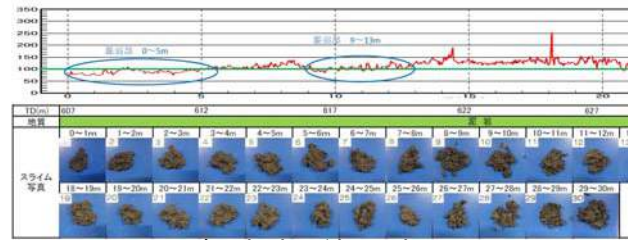


図-4 穿孔探査の結果と削孔スライム

##### (2) 沈下管理とトンネル掘削の方法

掘削機械には 200kw 級の自由断面掘削機を使用し、トンネル掘削面を早期に支保するためベンチ長を 1D (L=12m) 程度に抑えたうえで、補助工法 AGF を施工しながら掘削作業を進めていった。その結果、ゴルフ場や道路直下における地表面の沈下は、許容値以内に収まり、切羽との離れが 5D (60m) 程度で収束することも確認した。



写真-3 トンネル掘削作業



地表面沈下の許容値が 30mm と厳しい配水管 φ800 の直下部は、まず電磁探査を実施して、40 年以上前に埋設された管の位置と深さを特定した。また、配水管直下部を掘削する 8m 手前には、地中の動きを把握する目的でトンネルセンター上に地中変位計を設置し、この測定結果を直下部の掘削作業にフィードバックさせる計画とした。さらに、配水管の直上には、設定した閾値を超過した際に警報メールを送信できる GPS 自動計測機を設置し、地表面変位の常時観測を行うこととした（図-5、写真-4）。

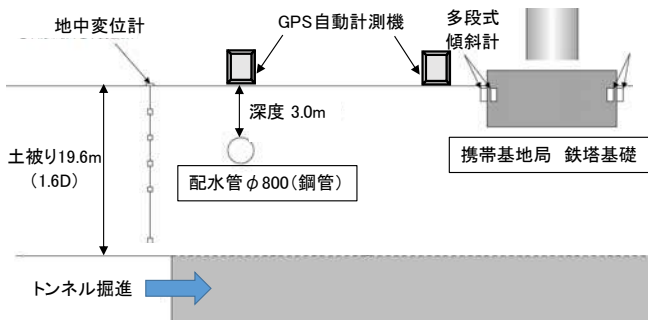


図-5 配水管と鉄塔基礎部の計測管理概念図

携帯基地局の鉄塔基礎部も同様に GPS 自動計測機による常時観測やレベルによる相対沈下（管理基準値 8mm）を計測するとともに、コンクリート基礎に傾斜計を設置し、変形角の管理基準値（ $1.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ ）を設定し、鉄塔の傾斜を監視する計画とした。



写真-4 GPS 自動計測機

このインフラ直下部のトンネルの掘削・支保パターンは坑口(3)パターンであり、沈下量を最小限に抑制する目的で、掘削のゆるみ領域外に定着するように、ロックボルトの長さを4mから6mに変更した。

また、インバートコンクリートの厚さ 50cmのうち、底部の 20cm をインバート吹付け（写真-5）として施工し、早期閉合を掘削サイクルに取り込んだ。

吹付けコンクリートは、インバート本体工の配合強度を満足し、且つ早期の埋戻しが可能となるように高強度配合（ $\sigma_{3h}=2\text{N/mm}^2$ 、 $\sigma_{28}=36\text{N/mm}^2$ ）

を採用した。



写真-5 インバート吹付けによる早期閉合

トンネルの掘削方法は、早期閉合の利点を最大限に活かすため、ベンチ長を 6m～8m として①上半 2m→②下半 2m→③インバート吹付け 2m の掘削・支保のサイクル（図-6）で施工し、上半切羽から 1D(12m)離れの位置で安定したリング構造体を速やかに構築する計画とした。坑内の A 計測については、測定間隔を通常の倍の頻度となる 5m として、監視体制を強化した。

なお、地表面の沈下量が管理規準レベル I（15mm）を超過した際は、ベンチ長を更に短くする、その他補助工法を検討する等を受発注者間で事前に協議したうえで、当該箇所掘削作業を開始した。

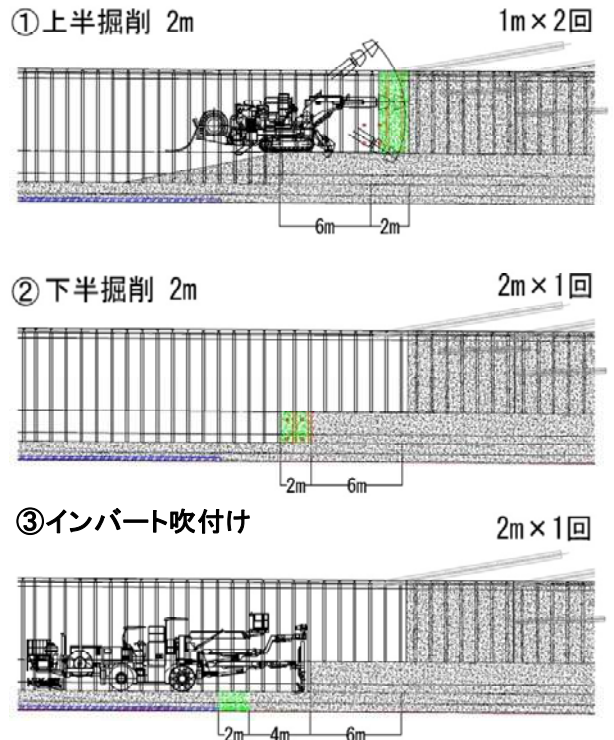


図-6 配水管直下部のトンネル掘削方法

上記の沈下管理とトンネル掘削方法を採用した結果、配水管直上部及び鉄塔基礎周辺部における地表面沈下は 10～13mm に収まり、インフラ施設への影響を避けることができた。

**(3) 各種 ICT 技術への取組み**

**① 3D レーザースキャナによる出来形計測**

トンネル覆工の出来形管理の省力化、及び国土交通省「レーザースキャナを用いた出来形管理の試行要領（案）（トンネル編）H29年3月」への対応として、本工事では NETIS 登録技術である三次元レーザースキャナ「3D-TUBE（写真-6）」を採用した。一次覆工の吹付け面、二次覆工の仕上り面をそれぞれ計測して、覆工コンクリートの巻厚を面的に確認するシステムである。計測した点群データも巻厚の合否により色分けされて一目瞭然となり、出来形計測の省略化や維持管理におけるデータとしても活用することができる。

普及させていくうえでの今後の課題として、掘削時の送風管、給排水管、電線など仮設備の補正方法の省略化や、各社とも比較的高価なシステム使用料が挙げられる。

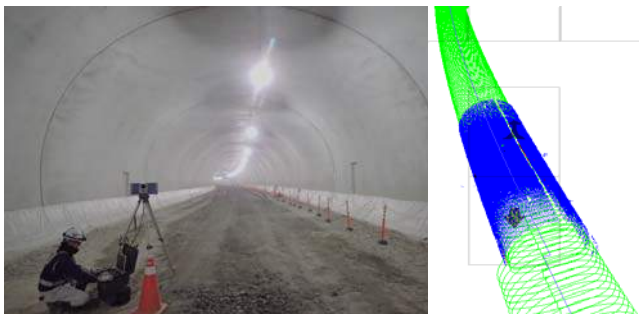


写真-6 3D 計測状況と点群データ

**② スマートセンサ型枠による脱型強度の確認**

脱型時のコンクリート強度 (2.94N/mm<sup>2</sup>) の確認に、本工事では NETIS 登録技術である「スマートセンサ型枠システム（図-7）」を採用した。本システムは、セントルの 15 箇所（3 断面×5 箇所）に設置したセンサーでコンクリート表面温度を測定して、脱型強度を面的に推定するものであり、センサーの

脱着が不要、無線 LAN でデータを回収（写真-7）、測定結果グラフの自動作成という利点があり、省力化を図りながら、品質確保に寄与することができる。



図-7 スマートセンサ型枠システム



写真-7 無線 LAN によるデータ収集

**③ ドローン計測と 3D モデル CIM の活用**

貫通点側の坑口において、ドローンを使用して現況を計測した地形図に坑門工、置換基礎コンクリート、ソイルセメント盛土、擁壁工の図形を挿入し、現況を反映した 3D モデル CIM を作成した（図-8）。

このモデルは、配水管や鉄塔基礎の管理者と協議する際にも、現地条件を説明しやすい資料として活用することができた。また、複数の工種を施工する貫通点側の仮設備計画の立案や、現場作業員への工程説明資料や安全教育の資料としても効果的に活用した。



図-8 現地条件を反映させた 3D モデル CIM



#### (4) 覆工コンクリートの養生システム開発

本工事では「100年先でも丈夫なトンネルを目指そう!!」というスローガンのもと、覆工コンクリートの品質向上のため、作業手順の検討会～コンクリート配合の検討～ひび割れ対策の実施～打設方法の工夫・改善～養生方法～品質確認(透気性試験)と、各施工段階において様々な創意工夫を凝らしている。その中でも、本稿では覆工コンクリートの養生として開発に取り組んでいる「ハイブリッド養生システム(写真-8、図-9)」の概要について述べる。



写真-8 ハイブリッド養生システム

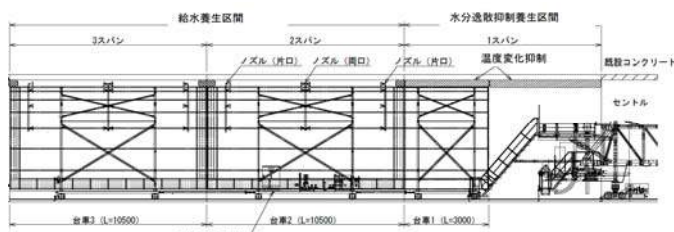


図-9 ハイブリッド養生システム側面図

この養生システムでは、まず脱型直後の覆工表面に隔壁シートを密着させて、コンクリート表面からの水分逸散を抑制する養生を行う。この養生を行うことで、コンクリート表面と内部の温度差を低減させて、ひび割れの発生を抑制する効果もある。

その後のスパンでは、隔壁により密閉性の高い養生空間を設けて、特殊ノズルで  $65\mu\text{m}$  のミストを噴霧して給水養生を行い、コンクリート表面の緻密化に寄与する。養生空間には湿度計が設置されており、設定した湿度の閾値以下になるとミストが自動

的に噴霧される。本工事では、透気性試験を毎スパン実施して(写真-9)ハイブリッド養生システムの導入効果を随時確認している。

本システムは、その品質向上の効果を認定され、2019年4月、新技術情報提供システム NETIS に HK-190001-A として登録された。



写真-9 透気性試験の実施

#### (5) 安全の見える化への取組み

現場におけるリスクを作業者が判り易いように視覚的にすること、及び見学者が多い本工事において建設業やトンネル工事のイメージアップを図りたい、という目的のもと作業所全体で「安全の見える化」に取り組んでいる。

以下、本工事における取組みを数例紹介する。

##### ① 監視員・誘導員の見える化

切羽監視責任者や大型車両の誘導員のヘルメットには、360度発光するフラッシュリングを付けて重機・車両との接触防止対策としている。また、作業当日の切羽監視責任者は、坑内の安全掲示板に顔写真付きで掲示して、関係者に分かりやすく周知した(写真-10)。



写真-10 切羽監視責任者の見える化

## ② 作業内容の見える化

本トンネルの坑口と坑内の安全通路には電光掲示板と、2色のパトライトを設置して坑内の作業状況と、立入可・立入禁止を作業者及び第3者に判り易く明示している（写真-11）。



写真-11 坑内作業状況の見える化

## ③ 安全メッセージの見える化

視認性が高い電光掲示板（デジタル文字シート、写真-12）を活用して、安全メッセージを判り易く表示した。なお、本工事におけるこの取組みは厚生労働省の平成 29 年度の安全の見えるコンクールで優良事例に選出された。



写真-12 電光掲示板による安全メッセージ

## 5. おわりに

平成 29 年 2 月から着手したトンネル掘削は、平均 43m/月の速度で進み、約 1 年半かけて平成 30 年 8 月に本貫通を迎えた。

本工事では、周辺町内会の方々を中心とした現場見学会（写真-13）を数多く開催することができました。地域住民の方々と身近に接して、コミュニケーションを深めることで、工事の円滑な進捗に寄与することができたと、自負している。



写真-13 地元町内会による現場見学会

本工事のように、市街地に隣接した山岳トンネル工事では周辺環境へ与える影響が大きいことから、受発注者間の情報共有に基づいたコミュニケーションは特に重要だと改めて実感した次第である。

最後に、本工事に携わったすべての関係者に心より謝意を表す。

以上