

最小土かぶり 1.5 m の河川直下における施工計画および施工報告 Construction Plan and Report for Tunnel Excavation Underneath a River with a Minimum Soil Cover of 1.5 m

種田 智憲* 岡村 貴彦*
Tomonori Taneda Takahiko Okamura
諏訪 至**
Itaru Suwa

要 約

磐石トンネルは設計当初下二股川を渡河する橋梁が計画されていたため、当区間は祭礼トンネルと2本で構成されていた。しかしながら、①建設時に、磐石トンネル出口から坑内へ河川水の流入を防止するため、砂防堰堤および流路工といった大規模な対策が必要になる。②河川部を渡河する橋りょうは、河川内に橋脚を設置する必要があるため、基礎の洗堀防止および躯体防護のための護岸工が必要になる。

上記①、②に示す理由により縦断勾配の線形を見直し、磐石トンネルと祭礼トンネルを一本化し、全長6,710 mの磐石トンネルに計画変更された。トンネルの一本化により、河川直下を小土かぶり掘削する必要があったため、現況河川の切り回しや施工方法が課題となった。本稿では、河川直下での小土かぶり区間における施工計画および施工結果について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 小土かぶり部周辺の地形・地質と施工計画
- § 3. 地上部の施工
- § 4. トンネル部の施工
- § 5. 考察

§ 1. はじめに

磐石トンネルは北海道新幹線札幌延伸事業のうち、新函館北斗・新八雲（仮称）間に位置する全長L=6,710 mの山岳トンネルであり、当工区はその中間に位置する本坑L=3,150 mと斜坑L=450 mのトンネル工事である。

磐石トンネルは設計当初、下二股川を渡河する橋梁が計画されていたため、当区間は祭礼トンネルと2本で構成されていた。工事入手後、縦断勾配の線形を見直し、磐石トンネルと祭礼トンネルを一本化する計画に変更された（図-1）。トンネルの一本化により、当工事では河川直下を小土かぶり（約140 m区間が1D以下、最小土かぶり1.5 m）でのトンネル掘削が必要とされたため、現況河川の切り回しや低土かぶり区間の施工方法が課題となった。

本稿は当工区の札幌方において最小土かぶり1.5 mの河川下に施工するトンネルの施工計画および施工報告を行うものである。

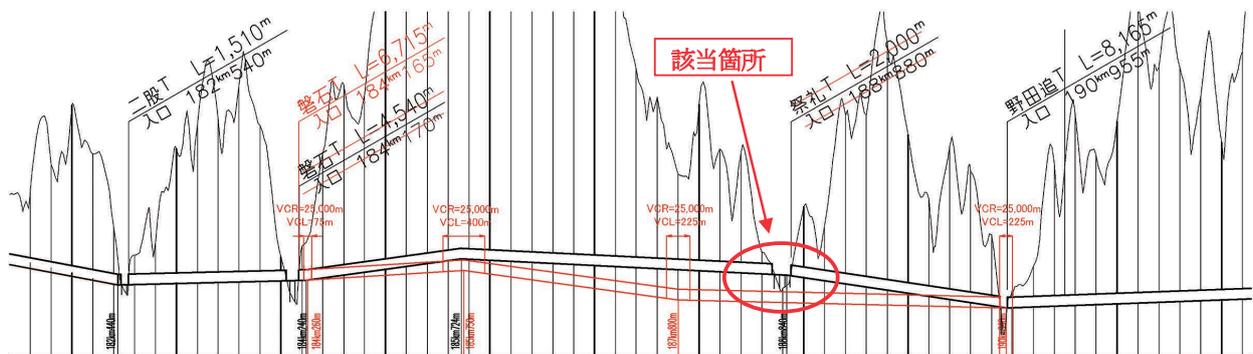
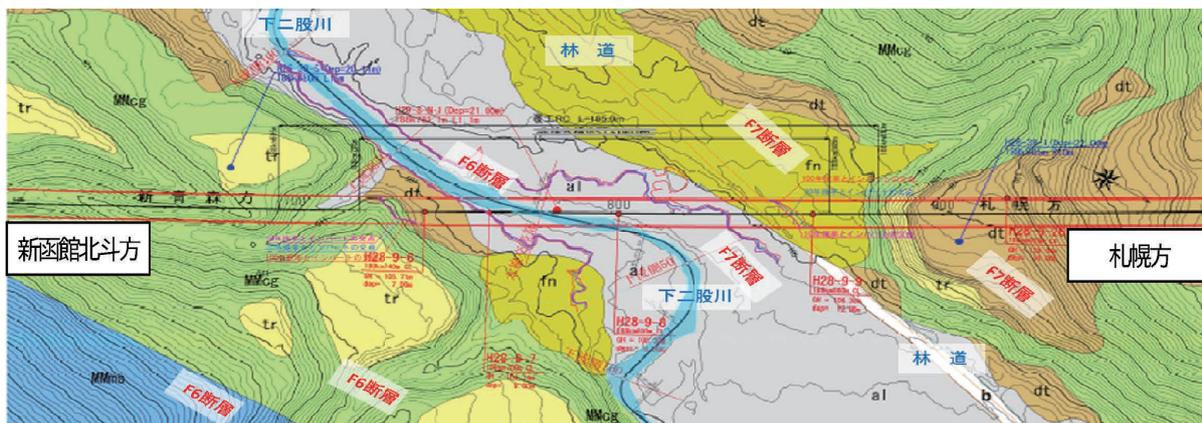
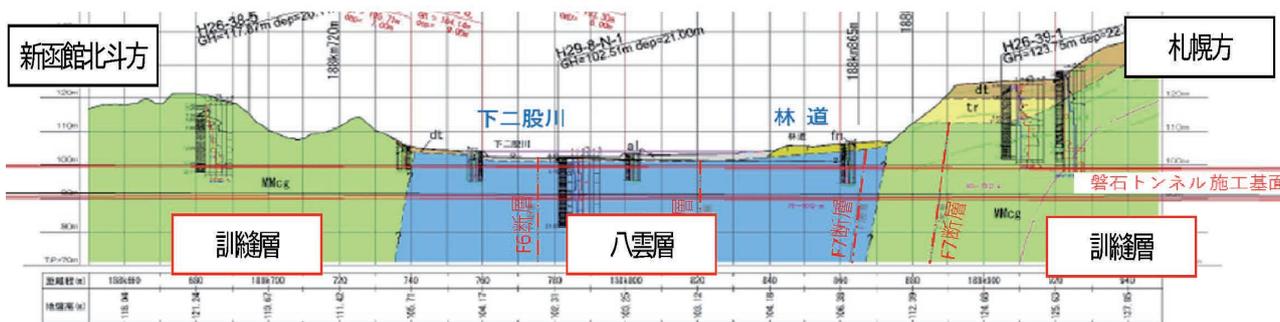


図-1 磐石トンネル～祭礼トンネル 縦断勾配の変更

* 北日本（支）札幌支店新幹線磐石（出）

** 土木設計部



図一 小土かぶり部周辺の地質縦断面・平面図

§ 2. 小土かぶり部周辺の地形・地質と施工計画

小土かぶり部周辺の地質と本線の位置関係を（図一）に示す。平面図より本坑と斜交して下二股川や林道が存在している。また、F6,F7断層が確認されている。

小土かぶり部区間を施工するに先立ち、以下に示す懸案事項が挙げられた。

- ・小土かぶり区間の掘削による天端及び切羽崩落による地表面の陥没
- ・下二股川河川水の坑内への流入
- ・掘削補助工法施工時に使用する注入材が河川へ流出することによる水質への影響
- ・下二股川河床の長期的な洗堀による供用中の磐石トンネルへの影響

当該区間の当初の施工計画は、関係機関との初期段階の協議では地上部からの対策が認められなかった。しかしながら、長期的な下二股川河床の洗堀防止対策が必要であること。また、小土かぶり区間の掘削による地表面の陥没等が懸念されたため、関係機関との協議を重ね、河川の切回し、事前地山改良、および洗堀防止対策を地上部から行う計画に変更した。地上部からの先行施工およびトンネル掘削時の施工計画を表一に示す。

表一 変更後の施工計画

地上部からの先行施工	トンネル掘削時の施工
<ul style="list-style-type: none"> ・河川切回し ・河川区間の地盤改良 ・洗堀防止工（河床工） ・護岸工 	支保構造：H-150, @1.0ピッチ 吹付厚さt=20cm 補助工法：AGF-Tk工法 （注尺鋼管先受け, 打設角度6°） 注尺式長尺鋼管鏡ボルト工 鋼製インバートストラット その他：計測結果により早期閉合を検討

§ 3. 地上部の施工

地上部から地盤改良工を実施するため、下二股川の切回し作業を行った。（写真一）その後、河川部に盛土を行い施工ヤードを整備し、地盤改良工を（図一）の範囲で地上から施工した。また、トンネル掘削完了後に、切回した河川を元の位置に復旧計画が、将来的に河床部が洗堀され、トンネル覆工にまで影響を与える可能性が否定できなかったため、トンネル上部にコンクリート床版（t=300, SD345D13@250 シングル）を打設した。



写真-1 河川切回しと地盤改良範囲

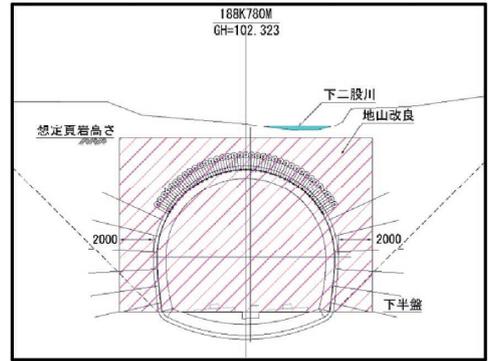


図-3 地山改良範囲断面図

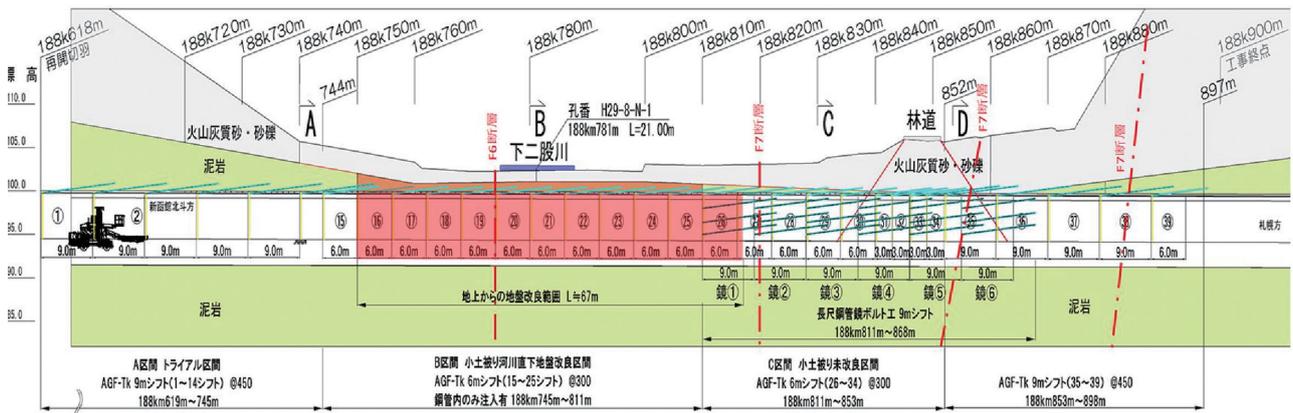


図-4 掘削計画縦断面図

§ 4. トンネル部の施工

4-1 掘削計画

札幌方の掘削計画は、施工区間を4つに分けて立案した(図-4、表-2)。計画に際して特に注意を払った区間は、土かぶりが1.5mで下二股川下を掘削するB区間、および小土かぶりかつ断層の影響を受け、地盤改良を実施していないC区間であった。B区間は地表面陥没が懸念されたため、天端対策として長尺鋼管先受け工を採用した。C区間は、林道への沈下の影響も懸念されたため、B区間と同様に地表面陥没対策として長尺鋼管先受け工を加え、切羽崩落対策として長尺鋼管鏡ボルト工を実施することとした。

なお、施工断面から打設を行う長尺鋼管先受け工の場合、掘削1m毎に末端管に下向きに引っ張り、あらかじめ設置したスリット位置で鋼管を切断する必要がある。このため、切断作業により先頭管に上向き方向の力が作用し、地表面近くの地山を緩ませる可能性があった。最悪の場合は、地表面に鋼管が露出してしまうことも想定された。このため、当区間では鋼管設置時に専用治具を使用して末端管を引抜いて注入改良を行うことができるAGF-Tk工法(図-5)を採用したため、掘削時の末端管の切断撤去が不要となった。

磐石トンネルの掘削方式は発破掘削工法が標準であっ

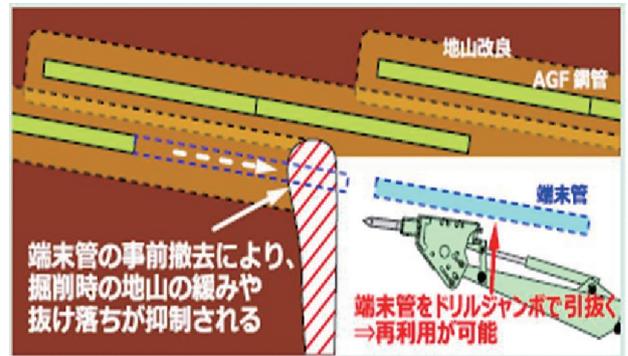


図-5 AGF-Tk工法(イメージ図)

たが、本区間は土かぶりが15m以下で脆弱な地山を掘削対象とすることから、1,300kg級プレーカによる機械掘削方式を採用し、掘削工法は補助ベンチ付き全断面工法とした。ズリ出し方式は、25t重ダンプを2台使用したタイヤ方式を採用した。

表-2 支保パターンと補助工法一覧

区間名称	A区間		B区間	
	トライアル区間		小土かぶり河川直下地山改良区間	
代表断面				
土被り	15~3m		3~1.5m	
支保パターン名称	IS (曲) A-450-T2-e		特L (曲) A-450-RC-e	
キロ呈	188 k m619m~695m	188 k m695m~745m	188 k m745m~811m	
区間長	76m	50m	66m	
鋼製支保工	H-150			
長尺鋼管先受工	鋼管径: φ114.3mm			
	鋼管長: L=12.5m		鋼管長: L=9.5m	
	鋼管間隔: @450mm (n=25本)		鋼管間隔: @300mm (n=37本)	
長尺鋼管鏡*ルト工	注入量: 157kg/本		注入量: 32kg/本(鋼管内充填のみ)	
ロックボルト	L=3m (N=8本)		L=4m (N=8本)	
吹付厚さ	20 c m			
覆工厚さ	30 c m (無筋)		45 c m (RC造)	
備考			地山改良区間188 k m749m~816m	

区間名称	C区間		D区間	
	小土かぶり未改良区間		標準部への移行区間	
代表断面				
土被り	3~6m		6m~	
支保パターン名称	特L (曲) A-450-RC-e		IS (曲) A-450-T2-e	
キロ呈	188 k m811m~853m		188 k m853m~880m	188 k m880m~900m
区間長	42m	27m	20m	
鋼製支保工	H-150			
長尺鋼管先受工	鋼管径: φ114.3mm			
	鋼管長: L=9.5m		鋼管長: L=12.5m	
	鋼管間隔: @300mm (n=37本)		鋼管間隔: @450mm (n=25本)	
長尺鋼管鏡*ルト工	注入量: 70kg/本		注入量: 157kg/本	
	鋼管径: φ89.1mm			
	鋼管長: L=12.5m			
長尺鋼管鏡*ルト工	本数: 12本			
	注入量: 145kg/本			
ロックボルト	L=4m (N=8本)		L=3m (N=8本)	
吹付厚さ	20 c m			
覆工厚さ	45 c m (RC造)		30 c m (無筋)	
備考	林道直下188 k m848m~852m			

4-2 施工結果

(1) A 区間 (トライアル区間)

A 区間は土かぶりが 15 m から 3 m と減少する区間であり、河川下 (B 区間) の掘削を想定したトライアル区間とした。

トライアル区間では最小土かぶり 1.5 m の B 区間の施工に向けて、長尺鋼管先受け工の打設角度を 6° に設定した場合に 3 m 先の中間管が支保工建込に支障を与えるか否かを試験施工した。試験施工の結果、打設角度 6° で問題が無いことを確認した。なお、当現場ではコンピュータジャンボを採用していたため、鋼管の打設角度の管理を精度良く行うことが出来た。

(2) B 区間 (小土かぶり河川直下地盤改良区間)

B 区間は最小土かぶりが 1.5 m となる区間のため、地表面の陥没を防止する目的で、補助工法を変更した。A 区間からの変更点は長尺鋼管先受け工の鋼管長を 12.5 m (9 m シフト) から 9.5 m (6 m シフト) とした。

一般的な長尺鋼管先受け工である鋼管長 12.5 m、打設角度 10° 前後で施工した場合、先頭管のトンネル天端との離隔が約 2.2 m になり、土かぶり 1.5 m を超えて地表面に突出してしまう。そのため、当区間では鋼管長 9.5 m、打設角度を 6° に抑制し、先頭管の離隔を約 1 m に抑える計画とした。

また、先行して実施した地盤改良の効果が部分的に低い箇所が存在することを想定し、天端の崩落を防止するため、鋼管の断面方向の打設間隔を 450 mm から 300 mm に変更した。これら小土かぶり対策や AGF-Tk 工法の採用により、天端部の緩みを抑えながら 1.5 m の小土かぶり区間を慎重に掘り進めた結果、天端の崩落や地表面の陥没をおこすことなく B 区間の掘削を完了した。

(3) C 区間 (小土かぶり未改良区間)

C 区間は、河川直下を掘削する B 区間より土かぶりが厚いものの、土かぶりが 3~6 m (約 0.5 D) の小土かぶり区間であり、一部に断層の存在も確認されていたため、掘削に最も注意が必要な区間である。天端対策は、B 区間と同様の長尺鋼管先受け工の仕様で施工を行い、切羽鏡面対策は長尺鋼管鏡ボルト工を施工した。また、大きな変状があった場合に備えインバートストラットを早期に施工できるよう事前に準備した。

切羽は、B 区間の地盤改良範囲 (~188 km 816 m) を通過してから急激に脆弱化した。節理間隔が細くなり、水平方向の亀裂により細かく砕けやすい地山が出現した。188 km 824 m 地点で切羽左側の地山が内空側に変状を起し、吹付コンクリートにクラックが発生した(写真-2)。また、林道の影響範囲である 188 km 840 m~850 m にかけては大きな地表面沈下および内空沈下が発生した(図-6)。

(4) D 区間 (標準部への移行区間)

この区間は標準部への移行区間になるため、A 区間と同仕様の AGF としたが、最初の 1 シフトは長尺鋼管鏡ボ

ルト (1 シフト打設長 12.5 m) を施工した。その結果、トンネル・地表面ともに問題なく掘削を終えた。



写真-2 クラック発生状況

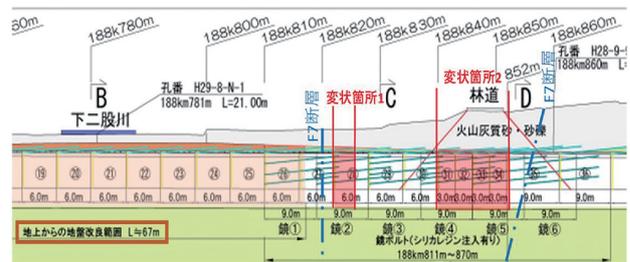


図-6 地盤改良範囲と変状箇所の位置関係

4-3 計測結果と変状区間への対応

内空沈下が発生した 188 km 840 m の計測データを(表-3)に示す。沈下管理値レベルⅢは 30 mm で管理していたが、左側脚部の沈下速度が、施工日数 5 日で管理値レベルⅢを超過すると予測されたため、変状対策として、左側脚部の支保工 6 m 間を溝形鋼でつなぎ、増しロックボルト (L=6 m) を 30 本打設した。また、切羽から 10 m でインバートストラットを設置して早期閉合を行った結果、内空沈下の初期変位速度が小さくなり、収束傾向を示した。最終変位は、管理基準値Ⅲを若干超過したが崩落等には至らなかった。

188 k 845 m を過ぎても切羽は脆弱で土砂化の性状を示していた(写真-3)。188 km 845 m 付近の直上には林道が位置していたため、沈下対策として長尺鋼管先受け工を 3 m シフトに変更した。

また、掘削作業による地山の緩みを最小限にするため、以下に示す掘削方法を採用した。

- ① 上半支保を固めた後に下半支保のサイクルに移行
 - ② 下半支保工は左右 1 基ずらし、同一断面で上半支保工を浮かさない
 - ③ インバートストラットは 1 基ずつ早期閉合を実施
- 上記のサイクルで掘削を慎重に進めた結果、管理基準値レベルⅠで掘削を完了することができた。

表-3 188 km 840 m 坑内沈下計測データ

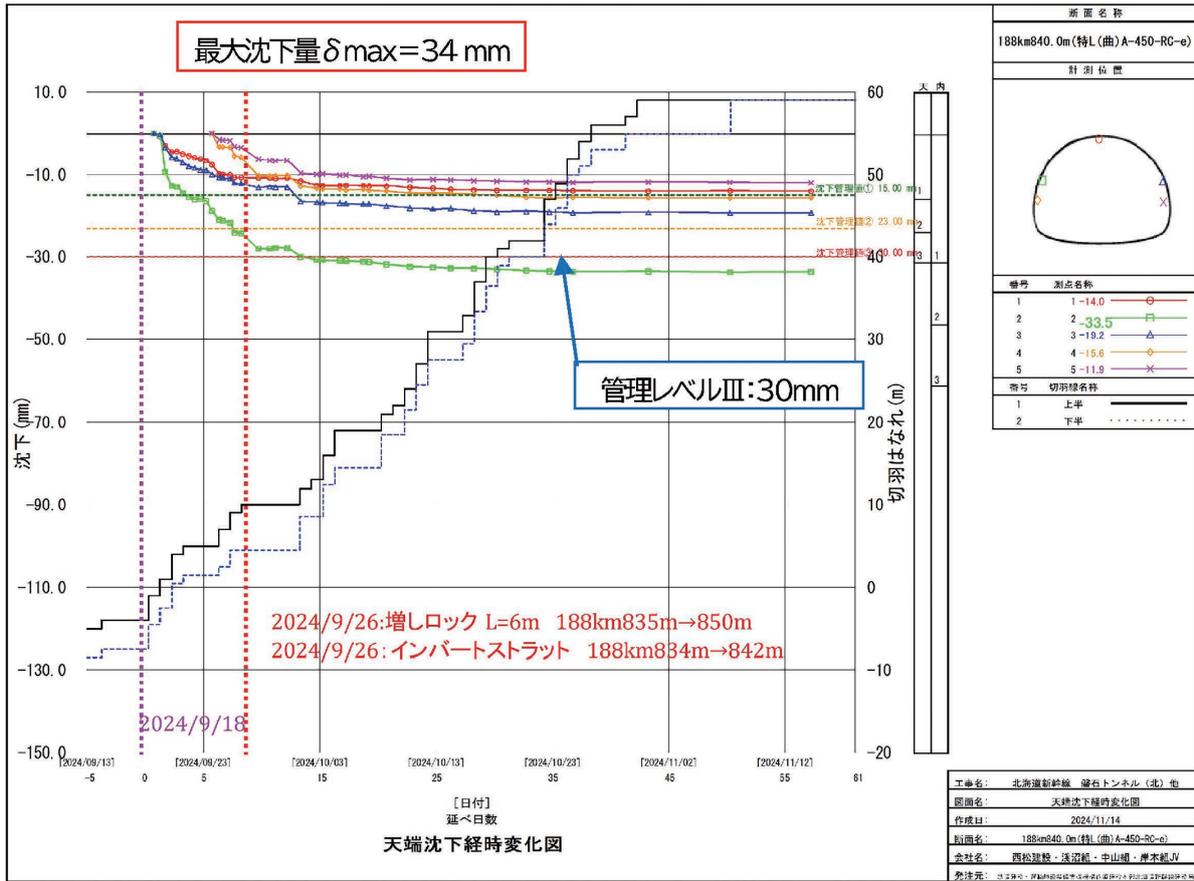


写真-3 188 km 846 m 切羽の土砂化

§5. 考察

本工事で実施した最小土かぶり 1.5 m の河川直下の施工対策に対する知見と反省点を以下に示す。

- ①河川下を掘削した小土かぶりの B 区間は、トンネルの変状や河川への影響を与えることなく掘削を完了できたことから、地上部からの先行対策や補助工法が適正かつ効果的であったと考える。
- ② C 区間は当初想定していた地山よりも脆弱でレベルⅢを超えた変位が発生したが、適切な追加対策を行っ

たことで掘削を完了できた。

反省点として、C 区間の地質調査を地表部から詳細に行い、B 区間と同様事前に地表面からの対策を検討していれば、過大な変位の発生を抑制できた可能性も考えられる。

謝辞. 河川直下を小土かぶりで掘削するにあたり、地表面からの地盤改良工や掘削補助工法を検討し、慎重に施工した結果、無事に 2024 年 11 月 5 日に貫通を迎えることができた。本稿が同様の施工課題において参考になれば幸甚である。また、本トンネルの施工検討に際して鉄道・運輸機構 北海道新幹線建設局八雲建設事務所ならびに西松建設(株)トンネル委員会をはじめ多くの関係者の皆様に助言をいただいた。この場を借りて厚くお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 道建役 29 第 8 号北海道新幹線, 立岩トンネル外地質調査 H29 (B): (株)ダイヤコンサルタント
- 2) 小山内綺羅・吉平安生・諏訪至: 突発湧水への緊急対策と掘削再開に向けた取り組みについて, 北海道土木技術会トンネル研究委員会 トンネル技術研究発表会, 2024