

一般国道452号芦別市鏡トンネルの 施工状況報告について

札幌開発建設部 岩見沢道路事務所 ○山田 慶太
須田 典一
林 貴博

鏡トンネルは一般国道452号盤の沢道路において現在施工中のトンネルである。本トンネルでは亀裂が発達した新第三紀川端層の泥岩砂岩の互層が全線に分布し、脆弱な断層区間が存在することが想定され、両坑口は強風化した土砂状地山である。本論文では、これらの脆弱な地山におけるトンネル内空変位の抑制対策、施工中の安全対策、覆工コンクリートの高品質化、ICTを活用した出来形管理について報告するものである。

キーワード：山岳トンネル、地質

1. はじめに

(1) 事業概要

一般国道 452 号は、夕張市を起点に旭川市に至る延長約 110km の幹線道路である。その内盤の沢道路は、通行不能区間の解消を図り、地域間交流の活性化及び物流効率化等の支援を目的とした、芦別市黄金町から

上川郡美瑛町字ルベシベに至る延長 18.5km の区間のうち 6.8km の事業であり、鏡トンネルは事業区間の中間に位置する L=2,102m のトンネルである。図-1 に盤の沢道路全体図を示す。

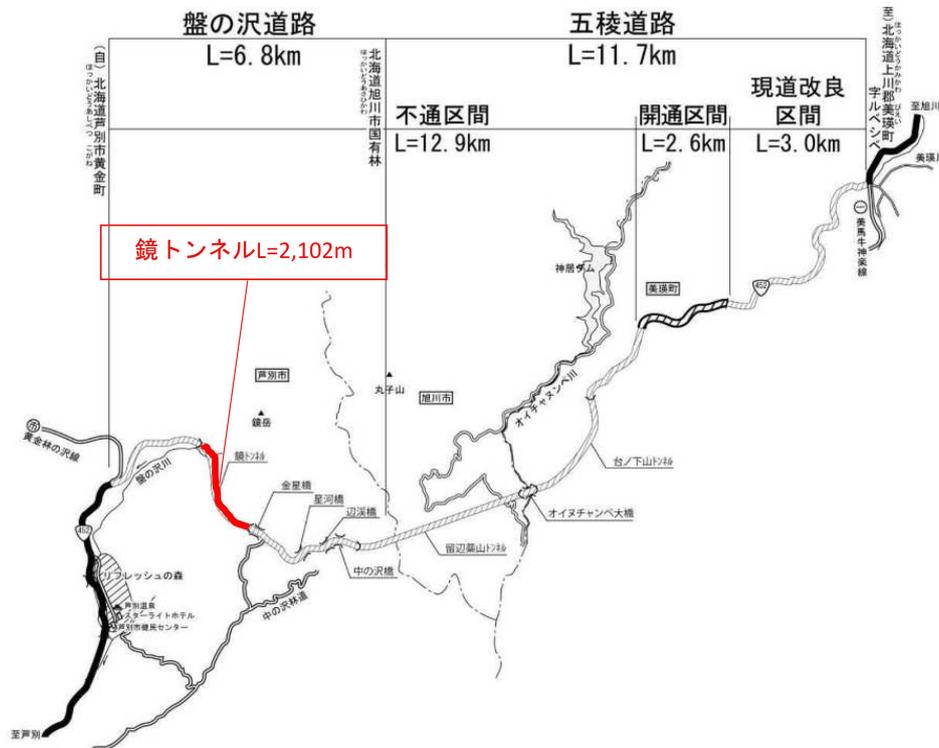


図-1 盤の沢道路全体図

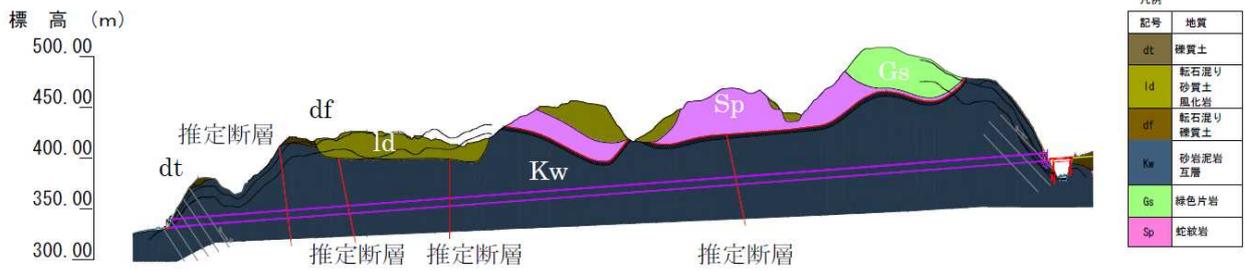


図-2 地質縦断面図

(2) 鏡トンネルの地質概要

現場は旭川市神居古潭峡谷から南に伸びる幌加山地の南西側斜面に位置している。幌加山地は班溪幌内山(901m)、丸子山(896m)、瑠辺薬山(859m)などの標高 800～900m の山稜を南北に連ねる山地で、頂部や尾根が広い緩斜面からなり、谷斜面がやや急勾配を成す特徴がある。鏡トンネルは、盤の沢地すべりの北側から中の沢地すべり地を通過しており、表層部は岩屑流堆積物に覆われた緩斜面をなしている。現場周辺の地質は、中生代先白亜紀の神居古潭変成岩類の黒色片岩、緑色片岩とこれに進入する蛇紋岩並びに新第三紀中新世川端層の砂岩・泥岩を基盤岩として、第四紀層が覆っている。鏡トンネル周辺の地質は、先白亜系神居古潭変成岩類の蛇紋岩が、新第三紀中新世川端層(砂岩泥岩互層)に衝上断層として分布する地質を基盤とし、起点側の一部では新第三紀鮮新世の滝川層(泥岩、砂岩、礫岩)が分布するほか、第四系の岩砕流堆積物、斜面堆積物、地すべり堆積物等が分布する。トンネル縦断面図を図-2に示す。

鏡トンネルは詳細設計時に蛇紋岩・地すべりを避けたルートに変更されているが、新第三紀川端層は南北方向の断層が発達し、著しい褶曲構造を示している。また、細粒砂岩・泥岩の層厚 50cm 以下の互層で、泥岩は中硬岩であるがヘアクラックが発達しており細片化しやすい地質構造となっている。

2. 変位抑制対策

トンネル全線に分布する新第三紀川端層の砂岩泥岩互層の内、泥岩は潜在亀裂が発達し割れやすく、一部で圧碎状をなし、細片化され指圧で変形するほど脆弱である。このような地質条件下では大きな内空変位が発生することが想定される。変形リスクを抑えるため、ショートベンチカット工法を補助ベンチ付全断面工法に変え早期閉合を図る。ベンチカット工法では掘削時の応力再配分を繰り返すこと、トンネル断面の閉合時期が遅れることなどから補助ベンチ付全断面工法が有利となる。それに加えて推定断層区間はさらに脆弱な地山性状で突発湧水も懸念され、両坑口部は強風化による土砂状地山が分布し

ている。これら脆弱な地山区間においては大きな変位発生が懸念されるため吹付コンクリートによる一次インバートを施工して早期に支保をリング閉合して地山の緩み・変位を抑制する。早期閉合は①上下半を全断面で 2 サイクル (1m ピッチ×2) 施工する。②本インバート設計断面の外側を掘削し、下半鋼製支保工下部に鋼製ピース (H-200 H=36 cm, H-150 H=32 cm) を継ぎ足して根足を接地・固定し、吹付コンクリートによる一次インバートを施工する(アーチ部と同じ吹付厚、強度)。③一次インバート施工後、発生土で埋戻を行う。④内空変位の収束を確認後に埋戻土を撤去し、一次インバート面の清掃を行ってから本インバートの施工を行う。早期閉合の施工図を図-3に示す。

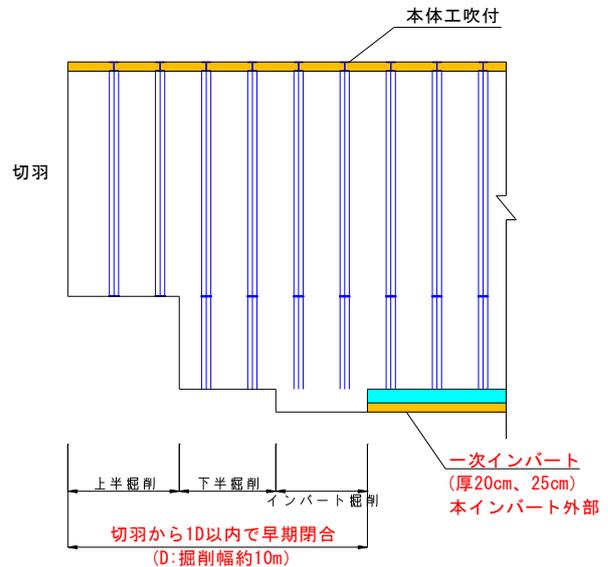


図-3 早期閉合

これらの区間では高強度繊維補強吹付コンクリート ($\sigma = 28\sim 36\text{N/mm}^2$) を採用し、早期の強度発現と高い靱性を与えて支保耐力を増加させることで初期変位や変形を抑制して地山の緩みを最小限にし、併せて長期的なトンネル安定性を向上させる。吹付けコンクリートの配合は高

性能減水剤、粉体助剤を加えて高強度とし、3hで2N/mm²、24hで10N/mm²、28日で36N/mm²の強度を発現する。また、非鋼繊維補強材(バルチップ MK)をコンクリート容積比0.5%混入することで、曲げ靱性を向上させる。表-1に吹付けコンクリートの強度と配合を示す。

表-1吹付コンクリート強度と配合

強発現	材令	単位	
		3時間	24時間
		N/mm ²	
			2
			10
			36
配合	W/C	%	42
	セメント	kg	450
	水	kg	189
	フライアッシュ	kg	61
	細骨材	kg	1090
	粗骨材	kg	709
	高性能減水剤	%	1.4
	急結剤	%	7
	粉体助剤	%	5
繊維補強材	kg	4.55	

以上のような変位対策を講じた上に、通常のA計測に加え3次元レーザースキャナーによる面的な変位計測を行い、トンネル変形を見える化する。また、推定断層区間の位置と規模を早期に把握するため、TSP 探査(トンネル切羽前方探査システム)を実施する。この探査により、切羽前方の地質不連続帯(破碎帯・帯水層)を把握することができる。図-4はTSPによる探査結果の一例である。

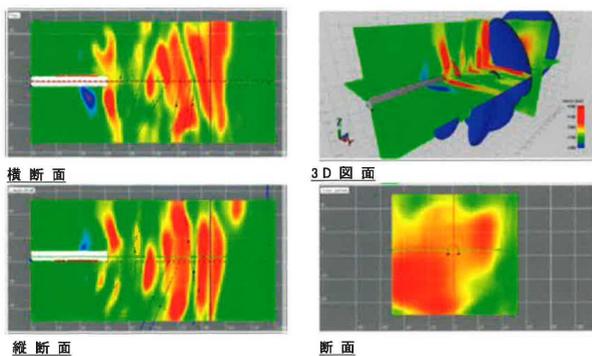


図-4 TSPによる探査結果(例)

3. 施工中の災害防止対策

鏡トンネルはトンネル延長が長く幅員も狭いため車両と人の接触災害が懸念される。特に歩車道区分が難しい切羽周辺やインバート工、防水工、覆工施工区間では車両と人との接触の危険性が高い。そこで運搬車両が最も多い切羽の掘削ズリ搬出を連続ベルトコンベアに替えて接触の危険性を大幅に減少させる。連続ベルトコンベア

の下部は全線立ち入り禁止としプラチェーンで明示し接触を防止する(図-5)。起動・停止時は坑内外にアナウンスと回転灯により周知し、全線に非常停止装置を設置することで巻き込まれ災害を防止する。なお、ベルトコンベアを設置しない初期掘削段階(坑口から200m)はダンプトラックにより掘削ズリ搬出を行うため車両にバックカメラを設置する。

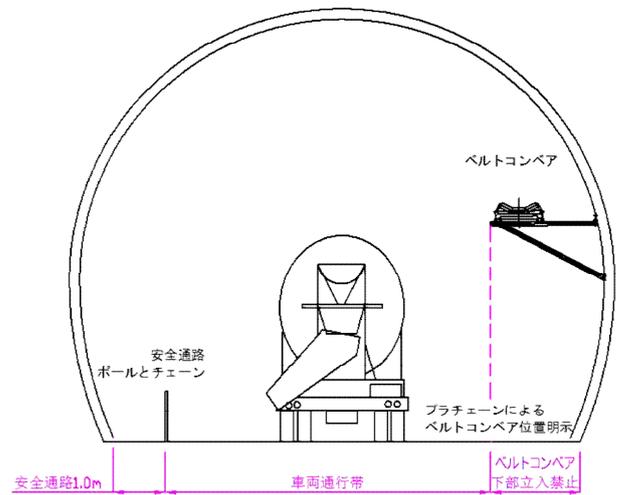


図-5 坑内断面図

ズリ積込時はクラッシャーから切羽までを立ち入り禁止とし、更にホイールローダとバックホーには重機接近警報停止システム(図-6)を設置し人と重機の接触を防止する。重機に取付けたカメラの映像をAIが認識して、設定エリアで人を感知すると回転灯と警報で報知し、危険エリアに侵入した場合には重機を自動停止させる。その他の工事車両による接触防止としてターンテーブルを設置し、危険性が高い車両のバック走行を減らす。

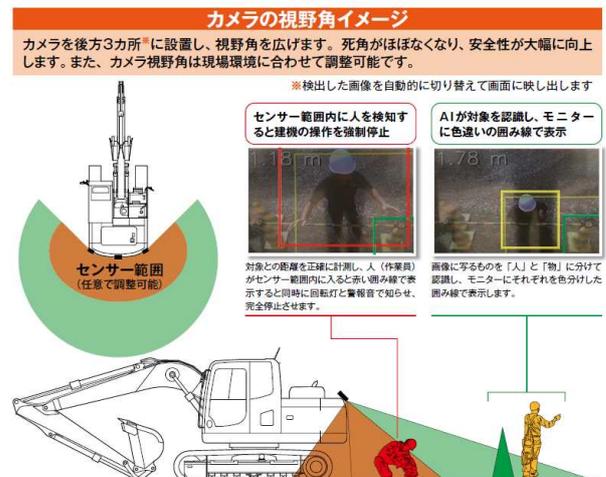


図-6 重機接近警報システム

4. 覆エコンクリートの高品質化

覆エコンクリートの天端部の空洞の発生や充填不足を防止するため、マイスタークリート工法を採用して確実な充填と直接的な締固めを実施する。マイスタークリート工法は天端部にコンクリート充填検知センサー・圧力計各3箇所、ブリージング吸引チューブ、長尺引抜パイプレーター2本を設置してコンクリート打設を行う(図-7)。コンクリートは圧力計の管理で加圧充填(30kPa)し、天端部の空洞の発生を防止する。空洞の原因となるエアやブリージング水はチューブで強制排出する。充填検知センサーを天端の空洞ができやすい位置に設置しモニターで充填確認を行う。センサーの振動数で空気接触、水接触(ブリージング水)、コンクリート接触が判別できるため確実な充填を行うことが可能となる(図-8)。充填確認後引抜パイプレーターを加振させながら引抜き、従来困難であった天端部のコンクリートを締固め高品質化する。

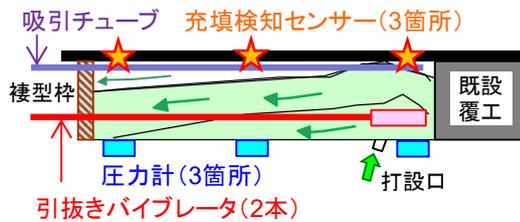


図-7 マイスタークリート

覆エコンクリート打設時、コンクリートの高さが左右均等になるようにするため、セントルの表面にコンクリート検知センサーを配置し、設定した高さには達すると圧送配管を自動で切り替える。打設位置の情報(コンクリートの高さ、圧送速度)はリアルタイムでタブレットに表示し、左右の打設高の差が設定以上になると異常時はタブレット操作で圧送を停止する。

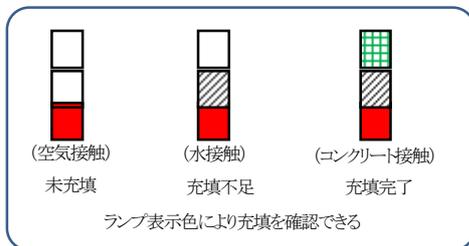


図-8 充填確認センサー

5. ICTを活用した出来形管理の効率化

従来の吹付けコンクリートの出来形検測は、1断面当り7箇所の検測孔を40m毎に削孔し、目視で厚さの確認

YAMADA Keita, SUDA Yoshikatsu, HAYASHI Takahiro

を行っていた。当トンネルでは掘削完了時の出来形を3Dレーザースキャナーで計測(掘削点群データ)した後、二次吹付けコンクリート施工後に再度計測(吹付け点群データ)してその差分値を吹付け出来形として多点管理を行う。本技術には以下の様なメリットが期待できる。

- ・切羽に計測者が接近せずに高所作業の必要もなく、短時間で出来形計測が可能
- ・点群データの活用で任意箇所の出来形が確認でき、出来形管理の効率性が向上
- ・面的な吹付け出来形管理(展開図でのヒートマップ表示)が可能で、施工品質が向上
- ・取得データをCIMに取り込むことで維持管理モデルへの展開が可能

図-9に計測フロー、図-10に測定イメージ、図-11に測定例を示す。

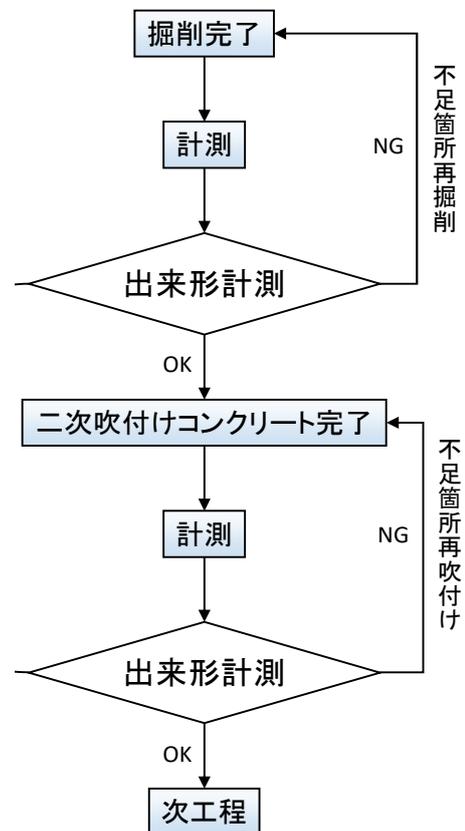


図-9 計測フロー

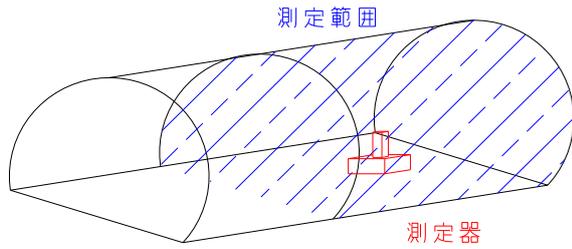


図-10 測定イメージ

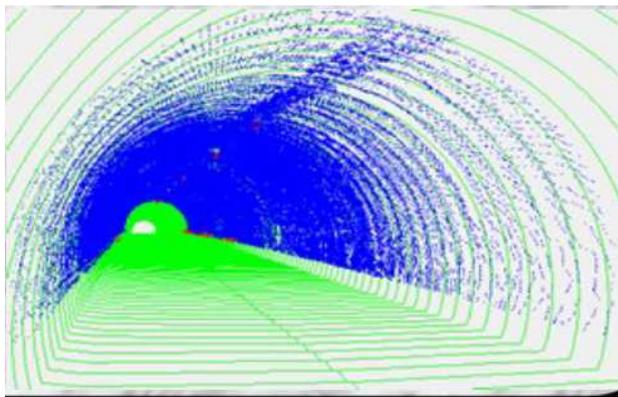


図-11 3D スキャナー測定結果(例)

6. 鏡トンネルの施工状況

令和3年6月より仮設ヤード造成・仮設備工事、令和3年10月からトンネル掘削工を開始した。令和3年12月1日現在で掘削延長はL=74.0mである。坑口からL=39.0mを坑口1(断)パターンで長尺フォアパイリング工併用で掘削し、内空変位抑制のため補助ベンチ付全断面掘削工法で一次インバートを施工し早期閉合を行った。なお吹付コンクリートは高強度繊維補強コンクリートを使用した。坑口部分は泥岩優勢の砂岩泥岩互層で、強風化～弱風化の地質で、天端部分は特に脆く、断続的に肌落ちが見られた。坑口部分の切羽状況を図-12に示す。



図-12 TD=11.0m 切羽状況

7. 今後の課題とまとめ

当トンネルは現在初期掘削の段階で、第5項までに挙げた項目については今後の実施になる。泥岩優勢であること、地すべり地帯や蛇紋岩の付近を掘削すること、推定断層が複数存在することなどからトンネル掘削時は大きな内空変位が発生する可能性が高い。また、狭隘なトンネル坑内で作業するため、接触事故防止に十分留意する必要がある。これらの問題に対してトンネルの内空変位を抑制すること、重機と人の接触がないよう安全に施工すること、効率よく作業を進めること、施工管理を効率よく確実にを行うことが課題となる。内空変位を抑制するために早期閉合や、高強度繊維補強吹付コンクリートの使用を確実に行う。また、坑内の車両を減らして安全を確保するためにベルトコンベアの運用を掘削200mに達した時点で開始する予定である。重機接近警報システムにより重機と作業員の接触防止に努めることも重要であり、変位計測を効率化することで管理体制も充実させて災害を防止し、高品質なトンネル構造物を構築していきたい。