

第67回(2023年度) 北海道開発技術研究発表会論文

覆工の品質向上に向けた取り組み —新稲穂トンネルL側仁木工区の施工事例—

小樽開発建設部 小樽道路事務所 第3工務課 ○藤岡 祐基
小川 修
前田・協成特定建設工事共同企業体 志田 孝司

覆工コンクリートの打設は、吹付コンクリートと型枠に挟まれた狭小空間において窮屈な姿勢で行われるため、締固め不足による充填不良や背面空洞の発生が懸念される。そこで、これらの防止と施工性の向上を目的に、フライアッシュを用いた中流動コンクリートの採用を検討した。施工方法は、感知センサーと型枠バイブレーターによる自動締固め、電動式配管切替装置の採用による品質の均一性確保と省力化について検討した。本報では、これらについて報告する。

キーワード：覆工コンクリート打設、品質向上、中流動コンクリート、省力化、自動化

1. はじめに

覆工コンクリートの打設作業は、狭小空間の中で作業員が型枠窓から棒状バイブレーターにより締固めを行わなければならない。天端部においては、コンクリートを吹き上げて充填する必要がある。締固め不足や充填不良などの施工に伴う不具合の発生が懸念される。

また、近年の熟練工不足に伴う作業員不足により、その熟練工に頼った施工性は今後改善されるべきものと認識される。

よって、施工条件に伴う不具合の防止や、作業員の技能差による品質のむらの防止による耐久性の向上を図る方策として、中流動コンクリートの採用及び打設の自動化、配管切替作業の改善は、今後ますます必要になるものと想定される。

本工事では、狭小空間での窮屈な姿勢で行われる覆工コンクリート打設作業に中流動コンクリートと型枠バイブレーターを採用し、品質向上の取り組みについて検討を行い、併せて省力化についても検討を行った。本稿では、中流動コンクリートの配合計画から実機試験までの検討及びスライドセントル改良による品質向上と省力化の取り組みについて報告する。

2. 工事概要

倶知安余市道路は、後志自動車道のうち倶知安町から余市町を結ぶ延長39.1kmの一般国道の自動車専用道路であり、北海道横断道路(余市～小樽)と一体となり、後志地域と新千歳空港や苫小牧港などを結び、後志地域における世界水準の観光地形成や多種多様でブランド力の高い食の生産空間の維持・発展を支援する事業である。

本工事は「倶知安余市道路」のうち、共和町国富地区と仁木町銀山地区を結び、稲穂峠の山道を回避する新稲穂トンネル(仮称)を施工するものである。

新稲穂トンネル(仮称)は、上下線セパレート方式でNATMによって掘削する。このうち本工事はL側の仁木工区を施工するものである(図-1, 2)。

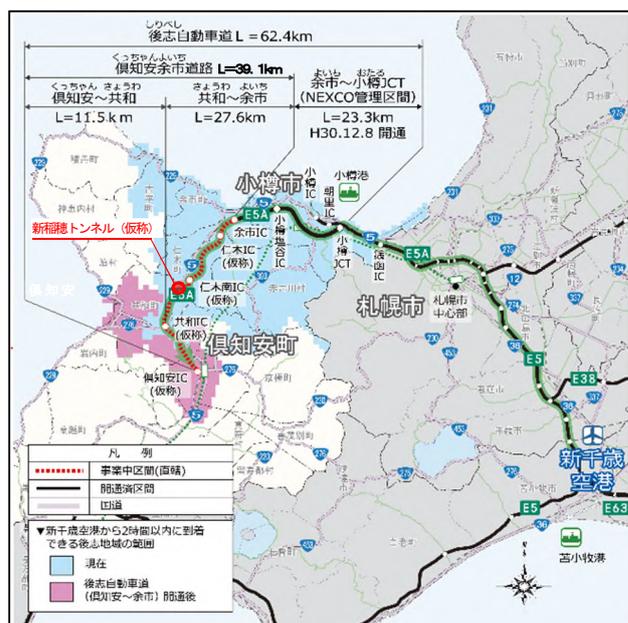


図-1 倶知安余市道路位置図

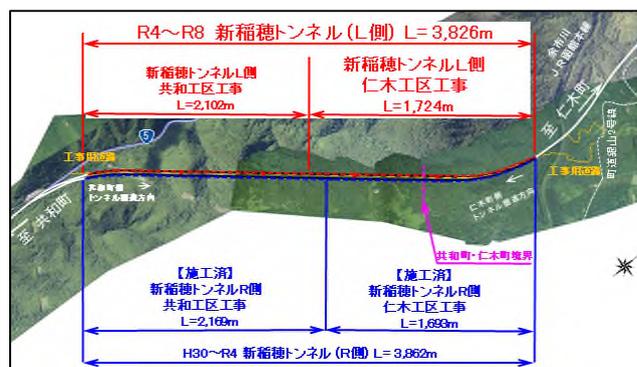


図-2 新稲穂トンネル(仮称)位置図

【工事概要】

工 事 名：一般国道5号 仁木町外
 新稲穂トンネルL側仁木工区工事
 工事箇所：起点 岩内郡共和町～終点 余市郡仁木町
 工 期：令和5年3月3日～令和8年10月16日
 工事内容：工区延長 L=1,724m (幅員：W=8.80m)
 掘削工 (NATM, 発破・機械掘削) L=1,712m
 設計掘削断面積 (CII) 51 m²
 覆工・防水工 L=2,720m、仮設工 N=1式

3. 中流動コンクリートの適用検討

(1) 中流動コンクリートの配合検討

中流動コンクリートは、通常用いられているスランプ 8～12cmの普通コンクリートよりも高い流動性と材料分離抵抗性を兼ね備えたコンクリートである。スランプフローは一般的に35～50cm程度とされており、従来の普通コンクリートと高流動コンクリートの中間的な性状を有している。一般的には流動性を大きくすると、材料分離抵抗性が小さくなることから、流動性と材料分離抵抗性のバランスが重要となる。流動性についてはスランプフロー値、材料分離抵抗性については加振変形試験で確認するものとした。

本工事における配合計画の概要を以下に示す。

a) 配合条件

中流動コンクリートの配合条件は、参考文献¹⁾を参考に、表-1の配合条件として検討を進めた。

表-1 中流動コンクリート配合条件

種別	粗骨材の最大寸法	スランプフローの範囲	空気量の範囲	セメントの種類	最低単位セメント量	W/C(%)	最大塩化物含有量	圧縮強度
	mm	cm	%		kg/m ³	%	kg/m ³	N/mm ²
T-1P (2) (FA)	20	35～50	4.5±1.5	普通ポルトランド	270	60以下	0.30	24

b) 計画配合

計画配合の設定に際し、経時変化におけるスランプフローロスの傾向を把握するために予備練りを実施した。スランプフローロスの改善を図るために細骨材の比率等検討の上、表-2のとおり計画配合を決定した。

スランプフロー値の設定については、配合条件 (35cm～50cm) を踏まえつつ、現着時のスランプフローロスを考慮し、45cmとした。

表-2 中流動コンクリート計画配合

種別	圧縮強度	粗骨材の最大寸法	セメントの種類	セメント	混和材 フライアッシュ (FA)	水	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤
	N/mm ²	mm		kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
T-1P (2) (FA)	24	20	普通ポルトランド	284	100	170	367	551	811	2.7～3.5

※細骨材①：砕砂、細骨材②：陸砂

c) 規格値

中流動コンクリートの規格値は、参考文献¹⁾を参考に表-3の値として配合試験を実施した。

表-3 中流動コンクリート規格値

スランプフロー	空気量の範囲	最大塩化物含有量	単位水量	加振変形	U型充填性	圧縮強度
cm	%	kg/m ³	kg/m ³	cm	mm	N/mm ²
45.0±7.5	4.5±1.5	0.3以下	170±20	10±3	280以上	24以上

d) 配合試験結果

配合試験結果を表-4、加振変形状況を写真-1に示す。配合試験結果については、規格値内に収まり、加振変形試験についても材料分離は見られなかったことが確認できた。

表-4 中流動コンクリート配合試験結果

測定項目	スランプフロー	空気量の範囲	最大塩化物含有量	単位水量	加振変形	U型充填性	備考
	cm	%	kg/m ³	kg/m ³	cm	mm	
	45.0±7.5	4.5±1.5	0.3以下	170±20	10±3	280以上	●σ28用の供試体3本採取 ●CON温度21℃、 ●加振後も材料の分離なく良好【合格】
測定値	47.8×46.3				56.6×54.6 =55.5		
	47.0	4.4	0.09	167.2	8.5	317	
	合格	合格	合格	合格	合格	合格	

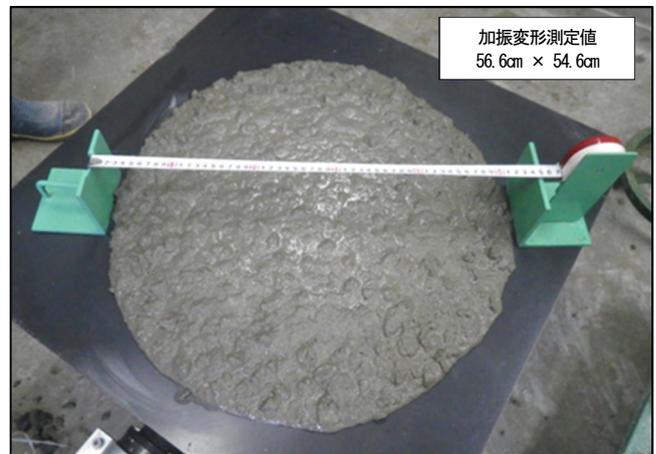


写真-1 加振変形状況

(2) 実機試験

配合試験により所定の性状及び品質が確認されたことから、実機によりコンクリートポンプ圧送後の性状を確認した。

なお、実機試験には、ポンプ圧送により打設するため、標準的なコンクリートポンプ車により圧送することとした。

a) 実機による試験項目

中流動コンクリートの試験項目は、参考文献¹⁾を参考に表-5の項目として実施する。なお、参考値として実施する項目は、経時による品質傾向を把握するため実施する。

表-5 中流動コンクリート試験項目

試験項目	現着	圧送後	経時① 筒先終了直後		規格値	備考
			ミキサー車	ミキサー車		
スランプフロー	○	●	○	○	45±7.5cm	
空気量	○	●	○	○	4.5±1.5%	
CON温度	○	○	○	○	—	
加振変形	●		○	○	10±3cm	
U型充填	●		○	○	280mm以上	
塩化物含有量	●				0.3kg/m ³ 以下	
圧縮強度	●				24N/mm ² σ ₂₈	N=3
圧縮強度(若材齢)	○				規定値以上 16-20・24・28h	N=3×4=12

- : 規格値に基づく試験
- : 参考値として実施する試験

b) 実機による配合試験結果

実機試験結果を表-6、現着時の加振変形状況を写真-2に示す。

配合試験結果については、規格値内に収まったことが確認でき、加振変形により材料分離も見られないことから、本配合を中流動コンクリートの示方配合とした。

なお、経時①では、スランプフローの低下は見られないものの、経時②では、現着に比べ6.5cm低下する結果となった。

表-6 中流動コンクリート実機試験結果

測定項目		スランプフロー	空気量の範囲	最大塩化物含有量	単位水量	加振変形	U型充填性	CON温度
		cm	%	kg/m ³	kg/m ³	cm	mm	°C
		45.0±7.5	4.5±1.5	0.3以下	170±20	10±3	280以上	—
測定値	現着	48.5×49.0=49.0	4.6	0.06	167.9	59.8×59.0=59.5[10s]	341	25
	圧送後	48.8×46.0=47.5	4.0	—	—	—	—	27
	経時①	46.1×45.5=46.0	4.5	—	—	54.6×54.1=54.5[8s]	333	26
	経時②	42.5×42.6=42.5	3.8	—	—	52.6×51.6=52.0[9s]	333	27
	※経時①:筒先終了直後、経時②:筒先終了直後から30分後							



加振変形測定値【現着】
59.6cm × 59.0cm

写真-2 現着時の加振変形状況

4. スライドセントル改良による覆工コンクリートの品質向上に関する取り組み

(1) 型枠バイブレーター・感知センサー

本工事に使用するスライドセントルの断面図を図-3に示す。締固めの均一性を確保するために、型枠バイブレーター(周方向12台×7断面)をスライドセントル内側に配置した。また、面板表面に取り付けた感知センサー(周方向16箇所×4断面)で打込み高さを感知しながら、同じ高さの型枠バイブレータ(左右7台ずつ)を自動的に起動するよう制御し、締固めを行う仕様とした(写真-3)。

さらに、充填不良や締固め不足防止を図るため、コンクリートの充填を感知する充填感知装置を防水シート表面に設置することとした。

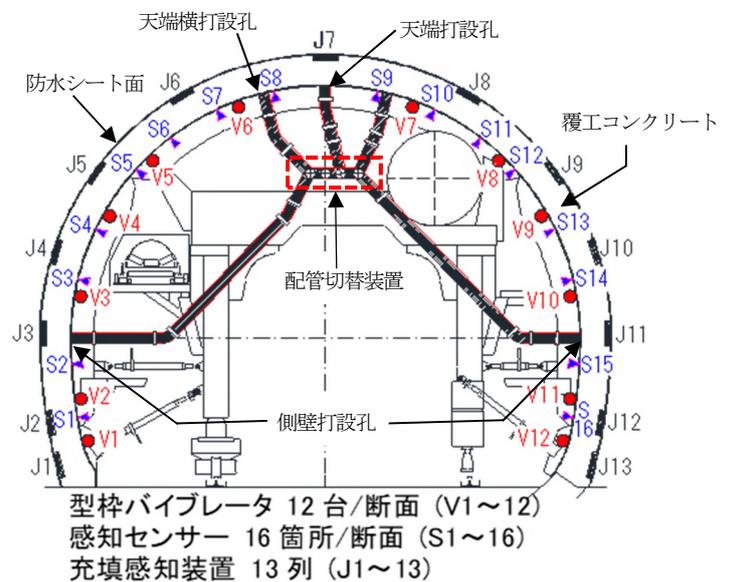


図-3 スライドセントル断面図



写真-3 型枠バイブレーター・感知センサー

(2) 電動式配管切替装置

中流動コンクリートの打込み高さに応じて側壁・天端横・天端の打設孔へ自動的に配管を切替えられる装置を採用した。配管切替装置は図-3及び写真-4に示すように左右2ヶ所同時に打設が可能となり、側壁部から天端横部、天端部へと切替可能な仕様とした。また、中流動コンクリートの性質を活かして縦断方向の打設孔を1ヶ所とした。併せて、コンクリートポンプ車の圧送・停止を

感知センサーと連動させ、自動制御とすることで打設停止時間及び打ち継ぎ重ね時間を短縮できる仕様とした。



写真-4 電動式配管切替装置

(3) 打設手順

a) 自動圧送開始

コンクリートポンプ車と操作タブレットで通信し、打設開始をコンクリートポンプ車に指示することで圧送が開始される(図-4、写真-5)。

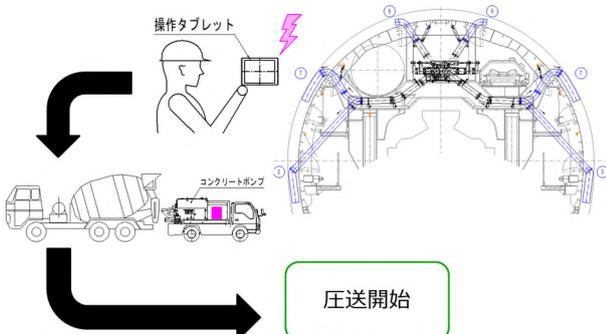


図-4 自動圧送開始状況図

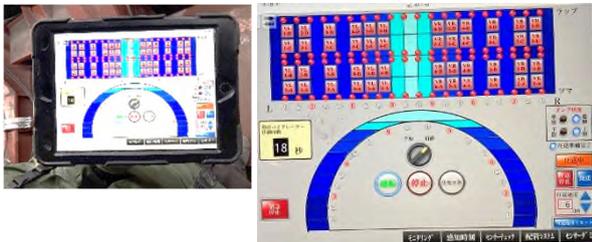


写真-5 操作タブレットと画面(イメージ)

b) 型枠バイブレーターの自動作動

コンクリート打設により感知センサーがコンクリートに接触・反応すると自動的に型枠バイブレーターが作動する(図-5)。

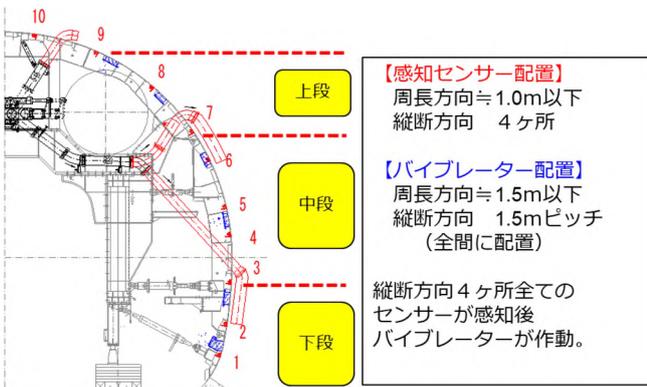


図-5 覆工コンクリート打設手順詳細図

c) ポンプの自動圧送停止

配管切替作業が必要となるセンサー③・⑦・⑨までは自動で圧送し、感知センサーが反応すると自動で圧送停止する。なお、圧送停止はタブレットでも操作可能である(図-6)。

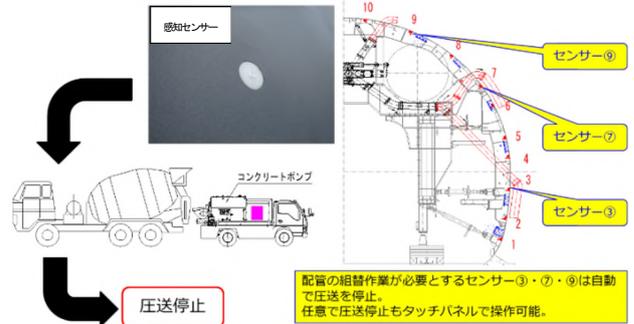


図-6 ポンプの自動圧送停止状況図

d) 圧送再開

電動配管切替装置により自動で配管を切り替え、切替完了後にポンプ圧送を再開する。

5. 覆工コンクリート打設状況(1回目)

(1) 品質試験結果(打設前)

覆工コンクリートの1回目の打設を2023年12月25日に実施した。打設前の品質試験結果を表-7に示す。また、スランプフロー試験状況を写真-6に示す。スランプフロー試験では規格値内かつ、材料分離も見られず良好であることが確認できた。

表-7 覆工コンクリート 品質試験結果(第1回)

測定項目	スランプフロー	空気量の範囲	最大塩化物含有量	単位水量	備考 ●CON温度12℃ ●材料の分離なく良好【合格】
	cm	%	kg/m ³	kg/m ³	
測定値	45.0±7.5	4.5±1.5	0.3以下	170±20	
	50.5×52.0				
	51.3	5.3	0.09	185	
	合格	合格	合格	合格	

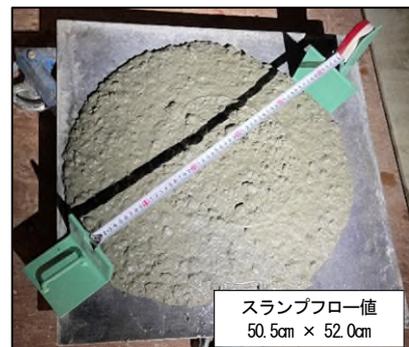


写真-6 スランプフロー試験状況

(2) 打設状況

中流動コンクリートによる覆工コンクリートの打設状況を写真-7に示す。スライドセントル内のコンクリートは水平を保ち、材料分離を起こしていないことが確認できた。型枠バイブレーターの振動時間は、参考文献¹⁾などを参考に15秒程度稼働させることとしたが、コンクリートの材料分離も見られず締固めが実施できた。

また、打設時は、充填感知装置により各測点で充填状況を把握することができ、打設完了時の充填圧は、施工事例²⁾を参考に設定した目標値20kPa程度になったことを確認して作業を終了した。

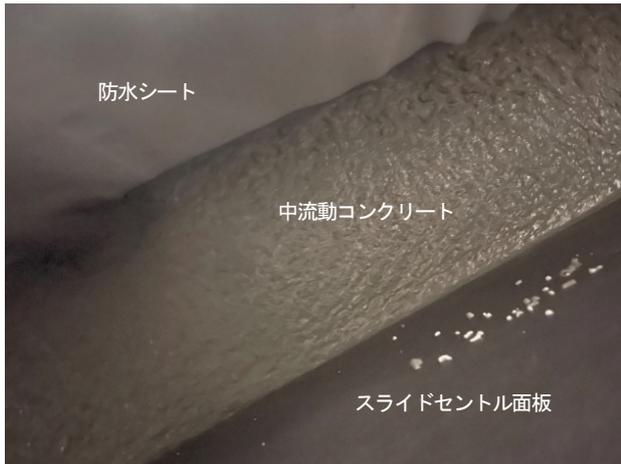


写真-7 中流動コンクリート打設状況 (型枠バイブレーター加振後)

(3) 覆工コンクリート表層の出来ばえ

覆工コンクリート表層の出来ばえ（剥離、気泡、水はしり・砂すじ、色むら・打ち重ね線、施工目地不良、検査窓枠段差）を良好に保つことは、作業員の技能差による品質のむらの防止や、締固め不足の解消をする必要があり、それらは耐久性の向上に繋がるものである。その点、型枠バイブレーターを用いた中流動コンクリートによる打設は、均一性の確保や締固め不足を解消でき、その性質上、水平に打ち上がってくるため、天端部での色むらが出にくく、気泡が軽減され、トンネル壁面の緻密性や美観を向上させることが期待できる。

脱型直後の表層状況を写真-8, 9, 10に示す。



写真-8 脱型直後のコンクリート表層状況 (全景ラップ側より)



写真-9 脱型直後のコンクリート表層状況 (全景妻側より)

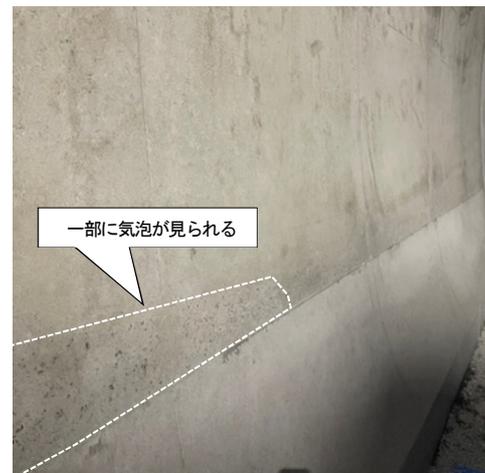


写真-10 脱型直後のコンクリート表層状況 (側壁部)

天端部及びアーチ部については、一般的に色むらが出来やすい箇所であるが、本スパンでは色むらは見られず良好な出来ばえであった。

側壁部についても、一般的に気泡や砂すじの出やすい箇所ではあるが、本スパンでは一部に気泡は見られるものの比較的少なく、中流動コンクリートの充填性が寄与したものと考えられる。

一方、打設孔部分には、色むら（流れ染み）や水平方向の色むらが薄く散見されたが、これら色むらは剥離剤との相性によるものと考えられ、時間経過とともに目立たなくなると思われることから、継続して観察する。

(4) 打設作業の省力化

打設中の配管切替・型枠バイブレーター制御・打上がり管理を完全自動化することで、標準6名の打設作業員を2名に省人化できた。また、配管切替作業には通常1箇所あたり15分程度要するが、8箇所の配管切替自動化による連続打設により切替作業約120分間削減できた。さらに、打設速度や型枠側圧、打設残量の算出が自動化され、打設管理業務も約90分間削減できた（表-8）。

表-8 覆工コンクリート打設での省力化・時間短縮効果

	標準人員	配置人員	省力時間
配管切替・締固め作業	4名	0名	120分
世話役	1名	1名	0分
配管切替・締固め補助	1名	1名	0分
打設作業員 合計	6名	2名	120分
打設管理業務(元請け)	1名	1名	90分

6. 結論と考察

本論では、トンネル覆工におけるスライドセントル改良ならびに中流動コンクリートの配合検討及び実機試験を経て、覆工コンクリート打設（1回目）を実施した。

結論としては次のとおりである。①示方配合による中流動コンクリートの打設は水平を保持し、型枠バイブレーターを稼働しても材料分離が見られず、問題なく打設することができた。②充填感知装置により、天端部の充填を確認しながら問題なく打設を完了することができた。③表層の出来ばえに関しては、1回目の打設結果のみの検証ではあるが、通常材料に比べて充填性が向上したことが寄与して、全般的に良好な状態であることが確認できた。④覆工コンクリート打設の完全自動化により省人化と時間短縮効果が得られることで、既設覆工の養生設備設置や箱抜きの準備、防水工の施工、それらの管理業務を実施することができ、トンネル覆工全体の省力化が図られた。

以上を踏まえると、覆工コンクリートの品質を確保でき、出来ばえも良好であり、さらに省力化が図られていることから、有効な施工方法であると考えられる。

他方、今後に向けた配慮事項や課題、改善策は次のとおりである。①中流動コンクリートの打設では、時間経過とともに比較的大きなスランプフロー低下を生じることが実機による配合試験により確認されたことから、現着から打設完了までの時間経過についても十分留意する必要があると考える。②コンクリート表層の出来ばえに

おいて、打設孔付近の色むらや水平方向の色むらが散見されたが、以降の打設において、色むら発生傾向及び要因の把握を行い、必要に応じて剥離剤の変更など改善策を検討していく予定である。③また、側壁部については比較的少ないながらも気泡が見られたことから、型枠バイブレーターの振動時間を変更しながら、継続的に振動時間の最適化に取り組んでいく予定である。④覆工コンクリート打設作業について、今回の試験的な打設作業では、配管切替において1回目の打設であり標準人員の4名が補助したが、今後、配管切替時の残コン処理等を2名で実施できるように手順・設備を改良していく予定である。

7. おわりに

本報告は、覆工コンクリートの品質向上の取り組みに関する計画から1回目の打設結果を取りまとめたものである。今後、覆工コンクリートの打設作業が本格化していく中で、継続的に本取り組みを検証・改善しながら、より効率的で効果的な覆工コンクリートの品質向上を目指して取り組んでいく所存である。

謝辞：最後に本稿を執筆するにあたり、ご指導とご協力を頂いた関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路株式会社：トンネル施工管理要領，令和2年7月
- 2) 谷藤義弘ほか：中流動覆工コンクリートの導入結果について，平成22年年度北海道開発技術研究発表会