

第66回(2022年度) 北海道開発技術研究発表会論文

覆工コンクリートにおける品質確保の取り組み —新稲穂トンネルR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 ○山崎 拓人
小川 修
西松・草別特定建設工事共同企業体 鈴木 辰弥

覆工コンクリートの施工に起因する不具合(初期欠陥)の発生を防止するため、「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価」を全スパンに適用し、PDCAを廻して継続的に覆工コンクリートの品質向上に取り組んだ。併せて使用配合・剥離剤の変更及び打込み・締固め方法の改善等を行い、覆工コンクリートの品質を向上させた施工事例について報告する。

キーワード：覆工、品質向上、施工状況把握チェックシート、表層目視評価、PDCA

1. はじめに

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な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を施工するものである。新稲穂トンネル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R側の仁木工区側を施工するものである(図-1.2)。

【工事概要】

工事件名：一般国道5号 仁木町外
新稲穂トンネルR側仁木工区工事
工事場所：起点 岩内郡共和町～終点 余市郡仁木町
工期：平成31年2月22日～令和5年3月20日
工事内容：工区延長 L=1,393m(幅員：W=8.80m)
掘削工(NATM,発破・機械掘削) L=1,381m
設計掘削断面積(CII) 51m²
覆工・防水工L=672.5m、仮設工1式

本報告では「施工状況チェックシート」と「表層目視評価」を使用した、覆工コンクリートの品質向上に関する取り組みについて報告する。

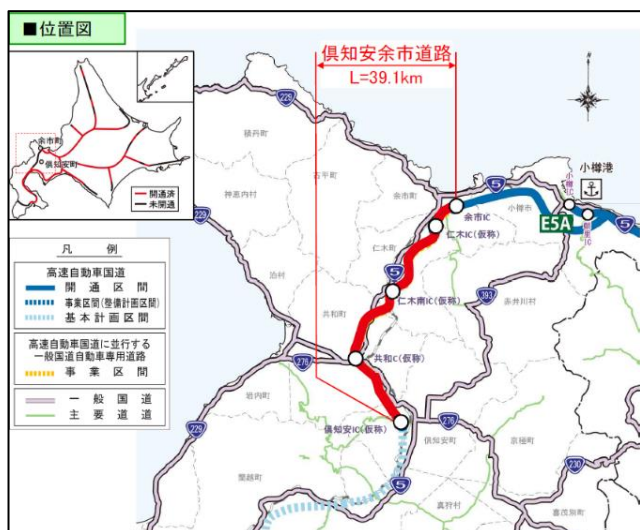


図-1 倶知安余市道路位置図

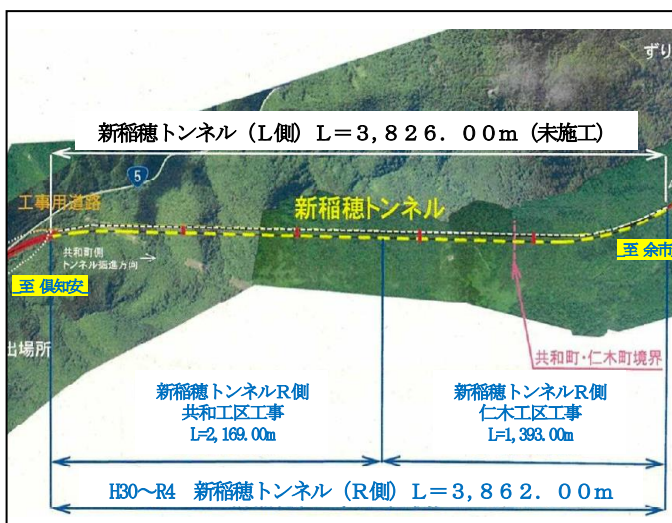


図-2 工事場所位置図

3. 品質向上への取り組み

覆工コンクリートは供用後の定期点検において、施工に起因する不具合事例が見受けられており、示方書等に記載された基本の通りに施工・打込みを行い、覆工本来の品質を確保することが求められている。

本工事は、国土交通省の品質向上を目的とした「コンクリートの締固めを行いつらい環境（トンネル覆工等）」により選出されたコンクリートの品質向上に向けた試行対象工事（令和2-3年度）である。施工段階からコンクリートの品質を確保することで、有害なひび割れに代表されるコンクリートの初期欠陥の抑制とコンクリートの表層品質向上を目的とし、「施工状況チェックシート」と「表層目視評価」を使用した品質向上への取り組みを行った。なお、試行では全スパンに対して2回以上の「表層目視評価」の実施を求めているが、本工事では全スパンで実施した。

(1) 施工状況チェックシート

施工状況チェックシート（図-3）は、トンネル特有の施工条件を勘案し、施工の各段階における確認すべき基本事項が抽出されており、示方書等で示されている作業工程が現場で忠実に実行されているか確認することを目的としている。本工事では、施工状況チェックシートを使用した施工管理（準備工～打設完了）も全スパンで実施した。

(2) 表層目視評価

表層目視評価は、スライドセントル脱型・移動後に目視で行った。評価項目は剥離、気泡、水はしり・砂すじ、色むら・打重ね線、施工目地不良、検査窓枠段差の6項目であり、各々4点満点（0.5点刻み）で点数化する（図-4）。6項目4段階、24点満点の定量評価により施工方法の妥当性の検証や改善点の追及が可能となり、継続的に運用することで品質向上のPDCAを廻すことが可能となる。

本工事では、スライドセントル脱型・移動後に打設済スパンの出来栄を関係者で確認して、点数付けを行った。目標点数に達していない項目の原因追求と対策を実施し、PDCAを廻すことで、出来栄を向上させることができた。

事務所名	新福穂トンネル出張所	工事名	一般国道5号 仁木町外 新福穂トンネルR側に本工区工事			出来映えの影響						第三者被害防止に関する事項	
			トンネル名称	新福穂トンネル(R側)	打設BL	22	BL	目視評価項目					
受注者	西松・草別特定JV	確認者	小島 雄登			剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら・うち重ね	施工目地不良	検査窓枠・段差		
配合	27-15-40N	確認年月日	2021/12/08										
打設開始時間	08:13	打設時坑内温度	13.0℃			①	②	③	④	⑤	⑥		
打設終了時間	14:45	打設作業人員	6名	パイプ台数	13								
打設中断時間（昼休み等）		打設数量(m)	84.0	平均打設量	13.0								
施工段階	チェック項目		記述	確認	チェック理由								
準備工	1.打設地盤の水たまりはないか、地盤締固めは十分か		湧水の強制排水	✓	コンクリートの品質低下、不平等下によるひび割れを防止する			○					
	2.既コンクリート部に、セントルの過度な押し上げによるひび割れはないか		クラック防止センサー	✓	半月状ひび割れが剥離となる懸念あり。第三者への被害防止を図る								○
	3.型枠の設置場所は敷き均し良好な地盤で不平等下はないか		良質なズリで置換	✓	不平等下により、有害なひび割れの発生（半月状・縦断ひび割れ等）			○					○
	4.防水シートのたるみは適当であるか（貼りすぎても不適当）		箱抜き部余裕あり	✓	張りすぎると背面空洞及び漏水の発生につながる								○
	5.型枠表面状況は良好か		下げネコ部再ケレン	✓	覆工表面の緻密性の低下（剥離付着により豆板の発生）		○	○					○
	6.剥離剥塗布状況の確認		0.12/nf程度塗布	✓	覆工表面の緻密性の低下（剥離付着により豆板の発生）		○	○					○
	7.施工目地材の固定は確実か、曲がりはないか		職員目視確認	✓	目地材の遊動により付着モルタルの剥離→第三者被害の防止						○		○
	8.箱抜き型枠、セントルヒンジ部（縦断方向）に加工誤差による隙間はないか		テープ巻コーキング確認	✓	モルタル分の流出による砂すじ・豆板の発生、緻密性低下の防止		○	○					○
運搬	1.練り混ぜから打設終了までの時間は適切か		1.5時間（夏季）	✓	材料分離、スランプ低下、空気量の変動による施工性の低下の防止		○	○	○				○
品質	1.受入検査結果はコンクリートの規格を満足しているか		規格値OK	✓	品質低下：規格外時は原因の追究		○	○	○				○
打設	1.妻部のブリーディング水の排出は十分に行っているか		ひしゃく矢張間で排出	✓	施工目地の強度低下による早期変化、うき、剥離・剥落が発生するため			○	○				○
	2.締固めにバイブレーターを鉄筋に接触させていないか、鉄筋かぶりは適切か		無筋区間	✓	鉄筋とコンクリートの付着不足、破り不足は鉄筋露出の原因となる		○			○			○
	3.左右対称に打設しているか		防水シートマーキング	✓	偏荷重による型枠の変形や押し出しによる施工目地部に不具合が発生						○		○
	4.コンクリートの吐出口から打ち込み面までの高さは1.5m以内か		サンナー一ス養生	✓	材料分離による過大な気泡、豆板、ジャンカの発生及び品質の低下を招く		○	○	○				○
	5.コンクリート1層あたりの打ち込み高さは50cm以下か		防水シートマーキング	✓	締固め不足や材料分離を発生させない		○	○	○				○
	6.天端吹上口周囲に打ち込み当初の残留コンクリートは無い		残留コンを除去	✓	打重ね線、うき、剥離・剥落の発生防止		○						○
	7.打設口（検査窓）の閉鎖状況（締め付け）は十分か		閉鎖確認リストを現場確認	✓	段差の発生とノロ漏れによる砂すじの発生、緻密性の低下		○	○					○
	8.バイブレーターをコンクリートを横移動させるために使用していないか		下層10cm5～15秒	✓	材料分離及びブリーディング水発生を助長させるため								○
特記事項	1.ブリーディングの残留を抑制する設備（バフク・吸引ホブ）		設置確認	✓	ブリーディングの残留を排除して品質確保			○	○				○
	2.天端部の充填管理として圧力センサー（3箇所設置）による確認		目標圧力確認	✓	圧力不足による天端空隙・緻密性の低下		○			○			○
	3.天端部の締固め設備として型枠バイレーターの振動時間確認		締固め時間確認	✓	過振動による材料分離および締固め不足による表面不良防止			○	○	○			○
	4.連続ベルトコンベアへの巻込まれ防止として金網養生実施		設置状況確認	✓	狭小断面トンネルによる接触防止対策								○

図-3 施工状況チェックシート使用例

(1) 覆工従事者教育

覆工コンクリート打設前に覆工セミナー（施工前）を工事関係者全員参加で実施し、打ち込み方法や施工・安全上の注意点を周知した。

施工中は打設開始から約2ヶ月後（計10スパンの打設完了時）に覆工セミナー（フォローアップ）を開催し、施工方法に関する改善点の検討・提案や打設方法の指導を実施した。さらに、元請会社の覆工経験者や協力会社の覆工世話役による現地確認および施工方法の改善指導も実施した。

(2) 締固め機械（壁バイブレーター（32台））の採用

通常のインナーバイブレーターに加え、両妻側周方向（施工目地部）とS L及び天端縦断方向に壁バイブレーター（振動モーター出力550W/台）を合計32台設置し、集中制御システムで締固めを行った。締固め不足や表面品質の低下が発生しやすい箇所の締固めを壁バイブレーターで補完することで、品質向上に努めた。

(3) 天端充填管理（圧力センサー（3箇所））の採用

スライドセントルの天端縦断方向（3箇所）に圧力センサーを設置した。コンクリートの充填圧をリアルタイムで監視しながら加圧充填を行うことで、天端部の充填性を向上させた。目標管理圧力は40kPaとした。

(4) コンクリート配合の検討

特記仕様書に示される標準配合は、無筋コンクリート配合でT-1P(2)、有筋コンクリート配合でTRC-1P(2)である。本工事では冬季の気温低下を考慮し、早期に強度発現が期待できる普通ポルトランドセメント配合のTRC-1P(2):27-15-40Nに決定し、打設を開始した。また、天端吹上げ打設時の流動性を確保するため、流動化剤を採用した。施工初期は、粉体系の流動化剤を使用したが、改善効果が小さかったため、液体系流動化剤（高性能AE減水剤）に変更した。

打設初期に天端の一部に水はしり・砂すじが見受けられ、施工方法の変更のみでは改善が図れなかったことから、使用配合のスランプを18cm、粗骨材の最大寸法を20mmに変更し、最終的に27-18-20Nを使用したことで改善が見られた。

(5) 剥離剤の選定

剥離剤は、気温や温度、使用するコンクリート配合、スライドセントルの面板等との相性が存在するため、個別の現場で選定を行い、最適化を図る必要がある。また、塗布量も、縞模様の色むらや脱型時の剥離、油じみといった出来栄不良の原因となるため、早期に適量を選定する必要がある。

本工事では、合計5種類の剥離剤（図-6）を試した結果、高動粘度で剥離性能が強い剥離剤⑤を選定した。

	製品名				
	①	②	③	④	⑤
会社名	A社	B社	C社	C社	A社
動粘度	3	3.3	23	21.8	25
性状	油性	油性	油性	油性	油性
特徴	7777部の色むら少なく肌面を白くする傾向	T-14等の密閉空間でのコンクリート剥離。低臭気タイプ	7777部の縞模様目立たなく気泡の発生が少ない	強力な剥離効果があり、条件の悪い現場(T-14)に効果的	離型力が非常に強く、無垢の型枠にも使用可能
出来栄	剥離が多く、天端の水はしり顕著	剥離・天端の水はしり改善されず	天端の水はしり改善傾向見られる	天端の水はしり改善傾向見られる	色むらは多少見られるが、天端の仕上り状況の改善見られる
使用箇所	22BL~26BL	27BL~33BL	34BL~35BL	36BL~37BL	38BL~
評価	△	△	○	○	○

図-6 剥離剤の選定履歴

5. 評価点の推移と考察

各評価項目の評価点の推移について以下に考察する。

(1) 剥離

剥離剤について試行錯誤を行い、剥離性能に優れた動粘度の高い剥離剤を選定し、塗布量の最適化を行ったことで、剥離の改善が図れた。



図-7.1 表層目視評価点(剥離)の推移

(2) 気泡

配合変更、覆工従事者との対話や改善に向けた取り組みを継続的に行ったが、結果として側壁部下方の気泡抑制は図れなかった。今後の課題として、打設速度・1層打ち上がり高さの調整・締固め時間の最適化および覆工従事者との粘り強い改善への取り組みが必要と考える。

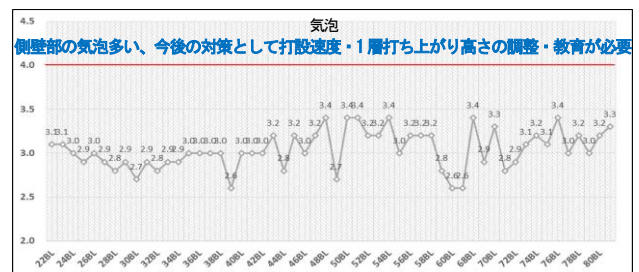


図-7.2 表層目視評価点(気泡)の推移

(3) 水はしり・砂すじ

打設中期に40～48BLにおいて側壁の一部に砂すじが見受けられ、局所的に点数が低くなったが、側壁部にパイプサポートを追加設置し、スライドセントルの打設時の挙動をより抑制したことで改善を図った。また、天端縦断方向の壁パイプレーターの使用方法の試行錯誤を行い、使用頻度を高めたことで改善が図れた。

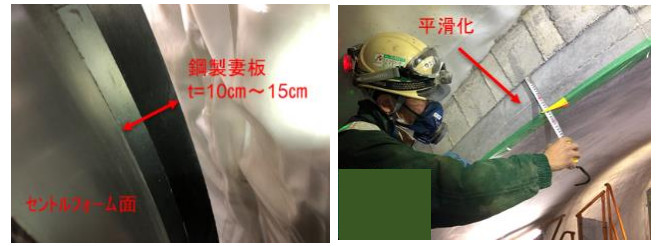


写真-1 鋼製妻板設置状況と脱型後状況

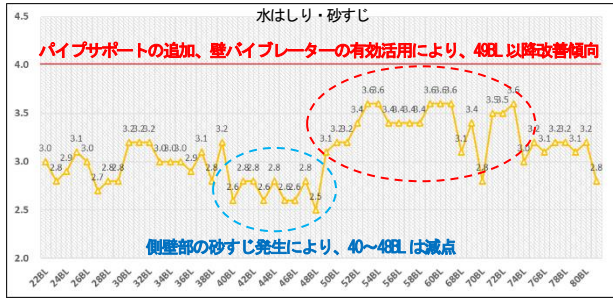


図-7.3 表層目視評価点(水はしり・砂すじ)の推移

(4) 色むら・打重ね線

動粘度の高い剥離剤を選定したことにより、剥離の抑制効果がある反面で、色むらが発生する傾向にあった。本工事では、供用後の剥離による第三者災害の発生を考慮し、剥離の抑制効果を優先した。

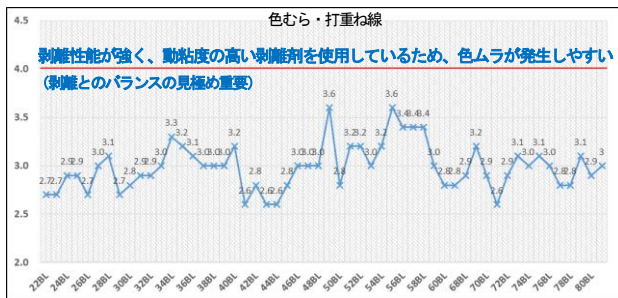


図-7.4 表層目視評価点(色むら・打重ね線)の推移

(5) 施工目地不良

鋼製妻板（幅10～15cm）を採用し、鉛直打継ぎ面の一部を平滑化させたことで目地ひび割れは発生しなかった（図-8）。また、スライドセントルセット時および打設中の挙動監視を行った結果、全スパンを通して目地の乱れ等は発生しなかった。

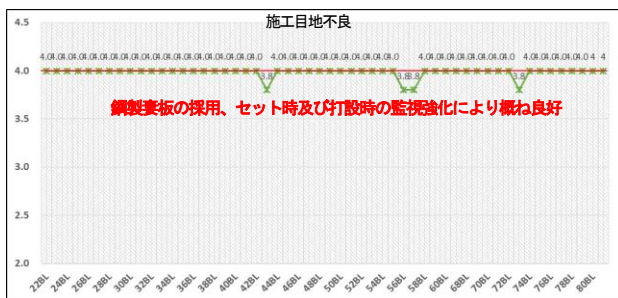


図-7.5 表層目視評価点(施工目地不良)の推移

(6) 検査窓枠段差

全体的に高評価であったが、打設中期で評価が低くなった。これは「水はしり・砂すじ」の発生を抑制するために天端縦断方向の壁パイプレーターの使用頻度を高めたことで、窓枠固定ピンが緩んでいたことが原因であると判明したため、打設時の設備点検強化（固定状況の確認）を行ったことで改善した。

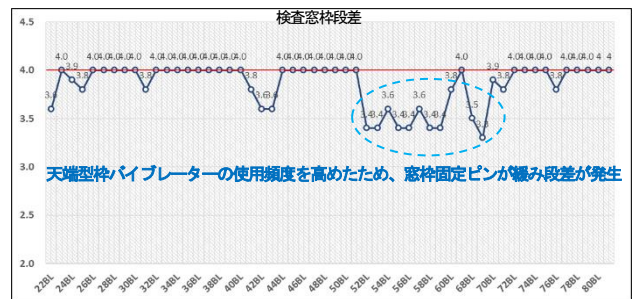


図-7.6 表層目視評価点(検査窓枠段差)の推移

6. 今後の課題

(1) 打込み・締固め方法の改善

側壁部下方の気泡は、打設速度、1層の打ち上り高さ、締固め方法により左右される。最終的には工事毎で最適化を図る必要があるが、各工事での試行結果を取りまとめて、最適化への近道を示す必要がある。

また、特に気泡が発生しやすいコンクリート投入箇所付近の締固めは、コンクリート投入時に巻き込んだ空気を確実に排出するよう注意する必要がある。

(2) 表面仕上がりの改善

本工事では、剥離の抑制効果を期待して動粘度の高い剥離剤を採用したが、色むらが発生しやすい傾向にあった。剥離剤の選定も重要だが、同時に使用する型枠（スライドセントルの面板仕様）選定も重要と考える。本工事の面板は未加工の無垢鉄板仕様だったが、表面仕上がりは改善の余地があったものとする。また、コンクリートや剥離剤との相性により仕上がり状況が異なるため、実施工前に試験施工を行い、状況確認を行うことも有効だと考える。

(3) コンクリート配合の選定

覆工コンクリートの出来栄は、コンクリートの流動性及び材料分離抵抗性が大きく影響するため、表層品質の向上を追求する上でコンクリートの配合選定は重要である。標準配合を含めて、実機による練り混ぜ試験を行いコンクリートの練り上がり及びスランプロス等の性状把握は必要と考える。配合決定においては、工事関係者の他に外部の覆工経験者にも意見を求めて、コンクリート配合を検討できるような仕組みなども有効と考える。

(4) PDCAデータの蓄積と活用

今回実施した「施工状況チェックシート」や「表層目視評価」を採用する工事件数を増やし、取り組み内容や結果を集計・蓄積することで、好事例や施工上の注意点など、品質向上に有益な情報を各工事に水平展開することが可能と考える。工事毎に現場条件（断面積や施工延長、コンクリート配合等）は異なるが、各工事が単独で取り組むよりは遥かに効率的だと考え、本取り組みの輪が広がることを期待する。

7. おわりに

本報告により記述した「施工状況チェックシート」及び「表層目視評価」は、単に○×評価や点数付けを行うことにとどまらず、関係者が品質向上への目的意識を持って継続的かつ意欲的にPDCAに取り組むことが重要である。本工事では発注者・元請会社・協力会社の三者が全スパンを通じて実践した。本工事以外のコンクリートを施工する多くの現場においても、「施工状況チェックシート」及び「表層目視評価」をコミュニケーションツールとして活用し、高品質な構造物の構築及び発注者・元請会社・協力会社の技術力向上が図られることを期待したい。

謝辞：本工事の品質向上への取り組みに関し、ご指導とご協力を頂いた全ての関係者の皆様に感謝申し上げますとともに、覆工コンクリートの品質向上の取り組みについて、今後も変わらぬご指導ご鞭撻のほど、何卒宜しくお願い申し上げます。

参考文献

- 1)国土交通省 東北地方整備局：
コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）2021年 改訂版