

トンネル覆工コンクリートの 施工時のPDCAによる品質向上効果の報告

平方 宏朋¹・佐藤 勉²・細田 暁³・佐藤 和徳⁴・日向 哲朗⁵・白岩 誠史⁶

¹正会員 (株) 安藤・間 名古屋支店 坊方トンネル作業所 (〒506-2123 岐阜県高山市丹生川町町方 1407-4)
E-mail: hirakata, hiroto@ad-hzm.co.jp

²国土交通省 中部地方整備局 愛知県道事務所 (〒464-0066 愛知県名古屋市千種区池下町 2 丁目 63)
E-mail: satou-t85ae@mlit.go.jp

³正会員 横浜国立大学大学院 教授 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)
E-mail: hosoda-akira-jh@ynu.ac.jp

⁴正会員 日本大学 上席客員研究員 (〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地)
E-mail: maguroeaglerhitosuji@sage.ocn.ne.jp

⁵正会員 (株) 安藤・間 建設本部 土木技術統括部 (〒105-7360 東京都港区東新橋 1 丁目 9 番 1 号)
E-mail: hyuga.tetsuro@ad-hzm.co.jp

⁶正会員 (株) 安藤・間 建設本部技術研究所 脱炭素技術開発部 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1)
E-mail: shiraiwa.seishi@ad-hzm.co.jp

河津トンネル小鍋地区工事は、国土交通省中部地方整備局発注の2車線道路トンネル新設工事であり、全長1,884mの河津トンネルのうち小鍋地区側の約500mを施工する。本工事は国土交通省中部地方整備局のトンネル覆工コンクリートの品質確保対策の試行工事に選定され、品質確保を目的として活動している土木学会コンクリート356委員会の指導のもと、施工時の覆工コンクリートに発生する不具合の抑制と表層品質向上を目的とした施工状況確認と改善措置の実施に取り組んだ。「施工状況把握チェックシート」及び「表層目視評価シート」を活用し、コンクリート表層の品質を評価し、その都度、施工の改善事項をまとめて次の施工に反映した。コンクリートのスランプ、打込み・締固め方法、養生方法等に工夫を講じ、「剥離」, 「気泡」, 「水はしり・砂すじ」, 「色むら, 打重ね線」の改善効果を確認できた。

Key Words : tunnel, lining concrete, NATM, quality evaluation, defect prevention

1. はじめに

本報告は、河津トンネル小鍋地区工事において試行したトンネル覆工コンクリートの品質確保対策について報告する。本工事は国土交通省中部地方整備局のトンネル覆工コンクリートの品質確保対策の試行工事に選定され、土木学会コンクリート委員会の356委員会指導のもと、産官学が協働して品質向上に挑んだ工事である。産官学の品質検討会は、web等のリモートで2回、現地にて5回の合計7回実施した。具体的には覆工コンクリートの施工に起因する不具合の抑制と表層品質向上を達成するために、「施工状況把握チェックシート」¹⁾及び「表層目視評価シート」¹⁾を活用し、施工のPDCAサイクルを実施することで、品質の改善を試みた。

2. 河津トンネル小鍋地区工事の概要

伊豆縦貫道概略図と本トンネルの位置関係を図-1に示す。河津トンネルは伊豆縦貫自動車道の一部を構成する河津下田道路 (II期) のうち、河津IC (仮称) ~ 逆川IC (仮称) 間に位置する全長1,884mの2車線道路トンネルである。河津トンネル小鍋地区工事は、小鍋地区側の掘削延長474mおよび覆工延長524.5mを施工する。トンネルの断面について図-2に、DI-bパターンの標準断面図を示す。

河津トンネルを構成する地質は、図-3に示すように小鍋地区に湯ヶ島層群の火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩を主体とするYv層が主に分布し、凝灰質砂岩層等 (Ys 層) や輝石安山岩質溶岩・輝石安山岩質自破碎溶岩 (YI層)

を挟む。小鍋地区の高標高部から逆川地区には、白浜層群の輝石安山岩質溶岩・輝石安山岩質自破碎溶岩（SI層）を主体に分布する。

掘削方式は発破掘削方式、支保パターンは坑口部を除きDIパターンにより施工した。補助工法については坑口部からF1断層までの範囲で長尺鋼管先受け工を7シフト実施した。

3. 覆工コンクリートに発生し得る不具合

東北地方整備局のコンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）¹⁾に示されるトンネル覆工コンクリートの劣化しやすい部位と不具合の発生部位の模式図を図-4に示す。今回の試行工事では、施工目地部のうき・はく離・はく落や有害なひび割れに代表される不具合を抑制することと、コンクリートの表層品質の向上を目指した。

4. 品質確保対策

(1) 配合選定

本工事における覆工コンクリートの施工時期は、主に夏期となり、また乾燥収縮ひび割れ対策として合成短繊維補強材を添加したコンクリートを使用する。このため、スランプロスにより流動性が低下し、クラウン部（図-2）の締固めが困難となることが予想された。そこで、打込み時の筒先におけるスランプの目標値を18cm

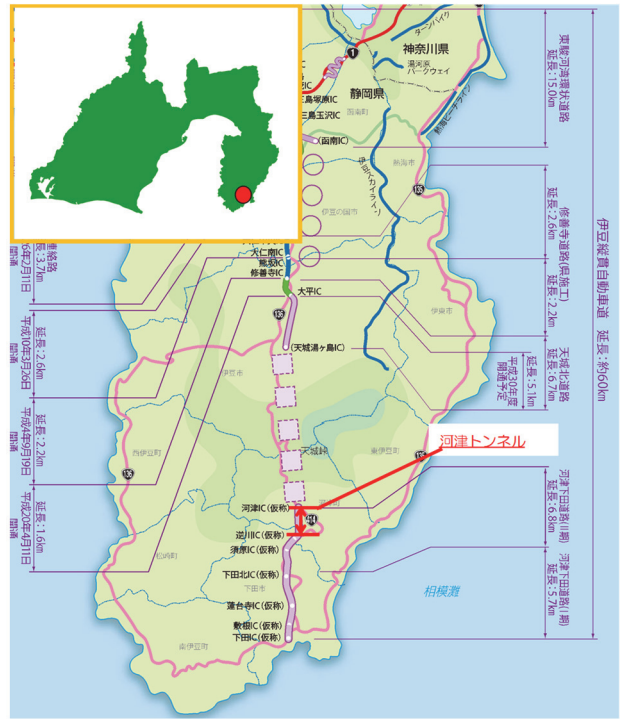


図-1 河津下田道路位置図

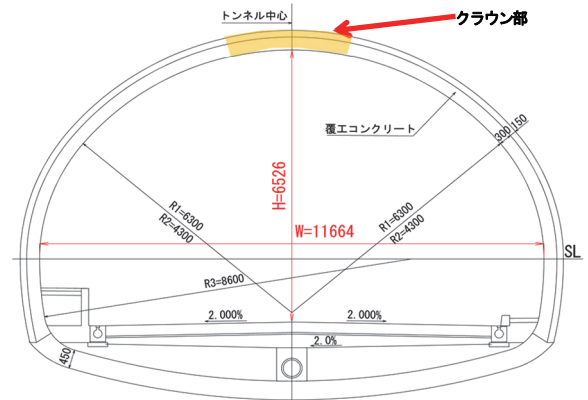


図-2 トンネル標準断面図 (DI-b断面)

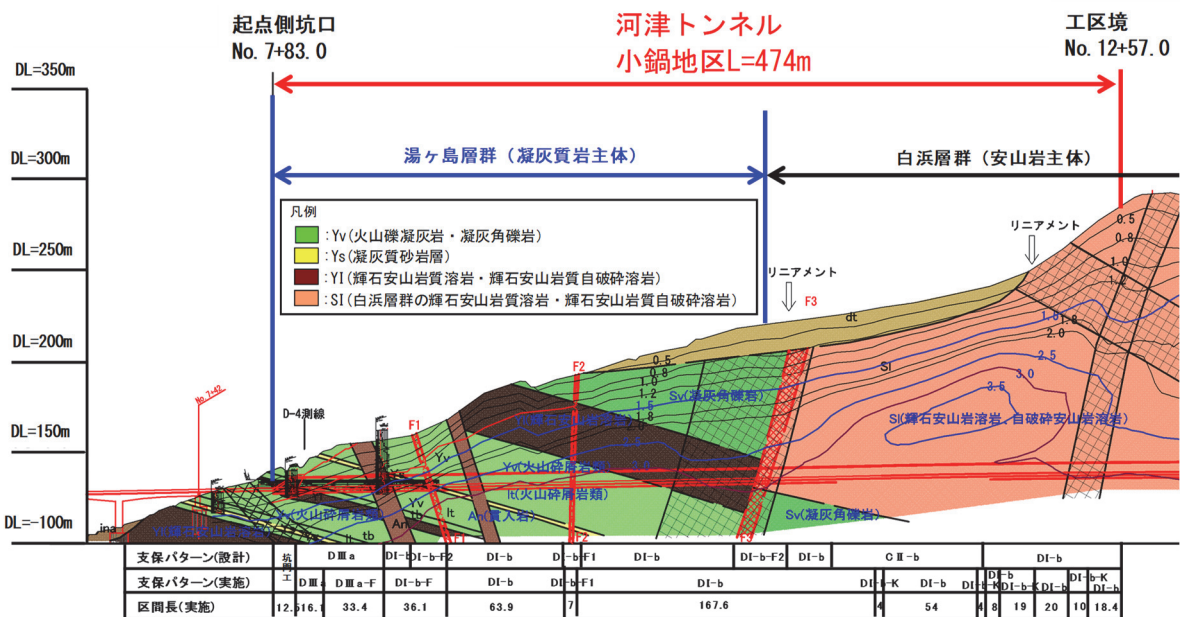


図-3 地質縦断面図

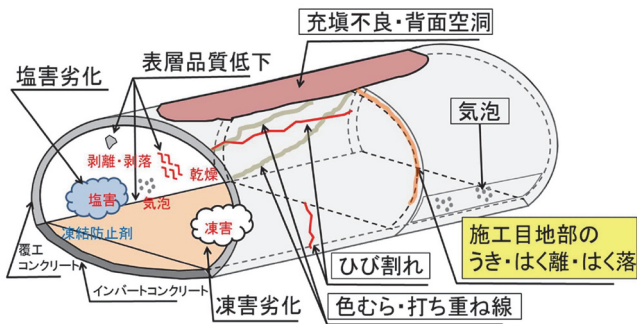


図-4 トンネル覆工コンクリートの劣化しやすい部位と不具合の発生部位について

表-1 室内試験練りにおけるスランプロスの結果

配合	ベースコンクリート	繊維コンクリート			判定
	スランプ	繊維混入後スランプ	60分後	スランプロス	
24-21-20N	20.5	19.0	17.5	3.0	○
24-21-20BB	21.0	19.0	13.0	8.0	x

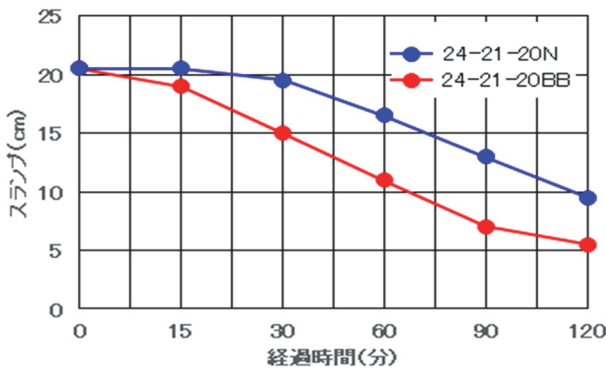


図-5 実機試験練りにおけるスランプロスの結果

とし、ベースコンクリートの配合を18-15-20BB（呼び強度_スランプ_粗骨材の最大粒径_セメント種別）から24-21-20BBまたは24-21-20Nに変更することを検討した。

室内試験練りにおいて、表-1に結果を示すように、N（普通セメント）の配合は、練上がり60分後のスランプロスは、3cm程度に収まっている。一方BB（高炉セメントB種）の配合は、練上がり60分後のスランプロスは8cmとなりNと比較して大きい結果になった。

実機試験練りにおいてスランプの経時変化を比較した結果を図-5に示す。Nの配合は、スランプロスは4cm程度に収まるが、BBの配合は、60分後で9.5cmと大きく低下した。以上の試験練りの結果よりセメントの配合をBBからNへ変更した。

なおBBからNへ変更した結果、アルカリシリカ反応のリスクが高まる。JR東日本では化学法によるアルカリ骨材反応の判定区分について、JISによる区分より厳しい基準を設けている²⁾。図-6に化学法の試験結果を示す。今回使用予定の骨材は、JIS区分では「無害判定」となるが、JR東日本判定区分²⁾では「準有害判定」とな

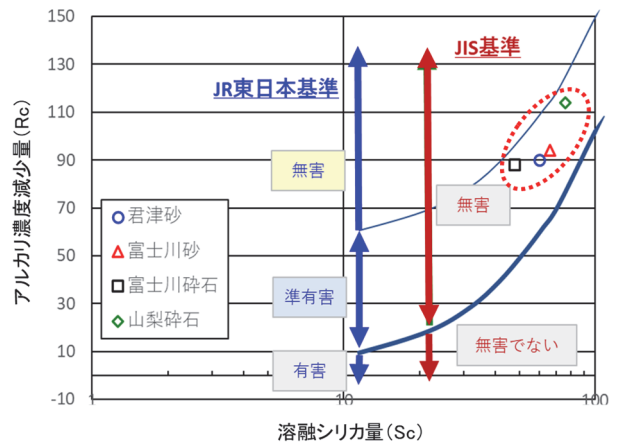


図-6 アルカリシリカ反応試験結果

表-2 覆工コンクリート配合表

呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	粗骨材最大寸法 (mm)	セメント使用量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)	水 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	混和剤 (kg/m ³)	セメントの種類
24	21	20	303	57.5	174	935	876	3.33	普通セメント

表-3 使用材料

材料	種類	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	比重3.16
水	地下水	
細骨材	富士川中流域産	表乾密度2.65g/cm ³
	千葉君津産	表乾密度2.61g/cm ³
粗骨材	富士川中流域産	表乾密度2.67g/cm ³
	山梨県南巨摩郡南部町産	表乾密度2.65g/cm ³
混和剤	マスターグレンウムSP8SV	密度1.08g/cm ³ (参考値)
合成繊維	ポリプロピレン繊維	密度0.91g/cm ³

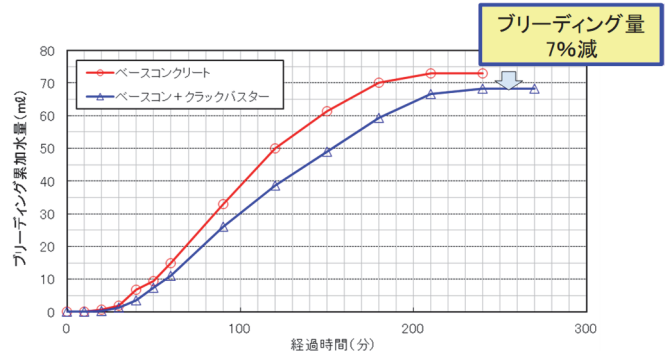


図-7 ブリーディング試験結果

る。準有害判定の場合の抑制対策は、アルカリ総量を2.2kg/m³に規制するもしくは混合セメント等による対策とされている。今回はアルカリ総量が1.9kg/m³であり、2.2kg/m³以下であることを確認した。

以上の試験練り・実機練りを行った結果、表-2に示す配合を選定した。また、使用材料を表-3に示す。

さらに合成短繊維を添加することでブリーディング量がベースコンクリートから減少することを確認するためにブリーディング試験を実施した。その結果を図-7に示す。ブリーディング量は7%減少しており、覆工コンクリート全体の品質向上と、特に施工目地近傍のコンクリートの品質向上が期待できる。

(2) 打設計画

コンクリートの打設計画における改善事項を以下に示す。

- a) 先送りモルタルを型枠内に入れないように、検査窓から配管を出して大型土嚢でモルタルを受けるように作業手順に記載し周知した。
- b) 壁部における打込み時の落下高さが 1.5m 以内となるように先端のホースの長さを調整し、1 層の打込み高さの目安とし防水シートに高さ 50cm ごとのマークを記入した。(写真-1 参照)
- c) 側壁部のコンクリートの締固め時は、横流しを避けるために3か所でバイブレータをかけ、下層コンクリートに 10cm 以上差し込み、材料分離が生じないように1箇所あたり 5~15 秒かけて孔が残らないようにゆっくり引抜くこととした。
- d) 覆工コンクリート目地部の既打設コンクリートとの付着が原因によるひび割れや欠けによるはく落を防止する対策として、脱型後の目地部に合成樹脂塗料を塗布する。(写真-2 参照)



写真-1 防水シート 50cm マーキング

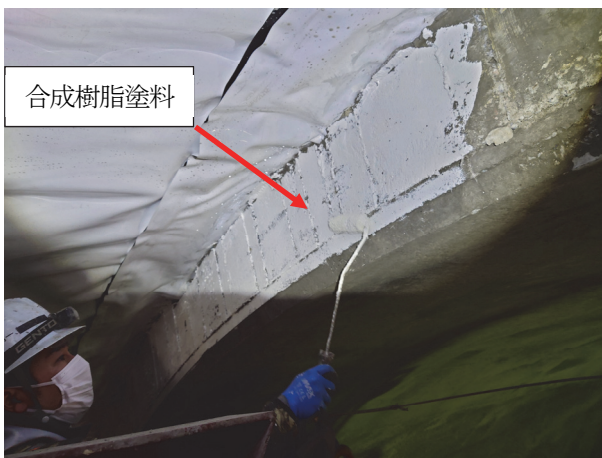


写真-2 合成樹脂塗料の塗布状況

5. コンクリート施工状況把握チェックシートと表層目視評価シートの活用

表-4に示す「施工状況把握チェックシート」は、山口県の「コンクリート構造物品質確保ガイド」³⁾を元にして、トンネル特有の施工条件を勘案して、施工の各段階における基本事項を抽出したシートである。これらのチェック項目を施工計画の段階で確認し、施工の事前準備に反映させ、基本事項を遵守した施工の実施を試みた。本工事では、準備段階で10項目を確認実施し、打設中・養生段階では、16項目の確認を実施した。

図-7に示す「表層目視評価シート」は脱型後に目視で「はく離」、「気泡」、「水はしり・砂すじ」、「色むら、打重ね線」、「施工目地不良」(型枠の移動)「検査窓枠段差」の6項目に分けて評価し各項目に対して4点満点の0.5点刻みで不具合の状態を評価する方法である。脱型後に観察する覆工の部位について、図-8に示す。

両チェックシートを覆工全線49BLで有効活用することで、施工方法の妥当性の検証や施工方法改善のためのPDCAに活用することができ、必要に応じて改善作業を繰り返すことで改善効果を確認できた。

表-4 施工状況把握チェックシート

準備工		1. 打設底盤に水たまりは無いが、打設底盤の締固めは十分か
準備工	セット前	2. 型枠の設置場所は、数均し良好な地盤で不等沈下の懸念はないか
	セット後	3. 防水シートのたるみは適当であるか(張りすぎても不適合)
準備工	セット前	4. 型枠表面状況は(ケレン残しは無い)
	セット後	5. 既設コンクリートのラップ部に、セメントの過度の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の使用と目視】
準備工	セット前	6. 剥離剤の塗布状況の確認(過度の塗布、塗布もれは無い)
	セット後	7. 施工目地材の固定は確実か、曲がりはないか
準備工	セット前	8. 箱抜き型枠、セメントヒンジ部(縦断方向)に加工層差による隙間は無い
	セット後	
運搬		1. 練混ぜてから打設終了までの時間適切か (外気温が25℃を超えるとき:15時間、25℃以下のときでも2時間以内となっている)
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 1台目【O】 150㎡毎【 - 】
打設		1. つま部のフリージンの排出は十分に行っているか【フリージング水排水型枠及び残留エアの排出確認】
		2. 締固め中にバイブレータを鉄筋に接触させていないか、鉄筋振りは適切か
		3. 側壁部は左右対称に打設しているか
		4. コンクリート吐出口から打込み面までの高さは1.5m以下となっているか(サニーホースで高さ調整)
		5. 一層の高さは、50cm以下としているか(防水シートに打設高さのマーキング、バイブレータに打込み確認のマーキング)
		6. 吹上げ口への切替え時期は適切か(できるだけ高い位置まで打設口を使用している)
		7. 天端の吹上げ口周囲に、打込み当初の残留コンクリートはないか
		8. 打設口(検査窓)の閉鎖状況(締め付け)は十分か【全83箇所】
		9. 長距離を横移動させないように、片側2箇所以上の打設口を使用しているか【ラップ側2番目、棟部2番目】
特記事項	配合	1. 合成繊維補強材の添加によるひび割れ抵抗性の向上 2. 高性能AE減水剤の使用
	セメント設備	1. フリージング水と残留エアの排出状況の確認 2. 加温養生【セメント温度30度以上】
養生		1. 打設部の緻密性向上【表面浸透材の塗布:CS-21、脱型後4日間以内】
		2. 目地部の不具合防止対策【合成樹脂塗料:タイコーペイント】【創意工夫】

* 青字: 本工事にて追加したチェック項目

具体的に実施したはく離対策は、自動ケレン機を10BLから採用し、ケレン不足を解消した。(写真-3参照) また外気温が低下してくる秋頃からは、セントル加温養生用の面状発熱体を設置できない箇所では、投光器、ハロゲンヒータによる給熱養生を行い、天端部では型枠バイブレータをかける位置を4箇所から8箇所に増やした。また貫通後は、トンネル内を通る風によるセントル天端部内の温度低下防止のために養生シートを設置した。この結果、図-9に示すように剥離評価点は、当初

3.6点台から徐々に向上し、約半数のBLに至るとほぼ満点の4点近くとなった。

気泡への対策としては、バイブレータをかける秒数や気泡が多い側壁部では型枠外から振動バイブレータをかけ、バイブレータの掛け過ぎと思われる箇所では、バイブレータの径を50mmから40mmに変更した。しかし気泡評価点の推移としては図-10に示すように、当初から終了にかけて全般的にばらつきがあり、安定しない結果となった。

水はしり・砂すじへの対策としては、図-11に示すように覆工コンクリートの全高7.5mを15リフトに分け、5、9、12リフトの高さに打設孔を設けている。13リフト以上の3リフト目からは、吹上げとなる。

この際に図-11中の①に示す切羽側の検査窓の下部の打継目で水はしりが確認されバイブレータの不足箇所が見られた。そこで、25BLからは吹上げ打設に切り替え

調査時期	脱型直後から初期養生開始前				
調査方法	・近接できない範囲は、覆工センターから照明を当てながら観察				
評価点		4	3	2	1
① はく離		無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m ² 程度以上の大きさで見られる	2点の状態以上に広範囲に見られる
② 気泡 (1.5m×1.0m範囲で調査)		5mm以下の気泡もほぼ無し	5mm程度の気泡が10ヶ程度見られる	10mm以上が10ヶ程度または5mm以下が20ヶ程度見られる	10mm以上が20ヶ程度見られる
③ 水はしり・砂すじ		無し	一部に見られる (全体の1/10程度)	やや多く見られる (全体の1/3程度)	2点の状態以上に広範囲に見られる
④ 色むら、打重ね線		ほぼ無し	一部に見られる (全体の1/10程度)	全体の半分程度にみられる	2点の状態以上に広範囲に見られる
⑤ 施工目地不良		無し	一部に見られる (1/10程度)	多く見られる (1/3程度)	側壁全てに見られる (天端に見られたら1)
⑥ 検査窓枠段差		無し	1箇所程度見られる	2~3箇所見られる	3箇所を越える箇所に発生

図-7 目視評価する項目及び評価点

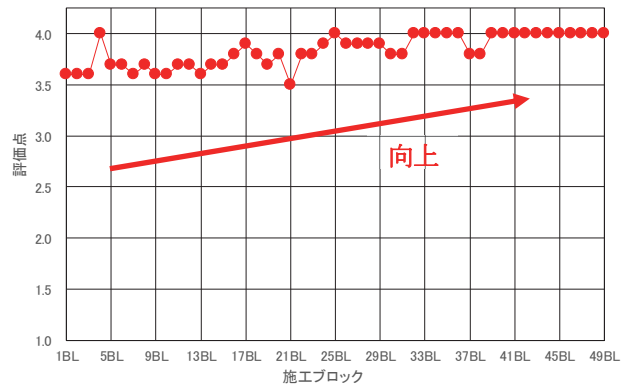


図-9 はく離評価点の推移



写真-3 自動ケレン機の設置

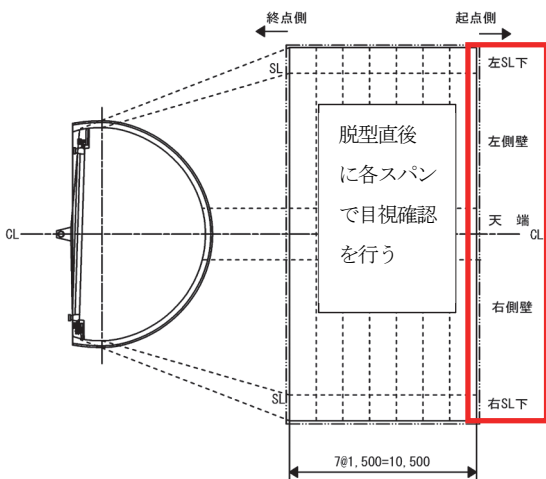


図-8 覆工目視観察部位

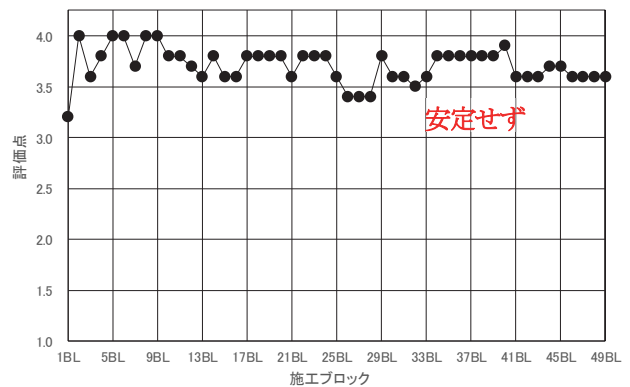


図-10 気泡評価点の推移

る直後に打重ね高さを確認し次の層を打設する時に層境にバイブレータを挿入することを協力会社と実施した勉強会で決定した。

水はしり・砂すじの評価点は、**図-12**に示すように9～16BLと21～24BLで3.7点台となったが他のBLではほぼ満点の4点であった。

色むら、打重ね線については、剥離する時の現象と同

様に、バイブレータの締固め不足が原因であることが確認できた。また剥離剤が鋼製のセントルに馴染まないことによる色むらが確認され、噴霧するタイミングを打設当日から前日の作業終わりに噴霧することで解消することが出来た。評価点についても、**図-13**に示すように対策をした28BL以降3.7点～4点と向上した。

6. 得られた結果と技術的知見

今回のトンネル覆工コンクリート品質確保対策の試行工事において得られた成果を以下に述べる。

- ・高性能 AE 減水剤を使用することで筒先のスランプを 15cm から 18cm に変更したことは密実なコンクリートを施工する上で効果的であった。
- ・夏期施工や合成短繊維補強材の添加に対して、室内試験に加えて実機試験を追加し、実際のスランプロスの確認などを行ってセメントの種類を BB から N に変更した。配合を選定したことで、スランプロスに起因する不具合発生を防止できた。
- ・JR 東日本判定区分の基準におけるアルカリ骨材反応に対しては、使用する材料のアルカリ総量が 2.2 kg/m^3 以下であることを確認したことで対策できた。
- ・施工時、「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」を活用して、協力会社とともに PDCA を実行し、改善を施工に反映することは覆工コンクリートの品質確保の手法として有効であることが確認できた。
- ・竣工後の目地部の剥離・ひび割れは、確認されておらず、目地部に塗布した合成樹脂塗料は、目地部のはく離・はく落対策として有効である。

謝辞：本工事の試行工事にあたり、検討会への参加を行って頂いた横浜国立大学の学生、また検討会、勉強会へ積極的に参加し、現場においては様々な工夫をして施工して頂いた協力会社の木部建設の方々には多大なご協力を賜り深く感謝の意を表します。

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管理の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編），pp. 77-79, 2021.
- 2) 松田芳範，隈部佳，木野淳一，岩田道敏：アルカリ骨材反応の JR 東日本版抑制策の制定について，コンクリート工学，Vol50，No. 8，pp669-675, 2012. 8.
- 3) コンクリート品質確保ガイド：山口県技術管理課 HP (<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/soshiki/127/23395.html>)

(2022. 8. 26 受付)

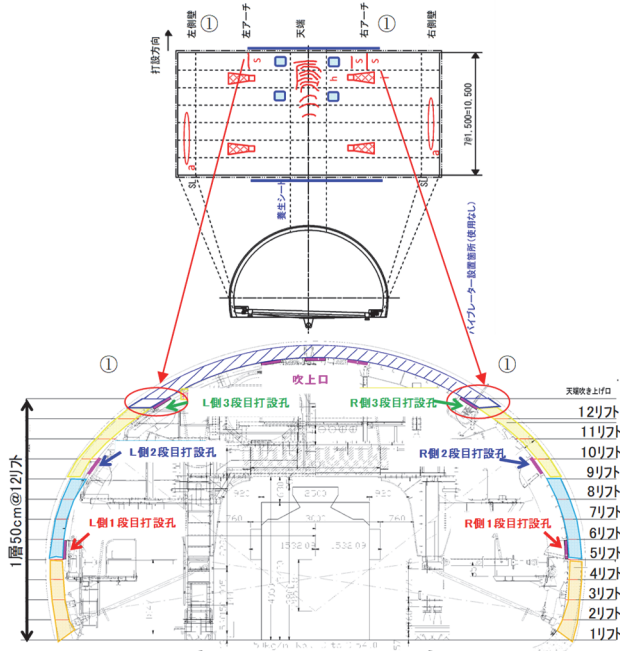


図-11 覆工16BL 水はしり・砂すじの位置図

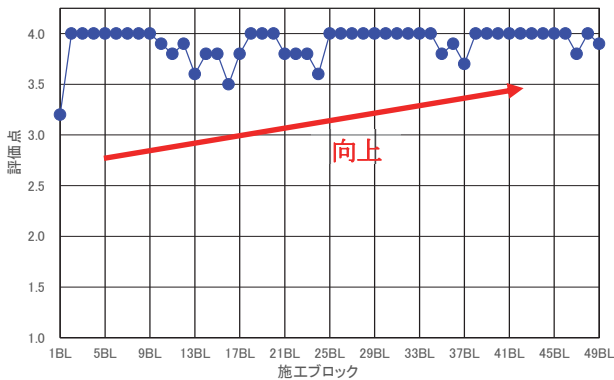


図-12 水はしり・砂すじ評価点の推移

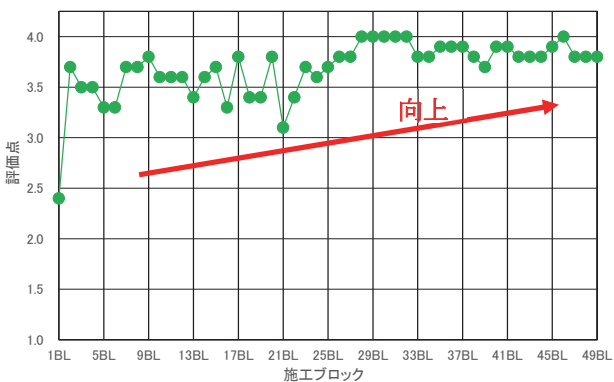


図-13 色むら・うち重ね線の評価点

REPORT ON QUALITY IMPROVING EFFECT DUE TO PDCA DURING CONSTRUCTION OF TUNNEL LINING CONCRETE

Hiromoto HIRAKATA, Tsutomu SATOU, Akira HOSODA, Kazunori SATO,
Tetsuro HYUGA and Seishi SHIRAIWA

Kawazu Tunnel Konabe District Construction Project is a new two-lane road tunnel construction project ordered by Chubu Regional Development Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. This construction was selected as a trial construction for quality attainment of tunnel lining concrete by the bureau. We tried to suppress initial defects of the lining concrete during construction and tried to improve cover concrete quality. The quality of cover concrete was evaluated using the "Check sheet to grasp construction conditions" and "Visual evaluation sheet". By improving concrete slump, placing/compacting method, curing method, etc., we were able to confirm the effect of PDCA on improving the quality related to "Spalling", "Bubbles", "Water seepage/Sand streaks", and "Color unevenness/Cold joint".