

覆工コンクリート品質向上の取組みと 表層品質の評価

伊藤 忠彦¹・細田 暁²・林 和彦³・西尾 隆⁴・八巻 大介⁵

¹正会員 西松建設株式会社 技術研究所（〒105-0004 東京都港区新橋6-17-21）

E-mail:tadahiko_ito@nishimatsu.co.jp

²正会員 横浜国立大学大学院 准教授（〒240-8501 神奈川県横浜市保土ケ谷区常盤台79-5）

E-mail:concrete@ynu.ac.jp

³正会員 香川高等専門学校 建設環境工学科 准教授（〒761-8058 香川県高松市勅使町355）

E-mail:hayashi@t.kagawa-nct.ac.jp

⁴国土交通省 東北地方整備局 三陸国道事務所（〒027-0029 岩手県宮古市藤の川4-1）

E-mail:nishio-t82ac@thr.mlit.go.jp

⁵西松建設株式会社 北日本支社東北支店 田老トンネル出張所（〒027-0351 岩手県宮古市田老字小林52-1）

E-mail:daisuke_yamaki@nishimatsu.co.jp

コンクリート構造物の品質を向上させる目的で，施工中のコンクリート表層の見栄えを目視で定量的に評価する手法が開発されている．国土交通省東北地方整備局では，早急な整備が必要とされる復興道路・復興支援道路に目視評価法を取り入れ，橋梁構造物で試行を始めている．本報告は，トンネル覆工コンクリートに目視評価法を独自に適用し，覆工コンクリートの適切な養生と合わせて，施工面からのコンクリート品質向上の取組みをまとめたものである．表層コンクリートの緻密性の評価については，表面吸水試験法を用いた．検討の結果，目視評価で見栄えが良かった部位や，追加的な養生（型枠残置やバルーン養生等）を行った部位では，高い吸水抵抗を示し表層品質が向上していることが定量的に示された．

Key Words : lining concrete, visual evaluation, surface water absorption test, covercrete quality

1. はじめに

本研究の対象は，復興道路である三陸沿岸道路（仙台～八戸）新設工事のうち，岩手県内の宮古田老道路（宮古中央～田老）の田老第6トンネルである．図-1に工事位置図を示す．本トンネルは平成23年に新規事業化された区間（11区間148km）において，初めて着工・貫通したもので，施工当初から東日本大震災からの復興リーディングプロジェクトとして注目されていた．写真-1に坑口（工事起点：H26年8月）の状況を示す．

本工事は，トンネル覆工コンクリートの長期保証の試行工事であり，完成から概ね5年後までに，覆工コンクリートに幅0.3mmを越えるひびわれが発生した場合，受注者の負担にて補修すること（外力による変形などが原因となるひびわれは対象外）が特記仕様書に明記されている．

長期保証制度は道路整備に関するライフサイクルコス

ト縮減を狙いに，2009年に東北地方整備局管内の舗装工事で初採用されて以降，全国で実施されているところである．長期保証を付す目的は，従来と同じ材料・仕様で



写真-1 田老第6トンネル

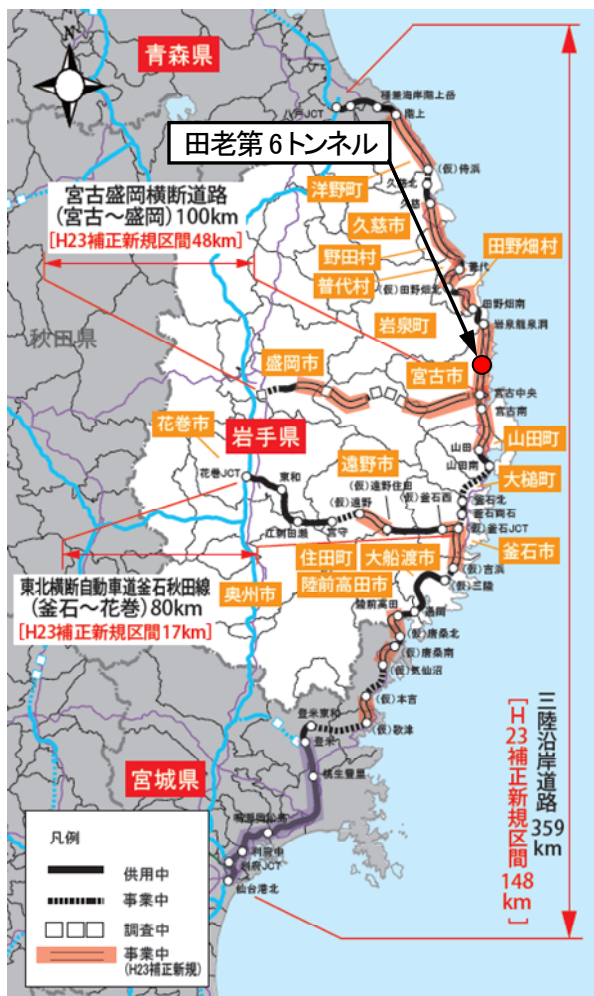


図-1 復興道路・復興支援道路¹⁾と工事位置図

一層丁寧な施工を受注者が心がけることで長寿命化を目指すことであり、補修や違約金を目的としたものではない。しかしながら、発注者が求める長期保証の指標値が達成できなかった場合、受注者は一定の回復処置が求められることになっている。

本工事の坑口付近のブロック（1～4BL，28BL）を除いた一般部（5～27BL）の覆工コンクリートには、表-1に示す呼び強度18N/mm²の発注者標準品が使用される。今回、より丁寧な施工を達成すること、ならびに施工の良し悪しを記録することを目的に、目視評価法²⁾を本工事の覆工コンクリートへ適用することにした。トンネル構造物への適用は初めてとなる。

目視評価法は、コンクリート構造物の表層部の品質を目視評価チェックシートに基づいてグレーディングにより点数化するもので、コンクリート表層部の見栄えを目視で簡単かつ客観的に評価するものである。

具体的には、本手法を型枠の取外し直後に実施することで、点数が低かった（見栄えが悪かった）項目を確認でき、品質改善の対策次のコンクリート打込みに直ちに反映できるので、施工改善のPDCAサイクルを合理的に回すことができると期待した。

表-1 コンクリート標準配合表

記号	呼び強度 (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	G _{max} (mm)	スランプ (cm)
A	30	48.0	48.5	175	365	25	18
B	24	52.5	47.1	170	324	25	15
C	18	58.0	45.5	160	276	40	15

記号C：本工事の覆工コンクリート標準配合
セメント：全て高炉B種

表-2 工事概要

工事名称	国道45号 田老第6トンネル
発注者	国土交通省 東北地方整備局 三陸国道事務所
工期	平成25年3月23日～平成26年9月30日
トンネル諸元	延長294m，内空断面積87.6m ² 道路幅13.5m（管理用道路含む）
掘削方式	NATM上下半同時併進掘削工法

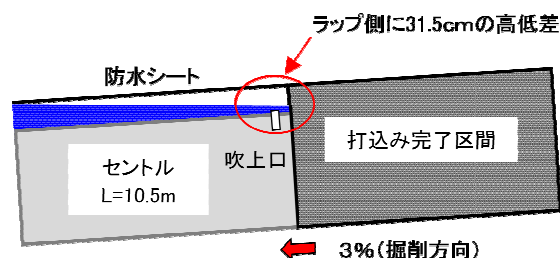


図-2 高低差による空洞発生の様式図

2. 工事概要

工事概要を表-2に示す。掘削対象となる主要岩種は、強風化した田老花崗閃緑岩であり、大部分がマサ化した状態である。土被りは最大33mと浅く、トンネル延長の約80%において、天端および切羽面に補助工法を実施した。掘削はロードヘッダーによる機械掘削を基本とし、転石区間には一部発破工法を併用した。

また本工事は図-2に示すように、掘削方向が3%の下り勾配での施工であり、1ブロックあたりラップ側と妻側で高低差が約30cm生じるため、ラップ側覆工コンクリートに空洞を生じさせない施工管理が要求された。加えてトンネル延長の約60%が鉄筋コンクリート（以下、RC構造という）区間であるため、コンクリート打込み時の流動性や充填性が阻害されやすいなどの特徴があった。覆工コンクリート打込みは、平成25年11月～平成26年5月の期間に行われ、冬季施工が主であった。

本工事では、覆工コンクリートに対する課題解決および高品質化への取組むのために、以下のソフトおよびハード対策を行った。次章で各々の詳細を述べる。

- ・ソフト：①施工チェックシート
②目視評価チェックシート
- ・ハード：③高品質覆工コンクリート打込み工法
④追加養生

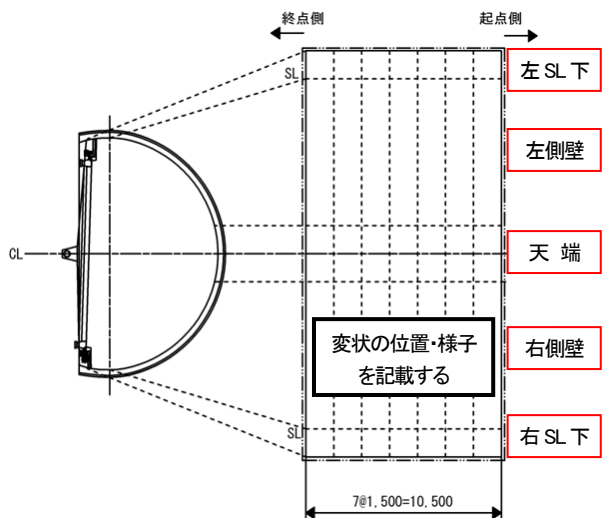


図-3 観察部位の区分け

3. 品質向上の取組み

(1) 施工チェックシート

施工チェックシートは、セントル位置等のコンクリート打込み前日までに確認する30項目と、コンクリート性状等の打込み当日に確認する30項目と、養生状況等の打込み後に確認する10項目からなる。

とくに打込み当日の活用で重要な点は、各チェック項目の内容を打込み現場で把握できるかというところである。例えば「バイブレータの挿入間隔は50cm以内」というチェック項目に対しては、作業員が一生懸命バイブレータをかけていたのをチェックするのではなく、事前に防水シート等に50cmでマーキングを行い、その間隔以内でバイブレータを挿入していたのをチェックするのである。つまり、チェック項目の実現および確認のために適切な事前準備を行うことで、示方書等の遵守事項をきちんと実施することを目指すものである。この打込み当日の活用については、山口県発注工事で開発された施工状況把握チェックシートの手法³⁾を参考にした。

(2) 目視評価チェックシート

目視評価チェックシートは、今回トンネル覆工コンクリートに初めて適用するため、独自シートを開発した⁴⁾。観察部位はトンネル覆工コンクリートの形状や施工上の特徴を考慮し、図-3に示す左右スプリングライン（以下、SLという）下、左右側壁、天端の5部位に区分けした。また、目視で観察・評価する項目として図-4に示す6項目を設定した。各項目はそれぞれ4段階評価とし、実際に評価を行う際には、0.5点刻みの中間点評価も可とした。今回のチェックシートは24点満点（6項目×4点）となっている。

観察する時期は覆工コンクリート脱型直後とし、近接できない範囲（天端）は、施工ブロックセンターから照

調査時期 脱型直後から初期養生終了後にかけて実施					
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 剥離		無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m ² 程度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以下の気泡がほぼ無し	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箇所を越える個所に発生

図-4 目視評価項目

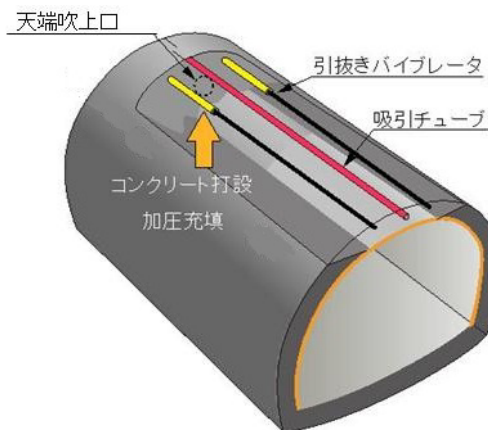


図-5 高品質覆工コンクリート打込み工法

明を当てて観察した。また、評価点が低かった場合の改善策をあらかじめ想定しておき、実施工で直ちに反映できる施工体制を整えた。なお、初めてトンネル覆工コンクリートに適用することもあるため、目視評価の結果に評価者の主観も入ることが予想されたため、今回は全ブロックを受注者の第五著者が評価した。

(3) 高品質覆工コンクリート打込み工法

本工法の特徴を図-5に示す。本工法の特徴は、側壁打込みと同様な締固めをより高い位置まで行うための肩



写真-2 バルーン養生状況

部吹上口の増設、圧力センサーで管理されたコンクリート加圧充填と引抜きパイププレートによる締固め、覆工背面の凹凸に起因する残留エアおよびブリーディング水の強制排出を目的とした吸引チューブの設置などであり、従来のトンネル覆工コンクリート打込みにおけるノウハウを統合した工法になっている。本工法を使用することで、圧縮強度、遮水性、中性化抵抗性などの品質向上が期待できる⁹⁾。

なお、今回は加圧充填管理用に型枠台車（以下、セントルという）天端に圧力センサを4カ所、天端の防水シート表面にコンクリート充填管理用センサを3カ所設置した。また、天端吹上施工時のコンクリート流動性を確保する目的で、セントル天端に型枠パイププレートを14カ所設置し、表面仕上りの向上を図った。

(4) 追加養生

一般に、山岳トンネルの覆工の型枠は施工サイクルの関係で、コンクリート打込みから16～20時間程度で早期脱型され、その後の養生もとくに行われないことが多い。しかしながら、東北地方では冬季の気温が低いこと等からコンクリート耐久性に関して、凍害、塩害（凍結防止剤による塩害も含む）および両者の複合劣化に注意が必要である⁹⁾。また、田老第6トンネルの覆工コンクリートはトンネル延長の過半数がRC構造となることから、コンクリートの表層品質向上に留意する意義は大きいと思われる。

ここでは、発注者指示による追加養生として、両坑口から2ブロック分の21.0m（10.5m×2ブロック）区間を型枠残置1週間とした。また、自主的な追加養生として、上記以外の区間に対してバルーン養生を行うことを原則とした。写真-2にバルーン養生を示す。今回の工事では、コンクリート打込み直後から脱型までセントル全体を覆うセントルバルーンを設置し、セントル移動後は後方3ブロック分をコンクリート用バルーンで養生した。バル



写真-3 SWAT測定状況 (SL)

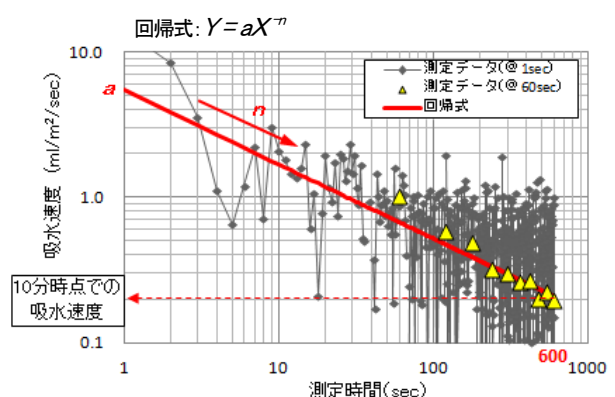


図-6 SWATでの吸水挙動の例

ーンによる養生日数は、脱型後1週間以上とすることを原則に工程計画を立てた。

4. 表面吸水試験法について

(1) 装置および評価手法の概要

表面吸水試験（Surface Water Absorption Test：以下、SWATという）は、コンクリート表面に水頭30cmの初期水圧を作用させ、その後の吸水挙動を連続的に10分間計測することで、かぶりコンクリートの品質を多角的に評価する非破壊検査手法である⁷⁾。写真-3にトンネルSLでのSWAT測定状況を示す。

SWATで得られる指標は、①10分時点での表面吸水速度 $p_{600}(\text{ml/m}^2/\text{s})$ 、②注水完了後1秒時点での表面吸水速度 $a(\text{ml/m}^2/\text{s})$ 、③表面吸水速度の時間変化を表す指標 n である。吸水挙動をグラフ化した一例を図-6に示す。吸水挙動を最小二乗法で近似したとき、上記 a は計測開始後1秒時点での値であり、 n は両対数グラフの傾きを意味する。

指標①の10分時点での表面吸水速度 p_{600} は、その値が小さいほど吸水速度が小さく、コンクリート表層はより緻密であることを意味する。指標②の a はコンクリート



写真-4 SWAT測定状況（天端）

のごく表層の品質を表すもので、例えばマイクロクラックが存在する場合等に、 a が著しく大きくなる傾向がある。指標③の n は、吸水速度の時系列での低減の度合いを表すもので、 n が大きいほど吸水がほとんど無いか直ぐに吸水しなくなる緻密なコンクリートと考えられる。過去のデータから、一般的なコンクリートでの n は0.3～0.7程度である⁷⁾。

(2) 表面吸水試験法の天端への適用

従来の吸水試験機は、コンクリート鉛直壁面およびスラブ上面を対象としたものであり、覆工コンクリートの天端を測定するためには、新たに測定システムの改良が必要であった。

具体的には、天端測定のための水頭確保の工夫や専用治具の作製および注水方法の変更、吸水カップ内エア抜き工夫等である⁹⁾。天端での水頭確保は、覆工コンクリートの検測孔を利用した。現在では、覆工コンクリートの任意の傾斜面への適用が可能となっている。天端測定状況を写真-4に示す。

なお、従来の鉛直壁面と今回の天端での吸水挙動の違いについては、林ら⁹⁾により測定角度の影響はほとんど無いことが報告されている。

5. 表層品質の評価について

(1) 目視評価結果

目視評価結果を図-7、図-8に示す。図-7の全体評価点の推移を見ると、施工の進捗によって基本的には右肩上がりの傾向が示され、PDCAサイクルで施工改善が図られた結果と思われる。5ブロックにおいてほぼ満足できる見栄えが達成できたが、その後、作業チームの慢心やコンクリートの品質変動等の影響もあり、評価点が一時低下した。しかし、16ブロックのコンクリート打込み前

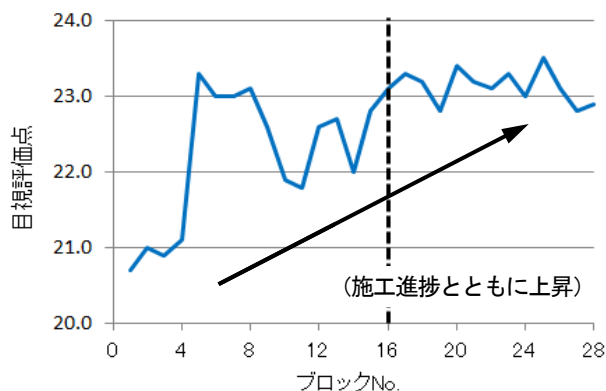


図-7 全体評価点の推移（5部位平均）

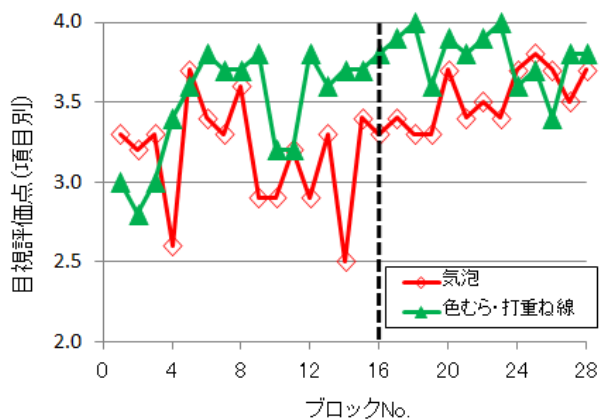


図-8 色むら・打重ね線／気泡の推移（5部位平均）

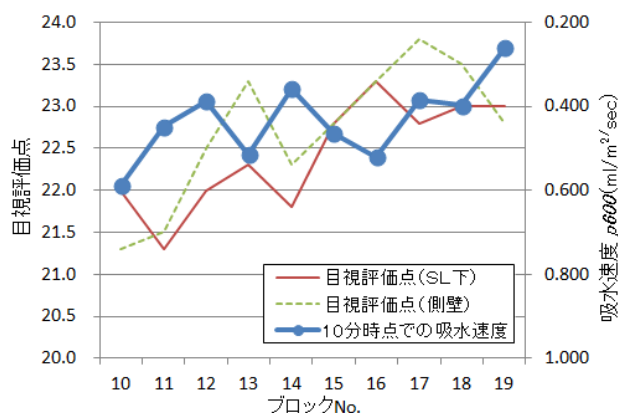


図-9 目視評価結果と表面吸水速度の関係

に実施した全作業員を含む現場検討会の影響が大きく、それ以降は高得点での安定推移が見られている。

図-8では、部位によって評価点が低くなりやすい色むら・打重ね線と気泡の評価結果について述べる。色むら・打重ね線は、この工事において高品質覆工コンクリート打込み工法が確立できた4ブロック以降で概ね高得点であった。一方、気泡はPDCAサイクルで試行錯誤を繰り返した結果、ようやく20ブロック以降で高得点で安定する結果となった。しかしながら、この工事では18N/mm²という低強度の配合（標準仕様）を用いたため、全体的にSL下部の気泡の抜けが悪い状況であった。

図-9に目視評価点と表面吸水速度 p_{600} の関係を示す。

表-3 養生種類と測定諸条件

養生種類	ブロック No.	配合 (表-1)	材齢 (day)	含水率 (%)
型枠残置 1週間	1	A	116	4.2
	2	B	133	
無養生	3	A	100	3.9
バルーン (貫通前)	6~20	C	28~75	4.7~4.9
バルーン (貫通後)	21~24	C	33~44	4.8

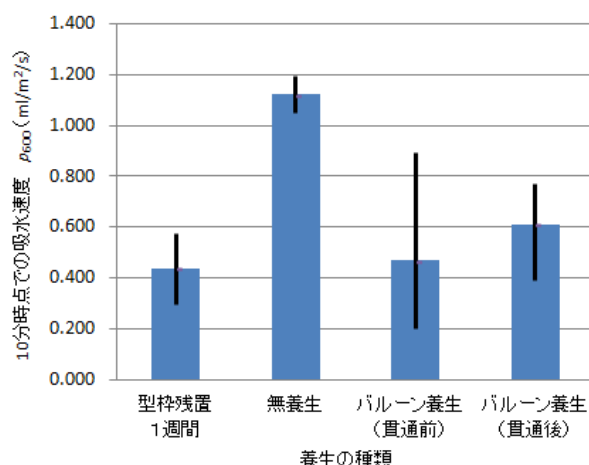


図-10 養生種類と表面吸水速度の関係

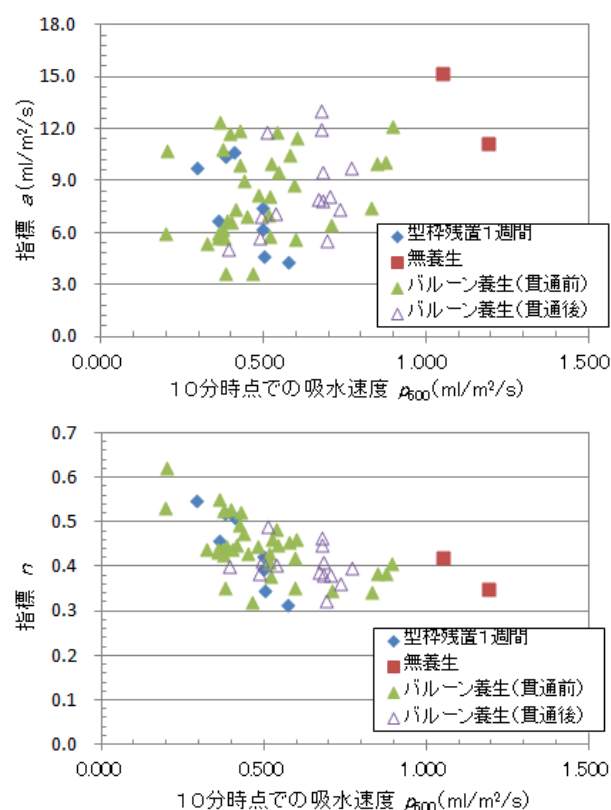
p_{600} は覆工コンクリートSLでの測定値である。今回の工事では、目視評価点の上昇とともに p_{600} が小さくなる傾向が見られ、コンクリート表層の見栄えが良くなると吸水抵抗性で評価される緻密性も向上する傾向が得られた。

なお目視評価項目のうち、①剥離、⑤施工目地不良、⑥検査窓枠段差については、施工初期段階から高得点で推移し、全体評価点に与える影響は、ほぼ皆無であった。

今回、目視評価チェックシートは施工改善のPDCAツールとして有効であったが、特筆すべきは、それ以上に元請職員と協力業者とのコミュニケーション向上ツールとして有効であった点である。結局、良いコンクリートを打込むのは人間であり、一層丁寧な施工を実践するには、現場での人間のシステムの良し悪しが大きく影響するからである⁹⁾。

(2) 表層品質と養生の効果

図-10に養生種類と表面吸水速度 p_{600} の関係を示す。ここにSWAT測定箇所は、トンネル断面の右SLで、縦断方向（掘進方向）は各ブロック10.5mの中央付近とした。測定時のコンクリート材齢および含水率等を表-3に示す。含水率は8点バネ電極水分計（高周波容量式）を用いて測定した。今回のSWAT測定は、覆工コンクリートの強度が十分発現し、かつ、コンクリート表面の含水率が定常化するのを待って、コンクリート材齢4週以上のプロ

図-11 指標 a と p_{600} の関係 (SL)

ックを対象とした。型枠残置1週間の p_{600} は、工事起点側坑口から2ブロック分の平均値である。無養生の p_{600} は、型枠残置1週間を実施した隣ブロックのものである。バルーン養生（貫通前）の p_{600} は、トンネル貫通前に覆工コンクリート打込みを行ったブロックであり、ここでは15ブロック分の平均値である。同様に、バルーン養生（貫通後）は4ブロック分の平均値である。

図-10によると、型枠残置1週間およびバルーン養生は、無養生（標準積算での施工条件）に比べ、いずれも p_{600} が小さくなっており、コンクリート表層の吸水抵抗性が養生の効果で向上したことがわかる。とくにバルーン養生（貫通前）は低強度配合でありながら、配合強度が高くかつ型枠残置1週間としたブロックと同等の表層品質が達成できていることが明らかとなった。この傾向は施工初期段階（コンクリート材齢28日）で計測したときも同様であり¹⁰⁾、若材齢での品質の差異がトンネル貫通後も同じ傾向を保つことが確認できた。バルーン養生を行ったブロックでは、バルーン養生の効果だけでなく、目視評価で施工改善を続けた効果も寄与したと考えられる。

なお、トンネル貫通後は坑内環境が貫通前よりも乾燥傾向となる影響で、今回は貫通前後で p_{600} の傾向に変化が見られた。このような微妙な表層品質の違いが、SWATで検知できたことは興味深い事象と思われる。

図-11にSWATで得られた指標 a と n を示す。指標 a の大小に着目すると、 a の値は無養生よりも養生を行った方

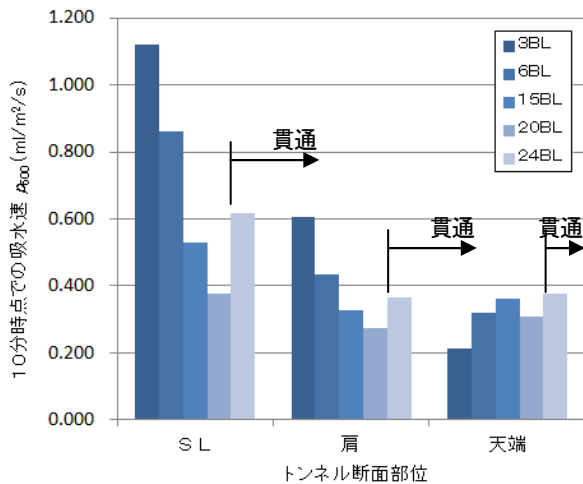


図-12 トンネル横断方向の表面吸水速度

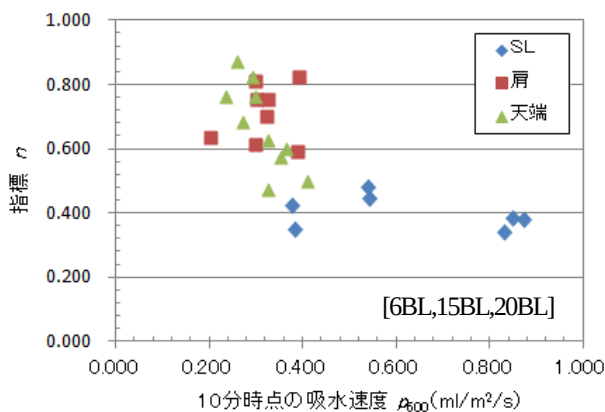


図-13 指標 n と p_{600} の関係（肩・天端）

が相対的に小さく、養生により、ごく表層のコンクリートが好適に緻密化されたと思われる。同様に指標 n の大小に着目すると、 n の値は無養生よりも養生を行った方が大きいか同等であり、養生により、コンクリート内部も緻密化される傾向が示されたと思われる。

(3) トンネル横断方向の表層品質

トンネル天端の測定結果について述べる。SWAT測定は今回開発した天端用測定システムを用いた。従来システムと比べ固定治具と注水方法が異なるが、水位センサとデータ収集・解析システムは同一である。また天端の測定は、SL測定と同一日または翌日に行っている。側壁の測定箇所は、SLと天端のほぼ中間点でセントル肩部吹上口の直下にあたる（以下、肩という）。

図-12にトンネル横断方向の表面吸水速度 p_{600} を示す。今回の測定範囲内では、 p_{600} はSLよりも肩・天端の方が小さく、概ねトンネル上部方向へ行くほど覆工コンクリートの表層品質が高い傾向が示された。また同図によると、この傾向はトンネル貫通後の施工（24BL）でも変わらなかった。これは、高品質覆工コンクリート打込み

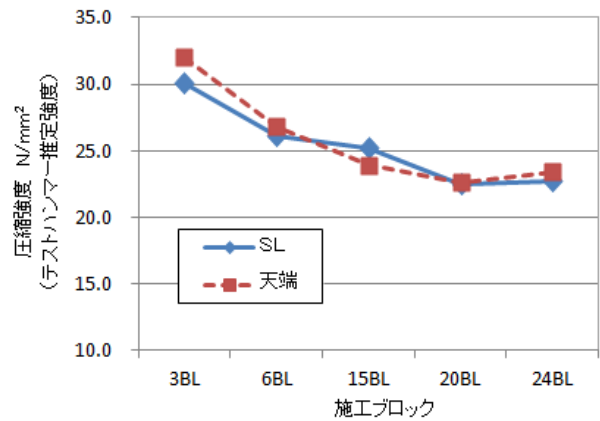


図-14 テストハンマーの結果

工法における天端吹上口での加圧管理の効果が考えられる。また、コンクリート打込み直後はセントル上方ほど高温（SLと天端で約4℃の差）かつ多湿で初期養生条件が良好であること、天端表面は重力により骨材分が多くブリーディング水が少ないコンクリートになっていること等が考えられる。なお、LevitはSWATとほぼ同様の吸水試験において、10分時点での吸水速度のしきい値として0.25ml/m²/sと0.50ml/m²/sを提唱しており、0.25ml/m²/sを下回るものを高品質としている¹¹⁾。本工事では、18N/mm²という低強度のコンクリートを使用していることを勘案すると、天端のコンクリートの品質は非常に高いと言えることができる。

図-13にSWATで得られた指標 n を示す。 n が大きいことは、吸水試験中に時間の経過とともに吸水速度が低減する度合いが大きいことを示しており、肩・天端においては、コンクリート内部への吸水が抑制されていることを示している。

(4) テストハンマーとの比較

SWATで示された天端コンクリートの表層品質向上について、圧縮強度の面から考察する。ここでは比較のため、図-12と同一ブロックにおけるテストハンマーの結果を用いた。図-14に結果を示す。図より、圧縮強度はいずれのブロックもSLと天端で有意な差は見られないことがわかる。これは他ブロックでも同様であった。

岡崎ら¹²⁾は、養生条件がコンクリート強度と物質移動抵抗性に与える影響を明らかにしており、養生条件の相違は圧縮強度よりも、耐久性に関わる物質移動抵抗性に及ぼす影響が大きいことを示している。筆者らが行った他現場（下水処理施設）でのSWAT評価でも、養生効果とテストハンマーで有意な相関は見られなかった¹³⁾。したがって、今回のような養生等による覆工コンクリート表層品質の向上を、圧縮強度という従来の指標で精度よく評価することは困難であろうと思われる。

表-4 試験体の種類

試験体作製箇所		2BL	3BL	6BL
本体	養生種類	型枠残置	無	バルーン
	配合(表-1)	B	A	C
試験体	保温あり	①	—	④
	保温なし	②	③	⑤

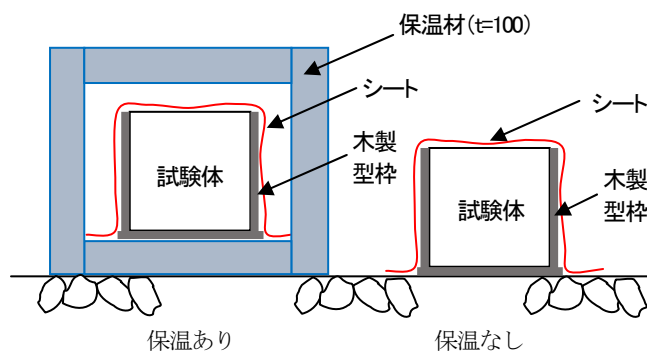


図-15 試験体の保温方法

(5) 試験体との比較

トンネル天端のSWAT測定は、高所作業車上での測定となるため、トンネル坑内の作業状況によって測定できる時間帯が相当に限定される。また高所作業車上でのSWAT測定は、重機等の振動により測定データがばらつく等の課題があった。そこで、坑内作業によらずに測定可能なように、別途試験体を作製し、本体構造物との差異を考察した。以下にその結果を述べる。

a) 試験体

試験体は30cm×30cm×80cmの直方体とし、覆工コンクリート打込みと同時にトンネル坑内で作製した。また、初期のコンクリート養生温度がSWAT測定値に影響すると考え、今回の試験体では初期保温を試みた。保温は厚さ100mmの発泡ポリスチレン板を用い、図-15に示す方法で行った。初期保温終了後、試験体はトンネル坑外に簡易上屋を建て、その中で静置した。

表-4に試験体の種類を示す。試験体は全部で5体（表-4の①～⑤）を作製した。なお、試験体の養生は本体構造物である覆工コンクリートの養生に極力合わせることにした。覆工コンクリートの養生を行わない3ブロックの試験体は、初期保温しなかった。

b) 温度履歴

図-16に覆工コンクリートと試験体の温度履歴を示す。本体の温度はトンネルSLのコンクリート表面から約5cm内部での値であり、試験体の温度は試験体中心部での値である。今回、養生期間の最低外気温が約-8℃という極寒条件下であったが、保温ありの試験体の温度履歴は、覆工コンクリートSLのそれと概ね一致した。保温なし

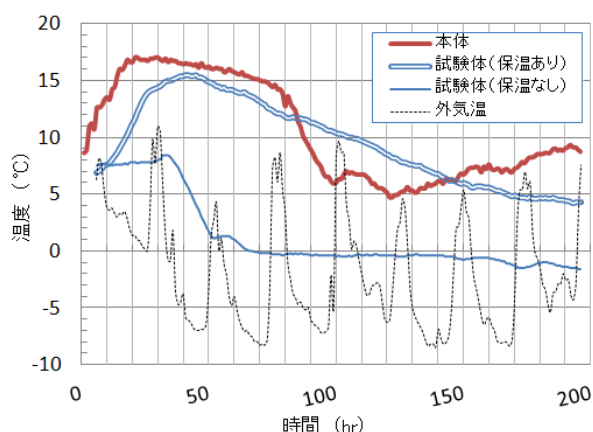


図-16 試験体と本体の温度履歴

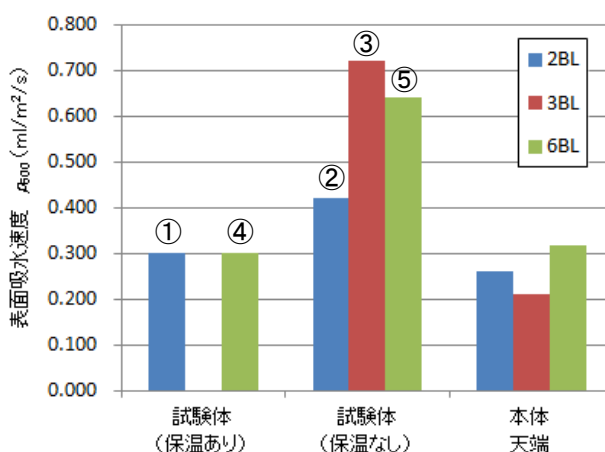


図-17 試験体と本体の表面吸水速度

の試験体はコンクリート打込み後、約1日間は打込み時のコンクリート温度である7～8℃を維持したが、その後、急激な温度降下を示した。

c) 試験体と本体構造物の比較

図-17に試験体と覆工コンクリートの吸水抵抗性の比較を示す。試験体の材齢は75日～133日で含水率は4.4～4.6%であった。今回の実験範囲内では、試験体は初期保温の有無で p_{600} が異なっており、 p_{600} は保温ありの方が保温なしより小さくなった。つまり、コンクリートの表層品質は初期養生温度で左右されることがわかった。

また、試験体と本体構造物である覆工コンクリートを比較すると、保温ありの試験体は覆工コンクリート天端と近い値を示した。したがって、初期保温した試験体を用いることで、適切に施工したトンネル天端の表層品質が推定できる可能性が示唆された。

6. まとめ

山岳トンネル覆工コンクリートの品質向上の取組みについて、施工チェックシートおよび目視評価チェックシート等を活用した施工事例を報告した。また、覆工コン

クリートの品質について、表面吸水試験法を用いて、表面吸水速度の大小から表層コンクリートの緻密性を定量的に評価した。今回の検討の範囲内で得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 施工チェックシートを用いてコンクリート標準示方書等の基本を遵守するためには、各チェック項目の実施をコンクリート打込み現場で把握できるマーキング等の事前準備が有効であった。
- ・ トンネル覆工コンクリート用の目視評価チェックシートは、コンクリートの見栄えを改善するPDCAツールとして効果的であるばかりでなく、現場コミュニケーションツールとして役立つことがわかった。
- ・ 見栄えが向上した覆工コンクリートは、表層の緻密性も向上する傾向が表面吸水試験法で示された。
- ・ 型枠残置1週間とする養生方法は、従来工法と比較して覆工コンクリートの吸水抵抗性を向上させる効果が認められた。
- ・ 1週間以上のバルーン養生は、型枠残置1週間と同等の養生効果が、吸水抵抗性の観点から示された。
- ・ 本研究で対象とした覆工コンクリートの表面の吸水抵抗性は、SLよりも肩・天端の方が良くなる傾向が示された。
- ・ トンネル貫通前後の坑内環境の変化により、覆工コンクリートに生じる微妙な表層品質の変化が、表面吸水試験法によって検知された。
- ・ 今回の検討では、コンクリート試験体に実構造物を模擬した温度履歴を与えた場合に、試験体と実構造物の天端で、同程度の吸水抵抗性が得られた。

参考文献

- 1) 復興道路・復興支援道路：国土交通省東北地方整備局道路部 HP (<http://www.thr.mlit.go.jp/road/fukukou/>)。
- 2) 坂田昇，渡邊賢三，細田暁：コンクリート構造物の

品質向上と表層品質評価手法，コンクリート工学，Vol.50，No.7，pp.601-606，2012。

- 3) コンクリート品質確保ガイド：山口県技術管理課 HP (<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18000/hibiware/hibiwareyokusei.html>)。
- 4) 佐藤幸三，小滝恵三，児玉直幸，細田暁，八巻大介：覆工コンクリートの表層品質評価手法の確立と品質向上への取組み(その1)－目視評価－，土木学会年次学術講演会，VI-690，2014。
- 5) 佐藤幸三，椎名貴快，高橋雅，金丸信一：マイスタークリート工法の開発，土木学会年次学術講演会，VI-011，2012。
- 6) 東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン(案)：東北コンクリート耐久性向上委員会，2009。
- 7) 林和彦，細田暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究，土木学会論文集 E2，Vol.69，No.1，pp.82-97，2013。
- 8) 林和彦，細田暁，三宅純平：傾斜面および水平面を有するコンクリート部材へ適用できる表面吸水試験法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.2170-2175，2014。
- 9) 細田暁：品質確保と人，コンクリート工学，Vol.52，No.9，pp.784-788，2014。
- 10) 伊藤忠彦，小滝恵三，児玉直幸，林和彦，八巻大介，細田暁：覆工コンクリートの表層品質評価手法の確立と品質向上への取組み(その2)－表面吸水試験(SWAT)－，土木学会年次学術講演会，VI-691，2014。
- 11) Concrete Society Working Party: Permeability Testing of Site Concrete - A Review of Methods and Experience, *Concrete Society Technical Report*, No. 31, pp. 1-95, 1987.
- 12) 岡崎慎一郎，八木翼，岸利治，矢島哲司：養生が強度と物質移動抵抗性に及ぼす影響感度の相違に関する研究，セメントコンクリート論文集，No.60，pp.227-234，2006。
- 13) 伊藤忠彦，藤波亘，元重尚也，飯田努：表面吸水試験方法によるコンクリート表層品質の評価，西松建設技報，Vol.35，CD-ROM，2012。

(2014.9.15受付)

PDCA FOR IMPROVING QUALITY OF CONCRETE LINING IN MOUNTAIN TUNNEL AND EVALUATION OF COVERCRETE QUALITY

Tadahiko ITO, Akira HOSODA, Kazuhiko HAYASHI,
Takashi NISHIO and Daisuke YAMAKI

In this report, a PDCA trial for improving the quality of tunnel lining concrete utilizing the visual evaluation method is described. The denseness of covercrete of the lining concrete was quantitatively evaluated by Surface Water Absorption Test (SWAT). The results in this report showed that the concrete with higher points by the visual evaluation method showed larger resistance against water absorption. The effect of the tunnel balloon curing on improving the denseness of covercrete was confirmed by SWAT.