

# 覆工コンクリート品質向上に関する取組み

## PDCA trial for improving quality of tunnel lining concrete

|                |               |
|----------------|---------------|
| 八巻 大介 *        | 鈴木 晴美 *       |
| Daisuke Yamaki | Harumi Suzuki |
| 伊藤 忠彦 **       | 佐藤 幸三 **      |
| Tadahiko Ito   | Kozo Sato     |

### 要 約

昨今、覆工コンクリートの品質向上対策は、呼び強度の増加や混和材の添加等による事例が主流となっているが、今回、いっそう丁寧な施工を実施するための「施工チェックシート」およびPDCAサイクルにより施工改善を実践する「目視評価法」を新たに取入れ、ソフト面での品質向上対策を試行した。また、ハード面ではマイスタークリート工法およびバルーン養生を採用し高品質化に取組み、効果の検証としてコンクリート表面吸水試験法（以下、SWATと称す）を用いて、コンクリートの表層品質を定量的に評価した。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 取組みの背景
- § 3. 品質向上への取組み内容と結果
- § 4. 表面吸水試験法による評価
- § 5. まとめ

### § 1. はじめに

#### 1-1 工事の位置づけ

国道45号田老第6トンネル工事は、三陸沿岸道路（仙台～八戸）新設工事のうち、宮古中央～田老（21.0 km）区間のトンネル新設工事である。また、本工事は平成23年度新規事業化された区間（11区間 148 km）において、初めて着工・完成されたトンネル工事であり、東日本大震災からの復興のリーディングプロジェクトとして、非常に注目されていた。

#### 1-2 工事概要

工事名：国道45号 田老第6トンネル工事  
 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10月31日  
 トンネル諸元：延長（掘削、インバート、覆工）294 m  
 内空断面積 87.6 m<sup>2</sup>  
 道路幅 13.5 m（管理用道路含む）  
 NATMによる上下半同時併進掘削工法  
 機械掘削方式

図-1に縦断図を示す。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った。土被りは最大33 mと浅く、トンネル延長の63%が覆工コンクリートに単鉄筋が配置される坑口パターンである。また、切羽面および天端部の安定のため、トンネル延長の80%区間において先受け補助工法を実施しながらの掘削作業を実施した。

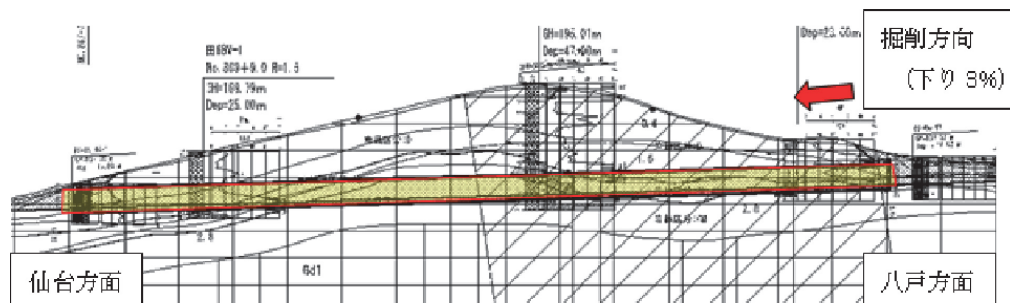


図-1 縦断図

\* 北日本(支)田老トンネル(出)

\*\* 技術研究所

さらに、本工事は掘進方向が3%下り勾配での施工となっており十分な湧水対策が必要であった。また、覆工コンクリート打設工法には、天端部の空洞対策として当社開発のマイスタークリート工法を採用した。

## §2. 取組みの背景

本工事で覆工コンクリートの品質向上に取組む背景として以下の3点が挙げられる。

- ①トンネルの長期保証試行工事となっており、特記仕様書に、完成から5年後において、覆工コンクリートに0.3mmを超えるひび割れが発生した場合、受注者負担にて補修すること（特記仕様書要約）と明記され、施工由来のひび割れの発生を抑止しなければならない。
- ②図-2に示す模式図の通り、下り3%の施工勾配では天端部ラップ側が吹上口となり、高低差から最大31.5cmの空洞が発生するおそれがあること。
- ③復興関連事業の多量発注・急速施工により、構造物の完成時期がここ数年に集約され、将来的メンテナンスの観点から高耐久性・高品質化が求められること。

以上の背景により覆工コンクリートの高品質化に取組む必要があったが、昨今の主流としては、技術提案や現場創意工夫によりコンクリート配合のバージョンアップや混和材の使用により、ひび割れ対策や高品質化を目指す場合が多い。本工事では、基本方針として設計ならびに標準積算どおりの材料を使用し、いっそう丁寧な施工を実施したうえで、それでも発生するひび割れに関しては、受注者負担の範疇を超えているのではないかとの疑問を投げかけることも視野にいれ、施工方法と養生方法の充実により高品質化を目指す施工計画とした。

なお、本工事の一般および単鉄筋区間（複鉄筋区間を除く）での設計配合は18-15-40BB（以下、18Nと称す）であり、非常に貧配合な材料となっている。

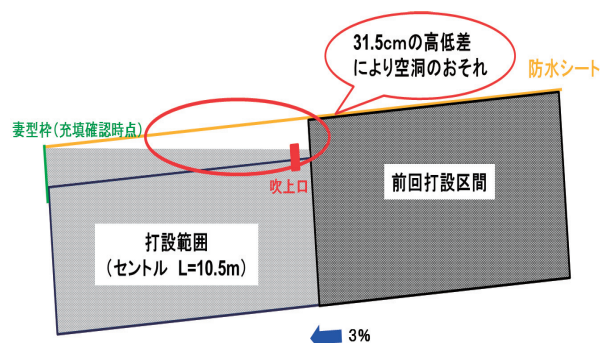


図-2 高低差による空洞発生模式図

## §3. 品質向上への取組み内容と結果

### 3-1 マイスタークリート工法の採用

前述したとおり、覆工コンクリートのラップ側吹上口上部の空洞対策およびクラウン部のひび割れ抑止等のた

め、マイスタークリート工法を全スパンで実施した。実施にあたっては下記の装備品を追加した。

#### (1) 圧力センサーによる加圧充填管理

従来の打設では、天端部吹上方式に配管切替後、妻側型枠での充填が目視で確認されたら、数回のポンプ圧送をもって打設終了とすることが一般的であり、その際のセントル表面圧力は約40kPaである。

本工事では打設終了基準の圧力を80kPaとし、図-3の配置図に示す箇所に設置した圧力センサーで管理しながらポンプ圧送することで、天端部の充填性・密実性を高めた（写真-1）。

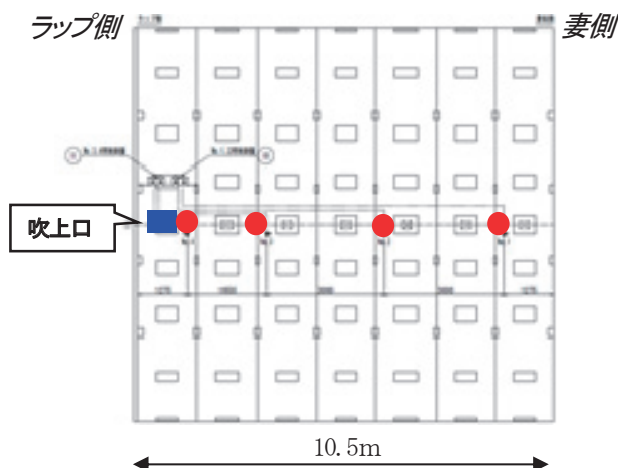


図-3 圧力センサー配置図（展開図）



写真-1（左）圧力計（セントル内側より撮影）  
（右）圧力制御盤

#### (2) コンクリート充填検知システム

打設前に図-4に示す位置に充填検知センサーを、天端部防水シート表面に貼付け、専用ロガーおよびモニターに打設開始と伴に接続する。本システムは、センサー表面にコンクリートが触れた段階でモニターのランプが緑色となり、コンクリートの充填が確認できる（写真-2）。

#### (3) ブリーディング水の強制排出

打設前、天端部防水シート表面に吸引チューブを這わせ真空ポンプに接続しておく（図-5）。天端吹上打設切替と同時に真空ポンプを作動させ、チューブ表面に接触したブリーディング水およびエアを強制的に排出す

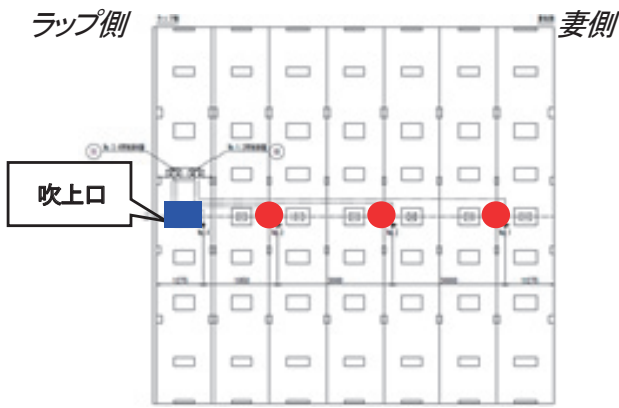


図-4 充填検知センサー配置図（展開図）

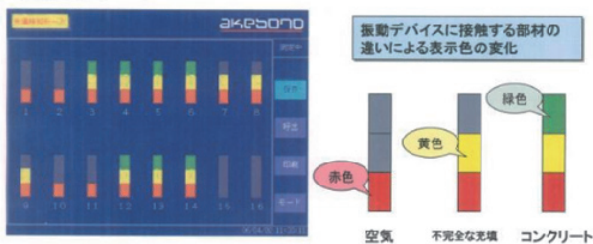


写真-2 コンクリート充填検知システム

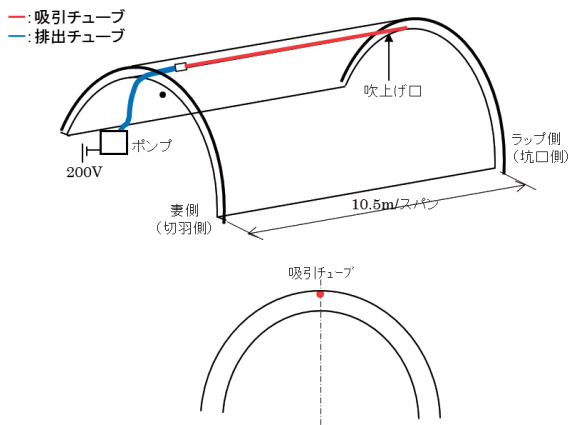


図-5 吸引チューブ配置図

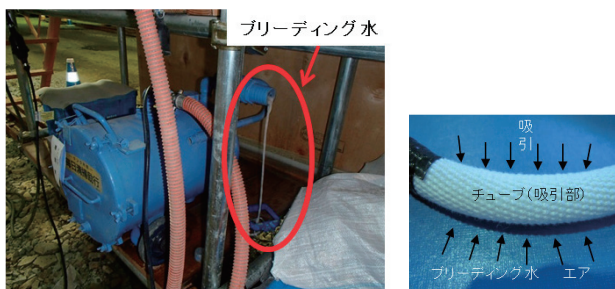


写真-3 (左) 真空ポンプ, (右) 吸引チューブ

る（写真-3）。生コンクリートの性状により変動はあるが、本工事では平均20L前後の排水が見られた。

#### (4) 肩部吹上方式の採用

肩部打設孔にも吹上方式を採用することで、天端吹上り口からの打設量を減少させ、打ち継ぎ時間の短縮および丁寧な締固めを実現した。

#### (5) 型枠バイブレータの使用

天端部セントル内側に、高周波振動モータ（550 W、7台×2列＝14台）を設置し、打設窓閉鎖後も締固めが実施できるようにした。

#### (6) 天端部引抜きバイブレータの使用

巻き取り式バイブレータを2台装備し、主に無筋区間で使用した。

以上の装備品を追加し打設作業を実践することで、これまで施工技術者や覆工作業員の経験に頼ってきた部分に、具体的管理値をもって臨めたので、従来より高品質なコンクリート打設および空洞対策を実施できたと思われる。

### 3-2 施工チェックシートの採用

施工チェックシートは、山口県発注工事で開発運用されている施工状況把握チェックシート（コンクリート標準示方書どおり適切に施工できているかを発注者監督職員が確認するチェックシート）を参考にしたシートである。本工事では創意工夫による自主的運用のため、名称を施工チェックシートとし、また現場技術者が確認する方法とした。

運用にあたってはトンネル版施工チェックシートを作成した。なお、現在ではこの手法は東北地方整備局発注の橋梁下部工事およびトンネル工事において試行が始まっている。

ここに、コンクリート標準示方書等には施工に関する注意事項が多く記載されている。例えば、バイブレータの挿入間隔は50 cm以内、前層に対し10 cm以上挿入する、コンクリートの1層の打込み高さは50 cm以内、コンクリートの落下高さは1.5 m以内等々が挙げられる。これら項目は現場で確実に実践されているのか？と問われれば明確な回答が出来ない場合も多い事項であり、特に覆工コンクリートの施工に関しては顕著である。それら項目を1枚のチェックシートにまとめ、現場で実現の可否をチェックすることで示方書通りの施工を目指すツールとするものである。

この手法で最も重要な点は、各チェック項目の実現が打設現場で目で見て把握できるか？というところである。

先ほどの例で挙げた、バイブレータの挿入間隔は50 cm以内という項目に対しては、現場の作業員がなんとなく一生懸命バイブレータを挿入し締固めをしているの



をチェックするのではなく、目で見て確認できるように、事前に型枠や鉄筋に 50 cm ピッチで目印を付けておき、その目印にパイプレータを挿入することをチェックするのである。つまり、示方書等から抽出したチェック項目の実現・確認のため事前に準備を行い、それに基づき打設作業が実施されていることを確認することで、いっそう丁寧な施工を目指すのである。

本工事で使用したチェックシートは、社内品質管理シートを兼ねて打設前の確認事項 30、打設中の確認事項 30、打設後の（養生中）確認事項 10、計 70 項目を確認することとした。

### 3-3 目視評価法の導入

目視評価法は、出来上がった構造物の出来栄を項目・部位毎に評価基準に基づき定量評価を実施することであり、出来栄の悪かった箇所や施工上の問題点等が抽出される。本評価法で改善策等を検討し、次ステップの施工に活かすことで、PDCA サイクルを合理的にまわすことができる。

目視評価法で使用する、評価シートおよび評価項目と基準（図-7）はトンネル覆工バージョンを横浜国立大学と共同で作成・運用した。また、この手法も施工チェックシート同様、現在では東北地方整備局発注工事で試行が始まっている。本工事では自主的な創意工夫として先行導入し、トンネル構造物での適用性を考察した。

評価方法としては、トンネル覆工コンクリート打設リフトの特徴を考慮し、評価位置を図-6に示すような天端部、左右側壁部、左右 SL 下部の 5 部位に分割した。評価項目は①剥離、②気泡、③水はしり・砂すじ、④色むら・打重ね線、⑤施工目地不良、⑥検査窓枠段差の 6 項目とし、図-7で示す判定基準により 1～4 点の 4 段階評価（中間点可）とした。また、公平性を保つため同一人により全スパンを採点し、個人差によるバラツキを防いだ。

目視評価法の一番の優位点は、特殊な器具等使用せず誰でも短時間で簡単に問題点が抽出でき、次ステップの施工に速やかに反映できる点にある。

図-8、9に本工事の評価点推移を示す。全体点（6項目×4点＝24点満点）は右肩上がりの傾向であり、目視評価法により PDCA サイクルが着実に実践された結果と言える。また、トンネル覆工の出来栄で最も重要視される気泡および色むら・打重ね線の各項目点についても概ね右肩上がりである。特に、16 BL 打設前に打設関係者全員で実施した、再打設検討会（意見交換会）後の高得点での安定推移は、問題点の改善に一丸となって取組んだ結果であると思われる。

### 3-4 バルーン養生の追加

これまで述べた 3 つの取組みの他、田老トンネルでは 2 つの養生設備（写真-4）（打設直後から脱型までセン

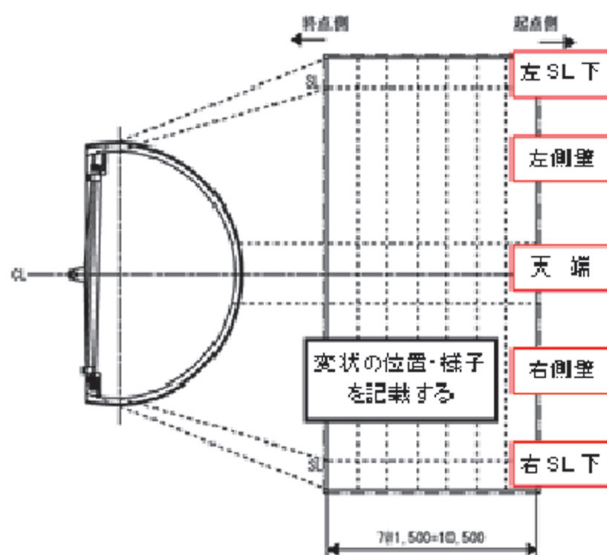


図-6 評価位置図

| 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 <sup>2</sup> 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<br>(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箇所を越える箇所に発生         |

図-7 評価項目と評価基準一覧

トル全体を保温するセントルバルーン、脱型後 1 week 以上保温・保湿するコンクリート用バルーン）を 4 BL～26 BL のコンクリート打設で用いた。

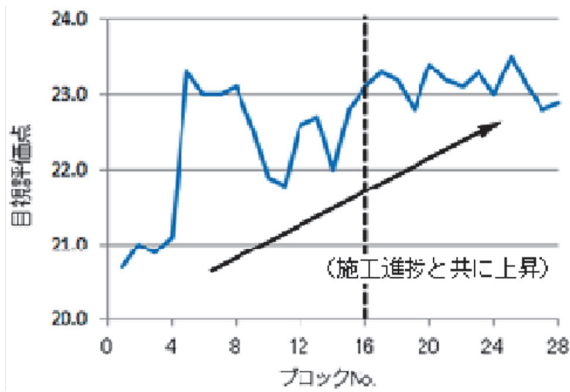


図-8 全体点 (24 点満点) の推移

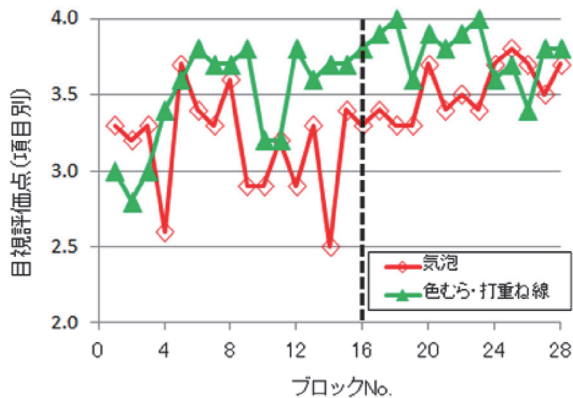


図-9 項目点 (4 点満点) の推移



写真-4 バルーン養生状況

#### §4. 表面吸水試験法による評価

前章で述べた品質向上に関する取組みに対し、その効果の検証として、コンクリート非破壊試験の1つである SWAT (写真-5) により、コンクリート表層の緻密性を確認した。計測はトンネル覆工の曲線の形状や天端部でも測定可能な治具を用意し、トンネル実構造物に初めて実施した。

なお、SWAT の計測値はコンクリートの表面水分量に左右されるため、本現場では材齢一ヶ月以上かつ表面水分量 5.5% 以下であることを確認し測定した。以下に測定結果と考察を示す。



写真-5 SWAT 測定状況 (SL 部)

#### 4-1 施工の丁寧さ

本工事では、施工チェックシートによる示方書どおりの丁寧な施工を目指しているが、その丁寧さを検証する方法として基準供試体と実構造物による吸水速度の比較を試みた。基準供試体は 30 cm × 30 cm × 80 cm の直方体であり、体積の少なさ・打込みの容易さから締固め等が十分管理された初期欠陥の無いコンクリートである。基準供試体は実構造物の覆工コンクリートと同日同時刻に打設し、養生履歴 (温湿度履歴) をほぼ実構造物と同じ条件に揃えた。ここでは材齢 4 週時点での吸水速度を比較することで実構造物の施工の確実性を確認した。なお、本検証は 2 スパン目に実施したものであり、この区間のコンクリート配合は 30-18-25BB (以下、30N と称す) であり、一般部に比べ富配合である。

図-10 に測定結果を示す。実構造物は SL 下部での値である。2 つの数値に差異がほぼ無いことから、実構造物の施工が基準供試体並みに丁寧に施工できていると考えられる。

#### 4-2 目視評価点との比較

図-11 に SL 下部および側壁部での目視評価点と SWAT による吸水速度の比較を示す。

SWAT の計測値は、値が小さいほど吸水速度が遅くコンクリート表面が緻密で良質なことを示す。目視評価点と吸水速度の比較結果から、目視評価点の上昇と伴に吸水速度も減少していることがわかる。目視評価法により PDCA サイクルを実践した結果、出来栄が向上したコンクリートは、コンクリートの表層品質も向上している結果が示された。吸水速度の値を見ると、一般構造物で優良とされる 0.5 ml/m<sup>2</sup>/sec を下回っている。脱型時期や養生条件が一般構造物より厳しいトンネル覆工コンクリートで、かつ、18N という貧配合条件を踏まえると、覆工コンクリートの品質は高水準な結果であると考えられる。

#### 4-3 マイスタークリート工法の検証

図-12 はトンネルの各部位での吸水速度を比較した

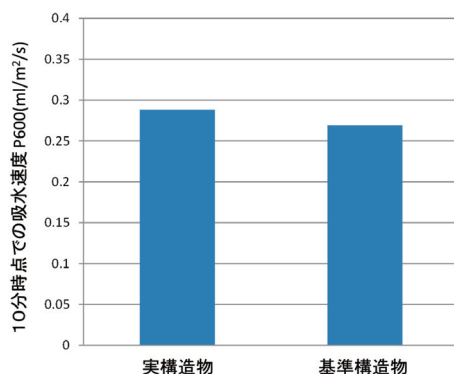


図-10 基準供試体との比較 (30N, 4week)

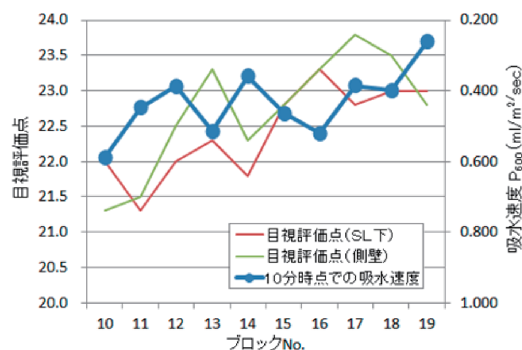


図-11 目視評価点との相関 (18N)

結果である。各ブロックともSL下部よりも肩・天端部の数値が小さく、吸水抵抗性が高いという結果となった。要因として、マイスタークリート工法により天端部が高品質化されたことや、トンネルの覆工コンクリートでは一般的にセントル上方がSL付近に比べ高温多湿で養生条件が良好であること、天端は型枠パイププレートの使用により天端表面に粗骨材分が多く、ブリーディング水の少ないコンクリートになっていること等が挙げられる。

#### 4-4 養生効果の検証

覆工コンクリートの養生にバルーンによる追加養生を実施したが、その効果の検証結果を図-13に示す。

無養生時（標準積算通りの施工を再現）と追加養生を実施した場合の数値の改善は明らかである。トンネル貫通前後で貫通後の数値が若干劣るのは、貫通後に坑内温湿度が下がりトンネルバルーンによる養生効果がやや薄れた影響と推察される。以上のように、追加養生の実施により表層品質が向上したことがSWATで検証することができた。

また、発注者通達により実施した坑口部の打設後1週間のセントル（型枠）残置は、無養生時よりも吸水速度が小さく、バルーン養生の数値とほぼ同等であることがわかった。これより、覆工コンクリートの後養生の重要性が示される結果が定量的に得られた。

## §5. まとめ

「施工チェックシート」および「目視評価法」を活用

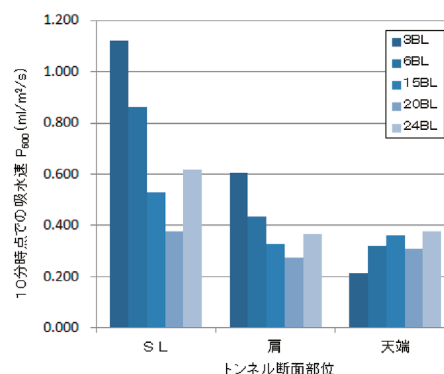
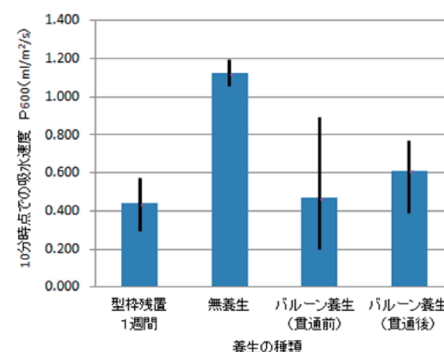


図-12 各部位における吸水速度 (18N)



(型枠残置は30N、無養生およびバルーン養生は18N)

図-13 養生条件による吸水速度比較

し、いっそう丁寧なコンクリート打設の実現およびマイスタークリート工法やバルーン養生による打設・養生方法の改善により、18Nという貧配合のコンクリートながら高品質な覆工コンクリートの施工が実現できた。また、その効果はSWATによる表層品質の評価により、吸水抵抗性が向上したことで示された。なお、当初懸念された天端部の空洞に関しては、竣工前に全線空洞探査を実施したが発見されなかった。ひび割れに関しては、施工が厳冬期であり、冬季に貫通を迎えたが、竣工時点で施工由来のひび割れは確認されていない。

最後に、本編で記述した「施工チェックシート」および「目視評価法」は単純な○×や点数遊びではなく、施工の原点に立返り正確かつ丁寧な施工を実現するPDCAツールとするものである。また発注者・施工担当者・覆工作業員が真剣に良いコンクリートを打設するための方法を探るコミュニケーションツールでもある。

以上が材料への金銭投資ではなく、基本に立返り丁寧な施工および後養生を実践した本工事における覆工コンクリート品質向上に関する取組みとその成果である。本報告が他工事の参考になれば幸いです。

**謝辞：**本工事の品質向上への取組みに関し、多大なるご指導を頂いた横浜国立大学の細田准教授、香川高専の林准教授、学生の皆様へ感謝申し上げます。また、国土交通省三陸国道事務所様には、本取組みの内容を発注者主催の研修会等で発表する機会を頂きました。ここに改めて感謝申し上げます。