

# 養生方法がトンネル二次覆工コンクリートの品質に及ぼす影響に関する検証

## Examination of the Effects of Curing Methods on the Quality of the Tunnel Lining Concrete

高岡 伸光<sup>※1</sup> 内山 滋<sup>※1</sup> 今井 行範<sup>※2</sup>  
Nobumitsu Takaoka Shigeru Uchiyama Yukinori Imai  
森脇 丈滋<sup>※3</sup> 平間 昭信<sup>※4</sup>  
Takeshi Moriwaki Akinobu Hirama

### 【要旨】

山岳トンネルにおける二次覆工コンクリートは、トンネル坑内坑口付近を除き坑内温度は安定しており、湿度も高い状態であるとともに、露出面が少なく水分の逸散が少ないことから、従来、脱型後には一般のコンクリート構造物のように特別な養生は行われていなかった。しかし、近年、換気設備の大型化やトンネル貫通後の通風等の影響により、コンクリート表面の急激な乾燥や温度降下が発生し、初期ひび割れや乾燥収縮ひび割れが発生しやすい環境が生じるようになった。

佐渡多田トンネル工事では、初期材齢の最適な養生環境を確保することを目的として、2流体噴霧ノズルと温風機を用いた連続養生システムを導入し、初期養生を実施した。その結果、目標とした養生環境が確保され、養生しない場合に比べて強度発現性が向上し、コンクリート表層部の緻密化が図れることが確認された。

【キーワード】 トンネル 覆工コンクリート 養生方法 ひび割れ 圧縮強度

### 1. はじめに

一般的に、山岳トンネルにおける二次覆工コンクリートは、打込みから16～20時間後の早期に脱型される。脱型後は、トンネル坑内は坑口付近を除き坑内温度は安定しており、湿度も高い状態であるとともに、露出面が少なく水分の逸散が少ないことから<sup>1)</sup>、従来、一般のコンクリート構造物のような養生は行われていなかった。

しかし、近年、換気設備の大型化やトンネル貫通後の通風等の影響により、コンクリート表面の急激な乾燥や温度降下が発生し、初期ひび割れや乾燥収縮ひび割れが発生しやすい環境が生じるようになった。そこで、寒冷地などのトンネルにおいて、覆工コンクリートの湿潤および保温養生を行う事例が増えている。

佐渡<sup>おおた</sup>多田トンネル工事では、初期材齢の最適な養生環境を確保することを目的として、2流体噴霧ノズルと温風機を用いた連続養生システムを導入し、初期養生を実施した。本報告では、適用した連続養生システムの適用状況と、コンクリート強度などの効果に関して検証した結果について報告する。

### 2. 工事概要

主要地方道佐渡一周線多田トンネルは、新潟県佐渡島の南東に位置し(図-1)、沿岸沿いの急峻な地形にある現在の道路を回避する目的で計画されたトンネルである。

#### (1) 工事名

主要地方道佐渡一周線離島地方道改築(多田トンネル)工事

#### (2) 工事場所

佐渡市(旧畑野町)多田～佐渡市(旧赤泊村) <sup>むしろば</sup> 延場

#### (3) 発注者

新潟県佐渡地域振興局地域整備部

#### (4) 請負者

飛鳥建設(株)・大豊建設(株)・(株)本間組特定共同企業体

#### (5) 工期

平成14年12月～平成22年3月

#### (6) トンネル工事内容

トンネル延長：1,511m

トンネル内空断面：49.9m<sup>2</sup>

掘削方法：NATM 発破掘削工法

#### (7) 地山岩種

中・古生層の砂岩・頁岩・凝灰岩など

1. 中日本土木支社 北陸土木事業部 佐渡多田トンネル作業所  
3. 土木事業本部 土木技術部 トンネル技術G

2. 中日本土木支社 北陸土木事業部 小矢戸トンネル作業所  
4. 技術研究所 第三研究室



図-1 多田トンネル位置図

### 3. 連続養生システム

多田トンネルで適用した連続養生システムの全景を写真-1に、概略図を図-2に示す。



写真-1 連続養生システムの全景

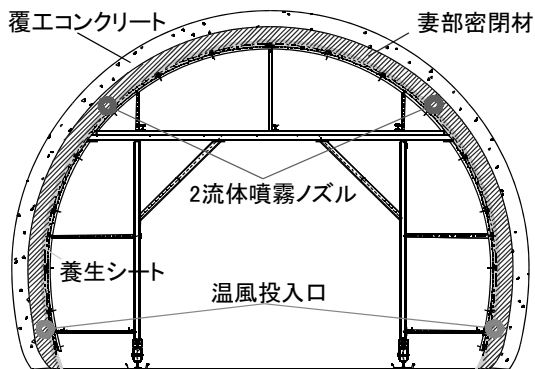


図-2 連続養生システム概略図

以下に、連続養生システムの特徴を示す。

#### 3.1 密閉方法

脱型直後から7日以上養生期間を確保するため、長さ31.5m（覆工3スパン）とし、セントルに牽引される養生台車の両端部には、写真-2に示すように、妻枠にバルーン状の密閉材を周方向に取り付け、養生箇所の気密性を高める構造とした。



写真-2 送風後の密閉材の状況

#### 3.2 加湿、保温方法

養生環境として、湿度95%以上が確保されるように、写真-3に示すように、圧搾空気と水をノズルに送り込み、ミストを発生させる2流体噴霧ノズルを1スパン（10.5m）あたり4箇所（計12箇所）配置した。また、写真-4に示すように、温風機を設置して空間内に温風を送り込み、養生温度を20℃程度に保つシステムとした。

一定の養生環境を確保するために、空間内の温湿度制御は時間制御盤により定期運転を実施し、昼夜を問わず7日以上連続した一定の温湿度を保つシステムを適用した。



写真-3 噴霧養生の状況



写真-4 設置した温風機

#### 4. 養生システムの効果に関する検証

##### 4.1 検証方法

多田トンネルで適用した連続養生システムの養生効果を検証するために、トンネル貫通後の冬期において、連続養生システムを用いて養生した「養生あり」のケースと、養生を行わなかった非常駐車帯断面等の「養生なし」について比較した。いずれのケースとも、10 スパンを検証の対象とした。なお、覆工コンクリートの配合は21-15-40Nである。

比較検証のための試験項目を以下に示す。

##### (1) 環境温度・環境湿度

セントル脱型直後より、天端部の覆工コンクリート表面に温湿度センサーを設置して、温度および湿度を15分間隔で自動測定した。

##### (2) テストハンマーによる推定圧縮強度

養生方法の違いが覆工コンクリートの強度発現に及ぼす影響を把握する目的で、テストハンマーによる推定圧縮強度試験を材齢3日、7日、28日で実施した。測定位置は側壁部とした。

##### (3) 細孔径分布

コンクリート緻密化を検証する目的で、水銀圧入法により細孔径分布の測定を実施した。対象としたコンクリート試料は、覆工コンクリートの表層より採取した。

##### 4.2 検証結果

##### (1) 環境温度・環境湿度

図-3、図-4に示すように、連続養生システムを用いて養生したケースは温度、湿度とも、ほぼ安定した養生環境が確保されており、養生開始から7日間の平均温度は20.1℃、平均湿度は96.8%であった。これに対して、養生なしのケースは、外気の影響を受け、温度、湿度ともに脱枠後から徐々に低下しており、7日間の平均温度は17.6℃、平均湿度は71.2%であった。

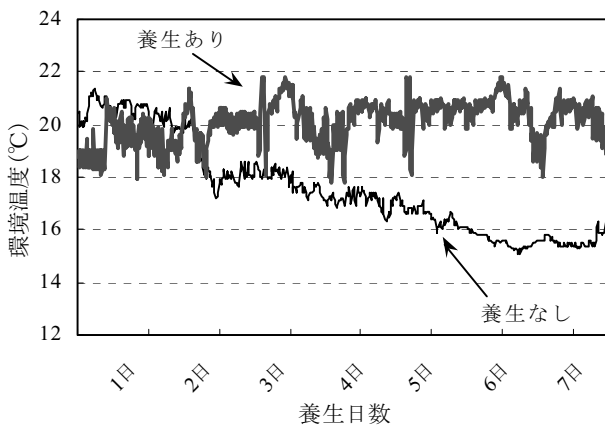


図-3 環境温度測定結果

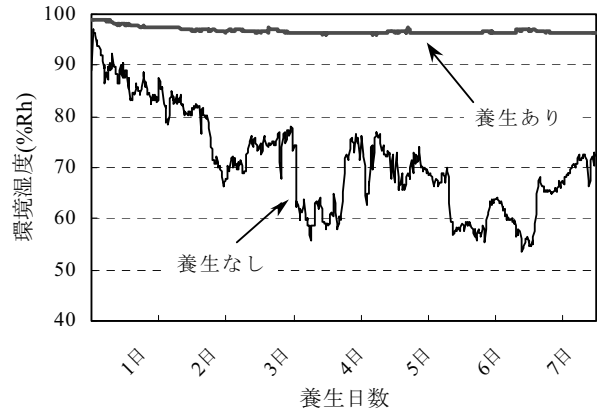


図-4 環境湿度測定結果

##### (2) テストハンマーによる推定圧縮強度

図-5には、養生別に各10スパンの推定圧縮強度を示し、表-1には養生別の推定圧縮強度の平均値および材齢28日に対する強度比を示す。

図-5に示すように、連続養生システムを用いて養生ありの方が、いずれの材齢とも養生なしに比べて、大きい推定圧縮強度であり、材齢28日では10スパンの平均で2.4N/mm<sup>2</sup>大きい値が得られていた。

多田トンネルで適用した連続養生システムは、脱枠直後から7日以上養生期間を確保したことから、材齢7日までの材齢28日に対する強度比は、養生なしに比べて、高い値であり、良好な強度発現が得られることが確認された。

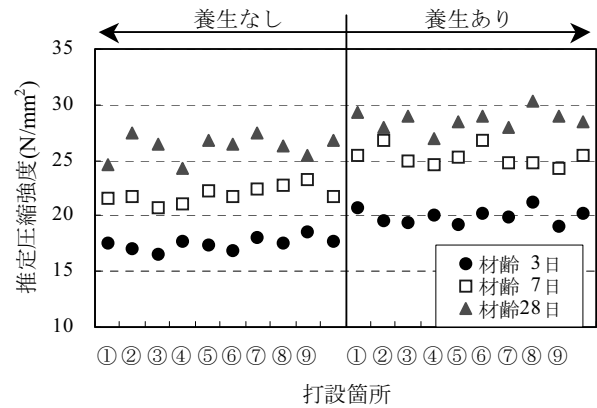


図-5 各スパンの推定圧縮強度

表-1 平均推定圧縮強度、強度比

養生方法	項目	材 齢		
		$\sigma_3$	$\sigma_7$	$\sigma_{28}$
養生なし	推定圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	17.5	21.9	26.2
	材齢28日との強度比	0.67	0.84	1.00
養生あり	推定圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	20.0	25.3	28.6
	材齢28日との強度比	0.70	0.88	1.00

### (3) 細孔径分布

細孔径分布の測定結果を図-6に示す。連続養生システムを用いて養生したケースでは、養生なしと比較して細孔径  $0.01\sim 0.1\mu\text{m}$  は増加し、 $0.1\sim 1.0\mu\text{m}$  は減少している結果であった。

このことから、適切な養生を行うことにより、コンクリート表面の緻密化が図れることが確認された。

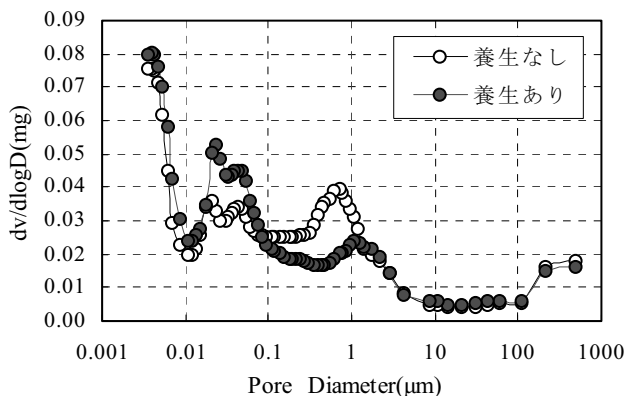


図-6 細孔径分布測定結果

### 5. おわりに

今回実施した検証では、本工事で適用した連続養生システムは、貫通後のトンネルにおいても、養生開始から7日間の平均温度は  $20.1^{\circ}\text{C}$ 、平均湿度は  $96.8\%$ と、目標とした養生環境 ( $20^{\circ}\text{C}$ 程度、湿度  $95\%$ 以上) が確保できることが確認された。この条件で養生を実施したコンクリートは、養生なしに比べて、強度発現性が向上し、コンクリート表層部の緻密化が図れていることが確認された。特に、脱型直後から7日以上養生期間を確保したことから、材齢7日までの材齢28日に対する強度比は、養生なしに比べて、高い値であり、良好な強度発現が得られることが確認された。

今後は、多田トンネルで適用した連続養生システムについて、ひび割れの発生状況や、長期耐久性などについて、更に養生効果を検証する予定である。

**謝辞:** 多田トンネルにおける連続養生システムの養生効果の検証に際しては、新潟県佐渡地域振興局地域整備部 太田正文氏をはじめとし、多くの方々にご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー102，トンネルコンクリート施工指針（案），pp.51-52，2000.7.

**Summary** The inner lining of mountain tunnels has not been particularly cured unlike ordinary concrete structures because the humidity is high and the temperature is stable inside tunnels except at their mouths, the relative area of the lining exposed to the atmosphere is small, and thus the evaporation from the concrete is small. However, recent implementation of large ventilation systems and good ventilation of tunnels after starting service have caused sudden drops in the water content and temperature at the surface of concrete lining, which have invited conditions vulnerable to initial and drying shrinkage cracks.

In the Sado Ota Tunnel construction project, a continuous curing system was introduced, which consisted of 2 hydraulic spray nozzles and a hot air heater, and initial curing was executed to create conditions optimum for curing early-age concrete. The system created the aimed curing conditions, improved the strength expression compared to that without curing, and was shown to form fine-texture concrete surface.

**Key Words:** Tunnel, Lining Concrete, Curing Method, Crack, Compressive Strength