

# 山岳トンネル覆工コンクリート養生システムの開発

田 中 徹・戸 田 一 生・佐 藤 晃

山岳トンネル覆工コンクリートを対象に、コスト縮減や施工性向上を目的とした新しい養生システムを開発した。養生材は保温と湿潤の同時養生が可能な「うるおんマット」を用い、養生材の支持部材としてFRP（ガラス繊維補強プラスチック）等を利用することにより軽量化し、施工性を向上させた。養生効果確認試験の結果、コンクリート打設後材齢7日まで養生することで、コンクリート表面の強度推定値が無養生と比較して3割程度向上することやコンクリートの中性化速度を小さくすることができることを把握した。本稿では本養生システムの概要と養生効果の定量的把握を目的とした各種試験結果、および、現場適用試験結果について述べる。

キーワード：山岳トンネル，覆工コンクリート，養生システム，養生効果

## 1. はじめに

山岳トンネル覆工コンクリートの施工において、型枠脱型後の養生は、セメントの水和反応促進や温度ひび割れの抑制、長期耐久性の向上など品質確保の上で重要な工程である。

近年の各種技術提案型入札方式が増加の中で、覆工コンクリートの品質向上や耐久性向上をキーワードとした、特色ある養生システムが数多く開発され、実用化している。

例えば、表1に示す通り、鋼製支保台車に設置した膜材を圧縮空気で風船状に膨らませ、コンクリート表面に密着させることで水分の逸脱を防止する例や、加湿器を利用してコンクリート表面を湿潤状態に保つなど、様々な工夫が凝らされている。

筆者らは、養生材として当社開発品であり、保温と湿潤の同時養生が可能な「うるおんマット」を用い、養生材の支持部材として中空パイプ状のFRP（ガラス繊維補強プラスチック）ロッド等を利用して軽量化し、施工性を向上させた養生システムを開発した。




本稿では開発した養生システムの概要と養生効果の定量的把握を目的とした確認試験および実現場における施工性確認試験の結果について報告する。

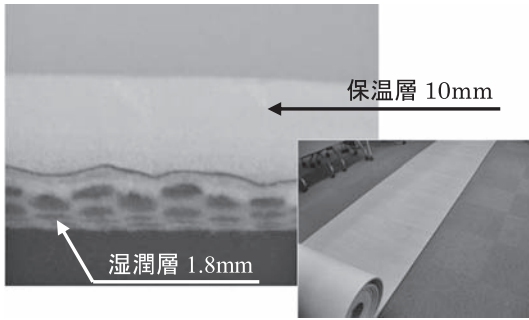
## 2. 養生システムの概要

### (1) 養生マット

写真1に使用した養生マット（製品名：「うるおんマット」特許出願中 NETIS登録済み）の断面と外観を示す。

表1 同業各社の主な養生システム

主な養生工法	当社開発養生工法	膜材を用いた養生工法	散水式養生工法
既存他社工法			
工法概要	保温湿潤の同時養生可能な養生マット採用。システム軽量化による施工性向上とコスト縮減を実現。	鋼製支保に膜材を設置し圧縮空気で風船状に膨らませ覆工表面に密着。使用実績多。	鋼製支保に膜材を設置し内部を超音波加湿器によって湿潤状態を保つ。温水利用による保温可能。
主な養生効果	保温・湿潤	水分逸脱防止他	湿潤他



写真一 「うるおんマット」の断面と外観

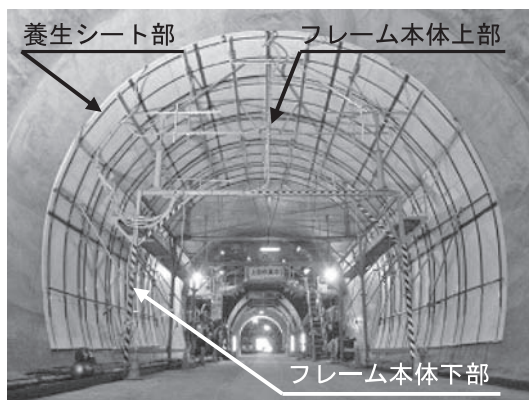
養生マットは保温層 ( $t = 10 \text{ mm}$ ) と湿潤層 ( $t = 1.8 \text{ mm}$ ) とを有している。保温層は発泡ポリエチレンであり、柔軟な材料のため加工しやすく、覆工コンクリート内面等養生面の曲率に対する追従性に優れている。また、湿潤層部の初期保水量は  $800 \text{ g/m}^2$  であり、湿潤状態におけるマットの総重量は  $1,600 \text{ g/m}^2$  である。湿潤層は水膨潤ウレタン製であり、一旦保水された水は重力によって離水することなく湿潤性を保持することができるため、トンネル覆工コンクリートのような構造物下面や橋脚等の鉛直面の養生が可能となる。

## (2) フレーム台車の概要

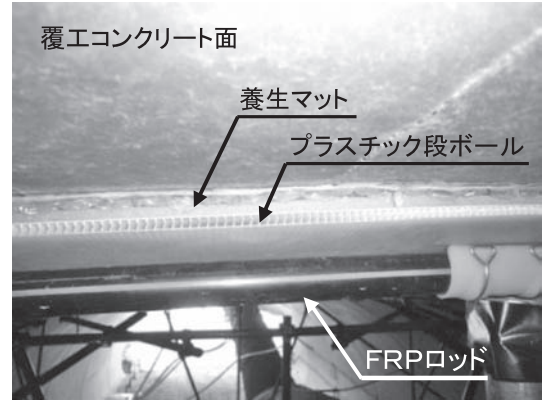
写真二に養生システムの全景、写真三、四にシステムの一部拡大写真を示す。

養生マットを支持するフレーム台車は、「フレーム本体下部・上部」と覆工コンクリート内面に養生マットを密着させる「養生シート部」に大別できる。

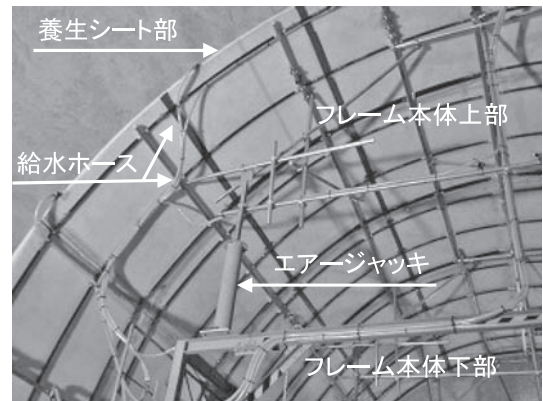
フレーム本体下部は角パイプ ( $\square 100 \times 100 \text{ mm}$ ) を主要部材として使用し、必要な強度と剛性を確保している。養生シート部を支持するフレーム本体上部はトンネル断面寸法にフレキシブルに対応させることや軽量化を目的として、単管パイプをクランプで組み立てる構造とした。



写真二 養生システム全景



写真三 養生シート部の構成



写真四 エアージャッキ設置状況

養生シート部は軽量化と覆工コンクリート内面曲率への追従性を考慮し、中空パイプ状のFRP（ガラス繊維補強プラスチック）ロッドを使用し、養生マット背面の保護材としてプラスチック製段ボールを使用した（写真三参照）。養生マットへの散水は養生マット表面に散水チューブを設置し、自動散水可能な構造とした。

フレーム本体にはエアージャッキ（10.5 m スパン左右各3基合計6基、ストローク長約500 mm）を設置し、養生シート部を任意に揚げ降ろし可能な構造とした（写真四参照）。

また、養生システムは坑内路面に設置した走行レール（I型鋼  $200 \times 100$ ）内を走行することとし、フレーム本体最下部に車輪（10.5 m スパン左右各3輪合計6輪）を設置している。

## 3. 試験体を用いた養生効果確認試験

### (1) 試験体概要と養生条件

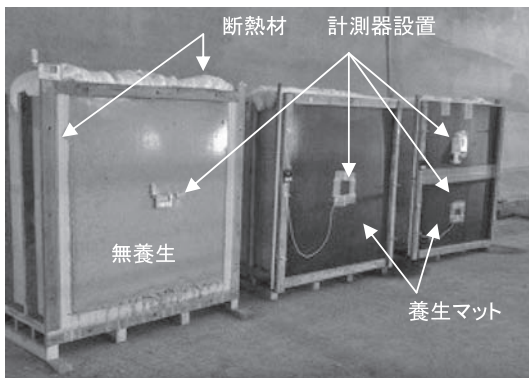
本システムにおける養生効果の確認を目的に、養生期間の変化がコンクリートの硬化物性に及ぼす影響を把握する各種試験を実施した。

表一に試験体に使用したコンクリートの示方配合

を示す。試験体に使用したコンクリートは実工事で実際に使用中の覆工用コンクリートとした。試験体寸法は高さ 800 × 幅 800 × 厚さ 300 mm とし、養生する前面以外には断熱材を設置した（写真—5 参照）。養生期間はコンクリート打設後材齢 3 日、5 日、7 日の 3 水準とし、脱型後無養生の試験体を比較用とした。養生はコンクリート打設後 24 時間で養生面のみ脱型し、その直後から開始した。養生終了後も試験体はトンネル坑内に材齢 28 日直前まで静置した。

表—2 試験用コンクリート示方配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
56.0	43.6	159	284	792	1035	2.84
【配合条件】						
設計基準強度 = 18N/mm <sup>2</sup> 粗骨材最大寸法 = 40mm						
セメントの種類 = 普通ポルトランドセメント						
スランプ = 15 ± 2.5cm 空気量 = 4.5 ± 1.5%						



写真—5 トンネル坑内養生状況

(2) 試験方法

保温および湿潤効果を確認するために、養生期間中および材齢 28 日までの坑内温度と湿度、コンクリート表面の温度と湿度の経時変化を計測した。温度はボタン電池型の小型温度記録計、湿度は防水型ワイヤレス式湿度センサーを表面に設置して計測した。また、材齢 28 日後にリバウンドハンマー（シュミットハンマー RN 型 JIS A 1155 準拠）を用いた圧縮強度推定試験と表面透気係数試験（TORRENT 法）、および、試験体から採取したコアの圧縮強度試験（JIS A 1107 準拠）、促進中性化試験（JIS A 1153 準拠）を実施した。

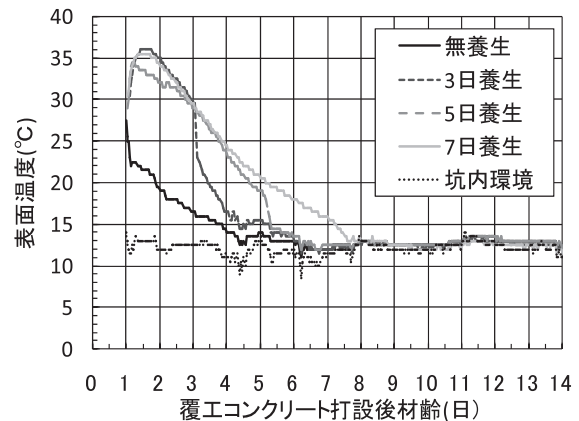
(3) 試験結果

(a) 表面温度と湿度計測結果

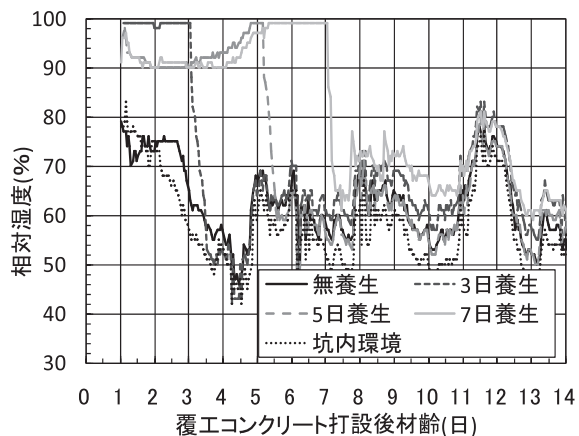
図—1 にコンクリート表面の温度計測結果、図—2 に湿度計測結果を示す。

無養生試験体の表面温度は、脱型直後の 28℃ から 60 分で 5 ~ 6℃ 急激に下がり、その後は材齢 4 日まで

に坑内温度と同等になった。コンクリート打設後材齢 3 日および 5 日まで養生した試験体では、表面温度が養生開始後 36℃ 程度まで上昇し、養生終了後は無養生試験体と同様に急激に下降した。材齢 7 日まで養生した試験体の表面温度は、養生期間中に坑内温度と同等程度まで緩やかに下がり、養生終了後も急激な変化は認められなかった。表面湿度は養生期間中 90% 以上の湿度を維持することを確認した。しかし、養生終了後は数時間で坑内湿度と同等まで下がる結果になった。



図—1 コンクリート表面温度の計測結果



図—2 コンクリート表面湿度の計測結果

(b) 圧縮強度試験結果

表—3 にリバウンドハンマーを用いた圧縮強度推定値とコアを用いた圧縮強度試験結果を示す。

リバウンドハンマーを用いた圧縮強度推定試験（材料学会換算式）の結果、無養生の試験体と比較して、養生期間が長いほど圧縮強度の推定値は高くなることを把握した。また、材齢 7 日まで養生した試験体では、無養生と比較して約 1.3 倍の圧縮強度が得られることを把握できた。

試験体から採取したコアの圧縮強度および静弾性係数は、養生期間の違いによる明確な差異は認められなかった。この原因として湿潤、保温養生による圧縮強

表一三 圧縮強度推定値とコア圧縮強度試験結果

養生期間	無養生	3日	5日	7日
強度推定値 (N/mm <sup>2</sup> )	23.87 (2.59)	27.39 (3.00)	28.58 (3.50)	31.50 (5.27)
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	28.50 (0.88)	29.43 (1.81)	32.23 (1.61)	30.43 (0.37)
静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	28.66 (1.66)	28.49 (1.96)	27.42 (0.73)	27.37 (0.98)

下段:カッコ内は標準偏差を示す.

度の増進は、コンクリート表面近傍に限られていることが考えられる。

(c) 表面透気係数試験結果

写真一六に表面透気試験状況、表一四に表面透気係数試験結果を示す。ここに、コンクリートの表面透気試験（TORRENT法）とは、コンクリート表面に設置したチャンバー内を真空ポンプによって真空にし、圧力が大気圧に回復するまでの圧力の経時変化を測定することによって透気係数を算出し、コンクリート表面の緻密性等を評価する試験方法である（参考：芝浦工業大学井上ら「現場簡易透気試験による実構造物コンクリート表層の透気性評価とその相互比較」第35回土木学会関東支部技術研究発表会）。



写真一六 表面透気試験状況

表一四 表面透気係数試験結果

養生期間	無養生	3日	5日	7日
透気係数 ( $\times 10^{-16}m^2$ )	2.089 (0.755)	3.049 (2.782)	1.275 (1.079)	0.849 (0.135)

下段:カッコ内は標準偏差を示す.

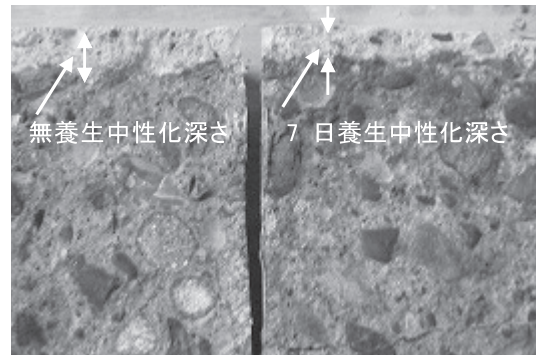
試験の結果、試験データのバラツキは大きいものの、材齢7日まで養生した場合の透気係数は無養生の半分以下の値となった。これは養生によってセメントの水和反応が促進され、コンクリート表面が緻密化しているためと考えられる。

(d) 促進中性化試験結果

写真一七に試験状況、表一五に試験結果を示す。

試験の結果、中性化深さは無養生の場合が最も大きく、材齢7日まで養生した試験体が最も小さくなる結

果であった。材齢3日、5日でデータのバラツキはあるものの、養生材齢が延びるほど中性化深さは小さくなる傾向であることを把握することができた。



写真一七 中性化試験状況 (左:無養生 右:7日養生)

表一五 中性化深さ (促進材齢28日)

養生期間	無養生	3日	5日	7日
中性化深さ (mm)	14.11 (0.67)	12.54 (0.31)	12.56 (0.68)	10.66 (0.47)
中性化深さ 比率*	1.00	0.89	0.89	0.76

※:無養生の中性化深さを1.00とした場合の割合.

(4) 試験体を用いた試験結果のまとめ

本試験の範囲で以下を把握することができた。

- ・打設後材齢7日まで養生することで、コンクリート温度を緩やかに坑内温度まで下降させ、養生期間中の湿度は90%以上を維持することができる。
- ・養生によってコンクリート表面の強度を増進させ、透気係数および中性化速度を小さくすることができ、耐久性向上が期待できる。

4. 現場適用試験

(1) 現場適用試験概要

本養生システムを実工事で適用し、設置作業手順や作業時間の計測等、施工性の確認を行った。

(2) 施工性の確認試験結果

本システムの設置から次スパンへの移動までの作業手順概要を以下に示す。

【作業手順概要】

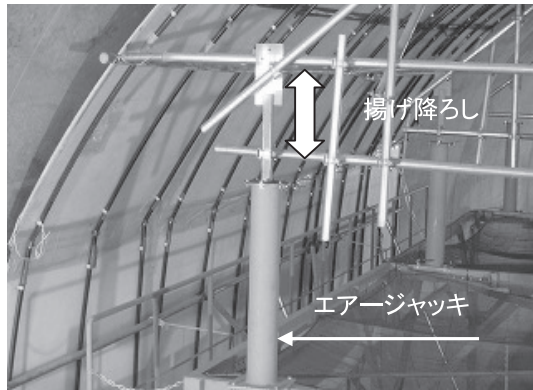
I. 設置作業

- ①養生スパン（延長10.5m 1スパン養生）への移動
- ②養生マットへの散水

自動散水装置により養生マットを湿潤状態にする。散水時間は約30分である。2回目以降は10分程度の散水量によって飽和状態となった。

## ③エアージャッキによる養生シート部密着

坑内路面またはフレーム本体に設置したエアコンプレッサーを用いてエアージャッキを揚げ、スプリングライン（SL）より上部の養生シート部を覆工コンクリート内面に密着させる（写真—8 参照）。

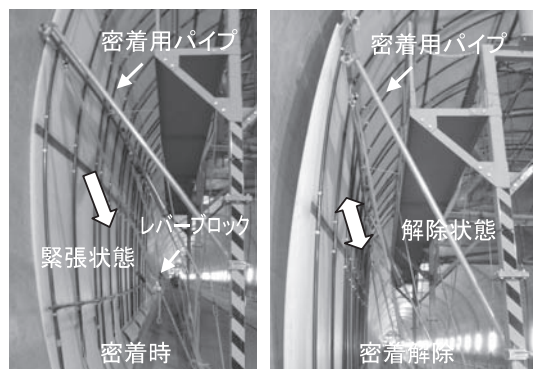


写真—8 エアージャッキ設置状況（密着解除時）

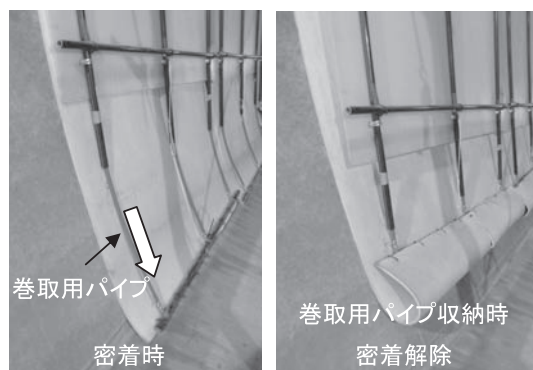
## ④側壁部養生シート部の密着

SL 以下の側壁部は写真—9 に示す通り、側部密着用パイプをレバブロックで引き下げることによって密着させる。また、側壁部最下端は写真—10 に示す通り、脚部巻取用パイプ（塩ビパイプ製）を引出すことで密着可能である。

## ⑤養生開始（期間：コンクリート打設後材齢7日標準）



写真—9 側壁部養生シート部の密着解除状況（SL部）



写真—10 側壁部養生シートの密着解除状況（脚部）

## II. 解除，移動作業

⑥側壁部養生シート部の密着解除（写真—9, 10 参照）  
脚部巻取用パイプの収納，および，側部密着用パイプを緩めることで，密着を解除する。

⑦エアージャッキによる養生シート部密着解除  
エアージャッキの圧力を解放し，密着を解除する。

⑧フレーム台車の移動  
走行レールを移動させながら，人力または車両によってフレーム台車を移動させる。

施工性確認試験の結果，フレーム台車の移動作業開始から設置，養生開始までは重機等を使用することなく，約1時間で作業可能であることを確認できた。また，フレーム台車の移動は人力（作業員6名）で作業可能であることも把握した。

## 5. おわりに

山岳トンネル覆工コンクリートは，インバートによる拘束や乾湿繰返しなどによって，ひび割れが発生しやすい構造および環境に暴露される。

本養生システム工法の適用によって，ひび割れ発生を抑制すると同時に，長期耐久性の確保など品質向上に役立てたいと考えている。

JICMA

## 【筆者紹介】



田中 徹（たなか とおる）  
戸田建設株式会社  
本社環境ソリューション部



戸田 一生（とだ かずお）  
戸田建設株式会社  
名古屋支店 土木工事事務課



佐藤 見（さとう あきら）  
戸田建設株式会社  
名古屋支店 土木工事事務課