

覆工コンクリート養生技術の開発 —「うるおい」「温ぬく」— Development of the Curing Method for Tunnel Lining Concrete —Uruoi and Nuku-Nuku—

吉永 浩二*

Kouji Yoshinaga

水越 史郎***

Fumio Mizukoshi

椎名 貴快**

Takayoshi Shiina

要 約

「うるおい」および「温ぬく」は、保温・断熱性の高いポリプロピレン製の特殊パネルを用いた新しい覆工コンクリート養生技術である。当該技術は、従来の養生技術と同等以上の養生性能および効果を発揮し、また導入コストを抑えることが可能である。本技術の高い保温・湿潤養生により、覆工コンクリートにおけるひび割れの発生が抑制され、さらに強度増進や表層部の緻密化が進み、構造物の高品質化と耐久性の向上を期待できる。

本論では、当該技術の概要と現場への導入方法について述べ、さらにトンネル現場で実施した養生効果確認実験の結果について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 技術の概要
- § 3. 現場導入方法
- § 4. 効果確認実験
- § 5. おわりに

§1. はじめに

近年、トンネル二次覆工コンクリートの品質向上を目的とした各種養生技術が数多く開発されている。これらの技術は、型枠を脱型した後、覆工コンクリートの急激な乾燥や温度低下を防止することで、収縮ひび割れの発生を抑制する。また、覆工表面を高湿度環境に保持することで、セメントの水和反応を促進し、強度の増進やコンクリート表面の緻密性向上に有効であるとされる。

しかし、当該技術の多くは、現場導入コストが比較的高価なため、導入できるトンネルは一定規模以上の延長や断面、設備などを要する。このため、条件によっては採用が見送られるケースがある。

そこで、従来技術よりも低コストで導入でき、さらに養生効果は従来技術と同等以上の性能を兼ね備えた新しい養生システム「うるおい」と「温ぬく」を開発した。

本論では、当該技術の概要と現場導入時における施工手順、およびトンネル現場での養生効果確認実験によって得られた結果について報告する。

§2. 技術の概要

2-1 うるおい

うるおい養生は、セントル型枠を脱型した後、覆工コンクリート表面に、独自に開発した養生パネルを塩ビ製のフレーム材を用いて密着するように一定期間（標準7日間）設置し、高い保温・湿潤環境でコンクリートを養生する技術である（写真-1）。

養生期間中、坑内の温度や湿度の変化、掘削中の換気や貫通後の通風などによる影響から覆工コンクリートを



写真-1 うるおい養生全景

* 土木設計部設計課

** 技術研究所土木技術課

*** 土木部

保護することで、構造物としての高い品質と耐久性の向上を期待できる。

養生パネルは、ポリプロピレン製の中空板材 (t=7mm) にポリエチレン製高発泡シートと不織布を貼り合わせた厚さ 11mm の三層構造となっている (写真-2)。パネル自体は、軽量で強靱な上、トンネル断面に対する追従性も良く、保温・湿潤性に優れている。

2-2 温ぬく

セントル型枠の内面に、うるおい養生パネルにも使用したポリプロピレン製の中空構造板 (7mm厚) を手作業で配置し、覆工コンクリート打込み後から型枠脱型までの間、コンクリートから発生する熱を利用してコンクリートを保温養生する技術である (写真-3)。

養生効果により、コンクリート初期強度発現を促進し、型枠の脱型に必要な強度を所定の材齢までに確保する。

§3. 現場導入方法

3-1 うるおい

(1) 組立方法

うるおい養生は、養生パネルを覆工コンクリート表面の所定の位置で保持するため、塩ビ管を用いた軽量なユニット・フレーム構造を採用した。従来技術の多くが採用した剛性の高い鉄骨フレーム構造を見直すことで、低コスト化を実現した。さらに、施工時の移動などを考慮して、覆工スパン長の半分を1ユニット長とした。

以下に、1ユニット当たりの組立方法を示す。

① 骨組み材の加工 (工場製作)

トンネル周方向の骨組み材となる塩ビ管に、水平材をつなぐための接続管 (チーズ管, 十字管) をあらかじめタッピングビスにより設置しておく。

② 骨組み材の地組み (現場組立)

周方向骨組み材を、既製ソケットを使用して接着剤で接続 (地組み) する (1ユニット分: 計6本)。

③ 周方向骨組み材の仮設

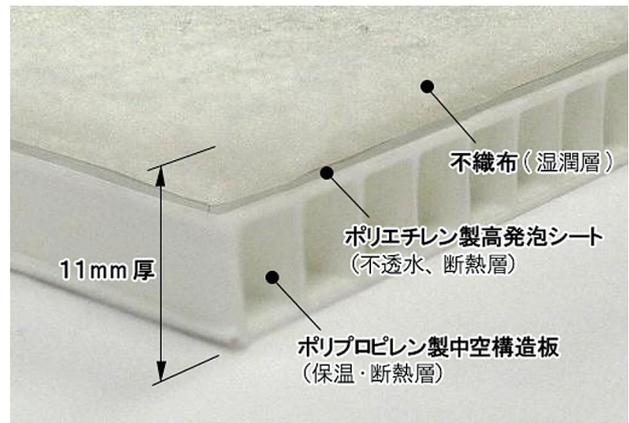
セントル後方足場を使用して、上記②の骨組みを1本ずつ覆工仕上がり面に沿って設置する。骨組みは両下端部をパイプサポートで支持し、押し上げることで、覆工面に密着させ自立させる (図-1)。

④ 水平材の取付け

上記③の骨組みを2列並列して設置した後、骨組み同士を接続する水平材 (塩ビ管) をT字管および十字管を用いて接着剤で固定する。

⑤ 繰り返し

前記①~④をセントルを移動しながら繰り返し、1ユニット分の骨組みを組み立てる。また、骨組み両下端部は、単管パイプでトンネル縦断方向に連結し、片側3箇所をパイプサポートにより支持し押し上げ自立させる (写真-4)。



※ 不織布面を覆工コンクリート表面に接触させて設置

写真-2 うるおい養生パネル



写真-3 温ぬく養生状況 (例: セントル天端部)

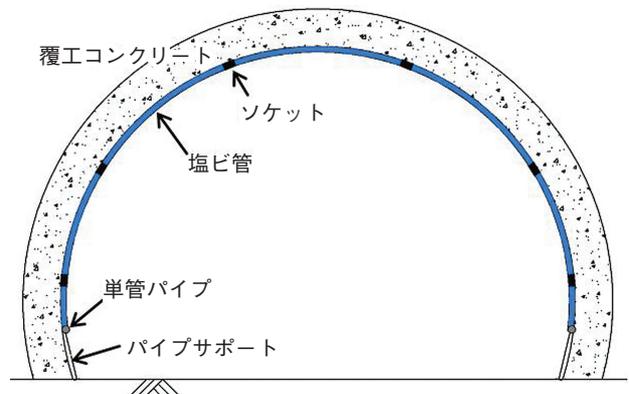


図-1 骨組み設置

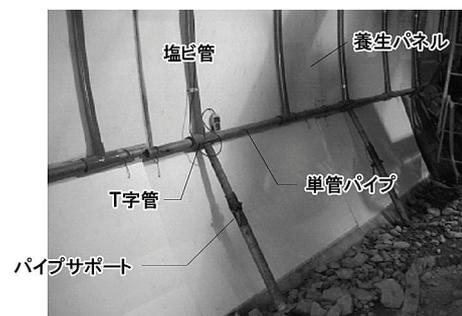


写真-4 パイプサポート設置状況

⑥ パネル設置

高所作業車を使用し、骨組み材と覆工面の間に、養

生パネルを天端部中央から肩部、脚部へと順に下方に向かって差し込んでいく。

パネル同士は専用のプラスチック板を当ててタッピングビスで接合し、骨組みとパネルはサドルバンドでタッピングビスにて固定する（写真-5）。

(2) 養生方法

うるおい養生では、3スパン分の全6ユニットを準備し、型枠脱型後、覆工1スパン当り最大7日間連続養生することが可能となる。従来工法のように、養生期間中、養生設備全体の移動・設置に伴う一時的な養生の中断がないため、持続可能な養生をおこなうことが可能である。なお、各ユニットは、専用台車にて移動し転用する。移動台車の上部には、養生設備受けがあり、レバーブロックで昇降する構造となっている。また、走行方式は現場条件により異なるが、基本的には自走装置を備え、軌道上を走行するものとする（図-2）。

以下に養生設備の移動方法について示す（図-3）。

STEP-1) 移動台車の設置

養生終了後、養生ユニット直下に移動台車を設置し、台車の養生設備受けを所定位置まで上昇させる。

STEP-2) 養生ユニットの仮受け

養生ユニット両下端のパイプサポートを緩め、養生設備全体を移動台車の養生設備受けで仮受けする。

STEP-3) 養生ユニット移動

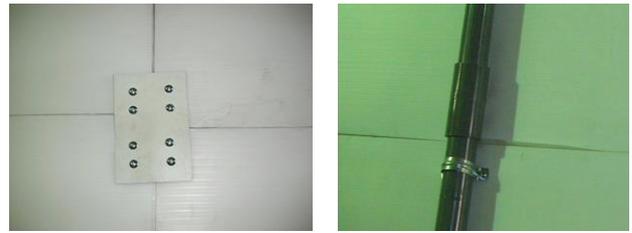
上記②で養生設備を載せた移動台車を次の養生箇所（セントル後方）まで移動する。

STEP-4) セントル脱型・移動

セントルの脱型・移動に続き、脱型した覆工直下に台車を移動する。

STEP-5) 養生ユニット設置

1ユニット分の覆工仕上がり面が現れたら、台車



パネル同士の接合 組みとパネルとの固定

写真-5 うるおい養生パネルの設置

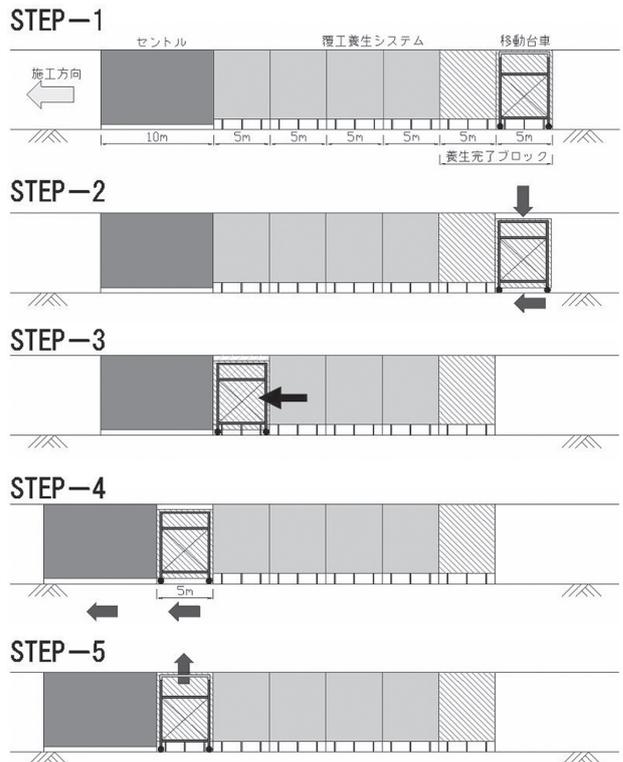


図-3 施工方法の縦断概念図

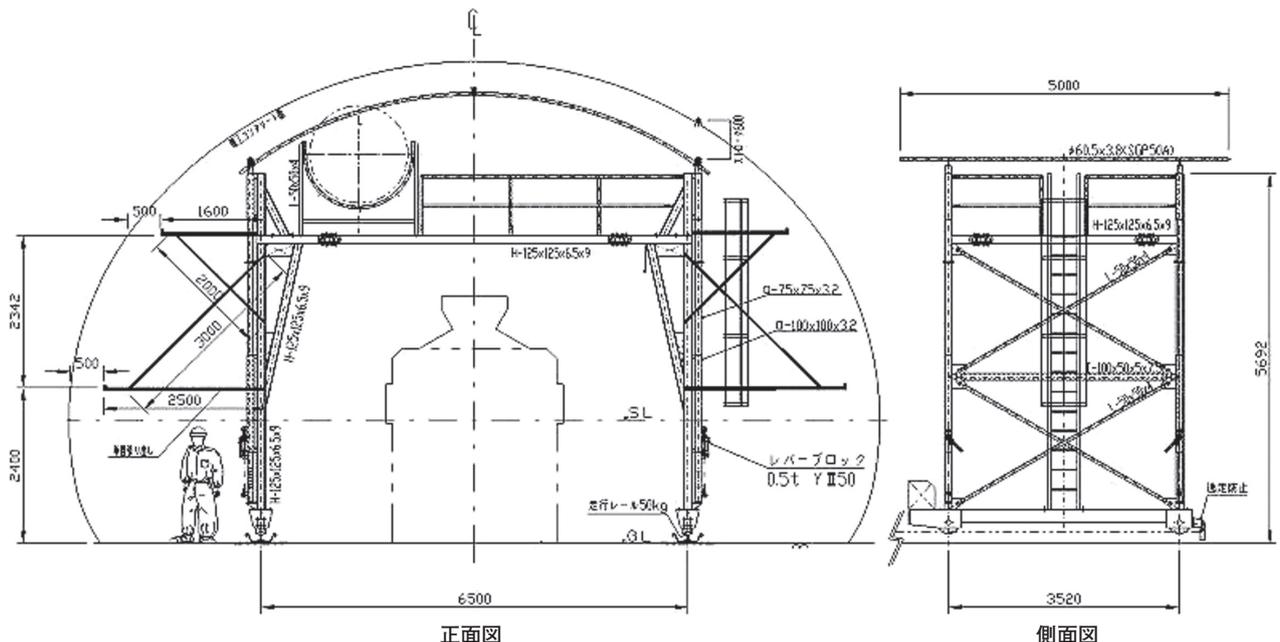


図-2 移動架台図

の養生設備受けを覆工面に養生設備が接する高さまで上昇させる。次に、養生設備の両下端部をパイプサポートで支持し、覆工仕上がり面に養生設備が密着したのを確認した後、移動台車の養生設備受けを下降させる。

上記のSTEP—1)～5)を繰り返して実施し、1スパン分の養生設備を移動する。

3-2 温めく

(1) 設置方法

以下に、パネルの設置方法を示す。

① パネル加工（工場製作）

セントルのフォーム寸法に合わせてパネルを工場にて加工する。

② パネル設置

天フォーム部は、フォームのリブにアングルを溶接し、パネルを差込式構造とした。これにより、パネル自体を容易に外すことができ、コンクリート打設時に打設窓の開閉を阻害しない（写真—6）。

側フォーム部は、フォームのリブとリブの間にパネルを差し込み、アングルを溶接してパネルを押さえ固定する。なお、打設窓の箇所は、開閉式の構造とした（写真—7）。

インバートフォーム部も、側フォームと同様の構造とした。

③ フォームリブ部の養生

フォームリブ部は、露出した状態でも保温性能は十分に得られるが、ポリエチレン製高発泡シートで覆うことで保温性能を高める（写真—8）。

(2) 養生方法

① コンクリート打設時

打設時は、天フォーム部分の差込式パネルを外しておき、側フォームの開閉パネルも開けておく。

② コンクリート打設完了後

打設窓を閉めた時点で、当該箇所の開閉パネルおよび、差込式パネルを再度設置し、型枠脱型までの期間、養生する。



写真—6 天フォーム部



写真—7 側フォーム部（打設窓箇所）



写真—8 フォームリブの養生状況

§4. 効果確認実験

4-1 うるおい

(1) 概要

表—1 に実験概要、図—4 に坑外気象データを示す。現場は新潟県山間部の豪雪地帯に位置し、実験スパンは坑口から約 40 m 地点で、実験当時は冬季のため坑内温度は日平均約 10℃ とトンネル坑内環境としては比較的低温の低い条件であった。

本実験では、同一スパン内に養生と無養生の区間を設定し、各々覆工肩部（S.L 上約 3 m）において、温度、湿度、テストハンマー強度を測定して比較検討を実施した。

表—1 実験概要

工事場所	新潟県中魚沼郡津南町
計測箇所	5BL 目覆工肩部（トンネル貫通前）
計測期間	平成 20 年 12 月 11 日～（4 週間）
覆工配合	24-15-25N W/C=53.0% C=294kg/m ³
覆工厚	350mm
脱型時期	19 時間後
計測項目	温度（覆工表面・中心、坑内環境） 湿度（覆工表面、坑内環境） テストハンマー強度（肩部）
養生期間	7 日間

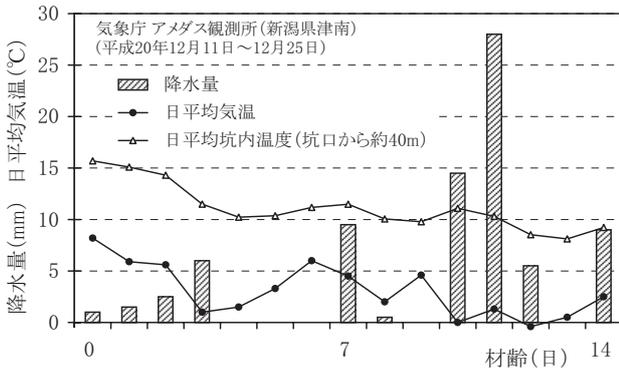


図-4 気象観測データ (新潟県津南町)

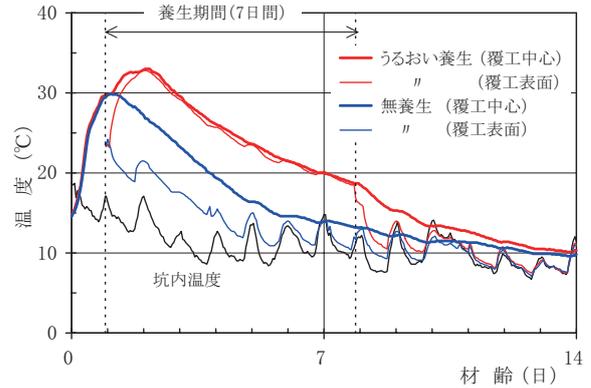


図-5 覆工コンクリート温度

(2) 計測結果

① 覆工コンクリート温度

図-5に、トンネル肩部における覆工コンクリート中心と表面および坑内での温度測定結果を示す。養生をおこなった場合、養生期間中の覆工中心と表面の温度は概ね等しく、またピーク温度は無養生より3℃程度高い値であった。これは養生材の高い断熱性能と保温性能を表している。

② 相対湿度

図-6に、養生期間中における覆工表面付近の相対湿度の履歴を示す。既往の研究¹⁾²⁾³⁾では、相対湿度80% RH以下の環境では水和反応の進行が著しく停滞し、細孔量の増加による強度低下の発生が指摘されている。養生区間の相対湿度は、無養生に比べて3割程高い平均85.0% RHの値であり、坑口付近の厳しい施工環境であっても相対湿度80% RH以上を確保し、適切な水和進行に寄与する湿潤環境を保持できたと考える。

③ テストハンマー強度

表-2に、材齢8日(養生終了後)、材齢28日でのテストハンマー強度試験の結果を示す。養生した場合、無養生よりも1割以上高い結果であった。これは養生の保温・湿潤効果により、材齢初期の水和反応が促進され、特に表層部での緻密性が増したことが影響していると考えられる。

(3) 従来技術との比較

図-7に、養生期間中における覆工内部の温度勾配履歴を示す。比較した従来技術は、①発泡スチロール養生、②バルーン養生の2技術である。なお養生期間は全て脱型後7日間であり、無養生時の値も参考に併記した。

同図より、本技術は他の養生技術と同様に温度勾配が概ねゼロと高い断熱性能を有していることが分かった。

表-3に、各養生技術を用いた場合の覆工表面における熱伝達率の逆解析同定結果を示す。うるおい養生を用いた場合の熱伝達率の同定値は2.3 W/m²・℃であり、発泡スチロール50mm厚とシートを併用した場合の参考値⁴⁾に近い値となった。

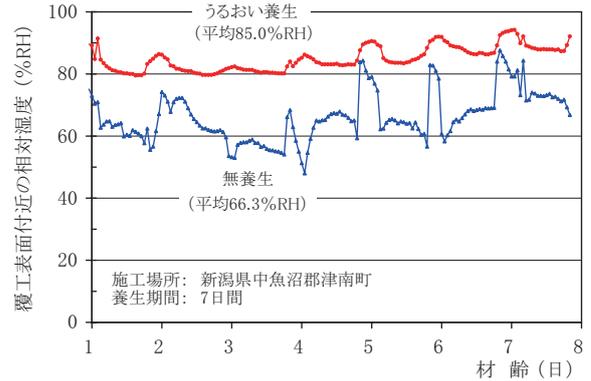


図-6 覆工表面付近の相対湿度

表-2 テストハンマー強度

	材齢8日目	材齢28日目
うるおい養生	24.2 (1.16)	28.7 (1.10)
無養生	20.9 (1.00)	26.2 (1.00)

備考： 単位 N/mm² () 内は比率

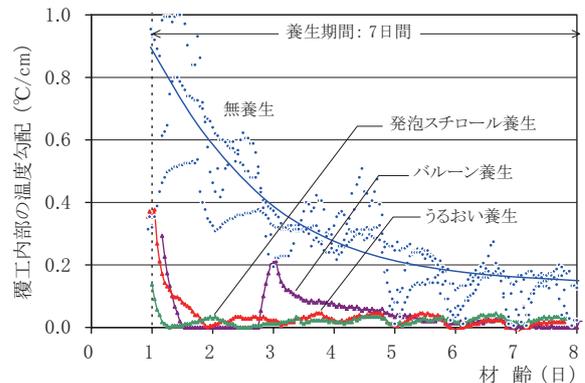


図-7 覆工コンクリート内部の温度勾配履歴

表-3 コンクリート表面での熱伝達率の同定結果

養生方法		熱伝達率 (W/m ² ・℃)
同定結果	無養生	14
	発泡スチロール養生(100mm厚)	0.7
	バルーン養生	3.8
	うるおい養生	2.3
参考値*	露出面 (風速2~3m/sの場合)	12~14
	シート養生	6
	養生マット	5
	発泡スチロール(50mm厚)+シート	2

* 土木学会コンクリート標準示方書[設計編] 2007年制定

4-2 温めく

(1) 概要

表-4 に実験概要を示す。現場は新潟県三条市と福島県南会津郡を結ぶ道路トンネルである。実験対象の覆工スパンは、新潟県側坑口から約 2 km の地点である。トンネル貫通前のため、坑内温度は平均 23.4℃ と良好な条件であった。

本実験では、同一スパン内に養生と無養生の区間を設定し、覆工コンクリートの温度（表面，中心），坑内温度，養生温度（天端，肩部，SL 部）および反発度を測定して比較検討を実施した。

(2) 計測結果

① 養生温度

表-5 に示した養生温度（セントル内面のスキンプレートとパネルとの間の空間温度）の値は、坑内温度（平均 23.4℃）に対して最大約 12℃，無養生に対して最大約 6℃ 高く，保温性の良いことがわかった。

② 覆工コンクリート温度

図-8 に，トンネル肩部における型枠脱型までの覆工コンクリート中心部と表面での温度測定結果を無養生と比較して示す。

同図より，覆工中心と表面の温度差は，無養生時の 3.4℃ に対して，養生時は 0.5℃ と小さく，パネルによる断熱性能を確認した。

③ 反発度

型枠脱型直後に実施した覆工コンクリート表面での反発度の値は，無養生に対して養生部が 3~8% 高い結果であった。これは養生の保温・断熱効果により，セメントの水和反応が覆工コンクリート内部で比較的ムラなく進化したためと考えられる。

§5. おわりに

本論では，新たに開発した覆工コンクリート養生技術の性能と効果をトンネル現場にて確認した。以下に現場導入および効果確認実験によって得られた知見を示す。

- ・うるおい養生は，フレーム構造の軽量化と材料コストの低減を実現した。
 - ・コンクリートの保温・湿潤性が高く，強度増進効果を確認できた。
 - ・また，従来の養生技術（例えば，バルーン養生など）と同等の断熱性能を有していた。
 - ・温めく養生は，セメント水和反応によって発生した熱を利用した保温効果を得られた。
 - ・また，わずかだが表面反発度の増進効果があった。
- なお，以下の点については，今後の現場適用をとおして確認・改善が必要であると考えられる。
- ・延長の長いトンネルに適用した場合の養生材料の耐久性や転用回数確認

表-4 実験概要

工事場所	新潟県三条市～福島県南会津郡
計測箇所	坑口から約 2km 地点の覆工（貫通前）
計測期間	平成 21 年 10 月 16 日～17 日（2 日間）
覆工配合	21-15-40N W/C=55.3% C=273kg/m ³
覆工厚	300mm
脱型時期	約 18 時間後
計測項目	温度（覆工表面・中心，坑内，養生部） 反発度

表-5 養生温度（型枠脱型直前）

	天端部	肩部	SL 部
対坑内温度	+11.7℃	+11.8℃	+5.2℃
対無養生時	+ 4.8℃	+ 5.9℃	+2.4℃

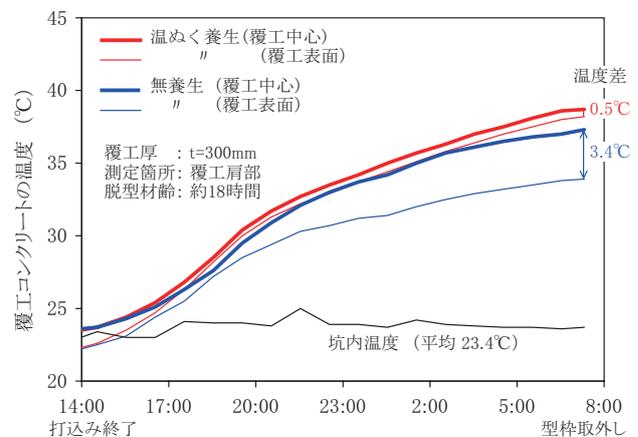


図-8 覆工コンクリート温度

- ・養生設備を組み立てる作業の効率化と導入コストのさらなる低減
- ・覆工コンクリートの定期観察・調査による養生箇所の長期的な耐久性評価の実施

謝辞. 本技術の開発および現場適用において，本社各部署をはじめ，平塚製作所，関東土木支店大倉トンネル出張所，八十里出張所，中部支店千両トンネル出張所（順不同）の方々の御指導，御支援を戴いた。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) Powers, T. C. : A discussion of cement hydration in relation to the curing of concrete, Proc. of the Highway Research Board, Vol.27, pp.178-188, 1947.
- 2) 小野吉雄：クリンカー・鉱物の水和活性と平衡水蒸気圧，セメント・コンクリート論文集，No.44, pp.24-29, 1990.
- 3) 住学，桂修，鎌田英治：普通ポルトランドセメントの水和反応の進行程度に及ぼす相対湿度の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），1995.8.
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編]，2007 年制定.