

中空構造の保温断熱板を用いた養生技術

「^{ぬく}温ぬく(セントル用)」と「うるおい(覆工コンクリート用)」

権 名 貴 快・吉 永 浩 二・佐 藤 幸 三

覆工コンクリートは、コンクリート打込み後、わずか16～20時間程度で型枠が取り外される。そのため、型枠を取り外した後、覆工表面を物理的に覆うなどして保温・湿潤状態を一定期間保持できる各種の養生方法が開発されている。一方で、型枠を取外す時までに所要のコンクリート品質を確保するには、型枠存置中の適切な養生が求められるが、現状では有効な方法は少ない。そこで、保温・断熱性能を有する中空構造板を用いた、簡易な養生技術を開発し実用化した。

本報では、型枠存置中におこなう養生(温ぬく)と型枠取外し後におこなう養生(うるおい)の技術概要を説明し、トンネル現場での養生性能結果について概説する。

キーワード：覆工コンクリート，セントル，養生，保温，湿潤，初期強度，中空構造板

1. はじめに

近年、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。これら技術の多くは、型枠を取り外した後、覆工表面を一定期間物理的に覆い、急激な乾燥や温度降下を防止することができる。その結果、セメント水和反応の促進による強度増進や表層部の緻密性向上、さらに収縮ひび割れ発生の抑制などに有効であるとされる。

一方で、型枠を取外す時には、施工時期や条件によらず、所要のコンクリート品質を確保していなければならない。しかし、冬期施工時のように坑内温度の低い条件では、強度不足や型枠面へのはく離といった不具合の発生する場合がある。このため、型枠存置中に適切な養生をおこなう必要がある。

そこで、中空構造のポリプロピレン製保温断熱板を用いて、型枠存置中の養生をおこなう技術(温ぬく)と、型枠取外し後の養生をおこなう技術(うるおい)を開発し実用化した。

本報では、2つの養生技術の概要とトンネル現場での養生性能結果について報告する。

2. 温ぬく(セントル保温養生)

(1) 概要

セントル内面に、保温・断熱性に優れたポリプロピレン製の中空構造板を配置し、覆工コンクリート打込

み後からセントル移動までの間、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—1)。中空構造板は、一部を除いて設置したまま施工可能であり、取付けは手作業で容易におこなうことができる(写真—2)。



写真—1 温ぬく養生状況 (例：セントル天端部)



写真—2 構造板取付け状況

本技術の活用により、コンクリートの初期強度発現が促進され、型枠の取外しに必要な材齢強度の確保や、型枠面へのコンクリートのはく離などを防止できる。特に、冬期施工時に効果を期待できる。

(2) 中空構造板

中空構造板は、厚さ7mm、質量1.7kg/m²であり、セントルのフォーム寸法にあわせて裁断加工し、現場にて手作業でセントル内面に設置する。軽量で水に強く、耐圧・復元性に優れており、容易に裁断・加工できるため、現場での設置作業が容易である。

天フォーム部は、フォームのリブにアングルを溶接し、中空構造板の差込式構造とした。これにより、構造板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-3)。

側フォーム部とインバートフォーム部は、フォームのリブとリブの間に中空構造板を差込み、アングルを溶接して構造板を押さえて固定する。なお、打設窓の箇所は、開閉式の構造とした(写真-4)。



写真-3 天フォーム部



写真-4 側フォーム部（打設窓箇所）

(3) 使用手順

コンクリート打込み時は、作業を阻害しないように、天フォーム部の中空構造板を外しておき、側フォームの開閉板も開放しておく。打込み完了後、打設窓の箇

所の開閉板および差込式構造板を再設置し、セントル移動までの期間、保温養生する。

3. うるおい（覆工コンクリート保温・湿潤養生）

(1) 概要

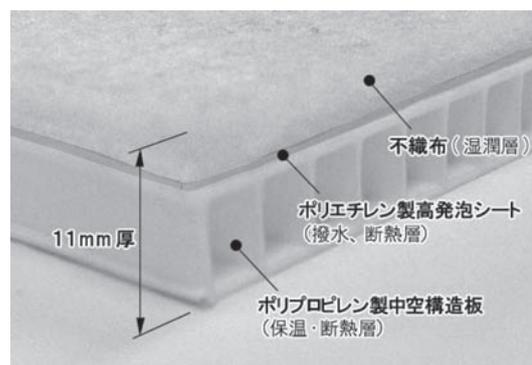
型枠取外し後の覆工コンクリート表面に、専用の養生パネルを塩ビ製のフレーム材を用いて密着するように一定期間設置し、コンクリートを保温・湿潤養生する技術である(写真-5)。



写真-5 うるおい養生全景

養生中、坑内の温湿度変化や掘削中の換気、貫通後の通風などによる影響から覆工を保護する。

養生パネルは、温めくでも使用したポリプロピレン製中空構造板(7mm厚)を主材に、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3層構造である(写真-6)。



※ 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-6 うるおい養生パネル

養生パネルの支持材は、鉄骨構造ではなく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。これにより、養生中のスパンをセントルが通過できるため、非常駐車帯の覆工を後施工する時などに有効である。さらに、台車による養生ユニットの移動性などを考慮して、覆工スパン長の半分を1ユニット長とした。

(2) 養生方法

養生設備は、3スパン分の全6ユニットを標準装備し、型枠取外し後、覆工1スパン当り最大7日間連続養生できる。また、専用台車にてユニット毎に移動可能なため、従来のように、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。移動台車の走行方式は現場条件によって異なるが、基本的には自走装置を備え、軌道上を走行する。

以下に養生設備の移動方法について示す(図-1)。

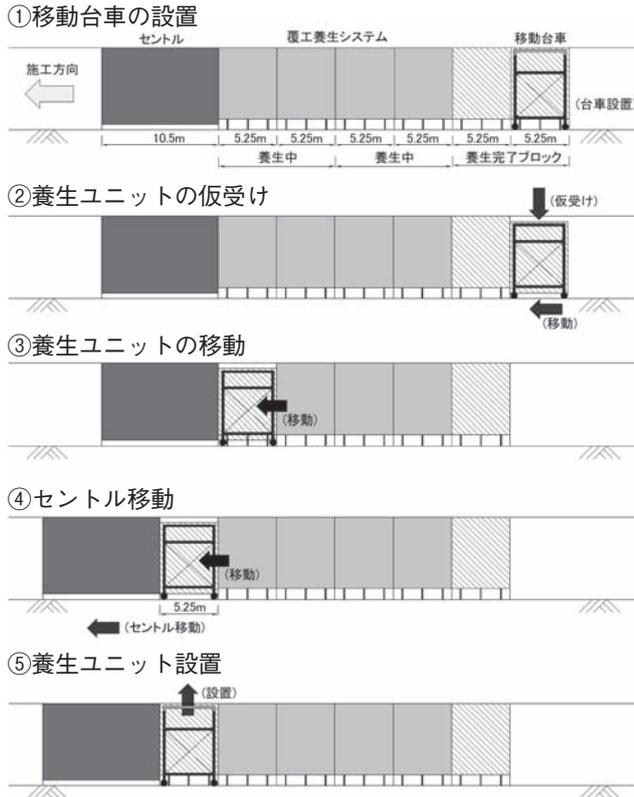


図-1 養生方法の概念図

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。

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。

③養生ユニットの移動

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。

④セントル移動

セントルの移動した覆工直下に台車を移動する。

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。

4. 現場実証実験(温ぬく)

(1) 概要

表-1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り、平成21年10月、坑口から約2kmの地点で計測した。トンネル坑内温度は平均23.4℃であった。

本実験では、同一スパン内に養生と無養生の両区間を設定し、覆工コンクリート温度(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。図-2に、中空構造板の設置位置および計測位置を示す。

表-1 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	新潟県側坑口から約2km地点(貫通前)
計測期間	平成21年10月16日～17日(2日間)
覆工配合	21-15-40 N W/C=55.3% C=273 kg/m ³
覆工厚	300 mm
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

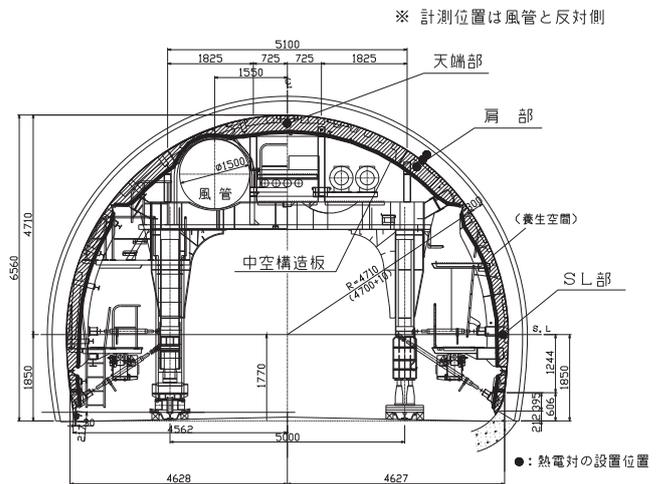


図-2 中空構造板の設置位置および計測位置

(2) 計測結果

①養生温度

表-2に示した養生温度(セントル内面のスキンプレートと中空構造板との間の空間温度)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。

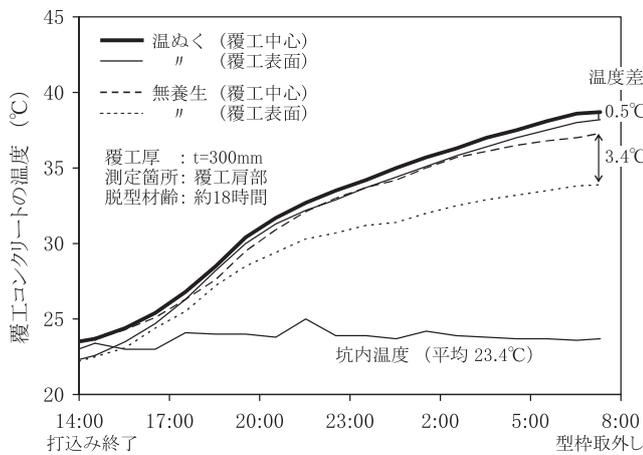
表一 養生温度 (型枠取外し直前)

	天端部	肩 部	SL 部
対坑内温度	+11.7 °C	+11.8 °C	+5.2 °C
対無養生時	+ 4.8 °C	+ 5.9 °C	+2.4 °C

②覆工コンクリート温度

図一 3 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°C に対して、養生時は 0.5°C と小さく、中空構造板による断熱性能を確認した。



図一 3 養生コンクリート温度

③反発度

型枠取外し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・断熱効果による水和反応の促進が影響したものと考えられる。

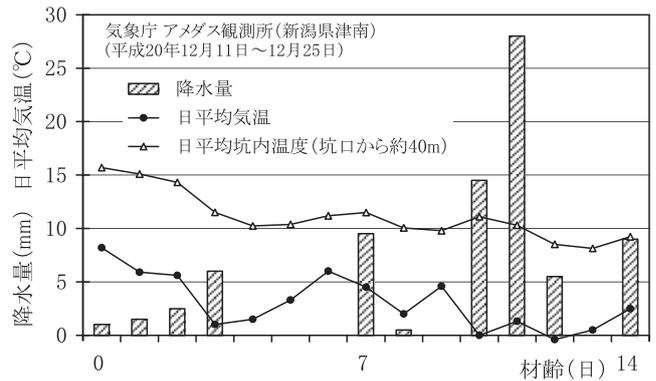
5. 現場実証実験 (うるおい)

(1) 概要

表一 3 に実験概要を示す。また図一 4 に現場付近

表一 3 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	24-15-25 N W/C=53.0% C=294 kg/m ³
覆工厚	350 mm
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



図一 4 気象観測データ (新潟県津南町)

での気象庁気象観測データを示す。

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°C 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。

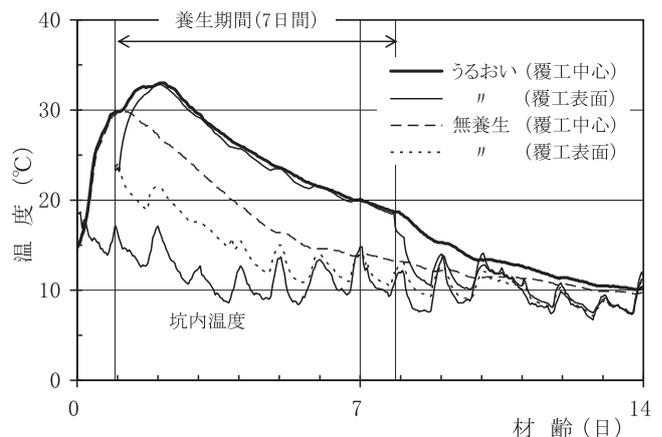
本実験では、同一スパン内に養生箇所と無養生箇所の 2 区間を設定し、各々覆工肩部 (SL 上約 3 m) において、温度、湿度、テストハンマー強度を測定し、比較検討をおこなった。

(2) 計測結果

①覆工コンクリート温度

図一 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°C 程度高い値であった。これは養生の高い断熱性能と保温性能を表している。

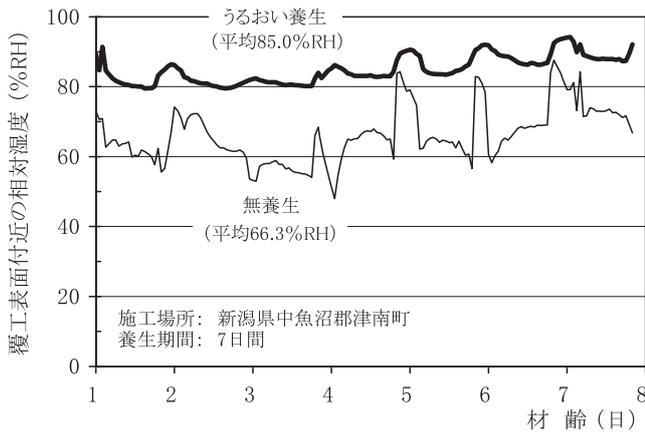


図一 5 覆工コンクリート温度

②相対湿度

図一 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)~3)}では、相対湿度 80% RH 以下の環



図一六 覆工表面付近の相対湿度

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%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状態を保持できたと考える。

③テストハンマー強度

表一4に、材齢8日（養生終了後）と28日でのテストハンマー強度試験の結果を示す。

養生した箇所テストハンマー強度は、無養生箇所よりも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ためと考えられる。

表一4 テストハンマー強度

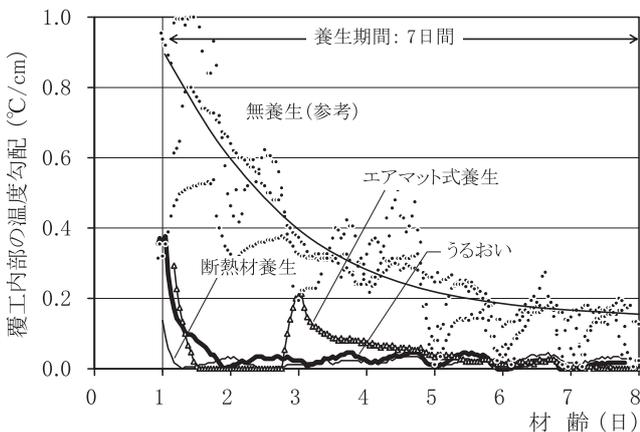
	材齢8日目	材齢28日目
うるおい養生	24.2 (1.16)	28.7 (1.10)
無養生	20.9 (1.00)	26.2 (1.00)

備考：()内の数値は比率

単位：N/mm²

(3) 他養生技術との比較

図一7に、養生期間中の覆工内部の温度勾配履歴を示す。比較に用いた他養生技術は、①断熱材（発泡



図一七 覆工コンクリート内部の温度勾配履歴

スチロール)養生, ②エアマット式養生の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であり、無養生に対して高い断熱性能を有していた。また、養生期間中は養生材の移動・設置に伴う一時的な養生開放がないため、連続的に養生ができ、安定した養生効果を期待できる。

6. おわりに

本報にて紹介した養生技術は、中空構造の保温断熱板を用いた簡易な養生ではあるが、従来技術と同等の養生性能を有していた。

覆工コンクリートのように施工サイクルの厳しい条件で構築される構造物は、施工時の手当てが以後の耐久性に大きな影響を及ぼす。このため、養生対策は覆工コンクリートを永く健全な状態で供用していく上で必要な手当ての一つであり、今後も新設トンネルでの活用が期待されている。



《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.

【筆者紹介】



権名 貴快 (しいな たかよし)
西松建設㈱
技術研究所 土木技術チーム
係長



吉永 浩二 (よしなが こうじ)
西松建設㈱
西日本支社 中部支店
主任



佐藤 幸三 (さとう こうぞう)
西松建設㈱
技術研究所
主席研究員