

覆工コンクリート養生技術「うるおい」と「温ぬく」の効果検証 Verification of the Effect of Curing Method Uruoi & Nuku-Nuku for Tunnel Lining concrete

吉永 浩二* 松本 典昭*
Kouji Yoshinaga Noriaki Matsumoto
小塚 孝*
Takashi Koduka

要 約

千両トンネル工事では、発注者の了承を得て、当社が過去に開発したバルーン工法と同等以上の養生性能と効果を有する覆工コンクリート養生技術「うるおい」と「温ぬく」を採用し、その効果検証を現場計測にておこなった。計測の結果、養生性能と効果に対して設定した目標値を満足できた。

本論では、当該技術の効果検証方法とその結果について報告する。また、現場運用時における諸問題を挙げ、それに対して現場で実施した改善事項についてもあわせて報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 技術の概要
- § 4. 技術の効果検証
- § 5. 現場運用における問題点と改善事項
- § 6. おわりに

工事内容：総延長：722 m
土工延長：153 m
橋梁延長：下り線 252 m
トンネル延長：上り線 349 m, 下り線 317 m
土工量：15.9 万 m³
橋梁等：橋台 2 基 橋脚 4 基
付帯工：西鞍側付替え工 380 m
林道西鞍狭間線付替え工 374 m
砂防堰堤 2 箇所

§ 1. はじめに

本工事（千両トンネル工事）は、新東名高速道路の内、愛知県豊川市千両町を通過するトンネルと、西鞍川を渡る橋梁下部工および切り盛土を主体とした工事である。

トンネル工事は、上下線 2 本あり、今回、それぞれで覆工養生（うるおい、温ぬく）を実施した。施工順序は下り線を先行し、掘削完了後、上り線を施工した。

本論では、下り線での覆工コンクリート養生性能と効果の検証報告および運用上の問題点について述べ、続いて実施した上り線施工時における改善結果について報告する。

§ 2. 工事概要

発注者：NEXCO 中日本 豊川工事事務所
工事名称：第 2 東名高速道路 千両トンネル工事
工事場所：愛知県豊川市千両町
(STA.276+87.0~STA.284+9.0)

§ 3. 技術の概要

3-1 技術背景

覆工コンクリートの施工では、コンクリート打込み完了後、15~20 時間程度で型枠が取り外され、型枠存置による十分な養生効果を期待できない。このため、冬期など坑内温湿度の比較的低い条件では、コンクリートの強度発現の遅れやムラなどを生じる事がある。この場合、型枠脱型時期の遅れや、型枠を脱型した時に型枠面にコンクリートが付着してはく離するといった不具合の発生原因となる。

また、型枠を脱型した後、コンクリート表面からの急激な乾燥や温度降下を生じた場合、収縮ひび割れの発生や表層部での水和反応の停滞による緻密性の低下など耐久性に影響が及ぶことがある。

そこで、型枠存置中に型枠内面を物理的に覆って保温養生する「温（ぬく）ぬく」と、型枠脱型後の一定期間、覆工コンクリート表面を独自の養生パネルで覆って保温・湿潤養生する「うるおい」を開発した（図-1）。

* 西日本（支）千両トンネル（出）



図一 養生技術の対象箇所



写真一 うるおい全景

3-2 うるおい

トンネル覆工コンクリートのセントル型枠を脱型した後、覆工表面に独自に作製した養生パネルをフレーム状に組んだ塩ビ管やパイプサポートを用いて密着するように一定期間（標準7日間）設置し、コンクリートを保温・湿潤養生する技術である（写真一）。

本養生の実施により、トンネル坑内での急激な温度や湿度の変化、掘削中の換気、貫通後の通風などによる影響から覆工コンクリートを保護することが目的である。

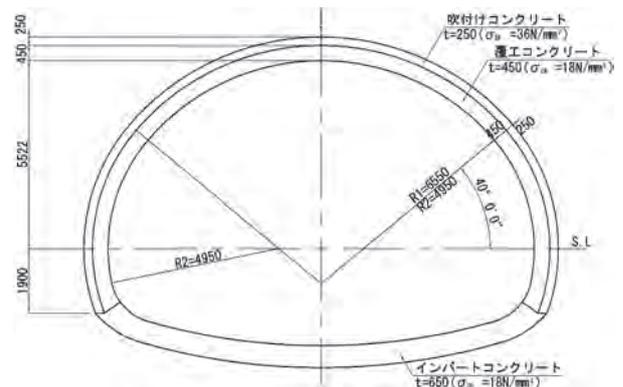
養生パネルは、ポリプロピレン製の中空板を主材とし、ポリエチレン製高発泡シートと不織布を貼り合わせた厚さ11mmの3層構造である。



写真二 温ぬく

3-3 温ぬく

セントル型枠の内空面側に養生板パネルを設置して覆うことにより、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できるだけ逃がさないことで保温効果を発揮する。その結果、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付着防止などを期待できる（写真二）。



図二 トンネル断面図

§4. 技術の効果検証

4-1 概要

(1) 計測時期および計測対象

現場計測は、下り線トンネル坑内の温湿度条件が厳しい時期となるトンネル貫通後に実施した。計測箇所は、貫通側坑口付近（DⅢa区間）の覆工BLで行った。

(2) トンネル諸元

図二に計測対象のトンネル断面形状を示す。また、覆工コンクリートの配合を表一に示す。

表一 二次覆工コンクリート配合

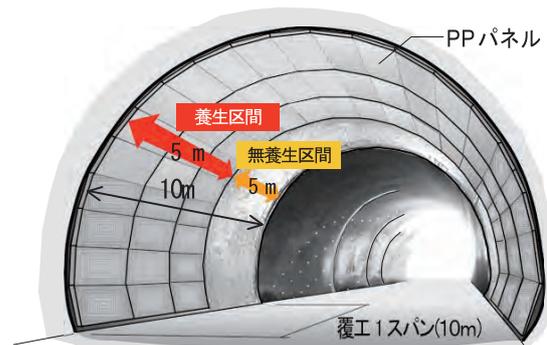
配合名	水結合材比 W/(C+EX) (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m³)						
			水 W	結合材		細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD	繊維 PP
				セメント C	膨張材 EX				
18-15-20N (T3-I)	51.0	50.1	175	320	20	893	901	2.89	2.73

(3) 試験ケース

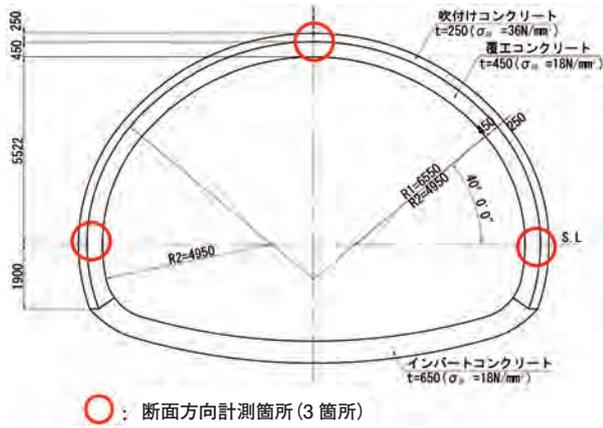
同一覆工ブロック（10m）内に、①養生区間と②無養生区間の2ケースを設定し、各々の区間においてデータ計測を実施した（図三）。

(4) 計測箇所、項目、頻度

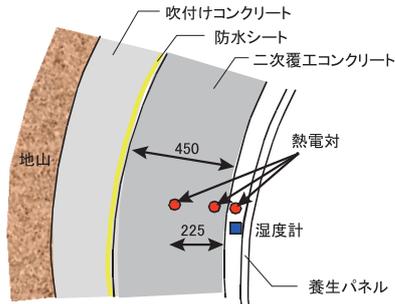
うるおいと温ぬくの断面方向の計測箇所を図四～八、計測項目と頻度を表二と表三に示す。



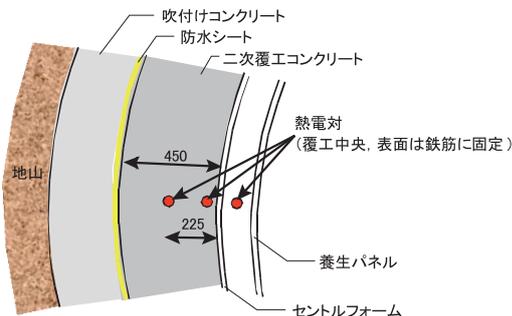
図三 養生条件の割付概念図（うるおい）



図一4 断面方向計測箇所 (共通)



図一5 断面方向計測箇所 (うるおい)



図一6 断面方向計測箇所 (温ぬく)

4-2 計測結果

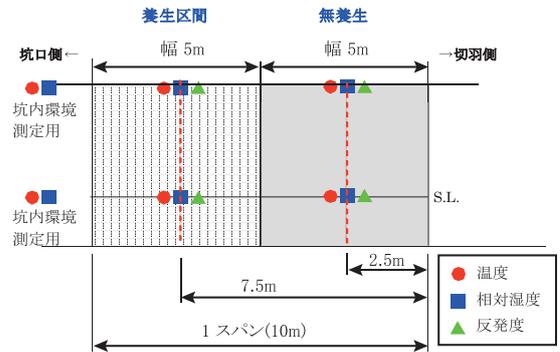
うるおいと温ぬくの現場計測結果をそれぞれ以下に示す。なお、うるおいの効果については、温ぬくを適用した箇所と同箇所であるため、相乗効果となっている。また、天端と左右SLともに同様の傾向を示す結果であったため、代表箇所として天端の計測データを示した。

(1) うるおい

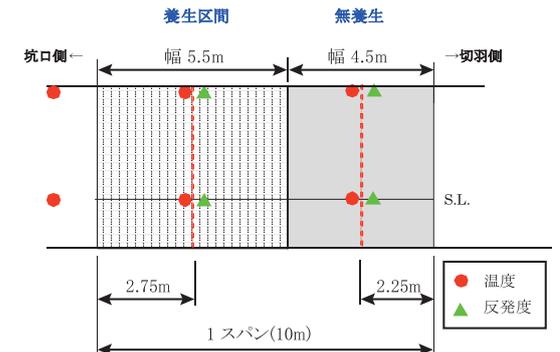
保温性能、湿潤性能、表面反発度および表面変状確認の結果を示す。

① 保温性能

図一9に、覆工コンクリート中心部での温度計測結果を無養生と比較して示す。なお、セトル型枠は打設後17時間で脱型した後に移動しており、養生期間は7日間である。うるおい養生をおこなった場合の最高到達温度は無養生と同等であり、養生期間中の覆工中心温度は無養生の場合と比較し4~5℃程度高い結果であった。



図一7 縦断方向計測箇所 (うるおい)



図一8 縦断方向計測箇所 (温ぬく)

表一2 計測項目、箇所、頻度 (うるおい)

対象	坑内環境		養生性能		覆工品質	
	坑内		覆工コンクリート (養生区間, 無養生区間)		覆工コンクリート	
計測項目	温度	相対湿度	温度	相対湿度	反発度	表面変状 (ひび割れ等)
計測箇所	・天端部 (1箇所) ・左右SL部 (2箇所) 計 3箇所		・天端部 (1箇所) ・左右SL部 (2箇所) 計 3箇所		・天端部 (1箇所) ・左右SL部 (2箇所) 計 3箇所	
	測定スパン近傍		覆工表面 覆工中央	覆工表面	覆工表面	覆工表面
計測方法	熱電対 (自動)	湿度計 (自動)	熱電対 (自動)	湿度計 (自動)	デストハンマー	目視
計測期間	29日間		28日間		打設 29日目	型枠脱型後養生終了後 29日目
計測頻度	1時間毎		1時間毎		1回	3回

表一3 計測項目、箇所、頻度 (温ぬく)

対象	坑内環境		養生性能		養生効果	
	坑内		養生コンクリート (養生/無養生区間)		覆工コンクリート	
計測項目	温度	湿度	温度	湿度	反発度	表面変状 (ひび割れ等)
計測箇所	・天端部 (1箇所) ・左右SL部 (2箇所) 計 3箇所		・天端部 (1箇所) ・左右SL部 (2箇所) 計 3箇所		・天端部 (1箇所) ・左右SL部 (2箇所) 計 3箇所	
	測定スパン近傍		セトルフォームと養生パネルの間	覆工表面 覆工中央	覆工表面	覆工表面
計測方法	熱電対 (自動)	熱電対 (自動)	熱電対 (自動)	低弾度用デストハンマー	目視観察	
計測期間	約24時間		約24時間		型枠脱型後	型枠脱型後
計測頻度	1時間毎		1時間毎		1回	1回

図一10に、覆工コンクリートの中心と表面の温度計測結果を無養生の場合と比較して示す。また、図一11に覆工コンクリート内部の温度勾配を示す。うるおい養生を行った場合、覆工コンクリートの中心と表面の温度差は1℃以下と小さく、無養生の場合の温度差4.5℃の半分以下

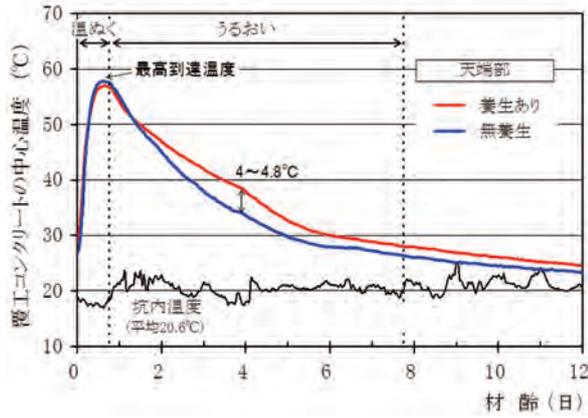


図-9 覆工コンクリート中心温度の計測結果

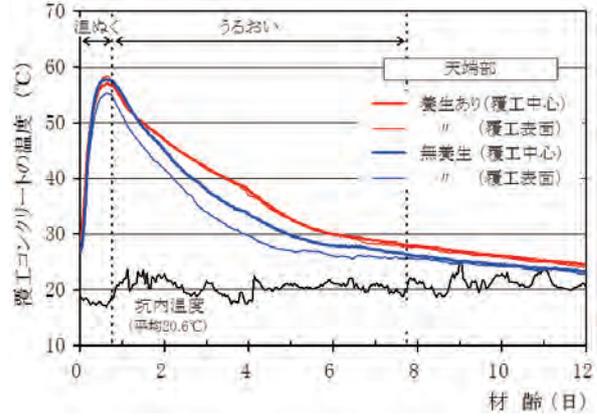


図-10 覆工コンクリートの中心と表面の温度の計測結果

下であった。また、覆工コンクリートの中心と表面との温度勾配は0.05°C/cm以下であり、無養生の場合の0.2°C/cmと比較して4分の1と小さい値であった。

以上より、うるおい養生の実施により、覆工コンクリートに対する高い保温性能を確認できた。

② 湿潤性能

図-12に、覆工コンクリート表面付近での相対湿度の計測結果を示す。うるおい養生を行った場合、覆工表面の相対湿度は平均92% RHの安定した傾向を示した。一方、無養生の場合の覆工表面の相対湿度は平均62% RHであり、天候や時間帯の温度変化によるばらつきが目立った。このことから、うるおい養生が安定した高い湿潤性能を有することを確認できた。

③ 表面反発度

表-4に、NR型シュミットハンマーを用いて測定した材齢28日での覆工コンクリート表面における反発度の値を示す。うるおい養生をおこなった場合、材齢28日での覆工コンクリート表面での反発度の値は無養生箇所よりも11%以上高い結果であったことから、強度増進による表層品質の向上を確認できた。

④ 表面変状

目視観察による調査の結果、変状等の不具合は確認されず、良好な結果であった。

⑤ まとめ

効果検証結果を目標とした値と対比し表-5に示す。なお、目標とした値は、以前、他現場で検証し得られた値を参考としている。

(2) 温ぬく

温ぬく養生をおこなった場合の保温性能、表面反発度および表面変状確認の結果を以下に示す。

① 保温性能

温ぬくを適用した場合の養生空間温度を坑内平均温度と比較して表-6に示す。

温ぬく養生を行った場合の養生空間温度は、坑内平均温度(17.8°C)よりも最大34°C高い値であった。無養生の場合と比較して13.6°C高い結果となった。また、図-13より、覆工コンクリートの表面温度は、無養生の場合

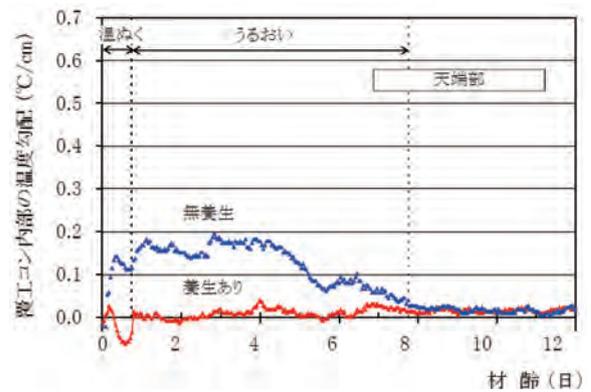


図-11 覆工コンクリート内部の温度勾配

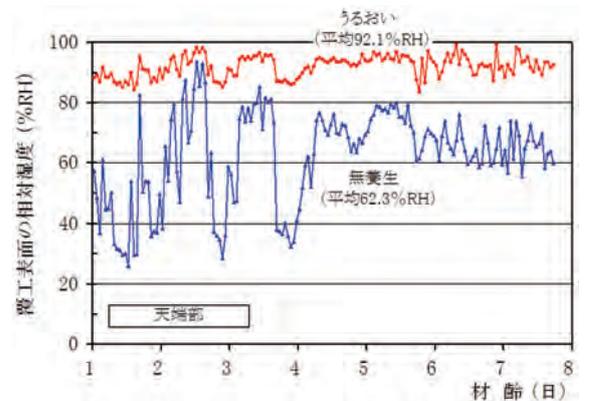


図-12 覆工コンクリート表面の相対湿度計測結果

表-4 覆工コンクリート表面での反発度 (σ 28)

温ぬく		無養生	
SL部(川側)	SL部(山側)	SL部(川側)	SL部(山側)
36.1 (1.11)	36.6 (1.14)	32.6 (1.00)	32.2 (1.00)

より2.7°C高い結果となった。

図-14に、温ぬく養生を適用した場合のセントル型枠脱型までの覆工コンクリート中心と表面の温度計測結果を無養生の場合と比較し示す。

温ぬく養生を行った場合、覆工コンクリートの中心と表面の温度差は1.1°Cであり、無養生の場合の2.5°Cと比

表一五 性能目標と計測結果の比較（うるおい）

	目標 (期待される性能と効果)	計測結果 (天端部)	判定
1. 保温性能	養生期間中の覆工中心温度 最大7.5℃高 (無養生に比べて)	養生期間中の覆工中心温度 最大4.8℃高 (無養生に比べて)	△
2. 断熱性能	覆工中心部と表面の温度差 2℃以下	覆工中心部と表面の温度差 1℃以下	○
	—	覆工内部の温度勾配 約0.1℃/cm以下	○
3. 湿潤性能	覆工表面の相対湿度 80%RH以上	覆工表面の相対湿度 平均92%RH	○
4. 品質向上効果	テストハンマー強度 1.0%以上増加 (無養生に比べて)	テストハンマー強度 1.1%以上増加 (無養生に比べて)	○
	—	覆工表面の変状 ひび割れ等の変状なし	○
結果			○

表一六 養生空間温度

	温めく Tn	無養生 Tm	差 =Tn-Tm
① 天端部	+33.9℃	+26.9℃	7.0℃
② SL部(川側)	+23.6℃	+13.0℃	10.6℃
③ SL部(山側)	+23.9℃	+10.3℃	13.6℃
坑内温度	平均 17.8℃		

※ 坑内温度は、計測スパンに設ける覆工スパンで測定し、養生期間中の測定データの平均値である。

較して半分程度であった

以上より、ぬくぬく養生により、保温性能が確保されることを確認できた。

② 表面反発度

表一七に、低強度用PT型シュミットハンマーを用いて測定したセントル型脱型直後の覆工コンクリート表面における反発度の値を示す。

温めく養生を行った場合、覆工コンクリート表面での反発度の値は、無養生の場合よりも9%高い結果であり、強度増進による表層品質の向上を確認できた。

③ 表面変状

セントル脱型直後の覆工コンクリートについて、目視観察による変状調査の結果、ひび割れ等の不具合は確認されず良好な結果であった。

④ まとめ

効果検証結果と目標設定値を表一八に示す。なお、目標設定値は、他現場での効果検証結果の値を参考とした。

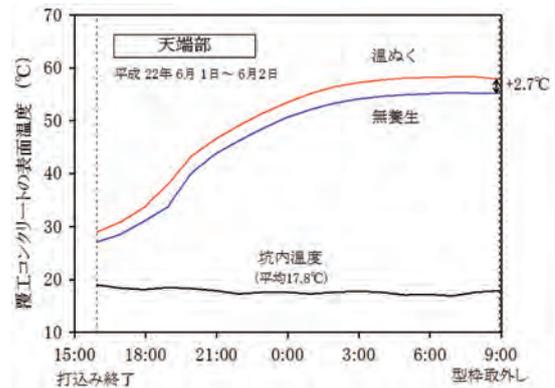
§ 5. 現場運用における問題点と改善事項

当現場では、下り線トンネル施工時におけるうるおいの運用上の問題点を考慮し、上り線トンネルを施工した以降に、問題点と現場で実施した改善事項を示す。

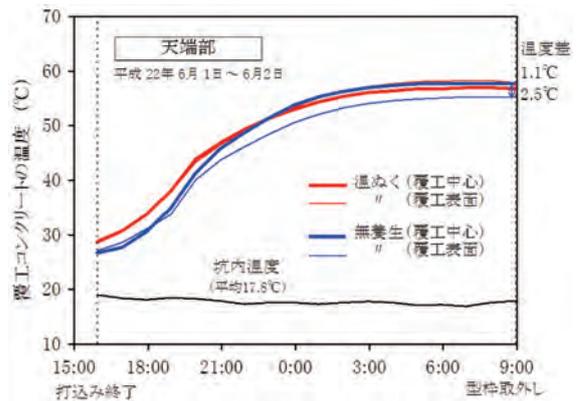
5-1 問題点

うるおい養生の問題点を以下に挙げる。

- ① 骨組みである塩ビ管 (VP40) のジョイント部分が、移動セットを繰返し行うことで劣化・損傷しやすく、耐久性に問題があった。特に周方向部材と水平材との



図一三 覆工コンクリートの表面温度計測結果



図一四 覆工コンクリートの中心と表面の温度計測結果

表一七 覆工コンクリート表面での反発度 (脱型直後)

温めく		無養生	
SL部(川側)	SL部(山側)	SL部(川側)	SL部(山側)
49.9 (1.09)	50.6 (1.09)	45.9 (1.00)	45.5 (1.00)

表一八 性能目標と計測結果の比較 (温めく)

	目標 (期待される性能と効果)	計測結果	判定
1. 保温性能	養生空間温度 最大約12℃高 (坑内温度に比べて)	養生空間温度 最大約34℃高 (坑内温度に比べて)	○
	養生期間中の覆工表面温度 最大約15℃高 (坑内温度に比べて)	養生期間中の覆工表面温度 最大約40℃高 (坑内温度に比べて)	○
2. 断熱性能	覆工中心部と表面の温度差 1℃以下	覆工中心部と表面の温度差 1.1℃以下	○
3. 品質向上効果	テストハンマー強度 最大8%増加 (無養生に比べて)	テストハンマー強度 最大9%増加 (無養生に比べて)	○
	—	覆工表面の変状 ひび割れ等の変状なし	○
4. 安全性	坑内通行車両の前方視野 良好	坑内通行車両の前方視野 良好	○
結果			○

連結部分は、接着剤で接合した十字ソケットを使用しており、当該部の耐久性確保が問題であった。

- ② 骨組みの塩ビ管 (VP40) は、使用後に再利用できないため、産廃処理の問題が生じた。

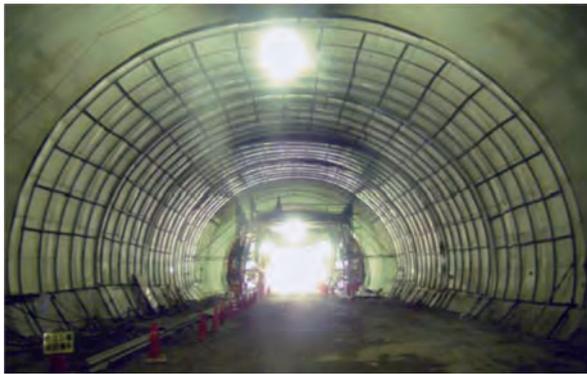


写真-3 下り線（塩ビ管：VP40）覆工養生状況



写真-5 結束バンド設置状況



写真-4 上り線（鋼管：STK15A）覆工養生状況



写真-6 骨組み組立状況

- ③ パネル同士の接続箇所歪みが生じやすかった。
- ④ Uバンドによる骨組みとパネルとの接続が弱かった。
- ⑤ 1 BL (10 m) 分の初期組立に、4人で1方以上要した。

5-2 改善事項

うるおいの諸問題に対する改善事項を以下に示す。

- ① 塩ビ管（VP40）の骨組み材質を鋼管（STK15A）にし（写真-3、写真-4）、既製のクランプを用いて、周方向部材と水平材を直交させ緊結し、骨組全体の耐久性を向上させた。なお、鋼管（STK15A）部材を直交させても、鋼管径が塩ビ管径（VP40）の半分以下であることから、うるおいの利点である養生中の覆工BL下のセントル通過は可能である。
- ② 塩ビ管（VP40）の骨組みを鋼管（STK15A）にすることで、使用後はスクラップとして処理した。
- ③ 1枚あたりのパネル寸法を大きくする（0.9 m × 1.7 m → 1.2 m × 2.5 m）ことで、パネルどうしの接続箇所を減らし、歪みの全体発生量の低減を図った。
- ④ 骨組みとパネルの接続に結束バンドを用いて緊結した（写真-5）。
- ⑤ 塩ビ管（VP40）の骨組みを鋼管（STK15A）とすることで骨組みの本数を減らすことができ、また、パネル寸法を大きくする（0.9 m × 1.7 m → 1.2 m × 2.5 m）ことで、パネル同士の接続箇所を減らすことができた。さらに、骨組み（STK15A）とパネルの接続に結束バンドを使用することで、全体的な組立労力を低減する

ことができ、1 BL (10 m) 分の初期組立が、4人1方でできた（写真-6）。

なお、温ぬくについては、設置と維持管理の労力が想定よりも大きかったため、今後の現場適用に際しては、さらなる施工性の改善が求められると考える。

§6. おわりに

当現場で実施したうるおいと温ぬくの両技術は、養生性能・効果の目標値に対して同等以上の結果を得られた。しかし、現場での運用面については、今回が初の本格的な現場適用であったこともあり、幾つかの問題点も明らかとなった。うるおいに関しては、現場で講じた対策により改善することができたが、温ぬくは、設置方法や設置後の維持に対する労力が多大となり、現場で完全に改善することができなかった。このため、再度、運用面の見直しを図ることが現場作業上、必要であると考え。

末筆ながら、今回の養生技術の導入に対して、本社をはじめ、平塚製作所、各現場の方々の御指導、御支援により成し得たと考える。また、養生技術の採用にご理解を戴いた NEXCO 中日本豊川工事事務所様に深く感謝の意を表す。本技術の更なる運用改善のため、今後とも皆様方のご協力をお願い申し上げる。