

新型テレスコピックセントル工法を用いて 66時間型枠を存置する効果について

西岡 和則¹・手塚 康成²・坂井 吾郎³・松本 修治⁴・村上 浩次⁵

¹正会員 鹿島建設株式会社 土木管理本部 土木工務部トンネルGr. (〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11)
E-mail: nishiokk@kajima.com

²正会員 鹿島建設株式会社 土木管理本部 土木工務部トンネルGr. (〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11)
E-mail: tezuka-yasunari@kajima.com

³正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)
E-mail: sakaig@kajima.com

⁴正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)
E-mail: matsushu@kajima.com

⁵正会員 鹿島建設株式会社 土木設計本部 (〒107-8502 東京都港区赤坂6-5-30)
E-mail: koji-murakami@kajima.com

2つのアーチフォームを持つ新型のテレスコピックセントル工法の開発により, 打設サイクルを変えることなく覆工コンクリートの型枠存置期間を従来の3倍以上の66時間に延ばすことが可能になった¹⁾. 型枠存置期間を長くすることによって得られる, コンクリートの品質向上効果を確認するために, 本工法として2つ目の現場である新東名高速道路徳定トンネル工事において各種の検証を実施し²⁾, そこで得られた結果を基に66時間型枠を存置することによる効果について, 解析的な検討を実施した. ここでは, その過程において得られた自重の支持効果, 保温効果と保湿効果の検討結果について報告する.

Key Words : *telescopic arch center, lining concrete, crack reduction effect*

1. はじめに

新型テレスコピックセントル工法 (以下, 本工法と称す) とは, 図-1に示すように2つのアーチフォームと1台のガントリーからなり, この2つのアーチフォームで交互に打設, 養生を行うことで, 2日に1回の打設サイクルを変えることなく66時間の型枠存置期間を確保できる工法である. 今までの検証結果から, 66時間の型枠存置による養生効果は, 以下の3点と評している.

- ① 自重に対する支持効果
→天端の曲げひずみの低減
- ② 保温効果
→温度によるコンクリート表裏のひずみ差の緩和
- ③ 保湿効果
→初期乾燥収縮ひずみの低減

筆者らは, 新東名高速道路徳定トンネルの施工時に, 各種の試験を実施し, データの採取を行った. そのデータを基に, 現在, ①~③の項目を統合的にモデル化した

解析と各種室内試験を行い, それぞれの効果が初期ひび割れの低減にどの程度寄与しているかを検討している.

ここでは, その過程で得られた自重の支持効果, 保温効果と保湿効果についての検討結果を報告する.

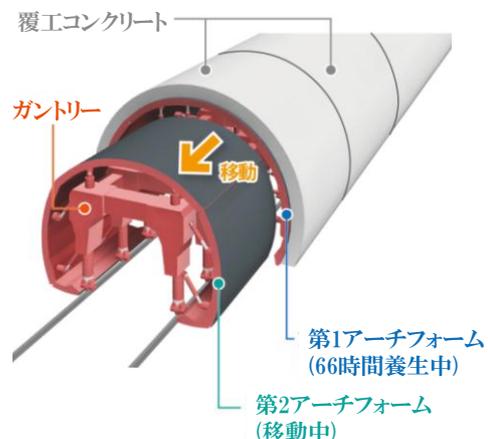


図-1 新型テレスコピックセントルの概念図

2. 徳定トンネルにおける検証データ

(1) 概要

徳定トンネルは掘削内空断面積が 75~80 m²の新東名高速道路トンネルであり、トンネル延長 1,172 m（上り線 582 m, 下り線 590 m）の全線にわたって本工法を適用した。その際、66 時間の型枠存置効果の検証を目的として、表-1 に示すように、低温・低湿度の冬期と、それ以外の時期（以下、通常期と称す）で、現場での検証データを取得した。

表-1 計測実施ケース

	時期	型枠存置時間
Case-1	冬	18時間
Case-2		66時間
Case-3	通常	18時間
Case-4		66時間

(2) 検証データ

a) 覆工表面の透気係数測定結果（表層品質改良効果）

図-2 に示すように断面方向ではアーチ天端とアーチ肩の上部、下部と S.L.部の 4 箇所、トンネル軸方向では既設部、中間部、襖部の 3 箇所の計 12 箇所について、18 時間脱型ブロックと、同時期打設の 66 時間脱型ブロックでトレント法により透気係数を測定し比較した。

その結果を図-3 に示すが、打設時期に係らず、18 時間脱型ブロックの透気係数は $0.10 \sim 3.00 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ とばらつきが大きく、対数平均値が $0.80 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ 程度になっている。一方、66 時間脱型ブロックは、 $0.05 \sim 0.20 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ とばらつきが小さく、対数平均値は $0.09 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ 程度となった。

すなわち、従来の工法により 18 時間で脱型した場合

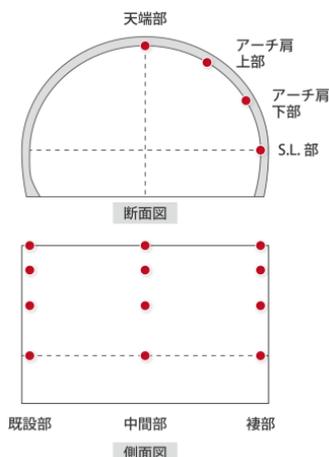


図-2 透気係数測定位置

に対して、本工法により 66 時間型枠を存置して脱型した場合、普通コンクリートと同様に中流動コンクリートにおいても透気係数は 1 オーダー小さい値になり、ばらつきも小さくなることが確認できた。

b) 覆工コンクリートの温度と収縮ひずみ測定結果

型枠存置期間の差によって生じる覆工内部のひずみの変化量を測定し、比較検証した。ひずみ計を、天端およびアーチ肩上下部と S.L.部の覆工コンクリート内部に、覆工表面から 10 cm の位置（内側）と 20 cm（外側）の位置 2 箇所埋設した状態で、覆工コンクリートの打設を行った。

図-4 にアーチ天端における測定結果を示す。18 時間で脱型すると、まだ水和反応により発熱が盛んな時期に内空側が外気により急速に冷却されるため、内空側と地山側に温度ピークの時間差が生じており、硬化のごく初期の段階で、内部拘束による引張が発生していると考えられる。また、その後の温度差や表面の乾燥により、内空側と地山側の収縮ひずみ差は拡大しており、この傾向は冬期において顕著に表れている。

一方で、66 時間で脱型した場合は、既往の知見と同様に、施工時期に係らず、内空側と地山側に温度ピークの時間差は生じず、収縮ひずみも内空側と地山側で、ほぼ様な動きを示しており、顕著な差は発生していない。

すなわち、本工法を適用し 66 時間型枠を存置することにより、材齢初期における急冷や乾燥等による不均衡な収縮ひずみの発生を抑制し、覆工断面内を様な応力状態に保つことができる。これによって、材齢初期段階に発生する微細なひび割れが低減されると考えられる。

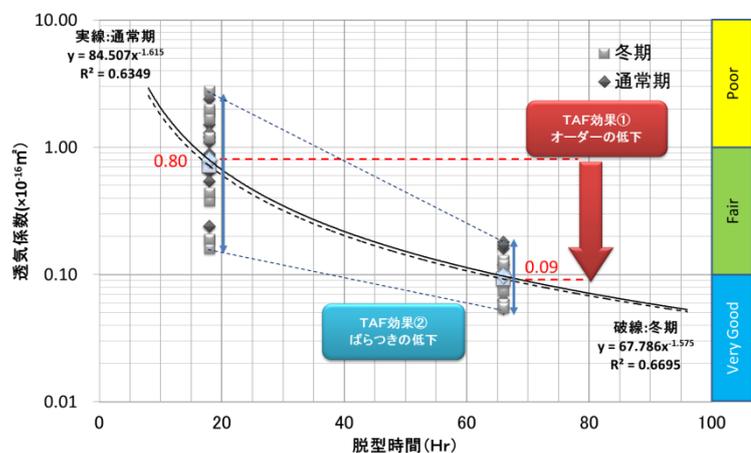


図-3 透気係数測定結果（徳定トンネル：打設 4 週後）

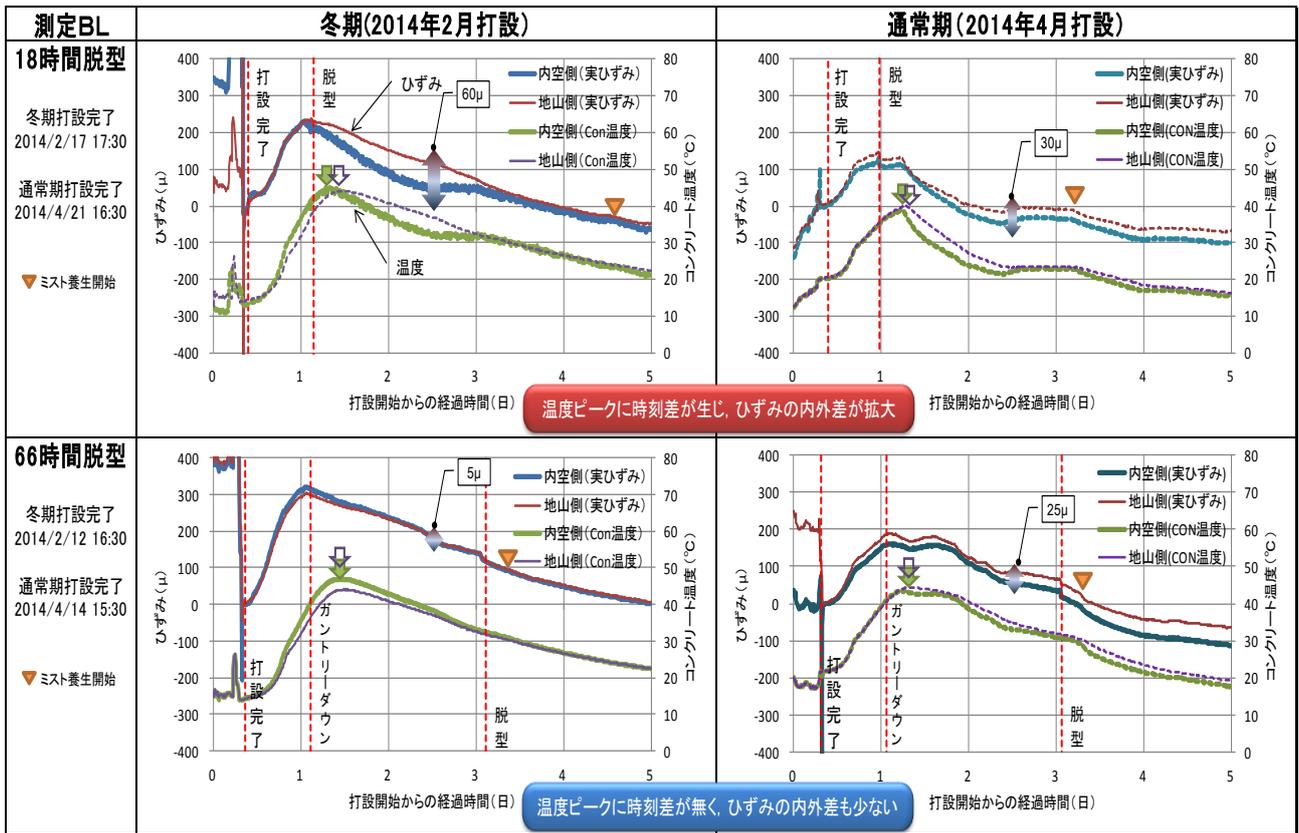


図-4 埋設ひずみ計による覆工内ひずみの測定結果 (徳定トンネル アーチ天端：打設から5日間)

c) 初期ひび割れ観察結果 (ひび割れ低減効果)

2014年7月末に上下線全線において、クラックスケール内蔵光波測量器 (KUMONOS) を使用したひび割れ調査を行った。

その結果、全線で認められたひび割れは全部で21本であり、その内17本が坑口付近のインバート区間で、インバート打継ぎ面から周方向に発生 (L=0.1~1.7m) しており、インバートによる拘束ひび割れと思われる。その他の区間においては、箱抜き部での背面拘束と思われるひび割れが1ブロックと、アーチ肩下部での背面拘束に起因すると思われる天端付近での軸方向のひび割れが3ブロック見受けられた以外は、ひび割れは発生していなかった。

表-2 および図-5 に弊社施工の既往のトンネルとの初期ひび割れ発生率の比較を示す。これによると、従来工法による場合は、竣工時に施工ブロック全体の21~36%にわたってひび割れが発生しているが、本工法を適用した岩古谷トンネルや徳定トンネルでは5~6%に留まっており、本工法を適用することによるひび割れ低減効果が明確に表れている。

表-2 初期ひび割れ発生率一覧表

トンネル名	竣工時期	竣工BL数	ひび割れ発生BL数	発生率 (%)
Sトンネル(従来)	2007.03	134	48	36
Tトンネル(従来)	2011.03	120	25	21
岩古谷トンネル	2014.03	126	7	6
徳定トンネル	施工中	107	4	5

*インバート拘束ひび割れ6BL分は除く(徳定トンネル)

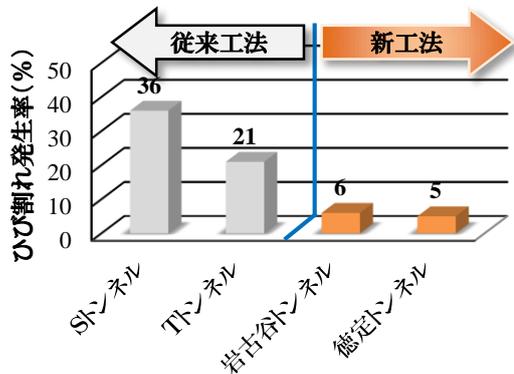


図-5 初期ひび割れ発生率の比較図

3. 66時間型枠存置の効果について

前項における検証データから、現場で表れている効果としては、表層品質の向上と初期ひび割れの低減が挙げられる。

これらの内、初期ひび割れの低減効果について、以下のアプローチで 66 時間型枠存置の効果解明を行うものとした。

① 個々の効果の解明

自重に対する支持、保温、保湿の個々の効果について、解析や室内試験による検討を行い、それぞれを定量化してモデル化する。

② 統合した解析モデルによるメカニズムの解明

①で設定したモデルを統合的に反映した解析モデルを作成し、それぞれの相乗効果による初期ひび割れ低減のメカニズムを解明する。

②については現在も実施中のため、ここでは①について現時点での知見を述べる。

(1) 自重に対する支持効果

自重に対する支持効果については、前節における埋設ひずみ計の計測結果から、本工法における 18 時間経過時のガントリーダウン時に、埋設ひずみ計に顕著な動きが見受けられないため、打設後 18 時間でガントリーをダウンしてもフォームが覆工コンクリートを完全に支持しているものと考えられる。

したがって、自重に対する支持効果は、本工法に用いたセントルの設計計算上の天端沈下量

$\delta_c=0.81 \text{ mm}$	打設完了後 18 時間で完全に脱型した場合のコンクリートの天端沈下量
$\delta_f=0.31 \text{ mm}$	フォーム単体の自重による弾性変位量 (天端沈下量)

を基に、この沈下量の差である $\delta = \delta_c - \delta_f = 0.50 \text{ mm}$ を本工法に用いたセントルによる変位抑制効果とする。

(2) 保温効果

通常のメタルフォームと異なり、セントルのアーチフォームは、曲面かつ補剛材が縦横に多く並んでおり、トンネル内の風速もほとんど無いため、打設熱により温められた空気が補剛材の内側に滞留し、型枠存置による見掛けの表面熱伝達率は高くなっていることが予見された。

そこで、現場検証データから得られた 66 時間脱型時の天端のコンクリート温度データを基に、温度解析によりフォームの見掛けの表面熱伝達率を算出した。

a) 計測結果の整理

図-6 に、通常期における打設後からの温度の計測結果を示す。ここでは天端に設置した 2 つの計器 (地山側・内空側) の計測データを示す。本工法を適用することで、コンクリートの打設完了から 66 時間までの間に、温度の急激な変化を抑えられていることが分かる。

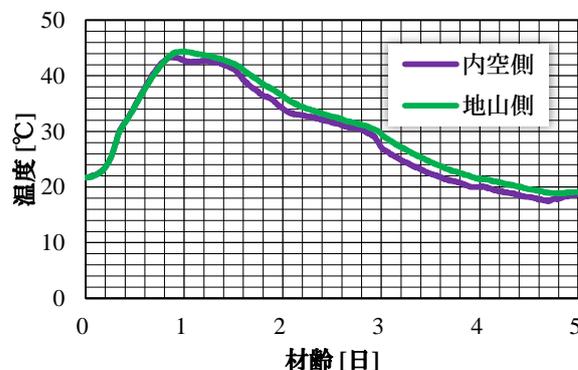


図-6 温度計測結果 (天端)

b) 温度フィッティング解析概要

前節で示した現地試験の計測結果を解析によりトレースし、保温養生効果の定量的評価を行った。解析モデルの作成にあたり、熱伝達率の値を設定できる形式でフォーム要素をトンネル壁面に設定した。このフォーム要素の熱伝達率のパラメータスタディを行い、温度計測値のフィッティングを行った。

c) 解析モデル

徳定トンネルの標準断面図を元に作成した解析メッシュを図-7 に示す。モデルは地盤、吹付コンクリート、覆工コンクリートの 3 種類の要素で構成した。

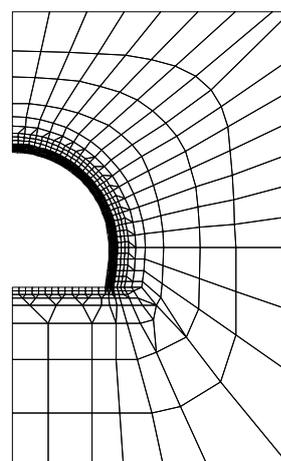


図-7 解析メッシュ

d) 入力物性値・解析条件

今回の検討では、断熱温度上昇特性の諸パラメータを取得するため、現場で打設するコンクリートと同じ材料・配合で供試体を作成し、室内試験を行った。図-8に試験により求めたパラメータによる断熱温度上昇特性曲線を示す。

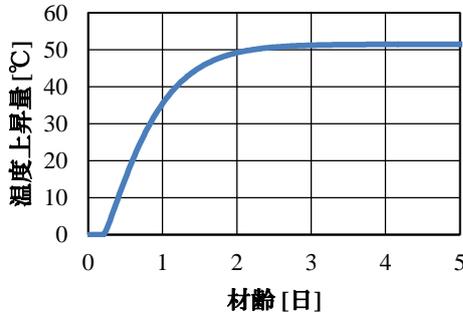


図-8 断熱温度上昇特性曲線

解析条件のうち、温度境界条件を表-3に、各要素の熱伝達率・比熱の入力物性値を表-4に示す。

表-3 温度初期条件

外気温	18°C(一定)
打設温度	22.8°C
地盤温度	18°C
外気温	18°C

表-4 入力物性値

	熱伝達率	比熱
	W/m ² °C	kJ/kg°C
地山	3.5	0.79
吹付けコンクリート	2.7	1.15
覆工コンクリート	2.6	1.05

e) 解析結果

境界要素の熱伝達率のパラメータスタディを行い、フィッティング解析を行った結果を図-9に示す。熱伝達率の調整により、実施工の温度履歴を再現できることが確認できる。

このフィッティング解析により同定した各ケースの熱伝達率を表-5に示す。また、表-6にコンクリート標準示方書³⁾に示されている型枠、養生方法の影響を考慮した熱伝達率の参考値を示す。

両表より、本工法により型枠を存置することで、存置期間中の見掛けの表面熱伝達率は、『No.6 湛水+養生マット』と同程度になることが確認できた。

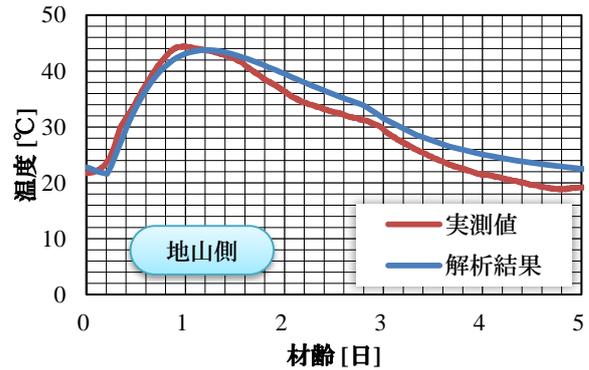
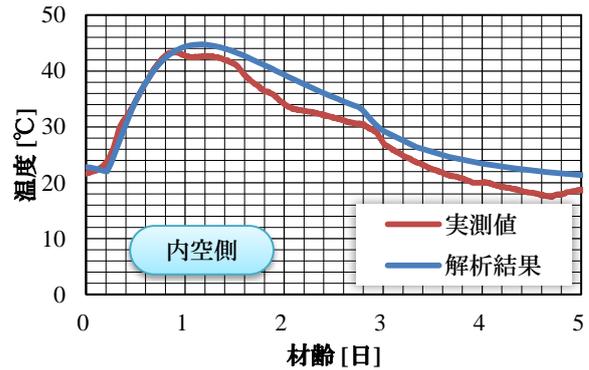


図-9 フィッティング解析結果

表-5 同定した熱伝達率

66時間までの熱伝達率 W/m ² °C	66時間後の熱伝達率 W/m ² °C
5	30

表-6 熱伝達率ηの参考値

No.	養生方法	η W/m ² °C
1	メタルフォーム	14
	散水(湛水深さ 10 mm 未満)	
2	湛水(湛水深さ 10 mm 以上 50 mm 未満)	8
	・むしろ養生を含む	
3	湛水(湛水深さ 50 mm 以上 100 mm 未満)	8
4	合板	8
5	シート	6
6	養生マット	5
	・湛水+養生マット 湛水+シートを含む	
7	発泡スチロール(厚さ 50 mm)+シート	2
8	エアバッグ(シート付き);2枚, 3枚, 4枚	6,4,2
9	コンクリート・地盤・岩盤の露出廻	14

(3) 保湿効果

保湿効果については、脱型時間がコンクリート表面の乾燥収縮に与える影響を、室内試験によって検証した。

a) 検証方法

検証方法は、徳定トンネルの同材料・同配合のコンクリートで供試体を作成し、一方の脱型時間を 18 時間、もう一方の脱型時間を 66 時間とし、両者の脱型後からの長さ変化の測定値から求めた、自由収縮ひずみの量を比較した。自由収縮ひずみは、乾燥収縮ひずみ以外に、温度収縮ひずみ、自己収縮ひずみも含んでいるが、温度収縮については、供試体寸法が 100mm×100mm×400mm と小さいことから、温度の影響は小さいものと判断した。また自己収縮ひずみについては、養生状態によらないものと判断した。長さ変化の測定方法は JIS-A1129-1 に準拠した⁴⁾。

b) 検証結果

図-10、図-11 に長期の自由収縮ひずみの経時変化を示す。さらに両図のプロットより求めた近似曲線を重ね合わせた図を、図-12、図-13 に示す。

これらの図より、概ね 100 日以降の長期については、打設から脱型までの時間の長短による影響はほとんどなく、自己収縮も含めた乾燥収縮ひずみは 600 μ の値に落ちているが、若材齢でのひずみに注目すると、乾燥開始から 17 日目までの乾燥収縮速度は 18 時間脱型の方が速く、型枠の存置時間を 18 時間から 66 時間まで延長することで、脱型後 7 日目の乾燥収縮ひずみ量は、約 20% 低減出来ていることがわかる。

つまり、66 時間型枠を存置することにより、材齢初期の乾燥収縮ひずみ速度が緩和され、それに伴い乾燥に起因する微細なひび割れの発生が抑制されると考えられる。

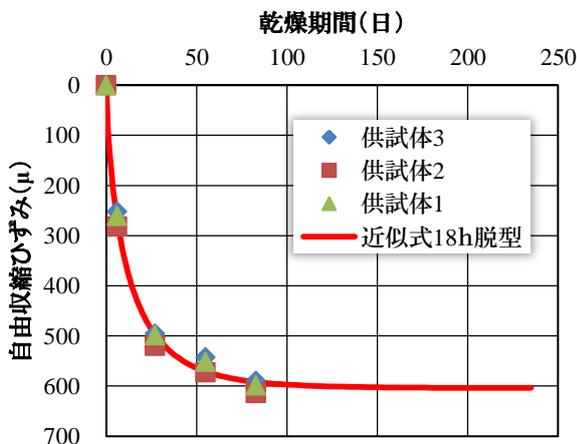


図-10 乾燥収縮ひずみ (18 時間脱型)

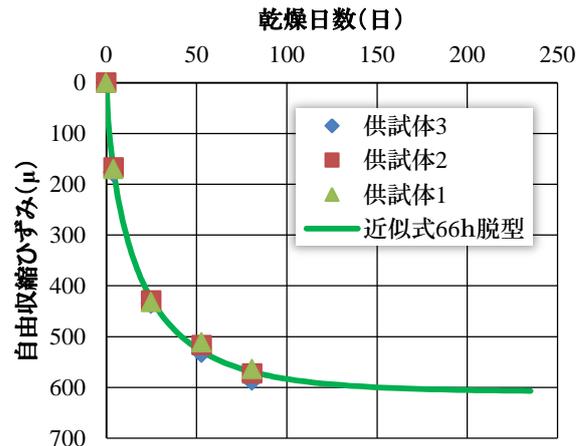


図-11 乾燥収縮ひずみ (66 時間脱型)

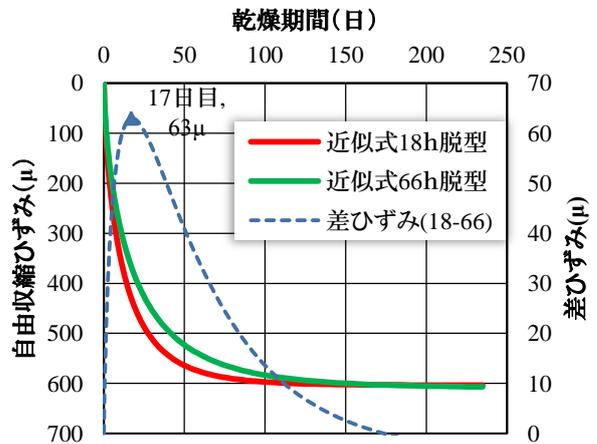


図-12 近似曲線 (脱型後 230 日間)

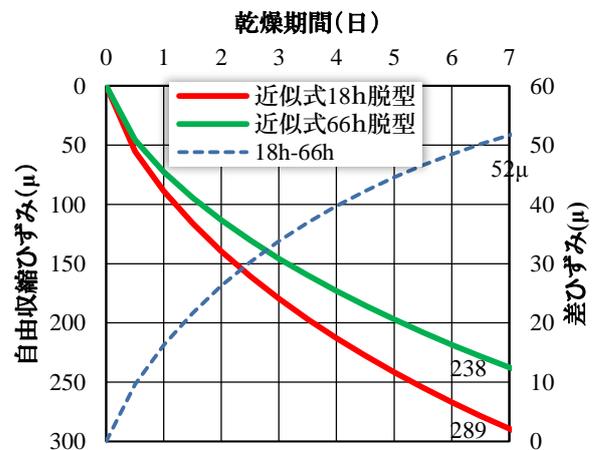


図-13 近似曲線 (脱型後 7 日間)

4. まとめ

今回、徳定トンネルにおいて、新型テレスコピックセントル工法による施工時に各種の現場検証を実施し、そこで得られた測定データを基に、66時間型枠を存置することの自重支持、保温、保湿効果について、定量的に求めることができた。

今後の検討では、試験結果の分析を行うとともに、統合的なモデルによる解析的なアプローチを引き続き行って、本工法が有する初期ひび割れ低減効果のメカニズムについて検証を行っていく予定である。

道路トンネルや鉄道トンネルは、完成後、最低でも50年は使用するにもかかわらず、供用が開始されると、大がかりな補修作業が行いにくい構造物である。さらに、供用中に覆工コンクリートの剥落等が発生すれば、重大な事故を引き起こす危険性も潜んでいる。

本工法の機能の優位性を確認し、広く展開することで、これらの危険を回避できる社会インフラの拡充に寄与することを、これからの目標としたい。

参考文献

- 1) 竹市 篤史, 日野 博之, 西岡 和則, 手塚 康成: 新型テレスコピックセントル『TAF 工法』による覆工コンクリートの施工, 第 74 回施工体験発表会 (山岳), 日本トンネル技術協会, 2014
- 2) 西岡 和則, 手塚 康成, 坂井 吾郎, 近藤 啓二: 66 時間型枠存置が可能な新型テレスコピックセントルの開発, トンネル工学報告集 第 23 巻, pp.101-105, 土木学会, 2013.
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 2012 年 制定 設計編, pp.308, 土木学会, 2013
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書 2012 年 制定 基準編, pp.582, 土木学会, 2013

(2014.9.15 受付)

EFFECT OF LINING CONCRETE CUREING BY A NEW TELESCOPIC FORMS

Kazunori NISHIOKA, Yasunari TEZUKA, Goro SAKAI,
Shuji MATSUMOTO, Koji MURAKAMI

Developing new telescopic centres having two arch form can extend curing term from 18 hours to 66 hours. On-site measurement at TOKUSADA tunnel was held to evaluate the effect of lining concrete cureing and crack reduction. The results show that this new method takes same advantages, heat retention, humidity retention and mechanical support. Concrete temperature analysis provide quantitative evaluation of this method.