

16. 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

鹿島建設（株）機械部 ○重永晃洋
鹿島建設（株）土木管理本部 西岡和則
鹿島建設（株）土木管理本部 手塚康成

1. はじめに

近年、社会的要請を背景にトンネルの覆工コンクリートの品質向上に対する要求が高まっている。トンネルの覆工コンクリートは、通常のコンクリート構造物と比較した場合、部材厚が薄いうえに、トンネル内が遮光、恒温、多湿であり養生環境が屋外とは異なることから、自重に対する支持強度が十分発現すれば脱型することが許容されており、一般的な2車線道路トンネル断面では2日に1回の打設により平均18時間程度で脱型することが通例となっている。

このため、覆工コンクリートの品質をさらに向上させるには、打設工程に影響を与えることなく型枠存置期間を長く取ることで、脱型時に発生するコンクリート内部の収縮ひずみを軽減するとともに、コンクリート表面の緻密化を図る必要があった。

この度、2日に1回という打設サイクルを変え、66時間の型枠存置が可能な新型テレスコピックセントルを開発し、その効果を検証したので報告する。

2. 現状の問題点と開発方針

現場で実際に打設した覆工コンクリートの内部温度を測定した結果を図-1に示す。

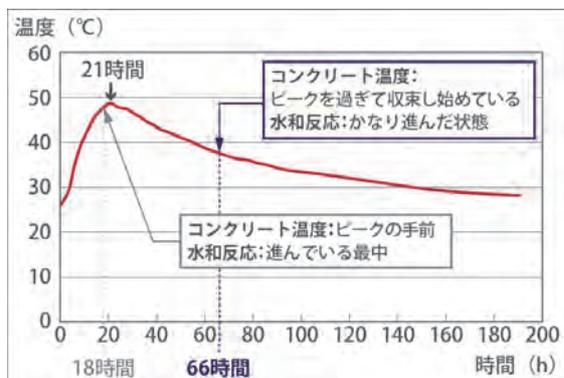


図-1 覆工コンクリート内部温度の経時変化の例

このグラフによると、コンクリートの内部温度のピーク(最もセメントの水和反応が活発な時期)は、打設完了後約21時間であり、18時間の時点では、水和反応はピークの手前であることがわかる。

すなわち、18時間で脱型すると、覆工表面は水和反応に必要な水分まで蒸発し、コンクリートの強度増進が妨げられ、コンクリート表面の緻密化が進まないことになり、水や気体の浸透劣化の観点から、覆工コンクリートの長期耐久性に悪影響を及ぼす。

通常、型枠の存置期間を延長するためには、
①工程を調整して、1台のセントルを長時間存置
②セントルを2台用意して交互に打設
が考えられる。

しかし、①の場合、標準的なトンネル覆工の打設サイクルは、打設6時間+養生18時間+脱型～移動セット8時間+夜間休止16時間=48時間で計画されており、打設工程の遅延が避けられない。

また②の場合、トンネル全長を2区間に割って、2台のセントルで個々に分割施工するケースと、1台を歯抜けで先行させて、2台目はその間を打設しながら併進するケースが考えられる。このとき、前者の場合は、比較的施工延長の長いトンネルへの適用に限定され、打設場所が分散されるため、作業管理が非常に煩雑になる。一方、後者の場合は、先行部は常に両妻枠となり、天端の充填圧力を十分に確保することが困難になる。また、後行部は充填不良の可能性がある両側ラップの打設になり、いずれも天端の充填性確保のうえで問題が大きい。

そこで、打設サイクルを変えずに型枠存置期間を長く取るため、フォーム(型枠)を2台用意し、1台目のフォームはガントリーで支持された状態でコンクリートを打設し、その間、先行打設した2台目のフォームを存置可能とするテレスコピック構造のセントルを開発することにした。

これによって、18時間+48時間=66時間の型枠存



図-2 透気試験結果（模擬試験）

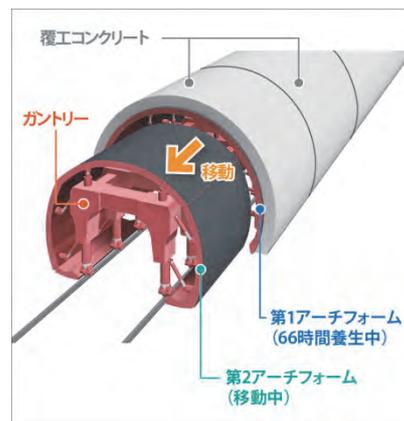


図-3 新型セントル施工概念図

置期間の確保が可能となる。図-1でも明らかのように、66時間ではコンクリート温度が低下しており、水和反応がかなり進んだ状況であるため、この時点で脱型したほうがコンクリートの品質が向上することは自明である。

この効果について、実施工に先立ち模擬試験において、コンクリートの表層品質を評価する指標のひとつである4週後の透気係数を比較することにより検証した¹⁾。

図-2にその結果を示す。従来の18時間後脱型では約 $2.0 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ に対して、66時間後脱型では約 $0.2 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ とほぼ1/10に低下しており、7日間型枠を存置して養生した場合と概ね同等の効果が見られることがわかった。

つまり、新型テレスコピックセントルによって66時間型枠を存置することで、材齢初期の型枠養生効果が十分に発揮されることが確認できた。

3. 新型テレスコピックセントルの開発

3.1 設計における課題と解決策

一般的なセントルは、剛性の高いアーチフォームとジャッキ、ガントリーによって打設時及び養生時の荷重を受ける構造となっている。また、ア

ーチフォームとガントリーは複数のジャッキとターンバックルによって接合されており、施工中にこれらを完全に切り離すことはない。

一方で、テレスコピック構造の新型セントルを開発するにあたっては、以下の課題を解決する必要があった。

- ① 存置されたアーチフォームの内部をもう一方のアーチフォームがくぐり抜けられること。また、セントル内に重機走行や仮設備（風管、連続ベルコン等）のスペースが適切に配置できること。
- ② アーチフォームとガントリーの接合・切り離し作業が容易で、打設のサイクルタイムに影響を与えないこと。
- ③ 存置するアーチフォームが自立できること。

これらに対して、従来のセントル構造を適用すると、特に①②について、

- ・剛性の高い厚みのあるアーチフォームでは、存置されたアーチフォーム内をくぐり抜ける十分なクリアランスが確保できず、加えて仮設備の配置が困難となる。
 - ・多くのジャッキやターンバックルを都度脱着しなければならず、作業効率が著しく低下する。
- 等の課題が生ずるため、新たな発想で設計する必

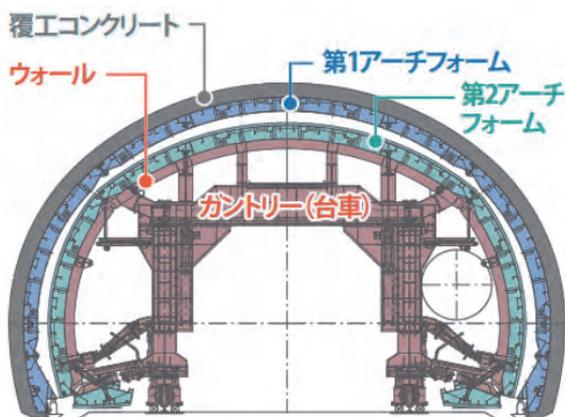


図-4 新型セントル構造図



写真-1 新型セントル全景

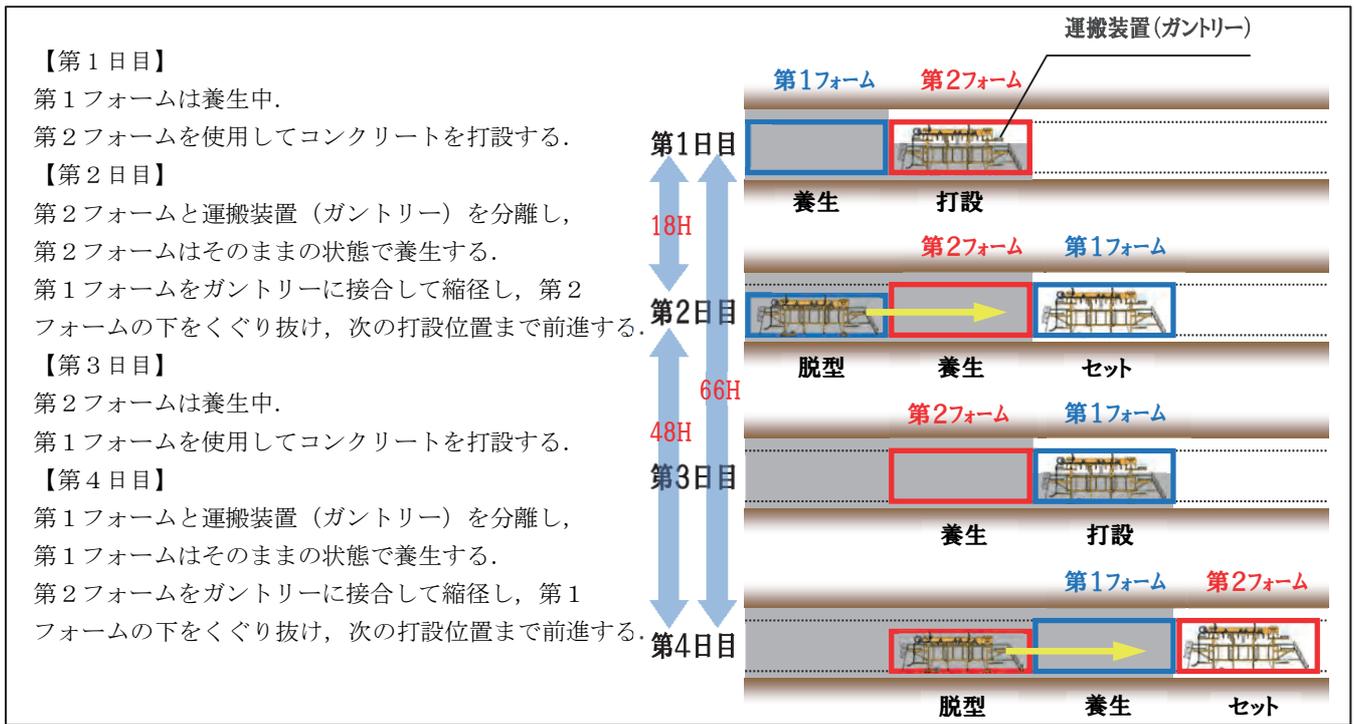


図-5 施工手順

要があった。

これらの課題を解決するため、次に示すような構造の新型セントルを設計した。

- ① 存置するアーチフォームの厚みを抑えながらも、打設時とコンクリートの強度が発現するまでの初期養生時に受ける荷重を十分に支持できるように、アーチフォームを受けるガントリー側の接合部を、剛性の高いウォール構造とする。
- ② ウォール全体によってアーチフォームを受ける構造とすることで、ジャッキやターンバックルの脱着箇所を必要最小限とする。
- ③ 存置させるアーチフォームは、単体で自立できる構造とする。

今回開発した新型セントルの概念図を図-3に、構造図を図-4に、全景を写真-1に示す。

3.2 施工手順

新型セントルを適用した場合の施工手順を図-5に示す。同図のように、1台のガントリーが2台のアーチフォーム間を往来することで、交互に連続した打設が可能となる。また、養生完了部のアーチフォームは、ガントリーと接合後に縮径し、存置されたアーチフォームの内側をくぐり抜ける構造になっている。

4. 現場での施工事例

4.1 岩古谷トンネル（新型セントル1号機）の適用例（普通コンクリート）²⁾

岩古谷トンネルは2車線道路トンネルで、トンネ

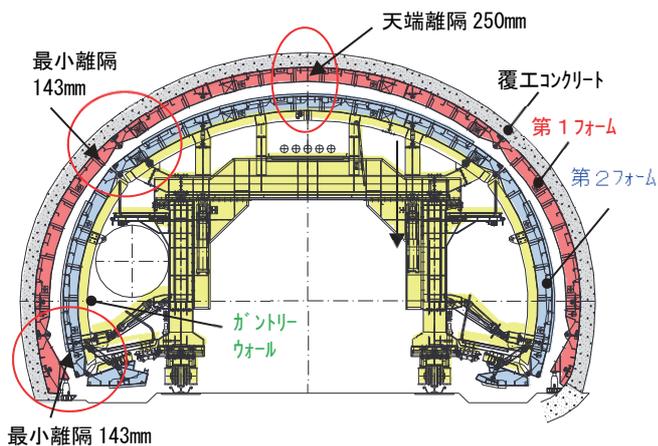
ル延長1,287mの全線に亘って新型セントルを適用した。なお、使用したコンクリートは21-15-40BB(無筋区間)である。

新型セントルの重要な工程となる、くぐり抜けについては、計画上は離隔を確保しているものの、実際の現場における不確定要素があるなかでスムーズに移動することができるか懸念されていた。しかし、レールの芯出しを正確に行い、セントル間のクリアランスを確認しながら慎重に行えば、計画どおり問題なく移動することができた。

図-6に計画上でのくぐり抜け時のフォーム離隔を示す。また、移動は打設サイクルに影響を及ぼすことなく、2日に1回の打設サイクルで66時間後脱型を実施することができた。



写真-2 施工状況（岩古谷トンネル）



最小離隔 143mm

図-6 計画時のくぐり抜け状況（岩古谷トンネル）

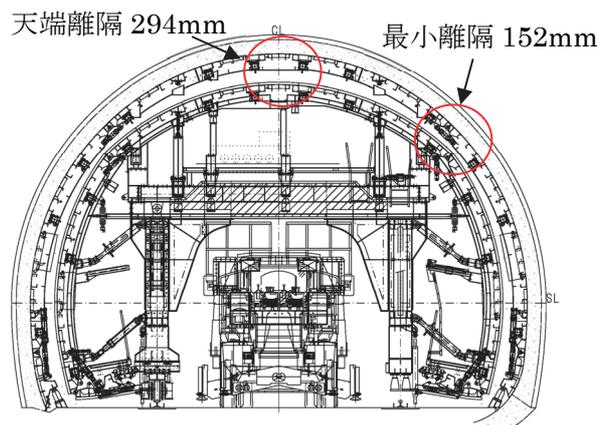


図-7 計画時のくぐり抜け状況（徳定トンネル）

4.2 徳定トンネル（新型セトル2号機）の適用例（中流動コンクリート）³⁾

徳定トンネルは新東名高速道路トンネルで、トンネル延長1,172m（上り線582m，下り線590m）の全線に亘って新型セトルを適用した。使用したコンクリートは単位セメント量が $350\text{kg}/\text{m}^3$ の特殊混和材系中流動コンクリートである。

中流動コンクリートに2号機を適用するにあたり、1号機の普通コンクリートに比べて、側圧が増加することによって各部材が厚くなるのが予想されたため、アーチフォームのくぐり抜け時のクリアランスを十分に確保すべく、1号機の実績を反映した構造の一部変更と、設計条件の精査による部材厚の低減を図った。アーチフォーム移動時の断面を図-7に示すが、この改造によって、側圧が増加しても天端部で約300mm、肩部で約150mmの離隔が確保できた。

さらに、大口径の風管や連続ベルコンなど仮設備の通過スペースを容易に確保できる設計が可能となった（図-8参照）。

部材厚の低減にあたっては、施工時に各種計測

器をセトルに設置して、コンクリートの側圧やフォーム応力および支持ジャッキの軸力を測定した。その結果、フォームに作用した側圧は設計荷重以下に収まっており、中流動コンクリートに対しても、構造上問題がないことを確認した。

表-1に標準的な施工サイクルを示すが、従来と同人数の施工体制で、確実に2日に1回の打設サイクルで66時間後脱型を実施できた。

5. 適用効果の検証

岩古谷トンネル、徳定トンネルでは、適用効果を検証するために様々なデータを取得した。以下にその結果例を示す。

5.1 覆工コンクリートの収縮ひずみ測定結果²⁾

岩古谷トンネルで、天端部のコンクリート内部に、ひずみ計を覆工表面から10cmの位置（内側）と20cm（外側）の位置2ヶ所に埋設し、養生時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た。図-9に従来の方法により18時間で脱型した場合と、新型セトルにより18時間でガントリーを外し、66時間で脱型した場合のひずみの

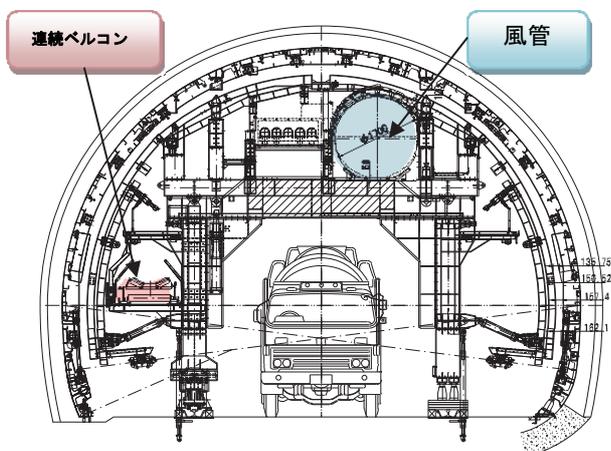


図-8 仮設備配置例

表-1 標準施工サイクル

セット日	打設日	
朝礼・KYK	朝礼・KYK	
複型枠解体・ジャッキ解体	ポンプ車セット・配管	
ガントリーダウン・移動	コンクリート打設	
フォームキャッチ・ダウン・移動		
ケレン		
セット	コンバターン 10.52m/BL 100m ²	
昼休み	先行均しCON打設	
ジャッキ固定 複型枠・差板組立		
片付け		打設片付け
		レール移動 片付け

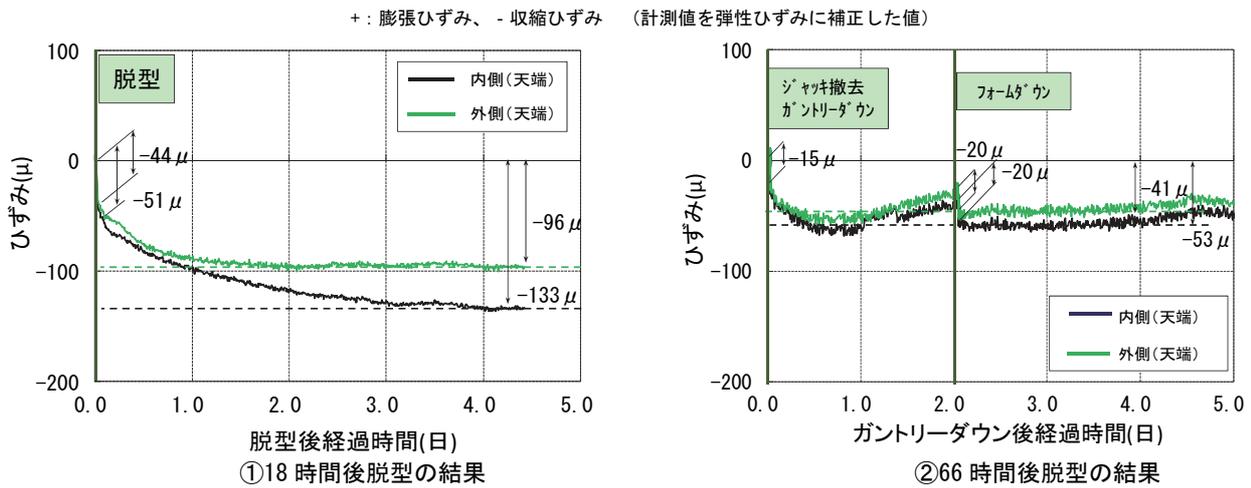


図-9 天端部におけるひずみ増分の測定結果

変化量を示す。これよると、18 時間で脱型した場合は、脱型直後に発生した収縮ひずみは外側で約 44μ 、内側で約 51μ 、ひずみが収束に至るまでに外側で約 96μ 、内側で約 133μ の収縮ひずみが発生した。一方で、66 時間で脱型した場合、ガントリーダウン時に両側に約 15μ 、フォームダウン時に約 20μ 、収束時に外側で約 41μ 、内側で約 53μ の収縮ひずみが発生した。

両者を比較した場合、66 時間で脱型した場合のトータルのひずみ量は、18 時間で脱型した場合の約 40% に止まっており、今回開発した新型セントルは、脱型による覆工内部の収縮ひずみを抑制していることが確認できた。特に 18 時間で脱型した場合、自重によるひずみに表面からの水分の蒸発による乾燥収縮ひずみ加わり、内側が漸増傾向を示しているものと推察されるが、66 時間で脱型した場合は、この傾向が見受けられない。すなわち、66 時間型枠を存置することにより、自重の他、温度変化や乾燥に伴う覆工表面の収縮ひずみの発生も抑制されている。

5.2 覆工表面の透気係数測定結果(表層品質改良効果)³⁾

徳定トンネルでは、図-10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側部・中間部・棲側部の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-11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。

また、岩古谷トンネルでも同様の測定結果が得られており、普通コンクリート、中流動コンクリートのいずれにおいても、従来の工法により18時間で脱型した場合に対して、新型セントルにより66時間型枠を存置して脱型した場合、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

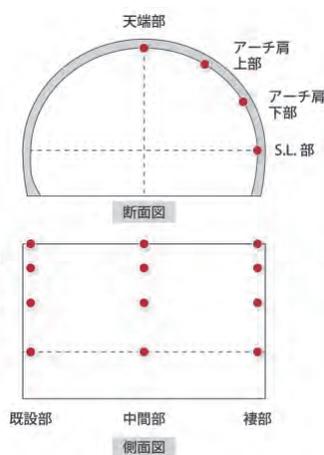


図-10 透気係数測定位置

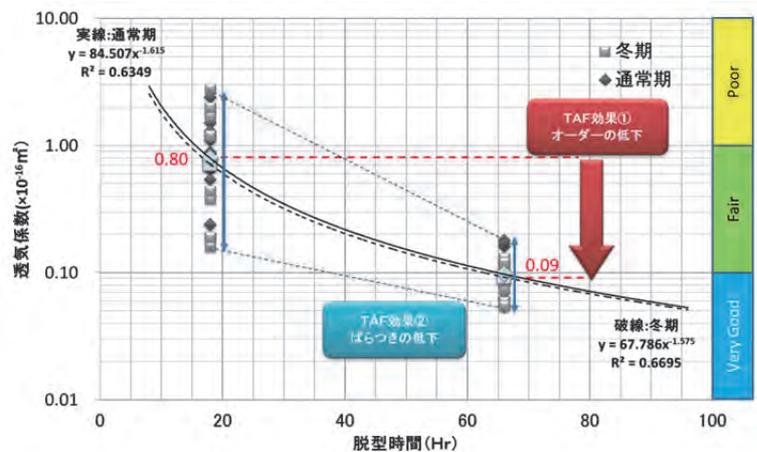


図-11 透気係数測定結果(徳定トンネル:打設4週間後)

なることから、覆工表面全体が均等に緻密化されることが確認できた⁴⁾。

5.3 ひび割れ低減効果

表-2 および図-12 に弊社施工の既往のトンネルとの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20～35%に亘ってひび割れが発生しているが、岩古谷トンネルや徳定トンネルでは2～6%に止まっており、新型セントルによるひび割れ低減効果が明確に表れている⁵⁾。

表-2 ひび割れ発生率の比較

トンネル名	竣工時期	施工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	53	1	2

※徳定トンネルのインバート拘束ひび割れは除く

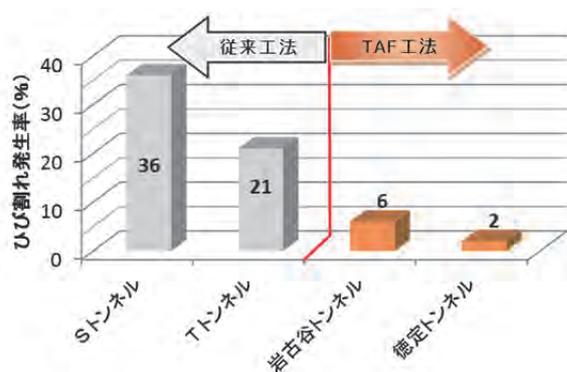


図-12 ひび割れ発生率の比較図

5.4 新型テレスコピックセントルの効果

これまでに新型セントルが適用された2工事での施工実績の一部を上記に述べたが、得られた知見から適用効果をまとめると以下のとおりである。

水和反応のピークが過ぎた後まで型枠による養生期間が確保できることにより、

- ①材齢初期の収縮ひずみ量が40%程度に抑制される。
- ②使用するコンクリートの種別にかかわらず覆工表面の緻密化が図られる。
- ③初期のひび割れ発生率は1/5～1/10程度まで低減される。

これらによって覆工コンクリートの長期耐久性

が向上する。

6. 今後の展開

今回開発した新型テレスコピックセントルの施工実績を検証した結果、従来と同人数の施工体制と2日に1回の打設サイクルを変えることなく、66時間型枠を存置して養生時間を確保することにより、覆工コンクリートの品質が格段に向上することが確認された。

今後、岩古谷トンネル及び徳定トンネルでのひび割れの追跡調査と併せて、徳定トンネルにおけるひずみ測定結果に基づき解析的な検討も実施し、ひび割れ低減効果と長期耐久性向上効果の検証を継続して実施していく予定である。

なお、新型テレスコピックセントルの3号機と4号機を本年度中に次工事に導入する予定である。連続バルコンとの組み合わせとなる初めての現場として作業性、施工性についても検証を行い、より適用性を拡大していく所存である。さらに、今後、適用現場が増加するに伴って、コスト低減が可能となるため、積極的に展開を図っていきたいと考える。

参考文献

- 1) 近藤啓二・西岡和則・坂井吾郎・安齋勝：土木学会 第68回年次学術講演会，VI-424，土木学会，2013
- 2) 竹市篤史・日野博之・西岡和則・手塚康成：JTA 第73回施工体験発表会(山岳)，2014
- 3) 間井博行・橋爪智・居川圭太・金子恵一：トンネルと地下 投稿中 土木工学社，2014
- 4) 金子恵一・川崎雄太・坂井吾郎・佐藤崇洋：土木学会 第69回年次学術講演会，VI-065，土木学会，2014
- 5) 西岡和則・手塚康成：臨床トンネル工学 平成26年度最新トンネル技術講演会 投稿中 NPO法人臨床トンネル工学研究所，2014