

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

西岡 和則¹・手塚 康成²・坂井 吾郎³・近藤 啓二⁴

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 土木材料Gr (〒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 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: kondoke@kajima.com

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、養生環境の特殊性から早期に脱型することが通例となっているが、さらなる覆工コンクリートの品質向上を鑑みた場合、打設工程に影響を与えることなく型枠存置期間を長くすることで、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ことが必要と考えた。

そこで、2日に1回という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することが可能となる、新しいテレスコピックセントルを開発して適用し、その効果を検証したので報告する。

Key Words : tunnel lining concrete, arch centre, telescopic, form removal, form retension

1. はじめに

コンクリート標準示方書によれば、一般的なコンクリート構造物の脱型時期は発現強度が参考値として示されており、薄い部材の鉛直に近い面、45°より急な傾きの下面、小さいアーチの内面については 5.0N/mm^2 とされている。

一方、トンネルの覆工コンクリートについては、部材厚が薄い上に、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厚さ30cmの無筋コンクリートの場合、圧縮強度が $2\sim 3\text{N/mm}^2$ に達した時期、材齢に換算すると約12～20時間、平均で18時間程度で脱型している。

このため、覆工コンクリートの品質をさらに向上させるためには、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、脱型時に発生する部材内部の収縮ひずみを軽減し、さらにコンクリート表面の緻密化が図れる施工法の確立が必要不可欠であった。

2. 現状の問題点と開発方針

ある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。このグラフによると、コンクリートの内部温度のピーク（つまり、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。

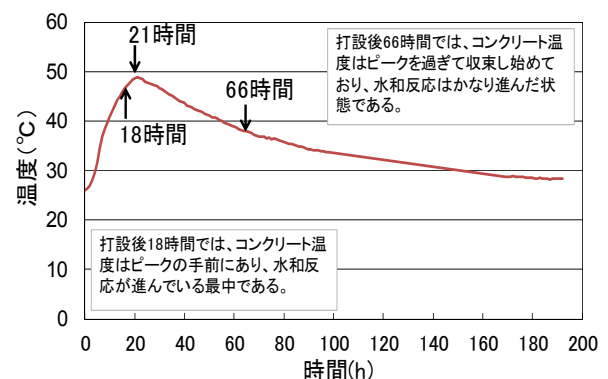


図-1 覆工コンクリート内部温度の経時変化の例

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する

②セントルを2台用意して交互に打設する

ことが考えられるが、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、打設工程の調整は、現実にはできないことがほとんどである。

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とが考えられるが、前者の場合、打設工程の適正化を図るためには、2台のセントルの施工延長がほぼ等しくなるように適切な離隔をとる必要が生じるため、比較的施工延長の長いトンネルへの適用に限定され、かつ個々の施工場所が分散されるため、作業管理が非常に煩雑になる。後者の場合、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一方で、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上で問題が大きい。

したがって、打設サイクルを変えずに型枠存置期間を長く取るためには、フォームを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台目のフォームは存置が可能となるテレスコピック構造を開発の基本とした。

これによって、18時間+48時間=66時間の型枠存置期間の確保が可能となるが、図-1を見ると、66時間ではコンクリートの内部温度は下降線にあるため、水和反応は18時間よりもかなり進んだ状況であり、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。なお、このことは、今回開発したセントルを現場へ導入する際に、事前に室内試験により評価方法と実際の効果を確認済みである¹⁾。

3. 新規に開発したセントル

今回開発したセントルの概念図を図-2に、このセントルを適用した場合の施工手順を図-3に示す。

同図のように、1台のガントリーが2台の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である。また、型枠存置による養生完了部のフォームは、ガントリーと接合後に縮径し、存置中フォームの内側を通過で

きる構造になっている。

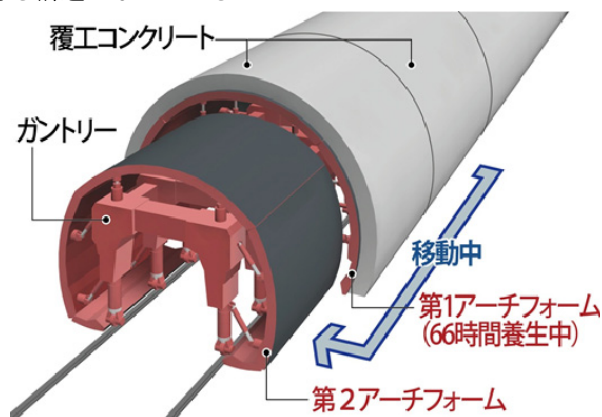
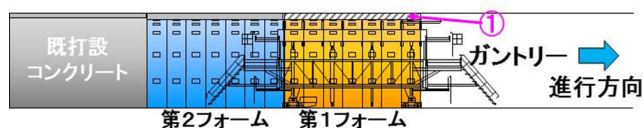


図-2 今回開発したセントルの概念図

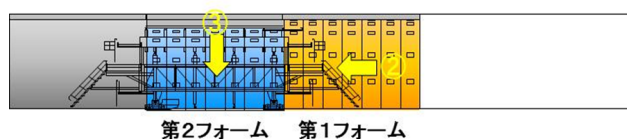
①第1フォーム打設完了



②18 時間経過：ガントリーダウン（第1フォーム存置）→ガントリーのみ後退

③第2フォームをガントリーで把持

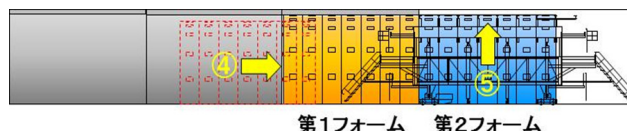
→（すでに66時間経過した）第2フォームダウン



④20 時間経過：第2フォーム縮径

→ガントリーと共に第1フォーム内をくぐり抜け前進

⑤第2フォームセット



⑥48 時間経過：第2フォーム打設完了



⑦66 時間経過：ガントリーダウン（第2フォーム存置）→ガントリーのみ後退

⑧第1フォームをガントリーで把持

→66 時間経過した第1フォームダウン

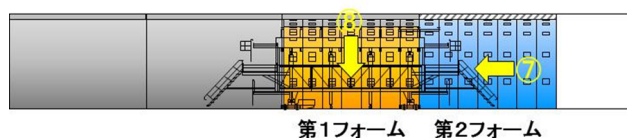


図-3 今回開発したセントルによる施工手順

4. 現場での適用事例

以下に、今回開発したセトルを実際に現場へ適用した例と、その効果について示す。

(1) Aトンネルでの適用例(普通コンクリート)

Aトンネルは掘削内空断面積が 62.8m^2 の2車線道路トンネルであり、トンネル延長1,287mの全線に亘って本セトルを適用した。フォームセット時とフォーム存置時およびフォーム移動時の断面を図-4に示す。なお、使用したコンクリートは21-15-40BB(無筋区間)である。

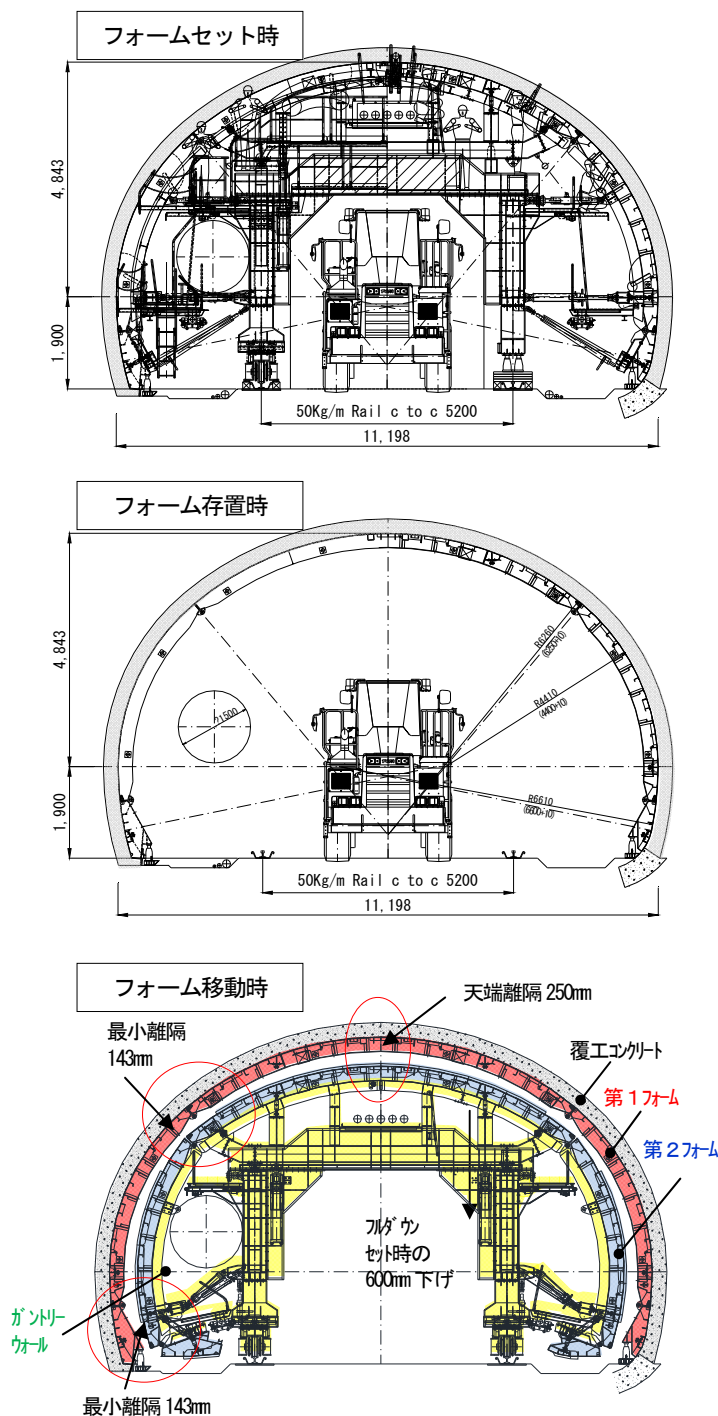


図-4 各施工段階のフォームの状況

同図のように、フォーム移動時のクリアランスが十分に確保されているため、フォームの移動はスムーズに行われており、打設も48時間サイクルの施工が実現できている。

(2) Aトンネルでの適用効果

①覆工コンクリートの内部温度測定結果

熱電対による覆工コンクリートの内部温度測定結果を図-5に示す。この図より、Aトンネルではコンクリートの内部温度のピークは打設完了後約36時間であり、打設完了後18時間の時点では、図-1と同様に水和反応はピーク手前であることがわかる。なお、図-1と比較するとコンクリート内部温度のピーク発現が遅くなっているが、これは打設時期が3月で打設時のコンクリート温度が 15°C と低かったこと、および高炉セメントを使用していることに起因すると考えられる。また、それぞれの時間に対する現場養生供試体の一軸圧縮強度は、18時間が 0.8N/mm^2 、66時間が 5.0N/mm^2 であった。同図から66時間で脱型することにより、温度ピーク後まで型枠による養生期間が確保されており、強度も十分発現しているので、コンクリート温度および坑内温度が低下する冬季打設において、今回開発したセトルは、覆工表面の強度発現不足による剥離の抑制にも効果があると考えられる。

②覆工表面の透気係数および超音波伝搬速度測定結果

現場で実際に脱型する時間を18, 66, 90時間として、コンクリート表層部の透気係数および超音波伝搬速度を比較測定した結果を図-6、図-7に示す。これらの図から、型枠の存置期間を18時間から66時間に延長することで、透気係数が大幅に小さくなり、また、超音波伝搬速度も速くなっていることがわかる。このことから、脱型時間を延長することによりセメントの水和反応が促進され、コンクリート表層部が緻密化していることが確認

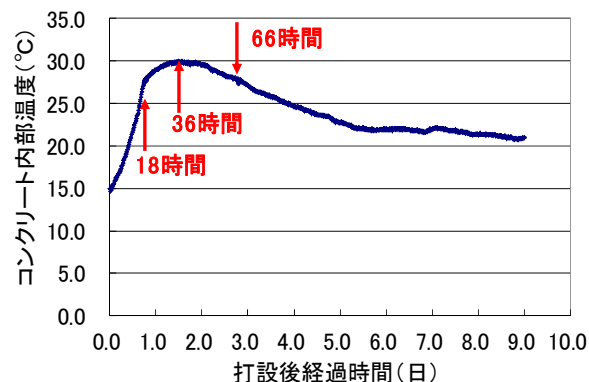


図-5 覆工コンクリート内部温度の経時変化
(Aトンネル)

できた．とくに，18 時間脱型時の透気係数は，測定箇所によるばらつきが大きい結果となっているが，66 時間と 90 時間はばらつきは小さく，また両者に大きな差はないことから，66 時間型枠を存置すれば，覆工コンクリート表層全体が，ほぼ均等に緻密化していることが確認できた．

③脱型時の覆工コンクリートの収縮ひずみ測定結果

写真-1 のように，天端部のコンクリート内部に，ひずみ計を覆工表面から 10 cm の位置（内側）と 20 cm（外側）の位置 2 個所に埋設し，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-8 に従来の方法で 18 時間で脱型した場合と，今回開発したセントルで 18 時間でガントリーを外し，66 時間で脱型したときのひずみの変化量を示す．これによると，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，66 時間の場合，ガントリーダウン時で両側に約 15μ ，フォームダウン時で約 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% に留まっており，今回開発したセントルは，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．とくに 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が加わり，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ため，覆工コンクリート表層の緻密化に，明らかに有利な結果となっている．

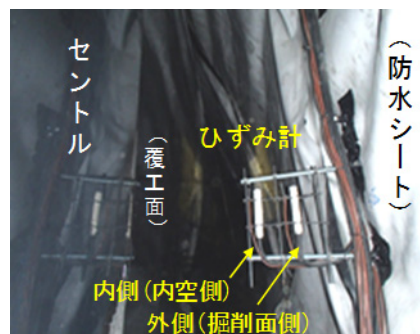


写真-1 ひずみ計設置状況

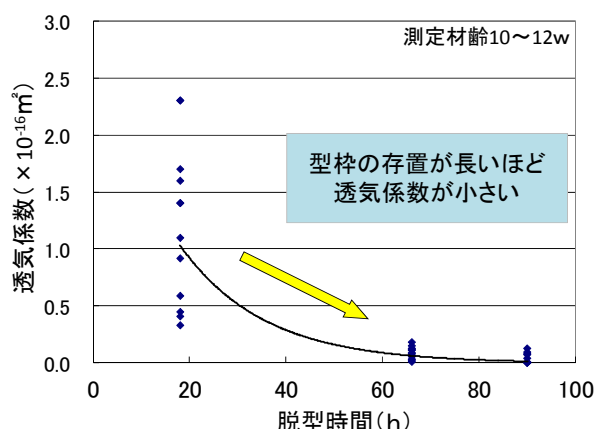


図-6 透気係数測定結果

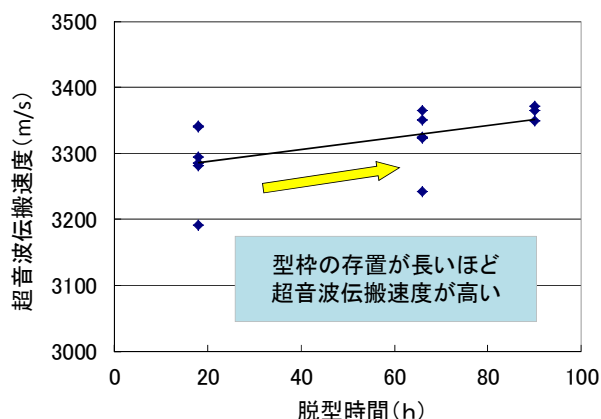
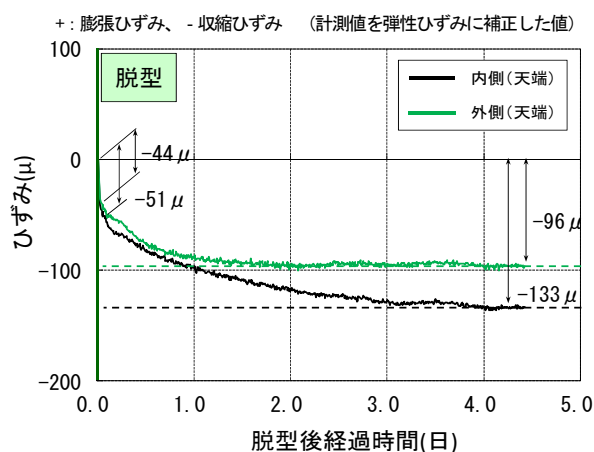
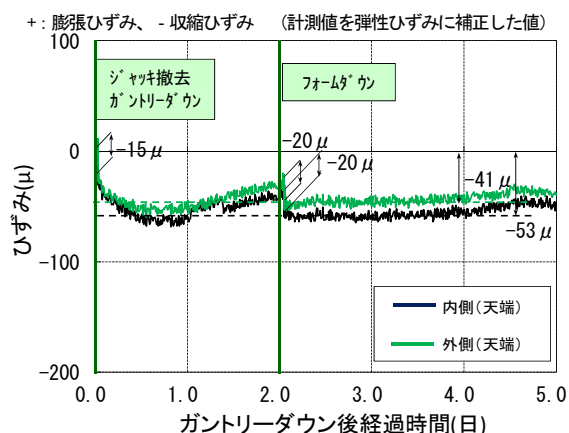


図-7 超音波速度測定結果



① 18時間脱型の結果



② 66時間脱型の結果

図-8 天端部におけるひずみ増分の測定結果

④計測結果に基づく適用効果のまとめ

以上の測定結果から、今回開発したセントルの効果をまとめると以下ようになる。

- 1) 覆工内部の温度測定結果から、66 時間型枠を存置することで、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。
- 2) 覆工表面の透気係数測定結果から、66 時間型枠を存置することで透気係数は大幅に小さくなり、覆工表面の緻密化が図られている。これによって、水や気体の浸透劣化の観点から、覆工コンクリートの耐久性が向上するものと考えられる。
- 3) 覆工内部の超音波伝搬速度も、型枠存置期間の長さに応じて速くなっているため、今回開発したセントルを使用することで、従来の工法よりも覆工コンクリートの緻密化を図ることができる。
- 4) 脱型時に発生する覆工内部のひずみ測定結果から、今回開発したセントルを使用することで、従来の工法に比べて収縮ひずみが 40%に抑制される。さらに、脱型後に漸増する覆工表面の乾燥収縮ひずみも生じないことから、覆工表面の先天的なひび割れが抑制され、その後発生するひび割れの抑制も図ることができるものと考えられる。

5. 今後の展開と課題

以上から、今回開発したセントルは覆工コンクリートの品質向上に対して絶大な効果があることが確認された。

今後の課題としては、本セントルを適用することによるひび割れ抑制効果の検証が挙げられるため、Aトンネルにおいて、脱型後のひび割れの発生、進展状況を継続して確認し、その効果を検証する予定である。

また、現在中流動コンクリートを使用したサイトでも本セントルを適用しており、打設時の作用圧力に対するジャッキやフォームの断面剛性の確認と、中流動コンクリート使用時における本セントルの適用効果の検証を進めている。

これらのデータも踏まえて、本セントルのさらなる適正化や合理化を図り、今後は積極的な展開を行っていく予定である。

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。

(2013.9.2 受付)

NEW TELESCOPIC ARCH CENTRE WHICH BECOMES POSSIBLE TO TAKE THE FORM RETENSION PERIOD OF 66 HOURS.

Kazunori NISHIOKA, Yasunari TEZUKA, Goro SAKAI and Keiji KONDOU

Although tunnel lining concrete is usually remove the arch form at an early stage in comparison with the usual concrete structure from the peculiarity of curing environment, in view of the further improvement in quality of the tunnel lining concrete, it is thought that lengthening a form retension period without affecting a placing process is required to attain precisization on the surface of concrete while to decrease the shrinkage strain inside the concrete lining at the arch form removal.

Then, since the new telescopic arch centre which becomes possible to take the form retension period of 66 hours without changing the placing cycle of 1 time on 2 days was developed and applied, and the effect was verified.

