

自動打設システムを用いた覆工コンクリートの仕上りの改善検証

鹿島建設(株) 正会員 ○日野博之 松本修治 手塚康成 坂井吾郎 青柳隆浩

1. はじめに

筆者らは、トンネル工事の生産性向上を目的として、新しい打設配管システムやコンクリートポンプ車との連動制御技術を組み合わせたトンネル覆工コンクリートの自動打設システムを開発し、これまでに実規模施工実験を行い、その実現性を確認している¹⁾。この実規模施工実験において、夏期に打ち込んだ覆工コンクリートは、縞模様や流動跡などが顕著であり、仕上がりに課題が生じた。そこで、本稿では覆工コンクリートの仕上がりの改善を目的として、混和剤でコンクリートの流動性の保持性能を高めつつ、打込み速度を大きくした効果について報告する。

2. 自動打設システムの概要

自動打設システムは、図-1 に示すように、(1) 締固めが不要な覆工用高流動コンクリート²⁾、(2) 打込み口を即座に切り替えられる新しい打設配管装置、(3) 配管系統の高速切替え装置、(4) 打上り高さを自動制御する打設制御装置の4つで構成される。(4)により、コンクリートポンプの圧送信号を受け(2)、(3)を自動で制御することで、アジテータ車の入替え時を含め人の手を全く介さずに、打上り高さを左右均等に調整しながら打ち込める。なお、コンクリートの打込みは、従来のように自由落下高さが1.5m以内となるように型枠延長の2か所の検査窓から配管およびホースを挿入して行うのではなく、型枠延長の中央から全断面を吹き上げて打ち込む工法となる。

3. 覆工コンクリートの仕上がりの改善検証

覆工コンクリートの実規模施工実験は、トンネル断面が内空幅10m、内空高8m、覆工厚0.3m程度の模擬トンネルを対象とし、計4回実施した。この一連の施工実験において、初期の計画(以下、改善前と表す)では、覆工コンクリートの打込みを、一般的な実績である時間当たり10~20m³/hに設定した。その結果、写真-1に示すように夏期の打込みにおいて覆工コンクリートの縞模様や流動跡などの仕上がりに課題が生じた。これは、自動打設システムによる施工記録データを確認したところ設定した打込み速度が小さかったことと、コンクリート温度が31℃と高く型枠内でコンクリートの硬化が進み、そのコンクリートを吹き上げたことが影響したものと考えられた。そこで、改善した計画(以下、改善後と表す)での覆工コンクリートの打込みでは、改善前に対し時間当たりのコンクリートポンプの吐出量を2~4m³/h程度増やして13~22m³/hに設定した。さらに、時間経過に伴うコンクリートの流動性の変化を小さくするために混和剤を改良した。覆工用高流動コンクリートの使用材料および配合を表-1に示す。混和剤の改良は、改善前では20℃環境での凝結時間が始発6時間40分、終結7時間55分であったものを始発7時間40分、終結9時間10分のように1時間程度遅れるものとした。その結果、写真-2に示すように改善後の覆工コンクリートの仕上がりは、若干の色むらは残ったものの、課題となった縞模様や流動跡は目立たなくなり、

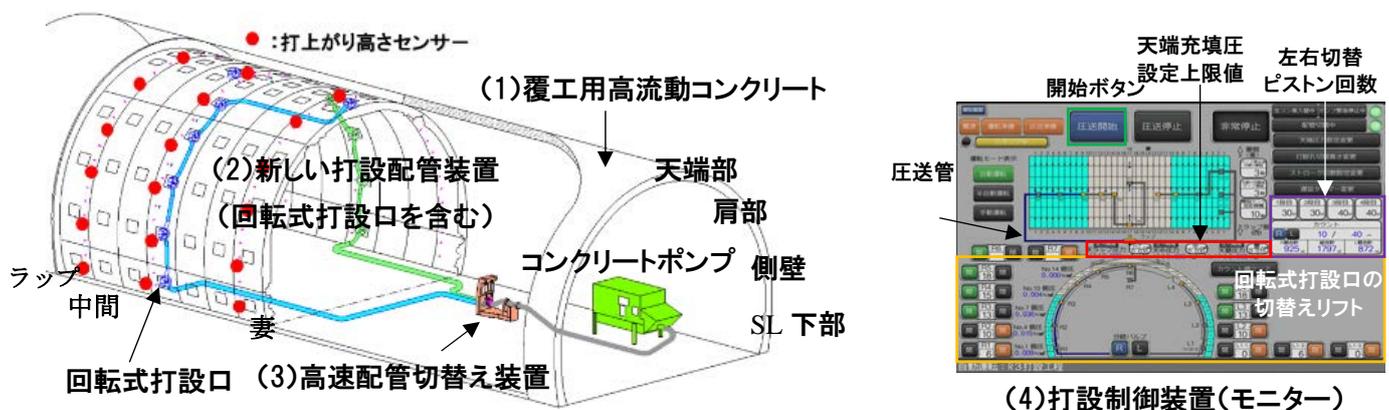


図-1 自動打設システムの概要¹⁾

キーワード：覆工用高流動コンクリート、自動打設システム、制御システム、表面の仕上がり
連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株) 土木管理本部 TEL03-5544-0633

表-1 覆工用高流動コンクリートの配合

| SF (mm) | Air (%) | W/C (%) | s/a (%) | Gvol (L/m ³) | 単体量 (kg/m ³) | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|-----------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|
| | | | | | W | C | S1 | S2 | G | VSP |
| 550 | 4.5 | 50.0 | 52.7 | 317 | 175 | 350 | 743 | 186 | 840 | 4.375 |

C:普通ポルトランドセメント, 密度 3.16 g/cm³, S1:川砂, 表乾密度 2.63g/cm³, S2:山砂, 表乾密度 2.66g/cm³, G:砂利, 密度 2.66g/cm³, VSP:特殊混和剤

改善前と比べ良好な仕上がりとなった。

4. 表層品質およびコア分析結果

覆工コンクリートの品質評価として、材齢 90 日程度で、表面水分率が 5.5%以下であることを確認した後、トレント法による透気試験を実施した。測定箇所は、改善前、後での覆工コンクリートにおいて、両サイドの SL, 肩下, 肩上と天端部の 7 か所を妻, 中間, ラップの 3 列として 1BL あたり全 21 点で行った。

図-2 に覆工コンクリートの表層品質評価の結果を示す。透気試験の結果は、改善前、後ともに 1BL 内でのばらつきは小さく、改善前では「一般」であるのに対し、改善後では「良」であった。本検討においては覆工コンクリートの表面の仕上がりを改善することで表層品質の向上効果も得られる結果となった。

写真-2 に示す SL 下部の高さで吹上げ口, ラップ側中間, ラップ側流動先端, 妻側中間および妻側流動先端の計 5 本のコアを採取し、圧縮強度, 静弾性係数の測定を実施した。図-3 に測定結果を示す。吹上げ口のみ圧縮強度が平均に対して 4.6N/mm²ほど大きくなっているが、その他の部位は同程度で変動係数は約 0.08%と小さかった。なお、吹上げ口の圧縮強度は、圧入時の圧力が影響した可能性が推察された。静弾性係数は、どの部位も同程度で、変動係数は約 0.01%と圧縮強度と同様に小さかった。また、ブリーディングが集積しやすい妻側, ラップ側のどちらの流動先端においても圧縮強度および静弾性係数の低下は認められず、設計基準強度を満足していることを確認した。これは、混和剤に含まれる増粘成分の効果で最大 5m 程度流動させるトンネル覆工特有の打込み条件においても材料分離することなく打ち込めたためと考えられた。

5. まとめ

自動打設システムで全断面吹上げにより特殊混和剤を用いた覆工用高流動コンクリートを打ち込む方法によって、夏期等の季節に依らず、表層品質である透気係数が均一に「良」となり、かつ打ち込んだコンクリートの圧縮強度および静弾性係数のばらつきも小さくできることが分かった。

参考文献

- 1) 手塚康成, 松本修治, 日野博之, 青柳隆浩: トンネル覆工コンクリートの自動打設システムの開発, 第 75 回年次学術講演会, VI-06, 土木学会, 2020.
- 2) 作榮二郎, 亀島健太, 松本修治, 坂井吾郎: ブリーディング低減成分を含有した増粘剤液型高性能 AE 減水剤を使用した覆工用高流動コンクリートの基本特性, 第 75 回年次学術講演会, V-434, 土木学会, 2020.

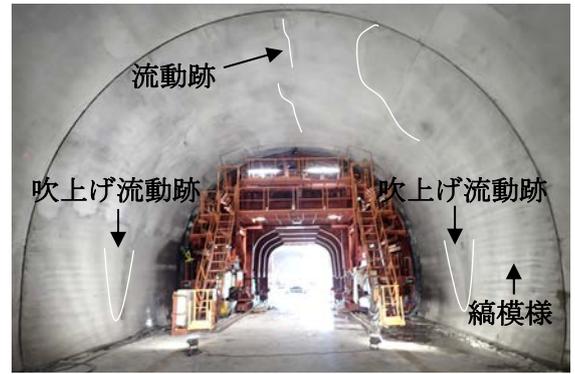


写真-1 改善前のコンクリートの仕上がり



写真-2 改善後のコンクリートの仕上がり

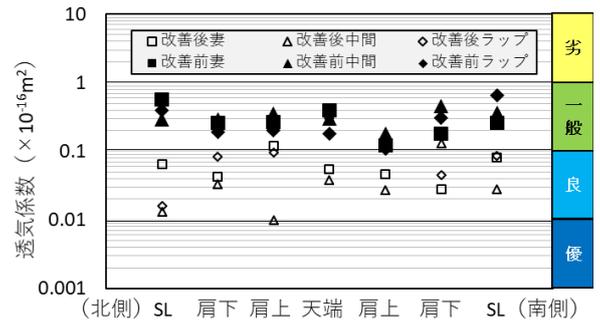


図-2 覆工コンクリートの表層品質

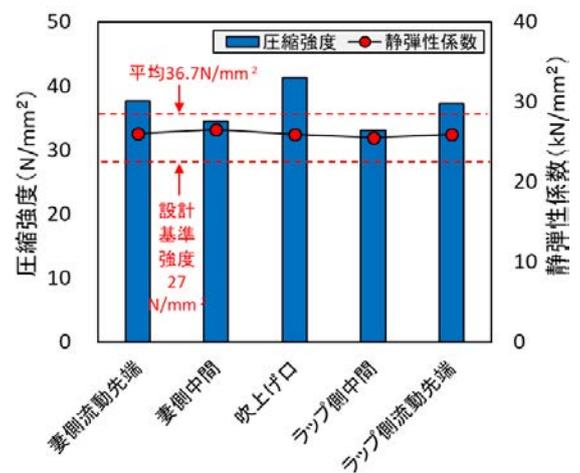


図-3 改善後のコアによる圧縮強度および静弾性係数