

覆工用高流動コンクリートを用いた自動打設システムの適用実績

西日本高速道路（株） 正会員 ○前田佳克 畔津伸彦
鹿島建設（株） 正会員 池上栄志 中西祐輔 福田博之 松本修治 手塚康成

1. はじめに

従来からトンネル覆工コンクリートの施工は、スランプ15cm程度のコンクリートを打ち込み、移動式型枠内の狭隘な空間において入念な締固めや配管の切替えを行うなど苦渋な人力作業が多い。そして、良好とは言い難い作業環境の下、品質は技能者の技量に依存しており、不良部の発生リスクと常に向き合っている。そのため、筆者らは平成25年7月から型枠面板に取り付けた型枠バイブレータのみで締固めを行える中流動覆工コンクリート¹⁾を採用し、人力作業を削減することで、施工面、品質面において改善を図ってきた。しかし、近年、少子高齢化による技能者不足が深刻化するなか、更なる生産性の向上が求められている。そこで、締固めを不要とする覆工用高流動コンクリート²⁾を用いた配管の切替えなどを自動で行う自動打設システム³⁾の採用を検討している。本稿では、自動打設システムを実工事となる新名神高速道路宇治田原トンネル西工事に試験適用した結果について報告する。

2. 自動打設システムの概要

本工事における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) 打ち込み口を自動で即座に切り替えられる回転式打設口を備えた新しい打設配管装置、(3) 天端の美観向上を目的として使用する型枠バイブレータの完全自動制御装置、(4) コンクリートポンプ2台を連携させながら打上が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、トラックアジテータの入替え時を含め人の手を全く介さずに、(1)のコンクリートの打上がり高さを左右均等に調整しながら全断面を吹き上げて打ち込めるシステムである。

3. 覆工用高流動コンクリートの仕様

表-1に覆工用高流動コンクリートの配合を示す。本工事における覆工用高流動コンクリートは、剥落防止を目的とした繊維補強仕様（ポリプロピレン製、繊維47mm）で、スランプフローを $600 \pm 50\text{mm}$ 、空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ を目標値として、温度ひび割れを考慮して単位セメント量を 420kg/m^3 としたものである。また、使用する混和剤は、覆工コンクリートの施工に適するように開発されたブリーディング抑制成分と増粘成分を含有し、可使時間を確保しつつ強度発現の遅延が生じにくいポリカルボン酸塩を主成分とした特殊高性能AE減水剤³⁾を用いている。自己充填性のランクは、土木学会の「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」⁴⁾に則った場合、本工事の覆工厚500mm、単鉄筋程度（主筋D19@300mm、配力筋D16@200mm）の条件から、ランク3に相当する。これは、図-2に示すようなU形容器を用いた高流動コンクリートの充填試験方法（案）（以降、U形充填性試験と記す）では流動障害

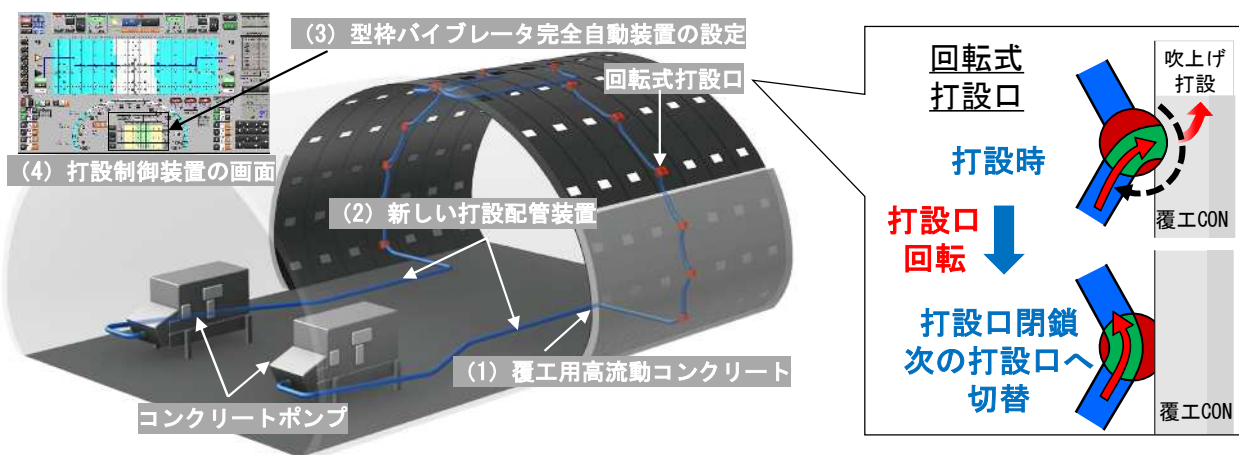


図-1 自動打設システム

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、制御装置、表面の仕上がり

連絡先 〒607-8034 京都府京都市山科区四ノ宮泓37 西日本高速道路（株）新名神京都事務所 TEL 075-595-4933

なしでの評価となる。ただし、繊維補強仕様であることから、鉄筋と繊維の干渉による充填性の低下を考慮し、より安全側で充填性の評価をする必要があった。しかし、ランク 3 の次に厳しい流動障害は写真－1 a) に示すランク 2 となり、流動障害の鉄筋間隔は 35mm と繊維長より狭く、非合理的な充填性の評価となる。そこで、U 形充填性試験は、写真－1 b) に示すような実際の配筋から考案した流動障害ランク 2.75（本稿での呼び方）で充填高さ 300mm 以上を確保するものとした。

4. 適用概要

トンネル断面が内空幅約 15m、内空高約 9m となる本工事において、コンクリートポンプ 2 台を連携させた自動打設システムにより約 160m³ の覆工用高流動コンクリートの打込みを行った。一般的な覆工コンクリートの打込み実績である時間当りの打上がり速度を 1.5～2.0m/h 程度となるように、打込み速度は、各層で 15～25m³/h に設定した。天端の美観向上を目的として、予め天端の型枠にトンネル軸方向に 1.5m、周方向に 1m 程度の間隔で全 28 台設置した型枠バイブレータを、打込み完了後に自動制御で合計 20 秒間稼働させた。覆工用高流動コンクリートの品質管理試験は、1 台目でスランプフロー（JIS A 1150）、空気量（JIS A 1128）、ランク 2.75 の U 形充填試験（JSCE-F 511-1999）を行った。

5. 適用結果

覆工用高流動コンクリートのフレッシュ性状は、スランプフローは645mm、空気量は4.0%、ランク2.75のU形充填高さは平均 322mmと目標値を満足した。材料分離することなく棲板まで流動し、隅々までほぼ水平に充填されていく状況が確認された。なお、打込み中は、天端部に設置した充填センサの片付け以外は、一切の人力作業が不要であった。写真－2に覆工コンクリートの仕上がりを示す。SL下部に発生しやすい表面気泡や天端部に発生しやすいコンクリートの流動跡などではなく綺麗な仕上がりととなった。これは、吹上げ打設を行ったことで、打込み時のエントラップトエアが低減されるとともに、できる限り連続的に打込んでいることと、吹上げ口の圧力が上がらず分離しにくいことで、流動跡が生じなかったものと考えられる。以上より、覆工コンクリートの施工と品質の両面において、さらなる改善が図れたものと考えられる。

6. おわりに

覆工用高流動コンクリートを用いた自動打設システムにより、コンクリート打込み中において一切の人力作業を必要とせず、綺麗な仕上がりの覆工コンクリートを構築できた。今後、非破壊試験による覆工コンクリートの品質評価を行い本システムの有用性を確認する。

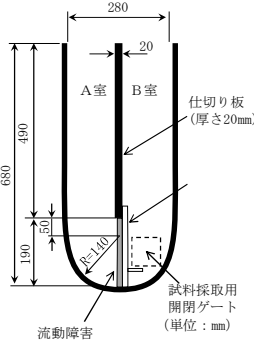
参考文献

1) 株式会社高速道路総合技術研究所：NEXCO 中流動覆工コンクリート技術のまとめ，2011.12。
2) 松本修治，手塚康成，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，土木建設技術発表会 2020，II-11，土木学会，2020。
3) 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一液型高性能 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。
4) 2012 年版高流動コンクリートの配合設計・施工指針，土木学会，2012.6

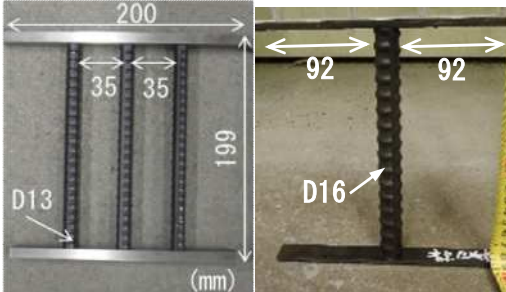
表－1 覆工用高流動コンクリートの配合

SF (mm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Gvol (L/m ³)	単位量 (kg/m ³)					PP Vol. %
					W	C	S	G	VSP	
600	4.5	41.7	50.0	323	175	420	836	872	6.30	0.3

C:普通ポルトランドセメント 密度 3.16 g/cm³，S:砕砂・海砂の混合砂 表乾密度 2.58g/cm³，G:砕石 2005 表乾密度 2.66g/cm³，VSP：特殊高性能 AE 減水剤，PP:ポリプロピレン繊維 密度 0.91 g/cm³ 繊維長 47mm，SF:スランプフロー



図－2 U 形充填性試験容器



写真－1 U 形充填性試験の流動障害



写真－2 覆工コンクリートの仕上がり