

トンネル覆工コンクリートの自動打設システムの開発

鹿島建設(株) 正会員○手塚康成 松本修治 日野博之 青柳隆浩

1. はじめに

近年、建設業界では作業員の高齢化による技能者不足が深刻化しており、国交省では生産性を向上させる重要な施策として「i-Construction¹⁾」を掲げ、建設作業の機械化、自動化が進められている。山岳トンネルの分野では、狭隘な移動式型枠内で窮屈な姿勢での作業を余儀なくされるトンネル覆工の機械化、自動化が求められている。そこで、筆者らは覆工用高流動コンクリート²⁾を用いて内部振動機による締固めを行わずに、人力による圧送管の切替えを不要にした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自動打設システムを開発した。本稿では、このトンネル覆工コンクリートの自動打設システムについて述べる。

2. 自動打設システムの概要

自動打設システムを構成する要素は、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)廃棄コンクリートの回収が容易な新しい打設配管システム、(3)配管系統の高速切替が可能な装置、(4)打上がり高さを自動制御する打設制御システムの4つである。以下に、それぞれの概要を説明する。

(1) 締固めが不要な覆工用高流動コンクリート²⁾

覆工用高流動コンクリートは、スランプフロー500～600mm、単位セメント量 400 kg/m³以下で、混和剤にブリーディング低減成分、分散性の高いポリカルボン酸塩および増粘成分を含有した高性能AE減水剤を用いることで、トンネル覆工コンクリートを対象に締固め作業の不要を実現したものである。

(2) 廃棄コンクリートの削減と回収が容易な新しい打設配管システム

従来、覆工コンクリートの施工では、移動式型枠で閉鎖された空間に予め設置された複数の打設口からコンクリートを打ち込むため、打設口ごとにコンクリートを配る配管が必要となり、配管を次の打設口に切り替える際に配管内に残るコンクリート(以降、廃棄コンクリートと称す)が多量に発生する。そのため、打込み作業中に廃棄コンクリートの回収と配管清掃などの作業が必要となり、また、回収後の廃棄コンクリートを処分しなくてはならない。そこで、廃棄コンクリートの削減と回収が容易な新しい打設配管システムを開発した。このシステムは、図-2に示すように、全ての打設口からコンクリートを吹き上げて圧入して打ち込み、打設口からの打ち込みが完了すると打設口の配管を回転させて、次の打設口にコンクリートを連続的に供給する構造である。特徴は、写真-1に示す回転式の吹上げ打設口にあり、打込み時の吹上げ口は型枠表面からコンクリート内部へ突出しているが、打ち込みが完

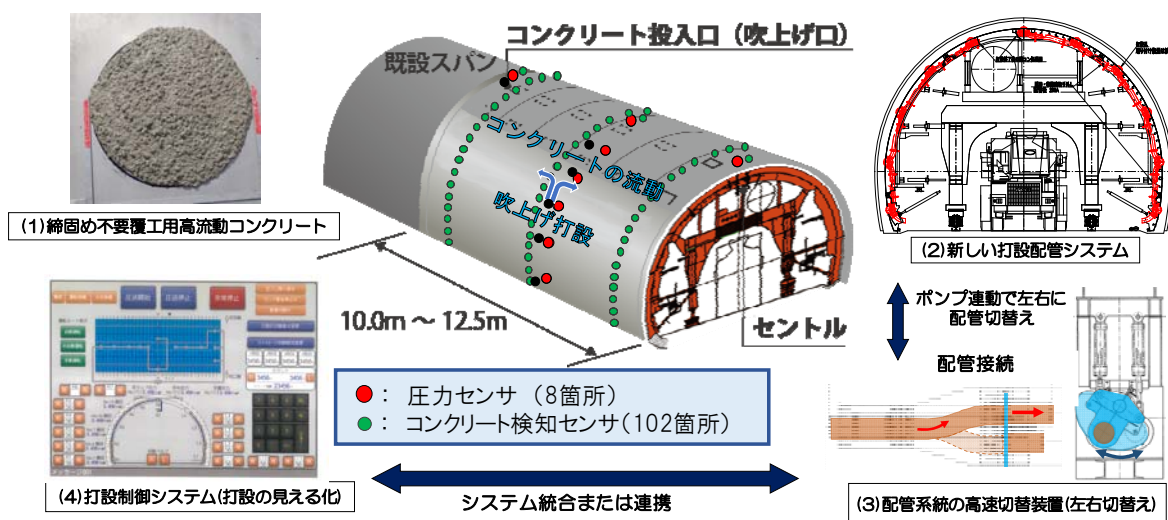


図-1 自動打設システムの全体概念図

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

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 TEL 03-5544-1111 (代)

了すると打設口が回転して型枠表面と同じ位置に蓋が閉まる
と同時に、次の打設口への配管ルートが形成される。これにより、打込み中の廃棄コンクリートの回収や配管清掃が不要となる。さらに、ポンプを逆転させ図-2に示す左側の配管内コンクリートを回収し右側の配管へ圧送できるため、廃棄コンクリートの削減が可能である。

(3) 配管系統の高速切替え装置

従来の打設配管システムでは、左右の配管系統の切替えに数十分を要するため、コンクリートの打重ね線のような流動跡が色むらとして残るといった欠点があった。そこで、写真-2に示すようなコンクリートポンプの圧送信号と連携させた配管系統の高速切替え装置を開発した。本装置は、電気信号による油圧制御で、3秒間で左右の配管系統の切替えを可能とし、(4)の制御システムと連携させることで、15秒で全体の配管系統を切り替えることができる。

(4) 打上がり高さを自動制御する打設制御システム

本システムは、写真-3に示すようにコンクリート検知センサにより打込み状況を見える化し、配管系統の自動切替えを行うことで、左右の高低差を無くしコンクリートが平坦になるように自動制御する打設制御システムである。特徴としては、事前に計画したリフト割に応じて、回転式打設口の切替えリフトと左右の許容高低差に応じた配管切替えを行う打込み量を設定して施工を開始すれば、その計画どおりに打込みが自動で進行できることである。履歴も記憶媒体に記録されるため、脱型後の表面の出来栄と関連付けることができ次回以降の施工に反映させ品質向上を図ることが可能となる。

3. 実規模模擬トンネルでの自動打設試験

トンネル断面が内空幅 10m、内空高 8m、覆工厚 0.3m 程度の実規模の模擬トンネルで覆工用高流動コンクリートの自動打設試験を延長 10.5m の 2 スパンで実施した。全てのシステムがトラブルなく順調に稼働し、問題なく覆工コンクリートの施工が可能であることが確認できた。写真-4に覆工コンクリートの出来栄を示す。若干の色むらはあるものの 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はなく綺麗な出来栄となった。

4. おわりに

本システムの実規模レベルでの実現性を確認できた。今後は、美観の向上も含めた制御パラメータの最適化を図る。

参考文献

- 1) 堂山修治, 竹下正一, 堤 英彰, 城澤道正: i-Construction(建設現場の生産性革命)の推進と建設現場の安全性の向上に向けて, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol.73, No.2, pp.1-1-1_6, 2017.
- 2) 松本修治, 佐藤崇洋, 坂井吾郎, 手塚康成, 青柳隆浩, 西岡和則: 山岳トンネルにおける覆工用高流動コンクリートの適用実績, トンネル工学報告集, 第 27 巻, 1-17, 2017.11.

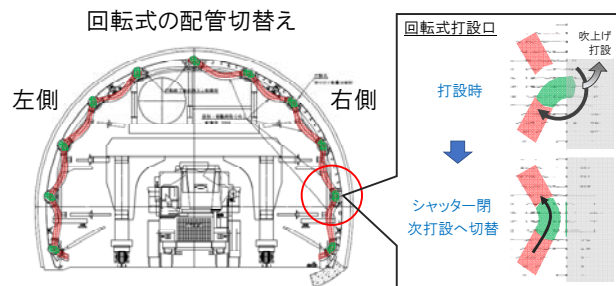


図-2 新しい打設配管システム



写真-1 新しい打設配管システムの装置



写真-2 配管系統の高速切替え装置



写真-3 打設制御システムのモニター画面

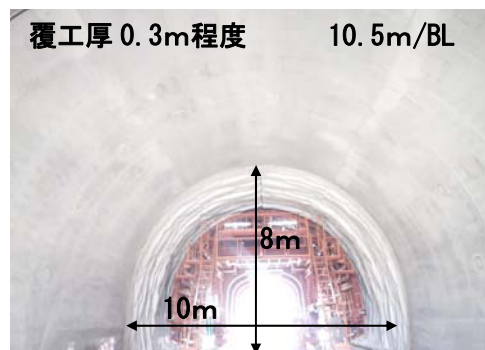


写真-4 覆工コンクリートの出来栄