

## トンネル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

鹿島建設(株) 正会員 ○市場大伍 松本修治 日野博之 手塚康成 青柳隆浩

### 1. はじめに

筆者らは覆工用高流動コンクリートを用いて、人力による圧送管の切替えを無く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ている。本稿では、実規模の模擬トンネルに覆工用高流動コンクリートの自動打設システムを適用した実績について報告する。

### 2. 自動打設システムの概要

自動打設システムは、(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つで構成され、コンクリートポンプの圧送信号と(2)、(3)、および(4)をリンクさせることにより、アジテータ車の入替え時以外では、人の手を全く介さずに、打上げ高さを左右均等に自動で調整しながら、型枠延長の中央から全断面を吹上げてコンクリートを打設するシステムである。

### 3. 自動打設システムの打設計画および稼働実績

トンネル断面が内空幅 10m、内空高 8m、覆工厚 0.3m 程度となる実規模の模擬トンネルに、覆工用高流動コンクリートを自動打設システムにて打込みを行った。

#### (1) 自動打設システムの制御パラメータの設定

自動打設システムは、事前に自動制御パラメータ（打設口の切替え高さ、左右の配管切替え時期）の設定を行う必要がある。打設口の切替え高さは図-1 に示す打設口の上部の検知センサが反応すると自動で打設口が切り替わるようにし、左右の配管切替えは、左右の打込み高さの差が 20cm 以下となるようにポンプ車のストローク回数により設定した。また、本適用実績では、流動性の高い覆工用高流動コンクリートを用いていることから、理論吐出量  $(0.023\text{m}^3) \times 0.9 = \text{推定実吐出量 } (0.021\text{m}^3)$  とし、1, 2 段目はストローク回数を 30 回  $(0.63\text{m}^3)$ 、3 段目以上は 40 回  $(0.84\text{m}^3)$  に設定した。さらに、各段のコンクリート検知センサが反応すると、設定回数内でも自動的に左右の配管切替えを行うシステムにより、巻厚差等による左右の打込み量の違いに伴う打込み高低差を調整する。

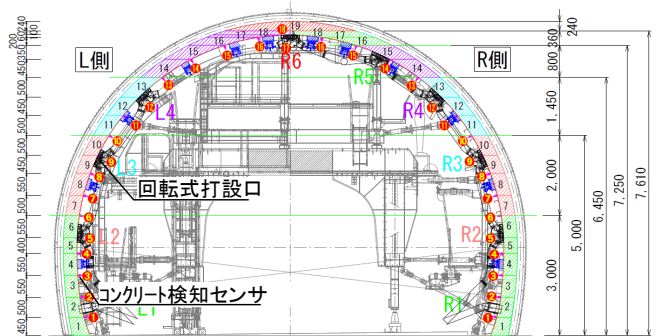


図-1 回転式打設口・コンクリート検知センサ配置図

#### (2) 打設計画および稼働実績

打込みは、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（1 段目：1.5m/h、2・3 段目：2.0m/h）から、打込み速度を計画し、配管切替え時間とアジテータ車の入替え時間を考慮してポンプの吐出量を設定した。高流動コンクリートは可能な限り流れを止めないように、低速でも打込み続けることが重要であるため、ポンプの吐出量は計画の打上がり速度で最小となるように設定した。

図-2 に経過時間と打込み量の関係を示す。計画した

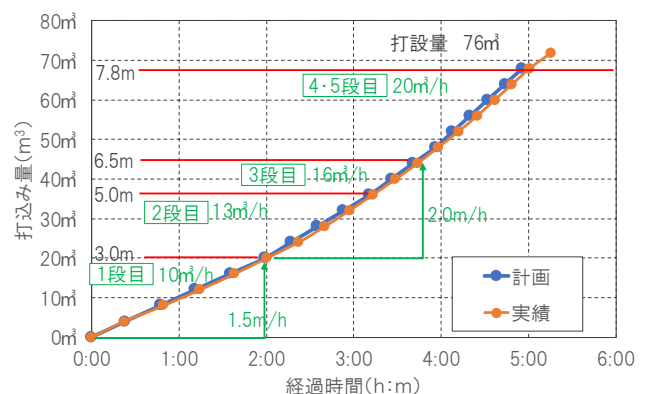


図-2 経過時間と打込み量の関係

キーワード：覆工用高流動コンクリート、締固め不要、増粘成分一液型の高性能 AE 減水剤、自動打設システム  
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)

打設時間に対し、自動打設による実績時間との差異は、各アジテータ車において5分以内であった。このことから運搬時間などを考慮したアジテータ車の配車など、打込みの進捗を予測しつつ行う煩雑な調整が不要となったため、施工管理の省力化が可能となった。また、工場の出荷管理も容易となることから、アジテータ車の待機時間もコントロールすることができた。そのため、所定のワーカビリティを有さないコンクリートが投入されるリスクが低減されることで品質確保にも寄与すると考えられる。

#### 4. 覆工用高流動コンクリートの施工実績

覆工用高流動コンクリートは、スランプフロー500～600mm程度とし、混和剤にブリーディング低減成分を含む特殊な混和剤を用いることで、単位セメント量  $400\text{kg}/\text{m}^3$  以下で締固め不要を実現するものである。また、覆工は無筋もしくは単鉄筋程度であることからU形充填高さ（JSCE-F 511-1999）は障害なしで300mm以上にした。

表-1に覆工用高流動コンクリートの使用材料および配合を示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂と山砂の2種類、粗骨材は粗骨材最大寸法25mmの川砂利を用いた。混和剤はポリカルボン酸エーテル系と増粘性高分子の化合物とブリーディング低減成分の複合体となる特殊混和剤を用いた。コンクリートの配合は、事前の室内および実験機試験での試し練りで、評価試験の目標値を満足するものを選定した。なお、スランプフロー（JIS A 1150）は全台、空気量（JIS A 1128）、U形充填高さ（JSCE-F 511-1999）、V漏斗流下時間（JSCE-F 512-2011）は、1台目だけの測定とした。

図-3にスランプフローの変動を示す。下限値近くを推移したものの、大きな変動はなく許容範囲内に収まり、安定したフレッシュ性状での製造が可能であった。空気量は4.4%、U形充填高さは平均347mm、V漏斗流下時間は、平均6.5秒と全てで目標値の範囲内であった。

写真-1に覆工用高流動コンクリートの充填状況を示す。材料分離することなく流動先端となる棲板まで流れ、隅々までほぼ水平に充填されていく状況が確認された。

写真-2に覆工コンクリートの出来栄を示す。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はなく綺麗な出来栄となった。表面気泡は、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たものと考えられる。また、流動跡は、高流動コンクリートであるため、圧入による無理な流動や充填が無くなったことにより低減したものと考えられる。

#### 5. おわりに

覆工用高流動コンクリートの自動打設システムにより無人化が実現できることと作業員の技量に依らず一定品質が確保できることが確認できた。今後、セントルセットから打設、養生に至るすべての工程を自動で行う統合システムの構築を目指す。

#### 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.1-1-6, 2017

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 <sup>3</sup> )	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					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  $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ , S1:川砂, 表乾密度  $2.63\text{g}/\text{cm}^3$ , S2:山砂, 表乾密度  $2.66\text{g}/\text{cm}^3$ , G:砂利, 密度  $2.66\text{g}/\text{cm}^3$ , VSP:特殊混和剤

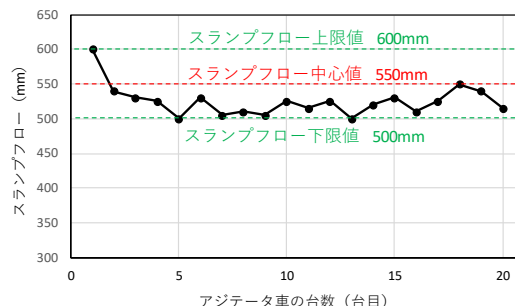


図-3 スランプフローの変動

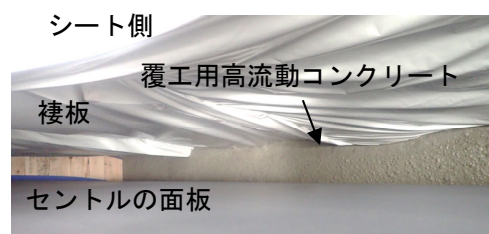


写真-1 コンクリートの充填状況

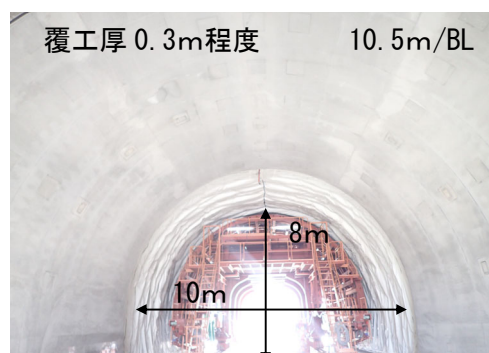


写真-2 覆工コンクリートの出来栄