

中流動覆工コンクリート自動締固めシステムの適用性

中日本高速道路株式会社 東京支社 秦野工事事務所 山邊 恵太
 清水建設株式会社 高取山トンネル西工事 正会員 久保 則雄 大矢 剛大 白井 隆裕
 清水建設株式会社 高取山トンネル西工事 正会員 大坪 宏行 垣見 康介 福田 毅
 清水建設株式会社 正会員○中田 圭祐 小池 悠介

1. はじめに

NEXCO 3 社の制定する「トンネル施工管理要領」は、トンネル覆工の品質向上と施工性改善を目的として、流動性、材料分離抵抗性に優れた中流動コンクリートを用いて、移動式型枠(セントル)に取り付けた型枠バイブレータにより締固めを行うことを標準としている。筆者らは、このような背景を踏まえ、より一層の品質の均一化、生産性の向上を目的として、型枠バイブレータを PC システムで一括制御した自動締固めシステムの開発を行っている。

湯浅御坊道路川辺第一トンネルでは、トンネル上半部を対象に型枠バイブレータによる自動締固め技術を開発し、締固め方法をパターン化し、本システムの有効性とコンクリートの品質を確認した。本報告では、新東名高速道路高取山トンネル西工事(内空断面積:約 80m², トンネル延長 1,573m)において、下半部も含めたトンネル全周において型枠バイブレータを一括制御し、施工を行った。覆工施工パラメータに関する基本データとその特性が得られたので報告する。

2. 中流動覆工コンクリート自動締固めシステムの概要

本システムの概要図を図-1 に示す。本システムは、セントルに配置された 60 台(12 台/断面×5 断面)の型枠バイブレータを集中制御することにより、コンクリートの打込み高さに合わせて自動的に締固めを行うシステムである。締固め手順は、セントル中央に配置されたコンクリートセンサにより、所定の高さまでコンクリートが打ち上がると、ポンプ車のコンクリート圧送が自動停止し、型枠バイブレータが自動的に稼働して締固めを行う機構である。型枠バイブレータは、コンクリートが均一に締め固まるように、あらかじめ試験施工にて配置を定めた。締固めに必要な振動エネルギーが確実に投入されていることをモニタリングするために、最も振動エネルギーが小さくなる型枠バイブレータ間の中央に加速度センサを配置した。また、図-2 のように、本システムでは施工状況を可視化し、ワンマンでタブレットやセントルに備え付けた PC 画面で確認しながら自動制御打設を行った。

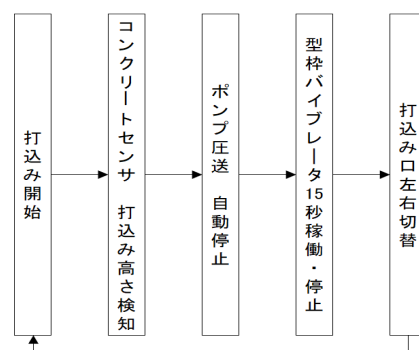
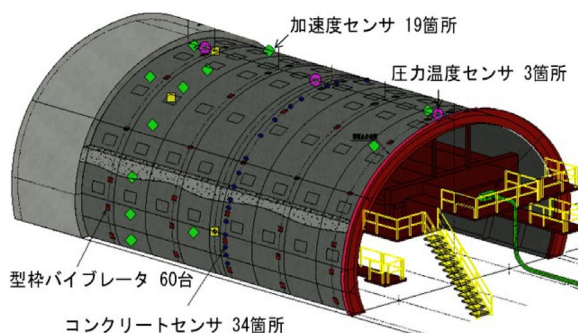


図-1 自動締固めシステムの概要



図-2 覆工自動施工システムメイン画面

キーワード 山岳トンネル, 覆工コンクリート, 自動締固め, 中流動コンクリート, 振動エネルギー
 連絡先 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社 地下空間統括部 TEL.03-3561-3887

3. 締固めエネルギーと覆工コンクリートの性能評価

表-1にコンクリートの示方配合、表-2に配合決定のための結果と基準を示す。NEXCO トンネル施工管理要領²⁾に準拠して配合計画し、フレッシュ性状が良好であった配合を採用した。

締固めに必要な振動エネルギーとコンクリートの品質の相関関係を把握する目的で加速度測定を行い、投入された振動エネルギーを定量的に把握するように努めた。また、コンクリートの品質を評価するために、材齢28日を経過した覆工コンクリートに対して透気試験、および強度特性を評価する非破壊圧縮強度試験を実施し、自動締固めシステムの適用性を評価した。

図-3に型枠バイブレータ最下段に設置した加速度センサで取得した振動エネルギーと締固め回数の関係を示す。各回の振動エネルギーの平均値は、最適振動エネルギーとされる3.7J/L程度であり、試験施工どおりの締固めができています。背面のコンクリート流動により局所的に高いエネルギー値を示す場合もあるが、有害なひび割れを引起す材料分離は確認されなかった。

図-4に覆工コンクリート表層の透気試験結果を示す。型枠バイブレータの配置上、最も投入されるエネルギーが小さくなる位置(型枠バイブレータ間の中央、SL下1m)のラップ側、中央、妻側の3カ所を対象に、全17スパンにおいて試験を行った。

透気係数 k_t の平均値は $0.18 \times 10^{-16} \sim 0.21 \times 10^{-16} m^2$ で分布し、概ね縦断方向に同程度の値となった。すなわち、覆工コンクリート表層の緻密性および均一性は十分に確保できていると言える。

図-5に非破壊圧縮強度試験結果を示す。透気試験と同じ箇所ですべての測点で材齢28日後における供試体の推定強度の85%以上であり、十分な強度を有している。また、透気試験同様、縦断方向の推定強度のばらつきは1 N/mm²程度と小さいため、強度の均一性も確保されていると言える。

4. まとめ

中流動覆工コンクリート自動締固めシステムを用いて、中流動コンクリートの締固めを行い、コンクリートの品質試験を実施し、システムの性能評価を行った。本報告で着目したトンネル下半部のコンクリートは、品質上問題はなく、十分な締固めができていたことを確認した。今後は、配合や施工条件の異なる中流動覆工コンクリートにも本システムを適用し、多くの施工実績を蓄積するとともに、その有効性を確認する予定である。

参考文献

1) 信永, 山中, 木村, 山本: 中流動覆工コンクリートの打込み締固め方法をパターン化―湯浅御坊道路川辺第一トンネル―, トンネルと地下7月号, Vol.49, No.7, pp.35-44, 2018.
2) 東・中・西日本高速道路株式会社: トンネル施工管理要領, pp.41-48, 2017.7.

表-1 示方配合と使用材料

W/C (%)	細骨材 (%)	単位量(kg/m³)						
		C	W	S ₁	S ₂	G	SP	PP
50.0	50.0	350	175	621	257	892	3.675	2.73
C	普通ポルトランド			W	上水道水			
S ₁	砕砂			S ₂	山砂			
G	砕石2005			SP	高性能AE減水剤遅延型 (増粘剤一液タイプ)			
PP	ポリプロピレン繊維							

表-2 配合決定のための結果と基準

	結果	基準
材齢28日圧縮強度(N/mm ²)	40.5	24
粗骨材最大寸法(mm)	20	20
スランプ(cm)	22	21±2.5
スランプフロー(cm)	38.8	35~50
空気量(%)	4.1	4.5±1.5
加振変形試験(cm)	11.5	10±3
U型充填性高さ(mm)	320	280以上
繊維混入率(%)	0.3	0.3以上

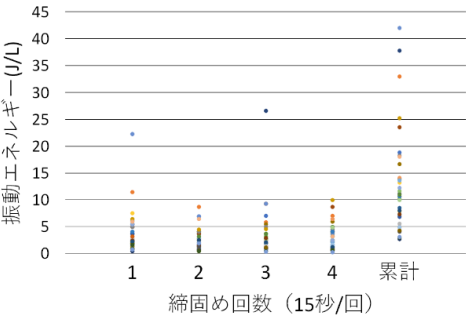


図-3 締固め回数と振動エネルギー

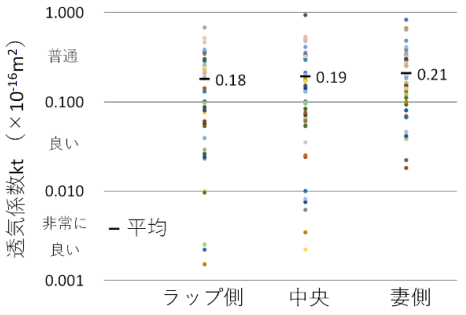


図-4 覆工コンクリート表面の透気係数

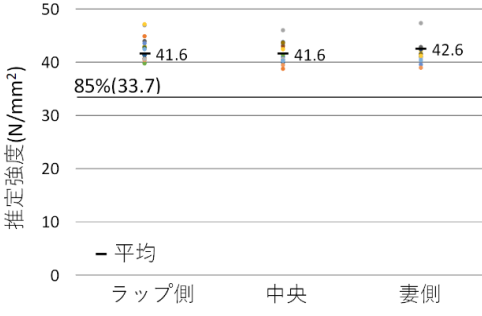


図-5 覆工コンクリートの推定強度