

低セメント量の高流動コンクリートのトンネル覆工への適用

国土交通省 東北地方整備局 南三陸国道事務所
(株)大林組 吉浜釜石道路JV工事事務所
(株)大林組 技術本部技術研究所

正会員 手間本 康一
正会員 ○泉水 大輔
正会員 中嶋 祐里
正会員 桜井 邦昭

1. はじめに

トンネル覆工は、狭隘な空間内にコンクリートを打ち込む必要があり充填が難しい。このため、充填確保と品質向上が強く求められており、中流動コンクリート等が開発・実用化され、締固め作業を簡略化しつつ、高品質な覆工が構築できるようになってきた。しかし、締固め作業を完全には排除できないため、作業員数の低減には至っていないのが現状である。

一方で、将来的な作業員の高齢化や人員不足、建設分野における作業員離れを改善するため、国交省では生産性向上（i-Construction）を提唱しており、高流動コンクリートの適用拡大を一方策として挙げている。しかし、高流動コンクリートは一般的に単位セメント量を増やす必要があり、材料コストや温度ひび割れの発生リスクの増大が、普及を妨げている一因である。

本稿では、新規の特殊増粘剤を用いることで、普通コンクリートと同等のセメント量のまま、高い流動性と自己充填性を有する低セメント量の高流動コンクリート（以下、新規の高流動コンクリートという）を開発し、トンネル覆工に初適用した結果について述べる。

2. 実構造物への適用

2. 1 高流動コンクリートの配合と品質

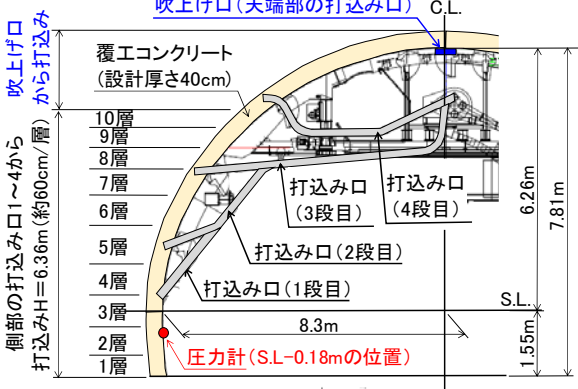
採用した高流動コンクリートの配合を配合選定時の品質試験結果と合わせて表－1に示す。施工した覆工が無筋構造物のため、自己充填性はランク3とした。

特殊増粘剤と汎用品の高性能AE減水剤を用いることで従来の覆工コンクリートとほぼ同等のセメント量で自己充填性を有する高流動コンクリートが製造できた。ブリーディング率は従来の覆工コンクリートに対し半減でき、圧縮強度の発現性は同等であった。

2. 2 実施工の概要

新規の高流動コンクリートは、国道45号吉浜釜石道路工事（国土交通省東北地方整備局発注）の唐丹第2トンネル（仮称）で適用した。コンクリート1バッチの練混ぜ量は2m³とし、2バッチ製造してアジテータ車に積み込んで施工現場まで運搬した（運搬時間は約30分）。特殊増粘剤は、あらかじめ1m³当たりの添加量（60g/m³）を水溶紙に梱包し、他の材料の投入と同時に実機ミキサに投入した。

打込み概要を図－1に示す。コンクリートの打上りに合わせ、打込み口を順次上方に移動し、打上がり速度は通常の施工と同様に標準的な約1.5m/hとした。



図－1 コンクリートの打込み概要

施工時の品質試験結果を表－2に示す。いずれも目標値を満足しており、新規の高流動コンクリートが市中の生コン工場で安定的に製造できることを確認した。

表－2 荷卸し時の品質試験結果

項目	単位	目標とした品質	試験回数	試験結果	
				平均値	偏差
充填高さ(ランク3)	cm	30以上	7	34.8	0.45
スランプフロー	cm	60±10	12	62.1	1.36
500mmフロー到達時間	秒	3～15	12	4.3	0.71
空気量	%	5.5±1.5	12	5.9	0.45
圧縮強度	N/mm ²	24以上	3	36.2	0.51

表－1 高流動コンクリートの配合と配合選定時の品質試験結果

配合種類	配合											品質試験結果								
	自己充填性の ランク	目標 スランプ フロー (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位粗 骨材絶対 対容積 (L/m ³)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)	特殊 増粘剤 (g/m ³)	スラン プ フロー (cm)	500mm フロー到 達時間 (秒)	充填高さ (ランク3) (cm)	漏斗 流下 時間 (秒)	空気 量 (%)	ブリー ディン グ率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	
							W	C	S	G									材齢 24時間	材齢 28日
従来の覆工 (24-18-20BB)	—	SL18	4.5	57.1	55.6	309	165	289	1035	836	WR 0.9	—	SL 18.5	—	16.8	—	5.2	2.4	3.6	41.9
新規の高流動 コンクリート	ランク3	60	5.5	55.0	54.0	310	170	309	973	839	SP 1.3	60	57.5	4.3	33.9	11.8	4.7	1.2	3.4	41.7

C: 高炉セメントB種, S: 山砂(65%) + 砕砂(35%), G: 砕石2005, WR: AE減水剤(高機能タイプ), SP: 高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)

キーワード 生産性向上, 高流動コンクリート, トンネル覆工, 作業環境の改善

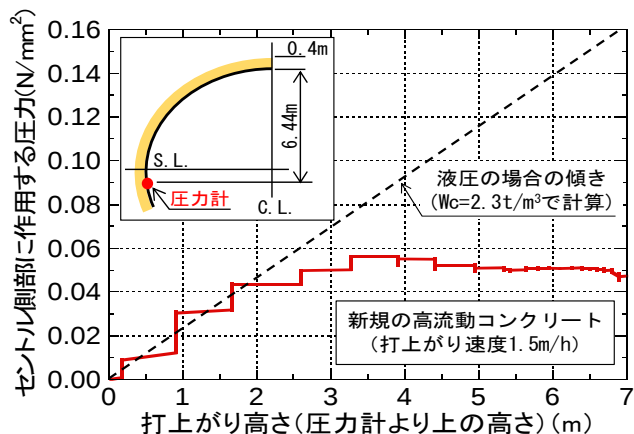
連絡先 (株)大林組 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟 TEL: 03-5769-1319

高流動コンクリートは側壁部および天端部とも型枠の隅々まで容易に流動し充填できていた（写真－１）。

セントル下端付近に圧力計を設置して、打上がりに伴う側圧を測定した。測定結果を打上がり高さとの関係で整理して図－２に示す。側圧の最大値は約 0.055N/mm^2 で、中流動コンクリート（スランプフロー 35～50cm）での施工実績と同程度であった。一般に、高流動コンクリートを用いる場合は側圧を液圧として考慮する必要があるが、トンネル覆工のように打上がり速度が比較的小さい場合には、打上がり高さの全高に相当する液圧ほどの側圧は生じないと考えられる。



写真－１ コンクリート流動状況（側部・天端部）



図－２ セントルに作用する側圧の測定結果

2. 3 生産性向上に関する検証

高流動コンクリートによる生産性向上の効果を検証するため、同一断面を表－１に示す従来の覆工コンクリートを用いて施工した場合と比較した（表－３）。

施工に要する時間はいずれも約 7.5 時間と同等であった。従来の覆工コンクリートは、1 スパン当たりのバイブレータによる締固め時間は合計 960 分（16 時間）であった。このことから、高流動コンクリートの採用により打込み作業における作業員数を従来の 5～6 名体制から 2 名程度（30%程度）は削減できると考える。

また、セントル内でバイブレータによる締固め作業を行っているときの騒音は約 95dB と大きいですが、高流動コンクリートを採用した場合、セントル内にはコンクリートポンプによる圧送音が生じているだけで騒音は 75dB（人体損傷の安全域）まで低減され、作業環境も大幅に改善できることが検証できた。

表－３ 生産性向上の検証結果

項目	従来の覆工コンクリート	新規の高流動コンクリート
施工時間	7時間20分	7時間40分
施工数量	130m ³	132m ³
バイブレータによる締固め作業時間	960分 (16時間)*1	なし
セントル内の騒音	95dB	75dB

*1 締固め作業に従事した作業員(5名)の合計時間

2. 4 トンネル覆工の仕上がり

新規の高流動コンクリートにより構築した覆工の脱型後の仕上がりは、あばたや充填不良が認められず良好であった（写真－２）。また、覆工の側壁部と天端部にて、テストハンマーによる反発度とトレント法による透気係数を測定した。測定結果を表－４に示す。

新規の高流動コンクリートで施工した覆工の表層品質は、水セメント比のほぼ等しい従来の覆工コンクリートと同等であった。新規の高流動コンクリートを用いることで、締固め作業を行うことなく、均質なトンネル覆工が構築できることを示す結果と考えられる。



写真－２ 新規の高流動コンクリート仕上がり

表－４ 表層品質の測定結果

コンクリートの種類	テストハンマーによる反発度(－)						トレント法による透気係数kT($\times 10^{-16}\text{m}^2$)					
	側壁部			天端部			側壁部			天端部		
	既設側	スパン中央	妻側	既設側(吹上)	スパン中央	妻側	既設側	スパン中央	妻側	既設側(吹上)	スパン中央	妻側
従来の覆工コンクリート	35.9	36.5	35.7	38.0	38.4	38.0	0.48	0.15	0.78	0.16	0.52	0.34
新規の高流動コンクリート	39.2	39.1	38.1	39.3	39.0	38.8	0.51	0.66	0.52	0.18	0.33	0.26

3. まとめ

低セメント量の高流動コンクリートを道路トンネルの覆工コンクリートに適用することで、均質なトンネル覆工を構築できることが確認できた。

また、高流動コンクリートを適用することで、締固め作業が排除され、作業員数を低減できるとともに作業環境も改善することができた。