

増粘剤を用いた中流動コンクリートのトンネル覆工への適用検討 (その3 天端部模擬型枠実験)

(株)大林組 正会員 ○藤見 晶 正会員 秋好 賢治 正会員 磐田 吾郎
(株)大林組 正会員 近松 竜一 正会員 桜井 邦昭 正会員 谷口 信博

1. はじめに

トンネルの覆工は、狭隘な空間内でコンクリートの打込み、締固めを行うため、締固め不足によるジャンカや充填不足による背面空洞など施工に起因した初期欠陥が生じ易い。このため、トンネル覆工の施工性改善と品質向上を目指した中流動コンクリートの採用が注目されている。中流動コンクリート（以下、MPC (Middle Performance Concrete) と呼称）は、材料分離抵抗性を確保する手法の違いにより粉体系（セメントやフライアッシュ、石灰石微粉末などの混和材を用い単位粉体量を増加）と増粘剤系（増粘剤を混和）に分けられるが、粉体系はセメント量増加による温度ひび割れ発生リスクの増大、混和材の供給時に専用サイロや計量器の増設等の問題が生じる。そのため、増粘剤系MPCの普及および実用化が望まれている。

本稿では、増粘剤系MPCの実用化に向けて、実施工を想定した施工実験を行い、増粘剤系MPCの施工状況および充填後のコンクリートの品質についての検証結果を報告する。

2. 天端部模擬型枠による施工実験

(1) コンクリートの要求性能および配合

本実験で使用した増粘剤系MPCの要求性能¹⁾を表-1に、コンクリート配合を表-2に示す。増粘剤系MPCには表-1の性能を満足することを確認した配合を用いた。基本配合コンクリートは、各発注機関の仕様書に示される標準的な配合条件である水セメント比60%以下、単位水量175kg/m³以下、単位セメント量270kg/m³以上、スランプ15±2.5cm、空気量4.5±1.5%を満足する配合を用いた。

表-1 中流動コンクリートの要求性能

設計基準強度(σ ₂₈) (N/mm ²)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	加振変形量 (cm)	U形充てん高さ (障害なし) (cm)
18	35~50	4.5±1.5	10±3 (10秒加振後のスランプフローの広がり)	28以上

表-2 コンクリートの配合

コンクリート種類	W/B (%)	s/a (%)	V _g (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)					混和剤(c×%)	
				W	C	S1	S2	G1	WR	VA
基本配合	57.4	48.5	0.35	174	303	650	213	939	1.2	0
増粘剤系	57.4	56.9	0.30	174	303	764	251	782	0	1.3

WR: AE減水剤 VA: 増粘剤成分含有高性能AE減水剤

(2) 天端部模擬型枠の概要とコンクリート打設方法

実験には、標準的なトンネル覆工の天端部形状を模擬した実物大の型枠（写真-1）を用いた。コンクリートの打設は、実施工を模擬して、4tコンクリートポンプ車にて圧送（輸送管径5A、輸送管水平換算距離33m）し、締固め器具には型枠振動機（出力400W 天端部下面3台）を用いた（写真-2）。コンクリートの打込みは、模擬型枠天端部の吹上げ口より行い、既往の知見^{1), 2)}からコンクリート自身で流動した後に型枠振動機を15秒間振動させ、コンクリートが流動先端部（吹上げ口の反対側妻部）の上に設置した開口部から吹き上がりを確認後、打設を終了した。打設後の試験体は、ブルーシートで覆い材齢5日まで養生した。



写真-1 天端部模擬型枠の外観



写真-2 コンクリート打設状況



キーワード 中流動コンクリート、増粘剤、トンネル、覆工コンクリート、流動性、充てん性

連絡先 〒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

(3) コンクリート打設時の品質確認と脱型後のコンクリート試験体の調査

コンクリート打設時の品質確認として、圧送中のコンクリートの性状観察、コンクリート流動前後の粗骨材量の測定および強度比較を行った。試験概要を表-3に示す。脱型した試験体の調査として、コンクリート充填状況を確認する外観調査とテストハンマーによる反発度測定およびコア採取による強度試験を行った。

3. 実験結果と考察

(1) コンクリートの品質確認

コンクリート打設は従来の設備で行ったが、圧送中の輸送管の異常や材料分離は確認されなかった。

流動前後の粗骨材量の変化量および圧縮強度試験結果を表-4に示す。増粘剤系MP Cの粗骨材量変化率は、基本配合の89%に比べ93%と割合が多く、増粘剤系MP Cは材料分離が生じにくい結果を得た。供試体による圧縮強度はいずれも顕著な違いは認められなかった。

(2) 脱型後のコンクリート試験体の調査

脱型後のコンクリート試験体の外観を写真-3に示す。実施工時の仕上り面に相当する下面(表面側)は、いずれの場合も良好な仕上りであった。上面(地山側)では、吹上げ口および流動先端部であばたが生じたが、増粘剤系MP Cの場合は、極めて少なく、覆工背面にも空隙が生じにくいことを確認した。

試験体各部位の反発度測定結果を表-5に示す。測定は各6点行い、その平均値を求めた。基本配合に比べ、増粘剤系MP Cは、各測定箇所での値のばらつきが小さく、打込み箇所と流動先端部での反発度の差もほとんど生じていなかった。

コア圧縮強度試験結果を表-6に示す。コアは半径方向3箇所(中央部、左右)および縦断方向3断面(中央部、両妻部)の計9箇所にて試験体より採取し、断面ごとに平均値を求めた。いずれの断面でも基本配合と同等以上の強度が得られた。

4. まとめ

増粘剤系MP Cの実用化に向けて実験的に検討した。得られた知見を以下に示す。

- ①増粘剤系MP Cは、現状の覆工施工と同様の設備でコンクリートを圧送できる。
- ②増粘剤系MP Cは、従来のコンクリートでは充填が難しい地山側にも良好に充填でき、背面空隙が生じにくい。
- ③増粘剤系MP Cで打設した天端部模擬試験体は品質のばらつきが小さく、均質なトンネル覆工を構築できる。

参考文献

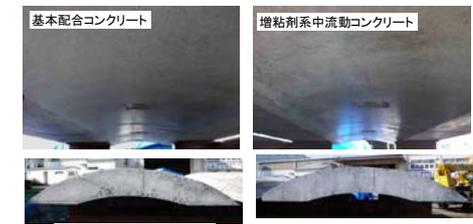
1) 東・中・西日本高速道路株式会社；トンネル施工管理要領「中流動覆工コンクリート編」、2008.8
 2) 中間祥二他；中流動コンクリートを用いたトンネル覆工の施工—北海道横断自動車道久留喜トンネル—コンクリート工学、Vol. 48、No. 6、pp. 25-30、2010.6

表-3 流動前後の品質試験

試験方法の概要	
粗骨材量の変化率	①エアメータ容器(約7L)にコンクリート試料を採取する。 ②コンクリート試料を9mmふるいでふるう。 ③ふるいに残留した試料を洗い、粗骨材を取り出す。 ④粗骨材表面の水分をふき取り、表乾状態として質量を測定する。 粗骨材量の変化率(%) = $\frac{\text{流動先端で採取した試料中の粗骨材量}(g)}{\text{打込み前に採取した試料中の粗骨材量}(g)} \times 100$
圧縮強度比	①流動先端および打込み前のコンクリート試料を採取し、円柱供試体(φ100×200mm)を各3本作成する。 ②材齢28日まで標準養生(20°C・水中)した後、JIS A 1108に準じて圧縮強度試験を実施する。 圧縮強度比(%) = $\frac{\text{流動先端で採取した試料の圧縮強度}(N/mm^2)}{\text{打込み前に採取した試料の圧縮強度}(N/mm^2)} \times 100$

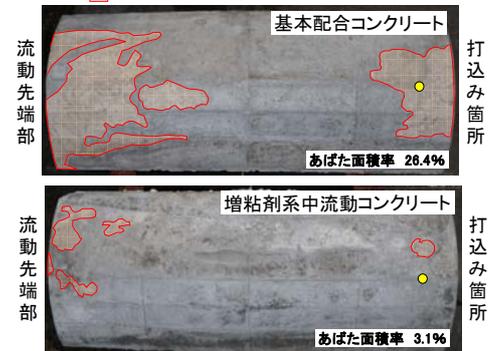
表-4 流動前後のコンクリート品質試験結果

コンクリートの種類	流動前後の粗骨材量変化率(%)	流動前後の圧縮強度比(%)
基本配合	89.2	100.5
増粘剤系中流動コンクリート	93.2	100.6



(a) 下面(覆工の仕上り面の表面側に相当)

あばた発生部分 吹上げ口



(b) 上面(覆工の背面の地山側に相当)

写真-3 脱型後の試験体の外観状況

表-5 反発度測定結果

コンクリートの種類	基本配合のコンクリート				増粘剤系中流動コンクリート			
	表面側(下面)		地山側(上面)		表面側(下面)		地山側(上面)	
測定位置	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端
平均値	35.5	33.4	35.9	33.0	35.9	35.5	34.9	35.3
最大値	36.1	35.7	37.5	36.0	36.6	36.6	35.6	35.9
最小値	34.0	31.9	33.2	31.0	34.9	34.5	33.9	34.2
標準偏差	1.0	1.8	2.0	1.9	0.7	0.9	0.6	0.6
打込み箇所と流動先端の差	2.1		2.9		0.4		-0.4	

表-6 コアによる圧縮強度試験結果

コンクリートの種類	吹上げ口付近(N/mm ²)	試験体中央部(N/mm ²)	流動先端部(N/mm ²)
基本配合	39.1	37.5	34.5
増粘剤系中流動コンクリート	40.7	38.9	37.9
強度比率(%)	104.1%	103.7%	109.9%

※強度比率=増粘剤系中流動コンクリート圧縮強度/基本配合圧縮強度