

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

藤見 晶¹・秋好 賢治²・谷口 信博³・西浦 秀明²
磐田 吾郎²・近松 竜一⁴・桜井 邦昭⁵

¹正会員 大林組 生産技術本部 トンネル技術部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2）

²正会員 工修 大林組 生産技術本部 トンネル技術部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2）

³正会員 工修 大林組 第二東名雁峰工事事務所（〒441-1351 愛知県新城市稲木1469）

⁴正会員 工博 大林組 技術研究所 生産技術研究部（〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640）

⁵正会員 工修 大林組 技術研究所 生産技術研究部（〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640）

トンネル覆工は狭隘な作業空間内の作業のため、充てん不足や締固め不足による施工に起因した初期欠陥が生じやすい。このためトンネル覆工の施工性改善や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には、材料分離抵抗性を確保する手段の違いにより、フライアッシュや石灰石微粉末を混入した粉体系と増粘剤を混入した増粘剤系に分けられる。粉体系は、混和材の供給において専用サイロの設置や計量器の増設等の実施工での問題が発生する。そこで、増粘剤系中流動コンクリートの適用が求められている。上記現況を踏まえて、増粘剤系中流動コンクリートの品質確認と実施工への適応性を検討した。

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, 充てん性

1. はじめに

トンネル覆工は、狭隘な作業空間内でコンクリートの打設、締固め作業を行う必要があり、その特殊性によりアーチ形状の天端部は吹上げ口からのコンクリートの供給となる。上記のような厳しい施工条件のため、充てん不足による背面空洞や締固め不足によるジャンカの発生等の施工に起因した初期欠陥が生じやすい。

このため、スランプで流動性を管理する従来の覆工コンクリートに代わり、スランプフローで流動性を管理する中流動コンクリートを採用し、トンネル覆工の施工性改善や品質向上を確保できる材料および施工技術の開発が望まれている。

東・中・西日本高速道路株式会社では、トンネル覆工の省力化と品質向上を目的として、「中流動覆工コンクリート」を新たにトンネル施工管理要領（以下、施工管理要領と呼称）に取り入れている¹⁾。

施工管理要領に示される中流動コンクリートは、スランプフローや空気量のほか、U形充てん高さや加振変形試験により施工時のコンクリートの流動性

を担保するための要求性能を規定したコンクリートである。また、減水効果の大きい減水剤の使用により高い流動性を確保するとともに、セメントやフライアッシュ、石灰石微粉末などの粉体系の混和材を用い標準的に単位粉体量を350kg/m³程度以上とすることで、材料分離抵抗性を確保している。しかし、セメント量増加による温度ひび割れ発生リスクの増大や混和材の供給において専用サイロの設置や計量器の増設等の実施工での問題が発生する。

そこで、粉体を増加させることなく増粘剤を用いて材料分離抵抗性を確保する増粘剤系中流動コンクリートの適用が求められている。

本稿では、増粘剤系中流動コンクリートの品質確認と実施工への適応性の検討を行った。

第一の検討として、東・中・西日本高速道路株式会社における施工管理要領にもとづいた要求性能を確認するとともにコンクリートの強度特性および耐久性の検証を行った。また、実機プラントおよび側壁部模擬型枠を用いて、コンクリートの経時変化に対する品質確認、側壁部型枠内での流動性および流動前後でのコンクリートの品質変化の検証を行った。

第二の検討として、使用材料（骨材・セメント）の違いが中流動コンクリートの品質に与える影響を検証した。また、実際の打設状況を想定した実施模擬配管と天端部模擬型枠を用いて、コンクリート打設時の施工状況の確認、天端部型枠内での流動前後における品質変化の検証、脱型後のコンクリート試験体の外観調査およびコア圧縮強度試験による強度特性の確認を行った。

2. 増粘剤系中流動コンクリートの品質検証

(1) 中流動コンクリートの要求性能

既往の知見^{2),3),4)}より、表-1の要求性能を満足するコンクリートを用いることで、密実な覆工を構築できることが確認されているため、本研究でも、中流動コンクリートの目標性能として、その各値を用いることとした。ここで、加振変形量とは、3.7J/Lの振動エネルギーを作用させた際のスランブフローの変化量のことであり、振動作用下における中流動コンクリートの変形性状を評価するものである。加振変形試験の概要を写真-1に示す。本試験は、装置下面に設置した棒状パイプレタを10秒間振動させることにより平版面全体に3.7J/Lの振動エネルギーが作用するように設定されている。U形充てん高さとは、JSCE-F511「高流動コンクリートの充てん装置を用いた間隙通過試験方法（案）」のうちU形容器を用いた障害鉄筋のない場合（ランク3）の試験により充てん性を評価するものである。なお、これらの試験方法は、施工管理要領の試験法733-2008として規格化されている。

(2) コンクリートの配合と使用材料

コンクリートの配合と使用材料を表-2, 3に示す。標準的に覆工コンクリートに使用される基準配合をNo.1に設定した。基本配合の配合条件として各発注機関の仕様書に示される水セメント比60%以下（無筋コンクリート構造物の場合）、単位水量175kg/m³以下（粗骨材の最大寸法20もしくは25mmの場合）、単

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)	スランブフロー (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 スランブフロー の広がり)	28以上



写真-1 加振・変形試験の概要

表-3 使用材料

種類	記号	物理的性質など
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm ³
フライアッシュ	FA	JIS II種相当品、密度2.25g/cm ³
シリカ質微粉末	SF	ジルコニア起源、密度2.40g/cm ³ 比表面積87000cm ² /g、平均粒径1μm
細骨材	S	勇弘産陸砂 表乾密度2.68g/cm ³ 、吸水率1.60%、粗粒率2.64
粗骨材	G1	勇弘産砂利(容積比35%) 最大粗骨材寸法25mm 表乾密度2.66g/cm ³ 、吸水率0.88%、実積率66.9%
	G2	由仁産砕石(容積比65%) 最大粗骨材寸法20mm 表乾密度2.65g/cm ³ 、吸水率1.84%、実積率59.1%
混和剤	WR	AE減水剤(リグニンスルホン酸)
	SP	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸)
	VA	増粘剤成分含有高性能AE減水剤 (ポリカルボン酸系化合物 増粘剤はグリコール系)
	AE	AE助剤(変性アルキルカルボン酸化合物)

位セメント量270kg/m³以上、スランブ15±2.5cm、空気量4.5±1.5%とした。基準配合をもとに、フライアッシュ(FA)を混入した粉体系中流動コンクリート(No.2)、増粘剤を混入した増粘剤系中流動コンクリート(No.3)、ブリーディングの低減を目的として増粘剤系中流動コンクリートにシリカ質微粉末(SF)⁵⁾を5kg/m³混入した配合(No.4)の4種類にて検討を行った。配合No.3およびNo.4では、増粘剤成分を含有した高性能AE減水剤(JIS A 6204適合品)を使用した。また、配合No.4で用いたシリカ質微粉末は、平均粒径が1μm程度で、標準的なシリカフュームと比べ10倍程度粗い粉末である。

表-2 コンクリートの配合と室内試験におけるフレッシュコンクリートの品質試験結果

No.	中流動 コンクリート にする方法	W/P (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤(C+FA×%)			SF (外割) (kg/m ³)	フレッシュコンクリートの性状				
				W	P		S	G1	G2	WR	SP		VA	スランブフロー(cm)		空気 量 (%)	U形充てん高さ (cm)
					C	FA								加振前	加振後		
1	基準コンクリート	58.3	48.0	175	300	0	881	330	614	0.25	0	0	0	スランブ17.5cm		4.0	—
2	粉体(FA)増量	47.3	50.0			70	876	302	556	0	0.8	0	0	48.5	58.5	4.9	34.0
3	増粘剤混和	58.3	52.7			0	967			0	0	0.95	0	46.0	55.5	4.0	33.0
4	増粘剤+SF混和	58.3	52.7			0	967			0	0	0.95	5	45.0	56.0	4.5	33.5

(3) フレッシュコンクリートの性状確認

フレッシュコンクリートの品質試験結果を表-2に示す。いずれの配合も、表-1に示す要求性能を満足しており、加振後のモルタル分と粗骨材との材料分離は発生しなかった。

ブリーディング結果を図-1に示す。増粘剤混入配合(No.3)のブリーディング率は、標準配合に比べ1%低減している。また、SF混入配合(No.4)は、FA混入配合(No.2)と同程度まで低減できている。これは、SFの粒形が小さく表面積が大きいため、少量の混入でもブリーディングが抑制できたと考えられる。

(4) コンクリートの強度特性および耐久性の検証

圧縮強度試験結果を図-2に、中性化促進期間2ヶ月(二酸化炭素濃度5%)における中性化深さ、および塩分濃度10%の塩水に2ヶ月間浸漬させた際の塩分浸透深さの測定結果を図-3に示す。なお、各試験は2ヶ月間の標準養生(20℃水中)後に実施した。増粘剤混入配合(No.3, 4)は、材齢18時間での圧縮強度が約3N/mm²であり、型枠脱型時に必要な強度(覆工コンクリートの形状により相違するが1~2N/mm²以上)を満足しているとともに、材齢7日、28日においても標準配合と同程度の強度発現を有していることが確認できた。

増粘剤混入配合(No.3, 4)の中性化深さおよび塩分浸透深さは、標準配合と同様であり、十分な耐久性を有していることが確認できた。なお、粉体混合配合(No.2)は、フライアッシュのポゾラン反応により水和組織が緻密化したため、他の配合に比べ中性化や塩分浸透に対する抵抗性が向上したと考えられる。

3. 実機プラントおよび側壁部模擬型枠を用いたコンクリートの品質確認

(1) コンクリート品質の経時変化の検証

施工実験は、表-2の配合No.2~4の3種類について実施した。練上りからの経過時間が0, 30, 60, 90および120分後に、アジテータ車より試料を採取してスランプフローおよび空気量を測定し、その結果を図-4, 5に示す。スランプフローは増粘剤混入配合(No.3, 4)において、練り上がり120分後でも約3~4cmとわずかであり、これは増粘剤成分がスランプ保持性能を有していることを示している。一方、空気量の変化は、練り上がり120分後に1%低下する結果となった。対策として、経時変化に伴う低下分を見込んだ練り上がり時の空気量の設定が必要である。

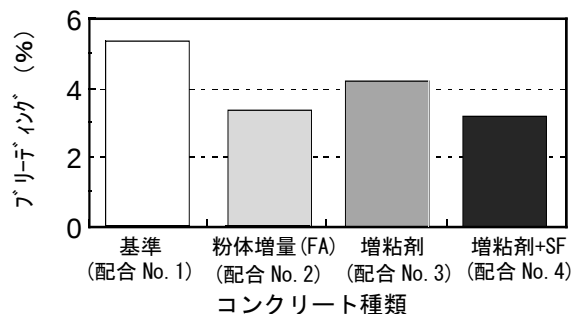


図-1 ブリーディング結果

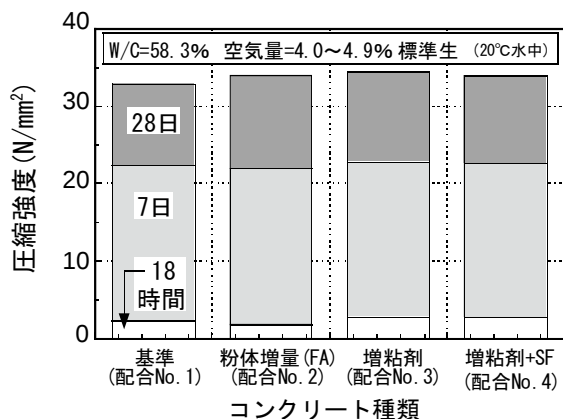


図-2 圧縮強度試験結果

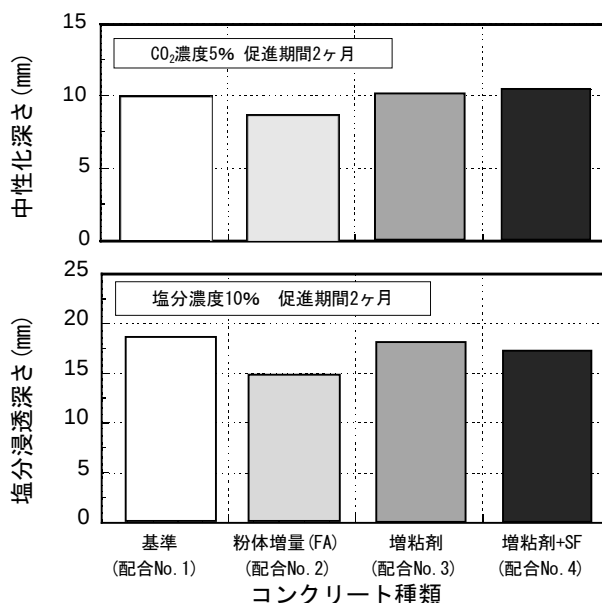


図-3 中性化深さおよび塩分浸透深さ測定結果

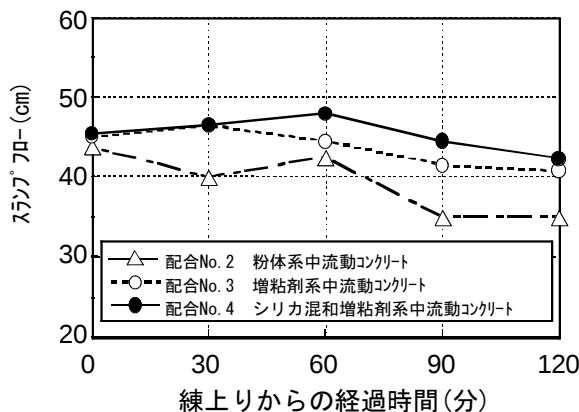


図-4 スランプフローの経時変化

(2) 側壁部模擬型枠を用いたコンクリートの流動性 確認および流動前後の品質変化の検証

a) 側壁部模擬型枠の仕様および打設方法

実験に用いた模擬型枠の概要を写真-2 に示す。標準的な覆工は、覆工厚さ 30～35cm、1 スパン長 10.5m であり、スパン中央の 1 箇所からコンクリートを打ち込むことが多いため、写真-2 に示す形状の型枠とした。また、施工管理要領を参考に、締固めは型枠パイププレートにより行うこととし、片側側面に 3m 間隔で 2 台設置した。コンクリートの打込みは、練上りから 30 分経過した時点で型枠端部よりコンクリート自身の流動性で流動するように、打設速度 5m³/h 程度で打ち込んだ。コンクリートの流動先端が、型枠端部に到達した時点で打込みを停止し、流動勾配を測定した。その後、型枠中央地点の打込み高さが 40cm になるまで再度コンクリートを打ち込んだ後、型枠パイププレートを作動させ、コンクリート上面が平滑になるまで締め固めた。作動時間は約 5 秒であった。この後、同様の手順で 2 層目のコンクリート打設を行った。

コンクリートの打設完了後に、流動先端側にてコンクリート試料を採取して圧縮強度試験用供試体を採取するとともに、洗い試験を実施してコンクリート中に含まれる粗骨材量を測定した。試験方法の概要を表-4 に示す。

b) 流動性および流動前後での品質確認

コンクリートの流動勾配を計測した結果を図-6 に示す(配合No.3)。配合No.2～4のいずれの配合も1/15～1/25程度と高い流動性を示した。流動前後の粗骨材の変化率および圧縮強度試験結果を表-5 に示す。流動前後における粗骨材量の変化は92～94%であり、圧縮強度もほぼ同等の結果となった。これは、中流動コンクリートを用いて一般的な打設方法を行っても、材料分離を起こすことなく均質なコンクリートが充てんできることを示す結果と考えられる。また、増粘剤を混入した中流動コンクリートが粉体系中流動コンクリートと同様に、高品質なコンクリートであることを示唆する結果であった。

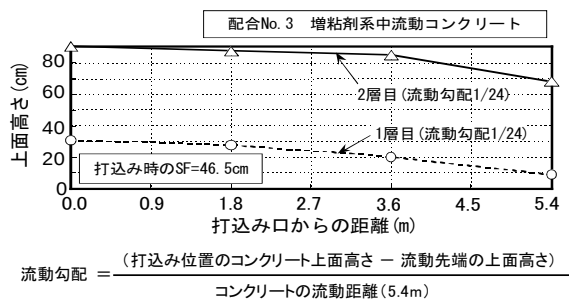


図-6 中流動コンクリート打込み時の流動勾配

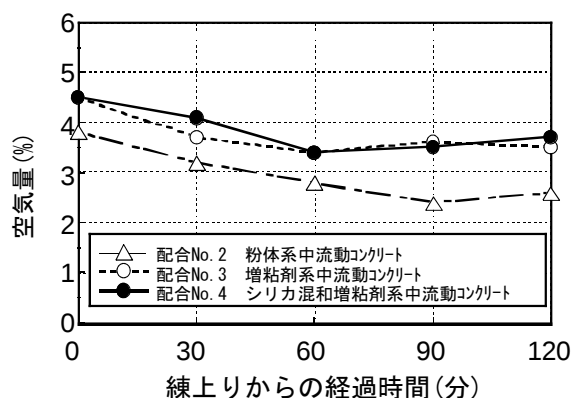


図-5 空気量の経時変化

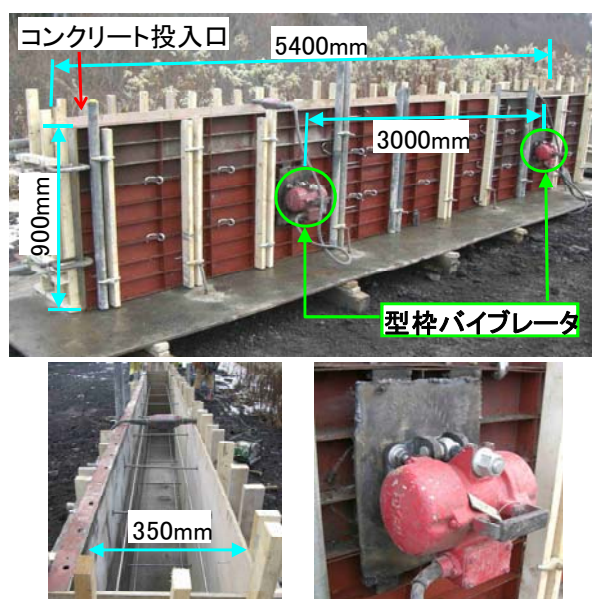


写真-2 模擬型枠および型枠パイププレートの概要

表-4 流動前後の品質変化検討の試験方法の概要

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5mm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℃・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(%) = $\frac{\text{流動先端で採取した試料の圧縮強度(N/mm}^2\text{)}}{\text{打込み前に採取した試料の圧縮強度(N/mm}^2\text{)}} \times 100$

表-5 流動前後における中流動コンクリートの
粗骨材量の変化率および圧縮強度比

配合 No.	中流動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 (%)
2	粉体系中流動コンクリート	93.7	96.9
3	増粘剤系中流動コンクリート	92.1	101.3
4	シリカ質微粉末を混入した 増粘剤系中流動コンクリート	91.9	99.2

4. 使用材料が増粘剤系中流動コンクリートの品質に与える影響

(1) 中流動コンクリートの配合と使用材料

前節と同様に標準的に覆工コンクリートに使用される基準配合と粉体系中流動コンクリートおよび増粘剤系中流動コンクリートにて検証を行った。使用する細骨材、粗骨材、セメントの種類が相違する場合でも、施工管理要領に示された中流動コンクリートの要求性能を満足する増粘剤系中流動コンクリートが製造できるかを確認するため、各地の生コン工場で使用している骨材を用いて試験練りを行った。

また、近年ではひび割れ対策として膨張材、曲げ靱性向上や剥落防止として非鋼繊維を覆工コンクリ

ートに混入する事例も多いので、これらの材料を混入した場合についても検討した。

使用材料およびコンクリート配合を表-6, 7に示す。ケース1は細骨材に陸砂、粗骨材に砂利および玉砕石を用いた場合である。ケース2は細骨材に陸砂と山砂の混合砂、粗骨材に砕石を用いたケースである。ケース3は細骨材に海砂と砕砂の混合砂、粗骨材に砕石を用いるとともに、セメントに高炉セメントB種を使用し、膨張材および非鋼繊維を混入した配合である。各ケースにおける基本配合は、それぞれの生コン工場で出荷しているレディーミクストコンクリートの種類24-15-20(25)NもしくはBBに相当する配合とした。

表-6 使用材料

種類	記号	ケース1	ケース2	ケース3
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm ³		高炉セメントB種, 密度3.04g/cm ³
フライアッシュ	FA	JIS II 種相当品, 密度2.25g/cm ³	—	—
膨張材	EX	—	—	低添加タイプ(20kg/m ³), 密度3.16g/cm ³
細骨材	S1	勇払産陸砂 表乾密度2.68g/cm ³ , 吸水率1.60% 粗粒率2.64	相模原産陸砂(粗目) 混合比75% 表乾密度2.61g/cm ³ , 吸水率2.86% 粗粒率3.07	熊本県芦北町宮浦産砕砂 混合比40% 表乾密度2.60g/cm ³ , 吸水率0.77% 粗粒率2.60(混合砂として)
	S2	—	市原市万田野産山砂(細目) 混合比25%, 表乾密度2.57g/cm ³ 吸水率2.44%, 粗粒率1.66	長崎県壱沖産海砂 混合比60% 表乾密度2.57g/cm ³ , 吸水率1.56% 粗粒率2.60(混合砂として)
粗骨材	G1	勇払産砂利(容積比35%) Gmax25mm 表乾密度2.66g/cm ³ , 吸水率0.88% 実積率66.9%	相模原産砕石 Gmax20mm 表乾密度2.65g/cm ³ , 吸水率0.95% 実積率60.3%	熊本県芦北町宮浦産砕石 Gmax20mm 表乾密度2.64g/cm ³ , 吸水率0.88% 実積率59.0%
	G2	由仁産玉砕石(容積比65%) Gmax20mm 表乾密度2.65g/cm ³ , 吸水率1.84% 実積率59.1%	—	—
非鋼繊維	FB	—	—	ポリプロピレン繊維, 密度0.91g/cm ³
混和剤	WR	AE減水剤(リグニンスルホン酸) *基本配合で使用		
	SP	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸) *粉体系中流動コンクリートで使用		
	VA	増粘剤成分含有高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系化合物 増粘剤はグリコール系) *増粘剤系中流動コンクリートで使用		

表-7 コンクリート配合およびフレッシュコンクリートの試験結果

ケース	コンクリート種類	W/B (%)	s/a (%)	Vg (m³/m³)	単位量(kg/m³)								混和剤(B×%)			FB (外割) (kg/m³)	フレッシュコンクリートの性状			
					W	B			S1	S2	G1	G2	WR	SP	VA		スランプフロー(cm)		空気量 (%)	U形充填高さ (cm)
						C	FA	EX									加振前	加振後		
1	基本配合	58.3	48.0	0.36	175	300	0	0	881	0	330	614	0.25	0	0	0	スランプ17.5cm		4.9	—
	粉体系	47.3	50.0	0.32	175	300	70	0	876	0	302	556	0	0.8	0	0	41.5	53.5	4.9	34.0
	増粘剤系	58.3	52.7	0.32	175	300	0	0	967	0	302	556	0	0	0.95	0	44.0	52.0	4.8	33.0
2	基本配合	57.4	48.5	0.35	174	303	0	0	650	213	939	0	1.2	0	0	0	スランプ16.0cm		5.2	—
	粉体系	46.6	55.5	0.30	174	373	0	0	720	236	782	0	0	1.2	0	0	41.0	52.0	4.5	32.6
	増粘剤系	57.4	56.9	0.30	174	303	0	0	764	251	782	0	0	0	1.3	0	41.5	53.3	4.3	30.5
3	基本配合	53.6	48.1	0.35	175	326	0	0	337	499	919	0	0.25	0	0	0	スランプ15.0cm		4.5	—
	粉体系	46.8	52.8	0.31	175	354	0	20	361	535	819	0	0	0.95	0	2.73	43.5	55.5	4.6	30.3
	増粘剤系	55.6	54.2	0.31	175	295	0	20	381	565	819	0	0	0	1.05	2.73	46.0	55.8	4.8	32.1

(2) フレッシュコンクリートの要求性能および強度特性の確認

フレッシュコンクリートの試験結果を表-7 に示す。各種材料を用いた場合でも要求性能を満足する増粘剤系中流動コンクリートが得られた。本実験結果から、増粘剤成分を混和した高性能 AE 減水剤を用いることで、使用材料が異なる場合でも、粉体量を増加させることなく所要の流動性と材料分離抵抗性を持つ中流動コンクリートが製造できることが確認できた。なお、中流動コンクリートの単位粗骨材容積 (Vg) は、流動性の増大に見合うように基本配合に比べ $0.04 \sim 0.05 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 程度低減させる必要があると考えられる。

ブリーディング試験結果を図-7 に示す。増粘剤系中流動コンクリートは、基本配合に比べブリーディング率が少なく、静的な材料分離が生じにくいコンクリートであることがわかる。

圧縮強度試験結果を図-8 に示す。増粘剤系中流動コンクリートの材齢16時間の圧縮強度は、いずれの場合でも 2 N/mm^2 程度の基本配合と同等以上の強度発現となった。これは、脱型強度を満足するとともに、増粘剤系中流動コンクリートを用いても従来通りのサイクルで施工できることを示す結果である。また、材齢7日および28日の圧縮強度も基本配合と同程度で、従来の覆工コンクリートと同等の強度発現性を有していることが確認できた。

5. 実機プラントおよび天端部模擬型枠を用いたコンクリートの品質確認

(1) 天端部模擬型枠の仕様および打設方法

実験には写真-3に示す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を用いた。コンクリートの打設は、写真-4に示す実施工を模擬した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、締固め機具には型枠振動機（出力400W 天端部下面3台）を用いた。コンクリートの打込みは、模擬型枠天端下面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。なお、吹き上げてきた時に、そのコンクリート試料を採取して、各種品質試験の供試体とした。施工状況を写真-5に示す。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。

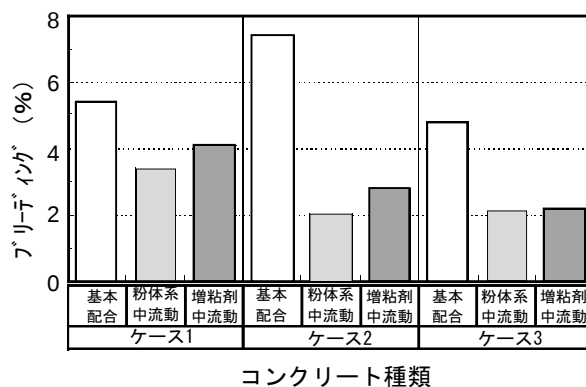


図-7 ブリーディング試験結果

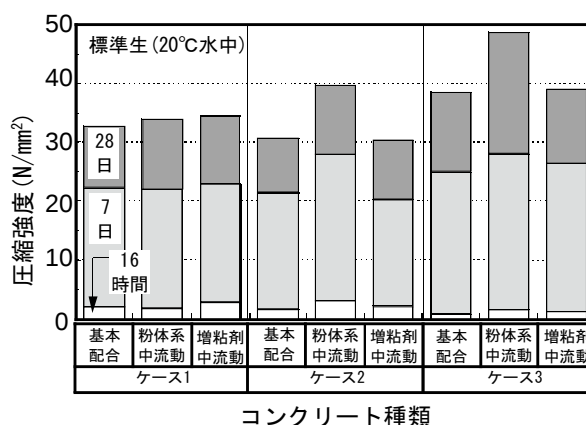


図-8 圧縮強度試験結果

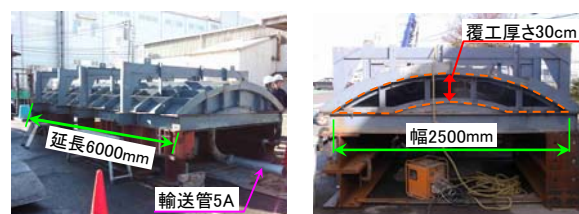


写真-3 天端部模擬型枠の外観



写真-4 コンクリート打設状況



写真-5 流動先端の開口部と試料採取状況

(2) 流動性および流動前後での品質確認

実験には、表-7 のケース 2 の基本配合コンクリートおよび増粘剤系中流動コンクリートを用いた。

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と同様に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-4 に示す。コンクリート打設は上記の従来設備で行ったが、圧送中の輸送管の閉塞や大きな脈動は生じなかった。

増粘剤系中流動コンクリートの模擬型枠内での流動状況を写真-6 に示す。流動先端部までペースト分と骨材とが分離せずに充てんされていることを確認した。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-8 に示す。増粘剤系中流動コンクリート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、増粘剤系中流動コンクリート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。

(3) 脱型後のコンクリート供試体の調査

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。

脱型後のコンクリート試験体の外観を写真-7 に示す。実施工時の仕上が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がりであった。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、増粘剤系中流動コンクリートの場合は、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。



(a) 流動先端側から打込側を向いて撮影



(b) 流動先端側で撮影

写真-6 増粘剤系中流動コンクリートの流動状況

表-8 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) 表面側（下面）：覆工の仕上がり面に相当



(b) 地山側（上面）：覆工の背面に相当

あばた発生部分 吹上げ口

写真-7 脱型後のコンクリート試験体の外観状況

試験体各部位の反発度測定結果を表-9 に示す。測定は、表面側(下面)と地山側(上面)の打込み箇所と流動先端部で各 6 点行い、その平均値を求めた。

基本配合のコンクリートの場合、表面側の打込み箇所を除き、測定値のばらつきがやや大きく、表面側・地山側ともに流動先端部での反発度は打込み箇所より小さい結果が得られた。

一方、増粘剤系中流動コンクリートを用いた場合は、基本配合の場合に比べ、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箇所での反発度の差もほとんど生じていなかった。増粘剤系中流動コンクリートを用いることで、均質性に優れたトンネル覆工が構築できることを示すものと考えられる。

コア圧縮強度試験結果を表-10 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。

6. まとめ

増粘剤系中流動コンクリート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。

- 増粘剤を混入することで、単位粉体量を増加させることなく、かつ使用材料の影響を受けずに要求性能を満足する中流動コンクリートが製造できる。
- 増粘剤系中流動コンクリートにシリカ質微粉末を $5\text{kg}/\text{m}^3$ 混入することで、粉体量を $70\text{kg}/\text{m}^3$ 増加した中流動コンクリートと同程度までブリーディングを低減できる。
- 増粘剤系中流動コンクリートは、従来の覆工コンクリートと同等の強度発現性、ならびに中性化や塩分浸透に対する抵抗性を有している。
- 現状の覆工施工と同様の設備で増粘剤系中流動コンクリートを圧送できる。
- 模擬型枠において増粘剤系中流動コンクリートを用いた場合、コンクリートの流動性、充填性が向上するとともに品質のばらつきも小さく、均質なトンネル覆工を構築できる。
- 現在、国土交通省 九州地方整備局 熊本 3 号津奈木トンネル新設工事において、増粘剤系中流動コンクリートによる覆工を施工中である。

表-9 試験体各部位の反発度測定結果

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-10 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

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
- 3) 城間博通，小川澄，佐伯徹；トンネル覆工専用中流動コンクリートの開発，土木技術，64 巻，4 号，pp. 49-57，2009.4
- 4) 日本トンネル技術協会；トンネルの高速施工技术に関する検討報告書 第四章 中流動覆工コンクリートの適用性検討，pp. 104-109，2009.1
- 5) 神代泰道ほか；特殊シリカ質微粉末を用いた超高強度コンクリートのフレッシュおよび硬化性状，コンクリート工学年次論文集，Vol. 26，No. 1，pp. 213-218，2004.6