

増粘剤を含む流動化剤を用いた 中流動コンクリートの検討

前田 佳克¹・伊藤 哲男²・海瀬 忍³・松岡 茂⁴・西脇 敬一⁵

¹正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)
E-mail:y.maeda.aa@ri-nexco.co.jp

²正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)
E-mail:t.ito.ak@ri-nexco.co.jp

³正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)
E-mail:s.kaise.aa@ri-nexco.co.jp

⁴正会員 鉄建建設(株) 土木本部 (〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町二丁目5-3)
E-mail:shigeru-matsuoka@tekken.co.jp

⁵正会員 鉄建建設(株) 建設技術総合センター (〒286-0825 千葉県成田市新泉9-1)
E-mail:keiichi-nishiwaki@tekken.co.jp

高速道路会社(NEXCO)では、トンネル覆工の施工性と品質の向上を目的に中流動コンクリートの開発を進め、平成25年7月に標準化している。近年は、増粘作用を持つ成分が混和された一液タイプの高性能AE減水剤(以下、「増粘剤を含む高性能AE減水剤」という)を用いた増粘剤系の中流動コンクリートの採用例が多いが、生コン工場のタンク等の設備によっては製造が困難となる場合がある。そこで、増粘作用を持つ成分が混和された一液タイプの流動化剤(以下、「増粘剤を含む流動化剤」という)を現場で添加する中流動コンクリートを考え、室内試験と模擬型枠を用いて打設試験を行った。

本稿は、これらの試験結果および現場での当該コンクリートの施工管理方法について報告する。

Key Words : *middle flow, Tunnel Lining Concrete, fluidizing agent, thickener, Expressway*

1. はじめに

トンネル覆工のコンクリート打設では、狭隘な作業空間での施工が余儀なくされており、コンクリートの締め固め不足による密実性の低下や充填不良による背面空洞の発生などの初期欠陥を生じる恐れがある。このため、トンネル覆工の施工性と品質の向上を目的とした中流動コンクリートが開発され、東日本、中日本、西日本高速道路株式会社(以下、「NEXCO」という。)では、平成25年7月に中流動コンクリートが標準化¹⁾²⁾されている。また、近年では石炭灰や石粉を用いた粉体系ではなく、増粘剤を含む高性能AE減水剤を用いた増粘剤系の中流動コンクリートの採用が多くなっている。しかし、生コン工場においては、各種混和材料の調達や、それらの貯蔵のためのサイロ、タンク等が必要となるため、設備等によっては、製造が困難となる場合がある。このため、

増粘剤を含む流動化剤に着目し、一般的なスランプ15cm程度のコンクリートに増粘剤を含む流動化剤を現場で添加する中流動コンクリートを考えた。

そこで、今回、増粘剤を含む流動化剤を現場で添加して製造した中流動コンクリートが生コン工場で製造する増粘剤系の中流動コンクリートと同等の性能を有するかを確認するため、室内試験と模擬型枠を用いた打設試験を実施した。

本稿は、これらの試験結果および当該コンクリートの施工管理方法について報告するものである。

2. 中流動コンクリートの概要

(1) 中流動コンクリートの開発経緯³⁾

覆工コンクリートのアーチ部の施工は、NATM導入以来、コンクリートをポンプ圧送による吹上げ打設としており、閉鎖された狭小空間での作業を余儀なくされていた。この状況下で施工される覆工コンクリートは、締固め困難な天端部におけるコンクリートの密実性の低下、打重ね部の一体化不良による強度低下、充填不足による背面空洞の発生と応力状態の偏りなどの問題を抱えていた。これら不具合解決のために、材料分離抵抗性、流動性に優れた覆工コンクリート専用の新規材料の開発が必要であった。そこでNEXCOは石粉や石炭灰を用いた粉体系の中流動コンクリートを開発した。その後、平成20年8月に施工管理要領を制定し、現場での採用事例も増加したが、粉体系の流通事情やプラント設備の都合から採用可能な地域が限定され、標準化にまで至っていない状況にあった。

一方で、混和剤メーカー各社により増粘剤を含む高性能AE減水剤が開発され、増粘剤系を用いた中流動コンクリートを採用する事例が増え、この増粘剤系の配合を粉体系の配合と併せて標準化する事により、現地条件に左右されることなく中流動コンクリートの製造と施工が可能になり、平成25年7月に標準化されている。

(2) 中流動コンクリートの特徴

中流動コンクリートは、図-1 に示すとおり、スランプフロー35cm~50cm程度で、スランプ15~18cmの普通コンクリートとスランプフロー65cm程度の高流動コンクリートの中間的な性状を有し、材料分離抵抗性と適度な流動性を併せ持つコンクリートである。スランプフロー試験の状況を図-2 に示す。覆工コンクリートが無筋もしくは単鉄筋程度であるという構造上の特徴、全断面型枠を使用し、型枠バイブレーターによる締固めが可能という打設方法に適した覆工専用コンクリートとして開発されたものである。

(3) 製造方法の違いについて

近年、使用実績が多くなっている増粘剤系の中流動コンクリートは、生コン工場で、増粘剤を含む高性能AE減水剤を混和剤として使用し、中流動コンクリートとして製造されたあと現場に運搬する。それに対し現場で流動化剤を添加する中流動コンクリートは、生コン工場からスランプ15cm程度の通常のコンクリートを製造して出荷し、現場に運搬されたあとに、増粘剤を含む流動化剤を現場で添加して製造するものである。よって、ポンプに荷卸しされる段階では、同じ性能を持つ中流動コンクリートとなる。

3. 室内試験の内容と結果

室内試験は、JIS A 6204に適合する増粘剤を含む流動化剤を2種類を用い、中流動コンクリートの基準試験項目¹⁾に基づき非鋼繊維の有りと無しのパターンに分け、合計4種類の配合を用いて実施した。

流動化剤の添加前の配合は、現状の増粘剤系の中流動コンクリートの配合と生コン工場からの出荷を想定し、スランプ15cmのJIS配合を参考に設定した。

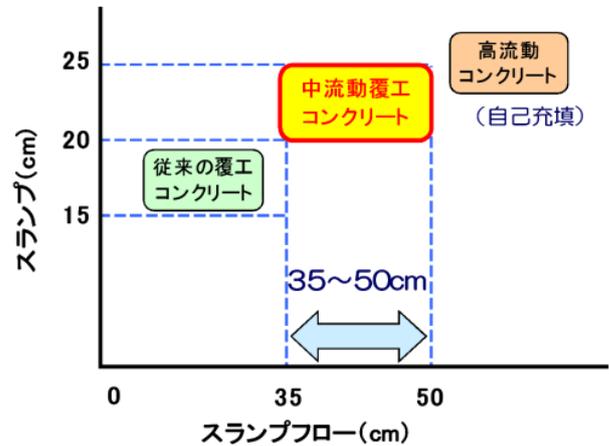


図-1 流動性のイメージ



図-2 スランプフロー試験の状況

表-1 増粘剤を含む流動化剤を用いた中流動コンクリートの試験項目及び試験結果

コンクリートの種類		流動化コンクリート				合計	
流動化剤の種類		A		B		2	
セメント量 (kg/m ³)		330	340	330	340	2	
水 (kg/m ³)		170	170	170	170	2	
W/C (%)		51.5	50.0	51.5	50.0	2	
細骨材率 (%)		47.0	49.0	47.0	49.0	2	
非鋼繊維の有無		無	有	無	有	2	
試験名	単位	試験結果				基準値	
フレッシュコンクリート試験 (流動化前)	スランプ	cm	15.0	15.0	14.5	13.0	参考値
	空気量	%	4.3	4.1	4.2	5.0	参考値
	温度	°C	21	20	19	19	参考値
硬化コンクリート試験 (流動化前)	圧縮強度 (材齢28日)	N/mm ²	47.2	48.1	45.3	43.1	参考値
フレッシュコンクリート試験 (流動化後)	スランプ	cm	22.0	22.0	21.5	22.0	21±2.5
	スランプフロー	cm	46.5	48.0	42.0	47.0	35~50
	空気量	%	4.1	4.1	4.8	5.1	4.5±1.5
	温度	°C	20	19	19	19	-
	加振変形試験	cm	9.0	8.0	11.0	7.5	10±3
	U型充填性試験	mm	322	302	321	302	280以上
硬化コンクリート試験 (流動化後)	圧縮強度 (材齢28日)	N/mm ²	46.6	48.7	44.7	43.2	24.0
	曲げ靱性係数	N/mm ²	-	1.79	-	1.78	1.40



図-3 室内試験の状況（流動化前）



図-4 室内試験の状況（流動化後）

試験項目と試験結果を表-1に室内試験の流動化剤の添加前の状況を図-3、流動化剤の添加後の状況を図-4に示す。空気量と温度は、流動化前後で測定を行い、加振変形試験とU型充填性試験は流動化後に測定を行った。

室内試験を行った結果、すべての配合で、基準試験の試験項目の基準値を満足し、かつ強度への影響もないことから、流動化剤を添加する中流動コンクリートが生コン工場で製造した増粘剤系の中流動コンクリートと同等の品質を有すると判断した。

4. 模擬型枠による打設試験

(1) 模擬型枠による打設試験の概要

増粘剤を含む流動化剤を用いた中流動コンクリートの適用性を確認する目的で模擬型枠による打設試験を実施した。流動化剤は、室内試験で種類の違いによる影響がみられなかったことから1種類のみを使用した。配合は、非鋼繊維の有りと無しの2種類とし、隣接した生コン工場のスランプ15cmのJIS配合を参考に表-2に示すものを選択した。なお、非鋼繊維の有りの配合は、非鋼繊維の無しの配合から単位セメント量や細骨材率を多くした。試験は生コン車2台で行い、1台目は非鋼繊維の配合で流動化剤の使用量等の確認をし、2台目は非鋼繊維入りの配合で実際にポンプ車を使用して模擬型枠に打設を行った。模擬型枠による打設試験に用いた模擬型枠の仕様を表-3、模擬型枠の寸法を図-5、試験項目を表-4に示す。

表-2 模擬型枠による打設試験に用いた配合

種別	コンクリート区分	水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				流動化剤 使用量	繊維 混入量 (kg/m ³)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		
T1-4 (流動化)	繊維無	52.5	49.1	170	324	971	921	2.35	400ml/ C=100kg
T3-4 (流動化)	繊維有	51.5	49.6	175	340	857	894	2.96	400ml/ C=100kg

表-3 模擬型枠の仕様

種別	寸法	材質	打設方法	容積	備考
側壁部	壁形状 ・高さ1.5m ・幅0.3m ・長さ4.0m	鋼製	・ポンプ ・流し込み	約2.2m ³	1箇所から供給し、コンクリートを流し込む。(締め固めは型枠パイプレータ及び棒状パイプ併用)

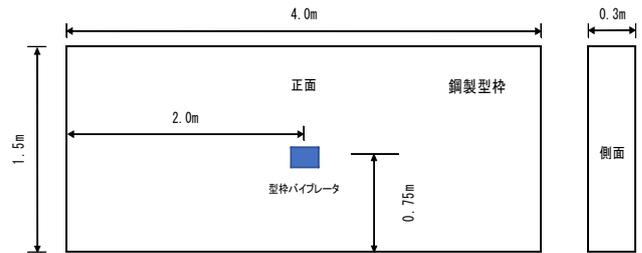


図-5 模擬型枠の寸法

表-4 模擬型枠による打設試験の試験項目と試験結果の一覧

試験項目		単位	繊維無	繊維有	基準値
繊維混入率		%	-	0.30	-
繊維長		mm	-	47	-
品質試験	スランプ試験(流動化前)	cm	17.0	19.0	参考値
	スランプ試験(流動化後)	cm	22.5	21.5	21±2.5
	スランプフロー試験(流動化後)	cm	45.5	49.5	35~50
	経時変化試験(流動化後30分)スランプ試験	cm	20.0	22.0	参考値
	経時変化試験(流動化後60分)スランプ試験	cm	19.0	22.0	参考値
	経時変化試験(流動化後90分)スランプ試験	cm	17.0	22.0	参考値
	経時変化試験(流動化後30分)スランプフロー試験	cm	36.0	51.5	参考値
	経時変化試験(流動化後60分)スランプフロー試験	cm	33.0	44.5	参考値
	経時変化試験(流動化後90分)スランプフロー試験	cm	31.0	35.0	参考値
	空気量試験(流動化後)	%	5.5	5.4	4.5±1.5
	繊維混入率試験(注入側)	%	-	0.34	混入率95%以上
	繊維混入率試験(妻側)	%	-	0.35	混入率95%以上
	加振変形試験	cm	10.5	10.5	10±3
U型充填性試験	mm	328	341	280以上	
圧縮強度試験 材齢28日	N/mm ²	40.2	41.8	24.0	
曲げ靱性係数	N/mm ²	-	2.04	1.40	
圧縮強度試験(φ100×200mm:側壁模擬試験体からの抜き取りコア)	N/mm ²	36.8	39.0	24.0	
曲げ靱性試験(150×150×530mm:側壁模擬試験体からの抜き取りコア)	N/mm ²	-	1.47	1.40	

(2) 模擬型枠による打設試験の結果

模擬型枠による打設試験の状況を図-6に示す。打設試験の結果は、表-4の試験項目の基準値を満足する結果であった。打設時は、材料分離等もみられず、通常の中流動コンクリートと充填状況に差異がないことが確認された。また、曲げ靱性特性の確認のための、管理供試体と切り出し供試体との比較した結果、どちらも基準値を満足する結果となり、施工による非鋼繊維の配向や分散についても、良好な結果が得られた。

以上の結果より、増粘剤を含む流動化剤を現場で添加する中流動コンクリートは、生コン工場で製造する増粘剤系の中流動コンクリートと同等の品質を有すると判断した。

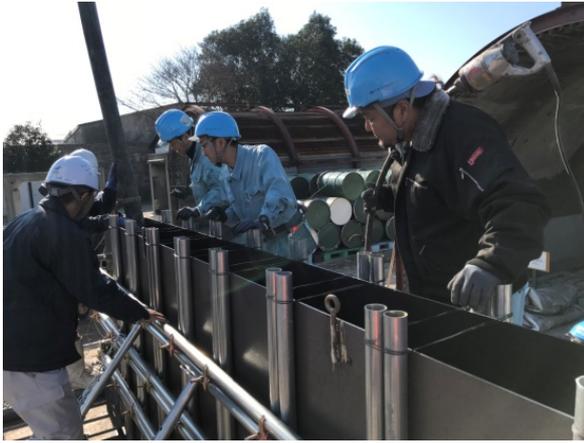


図-6 模擬型枠による打設試験の状況

5. 現場で行う施工管理方法の検討

NEXCO 各社では、増粘剤を含む流動化剤を現場で添加する中流動コンクリートの施工事例がなかった。このため、まず初めに他の発注機関において当該コンクリートの施工実績を有する施工会社から、配合、流動化の方法および施工時の管理項目等について情報収集を行った。この調査結果をもとに、施工管理方法の素案を作成し、施工会社および混和剤メーカー各社と意見交換を進め、施工管理要領（案）として整理を行った。

本要領（案）における流動化剤の現場添加による中流動コンクリートの配合の名称について、「**Admixture as Fluidizing agent**」の頭文字を取り「**AdF**」とした。次に中流動コンクリートの示方配合の決定の流れを図-7に示す。示方配合の決定の流れでは、特に当該コンクリートが通常の中流動コンクリートと異なり、施工現場で製造されることを考慮し、施工時に所要のフレッシュ性状が安定して得られること、また得られたコンクリートの施工性を把握することを目的に、実機試験で以下の確認を行うことを規定した。

- ① 流動化剤の添加量を増減させたコンクリートを作製し、フレッシュ試験を実施して、図-8に示すように所要の品質が得られる流動化剤の添加量の範囲を確認する。
- ② 流動化剤の現場添加によるコンクリートは、時間の経過に伴ってフレッシュ性状が急激に変化する場合があるため、経時変化試験を行い打込みが可能な時間を確認する。

次に増粘剤を含む流動化剤を現場で添加する中流動コンクリートの施工時における日常管理項目および頻度を表-5に示す。日常管理では、流動化剤を現場で添加する中流動コンクリートが通常増粘剤系の中流動コンクリートと同等の品質が得られるように管理項目や頻度を設定し、流動化前のベース時と流動化後に分けて実施す

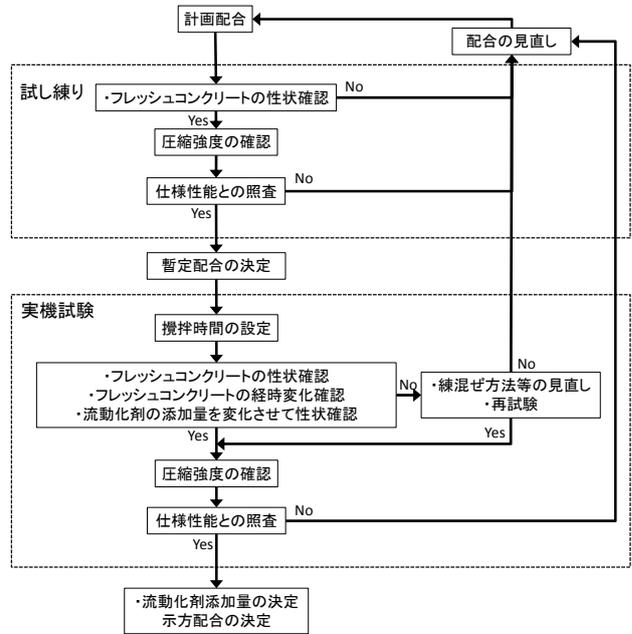


図-7 示方配合の決定の流れ

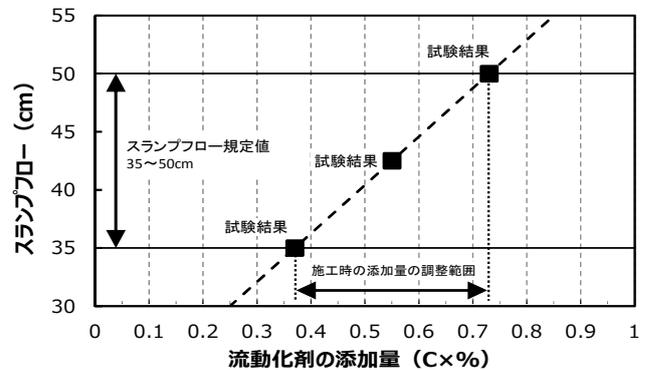


図-8 流動化剤の添加量とスラブフローの関係

表-5 増粘剤を含む流動化剤を現場で添加する中流動コンクリートの日常管理項目および頻度

管理項目	試験方法	頻度	
		ベース時	中流動覆工コンクリート
日常管理試験	フレッシュの状態	-	全運搬車1台ごと
	打込み	-	全数
	スラブ・スラブフロー ^{注1)}	最初の1台と以後150m ³ 毎および流動化剤の添加量を変更する場合	最初の5台と以後50m ³ 毎、流動化剤の添加量を変更した場合、および強度試験用供試体作製時
	空気量		最初の1台と以後50m ³ 毎、および強度試験用供試体作製時
	温度	JIS A 1156	-
	塩化物含有量	JIS A 1144又は簡易塩分測定器 ^{注2)}	海産骨材を使用する場合は、1日2回(午前・午後の運搬車の最初の1台)上記以外は1週間に1回
圧縮強度	JIS A 1108	1日の打設量が150m ³ 以下の場合1回 1日の打設量が150m ³ を超える場合150m ³ 毎1回、150m ³ 未満の頻度に1回	-
その他の項目	運搬時間	-	全運搬車1台ごと
	打込み時間	-	全運搬車1台ごと
	流動化剤添加量	-	全運搬車1台ごと

注1) スラブフローを確認後、コンクリート周囲のフロー板を縦回し、10cm程度フローが広がった状態を作り、中央部に粗骨材が露出した状態を呈することなく、周囲部に2cm以上のベースと遊離した水の帯がないことを確認するものとする。

注2) 簡易塩分測定器は、(財)国土技術研究センターが技術評価合格した簡易塩分測定器により行うものとする。ただし、簡易塩分測定器により測定不能の場合は、低濃度で測定できるものを使用してもよい。

ることとした。特に、当該コンクリートで重要な品質であるスランプ、スランプフローは、流動化剤の添加量を変更した場合に必ず試験を行うことを規定し、通常の中流動コンクリートと比較して管理の頻度を高くしている。また、その他の管理項目としては、新たに流動化剤の添加量を全運搬車で記録するなどを追加して、全数管理も一部とり入れることにより品質を確保することとした。

6. まとめ

増粘剤を含む流動化剤を現場で添加する中流動コンクリートについて、生コン工場で製造する増粘剤系の中流動コンクリートと同等の性能を有する事が、室内試験と模擬型枠による打設試験の結果から確認できた。また、生コン工場から出荷されたスランプ15cm程度のコンクリートに、現場で増粘剤を含む流動化剤を添加して中流動コンクリートの性状を定常的に確保するための、現場での品質管理方法や施工管理方法の案を作成した。今後は現場での試験施工を実施し、施工の状況を踏まえ、要領への反映を検討する予定である。これにより、生コン工場に負荷をかけることなく、中流動コンクリートの製造が可能となり、トンネル工事において、地域での中流動コンクリートの製造が困難な場合や、生コン工場からの運搬時間が長くなり、スランプロスの影響が懸念される場合等で活用が考えられる。

今後、我が国において生産年齢人口が減少することが予想されている中、建設分野において、生産性向上は避けられない課題となっている。国土交通省が推奨するi-Constructionは、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す新しい取組である。中流動コンクリートは、覆工専用のコンクリートとして開発されたが、従来のコンクリートと比較し、現場での施工性は非常に高く、高品質なコンクリートが施工できるコンクリートである。今後は、覆工コンクリートだけでなく、他の土木構造物への適用を検討する事で、生産性の向上に寄与できると考える。

謝辞：本報告は、首都大学東京西村理事を委員長とする効率的点検特別委員会の委員の皆様、多大なご協力を頂きました。ここに記して深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 東・中・西高速道路株式会社：トンネル施工管理要領，2017。
- 2) 水野希典，岩尾哲也，中田主税：高速道路トンネルへの中流動覆工コンクリート標準化検討，トンネル工学報告集第23巻，pp.107-114，2013。
- 3) 馬場弘二，海瀬忍，山田隆昭，齊藤直，白野武：中流動覆工コンクリートの開発検討，トンネル工学報告集第17巻，pp227-232，2007。

(2018. 8. 10受付)

INVESTIGATION ON MIDDLE FLOW TUNNEL LINING CONCRETE USING THICKENER-CONTAINING FLUIDIZING AGENT

Yoshikatsu MAEDA, Tetsuo ITO, Shinobu KAISE, Shigeru MATSUOKA
and Keiichi NISHIWAKI

For concrete placing in this tunnel lining operation, it is inevitable to work in a narrow working space and there is a risk of initial defects such as deterioration of the compactness due to insufficient compaction of concrete and occurrence of back cavities due to filling defects. For this reason, a middle flow tunnel lining concrete for the purpose of improving workability and quality of tunnel lining is being developed, and this middle flow tunnel lining concrete was standardized in July 2013. Furthermore, in recent years, instead of a powder system using coal ash or stone powder, a thickener-type middle flow tunnel lining concrete using a high performance AE water reducing agent mixed with a thickening component is more and more frequently used. However, in ready-mixed concrete plants, it is necessary to supply various admixture materials and store them in silos, tanks, etc., which makes the production difficult depending on the facilities.

In this work, we conducted indoor tests and placing experiments using simulated mold to confirm that by adding a fluidizing agent containing a thickener to the general concrete with a slump of about 15 cm in the field, the same performance can be achieved than with a thickener-type middle-flow tunnel lining concrete manufactured in a ready-mixed concrete plant. We also examined the construction management method at the site.