

4

新しい混和剤を用いた中流動コンクリートの開発および適用事例

舟橋 孝仁*1・平郡 武志*2・唐沢 智之*3

概 要

近年、山岳トンネルの覆工コンクリートの施工において、覆工の高品質化を図るため、流動性、材料分離抵抗性に優れた中流動コンクリートを適用する事例が増加している。これまでの中流動コンクリートは、セメント量の増加や混和材の使用により高い流動性と材料分離抵抗性を確保してきた。

今回、中流動コンクリートの更なる適用拡大を図るため、特殊増粘剤が内添された高性能 AE 減水剤を用いることにより、従来の中流動コンクリートと同等の性能を有する中流動コンクリートの開発を行ない、試験施工を実施した。本稿は、今回開発した中流動コンクリートの事前試験結果および試験施工における品質管理、施工管理および仕上り等について検証し、その適用性について報告するものである。

キーワード：山岳トンネル・トンネル覆工・中流動コンクリート・高性能 AE 減水剤・試験施工

DEVELOPMENT AND APPLICABILITY OF MEDIUM FLUIDITY CONCRETE
WITH NEW CHEMICAL ADMIXTURE

Takahito FUNAHASHI *1, Takeshi HIRAGOURI *2, Tomoyuki KARASAWA *3

Abstract

Recently, there have been an increasing number of projects using medium-fluidity concrete with excellent fluidity and segregation resistance properties in order to improve the quality of linings in mountain tunnels. Medium fluidity concrete developed thus far has been providing high fluidity and good segregation resistance by increasing cement content and use of admixture minerals.

In order to expand the applicable range of medium fluidity concrete, a new medium fluidity concrete was developed, which uses high-range AE water reducing agent to which a special thickening agent has been added. This concrete, which has the advantage of performance like conventional medium fluidity concrete, was used in a construction test.

This paper reports the results of a preliminary test of the new medium fluidity concrete, verifying its quality, work management and finish in the construction test, and discusses its applicability.

Keywords : Mountain tunnels, Tunnel lining, medium fluidity concrete, Special thickening agent, Construction test

*1 Tunnel Group, Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

*2 Civil Engineering Department, Tohoku Branch

*3 Manager, Material / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

新しい混和剤を用いた中流動コンクリートの開発および適用事例

舟橋 孝仁*1・平郡 武志*2・唐沢 智之*3

1. はじめに

近年、山岳トンネルの覆工コンクリートの施工において、コンクリートの充てん性および緻密性等の向上による覆工の高品質化を図るため、従来よりも高い流動性、優れた充てん性を有した中流動コンクリートを適用する事例が増加している。中流動コンクリートは、従来の覆工コンクリートよりも流動性に優れており、セントル内の狭い空間においても隅々までコンクリートを充てんできることから、従来以上に覆工の品質向上に寄与するものと考えられる。NEXCO 3社では、中流動覆工コンクリートの施工管理要領¹⁾を制定し、すでに展開が図られている。今後においても、新設されるトンネル覆工の高品質化や高耐久化が求められるなか、覆工コンクリートの更なる品質向上を図るためにも中流動コンクリートを積極的に適用することが望まれる。

一方、これまでの中流動コンクリートは、単位粉体量の増加（セメント量の増加）や混和材（石粉、石炭灰）等の使用により高い流動性と材料分離抵抗性を確保している。しかしながら、前者はセメント量の増加による温度ひび割れや自己収縮の問題、後者は生コンプラントによっては混和材の専用設備に対応できないといった問題が生じる場合もある。今後、中流動コンクリートの適用拡大を図るためには、これらの問題を解消でき、従来の中流動コンクリートの利点を確保した新しい中流動コンクリートの開発を行ない、その適用可能性をみいだすことが必要であると考えられる。その一例として、増粘剤系高性能 AE 減水剤を用いた中流動コンクリートによるトンネル覆工の施工は、トンネル覆工の高品質化に寄与することが確認されている²⁾。

そこで、筆者らは特殊増粘剤が内添された高性能 AE 減水剤を用いた中流動コンクリート（以降、増粘剤型中流動コンクリートと称す）の開発を行い、試験施工を実施した。本報告は、今回開発した増粘剤型中流動コンクリートの事前試験と、試験施工における品質管理、施工管理および仕上り等について検証するとともに、その適用性について示すものである。

2. 特殊増粘剤を内添した高性能 AE 減水剤

今回開発した中流動コンクリートでは、特殊増粘剤を内添した高性能 AE 減水剤を適用した。

中流動コンクリートに増粘剤を用いる利点は、単位セメント量を増加させることなく流動性を確保したまま、コンクリートの粘性を適度に増加させ材料分離抵抗性を向上させることができることである。また、水和熱や自己収縮の低減により、ひび割れ発生抑制など覆工の品質向上が期待できると考えられる。

従来のセルローズ系増粘剤等は、人手による計量と投入により混練する必要があり、計量ミスや誤差を生じる危険性が高く、また経済面でも不向きである場合が多い。さらに、セルローズ系増粘剤等は、添加量が僅かであるため、計量誤差によるフレッシュ性状への影響が大きい。一方、今回使用した特殊増粘剤は、高性能 AE 減水剤に内添され 1 液であるため、高性能 AE 減水剤として計量するのみであり、人手による計量と投入が不要である。よって、計量ミスや誤差を生じる危険性を低くすることが可能である。また、従来使用されていたセルローズ系増粘剤等と比較すると安価であり、計量、投入に要する人件費も不要になる

*1 エンジニアリング本部 土木技術部 トンネルグループ

*2 東北支店 土木部

*3 エンジニアリング本部 研究開発部 建設材料グループ グループリーダー

表-1 増粘剤型中流動コンクリートの配合

コンクリートの種類	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G	混和剤 SP	繊維 F
					S1	S2			
24-23-20BB 繊維補強	51.0	47.8	173	340	674	169	945	3.74*1	2.73*2

※1: C×1.10%, ※2: Vol×0.3%

表-2 フレッシュコンクリートの試験結果

必要性能			評価値		試験値	
			繊維混入前	繊維混入後	繊維混入前	繊維混入後
流動性	スランプ	cm	24.0±2.0	23.0±2.0	23.0	22.5
	スランプフロー	cm			51.5×50.5	46.5×43.0
材料分離抵抗性	加振変形フロー	cm				57.0×56.0
	フロー差	cm		10.0±3.0		11.8
自己充てん性	U形充てん高さ	mm		280以上 (障害なし)		335
	充てん時間	sec				9.3
空気量		%	3.5±1.5	4.5±1.5	3.2	4.3
コンクリート温度		℃			21.0	21.0
塩化物量		kg/m ³		0.3以下		0.01



写真-1 繊維混入後におけるスランプの状況

ことから、増粘剤使用によるコストアップを最小限に抑えることが可能である。

3. 事前試験

試験施工に用いる増粘剤型中流動コンクリートの配合を選定することを目的に室内試験を実施した。表-1に増粘剤型中流動コンクリートの配合を示す。本配合の特徴は、現場の設計配合を基本として、混和剤の種類および添加量のみを変更し、特別な配合修正を行わないものとしたことである。中流動コンクリートの所要の性能は、繊維混入後のコンクリートについて、文献1)を参考に定めた。フレッシュコンクリートの試験結果を表-2に、繊維混入後における加振前後のスランプ状況を写

真-1に示す。試験結果より、表-1に示した配合でフレッシュ時の性能をすべて満足していることがわかる。また、加振変形試験では、粗骨材が外縁方まで移動する状況が確認でき、表-1の配合が十分な材料分離抵抗性を有していることが確認された。

次に、この配合を基本として、フレッシュ性状の経時変化、繊維混入による性状の変化を把握するため、実際のアジテータ車を用いて実機試験を実施した。その結果、繊維混入後60分経過するとスランプロスが大きくなり、ワーカビリティの確保が困難になったため、試験施工では繊維混入から打設完了までの時間を概ね30分以内を目安とすることとした。

表-3 試験施工の概要

配合	表-1 に示す配合
打設スパン数 および打設延長	3 スパン, L=30.9m (10.3m/スパン)
支保パターン	DIII (一部 DI)
設計覆工巻厚	35cm (30cm)
鉄筋	単鉄筋
繊維	非鋼繊維(混入率: 0.3vol%)

表-4 増粘剤型中流動コンクリートの品質管理項目

試験項目		判定基準
フレッシュ時	流動性	スランプ 23.0±2.0cm (24±2.0cm) ベースコンクリート
	材料分離抵抗性	材料分離がないこと
	空気量	4.5±1.5% (3.5±1.5%) ベースコンクリート
	塩化物含有量	0.30kg/m ³ 以下
	単位水量	173±15kg/m ³ (管理値) 173±20kg/m ³ (指示値)
	コンクリート温度	5~35℃
	繊維混入率	100±20%(1回) 95%以上(3回平均)
硬化後	圧縮強度	24N/mm ² 以上 (材齢 28 日)
	曲げ靱性	文献 1) に示す基準



写真-2 セントル下げネコ部補強状況

4. 試験施工

室内試験および実機試験により基礎的性状を把握し、中流動コンクリートとしての所要の性能が確認できた上で配合を決定し、現場において試験施工を行なった。試験施工は、国土交通省九州地方整備局管内のトンネル工事現場において実施した。試験施工の概要を表-3に示す。

4.1 品質管理および施工管理

(1) 品質管理

増粘剤型中流動コンクリートの品質管理は、文

献 1)を参考に表-4に示す基準により行なった。繊維混入前のベースコンクリートのフレッシュ性状確認は、1台目のみスランプ、空気量およびコンクリート温度の測定を行なった。なお、表中のスランプおよび空気量の括弧内の数値は、ベースコンクリート管理目標値である。一方、繊維混入後におけるフレッシュ性状の確認は、最初のアジテータ車5台に対して連続して行い、以後50m³毎に実施した。

(2) 施工管理

増粘剤型中流動コンクリートは、フレッシュ性状の変化(スランプロス)によるワーカビリティに与える影響が通常の覆工コンクリートより大きくなると考えられる。そのため、本試験施工においては、事前試験の結果を考慮し、極力、繊維混入後30分以内に打設が完了するようにした。

側壁から肩部にかけての打設は、左右のコンクリート打設高さの差による型枠構造の安定性を考慮し、左右のコンクリート打設面の高さの差が50cm以内になるようにした。その際には、アジテータ車1台分(4.5m³)のコンクリートを左右それぞれの型枠内に半分ずつ振り分けることで左右の打設高さを調整した。

増粘剤型中流動コンクリートの特性を活かすため、バイブレータによる振動を与えることなく投入し、コンクリートの流動が止まった後、充てん性能を補助する程度にコンクリートの打込み高さが概ね水平になるまで棒状バイブレータにより振動を与えた。

これまでの実績³⁾からすると、中流動コンクリートは流動性に優れている反面、従来のスランプの覆工コンクリートに比べセントルの側壁に作用する側圧が大きくなる傾向にあり、打込み速度が速い場合にはセントルに与える構造的な負荷が大きくなる危惧がある。そのため、打込み速度は、打設面が肩部を超えるまでは1.2m/hr程度を目安とし、通常の打設速度に比べ遅くした。本試験施工では、打設中は前述した打設速度を遵守するとともに、側圧増加によるセントルの変形を把握するため、セントル妻部および中央部において下げ

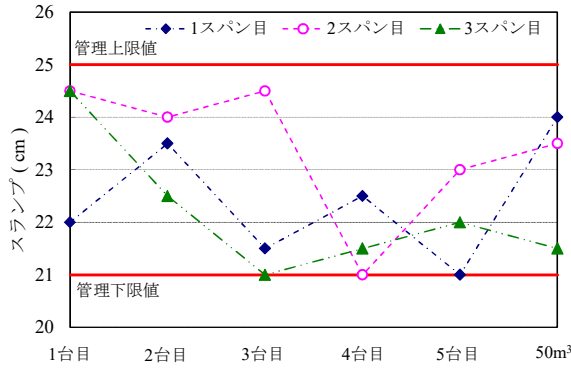


図-1 スランプ試験結果

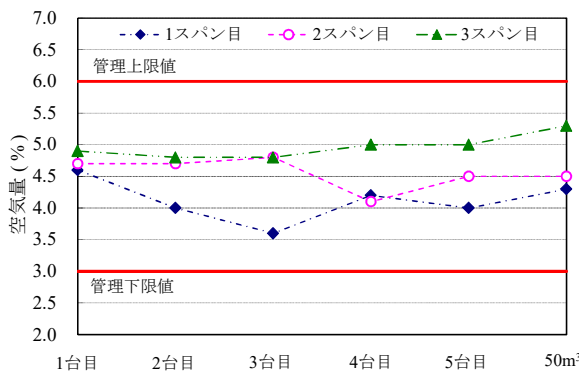


図-2 空気量試験結果



写真-3 試験施工時のスランプ試験状況の一例

ネコ位置での幅員の変化をスチールテープにより測定した。なお、セントル本体の補強は実施していないため、試験施工時にはセントルの変形抑制対策として、写真-2に示すようにセントル下げネコ部にサポートによる補助的な補強を施した。

4. 2 試験施工結果

(1) 品質試験結果

繊維混入後のフレッシュコンクリートのスランプ試験結果を図-1に、空気量試験結果を図-2に、スランプ試験結果の一例を写真-3に示す。これらの試験結果より、試験施工では、実施したすべてのスパンにおいて、品質管理基準値を満足し、良好な性状を有する増粘剤型中流動コンクリートを打設できたことを確認した。また、繊維混入によるスランプロスは最大で2cm程度、空気量の変化は最大で1.8%程度の増大であったこと、スランプ板タッピング後は、繊維と粗骨材が外縁方に運ばれる状況が観察され、材料分離のないことを確認した。

これらのことから、増粘剤型中流動コンクリートは、中流動覆工コンクリートとしての所要の性能を満たし、実施工においても十分に適用可能であると考えられる。

(2) 施工性

増粘剤型中流動コンクリートの流動状況を写真-4に示す。打込み中のコンクリートは、粗骨材や繊維が分離することなく流動しており、補強鉄筋区間、繊維入り覆工区間においても、型枠内の隅々まで確実に充てんされる状況が確認でき、良好な充てん性を有しているものと判断できる。また、試験施工では、従来どおりのパイプレータによる締固め作業が軽減したため、狭隘なセントル内における作業環境の改善にもつながった。これらのことから、増粘剤型中流動コンクリートは、従来の粉体系混和材を使用した中流動コンクリートと同等の施工性を有しているものと考えられ、トンネル覆工の品質向上および施工性の向上に寄与しているものと考えられる。

図-3に打設経過時間と打設数量の関係を示す。図より、実施工の打込み速度は概ね0.9～0.95m/hrであり、計画の1.2m/hrを下回る結果であった。これは、セントル下げネコ部の幅員を計測し、その測定結果を確認しながら打設を行なったためである。セントルの幅員の変化は、側壁から肩部に至るまでに発生し、打設完了時には相



写真-4 流動状況

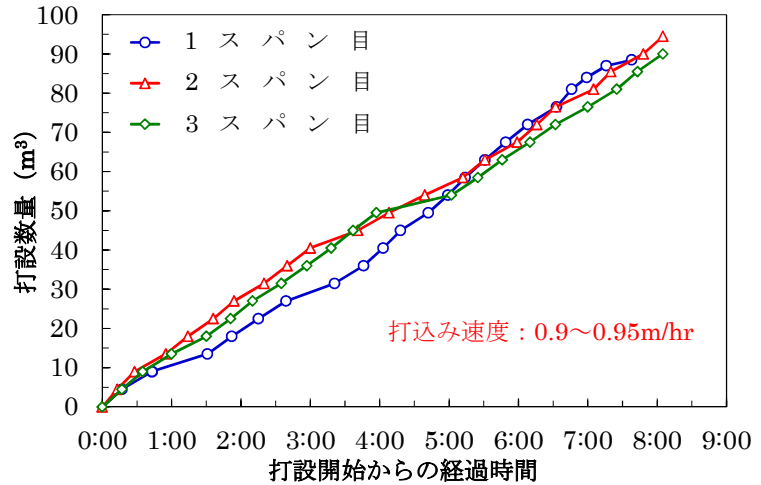


図-3 打設経過時間と打設数量の関係



写真-5 トンネル覆工の仕上り状況 (天端部)



写真-6 トンネル覆工の仕上り状況 (肩部)

対変位量で7~14mm程度の縮小量であった。このことから、側壁から肩部に至るまでの打込み速度を入念に管理することにより、セントルの変形も最小限に抑えることができるものと考えられる。

(3) トンネル覆工の仕上り状況

増粘剤型中流動コンクリートを用いて試験施工を実施したトンネル覆工の仕上り状況の一例を写真-5および写真-6に示す。各スパンとも、未充てん部等の不具合は無く、隅々まで確実にコンクリートが充てんされていることが確認できた。また、天端部および肩部の仕上りは、従来の普通コンクリートを用いて打設した他のスパンと比較して、色むら、縞模様等がなく良好な出来栄であった。

5. おわりに

トンネル覆工の高品質化に寄与する中流動コンクリートの適用拡大を目的に、特殊増粘剤を内添した高性能 AE 減水剤を用いた中流動コンクリートの開発を行なった。室内試験および実機試験を行い配合を決定したうえで試験施工を実施し、増粘剤型中流動コンクリートのトンネル覆工への適用性について検証を行なった。以下に、得られた結果をまとめる。

- ① 事前試験結果より、現場の設計配合を基本として、特別な配合修正を行なうことなく、混和剤の種類および添加量のみの変更により、良好な流動性および材料分離抵抗性を有した増粘剤型中流動コンクリートの配合を確認した。
- ② 試験施工結果より、増粘剤型中流動コンクリートは中流動コンクリートとしての所要の性能を

満たし、粉体系混和材を用いた中流動コンクリートと同等の性能を有すと考えられる。また、実施工においても十分に適用できることを確認した。

③増粘剤型中流動コンクリートは、良好な充てん性能、材料分離抵抗性を有していることから、補強鉄筋区間、繊維入り覆工区間においても、型枠内の隅々まで確実に充てんできることを確認した。

④増粘剤型中流動コンクリートを用いて打設したトンネル覆工の仕上りは、覆工の隅々まで確実にコンクリートが充てんされ、天端部および肩部では、色むらや縞模様がなく良好な出来栄を得ることができた。

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），2010.7
- 2) 諏訪菌和彦，松野徹，泉水大輔，桜井邦昭：増粘剤系中流動コンクリートによるトンネル覆工の施工—南九州西回り自動車道 津奈木トンネル（仮称）—，コンクリート工学，Vol.50，No.4，2012.4
- 3) 西脇敬一，川又篤，山下密広，唐沢智之：道路トンネルにおける中流動コンクリートの試験施工，土木学会第64回年次学術講演会講演概要集，V-344，2009