

# 増粘剤を用いた中流動コンクリートの開発および現場適用

## — 東九州自動車道新津トンネル工事 —

### Development and Field Application of Thickener-Type Middle-Fluidity Concrete (Construction of ARATSU Tunnel on the Higashi-kyushu Expressway)

平 間 昭 信 <sup>*1</sup>	松 原 利 之 <sup>*1</sup>	柳 森 豊 <sup>*2</sup>	岡 田 朋 道 <sup>*3</sup>
Akinobu Hirama	Toshiyuki Matsubara	Yutaka Yanagimori	Tomomichi Okada
筒 井 隆 規 <sup>*4</sup>	小 西 裕 之 <sup>*4</sup>	瀧 間 優 作 <sup>*4</sup>	山 口 達 也 <sup>*4</sup>
Takanori Tsutsui	Hiroyuki Konishi	Yuusaku Takigiku	Tatsuya Yamaguchi

#### 【要旨】

トンネル覆工コンクリートの施工においては、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などによる強度低下や充填不足による背面空洞の発生などの問題を解決する方法のひとつとして、中流動コンクリートが適用されている。当社においては、東九州自動車道新津トンネル工事（L=2,074m）に初めて中流動コンクリートを適用し、平成22年6月より施工を進めている。

中流動コンクリートは、優れた流動性と分離抵抗性を確保するために、混和材として石灰石微粉末、またはフライアッシュを用いたコンクリートであり、産業副産物の有効利用による環境負荷低減に寄与するコンクリートである。しかし、石灰石微粉末、またはフライアッシュの使用に関しては、貯蔵サイロの増設など生コン工場設備の制約が生じる。そこで、中流動コンクリートの更なる展開のために、高流動コンクリートで用いられている増粘剤の適用を考えて、増粘剤系中流動コンクリートを新たに開発した。

本稿では、新たに開発した増粘剤系中流動コンクリートについて、室内配合試験による配合検討、および新津トンネル工事での適用で得られた知見および今後の課題などを報告する。

【キーワード】 中流動コンクリート 覆工コンクリート 増粘剤 振動エネルギー 省力化

#### 1. はじめに

近年のトンネル覆工コンクリートの品質確保のニーズの高まりを受けて、施工の合理化、高品質化を目的に、当社は、これまでに、天端部の締固め、打設管理、養生管理等の技術向上について取り組んでいる。更なる高度化を目指し、施工面での取り組みに留まらず、打設するコンクリート配合も含めて検証し、施工の不確実性を解消し、施工の省力化も目的とした自社の技術開発の一貫として、東九州自動車道新津トンネル工事の覆工コンクリートに、当社では初めて中流動コンクリートを適用した<sup>1)</sup>。

中流動コンクリートは、東日本、中日本、西日本の各高速道路株式会社により、「トンネル施工管理要領（中流動コンクリート編）」<sup>2)</sup>（以下、「中流動覆工管理要領」と記す）が平成20年8月に制定されている。この要領に基づき、新津トンネルでは平成22年6月より覆工コンクリート施工を開始し、8月末までに施工延長1,418m（トン

ネル延長2,074m）の実績を積み重ね、貴重な技術データを収集している。

中流動覆工管理要領では、石粉、または石炭灰を用いた中流動コンクリートについて規定されている。新津トンネル工事においては、生コン製造工場が石粉を常備していたことから、石粉を用いた中流動コンクリートで施工を行っている。しかし、市中の生コン製造工場においては、石粉、または石炭灰を貯蔵する設備を有していないのが実情である。そこで、高流動コンクリートで実績がある増粘剤が適用可能となれば、簡易な追加設備で中流動コンクリートの製造が行え、中流動コンクリートの更なる展開が期待できる。

本報告は、増粘剤を用いた中流動コンクリートに関して、中流動覆工管理要領を満足する配合を選定するための室内配合試験、現場適用に向けての実機試験、および新津トンネルにおける現場適用の結果について報告するものである。

1. 建設事業本部 エンジニアリング事業推進部 2. 建設事業本部 企画統括部 3. 東北支店 4. 九州支店

## 2. 新津トンネルにおける中流動覆工コンクリート

### 2.1 中流動覆工コンクリートとは

中流動覆工管理要領では、「中流動コンクリート」とは、スランプフロー35cm～50cm程度で、スランプ15cm～18cmの普通（従来）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するコンクリートである」と定義されており、以下の特徴を有するものとしている。

- ① 覆工コンクリートの吹上げ打設を型枠バイブレータの振動だけでも行える。
- ② 特殊な材料を用いない。（現在、室内試験等で確認されている混和材は石粉(LS)と石炭灰(FA)である。）
- ③ 一般の生コンクリート工場の設備で製造可能である。
- ④ 運搬・ポンプ圧送が通常の施工機械で行え、型枠（セントル）の補強等を必要としない。
- ⑤ コンクリート強度18N/mm<sup>2</sup>以上を対象とする。
- ⑥ 普通コンクリートと同等以上のひび割れ抵抗性を有する。

自己充填性を有する高流動コンクリートのランクⅢ（流動障害なし）に近いレベルが中流動コンクリートで

あるといえる。また、流動性を確保しつつ、材料分離を防ぐために、混和材（石炭灰（FA）または石粉（LS））を添加して粘性を付与したコンクリートである。表-1に中流動覆工コンクリートの配合決定のための基準を示す。

### 2.2 中流動覆工コンクリート配合

中流動管理要領に示されている示方配合決定フローに加えて、実物大型枠による試験施工を行い、選定した配合を表-2に示す<sup>3)</sup>。

### 2.3 中流動覆工コンクリート

新津トンネルでは、中流動コンクリートの流動性と充填性に優れる特徴を活かして、合理的なトンネル覆工の施工、品質向上を図るべく、当社保有技術である自動配管切り替え装置「スパイダー打設システム」や、型枠バイブレータの集中制御システムなどを採用したセントル設備、コンクリート養生システム、養生管理システムなどのトンネル覆工打設管理システムを適用した。

表-1 中流動覆工コンクリートの配合決定のための基準<sup>2)</sup>

種別	材齢28日における圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	粗骨材最大寸法(mm)	スランプおよびスランプフロー(cm)	加振変形試験(cm)	U形充填性高さ(障害無し)(mm)	空気量(%)	セメントの種類	最低単位セメント量(kg/m <sup>3</sup> )	単位水量(kg/m <sup>3</sup> )	最大塩化物含有量(Cl)(g/m <sup>3</sup> )	繊維混入率(%)	材齢28日における曲げ靱性
T1-1(LS) T1-1(FA)	18	20 25	21±2.5 35～50	10秒加振後のスランプフローの広がり	280以上	4.5±1.5	普通ポルトランドセメント(LSの場合高炉セメントB種を使用しても良い)	270	LS:175以下 FA:180以下	300	—	—
T3-1(LS) T3-1(FA)				加振後の広がったコンクリートにおいて、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以上のペーストや遊離した水の帯が無いこと							0.3以上で「繊維補強覆工コンクリート編」で求まる最低混入率とする	「繊維補強覆工コンクリート編」に示される基準線を下回らないこと、かつ曲げ靱性係数の平均値で1.40N/mm <sup>2</sup> を下回らないこと

表-2 新津トンネルにおける中流動覆工コンクリートの配合

配合名	粗骨材の最大寸法(mm)	水セメント比 W/C(%)	水粉体比 W/(C+LF)(%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
					水 W	セメント C	石粉 LS	細骨材 S	粗骨材 G	繊維 <sup>*1</sup> F	混和剤 Ad
T3-1(LS) (中流動)	20	59.3	45.7	50.0	160	270 <sup>**2</sup>	80	904	918	2.73	3.15 <sup>**4</sup>
T3-1 (従来)	20	49.4	49.4	48.0	168	340 <sup>**3</sup>	-	861	947	2.73	0.85 <sup>**5</sup>

※1：ポリプロピレン繊維，※2：普通ポルトランドセメント，※3：高炉セメントB種，※4：高性能 AE 減水剤，※5：AE 減水剤

### (1) セントルの補強

試験施工において、型枠最下部では打設リフトに対して側圧係数 0.71～0.88 程度の側圧が生じたことから、最終打設圧を考慮した荷重で型枠計算を実施した。脚部においては 120kPa、クラウン部では 100kPa と設定して部材設計を行い、下げネコ部などを補強した。

### (2) 型枠バイブレータによる締め

水平方向、鉛直方向それぞれの振動伝搬の減少率を試験施工で確認したことを受けて、実施工では、図-1 に示すように、50 台の固定式の型枠バイブレータを設置するとともに、最大 20 台の型枠バイブレータを同時に稼働させることができる集中制御システムを導入し、打設リフトに応じた締め作業の効率化を図った（写真-1 参照）。

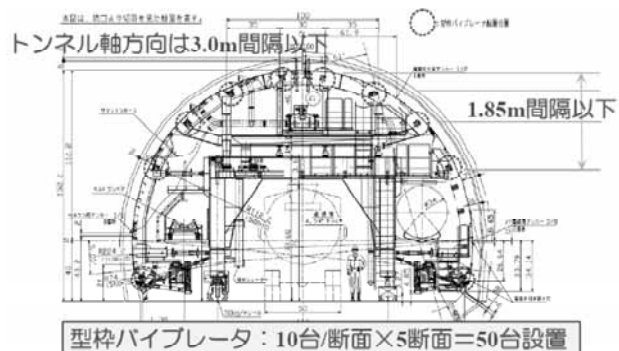


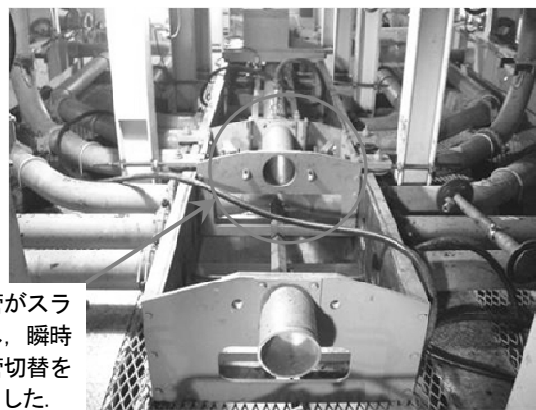
図-1 型枠バイブレータの配置状況



写真-1 バイブレータ集中制御盤

### (3) 自動配管切替装置の採用

打設口が多いため、瞬時に配管切替を可能とし、左右同時打設が可能な、自動配管切替装置（スパイダーシステム）を採用して、煩雑な配管の切替手間を解消した（写真-2 参照）。



Y字管がスライドし、瞬時に配管切替を可能とした。

写真-2 自動配管切替装置（スパイダーシステム）

### (4) コンクリートの充填確認管理

試験施工で良好な仕上がり面が得られた充填圧である 60kPa を充填管理圧とし、型枠面に土圧計を設置して、リアルタイムで監視することとし、吹き出し口断面に 2 箇所、妻側断面の天端部、肩部の計 4 箇所計測管理することとした。

### (5) 養生および養生管理

打設後の初期養生は覆工コンクリートの強度発現、ひび割れ低減に重要な役割を果たすことが明らかになっている。このことから、打設完了後の型枠移動の段階から、写真-3 に示すように、セントル後方に 3 打設スパンを覆って保温、加湿養生ができる養生台車を採用した。また、打設後の養生温度をリアルタイムに計測し、養生温度の適切性確認と脱型の可否の判定を行い、脱枠後は湿度を計測し、湿潤性が損なわれる可能性がある場合は、湿潤性回復策を促す養生管理システムを適用した。



写真-3 3スパン連続覆工コンクリート養生台車

### 3. 増粘剤を用いた中流動コンクリートの検討

#### 3.1 室内試験での検討

##### (1) 概要

増粘剤は、高流動コンクリートにおいて数多くの実績を有し、確立された材料である。高流動コンクリートで用いられている増粘剤を含めて、表-3に示す4種類の増粘剤について、中流動コンクリートに適合するものを選定するための検討を行った。増粘剤 Sc-A は、高流動コンクリートで実績のある材料であり、高流動コンクリートでの標準使用量は300~600g/m<sup>3</sup>である。

表-4に示した繊維補強覆工コンクリートの最低セメント量である340kg/m<sup>3</sup>とした配合を基準配合とし、増粘剤系中流動コンクリートの配合検討を実施した。高性能AE減水剤の添加率は、目標スランプフロー450mmを確保するように、適宜、調整した。

表-3 検討した増粘剤の種類

増粘剤の種類	化学組成 <sup>※1</sup>	備考
Sc-A	セルロース エーテル系	シリーズI
Sc-B		シリーズI
Sc-C		シリーズI, II
Sc-D		シリーズII

※1：水溶性粘性：Sc-A > Sc-B > Sc-C > Sc-D

##### (2) 増粘剤の選定—シリーズI

増粘剤添加量200g/m<sup>3</sup>の条件における加振変形量の比較を図-2に示す。図に示すように、Sc-Aが10mm、Sc-Bが32mm、Sc-Cが53mmの結果であり、いずれの増粘剤とも、加振変形量の規格値100±30mmを満足しない結果であった。増粘剤の粘度が大きいほど、加振変形量は小さくなる結果である。

増粘剤添加量と加振変形量の関係を図-3に示す。Sc-Cの加振変形量は、添加量100g/m<sup>3</sup>以上ではコンクリートの粘性が大きく規定の変形性能を満足できないが、50~75g/m<sup>3</sup>では、増粘剤添加量を調整することにより、

表-4 室内試験における中流動覆工コンクリートの配合

配合名	粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメン ト比 W/C(%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	繊維 <sup>※1</sup> F	増粘剤 Sc	混和剤 Ad
T3-1(Sc)	20	50.0	52.0	170	340 <sup>※2</sup>	930	871	918	0.05~ 0.20	適宜 <sup>※3</sup>

※1：ポリプロピレン繊維、※2：高炉セメントB種、※3：高性能AE減水剤

中流動コンクリートとして要求される加振変形性を満足すると判断された。これに対して、Sc-A、Sc-Cでは50g/m<sup>3</sup>でも規格値を満足しない結果であったことから、かなり微量な添加量での調整となり、現場での調整が困難であると判断された。そこで、Sc-CおよびSc-Cより粘性の小さい増粘剤Sc-Dに絞り込み、実験を実施した。

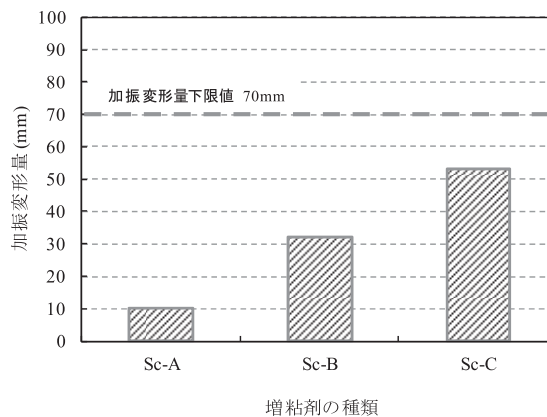


図-2 加振変形量の比較 (増粘剤200g/m<sup>3</sup>添加)

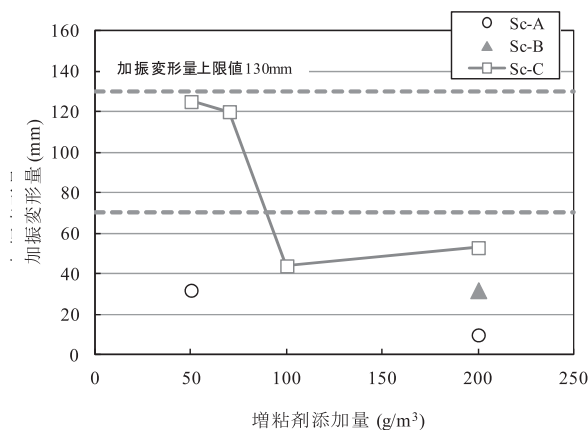


図-3 増粘剤添加量と加振変形量の関係

##### (3) 増粘剤の選定—シリーズII

増粘剤添加量25~100g/m<sup>3</sup>と変化させた場合の増粘剤添加量と加振変形量の関係を図-4に示す。また、U型充填試験の関係を図-5に示す。

Sc-C は  $25\text{g/m}^3$ ,  $50\text{g/m}^3$  は加振変形量の規定値  $100 \pm 30\text{mm}$  を満足したが,  $75\text{g/m}^3$  では満足しない結果であった。  $75\text{g/m}^3$  は粘性が若干大きいように感じられたが, 写真-4 に示すように, コンクリートの状態は良好であった。 粘性の小さい Sc-D は  $50 \sim 100\text{g/m}^3$  で加振変形量の規定値  $100 \pm 30\text{mm}$  を満足する結果が得られた。

U型充填試験は, 図-5 に示すように, Sc-C は  $50 \sim 100\text{g/m}^3$  の添加量でU型充填高さの規格値である  $280\text{mm}$  以上を満足した。 一方, Sc-D はコンクリートの粘性の不足による骨材沈降が生じたために, 今回検討した  $50\text{g/m}^3$ ,  $75\text{g/m}^3$  ではU型充填高さを満足できない結果であった。

以上, 加振変形量, およびU型充填高さのいずれも満足した増粘剤は Sc-C であり, 増粘剤添加量としては  $50 \sim 75\text{g/m}^3$  であることが確認された。

中流動コンクリートの配合選定の指標としている加振変形量, およびU型充填高さを満足するコンクリートは良好なワーカビリティを有している。 このことから, 両者の規格値を満足する増粘剤添加量を設定することで, 適切な中流動コンクリートの配合を得られると考える。



写真-4 フレッシュコンクリート : Sc-C( $75\text{g/m}^3$ )

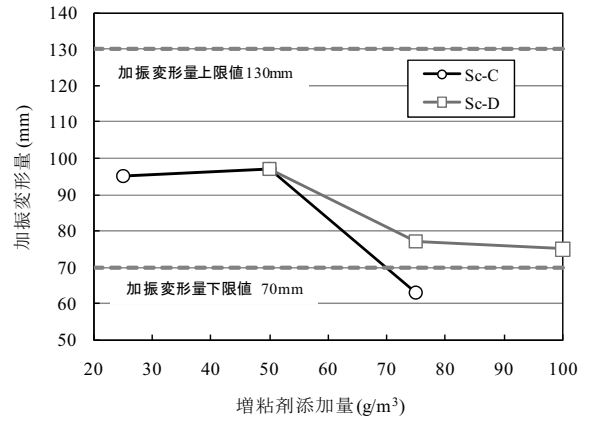


図-4 増粘剤添加量と加振変形量の関係

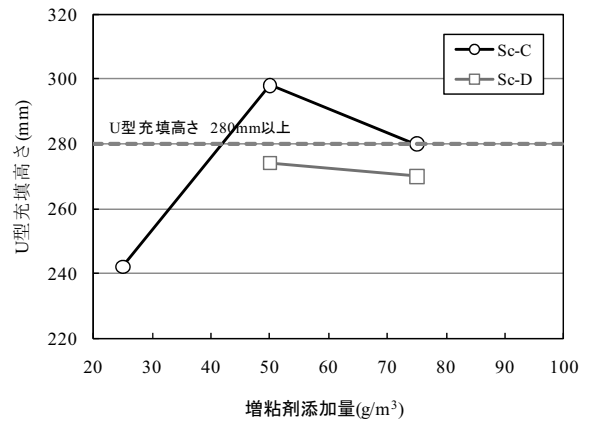


図-5 増粘剤添加量とU型充填高さの関係

#### (4) 硬化コンクリートの試験結果

圧縮強度試験結果を図-6 に示す。検討した増粘剤を用いた中流動コンクリートについては, 現在適用している石粉を用いた中流動コンクリート (T3-1(LS)) と同等以上の圧縮強度結果であり, 良好な強度発現性を有していることが確認された。

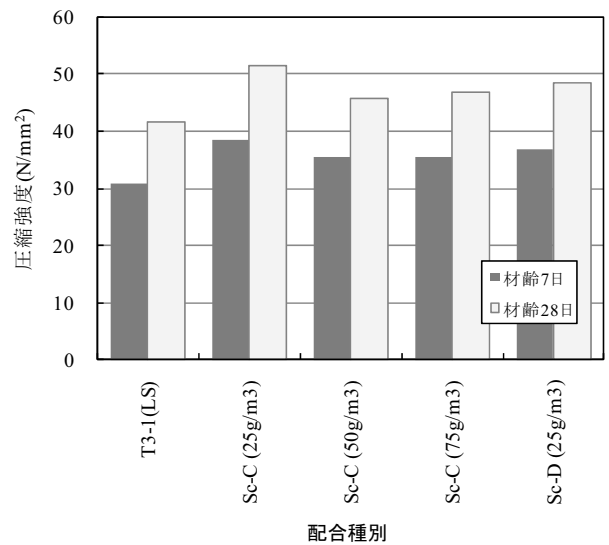


図-6 圧縮強度試験結果

材齢 110 日までの長さ変化の測定結果を図-7に示す。新津トンネルで使用している骨材は、一般的に乾燥収縮が小さいとされている石灰石の碎石、砕砂を使用している。このことから、今回検討したコンクリートは  $400\mu$  以下と乾燥収縮としては小さい結果であった。

増粘剤を用いた配合は、現場で施工している石粉を用いた中流動コンクリート T3-1(LS)と同等である。また、Sc-C については、増粘剤添加量を変化させたが、今回の検討範囲においては、増粘剤の添加率が収縮特性に及ぼす影響は認められなかった。

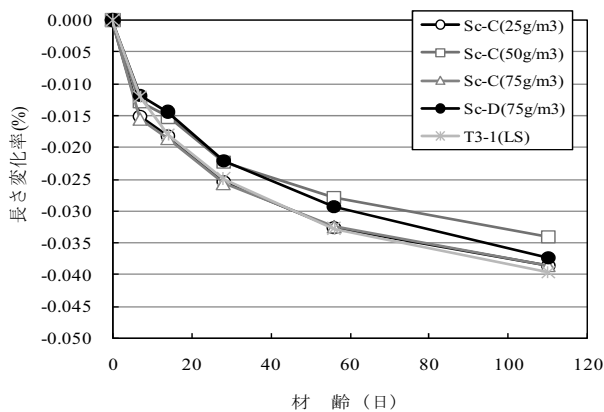


図-7 長さ変化試験結果

促進中性化試験の結果を図-8に示す。促進条件は、温度  $20^{\circ}\text{C}$ 、湿度 60%、 $\text{CO}_2$  濃度 5%で実施した。

石粉を用いた中流動コンクリート T3-1(LS)は普通ポルトランドセメントであり、それ以外の配合については高炉セメント B 種を使用している。このことから、普通ポルトランドセメントの T3-1(LS)の中性化深さは小さい結果であった。増粘剤を用いた配合は、通常の覆工コンクリート (T3-1) と比べて中性化深さは材齢 8 週において 2~3mm と僅かに大きい結果であった。

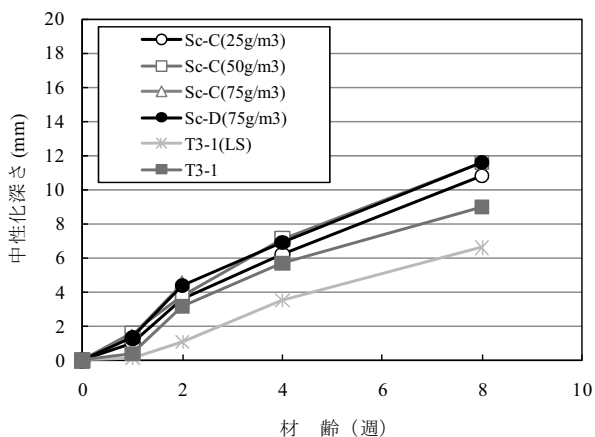


図-8 促進中性化試験結果

## 3.2 実機試験での検討

### (1) 概要

室内配合試験によって選定した配合について、実機における練上り後の時間経過に伴う、フレッシュコンクリートの性状変化を確認することを目的に実機試験を実施した。

#### 1) 試験場所

新津トンネル坑内

#### 2) 実施日

平成 23 年 6 月 16 日 (木)

#### 3) 配合

配合は、増粘剤添加量以外は、表-4に示す配合とした。増粘剤は Sc-C を用い、分散性を向上させるために増粘剤と高炉スラグ微粉末をプレミックスし、増量したものを使用した。添加量はプレミックスもので  $300\text{g/m}^3$  とした。

### (2) 経過時間がフレッシュコンクリートに及ぼす影響

経過時間とスランプフローの関係を図-9に示す。

スランプフローは、繊維投入後のスランプフローを目標  $400\sim 450\text{mm}$  とするため、 $600\text{mm}$  のスランプフローでプラントを出荷した。現場到着時で  $462\text{mm}$ 、繊維投入後に  $408\text{mm}$  となりほぼ目標とした値であった。その後は、時間経過に伴いスランプフローの低下は見られ、出荷から 90 分の繊維投入後 30 分で  $378\text{mm}$  となり、出荷から 120 分の繊維投入から 60 分で  $306\text{mm}$  であった。

加振変形量は繊維投入後いずれの試験結果も  $92\sim 105\text{mm}$  であり、良好な変形性能が確認された。また、U 型充填試験においても充填高さ  $332\text{mm}$  と良好なセルフレベルリングが確認された。

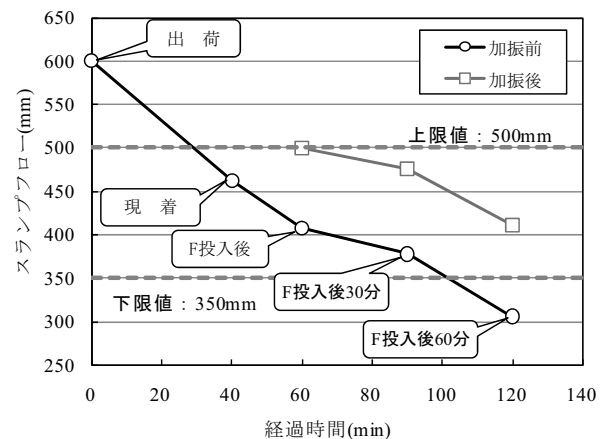


図-9 経過時間とスランプフローの関係

経過時間に伴うスランプフローの変化量を図-9に、空気量の変化を図-10に示す。図に示すように、スランプフローの低下の傾向は、現場で施工している石粉を用いた中流動コンクリート T3-1(LS)と同等の変化量であることを確認した。

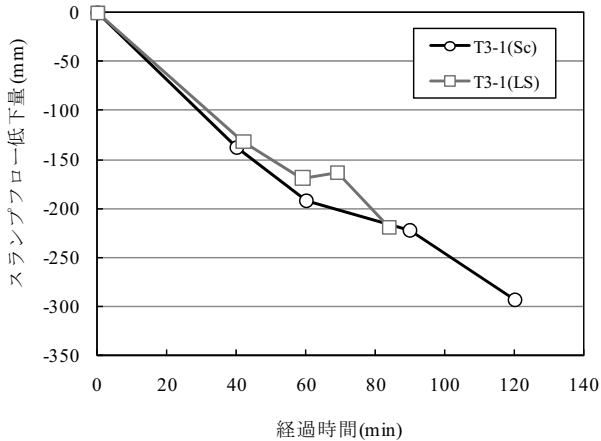


図-10 経過時間に伴うスランプフローの変化量

空気量に関しては、出荷は3.5%とやや低めの出荷であったが、図-11に示すように現場到着から繊維投入と時間経過とともに緩やかであるが空気量は増加傾向が見られた。最終的に出荷から120分、繊維投入後60分では、空気量が5.3%の結果であった。

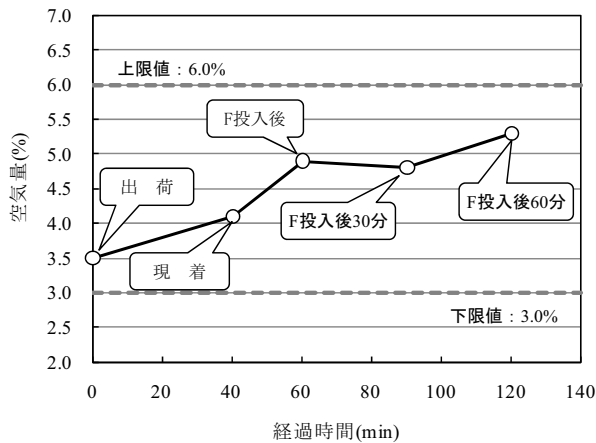


図-11 経過時間に伴う空気量の変化

### (3) ポンプ圧送がフレッシュコンクリートに及ぼす影響

ポンプ圧送前後におけるスランプフローと空気量の変化を図-12、図-13に示す。繊維投入後のコンクリートをポンプ圧送し、筒先から排出されたコンクリートのスランプフローと空気量について、圧送前後の比較を行った。筒先のスランプフローは390mmと圧送前より

18mmの低下であったが、目標とした400mmをほぼ満足することを確認し、加振変形量も100mmと良好な変形性能を有するコンクリートであった。空気量については、4.9%が圧送後に0.5%低下したが、管理規準値 $4.5 \pm 1.5\%$ のほぼ中央値であり、適切な空気量の調整が行えることを確認した。

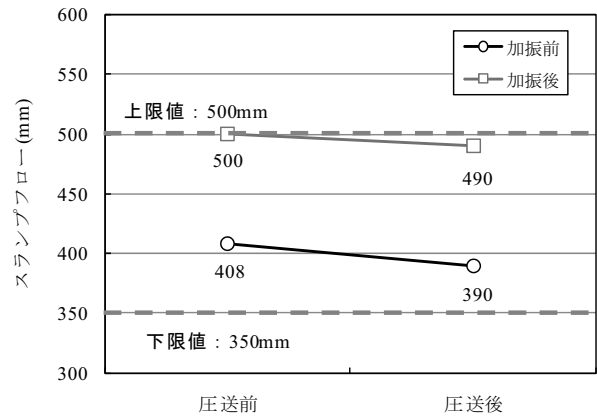


図-12 ポンプ圧送とスランプフローの関係

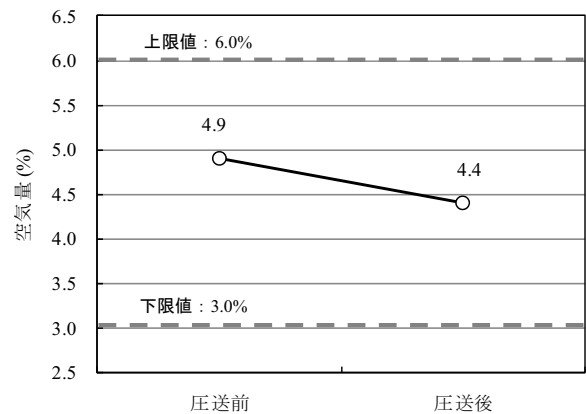


図-13 ポンプ圧送と空気量の関係

### (4) 強度試験結果

若材齢における積算養生温度と圧縮強度の試験結果を図-14に示す。増粘剤を用いることによる凝結の遅れが懸念されたが、図に示すように、現場で施工している石粉を用いた中流動コンクリート T3-1(LS)と同等の若材齢における強度発現性を有していることを確認した。

また、圧縮強度の試験結果は、材齢7日で $32.0\text{N/mm}^2$ 、材齢28日では $44.0\text{N/mm}^2$ と良好な強度発現性状であることを確認した。

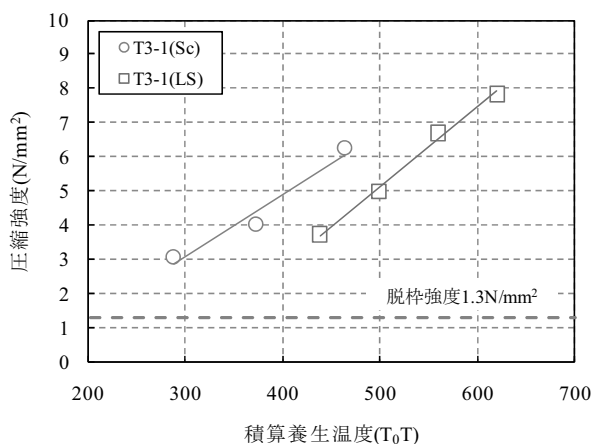


図-1 4 若材齢強度試験結果

## 4. 増粘剤を用いた中流動コンクリートの試験施工

### 4.1 概要

#### (1) 実施日と打設スパン

試験施工は、標準断面の連続3スパンで実施した。実施日と打設スパンを表-5に示す。

表-5 実施日及び打設スパン

No	実施日	打設スパン
1	平成23年7月25日(月)	124BL
2	平成23年7月27日(水)	125BL
3	平成23年7月29日(金)	126BL

#### (2) 増粘剤の添加方法

今回の試験施工では、3スパンのみの試験施工であったことから、写真-5に示すように、生コン工場の骨材計量ビンに手投入で増粘剤を添加した。



写真-5 増粘剤の添加状況

## 4.2 コンクリートの試験結果

### (1) フレッシュコンクリート

スランプフロー、加振変形量および空気量の試験結果を図-15、図-16に示す。試験結果は、1車目から5車目の連続5台、および50m³毎に測定した結果である。

スランプフローは、規定値の350~500mmを満足し、目標とした400mm以上でのコンクリートでの施工を行ったことが伺える。加振変形量は、±30mmを満足する加振変形量であり、中流動コンクリートの特徴である材料分離抵抗性と加振変形性を有するであったと考えられる。

空気量は、ポンプ圧送による空気量の低下を考慮した圧送前の管理規準値5.5±1.5%を満足する結果であった。

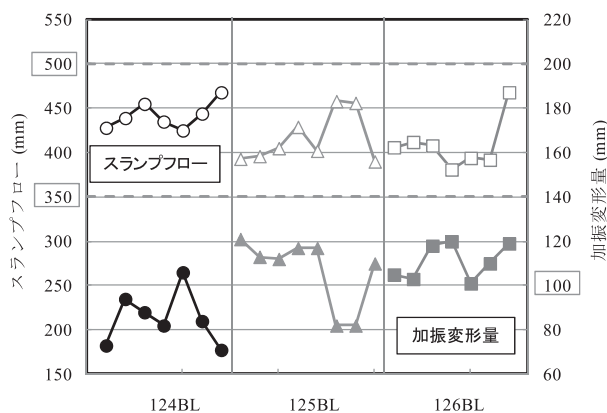


図-1 5 スランプフロー、加振変形量の試験結果

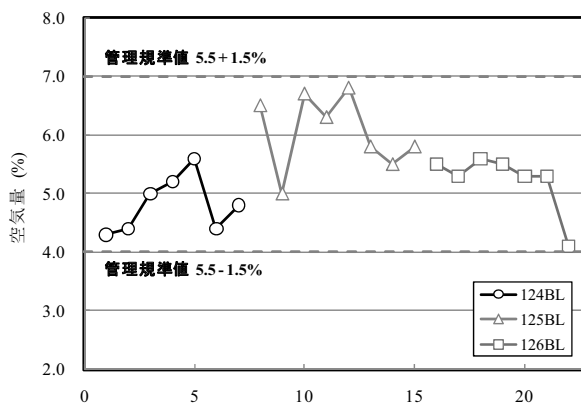


図-1 6 空気量の試験結果

### (2) 硬化コンクリート

打設スパン毎の圧縮強度試験結果を表-6に示す。

圧縮強度は、現場で施工している石粉を用いた中流動コンクリート T3-1 (LS) と同等の圧縮強度であった。



表-6 圧縮強度試験結果

打設スパン	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
	材齢7日	材齢28日
124BL	30.3	44.2
125BL	30.5	43.8
126BL	30.8	42.7

### (3) 施工性

施工性は、フレッシュコンクリートの品質が現場で施工している石粉を用いた中流動コンクリート T3-1(LS)と同等であったことから、打込み方法、締固め方法などは現状の施工方法と同じ方法で実施したが、遜色のない施工が行え、仕上がり性状についても問題のない状況であることを確認した。

## 5. まとめ

東九州自動車道新津トンネル工事において実施した増粘剤を用いた中流動コンクリートに関する検討結果を、以下にまとめる。

- 1) 増粘剤を用いた中流動コンクリートの配合選定は、中流動覆工管理要領に示されている選定フローに準じて、増粘剤種類や添加率を選定することによって、加振変形量および U 型充填高さの規定値を満足するコンクリートが得ることができる。
- 2) 今回検討した増粘剤種類および添加量においては、強度特性、耐久性（乾燥収縮化、中性化抵抗性）は、中流動覆工管理要領に示されている配合と同等以上の品質を有している。
- 3) 施工性は、増粘剤を用いた中流動コンクリートにおいても、中流動覆工管理要領に示されている施工方法に準じた施工が可能である。

## 6. おわりに

当社が実施しているトンネル覆工における天端部の締固め、打設管理、養生管理などの技術向上の取り組みにおいて、本報告はコンクリートの配合面から品質向上、施工の省力化を目的として研究開発を行った成果を取り

まとめた。

中流動コンクリートに関しては、新津トンネルにおいて、平成 22 年 6 月より中流動コンクリートによる覆工コンクリート施工を開始し、8 月末までに施工延長 1,418m（トンネル全長 2,074m）の実績を積み重ね、多くの技術ノウハウが蓄積されている。更に、今回検討した増粘剤を用いる中流動コンクリートを加えたことにより、当社としての覆工コンクリートに関する技術が向上したと考えている。

増粘剤を用いた中流動コンクリートに関しては、現在の中流動覆工管理要領では生コン製造工場の設備において制約されるケースでも適用が可能となることから、中流動コンクリートの更なる展開が期待される。更には、中流動コンクリートに関しては、複雑な形状を有する構造物や過密配筋となるような構造物についても、施工の確実性を向上させるだけでなく、将来の省力化、合理化施工を可能とする有望な技術であることから、山岳トンネルの覆工コンクリート以外での適用も検討を進めたいと考えている。

**謝辞：**新津トンネルでの増粘剤を用いた中流動覆工コンクリートの試験施工に際しては、西日本高速道路(株)福岡工事事務所、福岡技術事務所、九州支社建設事業部、本社技術部の皆さま、中村産業生コン(株)、BASF ポゾリス(株)をはじめ、多数の皆さまからご協力をいただきました。本誌面を借りまして、心より感謝の意を表します。

### 【参考文献】

- 1) 柳森豊・堂園淳一・平間昭信・筒井隆規：トンネル二次覆工への中流動コンクリートの適用，コンクリート工学，Vol.49，No.6，pp.11-17，2011.6
- 2) 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，pp.1-4，2008.08.
- 3) 柳森豊，他：中流動覆工コンクリートの実物大型枠による試験施工ー東九州自動車道新津トンネル工事ー，とびしま技報，第 59 号，pp.1-12，2010.9
- 4) 日本道路公団試験研究所：試験研究所技術資料第 360 号 覆工コンクリート施工マニュアル，道路研究部トンネル研究室，pp.23-24 および pp.91-110，2002.03.

**Summary** Middle-fluidity concrete is used for constructing tunnel lining concrete as a means of solving such problems as the deterioration of consolidation of concrete at tunnel crown where compaction is difficult, reduction of strength due to poor integration of overlaid concrete and the creation of a back cavity owing to poor filling. Our company applied middle-fluidity concrete in the work at the Aratsu Tunnel on the Higashi-kyushu Expressway (length: 2,074 m) for the first time and has been carrying out construction since June 2010.

Middle-fluidity concrete uses limestone powder as an admixture and fly-ash in place of cement. It contributes to the reduction of environmental burden through the reduction of cement weight and effective use of industrial byproducts. Using limestone powder and fly-ash, however, requires facilities at ready-mixed concrete plants such as additional storage silos. For further advancement of middle-fluidity concrete, thickener-type middle-fluidity concrete was developed for applying thickeners used in high-fluidity concrete.

This paper describes the results of examination of mix proportions of newly developed thickener-type middle-fluidity concrete by laboratory tests, knowledge obtained in the application in the construction of the Aratsu Tunnel and the tasks remaining to be done.

**Key Words:** *Middle-Fluidity Concrete, Lining Concrete, Thickener, Vibrational Energy, Labor Saving*