

# 論文 後添加型液体増粘剤を使用した中流動コンクリートに関する研究

宮川 美穂<sup>\*1</sup>・岩城 圭介<sup>\*2</sup>・佐々木 秀一<sup>\*3</sup>・入内島 克明<sup>\*4</sup>

**要旨**：スランブ 15cm 以下の普通コンクリートを工事現場に運搬後、コンクリートの流動性を高める方法としては、一般的に流動化剤が使用される。流動化剤を添加したコンクリートのスランブは 18~21cm 程度を上限としており、さらに流動性を高める場合は、材料分離や耐久性の低下に十分注意する必要がある。本研究では、一般的な流動化剤よりも分離抵抗性を高めた液体増粘剤を、後添加にて中流動コンクリートに使用し、フレッシュ性状ならびに経時変化試験を行った。また、圧縮強度試験、凍結融解試験ならびに長さ変化試験を行い、全ての試験において液体増粘剤を添加する前のベースコンクリートと同等の性能が得られた。

**キーワード**：後添加、液体増粘剤、中流動コンクリート、トンネル覆工コンクリート、材料分離

## 1. はじめに

スランブ 15cm 以下の普通コンクリートを練混ぜた後、工事現場においてコンクリートの流動性を高める方法として流動化コンクリートが挙げられる。流動化コンクリートは、古くから研究が行われており、現在でも工事現場において、コンクリートの流動性を調整する方法として使用されている。

日本建築学会編 JASS 5<sup>1)</sup>では、流動化剤を使用する場合、ベースコンクリートのスランブと流動化コンクリートのスランブの差であるスランブ増大量は 10cm 程度以下とし、流動化コンクリートのスランブの上限は、特別な場合を除いて 21cm 以下と定められている。また、土木学会編 コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>では、スランブの増大量として 10cm 以下、原則 5~8cm を標準とするとともに、流動化コンクリートのスランブの上限を原則として 18cm 以下としている。流動化工法により、施工性が向上すると考えられるが、ベースコンクリートの流動性ならびに流動化剤の添加量によっては、コンクリートの分離抵抗性が低下する可能性もある。よって、流動化剤の使用にあたっては、あらかじめ試験練りを実施し、添加量およびフレッシュ性状を確認する必要がある。

一方、トンネル覆工コンクリートでは、昨今、締め作業の省力化や充填性向上を目的とした中流動コンクリートの施工例が増加しつつある<sup>3)</sup>。中流動コンクリートのスランブは 21±2.5cm、スランブフローは 35~50cm のコンクリートで、材料分離を抑制する方策として、石炭灰および石灰石微粉末を使用する方法と混和剤を増粘剤一液タイプの高性能 AE 減水剤を使用する方法がある<sup>4)</sup>。

レディーミクストコンクリート工場にて、石炭灰および石灰石微粉末を使用した中流動コンクリートを製造す

る場合、地域によっては石炭灰もしくは石灰石微粉末の調達が困難な場合や、レディーミクストコンクリート工場のサイロ等設備上の制約により、適用できない可能性がある。

混和剤として、高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプを使用する場合、石炭灰や石灰石微粉末を用いずセメントのみで中流動コンクリートの配合設計が可能であるが、混和剤タンク等の設備上の制約や、コンクリート種別の混在による出荷量制限等の課題により、中流動コンクリートを製造できない可能性も低くない。これらの背景を踏まえると、流動化コンクリートとして中流動コンクリートを製造することで、上記のような問題は解決できる。

近年では、トンネル覆工コンクリート用途で流動化剤を使用した中流動コンクリートの研究が行われている<sup>5)</sup>。しかし、中流動コンクリートは、流動化コンクリートのスランブ上限値を上回る流動性を必要とするコンクリートであり、材料分離や充填性、耐久性などが懸念される。

本研究では、液体増粘剤の後添加による中流動コンクリートの品質の安定化を目的とし、スランブ 15cm 程度のベースコンクリートと、液体増粘剤を添加した中流動コンクリートの比較試験を行った。なお、本研究で使用している液体増粘剤は、少量のポリカルボン酸が配合されており、コンクリートに粘性のみならず流動性も付与することができる混和剤である。

## 2. 試験概要

### 2.1 使用材料および配合

表-1 に使用材料を、表-2 に配合を示す。

セメントとしては普通ポルトランドセメントを使用し、全ての配合にポリプロピレン繊維を使用した。ポリプロ

\*1 グレースケミカルズ (株) 技術部 R&D エンジニア 工修 (正会員)

\*2 グレースケミカルズ (株) 技術部 技術部長 (正会員)

\*3 グレースケミカルズ (株) 営業開発課 次長 (正会員)

\*4 電気化学工業 (株) インフラ・無機材料部門 特殊混和材部 技術課長 (正会員)

ピレン繊維は、トンネル覆工コンクリートにおいて、はく離・はく落対策として一般的に用いられており、本研究では、繊維を使用した中流動コンクリートとした。

ベースコンクリートの配合は、NEXCO 旧トンネル施工管理要領（平成 20 年 8 月）<sup>6)</sup>の種別 T3-1 を参考に、最低単位セメント量 340kg/m<sup>3</sup>、単位水量 175kg/m<sup>3</sup> とするとともに、スランプ 15cm を基準とした。

コンクリートの練混ぜは、ポリプロピレン繊維を添加したベースコンクリートのスランプを 15±2.5cm、空気量を 4.5±1.0% となるように、高性能 AE 減水剤ならびに AE 剤添加率の調整を行ったのち、後添加型液体増粘剤（以下 VMA）を添加し、中流動コンクリートを練混ぜた。

表-3 に、中流動コンクリートの目標性能を示す。スランプ 21±2.5cm、スランプフロー 35～50cm、空気量 4.5±1.0% とし、フレッシュ性状を確認した後、加振変形試験ならびに U 充填性高さ試験を行った。

現場で VMA を添加する場合、ベースコンクリートのスランプ変動が中流動コンクリートのフレッシュ性状に影響を与える可能性がある。そこで、ベースコンクリートの目標スランプを、15±2.5cm の範囲内で 13±0.5cm、15±1cm、17±0.5cm の 3 水準設けた。なお、ベースコンクリートのスランプ変動は、スランプ 15cm の基準配合から、高性能 AE 減水剤添加率は一定として単位水量の増減のみによって調整を行った。また、中流動コンクリートの目標スランプは、ベースコンクリートと同様に、19±1cm、21±1cm、23±1cm の 3 水準設け、各スランプのベースコンクリートが中流動コンクリートの目標性能を満足するように VMA 添加率を調整し、フレッシュ性状ならびに強度発現性の確認を行った。

## 2.2 試験方法

### (1) フレッシュ性状

ベースコンクリートを練混ぜ、フレッシュ性状を確認した後、VMA を添加した中流動コンクリートの製造を行った。VMA 添加までの時間は、ベースコンクリート練上がりから約 10 分とした。

中流動コンクリートの製造を行った後、30 分ごとに 60 分まで静置し、各時間で一樣になるまで練混ぜ、フレッシュ性状の経時変化確認試験を行った。なお、ベースコンクリートの経時変化試験は行っていない。

スランプならびにスランプフローは目標性能を満足したものに対しては、加振変形試験ならびに U 充填高さ試験を行った。なお、加振変形試験ならびに U 充填高さ試験は、NEXCO トンネル施工管理要領<sup>4)</sup>に従い試験を行った。

ブリーディング試験ならびに凝結試験は、ベースコンクリート（配合記号 15）および中流動コンクリート（配合記号 15-21）に関して、環境温度 10℃および 20℃で

表-1 使用材料

材 料	記号	種 類	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
水	W	水道水	—
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.15
細骨材	S	掛川産陸砂	2.56
粗骨材	G	砕石 2005	2.68
繊維	PP	ポリプロピレン L=48 mm	0.91
混和剤	AD	高性能 AE 減水剤 標準形 I 種	
	AE	AE 剤 I 種	
液体増粘剤	VMA	特殊増粘剤とポリカルボン酸系化合物	

表-2 コンクリート配合

SL (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					AD	PP
			W	C	S	G	AD		
13	50.3	54.8	171	340	937	804	2.55	2.73	
15	51.5		175						
17	52.6		179						

※スランプ 15cm を基準配合とする。

表-3 中流動コンクリートの目標性能

試験項目	基 準
スランプ(cm)	21±2.5
スランプフロー(cm)	35～50
空気量(%)	4.5±1.0
加振変形試験(cm)	10 秒後のスランプの広がり 10±3
U 充填性高さ(mm) (障害なし)	280 以上

表-4 試験条件ならびに項目

試験項目	規格ならびに条件
スランプフロー	JIS A 1150 経過時間 0, 30, 60 分
ブリーディング	JIS A 1123 環境温度：10℃, 20℃
凝結	JIS A 1147 環境温度：10℃, 20℃
圧縮強度	JIS A 1108 材齢：16h, 18h, 20h, 24h, 1 週, 4 週
長さ変化	JIS A 1129
凍結融解	JIS A 1148

表-5 フレッシュ性状

配合記号	ベースコンクリート		中流動コンクリート						
	スランブ (cm)	空気量 (%)	VMA 添加率 (C×%)	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	加振後 (cm)	加振差 (cm)	空気量 (%)	U 充填高さ (mm)
13-19	13.0	4.4	0.55	20.0	36.5	47.5	11.0	5.5	297
13-21	12.7	4.6	0.70	21.0	41.5	49.0	7.5	5.8	288
13-23	13.0	4.6	0.90	21.8	49.5	56.0	6.5	5.6	277
15	16.0	4.5	-	-	-	-	-	-	-
15-19	15.9	4.2	0.35	18.7	36.5	46.5	10.0	5.8	302
15-21	15.9	3.6	0.55	20.7	45.5	54.0	8.5	5.0	285
15-23	15.2	4.7	0.70	22.3	47.0	55.5	12.5	5.4	287
17-19	17.5	4.2	0.20	19.8	34.0	46.5	14.5	5.5	252
17-21	17.5	4.2	0.35	21.1	39.5	50.5	13.0	5.1	283
17-23	17.2	4.0	0.55	22.6	45.0	56.0	11.0	5.0	285

※ 配合記号：ベースコンクリートの目標スランブ — 中流動コンクリートの目標スランブ

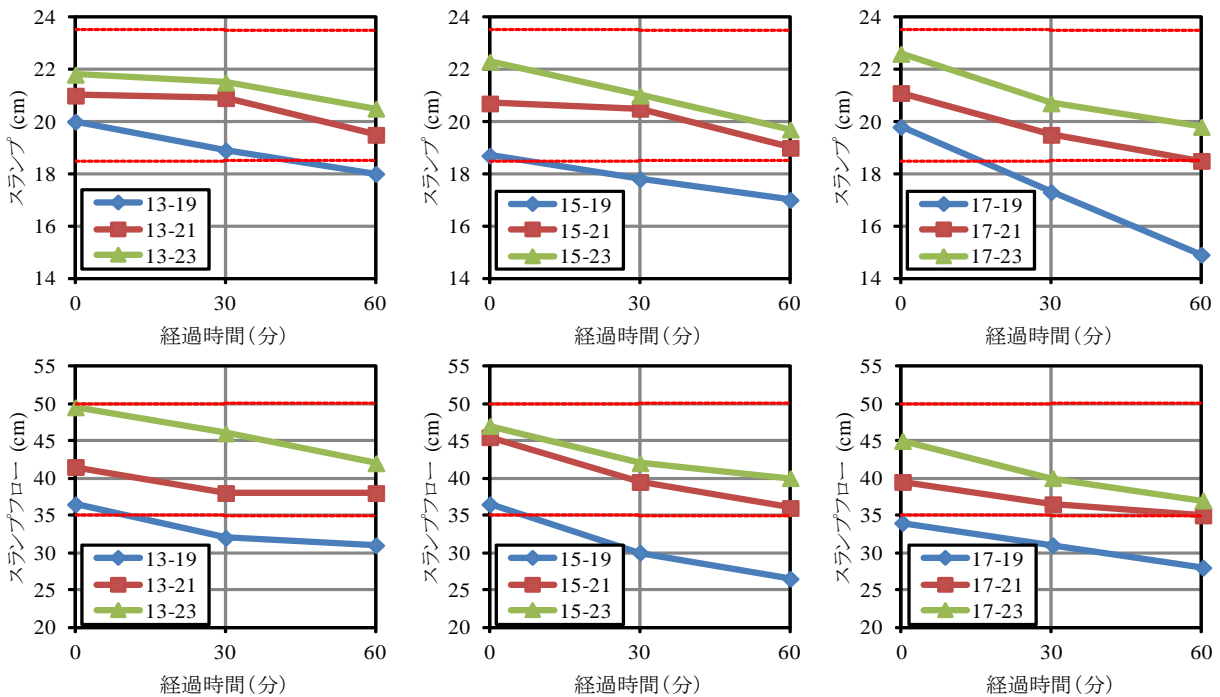


図-1 スランブおよびスランブフローの経時変化

試験を行った。配合記号 15 ならびに 15-21 は、スランブ目標値の中央値であり、製造する際に目標とする値であることから、この 2 配合を代表とした。

(2) 硬化性状

圧縮強度試験は、全ての配合にて実施した。圧縮強度の材齢に関しては、トンネル覆工では 12~20 時間程度で脱型することが多いことから、初期は 16 時間から 2 時間ごとに 24 時間まで試験を行った。

それ以外の硬化コンクリートの試験項目（凍結融解試験および長さ変化試験）に関しては、ブリーディング試験

および凝結試験と同様に、配合記号 15 および 15-21 を代表として試験を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

表-5 に、表-2 に示す配合で練混ぜたベースコンクリートと、中流動コンクリートのフレッシュ性状を示す。

ベースコンクリートの目標スランブが 15cm の場合、VMA 添加率の調整で、フレッシュ性状は目標性能を満足した。しかし、ベースコンクリートの目標スランブが

13cmで、中流動コンクリートの目標スランブが23cm(配合記号13-23)の場合は、加振変形試験ならびにU充填高さで、目標性能を満足することができなかつた。これは、スランブ増大量が大きいため、VMA添加率が高くなり、コンクリートの粘性が増加した結果、流動性が低下したものと考えられる。

ベースコンクリートの目標スランブが17cm、中流動コンクリートの目標スランブが19cm(配合記号17-19)の場合は、スランブフロー値が目標性能よりもやや小さく、加振変形試験ならびにU充填高さは、目標性能を満足することができなかつた。これは、スランブ増大量が小さいため、VMA添加率が低く、コンクリートに十分な粘性を付与することができなかつたためと考えられる。

スランブ増大量が6cmの3配合(配合記号:13-19, 15-21および17-23)は、いずれもVMA添加率が0.55%であり、ベースコンクリートのスランブにかかわらず、全ての目標性能を満足した。本研究で使用した材料においては、フレッシュ性状を満足するVMA添加率は、セメントに対して0.55%であったといえる。

本研究で検討したVMA添加率は0.20%~0.90%の範囲であり、配合記号17-19では0.20%と最も低く、配合記号13-23では0.90%と最も高い結果であった。しかし、それら2配合は、フレッシュ性状が目標性能を満足しなかつた。よって、フレッシュ性状を満足するVMA添加率の範囲としては0.35%~0.70%程度が推奨される。

### 3.2 スランブおよびスランブフローの経時変化

図-1に、中流動コンクリートのスランブおよびスランブフローの経時変化を示す。表中の点線は、中流動コンクリートのスランブおよびスランブフローの目標性能範囲を示す。

中流動コンクリートの目標スランブが19cmの場合、経時15分程度で目標性能を外れる配合が認められ、ベースコンクリートのスランブが大きいほど、経時にもなうスランブ低下が大きくなる傾向であった。経時30分で、スランブならびにスランブフロー値が、目標性能を満足しなかつたため、加振ならびにU充填高さの試験は行っていない。目標スランブ19cmでは、VMA添加率が比較

的低いことが起因して、経時変化が大きかったと考えられる。よってVMA添加率が、経時変化に及ぼす影響は大きいと考えられる。

中流動コンクリートの目標スランブが21cmの場合は、いずれの配合でも経時60分程度は目標性能を満足しており、急激なスランブロスは認められなかつた。

経時30分での全配合の加振試験によるスランブフローの差は10.0~12.5cmであり、U充填高さは287~293mmであった。しかし、経時60分では、加振試験によるスランブフローの差は8.5~9.5cmと低下する傾向にあった。また、U充填高さは、配合記号13-21では285mm、15-21では294mm、17-21では262mmとなり、17-21だけ規格を満足することができなかつた。3配合のうち、最もVMA添加率が低い配合は17-21であり、VMAを一定量以上添加した配合の方が、スランブフローが同程度でもU充填高さが高くなる傾向にあった。

中流動コンクリートの目標スランブが23cmの場合は、目標スランブが21cmと同様に、いずれの配合も経時60分程度まで目標性能を満足した。

経時30分における加振試験によるスランブフローの差は9.0~11.5cmであり、U充填高さは282~300mmであった。経時60分では、加振試験によるスランブフローの差は9.0~10.0cm、U充填高さは280~285mmであり、両試験ともに目標性能を満足する結果となった。

経時30分~60分程度必要である場合は、ベースコンクリートのスランブが変動しても、中流動コンクリートの目標スランブを21cm以上に設定することで、安定した中流動コンクリートの提供が可能であると考えられる。

### 3.3 ブリーディング試験結果

図-2に、配合記号15および15-21の、環境温度10℃および20℃のブリーディング試験結果を示す。

環境温度20℃よりも環境温度10℃の方がブリーディング量は多くなる傾向にあったが、どちらの環境温度でも、配合記号15より15-21の方がブリーディング量は少なく、環境温度10℃で約30%、環境温度20℃で50%ほどの低減効果がみられた。

### 3.4 凝結試験結果

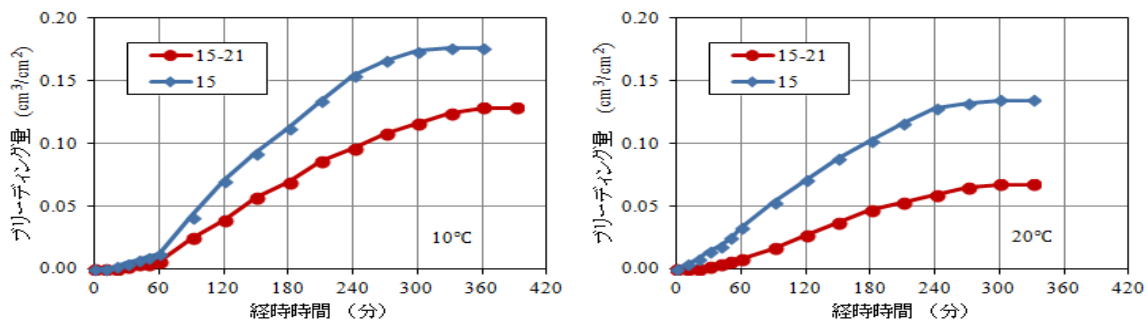


図-2 ブリーディング試験結果

図-3に、配合記号15および15-21の環境温度10℃および20℃での凝結時間を示す。

環境温度20℃では、配合記号15および15-21の凝結始発時間および終結時間はほぼ同等であり、VMAを添加したことによる凝結遅延は認められなかった。しかし、環境温度10℃では、配合記号15-21の凝結始発時間が、配合記号15よりも1時間程度遅れる傾向にあった。

コンクリート打込後の側圧は、コンクリートの流動性、凝結時間、部材厚および鉄筋量等の影響を受けるといわれている。使用材料ならびにVMA添加率によっては、凝結遅延し、型枠への側圧増加が考えられるため、注意が必要であると考えられる。

### 3.5 圧縮強度試験結果

図-4に、配合記号15および15-21の圧縮強度試験結果を示す。材齢16時間から圧縮強度の測定を行っているが、配合記号15および15-21の圧縮強度はほぼ同程度で、その傾向は材齢28日まで同様であった。

図-5に、ベースコンクリートのスランプを変動させた場合の中流動コンクリートの圧縮強度試験結果を示す。同一ベースコンクリートで比較すると、中流動コンクリートの目標スランプが大きくなるほど、圧縮強度はやや低くなる傾向にあった。VMA添加率が最も高い配合記号13-23では、配合記号13-19および13-21と比較して圧縮強度が低くなる傾向にあった。ベースコンクリートのスランプを単位水量で調整しており、ベースコンクリートの目標スランプ13cmは、他の配合より単位水量が低いにもかかわらず、圧縮強度の低下が大きいことから、配合記号13-23のVMA添加率0.90%は、圧縮強度面からも過添加であったと考えられる。

VMA添加率が最も低い配合記号17-19では、配合記号17-21および17-23と比較して、若干ではあるが高い傾向にあり、VMA添加率が上がることで、材齢7日以降は、圧縮強度が低下する傾向にあった。

### 3.6 凍結融解試験結果

図-6に、配合記号15および15-21の凍結融解試験結果を、図-7に、質量減少率を示す。300サイクルにおける相対動弾性係数の平均は、配合記号15で91%、配合記号15-21は89%であり、両者ともに十分な耐凍害性を有することが示された。また、質量減少率も同程度であり、目立ったスケーリング等は認められなかった。

### 3.7 長さ変化試験結果

図-8に、配合記号15および15-21の長さ変化試験結果を、図-9に、質量変化率を示す。配合記号15に比べて、配合記号15-21の長さ変化率は小さい傾向にあり、配合記号15の10%程度収縮を低減する傾向にあった。一方、質量減少率は、配合記号15よりも大きくなる傾向にあった。この原因は、明らかではないが、VMAの保

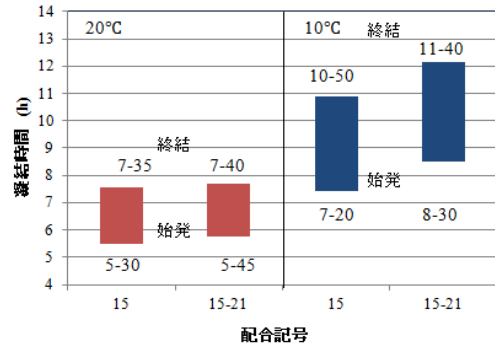


図-3 凝結試験結果

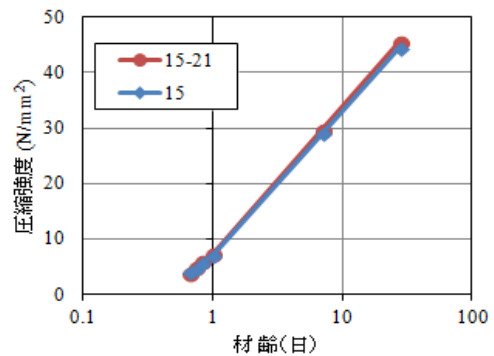


図-4 圧縮強度試験結果

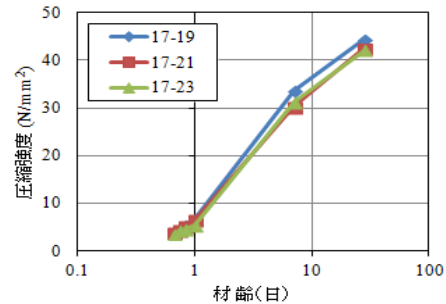
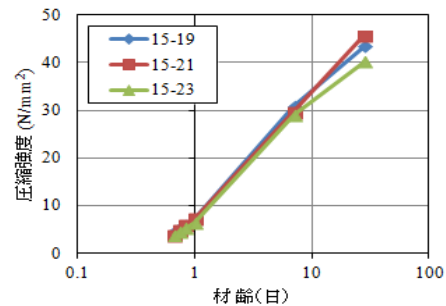
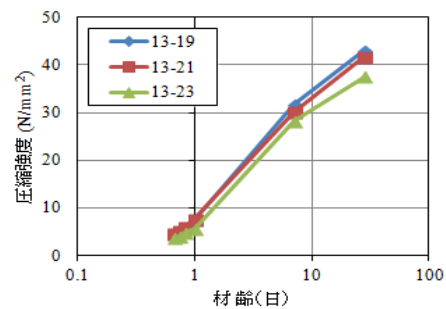


図-5 ベースコンクリートのスランプを変動させた中流動コンクリートの圧縮強度試験結果

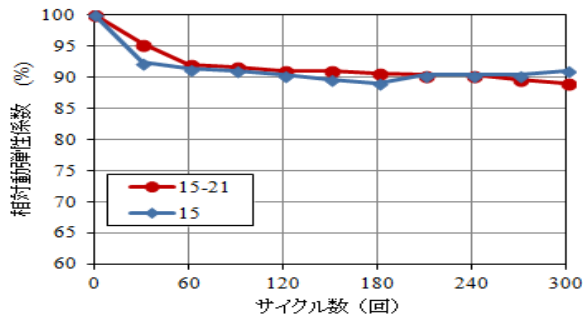


図-6 凍結融解試験結果

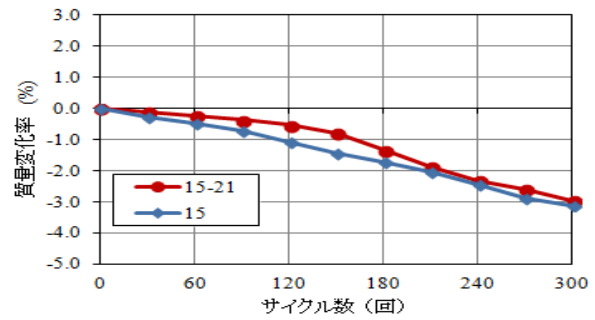


図-7 凍結融解試験における質量減少率

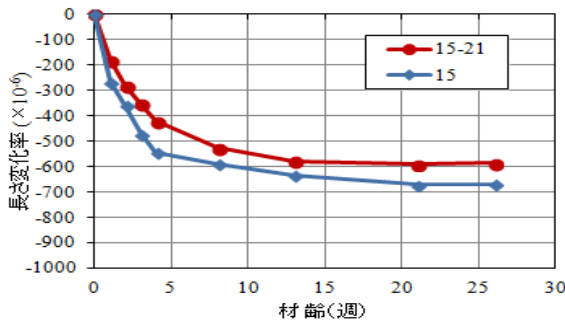


図-8 長さ変化試験結果

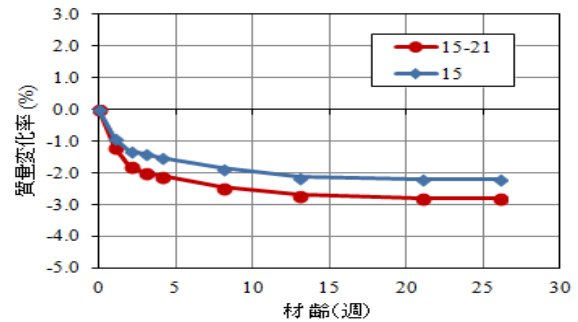


図-9 長さ変化試験における質量変化率

水性等が影響した可能性があり、別途、検証が必要であると考えられる。

#### 4. まとめ

- 1) 中流動コンクリートの目標性能を満足させるための液体増粘剤添加率は、単位セメント量に対して0.35%~0.70%であった。
- 2) 中流動コンクリートのスランブが21~23cmであれば、経時60分まで急激なスランブロスは見られなかったが、中流動コンクリートのスランブが19cmの場合、経時15分程度で急激なロスが認められた。
- 3) ブリーディング試験の結果、目標スランブ21cmの中流動コンクリートは、目標スランブ15cmのベースコンクリートに比べてブリーディング量が少なく、環境温度10℃では30%、環境温度20℃で50%程度の低減効果が示された。
- 4) 凝結試験の結果、環境温度20℃では、目標スランブ15cmのベースコンクリートと目標スランブ21cmの中流動コンクリートでは同等であったが、環境温度10℃では、中流動コンクリートは、ベースコンクリートより1時間程度遅れる傾向にあった。
- 5) 目標スランブ15cmのベースコンクリートと、目標スランブ21cmの中流動コンクリートにおける圧縮強度は同等であり、液体増粘剤を使用することによる顕著な強度低下は認められなかった。しかし、液体増粘剤の添加率が高くなると、強度は低下する傾

向にあった。

- 6) 凍結融解試験ならびに長さ変化試験を行った結果、目標スランブ21cmの中流動コンクリートは、目標スランブ15cmのベースコンクリートと同等の耐久性を有することが示された。

本研究では、後添加型液体増粘剤の中流動コンクリートへの利用が可能であった。今後、高流動コンクリートやグラウト等の分野への利用を目指したい。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009, pp.439-448, 2009.
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編 2012年制定, pp.222-226, 2012.
- 3) 株式会社 高速道路総合技術研究所：NEXC 中流動覆工コンクリート技術のまとめ, pp.5-1-5-2, 平成23年12月.
- 4) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社：トンネル施工管理要領, 繊維補強覆工コンクリート編 p.3, 平成25年7月.
- 5) 依田和久, 刑部知周, 芦沢良一, 市川裕嗣：流動化剤を用いた中流動コンクリートの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1249-1254, 2005.
- 6) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社：トンネル施工管理要領, 繊維補強覆工コンクリート編 p.3, 平成20年8月.