

論文 低セメント量の高流動コンクリートに用いる特殊増粘剤を含有した新規一液型混和剤の開発

玉木 伸二^{*1}・岡田 和寿^{*2}・桜井 邦昭^{*3}・山川 勉^{*4}

要旨：低セメント量でありながら自己充填性を確保できる高流動コンクリートに用いる，セルロースエーテル系特殊増粘剤と減水成分とを一液化した新規一液型混和剤を開発した。はじめに，イオン強度を最適化した新規の減水成分を用いることで，高濃度で高い安定性を有する一液型混和剤が製造できることを確認した。次に，開発した一液型混和剤を用いた高流動コンクリートについて，室内および実機試験を行い，材料分離抵抗性を確保しつつ，高い流動性と自己充填性を長時間保持できること，水セメント比の等しい普通コンクリートと同等以上の硬化性状を有することなどを確認した。

キーワード：低セメント量，高流動コンクリート，増粘剤，セルロースエーテル，一液，イオン強度

1. はじめに

近年，建設業界では労働力の不足が常態化しており，今後より深刻な問題になると予想されている。そのような背景のもと，生産性向上や品質改善を目的に中・高流動コンクリートの適用検討が盛んに行われている¹⁾。

中でも高流動コンクリートは，その自己充填性により締固め作業を省略できるため，コンクリート工事の生産性を大幅に向上できる。しかし，従来の高流動コンクリートは，材料分離抵抗性を付与するために普通コンクリートと比べ単位セメント量や粉体量を増加させる必要があり，材料コストや温度・収縮によるひび割れの発生リスクを増加させる課題がある。

桜井らは，新規に開発されたセルロースエーテル(以下 CE と表記)系である粉末状の特殊増粘剤(以下 VMA-1 と表記)と，汎用品の高性能 AE 減水剤を用いることで，普通コンクリートと同等の単位セメント量で，材料分離抵抗性を確保しつつ，高い流動性と自己充填性を有する低セメント量の高流動コンクリートを開発し²⁾，実際のトンネル工事でその高い実用性を確認した^{3,4)}。

一方で，粉末の増粘剤は別添加が必要となり，特別な装置や手間を要する。また，CE は優れた材料分離抵抗性や保水性を有するが，一般にコンクリート用混和剤に用いられる減水成分中で塩析し，その溶解性の低さから一液化が困難である。均質なコンクリートを製造する上では混和剤の安定性は重要であり，必須条件となる。山川らは，特定の物質を併用することにより，CE と減水成分との一液化後の安定性を改善したが，減水成分の固形分濃度が低い条件で用いる必要があるなど，その適用範囲が限定されていた⁵⁾。

そこで，低セメント量の高流動コンクリート用に開発した CE 系特殊増粘剤との一液化に適した新規の減水成分を検討し，高濃度な一液型混和剤を開発した。本論文では，特殊増粘剤を含有した新規一液型混和剤の安定性試験の結果およびそれを使用した高流動コンクリートの各種品質試験の結果について述べる。

2. 実験概要

実験は，はじめに新規の減水成分を用いた一液型混和剤を試作検討し，その安定性を確認した。次に，開発した一液型混和剤を用いてコンクリート試験を行い，その性能を評価した。室内試験 1 では，標準的な寸法(最大 20mm)の粗骨材を用いた配合で各種品質試験を行い，既存品を用いた高流動コンクリートや従来の普通コンクリートと比較した。室内試験 2 では，実機試験に向けた予備実験として，実際の工事に用いられる材料を用いた検討を行った。最後に，実機試験でその適用性を確認した。

2.1 使用材料

(1) 特殊増粘剤を含有した一液型混和剤

使用した減水成分と増粘剤を表-1 に示す。減水成分にはカルボン酸系共重合体を使用し，比較としての市販品(以下 PCE-1 と表記)と，イオン強度を調整した 2 種類

表-1 使用材料 (一液型混和剤)

種別	種類・記号・イオン強度
減水成分	カルボン酸系共重合体 (市販品)，記号：PCE-1 イオン強度 (濃度 22%)=0.74 (mol/l)
	カルボン酸系共重合体(開発品)，記号：PCE-2 イオン強度 (濃度 22%)=0.48 (mol/l)
	カルボン酸系共重合体(開発品)，記号：PCE-3 イオン強度 (濃度 22%)=0.06 (mol/l)
増粘剤	CE, SWS などの混合物，記号：VMA-1, VMA-2

*1 竹本油脂 (株) 第三事業部 研究開発部 化学グループ マネージャー 工修 (正会員)

*2 竹本油脂 (株) 第三事業部 研究開発部 化学グループ グループリーダー 博 (工) (正会員)

*3 (株) 大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 主任研究員 博 (工) (正会員)

*4 信越化学工業 (株) 合成技術研究所 研究部 開発室 主席研究員 博 (工) (正会員)

の開発品(以下 PCE-2, PCE-3 と表記)を用いた。

特殊増粘剤(以下 VMA と表記)は、増粘成分である CE と、CE の減水成分との一液化後の安定性を改善するために特殊水溶性高分子(以下 SWS と表記)などを混合したものをを用いた。減水成分との相溶性を最適化するため、CE および SWS の種類と添加割合を変えた 2 種類(VMA-1, VMA-2)を調製した。なお、VMA-2 は VMA-1 と比較し、混和剤溶液の粘度を高めるように調製したものである。

(2) コンクリート試験

コンクリート試験の使用材料を表-2 に示す。コンクリート試験は、室内試験と実規模試験(以下実機試験と表記)を実施した。室内試験では粗骨材最大寸法 20mm での検討(室内試験 1)と、実機試験に向け、粗骨材最大寸法 40mm での予備検討(室内試験 2)を行った。

VMA-1 は粉末状でコンクリート 1m³ に対して 30g 使用し、市販の高性能 AE 減水剤である PCE-1 と併用した。

VMA-2 は、開発品 PCE-3(固形分濃度 22%)と混合して一液とした一液型混和剤(PCE-V)として使用した。なお、混合比率は VMA-2 がコンクリート 1m³ に対して 30g 程度となるように調整した。

2.2 安定性試験方法

安定性試験の概要を表-3、粘度の測定条件を表-4 および沈降容積の評価を模式図化したものを図-1 に示す。固形分濃度を一般的な混和剤と同程度である 22 ないし 26%に調整した PCE に、特殊増粘剤の濃度が 1.0%となるようにホモミキサーで混合して一液型混和剤を調製した。その後、100ml の共栓付きメスシリンダーに所定量を量り取り、所定温度(20, 40℃)で所定期間(3, 7, 28 日)静置し、沈降容積(vol.%)を測定した。ここで、沈降容積は PCE と VMA 混合部の均一な容積割合を表し、100vol.%は沈降がなく安定であることを示す。また、調製 7 日後に再攪拌して回転粘度計により粘度を測定した。

2.3 イオン強度の計算

減水成分であるカルボン酸系共重合体の理論上のイオン強度 I を式(1)で計算した。

$$I = 1/2 \sum m_i \cdot z_i^2 \quad (1)$$

ここで、 I : イオン強度 (mol/l)

m_i : イオンのモル濃度 (mol/l)

z_i : 電荷

ただし、カルボン酸系共重合体には、弱酸である未中和のカルボン酸を含有するが、解離度が小さく電離度は無視できる程度に小さいと判断し、計算に含めていない。

2.4 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-5 に示す。低セメント量の高流動コンクリートの配合は、PCE-1 と粉末状の特殊増粘剤(VMA-1)を用いて施工中の実工事現場の配合(18-60-

表-2 使用材料 (コンクリート試験)

	種別	記号	種類・物性
室内試験 1	セメント	C	普通ポルトランドセメント : 密度 3.16g/cm ³
	細骨材	S1	大井川水系産陸砂 : 密度 2.57g/cm ³
	粗骨材	G1	岡崎産砕石(2005) : 密度 2.66g/cm ³
	混和剤	PCE-1	高性能 AE 減水剤 標準形(市販品)
		PCE-V	PCE-3(濃度 22%)と VMA-2 の一液型混和剤
		WR	AE 減水剤 標準形(市販品)
	増粘剤	VMA-1	CE 系特殊増粘剤
室内試験 2	水	W1	蒲都市上水道水
	セメント	C	普通ポルトランドセメント : 密度 3.16g/cm ³
	細骨材	S2	ダム湖産川砂 : 密度 2.62g/cm ³
		S3	蓬萊産砕砂 : 密度 2.65g/cm ³
	粗骨材	G2	蓬萊産砕石(4005) : 密度 2.66g/cm ³
	混和剤	PCE-1	高性能 AE 減水剤 標準形(市販品)
		PCE-V	PCE-3(濃度 22%)と VMA-2 の一液型混和剤
実機試験	増粘剤	VMA-1	CE 系特殊増粘剤
	水	W1	蒲都市上水道水
	セメント	C	普通ポルトランドセメント : 密度 3.16g/cm ³
	細骨材	S2	ダム湖産川砂 : 密度 2.62g/cm ³
		S3	蓬萊産砕砂 : 密度 2.65g/cm ³
	粗骨材	G2	蓬萊産砕石(4005) : 密度 2.66g/cm ³
	混和剤	PCE-1	高性能 AE 減水剤 標準形(市販品)
		PCE-V	PCE-3(濃度 22%)と VMA-2 の一液型混和剤
実機試験	増粘剤	VMA-1	CE 系特殊増粘剤
	水	W2	地下水

表-3 安定性試験の概要

項目	内容
PCE 濃度	22%, 26%
VMA 濃度	評価サンプル中に 1%
ホモミキサー	HOMO MIXER MARK II (ブライミクス社製)
混合条件	5000rpm, 2min
サンプル量	100ml
容器	100ml 共栓付きメスシリンダー
静置温度	20℃, 40℃
静置時間	3 日間, 7 日間, 28 日間
評価方法	目視
沈降容積	PCE と VMA 混合部の容積割合(vol.%)

表-4 粘度の測定条件

使用機器	RB-85L 形粘度計(東機産業社製)
ロータ	M3
回転数	60rpm
液温度	20℃

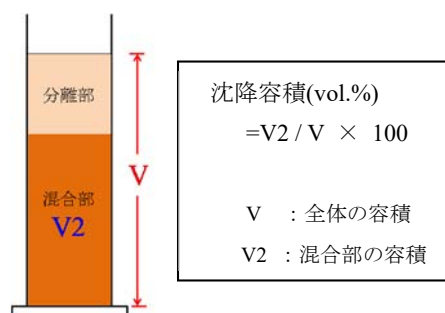


図-1 沈降容積の評価

40N)に合わせ、いずれも、水セメント比(以下 W/C と表記)を 48.5%, セメント量を 340kg/m³ とした⁴⁾。なお、室内試験 1 では比較として従来の普通コンクリートの配合も試験したが、混和剤の種類がコンクリートの強度特性などに及ぼす影響を明確にするため、高流動コンクリートと同じ単位量の配合とした。

2.5 コンクリートの練混ぜ方法

(1) 室内試験

室内試験 1, 室内試験 2 とともに $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ の環境下で、強制二軸練りミキサ(55L)を使用した。

高流動コンクリートは、骨材およびセメントを投入した後 10 秒空練りし、混和剤を溶解した練混ぜ水を投入して 90 秒練り混ぜた。その後 300 秒静置して、更に 30 秒練り混ぜて試料を排出し、測定および供試体採取した。従来の普通コンクリートは、骨材およびセメントを投入した後 10 秒空練りし、混和剤を溶解した練混ぜ水を投入して 60 秒練り混ぜて測定および供試体採取した。なお、経時変化の測定は、練り舟で所定時間まで静置し、切り返しを行った後に実施した。

(2) 実機試験

実機試験は生コンクリート工場の強制二軸練りミキサ(容積 2.5m^3)を用い、練混ぜ量は 2m^3 とした。混和剤と水を含む全材料を一括で投入した後 90 秒練り混ぜて製造した。アジテータ車に排出した後、所定時間になるまで低速で攪拌し、測定および供試体採取を行った。

2.6 コンクリート試験の項目

試験項目と目標品質を表-6 に示す。高流動コンクリートのスランプフローは $60\pm 5\text{cm}$ とし、空気量は練混ぜ直後で $5.0\pm 1.5\%$ に設定した。

自己充填性は JSCE-F511 に準拠し、粗骨材最大寸法 20mm ではランク 2、粗骨材最大寸法 40mm ではランク 3 とし、充填高さ 30cm 以上を目標値とした。

圧縮強度およびブリーディング量は、従来の普通コンクリートに対し同等以上であることを目標とした。凍結融解抵抗性は JIS A 1148 に準拠し、300 サイクルで相対動弾性係数 60%以上を目標とした。

3. 実験結果および考察

3.1 混和剤の調製

CE 溶液は、一般的に系内の電解質濃度が増加すると塩析し、CE が析出することが知られている。減水成分への溶解性には、pH、温度、イオン強度、溶液濃度など様々な因子が影響していると考えられるが、ここではイオン強度に着目し、モノマーの種類、アルカリによる中和度などを調整して開発品(PCE-2、PCE-3)を調製した。

イオン強度の計算値を表-1 に示した。計算の結果、PCE-2 と PCE-3 のイオン強度は、それぞれ PCE-1 の約 65%と約 8%であった。

3.2 安定性試験

調製した一液型混和剤の安定性を評価した。一液型混和剤の組成および粘度測定の結果を表-7、沈降容積測定の結果を図-2 および図-3 に示す。PCE-1 を使用した場合、濃度、静置温度に関わらず実施したすべての水準で

表-5 コンクリートの配合

	試験 No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
				W1	W2	C	S1	S2	S3	G1	G2
室内 1	1-4	48.5	51.6	165	—	340	908	—	—	878	—
室内 2	5-10	48.5	47.2	165	—	340	—	422	427	—	957
実機	—	48.5	47.2	—	165	340	—	422	427	—	957

表-6 試験項目と目標品質

試験項目	目標品質	試験方法
スランプ(普通コン)	$8.0\pm 2.5\text{cm}$	JIS A 1101
スランプフロー	$60\pm 5\text{cm}$	JIS A 1150
空気量	$5.0\pm 1.5\%$	JIS A 1128
コンクリート温度	室内試験は $20^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$	JIS A 1156
充填高さ (室内 1)	(ランク 2) 30cm 以上	JSCE-F511 (U 形)
(室内 2)	(ランク 3) 30cm 以上	
(実機)	(ランク 3) 30cm 以上	
圧縮強度	普通コンクリートと同等以上	JIS A 1108
凍結融解抵抗性	相対動弾性係数 60%以上 (300 サイクル)	JIS A 1148 (A 法)
ブリーディング量	普通コンクリートと同等以下	JIS A 1123

表-7 一液型混和剤組成および粘度測定結果

PCE 種類	PCE 濃度 (%)	VMA 種類	VMA 濃度 (%)	粘度 (mPa・s)
PCE-1	22	VMA-1	1.0	28
	26			41
	22	VMA-2	1.0	38
	26			56
PCE-2	22	VMA-1	1.0	258
	26			246
	22	VMA-2	1.0	287
	26			271
PCE-3	22	VMA-1	1.0	350
	26			352
	22	VMA-2	1.0	406
	26			456

3 日以内に VMA が沈降した。一液化後の粘性も低く、CE が塩析したためと考えられる。一方で、PCE-2、PCE-3 を使用した場合、安定性が大幅に向上した。一液型混和剤の粘度を高める効果を有する VMA-2 とイオン強度をより低減した PCE-3 との組合せでは、濃度や静置温度を変化させたすべての水準で、28 日間以上、VMA の沈降は確認されなかった。一液化後の粘性も高く、CE が塩析せず十分に溶解しているためであると考ええる。なお、コンクリート試験で用いた一液型混和剤(PCE-V)についても同様に安定性試験を行ったところ、 $5\sim 40^{\circ}\text{C}$ の条件下で 28 日以上 CE の沈降は確認されず安定であった。

一液型混和剤には、製造から使用までの間、季節による温度環境の変化に対応した長期安定性が要求される。今回の安定性試験の結果より、イオン強度を低減した減水成分(PCE-3)と、減水成分との相溶性を改善した CE 系特殊増粘剤(VMA-2)を選択することにより、高濃度な一液型混和剤に高い安定性を付与できることが確認された。

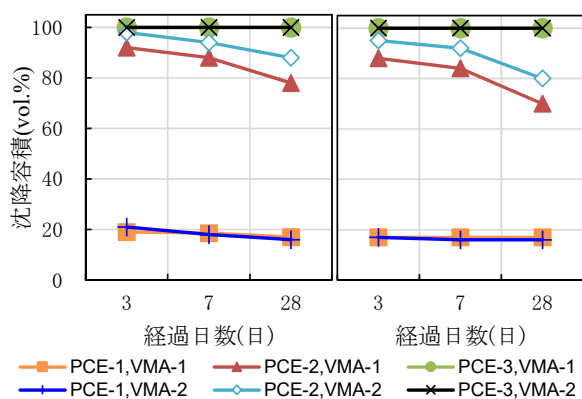


図-2 沈降容積測定結果 (20°C)
左-PCE 濃度 22%, 右-PCE 濃度 26%

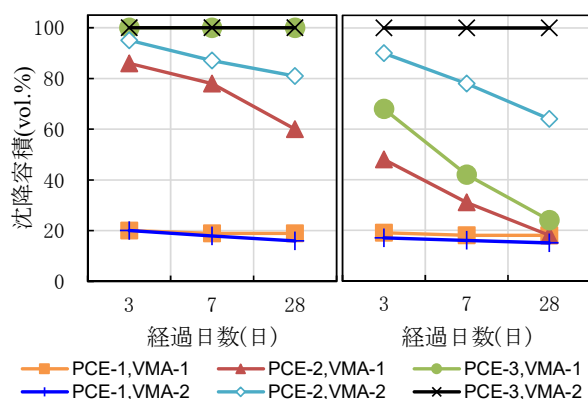


図-3 沈降容積測定結果 (40°C)
左-PCE 濃度 22%, 右-PCE 濃度 26%

表-8 フレッシュ性状 (室内試験 1)

試験 No.	コンクリートの 種類	混和剤				経過 時間 時間 (min)	スラン プ フロー (cm)	フロー時間		空気量 (%)	コン クリ ート 温度 (℃)	充填 高さ (cm) (ランク 2)	ブリー ディ ン グ 率 (%)
		減水成分		特殊増粘剤				50cm (sec)	停止 (sec)				
		種類	添加量 (C×%)	種類	添加量 (g/m ³)								
1	低セメント量 高流動	PCE-1	1.20	VMA-1	30	5	57.5	8.6	34.5	5.8	20	30.2	0
2						30	47.5	—	25.2	5.9	19	—	
						60	39.0	—	13.2	6.4	19	—	
		PCE-V	1.30	—	—	5	57.0	9.5	37.6	5.6	20	32.9	0
30						53.5	16.4	29.5	5.6	20	—		
60						44.0	—	23.9	6.0	19	—		
3	PCE-1	1.00	—	—	5	56.5	5.3	18.1	5.6	20	27.1	—	
4	普通コン	WR	1.00	—	—	0	9.0*	—	—	5.4	29	—	2.6

*スランブの値を表記した(No.4)

3.3 コンクリート試験 (室内試験 1)

フレッシュ性状試験の結果を表-8 に、圧縮強度および凍結融解抵抗性試験の結果を図-4、図-5 に示す。

(1) フレッシュ性状

一液型混和剤(PCE-V)を用いた高流動コンクリートは、練混ぜ直後のブリーディングによる水浮きや骨材の分離が確認されず、良好な性状を示した。同時に、PCE-1 と VMA-1 との組合せと同等以上の高い流動性と自己充填性を有しており、目標値を満足した。混和剤の添加量はわずかに増加したが、流動保持性は向上した。

ブリーディング量も従来の普通コンクリート以下であり、ブリーディングの発生をほぼ防止できる結果が得られた。

また、PCE-1 のみで調製した低セメント量の高流動コンクリートは、スランブフロー測定時に骨材が中心部に偏在し、充填高さも目標値を下回る結果となった。この結果より特殊増粘剤(VMA)により高流動コンクリートの材料分離抵抗性が向上できることが確認された。

(2) 硬化性状

圧縮強度用供試体は、練上がり 60 分後の測定後に採取した。材齢 1 日の圧縮強度でも増粘剤による硬化遅延は確認されず、すべての材齢で従来の普通コンクリートと同等以上の強度を発現した。

凍結融解抵抗性は、練混ぜ直後に採取した。300 サイ

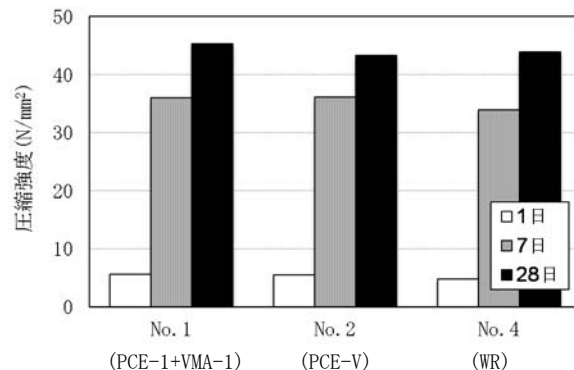


図-4 圧縮強度 (室内試験 1)

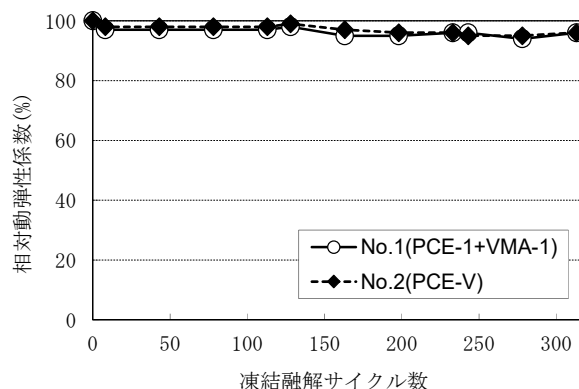


図-5 凍結融解抵抗性

クルで相対動弾性係数は 96%であり、十分な凍結融解抵抗性を有することを確認した。

表-9 フレッシュ性状(室内試験 2)

試験 No.	コンクリートの種類	混和剤				経過 時間 (min)	スランプ フロー(cm)	フロー時間		空気量 (%)	コンク リート 温度 (℃)	充填 高さ (cm) (ランク 3)	
		減水成分		特殊増粘剤				50cm (sec)	停止 (sec)				
		種類	添加量 (C×%)	種類	添加量 (g/m³)								
5	低セメント量 高流動	PCE-1	0.80	VMA-1	30	5	54.0	10.2	23.6	4.3	20	33.5	
6			0.90			5	59.0	8.3	27.7	5.9	20	33.7	
			7			0.95	30	54.5	14.5	28.6	5.8	19	—
							60	46.0	—	26.1	6.5	19	—
8		PCE-V	0.90	—	—	5	61.5	6.7	30.3	5.6	19	34.5	
9			1.00			5	54.0	11.0	25.0	4.9	20	33.3	
						5	57.5	8.0	27.6	5.7	20	34.2	
						30	56.0	10.4	32.2	5.6	20	—	
						60	50.0	—	25.2	6.1	19	—	
10		1.05	5	59.5	8.1	34.7	5.0	20	34.0				

3.4 コンクリート試験 (室内試験 2)

実機試験の予備検討として、実機試験と同じ骨材を用いた場合のフレッシュ性状および圧縮強度を試験した。また、混和剤の添加量とスランプフローの関係も調べた。

(1) フレッシュ性状

試験結果を表-9に示す。室内試験1の結果と同様に、一液型混和剤(PCE-V)を用いた高流動コンクリートは、練混ぜ直後のブリーディングによる水浮きや骨材の分離が確認されず、良好な性状を示した。同時に、PCE-1と粉末状のVMA-1との組合せと同等の高い流動性、流動保持性を有しており、粗骨材最大寸法40mmの骨材においても、自己充填性の低下は確認されず、目標とする充填高さ30cmを十分に上回っていた。

流動性と増粘性は相反する特性であり、増粘剤系コンクリートでは、増粘剤の粘性増加の効果により流動性が抑制される場合がある。そのため、一定量の増粘剤を含有する一液型混和剤では、流動性を高めるため添加量を増加させても所望する流動性が得られない場合がある。これに対して、開発した一液型混和剤(PCE-V)では添加量に応じた流動性の増加を確認した(図-6)。桜井らは特殊増粘剤(VMA)を添加したセメントペーストの塑性粘度と降伏値を測定し、従来のCEと比較して塑性粘度に対する降伏値が小さいことを確認している²⁾。本試験の結果は、その特性によるものと推察する。

(2) 硬化性状

圧縮強度用供試体は、練上がり60分後の測定後に採取し、No.6、No.9について圧縮強度を測定した。試験結果を図-7に示す。

一液型混和剤(PCE-V)は、PCE-1とVMA-1との組合せと同等の強度発現性を示すことが確認された。また、材齢28日の圧縮強度は36.9N/mm²であり、実工事現場での設計基準強度18N/mm²を十分に上回っていた。

以上の結果より、開発した一液型混和剤(PCE-V)を用

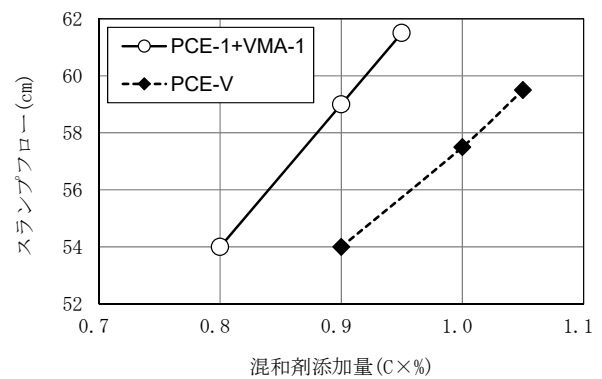


図-6 混和剤添加量とスランプフローの関係

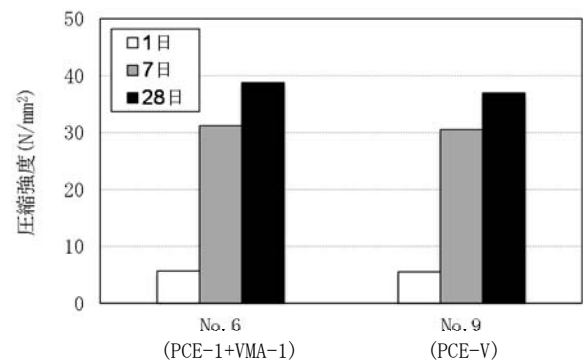


図-7 圧縮強度(室内試験 2)

いた低セメント量の高流動コンクリートは、室内試験において、すでに実工事現場で適用性が確認されているPCE-1と粉末状のVMA-1を組合せた場合と同等のフレッシュ性状および硬化性状を示すことが確認された。

3.5 コンクリート試験 (実機試験)

室内試験において、開発した一液型混和剤(PCE-V)を用いた高流動コンクリートが要求性能を満足することが確認されたため、実機試験で練上がり120分後までの性状を確認した。比較は、PCE-1とVMA-1(30g/m³)を用いて製造した高流動コンクリートとした。

フレッシュ性状試験の結果を図-8に、スランプフロー(練上がり60分後)の様子を写真-1、写真-2に示す。

混和剤添加量は、いずれも C×1.1%とした。外気温は 12～16℃、コンクリート温度は 16～17℃であった。

一液型混和剤(PCE-V)を用いて得られた高流動コンクリートは、写真-1 に示すように分離のない良好な性状であった。これは、PCE-1 と VMA-1 を用いて得られた高流動コンクリート(写真-2)と同等の性状であった。

スランプフローは約 60cm が得られ、高い流動性を示した。また、スランプフローは 120 分まではほぼ一定であり、高い流動保持性を有していた。30 分でわずかな後伸びが確認されたが、運用可能な範囲であった。

充填高さは、すべての測定時間で 30cm 以上となり、自己充填性を有していた。



写真-1 スランプフローの様子(PCE-V)



写真-2 スランプフローの様子(PCE-1+VMA-1)

4. まとめ

イオン強度を最適化した減水成分と CE 系特殊増粘剤を混合し、低セメント量の高流動コンクリートに用いる一液型混和剤を開発し、混和剤の安定性や高流動コンクリートの各種品質を実験的に検討した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 開発した一液型混和剤は固形分濃度 20%以上の高濃度においても CE の塩析を抑制し、40℃までの環境下で 28 日間以上安定であることを確認した。
- (2) 一液型混和剤を用いた低セメント量の高流動コンクリートは、高い流動性と自己充填性を長時間保持し、

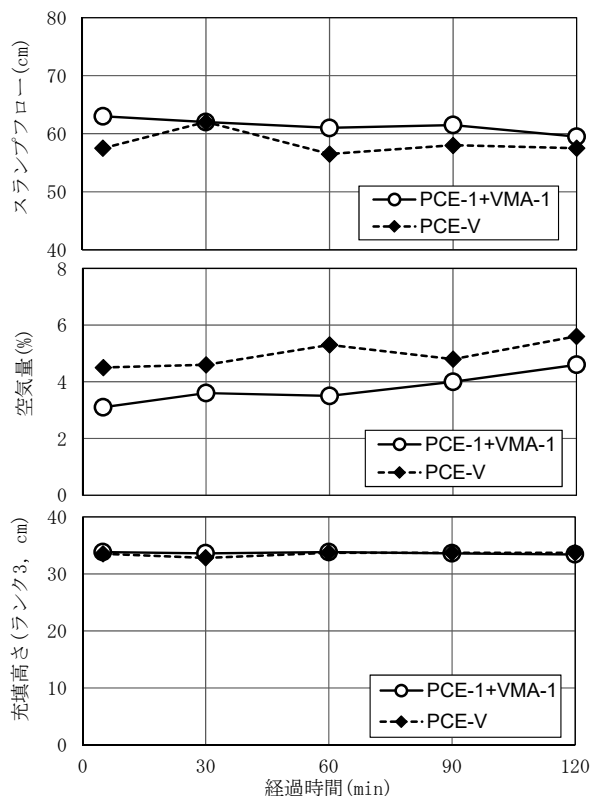


図-8 フレッシュ性状(実機試験)

ブリーディングを抑制することができた。

- (3) 上記の高流動コンクリートは、水セメント比の等しい従来の普通コンクリートと同等以上の強度発現性を示し、凍結融解抵抗性にも優れていた。

参考文献

- 1) 手間本康一，泉水大輔，赤間友哉，桜井邦昭：覆工コンクリートの品質および耐久性向上に関する取り組み，土木学会第 71 回年次学術講演会，VI-442，pp. 883-884，2016.8
- 2) 桜井邦昭，泉水大輔，山川勉，石田知子：新規の特殊増粘剤を用いた低セメント量の高流動コンクリートの開発と実構造物への適用，コンクリート工学年次論文集，Vol. 40，pp. 1161-1166，2018.7
- 3) 手間本康一，泉水大輔，中嶋祐里，桜井邦昭：低セメント量の高流動コンクリートのトンネル覆工への適用，土木学会第 73 回年次学術講演会，VI-098，pp. 195-196，2018.8
- 4) 西浦秀明，黒川尚義，岡崎雄一，桜井邦昭：低セメント量の高流動コンクリートのトンネル覆工への適用性検討—その 2 柱部材を用いた側圧実験と流動距離 10.5m の打込み実験—，土木学会第 73 回年次学術講演会，VI-100，pp. 199-200，2018.8
- 5) 山川勉，小西秀和：セルロースエーテル添加、一液型減水剤に関する基礎的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 253-254，2016.8