

論文 非吸着型増粘剤を用いた高流動コンクリートの研究

山室 穂高*¹・泉 達男*²・水沼 達也*³・河井 徹*⁴

要旨：セメントに対する増粘剤の吸着特性は、モルタルやペーストの粘度だけでなく流動性にも大きな影響を及ぼす。セメントに対する吸着性が低い増粘剤（非吸着型増粘剤）を用いた場合、粉体粒子間の凝集を起こさずに系の粘度を増大できるため、流動性を損なわずにモルタル粘度を制御することが可能である。また、非吸着型増粘剤は、1)分散性を促す効果、2)骨材表面水量や分散剤量の変動に対する流動性の安定化効果を有しているため、混和剤添加に伴う凝結遅延や製造管理面の改善が期待できると共に、低粉体量配合でも優れた材料分離抵抗性を有した高流動コンクリートを得ることができる。

キーワード：高流動コンクリート、吸着性、非吸着型増粘剤

1. はじめに

高流動コンクリートは、流動性と増粘性（材料分離抵抗性）の二律背反する性能を同時に満足することで優れた充填性を発現するコンクリートである。これまで提案されている高流動コンクリートは、増粘性付与方法の違いから、1)粉体系、2)増粘剤系、3)粉体と増粘剤との併用系、の3つに大別される。しかしながら、これらの高流動コンクリートでは微粉末貯蔵用サイロや増粘剤投入機器などの新規設備の導入、骨材表面水率の徹底した管理が不可欠である。

本研究は、現状のコンクリート材料および生コン製造設備による高流動コンクリートの製造を目的として、汎用性の高いセメントを用いた増粘剤系の高流動コンクリートについて検討したものである。本研究では、特に1)セメントに対する吸着性が低い増粘剤（非吸着型増粘剤）を用いた場合のモルタルの流動性および増粘性、2)非吸着型増粘剤がコンクリート物性（流動性、材料分離抵抗性、充填性等）に及ぼす影響について考えた。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合条件

増粘剤の物性はモルタルの流動性およびレオロジー特性により評価した。また、コンクリート試験は併用系および増粘剤系を想定し、高粉体配合（単位結合材量：500 kg/m³）、低粉体配合（単位結合材量：350 kg/m³）の2水準で行った。使用材料の物性を表-1に示す。また、モルタルおよびコンクリートの配合を表-2、3に示す。なお、本実験では分散剤添加量はセメント重量に対する製品見掛け添加量、増粘剤添加量は水重量に対する固形分添加量として示す。

本研究における非吸着型増粘剤は、0.5 wt%増粘剤水溶液にセメントをW/C=100%の条件で加えたペーストを3,000rpmで15分間遠心分離した上澄水を分析して求めた吸着量が0.01

*1 花王(株)和歌山研究所 研究員、(正会員)

*2 花王(株)和歌山研究所 グループリーダー、(正会員)

*3 花王(株)和歌山研究所 室長、(正会員)

*4 清水建設(株)技術研究所 建設技術研究部主任研究員、(正会員)

表-1 使用材料の物性

セメント (C)	普通ポルトランドセメント (比重 3.16、比表面積 3,400 cm ² /g)
微粉末 (SL)	高炉スラグ微粉末 (比重 2.89、比表面積 3,950 cm ² /g)
細骨材 (S-1)	紀ノ川産川砂 (比重 2.57、粗粒率 2.89)
細骨材 (S-2)	紀ノ川産川砂：君津産陸砂 = 1 : 1 (比重 2.57、粗粒率 2.57)
粗骨材 (G-1)	和歌山産碎石 (比重 2.61、粗粒率 6.61)、最大寸法: 20mm
粗骨材 (G-2)	高知産石灰碎石 (比重 2.72、粗粒率 7.03)、最大寸法: 20mm
増粘剤	グリコール系合成高分子 (V-1)、(V-2)
分散剤	高性能減水剤：マリン系 (SP-1)、ポリカルボン酸系 (SP-2)、(SP-3)

mg/g未満になる増粘剤と定義した。

2.2 実験方法

2.2.1 モルタル試験

モルタルは、モルタルミキサにセメント、細骨材、水（分散剤、増粘剤を含む）を投入し、低速回転（63 rpm）で1分間、高速回転（126 rpm）で2分間練り混ぜた。流動性の評価はコーン（100φ×50mm）にモルタルを詰め、コーンを引き上げた後のモルタルの広がり（静置フロー値）を測定して指標とした。モルタルのレオロジー特性は、内円筒回転型レオメーター（外筒φ27mm、内筒φ14mm、試料高さ65mm）を用い、練り上がり直後に測定した。レオロジー曲線は、内筒を100 sec⁻¹まで50秒で指数的に上昇・下降させて測定し、上昇時の低せん断ひずみ速度条件（0～10 sec⁻¹）における見掛けの塑性粘度および見掛けの降伏値を求めた。

2.2.2 コンクリート試験

ミキサは容量50リットルの強制二軸型を用い、練り混ぜ量は、練り上がり物性試験30リットル、経時物性試験40リットルとした。コンクリートは粗骨材、細骨材、セメント、（高炉スラグ微粉末）を投入し、10秒間空練りを行った後、増粘剤、水（分散剤を含む）を投入し、90秒練り混ぜた。コンクリートの練り上がり温度と実験室内の温度は、20±2℃に保った。練り上がり後、土木学会規準に準じたスランプフロー試験、フロー時間試験（フロー50cmまでの到達時間）、空気量試験

表-2 モルタル配合条件

配合 No	W/C (%)	S/C	細骨材の割合 (%)		分散剤の種類	増粘剤の種類
			S-1	S-2		
1	40	1.56	100	0	SP-1	V-1
2	40	1.56	0	100	SP-2	V-2
3	49	2.62	50	50	SP-2	V-2

表-3 コンクリート配合条件

No	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			W	C	SL	S-1	S-2	G-1	G-2
A	35	49	170	400	100	792	—	835	—
B	49	53	170	350	—	—	918	—	862

(JIS A 1128に準拠)、Vロート流下試験(吐出口の寸法:65×75mm) [1]を行った。充填性試験は、新藤らが提案した方法[2]と類似のU型充填試験装置[3]を使用し、左右の高さが同一になった状態を充填率100%とし、充填高さの比率を数値化した。凝結試験、圧縮強度試験は、それぞれ JIS A 6204、JIS A 1108に準拠して行った。また、コンクリート経時物性は90分迄30分間隔で、スランプフロー試験、フロー時間試験、空気量試験を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 増粘剤特性が流動性に及ぼす影響

増粘剤のセメントに対する吸着特性は、モルタルの流動性に大きな影響を及ぼす。特に非吸着型増粘剤は、特有の性状を示す[3]、[4]、[5]。例えば、W/C=40%、メラミン系分散剤(固形分35%)を5.5%添加した条件で、吸着量の異なる6種類の増粘剤を使用し、それぞれ添加率を変化させてモルタルのレオロジー特性および流動性を調べた(図-1)。増粘剤の吸着量と流動性挙動間に明確な相関が認められ、非吸着型増粘剤の場合、モルタルの見掛けの塑性粘度上昇に伴う流動性低下を抑制できることが分かった[4]。ただ、このような性状は非吸着型増粘剤であっても増粘剤の分子量によって大きく異なる。これは増粘剤の分子量が10万を超えると凝集性が強くなり過ぎるため、流動性が低下したものと考えられる(図-2)。

さらに、モルタルの流動性を変えて同様の実験を行った。分散剤添加量の少ない条件で、分子量2万の非吸着型増粘剤(グリコール系合成高分子 V-1)を用いたモルタルの特性を図-3に示す。分散剤添加量が1.5%以下になると増粘剤の添加と共に流動性が顕著に増大することが分かった。また、モルタルの見掛けの塑性粘度が30Pa·s付近になると、分散剤添加量に関係なく、一定の流動性になる傾向が認められた。非吸着型増粘剤の様に粉体に吸着しない水溶性高分子が分散性に関与する現象は、朝倉らによ

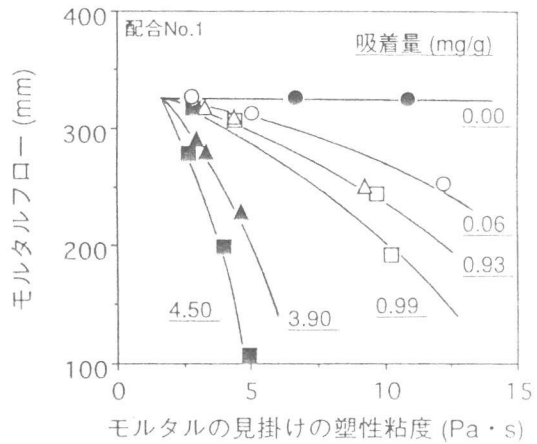


図-1 増粘剤の吸着特性による流動性への影響

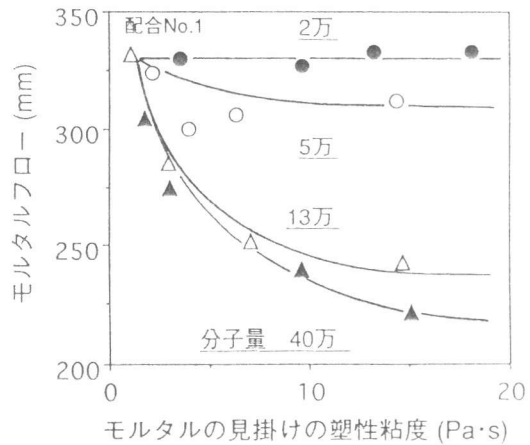


図-2 増粘剤の分子量による流動性への影響

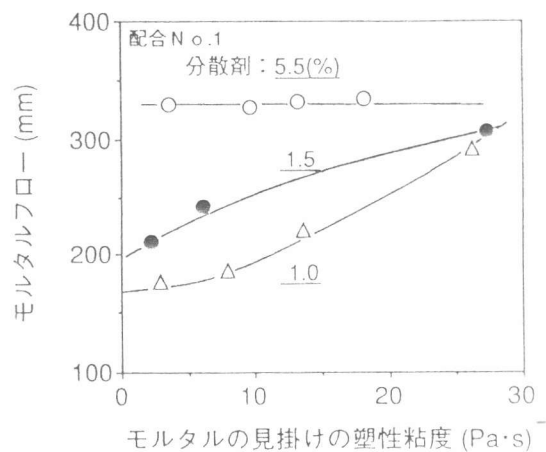


図-3 非吸着型増粘剤を用いたモルタルの特性 (1)

って初めて見いだされており、一般に枯渇効果と呼ばれている[6]。非吸着型増粘剤も類似の効果を有しているものと考えられる。

これまで述べてきた様に、増粘剤添加系において高い流動性を維持するためには、1)非吸着性、2)分子量の最適化、といった増粘剤の特性が重要であるが、これ以外に3)分散剤との相性(相互作用)という問題についても考慮する必要がある[7]。

次にこれらの3つの条件を満足する非吸着型増粘剤(グリコール系合成高分子 V-2)とポリカルボン酸系分散剤(固形分20%)を用いたモルタルの特性を調べた。結果を図-4に示す。分散剤1.1%の条件で増粘剤を添加すると0.05%まで流動性は増大するが、さらに添加すると逆に緩やかな流動性の低下が認められた。また、増粘剤と分散剤の固形分割合を4.5:1にブレンドした混和剤(固形分20%)を調製してモルタルに添加すると、粘性と流動性を同時に付与することが可能である(図-5、6)。特に興味深いのが、混和剤(分散剤+増粘剤)添加量が8%(対セメント重量%)以上になると増粘性と流動性が相殺され、流動性のプラトー領域を生み出す点である。プラトーになる流動性レベルは、増粘剤と分散剤の割合を変えることによってコントロールす

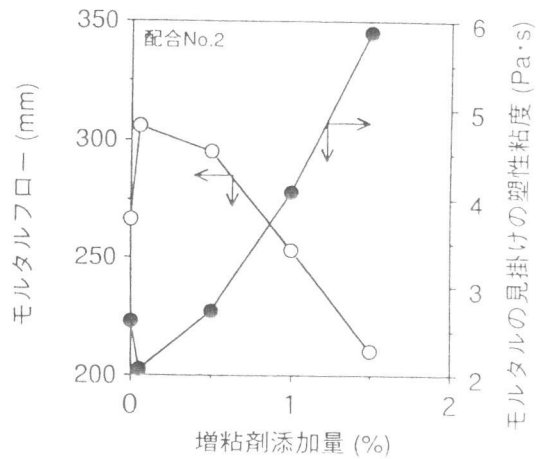


図-4 非吸着型増粘剤を用いたモルタルの特性(2)

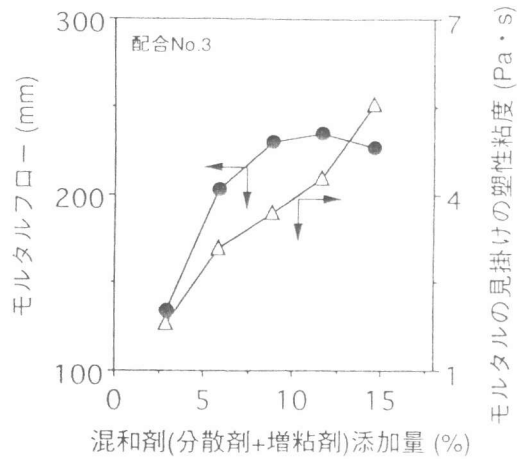


図-5 混和剤のモルタル特性(1)

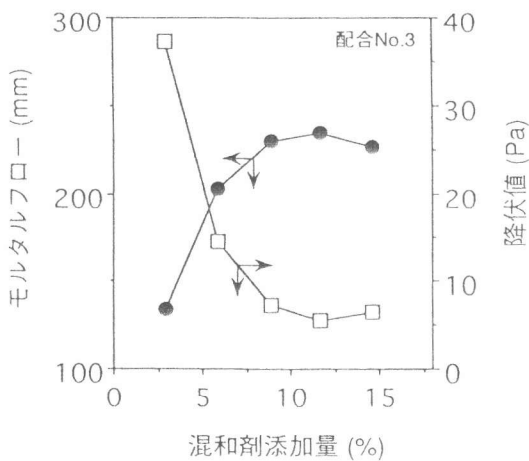


図-6 混和剤のモルタル特性(2)

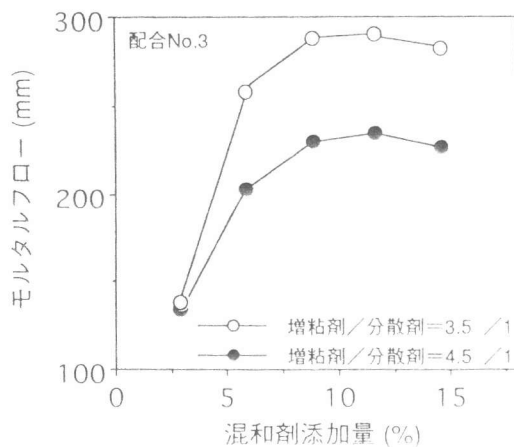


図-7 増粘剤/分散剤の添加割合と流動性

ることができる。例えば、増粘剤と分散剤のブレンド割合を3.5:1にすると流動性のプラトー領域が280mm付近まで上昇する(図-7)。この現象は、非吸着型増粘剤が分散剤の効果を緩和する(鈍感にする)作用を有していることを示唆している。

3.2 非吸着型増粘剤を用いた高流動コンクリート

モルタル試験で見られた非吸着型増粘剤の特性、1)分散剤使用量の低減効果、2)流動性変化に対する安定化効果、を確認するためにコンクリート試験を行った。試験は、表-3の配合A、Bを用いて行った。

結合材量500 kg/m³ (配合No. A)の試験結果を表-4に示す。非吸着型増粘剤を用いる場合、用いない場合に比べ分散剤添加量の低減が見込める。これは、モルタルの場合(図-4)にも見られ

表-4 コンクリート試験結果(結合材量:500 kg/m³、配合No. A)

分散剤 (%)	増粘剤 (%)	測定項目	経時変化(分)				モルタル粘度 (Pa·s)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
			0	30	60	90		
SP-2 (1.59)	-	S F	68.0	70.5	69.5	65.0	4.1	σ ₁ : 56
		F S	3.9	4.4	4.2	6.3		
		AIR	1.4	1.2	1.2	1.4		
SP-2 (1.14)	V-2 (2.8)	S F	68.5	65.5	61.5	55.0	6.5	σ ₁ : 77
		F S	5.4	6.2	11.8	16.9		
		AIR	1.9	1.8	2.0	2.1		

SF:スランプフロー(cm)、FS:スランプフロー時間(s)、AIR:空気量(%)

表-5 コンクリート試験結果(結合材量:350 kg/m³、配合No. B)

分散剤 (%)	増粘剤 (%)	測定項目	経時変化(分)				充填性 (%)	V _ロ -t (s)	凝結時間 (h-min)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
			0	30	60	90				
SP-3 (1.70)	V-2 (2.5)	S F	59.5	64.5	60.0	55.5	93	10	始発:12-57 終結:14-36	σ ₁ : 45 σ ₇ :295 σ ₂₈ :403
		F S	5.9	7.0	9.8	12.8				
		AIR	4.8	5.0	4.4	4.7				
SP-3 (1.85)	V-2 (3.0)	S F	59.5	65.5	59.5	58.5	95	10	始発:13-41 終結:15-49	σ ₁ : 38 σ ₇ :305 σ ₂₈ :436
		F S	7.1	9.3	12.0	12.9				
		AIR	4.5	4.2	4.4	4.8				
SP-3 (2.05)	V-2 (3.5)	S F	59.5	66.5	63.0	60.0	97	15	始発:14-40 終結:16-40	σ ₁ : 33 σ ₇ :295 σ ₂₈ :421
		F S	8.6	7.3	10.7	16.9				
		AIR	5.1	4.1	4.1	4.2				

SF:スランプフロー(cm)、FS:スランプフロー時間(s)、AIR:空気量(%)

た非吸着型増粘剤の分散作用によるものと考えられる。

次に結合材量 350 kg/m^3 条件 (配合 No. B) での試験結果を表-5 に示す。この様な低粉体配合条件においても U 型充填性試験および V ロート試験で良好な結果が得られ、非吸着型増粘剤を用いた高流動コンクリートが十分な材料分離抵抗性を有していることが分かった。また、モルタル試験でも認められた様に、増粘剤添加量を大きく変化させても、殆ど初期のスランプフローへの影響はなかった。即ち、非吸着型増粘剤の特性である流動性の安定化効果が認められた。経時変化物性についても 90 分間スランプフロー 55 cm 以上を保持することができた。ただ、増粘剤の添加に伴う、凝結時間の遅れや材齢 1 日の強度の低下傾向が見られる。この問題に関しては、分散剤の凝結遅延性の改善も含めて今後の課題としたい。

4. まとめ

本研究において以下のことが確認された。

- 1) 非吸着型増粘剤を用いることで高粉体配合 (単位結合材量: 500 kg/m^3) と共に低粉体配合 (単位結合材量: 350 kg/m^3) でも、優れた材料分離抵抗性を有する高流動コンクリートを得ることができた。
- 2) 非吸着型増粘剤は、枯渇効果に類似した分散性を有している。そのため、非吸着型増粘剤を添加した場合は分散剤添加量を低減できる。
- 3) 非吸着型増粘剤を分散剤と併用すると分散剤の敏感性が緩和される。即ち、一定の流動性条件下での塑性粘度のコントロールが可能となる。
今後は、粉体の種類を変えた条件におけるコンクリートの物性についても検討する予定である。

(参考文献)

- [1] 小澤一雅、岡村 甫、坂田 昇：締固め不要コンクリートの充填性評価のためのロート試験、超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集、pp.17-22、1993.5
- [2] 新藤竹文、松岡康訓、S. Tangtermsirkul、坂本 淳：超流動コンクリートの基礎物性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13、No.1、pp.179-184、1991
- [3] 泉 達男、山室穂高、村原 伸、水沼達也：吸着特性の異なる増粘剤を用いた高流動コンクリート、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、V-109、pp.218-219、1994
- [4] 山室穂高、泉 達男、水沼達也、角田裕三：増粘剤の吸着特性がモルタル物性に及ぼす影響、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、V-108、pp.216-217、1994
- [5] 泉 達男、山室穂高、村原 伸、水沼達也：高流動コンクリートのレオロジー特性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.177-182、1994
- [6] S. Asakura and F. Oosawa, J. Chem. Phys., 22, 1255, 1954
- [7] 泉 達男、田所敬章、村原 伸、水沼達也：増粘剤の吸着特性がモルタル物性に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文報告集、1995