

報告

[1053] 高流動コンクリート用増粘剤の基礎的性状について

正会員○山川 勉 (信越化学工業合成技術研究所)

正会員 早川和良 (信越化学工業有機合成事業部)

1. はじめに

近年、ハイパフォーマンスコンクリート[1]をはじめとし、高流動コンクリート(締固め不要コンクリート)が注目され、流動性と材料分離抵抗性という相反する性質を同時に高める研究が活発になされている。既に、水中不分離性コンクリートにおいては、セルロース系増粘剤と高性能減水剤を用いることにより、流動性と材料分離抵抗性に優れることが示されている[2]。また、逆巻コンクリートにおいては主としてブリージング防止の目的で、セルロース系増粘剤が使用されている[3]が、多量に添加すると凍結融解抵抗性に劣る[4]という欠点があり、高流動コンクリートへの使用が限定されていた。筆者らは各種セルロース系水溶性高分子の界面活性作用とコンクリートの気泡組織の関連性に着目し、研究を進めた結果、微細で安定な気泡を連行し、凍結融解抵抗性を改善するセルロース系増粘剤(以下 LAC)を見出した。本報告は流動性、材料分離抵抗性、強度特性、凍結融解抵抗性に及ぼす LAC の影響について基礎的実験を行った結果をまとめたものである。

2. 実験概要

本実験は次の 2 つのシリーズから成り、LAC の添加効果を把握するための要因として、LAC の分子量と添加量を取り上げた。シリーズ I では、モルタルの流動性、粘度、ブリージングに及ぼす LAC の影響を検討し、各分子量における最適添加量を求めた。シリーズ II では、モルタル配合にて得られたデータをもとに、コンクリートの流動性、材料分離抵抗性、圧縮強度特性、凍結融解抵抗性に及ぼす LAC の影響を検討した。

2.1 シリーズ I (モルタル配合)

使用材料を表-1 に示す。LAC は同一分子構造で、分子量のみが異なる 4 種類、2%粘度 100~84,000 cP のものを使用した。実験に使用した LAC の濃度と粘度の関係を図-1 に示す。

【LAC : 低界面活性の非イオン性セルロースエーテル】

表-1 使用材料

LAC	2%水溶液粘度(20℃)		分子量
		100 cP	低分子量
		1,220 cP	中分子量
		10,400 cP	高分子量
	84,000 cP	超高分子量	
細骨材	信濃川産川砂、比重 2.60、粗粒率 2.82		
セメント	普通ポルトランドセメント、比重 3.15		
高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物		

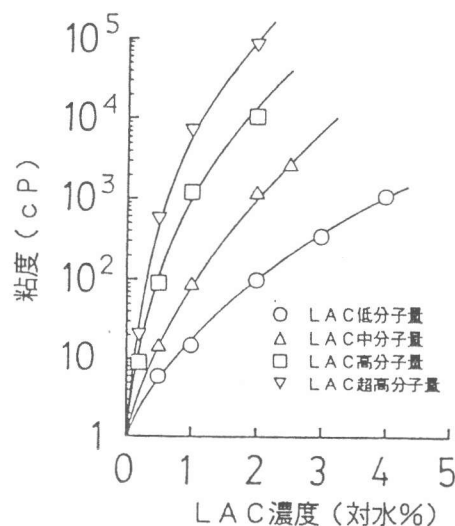


図-1 LAC濃度と粘度の関係

モルタル配合は後述のコンクリート配合から粗骨材を除いた配合に準じ、S/C=2.5、W/C=50%、高性能減水剤 C×3.0%とした。LAC の添加量は、水量に対して 0.1、0.2、0.3% の 3 水準を基準とし、それ以外は分子量に応じて添加量を変化させ、モルタルの見掛け粘度が約 20,000 cP となるまで添加した。空気量の影響を避けるために LAC 無添加のものを含めて消泡剤を添加し、空気量の範囲を 3±1% とした。練り混ぜは JIS R 5201 に準じた。LAC は予めセメントに、高性能減水剤は練り水に混合した。フレッシュモルタルの試験項目と試験方法を表-2 に示す。セルフベリング性の評価項目となる静置フローはテーブルフロー試験で衝撃を与える前にモルタルの自重のみによる変形を測定したものである。

表-2 フレッシュモルタルの試験項目と試験方法

試験項目	試験方法	特性
静置フロー	JIS R 5201に準ずる。	セルフベリング性
ブリージング	土木学会規準 プレバックドコンクリートの注入モルタルのブリージング率	保水性
モルタル粘度	B型回転粘度計	増粘性状
材料分離	テーブルフロー試験時に目視により観察	粗骨材の分離

## 2.2 シリーズ II (コンクリート配合)

使用材料を表-3、配合を表-4 に示す。LAC は中分子量、高分子量、超高分子量の 3 種類、添加量の範囲はモルタル配合で得られた最適添加量を参考に、200~1,000 g/m<sup>3</sup> とし、LAC 無添加のコンクリートについても検討した。練り混ぜはパン型強制練りミキサーを用い、水および高性能減水剤を除く全材料を 60 秒間空練りし、水添加後 60 秒間練り混ぜた。その後、高

表-3 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント、比重 3.15
細骨材	信濃川産川砂、比重 2.60、粗粒率 2.82
粗骨材	下濁川産碎石、比重 2.63、粗粒率 6.72
高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物
AE 剤	樹脂酸石鹸系
LAC	中分子量、高分子量、超高分子量

表-4 コンクリートの配合

Gmax (mm)	空気量の範囲 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )						配合種別
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	LAC	高性能減水剤 (C×%)	
20	4.5±1	52.9	50.0	185	350	863	873	0.2~1.0	3.0	LAC 添加
20	4.0±1	52.9	50.0	185	350	863	873	—	3.0 (1.0)	LAC 無添加

\* LAC 無添加コンクリート、高性能減水剤添加量：硬化コンクリート物性のみ C×1.0 %

性能減水剤を添加し、120 秒間練り混ぜ、直ちに表-5 に示すフレッシュコンクリートの試験を行った。このうち鉄筋通過試験は 30×30×40<sup>H</sup> cm の容器の中に 30 l のコンクリートを詰め、下面に配置した鉄筋のメッシュ (異形棒鋼 D-16、あき間隔 50 mm) を通して自重で落ちたコンクリート重量を時間とともに測定したものである。また、同一 W/C の LAC 無添加コンクリート (スランブ 18 cm) と LAC 添加コンクリートについて圧縮強度試験 (JIS A 1108) および凍結融解試験 (ASTM C 666) を行い、比較検討した。

表-5 フレッシュコンクリート物性試験

試験項目	試験方法	特性
スランブフロー	水中不分離性コンクリート・マニュアル	自重による自由変形
鉄筋通過試験	文献 [1]	材料分離抵抗性
ブリージング	JIS A 1123	保水性
骨材沈降	スランブフロー測定時に目視により観察	材料分離

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 シリーズ I (モルタル配合)

##### (1) 静置フローおよびモルタル粘度

LAC 添加量と静置フローの関係を図-2 に示す。これより、超高分子量を除いてどの LAC を添加したものでも上に凸の曲線を描き、分子量が低い LAC ほどそのピークは高添加量側にシフトすることがわかる。また、ピークを越えた添加量では分子量が高い LAC ほど静置フローの低下は大きい。B 型回転粘度計による測定結果を図-3 に示す。これより、どの LAC も下に凸の曲線を描き、分子量が低い LAC ほどそのピークは高添加量側にシフトすることがわかる。また、ピークを越えた添加量では分子量が高い LAC ほど粘度の増加は大きい。モルタルの変形性は、LAC の増粘作用と潤滑性の両特性に影響される。LAC の増粘作用によりモルタルの粘性が増加する一方、LAC が細骨材、セメント粒子表面に吸着し、LAC の高濃度溶液層が形成され、その潤滑作用により粒子間の摩擦力が低減する。[5] モルタルの静置フローは上に凸の曲線となり、ピークまでの添加量領域では潤滑性が大きくなるため静置フローは大きくなっていく。これはモルタル粘度が一旦、LAC 添加量が増加するにつれて低下することからわかる。その後、添加量が増加すると粘性作用が大きくなり、静置フローは低下する。これもモルタル粘度が増加することからわかる。また、高分子量ほどピークが低添加量側にシフトする理由は、図-1 にみられるように高分子量ほど濃度とともに急激に粘性が高まり、潤滑作用による摩擦力低減効果が低添加量の狭い範囲で相殺されるためと思われる。

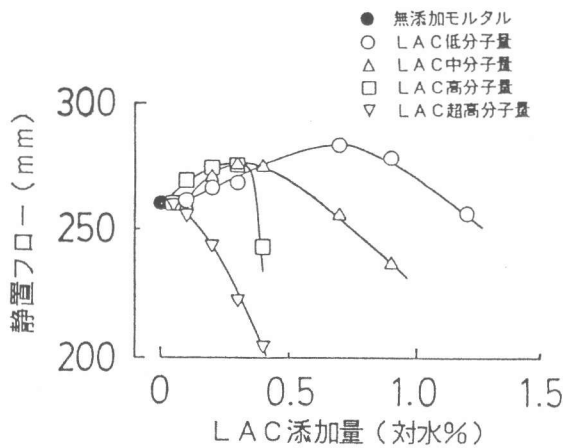


図-2 LAC 添加量と静置フローの関係

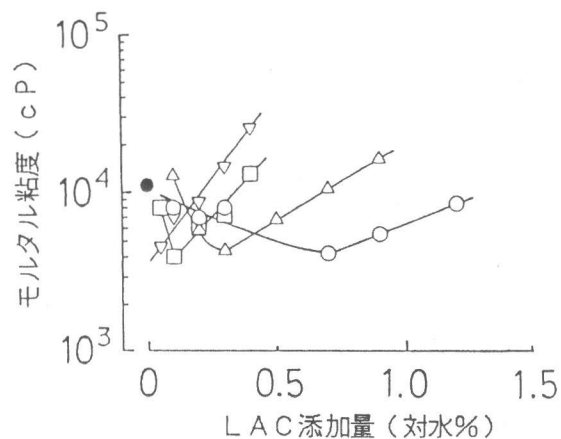


図-3 LAC 添加量とモルタル粘度の関係

##### (2) ブリージング

練り上がり 3 時間後における各 LAC 添加モルタルのブリージング率を図-4、図-5 に示す。これより、分子量が高い LAC ほど少ない添加量でブリージングが検出されなくなることがわかる。ブリージング率が高分子量で、または高添加量ほど低減される理由は LAC の分子に水和した水の粘性が高まり、水の移動が抑制されるためと思われる。

##### (3) 材料分離

今回の配合では、LAC 無添加でもテーブルフロー周辺部分にペースト分が流出するような著しい材料分離は観察されなかった。LAC の添加量 0.2% 以上ではどの LAC でも分離現象は観察されなかった。

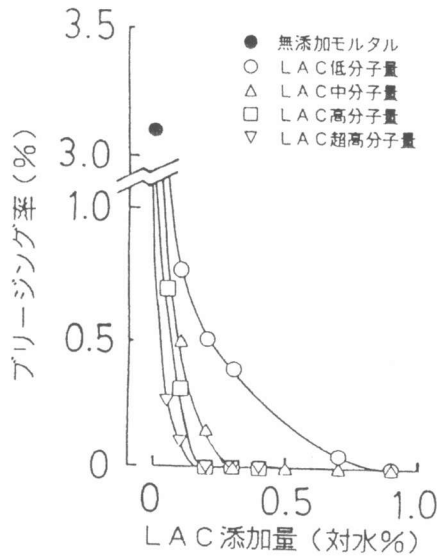


図-4 LAC添加量とブリーディング率の関係

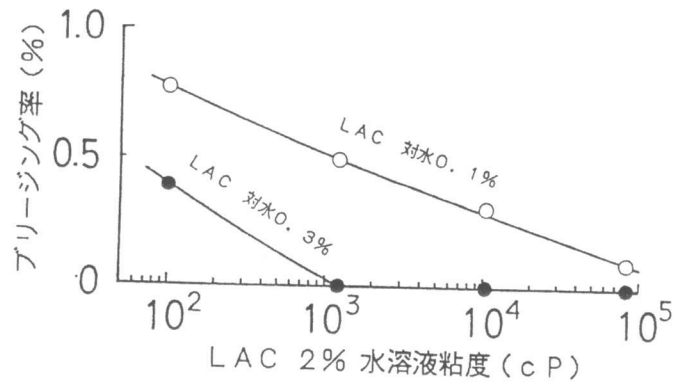


図-5 LAC水溶液粘度とブリーディング率の関係

### 3. 2 シリーズ II (コンクリート配合)

#### (1) スランプフロー

LACの添加量とスランプフローの関係を図-6に示す。高分子量、超高分子量については、モルタルの静置フローと挙動が異なり、添加量とともに一旦、スランプフローは低下するが、その後モルタルと同様に、潤滑性と粘性の関係から上に凸の曲線となる。

#### (2) 鉄筋通過試験

LACの添加量と鉄筋通過率（[鉄筋通過量/充填量]×100）の関係を図-7に示す。これより、LACの添加量に対して上に凸の曲線を描き、高分子量のものでは500 g/m<sup>3</sup>付近にピークがあることがわかる。鉄筋通過試験は、狭い空間を流動する過程での材料分離抵抗性と流動性を評価するものである。この試験により、LACの添加量と分子量の差による材料分離抵抗性の違いが、ある程度評価できた。これは、LACの添加によりモルタル分の粘性が高まるため、モルタルと粗骨材の材料分離が抑えられ、粗骨材同士、あるいは粗骨材と鉄筋との摩擦抵抗を低減するためと思われる。LACの添加量が少ないと骨材は沈降気味となり、ア-

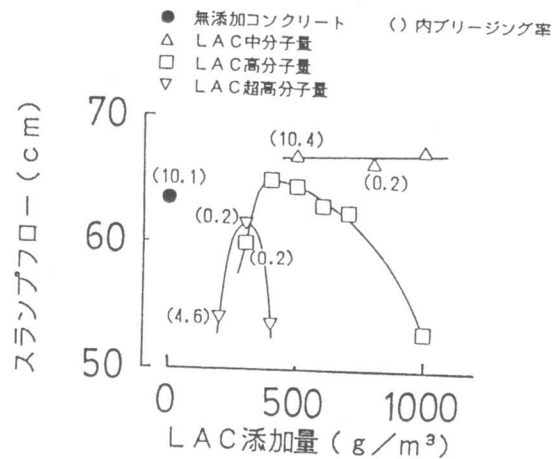


図-6 LAC添加量とスランプフローの関係

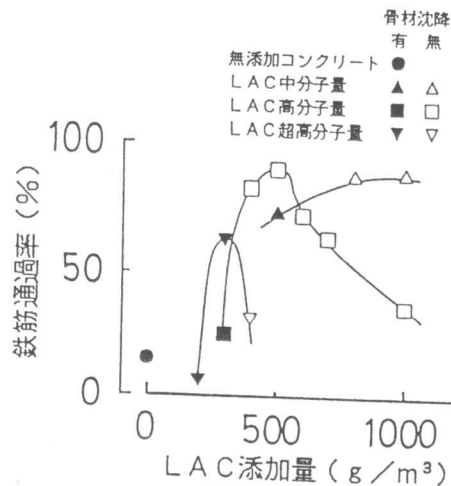


図-7 LAC添加量と鉄筋通過率の関係

チングを起こし、鉄筋通過率は低い値となる。逆に LAC の添加量が多くなり過ぎると、粘性抵抗が大きくなり、スランプフローが小さくなるため鉄筋通過率が低くなる傾向がある。分子量の差についてみると、分子量が高くなるにつれて添加量の変動に対して鉄筋通過率が敏感になる傾向がある。これは図-1、図-3 からわかるように、高分子量ほど LAC の添加量に対する粘性の変化が急激であるためと思われる。LAC は添加量が多くなると凝結遅延性が大きくなること、空気連行性が高くなりすぎることも考慮すると、

2%粘度 約 10,000 cP 程度の LAC が高流動コンクリート用混和剤として好ましいと考える。モルタル配合の挙動と比較してみると、図-8 のようにピークとなる LAC の添加量がモルタルの静置フローのピークとなる添加量にほぼ等しい。このことから、モルタル配合で、ある程度コンクリート配合の最適 LAC 添加量を推定することが可能であると考えられる。

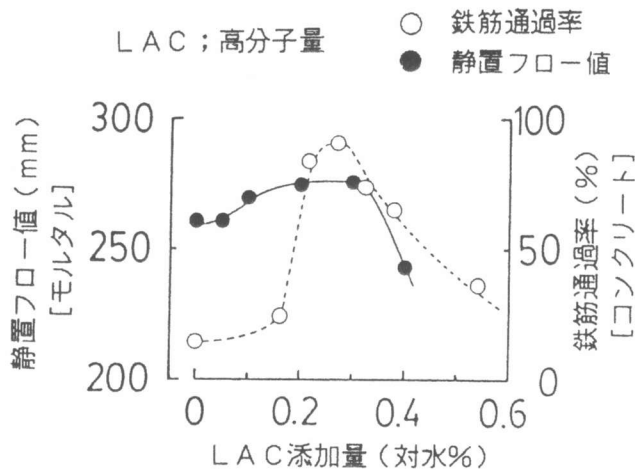


図-8 LAC添加量と静置フロー値及び鉄筋通過率の関係

(3) ブリージング

モルタル配合と同様に、分子量が高い LAC ほどブリージング抑制効果が高いことがわかる。

(4) 骨材沈降

分子量が高い LAC ほど少ない添加量で骨材沈降はなくなり、高分子量のものでは 400 g/m<sup>3</sup> 以上では骨材沈降は認められない。

(5) 圧縮強度

LAC 添加コンクリートと無添加コンクリートの圧縮強度試験結果を表-6 に示す。LAC 添加コンクリートの圧縮強度は LAC 無添加のコンクリートと比較

表-6 硬化コンクリートの実験結果(圧縮強度)

配合種別	分子量	添加量 (g/m <sup>3</sup> )	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )			
			日 1	日 3	日 7	日 28
LAC 無添加	—	0	6.2	16.1	24.5	36.0
LAC 添加	高分子量	500	5.4	16.2	24.1	35.8

した場合、表-7 のように凝結遅延性があるため、1 日材令では若干、低くなるが、その後の材令では有意差は認められなかった。

表-7 凝結試験結果

配合種別	分子量	添加量 (g/m <sup>3</sup> )	凝結時間 [hr : min]	
			始発時間	終結時間
LAC 無添加	—	0	6:20	8:35
LAC 添加	高分子量	500	7:55	10:10

## (6) 凍結融解試験

LAC 添加コンクリートと無添加コンクリートの凍結融解試験結果を表-8 に示す。300 サイクル経過後の耐久性指数は

LAC 無添加コンクリートで約 93 であるのに対し、添加コンクリートで約 88 であった。LAC 添加コンクリートの場合、凍結融解抵抗性を改善するため、硬化コンクリートの空気量を 4% 以上とする必要があり、練り上がりの空気量は普通コンクリートより 1~2% 程度高くすることが望ましい。

表-8 硬化コンクリートの実験結果(凍結融解試験)

配合種別	分子量	添加量 (g/m <sup>3</sup> )	空気量 (%)		耐久性指数	気泡間隔係数 (μm)
			練上り	硬化後		
LAC 無添加	—	0	4.6	3.3	93.2	203
LAC 添加	高分子量	500	5.3	3.9	88.3	193

### 4. まとめ

今回の実験の範囲で明らかになったことをまとめると以下のようになる。

(1) モルタルの静置フローは LAC の添加量に対して上に凸の曲線となり、モルタル粘度とも相関があり、LAC による潤滑性および増粘による結果と考える。また、ピークとなる添加量は LAC の分子量により異なる。

(2) モルタルのブリーディングは LAC の添加量および分子量に影響される。

(3) コンクリートの鉄筋通過率は LAC の添加量および分子量に影響され、モルタルの場合と同様にピークが存在する。この添加量はモルタルの静置フローのピーク位置とほぼ同じであり、LAC の場合、モルタル配合によりコンクリート配合での最適 LAC 粘度、最適添加量を、ある程度推定することができる。

(4) LAC 添加コンクリートは無添加コンクリートと比較し、凝結遅延性があるが、圧縮強度特性について有意差は認められなかった。

(5) LAC 添加コンクリートの凍結融解抵抗性は、無添加コンクリートより若干高めの空気量にすることにより改善される。

今後は、セメント結合材の種類、量、他の混和剤の併用などによるワーカビリティへの影響、凍結融解抵抗性への影響を検討し、増粘剤を添加した高流動コンクリートの配合技術を確立するためのデータを収集する予定である。

### 参考文献

- 1) 小沢一雄ほか：ハイパフォーマンスコンクリートの開発、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 11、No. 1、pp. 699-704、1989.6
- 2) 古澤靖彦ほか：水溶性高分子を添加したフレッシュモルタルの性状に関する基礎実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 11、No. 1、pp. 415-420、1989.6
- 3) 中里吉明ほか：水溶性高分子の混和によりブリーディングを抑制したコンクリートの性質、コンクリート工学年次講演会論文集、Vol. 6、pp. 41-44、1984
- 4) 大和竹史：水中不分離性コンクリートの耐凍害性、水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集、pp. 161-166、1990.8
- 5) Tadayo KATO, et al.: Lubrication by Thin Films of Aqueous Polymer Solutions, Polymer Journal, Vol. 18, No. 2, pp. 111-116, 1986