

論文 ペーストのレオロジー特性・付着特性に及ぼす分離低減剤の影響

呉 相均*¹・友澤史紀*²・野口貴文*³・姜 丙熙*⁴

要旨：一般的に分離低減剤としては、セルロース系、アクリル系、多糖類系などが用いられているが、高流動コンクリートのレオロジー特性・付着特性に及ぼすそれらの影響については、明確にされているとは言い難い[1]~[4]。本研究では、高流動コンクリートのペースト部のレオロジー特性・付着特性に及ぼす分離低減剤の種類・使用量の影響、またフレッシュコンクリートのスランブフローを安定させる分離低減剤の効果を明らかにすることを目的とし、これを実験的に検討した。その結果、分離低減剤の種類・使用量に応じて、降伏値と塑性粘度の間には、比例関係があり、また、分離低減剤はフレッシュペーストのスランブフローを安定させる効果を持つことが認められた。

キーワード：高流動コンクリート、セメントペースト、分離低減剤、レオロジー、付着特性

1. はじめに

高流動コンクリートを製造する場合には、コンクリートの粘性の低下による材料分離現象を生じせない目的で分離低減剤が用いられることが多い。また、分離低減剤は高流動コンクリートのフレッシュ時の性能に対する品質安定剤として使われることもある。しかしながら、分離低減剤が高流動コンクリートのレオロジー特性・付着特性に及ぼす上記の影響については、まだ明確にされていると言えず、高流動コンクリートの調合設計法を理論的に組み立てるには上記について明確にする必要がある。

本研究ではこれらの問題を明確にすることを目的として、セメントペーストのレオロジー特性（性粘度・降伏値）および付着特性（最大付着荷重・付着タフネス）に及ぼす分離低減剤の種類・使用量の影響、また分離低減剤のフレッシュペーストの品質を安定させる効果について実験的に検討した。なお、本研究は日本建築学会に設置された高流動コンクリート研究小委員会（委員長：友澤史、東京大学教授）の研究の一環として行

ったものである。

2. 実験概要

2. 1 実験因子および水準

実験因子・水準を表-1に示す。分離低減剤および高性能AE減水剤の使用量は、高流動コンクリートに使用される標準的な使用量を中心にその量を増減して3水準および4水準とし

表-1 実験因子および水準

| 実験因子 | 水準 | | |
|-----------------------|--------------------------------------|--|--|
| | セルロース系(C)、アクリル系(A)、多糖類系(P)、なし(N) | | |
| 分離低減剤の種類 | セルロース系： 1.2, 1.9*, 2.6 g/l (W/C 35%) | | |
| ペースト1ℓ当り 分離低減剤の使用量 | (0.40) (0.63) (0.86) | | |
| | 1.8, 2.4*, 3.0 g/l (W/C 50%) | | |
| アクリル系 | (0.53) (0.71) (0.88) | | |
| | 0.6, 1.2*, 1.8 g/l (W/C 35%) | | |
| 多糖類系 | (0.19) (0.35) (0.56) | | |
| | 1.6, 2.2*, 2.8 g/l (W/C 50%) | | |
| 高性能AE減水剤増率 | (0.44) (0.60) (0.76) | | |
| | 1.65, 3.25*, 4.85 g/l (W/C 35%) | | |
| 水結合材比 | (0.57) (1.12) (1.67) | | |
| フロー | 基準量 ± 10, 30, 50 % | | |
| | 25, 50 % | | |
| | 35 cm | | |

* : 分離低減剤の基準量 (フロー: 35 ± 1cm)
() : 標準的な高流動コンクリート1m³中の量 (単位: kg)

- *1 東京大学大学院 工学系研究科建築学専攻 (正会員)
- *2 東京大学教授 工学部建築学科、工博 (正会員)
- *3 東京大学助手 工学部建築学科、博士(工学) (正会員)
- *4 東亜大学教授 工学部建築学科、工博 (正会員)

表-2 セメントペーストの調合

| 記号 | W/C (%) | 分離低減剤種類 | 分離低減剤添加量 (g/ℓ) | 高性能AE減水剤添加量 | フロー (cm) |
|----------|---------|---------|----------------|--------------|----------|
| N35 | 35 | なし | 0 | 基準量 (C×1.3%) | 43.3 |
| N35 10 | 35 | なし | 0 | 基準量 + 10% | 47.1 |
| N35 30 | 35 | なし | 0 | 基準量 + 30% | 49.5 |
| N35 50 | 35 | なし | 0 | 基準量 + 50% | 55.2 |
| C35 1 | 35 | セルロース系 | 1.2 | 基準量 | 38.8 |
| C35 2 | 35 | セルロース系 | 1.9 | 基準量 | 34.7 |
| C35 3 | 35 | セルロース系 | 2.6 | 基準量 | 30.5 |
| C35 2 10 | 35 | セルロース系 | 1.2 | 基準量 + 10% | 35.4 |
| C35 2 30 | 35 | セルロース系 | 1.2 | 基準量 + 30% | 36.2 |
| C35 2 50 | 35 | セルロース系 | 1.2 | 基準量 + 50% | 37.1 |
| A35 1 | 35 | アクリル系 | 0.6 | 基準量 | 38.7 |
| A35 2 | 35 | アクリル系 | 1.2 | 基準量 | 34.6 |
| A35 3 | 35 | アクリル系 | 1.8 | 基準量 | 31.4 |
| A35 2 10 | 35 | アクリル系 | 1.2 | 基準量 + 10% | 37.1 |
| A35 2 30 | 35 | アクリル系 | 1.2 | 基準量 + 30% | 37.2 |
| A35 2 50 | 35 | アクリル系 | 1.2 | 基準量 + 50% | 37.5 |
| P35 1 | 35 | 多糖類系 | 1.65 | 基準量 | 38.4 |
| P35 2 | 35 | 多糖類系 | 3.25 | 基準量 | 34.8 |
| P35 3 | 35 | 多糖類系 | 4.85 | 基準量 | 29.5 |
| P35 2 10 | 35 | 多糖類系 | 3.25 | 基準量 + 10% | 37.6 |
| P35 2 30 | 35 | 多糖類系 | 3.25 | 基準量 + 30% | 35.1 |
| P35 2 50 | 35 | 多糖類系 | 3.25 | 基準量 + 50% | 40.2 |
| N50 | 50 | なし | 0 | 基準量 (C×1.1%) | 58.5 |
| C50 1 | 50 | セルロース系 | 1.8 | 基準量 | 38.8 |
| C50 2 | 50 | セルロース系 | 2.4 | 基準量 | 35.7 |
| C50 3 | 50 | セルロース系 | 3 | 基準量 | 34.2 |
| C50 2 10 | 50 | セルロース系 | 2.4 | 基準量 + 10% | 36.1 |
| C50 2 30 | 50 | セルロース系 | 2.4 | 基準量 + 30% | 37.1 |
| C50 2 50 | 50 | セルロース系 | 2.4 | 基準量 + 50% | 40.2 |
| A50 1 | 50 | アクリル系 | 1.6 | 基準量 | 35.8 |
| A50 2 | 50 | アクリル系 | 2.2 | 基準量 | 34.6 |
| A50 3 | 50 | アクリル系 | 2.8 | 基準量 | 33.7 |
| A50 2 10 | 50 | アクリル系 | 2.2 | 基準量 + 10% | 34.5 |
| A50 2 30 | 50 | アクリル系 | 2.2 | 基準量 + 30% | 36.8 |
| A50 2 50 | 50 | アクリル系 | 2.2 | 基準量 + 50% | 36.4 |

2 使用材料および調合
 実験に用いた粉体は普通ポルト
 ドセメントであり、基準の分離
 剤量でセメントペーストが目標
 フロー (35±1cm) になるように、
 高性能AE減水剤 (ポリカルボン酸
 をセメント重量比 1.3%
 /C35%の場合)、1.1% (W/C50
 易合) 添加した。目標フローは
 実験で標準とした高流動コンク
 レート (スランブフロー: 65±5 cm)
 になるためのペーストのフロー
 を調べる。

ペーストの調合は表-2の通りであ
 り、20℃、RH60%の恒温恒湿室で、
 混合した粉体と水をモルタル
 サ (容量5ℓ) に順次投入し、低
 速で90秒間さらに高速で90秒間練り
 混ぜた。高性能AE減水剤及び分離低
 減剤の使用によって生じる空気量の
 増加を避けるため、セメント重量の
 10%の空気量調整剤を用い、空気量
 を以下に抑えた。

3 測定項目と測定方法

R 5201に定められたフローコー
 ンを用いて落下運動を与えない状態
 でペーストのフローおよびフロー時

記号例: C35 2 30

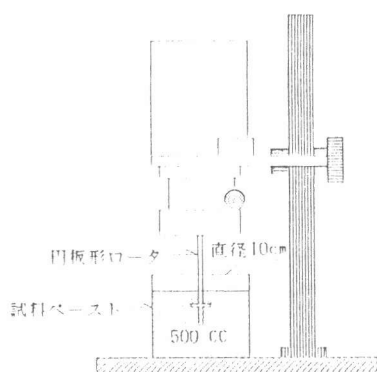
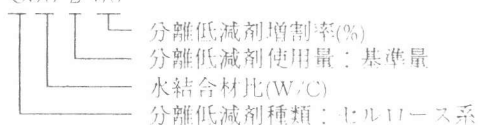


図-1 回転粘度計

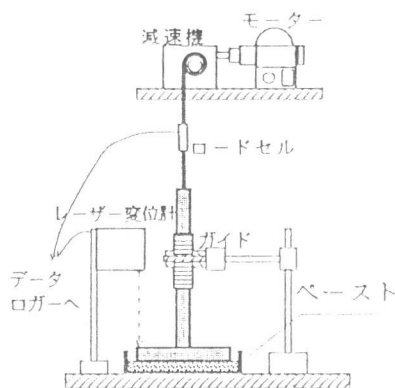


図-2 付着試験器

間（フローが 20 cm に到達するまでの時間）を測定した。

ペーストのレオロジー特性は、図 - 1 に示す回転粘度計（内円筒回転粘度計、R型、BH5番ロータ使用）で、0.5、2.5、10、20、50、100 rpm の回転速度についてそれぞれ60秒ずつ回転速度の上昇及び下降過程においてずり応力を測定し、降伏値及び塑性粘度を求めた。また、ペーストの付着特性は、図 - 2 に示す板引き上げ形付着試験器を用いて測定した。直径12cm、高さ1.5cmの皿の中に厚さ1cmとなるように入れたペーストの上面に直径10cmのアクリル板を付着させた後、載荷板を約0.05mm/secの一定速度で引き上げ、ロードセルおよびレーザー変位計を使用して荷重 - 変位関係を求めた[5]。

3. 実験結果及び考察

フロー35cmになるペーストのずり速度 - ずり応力の測定の結果（図 - 3）から、フロー35cmのペーストはビンガム体としての性質を持つと仮定できることがわかった。本実験では、回転速度が0.5rpmの時のずり応力を降伏値とし、また10、20、50rpmの時の値を回帰分析し、その傾きを塑性粘度とした。同一種類の分離低減剤および同一の水結合材比のペーストで分離低減剤の量を変えると、図 - 4 のように分離低減剤量を増加させるほどずり応力が高くなり、塑性粘度及び降伏値とも大きくなることが認められた。

3.1 分離低減剤種類・使用量がペーストのレオロジー特性・付着特性に与える影響

フローは分離低減剤の増加量に比例して低下した（図 - 5）。水結合材比35、50%において分離低減剤を入れなかった場合、フローは43cm以上となり、目視で分離しているものと判断された。図 - 6 に分離低減剤の使用量の違いによる塑性粘度の変化を示す。セルロース系、アクリル系の場合は、少量の添加量で塑性粘度の増大が見られたが、多糖類系の場合にはセルロース系、アクリル系に比べて塑性粘度を大きくするためには多量の添加を必要とした。

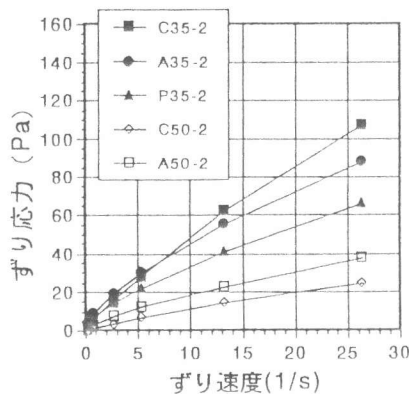


図 - 3 流動曲線に及ぼす分離低減剤の種類の影響

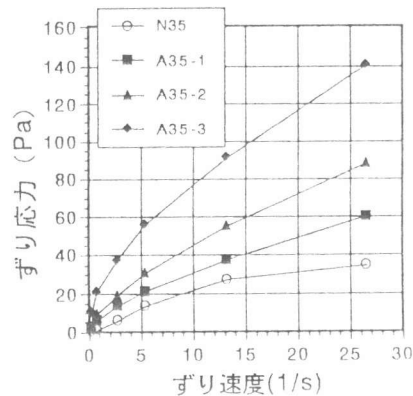


図 - 4 流動曲線に及ぼす分離低減剤量の影響

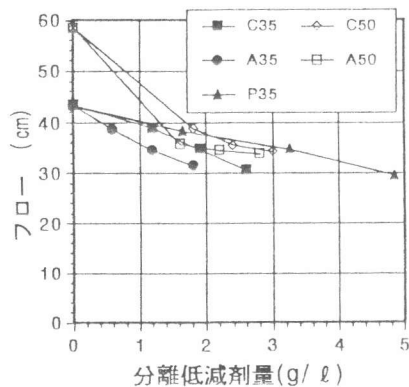


図 - 5 分離低減剤量とフローとの関係

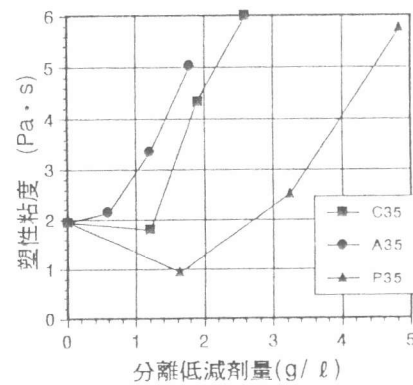


図 - 6 分離低減剤量と塑性粘度との関係

従って、特にアクリル系のようにその使用によって塑性粘度が敏感に反応する分離低減剤は非常に厳しい品質管理が必要であると考えられる。降伏値の場合も分離低減剤量の増加に比例して増加した(図-7)。以上のように分離低減剤の種類によって塑性粘度および降伏値の変化の割合が異なり、塑性粘度と降伏値は一定範囲以上では比例関係があり、分離低減剤の使用量の増大によって塑性粘度、降伏値共に増加した。図-8によれば、フローを一定(35±1 cm)にすると降伏値は要因に依らずほぼ一定となるが、塑性粘度は分離低減剤の種類・水結合材比によって異なる値をとることがわかる。図-9によれば、水結合材比35%の場合には、分離低減剤の増量に伴い、塑性粘度と降伏値との関係は、ほぼ比例関係を保って変化すると考えられる。しかし、水結合材比50%の場合には、ばらつきが大きく、比例関係があるとは言い難い。

最大付着荷重および付着タフネスに及ぼす分離低減剤の影響は、水結合材比によって異なる傾向があり、水結合材比35%では分離低減剤の増加量と共に最大付着荷重および付着タフネスは増加するのに対して、水結合材比50%ではほとんど分離低減剤の影響を受けなかった(図-10、図-11)。

図-12のようにフローを一定すると最大付着荷重と付着タフネスとの間には、分離低減剤の種類・量及び水結合材比によらず一定の関係があることが認められた。

3.2 品質安定剤としての効果

高性能AE減水剤をセメント重量比1.3%(W/C35の場合)、1.1%(W/C50の場合)添加したペーストに各種分離低減剤を適量混合し、フローを35cmにした。高性能AE減水剤をさらに10、30、50%増量して(セメント重量に対し1.3から2.05%)、分離低減剤の水量・高性能AE減水剤などの増減によるフレッシュ性状の変動を安定させる性能を検討した。また、水結合材比35%の分離低減剤を用いないペースト(記号:N35)にも高性能AE減水剤を増量して添加し、比較した。

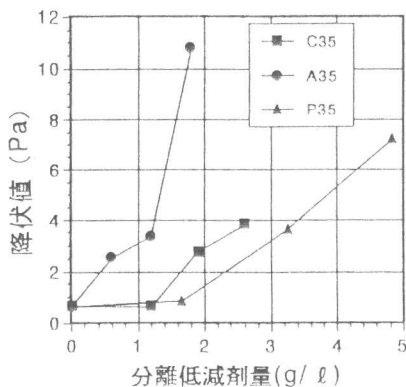


図-7 分離低減剤量と降伏値との関係

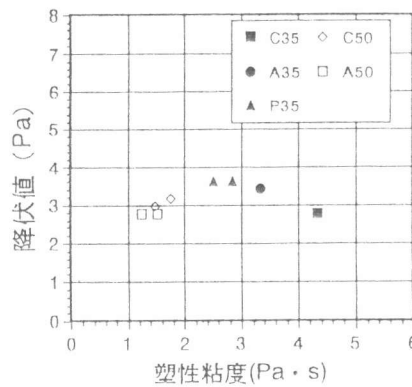


図-8 塑性粘度と降伏値との関係

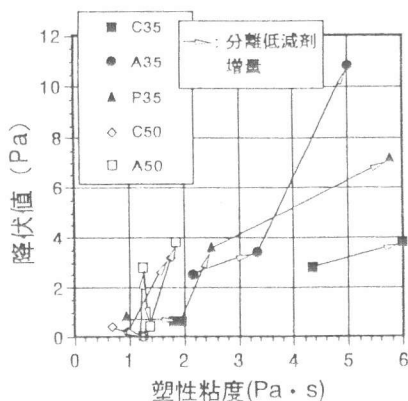


図-9 分離低減剤増量によるレオロジー定数の変化

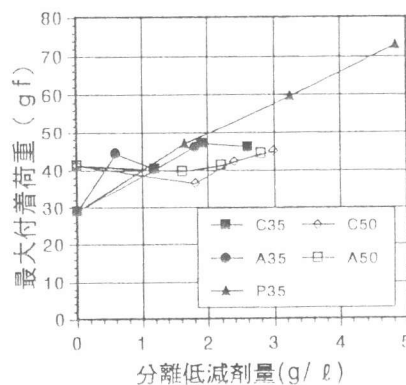


図-10 分離低減剤量と最大付着荷重との関係

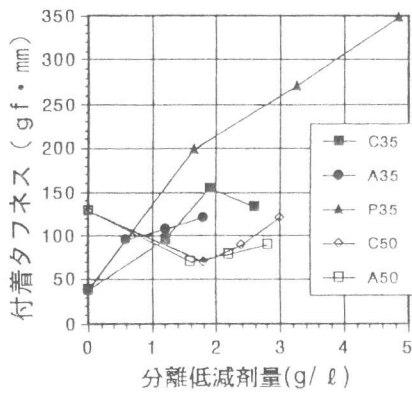


図 - 11 分離低減剤量と付着タフネスとの関係

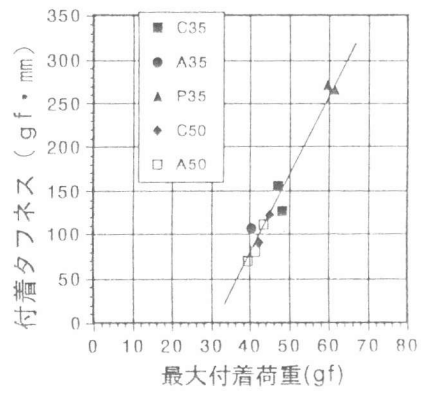


図 - 12 最大付着荷重と付着タフネスとの関係

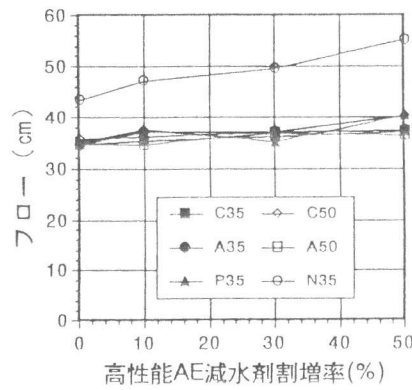


図 - 13 高性能AE減水剤割増率とフローとの関係

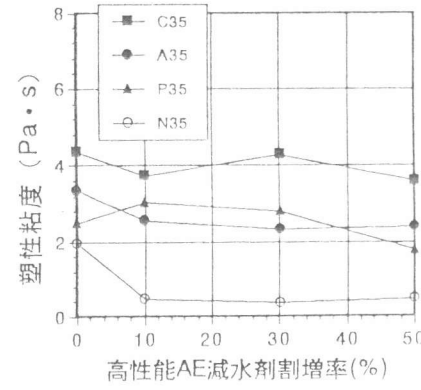


図 - 14 高性能AE減水剤割増率と塑性粘度との関係

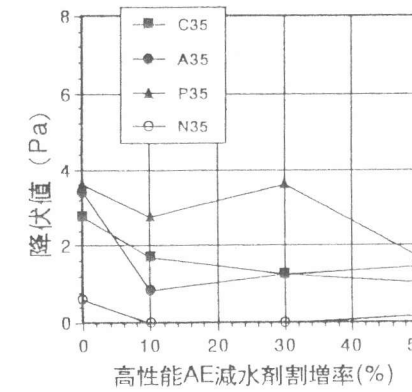


図 - 15 高性能AE減水剤割増率と降伏値との関係

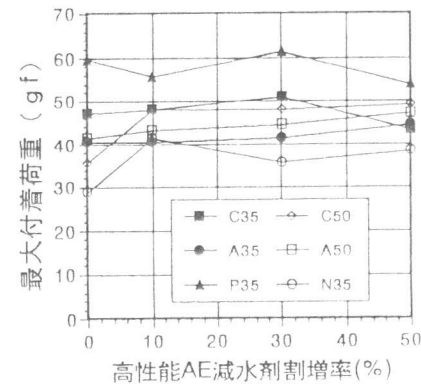


図 - 16 高性能AE減水剤割増率と最大付着荷重との関係

図 - 13は減水剤の増量とフローの変化を示す。分離低減剤を用いた場合には、本実験の高性能AE減水剤量の範囲内では、フロー値の変化はごくわずかであった。ただ、水結合材比35%の多糖類系を用いたペースト (P35) と水結合材比50%のセルロース系を用いたペースト (C50) では減水剤を50%増量したときやや分離気味となり、フローも40cm以上となった。分離低減剤を用いないN35は減水剤の増加に伴いフローが約55cmまで増加し、完全に分離した。図 - 14~17はレオロジー特性および付着特性に関して、分離低減剤のフレッシュペーストの品質安定剤としての効果を示す。水結合材比35%の場合、セルロース系およびアクリル系はレオロジー特性・付着特性共にほぼ安定した値が得られた。多糖類系の場合は減水剤を50%増量した時、塑性粘度、降伏値が低くなり始めた。しかし、付着特性に関してはすべての場合に、高性能AE減水剤量の影響を受けなかった。

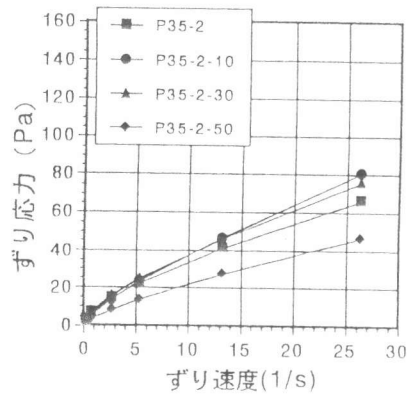
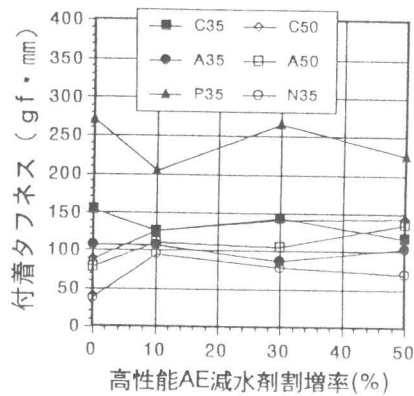


図-17 高性能AE減水剤割増率と付着タフネスとの関係 図-18 流動曲線に及ぼす高性能AE減水剤割増率との関係

図-18は高性能AE減水剤を10から50%まで増量したときのずり速度とずり応力の変化を示す。セルロース系およびアクリル系では高性能AE減水剤の影響が見られなかったが、多糖類系を用いたP35の場合は高性能AE減水剤を50%増量したところでずり応力が少し低くなった。

4. まとめ

- 1) 分離低減剤の種類・使用量に応じて、降伏値と塑性粘度の間にはそれぞれ比例関係がある。分離低減剤の種類および使用量をパラメータとして用いることにより、所要の塑性粘度と降伏値が与えられた場合の調合設計手法を確立するための基礎資料が得られた。
- 2) 本実験の範囲ではフローが一定である場合、最大付着荷重と付着タフネスの間には、要因に依らず一定の比例関係があり、分離低減剤の・量及び水結合材比によって異なる値を示すことが明らかになった。
- 3) 水結合材比35%のペーストでは、一定の範囲内で、分離低減剤はスランプフローを安定させる効果を持っていることが認められた。

今後の課題としては、分離低減剤と高性能AE減水剤がレオロジー特性および付着特性に及ぼす影響に関して、それぞれの個別の効果および相互作用に対する検討が挙げられる。

謝辞：本研究に際して、東京大学工学部建築学科卒論生小山直行君の協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 友澤史紀ほか：各種高流動コンクリートの流動性および硬化後の性質に関する実験的研究、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.47 - 54、1993.5
- 2) 井上和政ほか：高流動コンクリート中のフレッシュモルタルの粘性と粗骨材への付着に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.95 - 100、1994
- 3) 横田和直ほか：高強度および早強性を有する超流動コンクリートに関する研究、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.91 - 96、1993.5
- 4) 阿部保彦ほか：セルロース系分離低減剤を用いた高流動コンクリートの調合、物性に関する研究、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.91-96、1993.5
- 5) 陳庭ほか：ペーストのレオロジー特性に及ぼす高性能AE減水剤の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.455 - 460、1994