

論文

[1023] 設計基準強度 210~360 kgf/cm<sup>2</sup>を対象にした高流動コンクリートの研究

根本 明\*1・佐藤次郎\*2・阿部保彦\*3・岡村純二\*4

1. はじめに

コンクリート工事における充填性向上および省人化のために、最近、高流動コンクリートのRC工事への活用の機運が高まってきている。しかし従来の高流動コンクリートは、1ないし2種類の微粉末を大量に使用しているものが多く、これを実際に使おうとすると一般の生コン工場では設備の増設をしなければならないという問題があった。そこで、微量でも分離抵抗性の向上に効果のある分離低減剤を用いた高流動コンクリートの開発・実用化研究も各種研究機関で活発に行われている。本研究は、気中コンクリート用に最近発売が開始された低界面活性セルロース系分離低減剤（以降セルロースと略す）を用いて、通常のコンクリートと同程度の設計基準強度210~360kgf/cm<sup>2</sup>を対象とした高流動コンクリートの実用化の可能性を探るため、先行開発されていたアクリル系分離低減剤（以降アクリルと略す）を用いた高流動コンクリートと各種性状を比較したものである。分離しないで優れた流動性を有するコンクリートを得るための各種混和材料の適性使用量並びに硬化後の強度、耐久性について述べる。

2. フレッシュコンクリートの実験

2-1 実験概要

(1) 使用材料

表-1 に使用材料を示す。

今回用いたセルロース系分離低減剤は、低気泡性セルロースエーテルであり、水中コンクリート用分離低減剤のように消泡剤を併用する必要がなく、少量で分離抵抗性に優れ、AE剤によるエントレインドエアが導入できる。

(2) 調合の組み合わせ

コンクリートの調合は表-2, 3に示す通り、結合材の量および分離低減剤としてのセルロースあるいはアクリルの添加量を変えた24種類とした。

(3) 調合条件

調合は以下の条件で決定した。

フレッシュコンクリートのスランプフローは施工性を考慮し、約60±5 cm、空気量は耐久性向上を考慮して5±1%とした。

単位水量はJASS5の上限値185ℓ/㎡より5ℓ低減し180ℓ/㎡とした。

表-1 使用材料

材料	種類、品質
セメント	普通*1"ポルトランド"セメント、比重3.18 隠砂：砂砂 = 1 : 1
細骨材	表乾比重2.50 粗粒率 2.55
粗骨材	JIS 2005砕石、表乾比重2.98、粗粒率0.56
フライアッシュ	比重2.24、比表面積3,500cm <sup>2</sup> /g
分離低減剤	水溶性セルロース系 *2"アクリル"系
高性能減水剤	高縮合トリファン系化合物(メソ系) *3"アクリル"系
AE剤	ロジン化合物 天然樹脂酸塩
減水剤	メソ系トリファン系化合物 *4"アクリル"系

表-2 普通ポルトランドセメント(OPC)

分離低減剤量 (kg/m <sup>3</sup> )	セルロース系				アクリル系
	0.2	0.3	0.4	0.5	
300	○			○	○
360				○	
390			○		
420		○			
450	○				

表-3 フライアッシュセメント(OPC+FA)

分離低減剤量 (kg/m <sup>3</sup> )	結合材量 (kg/m <sup>3</sup> )	セルロース系			アクリル系				
		0.2	0.3	0.4	0.5	2.0	3.0	4.0	5.0
300	0	○			○				○
300	80	○			○				○
300	90	○	○			○	○		
300	120	○	○			○			
300	150	○				○	○		

\*1 榎内山アドバンス 中央技術研究所材料科学研究室室長 (正会員)  
 \*2 榎内山アドバンス 中央技術研究所 所長 (正会員)  
 \*3 鹿島建設株式会社技術研究所第四研究部主管研究員 (正会員)  
 \*4 鹿島建設株式会社建設給事業本部原子力室副部長 (正会員)

単位粗骨材量はかさ容積値 0.61 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>を試し練りにより決定した。

セルロースは0.2、0.3、0.4および0.5 kg/m<sup>3</sup>、アクリルは2.0、3.0、4.0および5.0 kg/m<sup>3</sup>の4種類ずつとした。

セルロースにはメラミン系の高性能減水剤とロジン酸化物AE剤、アクリルにはナフタリン系高性能減水剤と天然樹脂酸塩AE剤を組み合わせて目標スランプフロー、目標空気量を得られる様に試し練りによりそれらの使用量を決めた。なお、セルロースの場合には、スランプフローの経時変化を少なくするために、リグニンスルホン酸塩とポリオール複合体の減水剤を結合材の0.25%添加した。

#### (4) 練り混ぜ方法

練り混ぜは、100ℓの強制練りミキサで行った。骨材、セメント、分離低減剤、フライアッシュを投入し、15秒空練り後、水と高性能減水剤、AE剤を投入し2分間練り混ぜを行った。

コンクリートの練り上がり温度が20±1℃になるよう恒温室内で練り混ぜた。

#### (5) 試験方法

スランプ試験はJIS A 1101、空気量はJIS A 1128、スランプフローは土木学会規準により行った。

### 2-2 結果および考察

#### (1) 単位結合材量と高性能減水剤量との関係

同一スランプフローに対する単位結合材量と高性能減水剤量との関係を図-1および図-2に示す。図-1は分離低減剤の量が一定の場合であり、図-2は分離低減剤の量が変化した場合である。図-1によれば、高性能減水剤量はセルロースを使用した場合、単位結合材量が約400 kg/m<sup>3</sup>までは直線的に減少するがそれ以上ではほぼ一定となった。これは、結合材量がある限界値以下では、高性能減水剤による結合材分散効果が小さくなるためと思われる。また、アクリルを使用した場合は、単位結合材量が360~450 kg/m<sup>3</sup>の範囲でほぼ一定であった。

図-2においてもフライアッシュおよび分離低減剤の混入量に拘らず図-1と同じ傾向を示した。

#### (2) 単位結合材量とAE剤量との関係

目標空気量を得るための単位結合材量とAE剤量との関係を図-3に示す。これによると単位結合材量の増加とともに、AE剤の使用量も増加する。これは、フライアッシュが増えると、AE剤のフライアッシュへの吸着量が増え、同一空気量を得るために必要なAE剤量が

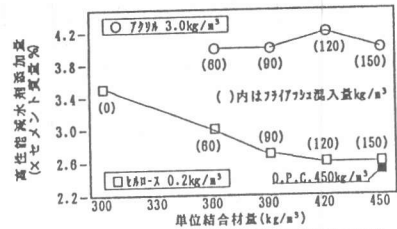


図-1 単位結合材量と高性能減水剤量との関係 (分離低減剤量一定の場合)

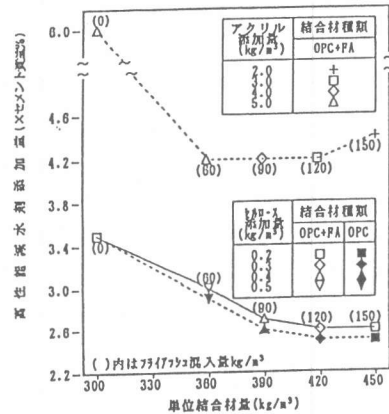


図-2 単位結合材量と高性能減水剤量との関係 (分離低減剤量を変えた場合)

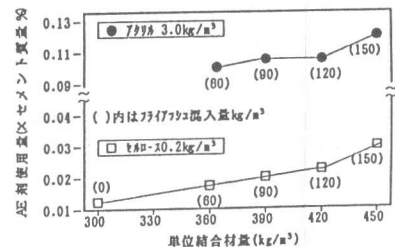


図-3 単位結合材量とAE剤添加量との関係 (分離低減剤量一定の場合)

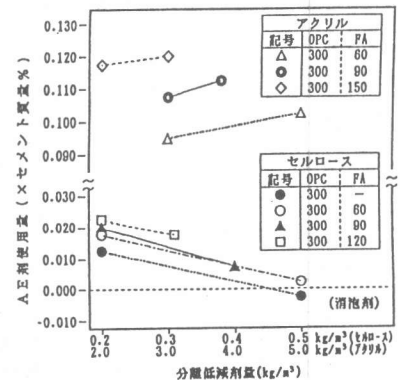


図-4 分離低減剤量とAE剤量との関係

増えるためである。

図-4には分離低減剤量とAE剤量との関係を示す。セルロースは使用量が0.5kg/m<sup>3</sup>になると、巻込み空気量が多くなるので、目標空気量5±1%にするためには、AE剤の使用量を減らさなくてはならない。一方、アクリルは粉末に対する吸着特性により、使用量が増えると、AE剤の使用量も増える。またAE剤使用量は、分離低減剤の種類により相違するが、アクリルの方が絶対量が多いことが分かる。

### (3)スランプフローの経時変化

セルロース量を0.2kg/m<sup>3</sup>とした場合のスランプフローの経時変化を図-5に示す。OPC単味の時、単位結合材量の多少によらずスランプフローの低下が大きい。また、フライアッシュを混入した場合は結合材量の多少によらずスランプフローの低下は少なかった。

図-6にはOPC単味にセルロースの使用量を変化させた場合のスランプフローの経時変化を示す。これによると、セルロースの添加量が0.2kg/m<sup>3</sup>から0.4kg/m<sup>3</sup>までは、スランプフローの経時変化が認められたが、0.5kg/m<sup>3</sup>では殆ど認められなかった。

アクリルを使用した場合のスランプフローの経時変化を図-7に示す。図-7ではOPC単味でもフライアッシュを混入した場合でもアクリルの使用量の多少に拘らず経時変化が少なかった。

### (4)空気量の経時変化

空気量の経時変化を図-8に示す。これよりセルロース量が少ない場合、ほとんど空気量の経時変化が認められなかったが、セルロース量が多くなった場合は、空気量は低下する。セルロース量が多い場合はエンタラップトエアを巻込み易いが、この空気は安定性が悪く、短時間で消滅するため、空気量の経時変化が大きくなる。

アクリルを用いた場合、空気量は、フライアッシュ混入量、アクリル添加量の変化に対していずれも練り混ぜ後、約30分迄に急激に減少し、その後徐々に減少していった。

## 3. 硬化コンクリートの実験

### 3-1 試験方法

硬化コンクリートの試験方法は表-4に示す。

耐久性の指標として、凍結融解試験による相対弾塑性係数および長さ変化率を測定した。

### 3-2 結果および考察

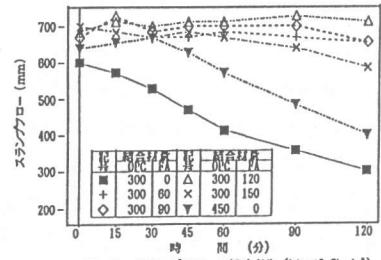


図-5 スランプフローの経時変化 (FA=0.2kg/m<sup>3</sup>)

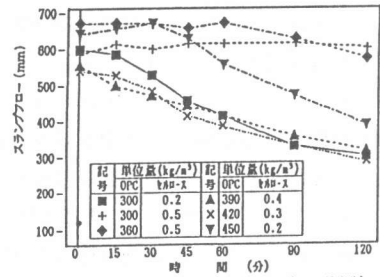


図-6 スランプフロー経時変化 (FA=3量変化)

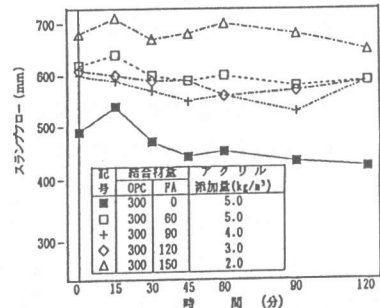


図-7 スランプフロー経時変化 (FA=3)

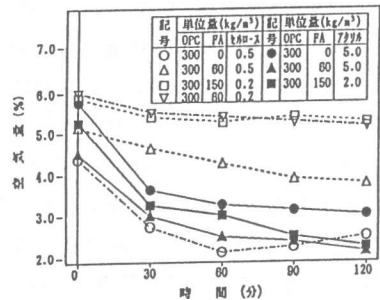


図-8 空気量の経時変化

表-4 硬化コンクリートの試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度試験	JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法)による。
凍結融解試験	JIS A 6204 (コンクリート用化学試薬)の付録第2による。
長さ変化試験	JIS A 1120 (モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法)による。

(1) 圧縮強度

図-9に、OPC単味およびOPCにフライアッシュを60kg/m<sup>3</sup>混入した場合について、分離低減剤の種類が圧縮強度の材齢による変化に及ぼす影響を示した。この図よりOPC単味の圧縮強度はセルロースを混入した場合、アクリル混入に比べて7日強度の発現が遅く91日強度の伸びが少ない。フライアッシュを混入すると7日強度の発現は遅いものの91日強度の伸びが大きくなり、フライアッシュ混入による長期強度の増加率はセルロスの方が著しいことが分かる。

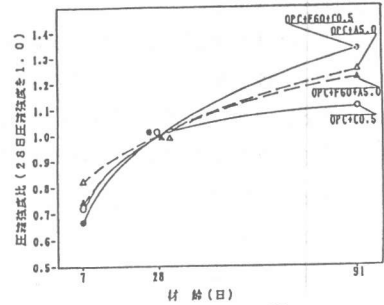


図-9 材齢と圧縮強度比との関係

図-10および11にそれぞれセルロスおよびアクリルを使用した場合の材齢28日の圧縮強度と結合材水比〔(C+FA)/W〕との関係を示す。図-10において、OPC単味の場合、結合材水比が1.67から2.33に大きくなるに伴い、分離低減剤量が0.3~0.5kg/m<sup>3</sup>と変わっても、ほぼ同じ直線上で強度が約300 kg f/cm<sup>2</sup>から500 kg f/cm<sup>2</sup>まで大きくなっている。フライアッシュ混入の場合も、分離低減剤量が0.3~0.5kg/m<sup>3</sup>と変わっても、またフライアッシュ混入量が0~120kg/m<sup>3</sup>に変わっても、ほぼ同じ直線上で強度は約290kg f/cm<sup>2</sup>から390kg f/cm<sup>2</sup>まで大きくなっている。

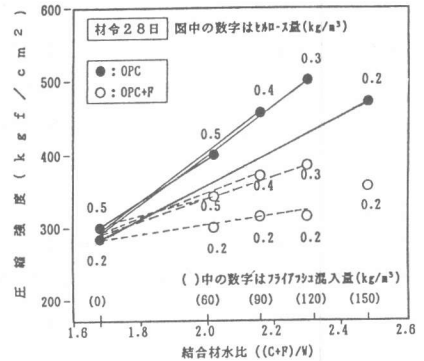


図-10 圧縮強度と結合材水比との関係(セパ)

分離低減剤量が0.2kg/m<sup>3</sup>と少ないと、OPC単味およびフライアッシュ混入のいずれの場合も、分離低減剤の多い場合に比べて強度が低い結果になった。これは、空気量の項で述べた様に、分離低減剤量が少ない場合は、時間経過に伴う空気量ロスが少ないため、硬化コンクリート中の空気量が5%以上になっていたためと思われる。

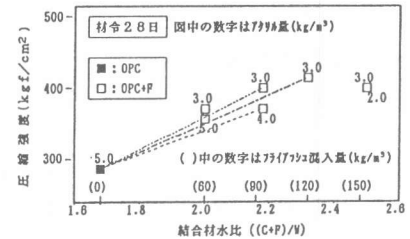


図-11 圧縮強度と結合材水比との関係(アクリ)

図-11のアクリルの場合は、結合材水比が1.67から2.33に大きくなるに伴い、分離低減剤量が3.0~5.0kg/m<sup>3</sup>に変わっても、またフライアッシュ混入量が0~120kg/m<sup>3</sup>と変わっても、ほぼ同じ直線上で、強度が約290kg f/cm<sup>2</sup>から410kg f/cm<sup>2</sup>まで大きくなっている。フライアッシュ混入量が150kg/m<sup>3</sup>に増えると、結合材水比が2.5と大きくなっているにも拘らず、強度は約400kg f/cm<sup>2</sup>に低下している。

(2) 相対動弾性係数

図-12, 13にセルロスとアクリルを混入した場合の凍結融解試験による相対動弾性係数と繰返し回数との関係を示す。図-12にOPC単味にセルロースを0.5kg/m<sup>3</sup>添加した場合、早い時期から相対動弾性係数が減少しているが、この調査においては、単位セメント量が300kg/m<sup>3</sup>と少なく、また練り混ぜ時に巻き込み空気が

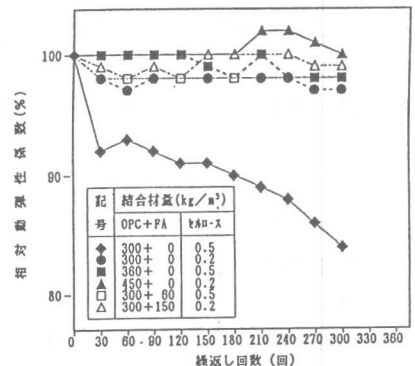


図-12 相対動弾性係数と繰返し回数との関係(セパ)

けで目標空気量に達したため、AE剤を混入しなかった  
ので、安定したエントレインドエアが得られず凍結融  
解抵抗性が低下したと思われる。しかし、セルロ  
ースの量を減じた場合や、セメント量を増やすかフライ  
アッシュを混入した場合には、相対動弾性係数の低下は認  
められなかった。

一方アクリルの場合にも、図-13に示すようにOP  
C単味(300kg/m<sup>3</sup>)にアクリルを5.0kg/m<sup>3</sup>と多く添加  
した場合には200サイクルを越えたところから相対動弾性係  
数の低下が認められた。これは結合材量が少ないとい  
うことが原因だと思われる。しかし、フライアッシュを混  
入した場合には、凍結融解抵抗性の改善が認められる。

一般にフライアッシュはAE剤を吸着するため、耐凍  
結融解性に悪影響を及ぼすと言われているが、分離低減  
剤はAE剤のフライアッシュへの吸着を阻害する作用を  
有しているため凍結融解抵抗性が向上するものと思われ  
る。

### (3)長さ変化率

図-14にセルロースとフライアッシュ混入量を変え  
た場合の長さ変化率と試験期間との関係を示す。これよ  
り、セルロース量が0.5kg/m<sup>3</sup>の場合にはフライアッシュを  
混入しても長さ変化率がほとんど変わらないのに対し、  
セルロース量が0.2kg/m<sup>3</sup>の場合にはフライアッシュ混入量  
の増加に伴い長さ変化率が大幅に小さくなっていること  
が分かる。

図-15にはアクリルとフライアッシュ混入量を変え  
た場合の長さ変化率と試験期間との関係を示す。図より、  
アクリルおよびフライアッシュの混入量は長さ変化率に  
ほとんど影響を与えないことが分かる。図-16に分離  
低減剤添加量を変えた場合、フライアッシュ量が長さ変  
化率に及ぼす影響を示す。図より、セルロース量が少な  
いと、フライアッシュ量の増加に伴い長さ変化率が約  
8×10<sup>-4</sup>から6×10<sup>-4</sup>に少なくなる。セルロース量が多い  
と、フライアッシュが増加しても長さ変化率は殆ど変わ  
らず約7.5×10<sup>-4</sup>である。アクリルは、アクリル量に拘  
らず、フライアッシュ量の増加に伴い、わずかに長さ変  
化率が減少している。

## 4. まとめ

上記の一連の実験は、気中コンクリート用に開発され  
たセルロース系分離低減剤を用い、比較的低強度の高流  
動コンクリートの実用化の可能性を探るために、先行開

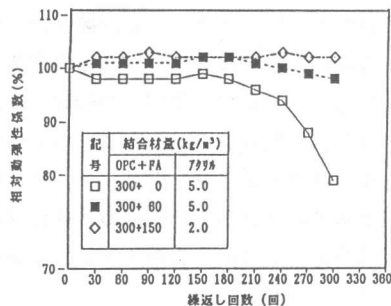


図-13 相対動弾性係数と繰返し回数との関係(799A)

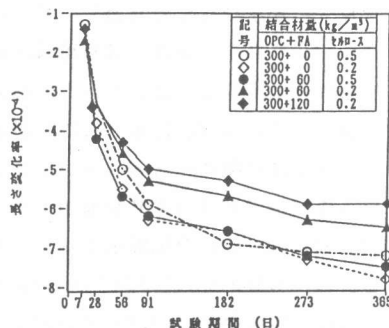


図-14 長さ変化率と試験期間との関係(799A)

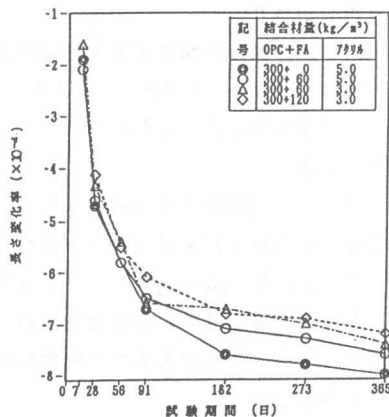


図-15 長さ変化率と試験期間との関係(799A)

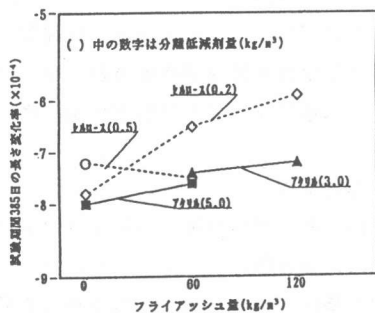


図-16 フライアッシュ量と長さ変化率との関係

発されていたアクリル系分離低減剤を用いた高流動コンクリートのフレッシュ時および硬化後の基本特性との比較を行ったものである。この結果をまとめると以下のようになる。

(1) OPC単味で $300\sim 450\text{kg}/\text{m}^3$ 、あるいはOPC $300\text{kg}/\text{m}^3$ にフライアッシュを $60\sim 150\text{kg}/\text{m}^3$ 混入したコンクリートにおいて、セルロース系分離低減剤を $0.2\sim 0.5\text{kg}/\text{m}^3$ 添加することにより、スランプフロー $60\pm 5\text{cm}$ 、空気量 $5\pm 1\%$ で分離の無い高流動コンクリートを得ることが可能である。ただし、そのために結合材量の増加に伴い、メラミン系高性能減水剤を結合材量の $3.5\%$ から $2.5\%$ に適宜減少させ、またロジン酸系AE剤を結合材量の $0\%$ から $0.03\%$ に適宜増加させる必要がある。

(2) セルロース系分離低減剤を用いた高流動コンクリートには、スランプフローの経時変化(ロス)を少なくするために、リグニンスルホン酸塩系の減水剤を添加したが、フライアッシュを混入した場合、あるいは分離低減剤量が $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ と多い場合には、練り混ぜ後120分経過してもロスは少なかった。しかし、OPC単味で、分離低減剤量が $0.2\sim 0.4\text{kg}/\text{m}^3$ の場合にはロスが多く、これの改善にはさらに検討が必要である。アクリルの場合には、分離低減剤量、フライアッシュの有無に拘らずスランプフローが少なかった。空気量の時間経過に伴うロスは、セルロースの方がアクリルより少なかった。

(3) 材齢28日の圧縮強度は、結合材水比が $1.67$ から $2.33$ に大きくなるに伴い、OPC単味の場合は、約 $300\text{kgf}/\text{cm}^2$ から $500\text{kgf}/\text{cm}^2$ まで直線的に大きくなっている。フライアッシュ混入の場合は、混入量が $0\sim 120\text{kg}/\text{m}^3$ に変わっても、ほぼ同じ直線上で約 $290\text{kgf}/\text{cm}^2$ から $390\text{kgf}/\text{cm}^2$ まで大きくなっている。いずれも通常のコンクリートと同程度の比較的低い強度に対応可能なことが分かった。

(4) 凍結融解試験による相対動弾性係数は、OPC単味 $300\text{kg}/\text{m}^3$ にセルロースを $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ あるいはアクリルを $5.0\text{kg}/\text{m}^3$ 混入した場合に、低下が認められるが、分離低減剤を減ずるか、セメント量を増やすか、またはフライアッシュを混入することにより相対動弾性係数の低下は見られなくなる。

(5) 長さ変化率はセルロースとアクリルとは同程度であったが、フライアッシュ混入による長さ変化率低減の効果はセルロースの方が大きい。

以上により、気中コンクリート用セルロース系分離低減剤を用いることによっても通常のコンクリートと同程度の設計基準強度 $210\sim 360\text{kgf}/\text{cm}^2$ を対象にし、既存の生コン工場の設備増設を軽減できるように微量添加で分離抵抗性を付与出来る高流動コンクリートが実現可能であることが分かった。

## 5. 謝辞

この研究を行うに当たり、各種試験および結果のまとめに際し、多大のご尽力をいただいた鹿島技術研究所柿崎専門部長および、分離低減剤を提供していただいた信越化学工業㈱と日本セメント㈱様に対しここに謝意を表します。

## (参考文献)

- 1) 山川勉、早川和良：高流動コンクリート用増粘剤の基礎的性状について：コンクリート工学年次論文報告集，V o l . 1 4 , No 1 , PP.325-330、1992年5月
- 2) 大橋潤一、玉井真一、前田強司：フライアッシュを混入した超流動コンクリート(HSC)の性質：コンクリート工学論文集，第2巻第2号、1992年2月