

# 論文 増粘作用を有する高性能 AE 減水剤を用いた高流動コンクリートの性質

井上和政\*1・和泉意登志\*2・瀬古繁喜\*1・下野敏秀\*2

**要旨:** 材料コストを可能な限り低く押さえる目的で新たに開発した増粘作用を有する高性能 AE 減水剤を用い、水セメント比が 50%程度と従来の粉体系の場合より高い領域で高流動コンクリートを開発した。この高流動コンクリートは、従来の粉体量の多い高流動コンクリートと同等のスランプフロー及び鉄筋間通過性を有し、硬化後の品質も同一水セメント比でスランプ 18cm の普通コンクリートとほぼ同等であることが確認できた。

**キーワード:** 高流動コンクリート、増粘性高性能 AE 減水剤、水セメント比

## 1. はじめに

高流動コンクリートは施工の省力化を図る目的で研究がなされ、幾種類もの高流動コンクリートが提案、実用化されている [1] [2]。高流動コンクリートを実現するには、コンクリート及びそのマトリックスにある程度の粘性や付着性を付与する必要がある [3]。このため粉体量を増大させた調合や分離低減剤を混入した調合、さらに両者を併用した調合の高流動コンクリートが数多く報告されている [1] [2]。しかし、これらの高流動コンクリートは使用材料の種類や量の増大により、製造時の材料投入やコンクリート材料のコストアップなどの問題を捉え、その普及が妨げられている。

筆者らはこれらの問題を解決し、高流動コンクリートの普及を図るために、増粘作用を有する一液タイプの高性能 AE 減水剤を開発した [4] [5]。そしてこの高性能 AE 減水剤を用いることで、1) 普通強度レベルの単位セメント量で、2) 分離低減剤を用いない、3) 普通コンクリートとほぼ同等の硬化性能を有する、高流動コンクリートを室内レベルで実現した。

本報は、この増粘作用を有する高性能 AE 減水剤を用いた高流動コンクリートの性質について報告するものである。

## 2. 実験の概要

### 2.1 使用材料

使用材料を表 1 に示す。また使用した細骨材の物理的性質を表 2 に、粗骨材の物理的性質を表 3 に示す。

表-1 使用材料一覧

区分	種類	略号	品質、特徴
セメント	○社製普通ポルトランドセメント	N	比重=3.16
	○社製高強度セメントB種	BB	比重=3.05
細骨材	大井川産川砂	S	比重=2.63, FM=2.72, 洗い損失=1.8%
粗骨材	岡崎産碎石	G	比重=2.66, 最大寸法=20mm, 実積率=59.9%
混和剤	増粘性高性能 AE 減水剤 A	A	特殊分離低減型減水成分配合のポリカルボン酸塩系混和剤
	増粘性高性能 AE 減水剤 B	B	分子量増加型ポリカルボン酸塩系混和剤
	高性能 AE 減水剤 (既製品)	H	ポリカルボン酸塩系混和剤
	AE 減水剤標準形 (既製品)	E	リグニン系

\*1 (株) 竹中工務店技術研究所 研究員、工修 (正会員)

\*2 (株) 竹中工務店技術研究所 主任研究員、工博 (正会員)

\*3 竹本油脂 (株) 第3事業部 主任部員 (正会員)

表-2 細骨材の物理的性質

種類	比重	吸水率 (%)	洗い損失量 (%)	単位容積質量 (kg/l)	粗粒率	ふるい分け試験結果					
						ふるいを通過する重量百分率 (%)					
						5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm
川砂	2.63	1.16	1.8	1.760	2.72	100	90	72	46	26	7

表-3 粗骨材の物理的性質

種類	最大寸法 (mm)	比重	吸水率 (%)	洗い損失量 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実績率 (%)	粗粒率	ふるい分け試験結果					
								ふるいを通過する重量百分率 (%)					
								25mm	20mm	15mm	10mm	5mm	2.5mm
碎石	20	2.66	0.81	0.4	1.588	59.9	6.65	100	100	70	35	9	0

粘性高性能AE減水剤の効果を確認するために、主成分が同じポリカルボン酸系の高性能AE減水剤（既製品）を用いた。コンクリートの性質の比較対象となる普通コンクリートにはリグ系AE減水剤標準形（既製品）を用いた。

2 実験の因子とその水準

実験の因子と水準を表-4にまとめる。実験は単位水量を一定とし、セメントの種類2水準とメント比2水準に高性能AE減水剤の種類を組み合わせで行った。また、コンクリートの硬の性質の比較対象として、同一単位水量で、水セメント比50%、スランプ18cmの普通コンクリートについても検討を行った。

3 実験の組み合わせとコンクリートの調合

実験の組み合わせとコンクリートの調合を表-5に示す。高流動コンクリートの目標スランプは600±50mmとし、所定のスランプフローが得られるように高性能AE減水剤の添加量をした。普通コンク

リートについては目標スランプを18cmと空気量はいずれも4.5%とした。

4 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは100リットル練り強力型ミキサーを用いて混ぜ量50リットルで行った。高流動コンクリートの練混ぜは細骨材を15秒間攪拌し、高性能AE減水剤を含む水を加えて30秒間練混ぜた後、粗骨材を投入して、60秒間練混ぜ

表-4 実験の因子とその水準

因子	水準
1) セメントの種類	○社製普通ポルトランドセメント, 高炉セメントB種
2) 水セメント比	45%, 50%
3) 混和剤の種類	高性能AE減水剤 (A, B, H), AE減水剤 (E)
4) 単位水量	175kg/m <sup>3</sup> (一定)
5) 混和剤の使用量	所定のスランプ及びスランプフローが得られる量

表-5 実験の組み合わせとコンクリートの調合

試験 No.	セメントの種類	コンクリートの種類	混和剤の種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (kg/m)
						W	C	S	G	
1	N	高流動	A	45	51.6	175	389	922	847	5.70
2			B							4.86
3		普通	A	50	52.4	175	350	923	847	3.68
4			B							4.72
5		E			46.0	175	350	810	960	0.70
6	BB	高流動	A	45	51.2	175	389	877	847	5.21
7			B							4.67
8		H							2.72	
9		普通	A	50	52.1	175	350	910	847	3.82
10			B							4.37
11	E			46.0	175	350	805	955	0.70	

た。普通コンクリートの練混ぜは全材料を投入後、90秒間練混ぜた。

### 3. 試験方法

フレッシュコンクリートおよびマトリックスモルタルの試験項目と試験方法を表-6に、硬化コンクリートの試験項目とその方法を表-7に示す。高流動コンクリートの経時変化を除く諸試験と供試体の採取は、Nセメントの場合は注水より30分後に、BBセメントの場合は注水より8分後に行った。また試験は20°Cの恒温室で行った。増粘性高性能AE減水剤の増粘作用を確認するため、5mmふるいでウェットスクリーニングしたマトリックスモルタルでLフロー速度を求め、コンクリートでのLフロー初速度と併せて、既製品Hとの粘性の比較を行った。高流動コンクリートの鉄筋間通過性は文献[1][6]によった。鉄筋間通過性試験器概要を図-1[6]に示す。

スランプフローの経時変化は、練り板に静置して、所定時間の試験の直前に練りスコップで練り返して試験を行った。試験は20°Cの恒温室で行った。

表-6 フレッシュコンクリートの試験項目とその方法

No.	試験項目	試験方法
1)	スランプ	JIS A 1101に準じた。ただし突固めは行わない。
2)	スランプフロー	土木学会規準「スランプ試験」に準じて行った。
3)	空気量	JIS A 1128に準じた。ただし突固めは行わない。
4)	コンクリート温度	棒状アルコール温度計により測定した。
5)	Lフロー初速度	文献[1]により、Lフローが5~10cm間の速度を測定した。
6)	Lフロー鉄筋間通過性	文献[1]により、あき間隔45mmでのLフロー値を測定した。
7)	モルタルのLフロー速度	ウェットスクリーニングモルタルを用いたLフロー試験器により測定した。
8)	ブリーディング量	JIS A 1123に準じた。
9)	凝結時間	JIS A 6204 附属書1に準じて行った。
10)	スランプフローの経時変化	静置法で30分ごとに90分までスランプフロー(2)を測定した。

表-7 硬化コンクリートの試験項目とその方法

No.	試験項目	試験方法
1)	圧縮強度	JIS A 1108に準拠して行った。
2)	ヤング係数	ヤング係数はコアサンプルを用いて測定を行った。
3)	長さ変化	JIS A 1129に準拠してコンパレータ法により行った。
4)	凍結融解抵抗性	JIS A 6204 附属書2に準じて300サイクルまで行った。
5)	促進中性化深さ	日本建築学会コンクリートの促進中性化試験方法に準じて行った。

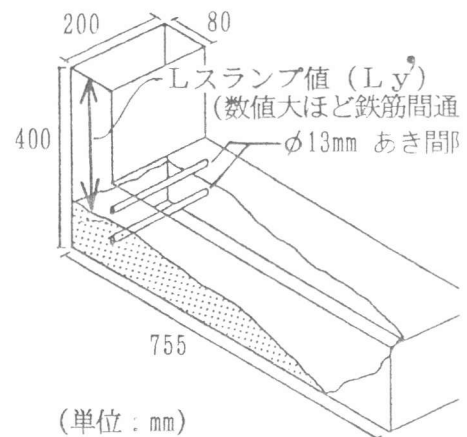


図-1 Lフロー鉄筋間通過性試験器

表-8 フレッシュコンクリートの試験結果及び圧縮強度試験結果一覧

試験No.	W/C (%)	セメントの種類	混和剤の種類	スランプ試験		空気量 (%)	C.T. (分)	モルタルのLフロー速度 (cm/s)	Lフロー初速度 (cm/s)	鉄筋間通過性 (L <sub>y</sub> (cm))	ブリーディング量 (cm)	凝結時間 (時間-分)		圧縮強度 (MPa)	
				スランプ (cm)	スランプフロー (mm) × (mm)							始発	終結	7日	28日
1	45	N	A	26.0	605 × 600	4.6	20.5	1.43	23.3	32.0	0.377	12-30	12-35	28.1	40.1
2	45	N	B	26.5	625 × 590	4.4	20.0	1.18	31.4	32.0	0.291	12-30	12-35	28.2	40.1
3	50	N	A	26.0	610 × 595	4.5	20.5	1.43	16.6	30.5	0.373	12-28	12-32	28.6	40.1
4	50	N	B	26.5	635 × 615	4.0	20.0	1.21	25.1	29.0	0.445	12-30	12-35	28.1	40.1
5	50	N	E	18.9	300 × 300	5.2	20.5	-	-	-	0.371	7-00	7-02	22.2	42.4
6	45	BB	A	26.0	610 × 600	5.1	20.0	1.68	20.9	33.7	0.308	11-18	11-25	29.2	40.1
7	45	BB	B	26.0	620 × 595	4.0	20.0	1.15	21.3	32.5	0.322	11-55	11-55	30.5	40.1
8	45	BB	H	25.8	580 × 575	4.0	20.0	2.20	31.3	32.3	0.257	11-20	11-00	28.8	40.1
9	50	BB	A	25.5	620 × 590	5.2	20.0	1.60	28.4	31.0	0.403	12-11	11-35	28.5	42.3
10	50	BB	B	25.5	640 × 605	4.3	20.0	1.46	40.7	32.2	0.397	12-11	11-35	28.6	42.3
11	50	BB	E	18.0	280 × 280	4.5	20.0	-	-	-	0.377	8-25	8-28	22.4	42.3

## 実験結果および考察

### 1 フレッシュコンクリートの試験結果

#### コンクリートのスランプフローとLフロー初速度

リックスモルタルおよびフレッシュコンクリートの試験結果の内、経時変化を除いた試験表-8に示す。高炉セメントB種を用いた水セメント比が45%の場合で、既製品Hを用い（試験 No. 8）では、練り上がり時のスランプフローが600mm以上で分離傾向が観察された。18mmでも粗骨材の沈降傾向が若干見られ、スランプフローの上限と判断した。またこの既製品Hで、水セメント比50%、スランプフロー600mmの高流動コンクリートの実現は不判断した。これに対して増粘性高性能AE減水剤AおよびBを用いた各調合では、目標のスランプフロー600mmを有する高流動コンクリートが実現できた。Hではスランプフロー600mm困難であったことから、増粘性高性能AE減水剤AおよびBの分離抑制効果が確認された。増粘性高性能AE減水剤の既製品に対する増粘作用を確認するために、高流動コンクリートウエットスクリーニングモルタルについてLフロー速度を求めた。高炉セメントB種を用いた水セメント比45%の高流動コンクリートについて、高性能AE減水剤の種類とウエットスクリーニングモルタルのLフロー速度およびコンクリートのLフロー初速度との関係を図-2に示す。既製品の高性能AE減水剤Hと比較して、A及びBはモルタルのLフロー速度、コンクリートLフロー初速度いずれも小さくなっており、モルタル、コンクリートそれぞれに粘性の増加することが確認された。

高性能AE減水剤Aを用いたコンクリートのLフロー初速度は、いずれの水セメント比・骨材種類においてもBを用いた場合よりも小さく、コンクリートでの粘性はAの方がBより高いと考えられる。しかしこのことは、ウエットスクリーニングしたマトリックスモルタルのLフロー速度すなわち粘性の大小関係からでは説明できない。増粘性高性能AE減水剤AとBの作用の違いとその比較については、今後の検討課題である。

#### コンクリートの鉄筋間通過性

鉄筋間隔が45mmでの鉄筋間通過性試験結果を図-3に示す。本試験で鉄筋下端位置に相当するLスランプ値 $L_y = 30\text{cm}$ よりも $L_y$ が大きい場合に鉄筋間通過性を判断している[6]が、試験 No. 4を除いていずれの調合の高流動コンクリートもこれであった。

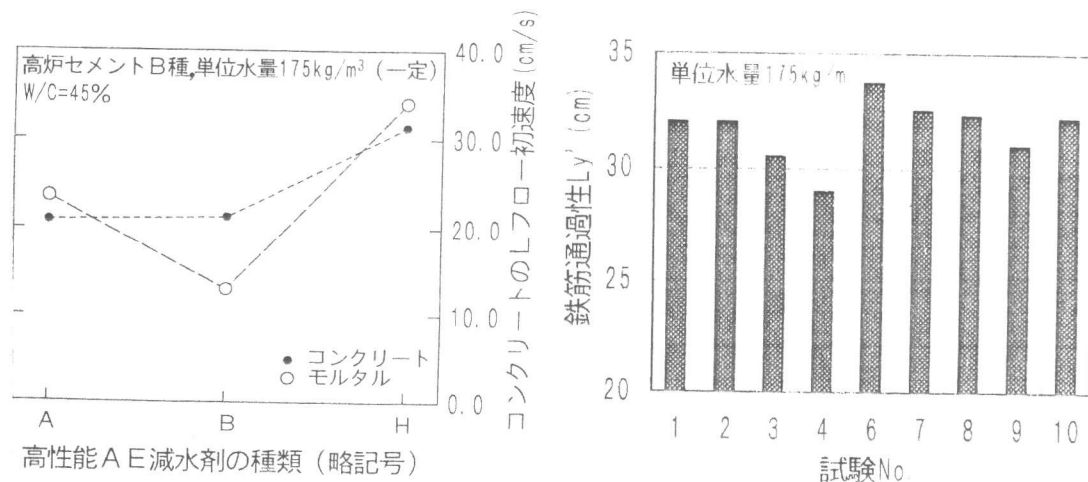


図-2 増粘性高性能AE減水剤の増粘性

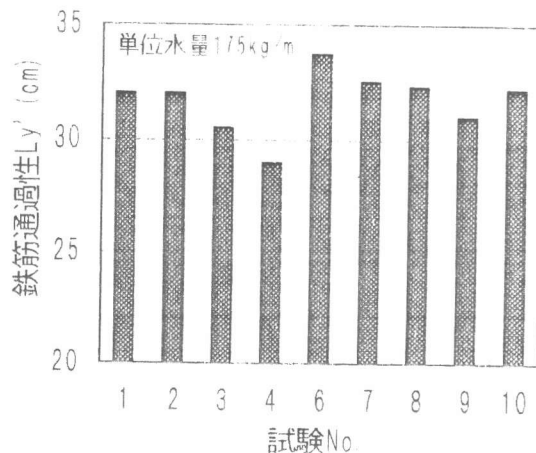


図-3 Lフロー鉄筋間通過性試験結果

### (3) 経時変化

高流動コンクリートのスランプフローの経時変化を図-4, 図-5に示す。いずれの調査も、スランプフローは60分後でも550mm以上を有し、経時変化によるスランプフローの低下は小さい。またスランプフローの経時変化にはセメントの種類の影響が顕著に見られ、Nセメントの場合、スランプフローは30分後に若干増大し、その後徐々に減少した。その減少傾向に増粘性高性能AE減水剤種の影響は見られなかった。一方BBセメントにおけるスランプフローは測定開始から徐々に減少した。高性能AE減水剤の種類による変化の明確な差は見られなかった。

### (4) プリーディング及び凝結試験結果

増粘性高性能AE減水剤A及びBを用いた高流動コンクリートのプリーディング量は、セメントの種類によらず普通コンクリートの場合と同程度である。

増粘性高性能AE減水剤AおよびBを用いた高流動コンクリートの凝結時間は普通コンクリートに比べ3~6時間程度遅い。増粘性高性能AE減水剤の種類による差は、セメントの種類や水セメント比によらず、Aの方がBよりも1時間程度早い。

## 4. 2 硬化コンクリートの試験結果

### (1) 圧縮強度試験結果

水セメント比が50%において、増粘性高性能AE減水剤AおよびBを用いた高流動コンクリートの圧縮強度は、表-8に示したように普通コンクリートとほぼ同等であった。高性能AE減水剤の影響を見ると、増粘性高性能AE減水剤Aの方がBよりも若干強度発現は良好な傾向にある。

またNセメントを使用した場合、高流動コンクリートのヤング係数は普通コンクリートとほぼ同等であった。

### (2) 長さ変化試験結果

図-6にNセメントを用いた場合の乾燥収縮試験結果を示す。増粘性高性能AE減水剤AおよびBを用いた高流動コンクリートの乾燥収縮は、普通コンクリートに比べて若干大きくなった。また水セメント比が乾燥収縮に及ぼす影響は見られなかった。これは今回の試験では単位水量が一定としたためと考えられる。増粘性高性能AE減水剤の種類の影響は材齢の初期に若干見られ、Aを用いた方がBよりも若干大きい。しかし乾燥材齢26週ではいずれの水セメント比でも差は見られない。また乾燥材齢26週で乾燥収縮はいずれの調査も700 $\mu$ 以下と小さかった。

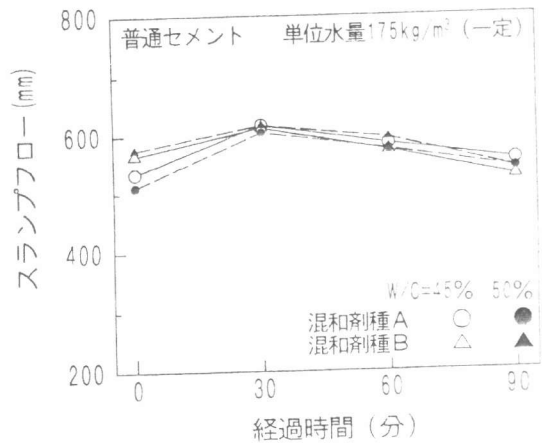


図-4 スランプフローの経時変化 (Nセメント)

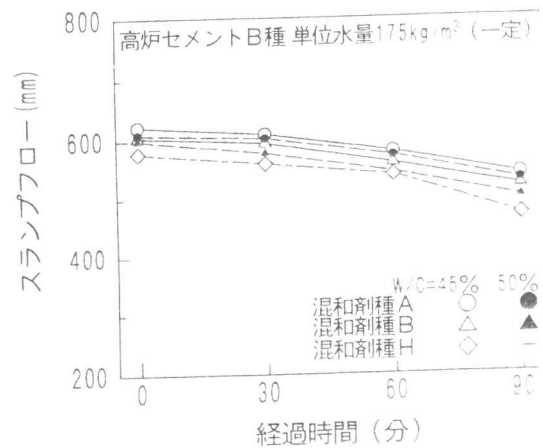


図-5 スランプフローの経時変化 (BBセメント)

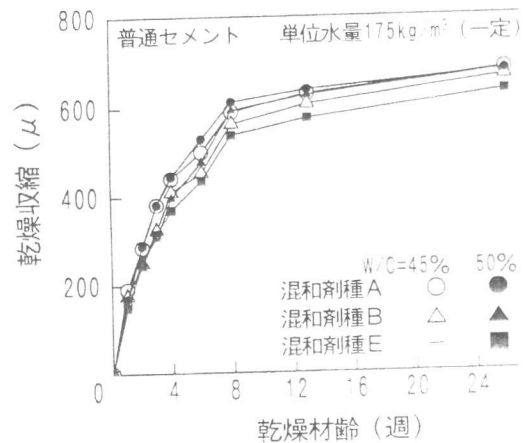


図-6 長さ変化試験結果

### 3) 凍結融解試験結果

普通セメントを用いた場合の凍結融解試験結果を図7に示す。水セメント比が50%の場合、増粘性高性能AE減水剤AおよびBを用いた高流動コンクリート凍結融解抵抗性は普通コンクリートとほぼ同等であった。また300サイクルまでの試験では、水セメント比によって差は見られたものの、増粘性高性能AE減水剤の種類では明確な違いは見られなかった。また日本建築学会「建築工事標準仕様書・同量鉄筋コンクリート工事」に示された、凍結融解抵抗性指数の目安値60以上の凍結融解抵抗性を十分に持っていることが確認された。

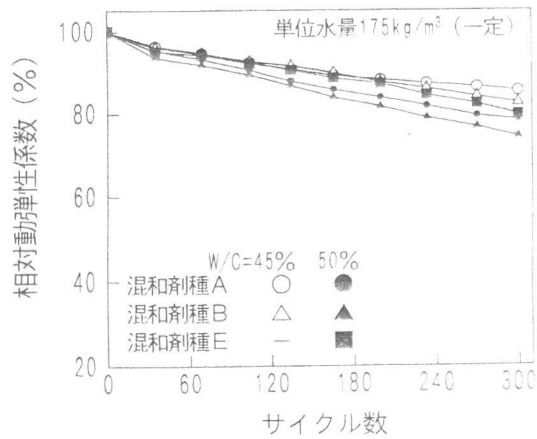


図-7 凍結融解試験結果

### 4) 中性化試験結果

普通セメントを用いた場合の促進中性化試験結果を図8に示す。促進材齢26週の中性化深さは最大3.62mmと小さかった。W/C=50%の場合、増粘性高性能AE減水剤Aを用いた高流動コンクリートは普通コンクリートと中性化深さはほぼ同等であった。高流動コンクリートを用いた場合にはこれらに比べて若干中性化深さが大きくなった。これに対して水セメント比が45%になると、中性化深さの大小が増粘性高性能AE減水剤の種類によって逆転する傾向が見られた。

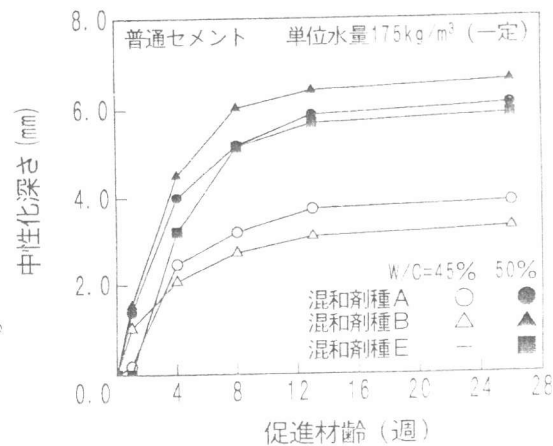


図-8 促進中性化試験結果

### 5. まとめ

本研究によって得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 新たに開発した1液タイプの増粘性高性能AE減水剤は、既存の高性能AE減水剤の場合に対してマトリックスモルタル及びコンクリートの粘性を増大させる。
- 2) 増粘性高性能AE減水剤を用いることで、微粉末混和材料や分離低減剤を用いることなく、水セメント比が50%程度と高い領域で高流動コンクリートを室内レベルで実現できた。
- 3) 増粘性高性能AE減水剤を用いた高流動コンクリートは、同一単位水量、水セメント比のスランプ18cmの普通コンクリートとほぼ同程度の硬化品質を有する。

#### 参考文献

- 1) 超流動コンクリート研究委員会報告集I、(社)日本コンクリート工学協会、1993.5
- 2) 井上・和泉ほか：超ワーカブルコンクリートの実用化《大規模打ち放し外壁における実施工》、セメントコンクリート No.547、pp.49~56、Sept.、1992
- 3) 井上・和泉ほか：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
- 4) 三浦・下野ほか：高流動コンクリート用混和剤の開発（その1．フレッシュコンクリートの性状）、日本建築学会大会講演梗概集、pp.523~524、1994
- 5) 井上・和泉ほか：高流動コンクリート用混和剤の開発（その2．実構造物への試験施工結果）、日本建築学会大会講演梗概集、pp.525~526、1994
- 6) 阿部・和泉ほか：超ワーカブルコンクリートの調合設計に関する基礎研究（その3．鉄筋あき間隔と限界粗骨材量との関係）、日本建築学会大会講演梗概集、pp.919~920、1992