

論文 コンクリート粘性低減効果に優れた高性能 AE 減水剤の開発

代田 協一*1・下田 政朗*2・谷所 美明*3・泉 達男*4

要旨：近年，コンクリートの高耐久化指向による単位水量低減のために，コンクリート粘性は増大し，施工性・作業性が低下する傾向にある。そのため，粘性の低いコンクリートが求められている。本研究では，セメントへの吸着基としてリン酸基を有する特定構造の化合物からなる高性能 AE 減水剤が，セメントへの吸着量が大きく，優れたコンクリート粘性低減効果をもつことを見出した。また，このリン酸系高性能 AE 減水剤は，高炉セメントに対する汎用性にも優れていることが明らかとなった。

キーワード：リン酸基，コンクリート，粘性低減，高性能 AE 減水剤，高炉セメント

1. はじめに

近年，コンクリートの高耐久化指向の強まりに伴い，単位水量低減が必要となっている。また，建築物の高層化等の流れから，高強度コンクリートの需要も高まっている。このような現状において，フレッシュ・コンクリートの粘性は増大する方向にある。コンクリート粘性の増大は，コンクリート製造・施工時の作業性低下をもたらす。

市販されているポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤は，優れた減水性と流動保持性を併せ持つことから，現在普及が進んでいる。しかしながら，先に述べたコンクリート粘性増大による施工性・作業性低下の問題を解決できるものではなく，さらに粘性低減効果の大きい高性能 AE 減水剤が求められているのが現状である。

これまでに，ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤の構造と粘性低減効果についての報告がなされている¹⁾。本研究においては，従来のポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤構造を離れ，カルボキシル基よりもセメントへの吸着性が大きいと考えられるリン酸基を有するリン酸系高性能 AE 減水剤の粘性低減効果について検討を行

なった。試作したリン酸系高性能 AE 減水剤および市販されているポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤とを，粘性低減効果の面から検討を行なった結果を報告する。

一方，高炉セメントなどの混合セメントや特殊セメントに対してポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を使用した場合，普通セメントと比較して必要添加率が小さくなり，流動保持性が低下する傾向があると報告されている^{2), 3)}。コンクリート製造・施工時の作業性の面からは，このような現象は望ましくない。このような現象によるリン酸系高性能 AE 減水剤への影響についても併せて検討したので報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合条件

使用材料を表-1に，モルタル配合を表-2に，コンクリート配合を表-3にそれぞれ示す。モルタル配合では，細骨材は3.5mm以下のものを使用した。本試験では，高性能 AE 減水剤 (SP) として，リン酸基を有する化合物よりなるリン酸系高性能 AE 減水剤開発品 PP および流動保持性に優れた市販ポリカルボン酸系高性能 AE 減

*1 花王 (株) 化学品研究所 研究員 工修 (正会員)

*2 花王 (株) 化学品研究所 研究員

*3 花王 (株) 化学品研究所 研究員

*4 花王 (株) 化学品研究所 主任研究員 工修 (正会員)

表－1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度：3.16g/cm ³ ，比表面積：3270cm ² /g
	高炉スラグB種セメント	BB	密度：3.04g/cm ³ ，比表面積：3850cm ² /g
細骨材	千葉県君津産陸砂	S	表乾密度：2.59g/cm ³ ，粗粒率：2.59
粗骨材	鳥形山産石灰砕石	G	表乾密度：2.72g/cm ³ ，最大寸法：20mm
混和剤	高性能AE減水剤 (SP)	PP	リン酸系高性能AE減水剤（開発品）
		PC-1	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤（高流動保持性型）
		PC-2	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤（低粘性型）

水剤 PC-1（以下高流動保持性型と呼ぶ）と粘性低減効果に優れた市販ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤 PC-2（以下低粘性型と呼ぶ）を用いた。

2.2 実験方法

以下の実験は、20℃、湿度 80%にて行なわれた。

(1) モルタル試験

細骨材約半分量，セメント全量，残りの細骨材の順番で，練混ぜ容器に入れ，モルタルミキサーですばやく 10 秒間空練り（回転数：63rpm）した。SP を含む練混ぜ水を加え，3 分間練り混ぜ（回転数：63rpm），モルタルを調製した。モルタルコーン（上端径 70mm×下端径 100mm×高さ 60mm）と花王製 J14 モルタルロート（上端径 100mm×下端径 14mm×長さ 328mm）を用いて，モルタルフローと流下時間を同時に測定し，それぞれ流動性と粘性の指標とした。連行空気によるモルタル流動性および粘性への影響を軽減するために空気量 2%未満となるように消泡剤を添加した。

表－2 モルタル配合

W/C (%)	混練量 (g/batch)		
	W	C	S
40.0	440	1100	1925

(2) セメントペースト吸着量測定

セメント 200g を練混ぜ容器に入れ，SP を含む練混ぜ水 70g を加え，ハンドミキサーで 2 分間分間練り混ぜ（回転数：300rpm），ペーストを調製した。コーン（φ 50mm×51mm）を用い

て，ペーストフローを測定した。セメントペーストを小型遠心分離器 CN-10(HSIANGTAI 製；回転半径 8cm) で 2 分間遠心分離（3000rpm）し，上澄液を得た。上澄液を 10 倍に希釈した後，全有機炭素測定装置 TOC-5050A（島津製作所製）を用いて SP 残存量を測定し，計算により SP 吸着量を求めた。ペーストフローと SP 吸着量の関係から，近似計算によりペーストフロー 180mm のときの SP 吸着量と非吸着量を求めた。ただし，SP 吸着量と非吸着量の単位は，どちらもセメント 1g 当たりの量（μg/g-C）とした。

(3) コンクリート試験

① コンクリート調製

材料投入後，10 秒間空練りを行ない，SP を含む練混ぜ水を加え，60L 強制二軸ミキサーを用いて 90 秒間練り混ぜ，コンクリートを調製した。空気量が 4.5±1.5%の範囲になるように消泡剤を添加した。

② スランプフロー： 目標値を 450±30mm とした。

③ 空気量： JIS A 1108 に準拠して行なった。

④ ウェット・スクリーニング・モルタルの攪拌負荷電力値測定： 調製したコンクリートをふるい（開き目4.75mm）に通し，モルタル分を採取した。採取したモルタル2000gを容器に入れ，図－1に示されるような装置を用いて，1分間弱い攪拌（50rpm）をかけたときのスターラー-Z-2310（EYELA製）にかかる負荷電力を求め，粘性の指標とした⁴⁾。

⑤ 流動性経時変化： 練混ぜ後，静置しておいたコンクリートを経時変化試験直前に練り返し，接水から 30，60，90 分後にスランプフロー

表-3 コンクリート配合

セメントの種類	W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)				air
	(%)	(%)	W	C	S	G	(%)
C	40.0	46.4	165	413	793	960	4.5
BB	40.0	46.0	165	413	780	960	4.5

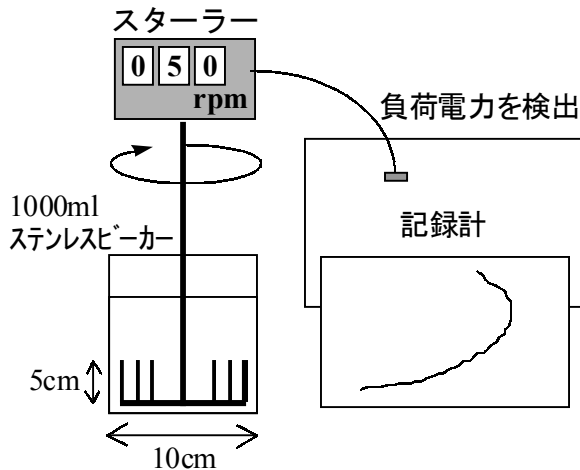


図-1 ウェット・スクリーニング・モルタルの攪拌負荷電力測定装置

を測定した。

⑥ 凝結： JIS A 6204 に準拠して行なった。

⑦ 圧縮強度： JIS A 1108 に準拠し、円柱供試体 (φ10cm×20cm) を用い、20±2℃で水中養生を行なった。材齢7日と28日について測定を行なった。

3. 実験結果および考察

3.1 モルタル試験による粘性評価

表-1に示される SP を添加したモルタルのフローと J14 モルタルロート流下時間の関係を図-2に、そのときの SP 有効分添加率とモルタルフローの関係を図-3に示す。同一モルタルフローにおける流下時間は、短い順に PP, PC-2, PC-1 となった。つまり、粘性低減効果が大きい順に PP, PC-2, PC-1 となった。低粘性型である PC-2 は、高流動保持性型である PC-1 よりも粘性が小さいが、開発品 PP はさらに粘性が小さくなった。図-3に示されるように、同一モルタルフローにおける必要 SP 有効分添加率は、粘性とは逆に小さい順に PC-1, PC-2, PP となった。このように添加率は大きくなるが、

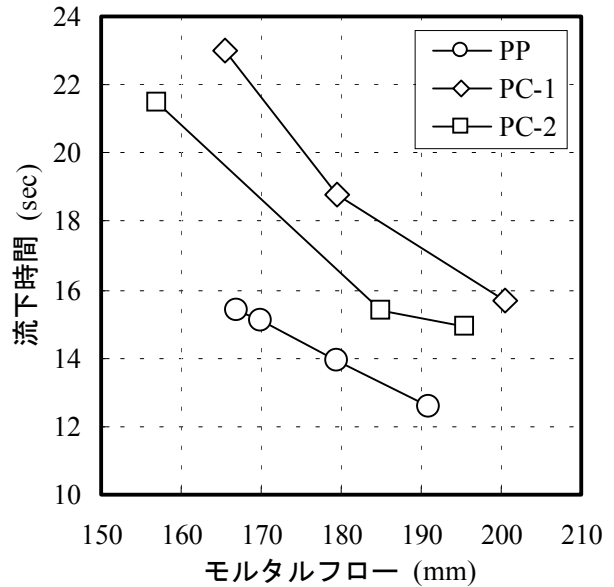


図-2 モルタルフローと流下時間

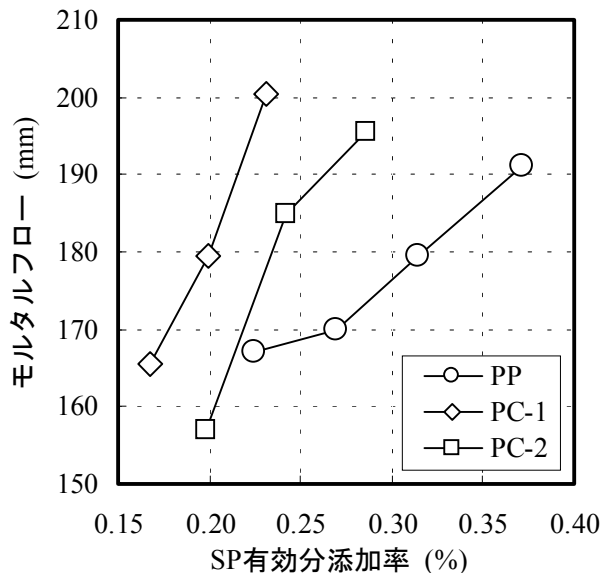


図-3 SP 有効分添加率とモルタルフロー

開発品 PP が優れた粘性低減効果をもつことが判明した。SP による粘性低減効果は、SP がセメントに吸着し、セメント粒子集合体を解きほぐし、その中に束縛されている水を解放することによって考えられる。このようにセメントを細かく分散すると SP が吸着できる表面が増えるために SP 吸着量も増加する傾向にある。そこで、セメントによる SP 吸着量を検討した。

3.2 セメントペースト吸着量測定

砂による影響を排除するために、セメントペーストによる SP 吸着量を測定した。同一ペー

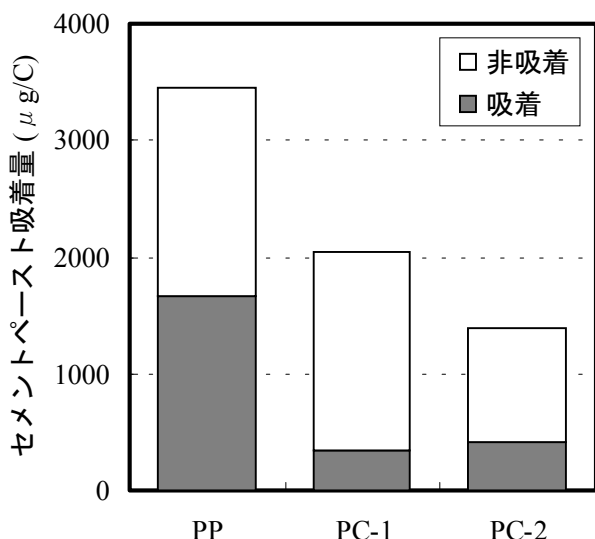


図-4 セメントペースト吸着量

スト流動性（フロー180mm）における SP 吸着量を測定した結果を図-4に示す。SP 吸着量は、PC-1、PC-2と比較して開発品 PPの方が著しく大きくなった。この結果から、著しく大きな SP 吸着量と粘性低減効果には相関があると推定される。

3.3 コンクリート試験による評価

コンクリート試験の結果を表-4に示す。本実験におけるコンクリート温度は 20~21℃の範

囲であった。

(1) 普通セメントにおける流動保持性

普通セメントを用いたときのスランプフローの経時変化を図-5に示す。高流動保持性型である PC-1 は良好な流動保持性を示したのに対して、低粘性型である PC-2 はやや流動保持性に劣る傾向であった。開発品 PP は PC-1 と同様の良好な流動保持性を示した。添加率は、モルタルの場合と同様に PC-1、PC-2 に比べてやや大きい傾向であった。

(2) 粘性

練り返し時のコンクリート粘性の実効感としては、モルタル粘性と同様に小さい順に開発品 PP、PC-2、PC-1 となった。しかしながら、コンクリート粘性を直接数値化することは極めて困難であるので、ウェット・スクリーニングしたモルタルの粘性を測定した。採取したモルタルを弱い力で攪拌したときにミキサーにかかる負荷電力（粘性）を図-6に示す。負荷電力は、小さい順に開発品 PP、PC-2、PC-1 となった。負荷電力で示される粘性は、モルタルの流下時間による粘性と同様の傾向となり、コンクリートにおいても、開発品 PP の優れた粘性低減効果

表-4 コンクリート試験結果

セメントの種類	SP	添加率 (%)	試験項目	初期	30分	60分	90分
C	PP	0.26	スランプフロー (mm)	408	395	403	340
			スランプ (cm)	23.0	22.5	22.5	21.0
			空気量 (%)	4.5	4.7	4.9	4.9
	PC-1	0.21	スランプフロー (mm)	370	375	390	340
			スランプ (cm)	21.5	22.0	22.0	20.5
			空気量 (%)	4.6	4.8	4.8	4.9
	PC-2	0.20	スランプフロー (mm)	420	353	315	275
			スランプ (cm)	23.0	21.5	20.0	17.0
			空気量 (%)	4.3	4.6	4.6	4.7
BB	PP	0.25	スランプフロー (mm)	445	395	390	345
			スランプ (cm)	23.0	22.0	22.0	21.0
			空気量 (%)	4.6	4.6	4.7	4.7
	PC-1	0.18	スランプフロー (mm)	425	388	323	255
			スランプ (cm)	23.0	22.0	20.0	15.0
			空気量 (%)	4.5	4.7	4.7	4.6
	PC-2	0.18	スランプフロー (mm)	450	353	288	248
			スランプ (cm)	24.0	21.5	19.0	15.0
			空気量 (%)	4.4	4.6	4.7	4.9

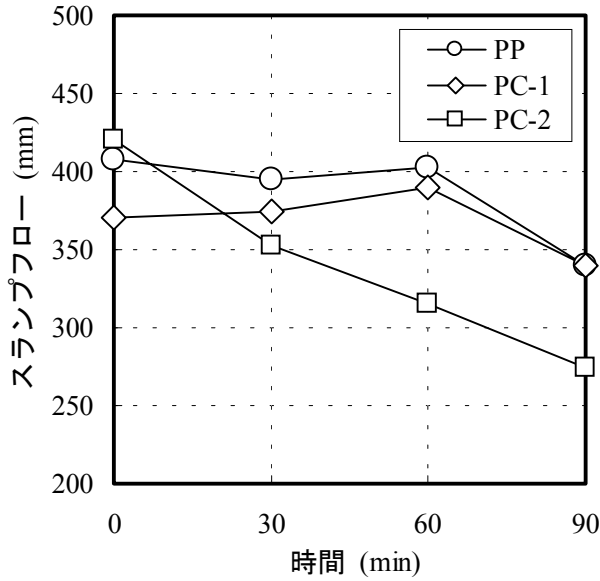


図-5 スランプフローの経時変化 (普通セメント)

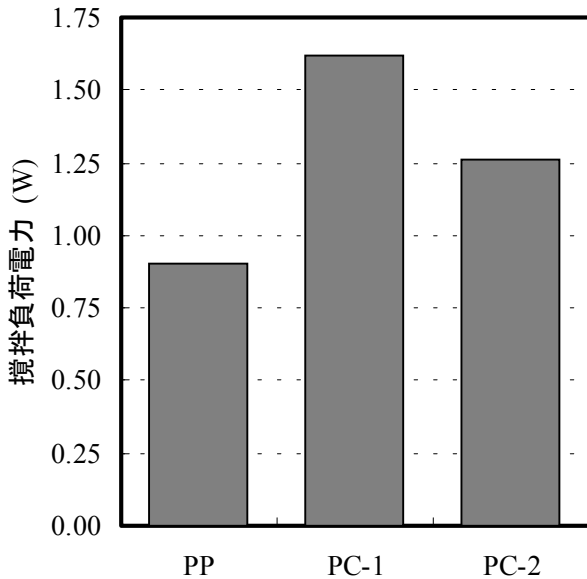


図-6 コンクリート中のモルタル攪拌負荷電力 (粘性)

が確認された。

(3) 凝結時間

凝結時間の測定結果を図-7に示す。SPの種類によってほとんど差は認められなかった。開発品PPは、PC-1、PC-2と比べて、凝結の遅延・促進の効果はなく、同等であった。

(4) 圧縮強度

材齢7日および28日における圧縮強度試験の結果を図-8に示す。SPの種類によってほとん

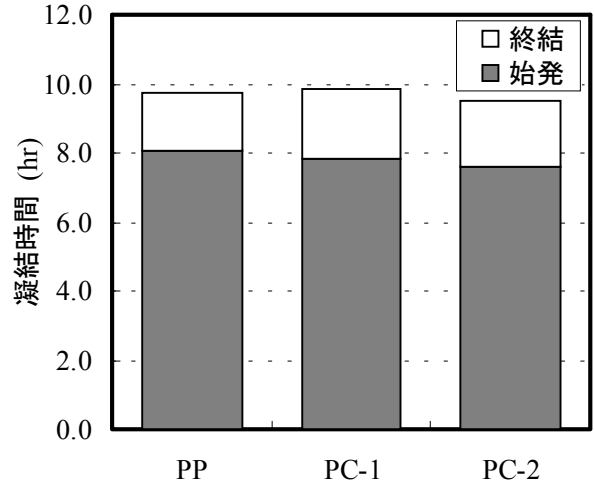


図-7 凝結時間

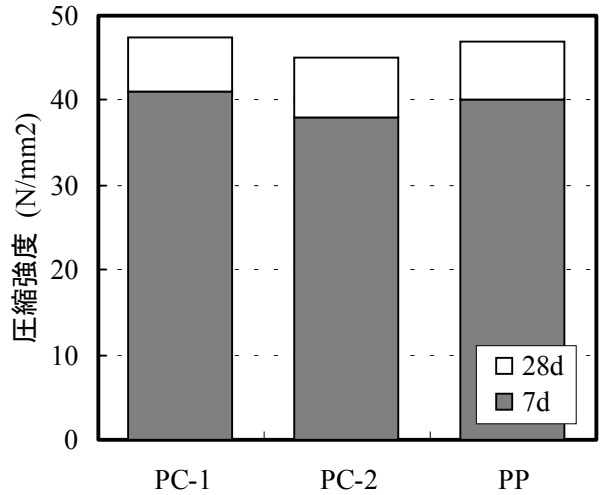


図-8 圧縮強度

ど差は認められなかった。開発品PPは、PC-1、PC-2と同等の強度発現性を示した。

(5) 高炉セメントB種における流動保持性

高炉セメントB種を用いたときのスランプフローの経時変化を図-9に示す。普通セメントを使用したときと比べて、全てのSPにおいて若干添加率が小さくなった。PC-1の場合、流動保持性がかなり低下し、PC-2の場合もやや流動保持性が低下した。このように高炉セメントB種使用時に添加率が少なくなり、流動保持性が低下することについては、遊離される硫酸イオン量が少ないことが考えられる。SPを使用する場合にはこのような現象が起こらない方が望ましい。開発品PPにおいては、普通セメントの場合とほとんど同等の流動保持性を示し、PC-1、

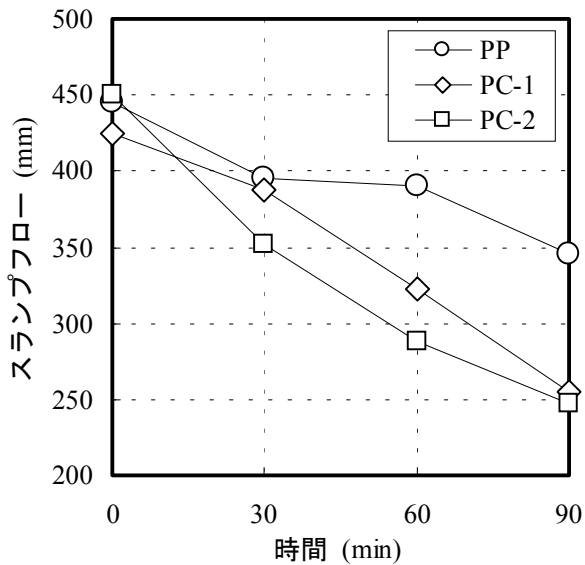


図-9 スランプフローの経時変化
(高炉B種)

PC-2と比較してセメントの種類に対する依存性が小さいことが示唆される。このように開発品PPが普通セメントと高炉セメントB種で流動保持性があまり変化しない理由については明らかではなく、今後検討しなければならないが、セメントに対する吸着量が極めて大きいことが影響しているものと考えている。

4. まとめ

優れた粘性低減効果をもつ高性能AE減水剤の開発を目指し、従来のポリカルボン酸系高性能AE減水剤構造を離れ、カルボキシル基よりもセメントへの吸着性が大きいと考えられるリン酸基を有する高性能AE減水剤を試作し、検討を行なった。試作したリン酸系高性能AE減水剤および市販されているポリカルボン酸系高性能AE減水剤とを、粘性低減効果の面から検討を行なった結果、次のような知見が得られた。

- (1) リン酸系高性能AE減水剤を用いたモルタル粘性は、市販のポリカルボン酸系高性能AE減水剤を用いたものより、小さくなった。このとき、同一流動性を得るための添加率は大きくなった。
- (2) 同一流動性におけるセメントによる吸着量は、ポリカルボン酸系高性能AE減水剤に

比べて、リン酸系高性能AE減水剤の方が著しく大きかった。

- (3) コンクリート試験においても、リン酸系高性能AE減水剤による粘性低減効果が大きいことが確認された。また、凝結時間、強度の発現については、ポリカルボン酸系高性能AE減水剤の場合とほとんど同等であった。
- (4) 高炉セメントB種を用いたコンクリート試験では、普通セメントを使用した場合と比べ、全ての減水剤で同一流動性を得るための添加率が若干小さい傾向にあった。
- (5) ポリカルボン酸系高性能AE減水剤を使用したとき、高炉セメントB種における流動保持性は普通セメントのときよりも低下したのに対して、リン酸系高性能AE減水剤を使用したときはどちらのセメントにおいても良好な流動保持性を示した。

参考文献

- 1) 岡田 和寿, 木之下 光男, 星野 実, 三井 健郎: コンクリートの粘性低減効果の優れたセメント高性能AE減水剤の開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, No.2, pp.175-180, 2001.6
- 2) 飯場 栄二, 木之下 光男, 稲垣 順司, 名和 豊春: ポリカルボン酸系分散剤の化学構造が流動性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.2, pp.151-156, 2000.6
- 3) 一坊寺 英夫, 名和 豊春, 羽原 俊祐, 伊藤 昭則: グラフト鎖を有する高性能AE減水剤の減水効果に及ぼすセメントの影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.97-102, 1999.6
- 4) 泉 達男, 下田 政朗, 小島 俊治, 正中 雅文: 高性能AE減水剤を用いたコンクリートの施工性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.2, pp.187-192, 2000.6