

# 論文 モルタルを用いた高性能 AE 減水剤の性能評価試験に関する研究

榎本 由香利<sup>\*1</sup>・出光 隆<sup>\*2</sup>・山崎 竹博<sup>\*3</sup>・渡辺 明<sup>\*4</sup>

**要旨:** JIS A 6204[コンクリート用化学混和剤]に規定されている高性能 AE 減水剤の性能は、現場材料を用いたコンクリートで評価されるため、労力の割に再現性に乏しい。その性能試験を、標準砂を使用したモルタルで簡便かつ適切に実施する方法を検討した。本論文では、モルタルを用いる上で問題点となる練混ぜ方法、性能評価指標等について実験的検討を行った。その結果、現行のモルタル作製方法で高性能 AE 減水剤の性能を評価する際の問題点と、その改善策、さらに新たな水鋭敏比なる指標の有意性について報告した。  
**キーワード:** 高性能 AE 減水剤, モルタルミキサ, モルタルフロー, 空気量, 減水率

## 1. はじめに

近年、大規模構造物の建設に伴って、新材料を用いたコンクリートの高性能化が進められてきた。コンクリートの高性能化にはセメントの他、超微粒子を含む混和材料の品質向上が必須である。これらの材料を用いた施工は高性能 AE 減水剤を代表とする化学混和剤の出現によって可能となったといえる。高減水性能、空気連行性能、スランプ保持性能を有する高性能 AE 減水剤の性能は、JIS A 6204[コンクリート用化学混和剤]に規定されている。同規格は、適切な  $s/a$  で所定のスランプおよび空気量が得られるコンクリートを作製して各性能評価試験を実施するため、多大な労力と時間および材料を必要とする。また現場材料を用いるため、骨材の材料特性の相異によって評価が異なる。高性能 AE 減水剤の性能を簡便かつ適切に評価する方法として、標準砂を使用したモルタル試験による方法が検討されている。<sup>1)~3)</sup>

本研究では、モルタルのフロー値と空気量から高性能 AE 減水剤の減水性能、空気連行性能を適切に評価でき、高性能 AE 減水剤の性能を再現性をもって評価できるモルタルの作製方法

と性能評価指標について検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 検討項目

モルタルによる高性能 AE 減水剤の性能評価を行う場合、試験モルタルの性状はコンクリート中に存在する状態であることが望ましい。本研究では、性能評価試験のモルタル化に関し、以下の項目について検討した。

- 1) 練混ぜパドルの形状とモルタルの特性
- 2) 練混ぜ方法とモルタルの特性
- 3) モルタルによる減水率試験
- 4) コンクリートミキサとモルタルミキサで練り混ぜたモルタルの特性

### 2.2 使用材料・配合

混和剤の性能評価試験に用いるモルタルの材料には、普通ポルトランドセメント(密度  $3.15 \text{ kg/m}^3$ )、JIS R 5201 に定める標準砂(表乾密度  $2.62 \text{ kg/m}^3$ )および海砂(表乾密度  $2.55 \text{ kg/m}^3$ , FM2.59)を使用した。

使用した混和剤は表-1 に示す、ポリカルボン酸系化学混和剤で一般的に使用頻度の高い 3 種と、リグニン・スルホン酸系の 1 種を選んだ。

\*1 九州工業大学大学院 工学研究科設計生産工学専攻 (正会員)

\*2 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科 博士(工学) (正会員)

\*3 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科 工博(正会員)

\*4 九州共立大学教授 工学部開発学科 工博(正会員)

表-1 実験に使用した高性能 AE 減水剤の種類とその品質

名称	S8	S9	H11	F300
分類	標準形Ⅰ種	標準形Ⅰ種	標準形Ⅰ種	標準形Ⅰ種
主成分	ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体	変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸および活性持続ポリマーの複合体	末端スルホン基を有するポリカルボン酸基含有多元ポリマー	マレイン酸共重合物を主成分とするポリカルボン酸系化合物
密度(20°C)	1.04~1.06	1.13~1.16	1.06~1.12	1.03~1.07
標準使用量(%)	1.1	1.5	0.75	1.0

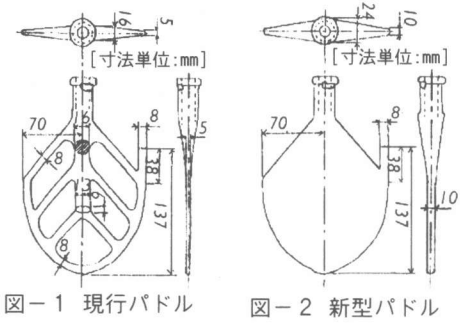


図-1 現行パドル

図-2 新型パドル

使用量は、製造元の示すコンクリート規格試験結果において  $W/C=45\sim50\%$ 、 $s/a=40\sim50\%$  でスランプ 18cm 程度のコンクリートを作製できる量とした。

標準砂を使用したモルタルは、JIS A 6204 に規定する  $s/a=45\%$  の試験用コンクリートから粗骨材を除いた配合とし、 $C=500\text{ kg/m}^3$  とした。海砂を使用したモルタルは、新型パドルを使用して DM2 の方法で作製した海砂モルタルのフロー値が 200mm となるようにペースト細骨材容積比を  $V_p/V_s=1.10$  とし、 $W/C=45\%$  とした。実験に用いた配合を表-2 に示す。

2.3 パドル・練混ぜ方法・試験項目

一般に、モルタルのフレッシュ性状は、材料の投入方法やパドルの回転速度、練混ぜ時間等に影響される。JIS R 5201 に規定されるモルタルミキサで練り混ぜた場合、各種混和剤によって相違はあるものの、水セメント比が 45% 程度以下のモルタルでは 20% を越える空気量が生じる。

このため、巻き込み空気量が比較的少なくなる形状について図-2 に示す新型パドルを作製した。図-1 には JIS R 5201 に規定されているパドル (以下現行パドル) を示す。

表-2 モルタルの配合

細骨材	高性能AE減水剤	W/C (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
				W	C	S	SP
標準砂	—	55	3.0	275.0	500.0	1470.5	0
	S8	45	8.0	225.0	500.0	1392.6	5.5
	S9					1389.2	7.5
	H11					1397.4	3.8
F300	1393.9					5.0	
海砂	S8	45	8.0	311.5	692.3	1248.5	7.6

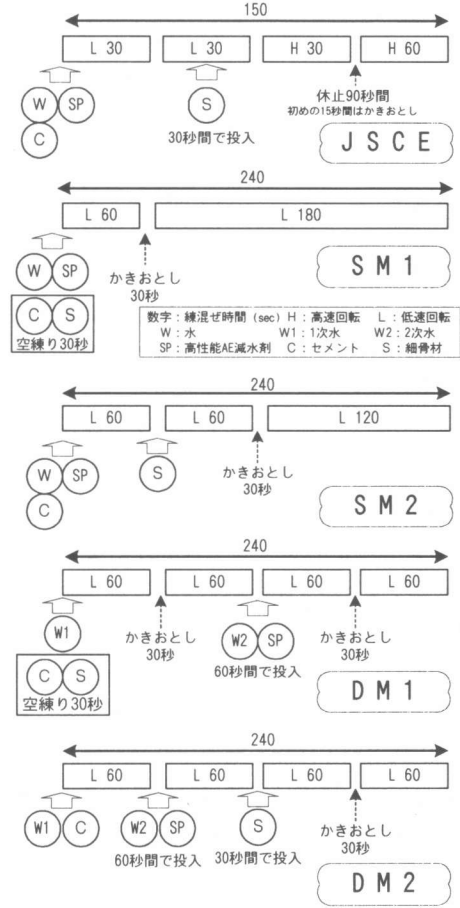


図-3 モルタルの練混ぜ方法

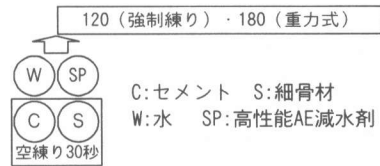


図-4 コンクリートミキサでの練混ぜ方法

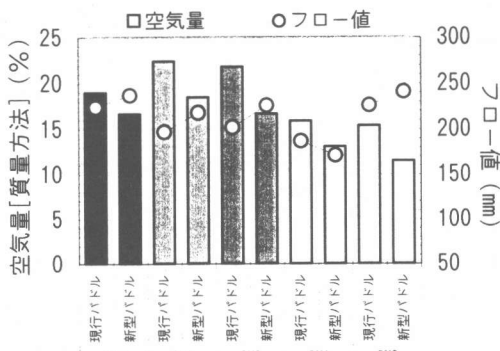


図-5 モルタル作製方法の検討

また、過剰な空気量の原因は JSCE の方法での高速回転にもあると考え、練混ぜ方法には、JSCE-F 505 に規定されている方法の他に、パドルの回転速度を低速化する方法、セメント粒子の分散効果防止のため練混ぜ水を分割投入する方法など、図-3 に示す 5 種類の方法を設定した。DM1, DM2 の一次水はセメント質量の 24% とした。また、コンクリートミキサでのモルタルの練混ぜ方法を図-4 に示す。

作製したモルタルには、フロー試験 (JIS R 5201 準拠)、空気量試験 (質量方法: JIS A 1116 準拠, 圧力方法: JIS A 1128 準拠) を実施した。

### 3. 実験結果および考察

S8 を添加した  $W/C=45\%$  の標準砂使用モルタルを作製した。パドル形状改良の有無の 2 種、練混ぜ方法 5 種を変えて実施したフロー試験および空気量試験 (質量方法) の結果を図-5 に示す。各値は 10 バッチの平均値で示している。

コンクリートの空気量を 4~5% とし、空気は粗骨材には含まれずモルタル内部に全て存在すると仮定してモルタル容積に対する空気量を算出するとおよそ 7.8~8.5% となる。現行パドルで作製したモルタル空気量は、高性能 AE 減水剤の種類による相違はあるものの、20% 程度にも達し、コンクリート中のモルタルの性状を代表できるとは言えない。

そこで形状を改良した新型パドルを使用したところ、空気量は現行パドルの値に比べて平均 19% 小さくなった。また、フロー値は DM1

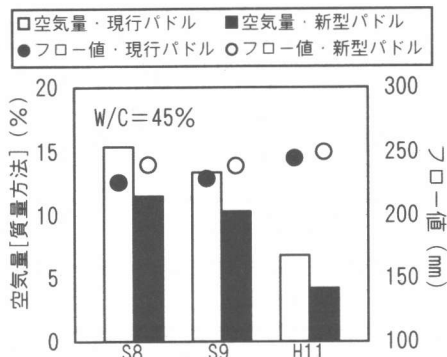


図-6 パドル形状とフロー値・空気量

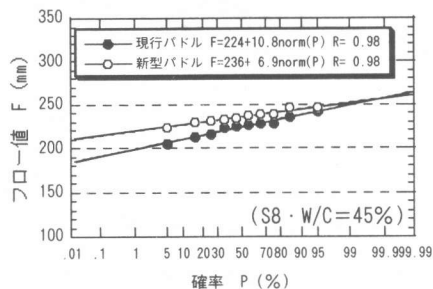


図-7 パドルの形状とフロー値のばらつき

を除いて新型パドルの方が 16mm 程度大きくなった。また、5 種類の練混ぜ方法の中では SM1 が最も空気量が多く、DM2 が最も空気量は少なくフロー値は大きくなった。

#### 3.1 練混ぜパドルの形状とモルタルの特性

S8, S9, H11 を使用し、 $W/C=45\%$  の標準砂使用モルタルを DM2 で作製した。フロー試験、空気量試験 (質量方法) の結果を図-6 に示す。どの高性能 AE 減水剤の場合でも、新型パドルの空気量抑制効果、フロー値増大効果が確認できた。

次に、パドルが異なる場合でのフロー値のばらつきを検討するため、S8 を添加した  $W/C=45\%$  の標準砂使用モルタルを DM2 で練り混ぜ、フロー試験結果のバッチ間変動を図-7 に示すように正規確率紙にプロットした。新型パドルの方が回帰直線式の  $\langle \text{norm}(P) \rangle$  の係数は小さく、安定したフロー値が得られた。

新型パドルでの空気量抑制効果については、練置きによる空気量変化を質量方法で調べた。その結果 (図-8~10)、新型パドルでは練置き

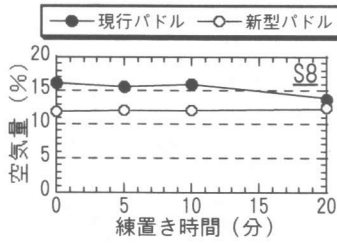


図-8 練置きによる空気量の変化 (S8・W/C=45%)

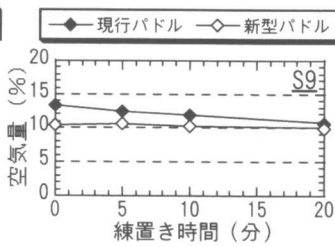


図-9 練置きによる空気量の変化 (S9・W/C=45%)

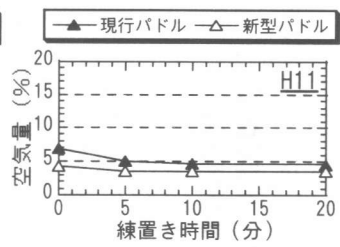


図-10 練置きによる空気量の変化 (H11・W/C=45%)

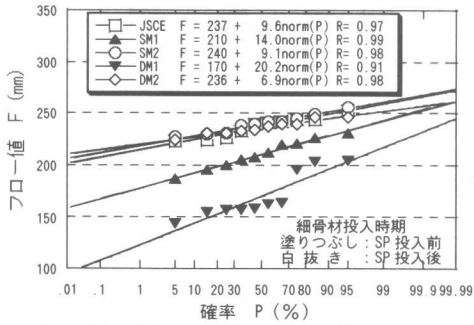


図-11 練混ぜ方法とフロー値のばらつき

表-3 空気量[圧力方法(%)]平均値の比較

	JSCE	SM2	DM2
現行パドル	20%以上	20%以上	20%以上
新型パドル	20%以上	16.5	13.5

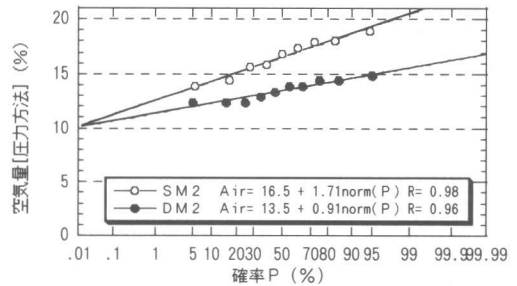


図-12 練混ぜ方法と空気量のばらつき

に伴う空気量の変化はほとんどみられなかった。現行パドルでは練置き時間とともに空気量が減少したが、新型パドルでの空気量を下回るのはなかった。現行パドルでの減少は、高性能 AE 減水剤の空気連行性能によるエントレインドエアではなく、パドル形状特性によるエンラップトエアに起因するものと考えられる。現行パドルでの空気量には径の大きなエンラップトエアが含まれるため、その空気量に対応した流動性が得られていないものと考えられる。また、現行パドルを使用した場合、練り上がり直後のエンラップトエアが不安定なため、試験実施時間の相違により結果が異なる。この相違は、高性能 AE 減水剤の性能評価試験の精度にも影響することから、性能評価試験に使用するパドルには新型パドルの方が適している。

### 3.2 練混ぜ方法とモルタルの特性

新型パドルを使用し、S8 を添加した W/C=45% の標準砂使用モルタルを 5 種類の練混ぜ方法で作製し、得られたフロー値を図-11 のように正規確率紙にプロットした。回帰直線の傾きから、細骨材投入時期を高性能 AE 減水剤の投入前より投入後とした練混ぜ方法の方がフロー

値のばらつきは小さいことがわかる。この原因として、SM1、DM1 では高性能 AE 減水剤投入時に細骨材も加えられているため、高性能 AE 減水剤投入時のモルタルの粘性抵抗は比較的高い状態にある。一方、JSCE、SM2、DM2 では、ペーストに高性能 AE 減水剤を投入するため、比較的粘性の低い状態でセメント粒子が分散されることになる。この、高性能 AE 減水剤投入時期におけるモルタルの粘性抵抗の違いが高性能 AE 減水剤を用いた微粒子の分散の程度に影響を及ぼしたものと考えられる。DM1 のフロー値が最も小さくなった理由として、練混ぜの初期に 20 秒間、小塊状態であり、粒子の分散効果が十分でなかったことが考えられる。小塊状態のモルタルでは現行パドルの方が攪拌効果は高く、細骨材とセメントが混合しやすい。このことは、図-5 において現行・新型パドルによるフロー値が DM1 だけ逆転している理由とも考えられる。

さらに、フロー値のばらつきの小さい JSCE、

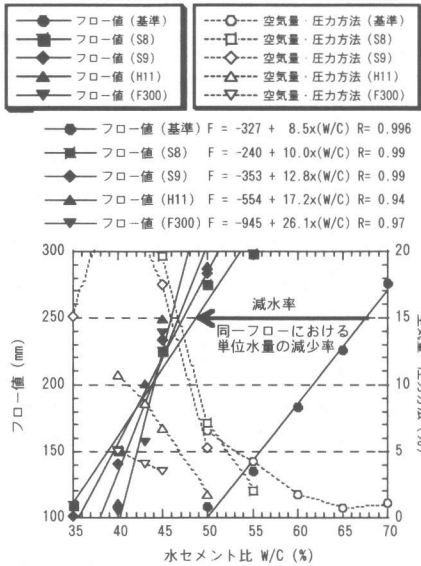


図-13 W/C-フロー値・空気量の関係 (現行パドル)

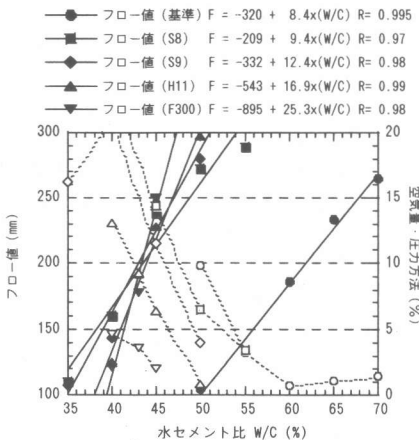


図-14 W/C-フロー値・空気量の関係 (新型パドル)

SM2, DM2での空気量(圧力方法)を比較すると(表-3), 現行パドルの場合では, 3つの方法全てで, 新型パドルでは JSCE の方法で作製したモルタルに 20%以上の空気が連行され, 圧力式空気量試験機では測定不可能であった。そこで, 新型パドルでの SM2 と DM2 の空気量のばらつきを比較(図-12)すると, DM2の方がばらつきが少なく, フロー値のばらつきを考慮しても, 安定したフレッシュ性状のモルタルを作製できることがわかった。

高性能 AE 減水剤の性能を評価する場合, 安

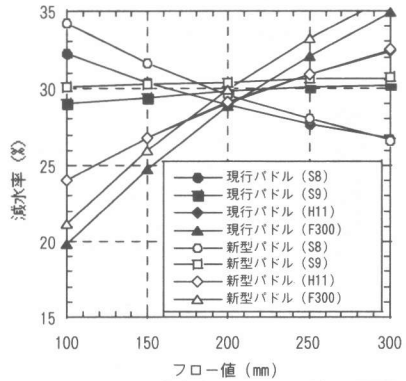


図-15 減水率とフロー値の関係

定した性状のモルタルを作製できる DM2 の練混ぜ方法が今回検討した 5 種類の的方法の中では最も適切であるといえる。

### 3.3 モルタルによる減水率試験

W/C を変化させ, 現行・新型パドルを用いて DM2 で練り混ぜたモルタルの, フロー試験, 空気量試験(圧力方法)を実施した。高性能 AE 減水剤は表-1 に示した 4 種を使用し, 図-13, 14 の結果を得た。いずれの場合でも, 各高性能 AE 減水剤の空気量は W/C の減少に伴い増加する傾向が顕著に現れており, モルタルを用いた性能評価試験では高性能 AE 減水剤の空気連行性能の比較が容易にできるといえる。また, どちらのパドルを使用した場合でも, 添加する高性能 AE 減水剤の種類により, W/C に対するフロー値および空気量の変化の敏感性が異なることが明らかになった。本研究では, 試験モルタルの W/C の変化に伴うフロー値の変化量を水鋭敏比と呼び, 混和剤の性能評価指標の一つとしたい。水鋭敏比を定義することにより, 表面水の変動などに対する流動性のばらつきを小さくする混和剤の性能を評価できる。すなわち, 材料から供給される水分の変動に対する安定性を示す指標となる可能性があるのである。

図-13, 14 の回帰曲線式から, 高性能 AE 減水剤を添加しない基準モルタルと, 添加した試験モルタルの各フロー値に対する単位水量を求め, 減水率を算出した。算出した減水率とフロー値の関係を図-15 に示す。減水率は使用する

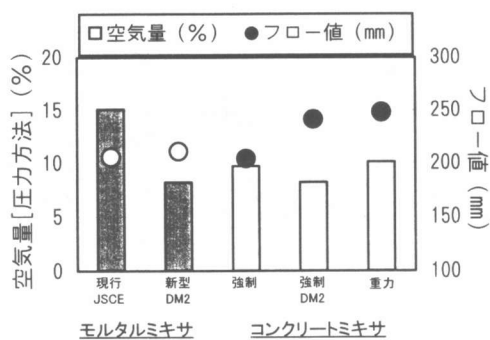


図-16 ミキサによるモルタルの特性

パドルの違いによって 1~2%の差はあるが、H11 を使用した場合はパドルによる違いはほとんど見られなかった。どちらのパドルの場合でも、減水率は、フロー値 200mm でほぼ同じ値となり、減水率はフロー値 200mm を境に逆転する結果となった。この傾向については、本実験では空気量を調整していない為、空気量と水鋭敏比に関する検討が更に必要と考えられる。

### 3.4 コンクリートミキサとモルタルミキサ

#### で練り混ぜたモルタルの特性

モルタルにより高性能 AE 減水剤の性能評価をする場合、モルタルミキサの練混ぜ効率を、コンクリート中のモルタルと等しくすることが望ましい。本研究では、高性能 AE 減水剤の使用量を表-1 の値とし、同一材料、同一配合のモルタルをコンクリートミキサ、モルタルミキサで作製し、フレッシュ性状を比較した。モルタルミキサでは、現行パドルを使用して JSCE の方法で、また、新型パドルを使用して DM2 の方法での 2 種類のモルタルを作製した。コンクリートミキサには強制練りミキサ(容量 55L)と重力式ミキサ(容量 50L)の 2 種を用いた。コンクリートミキサでモルタルを作製する場合多量の骨材が必要となることから、実験には海砂を使用し、高性能 AE 減水剤には S8 を使用した。

実験により得られたフロー値と空気量の比較を図-16 に示す。この結果より、コンクリートミキサで作製したモルタルの空気量は 8~10% となり、JIS A 6204 に規定される空気量 4~5% のコンクリート中のモルタルの空気量に近い値

となった。高性能 AE 減水剤の使用量はコンクリート規格試験を満たす値としたことから、練混ぜにおいて粗骨材の空気量への影響は非常に小さいものと考えられる。よって、コンクリート中のモルタルの性状は、モルタル部分のみをコンクリートミキサで練混ぜたものに近い性状であるといえる。また、モルタルミキサの現行パドル・JSCE の場合では強制練りコンクリートミキサの場合をはるかに上回る空気量が含まれてしまうことがわかる。新型パドル・DM2 の方法の方がより強制練りコンクリートミキサでの性状に近いモルタルを作製できるといえる。

### 4. まとめ

- 1) 現行パドルは巻き込み空気量が多く、混和剤の空気連行性能を過大評価してしまう。
- 2) 新型パドルは、巻き込み空気を抑え、練り上がり直後のモルタル性状を安定させる効果がある。
- 3) 練混ぜ水を分割投入し、ペーストを練混ぜた後に細骨材を投入する DM2 の練混ぜ方法が、図-3 の 5 種の方法の中では最も安定した性状のモルタルを作製できる。
- 4) モルタルで高性能 AE 減水剤の性能を評価する場合、水鋭敏比を指標とすれば、新たな性能を評価できる。

### 参考文献

- 1) 山崎竹博, 出光隆, 渡辺明: モルタルを用いた化学混和剤の減水率試験に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.193-198, 2000
- 2) 小山田哲也, 江東, 藤林忠司: 高流動コンクリートのペーストおよびモルタルにおける流動性の経時変化, セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.310-315, 1997
- 3) 菅俣匠, 日比野誠, 大内雅博, 岡村甫: ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤の粒子分散効果に関する一考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.91-96, 1999