

論文 高流動モルタルの性状に及ぼすセメント及び高性能 AE 減水剤の影響

呉 承寧*¹・手塚 正道*²・今井 昌文*³・堀越 直樹*⁴

要旨：高流動コンクリートに適用するセメント及び高性能AE減水剤の最適の組合せを選ぶために、普通、早強、低熱、高流動の4種類のポルトランドセメント及び8種類の高性能AE減水剤を用い、フレッシュモルタルの流動性及び硬化モルタルの強度に及ぼすセメントの種類及び高性能AE減水剤の影響を検討した。その結果、高流動セメントを用いたモルタルが優れた流動性及び強度を持っていることが明らかになった。一方、高性能AE減水剤は種類によってモルタルの流動性及び強度に大きな影響を与え、特に、同じ系でも、減水効果、遅延作用及び強度などに及ぼす影響が違ふことが確認された。

キーワード：高流動モルタル、セメント、高性能AE減水剤、流動性、強度

1. はじめに

高流動コンクリートのマトリックスとして、ペーストの性状は高流動コンクリートの諸性状に大きな影響を与える。また、ペーストやモルタル、更にコンクリートの諸性状に及ぼす粉体物性の影響に関する研究がいくつかの研究機関において進められている。さらに、高流動コンクリートの性状を改善するために、いろいろな新しいタイプのセメントや、高性能減水剤などが近年相次いで開発されている。これらのセメントや高性能AE減水剤を用いることにより、より高性能の高流動コンクリートの製造が可能になってくる。しかしながら、これらのセメントや高性能AE減水剤がペースト、モルタル及びコンクリートの物性に及ぼす影響についての比較実験や、セメントと高性能AE減水剤の相性についてなど報告があまり多くない。

そこで本研究は、高流動コンクリートに適用するセメント及び高性能AE減水剤の最適な組合せを選ぶために、フレッシュモルタルの流動性や、硬化モルタルの強度などに及ぼすセメント及び高性能AE減水剤の影響を検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

代表的なセメントとして4種類のポルトランドセメントを使用した。これらセメントの物性及び鉱物組成を表-1に示す。

高性能AE減水剤は、主に超高強度・高流動コンクリート用高性能

表-1 セメントの物性及び鉱物組成

種類	項目 記号	比 重	比表面積 cm ² /g	水和熱(J/g)		鉱物組成 (%)			
				3日	7日	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
早強* ¹ ポルトランド	早強	3.14	4450	--	--	64	11	8	8
普通* ² ポルトランド	普通	3.16	3310	323	370	52	23	9	9
高流動* ³ ポルトランド	高流動	3.20	4150	261	308	35	46	3	9
低熱* ⁴ ポルトランド	低熱	3.22	3470	--	207	29	55	2	8

- * 1 オリエンタル建設(株) 技術研究所 主任研究員 工博 (正会員)
- * 2 同上 主任研究員 (正会員)
- * 3 同上 主任研究員 (正会員)
- * 4 同上 研究員

AE減水剤を用いた。これらの高性能AE減水剤の物性及び化学主成分を表一2に示す。

細骨材は、3種混合の相馬硅砂（3号：4号：5号=36：21：43、F.M.=2.74、比重=2.58、吸水率=0.81%）を使用した。

2.2 モルタルの配合

本研究で用いたモルタルは、超高強度、高強度及び普通強度の高流動コンクリートのモルタルを想定して表一3に示す配合とした。

2.3 試験項目と方法

2.3.1 フレッシュモルタルの流動性

フレッシュモルタルの流動性はモルタルのフロー試験及びVロート流下試験により測定した。モルタルのフロー試験はJIS R 5201 によって行った。ただし、モルタルのフロー値が300mmを越えた場合は、打撃後のフローの増加はわずかであるため[1]、フローテーブルの代わりに、水平な鉄板の上で振動を与えず、フロー値の測定を行った。モルタルのVロート流下試験は岡村等の提唱するVロートにより行った[2]。

2.3.2 硬化モルタルの圧縮強度

供試体は直径5cm、高さ10cmの円柱供試体を用い、試験時まで標準養生（標準室に1日養生し、脱枠後直ちに水中養生槽へ）と蒸気養生（20℃で前養生10時間、60℃で蒸気養生 8時間、昇降温速度13℃/hr、脱枠後直ちに水中養生槽へ）した後、圧縮試験を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 モルタルの流動性に及ぼすセメントの種類の影響

セメントの種類がフレッシュモルタルの流動性に与える影響はプレーンのセメントペーストの流動性に加えて、用いる高性能AE減水剤との相性により決まると考えられる。図一1に、4種類のセメントペーストの相対フロー面積 Γ_p ($\Gamma_p = (F_p/F_0)^2 - 1$ 、 F_p ：ペーストのフロー値、 F_0 ：フローコーン底面の直径)と水セメント容積比の関係を示している[2]。

同図から、高ピーライト系の高流動セメント及び低熱セメントペーストの流動性は、普通セメント、早強セメントより極めて高いことより、セメント中の空隙相及びエアライトの含有率の減少と丸い形態のピーライトの含有率の増加がペーストの流動性に大きく寄与していると想定されるが、低熱セメントと高流動セメントを比較した場合、ピーライトの含有率の高い低熱セメントより、高流動セメントの方が流動性が高くなっている。

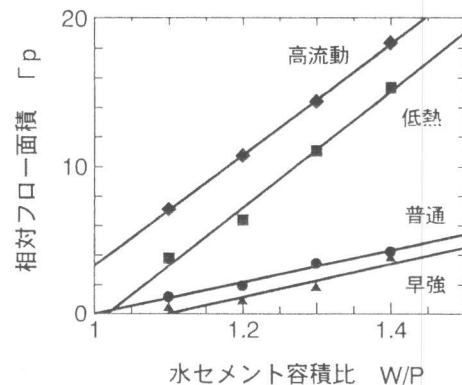
表一2 高性能AE減水剤の物性及び主成分

記号	比重	化学主成分
N	1.18	ポリアルキルアリルスルホン酸塩と反応性高分子
A	1.15	芳香族アミノスルホン酸高分子化合物
ME	1.23	変性メチロールメラミン縮合物と水溶性特殊高分子
MA	1.05	マレイン酸誘導体共重合体
V	1.10	スルホン酸基、カルボキシル基及び特グラフト鎖を含有する構造の水溶性ビニル共重合体
P1	1.05	ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体
P2	1.08	ポリカルボン酸系化合物
P3	1.06	ポリカルボン酸系高分子界面活性剤

表一3 モルタルの配合

番号	W/C	S/C	SP/C
M25	0.25	1.0	1.5~6.0
M35	0.35	1.8	0.8~3.0
M45	0.45	2.5	0.5~2.0

注：表中全ての比率は重量比である



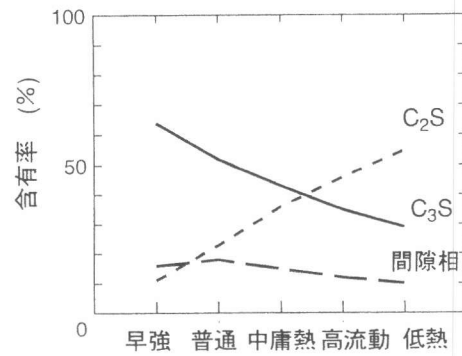
図一1 各種のセメントペーストの流動性

る。このことより、セメントペーストの流動性は、セメントの鉱物組成に加えて、セメントの粒径や粒度分布の影響をも受けるものと考えられる。

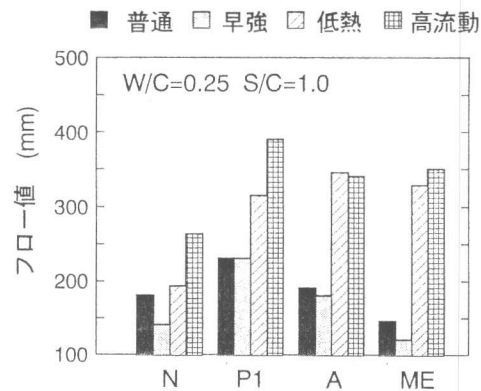
図一3と図一4は、4種類の高性能AE減水剤を用い、セメントの種類がフレッシュ超高強度モルタル(W/C=0.25) またフレッシュ普通強度モルタル(W/C=0.45) のフロー値に及ぼす影響を示す。これらの図に、横軸は高性能AE減水剤の種類である。図一3より、いずれの高性能AE減水剤においても、高流動セメントを用いたモルタルの流動性が非常に高く、早強セメントを用いたモルタルの流動性が一番低いことが分かる。したがって、セメントの種類がフレッシュモルタルの流動性に及ぼす影響は非常に大きいと考えられる。しかしながら、図一4に示すように、モルタルの水セメント比が高くなると、セメントの種類による流動性の差は小さくなることより、モルタルの流動性に及ぼすセメントの種類の影響は、流動性に及ぼす練混ぜ水の影響が小さい低水セメント比のモルタルにおいて顕著になるものと思われる。

モルタルのフロー値と相対ロート速度比 R_m ($R_m = 10/t_r$, t_r : Vロート流下時間) の関係を図一5に示す。同図により、低熱セメント、早強セメント及び普通セメントを用いたモルタルのフロー値と相対ロート速度比の関係はほぼ同じであるのに比べ、高流動セメントでは同一フロー値に対する相対ロート速度比は大きくなっている。相対ロート速度比は粘性を評価すると一つの指標であることを考慮すると[3]、同じ高性能AE減水剤P1を用いた各種のセメントモルタルには、高流動セメントモルタルの粘性が

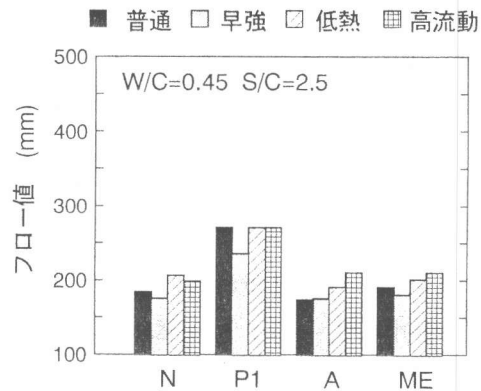
値最も低いと考えられる。
セメントの種類がモルタルの流動性の経時変化に及ぼす影響について、セメントの種類及び高性能AE減水剤の添加量を変化させたモルタルにより評価した。図一6に各モルタルの、練混ぜ後2時間を経過したフロー値の低下割合を示す。極初期の水和反応性が高いため、早強セメントを用いたモルタルのフロー値の低下が最も大きくなっている。同じ理由で、極初期水和反応性の低い高流動セメントを用いたモルタルのフロー値の低下は極めて少ない。高性



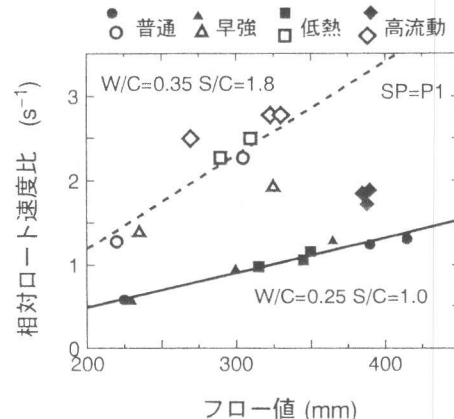
図一2 各種のセメント中の鉱物の含有率



図一3 低水セメント比のモルタルのフロー



図一4 高水セメント比のモルタルのフロー



図一5 各種のセメントモルタルの粘性

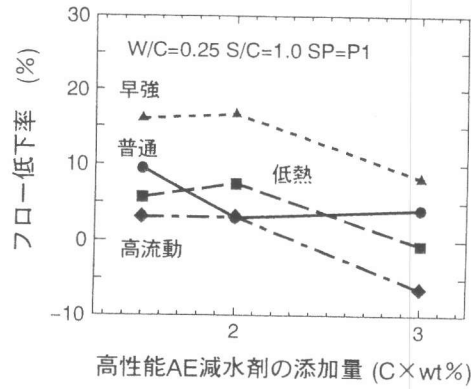
能AE減水剤の添加量が増えると、セメントの極初期水和を遅延させることから[4]、いずれの種類セメントを用いたモルタルでも、高性能AE減水剤の添加量の増加と共にフロー値の低下が少なくなっている。

3.2 硬化モルタルの圧縮強度に及ぼすセメント種類の影響

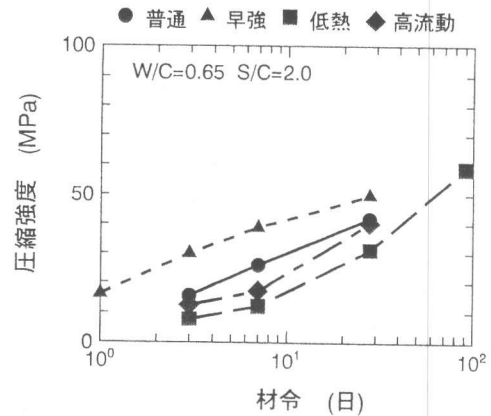
図一7は4種類のセメントの圧縮強さ（セメントの試験成績表により）である。図一8はこれらのセメントを用いたモルタルの圧縮強度である。これらの図より、早期の強度発現に寄与するとされる間隙相（アルミネート相、フェライト相）とエーライトの少ない高ビーライト系セメントでは、早強セメント、普通セメントに比べ材齢3日、7日の強度は低い傾向がある。しかし、図一8に見られるように、低水セメント比の場合、高流動セメントの材齢3日強度は早強セメントとほぼ同等であり、さらに材齢28日、材齢91日にかけての強度は早強セメント、普通セメントを上回った。モルタルの水セメント比が小さくなると、モルタル中のセメント量が増えるので、早期強度に役に立つセメント鉱物の量も増加する。さらに、混和水が少ないので、セメント粒子間の距離が近くなることから、早期強度に必要な粒子間の充填水和物量が少ない。これらのことより、低水セメント比の場合は、高流動セメントには、早期強度を得られるための間隙相及びアライトの含有量が十分であると思われる。また、高ビーライト系セメント中のエーライトの水和反応速度は普通セメントのより速いと言われており[5]、低水セメント比の場合は、高ビーライト系セメントの強度は早強セメント或いは普通セメントより高いことが可能となると考えられる。

各種セメントモルタルの強度に及ぼす蒸気養生の影響を図一9に示す。同図より、各セメントの蒸気養生による強度発現はW/Cによって異なることが確認され、W/C=0.25と低い水セメント比においては、高流動セメントは、普通セメントと同程度の材齢1日強度を発現することが確認された。

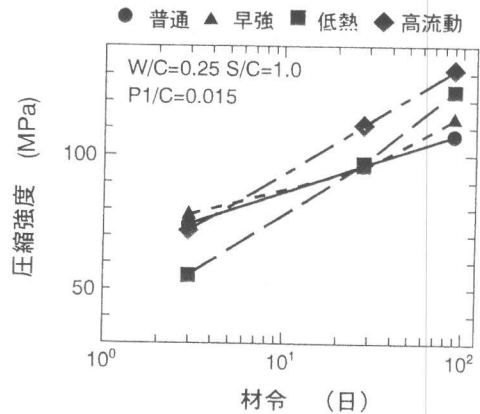
3.3 モルタルの流動性に及ぼす高性能AE減水剤種類の影響



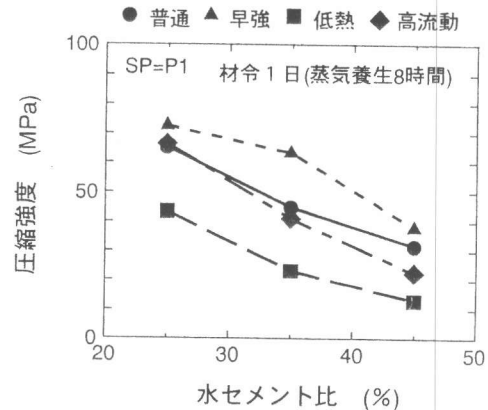
図一6 セメントモルタルのフロー値の低下



図一7 各種セメントの圧縮強さ



図一8 低W/Cのモルタルの圧縮強度



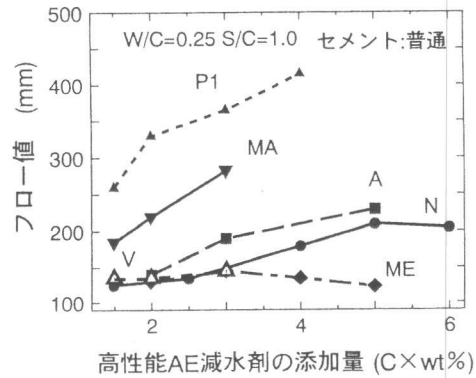
図一9 蒸気養生したモルタルの圧縮強度

高性能AE減水剤は、その主成分により分散作用機構が異なることにより、モルタルの流動性に影響する減水効果も異なることが想定される。図一10は、主成分の異なる6種類の高性能AE減水剤を用いたモルタルのフロー値を示す。同図により、P1のポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を用いたモルタルのフロー値が、他の高性能AE減水剤を用いたモルタルのフロー値に比べ、極めて大きいことが分かる。また、図一11は、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤について、製造業者の異なる3タイプについてモルタルのフロー値を比較したものである。これにより主成分が同一のポリカルボン酸系の高性能AE減水剤であっても、その減水効果が異なることより、高性能AE減水剤の減水効果は、主成分はもとより他の化学成分にも影響を受けるものと考えられる。

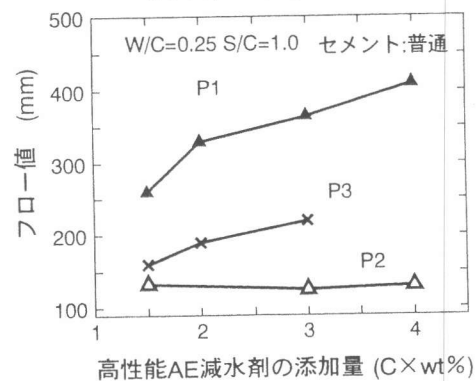
高性能AE減水剤の減水効果は、主成分や添加量のみならず、用いるセメントの種類によっても異なる。図一12と図一10を比べると、高性能AE減水剤の種類によるモルタルのフロー値の差は、普通セメントを用いたモルタルより高流動セメントを用いたモルタルの方が少ないことが分かる。高性能AE減水剤の添加量とモルタルのフロー値の関係は、図一13に示している様に、セメントの種類によって違う。即ち、プレーンのセメントペースト（図一1に高性能AE減水剤を添加しないペースト）の流動性が高いほど、モルタルの流動性に及ぼす高性能AE減水剤の添加量の影響が少ない。それについて、フレッシュモルタルの流動性がプレーンのセメントペーストの流動性及び高性能AE減水剤の分散作用の二つ要因によって決まることで、説明することができる。

3.4 モルタルの強度に及ぼす高性能AE減水剤種類の影響

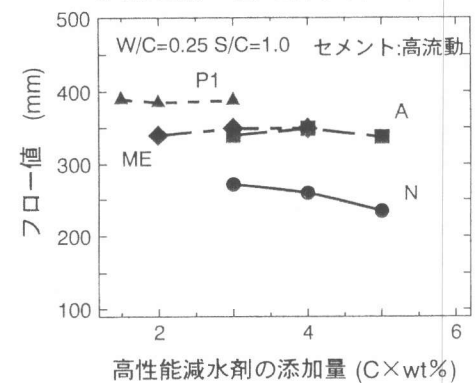
高性能AE減水剤はフレッシュモルタルの流動性に影響を及ぼすだけでなく、硬化モルタルの強度の発現性状にも大きい影響を与える。図一14は、4種類の代表的な高性能AE減水剤を添加した各種類のセメントモルタルの材齢3日の圧縮強度である。同図より、若材齢の硬化モルタルの強度に及ぼす高性能AE減水剤の種類の影響は大きいことが分かる。ナフタリン系の高性能AE減水剤がセメントの水和を遅延さ



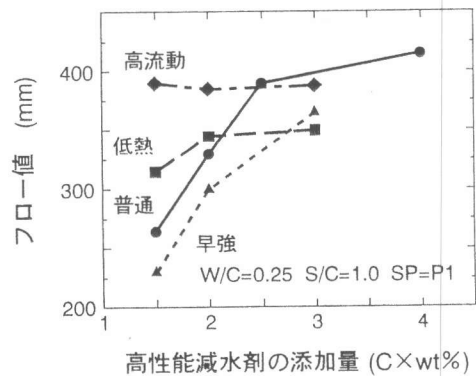
図一10 モルタルのフローに及ぼす高性能AE減水剤の影響



図一11 ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を用いたモルタルのフロー



図一12 高流動セメントモルタルのフロー



図一13 モルタルのフローに及ぼす高性能AE減水剤及びセメント種類の影響

て、若材齢のモルタルの強度が低減されている。この傾向は、高ビーライト系のセメントに対して、顕著であり、高ビーライト系のセメントを用いたモルタルは3日まで固まらなかった。しかしながら、同一条件のもとで、早強セメント、普通セメントを用いたモルタルは50MPa以上の強度が出た。これはナフタリン系の高性能AE減水剤のビーライト粒子表面に吸着する量が間隙相及びエーライト粒子表面に吸着する量より少ないため、高ビーライト系のセメントペーストの液相に多量に残留されたナフタリン系の高性能AE減水剤がセメントの水和を遅延させると考えられる[4]。図-15によって、その遅延作用が材齢に従って減少し、高流動セメントを用いたモルタルの材齢28日の強度は普通セメントを用いたモルタルとほぼ同等となることを示している。しかし、モルタルの圧縮強度は用いた高性能AE減水剤の種類によって大きな差があることが確認された。

4. まとめ

本研究の範囲内では、以下の事柄が言える。

1) セメントペーストの流動性は高流動セメント > 低熱セメント > 普通セメント > 早強セメントの順である。

2) 高性能AE減水剤の分散効果はP1のポリカルボン酸系の高性能AE減水剤が一番高い。

3) モルタルの流動性に及ぼすセメント種類の影響は高性能AE減水剤の分散効果が高いほど少ない。同様に、高性能AE減水剤の影響はセメントペーストの流動性が高いほど少ない。

4) 超高強度高流動コンクリートの製造には、高流動セメント及びP1の高性能AE減水剤の組合せが流動性及び強度の点で最適であると考えられる。

参考文献

- 1) 山崎竹博・出光 隆・渡辺 明、シリカフェームを用いたコンクリートの流動特性に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No. 49, pp. 408-413、1995
- 2) 岡村甫・前川宏一・小沢一雅：ハイパフォーマンスコンクリート
- 3) コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告書（Ⅱ）、pp. 11-16、1994
- 4) 長滝重義・大即信明・呉 承寧他：高性能AE減水剤の多量添加がセメントの水和と強度に及ぼす影響、土木学会論文集、V-28, No. 520, pp. 287-296、1995
- 5) 田中洋一・名和豊春・岡田能彦：高ビーライト系セメントを用いたペーストの蒸気養生下での水和反応、セメント・コンクリート論文集、No. 49, pp. 66-71、1995

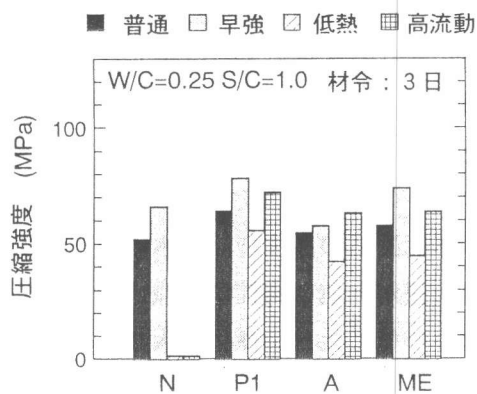


図-14 モルタルの早期強度に及ぼす高性能AE減水剤の影響

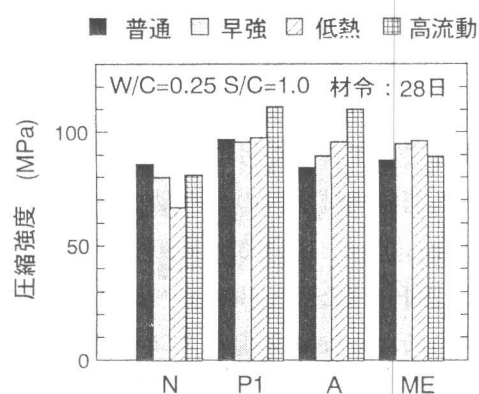


図-15 モルタルの28日の強度に及ぼす高性能AE減水剤の影響