

2002 年度修士論文

セメント粒子の凝集・分散に着目した普通コンクリートの材料分離低減

2003 年 1 月

指導教員 大内雅博

高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻

社会基盤工学コース 1055156

福田道也

セメント粒子の凝集・分散に着目した普通コンクリートの 材料分離低減

論文要旨

福田道也

締固め作業の必要な普通コンクリートの材料分離低減と施工性の確保の両立を目的として、セメント粒子の分散・凝集に高性能 AE 減水剤と練混ぜが及ぼす影響について考察した。分散作用の異なる 3 種類の高性能 AE 減水剤を使用して比較した。最も分散能力の高い、すなわち超高強度コンクリート用高性能 AE 減水剤が、ブリージング量を見捨てる水セメント比 40% で簡単に締固めするのに最適であることがわかった。さらに、より長い練混ぜ時間は、より少ないブリージング量およびより低い粘性をもたらした。簡単に締固めできる水セメント比 40% および低い粘性を備えたコンクリートを開発することの可能性を見出した。

キーワード

材料分離、ブリージング、凝集、分散、施工性、粘性、高性能 AE 減水剤、練混ぜ時間、自由水、セメント粒子

Reduction of Segregation in Conventional Concrete in Terms of Coagulation and Dispersion of Cement Particles

~ abstract ~

1055156 Michiya FUKUDA

The effect of superplasticizer and mixing on the coagulation and dispersion of cement particles in the workability and bleeding of concrete or mortar was examined so that less amount of bleeding and low viscosity can be compatible in conventional concrete requiring vibrating compaction. Three types of superplasticizer with different dispersing performance were employed. It was found that the superplasticizer having the highest dispersing performance at this moment, that is, for ultra-high strength concrete was suitable to achieve low viscosity for easy vibrating compaction for the water-powder ratio of 40% in which the amount of bleeding can be neglected. Also, the longer mixing time resulted in the less amount of bleeding and lower viscosity. It can be concluded that the concrete with water-cement ratio of 40% and low viscosity for easy vibrating compaction can be developed.

Key Words

segregation, bleeding, coagulation, dispersion, workability, viscosity, superplasticizer, mixing time, free water, cement particles

目次

| | |
|--|----|
| 第1章 序論 | |
| 1.1 本研究の背景と目的 | 1 |
| 1.2 既往の研究及び文献調査 | 2 |
| 1.2.1 ブリージングに関する研究 | 2 |
| 1.2.2 粘性に関する研究 | 2 |
| 1.2.3 本論文の構成 | 3 |
| | |
| 第2章 練混ぜ時間の違いによるモルタルの粘性とブリージングへの影響 | |
| 2.1 実験概要 | 4 |
| 2.1.1 実験目的 | 4 |
| 2.1.2 使用材料 | 4 |
| 2.1.3 モルタル作成 | 5 |
| 2.1.4 フレッシュモルタルの性状の確認方法 | 5 |
| 2.1.5 モルタルのブリージング試験 | 7 |
| 2.2 実験結果 | 9 |
| 2.3 まとめ | 13 |
| | |
| 第3章 高性能 AE 減水剤の違いによるモルタルの粘性とブリージングの比較 | |
| 3.1 実験概要 | 14 |
| 3.1.1 実験目的 | 14 |
| 3.1.2 使用材料 | 14 |
| 3.1.3 モルタル作成 | 14 |
| 3.1.4 フレッシュモルタルの性状の確認方法 | 14 |
| 3.1.5 モルタルのブリージング試験 | 15 |
| 3.2 実験結果 | 15 |
| 3.3 まとめ | 21 |
| | |
| 第4章 結論 | |
| 結論 | 23 |
| 今後の課題 | 23 |
| | |
| 謝辞 | 24 |
| 参考文献 | 26 |

第 1 章 序論

1.1 本研究の背景と目的

普通コンクリートとブリージングは切っても切れない関係である。打ち継ぎ目に関しては硬化後にレイタンスの除去を適切に行えば問題無いとされているが、それを怠るとコールドジョイントとなり、そこから塩化物や二酸化炭素等が浸入し、鉄筋の腐食によって鉄筋が膨張して構造物表面のコンクリートの剥離、錆汁による美的外観の損傷、耐久性の低下等様々な劣化の要因となる。また、鉄筋や粗骨材の下部にブリージングが溜まることでも本来のコンクリート構造物に要求される性能を十分に満たされないことも考えられる。これらの事に関しては十数年前に岡村らによって開発された自己充填コンクリートによって補う事が可能である[1]。しかし、自己充填コンクリートは現場で調整の出来る技術者の不足、普通コンクリートよりも割高なコスト等がネックとなり、今日の日本での使用範囲はかなり限られている。

そこで本研究では従来のコンクリートの配合と施工性の近いもので自己充填コンクリートよりもコストが安く、普通コンクリートよりも品質の良いブリージングの出ないコンクリートの作成にモルタルレベルの実験を中心にアプローチを試みた。下図にイメージを示す(図 1.1)。

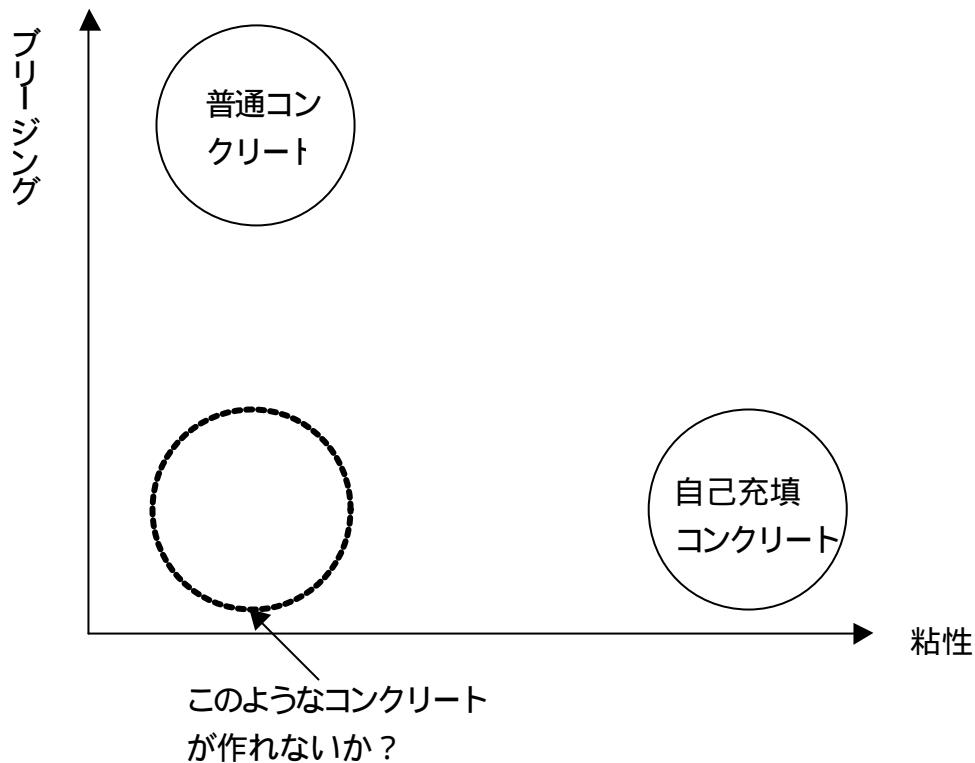


図 1.1 概念図

この図はコンクリートのブリージングと粘性を概念的に示したものである。現在、存在するコンクリートで普通コンクリートは粘性が低く、ブリージング量が多い、自己充填コンクリートは粘性が高く、ブリージング量が少ないという特徴を持っている。つまり粘性が高い＝ブリージングが少ない、粘性が低い＝ブリージングが多いという図式になっている。そこで普通コンクリートに近い施工性でブリージングを出なくする為には現段階では存在しない粘性が低くてブリージングを抑制するコンクリートを作る必要がある。

1.2 既往の研究及び文献調査

1.2.1 ブリージングに関する研究

ブリージングは材料分離の一種であり、構成材料の比重差や構成骨材に吸着しきれずに残った混合水が骨材の沈降によってコンクリートの表面に上がってくるものである。ブリージングに影響する要因は様々なものがあり、一般的に単位水量が少ないほど、モルタルの保水性が大きいほど、セメントの水和反応が速いものほど、セメント量が多いほど、細骨材の微粒分が多いほど、練り混ぜが十分に行われるほど、温度が高いほどブリージングは少なくなる。下図にブリージングの概念図を示す。(図 1.2)

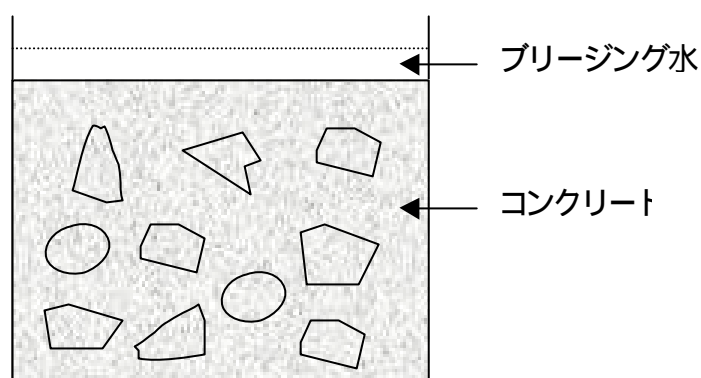


図 1.2 ブリージングの概念図

1.2.2 粘性に関する研究

大内はモルタルにVロート試験機を使用して相対ロート速度比 R_m (式 1.1) を粘性の指標として提案している[2]。

$$R_m = 10 / t \quad (1.1)$$

ただし、

t: Vロート流下時間 (秒)

これは流下時間が早いほど R_m の値が大きくなる、すなわち粘性が小さくなることを示している。これを使用してスランプ 18cm の時のコンクリート配合は粗骨材が全体容積の 4 割、モルタル中の細骨材容積比を 50% で固定し、水セメント比と高性能 AE 減水剤でスランプを調整したもの)からモルタルだけを取り出して水セメント比 30%、40%、50% 時それぞれの粘性を見比べてみた (図 1.3)。すると水セメント比が高くなるほど R_m の値は大きくなった。すなわち粘性を低くするためには水セメント比が高くするということである。

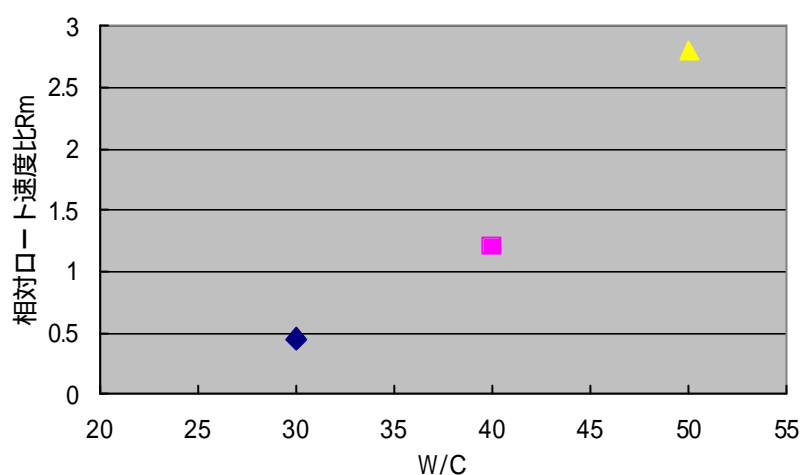


図 1.3 水セメント比と R_m の関係

また、普通コンクリートと自己充填コンクリートの間には「中流動コンクリート」や「準高流動コンクリート」と称されるコンクリートが存在するが、ブリージングを考慮していないものが多い。また、ブリージングを考慮した場合には増粘剤や細骨材の代わりにフライアッシュ等を使用しているために粘性の高いものになっており、やはり粘性とブリージングの関係がどちらかしか解決されていない。

1.2.3 本論分の構成

本論分の構成は 1 章で序論とし、2 章で練混ぜ時間による粘性とブリージングの関係についてどのような挙動を示し、何故そのようになったのかを述べる。3 章では高性能 AE 減水剤を 3 種類使用し、高性能 AE 減水剤の違いによって粘性とブリージングの関係がどうなるかを述べ、4 章は各章で得られた結論をまとめて述べる。

第2章 練混ぜ時間の違いによるモルタルの粘性とブリージングへの影響

2.1 実験概要

2.1.1 実験目的

実験目的は高性能 AE 減水剤を用いてモルタルの粘性とブリージングに寄与する影響を調べます。また、練り混ぜ時間による違いがどのような影響を及ぼすかをモルタルレベルで考察を行う。

2.1.2 使用材料

(1) セメント

セメントは、住友大阪セメント株式会社高知工場製造の普通ポルトランドセメントを用いた。試験成績表を表 2.1 に示す。

表 2.1 普通ポルトランドセメントの物理試験成績

| 入荷年 | 密度 (g/m ³) | 比表面積 (cm ² /g) | 凝結 | | | 安定性 | 圧縮強さ N/mm ² | | |
|-------|---------------------------|------------------------------|-----------|-------------|-------------|-----|------------------------|------|------|
| | | | 水量 (%) | 始発 h-min | 終結 h-min | | 3d | 7d | 28d |
| 平成13年 | 3.15 | 3200 | 27.6 | 2-08 | 3-16 | 良 | 27.6 | 47.3 | 64.0 |

(2) 細骨材

細骨材は砕砂と海砂を容積割合で 1 : 1 の混合砂として使用した。それぞれの試験値を表 2.2 に示す。

表 2.2 細骨材の物理試験成績

| 種類 | 産地 | 比重 (表乾) | 吸水率 (%) | F.M. | 実積率 (%) |
|----|--------|------------|------------|------|------------|
| 砕砂 | 高知県須崎市 | 2.59 | 2.04 | 2.69 | 66.0 |
| 海砂 | 高知県春野町 | 2.6 | 2.21 | 2.04 | 63.8 |

(3) 高性能 AE 減水剤

高性能 AE 減水剤はポリカルボン酸系のものを使用した。レオビルド SP 8SBs (以下、SP 8SB とする) はポリカルボン酸エーテル系化合物と分子架橋ポリマーの複合体が主成分としている。

2.1.3 モルタル作成

(1) 配合

配合は普通コンクリート用モルタルの配合に近いもので行う為、モルタル中の細骨材容積比を 50% に固定し、細骨材は砕砂と海砂を容積割合で 1 : 1 とした。W/C は 40% で試験を行った。高性能 AE 減水剤添加量は粉体重量に対しての% で計算した。

(2) 練り混ぜ手順

モルタルの練り混ぜ手順は図 2.1 に示す。

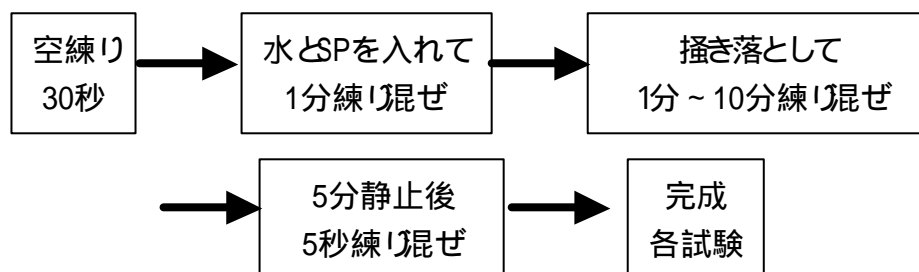


図 2.1 モルタルの練り混ぜ手順

水と SP を入れて 1 分練った後、掻き落としをして 1 ~ 10 分となっているのは練り時間によるモルタルの性状への影響を見るためである。

(3) 実験環境

実験環境は一定にするために気温 20 、湿度 60% に設定した恒温室にて行った。

2.1.4 フレッシュモルタルの性状の確認方法

(1) フロー試験

モルタルの変形性を見るために変形性の指標としてフロー値を相対フロー面積比（以下、 m とする）に以下の式（2.1）を用いて換算した[3]。フロー試験の試験機を図 2.2 に示す。

$$m = (d_1 \cdot d_2 - d_0^2) / d_0^2 \quad (2.1)$$

ただし、

d_0 : フローコーン底面の直径 (100mm)
 d_1 : モルタルフローの最大値 (mm)
 d_2 : d_1 の直角方向のモルタルフロー値 (mm)

相対フロー面積比はフローコーンの底面積に対して広がった割合を表しており、その値が大きいほど変形性が大きくなることを表している。

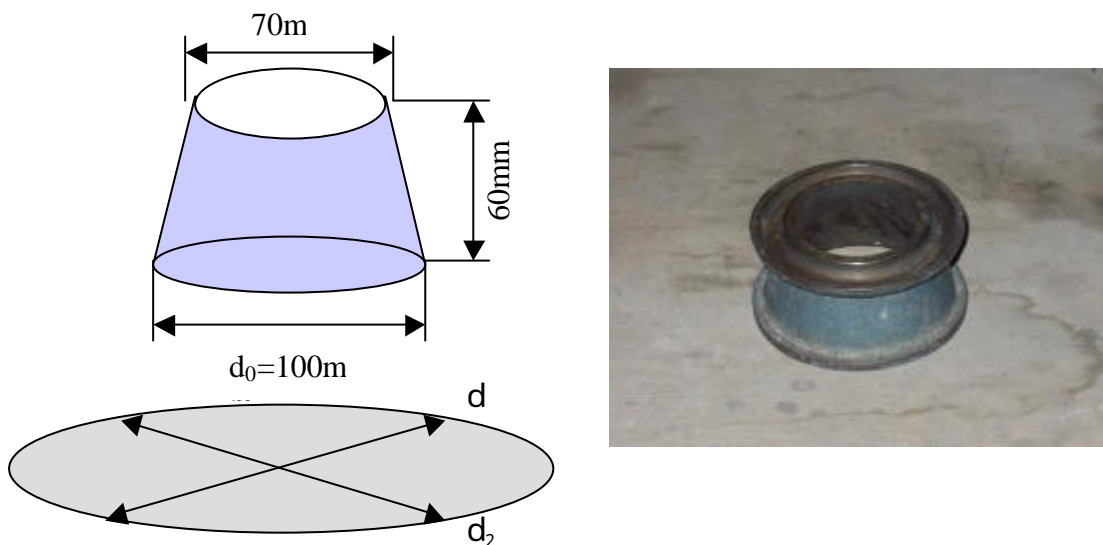


図 2.2 モルタルのフロー試験

(2) ロート試験

モルタルの粘性を見るためにモルタルの粘性を表す指標として V ロート流下時間を相対ロート速度比 (以下、 R_m とする) に序章で示した式 (1.1) を用いて換算した[3]。ロート試験の試験機を図 2.3 に示す。

$$R_m = 10 / t \quad (1.1)$$

ただし、

t : V ロート流下時間 (秒)

相対ロート速度比は 10 秒の流下時間を基準としてその値が大きくなるほど粘性が低くなることを表している。

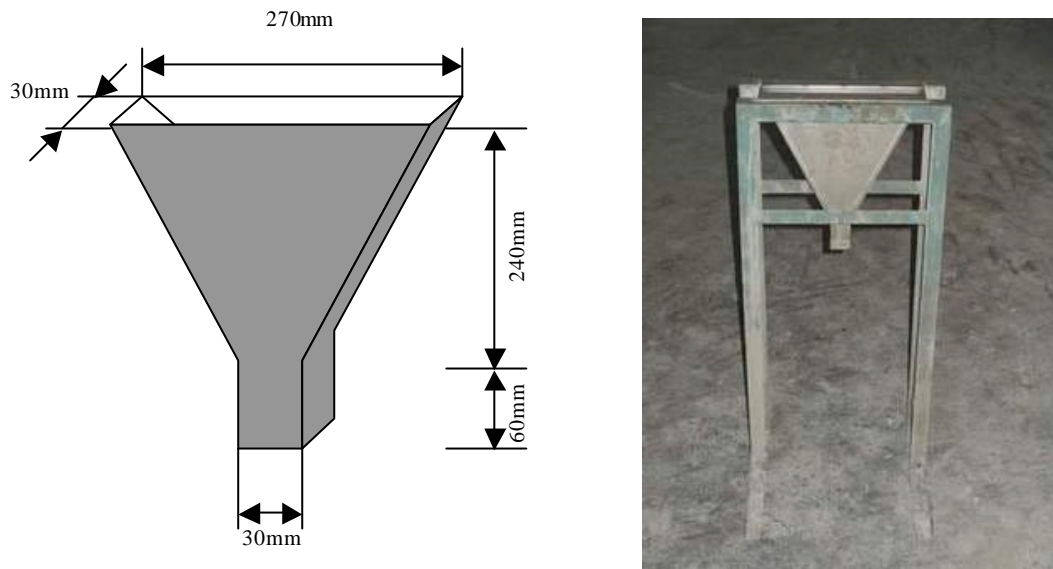


図 2.3 モルタルのロート試験

2.1.5 モルタルのブリージング試験[4]

モルタルのブリージング試験は細骨材の実積率を測定する容器を用いて行った。容器の寸法等は（図 2.4）に示す。試験方法は「コンクリートのブリージング試験方法（JIS A 1123 1997）」を参考にして方法を考案した。

試験方法はブリージングが出やすい状況にするため、モルタルを高さ 50mm ほどまで流し込み、試料と容器が振動しないように水平な床の上に置き、ふたをして、ブリージングを吸い取る時以外は常にふたをしておいた。記録した最初の時間から 60 分の間は 10 分間隔でモルタル上面にしみ出してきた水をスポイトで吸い取った。その後はブリージングが出なくなるまで 30 分毎に測定を行った。また、ブリージングを測定し易くするためにブリージングをスポイトで吸い取る 2 分前に厚さ約 2cm 程の木材を容器の底部片側の下に挟み、容器を振動させないように静かに傾けておき、ブリージングを吸い取った後、すぐにこれを静かに水平に戻した。

ブリージング率を式（2.3）を用いて換算した

$$Br=B / W_s \times 100 \quad (2.3)$$

ただし、

$$W_s=W / M \times S$$

ここに、Br：ブリージング率（％）

B：最終時まで累計したブリージングによる水の質量（kg）

W_s ：試料中の水の質量（kg）

M：モルタル中の単位容積質量（ kg/m^3 ）

W：モルタルの単位水量（ kg/m^3 ）

S：試料の質量（kg）

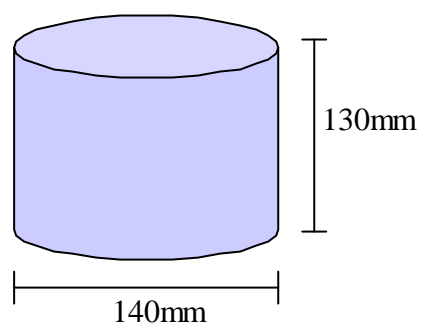


図 2.4 ブリージング試験の容器

2.2 実験結果

同一配合で練混ぜ時間のみを変えたモルタルの試験結果を以下に示す。図 2.5 は練混ぜ時間と相対フロー面積比 m の関係を表したものである。練混ぜ時間と m の関係は練時間の増加に対してある時間までは変化が小さい事がわかった。つまりある程度の時間までは練混ぜ時間による変形性の低下は少ないと言える。また、練り混ぜ時間の延長による m の低下は静置状態での経時変化が促進されたものと見て取れると菅俣らの研究結果で報告されている[5]。

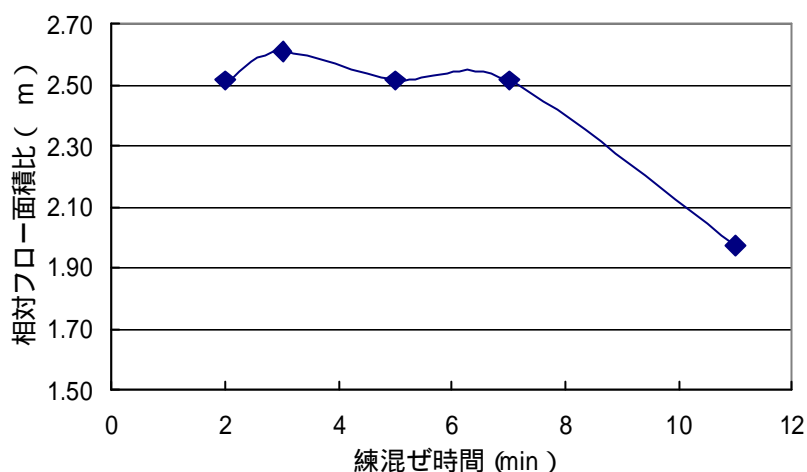


図 2.5 練混ぜ時間と m の関係

次に練混ぜ時間と粘性の指標でもある R_m の関係を示す (図 2.6)。練混ぜ時間と R_m の関係は最初の数分で、練混ぜ時間が増えると R_m が大きくなりその後は練り混ぜ時間による変化は殆んど見られない。これは練混ぜの初期に凝集されていた粒子が練混ぜの継続によって分散化 (ほぐ) されることで単位表面積当たりの高性能 AE 減水剤の吸着量が増加したことで粒子分散効果が大きくなり粒子同士の摩擦が小さくなるためと思われる。しかし、このまま練混ぜを続けるとある時間から水和反応による水和生成物が増加し、セメント粒子の比表面積が増大し単位表面積当たりの高性能 AE 減水剤の吸着量が減少して粒子分散作用が低下する事が報告されている[5]。

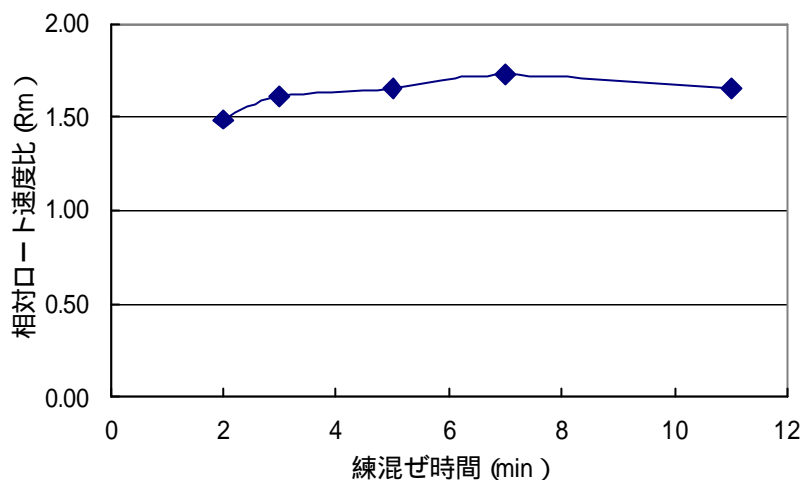


図 2.6 練混ぜ時間と Rm の関係

次に m と R_m の関係を示す。(図 2.7)。 m が練混ぜ時間の経過により値が小さくなっても R_m は低下の度合いが小さい。これは高性能 AE 減水剤の粒子分散効果に変形性へ、水が粘性への影響が大きい為である。これは高性能 AE 減水剤の粒子分散効果がスランプロスの抑制に使用される為、低下度合いが大きくなるのに対して、粘性に寄与する水分の減少度合いが m に比べて小さいためにこのようになったと考えられる。また、同一水セメント容積比で高性能 AE 減水剤の添加量を変化させた場合とほぼ同じ結果を表すことから水と高性能 AE 減水剤の役割を独立して評価できると報告されている[6]。

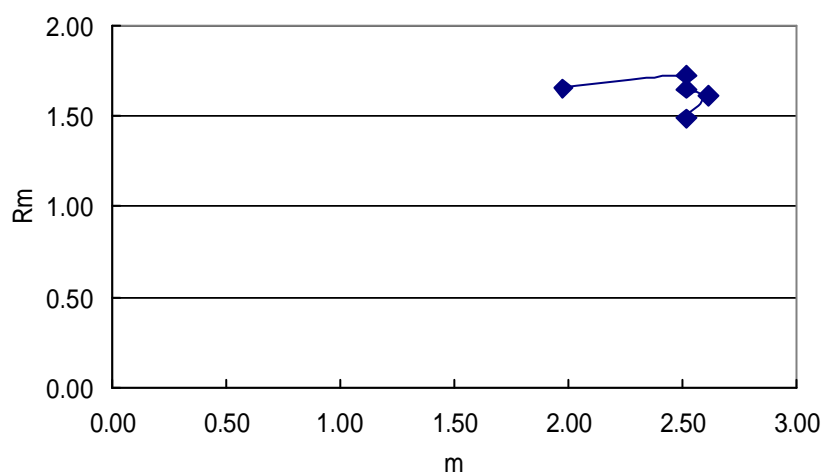


図 2.7 m と R_m の関係

次に練混ぜ時間と高性能 AE 減水剤の粒子分散効果 m/R_m の関係を示す (図 2.8)。図 2.5 と図 2.6 の関係より m の値が R_m の減少度合より大きくなることで m/R_m の値が練混ぜ時間が長くなるほど小さくなっていることより図 2.7 での説明と一致する。すなわち高性能 AE 減水剤の粒子分散効果が低下してきていると言える。

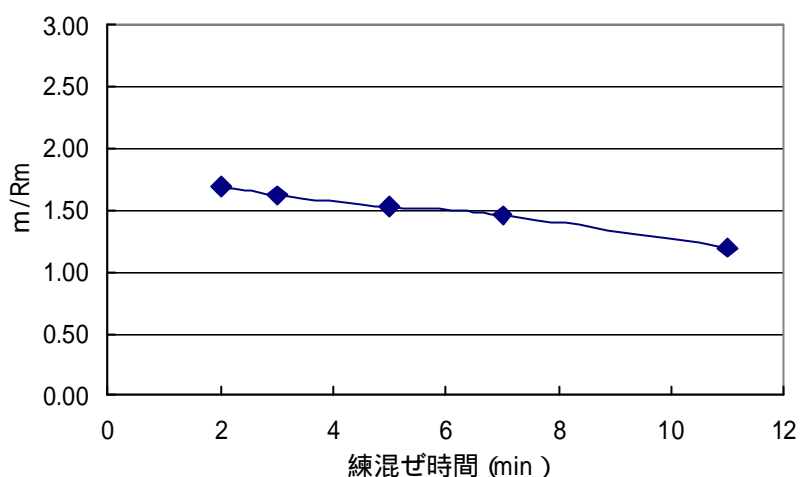


図 2.8 練混ぜ時間と m/R_m の関係

次に練混ぜ時間とブリージング率の関係を示す (図 2.9)。練混ぜ時間とブリージング率の関係は練混ぜ時間が長くなるほどブリージング率は低下した。これは練混ぜ時間を長くすることで初期の段階では凝集されていた粒子が分散化されて粒子に吸着する自由水が増加したためと思われる。また、2分から3分にかけてのブリージング率の減少が大きいのは見た目では骨材が均一に混ざったように見えても十分に混ざっていないためと思われる、初めの2分では自由水の吸着量が少なくなるものと思われる。

次に練混ぜ時間による m と R_m の関係を示す (図 2.10)。練混ぜ時間を延長していくと m のほうは初め、ほぼ横ばいで推移するが、ある時間から値が小さくなるのに対し、 R_m は初めは少し値が大きくなってから横ばいで推移し、 m が下がりだしても値は2分練りの時よりも小さくなっていない。そして先程の図 2.9 と合わせて見てみると練混ぜ時間が長くなってブリージングが減少しているのに、施工性 (粘性) は良くなっていることになる。つまり、ある時間までは練混ぜ時間が長くなると粘性が下がるのにブリージングも減る事が確認された。これは水和生成物の影響が非常に小さい時期でなおかつ粒子の単位表面積あたりに吸着する高性能 AE 減水剤の量が大きくなり、粒子分散効果が大きくなったためと思われる。

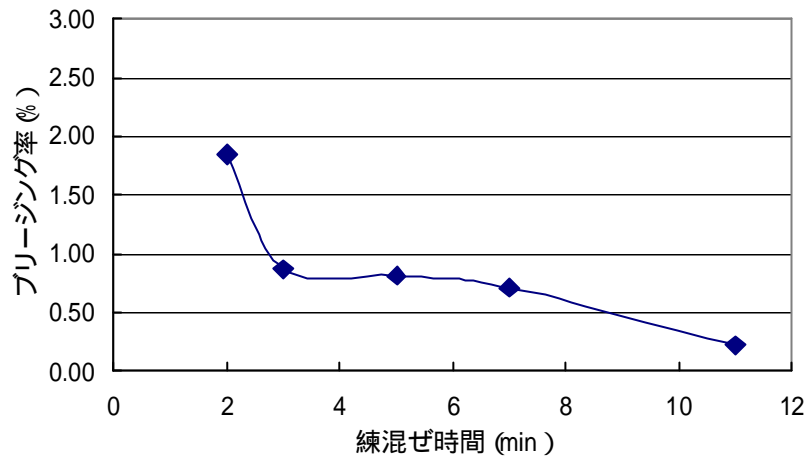


図 2.9 練混ぜ時間とブリージング率の関係

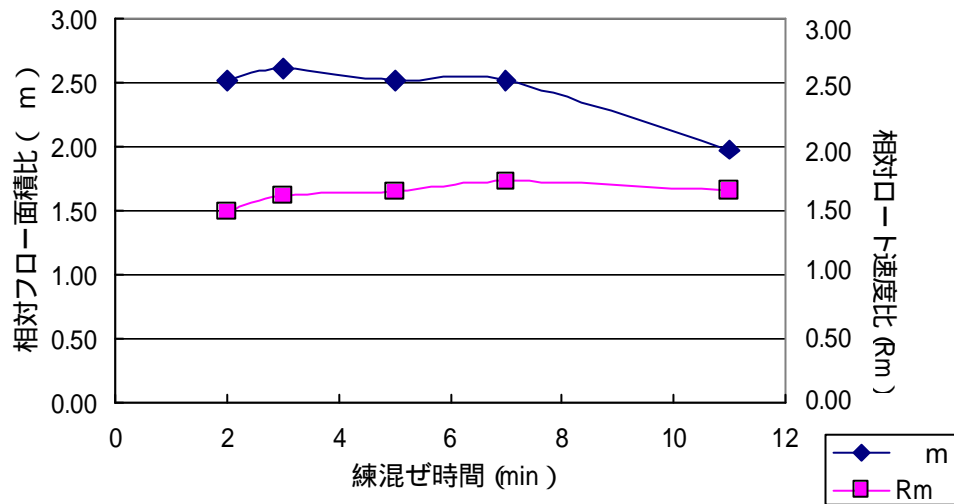


図 2.10 練混ぜ時間による mと Rmの関係

次にブリージング率と m/Rm の関係を示す (図 2.11)。ブリージング率と m/Rm の関係は高性能 AE 減水剤の粒子分散効果が小さくなるとブリージング率も小さくなっている事がわかる。

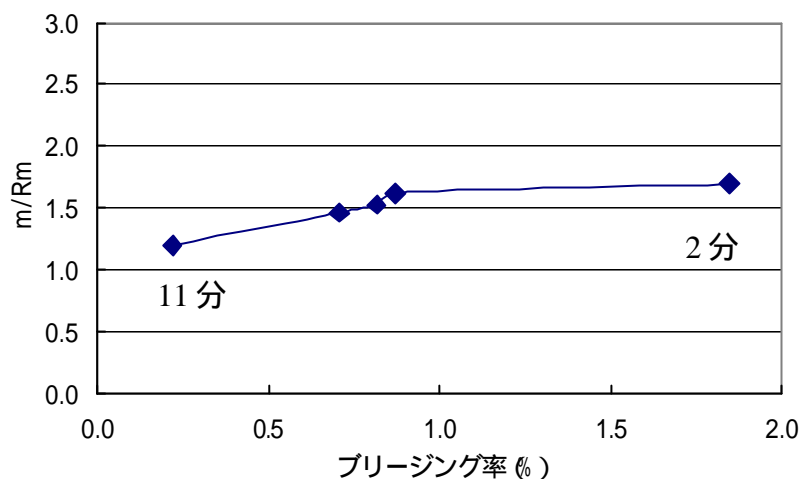


図 2.11 ブリージング率と m/Rm の関係

2.3 まとめ

練混ぜ時間の違いによるモルタルの粘性とブリージングに関する影響について以下のような知見を得た。

- (1) 練混ぜ時間を延長することにより初期段階で凝集していた粒子が分散化されることで自由水、高性能 AE 減水剤共に吸着量が増加する事が確認され、粒子分散効果の相違が原因であるという既往の研究と一致した。
- (2) 練混ぜ時間の延長により自由水がより多く吸着してブリージング率が減少することが確認された。
- (3) 練混ぜ時間をある時間まで延長するとブリージング率が減少するのに粘性も下がることを確認した。これは高性能 AE 減水剤の粒子分散効果が最大になった時にこのような現象になると考察した。

第3章 高性能 AE 減水剤の違いによるモルタルの粘性と

ブリージングの比較

3.1 実験概要

3.1.1 実験目的

実験目的は2章で出た結果に対して3種類の高性能 AE 減水剤を用いてそれぞれのモルタルの粘性とブリージングの測定をし、高性能 AE 減水剤の違いによるモルタルの粘性とブリージングについての比較を行う。

3.1.2 使用材料

使用材料は2章で使用したものと同じ物を使用した。ただし高性能 AE 減水剤は2章で使用した SP 8SB 以外に2種類のものを使用した。レオビルド SP 8SV (以下、SP 8SV とする) はポリカルボン酸エーテル系化合物を主成分としたものでレオビルド SP 8HU (以下、SP 8HU とする) はポリカルボン酸エーテル系化合物にモノマーを結合したものを主成分としている。(表 3.1)

表 3.1 使用 AE 減水剤の成分特徴

| | 主成分 | 分類 | 使用区分 |
|----------|--------------------------------------|----------|--------|
| SP - 8SB | ポリカルボン酸エーテル系化合物と分子間架橋ポリマーの複合体 | ポリカルボン酸系 | 一般～高強度 |
| SP - 8SV | ポリカルボン酸エーテル系化合物 | ポリカルボン酸系 | 一般 |
| SP - 8HU | ポリカルボン酸エーテル系化合物 (従来のポリマーに新たなモノマーを結合) | ポリカルボン酸系 | 超高強度 |

3.1.3 モルタル作成

(2) 配合

配合は2章と同じ配合で行った。W/C は40%と50%で試験を行った。高性能 AE 減水剤添加量は粉体重量に対しての%で計算した。同じ W/C での粘性とブリージングの違いを見るために m を合わせた。

(2) 練り混ぜ手順

モルタルの練り混ぜ手順は図 2.1 に示した方法と同じ方法で行った。

3.1.4 フレッシュモルタルの性状の確認方法

確認方法は2章と同じ方法で行った。

3.1.5 モルタルのブリージング試験

試験方法は2章と同じ方法で行った。

3.2 実験結果

練混ぜ時間と m の関係を図 3.1 に示す。全体的に W/C50% のほうが m の値が下がっているのは高性能 AE 減水剤の添加量が少ないことと水が多いことでセメント粒子間の距離が大きい為に高性能 AE 減水剤の効果が小さいと思われる。W/C40% でそれぞれの高性能 AE 減水剤別に見てみると SP - 8SB は初め少し増加して、その後はある時間までほぼ同じ値で推移している。これは練混ぜを延長することによって凝集していた粒子同士が衝突・破壊を繰り返すことによって分散して粒子に吸着する高性能 AE 減水剤の成分であるポリカルボン酸エーテルの単位表面積あたりの吸着量が増加したものと考えられる [6]。また、SP - 8SV に関してはさらにその作用の他に SP - 8SV に含まれている液相中に残存するマルチオンポリマーのデプレッション効果によるものと思われる [7]。SP - 8HU については分散能力が高く、早い時間で分散するため、練混ぜ時間が延長されると単位面積あたりの吸着量が減少したのではないかと考えられる。また、SP - 8HU は W/C が非常に低い超高強度用であるため、SP - 8HU にとっては W/C40% では粒子間距離が大きいため効果が小さいとも思われる。

次に練混ぜ時間と R_m の関係を図 3.2 に示す。W/C40, 50% 共に練混ぜ時間を延長するとある時間までは増加傾向にある。これは m の増加するのと同じく練混ぜ時間の延長により凝集していた粒子同士が衝突・破壊を繰り返すことで粒子分散効果が増加して静電反発力が大きくなることで粘性が下がったことと、練混ぜの延長によりモルタルの性状が均一になることで流動性が上がったためと思われる。W/C50% では練混ぜ時間 2 分の時には R_m の値にほとんど差が見られないが W/C40% では練混ぜ時間 2 分の時に既に R_m の値に差が見える。また、高性能 AE 減水剤別に見ていくと SP - 8SB は練混ぜ時間による変化はほとんど見られない。SP - 8SV は W/C50% の時、 R_m の値が一番大きくなるのに対して W/C40% になるとその度合いは小さくなっている。これは W/C が小さくなると SP - 8SV は使用区分が一般のために効果が弱まるためと思われる。それとは逆に超高強度コンクリート用の SP - 8HU は W/C が低くなることで粒子間の距離が近づき、効果を発揮しやすくなったため R_m の値が大きくなると考える事ができる。つまり W/C40% では SP - 8HU が一番粘性を下げる事が出来たといえる。

11 分練混ぜた時の W/C と R_m の関係を図 3.3 に示す。この図の傾きから予想すると W/C が更に下がれば R_m の値は使用区分が一般用の SP - 8SV が一

番小さくなり、一般～高強度用の SP - 8SB が真ん中になり、超高強度用の SP - 8HU が一番大きくなり、それぞれの高性能 AE 減水剤の使用区分と粒子分散効果が一致してくるものと思われる。

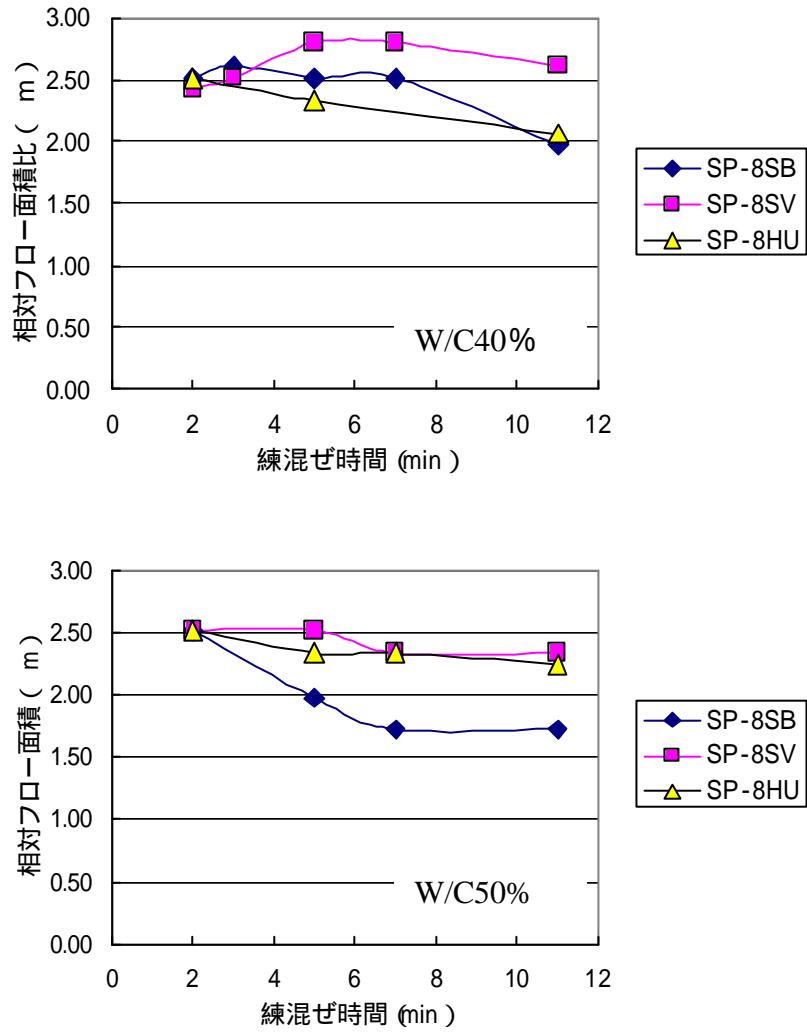


図 3.1 練混ぜ時間と m の関係

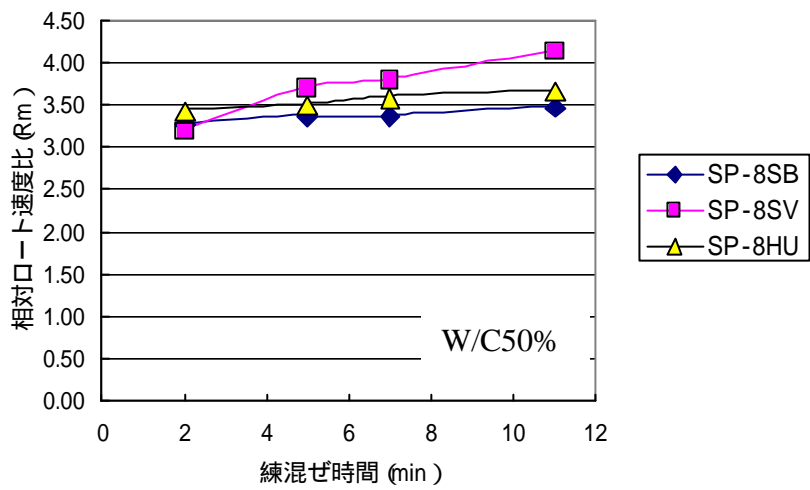
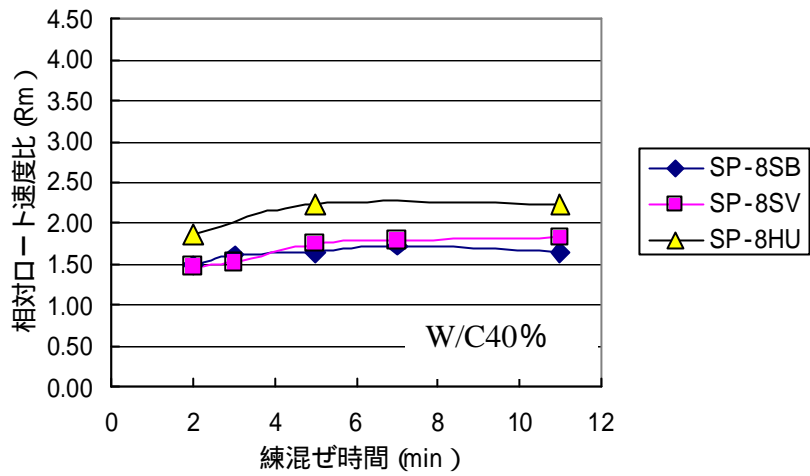


図 3.2 練混ぜ時間と Rm の関係

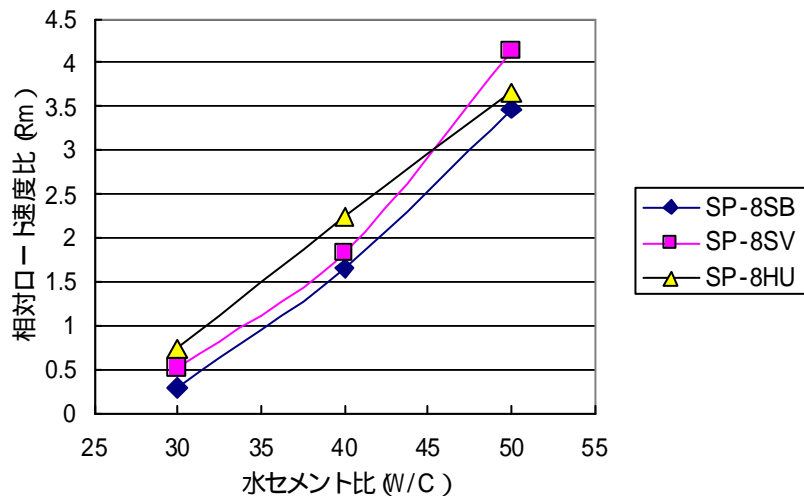


図 3.3 W/C と Rm の関係 (11分練り)

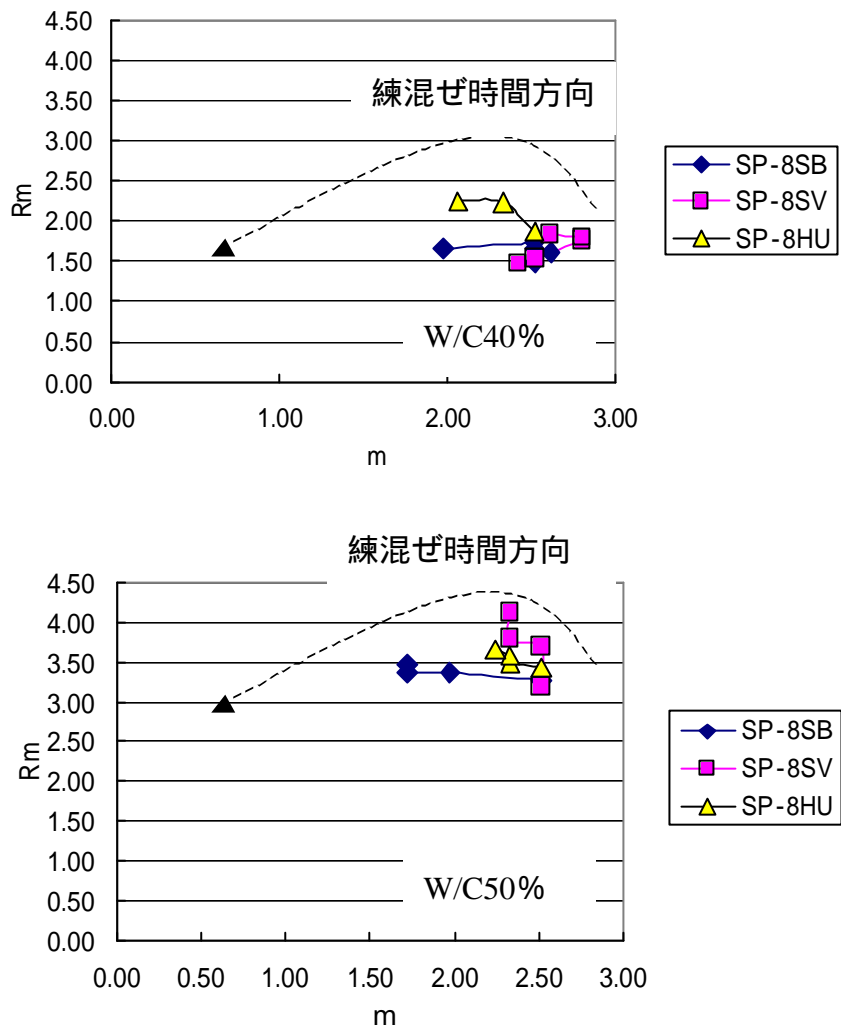


図 3.4 mとRmの関係

次に mとRmの関係を図 3.4に示す。W/C40, 50%共に練混ぜ時間が長くなり、mの値が減少し始めてもRmの低下割合が小さく、高性能AE減水剤の粒子分散効果が弱まって水和生成物のエトリンガイト等の影響が小さく、自由水の減少が小さいうちは凝集エネルギーが弱いのでRmの値の減少割合は小さいと思われる。その中でもSP-8HUはチキソトロピー性に優れている事が報告されていることから他の高性能AE減水剤よりも粘性を下げる事が出来るのだと思われる[8]。

次に練混ぜ時間と m/Rmの関係を図 3.5に示す。W/C40, 50%共に練混ぜ時間の延長により m/Rmの値が小さくなっている事がわかる。これは図 3.4で示したように mの増加割合に対してRmの値の増加割合が大きく、m

の値の減少割合に対して R_m の減少割合が小さいためである。W/C40%での8HU に関しては粘性の低下度合いが一番大きいため、 m/R_m の値が一番小さくなっている。また、 m/R_m は高性能 AE 減水剤の粒子分散効果の指標とされていることから粒子分散効果が下がっても必ずしも粘性が増加することではない事がわかる。

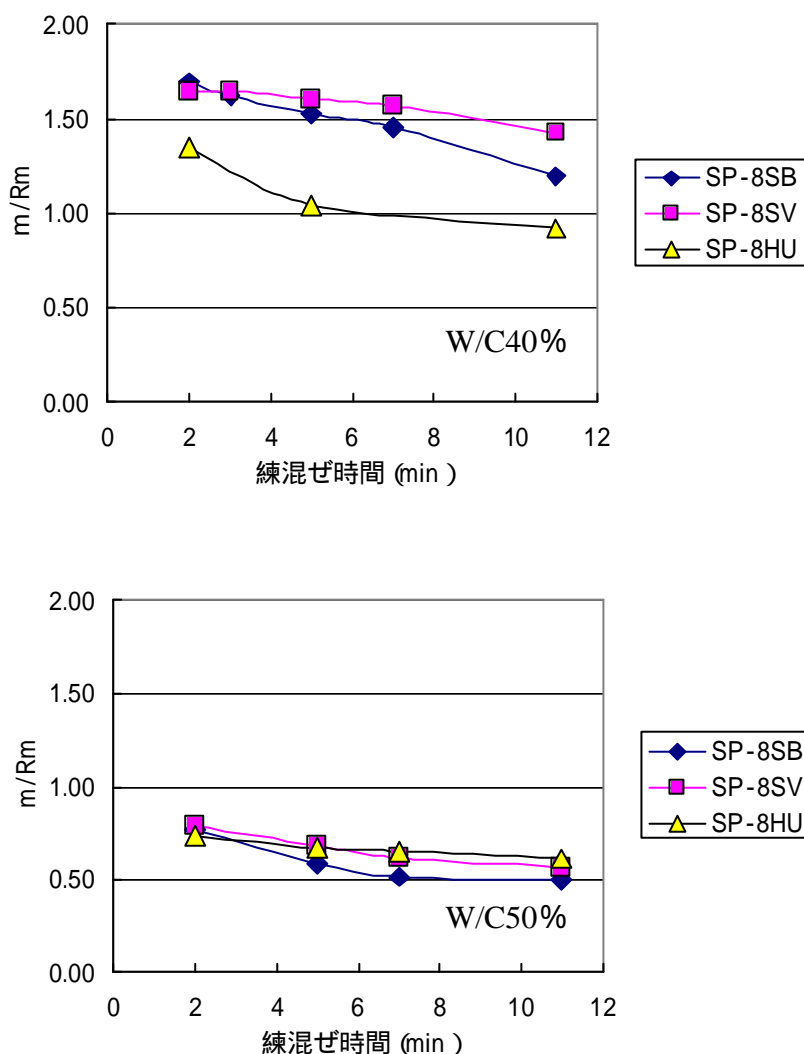


図 3.5 練混ぜ時間と m/R_m の関係

次に練混ぜ時間とブリージングの関係を図 3.6 に示す。W/C40, 50%共に練混ぜ時間を延長するほどブリージング率が減少している。2章でも述べたがこれは練混ぜ時間を長くすることで初期の段階では凝集されていた粒子が分散化されて粒子に吸着する自由水が増加したためと思われる。また、図 3.7 の SP - 8SV の結果より m の低下によりブリージング率が低下しているわけでは

ない事がわかる。そして図 3.8を見ると2章でも述べたようにどの高性能 AE減水剤を使用しても練混ぜ時間を延長することによってある時間帯まではブリージング率が減少しても粘性も減少する事が証明された。そしてSP-8HUは粘性の減少度合いが一番大きいのに関わらず練混ぜ時間11分ではブリージング率が0.33%とほとんど出なくなった。

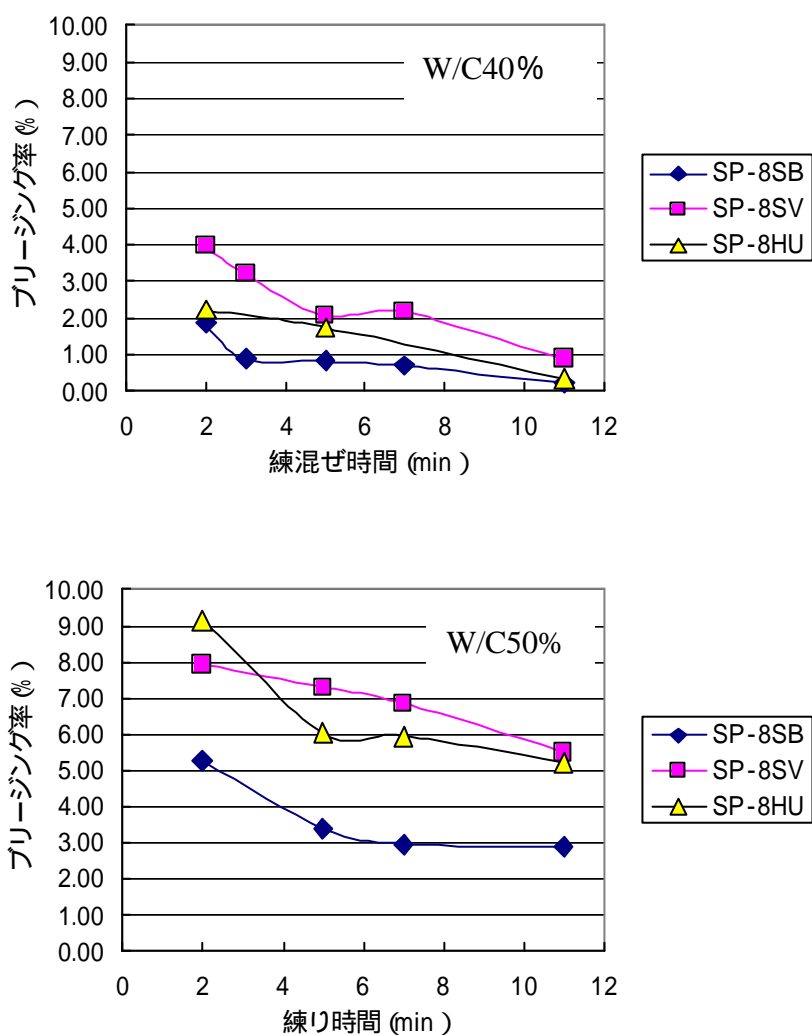


図 3.6 練混ぜ時間とブリージング率の関係

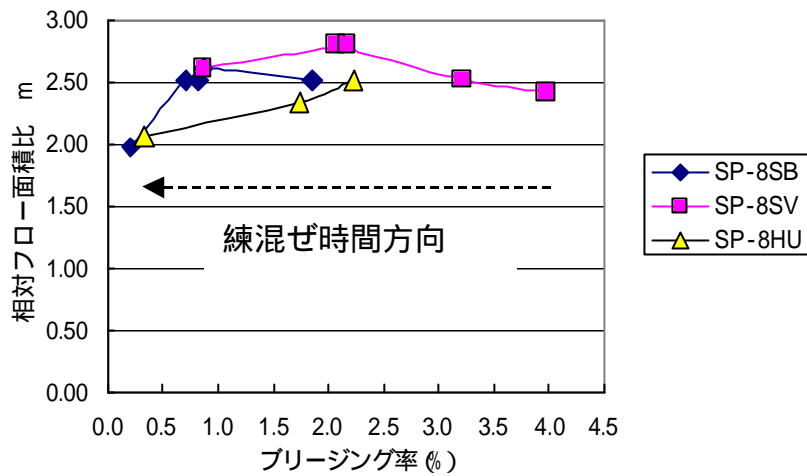


図 3.7 ブリージング率と m の関係 (W/C40%)

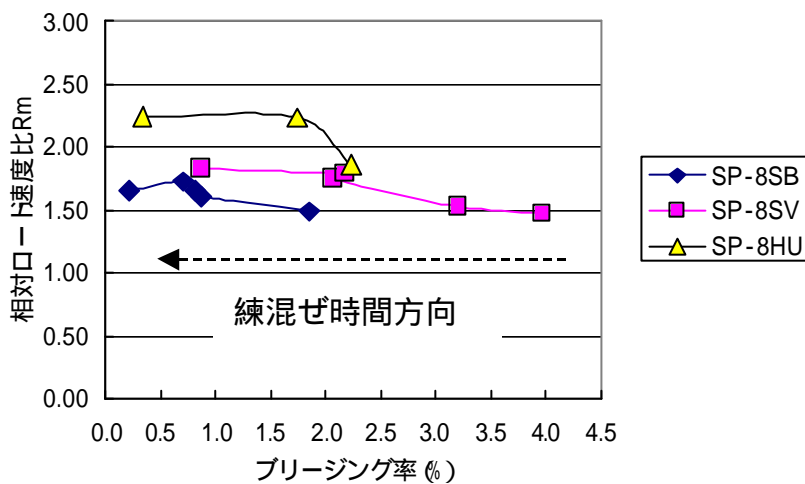


図 3.8 ブリージング率と Rm の関係 (W/C40%)

3.3 まとめ

高性能 AE 減水剤と練混ぜ時間の違いによるモルタルの粘性とブリージングに関する影響について以下のような知見を得た。

- (1) 高性能 AE 減水剤の特性によって粘性の低下度合、ブリージング率の減少度合に差が見られ、中でも超高強度コンクリート用 AE 減水剤の SP-8HU は粘性の低減とブリージングの減少度合が他の高性能 AE 減水剤よりも優れている事がわかった。これは高性能 AE 減水剤の粒子分散作用と、モルタルが変形する際のセメント粒子同士の接触によって生じる摩擦の低減作用が優れている為と考えることができる。

- (2) 図 1.3 で示した W/C40%の時の R_m よりも大きな値でブリージングがほとんど出ないモルタルを作ることが可能になった。すなわち W/C40%で今までよりも締め固めしやすく、ある程度ブリージングを抑制したコンクリートが作れる可能性を示せた。

第4章 結論

本研究では普通コンクリートの材料分離の低減のための低水セメント比化，および施工性向上のための低粘性維持の2つを両立することを目的として行った。以下に結論と今後の課題を述べる。

結論

超高強度コンクリート用の高性能 AE 減水剤の使用により、粘性が低減したと同時にブリージング量も低減した。また、練混ぜ時間を長くすることにより更に粘性を下げ、ブリージングも低減できた。すなわち、低粘性の維持と材料分離の低減の2つを両立させることが可能であることを示した。これは高性能 AE 減水剤、練混ぜ時間とも、セメント粒子をより分散させることにより凝集がほぐれ、分散することでセメント粒子に吸着する水が増えてブリージングが減少したと考察した。また、モルタルが変形する際にセメント粒子同士の接触によって生じる摩擦の低減作用が優れていることも粘性の低減に影響していると考察した。

今後の課題

(1) セメント粒子の分散・凝集状態の確認

セメント粒子の分散・凝集のメカニズムについて今回はあくまでも推測であり、今後、何らかの形でセメント粒子の分散・凝集状態の確認をする必要がある。

(2) 普通ポルトランドセメント以外の粉体を使用した場合の有効性の確認

今回は、使用粉体として普通ポルトランドセメント単体の場合のみしか行っておらず、他の粉体の使用、組み合わせによる有効性の確認が必要である。
(例：セメント+フライアッシュ，低熱セメント，普通セメント+石灰石微粉末，など)

(3) 高性能 AE 減水剤の，粉体粒子凝集分散作用と粉体粒子間反発作用を区別する方法の確立

現段階で粉体粒子間反発作用は m と R_m を指標として使用することにより確認が可能であるが、粉体粒子凝集分散作用は状態を確認する方法が確立されておらず、今後、これを確立することが必要である。

謝辞

本論文を審査していただいた、主査 大内雅博先生（高知工科大学大学院助教授）、副査 島弘先生（高知工科大学大学院工学研究科教授）、副査 藤澤伸光先生（高知工科大学大学院工学研究科教授）に深く感謝いたします。

大内先生には私がコンクリートに興味を持ち始めた頃からいろいろと気にかけて頂き、他の学生よりも早い時期から御指導して頂きました。様々な現場やイベントにもご同行させていただき、一学生としてこれほど恩恵を賜った学生はそういるものでは無いと思っております。また、学部4年の時に、たった一度だけ先生の実験を手伝わせていただいた時の先生の実験する姿勢を見て、実験に対する考え方や心構えを教わった気がいたします。あの時の光景を忘れることはないでしょう。大内先生が初めて担当した学生として上級生のいない環境から長い期間直接御指導して頂いた濃密な時間は私にとって何よりもかけがえのない財産となりました。心より厚く御礼申し上げます。今後とも御指導御鞭撻の程、宜しくお願い致します。

島先生には、セミナーや本論文をまとめるにあたってコース長として忙しい中、時間を割いていただき、知識の乏しい私に叱咤激励しながら基本的な知識から厳しく丁寧に御指導して頂きました。ありがとうございました。就職が決まった時には祝って頂き感激いたしました。今後とも御指導御鞭撻の程、宜しくお願い致します。

藤澤先生には審査だけではなく、セミナー、就職相談等でも様々な場面で御指導して頂きました。ありがとうございました。

岡村甫先生（高知工科大学学長）には本論文をまとめるにあたり、多くの貴重な御助言と御指導を頂きました。大学の学長であり、コンクリートの先生でもある岡村先生の存在は、私がコンクリートの道に進むきっかけを与えてくださいました。また、プライベートでも多くの大変貴重な体験をさせていただき、深く感謝致しております。

実験を行うに際し、上野先生（高知工科大学社会システム工学科助手）には一期生の為、先輩もおらず、右も左もわからなかった私に、実験方法、実験室での心構え等を懇切丁寧に厳しくご指導頂きました。実験方法や様々なことで相談にもものって頂き精神的にも支えてくださいました。実験道具や材料の手配等、円滑に実験を行う為に多くの配慮をして頂き深く感謝致しております。

枝松良展様（住友大阪セメント株式会社）には学部3年でのインターンシップで受け入れて頂いて以来、学術面だけでなく公私にわたり大変お世話になり、

今後も更にお世話になる機会が増えることと思いますが、ご指導ご鞭撻のほど宜しくお願い致します。

菅侯匠様（株式会社エヌエムビー）には研究を行うにあたって様々な高性能 AE 減水剤をご提供して頂き、御助言・御指導をして頂きました。ありがとうございました。

土屋智史様（株式会社コムスエンジニアリング）には私が学部生の頃からご縁があり、上野先生と共に実験室での基本的なことからご指導していただき、本論文を仕上げるにあたって忙しい中、直接多くの貴重な御助言とご指導を頂きました。また、就職が決まった時にも祝杯をあげていただき、プライベートでもいろいろとお世話になりました。勝手ではありますが、一期生であった私にとってはこの業界で唯一「先輩」と言えるかたであると思っております。今後ともよろしくお願い致します。

本論文の研究を行うにあたって研究室のメンバーには多くの協力をして頂きました。深くお礼を申し上げます。特に Supakit Swatekititham 君と Songkram Piyamahant 君とは実験方法を議論したり、知識的な情報提供をして頂いたりして有意義な時間を共有できたことを嬉しく思っています。また、留学生の勉強に対する姿勢はとてもいい刺激となりました。

最後に大学院修士課程に進学することに理解を示し、経済的・精神的な面で支えて頂いた両親・家族の存在にこの場を借りて深い感謝の意を述べたいと思います。

2003 年 1 月 福田道也

参考文献

- [1] 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，技報堂出版，1993，9
- [2] 大内雅博，日比野誠，菅侯匠，岡村甫：自己充填コンクリート用高性能 AE 減水剤の効果の定量評価法コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.355 360，1998
- [3] 大内雅博，枝松良展，菅侯匠：自己充填性を支配するフレッシュモルタルの性状の評価方法と材料特性の定量化への応用，セメント・コンクリート No.640，2000，6
- [4] 土木材料実験指導書，土木学会，平成 11 年改訂版
- [5] 菅侯匠，日比野誠，大内雅博，岡村甫：練混ぜ時における高性能 AE 減水剤の粒子分散効果に関する定量的評価，土木学会論文集 No.634 / V-45，255 267，1999 . 11
- [6] 菅侯匠：セメント粒子の状態変化に着目したポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤の粒子分散作用
- [7] 松尾茂美，菅侯匠，佐藤行平，後藤努，原田健二，山宮浩信：状態改良型高性能 AE 減水剤「レオビルド SP8SV」，「レオビルド SP8RV」について，エヌエムビー研究所報 No.14，2002
- [8] 菅侯匠，杉山知巳，梅沢健一，岡沢智：超高強度コンクリート用高性能 AE 減水剤「レオビルド SP8HU」によるフレッシュ性状改善効果について，エヌエムビー研究所報 No.14，2002