

# 新型高性能AE減水剤による 自己充填コンクリートの固体粒子間摩擦低減

学籍番号：1120334 氏名：森實純也 指導教員：大内雅博  
高知工科大学工学部社会システム工学科

要旨：低い単位セメント量であっても自己充填性を付与することが可能な、増粘剤添加型高性能AE減水剤が開発された。この高性能AE減水剤には、フレッシュコンクリート中の固体粒子間摩擦を低減させる効果がある。この摩擦低減効果を模擬粗骨材によるロート速度低下度合いの比較から明らかにした。さらに、その効果の程度が、同じ粘性を得るために必要な水セメント比の増分に支配されていることが明らかになった。

**Key Words** : 自己充填性, 増粘剤, 圧力伝達特性, 高性能AE減水剤, 摩擦低減, 模擬粗骨材

## 1. はじめに

自己充填コンクリートは、単位セメント（粉体）量を大きくし骨材量を小さくすることで自己充填性を得ている。そのため、コストが高くなるというデメリットも存在する。

近年、増粘成分を添加した新型高性能 AE 減水剤が開発された。この混和剤を用いることにより、普通コンクリートと大差ない配合で自己充填性を付与できると言われている。

本研究の目的は、増粘剤を添加した高性能AE減水剤により、従来の自己充填コンクリートと比較して単位セメント量低減、すなわち骨材量を多くすることが可能であることを明らかにすることである。

## 2. 仮説

### 2.1 既往の研究

本研究にて着目する「固体粒子間摩擦」は、粗骨材とモルタル構成粒子間の相互作用により生じるものである。これは、フレッシュコンクリートが狭い間隙を通過するために変形する際に影響を及ぼす特性である。コンクリートが変形するためにはモルタル相の変形が必要であるが、それと同時に粗骨材どうしの接近が伴う。その際、モルタルに発生する直応力 $\sigma$ がモルタルのせん断変形抵抗 $\tau$ を増加させる(図-1)。その増加度合いが、フレッシュモルタルを構成する粒子の物理的特性、すなわち、セメントや細骨材の物理的特性、細骨材容積比が固体粒子間摩擦に大きな影響を与えることが分かっている。配合上の値で表現すれば、セメント及び細骨材の物理的特性や、細骨材容積比である。

自己充填コンクリートの配合設計では、モルタル中の細骨材容積比を従来のコンクリートよりも少なめにするのは、ここで述べた固体粒子間摩擦を低減するためである。

大内は、この固体粒子間摩擦低減効果をフレッシュモルタルの「圧力伝達特性」の維持と名付けた。フレッシュモルタルには、液体としての特性と固体粒子としての特性が併存している。フレッシュモルタルに生じる直応力によるせん断変形抵抗性の増大の程度が小さいことは、液体としての特性がより強いということである。よって、これを「圧力伝達特性」と定義した。

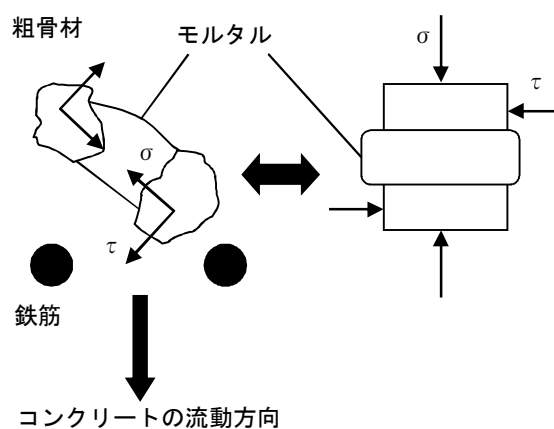


図-1 直応力 $\sigma$ とせん断変形抵抗 $\tau$

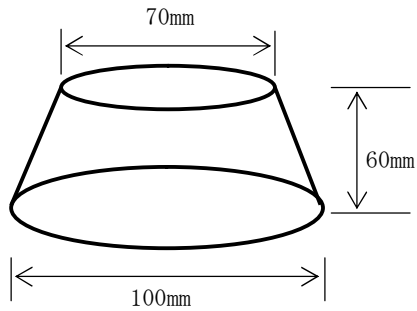
### 2.2 新型高性能AE減水剤の効果と仮説

新型高性能 AE 減水剤を用いれば、普通コンクリートと同じ配合で自己充填性を付与できる。新型高性能 AE 減水剤が従来の高性能 AE 減水剤に比べて異なる点は、増粘剤が一体となっている点である。すなわち、増粘剤の付与により、フレッシュモルタル中の自由水が拘束され、細骨材容積比及び水セメント比が高くても、モルタルの適切な粘性・変形性を保つことが出来る。それ故に、固体粒子間摩擦の低減が可能である。この固体粒子間摩擦低減のメカニズムが、増粘剤の効果であるとの仮説を立てた。

### 3. 変形性、粘性及び圧力伝達特性の試験方法

#### 3.1 変形性の試験方法

変形性とはモルタルまたはペーストが変形可能な量である。フロー試験の結果を利用した指標により表す。フローコーンにモルタルを詰め、振動を与えずにフローの広がり測定し相対フロー面積比( $G_m$ )を変形性の指標とする(図-2)。

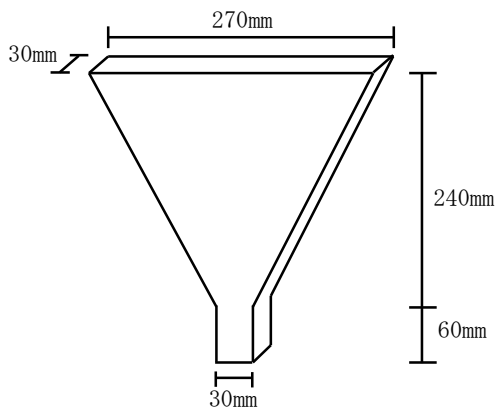


相対フロー面積比： $G_m = (d_1^2 - d_0^2) / d_0^2$   
 $d_1$  = モルタルフローの直径 (mm)  
 $d_0$  = フローコーンの直径 (100mm)

図-2 フローコーンと相対フロー面積比

#### 3.2 粘性の試験方法

粘性とは、モルタルまたはペーストの変形中の状態である。変形速度が大きいほど粘性が小さい。ロートの流下時間を利用した指標により表す(図-3)。Vロートにモルタルを投入し、流下時間を測定し相対ロート速度比 ( $R_m$ ) を粘性の指標とする。



相対ロート速度比： $R_m = 10/t$   
 $t$  = ロート流下時間 (秒)

図-3 ロート試験機と相対ロート速度比

#### 3.3 コンクリートによる自己充填性試験の問題点と本研究で用いたフレッシュモルタルの圧力伝達特性試験

フレッシュモルタルの圧力伝達特性は、粗骨材との相互作用によるものであるため、フレッシュモルタルだけではなくコンクリート試験を行なう必要がある。通常はボックス試験が行われる。しかし、材料・時間共に手間が大きい。また、粗骨材の特性が

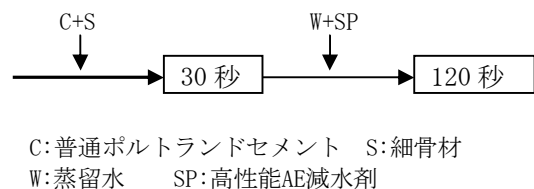
一様でないという問題もある。そこで、模擬粗骨材としてのガラスビーズを用いたロート試験が開発された。

まず、フレッシュモルタルのロート速度 $R_m$ を求める。そして、そのフレッシュモルタルにガラスビーズを混入してロート試験を行う。ビーズ入り相対ロート速度比を $R_{mb}$ とし、 $R_{mb}/R_m$ をフレッシュモルタルの圧力伝達特性の指標とした。 $R_{mb}/R_m$ の値が大きいほど圧力伝達特性が大きい、すなわち粒子間の摩擦が小さいということになる。ビーズの混入率は閉塞の余裕を見込み、モルタル容積(ビーズを含む)の20%に設定した。

#### 3.4 練り混ぜ方法

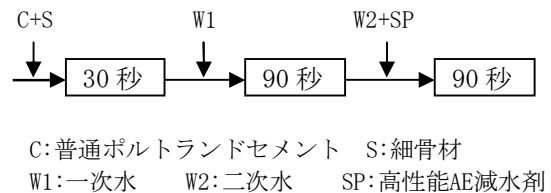
材料の練混ぜにはパドルミキサを用い、練混ぜ速度は低速(自転速度：毎分 $140 \pm 5$ 回転、公転速度：毎分 $62 \pm 5$ 回転)にて行った。本研究での自己充填モルタルの練り混ぜ方法を図-4及び図-5に示す。

本研究では、一括練り混ぜ(120秒)と分割練り混ぜ(180秒)の2通りを設定して行った。ただし、各練り混ぜ方法において共通して空練りを30秒行った。



C: 普通ポルトランドセメント S: 細骨材  
W: 蒸留水 SP: 高性能AE減水剤

図-4 一括練り混ぜ(120秒)



C: 普通ポルトランドセメント S: 細骨材  
W1: 一次水 W2: 二次水 SP: 高性能AE減水剤

図-5 分割練り混ぜ(180秒)

#### 3.5 試験手順

外気温によるフレッシュモルタルの自己充填性への影響を除外するため、室温 $20^\circ\text{C}$ の恒温室内で実験を行った。また、使用材料は予め恒温室内に24時間以上静置した。さらに、実験によるバラツキを明らかにするために、本研究では全ての実験を1種類につき3回行った。実験手順を図-6に示す。

空練りをして水を投入し、ミキサの羽を回し始めた瞬間を0秒とする。20分後にフロー試験を行い、その直後にロート試験を行う。その後、容器の中にビーズを入れ、スプーンで20回かき混ぜ、ビーズ入りロート試験を行う。経時変化による影響を最小にするため、ロート試験機は2台用いる。使用するデータは20分後のデータとする。これは、20分後のデータが比較的安定しているからである。

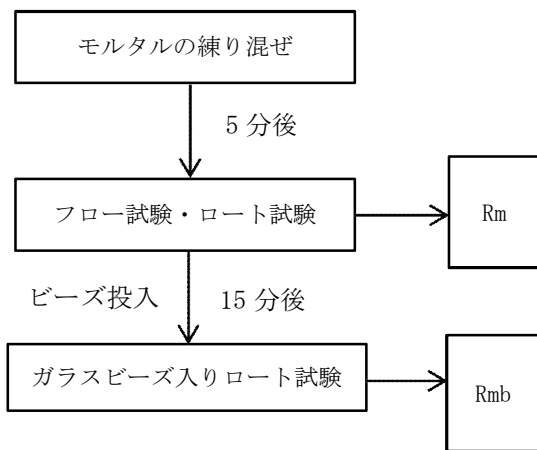


図-6 実験手順

### 3.6 使用材料

使用材料を表-1に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを、細骨材は石灰石砕砂を、模擬粗骨材はガラスビーズを、水は蒸留水を使用した。高性能AE減水剤は新型と比較するために従来型を1種類使用した。種類はポリカルボン酸系である。

ここで、使用するモルタル用ロートの厚さが30mmである。閉塞の危険性を考慮し、ガラスビーズの粒径は15mm以下が望ましいと考えた。そこで、粒径10mmのガラスビーズを使用することとした。

表-1 使用材料

セメント(C)	普通ポルトランドセメント 密度 3.15g/cm <sup>3</sup>
細骨材(S)	石灰石砕砂 密度 2.68g/cm <sup>3</sup> 粗粒率 2.72
模擬粗骨材	ガラスビーズ 直径 10mm 密度 2.55g/cm <sup>3</sup>
新型高性能 AE 減水剤 (SP1)	グレニウム 6550 (ポリカルボン酸系+増粘剤) 密度 1.058 g/cm <sup>3</sup>
従来型高性能 AE 減水剤 (SP2)	レオビルド 8RV (ポリカルボン酸系) 密度 1.095 g/cm <sup>3</sup>
水(W)	蒸留水

### 3.7 配合条件

本研究では、約30種類の配合で自己充填モルタルを練った。水セメント比を高くすると、粒子間の距離が広くなり、変形性が増加し、粘性が低下する。細骨材容積比を高くすると、固体粒子間の摩擦が大きくなり、変形性は低下、粘性は増加する。水セメント比及びモルタル中の細骨材容積比は、自己充填コンクリートから普通コンクリートの配合まで変化させ実験を行った。その配合に合わせ、高性能AE減水剤の添加量を調整した。

水セメント比、細骨材容積比、高性能AE減水剤の質量比の配合を表-2に示す。

表-2 配合条件

W/C (%)	s/m (%)	SP/C (%)	高性能 AE 減水剤
30~45	35~50	0.60~2.00	新型 従来型

W/C : 水セメント比 (%)

s/m : モルタル中の細骨材容積比 (%)

SP/C : 高性能AE減水剤の添加量 (%)  
セメントに対する質量比

### 4. ロート試験による圧力伝達特性の比較による仮説の検証

増粘剤添加型高性能AE減水剤による圧力伝達特性維持効果を明らかにするため、従来型高性能AE減水剤を使用したモルタルとの比較を行った。

比較のためには、ガラスビーズを添加しないフレッシュモルタルのロート流下速度Rmをほぼ同じにして、Rmb/Rmの値を比較することとした。

新型高性能AE減水剤の方が、同じRmb/Rmを得るのに必要な水セメント比の値が若干大きくなったものが多かった。これは、増粘剤成分がフレッシュモルタル中の水を自由拘束しているという事実と符合する。

4 ケースの配合について、Rmb/Rm を比較した結果を示す(図-7)。それぞれ、3回ずつ試験を行い、平均値と標準偏差を示した。すべてのケースについてRmb/Rmの平均値は、新型高性能AE減水剤を用いたものの方が高くなった。標準偏差1σの範囲内では、細骨材容積比が高め(50%)で水セメント比が低めのもの(35%または34%)が重なり、新型高性能AE減水剤の効果が見えにくい結果となった。

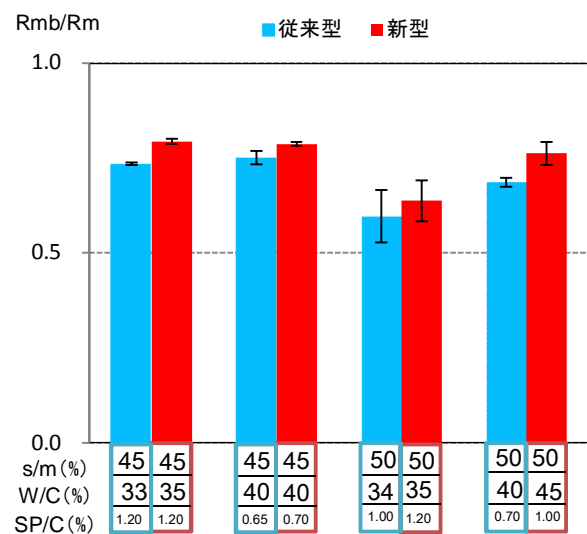


図-7. 粘性を同一にした場合のRmb/Rmの値

エラーバーが重なっている配合では、新型高性能 AE 減水剤が圧力伝達特性の維持に有利であると明言できない状況である（図-7）。これは、圧力伝達特性が従来の自己充填コンクリート用モルタルのものよりも低い領域になり、差が出にくくなったからであると思われる。ガラスビーズ量を減らすことにより両者を比較して検証した（図-8）。

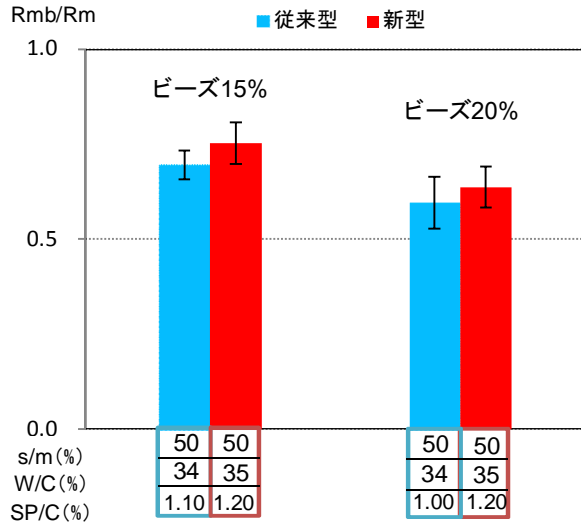


図-8ガラスビーズを減らして比較

## 5. 増粘成分の保水による圧力伝達特性維持効果のメカニズム

新型高性能AE減水剤の効果が自由水の保水によるものであるとすると、増粘成分の保水量が多くなるにしたがい圧力伝達特性の維持効果も大きくなるとの仮説を立てた。新型高性能AE減水剤では同じ粘性を得るのに必要な水の量が多くなる、すなわち、液相の占める割合が多くなることから、その割合が大きいほど圧力伝達特性の維持に有利になるということである。そこで（図-9）に、従来型高性能AE減水剤を用いた場合と比較して、新型高性能AE減水剤を用いた場合の同一のRmにするために必要な水セメント比の増分と、Rmb/Rm増加分との関係を示した。W/Cの増分が大きくなるほどRmb/Rmも増加していることが分かった。

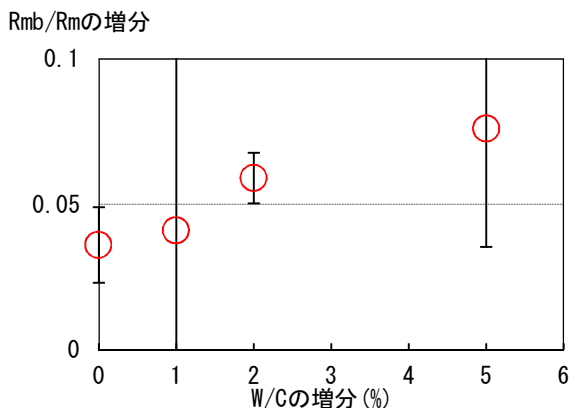


図-9. 同じRmにするために必要なW/Cの増分とRmb/Rmの差

## 6. 結論

本研究の結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 増粘剤を添加した新型高性能AE減水剤では、フレッシュモルタルが同じ粘性を得るのに必要な水セメント比が若干大きくなった。増粘剤の自由水拘束効果と共に、固体粒子によらない粘性付与効果を確認できた。

(2) 増粘剤添加型と従来型で同じ粘性にして比較した場合、模擬粗骨材のロート流下速度の減少分は、増粘剤添加型の方が小さくなった。増粘剤添加型高性能AE減水剤の方が圧力伝達特性が高く維持されていると思われる。

(3) 同じ粘性を付与するのに必要な水セメント比の増分と、圧力伝達特性の維持効果との間には相関がみられた。

## 7. 今後の課題

新型高性能 AE 減水剤による効果が自由水の拘束量（フレッシュモルタルの同じロート流下速度を得るのに必要な水セメント比の増分）に支配されることを検証するため（図-9），増粘成分を増やした新型高性能 AE 減水剤を使用し、本研究と同様の実験を行う必要がある。増粘成分が増加した分、フレッシュモルタル中の自由水拘束分が増加し、これにより圧力伝達特性の維持効果がより大きくなることを検証する予定である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、大内雅博先生、宮地日出夫先生には数多くの御助言・御指導をして頂きました。心より御礼申し上げます。

## 参考文献

- 岡村 甫：新しいコンクリート技術の開発の方向～自己充填コンクリートの開発と実用化（2005年9月）
- 大内雅博・枝松良展・小澤一雅・岡村甫：自己充填コンクリート中の粗骨材・モルタル粒子間相互作用の簡易評価表 コンクリート工学年次論文報告集 Vol21., No. 2, 1999
- 竹村龍一：吸着及び未吸着の高性能AE減水剤のそれぞれが自己充填モルタルの流動性に及ぼす効果 高知工科大学卒業 2011