

# 論文 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

大内 雅博<sup>\*1</sup>・日比野 誠<sup>\*2</sup>・菅俣 匠<sup>\*3</sup>・岡村 甫<sup>\*4</sup>

要旨：高性能 AE 減水剤が粒子を分散させる効果を，フレッシュモルタルの相対フロー面積比とロータ速度の比を指標として，水粉体比の影響とは独立に簡単に定量評価する手法を提案した．本指標と高性能 AE 減水剤添加量との間には直線関係が見出された．添加量と効果の関係を示す直線の切片と傾きとの関係が，使用するセメントの種類によらず，高性能 AE 減水剤の種類のみでほぼ決定されることが分かった．

キーワード：自己充填コンクリート，高性能 AE 減水剤，フレッシュモルタル

## 1. はじめに

自己充填コンクリートのペーストまたはモルタル相に適切な変形性および粘性を付与するためには，高性能 AE 減水剤添加量および水粉体比が適切である必要がある．しかし，高性能 AE 減水剤の作用は，剤自身の特性はもとより，使用する粉体により物理的および化学的な影響も受けるため，使用する材料の組合せによって適切な高性能 AE 減水剤添加量が異なる可能性が大きい．この点が自己充填コンクリートの配合設計を難しくしている要因の一つである．

本研究では，自己充填コンクリートの合理的な配合設計法の確立を目的として，高性能 AE 減水剤が粉体粒子を分散させる効果を，フレッシュモルタルの試験結果から定量評価する指標を提案する．さらに，本指標と高性能 AE 減水剤添加量との関係を，配合設計や材料の定量評価に利用することを目的として定式化するものである．

## 2. 実験の概要

本研究では，自己充填コンクリート用材料として推奨される材料を使用したモルタルについての実験を行うが，材料の特性の違いが及ぼす

影響を考察するために，粉体と高性能 AE 減水剤については，推奨以外の材料も使用した．使用材料を以下に示す．

### 【粉体】

- ・ MPC(中庸熟ポルトランドセメント)：住友大阪社製，比重 3.21，ブレン値 3,370 cm<sup>2</sup>/g
- ・ LPC(低熟ポルトランドセメント)：住友大阪社製，比重 3.24，ブレン値 3,410 cm<sup>2</sup>/g
- ・ OPC(普通ポルトランドセメント)：住友大阪社製，比重 3.14，ブレン値 3,314 cm<sup>2</sup>/g
- ・ FA(フライアッシュ)：電発コールテック社製，比重 2.27，ブレン値 3,120 cm<sup>2</sup>/g

### 【高性能 AE 減水剤】

- ・ SP-A：ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体(ポリカルボン酸系)
- ・ SP-B：ポリカルボン酸系エーテルの複合体(ポリカルボン酸系)
- ・ SP-C：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(ナフタリン系)

【細骨材】富士川産細骨材，表乾比重 2.56，

<sup>\*1</sup> 東京大学助手 大学院工学系研究科 社会基盤工学専攻 博士(工学) (正会員)

<sup>\*2</sup> 東京大学大学院博士課程 工学系研究科 社会基盤工学専攻 工修 (正会員)

<sup>\*3</sup> 東京大学受託研究員 大学院工学系研究科 社会基盤工学専攻 (㈱エヌエムビー) (正会員)

<sup>\*4</sup> 東京大学教授 大学院工学系研究科長 工博 (正会員)

吸水率 2.77, 粗粒率 2.91

練混ぜについては、自己充填コンクリート用モルタルの練混ぜ方法<sup>1)</sup>に準拠した方法により行った。

・ミキサ：JIS-R5201「セメントの物理試験方法」に規定されているミキサ

・練混ぜ量：1.5l

・練混ぜ順序および材料投入順序：

粉体+細骨材を投入し 30 秒練混ぜ、一次水投入後 60 秒練混ぜ、掻落し、60 秒練混ぜの後、二次水+高性能 AE 減水剤を投入し 60 秒練混ぜ、掻落し、60 秒練混ぜる。5 分間静置し 5 秒間の練返しの後、フロー・ロート試験を行う。

### 3. 高性能 AE 減水剤添加量とモルタルの変形性および粘性との関係

高性能 AE 減水剤と水は、共に、その添加によりモルタルまたはペーストの変形性を増大させる働きを有する。これらのうち、水粉体比を増加させることは、粒子数を減少させることにより変形性を増大させるため、粘性の減少を伴う。一方、高性能 AE 減水剤の添加量の増加させることは、粒子数を減少させずに粒子間の分散力のみを増大させるため、粘性はそれほど減少しない。このような高性能減水剤と水の役割の違いを利用することにより、自己充填コンクリートのペーストまたはモルタルでは、高い変形性と適度な粘性を両立させることが可能となっているのである。

著者らは、自己充填コンクリートのモルタル部分の変形性および粘性と、水または高性能 AE 減水剤の役割とをそれぞれ独立に関係づける方法を構築した(図-1)<sup>2) 3)</sup>。変形性については、モルタルフロー値  $d$  から算出される相対フロー面積比  $\Gamma_m (= (d^2 - d_0^2) / d_0^2)$

ただし、 $d_0$  はフローコーンの直径を指標とし、粘性については、モルタル用ロート流下時間  $t$  (秒) から算出される相対ロート速度比  $R_m (= 10/t)$  を指標として表す<sup>1)</sup>。

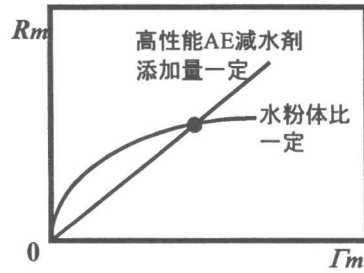


図-1 フレッシュモルタルの水粉体比・高性能 AE 減水剤添加量と変形性・粘性の関係についての独立した定式化

これらのうち、高性能 AE 減水剤については、その添加量が一定の場合、相対フロー面積比  $\Gamma_m$  と相対ロート速度比  $R_m$  との関係が、水粉体比に関わりなくほぼ原点を通る直線で表すことが可能であることを見出した。従って、この直線の傾きが、水粉体比とはほぼ独立な、高性能 AE 減水剤添加量の関数となる(図-2)。自己充填コンクリートの配合設計の際、高性能 AE 減水剤添加量の加減の判断を、一組のモルタルのフロー試験およびロート試験結果を用いることにより、水粉体比とは独立して容易に行うことが可能となった(図-3)<sup>3)</sup>。

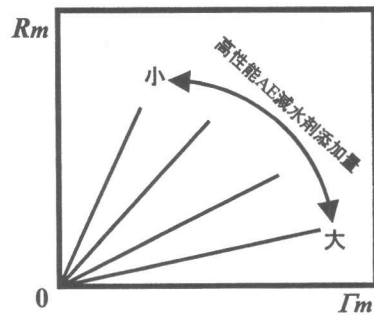


図-2 高性能 AE 減水剤添加量とモルタルの変形性・粘性の関係 [添加量の増加に伴い傾きが小さくなる]

しかし、高性能 AE 減水剤添加量とその効果の関係を実定式化するには至っていないため、適切な変形性および粘性を付与するための高性能

AE 減水剤添加量を定量的かつ効率的に推定することが困難となっていた。

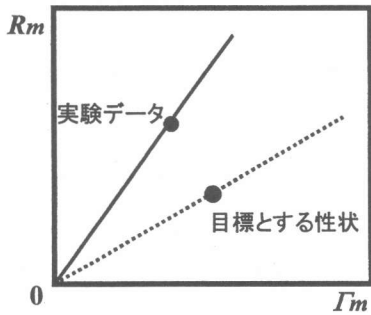


図-3 配合設計(修正)の際の高性能 AE 減水剤添加量の加減の判断方法[直線の傾きを比較することにより、水粉体比とは独立に判断可能]

#### 4. 高性能 AE 減水剤の分散効果の定量的指標の定義および添加量との関係の単純化

本研究では、モルタルの相対フロー面積比と相対ロート速度比との比 $\Gamma m/Rm$ を、高性能 AE 減水剤の効果の指標として定義した。本指標が大きいほど、高性能 AE 減水剤の分散効果が大きいことを示す。

一例として、中庸熟セメントを使用したモルタル(細骨材容積比 40%)の、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤の添加量  $Sp/P$ (粉体に対する重量比)と  $\Gamma m/Rm$  との関係を示す(図-4)。

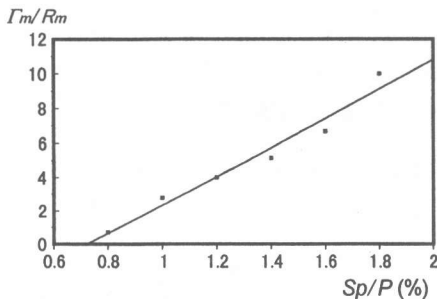


図-4 高性能 AE 減水剤添加量と効果の関係 [MPC+SP-A, 細骨材容積比 40%]

添加量が 0 からある値までは  $\Gamma m/Rm$  がほとんど増加しないが、添加量がある値を超えると

$\Gamma m/Rm$  が増加し始め、しかもその増加量が  $Sp/P$  と直線関係と見なすことが可能であることが分かる。他の種類のセメントまたは高性能 AE 減水剤を使用した場合も、この傾向が認められた。

以下、本研究では、自己充填コンクリート用として一般的に使用される粉体と高性能 AE 減水剤を用いた場合の  $Sp/P$  と  $\Gamma m/Rm$  の関係について、直線部分を  $Sp/P$  軸まで外挿し、その切片の  $Sp/P$  以下における  $\Gamma m/Rm$  を 0 と見なすことを基本とした。本直線を「 $Sp/P$ - $\Gamma m/Rm$  直線」と呼称する。このように単純化することにより、 $Sp/P$  と  $\Gamma m/Rm$  の関係を、粉体粒子の分散に寄与しない量(直線の切片に対応、以下「( $Sp/P$ - $\Gamma m/Rm$  直線)の切片」と呼称)、および添加量の単位増加に対する効果の増分(直線の傾きに対応、以下「( $Sp/P$ - $\Gamma m/Rm$  直線)の傾き」と呼称)とに分けて考察することが可能となる(図-5)。

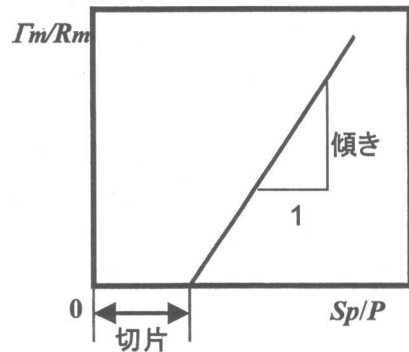


図-5 高性能 AE 減水剤添加量と効果の関係の単純化 [直線を傾きと切片に分けて考察]

$Sp/P$ - $\Gamma m/Rm$  直線の切片の値は、高性能 AE 減水剤の分散効果を顕在化させるのに必要な最小限の添加量を意味する。「選択吸着理論」によれば、セメントへの高性能 AE 減水剤の吸着は最初に間隙質に対して行われ、次いでシリケート質に吸着されることによりはじめて粒子の分散に寄与するとされる<sup>4)</sup>。従って、粉体に存在する間隙質の量の大小が、切片の大小に影響することが予想される。間隙質を有しないフ

ライアッシュの切片は、間隙質を有するセメントの切片よりも小さい事が実験により確認された(図-6). 今後、使用材料の性質と  $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線の切片および傾きとの関係について、定量的に取扱う研究が必要であると考えられる。

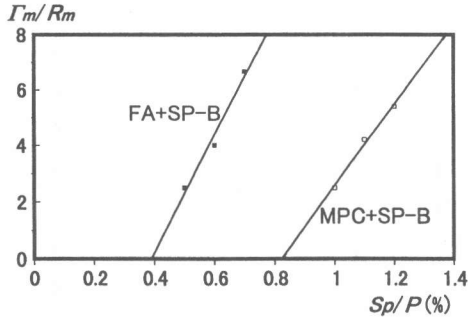


図-6 粉体の間隙質の有無が直線の切片に及ぼす影響 [セメントとフライアッシュの比較]

#### 5. $Sp/P-\Gamma m/Rm$ 直線の切片と傾きとの関係

適切な変形性および粘性を付与するための高性能 AE 減水剤添加量を合理的な推定法を構築する立場からは、 $Sp/P$  と  $\Gamma m/Rm$  の関係を、高性能 AE 減水剤または粉体単独の特性値から予測出来ることが望ましい。高性能 AE 減水剤と粉体の組合せは、各生コンクリート工場毎に異なる可能性が極めて大きいからである。ここで、高性能 AE 減水剤の種類ごとに、各粉体についての  $Sp/P$  と  $\Gamma m/Rm$  の関係に着目する(図-7, 8, 9)。

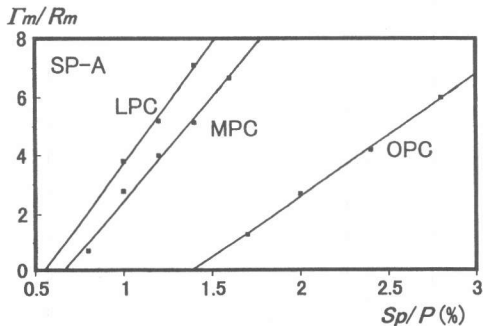


図-7 高性能 AE 減水剤添加量と効果の関係 [各種セメント+SP-A を用いた場合]

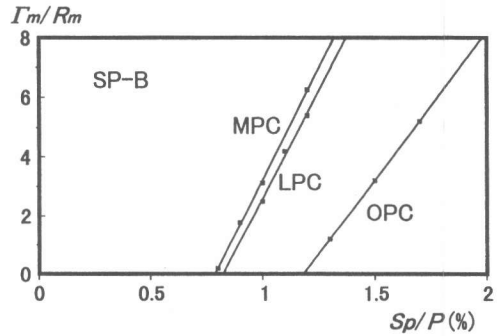


図-8 高性能 AE 減水剤添加量と効果との関係 [各種セメント+SP-B を用いた場合]

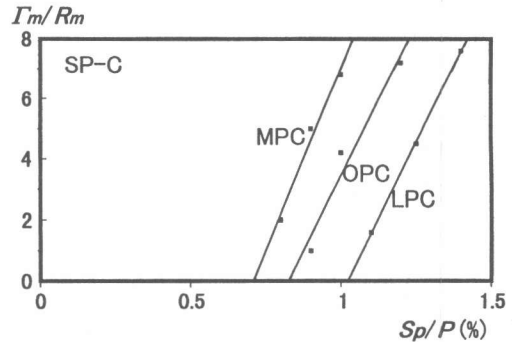


図-9 高性能 AE 減水剤添加量と効果との関係 [各種セメント+SP-C を用いた場合]

使用する粉体が異なれば添加量と効果との関係が異なっていることは明らかであるが、切片が大きくなるに従い傾きが小さくなる傾向が見られた。そこで、高性能 AE 減水剤の種類ごとに「 $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線」の切片と傾きの逆数との関係を整理した(図-10)。

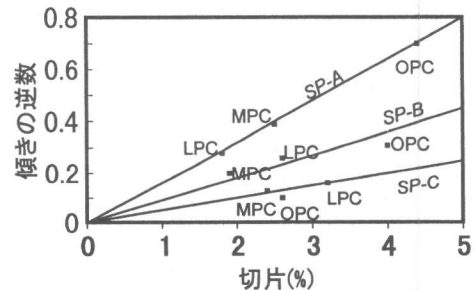


図-10 各高性能 AE 減水剤ごとの  $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線の切片と傾きの逆数の関係 [体積比]

なお、粉体の比重はそれぞれ異なっているため、本図の高性能 AE 減水剤添加量は粉体に対する体積比で示してある。

これらの関係を整理した結果、使用するセメントの種類によらず、高性能減水剤ごとに原点を通る直線を引くことが可能であることが分かった。すなわち、使用する高性能 AE 減水剤が定められると、 $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線について、使用するセメントの種類にかかわらず、

$$(\text{切片}) \times (\text{傾き}) = (\text{一定})$$

の関係が成り立つことになる。従って、この一定値を高性能 AE 減水剤の特性値として定義することが可能となるのである。

本関係は、高性能 AE 減水剤の分散作用が顕在化する最小の添加量 ( $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線の切片) が大きいほど、その後の分散作用の単位あたりの増大に必要な添加量 ( $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線の傾きの逆数) も最小添加量に比例して大きくなることを意味する (図-11)。

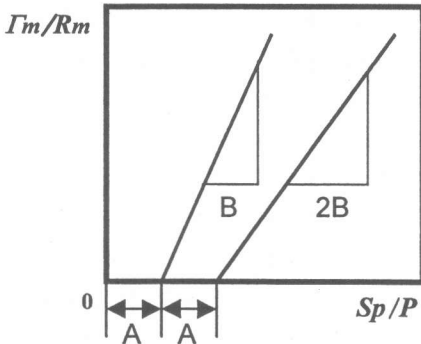


図-11  $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線の切片の増加に伴い同じ割合で傾きが減少する [同じ種類の高性能 AE 減水剤を用い、セメントの種類のみ異なる場合]

なお、使用する粉体ごとに共通する、 $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線の切片と傾きの関係は認められなかった (図-7, 8, 9 参照)。  $Sp/P$  と  $\Gamma m/Rm$  の関係は、高性能減水剤の特性のみならず粉体の特

性にも影響される。今後は、高性能 AE 減水剤の分散効果の観点からの、粉体の成分の評価法を構築する必要があるものと思われる。

## 6. 細骨材容積比の影響

モルタル中の細骨材容積比を変化させた際の、 $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線の切片と傾きの関係の例を示す (図-12)。細骨材容積比 0% (ペースト) から適正值より多めの 50% の範囲では、細骨材量の影響はそれほど見られなかった。

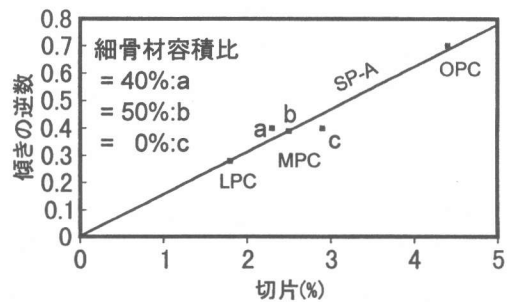


図-12 細骨材容積比が  $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線の切片・傾きの逆数 (体積比) の関係に及ぼす影響 [特記以外は細骨材容積比 40% のモルタル]

## 7. 配合設計への適用

$Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線の切片と傾きの積がセメントの種類に依存せず、高性能 AE 減水剤の種類によってほぼ定めることが可能となる性質を用いることにより、自己充填コンクリートの配合設計を合理化することが可能となる。すなわち、一組のモルタルフロー・ロート試験結果から、 $Sp/P$  と  $\Gamma m/Rm$  の関係を容易に推定することが可能となるのである。

予め、適当なセメントを用いて高性能 AE 減水剤についてのモルタルのフロー・ロート試験を行い、 $Sp/P-\Gamma m/Rm$  直線の切片と傾きの積を求めておく。その値を用いて、フロー・ロート試験から得られた ( $Sp/P, \Gamma m/Rm$ ) を通る (切片)  $\times$  (傾き) = (一定) の直線を引き (図-13)、自己充填コンクリートとして適切な  $\Gamma m/Rm (= 5/1 = 5)^5$  に対応する高性能 AE 減水剤添加量を

求めることが可能となる。

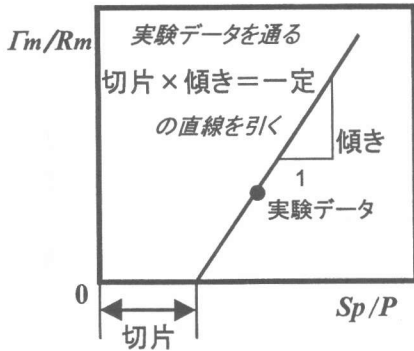


図-13 一組の実験データから  $Sp/P$ - $\Gamma_m/R_m$  直線を求めることが可能[高性能 AE 減水剤の特性値として，切片と傾きの積を予め求めておく]

## 8. 結論

(1) 高性能 AE 減水剤が粒子を分散させる効果の定量的指標として，モルタルの相対フロー面積比と相対ロート速度比の比  $\Gamma_m/R_m$  を用いることを提案した。

(2) 高性能 AE 減水剤添加量と  $\Gamma_m/R_m$  とがほぼ直線関係にあることを見出した。この直線部分を外挿することにより，高性能 AE 減水剤添加量と  $\Gamma_m/R_m$  との関係を単純化し，切片と傾きの二つの値によって定量的に表現することを提案した。

(3) 本直線の切片と傾きの積は，セメントの種類に依存せず，使用する高性能 AE 減水剤の種類のみでほぼ決定されることを見出した。すなわち，粒子の分散に最低限必要な高性能 AE 減水剤添加量が増大する場合，分散効果の単位増分に必要な高性能 AE 減水剤添加量も同じ割合で増大することを意味する。

(4) 前述の関係を利用することにより，一組のフロー・ロート試験の結果から  $Sp/P$  と  $\Gamma_m/R_m$  の関係が予測可能となることから，高性能 AE 減水剤添加量の合理的な調整方法を提案した。本方法により，自己充填コンクリートの配合設計法のうち，水粉体比と高性能 AE 減水剤添加

量の調整の方法はほぼ完成したとすることが出来る。なお，高性能 AE 減水剤の供給の際に  $Sp/P$ - $\Gamma_m/R_m$  直線の切片と傾きの積を情報として提供することが，各生コンクリート工場での配合設計時の手間を軽減させることに貢献するものと思われる。

(5) 今後は，粉体や高性能 AE 減水剤の特性を， $Sp/P$ - $\Gamma_m/R_m$  直線の切片と傾きに関連付ける研究および材料の評価法についての研究が必要であると考えられる。また，温度，練混ぜ方法や経過時間が高性能 AE 減水剤の効果に及ぼす影響について，本研究で提案した指標を用いて検討する予定である。

## 謝辞

本研究に当たり，建設省土木研究所 小澤一雅主任研究員(前 東京大学助教授)に御指導を頂きました。また，住友大阪セメント(株)セメント・コンクリート研究所 枝松良展氏に御協力頂きました。心より御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1]岡村 甫・前川宏一・小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート，技報堂出版，1993.9
- [2]Ouchi, M., Hibino, M., and Okamura, H.: Effect of Superplasticizer on Self-Compactability of Fresh Concrete, TRB Annual Meeting, Washington, D.C., Jan. 1997.
- [3]大内雅博・日比野 誠・小澤一雅・岡村 甫：自己充填コンクリートモルタルの配合設計法，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.1, pp.19-24, 1997.6
- [4]名和豊春：高ビーライト系セメントの現状，コンクリート工学，Vol.34, No.12, pp.16-25, 1996.12
- [5]小澤一雅，永元直樹：モルタル特性とコンクリートの自己充填性，セメント・コンクリート論文集，セメント協会，No.49, pp.832-837, 1995.12