

広島大学 学生員 笠井 哲郎

広島大学 正会員 田澤 栄一

広島大学 学生員 西岡 直樹

1. まえがき

セメントと水の混練において、水を2度に分けて練り混ぜると、水を1度に加える従来法（SM）に比べて大幅に性質の異なるセメントペーストを製造できることが明らかにされている。この練り混ぜ方法はダブルミキシング（DM）と呼ばれ、これにより生じる効果をDM効果と呼んでいる。また、このDM効果について著者らはすでに、ポリマーを加えた三成分系のDMについて報告している。本研究は、セメントと水の二成分系のDMにさらにコンクリート用混和材として最近注目されているシリカフェームを加えた三成分系のDMで製造したシリカフェームセメントペーストのDM効果について検討したものである。

2. 実験概要

表-1 練り混ぜ方法

SM	: W	$\frac{L:0.5分}{+C+Si}$	$\frac{H:5分}{\text{練り混ぜ}}$	$\frac{H:3分}{\text{混練脱気}}$	排出
DM1	: W1	$\frac{L:0.5分}{+C}$	$\frac{H:3分}{\text{一次練り}}$	+ W2 + Si $\frac{H:2分}{\text{二次練り}}$	$\frac{H:3分}{\text{混練脱気}}$ 排出
DM3	: W1	$\frac{L:0.5分}{+C+Si}$	$\frac{H:3分}{\text{一次練り}}$	+ W2 $\frac{H:2分}{\text{二次練り}}$	$\frac{H:3分}{\text{混練脱気}}$ 排出

セメントは普通ポルトランドセメント（比重：3.16）、シリカフェームはE社製（比重：2.19；平均粒径：0.142 μm ）を用いた。配合は水結合材比 $W/(C+Si) = 40\%$ 、シリカフェーム置換率 $Si/(C+Si) = 10\%$ 、20%である。練り混ぜには20ℓのホバート型モルタルミキサーを使用し、表-1に示す方法で練り混ぜ

C：セメント，Si：シリカフェーム，W：水，W1：一次水，W2：二次水
—：モルタルミキサーによる練り混ぜ，………：真空ミキサーによる練り混ぜ

を行なった。ミキサーの攪拌翼の回転数は低速100rpm、高速200rpmである。また、双腕形ニーダ型真空ミキサーを使用し空気の混入を極力少なくした。真空ミキサーの回転数は62rpm、真空度は5mmHgである。ここでDM1とはダブルミキシングの際にシリカフェームを二次練り混ぜ時に加える場合、DM3とはダブルミキシングの際にシリカフェームを一次練り混ぜ時に加える場合を意味する。シリカフェーム置換率が10%以上になると、セメントペーストのブリージングはほとんど認められなくなり、ブリージング率の測定は不可能となる。そこで最適一次水率は、一次水率を変化させた時の一次練り混ぜ時の攪拌トルク及び一次練り混ぜ後の単位容積重量の測定から決定し、以下の試験に供した。DM効果の評価のために行なった試験は、各ペーストのセメントの水和度及びペーストの細孔系分布（水銀圧入法）の測定について行なった。なおセメントの水和度の測定は、セメントペーストの硬化収縮量の測定から次式

により算出した。[式] $\text{セメントの水和度} = \frac{\text{硬化収縮量}}{100\% \text{水和時の理論収縮量}} \times 100 (\%)$

3. 実験結果および考察

(1) 最適一次水率の選定

図-1はDM3の場合のシリカフェーム置換率10%について、一次水率を変化させたときの攪拌トルク及び単位容積重量を示したものであるが、攪拌トルク及び単位容積重量が最大となる一次水率が存在しており、この一次水率を最適一次水率とした。他のシリカフェーム置換率においても同様に最適一次水率が存在した。図-2はシリカフェーム置換

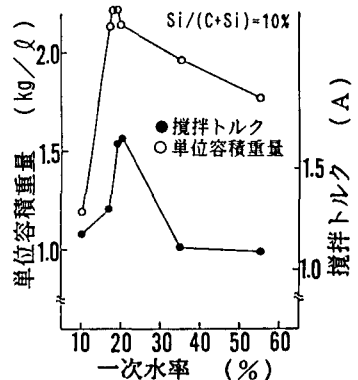
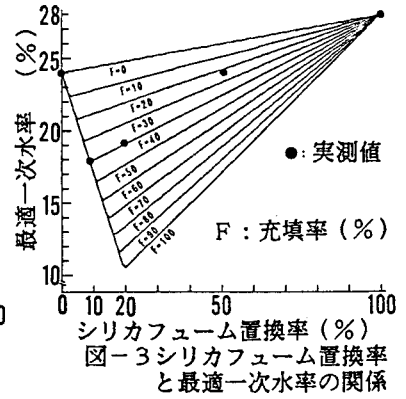
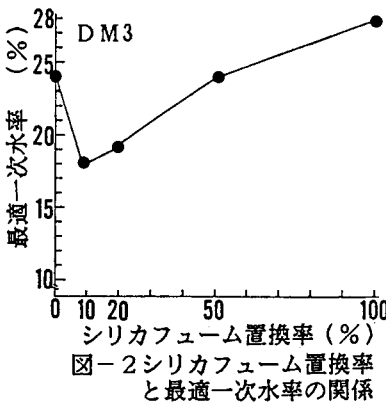


図-1 一次水率と攪拌トルク及び単位容積重量の関係

率と最適一次水率との関係を示したものである。図よりセメントだけまたはシリカフュームだけの場合の最適一次水率はそれぞれ、24%または28%であり、これより最適一次水率の状態でそれぞれの粒子が拘束する水量が一定であるとするなら、シリカフューム置換率が変化しても最適一次水率は24~28%になると考えられる。しかし



シリカフューム置換率10及び20%では、これより大幅に小さい値となる。これはシリカフュームが超微粒子であるため、セメントと同時に練り混ぜとセメント粒子間に充填されるように作用し、その分だけ水量が減少したためと考えられる。そこでセメント粒子間の空隙を充填するシリカフュームの充填率を10%ずつ変化させた時の最適一次水率とシリカフューム置換率の関係を求め図-3に示した。この図において、前図に示した実測値はシリカフュームの充填率が20~40%の間にあり、このことから、最適一次水率の状態ではシリカフューム粒子がセメント粒子間をほぼ20~40%充填した状態で存在していると予想される。またこの値から、DM3における最適一次水率をシリカフューム置換率によらずおおむね選定できる。

(2) セメントの水和度

図-4はシリカフュームを10および20%置換したセメントペーストの水和時間に伴うセメントの水和度を示したものである。図にはSMで製造したブレンペーストの値も同時に示した。図よりシリカフュームの混入によりセメントの水和度は大きくなり、なおかつ、DMで製造することで水和度は一層大きくなっている。これはDMではSMで製造したセメントペーストに見られるような団粒が形成されず、セメント粒子及びシリカフューム粒子が十分分散したためと考えられる。

(3) セメントペーストの細孔系分布

図-5はシリカフュームセメントペーストについて、各練り混ぜにおける細孔系分布(微分曲線)を示したものである。比較のためSMで製造したブレンペーストの細孔系分布も図示した。図において、どの練り混ぜ方法ともブレンペーストより小さい細孔が多く存在している。これはシリカフュームの充填効果によるものと考えられるが、一次練りにシリカフュームを混入するDM3では、他の練り混ぜ方法に比べその効果はより卓越されている。

以上のことより、シリカフュームの混入に際して最適の条件でDMを行なうことにより、セメントの水和の促進及びペースト組織の緻密性の向上から、SMに比べ強度の増加が期待される。

<参考文献>

- 1) 田澤栄一 他: 三成分系(セメント-ポリマー-水)のダブルミキシング効果; 土木学会第41回年次学術講演会講演概要集
- 2) 田澤栄一 他: セメントの硬化収縮と硬化体の内部空隙; 第13回セメントコンクリート研究討論会講演要旨集

