

[32] ダブルミキシングで作製したセメントペーストの諸性質について

正会員 田 沢 栄 一 (大成建設 技術研究所)
 正会員 ○松 岡 康 訓 (大成建設 技術研究所)
 正会員 金 子 誠 二 (大成建設 技術研究所)
 正会員 伊 東 靖 郎 (リブコンエンジニアリング)

1. まえがき

本研究は、SEC工法¹⁾に関する基礎研究の一環としてセメントペーストに着目し、セメントペーストの製造条件の相違が未硬化時のブリージング現象に及ぼす影響を、セメントの種類(活性度、粉末度)、混和剤の種類および混和剤の添加方法を要因として検討したものである。セメントペーストの製造方法としては、SEC工法と同様、水を2回に分割添加、練りまぜる方法を採用した。この方法を以下Double Mixing(DM)とし、これによって生ずる効果をDM効果と定義する。これに対し従来の方法をSingle Mixing(SM)と呼称する。

2. 実験概要

(1) 使用材料 セメントは一般に市販されている普通ポルトランドセメント(ブレン 3240 cm^3/g)、早強ポルトランドセメント(同 4370 cm^3/g)、およびコロイダルセメント(同 6280, 8820 cm^3/g の2種類)を使用した。また、セメントの活性度を变化させるため、混和材料として市販のフライアッシュ(比重 2.16, ブレン 3010 cm^3/g)および高炉水滓スラグ粉末を使用した。混和剤としては2種類のフッ素系界面活性剤(表面張力 37.4, 16.2 dyn/cm)、AE剤、リグニンスルホン酸塩系遅延型減水剤および高性能減水剤として高縮合トリアジン系化合物とポリアルキルアリルスルホン酸塩系の2種類を用いた。

(2) 練りまぜ方法 セメントペーストの練りまぜには、容量15ℓのモルタルミキサーを使用し、練り上がり容量を5ℓとした。練りまぜ方法および練りまぜ時間は次のとおりである。なお、ミキサーの攪拌翼の回転数は、低速123 rpm、高速161 rpmである。

SM ; セメント + 水(W) 低速0.5分、高速2分
 DM ; セメント + 1次水(W₁) 低速0.5分、高速0.5分 + 2次水(W₂) 高速1.5分

(3) 測定項目 測定項目は、練りまぜ時の攪拌トルク、練り上がり後の単位容積重量およびブリージング率である。攪拌トルクの測定には電流計を使用した。単位容積重量の測定は1次練りおよび2次練り終了後の両方の試料について行なった。測定には容重0.4ℓの鉄製容器を用いた。なお、締固めは1次練り後の試料については1 kg の錘りで20回/1層、3層締固めによったが、比較のため10 kg の錘りでも行なった。ブリージングの測定は、土木学会規準「プレバッドコンクリートの注入モルタルのブリージング率および膨脹率試験方法」に準拠した。

3. 実験結果および考察

3.1 セメントペーストのDM効果

普通ポルトランドセメントの場合、図-1および図-2に示すように、1次水投入後の攪拌トルクおよび単位容積重量と W/C との間には明確な極大値が現われる。この極大値は W/C 21%で現われ、セメントペーストの最終的な水セメント比(40~60%)には無関係である。また、2次水投入後のセメントペーストのブリージング率が最小となる W/C は、図-3に示すように、1次水投入後の攪拌トルクおよび単位容積重量が最大となる W/C とほぼ一致しており、その値も最終的な水セメント比の影響を受けない。しかしながら、この W/C 21%以外での W/C の影響は顕著である。つまり、ブリージングは W/C が小さい程鈍感であるのに対し、 W/C が大きくなるに従って鋭角的となり、最小ブリージング率を示す範囲が限定されてくる。この傾向は W/C 14%と35%で顕著である。また、 W/C 7%の場合にブリージングは最大となり、この場合SMの2倍以上のブリージングが生ずる。

普通ポルトランドセメントの場合、ブリージングに関する DM 効果の分岐点が、 W_1/C 7%と 21%の 2 個所であり、ブリージング現象は両極端の結果を示す。この現象は図-4 に示す実験結果からも明らかである。つまり、 W_1/C 7%きざみでセメントペーストを連続的に練っていくと(記号 D. DM)、 W_1/C 14%では DM よりもブリージングが大きくなり、 W_1/C 28%および 35%では W_1/C 21%よりもブリージングは少なくなり、一定値を示すようになる。

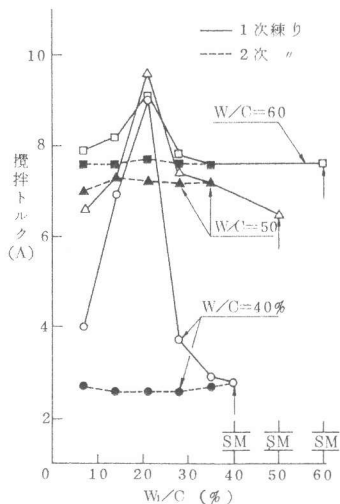


図-1 練りませ時攪拌トルク

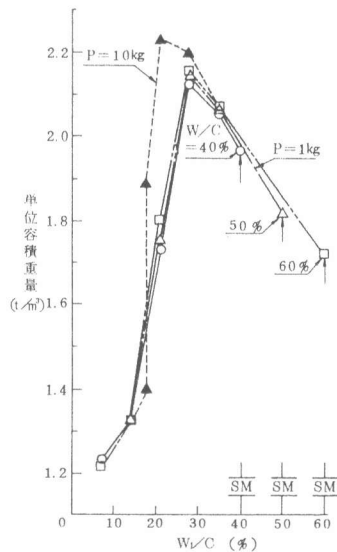


図-2 1次混練終了後の単位容積重量

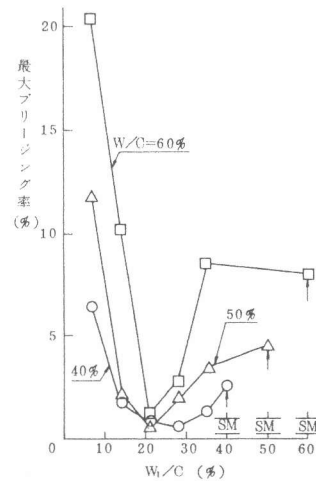


図-3 W_1/C と最大ブリージング率の関係

3.2 セメントの活性度と DM 効果

普通ポルトランドセメントをフライアッシュ (F) および高炉水滓スラグ粉末 (B) で置換することによってセメントの活性度を変え、DM 効果に及ぼす影響を調べた。これらの混和材料で置換したセメントペーストの W_1/C と 2 次混練後の最大ブリージング率の関係をそれぞれ図-5 および図-6 に示す。また、水結合材比 50% の場合のフライアッシュの置換率と最大ブリージング率の関係を図-7 に示す。その結果、フライアッシュで置換した場合の DM の最適条件は、普通ポルトランドセメントの場合と同様 $W_1/(C+F)$ 21% であるが、フライアッシュの置換率が上がるにつれて SM との差が減少しており、DM 効果を期待できる範囲は 30% 程度が上限であると言える。一方、高炉水滓スラグ粉末で置換した場合の DM の最適条件は $W_1/(C+B)$ 28% で、普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュで置換した場合の結果と異なっている。これは、スラグ粉末が親水性であることおよびブレンが大いいためと考えられる。また、置換率が上がっても、 $W_1/(C+B)$ 28% でのブリージング率はほぼ等しい値を示しており、フライアッシュの場合と異なっている。

3.3 セメントの粉末度と DM 効果

早強ポルトランドセメントおよびコロイダルセメントを用いた場合の W_1/C と最大ブリージング率の関係を図-8 に、またブリージングが最小となる W_1/C とセメントの粉末度の関係を図-9 に示す。これらの結果に示すように、DM の最適条件を示す W_1/C はセメントの粉末度に比例している。この現象を解析するため、普通ポルトランドセメント粒子表面の最適濡れ厚さ

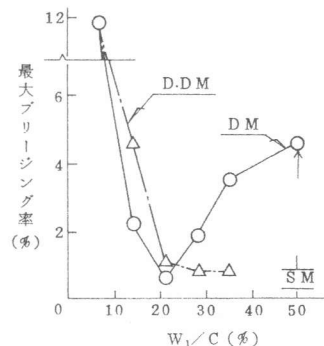


図-4 D. DM 実験結果

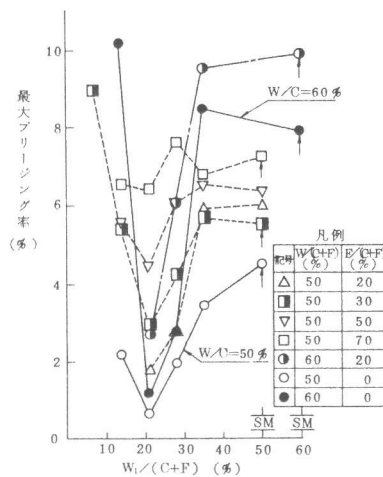


図-5 フライアッシュで置換した混合セメントの $W_1/(C+F)$ と最大ブリージング率の関係

(水膜)が W/C 21%であると仮定し、粉末度の大きいセメントに対してこれと同様な濡れ厚さを確保するために必要な W/C を計算すると、早強ポルトランドセメントは24.4%、コロイダルセメントはそれぞれ29.2%および34.6%となり、図-9に示す実験結果とほぼ一致する。

3.4 混和剤とDM効果

(1) 界面活性剤がDM効果に及ぼす影響

2種類の界面活性剤を用いて練りませ水の表面張力を変化させ、表面張力がセメントペーストのDM効果に及ぼす影響について調べた。 W/C と最大ブリージング率の関係は図-10に示すとおりであり、ブリージングが最小となるのは W/C 21%で、界面活性剤を用いないブレーンの結果と同じである。表面張力が最も小さい S_2 の場合のブリージング曲線は鋭角的であり、 W/C の許容範囲が狭くなっている。

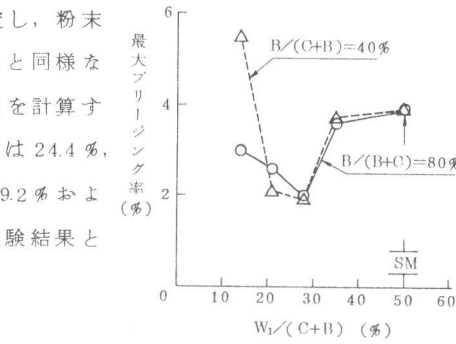


図-6 高炉スラグで置換した混合セメントの最大ブリージング率

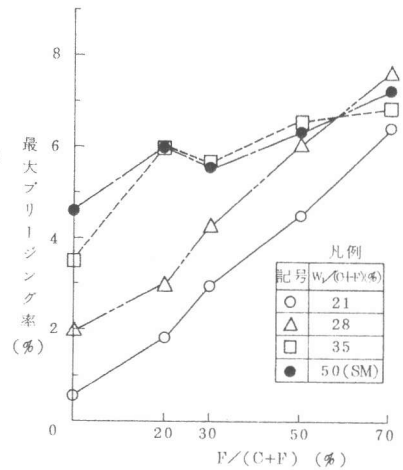


図-7 フライアッシュの置換率と最大ブリージング率の関係

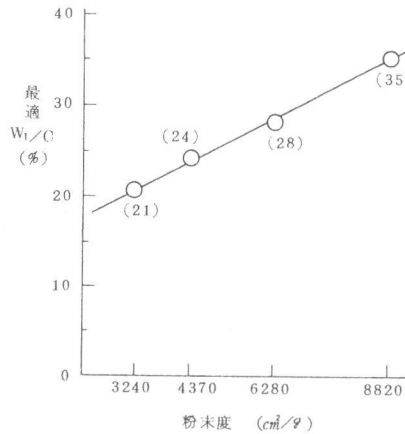


図-9 粉末度と最適 W/C の関係

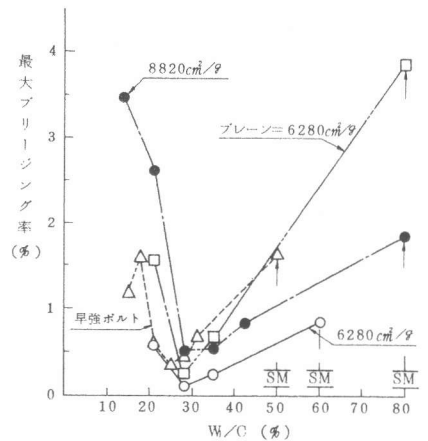


図-8 早強およびコロイダルセメントの最大ブリージング率

図-11は加圧ブリージング試験の結果であるが、 W/C 21%の場合の脱水抵抗性が最も大きく、同7%の場合が最小である。つまり、 W/C 21%

%で作製したセメントペーストの保水性は最も良く、7%の場合が最も悪いと言える。また、この結果は図-10に示す最大ブリージング率の実験結果と一致している。図-12はブレーンおよび界面活性剤を用いた場合の W/C 21%における脱水抵抗性を比較したものであるが、この結果に示すように練りませ水の表面張力が小さくなると脱水抵抗性は若干低下する程度であり、ほとんど差はないと言える。

(2) 混和剤がDM効果に及ぼす影響

図-13はブレーン6280 cm^2/g のコロイダルセメントを用いた場合の実験結果である。この結果に示すように、高性能減水剤を用いた場合のSMブリージング率はブレーンの2.4倍である。これに対し、 W/C 28%の最適DM条件の場合、高性能減水剤を2次水に混ぜて添加することによってブリージング率はM、

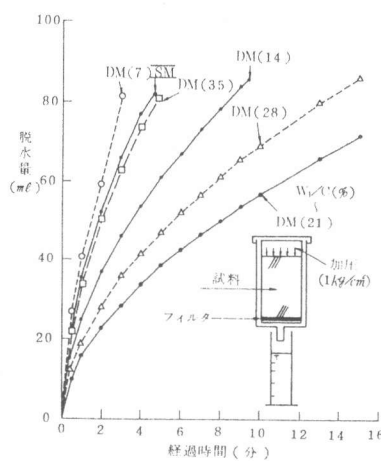


図-11 加圧ブリージング試験結果 (S_2 : 表面張力 16.2)

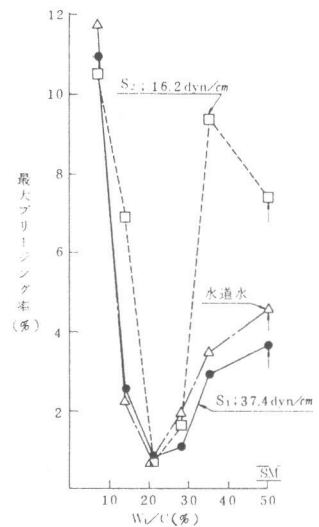


図-10 界面活性剤を用いた場合の最大ブリージング率 (普通ポルト)

で11倍、M₂で20倍となっている。図-14は4種類の混和剤について、種々の添加方法が普通ポルトランドセメントペーストのDM効果に及ぼす影響について調べた実験結果である。水セメント比が小さい40%の場合には、高性能減水剤をどのような方法で添加してもセメントペーストのDM効果は損われないが、水セメント比50%の場合には高性能減水剤および普通の減水剤は大きな影響を受ける。つまり、これらの混和剤を2次水にまぜて添加する場合および後添加する場合、セメントペーストのDM効果は期待できなくなるばかりか、逆に分離を引き起したり、SMよりも悪い結果となる。AE剤の場合には2次水にまぜて添加してもDM効果は損われない。

3.5 考察

水を2回に分割添加すると特性が大巾に異なるセメントペーストが得られることが判明した。この特異な現象の解明には、混練水特に一時混練水の表面張力の影響を考える必要がある。DMでは混練時に水が不連続相になっており、表面張力の効果が顕著にでるものと解せよう。しかし、SMに比較してブリージングを2倍にしたり、 $\frac{1}{8}$ にしたりする効果の実体が何であるのかは、未だはっきりつかめていない。少なくとも原因解明はこれら一連の現象を統一的に説明するものでなければならない。

一次練り終了の段階でセメント粒子表面は+電位、内部は-電位になっている。2次練り時はこのセメント粒子が互いに引き合い、内部に水を持った含水ブロックを形成する。トルクや単位容積重量が最大となるW₁/C 21%の状態は、粘土の塑性限界に対応する。いずれにしても、セメントの種類、粉末度、界面活性剤の影響などの実験結果は、一連のDM効果が界面化学的な理由に基づく現象であることを強く示唆するものである。今後、微視的な立場からさらに検討を進めて行く必要がある。

4. 結 言

セメントに水を2回に分けて加え、練り混ぜることによって、ブリージングの少ないセメントペーストを作ることができる。この場合最適1次水セメント比が存在し、この値はセメントの粉末度によって異なる。また、このブリージングが少なくなるDM効果はセメントの種類によって異なり、混合セメントは普通ポルトランドセメントよりも劣る。本報告で述べた実験事実、いわゆるSEC効果の一面をよく説明する。最後に本研究の実施に際し、種々の御指導と御助言を戴いた東京大学樋口芳朗教授に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 辻正哲：S.E.C.コンクリートの技術開発，第170回建設技術講習会テキスト，昭和56年1月
- 2) H.F.W. Taylor：ポルトランドセメントの水和機構と生成物，セメント技術年報 33 昭和54年 p.21

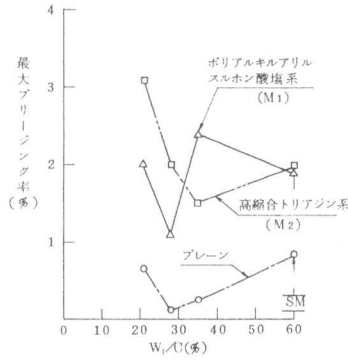


図-13 高性能減水剤がブリージングに及ぼす影響(コロイダルセメント)

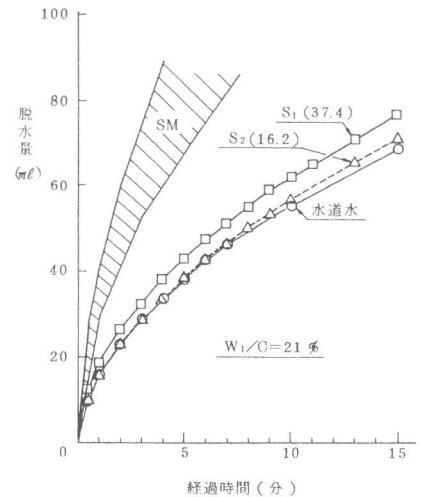


図-12 W₁/C 21%における加圧ブリージング曲線

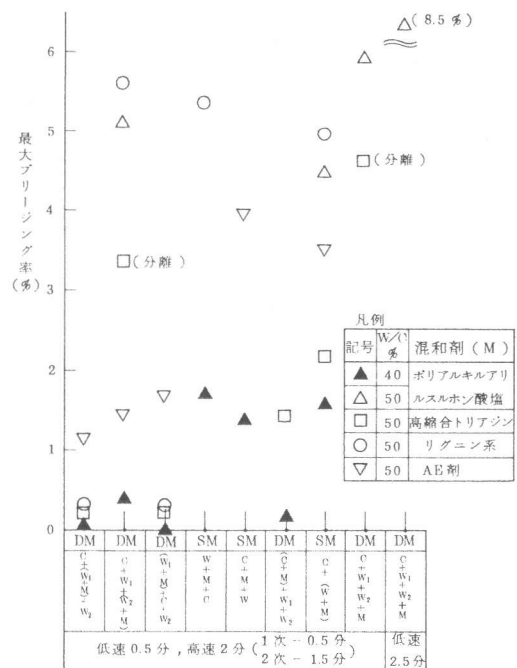


図-14 混和剤の添加方法がセメントペーストのブリージングに及ぼす影響