

異なるセメント粒子の凝集構造がモルタルの水和反応速度及び組織に与える影響

早稲田大学理工学部 正会員 スジョノ、A.S.

早稲田大学理工学部 正会員 関 博

1.はじめに

コンクリート中のセメントの水和反応は単一セメント粒子の水和反応にモデル化にされることが多い。しかし、実際には練混ぜの時にセメント粒子は良く分散しておらず、いくつかのセメント粒子が1つの凝集体を形成している¹⁾。そこで本研究では一括練混ぜ法(SM)及び2種の分割練混ぜ法(DM07及びDM28)を用い、異なるセメント粒子の凝集構造をモルタルに与え、これらの凝集構造がセメント水和反応速度及び水和生成物の組織に与える影響を検討した。

2.実験方法

普通ポルトランドセメント(密度:3.16 g/cm³)及び川砂(密度:2.63 g/cm³, 吸水率:2.07%)を使用し、配合はモルタルのW/C=0.5及び0.8であり、S/Cは1.0とした。一括練混ぜ方法(SM)は、セメント及び細骨材と全ての水を1分間練混ぜた後、容器底に付着したセメントをかき落とし、再度2分間練混ぜる方法である。一方、2種の分割練混ぜ方法(DM07及びDM28)は、セメント及び細骨材と一次水(W₁/C=0.07及び0.28)を1分間練混ぜた後、容器底に付着したセメントをかき落とし、ついで二次水を投入して2分間練混ぜる方法である。供試体の寸法はφ50×100mmの円柱供試体であり、打込み後24時間室内に静置した後に脱型を行い所定材齢までに標準水中養生を施した。

フレッシュの品質の試験はブリーディング試験及びフロー試験とした。水和反応速度に関する試験は結合水量の測定及び示差熱分析(DTA)による生成したCa(OH)₂量の測定とし、水和生成物の組織に関する試験は細孔径分布の測定及び電子顕微鏡による観察とした。また、品質管理を確認するため、圧縮強度試験を行った。測定材齢はそれぞれ1日、7日、28日及び91日である。

3.実験結果及び考察

図1に示すように、ブリーディング率及びフロー値は一次水セメント比(W₁/C)が0.07~0.28で減少しており、その後ブリーディング率はまた徐々に増加しており、フロー値は徐々に減少している。これは、少量の1次水が混入されたことにより、比較的大きなセメント粒子の凝集体が形成されているので、全粒子の比表面積が小さくなり、吸着する非移動水分が減ってフロー値は最大となっており、多量のブリーディングを生じたと思われる。

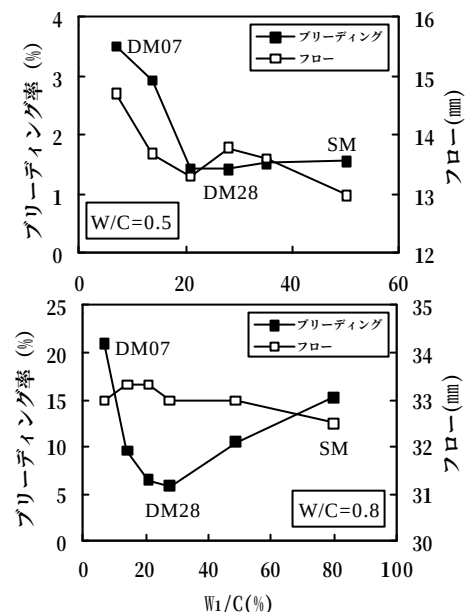


図1 ブリーディング率及びフロー値

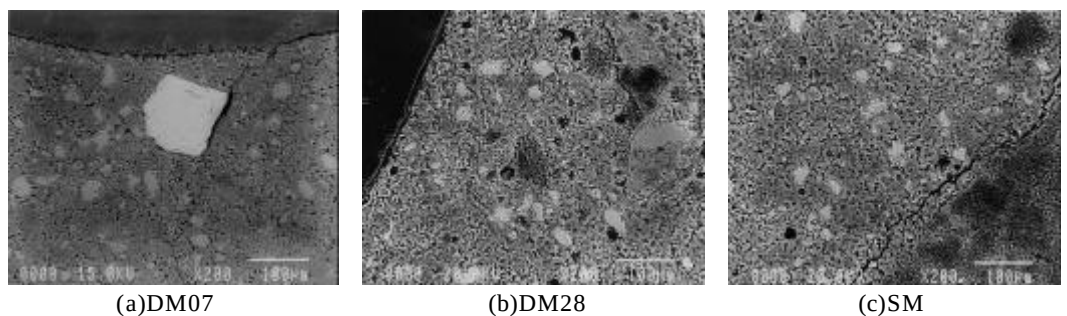


写真1 モルタルの反射電子組成像 (W/C=0.5, 材齢 28 日)

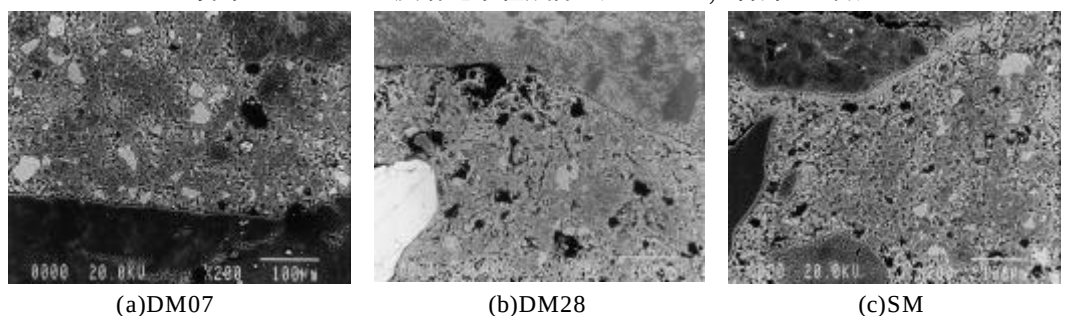


写真2 モルタルの反射電子組成像 (W/C=0.8, 材齢 28 日)

キーワード：凝集構造, ブリーディング率, 水和反応速度, 水和生成物の組織

連絡先：〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 早大理工 51-16-09 Tel 03-5286-3407 Fax 03-3208-8749

そして、1 次水セメント比が増すに従ってブリーディング率も減少していく。これは、1 次水セメント比の増大により、水とセメント粒子が良く混ざり合うようになるため、大きな凝集体を構成しなくなると考えられ、 $W/C=0.28$ 付近で最もバランス良く水とセメント粒子が分配され、吸着する非移動水分も最大となっていると考えられ、ブリーディング率が最小となる。また、200 倍で撮ったモルタルの反射電子組成像を写真 1 及び写真 2 に示す。セメント粒子の未反応部分は DM07, SM, DM28 の順に多くなることがわかる。従って、この結果はブリーディング測定結果と同様な傾向を示し、セメント粒子の凝集構造は DM28, SM, DM07 の順に小さくなる。

結合水量及び $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量の測定結果を図 2 に示す。材齢 7 日まででは DM07, DM28 及び SM の測定結果の相違が明確であるが、長期材齢では測定結果は徐々に近くづいていく。結合水量及び $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量は DM28, SM, DM07 の順に大きくなる。これは、良く分散しているセメント粒子のほうがセメント粒子の接水面積が多いため、セメントの水和反応速度が早くなることによると考えられる。

材齢 28 日でのモルタルの細孔径分を図 3 に示す。 $W/C=0.5$ は、DM28, SM, DM07 の順に細孔径分布が細孔径の小さい方向にシフトすることを示している。これも、より分散された凝集体のほうが、均一な組織を形成すると言える。逆に、 $W/C=0.8$ は、DM07, SM, DM28 の順に細孔径分布が細孔径の小さい方向にシフトすることを示している。これは、より分散された凝集体の吸着する非移動水分が大きくなるため、セメントは全体的に反応しても、充填されない水のスペースが多く残っていることによると考えられる。写真 2 よりこの現象をさらに確認することができた。骨材の周辺 (transition zone) を拡大すると、写真 3 に示すように、特に $W/C=0.8$ の場合、より分散された配合 (DM28) のほうが、骨材の周辺に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及びモノサルフェート水和物が多く存在することがよく確認できた。このことはセメント粒子よりイオンとして練混ぜ水中へ溶出した元素 (Ca, Al イオン) が水と共に骨材の周囲に移動し、骨材表面に形成される水膜に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及びモノサルフェート水和物として析出したことを示すものである²⁾。より分散された凝集体の吸着する非移動水分が大きくなるため、骨材表面に形成される水膜も厚くなり、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及びモノサルフェート水和物の領域も厚くなることがわかる。従って、図 4 示すように、 $W/C=0.8$ モルタルの圧縮強度は DM07, SM, DM28 の順に大きくなる。

4.まとめ
本文の結果より次のことが明らかになったと思われる。
(1) 小さな凝集体を構成させると、比表面積が増し、吸着する非移動水分が増加し、ブリーディング率が減少する。
(2) 小さな凝集体を構成させると、セメント粒子と水の接水面積が増し、より反応性が増加する。
(3) 小さい凝集体を構成させると、細孔構造のより均一な組織を形成し、圧縮強度が増大する。しかし、高い水セメント比の場合は逆な傾向になっている。

4.まとめ

本文の結果より次のことが明らかになったと思われる。

- (1) 小さな凝集体を構成させると、比表面積が増し、吸着する非移動水分が増加し、ブリーディング率が減少する。
- (2) 小さな凝集体を構成させると、セメント粒子と水の接水面積が増し、より反応性が増加する。
- (3) 小さい凝集体を構成させると、細孔構造のより均一な組織を形成し、圧縮強度が増大する。しかし、高い水セメント比の場合は逆な傾向になっている。

参考文献：

1. 加藤佳孝ら：土木学会論文集 No.592/V-39, pp.121-129, 1998
2. 羽原俊祐：コンクリートの構造とその物性, わかりやすいセメント科学, pp.78-104, 1993

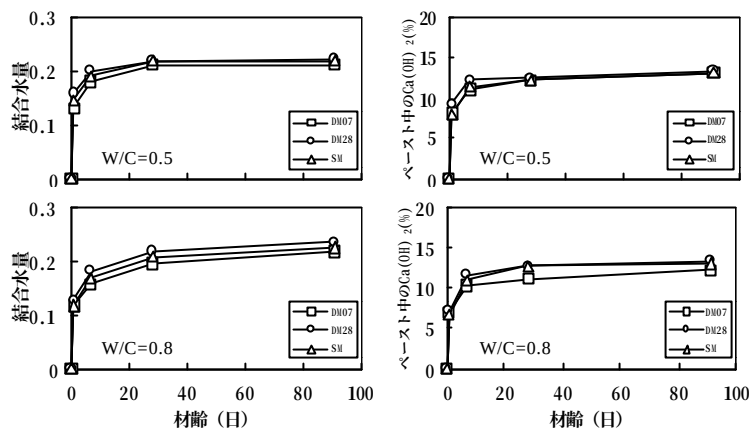


図 2 モルタルの結合水量及び $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量

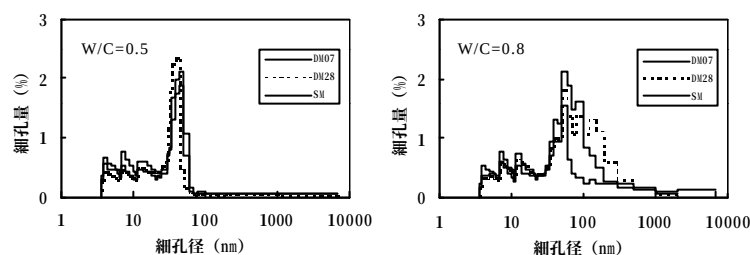


図 3 細孔径分布 (材齢 28 日)

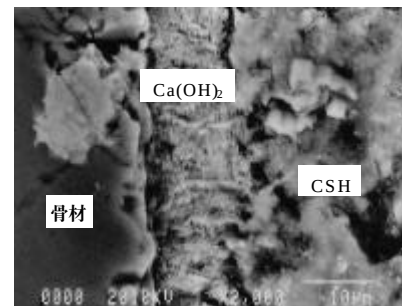


写真 3 骨材の周辺 ($W/C=0.8$, DM28)

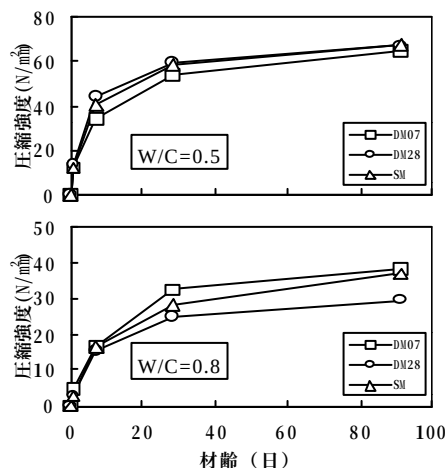


図 4 圧縮強度