

鉱物質混和材を混入したモルタルの毛細管空隙構造の特徴と力学的特性

金沢大学大学院 学生会員 渡辺 暁央
 金沢大学工学部 正会員 五十嵐 心一
 金沢大学工学部 フェロー 川村 満紀

1. 序論

従来コンクリート中の細孔構造の評価においては、水銀圧入法が使用されてきた。しかし水銀圧入法は、強度や耐久性への影響が大きいと考えられる比較的大きな毛細管空隙の特徴を正確に明らかにすることができない。一方、セメントの水和反応過程の定量評価の一手法として提案されたコンクリート研磨面の反射電子像の画像解析法[1]を用いると、粗大な径の毛細管空隙構造の特徴を定量的に把握することが可能となる[2]。

本研究においては、シリカフューム、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末の各種混和材を混入したモルタルの毛細管空隙構造の変化を画像解析法によって明らかにし、これらの混和材が細孔径分布に及ぼす影響について検討した。また比較的大きな径の毛細管空隙量と圧縮強度の関連についても考察を加えた。

2. 実験概要

表-1 モルタルの配合

種類	水結合材比	混和材置換率	結合材：細骨材
ポレン	0.40	0	1 : 2
シリカフューム		10%	
フライアッシュ		15%	
高炉スラグ		30%	

(1)使用材料および配合 セメントは普通ポルトランドセメントを、骨材は石川県手取川産の川砂を使用した。シリカフュームは市販の粉体品であり、その比表面積は $20.0\text{m}^2/\text{g}$ 、 SiO_2 含有量は 90.8%である。フライアッシュは JIS 規格における II 種である。水結合材比は 0.40 であり、シリカフューム、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末の置換率は、それぞれ 10%、15%、30%である。またシリカフュームを混入したモルタルについては、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用した。これらのモルタルの配合を表-1に示す。

(2)圧縮強度試験 JIS R 5201 および JSCE-F506 に従って直径 50mm、高さ 100mm の円柱供試体を作製した。打設後 24 時間にて脱型し、その後所定材齢まで 20°C の水中養生を行った。材齢 1, 3, 7, 28, 91 日において圧縮強度試験を行った。

(3)反射電子像観察 圧縮強度試験に使用したものと同一供試体から所定材齢にて厚さ 10mm、直径 25mm 程度の円盤状試料を切り出した。真空樹脂含浸装置にてエポキシ樹脂を含浸させた後、表面を耐水研磨紙で研磨し、反射電子像観察試料とした。

(4)画像解析方法 観察倍率 500 倍にて反射電子像を取り込んだ。1 画像は 1148×1000 画素からなり、1 画素は倍率 500 倍で約 $0.22\mu\text{m}$ に相当する。取り込んだ画像に対して 2 値化を行ない、毛細管空隙に相当する黒色の画素数をカウントし、1 画素当たりの面積を乗じて毛細管空隙の面積を求めた。その観察画像に対して単位圧さ方向に円筒形であると仮定し、面積割合を体積率に返還し、単位セメントペーストマトリックス体積当たりの空隙の体積として累積細孔径分布曲線を求めた。

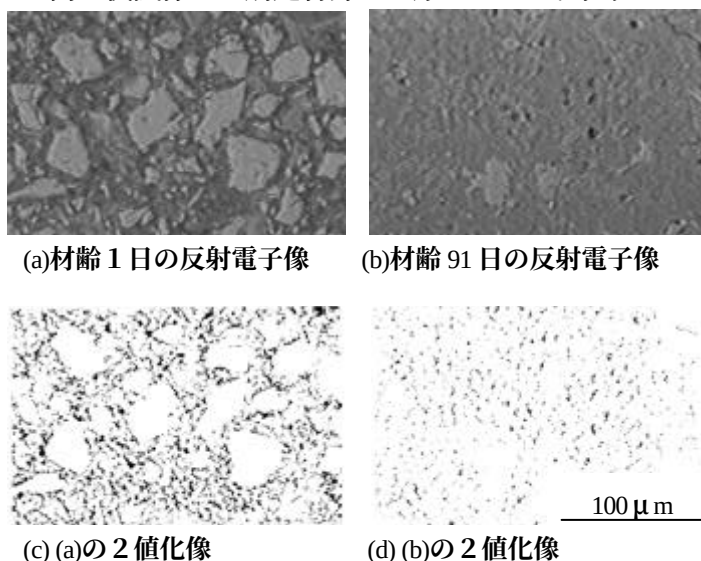


写真-1 モルタル研磨面の反射電子像の 2 値化(プレーン)

キーワード：反射電子像, 画像解析, 毛細管空隙, 細孔径分布

連絡先：工学部土木建設工学科 〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 TEL076-234-4622 Fax076-234-4632

3. 結果および考察

写真-1は粗大な径の毛細管空隙に関する反射電子像の2値化の例を示したものである。反射電子像において見られる白色の部分が未水和セメントであり、灰色の部分が水和生成物、黒色の部分は毛細管空隙に相当する。2値化することにより、材齢1日では連続的な大きな毛細管空隙が存在するが、91日では、それらの粗大毛細管空隙が充填、細分化され、毛細管空隙は分散して存在していることが確かめられる。

図-1は各種混和材を混入したモルタルの細孔径分布の相違を示したものである。予想されるように材齢の進行にともない、毛細管空隙量は大きく減少している。プレーンモルタルを基準に比較すると、シリカフュームを混入しても粗大な径の毛細管空隙量に大きな差異は認められない。フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末混入モルタルは、材齢初期にてプレーンモルタルよりも大きな毛細管空隙量を有し、長期にわたって毛細管空隙量の比較的大きな減少が継続している。しかし、材齢91日においても毛細管空隙量は、混和材無混入モルタルより大きい値を示している。

図-2は圧縮強度と毛細管空隙容積の関係を示したものである。混和材の種類によって異なる傾向を示し、シリカフュームを混入した場合は、毛細管空隙の減少にともなう圧縮強度の増大割合が大きい。フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末混入モルタルは、粗大な径の毛細管空隙量の減少が圧縮強度に与える影響の割合が、プレーン

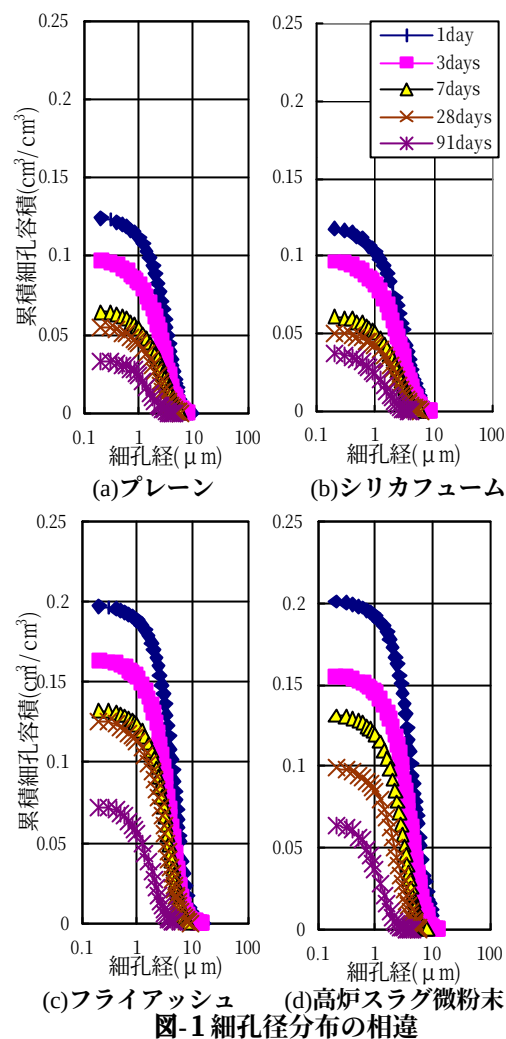


図-1 細孔径分布の相違

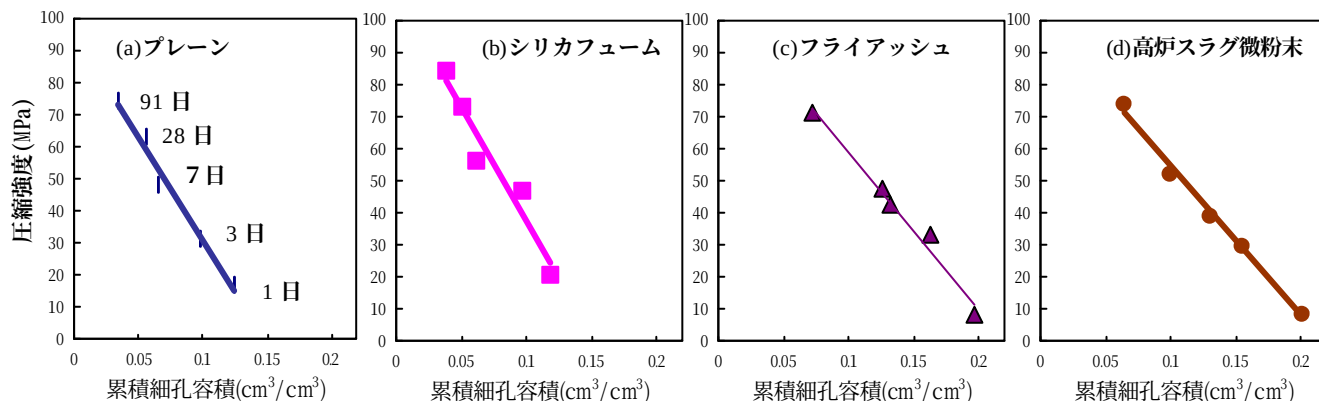


図-2 圧縮強度と毛細管空隙容積の関係

モルタルの場合よりも小さい。このような傾向の相違は、それぞれの混和材による細孔構造形成過程の特徴と圧縮強度発現特性との対応の相違を反映している。例えば材齢91日におけるプレーンモルタルと、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末混入モルタルでは、圧縮強度がほぼ同程度であるが、 $0.2\mu\text{m}$ 以上の毛細管空隙量はプレーンモルタルの方が少ない。すなわちフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末混入モルタルは、限界径($0.2\mu\text{m}$)以下の微小径の細孔よりなる構造が、プレーンモルタルより緻密になっていると考えられる。

4. 結論

毛細管空隙構造と圧縮強度発現特性の対応は混和材の種類により異なり、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末混入モルタルにおける長期強度の発現は、約 $0.2\mu\text{m}$ 以下の細孔組織の緻密化によりもたらされる。

参考文献 [1]Scribener,K.L. et al.: Proc. 6th Int. Conf. on Cement Microscopy, New Mexico, pp.145-155, 1984.

[2]Diamond,S. et al.: MRS Symp. Proc. Vol.370, pp.217-226, 1995.