

鉱物質混和材を混入したセメントペースト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、比較的大きな毛細管空隙の定量評価の一手法として、Scribener & Pratt ら[1]によっ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があり、その有用性が広く認識されている[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セメントペースト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。また比較的大きな毛細管空隙(0.25 μm 以上)の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

(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 m^2/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種であり、その比表面積は 0.345 m^2/g 、 SiO_2 含有量は 70.9%である。高炉スラグ微粉末の比表面積は 0.421 m^2/g 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セメントペーストについては、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用した。これらのセメントペーストの配合を表-1 に示す。

表-1 セメントペーストの配合

種類	水結合材比	混和材置換率
プレーン	0.40	0
シリカフューム		10%
フライアッシュ		15%
高炉スラグ		30%

(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℃の水中養生を行った。全ての供試体に対して材齢 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 (2)に記述したのと同様にして作製して、養生を行った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。円盤状試料をエタノールに 24 時間以上浸漬して水分との置換を行った後、真空樹脂含浸装置を使用してエポキシ樹脂を含浸させた。樹脂の硬化後、表面を耐水研磨紙で研磨し、表面に金-パラジウム蒸着を行って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任意の個所で最低 5 画面取り込んだ。1 画

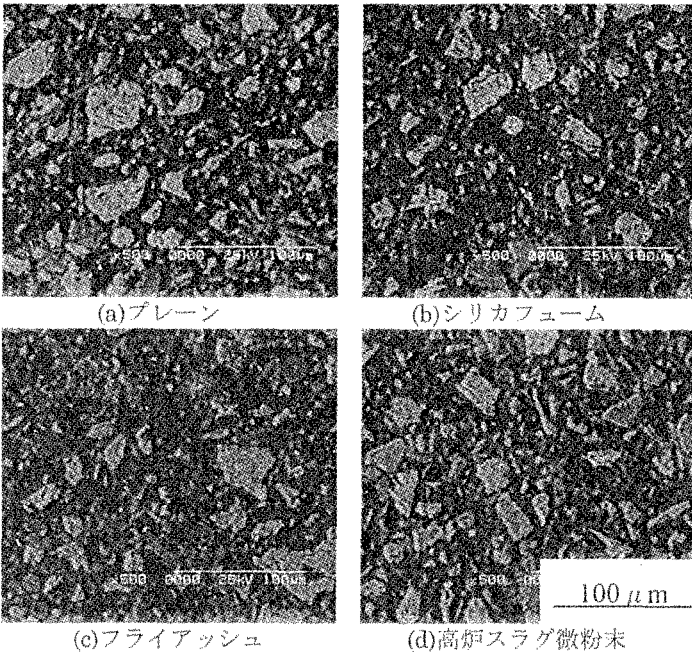


写真-1 セメントペースト研磨面の反射電子像(材齢 1 日)

キーワード: 反射電子像, 画像解析, 毛細管空隙, 細孔径分布, シリカフューム, フライアッシュ, 高炉スラグ微粉末
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

素は 1148×1000 画素からなり、1画素は倍率 500 倍では約 $0.22 \mu\text{m}$ に相当する。取り込んだ画像に対して骨材等の粒子除去やフィルター処理等の 1 次処理を行った後、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その毛細管空隙の面積を求めた。その観察画像に対して単位厚さ方向に円筒形であると仮定して面積割合を体積率に変換した。さらに毛細管空隙の体積をペーストの密度で除して、従来の水銀圧入法と同様の単位質量当たりの毛細管空隙体積として累積細孔径分布曲線を求めた。

3. 結果および考察

写真-1 は反射電子像の例を示したものである。白色の粒子が未水和セメントであり、灰色が水和生成物、黒色は毛細管空隙に相当する。セメントを混和材で置換することによる未水和セメントの量の減少が明らかである。また粒子の特徴的な形状よりフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末の粒子も一部確認できる。

図-1 は各種混和材を混入したセメントペーストの細孔径分布の相違を示したものである。材齢の進行にともない、全毛細管空隙量は減少している。混和材を混入していないセメントペーストを基準に比較すると、シリカフュームの混入により初期材齢の毛細管空隙量の減少割合が大きくなっている。フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末混入ペーストは、材齢初期にてプレーンよりも大きな全毛細管空隙量を有するが、長期にわたって毛細管空隙量が減少していき、材齢 91 日では、いずれのセメントペーストにおいても全毛細管空隙量は、ほぼ等しくなっている。

図-2 は全毛細管空隙容積と圧縮強度の関係を示したものである。全毛細管空隙容積と圧縮強度には良い相関性があり、比較的大きな径の毛細管空隙の量は圧縮強度の決定要因として重要なパラメータであることがわかる。

4. 結論

- (1) 各種の混和材の種類による粗大な径の細孔径分布の相違は、初期材齢にて明確であるが、長期材齢ではいずれのものも同程度のポロシティを示す。
- (2) シリカフュームを混入すると、初期材齢における粗大な毛細管空隙量の減少割合が大きくなる。
- (3) フライアッシュと高炉スラグ微粉末の混入により、長期にわたって毛細管空隙量は減少する。
- (4) セメントペーストの圧縮強度は、比較的大きな毛細管空隙の量と良好な相関性を有する。

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.

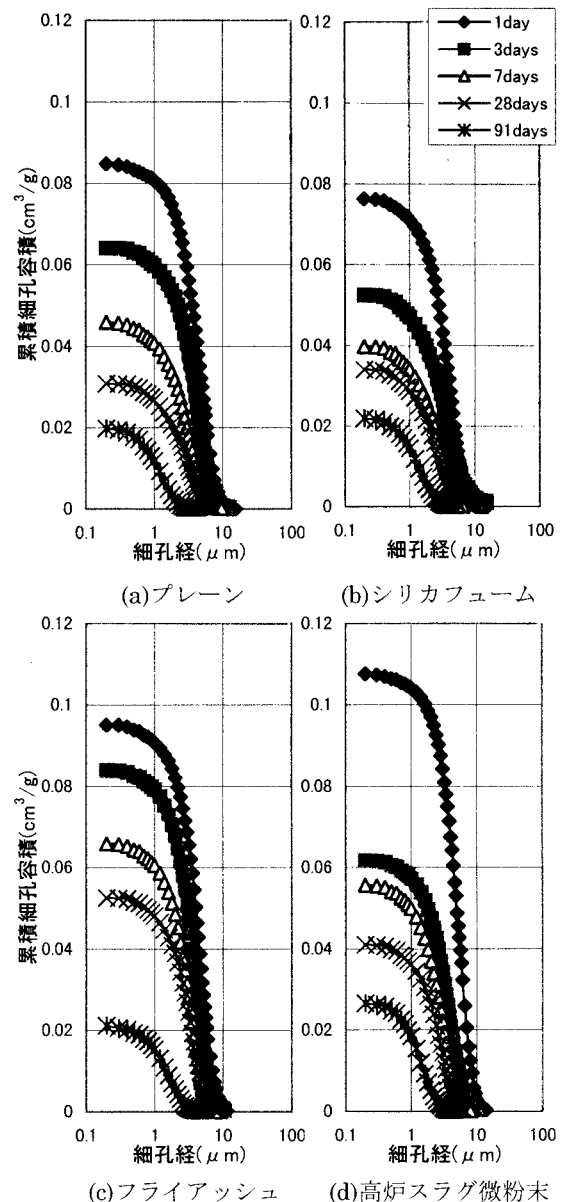


図-1 混和材の種類による細孔径分布の相違

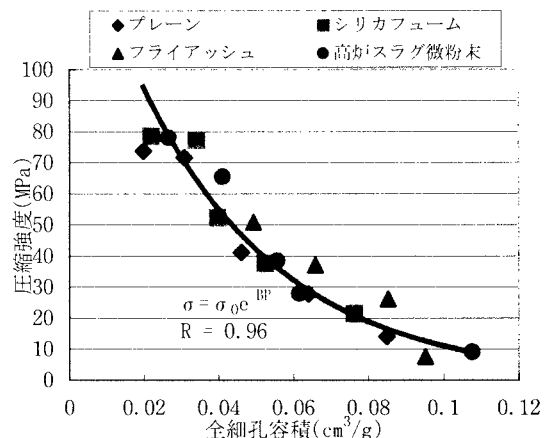


図-2 全毛細管空隙容積と圧縮強度の関係