

反射電子像の画像解析によるモルタルの細孔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]。しかし細孔構造と強度間の関係については、水銀圧入法の結果に対してはこれまで数多く報告されているが、画像解析法によって得られた細孔率と強度の対応を調べた例は少ないようである。

本研究においては、モルタルの細孔構造の変化を画像解析法によって明らかにし、水結合材比の変化およびシリカフュームの混入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の量と圧縮強度の関連についても考察を加えた。

表-1 モルタルの配合

水結合材比	シリカフューム置換率	結合材：細骨材
0.60	0	1 : 2
	10%	
0.50	0	
	10%	
0.40	0	
	10%	

2. 実験概要

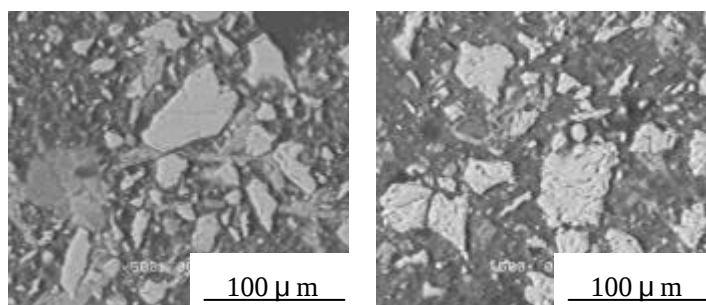
(1) 使用材料および配合 セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。骨材は石川県手取川産の川砂を使用した。使用したシリカフュームは市販の粉体品であり、その比表面積は $20.0\text{m}^2/\text{g}$ 、 SiO_2 含有量は 90.8% である。水結合材比は 0.60, 0.50, 0.40 の 3 種類で

あり、シリカフュームの置換率は結合材量に対して 10% 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 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 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 画素は 1148×1000 画素からなり、1 画素は倍率 500 倍では約 $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 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、細孔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細孔の面積を求めた。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



(a)シリカフューム無混入

(b)シリカフューム混入

写真-1 w/b=0.60 モルタル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

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

積率に変換した。さらに細孔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細孔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。シリカフュームを混入してもセメントペーストマトリックスの見かけの細孔構造には大きな差がないことがわかる。

図-1は水結合材比が0.60および0.40のモルタルについて細孔径分布の材齢進行にともなう変化を示したものである。材齢の進行にともなう全細孔量の減少が明らかであり、特に径が1 μm 以上の大きな径の細孔量の減少が顕著である。また水結合材比間の細孔径分布を比較すると、材齢1日および3日の全細孔量が水結合材比の低減により著しく減少しているが、材齢の進行にともない水結合材比による細孔径分布の相違は小さくなることがわかる。

図-2は材齢7日および28日のモルタルにおけるシリカフュームの混入の有無による細孔径分布の相違を示したものである。水結合材比0.60では材齢7日で全細孔量に明らかな相違が認められるが、28日ではほとんど差は認められない。水結合材比0.40では、材齢7日で既にシリカフュームの混入の有無による細孔径分布の差異はかなり小さくなっている。

図-3は全細孔容積と圧縮強度の関係を示したものである。全細孔量と強度間の関係は、水結合材比により異なる。同じ全細孔量であっても水結合材比により強度は異なり、水結合材比の高い方が低い圧縮強度を示す。従って普通モルタルにおいては、セメントペーストマトリックスの細孔量が圧縮強度の決定要因とは限らないことがわかる。この理由としては水結合材比が0.60と高い場合には、ブリー징の影響が強く現れ、セメントペーストマトリックスの全細孔量の減少は必ずしも骨材-セメントペースト界面遷移領域の緻密化をもたらさないため、その効果が強度の増加に反映されなかったことが考えられる。

4. 結論

- (1)水結合材比の低減による細孔量の減少と細孔組織の緻密化は若材齢にて顕著である。
- (2)シリカフュームの混入の有無によるセメントペーストマトリックス中の毛細管空隙量の相違は、材齢7日以降では小さい。
- (3)水結合材比が高い場合、モルタルの圧縮強度のセメントペーストマトリックス中の細孔量への依存性は低水結合材比よりも小さい。

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.

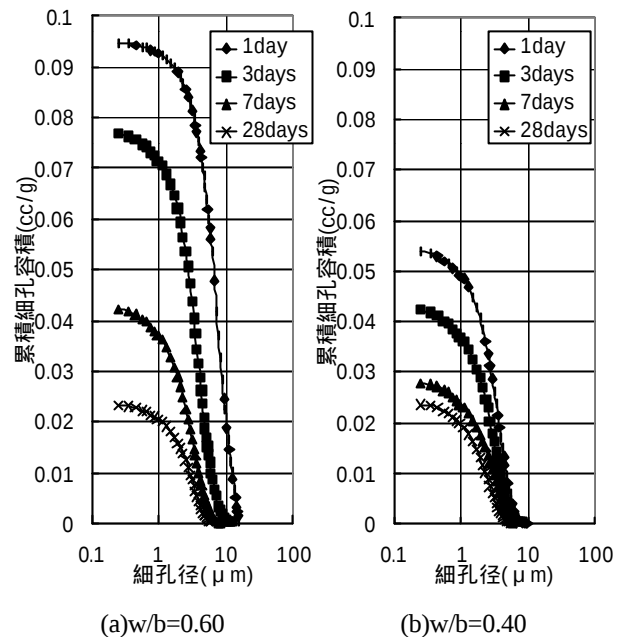


図-1 材齢の進行にともなう細孔径分布の変化

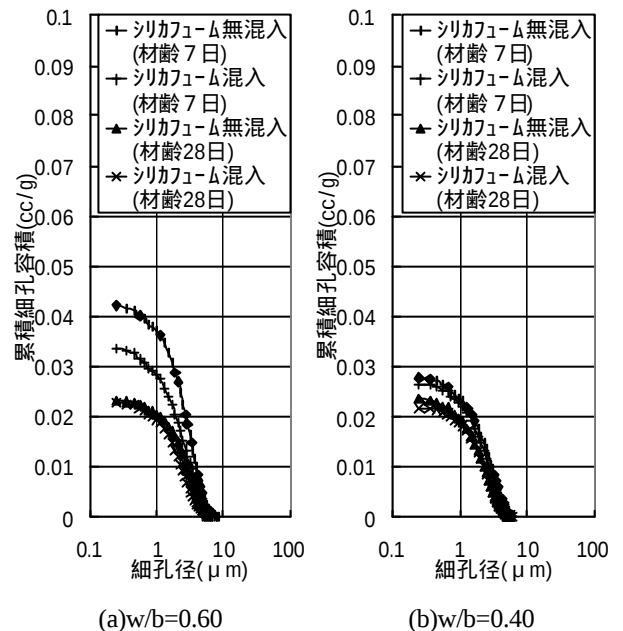


図-2 シリカフューム混入の有無による細孔径分布の相違

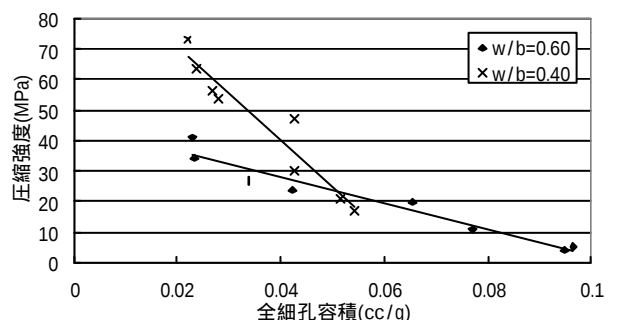


図-3 全細孔容積と圧縮強度の関係