

セメントの粉末度が毛細管空隙構造の形成に及ぼす影響

金沢大学大学院 学生会員 渡辺 暁央

金沢大学大学院 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

コンクリートの強度発現は、セメントの水和反応による内部組織の変化と密接に関連する。この水和反応の進行は、セメントの粉末度の相違により大きく異なるようであり、一般に粉末度の大きいセメントほど水和速度が速く、それにともない内部組織がより早期に緻密化され高い強度が得られる[1]。著者らは、これまでセメント系材料の粗大な毛細管空隙構造は、水セメント比や混和材の混入によって異なり、それぞれの配合の特徴を反映したものであることを明らかにしてきた。一方、配合が同一であっても、セメントの粉末度が異なるならば初期のセメントの充填状態が相違し、形成される毛細管空隙構造は異なると考えられる。

本研究においては、ブレン値の異なるセメントを使用したセメントペーストに対して、研磨面の反射電子像の画像解析を行い、毛細管空隙構造の特徴の相違から、セメントの粉末度が細孔構造形成過程に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

(1)使用材料および配合 普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm^3 ，ブレン比表面積 $3310\text{cm}^2/\text{g}$ ）と微粒子セメント（密度 3.02g/cm^3 ，ブレン比表面積 $5830\text{cm}^2/\text{g}$ ）の2種類を使用し、水セメント比 0.4 のセメントペーストを作製した。なお、微粒子セメントには高炉スラグ微粉末が含まれ、その含有量は高炉セメント B 種相当量程度である。微粒子セメントペーストでは、ワーカビリティを確保するため適量のポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を使用した。

(2)凝結試験 JIS R 5201 にしたがって凝結試験を実施した。

(3)反射電子像観察 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。凝結試験終了時および材齢 1, 7, 28, 91 日において、厚さ 10mm，直径 25mm 程度の円盤状試料を切り出し、エタノール浸漬により水和反応を停止させた。真空樹脂含浸装置にてエポキシ樹脂を含浸させた後、表面を耐水研磨紙およびダイヤモンドスラリーを使用して注意深く研磨し、金・パラジウム蒸着を行い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パーソナルコンピュータに取り込んだ。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、毛細管空隙の面積率を求めた。面積率を体積率に変換し、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。また、白色の未水和セメントについても同様に体積率を求め、式(1)により水和度 α_{BEI} を求めた。

$$\alpha_{\text{BEI}} = 1 - \frac{AN_{\text{BEI}}}{C_v}$$

$$= 1 - \frac{\text{画像解析による未水和セメント体積率}}{\text{配合時のセメント体積率}}$$

……(1)

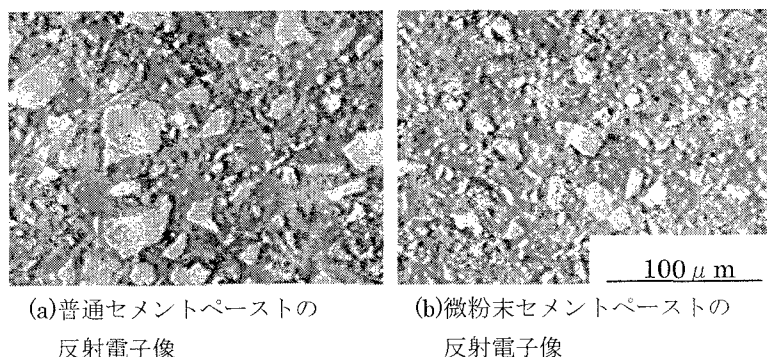


図-1 材齢 1 日における反射電子像

キーワード：反射電子像，画像解析，ブレン値，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

3. 結果および考察

図-1は、材齢1日における反射電子像の例である。普通セメントペーストは径が40~50 μm に達するような大きな粒子が存在しているのに対して、微粉末セメントペーストは最大の粒子でも径が10~20 μm 程度であり、反射電子像より粉末度の相違が容易に確認できる。

表-1は普通セメントおよび微粒子セメントの凝結試験結果を示したものである。始発に関しては両セメント間に差はなく、終結も微粒子セメントの方が若干遅い程度となっている。一般に粉末度の高いほど、凝結は早まる傾向にあるが、本研究で使用した微粒子セメントは、セメントに比べて反応性の低いスラグ粒子を含み、また高性能減水剤

表-1 凝結試験結果

	始発	終結
普通セメント	4時間 15分	6時間 52分
微粒子セメント	4時間 20分	7時間 20分

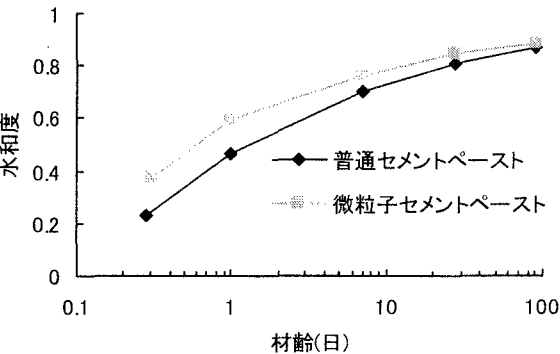


図-2 水和水度の経時変化

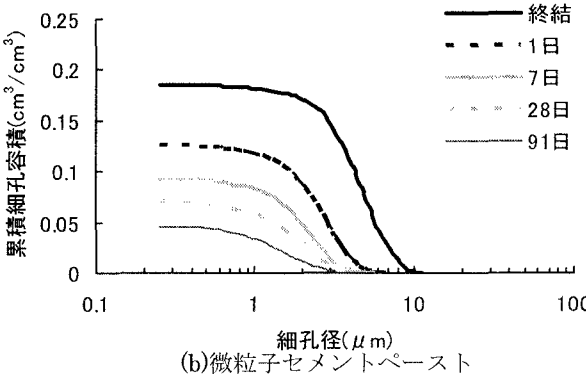
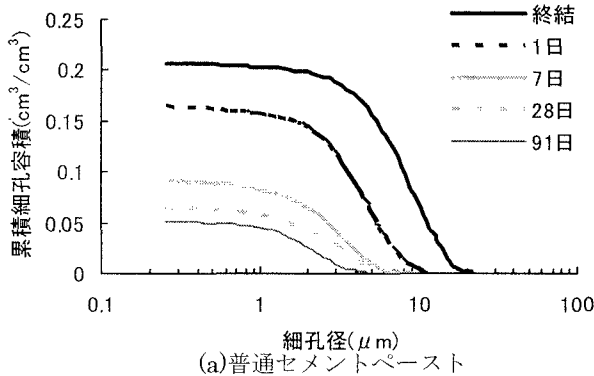


図-3 普通セメントペーストおよび微粉末セメントペーストの累積細孔径分布

を使用したため凝結促進の効果が現れなかったものと考えられる。

図-2は普通セメントペーストおよび微粒子セメントペーストのセメントの水和水度の変化を示したものである。微粒子セメントの方が材齢初期における水和水度が大きく、特に両者間における終結時の水和水度の差は大きい。終結を連続した骨格構造の形成時とみなすと、微粒子セメントの方が連続した固体構造の形成のためには多くの水和水度を必要としていることになり[2]、スラグの反応性はセメントに比べて低いことを考慮すると、セメントの活発な反応によりスラグ粒子を固体相として取り込みながら連続構造が早期に形成されたと考えられる。

図-3は普通セメントペーストおよび微粒子セメントペーストの累積細孔径分布の経時変化を示したものである。両セメントペーストとも材齢の進行にともない毛細管空隙量は大きく低下していくが、材齢7日以降の粗大な毛細管空隙構造の変化は小さいようである。終結時および材齢1日の若材齢において両セメントペーストの細孔構造の相違は明白であり、最大細孔径（累積細孔径分布の立ち上がり部）は微粒子セメントの方がかなり小さい。これより、セメント粉末度が大きくなると水和水生成物の充填によって形成される組織は密であり、空隙径が小さくなることは明かである。また、本研究における画像解析においては、円等価径によって細孔径分布を求めていることを考慮するならば、最大細孔径は細孔の連結性も反映したパラメータであり、普通セメントペーストの方が大きな毛細管空隙の連結性が高いことがわかる。

4. 結論

セメントペーストの粗大な毛細管空隙構造は、セメントの粉末度の影響を強く受けることが画像解析により明らかになった。また、その空隙構造は凝結特性やその後の細孔構造形成に影響を及ぼすが、長期材齢では粉末度の影響は小さいようである。

参考文献 [1]Osbaeck, B. and Marra, S., J. Am. Ceram. Soc., Vol.72, No.2, pp.197-201, 1989.

[2]Bentz, D. P. et. al., J. Am. Ceram. Soc., Vol.84, No.1, pp.129-135, 2001.