

セメントペーストの拡散係数の評価と粗大毛細管空隙構造との対応

金沢大学大学院 学生員 ○田野原 孝之
 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

コンクリート構造物の耐久性を低下させる各種劣化現象は、塩化物イオンを初めとする各種イオンおよび水の移動が要因とされており、その物質透過性は細孔構造と密接な関係がある。中でも特に、粗大な毛細管空隙量とその連続性が重要な影響を及ぼす。著者らは、これまで細孔構造の評価方法として、比較的粗大な空隙の解析が可能であるセメント硬化体研磨面の反射電子像の画像解析を用い、粗大毛細管空隙構造の特徴と強度特性との対応を明らかにしてきた[1]。

本研究においては、溶媒置換法によりセメント硬化体の拡散係数の評価を行い、反射電子像の画像解析により得られる粗大毛細管空隙構造の特徴との対応について検討する。

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(密度 3.15g/cm³)を使用し、蒸留水を使用して、水セメント比が 0.4、0.6 の 2 種類のセメントペーストを作製した。なお、練り混ぜ時におけるエントラップドエアーの影響を避けるため真空中にてセメントペーストの練り混ぜを行った。

(2) 溶媒置換法 直径 2cm の円柱型枠にセメントペーストを打設し、打設後 24 時間にて脱型し、厚さ 1.6mm の試料を複数切り出し、その後所定材齢まで 20℃ の飽和石灰水養生を行った。材齢 1、7、28 日においてそれらの薄板試料 5 枚を取り出し、その表面の水を注意深く拭き取り表乾状態とした後、その質量を測定した。その後、2-プロパノール(脱水)に浸漬し、所定浸漬材齢にて試料を取り出して表面の溶媒を拭き取り表乾状態とし、その質量を測定した。質量変化が認められなくなるまで浸漬と質量測定を繰返して測定を行った。測定終了後、式(1)により拡散係数を求めた[2]。

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1.127 \sqrt{\frac{Dt}{L^2}} \dots (1)$$

ここに、 M_t は時間 t までに置換した溶媒の質量(g)、 M_∞ は平衡状態に達した時までに置換した溶媒の質量(g)、 D は拡散係数(m²/s)、 t は経過した時間(s)、 L は試料の厚さの半分(m)である。

(3) 反射電子像観察 材齢 1、7、28 日の供試体から試料を切り出し、エタノール浸漬を行った。真空樹脂含浸装置にてエポキシ樹脂を含浸させた後、その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、反射電子像観察用試料とした。

(4) 反射電子像の画像解析 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 画素は観察倍率 500 倍にて 0.22 μm に相当する。取り込んだ画像に対して二値化を行い、未水和セメント粒子および毛細管空隙に相当する画素数をカウントし、一画素あたりの面積を求め、その観察画像に対しての面積率を求めた。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あたりの空隙の体積として累積細孔径分布曲線を求めた。

(5) Powers モデルによる構成相の計算[3] 画像解析により求めた水和度から、Powers の水和反応モデルに基づいてセメントゲル体積を求めた。全体積から未水和セメント体積およびセメントゲルの体積を引くことにより、毛細管空隙の体積率を求めた。さらに、これから画像解析により求めた粗大毛細管空隙率を差し引いたものを微細毛細管空隙率とした。

キーワード: 物質透過性, 粗大毛細管空隙, 画像解析, 溶媒置換法, 拡散係数

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

図-1 に水セメント比が 0.4 および 0.6 のセメントペーストの拡散係数の経時変化を示す。両者とも初期材齢において拡散係数は急激に低下し、特に水セメント比 0.6 の場合の低下が著しい。材齢の進行にともない拡散係数の差は小さくなり、材齢 28 日では両者はほぼ同程度の拡散係数を示す。

図-2 にセメントペーストの拡散係数と反射電子像の画像解析により得られた累積細孔容積との関係を示す。両者の間には良好な相関性が認められ、粗大な毛細管空隙量の増大とともに拡散係数は直線的に増大している。両者を比較すると、水セメント比 0.6 の場合の方が粗大毛細管空隙量の変化に対する拡散係数の変化が大きい。このことは、強度特性において高水セメント比ほど粗大毛細管空隙量の変化に対して鈍感であったのとは対照的であり [1]、拡散係数は粗大な毛細管空隙に強く影響を受けることを示している。

図-3 にセメントペーストの拡散係数としきい径（細孔径分布曲線において、その径以下の範囲にて空隙量が急激に増大を示す径）との関係を示す。両者の間には非常に良好な相関性が得られ、水セメント比にかかわらず同一直線上にプロットされる。これよりセメントペーストの拡散係数は細孔径分布のしきい径に非常に大きく影響を受けると考えられ、換言すれば、画像解析により求めた細孔径分布においては、しきい径は細孔の連続性を反映していると考えられる。

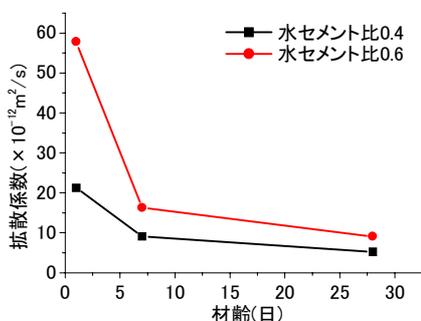


図-1 拡散係数の経時変化

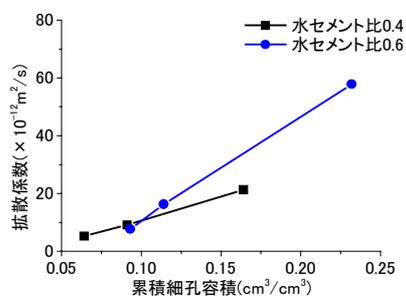


図-2 拡散係数と累積細孔容積との関係

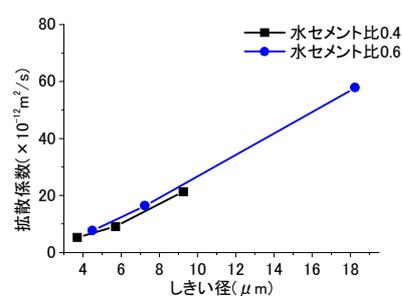


図-3 拡散係数としきい径との関係

図-1 より水セメント比 0.4 の材齢 1 日と水セメント比 0.6 の材齢 7 日、および水セメント比 0.4 の材齢 7 日と水セメント比 0.6 の材齢 28 日における拡散係数を比較すると、それらはほぼ同程度の値を示している。一方、図-4 はセメント硬化体の構成相割合を示したものであるが、拡散係数がほぼ同じ値を示す場合でも全毛細管空隙量は異なる。しかし、粗大な毛細管空隙量に着目すると、これらはほぼ等しい値を示している。このことから、粗大な毛細管空隙量がセメント硬化体の拡散係数におよぼす影響が大きいことが示唆される。

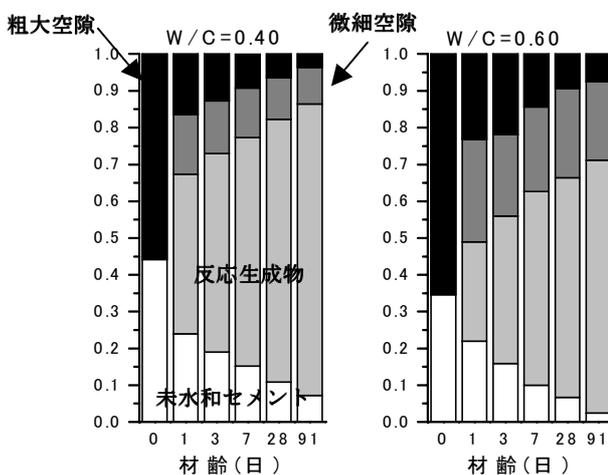


図-4 構成相の材齢の進行にともなう変化

4. 結論

- [1]セメントペーストの拡散係数は粗大な毛細管空隙量と良好な相関性が見られた。
- [2]セメントペーストの拡散係数としきい径との間には非常に良好な相関性が見られた。

参考文献

- [1]渡辺暁央, 五十嵐心一, 川村満紀: コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 1, pp. 483-488, 2002
- [2]R.F.Feldman: Cement and Concrete Research, Vol. 17, pp. 602-612, 1987
- [3]五十嵐心一, 渡辺暁央, 川村満紀: コンクリート工学年次論文集, Vol. 14, No2, pp. 23-29, 2003