

V-511 硬化体の細孔構造に及ぼすセメントの水和反応の影響

日本セメント(株)中央研究所 正会員 後藤孝治
 東京大学 生産技術研究所 正会員 魚本健人

1. はじめに

一般に、セメントペーストの細孔構造を調べるために、セメント硬化体の細孔径分布の測定が行われている。その測定法には、気体吸着法、水銀圧入法、光学顕微鏡法などがあり細孔径に応じて適切な測定法が用いられている。中でも、コンクリートの物性に影響の大きな10nm以上の細孔に対しては水銀圧入式ポロシメータを使うことが多い。ポロシメータで得られた細孔径分布を用いてセメント硬化体の物性を推定する研究は多いが、細孔径分布とセメント水和反応との関連については単に硬化体の細孔量との関係が述べられているものが多い。

そこで、筆者らは既に細孔構造モデルを提案して¹⁾、水セメント比による初期の細孔径の違いを説明した。本研究では、材齢の進行に伴うポロシメータで測定される細孔径分布の変化の予測を試み、細孔構造とセメント水和反応との関連について考察した。

2. 細孔構造モデル

セメント粒子を球形と仮定した細孔構造モデルでは¹⁾、セメント粒子が接触して強度発現が始まる段階では図1の充填構造となり、セメント粒子径(半径: r)に対して最も大きな細孔は直径で $(\sqrt{2}-1) \times 2r$ の連続した構造となる。この径は既に報告したように水セメント比の関数として求めることができた。細孔径は水和の進行とともに小さくなるが、その時の細孔径の変化は、水和反応速度だけでなく水和物の生成する位置や形態などが影響するとこのモデルから考えることができる。

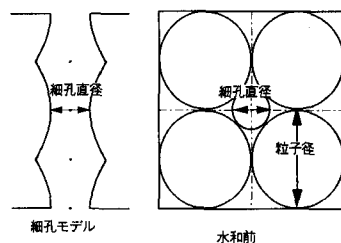


図1 モデルの概念図

そこで、この細孔径と水和反応速度との関係を調べるにより硬化体の細孔構造と水和反応と関係を定量化できると考えられる。

3. セメントペースト硬化体の材齢による細孔径分布の変化

3.1 実験方法

セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。セメントペーストの水セメント比は、40~60%とした。混練は、手練りで3分間行い、 $2 \times 2 \times 8$ cmに成型した。養生は、1日湿空で養生後、脱型して所定の材齢まで水中養生した。所定の材齢で試料を真空乾燥した後、水銀圧入式のポロシメータ(マイクロメリテック社製オートポア9220)により細孔径分布を測定した。

3.2 細孔径分布の測定結果

ポロシメータで測定したセメントペースト硬化体の細孔径分布の一例を図2に示す。図2より、ポルトランドセメントでは急に細孔量が増加する細孔径(細孔径の最大値)が材齢とともに小さくなり、細孔量が減少することがわかる。セメントペースト硬化体の場合数 μm 以上の大きな細孔は認められないので、図2の横軸を $2 \mu\text{m}$ 以下で普通尺で表示したのが図3である。図3より、セメントペーストの細

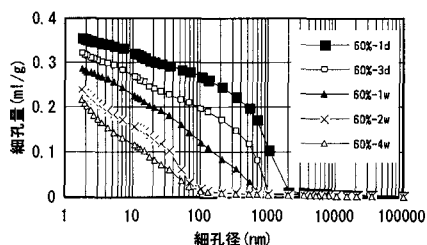


図2 細孔径分布の一例(W/C=60%)

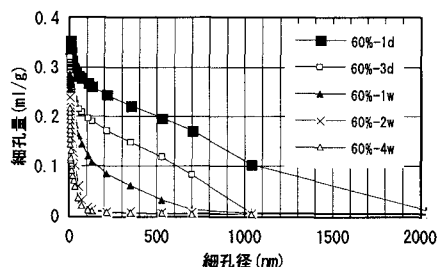


図3 細孔径分布(W/C=60%)

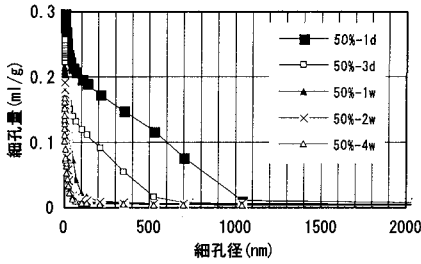


図4 細孔径分布(W/C=50%)

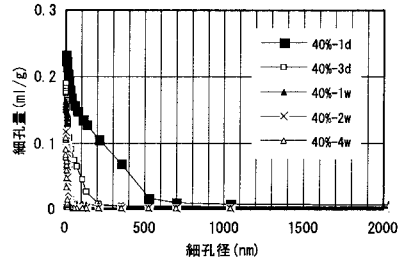


図5 細孔径分布(W/C=40%)

孔径50nm～2 μ mでは細孔径が小さくなるとともに細孔量が直線的に増加し、その傾きは材齢によりあまり変わらないことがわかる。さらに水セメント比40%と50%の場合の細孔径分布を図4と図5に示す。水セメント比にかかわらず100nm以上では同様な傾向となる。

4. 考察

普通ポルトランドセメントの主成分であるエーライトの水和反応は、粒度分布によらず粒子の半径方向に均一に反応すると仮定できることを筆者らは示した²⁾。その時の材齢と反応厚さとの関係は図6となる。また、細孔径分布の測定結果より得られた各水セメント比と各材齢における細孔径の最大値を表1に示す。ここで、普通ポルトランドセメントの水和反応とエーライトの反応が同じであると仮定すると、細孔径の最大値とセメントの反応厚さとの関係は図7になる。このように水セメント比の違いによらず反応厚さと細孔径の最大値との関係は約0.1 μ mまでは直線で同じ傾きとなった。このことは、セメントの水和反応量が細孔量だけでなく細孔径分布にも直接影響していることを示している。このように反応量と細孔構造が対応するのは、水和物が細孔中にランダムに生成するのではなく、セメント粒子表面に粒子を膨張させるように生成することによるためと考えられる。

5. まとめ

セメントペーストのポロシメータで測定される細孔径分布特に急激に細孔量の増加する最大の細孔径は、約0.1 μ m程度まではセメント粒子の水和反応厚さに応じて変化することがわかった。したがって、セメントペースト硬化体の細孔径分布は水和反応速度を求めることで、水セメント比や材齢によらず予測できると考えられる。さらに、この結果よりセメントの水和反応は水和物が細孔中にランダムに生成するのではなく、セメント粒子表面に粒子を膨張させるように生成すると考えられる。

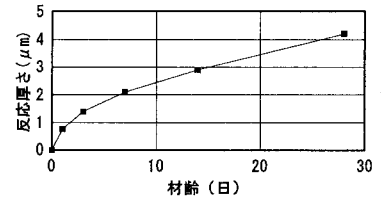


図6 エーライトの水和反応速度

表1 細孔径の最大値 (μ m)

材 齢	1 日	3 日	1 週	2 週	4 週
W/C=40%	0.58	0.15	0.04	0.02	0.015
W/C=50%	1.03	0.58	0.09	0.03	0.03
W/C=60%	1.65	1.09	0.67	0.08	0.08

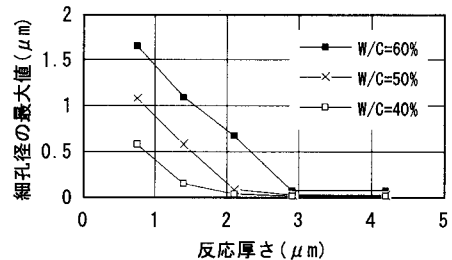


図7 反応厚さと細孔径の最大値との関係

（参考文献）

- 1) 後藤孝治、魚本健人：「ポルトランドセメントペーストの細孔構造に与える水セメント比の影響」、土木学会第48回年次学術講演会概要集 第5部、pp.988-989、(1993)
- 2) 後藤孝治、魚本健人：「エーライトの水和反応速度」、セメント・コンクリート論文集、No. 47、pp.40-45(1993)