

SPring-8 における X 線 CT 撮影によるセメント水和組織の空隙構造の観察

大林組技術研究所 正会員 ○人見 尚
 大林組原子力本部 三田 芳幸
 大林組技術研究所 正会員 竹田 宣典

1. はじめに

コンクリートの溶脱などの劣化現象は、コンクリート中のセメントペーストを媒質としたイオンの移動とその作用によるとされている。セメントペーストには数十 μm を上限とする細孔が縦横に分布し、これらがイオンの経路であるとされている。本研究では、拡散係数などコンクリート中のイオンの移動に関する特性を支配するこのセメントペースト中の細孔から形成される空隙の把握を目的としている。本報告は大型放射光施設 SPring-8 におけるモルタルの X 線 CT 撮影とその評価について述べる。

2. X 線 CT 撮影

X 線 CT 撮影は、図 1 に示すように整形した試料を円筒の軸に沿って回転させ、微小角度毎に透過した X 線を CCD カメラで撮影を行い、得られる複数枚の透過像から画像処理を行い軸に水平な面での断面図を得る方法である。

CCD カメラの画素数は通常縦横 1000 \times 1000 個で、画像の解像度は画素の寸法に依存することになる。本研究で用いた CCD カメラの画素の寸法は縦横 0.5 μm であるためカメラの視野は 500 μm となり、試料の幅も 500 μm が上限となる。このような高解像度の撮影は国内において SPring-8 においてのみ可能である。

3. 得られた断面図

図 2 に、水セメント比 40% の普通ポルトランドセメントで作成したモルタルの断面図を示す。物質にあたる部分を白および空気にあたる部分を黒で表現している。それぞれの画素の色は、その領域中の空隙量に応じた画素領域の個々の平均値であるためにグレースケールの階調で表現されている。中心上方に存在する大きく均一な灰色の領域が細骨材を、その他の領域がセメントペーストを示している。細骨材周囲のセメントペースト部にはやや空隙の多い部分が見て取れる。これが遷移帯にあたる可能性が大きい。試料はあらかじめ破碎しているので打設時の上下は分からない。またやや下部に明るい領域が見られるが、これは未水和のセメント部分であると思われる。

4. 断面図からの細孔径分布の算出

断面図から空隙を抽出するために、断面図を材料と空隙の部分で 2 値化表示する。2 値化には断面図から求めた輝度分布のある値でしきい値を定め、それより濃い色は黒で薄い色は白とする必要がある。図 3 に図

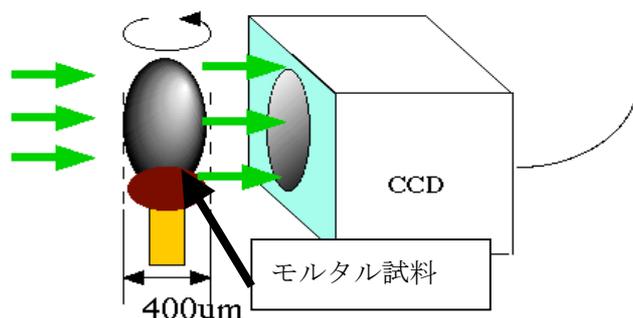


図 1 : X 線 CT 撮影概念図

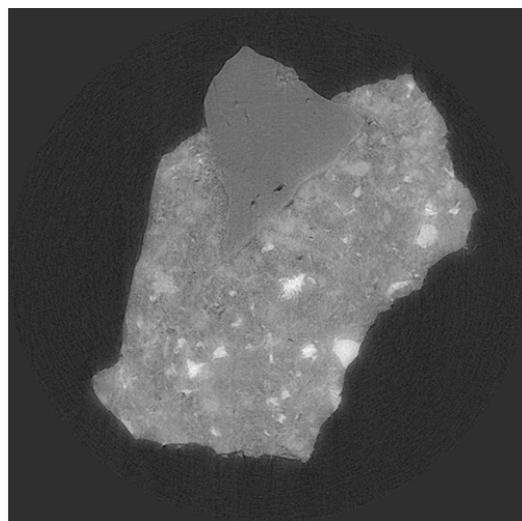


図 2 : 得られた断面図の例

キーワード X 線 CT, 断面図, 細孔構造, 2 値化, 細孔径分布, 水銀圧入法

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4 丁目 640 (株) 大林組技術研究所土木材料研究室 TEL0424-95-0930

2より求めた輝度分布を示す．本研究では画像処理ソフトである Adobe 社の Photoshop で断面図ごとの輝度分布を求め，しきい値を設定することにした．図4に2値化後の断面図を示す．細骨材は外してある．

この2値化した断面図の表す空隙を評価するために，細孔径分布に注目した．断面図を用いて求めた細孔径分布と水銀圧入法により求めたものとを比較した．

算出方法は，2値化した断面図の空隙部分を順次円で埋め，その径を細孔径とし，埋めることのできた面積から細孔径容積を換算した．円を埋める作業は大きな円から小さな円へと進め，大きな円で埋まっていない空隙部分をより小さな円で埋めることにした．

5. 測定値との比較

図5にX線CTによる断面図より算出した細孔径分布と，同じ試料を水銀圧入法で求めた結果を示す．用いた試料は水セメント比40%のモルタルで，健全はそのままのもの，変質は電気化学的促進試験でCaイオンを溶脱させた試料を指す．いずれの結果もX線CT撮影から求めた分布の方が大きくなっている．しかしグラフの基本的な振る舞いや，変質試料の細孔径容積が多いなど互いに似通った結果を得た．特に変質試料では良い一致を見ている．しかし，健全モルタルでは，X線CT撮影から求めた分布で細孔径容積が大きい結果となった．これは，主に細骨材周囲の遷移帯部分の占める割合を計算に多く加えてしまっているためと思われる．計算値の方が総じて大きいことの原因としては，水銀圧入法がインクボトルなど細孔のくびれた部分の細孔径を小さく評価してしまう可能性も指摘されており，結果の詳細な妥当性の評価には，さらに精密な議論が必要と考える．

6. まとめ

X線CT撮影という新しい観察方法で，モルタル中の空隙構造の観察を行った．得られた断面図から，細孔径分布を求めたところ，全く異なる経緯で求めた細孔径分布の測定値と大きさやグラフの振る舞いでよい一致を示す例が認められた．現状では，2値化に用いるしきい値の決定方法や細骨材の扱いなどにまだ曖昧な点があるためこれらの克服が課題となる．このように得られた空隙を集積することによりセメント水和組織の空隙構造の3次元的な把握が可能になると考える．

この研究は，SPring-8の課題研究（課題番号2003A0151-NIL2-np，2003B0207-NI-np）で行われたものです．ここに銘記し謝意を表します．

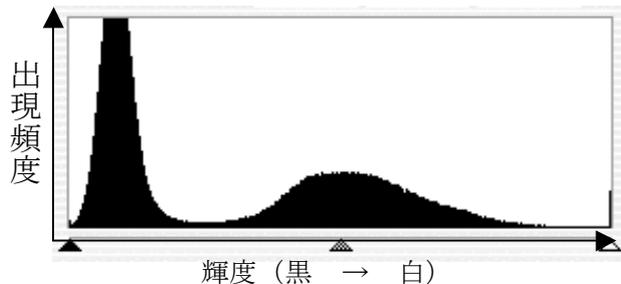


図3：断面図の輝度分布



図4：断面図を2値化した例

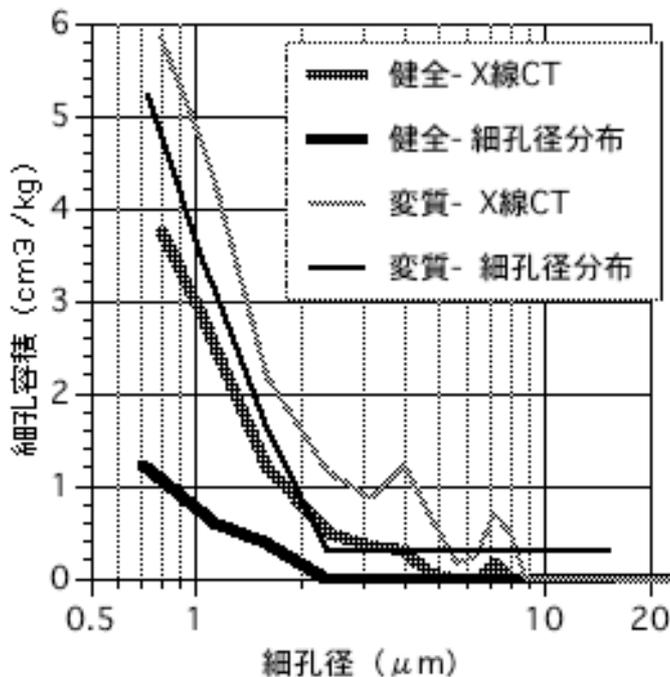


図5：細孔径分布の比較