

中性子ラジオグラフィを用いた CT 法による試験体内部水分の可視化に関する一考察

ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 ○舟川 勲

茨城大学工学部

正会員 沼尾達弥 正会員 木村 亨

茨城大学大学院

長沢 恵

1. はじめに

中性子ラジオグラフィとは、中性子が物質を透過する際に原子核と中性子の相互作用により生じる減衰特性を利用した、非破壊可視化技術である。中性子は物質内の元素や分子、試料の密度や厚さを因子として減衰するが、特に水素に対しては強い吸収・散乱の作用を示すため、水分存在状況の測定に適している [1]。

本研究では、CT (Computed Tomography) 法の適用を検討するために、中性子ラジオグラフィの透過画像から CT 画像を構築し、すべての断面の CT 画像から試験体全体の水分を捉え、3 次元化する手法を構築することを目的とした。なお、透過画像への影響を極力抑え、試験体内の水を捉えやすくするため、セメント硬化体に代えて、アルミ試験体を用いることとした。

2. 実験概要

中性子ラジオグラフィの測定は京都大学原子炉実験所、KUR E2 ポート内にて実施した。測定概要を表 1 に示す。試験体は、円柱アルミ棒を 3 等分にし切断面にドリルで空隙を作り、その空隙に水を含ませてアルミテープで密閉した後に接合して 1 本の試験体とし水が点在する状態とした。試験体のイメージを図 1 に示す。アルミ試験体を直立させた状態で回転テーブルに乗せ、長軸を中心に 5 度ずつ回転・撮影を繰り返し、0~180 度まで 36 枚の透過画像を取得した。その後、中性子ラジオグラフィの透過画像から CT 画像を構築し、試験体内の水分分布の把握を行った。なお、CT 画像の再構成には、再構成計算アルゴリズムに FBP (Filtered Back Projection) 法を用いた理化学研究所開発の CT 再構築ソフトウェアを使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 アルミ試験体の CT 画像

画像処理には画像解析ソフト Image J を使用し、透過画像に角度補正やトリミングなどの必要な処理を施し CT 画像を構築した。試験体の透過画像の一例を図 2 に、また図 2 の断面位置における CT 画像を図 3 に示す。断面位置①は水を含まないアルミ部分、断面位置②、③、

④、⑤は水が存在する部分であり、CT 画像において水

分が白く現れていることから、水の存在が確認できる。

また、試験体の任意の複数の断面について、図 3 の測定位置におけるグレー値

の最大値と最小値を図 4 に示す。CT 画像のグレー値は各断面位置によって大きくばらつく結果となった。

3.2 CT 画像の二値化による水分測定手法

CT 画像のグレー値の各断面位置によってばらつきが大きい要因には、透過画像の撮影条件、CT 解析方法、中性子強度の変化、測定環境の影響などが考えられる。そこ

で、本研究では CT 画像を二値化することで断面内の水分を精度よく捉えられないか検討した。なお、二値化の閾値は、水を含まないアルミ部分のグレー値のばらつきを示す度数分布(正規分布)を基準に、その傾向の差から判断することとした。すなわち、試験体の水を含む部分の断面においては、水が高いグレー値を示すことから、アルミのみの場合に比べ、その分布はグラフ右側のグレー値の大きい部分に現れ、基準から乖離する結果となる。

表 1 中性子ラジオグラフィによる測定概要

原子炉出力(MW)	1
撮影時間(秒/枚)	60
コンパクタ距離(mm)	80
試験体の形状	円柱状のアルミ試験体 直径 10 mm, 高さ 100 mm
撮影角度	5 度

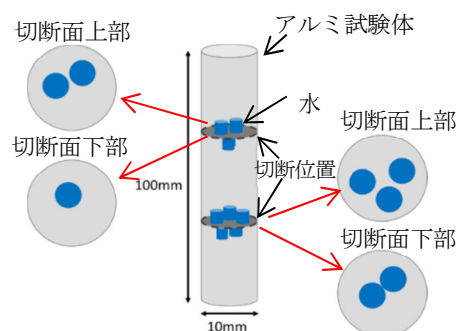


図 1 アルミ試験体のイメージ

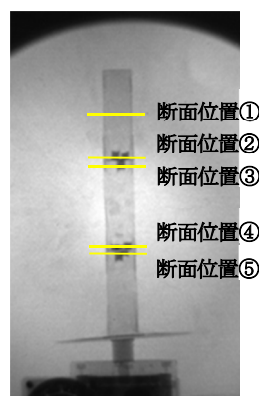


図 2 円柱アルミ試験体の透過画像の一例

キーワード 中性子ラジオグラフィ, CT 法, 3 次元イメージ, 水分分布, 含有水分量

連絡先 〒185-0034 東京都分寺市光町 2-8-38 (株)ジェイアール総研エンジニアリング Tel: 042-501-2648

したがって、水を含む断面のグレー値の度数分布にアルミ部分の正規分布を重ね合わせ、その変化点をアルミと水の境界であると判断し、閾値とした。この閾値の判定基準のイメージを図5に示す。この判定基準に基づいて、水分が観察されたすべての断面について二値化を行い、試験体断面内の水のみを抽出した画像を取得した。

3.3 3次元イメージによる水分分布の把握

ボリュームレンダリング法により3次元イメージを構築し、アルミ試験体内の水分分布の把握および含有水分量の算出を行った。なお、3次元イメージの構築には理化学研究所開発のV-catを用いた。アルミ試験体は、試験体切断面に水を含ませたため、2箇所の切断位置に水が分布している。それぞれの切断位置付近において、水が確認されたCT画像を用いて3次元イメージの構築を行った。試験体の水の3次元イメージを図6に示す。試験体上部の切断面では、切断面上部に2箇所、切断面下部に1箇所の合計3箇所に水を分布している。作製した試験体のおり、3次元イメージから3箇所の水分分布が確認できた。試験体下部でも同様の結果となった。また、それぞれの水分の塊の形状に着目してみると、表面張力によるメニスカスも確認できる。以上のことから、3次元イメージの構築により試験体内の水分分布および水の形状が把握できたといえる。

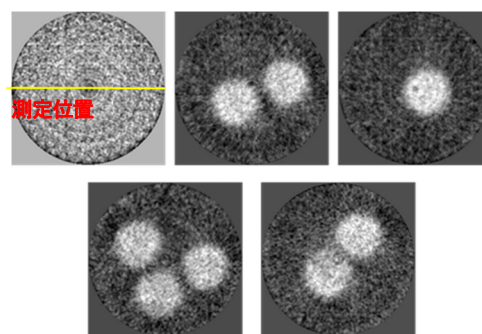
3.4 3次元イメージによる含有水分量の算出

3次元イメージ構築した後に、水の体積を算出した。算出にはV-catを使用した。水部分のボクセル数に1ボクセルあたりの体積を掛け合わせることで水の体積を算出し、重量に換算した。アルミ試験体の含有水分量は、実験時に水を含ませる前後の試験体の重量の差し引き(重量法)により測定しているため、3次元イメージと重量法による含有水分量の比較を行った。重量法により求めた含有水分量が0.97gであるのに対し、3次元イメージから求めた含有水分量は1.03gとなった。この差の原因として、透過画像の撮影角度やCT画像を構築する際の解析誤差、二値化の際の閾値の判定方法の影響などが考えられる。しかし、3次元イメージから、概ね含有水分量を算出できたといえる。

4. おわりに

透過画像から構築したCT画像は、様々な影響要因により、試験体の解析断面ごとに解析値(グレー値)にばらつきが生じる。ばらつきを考慮した水分測定手法として、CT画像の二値化による画像処理を提案し、二値化画像から試験体断面内の水分分布を把握できることを示した。

また、二値化画像から3次元イメージを構築すること



(上段：左から断面位置①，②，③ 下段：左から断面位置④，⑤)

図3 アルミ試験体の断面位置におけるCT画像

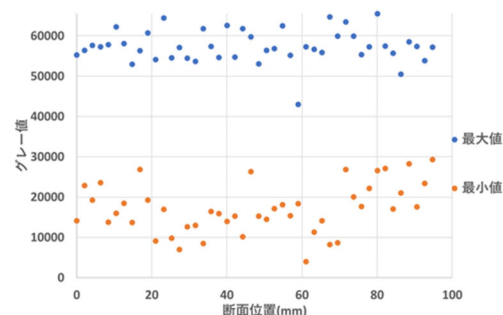


図4 円柱アルミ試験体の各断面におけるグレー値の最大値と最小値

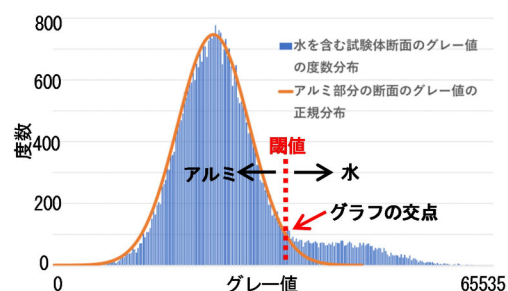
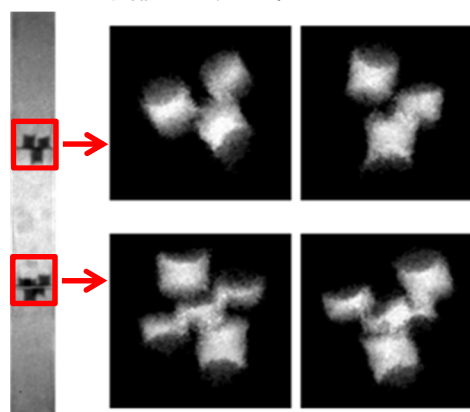


図5 閾値の判定基準のイメージ



(上段：試験体上部の水 下段：試験体下部の水)

図6 試験体内部の水の3次元イメージ

により、試験体内部の水分分布や水の形状を3次元で可視化することが可能となり、また、含有水分量を算出することが可能であることを示した。

参考文献

- [1] 舟川 勲、沼尾達弥、飯倉 寛：中性子ラジオグラフィを用いたセメント硬化体中の水分評価に関する基礎的研究、土木学会論文集E2、Vol. 67, No. 4, pp.596-604、2011.11