

中性子ラジオグラフィを用いたCTによるセメント硬化体の含有水量の測定

茨城大学 正会員 ○舟川 勲 正会員 沼尾達弥
 産業技術総合研究所 井上貴博 鈴木雅人
 Korea Atomic Energy Research Institute LEE Seung Wook

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、水セメント比および含有水分量を変化させたセメント硬化体および含有水分量を変化させたセラミック試験体を用いて、中性子ラジオグラフィにより、コンピュータトモグラフィ (Computed Tomography ; CT) 手法を用いて、試験体内の含有水分量等の情報を取得することを目的とし、今後、セメント硬化体内部の含有水分分布を定量的に評価するための基礎データ取得を行った。

2. 実験概要

2.1 中性子ラジオグラフィ概要

本研究における中性子ラジオグラフィの測定は Korea Atomic Energy Research Institute, HANARO 内にて実施した。装置の諸元を表 1 に示す。撮影場の特性として、熱中性子束は 1.49×10^9 (n/cm²·sec)、コリメーション比 L/D は 355 である。空間解像能は 100~300 μm/pixel 程度となった。CCD カメラの画素数は 2024×2024pixel であり、取得する画像をコンピュータに 16bit バイナリとして記録する。

試料に照射された中性子の一部は試料中の主に水素原子核と相互作用して散乱し、残りは試料を透過した中性子を像として映し出すコンバータに到達する。コンバータから発せられたシンチレーション光は CCD カメラにより撮影される。中性子は水素原子により遮られるため、得られた画像は水素原子の存在に対して濃淡画像 (透過像) を形成する。

2.2 CT 画像の構成

試験体を回転テーブルに載せ、長軸を中心に 0.9 度

表 1 中性子ラジオグラフィ装置の諸元

中性子束	1.49×10 ⁹ (n/cm ² ·sec)
コリメーション比 L/D	355
Cd 比	152
CCD カメラ画素数	2024×2024pixel (16bit)
空間解像能	100~300μm/pixe 程度
レンズ	200mm

表 2 試験体水準

実験 No.	試験体	記号	備考
実験 1	水	WATER	水を容器に入れたもの
	セラミック試験体	C50	Al ₂ O ₃ により焼成. 数値は作製時の目標気孔率 (含有水率) を示す.
		C30	
実験 2	セメント硬化体	20-S	W/C=20%,水分飽和状態
		20-N	W/C=20%,任意の含有水量
		20-D	W/C=20%,絶対乾燥状態
		40-S	W/C=40%,水分飽和状態
		40-N	W/C=40%,任意の含有水量
		40-D	W/C=40%,絶対乾燥状態

ずつ回転・撮影を繰り返し、0~180 度まで 200 枚の画像を取得し、この画像を用いて CT による 2 次元画像の再構成を行った。なお、画像の CT 再構成計算は画像解析ソフトを用い、アルゴリズムは Filtered Back Projection Method, また Shepp & Logan Filter を使用した。

2.3 実験方法

実験 1 および 2 における試験体水準を表-2 示す。実験 1 では、予め既知の含有水量を有するセラミック試験体および容器に入れた水の CT 撮影を行い、その結果から含有水量と CT 画像から得られる値 (CT Value ; CT 値) の相関関係により、検定曲線を得ることとした。

セラミック試験体は、細孔を任意に設定した焼成アルミナ (Al₂O₃) であり、形状は半径 13mm, 高さ 10mm 程度の円柱供試体である。アルミナ粉末にカーボングラファイトを混ぜて焼成することにより、粒子間構成における任意の間隙が確保できる。従って、この間隙を水分で満たすことによって任意の含有水率を設定できる。なお、含有水率 100%のものとして半径 13mm, 高さ 10mm の円柱アルミ容器に水を満たしたのも計測した。実験 2 では、セメント硬化体 (ペースト硬化体)

キーワード セメント硬化体, 中性子ラジオグラフィ, CT, 含有水量

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 Tel:0294-38-5168

のCT撮影を行い、各種状態におけるセメント硬化体の含有水量とCT値の相関関係を把握した。試験体形状は直径13mm、高さ100mmの円柱試験体である。水準は水セメント比20%、40%について、試験体の含有水率をそれぞれ3水準(0%、任意水率、100%)の合計6水準とした。

3. 実験結果および考察

実験1: セラミック試験体における中性子ラジオグラフィによる透過画像および、一例としてC50のCT画像を図1に示す。左側の透過画像は上から順にWATERからC10まで配置しているが、水分により中性子が吸収・散乱されていることが、色の濃さ(黒に近いほど、水素による吸収・散乱量が多い。)により伺える。

図2にCTプロファイルを示す。含有水量が増加するに伴い、CT値が上昇しているのが伺える。また、各試験体は含有水分量が一定のため、中央部はフラットになるはずであるが、水分を多く含む試験体、すなわちWATER、C50、C30の順に、中央部にくぼみが表れている。これは、得られた測定対象物の吸収係数は中性子線行路長、言い換えれば測定物の大きさ、形状の影響を受け、例えば、一様密度の円柱体でも吸収係数は周縁部で大きく、中心部で小さくなり、ビームハードニング効果と呼ばれるものである。今後、補正方法を構築する必要があると考える。

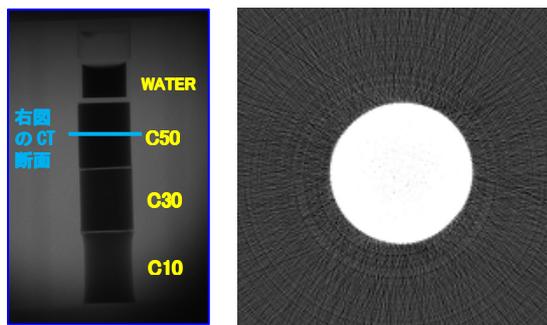
図3に含有水量/容積とCT値の関係を示す。このグラフにおけるCT値は、図2での各試験体の最大値を用いている。含有水率が増加するほど、CT値も増加し、直線近似式($Y=0.0086X+0.0022$; $R^2=0.9969$)により、良い相関が得られていることがわかる。

実験2: セメント硬化体における含有水量/容積(試験体内の自由水量)とCT valueの関係を図4に示す。

直線近似式($Y=0.0119X+0.0037$; $R^2=0.9419$)により良い相関関係が得られていることが分かる。なお、セメント硬化体内の水分は、おおまかに自由水と吸着水に分けられるが、近似式の0切片(0.0037)の値が、吸着水を含むセメント硬化体のバルク部分に吸着・散乱された値と考えることができる。

4. おわりに

本研究では、中性子ラジオグラフィの撮影により、CT画像を取得し、CT値と含有水量等の関係について基礎的データを取得した。今後、セメント硬化体内部の含有水分分布を定量的に評価するため、更なるデー



左: 透過画像 右: C50のCT画像

図1 中性子ラジオグラフィの透過画像およびCT画像

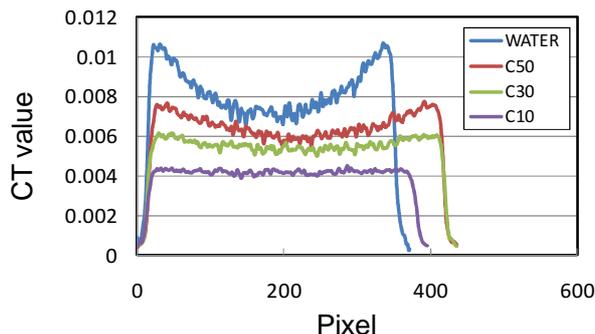


図2 セラミック試験体のCTプロファイル

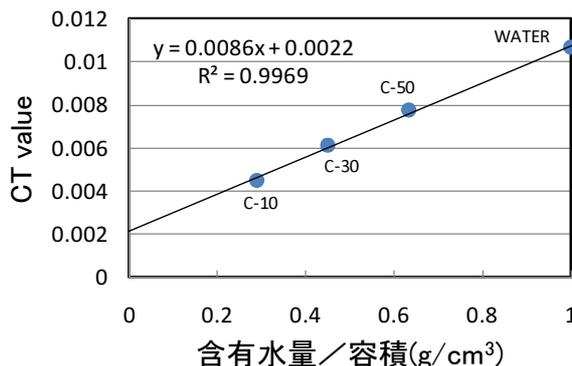


図3 含有水量/容積とCT valueの関係(セラミック)

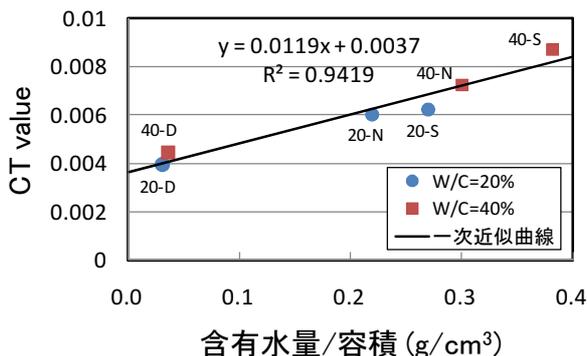


図4 含有水量/容積とCT valueの関係(セメント硬化体)

タの蓄積が必要と考える。

謝辞

本実験の実施にあたり、京都大学 川端祐司教授には、多大なるご指導を得ました。ここに、感謝の意を記します。

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の含有湿度の測定, 土木学会第65回学術講演会講演概要集V, pp. 739 -740, 2010