

中性子ラジオグラフィを用いたセメント硬化体内の含有水分分布の測定

茨城大学 学生会員
京都大学
理化学研究所

○熊倉識政 正会員
川端祐司
広田克也

沼尾達弥 正会員
齊藤泰司
森田晋也

舟川 勲

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、中性子ラジオグラフィを用いて、セメント硬化体における断面内の含有水分分布を測定把握することを目的とした。なお、本研究は平成 23 年度京都大学原子炉実験所共同利用研究による成果である。

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、京都大学原子炉実験所 KUR E2 ポート内にて実施した。中性子ラジオグラフィ試験装置概要を図 1 に示す。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 $3.2 \times 10^5 \text{ (n/cm}^2 \cdot \text{sec)}$ 、コリメーション比 L/D は 100 である。蛍光コンバータ($^6\text{LiF/ZnS:Ag}$)、冷却型 CCD カメラ、85mm レンズを用い、空間解像能は $80 \sim 100 \mu\text{m/pixel}$ 程度となった。

2.2 実験方法

表 2 に実験水準を示す。円柱試験体を湿潤状態から自然乾燥させ、その過程で断面内における含有水分分布の変化を、中性子ラジオグラフィを用いて測定した。ここで湿潤状態とは、セメント硬化体内の自由水が飽和している状態、自然乾燥は試験体を室内に放置し、任意の含有水率とした状態、絶乾は乾燥炉において 105°C 、24 時間乾燥させた状態である。

2.3 含有水分の定量化手法

単位体積当たりの水分逸散量 $\Delta\rho_w(\text{g/cm}^3)$ は(1)式を用いる。透過画像の明度が中性子強度 P となり、湿

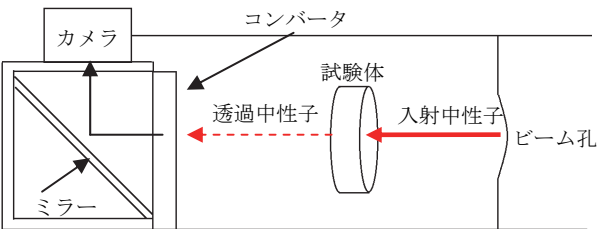


図 1 中性子ラジオグラフィ装置概要

表 1 中性子ラジオグラフィ装置の諸元

中性子束	$3.2 \times 10^5 \text{ (n/cm}^2 \cdot \text{sec)}$
コリメーション比 L/D	100
Cd比	400
n/γ比	$1.1 \times 10^6 \text{ (n/cm}^2 \cdot \text{mR)}$
コンバータ	蛍光コンバータ ($^6\text{LiF/ZnS:Ag}$)
冷却型 CCD カメラ画素数	$2048 \times 2048 \text{ pixel (16bit)}$
空間解像能	$80 \sim 100 \mu\text{m/pixel}$ 程度
レンズ	85mm
原子炉出力(MW)	1
画像取得ソフト	理研システム
撮影時間(秒/枚)	60

表 2 実験の水準

試験体形状	円柱
使用セメント	普通ポルトランド
養生方法	蒸気養生
材齢(日)	22
試験体直径(mm)	20
試験体高さ(mm)	12.5
試験体の状態	湿潤, 自然乾燥, 絶乾
乾燥時間(h)	16.5

潤状態と自然乾燥した透過画像の明度の差が ΔP_w となる。 $\lambda_w(\text{cm}^2/\text{g})$ は質量減衰係数、 $\delta_w(\text{cm})$ は試験体の厚さである。

含有水率(%)は湿潤状態の自由水のかさ密度を ρ_w とすると、(2)式で表すことができる。

$$\Delta\rho_w = \frac{\Delta P_w}{\lambda_w \delta_w}$$

(1)

$$\text{含有水率} = \left(1 - \frac{\Delta\rho_w}{\rho_w}\right) \times 100$$

(2)

キーワード セメント硬化体, 中性子ラジオグラフィ, 含有水分分布, 中性子強度

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

3. 実験結果および考察

円柱試験体の円断面における透過画像を図 2 に示す. この図において, 湿潤状態と乾燥状態で大きく明度が異なることがわかり, 湿潤, 自然乾燥, 絶乾の含有水が少なくなる順に, 明度が暗くなっていく. 図 2 を画像解析ソフトウェア ImageJ を用いてデータ処理を行い, 中性子強度を算出した結果を図 3 に示す. 図 3 のように湿潤, 自然乾燥, 絶乾を比較すると中性子強度に差異が表れていることがわかる. 図 3 より湿潤と絶乾の中性子強度の差から水分勾配を算出した結果を図 4 に示す. 絶乾状態を自由水の含有水率 0% とし, 湿潤状態を 100% とすると, 自然乾燥状態の試験体の含有水率は 80.5% と推定できた.

湿潤状態の試験体を原子炉実験室室内で 16.5 時間自然乾燥させた試験体の各位置における単位厚さ当たり中性子強度を図 5 に示す. また, この図における乾燥状態の円断面における水分分布のイメージを図 6 に示す. この図は, 図 5 から差分中性子強度を算出し, 式(1)を用いて単位体積当たりの水分逸散量 $\Delta\rho_w$ を求めた後, 式(2)によって含有水率を算出したものである. 円周部分 (0~5mm および 15~20mm の位置) と中心・内部部分 (5~15mm の位置) の比較では, 円周部は中心部よりも水分逸散が多く見られた. また, 今後精度を上げなければならないが, これらの結果から, 中性子ラジオグラフィを用いることにより, 試験体の断面内の含有水分分布の測定が行えることが可能となることがわかる.

本実験における自然乾燥状態においては中心部分から表面側に向かって湿度勾配が発生すると考えられるが, 中性子ラジオグラフによる計測でも概ね同様な傾向が伺えた. しかし, 上下面をシーリングしないで実験を行ったために中心部の水分は上下面から, 円周部の水分は上下面および側面から抜けたこと, 含有水率が高い箇所 (中心部付近) では中性子散乱等の影響あったことから, 明確な含有水分の勾配が得られなかった.

4. おわりに

本研究では, 中性子ラジオグラフィを用いて, セメント硬化体の水分逸散量および断面内の水分分布を測定することができた.

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.

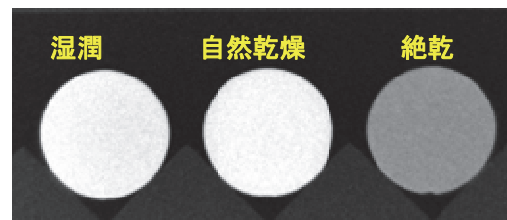


図 2 円断面における透過画像

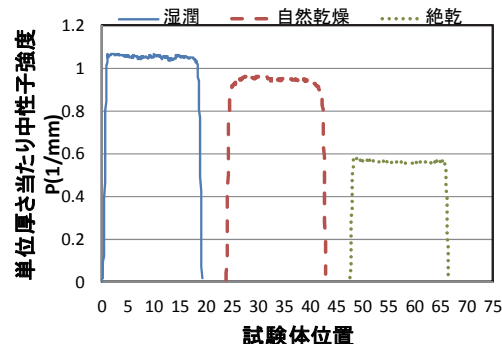


図 3 湿潤, 自然乾燥, 絶乾における中性子強度

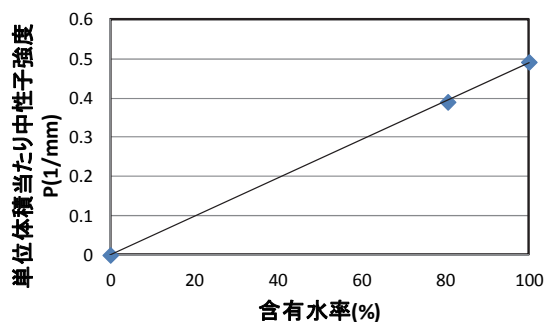


図 4 湿潤, 自然乾燥, 絶乾における水分勾配

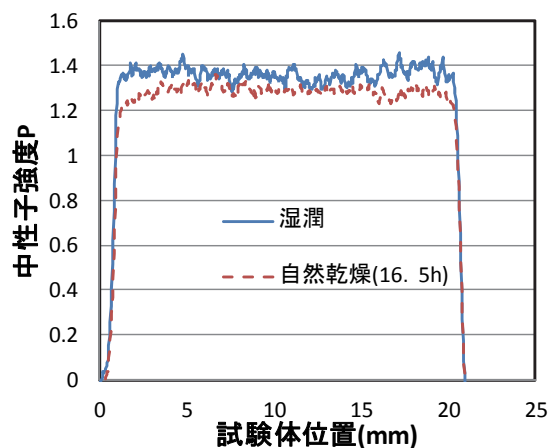


図 5 湿潤, 自然乾燥後 (16.5 時間後) の中性子強度

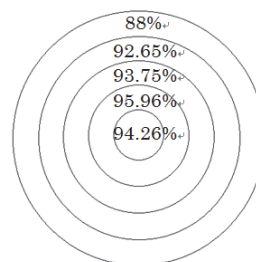


図 6 自然乾燥後の円断面における含有水率のイメージ