

中性子ラジオグラフィを用いたセメント硬化体中の含有水量の同定手法について

茨城大学工学部 学生会員 ○久保 美春
 茨城大学工学部 正会員 沼尾 達弥
 一般社団法人 国際建造物保全技術協会 正会員 舟川 勲
 茨城大学工学部 正会員 木村 亨

1. 研究背景

セメント硬化体は、体内の水分が逸散・湿潤すると乾燥収縮や湿潤膨張を起こし、長期耐久性に影響を及ぼすため、セメント硬化体内の水分分布と水分移動に伴う変形特性を把握することは重要である。

これまで、非破壊可視化技術の一つである中性子ラジオグラフィを用いて、セメント硬化体内の水分の定量化を試みた^{1), 2)}。しかし、従来の方法は、均質な試験体で厚さが一定の場合には、水分の定量化は可能なものの、試験体厚さが一定ではない場合や、本研究で対象とするセメント硬化体のように、水分分布が不均一に存在する多孔質な材料の場合には、ビームハードニング効果による影響が顕著に現れるため、補正が必要である。

ビームハードニング効果とは、照射される放射線が様々なエネルギーを有することから、放射線が物体を透過する際に低エネルギー放射線から減衰するため、物体の厚さが増すほど高エネルギー放射線の比率が増し、物体が厚くなるほど透過率が高く、水分量を少なく見積もることになる。

そこで本研究では、中性子ラジオグラフィを用いて、セメント硬化体内の水分の定量化を行うために、水におけるビームハードニング効果と透過中性子強度の関係を明らかにするとともに、補正式を算出し、各試験体において同式の補正を行い、水分量をその透過距離として同定を行った。

2. 実験概要

表1に装置の諸元を示す。中性子ラジオグラフィの撮影は、京都大学原子炉実験所 KUR E2 ポートにて行った。

表2に試験体の水準を、写真1に試験体の写真を示す。試験体には円筒アルミ容器(半径 13 mm, 高さ 10 mm)に入れた水と、予め既知の含有水率を有するセラミック試験体(焼成アルミナ(Al_2O_3), 形状は半径 13 mm 程度, 高さ 10 mm 程度の円柱試験体)を用いた。本実験にセメント硬化体ではなく、セラミック試験体にて模擬したのは、セメント硬化体では水和が進行してしまうことと、セメントでは任意の含有水率の試験体作製が難しいためである。

表1 中性子ラジオグラフィ装置の諸元

中性子束 ($\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$)	3.2×10^5
コメリケーション比 L/D	100
コンバータ ($^6\text{LiF}/\text{ZnS:Ag}$)	蛍光コンバータ
冷却型 CCD カメラ画素数 (pixel)	2048×2048
空間解像能 ($\mu\text{m}/\text{pixel}$)	80~100
レンズ (mm)	85
原子炉出力 (MW)	1
画像出力ソフト	理研システム
撮影時間 (秒/枚)	30

表2 試験体の水準

試験体	記号	含有水率 (%)	備考
水	W100	100	アルミ容器に水を入れたもの
セラミック試験体	C50	63.3	Al_2O_3 を焼成したものに水を含ませたもの。記号の数値は目標含有水率を示す。
	C30	44.9	
	C10	28.8	

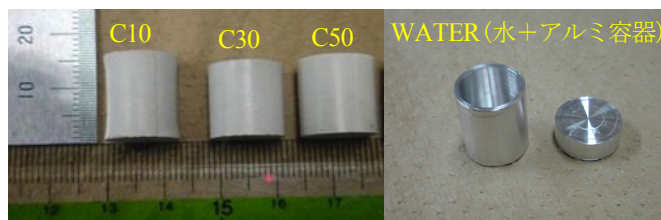


写真1 試験体

セラミック試験体は、アルミ粉末に任意の含有水量になる分のカーボングラファイトを混ぜて焼成することで、任意の間隙を有するセラミック試験体ができ、この任意の間隙を水で満たすことで任意の含有水率が設定できる。

撮影時には、各試験体の含有水分が逸散しないようにアルミ箔を覆って水分の蒸発を防止し、試験体とコンバータ距離を 1 cm とし、一定の条件下で中性子ラジオグラフィの撮影を行った。

キーワード：セメント硬化体、中性子ラジオグラフィ、含有水量、含有水率、線吸収係数

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. 試験結果

写真2に中性子ラジオグラフィ画像を中性子変化率 U' ($U' = I/I_0$)に変換し、 $-\ln(U')$ とした可視化画像を示す。物質の厚さ σ cm(以下、透過距離 σ とする)や水分量が多いほど中性子の減衰率が高いため、白が強く撮影される。

図1に水の撮影断面位置における線吸収係数 μ 1/mm を、図2に水の $-\ln(U')$ と $\mu\sigma$ の関係を示す。ここで、水の線吸収係数は、実験値から算出すると既知($\mu=0.347$)の値よりも小さくなるとともに、中心位置(透過距離が長い)ほど低下した。つまり、 $\mu\sigma$ が大きくなるにつれて透過中性子強度のずれが大きくなる。これがビームハードニング効果である。そこで筆者らは、ビームハードニング効果の影響は、式(1)の入射中性子強度 I_0 と物質透過後の中性子強度 I の関係と同様に、 $\mu\sigma$ は指数関数で表わされると考え、式(2)の補正式を導いた。

$$\mu\sigma = -\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\ln(U') \quad (1)$$

$$\mu\sigma = \exp(-\ln(U')) = \frac{\alpha}{U'} \quad \alpha: \text{係数}(\alpha=0.6) \quad (2)$$

図3に各試験体の撮影断面位置における線吸収係数 μ' を、図4に各試験体の撮影断面位置における透過距離 σ' を示す。水のみ(含水率100%)の μ' および σ' は、実際の μ および σ と非常に良くあったものの、含水率が低下するに従い、差が大きくなった。これは、画像から算出した U' を水のみと仮定して補正しているため、セラミック部分を無視したためである。そのため、実際の μ および σ よりも大きな値を示したものとされる。本実験では、セラミック部分の影響小さいものと考え、撮影を行わなかったが、各含水率の絶乾状態のセラミック試験体を撮影すれば、その分を差し引くことで、水のみを抽出できるため、式(2)で補正が可能と考えられる。

4. 結論

以上の結果から、ビームハードニングの効果は補正可能であることが示唆された。しかし、本実験で算出した係数は、本実験の撮影条件時のみの係数に過ぎない。今後は、様々な条件下での撮影時に対応できる係数の算出や、適正な撮影条件の選定を行う必要がある。

【参考文献】

- 1) 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：舟川勲, 沼尾達弥, 飯倉寛：土木学会論文集, Vol.67/No.4, 596-604, 2011/11
- 2) 中性子ラジオグラフィを用いたセメント硬化体中の含有水量測定における試験体とコンバータ間距離の影響：沼尾達弥他, 土木学会第67回年次学術講演会, V-040

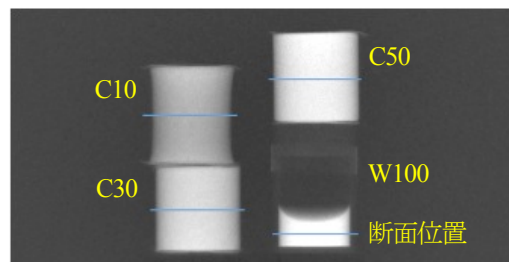


写真2 $-\ln(U')$ の可視化画像

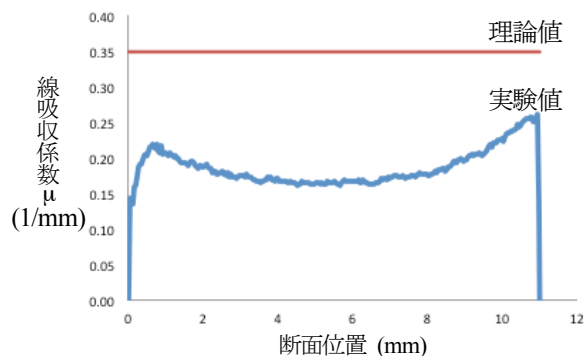


図1 水の撮影位置における線吸収係数(μ)

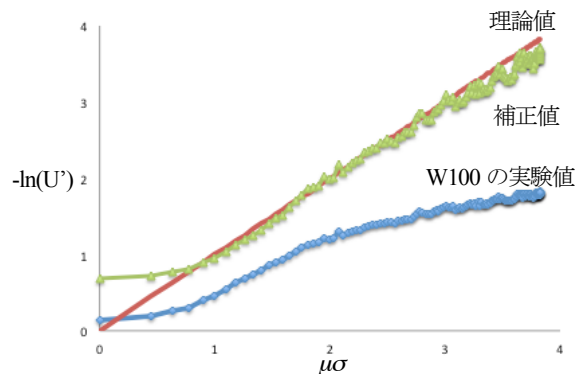


図2 水の $-\ln(U')$ と $\mu\sigma$ の関係

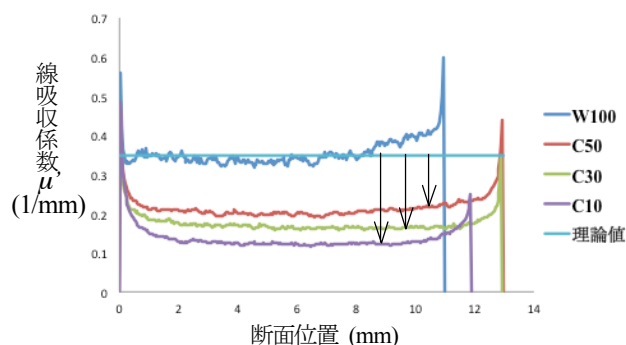


図3 各試験体の撮影位置における線吸収係数(μ')

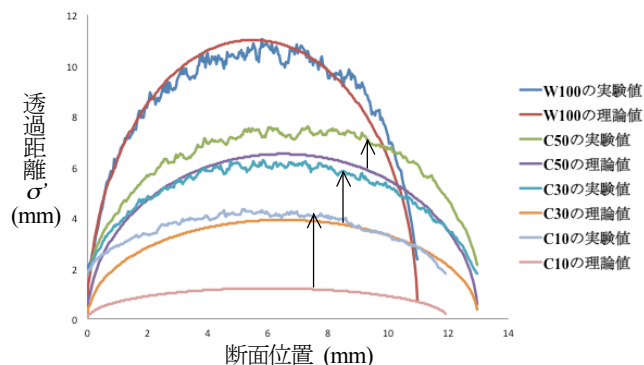


図4 各試験体の撮影位置における透過距離(σ')