

中性子発生装置の違いが中性子ラジオグラフィの透過画像から求める含有水分量に及ぼす影響

茨城大学工学部 学生会員 ○長沢恵 正会員 沼尾達弥 正会員 木村亨

1. はじめに

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・湿潤膨張を起こし、長期耐久性に影響を及ぼす。そのため、セメント硬化体内の水分分布を把握することは重要である。しかし、水分分布を捉えることは非常に困難である。近年では、中性子ラジオグラフィによるセメント硬化体内の水分分布計測が提案されている。

図-1に中性子ラジオグラフィの概念図を示す。中性子ラジオグラフィとは、中性子が物質を透過する際の減衰特性を利用した非破壊可視化技術である。なお、入射中性子強度を I_0 とし、厚さ δ の物質透過後の中性子強度を I とした場合、中性子が物体を透過した際の減衰は、式(1)で表される。

$$I = I_0 e^{(-\mu\delta)} \tag{1}$$

ここで、 μ は線吸収係数である。
中性子は、セメントの主元素の珪素、カルシウム、アルミニウム、鉄は透過しやすいが、水素は透過しにくい。そのため、セメント硬化体中の水分を捉えることが可能である。

しかし、中性子ラジオグラフィの透過画像には、中性子の非並行性と散乱、ビームハードニングのほか、中性子発生装置の違いが大きく影響を及ぼす。中性子発生装置には主に原子炉を使用するものと加速器を使用するものがあり、中性子の発生方法により中性子線の強度やエネルギー分布等が異なると考えられる。さらに、画像化するためのコンバータやCCDカメラの解像度なども取得画像に影響を及ぼす。

小沼ら¹⁾は、京都大学研究用原子炉 KUR(以下、KUR)と理化学研究所 RANS(以下、RANS)において、それらを補正する式(2)および式(3)を提案した。KUR は、炉心が約 20%濃縮ウランの板状燃料要素と黒鉛反射体要素からなる。重水を減速・冷却材とした熱出力が最大 5,000 kW、平均熱中性子束が約 $3.2 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ の原子炉である。一方 RANS は、小型の加速器を用いた中性子源であり、陽子線線形加速器により 7 MeV に加速された陽子線がターゲットステーション内でベリリウムに衝突することでおこる核反応($\text{Be}(p,n)\text{B}$)により中性子(n)が発生する。

$$(I/I_0)' = (I/I_0) + \frac{1}{1.73\sqrt{2+L'}} \times \ln(I/I_0) \tag{2}$$

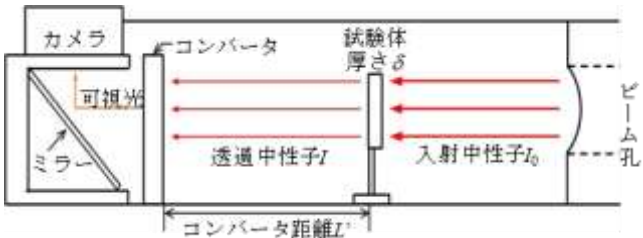


図-1 中性子ラジオグラフィの概念図

表-1 中性子ラジオグラフィ装置の諸元

装置名	KUR	RANS
コリメーション比	100	50
コンバータ ^(*) (LiF/ZnS:Ag)	蛍光コンバータ	蛍光コンバータ
冷却型CCDカメラ画素数	4008×2672pixel	4008×2672pixel
空間分解能	80～100 μm/pixel程度	40 μm/pixel程度

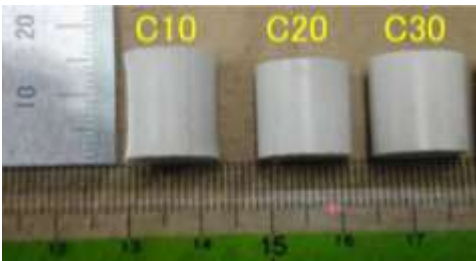


写真-1 試験体

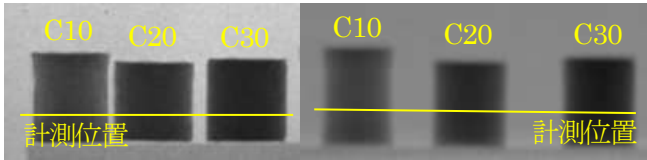


写真-2 KUR での透過画像 写真-3 RANS での透過画像

$$(I/I_0)' = (I/I_0) + \frac{1}{0.90\sqrt{2+L'}} \times \ln(I/I_0) \tag{3}$$

ここで、 L はコンバータ距離である。
しかし、セメント硬化体のような多孔質材料における含有水分量への適応は行っていない。

そこで本研究では、中性子発生装置の違いが中性子ラジオグラフィの透過画像に及ぼす影響と透過画像により求めた水分量に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験方法

表-1 に各中性子ラジオグラフィ装置の諸元を示す。KUR と RANS の CCD カメラやコンバータなどの撮影システムは同じものを使用している。

キーワード：中性子ラジオグラフィ、非破壊検査、含有水分
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

写真-1 に試験体の写真を示す。試験体には、予め含水率を 9.93%(C10), 17.8%(C20), 31.3%(C30)に設定した多孔質セラミック試験体(焼成アルミナ(Al_2O_3), 形状は直径 13 mm 程度, 高さ 10 mm 程度の円柱試験体)を用いた。

実験時には、各試験体の水分が逸散を防ぐためアルミ箔で覆い、試験体とコンバータ距離を 50mm, 撮影時間は 60s の透過画像を取得した。また、実験終了後、試験体を 110°C の乾燥炉にて 24 時間乾燥させ、乾燥前後の質量を計測した。

3. 実験結果

写真-2, 写真-3 に KUR と RANS の透過画像を示す。KUR の透過画像の方が RANS より濃淡が大きく鮮明な画像となり、中性子発生装置の違いによる影響が表れた。これは、KUR の実験時の中性子出力は 1MW なのに対し、RANS の出力は 0.7kW なので、KUR の方が約 1400 倍出力が大きい。ため、多くの中性子が透過したことで、画像が鮮明になったと考えられる。

図-2, 図-3 に KUR と RANS の透過画像の計測位置における中性子強度変化率から求めた含有水分量(以下、実験値)および補正式から求めた含有水分量(以下、補正值)と計測位置の関係を示す。KUR と RANS の両方で、補正值のほうが実験値より大きくなった。これは、ビームハードニングによる影響を補正したためである。

図-4, 図-5 に重量法による含有水分量と KUR と RANS の透過画像より求めた実験値および補正值の比較を示す。KUR では、重量法に対する実験値と補正值の誤差が C10 で 3.60%と 1.14%, C20 で 6.69%と 1.15%, C30 で 6.80%と 1.70%であった。補正を行うことで、C10 で 2.46%, C20 で 5.54%, C30 で 5.10%の精度の向上がみられた。同様に、RANS では、重量法に対する実験値と補正值の誤差が C10 で 9.17%と 4.17%, C20 で 7.33%と 4.67%, C30 で 9.17%と 6.67%であった。補正を行うことで、C10 で 5.00%, C20 で 2.66%, C30 で 2.50%の精度の向上がみられた。このことから、式(2), (3)が多孔質材料においても適応可能であると考えられる。なお、KUR より RANS の方が誤差が大きくなった。これは、KUR の方が多くの中性子が透過したため制度が向上したと考えられる。また、RANS で用いた試験体は、試験体作製時の含有水分量の調整が不十分だったため、含有水分量が小さくなった。

4. まとめ

以上の結果から、中性子ラジオグラフィの透過画像は、中性子発生装置の出力が大きいほど鮮明であるとともに、そこから求めた含有水分量の誤差が小さくなる。

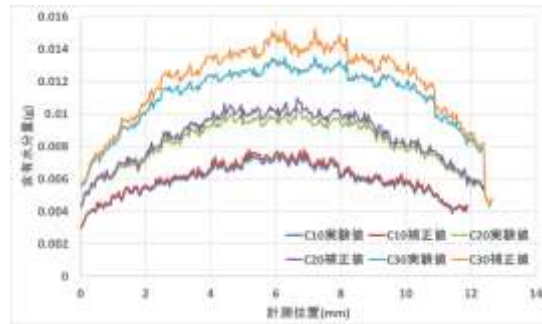


図-2 セラミック試験体の計測位置での含有水分量(KUR)

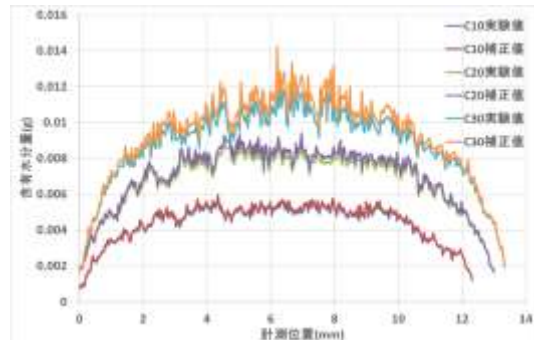


図-3 セラミック試験体の計測位置での含有水分量(RANS)

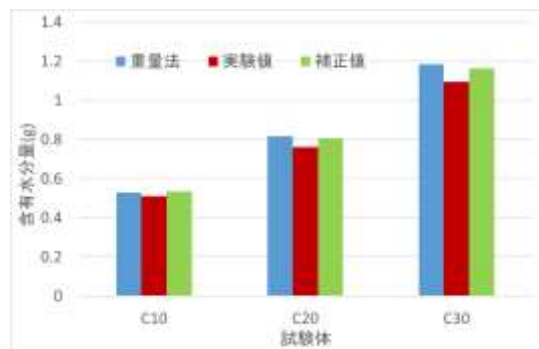


図-4 重量法による含有水分量と実験値および補正值の比較(KUR)

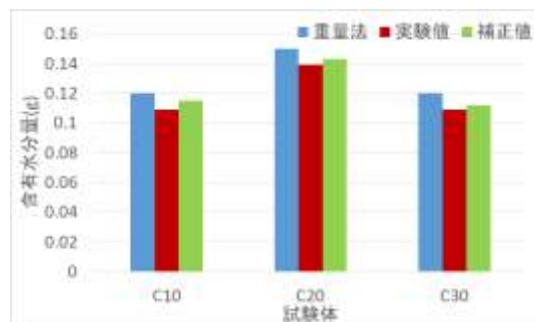


図-5 重量法による含有水分量と実験値および補正值の比較(KUR)

【参考文献】

- 1) 中性子ラジオグラフィを用いた多孔質材料内の含有水分量の定量化手法：小沼遥祐, 沼尾達也, 木村亨, 久保美春, 土木学会第 70 回年次学術講演会, V-446