

### 中性子ラジオグラフィを用いた水分測定に関する画像処理方法の提案

茨城大学 正会員 ○松島由布子 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

#### 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の、原子核と中性子の相互作用(捕獲, 散乱および核反応)により生じる減衰特性の差を利用し2次元画像として表すことができる非破壊可視化技術である。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が、画像には中性子照射装置の特性と、照射された中性子線の非平行成分による透過および検知器(カメラも含む)の精度に由来する検出画像のボケの影響などが含まれる(図1)。

本研究では、物体内の水分の定量的評価を行うため、撮影画像のボケの影響の検討と補正をすべく、作成した試験体の実寸と透過画像から得られた寸法との比較を行った。

なお、本研究は平成24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

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 E-2ポートにて実施した。装置の諸元を表1に示し、試験体概要および詳細を図2と図3に示す。スリットにはパラフィンとW/C=40%のセメントペーストをそれぞれ充填した。パラフィンには水素原子を多く含む物質であることから、中性子が減衰する。

画像撮影において、散乱中性子の影響を無くすために、試験体をある程度コンバータから離して撮影する必要がある。一方、中性子ビームの非平行性の影響も無視出来ず、得られる画像には幾何学的不鮮明度(ボケ)が必ず存在し、試験体の側面端に出現する(図1)。被写体とコンバータの距離が大きくなるにしたがい、空間解像度が減少する(ボケやすくなる)ことから、適切なコンバータとの距離を模索する必要がある<sup>1)</sup>。以上のように、コンバータとの距離と撮影画像に与える影響は密接に関係しているこ

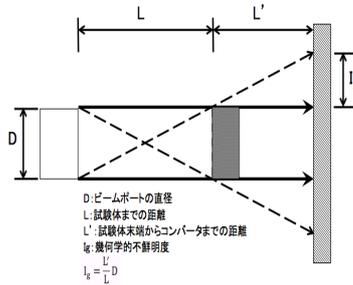


図1. 幾何学的不鮮明度の例

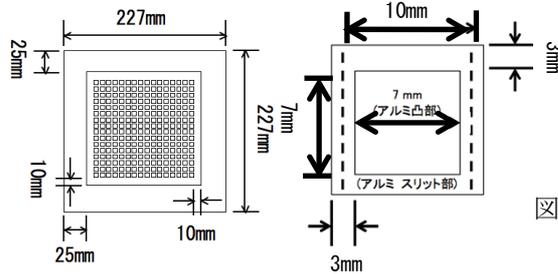


図2. 試験体概要

図3. 試験体詳細

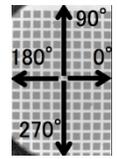


図4. 撮影状況と解析方向

表1. 中性子ラジオグラフィ装置の諸元

中性子束	3.2 × 10 <sup>5</sup> n/cm <sup>2</sup> /sec
コリメーション比 L/D	100
Cd比	400
n/γ比	1.1 × 10 <sup>4</sup> (n/cm <sup>2</sup> ・mR)
コンバータ	蛍光コンバータ ( <sup>6</sup> LiF/ZnS:Ag)
冷却型カメラ画素数	2048 × 2048pixel (16bit)
空間解像能	80~100 μm/pixel 程度
レンズ	85mm
原子炉出力	1MW, 5MW
画像出カソフト	理研開発連続画像取得ソフト

表2. 各実験における撮影条件

	充填物	コンバータとの距離 (cm)	出力 (MW)	撮影秒数 (s)
1回目	セメントペースト, パラフィン	0~8cm (2cm刻み)	1	30, 60, 180 (180はコンバータとの距離0, 8cmの場合のみ)
2回目	パラフィン	0, 8	1, 5	60
3回目	セメントペースト, パラフィン	0~8cm (2cm刻み)	5	30, 60 (60はコンバータとの距離0, 8cmの場合のみ)

とから、実験では試験体とコンバータとの距離を0から8cmにかけて2cm刻みで設定し、出力1MWおよび5MW下においてそれぞれ透過画像の撮影を行った。表2に各撮影条件を示す。解析においては、撮影画像の傾向を把握するために、円状部分の中心点からの距離と、ピーク値の間の寸法を求め、実際の試験体寸法との差(撮影画像におけるピーク値の間の寸法 - 実際の試験体寸法10mmおよび10√2mm)をとり、円状部分の中心点からの距離と、実寸との差の関係を求め画像の傾向を把握することとした。撮影画像の値の抽出は中心点より0° から360° の 45° 刻みに対して行った(図4)。また、パラフィンおよびセメントペーストの充填状等により、ピーク値の出現位置にばらつきが生じることから、撮影したデータのグラフにおいて任意の点で直線補間を行い、グラフ凸部の中点を求めピーク値出現位置の修正を行った。修正を行った後

キーワード 中性子ラジオグラフィ, 非破壊検査, 画像処理, 含有水分測定

〒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

ピーク値の間の寸法を求め、実際の試験体寸法との差をとり、中心点からの距離と実寸との差の関係を求めた(図5)。

### 3. 実験結果および考察

図6から図7に、パラフィン格子試験体の結果より導出した中心からの距離と実寸との差の関係を示す。凡例のMWは原子炉の出力、長さはコンバータとの距離秒数は撮影時間、角度は解析方向を表している。

これまでの結果より、中心からの距離と実寸との差の関係において、撮影時間や原子炉出力による画像傾向に大きな差が見られないことから、これらは画像傾向に対しては大きな影響を及ぼさないと考えられた。また、図6より、コンバータとの距離が長い方が、実寸との差の分布が小さく収まっていること、図7より中心からの解析方向によってグラフの勾配が異なることから、コンバータとの距離と解析方向が画像傾向に影響している要因であると考えられた。さらに、中心からの距離と実寸との差の関係において概ね1次の線形傾向を示していることから、画像の歪曲傾向を $y=ax+b$  ( $y$ :実寸との差,  $x$ :中心からの距離,  $a$ :解析方向による要因,  $b$ :コンバータとの距離による要因)と仮定した。また、値のばらつきが少なく実寸との差が最も小さい傾向が見られたパラフィン充填時におけるコンバータとの距離8cmの結果を抽出し、図7のように最小二乗法により各結果において1次の近似式を作成した。さらに、各近似式から得られる変化の割合および切片の平均を、画像傾向推定式作成の上での基準とすることとした。

図8に解析方向と各近似式から得られたグラフの変化の割合の平均の関係を示す。図8をみると解析方向が45°の時に歪曲度が大きく、180°方向では小さいことが分かる。

図9にコンバータとの距離と、近似式の切片値の平均との関係を示す。縦軸は基準としているコンバータとの距離8cmの結果とその他のコンバータとの距離における結果の比、横軸はコンバータとの距離を表している。図9をみると1次線形の近似式と高い相関を示しており、各コンバータとの距離に対する比率は、今回の結果からは $\beta = -0.1055x + 1.8554$ の1次線形で表すことができた。(x:コンバータとの距離)

また、歪曲度の推定ができれば、切片の関係もあわせて先述の $y=ax+b$  ( $a$ :推定式より代入)

( $b$ : $b^{\wedge}$ (コンバータ距離8cmの時の切片値) $\times \beta$ (推定式で求めた比率))

において、画像の歪曲傾向を定量的に表すことができ、歪曲量を差し引くことにより結果として画像全体の補正が可能となると考えている。図10に今回の考えに基づく補正結果を示したが、どの結果においても概ね実寸との差が小さくなり、歪曲の補正も行うことができたといえる。

### 4. おわりに

中性子ラジオグラフィにおける撮影画像のボケと歪曲の影響を、 $y=ax+b$  ( $y$ :実寸との差,  $x$ :中心からの距離,  $a$ :解析方向による要因,  $b$ :コンバータとの距離による要因)により表し、撮影画像から得られた誤差の補正值として算出することができた。

### 参考文献

- 1) 中性子イメージング技術の基礎と応用, (社)日本アイソトープ協会理工学部会中性子イメージング専門委員会

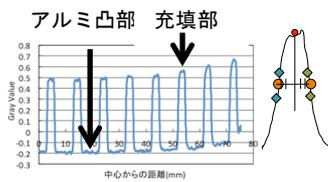


図5. ピーク値修正の例

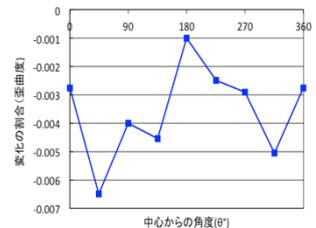


図8. 解析方向と変化の割合の関係

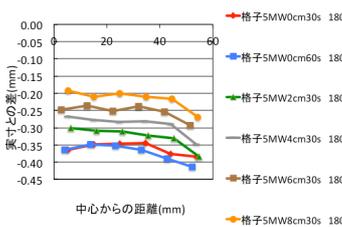


図6. コンバータとの距離と実寸との差の関係

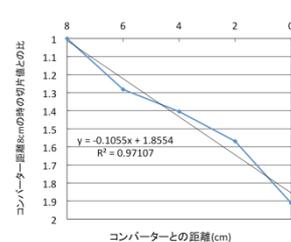


図9. コンバータとの距離と切片の関係

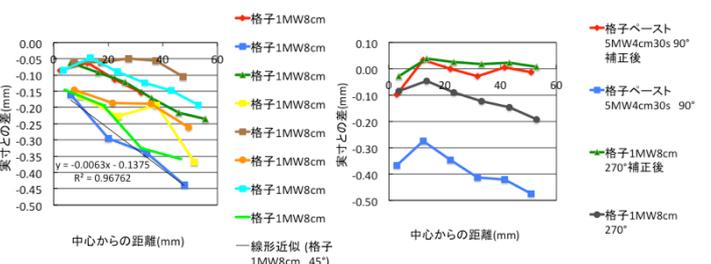


図7. 解析方向と実寸との差の関係

図10. 補正結果