

燃料デブリの形状再構築に向けた超音波可視化技術の開発

岡山大学 学生会員 河野 隼也
 岡山大学 正会員 木本 和志
 東京工業大学 非会員 木倉 宏成

1. 序論

東京電力福島第一原子力発電所の事故により炉心溶融が発生し、溶け落ちた燃料は炉心構造物との混合物である燃料デブリとして今も格納容器のどこかに存在しているとされている。廃炉作業の一環としてこの燃料デブリを取り出す必要があり、取り出しの目途を立てるためにも燃料デブリの形状を把握する必要がある¹⁾。本論では燃料デブリの形状を把握する手段として超音波を用いた計測に着目した。超音波は光学的手段での計測が難しい場合に有効な手段であり、さらにドップラー周波数を計算することによって流動の様子も知ることもでき同時に漏水に関する情報も得ることができると期待されている。方法としては超音波を対象に照射し反射波を計測し開口合成法を用いて画像化を行い形状評価するものである。しかし実際原子炉での作業は高い線量により人は近づけないためロボットにより行うこと、計測器具を格納容器内へ下ろすために使用する穴が小さく多くの超音波センサーを下せないことなど様々な環境制約を受けることになりその環境下で適用可能な方法であることが求められる。本研究では、燃料デブリの超音波計測を模擬した計測と画像化を行う室内実験のシステム構築を行った。それを用いて超音波センサーによる室内実験を行い、開口合成法を用いて画像化し対象の形や多孔性、大きさといった項目の概算値が画像から判断できるか評価を行った。

2. 実験方法及び実験結果

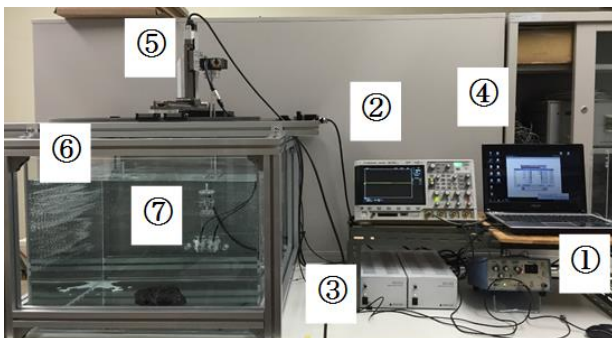


図 2.1 超音波計測装置の構成

ここでは実際に模擬試料を用いた超音波画像化室内実験に使用するシステムの紹介をおこなう。

それぞれ①パルサーレシーバー、②オシロスコープ、③ステージコントローラー、④制御用 PC、⑤ステージ+回転ステージ、⑥センサー+センサー取り付けホルダー、⑦フレーム+水槽である。計測用の模擬試料として鉄鋼スラグを用いた(図 2.2)。鉄鋼スラグはその形状や密度、重量、発泡度が実際の燃料デブリの形の様子に近いのではないかと予想されている。この試料の真上に計測範囲を設定し、その上を格子状に計測を行った。 x , y 各方向に試料からのエコーが返ってこなくなる位置まで移動させその範囲内を計測範囲とした。また z 方向への移動および各回転は行わないものとする。計測手順は、まず x 軸方向に一系列計測を行い、終わったら一度 x 座標を元の位置まで戻す。その後 y 軸方向に一間隔分移動させ再び x 軸方向に計測を行う。この動作を繰り返し、設定した計測範囲を網羅した時点で終了する。各軸の計測範囲は各試料の大きさに合わせて設定した。センサーの移動は図 2.3 に示す数字と同じ順である。



図 2.2 (a) 試料 1、(b) 試料 2

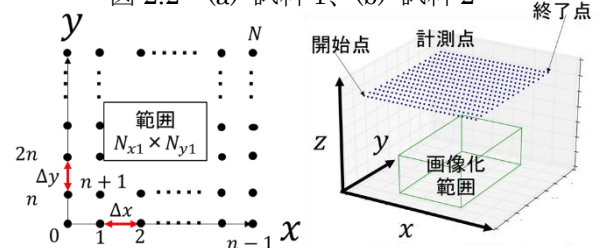


図 2.3 計測点と画像化範囲の配置

キーワード 燃料デブリ, 開口合成法, 超音波画像化技術

連絡先 〒 700-8530 岡山市北区津島中 3 丁目 1-1 環境理工学部棟

TEL: 086-251-8801. FAX: 086-251-8808

また下表に示す条件で超音波計測を行った。

表 2.4 超音波計測の条件

周波数	電圧	GAIN	繰り返し周波数	平均化
1[MHz]	300[V]	20[dB]	500[Hz]	128回

3. 三次元画像化結果

超音波計測により計測したエコーから三次元画像の作成を行った。画像化条件は以下の通りである。

表 3.1 超音波画像サイズ

画像化情報/試料名	試料1	試料2
画像化範囲(xmm×ymm×zmm)	150×120×50	130×130×60
ボクセル数(x×y×z)	50×50×50	50×50×50

まず両試料について y 軸断面における断面画像を作成した。カラーバーは反射強度の強弱を示し赤色ほど強く、青色ほど弱く反射されている部分であることを表す。図 3.2 はその画像化の結果であり、両試料とも試料の断面の概形を表す画像が作成できていることが確認できた。次に試料 1 に関しての高さ分布画像と写真測量の結果を比較し超音波画像化によって大きさ、形、分布範囲が正しく表示されているかを検証した。写真測量はソフト ContextCapture を用い空中三角測量を行った。写真測量結果にも誤差が存在するが超音波計測の結果よりも実物との誤差が小さいため超音波計測よりも正確に試料画像を表示しているものとして比較対象に用いた。図 3.3 は超音波による画像化した結果と写真測量による画像化した結果を同じ座標系に表示したものである。カラーマップされているのが写真測量の結果で高さごとに色付けされており薄いグレーで表示されているものが超音波画像化の結果であ

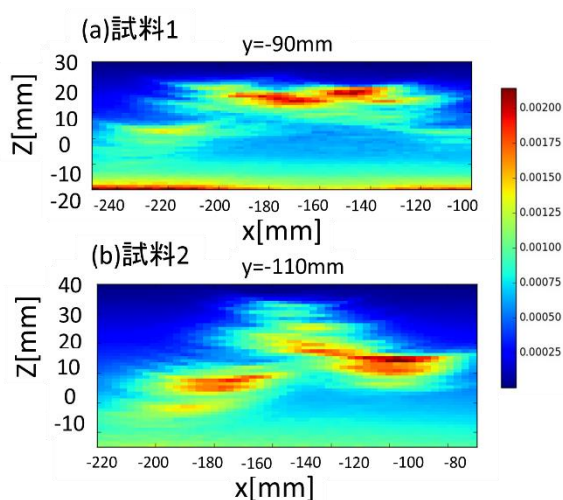


図 3.2 3次元超音波画像断面図

る。これを確認すると超音波画像化の結果と写真測量の結果がほぼ重なり分布範囲が正しく表示されていることが分かった。

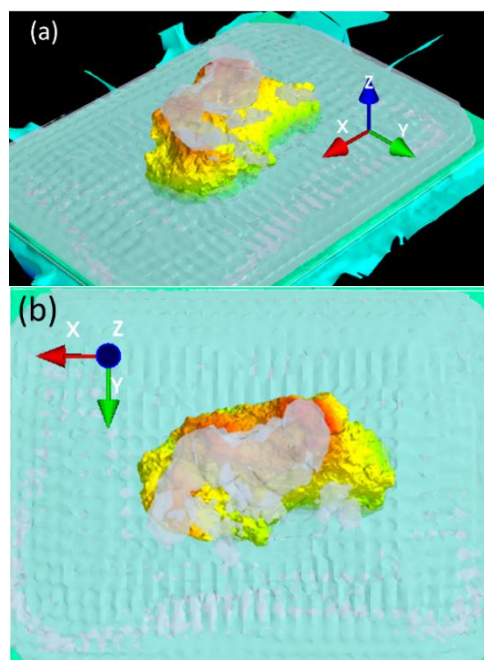


図 3.3 超音波画像化結果と写真測量結果の比較 (a)は鳥瞰図、(b)は z 軸方向から見た図であり無次元化画素値 0.1 の等値面を示す。

4. 結論

本研究では燃料デブリの超音波計測を模擬した計測と画像化を行う室内実験のシステム構築及び室内実験と計測波形を用いた画像化により対象の形や多孔性、大きさといった項目の概算値が画像から判断できるか評価を行った。得られた知見を述べる。

- ・比較的フラットな面からのエコーはよく計測することができた。一方で横方向や急傾斜の個所からのエコーは真上からの計測のみでは不十分であり、センサーやホルダーを回転させるなどの工夫が必要である。

- ・写真測量の結果と超音波画像化結果との比較を行い二つの像がほぼ重なることが確認でき、分布範囲、大きさ、形の概算値の取得が可能であると考えられる。

今後の課題としてはセンサーを回転させるなどの工夫をして計測を行い横方向や急傾斜個所からのエコー計測方法を開発することが挙げられる。

参考文献

- 1) “<http://irid.or.jp/>”, IRID 技術開発組合国際廃炉研究開発機構