

超音波可視化技術および数値解析を用いた焦点型電磁超音波探触子の評価

Evaluation of Point Focusing EMAT using ultrasonic wave visualization system and finite element analysis

東北大学・工学研究科	手塚 晃世	Akitoshi TEZUKA	Student Member
(一財)発電設備技術検査協会	山本 敏弘	Toshihiro YAMAMOTO	Member
東北大学・流体科学研究所	孫 宏君	Hongjun SUN	Member
東北大学・流体科学研究所	浦山 良一	Ryoichi URAYAMA	
東北大学・流体科学研究所	内一 哲哉	Tetsuya UCHIMOTO	Member
東北大学・流体科学研究所	高木 敏行	Toshiyuki TAKAGI	Member

Electromagnetic acoustic transducer (EMAT) is suited to monitoring because of its non-contacting nature. However, a standard EMAT tends to give overestimating results because the estimated thickness is associated with the average of varying thickness over an area under the coil of EMAT. To solve this problem, Point-Focusing EMAT (PF EMAT), which concentrates ultrasonic waves at a certain point, was applied to thickness gauging. This study evaluates the focusing property of PF EMAT and its applicability to local pipe wall thinning evaluation. The ultrasonic waves focused on the back wall with PF EMAT were visualized in experiments. Then, the experimental results were compared with the corresponding simulation results obtained by 2D finite element method (FEM). Finally, the focusing effect with different specimen thickness was evaluated by 2D FEM.

Keywords: Non-destructive testing (NDT), Ultrasonic testing (UT), Point Focusing EMAT, Ultrasonic wave visualization system, Finite element analysis, Pipe wall degradation, Decommissioning

1. 緒言

東京電力福島第一原子力発電所では廃炉に向け、燃料デブリの取り出しについて議論されている。核燃料の一部が圧力容器を貫通し、格納容器へ溶け落ちた 1-3 号機では、圧力容器や格納容器の底に冷えて固まった燃料デブリが残存しており、廃炉に取り組むうえでこの燃料デブリを取り出すことは重要な課題とされている。

デブリ取り出しには気中工法や水中工法があるが、いずれの場合も切り出しに伴うデブリ粉塵や金属切粉が発生し、配管内の冷却水中を流れる。このような固液混相流が発生すると配管壁面に局所的な減肉が発生し最終的には破断に至る恐れもある。したがって、局所的な減肉をモニタリングによって管理することは重要である。

配管の厚さ測定法として電磁超音波探触子(EMAT)を用いた超音波厚さ測定が行われているが、従来の探触子ではプローブ面積下の平均的な厚さを測定するため、厚さを大きく見積もり、局所的な減肉部の正確な厚さ測定が困難な場合がある¹⁾。そこで超音波を局所に集束させる探触子(Point Focusing EMAT, PF EMAT)を配管肉厚測定に

用いて局所的な減肉部の厚さ測定を目指す。

本研究では試作した深さ 20 mm において超音波を集束する PF EMAT の集束特性を超音波可視化技術および有限要素法を用いた数値解析により評価する。

2. 焦点型電磁超音波探触子 (PF EMAT)²⁾

PF EMAT は、式(1)に従い隣り合う音源から発信する SV (Shear vertical)波が、焦点で位相が π ずれるように設計することで、各線音源から発信した SV 波を焦点に集束する。Fig. 1 (a)にその概念を、Fig. 1 (b)に試作した探触子を示す。

$$R_{i+1} - R_i = \lambda/2 = v_s/(2f) \quad (1)$$

ここで、 R_i は焦点と 0 から i 番目の音源の距離、 v_s は横波の音速、 λ は横波の波長、 f は発信信号の周波数を示し、Fig. 1 (a)中の z_F は焦点深さを示す。

3. 可視化実験

超音波可視化装置((一財)発電設備技術検査協会所有)³⁾を使用し、PF EMAT から発信した超音波を試験片裏面において可視化を行う。パルサーレーザ (RPR-4000, RITEC 社製) で超音波を送受信して、超音波可視化システム (UTS-101, JUST R&D 社製) で可視化装置の x-y ステージおよび RPR-4000 のトリガーを制御する。EMAT か

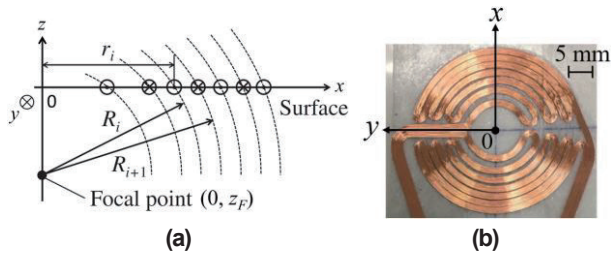


Fig. 1 Point Focusing EMAT^[2]

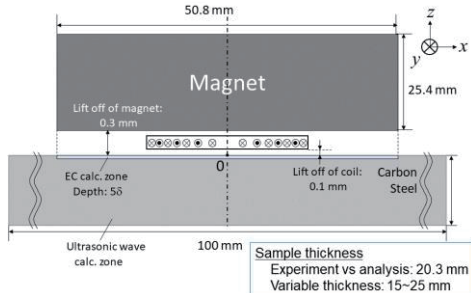


Fig. 2 2D model of numerical analysis

ら発信した信号は試験片裏面において面外成分を計測する縦波用圧電探触子(2C0.5×0.5N)を用いて試験片裏面の2次元平面上を0.2 mmピッチで計測する。

4. 数値解析

有限要素シミュレーションソフトである COMSOL Multiphysics[®]を用いて超音波集束特性を2次元解析により実施して実験結果と比較する。また、焦点深さと異なる厚さの試験片裏面での超音波の分布を解析し比較する。2次元解析は Fig. 2 の解析モデルを用いて静磁場解析、渦電流解析、超音波伝搬解析の3段階で行われる。

5. 結果

5.1. 可視化装置および解析による集束評価

Fig. 3 (a)に試験片裏面での最大値で規格化した超音波振幅のCスキャン画像を示す。Fig. 3 (a)より6dBドロップ指示範囲で評価した有効ビーム径は6.8 mmであった。また、Fig. 3 (b)にPF EMATの中心線における実験値および数値解析での振幅のBスキャンを示す。Fig. 3 (b)より、実験と解析のいずれも超音波の振幅が $x = \pm 1$ 付近においてピーク値をとり、 $x = 0$ 付近で大幅に小さくなった。

5.2. 肉厚の変化による測定への影響評価

2次元解析により試験片厚さを15から25 mmに変化させたときの裏面での超音波の有効ビーム径および最大値をそれぞれ Fig. 4 (a), (b)に示す。Fig. 4 (a)より有効ビーム径は試験片厚さ15から23 mmにおいて3.6から4.0 mmであり大きな変化はなかった。一方で、信号振幅の最大値は Fig. 4 (b)より試験片厚さに影響され設計した焦点深さである20 mmの時に最大となった。

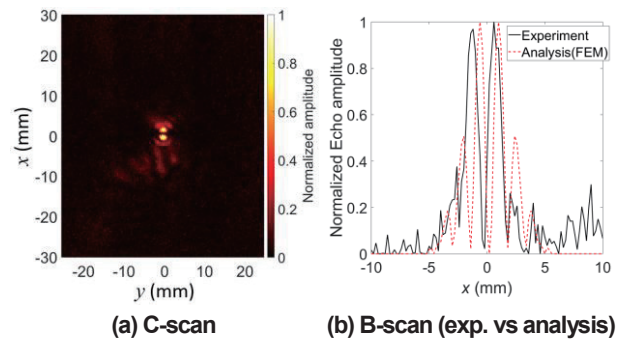


Fig. 3 Echo amplitude profile of PF EMAT

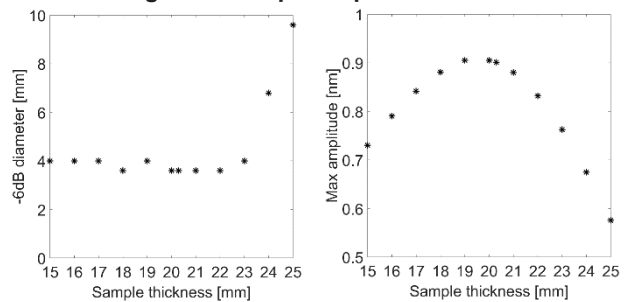


Fig. 4 Effect of sample thickness (Analytical evaluation)

6. 結言

本研究では焦点深さ20 mmに設計したPF EMATの集束特性を、可視化装置を用いた実験および数値解析により評価した。実験により有効ビーム径は6.8 mmであった。また実験と解析の間で、信号振幅の分布に整合性が見られたことから可視化装置はPF EMATの集束特性の評価に有効と考えられる。さらに、試験片厚さとPF EMATの焦点設計深さとの違いが、有効ビーム径および最大振幅に及ぼす影響を評価した。信号振幅の最大値は試験片厚さに影響されることが分かった。今後は受信信号を評価して、実用化への検討を行う。

謝辞

本研究の一部は、「文部科学省英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業(日仏)」により実施された「配管減肉のモニタリングと予測に基づく配管システムのリスク管理」の成果である。

参考文献

- [1] H. Sun and T. Takagi et al., "Effect of Scaly Structure on the Measurement of Pipe Wall Thickness using EMAT," *E-Journal of Advanced Maintenance* **9**, 1, (2017) 15-25.
- [2] T. Takishita, and H. Ogi et al., "Development of shear-vertical-wave point-focusing electromagnetic acoustic transducer," *Japanese Journal of Applied Physics* **54**, (2015) 07HC04.
- [3] 山本敏弘他 "EMATが発生する超音波の可視化," 溶接・非破壊検査技術センター技術レビュー **9**, (2013) 17-21.