

# 電磁超音波法による減肉の定量評価

## Identification of Corrosion Shape by EMAT

神戸大学大学院 小坂 大吾 Daigo KOSAKA Member  
神戸大学大学院 小島 史男 Fumio KOJIMA Member

This paper is concerned with quantitative evaluation of corrosion shape on back surface of Stainless samples by Electro Magnetic Acoustic Transducer (EMAT). First we summarize numerical studies of the quantitative nondestructive evaluation by EMAT. Secondly, a method for recovering corrosion shape is proposed. Aspect ratio (corrosion height / corrosion radius) is important for recovery a corrosion shape.

**Keywords:** Nondestructive evaluation, Structural integrity, Inspection, Damage Detection, Sensor technology

### 1. 緒言

タンクや配管などの構造物の減肉管理技術は、高経年化するプラントの保全に欠かせないものである。減肉管理には状態監視保全の観点から、常時監視、定量的な評価などが求められている。これらの用途には圧電素子を用いた超音波探傷技術が用いられている。この手法は学問的に体系づけられており、十分な信号強度を持つことから減肉管理において広く用いられている。しかし状態監視の観点において、センサと被測定物とを接触させる必要があり、また運転中高温になる構造物の検査にはセンサの特性上、圧電素子を用いることができないため、圧電素子に代わる高温環境に適用可能な技術が求められている。

そこで注目されているのが電磁超音波探触子 (Electro Magnetic Acoustic Transducer : EMAT) である [1~9]。EMAT は静磁場を作る磁石と、超音波の送受信に用いるコイルから構成されている。圧電素子と比較して高温環境に強く、非接触で計測が可能であり、コイルに流す電流を制御することが容易であることからより定量的な減肉管理技術として期待されている。一方で、EMAT は電磁場と超音波の変換を送信、受信時に行うこと、圧電素子と比較して信号強度が低く、またセンサの面積が大きいことから、減肉形状の測定に

おいて分解能が十分ではない。よって逆問題的手法などを用いた減肉形状測定技術の開発が求められている。

そこで、ステンレスの平板の裏面に加工した半楕円形状の模擬減肉を対象に、逆問題的手法を用いた減肉形状診断を視野に入れ、これに必要な電磁場解析と振動解析を組み合わせたシミュレータの構築を行った。本稿では最初に、シミュレータによる数値実験結果と実際の測定である研究室実験結果との比較をし、作成した検査シミュレータの性能を評価する。次に減肉形状の推定結果と、センサの大きさの関係について議論する。

### 2. シミュレータの性能評価

#### 2.1 試験体およびセンサ形状

検査対象とする減肉試験体を Fig. 1 に示す。厚さ 15mm の SUS304 にワイヤ放電により半楕円形状の模擬減肉を加工している。長径(減肉半径)、短径(減肉高さ)をパラメータとした試験体を作成し、そのアスペクト比(長径/短径)による信号の波形の変化を計測した。シミュレーション実験および研究室実験に用いたセンサの形状を Fig. 2 に示す。

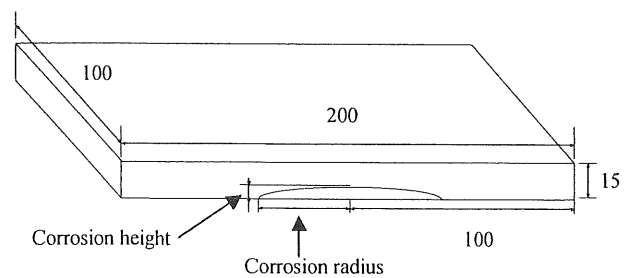


Fig. 1 Test Sample

連絡先:小島史男、〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1、神戸大学、大学院工学研究科、情報知能学専攻、電話: 078-803-6493、e-mail: kojima@koala.kobe-u.ac.jp

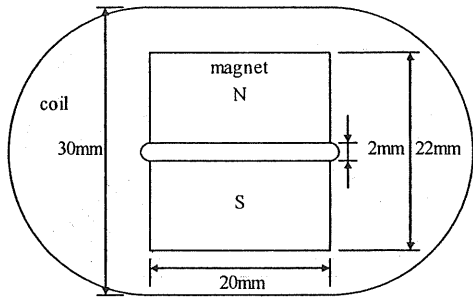


Fig. 2 Dimensions of EMAT

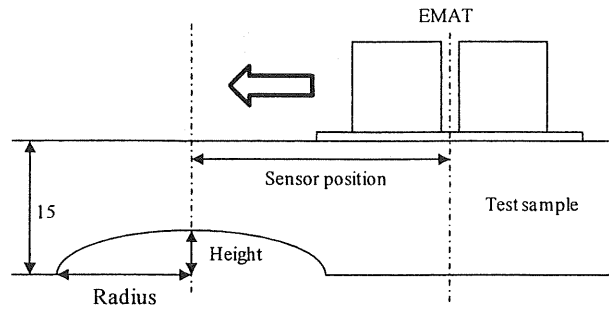
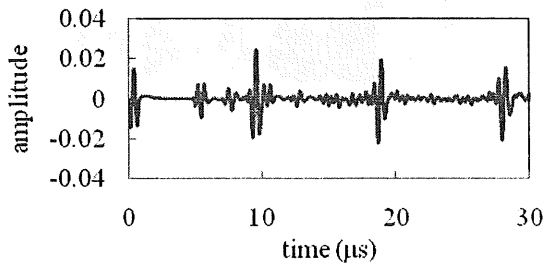
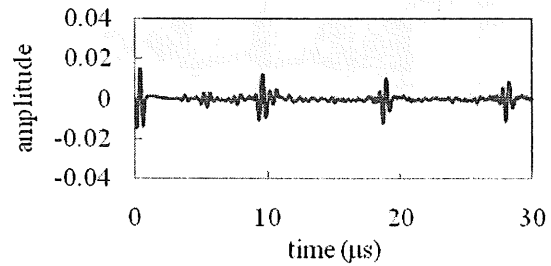


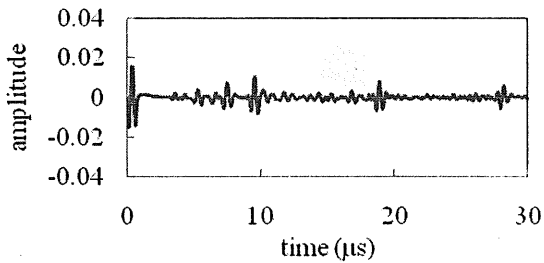
Fig. 3 Experimental Method



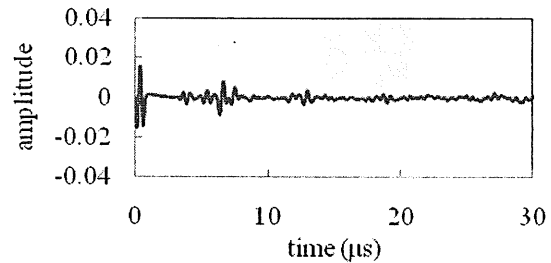
(d) Sensor position 30mm



(c) Sensor position 16mm



(b) Sensor position 10mm



(a) Sensor position 0mm

Fig. 4 Numerical simulation results

## 2.2 シミュレーション実験結果

本シミュレーションでは Fig. 3 に示すように、センサを減肉面と反対側の試験体表面上で減肉に対して水平に移動させ、減肉とセンサの位置を変化させながら測定した。減肉とセンサ、それぞれの中心が重なった位置を 0[mm]として減肉中心とセンサ中心の距離をセンサ位置としている。励磁パルスは 2[MHz]、2パルスとした。

構築したシミュレータの測定結果を Fig. 4 に示す。センサが減肉と重なると急激にエコー高さが小さくなっていることが確認できる。

エコー間隔(Time of Flight : TOF)は 9.3[μs] であり、これより超音波の伝播速度を求めると以下ようになる。

$$15 \times 10^{-3} \times 2 \times \frac{1}{9.33 \times 10^{-3}} = 3215 [m/s]$$

一方、理論上の超音波の伝播する速度は 3196[m/s]であり、シミュレーション結果は音速の観点からは十分な精度を持っていることが確認できる。これにより Fig. 4(a)のセンサ位置 30[mm]の測定結果からは 9.5[μs]付近にエコーが確認でき、Fig. 4(d)のセンサ位置 0[mm]の 7.5[μs]付近に最初のエコーが確認できることから、求めた音速を考慮すると本シミュレータは板厚 15[mm]に対する減肉高さ 5[mm]を評価しているといえる。しかし、センサ位置が減肉中心付近にない時、その位置における減肉高さを評価できるほど TOF の変化を確認することができず、現時点では減肉半径 15[mm]、減肉高さ 5[mm]の試験体において、TOF の変化から減肉

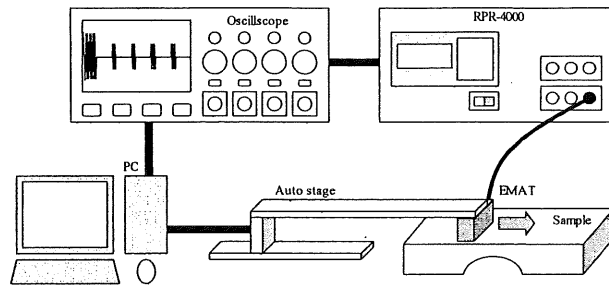


Fig. 5 Experimental setup

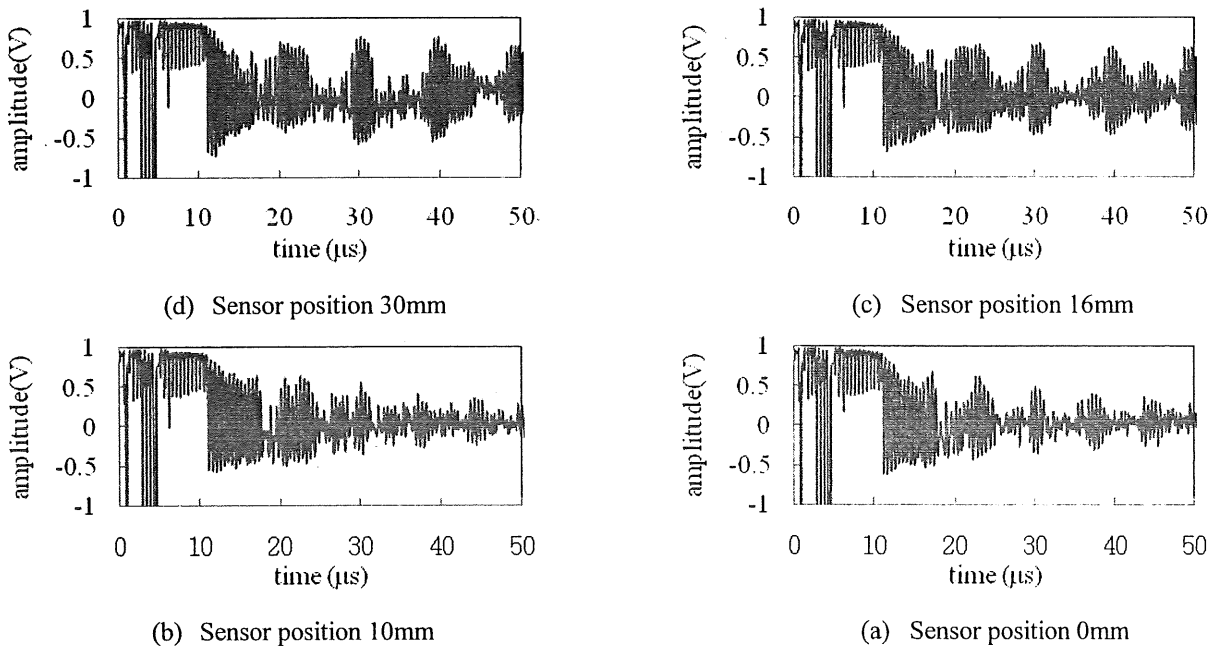


Fig. 6 Experimental results (Corrosion radius is 15mm)

形状を測定することは、困難であることがシミュレーションから確認できる。

### 2.3 研究室実験結果との比較

研究室実験に用いたセンサの形状はシミュレーション実験に用いた Fig. 2 と同じである。研究室実験システムを Fig. 5 に示す。励磁パルスも同様に、パルス電源発生装置によってセンサのコイルに 800[Vpp]、2[MHz]、2 パルスを印加している。センサの移動は自動テーブルを用いて位置ずれによる誤差の混入を軽減した。

測定結果を Fig. 6 に示す。15[μs]付近まで、コイルに印加しているバースト波の影響と思われる直流成分が存在するため、最初の底面エコーを確認することができない。またシミュレーション結果と比較してエコー幅が大きく、現時点で TOF から減肉高さを測定することは困難である。

シミュレーション結果と研究室実験結果の 20[μs]

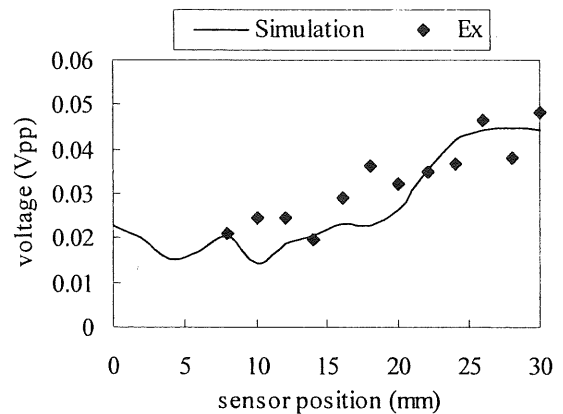


Fig. 7 Comparison between experimental result and numerical simulation result

付近のエコー高さに着目し、まとめた結果を Fig. 7 に示す。センサが減肉に近づくにつれ、エコー高さが同様に減少していることが確認できる。

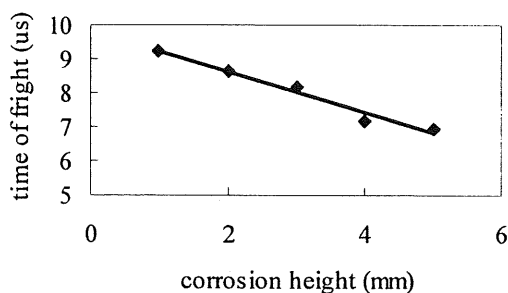


Fig. 8 Tendency of TOF  
(Corrosion radius is 15mm)

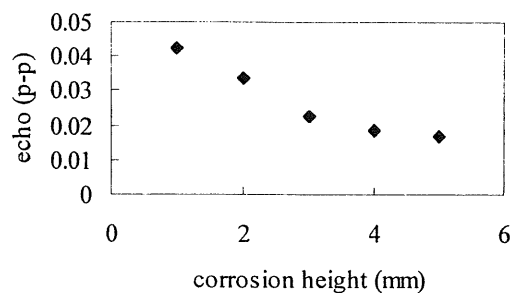


Fig. 9 Tendency of echo  
(Corrosion radius is 15mm)

### 3. 減肉形状の推定

減肉中央においては減肉高さに応じたエコーを確認できることから、センサ位置を 0[mm]、減肉半径を 15[mm]で固定して、減肉高さの異なる(1~10[mm])シミュレーションを実施した。減肉高さごとに TOF をまとめた結果を Fig. 8 に示す。減肉高さに応じてほぼ比例して TOF が変化していることが確認できる。なお、6[mm]以上はエコーを確認できなかった。

Fig. 9 に示すように、減肉のアスペクト比 (減肉高さ/減肉半径) が大きいほどエコー高さが小さくなることから、アスペクト比が大きいほど減肉高さの評価が難しくなる。センサの性能向上要件の一つとして、減肉高さを測定可能なアスペクト比の向上は重要である。

### 4. 結言

構築したシミュレータは研究室実験と同様の傾向を示したことから、有用性の確認ができた。一方で研究室実験の分解能が十分ではなく、改良の余地がある。

シミュレーション実験から、減肉高さの測定を試みたが、測定できる範囲が減肉のアスペクト比に支配されることが確認できた。EMAT のコイル径の影響も考えられることから、今後は研究室実験の分解能を向上させるとともに、構築したシミュレータを用いて、逆問題的手法を取り入れた減肉形状診断手法について検討を行う。

### 謝辞

本研究は「平成 19 年度高経年化対策強化基盤整備事業」において実施した研究である。

### 参考文献

- [1] R. Thompson, "Physical Principles of Measurements with EMAT Transducers", W.P. Mason, (ed.), Physical Acoustics, Vol.19, Academic Press, New York, pp. 157-200, 1990
- [2] Allen, D.R. and Martin, R., "Measuring boiler tube wall thickness in thermal power plants using electromagnetic acoustic transducers (EMATs)" AERE Report 11653, 1985
- [3] Smith, B.J., Martin, R. and Holt, R.P., "The use of EMATs for wall thickness measurements on corroded pipes" Proc 6th Int Conf on NDT Methods, Strasbourg, p. 49, 1986
- [4] BOETTGER W, SCHNEIDER H, WEINGARTEN W, "Prototype EMAT system for tube inspection with guided ultrasonic waves", Nucl Eng Des, Vol.102, No.3, pp.369-376, 1987
- [5] HU J K, ZHANG Q L, HUTCHINS D A, "Directional characteristics of electromagnetic acoustic transducers", Ultrasonics, Vol.26 No.1 pp.5-13, 1988
- [6] COAKLEY K J, CLARK A V, HEHMAN C S, "Empirical Modeling of Electromagnetic Acoustic Transducer Data", PB Rep, p.24, 1999.08
- [7] KAWASHIMA K, "Very High Frequency EMAT for Resonant Measurement", Proc IEEE Ultrasonic Symp, Vol. 1994, No. 2, pp.1111-1119, 1994
- [8] PARK Ik-Keun, KIM Yong-Kwon, KIM Tae-Hyung, CHO Yong-Sang, "A Non-Contact Guided Wave Technique for Defect Thining Monitoring", Key Eng Mater, Vol.326/328 No.Pt.1 pp.681-684, 2006
- [9] CHEONG Yong-Mo, JUNG Hyun-Kyu, KIM Young-Suk, "Comparison of an Array of EMATs Technique and a Magnetostrictive Sensor Technique for a Guided Wave Inspection of a Pipe", Key Eng Mater, Vol.321/323 No.Pt.1 pp.780-783, 2006