

電磁超音波共鳴法を用いた配管減肉の評価精度の検討

Study of evaluation accuracy of pipe-wall-thinning using electromagnetic acoustic resonance

東北大学	岩田 大輝	Daiki IWATA	Student Member
東北大学	武田 翔	Sho TAKEDA	Member
東北大学	内一 哲哉	Tetsuya UCHIMOTO	Member
東北大学	廣瀬 悠一	Yuuichi HIROSE	
東北大学	遊佐 訓孝	Noritaka YUSA	Member
東北大学	高木 敏行	Toshiyuki TAKAGI	Member

Abstract

Electromagnetic acoustic resonance (EMAR) method is used for online evaluation of pipe-wall-thinning. In this study, the thickness of the specimens corroded under various conditions is evaluated by EMAR. The thickness is estimated applying the superposition of n th compression (SNC) method to the signals obtained from EMAR. The error of thickness evaluation is investigated in view of thinning shape and the roughness caused by corrosion. As a result, it is suggested that the shape on the order of mm does not affect the error in estimated thickness.

Keywords: Electromagnetic Acoustic Transducer, Electromagnetic Acoustic Resonance, Flow Accelerated Corrosion, Superposition of n th Compression, Pipe-wall-thinning

1. 緒言

2004年の美浜原子力発電所における配管破裂事故^[1]等の配管の腐食による重大な事故を未然に防ぐため、配管減肉を非破壊検査によって定期的に評価することで設備の安全性と信頼性を保つことは重要である。一方でプラントには、高温等の極限環境下にある配管も存在するため、配管のオンラインモニタリング技術が求められる。

このような要求に応える技術として、電磁超音波共鳴法(Electromagnetic Acoustic Resonance, EMAR)^[2]がある。EMARは電磁超音波探触子を用い、入射周波数を掃引することで共鳴周波数を評価し、材料の肉厚を推定する手法である。EMARは非接触でかつ高精度に測定を行えるため、高温環境下でも適用可能である。一方で、内壁面が腐食している配管に対して配管外壁からEMARを適用した場合、腐食部表面の凹凸形状による超音波の乱反射等の要因で信号が複雑になり、管の肉厚を測定することが困難となる^[2]。このような複雑信号から共鳴周波数を抽出する手法として、 N 周期加算法(Superposition of N th Compression, SNC)がある。しかし、SNCを適用した場合でも、実測値と推定値の間に大きな誤差が生じる場合があり、この要因の解明が求められている。

そこで本研究では、腐食減肉試験片における実測値とEMARによる推定値の誤差が生じる要因を明らかにするため、EMAR信号に影響を与えると思われる腐食部の表面形状を分析する。初めに、減肉幅・減肉厚さが異なる63個の腐食試験片を作製し、各々においてEMAR

による減肉厚推定を行う。次に、同じ減肉幅の試験片で減肉部肉厚の推定値と実測値との間に生じる誤差が大きい試験片と小さい3ヶの試験片に対して、レーザー変位計を用いて表面形状を測定し、表面形状と誤差との関係を調査する。

2. EMARおよびSNCを用いた減肉評価

本研究では、機械構造用炭素鋼S50Cを塩化第二鉄溶液に50°Cで浸漬することで、減肉幅・減肉厚さの異なる63種類の腐食試験片を作製した。各試験片の腐食減肉部の幅はノギス、厚さはインジケータ(ミツトヨ、ID-S1012X)を用いて測定した。大きく分けて5.0, 10, 20, 30, 40 mmの5種類の減肉幅を持つ試験片を、それぞれ12, 13, 11, 13, 14個作製した。また、インジケータにより測定した非腐食部の厚さはいずれの試験片も9.52 mmであった。

図1にEMARの実験装置の概略図を示す。パルサーレーザバー(RITEC-4000)により、送受信コイルに100 μ sのバースト波を1.0 MHzから4.0 MHzまで0.01 MHz刻みで掃引しながら印加する。図2に使用したレーストラック型送受信コイルを示す。コイルは単層で導線の直径は0.1 mmである。この送受信コイルの上に長さ10 mm、奥行き20 mm、高さ20 mmのサマリウムコバルト磁石を2つ組み合わせて設置する。1つの試験片に対して4回EMAR試験を行い、平均値を信号処理に用いる。

続いて、EMARにより取得した信号に対し、SNCを適用する。SNCは入射周波数が整数倍の時に共鳴周波

数が周期的に現れることに着目した解析法である。基本共鳴周波数 f_1 は、式(1)より求める。

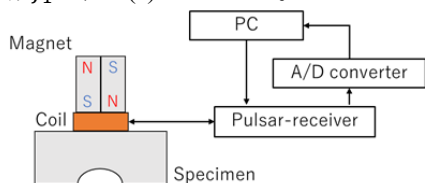


Fig. 1 Experimental setup of EMAR measurement

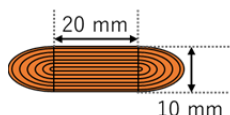


Fig. 2 Coil dimension for EMAR

$$f_1 = \operatorname{argmax}_f \left\{ \sum_n x(nf) \right\} \quad (1)$$

ここで、 $x(f)$ はスペクトル強度、 n は n 番目の共鳴ピーク、 argmax は最大値を取る引数の値を示す。基本共鳴周波数 f_1 のとき、試験片内に半波長の波が発生しているため、試験片内の横波速度 V を基本共鳴周波数の2倍で割ることで、減肉部の厚さ d を算出する。

3. 実験結果及び考察

非減肉試験片に対して室温(20°C)で EMAR 試験を行い、計算した横波速度は 3275 m/s であった。以降の肉厚計算にはこの横波速度を用いる。

63 種類の試験片に対し EMAR 試験結果に SNC を適用したところ、56 種類の試験片において明瞭なピークが得られた。これら 56 の試験片の、減肉部厚さの実測値と EMAR 結果に SNC を適用することで得られた推定値との関係を図 3 に示す。さらに、これらの試験片から選出した、減肉幅が等しい 3 々の試験片 A, B, C それぞれの寸法と肉厚の推定値、および実測値と、これらの間の誤差を表 1 に示す。試験片 B は実測値と推定値に大きな誤差が生じた試験片であり、A と B は、肉厚の推定値がほとんど同じだが推定値が異なる組み合わせ、B と C は、実測値は同じだが推定値に差異が見られた組み合わせである。レーザー変位計を用いて取得した、A と B の減肉部の断面形状を比較した結果を図 4(a)に示す。曲率など、腐食部の形状は大きく異なっており、推定値が一致する要因は見られなかった。次に B と C の減肉部の断面形状を比較した結果を図 4(b)に示す。形状は殆ど一致しており、推定値と実測値の間の誤差が大きい要因は確認できなかった。本研究で使用したレーザー変位計の測定精度が 100 μm であることから、EMAR による肉厚の測定誤差は 100 μm オーダーの形状の際によるも

のではないということが明らかになった。従って、表面の粗さなどのさらに小さいオーダーの形状変化の影響によるもの

Table. 1 Dimensions of specimens

Specimen	A	B	C
Corrosion width [mm]	10.3	11.1	10.5
Measured thickness [mm]	8.27	7.39	7.28
Estimated thickness [mm]	8.25	8.33	7.35
Error [%]	0.3	12.8	0.8

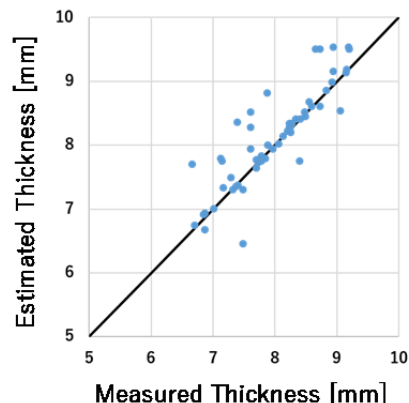
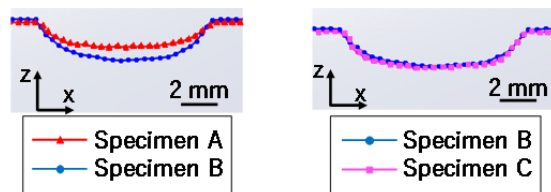


Fig. 3 Relation between measured and estimated thickness



(a) Specimen A and B

(b) Specimen B and C

Fig. 4 Shapes of cross-section of corroded part of sample

のと考えられる。

4. 結言

本研究では、腐食減肉試験片における減肉部肉厚の実測値と EMAR による推定値の誤差が生じる要因を明らかにするため、EMAR 信号に影響を与えると思われる減肉部の表面形状を分析し、誤差との関係を調査した。その結果、肉厚推定における誤差は 100 μm オーダーよりもさらに小さい表面粗さに起因することが示唆された。当日は、粗さによる影響が強く表れる周波数を推定するために、SNC 信号を分解し、それぞれについて検討した結果を報告する予定である。

参考文献

- [1] 片山正一郎, “関西電力美浜発電所 3 号機二次系配管破損事故への対応”, 火力原子力発電, Vol. 56, No. 1, 2005, pp. 4-11.
- [2] H. SUN, R. URAYAMA, T. UCHIMOTO, F. KOJIMA, T. TAKAGI, H. ABE, K. KOBAYASHI, “Effect of

Scaly Structure on the Measurement of Pipe Wall
Thickness using EMAT”, E-Journal of Advanced
Maintenance Vol. 9-1, 2017, pp. 15-25