

パルス渦流探傷試験 (PEC 法) を用いた 減肉検査の基礎検討

前角 貴弘^{*1} 北園 夏未^{*1} 大森 真実^{*1}
Maezumi Takahiro *Kitazono Natsumi* *Omori Mami*
水上 孝一^{*2} 佐々木孝明^{*3}
Mizukami Koichi *Sasaki Takaaki*

パルス渦流探傷試験 (Pulsed Eddy Current Testing、以降 PEC 法と呼ぶ) は、パルス波形状の大電流をコイルに流して試験体中に渦電流を発生させ、この渦電流により発生する磁束の変化から、試験体の厚さを測定する試験方法である。従来の渦電流探傷試験は、試験体表面のきずに対して、コイルを試験体表面に近づけて走査し、きずを検出するものであったが、本手法では厚みのある保温材などの上から、試験体の減肉を検査することができる。

本稿では、本手法を用いた減肉検出技術の実用化に向けた基礎検討として、試験条件・解析条件を検討し、厚さ測定試験を実施した。検出した信号を解析した結果、鋼材だけでなくアルミニウム材においても、板厚に応じた信号の変化が見られた。また、鋼材では検出信号の長時間側、アルミニウム材では短時間側において、厚さに応じた信号の変化が明瞭に表れ、減肉部の有無だけでなく、減肉判定の可能性を示唆する結果が得られた。

キーワード：PEC 法、コイル、減肉検査、板厚測定、鋼、アルミニウム

1. はじめに

渦電流探傷試験 (ET) は、電磁誘導現象により金属試験体に渦電流を励起し、渦電流の変化を観測することにより、きずの有無などを検査する技術である。超音波探傷試験などの検査方法と比較して、原理的に非接触で検査できるため、塗膜などのコーティング上からの検査が可能であり、塗膜の除去作業を必要としない効率的な検査手法である。ただし、保温材など厚い介在物上からの検査や、試験体内部の減肉検査への適用は困難である⁽¹⁾。

PEC 法は、従来の ET と異なり、励磁電流にパ

ルス電流を用いる。パルス励磁電流を印加することは複数の、異なる周波数の正弦波を同時に加えたのと同等とみなせるため、得られる情報量が多いと言われている⁽²⁾。さらに、パルス信号を用いることで印加時にかかる平均電力を低くすることができるため、励磁コイルに大電流を流すことができ、試験体に強い磁界を発生させることができる。これら二つの理由から、PEC 法は、保温材など厚みがある介在物上から配管の減肉などの検査に適しており、稼働中のプラントにおける保温材を剥がさない減肉検査への適用事例がいくつか報告されている。

*1：検査事業部 技術部

*2：国立大学法人愛媛大学 理工学研究科 生産環境工学専攻 機械工学講座 講師

*3：検査事業部 副事業部長 兼 技術部長

次に、PEC法による減肉の測定原理について説明する。パルス電流を励磁コイルに流すことで、試験体表層に励起される渦電流が時間の経過とともに試験体深部に向けて浸透していく。その後、渦電流が試験体裏面まで到達すると、渦電流からの磁界が急速に減少するため、試験体厚さに応じて検出器で検出される電圧に差異が生じる。そこで、PEC法では、あらかじめ、板厚の異なる対比試験片を用いて検出電圧の減衰曲線を作成し、減衰曲線と試験時の検出電圧を照合することで測定対象の減肉の程度を推測できる(図1)。なお、PEC法で測定可能な板厚は、測定範囲(フットプリント)内にある材料の板厚の平均値であり、孔食やサイズの小さい単一の腐食ピットなどの局所的な減肉は測定困難であることが知られている(図2)⁽³⁾。

PEC法は、従来のETと比べまだ実用例が少なく、適用方法や解析方法など多くの検討がなされている。また、従来のETで問題となっていた検査範囲が表層近傍に限定される制限を克服しうる技術であるため、検査手法を確立することで電磁気探傷の適用が^{ひろ}広がる可能性がある。

本稿では、PEC法の基礎検討として、減肉を模擬した階段状試験片(銅およびアルミニウム合金製)を用いて、それぞれの板厚差に対し測定の可否を確認した。

2. 試験

2.1 試験装置

PEC法の試験装置を図3に示す。波形発生器で矩形パルス波を生成し、電圧増幅器で増幅したのちプローブ内の励磁コイルへ出力する。電磁誘導現象により試験片に生じた磁場の変化を、プローブ内の検出コイルで検出し、プリアンプで信号を増幅したのち、AD変換器を通してパーソナルコンピュータ(PC)に出力する。

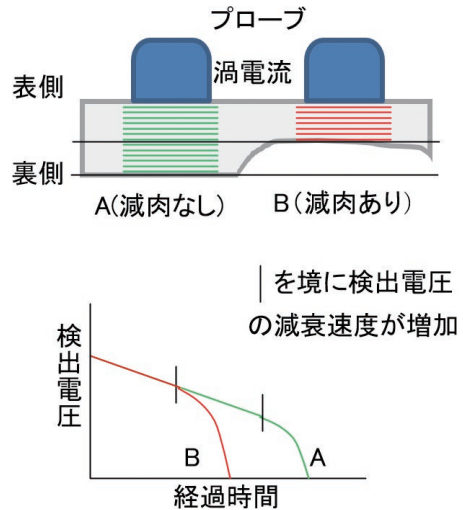


図1 PEC法を用いた減肉検査の原理

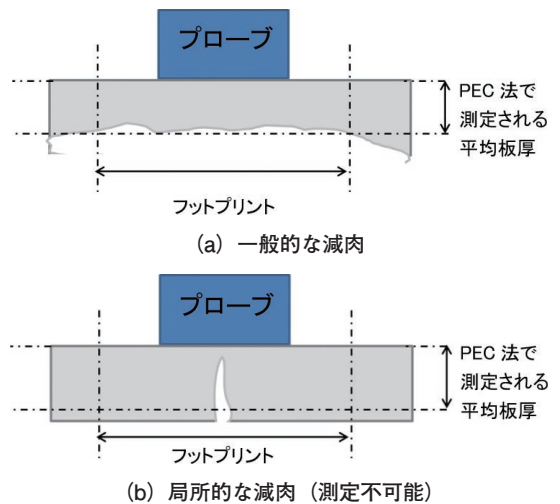


図2 PEC法で測定可能な減肉

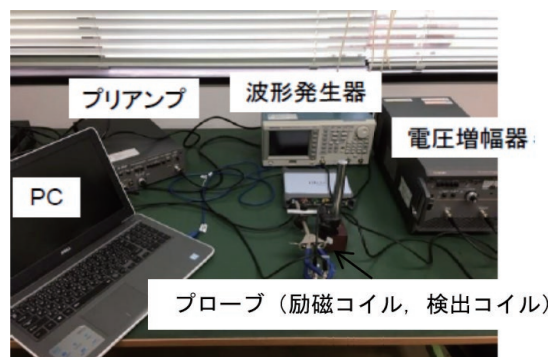


図3 試験装置

2.2 試験体

試験体は、板厚が異なる部位をもつよう階段状に設計し、鋼材(SS400)とアルミニウム材(A5052)の二体を製作した。SS400 試験体は、それぞれの部位の厚みが2、3、4、5、6mm、A5052 試験体は板厚が3、5、6mmの平坦部をもつ形状とした。以降、それぞれの試験体の、板厚が最も大きい6mmの部分をもつを t_0 とし、板厚が2～5mmの部分に関しては、板厚の小さいほうから t_1 、 t_2 、…とした(図4)。 t_1 ～ t_4 の横と縦の長さは150×150mmである。試験体は、図5に示すように段差部分が下向きとなるように配置し、それぞれの板厚の中央部分を測定に使用した。

2.3 SS400 試験体を用いた試験

試験では、2.1、2.2 節に示す試験装置および

SS400 試験体を用いて板厚を識別できるか確認するため、波形発生器で発生させたパルス波形の電圧の立下りをトリガ信号として、検出コイルの電圧の経時変化を測定した。図6は試験結果を示し、縦軸に検出コイルの電圧、横軸にトリガ信号からの経過時間を示す。縦軸横軸ともに、変化量に応じ明確にわかるように対数表示としている。板厚ごとのグラフの比較では、0.01s前後で検出電圧の減衰速度に差がみられており、 t_1 (2mm)、 t_2 (3mm) など板厚の薄いものに関しては、ほかの試験結果と比べて明らかに電圧の減衰速度が速く、差異がみられた。しかしながら、板厚の大きい t_3 (4mm)、 t_4 (5mm) などでは、同様の傾向がわずかに見られるものの、長時間側(グラフの右側)のノイズが大きいため、解析は困難であった。

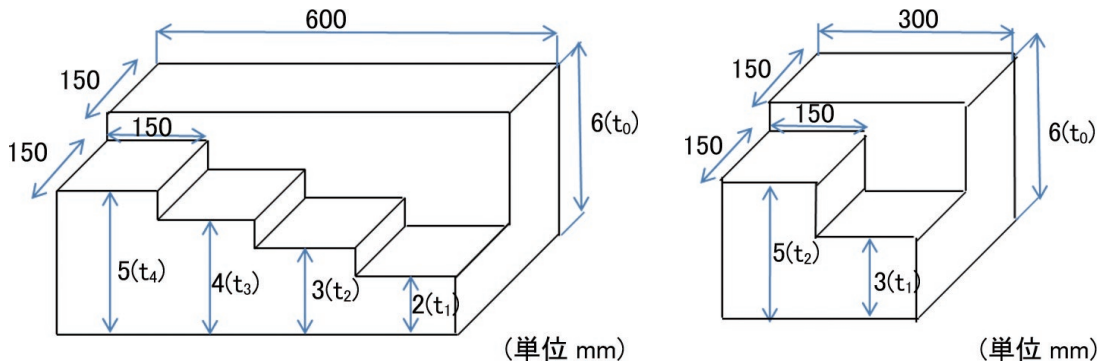


図4 試験体 (左：SS400 試験体、右：A5052 試験体)

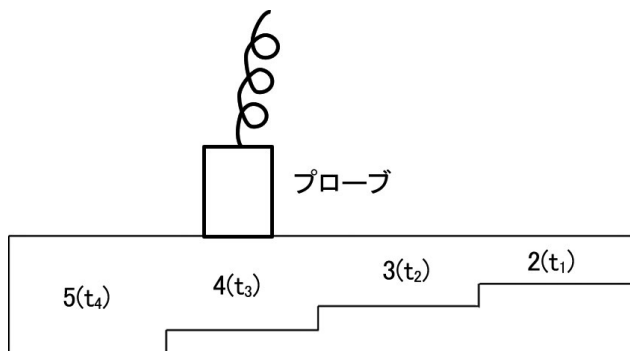
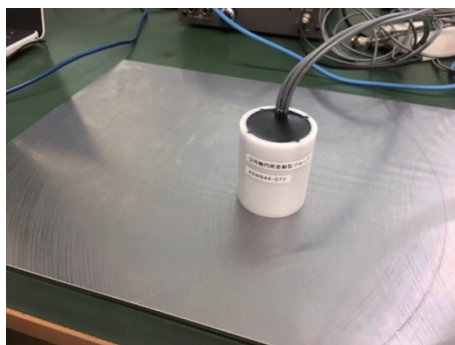


図5 試験時のプローブ設置状況 (左：写真、右：断面イメージ図)

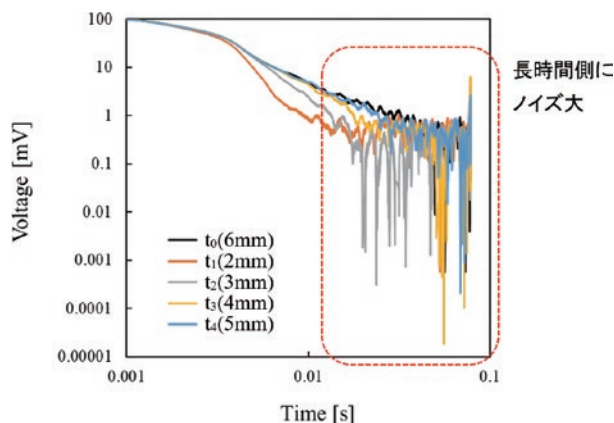


図6 SS400 試験体での試験結果 (ノイズ処理前)

この結果をうけ、本試験では磁気ノイズ低減のための信号処理を試み、検出コイルの時系列信号に対する移動平均処理に加え、同一の測定点に対して複数回測定を実施し、それらの測定結果の加算平均をとることにより、ノイズが大幅に低減することを確認した(図7)。 t_0 、 $t_1 \sim t_4$ いずれも検出電圧波形に十分な差が出ており、本試験条件では、1mmの板厚差も十分識別できる。

2.4 A5052 試験体を用いた試験

A5052 試験体を用いた試験でも 2.3 節と同様の測定方法で試験を実施した。図8は測定結果を示

し、縦軸に検出電圧、横軸にトリガ信号からの経過時間を示している。図8では、SS400 試験体よりも、板厚ごとの検出電圧の波形に明瞭な差がみ

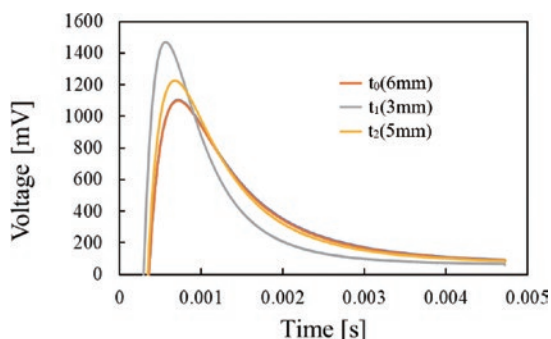


図8 A5052 試験体での試験結果

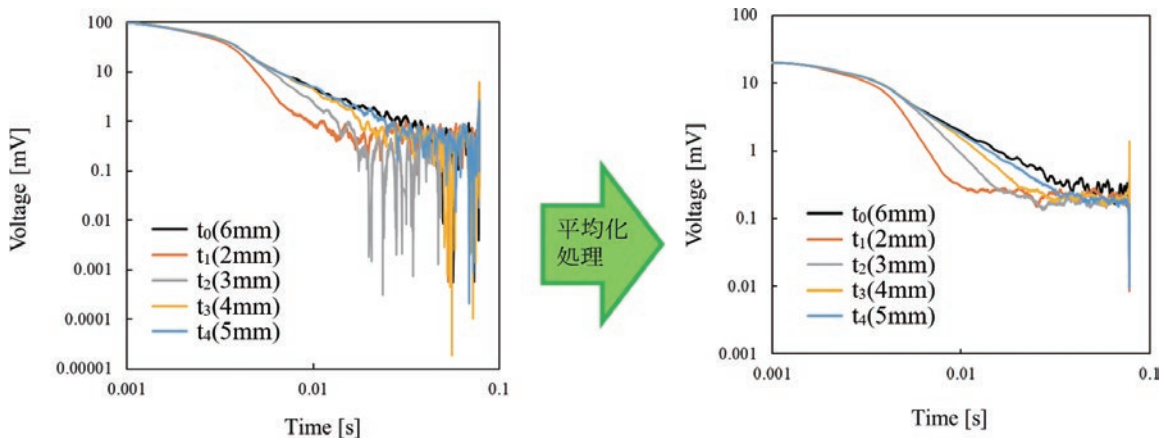


図7 平均化処理によるノイズの低減

られることがわかる。また、SS400 試験体と比較して、検出電圧のピーク付近で差が顕著である。これは、両者の物性の違いにより、A5052 試験体のほうが短時間で渦電流が浸透していくためと推測する。

3. まとめ

本試験では、PEC 法にて、SS400 試験体および A5052 試験体を探傷し、いずれにおいても、1mm もしくは 2mm の板厚差を明確に識別することを確認した。SS400 試験体では減衰後半部分、A5052 試験体では減衰直後に、板厚による特徴的な電圧差を検出することができた。

そのため、PEC 法で板厚を測定する場合、SS400 では減衰の後半部分、A5052 では減衰直後の変化に着目して解析することで効果的な測定が可能であると思われる。

今後は、引き続き効果的な解析方法などを検討し、実用化を進めていく。

参考文献

- (1) Burno Lebrun, Yves Jayet and Jen-Claude Baboux : Pulsed eddy current signal analysis: application to the experimental detection and characterization of deep flaws in highly conductive materials, NDT&E International, Vol.30, No.3, 1997, pp.163-170
- (2) 一般社団法人日本非破壊検査協会：渦電流探傷試験Ⅱ、2016、pp.192-193
- (3) 安藤聡一郎、北根安雄、西島悠太、伊藤義人、中野裕二郎：種々の断面欠損鋼板に対するパルス渦電流板厚測定法で得られる検出信号の特徴に関する研究、構造工学論文集 Vol.62A (2016 年 3 月)、p.604



検査事業部
技術部

前角 貴弘

TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547



検査事業部
技術部

北園 夏未

TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547



検査事業部
技術部

大森 真実

TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547

国立大学法人愛媛大学
理工学研究科 生産環境工学専攻
機械工学講座 講師

水上 孝一

TEL. 089-927-9729
FAX. 089-927-9729

検査事業部
副事業部長
兼 技術部長

佐々木孝明

TEL. 045-791-3523
FAX. 045-791-3547