

パルス渦流探傷を用いたアルミニウム照明柱腐食 検査技術

前角 貴弘^{*1} 大森 征一^{*1} 水上 孝一^{*2} 田中 孝治^{*3}
Maezumi Takahiro Oomori Seiichi Mizukami Koichi Tanaka Koji

照明柱の埋設部検査に対して、パルス渦流探傷（Pulsed Eddy Current testing、以降 PEC と呼ぶ）を用いた検査手法が注目されている。従来の PEC では、適用範囲は鉄鋼材に限定されていた。本稿では、アルミニウム製の照明柱への適用に向けた、プローブ開発とそれを用いたアルミニウム材の減肉量推定方法の開発について紹介する。

キーワード：パルス渦流探傷、PEC、照明柱、アルミニウム、減肉検査、埋設部

1. はじめに

近年、老朽化による照明柱倒壊の懸念が高まっている。照明柱の点検手法として、目視検査が一般的であるが、埋設部に関しては、掘削しなければならないため、時間も費用もかかる。超音波を用いた検査手法も開発されているが、超音波探傷法を用いるには、探触子の接触性を確保するため塗装の除去が必要である、埋設環境（土やコンクリート）によるノイズの影響を受けるなどの課題がある。渦電流探傷（ET）の一種であるパルス渦流探傷（PEC）は、電磁気現象を利用するため、塗膜や埋設環境の影響を受けずに、減肉の検出が可能である。

PEC は、従来の ET と異なり、励磁電流にパルス状の大電流を用い、低周波数の電流を利用するため、従来の ET よりも深い位置の欠陥を検出することができる。そのため、PEC は、発電プラン

トなどの配管の、保温材上からの減肉検査などへの適用が検討されている⁽¹⁾。

海外では、PEC を用いて、照明柱埋設部のようなプローブがアクセスできない箇所の離隔探傷技術が実用化されている⁽²⁾。しかしながら、適用対象は鉄鋼材のような磁性体に限定され、アルミニウムのような非磁性体に対する適用例はない。当社では愛媛大学と共同で、離れた減肉の検出に特化したプローブを開発することでアルミニウム照明柱埋設部の減肉量を推定できる技術を開発した。

2. PEC による埋設部腐食検査原理

PEC では、検出信号の経時変化を観測する。発生した渦電流は、プローブ直下方向だけではなく、**図 1** の t_1 秒後から t_3 秒後に示すように水平方向にも広がる。時間経過とともに、離れた減肉部まで渦電流が伝わるため、適切な時間の検出信号

*1：検査事業部 技術部 NDE グループ

*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 博士(工学)

*3：検査事業部 技術部 部長

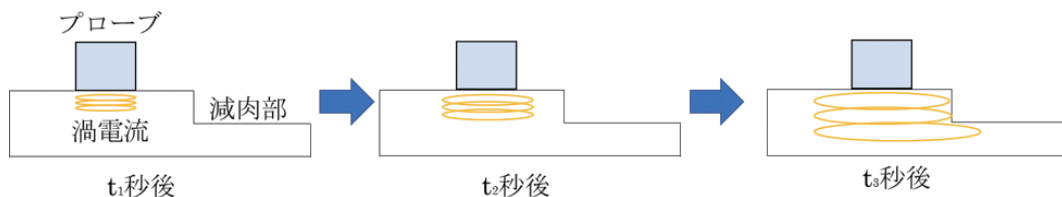


図1 渦電流の時間変化

に注目することで減肉の検出が可能となる。例えば、図1では、 t_3 秒後の検出信号に注目することで、減肉による渦電流の変化を検出することが可能である。渦電流の変化は、プローブの電圧の変化として検出される。以降で、模擬試験体による試験で開発した技術を紹介する。

3. 試験装置

PECの試験装置を図2に示す。ファンクションジェネレータで矩形パルス波を生成し、パワーアンプで増幅したのちプローブに入力する。電磁誘導現象により試験片に生じた磁場の変化を、プローブで検出し、オシロスコープを通してPCに出力する。

4. 試験体

試験には、図3に示す3種類のアリミニウム合金(A5052)試験体を用いた。(a)の平板試験体は、階段状に腐食を模擬した。減肉量の影響を確認するため、減肉量(2、3、4、5、6mm)の計5体を用意した。(b)のスロープ試験体は、腐食形状による影響を確認するため、なだらかな板厚変化とした。減肉量は3mmの1体を用意した。(c)の円筒試験体は曲面による検出性への影響を確認するため、円筒形状とした。減肉量は3mmの1体を用意した。また、これらの試験体を用いた際、試験結果が、試験体端部の影響を受けないことを確認した。

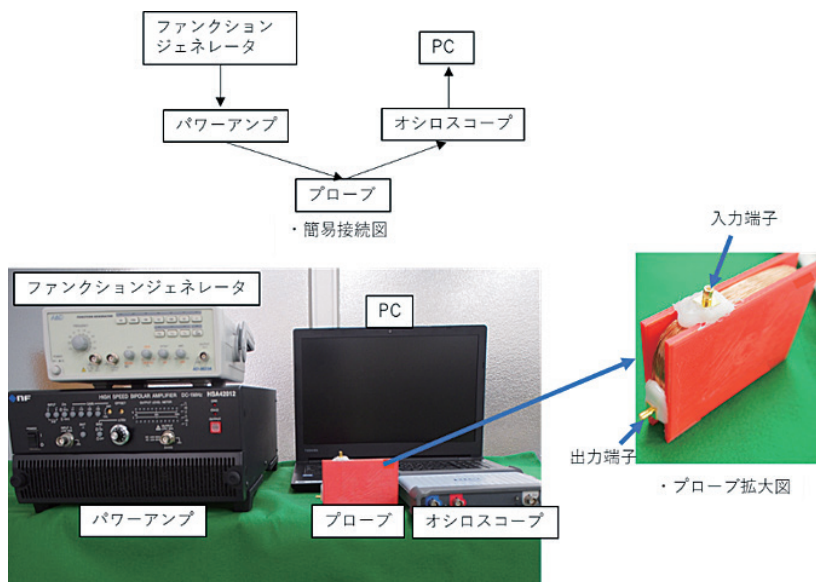


図2 試験装置概要

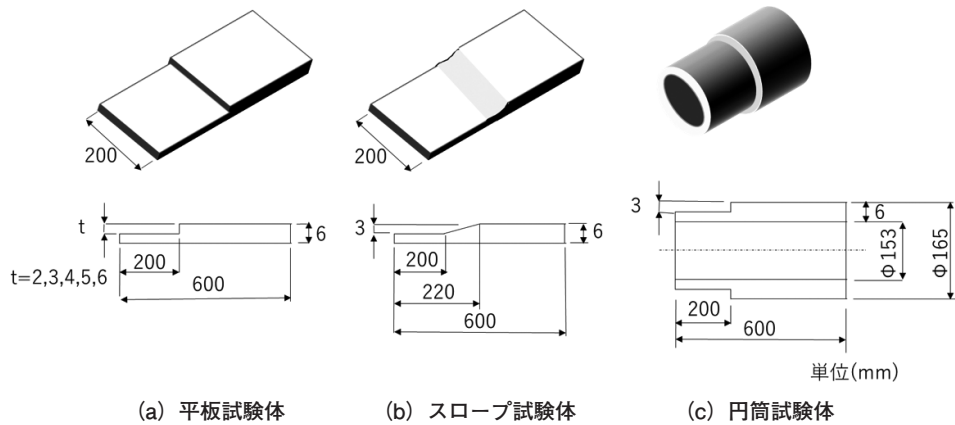


図3 試験体

5. 各種試験体を用いた試験方法・解析方法

図4のように、プローブを試験体上に配置し、減肉までの距離(20、30、40、50mm)を変化させた際の、プローブの検出信号を測定した。平板試験体では、減肉量2、3、4、5、6mmの計5体について試験した。スロープ試験体は、減肉量3mmの

1体について試験した。円筒試験体は、減肉量3mmの1体について試験した。

図4のようなプローブ配置のとき、検出信号には、図5に示すような複数のピークが生じる。これらのピーク電圧値のうち、第2ピークの電圧値は、減肉までの距離および減肉量と強い相関がみられることから、第2ピークの電圧値で減肉量を

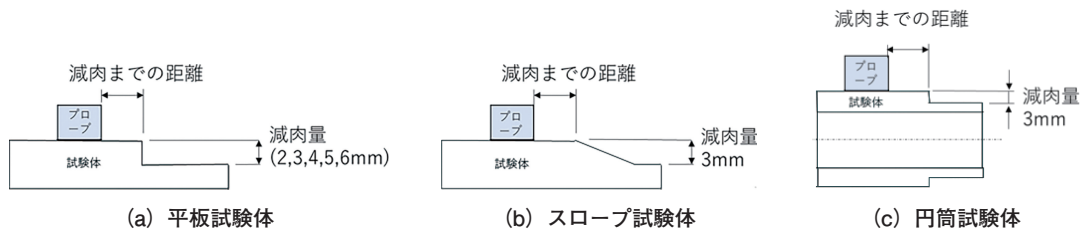


図4 試験方法

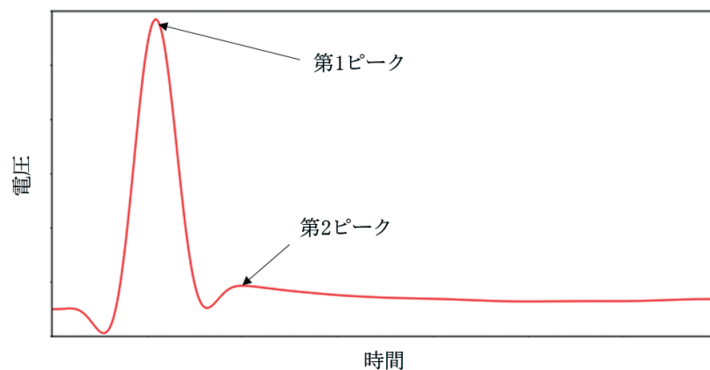


図5 検出信号の時間変化

評価することとした。

5.1 平板試験体における減肉検出試験

減肉量の異なる平板試験体における、減肉までの距離を20、30、40、50mmと変化させ、第2ピーク電圧値を採取した。試験は3回実施し、いずれも高い再現性がみられた。試験結果を図6に示す。減肉量が多いほど、電圧値が大きい傾向がみられた。実際の検査の場合は、図6のように、

あらかじめ各減肉量の検量線を作成し、測定した第2ピーク電圧値と各検量線とを比較することで、おおよその減肉の程度を推定することができる。例えば、第2ピークの電圧値が2mVであれば減肉量は6mm、第2ピークの電圧値が1mVであれば、減肉量は5mmもしくは6mmと推定することができる。

また、図7(a)に示すように、1回目の測定から減肉までの距離を変えて、2回目の測定を行うこ

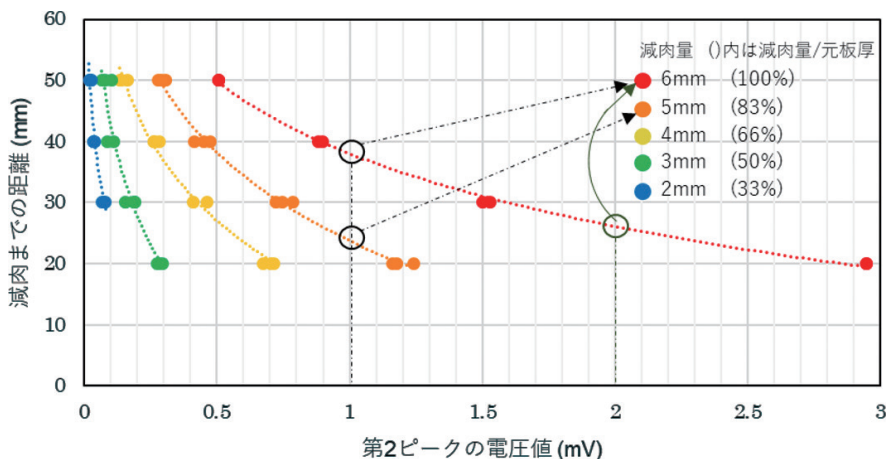
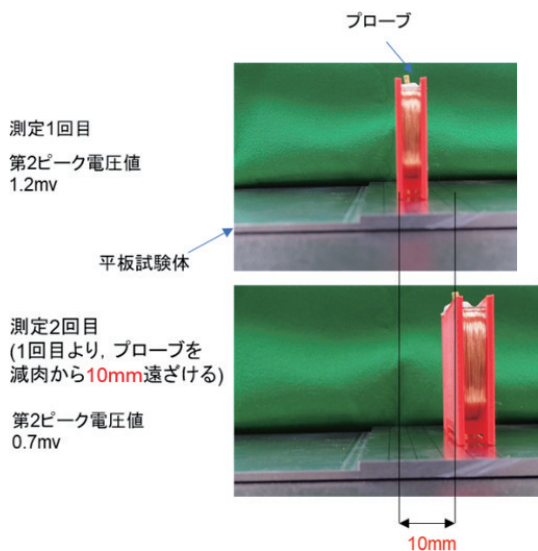
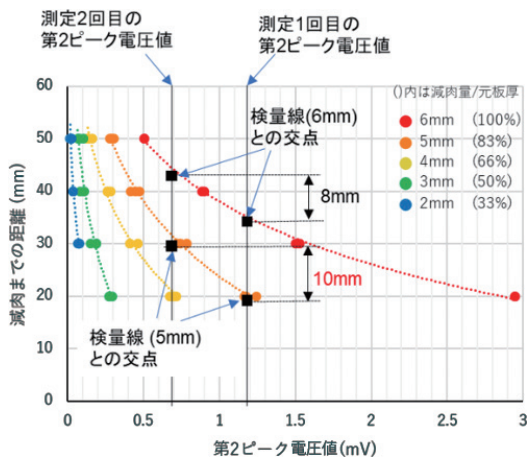


図6 減肉距離と第2ピーク電圧値との減肉量のカーブ



(a) 距離の異なる2点での測定方法



(b) 2点での測定結果から減肉量を推定する方法

図7 2点での測定による減肉の推定方法 (測定間隔10mmの場合)

とで減肉量の候補を絞ることができる。ここでは、1回目と2回目の減肉までの距離の差を測定間隔とする。一例として、測定間隔 10mm の場合について説明する。図 7 (b) のように、測定 1 回目、2 回目の第 2 ピークの電圧値 (1.2mV、0.7mV) と検量線との交点を求める。交点間の距離は、減肉量 6mm の検量線では 8mm、減肉量 5mm の検量線では 10mm となり、実際の測定間隔の 10mm と近いのは、減肉量 5mm であるので、減肉量は 5mm と推定することができる。

5.2 スロープ試験体における減肉検出試験

試験結果を図 8 に示す。スロープ状に腐食を模擬した試験体 (減肉量 3mm) でも、階段状に腐食を模擬した平板試験体と同じような曲線 (黒線) が得られ、なだらかな板厚変化でも検出できることがわかる。また、同じ 3mm の減肉量の試験体では、スロープ試験体 (黒線) の方が平板試験体 (緑線) よりも、第 2 ピークの電圧値が小さい傾向がみられた。

この変化について、減肉量 (厚さ) ではなく減肉部の体積が電圧の大小に影響していると考え、平板試験体とスロープ試験体における減肉部の体積を比較した。一例として、図 9 のように、減肉ま

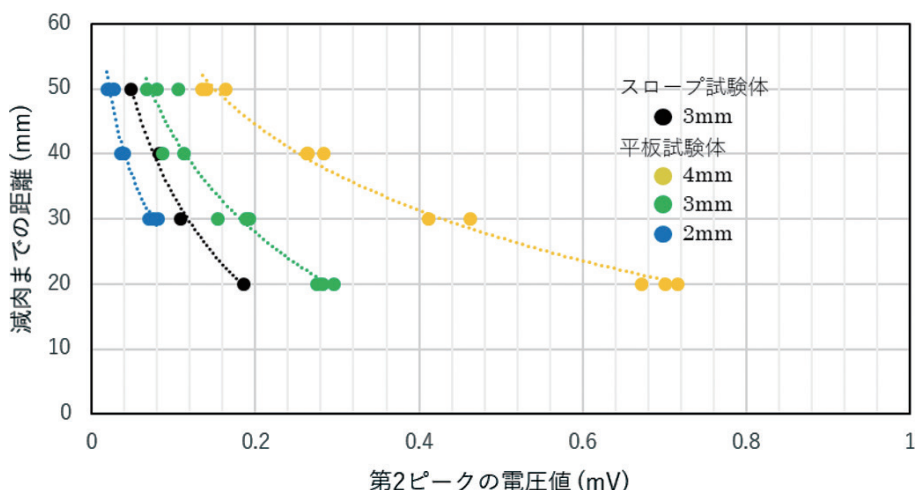


図 8 減肉部形状による第 2 ピーク電圧値の違い

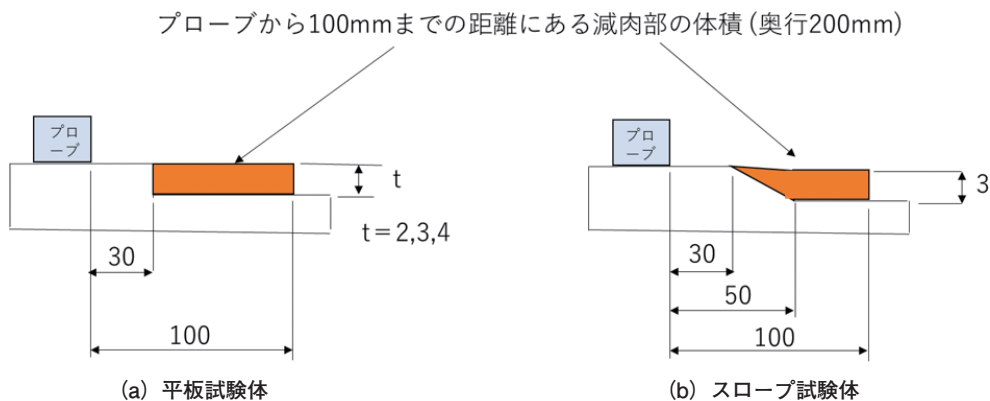


図 9 減肉部の体積の概略図 (減肉までの距離が 30mm の場合)

での距離が30mmのときの減肉部の体積を考える。プローブから100mm離れた位置まで渦電流が伝搬していると仮定し、プローブから100mmまでの距離にある減肉部について考える。また、**図9**の奥行方向は、平板試験体、スロープ試験体ともに**図3**の試験体寸法より200mmである。それぞれの試験体の第2ピーク電圧値、減肉部の体積と**図8**のプロットを**表1**にまとめる。第2ピーク電圧値および減肉部の体積両方とも、平板(減肉4mm)、平板(減肉3mm)、スロープ(減肉3mm)、

平板(減肉2mm)の順に大きくなることがわかる。渦電流が伝搬する距離について更なる検討を要するが、第2ピーク電圧値は減肉部の体積に影響を受けている可能性があると考えられる。

5.3 円筒試験体における減肉検出試験

試験結果を**図10**に示す。円筒状の試験体に対しても、平板と同様に減肉を検出できることがわかる。

表1 第2ピーク電圧値と減肉部の体積の関係

試験体種類	第2ピーク電圧値(mv)	減肉部の体積(mm ³)	図8プロット色
平板(減肉4mm)	0.43	56000	黄
平板(減肉3mm)	0.18	42000	緑
スロープ(減肉3mm)	0.12	36000	黒
平板(減肉2mm)	0.075	28000	青

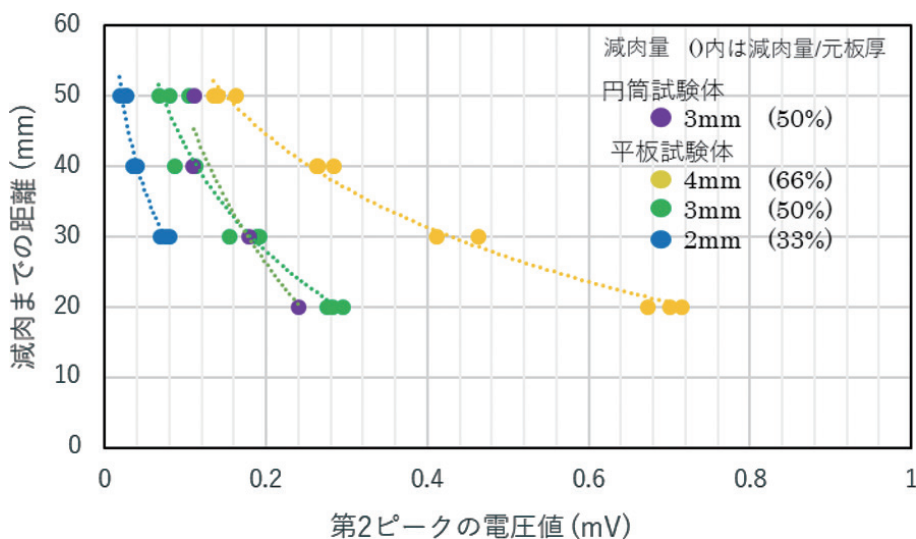


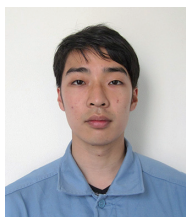
図10 平面、曲面による第2ピーク電圧値の違い

6. まとめ

今回、PEC のアルミニウムへの適用を検討し、アルミニウム照明柱へ適用できる PEC 技術を開発した。現状、照明柱埋設部の非破壊検査では、超音波探傷が一般的ではあるが、事前の処理（接触面の処理、接触媒質の使用）が不要、埋設環境によるノイズの影響がないなど PEC の有効性がある。今回開発した技術では、減肉までの距離が未知の場合でも、水平方向に 40mm まで離れた 50% 以上の減肉について検出可能である。また、腐食形状、曲面による検出結果への影響が少なく、減肉を検出可能である。今後の課題として、実機の照明柱に近い試験体での検出性についても確認していく必要がある。

参考文献

- (1) 程衛英、比翼賢、古川敬、加古晃弘、池堂和仁：パルス渦電流試験法による保温材上からの配管減肉計測、平成 26 年度火力原子力発電大会論文集、pp.40-45
- (2) Laboratories for Materials Advanced Testing Services
ホームページ：<https://lmats.com.au/resource-centre/advanced-ndt-testing-solutions/pulsed-eddy-current-testing-pect/pole-testing>



検査事業部
技術部
NDE グループ
前角 貴弘

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 博士(工学)

水上 孝一

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



検査事業部
技術部
NDE グループ
大森 征一

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

検査事業部
技術部
部長

田中 孝治

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