

プロジェクト1

渦流探傷及び電磁誘導式電位差法による亀裂の推定

星川 洋、小山 潔（電気電子工学科）

1. はじめに

ヘルスマモニタリングのための非破壊試験技術の確立を目的として、導電性試験体の表面及び表層部のきず検出法である渦流探傷及び電磁誘導式電位差法における雑音小さくきず検出性能の高い新しいプローブの開発研究を行った。本年度は、鉄鋼材料等の磁性体試験体に渦流探傷を適用するための雑音小さく試験体とプローブとの距離が大きいか場合にもきず検出を可能とする新たな渦流探傷プローブを考案した。

鉄鋼材料等の磁性体試験体に、従来のプローブを用いて渦流探傷を行うと、試験体とプローブとの相対距離の変化により大きな雑音が発生すると共に、試験体の電磁気特性の変化によっても大きな雑音が発生する。このため小さなきずの検出が困難である問題がある。そこで、雑音が小さくSN比高くきず検出可能なプローブが必要である。更に従来のプローブでは、試験体とプローブとの距離が大きいきず信号振幅が非常に小さくなる問題がある。鉄鋼構造物の溶接部に対するヘルスマモニタリングを考えた場合、防錆のための塗装の上からきず検出を行う必要がある。そこで、試験体とプローブとの大きな距離でもきず信号振幅の小さくならないプローブが必要である。この様な要求に応えるべく、幅広で矩形縦置き励磁コイルと円形の検出コイルから構成される一様渦電流プローブ^{1,2)}を考案した。本報告では、一様渦電流プローブのきず検出特性について従来のプローブとの対比実験結果を含めて報告する。

2. 一様渦電流プローブによる表面探傷

2. 1 一様渦電流プローブの構造

一様渦電流プローブは、Figure 1 に示すように幅広で矩形縦置き励磁コイルとその中心下に置かれたパンケーキ状の円形の検出コイルから構成される。励磁コイルに交流電流を流すと試験

体には、電流と垂直方向に一樣な磁束が、平行方向に一樣な渦電流が発生する。検出コイルは、きずによる磁束の変化と渦電流の変化を起電力変化として検出する。

2. 2 漏洩磁束によるきず検出原理

Figure 2 に示すように、鉄鋼材料等の磁性体試験体にきずが無い場合には、試験体表面上に漏れ出る磁束はないので、検出コイルを鎖交する磁束はない。従って、検出コイルには起電力が発生せず、信号は検出されない。プローブと試験体との相対距離が変化してもプローブが試験体面に対して平行を保つ限りは検出コイルに起電力は発生せず、従来のプローブで問題となっていた相対距離の変化による雑音は発生しない。

励磁コイルの巻線方向と平行方向のスリット状きずの検出を考える。Figure 3 に示すように、磁束に対して垂直方向のきずであるから磁束が妨げられ、一部の磁束が試験体表面に漏れ出る、漏洩磁束が発生する。この漏洩磁束によって検出コイルに起電力が発生し、きず信号が得られる。励磁コイルの巻線方向と垂直方向にプローブを走査すると、きずを通過するときに検出コイルを

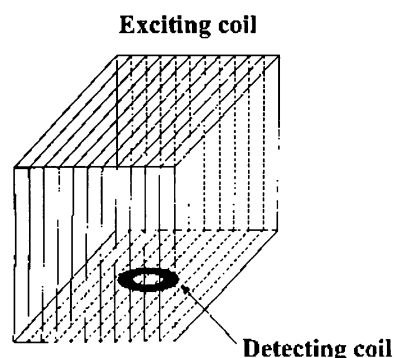


図1 一様渦電流プローブ

鎖交する漏洩磁束の向きが逆向きであるので、極性の異なるきず信号が得られる。一様渦電流プローブは、磁束の変化によって走査方向に垂直なきずを検出する。

2. 3 渦電流によるきず検出原理

Figure 4 に示すように、試験体にきずが無い場合には、一様な渦電流に置かれた検出コイルの各巻線部には渦電流と同方向に起電力が発生す。しかし、円形の検出コイルの巻線方向は検出コイル中心を対称点として互いに逆向きであるので、各巻線部の起電力は相殺して起電力の総和は零となり、信号を発生しない。試験体とプローブとの相対距離が変化してもプローブと試験体とが平行である限りは、検出コイルに信号は発生しないので、従来のプローブで問題であった相対距離の変化による雑音は原理的に発生しない。

励磁コイルの巻線方向と垂直方向のスリット状きずの検出を考える。Figure 5 に示すように、きずによって渦電流が局所的に変化するので、検出コイルの各巻線部に発生する起電力の大きさ

が異なり検出コイルに起電力が発生し、きずが検出される。励磁コイルの巻線方向と垂直方向にプローブを走査すると、円形の検出コイル巻線部は検出コイルの中心を対称として逆向きであるので、検出コイルがきずに入った時と出る時で極性の異なるきず信号が得られる。一様渦電流プローブは、渦電流の変化によって走査方向に平行なきずを検出する。

3. 実験方法

一様渦電流プローブの励磁コイルの寸法は、幅 30mm、長さ 40mm、高さ 30mm の単層巻きであり、検出コイルの寸法は、外径 6mm、巻線断面積 1mm^2 である。試験体には磁性体の SM 鋼材を用い、試験体に長さ 15mm、幅 0.2mm、深さ 0.25～1.5mm のスリットを放電加工してきずとした。試験周波数は、プローブの走査方向に平行なきずによる信号と垂直なきずによる信号の振幅がほぼ同じになった 30kHz とした。平行なきずは渦電流によって、垂直なきずは磁束によって検出される。

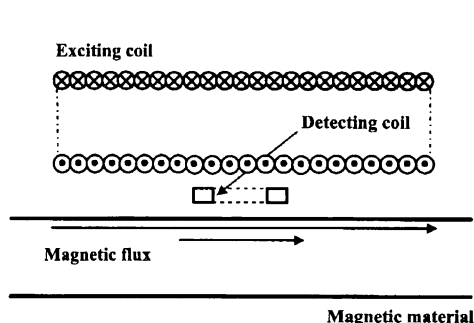


図2 一様渦電流プローブによる一様な磁束

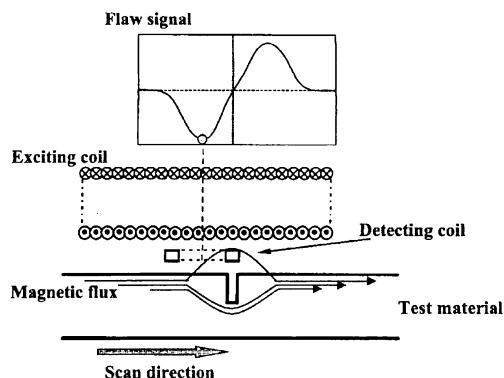


図3 きずによる漏洩磁束ときず信号

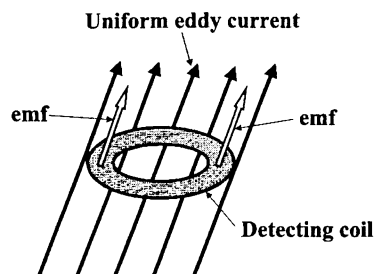


図4 一様な渦電流と検出コイル起電力

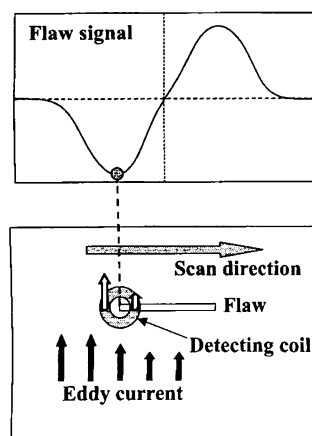
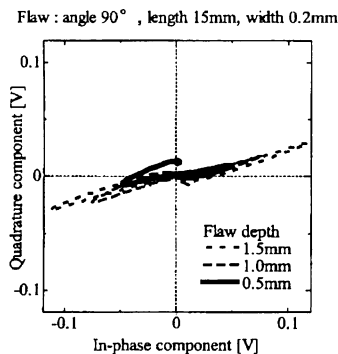


図5 きずによる渦電流の変化ときず信号

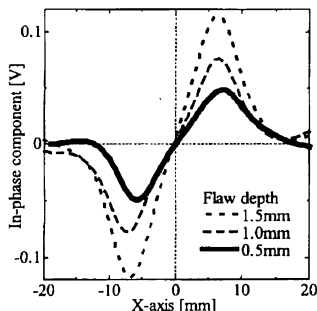
一様渦電流プローブのきず検出特性の対比を行うために、一様渦電流プローブの円形の検出コイルを従来のプローブとして探傷実験を行った。

4. 実験結果

Figure 6 には、プローブの走査方向に対して平行なきずにおいて深さの異なる場合のきず信号を、Figure 7 には垂直なきずにおける信号を示す。渦流探傷では、励磁コイルの電流と同相成分 (In-phase component) と 90° 進相成分 (Quadrature component) の複素信号で得られる。図(a)には複素平面におけるきず信号のパターンを、図(b)にはプローブの走査位置に対するきず信号の同相成分をそれぞれ表す。走査方向に平行なきずと垂直なきず共ほぼ同感度に検出されており、きず深さに応じてきず信号の振幅が変化している。また、平行なきずと垂直なきずとでは、きず信号の位相が異なることがわかる。このことは、平行なきずは渦電流の変化で、垂直なきずは磁束の変化で検出することを示す。



(a) きず信号パターン

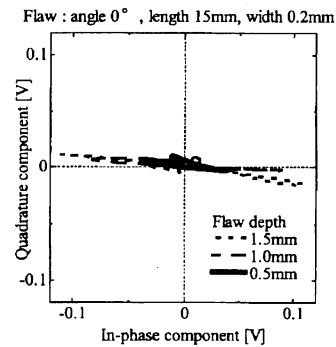


(b) プローブ位置に対する信号

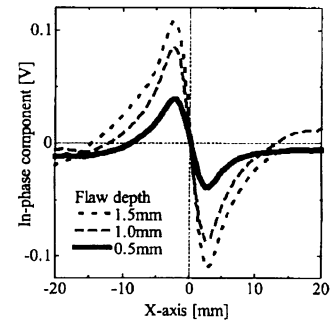
図6 走査方向に平行なきずの深さが異なる場合のきず信号

Figure 8 には、きず深さに対するきず信号振幅の変化を示す。きず信号の振幅は、きず深さ 1.5mm で正規化して表示した。渦電流の変化で検出される走査方向に平行なきずと磁束の変化で検出される走査方向に垂直なきず共きず深さにほぼ比例してその信号振幅が変化することがわかる。

Figure 9 には、きず信号と相対距離の変化による雑音を示す。図では、きず信号については信号



(a) きず信号パターン



(b) プローブ位置に対する信号

図7 走査方向に垂直なきずの深さが異なる場合のきず信号

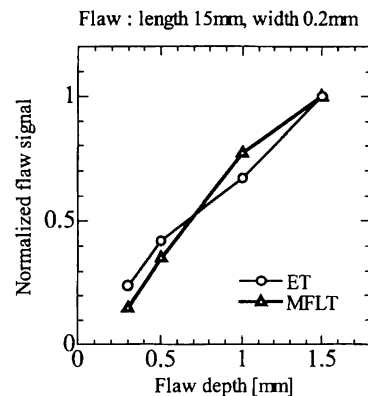
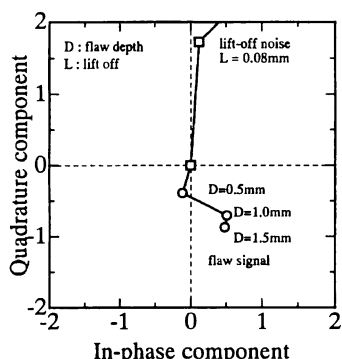
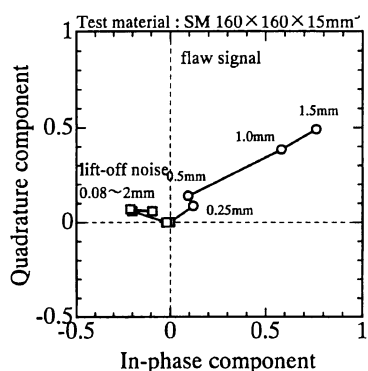


図8 きず深さに対するきず信号振幅の変化

振幅の最大点を○で示し、雑音については試験体表面よりプローブの高さを変えたときに発生する雑音を□で示した。図(a)には従来のプローブの場合を図(b)には一様渦電流プローブの場合を示す。従来のプローブでは、相対距離が0.1mm程度変化しただけできず信号よりも大きな雑音が発生しているのに対して、一様渦電流プローブでは



(a) 従来のプローブ



(b) 一様渦電流プローブ

図9 相対距離の変化による雑音ときず信号

Flaw : depth 1.5mm, length 15mm, width 0.2mm

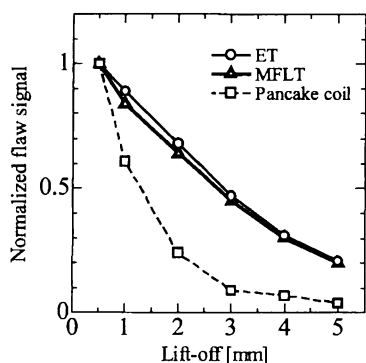


図10 相対距離に対するきず信号振幅の変化

雑音が小さく SN 比が高いことがわかる。

Figure 10 には、プローブと試験体との距離に対するきず信号振幅の変化を示す。きず信号の振幅は、距離 0.5mm で正規化して表示した。比較実験を行った従来のプローブは、距離が大きくなると急激にきず信号振幅が小さくなるのに対して、一様渦電流プローブは、走査方向に対して平行なきずと垂直なきず共に大きな距離でも信号振幅の減衰が小さいことがわかる。このことは、構造物の溶接部に対する検査を塗装の上から行える可能性を示している。

5. まとめ

ヘルスモニタリングのための非破壊試験技術の確立の一環として、雑音が小さく試験体とプローブとの距離が大きい場合にもきず検出を可能とする一様渦電流プローブの開発研究を行った。実験の結果以下の知見を得た。

- (1) 従来のプローブに比べて相対距離の変化による雑音が非常に小さいので、SN 比高くきず検出が行える。
- (2) 励磁コイル巻線に対して垂直なきずは渦電流の変化で、平行なきずは漏洩磁束の変化で検出する。
- (3) 励磁コイル巻線方向と垂直にプローブを走査すれば、磁性体試験体においては、プローブの方向を変えることなく一度の走査で両方向のきずを検出できる。
- (4) プローブと試験体との距離が大きい場合にも従来のプローブに比べて信号振幅の減衰が小さいことから、塗装の上から溶接部の探傷が行えることが期待できる。

参考文献

- 1) 星川洋、小山潔、三橋宗太郎：一様渦電流プローブによる磁性体の渦流探傷と漏洩磁束探傷について、非破壊検査、Vol.54, No.2, pp84-90 (2005)
- 2) 三橋宗太郎、星川洋、小山潔：一様渦電流プローブによる渦流探傷及び漏洩磁束探傷について、日本非破壊検査協会秋季大会講演概要集、pp.67-70 (2003)