

一様渦電流プローブによる鉄鋼材料の表面探傷試験に関する研究

日大生産工(院) ○三橋宗太郎
日大生産工 小山 潔、星川 洋

1. はじめに

従来から鉄鋼材料の渦流探傷試験に多用されている上置コイルでは、試験体と試験コイルとの距離（リフトオフ）の変化が大きな雑音を発生し、また、リフトオフが変化するとき信号振幅が変化するので、きず検出に大きな問題となっている。リフトオフ雑音が原理的に発生せず、また、リフトオフが変化しても信号振幅の減衰が小さく渦流探傷試験を行えるプローブとして一様渦電流プローブがある¹⁾²⁾。

一様渦電流プローブによる鉄鋼材料の表面探傷試験では、きず開口部の漏洩磁束と、きずによる渦電流の変化を検出するため、プローブの走査方向に対して垂直なきずと平行なきずを、プローブの方向を変えずに検出できることを確認した。しかし、きずの方向が傾いていると、信号振幅が小さくなってしまう場合があった。

そこで今回は、回転一様渦電流プローブを用いた磁性体の表面探傷試験を合わせて行った。回転一様渦電流プローブは回転磁界を誘導し、磁性体内に方向が回転する磁束と渦電流を発生するので、それらのきずによる変化を検出することにより、さまざまな方向のきずでもほぼ一定の感度で探傷することが可能である。

以下に、プローブの構造、漏洩磁束と渦電流の変化によるきずの検出原理、また、それぞれのプローブによる探傷特性の比較について報告する。

2. 一様渦電流プローブの構造と原理

図1に回転一様渦電流プローブの構造を示す。回転一様渦電流プローブは二つの縦置矩形コイルを十字に組み合わせた励磁コイルと、その中心下部に位置した円形検出コイルにより構成される。ここで、一様渦電流プローブは、プローブ

の走査方向に対して垂直な励磁コイルのみを用いる。

回転一様渦電流プローブでは、二つの励磁コイルに互いに 90° 位相の異なる交流電流を流すことで回転磁界を誘導し、図2のように磁性体には方向が回転する一様な磁束と一様な渦電流がそれぞれ垂直に発生する。

磁性体の場合には、一様渦電流プローブは、走査方向に対して垂直なきずと、平行なきずの両方を検出可能であることを、以下に説明する。

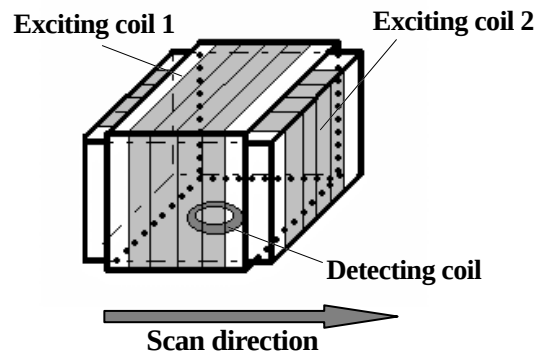


図1 回転一様渦電流プローブの構造

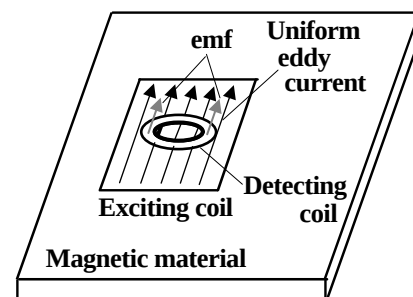
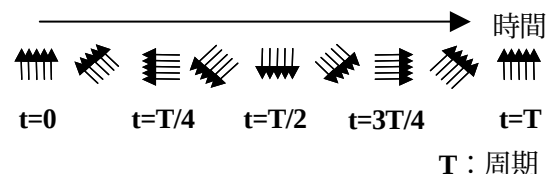


図2 回転渦電流と検出コイルの起電力

2. 1 漏洩磁束探傷 (MFLT)

励磁コイルに電流を流すと、図3に示すように、試験体内には励磁コイルと垂直な方向に磁束が発生する。きずがない場合、検出コイルには磁束が鎖交しないので、起電力は誘導されない。また、リフトオフが変化しても、プローブと試験体とが軸対称を保つ限りにおいて、原理上リフトオフ雑音は発生しない。

図4に示すように、スリット状のきずがプローブの走査方向に対して垂直方向の場合（90°きず）を考える。磁性体中には励磁コイルによって巻線に対して垂直な方向に磁束が発生する。このとき図4に示すようにきず開口部で磁束の一部が漏れ出る、いわゆる漏洩磁束が発生する。図4に示すように、スリット状のきずが図中の検出コイル巻線部右端下に位置すると、漏洩磁束が検出コイルを鎖交することにより起電力を誘導し、きず信号が検出される。プローブが進んできずの位置が検出コイルの中心にある場合には、検出コイルに漏洩磁束が鎖交しないため、起電力を誘導しない。プローブがさらに進んで、きずが検出コイル巻線部左端下に位置すると、円形コイルであるので巻線部右端と左端では巻線方向が逆向きとなるから、最初とは逆極性のきず信号が検出される。ここで、プローブの検出コイルがスリット状のきずに掛かり始めたとき（図4）と抜け出るときに信号はそれぞれ最大となるため、波形のピークピーク値間の距離は検出コイル径の大きさに関係していることがわかる。

2. 2 渦電流探傷 (ECT)

図2に示すように、一様な渦電流上に置かれた円形検出コイルの各巻線部には、それと平行な渦電流成分により起電力が誘導される。起電力は円形検出コイルの巻線方向に関して互いに逆向きとなり打ち消し合う。きずがない場合、検出コイルの起電力は平衡を保つため誘導されない。また、リフトオフが変化しても、プローブと試験体とが軸対称を保つ限りにおいて、原理上リフトオフ雑音は発生しない。

図5のように、スリット状のきずがプローブの走査方向に対して平行方向にある場合（0°きず）を考える。図5に示すようにきずが検出コイル右端部の下に近づくとき、検出コイルの下の渦電流は局所的に変化して、自己平衡状態が

崩れて検出コイルに起電力が誘導され、きず信号が検出される。プローブが進んできずが検出コイルの中心にある場合には、渦電流はきず長さ方向と垂直な軸に関して対称となるので、検出コイルの起電力は打ち消し合い、きず信号は検出されないことになる。プローブがさらに進んできずが検出コイル左端部の下に位置すると、円形コイルであるので巻線部右端と左端では巻線方向が逆向きとなるから、最初とは逆極性のきず信号が検出される。ここで、プローブの

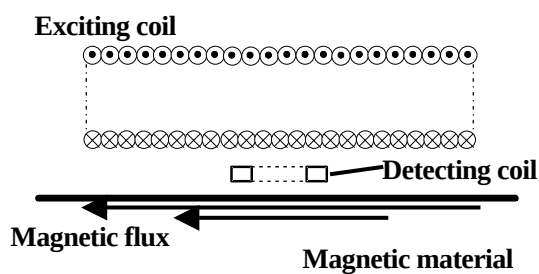


図3 磁性体内に発生する磁束

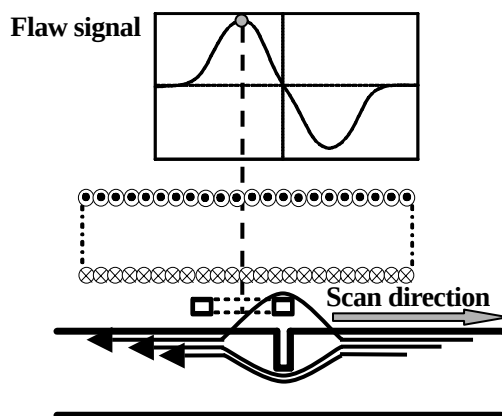


図4 検出コイルによる漏洩磁束の検出

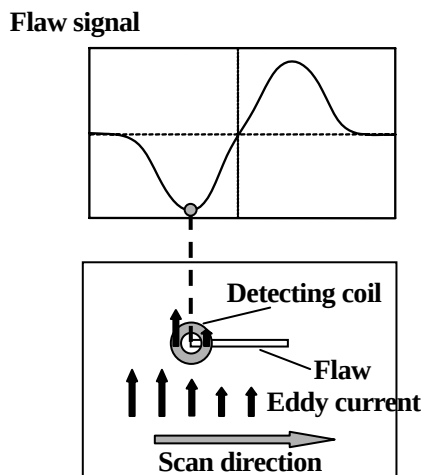


図5 検出コイルによる渦電流変化の検出

検出コイルがスリット状のきずに掛かり始めたとき（図5）と抜け出るときに信号はそれぞれ最大となるため、波形のピークピーク値間の距離はスリットきずの長さに関係していることがわかる。一様渦電流プローブは、試験体のきず検出において差動信号を発生し自己差動特性を有する。

2. 3 きずが傾いた場合

きずがプローブの走査方向に対して 45° や 135° と傾いた場合には、漏洩磁束による信号と渦電流変化による信号の合成によって検出される。

3. 実験方法と実験条件

実験に用いた回転一様渦電流プローブの二つの励磁コイルの寸法は、幅30mm、長さ40mm、高さ30mmであり、検出コイルの寸法は、外径6mm、巻線断面積 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ である。試験体には、 $160 \times 160 \times 15 \text{ mm}^3$ の磁性体の SM 鋼材を用い、幅0.5mm、長さ15mm、深さ1.5mmのスリット状きずを放電加工した。リフトオフは、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0mm とした。試験周波数は、磁性体である SM 鋼材において、プローブの走査方向に対して垂直なきずの信号と、平行なきずの信号の振幅がほぼ同じになった30kHzとした。比較のため、一様渦電流プローブを用いて同様の実験を行った。

4. 実験結果

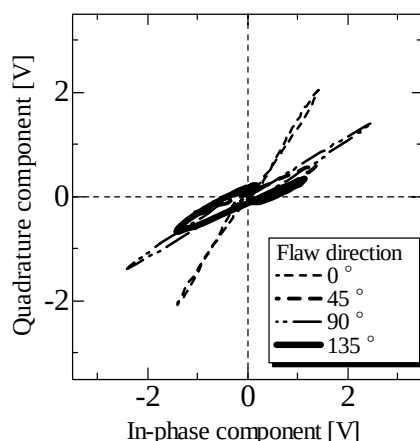
図7は、一様渦電流プローブにおける、きず深さが同じできず方向が異なる場合の探傷信号を示したものである。一様渦電流プローブの場

合、 90° と 0° 方向のきずは感度高く探傷を行えるが、 45° と 135° 方向の傾いたきずは信号が小さくなっていることがわかる。また、 45° と 135° 方向のきず信号は 90° 方向のきず信号とほぼ同位相になっていることがわかる。これらのことは、傾いたきずの信号が渦電流の変化でなく、漏洩磁束の影響であることを表す。

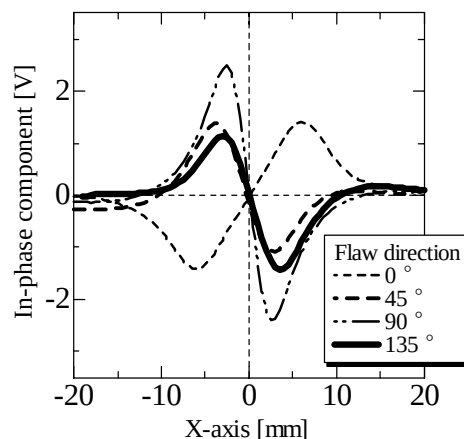
これに対して、図8の回転一様渦電流プローブの場合には、すべてのきず方向においてほぼ一定の感度で探傷が行われていることがわかる。また、信号位相はすべてのきず方向において異なっていることがわかる。さらに、図7(b)と図8(b)の波形のピークピーク値間の距離を見ると、 90° 方向のきずでは約6mm、 0° 方向のきずでは約15mm と、それぞれ検出コイル径やきず長さに関係した結果になっていることがわかる。

図9(a)は、回転一様渦電流プローブにおけるリフトオフが異なる場合の、漏洩磁束探傷による信号波形を示したものである。図より、リフトオフ5.0mm のときも良好に探傷が行われていることがわかる。また、図9(b)は、回転一様渦電流プローブにおける漏洩磁束探傷と渦電流探傷、および検出コイルを上置コイルとした渦電流探傷によって得られたきず信号の、リフトオフによる変化を示したものである。図より、回転一様渦電流プローブによるきず信号は、上置コイルに比べるとリフトオフによる変化が小さいことがわかる。

Flaw : depth 1.5mm, length 15mm, width 0.5mm



(a) 信号パターン



(b) 信号波形

図7 一様渦電流プローブによるきず方向が異なる場合の探傷信号

Flaw : depth 1.5mm, length 15mm, width 0.5mm

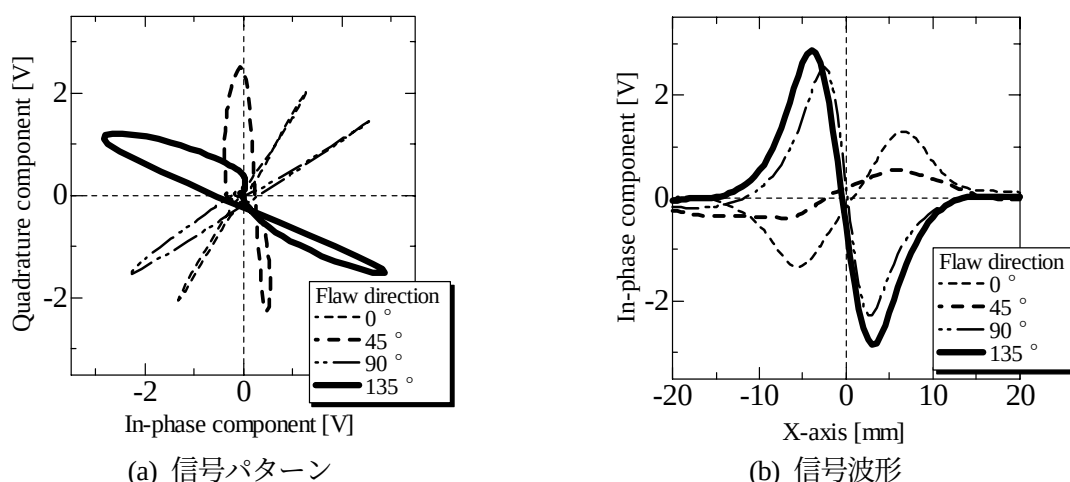


図8 回転一様渦電流プローブにおけるきず方向が異なる場合の探傷信号

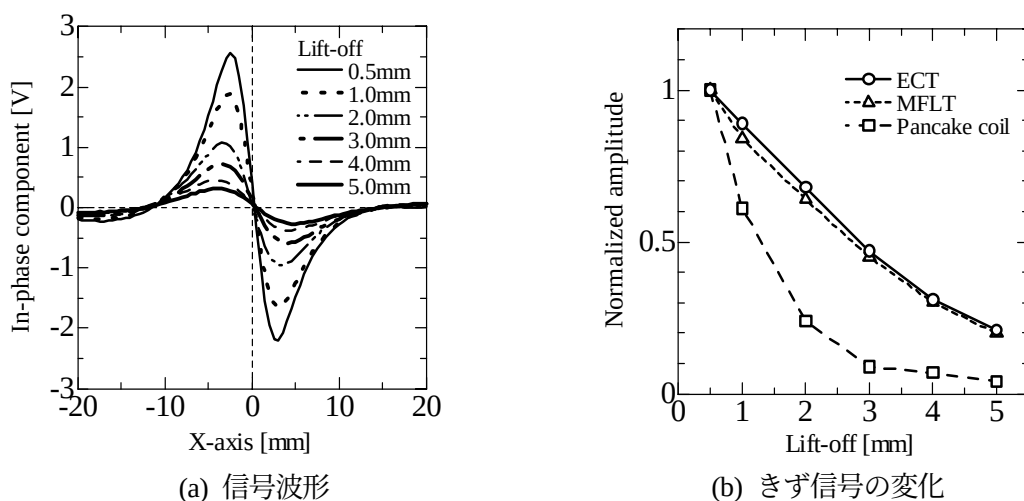


図9 回転一様渦電流プローブにおけるリフトオフが異なる場合の探傷信号

5. まとめ

一様渦電流プローブと回転一様渦電流プローブによる磁性体に対する探傷試験を試みた。実験の結果、一様渦電流プローブでは、漏洩磁束と渦電流の変化を検出することによって、プローブの走査方向に対して垂直なきずと平行なきずをプローブの方向を変えることなく検出可能である。

一方、回転一様渦電流プローブでは、適切な周波数を選定すれば、きずの方向に関係なくほぼ一定の感度で探傷できていること、きずの方向に対応して信号位相が変化することを確認した。このことから、さまざまな方向のきずをプローブの方向を変えることなく一つの回転一様渦電流プローブで検出可能である。

また、回転一様渦電流プローブはリフトオフによる変化が小さく探傷が行えることを確認した。

参考文献

- 1) 小山潔, 星川洋, 「渦流探傷試験における一様渦電流プローブの基礎的特性に関する研究」, 非破壊検査, Vol.49, No.11, (2000), pp.775-781.
- 2) 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表面探傷について」, 日本非破壊検査協会表面探傷技術による健全性診断に関するシンポジウム, (2004), pp.23-28.