

長い検出コイルの渦電流探傷 Θ プロープによるきず検出特性の検討

日大生産工（院） ○澤 大輔

日大生産工 小山 潔、星川 洋

1. はじめに

金属の表面や表面付近のきずを検出する非破壊検査には、磁粉探傷試験や浸透探傷試験があり、その他に非接触かつ高速で検査できる渦電流探傷試験がある。

渦電流探傷試験とは、試験体に渦電流を発生させ、その変化を検出する試験法である。交流電流を流した励磁コイルを試験体に近づけると、電磁誘導により試験体に渦電流が生じる。試験体にきずがある場合には渦電流が変化するためコイルの起電力も変化する。その変化により、きず検出を行うことができる。

最近のプロープ開発の動向として、探傷時間の短縮や探傷精度の向上が求められている。それは、コイルのマルチ化によって満たされる。コイルをマルチ化することにより、一度の走査で2次元探傷できるので、探傷時間の短縮や精度の高い探傷をすることができる。そこで、原理的にリフトオフ雑音の発生しない Θ プロープをマルチ化しようと考えた。マルチ化のモデルとしては、長い矩形縦置きを検出コイルの内部に複数個の円形の励磁コイルを配置したプロープを提案する。

本報告ではマルチ化の前段階として、 Θ プロープの検出コイルを長くしたプロープについて、きず角度が探傷信号に与える変化を検討した。また、検出コイルを3分割したプロープを用いて、励磁コイルの外側の検出コイルの働きを調べ探傷信号の検討を行った。

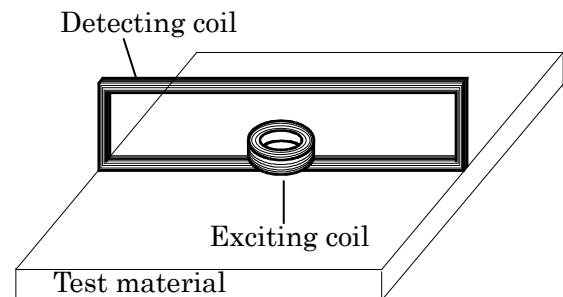


図1 長い検出コイルの Θ プロープの構造

2. プロープの構造と探傷原理

図1のプロープは、励磁コイルをマルチ化する前段階として、円形の励磁コイルと矩形縦置きの長い検出コイルを組み合わせたものである。励磁コイルは試験体に巻き線方向の渦電流を誘導し、検出コイルはその巻き線方向に流れる渦電流成分を検出する。

図2(a)はきずがない場合に試験体に誘導される渦電流である。励磁コイルに誘導された渦電流に変化はなく、検出コイルの巻き線方向に流れる渦電流成分は存在しないため、信号は検出されない。また、この時リフトオフを発生させても信号は検出されない。図2(b)にきずが検出コイルの下側にある場合を示す。図中の色の薄い矢印はきずを避けて流れる渦電流成分である。この場合、渦電流はきずを避けて流れる。ここで、検出コイルを長くしたため、励磁コイル直下のきずを避けるように流れた渦電流成分は励磁コイルの内側と外側で隣り合い、逆向きになるため検出コイルの起電力が打ち消し合い、励磁コイルの中

Investigation of Flaw Detecting Characteristic

by Eddy Current Θ probe with a Long Detecting Coil

Daisuke SAWA , Kiyoshi KOYAMA and Hiroshi HOSHIKAWA

心部の渦電流成分のみを検出する。きずが検出コイルの上側にある場合には図 2(b)とは逆極性の信号が検出される。図 2(c)はきずが検出コイルの真下にある場合である。きずを避けて流れる渦電流成分は検出コイルの上下で逆向きに流れるため、検出コイルの起電力が打ち消し合い、信号は検出されない。このため探傷信号は 8 の字パターンになる。

次に、図 3 に示す 3 分割プローブを用いた場合の、探傷原理を説明する。まず、きず角度が探傷方向に対して 0° の場合は、励磁コイルの中心部分にのみきずを避けて流れる渦電流成分が存在するため中央の検出コイルが探傷信号を検出する。この時、右側と左側の検出コイルは、ほとんど信号を検出しない。きずが探傷方向に対して 90° の場合は、きずを避けて流れる渦電流成分は 3 個の検出コイルで同時に検出する。このとき、中央の検出コイルと左右の検出コイルでは、渦電流は逆向きに流れるため、検出された起電力は打ち消し合うため、信号は小さくなってしまう。きずが探傷方向に対して 45° 、 135° の場合は、きずの中心が検出コイルの上側にあるときは、左側と中央の検出コイルが探傷信号を検出し、きずの中心が検出コイルの下側にある時には右側と中央の検出コイルが探傷信号を検出する。このように、きず角度が 45° 、 135° の場合はきずを検出する検出コイルが時間とともに変化する。このため、3 個の検出コイルが同時にきずを検出する 90° きず に比べて、 45° きずの方が検出コイルでの起電力の打ち消しが小さい。このため、きず角度が 45° 、 135° の場合の探傷信号振幅が 0° や 90° の場合に比べて大きくなる。

3.実験条件と実験方法

図 1 に示したプローブの寸法は、励磁コイルが内径 6mm、外形 9mm、巻き線断面積 $1.5 \times 1.5 \text{ mm}^2$ であり、検出コイルが長さ 50mm、

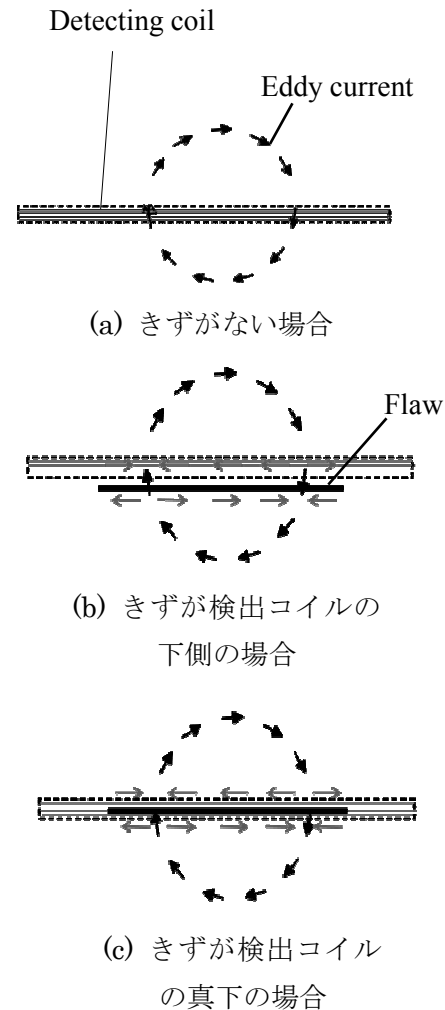


図 2 長い検出コイルの Θ プローブの探傷原理

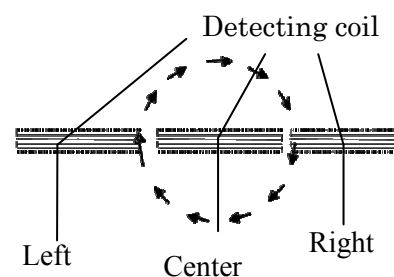


図 3 3 分割プローブ

高さ 9mm、巻き線断面積 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ である。

上記のプローブの検出コイルを 3 分割したプローブの模式図を図 3 に示す。プローブの寸法は、励磁コイルは同じで、検出コイルは、中央の検出コイルは、長さ 6mm、高さ 9mm で、左右の検出コイルは、長さ 20mm、高さ 9mm である。

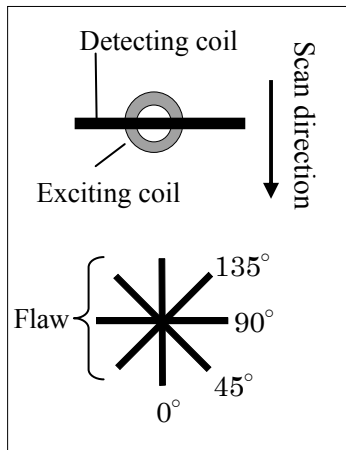


図4 走査方向

試験体は縦、横が 180mm で厚さ 1.5mm の真鍮板で、中央にスリットきずが放電加工されている。きず寸法は長さ 25mm、幅 0.5mm、深さは板厚に対し、20、40、60、80%である。

図4に示すように、きず角度は探傷方向に対して 0、45、90、135° とした。

試験周波数は 20kHz とした。

4.実験結果

図5は長い検出コイルの Θ プローブを用いて深さ 80%、きず角度 0、45、90、135° の探傷を行った時の信号パターンである。各角度の信号パターンを比較すると、45°と 135°きずの信号パターンは同じ形状になり、他の角度よりも信号振幅が大きくなっていることがわかる。

次に図3に示した3分割プローブを用いてきず角度が 45°と 135°の時の左右の検出コイルの動きを調べた。その結果から、探傷信号が大きくなる理由を検討した。尚3分割された検出コイルの探傷信号を合成すると、探傷信号パターンは長い検出コイルの Θ プローブと同じ形状になる。

図6から図8にきずを 45°にして、きず角度を変化させた場合の3個の検出コイルの探傷信号パターンを示す。図6は中央の検出コイルの探傷信号で、従来の Θ プローブと同じ

Test frequency :20kHz Flaw depth : 80%

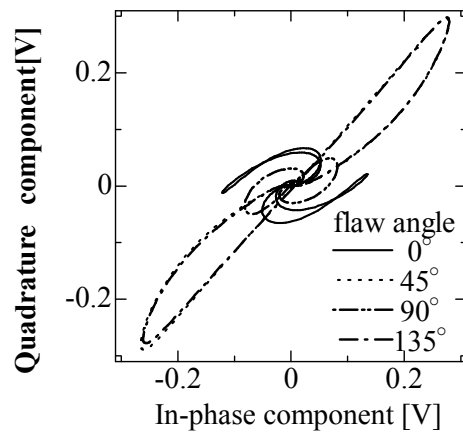


図5 探傷信号パターン
(きず角度が異なる場合)

Test frequency :20kHz Flaw depth : 80%

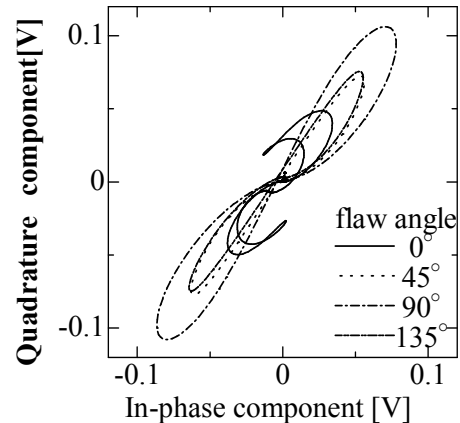


図6 探傷信号パターン
(中央の検出コイル)

Test frequency :20kHz Flaw depth : 80%

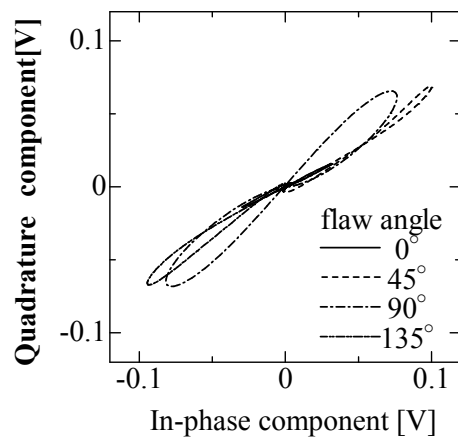


図7 探傷信号パターン
(左側の検出コイル)

形なので、同じ結果が得られた。図 7、図 8 は左側と右側の探傷結果である。両者を比較すると、 45° の信号パターンは右側と左側の検出コイルの探傷信号パターンは形状、大きさ共にほとんど同じで、逆極性になっている。また、中央の検出コイルが 8 の字パターンであるのに比べ、左右の信号パターンでは左側は正方向のみで、右側は負方向のみの信号パターンが得られた。このため 3 つの検出コイルの信号パターンを合成すると信号振幅が大きくなり、 45° きの信号振幅が 0° や 90° の信号パターンよりも大きくなったと考えられる。尚、 135° きの探傷信号パターンは左右それぞれが 45° きの探傷信号パターンの逆極性で信号振幅は同程度になった。

図 9 にきず深さを変化させた場合の角度別の信号振幅の変化を示す。きず深さが 80% の場合は、 45° と 135° の探傷信号振幅は同じ値で、 90° の信号振幅の 4 倍位になった。また、きず深さが 60%、40% の場合でも 90° きの信号振幅よりも大きな値になった。20% の場合では 90° きずと同程度の値になった。このグラフから、角度別の信号振幅を比較すると、 90° きずは浅くなくても信号振幅は、あまり変化しないが 45° 、 135° きの信号振幅はきずが浅くなると大きく変化することがわかる。しかし、信号振幅は大きくなったため、きず角度が 45° 、 135° の探傷感度が 0° 、 90° のきずよりも高いことがわかる。

5.まとめ

渦電流探傷における Θ プローブのマルチ化の前段階として、長い検出コイルの Θ プローブについて探傷実験及びその検討を行った。

探傷結果より、長い検出コイルの Θ プローブで探傷すると 45° 、 135° の斜め方向のきずの信号振幅が大きくなり、検出感度が高いことがわかった。また、原理の解明のため、長い検出コイルを 3 分割し、各コイルの働き

Test frequency :20kHz Flaw depth : 80%

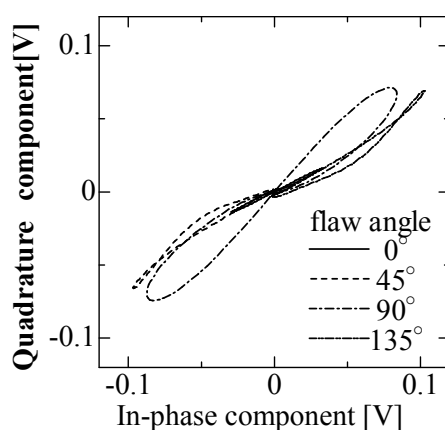


図 8 探傷信号パターン
(右側の検出コイル)

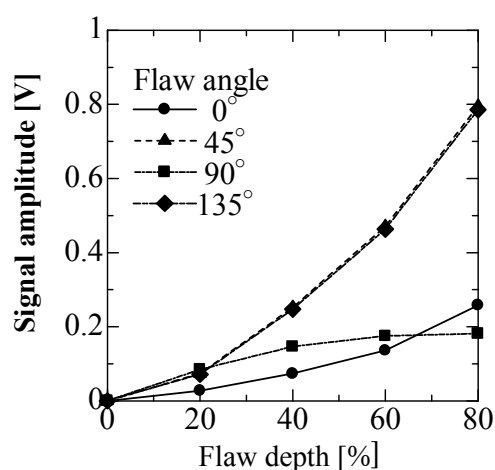


図 9 きず深さと信号振幅

を調べた。それにより、検出コイルの相互干渉が小さいためだとわかった。これらの結果から、斜めきずにおける、長い検出コイルの Θ プローブの検出コイルの探傷特性を理解することができた。

参考文献

- 1) 柄澤、小山、星川：リフトオフ雑音が発生しない渦電流探傷用新型上置プローブに関する研究 非破壊検査第 50 巻 11 号 pp 736-742 (2001)
- 2) 角田、小山、星川：渦電流探傷 Θ プローブのきず検出性能に関する研究 第 37 回学術講演会概要集 pp 61-64(2004)