

ヘルスマニタリング技術の建設構造および地下埋設構造物への 応用開発に関する研究グループ

面状探傷用渦電流上置プローブに関する研究

星川 洋 (日大生産工・教授)

小山 潔 (日大生産工・教授)

横田 理 (日大工・教授)

上田 政人 (日大理工・専任講師)

1 まえがき

金属の表面キズを検出する渦電流探傷は微小なキズを検出するために小さな試験コイルを用いるから、試験体の全表面を探傷するには長時間を要する。近年は高速化と信頼性向上を目的として面状走査探傷用マルチプローブが採用されるようになってきている。しかし、マルチプローブを適用できる試験装置は複雑で高価となる問題がある。そこで、通常の試験装置を適用して低コストで面状探傷が可能な渦電流探傷上置プローブの開発に取り組んだ。

試験装置が複雑となる原因はプローブ内の検出コイルが複数となることにあるから、筆者らは検出コイルを一つだけとするプローブを考えた。プローブ走査方向に対して垂直方向に配置した長い縦置検出コイルで検出を行うと共に、渦電流の誘導については以下の工夫をした。横キズの検出に関しては複数の小さな円形励磁コイルを並べ、走査方向に渦電流を利用して探傷を行う。縦キズの検出に関しては、1個の長い矩形横置励磁コイルによって走査方向に対して垂直方向に渦電流を誘導して探傷する。これらのプローブを用いれば、一度の探傷走査で面状領域の探傷が可能であり、また信号位相に基づいてキズ深さを評価を評価することが可能である。

2 プローブの構造と探傷原理

図1は横キズ検出用のプローブを示す。検出コイルは探傷面の幅に対応した長さの1個の矩形縦置コイルを励磁コイルの中央に配置する。一方、同図では1個の円形励磁コイルだけを示しているが、円形励磁コイルは走査探傷面の幅に応じて必要数を配置し、マルチプレクサを用いて各励磁コイルに時分割で交流を供給するものとする。

図2は横キズの探傷原理を示す。試験体にキズがない場合には、渦電流は励磁コイルの巻線に沿って誘導され、検出コイルの巻線に沿った方向の渦電流が存在せず、検出コイルに信号は発生しない。プローブと試験体のリフトオフが変化してもリフトオフ雑音は発生しない。キズがあればキズを避けて、検出コイルに沿った渦電流成分が現れ検出コイルに信号が発生する。キズの位置がプローブの上下で検出コイルに対する渦電流の方向が逆となり、極性の異なる信号が発生する。キズがプローブの中央に位置するとキズの上下で渦電流が相殺し、検出コイルに信号は発生しない。

以上のようにキズの上をプローブが走査したとき、検出コイルのキズ信号は電圧平面において8字パターンを描く。このプローブでは円形励磁コイルの径に比べてキズが長いものとするれば、キズ位置に関係なくほぼ一定の感度で探傷できる。

図3は縦キズ検出用のプローブを示す。検出コイルは横キズ検出用プローブの場合と同様に長い1個の縦置コイルである。一方、励磁コイルは探傷走査面の幅に合わせた長さの1個の矩形平面コイルであり、その巻線に沿って閉路を成して流れる渦電流を誘導する。

図4は縦キズ検出用プローブの探傷原理を示す。キズがないときには渦電流は励磁コイルの巻線に沿って流れるから、検出コイルの巻線に平行な成分は無く、検出コイルに信号は発生しない。リフトオフが変化しても検出コイルの巻線に平行な渦電流は発生せず、リフトオフ雑音は発生しない。キズがプローブに近づくと、キズを避ける渦電流が検出コイルの巻線と平行な成分を持ち検出コイルに信号が発生する。キズの先頭と末尾とでは渦電流の流れる方向が逆となり、検出コイルには逆極性の信号が発生する。またキズがプローブの中央に位置すると、渦電流はキズに対して垂直方向に流れるから、検出コイルに信号は発生しない。このように、キズの上をプローブが走査すると検出コイルは8字パターンを描く信号を発生する。なお、プローブに対してキズの相対位置が変わっても励磁と検出のコイルが十分に長ければ、キズ信号が変化しない。

3 実験の条件と方法

試験体は縦と横が180mmで厚さが1.5mmの真鍮板とした。試験体の中央にスリット状キズを放電加工加工した。キズ寸法は長さが5、10、15、25mm、幅が0.5mmで、深さは板厚に対して20、40、60、80%とした。

図1に示した横キズ用プローブの寸法は以下とした。励磁コイルは内径が6mm、外径が9mm、巻き線断面積は $1.5 \times 1.5 \text{mm}^2$ である。検出コイルは長さが50mm、高さが9mm、巻き線断面積は $1 \times 1 \text{mm}^2$ である。また、図3に示した

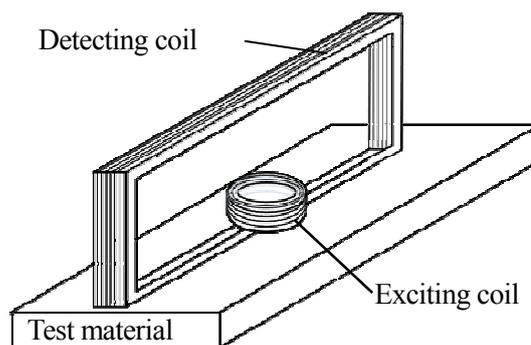


図1 横キズ検出用渦電流探傷プローブ

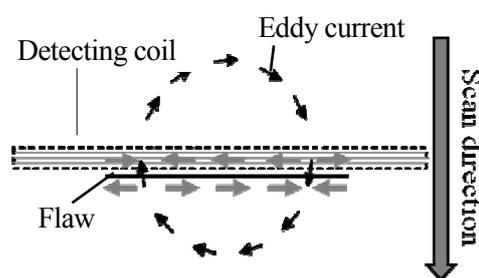


図2 横キズ探傷の原理

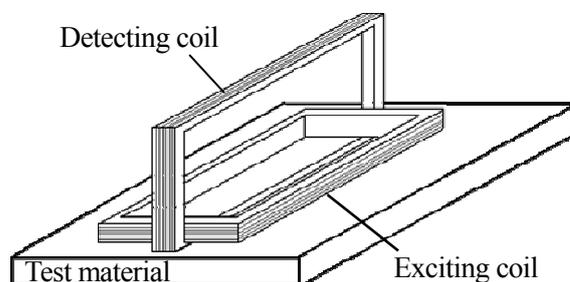


図3 縦キズ検出用渦電流探傷プローブ

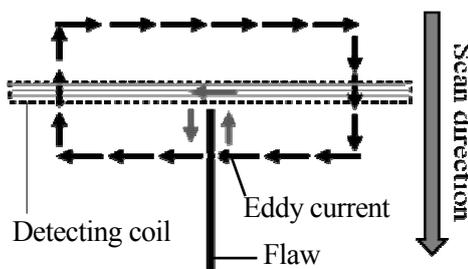


図4 縦キズ探傷の原理

縦キズ用プローブは励磁コイルが短辺 6mm、長辺 45mm、巻き線断面積 $1.5 \times 1.5 \text{mm}^2$ とした。検出コイルは横キズ用プローブと同じ寸法である。試験周波数を 20kHz とし、図 5 に示すようにプローブがキズの真上を通るように走査して探傷実験を行った。

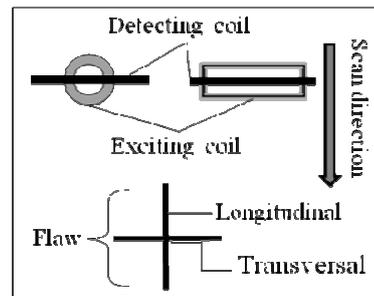
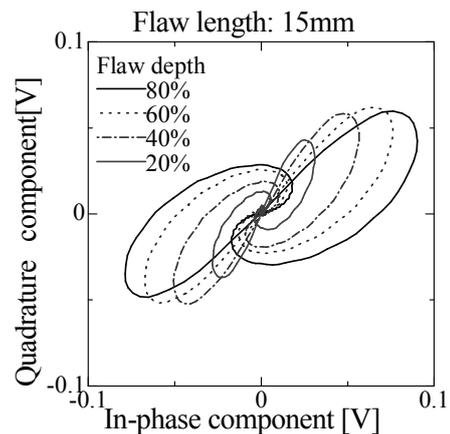


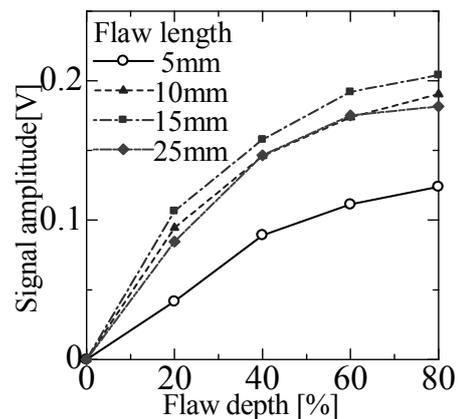
図 5 探傷走査とキズ方向

4 実験の結果

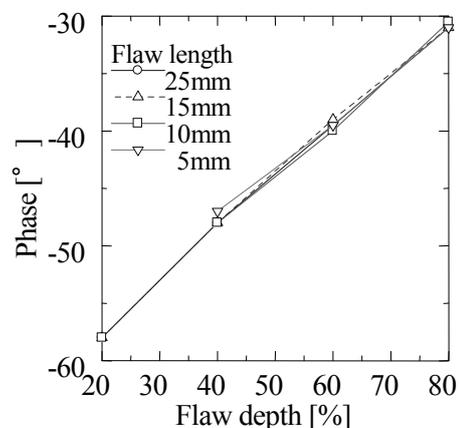
図 6 は図 1 に示したプローブによる横キズの探傷結果を示す。図 6 (a) は長さ 10mm、深さ 20~80% の横キズを探傷したときの信号パターンを示す。各信号パターンはキズの深さに応じて変化する。これらのパターンの先端部を直線で結び、信号振幅と信号位相を求めた。図 6 (b) はキズ長さが 5~25mm の範囲でキズ深さと信号振幅との関係を示す。同図から深さが 20% のキズも十分な感度で検出されていることがわかる。なお、キズ長さが 5mm の場合には信号振幅が小さくなっているが、これはキズが励磁コイルの内径に比べて短いことによる影響である。図 6 (c) はキズ長さが 5~25mm の場合についてキズ深さと信号位相との関係を示す。信号位相はキズ深さに対してほぼ比例的に変化するから、信号位相に基づいてキズ深さ評価ができることがわかる。このように、信号位相を用いればキズ長さの影響を受けずにキズ深さを評価することが可能である。



(a) 信号パターン



(b) キズ深さと信号振幅



(c) キズ深さと信号位相

図 6 横キズの信号

図 7 は矩形励磁プローブによる縦キズの探傷結果を示す。図 7 (a) は矩形励磁プローブを用いて、長さ 10mm で深さ 20~80% の縦キズを探傷したときの信号パターンを示す。同図から信号パターンはキズの深さに応じて変化するから、これらのパターンから信号振幅と信号位相を求めた。図 7 (b) はキズの深さと信号振幅との関係を示している。信号振幅はキズの長さが 5~25mm の範囲でほぼ同等の値になった。これは励磁コイルがキズに入

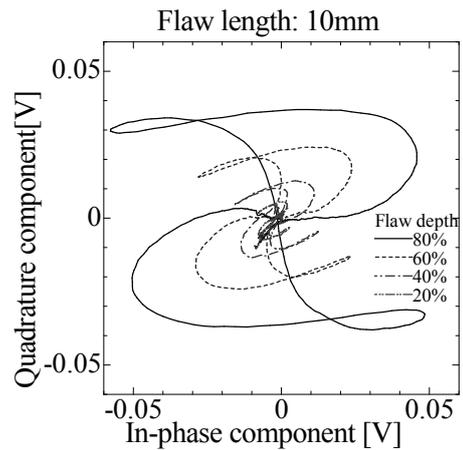
るときと出る時の信号を用いたため、原理的にキズの長さによる影響を受けないからである。図7(c)はキズの深さと信号位相の関係を示している。信号位相はキズの深さに対応して変化しており、信号位相を適用すればキズの深さを評価できることが分かる。またキズの長さが10mm~25mmの範囲で位相はほぼ同等の値であるから、長さが10mm以上であれば長さの影響を受けずにキズの深さを評価できる。長さが矩形励磁コイルの短辺より短い5mmの場合には、キズ長さの影響を受けるために位相が異なる値となった。

5 おわりに

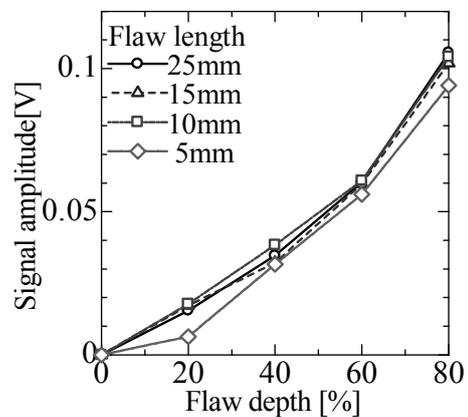
面状走査探傷を目的として1個の長い縦置コイルを検出コイルとする上置プローブに関する基礎特性の検討を行った。実験の結果、横キズおよび縦キズを検出可能であることを確認した。なお、円形励磁コイルと矩形励磁コイルとに異なる周波数の交流を加えることにより同一の検出コイルによって縦キズと横キズとを同時に探傷できる。このプローブは従来の渦電流探傷器を適用することが可能であり、原理的にリフトオフ雑音が発生せず、またキズ信号の位相に基づいて表面キズの深さを評価できる。今後は種々異なる材質の金属材料に対する適用、および種々の性状の異なるキズによる信号などに関してデータを重ねていく必要がある。

参考文献

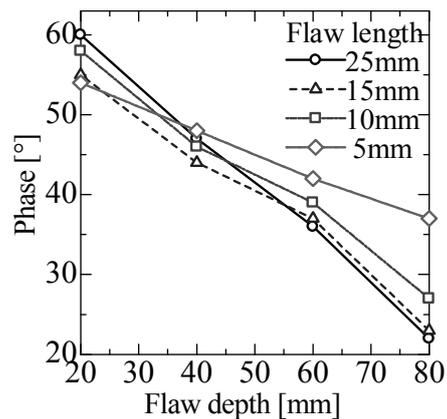
- 1) 角田恭成、小山潔、星川洋：「渦電流探傷Θプローブのきず検出性能に関する研究」、第37回日大生産工学部学術講演会概要集、pp 61-64(2004)
- 2) 澤大輔、小山潔、星川洋：「マルチ励磁式渦電流探傷Θプローブのための基礎的研究」、第12回表面探傷シンポジウム講演



(a) 信号パターン



(b) キズ深さと信号振幅



(c) キズ深さと信号位相

図7 縦キズの探傷信号