

マルチ化検出コイル渦電流探傷 プロープにおけるきず評価に関する研究

日大生産工(院) 小松 慶亮
日大生産工 小山 潔 星川 洋

1. はじめに

生産ラインにおける金属製品の表面きず検査においてはライン方向に長いきずの検出と、きずの深さ評価が求められている。この検査に試験体に非接触で高速度に探傷が可能な渦電流探傷試験を適用することを考える。

従来から用いられている渦電流探傷プローブでは試験体とプローブの相対距離(以下、リフトオフ)が変化すると雑音が大きくなる。また、ライン方向に長いきずの検出は困難であるという問題点があった。それに対し、リフトオフによる影響の小さい プローブを用いて探傷を行うことで従来のプローブと比較して信頼性高い検査が行えることが報告されている¹⁾。この プローブを用いてライン方向に長いきずを検出するためには、検出コイルをマルチ化したマルチ化検出コイル渦電流探傷 プローブが提案されている。3mm間隔で検出コイルを配置し、5 個一組で探傷信号を取り扱う事で、ライン方向に長いきずの検出と位置の判別が可能であることが分かった²⁾。また、きず深さによって変化する信号位相を用いて、ニューラルネットワーク(以下、NN)を適用することできず深さ評価が行えることが分かった³⁾。そこで、マルチ化検出コイル渦電流探傷 プローブの検出コイルの間隔を変えたときにNNによるきず深さ評価がどのように変化するか検討した。

2. マルチ化検出コイル渦電流探傷 プロープの探傷原理

図1にマルチ化検出コイル渦電流探傷 プローブの構造を示す。このプローブは一つの矩形横置き励磁コイルと、複数の矩形縦置き検出コイルから構成されている。

ここで複数ある検出コイルから一つを取り出して原理について考える。このプローブは検出コイルの巻線と平行に流れる渦電流成分をきず信号として検出する。図2(a)のように試験体にきずが

無い場合、誘導された渦電流は励磁コイルの巻線と同方向にのみ流れ、検出コイルの巻線と平行方向には流れないため信号は発生しない。またリフトオフが変わっても検出コイルの巻線と平行方向に渦電流が流れないのでリフトオフによる雑音は発生しない。図2(b)のようにきずがある場合、誘導された渦電流はきずを避けるように流れる。この時、検出コイルの巻線と平行方向に渦電流が流れるのできず信号が発生する。また、検出コイルの巻線と平行方向に流れる渦電流は検出コイルときずの位置によって流れる向きが異なる。従って、きずの位置によって信号の極性が異なる。これを用いることできず位置の判別が可能である。しかし、図2(c)のように検出コイル直下にきずが位置した場合、避けて流れた渦電流が互いに打ち消し合うために信号は発生しない。このように矩形縦置き検出コイルは検出コイルからやや離れた領域で探傷していることが分かる。この領域を複数並べた検出コイル同士で補うことによりきずがどこにきても検出することが可能である。

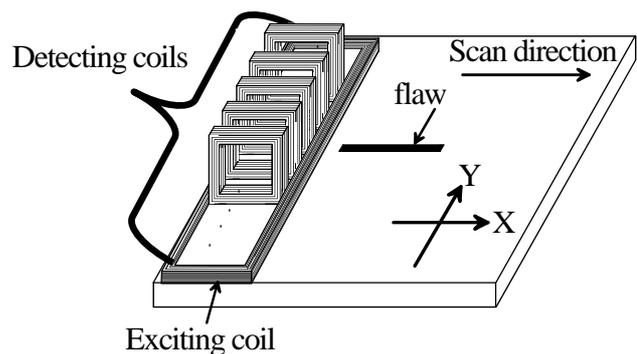


図1 マルチ化検出コイル プローブのモデル

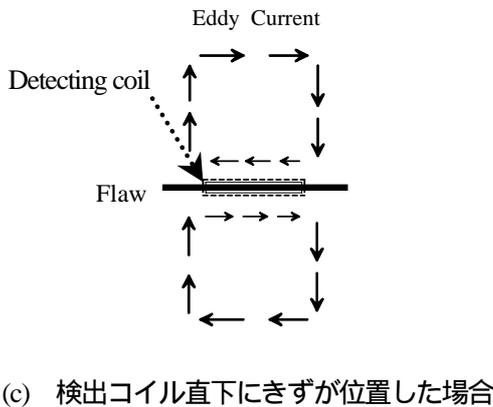
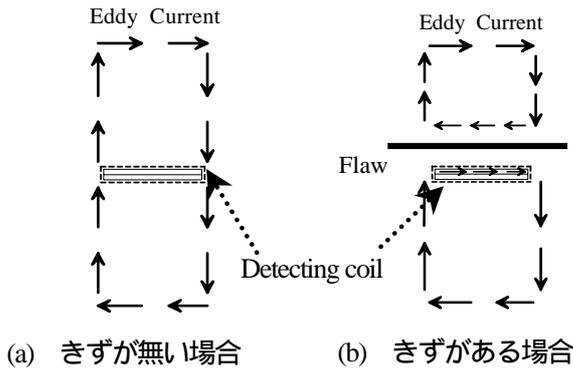


図2 試験体に誘導される渦電流

3. きず深さと信号位相の関係

非磁性材料にこのプローブを適用すると、きず深さによって信号位相が変化する。この信号位相に注目してきず深さ評価することを検討する。図3のようにきずに対し、プローブを垂直に走査する。このように走査すると図4のようなきず信号パターンを得ることができる。このパターンを見るときず深さによって信号位相が変化していることが分かる。

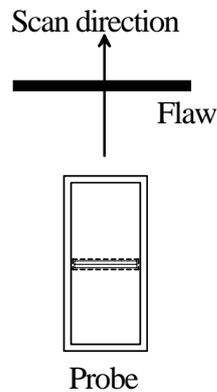


図3 走査方向

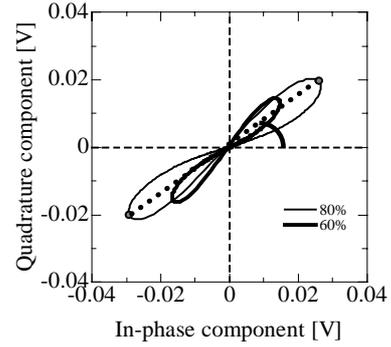


図4 きず深さが変わったときの信号パターン

4. 実験方法

試験体として $160\text{mm} \times 160\text{mm}^2$ で、厚さ 1.5mm の黄銅板を用いた。この試験体の中央にスリット状のきずを放電加工し、そのきず幅を 0.5mm 、長さを $10\text{mm}, 15\text{mm}, 25\text{mm}$ 、深さを板の肉厚に対し、 $80\%, 60\%, 40\%, 20\%$ とした。また、きず幅 $0.2\text{mm}, 0.8\text{mm}$ 、長さを 15mm 、深さ 80% の試験体を用いた。

試験プローブの励磁コイルは縦 70mm 、横 7mm 、巻線断面積 $1 \times 1\text{mm}^2$ である。また検出コイルは幅 5mm 、高さ 10mm 、巻線断面積 $1 \times 1\text{mm}^2$ である。

以下に試験周波数 20kHz の時の結果を示す。

5. マルチ化検出コイル渦電流探傷 プローブの実験結果

ライン方向に長いきずを検出するために検出コイルを複数配置したマルチ化検出コイル渦電流探傷プローブの模擬実験を行った結果を図5に示す。複数ある検出コイルのうち、きずに最も近い検出コイルを中心に5個一組で探傷信号を取り扱う。こうすることできずの検出ときず位置の判別を可能とする。図5(a)は複数ある検出コイルの一つときずが重なっている場合の結果である。きずに最も近い検出コイルを coil.0 として5個を抜き出した探傷信号を見ると、 coil.-1 と coil.1 できず信号の極性が反転していることが分かる。検出コイルに対するきず位置によって信号の極性が異なることからきずは coil.-1 と coil.1 の間にあることが分かる。さらに coil.0 に信号が発生していないことから coil.0 直下にきずがあることが確認できる。また図5(b)のようにきずが coil.0 と coil.-1 の間にある場合も同様に信号の極性が反転している coil.0 の間にきずがあることが確認できる。以上の

ことからマルチ化検出コイル渦電流探傷 プロープを用いることでライン方向に長いきずの検出と位置の判別が可能であることが分かった。

また、図5の各点の信号位相を算出してきず深さ評価することを考える。図5(a)の各点を図6の信号パターンに対応させる。そして図中の式を用いて信号位相を算出する。

非磁性材料にこのプローブを適用するときず深さによってその信号位相が変化する。図4の信号パターンのピークピーク値を直線で結び、その位相角を深さが変わった場合についてそれぞれ求める。その結果を図7に示す。この図からもきず深さによって信号位相が変化していることが確認できる。また、きず深さが同じで、きずの長さや幅が変わった場合について検討を行った。図8と図9を見ると、信号位相はきずの長さ、幅ではなく、深さのみに依存していることが確認できる。従ってこの信号位相を用いることできず深さ評価の可能性のあることが分かる。

このきず深さによって変化する信号位相を用いてNNを適用し、きず深さ評価について検討した。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\text{Quadrature}}{\text{In-phase}}$$

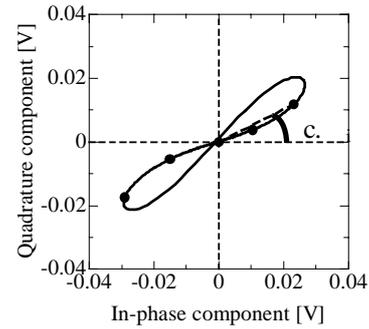


図6 信号位相の算出方法

Flaw : length 15mm , width 0.5mm

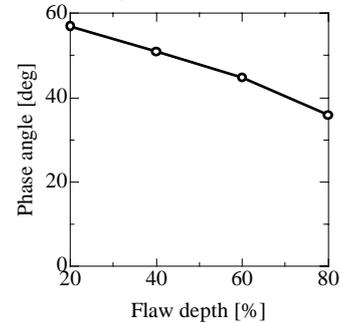
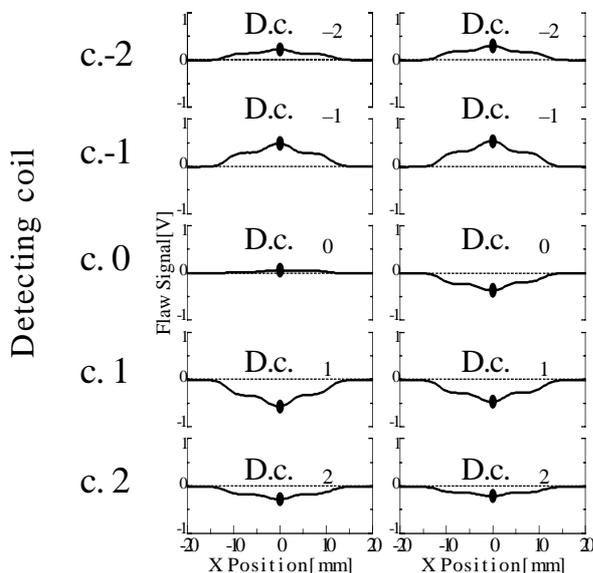


図7 きず深さと信号位相



(a)検出コイル直下 (b)coil.0 と-1の間にきず

図5 マルチ化プローブの各検出コイル信号

Flaw : width 0.5mm , depth 80%

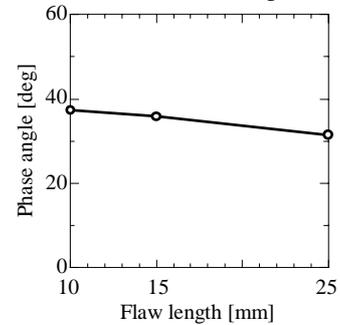


図8 きず長さと信号位相

Flaw : length 15mm , depth 80%

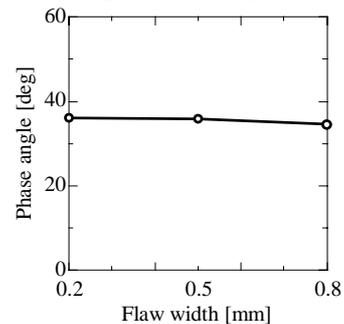


図9 きず幅と信号位相

6. NN を用いたきず深さ評価

NNは学習信号と教師信号を与えることで学習し、学習したNNは学習を行っていないものに対しても正しく答えられる汎化能力を有している。図10のInputに図5に示すマルチ化検出コイル渦電流探傷プローブのD.c₁からD.c₂を入力する。

今回用いた学習信号はきず幅0.5mm、きず長さ15mm、きず深さを80%,60%,40%,20%の信号位相とした。また、きず深さに対する教師信号を図のようにした。学習させたきず位置は3カ所で、coil.0直下にきずがある場合、coil.0からcoil.-1側に1mmずれた場合、coil.0からcoil.1側に1mmずれた場合である。

この学習したNNに、きずの位置が-1.5mmから1.5mmまで0.5mm間隔と学習していない範囲にずれた時に、きず長さが変わった場合、幅が変わった場合について判別させた。その結果の一例を表1に示す。この表は判別を行わせたとき、教師信号とNNの出力信号が一致した場合に正解出力(Correct answer)としてCを与え、教師信号と一致しなかった場合、不正解出力(Wrong answer)としてWを与えたものである。この結果を見ると学習していないものに対してもきず深さ評価ができていないものに対しても正解に近い出力することができるためにNNは少ない学習データで汎用性を持っていることが分かる。

図11に検出コイルの間隔を2mmから8mmまで変えて検討した結果を示す。この図を見ると検出コイルの間隔が3mm付近で最も良い結果が出ていることが分かる。従って、マルチ化検出コイル渦電流探傷プローブの検出コイルの間隔は3mmが適切であることが分かる。

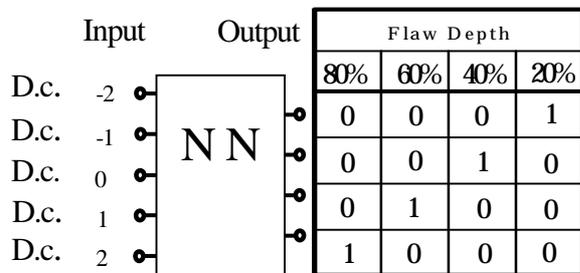


図10 NNと教師信号

表1. NNによるきず深さ評価

Flaw: width 0.5mm, length 10mm

Dtc位置	80%	60%	40%	20%
-1.5	W	C	C	C
-1.0	C	C	C	C
-0.5	C	C	C	C
0	C	C	C	C
0.5	C	C	C	C
1.0	C	C	C	C
1.5	C	C	C	C

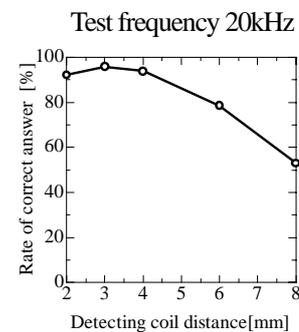


図11 検出コイル間隔が変わったときのNN正解出力比

7. おわりに

本研究では検出コイルをマルチ化したマルチ化検出コイル渦電流探傷プローブにおけるきず検出ときず深さ評価の検討を行った。

周波数が20kHzの時、検出コイルの間隔を3mmにしてマルチ化することで、ライン方向に長いきずの検出が可能であることが分かった。また、きず深さによって変化する信号位相を用いて、NNを適用することによりきず深さ評価ができる事を確認した。

参考文献

- 柄澤、小山、星川：リフトオフ雑音が発生しない渦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 pp736-742(2001)
- 小松、小山、星川：検出コイルをマルチ化した渦流探傷プローブに関する研究 第8回表面探傷シンポジウム pp53-58(2005)
- 小松、小山、星川：検出コイルをマルチ化した渦流探傷プローブにおけるきず評価について 平成17年度JSNDI春季大会 pp159-160(2005)