

マルチ化検出コイル渦電流探傷プローブによる きず検出と評価の検討

日大生産工（院） ○蓑島 亮介 日大生産工 小山 潔

1. まえがき

渦電流探傷試験に用いられる試験コイルは、試験体内に渦電流を誘導するための磁束を発生するとともに、きずによる渦電流の変化を検出する。よって試験コイルは、試験体内のきずの検出における感度や分解能などの検出特性に大きな影響を与える。したがって、試験コイルは渦電流探傷試験装置の中で最も重要な構成要素の一つである。

試験コイルには自己比較方式や単一方式等の使用方式が複数存在する。自己比較方式とは二つの試験コイルを試験体の隣接した部分に併置する方式である。二つのコイルの応答の差からきずを検出することが出来る。この方式では、試験コイルと試験体との相対位置の変化や、試験体の材質及び形状等などの試験体における変化による影響を抑圧することが出来るという利点がある。一方、試験コイルの走査方向に一樣な試験体の変化の検出が困難という欠点がある。単一方式とは一つのコイルのみを用いて試験する方式である。この方式では、試験体における絶対的な変化の測定に適している。一方、試験コイルと試験体との相対位置の変化や、試験体の材質及び形状等などの試験体における変化による影響を受ける。

以上のことから例えば、製造ライン工程で渦電流探傷試験を採用する場合、金属製品の高速な搬送に伴う振動から、試験コイルと試験体との距離が変化するため従来の単一の試験コイルでは相対距離の変化による雑音が大きく、小さなきずの検出が困難である。また相対距離の変化を抑えるために試験コイルを2個併置し差動コイルとしたプローブが適用されるが、製造ライン方向に長さをもつスリットきずに対しては検出が困難である。

2. 提案手法

そこで、ライン方向に長さをもつスリットきずを検出する方法としてマルチ検出コイル渦電流探傷プローブを用いた探傷方法がある。マルチ検出コイル渦電流探傷プローブは、長方形

の1つの励磁コイルと励磁コイルの長辺に垂直に配置された矩形縦置き複数のマルチ検出コイルから構成されている。従前のプローブは、検出コイルがライン方向と平行となるようにプローブを設置して、金属製品表面の探傷を行う^①。しかし、従前のマルチ検出コイル渦電流探傷プローブでは「ライン方向に長さをもつスリットきず」は検出可能だが、「ライン方向に垂直なスリットきず」に対しては検出が困難である。

そこで、プローブをライン方向に対して45°傾けることで、ライン方向に平行及び垂直なスリットきずの検出を可能にした。Fig.1はマルチ化検出コイル渦電流探傷プローブの構造、Fig.2は、きずがライン方向に平行な場合のマルチ化検出コイル渦電流探傷プローブ内部の電流の流れ、Fig.3はきずがライン方向に垂直な場合のマルチ化検出コイル渦電流探傷プローブ内部の電流の流れを示している。今回はこのライン方向に対して45°傾けたマルチ化検出コイル渦電流探傷プローブを用いて検出したきず信号をNNC(ニューラルネットワークコンソール)に評価・学習させ、基礎的検討を行う。Fig.4はマルチ検出プローブによって得られたきず信号を疑似カラー画像へと変換し、NNCにより学習・評価するまでの様子を簡易的に示した図である。

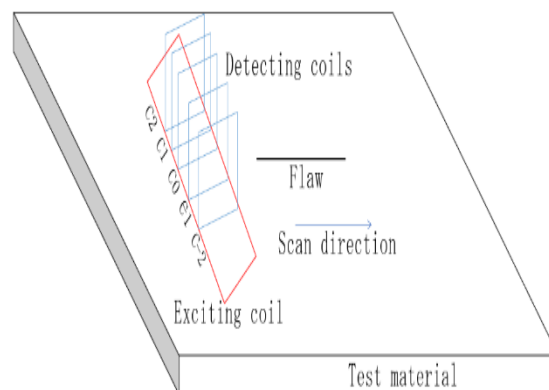


Fig. 1 マルチ化検出コイル渦電流探傷プローブの構造

Inverstigation of flaw detection and evaluation of multi-detection coil eddy current probe

Ryosuke MINOSHIMA and Kiyoshi KOYAMA

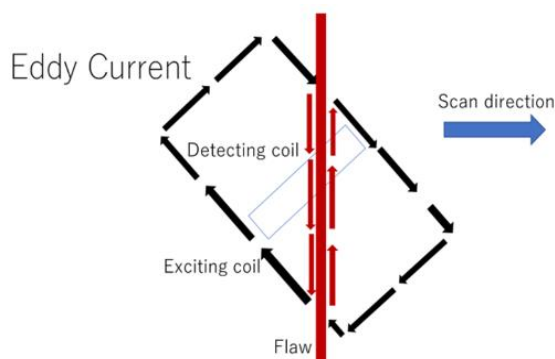


Fig. 2 きずがライン方向に垂直な場合

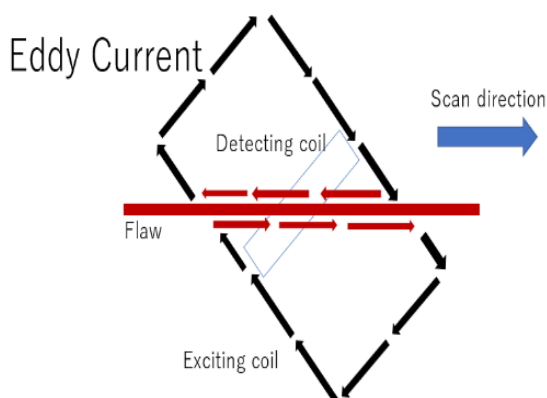


Fig. 3 きずがライン方向に平行な場合

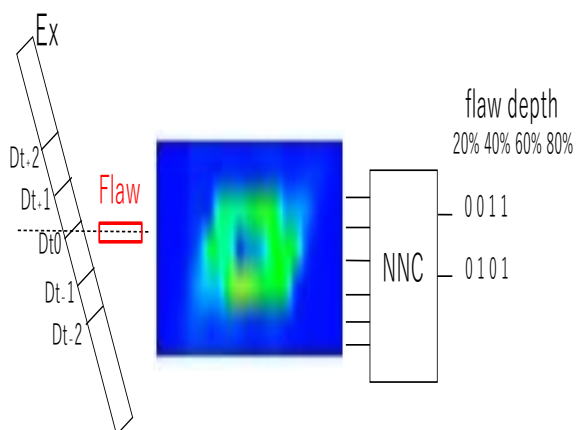


Fig. 2 きず検出から機械学習させるまでの模式図

3. 実験方法および測定方法

マルチ検出コイル渦電流探傷プローブによって得られたきず信号よりNNCを利用したきず評価結果の基礎的検討として、実験ではきず信号を疑似カラー画像に変換し学習・評価を行った。また実験では、検出コイルがきずの真上を通った場合の検出信号をyp00とし、Fig.5のように＋方向・－方向にそれぞれ0.5mmごとに、2.5mmまでを測定範囲とする。また測定範囲をyp-25～yp25（-2.5mm～2.5mm）としてプロー

ブを走査方向に対し垂直方向にずらして検出した垂直きずと平行きずの信号を使用する。

プローブの励磁コイルの寸法は、長辺が70mmで短辺が9mm、巻線断面積 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ であり、検出コイルの寸法は、幅7mmで高さ10mm、巻線断面積 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ である。試験体には、厚さ1.5mmの黄銅板を用い、深さが板厚に対して20%(0.3mm)、40%(0.6mm)、60%(0.9mm)、80%(1.2mm)で長さが25mm、幅が0.5mmのスリットを放電加工してきずとした。試験周波数は、渦電流の浸透深さを考慮して20kHzとした。

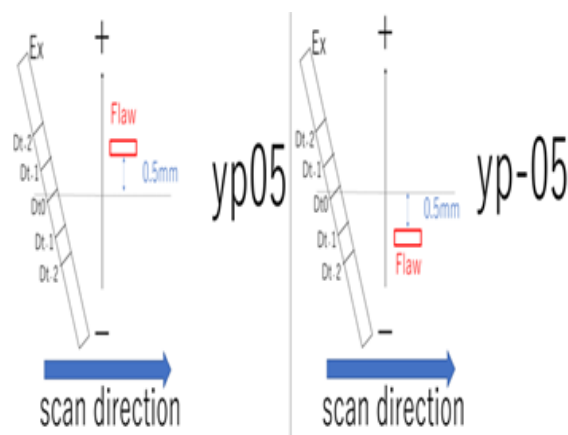


Fig. 5 マルチ検出プローブ測定範囲

4. 実験結果および検討

こちらでは実験結果の一例を紹介する。NNCにきず信号yp00の検出信号の振幅vaを学習させた後、きず信号yp±25,yp±20,yp±15,yp±10,yp±05のvaを評価させた場合を見る。

実験の結果、評価させた平行きず全40種の内、Table.1にあるような8種のきず信号が正常に評価されず、出力値が出力設定値と大きく異なる値となった。よって、この評価結果は正答率80%であったということになる。また、Table.1内yp-25のきず深さ60%の信号の評価結果を見ると、出力設定値1-0のところ出力値は0-1(きず深さ40%)とNNCは浅めに評価していることが分かる。加えてyp-15のきず深さ60%の信号の評価結果を見ると、出力設定値1-0のところ、出力値1-1とNNCは深く評価していることが分かる。

これら8種の評価結果から、マルチ検出プローブの検出コイルDt0から遠いきず信号であるほど出力設定値より浅く評価される傾向にあり、検出コイルDt0から近いきず信

号であるほど出力設定値より深く評価される傾向にあると考えることが出来る。

Table. 1 NNC によって誤答された評価結果

画像	出力設定値		出力値	評価結果
yp-25 60%va	1	0	0	1 浅く評価されている
yp-20 60%va	1	0	0	1 浅く評価されている
yp-15 60%va	1	0	1	1 深く評価されている
yp-10 60%va	1	0	1	1 深く評価されている
yp20 40%va	0	1	0	0 浅く評価されている
yp20 80%va	1	1	1	0 浅く評価されている
yp25 40%va	0	1	0	0 浅く評価されている
yp25 80%va	1	1	1	0 浅く評価されている

5. まとめ

走査方向に平行な横きずと垂直な縦きずを一度の走査で検出可能なマルチ化検出コイル渦電流探傷プローブを提案し、このプローブによるきず検出の実験結果と得られたきず信号よりNNCを利用したきず評価結果の基礎的検討を行った。条件付きではあるが、試験体に加工されたきずから得られた信号で学習させたネットワークで、学習させていないきずを評価することが出来た。

また、様々なパターンで実験を繰り返した結果、NNCによる評価の誤差に傾向があることを確認した。現在、NNCの評価の傾向について明らかになっている部分は多くないため、出来得る限りの評価の傾向明確化に向けて更にNNCの評価を繰り返し行う予定である。

参考文献

1) 小山潔、星川洋、小松慶亮：非破壊検査、56 (11) pp.589-595(2007)