

渦電流探傷 Θ プローブを用いた応力腐食割れ及び熱疲労割れのきず深さ評価に関する研究

日大生産工(院) ○本宮 寛憲 玉田 修平 早津 大輔

日大生産工 小山 潔

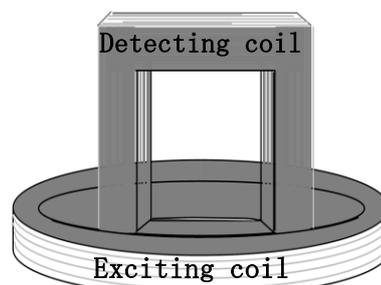
1. はじめに

発電プラントなどのプラント構造物では、再循環系配管や制御棒の周囲に配置されるシュラウド等で応力腐食割れ(SCC)が発生するという事例が報告されている。また、熱循環器では急激な温度変動による繰り返しの熱応力が生じることで熱疲労割れ(TFC)が発生する事例が報告されている。これらのき裂は時間と共に大きく広がり、事故の危険が高まる。そのため、非破壊検査法による検査と診断を行い構造物の安全性及び信頼性の確保が必要不可欠であり、構造物の状態を知るうえできずの評価が重要となる。そのため、SCCやTFCに対する非破壊検査法によるきずの検出と評価方法の検討が行われている¹⁾。

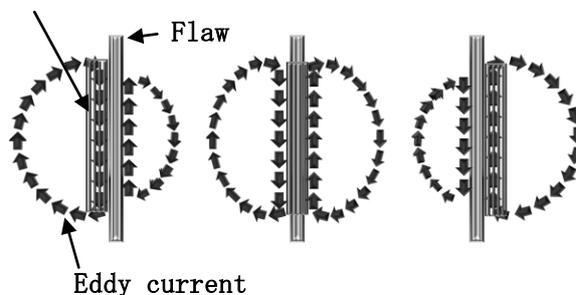
これまでに、SCC及びTFCに対して、雑音が小さく、S/N高くきず検出が可能な Θ プローブを適用した渦電流探傷試験を行い、明瞭なきず検出が可能であること、また、きずの長さ方向と検出コイルの巻線方向が垂直になるように探傷を行うと、励磁コイルの外径以上の長さのきずであれば、信号振幅波形の最初と最後のピーク間距離によってきず長さの評価が可能であるという報告を行った²⁾。そこで、更なるきず評価の検討として、SCC及びTFCの深さ評価を行った。

2. Θ プローブの構造と探傷原理

図1に本研究で用いた Θ プローブの構造を示す。 Θ プローブは、円形横置ききの励磁コイルと

図1 Θ プローブの構造

Detecting coil



(a)きずの左側 (b) きずの真上 (c)きずの右側

図2 Θ プローブの探傷原理

矩形縦置ききの検出コイルによって構成され、励磁コイルはコイルの巻線方向に同心円状の渦電流を誘導し、検出コイルはコイルの巻線方向に流れる渦電流によって発生する磁束の変化をきず信号として検出する。また、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が発生しないため、S/N高くきず検出を行うことができる。

図2に Θ プローブの探傷原理を示す。きずの深さを評価するために、きずの長さ方向に対して検出コイルの巻線方向が並行方向になるように走査する。検出コイルがきずの左側に位置する場合、きずを避けて流れた渦電流

Study on estimation of stress corrosion cracking and thermal fatigue crack depth using eddy current Θ probe

Tomonori HONGU, Kiyoshi KOYAMA, Syuhei TAMADA and Daisuke HAYATSU

が、検出コイルの近傍を巻線方向と並行に流れるので、起電力が発生する。きずの真上に検出コイルが位置する場合、きずを中心に渦電流が左右対称に誘導されるので、検出コイルを貫く磁束の総和が零になる。したがって、検出コイルに起電力が発生しない。検出コイルが、きずの右側に位置する場合、左に位置するときと同様に、検出コイルに起電力が発生する。なお、検出コイルがきずの右側に位置するときの信号は、左側に位置する時とは、逆極性の信号が発生する。

3. 実験条件及び実験方法

材質が SUS316 の試験体に長さ(15, 25mm)、幅(0.1, 0.2, 0.4mm)、深さ(1, 2, 4, 8mm)が種々異なる矩形型のきずを 7 種、お椀型のきずを 2 種、楔型のきずを 2 種の合計 11 種類の放電加工(EDM)きずを施した。また、長さ、幅、深さ及び形状が異なる SCC を 5 種類、TFC を 4 種類施した。表 1 に SCC 及び TFC のきず寸法を示す。なお、SCC のきず深さは破壊試験によって得られたきずの断面図から推定した。図 3 に SCC4 の断面図を示す。図 4 にきずの断面図から推定した SCC4 のきず形状を一例として示す。また、図 5 に TFC1 の断面図を一例として示す。なお、SCC と TFC を施した試験体は日本保全学会の回送試験体である。

⊖プローブの寸法を、励磁コイルでは内径 7mm、外径 9mm、巻線断面積 1mm^2 とし、検出コイルでは縦 7mm、横 7mm、巻線断面積 1mm^2 とした。

⊖プローブを X-Y テーブルに設置し、XY 軸方向ともに $\pm 20\text{mm}$ の範囲を左から右に二次元走査を行い、0.5mm 間隔で探傷データを取得した。なお、試験周波数は 100kHz 一定、プローブと試験体との間に薄い非導電性シートを挟みリフトオフを 0.5mm 一定とした。

表 1 SCC 及び TFC の寸法

Flaw number	unit(mm)	
	length	depth
SCC1	14.0	4.47
SCC2	15.0	3.75
SCC3	19.0	4.33
SCC4	21.0	6.13
SCC5	26.0	5.90
TFC1	11.7	4.10
TFC2	14.4	4.10
TFC3	20.1	6.50
TFC4	22.1	6.50

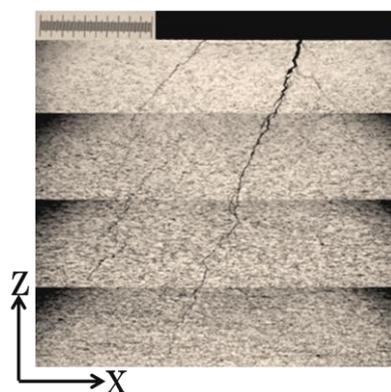


図 3 SCC4 の断面図

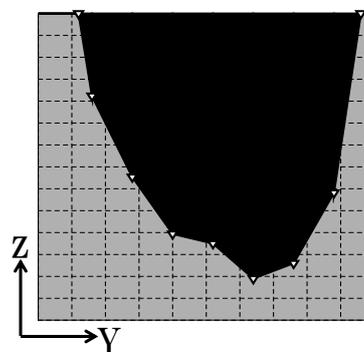


図 4 SCC4 の形状

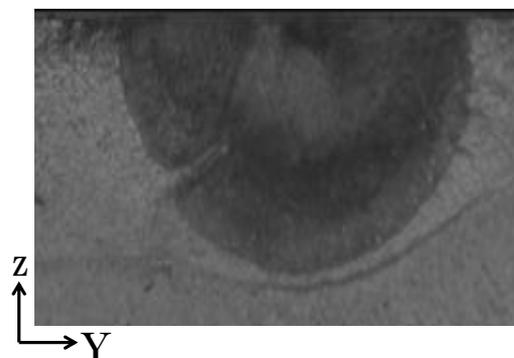
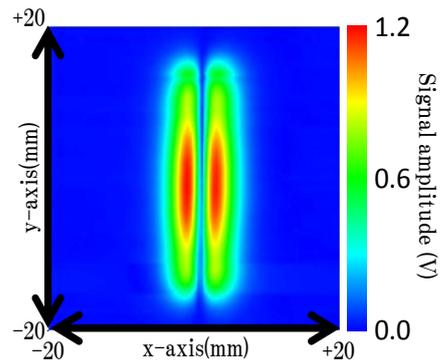


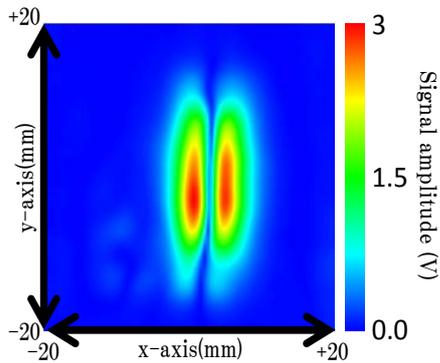
図 5 TFC1 の断面図

4. ①プローブによる検出結果

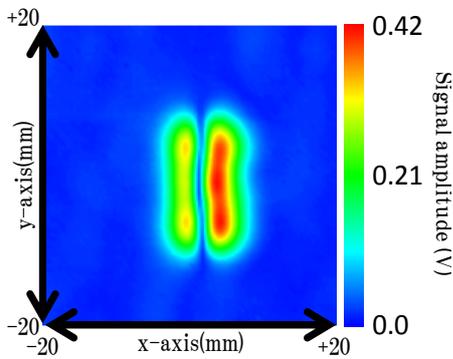
図 6(a), (b), (c)に、EDM (矩形型)、SCC4 及び TFC1 の二次元走査によって得られた信号振幅のカラースケール画像を示す。EDM、SCC4 及び TFC1 の場合、きずの長さ方向に対して左右両側で大きな信号が発生する。したがって、SCC や TFC に対しても S/N 高くきずの検出を行なえている。なお、他の SCC 及び TFC に対しても S/N 高く検出が行える事を確認している。



(a) EDM(矩形型)



(b) SCC4



(c) TFC1

図 6 信号振幅のカラー画像

5. きず深さの評価方法

きずの深さ評価には、8 字の信号パターンより信号位相を求める。信号パターンは、図 6 の X 軸方向の探傷信号を利用して描く。信号パターンから信号位相を求めるには、図 7 のように、横軸に実数成分、縦軸に虚数成分として、信号パターンを描き、振幅が最大となる二点(図中 A, B)を直線で結び、その直線と X 軸との傾きから信号位相を求める。この信号位相を利用してきず深さの評価を行う。なお、信号位相の求め方は日本非破壊検査協会発行の[非破壊検査技術シリーズ]渦電流探傷試験 I,p85~p86「きず信号の評価」に基づいている³⁾。

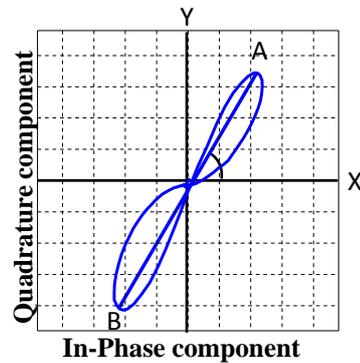


図 7 きず信号パターン

6. きず深さの評価

6.1 EDM を用いたきず深さ評価の検討

SCC 及び TFC に対するきず評価のために、きず形状が単純な EDM を用いて基礎的な検討を行った。

図 8 にきず形状が矩形型で長さ及び幅を一定とし、深さを 1, 2, 4, 8mm とした場合の信号パターンを示す。きずの深さが深くなると信号振幅は大きくなり、信号パターンの傾きも時計回りに傾くことが分かる。なお、きずの幅、長さ、角度、形状が異なる場合には、信号パターンの傾きには影響がないことを確認している。

以上のことから、信号パターンの傾きはきずの長さ、幅、角度及び形状の影響を殆ど受

けず、きずの深さに応じて変化するので、きず深さの評価に利用できる可能性がある。

6.2 SCC 及び TFC のきず深さ評価

EDM で得られた知見を基に SCC 及び TFC の深さ評価を行った。図 9 に SCC4 のきず信号パターンを示す。図 10 に TFC1 のきず信号パターンを一例として示す。図 11 に SCC 及び TFC のきず深さに対する信号位相を示す。きずが深くなると信号位相が遅れる傾向がある事が分かった。なお、深さに対する信号位相のばらつきが大きいので、定量的な評価は困難だが、大凡のきず深さの推定に利用できる可能性がある。信号位相がばらつくのは、SCC や TFC は EDM と異なり、内部での亀裂の分岐や、断面で部分的に接触していることが原因であると推測できる。

7. まとめ

本研究では渦電流探傷 Θ プローブを適用した、SCC 及び TFC の深さ評価について検討を行った。その結果、信号位相は EDM であれば、きずの形状、長さ、幅、角度の影響をほとんど受けず、きずの深さに応じて信号位相が小さくなる事が分かった。また、SCC 及び TFC についても深さに応じて信号位相は小さくなる傾向があるので、深さの推定に利用できる可能性がある。

「参考文献」

- 1) Noritaka Yusa, Stephane Perrin, Kazue Mizuno and Kenzo Miya :Numerical modeling of general cracks from the viewpoint of eddy current simulations, NDT&E international 40,pp577-583 (2007)
- 2) 本宮寛憲、小山潔：電磁界解析に基づく渦電流探傷 Θ プローブを用いたきず長さ評価に関する研究、日本大学生産工学部第 47 回学術講演会概要、pp183-186(2014)
- 3) 社団法人日本非破壊検査協会：非破壊検査技術シリーズ 渦電流探傷試験Ⅱ,pp116-117

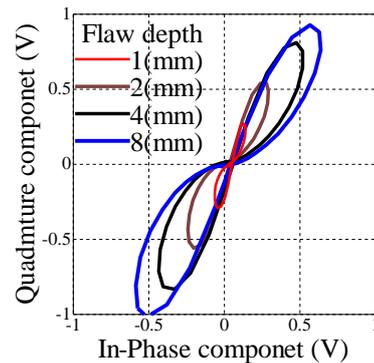


図 8 きずの深さが異なる場合の EDM(矩形型)の信号パターン

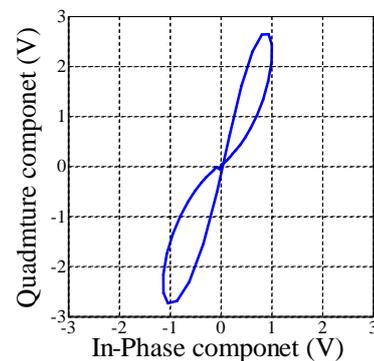


図 9 SCC4 の信号パターン

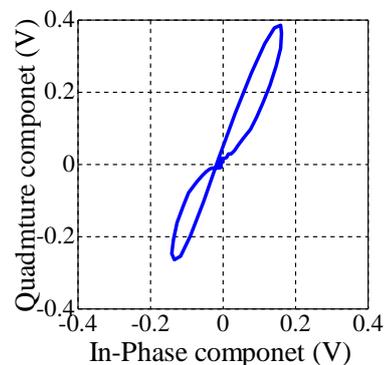


図 10 TFC4 の信号パターン

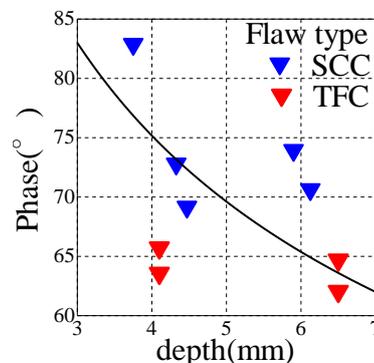


図 11 SCC 及び TFC のきず深さに対する信号位相