

応力腐食割れ（SCC）に対する Θ プローブによる渦電流探傷試験について

日大生産工（院） ○三木 健司

日大生産工 小山 潔、星川 洋

1. まえがき

原子力プラントなどの構造物では、腐食環境下で応力が加わると経年劣化に伴い応力腐食割れ（SCC: Stress Corrosion Cracking）が発生することがある。応力腐食割れが時間とともに進行すると、事故や破壊の危険が生じる。このような経年劣化に対する安全性・信頼性確保のためには、非破壊検査による検査・診断が不可欠であり、構造物の被害状況を知るためにはきずの深さ⁽¹⁾を知ることが重要である。

非破壊検査手法として、主に超音波探傷試験や放射線透過試験が用いられている。しかし、これらの試験法では長時間掛かったり、装置が大掛かりになるという問題がある。

そこで、高速度で試験体に非接触で探傷ができ、深さ評価が可能である利点をもつ渦電流探傷試験がある。渦電流探傷試験はコイルに交流電流を流し、金属試験体に近づけ、試験体に渦電流を誘導する。渦電流は試験体内の欠陥などの不連続によって変化し、その結果磁界が変化してコイルのインピーダンスを変化させる。従って、コイルのインピーダンスの変化を観測することにより、金属表面における不連続を検出することが出来るというものである。しかし、従来のプローブではリフトオフ変化による雑音が大きく、SCC のような微細なきずの検出精度が低かった。そこで、原理的にリフトオフ雑音が発生しない Θ プローブ⁽²⁾を用いて SCC に対して実験⁽³⁾を行った。

本研究では、 Θ プローブを用いて SCC の深さ評価について検討を行った。

2. プローブの構造

Θ プローブの構造を図 1 に示す。 Θ プローブは、円形横置ききの励磁コイルと矩形縦置ききの検出コイルから構成されている。励磁コイルは試験体に電磁誘導により渦電流を誘導する。検出コイルはきずにより変化した渦電流で発生した磁束を検出し、信号を発生する。

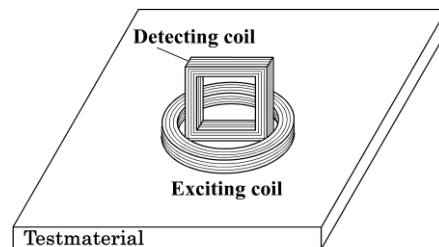


図 1 Θ プローブの構造

3. プローブのきず検出原理

試験体にきずがない場合の渦電流の流れを図 2 に示す。試験体にきずがない場合には励磁コイルの巻線方向に渦電流が誘導され、検出コイルに鎖交する磁束の総和は零であり、信号は発生しない。

きずに対して平行方向に検出コイルを走査した場合のきずによる渦電流の流れの変化を表したものを図 3 に示す。きずがある場合には、誘導された渦電流がきずに沿って流れ、きずに沿って流れた渦電流が磁束を発生し、検出コイルの巻線方向と同方向の渦電流成分による磁束をきず信号として検出する。

About Eddy Current Testing by Θ probe to Stress Corrosion Cracking(SCC)

Kenji MIKI, Kiyoshi KOYAMA and Hiroshi HOSHIKAWA

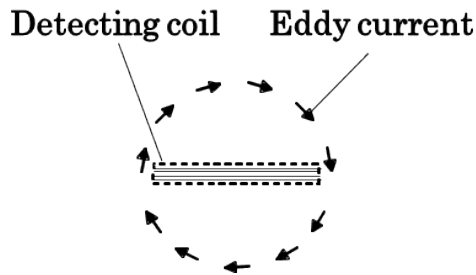


図 2 ①プローブによる渦電流

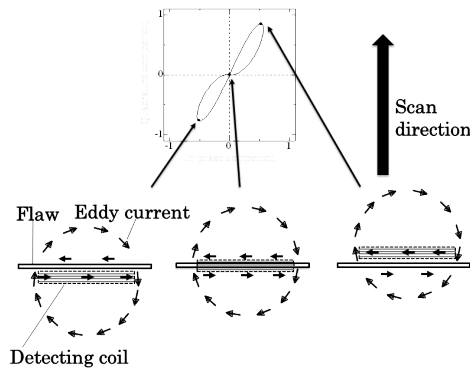


図 3 ①プローブによる渦電流と検出信号

4. 試験体およびプローブ

4.1. 試験体

今回の研究では 1 種類の SCC 試験体^(4)*1)と 5 種類の放電加工きず試験体を用意した。

SCC 試験体の寸法を図 4 に示す。SCC 試験体の材質は SUS316 を使い、厚さは 16mm である。この SCC は模擬的に作成したものである。予き裂は疲労割れ(ノッチ底面からのもの)とし、腐食液はテトラチオン酸を使用した。3 種類の SCC を作成し、それらに浸透探傷試験を行ったきず長さの結果は SCC1 が 14mm、SCC2 が 24mm、SCC3 が 17mm となった。

放電加工きず試験体の寸法を図 5 に示す。放電加工きず試験体は、材質は SUS316 を使い厚さは 12mm である。試験体に長さ、幅、および深さの異なるスリットを放電加工きずとし、9 種類の放電加工きずを用いた。

4.2. プローブ

図 1 に示した ①プローブの励磁コイルの寸法

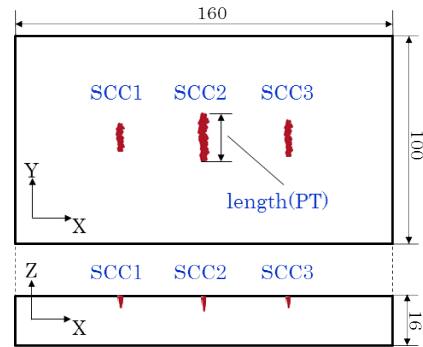


図 4 SCC 試験体の寸法

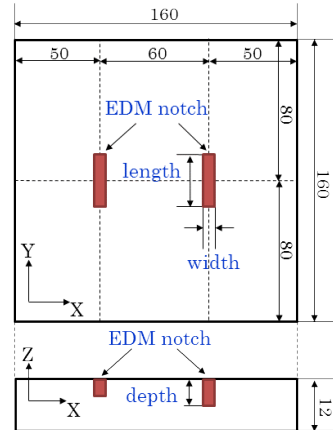


図 5 放電加工きず試験体の寸法

は外径 9mm 巻線断面積 $1 \times 1 \text{mm}^2$ であり、検出コイルの寸法は、横 7mm 高さ 7mm 巻線断面積 $1 \times 1 \text{mm}^2$ である。

5. 実験条件

図 6 には実験におけるきずと ①プローブの構成を示す。放電加工きずに対して ①プローブの検出コイルが平行となるように設置して走査した。

放電加工きずに対しては x 方向に $\pm 25 \text{mm}$ を 0.5mm 間隔でプローブを一次元的に走査し実験した。SCC に対しては x,y 方向に $\pm 25 \text{mm}$ を 0.5mm 間隔でプローブを二次元的に走査し実験した。放電加工きず、SCC とともに試験周波数は 100kHz とした。

初めに、きず深さ、長さ、および幅に対する ①プローブのきず信号特性について実験を行った。これは、放電加工きずによってきず深さ評価の妥当性の確認し、同じ手法によって SCC の深さ評価をするためである。

*1) 提供は日本保全学会による。

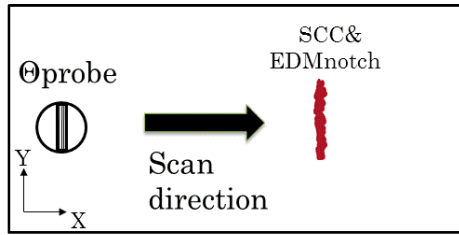


図6 実験におけるきずと Θ プローブの構成

6. 実験結果

Θ プローブで放電加工きずの深さを変化させた場合の信号パターンを図7に示す。放電加工きずの深さが大きくなるに従って、信号振幅が大きくなっていることがわかる。図8に放電加工きずの深さに対する信号位相の変化を示す。放電加工きずの深さが大きくなるにつれて、信号位相が小さくことがわかる。

放電加工きずの長さを変化させた場合の信号パターンを図9に示す。きずの長さが大きくなるにつれて信号振幅も大きくなることがわかる。しかし、信号位相に注目すると、きずの長さによってはほとんど変化しない。

放電加工きずの幅を変化させた場合の信号パターンを図10に示す。きずの幅が大きくなるにつれて信号振幅も大きくなることがわかる。しかし、信号位相に注目すると、きずの幅によってはほとんど変化しない。

以上の結果から、 Θ プローブを用いた場合信号位相はきずの深さに対応して変化し、きずの長さ、幅によってはほとんど変化しないことが確認された。一方、信号振幅はきずの体積に依存することが考えられる。

放電加工きずの深さ変化における信号振幅と信号位相を図11に示す。横軸では長さ、幅、および深さからのきずの体積によって信号振幅が変化し、縦軸ではきずの深さのみによって信号位相が変化していることを示す。

二次元的に得た SCC の信号から最大振幅（絶対値）を示す一次元を抽出し、信号パターン

を描いたものを図12に示す。SCC2の振幅が他と比べ大きくなっていることが分かる。また、それぞれの信号パターンは少しずつ信号位相がずれていることが分かる。SCCの信号振幅と信号位相の関係を図13に示す。信号振幅については、きずの体積に依存するので SCC2 が他よりもきずの体積が大きいと考えられる。また、信号位相については、SCC2 が他のきずよりも信号位相が小さくなっている。

これらのことから、SCC2 がきずの体積が大きくきず深さが大きいと考えられる。

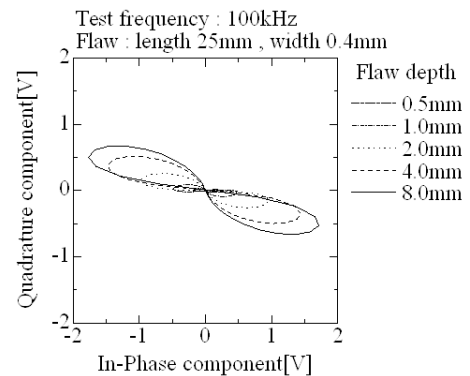


図7 放電加工きずの深さ変化の信号パターン

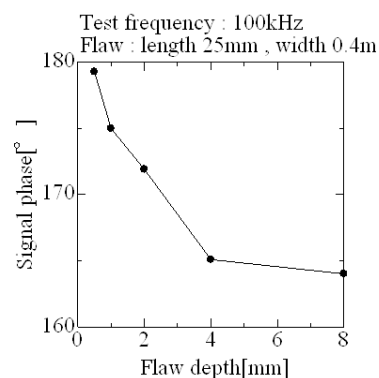


図8 放電加工きずの深さに対する信号位相

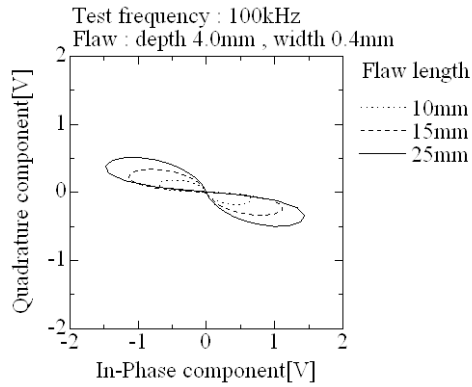


図 9 放電加工きずの長さ変化の信号パターン

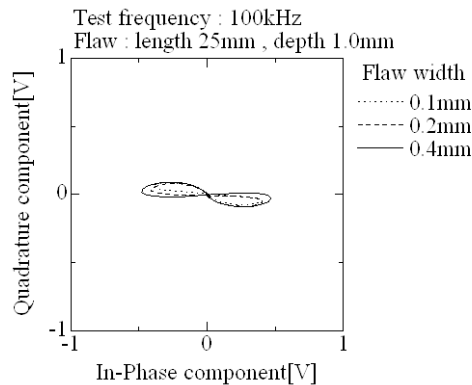


図 10 放電加工きずの幅変化の信号パターン

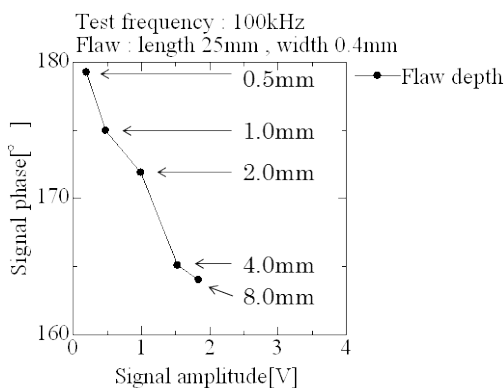


図 11 放電加工きずの深さ変化における信号振幅と信号位相

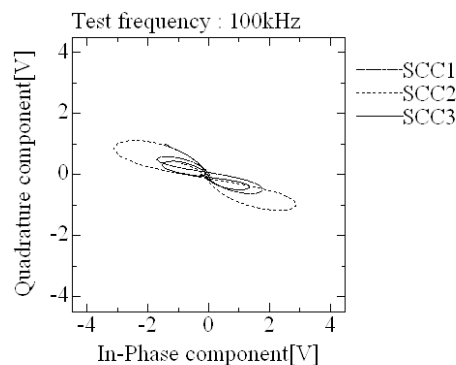


図 12 SCC の信号パターン

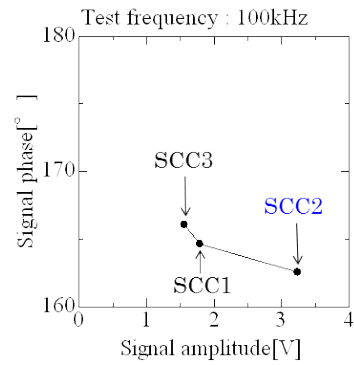


図 13 SCC の信号振幅と信号位相

7. まとめ

渦電流探傷試験により SCC に対しての深さ評価を検討した。⑨プローブを用いれば、信号位相は放電加工きずの深さに対応して変化し、きず長さ、幅にはあまり影響を受けずにきず深さ評価が可能であることを確認した。SCC においても信号位相はそれぞれのきずで違った値を示していることが確認できた。今後は、破壊試験を行って得た SCC のきず深さと信号位相の関係について比較検討を行う。

8. 参考文献

- 1) 小山潔，星川洋：きず深さの評価を目指したリフトオフ雑音が小さい渦電流探傷上置プローブの提案，非破壊検査，第 53 巻 5 号 pp.288-293(2004)
- 2) 柄澤英之，星川洋，小山潔：リフトオフ雑音が発生しない渦電流探傷試験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)
- 3) 三木健司，小山潔，星川洋：応力腐食割れ(SCC)に対する渦電流探傷試験に関する検討，安全・安心な社会を築く先進材料・非破壊計測技術シンポジウム論文集，pp.41-44(2010)
- 4) Noritaka Yusa，Stephane Perrin，Kenzo Miya：Eddy current data for characterizing less volumetric stress corrosion cracking in nonmagnetic materials，Materials Letters 61，pp.827-829(2007)