

応力腐食割れ（SCC）に対する渦電流探傷試験に関する研究

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。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、高速度に探傷が可能で試験体に非接触であるなどの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、SN比の高い⊕プローブ⁽¹⁾とクロスポイントプローブ⁽²⁾を用いてSCCに対して実験を行った。

今回の報告では、構造の違った二つのプローブを用いてSCCの長さを精度高く評価するこ

とを目的とした。

2. プローブの構造

⊕プローブの構造を図1に示す。⊕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SCC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。

クロスポイントプローブの構造を図2に示す。クロスポイントプローブは内側に巻かれた縦置き矩形の励磁コイルと外側に巻かれた矩形検出コイルで構成されている。この二つのコイルは互いに直交している。

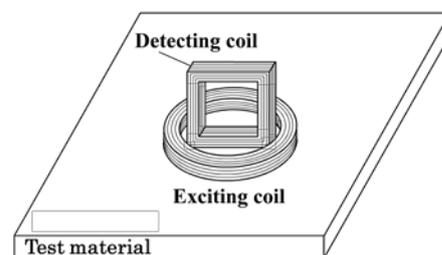


図1 ⊕プローブの構造

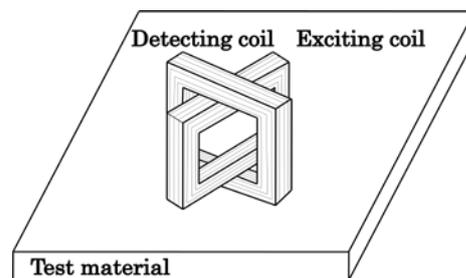


図2 クロスポイントプローブの構造

Study on eddy current defecting out flaw examination to SCC

Kenji MIKI, Kiyoshi KOYAMA and Hiroshi HOSHIKAWA

3. プロブのきず検出原理

3.1. ⊕ プロブの場合

試験体にきずがない場合の渦電流の流れを図3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。

きずに対して垂直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4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。

3.2. クロスポイントプローブの場合

試験体にきずがない場合の渦電流の流れを図5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、検出コイルの巻線方向には流れず、信号は発生しない。

きずに対して渦電流を135度方向に誘導した場合の渦電流の流れの変化を図6に示す。クロスポイントプローブがきずに近づいた場合、誘導された渦電流はきずに沿って流れ、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。

4. 実験条件

実験に用いた ⊕ プロブの励磁コイルの寸法は外径9mm 巻線断面積 $1 \times 1 \text{mm}^2$ であり、検出コイルの寸法は幅7mm 巻線断面積 $1 \times 1 \text{mm}^2$ である。クロスポイントプローブの励磁コイルの寸法は縦7mm 横7mm 巻線断面積 $1 \times 1 \text{mm}^2$ であり、検出コイルの寸法は縦7mm 横9mm 巻線断面積 $1 \times 1 \text{mm}^2$ である。

試験体には SUS316 を用い、放電加工によるきずと SCC を模したきずがある。

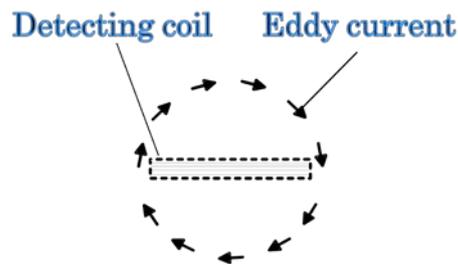


図3 ⊕ プロブによる渦電流

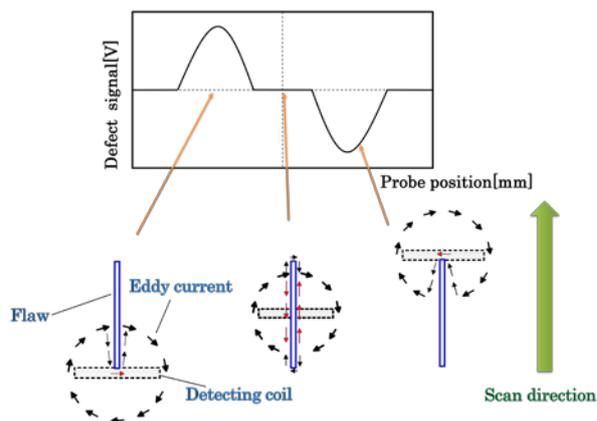


図4 ⊕ プロブによる渦電流と検出信号

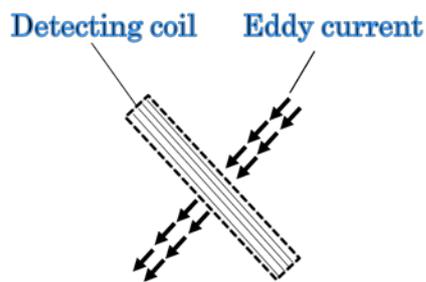


図5 クロスポイントプローブによる渦電流

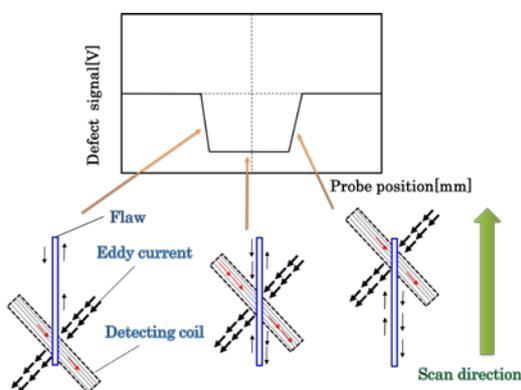


図6 クロスポイントプローブによる渦電流と検出信号

放電加工きずの長さは 10mm、15mm、25mm である。また、幅と深さはいずれの長さの場合も同じで、幅 0.4mm、深さ 4.0mm とした。

⊖プローブでは、放電加工きずに対して検出コイルが垂直方向になるように設置して走査した。また、クロスポイントプローブでは、放電加工きずに対して、135度方向に渦電流を誘導するように設置して走査した。SCC に対して x,y 方向に±25mm の範囲を 0.5mm 間隔でプローブを走査し実験した。

初めに、きず長さに対する ⊖プローブ、クロスポイント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長さ評価の妥当性の確認し、同じ手法によって SCC の長さ評価をするためである。

5. 実験結果

⊖プローブで、放電加工きずの長さ 10mm、15mm、25mm の場合の出力信号を図 7 に示す。きずの両端付近で最大値と最小値の信号が発生していることが分かった。

クロスポイントプローブで、試験体に放電加工きず長さ 10mm、15mm、25mm に対する出力信号を図 8 に示す。きずの両端付近できず信号の始点と終点があることが分かった。

今回用いた試験体の SCC を浸透探傷試験した結果を図 9 に示す。きず長さは約 10mm であることが分かる。

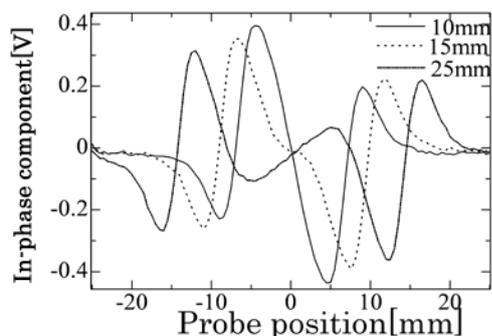


図 7 ⊖プローブによる放電加工きずの出力信号

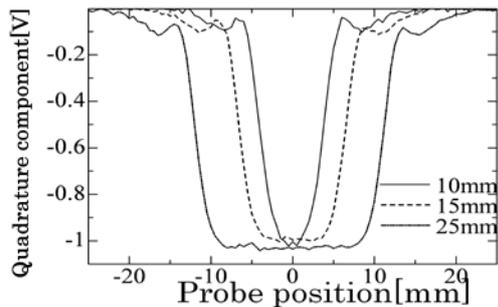


図 8 クロスポイントプローブによる放電加工きずの出力信号

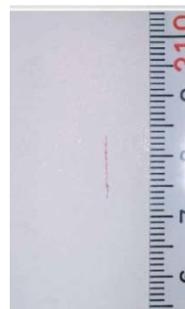
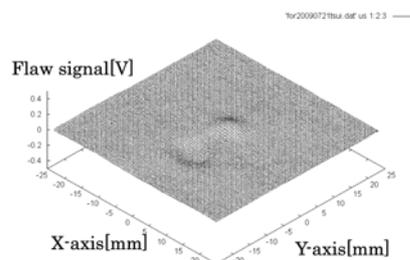
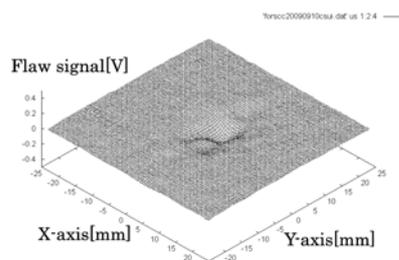


図 9 浸透探傷による SCC のきず長さの測定結果



(a) ⊖プローブ



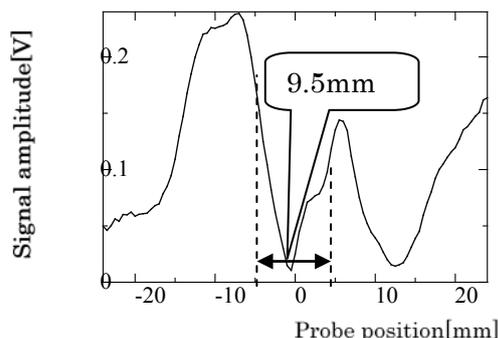
(b)クロスポイントプローブ

図 10 SCC の探傷信号
SCC の探傷信号を図 10 に示す。図(a)に ⊖

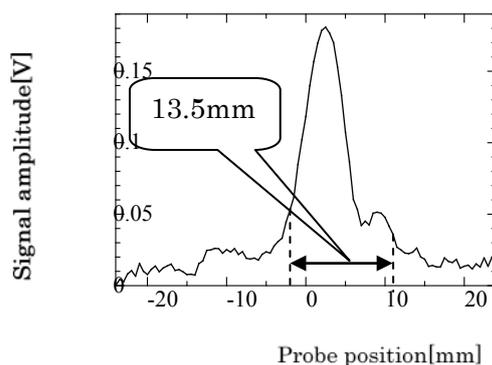
プローブによる探傷信号、図(b)にクロスポイントプローブによる探傷信号を示す。図(a)ではプラス信号、マイナス信号の所に SCC があることがわかる。図(b)ではマイナス信号の所に SCC があることが分かる。

SCC の検出信号を図 11 に示す。図(a)が Θ プローブによる検出信号を絶対値表示したもの、図(b)がクロスポイントプローブによる検出信号を絶対値表示したものを示す。図(a)では、二つの極大値の長さで SCC の長さが決定できないことが分かる。これは誘導された渦電流がきずを避けて流れる時、きずよりも大きな形で流れてしまうのが原因であると思われる。

そこで、信号のどの割合で実際のきず長さに近づくか評価を行った。放電加工きずと SCC に対しての Θ プローブ、クロスポイントプローブでの長さ評価を表 1 に示す。SCC の最大値、最小値の約 25% で SCC のきず長さに近づくことが分かる。



(a) Θ プローブ



(b) クロスポイントプローブ

図 11 プローブ位置に対する SCC の出力信号

6. まとめ

Θ プローブ、クロスポイントプローブを用いて SCC に対して長さ評価を行った。その結果、クロスポイントプローブは放電加工きずで安定した評価ができたが、SCC では評価精度が低下した。対して Θ プローブの方は、放電加工きず、SCC ともに安定した評価結果となった。よって、 Θ プローブは SCC に対して精度高い長さ評価の可能性があるとわかった。

表 1 Θ プローブ、クロスポイントプローブによる長さ評価

きずの種類	放電加工きず			SCC
	10	15	25	
実際のきず長さ [mm]	10	15	25	10
Θ プローブ [mm]	11.0	16.5	26.5	9.5
クロスポイントプローブ [mm]	10.0	14.0	25.0	13.5

7. 参考文献

(1) 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)

(2) 小山潔、星川洋：渦電流探傷試験における一様渦電流プローブの基礎特性に関する研究、非破壊検査、第 49 巻 11 号 pp777(2000)