

2-56 渦電流探傷 Θ プローブの応力腐食割れ（SCC）に対するきず長さ評価に関する研究

日大生産工（院）○ 本宮 寛憲

日大生産工

小山 潔

1. まえがき

発電プラントなどの腐食環境下に置かれた構造物では、応力が加わることで経年劣化に伴い応力腐食割れ（Stress Corrosion Cracking：以降 SCC）が発生する事例が報告されている。このような経年劣化に対する構造物の安全性及び信頼性の確保のためには、非破壊検査による検査・診断が必要不可欠であり、構造物の状態を知るためにはきずの評価が重要となる。

非破壊検査試験の方法として、超音波探傷試験や放射線透過試験が用いられるが、これらの試験方法では大規模な試験装置と長時間の試験時間が必要という問題を抱えている。そのため、非接触で高速、かつ簡易検査が可能な渦電流探傷試験がある。しかし、従来から多用される上置プローブではリフトオフの変化による雑音が大きく、SCC のような微小なきずに対する検出精度が低い。そのため、雑音が小さく、検出精度の高いプローブの適用が必要である。そこで、原理的にリフトオフ雑音が発生しない Θ プローブを用いて SCC の検出と評価を行った。これまでの研究で、放電加工(Electrical Discharge Machining: 以降 EDM)きずに対して Θ プローブを適用したきず深さときず形状評価が可能であるという報告を行ってきた⁽¹⁾。そこで、本研究では SCC 及び EDM に対して Θ プローブを適用し、検出されたきず信号から信号振幅波形を求め、 Θ プローブによるきず長さ評価について検討を行った。

2. Θ プローブの構造と探傷原理

本研究で用いた 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 of 励磁コイルと矩形縦置き of 検出コイルによって構成され、きず検出の際にプローブと試験体の間隔(リフトオフ)が変化しても、雑音が発生しない。 Θ プローブの励磁コイルは試験体に巻線方向の渦電流を誘導し、検出コイルは巻線方向に流れる渦電流によって発生する磁束をきず信号として検出する。試験体にきずがない場合、

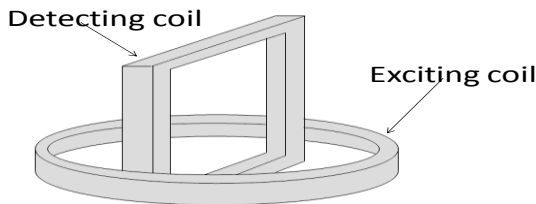
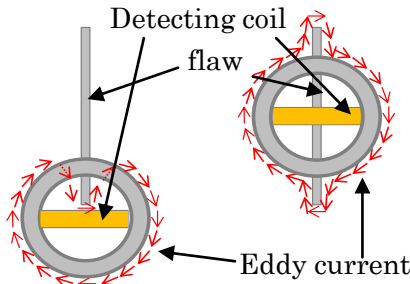


図 1 Θ プローブの構造



(a)きず端部の場合 (b)きず中央の場合

図 2 Θ プローブの探傷原理

表 1 試験体寸法

type	length[mm]	depth[mm]	width[mm]
rectangle①	25	1	0.4
rectangle②	25	2	0.4
rectangle③	25	4	0.4
rectangle④	25	8	0.4
rectangle⑤	10	4	0.4
rectangle⑥	15	4	0.4
rectangle⑦	25	1	0.1
rectangle⑧	25	1	0.2
bowl ①	25	8	0.4
bowl ②	15	5	0.2
wedge ①	25	8	0.4
wedge ②	15	5	0.2
SCC ①	26	5.18	
SCC ②	28	4.79	
SCC ③	14	4.9	
SCC ④	24	5.27	
SCC ⑤	17	5.17	
SCC ⑥	18	1.58	
SCC ⑦	21	6.05	
SCC ⑧	19	4.24	
SCC ⑨	15	3.93	

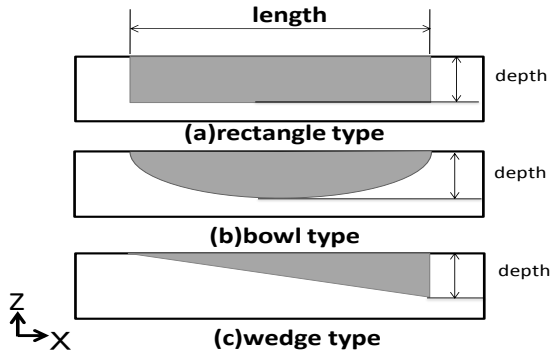


図 3 EDM 形状

検出コイルの巻線方向に渦電流が誘導されないため、きず信号は発生しない。

図 2 に Θ プローブの探傷原理を示す。図(a)のようにきずの下側にプローブが位置する場合、きず端部で渦電流の流れが変化するため検出コイルの巻線方向に渦電流が流れ、それが発生させる磁束によって起電力が変化し検出コイルにきず信号が発生する。図(b) のようにきずがプローブの真下に位置する場合は、検出コイルの巻線方向には渦電流が流れないためきず信号は発生しない。

3. 試験体

本研究では EDM を施した試験体を 6 つ、SCC を施した試験体を 6 つ用意した。EDM は矩形型 8 種類、お椀型 2 種類、楔型 2 種類の計 12 種類、SCC を 9 種類用意した。表 1 に試験体に施した EDM のきず長さ、深さ、幅および、浸透探傷試験と破壊試験によって明らかになった SCC のきず長さと最大きず深さを示す。図 3 に EDM のきず形状を示す。また、破壊試験によって得られた SCC⑤のきず断面を図 4 に示す。そして、図 5 に SCC⑤のきず形状を示す。なお、SCC 試験体は日本保全学会の回送試験体である

4. 試験コイル

図 1 に示した Θ 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。

5. 実験条件

本研究では EDM 及び SCC に対して Θ プローブの検出コイルがきずの長さ方向と直交するように設置し、試験体とプローブのリフトオフを 0.5mm 一定とした。また、試験周波数は 100kHz 一定とし、X 方向 $\pm 20\text{mm}$ 、Y 方向 $\pm 20\text{mm}$ の範囲を 0.5mm 間隔で二次元走査を行った。

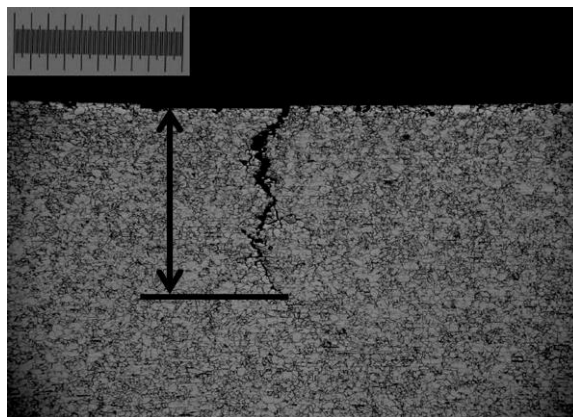


図 4 破壊試験から得られた SCC⑤きず断面

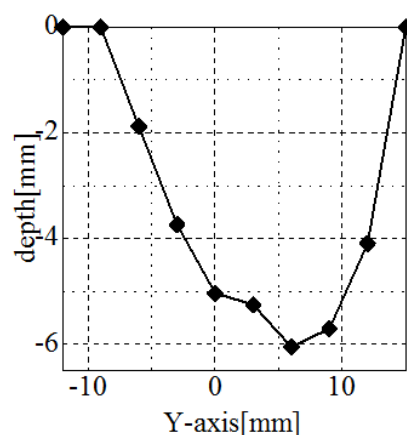


図 5 破壊試験から得られた SCC⑤きず形状

6. 実験結果

図 6 に矩形型の二次元走査による信号振幅のグレースケール画像を示す。検出された信号振幅はきず端部付近で大きくなることが分かった。

図 7 にきず形状が矩形型できず長さが 25mm と 15mm の場合のきず信号の振幅波形を示す。きず長さが長くなると、信号振幅波形の最初と最後のピークの間隔が広がっていることが分かった。

図 8 にきず形状が矩形型できず深さが 8mm と 4mm の場合のきず信号の振幅波形を示す。きず深さが深くなっても、信号振幅波形の最初と最後のピークの間隔はほとんど変化しないことが分かった。

図 9 にきず形状が矩形型できず幅が 0.2mm と 0.1mm の場合のきず信号の振幅波形を示す。きず幅が広くなっても、信号振幅波形の最初と最後のピークの間隔は変化していないことが分かった。

図 10 にきず形状が異なる場合のきず信号の振幅波形を示す。信号振幅波形の最初と最後のピークの

間隔がきず形状に応じて僅かに変化することが分かった。

表 2 に EDM の評価したきず長さを示す。評価したきず長さはきず信号の振幅波形の最初と最後のピークの間隔から求めた。また、図 11 に EDM の実長さに対する評価したきず長さを示す。評価したきず長さは実際の長さより 2～14%長く評価されることが分かった。

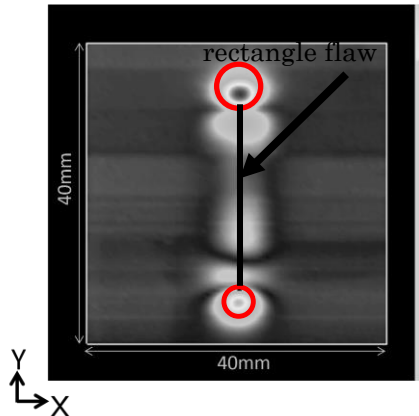


図 6: 矩形型の二次元走査による信号振幅のグレースケール画像

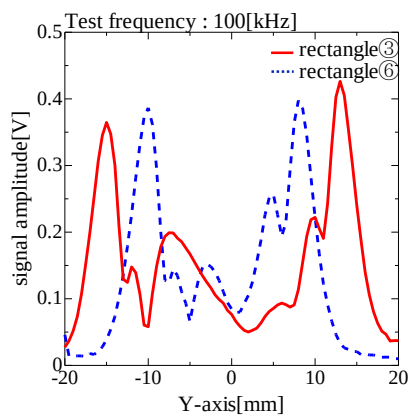


図 7: 矩形型のきず長さ変化の信号振幅波形

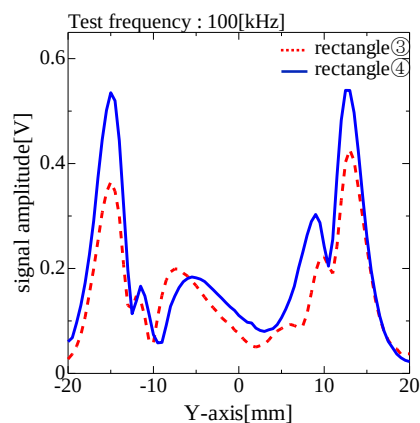


図 8: 矩形型のきず深さ変化の信号振幅波形

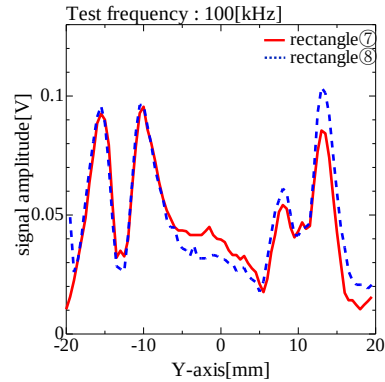


図 9: 矩形型のきず幅変化の信号振幅波形

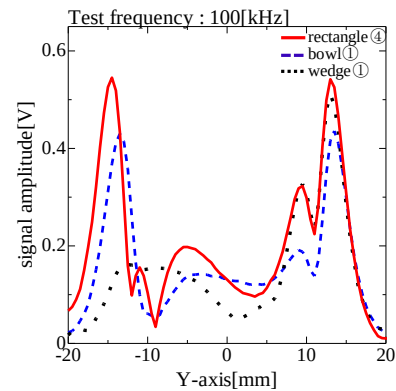


図 10: 異なるきず形状の信号振幅波形

表 2: EDM の評価したきず長さ

type	T-f-length[mm]	E-f-length[mm]
rectangle①	25	28.5
rectangle②	25	28.5
rectangle③	25	28
rectangle④	25	27.5
rectangle⑤	10	13
rectangle⑥	15	18
rectangle⑦	25	28.5
rectangle⑧	25	28.5
bowl①	25	27
bowl②	15	17.5
wedge①	25	25.5
wedge②	15	16

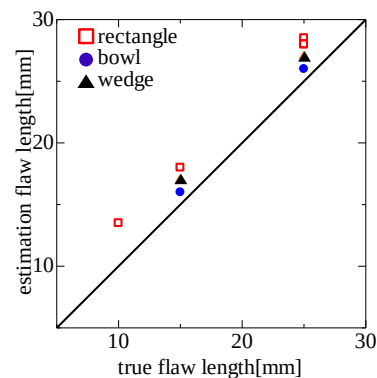


図 11: EDM の実長さに対する評価したきず長さ

図 12 に最大きず深さが同程度で、きず長さが 26mm と 14mm(SCC①、③)のきず信号の振幅波形を示す。EDM と同様にきず長さに応じて信号振幅波形の最初と最後のピークの間隔が変化していることが分かる。

図 13 にきず長さが同程度で、最大きず深さが 4.9mm と 3.93mm(SCC③、⑨)のきず信号の振幅波形を示す。EDM と同様に深さが深くなっても、信号振幅波形の最初と最後のピークの間隔が同程度であることが分かる。

表 3 に SCC の評価したきず長さを示す。図 14 による SCC の実きず長さに対する評価したきず長さを示す。評価したきず長さは実際のきず長さに対して-8.3~+17.8%の長さで評価されることが分かった。

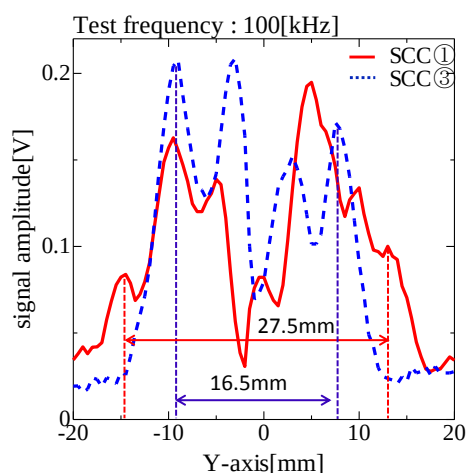


図 12 : SCC②と SCC③の信号振幅波形

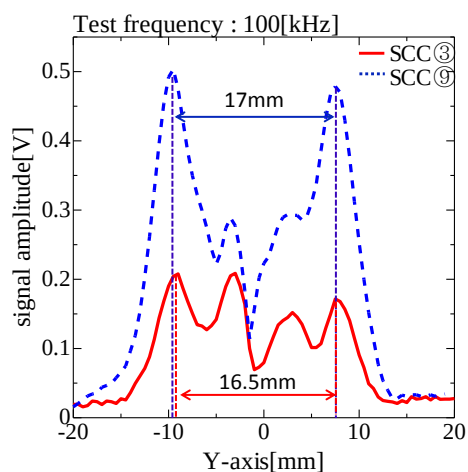


図 13 : SCC③と SCC⑨の信号振幅波形

表 3 : SCC の評価したきず長さ

type	T-F-length[mm]	E-f-length[mm]
SCC①	26	27.5
SCC②	28	31.5
SCC③	14	16.5
SCC④	24	22
SCC⑤	17	18.5
SCC⑥	18	16.5
SCC⑦	21	23
SCC⑧	19	21
SCC⑨	15	17

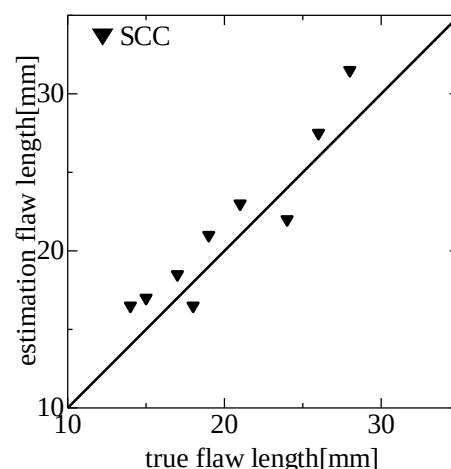


図 14 : SCC の実長さに対する評価したきず長さ

7.まとめ

本研究では、SCC に対するきず長さ評価に関する研究として、試験体に SCC ときず形状、幅、長さ、深さの異なる EDM を施し、きず長さ評価についての検討を行った。

信号振幅波形の最初と最後のきず信号のピークはきずの端部付近で発生し、その間隔は実際のきず長さに対して±15%程度の長さで検出されることを確認した。以上のことから Θ プローブによって得られるきず信号振幅波形によって SCC に対するきず長さ評価は可能であると考えている。

参考文献

- 1) 本宮寛憲 : 渦電流探傷 Θ プローブのキズ検出特性に関する研究, 日本大学生産工学部第 45 回学術講演会講演概要, pp. 527-530