

渦電流探傷試験 $\Theta$ プローブのきず検出特性に関する研究

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。応力腐食割れは時間経過に伴い進行するため、事故や破壊の原因となる。このような、経年劣化に伴う危険に対して安全性と信頼性向上のために、非破壊検査による検査が必要不可欠であり、構造物の被害状況を知るためにきず形状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探傷試験が用いられている。しかし、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、従来の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ため、リフトオフ雑音が小さく、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 $\Theta$ プローブを用いて放電加工きずに対して実験を行った。

これまでの研究では、SCC 及び放電加工きずに対して $\Theta$ プローブを適用したきずの深さ評価が可能であるという報告はあるが、きず形状の評価についての報告はまだない。そこで、本研究では、 $\Theta$ プローブを用いた SCC に対するきず検出の基礎研究として、矩形型、お椀型及び楔型のきず形状に対して $\Theta$ プローブを適用し、検出された信号から求めた信号位相・振幅から、 $\Theta$ プローブのきず形状評価について検討を行った。

2.  $\Theta$ プローブの構造と探傷原理

本研究で用いた $\Theta$ プローブの構造を図1に示す。 $\Theta$ 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が変化しても、雑音が発生

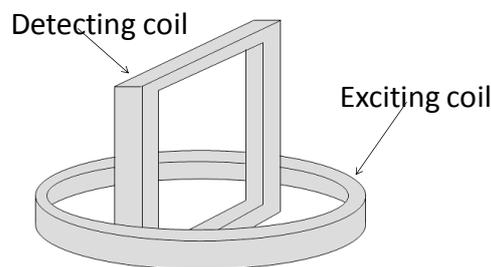
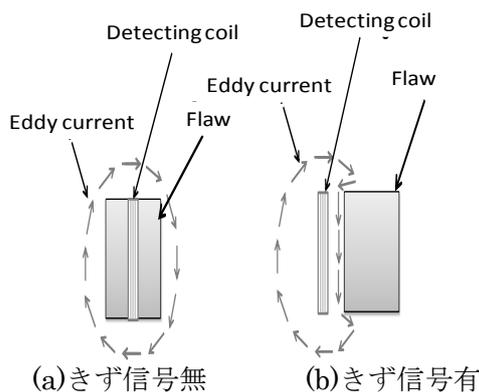
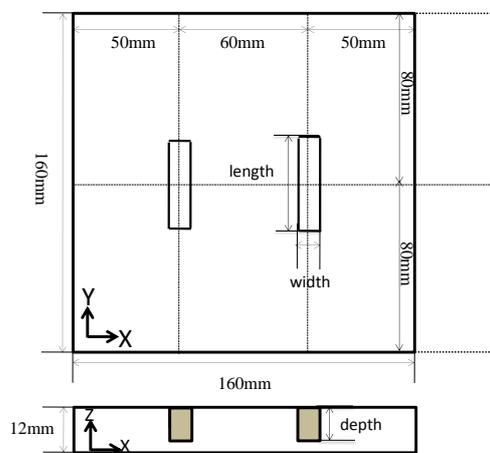
図1  $\Theta$ プローブの構造図2  $\Theta$ プローブの探傷原理

図3 試験体寸法

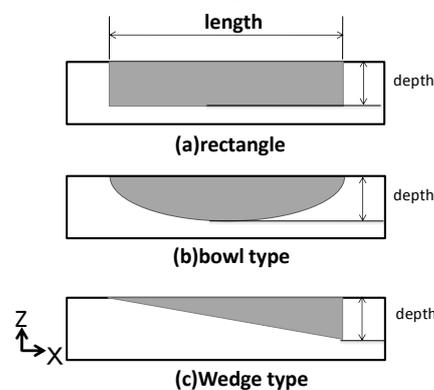


図4 きず形状

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、検出コイルの巻線方向に渦電流が誘導されないため、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。図(b)のようにきずの左側にコイルが位置する場合、きずに沿うように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。

### 3. 試験体

本研究では放電加工きずを施した試験体を6つ用意した。試験体の寸法を図3に示す。放電加工きずは矩形型8種類、お椀型2種類、楔型2種類の計12種類を用意した。図4にきず形状を示す。また、試験体に施したきずの幅、長さ、深さ、体積を表1に示す。

表1 試験体寸法

type	length[mm]	width[mm]	depth[mm]	volume[mm <sup>3</sup> ]
rectangle①	25	0.4	1	10
rectangle②	25	0.4	2	20
rectangle③	25	0.4	4	40
rectangle④	25	0.4	8	80
rectangle⑤	10	0.4	4	16
rectangle⑥	15	0.4	4	24
rectangle⑦	25	0.1	1	2.5
rectangle⑧	25	0.2	1	5
bowl ①	25	0.4	8	57.5
bowl ②	15	0.2	5	10.8
wedge ①	25	0.4	8	40
wedge ②	15	0.2	5	7.5

### 4. 試験コイル

図1に示したΘプローブの寸法は、励磁コイルは内径7mm、外径9mm、巻線断面積を1mm<sup>2</sup>とし、検出コイルは縦7mm、横7mm、巻線断面積を1mm<sup>2</sup>とした。

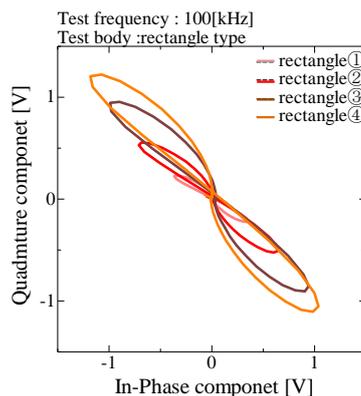


図5 矩形型の深さ変化の信号パターン

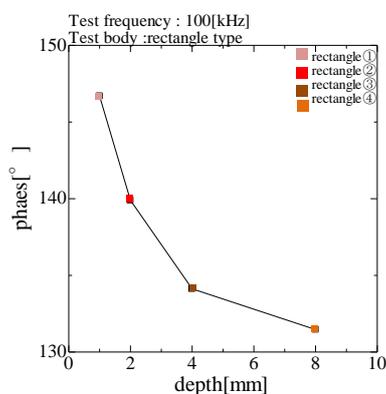


図6 矩形型の深さに対する信号位相

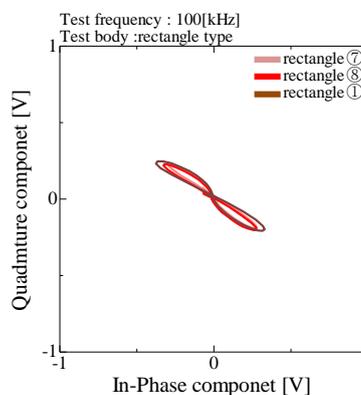


図7 矩形型の幅変化の信号パターン

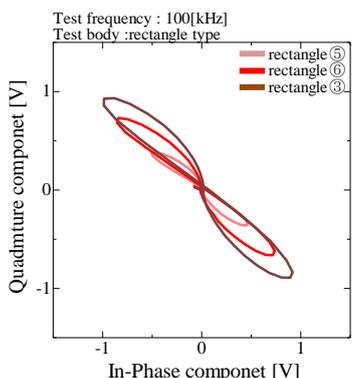


図8 矩形型の長さ変化の信号パターン

## 5. 実験条件

本研究では放電加工きずに対して $\Theta$ プローブの検出コイルが平行となるように設置し、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±20mm、Y方向0~35mmの範囲を0.5mm間隔で二次元走査を行った。

## 6. 実験結果

図5にきず形状が矩形型で、きず深さを変化させた場合の信号パターンを示す。きず深さが大きくなるに従って、信号振幅が大きくなり、信号位相の傾きは時計回りに変化している。図6にきず深さに対する信号位相の変化を示す。きず深さが大きくなるに従い、信号位相は小さくなるのが分かる。

図7にきず形状が矩形型で、幅を変化させた場合の信号パターンを示す(幅変化の信号パターンは、他の信号パターンに比べて小さいため、グラフのスケールを変更している)。きず幅が大きくなると、信号振幅は大きくなるが、信号位相の変化は小さい。

図8にきず形状が矩形型で、きず長さを変化させた場合の信号パターンを示す。きず長さが大きくなると、信号振幅は大きくなるが、信号位相の変化は小さい。

図9に矩形型の深さを変化させた場合の走査位置に対する信号振幅波形を示す。図の波形は、X方向の走査によって得られた信号から求めた信号振幅を、Y方向の走査位置ごとにプロットしたものである。プローブがきずの中心に近づくとき信号振幅は大きくなり、遠ざかると小さくなるのが分かる。

以上のことから、きずの幅、長さ、深さが大きくなると、信号振幅は大きくなり、信号位相は小さくなることから、信号振幅・位相は体積によって変化することがわかる。また、信号位相はきずの深さ変化に強い影響を受けると考えられる。

図10にきず形状がお椀型の場合に体積を変化させた場合の信号パターンを示す。体積が大きくなると信号振幅は大きくなり、信号位相は小さくなる。図11にきずの形状が楔型の場合に体積を変化させ

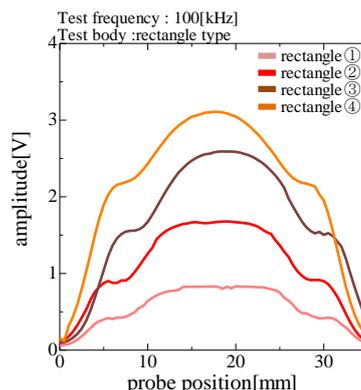


図9 矩形型の深さ変化の走査位置に対する信号振幅波形

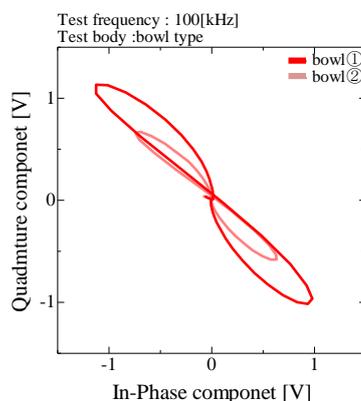


図10 お椀型の体積変化の信号パターン

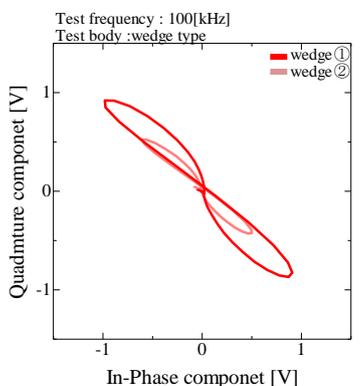


図11 楔型の体積変化の信号パターン

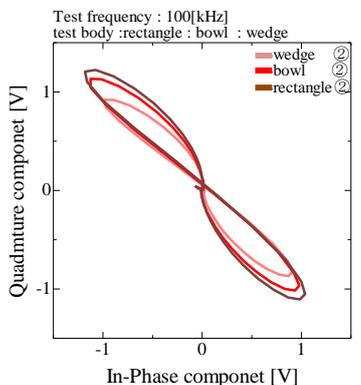


図12 きず形状が異なる場合の信号パターン

た場合の信号パターンを示す。きずの体積が大きくなると信号振幅は大きくなり、信号位相は小さくなる。

図 12 にきず形状が異なる場合の信号パターンを示す。きずの体積が大きくなるに従って信号振幅は大きくなり、信号位相は小さくなるのが分かる。図 13 にきず形状が異なる場合の走査位置に対する信号振幅波形を比較したものを示す。きず形状が矩形やお碗型のように対称な場合、信号振幅波形は対称性を持つことが確認できた。また、楔型のように端部の深さが異なる非対称なきず形状を持つ場合、信号振幅波形は非対称性を持つことが確認できた。さらに、信号はきず形状に関係なく、プローブがきずの端部に重なることで発生することを確認した。

図 14 にきず形状が異なる場合のきず深さに対する位相の変化を比較したものを示す。3 種類とも深さが大きくなるに従い位相は小さくなり、それぞれ同様の傾向を示すことが分かる。また、体積の大きい矩形の信号位相は小さく、体積の小さい楔型の信号位相は大きいことが分かる。

## 7. まとめ

本研究では、 $\Theta$ プローブのきず検出特性に関する研究として、試験体にきず形状または、幅、長さ、深さの異なる放電加工きずを施し、 $\Theta$ プローブのきず形状評価について検討を行った。

$\Theta$ プローブの走査位置に対する信号振幅は体積によって変化するが、信号振幅波形はきず形状に対応した波形が得られるので、 $\Theta$ プローブ用いて得られる信号振幅波形からきず形状の評価が可能ではないかと考えている。信号位相はきず形状によらず、きず深さに強い影響を受けることから、信号位相によってきず深さ評価が可能であることを確認した。

今後、信号振幅波形によるきず形状評価の研究として、SCC に対して同様の実験を行い、同様の傾向を示すか評価、検討を行う必要がある。

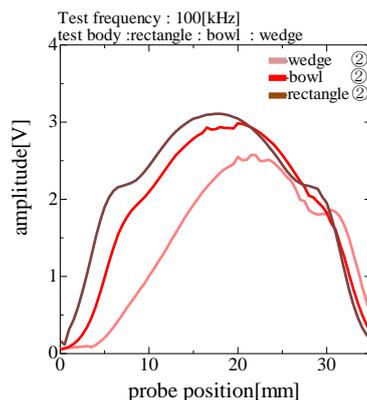


図 13 きず形状が異なる場合の走査

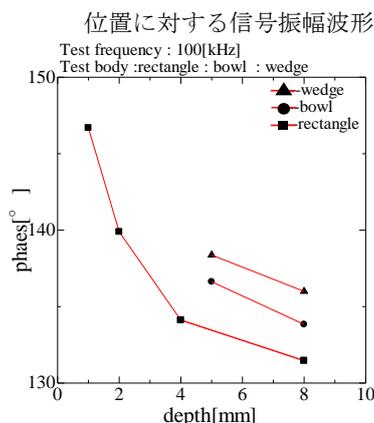


図 14 きず形状が異なる場合の深さに対する信号位相

## 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 (2004)pp.288-293
- 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 (2001)pp.736-742
- 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