

CFRP複合材に対する渦電流探傷試験

星川 洋、小山 潔 (電気電子工学科)

1. はじめに

複合材であるCFRPは、その比剛性と比強度の力学特性が優れていることから航空機などに多用され、CFRPに対する検査手法の確立が求められている。CFRPに対する非破壊検査法としては、超音波探傷試験や放射線透過試験などが適用されている様であり、多数の試験法に関する研究報告がされている¹⁴⁾。

電磁誘導を利用した渦電流探傷試験法は原理的に非接触で試験を行えるので、CFRPの検査に適用できれば他の試験法にはないメリットを持つと考える。本報告では、前プロジェクトで開発した従来の渦電流探傷プローブよりもSN比高くきず検出性能の高い渦電流探傷 Θ プローブ⁵⁾を用いたCFRPに対する探傷試験結果について報告する。

2. 渦電流探傷 Θ プローブによる探傷原理

渦電流探傷 Θ プローブの構造を図1に示す。 Θ プローブは、円形の励磁コイルと矩形縦置の検出コイルから構成される。円形の励磁コイルは、導電性の試験体に電磁誘導により渦電流を誘導する。矩形縦置の検出コイルは、欠陥などにより変化した渦電流で作られ検出コイルに差鎖する磁束を検出し、信号を発生する。

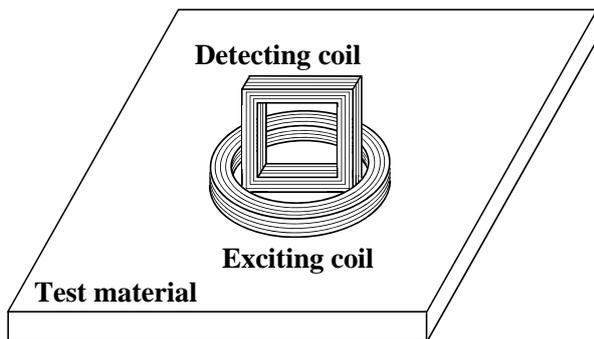


図1 渦電流探傷 Θ プローブの構造

3. 実験方法

実験に用いた渦電流探傷 Θ プロー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 高さ7mm 巻線断面積 $1 \times 1\text{mm}^2$ である。試験体には0.2mmのCFクロスを50枚積層した厚さ10mmのCFRP板を用いた。

図2には製作したCFRPを示す。CFクロスは繊維方向は 0° と 90° である。試験体には、図3に示すように1辺20mm、10mm、5mm角で厚み0.5mmのUDを表面から深さ1mmの位置に挟み模擬はく離とした。また、1辺10mmで厚みが1mm、0.5mm、0.1mmと異なる模擬はく離を有する試験体も製作した。模擬はく離は層間で電氣的に絶縁されている。CFRPの導電率は、板面方向(x、y方向)に $7.7 \times 10^3\text{S/m}$ であり、板厚さ方向(z方向)に $4.8 \times 10^4\text{S/m}$ である。電磁誘導で導電性の試験体に誘導される渦電流は、試験体の導電率と試験周波数でその大きさが決まる。CFRPの場合、導電率が小さいので誘導される渦電流を大きくすることを考え、試験周波数を500kHzとした。模擬はく離を中心としてx、y方向に $\pm 25\text{mm}$ の範囲を0.5mm間隔でプローブを走査した。



図2 CFRP試験体

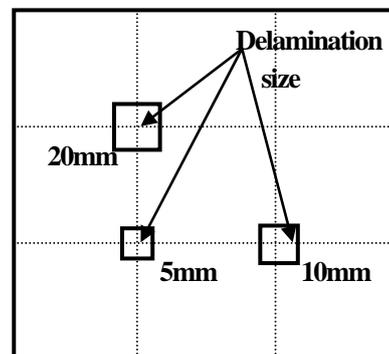


図3 模擬はく離寸法

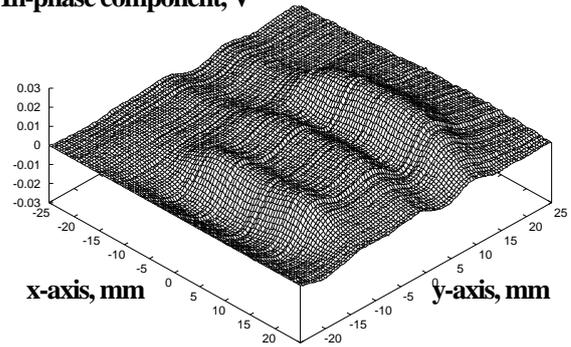
4. 実験結果

図4には、模擬はく離が無いときの検出信号を示す。図5には20mm角の模擬はく離、図6には10mm角の模擬はく離、図7には5mm角の模擬はく離の検出信号を示す。各図(a)には励磁電流に同相成分 (In-phase component) の信号を、図(b)には検出信号振幅の濃淡画像を示す。模擬はく離が無い場合には、検出信号は緩やかに波を打つが雑音は小さいことがわかる。一方、模擬はく離が有る場合には、はく離部に正負に振れる信号を得られ、はく離をSN比高く検出していることがわかる。

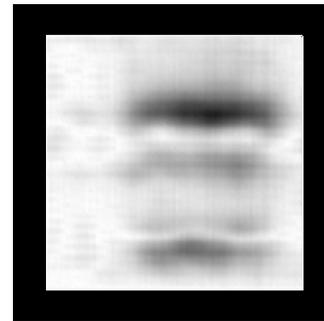
図8には複素電圧平面上に描いた模擬はく離の検出信号を示す。はく離の大きさに応じて検出信号振幅が変化していることがわかる。

図9には、10mm角で厚みが1mmの模擬はく離、図10には0.5mmの模擬はく離、図11には0.1mmの模擬はく離の検出信号を示す。各図(a)には励磁電流に同相成分 (In-phase component) の信号を、図(b)には検出信号振幅の濃淡画像を示す。図12には、はく離の厚みが異なる場合の複素電圧平面

In-phase component, V



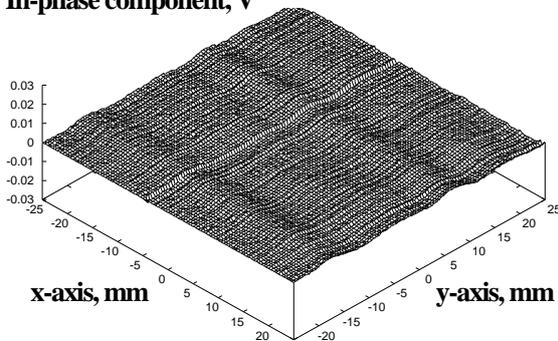
(a) 信号の鳥瞰図



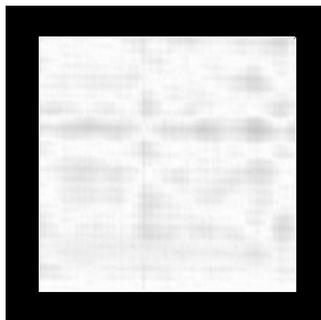
(b) 信号振幅の濃淡画像

図5 20mm角模擬はく離の検出信号

In-phase component, V



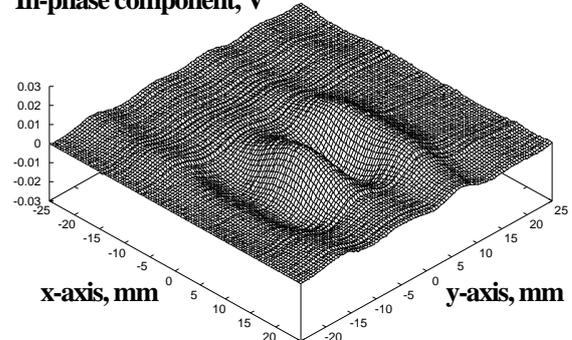
(a) 信号の鳥瞰図



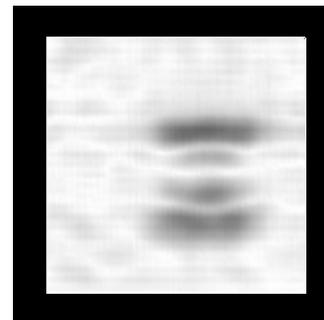
(b) 信号振幅の濃淡画像

図4 模擬はく離の無い場合の信号

In-phase component, V



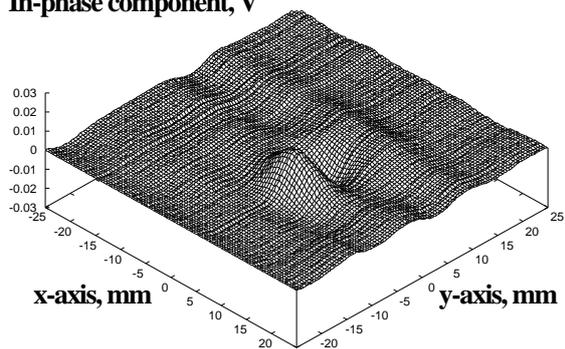
(a) 信号の鳥瞰図



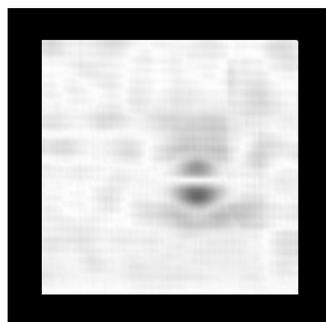
(b) 信号振幅の濃淡画像

図6 10mm角模擬はく離の検出信号

In-phase component, V



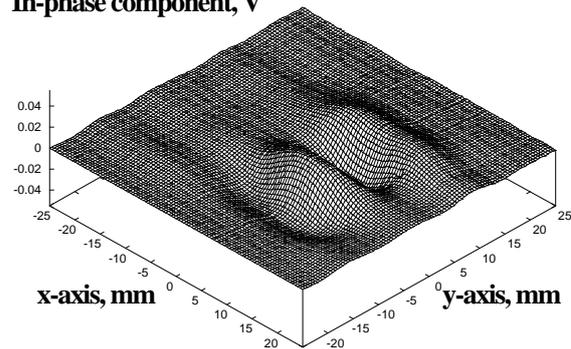
(a) 信号の鳥瞰図



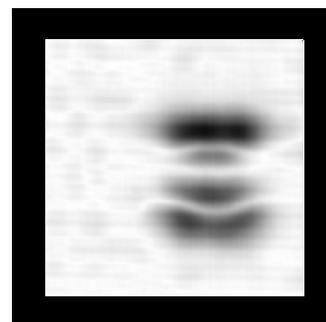
(b) 信号振幅の濃淡画像

図7 5mm角模擬はく離の検出信号

In-phase component, V



(a) 信号の鳥瞰図



(b) 信号振幅の濃淡画像

図9 1mm厚模擬はく離の検出信号

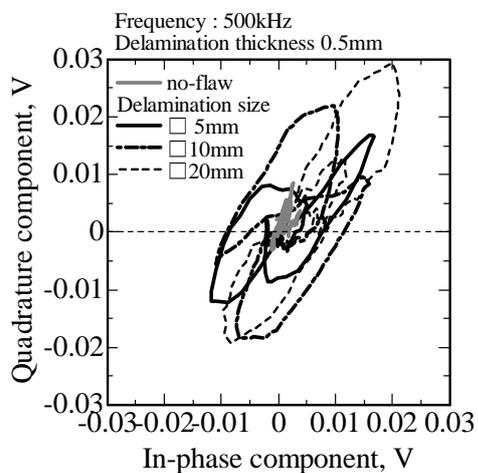
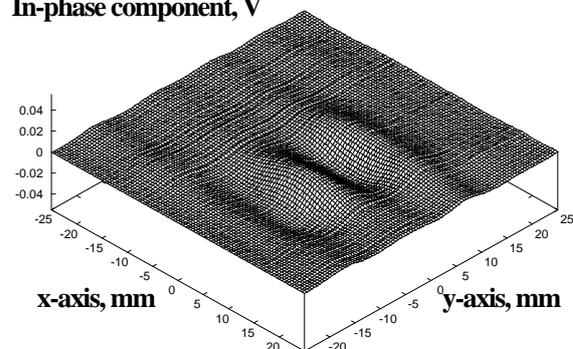
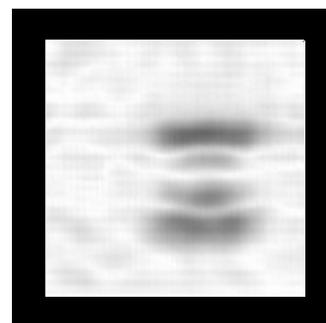


図8 はく離サイズが異なる場合の検出信号

In-phase component, V



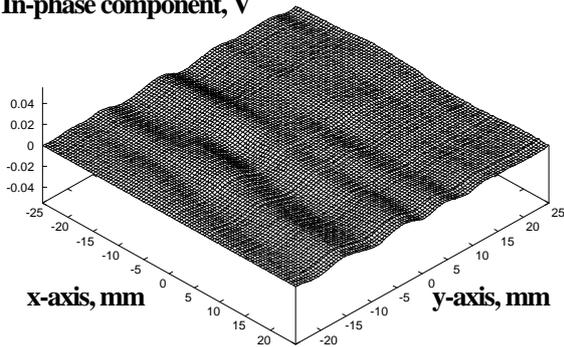
(a) 信号の鳥瞰図



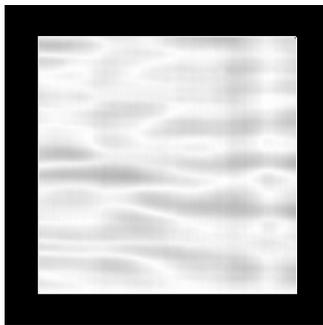
(b) 信号振幅の濃淡画像

図10 0.5mm厚模擬はく離の検出信号

In-phase component, V



(a) 信号の鳥瞰図



(b) 信号振幅の濃淡画像

図 11 0.1mm 厚模擬はく離の検出信号

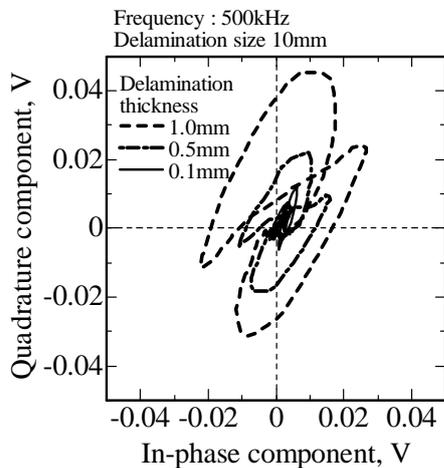


図 12 はく離厚みが異なる場合の検出信号

における検出信号を示す。図より模擬はく離の厚みに応じて信号振幅が変化していることがわかる。しかし、今回の結果では、厚み0.1mmの模擬はく離はSN比高く検出できていない。

5. まとめ

渦電流探傷によるCFRPに対する模擬はく離の検出を試みた。実験の結果、今回の繊維方向 0° と 90° のCFクロスを積層したCFRPにおいて、表面から約1mmにある模擬はく離を検出できることを確認した。

今後、CFRPで問題となる繊維破断のマトリックス割れの検出や表面欠陥の検出、また繊維方向が一方向を積層したCFRPなど、詳細に研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 松嶋正道「CFRPの非破壊検査と評価法」JSNDI新素材の非破壊評価特別研究委員会資料、No.007-234, pp.1-2 (2005)
- 2) 上田政人、轟章、島村桂延伸、小林英男「電位差法を用いたCFRP積層板はく離モニタリング」日本複合材料学会誌、Vol.30, No.4, pp149-156 (2004)
- 3) 松崎亮介、轟章「電気抵抗変化法と発信周波数変化を用いたCFRP積層板の無線はく離検出」日本機械学会論文集(A編)、Vol.71, No.703, pp.152-159 (2005)
- 4) 青木卓哉、岡洋平、松嶋正道、杉本直、八田博志「パルスサーモグラフィ法によるC/C複合材の非破壊検査」JSNDI第9回新素材及びその製品の非破壊評価シンポジウム論文集、pp57-60 (2007)
- 5) H.Hoshikawa and K.Koyama, "A New Eddy Current Probe with Minimal Liftoff Noise and Phase Information on Discontinuity Depth", Materials Evaluation, Vol.61, No.3, pp.423-427 (2003)