

渦電流探傷クロスポイントプローブによるCFRPの欠陥検出について

日大生産工 (院)
日大生産工

○小島 剛基
小山 潔 星川 洋

1. はじめに

CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)は、鉄やアルミといった金属と比べて同程度の強度・剛性を持ちつつも非常に軽量である。これらの特徴を生かし、テニスラケットなどのスポーツ用品から、自動車・航空宇宙関連の構造部材など、様々な分野で活用されている。近年では環境問題等の影響もあり、自動車・航空宇宙機においては軽量化による燃費の向上が期待できるため、需要が拡大してきている。しかし、CFRPは外部からの衝撃等により積層間に欠陥が生じ、その部分において強度が著しく低下するという問題点があり、その欠陥部分の検出が航空宇宙分野においては特に重要となっている¹⁾。

現在の主な欠陥検出方法は、超音波探傷や放射線探傷であるが、これらは大型の装置での長時間にわたる探傷が必要である。そのため、簡易的な試験法の検討が求められている。

CFRPは金属ほどではないが導電性を持つ。そのため、本来は金属に対して適用される渦電流探傷がCFRPに対しても有効であると考えられる。渦電流探傷は、先に述べた2つの探傷法にはない高速での探傷が可能という利点が挙げられるので、簡易試験に適している。

本研究は、渦電流探傷プローブのなかでもプローブと試験体との間隔(リフトオフ)の影響を受けずに欠陥検出が可能なプローブの一つである、クロスポイントプローブを用いて行った。

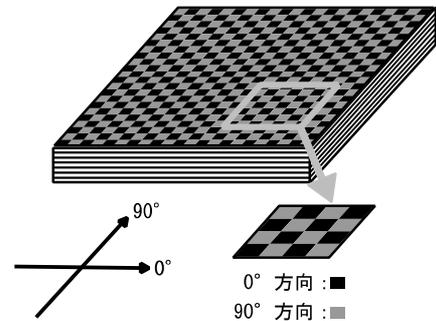


図 1 クロス繊維 CFRP の構造

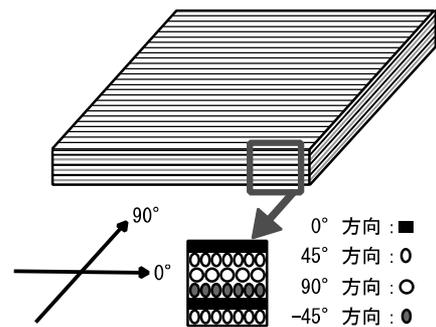


図 2 疑似等方繊維 CFRP の構造

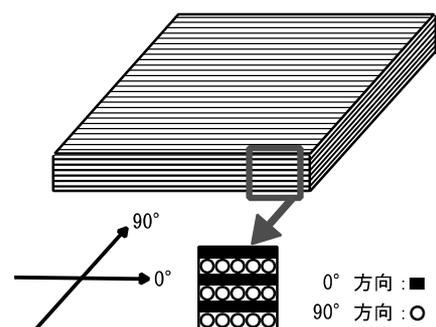


図 3 一方向繊維 CFRP の構造

Eddy Current testing of CFRP by Crosspoint Probe

Gouki KOJIMA, Kiyoshi KOYAMA and Hiroshi HOSHIKAWA

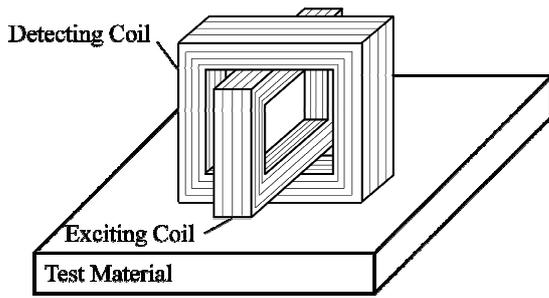


図 4 クロスポイントプローブの構造

2. CFRP の構造と導電性

CFRP は炭素繊維に樹脂を浸透させたプリプレグと呼ばれる薄いシート状の素材を積層したものである。CFRP はプリプレグの繊維方向や積層の方法により多種類のものがあるが、本実験ではクロス繊維、一方向繊維、疑似等方繊維の 3 種類の CFRP を用いた。

クロス繊維 CFRP の構造は図 1 に示すように、同一プリプレグ内に 0° 方向と 90° 方向の繊維が編みこまれたものを積層している。CFRP は積層間ではほとんど導電性を持たないが、同一プリプレグ内では導電性を持つ。そのため、クロス繊維においては各層とも厚さ方向に小さな導電性を持ち、 0° 方向、 90° 方向の両方に対して導電性をもつ。

疑似等方繊維 CFRP の構造は図 2 に示すように、 0° 、 45° 、 90° 、 -45° 方向繊維を持つプリプレグをそれぞれ順に積層している。そのため、厚さ方向に小さな導電性を持ち、一層目は 0° 方向、二層目は 45° 方向、といったように、各層ごとに繊維方向成分に対して導電性を持つ。

一方向繊維 CFRP の構造は図 3 に示すように、 0° 方向繊維のプリプレグと、 90° 方向繊維のプリプレグをそれぞれ順に積層している。そのため、厚さ方向に小さな導電性を持ち、疑似等方繊維と同様に、各層ごとに繊維方向成分に対して導電性を持つ。

3. 探傷原理

クロスポイントプローブの構造を図 4 に示

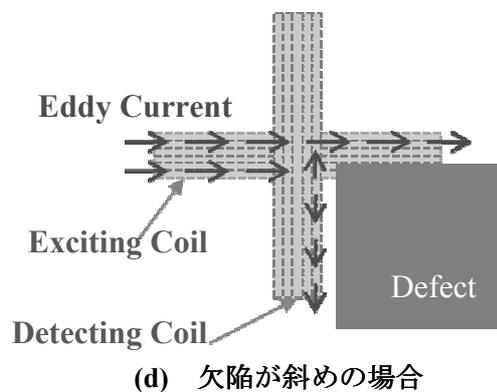
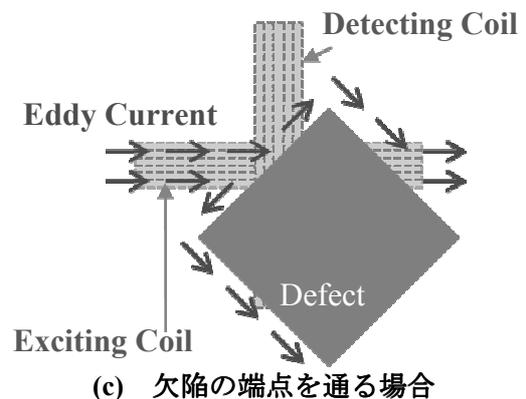
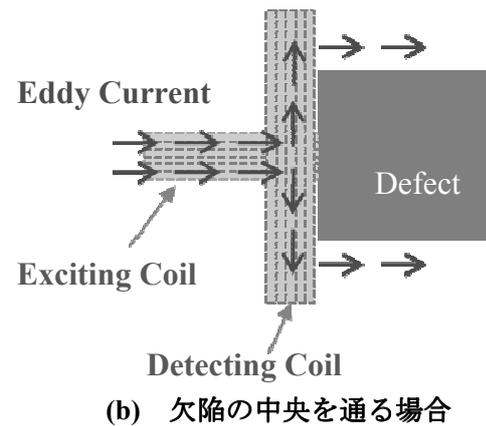
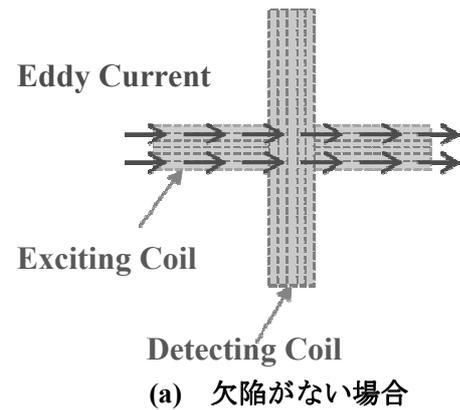


図 5 欠陥の検出原理

す。このプローブは渦電流を誘導するための矩形縦置き励磁コイルと、それに直交する、傷信号を検出するための矩形縦置き検出コイルにより構成されている。

欠陥がない場合では、励磁コイルから生じる渦電流は図5(a)のように流れるため、検出コイルが渦電流を検出することはない。検出コイルと欠陥が平行で、プローブが欠陥の中央を通る場合では、励磁コイルから生じる渦電流は図5(b)のように欠陥を避けるように流れて、互いに打ち消しあうため検出コイルが渦電流を検出することはない。検出コイルと欠陥が平行で、プローブが欠陥の端点を通る場合では、励磁コイルから生じる渦電流は図5(c)のように欠陥を避けるように流れて、検出コイルが渦電流を検出する。欠陥が斜め方向にある場合では、励磁コイルから生じる渦電流は図5(d)のように欠陥を避けるように流れるため、検出コイルが渦電流を検出する。

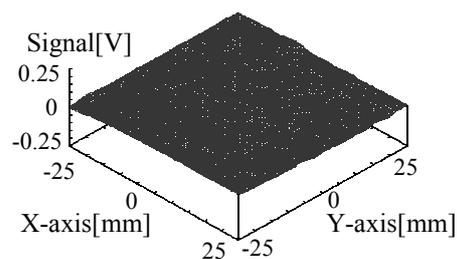
CFRPには、繊維方向にのみ導電性を持つという性質があるため、これらの原理を適用するためには繊維方向と励磁コイルによって誘導される渦電流の向きが同じになるようにプローブを配置しなければならない。繊維方向と渦電流の流れる向きが同じではない場合には、図5のように流れず、雑音を生じる。

4. 実験条件および実験方法

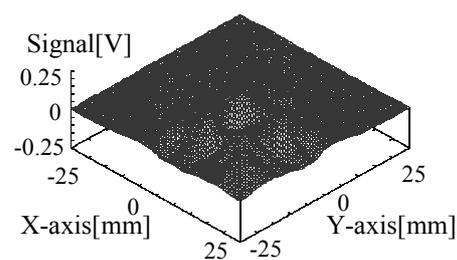
実験に用いた3種類のCFRPの寸法は全て縦160mm、横160mm、厚さ3mmである。CFRP内部には表面から1mmの部分に縦10mm、横10mm、厚さ1mmと0.5mmの絶縁シートをそれぞれ埋め込み、それを模擬欠陥とした。CFRPは導電性が低いため、探傷周波数は1MHzとした。

クロスポイントプローブの寸法は励磁コイルが長さ7mm、高さ9mm、巻線断面積 1mm^2 であり、検出コイルが長さ7mm、高さ7mm、巻線断面積は 1mm^2 である。

欠陥のない部分をXY方向に $\pm 25\text{mm}$ の範囲、0.5mm間隔で、欠陥のある部分をXY方向に

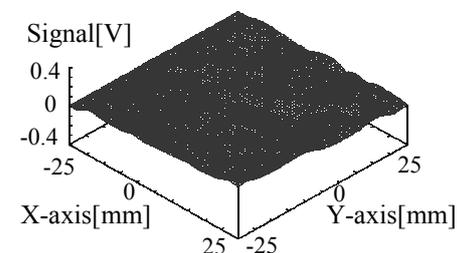


(a) 欠陥がない場合

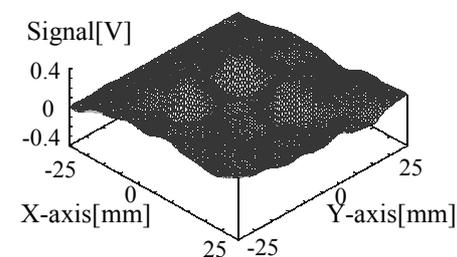


(b) 欠陥がある場合

図 6 クロス繊維 CFRP の探傷信号



(a) 欠陥がない場合



(b) 欠陥がある場合

図 7 疑似等方繊維CFRPの探傷信号

±25mmの範囲、0.5mm間隔でプローブを走査して実験を行った。また、試験体を斜めにした場合も同様に走査し実験を行った。

5. 実験結果

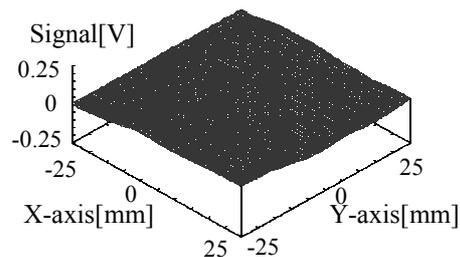
図6にクロス繊維の探傷信号を示す。図6(a)が欠陥のない場合、図6(b)が厚さ1mmの欠陥がある場合である。図6(a)より、欠陥がない部分では雑音をほとんど検出していないことがわかる。図6(b)より、欠陥がある部分では欠陥信号が明確に表れている。また、欠陥の厚さが0.5mmの場合も欠陥信号は判断できた。試験体を斜めにした場合も同様な結果が得られた。

図7に疑似等方繊維の探傷信号を示す。図7(a)が欠陥のない場合、図7(b)が厚さ1mmの欠陥がある場合である。図7(a)より、欠陥のない部分ではクロス繊維と比べて、斜め方向に雑音が生じているのがわかる。図7(b)より、図7(a)と同様に雑音も生じているが、雑音よりも大きな欠陥信号が表れている。また、欠陥の厚さが0.5mmの場合では雑音の影響で欠陥信号の判断はできなかった。試験体を斜めにした場合も同様な結果が得られた。

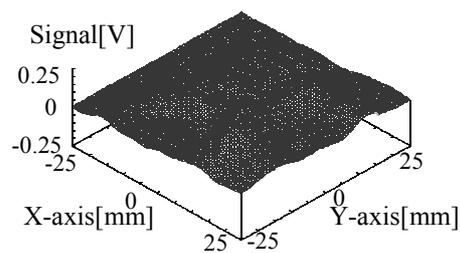
図8に一方方向繊維の探傷信号を示す。図8(a)が欠陥のない場合、図8(b)が厚さ1mmの欠陥がある場合である。欠陥がない場合では、クロス繊維の時と同様に雑音をほとんど検出せず、欠陥のある部分ではクロス繊維よりは小さいが、欠陥信号が明確に表れている。また、欠陥の厚さが0.5mmの場合も欠陥信号は判断できた。試験体を斜めにした場合、欠陥のない場合では疑似等方繊維よりも非常に大きな雑音が生じた。欠陥のある場合でも同様に、非常に大きな雑音が生じ、欠陥の厚さに関わらず、欠陥信号の判別が困難であった。

6. まとめ

クロスポイントプローブを用いた渦電流探傷をクロス繊維、疑似等方繊維、一方方向繊維



(a) 欠陥がない場合



(b) 欠陥がある場合

図 8 一方方向繊維CFRPの探傷信号

の3種類のCFRPに対して行った。実験の結果、クロス繊維に対しては雑音が非常に少なく、SN比の高い信号が得られた。疑似等方繊維に対しても欠陥検出は可能であったが、クロスポイントプローブに対して45°方向成分をもつ繊維によって生じる雑音が見られた。一方方向繊維に対しては、繊維方向と同方向にプローブを配置した場合に、クロス繊維と同様に雑音が非常に少なく、SN比の高い信号が得られたが、繊維方向とプローブの配置が異なる場合、疑似等方繊維の結果よりもさらに大きな雑音が生じることがわかった。今後は、クロスポイントプローブの形状を変えて、プローブと繊維方向の関係によって生じる雑音の軽減の可能性を検討する。

7. 参考文献

- 1) 三木公輔、小山潔、星川洋：「CFRPの差動θプローブによる渦電流探傷」第41回日本大学生産工学部学術講演会、pp51-54 (2008)