# 1.まえがき

CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)は、 炭素繊維を用いた複合材料の一種であり、比 強度、比剛性などの優れた力学的特性を持っ ていることから、アルミなどの金属に代わり、 幅広い分野に適用されている。

CFRPは、外部からの衝撃で積層間に剥離 などの欠陥が生じると、強度低下が起こると いう問題があり、非破壊検査が必要である。 従来、CFRPに対する非破壊検査法として、 超音波探傷試験や放射線透過試験が適用され ているが、試験に長時間要す、試験装置が大 掛かりになるという問題がある。

渦電流探傷試験は原理的に非接触で検査可 能なので、高速かつ簡易な検査ができる。そ こで、CFRP に対する渦電流探傷試験の適用 を行った。

本研究室では渦電流探傷クロスポイントプ ローブを用いることで一方向 CFRP の欠陥検 出が可能であると報告しているが<sup>(1)</sup>、一方向 CFRP は導電性に異方性があるので、渦電流 分布が不明確である。

そこで、本研究ではクロスポイントプロー ブを用いた一方向 CFRP 欠陥検出における渦 電流分布を明らかにすることを目的とし、有 限要素法を用いた電磁界解析を行ったので結 果を報告する。

日大生産工(院)		$\bigcirc \overline{1}$	<sup>Z</sup> 野	拓也
日大生産工	小山	潔、	星川	洋

#### 2.CFRP の構造と導電性

CFRP は炭素繊維を厚さ 0.2mm ほどのシー ト状にした CF プリプレグを積層したもので あり、CF プリプレグの繊維方向、積層方法に よって種類が分けられている。図1に本研究 での解析対象である一方向 CFRP の構造を示 す。一方向 CFRP は、炭素繊維を 0°方向に 編み込んだ CF プリプレグ(以下、A層)、90° 方向に編み込んだ CF プリプレグ(以下、B 層)を交互に積層して作成されたものである。 一方向 CFRP は、同一 CF プリプレグ内では 繊維方向に導電性を持ち、繊維方向に対し直 交方向の導電性は極めて小さくなっている。 また、積層された CF プリプレグ間でも導電 性は極めて小さくなっている。このような特 性から一方向 CFRP の各層に誘導される渦電 流は繊維方向に強く流れると考えられる。



Study on Eddy Current Testing of CFRP by Electromagnetic Field Analysis

Takuya HIRANO, Kiyoshi KOYAMA, Hiroshi HOSHIKAWA

#### 3. 渦電流探傷クロスポイントプローブ

渦電流探傷試験は電磁誘導を利用した非破 壊検査法であり、導電性を持つ試験体に対し 励磁コイルが作る交流磁界によって渦電流を 誘導する。試験体に欠陥があると、誘導され る渦電流は欠陥を避けて流れる。この渦電流 の変化による磁界の変化をコイルの起電力変 化として欠陥検出を行う。

図2にクロスポイントプローブの構造を示 す。構造は矩形縦置きの励磁と検出2つのコ イルを直交させた構造となっている。

図3に試験体に誘導される渦電流の様子を 示す。励磁コイルは交流電圧を印加すること で、交流磁界を生じ、試験体に渦電流を誘導 する。検出コイルは巻線方向に流れる渦電流 成分の磁束により起電力を発生する。きずが ない状態では、検出コイルの巻線方向の渦電 流成分がないため、検出コイルに起電力は発 生しない。

今回は一方向 CFRP の繊維方向を考慮し、 異方性による雑音を低減させるため、試験体 の繊維方向に渦電流を誘導するクロスポイン トプローブを本研究で用いた。



図2 クロスポイントプローブの構造



#### 4.解析方法および解析モデル

数値計算には有限要素法による三次元電磁 界解析を行った。試験体と励磁コイルを別々 に作成し、練成解析を行った。また、励磁コ イルの周波数は1MHzとした。

解析モデルの一方向 CFRP は欠陥がある場 合と、ない場合を作成した。形状は図 4 に示 すように、160mm×160mm、厚さ 3mm で、 厚さ 0.2mm の A 層と B 層を交互に合計 15 層積層した。また、A 層の導電率は、X 軸方 向に 7.7×10<sup>3</sup>S/m、Y 軸方向に 4.8×10<sup>1</sup>S/m とし、B 層は、X 軸方向に 4.8×10<sup>1</sup>S/m、Y 軸方向に 7.7×10<sup>3</sup>S/m とした。Z 軸方向の導 電性は 4.8×10<sup>1</sup>S/m 一定とした。一方向 CFRP の比透磁率は 1 とした。表面から深さ 1mm の欠陥を配置した。欠陥の材料特性は空 気と同じにした。励磁コイルは矩形縦置きで、 長さ 7mm、高さ 9mm 巻線断面積 1mm<sup>2</sup> とし た。

試験体に対する励磁コイルの向きは、励磁 コイルの巻線方向が X 軸になるようにし、リ フトオフは 0.2mm とした。コイルの位置は、 欠陥がない場合では、試験体の中心(x,y)= (0,0)上に、欠陥がある場合では、(x,y)= (5,-10)~(5,-10)上に 1mm 間隔に位置し、この 条件で解析を行った。



## 図4 解析モデル

## 5.結果

欠陥の有無による差異を明らかにするため に、図 5~8 には欠陥がある層の渦電流分布を 示す。また、図中の太い破線は検出コイルを 示す。

図5に欠陥がない場合で、(a)はA層、(b) はB層の渦電流分布を示す。励磁コイルの巻 線方向と同方向に繊維方向を持つA層での渦 電流はB層に比べ渦電流が強く、Y軸方向に はほとんど流れていないことが確認できる。 また、A層の渦電流は、検出コイルの巻線方 向に対し直角に流れているので、検出コイル に起電力が発生することはない。B層での渦 電流は、導電率が高いY軸方向に強く流れて いることが確認できる。また、この渦電流は、





検出コイルの近傍ではほとんど流れていない ため検出コイルに発生する起電力は極めて小 さい。

図6には欠陥がある場合で、コイルが(5,0) に位置している時の、渦電流分布を示す。(a) はA層、(b)はB層である。A層では、X軸方 向にB層に比べ強い渦電流が発生している。 また、欠陥部では渦電流は流れていない。欠 陥を避けて流れる渦電流はY軸方向ではなく Z軸方向に流れる。(b)のB層では欠陥がない 時と同様にY軸方向に強く流れていることが 確認できる。欠陥部を避けて流れる渦電流は、 検出コイルの中心から、欠陥に沿って互いに 逆向きに流れている。よって検出コイルの起 電力は打ち消しあう。



(b)B層の渦電流分布









図7にはコイルが(5,5)に位置するときの(a) はA層、(b)はB層の渦電流分布を示す。A 層では、渦電流は繊維方向に強く流れている ことが分かる。B層で欠陥部を避けて流れる 渦電流は、検出コイルに対して、Y軸方向に 流れている。このことから検出コイルに起電 力が発生する。

図8にはコイルの位置(5,-5)におけるB層 の渦電流分布を示す。B層で欠陥部を避けて 流れる渦電流は、検出コイルに対して、-Y軸 方向に流れている。このことから検出コイル は図7(b)と逆極性の起電力が発生する。

図 9 にコイルが(x,y)=(5,-10)~(5,-10)に位 置する時の検出コイルの起電力を示す。検出 コイルの起電力は欠陥の端点付近で最大にな っている事がわかる。

### **6.**まとめ

CP プローブを用いた一方向 CFRP の欠陥 検出原理についての検討を行った。

電磁界解析を行うことで一方向 CFRP に誘 導される渦電流分布が明らかになった。欠陥 の有無による変化が確認できた。

今後は他の種類の CFRP に対しても、解析 を行い、それをもとに CFRP の欠陥検出向上 に努めたい。



図9 検出コイルの起電力

# 7.参考文献

(1) 小山潔、星川洋、小島剛基:「CFRP損 傷検出への渦電流探傷試験の適用について」 新素材の非破壊評価特別研究委員会ミニシン ポジウム、pp7-12(2009)