

CFRP 損傷の渦電流探傷法に関する研究

日大生産工 (院) ○小島 剛基
日大生産工 小山 潔 星川 洋

1. はじめに

CFRP(炭素繊維強化プラスチック)は軽量かつ剛性があることから、我々の身近なところではスポーツ用品や自動車、それ以外には新型旅客機やロケット構造の一部造部材など、非常に多くの分野で利用されている。CFRPは薄い炭素繊維のシートに樹脂を含浸させたプリプレグと呼ばれるものを積層し加熱硬化して作られるのが一般的である(プリプレグ法)。CFRPは外部からの衝撃を受けると積層間で剥離などが生じ、強度が低下することが問題であるため、非破壊検査が行われている。現在CFRPに行われている非破壊検査の手法としては、放射線透過法や超音波探傷法があげられる¹⁾。放射線透過法は大掛かりな装置が必要であり、被爆の危険性もある。超音波探傷法は非常に正確な探傷が行えるが、長時間にわたる探傷が必要であり、更には非接触での探傷が困難であるという問題がある。そのため、広範囲にわたる探傷には不向きである。以上のことから、現在は広範囲を高速かつ安全に探傷が可能な簡易的試験法の検討が求められている。

CFRPは金属に比べて低い導電性を持っている。そのため、電磁誘導を利用した非破壊検査法である渦電流探傷法が適用できる。渦電流探傷法は非接触かつ高速な探傷が可能となるため、簡易的な試験に適しているといえる。そこで、本研究ではクロス積層CFRPに対して渦電流探傷プローブの中でも原理的にプローブと試験体との間隔(リフトオフ)に

よって発生する雑音の影響を受けずに探傷が可能なプローブの1つである Θ プローブ²⁾を用いた渦電流探傷の検討を行った。

2. CFRPの構造と特性

本研究で対象としたCFRPはクロス積層CFRPといい、図1に示されるように 0° 方向の繊維と 90° 方向の繊維を織り込んだ布(Cloth)形状のシートに樹脂を浸透させたプリプレグを積層して加熱硬化するプリプレグ法で製造されたものである。

クロス積層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ほぼ等方の導電性を持つ。

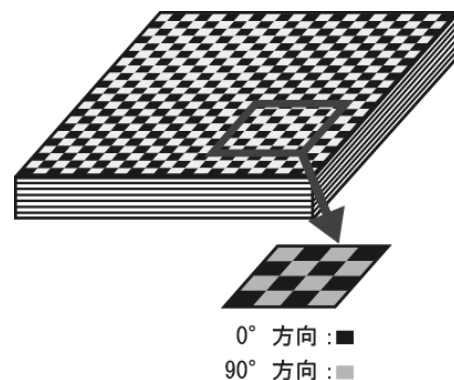


図1 クロス積層CFRPの構造

3. 探傷原理

Θ プローブの構造を図2に示す。 Θ 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

により構成される。励磁コイルによってその巻線方向に渦電流が誘導され、渦電流が損傷などを避ける際に検出コイルの巻き線方向に流れる。検出コイルの巻き線方向に流れた渦電流から生じる磁束が検出コイルの内部を貫くことにより、検出コイルに起電力が発生し、損傷信号が得られる。

CFRP に損傷がない場合には、励磁コイルから生じる渦電流は図 3(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。プローブが損傷に近付き、損傷の端を通過する場合には、励磁コイルから生じる渦電流は図 3(b)のように損傷を避けるように流れるため、検出コイルが損傷を避けて流れた渦電流を検出する。プローブが損傷の中央を通過する場合には、励磁コイルから生じる渦電流は図 3(c)のように流れるため、損傷がない場合と同様に、検出コイルが渦電流を検出することはない。

なお、クロス積層 CFRP の導電性は金属とは異なり完全な等方ではなく、織り込んだ繊維の方向に対して雑音がわずかに発生する。

4. 実験条件および実験方法

本実験ではクロス CFRP に対して人工的に損傷を与えた。試験対象であるクロス積層 CFRP の寸法は縦160mm、横160mm、厚さ3mmとした。図4のようにクロス積層 CFRP 上に先端の直径約1.0mm のドリルを配置し、重さ 1.0kg の鉄球を、高さ 0.25m、0.5m、0.75m、1.0m からそれぞれ垂直落下させて CFRP を損傷させた。落下の際に鉄球に生じるエネルギー量が 0.25J、0.5J、0.75J、1J となるため、以後は衝撃により生じた損傷をそれぞれ 0.25J 損傷、0.5J 損傷、0.75J 損傷、1J 損傷と呼ぶことにする。

Θプローブの寸法は励磁コイルの内径 7mm、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長さ 7mm、高さ 7mm、巻線断面積 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ である。

CFRP は金属より導電性が低いため、金属に対

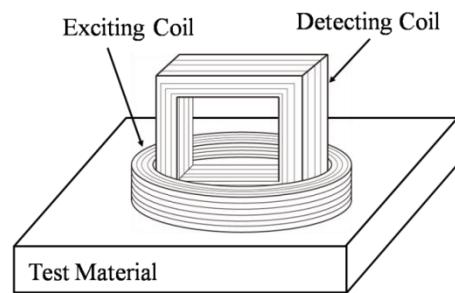
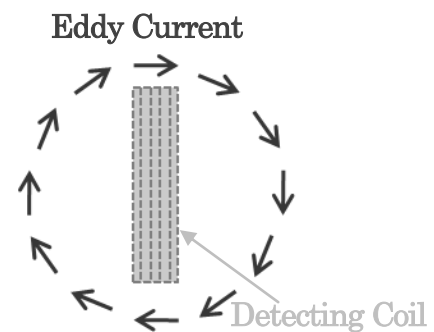
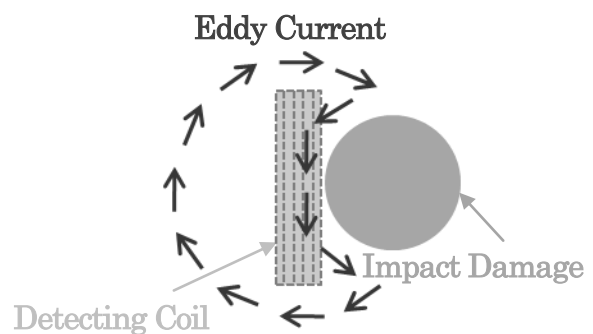


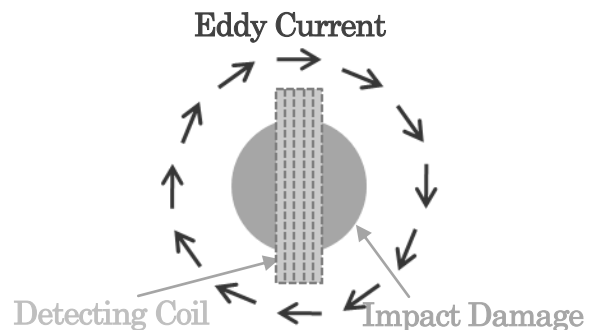
図2 Θプローブの構造



(a) 損傷がない場合



(b) 損傷の端を通過する場合



(c) 損傷の中央を通過する場合

図3 損傷検出の原理

して渦電流探傷を行う際よりも高い1MHzを探傷周波数とし、励磁コイルには交流5Vの電圧を印加した。CFRPの探傷範囲は、損傷のない部分では損傷のない箇所をXY方向に±25mm、損傷のある部分では損傷のほぼ中心を原点とし、XY方向に±25mmとし、どちらも0.5mm間隔でプローブを走査し、実験を行った。

5. 実験結果

図5には、探傷信号を示す。渦電流探傷法では、実数成分と虚数成分が得られるが、図5では信号振幅を示す。図5(a)は損傷のない場合である。この場合、僅かだが波を打つように小さな雑音が発生している。図5(b)は0.25J損傷を与えた場合である。白い円で囲った部分にSN比は1.2と小さいが、損傷信号が得られている。図5(c)は0.5J損傷を与えた場合である。こちらは白い円で囲った部分に明確な損傷信号が得られており、SN比も3.1と大きくなっている。図5(d)は0.75J損傷を与えた場合である。こちらも白い円で囲った部分に明確な損傷信号が得られており、SN比は2.7と大きくなっている。また、0.5J損傷に比べるとSN比は低くなっているものの、損傷信号に広がりがあることがわかる。図5(e)は1J損傷を与えた場合である。こちらも白い円で囲った部分に明確な損傷信号が得られており、SN比は8.8と、0.5J、0.75Jに比べて非常に大きくなっている。また、損傷信号の広がりも0.75J損傷より大きくなっていることがわかる。

次に、大きな損傷信号が得られた0.5J、0.75J、1.0J損傷および損傷のない箇所の4つについて、損傷の真上に対してプローブを走査した際の信号パターンを図6に示す。この信号パターンから損傷信号が得られた際の位相を算出し、CFRPに与えた衝撃と位相の関係を図7に示す。0.5J損傷では 155.7° 、0.75J損傷では 147.8° 、1.0J損傷では 139.1° と、与えた衝撃が0.25J増加するたびに、 7.8° 、 8.7° の位相差が見られており、

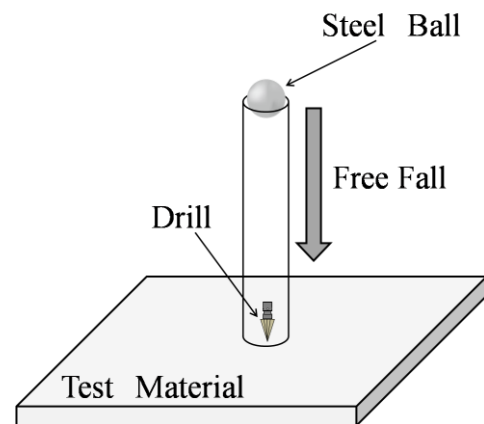
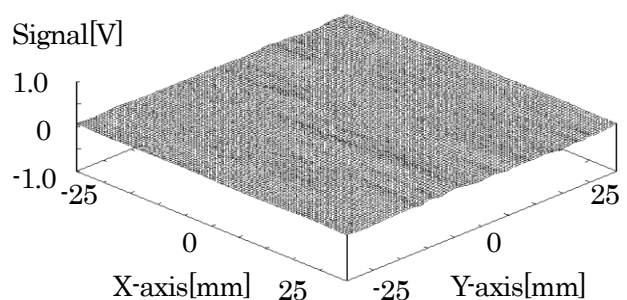
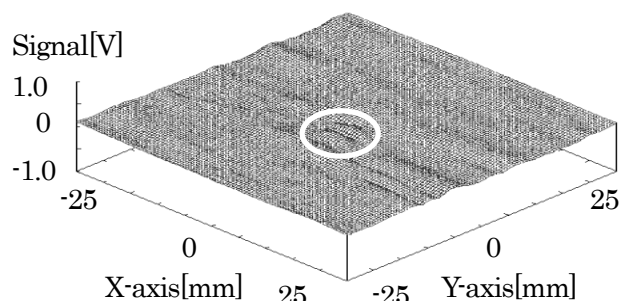


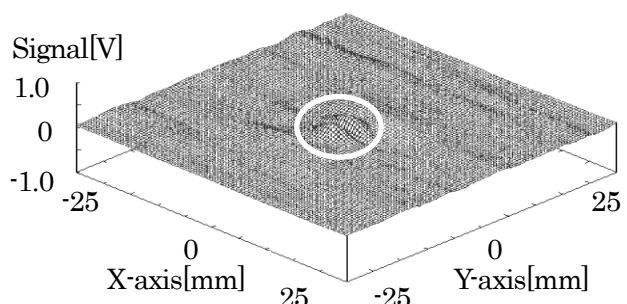
図4 CFRP 損傷実験図



(a) 損傷がない場合



(b) 0.25J 損傷がある場合



(c) 0.5J 損傷がある場合

図5 クロス積層 CFRP の探傷信号

比例的な直線を描くように位相が変化していることがわかる。

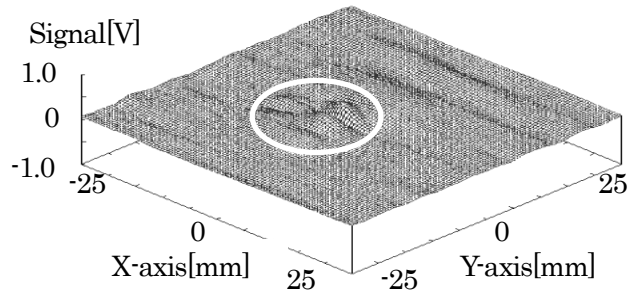
6. まとめ

Θプローブを用いた渦電流探傷法で、クロス積層 CFRP に対して 1kg の鉄球を垂直落下させて発生させた損傷の検出を行った。実験の結果、クロス積層 CFRP に対して Θプローブを適用すると、損傷のない場合には非常に僅かな雑音が発生した。また、0.25J 損傷では SN 比は 1.2 と低かったが、画像により損傷信号が見られた。0.5J 以上の衝撃を加えた際には、SN 比が 2.7~8.8 と高く、信号振幅による損傷検出が可能である事がわかった。0.5J 損傷と 0.75J 損傷を与えた時の信号振幅に関しては、0.5J 損傷のほうが若干ではあるが損傷信号の振幅が大きくなるなど不可解な点は見られたが、0.5J~1.0J 損傷の位相変化をみると、衝撃の大きさが変化することにより位相にも変化が見られることがわかった。この結果より、与えた衝撃と位相に何らかの関係がある可能性が見えてくる。

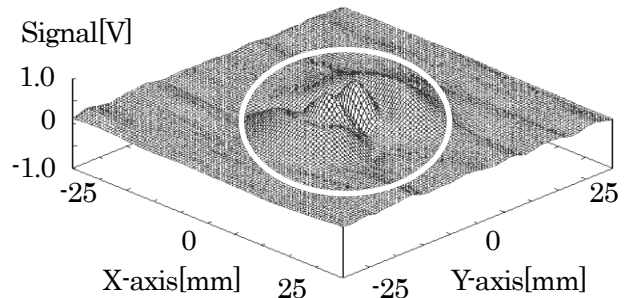
今後は、試験体の厚さを変化させた際や、衝撃の大きさなどをさらに変化させて実験を行い、衝撃の大きさと振幅の関係や、衝撃の大きさと位相の関係についてさらに検討する。また、衝撃を与えた試験体の破壊検査や、超音波探傷法で損傷の形状を見る事によって、内部の損傷と信号の関連性について検討する予定である。

参考文献

- 1) 松嶋正道：CFRP の変遷、第 17 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、pp121-124, (2009)
- 2) 星川洋、小山潔、柄澤英之：リフトオフ雑音の発生しない渦電流探傷新型上置プローブに関する研究、非破壊検査、50(11)、pp736-742, (2001)



(d) 0.75J 損傷がある場合



(e) 1.0J 損傷がある場合

図 5. クロス積層 CFRP の探傷信号

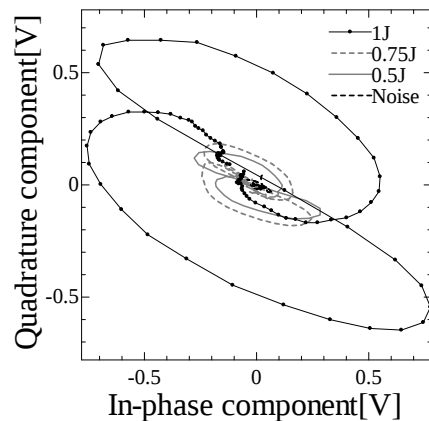


図 6 探傷信号のパターン

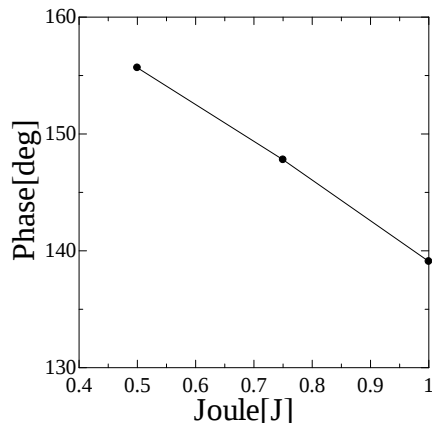


図 7 CFRP に与えた衝撃と信号位相の関係