212 渦流探傷法による CFRP 積層板はく離検出のためのプローブ開発

Development of New Probe for Eddy Current Method on Delamination Detection in CFRP Laminate

○安岡 崇博 (東工大) 上田 政人 (日本大) 轟 章 (東工大)
松崎 亮介 (東工大) 平野 義鎮 (JAXA)

Takahiro YASUOKA, Tokyo Institute of Technology,
O-okayama 2-12-1, Meguro-ku, Tokyo

Masahito UEDA, Nihon University

Akira TODOROKI, Tokyo Institute of Technology

Ryosuke MATSUZAKI, Tokyo Institute of Technology

Yoshiyasu HIRANO, JAXA

Carbon fiber reinforced plastic (CFRP) laminates are now widely used in various fields. They are, however, very sensitive to an impact which causes delaminations in the laminate. Since delamination reduces the mechanical property of the laminate, nondestructive inspection is required to maintain the structural reliability of the CFRP structure. Eddy current method (ECT) has been studied to be applied to CFRP laminate. Strong electric anisotropy, however, makes application of the method difficult. Since delamination is in-plane damage in the laminate, conventional ECT has a problem for making current-loop which should be impeded by the damage to be detected. In the present paper, a new probe for electrically anisotropic CFRP laminate is introduced to resolve the problems. The probe is made of two coils put side-by-side to induce strong uniform electric current. Delamination was made in the CFRP laminate by means of the indentation test; the applicability of the ECT with new probe is examined experimentally.

Key words: CFRP, Eddy current, Delamination, Nondestructive inspection.

1. 緒言

比強度・比剛性に優れる CFRP (Carbon fiber reinforced plastic) 積層板は、航空機などの一次構造部材としての適用が拡大しているが、層間はく離等の損傷によってその機械的特性が著しく低下する問題点がある。CFRP 構造物の構造健全性保障のため、有効な非破壊検査手法が要求される。現在は X 線や超音波探傷により損傷検出が行われているが、検査に要する時間やコストに問題を有している。そこで、非接触・高速検査可能で装置が小型かつ安価な渦流探傷法 (ECT) の適用が検討されている。しかし、CFRP 積層板は強い電気的異方性を有するために積層板内に複雑な誘導電流経路を描くこと、層間はく離が ECT では検出しにくい面内損傷形態であることなどから、現在まで実用化に至っていない。

これまで、絶縁フィルムを層間に挟み込む人工欠陥での ECT 適用報告があるが⁽¹⁾、人工欠陥は CFRP 内部の繊維配列を局所的に変化させるため、実際の層間はく離とは電気的影響が大きく異なる。そこで、本研究では、準静的な圧子押込試験により層間はく離を製作した。また層間はく離を検出するため、強い一様流を生じさせるプローブを製作し、CFRP 積層板の層間はく離検出に対する有効性を実験的に検討した。

2. プローブ形状

本研究では円形コイルを 2 個並べたプローブと正方形コイルを 2 個並べたプローブの 2 種類を製作した。円形コイルの寸法は、フェライト芯全長 11.1mm、フェライト直径 5.1mm である。正方形コイルは、SS400 を芯として、全長 11.1mm、1 片 7.9mm である。両コイルとも、直径 0.1mm のエナメル線を、

芯端部から 2mm 幅で 100 回巻きつけた (図 1 参照)。これにより異方性の強い CFRP 積層板に対しても図 2 に示すようにコイル間に強い一様流を発生させる。ECT 装置としては、提案プローブと同種の参照プローブを用意し、その 2 組を用いて実験を行った。それらのプローブの信号差を検出する自己誘導型標準比較方式を採用した⁽²⁾。なお、参照プローブは他の同一種試験片上に固定した。入力周波数は 10.0MHz、入力電圧は、7.0V (RMS) である。

Fig.1 Coil shape.

Fig.2 Induced electrical current path by proposed probe.

3. 層間はく離検出

3-1 試験片及び実験方法

試験片として CFRP 直交積層板 $[0_2/90_2]_s$ を用いた。三菱レイヨン製一方方向プリプレグシート PYROFIL#380 を用いて、製造元推奨の硬化スケジュールに基づいて作成した。この試験片に圧子押込方式で、準静的に層間はく離を挿入した（図 3 参照）。層間はく離の位置および寸法同定は超音波探傷法を用いた。超音波探傷の C-scan 画像を図 4 に示す。

試験片走査は図 5 に示すようにプローブを固定し、試験片を相対的に移動させることで行った。試験プローブは層間はく離を中心に図 5 に示す x , y 方位にそれぞれ 100mm 走査した。走査方向に一樣電流が流れるようにプローブを走査方向に対して垂直に配置した。

Fig.3 Indentation test.

Fig.4 Ultrasonic C-scan images of delaminations.

Fig.5 Probe and specimen.

3-2 実験結果及び考察

円形コイルプローブの実験結果を図 6 に、正方形コイルプローブの実験結果を図 7 に示す。プロット点は 600 個のサンプリングデータの平均値である。 x 方向のみの走査結果を示し、 y 方向走査結果に関しては省略する。

図 6 が示すように、円形コイルを用いたプローブでは、欠陥部分において顕著な出力変化が計測されなかった。従って、円形コイルプローブを用いてのはく離の検出は困難である。これは、円形コイルプローブが誘導する一樣流が円形コイルの隣接する局所的な部分にしか生じず、一樣流の長さが不十分であったと考えられる。そのため図 2 が示すような面外方向へも電流経路を持つ誘導電流が生じず、誘導電流経路が複雑になり、層間はく離挿入部分における出力変化が、ノイズに埋もれてしまったと考えられる。

一方、正方形コイルを用いたプローブでは、層間はく離挿入領域において出力が増大している。これはプローブのコイル隣接部分において正方形コイルの一片分程度の長さの一樣誘導電流を発生させられたからだと考えられる。それによ

て、図 2 が示すような面外方向にも電流経路をもつ誘導電流が流れて、層間はく離に伴うインダクタンス変化を検出することができたと考えられる。結果として、正方形コイルプローブを用いて、層間はく離を検出することが可能であることが示された。

しかし、はく離挿入部分において、出力が減少している部分がある。これは、層間はく離が電氣的に完全に断絶されてはおらず、層同士が接触している部分においては電流が導通することに起因すると考えられる。導通している部分では、インダクタンス変化が微小となり、無損傷部分と同様の出力を示す。これによって層間はく離挿入領域において、出力が減少している部分が存在する。また、無損傷領域において局所的に出力が増大している箇所があり、検出感度は十分ではない。本実験における層間はく離より小さなはく離検出のためには、電流経路の詳細な考察と検出感度の向上が今後の課題である。

Fig.6 x directional scanning result using circular coil probes.

Fig.7 x directional scanning result using square coil probes.

4. 結 言

- (1) CFRP 積層板損傷検出用円形コイルプローブを用いた ECT では、層間はく離による出力変化がノイズに埋もれてしまい、直交積層板 $[0_2/90_2]_s$ の層間はく離検出が困難であることを示した。
- (2) CFRP 積層板損傷検出用正方形コイルプローブを用いた ECT では、十分な長さの一樣誘導電流が生じ、面外方向への電流流れを持つ誘導電流経路が形成されて、直交積層板 $[0_2/90_2]_s$ の層間はく離検出が可能であることを示した。
- (3) 微小な層間はく離検出のために、電流経路の詳細な考察と検出感度の向上が今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) 久保村健二ら、日本複合材料学会誌, 23, 3 (1997), pp.114-118.
- 2) 加藤和彦、渦流探傷試験Ⅲ, 日本非破壊検査協会, 2003, pp.1-41.