

衝撃後曲げによる CFRP 積層板の強度低下の評価

日大生産工(院) ○高橋 朋哉 日大生産工 邊 吾一 千葉県産技研 長瀬 尚樹

1. 緒言

炭素繊維強化複合材料(CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastics)は従来の金属材料に比べて、軽量で比剛性・比強度に優れている材料であり、その特性を生かし航空宇宙分野の構造部材に多く使用されるようになった。しかし、CFRP の成形方法としてよく用いられているのは積層法であり厚さ方向に弱く、衝撃による影響を受けやすい。特に航空機では、飛行中による雹や鳥の衝突や整備中の工具の落下、搭乗時のタラップなどの車両の接近によって衝撃を受けることが予想される。さらに、CFRP は引張り強度に比べて圧縮強度の方が低いという性質を有しているため、衝撃後の圧縮強度の低下が問題になり、JIS などでは衝撃後圧縮試験方法が立案されている。しかし、実際の航空機の胴体や翼などの構造物には圧縮荷重だけではなく曲げ荷重による圧縮も負荷されるため、曲げ強度の低下も考える必要がある。このため、損傷を受けた積層板の曲げ強度を加振実験で得た減衰率から評価した研究も行われている¹⁾。そこで、本研究では CFRP 積層板の衝撃後曲げによる強度の低下を評価し、さらに損傷を有した CFRP 積層板に加振力を与え固有振動数などの変化から強度低下を予測する方法を確立し、積層板だけではなく航空機の胴体などの円筒殻への応用を目的とする。

2. 実験方法

2.1 実験概要

試験片は、東邦テナックス製の炭素繊維/エポキシ樹脂プリプレグを使用した一方向材 HTS40 と平織 W-3101 を用いて積層・硬化させた積層材を用いた。積層構成は[平織/90/0/90/0]_s、板厚が 2.0mm であり、寸法は縦 100mm の横 100mm の正方形板とした。実験手順は、①衝撃試験、②超音波探傷による損傷の確認、③加振実験と損傷面積の算出、④三点曲げ試験という順番で行った。

2.2 衝撃試験

積層板に損傷を与えるために衝撃試験を行った。衝撃試験機は、自由落下による落錘型衝撃試験機を使用し、落錘子の形状が直径 12.7mm、先端が半球状の落錘子を用いた。試験片支持方法は 4 点式のクランプによって支持台に固定した。試験条件は JIS の炭素繊維強化プラスチックの衝撃後圧縮方法(JIS K 7089)の衝撃試験で用いられている単位厚さあたりにおける衝撃エネルギーの値(6.67J/mm)を参考にした。しかし、破壊様相が貫通破壊となったので、衝撃エネルギーを小さくして 5.0J/mm 以下の条件下で試験を行った。

2.3 超音波探傷試験

衝撃試験によって CFRP 積層板内部に生じた損傷を超音波探傷試験機によって確認した。探傷条件は探触子を 10MHz とし 0.1mm ピッチで探傷を行った。

2.4 加振実験

加振実験は、動的設計解析装置を使用し、加振器を用いて加振した。また、損傷の影響を詳しく見るために試験片を6等分に切断した。切断した寸法は、JISの曲げ試験規格に合わせ試験片を長さ100mm、幅15mmの長方形板とし、端からA～Fというように区別した。そして、再度超音波探傷試験を行い、探傷した画像データをもとに画像解析ソフトウェアを使用し、損傷面積を算出した。応答加速度と加振力の検出には加振器に装着したインピーダンスヘッドによって測定し、切断した試験片はインピーダンスヘッドの上部に片持ちはり状に固定した。そして、入力と応答から伝達関数を求め、固有振動数を求めた。

2.5 曲げ試験

損傷面積の大きさによる曲げ強度の変化を調査するため、三点曲げ試験を行った。試験条件はJISの炭素繊維強化プラスチックの曲げ試験方法(JIS K 7074)に準拠し、支点間距離80mm、試験速度5mm/minの条件下で試験を行った。試験片の表裏の向きは、落錘子との衝突面側に中央の圧子が接触するようにした。

3. 実験結果および考察

試験片を6等分して行った加振実験によって得た固有振動数の結果をTable 1に示す。固有振動数を比較すると、他の試験片に比べてCとDは固有振動数が低下する傾向にあり、Cが最も低下した。損傷面積の大きさは、D(359mm²)、C(233 mm²)、(42.3 mm²)の順となり、その他は超音波探傷では損傷が確認できなかった。損傷面積の大きさから考えると、Cに比べてDの固有振動数が低くなると考えられるが結果は異なった。超音波探傷から得た損傷面積は、層と層の間に生じたはく離の面積であるため厚さ方向の損傷は考慮していない。そのため、Cは厚さ方向に樹脂割れなどの損傷があり固有振動数が低下したと考えられる。

三点曲げ試験と損傷面積との関係をFig.2に示す。衝撃エネルギーを変化させた4条件の中から6本の試験片を取り出し、比較のため曲げ強度の平均値を求めた。全く衝撃を受けていない試験片の三点曲げ強度も示した。損傷面積が大きくなると曲げ強度の上限値と下限値の差が大きくなり、平均の曲げ強度も低下した。

4. 結言

- (1)加振実験の結果より、損傷面積の増加にともない固有振動数が低下する傾向となったが、厚さ方向の損傷も考える必要がある。
- (2)三点曲げ試験の結果より、損傷面積の増加にともない曲げ強度が低下した。

Table 1 Natural Frequency (E=5.05J/mm², A=634mm²)

Mode	Natural Frequencies [Hz]					
	A	B	C	D	E	F
1	257	243	214	229	229	257
2	1329	1314	1143	1286	1319	1514
3	3500	3314	2886	3414	3541	4086

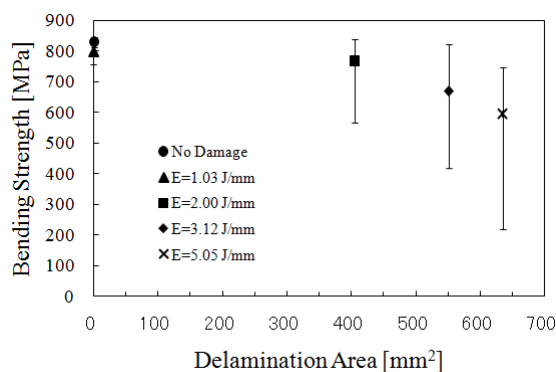


Fig.2 Relation of Bending Strength to Delamination Area

「参考文献」

- 1) O.I.Byon, Y.Nishi, K.Mori and T.Yamaguchi, "Estimation of Bending Strength of CFRP Cross-Ply Laminates from Damping Capacity Using by Neural Network", Key Engineering Materials, Vol.145-149, 1998, pp.427-432