

光ファイバ変位速度センサを用いたCFRP積層板の衝撃損傷モニタリング

Monitoring impact damage of CFRP laminate by fiber-optic sensor

○ 秋山 暁 (東大院生)、影山 和郎、村山 英晶、明松 圭昭

大澤 勇、鶴沢 潔、金井 誠 (以上、東大工)

Satoru Akiyama, Kazuro Kageyama, Hideaki Murayama, Yoshiaki Akematsu

Isao Ohsawa, Kiyoshi Uzawa, Makoto Kanai

The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656

1. 緒言

CFRP 積層板の積層方向に大きな衝撃が加わった場合、マトリクス割れ、層間剥離、繊維破断といった損傷が生じる。特に層間剥離後は著しく圧縮強度が低下するが、剥離を目視できないので CFRP の実構造物への応用において非常に大きな問題となっている。層間剥離後の圧縮強度を CAI (Compression After Impact) と呼び、航空機産業ではこれを基に材料設計と製作がなされている。

本研究は短冊形 CFRP 積層板に落錘衝撃試験を行い、光ファイバセンサによって試験片の変形挙動と衝撃によって発生する弾性波を計測することを試みた。また、超音波探傷や試験片断面の観察を行ってセンサ信号と比較することで、光ファイバセンサによる衝撃損傷の同定を試みた。

2. 実験方法

試験片は、山下と同じ長さ 150mm、幅 50mm、厚さ 2.3mm で積層構成が(45/0/-45/90)_{2s} の擬似等方板を用いた¹。試験片中央に接着された光ファイバセンサは円形で外径 20mm、巻き数 5 であり、試験片の変形速度を非常に高感度に検出できる。質量 1.12kg の鋼製衝撃子を試験片中央すなわちセンサ中心に落下させ、同一の試験片に対して単位板厚あたり 0.24J/mm と 1.29J/mm のエネルギーを順に加えて、それぞれの衝撃時に光ファイバセンサの信号を計測した。山下によると 0.24J/mm の衝撃エネルギーでは剥離を検出することはできないが、1.29J/mm では超音波探傷によって剥離を検出することができる。データ計測はオシロスコープで行い、サンプリングレートは 10MHz で 0.01 秒間計測した。Fig.1 に試験の計測システムを示す。

損傷の有無を確認するために 0.24J/mm 試験後と 1.29J/mm 試験後にそれぞれ超音波探傷を行った。

また、損傷状態を確認するために試験片断面の観察を行った。

3. 結果・考察

Fig.2 に 0.24J/mm および 1.29J/mm 衝撃試験時の速度波形を示す。Fig.2 から、エネルギーによらず試験片の変形時間が約 2ms とわかる。

剥離損傷の発生がわかっている 1.29J/mm 試験の際の信号には、剥離が生じないとされる 0.24J/mm 試験の信号にはない顕著な波が発生しており、これが剥離に対応するものと考えられる。

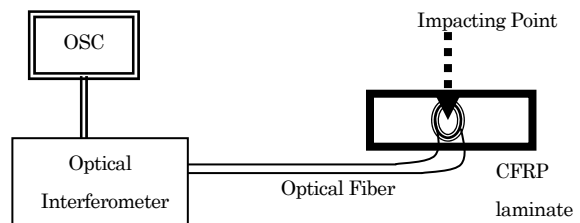


Fig.1 Measurement system

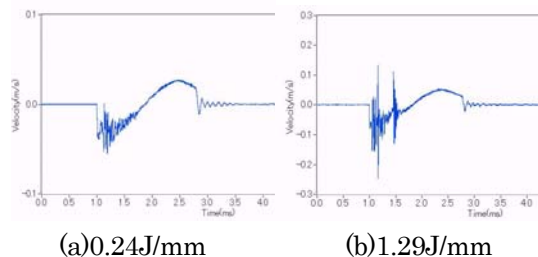
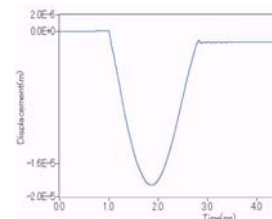


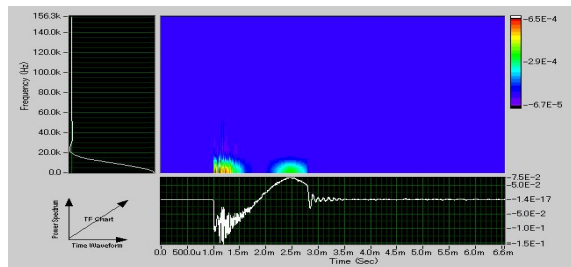
Fig.2 Signals monitored by fiber-optic sensor



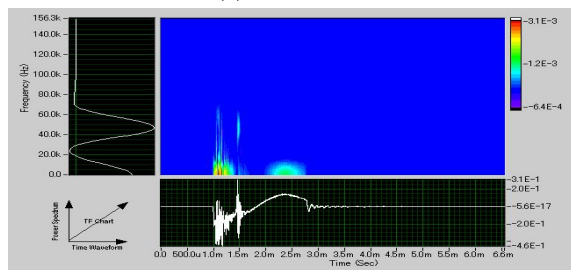
そこで、Fig.2 の波に対して、wavelet 変換後に STFT

解析を行った結果を Fig.3 に示す。Fig.3 では、1.29J/mm 試験の速度波形から得られるパワースペクトルには 50kHz 程度をピークとする周波数帯域を持つ強いスペクトルを確認できる。

この 50kHz のパワースペクトルは Fig.2(b) の顕著な波が発生した時間帯でのみ非常に強く発生している。よって、剥離に対応する波の周波数は 50kHz 程度であると考えることができる。



(a) 0.24J/mm



(b) 1.29J/mm

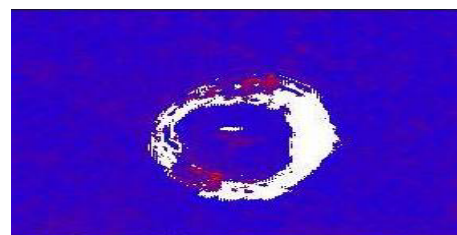
Fig.3 STFT analysis

次に、Fig.4 に C-Scan の探傷結果を示す。C-Scan は超音波の吸収率を色の明るさで表現し、健全な箇所は青で表示され異常がある箇所は緑や赤となる。緑の部分の損傷は特に激しい。白い部分は光ファイバセンサ設置時に使用した瞬間接着剤であると考えられる。Fig.4(b) から、山下によって得られた結果と同様に 1.29J/mm 試験では衝撃点を中心として、光ファイバセンサの内部に明らかな衝撃損傷を確認できた。

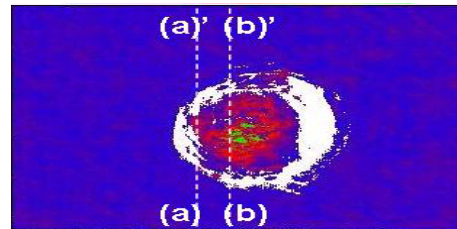
また Fig.4(a) でも、光ファイバセンサの内部に若干の色の変化が見て取れるが、これは衝撃時に表面が損傷したためであると考えることができる。

さらに試験片内部の損傷形態および損傷状態を超音波探傷によって知る目的で、1.29J/mm 試験後の試験片に対して断面の観察を行った。Fig.5 に 1.29J/mm 試験後の試験片の断面図を示す。(i) は Fig.4 の (a)-(a)' 付近での断面、(ii) は (b)-(b)' 付近での断面である。Fig.5 から損傷形態がトランスバースクラックと層間剥離であるとわかった。Fig.5(ii) からトランスバースクラックと層間剥離が連成して起こったと考えられる。

Fig.5(ii) で損傷状態が穏やかなのは、今回の実験では加えた衝撃エネルギーが小さかったためであると考えられる。

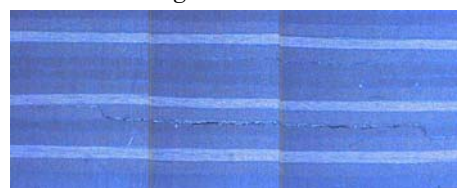


(a) 0.24J/mm

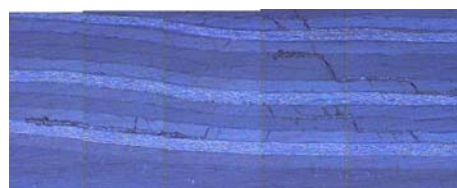


(b) 1.29J/mm

Fig.4 C-Scan



(i)



(ii)

Fig.5 Vertical sectional view about Fig.4(b)

((i) : (a)-(a)', (ii) : (b)-(b)')

4. 結論

光ファイバセンサによって試験片の衝撃挙動と弾性波が検知できると分かった。検出した信号に対する解析結果から、50kHz 程度の周波数を中心とした剥離と考えることができる波が確認できた。これによって、光ファイバセンサを用いた衝撃損傷検出の可能性を示した。

また、試験片断面の観察によって、本実験における試験片損傷の形態がトランスバースクラックと層間剥離であることを確認した。

5. 謝辞

本研究の一部は、独立行政法人宇宙航空研究開発機構「複合材構造の非破壊評価効率化のための衝撃損傷モニタリング手法の開発」として実施したものである。

参考文献

- 1) 山下明彦：「複合材料積層板の衝撃後圧縮強度評価法に関する研究」、東京大学船舶海洋工学専攻、平成7年修士論文、1995年