

CFRP 積層材における疲労き裂進展挙動と AE 信号特性の関係

卒業論文要旨

システム工学群

機能性材料工学研究室 1180001 青木 弓門

1. 緒言

炭素繊維とプラスチックの複合材料である炭素繊維強化プラスチック(以下 CFRP)は、プラスチックの軽量性と炭素繊維の高強度、高剛性を併せ持つ材料であり、近年、自動車や航空宇宙機器など広い分野で用いられている。CFRP 積層材における破壊、損傷は層間はく離に起因するものが多いため、この破壊形態での強度特性を把握しておくことは高い信頼性を保つために重要である⁽¹⁾。

一般的に複合材料の破壊形態は、母材の割れ、繊維と母材のはく離、繊維の破断、また積層材の場合は層間はく離などがあり、強度特性を明らかにする上で、破壊がどのような形態で支配されているかを把握することが重要となる。材料の微視的な破壊形態を調査する方法の一つに AE(Acoustic Emission)法がある。AE では、材料が破壊または変形することによって内部に蓄えられていた弾性エネルギーが解放され、伝播する弾性波を検出するため、破壊の発生場所を特定したり、微視的な破壊の形態を識別することも可能である⁽²⁾。

本研究では、モード I (開口型)およびモード I とモード II (内面せん断型)の混合モードの 2 つのモードで層間疲労き裂進展試験を行い、モードの違いによるき裂進展挙動と AE 信号の関係を明らかにすることを目的とする。

2. 実験手順

2.1 試験片

CFRP プリプレグ((有)CAST CF/PPG/24tUD/149G)を用いて試験片を作製した。CFRP プリプレグを 200×200mm に切り出し、60 枚積層させた。積層構成は $[0^\circ/90^\circ]_s$ となっている。また、予き裂として方側の 0°層と中央の 90°層の間に厚さ 50 μm のテフロンシートを端部より 25mm 挿入した。成形方法は、ホットプレスを用いた加圧成形である。成形は、1 時間かけて 130°C まで上昇させ、その後その温度で 2 時間保持した後に自然冷却させるプロセスとした。試験片寸法は 140×25×4.5mm とした。試験片の概略図を図 1 に示す。なお、一方向材を用いて測定したヤング率は 0°方向は 156GPa、90°方向は 8.6GPa であった。

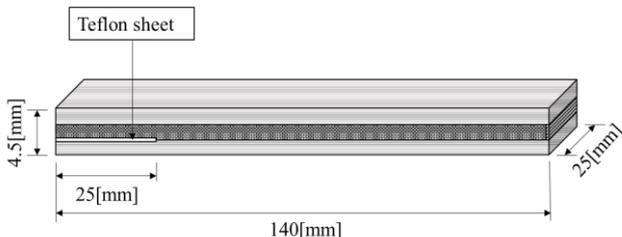


Fig.1 Dimension of specimen

2.2 実験方法

き裂伝ば試験には、油圧サーボ式疲労試験機を用いた。伝ば試験を開始する前にテフロンシートの前方に予き裂を

導入させた。負荷条件として、変位制御下で繰り返し速度を 2.0Hz で繰り返し負荷させた。

試験片の予き裂側上下面にピン負荷かけるためのアルミニウムブロックを接着した。モード I き裂進展試験でのピン負荷位置は試験片端より 5mm の上下対称位置で、混合モード[I+II]では上側のピン負荷位置を 1.4mm 移動させた状態で負荷した。図 2 に試験システムを模式的に示す。AE センサの位置はピンとは異なる試験片端より 10mm とした。き裂長さは読み取り顕微鏡を使用して測定した。

記録した AE についてウェーブレット解析を行った。また疲労試験終了後、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて破面の観察を行った。

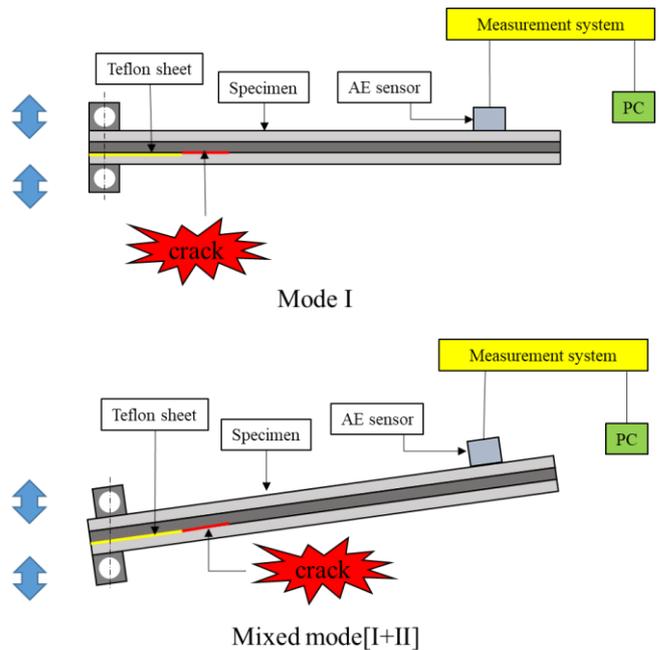


Fig.2 Schematic illustration of crack growth tests

3. 実験結果

3.1 き裂進展挙動

モード I と混合モードにおけるき裂進展速度 da/dN と全エネルギー開放率範囲 ΔG の関係を図 3 に示す。 ΔG の算出では、き裂進展経路に対する非対称性を考慮して計算した。また、混合モードについては、負荷荷重をき裂面に垂直な成分と平行な成分に分解し、 ΔG_{II} を求めたが本実験での ΔG に占める ΔG_{II} の割合はきわめて少ないため ΔG はほぼ ΔG_I に等しいと考えてよい。

da/dN と ΔG には指数則が成り立っている。 da/dN と同一の ΔG で比較すると、モード I の da/dN が混合モードに比べ若干高くなることが分かった。

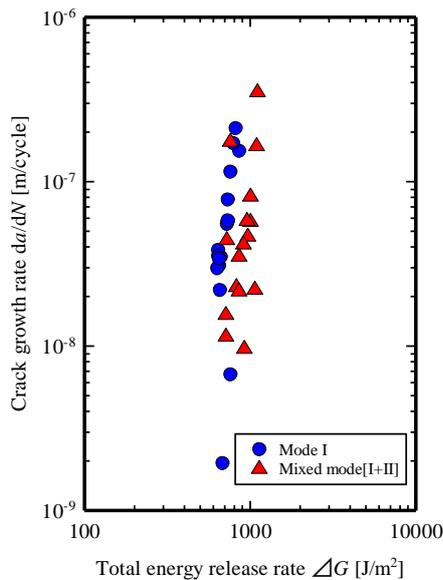


Fig.3 Relationship between da/dN and ΔG

3.2 AE 特性

測定した1つのAE事象についてウェーブレット解析した結果の一例を図4に示す。縦軸に周波数成分、横軸は時間を表しており、AE波形の振幅の大きさを青～赤色で色分けして表示した。き裂伝ば試験中の適当な時間間隔で測定したAE信号についてこのようなウェーブレット解析を行い、AE信号の最大振幅と、周波数成分のピーク値、および信号で0.001V以上の波の持続時間で両モードの特性を比較した。結果を図5に示す。

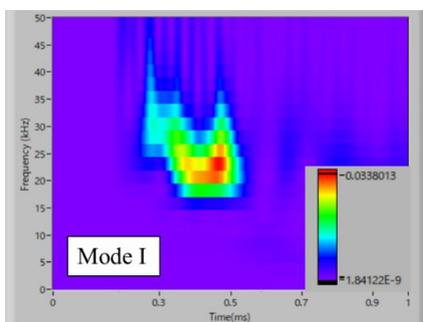


Fig.4 Results of wavelet analysis for Mode I crack

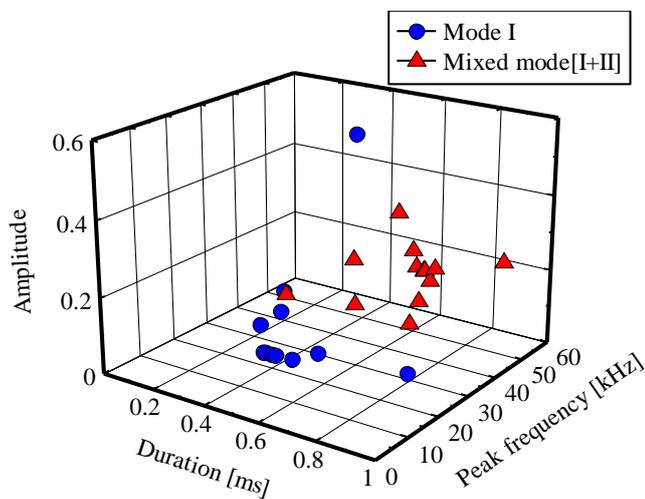


Fig.5 Relationship between frequency, duration and amplitude

混合モードでき裂が進展する場合、モードIに比べてAE波形の持続時間が長い傾向にあることが分かった。

3.3 破面観察

0°側破面をSEM観察した結果を図6に示す。矢印はき裂の進展方向を示す。いずれのモードでも ΔG の全領域で様相はほぼ同じであった。

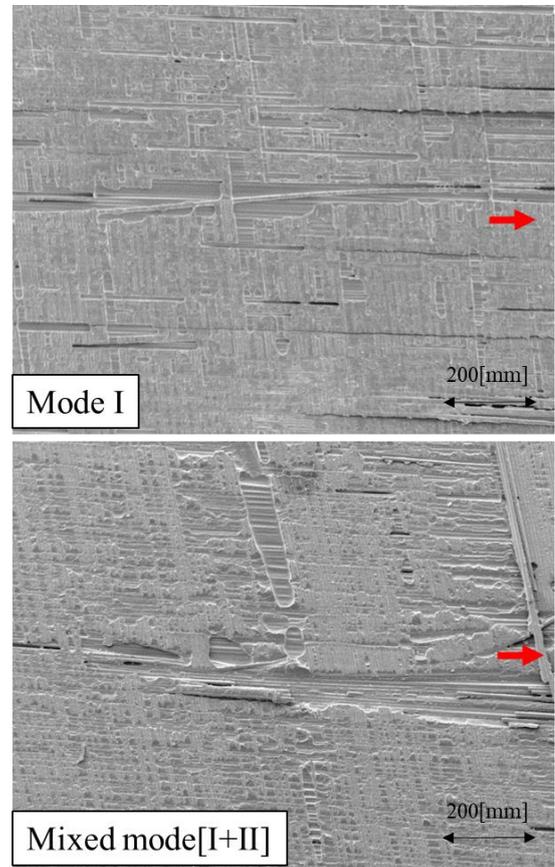


Fig.6 SEM observation of fracture surface

混合モードのき裂進展の破面では0°方向の繊維が明瞭に見える領域が、モードIのそれより大きい傾向にある。すなわち混合モードでは繊維と樹脂の界面で割れる傾向が大きいといえる。この微視的な様相の違いがAE信号の違いに関連していると考えられる。またこれに反映して、き裂進展に対する抵抗が混合モードで高くなった。

4. 結言

本研究では、2種類のモードについて調査を行った。今回の結果により、破面観察では微視的な違いが確認でき、AE信号についてのウェーブレット解析では、AE波形の持続時間の違いが確認できた。これらの結果から破面の微視的な様相とAE波形の持続時間に相関があることが分かった。

文献

- (1) 仙北谷英貴, 北條正樹, 長澤長八郎, 劔持潔, 牧廣, “一方向CF/エポキシ積層板の引張疲労およびモードI層間はく離疲労き裂伝ばにおける破壊機構の比較”, 材料, Vol.42, No.472 (1993), pp. 52-58.
- (2) 鈴木恵, 中西博, 岩本正治, 自念栄一, 前川善一郎, 小池清, “AE法によるクラスA-SMCの破壊機構に関する研究”, 36巻(1987)402号 pp. 229-235.