

機械学習による CFRP 破壊過程における AE 波形評価方法の開発

1. 目的

炭素繊維強化複合材料(CFRP)は、軽量、高強度、錆びない等の優れた特性を有していることから、航空機や自動車を代表とする輸送分野において幅広く利用されている。しかし、その破壊機構については解明がなされていない。

そこで本研究では CFRP 破壊過程における損傷モードの分類を行うため、AE 信号の時間一周波数解析に着目した。破壊の初期に生じるトランスバースクラックの形成過程を分類することを目指した。

2. 研究内容

CFRP プリプレグシートで直交積層した CFRP 積層板試験片に対し(積層構造 $[0_2/90_4]_s$)、AE センサを取り付け、引張試験を行った。試験中、破壊に伴って発生する AE 波を計測した。さらに、引張試験中に試験片側面について撮像をおこない、破壊進展状況を同時観察した。図 1 に引張試験時の時間一応力・AE 線図、図 2 に試験片側面で観察されたトランスバースクラックの状況を示す。

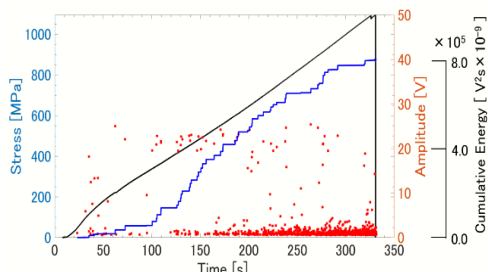


図 1 時間一応力・AE 線図

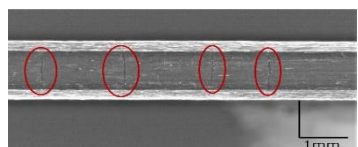


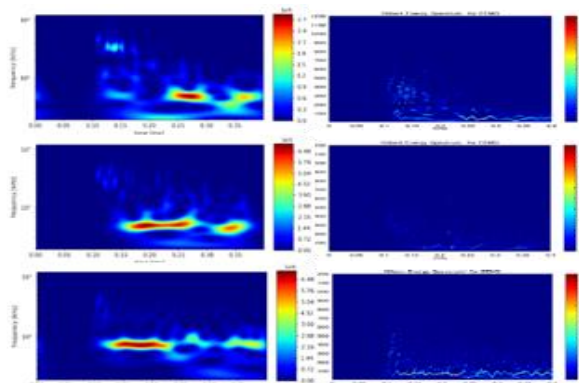
図 2 トランスバースクラック観察結果

計測した AE 波形について、時間一周波数解析をおこなった。時間一周波数解析については、Wavelet 変換および Hilbert-Huang 変換の 2 手法を用いた。トランスバースクラックを示す解析結果について、機械学習のクラスタリングにより、正確に分類することが可能か否かについて検証をおこなった。さらに精度よく分類するた

めの解析結果の表示方法についても検討をおこなった。

3. 結果・考察

図 3 にトランスバースクラック発生時に対応した AE 波の時間一周波数解析結果を示す。図 3(a)は Wavelet 変換による解析結果について、クラスタリングの分類精度を向上させるため、周波数軸を対数表示したものである。図 3(b)は Hilbert-Huang 変換による解析結果について、信号強度の最大値を 1 として正規化を行ったものである。



(a) Wavelet (対数表示) (b) Hilbert-Huang (正規化)

図 3 トランスバースクラックに対応した AE 波形の時間一周波数解析結果

これら解析結果に対し、k-means 法によるクラスタリングをおこなった。表 1 にその結果を示す。

表 1 k-means 法によるクラスタリング結果

クラスタリングに用いた 時間一周波数解析法	クラス タ 1	クラス タ 2
Wavelet 変換 (対数表示)	51 枚	863 枚
Hilbert-Huang 変換 (正規化)	47 枚	867 枚

クラスタリング結果より、双方の解析方式において 45 ~ 60 個のクラスとそれ以外のクラスに分けることができた。ここで、試験片側面に生じたトランスバースクラック数は約 40 本と推定されており、クラスタリング結果とほぼ一致した。

今後は破壊過程の他の現象についても評価し、クラス分類による破壊モードの解明を進めたい。