

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

CFRP (Carbon Fiber Reinforced-Plastic: 炭素繊維強化複合材料) 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。

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発生時の AE 波形を分類する最適な時間一周波数解析法を選定し、機械学習によるクラスタリングで検証を行った。

2. 研究内容

AE 信号の発生位置を把握し、AE 信号発生時に材料内部で発生している代表的損傷を把握することを目的としてクロスプライ積層板 $[0_2/90_4]_S$ の引張試験時における位置標定を実施した。AE 信号発生箇所について SEM による内部損傷の観察を行い、AE 波形の時間一周波数解析結果と内部損傷との相関を把握した。

次に界面剥離・繊維破断・樹脂割れの信号を把握するため、DCB (Double Cantilever Beam) 試験を実施し、AE 波形時間一周波数解析・内部損傷観察をおこなった。

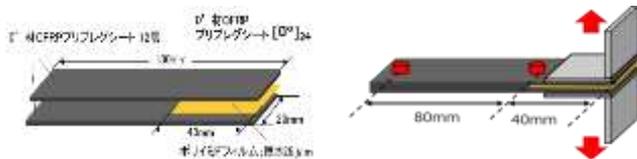


図1 DCB試験 試験片

さらに試験時の AE 波形時間一周波数解析結果に対し、機械学習によるクラスタリング手法 k-means++法を用いて、クラスタリングをおこなった。

最後にクラスタリングされた解析画像をニューラルネットワーク (Alexnet) に学習させ判別モデルを作成した。

3. 結果・考察

クロスプライ試験片の引張試験時の内部損傷観察結果と損傷発生時に計測されたと考えられる AE 波形の時間一周波数解析結果から周波数 600kHz~1000kHz の高周波数帯の波形持続時間の短い AE 信号は炭素繊維に起因する信号であることが明らかになった。

図2には DCB 試験の結果グラフを示す。またこの時

に計測された AE 波形に対し時間一周波数解析を行い、k-means++法でクラスタリングした結果を図3に示す。

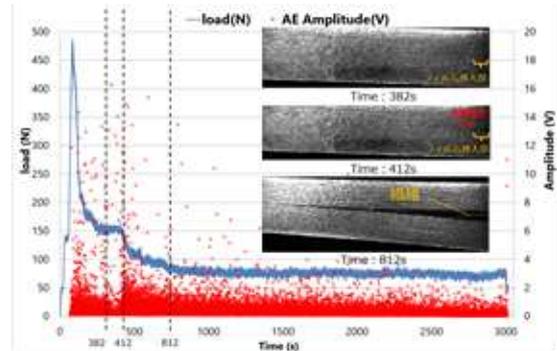


図2 DCB試験 試験結果

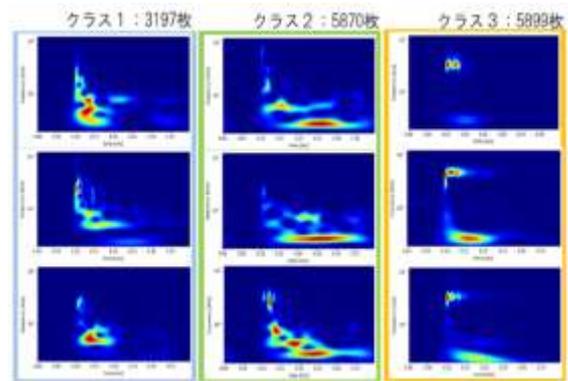


図3 DCB試験 AE波形時間一周波数解析クラスタリング結果

AE 信号発生位置の標定結果および破面観察結果から、クラス1でクラスタリングされた損傷は界面剥離、クラス2でクラスタリングされた損傷は樹脂割れ、クラス3でクラスタリングされた損傷は繊維破断と推定することができた。これら解析画像をニューラルネットワーク (Alexnet) に学習させ判別モデルを作成した。判別モデルの判定結果を図4に示す。

| | | | |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| 真のクラス | クラス1 32枚 | クラス2 58枚 | クラス3 58枚 |
| 判別されたクラス | 23 | 3 | 6 |
| | 5 | 38 | 15 |
| | 9 | 6 | 43 |

図4 判別モデルによる判定結果