

CFRP 積層材の衝撃圧縮特性の解明と有限要素法解析

Evaluation of Impact compressive properties of CFRP laminates and FEM Analysis

○枝川 正輝（日大院） 邊 吾一（日大）
Masaki EDAGAWA, Graduate student of Nihon Univ.
Goichi BEN, Nihon Univ.

1. 緒言

炭素繊維強化複合材料（CFRP：Carbon Fiber Reinforced Plastics）は比強度・比剛性に優れることから、航空・宇宙分野で広く利用されている。今後はその機械的特性の優位性と環境問題の深刻化から、軽量化が急務である自動車・鉄道など輸送機関への利用が考えられている。そこで、CFRP を使用した自動車の衝突安全性確保のための実験と解析¹⁾が行われているが、衝撃時の解析には静的試験から得た材料物性値を用いている。そこで、より正確な解析を行うため衝撃負荷時の材料物性値が必要となってくる。また、CFRP 材の圧縮特性は、引張り特性よりも不確かな部分が多く、完全に明らかとなっていない。著者らはこれまでに、CFRP 積層材の衝撃圧縮特性を明らかにするため、静的及び衝撃圧縮試験²⁾を行ってきた。本報告では、0 度材、90 度材の衝撃試験の実験値から、有限要素法解析を用いて 0/90 度材及び、擬似等方材の圧縮強度が予測可能か検討した。

2. 試験方法

2.1 試験片

試験には、炭素繊維（東レ（株）T700S）一方向プリプレグを積層、硬化させた積層材を用いた。板厚は、0 度材、90 度材及び 0/90 度材で 1.6mm、2.5mm の 2 種類を使用した。0/90 度材の積層構成はそれぞれ $[0_2/90_2]_s$ 、 $[0_3/90_3]_s$ である。試験片形状は幅 12mm、長さ 80mm で、短冊型試験片の両端に同質で各板厚と同厚の CFRP タブを接着した。標点間部は 7mm で、その表裏にはゲージ長さ 1mm のひずみゲージを貼り付け、それらの平均値を圧縮ひずみとして記録した（Fig.1）。

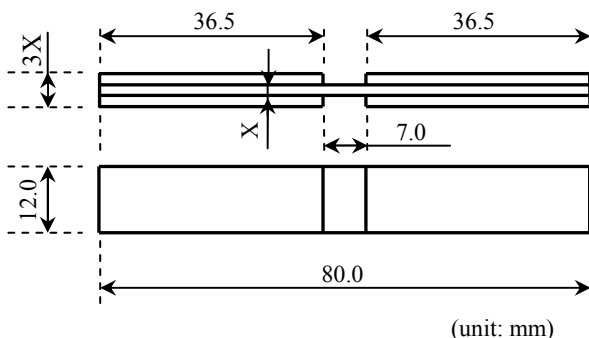


Fig.1 Specimen configuration

2.2 試験装置および試験手順

(1) 静的圧縮試験

試験片のタブ部を完全にチャックではさみ、

Fig.2(a) のように拘束し、それを静的試験治具（Fig.2(b)）内に設置して、島津製作所製オートグラフを用い、試験速度 1mm/min で試験を行った。

(2) 衝撃圧縮試験

衝撃圧縮試験は米倉製作所製の空圧式衝撃試験機を用い、落錘子を高速でチャックに衝突させて衝撃荷重を与えることにより試験を行った。衝撃試験治具（Fig.2(c)）は静的圧縮試験で使用した治具に落錘子が正確にチャックに当たるよう上部にガイドが設けられている。落錘子はスチール製（560g）を使用した。衝撃荷重は試験治具下に設置したロードセルと、高速度カメラ（Vision RESEARCH PhantomV7.1）を用いて測定した。高速度カメラによる衝撃荷重の算出方法は、チャック上部に貼り付けたマークをサンプリングレート 30075pps で撮影し、運動解析ソフト（キーエンス（株）Motion Analyzer）を用いて変位を求め、その変位から差分法で、落錘子が衝突したときのチャック上部の速度、加速度を求め、その加速度から衝撃荷重を求めた。衝撃荷重の計算におけるチャック上部の質量は 345.7g である。また、衝撃試験時の落錘子の試験速度は、チャックから上部 50mm の位置にガイドに取り付けた速度計で計測した。

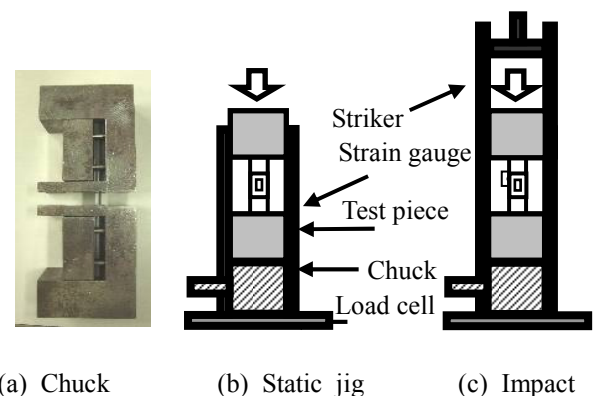


Fig.2 Test jigs

3. PAM-CRASH を用いた有限要素法解析

衝撃解析には、動的陽解法を用いた有限要素法衝撃解析プログラム”PAM-CRASH SOLVER 2006”を使用した。CFRP 試験体は、ラミナ 1 枚 1 枚をモデリングし、積層シェル要素（MAT131 グローバル積層）を用いた。落錘子には、剛体要素（MAT99）を用い、治具にはソリッド要素（MAT1）を用いた。Fig.3 に解析モデルを示す。

落錘子には実験時と同様の落下速度を与え、

560g の質量を与えた。落錘子と治具、治具と試験体の接触には接触タイプ(CONTACT TYPE33)を用い、CFRP 試験体には自己接触(CONTACT TYP36)を定義した。各部の接触に摩擦係数 0.17、ペナルティ係数 0.1 を与え、CFRP の破壊基準は最大応力説を用いた。なお、衝撃荷重は Section Force を用い、落錘子から加わる荷重の反力の合計値を出力した。

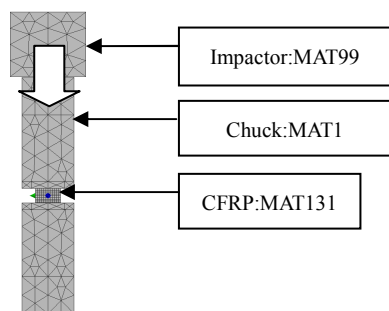


Fig.3 Analytical Model in FEM.

Table1 Material properties of CFRP.

T700SC(#2592)	F_L [MPa]	E_L [GPa]	F_T [MPa]	E_T [GPa]	G_{LT} [GPa]	ν_{LT}
	1531	128	248	14.9	4.4	0.34

4. 衝撃解析と実験結果の比較検討

Table1 に今回衝撃解析に用いた CFRP の材料物性値を示すが、これらの値は 0 度及び 90 度の実験結果である。ただし、せん断弾性率とポアソン比は静的の場合のカタログ値である。

衝撃解析を行った積層板の積層構成は、それぞれ $[(0_2/90_2)_s]$, $[(45/-45)_s]$, $[45/0/-45/90]_s$ である。板厚はいずれも 1.6mm となっている。

0 度材と 90 度材の実験結果を用いて、直交異方性板を再現し、1 枚のラミナを定義した。このラミナの繊維の角度を傾け積層する事により、任意の角度の積層板をモデル化した。

Fig4-1, Fig4-2 では、Table1 より定義したラミナを ± 45 度材、0/90 度材の各種ラミナに対応させ積層し、実験結果と比較した。Fig4-3 も同様に、Table1 より、定義したラミナの角度を任意に変化させ積層する事により、擬似等方材を再現し実験値との比較を行った。

Table2 Experimental Values and Theoretical Values for Compressive properties

		Impact Test		
		Experimental Value	Theoretical Value	Experimental Value Theoretical Value
$[(45/-45)_2]_s$	Compressive	385	417	0.92
$[0_2/90_2]_s$	Strength	697	741	0.94
$[-45/0/45/90]_s$	[MPa]	577	576	1.00

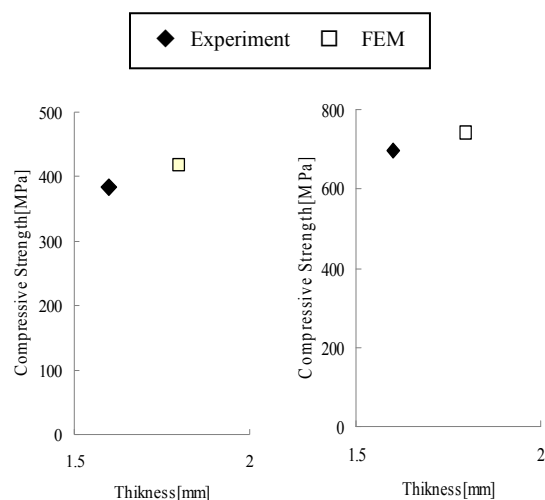


Fig.4-1 ± 45 degree

Fig.4-2 0/90degree

$V=4.785$ m/s

$V=4.594$ m/s

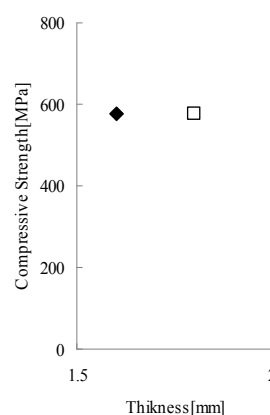


Fig.4-3 45/0/-45/90degree

$V=8.058$ m/s

Fig.4 Comparison of Experiment Results with Results FEM

Table2 に解析結果と実験結果の一覧を示す。Fig.1 に示した ± 45 度材、Fig.4-2 に示した 0/90 度材、Fig4-3 に示した擬似等方材全てにおいて、実験結果と FEM 解析結果が良好な一致を示している事がわかる。

5. 結言

FEM 解析手法により、0 度材及び 90 度材の衝撃試験より得られた、衝撃圧縮強度、衝撃圧縮弾性率を用いて、0/90 度材、 ± 45 度材、擬似等方材の衝撃圧縮強度を精度良く表すことが可能であることを示した。今後は、応力歪み曲線を用いて、実験結果及び解析結果の比較検討が必要である。また、板厚が厚くなった場合の衝撃解析を行っていく。

参考文献

- 1). 邊, 杉本他: 日本複合材料学会誌, 34 巻 6 号 pp, 211-218 (2008)
- 2). 邊, 鈴木「CFRP 積層材の衝撃圧縮特性評価」第 15 回機械材料・材料加工技術講演会講演論文集, pp257-258