

CFRP積層材の衝撃特性の評価と有限要素法解析

日大生産工(院) ○枝川 正輝 日大生産工 坂田 憲泰
日大生産工 邊 吾一

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。著者らはこれまでに、CFRP積層材の衝撃特性を明らかにするため、静的試験及び衝撃試験を行ってきた²⁾。本報告では、これまでの衝撃試験から得られた結果を用いてFEM解析を行い、複雑な積層構成をした積層板の圧縮特性を予測し、実験結果と比較した結果について報告する。

2. 静的及び衝撃圧縮試験

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。また、擬似等方材では1.6mm、3.2mm、±45度材では1.0mm、2.0mmとなっている。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)。

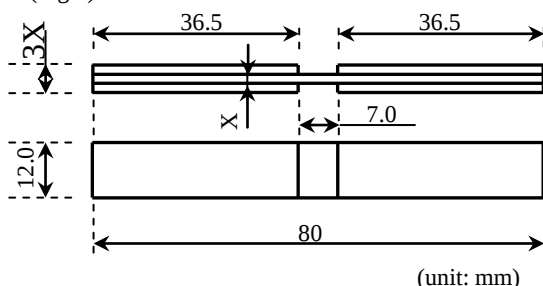


Fig.1 Specimen configuration

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使用し、試験を行った。

試験速度は1mm/minである。

(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 Phantom V7.1)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。

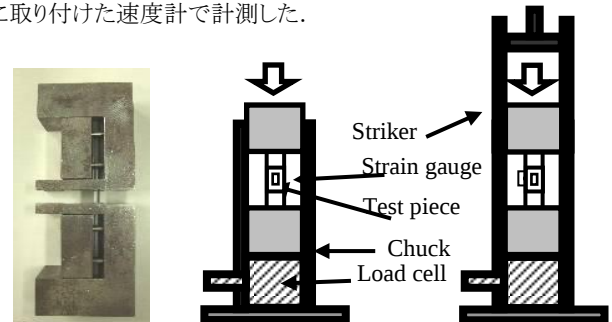


Fig.2 Test jigs

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、剛体シェル要素(MAT100)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、

Evaluation of Impact compressive properties of CFRP laminates and FEM analysis

Masaki EDAGAWA

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。また、標点間部の節点変位を時刻歴出力することにより、平均圧縮ひずみを算出した。本解析ではプリストレスを導入し、初期変位が加わった状態から弾性率を変化させて計算を行い、CFRP材の非線形性を考慮した。

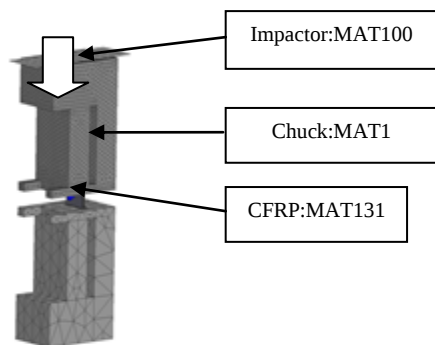


Fig.3 FEM Impact 1/1Model

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。せん断弾性係数 G_{LT} は ± 45 度材の衝撃試験結果より算出した。なお、90度材の弾性率 E_T は実験結果の非線形性を考慮する為、弾性率は E_{T1} と E_{T2} を用いた。ただし、ポアソン比 ν_{LT} 及び密度 ρ は静的の場合のカタログ値を用いた。

衝撃解析を行った積層板の積層構成は、それぞれ $[0_2/90_2]_s$, $[0_3/90_3]_s$, $[45/0/-45/90]_s$, $[-45/0/45/90]_{2s}$ である。板厚はいずれも1.6mm～3.2mmとなっている。

Fig.4に0/90度材, Fig.5に擬似等方材の実験結果と解析結果の応力ひずみ曲線を比較したものを示す。Fig.4の0/90度材では平均圧縮ひずみが0.41%, Fig.5の擬似等方材では平均圧縮ひずみが0.45%の時点から90度材の弾性率を E_{T2} に減少させ計算を行った。解析結果の応力ひずみ曲線は、出力した計算値の近似曲線となっている。Table2には衝撃圧縮弾性率を比較した結果を、Table3には衝撃圧縮強度を比較した結果を示す。

5. 結言

衝撃圧縮試験より得られた0度材、90度材及び ± 45 度材の材料物性値を用いて0/90度材、擬似等方材の衝撃圧縮強度及び衝撃圧縮弾性率を予測した結果、両者は良好な一致を示した。

「参考文献」

- 1) 邊, 杉本他: 日本複合材料学会誌, 第34巻第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, pp.257-258
- 3) T.Yokozeki, T.Ogasawara and T.Ishikawa, Composites PartA, 37, (2006) pp.2069-2079.
- 4) R.M.Guedes, M.F.S.F.de Moura and F.J.Ferreira., Composite Structures, 84(2008) pp.362-368

5) J.Lee and C.Soutis, Composite Science and Technology, Vol. 67(10) (2007) pp.2015-2026

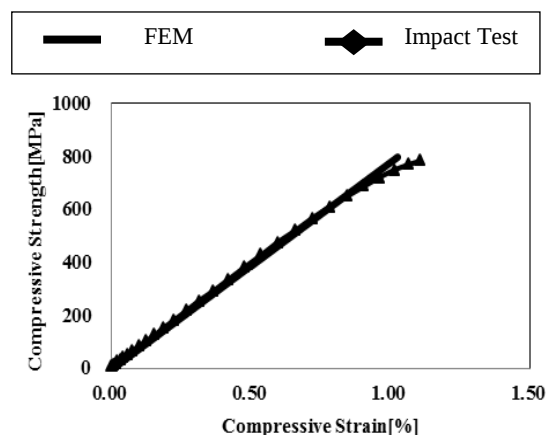


Fig.4 Comparison of stress-strain curves (0/90degree)

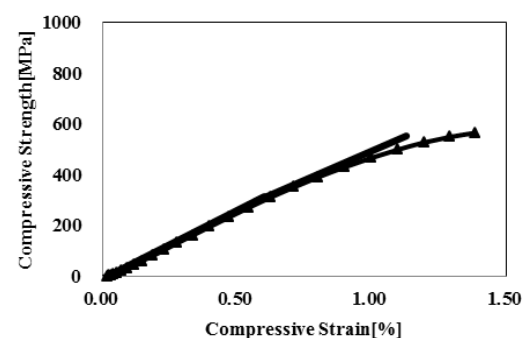


Fig.5 Comparison of stress-strain curves (-45/0/45/90degree)

Table1 Material properties of CFRP.

T700SC	F_L [MPa]	E_L [GPa]	F_T [MPa]	E_{T1} [GPa]	E_{T2} [MPa]	G_{LT} [GPa]	ν_{LT}	ρ [g/cm ³]
(#2592)	1531	142	273	14.4	12.1	2.87	0.34	1.8

Table2 Comparison of Experiment Results with that of FEM (Compressive Modulus).

		Compressive Modulus[GPa]		
		Experimental Value	FEM result	Error
$[0_2/90_2]_s$	Compressive Modulus [GPa]	75.2	78.4	0.960
$[0_3/90_3]_s$		80.4	80.7	0.996
$[-45/0/45/90]_s$		51.9	54.1	0.959
$[-45/0/45/90]_{2s}$		54.3	54.0	1.01

Table3 Comparison of Experiment Results with that of FEM (Compressive Strength).

		Compressive Strength[MPa]		
		Experimental Value	FEM result	Error
$[0_2/90_2]_s$	Compressive Strength [MPa]	638	643	0.992
$[0_3/90_3]_s$		698	747	0.934
$[-45/0/45/90]_s$		577	534	1.08
$[-45/0/45/90]_{2s}$		486	486	1.00