

CFRP 材の静的・衝撃圧縮特性評価

日大生産工 (院) 鈴木 力
日大生産工 (非常勤講師) 金 炯秀
日大生産工 邊 吾一

1. 緒言

近年,自動車および航空機などから放出される温室効果ガスのひとつであるCO₂ガスは地球温暖化の大きな要因であることは良く知られており,様々な分野ではCO₂ガスを減らすための研究が活発に行われている.自動車産業においては,自動車に炭素繊維強化複合材料(Carbon fiber reinforced plastics: CFRP)を用いた軽量化により,燃費を向上させCO₂ガスの削減が期待されている.

CFRP 材を自動車に利用する場合,CFRP 材の衝突安全性を確認する必要がある.著者らは CFRP 材を用いた自動車の衝突解析技術確立のために,自動車の側面衝突時¹⁾および前面衝突時²⁾での実験と解析を行ってきた.ここでの解析には CFRP 材の材料特性値は静的試験から得た材料物性値を用いているが,より信頼性のある衝突解析技術確立するためには,衝撃圧縮荷重を受けた場合の材料特性値を解析に適用することは必要不可欠である.しかし,これまで CFRP 材の衝撃変形時の材料物性値についての研究は実験の困難さのためにあまり行われおらず,明らかとなっていない.

そこで本研究では一方向 CFRP 積層板に対し,静的圧縮試験および衝撃圧縮試験を行い,衝撃圧縮強度および衝撃圧縮弾性率を実験的に明らかにし,CFRP 材の材料特性値が荷重の速度によってどのように変化するか検討した.

2. 圧縮試験方法

2.1 試験片

試験には,炭素繊維(東レ(株) T700S)強化エポキシ樹脂一方向プリプレグを8枚積層硬化させた[0₈]一方向積層板を用いた試験片の形状および寸法は JIS K 7076 に従い作成し,タブには同質の

CFRP 材を使用した (Fig.1) 標点間部は約 7mm で,その表裏にはゲージ長さ 1mm のひずみゲージ貼り付けた.

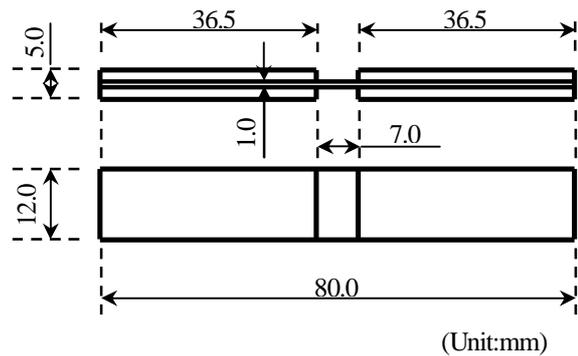


Fig.1 Specimen configuration

2.2 試験装置および試験手順

2.2.1 静的圧縮試験

Fig. 2 に示すように試験片のタブ部を完全に拘束できるチャックではさみ,それを Fig.3(a)に示す静的圧縮治具内に設置し試験を行った.静的圧縮試験は島津製作所製オートグラフを用い,ストローク制御で,試験速度 1mm/min と 25mm/min で試験を行った.

2.2.2 衝撃圧縮試験

衝撃圧縮試験は米倉製作所製の空圧式高速衝撃試験機を使用し,落錘子を高速でチャックに衝突させることにより試験を行った.試験治具は静的試験で使用した治具に落錘子が試験片によくヒットできるようにガイドが設けられている (Fig.3(b)).ここで,落錘子の重さは 560g 程度,落錘子の速度は約 6m/sec と 12m/sec とした.

本研究で使用した圧縮試験装置では圧縮治具と試験片両側のチャック部との間には 0.01mm 以下のクリアランスとなり,試験片の曲げ変形が最小

限に抑えられ、精度の良い圧縮試験が可能となった。試験片両面に接着したひずみゲージと、試験治具下にあるロードセルより、ひずみ・荷重を検知し試験データとした。また、衝撃試験時の落錘子の速度（試験速度）も落錘子のガイドに取り付けた速度計から計測した。

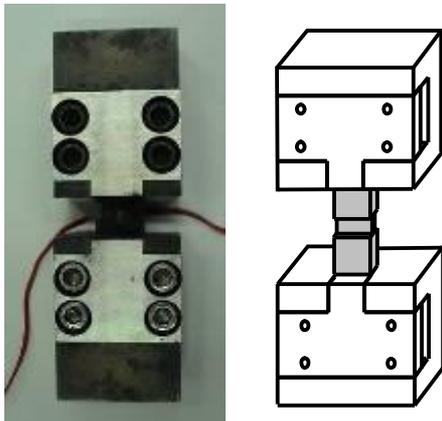


Fig.2 Specimen mounted by chuck

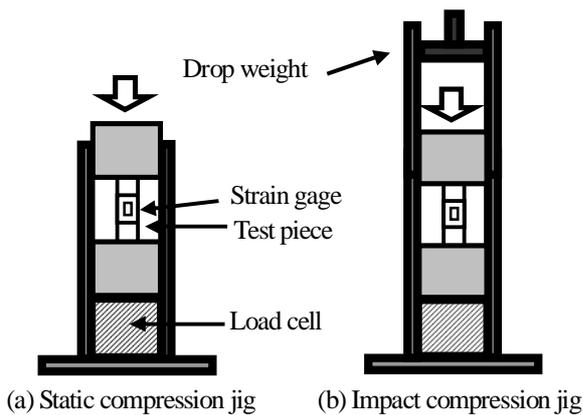


Fig.3 Test jig

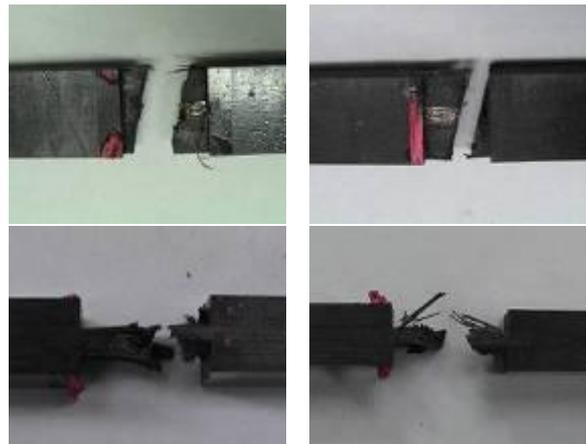
3. 試験結果・考察

3.1 静的圧縮試験結果

試験速度 1mm/min, 25mm/min での静的圧縮試験の試験片破壊様相を Fig.4 に、試験データより得られた応力ひずみ線図を Fig.5 に、試験結果と以前 JAXA で行われた試験結果の報告書³⁾をまとめたものを Table1 に示す。

破壊様相を見てみると、両速度でも標点間で破壊が見られた。タブとの境界での応力集中による破壊も起こらず、正確な圧縮強度が計測できたと言える。応力ひずみ線図を見ても、両速度で表裏のひずみが破断まで離れることなく推移しており、曲げの影響をほとんど受けずに圧縮破壊していることがいえる。

試験結果を比較すると、試験速度 1mm/min, 25mm/min, どちらもほぼ同程度の値となった。また、この試験結果を JAXA での試験結果と比較してみると、圧縮強度はやや高い値となり、圧縮弾性率はほぼ同等の値となった。今回の試験結果と比較しても妥当な結果ということがいえる。これらのことから、今回使用したジグの妥当性を確認し、衝撃圧縮試験を行った。



(a) 1mm/min (b) 25mm/min

Fig.4 Fracture aspect

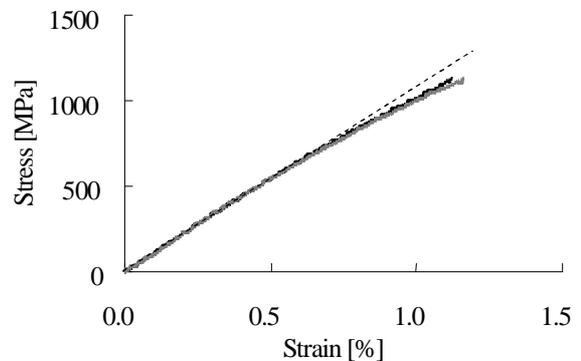


Fig.5 (a) Stress-Strain curve (1mm/min)

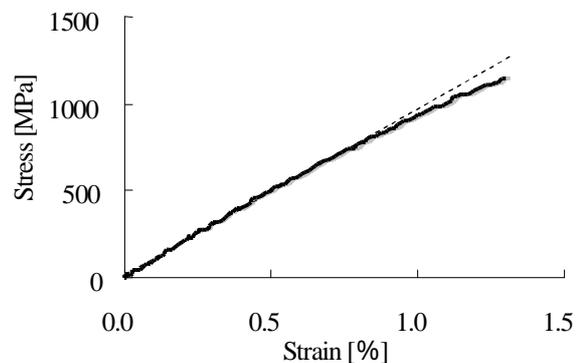


Fig.5 (b) Stress-Strain curve (25mm/min)

Table1 Result of static compression test

	Stroke 1mm/min	Stroke 25mm/min	JAXA 1mm/min
Compression Strength [MPa]	1178	1155	1097
Compression Modulus [GPa]	110	106	116
Maximum Strain [%]	1.28	1.31	0.71

3.2 衝撃圧縮試験結果

試験速度 6m/sec, 12m/sec での衝撃圧縮試験の試験片破壊様相を Fig.6 に、試験データより得られた時間による荷重と、ひずみの変化を示す図を Fig.7 に、両表面のひずみより算出した圧縮ひずみと曲げひずみによる応力ひずみ線図を Fig.8 に、試験結果と以前 JAXA で行われた試験結果の報告書³⁾のデータを Table2 に示す。

6m/sec の破壊様相を見ると、タブとの境界で破壊しており、応力集中が発生して破壊に至っている。このため正確な強度はもう少し大きな値であると考えられる。12m/sec の破壊様相をみると、標点間部が完全につぶれてなくなっている。これは落錘子のエネルギーが大きすぎて、試験片の断面積が小さいため、試験片標点間部内で荷重を支えきれないと考えられる。時間による荷重とひずみの変化を見ると、やや表裏でひずみの値は違うものの、荷重とのピークはほぼ同じ時間を示している。圧縮ひずみと、曲げひずみの応力ひずみ線図を見ると、曲げひずみは最大で圧縮ひずみの10%程度となったが試験片はほぼ圧縮で破壊したと考えられる。

試験結果を見ると、6m/sec では強度・弾性率ともに平均値と比較すると約1割程度のバラつきが見られた。落錘子の速度が必ずしも6m/sec ではないことや、衝撃試験のため試験結果のバラつきはある程度考えられるが、今後より多数の試験が必要と言える。12m/sec では落錘子のエネルギーが大きすぎるため、強度は小さい値となった。ひずみについては、計測する直前に衝撃によりひずみゲージが剥れたため計測できなかった。ひずみゲ

ージを貼るときに使用している接着剤をよりやわらかいタイプを使用していく必要がある。試験装置が違うため直接の比較は出来ないが、JAXA での5m/sec の衝撃圧縮試験でも12m/sec と同様のことが起こり、強度の値がかなり小さくなったと考えられる。今後、6m/sec 以上の試験を行うには、断面積を大きくするか、落錘子を軽くするなどして、単位面積当たりのエネルギーを小さくする必要がある。

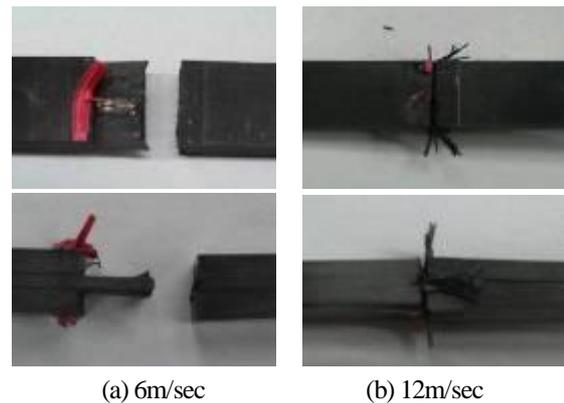


Fig.6 Fracture aspect

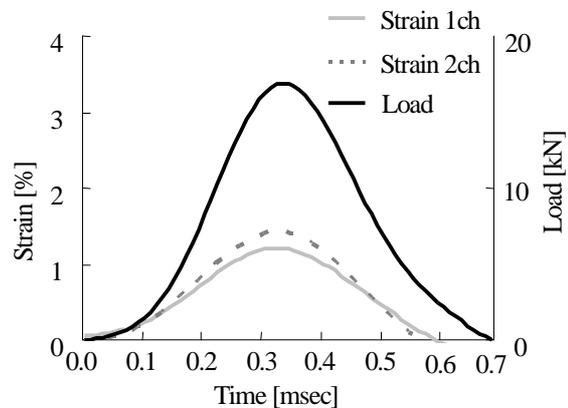


Fig.7 Change of strain and load at time

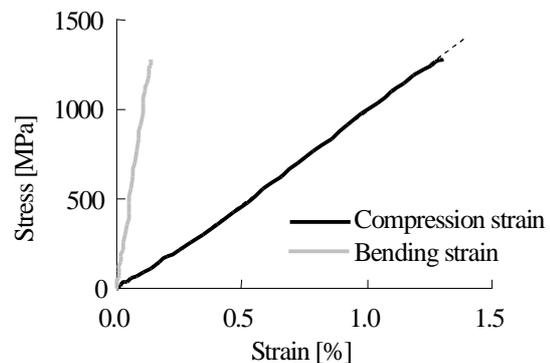


Fig.8 Stress-Strain curve

Table2 Result of impact compression test

	Drop speed 6m/sec	Drop speed 12m/sec	JAXA 5m/sec
Compression Strength [MPa]	1443	480	589
Compression Modulus [GPa]	112		
Maximum Strain [%]	1.31		

3.3 圧縮試験速度と圧縮特性の関係

静的・衝撃圧縮試験から得られた試験速度に対しての圧縮強度を Fig.9 に、圧縮弾性率を Fig.10 に、圧縮破断ひずみを Fig.11 にそれぞれ示す。

圧縮強度は1mm/minと25mm/minではほぼ同程度だったが、試験速度約6m/secでは圧縮強度の増加がやや認められた。12m/secの試験結果は明らかに破壊の様子が違うため正確な試験が出来ていないと考えられる。また、圧縮弾性率・圧縮破断ひずみについては試験速度に依存せずほぼ同程度の値を示した。

現在、3種類の試験速度で試験を行ったが、材料物性値の衝撃速度への依存性について結論付けるまでは十分ではない。今後、試験速度を変化させ試験を行い、データ数を増やさなければならない。また、積層構成を変え場合には違う結果が得られると考えられるため、他の積層構成について調べていく予定である。

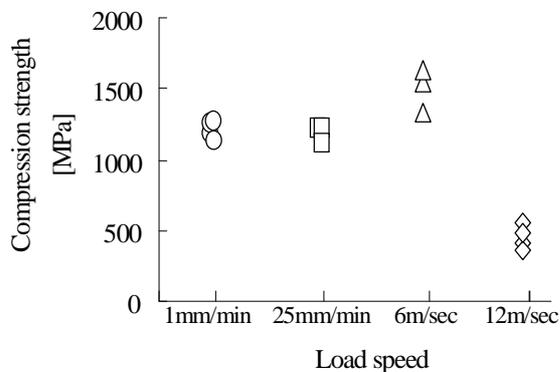


Fig.9 Impact speed to compression strength

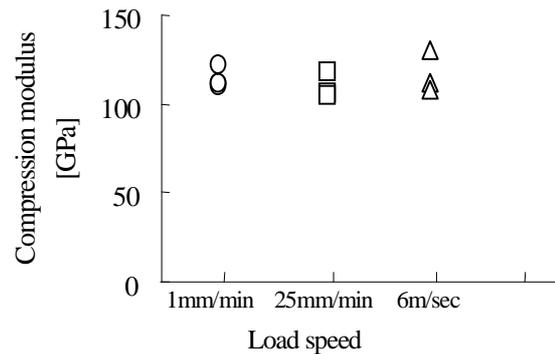


Fig.10 Impact speed to compression modulus

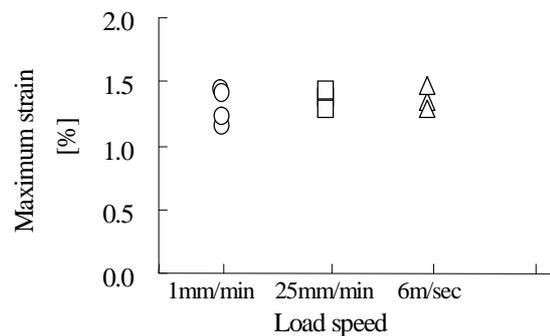


Fig.11 Impact speed to maximum strain

4. 結言

1. 一方向 CFRP 材の静的・衝撃圧縮試験を行った結果、圧縮強度における負荷速度への依存性は認められた。圧縮弾性率・圧縮破断ひずみについては試験速度によらずほぼ同程度の値を示した。
2. 衝撃圧縮試験において 6m/sec 以上の速度を行う場合、落錘子の質量を小さくするか、試験片の断面積を大きくする必要がある。

本研究は NEDO による「自動車軽量化炭素繊維複合材料の開発」プログラムの一部として実施された。また、試験体を提供してくれた東レ株式に感謝の意を表す。

参考文献

1. 邊, 杉本, 飯塚「自動車の側面衝突用 CFRP/Al ハイブリッド材の開発と衝撃特性」日本複合材料学会 2006 年度研究発表講演会予稿集, pp37-38
2. 金, 邊, 青木「自動車のフロントサイドメンバ用 CFRP 角柱の衝撃応答挙動」日本複合材料学会 2006 年度研究発表講演会予稿集, pp35-36
3. JAXA 報告書(発行番号 ACE-TR04-071)「CFRP 積層材の衝撃圧縮特性の測定」