

自動車のフロントサイドメンバ用に開発された CFRP 角柱の衝撃応答挙動

日大生産工（非常勤講師） ○金 炯秀
日大生産工 邊 吾一

1. まえがき

自動車や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いて、CO₂ ガスを減らすための努力は様々な産業において活発に行われている。自動車産業においては、CO₂ ガスを減らすもっとも有効な方法として自動車の燃費を向上させることが挙げられる。自動車の燃費を向上させるためには色々な方法が考えられるが、もっとも有効的なアプローチとしては比強度・比剛性に優れている炭素繊維強化複合材料（Carbon fiber reinforced plastics : CFRP）といった軽量材料を用いた自動車の軽量化であろう。

著者ら¹⁾は従来の自動車ドア部のスチール製サイドインパクトビームの代用品として CFRP 薄肉ベルトを開発し、落錘衝撃試験および有限要素解析を行い衝撃応答挙動について明らかにし、その有用性について検討した。

本研究では、自動車の前面衝突時衝撃吸収部材として長方形 CFRP 角柱を開発し、衝撃吸収部材としての有用性を明らかにするために落錘衝撃試験を行った。また、有限要素ソルバー LS-DYNA²⁾を用いて衝撃応答解析を行い、落錘衝撃試験結果との比較検討も行った。

2. 落錘衝撃試験

2.1 試験体

一方向配向炭素繊維プリプレグ（東レ(株)製 P3052s-20、マトリックス樹脂：エポキシ）を用いてシートワインド法により長方形 CFRP 角柱を製作した。試験体のメイン部分の積層構成は [(0/90)₆/0]_s とした。また、補強部分の場合は 0° 方向繊維のみとなっている。試験片の先端には安定的な衝撃破壊挙動を得るために角度 45° のテーパ加工を施した。試験体の形状および寸法を図 1 に示す。

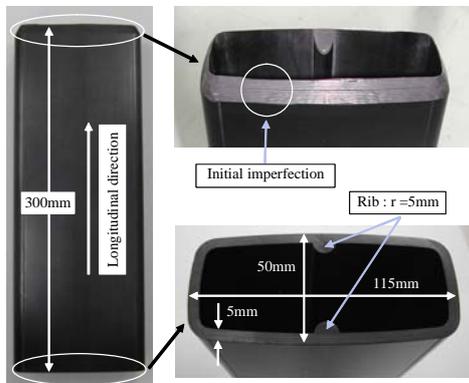
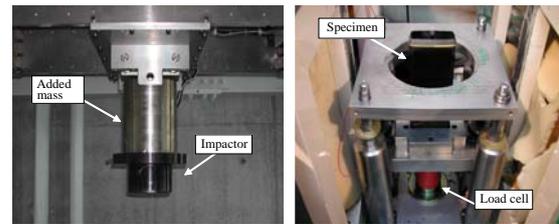


Fig. 1 Configuration of the rectangular CFRP tube

2.2 試験方法

落錘衝撃試験は高さ 12m（衝突スピード：約 55km/h）で質量 105kg の落錘体を自由落下させることにより行った。衝撃荷重はロードセルを試験体の下に取付けて計測した。また、高速度カメラにより落錘体の変位と衝撃圧縮破壊プロセスも観察した。図 2 に落錘体の形状と装着された試験体の様子を示す。



(a) impactor (b) mounted specimen

Fig. 2 Tower drop impact test setup

3. 有限要素法による解析

衝撃実験結果と比較のために有限要素ソルバー LS-DYNA (Ver.970、LSTC 社)を用い解析を行った。また、シェル要素を使用しモデルを作成した。有限要素モデルの詳細を図 3 に示す。モデルの先端は安定的な衝撃破壊挙動を得るために厚さを線形的に変化させた方法を導入した。厚さ一定のモデルと厚さを変化させたモデルの衝撃応答挙動を比較したものを図 4 に示す。初期衝撃荷重値を比較すると、厚さ一定のモデルが厚さを変化させたモデルより約 2 倍程度高い。また、破壊過程での衝撃荷重では厚さ一定のモデルの方が低くなっている。厚さを変化させたモデルの方がより実験での衝撃応答挙動に近い傾向を示したので、この方法を導入した。また、補強部のモデル化はその面積を考慮し、モデルの厚さを厚くし（補強部の厚さ：8.9mm）、さらに積層構成を調整することで行った。

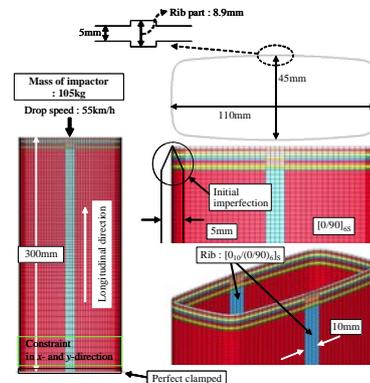


Fig. 3 Details of the finite element model

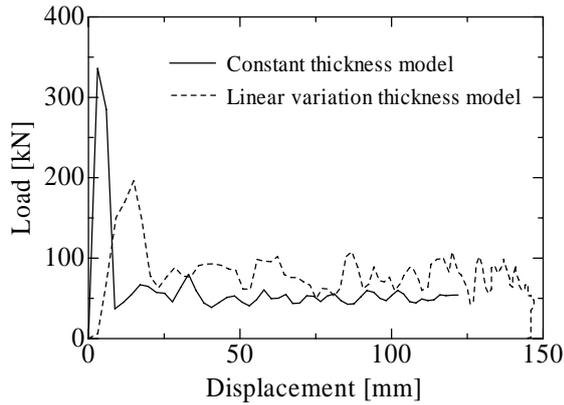


Fig. 4 Comparison of constant and linear variation of thickness models

モデルの積層構成はメインおよび補強部それぞれ $[(0/90)_6/0]_S$ と $[0_{10}/(0/90)_6/0]_S$ である。接触条件は落錘体と試験体の間には面一面接触条件を、試験体には自己接触条件を与えた。また、モデルの試験体には、Chang-Chang 破損側³⁾を用い衝突時の破壊進展過程をシミュレートした。解析に用いた材料定数を表 1 に示す。

Table 1 Material properties of rectangular CFRP tube used in the FE analysis

Longitudinal Young's modulus	E_a	140.0 GPa
Transverse Young's modulus	E_b	9.0 GPa
Minor Poisson's ratio	ν_{ba}	0.0219
Shear Modulus in plane (ab)	G_{ab}	4.0 GPa
Shear Modulus in plane (bc)	G_{bc}	2.0 GPa
Longitudinal tensile strength	X_T	2.6 GPa
Longitudinal compressive strength	X_C	1.5 GPa
Transverse tensile strength	Y_T	0.07 GPa
Transverse compressive strength	Y_C	0.05 GPa
Shear strength in plane (ab)	S_C	0.09 GPa

4. 結果および考察

図 5 に衝撃破壊後の試験体の様子を示す。図からは安定的な衝撃破壊進展挙動を示していることが分かる。図示していないが、実際の高速度カメラの映像からも確認できた。破壊の様子を見ると、破壊の大半は外側に向けて進展しているが、内側にも破片が詰まっていることが分かる。

数値解析と衝撃試験を比較した結果を図 6 に示す。また、最大衝撃荷重、逐次圧縮破壊された変位および衝撃荷重-変位線図から求めた吸収エネルギーを要約したものを表 2 に示す。本研究の衝撃実験では破壊された変位 128mm に対して 11.7kJ のエネルギーが吸収された。

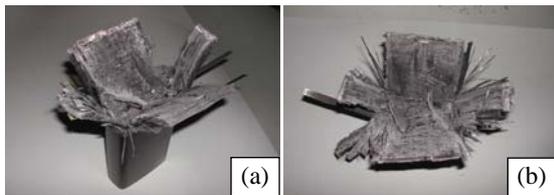


Fig. 5 Photographs of impact tested rectangular CFRP tube: (a) isometric view; (b) top view

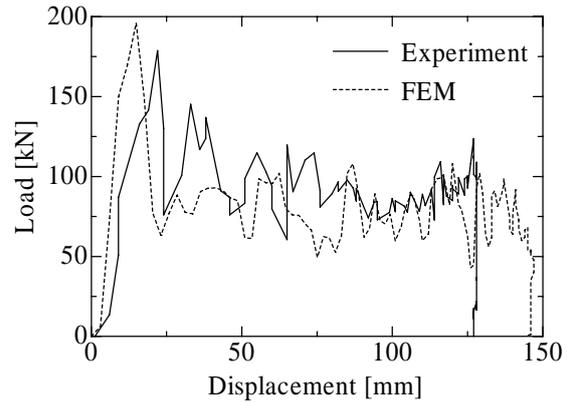


Fig. 6 Comparison of experimental and predicted load-displacement curves

自動車の前面衝突時衝撃吸収部材として目標とされる吸収エネルギーが破壊変位 300mm に対して約 18kJ であるので、長方形 CFRP 角柱の前面衝突時衝撃吸収部材としての有用性が確認できた。また、衝撃応答解析では、最大衝撃荷重と圧縮破壊された最大変位では少々差があるものの、吸収されたエネルギーについては良い一致を示した。今後、解析は補強部の形状をより試験体に近いモデルで行う予定である。

Table 2 Comparison between the experimental and FEM results of the rectangular CFRP tubes

	EXP	FEM
Maximum load [kN]	179	196
Final displacement [mm]	128	146
Absorbed energy [kJ]	11.7	11.8

5. まとめ

本研究では、自動車の前面衝突時衝撃吸収部材として長方形 CFRP 角柱を開発し、衝撃吸収部材としての有用性を明らかにするために落錘衝撃試験を行った。また、有限要素ソルバー LS-DYNA を用いて衝撃応答挙動および吸収されたエネルギーの予測を行い、以下の知見を得た。

- 1) 長方形 CFRP 角柱の前面衝突時衝撃吸収部材としての有用性が確認できた。
- 2) 衝撃応答解析では、最大衝撃荷重と圧縮破壊された最大変位に少々差があるものの、吸収エネルギーについては定量的に良い一致を示した。

「参考文献」

- 1) 邊, 卯沢, 金, 青木, 三石, 北野, CFRP 薄肉ベルトの衝撃応答挙動とその強度, 日本機械学会論文集 (A 編), 70 巻 694 号, (2004), pp.824~829.
- 2) LS-DYNA 970 Manuals, LSTC Co. (2003)
- 3) F.K. Chang and K.Y. Chang, "A Progressive Damage Model for Laminated Composites Containing Stress Concentration", J. of Composite Materials, Vol. 21, (1987), pp.809~833.