

高強度ガラス繊維を用いた FW 円筒のエネルギー吸収特性

日大生産(院)	○川口 優	日大生産 坂田 憲泰
日大生産 平山 紀夫		日大・理工 青木 義男
日大・理工(院)	加藤 優作	日大・理工(院) 村田 聖憲
		日東紡(株) 佐野 一教

1 まえがき

近年、自動車業界では環境問題、エネルギー問題を背景に燃費の向上が急務となっており、繊維強化プラスチック (FRP) による車体の軽量化が検討されている。FRP 円筒は軸方向に動的圧縮荷重を負荷すると連続脆性破壊を起こすため、優れたエネルギー吸収特性を示す。そのため、FRP 円筒を自動車の衝撃吸収部材に適用する研究が行なわれてきた^{1~4)}。FRP の代表的な強化繊維には炭素繊維とガラス繊維がある。炭素繊維は軽量で弾性率と強度が高いが、自動車への適用を考えた場合、生産量と価格が課題となる。一方、ガラス繊維は生産量が多く、炭素繊維と比較すると安価である。また、ひずみ速度が大きくなるにつれて、弾性率と強度が高くなることが報告されている^{5,6)}。さらに、近年では従来のガラス繊維の組成を変えることで価格を抑えながら弾性率と強度を向上させた高強度ガラス繊維 (HME ガラス繊維⁷⁾) が開発された。本研究では、安価で優れたエネルギー吸収特性を有するクラッシュボックスの開発を目的とし、強化繊維に HME ガラス繊維を用いてフィラメントワインディング法で GFRP 円筒を成形し、落錐衝撃試験でエネルギー吸収特性の評価を行った。さらに、破壊進行時の荷重安定化を目的に、最外層を 90°巻き層とした GFRP 円筒を成形し、その効果を確認した結果について報告する。

2 使用材料および成形方法

繊維には表 1 の HME ガラス繊維(日東紡(株))と、比較のために汎用ガラス繊維である E ガラス繊維(日東紡(株))と炭素繊維(T700SC, 東レ(株))を用いた。HME ガラスでは機械的特性と生産性を向上させるために、SiO₂, Al₂O₃, CaO の成分が調整されている⁷⁾。供試体の成形

にはフィラメントワインディング (FW) 法を用いた。外径 100mm のマンドレルにエポキシ樹脂(ナガセケムテックス(株))を含浸させた繊維を張力 2kg で所定の巻き角度となるように 2 層巻き付け、85°C × 4 時間の条件で硬化させた。成形後は供試体の長さが 135mm になるように旋盤で切断した。供試体の巻き角度は ±30°, ±45°, ±60°, ±75°, 90° の 5 通りで、供試体本数は各 3 本とした。以降、HME ガラス繊維を用いて成形した供試体を H-GFRP, E ガラス繊維を用いたものを E-GFRP, 炭素繊維を用いたものを CFRP と呼ぶ。

表 1 強化繊維の機械的特性⁸⁾

HME ガラス繊維	E ガラス繊維	T700SC
密度(g/cm ³)	2.6	2.6
引張弾性率(GPa)	91	80
引張強度(MPa)	3180	2440
破断ひずみ(%)	5.9	4.8
		2.1

3 実験方法

実験には落錐衝撃試験機を用いた。供試体の上に平板タイプの治具を乗せ、下部 30mm を内径 102mm のブラケットで固定し、質量 200kg の落錐子を高さ 2.46m から自由落下させた。供試体への衝突速度は約 25km/h である。衝撃荷重は供試体の下に設置したロードセルによって計測し、変位は高速度カメラ(株)ナックイメージテクノロジー、MEMRECAM HX-7S)で撮影した動画を画像解析することによって計測した。エネルギー吸収特性の評価には単位質量当たりのエネルギー吸収量である比エネルギー吸収量(Es)を用い、変位 70mm までの荷重-変位曲線の面積を供試体の質量で除すことによって算出した。

Energy absorption properties of FW cylinder using high strength glass fiber

Tasuku KAWAGUCHI, Kazuhiro SAKATA, Norio HIRAYAMA, Yoshio AOKI,
Yusaku KATO, Kiyonori MURATA and Kazunori SANO

4 実験結果及び考察

比エネルギー吸収量 (E_s) が最も高くなつたのは $\pm 60^\circ$ 材で、H-GFRP (18.4kJ/kg) の E_s は CFRP (18.9kJ/kg) と同等の値を示した⁸⁾。また、いずれの供試体も逐次破壊となつた。

$\pm 45^\circ$ 材においても、H-GFRP と CFRP の E_s は概ね同じ値を示した。しかし、図 1 に示すように、CFRP では安定した荷重で破壊が進行したのに対し、H-GFRP と E-GFRP では荷重振幅が大きくなつた。これは、CFRP では逐次破壊となつたのに対し、H-GFRP と E-GFRP では面外変形を伴う破壊になつたことが原因と考えられる。クラッシュボックスでは、衝突時に安定した荷重で破壊が進行することが要求される。そのため、次に 1 層目を $\pm 45^\circ$ 巻き、2 層目を 90° 巻きした E-GFRP (以降、 $45^\circ/90^\circ$) を成形し、 90° 巻きによる面外変形抑制効果の確認を行つた。落錐子衝突直後の $\pm 45^\circ$ 材と $45^\circ/90^\circ$ 材の比較を図 2 に示すが、 $45^\circ/90^\circ$ 材では逐次破壊となつてゐることが確認できる。また、荷重-変位曲線を図 3 に示すように、 $45^\circ/90^\circ$ 材の荷重立ち上がりは $\pm 45^\circ$ 材の約 2 倍となり、破壊進行時の荷重振幅も安定したことが確認できる。また、 $\pm 45^\circ$ 材の E_s が 11.7kJ/kg だったの対し、 $45^\circ/90^\circ$ 材では 14.2kJ/kg となり 18% 向上した。

5 まとめ

本研究では、安価で優れたエネルギー吸収特性を有するクラッシュボックスの開発を目的に、新しく開発された高強度ガラス繊維 (HME ガラス繊維) を用いて FW 円筒を成形し、落錐衝撃試を行つた結果、以下の結論を得た。

- 1) $\pm 60^\circ$ 材と $\pm 45^\circ$ 材の H-GFRP の比エネルギー吸収量は、CFRP と概ね同じ値となり、HME ガラス繊維の優れたエネルギー吸収特性を確認することができた。
- 2) GFRP 円筒における破壊進行時の面外変形は、最外層に 90° 層を巻くことで抑制できることを確認することができた。

「参考文献」

- 1) 中谷有、三石洋之、濱田泰以、自動車研究所所報、Vol.20, No.1(1998)p.38-43
- 2) H. Hamada, S. Ramakrishna, H. Satoh, *Composites*, Vol.26, No.11(1995)p.749-755
- 3) 邁吾一、濱田泰以、八角恭介、青木義男、仲井浅見、金炳秀、杉本直、陽玉球、日本複合材料学会誌、Vol.33, No.2(2007)p.41-47
- 4) A.G. Mamalis, D.E. Manolakos, M.B. Ioannidis, D.P. Papastolou, *Composite Structures*,

Vol.63(2004), 347-360

- 5) 谷口憲彦、荒尾与史彦、西脇剛史、平山紀夫、中村幸一、川田宏之、日本複合材料学会誌、Vol.38, No.4(2012)p.137-143
- 6) 井上直紀、谷口憲彦、西脇剛史、平山紀夫、中村幸一、荒尾与史彦、川田宏之、日本機械学会論文集 (A 編), 78 卷, 793 号(2012)p.1284-1299
- 7) 小野寺雄哉、相澤恒史、山田誠司、強化プラスチックス、Vol.63, No.3(2017)p.24-27
- 8) 坂田憲泰、平山紀夫、青木義男、瓦口翔馬、加藤優作、佐野一教、相澤恒史、山田誠司、強化プラスチックス、Vol.64, No.5(2018)p.18-23

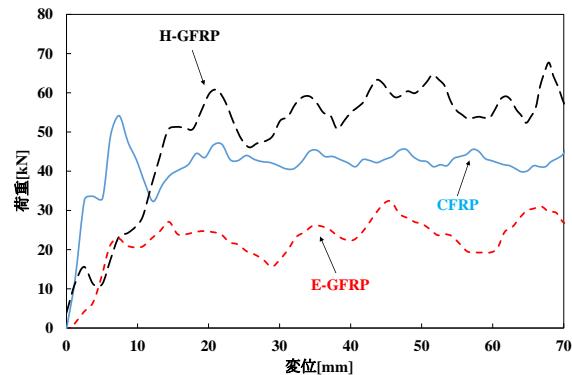
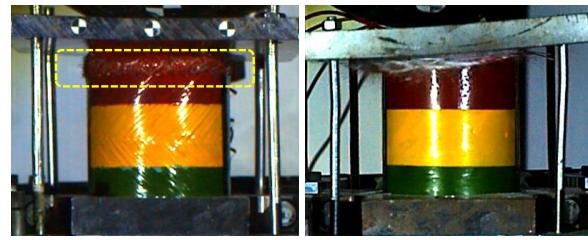


図 1 $\pm 45^\circ$ 材の荷重-変位曲線



(a) $\pm 45^\circ$ 材 (b) $45^\circ/90^\circ$ 材

図 2 破壊モードの比較

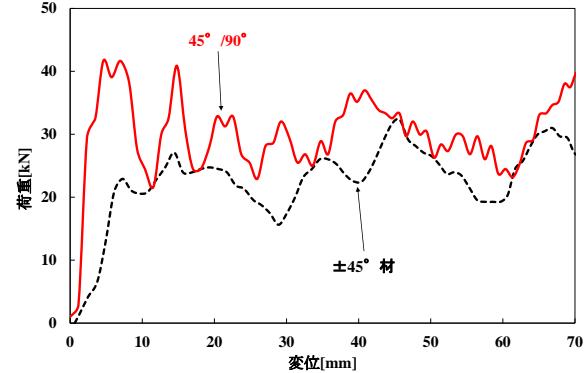


図 3 $\pm 45^\circ$ 材と $45^\circ/90^\circ$ 材の荷重-変位曲線