

# 高靱性エポキシ樹脂を用いた FRP 円筒の横圧縮特性

日大生産工(院) ○外島 亘      日大生産工 坂田 憲泰  
日大生産工 平山 紀夫

## 1. 緒言

近年、環境問題の解決に向けて自動車業界では車体の軽量化が課題となっている。繊維強化プラスチック（FRP）は金属材料と比較して比強度、比剛性に優れているため、自動車の構造部材への適用が検討されている。また、FRPは高いエネルギー吸収特性を有しているため、衝撃吸収部材としても注目されており、FRP円筒をクラッシュボックスに適用する研究が行われている。自動車事故は大別すると、前面衝突と側面衝突に分けられ、欧米ではポール側面衝突に対する安全性が注目されている<sup>1)</sup>。FRP円筒を側面衝突時の衝撃吸収部材に適用するには横圧縮特性が重要となり、平井らは横荷重が負荷されたFRP円筒の変形挙動や衝撃吸収性などについて明らかにしている<sup>2~5)</sup>。著者らはフィラメントワインディング（FW）製FRP円筒のマトリックスの破壊靱性値が静的横圧縮試験におけるエネルギー吸収量に与える影響について明らかにした<sup>6)</sup>。本研究では、FRP円筒を側面衝突用衝撃吸収部材に適用することを目的に、強化材がFW製FRP円筒の横圧縮特性に及ぼす影響について調査した結果について報告する。

## 2. 使用材料及び供試体

強化材には炭素繊維（T700SC-24K-50C，東レ）とEガラス繊維（RS110QL-520AS，日東紡）を用いた。炭素繊維とガラス繊維の材料物性値の公表値をTable 1に示す。マトリックスには高靱性エポキシ樹脂（ナガセケムテックス）を用いた。高靱性エポキシ樹脂は一般的に用いられてきた汎用エポキシ樹脂に改良を加え、靱性を高くしたものである。なお、本報告では汎用エポキシ樹脂をN-EPと呼び、高靱性エポキシ樹脂をT-EPと呼ぶ。T-EPの破壊靱性値（ $K_{IC}$ ）のカタログ値はN-EPの約2.9倍となっている。T-EPとN-EPの樹脂板の引張試験における応力-ひずみ線図をFig.1に示す。N-EPとT-EPのヤング率の平均値はそれぞれ4.12 GPaと3.10 GPaとなっている。N-EPの応力ひずみ線図は、破断まで線形的に推移し、引張強さの平均値は66.5 MPaとなった。一方、T-EPではひずみが5%に達しても破断しなかったため、破断までの線図を得ることができなかった。T-

EPの5%までの最大応力の平均値は69.8 MPaで、N-EPと概ね同じ値であった。FRP円筒の成形にはFW装置を用い、外径25 mmのマンドレル上に約15 Nの張力を掛けたロービングをフープ巻きした。供試体の幅は15 mmとし、板厚はJIS K 6911を参考に5 mmとした。

Table1 Material properties of carbon and glass fibers <sup>7,8)</sup>

	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Failure strain (%)
Carbon fiber	1.8	230	4900	2.1
Glass fiber	2.6	80	2440	4.8

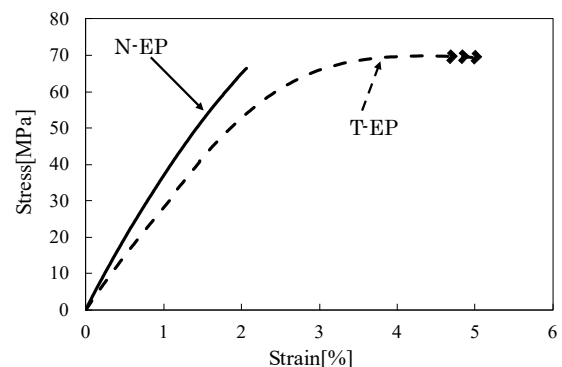


Fig.1 Stress-strain curves of N-EP and T-EP

## 3. 実験方法

静的横圧縮試験には万能試験機を用い、Fig.2に示すように供試体を上板と下板で挟み、上板を速度1 mm/minで降下させることで横圧縮負荷を与えた。エネルギー吸収量 $E_a$ は荷重-変位線図の面積より次式を用いて算出した。

$$E_a = \int P du \quad (1)$$

ここで、 $P$ は荷重、 $u$ は変位を示し、積分範囲は0～15 mmとした。試験本数は各3本である。

## 4. 実験結果と考察

代表的な荷重-変位線図を Fig.3 に、エネルギー吸収量の比較を Fig.4 に示す。また、CFRP 円筒、GFRP 円筒の各変位における破壊形態を Fig.5 と Fig.6 に示す。GFRP のエネルギー吸収量は 57.1 J となり、CFRP と比較して 41%大きい値となった。いずれの供試体も荷重

Lateral Compression Characteristics of FRP Cylinder  
Using High Toughness Epoxy Resin

Wataru TOSHIMA, Kazuhiro SAKATA and Norio HIRAYAMA

負荷直後は線形的に荷重が増加し、変位 1～2 mm 近傍で低下する挙動を示したが、これは Fig.5(a)と Fig.6(a)に示すように供試体に層間はく離が生じたためである。CFRP 円筒、GFRP 円筒ともに変位 3 mm 以降は安定した荷重で推移したが、CFRP 円筒の荷重は変位 6 mm 付近から低下した。これは Fig.5(b)に示すように、供試体にき裂が生じたことが原因であると考えられる。一方、GFRP 円筒では変位 0～13 mm の間で大きなき裂の発生は確認できず、変位 13 mm を超えたあたりから荷重が低下した。

## 5. 結言

強化繊維が FRP 円筒の横圧縮特性に与える影響を調査するために、CFRP 円筒と GFRP 円筒の静的横圧縮試験を行った結果、GFRP 円筒のエネルギー吸収量は CFRP 円筒より大きくなることが確認できた。

## 参考文献

- 1) 細川, 米澤, 谷口: 車両同士の側面衝突時の乗員保護に関する研究, 自動車安全研究領域, (2005)
- 2) 平井, 片山, 濱田, 村田: 極異方性を考慮した FW 円筒の横圧縮に関する研究, 材料, 34, 377, (1984), pp.16-21.
- 3) 平井, 横山, 村田: 横圧縮荷重を受ける FW 円筒の変形挙動に関する研究, 材料, 35, 391, (1985), pp.26-32.
- 4) 平井, 横山, 村田, 武藤: FW 円筒の衝撃横圧縮荷重下における破壊荷重に関する研究, 材料, 35, 392, (1985), pp.51-56.
- 5) 平井, 今井田, 片山, 小林: FW リングの横圧縮による衝撃吸収について, 材料, 39, 438, (1989), pp.20-26.
- 6) 外島亘, 坂田憲泰, 平山紀夫: マトリックスが FW 円筒の横圧縮特性に及ぼす影響, 日本設計工学会春季研究発表講演会, pp.171-172.
- 7) Torayca T700SC date sheet, Technical data sheet No.CFA-005
- 8) 坂田, 平山, 青木, 瓦口, 加藤, 佐野, 相沢, 山田: 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, 強化プラスチック, 64, 5, (2018), pp.212-217,

## 謝 辞

末筆ながら、本研究の遂行にご協力とご助言をいただいたナガセテムテックス株式会社の高馬俊浩様と若松洋輔様に深く感謝の意を表します。

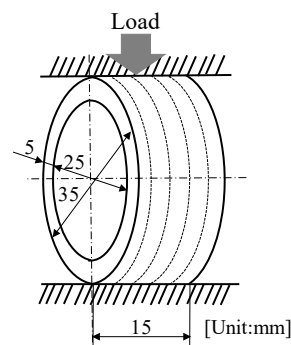


Fig.2 Specimen in universal testing machine

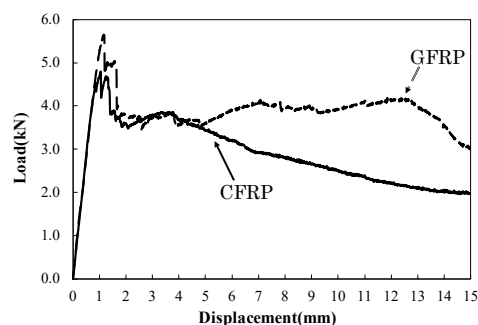


Fig.3 Relationship between load and displacement

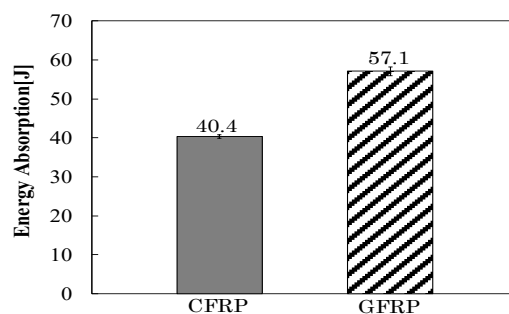


Fig.4 Comparison of energy absorption values

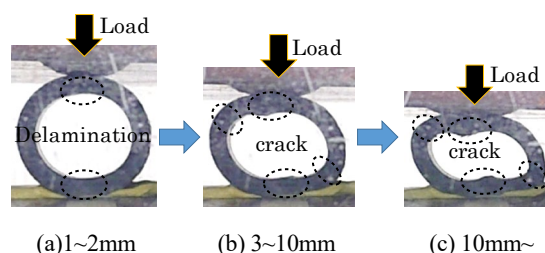


Fig.5 Failure mode of CFRP

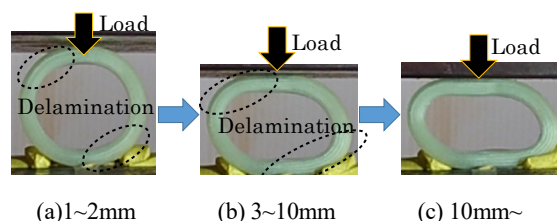


Fig.6 Failure mode of GFRP