

横衝撃荷重を受ける CFRP 円筒とアルミニウム合金円筒の エネルギー吸収特性の比較

日大生産工(院) ○山本麻斗 日大生産工 坂田憲泰
日大・理工 大塚賢哉 日大・理工 青木義男 日大生産工 平山紀夫

1. 緒言

近年、深刻化している環境問題を解決するために、自動車では二酸化炭素排出量の削減が求められている。そして、死亡事故の割合が高い側面衝突事故に対して、日本でもポール衝突試験¹⁾が導入されるなど、安全性に要求されるレベルも年々高くなっていることから、軽量で高強度な材料である炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の適用が検討されている。自動車の側面衝突時に乗員保護のためにドア内に設置されているドアインパクトビームの材料には主に金属材料が使用されているが、ドアインパクトビームをCFRPにすることができれば車両の軽量化につながる。

本研究では、ドアインパクトビームの軽量化を目的にフィラメントワインディング (FW) 法で成形したCFRP円筒とアルミニウム合金円筒の落錘衝撃実験を行い、両者のエネルギー吸収特性を比較した結果について報告する。

2. 使用材料

CFRP の強化材には T700SC-24K-50C (東レ(株)) を用いた。マトリクス樹脂には熱硬化性エポキシ樹脂 (XNR/H/A6805, ナガセケムテックス(株)) を用い、主剤、硬化剤、促進剤の配合比は 100 : 100 : 2 とした。アルミニウム合金には耐食性、溶接性に優れた Al-Mg 系合金の A5052 を用いた。アルミニウム合金円筒の外径は 34mm で、内径は 25mm となっている。

3. CFRP円筒の成形方法

CFRP 円筒の成形には、図 1 の 4 軸制御型 FW 装置を用いた。マンドレルの外径は 25mm、全長は 1400mm となっており、レジンバスの含浸ローラー部で炭素繊維に樹脂を含浸させ、張力 15N を掛けながらマンドレルに巻き付けた。炭素繊維の巻き角度は成形時の繊維の滑りを考慮して、マンドレルの軸方向に対して $\pm 30^\circ$ と

し、厚さは 4mm になるようにした。マンドレルへの巻き付け後は回転硬化炉に入れ、 $85^\circ\text{C} \times 4\text{h}$ の条件で硬化させた。硬化後はマンドレルから脱型し、全長が 1000mm となるように両端を切断した。



図 1 CFRP 円筒の FW 成形

4. 実験方法

実験は日本大学理工学部船橋キャンパスの落錘衝撃実験装置で行った。供試体を設置した様子を図 2 に示す。実験では質量 100kg の落錘子を高さ 4.09m から自由落下させ、荷重は供試体の左右の支点下部 (支点間距離 800mm) にあるロードセル (SH-100kN, (株)昭和測器研究所) で計測した。変位はハイスピードカメラ (Phantom T3610, (株)ノビテック) で撮影した動画を画像解析することによって求めた。供試体の数は各 2 本とし、エネルギー吸収特性は、左右のロードセルで計測した荷重を合わせた値の最大値である最大荷重 F_{\max} 、平均荷重 F_{avg} 、そして供試体の単位質量あたりのエネルギー吸収量である比エネルギー吸収量 SEA で評価した。供試体のエネルギー吸収量 EA は自動車側面のクラッシュアブルゾーンを考慮して変位 150mm (最大変位 δ_{\max}) までの荷重 - 変位線図の面積から算出し、 F_{ave} は EA を δ_{\max} で除した式(2)を用いて求めた²⁾。

Comparison of energy absorption properties of CFRP and aluminum alloy cylinders subjected to lateral impact loads

Asato YAMAMOTO, Kazuhiro SAKATA, Kenya OHTSUKA,
Yoshio AOKI and Norio HIRAYAMA

$$F_{avg} = \frac{EA}{\delta_{max}} \quad (1)$$

比エネルギー吸収量 SEA は EA を供試体の質量 m で除した式(2)より求めた。

$$SEA = \frac{EA}{m} \quad (2)$$

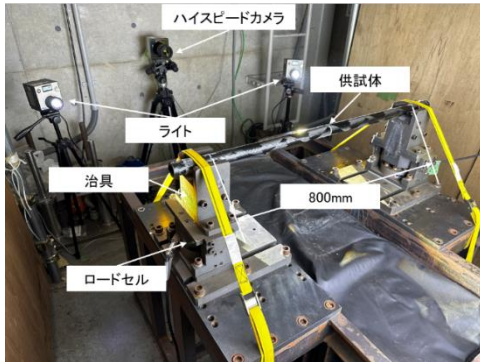


図2 落錘衝撃実験の様子

5. 実験結果及び考察

代表的な CFRP 円筒 (CFRP) とアルミニウム合金円筒 (Al) の荷重 - 変位線図の比較を図3に示す。CFRP は変位 10mm 近傍で荷重が最大値に達し、その後は徐々に荷重は低下する挙動を示した。一方、Al は変位 5mm 近傍で荷重が最大値に達し、その後急激に荷重は低下したが、CFRP より高い荷重で変位が推移した。

CFRP と Al の F_{max} , F_{avg} , SEA の比較を図4から図6に示す。 F_{max} と F_{avg} は Al の方が大きい値を示したが、 SEA は CFRP の方が大きい値となり、CFRP が Al と同等以上のエネルギー吸収特性を有していることが確認できた。今回の実験では、マトリクス樹脂に熱硬化性樹脂を使用した。マトリクス樹脂を靱性の高い熱可塑性樹脂にすれば、エネルギー吸収特性は更に向上すると考えられる。

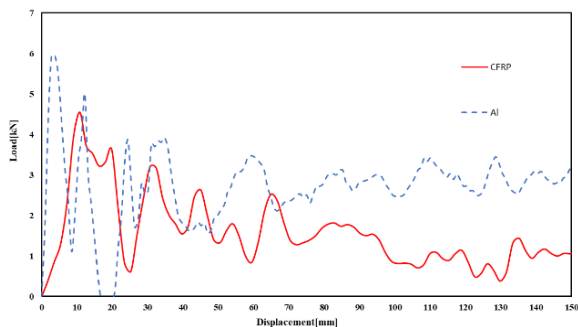


図3 荷重 - 変位線図の比較

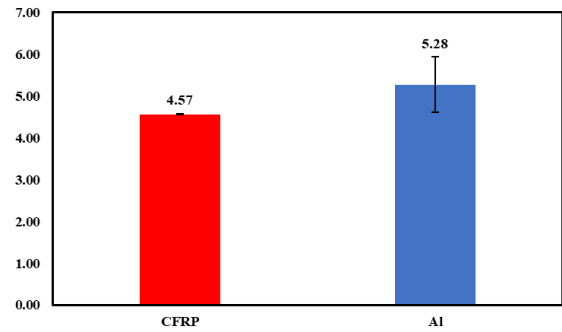


図4 F_{max} の比較

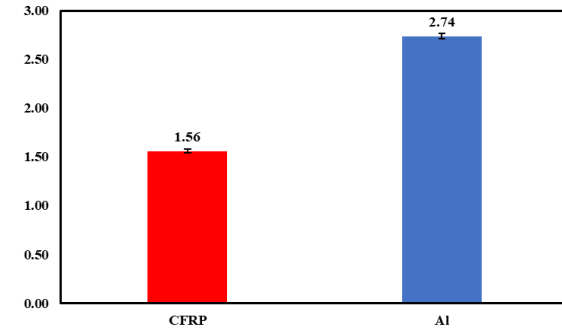


図5 F_{avg} の比較

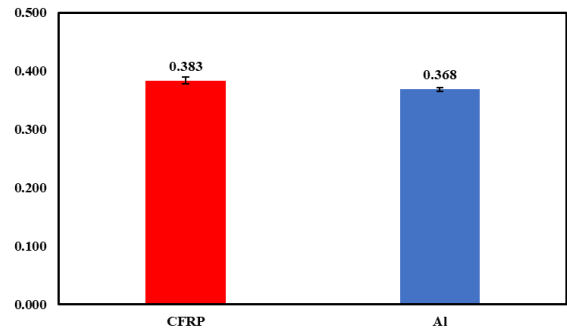


図6 SEA の比較

6. 結言

FW製CFRP円筒とアルミニウム合金円筒のエネルギー吸収特性を落錘衝撃実験で評価した結果、最大荷重と最大変位までの平均荷重はアルミニウム合金円筒の方が大きくなることが確認できた。しかし、単位質量あたりのエネルギー吸収量はCFRP円筒の方が高い値となることが確認できた。

参考文献

- 国土交通省, 5-1.ポール側面衝突基準 (UR-R135 関係), <https://www.mlit.go.jp/common/001082364.pdf>, (参照2023-10-10)
- 史棟勇, 渡辺憲一, 曲げ負荷を受けるマルチマテリアル (MM) 車体ビームの多目的最適化設計, 神戸製鋼技報, Vol.69, No.1, 65-70 (2019)