

FW 製 FRP 円筒のエネルギー吸収特性に及ぼす強化繊維の影響

日大生産工(院) ○青木 隼人 日大生産工 坂田 憲泰 平山 紀夫
日大・理工 青木 義男 大塚 賢哉

1. 緒言

近年、自動車の燃費性能の向上のために、車両の軽量化が求められている。そのため、構造部材に炭素繊維を強化繊維としたプラスチック系複合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。CFRPの強化繊維である炭素繊維は比強度、比剛性に優れるが、自動車への適用に向けては価格が課題となっている。炭素繊維は航空機や高压容器などに使用されており、力学特性に優れるレギュラートウとレギュラートウより力学特性は劣るが簡易な焼成設備で生産され、低価格なラージトウがある。現在、ラージトウを用いたCFRPは風車ブレードや土木分野で使用が拡大しており、圧縮天然ガス自動車の高圧容器に適用する研究も行われている¹⁾。

本研究では、軽量かつ安価でエネルギー吸収特性に優れる自動車側面衝撃吸収部材（ドアインパクトビーム）を開発することを目的とし、強化繊維にラージトウを用いた CFRP 円筒のフィラメントワインディング（FW）成形を行った。さらに、近年開発された繊維径が通常より太い炭素繊維を用いた CFRP 円筒の FW 成形を行い、それらのエネルギー吸収特性を落錘衝撃実験で評価した結果について報告する。

2. 使用材料

強化繊維にはTable 1の4種類の炭素繊維ロービング（三菱ケミカル㈱）を用いた。TRH50 30MとTRH50 60MはFW成形に使用されているレギュラートウとラージトウで、両者の繊維径は $6\mu\text{m}$ と同じだが、フィラメント数はTRH50 30Mが30,000本（30K）でTRH50 60Mが60,000本（60K）

となっている。TRW40 50Lは繊維径が $7\mu\text{m}$ で、テックスはTRH50 60Mと同程度となっているが、フィラメント数は50,000本（50K）となっている。開発品である太径CF（呼称：LD-10）はTRH50 60M、TRW40 50Lと同程度のテックスだが、繊維径は他の炭素繊維より太い $10\mu\text{m}$ で、フィラメント数は24,000本（24K）となっている。マトリックスにはエポキシ樹脂（XNR/H/A6805、ナガセケムテックス㈱）を用いた。

3. 供試体

CFRP円筒の成形にはFW装置を用いた。マンドレルには外径25mmの金属製マンドレルを用い、レジンバスで炭素繊維ロービングに樹脂を含浸させながら、厚さが4mmになるように巻きつけた。巻き角度は軸方向に対して $\pm 30^\circ$ とし、張力はテックスあたりの値が同等となるようにTable 2のように設定した。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となるように切断した。

Table 2 Filament winding tension

Fiber type	Tension[N]
TRH50 30M	15.0
TRH50 60M	28.5
TRW40 50L	33.5
LD-10	30.0

4. 実験方法

衝撃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。供試体は各3本とし、質量100kgの落錘子を高さ4.09mから自

Table 1 Carbon fibers for CFRP cylinders

Carbon fiber	Filament diameter [μm]	Number of filament [-]	Tex [g/km]	Tensile strength [MPa]	Tensile modulus [GPa]	Elongation [%]	Density [g/cm ³]
TRH50 30M	6	30,000	1,670	5,600	255	2.2	1.82
TRH50 60M	6	60,000	3,200	4,830	250	1.9	1.81
TRW40 50L	7	50,000	3,750	4,120	240	1.7	1.81
LD-10	10	24,000	3,358	3,900	236	-	1.79

Effect of reinforcement on energy absorption properties of FW-FRP cylinders

Hayato AOKI, Kazuhiro SAKATA, Norio HIRAYAMA, Yoshio AOKI and Kenya OTSUKA

由落下させることで、供試体に横衝撃荷重を負荷した。衝撃荷重は供試体の左右（支点間距離800mm）の治具内に設置してあるロードセル（SH-100kN, 昭和測器株式会社）で計測し、両者の値を加算して全体の荷重とした。変位は高速カメラ（HX-7S, ナックイメージテクノロジー）で撮影した動画を画像解析することによって計測した。エネルギー吸収量は荷重－変位線図の面積を積分することで求めた。積分範囲は自動車側面のクラッシュブルゾーンを考慮して150mmとした²⁾。

5. 実験結果及び考察

代表的な荷重－変位線図の比較をFig.1に、破壊後の供試体の一例として実験後のTRH50 60Mの写真をFig.2に示す。いずれの供試体も落錘子が衝突後、荷重が急激に増加し、最大荷重は変位10mm近傍で5kN以上となった。最大荷重到達後は急激に低下し、TRH50 30M, TRW40 50L, LD-10の3種類の供試体は概ね同じ荷重で変位が推移した。一方、TRH 50 60Mは他の供試体より高い荷重で変位が推移した。

エネルギー吸収量を供試体の質量で除した比エネルギー吸収量の平均値の比較をFig.3に示す。テックスが同程度で繊維径が異なるTRW40 50LとLD-10では比エネルギー吸収量の平均値は0.31J/gと0.29J/gになったことから、エネルギー吸収特性における繊維径の影響は小さいと考えられる。

繊維径が同じレギュラートウTRH50 30MとラージトウTRH 50 60Mの比較では、TRH 50 60Mの方がTable 2の引張強度や弾性率は低くなっているが、比エネルギー吸収量はTRH 50 60Mの方が大きい値を示した。また、テックスが同等であるTRH 50 60MとTRW40 50Lを比較すると、フィラメント数が多いTRH 50 60Mの方が比エネルギー吸収量は大きい値を示した。これらの結果から、FW製CFRP円筒の衝撃試験におけるエネルギー吸収特性は、炭素繊維ロービングのフィラメント数の影響を受けると考えられるが、今後は各炭素繊維の表面に塗布されているサイジング剤の影響なども調査する必要がある。

6. 結言

強化繊維がFW製CFRP円筒のエネルギー吸収特性に及ぼす影響を落錘子衝撃試験の結果から検討した結果、以下の結果を得ることができた。

- (1) 強化繊維が荷重－変位線図の最大荷重に及ぼす影響は小さく、概ね同じ値を示した。
- (2) 炭素繊維の繊維径がFW製CFRP円筒の比エネルギー吸収量に及ぼす影響は小さい。
- (3) FW製CFRP円筒の比エネルギー吸収量は材料物性値より炭素繊維ロービングのフィラメント数の影響を受けると考えられる。

Fig.1 Load-displacement curves



Fig.2 TRH50 60M after impact test

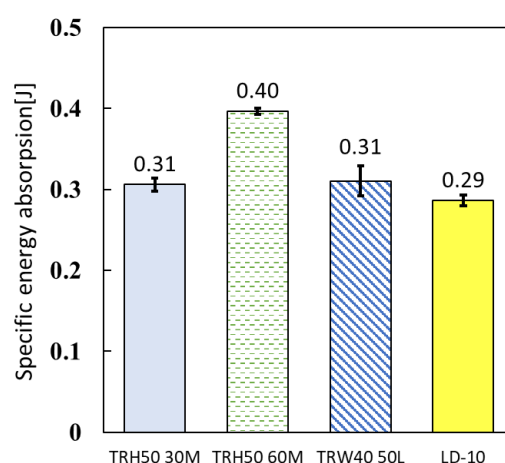


Fig.3 Comparison of specific energy absorption

参考文献

- 1) J. Michael Starbuck and Lucito B. Cataquiz, SAE Transactions, Vol.109, Section5 : JOURNAL OF MATERIALS & MANUFACTURING (2000), 793-798
- 2) Hsiangchi Fan, Hayato Abe, Kazuhiro Sakata, Norio Hirayama, Yoshio Aoki, Yuichi Mizushima, Kazunori Sano, 17TH JAPAN INTERNATIONAL SAMPE SYMPOSIUM AND EXHIBITION (2021)