

高強度ガラス繊維と炭素繊維を用いた FW 製ハイブリッド FRP シャフトの力学特性

日大生産工 (院) ○富田 晋
日大生産工 坂田 憲泰
日大生産工 平山 紀夫
日東紡績株式会社 佐野 一教

1. 諸元

近年、CO₂の排出規制により自動車の燃費向上が急務となっている。自動車メーカー各社は車両の軽量化を進めており、従来の金属材料より比強度と比剛性に優れた強化繊維プラスチック (FRP) を適用する検討が行われている。しかし、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) は比強度と比剛性に優れるが炭素繊維の価格が高く生産量少ないため、適用は一部の車種に限られている。一方、ガラス繊維強化プラスチック (GFRP) はCFRPに比べて比強度と比剛性は劣るものの、ガラス繊維は価格が安く、生産量も多い。また近年、汎用ガラス繊維 (Eガラス繊維) に比べ強度と破断伸びが大きく、従来の高強度ガラス (S, Tガラス繊維) と比べて低コストな高強度ガラスであるHMEガラス繊維が開発されている。炭素繊維とガラス繊維の性質は一長一短であるが、適用部材の応力分布を考慮し、適材適所に使用すれば機械的特性と価格のバランスの取れた部材を設計することができる。本研究ではプロペラシャフト、ドライブシャフトを代表する駆動軸の軽量化と低コスト化を目的とし、強化繊維にHMEガラス繊維、炭素繊維を使用し、ねじり実験を実施し、炭素繊維とガラス繊維の割合がハイブリッドFRPシャフトの力学特性に与える影響について調査した結果について報告する。

2. 使用材料および試験体

ガラス繊維にはHMEガラス繊維 (HGF, 日東紡績株) と比較のためにEガラス繊維 (EGF, 日東紡績株) を用い、炭素繊維にはT700SC-24K (CF, 東レ株) を用いた。それぞれの特性を表1に示すが、HGFとEGFの繊維径とtexは同じとなっている。マトリックス樹脂にはエポキシ樹脂XNR 6805, 硬化剤XNH 6805, 促進剤XNA

6805 (ナガセケムテックス株) を重量比100 : 100 : 2で混合したものを使用した。試験体の成形にはフィラメントワインディング装置を用いた。巻き角度は、強度と剛性が最も高くなる $\pm 45^\circ$ とし、張力2kgをかけながら外径20mmのマンドレルに樹脂を含浸させた繊維を4層 (外径: 約29mm) 巻きつけた。積層構成は4層全てにHGFあるいはEGFを用いたHGF4とEGF4, 最外層だけにCFを用いたHGF3/CF1とEGF3/CF1, 外側の2層にCFを用いたHGF2/CF2とEGF2/CF2, 外側の3層にCFを用いたHGF1/CF3とEGF1/CF3, 全ての層にCFを用いたCF4の9種類とした。

また、試験体の両端部にはねじり試験装置取付部の応力集中を軽減するために、図1に示すように長さ150mm, 外径50mmのGFRP製のタブを成形した。硬化は回転硬化炉中で、85°C×4時間の条件で行った。

表1 強化繊維の機械的性質⁽²⁾

| | HMEガラス繊維 | Eガラス繊維 | T700SC |
|------------------------|----------|--------|--------|
| 密度(g/cm ³) | 2.6 | 2.6 | 1.8 |
| ヤング率(GPa) | 91 | 80 | 230 |
| 引張強度(MPa) | 3180 | 2440 | 4900 |
| 破断伸び(%) | 5.9 | 4.8 | 2.1 |

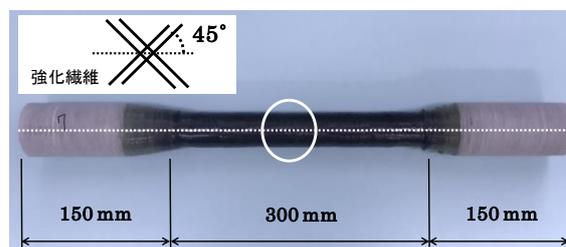


図1 ハイブリッドFRPシャフト

Mechanical properties of FW-hybrid FRP shafts
using high strength glass fiber as reinforcement

Shin TOMITA, Kazuhiro SAKATA, Norio HIRAYAMA, Kazunori SANNO

3. 実験方法

実験は千葉県産業支援技術研究所のねじり試験装置（最大トルク：2000Nm）を用い、試験速度3deg/secにて実施した。試験体の本数は各3本とし、ねじれ角は試験速度と試験時間から求めた。せん断ひずみは試験体最外層に軸方向に対して±45°傾けて貼り付けたひずみゲージから測定し、せん断応力はねじりトルクから算出した。また、せん断弾性率は初期の線形領域から導出した。

4. 実験結果および考察

ねじり試験後のFRPシャフトの破壊様相を図2に、代表的なHGF/CFハイブリッドFRPシャフトのねじりトルクとねじれ角の関係を図3に示す。図2よりFRPシャフトの破壊は圧縮の主応力方向で面外変形を伴った破壊となった。図3より全てのハイブリッドFRPシャフトはCF4の最大ねじれ角付近でねじれトルクが低下している。HGF1/CF3では最大ねじれ角がCF4と同等であることからCF層が破壊後、直ぐに全体破壊になったと考えられる。一方でHGF2/CF2、HGF3/CF1ではCF層が破壊後もGF層が荷重を受け持つため、CF層が破断後もねじりトルクが増加した。HGF3/CF1では最大ねじれ角がHGF4と同等となった。

比剛性、比強度と炭素繊維割合の関係を図4、5に示す。HGF4はEGF4と比較して、比剛性は12%、比強度は5.2%の向上となった。図4より比剛性はCFの増加により向上するが、CFが50%を超えると比剛性の向上率が低下した。CF4とHGF2/CF2を比較すると比剛性は32%の低下となるがCFの割合は50%削減となる。図5はシャフトの全体破壊を強度として求めた値であるが、比強度はCF使用量で大きな差はないが、HGF/CFシャフトの比強度はEGF/CFシャフトに比べ高くなる傾向を示し、高強度ガラス繊維の効果が確認できた。比強度が最大となったHGF3/CF1はCF4と比較して比強度は19%の低下となるが、CFの使用量は70%の削減となる。



図2 FRPシャフトの破壊様相

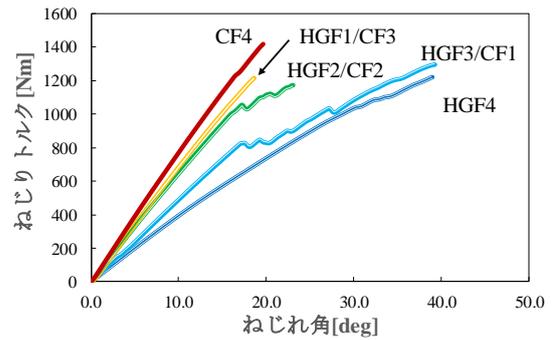


図3 ねじりトルクとねじれ角の関係

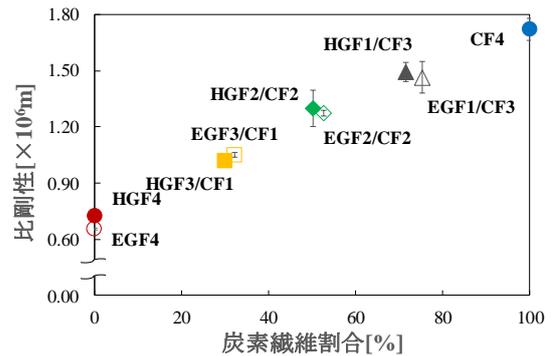


図4 比剛性と炭素繊維割合の関係

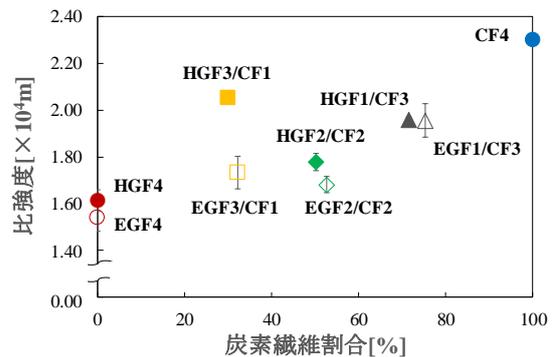


図5 比強度と炭素繊維割合の関係

5. 結言

駆動軸の軽量化と低コスト化を目的にHMEガラス繊維を用いてハイブリッドFRPシャフトのねじり特性について調査した結果、炭素繊維の使用量が少なく、比剛性が高い積層構成は内層2層にガラス繊維、外層2層に炭素繊維を用いた場合となった。一方、比強度が高い積層構成は内層3層にHMEガラス繊維、外層1層に炭素繊維を用いた場合となった。

参考文献

- 1) 小野寺雄哉, 相澤恒史, 山田誠司, 強化プラスチック, 63, 3 (2017), 124-127.
- 2) 坂田, 平山, 青木, 瓦口, 加藤, 佐野, 相澤, 山田, 強化プラスチック, 64, 5 (2018), 18-23