

ガラス繊維のテックスが一方向材 GFRP の引張強度に及ぼす影響

日大生産工(院) ○林世輝
 日大生産工 平山紀夫
 日東紡績(株) 佐野一教

日大生産工(院) 染宮聖人
 日大生産工 坂田憲泰

1. 緒言

近年、地球温暖化による環境問題が深刻になっており、環境に優しい水素燃料自動車の開発が盛んに行われている。車体の軽量化や車載用圧力容器の構造材料として、比強度・比剛性が優れた繊維強化プラスチック（以下、FRP）が注目されている。特に、比較的安価であるガラス繊維を引き揃えて一方向に強化した FRP（以下、一方向 GFRP）は、高圧水素タンクの材料として用いることで低コスト化が期待されている^{1,2)}。

しかし、高圧水素タンクの構成材料に適用するためには、より高い破断強度を持つガラス繊維製品の開発が必要である。そのため、ガラス繊維ロービングの更なる高強度化の方法として、分子間結合力がより強いガラス繊維組成を紡糸して製造する方法、ガラス繊維の径を細くする方法、ガラス繊維ロービングのテックス（tex：繊維 1km あたりの質量をグラムで表した数値）を小さくする方法など、様々な研究開発が行われてきた³⁾。

本研究では、これらの方法のなかで最も経済的で生産性の高いと考えられる“ガラス繊維束の低テックス化による一方向 GFRP の高強度化”を目指し、その基礎的な物性データを収集する。

本報告では、低テックス繊維を用い、高強度な FRP を成形するために、従来のフィラメントワインディング（以下、FW）成形方法を改良した。そして、改良した FW 法を用い、テックスの異なる 3 種類のガラス繊維ロービングを用いて一方向 GFRP を成形し、繊維配向角が 0° 方向（以下、 L 方向）、90° 方向（以下、 T 方向）、45° 方向の 3 種類の単軸引張試験の結果から引張強度を評価し、ガラス繊維ロービングのテックスが一方向 GFRP の強度に及ぼす影響について明らかにした。

2. 成形方法および実験方法

2.1 供試材

一方向 GFRP のマトリックス樹脂には熱硬化性エポキシ樹脂（ナガセケムテックス(株)）を用い、強化繊維にはガラス繊維ロービング（日東紡績(株)）を用いた。ガラス繊維ロービングのテックスは 2220tex、1100tex と 280tex の 3 種類を用意した。

2.2 成形方法

熱硬化性エポキシ樹脂は主剤と硬化剤、硬化促進剤の重量比が 100 : 100 : 2 となるように調合した。そして、FW 装置でエポキシ樹脂をガラス繊維ロービングに含浸させながら、平板形状のマンドレルに一方向に巻き付けた。このとき、一方向 GFRP の繊維体積含有率 (V_f) が 65% となるように、テックスに合わせてマンドレルに巻き付ける回数を調整した。

その後、油圧成型機で加熱・加圧を行った。硬化条件は 85°C×4 時間、成形圧力は 2.6MPa とした。

2.3 静的引張試験

数値解析により薄板の一方向 GFRP の破損・破壊を予測する場合、事前に 5 つの破壊パラメータ (L 方向の引張・圧縮破壊強度 F_{Lt} , F_{Lc} , T 方向の引張・圧縮破壊強度 F_{Tt} , F_{Tc} , せん断方向の引張破壊強度 F_{LT}) を実験から求める必要がある。しかし、純せん断試験の実施は困難であるため、繊維が 45° 方向に配向された off-axis 試験片の単軸引張試験から、応力の座標変換を用いてせん断強度 F_{LT} を計算した。

静的引張試験は JIS K7165 に準拠し、サーボパルサー（株）島津製作所、EFH-EG100KN-20L）を用いて実施した。ここで、応力値はロードセルから計測した荷重値、軸方向ひずみは試験片に貼り付けたひずみゲージから計測し、試験本数は 10 本とした。

Effect of Glass Fiber Tex on Tensile Strength of Unidirectional GFRP.

Seiki RIN, Masato SOMEMIYA, Norio HIRAYAMA, Kazuhiro SAKATA and
 Kazunori SANO

3. 実験結果および考察

従来のFW成形では、図1に示すように、張力によって繊維束が締まり、繊維束内部まで樹脂が含浸しない状態で成形していたため、得られた成形品は不透明であった。その一方で、図2に示すように、2本の丸棒を含浸ローラの前に設置して繊維束を広げ、繊維束の内部まで含浸するように改良したFW法では、全体的に透明な成形品を得ることができた。

次に、従来のFW成形品と改良したFW成形品から試験片をそれぞれ切り出した。そして、単軸引張試験を実施し、一方向GFRPの平均破壊強度を得た。その平均破壊強度を図3～図5に示す。図3～図5から分かるように、*L*方向の強度は改良前と改良後でほとんど変わらないのに対して、*T*方向と*LT*方向において、改良後の平均強度は改良前と比較して40%以上に向上することがわかった。

次に、図3～図4から、3種類のEガラス繊維のテックスが小さい程、引張強度が向上することが確認された。また、図5に示すように、一方向GFRPのせん断強度に及ぼすガラス繊維テックスの影響が大きいことがわかる。このことから、低テックス化はプロペラシャフトのようなねじり荷重が負荷されるGFRP製品に有用であると考えられる。

4. 結言

ガラス繊維のテックスが一方向GFRPの機械的特性に及ぼす影響について調査した結果、以下の結論が得られた。

- 1) 含浸具合は一方向GFRPの*T*方向や*LT*方向に大きな影響を与えた。
- 2) テックスが小さい程、引張強度が向上した。
- 3) 一方向GFRPのせん断強度に対して、テックスの影響が最も大きかった。

参考文献

- 1) 清水紀夫, ガラス繊維と光ファイバー, 技報堂出版, (1983), pp.25-30
- 2) 藤田ら, 極細ガラス長繊維, 学会誌(繊維と工業), Vol.44, No.7(1988), pp.241-244
- 3) 坂田ら, テックスがFW製GFRPシャフトのねじり特性に及ぼす影響, 日本複合材料学会誌, Vol.46, No.6 (2020) pp. 240-246

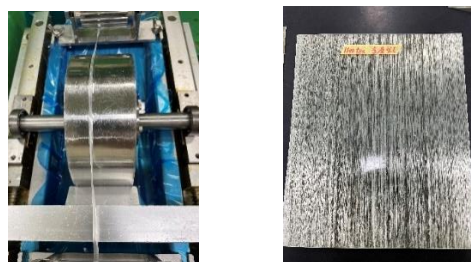


図1 従来のFW成形の状況及び成形品

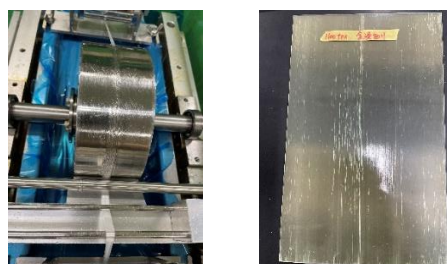


図2 改良したFW成形の状況及び成形品

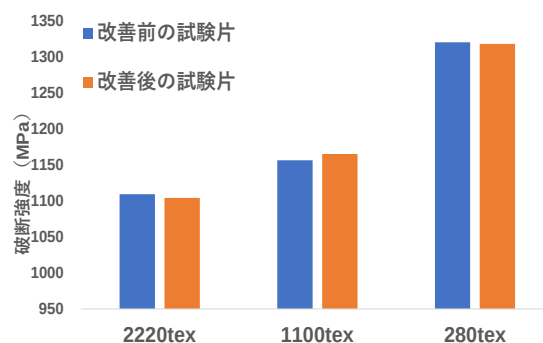


図3 *L*方向の引張試験結果

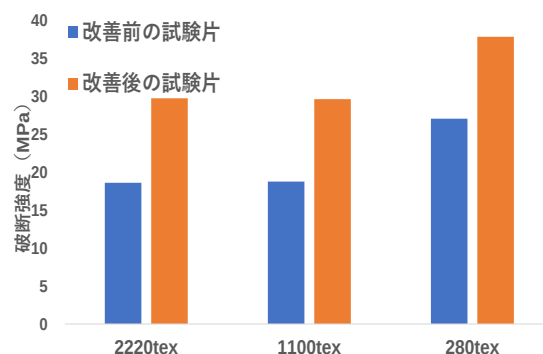


図4 *T*方向の引張試験結果

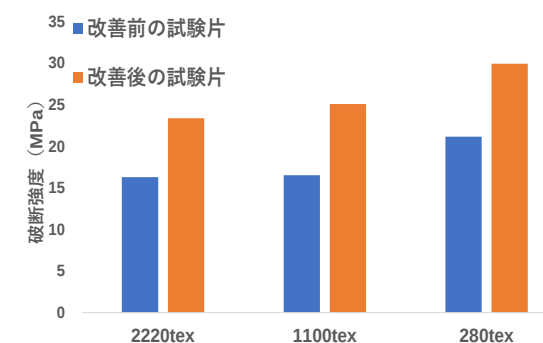


図5 *LT*方向の引張試験結果