

## 一方向材 GFRP の強度特性に及ぼすガラス繊維のテックスの影響

日大生産工(院) ○林世輝 日大生産工(院) 染宮聖人  
日大生産工 坂田憲泰 日大生産工 平山紀夫

## 1. 緒言

強化繊維強化プラスチック (FRP) は金属材料と比較して高い比強度・比弾性率と優れた耐食性を有しているため、様々な分野の構造材料として注目されている。特に、ガラス繊維は炭素繊維と比べて安価で多くの基材形態が流通しているため、FRP の代表的な強化繊維として定着している。そのため、ガラス繊維強化プラスチック (GFRP) は、自動車の量産車種の構造材料としてその適用が始まっている。なかでも、ガラス繊維を引き揃えて一方向に強化した FRP (一方向 GFRP) は、高圧水素タンクの低コスト化のための材料として期待できる。

高圧水素タンクの構成材料に一方向 GFRP を適用するためには、一方向 GFRP の繊維方向強度の向上が不可欠であり、そのためには、より高い破断強度を持つガラス繊維の開発が必要である。一般的にガラス繊維の強度向上のためには、①分子間結合力がより強いガラス繊維組成を見出して繊維化する<sup>1)</sup>、②ガラス繊維自体の径をより細くする<sup>1,2)</sup>、③ガラス繊維束(ロービング)のテックス(繊維 1km あたりの質量をグラムで表した数:tex)をより小さくする<sup>3)</sup>、のいずれかの方法による。

本研究では、これらの方法のなかで実現に向けて最も経済的で生産性の高いと思われる、③のガラス繊維束の低 tex 化による一方向 GFRP の高強度化を提案し、その基礎的な物性データを収集する。そのため、テックスの異なる 2 種類のガラス繊維ロービングを用いて一方向 GFRP をそれぞれ成形した。そして、繊維方向と繊維直交方向、繊維配向角が 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調査した。

## 2. 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)を用いた。また、強化繊維にはガラス繊維ロービング(日東紡績株)とし、テックスは 2220tex と 1100tex の 2 種類を用意した。

また、強化繊維にはガラス繊維ロービング(日東紡績株)とし、テックスは 2220tex と 1100tex の 2 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 70% 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・加圧成形を行った。成形条件は成形圧力 2.6MPa、成形温度 85°C、成形時間 4 時間で硬化させた。

## 3. 試験方法

数値解析により薄板の一方向 FRP 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を実験から求める必要がある。この一方向 FRP の破壊パラメータは繊維方向 ( $L$  方向) の引張・圧縮破壊強度  $F_{Ll}$ ,  $F_{Lc}$ 、繊維直交方向 ( $T$  方向) の引張・圧縮破壊強度  $F_{Tl}$ ,  $F_{Tc}$ 、せん断方向 ( $LT$ ) の引張破壊強度  $F_{LT}$  の 5 つである。ここで、下付きの小文字  $l$  と  $c$  は引張強度と圧縮強度を意味する。本研究では、 $L$  方向と  $T$  方向、繊維配向角が 45° の引張試験を行い、3 つの引張破壊強度を評価した。

## 3.1 試験片作成

油圧成型機で成形した一方向 GFRP 板は、複合材料切断機を用いて試験片を切り出した。

試験片寸法は JIS K7165 に準拠し、試験片の両端部にアルミニウムタブを接着した。また、繊維配向角が 45° 方向の試験片の場合、直交異方性材料の off-axis 引張試験では、 $x$  方向の単軸引張試験においてもカップリング効果によりせん断変形が生じ、試験片のチャック部にはせん断応力と曲げモーメントが生じる。このため、45° 方向の試験片に用いたタブの形状は、せん断変形を抑制するために、オブリークタブを使用し<sup>4)</sup>、試験片端部での応力集中を低減さ

---

Effect of Glass Fiber Tex on the Strength Characteristics of Unidirectional GFRP.

Seiki RIN, Masato SOMEMIYA, Kazuhiro SAKATA and Norio HIRAYAMA

せた.

### 3.2 静的引張試験

静的引張試験は JIS K7165 に準拠し、サーボパーサー (株島津製作所, EFH-EG100KN-20L) を用いて単軸引張試験を実施した. ここで, 応力値はロードセルから計測した荷重値で計算した. また, 軸方向ひずみは試験片に貼り付けたひずみゲージから測定した. 試験本数は各 10 本とした.

### 4. 実験結果および考察

10 本の静的引張試験から得られた一方向 GFRP の平均破壊強度を Table 1 に示す. また, Table 1 の平均破壊強度に一番近い応力-ひずみ線図を Fig.1 から Fig.3 に示す. Table1 と Fig.1, Fig.2 からわかるように, 2220tex と 1100tex の平均強度を比較すると,  $F_{Lc}$ ,  $F_{Tc}$  はほぼ同じ値であった. 一方で, Table1 と Fig.3 からわかるように, 1100tex の  $F_{LT}$  は 2220tex の  $F_{LT}$  よりも 7.3%向上した. このことから, ガラス繊維ロービングのテックスは一方向 GFRP のせん断強度に影響を及ぼすことが示された.

### 5. 結言

テックスの異なるガラス繊維ロービングを用いて FW 法により一方向 GFRP を成形し, ガラス繊維ロービングのテックスが引張破壊強度に及ぼす影響について検証した. その結果, ガラス繊維ロービングのテックスは一方向 GFRP のせん断強度に及ぼすことがわかった. 今後は, 圧縮強度  $F_{Lc}$ ,  $F_{Tc}$  を測定し, より詳細な調査を行う.

### 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, 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
- 4) C.T.Sun, An oblique end-tab design for testing off-axis composite specimens, Composite, Vol.24, No.8(1993), pp.619-623.

Table 1 Relationship between tex and tensile strength.

	$F_L$ [MPa]	$F_T$ [MPa]	$F_{LT}$ [MPa]
2220tex	1156.49	28.57	46.71
1100tex	1173.87	29.36	50.13

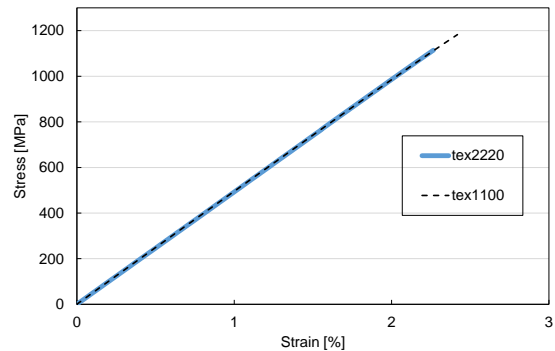


Fig. 1 Stress - strain curves of L direction specimens.

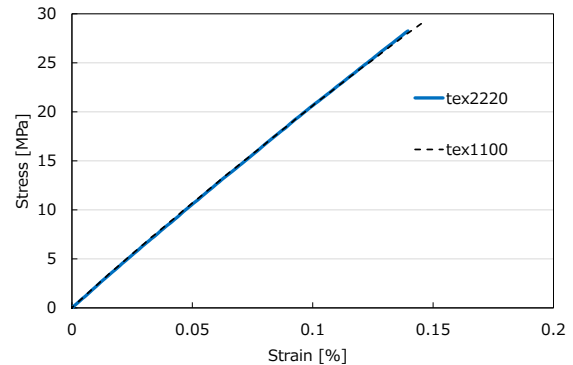


Fig. 2 Stress - strain curves of T direction specimens.

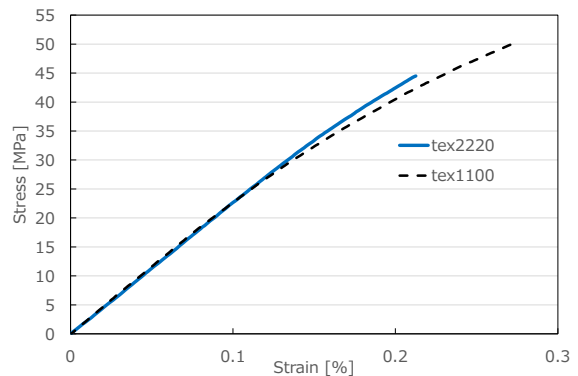


Fig. 3 Stress - strain curves of LT direction specimens.