

## 柔軟性界面を有するCFRP円筒殻のねじり特性の評価

日大生産工 ○坂田 憲泰  
日大生産工 邊 吾一

### 1 緒言

炭素繊維強化複合材料 (CFRP) は比強度・比剛性に優れていることから、航空・宇宙分野で広く利用されている。しかし、複合材料は複数の構成要素からなるため、材料設計が問題となる場合がある。繊維強化プラスチック (FRP) においては一般に強化繊維とマトリックス樹脂の剛性や熱膨張係数の違いによって、繊維と樹脂の間の界面に垂直応力やせん断応力が生じる。そこで、繊維と樹脂の境界である界面を、厚さを有する三次元領域である界面相とし、界面相に母材樹脂とは異なる特性を与えることで力学的特性を向上させる研究が行われている<sup>1,2)</sup>。本研究では、柔軟性界面相を創製した炭素繊維を用いて、フィラメント・ワインディング (FW) 法でCFRP円筒殻を成形し、柔軟性界面相を有するCFRP円筒殻のねじり特性を評価した結果について報告する。

### 2 柔軟性界面の創製と供試体の成形方法

炭素繊維にはT700 (東レ製)、母材用エポキシ樹脂にjer828 (三菱化学製)、硬化剤にjerキュアW (三菱化学製) を用いた。柔軟性界面相の創製には、母材より弾性率が約40%低いエポキシ樹脂エポリドPB3600 (ダイセル製) を用いた。

柔軟性界面相の創製は、FW装置を用いて行った。まず、柔軟性エポキシ樹脂 (5 wt%) / アセトン溶液をFW装置のレジンバスに入れ、炭素繊維がこの溶液に10秒間漬かるようにFW装置の回転速度を設定した。溶液浸漬後の炭素繊維は外径100mmのマンドレルにフープ巻きで巻き取り、回転硬化炉の中で80°C×1時間で乾燥させ、再びFW用のポビンに巻き戻した。次に、外径25mmのマンドレルに張力を掛けながら、巻き角度が軸方向に対して $\theta = \pm 45^\circ, \pm 60^\circ, \pm 75^\circ$ となるように母

材用エポキシ樹脂 (母材用エポキシ樹脂と硬化剤を100:24の比率で混合) と、柔軟性界面処理を行った炭素繊維をマンドレルに2 ply巻き付けた。硬化は、回転硬化炉の中で100°C×2 h + 175°C×4 hの条件下で行った。CFRP硬化後、応力集中を低減するために、CFRP円筒殻の両端部に長さ100mm、外径50mmのタブを成形したが、成形時にガラス繊維のトウを約5mmずらしながら巻くことでタブ端部にテーパをつけた。CFRP硬化後、脱型機を用いてマンドレルからCFRP円筒殻を脱型し、最後に全長が500mmとなるように切断し、完成とした (Fig.1)。

### 3 ねじり実験

#### 3.1 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: 2000 N・m) を用い、試験速度は3deg/secとした。供試体は $\theta = \pm 45^\circ, \pm 60^\circ, \pm 75^\circ$ の3種類とし、実験時には供試体取り付け時につかみ部の変形を防止するために、両端に外径25mm、全長100mmのスチール製中実パイプを挿入した。せん断ひずみは供試体の最外層に軸方向に対して $\pm 45^\circ$ 傾けた2枚のひずみゲージを用いて測定し、せん断応力はねじりトルクより算出した<sup>3)</sup>。

#### 3.2 実験結果

$\theta = \pm 45^\circ$  では、柔軟性処理を行っていない供試体のせん断強度が196 MPa、破断ひ

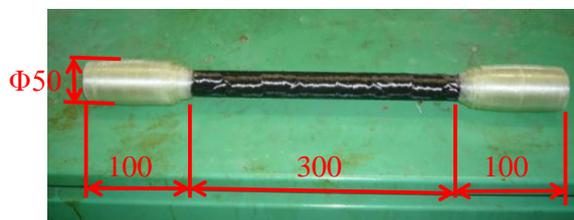


Fig.1 Specimen.

## Evaluation of Torsional Properties of CFRP Cylindrical Shells with Flexible Interface

Kazuhiro SAKATA and Goichi BEN

ずみが0.838%であったのに対し、柔軟性処理を行った供試体のせん断強度は247 MPa、破断ひずみは0.934%となり、せん断強度26.0%、破断ひずみは11.5%向上した (Fig.2)。

$\theta = \pm 60^\circ$ では、柔軟性処理を行っていない供試体のせん断強度が236 MPa、破断ひずみが0.956%であったのに対し、柔軟性処理を行った供試体のせん断強度は289 MPa、破断ひずみは1.21%となり、せん断強度は22.5%、破断ひずみは26.6%向上した (Fig.3)。

$\theta = \pm 75^\circ$ では、柔軟性処理を行っていない供試体のせん断強度が144 MPa、破断ひずみが1.03%であったのに対し、柔軟性処理を行った供試体のせん断強度は172 MPa、破断ひずみは1.33%となり、せん断強度は19.4%、破断ひずみは29.1%向上し (Fig.4)、実験を行った全ての巻き角度で、柔軟性界面相の効果が確認できた。

破壊後の供試体の一例をFig.5に示すが、全ての供試体で、破壊はせん断応力が逆せん断として作用する層（繊維方向に圧縮応力が作用する層）において、面外変形と面外変形によって生じた層間剥離が原因で発生したが、柔軟性処理を行った供試体では、界面の接着性が向上したことで、せん断強度と破断ひずみが向上したと考えられる。

#### 4 結言

本研究では、FW装置を用いて柔軟性界面相の創製と、柔軟性界面相を有する円筒殻を成形し、ねじり実験を行ってその影響を評価した。その結果、柔軟性界面相を有する供試体は処理無しの供試体と比較してせん断強度が19.4%、破断ひずみが11.5%以上向上し、柔軟性界面相がねじり特性の向上に有効であることを確認した。

#### 謝 辞

末筆ながら材料を提供して頂いた株式会社ダイセル、ねじり試験にご協力頂いた千葉県産業支援技術研究所の皆様に御礼申し上げます。また、本研究は平成24年度生産工学部若手研究者支援研究費の補助を受けたものであり、ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 吉川直希, 奥村怜史, 大谷章夫, 仲井朝美: 柔軟性界面を有するCFRPの動的力学特性への影響, 第35回複合材料シンポジウム 講演要旨集(2010), 55-56.
- 2) N. Yoshikawa, S. Okumura, A. Ohtani, A. Nakai and M. Mori: Effect of flexibility interphase on mechanical property of CFRP, The proceedings of 18<sup>th</sup> International conference on

composite materials (2011).

- 3) 末益博志: 入門複合材料の力学, 培風館(2009), 85.

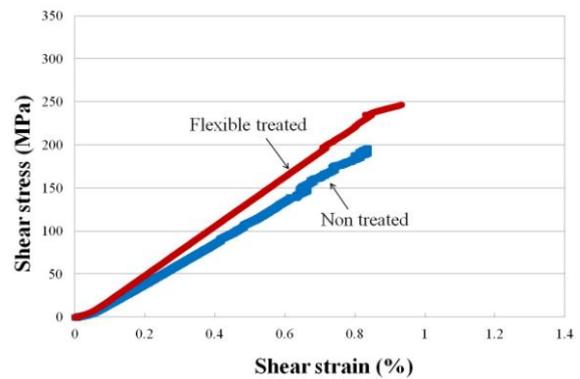


Fig.2 Relationship between shear stress and strain ( $\theta = \pm 45^\circ$ ).

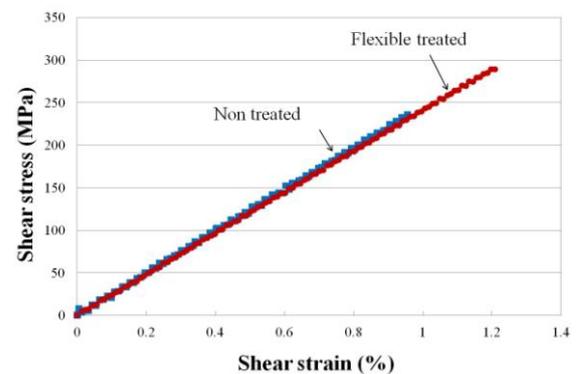


Fig.3 Relationship between shear stress and strain ( $\theta = \pm 60^\circ$ ).

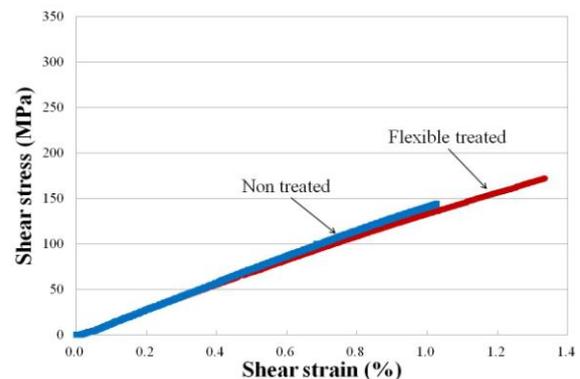


Fig.4 Relationship between shear stress and strain ( $\theta = \pm 75^\circ$ ).



Fig.5 Specimen after test.