

## サイジング剤がFW製CFRPシャフトのねじり強度と層間せん断強度に及ぼす影響

日大生産工(院) ○岩田 篤宣 日大生産工 坂田 憲泰  
日大生産工 木村 悠二 日大生産工 山田 和典  
日大生産工 平山 紀夫

## 1. 緒言

地球温暖化問題を背景に自動車や航空機では、金属材料に比べて比強度、比剛性に優れたCFRP（炭素繊維強化プラスチック）が適用されはじめています。CFRPの強化材として用いられる炭素繊維には、製造過程においてサイジング処理が行われている。サイジング剤は母材であるマトリックス樹脂との接着性や成形性、摩耗性の向上を目的としており、様々な種類や含有量のものがある。

FW（フィラメントワインディング）製CFRPシャフトのねじり特性には、繊維と樹脂の接着性が重要であり、繊維のまわりに柔軟性界面層を創製することで、せん断強度、最大せん断ひずみが向上することが報告されている<sup>1)</sup>。繊維と樹脂の接着性の評価には、層間せん断強度（ILSS）が用いられ、一般的にILSSはサイジング剤の種類によって変化し、サイジング剤はCFRPの破壊挙動に影響を及ぼす<sup>2)</sup>。さらに、強化材に開繊繊維を用いることで繊維を均一に分散させることができ、マトリックス樹脂への含浸性が向上するため、CFRPの機械的特性を高めることができる<sup>3)</sup>。本研究では、強化材に使用されているサイジング剤の種類と開繊の有無がFW製CFRPシャフトのねじり強度と層間せん断強度に及ぼす影響について調査を行った。

## 2. 使用材料

強化材に用いた炭素繊維はTypeA、TypeBの2種類で、開繊繊維にはTypeBの繊維に開繊処理を行ったものを用いた。繊維の引張特性の公表値、FT-IRによるサイジング剤の分析結果とアセトン洗浄による質量差から求めた含有量をTable 1に示す。TypeA、TypeBの引張特性は同一であるがサイジング剤の主成分は、TypeAがビスフェノールA型エポキシと不飽和ポリ

エステル、TypeBがビスフェノールA型エステルとなっている。また、サイジング剤含有量はTypeAが1.4%、TypeBが0.3%であった。開繊繊維のサイジング剤の量は開繊前のTypeBと同様であった。マトリックス樹脂にはエポキシ樹脂XNR6805、硬化剤XNH6805、促進剤XNA6805（ナガセケムテックス）を重量比100：100：2で混合したものをを用いた。

## 3. 成形方法

## 3.1 CFRPシャフト

ねじり強度を測定する供試体の成形にはFW法を用いた。CFRPシャフトの成形時の張力はTypeA、TypeBが15N、開繊が10～15Nとし、外径20mmのマンドレルに軸方向に対して±45°となるように巻いた。成形後、各シャフトの繊維体積含有率を燃焼法にて求めた結果、TypeAシャフトが57.8%、TypeBシャフトが58.1%、開繊シャフトが54.0%となった。

## 3.2 ILSS試験片

層間せん断強度を測定する供試体の成形にはCFRPシャフトと同様にFW法を用いた。成形時の張力はCFRPシャフトと同一とし、外径140mm、幅12mmのマンドレルにフープ巻きで積層し、Fig.1(a)の外径約152mmのCFRPリングを成形した。供試体はFig.1(b)に示すようにリングから28.4°になるように切り出したものを用いた。



(a) CFRP ring (b) Specimen  
Fig.1 CFRP ring and specimen for ILSS test

Table 1 Tensile properties, sizing description and amount

	Tensile Strength [MPa]	Tensile Modulus [GPa]	Failure Strain [%]	Sizing Description	Sizing amount [%]
TypeA	4900	230	2.1	Bisphenol A epoxy + Unsaturated polyester	1.4
TypeB	4900	230	2.1	Bisphenol A ester	0.3

Effect of sizing agent on torsional strenght of FW-CFRP shafts and interlaminar shearght

Atsunori IWATA, Kzuhiro SAKATA, Yuji KIMURA,  
Kazunori YAMADA and Norio HIRAYAMA

## 4. 実験方法

### 4.1 ねじり試験

ねじり試験は千葉県産業技術支援研究所のねじり試験装置で行った。供試体の寸法はFig.2に示すように全長が600mmで、両端部には試験機取り付け時の応力集中を緩和するために長さ150mm、外径50mmのGFRP製タブを設けた。試験片本数はType A シャフトのみ2本で、他のシャフトは各3本である。試験速度は0.5rpmとし、せん断強度はねじりトルクより算出した。

### 4.2 層間せん断試験

層間せん断強度はASTM D2344/D2344M-16に準拠し、島津製作所製万能試験機を用いた。試験片本数は5本、試験速度は1mm/minとし、試験力はロードセルより検出した。



Fig.2 Specimen for torsional test (unit:mm)

## 5. 実験結果及び考察

CFRPシャフトの代表的な破壊形態としてType Bシャフトの破壊後の様子をFig.3に示す。破壊形態はすべての供試体で同じとなり、主応力方向の圧縮側で繊維束の局部座屈となった。各シャフトのせん断強度の比較をFig.4に示す。CFRPシャフトのせん断強度の平均値はType A シャフト、Type Bシャフト、開織シャフトの順番で大きくなった。開織シャフトのせん断強度はType Aシャフトと比較すると約19%高い値となり、炭素繊維のサイジング剤及び開織がCFRPシャフトのねじり強度に大きく影響することが確認できる。次に、各供試体の層間せん断強度の比較をFig.5に示す。各供試体の層間せん断強度はCFRPシャフトと同様に、Type A供試体、Type B供試体、開織供試体の順番で大きくなり、CFRPシャフトのせん断強度と層間せん断強度の相関性を示す傾向が確認できた。



Fig.3 Type B shaft after failure

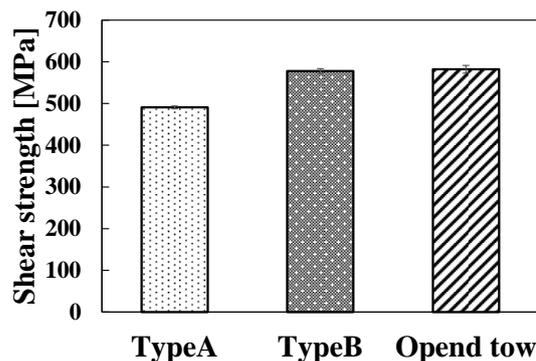


Fig.4 Comparison of shear strength

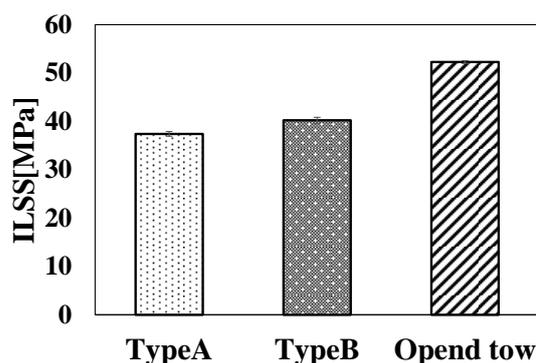


Fig.5 Comparison of ILSS values

## 6. 結言

- 1) 局部座屈をともなう破壊形態となるCFRPシャフトのせん断強度は、炭素繊維のサイジング剤及び開織の影響を受けることが明らかとなった。
- 2) FW法で成形したCFRPシャフトのせん断強度とCFRPリングから切り出した供試体で実施した層間せん断強度は同一傾向となった。

### 参考文献

- 1) 坂田憲泰, 柔軟性界面相を有するFW製CFRP円筒のねじり特性, 強化プラスチック, 64, 6(2018), 269-273.
- 2) 小川俊夫, 横島聖一, CFRPの層間せん断強度に及ぼす表面処理の効果, 材料, 39, 445(1990), 1438-1442.
- 3) 川邊和正, 松尾達樹, 前川善一郎, 開織されて強化繊維束の樹脂含浸挙動, 材料, 47, 7(1998), 735-742.

### 謝辞

本研究の遂行にご協力とご助言をいただいたナガセケムテックス株式会社の高馬俊浩様と若松洋輔様に深く感謝の意を表します。