

強化繊維束が FW 製 CFRP シャフトのねじり特性に与える影響

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などの分野では、金属に比べて比強度、比剛性に優れるCFRP（炭素繊維強化プラスチック）が使用されはじめている。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¹⁾。また、炭素繊維束のフィラメント数の影響も受け、フィラメント数が少ないロービングを使用した方がねじり強度は高くなる²⁾。本研究では、高強度なCFRPシャフトの開発を目的とし、サイジング剤の種類がFW製CFRPシャフトのねじり特性に与える影響について調査した。

2. 使用材料

本研究で使用した炭素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。Type AとType B、Type Cの強度、弾性率、破断ひずみは同程度となっているが、Type Dは他の3種類のものと比較して、弾性率は若干高いが、強度と破断ひずみは小さくなっている。なお、全ての炭素繊維束のフィラメント数は同じである。サイジング剤の主成分については、Type AがビスフェノールA型エポ

キシと不飽和ポリエステル、Type BがビスフェノールA型エステルで、Type CとType Dがポリウレタンとなっている。サイジングの含有量はType Aが最も多く1.4%で、最も少ないのはType Bの0.3%であった。次に、サイジング剤のDSC測定の結果をFig.1に示す。Type Aのみ55℃付近で熱量に変化が表れており、サイジング剤が揮発したと考えられる。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で混合したものを用いた。

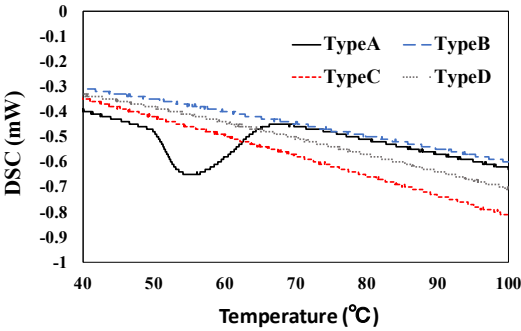


Fig.1 DSC measurement results

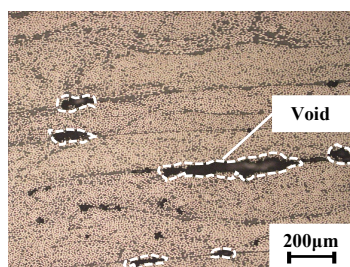
3. 成形方法

供試体の成形にはFW法を用いた。成形時の張力は15Nとし、外径20 mmのマンドレルに軸方向に対して±45°となるように積層した。成形後に供試体の繊維体積含有率を燃焼法にて求めた結果、Type Aシャフトが57.8%、Type Bシャフトが58.1%、Type Cシャフトが57.9%、Type Dシャフトが54.7%となった。次に、Type AとType Bシャフトの断面写真をFig.2に示す。

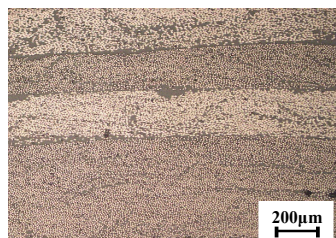
Table 1 Tensile properties, sizing description and amount

	Tensile Strength	Tensile Modulus	Failure Strain	Sizing Description	Sizing amount
	[MPa]	[GPa]	[%]		[%]
TypeA	4900	230	2.1	Bisphenol A epoxy + Unsaturated polyester	1.4
TypeB	4900	230	2.1	Bisphenol A ester	0.3
TypeC	5000	235	2.1	Polyurethane	0.9
TypeD	4400	240	1.8	Polyurethane	1.0

Effect of fiber bundle on torsional properties of FW-CFRP shafts
Atsunori IWATA, Kzuhiro SAKATA, Yuji KIMURA,
Kazunori YAMADA and Norio HIRAYAMA



(a) Type A



(b) Type B

Fig.2 Cross sections of Type A and Type B shafts

Type A, Type C, Type Dシャフトにはボイドが確認されたが、Type Bシャフトには目立ったボイドは確認できなかった。Type AシャフトのボイドについてはFig.1のサイジング剤の揮発が影響していると考えられる。

4. 実験方法

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.3に示すように全長が 600 mm 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 150 mm、外径 50 mm 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 0.5 rpm とし、せん断強度はねじりトルクより算出した。



Fig.3 Specimen for torsional test (unit:mm)

5. 実験結果及び考察

代表的な破壊形態としてType Bの破壊後の様子をFig.4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。せん断強度の比較をFig.5に示す。炭素繊維の強度が同等であったType A, Type B, Type Cのせん断強度はそれぞれ491

MPa, 578 MPa, 501 MPaとなり、Type Bは他の2種類と比較して15%以上高い値を示した。一方、サイジング剤の種類が同じポリウレタンで、含有量も同程度であるが、炭素繊維の強度に14%程度の差があるType CとType Dシャフトのせん断強度は501 MPaと532 MPaとなり、炭素繊維の強度が低いType Dシャフトの方が6%程度ねじり強度は高くなった。

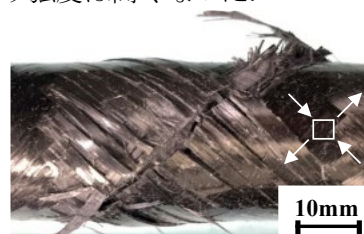


Fig.4 TypeB after torsional tests

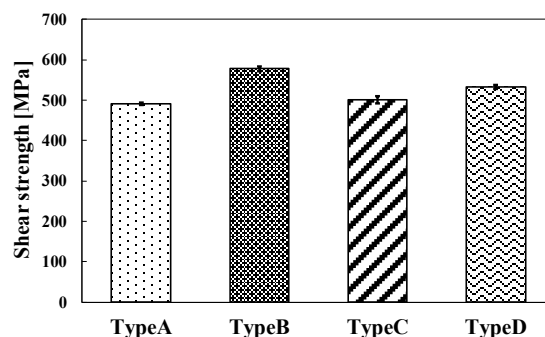


Fig.5 Comparison of shear strength

6. 結言

本研究では高強度なCFRPシャフトの開発を目的とし、強化繊維に用いる炭素繊維のサイジング剤がねじり特性に与える影響を調査した。その結果、CFRPシャフトのせん断強度はサイジング剤の影響を大きく受けることが確認できた。本研究で使用した炭素繊維の中ではType Bが最も良く、他の炭素繊維と比較してせん断強度は15%以上高くなった。

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) 岩田, 坂田, 木村, 山田, 平山, 炭素繊維のサイジング剤およびフィラメント数がFW製CFRPシャフトのねじり特性に及ぼす影響, プラスチック成形加工学会第30回年次大会(2019), 109-110.

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。