

卒業論文要旨

天然繊維のより糸構造が FRP の機械特性に与える影響

システム工学群

高坂研究室 1250180 中澤 駿斗

1 緒 言

多くの産業で使用されている炭素繊維強化プラスチック (CFRP) やガラス繊維強化プラスチック (GFRP) は軽量で強度が高いという特徴を持つが、リサイクルという観点では難点が多い。そこである程度の強度を持ち、これまでの複合材に比べて安価で手に入りやすくサステナブルな材料として近年、天然繊維と樹脂から成る天然繊維複合材料 (グリーンコンポジット) が注目されている。天然繊維は断面が円形でなく、さらにより糸構造を持ち、撚り角度が FRP の剛性に大きく影響すると考えられるため、天然繊維を用いた FRP の特性予測は難しく、実験に頼るところが多い。しかし、ミクロ構造とマクロ構造を結びつけることで、繊維の剛性、構造、撚糸構造から FRP の特性予測は可能であると考えられる。本研究では、天然繊維のより糸構造が FRP の機械特性に与える影響を明らかにすることを目的とし、麻の一種である大麻 (ヘンプ) を使用して、撚り角度を変更した試験片を用いて引張試験を行った。

2 実験方法

2.1 材料および成形方法

本研究では大麻 (Hemp) の撚糸を強化繊維とし、さらに糸の端部にねじりを加えて、撚り角度を変化させた、撚り角度を変化させなかったものを用いて作製したものを試験片 A、10cm ごとに 5 回転ねじりを与えたものを試験片 B、10 回転ねじりを与えたものを試験片 C と呼ぶ。各条件の糸の電子顕微鏡写真を図 1(a)-(c)にそれぞれ示す。また、表 1 には平均の撚り角度を示す。図 1(a)より、ねじりを加えない Hemp は平均的に約 23°C の撚り角を持っているが、部分的には節が生じており、その節付近では撚り角度が変化していた。図 1(b)、(c)から、ねじりを加えることによって節の範囲が拡大することが分かった。よって、追加のねじれを加えても平均的な撚り角度が増加するとも限らないことが分かった。また、節においてねじれが拡大すると、マクロ的に見ても長さ方向に撚り角度が一樣とは言えなくなる。節が表れる理由の 1 つは 3 本の撚糸をさらにより合わせた糸から 1 本の撚糸を取り出したためである。

撚糸を撚り角度が保たれるように注意して治具に巻き付け、それを型に設置して樹脂を流し込み、加熱成形を行った。本研究で用いた樹脂はエポキシ樹脂 (主剤 ARALDITE LY5052, 硬化剤 ARADUR5052CH, 混合比 100:38) であった。100°C の炉に 3 時間入れ硬化させて試験片を作製した。

2.2 試験片および引張試験

図 2 に作製した試験片の寸法を示す。厚みは試験片ごとに異なっていたが、幅はほぼ 20mm、長さは 100mm であった。表 1 に、用いた試験片の寸法を、平均撚り角度とともに示す。試験片の片面に 2 軸のひずみゲージを瞬間接着剤を用いて張り付けた。試験片を引張試験機(島津製作所製)に固定し、

引張速度を 0.2mm/min に設定し、縦および横ひずみと荷重を測定しながら、破断するまで引張試験を行った。

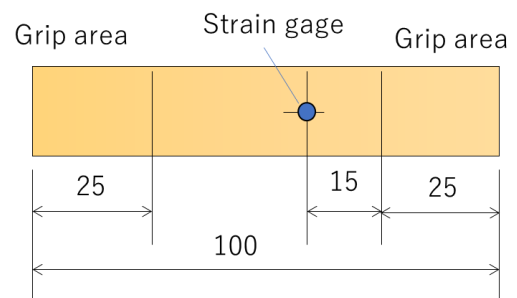
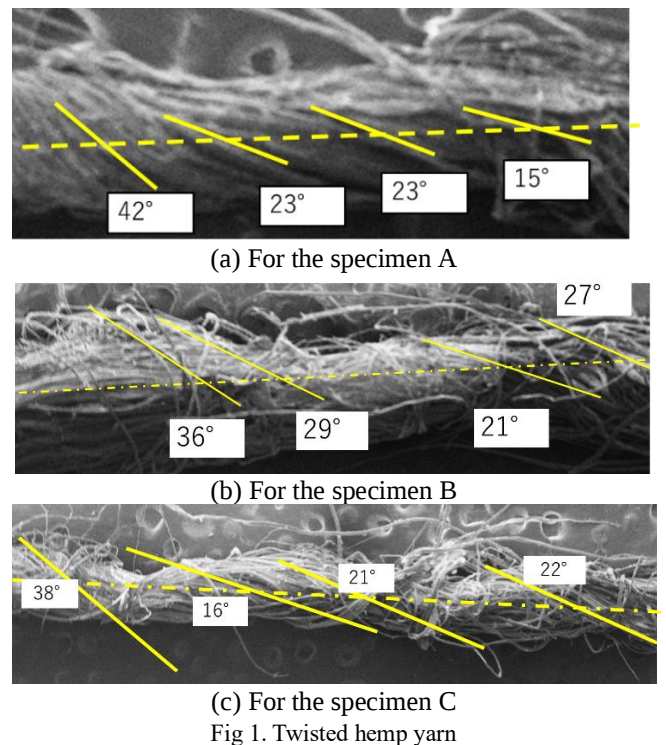


Table1.Specimen dimensions and twist angle

	試験片 A	試験片 B	試験片 C
厚さ (mm)	1.272	1.116	1.307
幅 (mm)	21	21	20.8
縦 (mm)	100	102	95.5
撚り角度	25.7	28.2	24.3

3 結果および考察

3.1 引張試験後の試験片破断面と繊維配置

図3に、試験片Aと試験片Cの引張試験破断後の、破断面付近の写真を示す。図より、試験片Aで引張破壊が生じたことが見えるが、試験片Cでは斜めにしていることが分かる。また、破断後の試験片形状から、明らかに試験片Cではせん断の永久変形が生じており、せん断応力成分が大きい、すなわち引張—せん断カップリングが生じたことを意味する。

また、繊維配置を見ると、試験片Aでは繊維が一方方向に並んでいるが、試験片Cでは縮れたようにねじれて配置された繊維が多いことが分かる。これは追加ねじりを加えずに節に生じたねじれ変形が、成形中にねじれて配置されるように解消されてしまったためであると考えられる。これにより、予期しない引張—せん断カップリングが剛性に現れたと思われる。

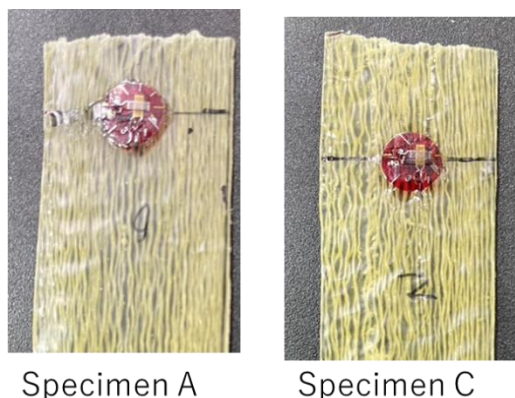


Fig 3. Photographs of broken specimens

3.2 引張応答と物性

図4に、試験片AとCの応力ひずみ線図を示す。図より、試験片Aでは $2000\mu\epsilon$ 辺りから非線形性が表れることが分かった。 $1000\mu\epsilon$ までのひずみ範囲で試験片Aのヤング率を求めたところ、 11.7GPa となった。写真から見ても繊維含有率が低いことが分かるため、その影響でヤング率が低く表れた。一方で図中の試験片Cの傾きを見ると、 $600\mu\epsilon$ で傾きが大きく変わっていることが分かった。これは剛性が大きいことを意味するわけではなく、引張—せん断カップリングによる影響が大きいと思われる。よって試験片Cの $600\mu\epsilon$ 以降の傾きを調べたところ、約 15GPa であることが分かった。ただし引張—せん断カップリングにより、ヤング率を2つの試験片で互いに比較することは難しい。

図5に、試験片A,Cについて縦ひずみと横ひずみの関係を示す。図より、 $1000\mu\epsilon$ までの傾きから試験片Aのポアソン比を求めると、 0.749 となった。一般的なCFRPやGFRPではポアソン比は $0.3\sim 0.35$ の範囲にあるため、天然繊維撚糸を用いたFRPのポアソン比が非常に大きいことが分かった。これは、繊維が撚り角度を持って配列しているためである。

試験片Cは引張—せん断カップリングを起こしているため、試験片Aと単純に比べると難しいが、傾きを取ると 0.55 となり、試験片Aよりも小さい値となった。よって、撚り角度の変更は、ポアソン比には影響が大きいと推測される。

4 結 言

本研究では、天然繊維の撚り角度がFRPにどのような影

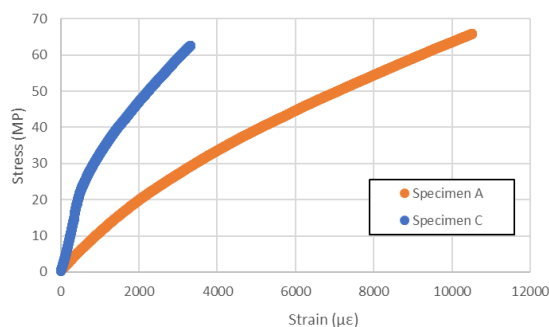


Fig.3. Stress-strain curves of specimens A and C

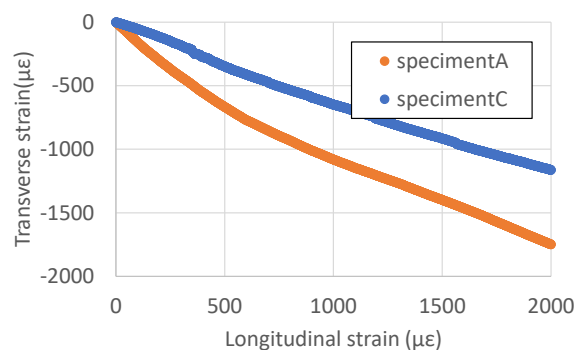


Fig.4. Stress-strain curves of specimens A and C

響を与えるかどうかについて調べたその結果以下のような知見が得られた。

- (1) 撚糸に追加の撚りを与えると節が発生し、FRPの特性に大きく影響する。節の発生が成形中に解消されることで繊維がねじれて配置され、引張—せん断カップリングが生じることがある。
- (2) 撚り角度の違いが剛性およびポアソン比に与える影響を定量的に求めることはできなかった。しかし、撚り角度ポアソン比に与える影響は大きいと推測される。

参考文献

- (1) 福田博, 他“新版 複合材料・技術総覧”, 日本工業出版, (2021), pp. 512-513
- (2) Mega lingam, A., Kumar, M., Sriram, B., Jeevanantham, K., & Ram Vishnu, P. (2021). Borassus fruit fiber reinforced composite: A review. Materials Today: Proceedings, 45, 723–728
- (3) Sarasini, F., Tirillò, J., Puglia, D., Dominici, F., Santulli, C., Boimau, K., Valente, T., & Torre, L. (2017). Biodegradable polycaprolactone-based composites reinforced with ramie and borassus fibres. Composite Structures, 167, 20–29
- (4) BOKEN 品質評価機構, 「天然繊維の種類と特徴」, 2025年2月6日アクセス, https://www.boken.or.jp/knowledge/fiber_information/natural_fiber/1895/
- (5) 上迫, 「天然繊維に関する研究」, 2006年, 2025年2月6日アクセス, <http://j-t.o.oo7.jp/lab/t/2006M-uesako-ppt.pdf>.

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導をいただいた担当指導教員の高坂達郎教授に深く感謝いたします。また、多くの助言をくださった先端機械・航空材料工学研究室の先輩方に感謝いたします。