

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760087

研究課題名(和文)マイグレーション構造を考慮した天然繊維系複合材料の強度特性

研究課題名(英文)Effect of migration structure on mechanical properties of natural twisted yarn reinforced composite

研究代表者

中村 理恵 (NAKAMURA, Rie)

日本大学・工学部・助教

研究者番号：40615598

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：撚糸は強化形態の利点から、天然繊維強化複合材料の強化材として利用される。これまで、繊維工学分野では繊維を撚りあわせた撚糸について様々な研究が行われ、理想的な配向角を用いて撚糸の力学特性を説明している。しかし、実際には理想的な配向角を示さないことが指摘されている。また、天然繊維を樹脂と複合させた天然繊維撚糸強化複合材料に関してはその機械的性質は十分に明らかにされていない。そこで、本研究では撚糸のマイグレーション構造を理解し、撚りが撚糸強化複合材料の力学特性におよぼす影響について明らかにすることを目的としている。

研究成果の概要(英文)：Natural fiber twisted yarns are often used for bio-composites as reinforcement. In a twisted yarn, single yarns migrate from surface to inner along the twisted yarn axis. This behavior is called "migration" and has been studied in textile engineering. Generally, properties of twisted yarn are expressed and suggested a model using ideal migration structure. However, migration does not occur uniformly because migration is caused by unbalanced force of yarns under the yarn twisting process. Tensile properties of composite and yarn are usually explained as a function of twist angle. This migration structure is involved prediction of mechanical properties for composites. Final purpose of this study is to clarify the effect of twist structure on mechanical properties of composite. Migration structure is investigated using X-ray CT scan.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：複合材料 撚糸 マイグレーション 引張特性 評価

1. 研究開始当初の背景

近年、天然物由来の材料が注目されており、天然繊維と樹脂からなる天然繊維強化複合材料(グリーンコンポジット)の研究・開発が進められている。特に、撚糸は強化形態の利点から、天然繊維強化複合材の強化材として使用される。繊維工学分野では、多くの天然繊維を集合し撚りを加えた撚糸について様々な研究が行われてきた。たとえば、撚糸の力学特性は繊維配向と繊維間の摩擦の程度によるといわれている。一方で、これまでの繊維工学分野では撚糸は理想的なマイグレーション構造を示すとみなして扱われてきたが、実際には理想的な構造を示さないことが指摘されている。構造を理解するため、Tracer fiber techniqueを用いた撚り構造(マイグレーション構造)の可視化が行われてきたが、2次元的な構造の把握にとどまっている。実際のマイグレーション構造は複雑な繊維配置のため、その力学特性の把握を困難としている。そのため、撚りの幾何学的構造を踏まえた力学特性の解明は、天然繊維撚強化複合材料分野の更なる発展につながるといえる。

2. 研究の目的

本研究では、撚糸のマイグレーション構造を理解し、マイグレーション構造を考慮したモデルを提案することを目指した。まず、撚り角が撚糸複合材におよぼす影響について調査した。次に、X線CTスキャンを用いてマイグレーション構造を明らかにするとともに、機械的特性におよぼす影響を調査した。

3. 研究の方法

(1) 平成24年度の研究実施計画

平成24年度は、まず基本的な撚りが複合材料の力学的特性におよぼす影響を調査した。性質の異なるPVAとPLA樹脂を用いた複合材料の引張試験を実施した。次に、撚りが多くなるにつれ撚糸間の拘束が増し、力学特性に影響することが予想される。そこで、撚糸中から単糸一本を引き抜く引き抜き試験およ

び撚糸の側圧試験を実施した。撚り角が大きくなるに従い、繊維が引き抜けにくくなることが予想される。

(2) 平成25年度の研究実施計画

撚糸のマイグレーション構造を理解するため、CTスキャンによる断面観察を実施した。撮影した画像から、配向角および単糸の長さを計算し、撚糸中の単糸の位置との関係を調査した。また、配向角を考慮できる六方繊維配列モデルを作製し、撚糸中の荷重分担係数を算出した。

4. 研究成果

(1) 複合材の引張特性におよぼす撚り角の影響

撚り数の異なる撚糸を用いた複合材料の静的引張試験を実施した。これより、PLA および PVA 複合材料ともに、撚り数が増加するにつれ減少することがわかった。撚り数が増加すると撚り角が減少するためである。一方で、PLA および PVA 複合材料の強度低下が小さいことがわかる。一般的に、一方向単層板の強度は Tsai-Hill 則にみられるよう、off-axis 角が大きくなるとせん断破壊の影響を大きくうけることが知られている。そこで破断面を観察することにより、せん断破壊の有無について確認した。これより、せん断破壊がひき起こされない可能性が示唆される。

(2) 撚糸の拘束力と複合材料の引張強度

せん断破壊を引き起こさない要因として、撚糸内の単糸同士の干渉があげられる。撚り数を増加させることにより撚糸の拘束力が高まることが考えられる。そこで、撚糸中から単糸1本を引抜く引抜試験および撚糸の側圧試験を実施した。これより、撚り角が増加するにつれ引き抜き荷重が増加した。つまり、撚り角の増加に伴い繊維間の拘束力が大きくなるといえる。先に述べたように樹脂の特

性から、小さい撚り角ではPLA 複合材料の引張強度がPVA 複合材料を上回る。しかし、角度が大きくなるにつれ両者の引張強度は等しくなる傾向がみられた。撚糸の拘束力が一因とされるが、さらなる調査の必要がある。

(3) ラミー麻撚糸構造におけるマイグレーション評価

マイクロフォーカスX線検査装置を用いてマイグレーション構造の評価を実施した。ラミー麻撚糸を大きく3つのリングゾーン(内側から1,2,3)に分けると、撚糸内の単糸の配向角の大きさはリングゾーンの位置と関連することが明らかになった。また、外側のリングゾーンにある単糸はマイグレーションの回数が少なく、マイグレーションの回数が多くなると単糸の長さが長くなることがわかった。しかし、本実験ではマイグレーションと強度は相関を示さなかった。

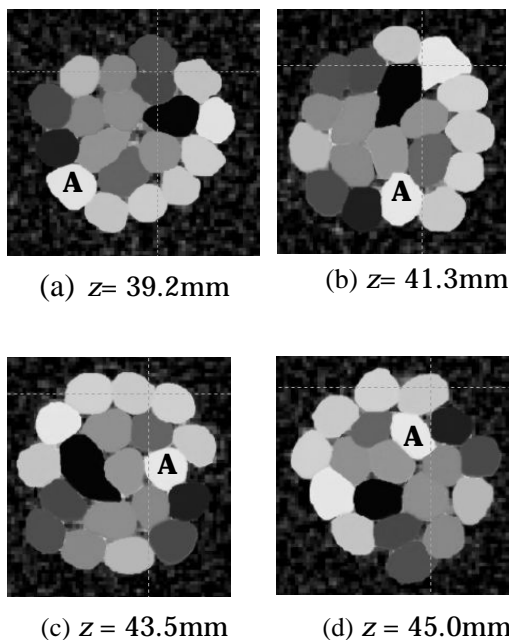


図1 撚糸のCT画像

(4) 撚糸への六方繊維配列モデルの適用

撚糸の配向角と分担荷重の関係を明らかにするため、六方繊維配列を有するシアラゲモデルを作製した。本モデルでは、繊維の配向を考慮することが可能である。これより、

Layer1において繊維が破断した場合、Layer2において荷重分担係数が高くなることが明らかとなった。また、Layer3の配向角が等しいときはLayer2の配向角がおおきくなると荷重分担係数は小さくなる。また、Layer3の繊維においてLayer2のふたつの繊維と接するときは荷重分担係数が高くなる傾向が見られた。なお、今後はマイグレーション構造を考慮して解析を行う予定である。

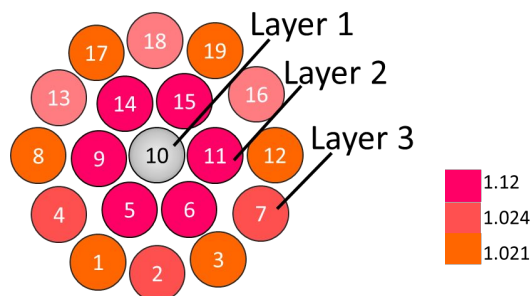


図2 撚糸におけるLayer1が破断時の荷重分担分布(配向角:0°-25°-40°のとき)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

- (1) Satoshi Kobayashi, Keita Takada, Rie Nakamura, Processing and characterization of hemp fiber textile composites with micro-braiding technique, Composites PartA, 59, pp.1-8, 2014, DOI: 10.1016, 査読有
- (2) Rie Nakamura, Koichi Goda, Effect of yarn structure on mechanical properties of twisted yarn composites, Material Science Forum, Vol.783-786, pp.1554-1559, 2014, DOI:10.4028, 査読有
- (3) 中村理恵, 合田公一, 撚糸と撚糸強化複合材料の力学, 強化プラスチック, 59(8), pp.266-270, 2013, 査読有
- (4) 吉田一幾, 黒瀬 司, 中村理恵, 野田淳二, 合田公一, 天然繊維撚糸およびこれを用いたグリーンコンポジットの力学特

性に及ぼす撚糸構造の影響,材料,61(2),
pp.111-118,2012,査読有

〔学会発表〕(計 5 件)

- (1) Rie Nakamura, Koichi Goda, Estimation of MIGRATION structure In RAMIE TWISTED YARN and ITS MECHANICAL PROPERTIES, IUMRE-ICA 2013, 2013/12/20, Bangalor, India, 招待講演
- (2) Rie Nakamura, Koichi Goda, Effect of yarn structure on mechanical properties of twisted yarn composites, THERMEC2013, 2013/12/3, LasVegas, USA, 招待講演
- (3) Rie Nakamura, Shouhei Sakurada, Koichi Goda, Estimation of migration structure in ramie twisted yarn, Composites week @ Leuven, 2013/9/17, Leuven, Belgium
- (4) 中村理恵, 天然繊維系複合材料の機械的性質, 機械学会関東支部総会, 2013/3, 首都大学東京
- (5) Rie Nakamura, Shouhei Sakurada, Koichi Goda, Effect of Yarn Structure on Mechanical Properties of Twisted Yarns and Green Composites Reinforced with Twisted Yarn, 15th European Conference on Composite Materials, 2012/6/28, Venice, Italy

〔図書〕(計 2 件)

- (1) Rie Nakamura, Anil.N.Netravali, John Wiley & Sons, Inc., Polymer Composites 12 Fully biodegradable "Green" Composites, pp.431-464, DOI: 10.1002/9783527674220.ch12
- (2) Rie Nakamura, Koichi Goda, John Wiley & Sons, Inc., Polymer Composites 10. Textile composites,

pp.331-344, 2013,

DOI: 10.1002/9783527674220.ch10

〔その他〕

ホームページ等

- (1) http://www.mech.ce.nihon-u.ac.jp/material_research.html
- (2) 日本材料学会複合材料部門委員会グリーンコンポジットWG撚糸力学小委員会第1回GCWG撚糸力学の勉強会にて講演,中村理恵,撚糸への六方繊維配列 Chain-of-bundles モデルの適用, 2013/11/29, 日本大学工学部

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 理恵 (NAKAMURA, Rie)

日本大学・工学部・助教

研究者番号: 40615598