

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360051

研究課題名（和文） グリーンコンポジットの強化とその機構の解明

研究課題名（英文） Strengthening of a green composite material and clarification of its mechanism

研究代表者

合田 公一 (GODA KOICHI)

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：10153743

研究成果の概要（和文）：代表的な高強度天然繊維であるラミー麻と熱可塑性樹脂であるポリプロピレン(PP)を組み合わせた短繊維ラミー麻/PP 複合材料（グリーンコンポジット）を作製し、この材料に繰返し引張負荷処理を施すとともにその機械的特性の改善を図った。等二軸同時繰返し引張負荷処理を施した結果、これより切り出した試験片の引張強度、ヤング率は5%～10%程度向上することが判明した。すなわち、グリーンコンポジット分野において、本手法を通してこの材料が等方的に強化されることが初めて明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：A green composite composed of, short ramie fiber and polypropylene (PP) was produced. To improve the mechanical properties, equi-biaxial cyclic tensile loading was applied for this material. After the loading, tensile strength and Young's modulus of the specimens, which were cut-out from the cyclic-loaded material, were improved to approximately 5% to 10%. It was clarified for the first time in the field of green composites that the green composite is strengthened with isotropy through this method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	7,400,000	2,220,000	9,620,000

研究分野：機械工学、機械材料・材料力学

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：グリーンコンポジット、天然繊維、ポリプロピレン、強化、引張強度、ヤング率、多軸応力、繰返し力学応答

1. 研究開始当初の背景

現在、地球規模で様々な環境問題が発生しており、複合材料の分野においても使用後の廃棄方法やリサイクル方法の確立に向けた取り組みが活発に行われている。従来使用さ

れてきたガラス繊維強化プラスチックは、優れた機械的特性を示すものの、リサイクル時において繊維と樹脂との分離技術等に高い技術が要求される。一方、天然繊維等のバイオマス由来の材料と熱可塑性樹脂を用いた

複合材料のリサイクル方法は、加熱を行い軟化させ再成型させるため、繊維と樹脂との分離を必要としない。また、廃棄の際にも天然繊維は生分解性であるため、環境に優しい材料である。このような背景から、天然繊維を用いた複合材料、いわゆるグリーンコンポジット (Green composites) に関わる研究・技術開発に高い関心が寄せられている。

天然繊維のうち、セルロースを主成分とする亜麻、大麻、ケナフ、ラミー、ジュートなどの植物系天然繊維は、セルロースの優れた強度・剛性のために強化材として使われることが多い。この繊維に対して単独に繰返し引張負荷を与えると、その強度・剛性がさらに増加することが国内外で報告されてきた。研究代表者のグループも過去にラミー繊維を使って、このような強度・剛性改善が同様な力学処理によって現われることを見出している。

2. 研究の目的

先に述べた繰返し引張負荷効果が複合材料内でも発現されるかどうかを調査するために、ラミー短繊維を強化材とする複合材料、いわゆるグリーンコンポジットを作製するとともに、これに単軸下で繰返し引張負荷を与え、のちにこの材料の引張強度試験を行った。その結果、引張軸方向から切り出された試験片には改善効果が発現されるものの、引張軸から外れて切り出される試験片に改善効果を見出すことはできなかった。つまり、改善効果は異方性を示すことがわかった。これは引張軸下から外れて配列された繊維には応力が十分に伝達されないからである。

そこで、本研究は同様なグリーンコンポジットに二軸下で繰返し引張負荷を与え、この材料の機械的特性の向上を図ることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 材料 本実験では供試材料として、強化材に繊維長 10mm のラミー繊維 (帝国繊維 (株) 製) を用いた。母材には熱可塑性樹脂である、PP (株プライムポリマー製) を用いた。また相溶化剤として無水マレイン酸変性 PP (化薬アクゾ (株) 製、以下、MAPP と略記する) を 2wt% 添加した。繊維含有率は 10wt% とした。

(2) 試験片作製 二軸混練機 (ラボプラストミル、(株) 東洋精機製作所製) を用いて PP、ラミー繊維および MAPP を混練温度 170°C で 10 分間混練した。混練後、プレス機で設定温度 170°C、圧力を 0.2MPa、加圧時間 45 秒で加熱プレスを行う。その後、温度 20~30°C、圧力 0.2MPa、冷却時間 2 分で冷却プレスして、厚さ 1mm の平板を作製する。この平板から八角形に試験片を切り抜き、試験片端部に厚さ 0.5mm のアルミタブを表裏に張り付けた。作

製した八角形試験片の形状と寸法を図 1 に示す。等二軸繰返し引張負荷後、八角形試験片から、概ね等応力となる領域にゲージ部が入るように、短冊型試験片を 0° 方向に 1 本、45° 方向に 2 本、90° 方向に 1 本ほど切り出した (Fig. 1 の白色部)。作製した試験片の形状と寸法を図 2 に示す。

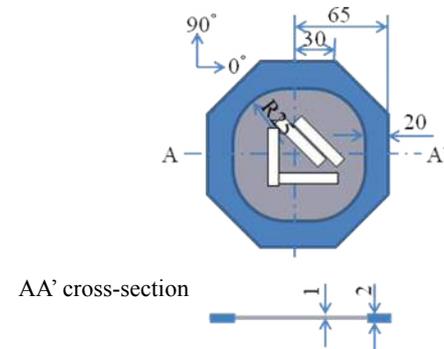


図 1. 等二軸繰返し引張負荷用八角形試験片の形状と寸法、および引張強度試験用の切出し位置

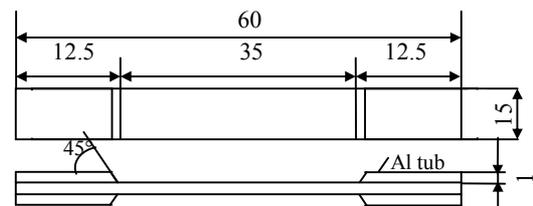
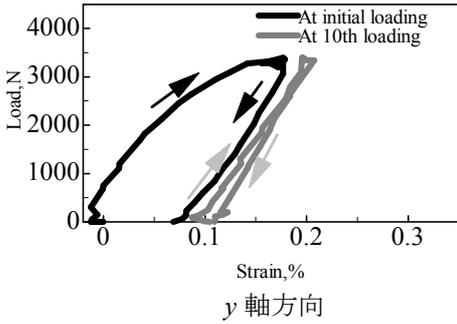
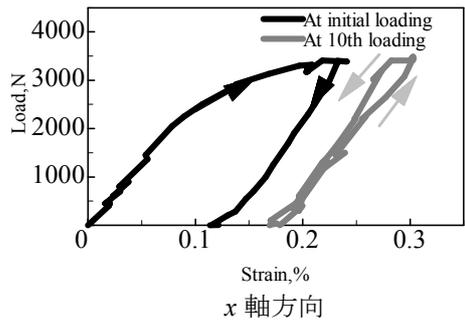


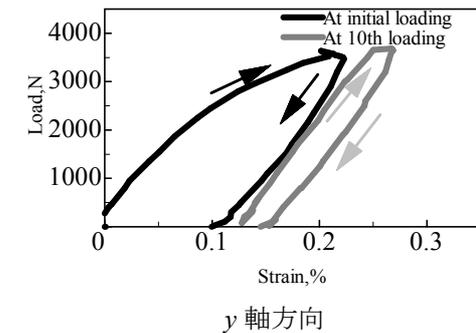
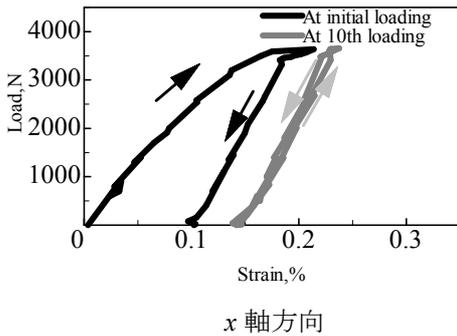
図 2. 引張強度試験片の形状と寸法

(3) 等二軸繰返し引張負荷試験 八角形試験片を x - y 引張試験機 (岐山化工機 (株) 製) にセットし、つかみ部に同試験片破断荷重の約 70%、荷重速度 380N/s の三角波で、等二軸繰返し引張負荷を施した。繰返し回数は 10 回とした。その後、短冊型試験片をクロスヘッド速度 20mm/min で単軸引張強度試験を行った。

(4) 単軸繰返し引張負荷処理 作製した複合材料の平板から、長形状に試験片を切り出し、 x - y 引張試験機 (岐山化工機 (株) 製) を用い、試験片引張強度の約 56% の応力で単軸繰返し引張負荷を施した。引張方向は 0° 方向とし、繰返し回数を 10 回とした。この後、長方形試験片から Fig. 2 に示す短冊型試験片を切り出し、クロスヘッド速度 20mm/min で単軸引張強度試験を行った。



(a) PP 八角形試験片



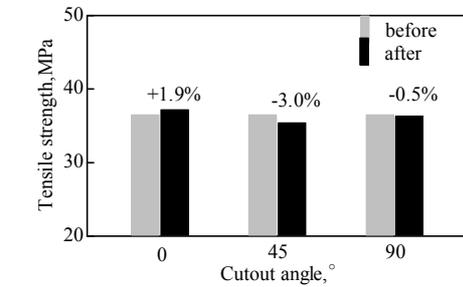
(b) ラミー/PP 八角形試験片

図 3. 各八角形試験片の荷重-ひずみ応答

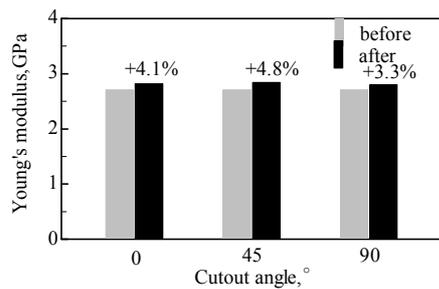
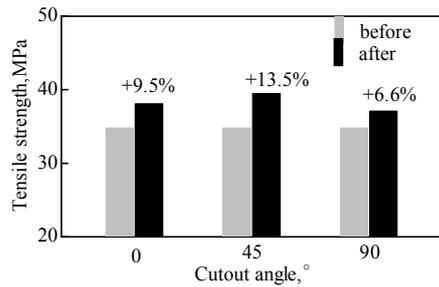
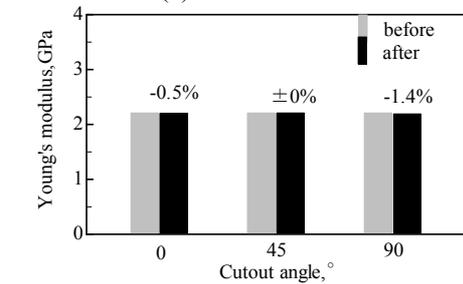
4. 研究成果

(1) 等二軸繰返し引張負荷効果 図3にPPおよびラミー/PPの等二軸同時繰返し引張負荷1回目と10回目のx方向およびy方向の荷重-ひずみ線図を示す。これより、PP材、ラミー/PP材ともにヒステリシスを示すが、初回に比べて10回目のループ幅は小さくなることわかる。また繰返しにともなってヒステリシスループは徐々に右に動き、変形が

進むことがわかる。図3(a)のPPの荷重の立ち上がりから0.05%ひずみまでの傾きを1回目と10回目で比較すると、x方向で11.8%、y方向で53.4%の低下がみられた。一方、図3(b)より、ラミー/PPでは荷重の立ち上がりから0.05%ひずみまでの傾きを1回目と10回目で比較すると、x方向で30.3%、y方向で



(a) PP



(b)ラミー/PP

図 4. 等二軸繰返し引張負荷後の切出し試験片の引張強度およびヤング率

26.7%の向上がみられた。これから、繰返し負荷後のPP材は、特にy方向(90°方向)の引張性質の減少がより顕著に現われると予想される

図4にPPおよびラミー/PPの等二軸繰返し引張負荷前後の引張強度とヤング率を示す。

負荷前の試験片の引張強度、ヤング率は、各角度の平均値を用いた。図 4(a)より、PP に 70%の応力レベルで繰返し負荷を与えたにもかかわらず、引張強度、ヤング率の変化はほとんどみられない。90°材はむしろ減少傾向にある。負荷時の試験片中心部の最大ひずみは、X方向、Y方向で0.2~0.3%程度であり、塑性変形の程度が小さく、PPのいわゆる延伸効果が発現されなかったと考えられる。以上のように、PP単独では繰返し負荷による特性発現は極めて小さいと判断される。

一方、図 4(b)に示すように、ラミー /PPではどの切出し角度においても引張強度、ヤング率ともに改善効果がみられる。ただし、ヤング率の改善効果は引張強度におけるより程度が小さい。これより、等二軸繰返し引張負荷効果が発現したと考えられる。先述のように、PP単独では繰返し効果がみられなかったことから、ラミー /PPの引張強度、ヤング率の向上は複合材料中の繊維の存在が関わっている。植物系天然繊維内ではセルロースマイクロファイブシル(CMF)が繊維軸に対してらせん状に配向しており、ある角度に傾斜している。繰返し引張負荷処理を施すことによりこのCMFの配向角が軸方向に揃い、軸方向への繊維自体の引張強度、ヤング率を向上させる。このような繊維の構造変化が等二軸負荷形態によってどの角度でも生じ、切出し試験片の引張性質が改善されたと考えられる。

(2) 単軸繰返し引張負荷との比較 ラミー /PPの等二軸繰返し引張負荷において、試験片中心部の等応力分布域では引張強度の56%相当の応力が負荷されている。そこで、この応力レベルで単軸引張負荷処理を行うことにより、等二軸繰返し引張負荷との効果のちがいを調査した。図 5に単軸繰返し引張負荷前後の結果を示す。負荷前の試験片の引張強度、ヤング率は、3種類の角度の平均値を用いた。これより、0°切出し材に多少の改善がみられるものの、90°方向は逆に各値が減じられている。また、0°方向の改善効果も図 4(b)と比較する限り小さいと言えよう。同じ応力レベルで繰返し引張負荷を行うと、等二軸繰返し引張負荷はどの方向の繊維にも均等に応力負荷できるため、強化効果がいつそう発現したと考えられる。

以上のように、ラミー /PPは繰返し負荷方向に強化される材料であることが判明した。よって、この材料を構造物に使用する際、負荷される方向に強化されるため、その強化限界について検討することが必要となる。このような特性やさらには繰返しによる損傷・破断、すなわち疲労損傷や疲労寿命については今後解明すべき課題である。

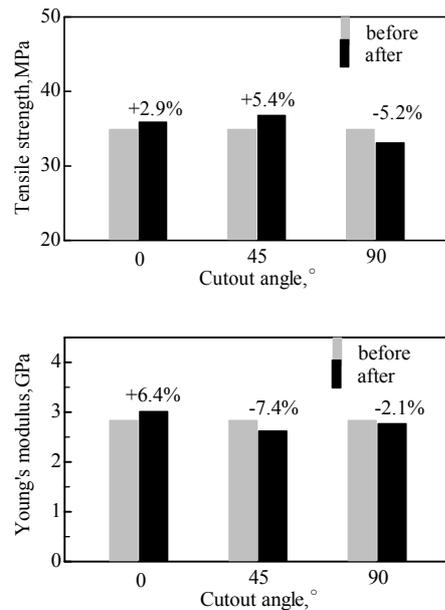


図 5. 単軸繰返し引張負荷後の切出し試験片の引張強度およびヤング率

(3) 成果のまとめ

本研究では、代表的なグリーンコンポジットであるラミー/PPに等二軸繰返し引張負荷を施し、等方的な機械的特性の向上を目指した。ラミー麻、PP、MAPPを混練後、加圧成型により複合材料を作製し、単軸及び二軸方向に繰返し負荷を施した。その後、引張試験を行うことで機械的特性、およびその異方性の評価を行った。得られた結果を以下に要約する。

- ① 等二軸同時繰返し引張負荷を施すことにより、ラミー/PPの強度・剛性が向上する。PP単体に同様な負荷を与えても強化効果は発揮されない。
- ② 等二軸同時引張負荷によって強化効果は等方的に発現される。一方、単軸繰返し引張負荷では強化効果は負荷方向のみに限定される。
- ③ 以上のように、グリーンコンポジット分野において、繰返し引張負荷を与える手法により、この材料が等方的に強化されることが始めて明らかとなった。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

- ① 川本俊幸, 坂田裕介, 合田公一, 野田淳二, 青木憲治, ラミー麻/PP グリーンコンポジットの機械的特性に及ぼす 2 軸繰返し引張負荷効果, 日本材料学会 第 26 回信頼性シンポジウム, 2012 年 12 月 13 日~2012 年 12 月 14 日, サンポートホール高松 (高松市)
- ② 坂田裕介, 川本俊幸, 合田公一, 野田淳二, 青木憲治, ラミー麻/PP の力学特性に及ぼす 2 軸繰返し引張負荷効果, 日本機械学会 M&M2012 材料力学カンファレンス, 2012 年 09 月 22 日~2012 年 09 月 24 日, 愛媛大学 (松山市)

[その他]

ホームページ等

<http://mr25.mech.yamaguchi-u.ac.jp/Research%20theme2012.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

合田 公一 (GODA KOIHI)
山口大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：10153743

(2) 研究分担者

野田 淳二 (NODA JUNJI)
山口大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：00398992

(3) 連携研究者

()
研究者番号：