

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24651078

研究課題名(和文) 繊維廃材及び竹資源の有効活用を目指したバイオマス複合材料の開発

研究課題名(英文) Development of fiber reinforced composites with waste fabric and bamboo

研究代表者

倉敷 哲生 (Kurashiki, Tetsusei)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・招へい准教授

研究者番号：30294028

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：リサイクル率が低い繊維廃材を再生資源として活用し、環境負荷を低減する複合材料の開発が本研究目的である。繊維廃材と竹繊維を用いた複合材を提案し、三点曲げ試験による評価を行い、その有効性を示した。また、繊維廃材と樹脂との界面結合を向上させるべく、無水マレイン酸の配合量を変えた表面処理を施した熱可塑性繊維を界面改質材として利用し、繊維廃材との複合化を試みた。その結果、無水マレイン酸の添加により繊維間が接着され、力学的特性が向上することが分かった。さらに、日本農林規格の条件に基づいた有限要素解析を実施し、試験片厚さと曲げ特性の関係を評価し、フローリング材として適用条件を満たす構造を見出した。

研究成果の概要(英文)：A recycling rate of waste fabric in Japan is only 8% that is remarkably lower than those of other materials. In this study, the waste fabric was compounded with bamboo and resin as a substitute for the conventional plastic materials in order to increase the effective use of the waste fabric. The results of three-points bending test showed that the proposed materials had good performances compared with the conventional materials. In order to improve the interfacial properties between waste fabric and resin, maleic anhydride treated polypropylene (MAPP) was applied. The experimental results revealed that the mechanical properties of the proposed materials with MAPP were improved more than those of the conventional materials because the interfacial bonding between waste fibers was improved. Furthermore, the optimum structure of the proposed materials was clarified for the application of flooring structures based on numerical analysis considering JAS standards of flooring materials.

研究分野：複合材料工学

キーワード：複合材料 力学的特性 繊維廃材 熱可塑性繊維 表面改質 有限要素解析 熱的特性

1. 研究開始当初の背景

石油、石炭、木材といった主要資源の枯渇化が指摘され、震災の影響を被った我が国の今後の復興・発展にとって、資源の有効活用は急務の課題である。中でも繊維廃棄物は年間約 200 万トン以上とされ、そのほとんどが有効活用されておらず、リサイクルされているのはわずか 8%程度である。リサイクル意識の向上に伴い自治体、企業等が分別回収に力を入れて繊維廃棄物の回収率を上げて、現状では有効に利用する方法が無いために繊維廃材は焼却・埋め立ての処分以外に有効な処理方法が無いのが問題点である。

一方、竹は成長が早い優良な資源であるが、輸入製品や他の素材の製品に押され需要が低迷し、その結果、我が国内で竹林の放置化が顕在化している。全国の竹林面積は約 8 万 ha とされ 800 万トン以上の放置竹林が存在しており、放置されれば環境破壊の原因となるが、有効活用できれば貴重な資源となる。

2. 研究の目的

繊維リサイクル技術として、繊維廃棄物をほぐして繊維状に戻しフェルトを作成し、熱可塑性繊維をバインダーとして混用し加熱圧縮することで製造する繊維板としての利用が考えられる。そこで、繊維廃材や竹資源を再生資源として活用し、環境負荷を低減するバイオマス複合材料の開発を本研究目的とする。

特に、複合材料としての力学的特性(曲げ剛性・強度等)には、繊維廃材と樹脂との界面結合の向上が重要となる。そこで、無水マレイン酸による表面処理を施した熱可塑性繊維(ポリプロピレン繊維)を界面改質材として利用し、繊維廃材との複合化を試みる。

3. 研究の方法

(1) 繊維廃材・竹繊維・熱可塑性樹脂含有複合材料の創製と曲げ特性評価

繊維廃材と熱可塑性樹脂(セラック樹脂)を含有し、最外層に竹繊維シートを配置し加熱圧縮により成形した材料を生成する。これらの材料より短冊形試験片を切り出し、JIS K 7171 に基づき 3 点曲げ試験を実施する。試験片本数はいずれも 5 本である。

(2) 熱的特性評価

繊維廃材と樹脂との界面結合を向上させるべく、無水マレイン酸による表面処理を施した熱可塑性繊維(ポリプロピレン繊維)を界面改質材として利用し、繊維廃材との複合化を行う。その成形条件を選定して試験片を作成し、材料の熱特性を明らかにするため示差走査熱量測定と熱重量測定を行う。

(3) 力学的特性評価

上記の試験結果を基に、無水マレイン酸の有無による第 2 次試験片を作成し、層間せん断試験、微小圧縮試験、3 点曲げ試験を実施

し、力学的特性を評価する。層間せん断試験は JHPCB 法に準拠し、3 点曲げ試験は JIS K 7171 に基づく。微小圧縮試験については島津製作所 MCT-W500-J により負荷 - 除荷試験を行う。

4. 研究成果

(1) 繊維廃材・竹繊維・熱可塑性繊維含有複合材料の創製と曲げ特性評価

作製した試験片について、3 点曲げ試験を実施した結果を表 1 に示す。比較として、これまでの研究者らの実験により、曲げ強度等の特性が良い構造として、繊維廃材にスチール細線を混用した材料の数値も併せて表中に示す。提案材料は剛性、強度ともに向上しており、そのばらつきも小さい。さらに、スチール細線混用材に比べても軽量である。

Table 1 Experimental result of three-point bending test

Type	Flexural modulus (GPa)		Flexural strength (Mpa)		Density (g/mm ³)
	Ave.	COV	Ave.	COV	
Proposed material	3.83	0.03	31.2	0.05	1.06
Reference material	3.12	0.07	26.7	0.09	1.14

ただし、曲げ負荷時の層間剥離や圧子部近傍での圧壊が見られ、さらなる物性向上に向けた課題が残された。これらの点から、厚さ方向に均質な強化が可能となるよう、繊維廃材と樹脂との界面結合を向上させるべく、無水マレイン酸の配合量を変えた表面処理を施した熱可塑性繊維(ポリプロピレン繊維)を界面改質材として利用し、繊維廃材との複合化を試みる。

(2) 無水マレイン酸添加複合材の熱的特性評価

無水マレイン酸 5wt% をポリプロピレン繊維に処理を施した材料(WF)を作成し、熱特性を調査するため示差走査熱量(DSC)測定と熱重量(TG)測定を行った。その結果として Fig.1 に DSC 曲線、Fig.2 に TG 曲線を示す。比較として、無水マレイン酸処理を行わない試験片(F)も作成し、その結果も図中に併せて示す。

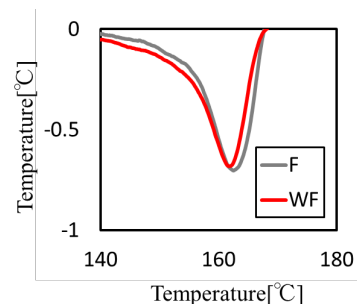


Fig.1 DSC curve

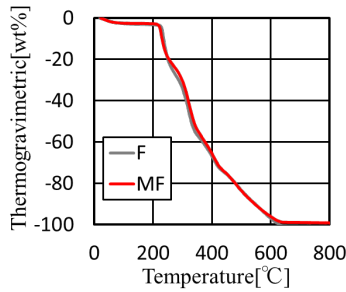


Fig.2 TG curve

DSC 試験の結果、F と MF のどちらの材料も同じ吸熱ピークが 163 (ポリプロピレン) に現れた。一方で、雑反毛の融点は見られなかった。その原因として様々な再利用材料の偏在により明確な吸熱ピークが現れなかったと考える。また、TG 試験の結果より、F と MF のどちらの材料も同じ傾向を示す。一般的にポリプロピレンの熱分解温度は 480 付近であるが、繊維状にすることで表面積が大きくなり熱分解が急激に短縮化される。また、600 程度まで昇温するとほぼ全て分解し、無水マレイン酸を含浸させることでポリプロピレンの重量割合は減少しており、酸素と反応し残炭量が減少したと考える。

以上の DSC, TG 試験の両結果より、無水マレイン酸を用いても熱特性は変化しないことが明らかとなり、F と MF は同じ成形条件で製作することが可能である。

(3) 無水マレイン酸添加複合材の力学的特性評価

層間せん断試験

試験片として 3 種類を準備した。無水マレイン酸を添加していない試験片(F)、少量添加 (<1.75wt%) した試験片(MF)、1.75wt% 添加した試験片(MFA)である。層間せん断試験結果を Fig.3 に示す。図中の棒グラフはせん断強度であり、スキャッターバーも併せて示す。また、折れ線グラフは変動係数である。MF の層間せん断強度は F と比較して 1.12 倍向上し、MFA は 1.61 倍向上する。試験後の試験片の破断面について、繊維の接着性を比較するため断面画像から画像解析によりポイド率を算定した結果、MF ではポイド率が 2.39 倍減少しており繊維同士が接着している部分が多く見られた。無水マレイン酸が溶解することで繊維同士を接着させ、層間せん断強度の向上につながったと考える。

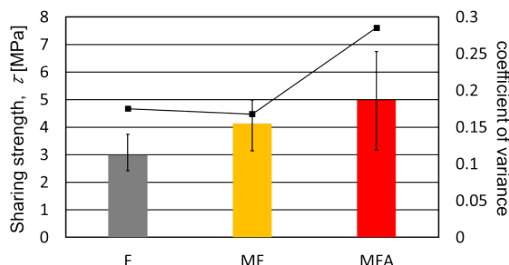


Fig.3 Inter-laminar shearing strength

微小圧縮試験

微小圧縮試験より得られる負荷 - 除荷線図から縮約弾性係数を算出し、その平均値ならびに変動係数を Fig.4 に示す。無水マレイン酸を添加することで縮約弾性係数は増加する。繊維間同士の接着性が向上し、圧子の押し込みをより大きな面で受けることによりバラつきが減少したと考える。

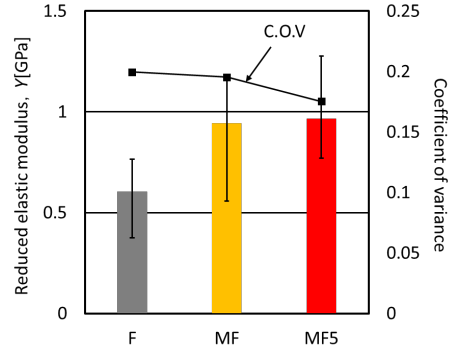


Fig.4 Reduced elastic modulus

3 点曲げ試験

3 点曲げ試験の結果として、Fig.5 に比曲げ強度 (曲げ強度を密度で正規化) し整理した結果を示す。Fig.6 に比曲げ剛性を示す。参考として木材 (松材) の代表的数値も併せて図中に示す。

曲げ強度は F と比較して MF は 1.24 倍向上、MFA は 1.66 倍向上し、曲げ剛性は F と比較して MF は 1.47 倍向上、MFA は 2.09 倍向上する。さらに、無水マレイン酸を添加することにより変動係数が減少することがわかる。これも繊維の接着性が向上することでバラツキも抑えられたためであると考えられる。また、MFA は木材と同等の曲げ特性を得ることが確認でき、故繊維複合材料の応用先が期待できる。また、試験後の試験片の断面観察の結果、曲げ負荷時の層間剥離や圧子部近傍での圧壊が見られず、厚さ方向にも均質な特性を有する複合材料であると考えられる。

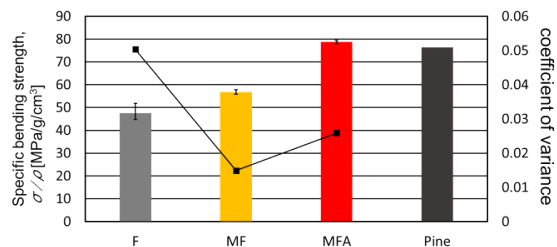


Fig.5 Specific bending strength

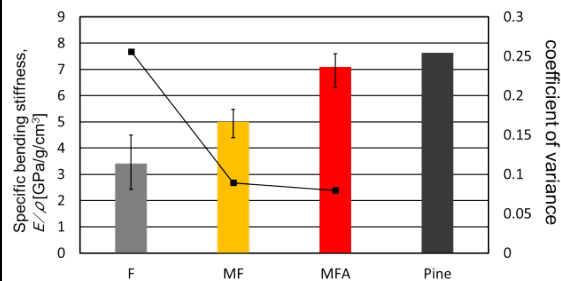


Fig.6 Specific bending stiffness

(4) 傾斜機能構造への展開

無水マレイン酸量が増すことにより曲げ特性の向上となる一方、コスト増も招くこととなる。そこで、無水マレイン酸を含む層を最外層に、含まない層を内部層としたサンドイッチ構造を提案し、フローリング材への適用のために、日本農林規格の条件に基づいた有限要素解析を実施し、試験片厚さと曲げ特性の関係を評価した。

複合フローリングの日本農林規格では曲げたわみにより規定されている。スパン700mmに対し、フローリングの幅100mm当たり3kgと7kgの負荷を与えた時のたわみ差が3.5mm以内であることが規定されている。そこで、上述の(3)までの実験で求めた材料物性値を用いて、日本農林規格に従う曲げ負荷を考慮した有限要素モデルを作成し、3点曲げ解析を実施した。解析の一例として、厚さ20mmのうち最外層のMA(無水マレイン酸添加)層を12mmとして解析を行った結果として荷重-たわみ線図をFig.7に示す。無水マレイン酸添加量の増加に伴い、たわみ量も減る傾向となる。

また、Fig.7の結果を基に、最外層の厚さを変えた場合のたわみ差を整理した結果をFig.8に示す。繊維廃材のみでは、フローリング材としての利用は困難だが、板厚12mm以上のMA層を最外層に設置することでフローリング材としての適用が可能となる。

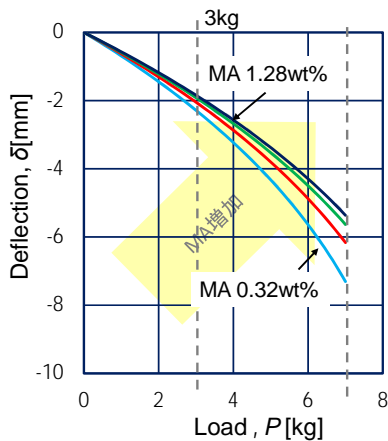


Fig.7 Relation between deflection and load

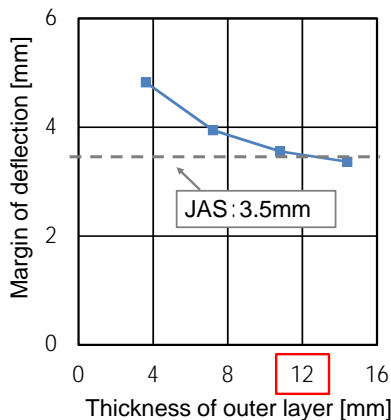


Fig.8 Relation between deflection and thickness

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計4件)

- (1) 村上雄基, 倉敷哲生, 田邊大貴, 門倉建造, 使用済み繊維及び熱可塑性繊維を用いた複合材料の力学的特性評価, 日本繊維機械学会第66回年次大会, 2013年5月31日, 6月1日, 大阪市
- (2) Y.Murakami, T.Kurashiki, D.Tanabe, K.Kadokura, Estimation of mechanical properties for fiber reinforced composites with waste fabric and polypropylene fiber, 19th International Conference on Composite Materials (ICCM-19), 28, July - 2, Aug., 2013, Montreal, Canada.
- (3) 倉敷哲生, 繊維強化複合材料, 日本繊維機械学会テキスタイルカレッジ, 2012年5月24日, 大阪市
- (4) 菊池隼太, 向山和孝, 鈴木拓也, 島村和夫, 花木宏修, 倉敷哲生, 繊維強化複合材料の傾斜ユニットモデルによるミクロ構造の力学的特性評価, 第6回日本複合材料合同会議, 2015年3月4日~6日, 東京.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

倉敷 哲生 (KURASHIKI TETSUSEI)
大阪大学・大学院工学研究科・招へい准教授
研究者番号: 30294028

(2)研究分担者

森 裕章 (MORI HIROAKI)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 10294026