

## 論文

## 竹繊維の特性とその用途開発について

池田 善光<sup>\*1)</sup> 山本 清志<sup>\*1)</sup> 吉田 弥生<sup>\*1)</sup> 小柴 多佳子<sup>\*1)</sup> 宮本 香<sup>\*2)</sup>

## Characteristics of Bamboo Fiber and Development of its Uses

Yoshimitsu Ikeda<sup>\*1)</sup>, Kiyoshi Yamamoto<sup>\*1)</sup>, Yayoi Yoshida<sup>\*1)</sup>, Takako Koshiba<sup>\*1)</sup>, Kaori Miyamoto<sup>\*2)</sup>

Bamboo is attracting attention as an ecological material. We succeeded in obtaining three kinds of material from bamboo: a fiber bunch, a filament, and a parenchyma cell. All three materials shows good compatibility in composition with some resins. Reduced fiber length occurs in composition with thermoplastic resin, but with unsaturated polyester resin, reduced fiber length does not occur. Therefore it is thought that performance of bamboo fiber is sufficiently demonstrated.

キーワード: 竹繊維, 柔細胞, FRP, 紫外線遮蔽効果, 不飽和ポリエステル樹脂, ポリ乳酸樹脂, アスペクト比

Keywords: Bamboo fiber, parenchyma cell, Fiber reinforced plastics, Ultraviolet rays shield effect, unsaturated polyester resin, Poly lactic acid resin, Aspect ratio

## 1. はじめに

一般の木材資源が再生までに数十年必要であるのに対して僅か2~3年で再生するという資源・環境面からの利点から竹素材が注目を集めている。物理的圧搾とアルカリ処理を組み合わせることで、竹稈より効率的にしかも損傷の少ない竹繊維を取り出せることは既に報告した<sup>(1)</sup>。この竹繊維の繊維長は平均で約1.8mmと短く、衣料用素材には適さないが、その形状が直線状であり、繊維幅に対する繊維長の比であるアスペクト比も約120程度あることから、強化素材として使用できるのではないかと考え、繊維強化プラスチック(FRP)の繊維材料への適用を検討した。あわせて、竹繊維取り出し時に副産物として得られる柔細胞の利用方法についても検討した。

## 2. 試験方法

2.1 原料竹と竹繊維の取り出し 生育後3年を経た孟宗竹の成竹を原料として用いた。竹繊維の取り出しは、前報(1)と同様に行った。

2.2 樹脂材料 不飽和ポリエステル樹脂(UP), ポリ乳酸樹脂(PLA), ポリブチレンサクシネートアジペート樹脂(PBSA), ポリプロピレン樹脂(PP)の4種の樹脂を用いた。

2.3 熱減量率測定 ヤマト科学製定温乾燥機 DN610Hを用い、100℃~240℃まで20℃ずつ昇温し、各温度に1時間放置後の各試料の重量減少率を測定した。

2.4 複合素材の物性測定 ㈱オリエンテック製テンシロン RTM500を用い、引張強さは、試験片の幅1cm, つかみ

間隔5cm, 引張速度5cm/minで測定した。曲げ応力は、試験片の長さ10cm, 幅1.5cm, 厚さ2mm, 支点間距離8cm, 試験速度10mm/minで3点曲げ試験を行った。

2.5 繊維長の計測 PLA樹脂およびUP樹脂について、複合化樹脂中の竹繊維長を測定した。PLA樹脂に関してはペレットを加熱下でプレスして薄膜とし、顕微鏡下で50本について長さ測定し、UP樹脂に関しては、厚さ1mmの薄板に成型し同様に測定した。

2.6 紫外線遮蔽性能 厚さ1mmの板状に成型した複合素材の分光透過率を、島津製作所(株)製積分球つき分光光度計UV2200Aを用いて測定した。

## 3. 結果と考察

3.1 竹繊維の純粋化 竹繊維には、中空俵型の柔細胞が混在しており、樹脂と複合化された際に竹繊維の性能発揮の妨げとなることが予想される。そこで、これを取り除き純粋な竹繊維を得る方法を検討した。柔細胞と竹繊維は両者共にセルロースからできているため、アルカリ剤や酵素といった薬品による分離は有効ではなかったが、水洗時に竹単繊維がフィルターとなって柔細胞を補足することを防止すれば、竹繊維と柔細胞を効率的に分離できることが分かった。この工程を表1に示す。

植物には、セルロース以外にもリグニン、ヘミセルロースといった成分が混在している<sup>(2)</sup>。フロログルシン塩酸溶液で竹稈を着色したところ、繊維束、特に導管周辺の細かい繊維細胞が多く集積した箇所が濃く着色することから、この部位にはリグニンが多く含まれていると考えられる。竹稈を表1の方法で処理して竹単繊維に分離したものでは、着色が認められなくなることから、単繊維化された竹繊維はほぼ純粋なセルロースとなっていると考えられる。

<sup>\*1)</sup>八王子支所

<sup>\*2)</sup>東京都産業労働局

表1. 竹繊維の取り出し工程

- ①節部を取り除いた生の原料竹を適当な大きさに割り、繊維を分離する際の妨げとなる内・外皮を取り除く。
- ②プレス機を用いて圧搾を行い、柔細胞組織を損傷させる。
- ③2%~3%の水酸化ナトリウム水溶液で2時間煮沸する。
- ④水洗後に再度プレス圧搾を行って、柔らかくなった柔細胞組織の破壊を進め、繊維束との分離を容易にする。
- ⑤水中で十分に水洗し、繊維束から柔細胞を沈降分離させる。このまま乾燥させれば繊維束が得られる。
- ⑥水と共にミキサーで2~3分攪拌すると、繊維束は単繊維に分離する。この処理で繊維は短く切断されることはない。繊維束はミキシングによってたやすく単繊維化するが、これを一旦乾燥させると単繊維に分離しにくくなることに注意が必要。
- ⑦粗い金網中で水洗し残っていた柔細胞を分離する。これを濾過することによって竹繊維が得られる。

### 3. 2 竹繊維の耐熱性

熱可塑性樹脂との複合化においては、竹繊維には樹脂の融点以上の耐熱性が求められる。

図1は①竹稈を圧搾したもの、②竹単繊維、③株バン製の爆砕竹、以上3者の加熱後の重量保持率を測定した図である。①と③では160℃を超えると減量が目立つ。これは熱分解温度の低いヘミセルロースによるものと考えられる。竹単繊維の分解温度は綿などのセルロースと同じく240℃付近と考えられ、PLA(融点180℃)、PP(融点165℃)、PBSA(融点95℃)などの熱可塑性樹脂との複合化には問題ないと考えられる。

### 3. 3 竹繊維と熱可塑性樹脂との複合化

竹繊維を重量比で10%添加したPLA樹脂を2軸押し出し機で混練して製造したペレット中の繊維形状を観察した。その結果、図2のように繊維は良好な分散状態にあるが、繊維長は短くなり、竹繊維の特徴である両端のテーパ状の部位が見られなくなっている。薄いフィルムに成型して顕微鏡下で50本の繊維長を計測した結果、平均で0.152mmと元の約1/10以下の1以下となっており、混練の際に繊維の切断が生じたと考えられる。同様に、PBSA(加工温度120℃)、PP(加工温度230℃)に竹繊維を10%添加したものについて調べた。その結果、いずれの樹脂についても繊維は良好な分散状態にあるが、PLA樹脂の場合と同様に繊維長が短くなっているのが確認された。

### 3. 4 竹繊維と不飽和ポリエステル樹脂(UP樹脂)との複合化

熱可塑性樹脂との複合においては、竹繊維は混練工程で短く切断される。そこで混練工程を要しないUP樹脂との複合化を試みた。複合化は、ワタ状の竹繊維と硬化剤を添加した液状のUP樹脂を常温で混ぜ合わせ、これを型に注入する方法と、不織布(紙)とした竹繊維を硬化剤添加のUP樹脂で含浸し、これを積層する方法で行った。前者では繊維の分散状態に若干の斑を生じたが、いずれの方法でも樹脂と繊維との相溶性は良く、樹脂中の竹繊維には

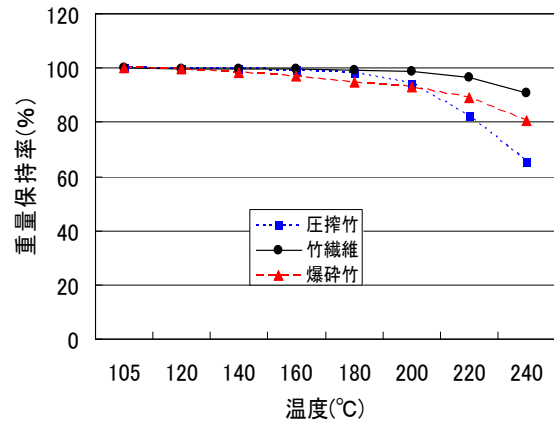


図1. 竹素材の耐熱性



図2. ポリ乳酸樹脂中の竹繊維

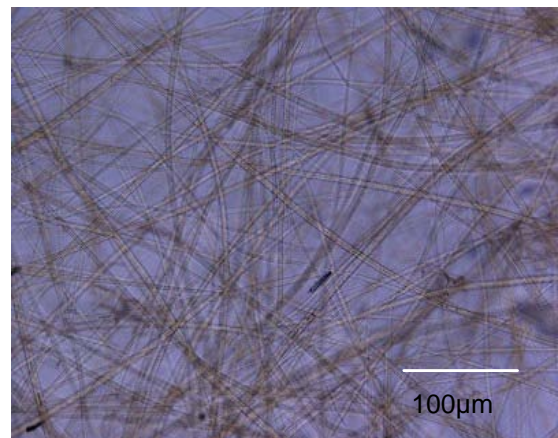


図3. 不飽和ポリエステル樹脂中の竹繊維

切断が見られない。また、アスペクト比が100以上でしかも直線形状に配置しているという、FRP用の繊維としては望ましい形状となっていた。

竹繊維とUP樹脂を積層法で複合化した素材の引張強さの測定結果を図4に示す。引張強さは、繊維の添加により増加が認められ、また、図5に示すように、曲げ応力も増すことが分かった。

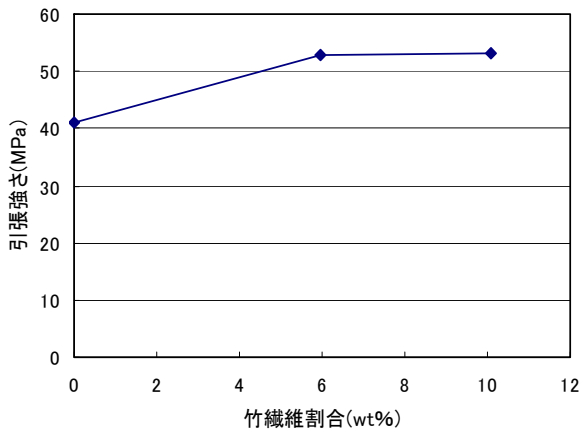


図4. 竹繊維と複合化したUP樹脂の引張強さ

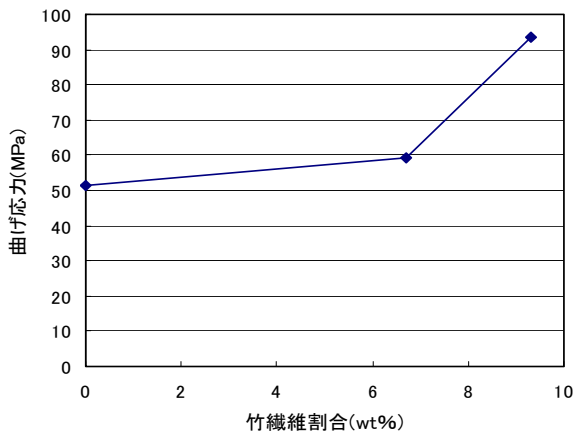


図5. 竹繊維と複合化したUP樹脂の曲げ応力

### 3.5 竹繊維束と不飽和ポリエステル樹脂との複合化

竹繊維束とUP樹脂との複合化を検討してみた。比較のため、タルク、柔細胞、ガラス不織布についても検討を行った。竹繊維束は、長さ方向に並べた後にUP樹脂を流し込み、厚さ2ミリの板状に成型した。タルクと柔細胞は樹脂中に混和し、ガラス不織布は樹脂を含浸させた後に試験片に成型した。図6に示すように、複合素材の曲げ応力は、いずれの添加物(添加量は重量比を示す)でも増大するが、竹繊維とガラス繊維で著しく、タルク、柔細胞では僅かであった。また、曲げ応力測定時に、無添加の樹脂と、タルク、柔細胞を添加した樹脂では試験片の破断が生じるのに対して、繊維束、ガラス繊維を添加した樹脂は破断を生じないことから、強靱さが増していると考えられる。

**3.6 竹を用いたFRP素材の耐水性** 竹を用いたFRPの耐水性について検討してみた。素材は、竹単繊維(混練、積層)、竹繊維束を用い、UP樹脂と組み合わせて複合素材とし、ノニオン界面活性剤を0.5%添加した60℃の水中に5時間放置後乾燥した。その結果、いずれも、ペレット表面部の繊維に白化が認められた。これは、ペレット表面に露出した繊維から水が内部に浸透し、繊維が膨潤することに

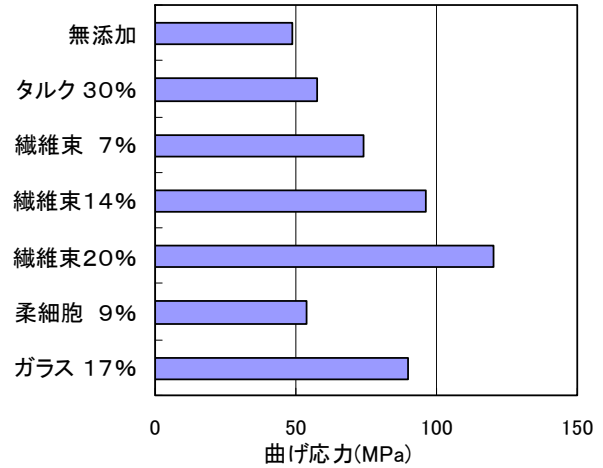


図6. 竹繊維束とUP樹脂の複合化の効果

よって繊維と樹脂との接着面に剥離を生じたもので、ケナフ、ヘンプ等の植物素材に共通した現象と考えられる。特に表面に柔細胞が残った繊維束では白化が著しく、水の浸透は柔細胞で大きいことが分かる。この結果から、吸水・吸湿性の高い竹繊維を用いたFRPは水に濡れる用途には不適と考えられるが、繊維が樹脂表面に露出しないように成型したものではこの現象は見られないことから、耐水性を要する用途には、この点に留意して使用する必要がある。

**3.7 柔細胞のフィラーとしての利用** 柔細胞をUP樹脂とPP樹脂に添加した複合素材を作成した。柔細胞は中央部に大きな空隙を持ち、見掛け比重は約0.24g/cm<sup>3</sup>と軽い素材であることから、細胞内部の空隙が樹脂内で維持されるなら、柔細胞添加によって複合樹脂の比重は軽くなると考えられる。PP樹脂と複合したものは顕微鏡観察によれば中空部が維持されており、不透明で軽い複合素材となっている。これに対して、33%の柔細胞を添加したUP樹脂の比重は1.2であり、これは無添加の樹脂と変わっていない。また、複合化樹脂には透明感があることなどからUP樹脂は柔細胞内部の空隙まで浸透していると考えられる。柔細胞を9%添加したUP樹脂は、図7に示すように、引張強さは低下し曲げ応力はやや増加する。

**3.8 柔細胞のプリント剤として利用** 柔細胞組織は直径が約50μmの粒子状であることから、これをプリント用の色剤に応用してみた。スクリーンプリントでは目詰まりの原因となるため、ステンシルと切り型を用いてプリントを行い、150℃で3分ベーキングを行った。使用したプリント糊の組成を表2に示す。柔細胞はセルロースからできているため、染色は容易である。図8は直接染料で染色ー湯洗ー水洗ーフィックス処理の条件で染色したものと、柔細胞そのままの色の2色を顔料としてプリントしたものである。柔細胞を用いたプリント品は、プリント層が厚く摩擦によって剥がれやすいため、適切なバインダーの選定や、摩擦を受けにくい用途への使用等が重要となる。

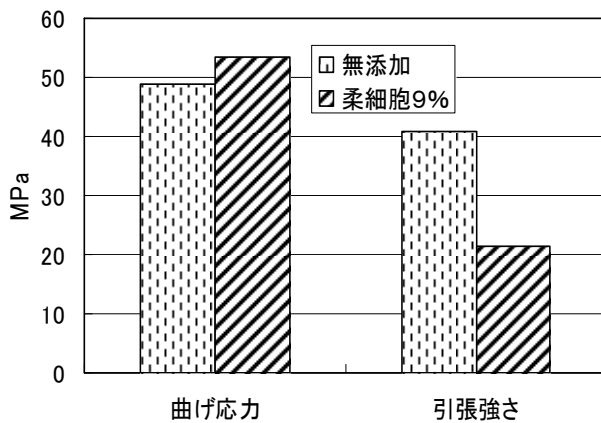


図7. 柔細胞を添加したUP樹脂の性能

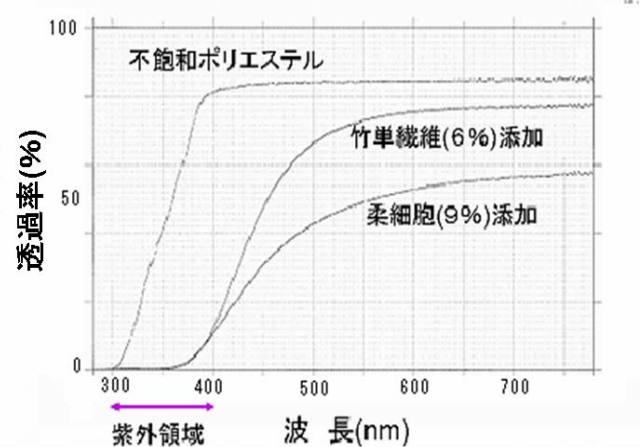


図9. 複合素材の紫外線遮蔽作用

表2. 捺染糊の処方

レジューサー	74部
バインダー	10部
柔細胞	15部
架橋剤	1部
合計	100部



図8. 柔細胞の捺染用色剤としての利用

#### 4. まとめ

竹からは、繊維束、単繊維、柔細胞の3種の素材が得られた。いずれも特徴があり、樹脂との複合化においては良好な相溶性を示す。熱可塑性樹脂との複合化においては混練による繊維長の低下が生じるが、不飽和ポリエステル樹脂との複合においては、繊維長の低下は認められず、竹繊維の性能が充分に発揮されると考えられる。

(平成20年7月4日受付, 平成20年8月5日再受付)

#### 文 献

- (1) 池田善光, 小柴多佳子, 吉田弥生, 宮本 香, 富永真理子: 「竹繊維の鑑別と消費性能」, 東京都立産業技術研究センター研究報告, 第1号 pp.10-13 (2006)
- (2) 森本正和: 「環境の21世紀に生きる非木材資源」 ユニ出版有限公司, pp207 (1999)

3.9 竹を用いた複合素材の紫外線遮蔽性能 竹単繊維および柔細胞を添加したUP樹脂の紫外線遮蔽性能を調べた。試料として、①UP樹脂 ②竹単繊維6%添加UP樹脂 ③柔細胞9%添加UP樹脂の3種の樹脂を厚さ約1mmの板状にして、280~780nm間の光の透過率を測定した。その結果、図9のように、竹単繊維、柔細胞を添加したUP樹脂は紫外領域での光の吸収が大きく、280~400nmの紫外線遮蔽率は、UP樹脂単体では65%であったものが、竹単繊維、柔細胞を添加したものでは98%と大きく向上していた。