

補助事業番号 2020M-144

補助事業名 2020年度 バンブープラスチックの開発と竹粉微細化による衝撃特性の改善 補助事業

補助事業者名 山口大学大学院創成科学研究科 材料信頼性工学研究室 合田 公一

1 研究の概要

混練型木粉／プラスチック複合材料（ウッドプラスチック）のフィラーとして使われている木粉の代わりに、竹粉をフィラーとしたバンブープラスチックを開発した。そして、ウッドプラスチックと同等の強度特性を発現させるとともに、バンブープラスチックの有効利用を拡大するため、衝撃特性においても本材料の優位性を証明した。

2 研究の目的と背景

竹はザルや籠などの生活用具、仕上材・造作材などの建築材料を始め、古来より我々の生活に密着した貴重な資源である。しかし、石油化学工業の発展により、フェノール樹脂を始め、ポリエチレン、ポリプロピレン(PP)、ポリカーボネートなどの合成樹脂の開発に加え、ガラス繊維を始めとする繊維強化プラスチック（FRP）の台頭によって用途が限定されるようになった。しかも、最近では住宅地に広がって地下茎が住宅の基礎や給排水管を破壊するような問題も引き起こしており、山口県の竹業界では、その処分・廃棄法を検討している。

ところで、一般に強度・剛性に優れる材料は、延性材料に比べて衝撃強度（衝撃吸収能）を始めとする靱性機能に劣り、ウッドプラスチックもその特性を有する。衝撃試験では、実用的な状況に近いノッチ無し試験体においてマトリックスであるPPの1/3程度のレベルにしか達しない。ウッドプラスチックが建築資材に加えて、自動車部品など各種輸送機器の部材としてさらなる応用¹⁾が期待される中、事故等で生じる2次被害を防ぐためにも静的特性だけでなく耐衝撃特性にも優れる必要がある。

そこで、本研究では竹材が繊維状に割れやすく、木材に比べて繊維質形状を得やすいことに着目し、これを微細化した竹粉をPPと混練するとともに混練物（コンパウンド）を射出成形することでバンブープラスチックを作製した。そして、この材料の衝撃試験を実施し、従来のウッドプラスチックに比べて耐衝撃特性に優れるか否かを明らかにした。

参考文献 1) A. Ashori, Bioresource Technology, Vol. 99 (2008) pp. 4661-4667.

3 研究内容

(1) 竹粉の分級および分級竹粉の微細化

竹の廃材から得られる竹粗粉碎物を分級した。分級には、傾斜回転ふるい機を使用した。500 μ m以上、500 \sim 355 μ m、355 \sim 212 μ m、212 \sim 106 μ m、106 μ m以下の5種類に分級を行い、最もアスペクト比の大きい212 \sim 106 μ mの分級竹粉をP-14ロータースピードミル（フリッチュ・ジャパン(株)）を用いて80 μ m以下に微粉碎した。これをデジタルマイクロスコップで観察し、

個々の竹粉の寸法を測定した。その結果を平均値にしてTable 1 に示す。また、デジタルマイクروسコープによる観察写真をFig. 1に示す。

Table 1 Average size and aspect ratio after milling process of 212-106 μm range bamboo powders

Milling condition	Number of samples	Length [μm]	Width [μm]	Aspect ratio
Milled at room temperature	100	99.2	19.3	5.59
Milled immediately after storage at -60°C	100	55.9	13.6	4.40

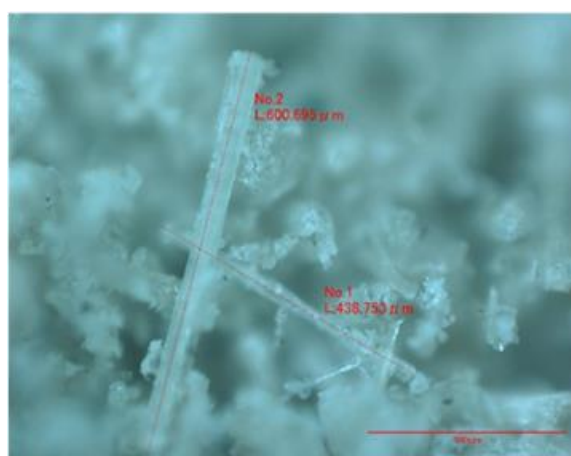


Fig. 1 Bamboo powders after milling process of 212-106 μm range bamboo powders
(The scale in red line is 300 μm .)

(2) 竹粉とPPの混練，および射出成形機による引張試験片加工および引張試験

得られた竹粉1wt%とPPを混練し，射出成形により試験片に加工して引張試験を行った。Table 2に引張強さおよび破断ひずみの平均値を示す(試験片本数は4~5本)。これより竹粉を混練させることで引張強さはPP 単体に比べると高いものの，破断ひずみはわずか1wt%の含有率にもかかわらず大きく減少することがわかる。一方で分級竹粉(212~106 μm)より微粉碎竹粉(80 μm 以下)が破断ひずみにおいて優れていることが確認できた。原因として前者は寸法が大きいくことで亀裂が入りやすくなった可能性が考えられる。また，形状・寸法の観察時に細長い繊維以外に竹粉の凝集体が存在し，これが低ひずみの原因になったと考えられる。凝集なく均一に分散させることが必要となる。

Table 2 Tensile test results of neat PP, 1wt%BF/PP and WF/PP (BF: Bamboo fiber, WF: Wood fiber)

	Neat PP	1wt%BF/PP (212~106 μm)	1wt%BF/PP (80 μm or less)	1wt%BF/PP (80 μm or less) Frozen type	WF/PP
Tensile strength [MPa]	31.3	33.7	32.4	34.0	35.0
Fracture strain [%]	798	16.9	18.3	23.3	19.1

前に -60°C で冷凍処理を行った。微粉碎後の寸法をTable1に追記する。これから常温微粉碎より細かくなることが判明した。これは、竹紛内の非結晶部で水分が固化してより細かな粉碎が可能になったと推測される。デジタルマイクروسコープで観察した結果、凝集が常温微粉碎より少なくなることがわかった。

冷凍粉碎竹紛複合材および比較のため木粉/PP (WF/PP) 複合材料の引張試験を行った。その結果をTable2に示す。また、Fig. 2に冷凍粉碎竹紛複合材と常温粉碎竹紛複合材の応力-ひずみ線図の結果を示す。冷凍粉碎竹紛複合材はTable 2で示した常温粉碎竹紛複合材比べて最大応力、破断ひずみの値が共に上昇していることがわかる。引張強度の増加は竹紛の凝集による応力集中が緩和された結果と考えられる。また、常温粉碎竹紛より微細化することで破断ひずみがさらに上昇することも判明した。破断ひずみの上昇はWF/PPよりも優れていることも判明した。

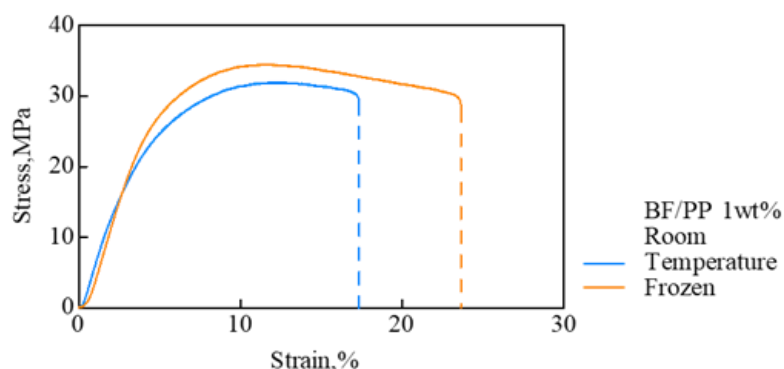


Fig. 2 Comparison between stress-strain diagrams of room-temperature-milled 1wt%bamboo/PP and frozen type 1wt%bamboo/PP

(3) 各種複合材料の衝撃試験

Table 3に射出成形された各短冊型試験片のシャルピー衝撃試験結果を示す。試験数は各条件4~5本である。ノッチなしについてみると、 $212\sim 106\mu\text{m}$ 分級竹紛複合材より常温微粉碎竹紛複合材において衝撃強度の向上が見られた。引張強度では差異があったが、冷凍微粉碎竹紛複合材は後者とほぼ同等である。一方、WF/PPはこれらに劣る。(PP単体は破断せずに曲がるのみであったので、ここでは値を示していない)

ノッチ有りの場合はノッチの影響があり、衝撃強度はどの試験片も大幅に低下する。分級竹紛複合材、常温・冷凍微粉碎竹紛複合材、WF/PPを比較すると、大きなちがいはみられなかった。一方、PP単体はこれらを上回ったが、Table2で示したように、引張試験において破断ひずみに極めて大きなちがいがみられたことを勘案すると、PP単体の延性が衝撃吸収にはさほど反映されていないと考えられる。なお、本材料を40%含有ガラス繊維強化プラスチックのノッチ無し試験体結果²⁾と比較すると、若干劣るものの、ほぼ同等の値が得られたことを付記する。

参考文献 2) 東レHP https://www.toray.jp/plastics/torelina/technical/tec_007.html

Table 3 Charpy impact test results of neat PP, 1wt%BF/PP and WF/PP (BF: Bamboo fiber, WF: Wood fiber) (Unit: kJ/m²)

	Neat PP	1wt%BF/PP (212~106μm)	1wt%BF/PP (80μm or less)	1wt%BF/PP (80μm or less) Frozen type	WF/PP
Unnotched	N.B.	32.3	41.9	41.7	35.3
notched	6.38	4.32	4.55	4.33	4.30

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

廃棄物として蓄積される竹材を回収し、本事業で取り上げた粉碎過程を技術的に踏襲することにより、その場で比較的容易に微細竹粉が得られる。対象となる各地域に実験設備(ラボ)を配置することにより、所望の形状を有するバンブープラスチックが得られる。現在、岡山県真庭市に代表されるバイオマスタウンの構築が進んでおり、竹林が問題視されている地域においても同様な持続可能かつ地産地消的観点から工業製品を生産することが可能となろう。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

複合材料においてフィラーを微細化することにより衝撃吸収エネルギーが増加することを明らかにした。竹粉含有率がわずか1wt%であることを勘案すると、繊維強化メカニズムとは異なる現象が生じていると予想される。マトリックス樹脂の結晶効果にも着目して新しいメカニズムを明らかにすることが今後の研究課題となる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(1) 清水誠人, 小林ひかる, Arnaud MACADRE, 合田公一, 竹粉の微細化および少量添加によるポリプロピレン樹脂基複合材料の機械的特性, 日本機械学会中国四国支部第59期総会・講演会講演論文集 03c3, 2021年3月(学会Webよりダウンロード)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

研究室ホームページで内容を公表: [研究の紹介 \(yamaguchi-u.ac.jp\)](http://yamaguchi-u.ac.jp)

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 山口大学大学院創成科学研究科

(ヤマガチダイガクダイガクインソウセカガクケンキュウカ)

住所: 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1

担当者: 教授(キョウジュ) 合田公一(ゴウダコウイチ)

担当部署: 材料信頼性工学研究室(ザイリョウシンライセイコウガクケンキュウシツ)

E-mail: goda@yamaguchi-u.ac.jp

URL: <http://mr25.mech.yamaguchi-u.ac.jp/>