

研究論文

竹繊維で強化した木質成形体の機械的特性

高橋勤子*¹、福田徳生*¹、山口知宏*¹、門川泰子*¹

Mechanical Properties of Bamboo Fiber Reinforced Thermoplastic Molding Made of Steamed Wood Flour

Isoko TAKAHASHI*¹, Norio FUKUDA*¹, Tomohiro YAMAGUCHI*¹
and Yasuko KADOKAWA*¹Industrial Technology Division, AITEC*¹

蒸気処理を施した木質原料を加熱・加圧して作製する木質成形体の機械的物性向上を目的として、蒸気処理ブナ木粉と爆砕竹繊維との複合化を試みた。竹繊維の重量配合比率を 25%、50%、75%とし、木粉と竹繊維を 3 層、5 層および 7 層に積層して成形体を作製し、物性を検討した。その結果、竹繊維含有率が大きいほど、成形体の曲げ強さ、引張強さは大きくなり、竹繊維 75%の成形体では、木粉 100%の成形体に比べ、引張強さは 3.8~5.8 倍、曲げ強さは 3.5 倍程度に向上することができた。また、竹繊維 100%の成形体と比較すると、物性のばらつきが小さく、曲げ強さは大きかった。

1. はじめに

循環型資源である木質バイオマスの有効利用は、循環型社会構築には不可欠であり、その利用技術の開発が求められている。その一環として、当所では、これまで、蒸気処理を施したブナ木粉から、石油由来の接着剤等を使わずに、樹脂様の成形体を作るプロセスを開発してきた。180℃以上で蒸気処理したブナ木粉は、高温高圧力下で熱流動し、熱プレスを用いた圧縮成形により、密度約 1.45g/cm³の樹脂様成形体が得られた¹⁾²⁾。これは、蒸気処理によりヘミセルロースおよびリグニンが低分子化し、再加熱で可塑化したためと考えられる。この方法で得られた成形体の曲げ強さおよび曲げ弾性率はポリプロピレンや ABS 樹脂と同程度であるが、アイゾット衝撃値は小さく、粘りがなく脆い性質である。また、エンジニアリングプラスチックであるナイロンやポリカーボネートなどの剛性には及ばず、これらの代替として使用するには、より高強度にする必要がある。

プラスチックの強度を向上するために、ガラス繊維や無機フィラーなどを複合化した強化プラスチックは、自動車部品を始め多くの製品に適用されている。しかしながら、これらのプラスチック製品は、焼却処理の際、無機物等が残渣として残るため、その処理（埋立他）において種々の問題を起している。その解決方法として、無機物の代わりに天然繊維を用いた強化プラスチックの開発が近年、活発に行われている^{3)~5)}。

本研究では、蒸気処理木粉から作製する成形体の機械

的物性向上を図ることを目的に、爆砕竹繊維で強化した木質成形体を作製し、力学的特性を評価した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

木粉の原料として、ブナのプレーナ屑を用いた。原料の全乾重量と同量の水を添加し、オートクレーブ（ヤシジマ製高圧処理装置 SBK-450BS）を用いて蒸気処理（温度 200℃、20 分）を行った。これを自然乾燥した後、ウイレー式ミルを用いて粉碎し、90~250 μm に分級した。さらに、含水率を 3%に調整し、成形に用いた。補強材料として爆砕竹繊維（バン(株)製）を用いた。長繊維を 100mm に切断して引張試験および成形に用いた。

2.2 竹繊維の引張試験

竹繊維の引張試験は、旧 JIS R 7601-1986（2007 年廃止）を参考に行った。まず、長さ 100mm の竹繊維の両端 35mm をコの字型の台紙に接着剤で固定した。この試験片を引張試験機に取り付け、台紙を切断した後、試験速度 1mm/min で引張試験を行った。竹繊維の断面積は、光学顕微鏡で個々の繊維を 2 方向から撮影して直径を求め、楕円近似により算出した。

2.3 成形体作製

図 1 に、成形体の作製工程を示す。熱プレスによる圧縮成形の前に、所定量の竹繊維のみを常温で圧縮し、竹繊維プリフォームを作製した。さらに、木粉と竹繊維プリフォームを交互に型押し成形容器内に積層し、常温で

*1 工業技術部 材料技術室

圧縮し、積層プリフォームを作製した。最後に、熱プレスで、成形温度 150℃、圧力 30MPa、時間 10 分の条件で加熱・加圧し、100×100×4mm の成形体を調製した。試験片の作製条件は、竹繊維の重量配合比率を 25%、50%、75%とし、木粉と竹繊維を 3 層、5 層および 7 層に積層した（表 1）。各層における竹および木粉の配分量は均等とし、最外層は木粉とした。竹繊維は全て同方向に配向した。また、比較のため、蒸気処理木粉 100%および竹繊維 100%の成形体も作製した。

2.4 成形体の物性試験

得られた成形体から、竹繊維の配向方向と平行に、引張試験片および曲げ試験片を採取した。引張試験は JIS K 7113 に準じた。引張試験片にはベルトサンダーでテーパを付け、試験片中央にひずみゲージを貼り、試験に供した。試験速度は速度 A (1mm/min)で試験を行った。曲げ試験は JIS K 7171 に拠り、試験片 80×10×4mm、スパン 64mm、試験速度 2mm/min で行った。

表 1 成形体の作製条件と実際の密度

	竹繊維含有率 (%)	層数	密度 (g/cm ³)
1	0	1	1.45
2	25	3	1.44
3	25	5	1.44
4	25	7	1.44
5	50	3	1.43
6	50	5	1.42
7	50	7	1.45
8	75	3	1.42
9	75	5	1.43
10	75	7	1.42
11	100	1	1.44

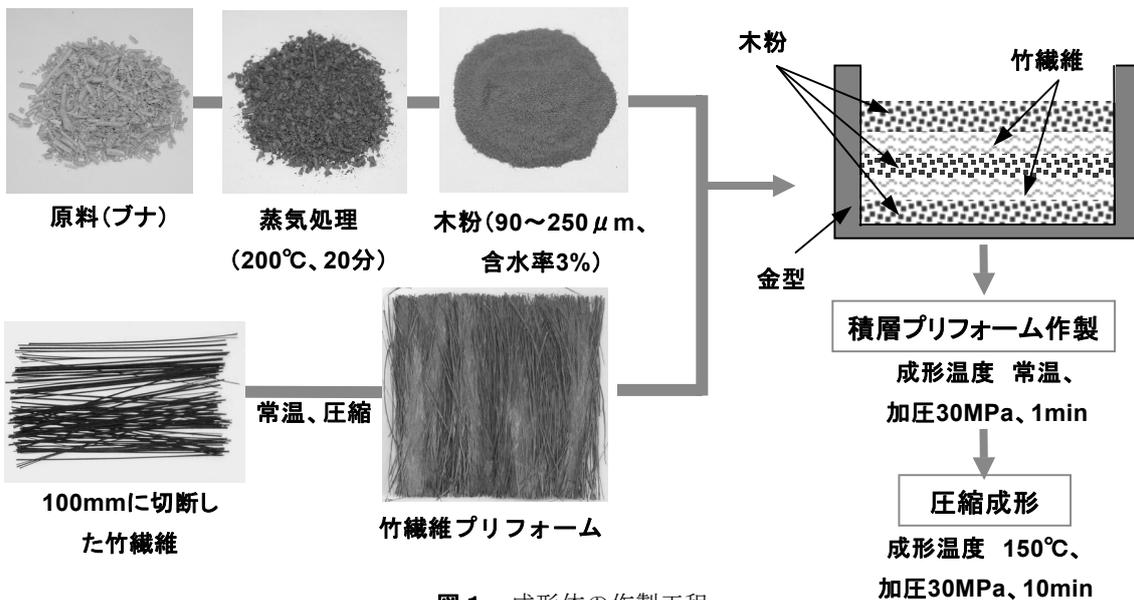


図 1 成形体の作製工程

3. 実験結果及び考察

3.1 竹繊維の引張試験

図 2、図 3 に、竹繊維の断面積と引張強さおよび弾性率の結果を示す。また、表 2 に竹繊維の引張特性をまとめた結果を示す。まず、竹繊維の断面積については、全体の 90%が 0.2mm²以下であり、0.03~0.06mm²のものが最も多く存在した。引張強さは、83~612MPa と非常にばらつきが大きかった。引張弾性率も同様にばらつきが大きかったが、断面積が大きいものほど弾性率が小さい傾向が見られた。ばらつきが大きい理由としては、繊維に木質部（柔細胞）が付着しているため、繊維断面積が大きく見積もられること、熱処理、繊維取り出しの工程での損傷の受け具合が異なること等が考えられる⁶⁾。

表 2 竹繊維の引張特性

サンプル数	80
平均断面積 (mm ²)	0.099±0.074
平均引張強さ (MPa)	274.7±114.7
平均ヤング率 (GPa)	15.8±4.2

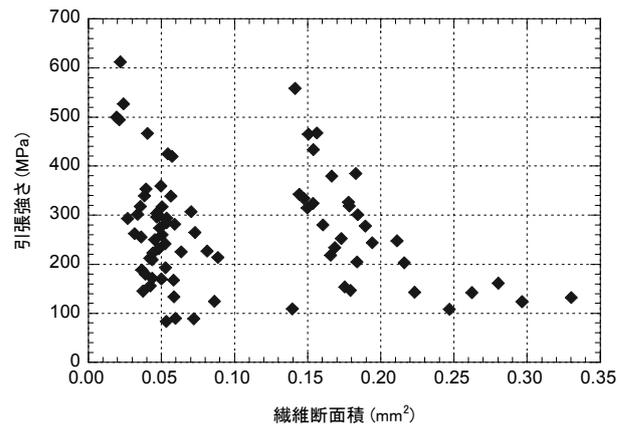


図 2 竹繊維断面積と引張強さ

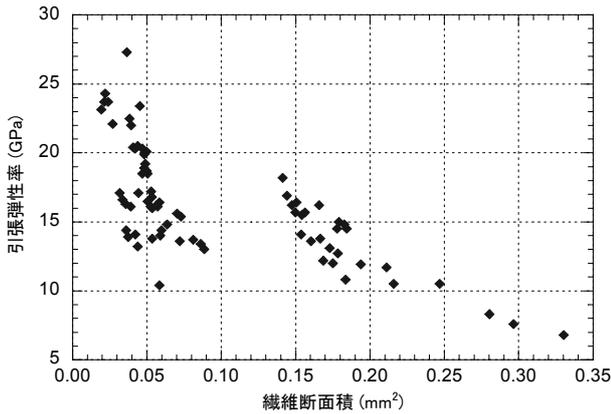


図3 竹繊維断面積と引張弾性率

3.2 成形体の引張特性

竹繊維と複合化した成形体の密度は、竹繊維の含有率が大きくなって変化せず、約 1.45g/cm³であった(表1)。図4に、各竹繊維含有率-3層の成形体の引張試験時の応力-ひずみ曲線を示す。竹繊維の含有率増加に伴い、初期傾斜が増加し、竹繊維 100%の成形体に近づいた。図5、図6に成形体の引張弾性率と引張強さの結果を示す。竹繊維の含有率増加に伴い、引張弾性率、引張強さとも概ね増加傾向にあった。竹繊維の引張弾性率

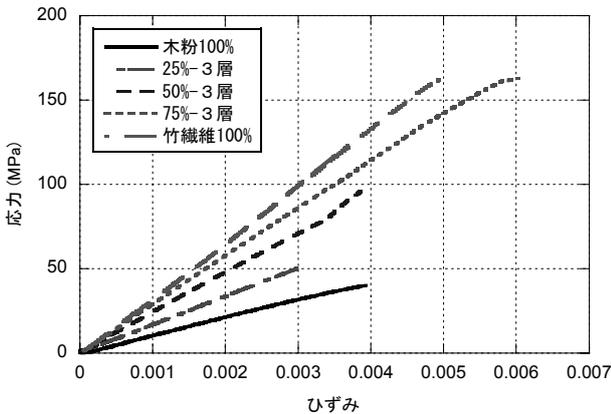


図4 成形体の引張試験における応力-ひずみ曲線

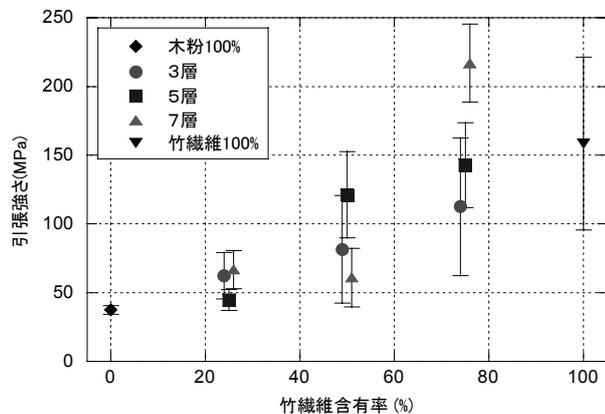


図6 竹繊維含有率と成形体の引張強さ

はばらつきが大きかったが、成形体の引張弾性率のばらつきは小さかった。弾性率に関しては、層構造の違いによる差は見られなかった。一方、竹繊維 100%の成形体の引張強さは、竹繊維の平均引張強さ(274MPa)と比較すると小さかった。また、層構造の差に着目すると、3層構造では、竹繊維含有率に比例した強度向上が見られたが、層数を増やした場合、竹繊維層の厚さがある程度大きくなると、木粉層による接着の効果が現れ、3層で作製した場合よりも引張強さが大きくなった。

図7に、引張試験後の成形体の破断の様子を示す。木粉 100%の成形体の破断面は平滑であるのに対し、竹繊維 50%-5層および竹繊維 100%の成形体の破断面は、繊維がギザギザになって破断している様子が観察された。

3.3 成形体の曲げ特性

図8に、各竹繊維含有率-3層の成形体の曲げ試験時における荷重-たわみ曲線を示す。木粉 100%の成形体は、小さな変形で破壊に至ったが、竹繊維を複合化することにより、大きな変形に耐えられるようになった。また、最大荷重到達後、徐々に荷重が低下するようになり、粘り強い性質になった。図9、図10に、曲げ弾性率および曲げ強さの結果を示す。竹繊維含有率の増加に伴い、

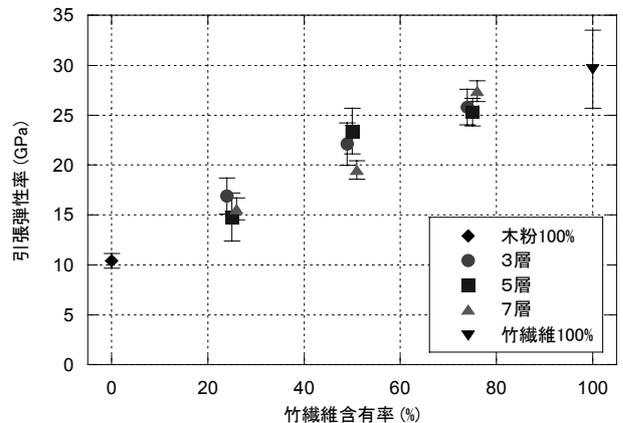


図5 竹繊維含有率と成形体の引張弾性率

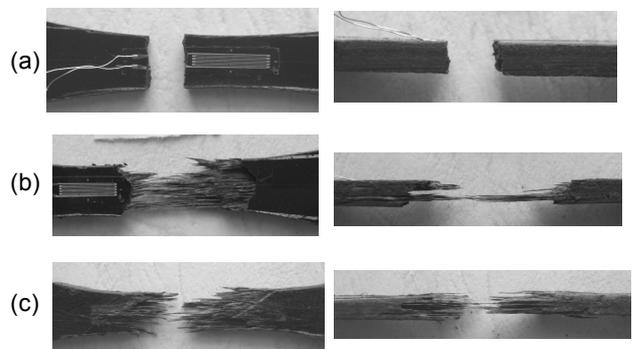


図7 引張試験後の成形体の破断の様子

(a)木粉 100% (b)竹繊維 50%-5層 (c)竹繊維 100%
(左:上から撮影、右:横から撮影)

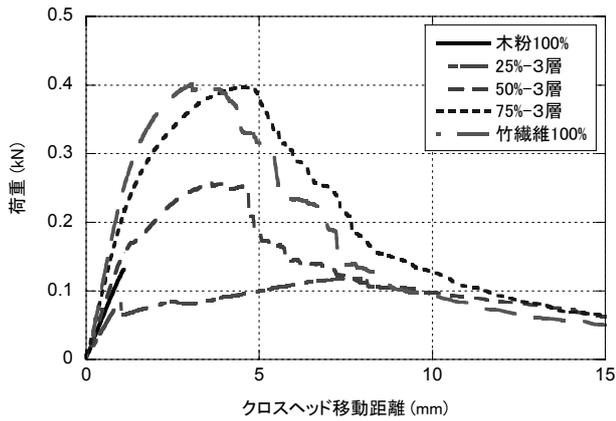


図8 成形体の曲げ試験における荷重－たわみ曲線

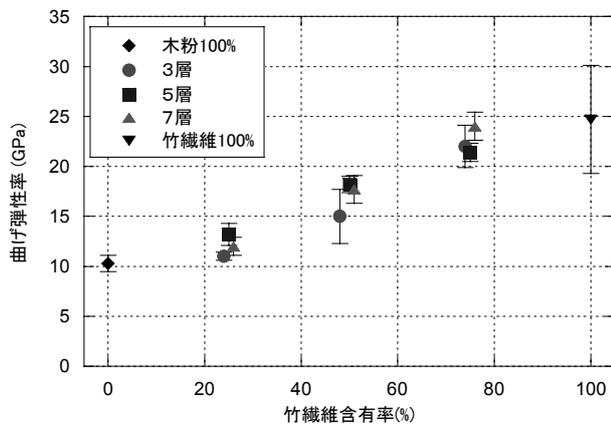


図9 竹繊維含有率と曲げ弾性率

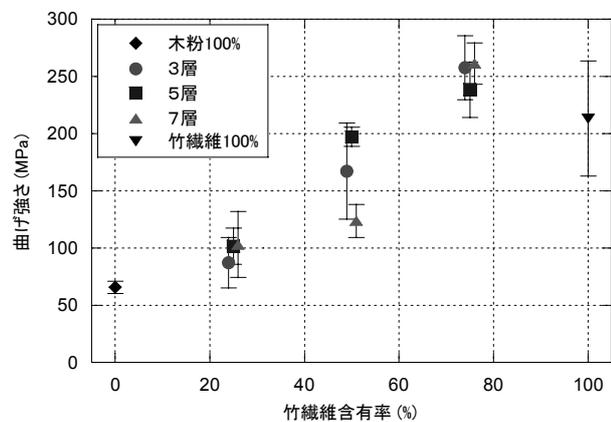


図10 竹繊維含有率と曲げ強さ

曲げ弾性率、曲げ強さともに大きくなった。また、竹繊維 100%の成形体に比べ、竹繊維で強化した木質成形体は、バインダーとして木粉が存在することにより、ばらつきが小さくなり、曲げ強さが向上した。層構造の違いによる大きな差は見られなかった。

4. 結び

本研究では、竹繊維を補強材として用いて、木質成形体の機械的特性の向上を試みた。その結果、竹繊維で強化した木質成形体は、木粉 100%の成形体に比べ、粘り強い性質となった。竹繊維含有率 75%では、木粉 100%の成形体に比べ、引張強さは 3.8～5.8 倍、曲げ強さは 3.5 倍程度に向上することができた。また、100%竹繊維の成形体と比較すると、竹繊維で強化した木質成形体は、木粉が存在することで竹繊維のバインダーとして働いたため、ばらつきが小さくなる可能性が示唆された。竹繊維は、天然材料であるため、3.1 で示したように太さや強度にばらつきが大きく、工業用に用いるのは難しいと考えられるが、不織布や織布などに加工することができれば、より均一な補強材料として用いることができると考えられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご協力、ご助言をいただきました、名古屋大学大学院生命農学研究科佐々木康寿教授、山崎真理子准教授に深く感謝いたします。

文献

- 1) I.Takahashi, T.Sugimoto, Y.Takasu, M.Yamasaki, Y.Sasaki, Y.Kikata: *Holzforchung*, **64**, 229 (2010)
- 2) I.Takahashi, Y.Takasu, Y.Kikata, T.Sugimoto, Y.Sasaki: *Wood Sci. Technol* (in press)
- 3) R.Tokoro, D.M.Vu, K.Okubo, T.Tanaka, T.Fujii, T.Fujiura: *J. Mate. Sci.*, **43**, 775 (2008)
- 4) H.N.Dhakal, Z.Y.Zhang, M.O.W.Richardson: *Compos. Sci. Technol.*, **67**, 1674 (2007)
- 5) W.Liu, L.T.Drzal, A.K.Mohanty, M.Misra: *Composites B*, **38**, 352 (2007)
- 6) 藤井透: 環境調和複合材料の開発と応用, P17 (2005), CMC 出版