

モウソウチクを原料としたファイバーボードの作製と材質*1

松本久美子*2, 山内秀文*3, 山田雅章*4, 滝 欽二*4, 吉田弥明*4

Manufacture and Properties of Fiberboard Made from Moso Bamboo

Kumiko MATSUMOTO, Hidefumi YAMAUCHI, Masaaki YAMADA,
Kinji TAKI and Hiroaki YOSHIDA

This study was conducted to elucidate the properties of bamboo fibers defibrated by a pressurized single disk refiner (PSDR) and to examine the properties of bamboo fiberboard as compared to fiberboard made from wood. Moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens*) and todomatsu wood (*Abies sachalinensis*) were defibrated by PSDR under several manufacturing conditions. Length and bulk density measurements were performed for all fiber types. UF bonded boards with 10% resin content were manufactured with a target density range of 0.55 to 0.95 g/cm³. Bending, internal bond (IB) and thickness swelling (TS) tests were performed, and the density profile in the thickness direction was determined.

The results are summarized as follows: the surface of bamboo fibers was less defibrated than that of wood fibers. Longer fibers were found more frequently among the bamboo fibers than among the wood fibers. The bulk density of bamboo fibers was about twice that of wood fibers.

There is no apparent effect of disk clearance on bending properties and IB strength in the range used in this study. Bamboo fiberboard showed a flat density profile at any density level, while wood fiberboard showed the typical M-shaped profile. The MOE values of bamboo and wood fiberboards were about the same, but the MOR of bamboo fiberboard was lower than that of wood fiberboard at any density level. The IB strength of bamboo fiberboard was higher than that of wood fiberboard. Bamboo fiberboard showed lower water absorption and TS than wood fiberboard. However, the spring back of bamboo fiberboard was greater than that of wood fiberboard at a density of 0.8 g/cm³ and greater.

Keywords: bamboo fiber, PSDR, fiberboard.

日本産モウソウチクを原料として、高圧シングルディスクリファイナーにより、数種類の条件下で解繊し、その性状を木材のそれと比較検討した。更に、それらのファイバーをエレメントとしてボードを作製し、材質を検討した。結果を要約すると以下ようになる。

竹ファイバーの表面は、木材ファイバーと比較すると毛羽立ちが見られず、通直な形状をしていた。同じディスククリアランスで解繊した竹ファイバーと木材ファイバーを比較すると、前者

*1 Received July 3, 2000; accepted September 18, 2000. この報告の一部は第48回日本木材学会大会 (1998年4月, 静岡), 第49回日本木材学会 (1999年4月, 東京) 及び The Fourth Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium (1998年11月, インドネシア ポゴール) で発表した。

*2 岐阜大学大学院連合農学研究所 (静岡大学配属) The United School of Agricultural Science, Gifu University, Gifu 501-1193

*3 秋田県立大学木材高度加工研究所 Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University, Noshiro 016-0876

*4 静岡大学農学部 Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Shizuoka 422-8529

のほうが長ファイバーの頻度が高く、またかさ密度も2倍程度高い値を示した。

今回の実験においては、解繊時のクリアランスがボードの材質に与える影響は認められなかった。竹ボードの密度分布は、木材ボードのそれが典型的なM字型の分布を示したのに対し、平坦な分布を示した。常態試験では、竹ボードはMOEでは木材ボードと同等の値を示したが、MORではどの密度領域においても低い値を示した。しかし、はくり強さは高い値を示した。竹ボードは、吸水厚さ膨張率、吸水率については木材ボードよりも低い値を示したが、ボード密度 0.8 g/cm^3 以上の領域におけるスプリングバックについては高い値を示した。

1. 緒 言

地球規模での森林資源の枯渇が問題となっている現在、木質系面材の主流は形質に優れた原料を要求する合板から、よりエレメントが小さく、原料の形質を問わないOSB、パーティクルボード、MDFに代表される再構成木質材料に移行しつつある。そうした流れを受けて、木質、非木質を問わず、従来は原料として用いられてこなかった未利用資源を用いたボードの研究開発が盛んに行われてきている。非木質系リグノセルロース原料としては、竹、バガス^{1,2)}、ケナフ³⁾や、農産物系廃材を原料としたボード⁴⁾の開発など、地域によって特色ある研究が展開されている。

その中でも竹は、成長が早く、木材に匹敵または越える機械的性能を持つことや、特にアジア地域での資源量が豊富であることから、パーティクルボード⁵⁾、OSB⁶⁾、ファイバーボード⁷⁾、木材との複合ファイバーボード^{8,9)}や、セメントボード¹⁰⁻¹⁵⁾、ゼファーボード¹⁶⁾など報告例は多い。しかしながら、ファイバーボードに関しては、現在MDF製造において使用される高圧ディスクリファイナーによる解繊からボードの材質を体系的に研究した報告例はない。MDFは建材や家具材、自動車のモールド材などその用途は幅広く、原料の代表格であるラワン材の減少を考えると、今後特にアジア地域において竹材も原料の一つとして取り上げられると思われる。

そこで本報告では、日本産モウソウチクを原料の一つとして取り上げ、高圧シングルディスクリファイナーを用いて解繊し、またそれらをエレメントとしてボードを作製して、ファイバーの性状、ボード

の材質を、木材を原料としたそれらと比較検討した。

2. 実 験

2.1 供試原料およびその調整

使用した竹は、静岡大学構内に生育するモウソウチク (*Phyllostachys heterocyclus* var. *pubescens*) で、生後2年目以降、胸高直径100 mm程度の青竹とした。伐採した竹は3~5 cm程度の筒状にカットし、ドラムチップパーを用いてチップ状に加工した。比較としてトドマツ (*Abies sachalinensis*) チップも同様の実験に供した。なお、両者の気乾比重は、竹が0.70、トドマツが0.45であった。

2.2 解 繊

解繊には熊谷理機工業(株)製の高圧シングルディスクリファイナー (BRP-300SS) を使用し、刃はJタイプのもを用いた。この刃は、プレートの溝にゴム(半径方向に直交する刃)がなく、また材料がプレート外円周付近で急激に磨耗される形状のため、材料の損傷が少なく比較的高強度の繊維が得られるという特徴を有する。使用したリファイナーはバッチ方式のもので、蒸煮処理は密閉状態で行い、水蒸気圧は6 atm(160°C)、処理時間を竹で10分間、木材で5分間とした。解繊時のディスククリアランス(以下クリアランス)は0.3、0.5、0.7 mmの3条件とし、解繊したファイバーは約150°Cの熱風で含水率12%程度に乾燥した。その後、20メッシュのふるいを用いて粉体を除去し、収率を算出した。解繊条件はTable 1に示した。

2.3 ファイバーの長さ及びかさ密度測定

ファイバーの長さおよびかさ密度を測定した。長さは、解繊条件ごとに200~300本のファイバーを無

Table 1. Pressurized single disk defibrating conditions and fiber yields.

Materials	Steam Pressure (atm)	Steaming Time (min)	Disk Clearance (mm)	Yield (%)
Bamboo	6	10	0.3	37
			0.5	44
			0.7	50
			0.3	69
Wood	6	5	0.5	83
			0.7	80
			0.3	

作為に抽出し、2～12倍に拡大してプランメータ(タマヤ計測システム(株) PLANIX 5000)を用いて、その個々の長さを測定することで求めた。かさ密度は、ファイバーを約10 g 精研し、1000 ml 容メスシリンダー内に空隙ができないように充填して、その体積を測定し算出した。3回測定して平均値を求めた。

2.4 ボードの作製

解繊したファイバーを用いて寸法28×26×0.8 cmのボードを作製した。接着剤として、不揮発分62%のユリア樹脂接着剤(株)ホーネンコーポレーション UB-103)に硬化剤として塩化アンモニウム20%水溶液を5部加えたものを用い、含脂率は10%とした。

クリアランスの影響を検討するために、竹、木材ともクリアランス0.3, 0.5, 0.7 mmで解繊されたファイバーを用い、目標密度0.75 g/cm³のボードを作製した。材質と密度との関連を検討するために、竹についてはクリアランス0.5 mmのファイバーを用いて目標密度0.55～0.95 g/cm³の間で5段階、木材については同様のクリアランスで目標密度0.65～0.85 g/cm³の間で3段階に設定しボードを作製した。

接着剤の塗布はエアスプレーガンを用い、含水率3%に調整したファイバーをロータリーブレンダーで攪拌しながら行った。使用したブレンダーは、通常のパーティクルへの噴霧塗布に使われているものとは異なり、短い棒状の羽のついた回転軸をブレンダー後部より挿入してこれを高速回転させ、ファイバーを分散できる構造になっている。

フォーミングは手撒きで行い、その後ノーマルホットプレスで熱圧した。熱圧条件は、温度160°C、時間6分間、初期圧縮圧3.4 MPaとし、厚さはディスタンスバーにより規制した。

ボードは1条件につき2枚ずつ、合計28枚作製し、20°C、相対湿度65%の恒温恒湿室中で1週間以上調湿した後に材質試験に供した。

2.5 材質試験

2.5.1 曲げ試験

曲げ試験は常態および室温水に24時間浸せき後、ぬれたままの状態で行った。寸法17×3×0.8 cmの試験片を常態試験では作製条件ごとに各6片、浸せき試験では各5片供試した。試験機には東洋ボールドウィン(株)製のテンシロンSTM-F-1000BPを用いて、スパン15 cmの中央集中荷重方式で行い、クロスヘッドスピードは10 mm/minとした。また、試験時に得られた荷重-たわみ曲線の面積から、ボードが破壊までに要するエネルギーを近似的に算出し、曲

げ試験の結果とあわせて考察に用いた。

2.5.2 はくり試験

はくり試験は常態および浸せき乾燥処理後に行った。処理試験片は、室温水に24時間浸せき後、60°Cで24時間乾燥した。5×5×0.8 cmの試験片を作製条件ごとに各9～10片供試し、試験機には東京衝機製作所製の木材試験機を用いた。クロスヘッドスピードは約1 mm/minとした。

2.5.3 吸水率および吸水厚さ膨張率の測定

吸水試験は以下の手順で行った。寸法5×5×0.8 cmの試験片を前処理として60°Cで24時間乾燥した。前処理後直ちに各試験片の厚さおよび重量を測定した。その後、試験片を室温水に24時間浸せきして各試験片の厚さおよび重量を測定し、前処理後の値を基準値として吸水率(WA)および吸水厚さ膨張率(TS)を算出した。試験片は作製条件ごとに各9～10片とした。

2.6 密度分布の測定

5×5 cmの試験片を作製してボードの厚さ方向における密度分布を測定した。測定にはGeological & Nuclear社製のProscan Density Profilerを用いてγ線放射方式により行った。

3. 結果および考察

3.1 ファイバーの収率と物性

Table 1に解繊条件ごとの収率を示した。竹は木材と比較して5～6割程度の収率にとどまった。また、クリアランスが大きくなるにつれて収率は向上する傾向を示した。

Photo. 1に、竹および木材ファイバー表面の拡大写真を示した。木材ファイバーの表面には毛羽立ちが見られるのに対し、竹ファイバーの表面には毛羽立ちが見られず通直な形状をしていた。

Fig. 1にクリアランスを変えて解繊した竹ファイバーの長さ分布を示した。クリアランスが大きくなるにつれて長ファイバーの頻度が増加していく傾向が認められた。また、同じクリアランスで解繊された竹ファイバーと木材ファイバーを比較すると、竹

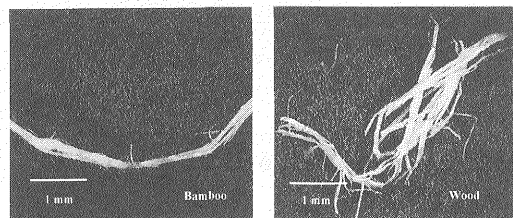


Photo. 1. Surface of bamboo and wood fibers.

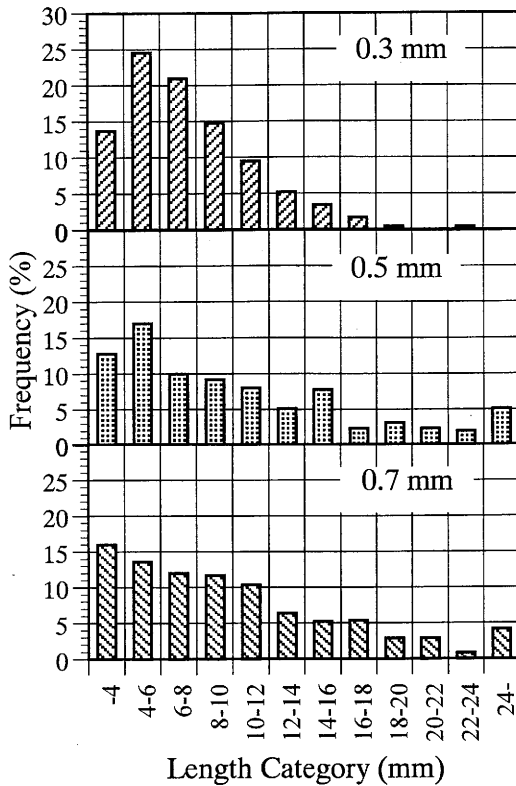


Fig. 1. Length distribution of bamboo fibers defibrated at different disk clearances by PSDR.
Note: Steaming pressure 6 atm, Steaming time 10 min.

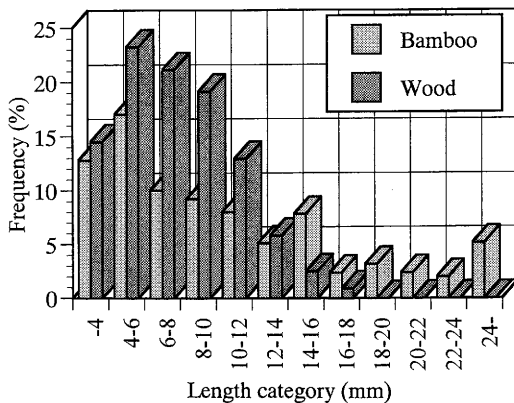


Fig. 2. Length distribution of bamboo and wood fibers defibrated at disk clearance 0.5 mm by PSDR.
Note: Steaming pressure 6 atm, Steaming time; Bamboo 10 min, Wood 5 min.

ファイバーのほうが長ファイバーの頻度は高かった

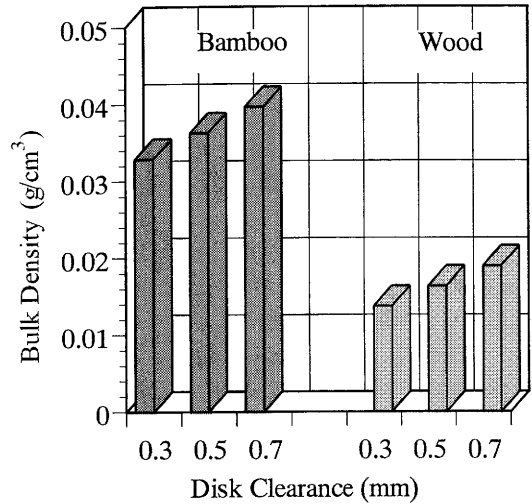


Fig. 3. Bulk density of bamboo and wood fibers defibrated by PSDR.
Note: Steaming pressure 6 atm, Steaming time; Bamboo 10 min, Wood 5 min.

(Fig. 2).

Fig. 3に竹および木材ファイバーのかさ密度を示した。竹は木材と比べ2倍程度も高いかさ密度を示した。これは、竹自体の素材比重が木材に比べ高いこと、また、Photo. 1に示したように竹ファイバーは表面に毛羽立ちがなく、通直な形状をしていることに起因していると思われる。

3.2 ボードの材質

3.2.1 クリアランスの影響

Fig. 4に解繊時のクリアランスを変えて作製したファイバーをエレメントとしたボードの常態におけるMOE, MOR, IBを示した。ボードはすべて含脂率10%で作製されたものである。結果について分散分析を用いて有意差を検定したところ、竹ファイバーボード(以下竹ボード)、木材ファイバーボード(以下木材ボード)とも、曲げ性能(MOE, MOR)においては今回の実験の範囲では、クリアランスの影響は認められなかった。IBについては、木材ボードでは5%の危険率で有意差は認められたものの、竹ボードについては認められなかった。

3.2.2 ボードの厚さ方向における密度分布

Fig. 5に平均密度0.82 g/cm³の竹および木材ボードの厚さ方向における密度分布を示した(含脂率はともに10%)。木材ボードが明確なM字型分布を示すのに対し、竹ボードは両端部にわずかな凸部が見られるのみである。この傾向はさらに高密度のボードにおいても認められた(Table 2)。密度の同じボ

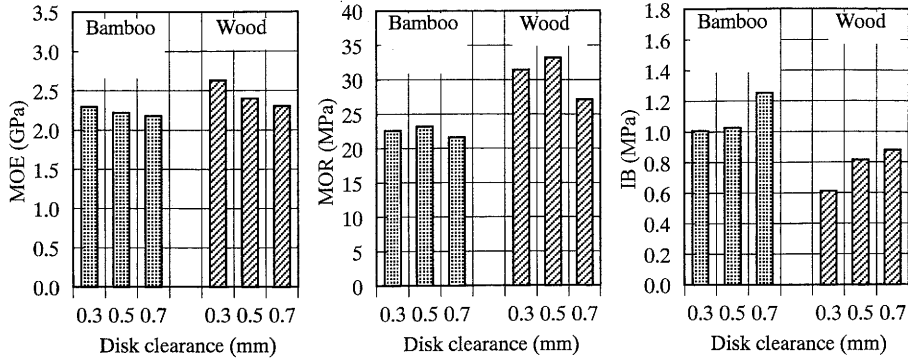


Fig. 4. Effect of disk clearance on MOE, MOR and IB of fiberboards at dry condition.
 Note: Resin content 10%, Board density 0.7 g/cm³.

Table 2. Peak and core density of the boards obtained from density profile (g/cm³).

Bamboo	Average Density	0.50	0.60	0.72	0.82	0.92
	Peak Density ^{a)} [P]	0.55	0.68	0.81	0.90	1.01
	Core Density [C]	0.49	0.58	0.68	0.81	0.96
	P-C Density	0.06	0.10	0.13	0.09	0.05
Wood	Average Density		0.60	0.71	0.82	0.91
	Peak Density [P]		0.74	0.88	1.01	1.08
	Core Density [C]		0.54	0.65	0.72	0.84
	P-C Density		0.20	0.23	0.29	0.24

^{a)} Peak density is the average value of left and right peak density.

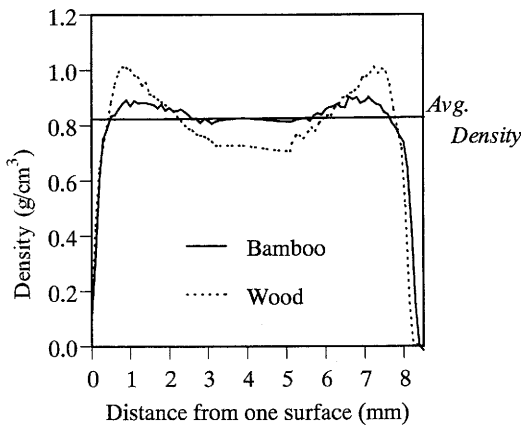


Fig. 5. Density profiles in the thickness direction of bamboo and wood fiberboards.

Note: Disk clearance 0.5 mm, Resin content 10%, Average Density 0.82 g/cm³.

ードにこのような違いがでるのは、竹ボードの密度分布には、圧縮比(ボード密度/素材比重)よりもエレメントの比重、剛直性、あるいは性状が影響しているものと推察される。

3.2.3 ボードの機械的性質と吸水寸法安定性

(a) 曲げ性能

Fig. 6, 7 に竹および木材ボードの MOE, MOR を密度との関係で示した。常態 (Normal) の MOE では、竹ボードは木材ボードと同等の値を示したが、MOR ではどの密度レベルにおいても前者が低い値を示した。

ここで竹および木材ボードが破壊までに要するエネルギーを近似的に求めたものを密度との関係で Fig. 8 に示したが、これによると木材ボードの方が竹ボードよりも多くの破壊エネルギーを要していることが認められる。また、曲げ試験時の観察から、竹ボードは破壊の際に木材ボードのような変形(たわみ)はせずに破壊に達した。これらのことより、竹ボードは脆性的に破壊を起こす傾向にあることが推察される。これらの理由としては、竹ファイバーはそれ自体が剛直であるため¹⁷⁾、それらをエレメントとしたボードは材料の剛さの指標である MOE では木材ボードと同等の値を示したが、ファイバー表面に毛羽立ちがないため (Photo. 1)、ファイバー同士の絡まりが弱く脆性的な破壊を起こし、MOR では木材ボードよりも低い値となったと考えられる。

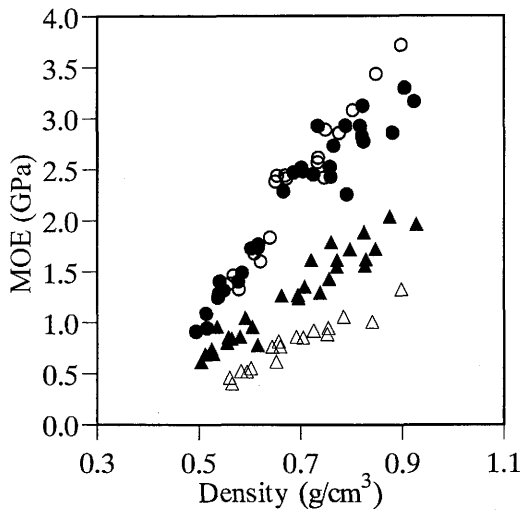


Fig. 6. MOE of fiberboards.
 Legend: ● : Bamboo Normal, ○ : Wood Normal
 ▲ : Bamboo Wet, △ : Wood Wet
 Note: Disk clearance 0.5 mm, Resin content 10%.

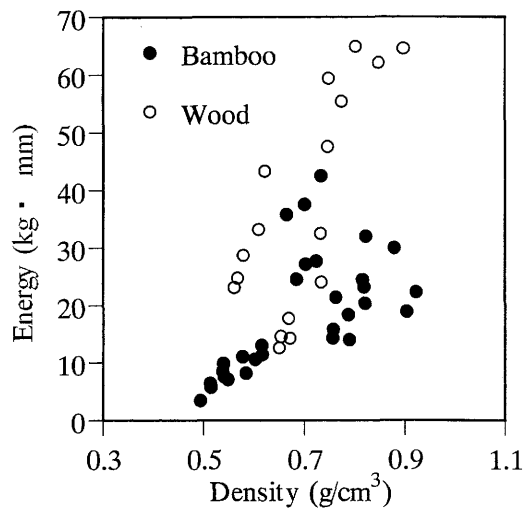


Fig. 8. Bending failure energy of fiberboards.

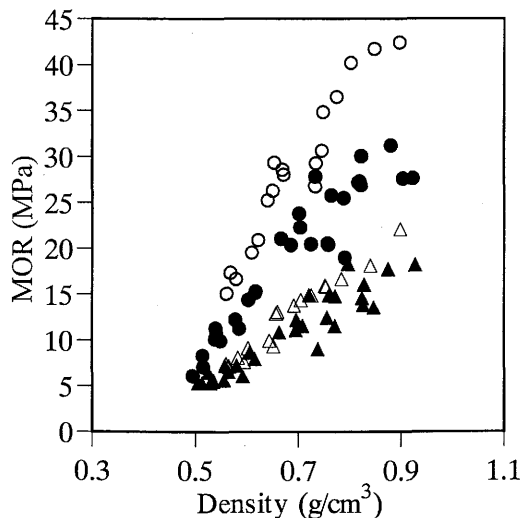


Fig. 7. MOR of fiberboards.
 Legend: ● : Bamboo Normal, ○ : Wood Normal
 ▲ : Bamboo Wet, △ : Wood Wet
 Note: Disk clearance 0.5 mm, Resin content 10%.

さらに、前述のように竹ボードの密度分布が Fig. 5 に示したように平坦な密度分布となるため、表層部の密度が木材ボードと比較して低くなり、材料の曲げ性能が表層部の強度性能に強く依存するため、竹ボードは効果的に曲げ性能を発現できなかったと推測される。

素材としての竹の曲げ性能、とくに弾性率は12.3

GPa であり、木材 (トドマツ) の7.8 GPa と比べると高い値を示すのに対し^{18,19)}、前述のように竹ボードでは MOE は木材と同等、MOR は低い値を示している。これは、竹はファイバーの広がりがなく、結果的にマット内のファイバー総表面積に対する接着剤塗布量が木材よりも多くなるが、ファイバーのかさが木材と比較してかなり少ないため、ボード内部、特に表層部の空隙が木材と比べて多く、応力を効果的に伝達できなかったものと考えられる。

次に、ボードの湿潤曲げ性能 (Wet) について述べる。竹ボードの湿潤曲げ性能を木材ボードと比較すると、MOE は浸せき後には高い値を (Fig. 6)、MOR では同等の値を示した (Fig. 7)。いいかえれば、竹ボードは木材ボードよりも24時間浸せき処理後の曲げ性能の低減率は低かった。この理由としては Fig. 11 に示すように竹ボードは TS が木材ボードのそれに比べて低いことから、ボード表層部の膨潤による密度低減も小さく、浸せき処理後も木材ボードと比較してより高い曲げ性能を保持していたものと考えられる。

(b) はくり強さ

Fig. 9 に竹および木材ボードの IB を密度との関連で示した。それによると常態 (Normal) の IB については、竹ボードの方が木材ボードよりも高い値を示した。竹ファイバーは前述したように木材ファイバーよりもファイバーの総表面積が小さいので単位面積に対する接着剤塗布量が木材ファイバーよりも多くなり、高い値を示したものと思われる。さらに、Fig. 5 に示したように、ボードコア層の密度が木

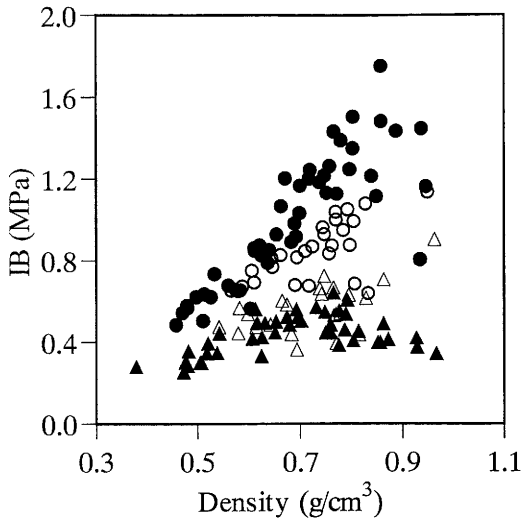


Fig. 9. IB of fiberboards.
 Legend: ●: Bamboo Normal, ○: Wood Normal
 ▲: Bamboo Treated, △: Wood Treated
 Note: Disk clearance 0.5 mm, Resin content 10%.

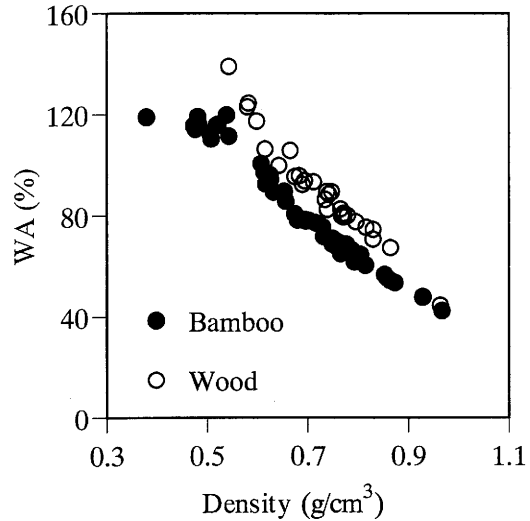


Fig. 10. WA of fiberboards.
 Note: Disk clearance 0.5 mm, Resin content 10%.

材ボードよりも高いことも一因と考えられる。

しかしながら、24時間室温水浸せき乾燥後(Treated)のIBは、竹ボードの方が低減が大きく、密度に対する依存性もみられなかった。Fig. 12 に示したように竹ボードはボード密度0.8 g/cm³以上の領域では木材ボードと比べて高いスプリングバックを示していることから、乾燥後もボード表層部だけでなく、内部も膨張したままではないかと考えられる。

(c) 吸水率および吸水厚さ膨張率

Fig. 10 に竹および木材ボードの24時間室温水浸せき処理におけるWAを密度との関連で示した。竹ボードはどの密度レベルにおいても木材ボードよりも低いWAであった。この理由としては、用いられたファイバーのかさが木材ボードに比べて少ないことからファイバーの広がりがなく、水の吸着量も少なかったことが推測される。また、Fig. 11 に示したように木材ボードは竹ボードと比較してTSの値が大きいため、浸せきにより膨張し、ボード内部に空隙ができたことも一因と思われる。

TSでは、竹ボードは木材ボードよりも低い値を示した(Fig. 11)。この理由としては、ボードの厚さ膨張は熱圧時にセットされたエレメントが水分によって回復することに起因するので、圧縮比の低い、すなわちファイバーのかさが少ない竹ボードの方がボード内部の回復応力が小さく、また、単位表面積に対する接着剤量も多いので、木材ボードと比較してエレメントへの拘束力が大きく働いたためと思わ

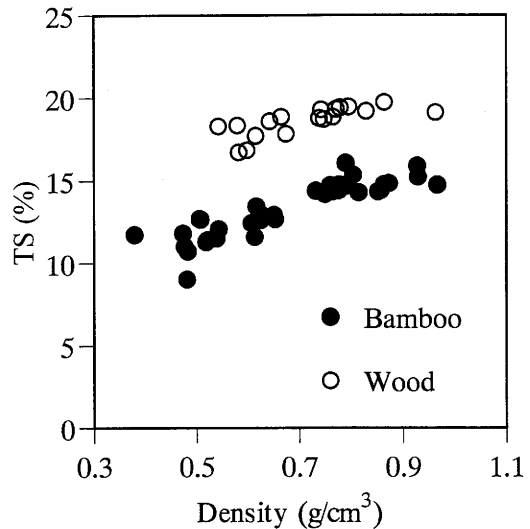


Fig. 11. TS of fiberboards.
 Note: Disk clearance 0.5 mm, Resin content 10%.

れる。また、Fig. 10 に示すように竹ボードは木材ボードよりも24時間浸せき後のWAが低いことや、木材ボードはFig. 5 に示したように表層部がより圧密化されているために、特にボード表層部の浸せきによる膨張が竹ボードと比べ大きくなることも関与していると思われる。

しかしながら、竹ボードのスプリングバックは、ボード密度0.8 g/cm³以上の領域で木材ボードよりも高い値を示した(Fig. 12)。竹ボードはFig. 5 の密

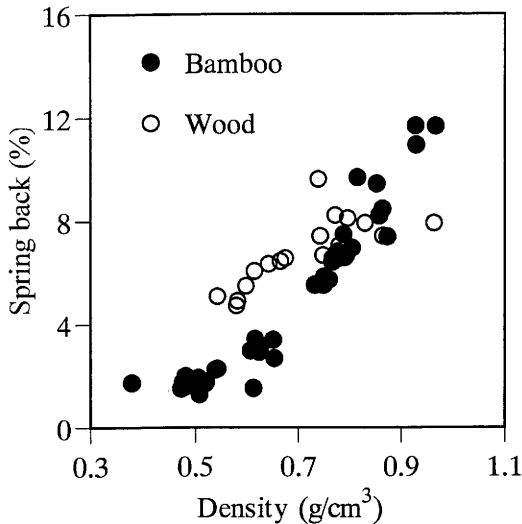


Fig. 12. Spring back of fiberboards.
Note: Disk clearance 0.5 mm, Resin content 10%.

度分布にみるように、コア層密度が木材ボードと比較して高いため、ボード表層部だけでなくコア層の回復応力も高く、ボードが低密度で圧縮を受けていない場合にはそれほどでもないが、ボードの圧縮比が1以上、つまりボード密度 0.7 g/cm^3 以上から内部の回復応力が大きくなり、スプリングバックが急激に上昇しているものと思われる。さらに、竹は素材比重が高く、ファイバーが剛直なことも理由の一要因と考えられる。

4. 結 論

日本産モウソウチクを原料としてファイバーおよびボードを作製し、ファイバーの物性、ボードの材質を、木材を原料としたそれらと比較検討した結果、以下に述べる結論を得た。

- 1) 竹ファイバーの収率は、木材ファイバーのそれに比べて5~6割程度であった。竹ファイバーの表面は木材ファイバーと比較して毛羽立ちが見られず、通直な形状をしていた。竹ファイバーは木材ファイバーよりも長ファイバーの頻度が高く、また、かさ密度も高かった。
- 2) 竹ボードの密度分布は、木材ボードのそれが典型的なM字型分布を示すのに対し、どの密度領域においても平坦な分布を示した。
- 3) 竹ボードは、常態においては、木材ボードと比較して、MOEでは同等の値を示したが、MORでは低い値を示した。IBでは高い値を示した。24時間室温水浸せき後の強度の低減率については、竹ボードは

曲げ性能では木材ボードよりも小さく、IBでは大きかった。

- 4) 竹ボードは、木材ボードと比較して24時間室温水浸せき後のTS, WAは低い値を示した。しかしながら、スプリングバックについては、ボード密度 0.8 g/cm^3 以上の領域では高い値を示した。

謝 辞

接着剤を提供していただいた(株)ホーネンコーポレーション、ブレンダーの拝借をお願いした静岡県静岡工業技術センター、密度分布の測定にご協力いただいた(株)ノダに深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) 張 敏, 川井秀一, スレイマン・ユスフ, 今村祐嗣, 佐々木 光: 木材学会誌 42(11), 1082-1089 (1996).
- 2) 張 敏, 川井秀一, 楊 萍, 本田貴久: 木材学会誌 43(4), 310-317 (1997).
- 3) 梶田 熙, 松本 純, 矢野浩之, 川崎珠美, 川井秀一: 第47回日本木材学会研究発表要旨集, 高知, 1997, p. 265.
- 4) Han, G., Zhang, C., Zhang, D., Umemura, K., Kawai, S.: *J. Wood Sci.* 44(4), 282-286, (1998).
- 5) 張 敏, 川井秀一, スレイマン・ユスフ, 今村祐嗣, 佐々木 光: 木材学会誌 43(4), 318-326, 1997.
- 6) Lee, A. W., Bai, X., Peralta, P. N.: *Forest Prod. J.* 46(11/12), 84-88, 1996.
- 7) 陳 戴永, 澤田 豊, 川井秀一, 棚橋光彦, 佐々木 光: 林産工業 8(4), 11-18, 1989 (in Chinese).
- 8) Zhang, M., Kawai, S., Sasaki, H., Yamawaki, T., Yoshida, Y., Kashihara, M.: *Mokuzaigakkaishi* 41(10), 903-910, 1995.
- 9) Zhang, M., Kawasaki, T., Yang, P., Honda, T., Kawai S.: *Mokuzaigakkaishi* 42(9), 854-861, 1996.
- 10) 馬 靈飛, 黒木泰雄, ドウワイト・エユセビオ, 永富 辨, 川井秀一, 佐々木 光: 木材学会誌 42(1), 34-42, 1996.
- 11) 馬 靈飛, 黒木泰雄, バンバン・スピヤント, 永富 辨, 川井秀一, 佐々木 光: 木材学会誌 43(9), 754-761, 1997.
- 12) 馬 靈飛, 黒木泰雄, 永富 辨, 川井秀一, 佐々木 光: 木材学会誌 44(4) 262-272, 1998.

- 13) 馬 靈飛, 黒木泰雄, 永富 辨, オーランド R. プリド, 川井秀一, 佐々木 光: 木材学会誌 **44** (4), 273-281, 1998.
- 14) 馬 靈飛, オーランド R. プリド, 山内秀文, 川井秀一, 佐々木 光: 木材学会誌 **44**(6), 425-432, 1998.
- 15) 馬 靈飛, 川井秀一, 佐々木 光: 木材学会誌 **45**(1), 25-33, 1999.
- 16) Subiyanto, B., Subyakto: 日本木材学会40周年記念大会発表要旨集, 東京, 1995, p. 228.
- 17) 張 敏: 京大木研木材研究・資料 **33**, 33-70, 1997.
- 18) 伏見賢美, 木方洋二, 岡野 健, 佐道 健, 竹村富男, 則元 京, 有馬孝禮, 堤 壽一, 平井信之: 木材の物理, 文永堂出版, pp. 266-269.
- 19) 青木尊重: 日本産主要竹材の研究, 葦書房, p. 218.