

竹繊維を活用した高強度材料の開発

日高富男*, 福留重人*, 山角達也*

Development of High Strength Materials Using Bamboo Fiber

Tomio HIDAKA, Shigeto FUKUDOME and Tatsuya YAMAZUMI

モウソウチク材を構成する強靱な竹繊維を効率的に解繊するための蒸煮処理条件及び破碎手法を明らかにした。また、モウソウチク材を蒸煮解繊して得られた竹繊維を用いた基本ボードの製造条件及びその物性を明らかにし、従来の竹材強度に比べ高い強度を有する材料が得られた。さらに、住宅の構造用仕口の接合部としての活用を想定し、接合部（竹ダボ）の製造条件の検討及び強度性能を評価した。その結果、住宅の構造用仕口の接合部として、竹ダボ接合の有用性が示唆された。

Keyword：竹繊維，蒸煮処理，自己接着，高強度，竹ダボ

1. 緒言

本県には竹資源が豊富に存在し、竹林面積は約1万6千haと全国一である。しかし、本県の平成20年度竹材生産量¹⁾は394千束と、昭和63年度ピーク時（2,276千束）の約2割と大幅に落ち込んでいる。

このため、未利用のまま放置されている竹林が周辺の里山に侵入して森林を破壊するなど、深刻な環境問題が生じている。その対策として本県においては、森林環境税制度の導入を含め、里山環境の保全を目的とした荒廃竹林の施業管理の実施を推進している。

竹材は3～5年で成竹し短期間で再生可能なことから、持続可能なバイオマス資源として最適な材料であるが、本県の平成20年度の竹材の利用形態¹⁾をみると、パルプ用が約6割を占め、次いで工芸用、竹炭用、農林業用、水産業用の順であり、付加価値の低い利用に留まっている。

当センターでは、これまでに竹を工業材料として有効利用するために、モウソウチクの展開技術²⁾や竹繊維を入れることで強度を向上させた炭化物ボードの開発³⁾に取り組んできたが、更なる竹材の利・活用を図ることは、里山環境保全と竹産業振興にとって急務な課題である。

そこで本研究では、モウソウチク材を構成する強靱な竹繊維に着目し、竹材から強靱な竹繊維を選択的に取り出す蒸煮処理条件の検討、竹繊維を用いた基本ボードの製造条件の検討、及び木造住宅の構造用仕口の接合部材として活用する竹繊維成形部材（以下「竹ダボ」という）の製造条件並びに接合部の強度評価を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 竹繊維

2.1.1 蒸煮処理条件と解繊方法

供試材は、表皮を剥皮した鹿児島県内産モウソウチク割竹を用いた。蒸煮処理条件は、処理温度及び時間を表1に示すように設定し、円筒縦型オートクレーブ（(株)ヤスマ製）を用いて行った。

表1 蒸煮処理条件

蒸煮温度（℃）	蒸煮時間（分）		
160	60	120	
180	60		
200	15	30	60

蒸煮処理した割竹を乾燥後、プラスチックハンマーで叩き潰した後、面状の荒い板の間に挟み摺り合わせることでより竹繊維を得た。また、各蒸煮条件毎の竹繊維の収率を測定した。

2.1.2 竹繊維の引張強度

採取した竹繊維の引張強度試験は、繊維引張試験（JIS L 1069）に準じて繊維引張試験器（(株)島津製作所製オートグラフAGS-5KNB）を用いて行った。引張強度を求める際の竹繊維の断面積は、デジタルマイクロスコプ（(株)キーエンス製VH-8000）で測定し、竹繊維両端の総面積の2分の1を中央部の断面積として引張強度を算出した。

なお、試験体数は、各条件30体であった。

2.2 基本ボード

2.2.1 基本ボードの製造方法

竹繊維のプレス条件を検討するために100mm角のステンレス製の型枠で試作する竹繊維ボードを基本ボードとする。

供試材は、オートクレーブで200℃で30分蒸煮処理を行い解繊した竹繊維を型枠に均一になるように並べてホットプレスにて設定された条件で自己接着（バインダーレス）

* 木材工業部

で成形し、その後冷却水で急冷し外気温に到達してから解圧することで基本ボードを試作した。

2.2.2 基本ボードの製造条件

基本ボードのプレス条件として、まず温度と時間について検討した。プレス条件として、プレス温度は160、180及び200とし、またプレス時間は10分、15分及び30分とした。なお、プレス圧は10MPaで一定とした。

次に基本ボードのプレス圧について検討した。プレス温度は180、プレス時間は15分で一定とし、プレス圧を10MPa、20MPa及び30MPaとした。

2.2.3 基本ボードの評価

試作した基本ボードは、20、50%RHの恒温恒湿器で調整後、密度、吸水厚さ膨張率及び曲げ強度の測定を行った。

吸水厚さ膨張率試験は、JIS A 5905に準じて行い、吸水前後の厚さをマイクロメータで測定した。

曲げ強度試験は、繊維ボードの曲げ強度試験(JIS A 1408)に準じて(株)島津製作所製オートグラフAGS-5KNBを用いて行った。なお、試験体数は各条件12体であった。

2.3 竹ダボ

2.3.1 竹ダボの製造方法

供試材には、オートクレーブで200で30分の蒸煮処理後解繊処理した竹繊維を用いた。長さ365mm、幅34mm、深さ45mmのステンレス製型枠に竹繊維を均一に入れ、設定温度に達してから、設定時間プレスを行い、その後冷却水で急冷し外気温に到達してから解圧することで竹ダボを試作した。

竹ダボのプレス条件として、プレス温度は180、プレス圧力は30MPaで一定とし、プレス時間を、15分、30分及び60分と変化させ、試作を行った。

プレス成形した竹ダボは、丸鋸にて長さ300mmで14mm角に仕上げた。

2.3.2 曲げ強度試験

試作した竹ダボ(14mm角材)を用いて、曲げ強度試験を行った。曲げ強度試験は、木材の曲げ強度試験(JIS Z 2101)に準じて(株)島津製作所製精密万能試験機AG-100kNEを用いて行った。なお、試験体数は各10体であった。

2.3.3 単軸引張試験

単軸引張試験の様子を図1に示す。単軸引張試験は、試作した竹ダボ(14mm角材)を用い45mm角のスギ材の木口面に直径20mmのダボ穴を100mmと70mmの深さにあけて、エポキシ系樹脂接着剤を充填し竹ダボを埋めて1週間養生後に試験体とした。また、竹ダボと母材との接着力を高めるために竹ダボ表面に、サンドブラスト処理を用いたものと無処理のもの各5試験体で強度の比較を行った。



図1 単軸引張試験

2.3.4 T型引張試験

T型引張試験(柱と土台の接合)は、試作した竹ダボ4本(14mm角材)を用い、接合面に対しそれぞれ垂直に直径20mmのダボ穴を穿孔した。柱への穿孔深さは、70mmで統一し、土台への穿孔深さは、35mm、53mm及び70mmの3条件とした。接着剤はエポキシ系樹脂接着剤を用い、その際、接合面の影響を避けるために、柱と土台の直接的な接着を防止する工夫をした。なお、試験体数は各6体とし接着後1週間養生した後、試験を行った。

2.3.5 試験方法および接合部の評価方法

引張試験の概要を図2に示す。試験は実大強度試験機((株)島津製作所UH-25A)を用い、「耐力壁が取り付け柱の仕口の引張試験」((財)日本住宅・木材技術センター)に準じて行った。

接合部の評価は、試験結果から算出した短期基準接合耐力と平成12年建設省告示第1460号で例示された仕口の許容引張耐力との比較により行った。

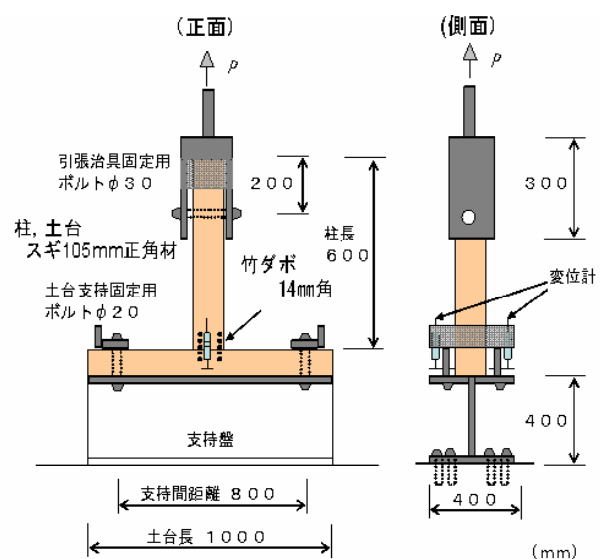


図2 竹ダボのT型引張試験の概要

3. 結果及び考察

3.1 竹繊維

3.1.1 蒸煮条件と解繊

解繊で得られた竹繊維と柔細胞等を図3に示す。また、蒸煮条件毎の竹繊維の収率を図4に示す。160 の蒸煮処理では、60分では解繊は容易ではなく、120分の方が解繊は容易であり、繊維の収率も良かった。180 で60分処理では、解繊しやすかった。蒸煮温度200 で30分処理の時に解繊も容易であり繊維の収率も5割を超えた。



図3 解繊して得られた竹繊維と柔細胞等

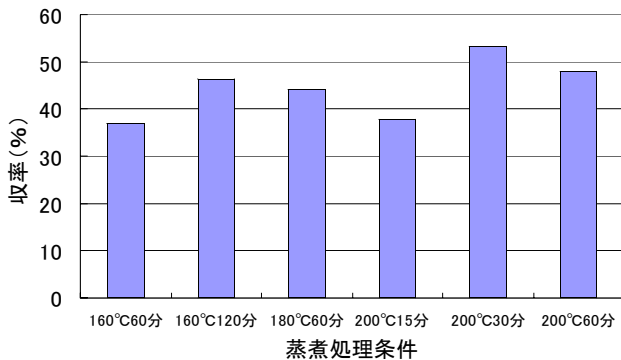


図4 蒸煮処理条件毎の竹繊維の収率

3.1.2 竹繊維の引張強度試験

各蒸煮処理条件で得られた竹繊維の引張強度試験の結果を図5に示す。処理温度160 で120分処理した時の引張強度は280MPa、200 で30分した際の竹繊維の引張強度が300MPaと高かった。

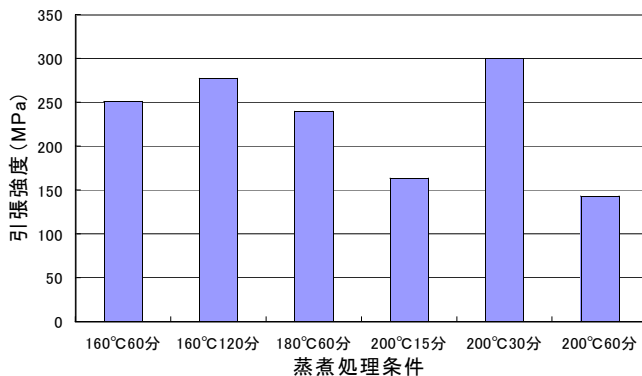


図5 蒸煮処理条件毎の竹繊維の引張強度

3.2 基本ボード

3.2.1 基本ボードの製造条件

プレス温度とプレス時間を変化させて試作した基本ボードの吸水厚さ膨張率試験結果を図6に、曲げ強度試験結果を図7に示す。

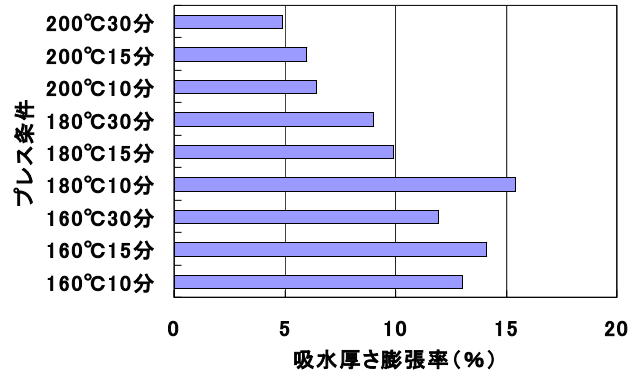


図6 プレス条件と吸水厚さ膨張率との関係

吸水厚さ膨張率は、プレス温度が高くなるほど、またプレス時間が長くなるほど小さくなる傾向が認められた。これは、竹繊維に付着している柔細胞に含まれるヘミセルロースやリグニンが熱変性を受け、ボードの圧密化が促進されたためと推察された。

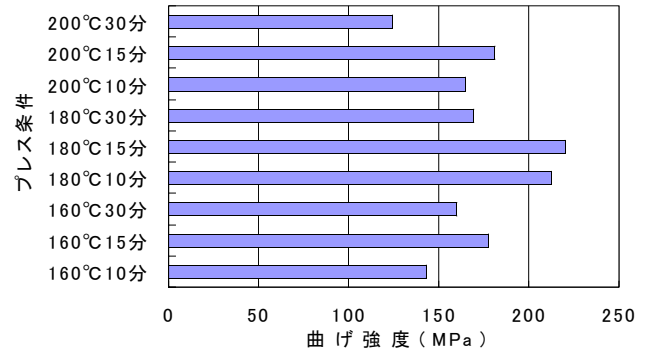


図7 プレス条件と曲げ強度との関係

曲げ強度試験の結果、180 の温度域で曲げ強度が高くなる傾向が見られた。これは、160 の温度域では成形が十分ではなく、200 での温度域は繊維の熱変成が進んだものと推察された。180 の温度域でもプレス時間15分が最も曲げ強度が高かった。

上記の試験結果を受け、成形条件は、プレス温度180、プレス時間15分で一定とし、プレス圧を変化させて試作した基本ボードの吸水厚さ膨張率試験結果を図8に、曲げ強度試験結果を図9に示す。

吸水厚さ膨張率は、プレス圧が高くなるほど、小さな値を示した。また、曲げ強度はプレス圧が高くなるほど向上した。これは、プレス圧が高くなることで圧密化が促進され竹繊維同士の結合が強まったためと考察された。

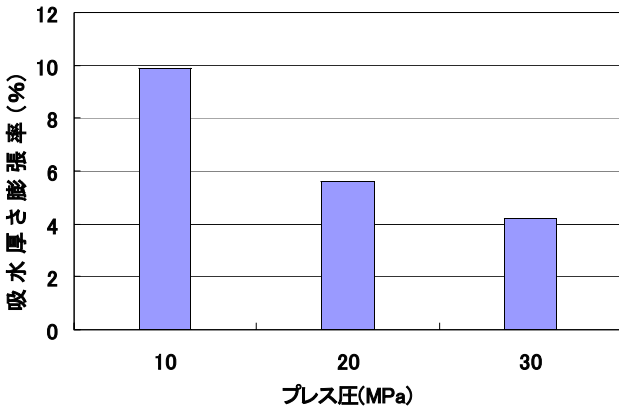


図8 プレス圧と吸水厚さ膨張率との関係

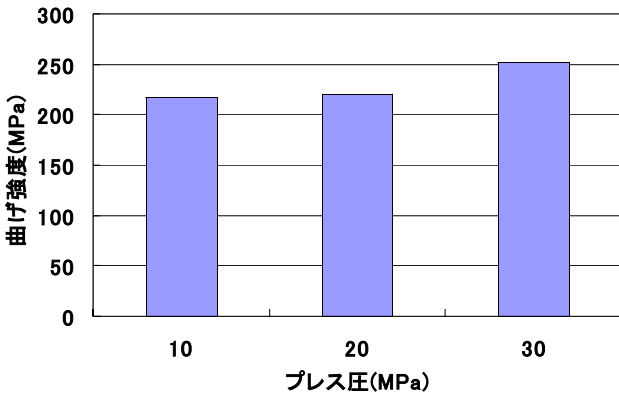


図9 プレス圧と曲げ強度との関係

3.2.2 基本ボードの密度

プレス温度180℃，プレス時間15分で一定とし，プレス圧を10MPa，20MPa及び30MPaで成形したボードの密度を表2に示す。

プレス圧が高くなるほど密度は向上するが，プレス圧20MPaと30MPaにおいては，それほど差異は認められなかった。

表2 基本ボードの密度(g/cm²)

プレス圧	10MPa	20MPa	30MPa
密度	1.37	1.43	1.44

3.3 竹ダボ

3.3.1 竹ダボの曲げ強度試験

竹ダボの曲げ強度試験結果を図10に示す。プレス時間30分で最も曲げ強度が高かった。これは，プレス時間15分では，成形が不十分であり，また，プレス時間60分では竹繊維の熱変成が進み，強度が低下したと推察された。

3.3.2 単軸引張試験

単軸引張試験結果を図11に示す。竹ダボの表面無処理とサンドブラスト処理の平均引抜荷重は，それぞれ31.5kN，33.1kNであり，サンドブラスト処理の方が約5%向上していた。これは，プレス加工で作られる竹ダボの表面が平滑

であるのに対して，サンドブラスト処理により竹ダボ表面をエンボス加工することで接着剤とのアンカー効果が現れたものと考察された。

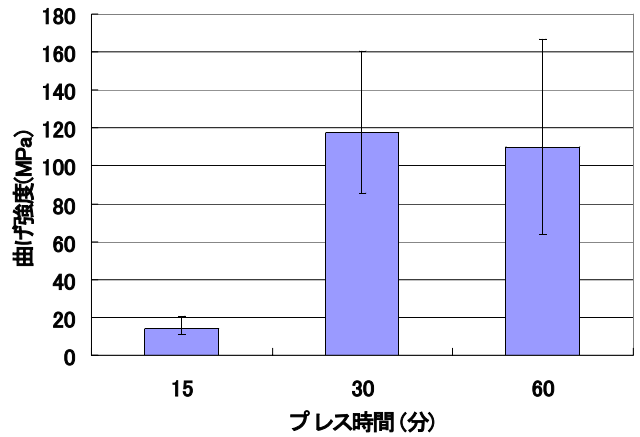


図10 プレス時間と竹ダボの曲げ強度の関係

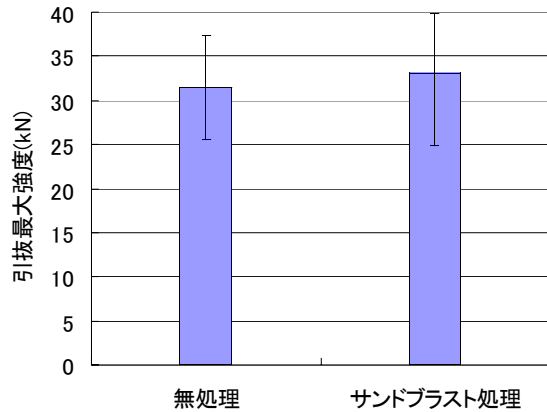


図11 竹ダボの表面処理と単軸引抜荷重の関係

3.3.3 T型引張試験

T型引張試験の結果を図12に，2タイプの破壊形態を図13に示す。土台埋め込み深さ35mm，53mm，70mmの試験体の平均引抜荷重は，それぞれ18.5kN，19.8kN，27.1kNであり，埋め込み深さが深くなるほど強度が向上する傾向が見られた。

T型引張試験体の破壊形態は，埋め込み深さ70mmでは竹ダボの引き抜けで破壊した。また，埋め込み深さ35mm，53mmの試験体では土台割裂の形態で破壊が起こり，土台割裂の位置は，土台埋め込み深さに近い部分で発生した。

竹ダボを用いたT型引張試験の破壊形態は竹ダボと土台の接着強度，土台の材料強度，竹ダボの引張強度の3つの力関係により決まる⁴⁾。今回の埋め込み深さ35mmと53mmの条件下においては，土台の材料強度に比べ竹ダボと土台の接着強度が上回っていたことにより，土台の割裂で破壊したと考えられる。

なお、埋め込み深さ35mmと70mmの間には有意水準1%でまた、埋め込み深さ53mmと70mmの間には有意水準5%で差が認められたが、埋め込み深さ35mmと53mmの間には有意な差は見られなかった。

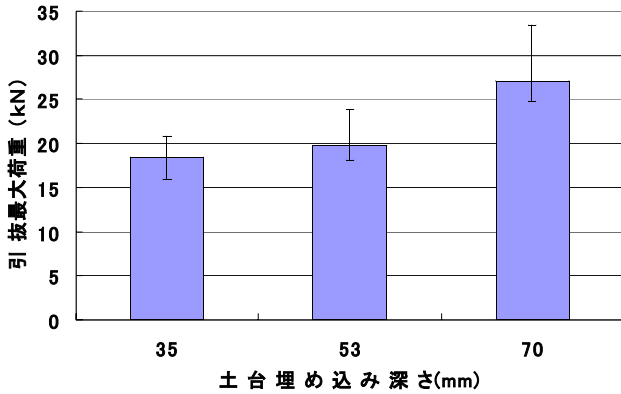


図12 竹ダボの土台埋め込み深さ別の引張強度の関係



左：土台割裂

右：ダボの引き抜け

図13 T型引張試験における2タイプの破壊形態

3.3.4 接合部の評価

今回の試験結果から算出した短期基準接合耐力を表3に、平成12年建設省告示第1460号で例示された仕口の許容引張耐力を表4に示す。両表を比較すると、今回試験を行った全ての条件下における短期基準接合耐力は、最低でも9.35kNを示し「羽子板ボルト 12mmに長さ50mm径4.5mmスクリューくぎ (8.50kN)」と同等以上の耐力が得られた。

また、土台埋め込み深さ70mmの場合では短期基準接合耐力は12.67kNを示し「10kN用引き寄せ金物 (10.0)」と同等以上の耐力が得られた。

表3 竹ダボ接合における短期基準接合耐力

土台埋め込み深さ(mm)	35	53	70
最大荷重 Pmax(kN)	18.6	19.8	27.1
標準偏差	1.89	2.18	3.29
変動係数 (%)	10.2	11	12.1
2/3Pmax(kN)	12.3	13.2	18.1
2/3Pmax時ばらつき係数	0.76	0.74	0.7
短期基準接合耐力(kN)	9.35	9.77	12.67

表4 建設省告示で例示された仕口の許容引張耐力

仕様	引張許容耐力(kN)
T字型かど金物くぎ CN65×5本	5.07
山形プレート金物くぎ CN90×5本	5.88
羽子板ボルト 12mm 短冊金物	7.50
羽子板ボルト 12mmに長さ50mm径4.5mmスクリューくぎ	8.50
10kN用引き寄せ金物	10.00
15kN用引き寄せ金物	15.00

4. 結 言

蒸煮処理を用いた竹繊維の効率的な解繊方法の検討やプレス条件の検討を行った。また、住宅の接合部としての竹ダボの性能評価を行った結果、次のことが明らかになった。

- (1) 竹の解繊は、200℃で30分蒸煮処理の際に竹繊維の引張強度が高く、また、繊維の収率も良好であった。
- (2) 基本ボードの成形条件は、プレス温度180℃、プレス時間15分、プレス圧30MPaで吸水厚さ膨張率、曲げ強度ともに最も優れていた。
- (3) 竹ダボは、プレス温度180℃、プレス圧力30MPa、プレス時間30分の製造条件で、曲げ強度が最も高くなった。
- (4) 竹ダボの表面にサンドブラスト処理を行うことで接着効果が向上し引抜荷重が高くなった。
- (5) 今回の試験条件下における竹ダボ接合の短期基準接合耐力は、建設省告示で掲示された仕口の許容引張耐力と遜色のない耐力が得られており、木造住宅における竹ダボ接合の可能性が示唆された。

参 考 文 献

- 1)平成20年度鹿児島県森林・林業統計,4
- 2)米蔵優,遠矢良太郎,上原守峰,山之内清竜:鹿児島県工業技術センター研究報告,4,103-116(1990)
- 3)日高富男,小幡透,新村孝善,山角達也:鹿児島県工業技術センター研究報告,22,13-16(2008)
- 4)田島英俊,福留重人,森園眞子,山角達也:鹿児島県工業技術センター研究報告,18,69-71(2004)