

同一竹林内における竹材の曲げ強度特性について

大内 成司*・中原 恵*・阿部 優**・寒竹 慎一**
*材料科学部・**竹工芸・訓練支援センター

Bending Property of MADAKE-Bamboo from a Bamboo Forest

Johji OUCHI*, Megumi NAKAHARA*, Masaru ABE**, Shinichi KANTAKE**

*Materials Science and Technology Division, **Bamboo Craft and Training Support Center

要旨

大分県速見郡日出町に位置する民有竹林において、直径8cm程度の1~5年生及び7年生のマダケ材の曲げ試験を行い、竹齢の変化に伴う曲げ強度特性について検討した。また、4年生竹材の伐採時期の違いによる曲げ強度への影響、前処理条件の違いによる曲げ強度への影響について検討した。

竹材の密度は1,2年生のとき0.70g/cm³程度と低いが、3年生で上昇が見られ、それ以降は0.80g/cm³程度とほぼ一定となった。これに伴い曲げ強さ（以下、MOR）、曲げ弾性率（以下、MOE）ともに同様な上昇カーブを示し、密度と非常に強い正の相関関係を示した。高さ方向の部位の違いによるMOR, MOEの変化は、上方にいくに従い低くなり、併せて密度も低下する傾向を示した。

1. はじめに

大分県では、伝統的工芸品「別府竹細工」を大きな柱として製竹業、竹製品製造業、卸・販売業が集積した国内最大の竹産業を形成しており、製竹業は全国一のマダケ材の生産量を誇っている。竹を材料として利用する場合3~5年生が最も多く利用されるが、これは、竹が発筍から3年程度で成竹となり、材料加工性、強度等の面から最も安定しているとされているからである。しかし、竹齢に伴う強度の経年変化のデータはほとんどないのが現状であり、今後の竹材利用のために基礎データの構築が不可欠である。そこで、本研究では、同一竹林内における竹齢に伴うマダケ材の曲げ強度特性について報告する。

2. 実験

2.1 竹材伐採

大分県速見郡日出町に位置する民有竹林において、直径8cm程度の1~5年生及び7年生のマダケ材を11月にそれぞれ3本ずつ伐採した。また、4年生においては、伐採時期による強度への影響を見るため、5, 8, 11月に同じく3本ずつ伐採した。伐採方法は、高さ方向の部位の違いによる強度への影響を見るために、地面に近い2, 3節間は節間が短く試験片が作製できないため切り捨て、その上部から3節間ずつを4本に玉切りし、下方から1番玉、2番玉、3番玉、4番玉とした。

2.2 前処理

玉切りした丸竹材を繊維方向に3分割し、青竹（無処理）の他、油抜き処理、高圧水蒸気処理を施した。油抜き処理

は、NaOH0.05%水溶液で20分間煮沸処理を行って、表皮の油脂を拭き取ったものである。高圧水蒸気処理は、油抜き処理を施した竹材を圧力容器内で150℃の飽和水蒸気（圧力：0.5MPa）で20分間熱処理を施したものである。

2.3 試験片作製

各々の処理を施した竹材から、幅8×厚さ4×長さ130mm（表皮を含む）の試験片を5本ずつ作製した。

2.4 曲げ試験

試験片を20℃、65%RHの雰囲気下で調湿し、JIS Z 2101に準拠して行った。スパンは100mmとし、3点中央集中荷重とした。

Table 1 曲げ試験のパラメータ

処理 竹齢	油抜き			水蒸気	青竹
	5月	8月	11月	11月	11月
1年生			◎		
2年生			◎		
3年生			◎		
4年生	○	○	◎	○	○
5年生			◎		
7年生			◎		

○：表皮側負荷のみ ◎：表皮側及び内皮側負荷

Table 1に曲げ試験のパラメータを示す。竹齢の違いによる曲げ強度への影響は、11月伐採の油抜き処理材を基準とした。また、表皮側を上面にした場合と内皮側を上面にし

た場合の負荷面の違いによる曲げ強度への影響についても検討した。伐採時期の違いによる曲げ強度への影響は、4年生の油抜き処理材を基準とし、5, 8, 11月伐採とした。前処理条件の違いによる曲げ強度への影響は、4年生, 11月伐採の竹材を基準とした。

2.5 組織構造の解析

竹材の木口面を見ると、基本組織である柔細胞中に維管束が散在しており、表皮側にいくほど分布密度が高くなる傾向にある¹⁾²⁾。この維管束中には、竹材の強度維持のための骨格となる靱皮繊維が多く含まれており、この量が曲げ強度に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで、高さ方向の部位の違いによる維管束の分布の違いを検討した。

試験体数は2本とし、1番玉から4番玉の各中央部に位置する節間を切断した。その木口面をマイクロスコップで25倍の大きさに撮影し、維管束数量と面積を測定した。

3. 結果および考察

3.1 竹齢と曲げ強さの関係

Fig.1 に2番玉における竹齢とMORの関係を示す。1, 2年生のMORは、それぞれ158MPa, 154MPaとほぼ同じであるが、3年生になると213MPaと高くなり、2年生の約1.4倍の値を示した。3年生以降は、強度の差はほとんど認められず、横ばいの傾向を示した。また、密度も2年生から3年生にかけて急激に向上しており、MORと同様な傾向を示した。竹は形成層がないため肥大生長は行わないが、そのかわり靱皮繊維が細胞内腔に向けて肥厚し多層構造を作り上げることによって強度的性質を向上させていると考えられており、この肥厚化現象は2~3年で終了するとされている³⁾。このようなことから密度が2年生から3年生に急激に向上し、それに伴いMORも向上したものと推察される。

Fig.2 に2番玉における竹齢とMOEの関係を示す。MOEもMORと同様に2年生から3年生にかけて急激な向上が見られ、3年生以降もほぼ一定した値を示した。

3.2 高さ方向の部位と曲げ強さの関係

高さ方向の部位の違いによる強度への影響について各番玉毎の竹齢とMORの関係をFig.3に、同じくMOEの関係をFig.4に示す。MOR, MOEともに、1番玉が全ての年齢において最も高い値を示した。次いで2番玉, 3番玉, 4番玉の順となり、高さ方向の部位の違いによる強度への影響は、上方にいくに従って低くなる傾向を示した。要因として考えられる密度の高さ方向の変化をFig.5に示す。やはり、1番玉が全ての年齢において最も高い値を示しており、上方にいくに従って低くなる傾向を示した。

上方にいくに従って密度が低下する要因についてFig.6に示す。維管束の数量及び面積から考察を行った。2本の竹A, Bともに維管束数量は僅かづつではあるが、上方にい

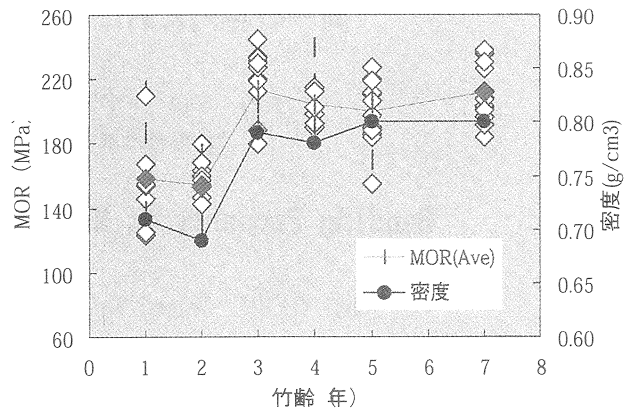


Fig.1 2番玉における竹齢とMORの関係

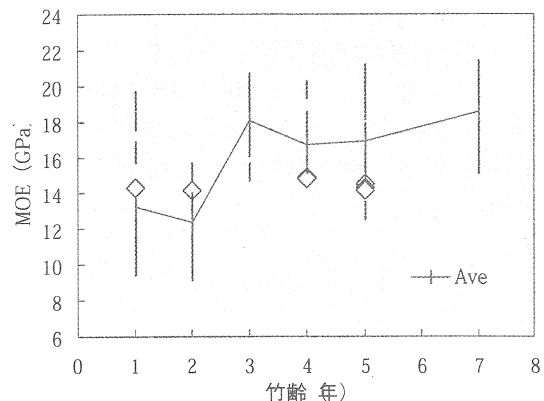


Fig.2 2番玉における竹齢とMOEの関係

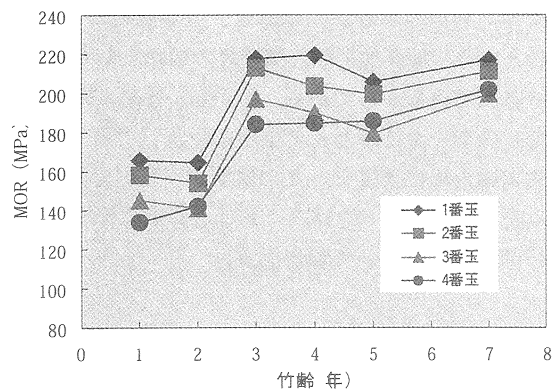


Fig.3 高さ方向の部位別の竹齢とMORの関係

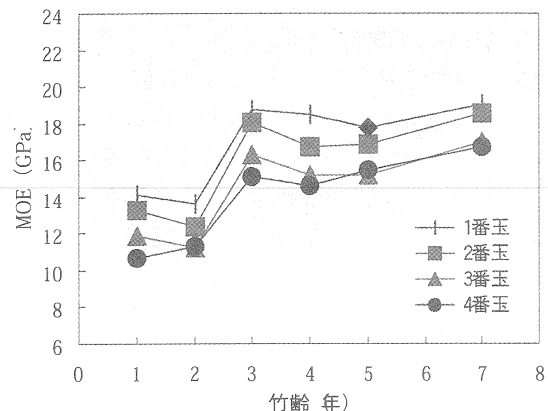


Fig.4 高さ方向の部位別の竹齢とMOEの関係

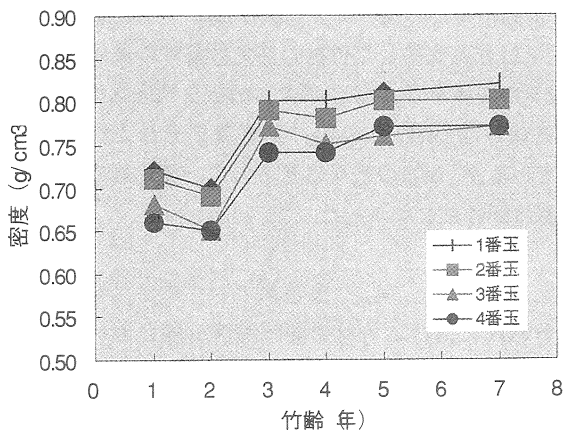


Fig. 5 高さ方向の部位別の竹齢と密度の関係

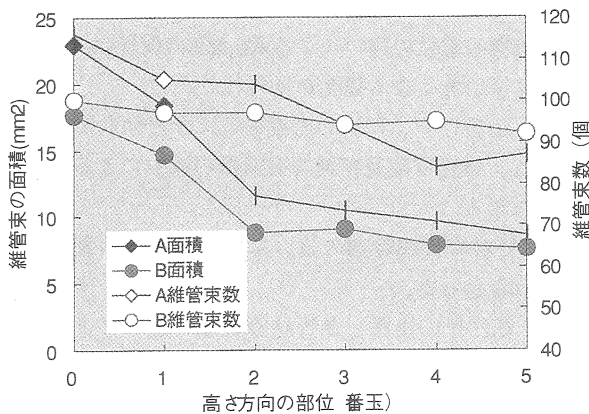


Fig. 6 高さ方向の部位と縦管束面積及び数量の関係

くに従い減少する傾向が見られた。面積も同様に減少しており、Aの竹において数量が約25%減に対し、面積は約60%減少した。数量減少率に対し面積減少率の方がはるかに大きいということは、上方にいくに従い、個々の縦管束の大きさが小さくなったことを示しており、これに起因して、上方にいくに従い密度が低下したと考えられる。

3.3 密度と曲げ強さの関係

表皮側負荷による各竹齢ごとの全データをプロットした密度とMORの関係をFig. 7に、密度とMOEの関係をFig. 8に示す。全体を見ると密度とMORは非常に強い正の相関関係にあり、密度が高くなるとMORも向上するという結果となった。ほとんどの竹齢はバラツキが少なく集団を形成したが、1年生のデータは集団化の傾向がやや薄れた結果となった。2年生と同様に大部分は低密度領域にあるが、いくつかは、高密度領域に点在するものも見られた。若竹だから密度が高くてもMORは低いということはなく、高密度であればMORも高いという結果になった。同様に密度とMOEも非常に強い正の相関関係を示した。

3.4 負荷面の違いによる曲げ強さへの影響

4年生で11月に伐採した竹材の表皮側負荷と内皮側負荷

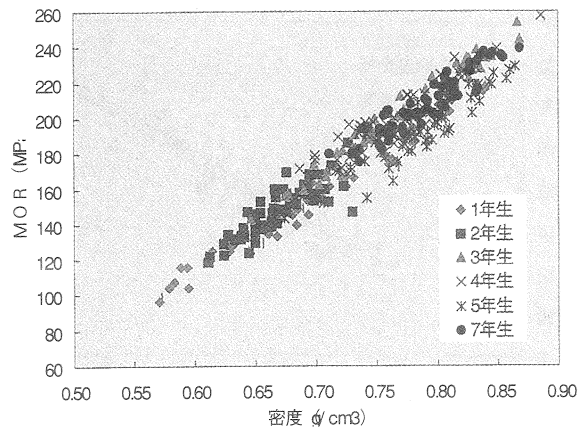


Fig. 7 竹齢ごとの密度とMORの関係

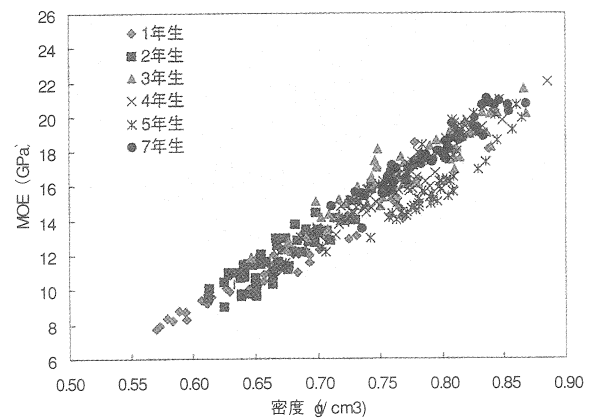


Fig. 8 竹齢ごとの密度とMOEの関係

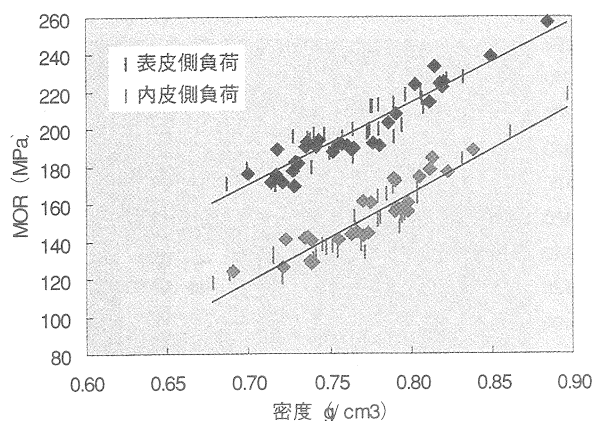


Fig. 9 負荷面の違いによる密度とMORの関係

の違いによる密度とMORの関係をFig. 9に、密度とMOEの関係をFig. 10に示す。前項に述べたように表皮側負荷による密度とMORの関係は強い正の相関関係にあるが、内皮側負荷も同様に強い正の相関関係を示した。表皮側負荷の方が内皮側負荷に比べ、全体的に約50MPa高い値を示した。しかし、MOEは負荷面の違いによる差はほとんど見られず、同程度の強い正の相関関係を示した。

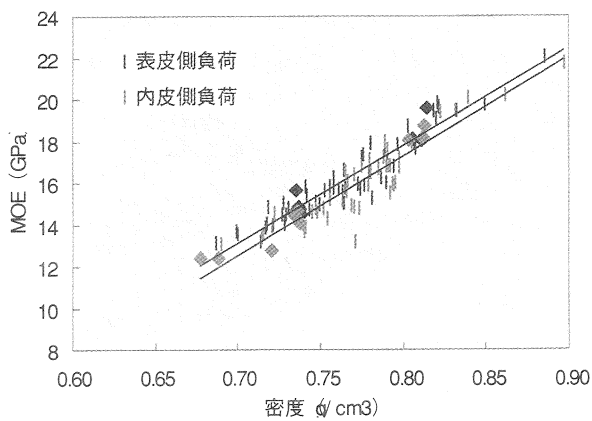


Fig.10 負荷面の違いによる密度とMOEの関係

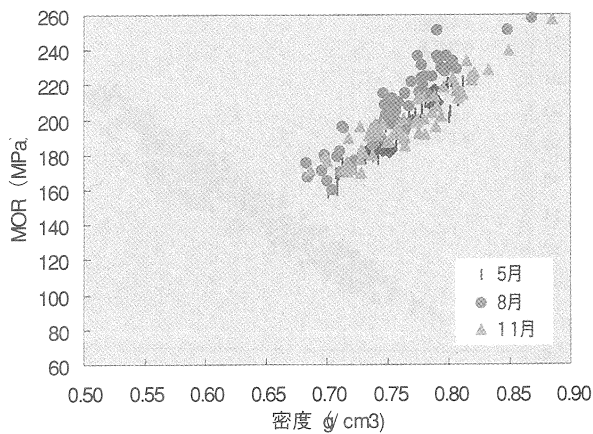


Fig.11 伐採時期の違いによる密度とMORの関係

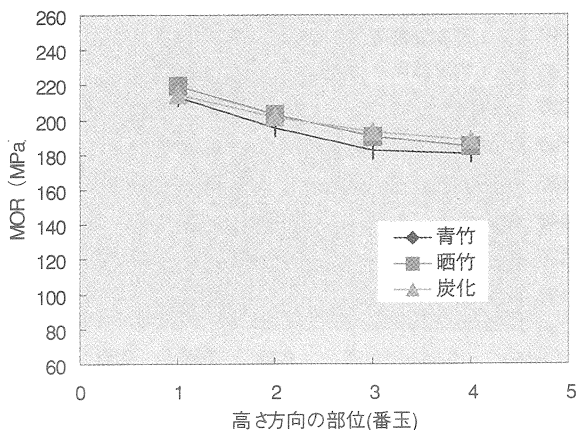


Fig.12 前処理の違いによる密度とMORの関係

3.5 伐採時期の違いによる曲げ強度への影響

4年生竹材の伐採時期の違いによる密度とMORの関係をFig.11に示す。5,8,11月ともに、密度では、0.70～0.80g/cm³、MORでは、170～230MPa付近に集中しており、伐

採時期の違いによるMORの差はほとんど見られなかった。

3.6 前処理条件の違いによる曲げ強度への影響

4年生で11月に伐採した竹材の前処理条件の違いによる密度とMORの関係をFig.12に示す。油抜き処理材は100℃、水蒸気処理材は150℃、0.5MPaの熱影響をそれぞれ約20分間受けているが、MORの差異は見られず、前処理の違いによる影響は認められなかった。

4. まとめ

同一竹林内における竹材の曲げ強度試験において以下のような結果が得られた。

- 1) 密度は1,2年生のとき0.70 g/cm³程度と低いが、3年生以降は0.80 g/cm³程度となり、ほぼ一定の値を示した。
- 2) 竹齢とMOR,MOEの関係は、両者とも3年生での密度の上昇に伴い高くなり、以降ほぼ一定の値を示した。
- 3) 高さ方向の部位の違いによるMOR,MOEの関係は、上方にいくに従い低くなる傾向が見られた。
- 4) また、上方にいくに従い密度も低くなる傾向があり、これは、維管束数及び維管束面積の減少によるものと考えられる。
- 5) 4年生竹材の伐採時期の違いによる強度への影響は認められなかった。
- 6) 4年生で11月に伐採した竹材の処理の違いによる強度への影響は認められなかった。
- 7) 竹材の曲げ強度は、密度と非常に強い正の相関関係にあり、密度を測定することによって、曲げ強度を推定することが可能であることがわかった。

謝 辞

最後に、本研究を実施するにあたり、竹齢を明確に記した竹材のご提供やご協力を賜った塩月寿光氏ご夫妻に深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 中馬 丞, 広橋光治, 大釜敏正, 笠原康弘: 材料, 39, 847-851 (1990)
- 2) 「竹編組技術資料 応用技術編」, (1992), p64, 大分県
- 3) 竹内叔雄: 「竹の研究」, 養賢堂 (1932)