

竹材の曲げ加工技術に関する研究 (第2報)

—乾燥した厚肉材の曲げ加工—

古曳博也・玉造公男・久津輪勝男・阿部 優・小谷公人・寒竹慎一

別府産業工芸試験所

Study on Bamboo Bending (2)

-Bamboo Bending of Dry and Thick Materials-

Hiroya KOHIKI・Kimio TAMATSUKURI・Katsuo KUTSUWA・Masaru ABE・Kimito KOTANI・Shinichi KANTAKE
Beppu Industrial Art Research Division

要 旨

温泉熱を利用した竹材の曲げ加工技術という観点から温水浸漬による竹材軟化を試みた。

表皮付きマダケ(乾燥材:幅15mm×厚6mm×長さ360mm)を用い、表皮面を外側にして曲率半径20mmの形状に曲げ加工する場合、80℃の温水に3時間以上浸漬すれば曲げ加工が可能であるとの一例を導いた。

また、曲げ加工部材の利用例として5種のモデル製品を試作、加工技術の紹介と製品提案を行った。

1. 緒 言

高含水率の竹材を加熱して曲げ加工することは経験的に知られているところであるが、厚肉の部材を曲げることは容易でない。そこで平成8年度より、厚肉材を簡易な装置と方法で曲げ加工する処理技術に取り組んできた。

本研究の初年度は、青竹(高含水率材)を対象に、一般家庭で使用されている電子レンジ(マイクロ波照射)を熱源として条件把握のための試験を行った¹⁾。表皮付きのマダケ(幅12mm×厚5.5~6mm×長さ280mm)を用い表皮面を外側にして曲率半径58mmの形状に曲げ加工する場合、軟化のための照射時間は60~120秒、乾燥のための照射時間は120~240秒程度が適当であるとの一例を導いた。

そして本年度は、油抜き竹(乾燥材)を対象とした。

乾燥材は、加熱する前に水分を含ませる必要がある。そこで水分の浸透性に優れ、含浸と加熱が同時に行える温水浸漬法による曲げ加工に注目した。

また、本県は温泉源泉総数が4,705孔で全国第1位、湧出量は248.8kl/分で北海道に次ぎ全国第2位との報告²⁾があるように温泉資源が豊富にある。そこで地の利を活かした温泉熱利用の曲げ加工技術という観点からも温水浸漬法に注目した。

2. 研究方法

2.1 乾燥竹材の曲げ加工試験

2.1.1 供試材料

県内の竹材店(製竹業)で購入した胸高直径6~7cmのマダケ油抜き材を用いた。油抜き材は、既にNaOH0.02%水溶液で20分程度煮沸脱脂され充分乾燥していた。試験

片は、幅5mm×厚5mm×長さ200mm(以下試験片A)、幅15mm×厚4mm×長さ360mm(以下試験片B)及び幅15mm×厚6mm×長さ360mm(以下試験片C)の3種(いずれも表皮付き)を作製した。各試験における1条件当たりのサンプル数は5個とし、試験片の含水率は次式により求めた。

$$\bullet \text{含水率(\%)} = (W1 - W0) / W0 \times 100$$

ただし、W1:試験片の重量

W0:試験片の絶乾重量

2.1.2 軟化方法

80℃に設定した温水槽中に、試験片を0~12時間浸漬した。

2.1.3 曲げ易さの評価

試験片Aを所定時間温水に浸漬した後すばやく取り出し、万能試験機5568型(インストロン製)を使用して、表皮面または内皮面に中央集中荷重をかけた。

最大たわみ量をその時の荷重(破壊荷重)で除した値、すなわち荷重1kgf当たりの平均たわみ量を算出し、曲げ易さを評価する指標とした³⁾。

なお曲げ試験時のスパンは100mm、クロスヘッドスピードは10mm/minとした。

2.1.4 曲げ可能性把握

試験片B及びCを所定時間温水に浸漬した後すばやく取り出し、木製曲げ加工ジグを使用して曲率半径50, 40, 30, 25, 20mmの曲げ可能性を調べた。その際目視により損傷の程度を調べた。

2.2 曲げ竹材の形状保持試験

2.2.1 供試材料

2.1.1の試験片Cを用いた。各試験における1条件当たりのサンプル数は5個とした。

2.2.2 軟化及び曲げ加工方法

80℃に設定した温水に3時間浸漬した後すばやく取り出し、木製曲げ加工ジグを使用して曲率半径57mmの曲げ加工を行った。その際、表皮面は外側にした。

2.2.3 乾燥及び塗装方法

曲げ試験片は、曲率を維持するためのジグに取り付け、50℃または100℃に設定した熱風乾燥機で0~24時間乾燥した。冷却した後ジグからはずし、2液型ポリウレタン樹脂塗料（サンディングシーラー）をハケで0~2回塗装した。

2.2.4 曲げ形状保持の評価

乾燥後塗装処理した曲げ試験片を、高湿度環境（25±2℃，92±2%RH）に調整した小型恒温恒湿器AE-215型（崎東洋製作所製）または低湿度環境（22±3℃，33±8%RH）に調整した室内にそれぞれ2週間放置した。その間曲率半径及び重量を測定し、次式により曲率の回復度を、また前式により試験片の含水率を求めた。

$$\bullet \text{ 曲率の回復度 (\%)} = (L1 - L0) / L0 \times 100$$

ただし、L1：時間経過後の曲率半径

L0：曲げ加工ジグセット時の曲率半径

2.3 曲げ加工部材を利用した製品試作

2.3.1 供試材料及び曲げ加工部材の作製

県内の竹材店で購入した胸高直径8~9cmのマダケ油抜き材及び胸高直径10~11cmのモウソウチク油抜き材を用いた。所定の寸法に加工した部材を、80~100℃の温水中に3~5時間浸漬した後、Fig.1に示すような各種形状の曲げ加工ジグに固定して曲げ部材を作製した。曲げ部材は80~100℃に設定した熱風乾燥機で10~12時間乾燥した。

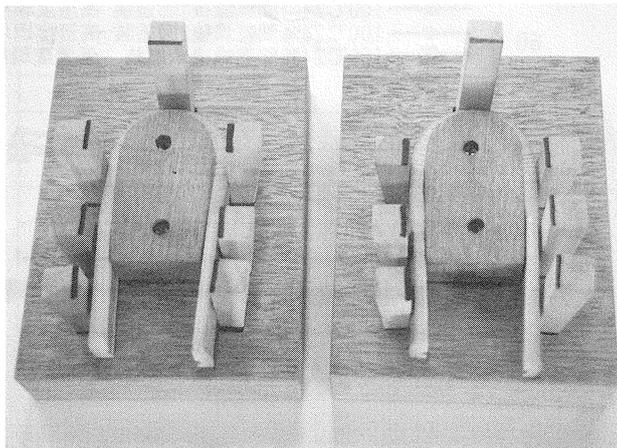


Fig.1 曲げ加工ジグの一例

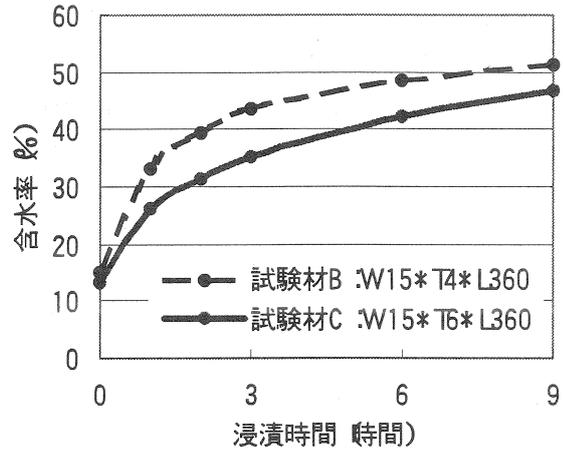


Fig.2 温水浸漬による含水率状況

2.3.2 試作品製作コンセプト

厚肉材の曲げ加工部材を使用することにより、竹製品アイテムの拡大を図ることを製作コンセプトとした。竹材の特徴であるしなりを生かし、曲線形状の柔らかいラインを表現した。

3. 結果と考察

3.1 厚肉材の曲げ可能性について

今回供試した試験片の平均含水率は12.5%であった。

試験片を軟化するために80℃の温水に浸漬したときの含水率状況をFig.2に示す。

1時間浸漬後の平均含水率は、厚さ6mmの試験片Cは26.5%、厚さ4mmの試験片Bでは33.0%となり、すでに竹材の繊維飽和点⁴⁾を上回る値を示した。

Fig.3に温水浸漬した試験片の荷重1kgf当りのたわみ量を示す。

その結果、浸漬時間が長くなるにしたがって試験片の含水率は増加するのにかかわらず、たわみ量は3時間以

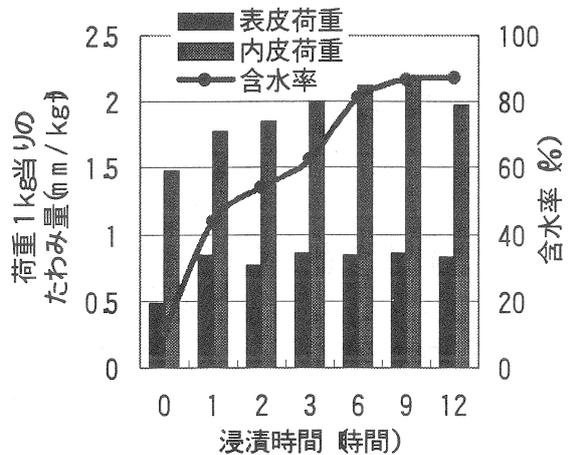


Fig.3 温水浸漬による軟化状況

上浸漬しても大幅な増加傾向を示さなかった。またたわみ量は内皮面に荷重をかけた場合に大きく、表皮面に荷重をかけた場合の約2倍の値を示した。

曲げ可能性を把握するために実際に厚さ6mmの試験片を曲げ加工した場合、表皮面を外側にして曲げるときは80℃の温水中に1時間浸漬すれば外観上の損傷もなく曲率半径20mmの曲げ加工が可能であった。一方、内皮面を外側にして曲げるときは、温水中に9時間浸漬しても曲率半径50mmの曲げは不可能で内皮面（引張り側）より破断が生じた。厚さ4mmの試験片Bでは、1時間浸漬すれば曲率半径50mmの曲げは可能であったものの、曲率半径40mmの曲げでは9時間浸漬しても不可能で内皮面に破断が生じた。

温水浸漬によって試験片は水分を含んでいるのにもかかわらず、特に内皮面を外側にして曲げることができなかったことは、加熱温度（あるいは竹材の内部温度）に起因していることも予想される。竹材の軟化については、内部温度145℃が適正な可塑性温度であるとの報告⁵⁾がある。今回の試験では、温泉熱利用という観点から加熱温度を80℃に設定したが、内皮面を外側にして曲げる場合には低温であったものと思われる。一方表皮面を外側にして曲げる場合、今回の試験片と同様な寸法であれば3時間以上80℃の温水中に浸漬すれば曲率の小さい形状に曲げ加工が可能であると判断した。

3.2 曲げ形状の保持について

温水浸漬後曲げ加工した試験片の形状を保持するために、50℃または100℃に設定した熱風乾燥機で乾燥したときの曲率回復度及び含水率状況をFig.4示す。

その結果、50℃で乾燥した場合は曲率の回復度がプラスの値となり形状の回復が認められたのに対し、100℃で乾燥した場合は曲率の回復度がマイナスの値となり所定

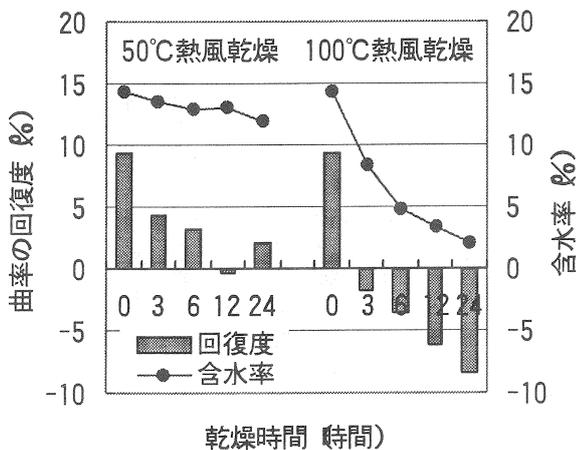


Fig. 4 乾燥後の曲げ形状保持状況

の曲率半径よりも小さくなる傾向を示した。乾燥後の含水率も100℃で乾燥した場合は低い値を示した。

Fig.5は、乾燥後塗装処理した曲げ試験片を、高湿度環境または低湿度環境に14日間放置した時の曲率回復度の状況を示す。

その結果、100℃で乾燥した試験片を高湿度環境に放置した場合、塗装処理の有無にかかわらず放置14日目には曲率の回復度が29.4~35.1%を示し、形状を保持することができなかった。一方、低湿度環境に放置した場合は、未塗装の試験片であっても曲率の回復度がマイナスの値を示し、所定の曲率半径よりも小さい形状で保持されることが確認できた。

回復の原因の一つに湿気の吸収によることが考えられる。今回試験片の吸湿を抑制する目的で塗装処理を試みたが、高湿度環境に放置した場合は塗装処理の有無にかかわらず一様に重量増加が認められ吸湿の抑制は不可能であった。

半永久的な形状保持を求めるならば、木材（ミズナラ材）の場合に、160℃で30時間、180℃では12時間の熱処理で変形は固定されるとの報告⁶⁾もあるように、材質や材色を変化させない点を考慮してできるだけ高温で処理する必要があると思われる。一方、曲げ加工部材の一時的なドラインセット⁷⁾と考えるならば、100℃で6時間以上の熱処理を行えば使用可能と判断できる。

一般に曲げ加工部材を部品として使用するにあたっては、使用する場所や目的を考慮し、回復しても差し障りのない箇所に使用したり、両端を固定して物理的に回復が防止できるようなデザインを考えるなどの処置をとれば問題ないように思われる。

3.3 曲げ加工部材を利用した製品試作について

曲げ加工部材を利用して5種の製品試作を行った。

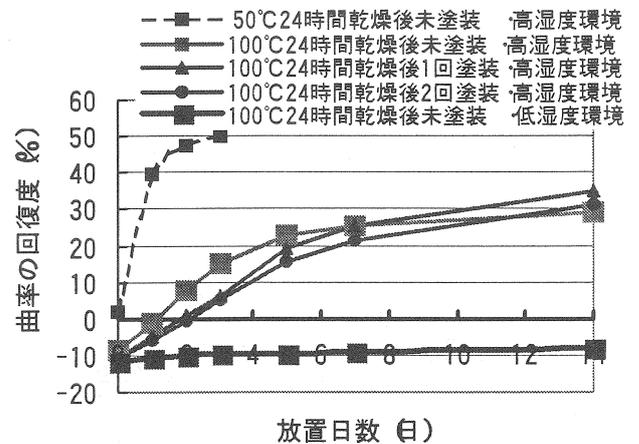


Fig. 5 塗装処理後の曲げ形状保持状況

それぞれの製品試作の概略を説明する。

Fig. 6は、竹曲げイスである。背に曲げ加工部材を用いた。幅25mm、厚さ5mmのマダケを用い表皮面を外側にして曲率半径17mmの形状に曲げ加工した。曲げ形状を保持するため座面にホゾ孔を開け曲げ加工部材の両端を接着固定した。なお、座面、脚、貫には、カツラを使用した。サイズは、幅700×奥行500×高さ625mm。

Fig. 7及びFig. 8は、竹曲げスツールである。座面に曲げ加工部材を用いた。幅25mm、厚さ8mmのモウソウチクを用い内皮面を外側にして曲率半径1800mmの形状に曲げ加工した。軽快さを表現するために曲げ部材の両端は固定しなかった。そのため、幾分形状が回復してきたが機能的には問題はないと思われる。なお、脚には、ヤマザクラまたは直径10mmのステンレス棒を使用した。サイズは、いずれも幅450×奥行305×高さ400mm。

Fig. 9は、竹曲げ置時計である。縁に曲げ加工部材を用いた。幅15mm、厚さ7mmのマダケを用い表皮面を外側にして曲率半径25mmの形状に曲げ加工した。曲げ加工部材

の内側に溝を切り、合板を入れて曲げ形状を保持させた。写真中央の製品には、薄い貝を貼り付けて加飾を施した。サイズは、いずれも幅65×奥行25×高さ100mm。

Fig. 10は、竹曲げ盛り皿である。幅25mm、厚さ7.5mmのマダケを用い内皮面を外側にして曲率半径300mmの形状に曲げ加工した。縦と横の曲げ加工部材は竹釘で接合し籐を巻いて仕上げた。写真奥の製品は、高圧蒸気(151℃、0.49MPa)処理を15分行い着色を施した。サイズは、写真手前が幅495×奥行260×高さ90mm、写真奥が幅495×奥行230×高さ90mm。

Fig. 11は、竹曲げ菓子皿である。幅25mm、厚さ7.5mmのマダケを用い内皮面を外側にして曲率半径300mmの形状に曲げ加工した。曲げ加工部材の木端面を丸竹ヒゴで接着接合して仕上げた。サイズは、幅180×奥行125×高さ15mm。

これらの製品試作については、県内で開催された展示会等に出品し、厚肉材の曲げ加工部材の利用方法の一例として提案を行った。



Fig. 6 竹曲げイス



Fig. 8 竹曲げスツール (金属フレーム)



Fig. 7 竹曲げスツール (木製フレーム)

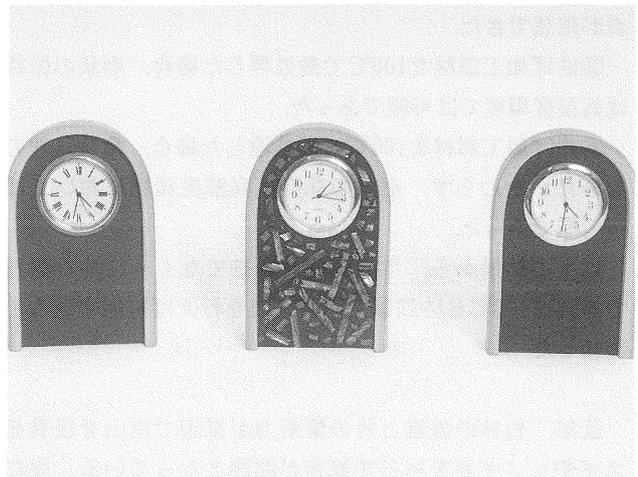


Fig. 9 竹曲げ置時計

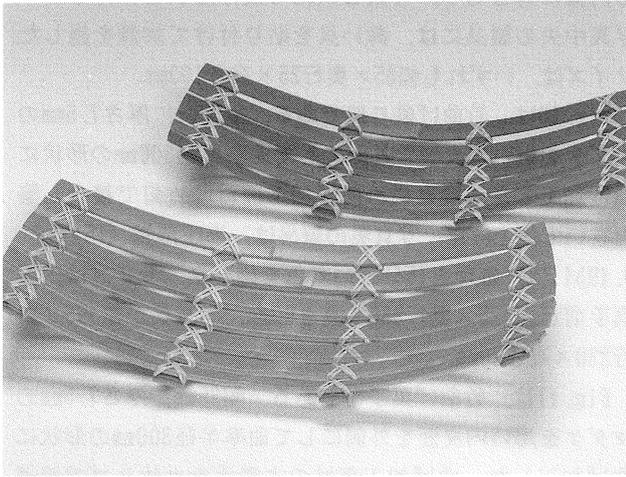


Fig.10 竹曲げ盛り皿

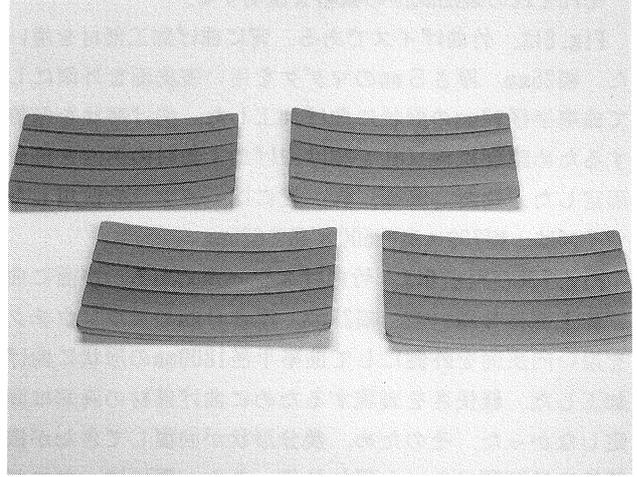


Fig.11 竹曲げ菓子皿

4. まとめ

マダケ油抜き材（乾燥材）について、特に温泉熱を利用した曲げ加工技術という観点から温水浸漬法による軟化試験を行ってきたが、以下の点が確認できた。

①温泉熱利用という観点から加熱温度を80℃に設定したが、表皮面を外側にして曲げる場合は曲率の小さい形状の曲げ加工が可能であった。

②一方、内皮面を外側にして曲げる場合は加熱温度が低かったためか、曲率の小さい形状に曲げ加工することは不可能であった。

以上の結果から、表皮付きマダケ（乾燥材：幅15mm×厚6mm×長さ360mm）を用い表皮面を外側にして曲率半径20mmの曲げ加工する場合、80℃の温水に3時間以上浸漬すれば曲げ加工が可能であるとの一例を導いた。このことから、80℃以上の温泉であれば、竹材の軟化に利用できるものと判断した。

さらに曲げ竹材の形状保持試験を行った結果、以下の点が確認できた。

③曲げ加工部材を100℃で熱処理した場合、形状の保持は低湿度環境では可能であった。

④曲げ加工部材を100℃で熱処理した場合、塗装処理の有無にかかわらず、形状の保持は高湿度環境においては不可能であった。

以上の結果から、半永久的な保持でなく一時的な保持であれば100℃6時間以上の熱処理を行えば可能であると判断した。

近年、竹林の放置と竹の繁殖力が原因で里山を侵食しスギやヒノキ等を枯らす被害が問題となっている。単にスギやヒノキ等の有用樹木の生産に打撃を与えるのみで

なく生物の多様性が失われるとの指摘もされている。

これは竹材（この場合タケノコも含む）の安定的な供給がなされていないことによるものと思われるが、問題を解決するためにも竹材利用を積極化していく体制を確立することが望まれる。

参考文献

- 1) 古曳博也, 玉造公男: 平成8年度大分県産業科学技術センター研究報告, (1997), p121-125.
- 2) 大分県生活環境部生活環境課 編: 平成9年環境白書, (1998), p45.
- 3) 伊藤久志, 大石件次, 神長邦雄, 野橋健三: 静岡県工業試験場報告, 第27号, (1983), p9-16.
- 4) 林業試験場 編: 木材工業ハンドブック (第2版), (1959), p913, 丸善株式会社.
- 5) 越島哲夫: マイクロ波加熱技術集成, (1997), p210-219, 株式会社NTS.
- 6) 木質新素材ハンドブック編集委員会 編: 木質新素材ハンドブック, (1996), p412-414, 技報堂出版株式会社.
- 7) 中戸莞二: 新編木材工学, (1985), p352-357, 株式会社養賢堂.