

竹材の曲げ加工技術に関する研究 (第1報)

-マイクロ波照射による肉厚材の曲げ加工-

古曳 博也・玉造 公男

別府産業工芸試験所

Study on Bamboo Bending (1)

-The thick Bamboo Bending with Microwave Heating-

Hiroya KOHIKI・Kimio TAMATSUKURI
Beppu Industrial Art Research Division

要 旨

県産マダケを用い、電子レンジ（マイクロ波発振装置）による曲げ加工条件把握試験を実施した。表皮付きマダケ割竹（生材：幅12mm×厚5.5～6mm×長さ280mm）の表皮面を表側にして（内皮面に荷重）、曲率半径58mmの曲げ加工を行う場合、竹材の軟化性、曲げ加工直後のスプリングバック抑制、乾燥による収縮抑制及び作業時間の短縮等を考慮した結果、マイクロ波照射による軟化時間は60～120秒、乾燥時間は120～240秒程度の処理条件が適当であると判断した。

1. 緒 言

竹材は弾力性に富むことから、竹編組製品をはじめ各種竹製品に曲げ加工部材が用いられる。

その場合一般的に、直火にあぶって曲げる方法や加熱した焼き棒、焼き鋸を用いて曲げる方法¹⁾等で行われるが、加工時に焦げや変色が生じたり、厚みのある部材の曲げ加工には不適であったり、均一な形状に曲げ加工するのに熟練を要すなど、加工精度や作業面において問題となっている。

このようなことから、本研究では竹材を曲げ加工する際の諸問題を改善することを目的として、マイクロ波による竹材の曲げ加工技術に取り組んだ。竹材の曲げ加工については、これまで高周波発振装置を用い薄い単板を積層成形加工する方法についての報告²⁾³⁾はなされているが、ある程度厚みのある竹材を曲げ加工する方法についての報告は見当たらない。よって、初年度は一般家庭に普及している電子レンジを用いて、マダケ割竹の軟化状況を把握するとともに曲げ加工した後のスプリングバック（もどり）を抑制する試験を行った。

2. 研究方法

2.1 竹材の軟化条件把握試験

2.1.1 供試竹材

県内の竹林で採取した胸高直径6～7cmのマダケのうち、採取後室内で約2カ月間放置したものをを用いた。試験片は、幅5mm×厚5mm×長さ200mm（表皮付き）の寸法に作製し、1条件当たりのサンプル数は5個とした。ま

た、試験片の含水率を次式により求めた。

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

ただし、W1：試験片の重量

W0：試験片の絶乾重量

2.1.2 竹材の軟化方法

スチームオープンレンジMRO-A81型（日立熱器具（株）製）を用い、試験片に0, 30, 60, 120, 180秒間マイクロ波（発振周波数2450MHz、消費電力900W）を照射した。その際、試験片をポリ塩化ビニリデンフィルムシートで被覆したものと、被覆しないものの2種を用いた。

2.1.3 竹材の軟化評価

照射した試験片を素早く装置から取り出し、万能試験機5568型（インストロン（株）製）を用いて、表皮面に中央集中荷重をかけた。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。

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⁴⁾。

2.2 竹材の曲げ加工試験

2.2.1 供試竹材

県内の竹林で採取した胸高直径6～7cmのマダケのうち、採取後室内で約2カ月間放置したものをを用いた。試験片は、幅12mm×厚5.5mm×長さ300mm（表皮付き）の寸法に作製し、1条件当たりのサンプル数は3個とした。

2.2.2 竹材の軟化方法及び曲げ加工試験

試験片を60秒間マイクロ波で照射し軟化させた後、素

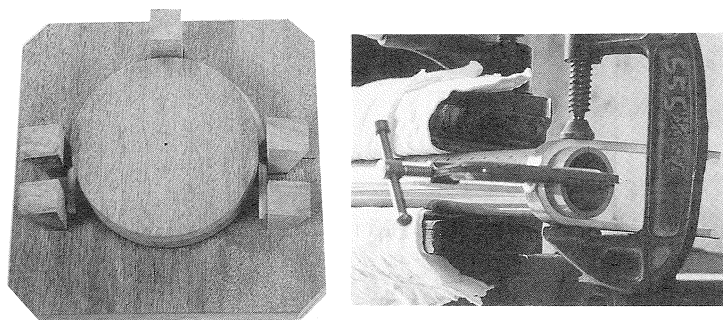


Fig.1 曲げ加工ジグ

早く装置から取り出し、曲率半径58mmの木製曲げ加工ジグ及び曲率半径30, 19, 16mmの塩化ビニル製パイプを用いて曲げ加工を行い、曲げの可能性を調べた(Fig.1)。また目視により損傷の程度を調べた。

2.3 曲げ竹材のスプリングバック(もどり)抑制試験

2.3.1 供試竹材

県内の竹林で採取した胸高直径6~7cmのマダケのうち、採取後室内で約1カ月間放置したものを用いた。試験片は、幅12mm×厚5.5~6mm×長さ280mm(表皮付き)の寸法に作製し、1条件当たりのサンプル数は5個とした。

2.3.2 竹材の軟化方法及び曲げ加工試験

試験片を60, 120秒間マイクロ波で照射し軟化させた後、素早く装置から取り出し、表皮面を表側にして、曲率半径58mmの木製曲げ加工ジグで曲げ加工を行った。

2.3.3 竹材の乾燥方法及びスプリングバック(もどり)測定方法

曲げ加工ジグにはめたまま0, 60, 120, 180, 240秒間マイクロ波を照射して試験片を乾燥した。60分間室内に自然放置した後に試験片をジグからはずし、曲率半径及び試験片の幅、厚み、重量を測定した。次式によりもどり率及び試験片の収縮率を、また前式により試験片の含水率を求めた。

$$\bullet \text{もどり率}(\%) = (\Delta L - L) / L \times 100$$

ただし、 ΔL : 時間経過後の曲率半径

L : 曲げ加工ジグセット時の曲率半径

$$\bullet \text{収縮率}(\%) = | (S1 - S0) | / S0 \times 100$$

ただし、 $S1$: 曲げ加工後の寸法

$S0$: 曲げ加工前の寸法

さらに、曲げ加工試験材を $20 \pm 2^\circ\text{C}$, $90 \pm 2\% \text{RH}$ に調整した小型恒温恒湿器AE-215型(姉東洋製作所製)内に放置し、高湿環境下7日後の曲率半径及び試験片の

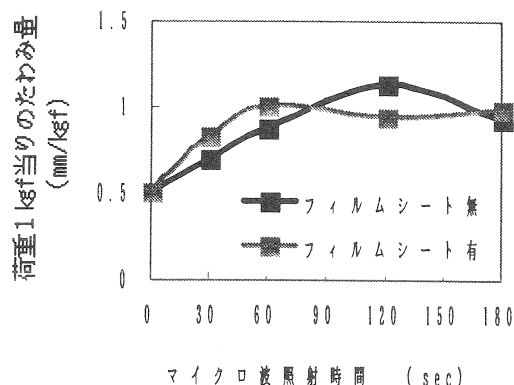


Fig.2 竹材の軟化状況

幅、厚み、重量を測定した。前式によりもどり率、試験片の収縮率及び含水率を求めた。

3. 結果と考察

3.1 竹材の軟化について

今回供試した試験片の平均含水率は48.5%であった。マイクロ波を照射した試験片に表皮面から荷重を加えた時の荷重1kgf当りのたわみ量をFig.2に示す。

マイクロ波を照射する際にフィルムシートで被覆しない試験片は、120秒間照射で未照射試験片の2倍以上のたわみ量(1.1mm/kgf)になるのに対し、フィルムシートで被覆した試験片では、60秒間照射でほぼ同様のたわみ量(1.0mm/kgf)を示した。短時間の照射で竹材を軟化させるためには、竹材をフィルムシートで被覆した方が効果的であるといえそうである。

木材では、フィルムシートで被覆することによって、試験片の水分蒸発を一時的に抑制でき、材表面温度の低下が避けられるため、たわみ量も著しく増大し良好な曲げ加工を行うことができるといわれている⁵⁾⁶⁾。今回の試験では、荷重1kgf当りのたわみ量はフィルムシートの有無に関わらず、ほぼ同様の値を示した。120, 180秒間の照射の際に試験片を被覆していたフィルムシートが溶け試験片がむき出しになっていることがあったが、結果的にフィルムシートを被覆せずにマイクロ波を照射した状況と変わらなかったことによるものであると思われる。今回、耐熱温度 140°C のフィルムシートを使用したのが、この点については、耐高熱性のフィルムシートを選定し再試験を行いたい。

マイクロ波照射による試験片の内部温度について、今回の実験では測定をしなかったが、フィルムシートが溶けることから考慮して、装置内はかなりの高温(140°C 以上)に達しているものと推測される。竹材の内部温度と

軟化状況との関係については検討が必要である。

3.2 竹材の曲げ加工性について

表皮面を表側にして（内皮面に荷重）曲げ加工をした場合、今回試験したいずれの曲率半径58, 30, 19, 16mmの曲げも可能であった。しかし、曲率半径16mmの竹材においては側面及び内皮面（圧縮側）に微小のしわが認められた。これより小さい曲率半径の曲げは不可能と思われる。

一方、内皮面を表側にして（表皮面に荷重）曲げ加工をした場合、曲率半径58mmの曲げは可能であったものの、曲率半径30mmでは内皮面（引張り側）に破断が生じた。曲率半径58mmにおいても引張り側に微小の亀裂が認められ、これより小さい曲率半径の曲げは不可能と思われる。

曲げ竹材の破壊の状況をみると、表皮面を表側にして曲げ加工した場合、内皮面にしわが発生している。竹材表皮細胞は、ケイ酸やリグニンを含む1層の硬い厚膜細胞からなるといわれている⁷⁾が、この層が木材等の曲げ加工技術（トーネット法）で用いられる帯鉄の役割をはた

し、引張り側で発生しやすい破断を防いでいるものと思われる。

3.3 曲げ竹材のスプリングバック抑制について

Fig. 3, Fig. 4に、曲率半径58mmで曲げた試験片をマイクロ波で所定時間乾燥し、曲げ加工ジグからはずした直後のスプリングバック（もどり）の状況及び試験片の含水率を示す。

60秒間試験片を軟化させた後に曲げた試験片及び120秒間試験片を軟化させた後に曲げた試験片ともにマイクロ波による乾燥時間が長くなるほど、曲げ加工ジグからはずした直後のもどり率は低くなる傾向を示した。60秒軟化材については、乾燥を行わなかった時のもどり率が4.2%を示したのに対し、60秒乾燥した時のもどり率は2.0%で約1/2の抑制が、また240秒乾燥した時のもどり率は1.5%で約1/3の抑制が確認できた。120秒軟化材については、乾燥を行わなかった時のもどり率が5.6%と60秒軟化材の同条件より若干高いもどり率を示したが、240秒乾燥した場合はもどり率が0.6%を示しほとんどスプリングバックが認められなかった。

木材等の高分子材料では、変形を加えた状態で乾燥すると一時的に形状が固定されるドラインセット現象を生じるといわれている⁸⁾。今回曲げ加工ジグで曲げ形状を保持したままマイクロ波を照射して乾燥を行ったために、ドラインセット現象が生じスプリングバック抑制が可能となったものと思われる。前述したとおり乾燥時間が長くなるに従って、もどり率が低くなる傾向を示したが、その時の試験片含水率も低くなっている。このことから含水率が低いほど形状の固定がより確実になるものと思われる。

竹材の軟化及び乾燥時のマイクロ波照射による試験片の収縮状況をFig. 5に示す。

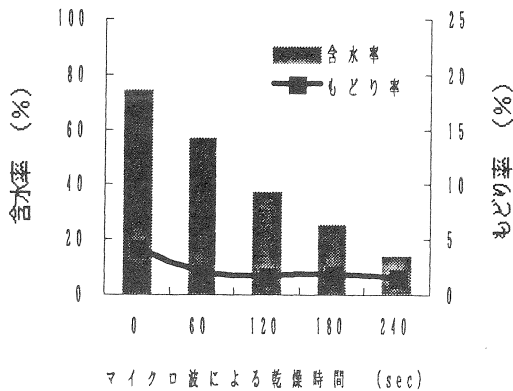


Fig. 3 曲げ竹材のスプリングバック状況
(軟化60秒後曲げ加工)

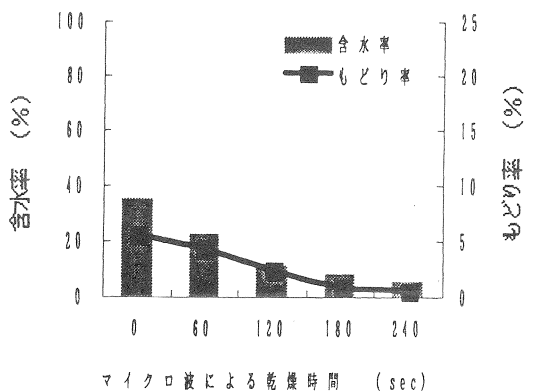


Fig. 4 曲げ竹材のスプリングバック状況
(軟化120秒後曲げ加工)

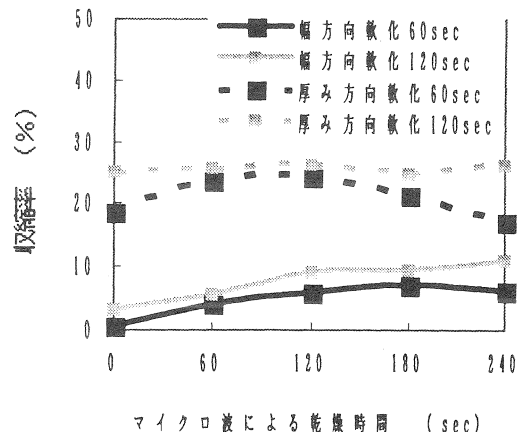
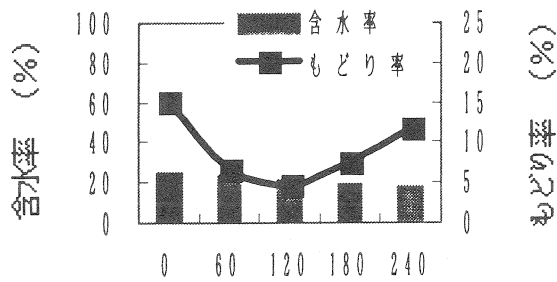
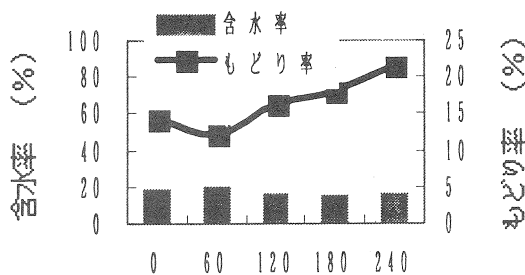


Fig. 5 曲げ竹材の寸法変化(収縮率)



マイクロ波による乾燥時間 (sec)

Fig. 6 曲げ竹材のスプリングバック状況
(軟化60秒後曲げ加工, 高湿環境7日後)



マイクロ波による乾燥時間 (sec)

Fig. 7 曲げ竹材のスプリングバック状況
(軟化120秒後曲げ加工, 高湿環境7日後)

120秒間試験片を軟化した後曲げ加工した試験片に比べ、60秒間試験片を軟化した後曲げた試験片の方が、幅方向及び厚み方向の収縮率ともに若干低い値を示した。また、幅方向と厚み方向における収縮率を比較してみると厚み方向は幅方向の約3倍も収縮することがわかった。特に竹材の軟化の際は、高含水率領域（今回供試した試験片の平均含水率は132.0%）から短時間に水分が減少するため、細胞組織の落ちこみ等によって厚み方向の収縮がより大きくなるものと考えられる。よって竹材の曲げ加工においては、支障をきたさない程度にマイクロ波照射時間は短い方が好ましいと思われる。

Fig. 6, Fig. 7に曲げ加工した竹材を高湿環境下（ $20 \pm 2^\circ\text{C}$, $90 \pm 2\% \text{RH}$ ）に7日間放置した時のスプリングバックの状況及び試験片の含水率状況を示す。

60秒間試験片を軟化した後曲げた試験片では、マイクロ波で120秒乾燥した場合に最も低いもどり率を示す（4.9%）ことが、また120秒間試験片を軟化した後曲げた試験片では、乾燥時間60秒の場合に最も低いもどり率

を示す（12.1%）ことがわかった。しかし乾燥時間を長くすると両者とももどり率が高くなる傾向を示した。

以上の結果より、高湿環境下においては約5.0%以上のもどり率を示し、曲げ竹材のスプリングバックを抑制することはできなかった。この点については乾燥方法を含め今後の検討課題となろう。しかし、マイクロ波を照射することによって短時間で竹材の軟化及び竹材の乾燥を行うことができ、特に曲げ竹材のスプリングバックの抑制については、曲げ加工ジグからはずした直後では、所定の曲率半径に近い曲げ加工部材を製作することが可能であった。

4. まとめ

電子レンジ（マイクロ波照射装置）を用いて、マダケ（生材）割竹を曲げ加工する際の条件把握試験を実施してきたが、以下の点が確認できた。

①マイクロ波を照射する際に試験片をポリ塩化ビニリデンフィルムシートで被覆したものは、被覆しない場合に比べ短時間に軟化する傾向を示した。

②厚さ5.5mmの試験片を表皮面を表側にして（内皮面に荷重）曲げ加工した場合、曲率半径16mmの曲げが可能であった。

③厚さ5.5mmの試験片を内皮面を表側にして（表皮側に荷重）曲げ加工した場合、曲率半径58mmの曲げには成功したものの、曲率半径30mmでは内皮面（引張り側）に座屈が生じた。

④曲率半径58mmで曲げた試験片をマイクロ波で所定時間乾燥し、曲げ加工ジグからはずした直後のスプリングバック（もどり）は、マイクロ波による乾燥時間が長くなるほど小さくなる傾向を示した。

⑤マイクロ波照射による試験片の収縮は、120秒間試験片を軟化した後曲げ加工した試験片に比べ、60秒間試験片を軟化した後曲げた試験片の方が、幅方向及び厚み方向ともに若干低い値を示した。

⑥曲げ加工した竹材を高湿環境下（ $20 \pm 2^\circ\text{C}$, $90 \pm 2\% \text{RH}$ ）に7日間放置した時のもどり率は約5.0%以上を示し、スプリングバックを抑制できなかった。

以上のように、高含水率の割竹材における曲げ加工条件（軟化条件、乾燥条件）についてはある程度の把握ができた。マダケ表皮付き割竹（生材：幅12mm×厚5.5～6mm×長さ280mm）を曲げ加工する場合、竹材の軟化性、曲げ加工直後のスプリングバック抑制、乾燥による収縮抑制及び作業時間の短縮等を考慮して、マイクロ波照射による軟化時間を60～120秒、乾燥時間を120～240秒程度の処理が適当であると思われる。

これらの結果をもとに次年度は、マダケ油抜き割竹

(気乾材)の曲げ加工及び丸竹材の曲げ加工について検討を加え、さらに竹材の曲げ加工部材を用いたモデル製品の提案を行う予定である。

参考文献

- 1) 佐藤庄五郎：図説竹細工の実際，(1956)，p61-68，富民社
- 2) 青木尊重：日本産主要竹類の研究，(1987)，p246-253，葦書房
- 3) 大分県別府産業工芸試験所業務報告書，第17号，(1986)，p11-17.
- 4) 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.
- 5) 則元 京：化学と教育，39-2 (1991)，p48-52.
- 6) 野橋健三，大石件次，神長邦雄，伊藤久志：静岡県工業試験場報告，第28号，(1984)，p13-22.
- 7) 佐藤庄五郎：図説竹工芸，(1974)，p12，共立出版(株).
- 8) 中戸莞二：新編木材工学，(1985)，p352-357，(株)養賢堂.