

地域材利用に向けた曲げ木工程条件の提示（第2報）

圧縮強度と圧縮しわの関係

石原智佳*

Presentation of the wood bending process conditions for use of local materials (II) Relationship between compressive strength and compression wrinkles

ISHIHARA Chika*

既往の研究において、飛騨地域の家具に利用されているブナ・ナラ・ホワイトオーク・ウォルナット等について曲げ木の加工条件を検討してきた。近年では、飛騨地域の家具にもクリ・コナラなどの地域産広葉樹や、センダン・ホオノキなどの早生樹を利用する動きが始まっている。新たに家具用材に取り入れている樹種の曲げ木加工では、圧縮側にしわができやすいという課題が挙げられてきた。これに対して本研究では、曲げ加工による寸法変化と圧縮強度の観点から検討を行った結果、圧縮強度の低い材において、圧縮しわ（座屈）が生じることが明らかになった。

1. 緒言

岐阜県飛騨地域は木製家具の産地であり、無垢材を曲げ加工した部材である「曲げ木」を用いる特徴がある。木材は水分を多く含んだ状態で高温になると、軟化して曲がりやすくなる。軟化処理としては、水蒸気で蒸す蒸煮法が一般的である。蒸煮後、帯鉄と呼ばれる金属板に固定し、曲げ型に沿って曲げ、乾燥により形状を固定する。

一連の研究¹⁾⁻⁵⁾において、樹種によって曲げ木への適性が異なり、割れ・折れといった不良現象の原因も明らかになってきた。それに伴い、不良頻度も低減化してきた。

一方で、これまでの材料とは材質が異なってきたこと、また、国産材への転換が図られるようになってきたことなど、材料面での変化が見られる。このような中、従来あまり見られなかった圧縮側のしわが増加傾向にある。

しわが多くできる材料の特徴として低密度が考えられる。たとえばウォルナットでは、従来よりも低密度化している傾向が見られる。また、地域材のクリ、早生樹のセンダン・ユリノキなども低密度である。

前年度の報告⁶⁾では、ウォルナット及びユリノキの圧縮しわについて検討した。その結果、蒸煮処理時に、一般的な曲げ木加工に適した水分よりも多く含有させて曲げることで、圧縮しわが低減で

きることを判明した。

クリに対しては、さらに高含水率な状態での曲げ木手法が有効ではなかったため、本研究では、曲げ加工による寸法変化と圧縮強度の観点から検討を行った。

2. 実験方法

2.1 縦圧縮試験

曲げ木が良好なブナを基準として、しわが生じやすい樹種としてウォルナット及びクリについて、縦圧縮試験に供し、圧縮変形挙動や強度特性について調査した。試験体寸法は繊維方向(L) 120×放射方向(R) 30×接線方向(T) 30 mmとした。また、試験体の情報を表1に示す。

表1 縦圧縮試験の供試材情報

樹種	気乾密度 (g/cm ³)	蒸煮後 含水率(%)
ブナ	0.67	20
ウォルナット	0.68	15
クリ	0.53	16

2.2 クリの曲げ木

クリの圧縮強度の低さから、しわの原因が曲げ加工時に材にかかる圧縮応力だと推定し、圧縮応力のかかり方を考慮した曲げ木試験を行った。試

* 試験研究部

験体寸法は厚さ (T) 30×幅 (R) 30×長さ (L) 200 mmとした。これを図1に示す曲げ半径60 mmの曲げ型にて曲げた。



図1 曲げ半径60 mmに曲げる様子

3. 結果及び考察

3.1 縦圧縮試験

図2～図7に縦圧縮試験の経過の様子を示す。図2、図3はブナである。図2は5.0mm(全長の4.2%)を圧縮、図3は同様に6.0mm(5.0%)を圧縮したときの様子を示す。ブナは材全体が曲がるように変形し、割れ・しわは生じなかった。

図4、図5にウォルナットの試験の様子を示す。ウォルナットの場合、3.8mm(3.2%)圧縮した時点で材上下端部に座屈によるしわが生じた。

図6、図7に2.2%圧縮、図8、図9に3.1%圧縮したクリの試験の様子を示す。クリはわずか2.6mm(2.2%)圧縮しただけではっきりとした座屈が見られ、3.1%の圧縮で下部において大きく破壊した。

このように、曲げ木においてしわが課題に



図4 ウォルナット
3.2%圧縮



図5 ウォルナット
4.2%圧縮

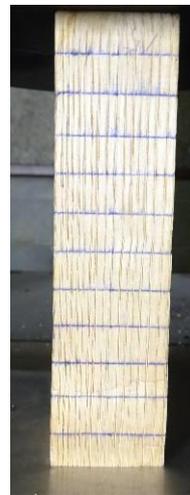


図6 クリ
2.2%圧縮

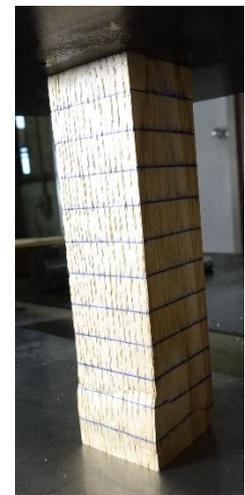


図7 クリ
同2.2%圧縮

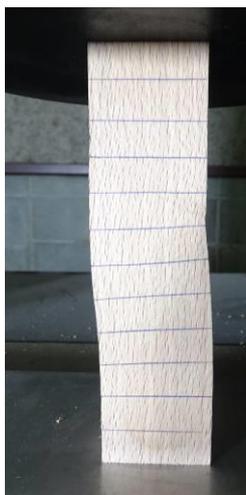


図2 ブナ
4.2%圧縮



図3 ブナ
5.0%圧縮



図8 クリ
3.1%圧縮



図9 クリ
同3.1%圧縮

なっている樹種については、圧縮強度がかなり低いことが原因と考えられる。

3.2 クリの曲げ木

次に曲げ木の際に、圧縮応力が材端部にかからないように、固定具の高さを材高さより低くし、図1のように曲げた。その結果、図10のように、押さえられた部分にしわはできなかつた。このように、しわを抑制する方法として、曲げ木時に材端部全体を覆わずに曲げることをさらに検討する。



図10 クリの曲げ木による表面の状態

3.3 曲げ木の可否判定プログラムから算出する圧縮変形

既往の研究で作成した曲げ木の可否判定プログラム³⁾において、材厚さと曲げ半径及び帯鉄の金属や厚さの条件に基づき、曲げ木の上端部の圧縮ひずみと下端部の引張ひずみを算出することができる。表2にブナとクリについて具体的な数値を示す。曲げ木の前処理による蒸煮において、ブナは含水率が20%程度に増加し、曲げ試験による弾性率は5GPa程度に低下する。一方、クリはブナより低い16%含水率でも弾性率は1.5GPaにまで低下することがわかった。

そのため、両樹種を同じ帯鉄を使用して、同じ形状に曲げ木する場合、ブナは8%圧縮変形し、クリは9%圧縮変形することが計算上判明する。ブナは経験的にこの程度圧縮変形しても特にしわなどの不良は生じず、一方、クリは上述の結果から2%も圧縮変形するとしわができることが明白なため、曲げ木において上端部の圧縮変形を2%よりも小さくする工夫が必要である。

具体的な手法として、圧縮応力を小さくするため、帯鉄を現状の弾性率より低い金属にすること、また、同時に圧縮側上端部を短くすることが考えられる。これらについて検討を進め、しわ不良の改善に引き続き取り組むこととする。

表2 曲げ木の可否判定プログラムから算出される各値

(材厚32mm、長さ600mm、曲げ半径310mm、帯鉄厚1mmの場合)

樹種	弾性率 (GPa)	含水率 (%)	圧縮ひずみ (圧縮率)
ブナ	5	20	0.08 (8%)
クリ	1.5	16	0.09 (9%)

樹種	引張ひずみ (引張率)
ブナ	0.02 (2%)
クリ	0.009 (0.9%)

5. まとめ

木材の曲げ木加工において最近頻出の圧縮側のしわ不良について検討した。その結果、圧縮しわは座屈によるもので、圧縮強度が低い材において生じることが明らかになった。曲げ木において、曲げ内側に圧縮応力がかかる。この際の変形を強度的な限界以下に抑える必要がある。

材の形状を工夫することや帯鉄の材質や形状変化が有力であることが本研究から示唆された。引き続きこれについて詳細に調べる。

参考文献

- 1) 石原智佳他、家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 20、 pp. 9-11、2018.
- 2) 石原智佳他、家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 21、 pp. 9-11、2019.
- 3) 石原智佳他、家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 22、 pp. 8-11、2020.
- 4) 石原智佳他、家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 23、 pp. 1-5、2021.
- 5) 石原智佳他、家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 24、 pp. 1-3、2022.
- 6) 石原智佳、地域材利用に向けた曲げ木工程条件の提示 (第1報)、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 25、 pp. 34-38、2023.