

地域材利用に向けた曲げ木工程条件の提示（第1報） 圧縮しわの低減について

石原智佳*

Presentation of the wood bending process conditions for use of local materials (I) Reduction of compression wrinkles

ISHIHARA Chika*

既往研究において、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地域産広葉樹や、ユリノキなどの早生樹を利用する動きが始まっている。これらの樹種のうちウォルナットとユリノキなどの曲げ木加工では、圧縮側にしわができやすいという課題があり、これについて検討を行った。

1. 緒言

岐阜県飛騨地域は木製家具の産地であり、「曲げ木」と呼ばれる、無垢材を曲げ加工した部材を用いる特徴がある。木材は水分を多く含んだ高温の状態になると、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てから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、異樹種への転換が必要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、従来ではあまり見られなかった圧縮側のしわが増加傾向にあり、対策が急務となっている。

しわが多くできる樹種にウォルナットがある。この樹種は人気があり、長年利用されているが、密度の低下がしわの一要因であると考えられる。また、ユリノキなどの早生樹の利用も検討されているが、しわが懸念されている。

そこで、本研究では、曲げ木加工における圧縮しわの原因と対策を検討した。

2. 実験方法

2.1 曲げ木における圧縮しわの再現試験

これまでも家具に利用されてきたウォルナットについて、近年、曲げ木加工において圧縮しわが発生しやすいことが家具製造現場で指摘されている。そこで、ウォルナットにおけるしわの発生を再現するため、厚さ5～20 mm×幅30 mm×長さ260 mmでの試験体を、150 mmの曲げ半径で曲げたときの材の圧縮しわの発生状況を目視観察した。蒸煮は蒸し器にて行い、蒸煮時間は仕上がり含水率により調整した。

2.2 低密度材（ユリノキ）の曲げ木

ユリノキは早生樹であることから家具への利用の動きがあるが、低密度であることから、曲げ木におけるしわの発生が懸念されている。そこで、低密度材としてユリノキの曲げ木を検討した。試験体の材情報を表1に示す。なお、寸法はいずれも厚さ10×幅30×長さ260 mmである。柾目材の場合、厚さが接線方向、板目材の場合、厚さが放射方向となる。これらを図1に示す曲げ半径150 mmの曲げ型にて曲げた。蒸煮時間は仕上がり含水率により調整した。

2.3 圧縮しわへの材厚さの影響

また、圧縮しわへの材厚さの影響を調べるため、厚さ15 mm及び5 mmのウォルナット材の曲げ木を行った。試験体の材情報を表2に示す。なお、幅30 mm

* 試験研究部

と長さ260 mmは先のユリノキと同形状である。蒸煮時間は仕上がり含水率により調整した。

2.4 蒸煮材の縦圧縮試験

材が厚いほど、曲げ時に圧縮応力を受ける部分が増える。圧縮変形が破壊せずに進行することで、良好な曲げ木に仕上がることから、次に圧縮試験からの検討を行った。縦圧縮試験の試験体寸法は30×30×30 mmの立方体とした。JIS Z 2101：2009に準拠した試験体では、蒸煮材の場合、圧縮に伴い材が外へ膨らみ出ていく破壊が進行するが、荷重たわみ曲線から明確な破壊点を見極めることができないため、本試験では圧縮方向の長さを短くし、樹種及び、含水率・温度条件で比較しやすいよう工夫を行った。

表1 ユリノキ試験体の材情報

No.	木取	気乾密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	蒸煮後密度 (g/cm ³)	蒸煮後含水率 (%)
1-1	柾目	0.48	8.6	0.53	18.9
1-2	板目	0.39	8.2	0.44	19.5
2-1	柾目	0.45	8.8	0.53	26.1
2-2	板目	0.41	8.7	0.53	38.5

表2 ウォルナット試験体の材情報

No.	木取	気乾密度 (g/cm ³)	材厚 (mm)	蒸煮後密度 (g/cm ³)	蒸煮後含水率 (%)
1	柾目	0.53	15	0.58	17.8
2	柾目	0.54	5	0.59	17.1
3	柾目	0.55	5	0.61	18.4
4	柾目	0.56	5	0.65	21.2

3. 結果及び考察

3.1 曲げ木における圧縮しわの再現試験

ウォルナットの曲げ木におけるしわを図2に示す。こちらの材の密度は0.55 g/cm³であり、ウォルナットの中では低密度である。この材を厚さ20



図1 曲げ半径150 mmに曲げる様子

mm、曲げ半径150 mmで曲げた際の圧縮側のしわが顕著にみられた。なお、同形状のレッドオークの曲げ木では良好な曲げが可能であった。このことから、材が低密度であることがしわが発生する要因のひとつであることが示唆された。



図2 ウォルナット曲げ木の圧縮側しわ (曲げ半径135 mm)

3.2 低密度材 (ユリノキ) の曲げ木

図3(a)から(d)にユリノキの曲げ木の仕上がりを示す。試験体1-1の柾目と試験体1-2の板目は、含水率を一般的な曲げ木を行う20 %程度に調整した。その結果、圧縮側にしわができた。この際の蒸煮後の試験体では、同程度の含水率であっても、気乾密度の影響で蒸煮後密度に大きな差があった。そこで蒸煮後の密度の効果を確かめるために、試験体2-1及び試験体2-2について、一般的な曲げ時の含水率より高くなるまで吸湿させて曲げ木を行なった。その結果、いずれも良好な仕上がりであった。試験体2-1及び2-2は、しわができた試験体1-1と蒸煮後の密度は同じであるが、含水率に大きな差がある。したがって、蒸煮後の密度が同程度であることよりも、蒸煮による含水率の増加率が仕上がりに影響することが推察された。

また、曲げ木の形状固定のために続いて行われる乾燥では、曲げ後の含水率が高いと、乾燥割れが生じてしまうことがしばしばあるが、本試験体のユリノキでは良好な乾燥が行えた。

この結果から、従来の曲げ木の前処理よりも高含水率にすることが、しわの抑制に効果的であることが考えられる。

3.3 圧縮しわへの材厚さの影響

ウォルナットの曲げ木は、いずれの試験体も材厚15 mmの場合に、図4に示すようにわずかなしわが生じた。これに対して、材厚5 mmのウォルナットの場合はいずれの試験体も良好な仕上がりとなった。引き続き実大材で同様の試験を行い検証する。

材が厚いほど、曲げ時に圧縮応力を受ける部分が増える。圧縮変形が破壊せずに進行することで、良好な曲げ木に仕上がることから、縦圧縮ヤング率が大きいほど圧縮しわが抑制されることが示唆された。



図4 15 mm厚さのウォルナットの圧縮側しわ



図5 5 mm厚さのウォルナットの圧縮側



(a) 試験体1-1



(a') 図(a)のしわ拡大



(b) 試験体1-2



(b') 図(b)のしわ拡大



(c) 試験体2-1



(d) 試験体2-2

図3 ユリノキの曲げ木 (曲げ半径150 mm)

表3 試験体の各種情報

		ブナ	ナラ	ホリト オーク	ウォル ナット
気乾	含水率 (%)	11.6	8.8	9.6	7.5
	気乾密度 (g/cm ³)	0.7	0.7	0.8	0.6
	縦圧縮ヤング係数 (GPa)	2.7	2.9	2.8	2.7
高含水率 (常温)	含水率 (%)	20.2	17.5	17.5	15.9
	調湿密度 (g/cm ³)	0.7	0.7	0.8	0.6
	縦圧縮ヤング係数 (GPa)	2.0	2.4	2.1	2.2
蒸煮直後 (高温)	含水率 (%)	19.8	17.0	18.8	17.2
	気乾密度 (g/cm ³)	0.7	0.7	0.8	0.6
	縦圧縮ヤング係数 (GPa)	1.6	2.2	1.5	1.5

3.4 蒸煮材の縦圧縮試験

試験体の情報および縦圧縮ヤング係数の結果を表3に、また蒸煮直後の材の試験結果を図6に示す。表3より、気乾材よりも高含水率に調湿した材のほうが縦圧縮ヤング係数は低く、さらに、蒸煮直後で高温にある場合のほうがこの数値がさらに低下することが明らかである。また図6より、同程度のたわみ量に要する荷重がこれらの樹種のなかでは、ウォルナットが小さいことがわかる。このことから、曲げ木加工の際に圧縮応力がかかる領域において、圧縮つぶれにならない強さが必要と考えられる。圧縮強さとの関係については今後あらたに検討することとする。

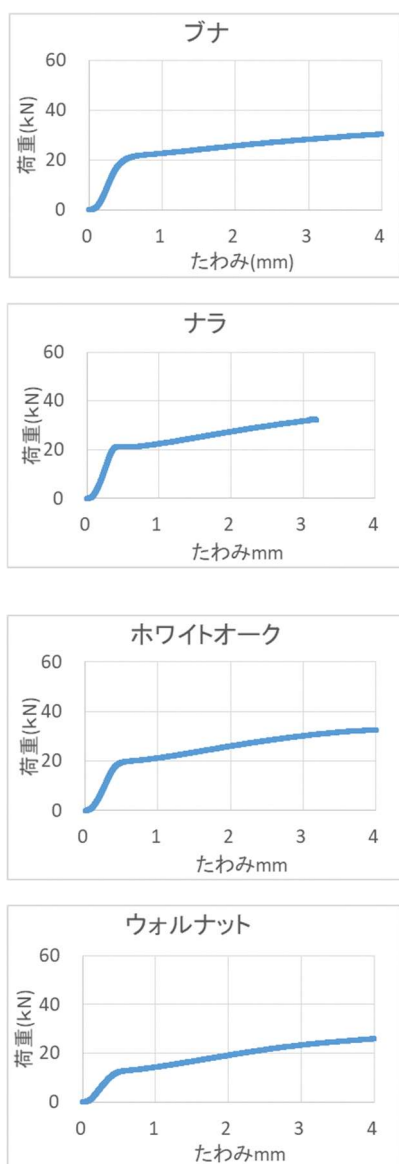


図6 蒸煮直後材の縦圧縮試験の結果

4. 曲げ木の可否判定プログラムからみた圧縮変形

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、曲げ木の中立軸の位置(材上部から中立軸までの距離[図7(a)の t])を計算することができる。曲げ木の通直時の長さを l_0 とし、圧縮側は圧縮歪み(ϵ_c)分だけ縮み、引張側は引張歪み(ϵ_t)分だけ伸びる。ここの圧縮歪みを中立軸までの距離(t)と曲げ半径(r)で表すと次式(1)になる。

ここで、材厚30 mmのブナ板を2.0 mmのSUS製帯鉄で r 420 mmに曲げた場合、上述のプログラムで t 値が26.52 mmで、その結果として、 ϵ_c は0.06と算出される。実大材の曲げ木の寸法測定値とも概ね一致し、曲げ木の条件から、良好な曲げ木に必要な圧縮量が推測できる。今後は、圧縮試験の結果から、曲げ加工で必要とする圧縮変形が可能で、しわが発生しない材質であるかを判断できるかについて検討する。

$$\epsilon_c = \frac{t}{r+t} \quad \dots (1)$$

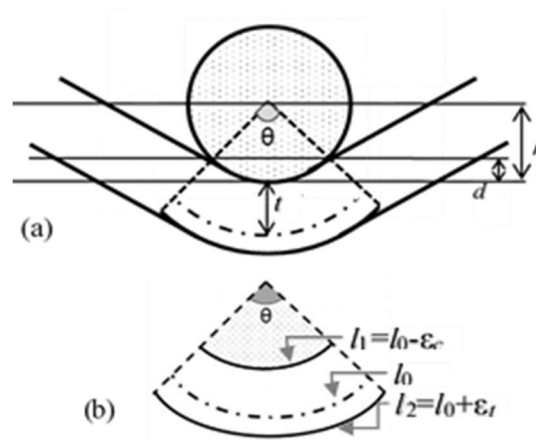


図7 曲げ木の形状の数式化

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、低密度な材質の場合、曲げ木の前処理である蒸煮時に、一般的な含水率よりも高い値まで水分を含有させて曲げることで、圧縮しわが低減できることが判明した。

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.