

曲げ木加工後の曲げ戻りと過進行の原因解明及び対策に関する研究

石原智佳*

Research into the causes and countermeasures of increases and decreases in bending radius after bending wood processing

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。椅子の背板部材として仕上げた後、製品に組み立てるまでに養生期間をもうけるが、この間に曲げ木の形状が変化することが課題となっている。本研究において、曲げ木の形状が変化する原因を調査し、形状固定時の温度と、その後の養生環境に関する要素を見出した。ひとつに、形状固定の温度は、広葉樹の軟化温度である85℃以上が望ましいこと、さらには、養生時の含水率変化の範囲を、家具に適した6%に維持することで、しっかりと形状固定できた曲げ木に対しては、曲げの戻りや進行がないまま、所定の形状を維持できるといえる結果が得られた。

1. 緒言

岐阜県飛騨地域は木製家具の産地であり、ここで作られた一定の品質を備えた家具は「飛騨の家具®」と認定され、10年間の保証がある。飛騨の木製椅子は「曲げ木」を特徴とするものが多い。この曲げ木の加工では、木材に多くの水分を含ませて高温にすることで軟化させ、型に沿って曲げた後に乾燥して形状を固定する。

乾燥後、製品に組み立てられるまでの養生期間において、曲げが戻って外へ広がったり（曲げ戻り）、曲げが過度に進行して内へ入ったり（過進行）することがある。さらには、製品として出荷後、使用環境の中で変形が徐々に蓄積し、製造から数年以上が経過した椅子がクレーム品としてメーカーに戻されることもあり、曲げ戻りと過進行の現象の原因解明及び対策が課題となっている。

本研究において曲げ木の形状変化の原因を解明することで、曲げ木の品質のさらなる向上へ寄与することを目指す。

2. 実験方法

2.1 供試材

良好な曲げ木加工が可能なブナの天然乾燥材を供試材とし、養生時の温湿度環境による曲げ木形

状の動きを観察した。常温環境下で数年間保管し、気乾状態になった板材から曲げ木用試験体を採用した。試験体寸法は板目材の場合、繊維方向(L) 260mm×放射方向(R) 10mm×接線方向(T) 30mm、柃目材の場合、繊維方向(L) 260mm×放射方向(R) 30mm×接線方向(T) 10mmとした。

供試材の含水率は、全試験終了後に全乾処理を行った際の重量を全乾重量として算出した。

2.2 曲げ木材の作成

曲げ半径（以下Rと表記、単位はmm）150mm及び60mmの2種類で曲率の影響を比較した。曲げ木の試験体は含水率（以下MCと表記）20%になるまで水蒸気で蒸煮処理したのち帯鉄に固定し、図1及び図2のように曲げ型に沿わせて曲げたのち、表1に示す温度で24時間乾燥させて曲げ形状を固定することで作成した。

曲げ木の形状固定時の乾燥温度は、全乾条件の105℃、広葉樹の軟化温度に近い85℃、長時間乾燥時に設定される60℃、及び低温乾燥時の40℃とし、これらの温度が、形状固定後の養生過程での曲げ木形状の動きに影響を及ぼすか、またその程度を比較することを目的とした。乾燥は図3に示すように、所定のRを保持するために治具に固定して、所定温度に設定した乾燥器内で行った。

乾燥後に家具用材の目安MCとされる7%にコンディショニングするため、30℃52%相対湿度下で

* 試験研究部

調湿した。なお、コンディショニングは治具固定したまま行う。この様子は図4に示すように、密閉容器に、循環型温湿度制御装置（AP-750MVK-E1 オリワ(株)製）から所定の温湿度の空気を送り調湿することで行った。

2.3 養生の条件

コンディショニング以降、曲げ木の養生は形状固定用治具を外した状態で行った。養生過程の温度・湿度条件を表4に示す。

3. 結果及び考察

3.1 曲げ木形状の動き（R150）

ここでは表1に示す条件ごとに準備した曲げ木について、乾燥による形状固定後の養生過程における曲げ木形状の動きを比較する。それぞれの試験体の乾燥固定後及び、コンディショニング後の含水率と曲げ半径をそれぞれ表2、表3に示す。

表2に示すとおり、形状固定のための乾燥温度が105℃の材1は、温度の影響を受けて、所定のR150よりも内へ入った。また、コンディショニングでさらに内へ入る挙動が見られた。同様の挙動は製造現場でも見られ、型に入れて養生する際の吸湿に伴い「曲げがさらに内へ入る」と考えられる。

乾燥温度が85℃の場合（材2）、24時間ではMC8%までにしか乾燥せず、元の半径より広がった曲げ形状で固定された。その後のコンディショニングでR150に保持したままMC7%に乾燥すると、治具を外してもR151を維持できた。

一方、乾燥温度が60℃（材3）と40℃（材4）の場合、乾燥及びコンディショニングでは元の曲げ形状に調整することができなかった。

次にコンディショニング後に行った治具なし状態での養生過程での曲げ木形状の動きについて検討した結果を表5に示す。すなわち、表2の養生5日後以降の含水率と曲げ半径の推移を示している。

材1について、養生過程1の吸湿において5日後、MCは同じままで形状が元のR150に戻った。このまま水分変化がない場合、3週間にわたり、同じ形状を保った。その後、養生過程2に環境を変え、7日間でMC8%まで吸湿した際、R165に曲げ戻りが起きた。そこで、養生過程3において再度7日間乾燥させ、MC6%に戻ると形状も元のR150に戻った。引き続き、吸湿・乾燥を繰り返すと、MCに応じた形状になることが判明した。養生過程4においてMC約10%まで吸湿した場合にはかなり曲げ戻りし、その後は全乾状態近くまで乾燥しても元の形状に戻らないなど、含水率による曲げ木形状の挙動が判明した。



図1 R150に曲げる様子



図2 R60に曲げる様子



図3 乾燥中の形状固定の様子



図4 養生の様子

表1 曲げ木の作成条件

材No.	R (mm)	乾燥固定	
		温度 (℃)	時間 (h)
1	150	105	24
2		85	
3		60	
4		40	
5	60	105	
6		85	
7		60	
8		40	

表2 R150材 乾燥固定からコンディショニングまでの曲げ木の状態

材	曲げ 半径 R (mm)	乾燥 温度 (℃)	乾燥固定 24時間後 MC (%)・R (mm)	治具固定 養生5日後 MC・R
1	150	105	0.3・144	6・135
2		85	8・157	7・151
3		60	8・154	7・154
4		40	8・159	8・160

表3 R60材 乾燥固定からコンディショニングまでの曲げ木の状態

材	曲げ 半径 R (mm)	乾燥 温度 (℃)	乾燥固定 24時間後 MC (%)・R (mm)	治具固定 養生2日後 MC・R
5	60	105	0.3・55	6・55
6		85	0.8・56	6・62
7		60	6・61	7・63
8		40	6・72	8・76

表4 養生過程の温度・湿度条件

過程	1	2	3	4	5
	吸湿	吸湿	乾燥	吸湿	乾燥
要期間	5日	7日	7日	7日	24時間
温度 (℃)	30	30	30	30	105
湿度 (%)	52	60	50	65	0

材2についても、コンディショニング後の同程度の範囲での含水率変化では同じ形状を繰り返すことは材1と同様だった。

一方、材3と材4については、乾燥及びコンディショニングでは元の曲げ形状に調整することができなかった。含水率の繰り返し変化においても、吸湿過程を経るごとに曲げ戻りが進行していった。したがって、広葉樹の軟化温度より低い温度での乾燥は形状固定に適さないといえる。

以上のことより、乾燥固定温度については、105℃あるいは85℃が望ましいといえ、85℃の場合は固定後の含水率が6%以下になるように、時間を延ばすことで初期の養生が吸湿になるので、材1と同じ形状の動きになると考えられる。

治具固定がない養生期間でも、元の形状を維持する含水率に保持できれば形状が安定し、水分の出入りを防ぐ塗装を行うことで、極端な曲げ形状の変化を抑制できると考えられる。

日常的な使用に伴う経年劣化で塗装効果が低減している場合などにおいて、夏場の高温多湿環境下では吸湿が進行してしまい、表5からもわかるように、元の形状に戻れない状態になってしまうことも推測される。

表5 R150材 養生過程における曲げ木の形状推移

過程	1	2	3	4	5
材	MC R	MC R	MC R	MC R	MC R
1	6 150	8 165	6 150	9.7 172	3 157
2	7 151	9 157	6 151	10 171	3 160
3	7 165	9 187	6 170	10 186	3 177
4	8 164	10 182	6 178	10 198	3 183

3.2 曲げ木形状の動き (R60)

表1に記載した供試材をR60に加工後、表3の乾燥条件で形状固定及びコンディショニングを行った。その後は表4の条件で養生し、この過程における曲げ木形状の動きを表6に示す。

いずれの試験体もコンディショニングにおいて吸湿した。この際、105℃乾燥固定の材(材5)のみが所定のR60よりも内へ入った状態で仕上がった。85℃乾燥固定の材(材6)でもコンディショニングにおいて、かろうじてR60と大差ない形状を保持した。しかし、約10%まで吸湿したあとは元の形状

表6 R60材 養生過程における曲げ木の状態推移

過程	1	2	3	4	5
材	MC R	MC R	MC R	MC R	MC R
5	6 60	9 76	6 60	9.7 83	3 64
6	7 62	9 75	7 62	9.9 75	3 67
7	7 65	9 70	7 63	10 82	3 73
8	8 77	10 80	6 76	11 82	3 72

に戻らず、R150の材と同様の挙動をとった。また、60℃（材7）と40℃（材8）の形状固定についても、R150と同様に難しかった。

3.3 曲率の影響

同じ乾燥固定温度で仕上がったR150の材1とR60の材5の曲げ木を比較すると、同程度の含水率変化幅でもR60のほうが元形状からの変化が大きいように見える。これは曲率が小さいほうが、曲げ加工時及び乾燥固定時に材を押す力が大きく、乾燥後に材内に残存する応力が大きいためだと考えられる。この残留応力を小さくすることで、含水率変化に伴う形状変化を低減できる可能性がある。

4. まとめ

2種類の曲率半径に曲げ加工したブナの曲げ木について、乾燥による形状固定及びコンディショニング後の養生過程における曲げ形状の変化について原因を考察した。

(1)形状固定のための温度は、広葉樹の軟化温度である85℃以上が望ましいといえる結果がでた。
 (2)養生時の含水率変化の範囲を、家具に適した6%MCに維持することで、しっかりと形状固定できた曲げ木に対しては、曲げの戻りや進行がないまま、所定の形状を維持できるといえる。
 (3)含水率変化に伴う形状変化は、曲率が小さいほど曲げ時にかかる応力が大きいため、残留している応力が大きく、養生時の水分の移動による膨潤・収縮をより大きなものになると考えられる。

なお、柾目面の試験体についても、板目面と同様の結果であったことから、木目の影響はないと考えられる。ただし、木目は曲げやすさや、曲げ強さには影響を及ぼす。

謝辞

本研究は「一般財団法人 越山科学技術振興財団」の助成を受けたものです。