

家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化 曲げ木可否判定

石原智佳*¹, 三井勝也*¹, 藤巻吾朗*¹, 成瀬哲哉*¹

Approaches to Making Smart of the Wood Bending Process Judgment of Bending Wood

ISHIHARA Chika*¹, MITSUI Katsuya*¹, FUJIMAKI Goroh*¹, NARUSE Tetsuya*¹

曲げ木加工において頻発する不良現象のひとつに、背板や座面の板材の引張側(帯鉄と接する側)で生じる微細な割れがある。これは、曲げ変形時に曲げ木にかかる引張応力を帯鉄側へ十分に移行できていないことに起因すると判明した。そこで、本研究では、引張限界以下の伸びに抑制するための帯鉄の条件設定や、曲げ半径に見合った材厚さの組み合わせ等、デザインや曲げ不良の改善に有効であると思われる曲げ木可否判定のプログラムを作成した。

1. 緒言

乾いた木材は曲げにくい、水蒸気で蒸すこと(蒸煮処理)によって高含水率・高温の状態にすると軟化して曲げやすくなる。この性質を活かした加工には「曲げ木」と呼ばれる方法があり、飛騨地域では1920年頃からこの技術を取り入れた木製の家具づくりが始まった。一般的な工程は、蒸煮した木材に帯鉄と呼ばれる金属を当てて曲げ、型にはめたまま乾燥させて形状を固定する流れから成る。

一般的に材料を曲げる場合、曲面となる上下面の距離の中心軸は伸びも縮みもしない中立軸となる。中立軸を挟んだ一方は、圧縮応力を受けて縮み、他方は引張応力を受けて伸びる。

木材は引張応力に弱く、蒸煮処理直後の材については、縦引張試験を行った結果¹⁾より、樹種間の多少のばらつきはあるものの、最大引張変形は1.0～2.0%であることが判明した。曲げ木加工時の帯鉄の役割は、木材中心部にある中立軸をより下端側(帯鉄側)に移行させ、引張応力を受ける領域を減少させて、圧縮応力を受ける領域を増加させることである。しかし、現状では引張側に微細な割れ破壊が生じることが頻出し、この原因が引張限界以上に伸びることを前報¹⁾で報告した。

そこで、良好な曲げが可能な形状を推定するための算出式を導いた。従来あった曲げ指標^{2, 3)}は、蒸

煮した試験体を縦圧縮破壊試験に供して得た圧縮ひずみをもとに算出されたものであり、曲げ木加工において引張変形がゼロとの前提に立ったものであった。そこで、曲げが良好であった場合でも、少なくとも引張限界以内の伸びは生じていることを考慮した判定式¹⁾を新たな指標として示した。

本報告では、新たに提案した曲げ木の指標をより簡易に利用できるための検討を行った。

2. 曲げ木の指標

2.1 縦引張ひずみ限界

前報¹⁾にて示した、縦引張試験に供した5樹種の蒸煮処理直後の材(含水率20%)の最大縦引張ひずみを表1に再掲する。

表1 蒸煮処理直後の縦引張試験の結果

樹種	フナ	ミズナラ	ホワイトオーク	ウォルナット	チェリー
$\varepsilon_{t(Max)}$ *a	0.0204	0.0193	0.0185	0.0180	0.0100

*a : 標点間で破壊した3試験体の平均ひずみ

2.2 曲げ木の可否を判定する基準

一般的な曲げ木加工は、木材を帯鉄に沿わせて曲げるトーネット法と呼ばれる手法で行われているが、現状多く利用されている型(図1)の形状では、木材にかかる引張応力を抑制する効果が低いことが判明

*¹ 試験研究部

した。一因として、木材と帯鉄との間の滑りやすさが考えられる。両者が密着し、一体化することで、引張応力がかかる木材の領域を減少させるという帯鉄の役割が果たされる。そこで、両者間の滑りを抑制させる工夫を施したところ、これまで頻発していた微細な割れをかなり減らすことができた。

そこで、木材と帯鉄が密に一体化していることを前提として、現状の帯鉄での曲げ可否を判定する基準式を示す。

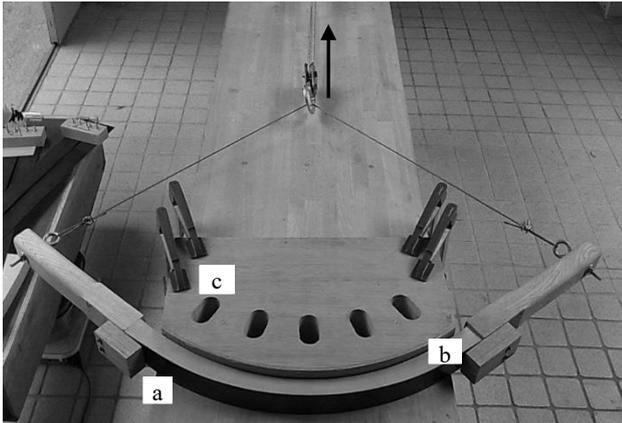


図1 曲げ木の様子
a: 帯鉄、b: 曲げ木用部材、c: 治具

曲げ型の形状として、曲げ木部材と帯鉄の二層構造、あるいは両者の間に鉄汚染を防止する金属を挟む三層構造が一般的であり、これらが一体となっているとみなす模式図を図2に示す。

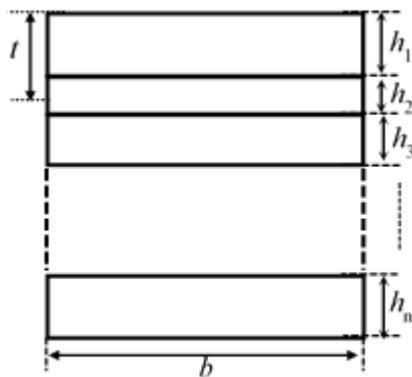


図2 曲げ木と帯鉄の層構造(矩形断面)
h: 各層の厚さ、b: 各層の幅、
t: 1層目(木材)の上端部から
中立面までの距離

また、 t を算出する一般式は式(1)のとおりである。

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n b_i E_i \left(h_i^2 + 2h_i \sum_{i=1}^{n-1} h_i \right)}{2 \sum_{i=1}^n b_i E_i h_i} \quad (1)$$

また、 E は各層部材の曲げ弾性率である。

次に、一般式をより簡易に用いるために、2層及び3層構造の場合の t の算出式をそれぞれ、式(2)、(3)に示す。

$$t = \frac{b_1 E_1 h_1^2 + b_2 E_2 h_2 (2h_1 + h_2)}{2(b_1 E_1 h_1 + b_2 E_2 h_2)} \quad (2)$$

$$t = \frac{b_1 E_1 h_1^2 + b_2 E_2 h_2 (2h_1 + h_2) + b_3 E_3 h_3 (2h_1 + h_3) + 2b_3 E_3 h_3 h_2}{2(b_1 E_1 h_1 + b_2 E_2 h_2 + b_3 E_3 h_3)} \quad (3)$$

応力がかからない中立面が材下端部に近いほど、引張割れを防ぐことが可能である。この材下端部に生じる引張ひずみ(ϵ_t)も式(4)から推測できる。

$$\epsilon_t [\mu ST] = \frac{(t-h_1)}{r} \times 10^6 \quad (4)$$

ここで r は曲げ半径である。この式から算出する値が表1に示した引張限界($\epsilon_{t(Max)}$)を超えないことが割れ防止に重要である。また、引張ひずみは元の長さ(l_0)に対する伸び量(Δl)の比であり、式(5)のように表せる。

$$\epsilon_t = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (5)$$

式(5)はまた、材厚さ(s)と曲げ半径(r)の関係式に換算でき、引張割れが生じにくい条件の推定式(6)を導くことができます。すなわち、

$$\frac{s-t}{r+t} < \epsilon_{t(Max)} \quad (6)$$

ここで、これまでの式を用いて算出される現状を表2に示す。なお、一体化しているとみなす構造は、木材と厚い鋼材帯鉄の間に、鉄汚染を防止するために薄い金属を挟む三層構造である。この場合、木材下端部の引張ひずみは $-12667 \mu ST$ (全長の1.3%相当の伸び)になると推測される。しかし、実測では、曲げ木部材の両端部が圧縮変形により縮み、材中心

表2 曲げ木の各種条件と生じる引張ひずみ

	材料	厚 m m	E GPa	幅 mm	r mm	t mm	ϵ_t μ ST
層1	木材	35	5	125	266	31.6	-12667 1.3% 相当
層2	薄金属	1	70				
層3	鋼材	2	205				

部分は全長の1.5~2%伸び、全体として、平均的に1.2%伸びていることが明らかになった。このように、材下端部全体が様に伸長変形するのではないことから、完全に一体化させることができていないことが推定された。さらに、木材と帯鉄の間の滑りを抑制した結果、引張割れが大幅に低減できたことから、一体化により帯鉄が十分に機能するといえる。

また、木材の厚さと帯鉄の厚さのバランスによっては、引張応力を受ける木材部分の領域が多くなってしまふことによる引張破壊も生じてしまう。そこで、曲げ木の仕上がりを改善するための対策を講じやすくするために、式(6)から、2層構造の曲げ可否判定式を導いた。その際、材厚さsをh₁とし、各層の幅は同一のbとした。すなわち、

$$(1 - \epsilon_t)E_1h_1^2 - (1 + \epsilon_t)E_2h_2^2 - 2\epsilon_t(rE_1h_1 + rE_2h_2 + E_2h_2h_1) < 0 \quad (7)$$

さらに、3層構造の場合は、次式のとおりである。

$$(1 - \epsilon_t)E_1h_1^2 - (1 + \epsilon_t)E_2h_2^2 - (1 + \epsilon_t)E_3h_3^2 - 2(1 + \epsilon_t)E_3h_3h_2 - 2\epsilon_t \left(\begin{matrix} rE_1h_1 + rE_2h_2 + rE_3h_3 \\ + E_2h_2h_1 \\ + E_3h_3h_1 \end{matrix} \right) < 0 \quad (8)$$

式(7)、(8)を満たすように、帯鉄の厚さや金属の種類を調整することで、現状の帯鉄では割れ不良が生じてしまう曲げ木でも改良できることも製造現場にて確認した。

また、これらの式に基づき曲げ木の可否判定を行えるように、図3に示すプログラム(2層構造とみなした例)を作成した。また、図4のように、曲げ半径と材厚さの組み合わせに対して、判定値を認識できる表現も可能である。このグラフでは判定値が負の値になる組み合わせが曲げ木可能といえる。

以上のように、引張割れを抑制することで、曲げ木が良好になる傾向が認められ、本報告ではそのための条件設定が容易になる手法を確立した。引き続き、利用頻度が高い樹種に対して、含水率をパラメータとして、曲げ弾性率及び、引張限界の測定を行い、データベースを整えていくこととする。

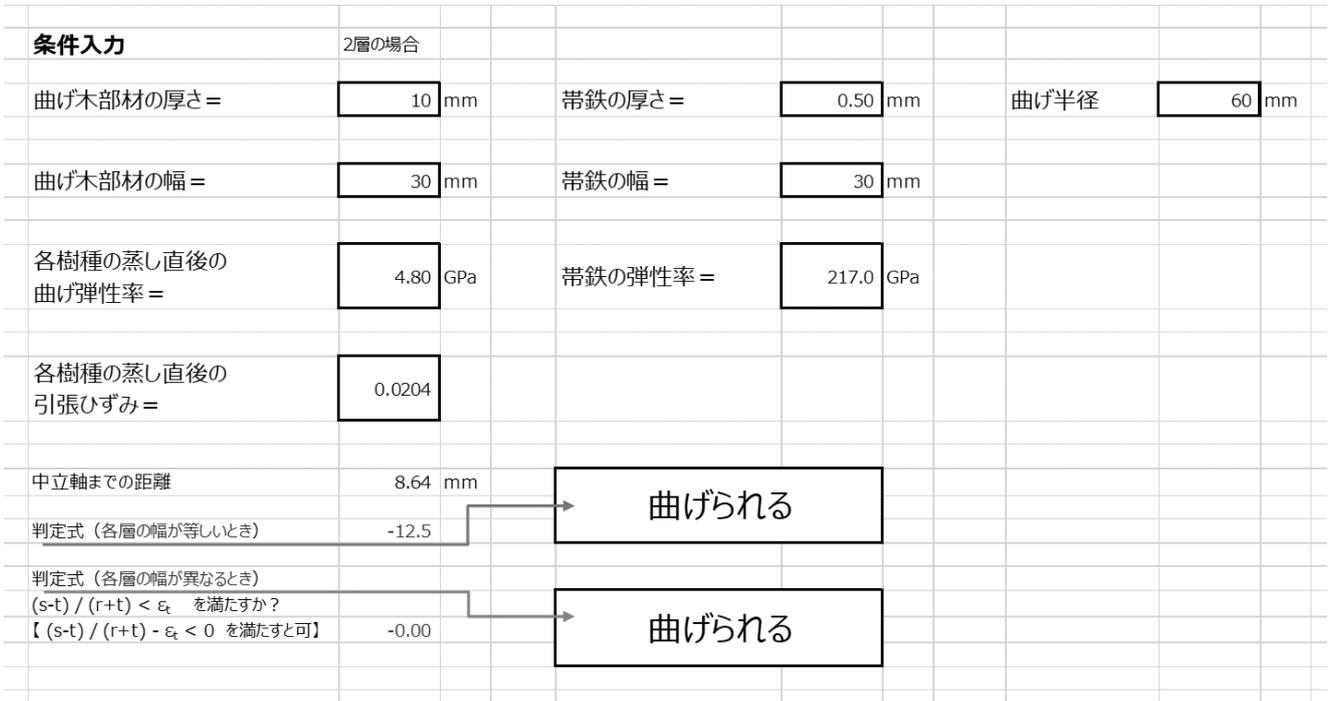


図3 曲げ木可否判定プログラム

材厚と曲げ半径ごとの可否判定
判定値が0より小さい場合が可

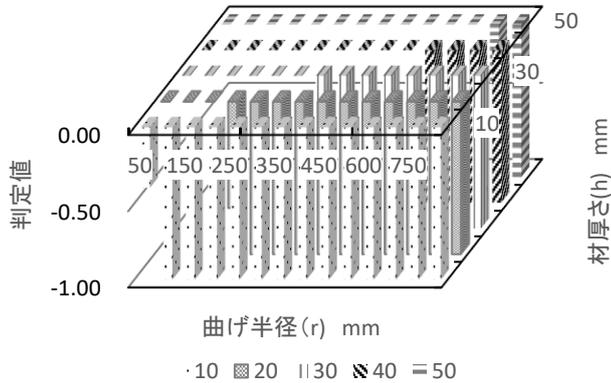


図4 曲げ半径と材厚さの組み合わせと
曲げ可否判定値

3. まとめ

背板や座板の曲げ木加工において頻発する微細な割れが、引張限界以上の伸びが原因であることから、引張限界以下に抑制するための材厚さと曲げ半径の関係を導く手法を検討した。

その結果、曲げ木可否判定プログラムにより、判定値が負になると曲げ木が可能となる手法を確立した。

参考文献

- 1) 石原智佳ほか:家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化 曲げ木における不良原因と対策, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.21, pp.9-11, 2019.
- 2) 田中重盛:南方材の曲げ加工に関する研究(第1報), 岐阜県工芸試験場業務報告, pp.18-22, 1975.
- 3) 田中重盛, 南方材の曲げ加工に関する研究(第2報), 岐阜県工芸試験場業務報告, pp.16-21, 1976.