

## 木製品の価値を高める木材の高度曲げ加工の研究

## Study on Advanced Wood Bending for Producing More Valuable Wooden Article

山田順治\*, 住友将洋\*

Nobuharu Yamada, Masahiro Sumitomo

## 抄 録

高度な曲げ加工が可能となる新しい加工法, コンブウッドシステムについて, 調査, 研究を行った. コンブウッドシステムを導入している岩手県工業技術センターに材を送り, 同システムにより材の加工を行った. 加工した材より小試験体を採取し, 曲げ試験, 圧縮試験を行い, 圧縮処理材の可塑性について検討した. ナラ材, タモ材では, 圧縮むらが見られ, 局所的な座屈も生じていたが, ブナ材は比較的均一な圧縮がなされた. 曲げ試験による試験結果では, 変位, 歪みゲージによる最大引張り歪みの実測値ともにブナ材が大きな値を示し, 気乾状態での歪みの測定値が 17.4 %となった. ブナ材の試験では, 曲げ試験で圧縮処理材が無処理吸水材の変形量の数倍の変形を示した. 一方 圧縮試験では, 無処理材であっても吸水することで試験材の圧縮率が増大した.

## 1 はじめに

近年, NC技術の導入, コンピュータの性能の飛躍的向上により, 一般の工場においても高度な曲面加工が可能になっている. しかし, 曲げ木には, 切削による複雑な曲面加工では不可能な, 目切れがなく, 自然で丈夫であるという特性がある. こうした状況で, 業界から, トーネット法を越えるような革新的な曲げ木加工法が求められている.

新しい曲げ木加工法の中で, 有力と考えられ, 最近注目されている縦圧縮法による曲げ木加工の実用機, コンブウッドシステムを導入している岩手県工業技術センターに供試材を送り, コンブウッドシステムにより材の加工を行った. 加工した材より小試験体を採取し, 材質試験を行い圧縮処理材の可塑性を調べ, 技術革新の可能性を検討した.

## 2 試験方法

## 2・1 コンブウッド材の加工

試験材としてナラ材(80 × 120 × 2000mm) 1体, タモ材(80 × 120 × 2000mm) 1体, ブナ材(40 × 120 × 2000mm) 2体を用いた.

専用のオートクレーブを用い100 °Cで6時間蒸煮した後, コンブウッドプレスにより材長の20%を圧縮する加工を行った. 圧縮に要する時間は3分

程度, その後10分間保持し, 解圧した. 解圧により変形は10%程度に回復した. 加工後, 蒸煮時に生じた反り等の変形をプレスにより矯正した. 加工材は保湿のためフィルム包装を行い, 梱包し当センターに発送した. 当センターにおいて, 加工材はフィルム包装のまま, 5 °Cの冷蔵庫に保存した.

## 2・2 試験材及び試験体の作成

ブナでは, 図1に示す下側の加工材からA, Bの2箇所, ナラ材, タモ材では挫屈等の損傷の無い所, 1箇所から, 長さ500mmから600mmの試験用の材を採取した. 次に, ブナ材からは, 30mm角の試験材を1箇所ですべて3体, 2箇所分ですべて6体, ナラ材, タモ材からは30mm角の試験材を6体木取りした. これからさらに, 長さ500mmの曲げ試験片と長さ60mmの圧縮試験片を作製した.

## 2・3 圧縮処理材の材質試験

圧縮処理材の曲げ試験, 圧縮試験を行った.

曲げ試験は, 30mm角の試験体により, スパン420mm中央集中荷重で行った. ブナ材は, 試験材A, Bより各1体, ナラ材, タモ材は各2体ずつ, 試験材の湿度を保った状態で試験を行った. 引張り側に生じる最大ひずみを荷重点の裏面, 材中央部で測定した. 測定には, 共和電業社製, 歪みゲージKLMを使用した.

同様に, 圧縮処理材の気乾状態の曲げ試験を, プ

1	2	3	4	5	6	7	8	
10.0 %	9.0 %	7.5 %	6.5 %	11.0 %	11.5 %	13.0 %	12.0 %	ブナ材上
8.0 %	8.0 %	7.5 %	10.0 %	7.5 %	10.0 %	13.5 %	10.0 %	ブナ材下

図1 ブナ材残留圧縮率

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6.0 %	6.0 %	8.0 %	10.0 %	11.5 %	13.0 %	16.0 %	15.0 %	15.0 %	20.0 %

図2 ナラ材残留圧縮率

1	2	3	4	5	6	7	8
20.0 %	15.0 %	15.0 %	13.5 %	12.5 %	7.0 %	4.0 %	0 %

図3 タモ材残留圧縮率

ナ材,ナラ材,タモ材各2体ずつ行った。試験体は40の乾燥器で乾燥した後,室内に放置し気乾状態とした。

ブナ材では,圧縮処理をした板材と同じ丸太より連続的に製材された板材より,30mm角の試験片を木取り,無処理のコントロール材とし,気乾材および吸水材の曲げ試験を行った。吸水材は,気乾材を2.5気圧の蒸気で6時間蒸煮した後,1週間水槽につけ調整した。

圧縮試験は,30mm角,長さ60mmの試験片により行った。ブナ材は,試験材A,Bより各2体,ナラ材,タモ材は各2体ずつとし,試験材の湿度を保った状態で試験を行い,処理材の圧縮強さと,破壊時の変形量から最大圧縮率を求めた。

ブナ材では,曲げ試験と同様に,気乾及び吸水状態の無処理のコントロール用試験片を各2体作製し,比較のための圧縮試験を行った。

### 3 結果と考察

#### 3・1 コンブウッド材の加工

図1から図3に加工材,残留した圧縮率(材の短縮率)を示す。圧縮率は,加工前に20cm間隔に引いた基準線の長さを実測し求めた。

コンブウッドシステムでは,加工材として,含水率20~25%の天乾材を推奨している。用意した材は,天乾材であったが含水率15%以下に乾燥が進んでいたと考えられる。この材が蒸煮6時間でほぼ含水率20%になった。材の膨張が予想以上に大きかったため,材全体を均一に縦圧縮処理することができなかった。タモ材では,内部に小さな節があり,最初の圧縮では材端に破損が生じたため,長さを1500mmとし材厚も削り直して加工を行った。ブナ材は2体の材を梱包機により束にして加工した。この場合も上下の材の材質に差があり,やはり材端に破損を生じ,長さを1500mmとし材厚も削り直して加工を行った。

#### 3・2 試験材について

表1に加工材の平均残留圧縮率,各試験材の採取位置と残留圧縮率を示す。

表1 試験材の残留圧縮率

試験材	採取位置	試験材圧縮率(%)	平均圧縮率(%)
ブナA	5,6,7	10.3	9.3
ブナB	2,3,4	8.5	9.3
ナラ	1,2,3	6.7	12.1
タモ	5,6,7,8	5.9	10.9

ここで,採取位置の数字は,図1,図2,図3に示した。

表2 圧縮処理材の曲げ試験結果

試験材	曲げヤング率 Eb (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強度 b (N/mm <sup>2</sup> )	密度 r <sub>u</sub> (g / cm <sup>3</sup> )	含水率 u (%)	最大変位 (mm)	歪み cal (%)
ブナA	1.59	27.9	0.62	17.2	150	15.3
ブナB	1.83	35.8	0.61	16	91.8	9.4
ナラ	3.69	53.9	0.72	18.2	74.1	7.6
タモ	2.38	40.1	0.62	18.6	87.7	8.9
ブナA気乾*	1.98	44.9	0.61	9	115	18
ブナB気乾	3.17	60.5	0.6	8.8	89.5	9.1
ナラ 気乾	4.96	73.7	0.66	7.9	55.3	5.6
タモ 気乾	2.18	36.8	0.43	8.9	72	7.3

\* 試験片寸法 20mm×30mm 曲げスパン280mmで試験を行う

この加工システムでは、通常、材を 20 % 圧縮し、解圧したときの材の短縮率を 3 % ~ 5 % と設定している。今回の試験材の材の短縮率は 10 % 程度であり、この値より大きくなった。ナラ材、タモ材では、長さ方向で圧縮むらが見られ、局部的な座屈も生じており、短縮率が大きくなる原因になったと思われる。ブナの試験材を採取した材の短縮率は 9.3 % であったが、比較的均一な圧縮がなされた。また、試験材の含水率は、圧縮加工時には 20 % 程度であったと思われるが、その後、試験材を木取る時に乾燥が進み試験時には 16 % ~ 19 % の値になった。

### 3・3 圧縮処理材の材質試験

#### 3・3・1 曲げ性能評価方法

木材の曲げ易さを評価する方法として、材を一定の曲率 (1/R) の型により曲げ、曲げ限界の曲率を確認することがある。このとき、板厚さ (H) の何倍の曲率半径 (R) まで曲げられるか、(R/H) が指標として用いられる。(R/H) は一定の曲率に曲げたときに材に生じる歪みの逆数であるから、この値は小さいほど、材がよく曲がることを示している。帯鉄を使わずに曲げるときは、材に生じる引張り歪みは、H/(2R) で示されるが、トーネット法の場合は主に圧縮歪みにより曲げを行うためこのときに生じる圧縮歪み (H/R) の逆数を指標として用いている。ブナでは、(H/R) はほぼ 3 倍といわれているが、このときの逆数が圧縮歪みであるから、この場合 33 % もの圧縮歪みが材の内側に生じていることになる。

本試験では、試験材の量が十分でなく、上記の実

際の曲げによる評価方法がとれなかったため、小試験体による曲げ、及び圧縮試験を行い、材に生じる最大引張り歪み、圧縮率を実測し、圧縮処理材の可塑性を評価した。

#### 3・3・2 圧縮処理材の曲げ試験結果

圧縮処理材の曲げ試験結果を表 2 に示す。ここで、曲げ撓み ( ) より材に生じる引張り歪み ( cal) を次の式により計算で求めた。

$$cal = 6 (H / L^2) \quad (1)$$

ここで、H: 材厚, L: 曲げスパン

(1) 式は材料を中央集中荷重により曲げたとき、弾性域において成立する。

試験体ブナ B に生じた引張り歪みの計算値 ( cal) と実測値 ( ob) との関係を図 4 に示した。計算値 ( cal) と実測値 ( ob) は初期弾性域においては比較的一致するが、破壊までの中間部では適合性は低い。破壊に近づくに従い適合性が良くなること、ほとんどの場合、計算値は実測値よりも低くなり、生じる歪みを過大に評価することはないと考え、参考値として表に示した。

歪み測定の実測値は表 3 に示した。破壊時の最大歪みの測定はできなかった。変位、歪みともにブナ材が大きな値を示した。中でも試験材 A から取ったブナ試験片の変形が特に大きく、気乾状態でも歪みの測定値が 17.4% と大きな値を示した。圧縮側は吸湿状態でかなりの圧縮率を期待できるので、帯鉄を使わずにブナ材の曲げ限界までコールドベンディングができる可能性を示している。このシステムでは極限的な曲げを行うときに帯鉄の使用を推奨しているが、この場合均一な曲げを行う

補助治具として使用するものと思われる。ブナAの曲げ変形，歪み測定を図5に示すが，変形が大きくなると滑りを生じ，材を押し切り治具の下についてしまい強度の測定ができなかった。

試験材Bより取ったブナ試験片，吸湿状態のナラ材，タモ材は無処理の材に比べて大きな変形を生じたが，歪みの測定値は，試験材の残留圧縮率を超えなかった。これらの材のコールドベンディングを行うには帯鉄が必要となる。

ブナコントロール材の曲げ試験結果を表4に示すが，繊維飽和点以上の水分を吸水しても変位は気乾材に比べ4割ほどしか増大しておらず，処理材が吸水材の変形量の数倍の変形を示すのは圧縮処理の効果によるものと考えられる。

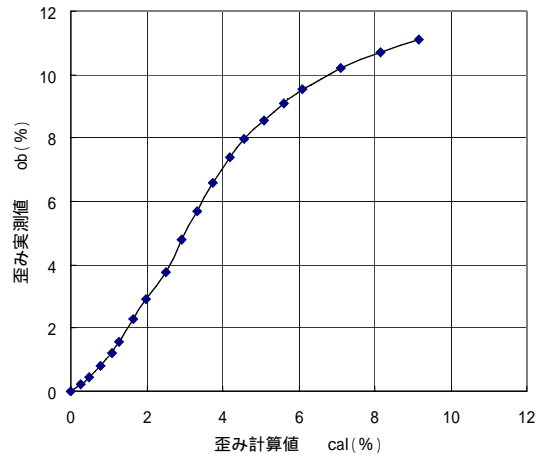


図4 歪みの計算値と実測値（ブナB）

表3 圧縮材の曲げ試験結果

試験材	最大変位 max (mm)	歪み測定時変位 (mm)	歪み計算値 cal (%)	歪み測定値 ob (%)
ブナA	150	150	15.3	17.2
ブナB	91.8	90	9.2	11.1
ナラ	74.1	69.6	7.1	7.1
タモ	87.7	73.8	7.5	7.7
ブナA気乾*	115	115	18	17.4
ブナB気乾	89.5	86	8.8	8.5

\* 試験片寸法 20mm×30mm 曲げスパン280mmで試験を行う

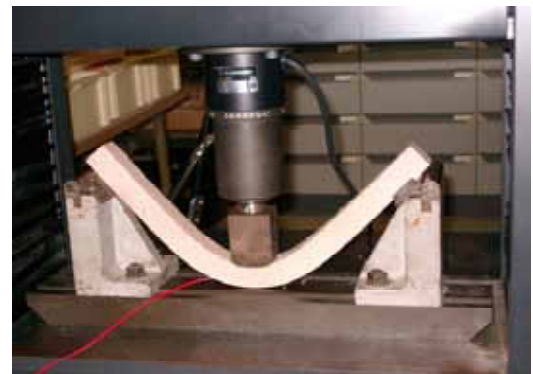


図5 圧縮処理材の曲げ試験（ブナ材）

表4 ブナコントロール材の曲げ試験結果

試験材	曲げヤング率 Eb (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強度 b (N/mm <sup>2</sup> )	密度 ru (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 u (%)	最大変位 (mm)	歪み cal (%)
ブナA	9.59	90.90	0.58	11.30	15.10	1.50
ブナB	7.32	45.70	0.75	51.00	20.50	2.10

### 3・3・3 圧縮処理材の圧縮試験結果

処理材の圧縮試験結果を表5に，ブナコントロール材の圧縮試験結果を表6に示す。

圧縮歪みは，引張り歪みと異なり，無処理材でも

水分を吸水することで大きく歪み量が増大することがわかった。圧縮歪みでは，圧縮処理よりも水分の影響が大きく，このシステムは，常温で曲げを行う

表5 圧縮処理材の圧縮試験結果

試験材	圧縮強さ b(N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮率 c(%)	密度 r <sub>u</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 u(%)
ブナA	34.6	22.5	0.62	17.2
ブナB	31.8	19	0.61	16
ナラ	33.2	22.2	0.72	16.8
タモ	19.5	16.1	0.45	20.1

表6 ブナコントロール材の圧縮試験結果

試験材	圧縮強さ b(N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮率 c(%)	密度 r <sub>u</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 u(%)
ブナA	43.8	2.6	0.58	10.1
ブナB	17.3	21.5	0.75	51

ので、圧縮歪みを増大させるためにも、20%以上の含水率で曲げ加工を行うのが望ましい。

#### 3・3・4 試験材の材質

試験材の強度、密度から見て、使用したブナ材、ナラ材は平均的な材質のものと考えられる。タモ材には、強度的に弱い材が含まれていた。

木材は一般に含水率1%増大すると、4%の強度の低減があると言われており、試験材には吸湿に伴う強度の低下が見られた。また、傾向として、大きな変形を示した試験材の強度、ヤング係数が大きく低減している。一般の湿潤材は、乾燥にともない強度は復元するが、圧縮処理材は強度の復元が十分行われておらず、乾燥使用時の強度不足がやや懸念される。

#### 4 まとめ

コンブウッドシステムによる材の加工を行った。加工自体に難しい操作はなかったが、材の膨張が予想以上に大きかったため、材全体を均一に縦圧縮処理することができなかった。これは用意した材の含水率が推奨の20%よりも低く材寸法の膨張が大きかったためである。

コンブウッド材の小試験体で、曲げ試験、圧縮試験を行い、材の可塑性について検討した結果、試験材の中には常温で大きな変形を示すものがあり、圧縮前処理をすることで、トーネット法によらない曲げ木が可能であることが確かめられた。

#### 謝 辞

本研究を行うにあたり、コンブウッドシステムにより、材の加工をして頂きました、岩手県工業技術センター 上席専門研究員の浪崎安治氏並びに有賀康弘氏に深く感謝致します。

