

モウソウチク材の展開による平板製造技術の開発

木材工業部 米藏優, 遠矢良太郎, 上原守峰, 山之内清竜

Development on Production of Flat Board with Expansion of Mosochiku

Masaru YONEKURA, Ryotaro TOYA, Morimine KANBARA and Kiyotatsu YAMANOUCI

竹材資源の有効利用と用途拡大を目的として、モウソウチク曲面材を長尺幅広に展開するための条件等を決定し、その製造技術の開発と検討を行った。竹材の軟化と展開率は素材内部温度約140℃まで加熱温度と比例し向上するが、それ以上の高温域では材質劣化が生じてくる。展開竹平板製造装置の加熱機構を開発検討する場合、電磁波加熱としての高周波電極片面並列方式も有効な方法である。

また、今回の試験結果から、これまで困難とされていた長尺竹平板の連続生産が可能である製造技術と製造装置の基礎技術が確立できた(特許出願)。

1. はじめに

鹿児島県は、全国一の竹材生産県であり、数多くの竹製品が製造されている。なかでも、モウソウチクの積層集成材を利用した製品を特徴としている。

竹積層集成材は、反り、収縮などの欠点が少なく、材料としても極めて安定しており、かつ、美観にも優れていることから工芸品のみでなく、家具用材、建材などへの利用化が試みられている。しかし竹材は木材と比較して、組織配列が異なり同一部位において表皮側、内皮側で組織密度が異なる。さらに、表皮側と内皮側で曲率半径が異なるなど材質の特徴があるので板材として利用する場合、現時点では、円弧状の竹材の展開技術が十分確立されていないために、30~40mm幅程度の割竹から平板を製造して、積層・集成化を行っている。そのため長尺幅広積層集成材を得るには、製造コストが高かつき、中小工芸品としての利用に止まり、大型製品への利用化を困難にしている。従って、曲面材からの平板製造技術開発が、今後の大

きな課題となっている。

しかしながら、本県の竹加工業界は、零細企業が多いためにリスクを伴う竹曲面材の展開技術開発への対応は難しく、従って、これら曲面材の展開技術開発に対する業界の要望が大きい。

このようなことから、竹材の有効利用と業界の要望に応えるために、モウソウチク曲面材から長尺幅広に展開する製造技術を研究開発したので報告する。

本研究では、モウソウチク曲面材から長尺幅広な竹平板に展開するための条件等を決定し、その製造技術を開発して平板としての利用化、積層集成材の製造コストの低減、大型製品としての家具、建具、建材等利用面の開拓及び大量に生産される県産モウソウチク資源の有効利用と需要拡大と地場産業の活性化を図ることを目標としている。

この目標を達成するために、次の項目を掲げた。

- (1) モウソウチク曲面材の軟化・熱処理条件の確立
- (2) 表皮、内皮、節等の影響の解明
- (3) 平板製造条件の確立

(4) 平板利用製品の試作, 開発

なお, 今回の研究範囲としては, 上記研究項目の成果を利用して生産効率を考慮し, 連続的に竹平板を製造できる機械装置の開発と実用化に向けての技術確立も併せて行うことにした。

2. 実験方法

2.1 モウソウチク曲面材の軟化・熱処理条件の確立

モウソウチク曲面材を平板に展開するための前処理方法として, 軟化に最適な加熱方法・加熱条件を定める。

表1 比較した加熱装置の概要

加熱方式	機種・仕様
外部熱伝導	電気定温加熱機 メーカー名: ヤマト科学 型式: DK43 仕様: 40~210℃
	オートクレーブ メーカー名: 中川鉄工所 仕様: 内容積 0.4m ³ 蒸気圧力: ~5kgf/cm ²
電磁波加熱	高周波加熱装置 メーカー名: 富士電波工機 型式: FDY-1001 仕様: 周波数 6.7MHZ 出力~10KW
	マイクロ波加熱装置 メーカー名: 新日本無線 型式: NJE2206 仕様: 周波数 2450MHZ 出力~5KW

2.1.1 モウソウチク材に対する加熱方式による加熱効率の比較検討

試験方法は, 表1の加熱装置で外部からの熱伝導によるものと直接内部を加熱する電磁波加熱方式に分けて, モウソウチク材の内外部の加熱上昇速度を測定し, 比較検討を行った。

2.1.2 モウソウチク材の加熱温度と材質変化に関する試験

試験材は鹿児島県宮之城町地区の竹齢3年生のモウソウチク材を元口から1.5mを除き, その上部2m長さで中心部直径約120mmの材を使用し, それぞれを縦1/3分割にし, さらに図1の形状に加工した後, すぐに両木口面を耐熱塗料にてコーティングした試験片を丸竹一本当たり各72個で合計360個作成し, 下記の項目について測定を行った。

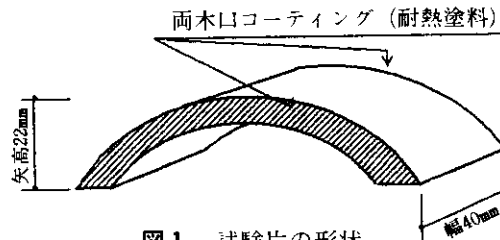


図1 試験片の形状

- (1) 試験片含水率
丸竹1/3分割材から各6個取り出し, 絶乾法により測定した。
- (2) 加熱前の矢高
加熱する前に材料試験機の定盤上で1/100mmダイヤルゲージで測定した。
- (3) 加熱温度
加熱温度を常温~180℃までの8段階に設定し, それぞれφ1.0mm熱電対を材中15mmの深さに埋め込み測定した。
- (4) 加熱後の矢高
設定温度加熱後に材料試験機の定盤上で1/100mmダイヤルゲージで測定した。
- (5) 破壊荷重
圧縮破壊時の荷重を材料試験機で測定した。
- (6) 破壊時の矢高
圧縮破壊時に材料試験機の定盤上で1/100mmダイヤルゲージで測定した。
- (7) 試験片材厚
1/100mmデジタルノギスで測定した。
- (8) 炭化着色度

圧縮破壊後に加熱による着色度を0～3の4段階に分類した。

(9) 割裂深さ

圧縮破壊時の割裂深さにより1/3, 1/2, 2/3, 1の4段階に分類した。

2.1.3 高周波加熱方法の検討。

上記結果から竹曲面材を加熱する方式として展開機械における高周波加熱方法を検討するため、その電極配列方法と出力調整等の加熱能力試験を行い、さらに加熱部の機構の設計と検討を行った。

2.1.4 加熱軟化展開機構部の材質検討

高周波加熱方式による加熱展開部の材質としてエポキシ樹脂、アルミナセメント、セラミックキャストの曲げ強度、耐摩耗性、耐熱性、電気絶縁性について、構造材料を選定するための適応試験を行った。

2.2 表皮、内皮、節等の影響の解明

表皮、内皮及び節が熱処理条件に及ぼす影響を比較検討した。また節部分が展開の際に示す挙動について、節削除の方法や熱処理条件の関連について検討した。

2.3 平板製造条件の確立

上記の検討結果をもとに平板展開のための加工法と得られた平板に関する品質検討を行い平板利用化のための最適製造条件を検討した。

2.3.1 マイクロ波加熱装置による展開加圧試験

展開治具を用いた荷重条件による展開平板の製造、及び品質評価の試験を行い、平板の品質に関する検討を行った。

2.3.2 展開装置による諸条件設定の検討及び平板製造試験

今回の研究過程において開発し、購入した展開装置で平板製造試験を行い、実用化としての精度向上のための検討を行った。

2.4 平板利用製品の試作、開発

展開した竹材を製品としての利用品質評価を行

い、応用加工法の検討を行った。

そこで、節付き長尺展開平板として利用価値があり、即利用可能と思われる建築内装建材としてのフローリングを製作してみた。

3. 結果と考察

3.1 モウソウチク曲面材の軟化・熱処理条件の確立

3.1.1 モウソウチク材に対する加熱方式による加熱効率の比較検討

加熱効率については、外部からの熱伝導によるものと直接内部を加熱する電磁波加熱方式に分けて試験を行った。

その結果オートクレーブは他の電磁波加熱方式に比べ温度上昇速度は約50%と遅いが、釜の中での高圧蒸気処理法であるため沸点以上の高温域では逆に電磁方式より速くなる傾向にある。

また軟化処理だけで考慮すると高含有水分をある程度維持しながらでの温度上昇であるので、かなり良い結果が得られた。しかし同時に高温高圧による岸化着色現象もかなり早いので、圧力調整と処理時間等に配慮する必要がある。また釜出し後、軟化温度を維持しながらの加圧展開工程への作業性が悪い等の支障も伴う結果となった。

次に電気定温加熱機による加熱法では、加熱速度の遅さのため処理時間が長くなるので炭化着色が約140℃から発生し始める。また高温急速加熱では、材内部と表層部での収縮差による割れが発生しやすい、さらにオートクレーブ同様に作業性の悪さ等の問題もある。

電磁波加熱方式として高周波、及びマイクロ波加熱を採用したが、高周波加熱はマイクロ波加熱と同様に出力によって加熱速度もかなり速く調整でき、マイクロ波はその照射室内に置くだけで良いのに比べ、高周波はその電極で被加熱物を挟み密着させる必要があるため、竹材の形状からして従来の方法では困難であった。そこで今回はそれ

それぞれの電極を片面側に並列にした方法で検討してみた結果、竹材に関しては有効な方法であることが判った。

3.1.2 モウソウチク材の加熱温度と材質変化に関する試験

モウソウチク曲面材を加圧展開する際の最適加熱軟化温度を求めめるため、常温から180℃の範囲で試験した結果を表2に示す。

表2 モウソウチク材の加熱展開試験結果 (試験片別平均値)

試験片含水率 (%)	設定温度 (℃)	試験片材厚 (mm)	矢高測定値 (mm)			破壊重荷 (kg)	炭化着色度 0~3*	割深さ
			加熱前 (a)	加熱後 (b)	破壊時 (c)			
試験片 A 39.8	24	8.2	21.8	21.8	19.3	106.2	0	1.0
	60	8.0	22.0	21.8	18.8	91.9	0	1.0
	80	8.1	21.8	21.1	17.5	75.6	0	1.0
	100	8.0	21.8	20.0	16.0	70.1	0	1.0
	120	7.8	21.8	17.4	13.7	78.3	0	2/3
	140	7.9	21.7	15.5	13.1	82.9	1	1.0
	160	7.9	21.7	15.4	13.0	83.2	2	1.0
	180	8.0	21.8	15.2	13.2	71.6	3	1.0
試験片 B 45.1	24	8.3	21.9	21.9	19.3	113.3	0	1.0
	60	8.4	22.1	22.0	19.1	88.2	0	1.0
	80	8.4	21.8	21.3	18.0	78.0	0	1.0
	100	8.3	21.8	20.4	16.5	68.6	0	1.0
	120	8.3	21.8	19.6	14.6	70.9	0	2/3
	140	8.1	21.8	15.2	12.8	83.9	1	1.0
	160	8.2	21.9	15.2	13.0	81.8	2	2/3
	180	8.3	21.9	14.9	12.8	66.9	3	1.0
試験片 C 62.6	24	10.8	21.7	21.7	19.6	180.9	0	1.0
	60	10.5	21.8	21.7	19.2	121.7	0	1.0
	80	10.0	21.7	20.6	17.8	85.9	0	1.0
	100	10.3	21.7	19.9	16.9	81.3	0	1/2
	120	10.0	21.7	18.3	14.9	84.2	0	1/2
	140	9.5	21.6	16.6	13.8	101.8	1	2/3
	160	9.4	21.8	17.1	14.2	86.1	2	2/3
	180	9.0	21.7	16.2	13.7	72.0	3	1/2
試験片 D 69.4	24	8.9	21.9	21.9	19.4	140.6	0	1.0
	60	8.8	21.9	20.8	18.6	97.9	0	1.0
	80	9.0	21.8	20.3	17.7	73.6	0	1.0
	100	8.3	21.7	19.2	16.0	60.9	0	1.0
	120	8.4	21.7	18.7	15.0	66.0	0	2/3
	140	8.4	21.7	15.7	12.8	98.0	1	1
	160	8.9	21.7	15.4	13.5	89.3	2	2/3
	180	8.7	21.8	15.7	13.4	93.4	3	1

*炭化着色度 0:無着色 1~3:薄茶色~焦げ茶色

【試験片展開率の計算方法】

加熱時の展開率 : $\frac{a-b}{a-t} \times 100(\%)$

加圧時の展開率 : $\frac{b-c}{a-t} \times 100(\%)$

総展開率 : $\frac{a-c}{a-t} \times 100(\%)$

- ※
- t : 試験片の材厚
 - a : 加熱前の矢高
 - b : 加熱後の矢高
 - c : 圧縮破壊時の矢高

表2の試験結果からモウソウチク材の加熱温度と材質変化を検討するために、それぞれの項目について算出し、その結果を図2に示す。

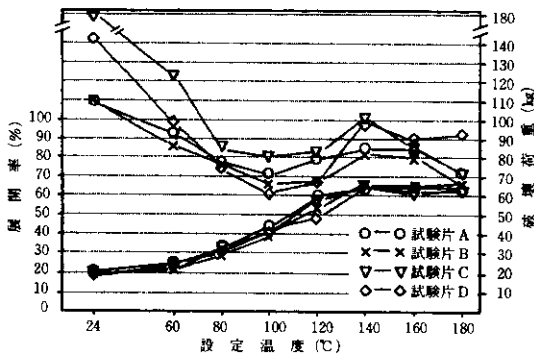


図2 温度による展開率と破壊荷重

表2と図2の実験結果から展開率としては140℃以上ではほぼ一定するが、材質変化の観点では炭化着色も同時に発生し始まっている。またその時の割裂深さは120℃を境に浅くなる傾向を示した。

さらに破壊荷重は100℃と180℃がそれぞれ小さい値を示した。これは材質変化結果等を考慮すると100℃までは、材の軟化による荷重の低下ではあるが、120℃からは高温による材の硬化現象が始まり、180℃からは炭化による材質もろさの影響が生じていると考えられる。

さらに含有水分に関しては、予測通り軟化にある程度よい影響を与えている結果を示していることが判る。

3.1.3 高周波加熱方法の検討。

展開機械装置としての加熱方法を検討する際、理想的には、

- (1) 材の内外部で均一に、しかも急速に加熱できること。
- (2) 加熱しながら加圧展開が連続的にできること。
- (3) 加熱機構部が構造上簡素化できること。
- (4) 機械本体が加熱される等、他の部品に影響を与えないこと。
- (5) 機械装置での作業安全上で問題が無いこと。

等が、挙げられるので、これらの観点から機械装置の設計上の検討を行った。

この場合、高周波加熱法が、考えられる加熱方式として多くの要素で合致しているので、高周波加熱について、加熱方法（電極配列、出力調整）と加熱能力の試験も同時に行った。

その結果、従来の被加熱物を二枚の容量電極の間に挟んで加熱する方法では形状が中空、不規則円形である竹の加熱には、困難であった。

そこで、被加熱物の片面だけに容量電極を接触させる方法を検討したところ、容量電極を並列に配列して接触させる方式が、木材等では材厚約20mmまでは誘電による加熱の可能性があることが判った。

次に、この方式を竹材に応用するため実験を試みたところ、竹材表皮側に電極配列することで加熱でき、また竹材の場合、材厚平均が約10mmであることから、加熱方法として利用可能であることが判った。

また、この高周波加熱による容量電極の片面並列方式は、高周波出力ならびに周波数によって加熱速度の調整もできるようである。

以上のことからこの方式であれば、加熱機構部の送材等が他の加熱装置に比べ効率よく、また簡

素化でき、さらに加熱装置自体が、製品加工分野で比較的広く応用できるなどのため、今回の展開装置の軟化加熱部として、この方式を採用することとした。

3.1.4 加熱軟化展開機構部の材質検討

上記結果を踏まえて、展開装置の加熱機構に高周波加熱方式を採用するための加熱展開部の材質の選定についての検討も行った。

加熱展開部の構造としては高周波の容量電極を埋め込み、更に圧縮加重を加えながら展開成型するため、電気絶縁と耐摩耗性が大きく、かつ耐熱性と強度的にも優れている材質を選定の条件としてエポキシ樹脂とアルミナセメントならびにセラミックキャストの曲げと摩耗等についての材料試験を行った。

表3 比較した試験材の概要

試験材	耐熱性エポキシ樹脂	アルミナセメント	セラミックキャスト
メーカー	国際ケミカル プラスセメント RT-416	電気化学工業 デンカアルミナセメント1号	電気化学工業他 低セメントキャストブル Hi3%添加系
施工法	注型加熱硬化	<ul style="list-style-type: none"> ・セメント：砂=7：3 ・セメント：砂=5：5 ・セメント：砂：ガラス繊維=5：5：3 	<ul style="list-style-type: none"> ・焼結アルミナ配合物+アルミナセメント配合物+添加剤を1,000℃で焼結

その結果、エポキシ樹脂の耐熱温度とアルミナセメントの摩耗性で十分な結果が得られなかったが、セラミックキャストについては、その焼結材がそれぞれの条件を満たした。

またセラミックキャストを構造材料として金具埋め込み焼結試験と高周波片面並列電極による誘電加熱についての試験を行い、その適合性も確認した。

さらに施工の容易さ、経済性も加えて加熱展開テーブルとしてセラミックキャストを利用することに決めた。

3.2 表皮、内皮、節等の影響の解明

各条件形状の試験材による展開時の割れ発生状況の観測検討を行った結果、いずれの試験材条件においても節を有するものが割れ発生に大きく影響を及ぼしていた。また外皮側に薄くするほど展開は容易になるが、それは竹材の放射方向での組織密度の違いの減少に起因するだけで内皮と外皮の有無の影響は少ないという結果が得られた。

また、展開しようとする竹材に、節部が複数個存在すると、それぞれが相互に割れ発生時に干渉

し合って、さらに割れ易い結果にもなった。

このことから長尺な竹曲面材の展開においては表皮、内皮の有無よりも複数存在する節部での割れ抑制についての対応が課題であると推測された。

従って本研究では、以後この節部の影響を少なくするため、加熱温度、厚さの調整、及び展開荷重条件を設定するための治工具等により、どの程度節部の割れを抑制できるか試験検討を重ねることとした。

3.3 平板製造条件の確立

3.3.1 マイクロ波加熱装置による展開加圧試験

上記試験結果から、長尺な竹曲面材の展開、特に節部についてマイクロ波加熱装置内で適正温度に加熱しながら、展開治具を用い、図3に示す荷重条件による展開平板の製造、及び品質評価の試験を行い、展開装置としての加圧部各機構の設計上の検討を行った。

この試験結果では、図3の①から⑥の順に平板となる成功率は高くなった。更にそれぞれの割れ方を比較検討してみると①は、必ず少なくとも約

1/4間隔で3本の深い割れが生じ、②から④の順に割れの数が増え浅くなる傾向がみられた。また特に⑤、⑥については、表皮側の圧縮が働き、内皮側の引っ張りによる割れを抑制していることが確認できた。

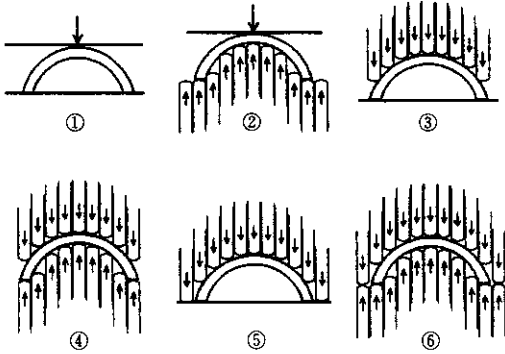


図3 展開治具による荷重条件

次に上記展開結果において、竹曲面材の展開荷重過程で生じる竹曲面材自体の応力発生分布を調べ、最適荷重方法の検討を進めた。

竹曲面材の展開荷重条件での応力分布を調べるために下図4に示すように、半割材の16等分割点を、それぞれ展開する場合の荷重の負荷点とした。

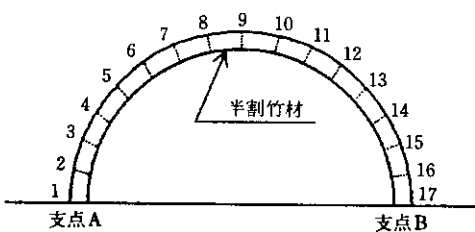


図4 展開荷重の負荷点

計測方法としては、分割した区間を1スパンとして考え、展開荷重を加えた段階で、それぞれの“軸力”、“せん断力”、“曲げモーメント”を調べて応力を算出した。

なお荷重重量としては、合計で210Kgfとし、垂直方向の荷重とした。以下それぞれの条件での応力の分布結果を図5～7に示す。

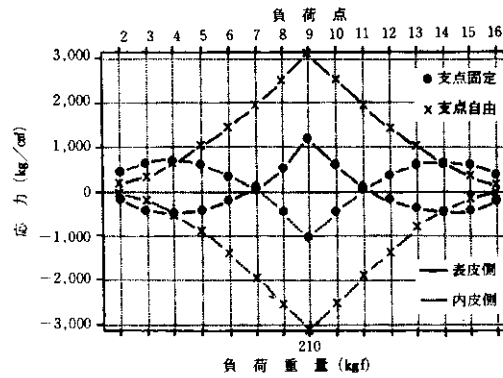


図5 中心部に集中負荷

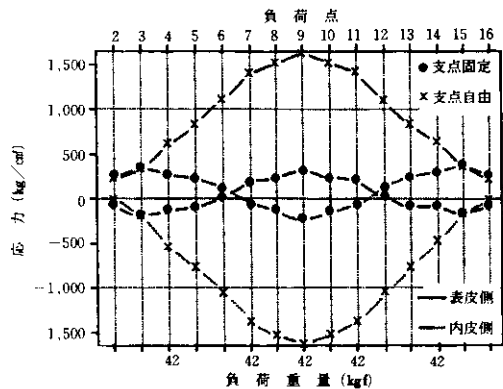


図6 5箇所に負荷

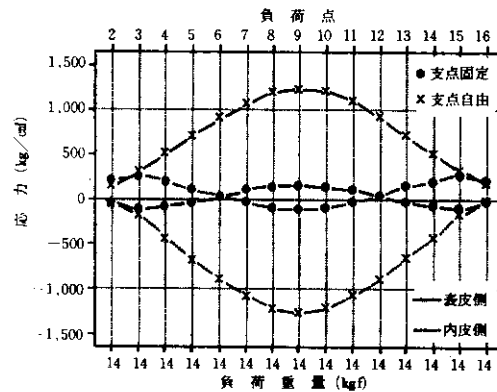


図7 15箇所に負荷

以上の図で示されるように、図5の集中荷重の場合、中央部外皮面側に大きな圧縮応力と中央部内皮面側には大きな引っ張り応力が生ずることが

わかる。しかし、竹材の両端の支点を固定することにより、それぞれの応力が大きく抑制されると同時に、竹材の両端に近い部分でそれぞれの応力が反転し、その差も大きくなっていることが判る。

つまり、中央部の集中負荷の場合、竹材繊維直交方向の機械的性質である圧縮強さと圧縮塑性及び割裂性のため中央部の内皮側に割れが発生し易い。同時に両支点を固定すれば、ある程度割れは抑制されるが、竹材の両端に近い部分で外皮側にも割れる傾向が生じてくる。

次に、図6、図7で示されるように、総負荷を同じにして5、15等分と負荷箇所を平均して竹材の全面に加えることで特定の部分に引っ張り応力が集中されることのないように拡散される傾向が判る。

また、この際に竹両端を固定あるいは抑止するような力を加えることにより、それぞれの応力をかなり抑制し小さく分散する働きもあることが判る。

【短尺竹材の簡易的展開治具の開発について】

以上の竹展開のための要素を考慮することにより、今回の実験で用いた下図8の展開治具が多少改良を加えることにより、将来、竹展開のための安価で簡易的な治具として応用できないか検討を加えてみた。

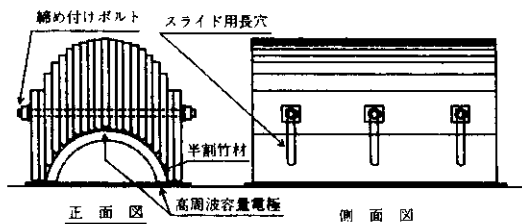


図8 展開治具概略図

これを見極めるためプレス盤上で実際に圧縮する試験を繰り返し、具体的部品の改良と展開加圧時の作用、及び竹材の展開結果の評価等を行った。

試験結果では、この展開治具を利用することにより、竹材の長さは限定されるが、ある程度高い確率で展開が可能であることが判った。

また、この展開治具を用いた場合、図5～図7と同様に総負荷210Kgfで応力分布を算出すると図9に示すような傾向を示した。

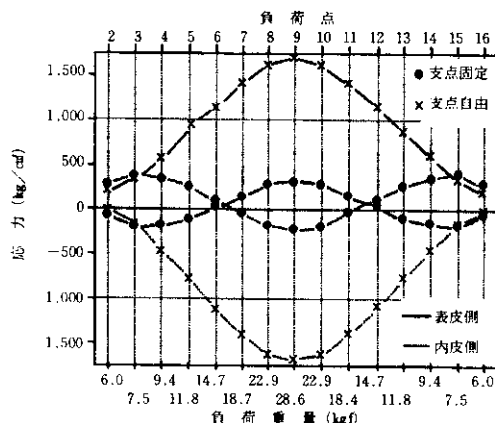


図9 展開治具での負荷

この図から竹材の全面に負荷を加えた図7と同じ様な応力分布を示しており、この展開治具もある程度引っ張り応力の抑制と分散効果があり、展開治具として有効なものとなり得ることが推測された。

この展開治具の展開過程での作用効果については、以下の分析結果が得られた。

まずプレスでの加圧当初、展開治具の中央部の治具単板のみに押し下げ荷重が加わるが、それぞれの治具単板はボルトにより強く締め付けられているため、左右の治具単板にも伝達分散される。

また加圧される竹材の変形に応じ展開治具の単板は、竹の外皮面に当接する形で加圧するので、竹に対する負荷が集中されない。

さらに図9に示すように、竹材の両端に近い部分で外皮面側に引っ張り応力が生じるが、竹材の外皮面には展開治具の単板が当接しているため、この部分での応力による変形は抑えられ、割れを

防止する効果がある。

以上のことから、この展開治具を実用機として開発するには、単板の材質、加熱軟化の簡略化、プレスとの一体化、横締め付け機の簡略化、竹形状の広範囲での対応化等の改善と、更に展開精度の向上のための検討を重ねれば十分に適用できる方式であると思われる。

【長尺竹材の展開装置の開発について】

次に、これらの試験結果をもとに目的とする長尺幅広な竹平板を得る展開装置としての機能を充分発揮できるように主要な機構について検討を加えながら設計図案化した。

つまり建築部材ならびに大型家具用材を想定した長尺なモウソウチク材を効率よく展開する機械装置開発について検討を進めた。

それには、生産現場向きな実用機の開発を目標にし、まず今回の研究で各条件設定の可能な実験機能の備わった装置を製作することとした。

以下、機械装置の設計図案化の検討は、試験結果からも下記の項目の活かされた機械装置にすることが、より実用機に近いものになると思われるので、これらの観点で進めた。

- (1) 最適加熱温度により材が軟化された状態で展開加圧する。
- (2) 展開加圧は竹材の幅方向全体に均一に働くようにし、また内皮側の引っ張り応力を小さく分

散させる作用を持たせる。

- (3) 竹展開過程で竹材の異方向の変形を制止し、また竹材に生ずる応力を抑制するために外周面を常に覆い接し一体として展開させて行く。
- (4) 展開時に内皮側の引っ張り応力を抑制、分散するような圧縮を加える。

また、生産効率の向上と加熱展開工程の効率性において、展開工程前の竹材の素材形状を整えるための前処理加工を簡略化する機械も併せて検討することとした。

〈前処理加工機〉

展開装置の展開工程に送る前段階を考えた場合、長さ切断された竹材は縦割り機械等で半割りされる。この半割りされただけの竹では、竹の内皮側の節隔壁の内皮、及び外皮側の節部と外皮等の凸部が残っているので、これらを取り除く必要がある。さらに長尺材の場合、竹材の元側の径と末側の径とに大きな差があるので、展開装置で一定した割れ抑制圧を加えるためにも割り竹材の円弧長をなるべく整える必要がある。

以上の前処理の工程で縦割り竹材をなるべく一定形状にできれば竹展開平板製造の工程が一連の効率よい流れとなり、最終的な平板製品の製造コスト低減のための効果も期待できる。

そこで、図10のような前処理加工機を設計製作した。この前処理加工機では、送り込まれる半割

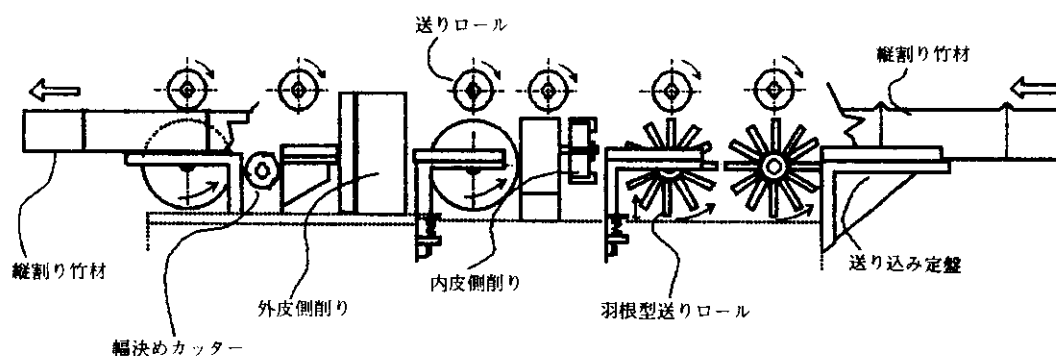


図10 前処理加工機の概略図

り竹材の径と肉厚と円形状の違い、及び反り等で、自動送材による連続切削加工には、かなりの困難な点も多かった。そこで、今後の研究で改良しながら最適構造を決定して行くために、大部分の機構部は、可動型にして広範囲での調整が可能な構造にした。

〈加熱展開装置〉

前述したように、今回の研究で幅広い長尺竹平板を製造する展開装置を開発する際の目標として

は、下記のような項目が充足された機械装置として設計検討を進めた。

- (1) 竹平板が連続製造でき、生産性が良いこと。
- (2) 付帯機械設備を必要としないこと。
- (3) 作業者が高度な技術を必要としないこと。
- (4) 高額な機械装置とならないこと。

その結果、高周波により加熱軟化しながら、トンネル状の展開テーブルと圧延送りローラで展開することを特徴とした図11のような加熱展開装置を設計製作した。

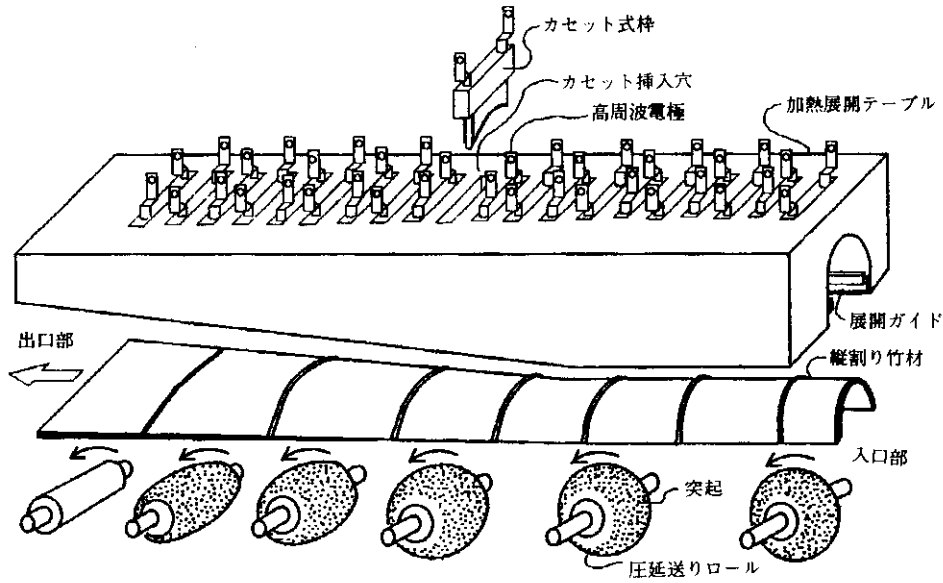


図11 加熱展開テーブルの概略図

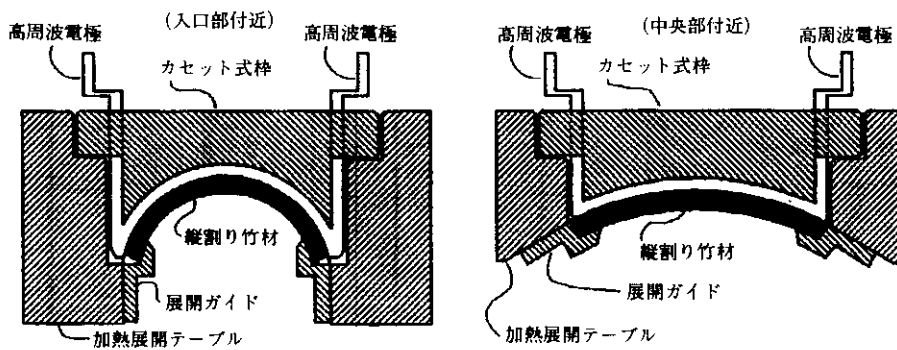


図12 加熱展開テーブル内の概略横断面図

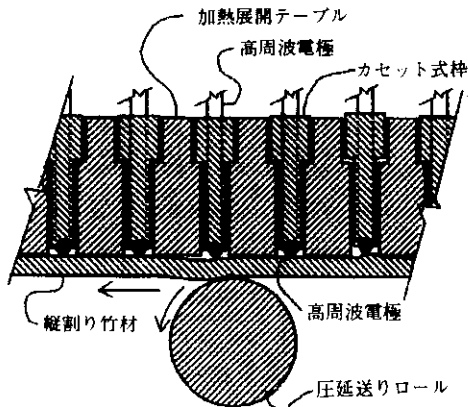


図13 加熱展開テーブル内概略断面図

長尺な縦割り竹材を展開するにあたり、割れを起こさないようにするためには、力が一部に集中することなく、全面均等な加圧力で、しかも内皮側での引っ張り応力を低下させ、小さく分散させる加圧展開方法を設定する必要がある。

この加熱展開装置は、入口部の半円形から段階的に曲率半径を大きくし、出口部で平面形とするトンネルと展開ガイド、及び加熱装置を有する加熱展開テーブルと、圧延送りロールにより構成される。

以下、主要機構部の作用を説明する。

・加熱展開テーブル

加熱展開テーブルのトンネルは、送り込む縦割り竹材の展開過程に於いて、常に外皮面に接する形状としている。つまり、図に示すように、入口部は半円形であるが、縦割り竹材の進行方向にしたがって次第に曲率半径が大となり、出口部では平面形となる。

・展開ガイド

また、加熱展開テーブルのトンネルの内側には、展開ガイドが取り付けられている。加熱展開テーブルと展開ガイドは、挿入された縦割り竹材を全体的に均等に加圧しながら、徐々に曲率半径を大きくさせる作用をする。

つまり、この展開ガイドは、縦割り竹材を加熱

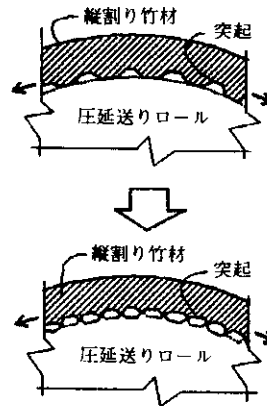


図14 圧延送りロールの作用概略図

展開テーブルのトンネル側に引き付け外周全体を常に包み込みながら、内皮側の引っ張り応力を抑止しつつ密着しているので、展開する過程で生じる引っ張り応力が、全体的に均等に小さく分散されるため、長尺竹平板の縦割れ防止の作用がある。

・高周波電極

加熱展開テーブルの中には、図に示すように、複数個の高周波電極が、縦割り竹材の進行方向と直角に適当な間隔で並列に配列している。それぞれの各高周波電極はカセット式枠に埋め込まれている。カセット式枠は、加熱展開テーブルの上面に適当な間隔で長方形に開けられた穴に上方から挿入され上下に移動できるようにする。

このカセット式枠の底面は、トンネルの内側面の曲率と同じ曲率とし、この底面に位置する高周波電極も同じ曲率で曲げられているため、縦割り竹材の外皮側の表面に接触し誘電加熱するものである。

この方法は、被加熱物が移動することで全体に均一な加熱となり、電極に接触する竹材だけが加熱されるので極めて有効である。

・圧延送りロール

加熱展開テーブルの下方には、挿入された縦割り竹材の内皮側に接するよう複数個の圧延送りロールを設置している。圧延送りロールは、入口部の円弧ロールから、次第に曲率に変化し、最終的

に平ロールにする。

なお、この圧延送りロールの表面には、多数の突起を不規則に設けている。この突起は、縦割り竹材を滑ることなく確実に保持し、送り込む働きがある。

また同時に、これらの突起は、図14に示すように、加熱軟化された縦割り竹材の内皮側を細かく、凹凸状に型押しする。

この複数個並べられた圧延送りロールのそれぞれの突起が、不規則に配置されていることから内皮側に加わる力は、一定箇所に限定されないため、それぞれの凹凸部の型押しがずれが生じ、凸に型押しされた部分が、以後の圧延送りロールによって、凹にされることになる。

つまり、縦割り竹材の内皮側全面の細部において、“しわ”を延ばす働きが生ずることになり、加圧展開する際に、内皮側を延び易くすることにより、そこに生じる引っ張り応力を緩和させ、かつ小さく分散させる作用を持つ。

以上のように加熱展開装置に挿入された縦割り竹材は、入口部の半円形から段階的に曲率半径を大きくし出口部で平面形となるトンネル状の加熱展開テーブルに装着された高周波電極の作用で、外皮側から加熱軟化される。これと同時に、内皮側に設けられた展開ガイドと表面に不規則に突起を設けた複数個の圧延送りロールによって、内皮

側に加わる引っ張り応力を緩和し、かつ小さく分散する作用を与えながら進行方向にしたがって順次展開され、平板となることとなる。

なお今回の加熱展開装置には、操作の簡素化と精度の向上、及び安全性を目的とした自動化も検討するために、竹材の加熱温度を測定する赤外線センサーと竹材加熱温度により各種制御を行うPCコントローラー、及びインバーター等も装備したものとした。

また上記の前処理加工機と加熱展開装置は、展開装置一式として機械製作所に依頼したが、展開テーブル部については、作成した設計図をもとに三次元NCプログラムを作成し、実際にNCルータ等で木型と型枠を加工製作し、更にセラミックキャスターで注型した後、焼結まで行いカセット型高周波電極を含んだ加熱展開テーブルを製作した。

3.3.2 展開装置による諸条件設定の検討、及び平板製造試験

試験結果から段階的に設計製作した今回の装置で諸条件設定し、具体的に検討を重ねるために実際に半割り竹材を竹材前処理加工機(写真1)で加工し、次の加熱展開装置(写真2)に送り込み、平板製造試験を繰り返し行った結果、以下のことが認められた。



写真1 前処理加工機

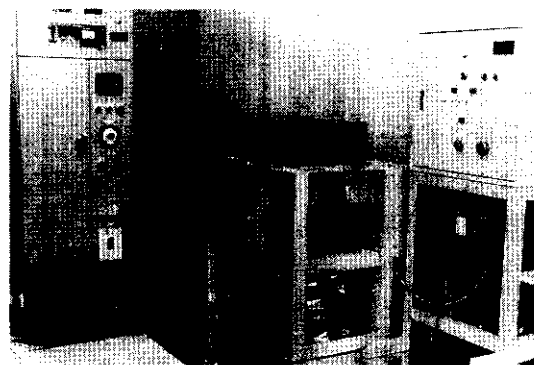


写真2 加熱展開装置

(1) 竹材前処理加工機

(a) 内外皮削り部の刃物は、被加工材が肉薄な円筒状であり、かつ半円状であるため、送材と研削加工を同時に行うためには、切削抵抗を極力抑える必要がある。

そのためには、切れ刃が単なる平刃ではなく、スパイラル状か刃物自体が回転するスクリュウ形式、研磨材等による切削機構も試験する必要がある。

(b) 次の展開と展開機構をより容易で簡素化するためには、内外皮削り部での研削を切込み量の一定ではなく、研削時の基準決め定規等を用いて研削後の材厚を一定にする機構も設計検討する必要がある。

(c) 縦割り竹材の横断面の外周長さをより正確に一定にすることは、展開精度を向上させるために重要な要素である。その観点で検討すると、例えば幅決めカッターでの加工を竹材の径が異なっている前処理加工時ではなく、ある程度強制的に径が統一されている加熱展開の前半で行うことも考える必要がある。

(2) 加熱展開装置

(a) 加熱展開装置での高周波による加熱軟化の効率には、含水率が影響する。これは加熱方法が高周波による誘電加熱であるため含有水分の高い方が、加熱軟化効率がよくなる傾向を示した。その含水率については約60%以上が良い結果を得た。

また、低含水率のものについては、前処理加工した後、竹材を水に浸漬し調整する必要がある。

(b) 縦割り竹材に表皮が付いたままの場合、その竹が生材であるため、加熱により油脂分が外皮表面に蒸出して、正負の電極間に油脂分が溜り、集中的通電のためスパークしてしまう原因となるので、油脂成分を取り去る必要がある。但し、油脂成分のほとんどが竹材の外皮に含まれているので、竹材前処理加工機で縦割り竹材の外皮を削り取るように調整するか、あるいは一般的に行われてい

る方法で油脂成分を除去しても良い。

(c) 展開時の割れを防止するため、縦割り竹材の幅方向に圧縮抑止しながら展開テーブルのトンネルに引き付ける展開ガイドがあるが、送り込む竹材の径によっては圧縮量が多くなるために竹材とガイドとの摩擦抵抗が大きくなり、止まってしまうことが起きるので、展開ガイドの圧縮面を全面レールでなく、可動式ロール等も試すべきである。

(d) 加熱展開装置に於ける展開平板生産性としての送材速度は、加熱速度に左右されるので、この高周波電極方式での加熱速度の調整法で考えられる高周波出力、高周波周波数、電極の間隔等を検討する必要がある。

(e) 挿入される竹材の径に対し、更に広い範囲で対応できるように展開テーブル部と圧延送りロール部の構造を検討する必要がある（現機械は直径約 130 ± 10 mm）。

以上のように、この実際的な製造試験を行いながら、機械装置としての有効性を検討した中で上記の項目が認められたが、今後この展開装置を高い精度と生産性を付加させた実用機として開発するためには、これらの点の見直しと改良、更にもっと細部の追加検討が必要と思われる。

その意味からも断片的で基礎的な範囲ではあるが、今回の展開装置で長尺なモウソウチク曲面材が連続的に展開できる機械装置として技術の確立は多少出来たと思われる。

3.4 平板利用製品の試作、開発

展開した竹平板材を製品としての応用化の評価を行い、更に応用加工法の検討を行った。

その結果、展開された竹平板はまだ含水率がかなり高いので、製品化の前に、まず乾燥する必要がある。

ここで、もし竹曲面が完全に展開され平状になっていなくても、表皮と内皮側を荒削りし、そのまま乾燥した後、再度仕上げ削りを行う工程にすれば、乾燥による材の反りが展開方向に反るので

仕上がり歩留まりが良くなるようである。

また、展開平板の戻りについては、木材の曲げ加工と違って、再度加湿と高温加熱しない限り含有水分変化による戻りはほとんど生じないようである。今回は試作品として、まず節付き長尺展開平板として利用価値があり、即利用可能と思われる建築内装壁材とフローリング材に応用してみた。

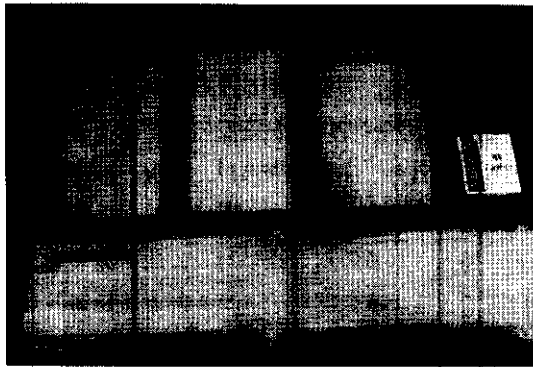


写真3 モウソウチク材の展開平板



写真4 展開平板利用の試作品

その他の応用として、今後は竹積層・集成材の大型家具等への利用化、長尺幅広材利用による成形家具、建具部材等への利用拡大も期待できると思われる。

さらに今後、製品化を考える場合、竹材だけ利用する純竹製品はもちろんであるが、木材や合成樹脂、及び金属等との複合製品として応用することにより他にはない竹特有の清潔感、強靱さ、涼

しさ、及び弾力性等の竹材の材質的利点が活かされた魅力ある製品化としても期待できると思われる。

4. おわりに

この研究を進めている時期に、関係業界が竹材の利用に対して急速に関心が高めるようになった。これは、わが国に対し各国から批判を浴びた森林資源の乱伐問題、輸入木材の規制等が深刻な課題として表面化し、このため関係業界が、短期間の供給が可能で、豊富な竹材資源に対し見直し、注目し始めたことにも起因する。

そのため少なからずとも竹材の有効利用を目指した課題に取り組んでいる本研究としては、重責を感じつつ、より真剣にさせられるところがあった。

なお今回の研究を終え、その途中で当初の研究項目の範囲を広げ、試験結果による技術確立として機械装置の開発に重点を置いたので、結果的には研究時間のかなりの部分を設計と製作関係に費やすこととなり、ある意味からは全体的に不十分なものとなってしまった感もある。

しかしながら、本事業で目指している研究目標はほぼ達成されたと思っているし、さらには今後この技術を生産現場に移すために必要な関連技術までも集約化できるなど意義ある成果になったことも確かである。

参 考 文 献

- 1) 北原覺一：木材物理
- 2) 宮澤健二：建築構造設計のためのBASIC
- 3) 林業試験場編：木材工業ハンドブック
- 4) 鈴木寧：竹材の研究（東大演習林報告）
- 5) 豊口克平，他：インテリアデザイン事典
- 6) 太田基：竹材の性質に関する研究（九大ク）
- 7) 吉原英夫，他：機械工学概論
- 8) 遠矢良太郎：モウソウチク材の機械的性質