

I 研究報告

1. 特産品開発研究

1.1 木材（豊後杉）の高度利用技術の開発研究

—杉材の表面硬化及び加飾技術の開発研究—

石井信義**、大野善隆***、大内成司**

1. はじめに

大分県は、秋田県や奈良県に並ぶ杉材（豊後杉）の産地である。近年は、戦後植栽されたこれら杉材の伐期にあたるため、多量に産出〔年間850,000m³（平成元年）〕されているが、豊後杉は、軟質材のため、素材供給に近い一時加工的な製材品（足場板、建築造作用材等）としての利用が大半を占め、建築内装材等への利用はごく僅かである。

豊後杉を建築内装材として活用するためには材質の軟らかさを改善することが必要である。この豊後杉の軟らかさは、大きな年輪幅（平均年輪幅9～10mm）に起因するものと考えられる。つまり豊後杉は、比較的材質の軟らかい春材部の占める割合が非常に大きいために、これが豊後杉全体の材質を支配していると考えられる。軟質材の硬さを増大させるための方法としては、樹脂注入がよく行われる。本方法は、注入された樹脂による細胞膜の強化と細胞空隙の充てん効果を期待するものであるが、これには相応の設備と技術的ノウハウを必要とし、汎用的な手法とはいえない。

本研究では、豊後杉を圧縮加工することによって、密度の増大を図り、材質の改善を行うとともに、春材部と秋材部との圧縮加工の受け方のちがいにもとづく凹凸をひとつの模様として生かす技術の開発を試みた。

（本研究は、平成2年度技術開発研究費補助

事業による公設試験研究機関の共同研究〈木質製品の改質及び高付加価値化の研究〉の分担研究課題として実施したものである。）

2. 実験方法

2.1 表面硬化試験

2.1.1 供試材

供試材には、気乾材（含水率12～20%）を使用し、試験片の寸法を80×40×20mmとした。

2.1.2 圧縮及び遠赤外線照射

圧縮圧力は、3条件（30、40、50kgf/cm²）とし、平板金型（表面平滑、100×100mm）で圧縮後、遠赤外線照射により試験片の表面温度を100℃まで上昇させたままの状態で5分間保持した。ついで、表面温度が室温まで下がってから硬さの測定を行った。

なお、硬さの測定は、JIS Z2117に準拠して行い、圧縮処理には、オルゼン式木材万能試験機（5ton）を使用した。

2.2 杉材の表面加飾試験

2.2.1 マイクロ波照射による材表面軟化試験

表面加飾（凹凸）をスムーズに施すためにはあらかじめ材質をできるだけ軟質化させておくことが必要である。

そこで、マイクロ波照射装置〔新日本無線（株）製、NJE6204A型〕を用いて、マイクロ波照射による材質の軟質化を図り軟化度を測定した。

加工技術研究室 *塗装技術研究室

(1) 供試材

供試材は、2.1.1の気乾材を使用し、試験片の寸法を450×145×15mmとした。

(2) 照射条件

条件設定は、試験片の内部温度が95～100℃、表面温度が90～95℃になるように照射時間の調整によって行った。

なお、軟化の度合（硬さ測定）は、JIS Z2117に準拠し、オルゼン式木材万能試験機（5 ton）を使用した。

(3) 内部温度の測定

含水率12～20%の供試材を用いて、表面温度をそれぞれ20、40、60、80、100℃に設定した場合の内部温度を測定した。

内部温度は、試験片の側面中心部にあらかじめ穿孔しておいた直径3mmの穴に針状型温度センサを差し込んで測定した。

測定機器は、ハンディタイプデジタル表面温度計〔株チノー製〕を用いた。

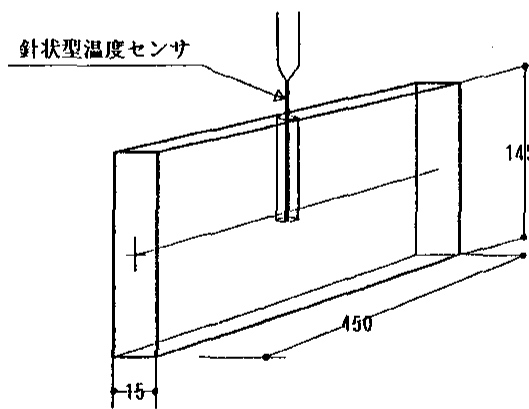


図-1 内部温度の測定 (mm)

2.2.2 表面加飾試験

硬質ゴムや幾何学的パターンを有する平板金型を杉材の表面に押し付ける方法を採用して、表面加飾（凹凸）を試みた。予備試験の結果、

加飾に用いるゴムの硬度は、春材部と秋材部のほぼ中間が最適であることが判明したので、硬度60 (ASTM表示) のゴムを採用した。また平板金型 (JIS、SS41) の寸法は、450×150×80 mmとした。

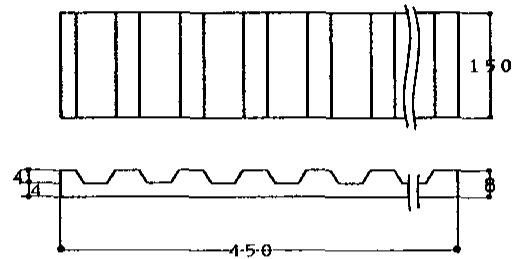


図-2 平板金型の形状 (mm)

(1) 供試材

供試材には、含水率12～20%、30～40%、50～60%にそれぞれ調湿したものを使用した。

なお、試験片の寸法を450×145×15mmとし、図-3に示す木口断面の年輪形状のうち、A及びBに対しては硬質ゴムで、また、Cに対しては平板金型でそれぞれ加飾を試みた。

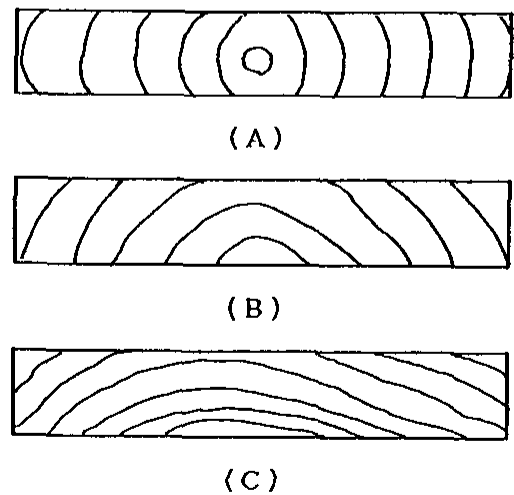


図-3 木口断面年輪形状

(2) 自動加飾機の開発

表面加飾をむりなく、連続的に施すための装置として自動加飾機を設計し試作した。

自動加飾機の性能は、予備実験の結果を参考にして供試材の厚みが最大30mmまで対応できるようにし、加工幅は200mmとした。また供試材

を圧縮しながら送り出すローラ径は、150mmとした。加圧は、最大7,500kg fとし手動による圧力調整とした。送材の速度調整は、諸条件に対応できるように無段階変速機を採用した。図-4に自動加飾機と表-1に仕様概要を示した。

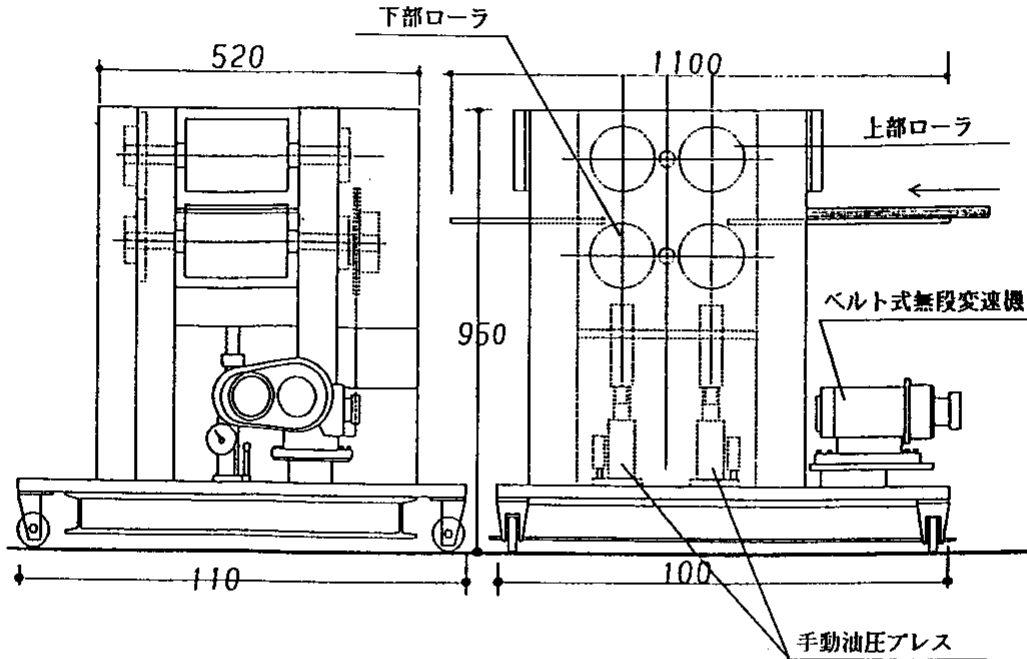


図-4 自動加飾機 (mm)

表-1 自動加飾機使用概要

項目	内容
製品加工可能寸法	最大幅 200mm 最大厚 30mm 最小長 200mm
送入テーブル台長さ	300mm
加圧ローラ	材質SS41 (鉄) (直径150φmm, 幅200mm)
加圧方法	手動油圧プレス
最大加圧力	7.5ton
送り速度	3~10cm/分(ベルト式無段階変速機) 東京変速機(株) 型式AWDZ4150
加飾ローラ	材質SS41 (鉄) ・数量-1 (直径150φmm, 幅200mm)
機械寸法	1000W×1100D×95H
機械重量	800kg
塗装色	L4-733
加圧・加飾ローラ上下移動所	m a x 30mm
要電力	A C 200V-400W-4相

(3) 表面温度と圧縮圧力

試験片の表面温度は、30℃、60℃及び90℃の3段階とした。圧縮圧力つまり押しつけ圧は、800~1,000kg f、1,200~1,400kg f、1,600~1,800kg fの3条件を組み合わせ加飾効果を検討した。

なお、加飾過程における圧力分布は、感圧紙〔富士写真フィルム(株)の低圧用及び中圧用〕を用いて測定した。さらに、硬質ゴムでの加飾効果(凹凸)を数値表現するため、加飾直後に木口面の写真撮影を行ない、拡大写真上で春材部と秋材部との差をめり込み深さとして測定し比較検討を行った。

(4) 表面加飾

加飾加工には、マイクロ波照射装置と自動加飾機を連動させて表面加飾を試みた。

まず、試験片にマイクロ波を照射して、所定の表面温度に達してから直ちに、試験片の表面（木表）に加飾加工材（硬質ゴムあるいは平板金型）を密着させ、裏面（木裏）には当て板を添えて、ローラの間を通して加飾を行った。

図-5に加飾加工フロー図を示し、図-6にマイクロ波照射装置を示した。

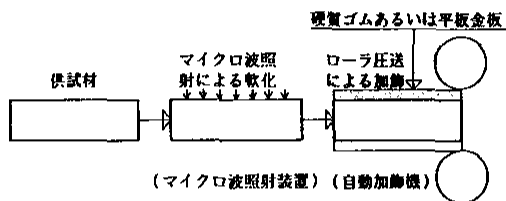


図-5 加飾加工フロー図

2.3.3 圧縮加飾後の表面安定性試験

加飾材（硬質ゴムによる加飾）の表面形状（凹凸）の変化を、次の条件で測定した。

- (1) 自然環境（温度5～15℃、湿度50～60%）
- (2) 高湿度環境（温度30±3℃、湿度80±3%）

なお、(2)の環境は、恒温恒湿槽〔榎田葉井製作所PL-2A型〕を用い設定した。

2.3.4 塗装による表面処理試験

表面加飾材（硬質ゴムによる加飾）を着色剤（顔料系ステイン）で着色後、酸硬化型アミノアルキッド塗料をフローコーター塗装機〔岩田塗装機工業（株）製FL-S3E型〕で塗布した。

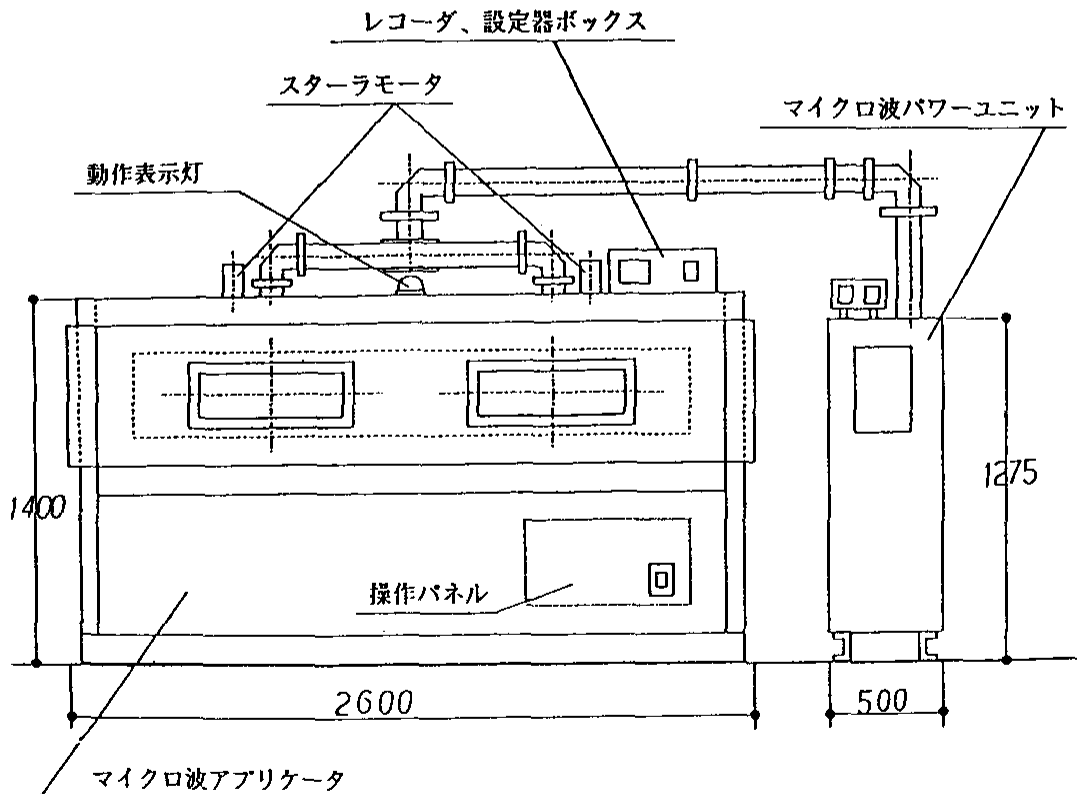


図-6 マイクロ波照射装置 (mm)

3. 試験結果とその考察

3.1 表面硬化試験

遠赤外線加熱による硬さの変化を図-7に、また、圧縮圧力と硬さとの関係を図-8にそれぞれ示した。図-7から、遠赤外線照射加熱することによって硬度が増大する傾向が認められた。また、図-8から、圧縮圧力の増加にともない、表面硬度が増大する傾向が認められた。よって、圧縮と遠赤外線加熱を併用することで、硬度増大への相乗効果が期待できるものと考えられる。

しかし、表面加飾材(硬質ゴムにて加飾)の表面硬度は、表面の凹凸が大きいため測定できなかったが、これらの試験結果から表面加飾材の表面硬度は、増大しているものと推測される。

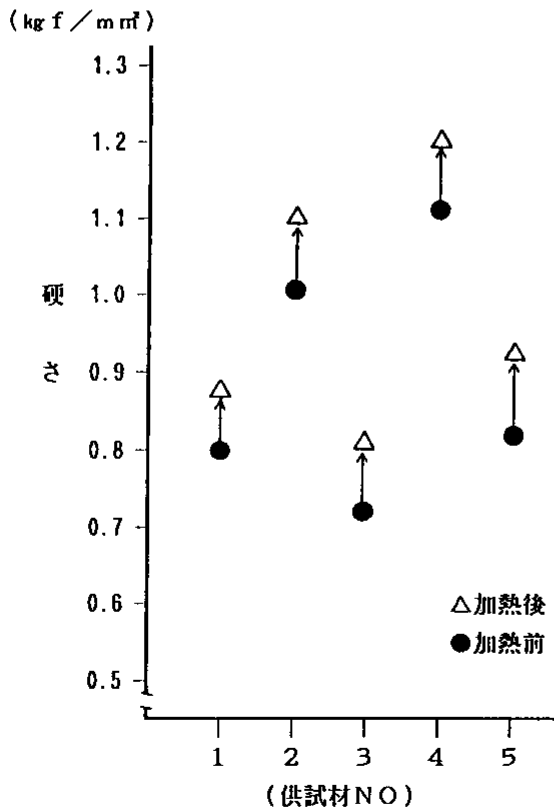


図-7 遠赤外線加熱による硬さの変化

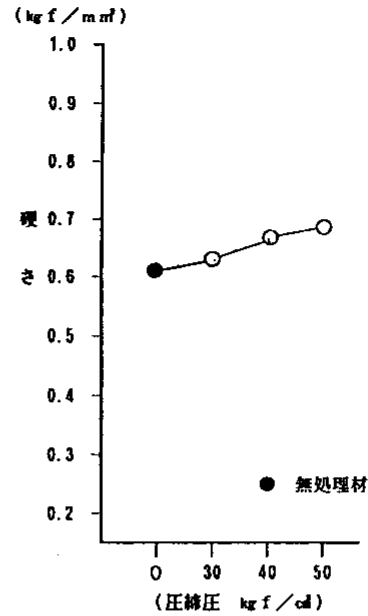


図-8 圧縮圧力と硬さの変化

3.2 杉材の表面加飾試験

3.2.1 表面軟化試験

マイクロ波照射による硬さの変化を図-9に示した。杉材は、マイクロ波照射によってその硬さが5~20%程度低下する傾向が認められた。

これは、マイクロ波照射によって、木材内部が発熱し、木材内部の水蒸気圧が高められるために、木材内部の水分が蒸気の状態では木材表層部へ移行して、あたかも蒸煮と同様の効果をもたらされたためと考えられる。

また、図-10には、マイクロ波照射による表面温度と内部温度との関係を示した。表面温度と内部温度との差は、表面温度を60℃及び80℃にセットした場合に約30℃と最も大きく、100℃の場合は、約20℃と逆に小さくなった。

前述の効果をもたらすには、表面温度と内部温度との差が大きいほどよいので、表面温度を60℃~90℃に設定するのが材表面を軟化させるためには最も良いと判断される。

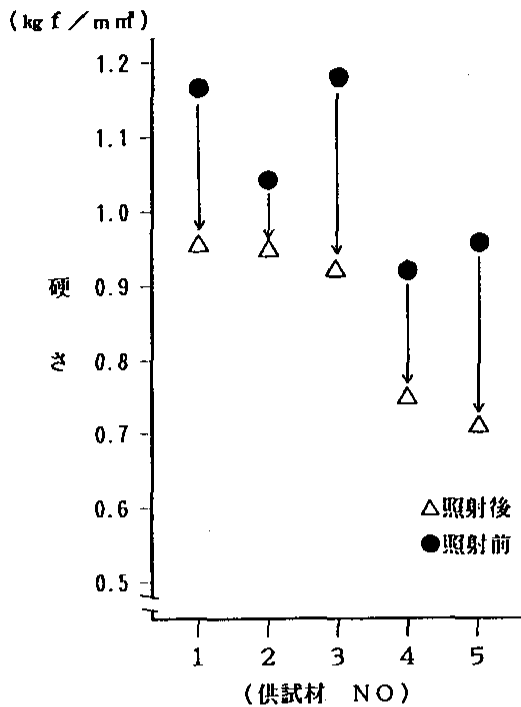


図-9 マイクロ波照射による硬さの変化

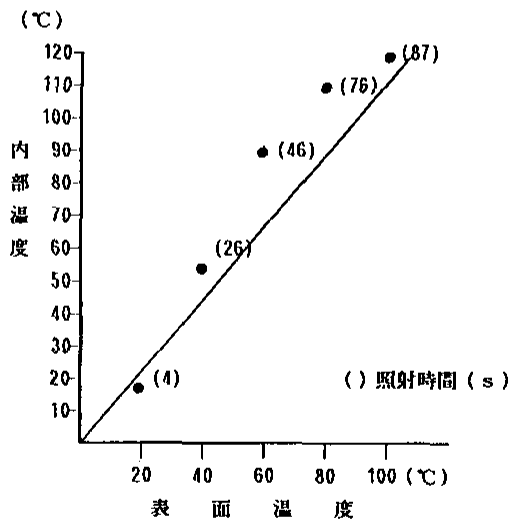


図-10 表面温度と内部温度との関係

3.2.2 表面加飾試験

(1) 硬質ゴムによる表面加飾

含水率の異なる供試材の表面温度の違いによるめり込み深さと圧縮圧力との関係を図-11～

13にそれぞれ示す。めり込み深さは、含水率12～20% (図-11) の供試材が最も大きい値を示した。含水率30～40%及び50～60% (図-12・13) の供試材は、すべて0.5mm以下という小さな値であった。それは、マイクロ波を照射後硬質ゴムで圧縮している間は、加飾が施されているものの、圧縮処理後にもどりが生じたためである。また、各供試材とも圧縮圧力が大きくなるにつれて、めり込み深さが増大する傾向が認められた。特に、含水率12～20%の供試材を1,600～1,800kg fで圧縮加飾した場合、1.0mm以上のめり込み深さが観測される場合もあった。

表面温度の影響については、温度が上昇するにつれてめり込み深さが増大する傾向が認められた。

供試材の木口断面年輪形状 [前項2.2.2(1)] 別に比較すると、A及びBとも表面加飾を施すことは可能であるが、供試材の年輪幅が大きい方が加飾 (凹凸) の効果は良好であった。

これら一連の試験から、材表面に加飾 (凹凸) を施すには、年輪幅の大きな材料を選択して、その含水率を12～20%に調湿し、圧縮圧力1,600～1,800kg f、表面温度60～90℃で行うことが最善であると結論づけられる。

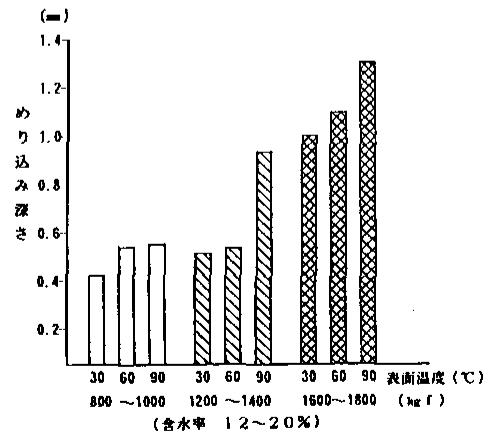


図-11 圧縮圧力とめり込み深さ

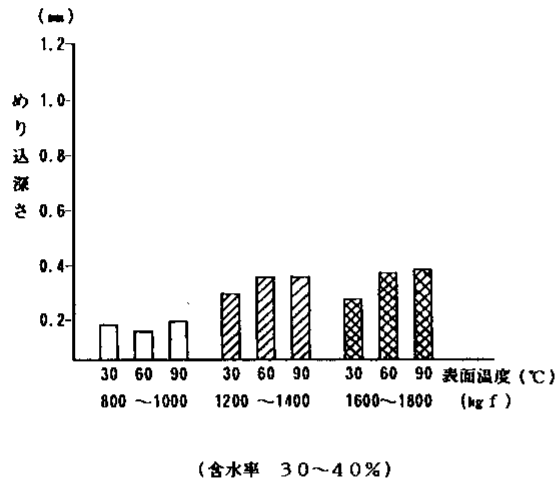


図-12 圧縮圧力とめり込み深さ

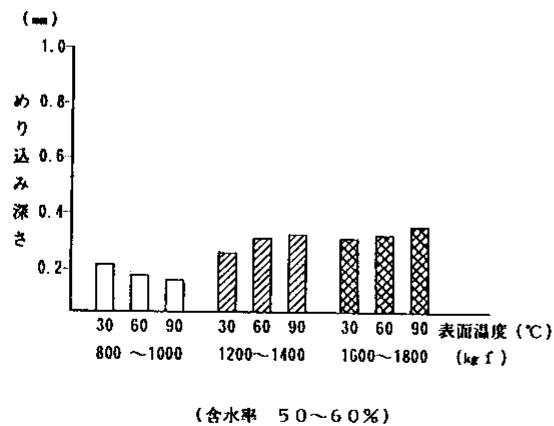


図-13 圧縮圧力とめり込み深さ

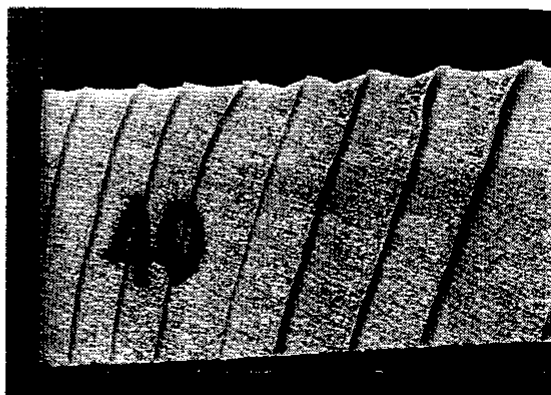
(2) 平板金型による表面加飾

平板金型での加飾は、春材部と秋材部が同一の圧縮圧力で押しつけられるために、硬質ゴムによる加飾とは基本的に異なると考えられる。

表面温度 (30℃、60℃、90℃)、圧縮圧力 (800~1,000kgf、1,200~1,400kgf、1,600~1,800kgf)とも3条件別々に実施し、加飾効果を視覚によって評価した。

その結果、すべての加飾材は木破も生じず、0.2~0.4mm程度のめり込み深さでも、凹凸が明確であり幾何学的パターンを施すことができた。

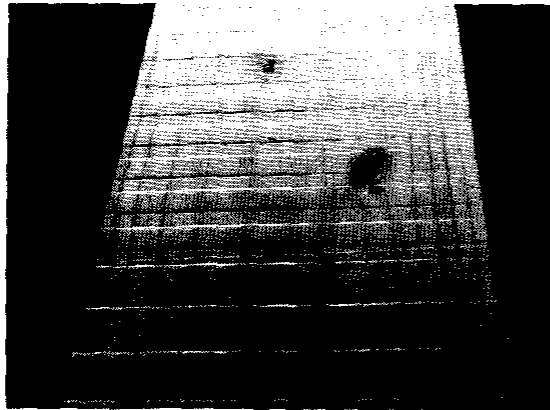
図-14に硬質ゴムでの加飾直後の木口断面形状、また、図-15に平板金型での加飾後の表面形状を示した。さらに、図-16・17には、感圧紙によるそれぞれの圧力分布の状態を示した。感圧紙から圧力値を読みとるべく、専用濃度計〔富士写真フィルム(株)製FPD301〕で濃度値の測定を試みたが、濃度の分布状態が不均一のため読みとりができなかった。



(含水率:12~20% 表面温度:60℃)

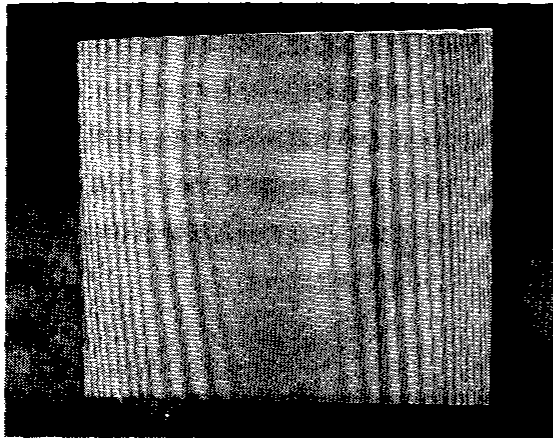
(圧縮圧力:1,600~1,800kgf)

図-14 加飾後の木口断面



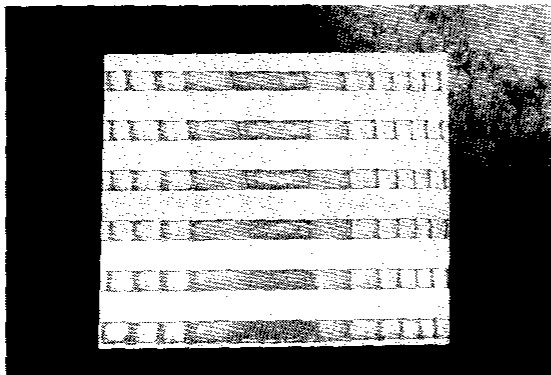
(含水率：15%)
 (表面温度：90℃)
 (圧縮圧力：1,600～1,800kg f)

図-15 加飾後の表面形状



(図-14の加飾材)

図-16 感圧紙による圧力分布



(図-15の加飾材)

図-17 感圧紙による圧力分布

3.2.3 圧縮加飾後の表面安定性試験

(1) 自然環境下

表面加飾材のめり込み深さの変化(もどり)を加飾直後、24時間後、1、2、3週間後及び1ヶ月後に測定した。表2～4に加飾直後から1ヶ月間にわたるめり込み深さの変化を示した。含水率12～20%の加飾材は、加飾直後0.5mm以上のものが7片あったが、1ヶ月後には5片になった。このもどりは、春材部の膨張によるものと考えられる。しかし、もどりが0.1～0.2mmなので、加飾効果には影響しないと考えられる。含水率30～40%、50～60%の加飾材は、めり込み深さの変化(もどり)は認められなかったが、室内に放置中に乾燥が進み反狂が生じた。

(2) 高湿度環境下

加飾直後、24時間後および1週間後におけるもどりを表-5に示した。1週間後には、すべての加飾材において、加飾直後の深さの約50%のもどりが観測された。また、加飾材には、反狂も生じた。

以上の結果から、加飾材を高温多湿下に放置することは加飾効果を低減させるので、加飾後は、直ちに表面処理を行うことが必要と考えられる。

表-2 むり込み深さの経時変化
(含水率：12~20%)

No	試験条件		むり込み深さ (mm)					
	温度 (°C)	圧縮圧 (kg f)	加飾直後	24時間後	1週間後	2週間後	3週間後	1ヶ月後
1	30	800~1000	0.41	0.32	0.32	0.24	0.24	0.26
2	60	800~1000	0.50	0.48	0.45	0.48	0.44	0.52
3	90	800~1000	0.35	0.34	0.32	0.32	0.27	0.24
4	30	1200~1400	0.52	0.56	0.51	0.41	0.41	0.41
5	60	1200~1400	0.52	0.55	0.50	0.40	0.40	0.36
6	90	1200~1400	0.74	0.65	0.65	0.63	0.59	0.63
7	30	1600~1800	0.96	0.88	0.86	0.78	0.75	0.77
8	60	1600~1800	1.08	1.13	1.08	1.04	1.01	1.04
9	90	1600~1800	1.33	1.35	1.34	1.17	1.11	1.24

表-4 むり込み深さの経時変化
(含水率：50~60%)

No	試験条件		むり込み深さ (mm)					
	温度 (°C)	圧縮圧 (kg f)	加飾直後	24時間後	1週間後	2週間後	3週間後	1ヶ月後
1	30	800~1000	0.28	0.26	0.24	0.18	0.18	0.16
2	60	800~1000	0.27	0.22	0.23	0.24	0.23	0.19
3	90	800~1000	0.11	0.16	0.11	0.11	0.09	0.11
4	30	1200~1400	0.42	0.42	0.40	0.42	0.44	0.40
5	60	1200~1400	0.45	0.34	0.42	0.43	0.42	0.40
6	90	1200~1400	0.57	0.51	0.53	0.45	0.45	0.47
7	30	1600~1800	0.51	0.46	0.42	0.44	0.44	0.44
8	60	1600~1800	0.50	0.49	0.54	0.52	0.44	0.45
9	90	1600~1800	0.75	0.73	0.71	0.75	0.67	0.71

表-3 むり込み深さの経時変化
(含水率：30~40%)

No	試験条件		むり込み深さ (mm)					
	温度 (°C)	圧縮圧 (kg f)	加飾直後	24時間後	1週間後	2週間後	3週間後	1ヶ月後
1	30	800~1000	0.22	0.19	0.17	0.17	0.15	0.13
2	60	800~1000	0.11	0.13	0.09	0.12	0.04	0.12
3	90	800~1000	0.23	0.24	0.20	0.23	0.22	0.20
4	30	1200~1400	0.33	0.35	0.30	0.27	0.26	0.24
5	60	1200~1400	0.48	0.47	0.48	0.44	0.44	0.44
6	90	1200~1400	0.27	0.28	0.29	0.32	0.30	0.28
7	30	1600~1800	0.32	0.34	0.30	0.22	0.22	0.24
8	60	1600~1800	0.58	0.65	0.56	0.61	0.52	0.53
9	90	1600~1800	0.41	0.46	0.44	0.44	0.44	0.46

表-5 むり込み深さの経時変化
(含水率：12~20%)
(温度：30±3°C)
(湿度：80±3%)

No	試験条件		むり込み深さ (mm)					
	温度 (°C)	圧縮圧 (kg f)	加飾直後	24時間後	1週間後	2週間後	3週間後	1ヶ月後
1	30	800~1000	0.08	0.08	0.06			
2	60	800~1000	0.27	0.19	0.16			
3	90	800~1000	0.39	0.20	0.15			
4	30	1200~1400	0.69	0.43	0.39			
5	60	1200~1400	0.32	0.24	0.16			
6	90	1200~1400	0.39	0.24	0.24			
7	30	1600~1800	0.75	0.60	0.48			
8	60	1600~1800	0.22	0.20	0.24			
9	90	1600~1800	0.67	0.43	0.46			

3.3 塗装による表面処理試験

表面加飾材の視覚的な凹凸感の強調と商品価値を高めるために、着色剤と塗料での表面処理を行ない、その効果を検討した。

(1) 着色効果の検討

それぞれの表面加飾材に顔料系ステインで木地着色（下塗り）を行ない、その上から汎用ウレタン塗料を塗布して比較検討した。その結果、ステインの色は、淡色系の方が凹凸効果を高めることが判明した。

(2) 塗料効果の検討

表面加飾材に汎用ウレタン塗料および白木用酸化硬化型アミノアルキッド塗料を塗布して比較検討した。その結果、使用した塗料の違いよりも「つや」のある塗料の方が凹凸感を強調することが判明した。

なお、表面処理は、仕上り製品の品質を左右するので着色剤や塗料の選択には注意が必要である。図-18~22に表面処理を行ったサンプルの一部とその工程を示した。

4. まとめ

本研究は、豊後杉の欠点である材質の軟らかさをマイクロ波照射装置や自動加飾機を用いることによって、杉材の硬さを増大させるとともに、その表面に加飾をほどこすことを試みたものである。

本研究より、下記のことが明確となった。

- (1) 杉材は、これを圧縮後遠赤外線加熱すればその硬さを増大させることができる。
- (2) 一方、杉材にマイクロ波を照射することによって、表層部を軟化させることができる。
- (3) (1)と(2)から、圧縮加工による硬化の前にマイクロ波照射を行い、紋様を有する治具を用いて圧縮加工を行うことによって、杉材の表面加

飾と硬化を同時に行えることが確認された。

- (4) 表面加飾効果（凹凸）は、含水率12~20%の供試材において最も顕著に認められた。
- (5) 加飾材のもどりは、自然環境下でほとんど生じないことが確認できた。
- (6) 淡色系の着色材で下塗りして、つやのある塗料で塗装すれば凹凸感が強調される。

上記の成果技術を活用することによって、特色ある建築内装材等の開発が可能であり、地場産業の活性化につながることを切に期待する。

最後に、本研究の推進を通じて終始ご指導、ご配慮いただきました製品科学研究所・長沢長八郎主任研究官ならびに、ご協力いただきました森林総合研究所・千葉保人科長、九州大学・又木義博教授に対して感謝の意を表します。

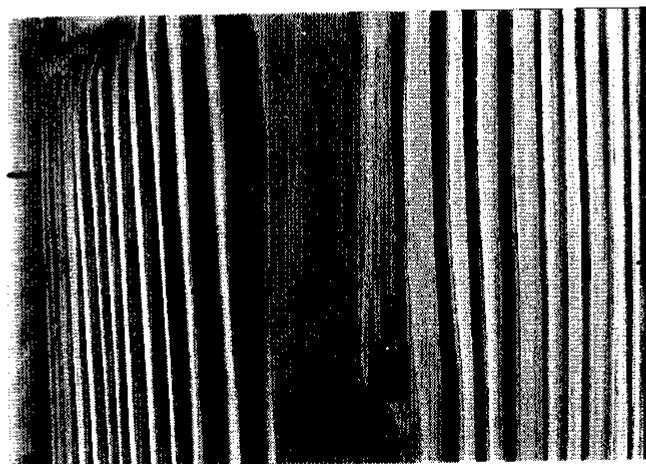
[参考文献]

- 1) 須佐博典 マイクロ波利用による家具用材矯正装置の開発 S 63, 10
新潟県工業技術センター
- 2) 又木義博 加熱金属スタンプの加圧摺動による木材表面加工
木材工業VOL34-2月号
九州大学農学部



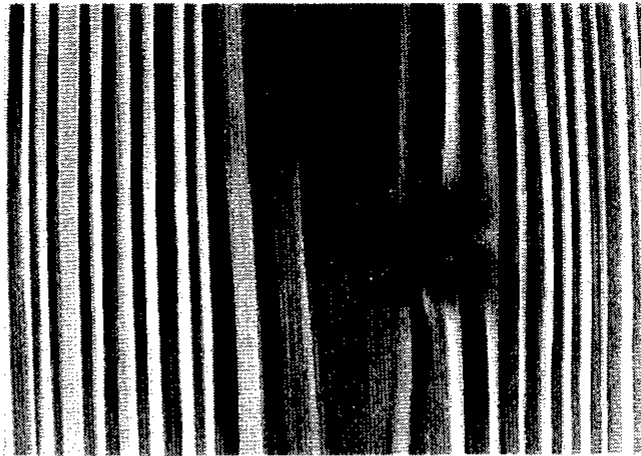
着色：水性・顔料系ステイン
パイン色
下塗：酸硬化型アミノアルキッド塗料
ライトトーンシーラ
研磨：#320ペーパー
スチールウール
上塗：酸硬化型アミノアルキッド塗料
トップコートマット

図-18 サンプル-1



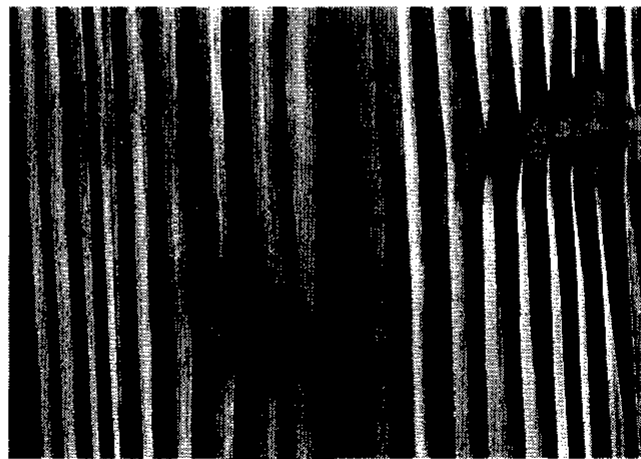
着色：水性・顔料系ステイン
ダークオーク
下塗：酸硬化型アノアルキッド塗料
ライトトーンシーラ
研磨：#320ペーパー
スチールウール
上塗：酸硬化型アミノアルキッド塗料
トップコートマット

図-19 サンプル-2



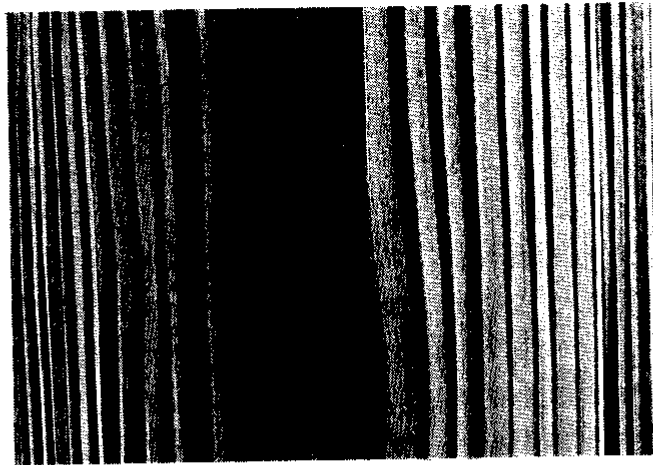
着色：水性・顔料系ステイン
チーク色
下塗：酸硬化型アミノアルキッド塗料
ライトトーンシーラ
研磨：#320ペーパー
スチールウール
上塗：酸硬化型アミノアルキッド塗料
トップコートマット
補色：溶剤性・顔料系ステイン（チーク色）を添加

図-20 サンプル-3



着色：水性・顔料系ステイン
ダークブラウン
下塗：酸硬化型アノアルキッド塗料
ライトトーンシーラ
研磨：#320ペーパー
スチールウール
上塗：酸硬化型アノアルキッド塗料
トップコートマット
補色：溶剤性・顔料系ステイン（ダークブラウン）を添加

図-21 サンプル-4



着色：水性・顔料系ステイン
ライトオーク
下塗：ウレタン樹脂塗料
サンディングシーラ
研磨：#320ペーパー
スチールウール
上塗：ウレタン樹脂塗料
クリヤー50%艶消

図-22 サンプル-5