

3 カラマツ材の圧密化処理条件の検討

柴田直明、吉野安里

3.1 緒言

カラマツ等針葉樹材は材面が軟らかいため、住宅用部材や家具用部材として使用する場合、傷が付きやすい。

木材の表面硬さを高める方法は種々考えられるが、本研究では圧密化処理⁽²⁾を取り上げた。

圧密化処理は、木材の軟化・圧縮・固定の3処理工程を有する。また、板材全体を製材時の厚さの1/2前後までほぼ均一に圧縮する「全層圧密化」と、板材表層部のみを優先的に圧縮する「表層圧密化」⁽³⁾の2種に大別できる。

そこで、まずはカラマツ材の全層圧密化処理について、各工程の処理条件を検討した。

3.2では、軟化・圧縮処理条件と加熱処理による固定性能について、その検討結果を述べる⁽⁴⁾。

3.3では、機材の部分改修により加圧水蒸気処理が可能になったことから、同処理による軟化・固定条件について述べる⁽⁵⁾。

次いで、カラマツ材の表層圧密化処理について、各工程の処理条件を検討した。

3.4では、表層圧密化処理に適した各処理条件について、その検討結果を述べる^(6,7)。

3.2 軟化・圧縮処理条件と加熱処理による固定性能の検討

3.2.1 研究の方法

3.2.1.1 軟化・圧縮処理条件の検討

試験体作製用には、各試験体の条件をそろえるため、6 cm角の二方桁材（含水率11%、心材のみ）を1本使用した。この材は、常法に従って乾球温度90~95℃の蒸気式人工乾燥（以下、人工乾燥）を行ったものである。

試験体寸法は、2.0(R)または3.0(R)×3.0(T)×4.5(L)cmとした。

試験体の一部には、前処理として「減圧（水封ポンプの能力限界）0.5hr+空気加圧（約13kgf/cm²）2hr」の注水処理を行った。

試験体の軟化処理には、マイクロ波処理と蒸煮処理を試みた。マイクロ波処理は950Wの電子レンジを用い、試験体2個当り90~180秒の照射とした。蒸煮処理は小型注薬缶内で行い、常圧下で30~90分とした。

圧縮処理には万能試験機TCM-5000を用い、軟化処理直後の試験体をR方向に1/2または1/3まで圧縮した。圧縮速度は、5または10 mm/minとした。

3.2.1.2 加熱処理による固定性能の検討

3.2.1.1と同様にして、2.0(R)×3.0(T)×4.5(L)cmの試験体を、1条件当り2体ずつ作製した。

軟化処理は蒸煮処理とし、ステンレス板で挟んだ状態でR方向に1/2まで圧縮し、シャコマンで固定して固定処理用の恒温器内に入れた。各処理条件の組合せを、表3-1に示す。

表3-1 固定性能試験体の処理条件

図3-1 の凡例	前処理 (注水)	軟化処理 (蒸煮)	固定処理 (加熱処理)
□	—	約30min	200℃, 約15hr
+	—	約30min	180℃, 約24hr
◇	○	約70min	200℃, 約15hr
△	○	約70min	200℃, 約6hr
×	○	約70min	180℃, 約24hr
▽	対照試料 (1.0cm厚)		

固定性能（寸法安定性能）を調べるに当たっては、固定処理後の試験体の中央部から1.0cm長の小試験片を切り出し、次の処理の組合せで評価した。

全乾：40℃恒温器内 17~18hr + 105℃恒温器内
6~7hr

注水：水中減圧（水封ポンプの能力限界）1hr
+ 水中浸漬（20℃恒温室内）20~22hr

調湿：20℃・65%恒温恒湿室内 3日

煮沸：水中煮沸 2hr

なお、対照試料は図3-1の試験工程「全乾2」

～「全乾3」の間でのみ測定した。

3.2.2 結果と考察

3.2.2.1 軟化・圧縮処理条件の検討

軟化処理としては、マイクロ波処理・煮沸処理とも可能であったが、煮沸処理の方が失敗がなく確実であった。また、適当な軟化処理を行えば、気乾材でも圧縮処理は可能であった。

圧縮速度は、本試験に用いた速度程度では問題はなかった。

なお、圧縮処理は連続圧縮より断続圧縮の方が、低荷重で可能であった。

3.2.2.2 加熱処理による固定性能の検討

固定性能試験における含水率の変動を見ると(図3-1のA)、固定処理条件等によって若干の相違はあったが、ほぼ同様の挙動を示した。対照試料の測定範囲(「全乾2」～「全乾3」)と比較

すると、圧密化処理材の変動幅がかなり小さかったが、これは主として空隙率の相違によるものと考えられる。

また、「注水3」+「煮沸処理」による重量減少(水溶性多糖類の流出等)は、対照試料の方が若干大きかった。

次に、固定性能試験におけるR方向膨潤率の変動を見ると(図3-1のB)、凡例「+」(180℃、24hr固定)以外は全乾処理によりほぼ元の寸法に戻った。従って、加熱処理によって形状を固定させるためには200℃で6時間、180℃では24時間またはそれ以上の処理が必要なものと思われた。

なお、圧密化処理材の膨潤率の変動幅は、高温で長時間の固定処理をしたものほど小さくなる傾向が認められた。ただし、これらの変動幅は、対照試料(「全乾2」～「全乾3」で測定)と比較

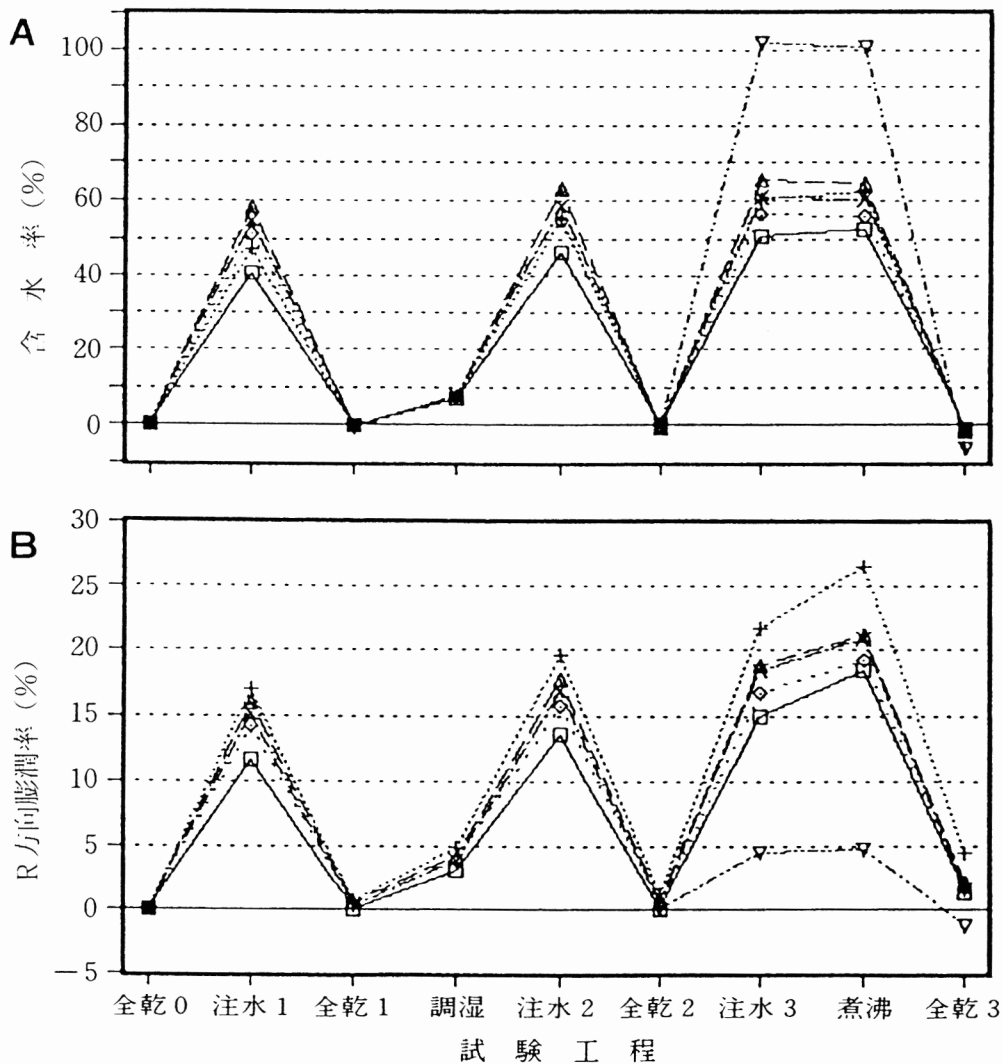


図3-1 加熱処理による固定性能等の比較 (凡例は表3-1に記載)

して、著しく大きかった。

また、これらの圧密化処理材はすべて暗褐色に変色しており、材質の劣化が懸念された。

3.3 加圧水蒸気を用いた圧密化処理法の検討

既存の貫流式ボイラと加減圧注入缶の間に新たな配管を追加し、加圧水蒸気をボイラから注入缶へ直接または可変式減圧弁を通して導入できるようにした。その結果、ボイラを水蒸気圧（ゲージ圧） $8 \sim 9 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲で運転すれば、注入缶内の水蒸気圧を $0.1 \sim 8.0 \text{ kgf/cm}^2$ （ $100 \sim 175^\circ\text{C}$ ）で任意に調整できるようになった。

そこで、2回の予備試験の結果を踏まえ、次の試験を実施した。

3.3.1 研究の方法

3.3.1.1 試験体の作製

人工乾燥済みのカラマツ板目板2枚（心材のみ）から、図3-2のように $2.4(\text{R}) \times 4.5(\text{T}) \times 20.0(\text{L})$ cmの試験体を4枚ずつ作製した。これらの板材の初期データは、図3-2に示した。

無処理		圧密化処理 (固定：10分, 20分, 40分)		
A・C	A・10	A・20	A・40	
含水率14.0%，密度 0.57 g/cm^3 ，平均年輪幅4.0mm				
B・C	B・10	B・20	B・40	
含水率10.0%，密度 0.48 g/cm^3 ，平均年輪幅3.9mm				

図3-2 試験体の記号、作製方法および初期データ

3.3.1.2 加圧水蒸気を用いた圧密化処理条件

本試験では、次のように固定時間のみを変化させた。圧力表示は、ゲージ圧である。

軟化：常圧蒸煮（ 97°C ）5 min + 加圧水蒸気処理（ 1.7 kgf/cm^2 、 130°C ）30 min

圧縮：図3-3の治具内に入れ、小型コールドプレス（手動油圧ポンプ付）でR方向に約 $1/2$ （11~12mm厚）まで圧縮し、ボルト・ナットで固定。最終加圧力：約 55 kgf/cm^2 （試料面）

固定：治具で固定したまま、常圧蒸煮（ 97°C ）5 min + 加圧水蒸気処理（ $7.3 \sim 7.9 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $172 \sim 175^\circ\text{C}$ ）10、20、40 min

冷却：注入缶から取り出し、治具に入れたまま室内放冷2 hr以上

なお、図3-3の治具は厚さ10mmの鉄板製で、軟化処理の際に試験体とともに加熱して使用した。

また、固定処理においては、所定の水蒸気圧までの加圧工程とその解圧工程を、それぞれ約4分間とした。

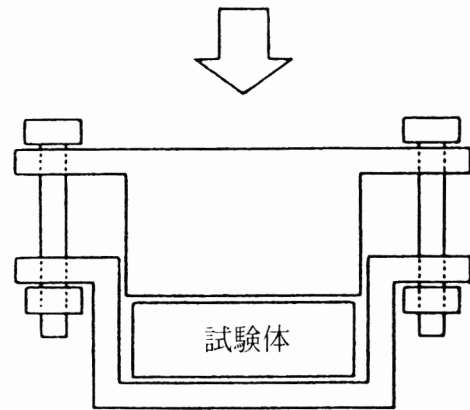


図3-3 圧縮・固定用治具

3.3.1.3 加圧水蒸気処理による固定性能の評価

圧密化処理材の固定性能（寸法安定性能）の評価は、図3-4の斜線部（長さ方向1.0cm）を切り取って実施した。

それぞれの処理条件は、次のようにした。

全乾：乾燥（ 105°C 恒温器内）21~23hr + 冷却（シリカゲル入り小容器内）0.5hr

注水：水中減圧（水封ポンプの能力限界）0.5hr + 水中浸漬（ 20°C 恒温室内）22~23hr

煮沸：水中煮沸（ 97°C ）2 hr

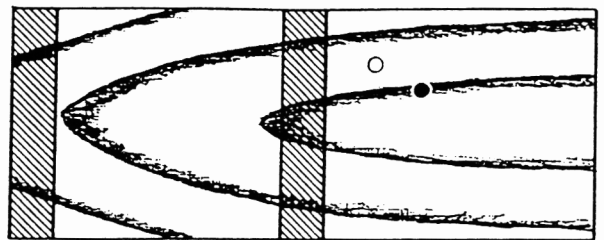


図3-4 試験体の各性能評価部位

放射方向の寸法は、1試験片当たり2つの測線長をデジタルノギスで 0.01 mm まで測定し、その平均値とした。

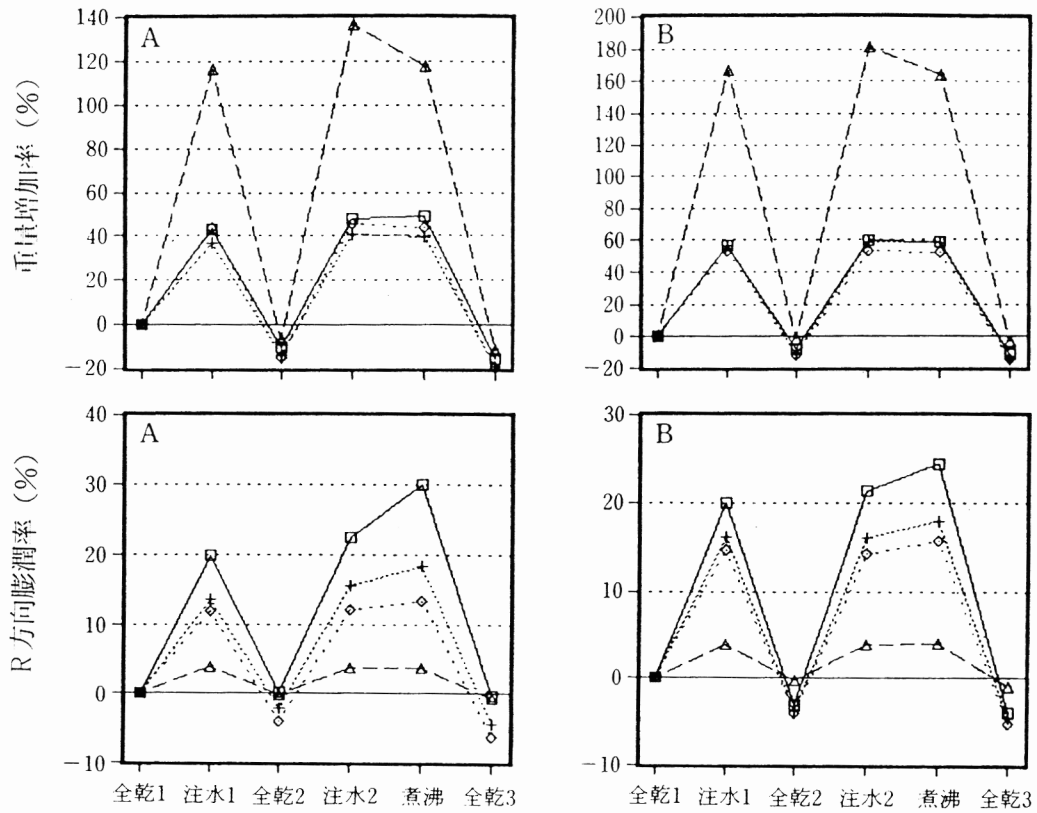


図3-5 試験体木口部の固定性能試験の結果 (△: C、□: 10、+: 20、◇: 40)

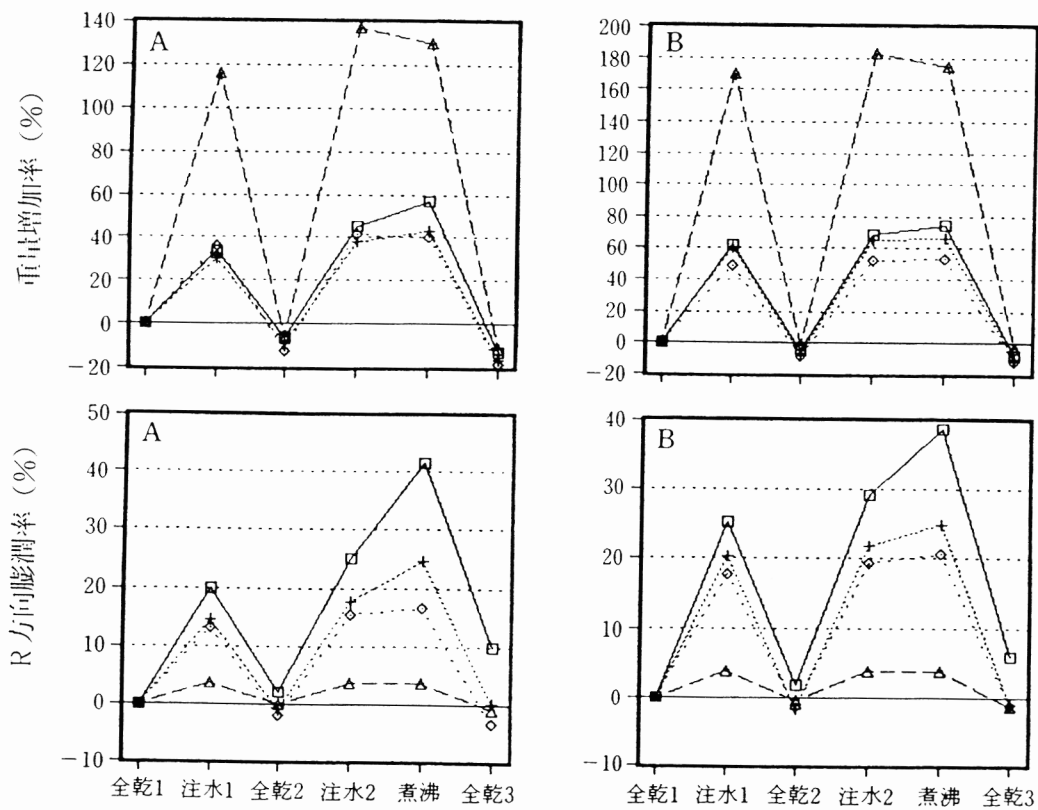


図3-6 試験体中央部の固定性能試験の結果 (△: C、□: 10、+: 20、◇: 40)

3.3.1.4 圧密化処理材の表面硬さの評価

表面硬さの測定は原則として JIS Z 2101 に準拠したが、測点は早材中央部（図 3-4 の○印）と晩材部（図 3-4 の●印）とに分け、1 試験体当たりそれぞれ 3 箇所ずつ測定した。

3.3.2 結果と考察

3.3.2.1 加圧水蒸気処理による固定性能

圧密化処理後の試験体では、木口から 2～3 cm までの部分が、それぞれの木口に向かって徐々に薄くなっていた。これは、圧縮処理時にこの部分の含水率が中央部付近よりも高くなっており、より大きく膨潤していたためかと思われる。

乾燥・注水処理等に伴う試験片の重量変化率と R 方向膨潤率の測定結果を、図 3-5、6 に示す。ここで、これらの図の凡例、図 3-7 の横軸、以下の本文中 (3.3) の「」内の記号は、すべて図 3-2 の記号に対応させた。

図 3-5、6 において重量増加率（含水率）の [全乾 2] と [全乾 3] を見ると、いずれも「C」 \geq 「10」 \geq 「20」 \geq 「40」となっていた。また、同一試験片ではすべて [全乾 2] \geq [全乾 3] であった。このことは、加圧水蒸気処理（主として固定処理）により、冷水および温水抽出物が増加したことを示唆している。

次に、R 方向膨潤率を見ると、試験体の木口付近（図 3-5）は 10 分以上の加圧水蒸気処理でほぼ固定されていた。これに対し、試験体の中央部分（図 3-6）では 20 分以上の処理が必要であった。このことは、小試験体での試験結果をそのまま実大材に当てはめることはできないことを示している。

また、固定処理時間と膨潤率との関係を見ると、すべて「10」 $>$ 「20」 \geq 「40」となっていた。従って、固定性能に関しては固定処理時間を長くするほど効果のあることが明らかになった。ただし、「40」でもその膨潤率は「C」の 3 倍前後もあった。

3.3.2.2 圧密化処理材の表面硬さ

表面硬さの試験結果を、図 3-7 に示す。ここでは、同一処理条件の試験体 2 枚の測定結果（計 6 点ずつの測定値）をまとめて表示した。

図の「C」と「10」を比較すると、R 方向に約 1/2 まで圧密化することにより、「10」の早材中

央部の硬さは「C」の晩材部相当になっていた。カラマツ材の晩材部は無処理でもかなりの硬さを有していることから、この結果は圧密化処理の効果の大きさを示すものである。

なお、固定処理時間と表面硬さとの関係を見ると、表面硬さについては「10」 \geq 「20」 \geq 「40」となっていた。このことは、加圧水蒸気を用いた固定処理により、材の劣化が進んだものとも考えられる。

最後に、材色については、加圧水蒸気を用いた圧密化処理においても多少の褐色化は認められた。ただし、3.2 の加熱処理固定による変色（暗褐色化）と比較すると、はるかに軽微なものであった。

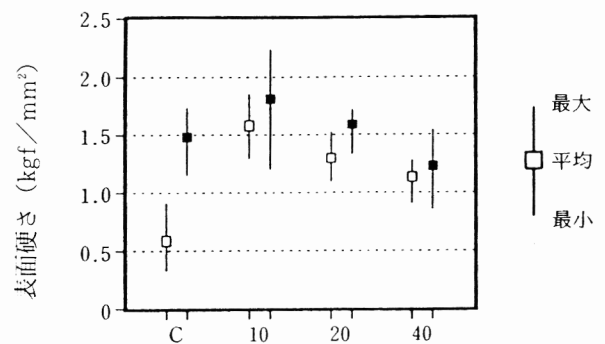


図 3-7 固定処理条件ごとの早材中央部（□）
・晩材部（●）別の表面硬さ
□●：平均値、実線：最大値～最小値の範囲

3.4 表層圧密化処理方法の検討

3.4.1 研究の方法

3.4.1.1 試験体の作製

4 m 長のカラマツ丸太 3 本（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）から、心材のみの板目板をそれぞれ 2 枚（各 A、B）ずつ製材し、人工乾燥を行った。これらの内、本試験に用いた板材 5 枚について、試験開始時の状態を表 3-2 に示す。

試験体寸法は、すべて 3.0(R)×9.0(T)×20.0(L)cm とした。

3.4.1.2 軟化処理条件の検討

板材ⅠA・ⅡA・ⅢA について、それぞれ表 3-3 の軟化処理条件を比較した。表 3-3 の試験 No. 2 では試験体をビニール袋で二重に密封し、乾燥を防ぎながら恒温器内で加熱のみを行った。

軟化処理後の試験体は重量と中央部の寸法を測定した後に鉄製治具に挟み（図 3-8 の a）、実大

材強度試験機 TCM-30000で荷重-圧縮量曲線を求めた。軟化処理終了から圧縮開始までに約2.5分を要した。治具の温度はすべて常温とし、クロスヘッドスピードは予備試験の結果(図3-9)を踏まえて10mm/minとした。

表3-2 板材の初期データ(平均値)

板材No.	密度(g/cm ³)	年輪幅(mm)	含水率(%)
I A	0.57	2.4	9.8
II A	0.56	3.2	9.2
III A	0.54	3.2	8.9
I B	0.53	2.4	9.3
III B	0.61	2.5	9.8

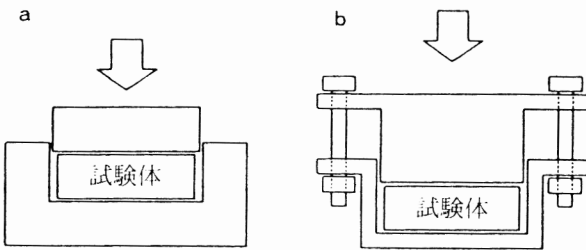


図3-8 試験体の圧縮方法

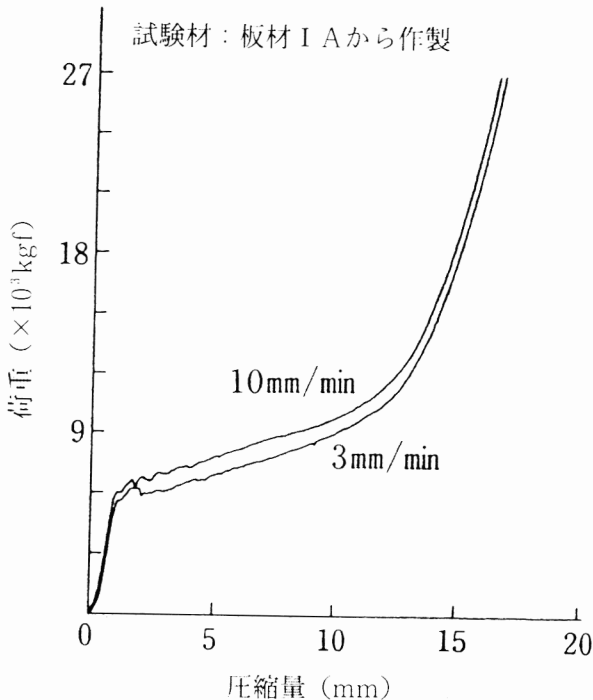


図3-9 圧縮速度の検討結果

3.4.1.3 表層圧密化処理条件の検討

板材 I B・III Bからの試験体を用い、軟化処理条件は常圧蒸煮0、10、20、40、60分とした。

圧縮方法は上記と同様であるが、治具を図3-8のbとしたため、軟化処理終了から圧縮開始までに3.5~4分を要した。また、目標とする仕上げ厚さは2.4cmとし、軟化処理による試験体の膨潤や治具の緩みを考慮に入れて、圧縮量はすべて7mmに統一した。

圧縮変形を固定するには、3.3の試験結果をもとに、圧縮状態の試験体を治具ごと固定して「常圧蒸煮5min+加圧水蒸気処理(173~176℃)3hr」の処理をした。

次いで、試験体の中央部から20mm長の小試片を切り出し(図3-10)、恒温恒湿室(20℃、65%)内で3~5日間調湿した。この小試片を用いてR方向の密度分布を求める際には、早晚材の密度差の影響を軽減するため、若干追桁の部分からT方向約20mmの小ブロックを切り出して、ノミを用いてR方向に10分割し、それぞれの重量と寸法を測定した。

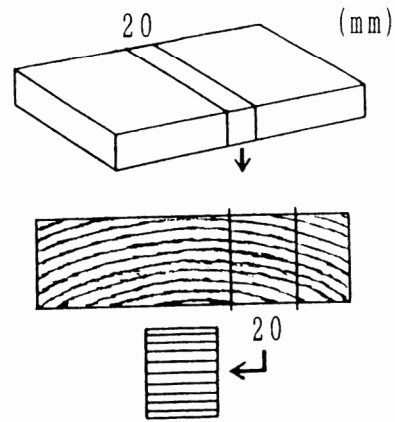


図3-10 密度分布の測定方法

3.4.2 結果と考察

3.4.2.1 軟化処理条件の検討

軟化処理による寸法・含水率の変化率を、表3-3に示す。

また、板材 I A から作製した試験体の荷重-圧縮量曲線を、図3-11にまとめて示す。試験No. 3、4の荷重-圧縮量曲線は、大差なかった。

板材 II A・III Aの結果も、ほぼ同様であった。

3.4.2.2 表層圧密化処理条件の検討

軟化処理による寸法・含水率の変化率は、表3-3の場合とほぼ同様であった。

板材 I B から作製した試験体について、最終的

表 3-3 軟化処理条件と、それによる平均変化率

試験 No.	軟化処理	平均変化率 (%)		
		R 寸法	T 寸法	含水率
1	なし (対照試料)	-	-	-
2	97℃密封加熱 5 hr	+0.10	+0.02	-1.5
3	常圧蒸煮 5 hr	+1.92	+2.43	+9.4
4	水中煮沸 5 hr	+1.95	+2.75	+15.6
5	常圧蒸煮 10min	+0.80	+0.65	+3.3
6	常圧蒸煮 20min	+0.97	+0.87	+4.1
7	常圧蒸煮 40min	+1.18	+1.19	+5.4

な密度分布の測定結果を図 3-12 に示す。常圧蒸煮 0 分 (対照試料) の結果を見ると、この板材の場合は、試験体中央部が圧縮変形を受けやすいようであった。

常圧蒸煮によって水分・温度傾斜が生じると、その程度に応じて試験体表層部、特に木表側で明らかな表層圧密化現象が認められた。この部分では、主として早材部の幅が他の部分の 1/2 前後に圧縮されていた。

図 3-12 からは、本試験程度の表層圧密化を行

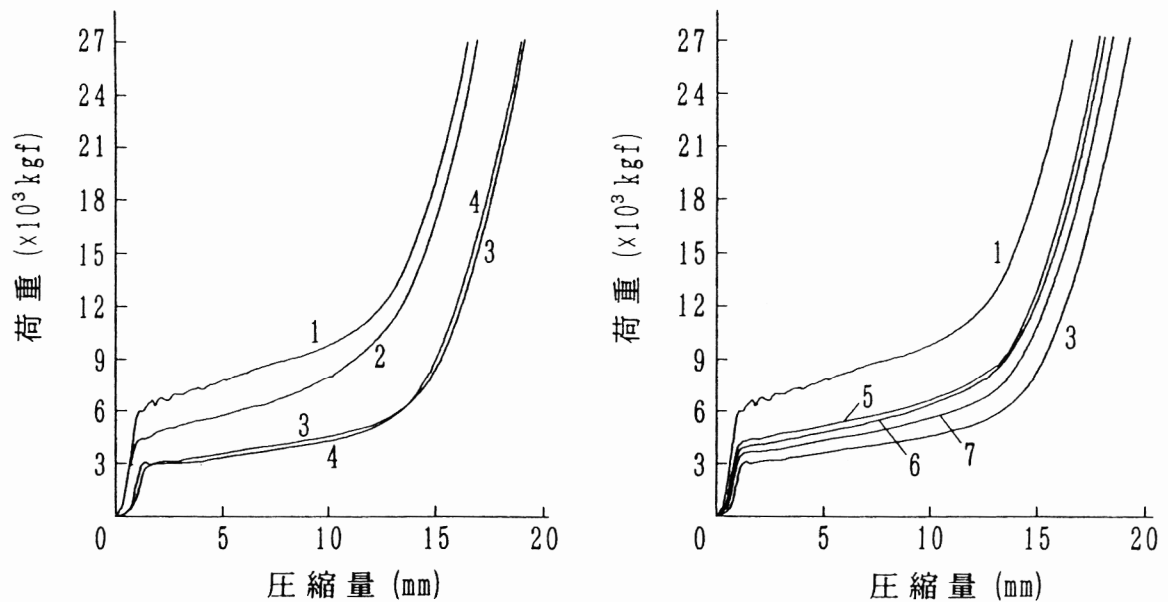


図 3-11 試験 No. 1 ~ 7 (表 3-3) の荷重-圧縮量曲線

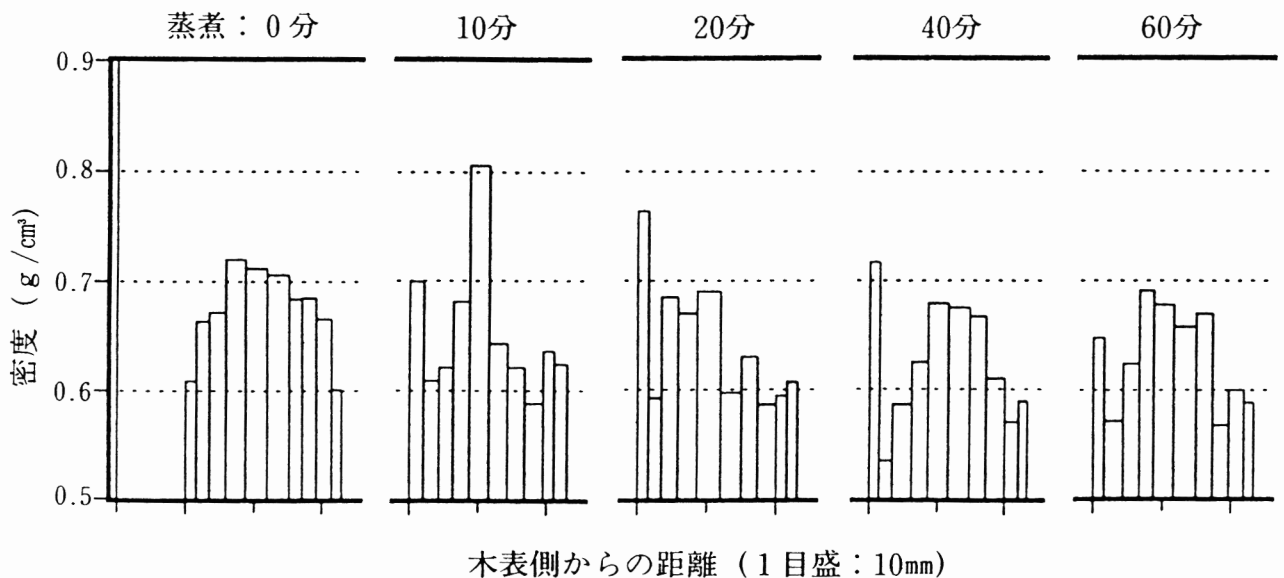


図 3-12 軟化処理 (常圧蒸煮) 時間別の R 方向密度分布 [各グラフの左側が木表]

う場合、20分前後の常圧蒸煮が適当であると思われる。

板材ⅢBの結果も、ほぼ同様であった。

また、2.4cm厚の試験体を用いた別の試験では、軟化処理として20分の水中煮沸を行った後、1.8cm厚までの圧縮処理も試みた。この際には、あらかじめ加熱した治具(図3-8のb)を用い、試験体がT方向に圧延されるのを抑制した。

その結果、圧密化後のR方向密度分布としては、表層部の木表側で0.86、木裏側で0.78、中央部で0.60g/cm³前後という値が得られた(図3-13)。

従って、軟化処理によって大きな水分・温度傾斜を生じさせるためには、常圧蒸煮よりも水中煮沸の方がより有効であるようにも思われる。

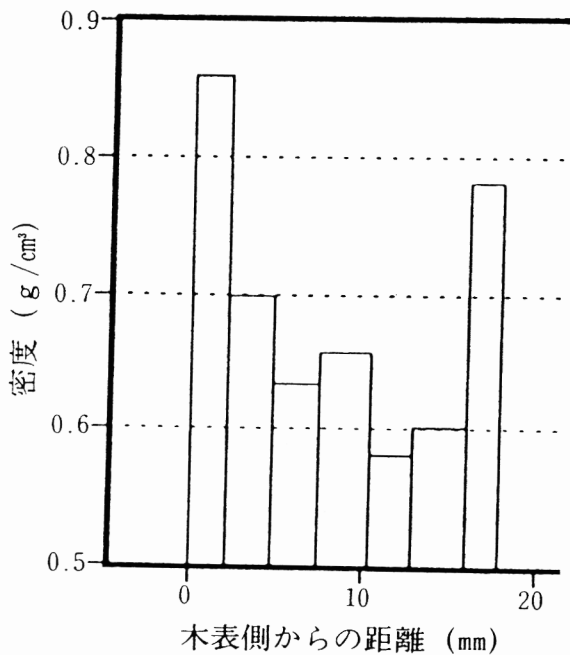


図3-13 異なる処理条件下で圧密化した試験体のR方向密度分布例

なお、ホットプレス等を用いて試験体と治具を加熱しながら圧縮すると、より効果的な表層圧密化ができた。ホットプレスを用いる場合は、圧縮後にそのまま密閉加熱方式の固定処理に移行することも可能であった。

以上、表層圧密化処理は木材の表面硬さを十分に高めることができる上、木材の長所である「軽さ」を生かせること、製品歩留まりを高くできること、圧縮率が少ないので小さな節なら支障がないこと等、多くの利点を持つことが確認された。

3.5 要旨

カラマツ板目板(無節)の全層圧密化処理を検討し、以下の結果を得た。

- ① 人工乾燥材・飽水材とも、圧密化は可能であった。従って、圧密化後の変形を最小限に抑える観点からすると、気乾材の使用が望ましいと考えられた。
- ② 軟化処理方法としては、マイクロ波処理・水中煮沸処理・蒸煮処理(加圧水蒸気処理を含む)のいずれも可能であったが、処理の安定性では後者2つが適当であると思われた。
- ③ 圧縮処理速度は、5~10mm/minで特に問題はなかった。
- ④ 固定処理として加熱処理を行う場合は、200℃で6時間、あるいは180℃で24時間以上の処理が必要であった。ただし、材色が暗褐色化し、材質の劣化が懸念された。
- ⑤ 固定処理として加圧水蒸気処理(172~175℃)を行う場合は、木口付近で10分強、木口から離れた部分でも20分強の処理でよく、材色の変化も少なかった。
- ⑥ いずれの固定処理の場合も、処理時間が長いほど、固定性能はすぐれていた。ただし、乾湿に伴う膨潤・収縮率は、無処理材に較べてかなり大きかった。
- ⑦ 上記⑤の試験体では、早材部の硬さが晩材部並みに改善された。ただし、固定処理時間を長くすると、表面硬さは徐々に低下した。

次いで、カラマツ板目板(人工乾燥材)の表層圧密化処理を検討し、以下の結果を得た。

- ① 軟化処理として20分前後の水中煮沸(または常圧蒸煮)を行うと、被処理材内に適度な水分・温度傾斜が生じ、表層3~5mm程度を優先的に圧縮することができた。
- ② 圧縮処理速度は、10mm/min程度で問題はなかった。ただし、特に表層圧密化処理の場合は、ホットプレス等により治具と試験体表面を加熱しながら圧縮する方が有効であった。
- ③ 表層圧密化処理材は木材の表面硬さを十分に高めることができる上、木材の長所である「軽さ」を生かせること、製品歩留まりを高くできること、圧縮率が少ないので小さな節なら支障がないこと等、多くの利点を持つこと

が確認された。

キーワード

表面硬化、表層圧密化、固定処理、軟化処理、
全層圧密化

謝辞

本試験の実施に当り、京都大学木質科学研究所
教授 則元京氏、同助手 井上雅文氏、岐阜大学
農学部 教授 棚橋光彦氏には、格別なるご指導・
ご高配を賜った。

ここに、深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 例えば、有馬孝禮（1993）：〈解説〉木材の
塑性加工、塑性と加工（日本塑性加工学会誌）、
34(385)、132-137
- 2) 例えば、則元京（1993）：〈総説〉木材の圧
縮大変形、木材学会誌、39(8)、867-874
- 3) 例えば、坂田良二、上田友彦、植木芳茂、山
本千春（1983）：人工林ヒノキ材等の性能向上、
長野県工業試験場・長野県工業技術開発センター
研究報告、第2巻(No.3)、56-62
- 4) 柴田直明、吉野安里（1994）：地域産針葉樹
中径木を利用した住宅用高機能性部材の開発一
面材料の表面改質技術（表面硬化）一、長野県
林業総合センター平成5年度業務報告、80-81
- 5) 柴田直明、吉野安里（1995）：地域産針葉樹
中径木を利用した住宅用高機能性部材の開発一
面材料の表面改質技術（表面硬化）一、長野県
林業総合センター平成6年度業務報告、74-77
- 6) 柴田直明、吉野安里（1996）：地域産針葉樹
中径木を利用した住宅用高機能性部材の開発一
面材料の表面改質技術（表面硬化）一、長野県
林業総合センター平成7年度業務報告、82-84
- 7) 柴田直明（1995）：木材表層部の優先的圧縮
処理条件の検討、1995年度日本木材学会 中部
支部大会 講演要旨集、42-43