

木材の熱圧処理技術の開発

澤田哲則, 阿部龍雄^{*1}, 清水光弘^{*1}

Development of deformation treatment for wood by pressure and heating

Tetsunori SAWADA, Tatsuo ABE, Mitsuhiro SHIMIZU

Lumber was compressed without a mold such as steel using the frictional force of both the wood and a heating plate. Before the compression, the lumber was softened by impregnation with sufficient moisture. By heating compression the temperature of the lumber was increased, and it was softened, shaped and dried. In this way, woods of different shapes were compressed into an amorphous plate. By compressing without constraints of thickness, the lumber was deformed while extending its width. However, bundles of fibers were formed as a result of the deformation. The bundles of fibers maintained a mesh-like network in the lumber plate. As well as conventional compression of wood, cell holes were compressed and the gaps were reduced. After compression, typical configurations of annual rings were observed. However, there were broken annual rings in the longitudinal parts of the materials compressed using frictional force.

Key words: compressed lumber, deformation by pressure, extension of width, fiber bundles, fixed shape by heating
圧縮木材, 圧縮変形, 幅方向寸法拡張, 繊維束, 熱固定

木材の圧縮変形において、鋼製型枠などを用いた横拘束（圧縮方向および繊維方向と直交する方向への寸法変化を抑止する）を行わず、木材と圧縮用の熱盤との摩擦のみを横拘束力として用い、角材や、背板などの不定形な材料を、板材となるまで圧縮変形させる方法を検討した。圧縮の前段である軟化のために高含水化した木材は、圧縮の初期に常温で著しい変形を起こした。板状となった後、熱盤からの加熱により材温が上昇するに従って、熱軟化、形状固定、乾燥などが進行した。明らかな横拘束を行わないため、木材は圧縮の初期に、幅方向に寸法拡張をしながら大きく変形したが、変形によって形成された繊維束は、完全に断裂することなく、網目のような連続性を保っていた。細胞内腔は通常の圧縮木材と同じように圧縮されて空隙が減少するが、一般的な圧縮木材のように年輪構成は維持されず、木口断面ではランダムに破断したように観察された。

1. はじめに

一般的な圧縮木材の生産技術は、日本においても古くから利用されており、現在は主に本州でスギ材を原料として、家具材や内装材が生産されている。圧縮木材には、対象となる木材の表面付近だけを圧縮する表層圧縮や、厚さ全体にわたって圧縮する全層圧縮がある。薬液に浸した状態で圧縮し、解圧・膨張時に薬液を浸潤させるものも圧縮木材とされる。また、木材に熱、水、高圧力を加えることにより、流動化あるいはプラスチック化することも知られている。その他にも様々な形態、製法の圧縮木材

が考案されている¹⁻⁸⁾。

本研究は全層圧縮の圧縮木材生産において、原料の形状を問わず、圧縮後には板状に形状固定することを目的とした。これを実現するために、一般的な圧縮木材生産の過程で必須とされてきた型枠等による横拘束を行わず、木材と圧縮用熱盤との摩擦のみを横拘束力として用いる圧縮変形を試みた。これらの処理を一般的な圧縮木材と区別するため、以下、生産工程を木材の熱圧処理、製品を熱圧処理材と呼ぶこととする。

2. 試験方法

試作には主に北海道産カラマツおよびトドマツの正角材（105 × 105mm）を用いた。

2.1 前処理

木材は含水率が一定の場合は温度が上昇するに従って、また温度が一定の場合は含水率が上昇するに従って軟化しやすくなる性質を持つことが知られている⁹⁾。

本研究においては、圧縮初期に常温で大きな変形を起こさせるため、原料の高含水化、すなわち繊維飽和点以上～飽水状態の水分を付与することによる木材組織の軟化を検討した。

2.2 圧縮

圧縮には第1図に示す実験用の小型ホットプレスおよび工業生産用の大型ホットプレスを用いた。それぞれのプレスの主な仕様を第1表に示す。



小型プレス
Experimental
hot press

大型プレス
Industrial hot press

第1図 圧縮・加熱試験用ホットプレス

Fig. 1. Hot press machine used in compression and heating test.

第1表 ホットプレスの主な仕様

Table 1. Specifications of the hot press machines.

	加熱方式 Heating	熱盤 Heating plate	加圧方式 Pressurizing	制御方法 Control	設定項目 Settings
小型プレス Experimental hot press	電気ヒーター Electric heater [~ 300°C]	50×50cm	下降型ラム×1 Descent formula ram×1 ラム径 Diameter φ = 35cm 荷重条件 Limit 200ton	ステップ式プログラム Step programing operation	熱盤間隔 Distance of heating plate 熱盤温度 Temperature of heating plate 圧力 Pressure
大型プレス Industrial hot press	蒸気 Steam [~ 210°C]	100×200cm	下降型ラム×2 Descent fomula ram×2 ラム径 Diameter φ = 60cm 荷重条件 Limit 1,200ton	手動制御 Manual operation	時間 Time

2.2.1 圧縮条件と変形

前処理により高含水となったカラマツおよびトドマツ材を用い、主に半径方向に圧縮荷重を加え、初期の設定荷重（面圧）を変化させて、厚さ減少と繊維方向と直交する幅方向への拡張を伴う変形の発生状況を観察した。

2.2.2 材料の変形メカニズム

熱盤を加熱せず、常温において圧縮変形を発生させ、幅方向への寸法拡張が発生した時点で圧縮を中断し、解圧の上、材料を取り出して、材料内部の状態を観察、調査し、変形メカニズムの検討を行った。

2.3 加熱

加熱は、ホットプレス装置の熱盤を加熱し、主に熱盤からの伝熱によって材料の温度を上昇させた。

2.3.1 加熱による軟化と変形

設定温度に加熱した熱盤間に、常温の原料を投入した。直後に圧縮を行うため、熱盤の温度が材料に作用するのは、初期の大きな変形が終了してからとなる。そこで同様の加圧条件下で、熱盤温度を変化させた場合の二次的な熱軟化および形状の変化、状態等を観察、検討した。

2.3.2 形状固定

圧縮後の形状固定は、通常の圧縮木材にみられるような乾燥による形状の一時的固定（ドライグセツト）と、加熱処理により吸水・吸湿に対して寸法戻りを起こさない持続的な形状固定（永久固定）とがある。熱圧処理による形状固定の状況を、目視および実体顕微鏡による観察により検討した。

2.4 熱圧工程

初期の圧縮変形から、加熱、形状固定、処理材の

取り出しまで、主要な工程とパラメーターの検討を行った。

3. 結果および考察

3.1 高含水化が圧縮変形に及ぼす影響

気乾材を熱圧処理すると、圧縮変形時に第2図に示すような一部に木部のはく離、亀裂を伴う圧縮破壊が発生した。処理を終えると、第3図に示すような熱圧処理材が得られるが、破壊に伴う木繊維の断裂が内在していることが確認できた。

木繊維の連続性を保持したまま圧縮変形させるためには、水中浸漬や、煮沸、蒸煮などの手段により、原料を高含水化して軟化させておくことが必要と考えられた。そこで本試験においては、長期の水中浸漬(約1カ月)、煮沸後継続的に水中浸漬(約1週間)した材料を用いて熱圧処理を行ったが、いずれも木繊維が連続性を維持した状態で変形させることができた。この方法で木材を圧縮する場合には、中央部まで水分が浸透していることが必要と考えられた。



第2図 気乾材の圧縮時に生じた破壊
Fig. 2. Destruction of air-dried wood by compression.



第3図 気乾材を原料とした熱圧処理材
Fig.3. Deformation treatment of air-dried wood.

3.2 圧縮による木材の内部挙動

3.2.1 横拡張を伴う圧縮の発現条件

前処理した材料の圧縮面に対して、10～70MPa

(プレス能力により上限はさらに大きくても可能)の圧力を一定時間加え続けると、水分で十分に軟化した木材は厚さを減じ、第4図に示すような繊維方向と直交する幅方向への寸法拡張をはじめた。圧縮時には空隙に存在する水分を放出しながら厚さを減じ、プレスの圧縮力と木材の圧縮応力、木材と熱盤との摩擦力が釣り合った位置でプレスの熱盤間隔は拮抗し、一旦寸法は安定した。

また材面に作用する圧縮力が、およそ5MPa以下においては、第5図に示すように、大きな変形には至らず、圧縮力と木材の応力とが釣り合う状況となった。ただしこの値は原料となる木材の形状や含水率、密度、樹種、節などにより変動するものと考えられるので、あくまで目安である。また、背板を主とした不定形の材料においても、同様の変形が起こることを確認した。

a) 圧縮前
a) Before pressing.



b) 圧縮開始
b) Start of pressing, deforming in the thickness direction.



c) 幅方向への拡張
c) Extension of the width.



d) 熱圧処理材
d) Finishing of treatment.



第4図 熱圧処理の過程
Fig. 4. Process of deformation treatment by pressure and heating.



第 5 図 圧縮力が不足した場合の変形状況
Fig. 5. Deformation under insufficient compression.

3.2.2 横拡張時の内部挙動

常温で圧縮，変形させた後にスプリングバックした材料の形態の一例を第 6 図に示す。材料の断面形状や年輪の性状による強度的に弱い部分に，ローリングシアや幅方向への引張力などが作用して，厚さの顕著な減少と，幅方向への大きな拡張を伴う変形をもたらしているものと考えられた。第 7 図には，第 6 図の材料から取り出した繊維束の一部を示す。大きな割れを起こした部分においても，繊維束は網状かつ立体的な形態を保ち，最終的に熱固定した場合に，板状の形状を維持するもの，この形態が保たれることによるものと考えられた。



第 6 図 常温圧縮し幅拡張後に解圧した例
Fig. 6. Deformation without heating.



第 7 図 常温圧縮変形時の繊維束の例
Fig. 7. Fiber bundle of deformed wood compressed without heating.

3.3 熱盤による加熱

3.3.1 同一加圧条件下での熱盤温度の影響

長さ 20cm のカラマツ正角材を試験材とし，熱盤温度を常温，100，120，140，160，180，200℃とした際の熱圧処理後の材料の状態を第 8 図および第 9 図に示す。初期加圧条件は材料の加圧面に対して 42MPa とした。常温の場合には形状固定されないため，圧縮方向への寸法復元が起こった。100～140℃では，材料の乾燥に伴う形状の一時固定，いわゆるドラインゲットが，熱盤温度の上昇に伴って作用の範囲を広げているものと考えられ，140℃では，ほぼ板状の材料が成形された。140～180℃においては，熱軟化によると考えられる厚さ寸法の減少と，幅寸法の増加傾向が確認された。200℃においては一部で炭化が発生しており，形状固定と利用の側面から考えて，160～180℃の間に最適な熱盤の設定温度があるものと考えられる¹⁰⁾。



第 8 図 熱圧処理後の断面形状
①無処理，②常温，③ 100℃，④ 120℃，⑤ 140℃，⑥ 160℃，⑦ 180℃，⑧ 200℃
Fig. 8. Cross-section surface after hot pressing.
① Untreated，② Room temp. ③ 100℃，④ 120℃，⑤ 140℃，⑥ 160℃，⑦ 180℃，⑧ 200℃



第9図 熱圧処理後の加熱面の状態

①無処理, ②常温, ③100℃, ④120℃, ⑤140℃, ⑥160℃,
⑦180℃, ⑧200℃

Fig. 9. Heated surface after hot pressing.

① Untreated, ② Room temp. ③ 100℃, ④ 120℃, ⑤ 140℃,
⑥ 160℃, ⑦ 180℃, ⑧ 200℃

3.3.2 加熱後の形態

加熱前後の材料形態は、第4図のc), d)に示すように、厚さは極端に変化しないが、第9図の⑥～⑧に見られるように、材色が褐色を帯び、板状に形状固定された。固定された材料の木口断面を実体顕微鏡で観察したものの一例を第10図に示す。一般的な全層圧縮による圧縮木材では、圧縮後においても第10図a)に示すように、年輪構成は保持されるが、ここで行った熱圧処理では第10図b)に示すように、年輪構成がランダムに破断されたように観察された。また、熱軟化により、幅拡張時に生じた空

隙が少なくなり、緻密な断面が形成されていた。細胞内腔は一般的な圧縮木材と同様に、空隙が大きく、細胞壁の薄い早材部を中心に圧縮が進み、ほぼ空隙が観察できない状態にまで圧密化されていた。

3.4 熱圧工程および形状・温度推移

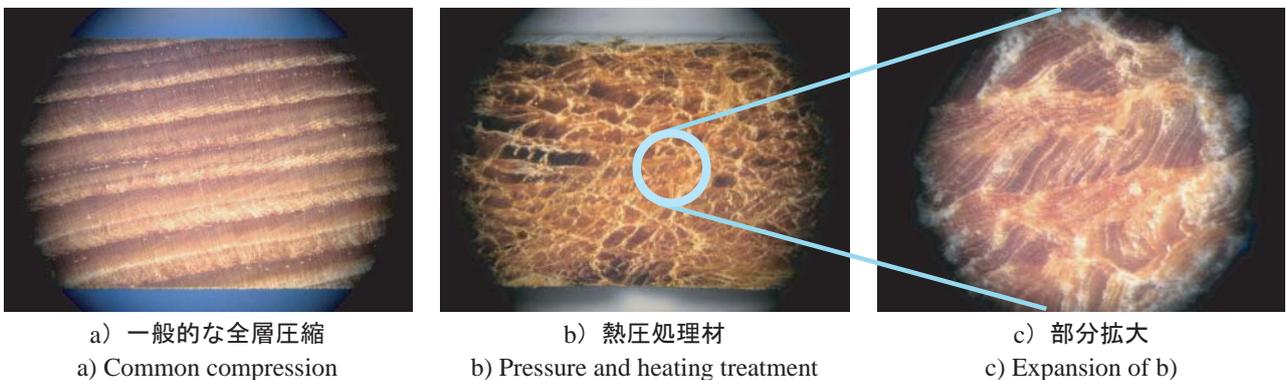
熱圧処理を施すための圧縮、加熱条件と、材の変形、内部温度の推移の例を第11図に示す。カラマツ、トドマツともに同様の熱圧条件においては同様の変形挙動、温度推移を示した。なお、背板を用いた熱圧処理も同時に行ったが、圧縮変形においては、第12図に示すように、熱盤の接近に伴って、徐々に加圧面積が増加し、樹皮側の円弧が広がるような一定の変形パターンを持つと考えられた。

4. おわりに

高含水の木材を加熱した熱盤で圧縮し、木材の弾性限界を圧縮による変形応力が超えたところで、繊維と直交する幅方向への寸法拡張を伴う変形が発生することを確認した。この変形は、木材と熱盤との摩擦力と、圧縮力によって生じる幅方向への引張応力が均衡する点で停止する。

幅方向への寸法拡張の際に、木材内部でローリングシア等による変形が発生し、一般的な材部が直径数mm程度、長さは最大で材長にわたる網状の繊維束となる箇所が生じることを確認した。繊維束にはねじれや引張力が作用し、年輪構成が崩れるため、表面の意匠は従来の木目とは異なるものとなる。本研究においては、これら木材の圧縮に伴う変形挙動が推定できることがわかった。

今後は生産技術の高度化や製品性能の安定化を図



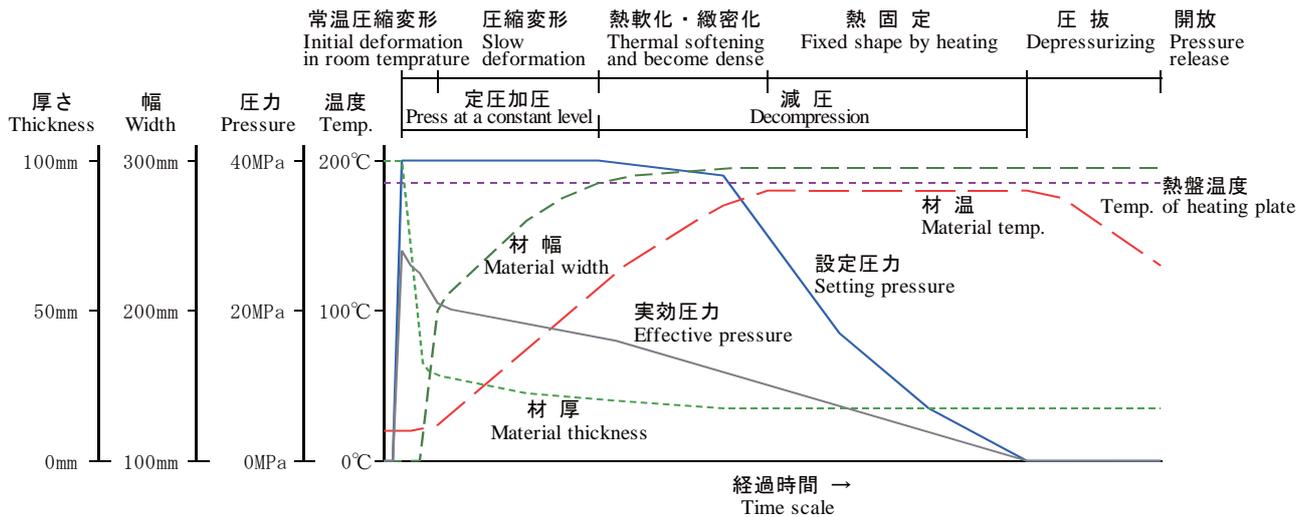
a) 一般的な全層圧縮
a) Common compression

b) 熱圧処理材
b) Pressure and heating treatment

c) 部分拡大
c) Expansion of b)

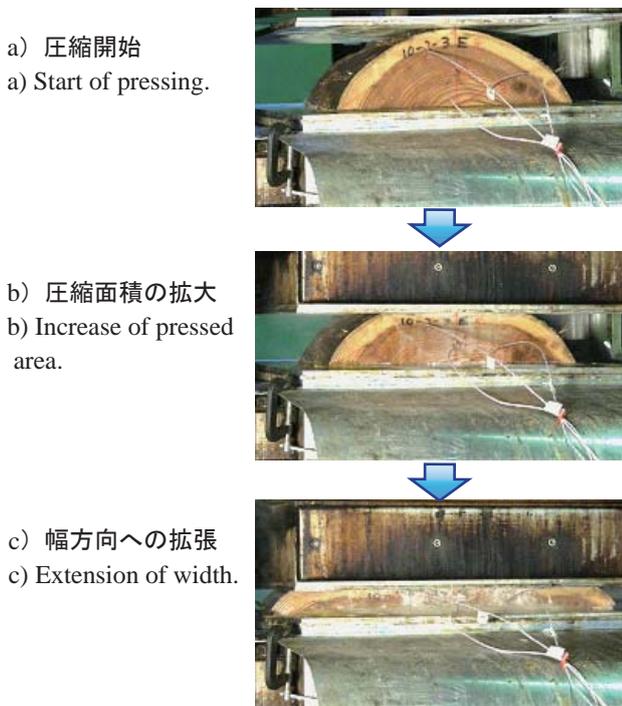
第10図 熱圧処理による年輪構成の崩壊

Fig. 10. Collapse of the annual ring configuration with deformation treatment.



第 11 図 熱圧処理の基本的な生産過程

Fig. 11. Basic production process and conditions of deformation by pressure and heating.



第 12 図 背板における圧縮変形

Fig. 12. Deformation of slab with arc-like cross-section.

り、利用法・用途の開発を行って、背板をはじめ、不定形な製材残材や建築解体材、その他未利用材の有効利用に寄与することが期待できる。

なお、本研究の一部は平成 19 年度 JST「シーズ発掘研究」において実施した。また本研究に関する内容を特許出願中¹¹⁾である。

文 献

- 1) 伊藤洋一：林産試だより 1995 年 12 月号, 1-4(1995).
- 2) 伊藤洋一：林産試だより 1996 年 2 月号, 1-3(1996).
- 3) 伊藤洋一：林産試だより 1996 年 3 月号, 15-17(1996).
- 4) 井上雅文：木材工業 56(5), 245-249(2001).
- 5) 長谷川良一, 児玉順一：岐阜県生活技術研究所 研究報告 9, 50-57(2006).
- 6) 長谷川良一, 児玉順一：岐阜県生活技術研究所 研究報告 10, 35-39(2007).
- 7) 長谷川祐, 本間千晶, 東智則, 重枝哲夫：林産試験場報 20(3), 14-20(2006).
- 8) 高須恭夫, 高橋勤子, 福田徳生, 来川保紀, 太田幸伸, 福田聡史：愛知県産業技術センター 研究報告書 (2006).
- 9) 古田裕三, 中嶋聖充, 中新絵里, 大越 誠：木材学会誌 56(3), 132-138(2010).
- 10) 井上雅文, 則元 京：木材研究・資料, 京都大学, 27, 31-40(1991).
- 11) 特願 2010-219883「熱圧処理木材ならびにその製造方法」(2010).

—技術部 製品開発グループ—

—*1：企業支援部 技術支援グループ—

(原稿受理：12.11.15)