

スギ大圧縮強化材製造法の開発

北澤君義*

(平成9年5月30日受理)

Development of a method for producing the high-strength panels of Sugi lumber with a new steaming-treatment technique

Kimiyoshi KITAZAWA*

Nowadays, *Sugi* (Japanese cedar, *Cryptomeria japonica* D.DON) accounts for half of the wood resources planted in Japan and is highlighted as a sustainable wood resource. However, the efficient use of *Sugi* harvests is limited, because the strength of *Sugi* is considerably lower than those of hardwood, such as *Buna* (*Fagus crenata* BL.) and *Keyaki* (*Zelkova serrata* MAKINO), commonly used in the manufacture of furniture. Here, I report the possibility of a new production method which can convert low-strength lumber from *Sugi* plantations into high-strength panels. Green wood specimens cut from a *Sugi* log were boiled and were largely compressed using closed-die forging operations. The panels were then permanently fixed using a new steaming-treatment technique, having high productivity. It was found that complete fixation of large compressive deformation was realized by selecting suitable steaming-treatment conditions. Furthermore, experimental results showed that the strength of the panels can be improved by the proposed method; the bending strength of the panel with 15% moisture content increased by approximately 25% over those of *Buna* and *Keyaki* lumber panels at the same moisture content.

1. はじめに

スギはわが国の植林材の約半分を占めるものの、軟質・低強度材であるため、そのままの状態ではブナ・ケヤキなどの広葉樹の代替材にはなりにくい。このため、持続可能な木質資源であるスギの高度有効利用化を図る観点から、スギに大圧縮を施し、その圧密強化を図る研究が行なわれはじめている。この場合、大圧縮形状の永久固定法が問題になるが、オートクレープなどの圧力容器を用いて高温・高圧水蒸気処理を施すことにより、大圧縮形状が永久固定することが明らかにされてはじめている¹⁾²⁾。しかし、この方法では、圧縮処理と固定処理が同一容器内で行なわれるために生産性が極めて低い。

そこで本研究では、圧力容器などの特別な設備を用いずに大圧縮形状の永久固定を行なう生産性の高い簡便なプロセスを提案する。そして、提案したプロセスによるスギ大圧縮成形材の永久固定挙動を実験的に調べ、永久固定の可能性ならびに推奨される永久固定条件について明らかにする。さらに、このプロセス中にスギ大圧縮強化材の曲げ強度が向上する、いわゆる、加工熱処理効果の存在についても明らかにする。

*生産システム工学科 助教授

2. 簡便な永久固定プロセスの提案

2.1 問題点の整理

オートクレープなどの圧力容器を用いて高温・高圧水蒸気処理を施すことにより、大圧縮形状の永久固定が可能になるものの、圧縮と固定処理が同容器内で行なわれるために生産性が著しく低下してしまう。もし、圧力容器などの特別な設備を用いずに、大圧縮された木材内に高温・高圧の水蒸気雰囲気を実現させることができれば、通常のプレスラインに組み込み可能な生産性の極めて高いプロセスとなるため、スギ大圧縮強化材の低価格での製造が可能になるものと思われる。スギの水分の導通のほとんどが仮道管を通したものであるため、大圧縮材の木口面を簡便な手法でシールすることができれば、このシールされた大圧縮材を電気炉内で治具ごと加熱するだけで、その内部に高温・高圧の水蒸気雰囲気が発生し、大圧縮形状の永久固定が可能になるはずである。ところで、スギの圧密強化はもとの板厚の約半分以下に大圧縮することにより現われはじめ、もとの板厚の1/3程度に大圧縮するとその圧密強化はより顕著になる。しかし、圧縮材の側面を治具で拘束しないと、側面形状がゆがむ。これは側面にすき間が発生することを意味する。このすき間があると木材内の水蒸気が漏れやすくなるため、側面を治具拘束した密閉鍛造方式で大圧縮を行ない、すき間の発生を抑制しなければならない。

2.2 簡便な永久固定プロセスの提案

上述の議論をふまえて考案した簡便な大圧縮・永久固定プロセスの概要をFig. 1に示す。このプロセスは、煮沸・大圧縮過程とこれに続く大圧縮形状の永久固定処理過程からなる。まず、スギ丸太から所定寸法の板目板を切り出し、飽水処理後、この試料木材を30分間煮沸し、密閉鍛造方式で大圧縮成形を行う。ここでは湿潤状態において木材の熱軟化温度が著しく低下する³⁾ために成形荷重が低減化することをふまえ、飽水状態の試料木材を煮沸する方法を選択した。次に、この圧縮形状を治具で固定したまま、木口面をシリコンゴムシートでシールし、これをスチールプレート（治具の木口面側の蓋を兼ねる）を介して圧着した後、治具ごと一定雰囲気温度の電気炉内で保持することにより、スギ内部に高温高圧の水蒸気雰囲気を発生させ、圧縮形状の永久固定を行う。この提案する方法は、特別な容器等を必要とせず、通常のプレス成形ラインに容易に組み込み可能であるため、従来の圧力容器等を用いる方法に比べて生産性の点で優れている。

2.3 実験方法

実験には樹齢約70年・直径約350mmの信州産のスギ丸太（生材）を用い、この辺材と心材からそれぞれ軸方向長さ80mm×接線方向幅40mm×板厚40mmおよび板厚18mmの板目板を製材（カンナ仕上げ）後、飽水状態に調整して試料木材とした。ここでは圧下率を大圧縮強化が発現する67%（もとの板厚の1/3の厚さになるまで圧縮）に設定した。また、永久固定の処理温度を120℃から220℃の範囲に、処理時間を30分から300分の範囲にそれぞれ設定した。まず、大圧縮形状の永久固定挙動を確認する目的で、提案したプロセスで製造された大圧縮板から軸方向長さ10mm×接線方向幅40mm×板厚13mmの試験片を切り出し、所定の時間煮沸して厚さ変化を調べ、大圧縮形状の永久固定の有無を判断した。次に、永久固定された試験片から軸方向長さ80mm×接線方向幅10mm×板厚5.0mmの曲げ試

験片を切出し、全乾状態（含水率0%）および気乾状態（含水率15%）に調整後、静的3点曲げ試験（スパン長さ72mm）により曲げ強度を求め、曲げ強度に対する永久固定処理条件の影響を検討した。

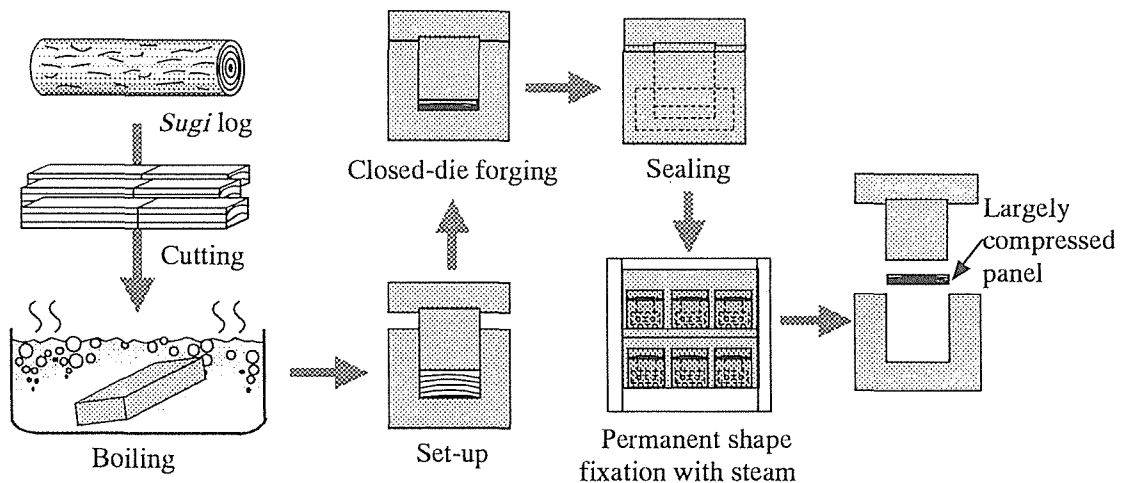


Fig.1 Schematic diagram showing fabrication process for a largely compressed panel from a *Sugi* log.

3. 永久固定の可能性

煮沸復元試験を行い、圧縮形状の永久固定挙動を調べた結果をFig. 2に示す。同図中に、同じ雰囲気温度・処理時間で圧縮セット（木口を解放したままの状態）で熱処理された試験片の復元結果を比較の目的で示す。同図(a)に示すように120°Cの条件で処理した場合、永久固定処理材は圧縮セット材と同程度の形状復元挙動を示し、永久固定ができなかった。一方、同図(b)に示すように200°Cの条件で処理した場合、圧縮セット材では20分煮沸した段階で約55%復元するのに対して、永久固定処理材では煮沸により若干見かけ上膨潤するものの、60分煮沸後に全乾燥処理を施すと、完全に元の大圧縮形状に戻った。このため、煮沸中の見かけ上の寸法変化は、熱湯の含水に起因した一種の膨潤現象と推察される。従って、この条件下では提案するプロセスにより大圧縮形状の永久固定が可能になる。同様にして永久固定条件を調べた結果、処理温度180°C以上の条件下で大圧縮形状の永久固定が可能になることが明らかになった。なお、永久固定可能な条件下では、処理温度を高く、処理時間を長くするほど、圧縮成形材の色調が黒変化し、処理時間をさらに長くすると炭化状態に至った。

4. 曲げ強度

1/3に圧縮された心材の曲げ強度に対する永久固定処理時間の影響をFig. 3に示す。同

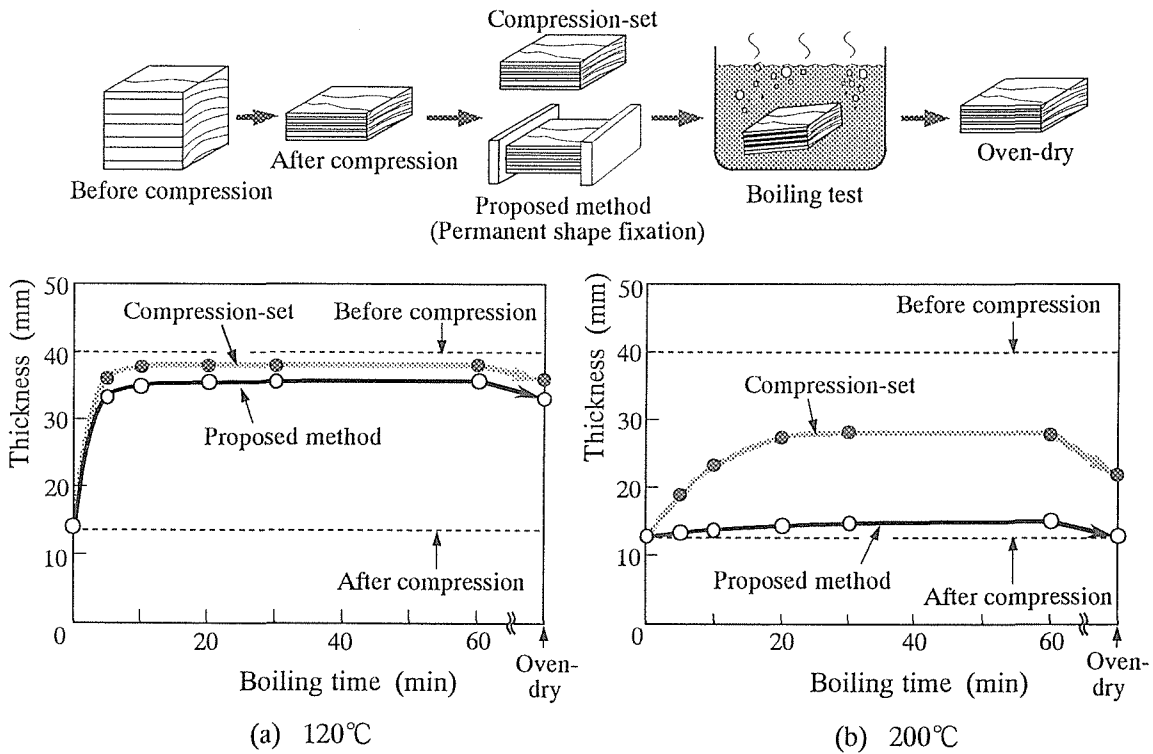


Fig.2 Influence of boiling time upon the swelling and recovery in thickness direction of *Sugi* specimen compressed (Sapwood, Reduction=67%).

図(a)に示すように、採取場所の異なる2種類の心材の曲げ強度を比較すると、A材(丸太の中心から離れた場所から採取)の曲げ強度がB材(丸太の中心に近い場所から採取)の曲げ強度よりも高くなっているものの、A材B材ともに途中で曲げ強度のピークが現われ、特に、A材ではアルミニウムの約1.9倍の約380MPaにまで曲げ強度が向上した。このピーク時よりも処理時間を長くすると、曲げ強度は単調に低下した。一方、同図(b)に示すように処理温度200°Cの条件下では、A材B材ともに処理時間が長くなるに従い、曲げ強度は単調に低下した。この処理温度200°Cにおける曲げ強度の単調な低下は、曲げ処理温度が高くなると強度のピークが処理時間の短い方向へシフトするために生じたものと推察される。これらの結果は、提案する簡易水蒸気永久固定プロセス中に曲げ強度を増大させる機構と曲げ強度を低下させる機構の二つのメカニズムが存在するために曲げ強度にピークが現われる、すなわち、加工熱処理効果により曲げ強度が大幅に向上する機構が存在することを示唆している。

提案したプロセスで永久固定処理されたスギ大圧縮強化材の曲げ強度は、含水率が高くなるに従い低下した。しかし、気乾状態(含水率15%)では、辺材の大圧縮強化材においてもブナおよびケヤキ(いずれも曲げ強度約98MPa)の約1.25倍の値が得られた。このように大圧縮強化されたスギの曲げ強度が気乾状態でブナ・ケヤキ以上の値を維持するため、提案するプロセスにより大圧縮強化されたスギはこれら広葉樹の代替材として利用可能になるものと考えられる。

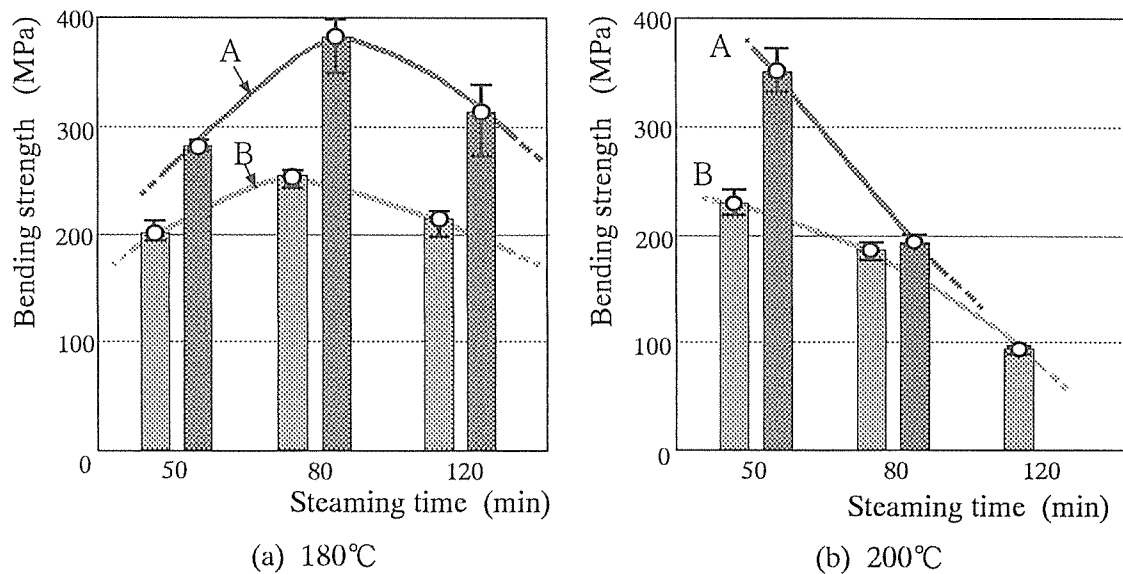


Fig.3 Bending strength of the largely compressed panel made from specimen of *Sugi* by the proposed steaming technique (Heartwood, Reduction= 67%, Oven-dry: Moisture content= 0%, A: Adult wood, B: Juvenile wood).

5. まとめ

本研究では、木材の大圧縮成形形状を永久固定する簡便なプロセスを提案した。そしてこのプロセスをスギの大圧縮プレス成形へ適用し、大圧縮成形形状の永久固定が可能になることを明らかにした。さらに、このプロセス中にスギ大圧縮強化材の曲げ強度が向上することを初めて明らかにした。このプロセスを適用すると、スギの曲げ強度を全乾状態において最大で約380MPa（アルミニウムの約1.9倍）まで強化できた。また、このスギ強化材の曲げ強度は、含水率の低下に従い単調に低下するものの、気乾状態でブナ・ケヤキ以上の値を維持した。提案した永久固定プロセスは、特別な容器等を必要とせず、通常のプレス成形ラインに容易に組み込み可能であるため、生産性の観点からも優れている。

実験にご協力頂いた大学院生寺澤正純氏(現在：太陽工業(株))に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M., and Rowell, R.W. : Steam or heat fixation of compressed wood, *Wood and Fiber Science*, 25-3 (1993), 224-235.
- (2) 棚橋光彦：高圧水蒸気による木材の圧縮成形加工，第23回木材の化学加工研究会シンポジウム講演集，(1993)，9-14.
- (3) Goring, D.A.I.: Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose, *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 64 (1963), T517-T527.