

圧縮処理材と熱気乾燥材の吸・放湿特性

伊藤 洋一
菅谷 恵美子

中 篤 厚

The Moisture Absorption and Desorption of Compressed and Kiln-Dried Lumber

Youichi ITO
Emiko SUGAYA

Atsushi NAKAJIMA

Lumber of Mizunara, *Quercus mongolica* var. *grosserrata* was dried in a kiln or compressed by hot-press and steamed. The compressed boards had a 27% of compression set and a 10% of recovery set. Then in the moisture absorbing environment whose temperature and relative humidity were 20 and 85% respectively, and in the moisture desorbing environment whose temperature and relative humidity were 60 and 9% respectively, tests were performed on the boards to know their dimensional stability, with the moisture content varied between 4% and 15%. The results are summarized as follows:

- (1) The compressed boards absorbed moisture more slowly than the kiln-dried: the former had 76.1% smaller absorption than the latter. On the other hand, there was no difference in desorption between the two.
- (2) The compressed boards had approximately over two times as large dimensional change in thickness direction as the kiln-dried, whereas the change in width direction was smaller in the former.
- (3) In warps such as twists, bows and cups, no difference was made clear between the compressed boards and the kiln-dried. It was because they were susceptible to great recovery due to moisture absorption.

Keywords : dimensional stability, moisture absorption and desorption, compressed, steam treatment

寸法安定性, 吸湿・放湿, 圧縮, 水蒸気処理

ミズナラ材を熱気乾燥または圧縮処理した。圧縮処理材の圧縮セット量および回復度は、それぞれ27%および10%であった。その後、各処理材を吸湿（温度20℃，相対湿度85%）と放湿（温度60℃，相対湿度9%）環境において、含水率を4～15%の間で変化させ、吸・放湿特性および

寸法安定性に関する比較試験を行った。その結果は、次のとおりである。

- (1) 圧縮処理材は、熱気乾燥材と比べて吸湿速度は緩やかで、抗吸湿能は7.1%になった。しかし、放湿速度は変わらなかった。
- (2) 圧縮処理材の寸法の変化率は、板厚方向で大きく、熱気乾燥材の2倍以上となった。一方、板幅方向では小さくなった。
- (3) 圧縮処理材における狂いでは、吸湿による厚さ方向の寸法回復の影響が大きく、明確な関係性を把握できなかった。

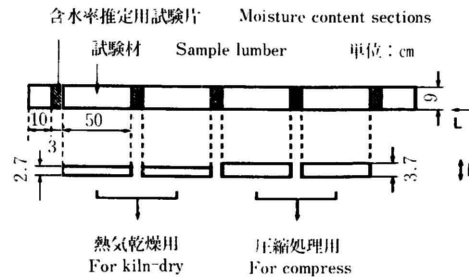
1. はじめに

木材を軟化圧縮し、その後の水蒸気処理または熱処理により寸法安定性を改善させる試みは、従来種々の方法で研究されている¹⁻³⁾。水蒸気処理や熱処理は、薬剤を使用しない処理のため、近年の環境保全やリサイクルに対する認識が高まるにつれ、その重要性が増しつつある。最近では、ホットプレスを用いた水熱処理など既存の装置を有効に活用する方法も開発されている⁴⁾。しかし、実用化に向けては、処理可能な材の大きさや量産性など多くの問題を抱えている。これらのことを踏まえ、本報告では、圧縮処理材を床仕上げ材として使用する場合を想定し、処理材の吸・放湿特性と寸法安定性についてその処理効果を熱気乾燥材と比較検討するとともに、処理の問題点について考察した。

2. 実験方法

2.1 供試材

実験に用いた供試材は、末口径30cm上、長さ2.6mのミズナラ原木から木取った幅9cmの製材（板目木取り）である。第1図に示すように、1枚の製材から熱気乾燥用2体（厚さ2.7cm）と圧縮処理用（厚さ3.7cm）2体の計4体を50cm長さで木取った。試験材の厚さが異なるのは、圧縮処理後に熱気乾燥材と同じ厚さにそろえるためである。これらの試験材を3枚の製材から同様に採取し、計12体を供試した。また、各試験材の両側から長さ約3cmの含水率測定用の試験片を取り、これらの試験片の含水率から各試験材の含水率を推定した。



第1図 試験材の寸法

Fig.1. Measurements of sample lumbars

2.2 処理条件

2.2.1 熱気乾燥

熱気乾燥は、ミズナラにおける材厚2.5cm用の標準的な乾燥スケジュール（乾燥温度：45～80℃，乾湿球温度差：3～28℃，コンディショニング1日）を適用し、仕上がり含水率8%を目標にして、恒温恒湿槽で乾燥を行った。

2.2.2 圧縮処理

圧縮処理は、試験材の「軟化」、「圧縮」、「圧縮変形の固定」の3工程から構成される。本報告では、軟化および固定処理には耐圧容器（内径80cm，長さ170cm，最大耐圧20kgf/cm²）を、圧縮にはホットプレス（電熱式，熱板面積2500cm²）を用いた。

試験材の「軟化」は、150℃の飽和水蒸気で5分間処理することによって行った。「圧縮」は、ホットプレス（熱板温度120℃）で試験材の厚さ方向（R方向）に行った。圧縮後の設定厚さは熱気乾燥材と表面積を同じにするため、2.7cmにした。試験材の圧縮に要した時間は1分間であった。圧縮後、設定厚さに固定した状態で試験材をホットプレスで乾燥させた。目標とした仕上がり含水率は8%である。「圧縮変形の固定」

は、試験材を再度耐圧容器に入れ、180℃の飽和水蒸気で5分間処理することによって行った。このとき、5分以上の処理をすることは、試験材に内部割れや落ち込みなどの損傷が発生するため、不可能であると思われた。また、「軟化」および「圧縮変形の固定」時の水蒸気の昇圧時間、解圧時間はいずれも2分以内とした。

なお、本報告では圧縮処理材の圧縮セット量¹⁾および回復度¹⁾を次式によって定義する。

$$\text{圧縮セット量} = \frac{T_0 - T_C}{T_0} \times 100 (\%)$$

$$\text{回復度} = \frac{T_R - T_C}{T_0 - T_C} \times 100 (\%)$$

T_0 : 圧縮処理前の厚さ

T_C : 圧縮処理後の厚さ

T_R : 圧縮変形の水分・熱回復処理後の厚さ

水分・熱回復処理は圧縮処理材の1体から長さ方向(L方向)3cmの試験片を6個切り出し、室温の水中に浸漬して1時間減圧した後、常圧に戻し24時間水中に放置し、さらに試験片を熱水中で1時間煮沸させることによって行った。

このような測定の結果、圧縮セット量は27%、水分・熱による回復度は10%であった。

2.3 吸・放湿試験

2.3.1 吸・放湿試験の方法

熱気乾燥材および圧縮処理材は、乾燥に対する養生の後、吸・放湿試験に供された。養生期間は、熱気乾燥材で6日間、圧縮処理材で12日間である。圧縮処理材に関しては、短時間で乾燥したことを考慮に入れ、養生期間を長くした⁵⁾。

この試験に供された試験材数は、各処理材とも5体ずつである。

試験材の寸法は、各処理材とも4材面についてプレーナをかけ、厚さ18~20mm、幅75mmに仕上げた。

吸・放湿試験は、吸湿から開始し、その後放湿を行い、終了した。吸湿条件の環境には、温度20℃、相対湿度85%、平衡含水率が約18%の恒温恒湿室を使用した。一方、放湿条件では、温度60℃、相対湿度約9%、

平衡含水率約1.8%の恒温恒湿槽を使用した。

吸・放湿試験中には、約24時間おきに各測定項目(2.3.2項に説明)を測定した。吸・放湿過程それぞれの終了判断は、吸湿条件下のものは試験材5体の含水率の平均値が15%、放湿条件下のものは含水率の平均値が4%とした。

2.3.2 吸・放湿試験における寸法安定性評価方法

寸法変化については、試験材中央部の厚さと幅を1/100mmまで測定した。

材の狂いについては、ねじれ、縦ぞり、曲がり、幅ぞりの測定を行った。ねじれは、一定の材面についてねじれ角度を1/100°まで測定した。縦ぞり・曲がりには、一定の材面についてそれぞれ厚さ・幅の寸法測定位置で、長さ方向スパン28cmのそり量(矢高)を1/100mmまで測定した。幅ぞりについては、表裏2材面について厚さ寸法測定位置で、幅方向スパン6cmのそり量(スパン中央部の矢高)を1/100mmまで測定した。

吸・放湿試験終了後は、寸法測定位置を中心とした試験片を5cm長さで木取り、全乾状態にして含水率および収縮率を求めた。また、そのほかに等間隔で試験片を計4片取り、同じく全乾状態にして含水率を求め、試験材の推定含水率を補正した。

なお、以下に示すすべてのデータは試験材5体の平均値である。

3. 結果と考察

3.1 処理後の仕上がり含水率

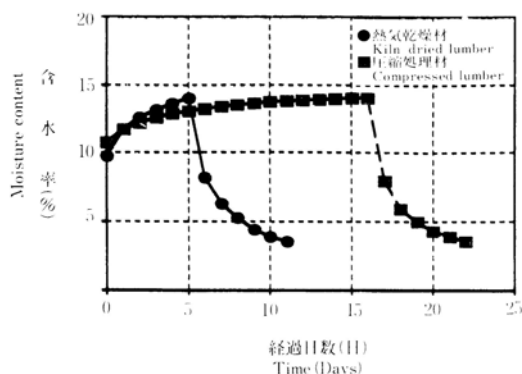
処理した試験材の初期含水率は、熱気乾燥材が47.6%で、圧縮処理材が45.2%であった。

熱気乾燥日数は14日間で、仕上がり含水率は9.5%であった。

一方、圧縮処理材の仕上がり含水率は10.8%と目標値より高くなった。これは、「圧縮変形の固定」の際に各試験材重量のばらつきが大きかったためである。

3.2 吸・放湿試験における含水率変動

各処理材の吸・放湿過程における含水率経過を第2図に示す。吸湿に要した日数は、熱気乾燥材が約5日



第2図 吸・放湿過程における含水率経過
Fig.2. Moisture content in process of absorption and desorption

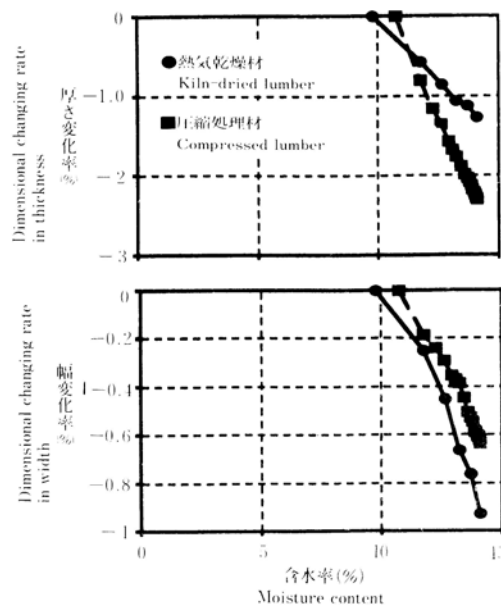
第1表 熱気乾燥材と圧縮処理材の吸・放湿速度
Table 1. Ab-/De-sorption rate of kiln-dried and compressed lumber

		熱気乾燥 Kiln-dried	圧縮処理 Compressed
吸湿 Ab-sorption	含水率 (%) Moisture content	9.8→14.1	10.8→14.1
	吸湿速度 (%/h) Absorption rate	0.036	0.009
	熱気乾燥材に対する 抗吸湿能 (%) Moisture excluding efficiency for kiln-dried lumber	—	76.1
放湿 De-sorption	含水率 (%) Moisture content	14.1→3.6	14.1→3.6
	放湿速度 (%/h) Desorption rate	0.073	0.073
	熱気乾燥材に対する 抗放湿能 (%) Moisture excluding efficiency for kiln-dried lumber	—	0

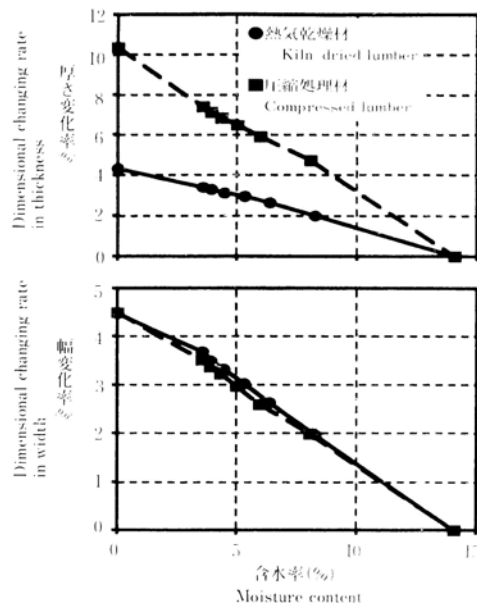
注) 抗吸・放湿能 (%) = $\frac{S_0 - S}{S_0} \times 100$
 Note) Moisture excluding efficiency
 S_0 : 熱気乾燥材の吸・放湿速度
 Ab-/De-sorption rate of kiln-dried lumber
 S : 圧縮処理材の吸・放湿速度
 Ab-/De-sorption rate of compressed lumber

間 (118時間), 圧縮処理材では約16日間 (381時間) であった。一方, 放湿に要した日数は, どちらの材も6日間 (144時間) であった。

吸・放湿過程における含水率の増減および吸・放湿速度について第1表に示した。吸湿過程において圧縮処理材の吸湿速度は, 熱気乾燥材のそれに比べて低い数値を示した。一方, 放湿過程においては両者の間に放湿速度の差はなかった。熱気乾燥材に対する圧縮処理材の吸湿速度から算出した抗吸湿能⁵⁾は, 76.1%となった。以上から, 圧縮処理材は熱気乾燥材に比べ



第3図 吸湿過程における含水率と寸法変化率の関係
Fig.3. Relation of moisture content to dimensional changing rate in process of absorption



第4図 放湿過程における含水率と寸法変化率の関係
Fig.4. Relation of moisture content to dimensional changing rate in process of desorption

て吸湿反応が鈍いものと考えられる。この理由は, 次のようなことが考えられる。

- (1) 主としてホットプレスによる加熱により、透湿性・吸湿性が低下した⁶⁾。
- (2) 圧縮処理の工程（「軟化」、「圧縮」、「圧縮変形の固定」の3工程）で試験材中のヘミセルロースが放出され、水を取り込む成分も減少した。
- (3) 圧縮による細胞の屈曲変形で水分の拡散速度が低下した。
- (4) 水蒸気処理の最中に、セルロース結晶領域が増加した^{3,7)}。

しかし、我々の過去の研究結果から熱板乾燥材においてもほぼ同程度に吸湿速度が低下する⁵⁾ことから、(1)によるものと思われる。

第2表 熱気乾燥材と圧縮処理材の寸法変化率(厚さ)
Table 2. Dimensional changing rate of kiln-dried and compressed lumber(Thickness) (%)

		熱気乾燥 Kiln-dried	圧縮処理 Compressed
吸湿 Ab-sorption	含水率 Moisture content	9.8→14.1	10.8→14.1
	含水率1%当たりの寸法変化率 Dimensional changing rate per 1% of m.c.	0.296	0.695
放湿 De-sorption	含水率 Moisture content	14.1→3.6	14.1→3.6
	含水率1%当たりの寸法変化率 Dimensional changing rate per 1% of m.c.	0.326	0.704
平均収縮率 Shrinkage per 1% of m.c.		0.212	0.616

第3表 熱気乾燥材と圧縮処理材の寸法変化率(幅)
Table 3. Dimensional changing rate of kiln-dried and compressed lumber(Width) (%)

		熱気乾燥 Kiln-dried	圧縮処理 Compressed
吸湿 Ab-sorption	含水率 Moisture content	9.8→14.1	10.8→14.1
	含水率1%当たりの寸法変化率 Dimensional changing rate per 1% of m.c.	0.217	0.192
放湿 De-sorption	含水率 Moisture content	14.1→3.6	14.1→3.6
	含水率1%当たりの寸法変化率 Dimensional changing rate per 1% of m.c.	0.351	0.335
平均収縮率 Shrinkage per 1% of m.c.		0.251	0.273

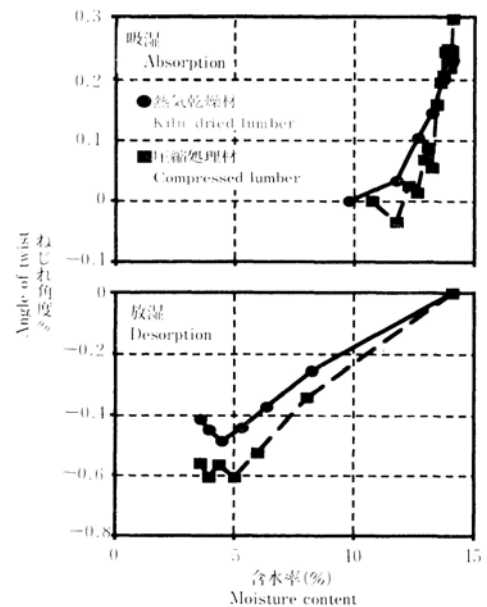
3.3 吸・放湿試験における寸法変化

第3,4図に、吸・放湿過程における含水率と厚さ・幅寸法変化率の関係について示す。ここでの寸法変化率は、以下の式により求めた。

$$\text{寸法変化率(\%)} = \frac{\text{変化前の寸法} - \text{変化後の寸法}}{\text{変化前の寸法}} \times 100$$

ただし、変化前の寸法とは、吸湿あるいは放湿環境に置いた最初の寸法を示し、変化後の寸法とは、それぞれの環境に放置し、経過中に測定した寸法を示す。第3,4図から、吸・放湿過程を通じて厚さ方向の寸法変化率は圧縮処理材の方が大きく、逆に幅方向の寸法変化率は圧縮処理材の方が小さいという結果になった。

第2,3表に、吸・放湿過程における含水率と含水率1%当たりの厚さ・幅寸法変化率の関係について示す。厚さ方向の含水率1%当たりの寸法変化率は圧縮処理材の方が大きく、吸・放湿過程を通じて熱気乾燥材の2倍以上となった。また、幅方向の含水率1%当たりの寸法変化率では、圧縮処理材は熱気乾燥材に比



第5図 吸・放湿過程における含水率とねじれの関係
Fig.5. Relation of moisture content to twist in process of absorption and desorption

べて吸湿で11.5%，放湿で4.6%減少した。

以上の結果から、圧縮処理材においては厚さ方向では寸法安定性は低下し、幅方向では向上する結果となった。

厚さ方向での寸法安定性低下の理由としては、吸湿によって圧縮変形が回復したことが考えられる。

しかし、我々の過去の研究では、熱板乾燥材においても、厚さ方向の寸法変化率は熱気乾燥材に比べて増加し、幅方向の寸法変化率は減少する⁵⁾結果が得られている。このことから、今回の圧縮処理材では、この熱板乾燥材の特性に加え、厚さ方向の寸法変化において吸湿により圧縮変形が回復することが影響しているものと考えられる。

3.4 吸・放湿試験における狂いの変化

3.4.1 ねじれ

第5図に、吸・放湿過程における含水率とねじれの関係について示す。吸湿過程においては、ねじれは各処理ともプラス側（左旋回）に移行し、逆に放湿過程では、マイナス側（右旋回）に移行した。各処理間のねじれ角度の最大変化量の差は、吸湿過程で0.07°、

放湿過程で0.12°でいずれも圧縮処理材の方が大きい。その値の差はわずかで、各処理間で含水率とねじれの関係に明確な差異はないものと考えられる。

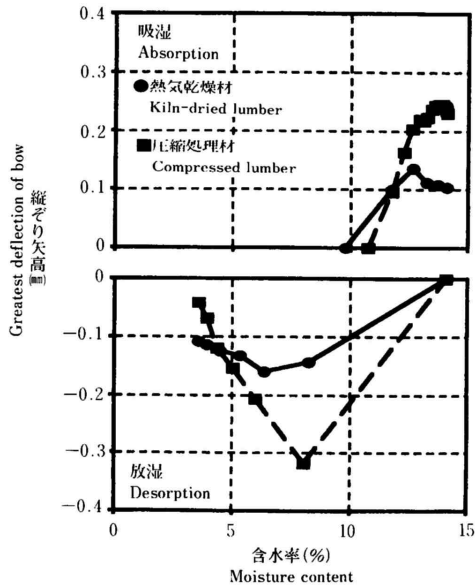
3.4.2 縦ぞり

第6図に、吸・放湿過程における含水率と縦ぞりの関係について示す。吸湿、放湿それぞれの過程において、圧縮処理材は縦ぞり矢高の最大変化量が熱気乾燥材の約2倍となった。熱板乾燥材と熱気乾燥材の間では、含水率と縦ぞりの関係について明確な差異が認められないという知見⁵⁾から、この減少は吸湿による圧縮変形の回復による影響と考えられる。

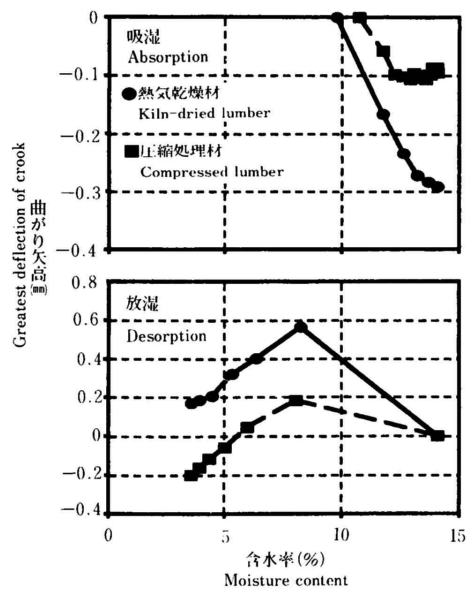
3.4.3 曲がり

第7図に、吸・放湿過程における含水率と曲がりの関係について示す。吸湿過程において、圧縮処理材は曲がり矢高の最大変化量が熱気乾燥材の約1/3となった。放湿過程においては、曲がり矢高は初期にはプラス側に变化し、以降は減少傾向となった。減少期における変化量は、各処理材ともほぼ同じになった。

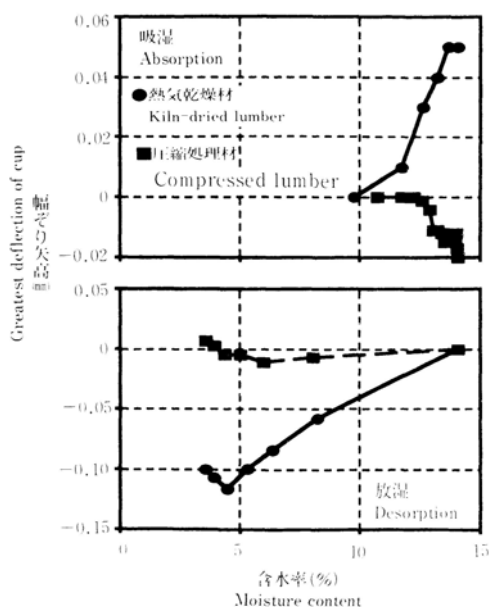
圧縮処理材において、曲がり矢高の変化は吸湿による回復の影響を受けないと考えられる。また、熱板乾



第6図 吸・放湿度過程における含水率と縦ぞりの関係
Fig.6. Relation of moisture content to bow in process of absorption and desorption



第7図 吸・放湿過程における含水率と曲がりの関係
Fig.7. Relation of moisture content to crook in process of absorption and desorption



第8図 吸・放湿過程における含水率と幅ぞりの関係
Fig.8. Relation of moisture content to cup in process of absorption and desorption

燥材と熱気乾燥材との間では、含水率と曲がりの関係について明確な差異が認められないという知見⁵⁾から、圧縮処理材における吸・放湿過程を通じての曲がりの変化量の減少は、水蒸気処理によって得られるものと考えられる。しかし、放湿過程で熱気乾燥材と比べて変化量の変わらなかった含水率範囲もあることから、さらに検討の必要があると思われる。

3.4.4 幅ぞり

第8図に、吸・放湿過程における含水率と幅ぞりの関係について示す。吸湿過程において、圧縮処理材は熱気乾燥材と全く異なる変化を示したが、これは吸湿による厚さ方向の寸法が回復することによる影響と考えられる。一方、放湿過程では、圧縮処理材は幅ぞり矢高の最大変化量が熱気乾燥材の約1/10となった。このことにより、圧縮処理材は寸法の回復が収まれば幅ぞりの変化量は熱気乾燥材に比べて減少するものと考えられる。

4. まとめ

熱気乾燥材と圧縮処理材の吸・放湿試験により、次

のような結果が得られた。

圧縮処理材は、熱気乾燥材と比べて吸湿速度は緩やかで、抗吸湿能は76.1%になった。しかし、放湿速度は変わらないという結果になった。また、吸湿による膨脹、放湿による収縮は板厚方向で大きく、熱気乾燥材の2倍以上となった。一方、板幅方向では小さくなった。

圧縮処理材における狂いでは、ねじれ、縦ぞり、幅ぞりについては吸湿による厚さ方向の寸法回復の影響が大きく、明確な関係性を把握できなかった。曲がりについては、曲がり矢高の変化量は減少するものと考えられるが、さらに検討の必要があると思われる。

本報での圧縮処理材をフローリングとして使用することを想定した場合、処理後の厚さ(R方向)が20mmのとき、熱気乾燥材と比べて約0.7mm(実際の変化量は、約1.3mm)の変化量の差が出てくるものと予想される。この差は、実用上軽視できないものと考えられるので、「軟化」および「圧縮変形の固定」の工程で材の内部割れや落ち込みなどの損傷が発生しない条件の検討が必要である。

文献

- 1) Inoue, M. *et al.* : Steam or heat fixation of compressed wood, *Wood Sci.*, 25, 224-235 (1993)
- 2) 井上雅文, 則元京 : 木材研究・資料, No. 27, 31-40 (1991)
- 3) 伊藤洋一ほか3名 : 日本木材学会中部支部研究発表会要旨集(富山), 70-71 (1992)
- 4) 井上雅文ほか3名 : 木材研究・資料, No. 29, 54-61 (1993)
- 5) 中島厚, 菅谷恵美子 : 北林産試場報, 8(2), 1-8 (1994)
- 6) 日本木材加工技術協会 : 木材工業, 49(12), 588-592 (1994)
- 7) 棚橋光彦 : 木材研究・資料, No. 18, 34-65 (1983)

—技術部 乾燥科—

(原稿受理H6. 12. 2)