スギロータリー単板の密閉熱処理†

易 庠 華* 木 下 敍 幸**
吉 延 匡 弘** 関 惠 元***

Sugi Rotary Veneers Compressed by Hygro-Thermal Treatment with an Airtight Device Using Moisture in the Veneers

by

Xianghua Yi*, Nobuyuki KINOSHITA**, Masahiro YOSHINOBU** and Huiyuan GUAN***

Sugi (*Cryptomeria japonica*) rotary veneers with thickness of 3.5mm were compressed in the radial direction using the moisture content in the veneers enclosed in an airtight device set on a hot-press to improve its mechanical properties. The compressive deformation of the rotary veneers with moisture contents of 30 % or more were approximately fixed by the compression at 200°C for 3 minutes or 180°C for 8minutes : These conditions for permanent fixation of the rotary veneers were similar to those of Sugi sawed veneers. The resistance of surface to wear of the compressed rotary veneers was 2 times higher than those of the uncompressed veneers. The dynamic Young's modulus in the longitudinal direction of the rotary veneers increased with an increase in degree of compression. These improvements in the resistance of surface to wear and dynamic viscoelasticity in the longitudinal direction of the rotary veneers were similar to those of the sawed veneers and resulted from increased in density by compression. The dynamic Young's modulus in the tangential direction of the rotary veneers, however, scarcely increased by compression and was much less than that of the compressed sawed veneers. The specific dynamic Young's modulus in the longitudinal direction of the compressed rotary veneers also increased due to an increase in density by the compression, whereas that of the compressed sawed veneers did not vary. It was thought that the difference in the behavior of the specific dynamic Young's modulus between the rotary veneers and the sawed veneers was due to the lathe checks that existed only in the rotary veneers, that is, the compression disappeared from both of the voids of the cells and those caused by the lathe checks for the rotary veneers but disappeared only from the voids of the cells for the sawed veneers.

Key words : Sugi rotary veneer, Compression, Airtight device, Hygro-thermal treatment, Resistance of surface to wear, Recovery of set, Specific dynamic Young's modulus, Lathe checks, Sugi sawed veneer

1 緒 言

スギ材を繊維方向と直交する方向に加熱圧縮すると、表面物性や力学性能の改善に対して効果があることが認められている。¹⁾しかし、圧縮変形された材料の形状を固定することは困難である。それを効果的に行う方法として、高温高压の水蒸気の雰囲気中で熱圧縮処理を行う方法が提案されているが^{2), 3)}これを寸法が大きな材料に適用する場合には、材料中に存在している水蒸気を材外に円滑に排出させることが困難であり、材料の割れや破損などが発生する原因となる。材内水蒸気の圧力を低下させるために、熱圧縮処理後に加熱された装置を冷却する方法が提案されているが²⁾装置自体を加熱—冷却させることはエネルギー面や処理能率の面でも問題がある。

本研究では、面寸法の大きな材料を短時間で効率的に熱圧縮処理し、その処理材の変形回復量を小さくするために、材料としてベニヤレースで切削された厚さ 3.5mm

のスギロータリー単板を用い、これを密閉装置中で単板中の水分を利用して水蒸気処理することによる効果を検討した。このような密閉熱処理は既に多くの研究者によって試みられているが^{2)~4)}本研究はこれをロータリー単板へ応用したものであり、スギ単板のような剛性が低い材料を用いて、構造用の合板や単板積層材 (LVL) を製造する可能性を探ることを目的としたものである。本論文においては、密閉熱処理による単板の変形固定性を評価し、耐摩耗性および動的粘弾性におよぼす処理効果について、特に動的粘弾性では挽き板材との比較を含めて検討を行なった。

2 実験方法

2・1 供試単板

供試材は、ベニヤレースで切削された気乾状態のスギ (*Cryptomeria japonica*) の 600mm (繊維方向) × 480 mm (接線方向) × 3.5mm (放射方向) の単板を用い

† 原稿受理 平成 15 年 7 月 2 日 Received July 2, 2003

* 正 会 員 島根大学総合理工学部材料プロセス工学科 〒690-8504 松江市西川津町, Faculty of Sci. and Eng., Shimane Univ., Nishikawatsu-cho, Matsue, 690-8504

** 島根大学総合理工学部材料プロセス工学科 〒690-8504 松江市西川津町, Faculty of Sci. and Eng., Shimane Univ., Nishikawatsu-cho, Matsue, 690-8504

*** 南京林業大学木材工業学院 南京 210037, College of Wood Sci. and Tech. Nanjing Forestry Univ., Nanjing, P. R China, 210037

た、スギ挽き板材の寸法は250mm（繊維方向）×25mm（接線方向）×3.5mm（放射方向）である。気乾状態の単板試料を室温の水中に浸せきし、含水率がおよそ15%、30%、60%、100%、150%になるように調整した。ここで、含水率が15%の単板については、室温の水中に30分程度浸せきした後、室内に1ヶ月以上放置した。また、他の含水率条件については、単板の全乾重量と目標含水率から推定される単板重量になるように水中に浸せきした後、ビニルフィルムで包み、室内に放置した。

2・2 実験装置

本研究に用いた装置は、単板をセットする耐圧密閉スペースと排気弁およびシリコンゴムからなる。本装置は井上⁹⁾によって用いられた装置を参考にして、単板用に新たに製造したものである。密閉スペースの寸法は700mm（幅）×500mm（奥行き）×15mm（深さ）である。装置本体の縁に幅5mm、深さ5mmの溝が加工されている。その溝の中に密閉用シリコンゴムを取り付け、熱圧縮処理中にスペース内に充満する水蒸気が外部に漏出するのを防止した。圧縮量の設定は、厚さの異なるスパーサー（695mm×495mm）を用いて行った。密閉加熱圧縮処理する際の装置内部の自由空間は、装置空間の約3.5%であった。

2・3 密閉熱処理

密閉熱処理の実験装置をホットプレスの下部熱板の上に設置し、これを所定の温度まで加熱した。その後、スギ単板を実験装置内にセットして密閉熱処理を行った。所定の処理時間が経過した後、単板を実験装置から取り出す前に、排気弁（排気口径3mm）を全開にし、密閉スペース内の水蒸気を排出させ、冷却過程を経ることなく、処理を完了した。このときの排気時間は、単板の含水率に応じて約2～5分とした。なお、スギ単板が実験装置に固着するのを防止するために、単板上下面に厚さ0.1mmのテフロンフィルムを敷いた。下側のテフロンフィルムには、単板内からの水蒸気の排出を円滑に行い、単板表面の割れを防止するために、直径1mmの孔を10mm間隔で開けた。さらに、このテフロンフィルムの下に、厚さ0.12mm、目開き0.3mmの金網を敷いた。金網による単板表面の凹凸痕が処理単板を用いた合板あるいはLVLの製造において問題とはならないことは、処理単板より製造したLVLの接着性能評価の結果から確認した。¹⁰⁾

密閉熱処理条件は熱板温度160、180、200℃、時間1～16分間、圧縮率50%とした。比較のために、スギの挽き板材について同様の処理を施した。

2・4 単板厚さの回復度

処理ロータリー単板の厚さ変形の固定状態を評価するため、処理された単板を全乾状態まで乾燥した後、15分間～48時間の範囲内で所定時間煮沸した。所定時間後に取り出したそれぞれの試験体を105℃で24時間以上乾燥し、処理前後の厚さから式(1)により単板厚さの回復度S(%)を求めた。⁵⁾測定後、試験体は再び煮沸処理に供した。これを繰り返し、回復度の経時変化を算出した。

$$S = \frac{h_2 - h_1}{h_0 - h_1} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 h_0 (mm)は密閉熱処理前の単板の厚さ、 h_1 (mm)は密閉熱処理後の単板の厚さ、 h_2 (mm)は煮沸処理後の単板の厚さであり、全て全乾状態の厚さである。全乾状態における密閉熱処理前の単板の厚さは、密閉熱処理のための単板試験体に隣接して20mm×20mmの試験体を取り、105℃で24時間以上乾燥して測定した。

2・5 単板の動的ヤング率

密閉熱処理ロータリー単板および未処理単板から250mm（繊維方向）×25mm（接線方向）の試験体を作製し、試験体を恒温恒湿室（20℃、60%RH）内に1週間放置した後、繊維方向に対して動的ヤング率を測定した。ヤング率の測定は、片持ちはり（一端固定他端自由）のたわみ振動法で行った。自由振動部分の長さは200mmである。ヤング率E (Pa)はたわみ振動の1次モードの固有振動数によって求めた。⁶⁾

$$E = \frac{48\pi^2 F^2 l^4}{\lambda_1^4 h^2} \rho \quad (2)$$

ここで、F (Hz)はたわみ振動の1次モードの固有振動数、 ρ (g/cm³)は試験体の密度、h (mm)は試験体の厚さ、l (mm)は試験体の振動部分の長さ、 λ_1 はたわみ振動の1次モードの固有値($\lambda_1 = 1.875$)である。

スギ挽き板材についても、同じサイズの試験片を用いて測定を行い、単板との比較を行なった。

また、ロータリー単板の接線方向に対してのヤング率は、一般的に極めて低いことが知られているが、本研究におけるような密閉熱処理によっても、僅かに改善されるのみであった。そのため、繊維方向に対しての測定試験片の作成とは異なり、接線方向に対してのヤング率の測定試験片の正確な作成は割れや欠けの発生により困難であった。以上のことから、本論文では接線方向に対する試験は行なわず、繊維方向に対する動的ヤング率のみを測定した。

2・6 単板表面の摩耗性

密閉熱処理ロータリー単板および未処理単板を110mm（繊維方向）×110mm（接線方向）に切断し、密度を測定した後、市販のユリア樹脂接着剤を用い、5mm（厚さ）×110mm×110mmの合板に貼って摩耗性測定用の試験体とした。このときの接着条件は、常温下、圧縮圧力0.5kgf/cm²とし、単板が再圧縮されないように留意した。測定は回転型摩耗装置を用いて行った。⁷⁾試験条件は、研摩紙粒度#240、研摩紙幅12mm、研摩ローラの直径55mm、研摩ローラの荷重750gとした。摩耗量d (mm)は式(3)によって求めた。¹¹⁾

$$d = \frac{10(W_0 - W_1)}{\rho A} \quad (3)$$

ここで、 W_0 (g)は摩耗前の試験体の重量、 W_1 (g)は摩耗後の試験体の重量、A (cm²)は摩耗を受ける面積、 ρ (g/cm³)は試験体の密度である。

2・7 単板裏割れ面の断面観察

単板裏割れの断面観察はNikon社製SMZ-10A-2型電子顕微鏡を使用した。

3 結果と考察

3・1 密閉熱処理前後の単板の含水率

ロータリー単板の含水率が高い場合には、処理中に割れやパンクなどの発生が懸念された。そこで、単板の含水率を15%～150%の範囲で変化させ、180℃、10分間の密閉熱処理を行ったところ、割れやパンクなどは発生しなかった。これは、単板の厚さが薄く、裏割れがあり、単板からの水蒸気排出を円滑に行う対策を施したことによると推察された。

3・2 密閉熱処理単板の厚さの回復度に及ぼす単板の含水率の影響

3・1節と同様の条件で密閉熱処理したロータリー単板についての、1時間煮沸後の単板厚さの回復度に及ぼす単板の含水率の影響をFig. 1に示す。単板厚さの回復度は、単板の含水率が15%の場合は43%であったが、含水率が30%以上の場合はいずれも5%以下となり、含水率による明確な差異は認められなかった。この傾向は、含水率15%で43%の回復度はこれまでの報告に比べて幾分高いが、挽き板材の場合と類似した結果である。⁹⁾

提案されている熱圧縮処理に伴う変形固定化機構^{3), 4)}に従うならば、単板の処理における水分の作用は以下のように説明される。密閉熱処理直後の単板の含水率は約1.2%であったことから、単板内に含まれていた水分の一部は加熱されることによって気化し、生じた水蒸気の一部が単板内に残存し、また一部は単板外の密閉装置内に充満するが、残りは液体状態で存在する。圧縮後、水蒸気を排出させ、単板内部の圧力を解放し、急激に気化および乾燥が進行するものと考えられる。したがって、単板の水分により装置内の蒸気圧は上昇するが、単板の含水率が低い場合には、この蒸気圧が低く、変形固定の効果が小さくなったと思われる。

以上の結果を踏まえて、以後の実験は含水率を30%～60%に調整した単板について行った。

3・3 密閉熱処理単板の厚さの回復度

160℃、180℃、200℃で密閉熱処理したスギロータリー単板を15分間～48時間の範囲で煮沸した時の単板厚さ

Fig. 1. Effect of the initial moisture content of Sugi rotary veneer on set recovery in thickness of the compressed Sugi rotary veneer.

Note : Sugi rotary veneer were compressed at 180℃ for 10min.

Fig. 2. Effect of boiling time on set recovery in thickness of the compressed Sugi rotary veneer.

Note : Sugi rotary veneer were compressed at 180℃ for 10min.

の回復度の測定結果をFig. 2に示す。プロットは式(1)に示したように所定時間煮沸したのち乾燥後の厚さを用いて、回復度を算出した。すなわち、乾燥状態の回復度である。煮沸時間が長くなるほど単板厚さの回復度は大きくなったが、処理温度が180℃で処理時間を10分間以上に設定した場合、あるいは処理温度が200℃で処理時間を3分間以上に設定した場合には、単板厚さの回復度は煮沸時間に依らずほぼ一定であり、単板厚さの回復度はいずれも5%以下であった。しかし、処理温度が160℃の場合には、処理時間を16分間に設定しても、単板厚さの回復度は25%以上と大きく、単板の圧縮変形の固定が不十分であった。

密閉熱処理温度および時間を変化させて処理した単板について処理時間依存性をFig. 3に示す。図は1時間煮沸後の単板厚さの回復度に関するものである。いずれの処理温度の場合においても、単板厚さの回復度は処理時間が長くなるにつれて減少した。処理時間が同じ場合には、温度が高くなるほど回復度は小さくなった。

単板における熱処理条件と回復度との関係は、上記のようにおおむね板材において報告された傾向と類似の傾向を示し、その変形固定化機構が挽き板材と同じであると推察された。

3・4 密閉熱処理単板表面の摩耗性

180℃、10分間で密閉熱処理を行ったロータリー単板

Fig. 3. Effect of heat compression time on set recovery in thickness of the compressed Sugi rotary veneer.

Note : Sugi rotary veneers were compressed at 180°C for 10min.

および未処理単板について、単板表面の摩耗量を測定した結果を Fig. 4 に示す。単板表面の摩耗量は摩耗距離が長くなるにつれて増加し、摩耗距離 520mm における処理単板および未処理単板の摩耗量はそれぞれ 1.02mm および 0.50mm であった。密閉熱処理を行うことによって、単板表面の摩耗量は 1/4 ~ 1/2 程度に減少し、処理単板表面の耐摩耗性は著しく向上した。これは、密度増大によるものである。

3・5 密閉熱処理単板の繊維方向に対する動的ヤング率

これまで述べてきたように、ロータリー単板への密閉熱処理は、挽き板材への処理と概ね類似した特性を与え、したがってその変形固定化機構も同じであると推察された。

Fig. 5 に、180°C、10 分間で密閉熱処理を行ったロータリー単板および未処理単板について、動的ヤング率を密度に対してプロットしたものを、挽き板材の結果とともに示した。未処理ロータリー単板の動的ヤング率は 1.51 ~ 6.11GPa であったが、密閉熱処理を行うことによって、ロータリー単板の動的ヤング率は 4.87 ~ 13.29GPa へと増大した。未処理ロータリー単板および処理ロータリー単板の密度は、それぞれ 0.25 ~ 0.37g/cm³ および 0.54 ~

Fig. 4. Relationship between loss in thickness and wear distance of the Sugi rotary veneer.

Note : Sugi rotary veneers were compressed at 180°C for 10min.

Fig. 5. Relationship between the dynamic Young's modulus and density of the Sugi veneers.

Note : Sugi veneers were compressed at 180°C for 10min.

Symbols : ○, Sugi rotary veneer before compression ;
●, Sugi sawed veneer before compression ;
△, Sugi rotary veneer after compression ;
▲, Sugi sawed veneer after compression.

0.70g/cm³ であった。図から明らかなように、ロータリー単板のプロットは挽き板材の結果と比較しては幾分低密度側に位置した。これは、裏割れによるロータリー単板密度低下によるものと考えられる。動的ヤング率と密度との関係は、ロータリー単板と挽き板材ともに、処理の有無に関わらず、密度の増大に伴い増大する傾向を示した。

Fig. 6 に比ヤング率と密度との関係を示す。両者の相関はほぼないとみなせることから、密閉熱処理前後の比ヤング率の平均値について、その差の検定 (T 検定) と併せて、比較を行った。¹²⁾ ロータリー単板では、処理前後の平均値の差は有意水準 0.01 で有意差ありと検定され、密閉熱処理によって比ヤング率の平均値はおおよそ 1.3 倍に増大した。これに対して、挽き板材では、処理前後の平均値は有意差なしと検定され、密閉熱処理によって比ヤング率はほとんど変化しなかった。

挽き板材を用いた熱処理においては、圧縮率が増加するにつれてヤング率は高くなるが、比ヤング率はほとんど変化しないことが知られている。¹¹⁾ Fig. 6 に示したように、本実験においてロータリー単板の比較として実施した挽き板材の結果もまた、同様であった。ロータリー単板ではヤング率が上昇したものの、それは処理前に比べてであり、処理後の絶対値は板材のそれとほぼ同じであったことを考慮すると、ロータリー単板の処理前の比ヤング率が挽き板材に比べて低いことが、両者の熱処理による変化の違いとして発現したと言える。

上記結果は、裏割れの関与と関連付けて考えることができるので、ヤング率への裏割れの寄与を以下において考察する。

一般に木材は空隙と実質との複合材料であるから、大釜ら⁸⁾が示したようにそのヤング率 E_w は式 (4) で与えられる。

Fig. 6. Relationship between the specific dynamic Young's modulus (E/ρ) and density of the Sugi veneers.

Note : Sugi veneers were compressed at 180°C for 10min.

Symbols : ○, Sugi rotary veneer before compression ;

●, Sugi sawed veneer before compression ;

△, Sugi rotary veneer after compression ;

▲, Sugi sawed veneer after compression ;

—, The average of the specific dynamic Young's modulus of Sugi rotary veneer before compression.

—, The average of the specific dynamic Young's modulus of Sugi sawed veneer before compression ;

—, The average of the specific dynamic Young's modulus of Sugi rotary veneer and Sugi sawed veneer after compression.

$$E_w = \theta^n E_s \quad (4)$$

ここで, θ は実質率, n は形状に関わる定数, E_s は実質のヤング率である. 本実験でのヤング率は曲げであるから, 空隙と実質は力線方向に対して並列とみなせる. そこで, 粗い近似であるが, $n = 1$ と近似する. さらに, 木材実質の密度を ρ_0 , 木材全体の密度を ρ とすれば, $\theta = (1/\rho_0)/(1/\rho)$ である. したがって,

$$E_w = \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) E_s \quad (5)$$

あるいは,

$$\frac{E_w}{\rho} = \frac{E_s}{\rho_0} \quad (6)$$

式 (5) はヤング率が密度に比例することを示すものであり, 式 (6) は実質のヤング率と密度に対する熱処理による寄与が同じであれば, E/ρ が一定となることを示す. 先に述べたように挽き板材の圧密化において比ヤング率はほとんど変化しないことが知られているが, このことは熱処理による寄与がヤング率と密度に対して線形であることを示唆する.

ロータリー単板の力学的特性を考える場合, 挽き板材にはない因子がある. それは裏割れである. 式 (5), (6) はこの裏割れの寄与を考慮していない. Fig. 7 は測定した試験片断面の実態顕微鏡写真である. 密閉熱処理前のロータリー単板では裏割れに伴う空隙が顕著に認められた. 一方, 処理後の単板では, 裏割れに伴う空隙はほとんど認められなかった. これらの結果は, 処理によって

Fig. 7. Lathe checks of the side surface of Sugi rotary veneer before and after compression.

裏割れによる空隙がほとんど消失したものと考えてよいことを示している.

いま, ロータリー単板のヤング率を E とし裏割れの体積分率を λ とすれば, 裏割れが材の繊維方向に生じることを考えると, E_w を得た同じ手順で E を式 (7) として得る.

$$E = (1-\lambda)E_w = (1-\lambda)\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)E_s \quad (7)$$

あるいは,

$$\frac{E}{\rho} = (1-\lambda)\left(\frac{1}{\rho_0}\right)E_s \quad (8)$$

を得る.

密閉熱処理は処理条件が厳しくなるほど密度が増大するが, そのことは同時に裏割れに伴う空隙率を減少する. 熱処理条件が厳しくなるほど裏割れ率が減少するとき, $(1-\lambda)$ は増大し, その結果ヤング率は増大する. したがって, 式 (7), (8) に示したように $(1-\lambda)$ の寄与を考慮すれば, ロータリー単板と挽き板材との処理前後の比ヤング率の違いは説明可能である.

圧密化は挽き板材に対しては空隙を潰すという作用を及ぼすが, ロータリー単板においてはそれに加えて裏割れに伴う空隙を減少する. このことは, 比ヤング率に関しては, 処理によってロータリー単板と挽き板材との差はなくなることを意味する. その結果, 比ヤング率と密度との関係は, ロータリー単板においては処理前後で変化を生じる.

以上の議論から, 繊維方向に対する性質に関しては, ロータリー単板を用いても, 挽き板材と同程度の繊維方向に対するヤング率を有する熱圧縮処理材が得られることがわかる. このことは, ロータリー単板の歩留まりが高いことを考慮するならば, 資源利用の観点から, ロータリー単板を用いた熱圧縮処理が有効であることを示している.

4 結 論

低密度, 低剛性のスギ材を利用して構造用合板あるいは構造用単板積層材の製造を目的として, その構成エレメントであるベニヤレースで切削された厚さ 3.5mm のスギロータリー単板の密閉熱処理を試み, その物性を挽き板材の場合と比較した. 結果は, 以下の通りである.

(1) 密閉装置中で単板中の水分を利用した水熱処理で圧縮することにより、ベニヤレースで切削された直後の高含水率状態のスギロータリー単板の厚さの固定が可能であった。単板の厚さ方向における変形を固定できる処理条件は、本研究に用いた装置では処理温度 200℃では3分間以上、同 180℃では8分間以上であった。これは異なる装置で得られた挽き板材の結果とほぼ同じ傾向を示すものであった。処理を行うことにより、密度増大によりロータリー単板においても挽き板材同様に表面耐摩耗性が改善された。

(2) 繊維方向に対する動的ヤング率と密度との関係は、ロータリー単板と挽き板材ともに処理の有無に関わらず密度の増大に伴い増大する傾向を示した。比ヤング率と密度との関係において、ロータリー単板では挽き板材とは異なり処理依存性が認められ、比ヤング率が処理によって増加した。挽き板材とロータリー単板のこの違いは、ロータリー単板に生じる裏割れの寄与によるものであった。一方、処理後の単板の接線方向に対する動的ヤング率は挽き板材と比較して極めて低く、処理による改善効果は僅かであった。

以上のように、本研究で試みたロータリー単板を用いた密閉熱処理は、(a)ロータリー単板の歩留まり、すなわち資源化率が高いこと、(b)大きな面積の材料を比較的短時間に効率良く処理可能であること、および(c)結果として引き起こされる裏割れに伴う空隙の減少により、表面の耐摩耗性や繊維方向に対する粘弾性といった力学

性能が向上することから、スギ材のような一般的に低質とされる木材資源の有効な利用法の一つであると思われる。今後は、密閉熱処理によって剛性を改善したスギ単板と用いて各種の LVL を製造し、その構造用材としての可能性について、詳細な検討を進める計画である。

参 考 文 献

- 1) 井上雅文, APAST, **17**, 5 (1995).
- 2) 棚橋光彦, APAST, **7**, 10 (1993).
- 3) M. Inoue, M. Norimoto, M. Tanahashi and R. M. Rowell, Wood and Fiber Sci., **25**, 224 (1993).
- 4) 井上雅文, 門川倫子, 西尾治郎, 則元 京, 木材研究・資料, **29**, 54 (1993).
- 5) 宇高英二, 古野 毅, 木材学会誌, **44**, 218 (1998).
- 6) 佐藤秀紀, 岡部佐規一, 岩田佳雄, “機械振動学”, p.170 (1995) 工業調査会.
- 7) 柳下 正, “特殊合板”, p.302 (1967) 森北出版(株).
- 8) 大釜敏正, 山田 正, 材料, **20**, 1194 (1971).
- 9) 井上雅文, 門川倫子, 西尾治郎, 則元 京, 第43回日本木材学会大会研究発表要旨集, 614 (1993).
- 10) 易 摩華, 木下敍幸, 吉延匡弘, 関 惠元, 木材工業, **58**, 588 (2003).
- 11) 日本規格協会, “JIS Z 2141 木材の摩耗試験方法”, p.341 (2002).
- 12) 大滝 厚, 鈴木和幸, 長澤伸也, “パソコン BASIC 統計解析”, p.119 (1991) 東海大学出版会.