

## ロールプレス液中圧縮法を用いた生材への薬液注入\*<sup>1</sup>

足立幸司\*<sup>2</sup>, 井上雅文\*<sup>3</sup>, 川井秀一\*<sup>4</sup>

## Liquid Impregnation of Green Wood using a Roller-pressing Method\*<sup>1</sup>

Koji ADACHI\*<sup>2</sup>, Masafumi INOUE\*<sup>3</sup> and Shuichi KAWAI\*<sup>4</sup>

Phenol-formaldehyde resin (PF resin) solution was impregnated by a roller-press into Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) sapwood, spruce (*Picea* spp.) heartwood, and Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) heartwood, in the green or the air-dry condition and of various dimensions.

In case of sugi sawn timber, green specimens showed higher volume retention than air-dried specimens. At 45% compression, volume retention and the distribution of the solution in the longitudinal direction of 10 and 20 mm-thick specimens were almost the same. The distribution of volume retention in a cross section in the middle of those specimens was uniform in the 10 mm-thick specimens, but was concentrated in a marginal layer of the surface in the 20 mm-thick specimens. Volume retention and uniformity of distribution of the retention was enhanced with increasing of cyclic compression.

In the case of spruce and Douglas-fir sawn timber, volume retention of green specimens after cyclic compression showed a much greater increase than that of air-dried wood. This suggests that the green wood has a lower amount of pit aspiration (*i.e.*, higher permeability of the aqueous solution and higher recovery of cell deformation) than that of air-dried wood.

In the case of sugi rotary veneer in the green condition, the time required for reaching the same volume retention as sawn timber was relatively short. The bending properties of LVL made of roller-pressed rotary veneer were not changed.

**Keywords:** refractory wood, green wood, roller press, impregnation, cyclic compression.

直径500 mmの薬液注入専用ロールプレス機を用い、生材への薬液注入処理を試みた。試験片として、スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 辺材、スプルース (*Picea* spp.) 心材およびベイマツ (*Pseudotsuga menziesii* Franco) 心材を用いた。

スギ生材の場合、ロールプレス液中圧縮法を用いて薬液注入を行うことで、気乾材に比較して注入量は増大した。また、圧縮率45%における厚さ10 mmと20 mmの試験片の注入量および繊維方向の注入量分布はほぼ等しかった。しかし、木口断面での薬液の分布は厚さ10 mm材ではほぼ均一だったのに対し、厚さ20 mm材では中央部が無処理のままであった。繰り返し処理によって、注入量は増大し、試験片中央部への薬液浸透量は増加した。

スプルースおよびベイマツ生材の場合、繰り返し処理によって気乾材と比較して注入量が大幅

\*<sup>1</sup> Received September 22, 2004; accepted November 16, 2004. 本報の一部は、第53回日本木材学会大会 (2003年3月, 福岡) において発表した。

\*<sup>2</sup> 秋田県立大学木材高度加工研究所 Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University, Noshiro 016-0876

\*<sup>3</sup> 東京大学アジア生物資源環境研究センター Asian Natural Environmental Science Center, The University of Tokyo, Tokyo 113-8657

\*<sup>4</sup> 京都大学生存圏研究所 Research Institute for Sustainable Humansphere, Kyoto University, Uji 611-0011

に増加した。気乾材と比較して閉塞壁孔が少ないこと、細胞内腔が湿潤して液体浸透性が向上していること、湿潤した細胞壁によって圧縮変形の回復が迅速であることが理由として考えられた。

また、スギ生材レース単板への薬液注入処理を試みた。結果として、ソード単板より短時間の浸せきによって同等以上の注入量が得られ、圧縮処理単板を用いて作製した単板積層材 (LVL) においても強度低下は生じなかった。

## 1. 緒 言

前報<sup>1-2)</sup>では、木材中へ液体注入する手法の一つとして、気乾材を液中で圧縮/除荷する液中圧縮法を試みた。結果として、除荷直後の細胞壁の弾性的な変形回復と湿潤に伴って軟化された細胞壁の変形回復促進に起因する液体吸引力の発生によって短時間に液体が木材中に導入されることが明らかになった。注入量は圧縮/浸せきを繰り返すことによって増大した。また、ロールプレスを用いて高含水率の木材を圧縮し<sup>3)</sup>、長大な試験片においても、平板プレスを用いた既往の研究<sup>4)</sup>と同様の水分除去効果が得られた。以上の結果を踏まえ、高含水率木材の自由水の除去と薬液注入を同時に行うことを提案し、結果として、加工材初期含水率に比例して注入量が増大することが明らかになった<sup>5)</sup>。この手法は、内腔中の自由水が存在した領域を薬剤溶液で置換する処理であるため、注入前処理としての乾燥工程が省略され、乾燥に伴って発生する割れや反り等で生じる歩留まり低下および乾燥に要する時間・エネルギーの抑制が期待される。一方、木材のロールプレス加工では、平板プレスでは発生しない特有の材料損傷が認められる<sup>6)</sup>が、加工条件を考慮することで損傷および曲げ性能の低下は抑制可能である。

今後、ロールプレス液中圧縮法の実用化を目指す上で、既往の横圧縮加工を用いた研究<sup>7-9)</sup>と同様に難注入材での検討は不可欠である。本報では、新たに設計、試作したロールプレス機を用い、本手法の加工特性を活かすために、前乾燥の省略のために生材を、また、被加工材が連続的に供給される単板を選定し、薬液注入を試みた。すなわち、試験片として、スギ辺材のソード単板およびレース単板を、難注入材としてスプルース、ベイマツのソード単板を供試し、試験片寸法、圧縮率、浸せき時間および圧縮の繰り返し数等の加工条件が注入量の及ぼす影響について検討した。また、圧縮処理されたレース単板から単板積層材 (LVL) を作製し、強度性能を評価した。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材料

木材試験片として、生材状態の原木からソード単板とレース単板の2種を作製した。前者には、300 mm (繊維方向, L) × 120 mm (接線方向, T) × 4, 6, 10, 20 mm (放射方向, R) のスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 辺材、難注入材とされるスプルース (*Picea* spp.) およびベイマツ (*Pseudotsuga menziesii* Franco) 心材を用いた。後者には、500, 900 mm (L) × 120 mm (T) × 3 mm (R) のスギ材を用いた。15 mm 以上の生節を持つものは試験片から除外した。

一部の試験片について、室内に10週間養生し、気乾状態とした。また、スギ材に関しては、減圧注入缶を用いて-0.09 MPa で60分間排気後、水中に6時間浸せきすることで飽水状態とした。試験片の全乾重量は、試験片採取後の端材を105℃の送風乾燥機を用いて恒量操作することで求めた。スギ、スプルース、ベイマツの平均含水率は、生材状態で188%, 86%, 90%, 気乾状態で12%, 15%, 15%, 全乾密度は0.32, 0.49, 0.52 g/cm<sup>3</sup>であった。また、スギ材の平均飽水含水率は270%であった。

注入薬液として、フェノール・ホルムアルデヒド樹脂水溶液 (以下、PF樹脂) を用いた。PF樹脂の数平均分子量は370, 樹脂固形分率は36.0%に調製した。

### 2.2 薬液注入ロールプレス

実用機プロトタイプとして設計、試作した薬液注入専用ロールプレス (菱明技研株式会社製) を Fig. 1 に示す。直径500 mm, 幅300 mm の一対の金属ロールが、長さ4600 mm の薬液槽内の中央部に設置されており、薬液槽横に設置されたギヤモータ (7.5 kW) によって下ロールのみが駆動される。最大荷重37 kN, 最大トルクは2.8 kNm である。ロール回転数は平歯車の交換およびインバータ方式の使用によって0~40 m/分の範囲で調節可能である。ロール間隙は、昇降ボルトによって、上ローラーを軸箱ごと上下させることで0~150 mm に調整される。

### 2.3 薬液注入処理と注入量の評価

0.3 m<sup>3</sup> の PF 樹脂水溶液で薬液槽が満たされた状

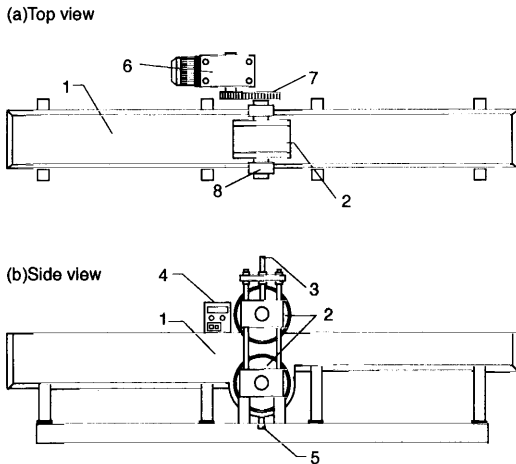


Fig. 1. Schematic illustration of the roller press for liquid impregnation.

Notes: 1: Solution tank, 2: Metal roller ( $\phi 500$ ), 3: Lifting and lowering bolt of Upper roller, 4: Control panel, 5: Drain cock, 6: Geared motor, 7: Spur gear, 8: Oil-seal ring.

態で、試験片をロールプレスし、そのまま液中に浸せきした。加工条件は、圧縮率を15, 30, 45, 50, 60および75%, 浸せき時間を10, 30秒, 1, 3, 5, 10および30分間, 送り速度を毎分6mとした。薬液の温度は常温(20~22℃)とした。浸せき時間の計測は、試験片後端がロール最下点を通過した時点で開始した。また、「50%圧縮→3分間浸せき」を1サイクルとした圧縮くり返し試験を行い、サイクル数は最大3回とした。ロールプレス時の試験片の脱水に伴う、PF樹脂水溶液の希釈を防ぐため、試験片20~25片毎に、薬液槽内に樹脂固形分率52%のPF樹脂を新たに混入した。混入量は、圧縮率を15, 30, 45, 50, 60および75%とした生材の脱水試験から得られた水分除去量を基に算出した。

PF樹脂水溶液が注入された試験片は、送風乾燥機で24時間風乾後、135℃の恒温乾燥機中で硬化させ、全乾重量および寸法を測定した。全乾状態におけるPF樹脂による試験片の重量増加とPF樹脂水溶液の固形分率から、薬液注入処理による注入量( $\text{kg/m}^3$ )を算出し、評価に用いた。尚、注入前の試験片全乾重量は、試験片切削時に生じた同一木口断面の端材を基にした。また、一部の試験片では、繊維方向に10mm毎に切断し、各切片の重量増加を測定した。

#### 2.4 LVLの作製と曲げ性能の評価

900 mm(L) × 120 mm(T) × 3 mm(R)のスギ生材レ

ース単板を、ロールプレスを用いて圧縮率15, 30, 45, 50, 60および75%で圧縮した。同様に気乾状態に調整した単板も同様の操作を行った。圧縮処理単板は、減圧注水によって変形回復させた後、常温で24時間風乾後、60℃の恒温乾燥機で含水率4~5%になるように調整した。その後、積層数12枚のLVL作製に供した。接着剤としてレゾルシノール・ホルムアルデヒド樹脂を用い、塗布量を $300 \text{ g/cm}^2$ (片面塗布)、閉鎖堆積時間を20分間、熱盤温度を60℃、圧縮圧力を $8 \text{ kgf/cm}^2$ 、圧縮時間を90分とし、目標寸法900 mm(L) × 120 mm(T) × 33 mm(R)のLVLを一条件につき4体作製した。作製されたLVLは室内で4週間養生後、積層方向の表面を0.5 mm研磨し、幅方向端部から10 mmを切除した。曲げ試験片は、LVL 1体から3片作製した。曲げ試験片の幅寸法は各LVLの仕上がり厚さに準拠した。曲げ強度試験は、中央集中荷重3点曲げ試験で行い、支点間距離は試験片厚さの18倍、荷重速度は毎分10 mmとし、Edgewise(縦使い)およびFlatwise(平使い)方向から加力した。試験片は一条件につき6片とした。応力-ひずみ曲線から、曲げヤング率(MOE)および曲げ強度(MOR)を算出した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 ソード単板への薬液注入処理

##### 3.1.1 生材への薬液注入効果

Fig. 2に厚さ10 mm, 長さ300 mmのスギ材を浸せき、または、ロールプレス液中圧縮したときの注入量を示す。浸せき時間は3分とした。浸せきの場合、注入量は気乾>生材>飽水状態の順となった。気乾材の場合、表面に露出した毛管の表面張力による吸液が主体となる。一方、飽水材の場合、毛管内が自由水で満たされているため、薬液は自由水との間の濃度勾配による溶質の拡散が主体となる。その拡散の進行速度は非常に緩慢であり<sup>10)</sup>、注入量は初期含水率が高くなるほど少なくなる。

ロールプレス液中圧縮の場合、注入量は気乾<生材<飽水状態の順となった。気乾材では、プレス時に細胞内腔の気体の一部が圧縮されて材内部に留まり、液体吸引力が低下することが考えられる。一方、飽水材では、細胞内腔が非圧縮性流体である自由水で満たされており、圧縮に伴う体積減少による自由水の放出量と、変形回復後に導入される液体量はほぼ等しく<sup>5)</sup>、バラツキも少ない。加えて、飽水材では、細胞壁が湿潤状態であるため、乾燥材の場合のように毛管圧による液体流動時のぬれの抵抗<sup>11)</sup>が小さいと考えられる。圧縮率60%における体積減少量は

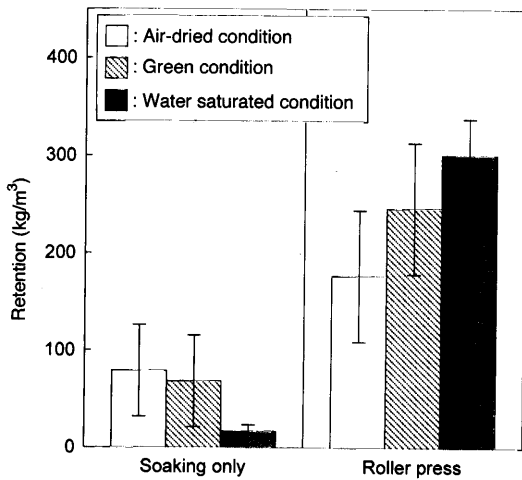


Fig. 2. Effect of initial specimen moisture content on solution retention after impregnation treatment with phenol-formaldehyde resin.  
Notes: Specimen size: 10 mm-thickness, 300 mm-length. Roller-pressing condition: 60%-compression, 3 minutes-soaking.

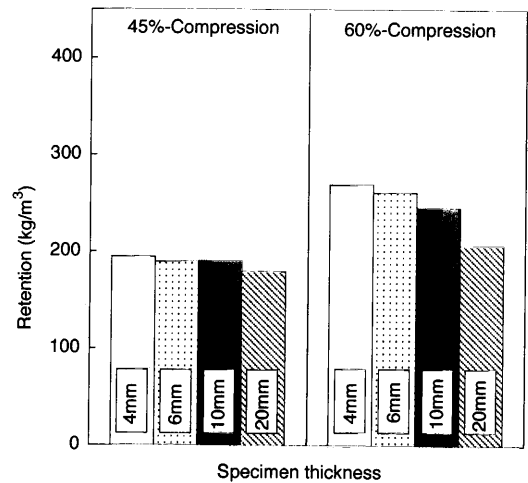


Fig. 3. Effect of specimen thickness on solution retention for green *sugi* by roller pressing.

Notes: Specimen size: 300 mm-length. Soaking time: 3 minutes.

理論上600 kg/m<sup>3</sup>であるが、実際の注入量は平均300 kg/m<sup>3</sup>であった。これは圧縮に伴って発生する試験片の横ひずみ、自由水の内圧上昇による液体吸引力の低減等が考えられる。結果として、初期含水率に比例して注入量は増加する。生材は、細胞壁が湿潤し、細胞内腔に気体と自由水が混在しているため、気乾材と飽水材の間の注入量を示す。

Fig. 3 にスギ生材の厚さが注入量に及ぼす影響を示す。圧縮率45%では、厚さと注入量に明確な相関は認められず、ほぼ一定となった。一方、圧縮率60%では、厚さの増大に伴って注入量が減少した。圧縮率45%の注入量を基にした増加率も厚さに反比例した。しかし、それはスギ気乾材への液体注入時に生じた減少量<sup>2)</sup>と比較して少ない。飽水材では注入量が等しかったことから<sup>4)</sup>、生材の細胞内腔の気体が負の影響を与えていると推察される。

Fig. 4 に、スギ材への薬液注入後の試験片繊維方向の注入量分布を示す。図の横軸は、ロール圧縮時の試験片先端部を原点としている。図中△の浸せきのみでの注入量は、70 kg/m<sup>3</sup>程度である。ロールプレス液中圧縮法の場合、10 mm厚材の45%において、気乾材では木口からの20 mmを除いた他の部位では注入量が100 kg/m<sup>3</sup>前後であるのに対し、生材では繊維方向の1/3を超える領域で注入量200 kg/m<sup>3</sup>を示した。また、生材の60%圧縮では、木口付近の注入量は45%圧縮のそれと同等で、繊維方向中央部の注

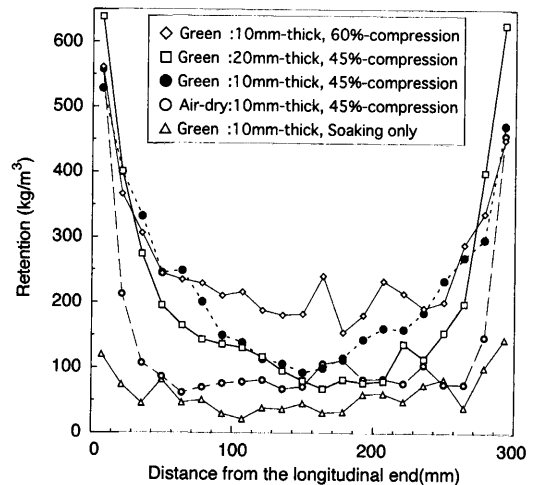


Fig. 4. Distribution of solution retention in air-dry and green *sugi* along the longitudinal direction after impregnation treatment with phenol-formaldehyde resin.

Notes: Soaking time: 3 minutes.

入量が増大した。このことから、高含水木材における注入量の増加には、板目表面の目切れからの自由水および気体の放出ならびに薬液の導入も大きく寄与していると判断される。また、同圧縮率(45%)で10 mm厚材と20 mm厚材を比較すると、Fig. 4での注入量と同様に両者の注入量分布に大きな差が認められなかった。

Fig. 5 に、長さ300 mmのスギ生材の繊維方向中央

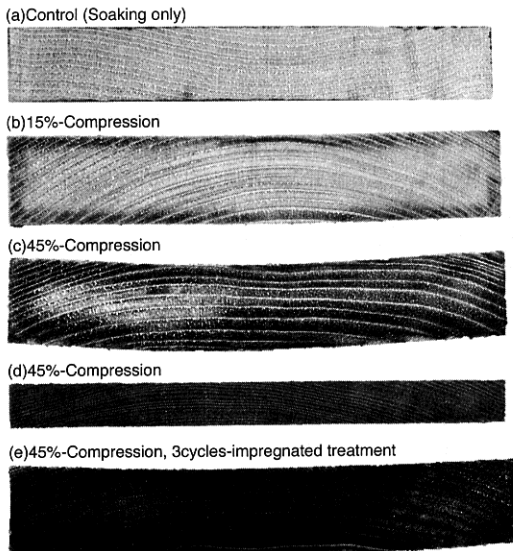


Fig. 5. Penetration area of phenol-formaldehyde resin in the middle of green *sugi* after impregnation treatment by roller-pressing.

Notes: Soaking time: 3 minutes. Specimen thickness; (a) (b) (c) (e): 20 mm, (d): 10 mm. Specimen length; 300 mm.

部の木口断面写真を示す。写真の黒い部分はPF樹脂の浸透部位である。(a)浸せきの場合、断面辺縁部に変色箇所が散在する程度であった。一方、(b)20 mm厚材-15%圧縮の場合、表層からほぼ等しい深さで薬液浸透が生じた。試験片中央部付近の薬液浸透は生じなかった。(c)20 mm厚材と(d)10 mm厚材を比較すると、10 mm厚材では、材料中央部まで薬液が浸透し、浸潤にバラツキがほとんど認められなかった点に対し、20 mm厚材では、厚さ方向中央部で未注入の部位が認められた。一般の薬液注入法と同様に厚さの増大に伴い、注入部位は表層に集中する傾向が認められた。尚、ロールプレス法では、ロール径および圧縮率が一定の場合、加工材の厚さに伴い、板目表面付近に変形が集中し、加工材全体が圧縮されない傾向が強まるため<sup>12)</sup>、木口断面内の注入量のバラツキが特に大きくなることが想定される。尚、(e)20 mm厚材-45%圧縮の注入処理を3回繰り返した場合、試験片内部まで薬液が浸透し、試験片表層部に導入された薬液がその後の再圧縮によって内部に浸透される効果が認められた。

Fig. 6に気乾および生材状態におけるスギ材、スプルース材およびベイマツ材の注入量を示す。気乾材において、スプルース材およびベイマツ材の注入量はスギ材の約3分の1であった。繰り返し処理に

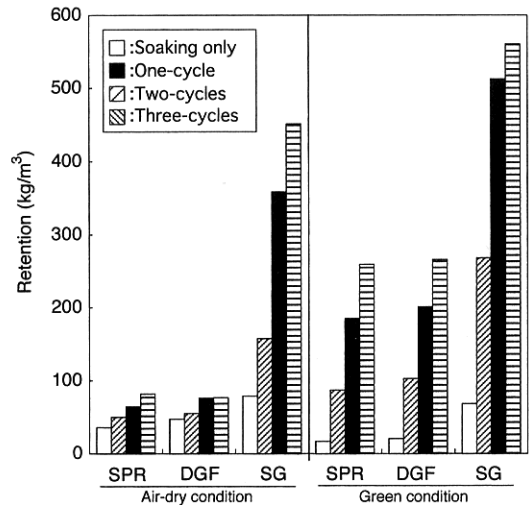


Fig. 6. Influence of refractory wood species on solution retention by roller-pressing with cyclic impregnation treatment.

Notes: SPR; *Spruce*, DGF; *Douglas-fir*, SG; *Sugi*. Specimen sizes: 6 mm-thickness, 300 mm-long. One cycle represents the treatment of 50% -compression and 3 minutes-soaking for the specimen by roller-pressing.

よって、スギ材では注入量は大幅に増加したのに対し、スプルース材およびベイマツ材では注入量に変化はなかった。繰り返し圧縮前の試験片厚さを見た場合、吸水による細胞壁の膨潤の影響はあるが、スギ材ではほぼ処理前の値まで回復していたのに対し、スプルース材、ベイマツ材では処理前の約65%の値であった。これは、難注入材の場合、閉塞壁孔が多く、物質の流動が困難であるため、圧縮によって空気が外部に排出されず、変形回復時に細胞内腔に負圧が生じにくいこと、また、材外部に気体が放出された場合でも、薬液は気体よりも流動性が劣り、浸透できないこと、それらが複合的に作用し、吸水に伴う細胞壁の変形回復が遅延したことが考えられる。既往の報告では、加圧注入の前処理として難注入材を横圧縮変形させた場合、注入量の増大が確認されている<sup>7-9)</sup>が、本報では同様の効果を得ることができなかった。その理由として、既往の研究では、圧縮後に加圧注入を行ったのに対し、本実験は常圧浸せきであったことが大きな原因であると考えられる。また、繰り返し処理によって、スギ材では注入量が大幅に増大したが、スプルース材、ベイマツ材ではほとんど変化しなかった。これは、試験片厚さが元に回復しない前に再度圧縮したため、実質圧縮率が低下し、液体吸引力や液体を機械的に材内部に

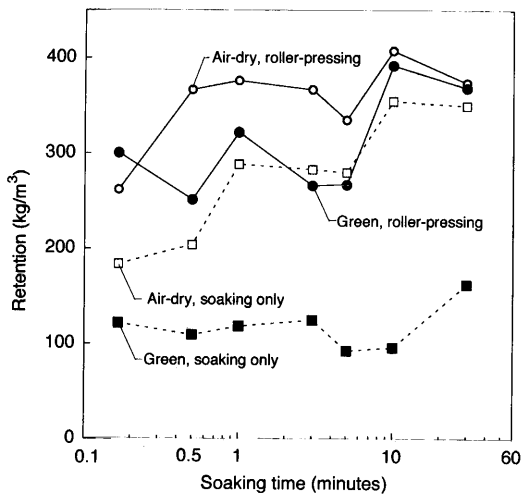


Fig. 7. Effect of soaking time on solution retention for rotary veneer of *sugi* at air-dry and green condition.  
Notes: Specimen sizes; 3 mm-thickness and 600 mm-length. Compression degree; 60%. "Air-dry" and "green" indicates the moisture condition of specimens.

移動させる効果が得られなかったと判断される。

一方、生材の場合、スギ材では前報<sup>1)</sup>と同様の効果が得られた。スプルス材およびベイマツ材では、気乾材と比較して、注入量は約30%増加した。また、試験片厚さは、処理前の約85%まで回復した。生材では、閉塞している有縁壁孔対が気乾材と比較して少なく、また、細胞内腔が予め湿潤し、液体浸透性が向上しており、細胞壁の変形回復も迅速であるためと考えられる。さらに、繰り返し処理によって、注入量は増加した。気乾材と比較して、圧縮時に試験片厚さが回復していることや液体の通導性が高いために、圧縮力による機械的な液体移動効果が増大することが要因である。

### 3.2 レース単板への薬液注入処理

#### 3.2.1 生材への薬液注入効果

Fig. 7にスギ生材レース単板の浸せき時間と注入量の関係を示す。生材と気乾材を比較すると、浸せきのみでは、気乾材の注入量が生材のそれを大きく上回るが、圧縮処理をすることで、生材でも気乾材とほぼ等しい重量増加率となる。また、浸せき時間が変化した場合、浸せきのみでは、圧縮後の浸せき10秒、30秒、3分で注入量に差は生じなかった。一方で液中圧縮では、30分間浸せきした値の85%が浸せき後10秒で得られた。この結果はソード単板よりも短時間であった<sup>1)</sup>。この理由として、レース単板では、試験片が薄いこと、裏割れの存在が薬液浸

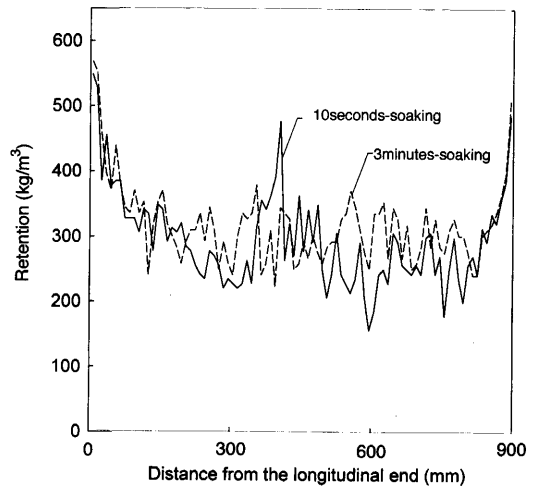


Fig. 8. Distribution of solution retention of *sugi* rotary veneer along the longitudinal direction after impregnation treatment with phenol-formaldehyde resin.  
Notes: Specimen size; 3 mm-thickness, 900 mm-length. Compression degree; 60%.

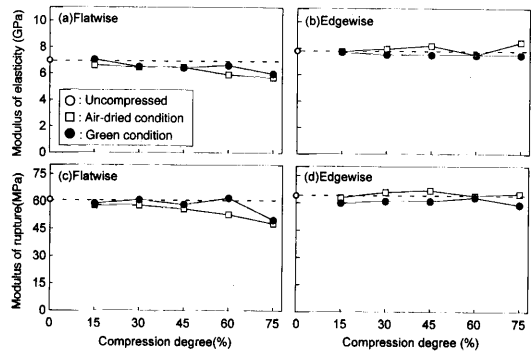


Fig. 9. Effect of compression degree by the roller-pressing on the bending properties of 12-ply laminated veneer lumber. (a) flatwise modulus of elasticity, (b) edgewise modulus of elasticity, (c) flatwise modulus of rupture, (d) edgewise modulus of rupture.

透を向上させるためと考えられる<sup>13)</sup>。また、ここでは示さないが、試験片長さも変化しても、重量増加率はほぼ等しかった。Fig. 8に、スギ生材における繊維方向の注入量分布を示す。木口付近と中央部の注入量の差はソード単板のそれよりも低下した。また、浸せき時間に関わらず、繊維方向にほぼ均一の注入量であった。

#### 3.2.2 LVLの曲げ強度性能

Fig. 9にLVLの曲げ性能と圧縮率の関係を示す。

図中の破線は無圧縮材の値である。

Fig. 9(a) (c) の Flatwise において、MOE は気乾材の圧縮率60%および生材の圧縮率75%で無圧縮材と比較して15%低下した。また、気乾材の圧縮率75%では20%低下した。MOR においても同様の加工条件で、無圧縮材と比較して強度低下が生じた。これは、過度の圧縮によって、幅方向（裏割れが開く方向）へ単板が伸長し、密度が減少する、すなわち、単位距離当たり出現する細胞壁量が減少する<sup>7)</sup>ことが原因と考えられる。圧縮率の増加に伴う MOE および MOR の強度保持率は気乾材より生材で高い。これは、細胞壁の損傷が生材では少ないためと考えられる。

Fig. 9(b) (d) の Edgewise において、圧縮変形による MOE および MOR への負の影響は認められない。一部の試験片で無処理より高い値が認められるが、これは Flatwise と対照的に、単板の幅方向への伸張によって単位距離当たりの細胞壁量が増大し、若干の密度増加が生じたためと推察される。

## 結 論

本報では、実用化を目指した薬液注入専用ロールプレス機を新たに設計・試作し、生材単板への薬液注入処理を検討した。

ロールプレス液中圧縮法を用いてスギ生材に薬液注入を行うことで、気乾材に比較して注入量は増大した。また、スギ生材の厚さが異なる試験片において、注入量および繊維方向の注入量分布が等しい場合においても、厚さが大きい試験片の方が木口断面での薬液の分布は表層付近に留まることが示唆された。また、ロールプレスの表層圧密効果を利用した、選択的な薬液注入も可能であると考えられる。また、薬液を試験片内部まで浸透させるためには、複数回の圧縮が有効であることが示唆された。試験片寸法の影響に関して、圧縮率60%において、注入量は厚さの増大に反比例した。これは、生材中に含まれる気体が液体吸引力の発生を阻害するためと考えられる。また、生材の含水率は個体間または同一個体内でばらつくため、注入量の制御には、繰り返し圧縮やその後の薬液除去等による含液量の平準化<sup>3)</sup>等の対策が必要と考えられる。

スプルー、ベイマツの難注入材へは、生材を繰り返し処理することによって注入量の段階的な増加が生じた。繰り返し圧縮による強度低下は、加工条件の選択によって抑制可能であるため<sup>2)</sup>、試験片厚さの回復を考慮した浸せき時間を設定することで難注入材においても本手法の有効性が確認された。

また、原料の切削から薬液注入処理までの一連の加工を考え、レース単板への処理を試みた。結果として、ソード単板より短時間の浸せきによって同等以上の注入量が得られ、圧縮処理単板を用いて作製した LVL においても強度低下は認められなかった。

## 文 献

- 1) 足立幸司, 井上雅文, 金山公三, 川井秀一: 木材学会誌 **49**, 416-422 (2003).
- 2) 足立幸司, 井上雅文, 川井秀一: 木材学会誌 **50**, 243-247 (2004).
- 3) Adachi, K., Inoue, M., Kanayama, K., Rowell, R.M., Kawai, S.: *J. Wood Sci.* **50**, 479-483 (2004).
- 4) e.g. Wingate-Hill, R., Cunningham, R.B.: *Wood and Fiber Sci.* **18**(2), 315-326 (1986).
- 5) Inoue M., Adachi, K., Tsunoda, K., Imamura, Y., Kawai, S.: The international Research Group on Wood Preservation (IWG/WP 01-40199), Nara, Japan, 2001, pp. 20-25.
- 6) 井上雅文, 足立幸司, 大前宏輔, 小原光博, 金山公三: 木材学会誌 **51**, 104-109 (2005).
- 7) 飯田生穂, 守 繁和, 中村嘉明, 酒井温子, 今村祐嗣: 木材学会誌 **42**, 581-588 (1996).
- 8) 酒井温子: 木材工業 **49**, 604-609 (1994).
- 9) Cech, M. Y., Huffman, D. R.: *Forest Prod. J.* **22**(4), 21-25 (1972).
- 10) 雨宮昭二: 木材工業 **17**, 388-394 (1962).
- 11) 矢田茂樹: 木材工業 **41**, 209-214 (1986).
- 12) Adachi, K., Inoue, M., Kawai, S.: The 6th Pacific Rim Bio-based Composites Symposium Proceedings, Portland, USA, 2002, pp. 232-239.
- 13) 今村祐嗣: 木材研究・資料 **31**, 11-30 (1995).
- 14) Cech, M. Y., Huffman, D. R.: *Forest Prod. J.* **22**(4), 21-25 (1972).