

# ロールプレスによるスギ表層 WPC の製造

藤澤 泰士, 鷲岡 雅

## Product of the Superficial Plastic Combined Wood-Material Made of Japanese Cedar using Roller Press Treatment

Yasushi FUJISAWA, Tadashi SAGIOKA

材質が軟質で、傷つきやすいスギ材を住宅用床材料として利用するため、ロールプレスによる表層 WPC 化の方法を検討し、最適ロールプレス条件を見出した。その結果は以下のとおりである。

- 1) スギ材表層のみを選択的に圧縮できるロールプレス装置を考案した。
- 2) このロールプレス装置による最適な表層圧縮条件について検討した結果、上下ロール組み合わせが鉄/樹脂、上ロールの回転数が下部ロールより 2%遅い設定、上部ロール温度 150℃、材表面温度 20℃であることを見出した。その条件によってスギ表層を選択的に最大 2 mm 圧縮することができた。
- 3) ロール圧縮部に飽和共重合ポリエステル樹脂を浸せき処理により注入した後、加熱硬化させてスギ表層 WPC を作製した。その表面性能は、フローリング JAS の耐摩耗性を満たし、衝撃強さおよびブリネル硬度は、無処理材と比較して、各々 10 倍以上および 3 倍以上の値を示した。

### 1. はじめに

木材の表面物性を改善する方法として WPC 処理は効果的であるが、同時にコストアップにつながり、実用化の大きなネックになっている。また、針葉樹材であるスギは、一般に広葉樹材と比較して樹脂等の注入性が低く、内部への均一な浸透が困難であるため<sup>1)</sup> WPC 材料としては適していない。したがって、スギ WPC 製品を開発するためには WPC 処理の低コスト化とスギ材の樹脂注入性の改善を行う必要がある。

これらを同時に解決する方法として、浸せき処理のみで木材内部に液体を注入する横圧縮処理技術を利用して、床材として必要な表面物性が要求されるスギ材表層部だけに樹脂を注入し、硬化させる表層 WPC 化を試みた。

前報<sup>2, 3)</sup>では、横圧縮処理による板目面からの樹脂注入性改善効果を確認するため、平板プレス機を用いて全層横圧縮処理したスギ材板目面からの飽和共重合ポリエステル樹脂の注入性を検討した。その結果、横圧縮率の増加に伴い、ポリエステル樹脂の浸透深さが増加することが明らかとなった。

本報告では、スギ材表層部だけに樹脂を注入するため、表層部のみを選択的に横圧縮するロールプレス装置を考案し、ロールプレスの適正な表層圧縮条件を検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材料

県産タテヤマスギ辺材の気乾材（比重 0.35、含水率 13%、無節材）を用いた。試験材の寸法は、100

(T) × 15 (R) × 900 (L) mmとした。

## 2.2 表層圧縮用ロールプレス装置の考案

木材表層を選択的に圧縮できるロールプレス装置(図-1, 2)として, 以下の仕様をもたせた。

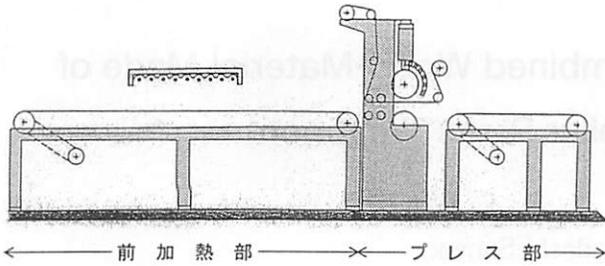


図-1 表層圧縮用ロールプレス装置

本体：前加熱部およびプレス部から構成  
幅1300×高さ1950×全長5775mm  
送り速度0.1~30m/min  
前加熱部：表面加熱温度 最高230℃（自動）  
プレス部：有効幅：300mm, 有効厚：15~100mm  
上部ロール；鉄ロール, 鏡面仕上げ  
直径300mm, 温調150~230℃  
下部ロール；鉄, 樹脂, ウレタンゴム  
直径300mm  
加圧力（線圧）最大3 ton/10cm  
上下ロール別駆動方式；速度0.1~30m/min

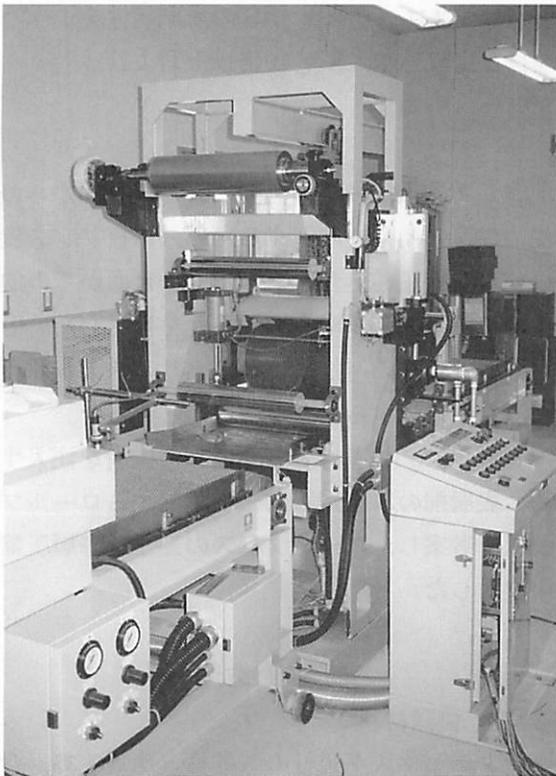


図-2 ロールプレス装置（写真）

## 2.3 表層圧縮するためのロールプレス条件

スギ試験材の上面と下面の圧縮量を変化させるために, 下部ロール材質を鉄ロール, 樹脂ロール（硬度91°）およびウレタンゴムロール（硬度60°）の3種類にした。また, ロールプレス装置の表層圧縮の処理速度を向上させるために, 上部ロール回転数を下部ロール回転数より±5%変化させ, 最適な表層圧縮条件を求めることとした。このとき, 上部ロール温度150℃, 材表面温度20℃, 圧縮量2mm, 送り速度は1, 5, 10および15m/minとした。

さらに, ロールプレス装置の圧縮処理の効率を向上させるためには, 熱による木材の軟化作用を利用することが有効であると考え, 上述の実験で求めた最適なロールプレス装置の設定条件下で, 材表面温度を20, 80, 120および160℃の4水準とし, 上部ロール温度140, 150, 180および200℃に変化させた場合の各温度条件の表層圧縮効果を評価した。

## 2.4 上面および下面圧縮量の測定

試験材の上面および下面の圧縮量を測定するため, 試験材側面に厚さ（R方向）を2等分する中心線を引き, その中心線から上方向（木表方向）を上部, 下方向（木裏方向）を下部とし, 各々の圧縮量を測定した。

## 2.5 表層圧縮効果の評価

表層圧縮効果を評価するため, ロールプレス処理1分後の試験片厚さを測定し, 試験片の厚さ回復率を次式により算出した。

$$\text{厚さ回復率 (\%)} = \frac{t_1 - (t_0 - t_2)}{t_2} \times 100$$

\*  $t_0$ ：圧縮処理前の試験片厚さ

$t_1$ ：圧縮1分後の試験片厚さ

$t_2$ ：ロール圧縮量

## 2.6 注入樹脂

溶液粘度が低く, 熱軟化点が低い低分子タイプの樹脂として飽和共重合ポリエステル樹脂（UE-3350, ユニチカ製）を選定した（表-1）。樹脂はMEK溶媒で25%濃度の樹脂溶液に調整した。また, 硬化剤として2, 4-トリレンジイソシアネート（2, 4-TDI）を樹脂の活性OH基価の3倍量添加した。

表一 1 供試ポリエステル樹脂の性状

項目	単位	性状
色	-	淡黄緑色
密度	g/cm <sup>3</sup>	1.25
分子量	数平均	5000
熱軟化点	℃	118
OH 基価	mgKOH/g	25
溶液粘度	cP	4 (25%MEK 溶液)

2.7 樹脂注入処理および硬化処理

表層圧縮処理された試験材は樹脂溶液中で1時間浸せき処理した。樹脂注入試験材は60℃オープンで24時間乾燥、MEK 溶媒を揮散させた。樹脂の圧縮面からの浸透深さを測定するため、試験材は表層圧縮面を除き、他のすべての面をエポキシ樹脂でコーティングした。

次に、樹脂注入した試験材は平板プレス機（高木金属工業製）を用いて180℃で30分間加熱硬化した。試験材の成型厚さは14.5mmのディスタンスバーを用いて調整した。

2.8 スギ表層 WPC の性能評価

表層圧縮量0.5, 1.0および2.0mmの圧縮処理材にポリエステル樹脂を注入し、樹脂浸透深さを調整したスギ表層 WPC 作製し、住宅用床材に求められる各種性能（フローリング JAS 摩耗 A 試験（1 kg, 500 回）、鉛筆硬度、デュポン衝撃強さ、プリネル硬度、吸水膨潤率）を測定した。

3. 結果および考察

3.1 材質の異なる上下ロール組み合わせが上面の表層圧縮量に及ぼす影響

ロールプレス装置の下部ロール材質を樹脂、鉄およびウレタンゴムとした場合のスギ材上面の圧縮量と下面の圧縮量を表一 2 に示す。試験材の全圧縮量を 2 mm に設定したため、試験材の上面の圧縮量と下面の圧縮量の合計は 2 mm となる。

下部ロールが樹脂ロールの場合、上面の圧縮量は 1.90~1.95mm で、スギ材上面のみが選択的に圧縮されていた。鉄ロールの場合、上面の圧縮量は 1.00~1.20mm で、上面と下面がほぼ同じ比率で圧縮されていた。このように、下部ロールの材質を変えることにより、上面の圧縮量を変化させることができた。

表一 2 ロール材質によるスギ材の圧縮量の違い

下部ロール材質	上面圧縮量 (mm)	下面圧縮量 (mm)
樹脂ロール	1.90~1.95	0.05~0.10
鉄ロール	1.00~1.20	0.80~1.00
ウレタンゴムロール	圧縮不可	圧縮不可

\* 上面圧縮量 + 下面圧縮量 = 2 mm

\* 上部ロール：鉄ロール（鏡面仕上げ）

上面の圧縮量が異なる理由は、下部ロール材質によってスギ材表面に負荷される圧力が異なるためと考えられる。すなわち、上部ロール/下部ロールが鉄/樹脂の場合は、プレス時に樹脂ロールがロール圧により変形することによって、スギ材下部と下部ロールとの接触面積が増大し、下面に負荷される圧力が軽減された結果、上面のみが圧縮されたと考えられる。一方、鉄/鉄の組み合わせの場合は、上下ロールとも圧力による変形を引き起こさないため、挿入されたスギ材の上面と下面に同じ圧力が負荷された結果、木材の上面と下面の圧縮量がほぼ同一となったと考えられる。また、鉄/ウレタンゴムの場合は、設定した 2 mm の圧縮を行うことができなかった。その理由として、軟質なウレタンロールがロール圧力により大きくへこんだ結果、試験材上下面に負荷される圧縮圧力が軽減し、設定した圧縮を行うことができなかったと考えられる。

3.2 上下ロールの回転数差が上面圧縮量に及ぼす影響

上面の圧縮量と送り速度の関係を図一 3 に示す。上下ロールは鉄/樹脂にした。上面の圧縮量は、送り速度 1 m/min で 1.90mm 以上を示しが、5 m/min では 1.7mm、10m/min では 1.2mm と減少し、15m/min に達するとその値はほぼ 1 mm となり、送り速度の増加に伴い、上面の圧縮量は急激に減少した。

送り速度の増加に伴って上面の圧縮量が低下したのは、圧縮する上部ロールとスギ上面との接触時間が短くなったこと、あるいは 3.1 で述べた樹脂ロールの変形が送り速度の増加に伴い減少したことが原因と推察される。

上部ロールの回転数を変化させてロールプレスを行った結果を図一 4 に示す。下部ロールの回転数は送り速度と連動させている。

上部ロールの回転数を下部ロールより1~2%低くした場合は、送り速度が増加しても上面の圧縮量に大きな変化は見られず、安定して2mm近くの上面の圧縮量を得ることができた。しかし、上部ロール回転数を下部ロールより1~2%高くした場合は、上下ロールが同じ回転数の場合と同様、送り速度の増加に伴い上面の圧縮量は減少した。

鏡面仕上げされている上部ロール（鉄ロール）とスギ材との間の摩擦抵抗は低く、上下ロールの回転数に差を生じさせると、ロール間に挿入されるスギ材表面に上部ロールが滑るように擦り合わされる。ここで、プレス部の試験材が挿入される側を入口側、圧縮されて出ていく側を出口側とすると、上部ロール回転数を速くした場合、材表面は入口側から出口側の方向へと擦り合わされ、遅くした場合は反対に出口側から入口側の方向へと擦り合わされる。

すなわち、回転数が速い場合は、上部ロールの擦り合わせにより生じる抵抗力が送り方向と同じ方向に働くため、試験材表面は上部ロールにより引っ張られるようになる。遅い場合は、試験材上面に送り方向に対して反対方向にロールの抵抗力が働き、上部ロールが試験材表面を圧縮するようになる。この送り方向と反対に作用する圧縮力により、上部ロールが試験材表面に食い込むように働き、送り速度が向上しても試験材上部を安定して圧縮することが可能となったと推察される。

上部ロールを下部ロールより2%遅くして圧縮処理したスギ材の横断面を見ると、図-5に示すように表層が均一に圧縮されていることが観察される。平板プレスによる放射方向の圧縮処理では、早材組織の座屈が全層に見られるのが一般的であるが<sup>4)</sup>、試作したロールプレス装置を用いることによって、早晚材の区別なく、試験材上面の表層のみを選択的に圧縮できることが明らかとなった。

また、上下ロール速度に2%を越える差を生じさせると、上部ロールと木材表面との摩擦抵抗が大きくなり、スギ材を上下ロール間に挿入することができなくなった。

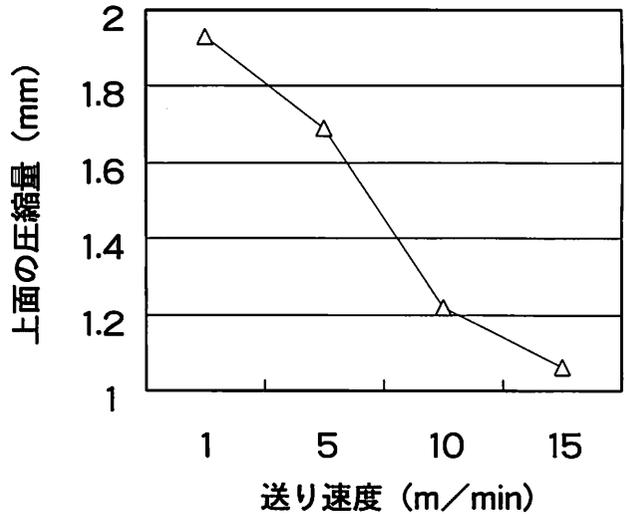


図-3 上面の圧縮量と送り速度の関係

\* 上下ロール：鉄/樹脂  
 上部ロール温度：150℃  
 材表面温度20℃

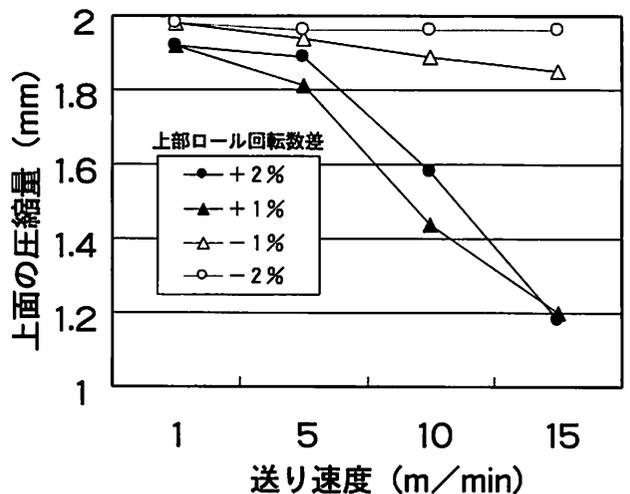


図-4 上下ロールの回転数差が上部圧縮量に及ぼす影響

\* +値：上部ロール回転数が下部ロールより速い  
 -値：上部ロール回転数が下部ロールより遅い  
 上下ロール：鉄/樹脂  
 上部ロール温度：150℃  
 材表面温度20℃

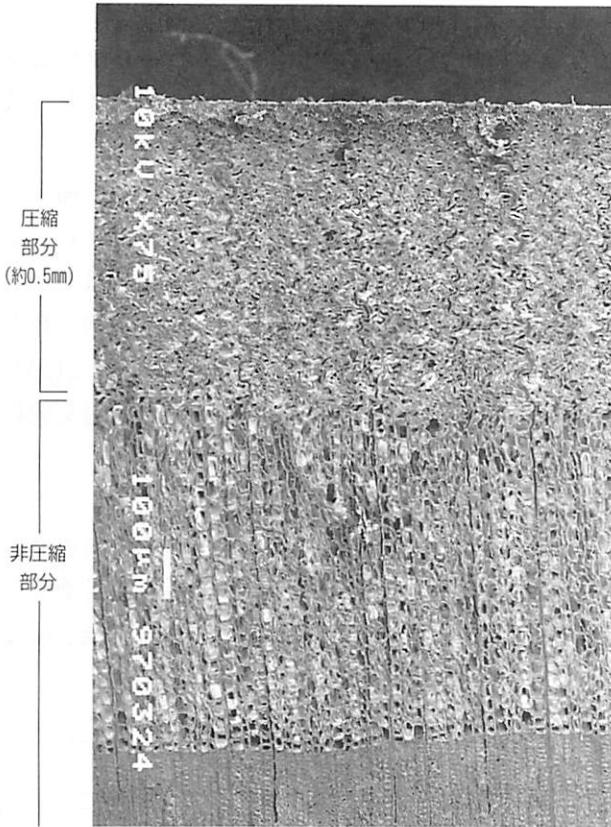


図-5 スギ表層圧縮処理材の横断面 (SEM)

### 3.3 上部ロール温度と材表面温度が表層圧縮に及ぼす影響

上部ロール温度と材表面温度が厚さ回復率に及ぼす影響を図-6に示す。

材表面温度が20℃の場合、厚さ回復率は上部ロール温度150℃で15%と最も小さい値を示し、その前後のロール温度140℃および160℃では各々35%および25%と増加した。また、材表面温度80℃、120℃および160℃の場合、ロール温度180℃以下で40%程度であった厚さ回復率は、ロール温度200℃で急激に増加し90%となった。

表層圧縮処理は、ロール温度140℃未満では熱不足で、木材の熱軟化が不十分となり、圧縮そのものが不可能であったが、ロール温度140℃以上で圧縮が可能となった。このとき、圧縮される木材表面から折れるような小さな音が発生していたことから、ロール温度140~180℃での圧縮は微細な破壊を伴う圧縮変形であると推察される。

また、材表面温度80℃以上、ロール温度200℃で厚さ回復率が増加したのは、スギ材が十分に熱軟化されていたため、圧縮変形が戻りやすい状態であったこと<sup>5)</sup>が要因であると推察される。このとき、上部

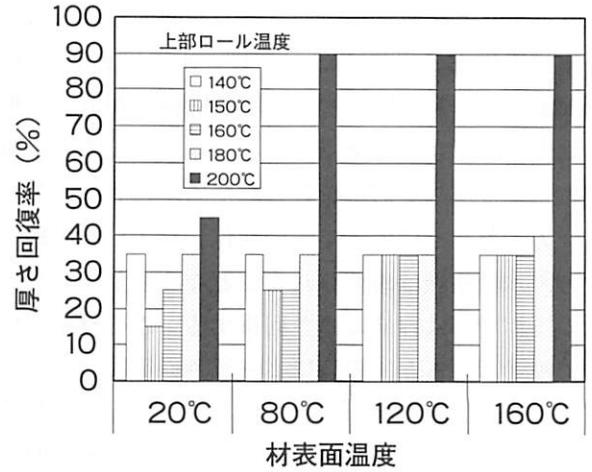


図-6 厚さ回復率に及ぼす材表面温度とロール温度の影響

ロールと接触するスギ材表面には、ロールの熱により赤褐色に変色する熱劣化が生じていた。

### 3.4 樹脂注入性に及ぼす上部ロール温度の影響

上部ロール温度（材表面温度20℃一定）が樹脂浸透深さに及ぼす影響を図-7に示す。

上部ロール温度150℃のとき、表層圧縮面からの樹脂浸透深さは1.10mmと樹脂が最も深く浸透していた。樹脂浸透深さは160℃、140℃、180℃の順で浅くなり、180℃では0.45mmを示した。

このように上部ロール温度により樹脂浸透深さが異なる原因は、異なるロール温度条件で圧縮処理した試験材の厚さ回復率であると考えられる。

ロール温度150℃および180℃で圧縮した試験材の厚さの経時変化を図-8に示す。ロール温度150℃で表層圧縮したものについて、圧縮時の材表面温度20℃の厚さ回復率は、5分後に25%に達し、以降一定となるが、その他の材表面温度条件では、放置時間の増加に伴い厚さ回復率が増加した。ロール温度180℃で圧縮した試験材は、材表面温度に関わらず、2分後に厚さ回復率がほぼ70%まで増加し、以降一定となった。ロール温度150℃のとき、樹脂が最も深く浸透し、ロール温度180℃で浅く浸透したことを考慮すると、この厚さ回復率の経時変化と樹脂注入性は密接に関係していると考えられる。

木材の圧縮には、木材の細胞壁等を破壊する圧縮変形と、熱や水などの軟化による圧縮変形がある。

一般に、細胞を破壊する圧縮変形は、水による膨潤などの作用が働かない限り、厚さ回復することはない<sup>6)</sup>。このように圧縮変形された木材を液体中に

浸せきすると、液体は破壊された細胞壁などに沿って木材の内部と浸透する<sup>7)</sup>。ロール温度150℃（材表面温度20℃）の圧縮材が、厚さ回復率が低く、板目面から樹脂が最も深く浸透した原因は、この組織破壊を伴う圧縮変形が影響したためだと思われる。

一方、熱などによって十分軟化した木材を圧縮すると、木材組織は破壊されることなく変形する<sup>6)</sup>。この圧縮変形は容易に厚さ回復する。この材を液体中に浸せきすると、膨潤による厚さ回復によって、液体は繊維方向の仮道管等に沿って木口面から材内に浸透する<sup>8)</sup>。ロール温度180℃の圧縮材が、厚さ回復率が高く、板目面から樹脂がほとんど浸透しなかったのは、この組織破壊が生じていない圧縮変形が大きく影響したためだと思われる。

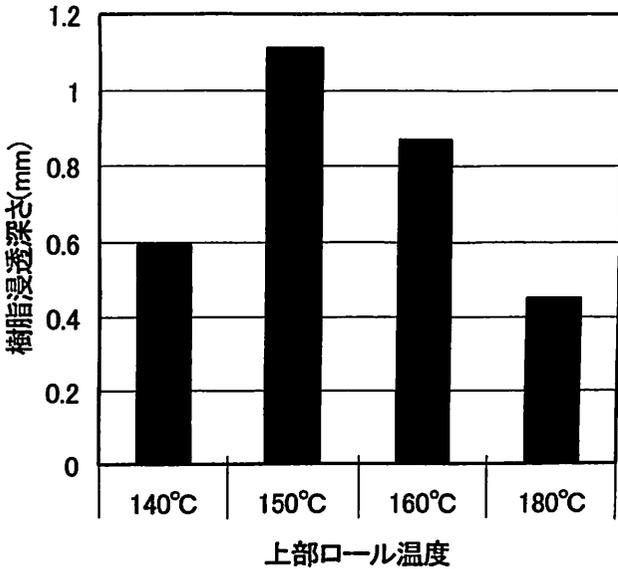


図-7 上部ロール温度と樹脂浸透深さの関係

\*上下ロール：鉄/樹脂  
材表面温度20℃

### 3.5 最適ロールプレス条件

スギ表層WPCを製造するためのロールプレス条件は、スギ材上面のみを選択的に圧縮すること、送り速度が増加しても安定して圧縮処理を行うこと、樹脂を浸透させるため木材組織を破壊する圧縮変形を木材表面に加えることが必要だと考えられる。これらの条件を満たす最適な表層圧縮条件は、上下ロール組み合わせが鉄/樹脂、上ロールの回転数が下部ロールより2%遅い設定、上部ロール温度150℃、材表面温度20℃であり、その条件でスギ表層を選択的に最大2mm圧縮することが可能である。

### 3.6 スギ表層WPCの性能

樹脂浸透深さを変化させたスギWPC材の表面性能表-3に示す。住宅用床材に求められる重要な指標である耐摩耗性（摩耗減量）は、樹脂浸透深さ0.28

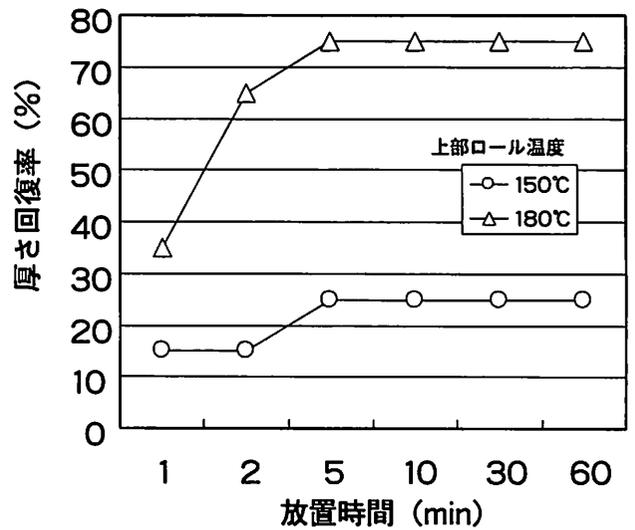


図-8 厚さ回復率の経時変化

\*上下ロール：鉄/樹脂  
材表面温度20℃

表-3 スギ表層WPCの性能

	表層圧縮量 (mm)	樹脂浸透深さ (mm)	摩耗減量 <sup>1)</sup> (g)	鉛筆硬度	衝撃強さ (J)	ブリネル硬度 (N/mm <sup>2</sup> )	吸水厚さ膨潤率 <sup>2)</sup> (%)
表層 WPC(辺材)	2	1.07	0.00	2H	0.245	18.9	9.7
〃	1	0.72	0.00	H	0.155	18.4	9.8
〃	0.5	0.28	0.20	B	0.015	7.01	9.8
無処理材(辺材)	-	-	0.20	6B 未満	0.015	6.08	6.7

1) フローリング JAS 摩耗 A 試験 (1 kg, 500回)

2) 25℃水中48時間

mm (表層圧縮量0.5mm) の WPC は無処理材と同じ 0.02 g を示したが、樹脂浸透深さ0.72mm (表層圧縮量1.0mm) 以上の WPC は0.00 g と優れていた。また、表面硬度は樹脂浸透深さの増加に伴い急激に性能が向上し、浸透深さ0.72mmの WPC 材と無処理材を比較すると、ブリネル硬度で3倍、衝撃強さで10倍向上していた。一方、作製したスギ表層 WPC の吸水厚さ膨潤率は、全ての表層 WPC で約9.8%となった。

結果として、樹脂浸透深さ0.72mm以上で作製した WPC 化したスギ表層 WPC は、フローリング JAS の耐摩耗性および寸法安定性を満たしており、住宅用床材として十分使用できることが明らかとなった。また、表層部のみの WPC 化のため、コスト的にもかなり安価になるものと思われる。

#### 参考文献

- 1) 基太村洋子：森林総研研報，No.367，1-52 (1994)。
- 2) 藤澤泰士，水本克夫，高野了一：第45回日本木材学会要旨集，296 (1995)。
- 3) 藤澤泰士，水本克夫，高野了一：富山林技七研究報告，No.9，84-91 (1995)。
- 4) 則元京：木材学会誌，39 (8)，867-874 (1993)。
- 5) 井上雅文，則元京：木材研究・資料，27，31-40 (1991)。
- 6) 則元京：木材研究・資料，30，1-15 (1994)。
- 7) H. Gunzerodt, J. C. F. Walker, K. Whybrew : Forest Products Journal, 38 (2), 16-18 (1998)。
- 8) 酒井温子：木材工業，49 (12)，604-609 (1994)。

#### Summary

To use Japanese cedar which is soft and injured easily as flooring material, we attempted to produce a superficial plastic combined with wood-material using a roller press treatment. The results obtained are as follows:

- 1) An equipment that presses the only superficial layer of Japanese cedar was devised.
- 2) On the devised equipment, the materials of the upper and lower roller were the combination of iron and rigid resin, the speed of the upper roller was 2% slowly than the lower roller, the temperature of the upper roller and Japanese cedar surface were each 150°C and 20°C, and under these conditions, the only superficial layer was pressed maximum 2mm at one time.
- 3) The pressed specimen was impregnated with polyester resin into the pressed superficial layer, and hardened by hot press. The wear-proof of the hardened specimen satisfy JIS, and the value of impact strength and surface hardness were each above ten times and above three times as compared with the untreated Japanese cedar.