

常温横圧縮処理によるスギ表層WPCの製造

藤澤泰士*, 水本克夫*, 高野了一*

Product of the Superficial Plastic Combined Wood-Material Made of Cedar Using Lateral Compression Treatment

Yasushi FUJISAWA, Katsuo MIZUMOTO and Ryoichi TAKANO

スギ辺材から表層 WPC を製造するため、横圧縮処理による放射方向からの飽和共重合ポリエステル樹脂の注入を試みた。また硬化処理材の表面物性、曲げ強さ、および耐水性について評価した。結論は以下の通りである。

- 1) 常温横圧縮処理により、ポリエステル樹脂溶液は常温常圧下でスギ辺材の表層に浸透した。
- 2) 適正な樹脂浸透条件は、横圧縮率50%以上、樹脂濃度25%、浸透時間6時間以上であり、この条件下で樹脂は板目面から平均2mm以上浸透した。
- 3) 表層のポリエステル樹脂含有率の増加に伴い、加熱圧縮成形した試験片の衝撃強さ、ブリネル硬度および曲げ強度は増加し、吸水厚さ膨潤率は減少した。
- 4) 表面物性を改善するためには、40%以上の圧縮成形が必要と思われた。

1. はじめに

スギ材は国内において最も供給量が多く、建築材、建具材などに広く用いられている。しかし表面硬度、摩耗性等の表面物性が、一般広葉樹、またはヒノキ材などと比較して低く、面材料として製品展開を図るためには、用途に応じた表面物性に改善する必要がある。

表面物性、特に硬度および摩耗性を向上させるためには、圧縮処理により密度を増加させる方法、および樹脂を含浸させる方法が有効であり、現在、圧縮処理においては、軟質針葉樹林の表面圧密化⁽⁴⁻⁶⁾、横圧縮変形の永久固定化^{7,9,10)}などを、また樹脂含浸

においては、横圧縮処理による軸方向の液体の浸透性改善など^{11,12)}が報告されている。しかし、放射方向からの浸透性改善、あるいは注入樹脂の検討はほとんど行われていない。

そこで本報告では、スギ材の放射方向からの浸透を改善し、住宅用床材料を開発することを目的に、常温横圧縮処理による表層への樹脂注入と加熱圧縮成形の組み合わせによるスギ表層 WPC を製造し、その表面性を検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

本報告の一部は第45回日本材木学会大会（東京）で発表した。

* 木材試験場

1995年8月14日受理

供試材料として、天然乾燥した富山県産スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 辺材を用いた。材の平均含水率は13.7%、平均密度0.35g/cm³、平均年輪幅は3.4mmであった。試験片の板目面および柀目面はプレーナー仕上げをし、所定の寸法に切断して実験に供した。

2.2 供試樹脂

市販樹脂のなかで、分子量が比較的小さく、活性水酸基価が高い飽和共重合ポリエステル樹脂 (㈱ユニチカ製, UE-3350) を所定の有機溶媒に溶解し、25および50%濃度に調整して用いた。なお、硬化剤には市販の2,4-TDI (100%) をポリエステル樹脂の有効水酸基に対してイソシアネート基が3倍になるように添加した。

2.3 溶媒の選定

本実験に先立ち、樹脂溶液の浸透性に溶媒の特性が影響すると考えられたため、溶媒の浸透性を検討することとした。飽和共重合ポリエステル樹脂の溶媒として一般的に用いられるメタノール、2-ブタノール(以下MEKと略)、トルエン、およびメチルメタクリレート(以下MMAと略)、以上4種類の市販一級試薬を対象とし、横圧縮処理材に対する浸透性を以下のように比較した。

横圧縮処理は、30mm (T方向)×20mm (R方向)×100mm (L方向) の試験片の木表面からR方向に1.0mm/minの速度で加重を加え、50% (厚さ10mm) まで圧縮した。その後、板目面 (木表) を除き、シリコンゴム (東芝シリコン㈱製, トスシール380) で完全シールし、染料 (保土ヶ谷化学工業㈱製, SPILON BLUE GNH) を1%溶解した各溶媒に6時間浸漬した。試験片を取り出し、溶媒を揮散させた後、材の中心線 (RL) で鋸断し、木表からの染色深さをノギスで測定した。測定箇所は木口面の10mm内側から5mm間隔で計17箇所とし、その平均値を染色深さとした。試験片個数は各条件について5個とし、染色深さの平均値を求めた。なお、コントロール材として横圧縮率0% (無処理) のものも同様に行った。

2.4 飽和共重合ポリエステル樹脂の浸透性

2.4.1 飽和共重合ポリエステル樹脂溶液の粘度測定

E型粘度計 (㈱東京計器製, ED型) を用い、硬化

剤添加後の飽和共重合ポリエステル樹脂溶液の0, 1, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 48, 72, 96, 120, 144および168時間の粘度経時変化を測定した。測定温度は25.0°C、樹脂濃度は25および50%とした。

2.4.2 横圧縮処理

試験片は、20mm (T方向)×5mm (R方向)×80mm (L方向)とした。これを既報の報告^{1),2),3)}に準じ、強度試験機 (島津製作所㈱製, autographAG-10TA) を用い、木表面からR方向に1.0mm/minの速度で荷重を加え、横圧縮処理を行った。横圧縮率は0 (無処理)、25, 50および75%の4条件とした。横圧縮率は次式より求めた。

$$\text{横圧縮率 (\%)} = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100$$

L₀: 処理前のR方向長さ

L₁: 処理後のR方向長さ

なお、横圧縮処理後の以下の樹脂浸透性試験、加熱圧縮成形処理材の物性評価等は、図-1に示すフローに基づいて行った。

2.4.3 飽和共重合ポリエステル樹脂の浸透性試験

横圧縮処理した試験片の木口面をシリコンゴムでシールし、R方向の寸法を測定した後、25および50

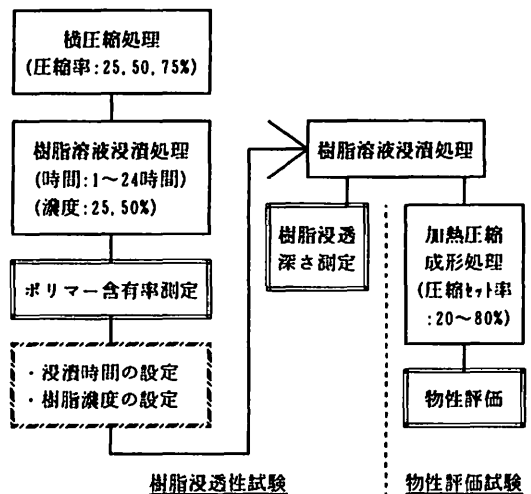


図-1 実験フロー

%濃度のポリエステル樹脂溶液中に浸漬した。浸漬時間は1, 3, 6, 9, 12および24時間の5条件とした。試験片を取り出し、直ちにR方向の寸法を測定、溶媒を揮散させるため、室内放置1週間、オープンで80°C, 24時間処理した後、試験片の重量を測定、ポリマー含有率を次式より求めた。

$$\cdot \text{ポリマー含有率 (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{L_0} \times 100$$

W_0 : 試験片の全乾重量

W_1 : 加熱処理後の試験片重量

また、浸漬時間6時間における樹脂の浸透深さも測定した。浸透深さは、試験片を中心線(RL面)で鋸断し、1%濃度パテントブルー水溶液中に24時間浸漬した場合、ポリエステル樹脂の含有の有無により、存在している箇所は薄く、存在していない箇所は濃くなることを利用して、断面の薄く染色された部分を樹脂浸透部とみなし、その厚みをノギスを用いて測定した。測定箇所は、木口面の5mm内側から5mm間隔で計15箇所とし、その平均値を樹脂浸透深さとした。試験片の個数は各条件につき5個とした。

2.5 加熱圧縮成形処理

注入樹脂の硬化と試験片の成形を目的に、加熱圧縮成形を行った。試験片寸法は2.4.2と同様とし、横圧縮率0, 25, 50および75%の4条件で横圧縮し、2.4.3と同様の方法で樹脂注入した試験片を加熱プレス板を用い、150°C, 10分の条件で、加熱硬化および圧縮成形した。圧縮成形の厚さは、金属製のディスタンスピースで全て3mm(圧縮セット率: 40%)に調整した。成形後、80°Cオープン中で24時間養生した。

また、横圧縮率50%の条件で樹脂注入した同様の試験片を上記と同じ温度条件により、成形厚さを4, 3, 2および1mm(圧縮セット率: 20, 40, 60および80%)の4条件に設定し、加熱圧縮成形した。養生後、ポリマー含有率および2.6の物性を測定した。試験片個数は各圧縮セット条件につき5個とした。

なお、ポリマー含有率、および圧縮セット率は次式より求めた。

$$\cdot \text{ポリマー含有率 (\%)} = \frac{W_2 - W_0}{L_0} \times 100$$

$$\cdot \text{圧縮セット率 (\%)} = \frac{L_0 - L_2}{L_0} \times 100$$

W_0 : 試験片の全乾重量

W_2 : 硬化後の試験片重量

L_0 : 処理前のR方向長さ

L_2 : 各処理後のR方向長さ

2.6 物性の評価

2.5で作製した試験片の物性を以下のように求めた。

2.6.1 耐水試験

木口面をシールした試験片を25±1°C水中に48時間、L方向を水面と平行に浸漬し、処理後の試験片の重量変化およびR方向の寸法変化より、吸水率および吸水厚さ膨潤率を求めた。

2.6.2 衝撃強さ試験

JIS K 5400-90に準じ、デュポン式衝撃変形試験機(テスター産業(株)製)を用いて、試験片の木表早材部の衝撃強さを求めた。撃芯の先端径は6.3mm(φ1/2 inch)、受け台は凹み6.3mm、落下重錘は質量300gとし、衝撃強さは次式より算出した。

$$I = m \times g \times h$$

I (J): 衝撃強さ, m (kg): 重錘の質量

g (m/s²): 重力加速度, h (m): 落下高さ

2.6.3 表面硬さ試験

JIS Z 2117-77に準じ、直径10mmの鋼球を0.5mm/minの速度で材表面に0.32mm深さに圧入し、ブリネル硬度を測定した。

2.6.4 曲げ試験

スパン60mm, 中央集中荷重, 荷重速度1mm/minで曲げ試験を行い、曲げヤング係数および曲げ強さを測定した。

3. 結果および考察

3.1 溶媒の選定

溶媒別の木表から染色深さを表-1に示す。染色深さは、無処理材ではトルエンが最も長く、以下MEK, メタノール, MMAの順であった。一方、50%圧縮材では、無処理材に比べてメタノールおよびMMAは約2倍に、MEKは約4倍以上に増加し、トルエンは逆に若干減少した。特にMEKは17.8mmと他の2倍以上の染色深さを示した。

このように50%横圧縮処理による染色深さの増加

はMEKが最も大きく、以下これを飽和共重合ポリエステル樹脂の溶媒に選定した。

3.2 飽和共重合ポリエステル樹脂溶液の粘度

表一 溶媒別の木表からの染色深さ

溶 媒	染 色 深 さ ¹⁾	
	無処理材 (mm)	50%横圧縮材 (mm)
メタノール	2.5	5.4
MEK	4.3	17.8
トルエン	7.0	6.2
MMA	2.4	6.4

* 浸漬時間：6時間，浸透評価面：木表面

1) 染料：SPILON BLUE GNH, 染料濃度：1%

MEKを溶媒に用い、飽和共重合ポリエステル樹脂の粘度経時変化を測定した。濃度25%の場合、粘度は硬化剤添加から1週間まで約4cPとほぼ一定であった。但し、48時間で白濁が生じた。濃度50%の場合、粘度は硬化剤添加から6時間まで約60cPとほぼ一定であるが、その以降は白濁を生じて増加し、24時間で約130cP、48時間で約230cP、72時間以降は1000cPを超える値を示した。

3.3 常温横圧縮率とポリマー含有率との関係

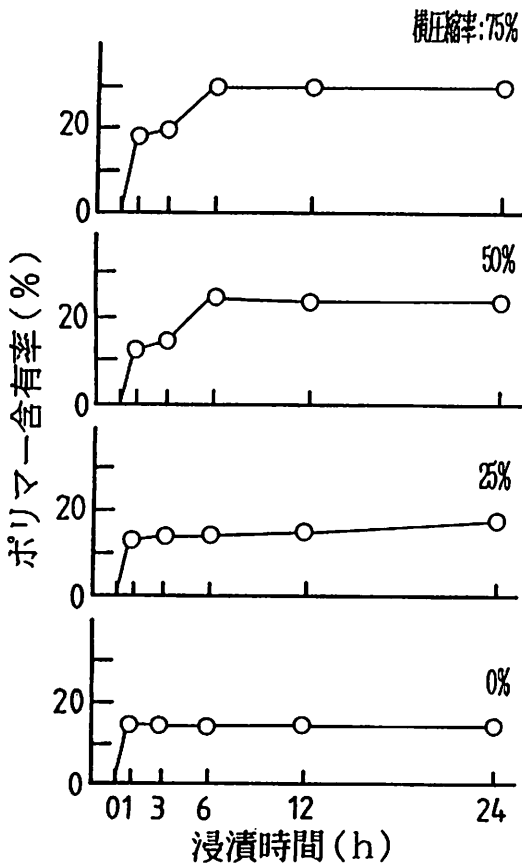
25%濃度のポリエステル樹脂溶液を用いた場合の横圧縮率とポリマー含有率の関係を図一2に示す。浸漬24時間後のポリマー含有率は、横圧縮率0、25、50および75%で、各々約15、16、23および26%になり、横圧縮率の高い処理材ほどポリマー含有率は増加した。浸漬時間との関係では、ポリマー含有率は、横圧縮率0および25%は浸漬時間との関係では、横圧縮率50および75%は浸漬6時間で最大となり、いずれもそれ以降はほぼ一定になった。

また、図は割愛したが、横圧縮率25、50および75%のR方向の厚さは、横圧縮荷重の解圧後徐々に回復し、横圧縮処理前の厚さは100%とすると、圧縮処理後1週間で各々約97、75および70%となり、1ヶ月後まで変化がなかった。それを浸漬処理すると、横圧縮率25%は、浸漬処理前、後とも約97%と変化がなかったのに対して、横圧縮率50%は浸漬6時間で約75%から91%まで、横圧縮率75%は、浸漬6時間で約70%から75%まで回復し、以降一定となった。

なお、50%濃度のポリエステル樹脂溶液を用いた場合も、これとほぼ同様な結果を示した。

このように、R方向厚さとポリマー含有率が、浸漬時間に対してほぼ同様の増加傾向を示すことから、樹脂浸透にはR方向の厚さ回復が大きく影響していることが推察される。また、樹脂が浸透した各試験片の切断面を観察すると、樹脂浸透深さは、木表>木裏>柾目の順で長くなり、特に木表からは、年輪界を越えて樹脂が浸透していた。また柾目からの樹脂浸透はほとんど見られなかった。

これらの結果より、樹脂は6時間というゆるやかな厚さ回復にともなう作用により、主にR方向から材中に浸透したと推察される。横圧縮処理による吸い込み作用は、L方向の浸透性を改善すると報告されているが^{1,2,11)}、適当な溶媒を選定し、浸漬時の厚さ



図一2 浸漬時間とポリマー含有率

* 樹脂濃度：25%

* 溶媒：MEK

回復の速度を調整することによって、L方向だけでなく、R方向からの樹脂ポリマー溶液の浸透性も改善されると考えられる。横圧縮率と木表からの樹脂の浸透深さの関係を図-3に示す。横圧縮率の増加にともない樹脂浸透深さも増加し、横圧縮率50%で2mm以上の樹脂浸透深さを示した。一般に市販床材の表面には、0.5、あるいは1.0mmの樹脂含浸単板が積層されていることを考慮すると、2mmの樹脂浸透深さは表面樹脂処理深さとしては十分であると考えられる。また図-4に示すように、ポリマー含有率と樹脂浸透深さには高い相関関係が認められたことから、樹脂は表層において濃度差が少なく、比較的均一に浸透していることが推察される。

以上のことから、常温横圧縮処理を行うことにより、横圧縮率の高い処理材ほどポリマー含有率が高く、ポリマーはR方向、特に木表から多く浸透すること、また、樹脂溶液への浸漬時間は6時間が適当であることが確かめられた。以降の実験においては、浸漬時間を6時間と設定した。

3.4 表層 WPC の物性

3.4.1 ポリマー含有率と物性との関係

横圧縮率0、25、50および75%で樹脂を注入し、圧縮セット率40%で加熱圧縮成形したスギ表層WPCにおいて、吸水率は、ポリマー含有率0%(圧縮セット率40%)では150%前後であるが、樹脂が表層に含浸するとポリマー含有率の違いにかかわらず一様に20%前後の値を示した。また、吸水厚さ膨潤率は、図-5に示すように、横圧縮率25%では、ポリマー含有率が増加するに伴い減少し、横圧縮率50%はほぼ一定になり、横圧縮率75%は増加した。一般に含有するポリマー量が増加すると吸水厚さ膨潤率は減少すると考えられるが³⁾、本実験の場合、横圧縮率50および75%はこれと異なる傾向を示した。これは、3.3で述べたように、横圧縮率75%の場合は、R方向の厚さは回復が約75%と不十分なため、材内部に圧縮によるひずみが残留しており、これが水の浸透によって回復したためと考えられるが、異なる傾向を示す点については今後の検討が必要である。

ポリマー含有率と衝撃強さの関係は図-6に示すように、ポリマー含有率と正の相関が認められた。また、無処理材およびポリマー含有率0%の衝撃強

さは0.015Jと非常に小さいが、含有率20%で約0.5Jと無処理材の約30倍以上の値を示した。衝撃強さには表層WPC層の硬さと厚さが大きく影響すると一般に言われている⁸⁾。WPC層の硬さについて同一樹脂を使用していることから、ここでの結果は主

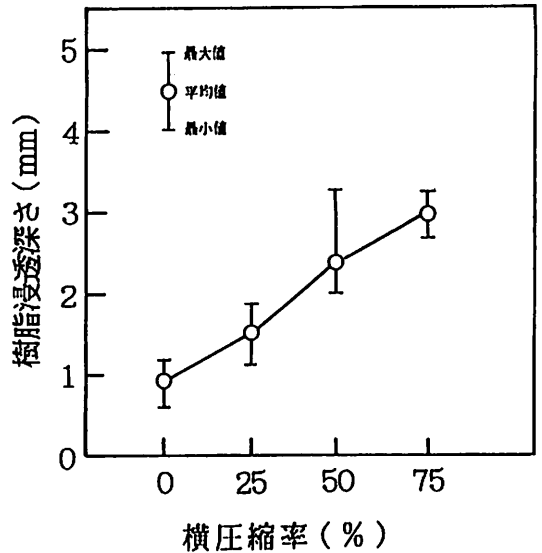


図-3 横圧縮率と木表からの樹脂浸透深さ
* 樹脂濃度：25%
* 浸漬時間：6時間

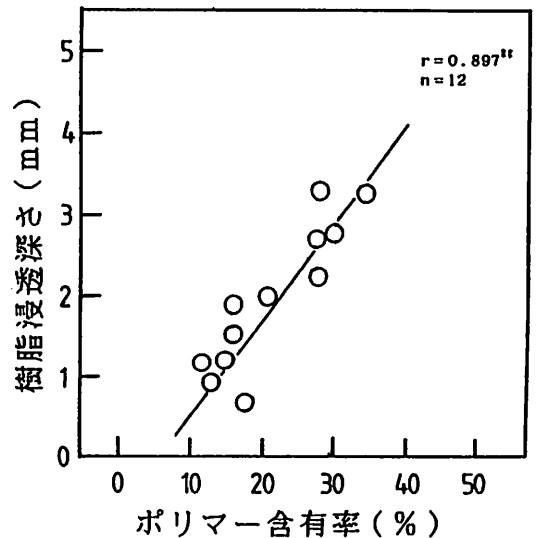


図-4 ポリマー含有率と木表からの樹脂浸透深さ
* 樹脂濃度：25%
* 浸漬時間：6時間

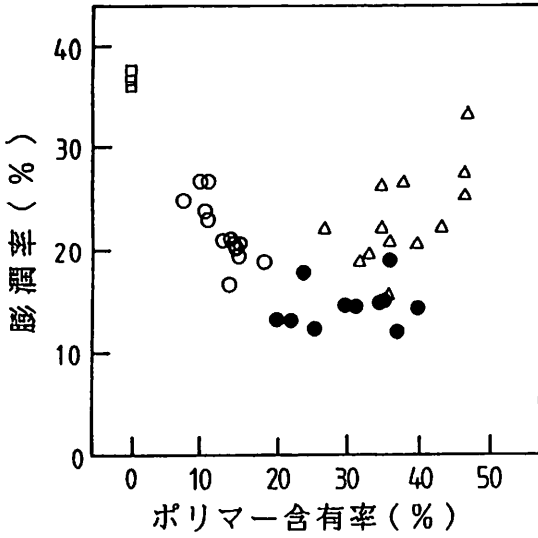


図-5 ポリマー含有率と膨潤率

- ：無処理
- ：横圧縮率25% * 樹脂濃度：25%
- ： // 50% * 浸漬時間：6時間
- △： // 75% * 圧縮セット率：40%

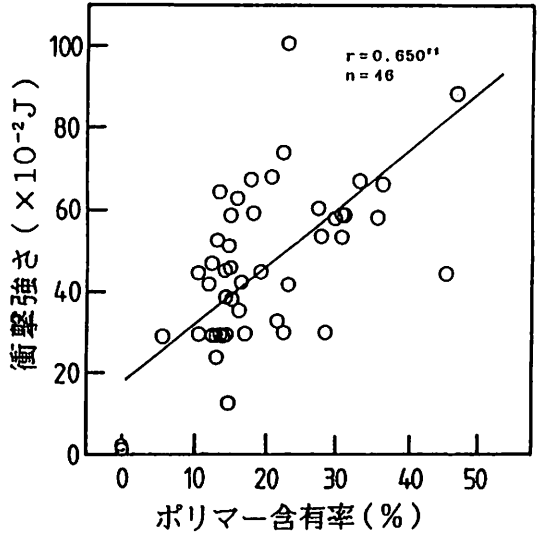


図-6 ポリマー含有率と衝撃強さ

- * 樹脂濃度：25%
- * 浸漬時間：6時間
- * 圧縮セット率：40%

に厚さによる影響と考えられる。図-4に示したように、ポリマー含有率の増加に伴い樹脂の浸透深さが増加し、WPC層厚さが厚くなり、衝撃強さも増加したと推察される。しかし、同じ含有率でも衝撃強さにはバラツキが見られた。これは樹脂の浸透深さが部位によって異なるためと推察される。

ポリマー含有率とブリネル硬度の関係を図-7に示す。両者には高い正の相関関係にあり、ポリマー含有率20%で約2.5kg/cm²と無処理材の約4倍の値を示した。ブリネル硬度は、材の表層に鋼球を圧入したときの抵抗性を示す指標であり、ポリマー含有率の増加にともない材表面だけではなく、樹脂が含浸した材内部の硬度も向上していると考えられる。

ポリマー含有率と曲げ強さの関係は、危険率1%で正の相関関係があり、無処理材の284kg/cm²に対して、ポリマー含有率20%で約500kg/cm²を示した。しかし、曲げヤング係数との間に相関関係が見られなかった。

このように、スギ表層WPCは基本的にポリマー含有率が増加するとその物性も向上した。しかし、横圧縮率75%では吸水による厚さ膨潤に問題があった。

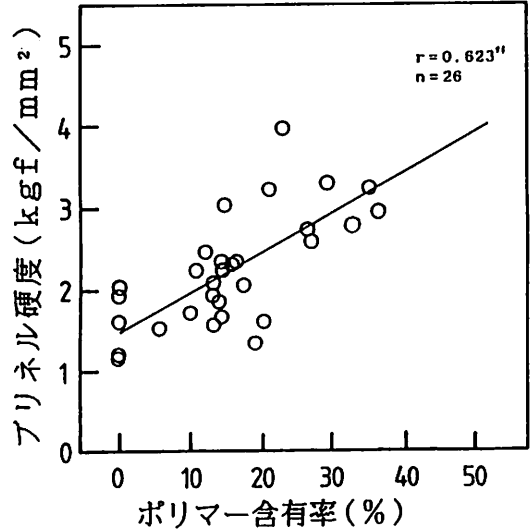


図-7 ポリマー含有率とブリネル硬度

- * 樹脂濃度：25%
- * 浸漬時間：6時間
- * 圧縮セット率：40%

3.4.2 圧縮セット率との物性との関係

横圧縮率50%で樹脂を注入し、圧縮セット率20~80%で加熱成形したスギ表層WPCの物性を表

表一 2 スギ表層WPCの物性

圧縮セット率 (%)	衝撃強さ ¹⁾ (J)	プリネル硬度 ²⁾ (kgf/mm ²)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 ($\times 10^3$ kgf/cm ²)	吸水率 ³⁾ (%)	吸水厚さ膨潤率 ⁴⁾ (%)
20	0.311	1.88	498	68.9	26.3	6.4
40	0.441	1.98	504	83.9	22.0	11.1
60	0.568	4.31	518	106.1	21.5	24.0
80	0.581	7.89	533	205.3	23.9	28.6
スギ辺材	0.015	0.62	284	52.2	91.4	6.7
市販WPC 床材(カバ)	0.882	8.35	556	58.7	28.9	12.0

* 横圧縮率：50% (平均ポリマー含有率：25.8%)

* プレス温度：150°C, 10分

1, 2) 衝撃強さ及びプリネル硬度の測定位置：早材部

3, 4) 吸水率, 吸水厚さ膨潤率：25°C, 48時間

一 2 に示す。成形後の圧縮セット率の増加にともない衝撃強さ、プリネル硬度、曲げ強さ、および曲げヤング係数はいずれも向上した。中でもプリネル硬度は圧縮セット率40%から60%で2倍以上に増加した。プリネル硬度は材内部の圧縮抵抗を示す指標であることから、圧縮成形によりWPC層内部に空隙がなくなり、圧縮に対する抵抗力が高まったためと思われる。また、圧縮セット率の増加にともない表層WPC層は圧縮され薄くなるにもかかわらず、衝撃強さが増加したことから、WPC層自身もより強固になっていることが推察される。吸水率は圧縮セット率20%で若干高い値を示しているが、全体的にほぼ同じ値であった。吸水厚さは膨潤率は無処理材(スギ辺材)と比べて圧縮セット率20%ではほぼ同じであるが、圧縮セット率が大きくなると、それに伴い増加した。

市販のWPC床材(カバ)と比較すると、圧縮セット率40%の条件で、曲げ強さ、曲げヤング係数、吸水率および吸水厚さ膨潤率で同等、またはそれ以上の値を示したが、衝撃強さ、およびプリネル硬度は劣った。しかし、市販の塗装針葉樹床材(スギ、アカマツ)との比較では、衝撃強さはほぼ同等の値(市販品：約0.3~0.5J)であった。表面物性(衝撃強さ、プリネル硬度)の改善には、40%以上の圧縮成形が適当と思われる。

床材料に必要な表面物性は、主に表面硬度、衝撃強さ、耐摩耗性、耐汚染性などであり、加熱圧縮成形においては特に衝撃強さが改善されることが確か

められた。しかし、市販のカバWPC床材と比べればまだ劣っており、これを改善するためには、注入する樹脂、硬化条件などの検討が必要と考えられる。

4. まとめ

スギ辺材の表層WPC化を目的に、常温横圧縮処理による板目面R方向への飽和共重合ポリエステル樹脂の浸透性を検討するとともに、硬化処理材の表面物性、曲げ強さ、および耐水性について評価した。結論は以下の通りである。

- 1) 常温横圧縮処理により、ポリエステル樹脂はR方向からスギ辺材表層に浸透した。
- 2) 適正な樹脂浸透条件は、横圧縮率50%以上、樹脂濃度25%、浸透時間6時間以上であり、この条件で板目面から樹脂浸透深さは平均2mm以上であった。
- 3) 表層のポリエステル樹脂含有率の増加に伴い、加熱圧縮成形した試験片の衝撃強さ、プリネル硬度および曲げ強度は増加し、吸水厚さ膨潤率は減少した。
- 4) 表面物性を改善するためには、40%以上の圧縮成形が必要と思われた。

文 献

- 1) 飯田生穂, 高山知香子ら：木材学会誌, 38(3), 233-240 (1992)
- 2) 飯田生穂, 今村祐嗣ら：木材保存, 18(1), 31-37 (1992)

- 3) 例えば, 今村博之ほか 5 名: “木材利用の科学”, 共立出版, 1983, P 313-317.
- 4) 井上雅文, 則元京ら: 木材学会誌, 36(11), 969-975 (1990)
- 5) 井上雅文, 則元京ら: 同上, 37(3), 227-233 a (1991)
- 6) 井上雅文, 則元京ら: 同上, 37(3), 234-240 b (1991)
- 7) 井上雅文, 則元京ら: 木材研究・資料, 27, 31-40 (1991)
- 8) 例えば, 川田雄一ほか 3 名: “材料試験”, 共立出版, 1967, P 89-119.
- 9) 則元 京: 木材学会誌, 39(8), 867-874 (1993)
- 10) 則元 京: 木材研究・資料, 30, 1-15 (1994)
- 11) 酒井温子: 木材工業, 49(12), 604-609 (1994)

Summary

To make the superficial plastic combined with wood-material from Cedar sapwood, we attempted to impregnate a superficial layer with a saturated copolymerization polyester resin from the radial direction using a lateral compression treatment.

Surface properties, bending strength and water resisting qualities of the hardened specimens by a hot-press treatment also were measured. The results obtained are as follows:

- 1) The MEK solution of the polyester resin was impregnated into a superficial layer of Cedar sapwood using the lateral compression treatment at normal temperature and pressure.
- 2) Impregnation was above 50% of lateral compressive ratio, 25% of resin concentration and above 6 hr for the soaking time, and under these conditions, the resin was impregnated by an average above 2mm from the tangential plane.
- 3) With the increase in the polyester resin content in the superficial layer, impact strength, surface hardness and bending strength increased, and water-absorbed swelling ratio of the hardened specimens by hot-press treatment decreased.
- 4) To modify the surface properties, it seems hot-press treatment be above 40%.