

廃プラスチックを使ったカラマツ等針葉樹フローリングの開発

中島 俊 名取 潤 堀内利男*

Development of Larix and other Needle leaves woods WPC floor by Using waste Plastic

Toshi NAKAJIMA , Jyun NATORI and Toshio HORIUCHI

1 はじめに

本県にとってカラマツは重要な樹種である。しかし、カラマツはスギやヒノキなどの木材と比べて狂いやヤニの浸出など、欠点が多く利用しにくいことが指摘されている。従って、その利用に際しては材質を改善する何らかの処置が必要となる。このように欠点のある木材の材質改善の一方法に、プラスチックを材中に浸透させた複合 (WPC) 技術がある。現在行われている WPC 技術は、高価な注入装置を使って重合性のあるモノマーやプレポリマーなどを架橋剤や触媒とともに木材に含浸して、加熱等の処理を行い重合硬化する方法で、その処理費は高額なものとなる。

また、プラスチックは日常生活に欠くことのできない素材であるが、それが一旦ゴミとして排出されると、その処理が厄介で資源・環境問題を含めて大きな社会問題になっている。

本研究は、リサイクルが問題化している廃プラスチックとその利用開発が問題となっているカラマツ等の木材を使ってフローリングを開発することを目的とした。

2 注入理論

木材中には写真1 (写真1-1、1-2、1-3、1-4) に示すように細胞内こう、細胞間隙、壁孔、細胞壁内等にさまざまな形や大きさ、方向性を持った大小無数の空隙が存在し、これらの空隙は互いに3次元的な毛管通路網を形成している。このような細孔構造の木材に樹脂を注入する方法として、①人為的に圧力を加えて注入する方法と、②毛管力を利用して注入する方法がある。

写真-1 木材中のさまざまな細孔

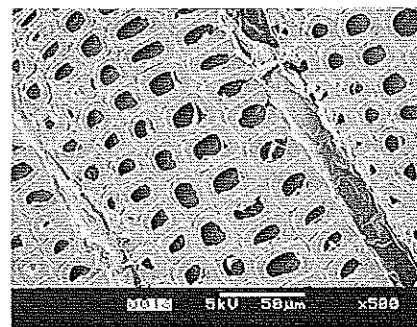


写真-1-1 細胞内こう (カラマツ)

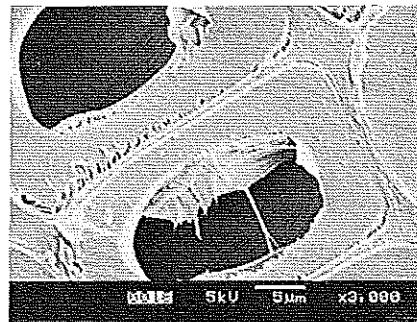


写真-1-2 細胞間壁

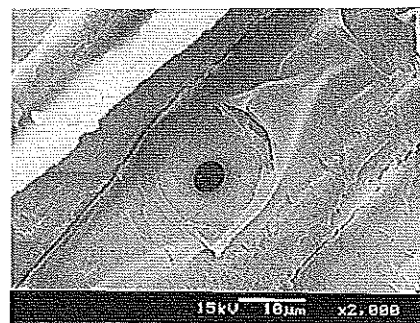


写真-1-3 壁孔

* (株) 堀内林業技術研究所

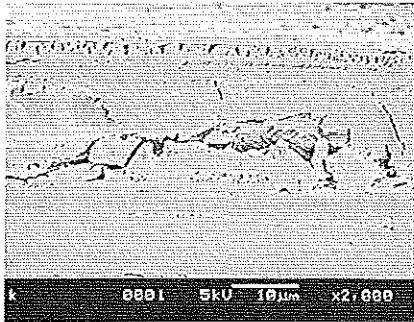


写真-1-4 細胞壁の細孔 (2000倍)

2. 1 加圧注入

木材中に樹脂を注入する場合、減・加圧装置を使って外部から圧力差を与える加圧注入法が一般的である。加圧注入法は、圧力差を ΔP (dyn/cm²)、毛管半径を r (cm)、毛管の長さを l (cm)、液体の粘度を η (dyn · s/cm²) としたとき、樹脂の流動速度 dV/dt (cm/s) は、Poiseuilleの法則にしたがい、次式1で示される。

$$dV/dt = \pi r^4 \Delta P / 8 l \eta \text{ —— 式1}$$

式1で圧力差及び樹脂の粘度を一定としたとき、浸透性は毛管径と毛管長によって規定される。特に、毛管径の影響は大きく毛管径が小さくなるにしたがって浸透性は指数的に低下する。この他にDarcyの式が示されているが、理論的にはほぼ同じである。

加圧注入法の場合、細胞内こうなどの毛管径が大きく、かつこれらをつぶす壁孔の開口率が高い木材ほど浸透性が良く、逆にカラマツのように壁孔の開口率が低い木材ほど浸透性は悪くなる。注入には樹脂の粘度が関与し、減・加圧装置を必要とする。注入に際して樹脂は道管や仮道管など隣接する大きな毛管から壁孔などの毛管を通して順次浸透していくと考えられる。

2. 2 毛管注入方

毛管力を利用して樹脂注入する場合について考える。液体は、液体表面では外部からの引力を受けないため、液面を縮小しようとする表面張力が働く。直径 d (cm)の円柱状の噴流では、単位長さの円柱について、表面張力を σ (dyn/cm) としたとき、内部圧力 P (dyn/cm²) は、次式で示される。

$$P = 2\sigma/d$$

次に、液体は他の物体に付着する付着力をもっている。毛管内に液体表面を持ってるとき、液体表面はメニスカスを形成し、表面張力によって毛管力を発生する。接触角を θ としたとき、半径 r (cm)の円形断面の毛管力

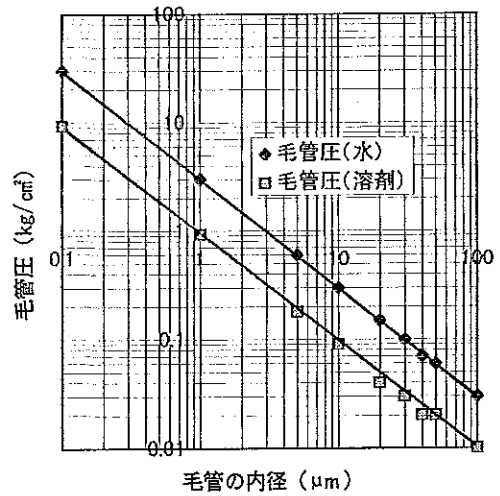


図-1. 毛管径と毛管力

F (dyn) は次式で示される。

$$F = 2\pi r \sigma \cos \theta$$

この式から、直径 d の毛管の圧力 P (kg/cm²) は、次式で求められる。

$$P = 4\sigma \cos \theta / dg \text{ —— 式2}$$

ただし、 g : 重力加速度 (m/s²)

毛管の直径が小さくなる程、毛管圧力は大きくなる。

水の表面張力を0.074 (dyn/cm, 10°C)、アセトンの表面張力を0.029 (dyn/cm, 10°C)、接触角を0度として、毛管の内径が0.1~100 μmまでの水とアセトンの毛管力を式2から計算すると、毛管径と毛管力の関係は図1のようになる。毛管径が0.1 μmの毛管力と100 μmの毛管力を比較すると実に1,000倍もの圧力差が生じる。

毛管による拡散の場合、毛管径が小さいほど毛管力が高まり浸透性は良くなる。注入には樹脂の粘度は直接関与せず、表面張力と付着力が関与し、減・加圧装置は必要としない。注入に際して樹脂は細胞壁内の小さな毛管から細胞内こうなどの大きな毛管へ順次浸透していくと考えられるが、細孔の大きさによって限界が生じる。

3 試験方法

3. 1 廃プラスチックの溶解

廃プラスチックは、環境ホルモンや燃焼時にダイオキシンが発生するなど環境汚染の心配がなく、酸やアルカリなどに強く、溶解が容易で扱いやすく、入手しやすいなどの条件を満たす樹脂が望ましい。これらの条件をある程度満たすものとして食品包装用のトレーや鮮魚運搬用

の容器として広く使われている発泡スチロールの容器を使用した。発泡スチロール (0.049~0.051 g/cm³) の容器を洗浄・乾燥した後、約 2 cm 角の大きさに砕き、これを常温 (20℃) でトルエン (99%) に溶かした。溶液の粘度はビスコメータで測定した。

3. 2 毛管力による樹脂の注入

試験片は長さ 250mm、幅 60mm、厚さ 3mm のカラマツ、アカマツ、ナラ、カバの単板を 3 枚ずつ用意した。これらの単板を発泡スチロールをトルエンに溶かした溶液 (樹脂率 15 W/w%) に約 40 時間浸漬した。浸漬後、試験片を一昼夜室内で乾燥して溶剤を揮散した。この試験片から電子顕微鏡用の観察試料を作製して、走査形電子顕微鏡 (日本電子、SEM-5000) を用いて樹脂の注入状況を観察した。

3. 3 プレスを使った樹脂の注入

試験片は長さ 1,000mm、幅 60mm、厚さ 15mm のカラマツ、アカマツの板目材を 3 枚ずつ用意した。これらの板を発泡スチロールをトルエンに溶かした溶液 (樹脂率 15 W/w%) に約 40 時間浸漬し、ローラプレスで材を破壊しない程度 (約 10%) 圧縮し、直ちに樹脂液に戻して約 20 時間浸漬した。浸漬後、試験片を 1 週間室内で乾燥して溶剤を揮散した。この試験片から走査形電子顕微鏡用の観察試料を作製して、樹脂の注入状況を観察した。

3. 4 強度の測定

試験片は長さ 1,000mm、幅 60mm、厚さ 15mm のカラマツ、アカマツ、ナラ及びカバを 3 枚ずつ用意した。これらの板を発泡スチロールをトルエンに溶かした溶液 (樹脂率 15 W/w%) に約 40 時間浸漬した。ナラとカバは浸漬後、1 週間室内で乾燥してシンナーを揮散した。カラマツとアカマツは材表面の早材部の細胞内こうに樹脂を注入するため、一旦樹脂液から出してローラプレスで材を破壊しない程度 (約 10% ほど) に圧縮し、直ちに溶液に戻して約 20 時間浸漬した。浸漬後、1 週間室内で乾燥して溶剤を揮散した。樹脂を注入した試験片の表面に直径 3mm の圧縮端子を当てて反対側から荷重をかけ、圧痕が生じないときの荷重を最大強度とした。

3. 5 寸法の安定性

試験片は長さ 250mm、幅 60mm、厚さ 3mm のカラマツ、アカマツ、ナラ及びカバの単板を 6 枚ずつ用意した。このうち 3 枚は、発泡スチロールをトルエンに溶かした溶液 (樹脂率 15 W/w%) に約 40 時間浸漬して樹脂を注入した後、1 昼夜室内で乾燥してシンナーを揮散して、ノギスで寸法を測定した。寸法測定が済んだ後に 6 時間水中浸漬して吸水した後再びノギスで、試験片の寸法を

測定した。寸法の変化率 L は、次式で求めた。

$$L = (L_1 - L_0 / L_0) \times 100$$

ここで、L₀ : 浸漬前の寸法 <

L₁ : 浸漬後の寸法

4 試験結果及び考察

4. 1 廃プラスチックの溶解

試験結果を図 2 に示した。樹脂の溶解率が高くなるにつれて粘度は高くなっていく。溶解率が 20% から 33% までは溶解率が 1% 上がるごとに、粘度は約 0.7 ポイズ上昇する。33% から 47% では溶解率が 1% 上昇するごとに約 6.2 ポイズと急激に上昇し、溶解率が 50% で粘度は 200 ポイズを超え、ほとんど溶解しなくなった。

式 2 から、毛管力と溶液の粘度は直接関係しないが、粘度が上昇すると接触角も大きくなり樹脂の流動性が悪くなる。また、樹脂率が低いと樹脂の注入密度が低くなることなどから、溶液の樹脂率は 20% ~ 30% の範囲が適当と考えられる。

4. 2 毛管力を利用した樹脂の注入

試験結果を写真 2-1、2 に示した。写真 2-1 はカラマツ木口面の観察写真を、写真 2-2 はナラ木口面の観察写真である。観察の結果、カラマツの場合、樹脂は晩材部の細胞壁及び細胞内こうに充填していた。早材部については細胞壁には充填しているが、細胞内こうへの充填はわずかであった。ナラの場合、細胞内こうがカラマツより小さい細胞が多いことから、道管のような大きな内こうを除いて写真のように早材部、晩材部の区別なくほぼ全面にプラスチックは充填されていた。アカマツ

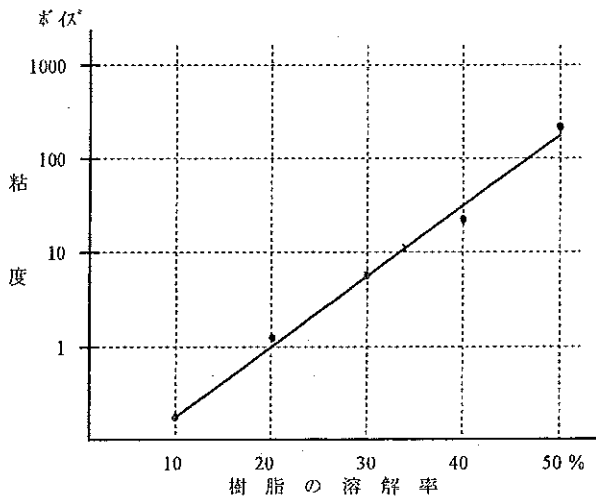


図-2 樹脂の溶解率と粘度の関係 (常温)

についてはカラマツと同様であった。カバについてはナラと同様であった。

写真3-1はカラマツ晩材部の未注入材の写真で、晩材部の細胞内こうは1~10 μm である。写真3-2はカラマツ晩材部の樹脂注入写真で、細胞壁は樹脂で満たされていたが、細胞内こうは多少未注入部分があった。

写真4-1はカラマツ早材部の未注入材の写真で、早材部の細胞内こうは長径が70~80 μm ある。早材部は晩材部の細胞と比較して細胞壁の厚さがほぼ半分である。

写真4-2はカラマツ早材部の樹脂注入写真で、細胞壁は樹脂で満たされているが、細胞内こうには樹脂はほ

とんど入らなかった。

写真5-1はカラマツ早材部と晩材部の中間部の未注入材の写真である。細胞内こうの大きさは30~40 μm で細胞壁は早材部とはほぼ同じくらいの厚さである。写真5-2はカラマツ早材部と晩材部の中間部の樹脂注入写真で、細胞壁は樹脂で満たされていた。

毛管力を利用して樹脂を注入する場合、いずれの樹種とも細胞壁には樹脂が入っていた。内径が5 μm 以下の細胞内こうには樹脂が良く入り充填率は高くなるが、これよりも内こうが大きくなると、樹脂の入りが悪くなり充填率は低くなる。

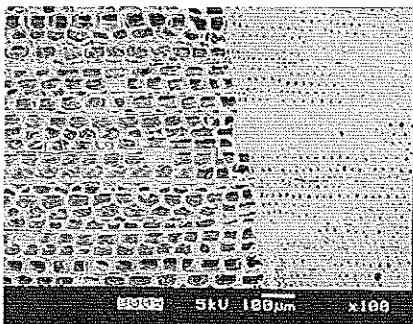


写真-2-1 カラマツ

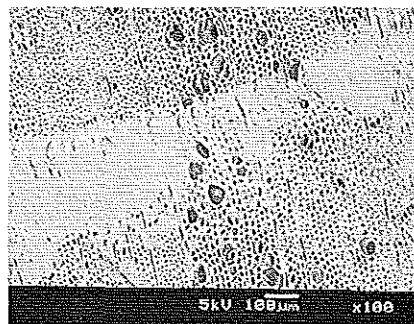


写真-2-2 ナラ

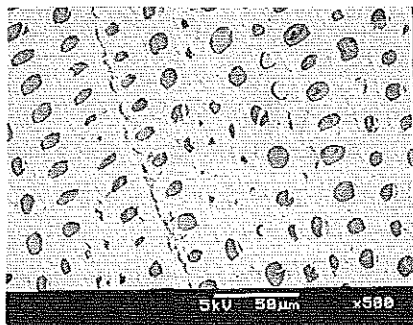


写真-3-1 カラマツ晩材部未注入

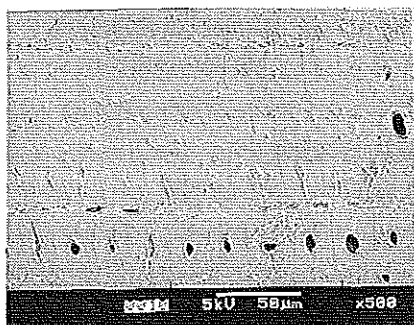


写真-3-2 カラマツ晩材部注入

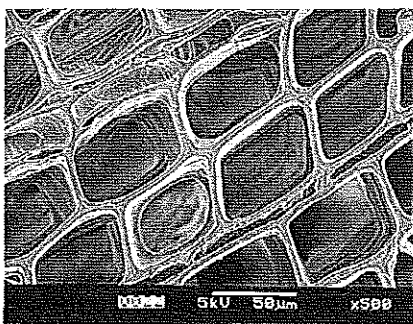


写真-4-1 カラマツ早材部未注入

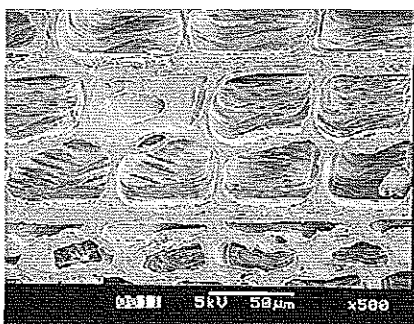


写真-4-2 カラマツ早材部注入

実験の結果から、毛管圧が0.2kg/cm²よりも低くなると樹脂は充填しなくなる。従って、内径が5 μmを超える細胞内こうや間隙に樹脂を充填するには、外部から0.2kg/cm²以上の圧力を加えてやるか、加熱するなどして付着力を高めるなどの対策が必要である。

4.3 ローラプレスを使った樹脂注入

試験結果を写真6-1、2に示した。写真6-1はアカマツ材の表面付近の樹脂の注入状況を示した写真である。ローラプレスで圧縮することによって早材部の細胞内こうにも樹脂が充填されていることが分かる。表面からの樹脂の浸透深さは平均で約3mmあった。写真6-2

はアカマツ材の中心付近(表面からの深さ7.5mm)の樹脂の注入状況を示した写真である。材の中心部はプレス圧が加わらないことから、早材部の細胞内こうには樹脂が入っていないかった。

4.4 廃プラスチック注入材の強度

実験結果を表1に示した。カラマツやアカマツの未注入材の早材部分の圧縮強度はカラマツが40kg/cm²、アカマツが50kg/cm²以下であった。樹脂注入の結果、カラマツは80kg/cm²、アカマツは90kg/cm²以上の強度が得られたが、フローリング材として使用する場合、少なくとも100kg/cm²以上を目標としたい。

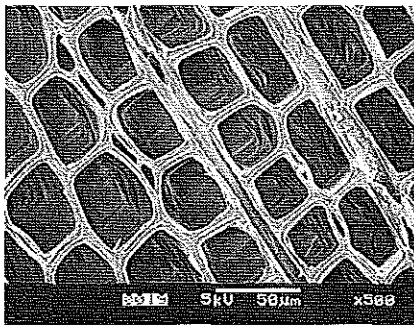


写真-5-1 カラマツ中間部未注入

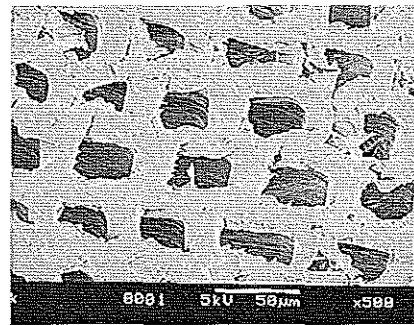


写真-5-2 カラマツ中間部注入

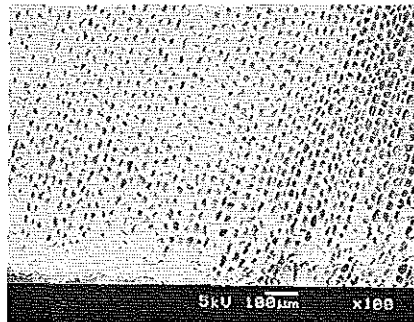


写真-6-1 表面付近の状況

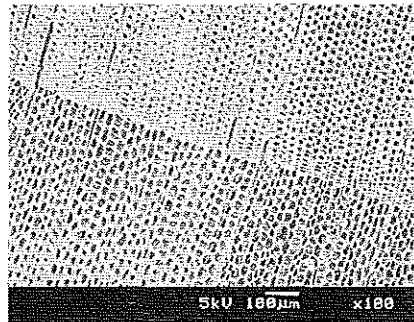


写真-6-2 中心付近の状況

表-1 樹脂注入による強度の改善

樹種	注入率 ww%	圧縮強さ (kg/cm ²)		備考
		注入材	未注入材	
カラマツ	15.4	>82 (>150)	<40 (<150)	板目木取り
アカマツ	28.3	>90 (>150)	<50 (<150)	板目木取り
ナラ	12.4	>160	<120	
カバ	40.9	>120	<90	腐朽有り

表-2 寸法の変化率

樹種	膨潤率 (%)		膨潤率の 比較 (%)
	未注入材	注入材	
カラマツ	3.0	1.3	43
アカマツ	3.8	1.4	37
ナラ	5.4	2.6	48
カバ	4.1	1.3	32

ここで：カラマツとアカマツは早材部と晩材部の強度、カッコ内は晩材部の強度

4. 5 廃プラスチック注入材の寸法安定性

試験結果を表2に示した。廃プラスチックを注入した木材は、未注入材と比べて寸法の変化率は樹種によって違いがあるが二分の一から三分の一と少なかった。

5 結 論

これまで木材への樹脂の注入は減・加圧装置を使って重合性のあるモノマーやプレポリマー等を架橋剤や触媒とともに木材に含浸して、加熱等の処理を行って重合硬化していたが、樹脂含浸木材(WPC)の使用目的によっては必ずしも従来のような樹脂原料や装置を使わないでも、低コストでWPCの加工が可能になる。

含浸用樹脂に廃プラスチックが原料として利用できることから、廃プラスチックのリサイクルが社会的問題になっている現在資源化の意義は大きいと思う。

カラマツやアカマツは早材部の強度(40~50kg/cm²)が低いために、フローリング材には不向きであった。しかし、廃プラスチックを注入することによって早材部の強度が高まり(80~90kg/cm²)上履きを履くなど、利用上の制限はあるが、フローリング材として利用可能になった。しかし、普段は傷が付かないように上履きを履いて大切に使用しているフローリングも、時には重量があって硬い物を移動するなど局部的に強い力を受けるときがある。このような時、フローリングを傷つけることが多い。従って、より大きな強度が要求される。また、木材は吸水すると膨潤し、乾燥すると収縮する。吸湿や乾燥時のフローリングの寸法変化量が大きいと隙間が生じたり、床が持ち上がったりするなどの欠陥が生じる。従って、できる限り寸法安定性の良いフローリングが要求される。

以上のことなどから今後、①樹脂の注入ムラを無くし注入密度を上げる、②寸法安定性と耐久性を上げる、③乾燥過程で有機溶剤を大気中に揮散して乾燥するのではなく、回収しながら乾燥する、④天然系の溶剤を使用する、などが今後の課題として上げられる。

参 考 文 献

- 1) 木材の物理：伏谷賢美他，文永堂出版(株)，p45~46，昭和60.9.25
- 2) 流体工学：古屋善正他，(株)朝倉書店，p4~10，1982.10.5
- 3) やまなし衛公研だより：山梨県衛生公害研究所，第40号p4，1998年11月
- 4) 木材工業：(社)日本木材加工協会，Vol.53，No9，p338~401，1998.9.1
- 5) 木材工業：(株)日本木材加工協会，Vol.53，No10，p446~449，1998.10.1