

木材を大切に使うために 樹脂注入処理とその役割

川上英夫

1. まえがき

昨今の木材需給事情からすると“木材は安い”あるいは“木材はどこでも、いつでも手に入る”といった、かつての常識は完全に消え去り、今や木材は高価な貴重材料とみられる時代がやってきつつある。言うまでもなく、これからはこの大切な木材を、一層の付加価値を与え、節約して使うことが大きな課題である。とくに木材は、再生資源とは言ってもそのサイクルは何十年という長い期間にわたるので、諸課題への対応にも長期的な先見性と絶ゆまない実践性がなければならないと思われる。

さて、木材をその特性を生かしながら大切に使うには何をなすべきであろうか。林産加工の立場からは、いつも言われることであるが、既存の加工技術を総合的、抜本的に見直して、常に改善努力をおこなうこと、そして新しい技術の発掘や新しいタイプの製品開発を推し進めることである。このことを名実ともにするには、林業側での「原木供給の安定」、「流通機構の整備」の問題が横たわっており、この問題の改善、解決が前提条件となる。さらに気のついた点を言わせて頂けば、「木材を使うにあたって、木材だけに固執するな」ということであろうか。お叱りを受けるような表現であるが、後で述べる木材の長所・短所からみて、木材と金属、無機材料、合成高分子材料など、他の基材との複合化をもう少し積極的に考えてみたら如何かと思うのである。木材にはない他の基材の性質を借りることによって、木材の特性をより生かせる場合もある。もちろんこの場合、経済性と付加価値との見合いという制約はあるが。

この小論では、木材を、付加価値を向上させて大切に使うといった観点から、木材の合成樹脂による注入処理について考えてみたいと思う。

2. 木材の長所・短所と処理加工の意義

木材は無数の薄肉中空状の細胞が集束した特有の組織構造をもった多孔性材料である。軽くて強度が大きく（図-1）、加工し易いうえ、天然の優美な木理、色調などの質感があり、また吸脱湿性、断熱性、遮音性などの環境調節要素もあって、われわれ人間生活になじみ易いすぐれた特性を多く持ち合わせているのもまた木材である。

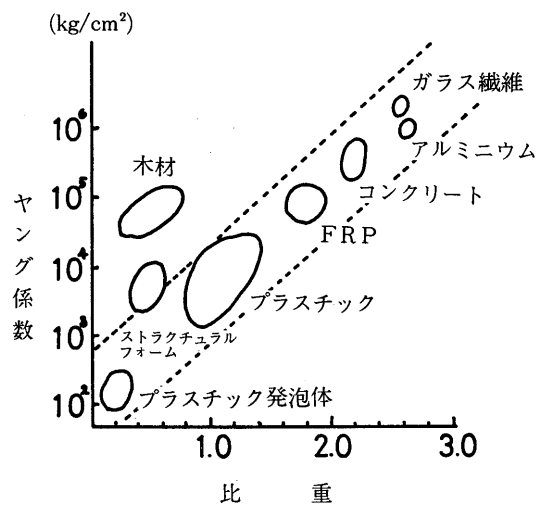


図-1 各種材料の強さ（ほかの材料に比べると、木材は軽くて強い）

〔川村実：石油と石油化学，23，（3）54（1979）より〕

反面、木材は下記のような材料としての欠点を同時に持っていて、それがしばしば需要制限につながる場合が少なくない。

- 1) 不均質で、方向によって伸び縮みの度合と強度が異なる。
- 2) 傷がついたり、汚れたりし易い。
- 3) 吸湿、放湿に伴って寸法が変化し、狂いや割れが生じ易い。
- 4) 腐れ、虫害、風化を受け易い。

5) 燃える。

そこで、これらの欠点を改善し、木材の実用上の価値を高めるために、従来から多くの物理的、化学的手法に基づいた努力が払われてきている。その中でも接着、塗装、樹脂注入などのように合成樹脂を用いて木材を加工することが工業的に多くみられる。現在までに改良木質材料として、合板、集成材、パーティクルボード及びファイバーボードなどが実用に供されている。これらの木質材料は、低質材や廃材を有効に再生利用するという側面も見逃せないが、先にあげた木材の欠点のうち、主に1)、2)と3)の一部を、それぞれに形状を調整した木材を合成樹脂接着剤を用いて再構成することにより、物理的に補ったものという見方もできよう。また、素材からは得られない広幅な材料を提供することも欠点改善の一部となっている。

一方、3)、4)、5)の欠点を補うためには、木材のみの再構成等では不十分である。この場合には木材以外の種々の化学薬剤の注入処理によって木材本来の性質を改良する必要がある。このための処理技術として樹脂注入処理や防腐、防虫、防火などの保存処理がある。このうち樹脂注入処理は欠点3)、4)に関連する防湿、寸法安定（木材の伸び縮みを小さくする）、風化（自然環境による劣化）防止のための処理として有効であり、木材及び木質材料の耐久化処理としてその役割りは極めて大きいと思われる。いずれにしてもこれらの木材への注入処理加工は木材の使用寿命を長持ちさせる立場からすると、その重要性は今後ますます強調され、実施例も増えるであろう。

3. 木材と合成樹脂とのかかわり

少々脇道にそれるが、これまでの木材と合成樹脂とのかかわりについて触れてみる。

木材と樹脂との出会いは古く、わが国古来の伝統工芸である漆加工はその代表的なものである。古い時代には植物質、動物質の天然物を利用するしかなかったが、今世紀に入って有機合成化学が発展し、石炭酸（フェノール）樹脂、尿素（ユリ

ア）樹脂などの合成物が出現した。わが国でも戦前、戦時に軍用として研究が進められ、フェノール樹脂による硬化積層材が木製飛行機のプロペラや桁材に用いられたことは記憶に古くない。ユリア樹脂の方は戦後において合板に一大革命をもたらした。

その後昭和30年代の経済成長期を迎え、石油化学工業の急速な進展に伴って、合成樹脂（いわゆるプラスチック）がわれわれの日常生活の中に大きな位置を占めるに至った。木製であった日用品がしだいにプラスチック製品に替えられていき、建材にも代替材が進出し、果ては合成木材、合成紙までが出現し、この時代はまさに木材工業にとってプラスチック恐怖症？の時代ではなかったか。

しかし、一方では合成樹脂の発達に伴って、より高い性能の接着剤、塗料等が新たに開発され、これによって木材工業側が恩恵を受けたことも確かである。

合成樹脂の特長は、木材と比べた場合、水分や湿気に強く、フィルム状から発泡体、複雑形状品まで、密度を変えながら自在に成形できることである。木材が代替せられた樹脂製品はほとんどがこの特長が活かされているものとみることができよう。しかしながら、どんな材料にも弱点はある。合成樹脂の場合、原料の石油はほとんどが外国依存であることはもちろん、環境公害、廃棄物公害の問題があり、材料的には機械的強度が小さいこと、熱で変形すること、燃えると有害ガスを出すものが多いことなどがあげられる。

合成樹脂にはこのほかにも種々の欠点があるが、他の材料と同様に欠点を改善するために用途に応じて、種類の異なる他の樹脂や各種の添加剤を混ぜるとか、他の基材と組み合わせることが一般に行われる。例えば、アクリロニトリル、ブタジエン、スチレンの三つの樹脂が合わさって、耐衝撃性、耐熱性、硬さなどの優れたABS樹脂が生まれたし、ガラス繊維とポリエステル樹脂（又はエポキシ樹脂）との複合によって物性の飛躍的に向上したFRP（繊維強化プラスチック）が

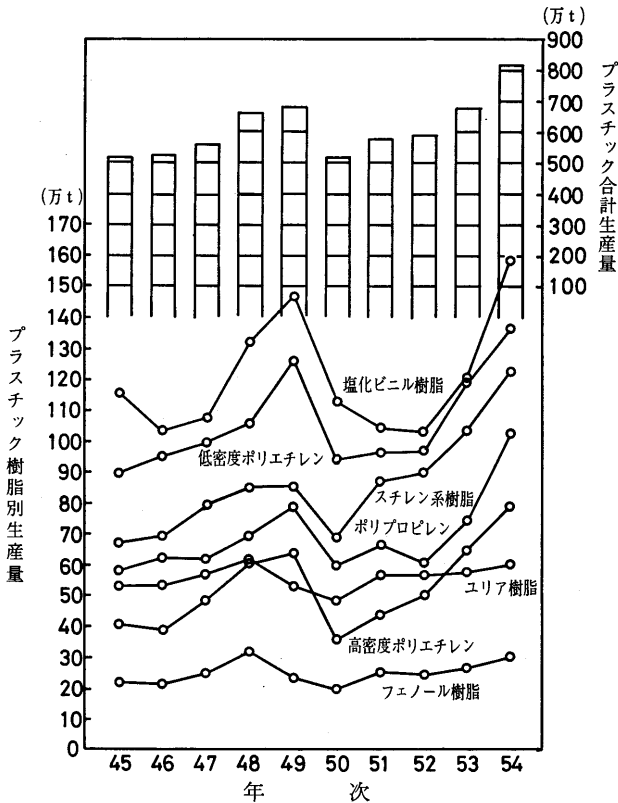


図-2 いろいろなプラスチック生産量のうごき
〔日本プラスチック工業連盟：プラスチック，
31，(6)9(1980)〕より

作られている。

木材との組み合わせも当然考えられ、先のフェノール樹脂注入とは別に、アクリルとかスチレンのようなビニル系の樹脂による注入処理が昭和40年頃に開発された(詳しくは後述)。

このように合成樹脂の側も自らを補強すべく、他の材料と積極的に組み合わせることを推進していると言える。合成樹脂はその特長を考えると、原料問題はあるにしても、当分の間まだまだ需要増が期待される材料である。参考までに過去10年間の樹脂別生産量を図-2に示す。

4. 樹脂注入処理の役割

木材は樹脂注入処理によって一般的に次のような性質が付加される。

- 1) 吸湿(水)性と寸法安定性の改善
- 2) 機械的性質の増加
- 3) 美観の向上
- 4) 材表面の保護
- 5) 耐候性の向上
- 6) その他電気絶縁性の付加

どんな性質をどれだけ付加するかは用途によって異なり、実際的には注入する樹脂の種類、注入量、各種添加剤によって調節される。

現在、樹脂注入処理には、考え方として二通りの行き方があるように思われる。

その一つは、ある特定の欠点(複数でもよい)を改良しようとする場合、他の特性にあまり影響を与えないような、つまり材質改良的な処理である。この場合にはできるだけ注入量が低く、改質効果の高いことが望ましい。

他の一つは、木材、樹脂の双方の利点を生かし、欠点をあい補って、それぞれ単独にはみられない性質をもった、新たな複合材料を創り出す処理である。次項で述べる強化木、高含浸WPCはこれに属しよう。

上の二つの行き方は各々独立した別個の処理ということではなく、相互に連なった処理のうち同極端として考えられるのではなからうか。いずれにしても、樹脂注入処理は木材にない性質を樹脂に求め、木材自らの欠点を樹脂の助けを借りて小さくすることが基本になっている。

5. どんな処理法があるか

現在までに実用化されているものと一部研究段階であるが実用化の見込みのあるものを含めて、各種樹脂処理法(処理材)を表-1に示す。なお、合成樹脂は熱硬化型と熱可塑性に分けられる。以下それぞれについて簡単に説明しよう。

(1) フェノール樹脂処理

この処理は1930年頃から検討され、当初は主に

表-1 各種樹脂処理と処理材

樹脂処理		処理材の名称
熱硬化性樹脂による	フェノール樹脂処理	{樹脂注入木材(Impreg) 強化木(硬化積層材) Compreg}
	ウレタン樹脂処理	
	ポリエステル樹脂処理	WPCの範囲に含まれる
	その他 エポキシ樹脂 フルフラーン樹脂 ジアリルフタレー樹脂 等による処理	
熱性に可樹よ 塑脂る	WPC化処理 (ビニル系モノマー の注入, 重合処理)	木材プラスチック複合 材(WPC)
その他	ポリエチレングリコール 処理	PEG含浸木材

軍用目的として構造材料向けに研究された。戦後はとくにアメリカで木材の寸法安定化処理として見直され、処理材の用途開発が進められた。フェノール樹脂処理は表のように2種に分類される。

一つはブロック材あるいは単板にフェノール樹脂の初期縮合物(分子量が低い液状物質)を圧力操作で注入し、加熱して材内で硬化させる方法である。処理材を樹脂注入木材又はインプレグ(Impreg)と称している。この処理によって吸湿性が低下し、寸法安定性が増加する。

もう一つは、厚さ1mm程度の単板に同様なフ

表-2 強化木の機械的強度と寸法安定性
(素材との比較)

項目	カバ素材	強化木	強化木/カバ素材
比重	0.65	1.25	約2倍
引張強さ (kg/mm ²)	14	26	約2倍
曲げ強さ (kg/mm ²)	10	25	2.5倍
圧縮強さ (kg/mm ²)	5	16	約3倍
せん断強さ (kg/mm ²)	1.4	4	約3倍
寸法安定性 [ASE(%)]		70	0.3倍 (寸法変化として)

注) 強化木はカバ単板同方向積層

ASE(%)は無処理材の寸法変化率に対する処理材の寸法変化率の改善度合で数字の大きいほど安定化する。

[鈴木孚：接着，11，655(1967)]より

エノール樹脂液を注入し、乾燥後に主として繊維方向に平行にして重ね、加熱強圧縮(140~150, 200~300 kg/cm²)して樹脂を硬化させる方法である。処理材は細胞空げきがほとんどなくなり、比重が1.2~1.4程度になる。強化木(あるいは硬化積層材)又はコンプレグ(Compreg)と称する。強化木は表-2に示すように機械的強度と寸法安定性が著しく向上する。したがって、特殊ギア、紡織器材等の工業部材のほか、装飾品、電気絶縁材として使用されている。

(2) ウレタン樹脂処理

水溶性タイプのウレタンプレポリマー(分子量が未だ低い段階)の溶液又はエマルジョンを木材に注入して、触媒-加熱法により材内で硬化させる方法が検討されているが、未だ実用化には至っていない。この処理の特徴はフェノール樹脂処理のように処理材のねばり強さ(じん性)を低下させないことである。

また、未だ研究段階であるが、イソシアネート類(例えば2,4-トリレンジイソシアネート)を蒸気の状態で木材内に吸着させ、触媒によって硬化させるもの、放射線によって硬化させるものなどが報告されている。

(3) ポリエステル樹脂処理

この処理は不飽和ポリエステルを用いるのであるが、ポリエステルは酸とアルコールの組み合わせにより種類が多い。通常、不飽和ポリエステルはスチレンあるいはメチルメタクリレートと混合して用いるので、この処理は次項のWPC化処理の範囲に含まれる。

(4) WPC化処理(ビニル系モノマーの注入重合処理)

この処理は、木材にビニル系モノマー(あるいはオリゴマー、プレポリマー)を主体とする重合性樹脂液を注入し、材内で重合硬化させる処理である。重合方法には放射線(線、電子線)照射を利用する方法と、あらかじめ樹脂液に重合触媒を加えておいて加熱する方法とがある。得られる木材プラスチック複合材をWPC(Wood-Polymer Composite)又はWood-Plastic Comb

inationの略記)と称している。WPC化という術語は著者らが研究グループ間の用語として使っているが、一般にも定着してきた。

WPCは1950年代から研究が開始され、1960年以降アメリカの原子力委員会による放射線の平和利用の一環としての研究を軸に世界的に研究が盛んになり、現在では企業化の事例もかなり多い。昭和45年頃からわが国でも数社以上の企業で製品開発が行われてきている。いずれもここで言うWPCは樹脂含量が50～150%のいわゆる高含浸タイプのものを対象としている。

WPCがフェノール樹脂処理材からみて特長ある点は、樹脂液の分子量、粘度が低く、断面の比較的大きいブロック状木材の内部まで注入が可能であり、かつ、染料、架橋剤、難燃剤等副資材の樹脂液への添加によって、任意の色調をはじめとする特性を与えることができることであろう。

WPC(高含浸)の特性としては、機械的性質の向上、吸湿(水)性、寸法安定性の改善のほか耐候性の向上があげられる(表-3)。現在、用途としては、床板、屋外向けドア、カウンタート

ップ、家具部材、スポーツ用品(ゴルフクラブヘッド、銃床など)、刃物の柄などがある。WPCの実用面からみた特性を素材、プラスチックと比較して表-4に示した。

表-4 WPC, 木材, プラスチックの実用特性の比較

特 性	W P C	木 材	プ ラ ス チ ッ ク
寸 法 安 定 性	△	×	○
加 工 性	△	○	△
釘 打 性	△	○	×
釘 保 持 力	△	○	×
ネ ジ 保 持 力	○	△	×
接 着 性	△	○	△
塗 装 性	○	○	△
染 色 性	○	△	○
研 磨 性	○	×	○
表 面 美 観	○	○	△
耐 候 性	△	×	○
耐 朽 性	△	×	○
耐 薬 品 性	△	×	○
耐 摩 耗 性	○	×	△

注) 良好 やや良好 ×不良

表-3 WPCの機械的強度と寸法安定性(素材との比較)

項 目	カバ素材	W P C	WPC/カバ素材
曲 げ 強 さ (kg/mm ²)	11.5	15~20	1.3~1.7倍
曲 げ 弾 性 係 数 (kg/mm ²)	920	1400~1500	1.5~1.7倍
縦 圧 縮 強 さ (kg/mm ²)	4.8	7~12	1.5~2.5倍
横 圧 縮 強 さ (kg/mm ²)	1.6	7~10	4.4~6.3倍
せん断強さ (kg/mm ²)	1.1	1.5~4	1.4~3.6倍
硬 さ (kg/mm ²)	1.5	4~15	1.7~10倍
衝撃曲げ吸収エネルギー (kg・cm/cm ²)	37.5	30~62	0~1.7倍
寸 法 安 定 性 [ASE(%)]		30~60	0.4~0.7倍 (寸法変化として)

注) WPCはカバ素材重量に対し40~50%重量増加したものを。

ASEは表-2に同じ。

[長田幸民:新しい木材利用セミナー資料(日本木材加工技術協会), P.3(1969)]より

(5) ポリエチレングリコール(PEG)処理

PEGはカーボワックスとも言われるように、ワックスとしての性質をもつと同時に親水性もあり、無臭、無毒で大へん重宝な物質である。木材へは、水に溶けるので(分子量に応じて溶け方は異なる)水溶液として含浸し、その後水分を除いて材内に沈着させる。処理材は高い寸法安定性が与えられ、割れ、狂いなどの欠点を防ぐほか、変色も少ないと言われている。この処理が昭和宮殿建造の際に適用されて話題をまいたことはご記憶の方もあろう。

現在、この処理は処理材を実用的に向けるという段階ではないが、乾燥工程における前処理技術として実用に供されている。前処理すなわち、人工乾燥に先立ち生材挽材をPEG溶液に浸せきしたり、材面に液を塗布することにより、表面割れやそり、曲がり、ねじれなどの狂いを大幅に防止でき、また過酷な乾燥条件に耐えられることから乾燥時間を短縮できる。とくに心持材や円盤状の輪切り材などの乾燥に有効な処理である。そのほ

かに、古材とか埋没していた文化財の保存処理としても重用されている。

6. 今後期待できるか？ “樹脂注入処理”

樹脂注入による処理木材の細胞構造の断面を図-3に模式的に表したが、前項で述べたフェノール樹脂処理材やWPCは大体(2)と(3)に属す

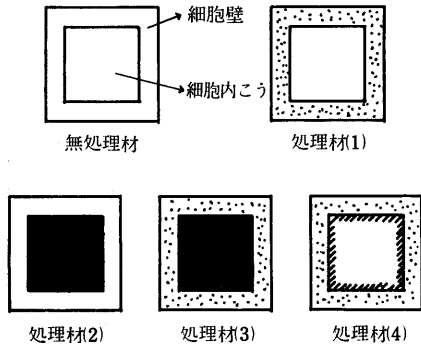


図-3 樹脂処理材の構造 (合成樹脂は木材のどこに入っているか)

る。このタイプは寸法安定性、強度、耐久性、耐摩耗性などの諸性能が付加される反面、見方を変えると、重くなり、木材としての感触が薄れ、コスト高にもつながるといった難点がある。木材の特性を生かしつつ、出来るだけ低い樹脂含量で効率的な欠点の改善をはかる方法も一方の要求として存在する。そんな意味からここでは現在当場で研究を進めている樹脂低含浸処理を紹介しよう。



樹脂注入処理は前にも述べたように寸法安定化処理としては現段階で最も効果が期待でき、実用性が高いと言っても言い過ぎにならないと思われるが、寸法安定化においては図-3からみると(4)のタイプが好ましい(なお(1)の構造は処理が技術的に困難で実用性に乏しい)。(4)の構造は木材となじみ易い樹脂(極性基をもった樹脂)を一部用いて、含浸量を低く抑えることによって得られる。具體的には、アクリル系のオリゴマーの水とのエマルジョン(乳化液)又は水、有機溶媒による溶液を減圧-加圧法で木材に注入し、加

熱によって溶媒を除去しつつ、重合硬化させる方法である。

この低含浸処理は木材の寸法安定性の改良を主眼とした処理であり、含浸量の低い方が望ましい。処理材は質的感触が木材素材と変わらない特長があり、実用的には塗装との組み合わせ処理によって、処理効果がさらに生きてくる。

樹脂低含浸-塗装処理では、含浸された樹脂が木材の耐湿(水)化、寸法安定化に寄与するうえ

表-5 樹脂低含浸処理の概要

種別	エマルジョン含浸	溶液含浸
含浸樹脂・注入液	極性基をもったアクリルオリゴマーが主体 例えば、2-ヒドロキシ-3-フェノキシプロピルアクリレート、 ポリエチレングリコールメタクリレート等 オリゴマーと水とを非イオン系乳化剤を用いて乳化したエマルジョン液	オリゴマーを有機溶媒(メタノール、アセトン等)で稀釈した溶液
対象材	◦ 薄板状木材又はブロック状木材 ◦ 末乾燥材が有利	◦ ブロック状木材 ◦ 乾燥材の方が望ましい
含浸状態の調整	◦ エマルジョンの粒径	◦ 溶液粘度
取扱い上の特徴	◦ 使用オリゴマーは無臭、不揮発性で作業環境がよい ◦ 重合(加熱)過程でとくにラッピング(包覆)処理を必要としない	
処理の特徴	◦ 重合は分散媒である多量の水を除いてから行う(前加熱-後加熱) ◦ 前加熱には通常の人乾条件を適用 ◦ 人乾過程での損傷を防止する効果がある ◦ 処理材のかさ効果が大きい ◦ 寸法安定性がより高い	◦ 溶媒の添加量によって液の粘度を広範囲に変化させることができ、材内の樹脂の分布状態を調節する ◦ 溶媒稀釈率大→均一含浸 溶媒稀釈率小→表層限定含浸 (下図参照)
処理材の状態(模式図)	 均一分散型	 表層硬化型

に、木材と塗料両者の橋渡し作用を受け持ち、木材と塗膜の物性のギャップを緩和させることによって、塗膜は格段に耐久性を増す。この処理は木材 - 樹脂 - 塗膜を一億化させる効率的な複合化技術として期待される。表 - 5に樹脂低含浸処理の概要を整理して示した。種々のタイプの樹脂の組み合わせによって、木材の吸脱湿を保持させつつ寸法安定化をはかることも可能であるし、材のごく表層部だけに樹脂を限定して含浸する表層硬化処理も可能であり、この樹脂低含浸処理は幅広い用途が期待され、今出番を待っているのである。

7. あとがき

木材を使う側の人達は、木材の良さを感覚的に認識しつつも、何となく使うキライが未だないでもない。この点、木を作る側、木材を加工、提供する側は木材が価値ある材料として真に評価されるべく、用途に応じた造り方と使い方をさらに研究し、使う側にそれらを啓蒙し、PRする必要が

あろうと思われる。これがあって処理加工技術が生きてくるであろう。

この小論では、木材のいろいろある処理加工の中から、木材を付加価値を与えて大切に使うという立場で、「木材の樹脂注入処理」を浮彫りにして、日常考えている私見をまじえて解説した。

いささか我田引水のところもあったと思うが、樹脂処理は独立した大きな処理として位置づけるのではなく、木材処理加工の中の一つの処理として、付加価値向上のための一翼を担い、総合的に木材を、大切に有効に使うために寄与し得るということがこの稿の意であった。

樹脂注入処理のより一層の実用化を今後進めるためには、処理による性能向上の確かさと経済性、そして両者の価値バランスが検討されなければならない。関係者のひとりとして、これを全うする責を感じるとともに、未開の部分の多いこの処理の今後の発展を期待したい。

(林産試験場 木材化学科長)