

道南スギを用いたWPC

松 本 章

はじめに

スギは、ヒノキとともに日本を代表する針葉樹の一つで、昔から建築用材や日用調度品の材料として広く用いられてきており、我々日本人にとって、日常生活から切り離すことのできない樹種といえます。しかし、北海道ではトドマツ、カラマツ、エゾマツ、アカエゾマツに次いで第5位の蓄積量で、その量はおよそ419万がにしかすぎません。北海道のスギ資源は針葉樹全体（2億4,655万 m^3 ）の1.70%で、広葉樹を含めた全蓄積量から見るとわずかに0.75%ですが、渡島、檜山地方に集中的に植栽されているため、この地方の林業家にとっては極めて重要な樹種の一つといえます。

北海道においては蓄積量が少ないこともあり、残念ながらその用途開発に関する研究例も少ない状況にあります。全国的にみると、秋田 奈良をはじめ京都、大分、静岡などスギを府・県の主要樹種とする林業試験場や技術センターなどでは、スギの調色、漂白、樹脂加工に関して、精力的な研究が進められています。道内でも木古内町（箸・木材工芸品生産センター）や知内町（木材加工研究センター）では、スギの用途開発を目的とした研究施設を設け、熱心な研究への取り組みがなされています。

林産試験場では、道南スギに関する基礎的な材質^{1,2)}、製材の乾燥³⁾、構造用パーティクルボード⁴⁾やセメントボード⁵⁾などの製造技術の研究例の他、LVLやパネルボードの試作例があります。今軌道の「道南スギ高度利用推進対策事業（昭和62～平成元年度）」の3年次目の事業として、

「WPC材の製造とその加工技術」というテーマが取り上げられ、WPCの製造とその性質について検討を行いましたので、紹介いたします。

なお、本稿の一部は平成2年度林業技術研究発表大会において発表しました。

一般的なWPCの作り方とその性質

WPCというのは、ウッド・プラスチック・コンビネーション（Wood Plastic Combination）またはウッド・ポリマー・コンポジット（Wood Polymer Composite）の略号で、木材にプラスチックの性質を付与し、木材の特色を生かしつつその欠点を改良した複合材料のことです。広義には樹脂含浸木材、強化木など木材と合成樹脂から構成されるすべての複合体を含むこともあります。しかし、一般には重合開始剤を含むビニル系モノマーを主体とする樹脂液（染料を溶解させておことにより、着色WPCの製造が可能）を減圧により強制的（注入性の悪い樹種の場合は減圧・加圧の操作を組み合わせる）に注入し、加熱により材内で重合（外国では放射線照射法を採用しているところもあります）させて木材と一体化させたものを言います。

WPCとすることにより、素材よりも硬さ、圧縮強さ、曲げ強さ、曲げ弾性係数などの強度的性質をはじめ、水や湿気に対する寸法安定性の大幅な向上が図られるため、その用途は極めて多岐にわたっています。日本では、床板がWPCの中では主たる用途で、全生産量の95%以上がこれにむけられています。その他はいわゆる“多品種少量

生産で、床板以外の建築用、家具、工業用、運動用具、楽器、装飾品、日用品などがあります（生産額は総体で75億円。1985年⁶⁾）。

スギを用いたWPCの作り方

スギを用いたWPC製造方法のフローチャートを図1に示します。なお、今回の試験はフローリングを一つの用途と考えて、試験材の大きさおよび材質試験項目を決めました。

試験材の調製

スギ製材は木古内町から取り寄せたもので、材寸法は厚さ15、幅120、長さ1820mmの生材です。WPCの製造に先立って、材に割れ、そりなどの欠点が発生しないよう、およそ30の大型乾燥器中で十分風を送りながら、10%以下の含水率になるまで乾燥しました。得られた乾燥製材を厚さ12、幅105、長さ600mmに仕上げ試験材としました。なお、試験材は辺材部、心材の材色が赤いもの（健全材）、黒いもの（黒心）に分けて選別しました。

モノマーの注入と加熱重合

用いたモノマーはメタクリル酸メチル（MMA）で、これに0.5%の重合開始剤（アゾビスイソブチロニトリル、AIBN）を添加したものを樹脂液としました。ステンレス製の容器に試験材を入れ、注入缶中で1時間減圧（680mmHg）後、この真空度を保持しながら樹脂液をゆっくりと缶内に導入します。大気圧にもどした後、2時間静置して樹脂液が材内に浸透するのを待ちます。2時間後、材表面の樹脂液をふき取り、重量を測定して注入量を求めます。MMAは揮発性が高いため、熱を加えると重合前に容易に揮散します。加熱中に失われるMMAの量を最小限にするため、アルミ箔で被覆してから70で24時間加熱処理をしました。材表面にはみ出して重合硬化したポリマーを取り除き、重量を測定してポリマー含有率を求めました。ポリマー含有率は次式により算出します。

$$\text{ポリマー含有率 (\%)} = (\text{重合後重量} - \text{注入前重量}) \div \text{注入前重量} \times 100$$

辺材部、健全心材部および黒心部について、材

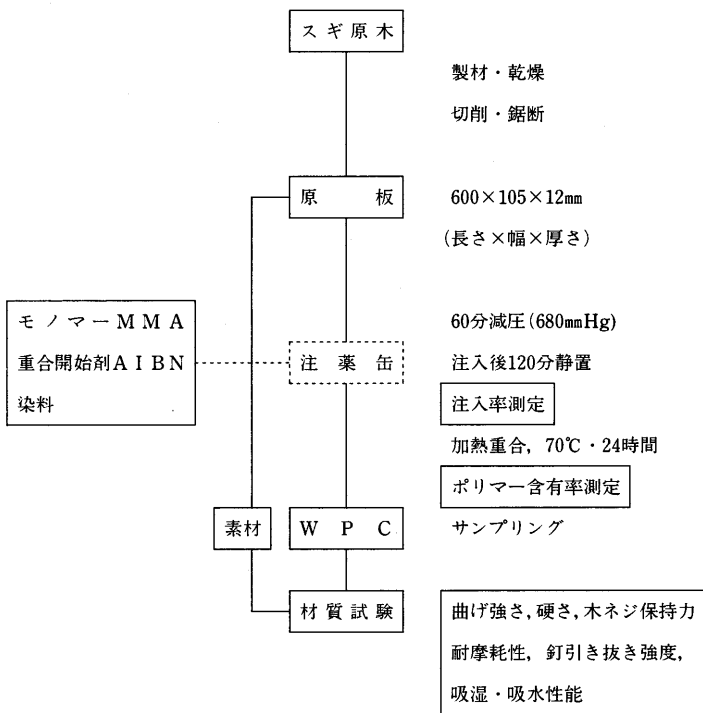


図1 WPC製造・試験のフローシート

長が600mmの場合のポリマー含有率を表1に示します。これによると、心材部のポリマー含有率は辺材部の約1/3で、しかもバラツキが大きいことが分ります。また、黒心部は健全な心材部よりもさらにポリマー含有率が低いという結果が得られました。材長が300mmの場合、樹脂液導入後の静置する時間が1時間でも心材部のモノマー含有率は100%で、2時間まで静置時間を延長してもこの値は大きく変わりません。このことから、注入性に対する材長の影響も無視できないことが分ります。事実、注入性の良い辺材部でも、材長が600mmの場合、加熱重合後の試験材の比重のバラツキで、注入性に対する材長の影響を評価すると図2のようになり、材中央部と両端とでは、モノマーの浸透量に明らかに差の出る試験体も一部に認められました。液体の浸透

表1 スギ辺心材別ポリマー含有率(%)

	最小値	平均値	最大値
辺材部	146	197	232
健全心材部	17	63	178
黒心部	13	48	104

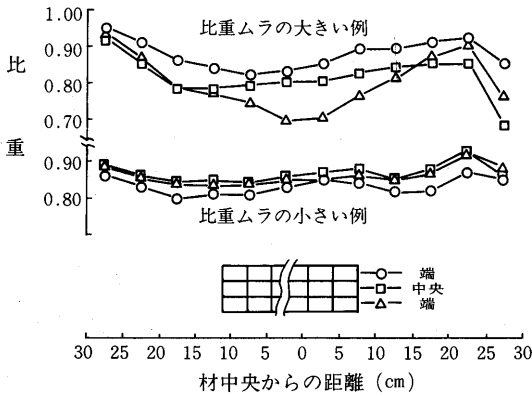


図2 WPC部位による、比重のバラツキ

性は、木口からが一番大きいことから当然の結果といえます。製品として均一な性能を有するためには、樹脂が均一に浸透することが必要不可欠な条件で、そのためには、材長を400mm程度にすべきであるという指摘もあります⁷⁾。また、心材部を用いたWPCは樹脂の硬化が不十分で、材表面に浸出して硬化したポリマーは爪で傷が付くことから、心材部には樹脂の重合阻害物質が含まれていることが推察されます。重合阻害物質の存在が認められた場合、重合開始剤の添加量を増やすことにより、ある程度防止することができます。前述のように、黒心を含めて心材部はモノマーの注入・重合性のバラツキが大きい上に、モノマーの硬化が不十分なものも一部にみられたため、材質試験は辺材部を用いたWPCについてのみ行いました。

材比重とモノマーの注入性

今回用いたスギの平均気乾比重は、辺材部が0.32(最小値0.28,最大値0.37)、心材部が0.34(同0.31,0.41)、黒心部が0.38(同0.33,0.43)で、大きな差はありません。一般的には比重が小さいほど、材中の空げき率が高く、液体の

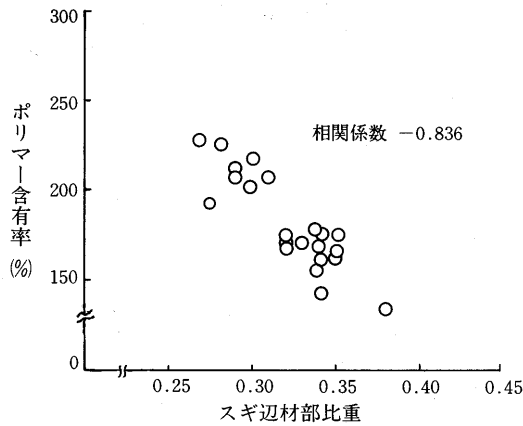


図3 材比重とポリマー含有率

入り込む余地があり注入性は高くなります。針葉樹の心材の場合、細胞から隣の細胞への液体の通過口がふさがっているために液体の移動が妨げられ、注入性は低くなります。ここで、辺材部と心材部(黒心を含む)を分けて、辺材部について個々の材の比重とポリマー含有率との関係を求めたところ、図3のようになりました。相関係数は-0.836で、統計的にみて極めて有意で、しかも比重の小さいものほどモノマーの注入性が高いことを示しています。心材部についてはバラツキが大きく、相関係数は-0.268で、比重が小さいほどモノマーが浸透しやすい傾向は認められますが、有意な判定は下せません。

スギWPCの性質

試験に先立ち、WPCの両面をおよそ各1mm研削して表面を平滑にしてから、20℃、相対湿度65%の恒温恒湿室で十分調湿後、材質試験に供しました。

曲げ性能

曲げ試験は厚さ10mm、幅100mm、長さ600mmのフローリングの大きさに近い寸法の試験片について、スパン450mmの中央集中荷重法で行いました。結果は図4に示したとおりです。現在、単層フローリングとして一般に用いられている広葉樹の曲げ性能の下限値は、曲げ強さが650kgf/cm²、曲げ弾性係数が70×10³kgf/cm²といわれており、スギのWPCは曲げ強さはやや弱いものの、曲げ弾性係

数は下限値を超えています。フローリングのJASでは、曲げ強さについては特に規定はなく、曲げ弾性係数については、たわみとの関係から $55 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 以上を適合基準としています。この値よりも小さい場合は、材料の厚さを増す必要があります。

硬 さ

硬さは直径10mmの鋼球を0.32mmの深さまで圧入するのに要する荷重を、単位面積 (mm^2) 当たりの荷重として表したものです。

素材の硬さは 0.40kgf/mm^2 ですが、WPCでは 1.48kgf/mm^2 と約3.7倍に向上します。硬さについては特に規定はありませんが、この値は、フローリングとしてよく用いられているミズナラの板目面(柁目面で1.3)あるいはアサダの柁目面(板目面で1.9)の硬さに匹敵する値です。しかし、イタヤ(柁目面1.6, 板目面2.0)やマカバ(同2.2, 2.4)に比較するとやや小さな値です。

耐摩耗性

耐摩耗性は、厚さ12mm, 直径50mmのゴム製円盤の周辺部に、所定の研摩紙(#180相当)を巻き付け、これを2個同時に、一定の荷重(1000g)で一定の回数(500回)回転させながら、試験材の表面を摩耗させ、この時の厚さや重量の減少量で評価します。これらの値は、小さなものほど耐摩耗性が大きいことを表しています。フローリングのJASでは、500回転後の「100回転当たりの重量減少量が0.15g以下」の耐摩耗性を有することになっており、厚さの減少量については規定がありません。

スギ素材の重量減少量は100回転当たり0.087g WPCで0.092gで大差はありませんが、厚さの減少量はそれぞれ0.41, 0.18mmで、WPCの方が格段に優れています。重量減少量からみた場合、スギのような比重の小さな材料は有利に、逆に比重の大きなWPCは不利に判定されやすくなりますが、今回の試験ではいずれも規定値を満たしています。しかし、スギ素材は厚さの減少量が大きく

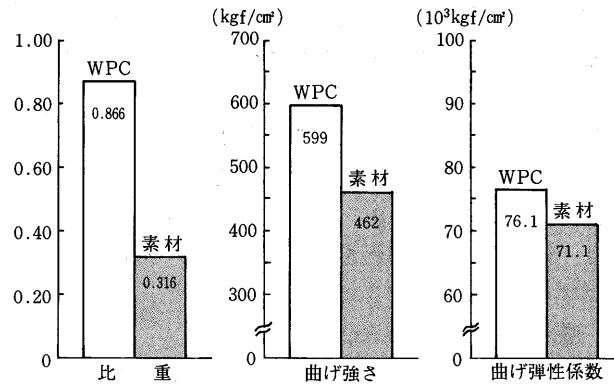


図4 比重と曲げ性能

摩耗試験後の試験材表面が、あたかもエンボス加工を施したような状態で、素材のままでは当然のことながらフローリングとしては使用できません。

釘引き抜き強度・木ねじ保持力

スギ素材は比重が小さくて柔らかいため、釘引き抜き強度や木ねじ保持力が小さく、これらの性質を改善する意味でもWPCとする意義があります。

釘引き抜き試験は、まず材料の厚さの3倍に相当する長さの釘(長さ30mm, 太さ1.85mm)を、あらかじめ1.5mmの直径のガイド孔をあけてから打ち付け、先端を10mmだけ出します。この釘の頭をつかんで、うち込み方向とは逆の方向に引き抜くときの荷重で評価します。一方、木ねじ保持力は、長さ16mm, 太さ2.70mmの木ねじを、あらかじめ直径2mm, 深さ3mmのガイド孔をあけてからねじ山部分(11mm)を完全にねじ込み、釘引き抜き試験と同様に、頭をつかんで引き抜くときの荷重で評価します。

その結果、素材の釘引き抜き強度は6.0kgfですが、WPCでは22.7kgfで約3.8倍、一方、木ねじ保持力は素材で38.3kgf, WPCで82.1kgfで約2.1倍になり、いずれもかなりの向上が認められました。

吸水・吸湿特性

フローリングの場合、これまで述べた強度的性質の他に、水や湿度に対する寸法安定性が重要な要求性能となります。フローリングを施工した後

になって空気が乾燥し過ぎ、その結果床材が収縮してすき間ができ、そこにゴミがつまったり、逆に水や湿気を吸って膨張し、大きく盛り上がってしまったというようなトラブルをよく耳にします。これらは施工上のミスに起因する 경우가多く、正しく施工すればほとんど防ぐことができますが、寸法安定性の高い材料を用いれば、より確実にトラブルの発生を防ぐことができます。

吸水試験（25℃の水に24時間浸せき）の結果を図5に示しました。これによると、WPCは吸水率で素材の約1/25、厚さおよび幅の膨張率で約1/4、長さの膨張率では約1/7と大幅に寸法安定性が向上していることがわかります。

一方、湿度の変化に対する安定性について図6

に示しました。20℃、相対湿度65%の恒温恒湿室で十分調湿した試験材を、33および85%の湿度条件下で2週間ずつ繰り返し放置した場合の重量変化を表したものです。これによるとWPCの重量変化は素材の約1/3で、湿度が変化してもそれによる重量変化がかなり少なくなることがわかります。水蒸気の吸脱湿が小さくなるということは、それによる材料の膨張収縮も小さくなるということです。

このため、材料の厚さ、幅、長さ方向の寸法安定性も素材に比較してかなり向上することがわかりました。

おわりに

スギWPCの製造における今後の課題は、心材の注入性の向上とコストダウンにあります。

今回の試験では、注入性の良いスギ心材部を対象に樹脂液の注入・重合を試み、得られたWPCの性質について検討しました。スギの心材部はカラマツなど他の針葉樹と比較しても注入性は良い方で、カラマツの場合は減圧と加圧（圧力 5kgf/cm²、4時間）の操作を組み合わせても、MMAの含有率は10%に満たないのに、スギは減圧のみ

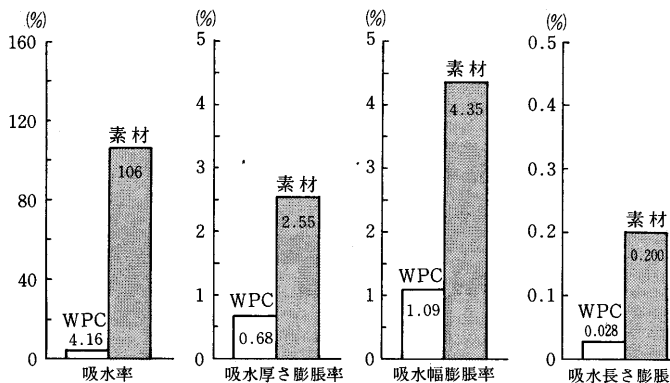


図5 吸水特性

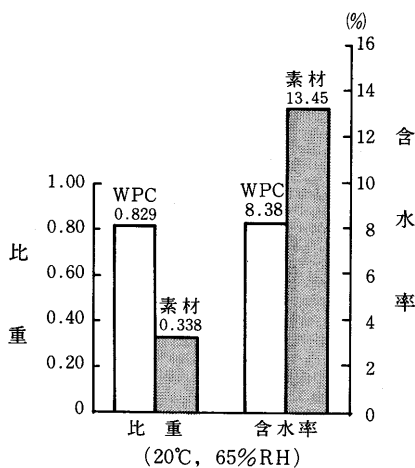
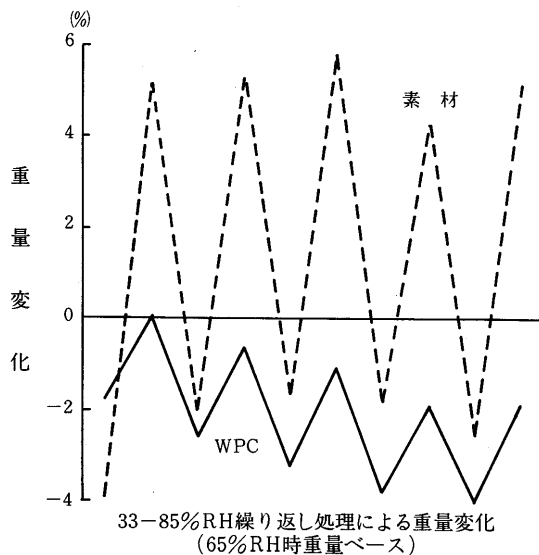


図6 乾湿繰り返し処理による重量変化



で50～60%の高い値を示しました。また、スギの白い辺材部は染料による着色が自由にでき、着色フローリングの製造も可能です。しかし、スギの辺材部の材積は、丸太材積の40～50%程度（直径30cm 辺材幅が44mmで辺材率はほぼ50%）であり、辺材部より注入性は劣るが材積比率でほぼ1/2を占める心材部について、もっと注入性を高めるための注入条件（高圧注入）、あるいは前処理方法（蒸煮処理など）について検討していかなければならないでしょう。

現在、市販されている単層WPCフローリングの価格はカバ、イタヤなどの樹種で1m²当たり22,000円前後、一方、通常のカナラ、ブナの単層フローリング（いずれも厚さ8mm）では4,500～5,000円程度といわれていますので⁸⁾、樹種の違いを考慮してもWPCはかなり高価なことがわかります。しかし、日本橋兜町の東京証券取引所市場館の株券立会場の1,600m²の床を張るとき、天然木、WPC、カーペット、長尺シート、ゴムタイルなど各種の床材を強度（耐摩耗性）、歩行感、総合メンテナンス、デザイン、フリーアクセス、コストの各面から評価し、さらに耐用性（摩耗に強く、耐薬品性も含めて経年変化が少なく、衝撃に耐え、汚れにくく、変色のない、ナイフなどいたずらにも強いもの）について十分な検討が行われた結果、コストは最も高いが、その他の部門で最も良い評価を得てWPCが採用されたということです⁹⁾。

価格が高くで性能が良いのは当然のことで、いかに低コストで高品質の製品を造るかが今後の課題です。WPCを製造する場合、全コストに占めるモノマー価格の比率が高く、これがコスト高の主因となっています。スギ1m³に100%のモノマーを注入すると、モノマー価格はおよそ18万円に、200%では36万円にもなります。したがって、より少ない樹脂量で効率的に要求性能を満たすための方法、例えば硬さ、耐摩耗性、曲げ性能などの材表面の性能改質では、比較的分子量の高い樹脂を表層部に集中的に注入重合する低含浸処理法¹⁰⁾、（5～30%の樹脂量）などは有効な方法と考えら

れますので、今後、検討して行く必要があります。

最後に、フローリング工業の「今後の課題」と題して掲載されていた文章を引用させていただきます。『国産材を用いた単層フローリングについては、床材として優れた性能が認められ、需要の再開などに努めてきた結果、公務・文教用諸施設などの床張り材料としての需要が定着化している。しかし、再生産に極めて長期間を要するブナ、ナラなどの広葉樹資源には限りがあるので、限られた資源の有効、かつ、集約的な利用を図るため、スギ、ヒノキなどの国産針葉樹材を活用した新製品の開発・実用化をより一層推進していくことが必要である。』¹¹⁾

参考資料

- 1) 山本 宏ら：渡島地方産スギ造林木の材質試験，木材の研究と普及，1974年8月号
- 2) 滝沢忠昭ら：道南スギの材質，日本木材学会北海道支部講演集，22号，1990年
- 3) 奈良直哉ら：道南スギ材の乾燥，木材の研究と普及，1976年10月号
- 4) 松本 章：道南スギで造った構造用ボード，林産試だより，1983年8月号
- 5) 山岸宏一：道南スギ間伐材を原料とする木質セメントボードの製造，林産試だより，1987年4月号
- 6) 日刊木材新聞社：木質建材入門，1987年
- 7) 山田雅章ら：スギ材の樹脂加工とその応用，木材工業，1989年12月号
- 8) 財団法人経済調査会：積算資料，1991年1月号
- 9) 高橋重幸：WPC床材の性能評価 - 東京証券取引所改築工事使用例 - 木材工業，1986年3月号
- 10) 中野隆人：これからの化学加工 - 木材の樹脂低含浸処理 - ，林産試だより，1983年2月号
- 11) 林産行政研究会編 林野庁監修：木材需給と木材工業の現況，平成2年度版

（林産試験場 企画課）