

蒸煮処理カラマツ材を用いた WPCの製造とその性能

窪田 實
藤本 英人*²

梅原 勝雄*¹
平林 靖*³

Manufacturing and Properties of WPC By Using Steamed Japanese Larch Lumber

Minoru KUBOTA
Hideto FUJIMOTO*²

Katsuo UMEHARA*¹
Yasusi HIRABAYASI*³

Keywords: high-pressure steaming, Japanese larch, permeability, woodplastic composite, mechanical property.

蒸煮処理, カラマツ, 浸透性, 木材・プラスチック複合材, 強度性能

1. はじめに

北海道におけるカラマツの造林は、主として1950年代から始まり、現在ではトドマツと並び主要な人工林材となっている。これまでのカラマツ素材生産は、間伐が中心であり、径級の細い素材がほとんどであったため、その用途はパルプ材や梱包材などの比較的付加価値の低いものであった。しかし今後は、主伐の比率が増加し、中大径材の生産が増加する傾向にあり、これらのより付加価値の高い用途開発が望まれている。

その用途の一つとして床材や家具部材などが考えられる。しかしカラマツは材が軟質であり、これらの用途に適応させるためには耐摩耗性や表面硬さを向上させる必要がある。その方法の一つとして、WPC（木材・プラスチック複合材）化が効果的であるが、カラマツ、特にその心材部は薬液の浸透性が極めて悪く¹⁾、材厚の薄い単板などの場合を除き、ソリッド材でのWPC化を行うためには浸透性を改善する必要がある。

浸透性改善のための前処理方法として、蒸煮処理

が知られており^{2~4)}、カラマツ材に対しても効果のあることが認められている^{5~7)}。この方法は、耐圧釜とボイラーがあれば処理が可能であり、操作が簡単で、比較的実用に近いものと考えられる。

そこで、本研究では、樹脂含浸処理の前処理として蒸煮処理を取り上げた。また、含浸用樹脂としては、メタクリル酸メチル（MMA）を用い、樹脂含浸処理後の強度性能、特に表面性能から適正な蒸煮処理条件や樹脂含浸処理材の製造条件について検討した。

なお、本研究は、平成4、5年度の2か年間、中小企業庁の「地域技術おこし事業」の補助を受けて実施した試験の一部を取りまとめたものであり、また、本報告は、松本ら⁶⁾の試験結果に基づき、さらに詳細に蒸煮処理条件について検討を加えたものである。

2. 試験方法

2.1 蒸煮処理

長さ3.65m、末口径30~55cmのカラマツ原木を製材し、幅150mm、厚さ20mmの板材を調製、これ

から辺材部や樹心部を含むものを除き、心材部だけのものを長さ方向で3等分(長さ1200mm)し、乾燥することなく蒸煮処理に供した。

蒸煮処理は、耐圧容器(有効容積500l, 耐圧20kgf/cm²)に供試材10~20枚を入れ、これに飽和水蒸気を吹き込み、所定の飽和水蒸気圧(4.9kgf/cm², 6.3kgf/cm², 8.1kgf/cm², 温度換算150, 160, 170)で所定時間保持(30~300min)することで行った。なお、昇圧時間、降圧時間はいずれも2分以内とした。

蒸煮処理材は、温風循環式乾燥機で乾燥したのち以下の試験に供した。

なお、蒸煮処理に伴う材色変化を測色色差計(スガ試験機製, SM-3)を用いて測定した。測光は45°-0方式、受光径は30mmとし、材色は、明度指数L^{*}、およびクロマティネス指数a^{*}, b^{*}で表示した。試験材は各条件10枚とし、1試験体につき3か所測定して平均値を求めた。

2.2 WPCの製造

上記のようにして調製した蒸煮処理材を含水率が5%になるまで乾燥し、厚さ16mm, 幅120mm, 長さ600mmに裁断してWPC製造用試料とした。樹脂液には、MMAモノマーを用い、これに重合開始剤としてアゾビスイソブチロニトリルを重量比で1%添加した。

MMAの含浸処理は次のようにして行った。まず、上記試料を防爆タイプの注薬缶(一回の処理量約0.1m³, 上記試料で約120枚)にセットし、減圧下(40mmHg)で1時間放置した。次いでMMAを注薬缶内に導入して大気圧に戻した後、4時間加圧(5kgf/cm²)した。

注入終了後の試料は、モノマーの揮発を防ぐため、1枚ずつポリプロピレン製シートで密封し、ホットプレスを用いて70℃で24時間加熱してWPCを製造した。

なお、MMAの含浸量は、注入処理による重量増加量を測定し、これを注入処理前の試料の絶乾重量に対する割合で表示した。

2.3 強度性能

蒸煮処理材およびそれを用いて作製したWPCについて曲げ強度試験、表面硬さ試験、耐摩耗性試験

を行った。

各処理材は、20℃, 65%RHの恒温恒湿室内で調湿したのち、寸法を厚さ14mm, 幅100mm, 長さ600mmとし、まず、JIS Z 2113「木材の曲げ強さ測定法」に準じ、2点支持中央荷重方式によって曲げ強度試験を行い、曲げ強さと曲げヤング率を求めた。なおスパン長は200mmとした。

表面硬さ試験は、JIS Z 2117「木材の硬さ試験法」に従って行った。島津オートグラフAGS-500B型を用い、直径10mmの鋼球を毎分0.5mmの速度で圧入し、圧入深さが0.32mmのときの荷重を求め、ブリネル硬さを算出した。試験片は、曲げ強度試験の終了した試料から各条件20枚を採取し、1試験片につき早材部と晩材部をそれぞれ2か所、計4か所測定した。

耐摩耗性試験は、フローリングのJAS摩耗A試験に従って行った。測定には、テーバ式摩耗試験機を用い、JIS A 1453に規定する研磨紙を巻き付けた回転盤を試験片上で500回転させ、その時の試験片の摩耗深さ(d)を測定し、素材の摩耗深さ(d₀)との比較から、次式によって耐摩耗度を算出した。なお試験片は、曲げ強度試験の終了した試料から各条件10枚を採取した。

$$\text{耐摩耗度}(\%) = (d_0 - d) \times 100/d_0$$

3. 結果

3.1 蒸煮処理に伴う材色変化

蒸煮処理は材色が変化することも知られている。井上ら⁶⁾は、180~220℃の飽和水蒸気処理したスギ材の材色を調べている。処理時間は1~8分と短いですが、明度が低下し、暗色化することを確認している。また、澤辺⁷⁾は、カラマツを用い、120~140℃の飽和水蒸気で4~16時間処理した場合、処理温度の上昇、処理時間の増加に伴って明度が低下し、130以上の処理では辺心材の判別が難しくなると述べている。

本試験においても、第1表に示すように、蒸煮処理によって、L^{*}, a^{*}, b^{*}いずれも処理が高くなるほど、また処理時間が長くなるほど低下する傾向を示し、明度指数(L^{*})は素材の66.6から170 - 300分処理

第1表 蒸煮処理材の材色測定結果

蒸煮条件		材 色		
温度(°C)	時間(分)	L*	a*	b*
—	—	66.6(2.8)	13.0(1.4)	30.6(1.4)
150	150	50.2(1.6)	11.4(0.4)	26.3(1.0)
150	300	43.8(1.5)	10.3(0.6)	23.6(0.8)
160	60	59.3(1.8)	12.9(1.1)	30.1(1.3)
160	150	48.0(2.5)	10.6(1.6)	28.3(1.5)
160	240	44.2(2.3)	11.0(1.5)	26.8(1.0)
160	300	36.5(2.6)	7.8(1.1)	19.8(1.9)
170	30	51.8(2.6)	11.3(1.2)	27.4(1.0)
170	60	48.4(3.0)	11.1(0.9)	27.3(1.0)
170	90	45.4(2.2)	9.3(0.9)	26.8(1.1)
170	150	38.2(3.3)	9.6(1.0)	24.0(1.9)
170	240	37.0(1.3)	10.3(0.9)	22.8(1.0)
170	300	30.8(1.8)	6.7(0.8)	16.8(1.1)

注：() 内は標準偏差

の30.8まで大きく変化した。また、Lab表色系では、彩度と色相 (tan) がそれぞれ次式で表される。

$$\text{彩度} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{色相} = b^* / a^*$$

この式でそれぞれを算出すると、彩度は、33.2 (素材) から18.1 (170°C-300分処理) に低下し、色相はいずれの蒸煮処理材も素材と変わらず2.4前後である。したがって、カラマツ心材部を蒸煮処理した時の材色変化は、色相は変わらず、明度と彩度が低下し、暗くてくすんだ色になる。

以上のように、蒸煮温度や時間に応じL*が大きく変化しているので、各処理温度 (150~170°C) において蒸煮時間とL*の関係がほぼ直線関係を示す30~300分の範囲で、蒸煮条件とL*の間での回帰分析を行った。その結果、高い相関性を示し、L*を従属変数とし、蒸煮温度と蒸煮時間を指定変数とした多重回帰式1 (相関係数は0.96) が得られた。このことから、本試験条件範囲内では、L*の値が蒸煮処理の程度を表わす指標になるものと考えられる。

$$L^* = 160.03 - 0.64T_e - 0.07T_i \quad (\text{式1})$$

T_e: 蒸煮温度 (°C)

T_i: 蒸煮時間 (min)

L*: 明度指数

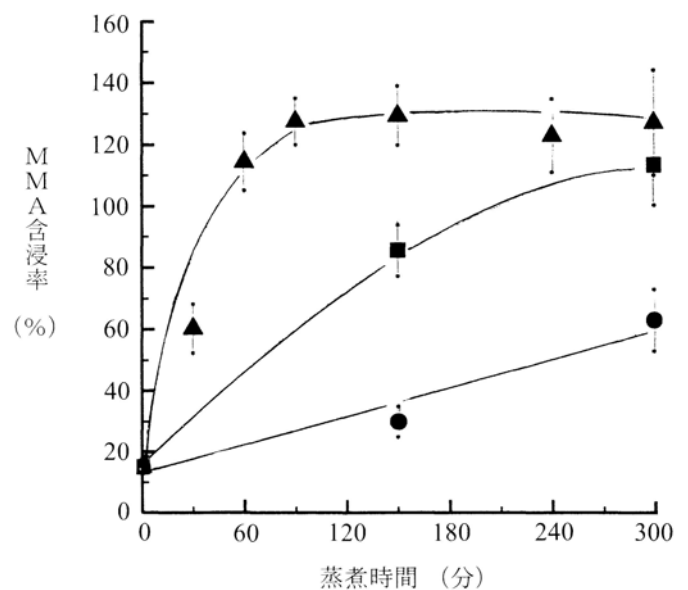
また、蒸煮処理は、材を暗色化することから木材の着色法としても検討されている⁹⁾。カラマツは早材と晩材間で材色が非常に異なり、これが利用する上での欠点となる場合がある。したがって、蒸煮処理は、早晚材間での色の差を少なくし、重厚な材感を与える効果もある。重厚で優良な材色を持つ材の一つとしてチークがあげられるが、これのL*は47である¹⁰⁾。カラマツ心材を蒸煮処理した場合、チークと同じL*を示すのは、式1から推定すると、150°Cでは230分、160°Cでは140分、170°Cでは60分の処理材であり、a*、b*も類似した値となる。

3.2 蒸煮条件とMMA含浸率

第1図に、寸法が厚さ16mm、幅120mm、長さ600mmの試験材を用いて測定したMMA含浸率と蒸煮処理条件の関係を示す。

図から明らかなように、蒸煮処理材のMMA含浸率は素材のそれより増加しており、蒸煮処理がカラマツ心材部の浸透性改善に効果のあることがわかる。蒸煮条件との関係は、処理温度が高い程、短時間の処理でMMAの含浸率が高くなる傾向を示

し、150°C-300分の処理で平均63%に、また160°C-300分処理では平均110%に増加し、蒸煮温度が170°Cの場合には、処理時間90分でほぼ平衡に達し、平均120%となった。



第1図 蒸煮条件とMMA含浸率

記号：●：蒸煮温度 150°C
 ■：" 160°C
 ▲：" 170°C

蒸煮処理によってカラマツ材の浸透性が改善される原因の一つとして、滝沢らは¹¹⁾、蒸煮処理材では有縁壁孔の閉鎖が破壊されていることを確認している。

3.3 強度性能

蒸煮処理材およびそれをWPC化処理した後の曲げ強さと曲げヤング率を蒸煮処理材のL*に対してプロットし第2図に示す。なお、図中の曲げ強さ、曲げヤング率は素材（曲げ強さ：782kgf/cm²，曲げヤング率：85.7×10³kgf/cm²）に対するそれぞれの変化率で示した。

カラマツ心材の曲げ強さは、蒸煮処理条件がきつくなるにしたがって顕著に低下し、L*が約45となる蒸煮条件では、素材の曲げ強さに対して約60%、またL*が30となる170℃-300分処理では70%低下した。曲げヤング率も、曲げ強さより蒸煮処理に伴う低下率は少ないものの、蒸煮条件が厳しくなり、L*の値が小さくなるにしたがって低下した。

蒸煮処理材をWPC化した場合の曲げ強さは、蒸煮処理材より向上するものの、いずれの蒸煮条件においても素材の曲げ強さまで回復するに至らず、蒸煮処理による曲げ強さの低下に応じて低くなる傾向を示した。

WPC化後の曲げヤング率については、L*が約45以上となる蒸煮条件までは、素材と同等の値を示し

たが、それ以上蒸煮条件が厳しくなり、L*の値が小さくなるとWPC化後も素材以下となる傾向が認められた。

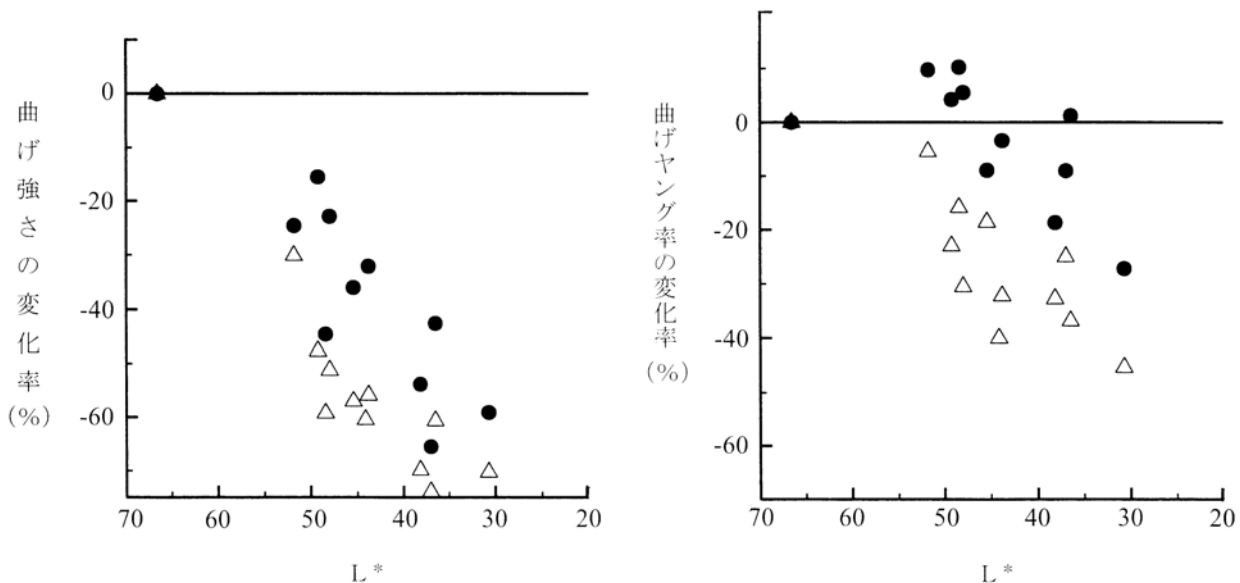
蒸煮処理材およびWPC処理材の表面硬さを素材（早材部：0.79kgf/mm²，晩材部：2.19kgf/mm²）に対する変化率とL*との関係で第3図示す。

蒸煮処理材の表面硬さは、曲げ強度性能の場合と同様に、L*の値が小さくなるにしたがって低下する傾向を示し、L*が45前後となる蒸煮条件では、早材部、晩材部ともに、素材の約1/2程度になった。

WPC処理後の表面硬さは、早材部、晩材部ともに蒸煮処理材より向上した。しかし、蒸煮条件とWPC化後の表面硬さとの関係は、蒸煮処理による表面硬さの低下を反映して、L*の値が小さくなるにつれて低下する傾向を示し、早材部では、いずれの蒸煮条件でも素材以上の表面硬さを与えたものの、晩材部ではL*が約45以下の値になると素材の表面硬さ以下となることが認められた。

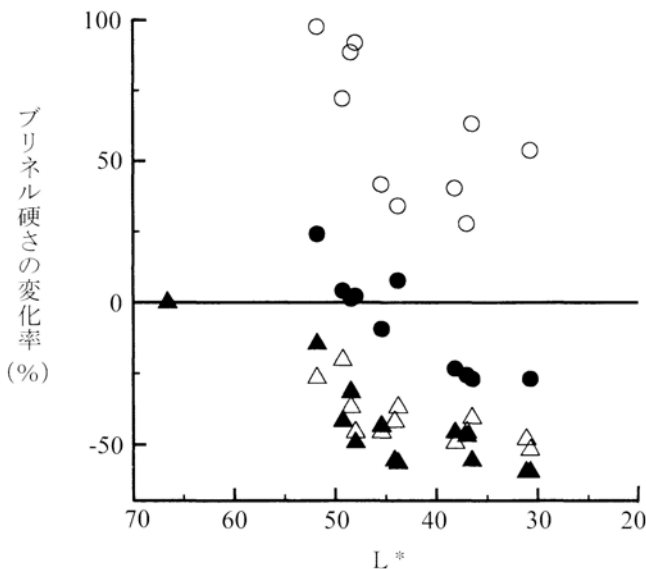
第4図に蒸煮処理後ならびにWPC化後の耐摩耗性について、耐摩耗度とL*の関係で示す。

本試験条件内の蒸煮処理が材を劣化させることは、上記曲げ強度試験や表面硬さ試験から明らかであり、耐摩耗性についても低下させるものと考えられる。しかし、第4図に示すとおり、蒸煮処理にともなう明確な低下は認められず、耐摩耗度で±20%の範囲



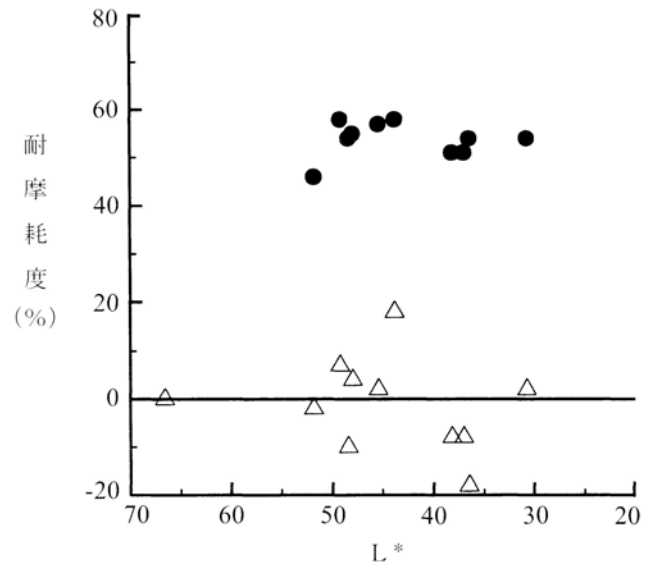
第2図 蒸煮処理後およびWPC化後の曲げ強度性能とL*の関係

記号：△：蒸煮処理後
●：WPC化後



第3図 蒸煮処理後およびWPC化後の表面硬さとL*の関係

記号：△：蒸煮処理後の早材部
 ▲：蒸煮処理後の晩材部
 ○：WPC化後の早材部
 ●：WPC化後の晩材部



第4図 蒸煮処理後およびWPC化後の耐摩耗性とL*の関係

記号：△：蒸煮処理後
 ●：WPC化後の晩材部

でばらついた。第4図の結果は耐摩耗試験における厚さ減少量から算出したものであるが、同時に測定した重量減少量の測定結果においても同様の傾向を示した。

一方、蒸煮処理材をWPC化した場合は、いずれの蒸煮条件においても素材より耐摩耗性は向上し、耐摩耗度で平均60%の値を示した。

4. まとめ

以上、カラマツ心材を用い、これを温度150～170℃、時間30～300分の条件で蒸煮処理したのち、MMAを含浸硬化させてWPCを製造し、蒸煮処理材やWPCの曲げ強度性能、表面硬さ、耐摩耗性を測定した結果以下のことが明らかとなった。

蒸煮処理は、浸透性の改善に効果があるものの、処理条件が厳しくなると強度性能が顕著に低下する。この強度劣化は、蒸煮処理後のWPC化によって向上するが、処理条件によっては素材の強度性能以下となる。WPC化後の強度性能から、蒸煮処理による材色変化が、L*の値で45となる条件、すなわち、式1から推定すると、150℃では270分、160℃では180分、170℃では90分が蒸煮条件の限界と考えられた。この条件で処理した蒸煮処理材をWPC化した場合は、曲げ強度性能は若干素材より劣るが、表面硬さは、晩材部で素材と同等、早材部のそれは素材の約1.5倍となり、また耐摩耗性は素材より60%向上した。

文 献

- 1) 日本木材学会研究分科会報告書；木材の科学と利用技術Ⅱ，2. 木材の化学処理，p. 28(1991).
- 2) D. D. Nicholas ; R. J. Thomas : *Forest Pro. J.*, 18(1), 57(1968).
- 3) Peter Y. S. Chen : *Wood and Fiber*, 7, 222(1975).
- 4) R. K. Bamber ; R. S. Johnstone : *Inst. Wood Sci.*, 4(3), 21(1968).
- 5) 山科創 ほか3名：林産試験場月報，3, 6(1979).
- 6) 松本章，江畑進：日本木材学会北海道支部講演集，第23号，53(1991).
- 7) 澤辺攻：日本木材学会生物劣化研究会シンポジウム要旨集，京都市，1993, p. 32.
- 8) M. Inoue ; M. Norimoto ; M. Tanahashi : *Wood and Fiber Sci.*, 25(3), 224(1993).
- 9) 森田慎一，山角達也：木材工業，42(6), 266(1987).
- 10) 木材工業ハンドブック，林業試験場編，丸善，1982, p. 448.
- 11) 滝沢 ほか3名：第42回日本木材学会研究発表要旨集，名古屋市，1992, p. 20.

—技術部 部長—

—*1：利用部 物性利用科—

—*2：利用部 化学加工科—

—*3：性能部 接着塗装科—

(原稿受理：1997年5月13日)