

## パラフィン高温液相乾燥におけるスギ構造材への パラフィン浸透特性\*1

松岡良昭\*2, 後藤純一\*3, 藤原新二\*3, 金川 靖\*3

### Penetration of Paraffin into Sugi Structural Timber during High-Temperature Liquid Drying\*1

Yoshiaki MATSUOKA\*2, Jun'ichi GOTOU\*3,  
Shinji FUJIWARA\*3 and Yasushi KANAGAWA\*3

The penetration of paraffin into Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) structural timber dried in high-temperature liquid paraffin was examined by means of gas chromatography, image processing, and scanning electron microscopy. Timbers were treated in two different drying conditions, namely 120°C for 30 hours and 150°C for 20 hours. The results are summarized as follows:

- 1) Penetration of paraffin into the outer layer of the cross-section was much more than into the intermediate or inner layers.
- 2) Timber dried in high-temperature liquid paraffin had less wood extraneous components than untreated timber. The wood extraneous components were dissolved during high-temperature liquid drying.
- 3) The cross-section of timber with paraffin penetration can be divided into wetted and unwetted parts after water dipping. Gas-chromatography analysis showed that paraffin had only penetrated the unwetted parts. Paraffin penetrated approximately 5 cm into the end grain of the timber and to the depth of about 5 mm from the surface into side grain at mid-length. Paraffin penetration can be easily recognized after a dipping treatment.
- 4) Scanning electron microscopy showed that paraffin penetrated unevenly into wood tissue. After dipping, some cell lumina in the unwetted parts were filled with paraffin, while only the surfaces of others were covered.
- 5) There was no significant difference in the extent of penetration in timbers dried in liquid paraffin at 120°C and at 150°C. In both cases, the weight of the absorbed paraffin was 3.7% of the weight of the oven-dried wood.

*Keywords*: wood drying, liquid drying method, sugi, penetration of paraffin, high temperature drying.

パラフィンによる高温液相乾燥されたスギ構造材へのパラフィンの浸透特性を調べるために、ガスクロマトグラフィーによる化学分析、画像解析、走査型電子顕微鏡による観察などの手法を用いて木材中と木材組織におけるパラフィン浸透量や浸透状態を検討した結果、以下のようなことが明らかとなった。①繊維に直角方向の断面におけるパラフィンの浸透量は外層部で多く、中・内層部で少なかった。②パラフィン液相処理で木材抽出成分の一部が溶出した。③パラフィン浸透状態の簡易な判別方法として水への浸漬処理が有効であることが認められた。パラフィンは木口から繊維方向に5 cm、材中央部で表面から5 mm程度浸透した。④パラフィンの木材組織への

\*1 Received August 29, 2001; accepted March 22, 2002. この報告の一部は第51回日本木材学会大会(2001年4月、東京)において発表した。

\*2 高知県立森林技術センター Kochi Prefectural Forest Technology Center, Tosayamada 782-0078

\*3 高知大学農学部 Faculty of Agriculture, Kochi University, Nankoku 783-8502

浸透は、細胞内腔までの充填の有無などによって、均一ではなかった。⑤スギ構造材一本当たりのパラフィン浸透量は、120°Cと150°Cの乾燥条件の間に有意差はなく、全乾木材重量に対して3.7%であった。

## 1. 緒 言

木材を水の沸点以上の高温の液相中で乾燥させる方法は、19世紀の後半から20世紀初頭にかけて、イギリスやアメリカおよびドイツ<sup>1)</sup>で油性の液体中で行われており、日本でも1950年に、テトラクロールエタン中<sup>2)</sup>で漆の素地材を乾燥している。また、近年では1993年に灯油中でスギ材を乾燥した報告<sup>3)</sup>もあり、液相媒体としてパラフィンを使う方法についてもすでに報告<sup>4)</sup>がある。さらにパラフィン注入材に関しては、防腐性能や防蟻性能が向上することが報告<sup>5)</sup>されている。

2000年、住宅品質確保促進法の施行に伴い、木材の性能基準の明確化と品質の満足度の向上に関する要求が高まっている。木材の乾燥は、性能や品質の向上を満足させるうえで重要な鍵となる。特にスギ材（厚物）は未だに実用的な乾燥法が確立されていないため、種々の乾燥方法が研究されている。

パラフィンの液相中で木材を乾燥させる方法は、乾燥時間の短縮という点では画期的な方法である。筆者らは実用規模の液相乾燥装置を使ってスギ柱材を乾燥させ、その乾燥特性については基礎的知見を得た。処理温度150°Cでは20時間で、初期含水率65%前後から含水率16~19%まで乾燥できることを報告<sup>6)</sup>した。しかし、パラフィンが乾燥の過程で木材中にどのように浸透するのかが明確でなければ、乾燥コストは算出できない。またパラフィン液相乾燥材の性能や機能を調査研究するうえで、評価のものさ

しがないこととなる。さらには防腐・防蟻性能を向上させるためにパラフィンを積極的に注入する処理を検討する際にも同様のことが言える。それ故、パラフィンの木材への浸透性を明らかにすることは、最も基本的で重要な課題である。そこで本報では化学的な手法による分析や電子顕微鏡による観察に基づき、パラフィンの浸透量を定量するとともに浸透状態を明らかにしようとした。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試木材

高知県産スギ柱材（115 mm 角、長さ 3 m）30本を試験に供した。心持ち柱材で心材率は平均72%であった。樹心の位置はばらつきがあり、辺材の出現状態も次の4つのパターンがあった。すなわち、断面の隣接する2辺にあるもの、3辺にあるもの、4辺ともあるもの、そして全くないものであった。

### 2.2 供試パラフィン

今回用いたパラフィンは JIS 品番155番で融点は69°Cである。

### 2.3 液相乾燥の方法

実用規模の液相乾燥装置を使って、パラフィン温度120°Cで30時間と150°Cで20時間の2つの異なるスケジュールで乾燥した。加熱方式は重油バーナーで、液相温度の制御精度（±5°C）は電気ヒータ（±2°C）と比較して良くない。乾燥後、試験材は液相装置から直ちに取り出した。

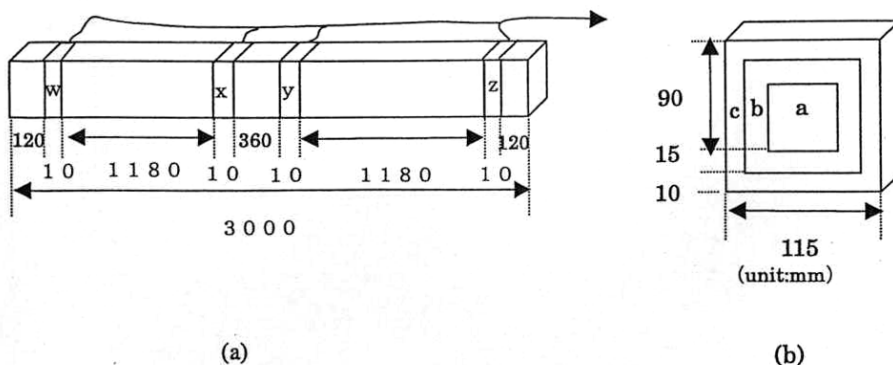


Fig. 1. Cutting diagram of specimens for measurement of paraffin content.

Legend: w~z: test specimens, a~c: cross-sectional layers of specimens. a: inner layer, b: intermediate layer, c: outer layer.

#### 2.4 化学分析法によるパラフィン浸透量の測定

柱材を Fig. 1 (a) のように分割し, 両端および中央部の分割された材から 1 cm 厚さの木片を採取した。さらに Fig. 1 (b) のように外層 c・中層 b・内層 a の 3 層に分割した。w, x, y, z の平均心材率は c : 32%, b : 64%, a : 97% であった。各層ごとに粉碎機で木粉化し, *n*-ヘキサンを溶媒として 8 時間ソックスレー抽出を行った。*n*-ヘキサン抽出物を 105°C の熱風乾燥器に入れ, 2 時間おきに取り出し, 約 20 分間デシケーター中に放置した後 0.0001 g まで秤量して質量を求めた。質量差が 0.002 g 以内になるまで繰り返し秤量し, *n*-ヘキサン抽出物の質量を

求めた。*n*-ヘキサン抽出物には, テルペノイドなどの木材抽出成分と飽和炭化水素の混合物であるパラフィンが含まれているものと考えられる<sup>7)</sup>。*n*-ヘキサン抽出物とパラフィンの *n*-ヘキサン溶液をガスクロマトグラフィーによって分析した結果を Fig. 2 に示す。このガスクロマトグラムから木材抽出成分とパラフィンのピークは重ならず, 分離することが可能であるので, 絶対検量線法によりパラフィン量を定量することとした。分析条件を以下に示す。

カラム: OV-101 (0.3×200 cm), カラム温度: 150°C から 15°C/min で 300°C まで昇温, 300°C で 50 分間保持, 注入口温度: 300°C, 検出器温度: 300°C,

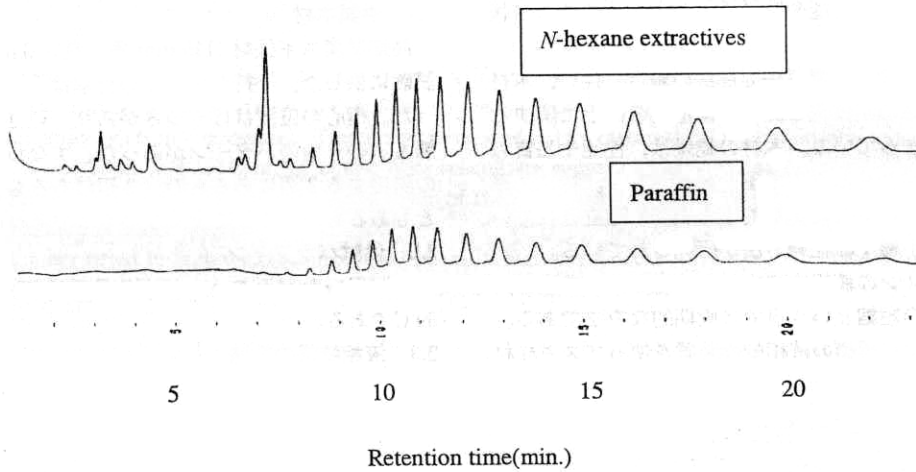


Fig. 2. Gas chromatograms (GC) of *n*-hexane extractives and paraffin.

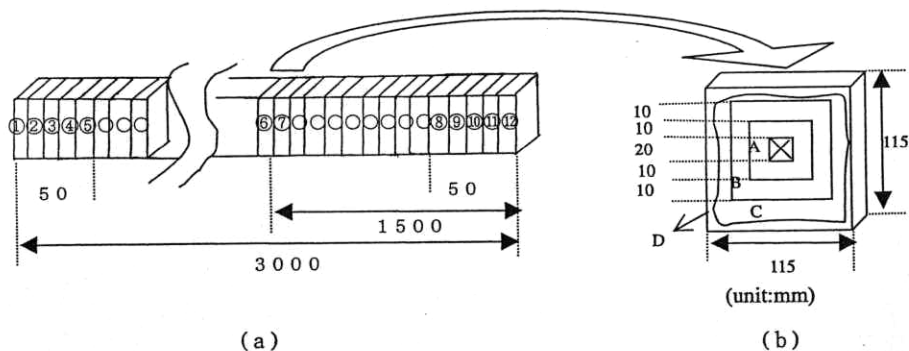


Fig. 3. Cutting diagrams of specimens for measurement of paraffin penetration by GC and camera scan.

Legend: ①~⑫: Test specimens for GC and Camera scanning.

○: Other test specimens for Camera scanning.

A, B, C, D: cross-sectional layers of ⑥ and ⑦ specimens.

A: inner layer of wetted section, B: intermediate layer of wetted section, C: outer layer of wetted section, D: unwetted layer.

検出器：FID。

## 2.5 全乾木材重量の算出

パラフィン含有率はセルロースやリグニンなどの木材成分の含有率と同様に全乾木材重量に対する割合で示すのが合理的である。パラフィンを含有する木材を *n*-ヘキサンで抽出すると木材抽出成分とパラフィンが溶出される。そのため抽出後の全乾木材重量は木材抽出成分量が除かれた値となる。そこで抽出後の全乾木材重量に *n*-ヘキサン抽出物質量からパラフィン量を差し引いて得られる木材抽出成分量を加算して、全乾木材重量とした。

## 2.6 浸漬法によるパラフィン浸透特性の測定

加工現場では化学的分析手法によらず、より簡素なパラフィンの浸透状態を識別する方法が必要である。そこで、Fig. 3(a)のように鋸断した木口試験片を浸水すると Fig. 4 のように木口面が吸水して濃色化する(「濡れ色」と呼ぶ)部分とそうでない部分とに分かれることを見出し、この方法(「浸漬法」と呼ぶ)を簡易なパラフィン浸透状態の測定方法として採用した。この際、浸水時間が一日より短いと吸水面積が増加しながら安定せず、また一日より長いと吸水部分とそうでない部分の境界が不明瞭となるため、浸水時間は一日とした。この方法が簡易な識別法として正当であるかを検証するため、Fig. 3(a)のように試験材(120°C, 150°Cの液相乾燥材3本ずつ計6本)の片木口から繊維方向に1 cm長さでもう一方の片木口まで順次鋸断分割した木片(115 mm角, 厚さ1 cm)を浸水した後、試験材中央部において髓付近を除外した木片を Fig. 3(b)のように4分割(非吸水部, および吸水部を3分割)した。ここで髓付近には内部割れがあり、割れに沿った非吸水部とそれ以外の吸水部が混在するため、パラフィンの定量分析を除外した。また両木口から5 cmまで

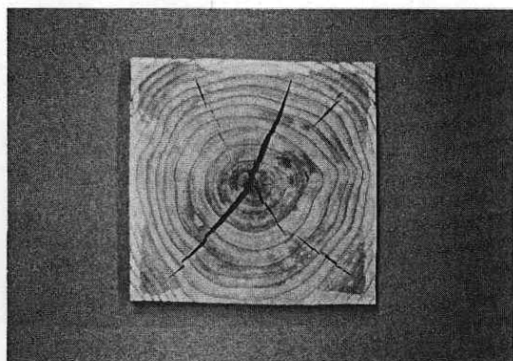


Fig. 4. Wetted and unwetted areas of cross section of dipped specimen.

の濡れ色部分がない木片については、分割せずそのまま粉碎機で木粉化後、ソックスレー抽出器で約8時間抽出を行った。その後ガスクロマトグラフィーによって定量分析を行った。また、吸水部と非吸水部のそれぞれの繊維方向および繊維に直角方向の木材組織におけるパラフィン浸透状態を走査型電子顕微鏡で観察した。試験材から鋸断したすべての木片の吸水面積を CCD カメラで撮影し、画像処理により、吸水面積およびその割合を算出した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 処理材のパラフィンおよび木材抽出成分

Table 1 に液相乾燥温度ごとおよび無処理材それぞれの *n*-ヘキサン抽出物重量割合を、木口からの位置が相対する *w* と *z*, および *x* と *y* との平均値として示す。無処理材の *n*-ヘキサン抽出物はテルペノイドなどの木材抽出成分を含むと考えられ<sup>7)</sup>, 全乾木材重量に対して2%前後含まれている。外層部が内・中層部に比べて低い数値を示しているのは、外層部に辺材の占める割合が多いためと考えられる<sup>8)</sup>。パラフィン液相処理材の *n*-ヘキサン抽出物のうち、パラフィン重量割合は明らかに外層部で多く、中・内層部で少なくなっており (Kruskal-Wallis 検

Table 1. Content of *n*-hexane extractives in specimens.

Treatment	Section	Wood extractives	Paraffin	
at 120°C for 30 hours	<i>w</i>	<i>a</i>	1.4	2.8
		<i>b</i>	0.9	0.8
		<i>c</i>	1.6	8.0
	<i>x</i>	<i>a</i>	1.7	0.4
		<i>b</i>	1.0	0.2
		<i>c</i>	1.7	9.5
at 150°C for 20 hours	<i>w</i>	<i>a</i>	1.3	0.7
		<i>b</i>	0.9	1.8
		<i>c</i>	0.5	9.4
	<i>x</i>	<i>a</i>	1.4	0.3
		<i>b</i>	0.8	0.6
		<i>c</i>	0.9	7.1
untreated timber	<i>w</i>	<i>a</i>	2.3	—
		<i>b</i>	2.1	—
		<i>c</i>	1.5	—
	<i>x</i>	<i>a</i>	1.9	—
		<i>b</i>	1.7	—
		<i>c</i>	1.2	—

Note: Values show average percentage of *n*-hexane extractives based on oven-dried wood (w/w).

Legend: *w*, *x*, *y*, *z*, *a*, *b*, *c*: refer to Fig. 1.

定：有意水準1%有意差あり),ほとんどの試料において表面から10 mm以内に留まっていた。処理材の木材抽出成分割合は中・内層部において,無処理材よりも少なくなっている(t検定:有意水準1%で有意差あり)。このことは,処理中に木材内部から木材抽出成分が溶出したことを示唆し,白色のパラフィンが液相乾燥処理によって褐色に変化したことから推測できる。

### 3.2 浸漬法によるパラフィンの浸透部位の測定

Fig. 3に示すように,髄付近を除いた木片を非吸水部(D)と吸水部(A, B, C)に4分割したそれぞれの部位に含まれるパラフィンについて,ガスクロマトグラフィーによって定量分析した結果をFig. 5に示す。非吸水部分には,全乾木紛重量に対し,10~15%のパラフィンが検出されたのに対し,吸水部分では,1%前後しか検出されなかった。このことから,実用的には吸水と非吸水の境界線がパラフィン浸透の境界と判断できる(Kruskal-Wallis検定:有意水準1%有意差あり)。

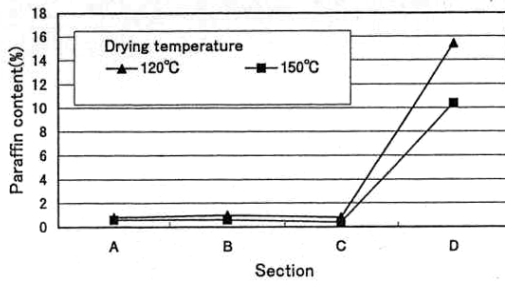


Fig. 5. Paraffin penetration at mid-length (⑥ and ⑦).

Note: Paraffin content is based on weight of oven dry wood.

Legend: see Fig. 3.

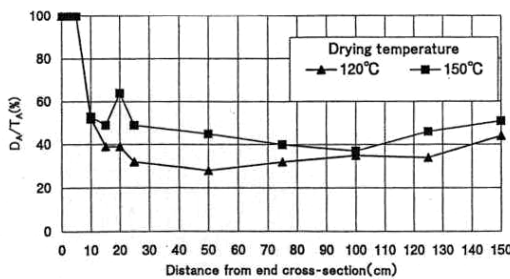


Fig. 6. Ratio ( $D_A/T_A$ ) of the unwetted to total cross-section areas along the longitudinal direction.

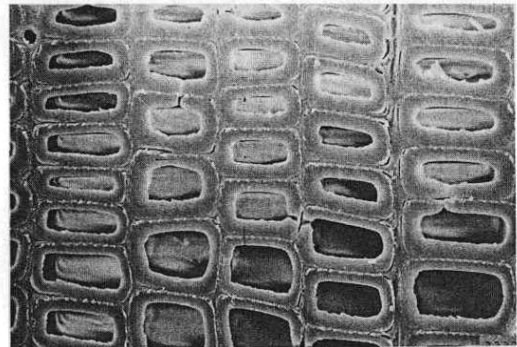
Legend:  $D_A$ : area of unwetted cross-section,  $T_A$ : total area of cross-section.

Fig. 6に120°C, 150°Cで液相乾燥した試験材から鋸断した木片を浸漬法で処理した結果について,片木口から繊維方向中央部までの距離ごとの非吸水面積を示す。木口から5 cmまでは,120°C, 150°Cの処理材とも同様に100%の非吸水面積であった。また10 cmから150 cmの間においても,多少の増減をしながら推移するが,処理温度による相違はないと判断できた(Kruskal-Wallis検定:有意差なし)。

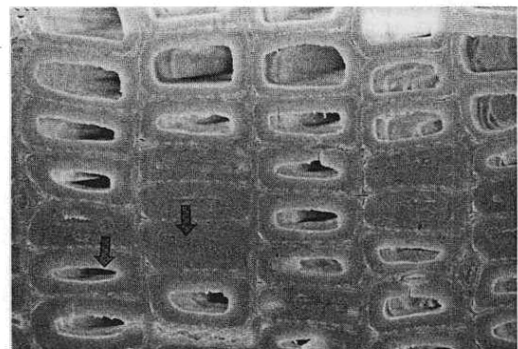
この浸漬法の結果から,木口面から5 cm程度,材表面から5 mm程度までパラフィンが浸透していると言える。ここで用いた液相乾燥装置の加熱は重油バーナーであったため,液相温度の制御精度が悪く,設定温度を挟んで一定の時間間隔で上昇および下降を繰り返した。このため,防腐剤の注入方法の一つである温冷浴法<sup>9)</sup>と同様な効果により,実験室規模での制御精度の良いオイルバスなどと比べて,特に繊維方向の浸透量が多くなると推測される。

### 3.3 木材組織へのパラフィンの浸透状態の観察

Fig. 7に吸水部と非吸水部それぞれの木口断面の

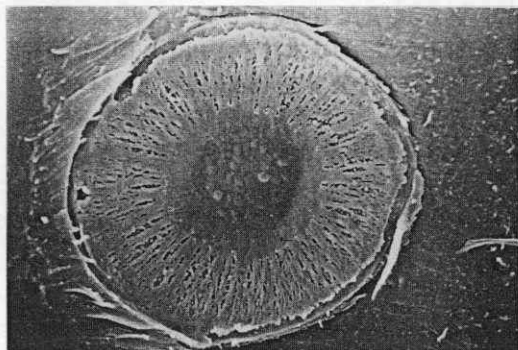


Wetted section

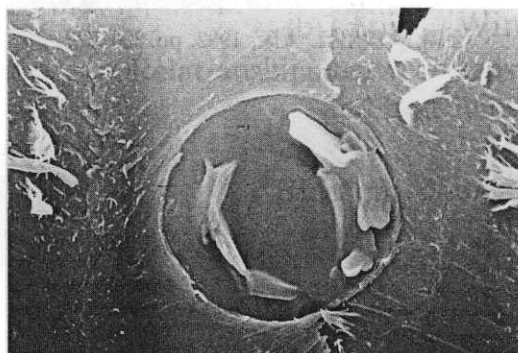


Unwetted section

Fig. 7. SEM photographs of cross sections.



Wetted section



Unwetted section

Fig. 8. SEM photographs of pit membranes.

走査型電子顕微鏡写真を示す。吸水部では、内腔部分に何も見られないことから細胞内腔へのパラフィンの充填は観察されず、非吸水部と比較すれば、観察される細胞壁のみかけの厚さの違いからパラフィンの付着もないと判断される。一方、非吸水部では、細胞内腔へのパラフィンが充填されている細胞と、そうでない細胞があり、また細胞内腔壁面へパラフィンが付着されているものも観察される。Fig. 8に吸水部と非吸水部それぞれの有縁壁孔の状態を示す。吸水部ではマルゴの網目模様が見えるのに対して、非吸水部では模様は鮮明ではなく、パラフィンによりその表面がコーティングされているように見える。浸漬時間を短縮して早く識別する方法として減圧下で浸水すると、初めは非吸水部と見られる部分も、2～3時間経過すると吸水して濡れ色に変化することからも、パラフィンは単に被覆しているものと考えられる。このことから、吸水部と非吸水部との境界線がパラフィン浸透の有無の境界であると考えるとよい。

### 3.4 パラフィンの浸透量の推定

浸漬法の結果、120°Cで30時間と150°Cで20時間の二つの乾燥条件の間では、パラフィン浸透量の有意差はないと判断できたので、全供試材の平均値を使って、パラフィン浸透量を算出することとした。Table 1に *n*-ヘキサン抽出物量割合（全乾木材重量に対する *n*-ヘキサン抽出物含有率）を示す。木口付近および中央部を含めたパラフィン浸透量割合の平均値は3.5%となる。木口から5 cm までの部分のパラフィン浸透量割合は分析の結果、10.5%であった。従って、木口付近とそれ以外とに区分して加重平均すると、一本の柱材に浸透しているパラフィン量は3.7%と推定できる。

パラフィン処理材を二次加工などに利用する場合、接着性能に及ぼす影響が考えられる。その際、パラフィン付着がなければ問題はないことになる。通常、乾燥による歪み、寸法変化を修正するために、現場ではモルダー加工を行い、乾燥前の粗挽き寸法として、柱角では製品寸法より10 mm 程度の分増しとなっている。単純に一辺当たりでは、5 mm 程度になるので、今回の実験結果による表面から5 mm 程度のパラフィンの浸透なら、実用的には許容できると思われる。

## 4. 結 論

パラフィン液相乾燥したスギ柱材（115 mm×3 m）へのパラフィン浸透量を検討するため、化学的な分析手法、走査型電子顕微鏡による観察ならびに浸水して簡易的に目視で浸透状態を把握する方法（「浸漬法」）を提示した。その方法によって浸透量の精密な定量化が可能となった。結果は、以下のとおりである。

- (1) 繊維に直角方向の断面におけるパラフィンの浸透量は、外層部で多く、中・内層部で少なかった。
- (2) 処理材の木材抽出成分は、乾燥中に水分とともに一部溶出した。
- (3) パラフィン浸透状態を把握する簡易な方法として、木片を1日浸水すると吸水部、非吸水部に分別することを利用する浸漬法が有効である。この浸漬法の結果から、木口面から5 cm 程度、材表面から5 mm 程度パラフィンが浸透していた。
- (4) 浸漬法による木片の吸水部と非吸水部を走査型電子顕微鏡で観察すると、吸水部は細胞内腔や細胞壁にパラフィンの付着がみられないが、非吸水部では、細胞内腔まで充填されている細胞とそうでない細胞があり、パラフィンの木材組織への浸透は均一でないことがわかった。

- (5) 浸漬法と化学分析法の結果から, 120°Cと150°Cの乾燥条件の間ではパラフィン浸透量に有意差はなかった。柱材の木口付近とそれ以外の部分に区分して, 全供試材の平均パラフィン含有率をそれぞれの長さの比で加重平均をして, 一本の柱材に浸透しているパラフィン含有率を求めると, 木材全乾重量に対するパラフィン重量割合(%)として, 3.7%であった。

#### 文 献

- 1) Kollmann, F., Cote, W.: "Principles of Wood Science and Technology" Vol. 1, Springer-Verlag, Berlin, 1968, p. 464.
- 2) 寺澤 眞: "木材乾燥のすべて", 海青社, 大津, 1994, p. 56.
- 3) 吉田孝久: 第43回日本木材学会大会研究発表要旨集, 盛岡, 1993, p. 211.
- 4) 柳田英二: 日本木材学会中国・四国支部第10回研究発表会要旨集, 高松, 1998, pp. 84-85.
- 5) 澤辺 攻, 中原 修, 土居修一, 今村祐嗣: 第50回日本木材学会大会研究発表要旨集, 京都, 2000, p. 468.
- 6) 松岡良昭, 野地清美, 政岡尚志, 水谷卓至, 柳田英二, 金川 靖: 木材工業 56(6), 270-274 (2001).
- 7) 善本知孝: "木材利用の化学", 今村博之ら編, 共立出版, 東京, 1983, p. 79.
- 8) Eero Sjöström: "木材化学", 近藤民雄監訳, 講談社, 東京, 1983, p. 97.
- 9) 日本木材保存協会: "木材保存学", 木材保存協会編, 文教出版, 大阪, 1982, pp. 220-222.

## スパイラルワインディング法による 円筒形 LVL の製造 (第 3 報)<sup>†</sup>

繊維傾斜を持つ LVL のバットジョイントの性質<sup>\*1</sup>

山内秀文<sup>\*2</sup>, 三浦 泉<sup>\*3</sup>, 岡崎泰男<sup>\*2</sup>,  
川井秀一<sup>\*4</sup>, 佐々木光<sup>\*2</sup>

## Manufacture of Cylindrical LVL by Spiral-Winding Method III.<sup>†</sup>

Relationships between tensile strength, veneer grain angle,  
and butt joint interval in LVL<sup>\*1</sup>

Hidefumi YAMAUCHI<sup>\*2</sup>, Izumi MIURA<sup>\*3</sup>, Yasuo OKAZAKI<sup>\*2</sup>,  
Shuichi KAWAI<sup>\*4</sup> and Hikaru SASAKI<sup>\*2</sup>

The relationships between veneer grain angles, distance between end butt joints in the adjacent veneer layers (butt joint interval), and tensile strengths of LVL were investigated. These are fundamental factors for the design of the cylindrical LVL (C-LVL). Rotary cut veneer of sugi (*Cryptomeria japonica*) and akamatsu (*Pinus densiflora*) was used. 4 or 8-ply flat LVL with interlocked (10 and 45 degrees) or parallel (0, 10, 45 and 90 degrees) veneer grain was manufactured using 2.4 mm or 1.4 mm thick veneers. Butt joint intervals of the LVL specimens were varied from 0 to 65 mm. The 8-ply specimens were prepared to investigate the effects of interlocked laminations on tensile strength. In addition, flat LVL specimens were manufactured using stitched sugi veneer tapes to simulate a C-LVL shell, and tested in tension. The results are as follows:

- 1) When the butt joint interval was more than 12 times veneer thickness in sugi and 15 times in akamatsu, the tensile strength of 4-ply LVL was not affected by the butt joints of veneer.
- 2) The interlocked-grain structure in the alternate layers of LVL also prevented decrease in the tensile strength, which is almost the same effect in the tensile Young's modulus from our previous study.
- 3) Interlocked-grain structure of veneer layers has no effect on the section of the face ply adjacent to a butt joint of the next layer.
- 4) The relationships between butt joint interval and tensile strength of LVL are determined by the ratio of the tensile strength and shear strength of the veneer laminae.
- 5) Intersecting portions of adjacent layers of the wall of a C-LVL shell will be reinforced in its peripheral region and are therefore not critical to the strength of C-LVL.

<sup>†</sup> Report II: This journal 45(2), 149-156 (1999).

<sup>\*1</sup> Received July 6, 2001; accepted April 12, 2002. この報告の一部は第48回日本木材学会大会 (1998年4月, 静岡) で発表した。

<sup>\*2</sup> 秋田県立大学木材高度加工研究所 Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University, Noshiro 016-0876

<sup>\*3</sup> 秋田県職員 Akita Prefectural Office, Akitashi 010-8570.

<sup>\*4</sup> 京都大学木質科学研究所 Wood Research Institute, Kyoto University, Uji 611-0011.