

保存処理をした出土木材の物性と寸法安定性

増澤文武*, 田澤 坦*, 岡本 一**

1. はじめに

出土木材の保存処理は各種の方法が試みられ、実施されている。その中で、現在我国では、1) PEG含浸法、2) 凍結真空乾燥法、3) アルコール・キシレン・樹脂法の3方法が主として行われている。しかし、これらの3方法により処理された出土木材についての物性値は今迄に求められていない。また、保存処理における寸法安定性、すなわち処理にともなって収縮や変形を生じる程度について数値を求めたものとして、

1) 水を直接凍結真空乾燥する方法、PEG 6000の20%水溶液に浸漬した後、凍結真空乾燥する方法、ならびにPEG 1500に浸漬する方法で処理したものの比較例¹⁾

2) 出土木材を低濃度から最終的には100%に至るまで徐々に濃度を上げ、PEG 1500、PEG 2000、PEG 4000を含浸したものの比較例²⁾

3) 出土木材の水分をアルコールに置きかえ、更に各種有機溶剤に置き換えたもの、引き続きこれらの有機溶剤中にロジン、ダンマル等天然樹脂の20%、40%を溶解したそれぞれの溶液中に浸漬後、真空乾燥したものの比較例³⁾

4) 出土木材の水分をエチルアルコールに置き換えたもの、更にそれを他のアルコール、エーテルに置き換え自然乾燥したものの比較例⁴⁾

などである。

一方、最近のPEG含浸法はPEG 4000が主として用いられており、凍結真空乾燥法では、出土木材の水分をターシャリーブタノール(以下もーブタノール)に置き換える方法が行われている。したがって、従来求められた寸法安定性の実験データのみでは、現在の3方法による保存処理の特徴を把握することは困難である。

そこで、これら3方法により保存処理した出土木材について、1) かたさ、2) 比重、3) 縦圧縮強さ、ならびに4) 寸法安定性について比較したので報告する。

* 財団法人 元興寺文化財研究所、奈良市中院町11

** 京都大学農学部林産工学研究室、京都市左京区北白川追分

2. 出土木材試料と試片の作成

出土木材の試料は滋賀県守山市服部遺跡出土の弥生時代後期から古墳時代前期と推定される自然木のトチノキ (*Aesculus turbinata* Blume) で、直径 34 cm、繊維方向の長さ、約 2.5 m のものを用いた。各試片は埋蔵時の木口から十分離れた部分から採取し作成した。

試片は 2 種類を作成した。物性値の測定のための試片の寸法は繊維方向：40 mm、木口面：20×20 mm の縦圧縮強さの測定用試片の寸法⁵⁾に合わせた。寸法安定性試験のための試片は繊維方向：5 mm、放射方向：30 mm、接線方向：30 mm とした。⁶⁾

3. 保存処理

保存処理方法としては、現在我国で実用化されている 3 方法を選び、前述の試片の保存処理を行った。次にその概略を示す。

3-1 PEG 含浸法

PEG 4000 水溶液中に出土木材を浸漬し、溶液の濃度を上げつつ、出土木材内部の水分を PEG 4000 に置き換える。²⁾ なお、含浸後の材は黒褐色の石炭のようになるため、表面処理を行い、木質感を回復させる。この方法は PEG 含浸木材をトリクレン中に浸し、材表面の PEG を除去するものである。⁷⁾

3-2 凍結真空乾燥法

出土木材の水分を徐々に t-ブタノールに置き換え、PEG 4000 の t-ブタノール溶液に浸漬し、PEG 4000 を材に浸透させた後、凍結乾燥する。^{8,9)}

3-3 アルコール・キシレン・樹脂法

スイスの Kramer, Mühlethaler は出土木材中の水分をアルコールに置き換え、更にエーテルに置換してから天然樹脂 (ダンマル：500 g、ロジン：200 g、吹込みまし油：100 ml、スタンド油：100 ml) を 3000 ml のエーテルに溶解した溶液に浸漬した後、真空乾燥を行う方法を実用化している。¹⁰⁾

しかし、本実験では、エーテルの引火性を考慮してキシレンを採用した。³⁾ また、樹脂としては、Kramer 等の配合例の他にメチルメタクリレートを主成分とする市販樹脂を採用し、両者の比較を行った。この樹脂は古文化財の保存修理にしばしば用いられているので、このアクリル樹脂の使用の可能性を探ることとしたが、溶液粘度をおさえるため、溶媒としてキシレンに酢酸エチルを加え、また溶液の樹脂濃度は天然樹脂の場合に比べて低くした。

以上の 3 方法の保存処理条件は表 1、表 2 に示す通りである。

表 1. 各保存処理方法の条件(1)

Table 1. The condition of conservation treatments (1)

Pretreatment : The specimens were steeped in a bath containing 2 ml conc. NH_4OH and 2 ml 30% H_2O_2 per 1 l water for 2 days.

They were soaked in water.

Impregnation with PEG 4000 :

Concentration of PEG solution, successively applied (%)	Soaking (days)
20	12
40	7
60	7
80	7
100	7

(Solutions were kept at 40°C to 70°C. The specimens
were cleaned with trichloroethylene.)

Freeze-drying method :

Concentration of t-butanol per water, successively applied (%)	Soaking (days)
50	4
80	4
100	4
100	4
100	4
60% PEG 4000 per t-butanol	3

(Solutions were kept at 60°C.
The specimens were frozen at -18°C and dried
under 3mmHg)

表 2 各保存処理方法の条件(2)

Table 2. The condition of conservation treatments (2)

Pretreatment : The specimens were steeped in a bath containing 2 ml conc. NH_4OH and 2 ml 30 % H_2O_2 per 1 l water for 2 days.

They were soaked in water.

Alcohol - xylene - resin method :

Concentration of ethanol per water, successively applied (%)	Soaking (days)
50	3
80	3
95	3
100	3
100	2
Concentration of xylene per ethanol, successively applied (%)	Soaking (days)
50	3
80	2
95	3
100	3
100	2

Formation of resin solution for impregnation

Natural resin		Acrylic resin		Soaking
Dammar resin	500 g	Polymer based		
Rosin	200 g	on MMA	14 %	
Caster oil blown	100 ml	Xylene	40 %	
Stand oil	100 ml	Ethyl acetate	46 %	
Xylene	3000 ml			
(Resin cont. 23 %)				

Specimens were dried under 3 mmHg for 3 days

4. 試験方法

4-1 硬さの測定

硬さ試験は日本ゴム協会規格SRIS-0101に従いゴム硬度計C型（高分子計器製作所製）を用い測定した。この硬度計は直径 5.08 ± 0.02 mmの鋼球を被検体表面に圧着して、その反発力を0から100の目盛の比較値として測定するものである。なお、目盛が0のとき荷重は55g、100のとき885gで、この間は比例関係となっている。この硬度計は手中に入る大きさであり、携帯できるため現場での使用に適する。

出土木材内部は数百％にのぼる水分を含むため、硬さ測定時に水分が浸出し、蒸発することにより硬度計内部が錆び、測定値の精度を失うことを避けるためにポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm）によって硬度計全体を包み、鋼球部分もこのフィルムを介して試片表面に圧着し測定した。¹¹⁾なお、硬さの測定箇所は板目面とした。

4-2 比重測定

各試片について、マイクロメータを用い、長さを求め算出した体積で直示天秤で得た重さを除して比重とした。また無処理試料の自然乾燥時の比重は、湿度60%RHの室内に十分放置し、含水率が平衡に達した状態での重量を含水状態にあった際の体積で除した商を以て比重とした。

4-3 圧縮試験

圧縮試験は、出土木材の試片のL方向に対して、20 mm/min（室温20℃）の定速加重をかけ、圧縮し破壊する迄の最大荷重をもって縦圧縮強さとした。⁶⁾使用した測定機は島津製作所製オートグラフS-100ならびにUniversal Testing Machine RH-10Vである。

4-4 寸法安定性の測定

各試片の接線方向、放射方向について、処理前、処理後の寸法をマイクロメータで測定した。各方向の長さについて保存処理後の減少量を保存処理前の寸法で除し百分率を求め収縮率とした。⁵⁾

5. 結果と考察

5-1 保存処理方法による出土木材の物性の比較

5-1-1 かたさ

本実験に用いたトチノキについて含水率とかたさとの相関性を求めた結果

$$H = -0.087u + 121$$

H：ゴム硬度計C型（日本ゴム協会規格，SRIS-0101）によるかたさ

u：含水率（%）

となり、1%水準をはるかに超えて有意であることがわかっている。¹¹⁾ このことから、かたさの測定は最も簡単な方法で劣化状態を示す指標といえる。そこで各試片を柔らかいものから硬いものまで5段階に分けた。それぞれ段階のかたさを図1に示す。このかたさの異なる無処理の試片について、それぞれ保存処理を行った後のかたさを同様に図1に示す。

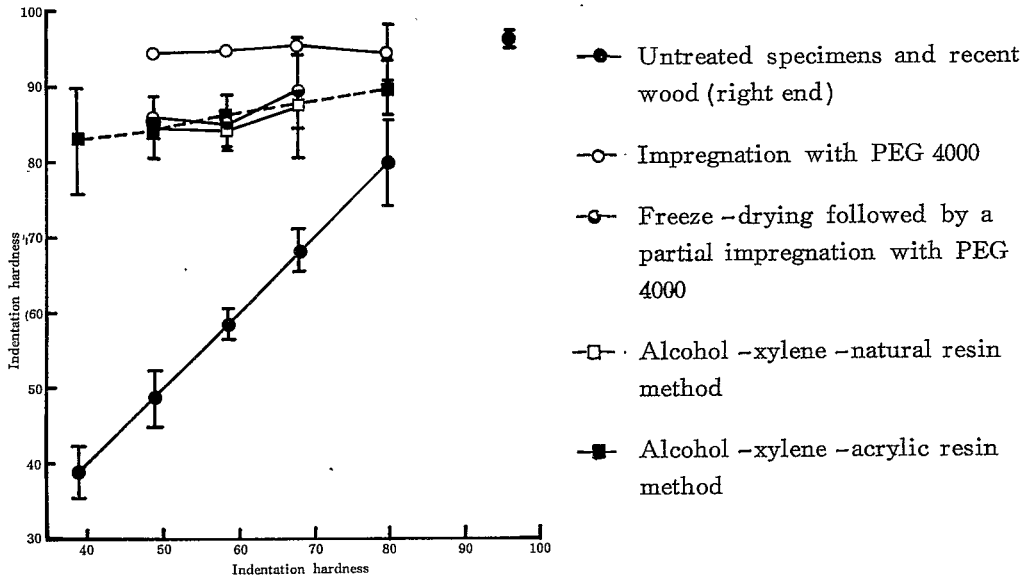


図1. 無処理試料のかたさのグループ分けによる保存処理方法の効果

Fig. 1. Effect of treatments on Indentation hardness of waterlogged wood vs. Indentation hardness.

その結果、40以下から80以上までのバラツキを示した無処理の試片のかたさは、PEG含浸によって、ほぼ95、その他の保存処理法によって約80から約90までとなった。すなわち、PEG含浸をほどとした試片のかたさは、現生材のかたさの96とほぼ同じ値を示し、保存処理した中では最もかたい。一方、凍結真空乾燥、アルコール・キシレン・樹脂法で処理したものとの間ではほとんど差がなかった。

PEG含浸試片と他の方法により処理した試片のかたさの差は、前者が劣化した出土木材の空隙部分を固形物で埋め尽くしているのに対して、後者は部分的な含浸により、空隙部分を残しているためと考えられる。

保存処理の結果は、どの方法にしても柔らかいものほどかたさの著しい増加がみられ、保存処理に

よる効果が現われていると評価できる。

5-1-2 比 重

無処理試片の比重と各種の保存処理後の比重とを図2に示す。なお、無処理の試片が気乾状態に達するまでに失う水分の量が如何に多いかを示すため60%RHで乾燥した気乾重量を含水時の体積

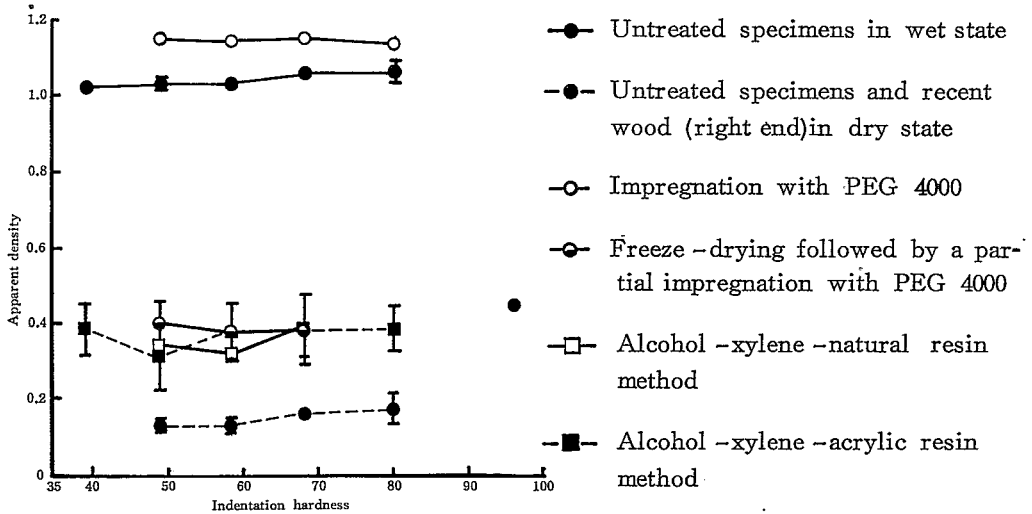


図2. 無処理および保存処理試料の比重

Fig 2. Density of treated and untreated waterlogged wood

で除した商をも合わせて同じ図に示した。現生材の比重の 0.446 ± 0.016 に対して、含水した出土木材の比重は現生材の約2.3倍にも達して $1.026 - 1.067$ となり、むしろ水の比重1に近い。一方、この出土木材を60%RHの大気中に放置すると、その水分の大半を失い、同一体積の現生材に対して30%の重量をとどめるに過ぎない。このことは、出土木材の劣化が著しく進行していることを示している。

これらについて、各保存処理をした場合の比重は、PEG含浸試料が約1.15、凍結真空乾燥法、アルコール・キシレン・樹脂法による比重は約0.4前後である。誤差を考慮すると、凍結真空乾燥、アルコール・キシレン・樹脂法の間には差がない。

出土木材の保存処理に関して、保存処理後の重量感がしばしば問題となる。それは、発掘時の大量に水分を含んだ出土木材の重量感に対して、PEG含浸処理を行ったものは、同様の重量感を有するが、一方特にアルコール・キシレン・樹脂法によって処理したものは非常に軽すぎるとの見方である。事実、本実験で求められた比重は前述のように、PEG含浸処理したものが約1.15、

アルコール・キシレン・樹脂法によるものが平均で0.32～0.39となり、発掘時の出土木材の比重1.026～1.067に比べると、前者はより高い値を示し、後者は著しく低い値を示している。しかし、現生材の比重0.446と比較すると、本実験では明らかにアルコール・キシレン・樹脂法の比重の方が現生材の本来の比重に近い。木製遺物の実際の使用時の状態を复原する立場から考えると、むしろアルコール・キシレン・樹脂法で処理したものがPEG含浸処理法によるものより本来の姿に近いと考えられる。誤差を考慮すると、上限が現生材の値にとどいているが、今迄以上に樹脂含浸量を増加し、比重を上げ現生材の値に近づける必要があるだろう。なお、凍結真空乾燥の場合もアルコール・キシレン・樹脂法と同様である。これらの点を如何に考えるかは考古学者や学芸員の方々の意見を得たいところである。

5-1-3 縦圧縮強さ

各保存処理後の出土木材の縦圧縮強さの測定結果は図3となり、無処理試片の各グループの平均

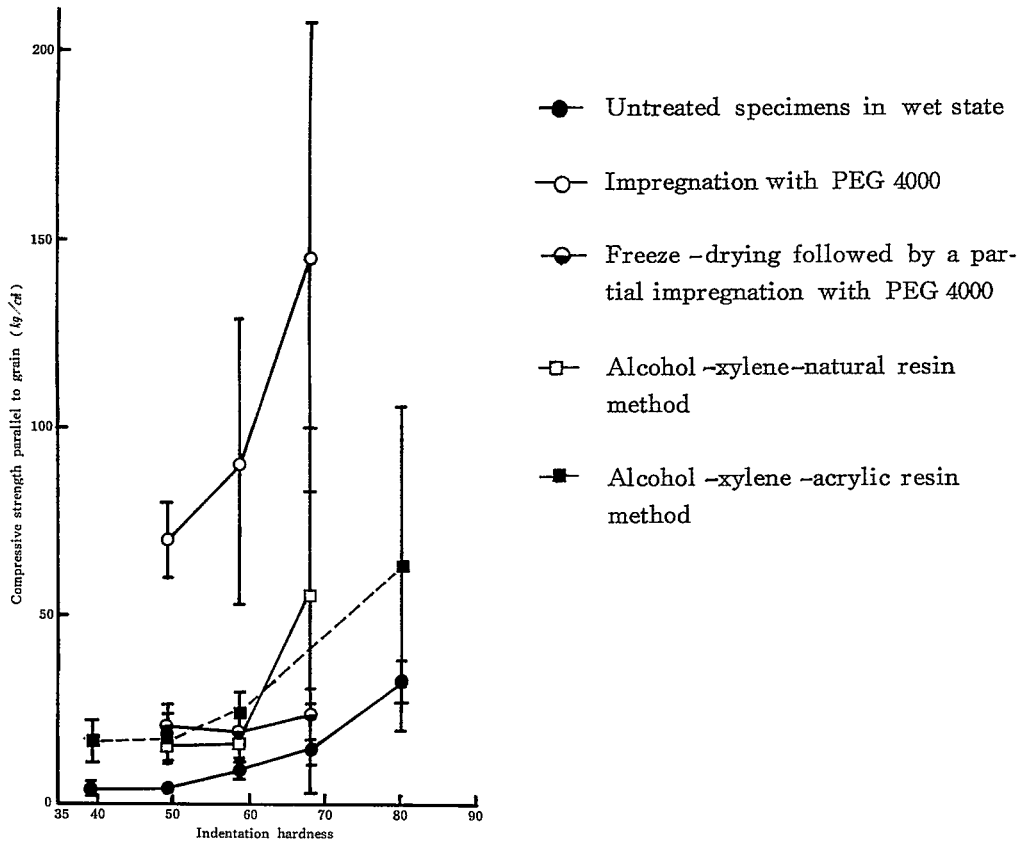


図3. 無処理および保存処理試片の縦圧縮強さ

Fig.3. Compressive strength parallel to grain of treated waterlogged wood vs. hardness.

が $3.4 \text{ kg/cm}^3 \sim 32.4 \text{ kg/cm}^3$ に対して PEG 含浸試片は約 70 kg/cm^3 で約 5～18 倍と著しい向上を示している。一方、凍結真空乾燥法、アルコール・キシレン・樹脂法による試片は、PEG 含浸法のそれと比べ低く、前者は無処理の場合の $4.0 \sim 14.5 \text{ kg/cm}^3$ に対して、 $20.5 \text{ kg/cm}^3 \sim 23.4 \text{ kg/cm}^3$ で 1.6～5 倍、後者は天然樹脂の場合で約 $15 \sim 55 \text{ kg/cm}^3$ で約 2～4 倍の増加である。全体的には劣化が著しいものほど強化されている。しかし、どの方法の場合も、トチノキの現生材の値、 400 kg/cm^3 ¹²⁾には到底及ばない。

5-2 保存処理した出土木材の寸法安定性の比較

トチノキをそのまま自然乾燥した場合と、保存処理したものの収縮率を図 4 に示す。自然乾燥に

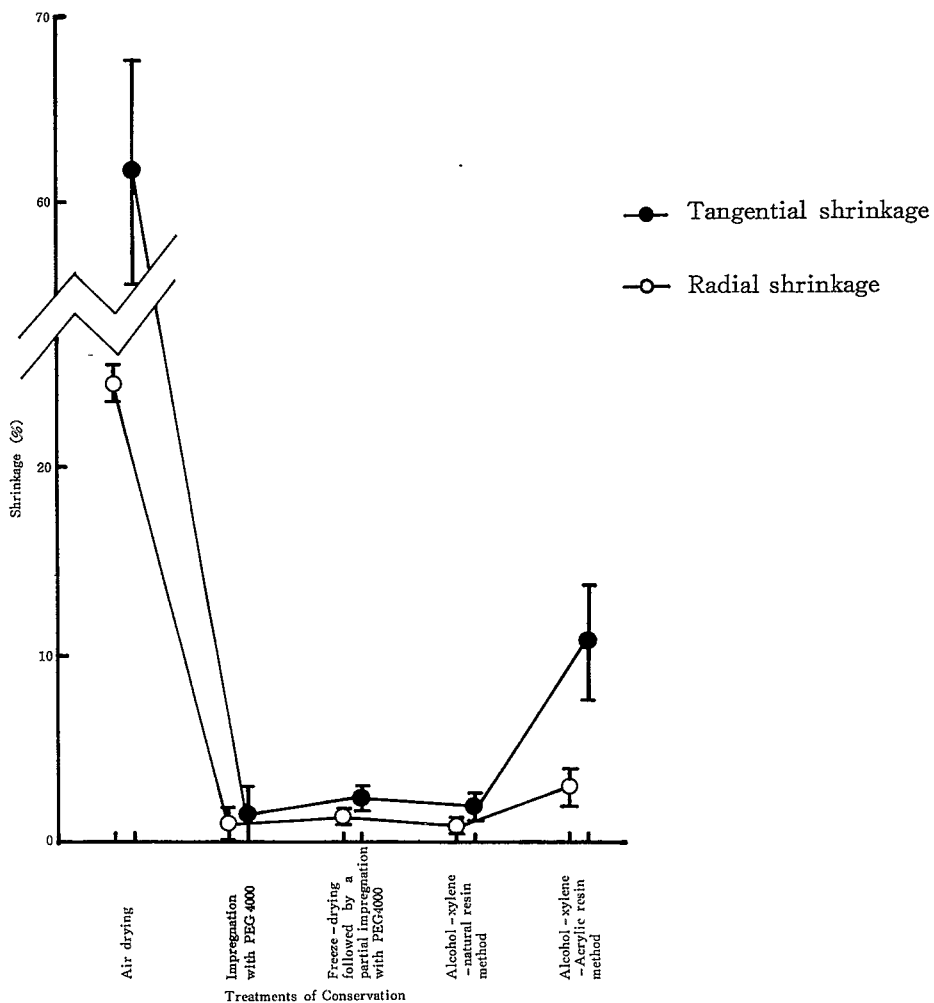


図 4 乾燥ならびに保存処理による出土木材の収縮率

Fig 4. Dimensional stability of treated waterlogged wood

よる試片の放射方向，接線方向の収縮率はそれぞれ，25%，62%と著しい。これに対して，PEG含浸，凍結真空乾燥法，天然樹脂を用いたアルコール・キシレン・樹脂法では3%以下であり，放射方向，接線方向ともにそれらの間に差が認められない。また，放射方向が接線方向に比べ，寸法安定性が良好であるともみうけられるが，バラツキを考慮すると差が無いとすべきであろう。一方，アクリル樹脂を用いたアルコール・キシレン・樹脂法は他の3方法に比べ，放射方向では大差がないが，接線方向において著しく劣っている。

次に示す式で表わされる抗収縮能力¹³⁾(すなわち，本報告では，自然乾燥に比べ保存処理によりどの程度，収縮を食い止め得るかを示す係数)を求めると図5になる。

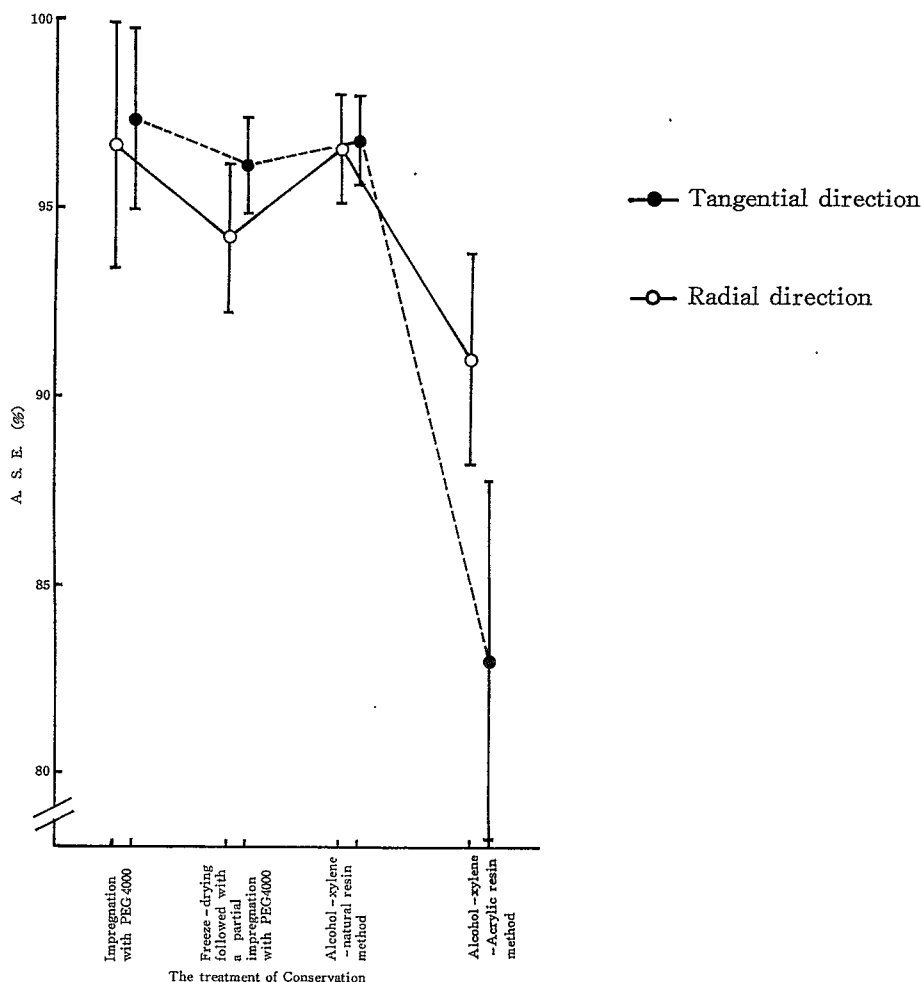


図5. 保存処理方法による抗収縮能力

Fig. 5. Antishrink efficiency (A.S.E.) in the tangential and radial direction.

$$A.S.E. = \frac{S_c - S_t}{S_c} \times 100 (\%)$$

A.S.E. : 抗収縮率

Antishrink efficiency

S_c : 自然乾燥(未処理試片)による収縮率

Shrinking of control (%)

S_t : 保存処理試片の収縮率

Shrinking of treated sample (%)

この結果においても、PEG含浸法、凍結真空乾燥法、天然樹脂(ダンマル、ロジン、吹込みまし油、スタンド油の混合物)を用いたアルコール・キシレン・樹脂法の3方法の間に差は認められず、いずれも良好と判断される。

一方、アクリル樹脂を用いたアルコール・キシレン・樹脂法では接線方向の抗収縮率が明らかに低く、上記収縮率の結果をも合わせ、本実験で用いたアクリル樹脂は、アルコール・キシレン・樹脂法の樹脂として適さないと判断される。その原因としては、溶液粘度の高いこと、あるいはそれをおさえるためにとった処置、すなわち、酢酸エチルの使用などが適当でなかったことが考えられ、今後この種の樹脂としては、低分子量のものを試みる必要があるであろう。

6. 謝 辞

本研究は、文部省科学研究費特定研究の補助を受けてなされたものである。トチノキの試料は滋賀県教育委員会より頂き、またこの樹種鑑定は元興寺文化財研究所保存科学研究室、松田隆嗣君によってなされた。ここに記し、謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 岩崎友吉・樋口清治(1969)木製品の保存処置(第1報) — 平城宮跡出土木簡等について — . 保存科学 5 : 1 - 20
- 2) 増澤文武(1973)埋蔵木材のPEG含浸処理に関する実験(1). (財)元興寺仏教民俗資料研究所保存科学研究室紀要 2 : 5 - 14
- 3) 松田隆嗣・阪本賢郎・増澤文武(1976)アルコール・エーテル・樹脂法による出土木材の実験処理. (財)元興寺仏教民俗資料研究所保存科学研究室紀要 5 : 1 - 3
- 4) 三野紀雄(1980)木製品考古遺物の保存処置法, 北海道開拓記念館研究年報 8 : 67 - 75
- 5) JIS Z 2111
- 6) JIS Z 2103

- 7) 沢田正昭(1975) 遺跡・遺物の保存科学(5)研究速報. 奈良国立文化財研究所年報(1975)
: 41 - 43
- 8) Christensen, B. B. (1970) Sublimation or freeze-drying from tertiary Butanol,
(CH₃)₃COH. The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of
Denmark : 29 - 33
- 9) 沢田正昭(1972) 考古資料保存の科学的研究(1), III 真空凍結乾燥法. 奈良国立文化財研究所
「研究論集」I : 23 - 36
- 10) Kramer, W., Mühlethaler, B. (1968) Über die Erfahrungen mit der Alkoholäther -
methode für Konservierung von Nassholz am Schweizerischen Landesmuseum.
Zeitschrift für Archäologie und Kunstgeschichte 25 (2) : 78 - 88
- 11) 増澤文武・岡本一・田澤垣(1980) 出土木材の劣化状態を把握する一方法. 古文化財の科学
25 : 19 - 24
- 12) 日本木材工業編集委員会(1966) トチノキ. 日本の木材
- 13) 後藤輝男・梶田茂・荒木幹夫・後藤良造(1958) 木材の Dimensional Stability に関する研
究. 木材研究 20 : 1 - 15

Effect of Conservation Treatments on Physical Properties
and Dimensional Stability of Waterlogged wood

Fumitake MASUZAWA * Yutaka TAZAWA*, Hajime OKAMOTO**

* Gango-ji Institute for Research of Cultural Property, 11 Chuin -cho, Nara 630

** Faculty of Agriculture, The University of Kyoto

Oiwake, Kitashirakawa, Sakyo -ku, Kyoto 606

The specimens of waterlogged (*Aesculus turbinata* Blume) were treated with the following procedures :

- 1) impregnation with PEG 4000
- 2) freeze-drying method
- 3) alcohol -xylene-natural resin method
- 4) alcohol -xylene -acrylic resin method

Indentation hardness, density, compressive strength parallel to grain and dimensional stability of them were observed.

1. Indentation hardness of untreated specimens ranged from 40 to 80. It increased to 95 by impregnation with PEG 4000, and to 80 - 90 by the other methods.

2. Density of controls was 1.02 -1.07. It increased to about 1.15 by impregnation with PEG 4000, to 0.3 -0.4 with freeze-drying and with alcohol -xylene -resin method.

3. The compressive strength parallel to grain of untreated specimens ranged from 3.4 to 32.4 kg/cm². The impregnation with PEG 4000 increased the strength by 5 to 18 times. The freeze-drying and the alcohol-xylene-resin method increased it by 1.6 to 5 times. However, the obtained strengths were much less than 400 kg/cm² of recent wood.

4. Antishrink efficiency (A. S. E.), which is defined as

$$A. S. E. = \left\{ 1 - \frac{\text{Shrinking of treated specimen (\%)}}{\text{Shrinking of control (\%)}} \right\} \times 100$$

A. S. E. of treated specimens was more than 94 % except the specimens treated with alcohol-xylene-acrylic resin method. These specimens showed A. S. E. of 91 % in radial direction and 83 % in tangential direction. It is suggested that the application of acrylic resin of smaller molecular weight must be tried to obtain more satisfactory results.