

室内保管したポリエチレングリコール 含浸出土木材の30年の経年変化

増澤文武¹⁾・宮岸重好²⁾

1. はじめに

文化財を長期に亘り安定に保存することは最も重要な課題であり、出土木製品についても同様なことが言える。出土した含水率の高い木製品（出土木材）が、そのまま自然乾燥すると著しい収縮により変形と割れを生じる（木下：1962，五嶋ら：1968）。それを防ぎ、かつ乾燥させる方法として、デンマークにおいて1850年代に加熱した高濃度の明礬水溶液にバイキング船に関わる木製遺物の保存処理がなされた。100年後の1950年代にポリエチレングリコール（以下PEGと記す）の含浸処理法が開発され（Christensen：1970），大凡50年を経る。1960年代にヨーロッパならびに日本においてPEGを用いた真空凍結乾燥法（Christensen 1970，岩崎ら：1969，沢田：1973），また非水溶性天然樹脂を用いたアルコール・エーテル・樹脂法（Christensen：1970，Kramer et al：1971）などが開発され実施された。我が国では1960年代に，元興寺境内から出土した納骨五輪塔などに，アクリルアミドのレドックス重合が適用された（辻村ら：1962，五嶋ら：1965）。続いてヨーロッパとは独立にPEG1540，PEG2000処理法がこけら経に適用され（五嶋ら：1968，1969），同時に現場で簡便に使えることからPEG1500による処理（岩崎ら：1969）が多くの出土品に施された。加えて，ヨーロッパのPEG4000の含浸処理法が導入され（沢田1973），この方法は最も普及し今日に至っている。また，上述のアルコール・エーテル・樹脂法を安全面で改良したアルコール・キシレン・樹脂法（松田ら：1976，松田：1977）などが実施され，近年高級アルコール法（岡田ら：1992），糖アルコール法（今津：1993），脂肪酸エステル法（井上ら：1997，川本ら：1997）など低分子を用いた保存処理法が広がりつつある。

簡単に出土木材の化学薬品による保存処理を概略したが，我が国で最も普及してきたPEG含浸処理は，これまでにさまざまな分子量のものが保存処理剤として使われてきた。そこで，これらのPEG処理の結果をPEGの分子量毎に纏め，それぞれの特徴を大まかに整理すると以下ようになる。

PEG4000は，PEG2000，PEG1500に比し吸湿性が少なく，デンマークでは海峡から引き上げられ

¹⁾ 元（財）元興寺文化財研究所勤務：〒630-8015 奈良県奈良市四条大路南町3-17

²⁾ 金沢大学工学部物質化学工学科：〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20

キーワード：出土木材（waterlogged wood），ポリエチレングリコール（polyethylene glycol），

含浸処理（impregnation method），収縮（shrinkage），長期安定性（long-stability），吸湿性（hygroscopicity）

たバイキング船の保存処理に用いられている実績（Christensen：1970）があり、長期保存には比較的適しているようであり我が国でも実施されている。PEG2000 は、PEG1540 と共に、出土遺物を常温で水溶液に浸漬して乾燥することで収縮を押さえ、形状を維持できることが前述のこけら経の保存処理において確認された。PEG1500 は、1970 年頃、発掘現場などにおいて常温で 50% 水溶液とし、木製遺物のある一定期間浸漬し、引き上げ乾燥する方法が取られ最も普及していた。その主な理由は、一般の木材に対して PEG1500 は吸湿性が大きいので、処理後の木材は急激に乾燥することなく、木材表面が繊維飽和点以上の水を長く保持でき、収縮を抑制できる（Morén：1966）ことにあった。併せて上述のように現場で簡便に行うことが出来ることが大きな要因であった。しかし、出土木材に対する PEG1500 処理例から、腐朽の進んだ保存状態の悪い木製品に対しては効果が無く、比較的良いものに対して有効であり、処理が簡便で、必要に応じて PEG を除去できるので応急的処理法として効果があるとされたが（岩崎、樋口 1968）、その当時、各地で多くの遺物に施されていた。

このような中であって、全国的に PEG4000 含浸法が最も普及し現在に至っている。しかし、含水率がカシなど堅木の木材については、PEG4000 の含浸処理の際、収縮による変形が生じることが明らかとなった（増澤ら：1993）。その解決方法として、PEG200 の水溶液に浸漬含浸後、PEG3000 を含浸することにより改善する方法（Hoffmann：1986）が開発され、韓国の新安船の保存処理に PEG400 含浸後、PEG4000 を含浸する方法が適用され（Choi：1988）、また、我が国においてもこの方法が採用されている。このように PEG 含浸法は多くの使用例があり、かつ PEG が水溶性であることから、将来遺物から容易に取り除くことが出来る可逆性があり理想的な保存剤である。

以上述べてきたことは、発掘後空気に曝され乾燥する際、寸法安定性を確保するための処理方法であり、その解決法は上述したようにこの 20 年間で大きな発展をみた。

一方、もう一つの大きな課題は文化財として、これら保存処理したものが未来永劫に安定性を保つことであり、その追跡調査は最も大事なことである。特に PEG 含浸処理が開発され実施された北欧の気候が寒冷であるのに対して、我が国のようなモンスーン地帯の高温多湿の季節を持つ環境下では保管上の問題を生じることが懸念された。そこで、過去、恒温で湿度の異なる環境下で PEG4000 含浸試験片の変化（増澤ら：1975）、2 年間にわたる PEG4000 含浸木製遺物の変化（植田ら：1989）を報告してきた。また、全国の調査例として PEG 含浸木材に限ると、湿気のため遺物の表面に染みが生じたり、濡れたりしている例（松田 1987）や PEG の染みだしにより遺物表面が黒ずみ、1 部白く凝固していた例（伊藤ら：2001、伊藤：2002）が報告されている。

これらの調査に加え、PEG 含浸処理を開始した間もない 1973 年以来、PEG4000、PEG2000 と PEG1500 のそれぞれの含浸処理を行った同一試験片の 30 年にわたる経年変化を追跡してきた。文化財として長期安定性の確保は最も重要なことであり、同一試料による追跡は意義あると思われるので、保存処理・保管に関わる再検討を含めて報告する。

2 実験

2.1 出土木材の試験片の作成

出土木材の保存処理試験片作成のため、東大阪市若江町瓜生堂遺跡出土の弥生時代のカシ、Cyclobalanopsis（直径 6.0～6.5cm）を試料として用いた。これは黒褐色を呈し、手の指で押すと潰れる程度の強度であった。この丸太材を図 1 に示すように 32～35 × 20～26 × 23～26mm の直方体とした。これら試験片の隣接部分の含水率を求めた結果、660%であった（増澤：1973）。出土木材の劣化状態は芯から外部に向かって、次第に劣化が激しい 3 段階に分けられるが、この試料は全体が最も劣化が著しい Class I（含水率 > 400%）（Grattan：1987）に相当する。また、酒井等が提案している木口面収縮率（酒井ら：2001）を求めると、含水率 660%を最大含水率と仮定したとき体積減少率は 82.3%となり、木口面収縮率は 75.3±10%と推定される。

2.2 使用した PEG

含浸に用いる PEG は 1960 年代後半から 70 年代に最も用いられた 3 種類を選択した。それぞれの物理的性質は表 1 に与えられているが、それ以外の性質として、分子量が大きい PEG4000 は相対的に水溶性ならびに吸湿性が低く、PEG2000、PEG1500 の順に水溶性、吸湿性が高くなる。

2.3 PEG 含浸試験片の作成

PEG 含浸処理の前処理として上記試験片を 40℃の EDTA・2 Na 1 %水溶液に 2 回、通算 15 時間浸漬した後、流水にて 1 夜洗浄し、鉄イオンなどの除去と脱色を行った。引き続いて試験片の重量約 20～22g に対して 500g の PEG20%水溶液を作成し、ビーカーに入れ、60±2℃に加温した。上部はアルミ箔で覆い水分の蒸発を抑えた。この溶液中の各試験片の見かけ重量を測定し、その値が一定となり、飽和状態になるまで浸漬した。その後一旦試験片を引き上げ、新たに調製した PEG40%水溶

表 1 実験に用いたポリエチレングリコールの性質
Table 1. Properties of polyethylene glycols

Characteristics	Polyethylene glycol (PEG)		
	4000	2000	1500※
Appearance	White flake	Wax-like solid	Paste
Solidifying point (°C)	53.5～57.5	50～53	38～41
Average molecular weight	3000～3700	1900～2100	500～600
Specific gravity ²⁵ / ₂₅ °C	1.212	1.210	1.200

※ PEG1500 is the equivalent mixture of PEG1540 and PEG300.

PEG1540: Wax-like solid Solidifying point 43～46℃ Molecular weight 1300～1600

PEG 300 : Colorless transparent liquid Molecular weight 285～ 315

液に浸漬して同様な測定を行った。引き続いて同様な操作を 60%, 80% の PEG 水溶液中、最後に 100% 溶融液で行い、各段階において見かけ重量が一定になるまで続けた。各 PEG 水溶液の最終濃度は、初期濃度より -1% から最大 3% の増加となった。このようにして PEG1500, PEG2000 と PEG4000 をそれぞれ含浸させた試験片を作成した（増澤：1973）。さらに同様な処理を施した PEG4000 含浸試験片の表面の PEG をアルコールにより除去したもの（以後 PEG4000ST と記す）（増澤ら：1974）を別に用意した。以上の逐次 PEG 含浸法と比較のため、直接 100% PEG 溶融液に浸漬する直接含浸法を用いた試験片（以後 PEG4000M と記す）も作成した（増澤：1974）。

2.4 保管と経時変化測定方法

上記保存処理終了後、(1)1973~1977 年 1 月：奈良市鉄筋コンクリート 3 階建てビル、(財)元興寺仏教民俗資料研究所（現元興寺文化財研究所）本部 2 階、(2)1977~1982 年 1 月：生駒市鉄筋コンクリート 2 階建てビル、同研究所保存科学センター、(3)1987~2003 年：同所軽量鉄骨 3 階建てビル 2 階に保管してきた。保管は実験室並びに事務所の引き出し、あるいは金属ロッカー内で、薄いボール紙の箱に格納した。夏の最高気温は 34~35℃、冬の最低気温は 3~4℃で、冷暖房は勤務時間に行っているが除湿はしていないので、冬は結露する可能性もあった。なお、それぞれ試験片は互いに離して直接影響がないようにした。

一定期間ごとに外観観察と写真撮影を行い、同時に重量と寸法の測定を行った。PEG 含浸後、試験片の変形状態の計測は、図 1 に示すように、試験片の頂点（角）間の距離をノギスで計測した。

なお、測定初期では a は木材の髄をとる放射方向、b は木表の接線方向、また c, d はそれぞれ接線方向、繊維方向を示す。しかし経時変化により変形（湾曲）する場合は、a および b から求めた収縮率は放射方向、接線方向の正確な収縮率とは異なる概略値となる。

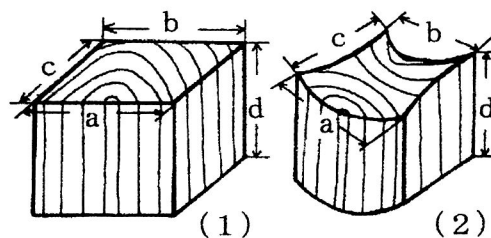


図 1 試験片の形状と寸法測定箇所

1. 試験片作成時 2. 収縮による変形時

Fig. 1 Shape of a waterlogged wooden sample and its measuring points

1. Shape of a sample just after PEG impregnation treatment

2. Shape of the sample left for a certain period after the treatment

3 結 果

3.1 出土木材の PEG 含浸処理

3.1.1 出土木材の PEG 溶液中での重量変化

出土木製試験片（以下試験片と記す）を PEG 水溶液ないしは熔融液に浸漬し、溶液中で測定した重量変化の例を、飽和現象を記述する近似式（飽和吸着式と以後略記）と共に図 2 に示す。大半の測定点が近似曲線に従う（逐次 PEG 含浸法において PEG 熔融液の含浸例を除いて、分散値：0.912 以上）ことから各浸漬時毎に見かけ上、外部溶液と飽和吸着平衡となっていると見なせることが明らかになった。近似式として次の 2 式を用いたが一部のデータを除き、両式による差は小さかった。

$$Y = ax / (b + x) + c \quad (1)$$

$$Y = a \{1 - \exp(-bx)\} + c \quad (2)$$

これらの式において、 Y , x は重量/g, 浸漬時間/day であり、 a , b , c はパラメーターである。

以下、溶液毎に述べる。

20%PEG 水溶液内では、外部水溶液の比重が PEG の比重を約 1.2 とすると大凡 1.04 となり、試験片内部の水の約 1.0 との差から試験片は、水溶液の浮力を受け重量は軽くなるため、測定値は見かけ重量である。この見かけ重量の変化から PEG の含浸状態を推定した。なお、見かけ重量の測定誤差は約 ± 0.005 g であった。

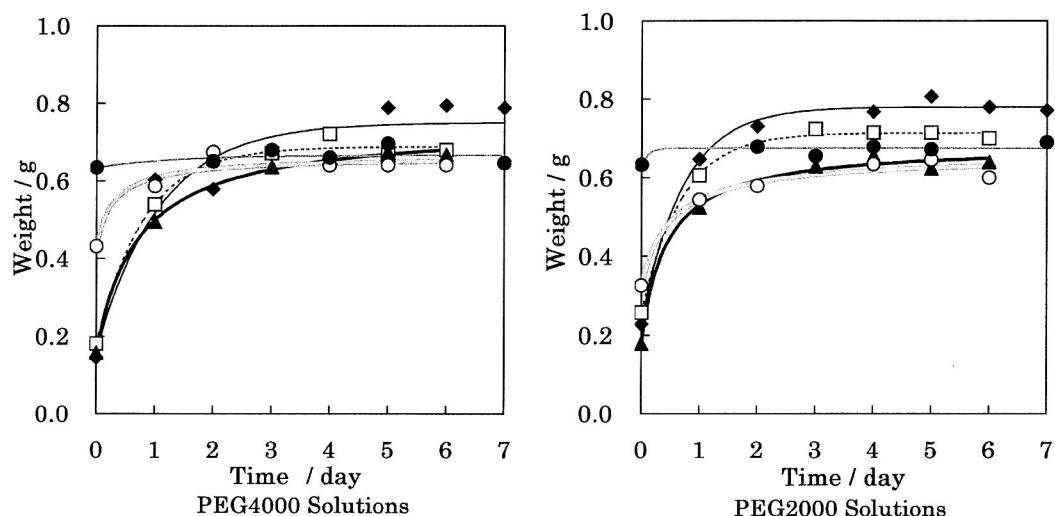


図 2 PEG 含浸時の水溶液または熔融液中の見かけ重量
PEG 重量濃度：◆20%，□40%，▲60%，○80%，●100%
近似式 1，2 による計算値：

—— 20%，----- 40%，———— 60%，- - - - - 80%，———— 100%

Fig.2 Monitoring of weight for waterlogged wooden samples in PEG aqueous solutions and in melt PEGs.
Concentration of PEG : ◆20%, □40%, ▲60%, ○80%, ●100%
Curves represent the values calculated from Eq. 1 or Eq. 2:

—— 20%, ----- 40%, ——— 60%, - - - - - 80%, ——— 100%

各試験片に各 PEG が飽和に達する時間は、20%PEG 水溶液中ではほぼ 4 日、40、60、80%水溶液で 2 日ないしは 3 日であった。各 PEG の溶液濃度を変えて順次含浸した結果、80%溶液への浸漬段階ではほぼ含浸飽和状態に達し、最終段階での PEG 溶解液への浸漬では浸漬時間が長くなっても重量増加は見られなかった。即ち 80%以上では PEG の含浸がなされたとしても極わずかであることを示していた（酒井：1991）。

しかし、PEG4000 の溶解液に直接浸漬した PEG4000M は繰り返し 5 回の浸漬をおこなったが、浸漬初日においては浮力のため溶解液上に試験片が浮き測定できなかった。1 日後には測定が可能となり約 5 日で重量変化がなくなった。2 回目以降の浸漬においては重量変化がほとんど見られなかった。

3.1.2 PEG 含浸処理操作の影響

PEG 含浸処理を行った直後の試験片と PEG 含浸後表面処理を行った直後の PEG4000ST ならびに比較例として PEG 含浸をせず水漬け状態からあげた直後の試験片（以後 Non-treatment と記す）の状態を写真 1 の保存処理直後の欄（0）に示した。外観したところでは、PEG4000 含浸試験片（以後 PEG4000 と記す）と PEG4000M は表面の PEG が固化し、ワックス様の黒光りした状態であった。一方、PEG4000ST は、木材の表面が現れ道管や広放射組織などが鮮明になり木質感が得られた。PEG2000 含浸試験片（以後 PEG2000 と記す）は暗く変色し艶が生じていたが、比較的表面の木材組織を見ることが出来た。しかし、PEG1500 を含浸した試験片（以後 PEG1500 と記す）は出土時の状態とあまり変化なく、濡れたスポンジ状であった。

寸法変化は一見ないように見えたが、正確に測定したところ図 3 に示すように若干の変化が見られた。PEG 含浸前後の各試験片の頂点間の寸法はバラツキがあるが、PEG4000M、PEG2000 の各試験片では各稜の長さ（図 1 の a, b, c, d）のいずれの方向においても寸法の増加が見られた。一方、表面処理した PEG4000ST は収縮する傾向にあった。PEG4000 は両者の間で a, b は増加 c, d は

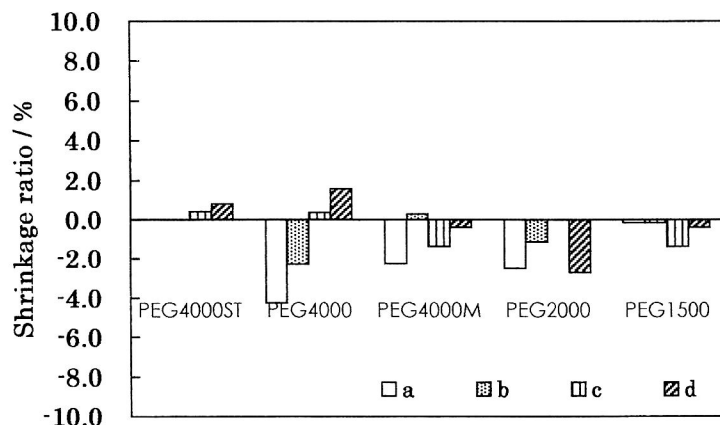


図 3 PEG 含浸前後の試験片の寸法変化

Fig.3 Influence of PEG impregnation on waterlogged wooden samples.

僅かな減少を示した。この理由は粘性のある溶融した PEG が試験片の表面に残存したことと、試験片が小さいために、見かけ上増加したものと考えられる。一方、PEG4000ST は表面の PEG が除去され、本来の木部が露出した状態にあり、PEG1500 は液体で流動性があり、表面に残留するものが少なかったと考えられる。しかし、いずれの寸法変化も小さく、PEG 含浸処理操作による大きな影響はないと言える。

3.2 PEG 含浸試験片の経時変化

3.2.1 各試験片の外観、重量と寸法の各変化

Non-treatment と PEG 含浸後 30 年間の木口面の変化を写真 1 に、重量減少率を図 4 に、また図 1 に示す各頂点間の距離 (a, b, c, d) の収縮率を図 5 に示す。なお、重量減少率ならびに収縮率は PEG 含浸処理終了直後の測定値を基準とした。一定時間を経た後の測定値の百分率である。また、Non-treatment は、水から上げ表面の水分を拭い去った直後の重量ならびに寸法に対する一定時間後の測定値の百分率で示した。これらの実験結果を経過時間毎に分け、各項目毎に以下に示す。

3.2.1.1. 無処理試験片と PEG 含浸試験片の室内保管における初期の比較

Non-treatment は水から上げると同時に乾燥が始まり、重量減少率が 3 日で 65%、10 日で 85% に達した (図 4)。収縮率も同様な動きを示し、わずか 10 日後の a, b, c, d の収縮率が、それぞれ 52, 70, 54, 15% となり、その後の 30 年間ほとんど変化が見られなかった (図 5)。一方、PEG 含浸した試験片はどれも 1 ヶ月間はほとんど変化がなかったことから、PEG 含浸処理は収縮防止に著しい効果があることが確認された (図 5)。

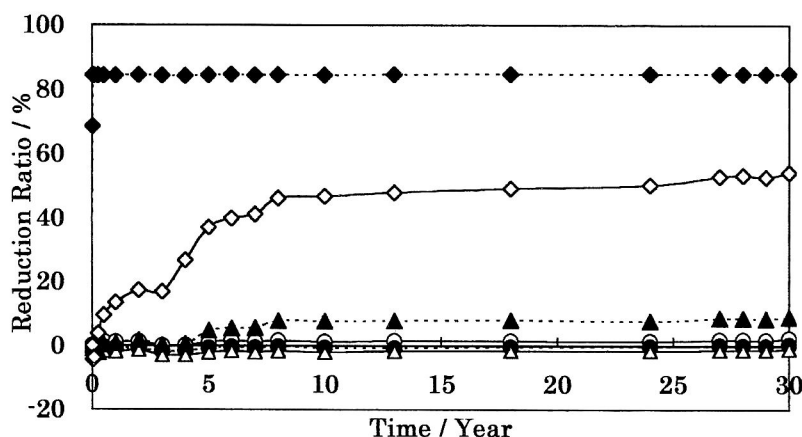


図 4 PEG 含浸試験片の 30 年間の重量変化

Fig. 4 Influence of conservation time on weight reduction ratio of waterlogged wooden samples with PEG impregnation over thirty years

.....◆.....Non-treatment —○—PEG4000ST ●.....PEG4000
 —△—PEG4000M ▲.....PEG2000 —◇—PEG1500

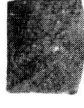
	Treatment Method (Sample Name)	Storage Period					
		0	3 months	1 year	7 years	13 years	30 years
1	Non (Non-treatment)						
2	PEG4000 Impregnation + Alcohol Washing (PEG4000ST)						
3	PEG4000 Impregnation (PEG4000)						
4	Melt PEG4000 Impregnation (PEG4000M)						
5	PEG2000 Impregnation (PEG2000)						
6	PEG1500 Impregnation (PEG1500)						

写真1 PEG 含浸出土木材の初期と30年にわたる経時変化

Photo 1 Appearances of waterlogged wooden samples in conservation over thirty years.

3.2.1.2 PEG 含浸後 1 年間の変化

外観の変化：表面の PEG4000 を除去した PEG4000ST はほとんど変化が見られなかったが、表面に PEG4000 が残る PEG4000, PEG4000M は高湿度の際湿り若干艶がでた。PEG4000 と PEG4000M は 1 年以内で僅かな衝撃で割れた。ただし、PEG4000M の破断面は凹面となり、内部で収縮し中空となっていた。

PEG2000 は、3 ヶ月後の梅雨時に吸湿し表面が濡れ、6 ヶ月後に木口面に細い放射状のクラックが芯を中心にして生じた。PEG1500 は吸湿性が激しく表面に水滴を生じ、それらが系外に流出して染みを作った。3 ヶ月後には濡れは消失し芯部が僅かに突出した。(写真 1)

重量減少率：Non-treatment は 10 日以降に 85%，PEG4000ST は 1.2%の重量減少率であった。表面に PEG を残す PEG4000, PEG4000M は 2 %以内の重量増加が見られた。PEG2000 は 3 ヶ月後

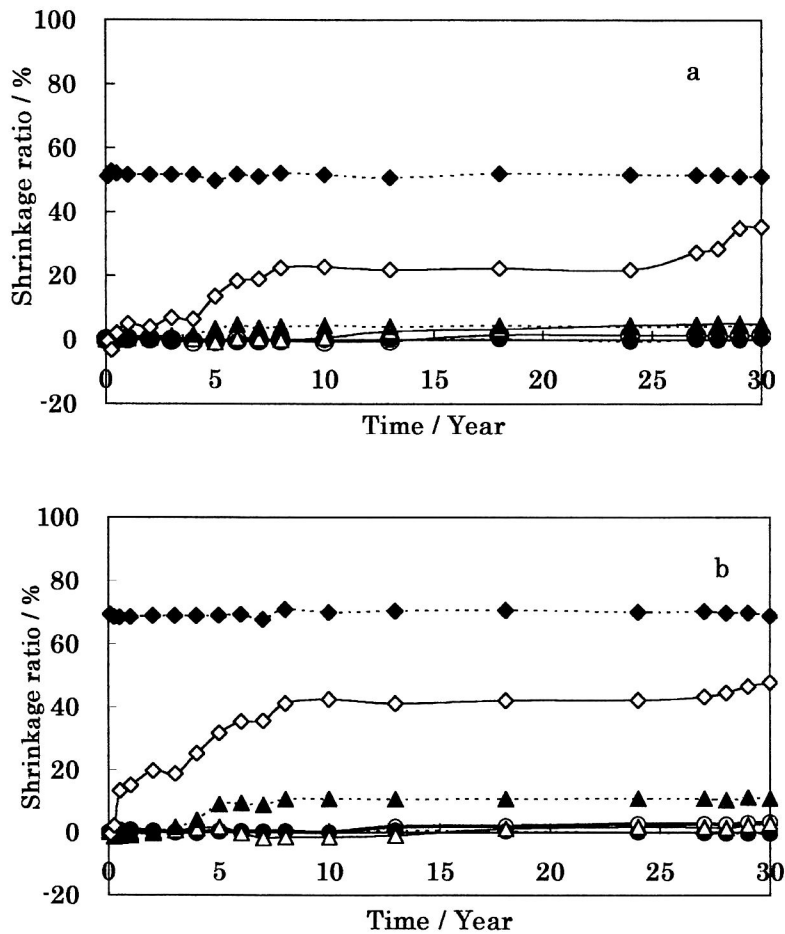


図5 PEG 含浸試験片の 30 年間の寸法変化：長さ a, b
Fig. 5 Shrinkage of waterlogged wooden samples over thirty years: lengths of a and b
The symbols are the same as Fig. 4

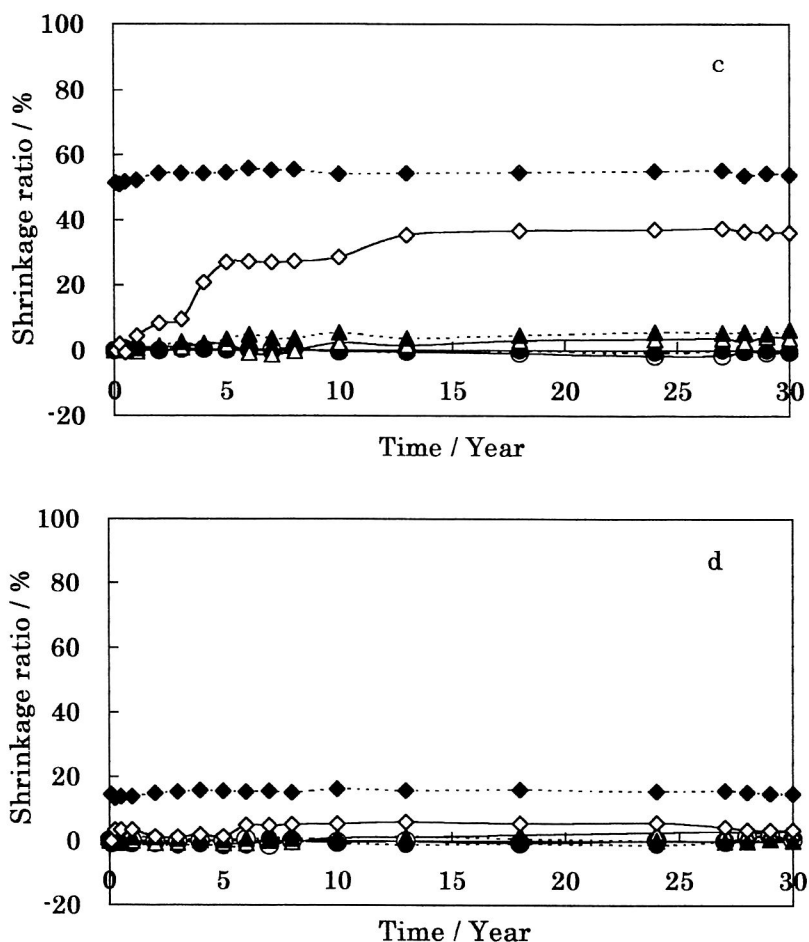


図5 (つづき) PEG 含浸試験片の 30 年間の寸法変化：長さ c, d
グラフ内の記号は、図 4 に準じる。

Fig. 5 (continued)

Shrinkage of waterlogged wooden samples over thirty years: lengths of c and d

までの 2.1%重量増加があり、6 ヶ月以降に重量減少に転じた。PEG1500 は、10 日後約 4 %の重量増加となり 1 ヶ月後まで続いたが、その後重量減少に転じ、減少率は 3 ヶ月後に 3.8%，さらに急激に減少して 1 年後には 13.4%に達した（図 4）。

各頂点間の収縮率：a, b, c は、PEG4000ST, PEG4000, PEG4000M 共に変化がなかった。しかし、d については PEG4000 が約 1 %の膨張率を示した。a は、PEG2000 が 3 ヶ月後に僅かな膨潤を示した後、6 ヶ月以降は収縮に転じ、PEG1500 は 3 ヶ月までは 3.2%の膨張率を示した後、6 ヶ月、1 年後にそれぞれ 2.1, 5.1%の収縮に転じた。b は、PEG2000 が 3 ヶ月後、約 1 %の膨張率を示したのに対し、PEG1500 は 2.1%の収縮率を示し、1 年後には 15.2%に達した。c は PEG2000 に変化がなく、PEG1500 が 6 ヶ月後に僅かな膨潤が見られた後、1 年後に 4.5%の収縮に転じた。d は、PEG2000 が変化なく、PEG1500 が 3 ヶ月以降 3.4%の収縮率を示した（図 5）。

3.2.1.3 1年後から10年後までの変化

外観の変化：PEG4000ST, PEG4000, PEG4000M は大きな変化はなかった。PEG4000ST は、多湿時、暗色になることがあった。一方、PEG4000, PEG4000M は吸湿してねっとりした感じとなった。PEG2000 は放射状のクラックの幅が増大し、3年後、5年後、7年後に表面に吸着した水滴が系外に浸出し染みを作った。PEG1500 は、芯部の突出が進行し Non-treatment と同じ形状を追った。

重量減少率：PEG4000 含浸試験片では、PEG4000ST の重量減少率はほぼ1%台であり、PEG4000, PEG4000M は1～2%重量が増加する傾向があったが、共に大きな変化はなかった。PEG2000 は4年後までは変化がなかったが、それ以降減少率が増大し5%から7%台になった。PEG1500 は3年後に減少率が10%台であったが、4年後から9年後にかけて著しく増加し47%に達した(図4)。

各頂点間の収縮率(図5)：

a：PEG4000 を含浸したものはほとんど変化なく良好であった。PEG2000 は4年後から収縮し6年目で収縮率は4%台に達した。PEG1500 の収縮率は3年後には7%、8年後には22%に達し、その後変化がなかった。

b：PEG4000 を含浸したものは大きな変化はないが、PEG4000M は10年間に収縮、膨張と数%内で変化した。PEG2000 は3年後から5年にかけて11%の収縮率となり、以後変化がなかった。PEG1500 は3年後19%から急激な収縮を生じ8年後41%に達した。

c：PEG4000 を含浸したものは大きな変化はないが、PEG4000M は4、5年後収縮、6、7年後膨張、10年後収縮と変化をした。PEG2000 は5年後に3%を超え、以後3～5%の間で推移した。PEG1500 は3年間で8%収縮した後、4、5年後に20～27%台へと急激な収縮を生じ、以後10年後まで変化がなかった。

d：PEG4000 を含浸したものは大きな変化はないが、若干膨張する傾向にあった。PEG2000 は変化がなかった。PEG1500 は4年後まで大きな変化はなく、5年後にほぼ5%となった。

3.2.1.4 10年後から30年後までの変化

外観の変化：PEG4000ST は高湿度が続くと暗色化したが、ほとんど変化がなかった。PEG4000 はエッジや表面の一部にクラックが入り、それが白化したが大きな変化はなかった。PEG4000M は、27年後以降、側面のエッジ部分から中央に向かって面がくぼみ、凹面となったことが観察された。PEG2000 はクラックの幅に変動が見られた。PEG1500 は7年後以降肉眼では大きな変化はなかったが、Non-treatment の形状変化に追従し、高湿度が続くとPEGが浸出して系外に出、次第に湿潤さを失い、29年後まで手で押せば潰れる状態にあった。30年後には湿った感じを残すが、かなりの乾燥により、押して潰れるような状態ではなかった。

重量減少率：PEG4000ST は1%台の重量減少率を保ち、一方、PEG4000 は初期重量とほとんど変わらず、PEG4000M は1%の重量増加率の状態を保ち変化がなかった。PEG2000 は7、8%台を

維持したが、PEG1500 は 10 年後の 46%台から 24 年後に 50%台に達し、30 年後 54%を越えた。
(図 4)

各頂点間の収縮率 (図 5) :

a : PEG4000 は初期のまま、PEG4000ST は 1 %台、PEG2000 は 4 %台で大きな変化はなかった。
PEG4000M は次第に収縮し 27 年以降は 5 %前後に、PEG1500 は 22%前後であったが、24 年以後収縮が進行し 29 年後 35%を越えた。

b : PEG4000ST は、18 年後から 2 %台、29 年後に 3 %の収縮率であった。一方、PEG4000 は変化がなかった。

PEG4000M は、-1.5%の膨張から次第に収縮し、30 年後には 3 %となった。PEG2000 は約 11%の収縮の状態を保った。PEG1500 は、収縮率が 24 年後まで 42%前後を維持し、以後 48%まで増加した。

c : PEG4000ST と PEG4000 は変化がなかった。PEG4000M は収縮率 1.5%から 4.3%の間を上下した。PEG2000 はほぼ 5 %を維持した。PEG1500 は 10 年後から 13 年後にかけて 29%から 35%に増加し、その後 36~37%台であった。

d : PEG4000ST, PEG4000, PEG2000 とともに変化がなかった。PEG4000M は 24 年以降約 3 %の収縮率であった。PEG1500 は 24 年まで 5 %台で、その後 29 年に向けて 3 %台に減少した。

3.2.2 PEG 含浸試験片の変化

以上の測定結果より、総合的に各処理方法を比較した。

1, Non-treatment : 水から取り出すと同時に乾燥し始め、重量減少と相まって著しく収縮した。接線方向で 50%以上、繊維方向で 14%の収縮率は、健全な一般木材のそれぞれの収縮率が 10%, 1 %以内であること (平井ら : 1953) に比べ著しく高い。一般木材が乾燥する際、板目板は反りを生じる場合があり、木裏が凸面に木表が凹面に湾曲する。この出土した 660%の水分を含む試験片はその特徴を有し、一般木材とは比較にならない程著しい湾曲を生じ (写真 1 ならびに図 5 の a, b), 原形を全く維持できなかった。また、一旦収縮・変形した後は変化がほとんど見られなかった。

2, PEG4000ST : 室内が高湿度の際には僅かに暗色化したが、30 年間重量、寸法ともに大きな変化がなく良好であった。ただし、木表にあたる b の収縮率が 13 年後から 2 %台、30 年後 3 %で、肉眼では確認できないが、僅かな収縮を生じている。

3, PEG4000 : 湿度が高いときに表面が湿りぬめりがあり、乾燥したときには表面の PEG にクラックが入り線状に白化したところが見られたが大きな変化はなかった。1 年以内で僅かな衝撃で割れたが変形などは見られなかった。

4, PEG4000M : 1 年以内でわずかな衝撃で割れ、その破砕面が両者とも凹面となり内部に空間ができ収縮が認められた。多湿時には吸湿しぬめりがあり、重量ははじめ僅かであるが増加したが、10 年後位から次第に収縮して、30 年目では a, c が 4 %前後、b, d が 3 %収縮した。27 年後以降、側

面のエッジ部分から中央に向かって面が落ち込み窪んだ。

5, PEG2000: 3 カ月までは良好で、その後多湿時に吸湿し重量増加と水滴の付着があり膨潤した。浸出した PEG を含む水滴が箱に染みを作った。その結果重量が減少し、半年後多数のクラックが放射状に発生した。5 年後に収縮率が a, c で 4 % 以上, b でほぼ 9 % に達した。10 年後以降はクラックの幅が増大した。このことから後述する PEG1500 のように収縮するのではなく、クラックの発生と広がりから外形が保たれると推定した。しかし重量が減少するに従い、形状は PEG1500 ほどではないが PEG1500 と同様の軌跡を辿っている。すなわち芯部分が飛び出し木表が凹面に湾曲しつつある。

6, PEG1500: 1 ヶ月以内で吸湿し滴を生じ PEG1500 が浸出し系外に出、染みを作った。3 カ月後には表面の水分は減少し急激な重量減少が見られ、芯部が僅かに突出した。a, b は膨潤を続け 3 ヶ月後をピークに収縮に転じ、急速な収縮が 10 年後まで続いた。その後はゆるやかで、それぞれ、22~23% と 42% 前後の収縮であったが、25 年後以降 a, b の収縮が進行し、自然乾燥した試験片と同様な形状となった。

4 考 察

本来、木材の寸法安定性を判断するには、切り出す試験片に比べ大きな直径の木を選び、柾目、板目、繊維各方向が他の要因に左右されることなく測定出来る木取りが求められる。しかし、本試験に用いた出土木材は、直径数 cm の自然木の丸太材であり、必ずしも適したものではなかった。その理由は、この実験に着手した 1972 年当時は、出土した自然木などを手に入れること自体、非常に困難であった。したがって試験片の作成にあたっては限られた自然木を用い、試験片を作成したが、木裏、木表の湾曲のため a と b の測定値からは正確な歪みを得ることは出来なかった。しかし、写真 1 に示すように形状変化を相対的に掴むことが出来たと考える。

30 年に亘る PEG 含浸試験片の経時変化を追った結果、各 PEG4000 含浸試験片は、PEG2000 や PEG1500 を含浸したものに比べると変化は小さかった。中でも PEG4000ST は、(1) 木表側の板目方向の僅かな収縮が 30 年の間に観察されたが、全体的に寸法安定性が良好であること、(2) 表面処理により表面の残存 PEG を除去して木質感を得ることができること、(3) 多湿時の水分付着が少ないこと、(4) 外観上最も安定した状態で良好であったことなどの点から、PEG 含浸処理法の中では、最も優れた処理法であることが明らかになった。PEG4000 は表面上の PEG が吸湿し軟らかくなったり、乾燥により部分的に表面の PEG にクラックを生じたりしたが、寸法安定性は最も優れていると判断される。

一方、直接 PEG4000 の熔融液に浸漬して含浸したものは含浸時、PEG の浸透速度よりも速い速度で内部の水分が外部の PEG 中に浸出するため、木材自体が収縮し(酒井:1991)、内部で落ち込みによる割れを生じた。外見上は 20 数年間寸法安定性が良いように見えていたが、その後、試験片の

側面が凹面となり、20 数年を経た後に B.B.Christensen (1970) の報告にあるように、木口面のみ収縮が少なく、木口面から中央に向かい凹んで鼓型になったと判断できる。したがって直接溶融液に浸漬することは不適切であることが確認できた。なお、寸法測定個所が試験片の頂点間の距離を測定しているため、この測定法による値のみではその間にある稜あるいは面の変化を掴めなかったと考えられる。

PEG2000 含浸試験片の結果は次のように考えることができる。すなわち PEG4000 含浸試験片より吸湿性が高く、多湿時の吸湿により PEG の一部が溶解して木材を膨潤させる。さらに PEG2000 が吸湿して表面に滴を作り、それに浸出した PEG とともに系外に染みとなって流れ出る。これによって含浸された PEG が減少し、次に乾燥する際、細胞壁の収縮と PEG の固化を生じ、弱い部分が引っ張られ亀裂が生じたものと推定されるが、その機構については今後の課題である。経時変化に伴い、芯部分が飛び出し木表が凹面に湾曲しつつあることも含めて、我が国においては必ずしも適するとはいい難い。1 はじめに述べたこけら経の PEG1540 ならびに PEG2000 で処理したものは、紙に挟んで固定しているうちはよいが、大気中に晒すと吸湿して撓み変形することが確認されている。

PEG2000 と PEG1500 は共に PEG の吸湿性による膨潤が見られたが、PEG1500 の方が PEG2000 に比べ吸湿性が大きく、早い時期に PEG が水滴に浸出し系外に出たため、3 ヶ月後には、重量の増減に大きな差が生じ、また PEG2000 は放射状の割れが、PEG1500 は芯の突出を生じたものと判断される。

PEG1500 の含浸は、文献(岩崎ら：1969)などの報告にあるように、温度をかけずに簡便に保存処理を行うことができるため、保存処理設備のある場所(本実験を開始する時点では我が国に PEG4000 含浸槽がなかったか、またはごく限られた機関のみに設置されていた)に遺物を移動することなく、処置を取ることができることから当時多くの場所で実施されていた。しかし、本結果は保存処理をせず自然乾燥したものと比較したとき、時間的に遅くはなるが、ほぼ同一の変化過程を経て変形している。本例から判断する限り、酒井等が提案した劣化した細胞壁実質の体積減少率が 50% 以上の場合(酒井ら：2001)には、PEG1500 含浸処理は負の要素が高く長期的な保存効果がないといえる。

PEG1500 の 60%RH、80%RH における飽和吸湿水分がそれぞれ 12、34wt%、一方では PEG4000 の 2.2、5.0wt%である(三洋化成工業株式会社：1978)。前者について高湿度の場合には 30%以上の吸湿水分を取り込むことにより、試験片に見られたように次第に系外に PEG が浸出した結果、PEG の存在により形態を保っていた試験片が PEG ならびに水分を失い、細胞壁の収縮と落ち込みを生じ変形したと考えられる。しかし、PEG、吸湿水分、細胞壁の関係は定かではない。また、上述のように PEG4000 の吸湿水分は少ないがねっとりした感じはこの吸湿によるものである。PEG4000ST では、表面には直接 PEG が付着しておらず、木材組織の中にあることから多湿時、吸湿により多少は暗色化したが、ねっとりした感じはなく安定していたと考えられる。

PEG 含浸出土木材の保管上の安定性を試験する目的で、21℃でそれぞれ 58%RH、75%RH、88%RH のデンケーター内部と元興寺の収蔵庫内に、PEG4000ST と同様に PEG4000 含浸後、表面処理した試験片を置いて観察した結果、85 日間のうち 21℃、75%RH では 32 日にして PEG が浸出し濡れた感じとなり、88%RH では 14 日で浸出するか、または水分付着を生じた。しかし元興寺収蔵庫においてはこのような変化はなかった（増澤ら：1975）。これはある環境下、例えば 79.2%RH におかれたとき、20 日をかけて緩いカーブを描きながら吸湿水分が 4 %まで上昇すること（三洋化成工業株式会社：1978）から、日常の環境では温湿度が変化しており長期にわたり多湿状態が続かないため、著しい変化を生じる前に元の状態に戻ったものと考えられる。また別の例として、冬の暖房

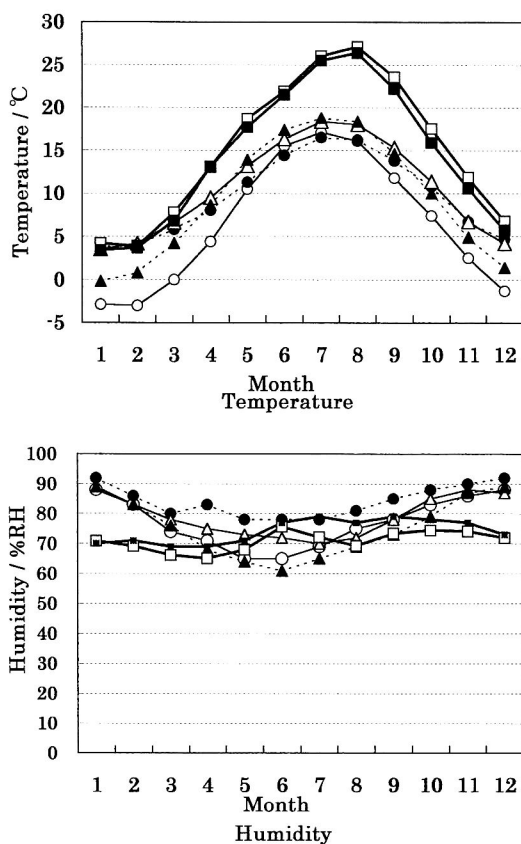


図6 奈良とヨーロッパの主要都市における温湿度の比較

ヨーロッパの都市と奈良：1961～1990 年の平均温湿度（理化学年表（2000）丸善）

生駒市：1996～2000 年の平均温湿度（生駒市消防本部）

—■—奈良 —□—生駒 —○—ストックホルム
 ...▲...ベルリン —△—パリ ...●...ロンドン

Fig. 6 Comparison of monthly average temperature and humidity between Nara area and European area.
 European Cities and Nara City: Averages from 1961 to1990 quoted from Rika Nempyo edited by
 National Astronomical Observatory (2000) Maruzen Co. Ltd.

Ikoma City: Averages from 1996 to2000 offered by the Fire Defense Head Quarter of Ikoma City

—■—Nara —□—Ikoma —○—Stockholm
 ...▲...Berlin —△—Paris ...●...London

設備のみを供えた空調のないプレハブの建物の棚に PEG4000 含浸出土木製遺物 9 点を 2 年間おいて、表面状態と寸法変化を追跡した結果、1 年周期で温湿度に合わせ膨潤・収縮を繰り返す現象が見られ、かつ高温湿度の日が長く続くと、一部の遺物が濡れたような状態で黒く変色したが、乾燥してくると元の色調に戻った（植田ら：1989）。この例も同様な現象が生じていると考えられる。これらの例からも PEG4000 を含浸後、表面処理することは質感の安定性についても良好であることが確認された。

以上の評価を持って PEG 含浸処理が大々的に行われてきたヨーロッパと比較するとき、1 年を通じた気候では図 6 に示すように、奈良、生駒はヨーロッパの主要都市に比べ平均気温が年間を通じて数度以上高く、特に夏を中心として約 10℃高い。一方、ヨーロッパでは夏を中心に暑い時期に湿度は低く、その値は奈良・生駒の夏と同様または低い位で、秋から冬にかけて高くなり 80%を越え 90%に近い。デンマークのロスキルドのバイキング船、ならびにストックホルムの WASA 博物館の 1628 年に沈没し、1958 年に引き上げられた軍艦 WASA の一部で PEG4000 を含浸した遺物などは、1979 年、博物館の展示場のオープンスペースに展示されているにもかかわらず良好な状態を保っていた。前述の B.B.Christensen によると、PEG1500（ヨーロッパにおける PEG1500 は我が国のものと異なり、分子量がほぼその数字を示す）と PEG3000 は、大気湿度上昇に伴い、重量増加する傾向にあるが、PEG4000 は湿度 83%以下では水分吸収がない。デンマークでは屋内で関係湿度が 83%を越えることは希である。そのため、国立博物館では、空調の有無に関わらず使用に耐えているとしている（Christensen：1970）。

我が国と比較すると、図 6 に示したようにヨーロッパの年間の平均湿度はむしろ高いが、湿度の影響が少ない冬を中心とした低温時に湿度が高く、夏場に比較的低くなり、温度が奈良・生駒より 10℃も低いことが PEG 含浸木製遺物を安定した状態で展示できる環境にあると考えられる。このことは、前述の PEG4000 を含浸した出土木製遺物の経時変化を追った結果、遺物の膨潤・収縮と絶対湿度との間に相関性があるとする考えに一致する（植田ら：1989）。したがって、我が国の場合、夏場の温湿度の高さが PEG 含浸遺物に影響を及ぼすと考えられ、安定性に問題が生じることが懸念された。しかし今回の実験により、PEG4000 含浸後、表面処理したものは 30 年間なお良好な保存状態を維持し続けていることを明らかにできたことは評価に値する。

軍艦 WASA 号の保存処理法を検討するために、各種の PEG の選択に携わり実際に保存処理を進めた B.Håfers は、将来に向けて検討すべきは、遺物が置かれる場所の気象状況を考慮する必要があるとしている（Håfers：1990）が、今回の結果はそれに対する一つの回答となるものといえる。

ところで、過去、PEG 含浸処理に際して、拡散モデルを用いた処理時間を推算する簡便式ならびに針葉樹、広葉樹を用いて有効拡散係数が求められている（河越ら：1990, 1991）。今回、PEG 含浸過程が飽和吸着式で近似できたことは、今後、湿润木材処理の予測やシミュレーションを行う際や含浸プロセスに、新しい観点から研究の手がかりを与えるものである。なお、近似式の詳細な物理的意味については今後の検討課題である。

また、PEG 含浸後 30 年に渡る研究結果は、これから必要となる保存過程予測のシミュレーション研究のために欠くことのできない基準データベースとなるため、この分野の発展に寄与することになると予想される。

なお、本研究に用いた試験片は、新しい PEG 水溶液への浸漬時間が 1 カ月余と短いため PEG の分解などが無く、低分子化による吸湿性などは生じなかったと考えられる。しかし、実際に出土遺物を処理するには、室温ないしは低温加熱の場合には生物劣化により（木川ら：2002）、長期に渡る同一溶液内への浸漬や繰り返し使用の結果、含浸溶液の PH の低下や酸価の増加が生じ（増澤ら：1995）、PEG の溶液中での分解が懸念される（Bitz et al：1993）。したがって実際に行われているが、保管・展示するには湿度調整が求められることを考慮に入れねばならない。または、PEG 含浸に際して酸化防止剤などによる PEG の分解防止処置の慎重な検討が求められる。

5. 結 論

出土木製品は数百%から 1000%を越える含水率のものをも含み、軟らかく、乾燥により著しい収縮を生じ、本来の形状が分からなくなるほど変形する。その防止処置として、我が国では、初期、PEG2000、PEG1500 など低分子のものと、ヨーロッパで開発・普及していた PEG4000 の両含浸法が併存していたが、現在も後者が最も普及している。ヨーロッパに比し、高温多湿のモンスーン気候の我が国において、水溶性でかつ吸湿性のある PEG 含浸出土木製品の長期安定性が懸念された。そこで、含水率の高いカシ材を用い、PEG 含浸条件と 30 年間に亘る経年変化を追跡した。PEG 含浸時における溶液内の重量増加曲線は、飽和吸着式に良く合い（図 2）、今後の PEG 含浸処理の研究に寄与するものと期待される。

PEG 含浸処理により初期の寸法安定性は確保された（図 3）。しかし、PEG1500、PEG2000 を含浸したものは吸湿し、表面に水滴を生じ、PEG が系外に浸出して、前者は著しい収縮を、後者は放射状の割れを生じた。PEG4000 を含浸したもののうち、溶融液に直接浸漬したものは時間が経つに連れ、木口面から離れた内部に収縮を生じ適さないことが判明した。それに対して PEG4000 水溶液から段階を追って溶融液まで浸漬した試験片は、30 年間収縮がほとんどなく良好であった。特にアルコールにより表面の PEG を除去して質感を表出したものは、多湿時に暗色化することがあったが、最も良好で、ヨーロッパに比し、高温多湿の我が国でも適することが判明した（写真 1，図 4，5）。ただし、本実験は短期間の PEG 溶液への浸漬時間であったため、PEG の劣化による低分子化などがなく良好であったと考えられる。現実現場で保存処理を行う際には、PEG 溶液への長期に亘る浸漬、長期に亘る PEG 溶液の加熱利用により PEG 劣化の影響が報告され、現実には結露などが生じており、これらを考慮した対策が求められる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、その機会と場を与えて下さいました（財）元興寺文化財研究所、ならびに出土木材を提供いただいた東大阪市瓜生堂遺跡調査会主任、中西靖人氏（現帝塚山大学短期大学部助教授）ならびに生駒市の温湿度データを使わせていただいた生駒市消防署に深謝すると共に樹種同定をして頂いた故嶋倉巳三郎奈良教育大学教授（当時）、写真撮影と図化にご協力いただいた（財）元興寺文化財研究所、大久保治氏、中村真知子氏には心から謝意を表します。

註：（財）元興寺仏教民俗資料研究所保存科学研究室紀要 [2] pp 5-14(1973), [3] pp52-58(1974), 元興寺文化財研究 [13], 第3回古文化財科学研究会講演会大会（1981）,（財）元興寺文化財研究所創立三十周年記念誌（1997）, マテリアルライフ学会第11回研究発表会（2000）, 8thWOAM Conference 2001 で発表した結果をもとにそれ以後の経過を含め再検討を加えまとめたものである。

文 献

- 伊藤健司（2002）奈良県橿原市における保存処理後遺物の現状と課題，元興寺文化財研究 [82]：14-18
- 伊藤健司，植田直見，大国万希子，米村祥央，藤田浩明（2001）保存処理遺物の経年調査（1）日本文化財科学会第18回大会研究発表要旨集：190-191
- 井上美知子，植田直見，川本耕三（1997）脂肪酸エステル法による出土木材の保存処理実験報告，日本文化財科学会第14回大会発表要旨集：152-153
- 今津節生（1993）糖アルコールを用いた水浸出土木製品の保存（1），考古学と自然科学，[28]：77-95
- 岩崎友吉，樋口清治（1969）木製品の保存処置（第1報）—平城宮跡出土木簡などについて—，保存科学 [5]：1-20
- 植田直見，増澤文武，山口誠治（1989）出土木製品の保存処理後の経時変化，元興寺文化財研究 [32]，（財）元興寺文化財研究所：4-8
- 岡田文男，肥塚隆康，沢田正昭，吉田秀男（1992）脂肪酸エステル法による出土木材の保存処理，古文化財之科学 [37]：12-20
- 川越幹男，石垣昭（1990）遺跡出土木材の PEG 含浸処理に関する理論的考察，考古学と自然科学 [22]：95-102
- 川越幹男，石垣昭（1991）遺跡出土木材への PEG 含浸速度に及ぼす樹種，PEG 濃度，及び温度の影響，考古学と自然科学 [23]：1-11
- 川本耕三，木村健治，大国万希子，井上美知子，植田直見（1997）脂肪酸エステル法による出土木製品の保存処理実例報告，日本文化財科学会第14回大会発表要旨集：150-151

- 木川りか，横田明，西尾太加二（2002）出土木材 PEG 含浸槽における PEG 分解菌，考古学と自然科学 [44]：77-88
- 木下忠（1962）伊豆/山本遺跡—弥生時代木製品の研究—築地書館：57
- 五嶋孝吉，黒田敏子（1965）元興寺極楽坊総合収蔵庫（第1収蔵庫）建設報告，元興寺：41
- 五嶋孝吉，黒田敏子（1968）柿経の保存に関する研究，元興寺仏教民俗資料研究所年報 1967，（財）元興寺仏教民俗資料研究所：17-20
- 五嶋孝吉，坂田敏子（1969）埋蔵木片の保存に関する研究Ⅲ—薄い木片の PEG による保存処理及び EDTA による変色防止について—，元興寺仏教民俗資料研究所年報 1968，（財）元興寺仏教民俗資料研究所：1-6
- 酒井温子（1991）出土木材へのポリエチレングリコールの含浸速度について，元興寺文化財研究[34]，（財）元興寺文化財研究所：3-12
- 酒井温子，今津節生，横山操（2001）出土木材の乾燥に伴う収縮率の予測（1），考古学と自然科学 [42]：15-33
- 沢田正昭（1973）考古資料保存の科学的研究（I）—木簡をはじめとする木製遺物の保存法について—，奈良国立文化財研究所研究論集 I，奈良国立文化財研究所：1-38
- 三洋化成工業株式会社（1978）PEG Cat No. J-0205(P)
- 辻村泰圓，水野正好（1962）南都元興寺極楽坊中世信仰資料包蔵坑発掘調査概要，大和文化研究 7 [1]：1-24
- 平井信二，北原覚一（1953）木材理学，朝倉書店：33-55
- 増澤文武（1973）埋蔵木材の PEG 含浸処理に関する実験（I），保存科学研究室紀要，（財）元興寺仏教民俗資料研究所 [2]：5-14
- 増澤文武（1974）PEG 含浸処理した出土木材の経時変化，保存科学研究室紀要，（財）元興寺仏教民俗資料研究所 [3]：52-58
- 増澤文武，馬留順子（1975）保存科学研究室紀要 [4]，（財）元興寺仏教民俗資料研究所：47-50
- 増澤文武，北野信彦，植田直見（1993）大修羅の保存処理（概要報告），元興寺文化財研究 [46]：2-12
- 増澤文武，北野信彦，菅井裕子，井上美知子，植田直見（1995）PEG 含浸槽内の PEG 水溶液の劣化，保存科学研究会集 95，奈良国立文化財研究所考古科学研究会：24-25
- 増澤文武，松田隆嗣（1974）PEG 含浸出土木材の表面処理による黒化の除去と質感の保持，保存科学研究室紀要，（財）元興寺仏教民俗資料研究所 [3]：47-51
- 松田隆嗣（1977）アルコール・エーテル・樹脂法の応用，保存科学研究室紀要 [6]，（財）元興寺仏教民俗資料研究所：1-3
- 松田隆嗣（1987）昭和 61 年度国庫補助による出土遺物の実態調査報告書（財）元興寺文化財研究所：3-8

- 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, 保存科学研究室紀要 [5], (財) 元興寺仏教民俗資料研究所: 1-3
- Bitz,M., Dean,L., Grattan,D.W., McCawley,J.C. & L.,McMillen. (1993) A study of the thermal breakdown of polyethylene glycol, Proceedings of the 5th ICOM group of Wet Organic Archaeological Materials Conference : 167-197
- Choi,K.N. (1988) The Conservation of the Shinan Shipwreck, The Conservation of Far Eastern Art, IIC : 101-102
- Christensen,B.B. (1970) The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark, The National Museum of Denmark
- Grattan,D (1987) Waterlogged Wood, Conservation of Marine Archaeological Objects, Butterworths : 55-67
- Håfers,B. (1990) The Role of the Wasa in the Development of the Polyethylene Glycol Preservation Method, Archaeological Wood, The American Chemical Society : 195-216
- Hoffmann,P (1986) Studies in Conservation [31] : 103-113
- Kramer,W. & Mühlethaler,B. (1971) Zeischrift für Schweizerische Archaeologie und Kunstgeschichte 25 [2] : 38-48
- Morén,R.E. (1966) MODO Technical Information, [82]

(2003 年 6 月 23 日受付, 2003 年 11 月 6 日受理)

Change of waterlogged wood over thirty years after PEG treatment

Fumitake MASUZAWA¹⁾, Shigeyoshi MIYAGISHI²⁾

1) Gangoji Institute for Research of Cultural Property ret.

3 -17 Shijoojiminamimachi, Nara 630-8015, Japan

2) Department of Chemistry and Chemical Engineering, Faculty of Engineering,

Kanazawa University, 2 -40-20 Kodatsuno, Kanazawa, Ishikawa 920-8667, Japan

The article sets focus on finding the best PEG impregnation method for the long-term stable conservation of waterlogged wooden objects in Japan. Several test specimens made of oak from 3rd-5th century, of which humidity was 660%, were impregnated with PEG4000, PEG2000 and PEG1500, respectively. They were held in a cardboard box of a laboratory in Nara. Appearance, weight and length for each sample have been recorded continuously for thirty years.

The specimens impregnated with PEG4000 in the stepwise sense were the most stable for preservation over 30 years. Specially, eliminating PEG4000 from its surface gave natural wooden texture in addition to the stability. However, the sample immersed directly in 100% molten PEG4000 cracked and bent concavely. Impregnation with PEG2000 or 1500 was found to be unsuitable in Japan. Because the room humidity was absorbed into the PEG impregnated at the specimen surface, which gradually became wet and finally the PEG went out from the specimen together with water droplets. As the result, their cracking and shrinkage were accelerated for the specimens treated with PEG 1500 or PEG2000. It is concluded from the study over 30 years that impregnation with PEG4000 in the stepwise sense is most recommended for the long-term conservation of the waterlogged woods in Japan