

# 出土水浸木材の保存処理後の安定性〔第2報〕

— 環境湿度変化による寸法変化(2) —

西 浦 忠 輝・今 津 節 生\*

## 1. は じ め に

水浸の状態で見出された出土木材の保存処理法は、19世紀にヨーロッパで開始されたミョウバン法にはじまり、1950年代には PEG 含浸法、アルコール・エーテル樹脂法、凍結真空乾燥法などが考案され実用化されてきた。我国でも、近年の発掘調査の増加に伴って、保存処理を必要とする出土木製品が膨大な数に上っており、PEG 含浸法を中心に様々な方法によって保存処理がなされている。今日のように大量の水浸木材がさまざまな方法で処理されている状況では、各種の保存処理による変化や処理後の安定性、さらには処理後の保管条件についての研究が必要である。そこで、筆者らは、種々の保存処理法について、処理に伴う材の変化や処理後の材の安定性を比較検討することによって、より良い保存処理法の選択や処理後の保管管理上の留意点を探ることを目的に研究を開始した。前報ではその第1報<sup>1)</sup>として、6種類の方法で処理した水浸木材について環境湿度の繰返し変化に伴う寸法変化を計測した結果を報告した。本報は、前報での6種類の保存処理法に、更に3種類を加えた9種類の方法で保存処理した水浸木材試験片について、環境湿度（繰返し変化、低湿下、高湿下）と寸法変化との関係を計測した結果を報告するものである。

## 2. 実 験

### 2-1 実験方法

#### 2-1-1 実験用水浸木材

水浸木材試料として福島県大沼郡三島町荒屋敷遺跡の縄文時代晩期（約2400年前）の地層から出土したトチノキの自然木（直径約50cm、長さ100cm：含水率約580%）を用いたが、これは前報での実験に用いたものと同じである。木口面50×50mm、繊維方向7mmに切断して試験片とした。木口面は紙やすりをかけて可能な限り平滑にした。試験片は各々の処理法についてそれぞれ4個作成した。

#### 2-1-2 保存処理方法

〈2-1-1〉の試験片を以下に示す9種類の方法で保存処理した。尚、実際の処理工程を表-1に示す。

##### A：PEG 含浸法

60°C に保った PEG (#4000) の水溶液に試験片を浸漬し、溶液の濃度を20%～100%に漸次上げながら木材内部の水分をほぼ完全に PEG に置き換えた。

##### B：t-ブタノール・PEG—真空凍結乾燥法

試験片の水分を徐々にt-ブタノールに置き換えて脱水し、さらに、PEG (#4000) を60%まで加えて浸漬した後、真空凍結乾燥。

\* 奈良県立橿原考古学研究所

表-1

| 試験片 | 溶液処理工程  | 乾燥方法   |
|-----|---|--|
| A   | PEG : 20→40→60→80→100% (8~10日毎に交換) <60℃>  |  |
| B   | トブタノール : 40→60→80→100% (3日毎に交換) <常温><br>PEG : 20→40→60% (3日毎に加える) <常温>  | -40℃凍結 (1日) →真空乾燥 (1日)                         |
| C   | マンニトール : 20% (7日) <常温>  | -40℃凍結 (1日) →真空乾燥 (1日)                         |
| D   | マンニトール : 20% (7日) →40% (7日間) <常温→50℃><br>PEG : 80% (2日) <60℃>   | 自然乾燥 (1ヶ月以上)                                   |
| E   | マンニトール : 20% (7日) <常温><br>PEG : 50% (3日) <常温>   | -40℃凍結 (1日) →真空乾燥 (1日)                         |
| F   | マンニトール : 20% (7日) <常温><br>PEG : 50% (3日) <常温>   | -40℃凍結 (1日) →真空乾燥 (1日)<br>イソシアネート樹脂 (25%) 一回塗布 |
| G   | サッカロース : 5→45% (20日間かけて徐々にあげる) <常温><br>45→66% (40日間かけて徐々にあげる) <60℃>   | 自然乾燥 (1ヶ月以上)                                   |
| H   | エタノール : 40→60→80→100% (3日毎に交換) <常温><br>キシレン/エタール : 40→60→80→100% (3日毎に交換) <常温><br>ダンマール/キシレン : 20→40% (3日ずつ) <常温> | 真空乾燥 (1日)                                      |
| I   | 無処理   | -40℃凍結 (1日) →真空乾燥 (1日)                         |

## C : マンニトール—真空凍結乾燥法

試験片を常温でマンニトールの20%水溶液に浸漬した後、真空凍結乾燥。

## D : マンニトール・PEG—自然乾燥法

試験片を常温でマンニトール20%の溶液に浸漬し、次に50℃に加熱したマンニトールの40%水溶液に浸漬してから、さらに60℃に加熱したPEG (#4000) の80%水溶液に浸漬した後、室内で自然乾燥。

## E : マンニトール・PEG—真空凍結乾燥法

試験片を常温でマンニトールの20%水溶液に浸漬し、次に常温でPEG (#4000) の50%水溶液に浸漬した後、真空凍結乾燥。

## F : マンニトール・PEG—真空凍結乾燥 (イソシアネート樹脂塗布) 法

Eの方法で処理後、表面にイソシアネート樹脂 (PSNY-10) を刷毛で塗布。

## G : サッカロース含浸法

試験片を常温でサッカロースの5%水溶液に浸漬し、サッカロースを徐々に加えて20日後に45%にしてから、水溶液の温度を60℃に上げ、徐々にサッカロースを加えて更に40日後に66%とした後、室内で自然乾燥。

## H : アルコール・キシレン・樹脂法

試験片の水分を徐々にエタノールに置き換えて脱水し、これを更に徐々にキシレンと置換してからダンマール樹脂を40%まで加えた後、真空乾燥。

## I : 真空凍結乾燥法

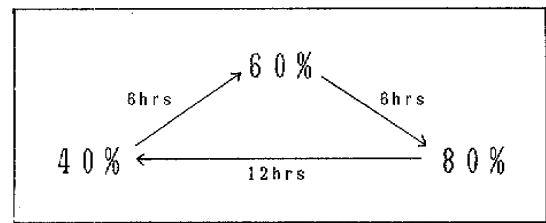
試験片をそのまま真空凍結乾燥。

## 2-1-3 保存処理に伴う寸法変化と処理後の比重

各保存処理前後の試験片の寸法 (年輪の接線方向 <T> と半径方向 <R>) を実測することに

表一 2

| 試験片 | 収縮率 (%) |      | 抗収縮効果 (%) |      | 比重   |
|-----|---------|------|-----------|------|------|
|     | T       | R    | T         | R    |      |
| A   | 3.6     | 1.3  | 92.9      | 95.0 | 1.15 |
| B   | 5.1     | 1.0  | 89.9      | 96.1 | 0.5  |
| C   | 2.1     | 0.6  | 95.8      | 97.7 | 0.3  |
| D   | 14.2    | 4.8  | 71.9      | 81.5 | 0.9  |
| E   | 1.4     | 0.1  | 97.2      | 99.5 | 0.45 |
| F   | 1.4     | 0.1  | 97.2      | 99.5 | 0.5  |
| G   | 6.9     | 3.7  | 86.3      | 85.7 | 0.7  |
| H   | 4.8     | 1.2  | 90.5      | 95.3 | 0.5  |
| I   | 0.0     | 3.2  | 100       | 87.6 | 0.2  |
| N   | 50.5    | 25.9 |           |      | 0.6  |



図一 1 乾・湿繰返し試験条件

より、保存処理に伴う収縮率を計算し、無処理自然乾燥試験片 (N) の収縮率と比較しての抗収縮効果 (ASE; Anti-shrinkage Effect) を算出した。また、各試験片の嵩比重を測定した。

収縮率  $[St] = (D_o - D_t) / D_o \times 100(\%)$

抗収縮効果  $[ASE] = (S_o - S_t) / S_o \times 100(\%)$

ここで、 $S_o$ : 自然乾燥による収縮率  $[S_o = (D_o - D_c) / D_o \times 100]$

$D_o$ : 保存処理前の寸法,  $D_t$ : 保存処理後の寸法,  $D_c$ : 無処理自然乾燥後の寸法

測定結果を表一 2 に示す。表一 2 から判るように、D, G, I 以外は ASE が概ね 90% 以上であり、とくに、C, E, F では ASE が 95% 以上の優れた収縮防止効果を示している。

比重については、トチノキ新材の比重 0.49~0.55<sup>2)</sup> に比較して、A, D, 即ち PEG を用いてしかも自然乾燥法によるものが大きく、また、G (サッカロース; 自然乾燥) もかなり大きい。一方、I (真空凍結乾燥のみ) では非常に小さく、C (マンニトール; 真空凍結乾燥) もかなり小さい。その他の B, E, F, H は健全な木材に近似した値である。

#### 2-1-4 寸法変化測定方法

〈2-1-2〉で述べた 9 種類の保存処理を施した試料片 (A~I 各 3 片) に、無処理自然乾燥試験片 (N) とトチノキ新材試験片 (J) 3 片ずつを加えた計 33 片について、各試験片の年輪に対する接線方向と半径方向にストレインゲージを貼って恒温恒湿槽に入れ、その端子をコンピュータ制御測定システムにつないだ。(詳細は前報<sup>3)</sup>参照)。

そして、恒温恒湿槽内を 30°C, 60% の一定条件とし、3 週間後と 4 週間後で各試験片の寸法変化が全くないことを確認してから、この時の寸法をゼロとし (イニシャライズ), 槽内の温度を 30°C 一定として、湿度を下記の様に変化させ、一定時間 (2 時間) 毎の寸法変化を測定、記録した。

##### 1) 乾湿繰返し

湿度を図一 1 に示すように変化させた (1 日 1 サイクル, 17 日間)。

##### 2) 低湿条件

(1) の試験が終了後、湿度を 60% の一定条件とし、各試験片の寸法が安定した段階での寸法をゼロとして (イニシャライズ), 湿度を 60% から 40% まで 6 時間かけて徐々に低下させ、その後 40% の一定条件を 13 日間保った。

##### 3) 高湿条件

(2)の試験が終了後、直ちに湿度を40%から90%まで12時間かけて上昇させ、その後90%の一定条件を7日間保った。

## 2-2 実験結果

試験中の恒温恒湿槽内の実際の湿度変化を図-2に示す。また、これらの湿度変化に伴う試験片の寸法変化を図-3~5に示す。図-3~5の各図において、実線が年輪に対する接線方向、点線が半径方向である。図-5ではD、GとJの縦軸のスケールが他と異なっているのに注意されたい。尚、同種試験片各八個ずつの中での測定値のバラツキはごく僅かであった。

図-2と図-3~5から看取される事実は次の通りである。

(1)保存処理を施した水浸木材は、新材木材と同じように環境湿度変化に追従して、その寸法が変化する。しかし、その変化幅、すなわち伸縮の大きさは新材よりも小さく、かつ、保存処理方法によってかなり異なる。

(2)図3-G(サッカロース含浸法)に見られるグラフの全体的右下がりや乾湿繰り返し試験中における試験片の不可逆的な収縮(半径方向で特に大きい)を示すものである。この傾向はC、D、Fでも若干見られる。

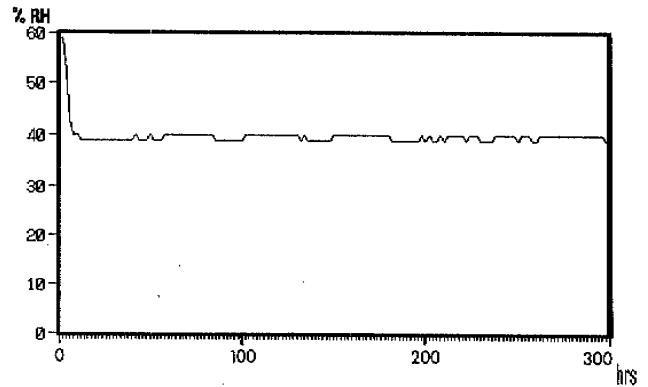
(3)乾燥時(40%)における収縮度合と低湿条件試験(40%)における収縮度合は、A(PEG含浸法)を除いて、ほとんど同じである。これは乾燥繰り返し条件下ではAを除いて量的にも完全に環境湿度に連動して寸法変化したことを示す。

(4)一定低湿条件下で、A(PEG含浸法)は徐々に収縮し続け、その収縮量は乾湿繰り返し試験の乾燥条件下での値の6倍以上にも達している。

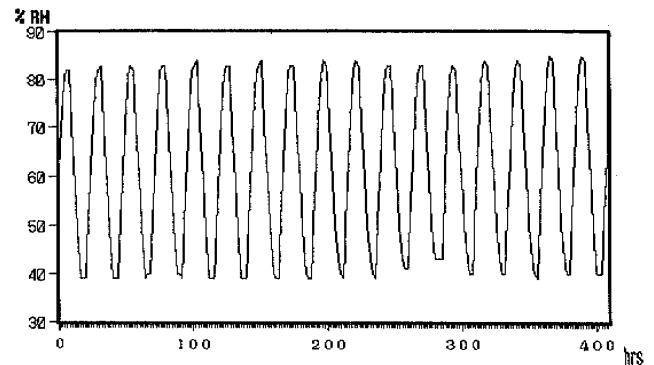
(5)一定高湿条件下では、D(マンニトール・PEG—自然乾燥法)が特異な寸法変化挙動を示した。3片がそろって同じ様な挙動を示したことから、何等かの意味があるものと考えられるが、今のところ不明である。

(6)一定高湿条件下で、A(PEG含浸法)ではPEGの溶出が著しく、またB(t-ブタノール・PEG—真空凍結乾燥法)、D(マンニトール・PEG—自然乾燥法)でも溶出が見られた。このため、試験片に貼られたストレインゲージに剥がれ等のトラブルが起り、測定データの信頼性にはかなり問題がある。

### (1) 乾湿繰り返し



### (2) 低湿条件



### (3) 高湿条件

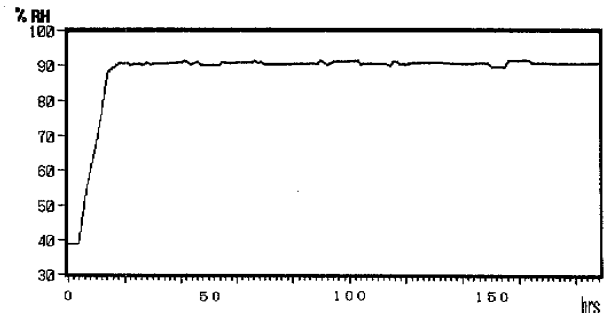


図-2 試験中の恒温恒湿槽内の実際の湿度変化

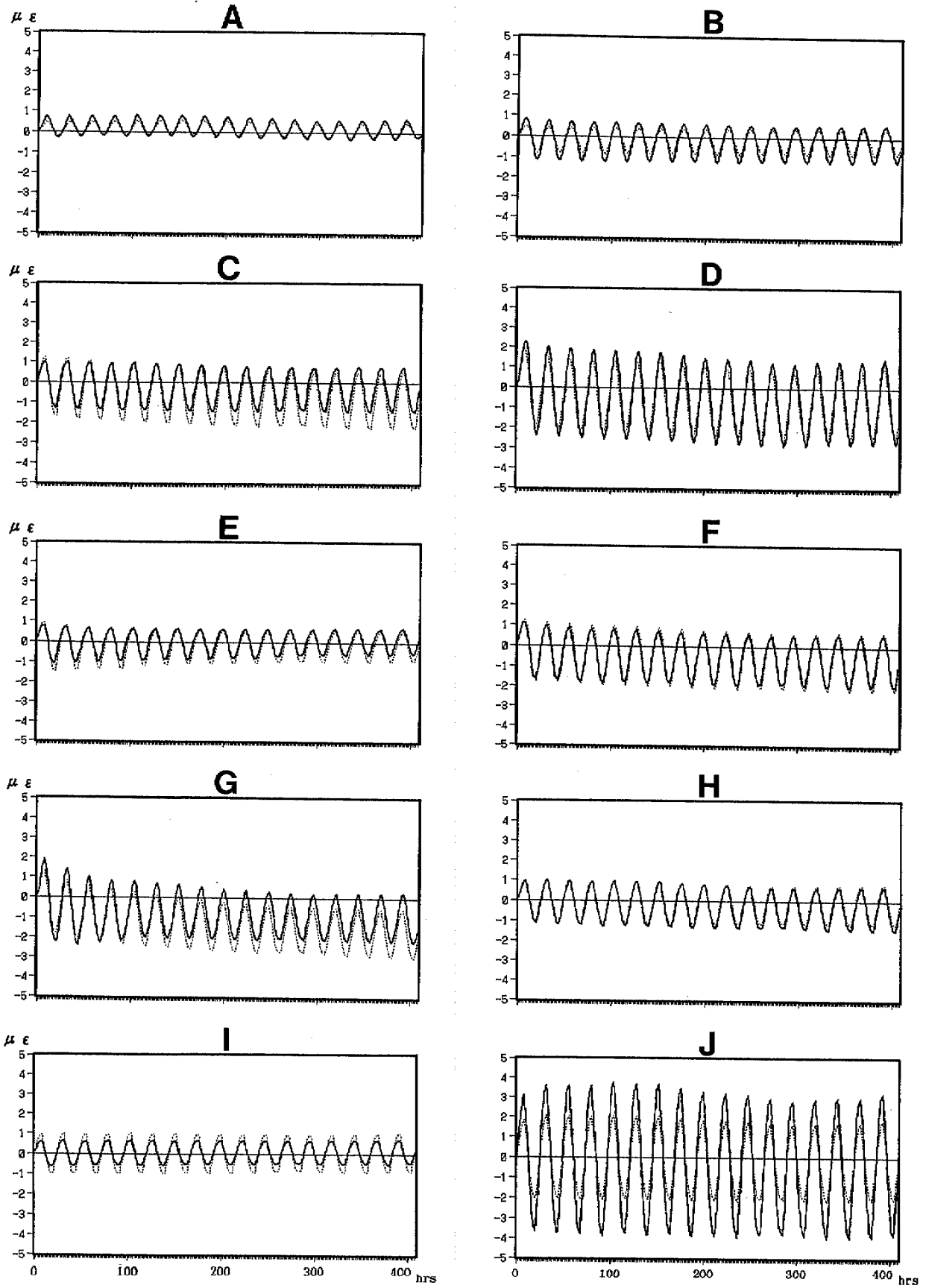


図-3 試験片の寸法変化(1)乾湿繰返し条件

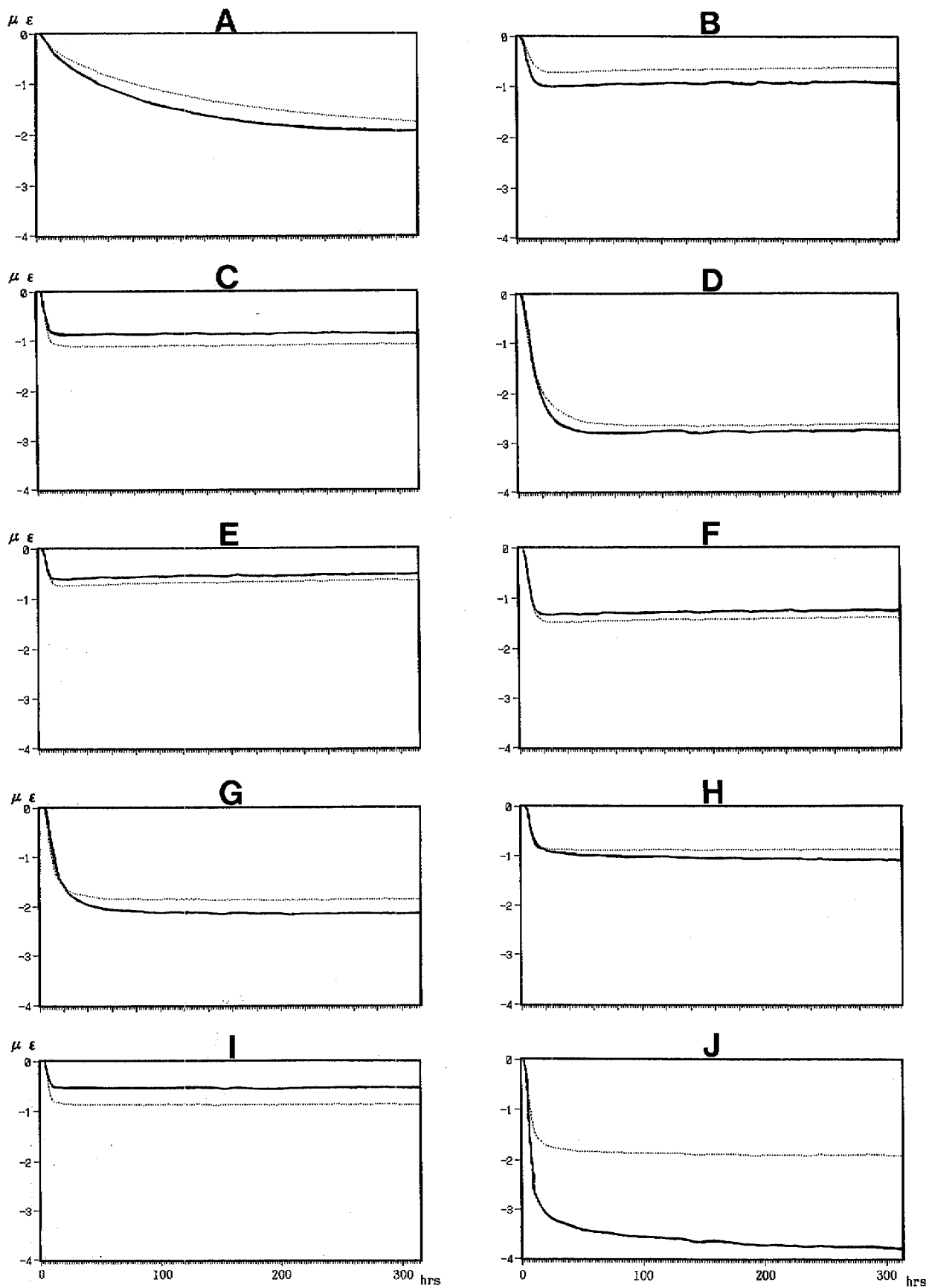


図-4 試験片の寸法変化(2)低湿条件

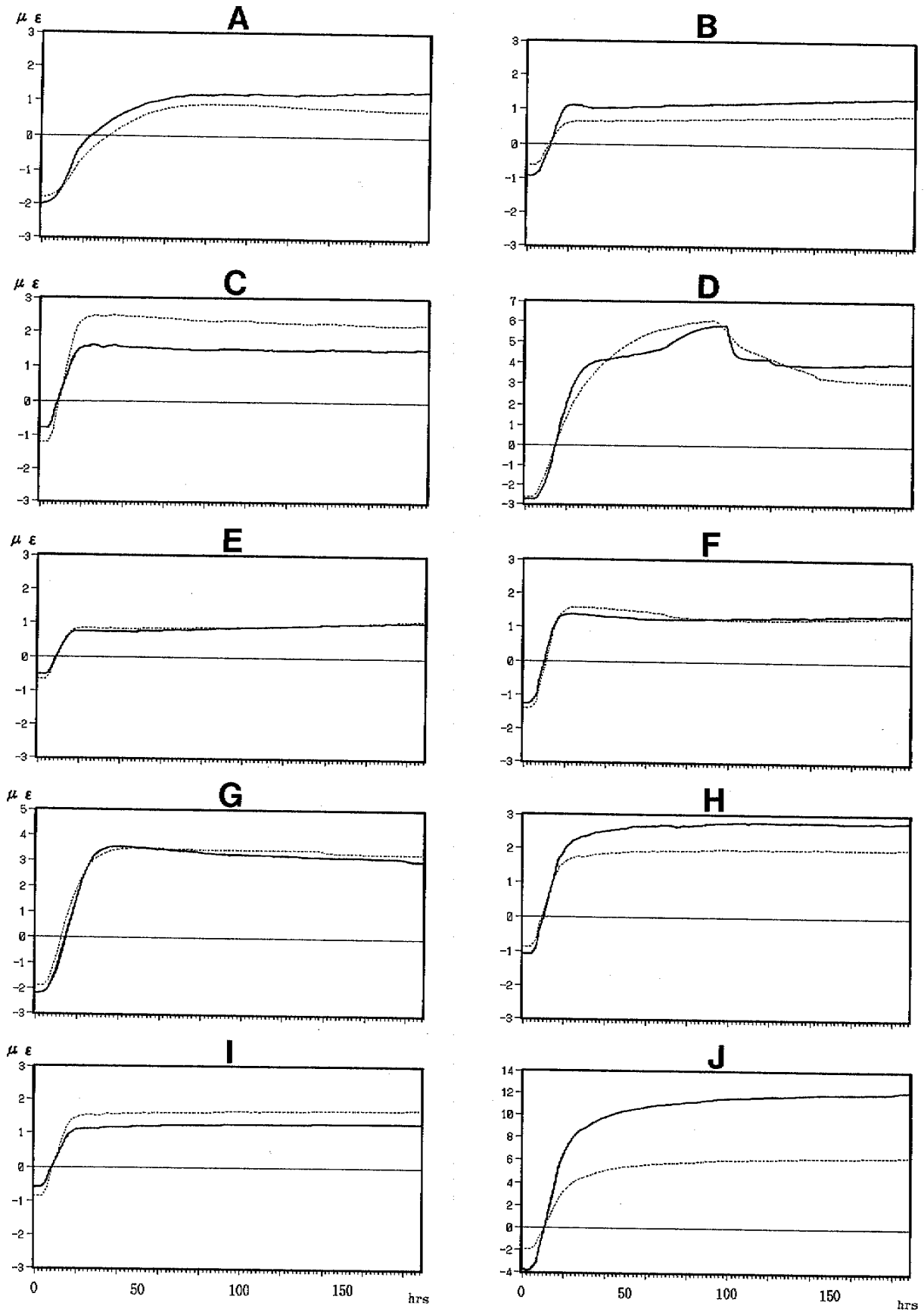


図-5 試験片の寸法変化(3)高湿条件

### 3. 考 察

PEG を用いて保存処理された水浸木材を高湿度環境下に置くと、PEG が溶出するという現象は良く知られており、概ね RH90% 以上では溶出が起るとされている<sup>3)</sup>。本実験でも RH90% で完全な PEG の溶出が確認された。30°C, RH90% というのは、我国においてはけして極端な環境条件とは言えない。この問題についてのより精度の高い研究、即ち PEG 溶出に対する温度、湿度、時間のファクターについてのシステムチックな実験的研究は、全後の本研究の主要テーマの一つとなろう。

本実験で得られた結果の中で最も注目すべきは、低湿環境下における PEG 含浸処理材の収縮現象である。図一 3 と図一 4 を見比べれば、試験片 A (PEG 含浸処理法) の大きな、そして継続的な収縮が他の試験片とは全く異なる特異な現象であることは明白である<sup>4)</sup>。PEG 処理材にみられる、このレスポンスの遅い、しかしかなり大きな収縮は、木材の収縮ではなく、PEG に関連する収縮現象ではないかと考えることも出来る。もしそうだとすれば、繊維方向でも同じ様な収縮が起こるわけで、そうなれば、木材としての膨張、収縮キャパシティーの小さい繊維方向に、理論的には、より大きな張力が作用し、その結果、極端な場合繊維に直角方向の割れが生じることになる。これは、PEG 処理した水浸木材が、長く乾燥環境下に置かれると、まれに繊維と直角方向に亀裂を生じることがあるとの話とも符号する。しかし、以上はあくまで推論であり、今後、この PEG 処理水浸木材の特異な収縮現象について、その原因とメカニズムを解明するのを一つの大きな目的とした実験研究を行う予定である。それは、正方形の試験片を用いて、年輪に対する接線方向、半径方向だけでなく、垂直方向、即ち繊維方向の環境湿度と寸法との関係を調べるといものである。また、PEG 自体の寸法変化挙動についてのモデル実験も計画している。

### 4. お わ り に

出土水浸木材の保存処理に関する基礎的実験研究は、標準木材サンプルが得にくいことや試験片の作成に時間がかかるなど、必ずしも容易ではなく、多くの種類の数多くの実験データの集積にはかなりの時間を要すると考えるべきである。従って、本研究によりすぐに一般的な知見を得られるとは考えておらず、実験の結果得られた諸問題について考察し、問題を絞って更に実験を行うという形で研究を進めて行くつもりである。ついでには、本研究に対する御意見等を頂ければ幸いである。

#### 参 考 文 献

- 1) 西浦忠輝, 今津節生「出土水浸木材の保存処理後の安定性〔第 1 報〕; 環境湿度変化による寸法変化(1)」『保存科学』第 28 号, 63-72 (1989)
- 2) 堀岡邦典「材質改良の基礎としての木材の材質について」『林業試験場報告第 68 号』16-23 (1953)
- 3) 沢田正昭「埋蔵木製品の物性と形態の安定化について」『計測と制御』Vol. 28, No. 8, 662-667 (1989)
- 4) 植田直見, 増澤文武, 山口誠治「出土木製品の保存処理後の経時変化」『元興寺文化財研究』No. 32, 4-8 (1989)



## [第1報の訂正]

保存科学第28号の「出土水浸木材の保存処理後の安定性〔第1報〕」の67頁の5行目と表—2を下記の通り訂正致します。

<5行目> その収縮は1/100以下 (ASE>99) → その収縮はほぼ1/10以下 (ASE>90)

<表—2>

| 抗収縮効果(%) |      | → | 抗収縮効果(%) |      |
|----------|------|---|----------|------|
| T        | R    |   | T        | R    |
| 99.4     | 99.8 |   | 92.9     | 95.0 |
| 99.1     | 99.8 |   | 89.9     | 96.1 |
| 99.6     | 99.9 |   | 95.8     | 97.7 |
| 99.8     | 99.9 |   | 97.2     | 99.5 |
| 99.8     | 99.9 |   | 97.2     | 99.5 |
| 99.2     | 99.8 |   | 90.5     | 95.3 |

## Stability of Waterlogged Wood After Preservation Treatment (2) —Behavior against Change of Ambient Humidity (2)—

Tadateru NISHIURA and Setsuo IMAZU\*

Dimensional change of waterlogged wood after preservation treatment was experimentally studied as a function of ambient humidity. Following the report<sup>†</sup>, the dimensional changes of the specimens under a cyclic change of ambient humidity, a constant dry condition and a constant humid condition were measured by a computerized measuring system with a use of strain gages. The following results were obtained by the experiment :

- Waterlogged wood, after preservation treatment, changes its dimension like sound wood according to ambient humidity variation, though its range of change is smaller than that of sound wood and varies depending on the treatment applied. Difference of the dimensional change between the tangential and radial direction to annual ring also varies depending on the treatment applied.
- Waterlogged wood treated with PEG has problems in both humid and dry conditions. In a humid condition, PEG is liquated out from it, though it swells a little. In a dry condition, it shrinks gradually and continuously to quite a large extent, perhaps causing it to crack. This shrinkage might not be due to the shrinkage of wood but of PEG.

---

\* Kashihara Archaeological Institute

† Nishiura, T. and Imazu, S., "Stability of Waterlogged Wood After Preservation Treatment (1)  
—Behavior Against Change of Amgient Humidity (1)", Science for Conservation 28, 63—72 (1989)