

木製品の保存処置(第1報)

—— 平城宮跡出土木簡等について ——

岩崎友吉・樋口清治

I. はじめに

特別史跡「平城宮跡」は、奈良時代から平安初期にかけて造営された建造物、築地、井戸、溝などの多数の遺構を含み、昭和34年以降奈良国立文化財研究所により発掘調査がおこなわれているが、これらの遺構から瓦、土器などの遺物と共に多量の木製品が出土している。出土した木製品は2万点を越える木簡をはじめ、曲物容器、杓子、匙、箸、櫛、下駄などの生活用具、服飾用具、刀子、鎌、錐などの農工具の柄、さらに柱根、井戸枠などの建築用材まで多種多様であり、その当時使用された木製品をほとんど網羅していると思われる。その資料的価値は極めて大きく、特に木簡は文献的資料としても非常に貴重なものである。これらの出土木製品を如何に保存して後世に伝えるかは重要な問題であり、われわれも数年前より平城宮跡発掘調査部に協力して研究を続けているが、遺憾ながら未だ最終的結論をだすまでに至っていない。出土木製品と一口に云っても小は木簡の削片から大は建築用材に至るまで大小、形状はさまざまであり、また保存状態もそれぞれ異り、木簡のように墨書のあるもの、櫛のように彩色のあるものなどあり、保存処置も形状の保存、色調質感の保存、材質強化と目的からみて、又保存施工法の難易などの選択からして、どれに重点をおくかで処置方法が異ってくるのは当然である。現段階では完全無欠な方法というものは考えられず、まず各種の実行可能な方法を実験してその利害得失を知り、それらを個々の場合に利用できるように、これまで種々実験してきたが、現在までの結果を一応まとめて報告し今後の方針の検討に資することを期したい。

II. 出土木製品の性質

平城宮跡に多量の木製品がのこったのは、現場の地下水位が比較的高いので木製品が水で飽和された状態で埋没していたため、酸素が極度に欠乏し、腐朽菌の活動がさまたげられた結果によると考えられるが、それでも長年月土中に埋没していた間に、木材の細胞壁は微生物による損傷や加水分解などの化学変化を受け、材質は軟らかくなり機械的強度は劣化している。

このように脆弱化した木製品をそのまま乾燥してしまうと一般に著しく収縮したり、ゆがんだり、そり返って表面が剥落したりして原形が大いに損われる。その原因は、過剰の水（繊維飽和点以上の水）が木材表面から液体として一定の表面張力を保ちつつ蒸発すると、細胞内腔の水が減じて生じた間隙にこの張力に打ち勝って水蒸気や空気が交替して侵入しないと、弱って軟らかになっている細胞壁は、表面張力および他の外力により潰ぶされるためと思われる¹⁾。

実際に出土する木製品は、その埋没状態により比較的腐朽が少く材質が割合に強さを保っているものから、腐朽が進んでチーズ状に近くなっているものまで種々あり、腐朽の甚しいものほど乾燥による損傷が著しい。また木製品の色調が出土直後から淡褐色より、褐色、暗褐色、

黒色と変色するものもあり、特に木簡のように墨書のあるものでは、この変色は致命的である。またこの出土直後からの変色も腐朽の程度の高いものほど著しいようである。

このように出土木製品は埋没環境による腐朽の程度により保存状態が著しく異り、これが保存処置方法の選択に大きく影響する。すなわち保存状態のよいものは、無処理で乾燥しても余り目立った支障がない場合もあるが、状態の悪いものは種々な方法を用いても難しいことがある。この保存状態の程度は単なる外観だけでは判然としないが、状態の悪いものは軟らかくて崩れ易く、また含水率も高く(350%~400%)従って乾燥後の比重は小さくなる。それ故保存処置の実験には必ず一つの試料を2分して対象と比較しながら実験するようにしている。

III. 出土木製品の保存処置方法

1. 水中浸漬法

出土木製品の保存として最も一般的に用いられる方法は水中保存法であり、平城宮跡に於ても現在大部分の木製品は、それぞれ適当な容器に入れホルマリンその他の防黴剤を入れた水中に保存している。この方法によれば出土後の処理が容易であり、如何に保存状態の悪いものでも大体出土時の状況のまま保存できる利点があるが、容器や保管場所などに制約を生じて、また運搬や展示など資料の取り扱いに不便であり、さらに水中での相互接触による損傷を生じやすく、接合その他修復する作業も困難である。また長年月間水中に浸漬して保存する場合、防黴剤の種類、濃度および水温の関係等保存科学上の問題もあり、必ずしも水中保存法が安全であるとは思われない現在では、細心の注意と監視が必要と考える。

2. 徐々に乾燥する方法

柱根、木樋、井戸枠など比較的大型且つ保存状態が著しくよいもので他の保存処置の実施が容易でない場合には、徐々に乾燥することでも略々その目的を達することもできる。この場合の乾燥は一般木材工業の木材乾燥理論が適用でき、乾燥によって生ずる内部応力をできるだけ少なくするように乾燥する。即ち²⁾含水率の多い木材を乾燥させると、表面から水が蒸発して表面が繊維飽和点以下になって収縮しても、内部ではまだ繊維飽和点に達しないので収縮せずそのため表面と内部は引張りと圧縮による応力を生じこれが変形、亀裂の原因となる。この欠点を除く最も簡便な方法として木製品を濡れたまま紙、「こも」その他適当な通気性のある材料で厚く包装し、水の急速な蒸発をできるだけ防ぐことにより、表面と内部の含水率をなるべく等しくなるようにして、気温の低い所で数ヶ月から1年以上かけて徐々に乾燥することもおこなわれている。このとき木口から最も水が蒸発し易いので木口は特に入念に包む必要があり、また乾燥途中で包装の上から散水して表面に近い部分の内部に対する過度な乾燥を防ぐ処置も必要である。この方法を実施するときは、次の P. E. G 法を併用することが望ましいことは勿論である。

3. ポリエチレングリコール法 (P. E. G 法)

この方法は外国に於て出土木製品の保存処置に多く用いられ²⁾³⁾、わが国に於ても数年前より一般化しつつある。その特徴が比較的容易に処置し得る点と、木材の材質を傷める恐れのないという理由で平城宮跡に於ても一部の木製品にすでに実施している。

ポリエチレングリコール(以下 P. E. G と略称)は一般式 $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_n\text{CH}_2\text{OH}$ で示される合成物である。この低重合体は液体で、中間重合体はワセリン状の半固体であり、n が

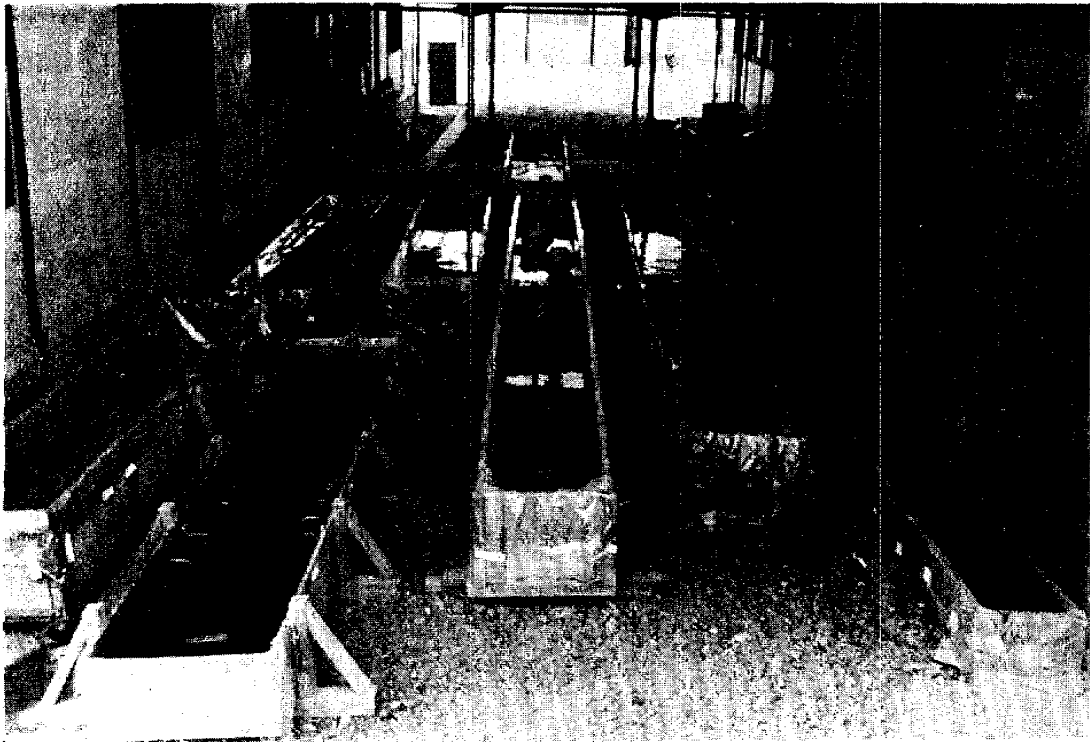


図 1. P. E. G 処置状況

35 以上の高重合体は蠟状の物質である。わが国では分子量 400~6000 までの各種類のものが市販されている。

外国では P. E. G を水に可溶性な蠟というような考え方で用いており、木材中の水を P. E. G で置換して細胞内腔中に P. E. G を充填強化することにより材質を強化し、乾燥による損傷を防ぐような使用方法を採っているように思われる³⁾。このような使用法の要点は、木材内部の水を P. E. G で十分に置換することであり、従って長時間の浸漬と、強化に十分な量の P. E. G を含浸させることが必要である。この処置は他の合成樹脂、例えばメラミンホルムアルデヒド樹脂²⁾等の含浸置換よりは優れた方法と思われる。その理由は P. E. G 4000 が蠟状物質でありながら 50% 水溶液の如き高濃度で使用できることであり、従来用いられた他の高分子化合物はこのような高濃度の水溶液では流動性が殆んどなくなり含浸用として使用することはできない。また P. E. G は中性であり、化学構造から考えても木材を傷めるような可能性は全くないと思われる。しかしこの処置は木材中の水分を P. E. G で完全に置換することが容易でなく、また完全に置換したものは多量の P. E. G を含有するため、黒くなったり木材の質感を著しく損ねる欠点もある。

これに対して平城宮跡でおこなわれている P. E. G 法は、分子量 1500 の白色ワセリン状の 50% 水溶液に浸漬する方法であるが、前述の 4000 を使用する場合と使用目的が多少異なるように思える。即ち 1500 は 4000 に比較して吸湿性が大きいので、これで処理した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するようになる。

しかしこの方法は P. E. G の充填強化を余り期待したものでないのに、腐朽の進んだ保存状態の悪い木製品に対しては余り効果的でないが、保存状態の比較的よいものに対しては有効である。但し、この方法で処置したものは湿潤状態にあるため、黒味のある暗褐色を呈するし、また高湿度の中では P. E. G が溶出する欠点があるが、処置が簡便であり、必要に応じて P.

E. G を水で除去することも容易であるので、応急的処置として平城宮跡で盛に使用されている。しかしこの P. E. G 法に関しては、更に検討を要する点が多いので今後も研究を続行する予定である。

なお P. E. G 1540 を用いた柿経の保存処置の研究が報告⁴⁾されているが、これも P. E. G の含浸量を調節することで、乾燥による損傷と黒変化を防止することを目的とするものである。

4. 明ばん法²⁾

この方法の原理は明ばん ($K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$) が、冷水には殆んど溶解しないが熱水には著しくよく溶ける塩であるという性質を利用したものである。出土木製品を濡れたまま $90^\circ C \sim 95^\circ C$ 位に保たれた熱明ばん溶液に浸漬すると、この温度において木材中の過剰の水が明ばん溶液と置換される。木材内部に充分明ばん溶液が含浸されてからとり出し冷却すると、木材内部の明ばんは温度が下るに従いその溶解度を減じ木材内部に結晶として析出する。その結果弱った細胞内腔に明ばんの結晶が充填され木材が強化される。

実際の操作は、還流装置をつけた反応釜かまたはフラスコに木製品の大きさに応じて、それが十分に覆われるに十分な量のカリ明ばんを入れ、更に溶解を速めるため 5~10% の水を添加してから加熱する。明ばんが完全に溶けて液体になってから、よく洗滌した木製品を静かに入れる。このとき木製品は溶液の表面に浮き上がるので落とし蓋をするか他の適当な方法で底に沈めるようにする。加熱温度は明ばんが粘度の低い液状を保つ程度にするため $90 \sim 95^\circ C$ が適当かと思われる。加熱中は容器に蓋をして還流させる必要がある。われわれの実験によると開放で加熱した場合約 20% の水が蒸発し粘度が非常に高くなる。これは $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ が 12 水塩以上の結晶になるためであろう。

加熱時間は試料の大きさ及び試料が多孔性であるか否かで大きく異なるが、完全に置換するには比較的長時間を要する。明ばんが木材内部に充分含浸されたら試料をとり出し、直ちに熱水にくぐらせて乾燥する。これは表面に附着する過剰の明ばんを除去するためである。容器中の明ばんは急冷して細い結晶を析出させ再度の使用に供する。

明ばん含浸に必要な時間を検討するため次のような実験をおこなった。

(1) 実験 1 資料が比較的薄い場合

なるべく表面の一樣な木筒状木片 (平城宮跡出土) を選び、これを 6 等分しそのうちの 1 ケ

第 1 表 厚さ 5 mm の木片の明ばん含浸量

	処置前寸法 (mm)			含水重量 (g)	木片重量 (g)	浸漬時間 (h)	浸漬後重量 (g)	明ばん含有量 (g)
	縦	横	厚					
No. 1	41	21	5	4.19	0.86	1	4.20	3.34
No. 2	41	20	5	3.89	0.79	2	4.19	3.39
No. 3	40	20	5	3.80	0.78	3	4.22	3.44
No. 4	41	21	5	4.17	0.85	4	4.99	4.13
No. 5	41	20	5	3.68	0.77	5	4.46	3.71

$$\text{含水率 } U = \frac{G_u - G_o}{G_o} \times 100 = \frac{2.388 - 0.490}{0.490} \times 100 = 387\%$$

G_u は含水時重量 G_o は乾燥時重量

を含水率測定に用いた。残り5ヶを熱明ばん溶液に1, 2, 3, 4, 5時間浸漬した後、表面を熱水で軽く洗って自然乾燥し、明ばん含有量を測定した。なお表中の木片重量は含水率より換算して推定したものである。

(2) 実験2, 資料が比較的厚い場合

実験1と同様にして実験したが、試験片の形状に適当なものがなく平城宮跡出土の棒状加工品を6等分して使用した。その形状は図2に示す。

以上の実験から明ばんが完全に置換されるには、厚さ5mm程度の木片で3時間以上、厚さ25mm位のものでは5時間以上を要することがわかる。但し実験に用いたものは、寸法からわかるように容積に対して木口の面積が大きいので、明ばん溶液の吸収は容易であり、実際の木製品の場合には10時間以上も浸漬時間が必要になるだろうと思われる。

このように浸漬した試験片を中央から切断し、その木口断面の明ばんの充填状態を顕微鏡写真で示したのが図3~7である。図3は実験1のNo.1の試験片(浸漬時間

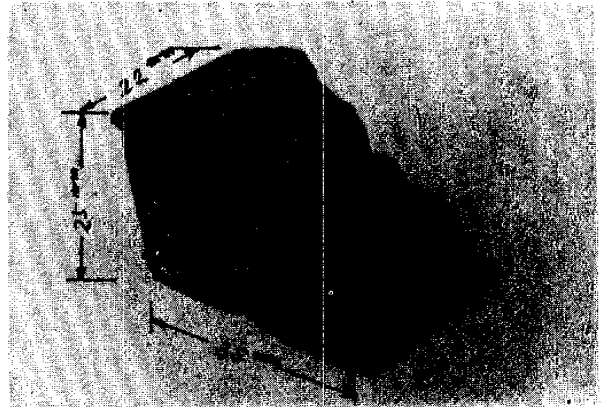


図2. 実験2の資料の寸法

第2表 厚さ25mmの木片の明ばん含滲量

	処置前寸法(mm)			含水重量(g)	木片重量(g)	浸漬時間(h)	浸漬後重量(g)	明ばん含滲量(g)
	縦	横	厚					
No. 1	25	22	35	14.27	2.64	1	8.72	5.97
No. 2	25	22	35	14.10	2.61	2	10.49	7.77
No. 3	25	23	35	15.46	2.86	3	11.15	8.17
No. 4	24	22	35	14.92	2.76	4	11.95	9.08
No. 5	24	25	36	15.61	2.89	5	13.61	10.60

$$\text{含水率 } U = \frac{7.356 - 1.359}{1.359} \times 100 = 441\%$$

1時間)で表面に近い所であり、明ばんは完全に白く充填されているのが見える。図4は同じ試験片の中心部分であり未だ明ばんが完全に充填されておらず黒い部分が多い。図5, 6は実験1のNo.4の試験片(浸漬時間4時間)の中心部分であるが、完全に明ばんが充填されている。図6の黒い2条の線は年輪である。図7は実験1のNo.4の表面付近で、表面の過剰の明ばんを洗い落したため表面近くの明ばんが再溶出して失われているのが認められる。しかし表面を洗わないと表面が白い微細な結晶で覆われた状態となり外観をそこねる。

明ばん処置によって得られたものは、木肌の色調が非常に明るくなり、形状変化は殆んど認められず、重くなって化石のような状態になる。しかし非常にかたくなってもその性質は脆くなり、強い衝撃を与えると粉末状に崩壊する。またわれわれの最も恐れる点は、明ばん溶液が強い酸性であり、この溶液中で長時間煮沸する処置が将来どのような障害を生ずるかということ

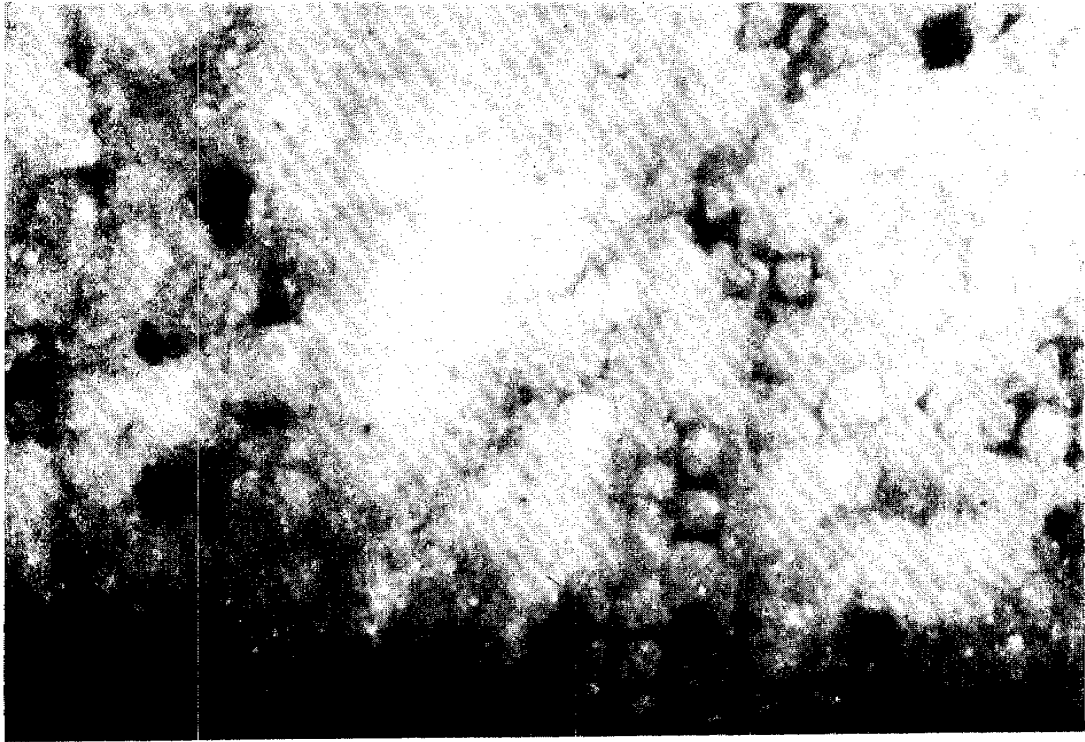


図 3. 明ぼん1時間処理（表面に近い部分）

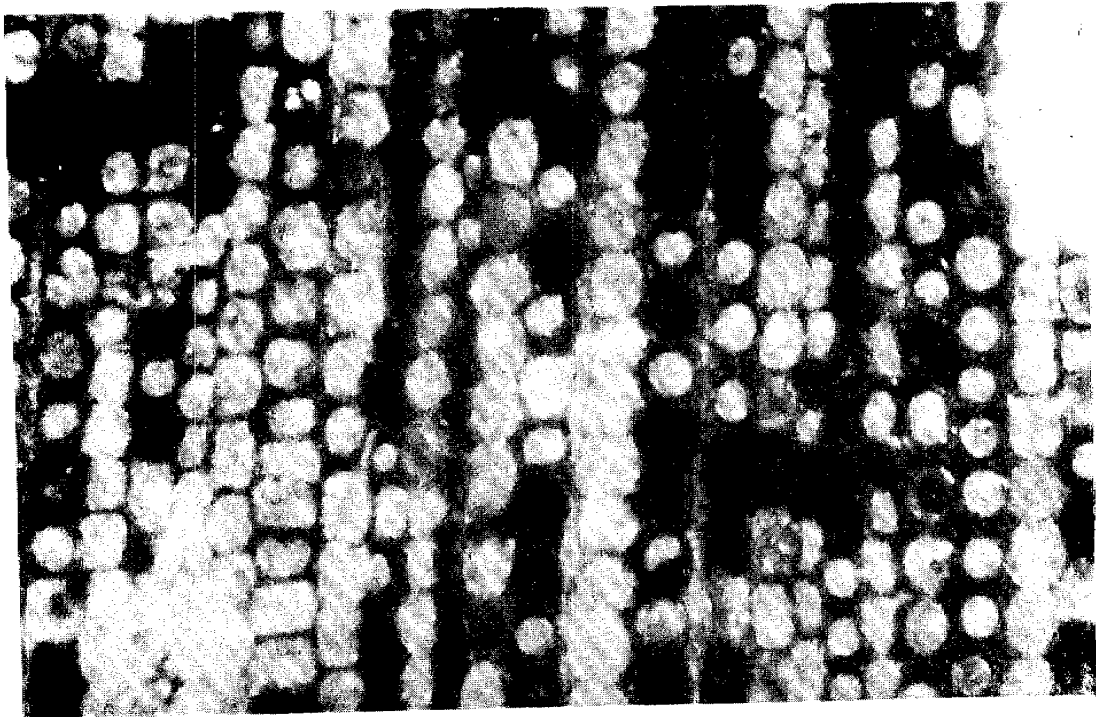


図 4. 明ぼん1時間処理（中心部分）

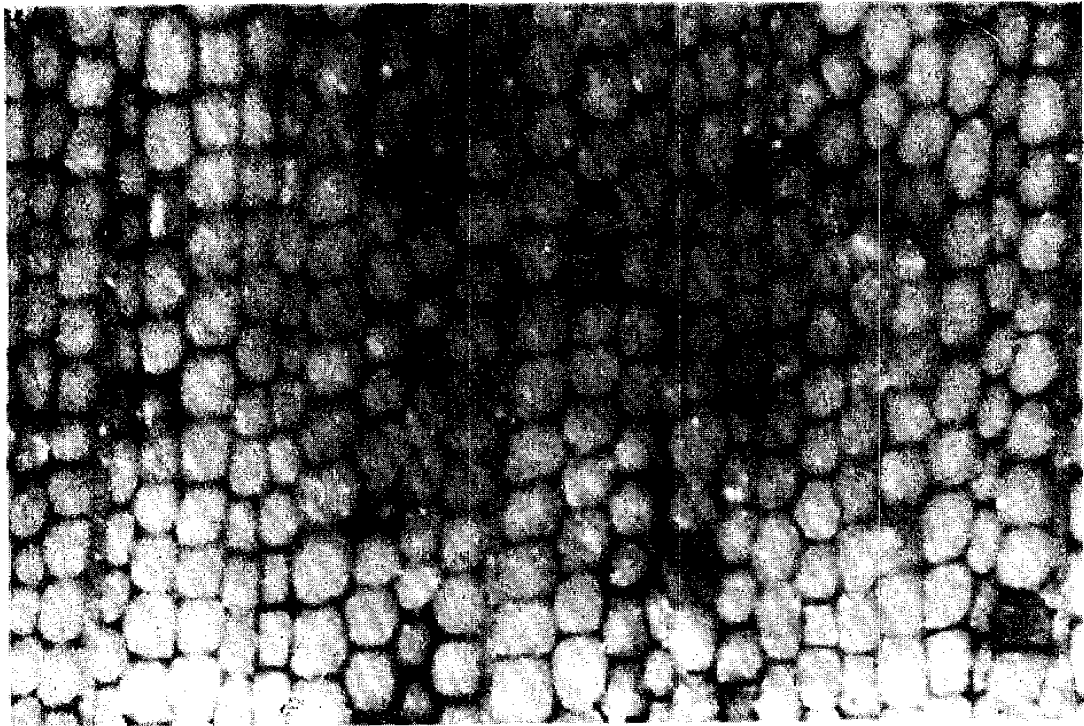


図 5. 明ぼん 4 時間処理 (中心部分)

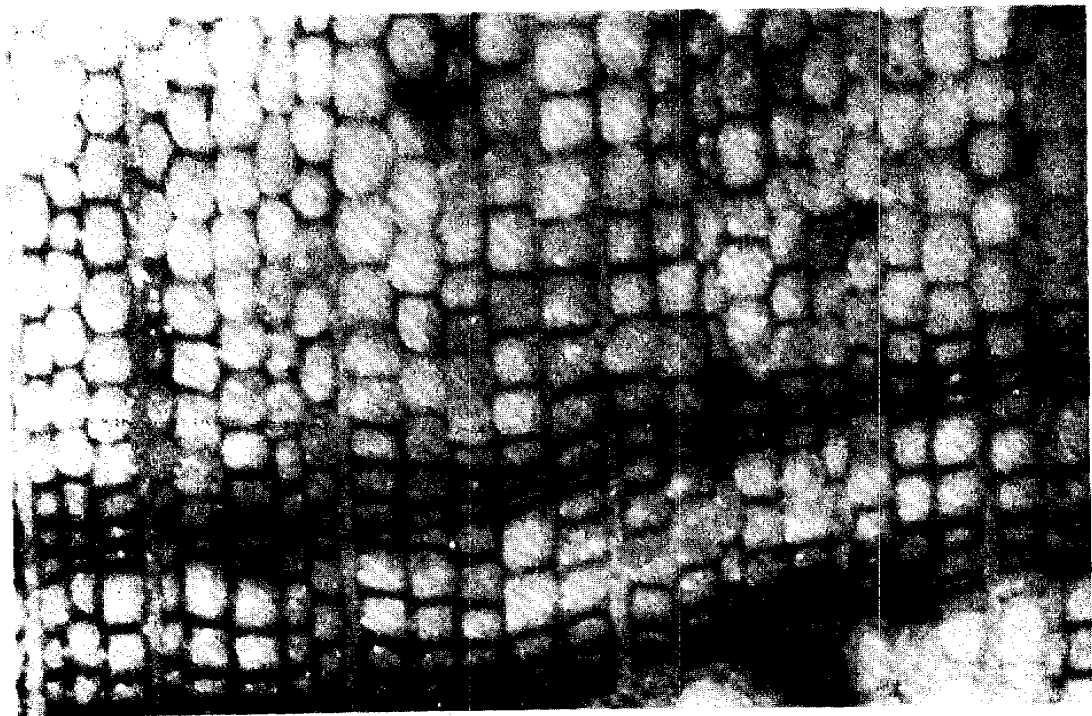


図 6. 明ぼん 4 時間処理 (年輪部分)

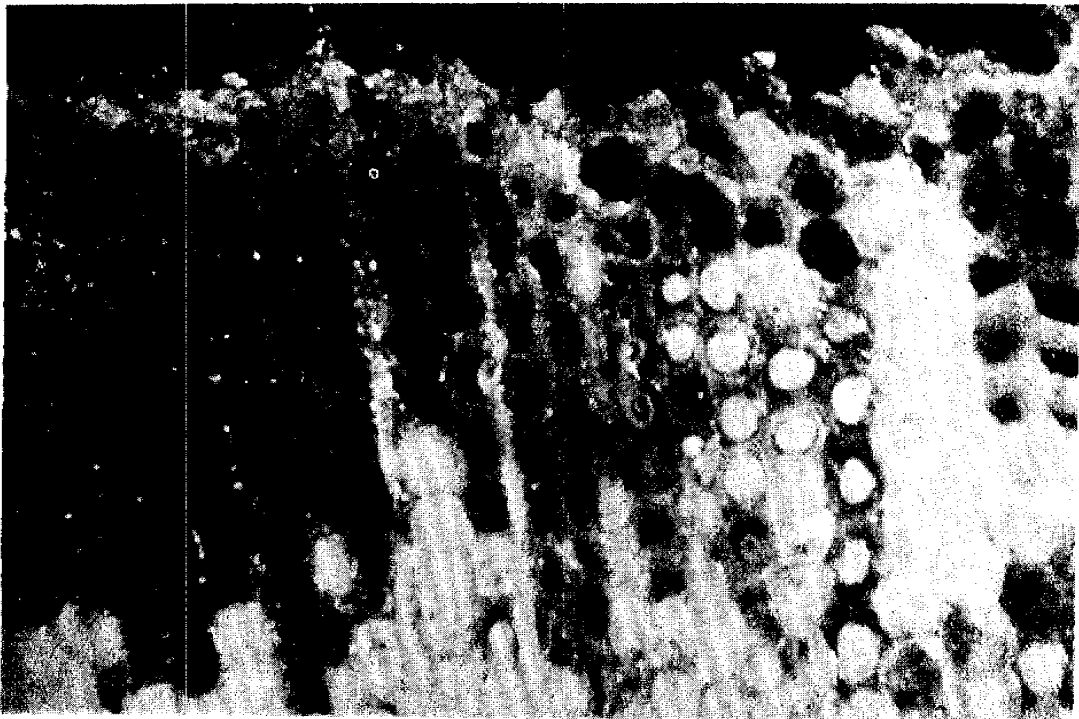


図 7. 明ばん 4 時間処理 (処理後表面を洗滌)

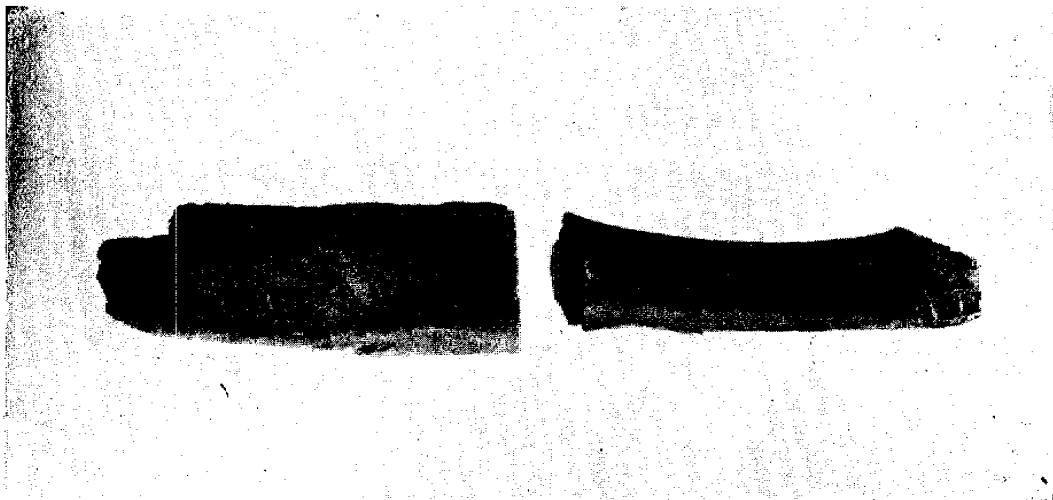


図 8. 同一材を 2 分し明ばん処理したもの (左) と自然乾燥 (右)

である。われわれの 1 年半経過した範囲内の実験だけでは、別に外観上の異状は認められないが、実施には十分に慎重を期さなければ危険である。外国においては、最近はあまりおこなわれなくなってきたようである²⁾。

5. 凍結真空乾燥法

凍結真空乾燥⁵⁾とは含まれている水分を凍結させ氷の状態にして、氷(固体)から水蒸気(気体)に昇華させて乾燥する方法で、この昇華を真空系で促進させるものである。この方法によると水を直接水蒸気にして乾燥する場合に比べ容積の収縮が著しく少なくなることは周知の事実である。われわれはこの方法に注目し、出土木製品の乾燥に応用することを試み現在までに

ある程度の成果を得ることができた。

われわれが現在平城宮跡出土木製品のうちこの方法による処置が適していると思うのは、主として木簡である。その理由は木簡が特に貴重なもので墨書の保存に万全を期する必要があるからで、P. E. G 法では墨書が不鮮明になる恐れがあり、また明ばん法では材質を傷める危険性があるが、凍結真空乾燥法は木肌の質感を損わずに表面を明るく仕上げることができ、また材質を傷める恐れはない。但し相当精密で大きかりな装置を要し、処理能力が装置によって制限され、また処理時間も厚さに比例して長時間を要するので現在の規模の装置では比較的厚さの薄い小形のものに適していると考えている。

先ずわれわれが実験室で試みた装置は、冷凍槽と真空槽が分離しているもので、真空槽は一度ロータリーポンプで減圧してから拡散ポンプで更に圧を下げ、一方棚自体を加熱できる装置

第 3 表 試験片の処置前の形状 (実験 1)

番号	形 態	材 質	寸 法 cm			保 存 状 態	出 土 地 点
			長さ	巾	厚		
1-a	断面長方形の棒状加工品	ヒノキ	7.25	3.4	1.4	表面部分的腐朽	6 A A B 区 U S 4 B 地点 S K 820
1-b	"	"	7.05	3.2	1.5	"	"
1-c	"	"	7.6	3.05	1.5	"	"
2-a	板状加工品	"	10.5	3.0	0.7	殆んど腐れてない	"
2-b	"	"	10.3	3.0	0.7	"	"
2-c	"	"	9.9	2.7	0.7	"	"
3-a	"	"	11.35	1.7	0.35	著しく腐朽	"
3-b	"	"	10.0	1.5	0.25	"	"
3-c	"	"	9.8	1.4	0.25	"	"
4-a	縦に半裁された丸材	カシ	7.8	5.2	2.8	外観上は良好	"
4-b	"	"	6.45	5.2	2.6	"	"
4-c	"	"	9.2	5.1	2.3	"	"
5	箸	ヒノキ	17.5	0.65	0.4	"	"
6	"	"	16.5	0.85	0.55	少々腐朽	"
7	"	"	14.7	0.75	0.7	腐朽著しい	"
8	"	"	16.8	0.85	0.7	保存良好	"
9	"	"	18.2	0.65	0.5	少々腐朽	"
10	"	"	10.7	0.65	0.55	腐朽著しい	"
11	"	"	16.9	0.65	0.45	保存良好	"
12	"	"	16.4	0.55	0.45	少々腐朽	"
13	"	"	15.9	0.8	0.55	保存不良	"

である。しかしこの装置を用いての実験は期待通りに凍結真空乾燥することは難しかった。その原因は試験片をまず冷凍槽内で -20°C まで冷凍し、これを冷凍槽から出して真空槽内の棚に移し密閉してからロータリーポンプで減圧するまでに、試験片の温度が上り氷が溶ける心配があった。そこで真空槽内の棚を氷、ドライアイス等で予め冷却して使用したが、試料の温度は測定できなかった。一度減圧になり氷の昇華が盛んになると試料は蒸発の潜熱による温度低下のため自己凍結する。このような方法で始めのうちは実験できたが、そのうちまた故障を生じた。この装置では脱水された水をトラップで冷却凝縮させ真空度を保たせる方式であるが、試

第4表 処置後の状態 (実験1)

処置方法	番号	形態	処置後の色調	処置後の状態	収縮率 %			備考
					繊維方向	巾	厚	
自然乾燥	1-a	棒状加工品	茶褐色	腐朽部分に乾裂多し	0.7	5.9	7.1	
	2-a	板状加工品	明灰色	繊維毛羽立つ	<1	5.0	1.4	
	3-a	"	暗褐色	振れる, 毛羽立つ	0.4	14.3	11.8	
	4-a	半割丸材	暗灰色	乾裂多し	3.2	19.2	57.2	
	5	箸		クラックあり	—	—	—	
	6	"		"	—	—	—	
	7	"		クラック著しい	—	—	—	
P・E・G 処置	1-b	棒状加工品	暗茶褐色	乾裂少しあり	0.7	3.1	6.7	
	2-b	板状加工品	暗灰色	クラックなし	<1	1.7	1.4	
	3-b	"	暗黒色	べとつくがクラックなし	<1	<1	6.7	
	4-b	半割丸材	"	クラックなし	2.3	3.8	42.3	
	8	箸			—	—	—	
	9	"			—	—	—	
	10	"			—	—	—	
凍結真空乾燥	1-c	棒状加工品	淡茶色	繊維方向に直交するクラック多し	0.6	0.6	3.4	乾燥不十分のため自然乾燥による収縮をおこした
	2-c	板状加工品	黄白色	クラック少し	<1	<1	<1	"
	3-c	"	淡茶色	繊維方向に直交するクラック少し	<1	<1	<1	"
	4-c	半割丸材	灰白色	" クラックあり	2.2	3.9	8.7	"
	11	箸			—	—	—	
	12	"			—	—	—	
	13	"			—	—	—	

<1 は処置前と処置後に差がなかったもの

第5表 試験片の処置前の形状 (実験 2)

番号	形 態	材 質	寸 法 cm			出土地点層位
			長	巾	厚	
101	木筒状の加工品	ヒノキ	32.45	1.95	0.35	6 AAC区 HW 27 地点
102	"	"	30.35	1.55	0.2	砂 1 B層
103	"	"	17.15	1.65	0.4	"
104	"	"	19.1	1.9	0.35	"
105	"	"	22.6	1.45	0.4	"
106	"	"	18.55	1.55	0.4	"
107	"	"	23.15	1.9	0.35	"
109	"	"	31.3	2.0	0.35	"
110	"	"	30.65	2.15	0.35	"
111	"	"	30.4	1.85	0.35	"
112	"	"	30.5	1.9	0.25	"
113	"	"	31.35	2.4	0.2	"
114	"	"	32.2	2.0	0.3	"
115	"	"	13.0	1.65	0.5	6 AAC区 HV 27 地点
116	"	"	15.25	1.55	0.45	砂 1 B層
117	"	"	22.1	1.35	0.45	"
118	"	"	11.7	3.05	0.8	"
119	面取りされた断面円形の棒状加工品	"	19.8	2.1	1.2	6 AAC区 HM 27 地点砂 2層
120	板状加工品	"	10.1	2.3	0.45	6 AAC区 HV 27 地点砂 1 B層
121	"	"	17.4	1.6	0.4	"
122	断面長方形の棒状加工品	"	20.45	1.0	0.6	6 AAC区 HN 27 地点砂 2層
123	"	"	19.35	0.8	0.6	"
125	面取りされた稜線をもつ棒状加工品	"	28.8	1.7	1.8	6 AAC区 HM 27 地点砂 2層
126	断面長方形の棒状加工品	"	23.5	0.8	0.6	6 AAC区 HN 27 地点砂 2層
127	"	"	21.5	0.8	0.8	"
128	板状加工品	"	30.0	1.4	0.4	6 AAC区 HV 27 地点砂 1 B層
129	"	"	20.7	1.8	0.4	"
131	断面長方形の棒状加工品	"	18.45	0.8	0.7	6 AAC区 HN 27 地点砂 2層
132	"	"	16.2	0.85	0.6	"
133	板状加工品	"	24.4	1.3	0.45	6 AAC区 HV 27 地点砂 1 B層
134	"	"	20.9	0.98	0.4	"
135	断面円形の棒状加工品	"	20.8	0.7	0.7	6 AAC区 HM 27 地点砂 2層

第6表 処置後の状態 (実験 2)

処置方法	番号	形態	処置後の色調	処置後の状態	収縮率 %			備考
					繊維方向	巾	厚	
直接凍結真空乾燥	102	短冊型木筒状	黄白色	繊維方向に直交したクラック多い	0.2	<1	3.2	
	104	付札型木筒状	淡灰色	クラック多い	<0.2	2.1	3.5	処理後かすかな「天平□□」の墨書
	108	短冊型木筒状	黄白色	" "	0.2	<1	1.6	
	109	"	"	" "	0.5	<1	2.5	
	103	"	"	" 少い	<0.2	1.5	0.6	全体がそり返った
	117	付札型木筒状	淡褐色	" 多い	<0.2	3.3	3.5	
	119	面取りある棒状	"	" "	—	—	—	
	120	板状加工品	"	" "	—	—	—	
	121	"	"	" "	—	—	—	
	122	断面長方形の棒状	"	" "	—	—	—	
	123	"	"	" "	—	—	—	
	PEG処理後凍結真空乾燥	106	短冊型木筒状	淡茶褐色	繊維方向に直交したクラックなし	<0.2	<2	3.2
107		"	"	" "	<0.2	3.5	<1	
110		"	"	" 稀	0.2	<1	<1	
114		"	"	" なし	0.2	<1	2.5	
115		付札型木筒状	淡暗褐色	" "	<0.2	3	<1	
116		"	"	" "	<0.2	3.5	<1	乾燥中そり返ったので水で湿し矯正
125		面取りある棒状	淡茶褐色	" 少	—	—	—	
126		断面長方形の棒状	"	" 少	—	—	—	
127		"	"	" 稀	—	—	—	
128		板状加工品	"	" なし	—	—	—	
アクリルアミド処理後凍結真空乾燥	101	短冊型木筒状	明白色	繊維方向に直交したクラックなし	0.1	<1	<1	
	103	付札型木筒状	"	" 稀	<0.2	3	<1	
	105	短冊型木筒状	黄灰色	" "	<0.2	<1	2.5	
	111	"	"	" 多	<0.2	3	<1	
	112	"	"	" "	<0.2	4	2.6	
	118	付札型木筒状	"	" "	0.4	1	<1	
	131	断面長方形の棒状	"	" "	—	—	—	
	132	"	"	" "	—	—	—	
	133	板状加工品	"	" "	—	—	—	
	134	"	"	" "	—	—	—	
	135	断面凹形の棒状	"	" "	—	—	—	

料から出る水が比較的多量なためトラップ内壁に厚い氷の層ができ、そのため熱伝導が低下しトラップの性能が著しく落ちる。そのため水は真空ポンプまで侵入し所定の真空度が保てなくなった。

このような装置の不調を克服しながらも一応実験した結果について述べる。なおこの実験は当時平城宮跡発掘調査部に在籍されていた岡田茂弘技官と協力しておこなったものである。

(1) 実験 1, 凍結真空乾燥と P. E. G 法との比較

実験試料として平城宮跡 (6 AAB-U 地区) の土掘 (SK 820) 内から出土した木材のうち、ヒノキ材の角棒 1 本と板 2 枚, カシ材の棒 1 本及び箸 9 本を使用した。このうち棒と板は各々 3 分割してそれぞれの実験をおこなった。試料の大きさと保存状態は表 3 に示す。なお試料の含水率はヒノキ材で約 330% であった。

これらの試料を用いて自然乾燥, P. E. G 1500 浸漬法と凍結真空乾燥法を比較した結果は表 4 である。処置方法は P. E. G 1500 の 50% 水溶液に 22 時間浸漬したものと, -20°C に 16 時間予備凍結したものを断続的に 21 時間凍結真空乾燥したものである。

以上の実験から収縮率は, 凍結真空乾燥によるものが最も少なく, P. E. G 処理によるものがこれに次ぎ, 自然乾燥によるものが最も大きかった。また処理後の木肌の色調も, 凍結真空乾燥によるものが最も明色を呈し, 自然乾燥によるものがこれに次ぎ, P. E. G 処理によるものが最も暗色を呈した。但し凍結真空乾燥によるものは, 繊維方向に直交する細かいクラックを生ずる傾向があり, 保存状態の悪いものほど多数のクラックを生じた。

(2) 実験 2, 凍結真空乾燥にともなうクラックの防止

実験試料として木筒状木製品 18 点, 棒状加工品 9 点, 板状加工品 6 点を使用した。各試料の形状は表 5 の通りである。なお試料の含水率は約 370% であった。

これの試料を次のように a), b), c), に分けて凍結真空乾燥をおこなった。

a) 直接に凍結真空乾燥

これは試験片を -20°C で予備凍結したのち, 断続的に 14 時間乾燥した。

b) P. E. G で処理後凍結真空乾燥

クラック防止のため試料を P. E. G 6000 の 20% 水溶液に 3.5 時間浸漬したのち, -20°C で予備凍結してから断続的に 21.5 時間乾燥した。

c) アクリルアミド系樹脂で処理後凍結真空乾燥

アクリルアミドとアクリル酸の共重合体を合成し, この 1.4% 水溶液に 1.5 時間浸漬したのち, -20°C で予備凍結してから断続的に 12 時間乾燥した。

この実験結果をまとめ表 6 に示す。

実験 2 の結果からクラック防止効果は, P. E. G が比較的によく, アクリルアミド系樹脂処理によるものは全く効果がなかった。

木肌表面の色調は, アクリルアミド系樹脂処理によるものが最も淡い黄灰色を呈し, 無処理の凍結真空乾燥によるものがこれに次ぎ, P. E. G 処理の凍結真空乾燥によるものが淡茶褐色を呈したが, この程度の差は殆んど問題にならない状態で何れも色調は良好と云える。なお試料番号 104 の木筒状木製品は, 乾燥前に認められなかったうすい墨書が, 乾燥後にあらわれて「天平□□」と判読できるようになった。これは凍結真空乾燥により木肌の色調が, 処理前より明るくなった結果によるものと思える。

以上述べたように凍結真空乾燥法について明るい見通しが得られるようになったので, 昭和 42 年春に平城宮跡発掘調査部に新に凍結真空乾燥機を設置した。この装置はわれわれが用いた

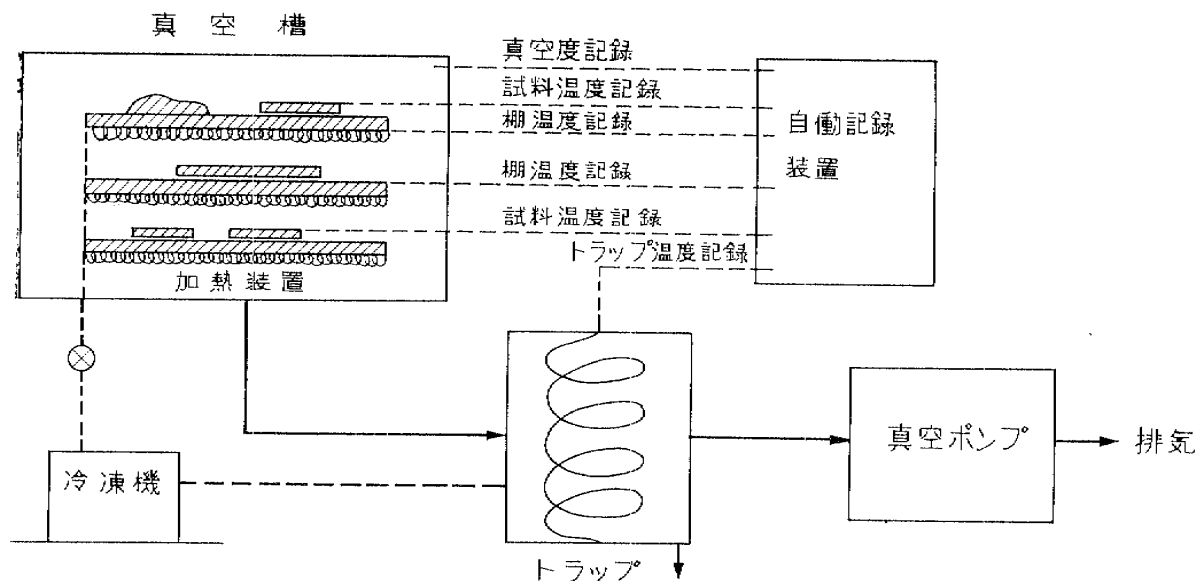


図 9. 凍結真空乾燥機略図

凍結真空乾燥機の欠点を改良したもので、真空槽内で -40°C まで冷却でき、冷却トラップは特別な機構により能率がよくなり、また棚温度、試料温度が 2ヶ所及び真空度が自動記録され、安全装置により昼夜連続運転が可能になった。この装置の略図を図 9 に示す。現在この機械は平城宮跡発掘調査部佐藤興治技官が実験を続行中であるが、これまでわれわれが佐藤技官の協力を得ておこなった実験について述べる。

この機械の運転方法は種々考えられるが、これまでに佐藤技官によって実験された結果、適当と認められた方法は次の通りである。

試料を試料棚に設置してから温度記録計の熱電対を試料に取り付け、密閉後冷却装置を作動する。試料の温度が -5°C になったとき真空ポンプを作動して排気を開始すると、約 10 分間で試料の温度は約 -30°C に降下する。このとき冷却を停止し、そのまま排気を続行する。その状態で最後まで乾燥するには非常に長時間を要するので、約 15 時間程度排気を続行したのち棚温度を 30°C まで上げ乾燥を促進させる。すると試料の温度は次第に上昇し棚温度に近ずき遂には棚温度と一致する。このときの真空度は約 0.1 mm/Hg 程度である。この点で操作を終える。

これから述べる実験は大体上記の運転方法によったものである。

(3) 実験 3, クラック発生の原因

前述のように凍結乾燥すると、木材の繊維の方向に直交するクラックが発生するが、この原因が水が氷になるときの体積膨張に因るものではないかと考え次のような実験を試みた。

水が氷になるとき体積は約 9% 膨張する。事実出土木製品は水に沈むが、これを氷らせると水に浮くようになる。これを水が氷になって体積が膨張し比重が軽くなったためと考えると、このとき木材も膨張による張力を受ける筈である。凍結によるクラックの発生が、この応力で生ずるものであるとすれば、一度凍結した出土木製品はその後如何なる方法で乾燥してもクラックは生ずる筈である。そこで適当な木筒状木製品を 3 分割し、1/3 を一度完全に凍結させてから再び水中で氷を溶し、これを P. E. G 6000 の 50% 水溶液に 15 分間浸漬したものと、次の 1/3 はそのまま P. E. G 6000 の 50% 水溶液に浸漬し、残り 1/3 はそのまま無処理の状態で凍結真空乾燥を同時におこなった。その結果を図 10 及び図 11 に示す。

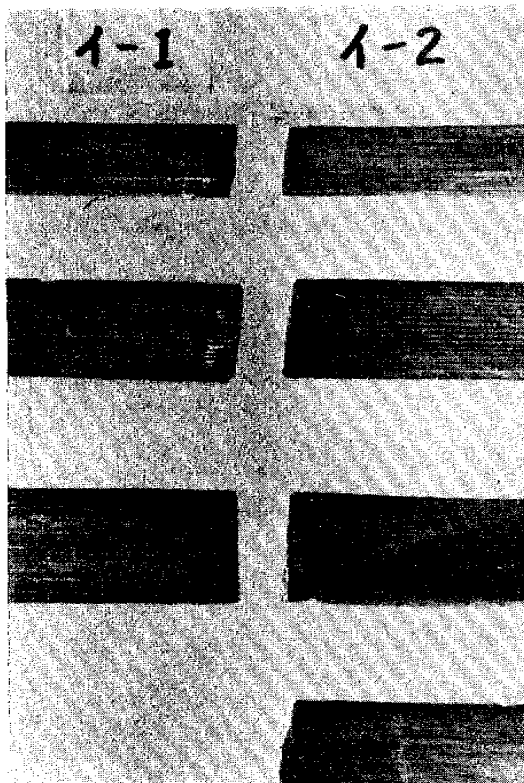


図 10. I-1 は PEG 処理で凍乾
I-2 は一度凍結後 PEG 処理で凍乾

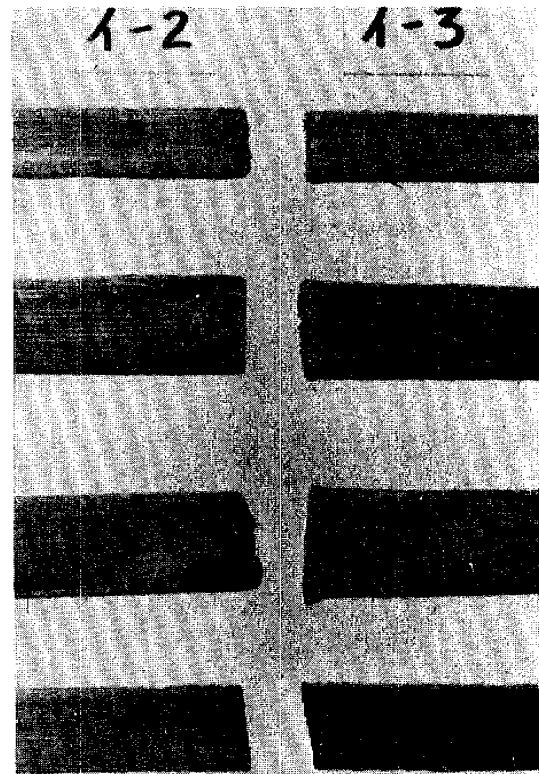


図 11. I-2 は一度凍結後 PEG 処理で凍乾
I-3 は無処理で凍乾

I-1 は P. E. G 6000 で処置した後凍結真空乾燥したもの、I-2 は一度凍結した後氷を融解し更に P. E. G 6000 で処置し凍結真空乾燥したもの、I-3 は直接に凍結真空乾燥したものである。結果は写真の通り予想に反し一度凍結したものにもクラックは生じなかった。これは凍結すること自体は、クラックの発生の原因にはならず、凍結真空乾燥中の脱水機構に原因があるのではないかと考えられる。P. E. G のクラック防止効果の機構の解明は今後に残された問題である。

(4) 実験 4, P. E. G 6000 と他の樹脂との比較

凍結真空乾燥におけるクラックの防止には P. E. G 6000 の処置が有効であるが、しかし P. E. G には木材自身の強化処置は余り期待できない。そこでクラック防止効果と木材の補強効果を同時におこなうことを目的に 2, 3 の合成樹脂の併用による凍結真空乾燥を試みた。

木筒状木製品 4 本を夫々 3 分割し次のように処置したのち同時に凍結真空乾燥した。

ア 1, 市販の水溶性アクリル樹脂 (バインダー 17) の 20% 水溶液に試料を 1 時間浸漬させた。この樹脂は工業用に繊維や皮革の含浸用として用いられているもので、粘度が低いいため比較的高濃度でも浸透性がよいものである。

ア 2, 比較するため P. E. G 6000 の 60% 水溶液に試料を 15 分間浸漬した。

ア 3, ポリビニールアルコール (P. V. A) 6% 水溶液に試料を 1 時間浸漬させた。

この結果を図 12 及び図 13 に示す。クラック防止効果はやはり P. E. G 6000 処理が最もよく、バインダー 17 も P. V. A も殆んど効果がなかったが、強いて順位をつければ P. E. G > バインダー 17 > P. V. A の順になる。

以上述べたように 現在までの段階では、木筒に関する限り P. E. G 6000 の併用による凍結

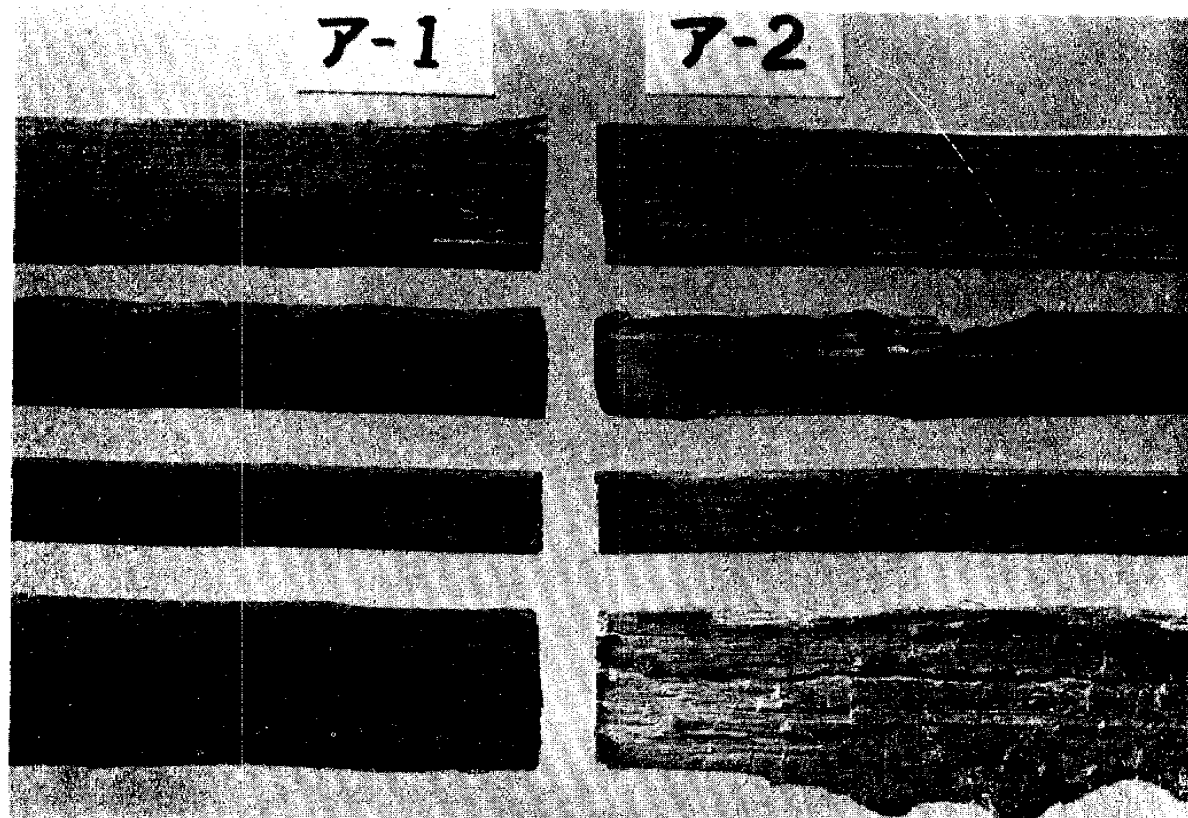


図 12. バインダー 17 と PEG 6000 と P. V. A の比較
ア-1 バインダー 17 ア-2 PEG 6000

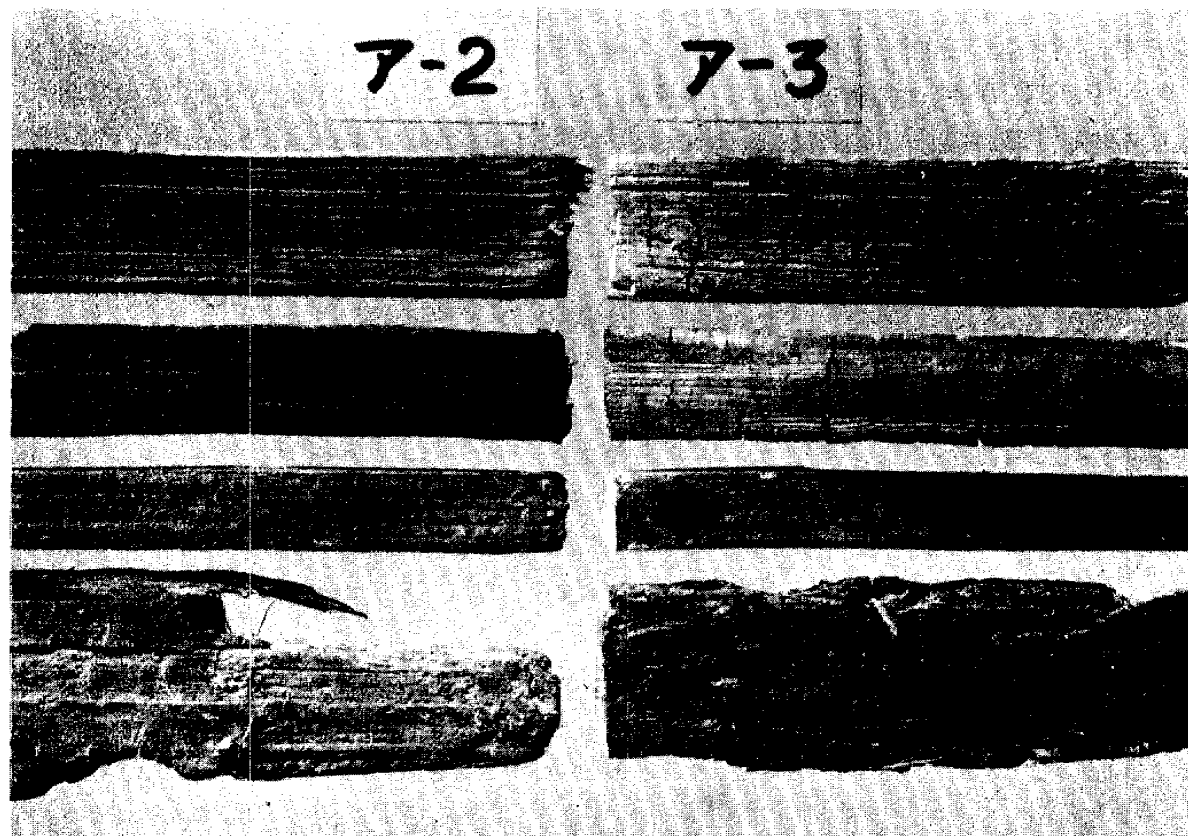


図 13. PEG 6000 と P. V. A の比較
ア-2 PEG 6000 ア-3 P. V. A

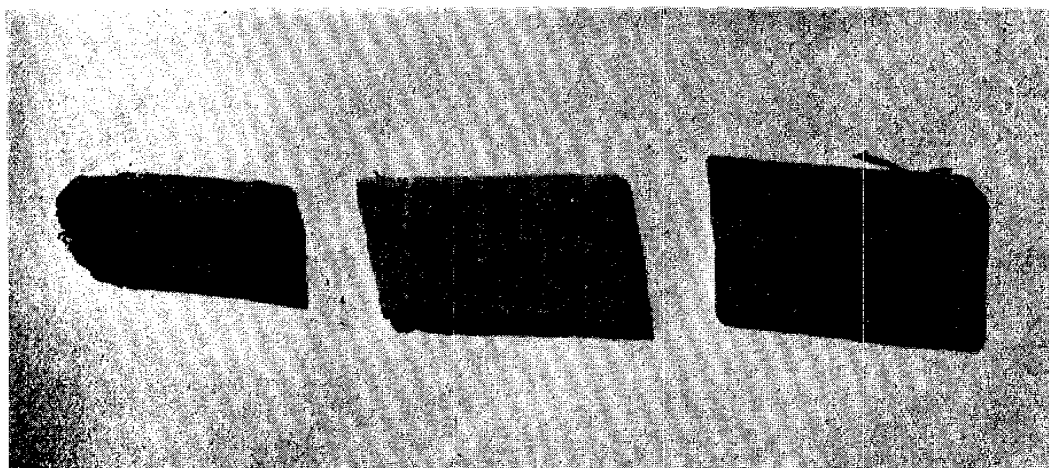


図 14. 左より自然乾燥，無処理の凍結真空乾燥，PEG処理の凍結真空乾燥
(同一材を3分割)

真空乾燥が最も有望であると考えられる。しかしこの方法で本格的に実施するには、まだ問題がある。それは木簡の厚さ及び腐朽状態がそれぞれ異っているので、多量に一度に凍結真空乾燥機に入れ一定時間乾燥すれば、乾燥不十分なものと乾燥過度のものができ、その結果シミが生じたり、そり反ったりするものができることである。この点に関してはなお検討を要するものと思われる。

7. 木簡削片の保存処置

これまでに平城宮跡から出土した木簡は2万点にもおよぶが、形のほぼ完全なものはこの一割もない。その他の木簡は折れたり腐りかけたりして出土しているが、特に多いのは書き損じや使用済みの木簡をもう一度役立てるため、文字を小刀で薄く削りとったときにできた削り屑(削片と略称)で、このうち墨書のあるものは完全に保存しなければならないことは勿論である。しかしこの削片の保存処置は前述の木簡の場合と同一に取り扱うことは難しい。削片のなかには紙のように薄くて複雑な形のものも多く、凍結真空乾燥では乾燥過度になってめくれ上ったり、崩壊し易くなるので保管が難しくなる。また明ばん法によると色調が非常によく、変形もないが、質が脆くなり表面が荒れるので墨書のものに対しては適当でない。

そこで削片をグリセリン中に浸漬して脱水してから(脱水しないと水で有機硝子が白濁する)無色透明の厚さ1.5mmの有機ガラス(ポリメタクリル酸メチル)の中に埋め込み封入した(図15)。しかしこの方法では削片にグリセリンが含浸されているため、色調が濡れ色になって薄い墨書は不鮮明になる欠点がある。

次に試みた方法はアルコールエーテル法による脱水とダンマル樹脂(天然樹脂)による処置である。

出土木製品の乾燥による損傷は前述のように水が蒸発する際に表面に引っぱり張力が働くことも大きな原因であると考えられるが、この方法は表面張力の高い水(0.72 dyne/cm)を表面張力の低いエーテル(0.17 dyne/cm)で置換し乾燥するものである。但しエーテルは水に溶けないので、木製品の水を在来の方法どおり一度アルコールで完全に置換してから、さらにこのアルコールをエーテルで置換する。このエーテル置換の最後にダンマル樹脂20%のエーテル溶液に1昼夜浸漬して削片の強化をしてから、常温で乾燥した。この処置では変形はかなり改善されたが表面が多少黒みがあった。しかしダンマル樹脂溶液に浸漬後、ポリエチレンシート

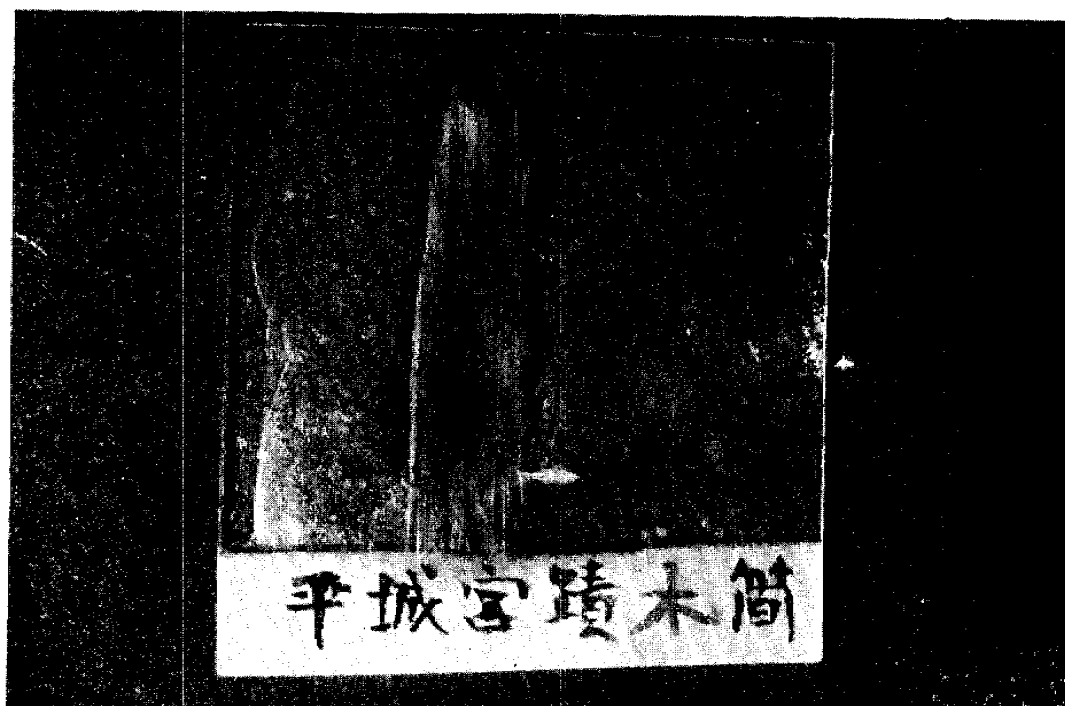


図 15. 有機ガラスに封入した削片 (35 mm × 35 mm)

の間にはさみ軽く圧縮してから、アスピレーターの減圧下で乾燥すると、削片の表面の色調はかなり明るくなり、変形も殆んど生じないことが分った。

このようにダンマル樹脂で処置した削片を、さらに保存を完全にするため有機硝子中に埋め込み封入したが、削片表面は再び濡れ色を生じた。これはメタクリル酸メチルの半重合体中の単量体が木材表面にしみこんだためと考えられる。有機ガラスへの封入をこのような流し込み

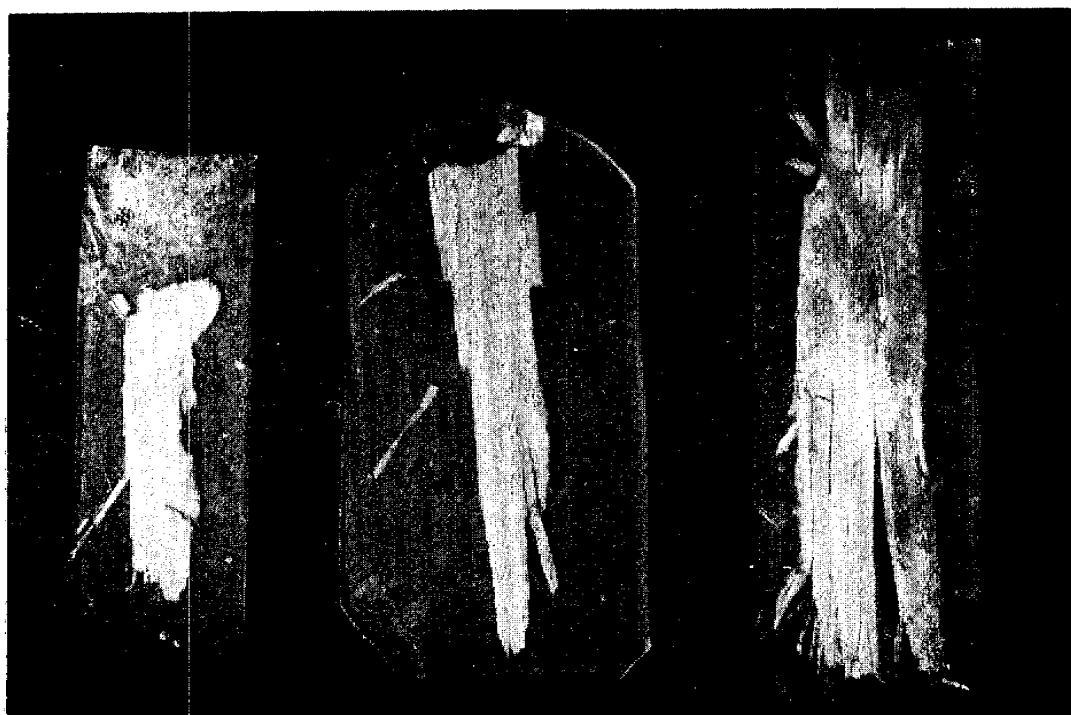


図 16. エルバックス樹脂に封入した削片 (35 mm × 15 mm 右端)

によらず、メタクリル樹脂の成型粉末による乾式法で封入すればこの濡れ色を防止できると思うが、削片に高い圧力と熱をかける点で危険である。そこで比較的低い温度と圧力で成型できる材料として、エチレン酢酸ビニール共重合体（商品名 エルボックス）による埋め込み封入を試みた。

方法は粒状エルボックスを硝子板にのせ、約 110°C に加熱して半熔融状態になったとき別の硝子板をその上にかぶせ気泡を抜きながら軽く圧縮すると、樹脂は互に融着して厚さ 0.5~1 mm の板になる。こうして 2 枚の樹脂板を作り、この 2 枚の間にダンマル樹脂処置をした削片をはさみ再び軽く圧縮しながら加熱して埋め込み封入する。こうして作製したのが図 15 である。このエルボックスによる埋め込み封入によれば削片の濡れ色は完全に防止できたが、メタクリル樹脂の場合と比較しての欠点は、エルボックスがゴム状弾性体であるので樹脂板が撓み易いことである。また封入法は削片が空気と完全に遮断されるので、保存性は最もよいと考えられるが、樹脂板の光沢は如何ともすることができない。若しこの光沢が外観上問題になるとすれば、何か適当な材料の基板に削片を接着して保存する方法を工夫しなければならないであろう。

む す び

平城宮跡出土木製品の保存処置の方法に関し、現在までにおこなった一連の実験を論じたが、実際問題として平城宮跡に於て本格的に保存処置がおこなわれるようになるためには、まだ幾多の技術的困難を克服しなければならぬであろう。その中でも特に出土木製品の保存状態腐朽程度を観察し、処置方法を選定することは容易なことではなく、そのためには数多くの経験と知識を必要とする。現在の段階では本格的処置の実施にはまだ種々問題が多すぎるようである。しかし問題が難しいからといって時間ばかりかけてもおれないのは、現在までに宮跡の 13% が発掘されたに過ぎないのに、出土木製品は既に数えきれないほどの量に達し、水びたしの状態で本格的な処置を待っていることである。これに対しわれわれは更に研究室における基礎研究の必要性をますます痛感しながらも、一方で敢て実際的処置を実施することによって臨床的にも種々組織的に検討を進めることが必要になってきたと考えられる。

終りにのぞみ、事務局記念物課岡田茂弘技官、平城宮跡発掘調査部佐藤興治技官をはじめ関係各位の多大なる御協力に感謝するとともに、実験補助の労をとられた理大学生流川治君にも謝意を表す次第である。

文 献

- 1) 木材工業便覧 林業試験所編 p. 213
- 2) The Conservation of Cultural Property. UNESCO
- 3) R. M. Seborg & Robert B. Inverarity. Conservation of 200-year-old Water-logged Boats with Polyethylene Glycol
- 4) 元興寺極楽坊、元興寺極楽坊総合収蔵庫建設報告書 p. 41 (昭 40)
- 5) 真空乾燥 真空技術講座 8 日刊工業新聞社

Résumé

Tomokichi IWASAKI and Seiji HIGUCHI: Conservation of Wooden Objects from the Ruins of the Heijō Palace.

Numerous wooden objects, including about 20,000 wooden writing tablets, have heretofore been unearthed from the ruins of the Heijō Palace (710-809 A. D.) in Nara, excavation of which is still being continued. The majority of them are now preserved in water with fungicide, and part of them have been treated with polyethylene glycol solution.

For the conservation of these excavated wooden objects, we experimented polyethylene glycol method, alum method, freeze-drying method and other methods, and compared their results. We found that for treatment of wooden writing tablets the freeze-dry method caused the least shrinkage and contortion, and that it made the color of the wood surface lighter, causing the inscriptions to be more clearly legible. We also found, however, that this method is liable to cause fine cracks at right angles with the wood fiber. Further experiment proved that the cracks can be prevented effectively by placing the object for about 15 minutes in 50% solution of polyethylene glycol 6000 and subsequently treating it with freeze-dry method.

For the conservation of small shavings from wooden writing tablets, we are studying a method of dessicating them by alcohol-ether method, impregnating them with dammar resin, and embedding them in transparent plastic resin.