

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：84604

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K13252

研究課題名（和文）出土木製遺物の保存処理の飛躍的効率化を実現する溶媒蒸発を用いた薬剤含浸技術の確立

研究課題名（英文）Development of chemical impregnation method with solvent evaporation for streamlining the conservation treatment of waterlogged wood

研究代表者

松田 和貴（MATSUDA, Kazutaka）

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・研究員

研究者番号：60791035

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：遺跡から出土する脆弱な木製遺物の保存処理には、安定化のための薬剤含浸に長い期間を要することから、その効率化が長年の課題とされてきた。本研究では、遺物表面からの溶媒蒸発を利用して木材内に溶液の流れを生じさせ、移流によって遺物内部に溶質を能動的に移動させる新たな薬剤含浸法について、実験によりその実用性を示した。従来の薬剤含浸法に比べ、出土木製遺物の保存処理の効率を大きく向上させる一助となるものといえる。一方で、適切な処理条件の策定法については、今後さらなる検討が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、出土木製遺物の保存処理における薬剤含浸について、その効率を従来法に比べて大きく向上させる新たな手法とその実用性を示したものである。木製遺物の保存処理効率の向上は、未処理のまま水中で仮保管される期間の短縮にも寄与する。すなわち本研究の成果は、より多くの木製遺物を、より良好な状態で後世に残し伝えることにつながるものであるといえる。また、実務上の作業負担が大きく軽減されるとともに、使用薬剤量やエネルギーの削減も可能であることから、人的・経済的なコストの大幅な低減につながるものである。

研究成果の概要（英文）：Since it takes a long time to impregnate fragile waterlogged wood excavated from archaeological sites with chemicals for stabilization, the efficiency of the process is severely limited.

This study demonstrates the practicality of a new chemical impregnation method that uses solvent evaporation from the surface of the wood to make a flow of solution inside in it. Compared to the conventional methods, it can be said that it helps to greatly improve the efficiency of conservation treatment of excavated wooden artifacts. On the other hand, further investigation is required in the future on how to formulate appropriate treatment conditions.

研究分野：文化財保存科学

キーワード：出土木材 保存処理 含浸 溶媒蒸発 移流 ポリエチレングリコール

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 出土木製遺物の保存における課題

水浸状態で出土する木製遺物の保存処理には長い時間を要するため、現状では多くの出土木製遺物を未処理のまま水中で仮保管せざるを得ず、またその数量は増加の一途をたどっている。これらの未処理の出土木製遺物については、保管場所の不足のほか、保管の長期化による劣化の進行などの深刻な問題が全国で生じている。こうした背景から、木製遺物の保存処理の効率化は、文化財保存科学における最も重要な研究課題の一つとして位置付けられてきた。

(2) 研究の方向性

一方、現在までに実用化されている保存処理法における薬剤含浸の基本的な原理は、薬剤の種類によらずほぼ同様である。すなわち、安定化のための薬剤を溶質とした溶液中に木製遺物を浸漬し、緩やかに溶質濃度を上昇させることで、遺物内部への溶質の拡散を図るものである。しかしながら、こうした拡散による溶質の移動は、溶液そのものの流れ、すなわち移流によるもの比べて極めて緩慢である。そのため、こうした拡散現象を溶質移動のおもな駆動力とする薬剤含浸の工程は、原理的に長期的なものとならざるを得ない。木製遺物の保存処理のさらなる効率化のためには、拡散だけでなく、移流を利用して溶質を遺物内部へ移動させる薬剤含浸法の開発が重要と考えられた。

2. 研究の目的

研究代表者らは、先におこなった予備的な実験において、移流を利用した遺物内部への効率的な薬剤含浸が可能であることを示唆する結果を得た。これは、水浸状態の出土木製遺物の一部を保存処理用の溶液に浸漬し、他の部位から溶媒のみを蒸発によって除去することで、遺物内部に負圧を生じさせ、液絡部から遺物外部の溶液を吸収、溶質の濃縮・蓄積を図るものである。

本研究では、このように溶媒の蒸発を利用して遺物内部に保存処理溶液の流れを生じさせ、移流によって溶質を効率よく含浸させる手法を溶媒蒸発法と称し、開発を目指すこととした。

3. 研究の方法

(1) 概要

一般に難含浸性で変形が生じやすく、保存処理の難度が高いとされる、アカガシ亜属の出土材を試料として、溶媒蒸発法による薬剤含浸実験を実施した。また、固化工程における真空凍結乾燥法の併用による効果の検討もおこなった。

(2) 実験

試料

直径 40 cm 程度のアカガシ亜属の出土材 (*Subgen. Cyclobalanopsis* 最大含水率: 700~900%) から、図 1 に示す試料を作製した。実験における寸法安定効果を検討するため、8つの頂点(A~H)を基準に、直方体の辺に相当する部分の寸法を12箇所測定した。

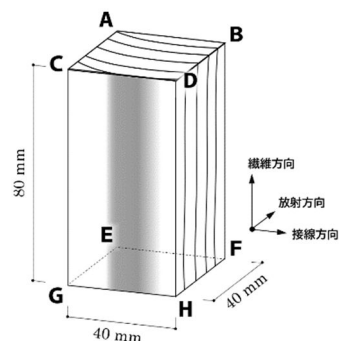


図 1 試料の寸法測定基準点

方法

以上の試料に対して PEG (三洋化成工業製 PEG4000BCP、以下同じ)水溶液を浸透させる過程で、溶媒である水の蒸発速度を制御できるように、図 2 に示す装置を構築した。エアポンプから吐出される空気が図 2 中の矢印の方向に流れるよう、各部をウレタンチューブで接続した。エアポンプの直後設けた電磁バルブにより、含浸容器への送気有無を任意に制御できる仕様とした。測定・制御装置により、含浸容器内の空気の温度と相対湿度ならびに溶液の温度と粘度の記録、および電磁バルブの制御を5秒ごとにおこなった。

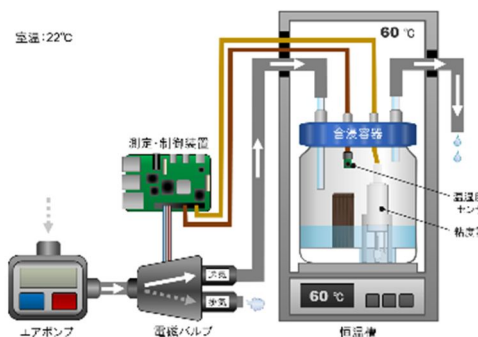


図 2 実験装置模式図

実験では、含浸容器に PEG 水溶液をいれ、木口面を下に試料上部が液面より露出するように立てて浸漬した。エアポンプを一定の流量で稼働させ、あらかじめ設定した条件に応じて電磁バルブを自動制御し、相対湿度を一定の範囲に維持した。すなわち、含浸容器内の空気の相対湿度が上限値を超えた場合は、エアポンプから実験室内の空気を吹き込んで押し出すことで除湿した。反対に、含浸容器内の相対湿度が下限値を下回った場合は、この吹き込みを停止し、溶液からの水分蒸発による相対湿度の上昇をはかった。試料 O-1~O-5 においては、この動作を PEG 水

溶液が 60% (w/w) 超の濃度となる粘度 (50 mPa・s) に達するまで継続することとした。含浸後の各試料は、真空凍結乾燥機内で予備凍結として-40℃にて 24 時間以上静置したのち、減圧して 7 日間乾燥させた。比較のため、PEG 溶液を含ませず、上記の実験装置を用いて 60℃ RH 90-95% の環境下で穏やかに乾燥させる条件 (試料 O-A) と、真空凍結乾燥のみをおこなう条件 (試料 O-F) も設定した。各試料の含浸工程における PEG 水溶液の初期濃度と溶液量、エアポンプの流量、含浸容器内の相対湿度範囲は表 1 に示すとおりである。なお、試料 O-6 は固化工程に真空凍結乾燥法を用いない条件として設定したものである。本試料では溶液量の減少が停滞し、含浸容器内の相対湿度が増加しない状態となったことをもって、溶媒の蒸発が十分進行したと判断し、含浸工程の完了とした。含浸工程後の試料は 22℃の実験室内に静置し冷却固化させた。実験前と同様に各試料の寸法を測定し、次式により各測定箇所の収縮率を求めた (O-6 については、固化前も測定した)。

$$\text{収縮率} (\%) = (\text{実験前寸法} - \text{実験後寸法}) / \text{実験前寸法} \times 100$$

4. 研究成果

含浸工程中、各試料とも濡れ色を保ち、形状にも大きな変化は認められなかった。試料表面からの水分蒸発にともなって内部に負圧が生じ、PEG 水溶液が液絡部から吸収されたと考えられる。試料表面から水が蒸発する速度を、試料内部への溶液の供給速度以下に抑制し得たといえる。ただし O-1 では、機器の不具合により含浸容器内の相対湿度が過度に上昇あるいは低下した期間がそれぞれ最長 30 時間程度、複数回あった。O-6 では、含浸工程初期に試料の下部が接線方向にやや膨張し、また同工程終盤には、試料の上部が接線方向に膨張した。PEG を含ませない O-A は、水分蒸発にともない著しく収縮した。

各試料の含浸工程に要した期間と完了時の PEG 水溶液濃度および寸法測定箇所における収縮率を表 2 に示す (表中の接線・放射・繊維は、測定方向を示す)。ただし O-F では、真空凍結乾燥中に大きな破片が生じたため、一部箇所で収縮率を算定できなかった。O-1 ~ O-3 では各部の収縮率が小さく、概ね良好に保存処理を実施できたといえる。一方、O-1 と同じ初期条件かつ機器が正常に動作した O-4 では、収縮率は比較的小さいものの、板目面と柁目面において、内部への凹み (落ち込み) が多少認められた。含浸工程における溶媒蒸発速度の差異が、遺物内部への溶質の浸透の良否に影響することを示唆するものと考えられる。なお、O-5 では上部の収縮率がやや大きく、また側面の落ち込みも認められた。これには、他と比べて初期の溶液の粘度が高く、また溶液量も少なかったために、溶質が試料全体に浸透しにくく、その蓄積も十分に進まなかったためである可能性が考えられる。O-6 において、含浸工程完了後の固化前、各測定箇所の収縮率はごく小さいか負の値を示した。含浸工程中に明らかに膨潤した様子が認められた接線方向では、その収縮率が-3.5 ~ -4.5% 程度であった。一方、固化後では各部とも概ね±2% 以内の収縮率となった。これは、固化工程中に試料全体が一定程度収縮したことを示しているが、最終的な寸法安定効果の観点からは、概ね良好に保存処理を実施できたものと考えられる。

以上から、溶媒蒸発法を用いた出土木製遺物の保存処理では、溶媒の蒸発速度などの諸条件を適切に設定し、さらに固化工程で真空凍結乾燥法を併用することによって、難含浸性の樹種による遺物であっても、良好な寸法安定効果を得られるという可能性を示すことができた。とくに真空凍結乾燥を実施する場合、事前に木製遺物に含浸させる溶液の最終濃度を 100% 未満とできることから、含浸工程のさらなる短縮化にもつながるといえる。一方、溶液の最終濃度を十分高くすることで、固化工程に真空凍結乾燥を実施せずとも良好な寸法安定効果を得られる可能性も示された。この手法では、含浸工程により長い時間を要するものの、工程が大変簡便となる利点があるといえる。従来の保存処理法と同様、利用可能な設備の状況や対象遺物の大きさ等に応じ、工程をアレンジすることになる。

本研究課題の遂行により、溶媒蒸発法の実用性を一定程度示すことができた。一方で、より適切な処理条件や手順の策定法を確立するためには、出土木材の種々の物性値が溶液の浸透性に及ぼす影響について、今後詳細に検討を進める必要があると認識している。

表 1 各試料の実験条件

| 試料名 | 初期濃度 | 溶液量 (g) | 終了粘度 (mPa・s) | ポンプ流量 (L/min) | 下限RH | 上限RH |
|-----|------|---------|--------------|---------------|-------|-------|
| O-A | - | - | - | 0.5 | 90.0% | 95.0% |
| O-F | - | - | - | - | - | - |
| O-1 | 20% | 2000 | 50 | 1.0 | 90.0% | 95.0% |
| O-2 | 20% | 2000 | 50 | 1.0 | 85.0% | 90.0% |
| O-3 | 20% | 2000 | 50 | 0.5 | 85.0% | 95.0% |
| O-4 | 20% | 2000 | 50 | 1.0 | 90.0% | 95.0% |
| O-5 | 30% | 1300 | 50 | 1.0 | 90.0% | 95.0% |
| O-6 | 25% | 2000 | - | 0.5 | 99.5% | 99.8% |

表 2 各試料の含浸期間と含浸終了時の PEG 水溶液濃度および寸法測定箇所における収縮率

| 試料名 | 終了時濃度 | 含浸期間 (日) | A-B 接線 | C-D 接線 | A-C 放射 | B-D 放射 | E-F 接線 | G-H 接線 | E-G 放射 | F-H 放射 | A-E 繊維 | B-F 繊維 | C-G 繊維 | D-H 繊維 |
|-----------|-------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| O-A | - | - | 38.15% | 59.18% | 35.22% | 58.96% | 44.50% | 58.11% | 30.97% | 54.29% | 15.68% | 15.47% | 16.38% | 15.89% |
| O-F | - | - | -0.59% | -1.97% | 3.57% | 2.54% | 1.34% | - | - | 2.84% | 5.40% | 4.90% | - | 5.38% |
| O-1 | 61% | 16 | -0.88% | -1.57% | 0.63% | 0.91% | -2.07% | -1.75% | 0.89% | 1.13% | 0.44% | 0.61% | 0.47% | 0.36% |
| O-2 | - | 11 | 0.00% | 0.58% | 0.36% | 1.02% | -3.08% | -1.51% | 0.22% | 0.68% | 0.48% | 0.83% | 0.28% | 0.24% |
| O-3 | 43% | 12 | -0.41% | -0.24% | 0.56% | 0.78% | -2.54% | -1.80% | 0.39% | -0.94% | 0.66% | 0.33% | 0.33% | 0.49% |
| O-4 | 60% | 19 | 0.42% | 2.29% | 1.73% | 1.91% | -2.23% | -0.62% | 1.99% | 1.84% | 0.99% | 1.08% | 1.10% | 0.86% |
| O-5 | 65% | 14 | 9.57% | 6.19% | 1.96% | 4.69% | -2.15% | -2.58% | 1.72% | 1.64% | 1.66% | 1.78% | 1.36% | 1.57% |
| O-6 (固化前) | 68% | 42 | -4.03% | -3.52% | 0.05% | -0.15% | -3.42% | -3.63% | -0.24% | -0.49% | -0.09% | 0.01% | -0.11% | -0.19% |
| O-6 (固化後) | - | - | 0.46% | 0.47% | 1.54% | 2.90% | -1.03% | -2.17% | 0.57% | 1.32% | 1.20% | 1.05% | 1.20% | 0.98% |

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 松田和貴、脇谷草一郎、高妻洋成 |
| 2. 発表標題 溶媒蒸発速度の制御による水浸出土木製遺物の保存処理における薬剤含浸の効率化（その2） |
| 3. 学会等名 日本文化財科学会第38回大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 松田和貴、脇谷草一郎、高妻洋成 |
| 2. 発表標題 溶媒蒸発速度の制御による水浸出土木製遺物の保存処理における薬剤含浸の効率化（その3） |
| 3. 学会等名 日本文化財科学会第39回大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|