

湿度制御した温風処理による漆仕上げ材の表面ひずみの測定

竹口 彩・藤原 裕子・藤井 義久・木川 りか・
佐藤 嘉則・古田嶋 智子・犬塚 将英

独立行政法人国立文化財機構
東京文化財研究所

保存科学 第56号 別刷

平成28年度

〔報告〕 湿度制御した温風処理による 漆仕上げ材の表面ひずみの測定

竹口 彩*・藤原 裕子*・藤井 義久*・木川 りか**・
佐藤 嘉則・古田嶋 智子***・犬塚 将英

1. はじめに

近年、木造建築物や木質美術工芸品に対する害虫駆除法として、湿度制御した温風処理がヨーロッパを中心に普及しつつある¹⁻³⁾。湿度制御した温風処理とは、断熱環境に置いた処理対象物に対して、木材の水分平衡状態を可能な限り保ちながら緩やかに温湿度を上昇させ、材の内部温度を害虫の耐性に応じて約55から60℃に到達させ、その状態で1時間から5時間保持することで、木材中に生息している昆虫の体を構成しているたんぱく質を変性させ、卵、幼虫、蛹、成虫のすべての齢を駆除する方法である。

これまで日本では、木造建築物における甲虫類等の駆除方法としてフッ化スルフルルや二酸化炭素などによる被覆燻蒸処理を行ってきたが、安全性、作業性やコストの面で課題が多い。湿度制御した温風処理にはこれらの課題を解決できる可能性があり、ヨーロッパでは野外博物館の大型木造民家も処理されている⁴⁾ことから、被覆燻蒸処理に変わる方法として期待が寄せられているが、日本での処理の実施例⁵⁾はほとんどない。

湿度制御した温風処理を日本の木造建築物へ適用するためには、様々な課題を解決する必要がある。駆除効果に関しては、社寺に用いられるような大断面の木材の場合、内部まで所定の温度に達するのか、高温の保持期間をどの程度にするか等の実験検討が必要である他、処理に伴う木材の含水率や温度変化とそれらによるひずみや変形が、複雑に組み込まれた接合部や各部材自体にどのような影響を及ぼすのかについても検討する必要があると考えられる。さらに、建物によっては材表面に漆や彩色を施しているものがある。この漆や彩色層と木材との間には、熱膨張率、熱伝導率や吸放湿特性とそれに伴う膨潤・収縮能に差があるため、温湿度変化によってそれぞれが異なる挙動を示し、塗装膜の亀裂や剝離の発生が懸念される。漆膜のみについては熱による伸縮⁶⁾や透湿性^{7,8)}を検討した報告がいくつかあるものの、鉱物質を含む下地層も含めた漆膜の温湿度変化に対する挙動についての研究例⁹⁾はほとんどない。

本研究では、漆塗装を施した建物を湿度制御した温風処理するのに必要となる知見を得るため、通常的气象条件の範囲を超える温湿度変化を与えた際の木材や漆膜の表面の変形挙動を把握することを目的とし、本処理を想定した温湿度変化のある環境下に漆仕上げしたケヤキ材を置いた時の、漆層および木地の表面に発生するひずみを測定した。

2. 実験方法

試料は寸法が300mm角の心持ちのケヤキ気乾材から作成した。この材のすべての面を漆仕上げし、それを縦挽きで2分割することで、6面中5面が漆仕上げ、残りの1面は木地が露出したものを作成し、試料とした。漆膜の厚さは下地部分を含め0.5から1.0mmで、漆膜は木地

調整後、布着せした面に地の粉下地、切粉下地、錆下地の順で各下地表面を砥ぎあげながら付ける下地造成をしたものに、仕上げ層として2回の中塗りと1回の上塗りを施したものである。図1は測定に供した試料である。木地面の繊維方向中央付近で繊維直交方向に異なる2か所と、その対面にあたる漆仕上げ面上の2か所について、各か所にひずみゲージ (SKF-29516, KYOWA) を繊維方向および繊維直交方向に1枚ずつシアノアクリレート系瞬間接着剤で貼りつけた。またゲージ直近に表面温度を測定するための熱電対 (K種, 線径0.10mm) 1つを貼りつけた。さらに木地面、漆仕上げ面ともその半分はアルミ箔が密着するように被覆した。これによって木地面および漆仕上げ面の各面について、温度と湿度の両方の影響を受ける部分 (暴露部分) と温度変化のみを受ける部分 (被覆部分) を設けた。試料は27°C, 60%RHの恒温恒湿器内の中央に設置し、約1週間養生した。ひずみ8点, 材温4点, 器内の温度および湿度2点の計14点の信号はデータロガー (EDX-10A, EDX-11A, EDX-12A, EDX-13A, KYOWA) を介してデータ集録ソフトウェア (DCS-100A, KYOWA) で5分毎に記録した。

恒温恒湿器内の温湿度設定は表1に示す3条件とした。条件1は相対湿度が60%一定で温度のみを27から60°Cの範囲で変化させた。これによる暴露部分の木材の含水率は昇温過程で10.5から9%に低下し、保持期間では9%を保ち、降温期間で9から10.5%に上昇すると考えられる¹⁰⁾。なお、木材の含水率は乾量基準で求められる¹¹⁾。条件2では、湿度制御した温風処理の原理に基づいて木材の含水率が変化しないよう、温湿度ともに変化させた。条件3では温度が27°C一定で、相対湿度のみを60から67%の範囲で変化させた。これによって、加湿期間で含水率が

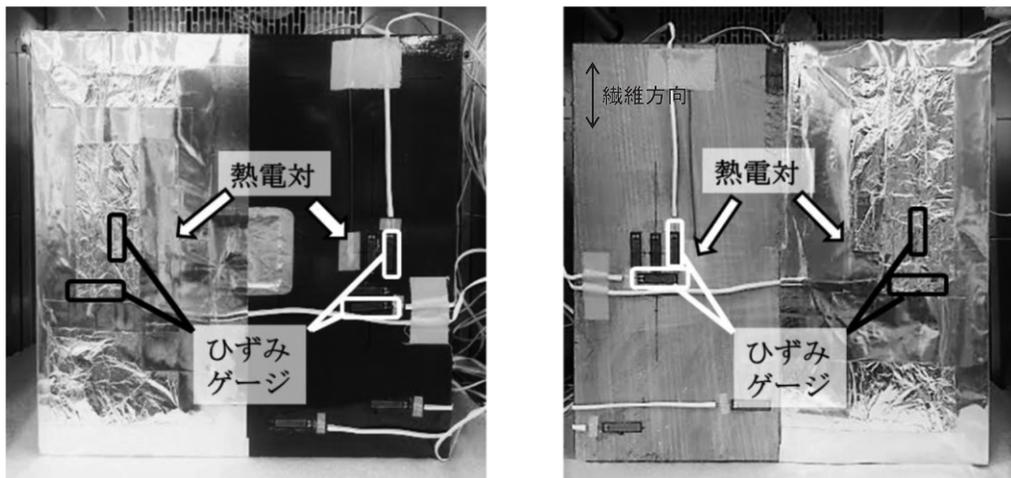


図1 ひずみゲージおよび熱電対の貼り付け位置 (左: 漆仕上げ面, 右: 木地面)

表1 温湿度制御の設定条件

条件	制御対象	昇温/加湿	保持	降温/減湿
1	温度 (°C)	27→60	60	60→27
	湿度 (%)	60		
2	温度 (°C)	27→60	60	60→27
	湿度 (%)	60→70	70	70→60
3	温度 (°C)	27		
	湿度 (%)	60→67	67	67→60

10.5から12%に上昇し、保持期間では12%を保ち、減湿期間で12から10.5%に低下すると考えられる¹⁰⁾。但し、外気の湿度変化に対して木材の含水率は応答が遅い¹²⁾ため、本実験で含水率が変化するの表層のみであると考えられる。予備実験よって、昇温(加湿)により最大ひずみに到達し、保持時間帯でほぼ定常状態となり、降温(減湿)でひずみがゼロに戻るような時間サイクルのうち最短のものを見出し、本実験では昇温(加湿)時間6時間—保持時間12時間—降温(減湿)時間6時間—養生時間12時間とした。各条件につき、実験の繰り返しは3回とした。なお、本実験では試料表面における温湿度変化とひずみの関係を明らかにすることを目的にしているため、試料中心温度が恒温恒湿器内温度に達しているかどうかはここでは議論しないが、別途の実験において、本実験で使用した試料の倍の体積(300mm角)の木材および漆仕上げ材で同様の処理を行ったところ、本実験で使用した試料の中心部分にあたる位置の温度は、保持期間中に約54℃に達していることを確認している。

3. 結果

図2に恒温恒湿器内の温湿度および試料各測定箇所の表面温度とひずみの変化を示す。試料表面の温度は、いずれの測定条件および測定点でも器内の温度変化に追随した(図2上段)。条件1(温度のみ変化)および2(温湿度ともに変化)では、器内の温度とともに表面温度は上昇し、保持時間帯に安定し最高で約55℃となったが、恒温恒湿器に設定した最高温度の60℃には到達しなかった。条件3(湿度のみ変化)では、測定面の表面温度は一定であった。

条件1および2に関して、繊維直交方向のひずみは、いずれの測定点でも温湿度の上昇とともに引張(+)側に大きくなり、保持時間帯で最大値である約1500 $\mu\epsilon$ をとって定常状態となり、温湿度下降とともに減少して0に戻る傾向が認められた。また、定常状態において、木地面と漆仕上げ面のどちらも、また暴露面も被覆面も概ね同じといえる値に達したが、木地面では被覆側のひずみの方が暴露側よりわずかに大きく、漆仕上げ面では逆の傾向を示した。一方、繊維方向のひずみは、いずれの測定点でも温湿度の上昇とともに圧縮(-)側に大きくなり、保持時間帯で圧縮側の最大値である約-300 $\mu\epsilon$ をとり、温湿度下降とともに0に戻る傾向が認められた。繊維方向の圧縮ひずみはこの方向に材が収縮したことによるもので、既往の研究においても、木材の主要構成成分であるセルロースや木材を加熱すると、本実験の温度範囲内では、セルロース結晶鎖の連なる方向(木材の繊維方向と5-20°程度の角度を持つ)や木材の繊維方向に収縮することが示されている^{13,14)}。この繊維方向の収縮は、試料に熱(外力)が加えられたことで繊維直交方向に大きく膨張したことに対するポアソン効果によって発生したと考えられる。

ここで既往の研究^{13,14)}から木材の熱的性質を考えると、どちらの条件でも試料は昇温とともに繊維直交方向には膨張し、降温とともに収縮する。繊維方向にはその逆の動きをする。また、含水率変化に対する木材の膨潤収縮を考えると、条件1の温湿度設定では理論上、昇温時に含水率が10.5から9%に低下するため木材はどちらの方向にも収縮し、降温時に9から10.5%に上昇するため膨潤する。条件2では木材の平衡含水率が一定となるため膨潤収縮は発生しないことになる。一般的に、木材の熱膨張率と含水率1%当たりの膨潤率とでは前者がはるかに小さくなるが、本実験条件では含水率変化が1.5%程度であるのに対して、温度変化が約33℃であった。これに加えて、含水率変化による膨潤収縮が発生しない条件2でも、条件1と同様のひずみ変化が生じたことから、定常状態に達したひずみの値は主に温度変化の影響をより大きく受けたものであることが示唆された。また、漆膜は本来熱膨張率に異方性がないと考えられるが、漆仕上げ面についても繊維方向と直交方向とでひずみに差が生じたことや、漆仕上げ面

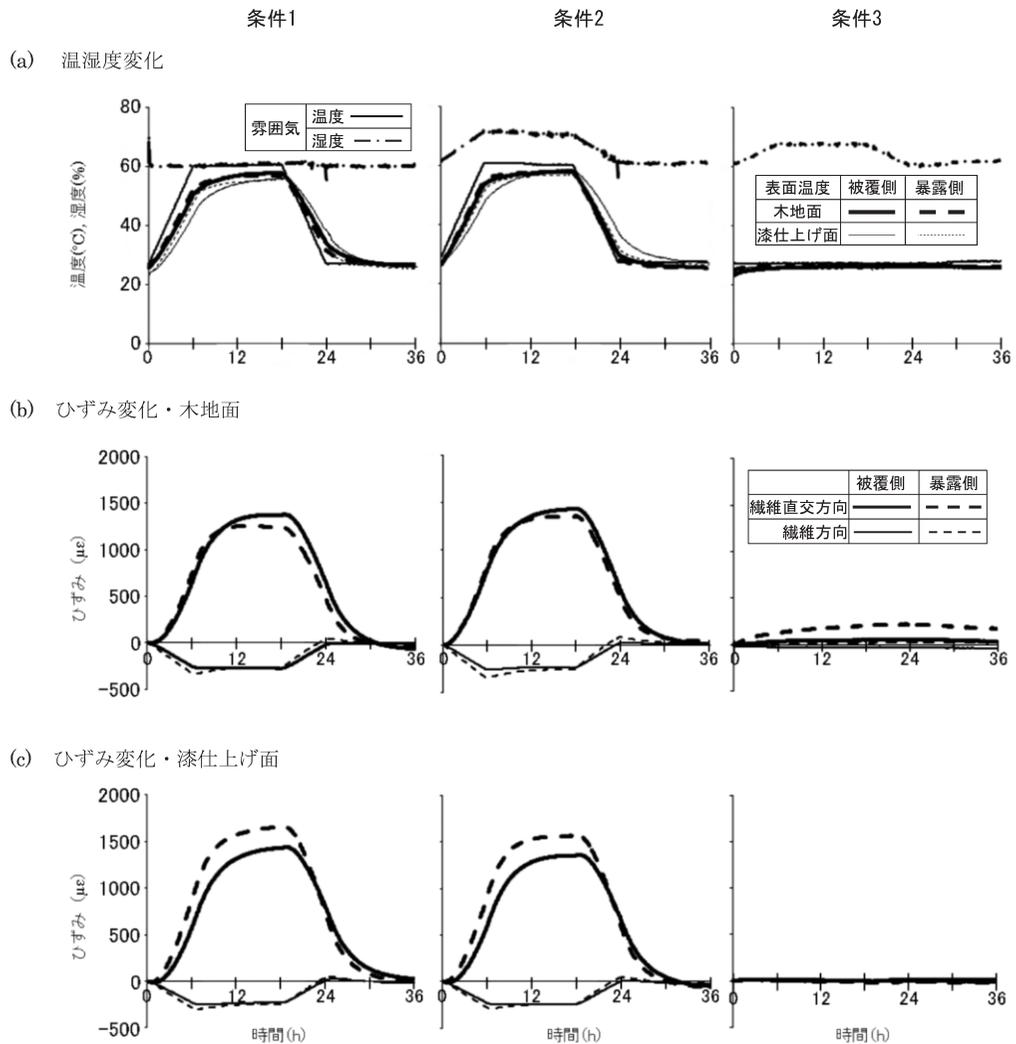


図2 器内温湿度および試料表面温度の変化(a)と木地面(b)および漆仕上げ面(c)のひずみ
(左列：条件1，中列：条件2，右列：条件3)

と木地面のひずみの挙動に差が殆どないことから、漆層の下地である木材に熱が伝わり膨張・収縮し、漆層がその動きに追随したと推測される。

条件3では木地面の暴露部の直交方向についてわずかに引張ひずみが認められたが、それ以外では、いずれの測定点でもひずみはほとんど検出されなかった。これは条件3では温度変化がなく、含水率変化も1.5%程度であったためと考えられる。

なお、本実験の条件1および2で測定された最大ひずみは、ある年の年気温変化が約 -6 から 26°C 、年湿度変化が16から99%RHの範囲であった地域で別途測定した木造文化財建造物部材の年間ひずみ変化量の実測値（繊維直交方向で約 $4500\mu\epsilon$ 、繊維方向で約 $1000\mu\epsilon$ ）を越えるものではなかった。また、実験終了後、漆仕上げ面に目視で確認できるような割れや漆膜の浮き等は発生していなかった。木地面にもそのような損傷は認められなかった。

4. 考察

本実験で測定したひずみは温度変化に由来するものと含水率変化に由来するものからなる。以降は温度変化を与えた条件1および2について両者を分離して考察する。考察では、温度変化由来のひずみはアルミ被覆側のひずみであると考え、含水率変化由来のひずみはアルミ被覆側と暴露側のひずみの差分と考える。

図3は各条件での木地面および漆仕上げ面における繊維直交方向のひずみ（上段）および繊維方向のひずみ（下段）を温度変化由来分および含水率変化由来分に分離して示したものである。どちらの条件および測定面でも、繊維直交方向のひずみ（図3上段）については、温度変化由来のひずみの絶対値のほうが含水率変化由来のものより大きい。また、この2条件の温度変化は同じであるため、温度変化由来のひずみはほぼ同様の挙動を示すと考えられ、実際には最大ひずみの平均値は木地面の条件1で $1321\mu\epsilon$ （ $1\mu\epsilon$ は 1×10^{-6} のひずみに相当）、条件2で $1237\mu\epsilon$ 、漆仕上げ面の条件1で $1340\mu\epsilon$ 、条件2で $1249\mu\epsilon$ となった。熱膨張率に異方性はないと考えられる漆によって仕上げた面が木地面と同様のひずみの変化を示したことについては、前述のように下地の木材と密着している漆膜が木材の膨張収縮に追従して伸縮したと考えられるが、漆膜の線膨張係数や異方性を別途確認する必要がある。

一方、繊維直交方向の含水率由来の木地面のひずみについて、条件1では昇温過程で含水率は10.5から9%に低下（放湿）し、降温期間では9から10.5%に上昇（吸湿）するため、これに対応してひずみは、放湿にともなわず圧縮方向に、さらに吸湿に伴い引張方向に発生するはずであるが、この変化は明確ではなかった。この原因のひとつには、湿度変化による吸放湿に伴うひずみ変化は温度変化のそれよりも遅れるため、同時刻で暴露部と被覆部でのひずみの差をとると誤差が発生することが挙げられる。含水率変化由来の最大ひずみは、条件1では $-200\mu\epsilon$ 程度であった。一方条件2では、含水率を一定に保って温湿度変化を与えるため吸放湿にともなう膨潤収縮はなく、ひずみも発生しないと考えられる。実際の測定値は圧縮側に最大で $-97\mu\epsilon$ となり、0とはならなかったが、条件1のときの半分程度の大きさであった。漆仕上げ面はどちらの条件でも引張側に約 $330\mu\epsilon$ のひずみが生じた。下地の木材が漆膜という塗膜で覆われており、木地面に比べて含水率変化による膨潤収縮が小さいと予想したが、どちらの条件でも含水率変化に由来するひずみが発生し、それは木地面の条件1と同程度の大きさであっ

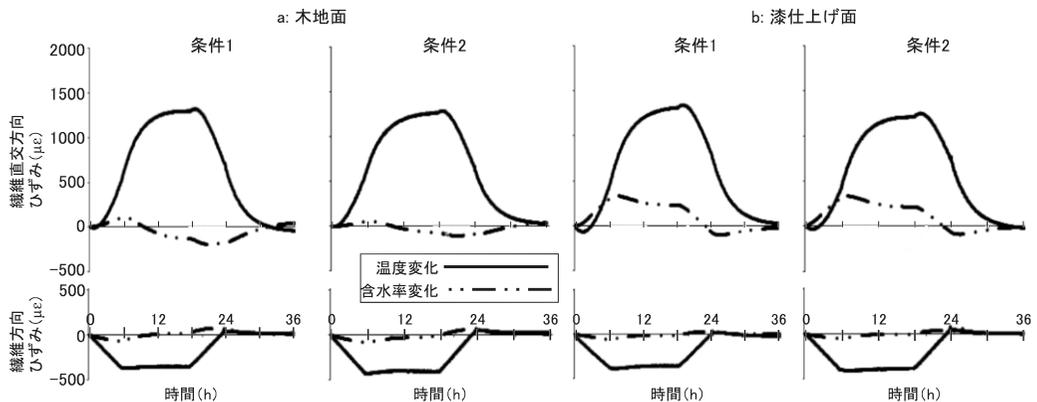


図3 条件1および条件2における各測定方向の温度変化および含水率変化由来のひずみ
(a:木地面, b:漆仕上げ面)

た。この原因について、現段階では不明である。しかし既往の研究で、室温での漆膜の吸放湿特性やそれにもなう膨潤・収縮能について検討された事例⁹⁾があり、その結果を踏まえると、今後は漆層の透湿性、吸放湿特性を含めた検討が必要であるといえる。

繊維方向については、温度変化由来のひずみの大きさは木地面でも漆仕上げ面でも約 $-400\mu\epsilon$ であった。これは、熱によって木材が繊維直交方向に膨張したため、ポアソン効果で繊維方向に収縮したものと考えられる。含水率変化由来のひずみの大きさは木地面では昇温終了前後で約 $-65\mu\epsilon$ 、降温終了前後で引張側に約 $73\mu\epsilon$ 、漆仕上げ面では昇温終了後に $-54\mu\epsilon$ 、降温終了後に $34\mu\epsilon$ でどちらも繊維直交方向より小さかった。

ここで、湿度制御した温風処理によって木材に発生するひずみを、木材の線膨張係数¹⁵⁾および水分変化に対する平均収縮率¹⁶⁾を用いて推定し、実験で得られた実測値と比較する。なお、漆仕上げ面については、漆膜自体の温度および含水率変化に由来するひずみも考慮する必要があるが、本研究では用いた漆膜の熱的特性値を把握していない。そのため、ここでは木地面に発生するひずみを推定する。温湿度変化を与えられた木材の繊維方向および繊維直交方向のひずみはどちらも、温度変化および含水率変化に由来するひずみの和で、さらに、温度変化によるひずみに関しては、当該の方向のひずみと直交方向のひずみのポアソン比を考慮する必要があると考えられる。このことより、木地面に関して、温湿度変化を与えた場合の繊維方向および繊維直交方向に発生するひずみの推定値は以下の(1)、(2)式より求められる。

$$\epsilon_L = \epsilon_{LT} + v \times \epsilon_{TT} + \epsilon_{LH} \quad (1)$$

$$\epsilon_T = \epsilon_{TT} + v \times \epsilon_{LT} + \epsilon_{TH} \quad (2)$$

ただし

- ϵ_L : 繊維方向のひずみ (推定値)
- ϵ_T : 繊維直交方向のひずみ (推定値)
- ϵ_{LT} : 温度変化による繊維方向のひずみ
- ϵ_{TT} : 温度変化による繊維直交方向のひずみ
- ϵ_{LH} : 含水率変化による繊維方向のひずみ
- ϵ_{TH} : 含水率変化による繊維直交方向のひずみ
- v : ポアソン比

とする。

さらに、ケヤキ (気乾比重 ρ が0.64と想定) の線膨張係数および含水率1%あたりの平均収縮率については、既往の研究より以下のような値が与えられる。

$$\alpha_L : \text{繊維方向の線膨張係数}^{15)} \quad 3.1-4.5 \text{ (平均}3.8) \mu\epsilon/^\circ\text{C}$$

$$\alpha_T : \text{繊維直交方向の線膨張係数 (密度の大きい広葉樹)}^{15)} \quad 45-58 \text{ (平均}52) \times \rho \mu\epsilon/^\circ\text{C}$$

$$\delta_L : \text{繊維方向の平均収縮率}^{16)} \quad 210\mu\epsilon/\%$$

$$\delta_T : \text{繊維直交方向 (柾目) の平均収縮率}^{16)} \quad 1600\mu\epsilon/\%$$

本実験において、温度変化 ΔT は条件1, 2ともに 33°C 、含水率変化 ΔMC は条件1で1.5%、条件2で0%である。ポアソン比 v は $0.4^{17)}$ とした。これらの値より求めた推定値は、温度変化による繊維方向のひずみ ϵ_{LT} は $-314\mu\epsilon$ 、繊維直交方向 ϵ_{TT} は $1048\mu\epsilon$ となり、含水率変化に由来するひずみは条件1では繊維方向 ϵ_{LH} $-315\mu\epsilon$ 、繊維直交方向 ϵ_{TH} $-2400\mu\epsilon$ となり、条件2ではどちらも $0\mu\epsilon$ となる。

図4は条件1および2における繊維方向と繊維直交方向のひずみの推定値と実測値 (定常状

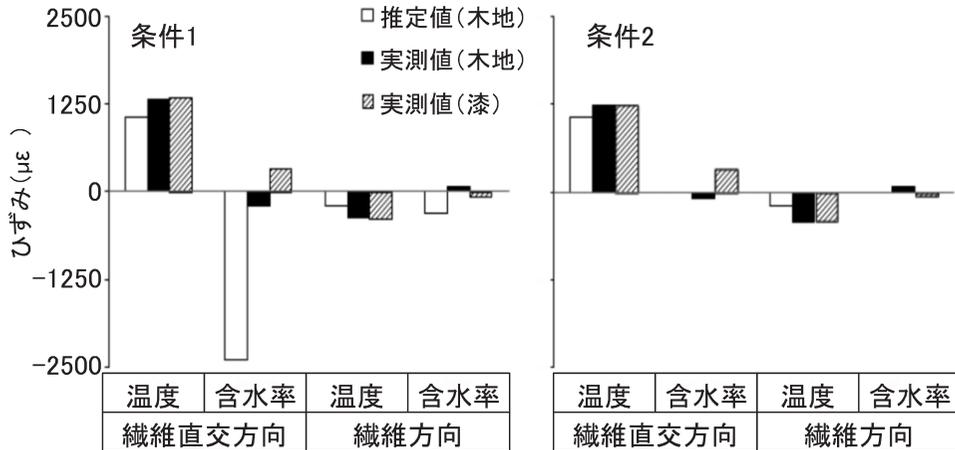


図4 温度変化および含水率変化に由来するひずみの推定値と実測値
(左：条件1，右：条件2)

態での平均値)を温度変化および含水率変化に由来するひずみに分けて示したものである。参考のため、下地の木材の膨張収縮に追従して伸び縮みしたと考えられる漆仕上げ面のひずみの実測値も示した。温度変化由来のひずみについては、どちらの条件およびどちらの方向でも推定値と実測値のひずみの発生方向が同じで、その大きさも概ね同じであった。ただし実測値は推定値よりわずかに大きく、推定値は繊維方向で $-204\mu\epsilon$ 、繊維直交方向で $1061\mu\epsilon$ であったのに対し、実測値はそれぞれ約 $-400\mu\epsilon$ 、約 $1300\mu\epsilon$ であった。

含水率変化由来のひずみは、条件1の繊維直交方向において推定値と実測値が大きく異なり、推定値 $-2400\mu\epsilon$ に対して実測値は木地面で $-196\mu\epsilon$ 、漆仕上げ面で $330\mu\epsilon$ であった。これについては、本実験で使用した試料の大きさが関係していると考えられる。雰囲気湿度が変化するとそれに追従して木材の含水率は変化するが、速やかに変化するのは表層のみ¹²⁾、本実験で使用した試料(300(L)×300(R)×150(T)mm)の全体の含水率は温湿度保持期間(12時間)でほとんど変化しないと考えてよい。したがって、含水率が減少したことで収縮しようとする表層の動きは、含水率がほとんど変化しない木材内部の組織構造に拘束され、表層では含水率変化量から推測されるほどの収縮が発生せず、ひずみの実測値が推定値と大きく異なると考えられる。また、どちらの条件でも、漆仕上げ面の含水率変化に由来するひずみが木地面とのそれと反対の方向に発生した原因についてはわからなかった。

5. 結論

本研究では、湿度制御した温風処理を想定した温湿度変化の下に、漆仕上げたケヤキ材を置いた時の、漆や木材の表面に発生するひずみや表面温度を測定し、温風処理に対する漆仕上げ材の挙動に関する基本的な知見を得るとともに、木材の線膨張係数や含水率変化による膨潤・収縮率から計算されるひずみの推定値と実測値とを比較した。

温度変化に由来するひずみは、推定値と実測値が概ね合致した。一方、本実験で採用した湿度一定で温度変化させた条件での含水率変化は1.5%であり、これに基づくひずみの最大値(接線方向)は0.25%程度と計算されたが、実測値は0.02%程度であった。これは材内での水分分布によって、表面の伸縮が、水分変化のほとんど認められない内部の木材によって拘束された

ことが一因と考えられる。

一方、含水率変化が生じないように湿度制御した条件では、含水率変化に由来するひずみの実測値は、木地面でも漆面でもわずかであった。このことから湿度制御した温風処理によって木地や漆膜に過大なひずみを発生させることなく材の温度を上昇させ、害虫駆除できる可能性が示された。しかし、本手法を実際の建物に適用するためには、施工後の年数が長く、劣化した漆膜や、古材、および古材に再施工された漆膜についても同様の傾向が認められるのかを今後さらに検討する必要がある。

謝辞

本研究（の一部）は、JSPS 科研費 JP15H01778（研究代表者 木川りか）の助成を受けたものです。漆塗装を施した試験材については、（公財）日光社寺文化財保存会の原田正彦氏のご協力を得ました。記して感謝致します。

引用文献

- 1) Gail Gali and Ticca M.A.Ogilvie: Thermal methods of pest eradication: their effect on museum objects, *The Conservator*, 29, 5-18 (2005)
- 2) Phillip Ackery, David Pinniger, Adrian Doyle, Karen Roux: Heat treatment of entomological drawers using the Thermo Lignum® heat process, *Collection Forum*, 19 (1/2), 15-22 (2005)
- 3) Florian Tscherne, Bernhard Schachenhofer, Karen Roux: Research study on the effects of the Thermo Lignum® Warmair treatment on art objects with paint and gilt finishes, *Wood Science for Conservation of Cultural Heritage -Braga 2008: Proceedings of the international conference held by COST action IE 0601, Braga, 5-7 November, pp.153-157 (2008)*
- 4) <http://www.thermolignum.com/general-information/news/> 2017.01.08参照
- 5) 木川りか、北原博幸、秋山純子、赤田昌倫、藤井義久、藤原裕子、岩橋神奈子、泊 智子、光山文枝、山崎久美子、トム ストラング、本田光子、今津節生：博物館展示資料の加湿温風による殺虫処理について 一山笠土台部材の処理事例一、文化財保存修復学会年次大会要旨集、(2016)
- 6) 小川俊夫：漆膜の熱的性質、色材、63(2)、71-76 (1990)
- 7) 谷野克己、加納享一、甲斐志津子、柳沢俊一：漆皮膜の耐湿信頼性（第1報）、電子技術総合研究所彙報、39(11)、845-849 (1975)
- 8) 熊野谿従、井上和夫、大島隆一、陳 劉旺：天然漆膜の吸湿特性、合成樹脂工業協会討論会講演要旨、32、104-107 (1982)
- 9) Lukasz Bratasz, Roman Kozlowski, Antonina Kozlowska, and Shayne Rivers: Conservation of the Mazarin Chest: structural response of Japanese lacquer to variations in relative humidity: ICOM-CC triennial meeting, New Delhi, India, 22-26 September, 2008, *Conference Preprints*, 2, 1086-1093 (2008)
- 10) 森林総合研究所：木材工業ハンドブック改訂4版、丸善出版、背表紙見返し (2004)
- 11) JIS Z2101：2009、木材の試験方法、pp.6-7 (2009)
- 12) 森林総合研究所：木材工業ハンドブック改訂4版、丸善出版、p.114 (2004)
- 13) Ritsuko Hori and Masahisa Wada: The thermal expansion of wood cellulose crystals, *Cellulose*, 12, 479-484 (2005)
- 14) 阿部房子：木材および木質材料の熱的性質に関する研究（第4報）木材の熱膨張について、木材

学会誌、19(2)、69-74 (1973)

15) 日本木材学会：木質の物理、文永堂出版、p.200 (2007)

16) 森林総合研究所：木材工業ハンドブック改訂4版、丸善出版、p.192 (2004)

17) 森林総合研究所：木材工業ハンドブック改訂4版、丸善出版、p.135 (2004)

キーワード：湿度制御した温風処理 (humidity controlled warm air treatment)；漆膜 (urushi layer)；ひずみ (strain change)；表面温度 (surface temperature)；平衡含水率 (equilibrium moisture content)

Strain Change on Surface of Wood and Urushi Layer under Humidity Controlled Warm Air Treatment

Aya TAKEGUCHI*, Yuko FUJIWARA*, Yoshihisa FUJII*,
Rika KIGAWA**, Yoshinori SATO,
Tomoko KOTAJIMA and Masahide INUZUKA

Humidity controlled warm air treatment is a method to disinfest insects in wood and other organic materials used for historical buildings and/or art works. The infested object is warmed with humidity controlled air until its temperature reaches higher than 55°C and kept in this condition for several hours.

In the present study, a 300 mm cube block of *keyaki* (*Zelkova serrata*), one side surface of which is uncovered and the others covered with Japanese lacquer "urushi" layer was treated according to a pre-set program of the warm air treatment in an environmental chamber. Temperature and strain on the surfaces with and without urushi layer were measured using thermocouples and strain gauges, respectively. The measured strains were compared with theoretically calculated strains, based on the linear coefficient of expansion and the shrinkage rate for a change in moisture content for wood.

Tensile or compression strains were observed perpendicular or parallel to wood grain, respectively. Absolute values of measured strains increased with increase in temperature and diminished as temperature decreased. Maximum tensile strains were 1200-1600 $\mu\epsilon$ for both wood and urushi surfaces, and these values were four or five times larger than the maximum absolute values of compression strains. These maximum strains were approximately one-third of annual strain changes measured on parts in traditional wooden buildings. The measured strain was divided into two components caused by temperature change and by moisture content change. The former was the value of strain gauge attached on the surface and covered with aluminum foil for moisture isolation. The latter was obtained by substituting the temperature-caused strain from the strain without foil. The temperature-caused strain was as similar as the theoretically calculated strain. The MC change-caused strain was significantly smaller than the theoretically calculated strain, even if the humidity condition was set to change the MC of 1.5%. The study suggests that the strain caused by MC change could be kept at smaller levels for both surfaces when temperature and humidity are controlled appropriately.

*Kyoto University

**Kyushu National Museum