

# 土壁の水分吸収・放出に関する基礎的研究

朽津 信明・森井 順之

## 1. はじめに

伝統的な日本の土壁は、一般に調湿機能と断熱機能に優れていると言われ、近年になってその有用性がまた注目され始めている<sup>1)</sup>。実際に、土蔵や土壁を持つ家の中で計測された温度や湿度などの計測データが示され、それが比較的安定している事実が報告されている<sup>2)</sup>。また、壁土のような多孔質物質が周辺環境と水分のやりとりを行うことはよく知られており、伝統的材料としての壁土についても、それにいろいろな条件を与えて吸湿特性に関する材料学的な検討が行われている<sup>3)</sup>。しかしながら、こうした研究では、土壁を持っている建物の内部において、湿度や温度が結果的に安定しがちだという事実や、あるいは実験室で与えられた環境での壁土の挙動が、それぞれ示されているに過ぎない。確かに壁土も基本的には土の性質を持つため、建物内でも水分のやりとりを持つことまでは容易に予想されるが、それが建物の湿度に影響を及ぼす程度のものであるかどうかには、別の検証が必要である。従って、実際の伝統的建造物において土壁表面での水分のやりとりを計測し、それによって湿度がコントロールされていることを定量的に検証することが求められていると言える。

その一方で、文化財の表面における水分のやりとりは、その物体の風化とも密接に関係していることから、文化財保存という観点からも注目される。例えば煉瓦造建造物では、煉瓦表面から水分が吸収され、またそれが蒸発によって放出される際に塩類が析出し、それが煉瓦の破壊につながる場合があることが報告されている<sup>4)</sup>。従って、土壁の表面における水分のやりとりを観察することは、文化財の塩類風化に対する対策を検討する上でも、貢献する部分が大い期待される。

そこで本研究では、関連文化財の保存に貢献することを視野に入れながら、土壁表面における水分のやりとりを観察することを試みる。

## 2. 調査対象と実験

### 2-1. 調査対象

今回調査対象としたのは、現在は東京都小金井市の江戸東京たてもの園内にある綱島家住宅である。この建物は、もとは江戸中期頃に現在の世田谷区に建てられた木造一階建ての農家の民家で、1997年に江戸東京たてもの園内に移築されて現在に至っている<sup>5)</sup>(図1)。建物の壁は基本的にいずれも土壁だが、この土壁は全て1997年の移築時に新たに施されたもので、当初のものではない。その土壁の施工方法は報告されている<sup>5)</sup>。この建物内部で、南東部分北面の直接降雨の影響のない土壁



図1 江戸東京たてもの園にある、綱島家住宅

(図2)表面における水分のやりとりに関して、各種の計測を行った(以後、「建物の土壁」と呼ぶ。)

## 2-2. 計測

計測は、基本的にデータロガーを用いて自動計測とした。計測項目は、建物内部の温度・湿度、建物外部の温度・湿度、そして、当該壁面からの表面蒸発量、さらに当該壁面の含水率である(図2)。温度・湿度の計測は、朽津・森井<sup>4)</sup>に基づき、(株)ティアンドディ社の「おんどとり」によって行った。表面蒸発量は、朽津・森井<sup>4)</sup>に基づき、同社の「おんどとりJr」による壁面近傍二地点間の絶対湿度の差から拡散係数をもとに算出した。また、含水率は朽津<sup>6)</sup>に基づき、IMKO社製TDR水分計のサーフェスプローブを用いて、土壁を傷めることなく表面にセンサーを接触させることで測定した。含水率を除く各値はいずれも一時間に一度の計測とし、含水率については20分ごとにデータを収集した。計測期間は2004年7月15日から11月14日までである。



図2 測定箇所

## 2-3. 実験

現在の綱島家住宅の土壁は当初のものではないとは言え、公開中の施設で実際に機能している壁を実験台に使うことはできないため、ある歴史的建造物で近年まで使用されていた土壁で、解体修理に伴って取り外された伝統的土壁の提供を受け、それを実験材料として用いた。これは昭和初期頃に伝統的技法で施されたと報告されている土壁で、提供を受けた試料の大きさは、ほぼ長方形の板状で、長辺約30cm、短辺約25cm、そして厚さ約3cmであった。試料は、取り外されたままの状態を手を加えず綱島家住宅内に持ち込まれ、建物内部の軒下で、なるべく風などの影響が少ないと判断される部分で実験に供された(以後、「土壁試料」と呼ぶ。)



図3 重量変化の自動計測

実験は、自動的にその都度温度補正を行いながら重さを計測して記録することができるタイプの電子皿天秤上(クリマテック製)に試料を乗せ、風の影響を避けるために周りを囲った状態で放置し、建物内部の空気との水のやりとりを重さの増減として計測することで行った(図3)。計測期間は、上記計測と一致させ、また20分ごとに値をデータロガーに記録した。

## 3. 結果

結果は図4～7に示す。

まず、実験の結果、土壁試料の重さは2034gから2051gの範囲で顕著な変動を示した(図4)。

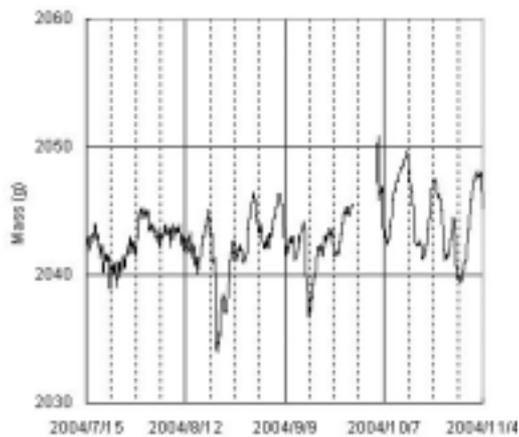


図4 土壁試料の重量変化

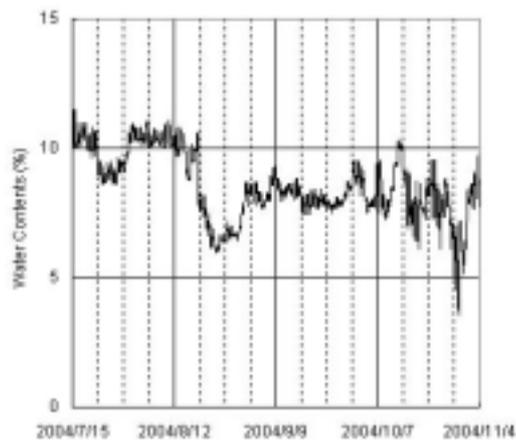


図5 建物の土壁の含水率変化

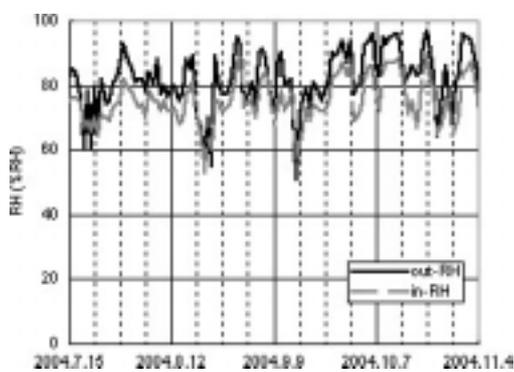
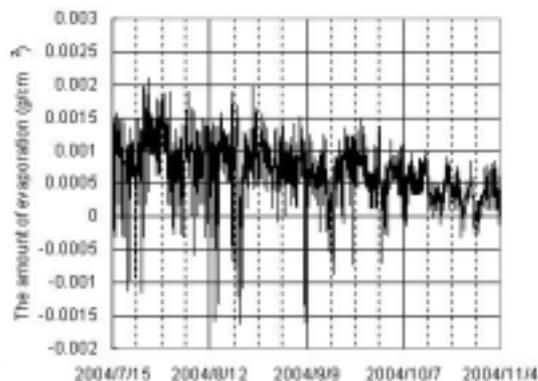
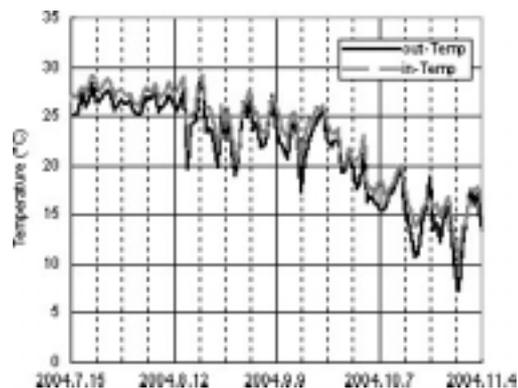
図6 建物内外の湿度変化  
一時間ごとの計測値を日平均値にして表示

図7 表面蒸発量変化

この変動のパターンを建物の土壁の含水率（図5）と比較すると、一般に試料重量が減少する時期は土壁含水率が低下する時期とほぼ対応し、試料重量が増加する時期は土壁含水率が上昇する時期とほぼ対応した。また、建物内部の湿度（図6）との関係でこれを見ると、試料重量の減少時期は湿度が低めの時期とほぼ対応し、試料重量が増加する時期は湿度が高めの時期とほぼ対応した。また、建物内部の湿度は、外部の湿度と類似した変動を示しながらも、一般に変動幅は小さい傾向にあった（図6）。一方、建物の土壁における表面蒸発量変化を見てみると（図7）、その変動のパターンには一定の傾向は見出されず、上記の各値との関係も判然としなかった。なお、温度変動においては、やはり建物内部の方が外部に比べて変動が小さい傾向が認められた（図8）。

図8 建物内外の温度変化  
一時間ごとの計測値を日平均値にして表示

## 4. 考 察

まず、実験の結果、土壁試料の重量が顕著な増減を示した要因としては、この試料において水分の出入りがあったことが考えられる。その変動パターンが、建物の土壁における含水率の変動ともよく対応していたことから、建物の土壁も同様に、建物内部の空気との間で水分のやりとりを繰り返していたことが考えられる。

そのやりとりの要因については、建物内部の湿度が低い時期に土壁試料も建物の土壁もいずれも水を放出する傾向にあり、また高い時期にはいずれも吸収する傾向が認められることから、周りの環境の湿度変動に対応して土壁が水のやりとりを行っている可能性が指摘される。これは従来から言われていた「土壁は、周りの環境を緩和する方向に放湿・吸湿を示す」という傾向を、定量的に実測できたものと判断される。

その場合の水分吸収や水分放出の絶対量を見積もると、まず土壁試料の場合には一日当たり多いときに単位面積あたり0.1mm程度の降水量に相当する、水分吸収または水分放出が起きた計算になる。一方の建物の土壁の場合には、一日当たり多いときに単位面積あたり0.5mm程度の降水量に相当する。この値は、個々の土壁の性質によって異なるかも知れないが、いずれにしても環境に影響を与えるのに十分な程度の水分のやりとりが行われていることが確認された。実際に建物内部では外部に比べて湿度変動が小さい傾向となっており(図6)、このことに土壁の存在が一役担っている可能性も十分に考えられる。

ただし、表面蒸発量の計測では、今回必ずしも上記のような現象を認識できなかった。例えば、水分を放出していると解釈される時期に表面蒸発量の値が増す傾向はそれ程顕著ではなく、また水分を吸収していると解釈される時期に表面蒸発量の値がマイナスにならない場合も認められた(図7)。この点については、今回の表面蒸発量計測が極めて局所的に行われたために、壁面全体の傾向を正確に把握できていない可能性や、今回の計測方法そのものの精度的な問題などが考えられる。今後計測地点を増やして全体的な傾向を見るなどの対応が必要であろう。

なお、温度変動に関しても、建物内部においては外部に比べて変動が乏しい傾向が今回認められたが、これが果たして土壁の影響によるのかどうか、すなわち、例えば建物内部での温度上昇幅が外部に比べて小さく抑えられている(図8)背景として、土壁からの水分蒸発による気化熱が貢献しているかどうかは、今回の計測だけでは何とも言えない。屋根の断熱効果などの他の要因も考慮した、慎重な検証が必要だろう。

## 5. ま と め

土壁を持つ建物と、建物から得られた土壁試料とを用いて、土壁が周りの空気との間で水分のやりとりをしていることを定量的に検証した。その結果、周りの湿度が高くなると、建物の土壁の含水率は上昇し土壁試料の重量は増加する傾向が見られ、湿度が低くなると、含水率は低下し重量は減少する傾向が見られた。これは周りの環境に影響されて、土壁が水を吸収したり放出したりしていることを示すと考えられ、そのやりとりの量は、建物内部の湿度に影響を及ぼし得る程であることが確認された。

### 謝辞

本研究における現地調査において、江戸東京たてもの園の阿部由紀洋氏と高橋英久氏にご協力いただいた。また、実験用の土壁試料は、松井建設(株)からご提供いただいた。以上を記

して御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) アイシオール：『新版 基本から知る素材・建材ハンドブック』建築資料研究社 (2001)
- 2) 建築知識編集部：『左官読本』（株）エクснаレッジ (2001)
- 3) 京都左官協同組合：『平成9年度 活路開拓ビジョン実現化事業報告書』（1998）
- 4) 朽津信明・森井順之：江戸東京博物館「銀座煉瓦街遺構」の劣化と保存，保存科学，43, 55-62 (2004)
- 5) 江戸東京たてももの園：網島家移築工事報告書 (2001)
- 6) 朽津信明：フゴッペ洞窟における岩体水分量調査，余市町教育委員会 (2004) 国指定史跡フゴッペ洞窟保存調査事業報告書，151-157 (2004)

キーワード：土壁 (earthen wall) ; 蒸発 (evaporation) ; 吸湿 (moisture adsorption) ; 含水率 (water content) ; 湿度 (humidity)

## Basic Study on Water Exchange on Earthen Walls

Nobuaki KUCHITSU and Masayuki MORII

It is often insisted that traditional Japanese earthen walls can control the relative humidity within buildings. However, surface exchange of water on earthen walls has not yet been quantified precisely. In this study, the weight change of an earthen wall sample was periodically measured in a traditional Japanese building. The water content within an earthen wall of the building was also continuously measured. As a result, it was found that when the relative humidity within the building is high, both the weight and the water content become higher, whereas when the former is low, the latter two become low. With this observation, water exchange on the surface of earthen wall has quantitatively been revealed.