

史跡ガランドや古墳の保存に関する研究

—石室保護施設の設置による結露性状変化の検討—

1 はじめに

日田市所在の史跡ガランドや1号墳では、奥壁を中心に、装飾が描かれた石材の表層剥離が進行している。剥離による石材の劣化は、石材表面で結露の発生と乾燥を繰り返す“乾湿風化”、およびそれに伴う析出物が主要因と考えられる。したがって、石材の劣化を抑制し、装飾を保存するためには、結露を抑制することが重要である。ガランドや1号墳は、大正2年(1914)頃に封土を失って以降、石室は露出状態にある。雨水の浸入防止のため、石材の目地は埋められ、さらに昭和60年(1985)以降では石室は防水シートに覆われた状態にあった¹⁾。本研究では、石室保護施設を設置して石室周辺土壌への雨水の供給を断ち、あわせて石室内室空気(以下室空気と略記)の換気回数を制御することで、結露の発生回数を減少させ得るのか検討するために、仮設の保護施設を建設し、2010年11月から環境調査を実施している。ここでは、石室が防水シートで覆われた以前の状態と、保護施設に覆われた現在の状態で、石材の結露発生回数について比較検討をおこなった。

2 解析方法と解析条件

東西方向の石室断面を考慮した二次元モデルについて、下記の2通りのモデルで室空気の温度と湿度に関して解析をおこなった。解析の諸条件を表17に示す。

1：外気側石材表面を防水シートで覆った状態。石室周

辺の地盤には雨水が供給される。

2：保護施設を設置した状態。施設内の範囲では地表面への雨水の供給は断たれる。

3 解析結果と考察

保護施設は機械換気をおこなっているため、室空気の換気回数を5回/時として解析をおこなった。モデル2における、室空気温度と絶対湿度の解析結果と実測値を、それぞれ図90、図91に示す。実測値と解析値を比較すると、振幅にわずかな差異が認められるものの、両者は概ね良好な一致を示しており、解析モデルは妥当と考えた。なお、この差異は、室空気を1質点で扱ったことに起因すると考えられる。次に、モデル1において、室空気の絶対湿度を解析した結果を現状(モデル2)の実測値と併せて図92に示す。石室を覆った防水シートの裾周囲は密閉状態と仮定して、換気回数を0回/時として解析をおこなった結果も示した。換気回数0回/時の場合では、年周期の絶対湿度の変動に、約半月の位相の遅れが認められた。したがって、夏から冬にかけては、外気と比較して室空気の絶対湿度は高く、石室内の低温箇所では結露が容易に発生し得ることが示唆された。モデル1と2における、日ごとの結露発生時間数を図93、94にそれぞれ示す。ただし、モデル1と2では換気回数をそれぞれ0回/時、5回/時とした。図93から、防水シートに覆われた以前の状態では、年間を通して結露は頻発しており、夏期は側壁の下部で、冬期は天井部を中心に、石材外側表面が露天に曝されている箇所において結露が発生することが示唆された。一方、図94から、保護施設に覆われた現況では、外気絶対湿度が高い梅雨時に、側

表17 解析方法

基礎方程式	土壌、石材内部：熱水分同時移動方程式 石室内：室空気を1質点で代表した熱水分収支式
気象条件	現地気象観測値 モデル1では外気の実測値を、モデル2では保護施設内空気の実測値を気象条件として使用
熱水分移動に関する物性値	土壌：実測値(熱伝導率は文献値 ²⁾) 石材：コンクリートの文献値を使用 防水シート：メーカー公表値(反射率0.3、吸収率0.2、透過率0.5)
計算方法	前進型有限差分法
計算期間	2011年7月12日～2012年7月12日 (周期的定常状態を得るまで反復計算)

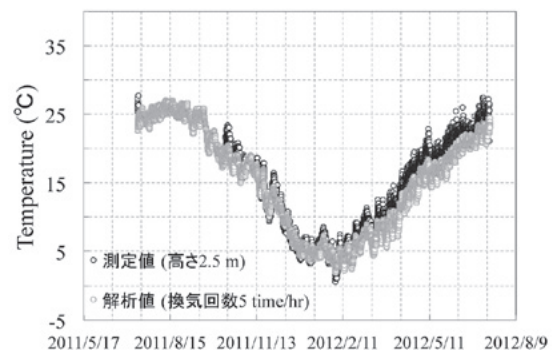


図90 石室内室空気温度の測定値と解析値(モデル2)

壁の下部のみで結露が発生することが示唆され、結露の発生が非常に限定的な結果を得た。以上の結果から、保護施設の設置によって結露の発生回数は大きく減少することが示唆された。

モデル1において、夏期は室空気の絶対湿度が高くなるが、天井部の日射量が増加し、夜間放射量は減少するために、室内側石材表面温度は高い値を維持しており、天井部では結露が発生しないと考えられる。しかし、背後を土で覆われた側壁部においては、室内側石材表面温度の上昇が緩慢であり、底部においてもっとも緩慢となる。したがって、室内側石材表面温度が低い側壁底部において結露が発生すると考えられる。冬期では室空気の絶対湿度は低下するが、夜間放射によって天井石を中心に石材表面温度が大きく低下する。したがって、冬期では天井石など石材外側表面が大气に露出した石材において、結露が発生すると考えられる。モデル2において、夏期の結露発生は上記と同様の理由と考えられる。また、石室が保護施設に覆われることで、夜間放射は石材と保護施設壁面との温度差に応じたものに限定された結果、夜間放射による冬期の石材表面温度の低下は、大き

く抑制される。したがって、室空気の絶対湿度が低い冬期では、石室全体にわたって結露の発生を回避し得ると推察される。

4 まとめ

グランドヤ古墳1号墳において、石材の主たる劣化要因は結露発生にともなう乾湿繰り返しと考え、保護施設設置による結露の発生回数の変化について検討した。防水シートに覆われた以前の状態では、発生箇所を変えながら、結露は年間を通して発生していたことが示唆された。一方で、保護施設の設置後では、同時期における石室内室空気の絶対湿度が低下したこと、および大气に露出した石室石材の冬期における温度低下が抑制されたことで、結露の発生回数は大きく減少したことが示唆された。

(脇谷草一郎・高妻洋成)

註

- 1) 日田市教育委員会『史跡グランドヤ古墳—保存整備基本計画—』2011、3頁。
- 2) 日本熱物性学会編『新編熱物性ハンドブック』養賢堂、2008、579～580頁。

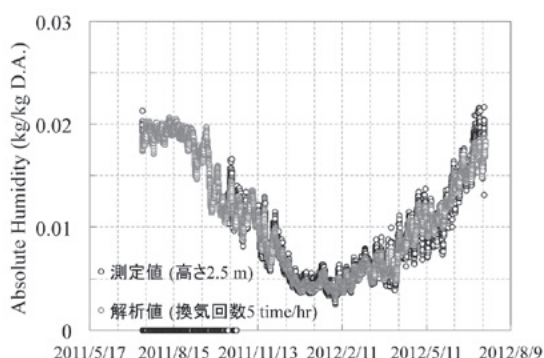


図91 石室内室空気絶対湿度の測定値と解析値 (モデル2)

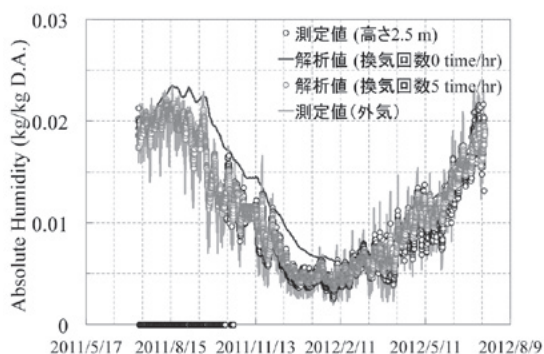


図92 石室内室空気絶対湿度の測定値と解析値 (モデル1)

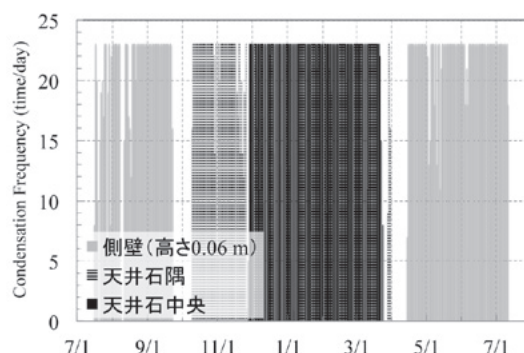


図93 年間の結露発生回数 (モデル1)

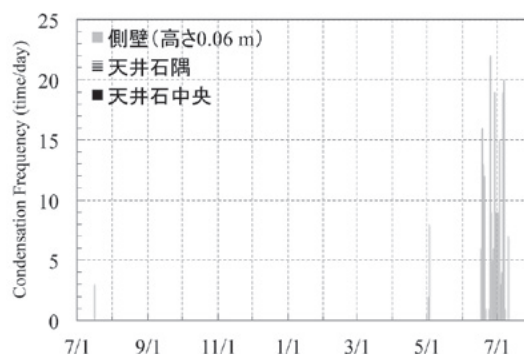


図94 年間の結露発生回数 (モデル2)