

史跡ガランドヤ古墳の保存に関する研究 2

— 結露抑制の手法に関する検討 —

1 はじめに

大分県日田市ガランドヤ古墳の石室石材表層にみられる剥離は、石材表面の乾湿繰り返しが主たる要因と考えられる。したがって、本研究では石材表面の結露を抑制することが壁画保存の解と考える。石室が露出していた以前の状態では、夏期に絶対湿度が高い外気が石室内へ侵入する一方で、室内側石材表面温度の上昇が遅れるため、また冬期は封土をもたない天井石が夜間放射によって冷却されるため、石室内石材表面で結露が発生していた。石室保護施設としての盛土が施工された後は、夜間放射による結露の発生は抑制されうると考えられることから、本稿では夏期の結露発生を抑制する手法について検討した。

2 解析による検討項目と解析条件

ガランドヤ1号墳の石室保護施設は、露出している石室をコンクリート製の躯体で覆い、さらに躯体を盛土で覆うものであり、躯体内部と石室の間に空間を有する。本研究では室内側石材表面の結露を抑制することを目的として、1) 石室内空氣の絶対湿度を低い値に維持する、2) 夏期に石室内側石材表面温度を上昇させることについて検討した。1) については、外氣と躯体内空氣間の換氣量を季節に応じて調整することに加え、冬期に湿氣の供給元となりうる躯体内部の地表面を断湿材で覆うことの効果について検討した。2) については、熱源によって石室内空氣を温めることの効果について検討した。解析モデルは復元マウンドを有する鉛直一次元モデルであ

表 I-10 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、躯体内：室空氣を1質点で代表した熱水分収支式
氣象条件	現地氣象観測値
熱・水分移動の物性値	土壌：実測値（熱伝導率は文献値 ¹⁾ ） 石材：コンクリートの文献値を使用
計算方法	前進型有限差分法
計算期間	2012年1月1日～2012年12月31日 （周期的定常状態を得るまで反復計算）

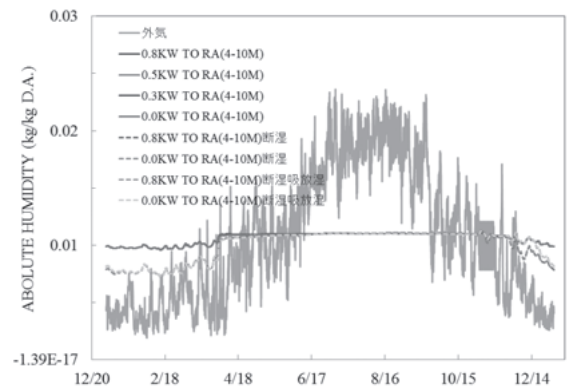


図 I-53 石室内空氣の絶対湿度の年変化

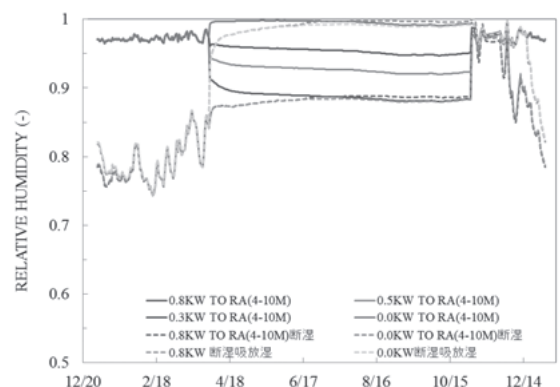


図 I-54 石室内空氣の相対湿度の年変化

る。解析方法を表 I-10に示す。外氣と躯体内空氣の換氣については、4月-10月は0.1回/時間、そのほかの期間では1.5回/時間とした（換氣能力の上限値）。また、躯体内空氣と石室内空氣との間の換氣量も上記と同量の体積とした。躯体内部地表面を断湿としたモデルでは、断湿材表面の吸放湿性を考慮した。

3 解析結果と考察

石室内空氣の絶対湿度と相対湿度変化を図 I-53・54に示す。図に示したように、冬期（11月から3月）は絶対湿度の低い外氣を積極的に取り込むことで、また夏期は換氣を極力抑えることで、1年を通して低い湿度を維持するという結果を得た。また、躯体内部の地表面の土壤が露出した状態では、冬期の湿度は比較的高い値を示すが、これを断湿材で覆うことで冬期の湿度を低下させることが示唆された。図 I-55に示した石室内空氣温度変化から石室内の熱源の熱量を変化させた場合、石室内空氣温度に若干の差異が生じるものの、いずれの場合も年平均値は約16℃程度と低く、かつ年周期の変動が殆ど認められず、きわめて安定した状態と考えられる。図 I-56に躯体内側表面の結露発生量を示す。躯体内部地表面を断湿とした場合、結露は年間を通して生じないこ

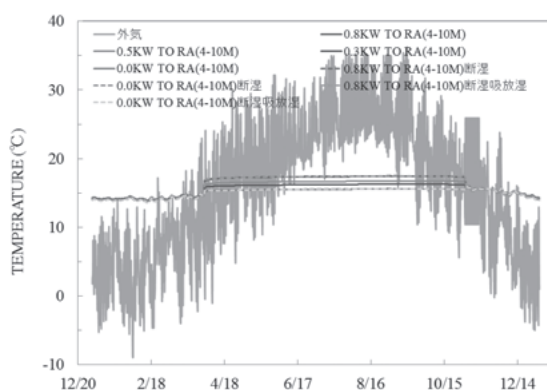


図 I-55 石室内空気温度の年変化

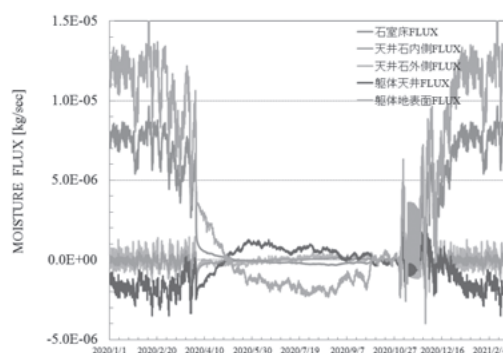


図 I-57 各境界の水分フラックス（地表土壌露出）

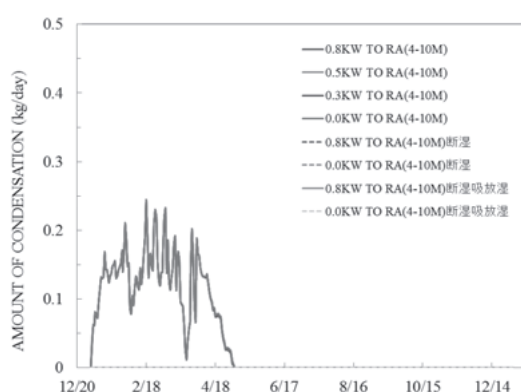


図 I-56 躯体内部コンクリート表面の結露量

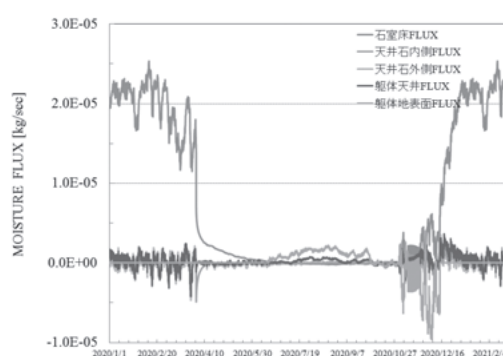


図 I-58 各境界の水分フラックス（地表断湿）

とが示唆された。一方、地表面土壌を露出した場合、冬期から春期にかけて、躯体天井部において結露が発生することが示唆された。なお、石室内側石材表面（ここでは一次元なので、天井石内側表面）では年間を通して結露の発生は認められなかったため、結果は割愛する。図 I-57・58に各境界における水分フラックスを示す。縦軸正の値は、土壌あるいは石材から空気への水分移動、負の値は空気から土壌あるいは石材へ水分が移動することを示す。図 I-57の結果からも絶対湿度が低い冬期の外気を換気によって取り込む時期では、躯体内部の地表面から相当量の水分が蒸発する一方で、夏期では吸湿していることが認められる。図 I-58の結果からは、躯体内地表面を断湿とした場合、内部の湿気の供給源は石室内床面土壌におおむね限定されることが示唆された。また、夏期に躯体内地表面から湿気の供給が認められるが、これは結露水の再蒸発と考えられる。したがって、結露水を効果的に排水することが可能であれば、さらに空気中の絶対湿度を低下させようと思われる。

4 まとめ

本稿では鉛直一次元の解析から、石室内空気への加熱、躯体内部空間の地表面への断湿材の適用について検

討した。

冬期は積極的な換気、夏期は換気を抑制することで、石室内空気は絶対湿度、温度ともに年間を通して、非常に安定した状態を維持しうることが示唆された。また、冬期の湿気の供給源は土壌からの水分蒸発と考えられ、石室床面と比較して圧倒的な面積を占める躯体内地表面を断湿とすることで、冬期の絶対湿度を低下させることが可能となり、躯体内側表面の結露を抑制しうることが示唆された。したがって、地表面の断湿はガランドや古墳の保存環境制御において非常に効果的と考えられる。

天井石内側表面においては、熱量の大小に関わらず結露の発生は認められなかった。しかし、夏期の結露発生危険箇所は側壁底部なので、この点については二次元の解析が必要となる。

このように二次元の解析から、結露の有無と熱量の関係についてあらためて検討をおこなう必要があると考えられる。

（脇谷草一郎・高妻洋成）

註

- 1) 日本熱物性学会編『新編熱物性ハンドブック』養賢堂、2008の579-580頁による。