

京都大学	博士 (工学)	氏名	李 永輝
論文題目	発掘時における古墳壁画の保存環境に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、高松塚古墳壁画を対象として、1972年の古墳発掘前後の石室内の温湿度環境を、当時の作業の記録や温湿度測定値などを元に、熱水分同時移動理論を基礎とする数値解析によって推定したものである。さらに石室内温湿度や結露発生と壁画劣化の定性的特徴を踏まえ、発掘直後に実施された応急保存対策の効果を定量的に明らかにし、古墳発掘の適切な季節と断熱材を用いた応急保存対策について提案を行っており、10章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、石室内温湿度環境の検討の必要性、研究の目的を説明し、既往研究の検討を通して本研究の位置づけを行っている。</p> <p>第2章では、検討対象である高松塚古墳とその発掘直後に行われた保存対策の概要について述べ、発掘後の石室内温湿度測定値の分析を行っている。発掘後、石室内温度は5月に最低、11月に最高となり、相対湿度はほぼ100%であること、また石室の開口部を閉鎖した状態では石室内空間の温湿度の分布は小さくほぼ一様となることを示している。</p> <p>第3章では、古墳壁画における代表的な劣化現象であるカビ成長および漆喰層の剥落と石室内温湿度環境との関係について述べ、石室内壁表面の最高温度、平均温度、最低湿度、結露発生面積から劣化危険度を評価する方法を提案している。第6章以降で、この劣化危険度を用いた検討を行っている。</p> <p>第4章では、石室内温湿度の解析に用いる墳丘内部や石材における熱水分同時移動理論を示すとともに、墳丘表面を覆う植生を含めた地表面境界の熱水分移動モデルおよび発掘時の墳丘部の形状変化を考慮した数値解析手法を提案している。</p> <p>第5章では、解析に用いる外界気象観測値および版築や石材に関する既往の測定値を整理するとともに、その結果に基づき材料の熱水分物性値を推定している。</p> <p>第6章では、第4、5章の結果に基づく発掘前から発掘調査終了直後までの墳丘の形状変化や石室を考慮した古墳の3次元解析モデルを用い、発掘時の石室内温湿度を解析し、植生を含めた地表面境界のパラメータの同定により測定値の変化パターンを再現できることを確認している。この結果によると、発掘後は6月から11月にかけて北壁では結露が生じ、7月から12月にかけて南壁は乾燥状態となっていたと推定される。さらに、3次元解析による計算負荷を軽減するために2次元解析モデルの精度について検討を行い、石室内温湿度、結露の性状の把握のためには十分であることを明らかにした。以上より、第7章以降では、2次元解析モデルを用いて検討を行っている。</p> <p>第7章では、実際とは異なる季節に発掘がなされた場合を想定して発掘直後の石室内温湿度環境を解析した結果、石室内温度が外気温より低くなる季節に発掘すると、石室南側壁面とその近くの天井では乾燥の、石室北側壁面では結露発生の可能性が高まり、劣化危険度が高くなることを明らかにしている。さらに、実際に発掘が行われた3~4月より11月に発掘を行った方が、発掘後の石室内壁面の湿度低下、結露発生、石室内温度上昇の可能性はいずれも低くなり、劣化抑制に有効であるこ</p>			

とを明らかにしている。

第8章では、発掘直後に行われた応急保存対策の効果を、発掘前の石室内温湿度環境との比較により検討した。発掘前の石室内相対湿度は年間を通じて100%近くであったが、石室内温度の変動が小さいため結露発生時間は短かったと考えられる。また、発掘後に何も保存対策を講じなければ、夏期に石室温度は約22℃まで上昇し、南側壁面とその近くの天井の湿度は90%を下回る程に乾燥すること、石室内の結露は、夏期に北側の、冬期に南側の壁面で発生すること、これらの結果により壁面の劣化危険度が非常に高くなることを示している。石室南側に設けた覆土は石室最高温度を下げ壁面最低湿度を上げる効果を有していたが、壁面での結露発生抑制効果は小さかったと推定される。

第9章では、発掘直後の応急保存対策として発掘部位への断熱材設置の効果について検討し、発掘部位に設置すべき断熱材面積には適切な値があり、断熱材の熱抵抗が大きいほど壁画劣化の抑制に効果があること、熱容量の違いは壁画劣化抑制に与える影響が小さいことを示している。また検討対象とした高松塚古墳では、発掘部位の鉛直面と水平面方向にそれぞれ0.5m, 1.0m程度、覆土と断熱材を拡張して設置するのが適当であり、乾燥の抑制に対しては10[m²K/W]以上、結露蓄積の抑制には15[m²K/W]以上の熱抵抗があればよいことを明らかにしている。

第10章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、高松塚古墳壁画を対象として、1972年の古墳発掘前後の石室内の温湿度環境を当時の作業の記録、石室内の温湿度測定値などを元に、熱水分同時移動理論を基礎とする数値解析によって推定し、石室内温湿度や結露現象と壁画の劣化との関係を踏まえ、発掘直後に実施された応急保存対策の効果を定量的に示し、古墳発掘に適切な季節と発掘直後に有効な応急保存対策を明らかにしたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 発掘後の石室内温湿度の推定：発掘前から発掘調査終了直後までの墳丘の形状変化や石室を考慮した3次元モデルを作成し、発掘時の石室内温湿度を解析し、植生を含めた地表面境界のパラメータの同定により測定値の変化パターンを再現できることを確認している。この結果によると、発掘後は6月から11月にかけて北壁では結露が生じ、7月から12月にかけて南壁は乾燥状態となっていたと推定された。

2. 発掘後に実施された応急保存対策の効果：発掘前の石室内相対湿度は年間を通じて100%近くであったが、石室内温度の変動が小さいため結露発生時間は短かったと考えられる。発掘直後に施された応急保存対策である石室南側への覆土は、石室最高温度を下げ壁面最低湿度を上げる効果を有していたが、壁面での結露発生抑制効果は小さかったと推定される。

3. 適切な発掘季節の提案：実際とは異なる季節に発掘がなされた場合を想定して、発掘直後の石室内温湿度環境を解析した。石室内温度が外気温より低くなる季節に発掘すると、石室南側壁面とその近くの天井では乾燥の、石室北側壁面では結露発生の可能性が高まり、さらに石室内温度も上昇するため、劣化危険度が高くなる。また、実際に発掘が行われた3~4月より11月に発掘を行った方が、発掘後の石室内壁面の湿度低下、結露発生の可能性、石室内温度上昇のいずれも小さく、劣化危険度が低くなることを明らかにしている。

4. 断熱材を用いた保存対策の提案：発掘直後の応急保存対策として発掘部位に断熱材を設置する場合、断熱材の面積には適切な値が存在し、熱抵抗が大きいほど壁画劣化の抑制に効果があることを明らかにしている。また検討対象とした高松塚古墳では、発掘部位の鉛直面と水平面方向にはそれぞれ0.5m, 1.0m程度、覆土と断熱材を拡張して設置するのが適当であり、乾燥の抑制に対しては10[m²K/W]以上、結露蓄積の抑制には15[m²K/W]以上の熱抵抗があればよいことを明らかにしている。

以上、本論文は、高松塚古墳壁画を対象として、発掘前後の石室内温湿度、壁面結露性状および発掘直後に施された応急保存対策の効果を明らかにし、適切な発掘季節と断熱材を用いた応急保存対策を提案しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年8月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。