

1. 研究背景と目的

2005年12月22日、南京江寧区で村の道路を建設施工中に1700年前に建てられた、大型なレンガ造の墓が発見された。国家文物局の調査により、墓は六朝時代と判断された^[1]。専門家によると、過去何十年の間に、南京で出土した六朝墓の数が千個を超えている。しかし完全に保存されているところは一つもないため、これは中国の六朝考古学にとって、重大な意義を持ち研究価値があることを示している。

しかし年代が遠いため、墓の主材料としてのレンガの強度が弱くなり、浸水問題も加えて、図1のようにレンガ表面にカビや微生物を大量に繁殖し、レンガ間の粘着剤がほぼ効かない状態であり、墓全体の安全性は問題となっている。



図1 レンガの現状図

本研究は墓の三次元モデルを作り、有限要素法を用い、墓全体の自重分析や土からの応力分析をすることによって、弾性材料で作られたお墓内部に応力分布、特に引張応力分布を特定する。さらに、将来博物館を建設する時、墓を土に埋められた状態にすることも考慮し、安全性を確保するため、土を埋め戻した場合に関していくつかのパターンを仮定し、解析を行い、それぞれ状態の主応力分布と変形量により、墓の安全性を評価することを目的とする。

2. 解析方法

2.1 有限要素法

有限要素法は、最も有用な数値解析法の一つとして、構造解析、熱伝導、流体力学、電磁気学等を含めた理工学分野で複雑な非線形問題に広く用いられているものである。

2.2 ソリッド要素

有限要素法による応力解析の対象が一般的な

複雑形状の連続体であるとき、問題が二次元であれば、対象領域を三角形に分割し、三次元の場合には四面体や六面体に分割してモデル化を行う、いわゆるソリッド要素が使われる。

ソリッド要素とは、体積を持つ三次元要素であり、一般的には四面体要素、五面体要素と六面体要素など三種類がある。それぞれの状況を応じて、要素を選択する。本研究の場合は四面体要素を選択する。

2.3 モデルを作成する

3DソフトCATIAを利用し、図2、と図3に基づいてモデルを再現する。

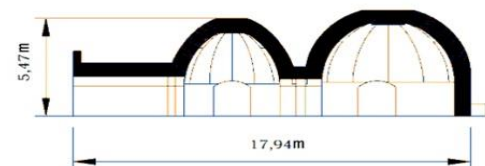


図2 縦断面図

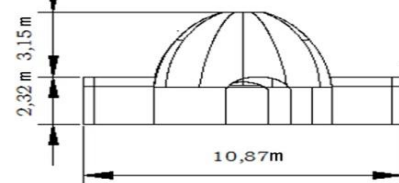


図3 横断面図

3. 土圧解析^[2]

土を埋め戻す工事をモデル上で再現するため、図4のように先に後室頂部を復元する

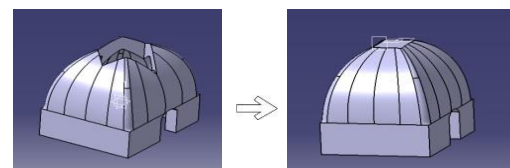


図4 後室復元図

復元されたモデルに図5のように3つの高さの土圧を加えて、主応力の分布を考察する。

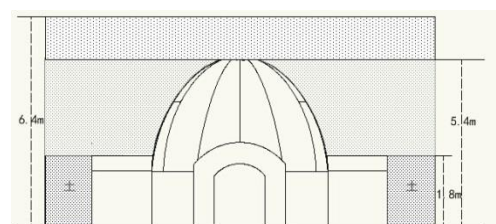


図5 三種類の土圧

はじめに、現状の様子に近い、土の高さは1.8m、壁まで埋め戻すを考えた場合。土の特性に基づいて、土圧を計算し、モデルに荷重を加える。最小主応力の分布図と変形量は図6と図7に示す。

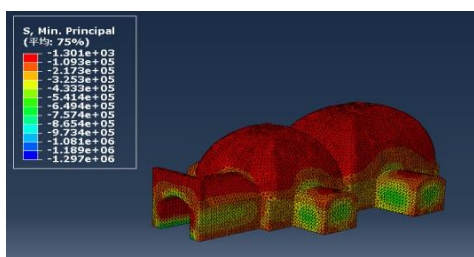


図6 最小主応力分布図

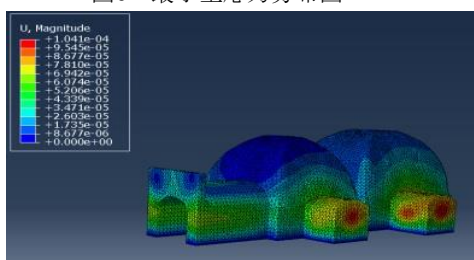


図7 変形量図

二つ目は、土を墓室頂部まで埋め戻す場合を仮定する。同じくモデルに各部分にかかる土圧を計算して、荷重を加える。結果は図8と図9を示すようになる。

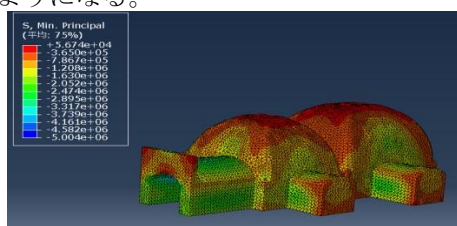


図8 最小主応力

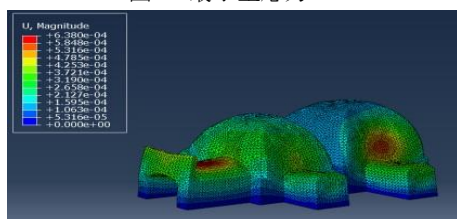


図9 変形量図

三つ目は、土を墓室頂部より1m高い所に埋め戻す場合を仮定する。土の高さは変化したため、各部分の土圧計算をやり直して、モデルに加える。解析結果は図13と図14を示すようになる

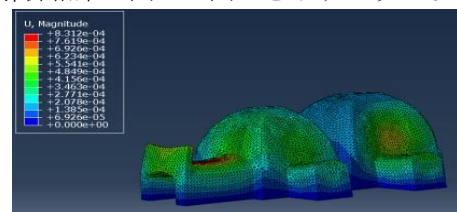


図10 最小主応力図

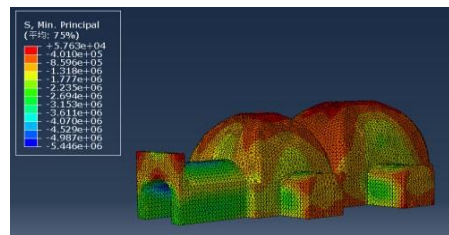


図11 変形量図

土の高さを変えた場合の比較

土高さ	壁まで	頂部まで	頂部より 1m 高い
最大主応力	$1.285 \times 10^6 \text{Pa}$	2.801×10^6	$2.914 \times 10^6 \text{Pa}$
最小主応力	$1.301 \times 10^3 \text{Pa}$	$5.674 \times 10^4 \text{Pa}$	$5.763 \times 10^4 \text{Pa}$
変形量	$1.041 \times 10^{-4} \text{m}$	$6.380 \times 10^{-4} \text{m}$	$8.312 \times 10^{-4} \text{m}$

表 1

4. 結論

各土圧の解析の結果表 1 により、以下の結論を得られた。

① 最大主応力は主に墓室の底部に分布され、土の高さにより、最大主応力が変わる、土は頂部より 1m 高い時が一番高く、数値は $2.914 \times 10^6 \text{Pa}$ であることが分かった。

② 最小主応力は主に墓室のドーム状屋根の上に分布され、土の高さにより、最小主応力も変わる。土が壁までの場合は一番小さく、数値は $-1.301 \times 10^3 \text{Pa}$ である。

③ 三パターン土圧によるモデルの変形量は極めて少ないであることがわかった。

4 実験資料^[3]より、レンガの平均圧縮強度は $3.5 \times 10^7 \text{N/m}^2$ であり、平均引張強度は $4 \times 10^6 \text{N/m}^2$ であることがわかった。解析結果と比べてみると以下になる。

最大主応力： $2.914 \times 10^6 \text{Pa} \ll 3.5 \times 10^7 \text{Pa}$

最小主応力： $-1.301 \times 10^3 \text{Pa} \ll 4 \times 10^6 \text{Pa}$

つまり、土を埋め戻しても、墓は安全の状態を確保できると考えられる。

参考文献

- 「1」 「東南文化」2009, 第1期
- 「2」 Abaqus CAE 6.13のマニュアル
- 「3」 「コンクリート工学年次論文報告書」, Vol. 19, No. 1, 1997