

高松塚古墳墳丘部の動的解析

京 都 大 学 正 会 員 三 村 衛
地 域 地 盤 環 境 研 究 所 正 会 員 長 屋 淳 一
東 京 文 化 財 研 究 所 石 崎 武 志

1. はじめに

壁画保存のため石室を解体する高松塚古墳で発掘調査が行われ、墳丘内部に無数の亀裂や地割れが縦横に走っていることが確認された。専門家の調査によれば、これらの亀裂や地割れは過去に発生した巨大地震によるものとされている¹⁾。本研究では高松塚古墳墳丘部にみられた亀裂への過去に発生した地震の影響を検討するために、墳丘部を有限要素でモデル化し、地震時を想定した動的な荷重を載荷する動的 FEM 解析を実施し、動的 FEM 解析における墳丘部に発生する応力およびひずみの発生状況より、墳丘部に発生する亀裂の発生メカニズムについて検討を行った。

2. 解析条件

図-1 に動的 FEM 解析の有限要素メッシュ図を示す。高松塚古墳は自然堆積地盤(シルト混じり細砂)の上に石室(2m x 2.3m x 3.8m)があり、石室の周りには土盛りした版築で覆われた構造である。動的解析は墳丘部を対象に地盤は石室周りの版築と石室下部の自然堆積地盤の2層をRanberg-Osgoodモデル(ROモデル)による非線形モデル、石室は弾性材料とし、側方境界を水平ローラーとした。表-1 に解析パラメータを示す。地盤の初期せん断弾性係数はベンダーエレメント試験におけるせん断は速度Vs, ROモデルの非線形パラメータは繰返し載荷試験結果、ポアソン比はPS検層¹⁾、単位体積重量はRI 湿潤密度検層¹⁾より設定した。また、入力波は正弦波として周期0.2~1.0秒、最大加速度200~600galのケースを実施した。

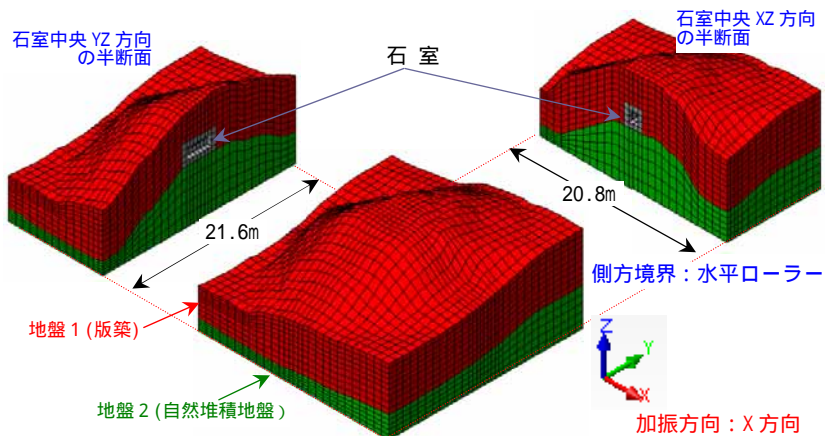


図-1 墳丘部の有限要素メッシュ図

表-1 解析パラメータ

	版築		自然堆積地盤
	上部	下部	
単位体積重量 (kN/m ³)	14	16	18
ポアソン比	0.488	0.478	0.45
せん断弾性係数 G0 (kN/m ²)	31500 (Vs=150m/s)		120000 (Vs=260m/s)
最大減衰率hmax	0.3		0.3
0.5	0.0025		0.0025

3. 解析結果

図-2 に周期 0.2, 0.5, 1.0 秒 (最大加速度 600gal) における最大変位時の変形図と変位(X 方向)分布図を示す。図は石室周辺の変位状況が分かるように石室中央部 XZ 方向の半断面に示してある。これらの解析結果より短周期であるほど最大変位量は大きく、地震動の影響を大きく受けると考えられる。なお、墳丘部の固有値解析の結果、固有周期は 0.17 秒程度であった。

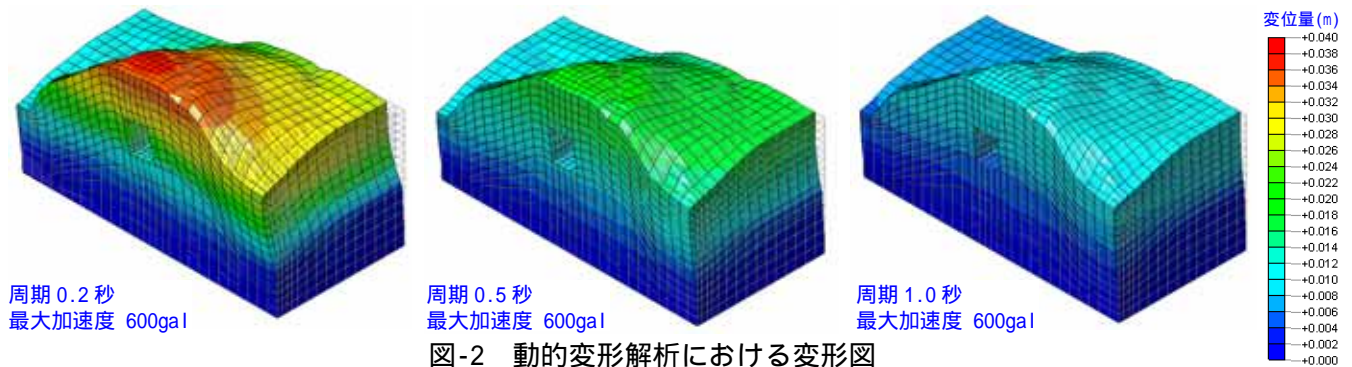


図-2 動的変形解析における変形図

キーワード 古墳, 動的解析, 地震, 亀裂, 版築,

連絡先 〒550-0012 大阪府大阪市立売堀 4 丁目 3 番 2 号 (株) 地域地盤環境研究所 TEL: 06-6539-2971

墳丘部には、版築のせん断力によるずれおよび引張応力による剥離から発生する亀裂が考えられる。図-3, 4 に周期 0.2 秒, 最大加速度 600fgal における最大変位発生時のせん断応力 σ_{xz} と X 方向応力 σ_x のコンター図を示す。これらの結果より、せん断応力は石室の側部の版築全体に発生し、引張応力は石室の上部隅角部付近および墳丘斜面部(特に、傾斜勾配が変化する法尻付近)に作用していることがわかる。版築の試料を用いて実施した一面せん断試験結果より版築のせん断強度は、 $f_t=100 \sim 150\text{kPa}$ であり、図-3 に示すケースでのせん断応力 (50kPa 程度) ではせん断応力による亀裂の発生は生じない。これに対して引張応力は 100kPa 程度発生しており、版築のような土質材料では引張強度は殆ど 0 に近いことを考えると墳丘部には引張応力による剥離が生じやすいと考えられる。

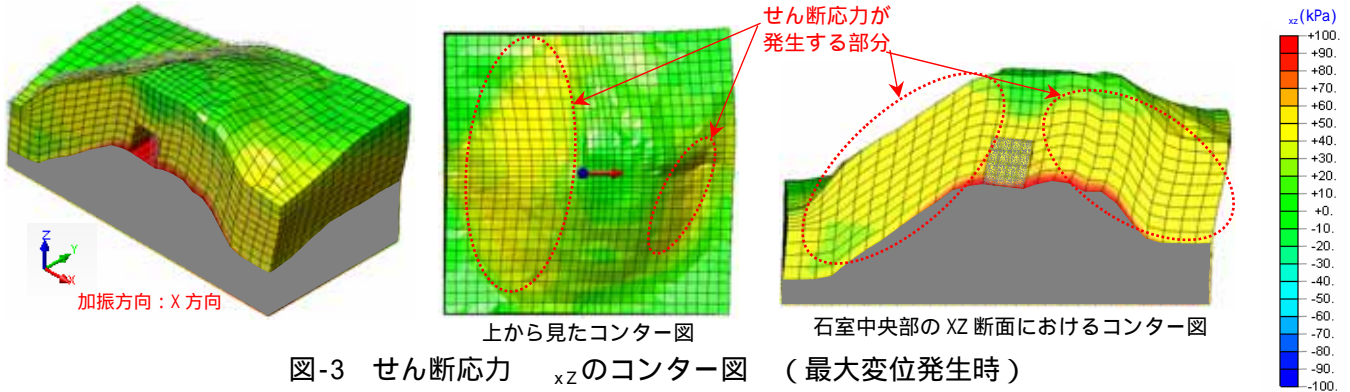


図-3 せん断応力 σ_{xz} のコンター図 (最大変位発生時)

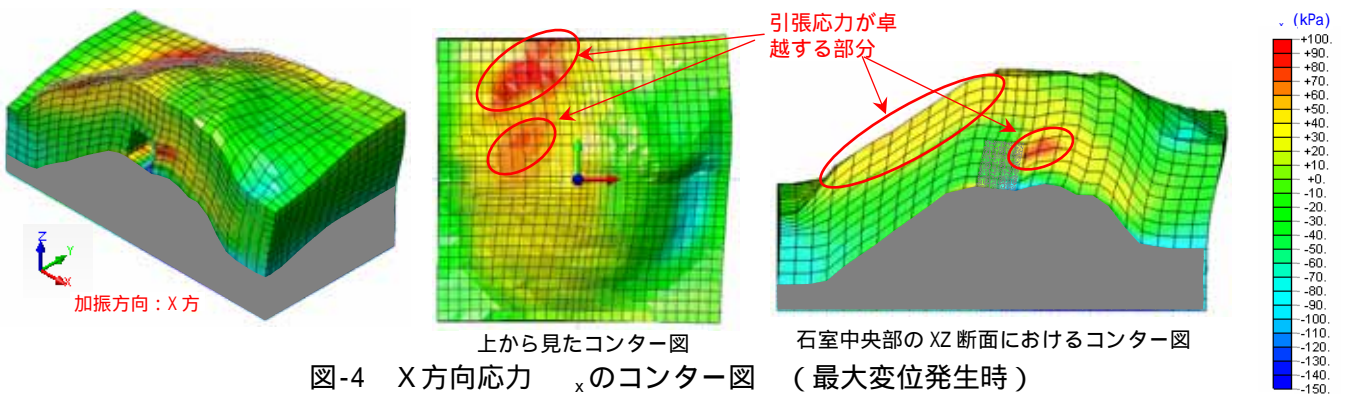


図-4 X 方向応力 σ_x のコンター図 (最大変位発生時)

4. 墳丘部の亀裂発生メカニズム

高松塚古墳の墳丘には、石室の上端面より上部へ放射状に亀裂が発生している状況が見られた。これらの亀裂は、図-5 に示すように 石室側部に引張応力が生じ、石室と版築間に剥離が生じる。石室の上部隅角部において石室と版築間の剥離により石室上部の版築に亀裂が生じる。

石室上部の亀裂は、拘束力の小さな部分ほど亀裂が生じやすいため、墳丘の斜面部に向かって放射状に進展していく、というプロセスで発生すると考えられる

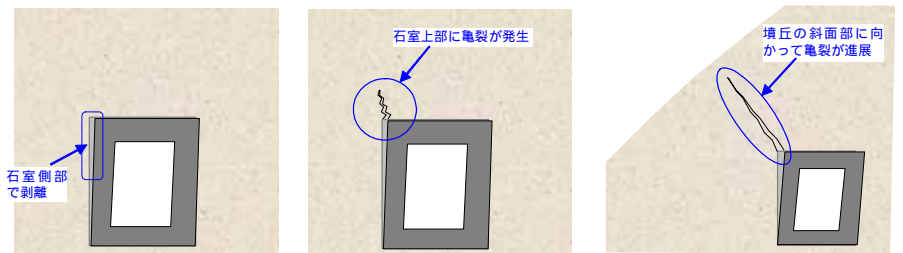


図-5 石室側部と版築の剥離に伴う亀裂の発生

5. まとめ

高松塚古墳にみられた亀裂における地震動の影響を検討するために動的 FEM 解析を実施した結果、石室周辺に発生した亀裂は、地震動により石室上部に引張応力が作用し、剥離が生じるた部分より上部に進展したものと推察される。今後は、墳丘周辺の地盤状況および当該地で想定される地震動による解析を実施し、過去の地震動による影響度を検討していく予定である。

参考文献

1) (独)文化財研究所 奈良文化財研究所：高松塚古墳の調査—国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討のための平成 16 年度発掘調査報告—，2006.