

動的解析による高松塚古墳の損傷要因の検討

京 都 大 学
 地域地盤環境研究所 正会員 ○長屋淳一 正会員 劉 通劍
 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にあたり高松塚古墳の大規模な発掘調査が行われ、墳丘内部に亀裂や地割れが縦横に走っており、墳丘内の石室にも亀裂があ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⁾。昨年は、動的FEM解析を行い、繰返し荷重(正弦波)による墳丘部に発生する応力・ひずみ状況より、亀裂発生メカニズムを考察した²⁾。本論文では、当該地における想定地震動を用いた動的FEM解析を実施し、墳丘に発生する応力を分析し、さらに、石室も細分化してモデル化し、石室に発生する応力についても検討を行なった。

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×2.3m×3.8m)があり、石室の周りは土盛りした版築で覆われた構造である。今回の解析モデルでは石室と地盤の間および上壁、下壁と側壁の間にジョイント要素を設けて、地震時における剥離が生じた場合にも対応できるモデルとした。また、地震時における石室の応力分布

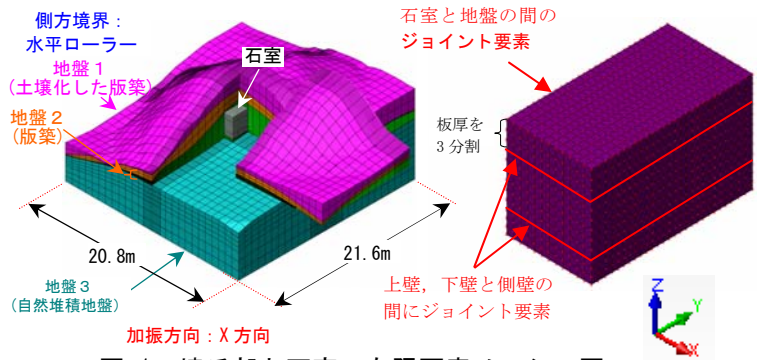


図-1 墳丘部と石室の有限要素メッシュ図

状況を表すために石室の壁を厚さ方向に細分化した。表-1に解析パラメータ²⁾を示す。動的解析は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Ramberg-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た。図-2に入力地震動とパワースペクトルを示す。当該地付近には墳丘に影響を与えるような地震を引き起こす断層はなく、過去の地震で墳丘に影響を及ぼし得る地震は南海・東南海地震であると考えられるため、動的解析における入力地震動は鶴来³⁾による南海・東南海地震の大阪府域における強震動予測の内、当該地の地盤条件に類似した大阪南東部のCYH観測点を対象とした地震動を用いた。パワースペクトルは周波数3~5(1/sec)に集中し、周期0.2~0.3(sec)の成分が大きく、墳丘の固有周期に近い地震動である。

表-1 解析パラメータ

	地盤1	地盤2	地盤3	石室
	土壌化版築	版築	自然堆積地盤	
単位体積重量 γ (kN/m ³)	14	16	18	18.76
ポアソン比 ν	0.488	0.478	0.45	0.373
せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	31500 ($V_s=150$ m/s)		120000 ($V_s=260$ m/s)	1.056×10 ⁶
最大減衰率 h_{max}	0.3		0.3	
$\gamma_{0.5}$	0.0025		0.0025	

3. 解析結果

図-3 に最大変位発生時のせん断応力 τ_{xz} を示す。せん断応力は、平面的には墳丘の法尻付近、版築内部では石室周辺に 10~15kPa 程度のせん断応力が発生するが、版築の一面せん断試験より得られたせん断強度 $\tau_f=100\sim150$ kPa に対して小さな値であり、地震時のせん断による亀裂の可能性は低いと思われる。また、図-4 に X 方向応力 σ_{xx} のコンター図を示す。 σ_{xx} は法尻付近および石室の上部隅角部に 20~25kPa 程度の引張応力が発生しており、版築のような土質材料では引張強度が 0 に近く、引張応力により亀裂が生じる可能性がある。

4. 石室の応力

図-5 に示すように石室の天井石には南北に亀裂が生じて 2 つに割れていることがわかっている¹⁾。図-6,7 に動的 FEM 解析で

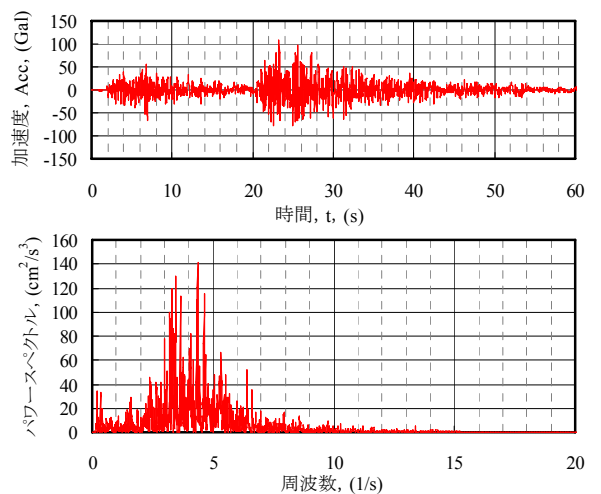
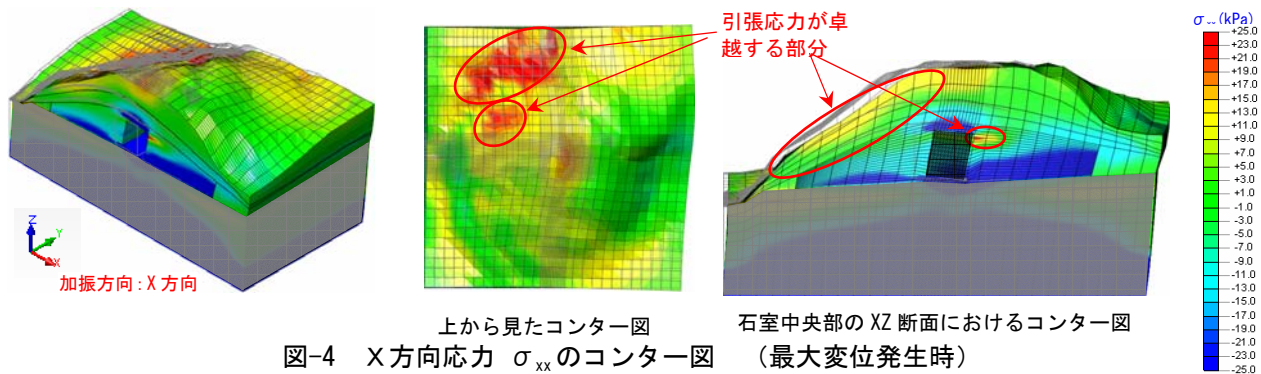
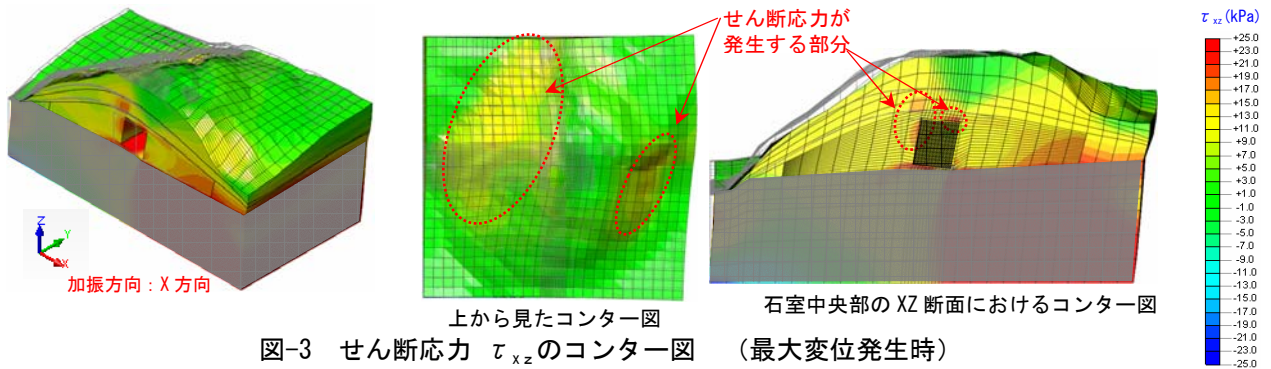


図-2 入力地震動の波形とパワースペクトル

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



得られた最大変位発生時における石室のせん断応力 τ_{xz} 、X方向応力 σ_{xx} を示す。地震時に発生する変位は下面よりも上面での変位が大きくひし形状に変位するため、せん断応力は石室内側の隅角部および石室の南北の側壁に大きく作用し、 σ_{xx} は左側に振れた場合には壁の外側では上面の左側および下面の右側に作用し、内側では上壁の右側および下壁の左側に引張応力が発生する。この時の発生応力はせん断力が180kPa、引張応力が221kPa程度であり、石室の強度(一軸圧縮強さ6.39MPa、圧裂引張強さ1.06MPa)に対して非常に小さい値である。また、図-5の左図に示すように実際の石室は壁が分割された構造であり、

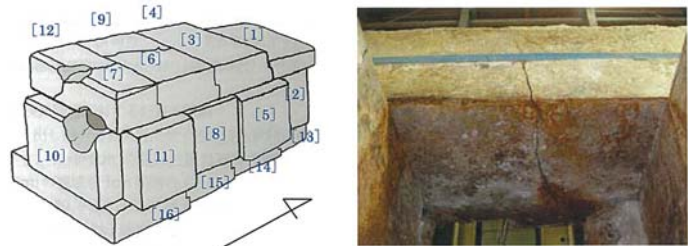


図-5 石室に発生した亀裂

解析でモデル化したよりも変位の自由度が大きく、発生応力はさらに小さいと考えられることから、石室の亀裂は地震により発生したとは考え難い。但し、何らかの要因で発生した亀裂が地震により増幅した可能性はある。

5. まとめ

①地震動による墳丘に作用するせん断力および引張応力は墳丘ののり尻付近および石室の上部隅角部に作用し、地震時に発生する引張応力により亀裂が生じたと考えられる。

②地震動により発生する石室の応力では、地震動が亀裂を生じさせた直接の要因ではないと思われるが、亀裂を増幅された可能性はある。

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. 2)三村 衛, 長屋淳一, 石崎武志：高松塚古墳墳丘部の動的解析, 第64回土木学会年次学術講演会Ⅲ, pp515-516, 2009. 3)鶴来雅人, 趙伯明, Petukhin Anatoly, 香川敬生：南海・東南海地震の大阪府域における強震動予測, 構造工学論文集 Vol.51A, 501-512, (2005)

