

有限要素法を用いた地震時におけるアースダム堤体挙動の解析 Finite Element Analysis for Seismic Behavior of Earth Dam Embankments

○ 鶴井翔平*, 小林 晃**, 村上 章*

SHOHEI TSURUI, AKIRA KOBAYASHI, AKIRA MURAKAMI

1. はじめに

耐震設計がなされていないため池を含め、多くのため池堤体では、地震によって沈下とともに天端に軸方向の亀裂が入ることが多い。そのメカニズムは設計で考慮されているせん断破壊によるすべり現象とは異なる可能性が高く、その原因を解明しなければ、震災後に効果的な改修や補修を行うことが難しい。そのメカニズムの解明を目的に、堤体横断面の詳細な挙動を可視化できる振動台模型実験¹⁾を行った。図1は振動台模型実験の結果であり、この実験結果から振動中のせん断ひずみ分布においては、堤体模型が振動台の中央付近を通過するとき特に法尻付近で大きくなるのが分かる。また、体積ひずみ分布に関しては、圧縮域と引張域が垂直軸に沿って交互に現れ、中央部分で引張領域が分布することが分かった。これらのことから、中央部での引張応力が天端のクラックの発生原因であると推察できる。

上記のメカニズムを数値解析の面から検証し、地震時のため池堤体における動的挙動の定性的な把握を目的とする。

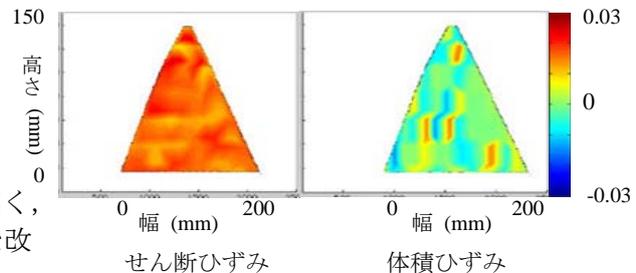


図1 振動台模型実験結果

Results of model experiment using shaking table

表1 解析条件
Conditions for analysis

	使用したモデル	ヤング率 E (kPa)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	
Case 1	標準	1,500~4,000 (500ずつ6段階変化させる)	18.0	
Case 2	標準	3,000	15.0~20.0 (1.0ずつ6段階変化させる)	
Case 3	標準	5,000	19.5	
	Large			
Case 4	標準	モデル	3,000	18.0
		土台	2,850	

2. 解析条件

降伏関数に Mohr-Coulomb 式、塑性ポテンシャルに Drucker-Prager 式を用いた弾完全塑性全応力モデルを使用した。解析には「網子」²⁾を基にしたプログラムを使用し、上下流方向に加速度振幅 2.84 m/s²、周期 0.4 (1/秒)の正弦波で加振する。加振時間は 2 秒間で、地震波は堤体モデル底面の各節点に入力する。

対象としたため池堤体のモデルは、上面が 36.5 mm、底面が 200 mm、高さが 150 mm、法面勾配が 0.545 のものを標準モデルとし、上面が 70 mm、底面が 520 mm、高さが 150 mm、法面勾配が 1.5 のものを Large モデルとした。これは振動台模型実験と同じである。

堤体モデルの内部が均質な条件のもの、不均質な条件のものについて検証した。均質な条件のものについては、表1のようにヤング率 (Case 1)、単位体積重量 (Case 2)、法面勾配 (Case 3)

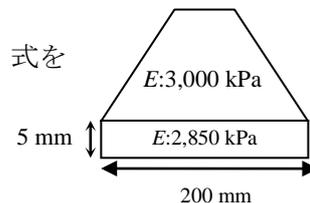


図2 土台付き堤体モデル形状
Model shape with base

* 京都大学 (Kyoto University) ** 関西大学 (Kansai University)

キーワード：アースダム、地震時挙動、有限要素解析

の変化によるせん断ひずみ分布と体積ひずみ分布の違いを検証し、不均質な条件のものについては、**図 2**のように、モデルの下に厚さ 5 mm の土台を置くことで、モデル底面にずれを発生させる (Case 4)。土台のパラメータはヤング率 E : 2,850 kPa とした。その他の条件については、振動台模型実験での模型のパラメータを参考にして、粘着力 c : 15 kPa (Case 1, 2, 4), 40 kPa (Case 3), ポアソン比 ν : 0.3, 内部摩擦角 ϕ : 35°, ダイレイタンス角 ψ : 35° とした。

3. 解析結果

3.1 法面勾配の違いによる検証 (Case 3)

せん断ひずみについては、標準モデルでは底面両端で最大となるのに対し、Large モデルでは底面中央部で最大となる (**図 3**)。また体積ひずみについては、標準モデルでは底面両端と天端付近で大きくなるのに対し、Large モデルでは法面で大きくなる (**図 4**)。また、全体的に標準モデルの方がひずみは大きい。

3.2 堤体モデルに土台を付けた場合 (Case 4)

土台を与えてモデルを振動させた結果、底面両端部でおよそ 0.04 mm、底面中央部でおよそ 0.03 mm のずれが発生した。せん断ひずみに関しては、モデル上部でひずみがほとんど発生していない。また体積ひずみに関しては、正負のひずみが縦に交互に分布し、モデルの大部分では常にひずみが 0 に近い圧縮の値をとることが確認された (**図 5**)。

4. 振動台模型実験結果との比較とまとめ

堤体法面の勾配を変えた解析では、最大ひずみの位置とひずみの大きさから、斜面が急な方で堤体が損傷しやすいことが示された。また一般的に、ヤング率が大きくなるほど堤体が頑丈になり、単位体積重量が大きくなるほど堤体が損傷しやすいことが推測される。均

質な堤体モデルを用いての解析では、**図 1**の模型実験結果に示すように、全体的にひずみが発生する傾向は似ているものの、不均一な分布については再現できていない。この

違いを生む要因としては、模型実験において振動中に底面が十分に固定されていなかった可能性が考えられる。そのため、土台付きの解析 (Case 4)を行った結果、体積ひずみに関して正負のひずみが縦に交互に分布するといった類似の傾向が見られた。以上のことから、模型実験での不均一性が堤体内の体積ひずみの正負が交互に分布する要因と思われる。

参考文献

- 1) Miyanaga, Y., Kobayashi, A. and Murakami, A. (2013) : 1-G model test with digital image analysis for seismic behavior of earth dam, *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA* (in print).
- 2) 地盤工学会 (2003) : 地盤技術者のための FEM シリーズ③ 弾塑性有限要素法をつかう, 丸善.

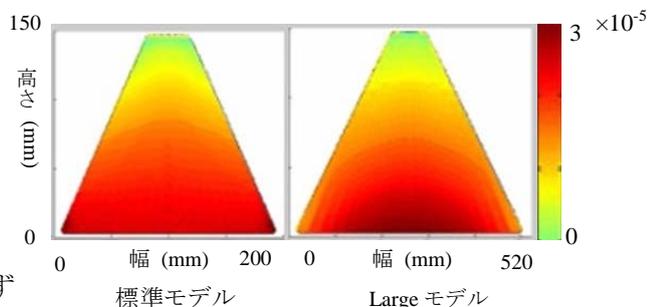


図 3 標準モデルと Large モデルでのせん断ひずみ分布

Distribution of shear strain of standard model and Large model

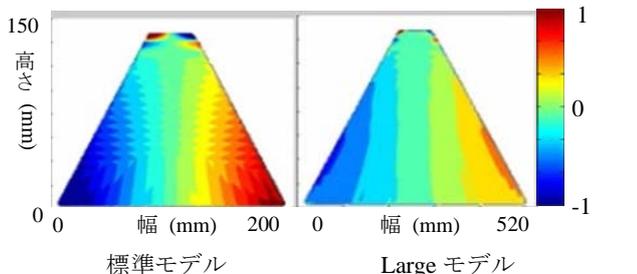


図 4 標準モデルと Large モデルでの体積ひずみ分布

Distribution of volumetric strain of standard model and Large model

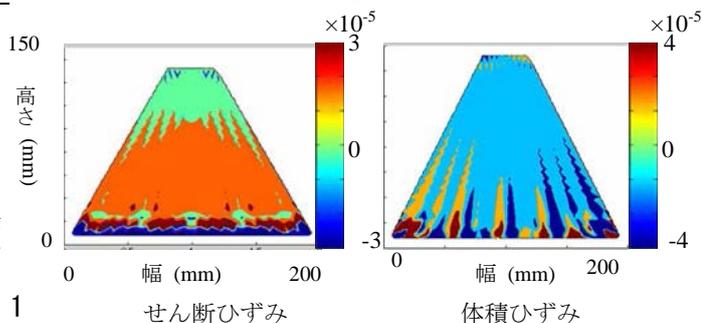


図 5 土台付きモデルのせん断ひずみと体積ひずみ

Distribution of shear strain and volumetric strain of models with base