

III-A 170

遠心模型振動実験の動的有効応力解析

大林組技術研究所 正会員 ○佐藤 清
同上 正会員 松田 隆

1 はじめに

大型の遠心模型振動実験を対象として、動的有効応力法によるシミュレーション解析を実施し、遠心場に対する解析手法の有効性と実験に用いた地盤を保持するせん断土槽の影響に関する考察を行った。本報告は、遠心場における地盤の液状化特性の再現性、応答加速度と間隙水圧に与えるせん断土槽壁の重量に関する影響を考察するものである。

2 解析方法

2.1 模型実験概要 遠心模型振動実験は米国カリフォルニア大学デービス校にて実施され¹⁾、相似率を1/50(遠心加速度50G)に設定している。図-1に模型地盤を示す。図中の●印は加速度、▲印は過剰間隙水圧、■印は鉛直変位の計測位置を示している。地盤は2層構成で、上部がNevada砂 ($\gamma_s=2.67\text{tf/m}^3$)を用いた液状化対象層で層厚44cm(実寸法22m)、下部がセメント混合土による非液状化層で層厚19cm(実寸法9.5m)となっている。せん断土槽はアルミニウム製枠(6段)とゴム製の枠間材で構成されている。入力地震動はポートアイランドのGL-83mで観測された波形で、最大加速度を12.7Gに調整したものをを用いている。

2.2 解析手法 シミュレーション解析には修正松岡モデルを構成式とした動的有効応力解析プログラム(EFFECT)²⁾を用いており、2次元で模型地盤をモデル化した。左右端の節点にはせん断土槽の質量を与え、左右の側面は非排水条件としている。また、液状化対象層は2相系非線形、非液状化層は1相系線形材料とした。図-1中の点線はFEMメッシュである。入力地震動は、模型実験において図-1中の測点A6で測定された加速度波形(図-2)を底面に与えた。

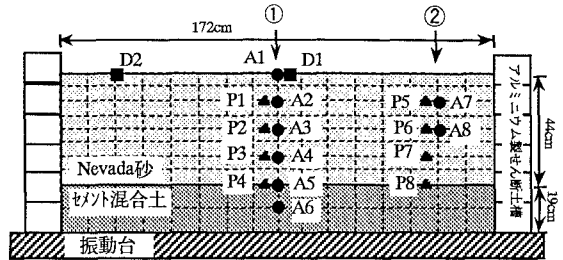


図-1 模型地盤

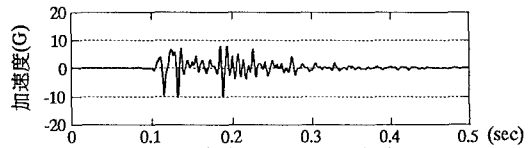


図-2 解析に用いた入力波形

2.3 地盤定数の設定方法 表-1に解析に用いた土質定数を示す。主な定数は以下のように決定した。
[1] 土骨格ヤング率: Nevada砂は以下の式(1)³⁾を用いた。 σ_a は大気圧、 σ_m は2次元での平均応力である。セメント混合土は一軸圧縮試験結果より算定した。

$$E = \left(\frac{0.434}{m} \right) \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_m} \right)^m \frac{3(1-2\nu)(1+e_0)}{0.434C_s} \quad \dots (1)$$

[2] 透水係数、硬化パラメータ: 相対密度60%における三軸試験と透水試験をもとに設定した³⁾。ただし、実験時は相対密度80%となったため、解析パラメータは60%時の結果を外挿して設定した。

[3] 土骨格レリ減衰係数: ヤング率より推定したせん断波速度から卓越振動数 f_n (Hz) を算定し、式(2)を用いて決定した。このとき減衰定数 h は3%とした。

$$h_n = \frac{\alpha_s}{2\omega_n} + \frac{\omega_n \beta_s}{2} \quad \omega_n = 2\pi f_n \quad \dots (2)$$

その他の定数はNevada砂(相対密度60%)による要素試験結果から算定した値を用いた。

表-1 解析に用いた土質パラメータ

	Nevada砂	セメント混合土
土骨格ヤング率 $E(\text{kN/m}^2)$	式(1)	550000
土骨格ポアソン比 ν	0.29	0.4
透水係数 $k(\text{m/s})$	5.0×10^{-5}	----
土骨格レリ減衰係数 α_s	30.68	30.68
土骨格レリ減衰係数 β_s	2.2×10^{-5}	2.2×10^{-5}
松岡ゲイタツンパラメータ λ	1.2	----
松岡ゲイタツンパラメータ μ	0.2	----
圧縮指数 C_c	0.0089	----
膨張指数 C_s	0.0018	----
内部摩擦角 ϕ_f	38°	----
硬化パラメータ k_s	5.0×10^{-5}	----
初期間隙比 e_0	0.656	----

3 解析結果

図-3は模型実験での観測波形と2次元解析により得られた応答波形を比較したものである。実線が模型実験、破線が2次元解析の結果である。加速度波形を比較すると、位相はほぼ同一であるが、解析結果の方が大きな振幅を示している。また過剰間隙水圧比は約0.2秒まではほぼ同じように増加しているが、その後は解析結果の方が大きな値となっている。また、地表面残留沈下は模型実験が3mm生じたのに対して、解析では0.1mmしか生じていない。図-4は位置①での模型実験と解析の最大加速度分布、図-5は最大間隙水圧比分布を示したものである。実線が模型実験、破線が2次元解析の結果である。最大加速度、最大間隙水圧比ともに解析値の方が大きく、地表面に近くなるほどその差は大きくなる。模型実験結果と解析結果が異なったのは、液状化強度に関係する硬化パラメータなどを、異なる相対密度における要素試験の結果に外挿して決定したことも影響していると考えられる。

図-6は2次元解析での中心部（位置①）とせん断土槽壁面付近（位置②）の応答波形を比較したものである。加速度波形を見ると、実線で示すせん断土槽付近の方が破線で示す中心部よりも振幅が大きくなっているが、位相は一致している。過剰間隙水圧比でも壁面付近がわずかに大きな値を示している。図-7は2次元解析での中心部とせん断土槽付近の最大加速度分布、図-8は最大過剰間隙水圧比分布である。どちらも壁面付近の方が大きな値になっており、最大加速分布の場合、最大で4G（GL-11cm地点）の差がある。過剰間隙水圧比の場合、GL-15cm以上で中心部の方が大きくなっているが、それより深い部分では0.04~0.07程度壁面付近の値が大きい。これはモデルの左右側面に作用させたせん断土槽質量の影響と思われる。

4 まとめ

相似率1/50の遠心模型振動実験の動的有効応力解析を行った。模型実験の計測結果と解析結果を比較したとき、過剰間隙水圧比は比較的良好に再現できたが、加速度については大きく異なる結果となった。これらについては減衰の設定や硬化パラメータの設定方法によるものと考えられる。モデル中心位置と壁面付近の加速度、過剰間隙水圧比の応答計算結果を比較したとき、最大値の深度分布を見ると、加速度ではすべて壁面付近の方が大きくなり、過剰間隙水圧比ではGL-15cmより深い部分で壁面付近の方が大きくなった。これはせん断土槽の影響を考慮するためにモデルの左右側面に集中質量を与えたことによると考えられる。

（参考文献）1）松田他：円筒土留めの地震時挙動に関する遠心模型振動実験について、第31回地盤工学研究発表会投稿中 2）伊藤：動的有効応力解析プログラム「EFECT」（その1）-基礎理論と地盤構成モデル-、大林組技術研究所報、No.51,1995. 3）T.Kimura et al. : Numerical prediction for Model No 11, Verification of Numerical Procedures for the Analysis of Soil Liquefaction Problems Volume1, pp947-957

【模型実験とシミュレーション解析の比較】

----- 2次元解析 ———— 模型実験

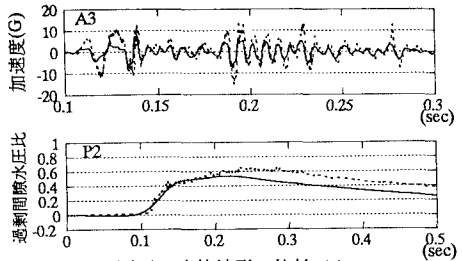


図-3 応答波形の比較 (1)

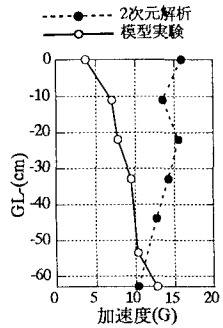


図-4 最大加速度分布

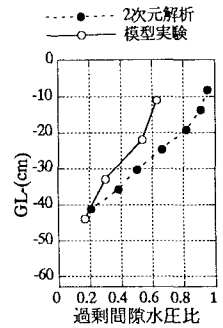


図-5 最大過剰間隙水圧比分布

【シミュレーション解析における中心部（位置①）と壁面付近（位置②）の比較】

----- 2次元解析(位置①) ----- 2次元解析(位置②)
----- 2次元解析(位置①) ----- 2次元解析(位置②)

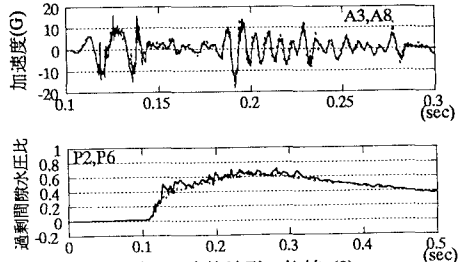


図-6 応答波形の比較 (2)

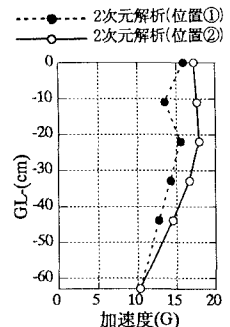


図-7 最大加速度分布

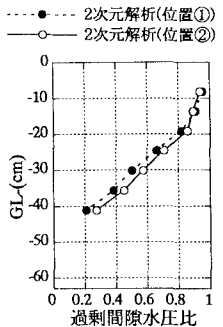


図-8 最大過剰間隙水圧比分布