

Ⅲ - A108 液状化時の円筒土留に関する遠心模型実験と二次元有効応力解析

（株）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

土留構造物の周辺地盤で液状化が発生する場合、土留壁体と地盤の相互作用により、地盤の加速度や過剰間隙水圧比などは壁体のごく近傍とある程度離れた位置とは異なった応答を示すと考えられる。このような地盤応答の違いを明らかにすることによって、当該構造物の耐震性の評価と液状化対策の設計に有効な資料となる。そこで大型遠心模型振動実験を対象とした動的応答解析を実施し、土留構造物および周辺地盤の液状化時の挙動の把握を試みた。

2. 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の载荷装置を用いて相似率1/50で実施した¹⁾。図-1に模型地盤と円筒土留の構成および計測器の配置を示す。模型地盤は2層で構成され、上部が液状化対象層となる相対密度68%のNevada砂層で、厚さ44cm（実寸法22m）となっている。下部はセメント混合土による厚さ19cm（実寸法9.5m）の非液状化層である。円筒土留模型は高さ65cm、外径40cm、壁厚1.2cm（実寸法32.5m、20m、0.6m）で繊維補強の高強度モルタルで作製されている。せん断土槽はアルミニウム製枠とゴム枠間材で構成されている。入力地震波は兵庫県南部地震におけるポートアイランドのGL-83mでの観測波形を最大加速度12.7Gに調整して用いた。

3. 解析方法

解析には修正松岡モデルを用いた動的有効応力解析コードEFFECT²⁾を使用した。図-2にモデル化した土留壁および地盤を示す。地盤は液状化対象層を2相系非線形要素、非液状化層を1相系線形要素とした。円筒土留は梁要素でモデル化し、円筒土留全体の曲げおよび圧縮剛性を考慮した。円筒の面外方向の圧縮は梁要素をバネ要素（k3）でつなぎ考慮した（図-3参照）。またせん断土槽の影響を考慮するために、地盤の左右端にバネ要素（k1、k2）を介して質量と剛性を与えた。バネ要素k1は水平および鉛直方向、k2は水平方向のみのバネである。外部への間隙水の排水は地表面のみとし、液状化対象層と非液状化層との境界も非排水とした。

表-1～3に材料定数を示す。Nevada砂のヤング率は以下の式（1）³⁾より決定した。 σ_a は大気圧、 σ_m は平均応力である。セメ

$$E = (\sigma_a \cdot \sigma_m)^{0.5} 6(1-2\nu) \frac{(1+e_0)}{C_s} \quad \dots (1)$$

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

ント混合土のヤング率は一軸圧縮試験結果より算定した。

土骨格レーリー減衰係数は、せん断剛性から評価した模型地盤の卓越振動数 $f_1=96$ (Hz)、 $f_2=248$ (Hz) から式（2）を用いて決定した。透水係数 k 、硬化パラメータ ks は図-1に示す模型地盤

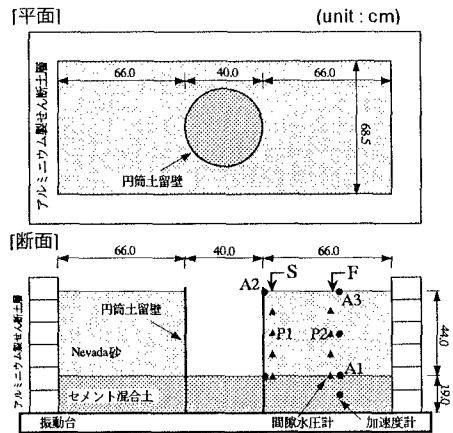


図-1 模型地盤と円筒土留めモデル

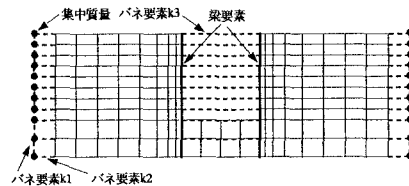


図-2 有限要素モデル

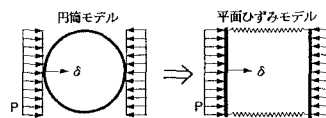


図-3 円筒土留モデルのモデル化

表-1 地盤要素パラメータ

	Nevada砂	セメント混合土
湿潤密度 ρ (kN/m ³)	19.70	22.34
相対密度 D_r (%)	68	----
土骨格ヤング率 E (kN/m ²)	式(1)	550000
土骨格 ν 比	0.29	0.40
土骨格レーリー減衰 α_s	52.1	52.1
土骨格レーリー減衰 β_s	5.6×10^{-5}	5.6×10^{-5}
内部摩擦角 ϕ (DEG)	25	----
初期間隙比 e_0	0.658	----
透水係数 k (m/s)	1.8×10^{-5}	----
効果パラメータ ks	0.0001～0.003	----

キーワード：遠心振動実験、土留構造物、液状化、動的解析、有効応力

連絡先：〒204 東京都清瀬市下清戸4-640 TEL (0424) 95-0910 FAX (0424) 95-0903

において、自由地盤と考えられる測線

F-F上の応答から設定した。このとき透水係数は過剰間隙水圧消散時の排水勾配より設定し、硬化パラメータは第一

主要動による過剰間隙水圧の振幅より設定した。その他の地盤パラメータはNevada砂による要素試験結果から算定した値を用いた。土留壁体を表す梁要素のヤング率は一軸圧縮試験から算定し、ポアソン比、重量密度は通常のコンクリー

ト材料と同等とした。断面積Aおよび断面2次モーメントIは、円筒より算定されるAおよびIの1/2の値をを与えた。

4. 解析結果

図-4～8は図-1に示す各計測地点における、解析と実験の加速度および過剰間隙水圧比の時刻歴を比較しており、解析は点線、実験は実線で示している。図-4は測線F-F上の点A1における加速度時刻歴である。図-5は壁体近傍の測線S-S上の点A2における加速度時刻歴で、実験では最大20Gに達しているが、解析ではわずかに実験を上回る応答を示している。また図-6は測線F-F上の点A3の加速度時刻歴だが、A2と比較すると実験、解析ともに振幅が大きく減衰している。また、解析値と実験値はほぼ一致している。A3で加速度が大きく減衰しているのは地盤の液状化によるもので、A2では入力波が壁体を伝わることで、地盤の液状化の影響を受けずに地表面に達したと考えられる。

図-7、8は地表面より22cmの深さにおける過剰間隙水圧比の時刻歴を示しており、図-7は測線S-S上の点P1、図-8は測線F-F上の点P2での応答である。壁体近傍であるP1、遠方であるP2ともに、解析による実験の再現精度は良好である。P1において0.1秒から0.3秒程度まで解析値が大きく上下に変動しているのは、梁要素の影響を受けているためである。P1とP2における実験値を比較すると壁体近傍であるP1の応答がわずかに小さい。実験では深度が深くなるほどこの傾向が顕著になっている。

図-9は時刻0.3秒における過剰間隙水圧比の分布を示している。図より壁体近傍、特に深い部分で水圧比の上昇が抑えられていることがわかる。これは壁体により壁体近傍の地盤のひずみが抑制されるためだと考えられる。

5. まとめ

今回の数値解析では、透水係数と硬化パラメータを実情に則して設定することにより、二次元モデルでも加速度応答、過剰間隙水圧比ともに実験結果を定性的にも定量的にも再現できた。また実験および解析の結果より液状化が生じやすいのは壁体近傍ではなく、ある程度離れた場所であることが示された。今後、三次元解析等の実施により、土留構造物と周辺地盤の地震時相互作用について詳細に検討する予定である。

表-2 梁要素パラメータ

	梁要素1	梁要素2	梁要素3
水平方向 $k_x(\text{kN/m})$	2.2×10^2	1.0×10^5	4.0×10^6
鉛直方向 $k_z(\text{kN/m})$	1.0×10^5	----	----

表-3 梁要素パラメータ

	梁要素（円筒）
ヤング率 $E(\text{kN/m}^2)$	2.97×10^7
ポアソン比 ν	0.167
重量密度 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	23.52
断面積 $A(\text{m}^2)$	0.0073
断面2次モーメント $I(\text{m}^4)$	0.000138

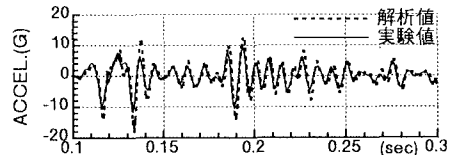


図-4 応答加速度の比較（A1地点）

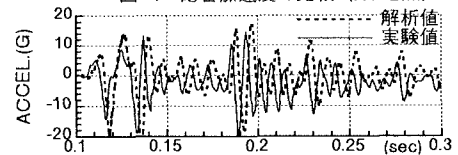


図-5 応答加速度の比較（A2地点）

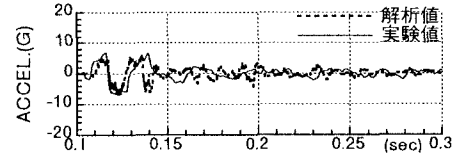


図-6 応答加速度の比較（A3地点）

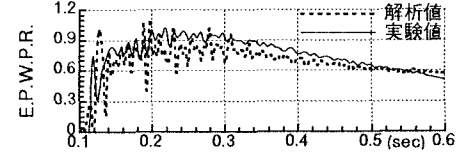


図-7 過剰間隙水圧比の比較（P1地点）

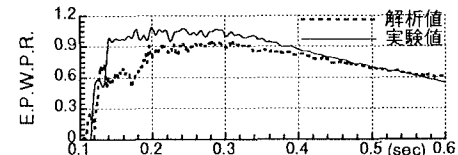


図-8 過剰間隙水圧比の比較（P2地点）

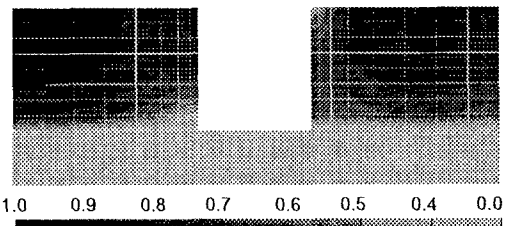


図-9 0.3秒における過剰間隙水圧比の分布

【参考文献】1) 松田他：円筒土留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講演概要集, pp1171-1172 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 Volume 1, pp947-957