

Ⅲ-A167

液状化地盤中における杭基礎の挙動に関する模型振動実験とその有効応力解析

東急建設技術研究所 正会員 田所 淳 大河内 保彦

鉄道総合技術研究所 正会員 澤田 亮 西村 昭彦

1. はじめに 著者らは液状化に伴う地盤の側方流動が基礎構造物に及ぼす影響を評価するために、重力場での模型振動実験を行い、液状化及び側方流動地盤中の杭基礎の挙動について検討してきた(澤田ら¹⁾)。今回は液状化地盤中の杭基礎模型の挙動に着目し、その数値シミュレーションを実施し、実験結果との比較検討を行ったので以下に報告する。

2. 模型実験の概要 模型実験の概要と計測器の配置を図-1に示す。模型地盤の大きさは幅2.1m×奥行1.0m×深さ0.75mである。杭基礎模型は、上部構造物の慣性力を考慮した剛体フーチングと4本の中実ABS樹脂製の群杭により構成されている。杭頭と杭下端はそれぞれフーチングと土槽底部に剛接合とした。地盤模型は珪砂6号を用い、水中落下法で相対密度50%になるように作製した。入力波はそれぞれwhite noise（広帯域波）と地震波（基礎適合波）を用いた。実験は、加振方法と土槽の境界条件等に応じて5ケースとした。今回は、ケース1のみを数値解析の対象とした。実験の詳細については参考文献¹⁾を参照されたい。

3. 解析手法及び条件 数値解析には二相混合体理論に基づく2次元動的非線形解析コード「NANSSI」を用いた。図-2に解析モデルを示す。実験土槽の左右境界はそれぞれ自由と固定であったが、解析ではモデルの幅を測線Cと測線Eとの間に限定し、両側面には近似として粘性境界を与えた。又、底面は固定境界とした。杭は線形梁要素でモデル化し、基礎フーチングは剛な線形平面ひずみ要素とし、質量を一致させた。地盤は、2相平面ひずみ要素とし、土の構成則は弾塑性論に基づく西モデル²⁾を用いた。地盤の入力物性値を決定するため、模型実験で用いられた珪砂の排水三軸圧縮試験、動的変形・強度試験（供試体直径5cm、高さ10cm）を実施した。排水三軸圧縮試験によって得られた強度定数 $\phi_r=35^\circ$ 、変相角 $\phi_m=28^\circ$ を基本定数とし、西モデルの他の主要なパラメータは液状化強度曲線を再現するように決定した（図-3）。

内部減衰はレイリー減衰とし、地盤については1次固有振動数の2%、基礎については1次固有振動数の0.2%としている。時間領域における直接積分には陰解法を用い、積分定数については $\beta=0.25$ 、 $\gamma=0.5$ とし、時間ステップは $\Delta t=0.001$ 秒とした。入力波形については実験時の波形の内、その主要動7秒間を採用した。

4. 数値解析と実験結果の比較 図4に過剰間隙水圧の時刻歴を、図-5に地盤の加速度時刻歴を、それぞれ実験結果と比較して示す。実線が解析結果、点線が実験結果を示している。過剰間隙水圧、加速度ともに解析結果と実験結果はよい対応を示している。過剰間隙水圧は、入力波の主要動が始まると共に急激に上昇し、約2秒で有効上載圧に達し、ほぼ液状化に至っている。加速度波形を見ると、液状化の発生に伴う波の長周期化や応答振幅の低減等の特徴的な挙動が見られる。ただし、解析では短周期成分の減衰が大きく、実験で見られるパルス状の波形を完全には表現できていない。図-6にフーチングの加速度、変位及び杭の曲げモーメントの応答波形を示す。いずれも解析結果が約2秒付近まで実験結果の傾向をかなり良好に模擬しているが、地盤の完全液状化に伴い、特に加速度の後半部の振幅は実測値より小さい。実験では土槽の右境界が固定であったのに対し、解析ではその反射波の影響を十分に表現できないため、基礎の応答加速度が過小評価されたと考えられる。深度方向に杭基礎の変位および曲げモーメント最大値分布を図-7に示す。杭の変位は加速度計によって得られた杭の加速度の時刻歴波形を2回積分することにより算出した。変位の最大値を見ると解析値の方は実測値より大きくなっている。実験では杭と地盤に変位差が生じるが、二次元FEM解析では杭を線形梁要素でモデル化しており、地盤と杭の間の非線形特性の影響が評価できていないためと考えられる。一方、杭の最大曲げモーメント分布について、解析結果は液状化地盤中の杭応力の特性を良く捉えている。

キーワード：杭基礎、液状化、模型振動実験、有効応力解析

連絡先：〒229-1124 相模原市田名字菅根下 3062-1 TEL 0427-63-9507 FAX 0427-63-9503

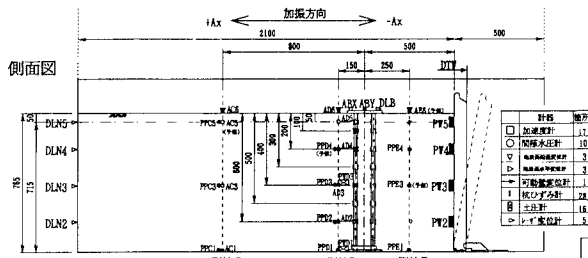


図-1 模型振動実験の概要

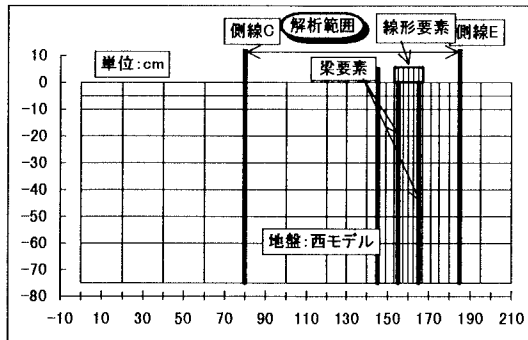


図-2 FEM 解析モデル

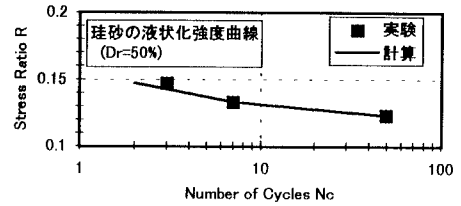


図-3 液状化強度曲線

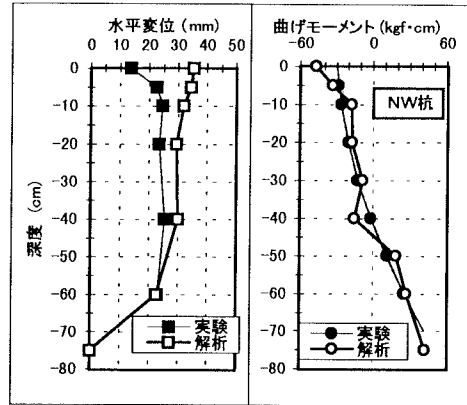


図-7 杭の相対変位、曲げモーメント最大値分布

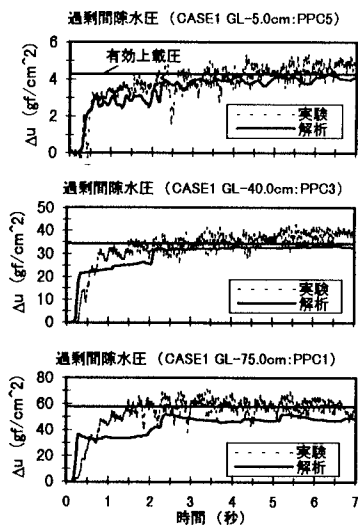


図-4 過剰間隙水圧時刻歴

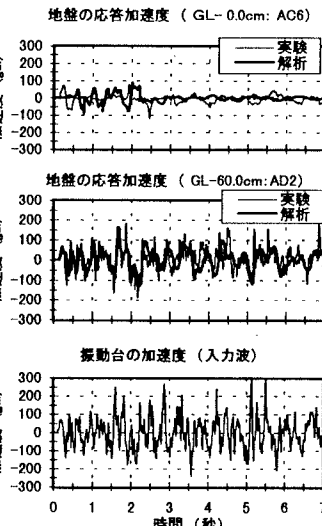


図-5 地盤の加速度時刻歴

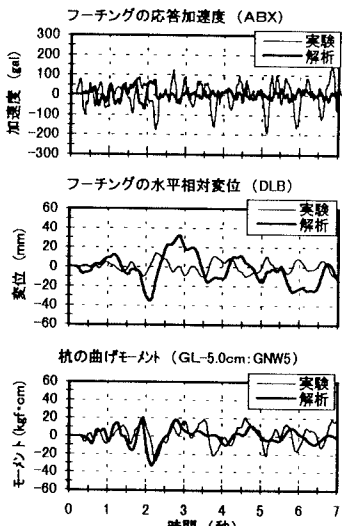


図-6 基礎の加速度、相対変位と杭の曲げモーメント時刻歴

5. まとめ 液状化地盤中の杭基礎の挙動に関する模型振動実験と有効応力法による FEM 解析結果との比較検討を行った。全体的には解析結果は実験時の地盤、杭基礎の挙動をシミュレーションすることができたことが分かった。解析の細部に関しては、今後さらに検討を続ける必要がある。

【参考文献】1)澤田,菊入,西村,田所,木村,大河内,川久保: 液状化による地盤の側方流動が基礎構造物に及ぼす影響に関する研究(その1,2),第33回地盤工学研究発表会,1998年7月。2)Nishi, K. and Kanatani, M.: Constitutive relations for sand under cyclic loading based on elasto-plasticity theory, Soils & Foundations, Vol.30, No.2, pp.43~59, 1990.