

Ⅲ - 37

有効応力解析による液状化地盤中の杭基礎挙動の考察

東北大学 学生員 ○芝崎水無子

東北大学 正会員 渦岡良介・風間基樹

岐阜大学 正会員 八嶋 厚・張 鋒

1. 背景及び研究の目的

液状化による地盤変動の影響により杭基礎が大きな被害を受けていることが分かっており、杭基礎の合理的な設計方法の見直しが急務となっている。そこで、大型振動台実験をシミュレーションし、実験結果と比較、検討することで、大型振動台実験結果をもとにした三次元有効応力解析手法の検証を試みる。また、地盤反力と地盤変位、地盤速度との相関を調べ、液状化地盤中の杭と周辺地盤の挙動を明らかにする。

2. 振動台実験¹⁾

用いた地盤材料は霞ヶ浦銚田の砂で相対密度、平均粒径、細粒分含有率がそれぞれ 61%, 0.311mm, 5.40% である。本研究の解析で使用した 150, 300cm/s² の入力波形を図 1 に示す。以下では加振加速度 150, 300cm/s² の場合をそれぞれ case1, 2 とする。今回は杭頭剛結で、 $\phi=200\text{mm}$ の PHC 杭を用いた杭基礎を検討対象とする。杭及び地盤で測定された加速度を積分して、速度及び変位を算定し、杭の曲げひずみから求めた曲げモーメントを二回微分して地盤反力を算定した。杭と地盤の相対速度、変位を（杭—地盤）で計算し、地盤が静止しているものとして評価し、地盤反力との関係を時刻歴で評価した。

3. 解析条件

上記の実験に対し、三次元有効応力解析²⁾を行った。地盤及び杭基礎の解析モデルを図 2 に示す。実験モデルは奥行き方向に対称であるので、解析モデルは手前半分のみを再現した。地盤のパラメータは室内試験結果をもとに、直接算定するか、液状化強度試験及び動的変形試験のシミュレーションを行うことで、設定した。地盤は 6 面体ソリッド要素、杭はトリリニア型の M- ϕ 関係を有するビーム要素、フーチングは線形弾性体のプレート要素を使用した。境界条件は実験条件に適合するように設定した。

4. 結果及び考察

case1, 2 の間隙水圧の時刻歴を図 3 に示す。以下図中の z は土槽底面からの高さ (m) を表す。実験と解析で

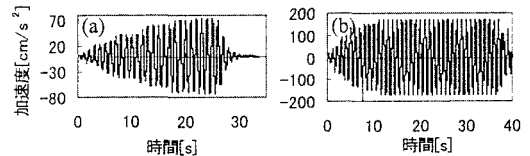


図 1 入力加速度波形 ((a)case1, (b)case2)

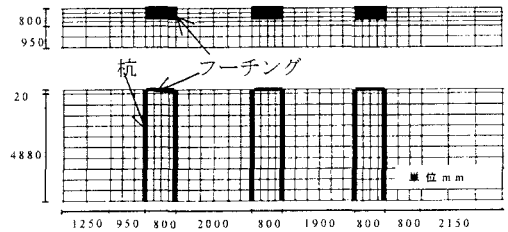


図 2 解析モデル

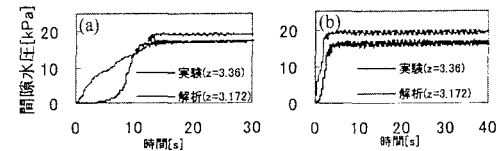


図 3 間隙水圧時刻歴 ((a)case1, (b)case2)

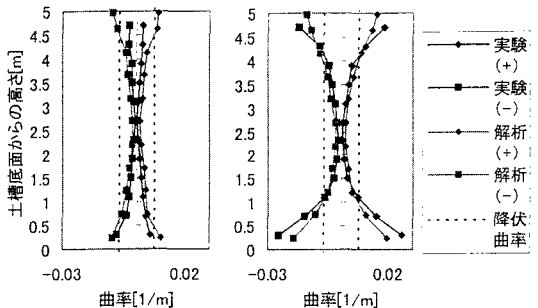


図 4 杭曲率最大値深度分布 ((a)case1, (b)case2)

上昇過程に違いがあるが、初期上載圧に達しており完全に液状化していることが分かる。case1, 2 の杭曲率最大値の深度分布を図 4 に示す。曲率最大値の深度分布において、杭頭と杭先端は大きな値が出ていて、杭中心部は値が小さい。また、case1 では解析が曲率を過大評価している、case2 の杭の降伏後は、解析が

実験を過少評価している。このように定量的にはやや差があるが、定性的には両者はおおむね一致している。

case1 について、実験($z=4.13$)及び解析($z=3.904$)の地盤反力と杭と地盤の相対速度及び相対変位の相関図をそれぞれ図5、6に示す。実験及び解析において、液化化前の $t=0\sim5$ 秒では地盤反力と相対速度の間には横軸と縦軸の最大値及び最小値が対応しておらず、特に相関は見られないが、地盤反力と相対変位の間に負の相関が見られ、杭が変位する方向と逆の方向に地盤反力を受けていることになる。また、完全液化化後の $t=15\sim33.5$ 秒では、地盤反力と相対変位との間には特に相関が見られないのに対して、地盤反力と相対速度の間には負の相関が現れている。間隙水圧上昇過程の $t=5\sim15$ 秒では、グラフが液化化前の状態から完全液化化後の状態に移行する様子が表れている。以上より、液化化前の時刻では地盤反力が相対変位に起因しており地盤が固体としての挙動を示し、完全液化化後は地盤反力が相対速度に依存していることから地盤反力が粘性抵抗とも解釈でき、地盤は流体としての挙動を示している³⁾と考えられる。解析において、地盤反力をやや過大評価しているが、上記のような傾向を定性的にはよく再現している。

5. まとめ

大型振動台実験に基づく三次元有効応力解析により、実験結果と解析結果との比較を行い、解析手法の検証及び、液化化地盤中の杭と周辺地盤の挙動を考察した。本解析モデルでは定量的にはやや誤差が生じるものの、定性的には概ね現象を捉えることができた。また、地盤反力は液化化前は杭と地盤の相対変位に依存しており、液化化後は相対速度と依存することが確認できた。今後、解析結果を通じて液化化地盤中の杭に作用する地盤反力のメカニズムを考察する予定である。

<参考文献>

- 1) 安田進, 田井秀次, 高木正英, 森本敏: 液状化地盤中の杭の動的相互作用に関する実大振動実験 第34回地盤工学研究発表会, pp. 2029-2030, 1999.
- 2) Oka, F., Yasima, A., Shibata, T., Kato, M. and Uzuoka, R.: FEM-FEM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elastoplastic model, Applied Scientific Research, Vol. 52, pp. 209-245, 1994.
- 3) 清水政則, 若松加寿江: 液状化による地盤の水平変位の研究 土木学会論文集, No. 596/III-43, pp. 189-206, 1998.

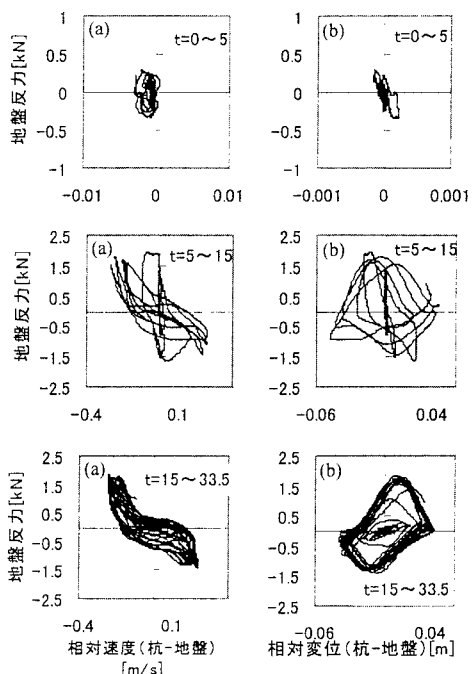


図5 地盤反力と相対速度(a)及び相対変位(b)の相関図 (実験)

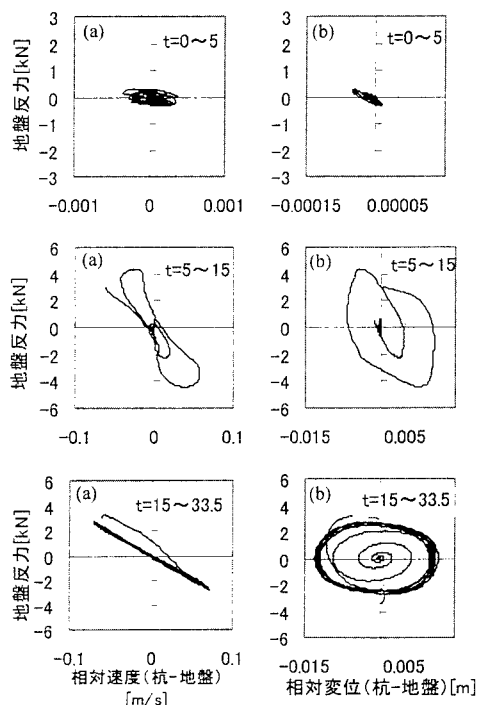


図6 地盤反力と相対速度(a)及び相対変位(b)の相関図 (解析)