

Ⅲ-A166

杭基礎を設置した大型振動実験の有効応力解析による検討

東京理科大学	正会員	石原 研而
基礎地盤コンサルタンツ（株）	正会員	ミシロ チュブリノフスキー
清水建設（株）（元東京理大）	正会員	波多野 正邦
東京理科大学	学生会員	古川園 健朗

1.はじめに

大規模なせん断土槽を用いて、深さ 6m の模型飽和砂地盤の液状化実験が 1996 年度より継続して実施されている。本実験は、実地盤の液状化現象を研究する上で重要な意義を持つ。本報告では実験で用いられた霞ヶ浦砂の構成則（Stress-Density Model）におけるモデルパラメータを適用して有効応力 FEM 解析を行った結果、別報¹⁾において地表面付近の加速度時刻歴、地盤変位の時刻歴、そして過剰間隙水圧比の時刻歴を検討した結果、地盤材料のモデリングによって定めた一組のパラメータによって、異なる応力状態における地盤の挙動を再現し有効応力によるモデル化が適切であることを示した。そこで本報では、杭と地盤の相互作用について考察することが目的である。

2.実験概要

図-1 に実験の概要を示す。せん断土槽の大きさは幅 12m×奥行 3.5m×深さ 6m である。地盤材料は霞ヶ浦産の川砂を用いた。杭は長さ 5m で直径 20cm の PC 杭と直径 21.6cm の鋼管杭が用いられ、4 本群杭として 3 基設置されている。それぞれの杭頭には幅 1.2m×奥行 1.8m×厚さ 0.47m のフーチング模型が接続されている。杭頭とフーチングは中央のみピン結合でその他は剛結である。杭とフーチングを土槽内に設置した後に、水中落下法で相対密度 48% の飽和砂地盤を作製した。地盤中の加速度、過剰間隙水圧と、杭体に発生するひずみが計測されている。入力地震波は周波数 1Hz、最大加速度 80gal のサイン波を用いた。

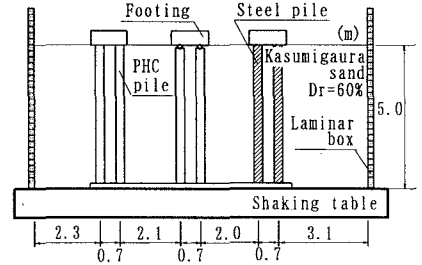


図-1 実験の概要

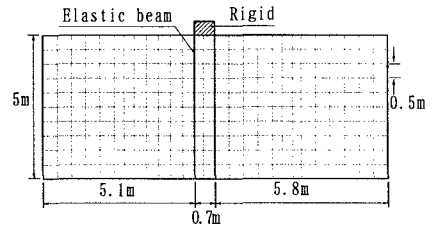


図-2 解析メッシュ

3.解析方法

解析プログラムは 2 相系の FEM プログラム「DIANA-J2」である。図-2 に解析メッシュを示す。地盤と中央のピン結合の群杭のみをモデル化した。地盤は 1 層の厚さを 0.5m とし 10 分割した。PC 杭は弾性の梁要素とし、弾性梁の曲げ剛性 EI を $2943\text{kN}\cdot\text{m}^2$ として実験で用いられた杭と等しくした。フーチングは線形弾性の剛なソリッド要素とした。境界条件はモデル底部を固定、左右境界の土と水の変位が等しいとした。土のモデルパラメータは別報²⁾に示すとおり、構成則として「Stress-Density Model」³⁾を用いてモデル化したものを適用した。図-3 に霞ヶ浦産の川砂を用いて行った繰返し三軸試験の結果を示す。この図に示す液状化強度曲線を再現するようにモデルパラメータを決定している。

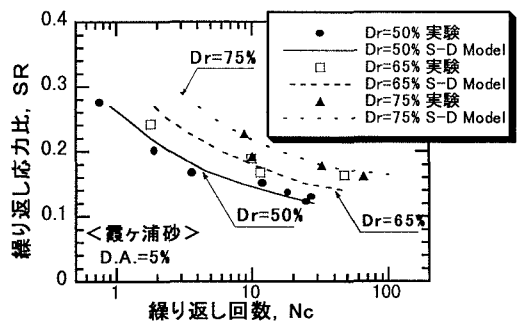


図-3 液状化強度曲線

4.解析結果

実線が解析結果、点線は実験結果を示している。図-4 に杭の曲げモーメントの時刻歴を示す。実験結果は計測された杭体のひずみを用いて弾性計算で求めたものである。杭のどの部分においても実験、解析はともに位相と振幅が対応し類土の構成式、有効応力解析、有限要素法、杭、地盤反力係数

似た波形を示している。図-5に杭の曲げモーメントの最大値および杭の変位の最大値を深さ方向にプロットしたものを示す。図中の M_c とは杭のクラックが生じるモーメントである。実験における曲げモーメントの分布形状から杭とフーチングのピン結合条件が実現されていることがわかり、解析もよく対応している。次に杭と地盤の相互作用について検討するため、曲げモーメントがピーク値でかつ液状化に達する前、液状化に至る直前、液状化後である 13.3sec、15.64sec、20.6sec の3つの時刻について地盤反力係数を算出した。地盤反力係数とは、杭に作用する力と杭と地盤の相対変位を用いて算出するもので地盤が単位長さの変位を生じるのに必要な単位面積あたりの力のことで、以下の式で算出される。

$$K_h = \frac{\Delta Q}{\Delta u * (l * d)} \quad \Delta Q; \text{地盤反力}, \Delta u; \text{杭と地盤の相対変位},$$

l ; 力が作用する部分の長さ、 d ; 杭の直径

図-6にその結果を示す。13.3secではばらつきが大きい、15.64sec、20.6sec においては解析結果も実験結果もほぼ

一定の値を示している。特に時刻 20.6sec において解析結果では、地盤反力係数が $0.1 \sim 0.4 \text{ kgf/cm}^3$ 、実験結果では地盤反力係数が $0.02 \sim 0.3 \text{ kgf/cm}^3$ であり実験結果の方がやや小さいが、これは実験結果における杭と地盤の相対変位が大きいことが原因であるが、解析は実験結果をよく再現していると言える。

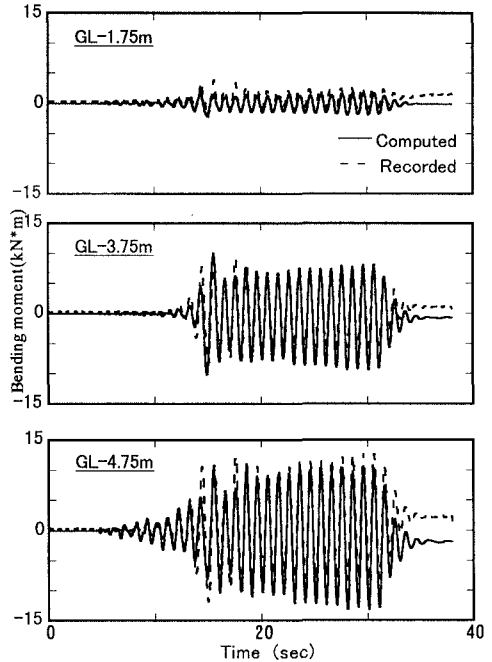


図-4 杭の曲げモーメントの時刻歴

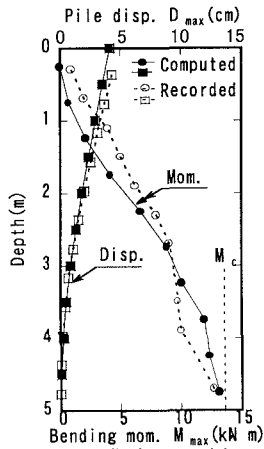


図-5 杭の曲げモーメントと変位の深さ方向分布

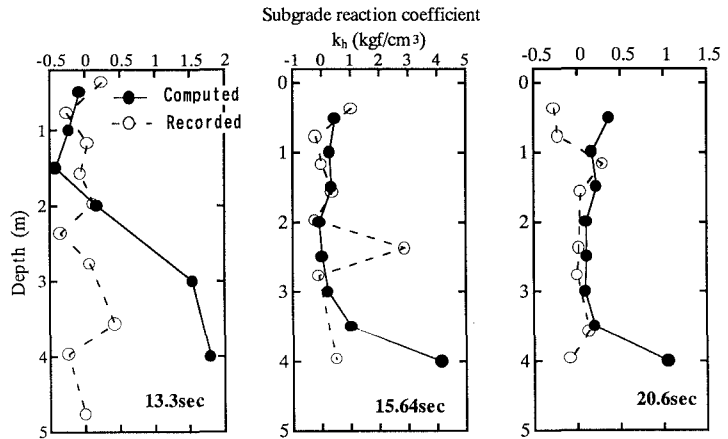


図-6 地盤反力係数

5. まとめ

霞ヶ浦砂の構成則（Stress-Density Model）におけるモデルパラメータを適用して有効応力 FEM 解析を行った。その結果、杭と地盤の相互作用についての挙動の解析結果は、実験結果をよく再現しており解析手法が妥当であることを示した。また今後は解析メッシュを細かくするなどして検討を進めて行きたいと思う。

参考文献

- 1) 波多野、石原ら、杭基礎を設置した大型振動実験の有効応力解析(その2)、第33回地盤工学研究発表会（投稿中）
- 2) 古川園、石原ら、杭基礎を設置した大型振動実験の有効応力解析(その1)、第33回地盤工学研究発表会（投稿中）
- 3) M.Cubrinovski、応力に依存する密度定数を用いた砂質土の構成モデル、1993年東京大学学位論文