

液状化過程に着目した杭基礎の地震時挙動に関する模型振動実験

建設省土木研究所 正会員 佐藤直毅 正会員 田村敬一
正会員 東 拓生 正会員 小林 寛

1. はじめに

液状化地盤中の杭基礎の挙動や液状化地盤と杭基礎の動的相互作用の問題については、まだ十分に把握されておらず、研究途上の段階である。最近の研究においては、液状化の進行に伴い基礎構造物の固有振動数と入力地震動の卓越振動数の関係で過渡的な共振現象が発生することが報告されており¹⁾、入力地震動と地盤液状化時における地盤 - 杭基礎系の固有振動数の関係を把握することは重要であると考えられる。そこで本研究では、入力波の振動数を変化させた杭基礎模型の振動実験を行い、液状化の進行過程における杭基礎の地震時挙動に関する検討を行った。

2. 実験方法

図-1 に実験模型の概要、表-1 に実験模型の物性値の諸元を示す。土槽の大きさは幅 1.3m × 奥行 1.3m × 高さ 1.0m であり、土槽端部からの反射波の影響を低減させるために土槽内部にゴム製の緩衝材 (t=50mm) を張り付けた構造とした。地盤材料としては豊浦砂を用い、試験毎に土槽底面からポンプにより水を注入しポイリングを行った後、予備加振を行い所定の相対密度になるように飽和砂地盤を作成した。杭基礎模型は、鋼製のフーチングを 4 本(2×2)の亚克力製杭で支持する構造とし、杭頭部はフーチングに剛結、杭先端部は土槽に剛結とした。

実験で使用した入力波は一定振幅の正弦波であり、実験ケースとしては、表-2 に示すように、フーチングの重量と入力波の振動数を変化させた 16 ケースを設定した。計測器としては、地盤内に加速度計(12 個)及び間隙水圧計(10 個)、フーチングに加速度計(水平(1 個)、鉛直(2 個))をそれぞれ設置し、模型杭表面にはひずみゲージ(32 個)及び土圧計(20 個)を貼付けた。また、フーチング及び地表面の水平変位を非接触変位計により計測した。

3. 実験結果

図-2 に、入力波及びフーチング加速度の時刻歴の例を示す。どのケースにおいても加振開始直後から地表面付近に液状化が生じ始め、加振開始後 2.5 秒程度までに土槽全体に液状化が進行した。入力波の振動数 f_b が $f_1 < f_b < f_0$ のケースにおいては、図-2(a)に示すように、フーチング加速度が大きくなった後、液状化の進行に伴い減衰した。また、入力波の振動数が $f_b < f_1$ 及び $f_b > f_0$ のケースにおいては、図-2(b)に示すように、加振の継続時間中フーチング加速度は概ね一定の振幅を示した。図-3 に、図-2(a)に示したケースにおける曲げモーメントが最大となる時刻の地盤及び杭の変位、杭に生じる曲げモーメント及び杭に作用する土圧、地盤の過剰間隙水圧比の分布を示す。ここで、地盤及び杭の変位は、地盤加速度及び曲げモーメントをそれぞれ 2 回積分することにより算出した。また、杭に作用する土圧は左右で計測した土圧の差とした。地盤の剛性は、過剰

キーワード: 液状化, 杭基礎, 模型振動実験

連絡先: 〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地, TEL 0298-64-4963 FAX 0298-64-0598

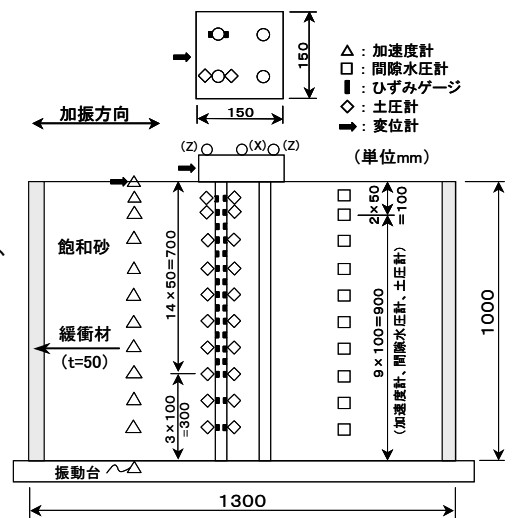


図-1 実験模型の概要

表-1 実験模型の物性値の諸元

| | | 単位 | 物性値 |
|-------|-------------|------------------|------------------------|
| 砂地盤 | 飽和単位体積重量 | N/m ³ | 18700 |
| | 相対密度 | % | 約 40 |
| 杭 | 杭 長 | m | 1.0 |
| | 杭 径 | mm | 25 |
| | ヤング係数 | N/m ² | 3.2 × 10 ⁹ |
| | 断面 2 次モーメント | m ⁴ | 1.9 × 10 ⁻⁸ |
| | 杭間隔 | | 2.6D |
| フーチング | 辺 長 | m | 0.15 |
| | 重 量 | N | 31.8, 90.6, 149.4 |

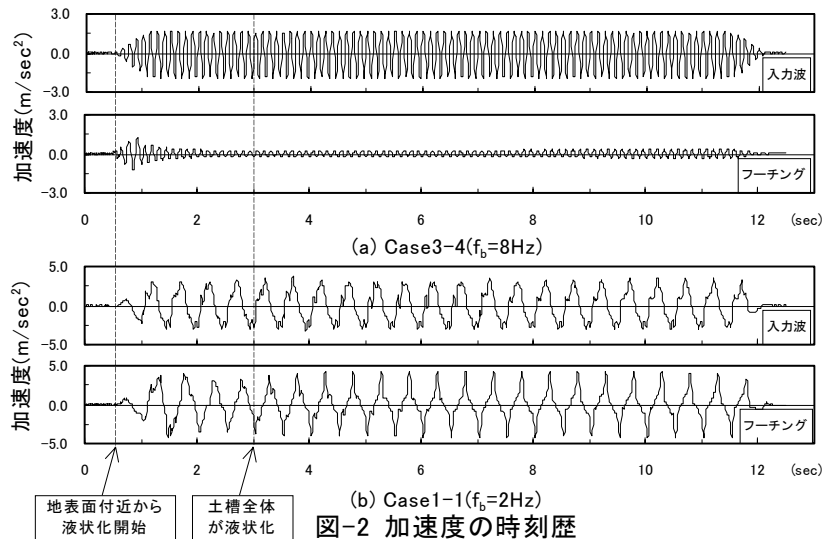
表-2 実験ケース

| | フーチング重量 W(N) | 入力波の振動数 f_b (Hz) | | | f_0 | f_1 |
|-------|--------------|--------------------|-------------------|-------------|-------|-------|
| | | $f_b < f_1$ | $f_1 < f_b < f_0$ | $f_b > f_0$ | | |
| Case1 | 31.8 | 2 | 8, 12, 16, 24 | | 5.7 | |
| Case2 | 90.6 | 2 | 5, 7.5, 10, 15 | | 3.4 | |
| Case3 | 149.4 | 2 | 4, 6, 8, 12 | 35 | 30 | |

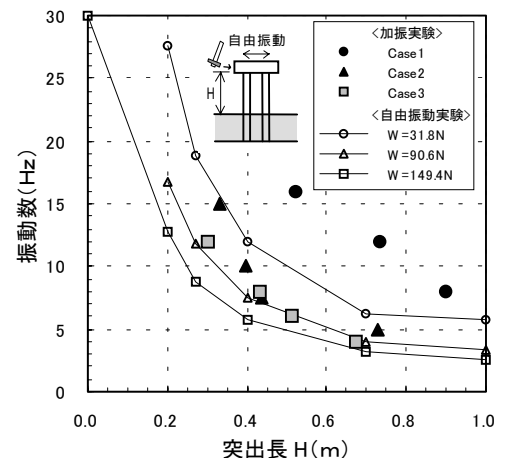
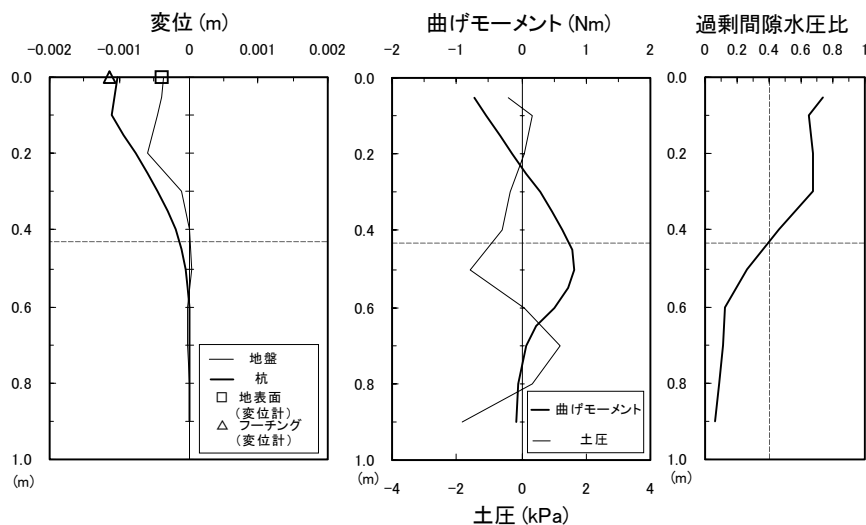
f_0 : 地盤 - 杭基礎系の初期固有振動数

f_1 : 地盤 - 杭基礎系の液状化後の固有振動数

間隙水圧比(Lu)が 0.4 程度以上になると急激に下がることが知られているが²⁾、この図においても曲げモーメント及び土圧が最大となる位置は、過剰間隙水圧比が 0.4 程度となっている深度 0.5m 付近であり、液状化の進行により生じた地盤の急激な剛性低下が断面力に大きく影響を及ぼしていると考えられる。地表付近においては土圧が小さくなっており、これは地盤が液状化により流体に近い状態となり、杭に対する抵抗が小さくなっているものと考えられる。また、杭変位が地盤変位より大きいことから土圧の影響よりもフーチング慣性力の影響が強いものと考えられる。



また、地盤の液状化過程における杭の突出状態について検討した。すなわち、まず、加振実験前に杭の突出長を変化させてフーチングを打撃し基礎全体を自由振動させる実験により杭の突出長と地盤 - 杭基礎系の固有振動数の関係を求めた。次に、各実験ケースで杭の曲げモーメント最大時に Lu 0.4 となる層厚を杭の突出長とみなし、それと入力波の振動数との関係を求めた。自由振動実験の結果と加振実験の結果を重ねたものを図-4 に示す。加振実験の結果は、自由振動実験と比較して上方にプロットされている。これは、完全液状化後にも杭に対する地盤の抵抗が残っているため、完全な突出状態とは異なった結果になったものと推測される。



4. まとめ

入力波の振動数を変化させ杭基礎の模型振動実験を行い、液状化過程における杭基礎の地震時挙動について検討した。その結果、入力波の振動数が液状化前後の地盤 - 杭基礎系の固有振動数の中間に位置する場合は、フーチング加速度が大きくなった後、液状化の進行に伴い減衰した。また、曲げモーメントは液状化進行中に最大となり、この時の曲げモーメント及び土圧は、過剰間隙水圧比が 0.4 程度となる深度付近で最大となることが確認された。

【参考文献】

- 1)例えば、澤田，西村：液状化地盤中の基礎構造物の挙動に関する実験的研究，第 24 回地震工学研究発表会講演論文集，1997 年 7 月
- 2)田村，東，小林，森光，佐藤：液状化による水平地盤反力の低減に関する実験的研究，土木研究所資料第 3697 号，2000 年 2 月