

楠武智工務所 ○桑山晋一 細川義隆 山下啓明
東京工業大学 中村幸司 時松孝次

■はじめに

液状化過程における杭-構造物-地盤系の動的な挙動については未解明な部分が多く、この問題を解決するため、従来より模型振動実験が行われて来た。しかし、これらはいずれも加振に正弦波を用いていたり、小型の模型実験であったため、実際の地盤における液状化時の挙動を十分再現していない可能性が指摘されている。

そこで本研究では、大型の杭-構造物-地盤系模型に対する不規則波入力振動実験を行い、液状化過程における系の挙動を明らかにすることを目的としている。

■実験の概要

実験は図-1のように加振機につながれた振動台上の大型せん断土槽を用い、その中に杭-構造物-地盤系の模型を作成して行った。このせん断土槽は寸法4m×2m×2mで、地盤の変形を拘束しないよう、高さ8cmの枠が25段積み重なった構造になっている。杭模型は、杭の両端はフレームに溶接、あるいはボルト締めして、固定している。せん断土槽内に必要量の水を張ったのちに砂(珪砂6号)を投入する。水位をG.L.-20cmに調節し、10~15時間程度放置したのち、構造物を想定した270kgfの重りを杭頭部に固定する。地盤の状態を調べるためのコーン貫入試験、弾性波探査、および杭の静的水平載荷試験を行い、相似則に合わせて時間軸を縮めた地震波を変位制御で振動台に入力する。地盤が液状化しなかった場合はさらに大きな振動を加え、地盤が液状化を起こすまで加振力を段階的に上げる。このとき、

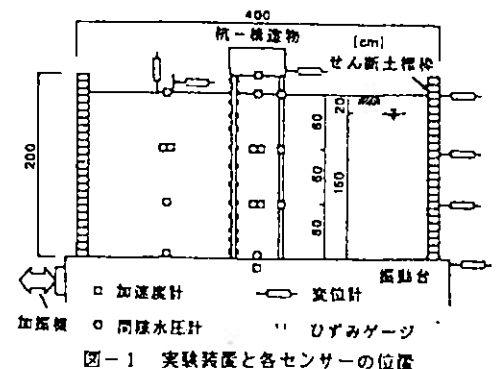


図-1 実験装置と各センサーの位置

表-1 実験の種類

入力波	杭の曲げ剛性 [$\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$]	杭径 [cm]	地盤密度	杭の呼び名
クフト	2.48	4.88	弱中密	E1杭
エルセントロ	2.48	4.88	弱中密	E1杭
クフト	8.44	5.00	弱中密	2.5E1杭
クフト	1.30	5.00	弱中密	0.5E1杭
クフト	2.53	7.62	弱中密	1.50杭
クフト(2層地盤)	2.48	4.88	弱	E1杭

図-1のように置かれたセンサーにより各部の加速度変位、ひずみ、水圧を測定、記録する。実験の種類は、表-1のように杭の曲げ剛性、杭径、入力波、地盤密度を変え、また地盤の上から1/3の部分に不透水層を作り、水位をその位置にして地盤の上部を非液状化層にしたもの(2層地盤)について行った。

■実験結果と考察

曲げ剛性の高い杭(2.5E1杭)の場合と低い杭(0.5E1杭)の場合の加速度や振動台に対する相対変位などの時刻歴を図-2に示す。双方とも時刻6秒前後で地盤が全層液状化している。地表面の加速度応答は、液状化とともに小さくなり、地盤の剛性の低下に伴い、長

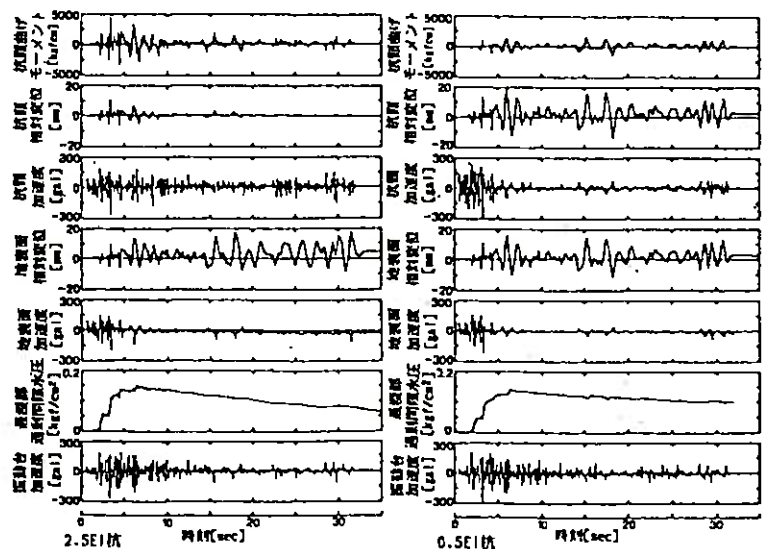


図-2 時刻歴における曲げ剛性の影響

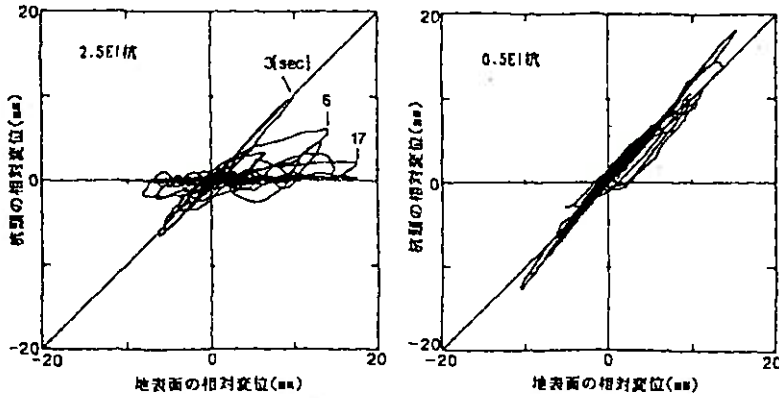


図-3 地表面と杭頭の相対変位の関係における曲げ剛性の影響

周期成分が卓越している。一方、杭頭の加速度応答では、杭の剛性が低い場合は地表面と同様な傾向であるが、杭の剛性が高い場合は液状化後でも短周期で比較的大きな応答を示している。

杭の剛性の違いによる応答の相違を明らかにするため、図-3に地表面変位と杭頭変位の経時変化を示した。杭の剛性が低い場合、地表面変位と杭頭変位は全過程でほぼ一致している。一方、剛性が高い場合、液状化前は杭頭変位と地表面変位は一致しているが、液状化の進行に伴って杭頭の変位量は地表面に対して徐々に低下し、液状化後ではほとんど認められない。このような杭の剛性の違いによる液状化後の杭-構造物系の応答の違いは、以下のように説明できる。すなわち、杭の剛性が低い場合、この系の空中での固有周期(1.8Hz)と液状化後の地盤の卓越周期(約1Hz)が近いため、液状化後も依然として地盤変形の影響を受けるが、剛性が高い場合、この系の空中での固有周期(4.2Hz)が1Hzよりかなり高いため、液状化後の杭-構造物系の挙動は比較的地盤と独立している。また、剛性の高い杭では液状化後の杭頭変位は小さいため、液状化後の杭頭の曲げモーメントは相対的に小さくなるが、この場合でも液状化直前に生じる大きな地盤の変形によって、杭頭に大きな曲げモーメントが生じている。

地盤の上部を非液状化層にした実験における、杭頭変位と地表面変位の関係は図-4のように液状化の全過程で一致している。これは地盤反力が低下しない非液状化層が抵抗側より入力側に働いたためとも考えられる。したがって、非液状化層が液状化層の上にあって大きな変位を生じる場合、非液状化層によって杭が強制変形させられる可能性がある。

図-5は表-1に示すすべての振動実験結果について、杭頭の曲げモーメントの最大値とその時刻付近で杭頭に働く最大加速度を慣性力として静的に杭頭に空中で加えた時に生じる杭頭の曲げモーメントの関係を示している。

特に剛性の高い杭で振動実験の最大曲げモーメントの方が大きくなっており、両者は必ずしも1対1に対応しない。一方、各振動実験の地表面の最大相対変位だけ杭頭を空中で静的に変位させたとき杭に生じる曲げモーメントと振動実験で実際に生じた曲げモーメントの最大値の関係を示した図-6では、両者はほぼ一致し、杭に生じる曲げモーメントに対して、地盤変形の影響が大きいことを示している。

■結び

大型せん断土槽を用いた地盤-杭-構造物系に不規則波を入力した実験の結果から、杭に生じる曲げモーメントは杭頭に加わる加速度より地盤の変形と良く対応していることが明らかになった。

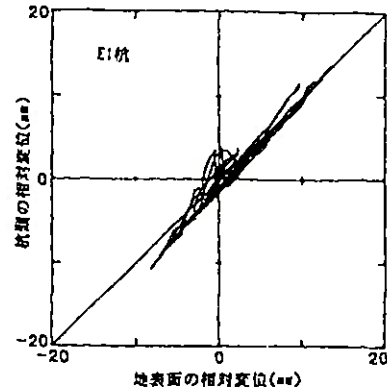


図-4 2層地盤実験の地表面と杭頭の相対変位の関係

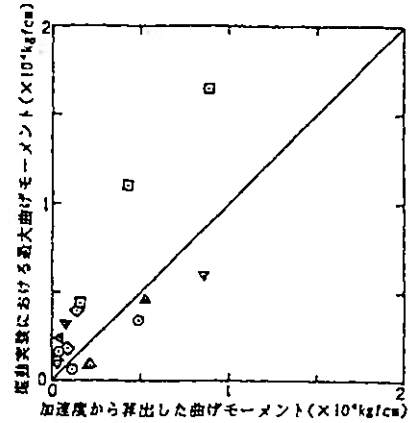


図-5 加速度と曲げモーメントの対応

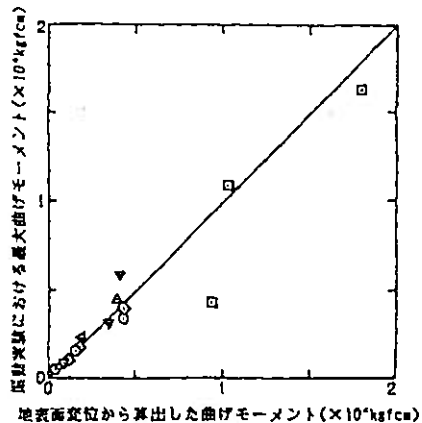


図-6 地表面変位と曲げモーメントの対応

図-5, 6における凡例

- ▽ EI杭(ケフト)
- 2.5EI杭
- ◇ 1.50杭
- △ EI杭(エルセントロ)
- 0.5EI杭
- ◁ EI杭(2層地盤)