

Ⅲ - A110

多層地盤における杭基礎の液状化挙動に関する遠心振動実験

清水建設 (株) 技術研究所 正会員 佐藤正義

1 まえがき

軟弱な砂地盤では地震時に液状化が発生し易く、過去の大地震の際の震害調査からも液状化が原因で杭基礎が破壊した被害は非常に多い。このような現象は実証的に検討する必要がある、その手段として実地盤の拘束応力状態を再現できる遠心振動実験は有力な方法と考えられる。しかし、これまでに行われた遠心振動実験による検討は一様な一層の砂地盤を対象としているものが多い。実際の地盤はいくつかの層からなる多層地盤であることが多いため、このような地盤における杭基礎の液状化時の安定性も重要である。本報では、支持層と3つの層からなる砂地盤を作成し、3つの砂層の中間層のみが液状化する場合を想定した実験を行った。

2 遠心振動実験の概要

遠心振動実験に用いた地盤-杭-建屋系およびせん断土槽の外観を図1に示す。実験に用いたせん断土槽の内寸法は、長さ77cm(加振方向)、幅47.5cm、深さ37cmである。模型地盤の作成は、最初に支持層として小砂利を突固めた砂礫層を相対密度 $D_r$ =約80%で作成した。次に下部の非液状化層として豊浦砂を $D_r$ =約70%で、液状化層として8号硅砂を $D_r$ =約50%で、上部の非液状化層として豊浦砂を $D_r$ =約70%で作成した。地盤の作成方法は、乾燥状態の砂を用いた空中落下法である。模型と実物の縮尺比を1:30とし、模型地盤の間隙流体には、水の30倍の粘性(30cs)をもつシリコンオイルを用いた。また、模型地盤の飽和度の向上を図るため、せん断土槽を真空槽に入れ、真空状態で間隙流体を土槽下部から注入して飽和させる方法をとった。入力加速度が3Gal程度のスイープに加振による模型地盤の固有振動数は実物換算で約3.5Hzである。構造物模型は、重錘を4枚の鋼柱で支持したもので、せん断変形が卓越する構造とし、構造物模型の固有振動数は実物換算で約2Hzで、減衰定数は約6%である。群杭基礎模型は16本(4×4)で杭間隔は杭径の3倍であり、杭頭はフーチングに剛結し、支持杭基礎を模擬するために、杭下端は支持層に杭径の約2.5倍を根入れしている。杭の実物として鋼管杭( $\phi$ =600mm,  $t$ =9mm)を想定している。

加振にはEL-CENTRO波のNS成分の地震波を最大入力加速度約230Gal(実物換算)にして用いた。入力地震動の卓越周期は約2Hzにあり構造物の固有振動数に概ね一致している。

3 多層地盤における杭基礎の実験結果

図2に構造物(A-S1)と地表(A-G1)の加速度、液状化地盤の過剰間隙水圧(P-2)、杭頭の曲げモーメント(G6)、基盤入力地震波(A-G6)の時刻歴を示す。中間層(8号硅砂)の過剰間隙水圧(P-2)に見られるように、この層では約3秒で液状化している。そのため、構造物の加速度応答は小さく、地表地盤の加速度応答も小さい。これは地表の層は液状化していないが、中間層(8号硅砂)の部分

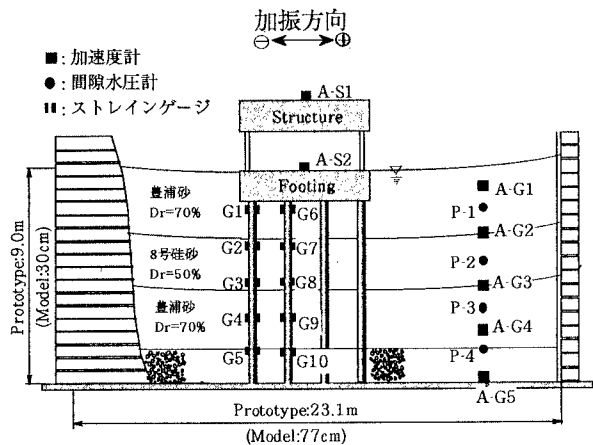


図1 実験に用いた試験体と計器配置

杭基礎、多層地盤、液状化、遠心実験、振動台実験、せん断土槽  
〒135 東京都江東区越中島3-4-17 TEL & FAX 03-3820-5406

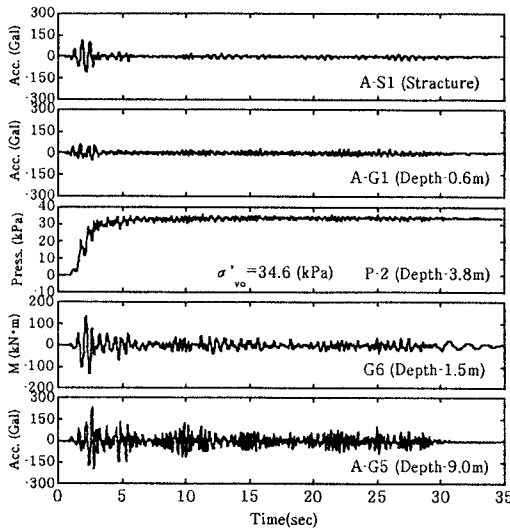


図2 加速度、過剰間隙水圧、杭の曲げモーメントの時刻歴

れなくなったことに起因している。杭頭の曲げモーメントは液状化途中の地震主要動部分で大きいのが、地盤が約3秒で液状化し構造物の応答が小さくなったことにより、小さくなっている。

図3に地盤(P-1~P-4)の過剰間隙水圧の深度分布を示す。中間層(8号硅砂)の過剰間隙水圧が大きく11.18秒では深度約4mの部分だけが液状化しており、その上層と下層はある程度の過剰間隙水圧の上昇が見られるものの液状化には至っていない。上層と下層の過剰間隙水圧が上昇したのは、豊浦砂と8号硅砂の層の、相対密度の差が比較的小さかったためと考えられる。図4に杭(G6~G10)の曲げモーメントの深度分布を示す。液状化する以前の1.55秒においては、杭の耐震設計に用いられるChangの式の杭頭固定において得られる曲げモーメントの分布に近い形状となっている。しかし、液状化する途中の2.15秒においては、構造物の大きな慣性力が作用しているため杭頭の曲げモーメントは大きく、さらに比較的大きな曲げモーメントが杭下部に発生している。液状化後の11.18秒においては液状化により構造物の慣性力が小さくなったため、液状化途中の1.95秒に発生した杭の曲げモーメント分布よりもかなり小さくなっている。一様な一層の砂地盤を対象とした実験では表層付近が液状化することが多いため、液状化途中と液状化後においても杭の曲げモーメント分布はChangの式において杭頭固定の場合に得られるものになるが、本実験では杭頭と下部に大きな曲げモーメントが発生している。

4 まとめ

中間層のみが液状化する場合を想定した杭基礎の遠心振動実験を行った。杭頭の曲げモーメントは地震波の主要動で大きいのが、地盤が液状化し構造物の応答が小さくなったことにより小さくなり、また液状化の途中において杭頭と杭下部に大きな曲げモーメントが発生するという結果が得られた。本来、多層地盤における杭基礎の液状化挙動は複雑な様相を呈すると考えられ、本検討はその現象を大局的に把握するための第一ステップとして実施したものである。今後、地層構成を変えた場合や、杭径などを変化させた場合について検討を重ねる予定である。

【参考文献】

1) 佐藤正義、他：杭剛性による液状化防止効果の評価に関する遠心振動実験、第32回地盤工学研究発表会、平成9年7月

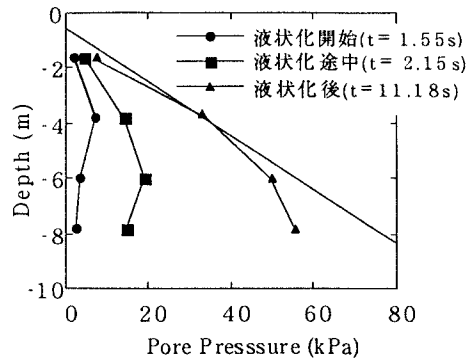


図3 過剰間隙水圧の深度分布 (P-1~P-4)

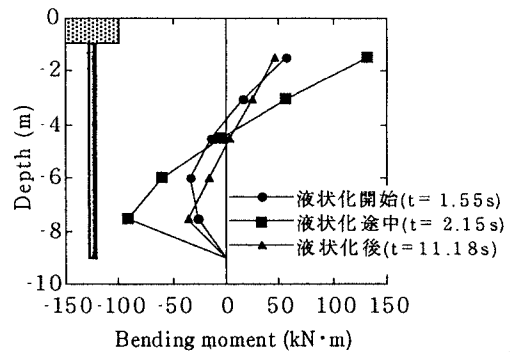


図4 杭の曲げモーメントの深度分布 (G6~G10)