

単杭基礎構造物の遠心模型振動実験

九州工業大学 正 ○ 廣岡 明彦
東京工業大学 正 桑野 二郎
東京工業大学 学 大春 宏一郎

1. はじめに

東京工業大学では小型模型においても力学的相似則を満足し得る遠心模型実験装置を用いて飽和砂地盤中の杭基礎構造物の地震時挙動並びにその液状化対策工について現在研究が進められている。本研究は、それに先がけて行われた一連の乾燥砂地盤中の杭基礎構造物の遠心模型振動実験の結果を取りまとめたものであり、入力波の周波数、上部構造物の質量等の諸条件が地盤～杭～構造物系の応答にどのような影響を与えるかについて調べることを目的としている。

2. 実験方法

本研究で用いた試料は表 1 に示す物理特性を有する硅砂である。これをアルミ合金製の剪断箱内に空中ボアリングして相対密度が約 64%の砂地盤を作成する。予め模型杭は剪断箱底部中央に剛結しておき、砂層がある所定の厚さに達したところでボアリングを中断し、所定の位置に加速度計を埋設する。この様にして模型地盤を作成した後、杭頭部に上部構造物を模した質量 182g の錘を剛結し、これを遠心加振装置に取り付けて遠心模型実験装置に搭載する。この模型地盤に 50g の遠心加速度を付与し、周波数 30～200Hz の正弦波（加速度振幅：2～10g）を 10 波入力し振動実験を実施した。なお、この時の模型の寸法並びに加速度計の位置は図 1 に示す通りである。実験は全部で約 50 ケースほど、地盤の有無、上部構造物の有無、入力波の周波数等の諸条件を変えて行った。なお、杭模型は肉厚 0.15mm 外径 15mm 長さ 230mm のステンレス製の円筒に図 1 に示したような配置で歪みゲージ（S1～S7）を貼り付けたものであり、その剛性は $EI = 5155gf \cdot mm^2 / \mu$ 、実物換算すると肉厚 7.5mm 外径 75cm 長さ 11.5m の鋼管杭に相当する。

3. 実験結果と考察

本研究で実施した一連の振動実験は次の 3 通りに大別できる。すなわち Case A（杭と上部構造物のみの加振実験）、Case B（杭と地盤のみの加振実験）、Case C（上部構造物、杭と地盤の加振実験）である。その一例として図 2 に振動試験中に測定された加速度および杭に発生する曲げ歪みの経時変化を示す。図中の A1 は入力加速度であり、各種センサーの位置については図 1 を参照されたい。なお、加速度は左向きを正と、杭が左に凸に変形した場合

表 1 試料の物理特性

$\rho_s (g/cm^3)$	2.65
D_{10}	0.041
均等係数 U_c	2.927
最大間隙比 e_{max}	1.333
最小間隙比 e_{min}	0.703

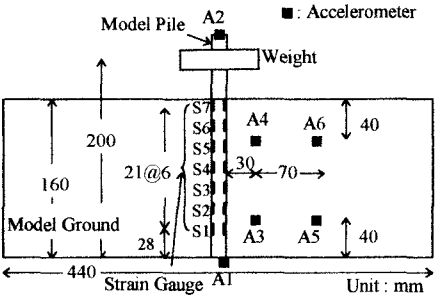


図 1 実験システム

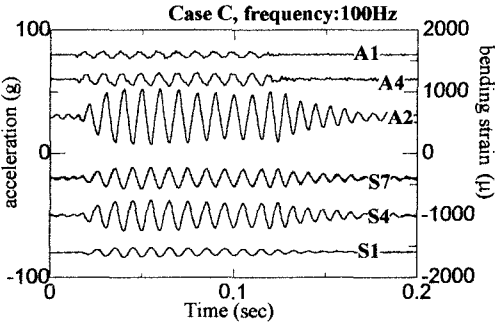


図 2 加速度並びに曲げ歪みの経時変化

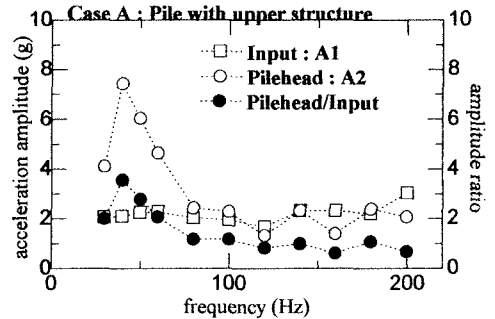


図 3 加速度応答～周波数関係

を曲げ歪みの正と定義した。この図より、杭頭加速度 A2 では A1 に対して顕著な振幅の増幅と位相の遅れが観察されており、地盤加速度 A4 においても若干ではあるがその傾向は窺える。またこの例に限らず今回行った正弦波による全ての加振実験で、杭に発生する曲げ歪み (S1~S7) は A2 の値が極小となる時点でその値が極大となる、すなわち位相がちょうど半波長ほどずれていることが確認されている。

Case A, Case B, Case C での加振周波数による応答の違いをそれぞれ示したものが図 3,4,5 である。上部構造物を有する杭構造物の固有振動数は計算によると約 46Hz であり、実験結果においても A1 の振幅と A2 の振幅の比で定義される応答倍率の値は 40Hz 近傍で最大となる。同様な計算において上部構造物がない場合の固有振動数は約 94Hz と算出されているが、Case B では地盤の固有振動数が高いためもあり今回実施した振動実験の範囲では明確な応答倍率のピークが観察されるには至らなかった。これに対して Case C では 130Hz に加速度応答倍率のピークが観察されている。

図 6,7 はそれぞれ Case B と Case C での A2 (杭頭加速度) ピーク時における杭の曲げ歪み分布とその時の応答加速度をともに示したものである。先に述べたように A2 と曲げ歪みは位相が半波長ずれているので曲げ歪みの値も当然ピーク値である。まず Case B について加振周波数が 100Hz と 40Hz の曲げ歪み分布について比較してみると地盤の浅部ではほぼ同様であるが、地盤の深部においては両者の値は大きく異なっている。地盤内での加速度応答にも差が見られ、100Hz においては 40Hz の場合と比べてより大きな相対加速度が生じておりこれは地盤内により大きな剪断変形が生じている可能性を示唆している。このため杭は地盤からより大きな力を受けることとなり、より大きな曲げ歪みが生じたものと考えられる。一方、Case C では 180Hz と 130Hz で地盤の浅部で最大となる曲げ歪みの分布形状は非常に似ているにもかかわらず、その曲げ歪みの絶対値は 130Hz の方が圧倒的に大きく、また Case B で見られた分布形状とはかなり異なっている。180Hz と 130Hz では地盤内の応答加速度に著しい差は見られないものの杭頭での応答加速度は 130Hz においては 180Hz の 2 倍強である。上部構造物から受ける慣性力の大きさが異なることが曲げ歪みの発生量並びに分布形状に大きく影響しているものと考えられる。

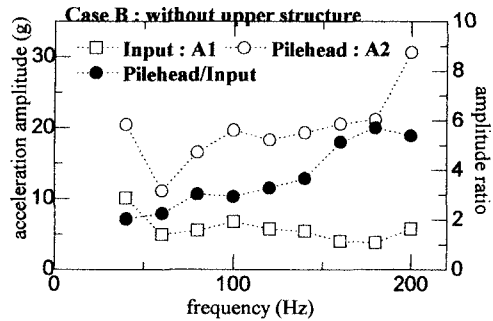


図 4 加速度応答～周波数関係

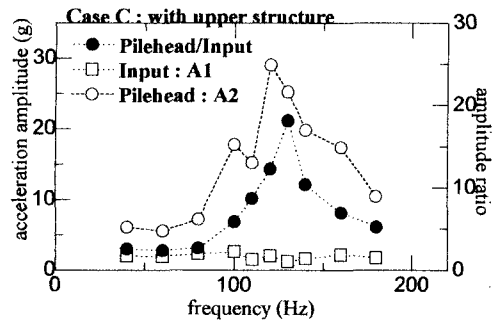


図 5 加速度応答～周波数関係

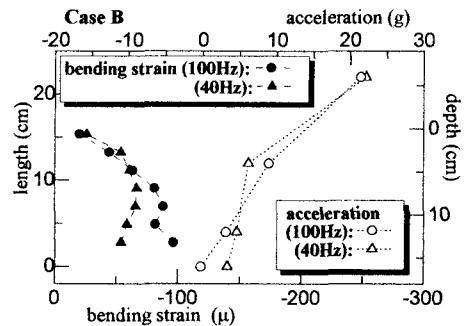


図 6 杭の曲げ歪みと応答加速度

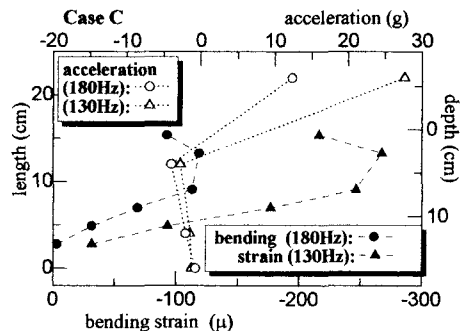


図 7 杭の曲げ歪みと応答加速度