

## 遠心振動実験による斜杭基礎のキネマチック地震時挙動特性

防災科学技術研究所 正会員 佐藤正義  
 清水建設技術研究所 正会員 張 至鎬  
 清水建設技術研究所 フェロー会員 田蔵 隆

### 1. まえがき

軟弱地盤における構造物の基礎工法としては、工期と工費の利点から杭基礎が最も良く用いられる。しかし、そのほとんどが直杭であり、斜杭が採用されることは非常に少ない。斜杭を用いれば杭基礎の水平剛性を向上させることができることから、大きな水平外力が作用する地震時の耐震性は向上するはずであるが、斜杭が採用されない理由は、(1)地盤沈下による悪影響、(2)地震による大きな引抜き力の発生の可能性、(3)都市部の建物では隣地境界の制約、(4)斜杭基礎の地震時の長所・短所が解明されていない、などといった理由が考えられる。本報は、斜杭基礎の耐震性能を評価するため遠心振動実験を実施したものである。斜杭基礎の地震時挙動特性を把握するためには、通常用いられている直杭基礎との比較が重要であるので、乾燥砂を用いてせん断土槽に直杭基礎と斜杭基礎を並行に設置し、両者を同条件で加振し、斜杭の地震時挙動特性を明らかにした。ここでは、あくまでも斜杭の本質的かつ基本的な地震時挙動特性の解明を目的としたため、実験はすべて上部構造物を有しないフーチングと杭のモデルで行った。

### 2. 遠心振動概要

斜杭基礎の地震時挙動特性を明らかにするには、同じ条件の下で、直杭基礎との地震時応答と対比することにより、定量的かつ定性的な議論が可能となる。この方法が最も直接的で有効な手段であると考えられるが、そのためには直杭基礎と斜杭基礎の振動実験を、それぞれ全く同じ地盤条件で、同じ加振の実験を行う必要がある。しかし、そのような同じ条件の実験を行うことは非常に困難である。そこで本報では図 1 に示すように、直杭基礎と斜杭基礎をせん断土槽内に並行に設置し、二つの実験モデルを同じ土槽内で同時に加振するという方法を採用した。これによって、同じ地盤条件下でしかも同じ入力地震波での実験が可能となり、上記の問題は解消できる。ここでは、地盤のせん断振動を模擬するためにせん断土槽を用いて実験を行っているが、二つの挙動特性の異なる構造系を一つのせん断土槽内に設置して振動実験を行うことは、お互いの挙動が影響を及ぼし合う可能性がある。しかし、二つの実験を行うことによる地盤条件ならびに入力地震動の不一致、さらには地盤の非線形振動の再現性の困難さなどを考えると、二つの実験モデルを同じ土槽内で同時に加振するという実験方法が、より有効であろうと考える。ここで想定する実物に対するモデルの縮尺比は 1:30 であるため、遠心加速度は 30g である。遠心振動実験に用いたせん断土槽は、内寸法で長さ 807mm、幅 475mm、高さ 320mm で、杭本数は直杭基礎・斜杭基礎ともに 4 本、杭頭および杭先端は、それぞれフーチング・土槽底面に剛接合とした。斜杭の傾斜角度はすべて 10 度である。地盤モデルは、7号珪砂(平均粒径  $D_{50}=0.15\text{mm}$ 、土粒子密度  $\rho_s=2.635\text{g/cm}^3$ 、最大乾燥密度  $\rho_{\max}=1.539\text{g/cm}^3$ 、最小乾燥密度  $\rho_{\min}=1.206\text{g/cm}^3$ )の乾燥砂で作成し、相対密度  $Dr=60\%$ 、地盤深さは 300mm(実寸法で 9m)の一層の地盤とした。設置した計測器は、加速度計(17 台)、変位計(5 台)、ひずみゲージ(40 枚)であり、計測成分の総数は 62 チャンネルである。加振は、正弦波掃引加振、3.5Hz と 7Hz の正弦波 10 波加振、El Centro 波の 3 種類で入力最大加速度を変えて、計 12 ケースの実験を行った。なお、本実験は斜杭基礎のキネマチックな地震時挙動特性の把握を目的としているが、フーチングは鉄板で製作しているため、その質量による慣性力の

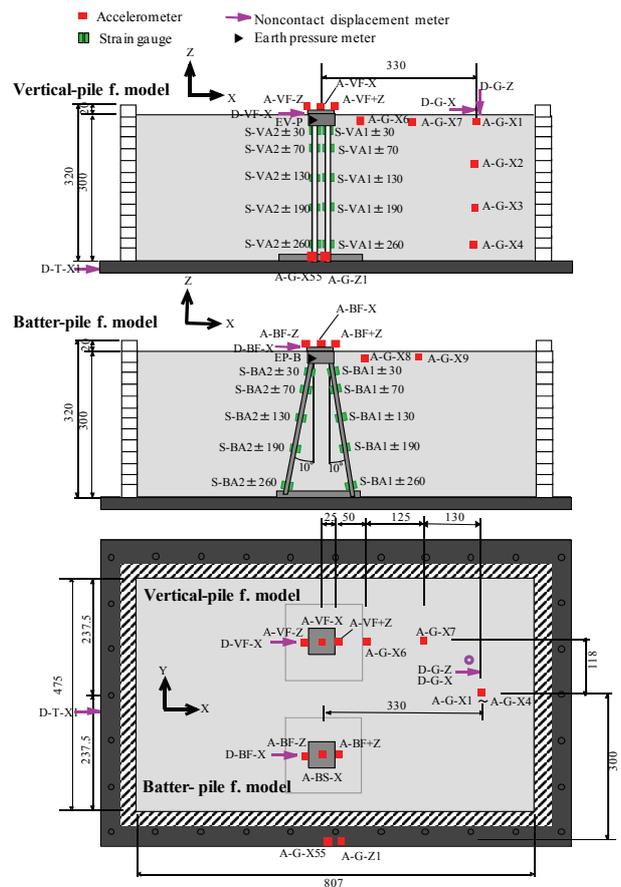


図 1 遠心振動実験における実験モデルと計器配置

キーワード 斜杭基礎, 直杭基礎, せん断土槽, 遠心振動実験

連絡先 〒305-0006 つくば市天王台 3-1 独立行政法人 防災科学技術研究所 防災システム研究センター

Tel. 029-863-7562、E-mail: m.sato@bosai.go.jp

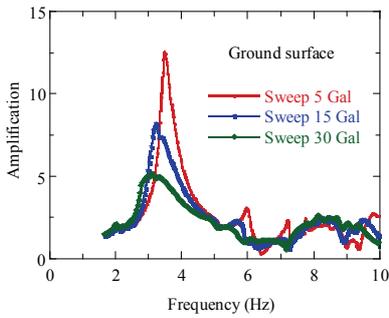


図2 地盤の周波数伝達関数 (正弦波掃引加振)

影響(イナーシャル・インターアクション)が実験結果に含まれる。

3. 実験の結果の比較検討

図2は、正弦波掃引加振における地盤の周波数伝達関数である。正弦波掃引加振の目標加速度 5Gal 入力における地盤の卓越振動数は 3.4Hz であり、15Gal 入力、さらに 30Gal 入力と加速度が大きくなるにつれ、地盤の卓越振動数は 3.1Hz, 2.9Hz と変化し、加速度応答倍率も低下している。図3は直杭基礎と斜杭基礎のフーチングの回転特性を調べるため、3.5Hz の正弦波 10 波、目標最大加速度 200Gal で加振した場合のフーチングの水平変位と回転角の時刻歴を示している。なお、この時刻歴の水平変位と回転角の符号の定義を図4に示す。図3によると、直杭基礎はフーチングが水平方向に変位すると、その方向にお辞儀するような回転動をするのに対し、斜杭基礎は直杭基礎の場合とは逆の回転動になっていることが分かる。斜杭基礎と直杭基礎のフーチングの回転動が逆になるのは、他の加振ケースにおいても共通して見られた現象である。

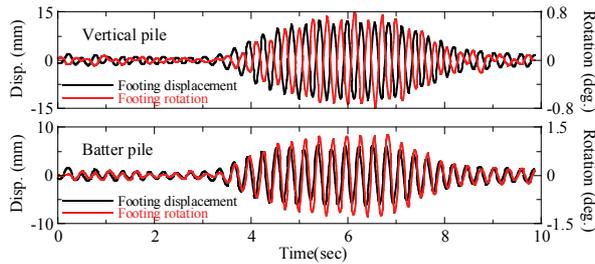


図3 直杭と斜杭のフーチングの水平変位と回転角の時刻歴

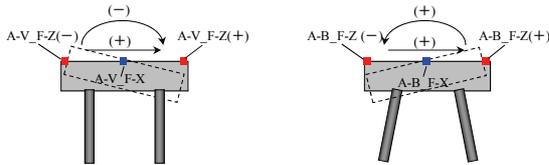


図4 直杭と斜杭のフーチングの水平変位と回転角の符号の定義

3.5Hz の正弦波 10 波、目標加速度 100Gal の加振における直杭基礎と斜杭基礎の A1 杭の曲げひずみと軸ひずみの最大値分布を図5に示す。曲げひずみは杭頭で値が最大になっており、軸ひずみ分布は深度方向に一樣であるが、斜杭基礎の方が大きい。図6は、正弦波掃引加振における基盤加速度に対するフーチングおよび杭頭ひずみの周波数伝達関数である。(a)はフーチングにおける直杭基礎と斜杭基礎の比較であるが、斜杭基礎は直杭基礎よりも、周波数伝達関数の全周波数領域において小さくなっており、斜杭基礎の耐震性能が向上していることが分かる。これは、斜杭基礎のほうが地盤変形に対する抵抗力が大きいためである。(b)は杭頭における曲げひずみ、(c)は軸ひずみに関する直杭基礎および斜杭基礎の周波数伝達関数の比較である。曲げひずみ、軸ひずみともに斜杭基礎の方が直杭基礎より全周波数領域において大きいことが分かる。

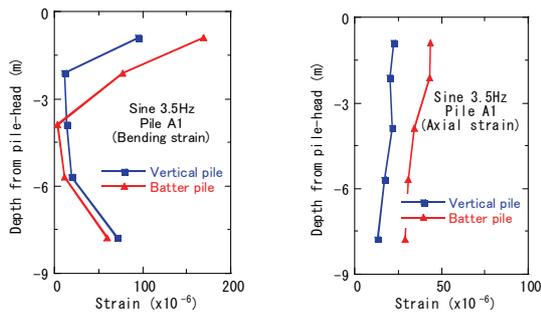
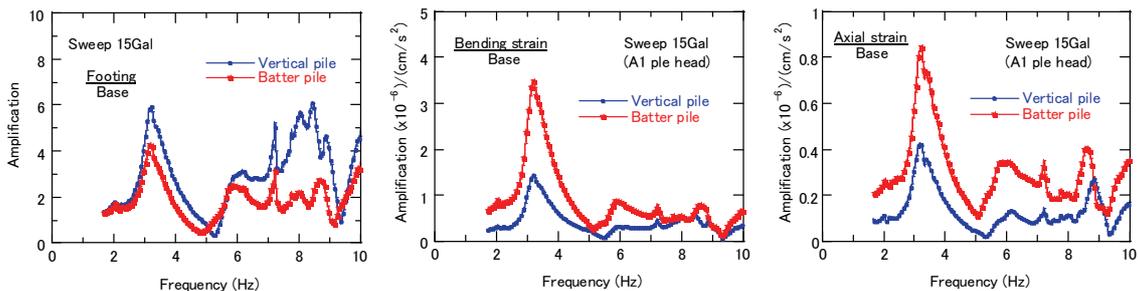


図5 A1 杭における曲げひずみと軸ひずみの深度分布

4. まとめ

本報により得られた実験結果のまとめを以下に示す。

- 1) 直杭基礎はフーチングが水平方向に変位すると、その方向にお辞儀をするような回転動をするのに対し、斜杭基礎では直杭基礎の場合とは逆の回転動となる。
- 2) 斜杭基礎による耐震性能の向上は、全周波数領域に渡って得られる。
- 3) 曲げひずみ、軸ひずみともに斜杭基礎の方が直杭基礎よりも大きくなり、斜杭基礎による耐震性の向上の効果に対する対価として、大きな断面性能が斜杭基礎に要求される可能性がある。



(a) フーチング (b) 曲げひずみ (c) 軸ひずみ

図6 基盤加速度に対するフーチングおよび A1 杭頭ひずみの周波数伝達関数