

日本原子力発電 正会員 青砥 一浩
 埼玉大学工学部 正会員 渡辺 啓行

1. はじめに 杭基礎の合理的な耐震設計上の研究課題として、以下のように挙げられる。

I 地震観測などの結果、杭に作用するモーメント分布は、上部工の慣性力により杭頭近傍で大きくなるものの他に、地盤の変形に伴い杭先端近傍と杭頭近傍において顕著に大きくなることが最近指摘され、その詳細な説明が必要である。

II 強震動に伴う地盤の非線形応答にはIで指摘した2種類に対応するものがあり、これらの地盤の非線形挙動が杭基礎構造物と地盤の動的相互作用に及ぼす影響を説明する必要がある。

III 杭の動的問題の最大の難点は群杭効果である。動的群杭効果はいまだ説明されたとは言えず模型実験などによる基礎資料を蓄積する必要がある。

これらのことを目的とし、本研究では模型実験を主として以下の検討を行った。

① 理論解に代わる基礎的応答を得ることを目的とし、弾性地盤中の単杭基礎構造物の振動実験による杭の基本的な応答挙動の検討と、これと2次元FEM解析との比較。

② 砂地盤中の単杭及び群杭基礎構造物の振動実験によるKinematic Interaction(地盤変形)とInertial Interactionの挙動のパラメトリックな検討と、地盤の非線形挙動から受ける影響の検討。

2. 弾性地盤での実験方法 杭模型は直径3mm、長さ85mmの亚克力(μ /gal)

ル製の単杭で、杭先端は加振波入力面に、杭頭はフーチングに完全固定とした。上部工は固有振動数9Hzでせん断が卓越するような構造とし、模型地盤は弾性体を想定してシリコンゴムで作製して、その1次固有振動数は約13.5Hzである。なお、これら模型の諸元は実際の構造物をモデルとし、力の比を一定とした香川・国生の相似則にできるだけ沿うように決定したものである。計測機器は加速度計を加振波入力面、地盤、フーチング、上部工の4箇所に、ひずみゲージを杭頭近傍、杭先端近傍、及び杭の中心部の3箇所に設置し、入力加速度は100galで計測を行った。

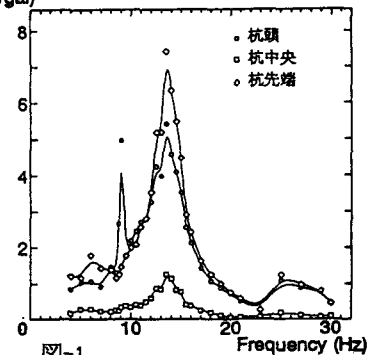


図-1

弾性地盤中の杭のひずみ応答曲線

3. 弾性地盤での実験結果と考察、及びFEM解析 図-1に杭の曲げひずみ応答曲線を示すが、上部工と地盤の共振点において、

Inertial InteractionとKinematic Interactionによると考えられる2つのひずみ応答のピークが見られ、動的相互作用による基本的な杭の応答が説明できた。また、図-2には実験での物性値を用いた2次元FEM解析によって得られた上部工における周波数応答関数を示す。平面ひずみ要素による離散化では杭と地盤の奥行きが同じであると仮定している事になり、この矛盾による影響を少なくするために、見かけ上地盤の厚さを杭の4倍とした。図-2は実験で得られた上部工の応答を再現していると言え、このように地盤厚さを調整する必要があること、また、もともと理論がない群杭基礎構造物の挙動については、本実験のような方法による結果が理論解の代用、あるいは解析結果の適用性判断の基準になると思われる。

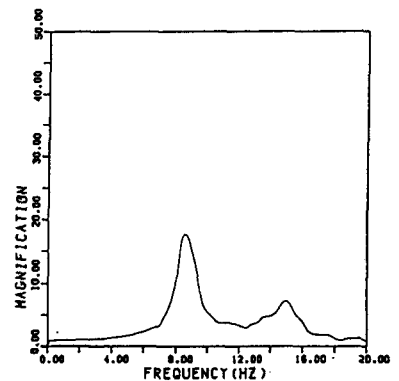


図-2 上部工における周波数伝達関数

4. 砂地盤での実験方法 ここでの実験に用いた杭模型は、外径20mm、肉厚1mm、長さ945mmのアルミ製のものを、単杭と5本杭、及び9本杭の3つを作製し、長さ1.2m、幅0.8m、深さ1mの内寸を有するせん断土槽内に設置した。ここで杭頭部はフーチングに、杭先端部は土槽内底面に完全固定を原則としたが、単杭の実験においては固定方法の影響を見るために、杭先端部の固定を緩めた実験も行った。上部構造物はフーチング上に杭本数に合わせて杭1本が負担する慣性力が同じになるようにし、7Hz、16Hz、27Hzの3通りの固有振動数を持つようにした。地盤は乾燥状態の岐阜砂を用い、これを気中投下の後振動締め固めにより作成した。なお、ここでの模型の諸元も弾性地盤の時と同様な相似則によっている。計測機器の配置の例として、図-3に9本杭の場合のものを示すが、単杭の場合はこの図でNo.5杭だけ、5本杭の場合はNo.1,3,5,7,9杭を用いている。入力加速度は50gal、100gal、200galの3種類として計測を行った。

5. 砂地盤での実験結果 図-4に単杭に7Hzの上部工を載せたときの各断面ごとのひずみ応答曲線を示す。基本的な応答は弾性地盤での実験結果とはほぼ同じであると言え、入力加速度の増加に伴い上部の断面で地盤の変形によるひずみ応答が大きくなっている。これは、入力加速度が大きいと地盤の剛性が低下し、特に上部でそれが激しい事に起因していると考えられるが、地盤の非線形性はこのひずみ応答に悪影響を及ぼす事がわかる。また、図-5に5本杭における中心部の杭と端部の杭の曲げひずみの深度方向分布を示す。上部工による影響を受けるとき(Inertial)これら2本の杭の挙動は明らかに異なっている。一方、地盤の変形による影響を受けるとき(Kinematic)入力加速度が小さい時は両杭の挙動は類似しているが、入力加速度が大きくなると地盤の非線形挙動が中心部の杭よりも端部の杭に大きな影響を及ぼしている事が分かる。なお、杭先端の固定方法による杭の応答の差異はほとんど見られなかった。

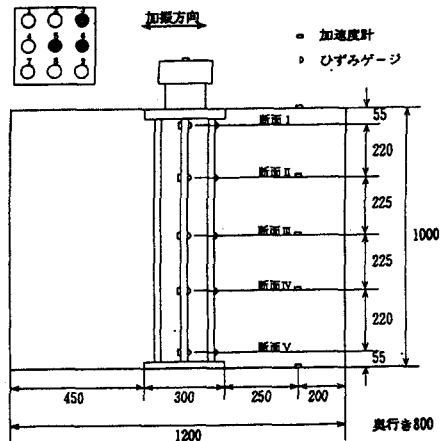


図-3 9本杭模型及び計測位置

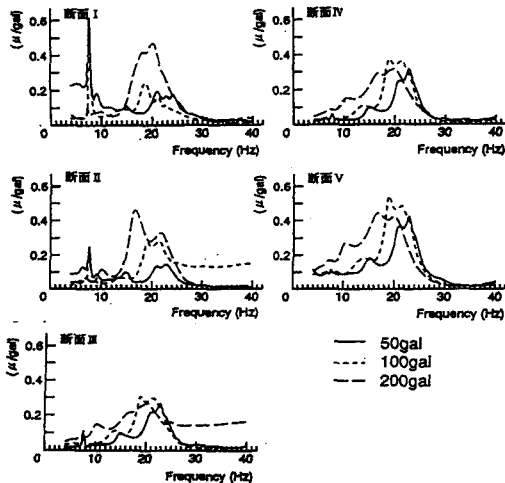


図-4 断面ごとに見た杭のひずみ応答(砂地盤)

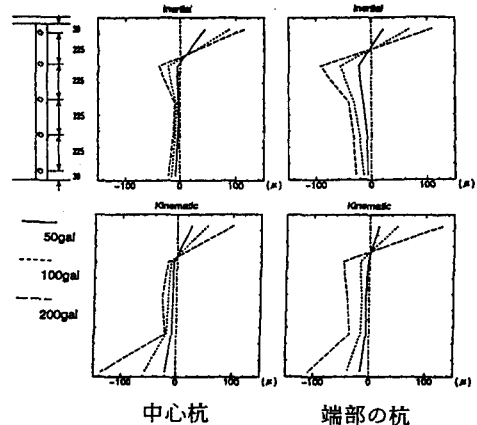


図-5 5本杭曲げひずみ深度方向分布

6. まとめ 杭の耐震問題に対して、1). 杭には上部構造物からの地震力だけでなく、地盤からの強制変位を考えねばならない事、2). その強制変位は地盤の非線形挙動によって大きな影響を受ける事、3). 群杭の杭位置の違いで挙動に差があり、地盤の非線形挙動から受ける影響にも違いがある事、などが配慮すべき点として挙げられる。