

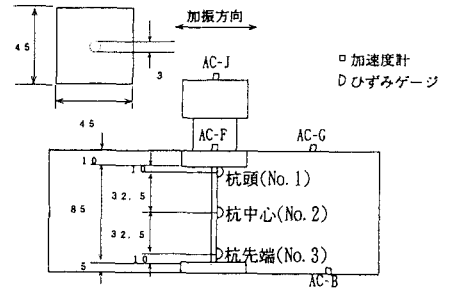
埼玉大学工学部 学生員 斉藤 正人
 埼玉大学工学部 正会員 渡辺 啓行
 日本原子力発電(株) 正会員 青砥 一浩

はじめに

群杭基礎の地震応答解析手法の確立が近年非常に重要な研究課題となっている。この問題の理論解は皆無と言ってよく、数値解の妥当性を検証する方法もないのが現状である。本研究では、理論解に代わる正解として用いることを目的にシリコンの模型地盤内にアクリル製の円柱を杭とした単杭及び群杭基礎構造模型を製作し、振動実験を実施する。また、設計の実務からは2次元FEM解析を杭基礎構造物に適用できることが望ましいが、杭への地盤の抵抗は3次元的である。そこで、単杭に関する2次元FEM解析に3次元効果を導入する手法を検討する。そのため、杭の唯一の理論解とされる田治見の理論解と実験の等価性を検証する。

模型実験

実験の対象は、深さ20m、S波速度80m/sの地盤と直径60cmの鋼管杭基礎をもつ単純構造物を想定し、縮尺1/200の実験模型を地盤はシリコンで、杭基礎模型はアクリルで作成した(図1)。実験は、水平方向正弦波100gal入力による共振実験とし、単杭及び群杭基礎模型の上部工を設置した場合と設置しない場合の計4ケースを行った。加振振動数範囲は5Hz~33Hzであり、共振点近傍では密に、他ではやや粗い間隔とした。最小振動数間隔は0.5Hz、最大振動数間隔は2Hzである。また、模型の物性は別途作成した供試体によって調べた。



入力波	正弦波
入力加速度	100gal
加振振動数範囲	5Hz~33Hz
振動数間隔	0.5Hz~2Hz

図1 単杭模型実験装置(単位 mm)

実験結果と考察

(1) 単杭の場合

①図2において上部工を主体とする連成形の1次固有振動数は13.5Hzである。②図2において地盤の固有振動数は15.5Hzである。この応答は地盤がシリコンのためフーチングが回転自由になり、フーチング上に設置されている上部工もフーチングの回転により加速度の増分が起きていると考えられる。③杭の応答ひずみは図3に示すが、地盤の共振点(15.5Hz)では、Kinematic Interaction(杭が地盤の変形に強制されて生ずる相互作用をそのように呼称)により、杭頭近傍(No.1)、杭先端近傍(No.3)に大きなひずみを生じさせる。④上部工を主体とする共振点(13.5Hz)では、Inertial Interaction(上部工の慣性力による相互作用をそのように呼称)により、杭頭近傍に大きなひずみを生じさせる。⑤2つのInteractionが同時に影響すると更に大きなひずみを生じさせる。

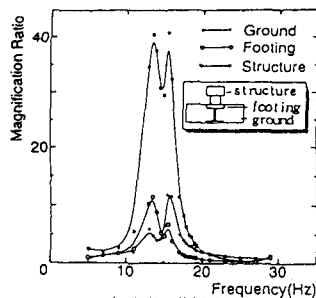


図2 加速度の共振曲線
上部工あり(単杭)

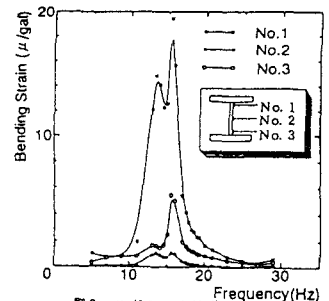


図3 ひずみの応答曲線
上部工あり(単杭)

(2) 群杭の場合

単杭と群杭の模型で用いられている物性が異なるために実験結果の比較は行わなかった。図4において、1.4 Hz付近に見られる挙動は連成形の上部工を主体とした固有振動数によるものであり、1.8 Hz付近にみられる挙動は上部工とフーチングとが一体となった剛体として地盤と連成するモードの固有振動数である。また2.4 Hz付近で見られる挙動は地盤を主体とした固有振動数によるものである。

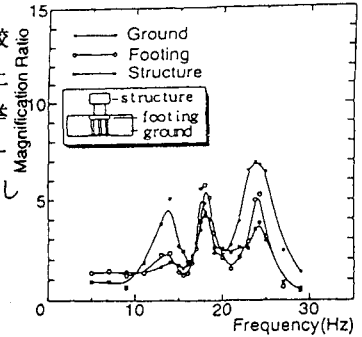


図4 加速度の共振曲線
上部工あり（群杭）

田治見の理論における数値解析及び2次元FEM解析

始めに、単杭の基礎をもつ質点系の実験を田治見の理論解によりシミュレートした。物性はシリコンの物性と杭、上部工の物性を別途測定して適用している。但し、田治見の理論は実験と異なり、杭先端は回転自由であり上下動変位は無視して理論展開を行っている。次いで、平面ひずみを仮定した2次元FEM解析において、杭の剛性はそのまま地盤厚さを設定し3次元抵抗をもたせた。任意の等価地盤厚さに対して上部工及び地盤の減衰定数をそれぞれ $1/a$ 倍して、実験で得られた上部工加速度応答関数を再現できる a の値をパラメーターサーチ的に実行した。解析条件は実験と同じである。

解析結果及び考察

田治見の理論における数値解析では、フーチング側面に作用する動土圧を考慮することによって固有振動数は、1次、2次モードとも良好に一致する（図2、図6）。2次元FEM解析では、実験を再現するための等価地盤厚杭径比 (t/d) と減衰定数縮小率 (a) の関係は図5のようになる。2曲線の交点近傍において、

上部工 a - T 曲線 $a = 0.043 \exp(-0.651T)$

地盤 a - T 曲線 $a = 0.292 \exp(0.425T)$

で近似することが出来る。このグラフ上の減衰定数縮小率を使うことで各等価地盤厚さで模型実験を再現できる。実務上使用する場合は、グラフの交点を取ることによって減衰定数縮小率を同一にする事ができる。

その時の等価地盤厚杭径比は約9
減衰定数縮小率は13となる。その値を用いて解析を行った結果を図7に示す。

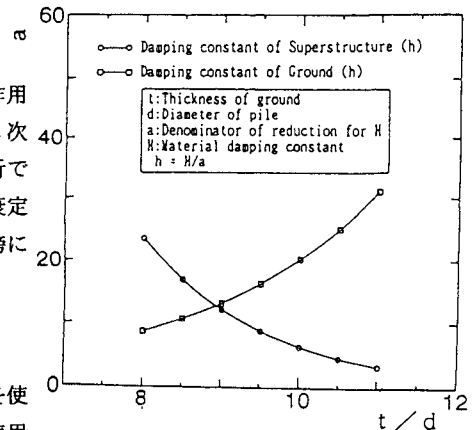


図5 等価地盤と減衰定数の関係

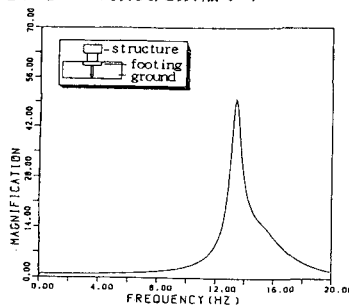


図6 田治見理論解析による上部工
加速度応答曲線
(フーチング側方土圧係数 $\alpha = 0.94$)

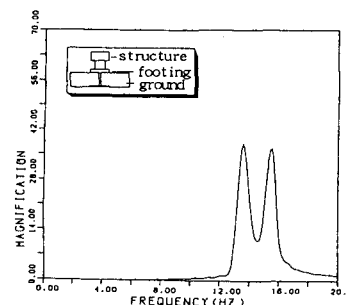


図7 2次元FEM解析による上部工
加速度応答曲線

参考文献

- 1) 渡辺・栃木：すべり剥離を伴う基礎・地盤の動的相互作用に関する模型振動実験と数値シミュレーション，土木学会論文集 第358号/I-5 1986
- 2) 大平・田蔵・中檜・清水：軟弱地盤中の基礎杭の地震時挙動特性に関する研究，土木学会論文集 第362号/I-4 1985