

杭と地盤の非線形動的相互作用について

傍奥村組 技術研究所 正員 ○ 吉川正昭 安倍 勇
 京都大学 工学部 正員 山田善一

1. はじめに

杭基礎－地盤間の動的相互作用を実験で求める方法には、実物杭基礎を起振機を用いて行う方法と振動台を用いた縮小模型実験による方法とが一般に行われている。実物杭基礎の起振機実験において、杭基礎と直接基礎とを、基礎の根入れ条件の相違に対して比較している¹⁾。しかし、実用杭のため、大ひずみ領域の結果は求められていない。一方、模型実験において、弾性人工模型材料を用い、杭の剛性を変えて、単杭と4本杭との比較をしている²⁾。しかし、応答特性に大きな影響を持つ地盤の減衰効果を再現していない。

以上、いずれの模型振動実験においても、強震時に生じる地盤軟化現象に対して、杭と地盤がどのような非線形動的相互作用を示すかという観点から求められていない。

そこで、前回発表³⁾⁴⁾⁵⁾した模型地盤材料を用い、基礎の根入れ状態の相違した突出と埋込の単杭ならびに群杭を比較することにより、相互作用により生じる群杭効率を求めた。

2. 実験方法と実験結果

上部構造が柔性構造物である場合は報告³⁾したので、図-1に示すように、上部構造は剛性が大きく基礎の付加質量として取扱える単純構造とした。

測定位置は杭基礎上④-u、地表⑤-a、地中⑤-b、杭近傍地表⑥-a（杭面から1cm）とした。入力波形は模型地盤が軟化しやすい材料のため、周期的スィープ波形を用い、加速度振幅を5段階に分けて与えた。実験は単一系地盤、杭基礎（単杭省く）と地盤－杭基礎全体系の3種類とした。全体系の基礎は、周辺地盤の有無による相違を求めるため、突出と埋込の両状態について実験した。

単一系地盤（層厚を突出・埋込基礎に対応させ、18cm、22cmとする）は入力10ガル時に約54Hz、44Hzを示し、入力強度の増加に従い低下する。

単一系4本杭基礎は共振振動数が24Hzで、入力強度に依存しない。単杭は杭底面をヒンジ固定にしたため、周辺地盤がないと共振振動数は求められない。

全体系について、各入力強度別に求めた応答変位モードから、遠隔地盤、近傍地盤、単杭、4本群杭の共振時の振動挙動が変化することがわかる。以上をまとめて、非線形動的相互作用に関する特性図を図-2に示す。群杭では入力強度85ガル付近に、地盤の急激な軟化による相互作用の遷移領域があり、単杭では遷移領域が明確に現れない。

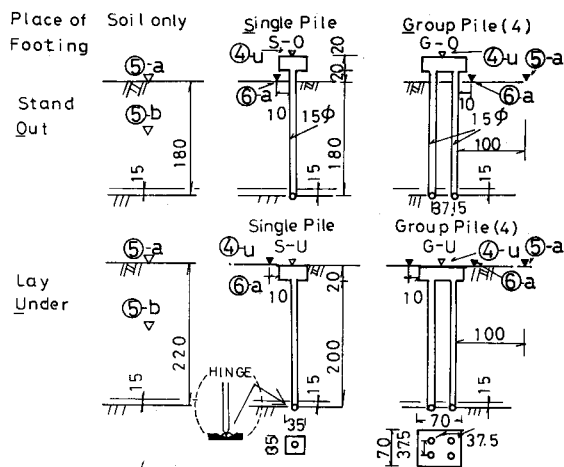


Fig-1 Soil-pile foundation model

3. 動的群杭効率についての考察

杭基礎主働振動時の群杭効率を2方法（応答変位法と等価1自由度力学モデルの剛性より求める）を用い、周辺地盤共振振動数との関係を図-3に示す。

$$e_s = y_s / (ny_g) \text{ および } e_d = K_g / (nK_s)$$

y_s, y_g : 1 定地震力に対する単杭と群杭の変位,
 n : 杭本数, K_s, K_g : 単杭と群杭の剛性で, 杭基礎主働の共振振動数 f_s, f_g , 質量 M_s, M_g , 有効質量 M_{es}, M_{eg} を用いて求める。

一方, 静的引張試験を周辺地盤の共振振動数が40, 20, 5 Hz 近傍で行い, 群杭効率を求め, 図-3に併記した。

各杭が完全に独立して荷重に抵抗する場合は群杭効率が1で, 逆に群杭としての機能を全く発揮せず, 群杭が単杭と同じ機能しか持たない場合は0.25である。

(1) 動的群杭効率は入力依存性を示すのに対し, 静的群杭効率はほとんど入力依存性を示さない。入力強度85ガル以下の領域で, 動的な方が静的群杭効率より小さく, 150ガル以上では逆になる。これは, 静的載荷試験では杭基礎の共振状態を取扱えないことや, 載荷重の算出方法（振動台実験結果の地表面応答加速度から水平震度を求め, これに基礎自重を掛けて水平載荷重を定めた）などによっている。

(2) 基礎の埋込効果を群杭効率により求めるため, 突出と埋込基礎の群杭効率を比較すると, 85ガル以下（振動台実験の地盤ひずみ $3 \times 10^{-5} \sim 4 \times 10^{-3}$, 静的引張試験の地盤変位 $0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$ ）で埋込の方が突出より大きく, それ以上（振動台実験の地盤ひずみ $5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$, 引張試験の変位 $1.1 \sim 2.9 \text{ mm}$ ）で, 両基礎の群杭効率の差がなくなる。したがって, 埋込効果は入力増加につれてなくなる。

(3) 動的群杭効率が220ガル時に1を越えるのは, 群杭に比べ, 単杭基礎が, 周辺地盤の軟化による剛性低下の影響を受けるためである。

以上, 静的群杭効率で杭基礎の耐震性の評価はむずかしいことがわかる。

参考文献

- 塩見 哲他：杭の動的効果—基礎の動的挙動に与える杭の影響—, 電中研報告1981
- 栗林栄一他：杭基礎の動的特性に関する模型実験, 土研資料, 1978
- 吉川正昭他：地盤・杭基礎・鉄塔の非線形連成系に関する模型実験, 第87回土木学会
- 吉川正昭他：模型地盤を用いた鉄塔—杭基礎—地盤の非線形連成振動に関する実験的研究, 第6回日本地震工学シンポジウム, 1982
- 吉川正昭他：模型地盤を用いた鉄塔—杭基礎—地盤の非線形連成振動に関する実験的研究, 土木学会論文集(1983, 7月掲載予定)

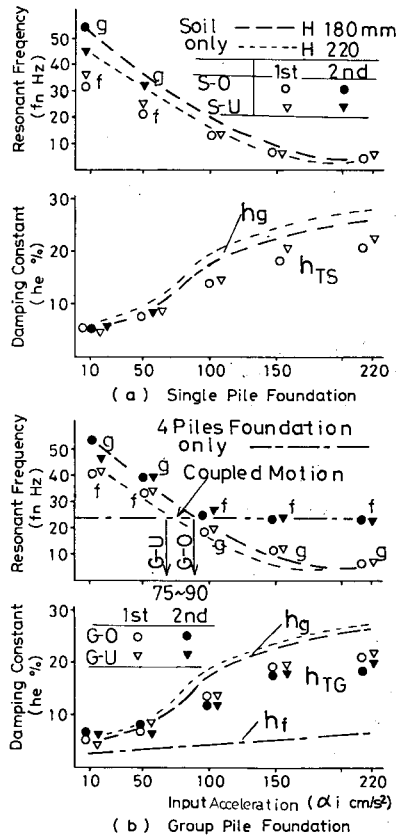


Fig-2 Coupled vibration characteristic

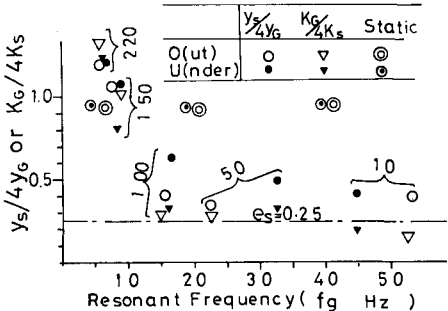


Fig-3 Pile group efficiency