

㈱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. まえがき

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は、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たもの¹⁾などがあるが、いずれも実用杭のため、大ひずみ領域の結果は求められていない。一方、模型実験には、弾性人工模型材料用い、杭の剛性を変えて、単杭と4本杭との比較をしたもの²⁾などあるが、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に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て模型振動実験を行い、基礎の根入れ状態の相違（突出と埋込の両状態）した単杭ならびに群杭を比較することにより、相互作用特性を求め、相互作用に大きく寄与する減衰特性について、第1次近似として等価1自由度系の力学モデル化が容易に行える単杭連成系を選び、複素剛性を求め検討を加えたので、その概要を報告する。

2. 実験方法と結果

上部構造が柔性構造物である場合は報告³⁾したので、Fig.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

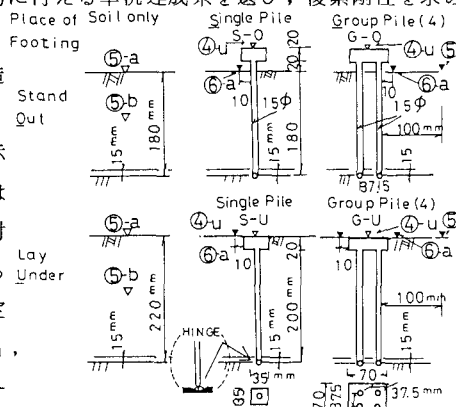


Fig.1 Soil-pile foundation model

（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weep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—杭基礎連成系の3種類とした。連成系の基礎は、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5.4Hz、4.4Hzを示し、入力強度の増加に従い共振振動数が低下する。単一系4本杭基礎は共振振動数が2.4Hzで、入力強度に依存しない。単杭は杭先端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。連成系について、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Fig.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。

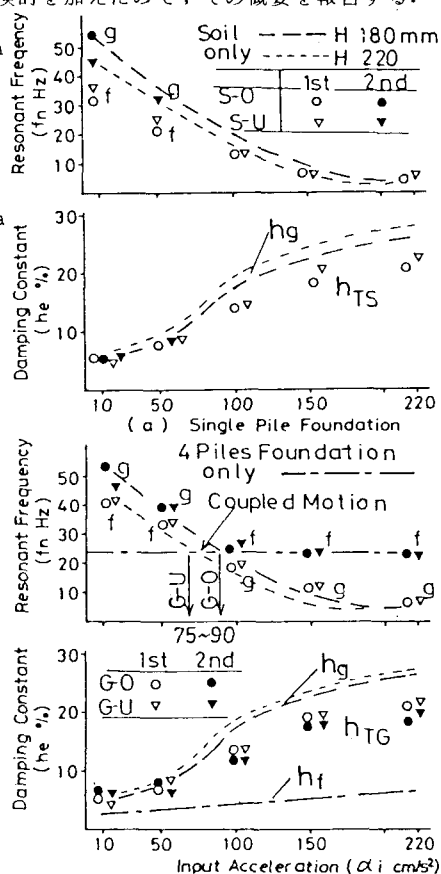


Fig.2 Coupled vibration characteristic

周辺地盤⑥-aの G_e 、 h_e と杭基礎の共振振動数 f_f と地盤の共振振動数 f_g の比 f_f/f_g の関係をFig.3に示す。剛な円柱が一樣な表層地盤中に根入された構造物の複素剛性の特徴に類似する。

3. 減衰特性

減衰定数は物理的性質で分類すると、粘性減衰、履歴減衰、逸散減衰などとなり、これらが複合された実験結果 (Fig. 2, 3) より次のことが明らかとなる。入力加速度が85ガル以下で、連成系単杭 h_{TS} 、群杭 h_{TG} ：単一系地盤 h_g 、4本群杭基礎 h_f の大小は、ほぼ等しい。85ガル以上で、 $h_f < h_{TG} < h_{TS} < h_g$ となり、単杭のほうが群杭基礎より大きい。埋込基礎の方が突出基礎よりも大きい。Fig. 3はスィープ加振方式によるため、入力強度に依存した性質が、振動数依存と混合して含まれる。そこで、相互作用時に大きく寄与する地下逸散減衰について、Fig. 3から、入力による依存性を取除くため、比較的モデル化が容易に行える単杭連成系を選び出す。単杭連成系は入力加速度100ガル時、応答変位モードより、第1次近似としてFig. 4に示すモデル化ができる。共振曲線 (Fig. 5) を用いて、次式から複素剛性と等価減衰定数を求める。

$$K_1 = J\omega^2 + M\cos\theta/\phi, \quad K_2 = -M\sin\theta/\phi$$

J ：杭先端回りの質量慣性モーメント、 M ：杭先端回りの作用モーメント、 ω ：入力円振動数、 ϕ ：応答回転角、 θ ：入力に対する応答の位相遅れ

$$h_{ec} = K_2 / (2\omega\sqrt{JK_1})$$

複素剛性をFig. 6に示し、等価減衰定数 h_{ec} をFig. 7に示す。

以上の検討により、次の事柄がいえる。

- (1) 実験結果は弾性波動論による複素剛性の特徴と類似する。
- (2) K_1 は周辺地盤の共振振動数の付近まで漸減し、それ以上の振動数領域で定まった傾向がみられず、本研究では負値を示す場合がある。 K_1 、 K_2 が独立でなく、複素数全体として意味を持つとし、負値の時は絶対値を用いて、 h_{ec} を求めた。Fig. 3で $f_f > f_g$ が求まらないことにも関連があり、半無限弾性地盤を仮定して求めた上式の適用に限界がある。

- (3) 突出と埋込基礎において単杭基礎上の履歴減衰 h_{TS} と地下逸散減衰 h_{ec} を比較すると、15%、21%(S-O)、17%、25%(S-U)となり、埋込基礎の減衰の方が突出のそれより大きく、地下逸散減衰などによる減衰効果が、基礎の埋込によって期待できる。

- (4) 単杭、群杭ともに、入力増加 (例えば150ガルから220ガルに増加する) に対し、基礎共振時の基礎の変位は増加せずほとんど入力増加前と変らない。これは周辺地盤の減衰効果によるためであろう。

参 考 文 献

- 1) 塩見 哲：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
- 2) 栗林 栄一：杭基礎の動的特性に関する模型実験，土研資料，1978
- 3) 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37回土木学会
- 4) 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
- 5) 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)

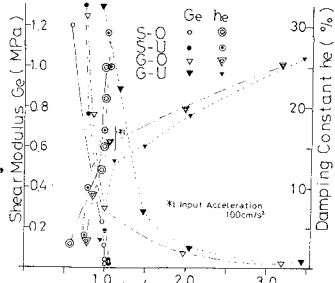


Fig. 3 G_e , h_e - f_f/f_g

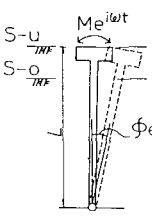


Fig. 4 Model for analysis

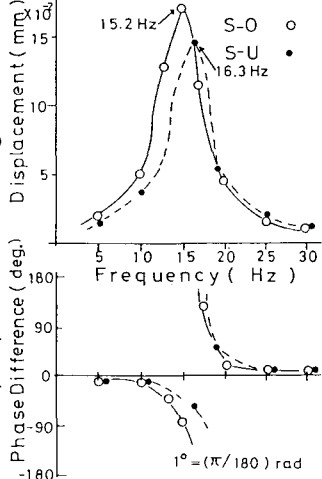


Fig. 5 Frequency - response curve

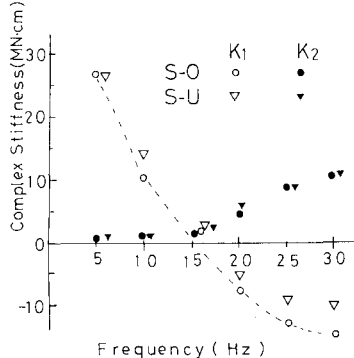


Fig. 6 Complex stiffness

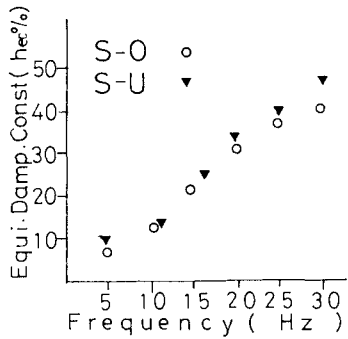


Fig. 7 Equivalent damping constant