

岡山大学大学院 学生員 ○湯川保之

岡山大学工学部 正 員 竹宮宏和

川田工業 働 正 員 数下二郎

1. まえがき 本研究は成層地盤上の群杭基礎構造物の地震時の応答性状を把握するため、基礎入力に対する杭-地盤-杭系の動的相互作用を、粘弾性体内の梁の挙動として扱う。そして固有値問題からこれらの連成系を、独立な系に変換し伝達マトリックス法から杭頭インピーダンス及び杭頭有効入力を評価した。つぎに群杭基礎上の橋脚構造物の基礎入力に対する応答性状について、動的サブストラクチャ法から調べた。特に杭-地盤-杭系の解析では3次元解析と併せてリング杭解析による簡略手法を提案している。

2. 定式化 地盤反力の算定は粘弾性体を仮定し、水平振動と鉛直振動を独立に扱う。任意のj層内の波動方程式に平面歪の仮定を設けると、地盤応答は円筒座標系において円周方向θに関するフーリエ級数展開から解析的に求められる。群杭基礎の並進及び回転の連成振動に対して、3次元解析では各杭周辺の地盤はn=0の対称モード、n=1の対称及び逆対称モードに従うとして地盤剛性 K_{xyz}^{soil} を求める。一方、リング杭解析は同一円周上の各杭を一体として扱うため、n=1の対称及び逆対称モードを採用し地盤剛性 $K_{r\theta z}^{soil}$ を求める。

基礎入力を受ける群杭の運動方程式は、3次元解析では直交座標系で

横振動:

$$[M_p] \{ \partial^2 U_{xy}^p / \partial t^2 \} + [E_p I_p] \{ \partial^4 U_{xy}^p / \partial z^4 \} + K_{xy}^{soil} U_{xy}^p = K_{xy}^{soil} U_{xy}^s \quad (1)$$

縦振動:

$$[M_p] \{ \partial^2 U_z^p / \partial t^2 \} - [E_p A_p] \{ \partial^2 U_z^p / \partial z^2 \} + K_z^{soil} U_z^p = 0 \quad (2)$$

リング杭解析では各リング杭について円筒座標系で

横振動:

$$[N_I M_p / 2] \{ \partial^2 U_{r\theta}^p / \partial t^2 \} + [N_I E_p I_p / 2] \{ \partial^4 U_{r\theta}^p / \partial z^4 \} + \pi K_{r\theta}^{soil} U_{r\theta}^p = \pi K_{r\theta}^{soil} U_{r\theta}^s \quad (3)$$

縦振動:

$$[N_I M_p / 2] \{ \partial^2 U_z^p / \partial t^2 \} - [N_I E_p A_p / 2] \{ \partial^2 U_z^p / \partial z^2 \} + \pi K_z^{soil} U_z^p = 0 \quad (4)$$

ここで $[M_p]$ は各杭の単位長さ当たりの質量から成る対角マトリックス $[E_p I_p]$ $[E_p A_p]$ は同曲げ剛性及び軸力剛性から成る対角マトリックス、 N_I は各リング上の杭本数、添字sは地盤、pは杭を示す。上式に複素固有値解析を適用することによってこれらの連成系を独立な支配方程式として解を求めることができる。

杭頭インピーダンスの評価は伝達マトリックス法を用いて境界条件に応じてなされる。

その結果、

$$\{ Q^h \ M^h \ N^h \}^T = [K_{imp}^h] \{ U^h \ \Theta^h \ W^h \}^T + \{ q^h \ 0 \ 0 \}^T \quad (5)$$

ここで、 $\{ Q^h \ M^h \ N^h \}^T$ は杭頭断面力、 $[K_{imp}^h]$ は杭頭インピーダンス、 $\{ U^h \ \Theta^h \ W^h \}^T$ は杭頭変位量、 $\{ q^h \ 0 \ 0 \}^T$ は杭頭有効入力、横振動の運動方程式解における特殊解より生じる。

全体系の応答は動的サブストラクチャ法から求められる。つまり、有限要素化された上構造物系(図1)と上式の杭-地盤-杭の連成系より成る下構造物系を剛体フーチングの重心で適合条件より総合し、上部構造物の固有モードマトリックスを用いてモード分解し、正規直交条件を適用することによって精度をさほど落さずに全体系の自由度を低減させることができる。モード分解を施した全体系の運動方程式は、次式で示される。

$$[M_t] \{ \ddot{q}_t \} + [C_t] \{ \dot{q}_t \} + [K_t] \{ q_t \} = \{ F_t \} \quad (6)$$

ここで、 $[M_t]$ 、 $[C_t]$ 、 $[K_t]$ は全体系の質量、減衰、剛性マトリックス、 $\{ F_t \}$ は基礎入力によるフーチング重心での有効入力、 $\{ q_t \}$ はモード座標での上部構造系並進及びフーチング重心の並進、回転より成る変位ベクトルである。上式を解いて求められる $\{ q_t \}$ を座標変換することにより一般座標での応答が得られる。

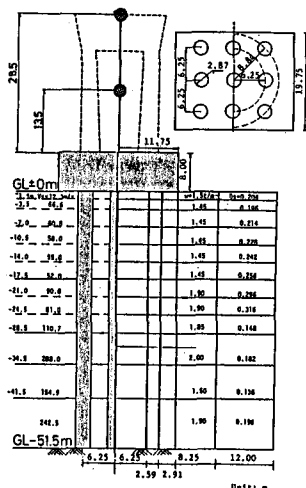


図1 解析対象モデル

3. 数値解析例及び考察 解析対象構造物は図1に示す橋脚である。図2～3はフーチング重心²⁾で評価した全杭頭インピーダンス、有効入力で今回のリング杭解析と前論文の3次元解析、単杭解析³⁾、そして比較のための有限要素法を併せて描いてある。ここで、リング杭が地震動の卓越振動数の帯域を考慮して耐震解析に使用することの妥当性が認められる。有効入力は地盤と杭の相互作用よりも地盤振動に大きく支配されていると判かる。図4は群杭効果を、単杭解析と群杭解析の比の絶対値で評価したものである。図5～6に対象橋脚の代表箇所と地盤のみの伝達関数を示した。これより、構造物の応答性状が読み取れる。杭の深さ方向にわたっての断面力を図7に示す。これより、現行の上部構造物の慣性力のみを考慮した杭の設計が、今回のように地盤振動を考慮した場合に比べてかなり過小評価していると思われる。

【参考文献】

- 1) H. TAKEMURA, Y. YUKAWA: Dynamic Analysis of Grouped Pile Foundation in Layered Soils. The 2nd International Conference on Soil Dynamics & Earthquake Engineering 1985
- 2) 竹宮、湯川：群杭基礎構造物の動特性、土木学会第39回年次学術講演会（Ⅰ） 1984年10月
- 3) 竹宮、正木、小島、二宮：動的サブストラクチャ法による地盤-基礎-上部構造物系の3次元地盤応答解析、第17回マトリックス解析シンポジウム、日本鋼構造協会、1983年 311～316

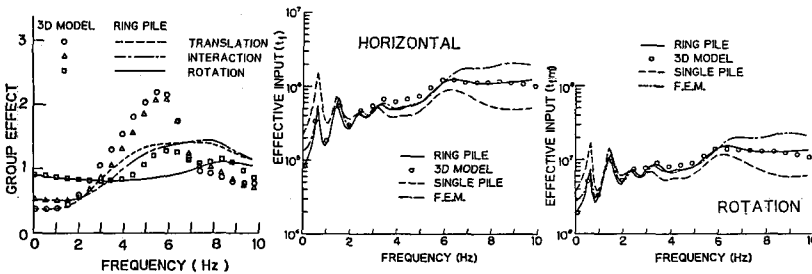


図4 群杭効果（絶対値）

図3 杭頭有効入力

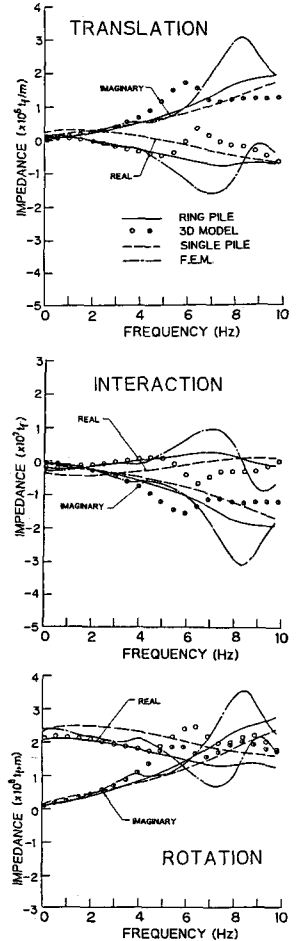


図2 杭頭インピーダンス関数

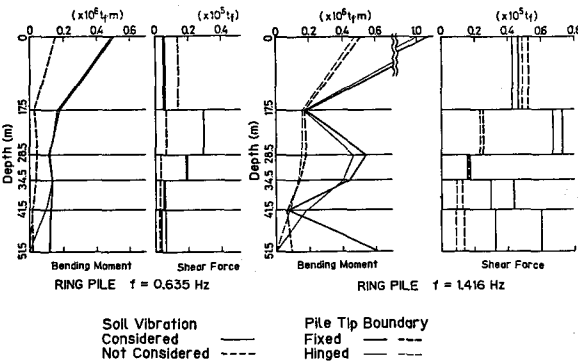


図7 断面力分布

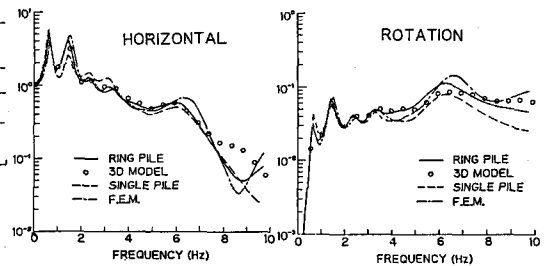


図5 伝達関数（フーチング重心）

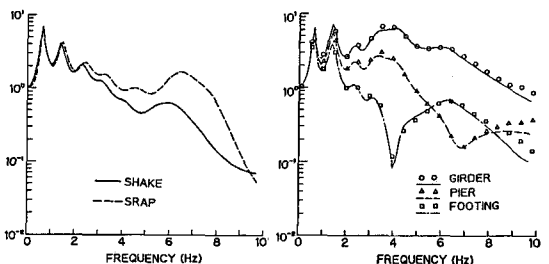
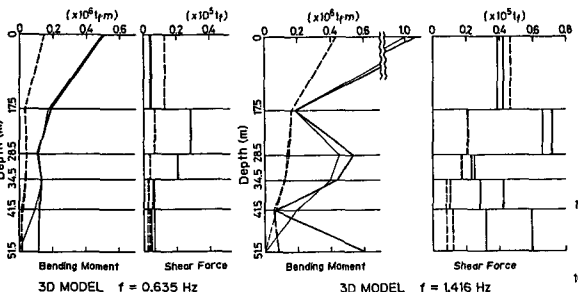


図6 自然地盤伝達関数

図5 伝達関数（並進）