

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

1. まえがき 最近の土木建築構造物の傾向として長大化、大型化が著しい。しかも軟弱地盤上に建設される機会も多くなって来ている。これらの下部構造形式としての群杭基礎は、それなりに大規模化の傾向にある。本論文はかかる下部構造形式の地震時応答性状を把握するため、まずその動特性に注目して調べたものである。杭の解析手法としては、地盤を介しての群杭の連成系を固有値解析から独立な支配方程式に変換し、その後トランスファ・マトリックス法を適用して杭頭インピーダンスを評価している。併せて有限要素法による解(擬似3次元耐震解析システムSUBSSIP-A3D)¹⁾との比較も行なった。

2. 定式化 地盤は成層構成をなす粘弾性体と仮定し、杭の振動解析を容易にするため水平振動と鉛直振動を独立とする。任意のj層内の波動方程式に各層が無限に続くとした平面歪の仮定を設けると、円筒座標(r, θ, z)における地盤変位は、解析的に円周方向θに関してフーリエ級数展開を用いて求めることが出来る。群杭基礎の鉛直並進に相当する地盤振動はフーリエ級数項 n=0の対称モード、そして水平並進および回転の連成振動に対しては、n=1の対称および逆対称モードを選べばよい。その結果、

$$\begin{Bmatrix} u(r, \theta, z) \\ v(r, \theta, z) \\ w(r, \theta, z) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H(\theta) \\ \vdots \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial K_r(qr)/\partial r & K_r(sr)/r & 0 \\ K_r(qr)/r & \partial K_r(sr)/\partial r & 0 \\ 0 & 0 & K_r(pr) \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで対称変形モードに対しては $H(\theta) = \text{diag.}(\cos n\theta, -\sin n\theta)$ 、逆対称変形モードに対しては $H(\theta) = \text{diag.}(\sin n\theta, \cos n\theta)$ を用いる。 $K_i(\cdot)$ は第2種i次の変形ベッセル関数である。

地盤のフレキシビリティ・マトリックスは単位加振による地盤応答の結果から直交座標において作成する。つまり任意の2点I, Jにおいて、I点のX, Y方向加振に対するJ点のそれぞれの方向の応答から地盤のフレキシビリティマトリックスは

$$F^{JI} = \begin{bmatrix} U_{xx}^{JI} & U_{yx}^{JI} & 0 \\ U_{xy}^{JI} & U_{yy}^{JI} & 0 \\ 0 & 0 & U_z^{JI} \end{bmatrix} \quad (2) \quad \text{これを群杭の全杭軸に拡張し、} \quad F_{xyz} = \begin{bmatrix} F^{11} & F^{12} & \dots & F^{1N} \\ F^{21} & F^{22} & \dots & F^{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F^{N1} & F^{N2} & \dots & F^{NN} \end{bmatrix} \quad (3)$$

さらにフレキシビリティ・マトリックスの逆行列を取って地盤インピーダンスマトリックス K_{xyz} とする。

地盤-群杭系においては、各杭を梁として捉え、杭の挙動を横振動と縦振動に分けて解析する。つまり

横振動: $[-Mp] \{ \partial^2 U / \partial t^2 \} + [-EpIp] \{ \partial^4 U / \partial z^4 \} + \{ P_t(Z, t) \} = 0 \quad (4)$

縦振動: $[-Mp] \{ \partial^2 W / \partial t^2 \} - [-EpAp] \{ \partial^2 W / \partial z^2 \} + \{ P_t(Z, t) \} = 0 \quad (5)$

ここで $[Mp]$ 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、 $[-EpIp]$ は曲げ剛性から成る対角マトリックス、 $\{ P_t(Z, t) \}$ は地盤からの反力ベクトルである。地盤反力に式(3)の地盤剛性を導入して固有値解析を行なう。

横振動: $\{ [\gamma] - \lambda^4 [I] \} \{ U \} e^{\lambda z} = \{ 0 \} \quad [\gamma] = -[-EpIp]^{-1} [K_{xy}] + \omega^2 [-EpIp]^{-1} [-Mp] \quad (6)$

縦振動: $\{ [\gamma] + \lambda^2 [I] \} \{ W \} e^{\lambda z} = \{ 0 \} \quad [\gamma] = [-EpAp]^{-1} [K_z] - \omega^2 [-EpAp]^{-1} [-Mp] \quad (7)$

式(6)は複素固有値 λ_j 、同固有ベクトル U_j を生じ、これより独立した支配方程式を解くことになる。杭

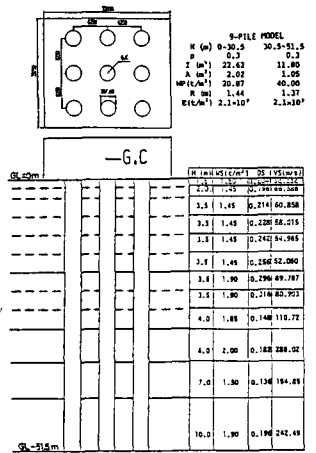


図1 解析対象モデル

基礎構造物と上部構造物との連成振動の動特性を評価する場合、杭頭インピーダンスが重要な意味を持つ。従って本研究では文献(1)で示されたトランスファ・マトリックス法からこの評価を行なった。

3. 解析モデル及び考察 解析モデルとしては、図1に示す9本杭を有する杭基礎構造物を対象とした。フーチング重心でのインピーダンスを実部と虚部に分けてそれぞれ等価剛性と等価粘性減衰係数の形で評価した。また比較のため杭-地盤-杭の連成効果を考慮した場合、考慮しない場合、有限要素法解の3ケースを示した(図2)。これより連成効果を考慮した時の解と有限要素法の解が、等価剛性の共振点が、わずかにずれているものの6Hz付近までよく一致した。また連成効果を考慮しない時の解と比較することにより群杭間の連成が杭基礎構造物の共振に大きな影響を与えることが判る。フーチング重心に単位変位を与えた時の各杭頭での荷重分担比を求めると、中心杭において最小で四隅に位置する杭において最大となり、その比率は図3のとおりである。

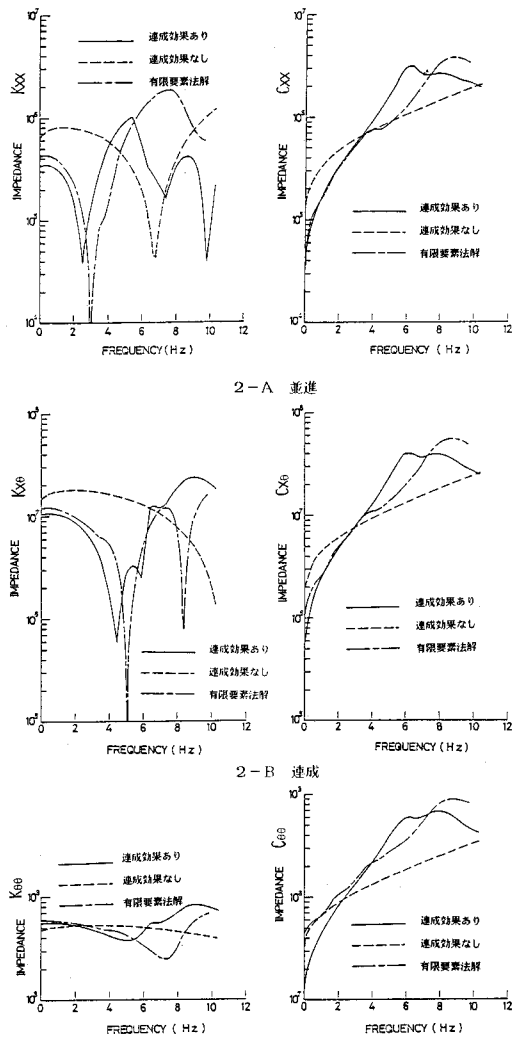


図2 フーチング重心でのインピーダンス

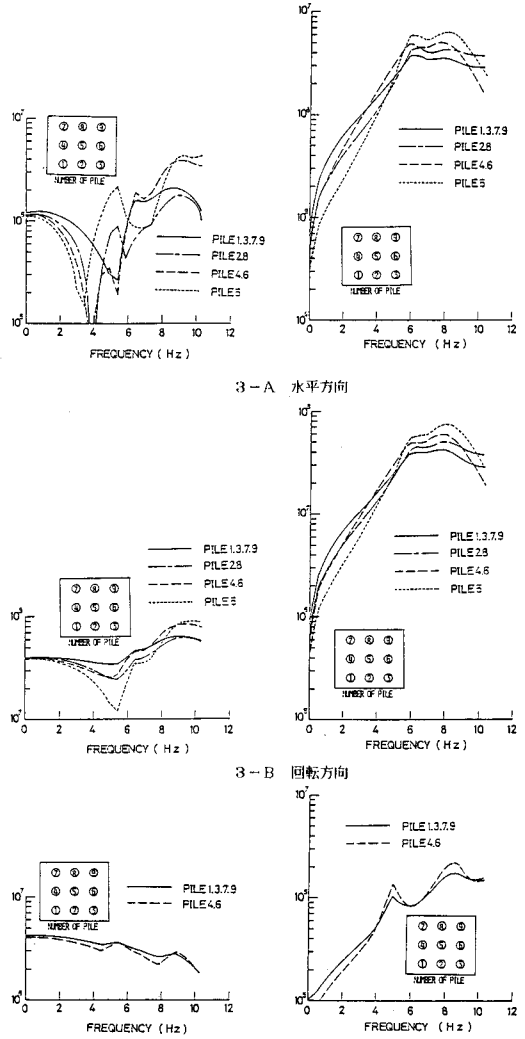


図3 9本杭の荷重分担

<参考文献>

- 1)竹宮, 山田: 深い基礎を有する高橋脚の地震時地盤との動的相互作用, 土木学会論文報告集第318号, 1982年
- 2)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回ワシントン解析の総論, 日本鋼構造協会, 1983年, 311-316
- 3)T.Norami: DYNAMIC GROUP EFFECT IN AXIAL RESPONSES OF GROUPED PILE, The Journal of Geotechnical Engineering, VOL.109, 301-317, 1983.