

I-452

斜杭を有する群杭基礎構造物の地震応答性状

岡山大学工学部 正員 竹宮 宏和
日本道路公団 正員 ○湯川 保之
清水建設 ㈱ 正員 田蔵 隆
清水建設 ㈱ 正員 清水 勝美

1. まえがき 軟弱地盤上の橋梁構造物の基礎として、直杭と斜杭を組み合わせた群杭形式がよく採用される。本研究は、フーチング部に根入れを有する同形式基礎構造物の地震時応答特性（特に斜杭効果、フーチングの根入れ効果）を把握することを目的とした。定式化はこれまで著者らが開発して来ているトランスフォーマトリックス法による層状粘弾性体中のはり解析である。ここでは、¹⁾ 基礎入力に対する杭一

2. 定式化 群杭がリング状に配置されている時、同一円周上の各杭の挙動は周方向にフーリエ級数展開して $n = 1$ の変位パターンとして近似的に扱える。そこで地盤応答の算定は、このリング状の群杭に整合して行う。つまり、地盤を3次元粘弾性体と仮定し、円筒座標系において平面ひずみ仮定のもとで、周方向へフーリエ級数展開し、各応答パターンに対するフーリエ特定項を採用する。いま x 方向並進と y 軸まわりのロッキングの連成を対象にすると、リングの変位の記述には、円筒座標上でフーリエ級数展開項 $n = 1$ の対称モードを採用すればよい。まず、任意の半径 r_i のリング加振による半径 r_j ($> r_i$) でのリングの応答から力-変位関係を杭が配置されているすべてのリングに適用して求め、地盤フレキシビリティを定める。

$$F_{r\theta z_j} = \begin{bmatrix} F_{r\theta z}^{11} & F_{r\theta z}^{12} & \cdots & F_{r\theta z}^{1N} \\ F_{r\theta z}^{22} & F_{r\theta z}^{23} & \cdots & F_{r\theta z}^{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{r\theta z}^{NN} & F_{r\theta z}^{N1} & \cdots & F_{r\theta z}^{NN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{r\theta} & 0 \\ 0 & F_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

第一次第二種変形ベッセル関数より構成される上式のフレキシビリティ・マトリックスに対して各リングの相互相関をなくして杭一地盤一杭の相互作用を杭一地盤の相互作用で近似的に評価できるようにマトリックスの対角化を行う。この精度については[2]を参照されたい。

$$F_{r\theta z_j}^* = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^N F_{r\theta z}^{1k} & 0 \\ 0 & \sum_{k=1}^N F_{r\theta z}^{2k} \\ \vdots & \vdots \\ 0 & \sum_{k=1}^N F_{r\theta z}^{Nk} \end{bmatrix} \quad (2)$$

斜杭を解析するにあたっては上式で示される応答を $r-z$ 面内で杭軸方向及び直角方向に座標変換して扱う。リング杭の運動方程式は式(2)によって決定された地盤フレキシビリティの逆として地盤剛性を算出し、群杭の位置関係が軸対称であることを考慮にいれると、円筒座標系で各リングについて

$$\begin{aligned} \text{横振動: } & [N_1 M_p / 2] \{ \partial^2 u_{p\theta} / \partial t^2 \} + [N_1 E_p I_p / 2] \{ \partial^4 u_{p\theta} / \partial z^4 \} + \pi K_{p\theta}^{\text{soil}} u_{p\theta}^p = \pi K_{p\theta}^{\text{soil}} u^s \sin \alpha \\ \text{縦振動: } & [N_1 M_p / 2] \{ \partial^2 u_z^p / \partial t^2 \} - [N_1 E_p A_p / 2] \{ \partial^2 u_z^p / \partial z^2 \} + \pi K_z^{\text{soil}} u_z^p = \pi K_z^{\text{soil}} u^s \cos \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

ここで M_p は各杭の単位長さ当たりの質量、 $E_p I_p$ 、 $E_p A_p$ は同曲げ剛性、軸力剛性、 α は斜杭の傾斜角、添字 s は地盤、 p は杭を示す。

下部構造系の杭頭インピーダンス及び、杭頭有効人力の算出には伝達マトリックス法を用いる。そして、フーチングの根入れ部に作用する地盤インピーダンス及び有効人力は、フーチングを円筒剛体として周方向にフーリエ級数展開し $n = 1$ の対称モードを採用する。上構造物系は有限要素法で多質点系へと置換しモード分解を施す。また、全体系の応答は、動的サブストラクチャ法によって各構造系間の変位の適合条件及び力のつりあい条件を満足するように運動方程式をたてることによって評価する。

表1 地盤諸量

ELEVATION (m)	SOIL PROFILE	N-VALUE	DENSITY γ_s (tf/m ³)	SHEAR VELOCITY V_s (m/sec)	MODIFIED PROPERTIES
0.0	CLAY	20 40	1.13	55	
-1.3			1.13	40	UNIT WEIGHT $\gamma_s = 1.33 \text{ tf/m}^3$
-6.5	HEMUS		1.44	50	SHEAR VELOCITY $V_s = 57.14 \text{ m/sec}$
-10.0	SILT		1.35	65	DAMPING FACTOR $D_s = 15\%$
-14.0	SILT		1.35	55	POISSON'S RATIO $\mu = 0.493$
-19.5	SANDY SILT		1.53	100	
-21.8	SANDY CLAY		1.80	100	RIGID BASE

sum of pile number ; 64
sum of ring number ; 9

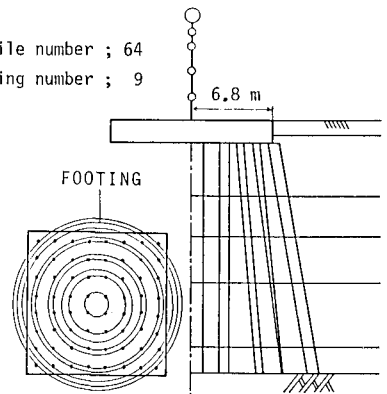


図1 解析対象構造物

3. 解析例 解析対象構造物は、図1に示す斜杭を有する群杭基礎構造物である。杭頭インピーダンス関数において、斜杭による効果は特に連成項に現れ、斜杭基礎のロッキング動が直杭だけで構成された場合と比較して逆位相の関係にあることが認められる。フーチングの根入れ効果とも合わせて、斜杭、直杭基礎の基盤入力に対する応答性状を調べた。伝達関数から斜杭の打設及びフーチングの根入れによる制振効果が認められる。これは、斜杭の軸力による支持が水平外力に対してなされるためである。観測値との比較から、斜杭基礎に対して今回提案した解析手法の有効性が確かめられる。

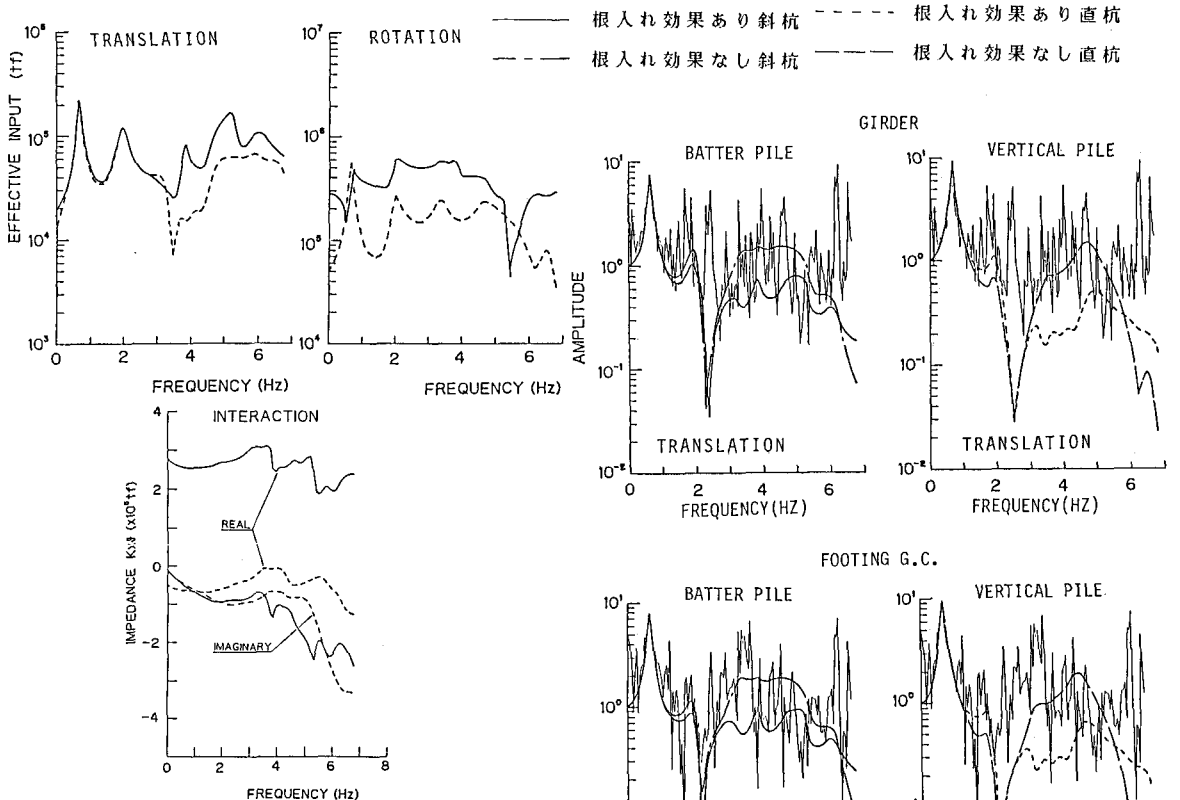


図2 杭頭インピーダンス

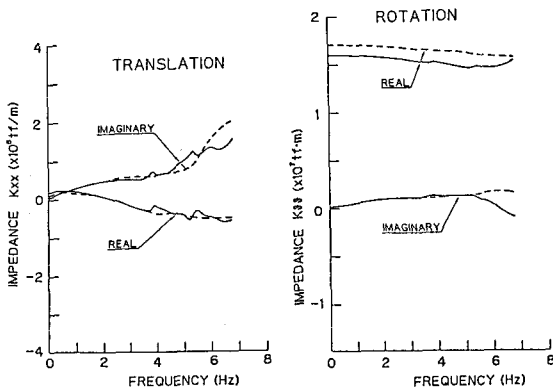


図3 杭頭有効入力

【参考文献】

1. TAKEMURA, H., YUKAWA, Y.: DYNAMIC ANALYSIS OF GROUPED PILE FOUNDATION IN LAYERED SOILS, Struc. Eng./Earthq. Eng., JSCE, Vol.13, No.1, 1986
2. 竹宮、湯川、飯下：基礎入力を受ける群杭基礎構造物の応答特性：第18回地震工学研究発表会1985
3. 大平、田蔵、中嶋、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, 362号, 1985

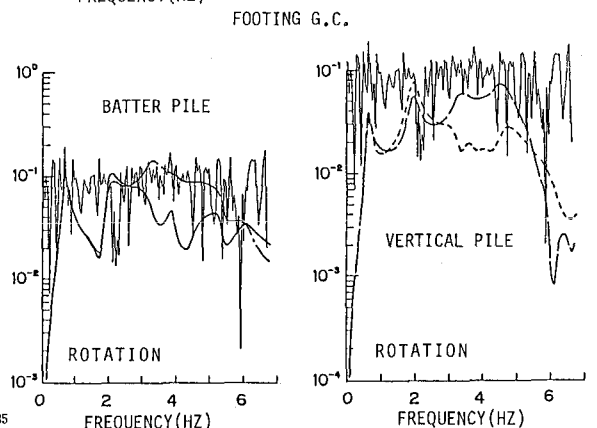


図4 伝達関数