

I-514 群杭基礎の地盤との相互作用における 3次元動的特性評価

岡山大学大学院 谷口正昭
岡山大学工学部 竹宮宏和
岡山大学大学院 日下部和宏

1. まえがき

最近、長大土木構造物がそれほど堅固でない地盤上にも、大口径の小数本からなる群杭基礎構造をもって建設される傾向にあり、その耐震解析の重要性が指摘される。著者らは、これまでも群杭基礎の地盤との動的相互作用解析法を開発してきたが、本報告はグリーン関数法により群杭基礎の振動特性を3次元で捉えたものである。そして以前のリング杭解析法の精度の検討を行った。

2. グリーン関数法による定式化

地盤のフレキシビリティ: 剛な基盤上の3次元軸対称な表層地盤を仮定する。杭の各節点位置でその自由度に対応した加振力 P^s に対する全節点位置の応答 u^s を求めて、杭の節点自由度の大きさの地盤の動的フレキシビリティ・マトリックス F^s を薄層法から評価することができる。その場合、加振力として円筒座標系で周方向のフーリエ展開モード(杭断面を剛体と仮定すれば $n=0, 1$)に対応したリングあるいはディスク加振を考え、杭と地盤のインターフェイス上の離散節点における変位解を求める。杭を線要素で表現する場合、加振力として集中力を採ることになる。円筒座標上のフーリエ振幅から直交座標系への変換を介して、その結果は

$$u_{xyz}^s = F_{xyz}^s P_{xyz}^s \quad (1)$$

フレキシビリティ法による地盤一杭系の定式化: 杭のはりとしての解析には分布質量法を採り、そのフレキシビリティの評価を行う。その場合、はりの横振動と縦振動の方程式を独立に解く。杭が層状地盤中に打設されている場合は、セグメントに分解し、各セグメントごとストリップ化された杭の自由振動解を求め、それらの境界面において伝達マトリックス法を適用していく。そのとき j セグメントに対して、横方向変位 $u^p(z)$ 、たわみ角 $\theta^p(z)$ 、曲げモーメント $M^p(z)$ 、せん断力 $V^p(z)$ 、縦方向変位 $w^p(z)$ 、軸力 $P^p(z)$ からなる状態ベクトル $S(z)$ 、 $\bar{S}(z)$ を定義し、横振動の場合、縦振動の場合それぞれに

$$S_j^{-1}(h_j) = \begin{Bmatrix} T^j S^j(h_j) + P^j \\ T^j S^j(h_j) \end{Bmatrix}, \quad \bar{S}_j^{-1}(h_{j-1}) = \begin{Bmatrix} \bar{T}^j \bar{S}^j(h_j) + \bar{P}^j \\ \bar{T}^j \bar{S}^j(h_j) \end{Bmatrix} \quad (2) \quad (3)$$

$$\text{ただし} \quad T^j = C^j(0)[C^j(h_j)]^{-1} \quad (4), \quad \bar{T}^j = \bar{C}^j(0)[\bar{C}^j(h_j)]^{-1} \quad (5)$$

上式を杭体の全長にわたって適用した後、杭頭と杭先端の境界条件を課すと

$$u^p = F^p P^p \quad (6)$$

と杭体のフレキシビリティ・マトリックス F^p を評価することができる。

地盤との相互作用における杭の応答 u^p を、線形重ね合わせの法則から、図1のように、杭頭拘束系で地盤の反力によるもの u^{pi} と杭頭に強制変位 u_h^p を与えたときのもの u^{ph} に分けて考える。

$$u^p = u^{pi} + u^{ph} \quad (7)$$

ここに、 u^{ph} は杭頭拘束の状態でのはりの変位影響関数 β と杭頭変位 u_h^p とフーチング中央変位 u_F とを結ぶ剛体結合マトリックス α を介して、

$$u^{ph} = \beta \alpha u_F \quad (8)$$

と表せる。

杭と地盤との連成振動に関する支配方程式は、変位の適合条件と力のつりあい条件から

$$(F^p + F^s)P^s = \beta \alpha u_F \quad (9)$$

これをフーチングの変位を仮定して未知作用力 P^s について解くと、杭に作用する地盤反力が得られる。これを杭頭での断面力 P_F^h へ変換し、さらに杭頭での断面力をフーチング重心への合力に変換して表す。また杭頭変位による杭頭断面力 P_F^h も同様に表すと、

$$P_F^s = (\beta \alpha)^T P^s, \quad P_F^{ph} = \alpha^T P^{ph} \quad (10), (11)$$

したがって、フーチング重心へ縮合した力 P_F は、

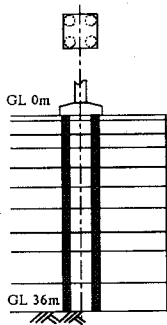
$$P_F = P_F^s + P_F^{ph} = \alpha^T \left[K_p^h + (\beta)^T (F_p + F_s)^{-1} \beta_p \right] \alpha u_F = K_F^* u_F \quad (12)$$

よってインピーダンス関数 K_F^* が定義できる。

3. 数値解析例と考察

以上のフレキシビリティ法による解析を剛基盤を有する層状地盤中の4本杭の杭基礎について行った。スチフネス法と違いフレキシビリティ法では最初に地盤反力を求めることができる。杭と地盤との動的相互作用をフーチング下端中央でのインピーダンスにおいて評価した。ここで比較として各杭を単杭とし

求めたインピーダンスと、近似解法としてのリング杭解析によるインピーダンスを図2に示した。群杭結果は杭-地盤-杭の相互作用のため群杭効果を持ち、水平、回転成分において単杭結果の単純な重ね合わせより一般に小さい値となる。鉛直成分には低振動数帯域においてそれほど現れない。またリング杭解析の精度は低振動数帯域では妥当なものとなっている。



解析対象構造物

杭の物性値

ポアソン比	0.167
ヤング率 (tf/m ²)	2.70e06
断面積	7.0685
断面2次モーメント (m ⁴)	Ix 1.767
	Iy 1.767
	Iz 3.534
減衰定数	0.03
せん断弾性定数 G*mm ²	1.16e06

層状地盤の物性値

No.	層厚 (m)	S波速度 (m/sec)	単位体積重量 (t/m ³)	ポアソン比	減衰率
1	2.00	128.0	1.5	0.49	0.048
2	2.00	128.0	1.5	0.49	0.048
3	2.50	154.0	1.8	0.49	0.185
4	2.50	154.0	1.8	0.49	0.185
5	2.50	154.0	1.8	0.49	0.185
6	2.25	217.0	1.8	0.49	0.050
7	2.25	217.0	1.8	0.49	0.050
8	6.00	242.0	2.0	0.49	0.142
9	6.00	171.0	1.6	0.49	0.039
10	8.00	224.0	1.6	0.49	0.040

図. 1 解析モデル

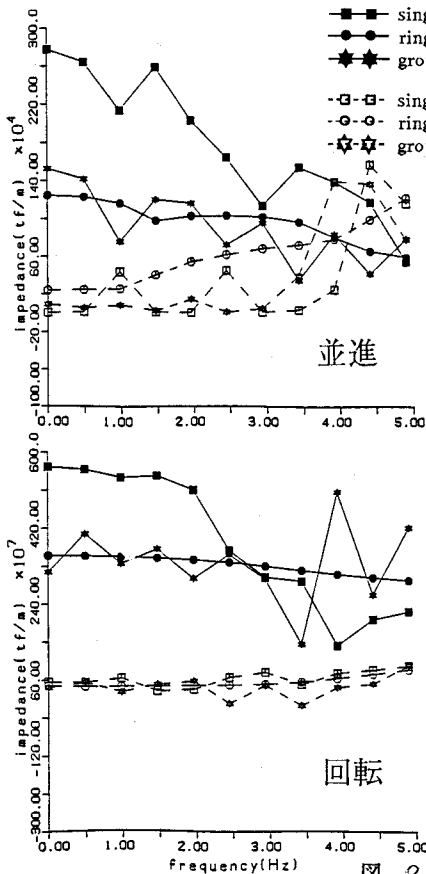


図. 2 杭頭インピーダンス