

I-450

基礎杭の杭頭インピーダンスに対する杭間隔の影響

三井造船 正〇板川 互 神戸大学 正 北村泰寿

1. まえがき 本研究は、群杭基礎の動的挙動を把握するための基礎的研究として、杭間隔が杭頭インピーダンスに及ぼす影響を調べたものである。解析手法としては単杭に対する前報¹⁾の解法を群杭の場合に拡張したが、地盤反力の評価には薄層法による地中加振解²⁾を利用した。

2. 解析手法の概要 図-1の座標系において、杭を用形断面の1次元棒と考えると、調和振動している杭の運動方程式は次式のように表わされる。

$$\omega^2 \rho A u_x - EI \frac{d^4 u_x}{dz^4} - q_x = 0 \quad (x \text{ 方向}) \quad (1)$$

$$\omega^2 \rho A u_y - EI \frac{d^4 u_y}{dz^4} - q_y = 0 \quad (y \text{ 方向}) \quad (2)$$

$$\omega^2 \rho A u_z + EA \frac{d^2 u_z}{dz^2} - q_z = 0 \quad (z \text{ 方向}) \quad (3)$$

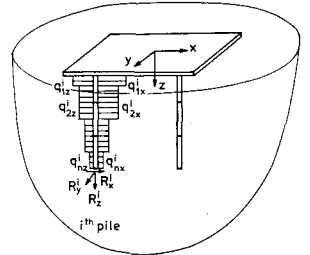


図-1 杭のモデル化

ここに、 ω は円振動数、 ρ 、 E 、 A 、 I は杭の密度、ヤング係数、断面積、断面二次モーメントである。また、 u は変位、 q は杭の周囲に沿って働く単位長さ当たりの地盤反力で添字 x 、 y 、 z はそれぞれ x 、 y 、 z 方向成分を表わす。本研究では、式(1)~(3)に差分近似を導入し、杭頭および杭下端での境界条件を考慮して離散化を行う。ここでは紙面の都合上、その詳細については文献¹⁾に譲る。

次に、離散化式における地盤反力(図-1参照)は、杭断面を用形とする仮定のもとで、地中リング分布加振力に対する変位解より得られる地盤の複素剛性マトリックスで評価する。いま、図-1に示す各杭の杭断面中央点に相当する点の変位と地盤反力は次式のように関係づけられる。

$$\{u\} = [\Delta][C]\{q\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし、} \{u\}^T &= \{u_x^T, u_y^T, \dots, u_x^T, u_y^T, u_z^T, \dots, u_x^T, u_y^T, u_z^T, \dots, u_x^T\} \\ \{q\}^T &= \{q_x^T, q_y^T, \dots, q_x^T, q_y^T, q_z^T, \dots, q_x^T, q_y^T, q_z^T, \dots, q_x^T\} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、 N は杭の本数、 $[\Delta]$ は地中リング分布加振力による変位解で構成される正方マトリックスで、式(1)~(3)を n 個の分割点で差分近似するとき $[n \times N, n \times N]$ の大きさの複素数マトリックス、 $[C]$ は対角マトリックスで、杭頭および杭下端の分割点に対応する要素は $b/2$ 、他の分割点に対応する要素は b なる値とする。なお、 b は差分近似による杭の分割長である。また、式(5)の $\{u_x^i\}$ 、 $\{u_y^i\}$ 、 $\{u_z^i\}$ 、 $\{q_x^i\}$ 、 $\{q_y^i\}$ 、 $\{q_z^i\}$ ($i=1 \sim N$)等は各杭の分割点における変位、地盤反力で構成されるベクトルで、たとえば x 方向成分は次式のように表わされる。

$$\{u_x^i\}^T = \{u_{ix}^i, u_{2x}^i, \dots, u_{nx}^i\}, \quad \{q_x^i\}^T = \{q_{1x}^i, q_{2x}^i, \dots, q_{nx}^i\} \quad (\text{図-1参照})$$

3. リング加振力による変位解 本研究では、Kausel²⁾の方法に基づいて、地盤を薄層に分割し、波数積分を解析的に評価した変位解を利用する。Kauselは剛基盤上の弾性体に対して次式のような変位解を得ている。たとえば、半径 r_0 の z 方向リング分布加振力による変位の z 方向成分は次式のように与えられる。

$$u_z(r) = \begin{cases} r_0 \sum_{l=1}^{2(M+1)} \phi_z^{kl} \phi_z^{ml} \left\{ \frac{\pi}{z^i} J_0(k_z r_0) H_0^{(2)}(k_z r) \right\} & (r \leq r_0) \\ r_0 \sum_{l=1}^{2(M+1)} \phi_z^{kl} \phi_z^{ml} \left\{ \frac{\pi}{z^i} J_0(k_z r) H_0^{(2)}(k_z r_0) \right\} & (0 \leq r \leq r_0) \end{cases} \quad (6)$$

ここに、 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ 、 $J_0(\cdot)$ は0次のBessel関数、 $H_0^{(2)}$ は0次の第2種Hankel関数である。また、 k_z 、 ϕ_z^{kl} 、 ϕ_z^{ml} は M 層に分割した薄層地盤に対する固有値問題より得られる n 次の固有値および固有ベクトルで、 m 、 k は加振位置および受振位置となる層境界の番号を意味する。ところで、式(6)に用いる固有値、固有ベクトルを、剛基盤面を粘性境界で置き換えた薄層地盤に対して求めることによって、半無限弾性地盤における変位解に容易に誘

正することができる。また、杭下端の支持力については、円形面に作用する等分布加振力に対する変位解を利用したが、この解も式(6)と同様の形で得られる。なお、薄層の層数、粘性境界の位置等については、二次元半無限弾性体内の点加振解に対するものであるが、文献3)での検討結果を参考にした。

4. 計算結果と考察 図-2に示す杭の配置について、水平振動および鉛直振動に対する杭頭インピーダンスを求めた。数値計算に当たっては、杭と地盤の相対剛性は $E/E_s = 1000$ (E_s は地盤のヤング係数)、杭長と杭直径の比は $L/d = 20$ (L は杭長、 d は杭直径)、地盤のポアソン比は0.45とし、杭の分割数は文献1)の結果を参考に10分割とした。

図-3, 4は、無次元振動数 $\lambda_s L$ ($= \sqrt{\omega L / 4EI / AP}$; 1次元棒の横振動に対する無次元振動数)が $\lambda_s L = 1.0, 2.0, 3.0$ のときの無次元杭頭インピーダンスで、2本、4本杭については1本当たりの平均杭頭インピーダンスを示したものである。なお、杭頭ヒンジに対する結果は、実際問題としてはごく稀であるが、参考のため図示したものである。また、鉛直振動については、杭頭剛結と杭頭ヒンジの結果はほとんど一致している。

これらの図より、杭間隔が狭くなる時、単杭の杭頭インピーダンスから離れるものが見られるが、これらは群杭の効果であらう。

とくに、図-3の水平振動において、2本杭と4本杭の杭頭インピーダンスは杭間隔の狭まりに対して逆の傾向を示している。

これは、4本杭の場合、加振方

向と直角方向に並ぶ杭と加振方向に並ぶ杭との荷重分担率の違いによる。たとえば、実部について調べると、加振方向の杭の荷重分担率は杭間隔の狭まりとともに増加しているが、直交する杭の分担率は減少している。一方、鉛直振動については、各杭の荷重分担率が等しいため、2本杭と4本杭の杭間隔の狭まりに対する傾向は類似のものとなっている。本研究では群杭の周波数応答特性について触れることはできなかつたが、今後はこれらについても検討を加えたい。

参考文献 1) 高谷・北村・桜井：第18回地震工学研究発表会，1985。 2) Kausel, E.: M.I.T. Report, R81-13, 1981。 3) 福森・衣川・北村：土木学会関西支部年講，1985。

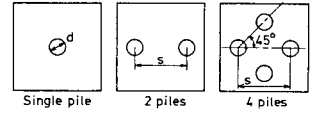


図-2 杭の配置

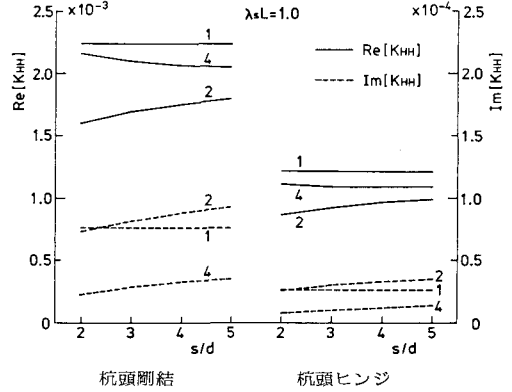


図-3 (a) 杭頭インピーダンス (水平振動)

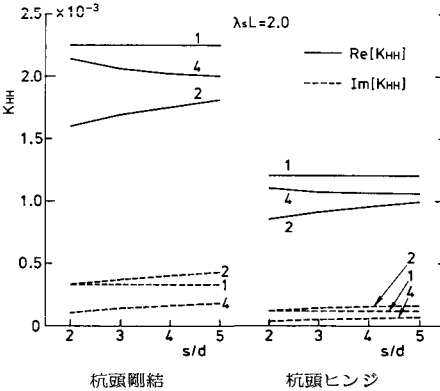


図-3 (b) 杭頭インピーダンス (水平振動)

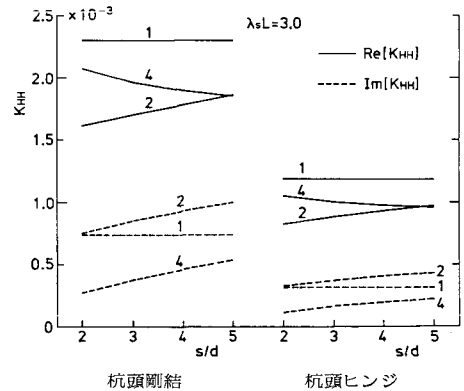


図-3 (c) 杭頭インピーダンス (水平振動)

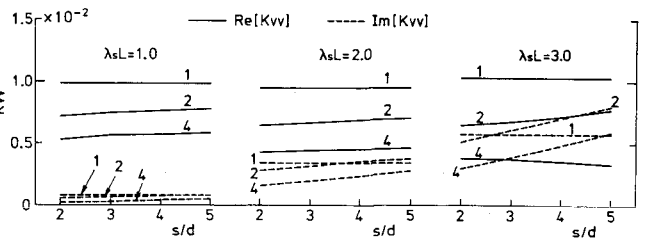


図-4 杭頭インピーダンス (鉛直振動)