

熊本大学工学部

正 員 秋吉 卓

八代工業高等専門学校

正 員 ○ 刈田 邦彦

1 まえがき 地盤中基礎構造物の動的性状の中で、構造物および地盤の複素剛性に関する実験的、理論的研究が数多く行われ、構造物と地盤の相互作用における動特性がかなり解明されてきた。特に、計算機の大規模化と有限要素法の普及に伴い、厳密に解析できなかった複雑な構造物モデルに対して数値計算が盛んに行われてきているが、地盤の複雑な性質や動的相互作用という観点から考えると、まだ解決すべき問題が残されているようである。筆者らは先に、基礎構造物の動的な水平ばね剛性に関する3次元の解析手法を提案し、その有用性を示した⁴⁾⁵⁾。前手法では基礎構造物の下端が基盤に支持されている場合のみに限られていたが、杭基礎には周面摩擦によって支持力を得る場合もある。そこで、本研究では、基盤面まで根入れされていない摩擦杭を取り上げ、水平方向動特性に関する解析を行ったので、ここに報告する。

2. 解析手法 FIG.1のように、等方均質な粘弾性地盤中に杭基礎が埋設された系において、杭先端から剛基盤面までは、杭と同断面の土柱の連続体を考える。杭の上端および土柱の下端はそれぞれ、固定支持・ヒンジ支持であると仮定し、また、円筒状境界に加える境界力はLysmerらの手法により求める。(詳しくは文献4)参照)

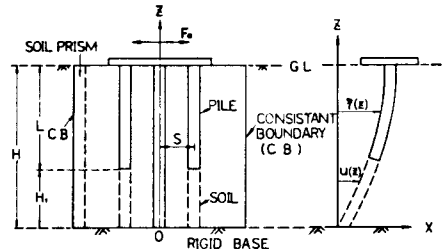


FIG. 1 PILES AND SOIL STRUTUM MODEL

曲げ変形する杭の運動方程式および土柱のせん断振動の方程式は次式のように書き表わすことができる。

$$(E_p + E_p \frac{\partial}{\partial t}) I \frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2} + P_p S \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = q(z, t) + p(z, t), \quad H_1 \leq z \leq H \quad \dots (1)$$

$$(E_s + E_s \frac{\partial}{\partial t}) I \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + P_s S \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = q(z, t) + p(z, t), \quad 0 \leq z \leq H_1 \quad \dots (2)$$

ただし、 S ；杭(土柱)断面積、 $p(z, t)$ ；周辺の土が杭におよぼす単位長さ当りの動土圧分布

I ；断面2次モーメント、 $q(z, t)$ ；杭頭水平力 F_0 が杭および土柱に与える分布荷重

ここで、杭の変位 $\eta(z, t)$ 、土柱の変位 $u(z, t)$ および杭頭水平力 $F_0 e^{i\omega t}$ は次のようにFourier級数展開しておく。

$$u(z, t) = \eta(z, t) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin \frac{(2m-1)\pi z}{2H} e^{i\omega t}, \quad q(z, t) = \frac{2F_0}{H} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \sin \frac{(2n-1)\pi z}{2H} e^{i\omega t} \dots (3)$$

係数 A_m を決定するために、Galerkin法を用いると、 k 番目の杭に関して次式が得られる。

$$\left\{ b_{mn}^{(k)} \right\} \begin{Bmatrix} A_1 \\ \vdots \\ A_r \end{Bmatrix}_{(k)} = \frac{H}{2} \begin{Bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_r \end{Bmatrix}_{(k)} + \frac{H}{2} \begin{Bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_r \end{Bmatrix}_{(k)} \quad \dots (4)$$

$$\text{ここに、} b_{mn}^{(k)} = \frac{H}{2} \begin{cases} \left(\alpha_m^4 E_s I_s - P_s S_k \omega^2 \right) \left(\frac{H_1}{H} - \frac{\sin 2\alpha_m H_1}{2\alpha_m H} \right) + \left(\alpha_m^4 E_p I_p - P_p S_k \omega^2 \right) \left(1 - \frac{H_1}{H} + \frac{\sin 2\alpha_m H_1}{2\alpha_m H} \right) & (m=n) \\ \left(\alpha_m^4 E_s I_s - P_s S_k \omega^2 \right) \left(\frac{\sin(\alpha_m - \alpha_n) H_1}{(\alpha_m - \alpha_n) H} - \frac{\sin(\alpha_m + \alpha_n) H_1}{(\alpha_m + \alpha_n) H} \right) + \left(\alpha_m^4 E_p I_p - P_p S_k \omega^2 \right) \left(\frac{\sin(\alpha_m - \alpha_n) H_1}{(\alpha_m - \alpha_n) H} + \frac{\sin(\alpha_m + \alpha_n) H_1}{(\alpha_m + \alpha_n) H} \right) & (m \neq n) \end{cases} \quad \dots (5)$$

(4)より、杭が周辺の土に与える分布力 $p_m^{(k)}$ は(添字 (k))は k 番目の杭に関するものである、

$$p_m^{(k)} = -p_m^{(k)} = q_m^{(k)} - \frac{2}{H} \left\{ b \right\}_m^{(k)} \left\{ A \right\}_{(k)} \quad \dots (6)$$

地盤の変位と杭の変形曲線との連続性を考慮すると、(3),(4),(6)より k 番目杭に関して次式のように整理される。

$$\left\{ d_{mn} \right\}_{(k)} \left\{ A \right\}^{(0)} = \frac{F_0}{k} \left\{ (-1)^{m-1} \right\} \quad \dots (7)$$

あるいは、
$$d_{mn}^{(k)} = \begin{cases} b_{mn}^{(k)} + \frac{S}{\omega_m^{(k)}} = b_{mn}^{(k)} + \frac{H}{2} k_m & (m=n) \\ b_{mn}^{(k)} & (m \neq n) \end{cases} \dots\dots (7)'$$

S ; 杭間節点数, k ; 杭本数
 $\omega_m^{(k)}$; k 番目杭の平均変位
 k_m ; 地盤の m 次水平ばね剛性

系全体の運動方程式は各モードごとに独立しており、 m 次モードについて書き表わすと、

$$[\bar{K}_m]\{X\}_m = \{F\}_m \dots\dots (8)$$

ただし、 $[\bar{K}_m] = [K_{mn}] - \omega^2[M]_{mn} + [R]_B$, $[R]_B$; 境界マトリックス

(8) を解いて変位が求まると、(7) より $\{A\}^{(k)}$ が求まり、杭頭の水平複素剛性 $K_p^{(k)}$ が次式のように算出される。

$$K_p^{(k)} = \frac{\frac{1}{k} F_0}{\gamma_m^{(k)}(H)} = \frac{\frac{1}{k} F_0}{\sum_{m=1}^S A_m^{(k)} (-1)^{m-1}} \dots\dots (9)$$

3 数値計算例 FIG. 2 は単杭および4本杭の杭頭水平複素剛性を示している。1 次の固有振動数付近で剛性が低下し、振動数が高くなるにつれて一定値に近づくという傾向は厳密解とほぼ同じである。複素剛性の虚数部は逸散減衰性の効果を表わしているが、1 次の固有振動数付近より逸散減衰の効果が現われ、振動数に対してほぼ一定の効果を持つことがわかる。FIG. 3 は根入れの違いによる杭頭水平剛性の変化であるが、当然のことながら、根入れが長いほど剛性は増し、動荷重に対する反力が大であり、有利であるといえる。FIG. 4 は杭間隔に対する剛性の変化を表わしたものであるが、間隔が狭くなるほど剛性が低下しており、動的な場合にも群杭効果が存在するといえる。その他の結果と考察は講演時に述べる。

参考文献: 1) Blaney, Kausel, Roesset: Numerical Method in Geomechanics, Blacksburg, Virginia U.S.A. 1976. ASCE. PP. 1001 ~ 1012, 2) Lysmer, Waas: Journal. of E.M. Div., Proc. of ASCE, Vol 98, EM1, Feb. 1972 PP. 85 ~ 105.
 3) E. Kausel, J.M. Roesset: Journal of E.M. Div., Proc. of ASCE, EM4, Aug. 1977. PP. 569 ~ 588
 4) 秋吉卓, 他2名: 第5回日本地震工学シンポジウム(1978)講演集, PP. 369~376 s) 秋吉卓, 他2名: 昭和53年度西部支部研究発表会講演集 PP. 55~56

