

II-5. 複雑な断面形を持つ基礎構造物の動的地盤反力特性について

熊本大学工学部 正員 秋吉 卓
熊本大学工学部 〇学生員 中山 裕
八代工業高等専門学校 正員 洲田邦彦

1. まえがき 地中に埋設される基礎構造物の配置・断面形状は、建設地点の地盤と上載荷重の条件に適したものにするため千差万別であり、その動特性についてもそれほど明らかにされている訳ではない。それらのうちで、実験および解析上の都合から群杭に関するものが多く取り上げられてきたが^{(1), (2), (3)}、その他の基礎形式：矩形・小判形断面基礎あるいは阪神高速道路公団で採用されたことのある翼壁付井筒基礎等については、実験は可能でも理論的説明は放置されたままである。そこで本研究では、群杭の動的解析において使用し、その有用性を確かめているソイルプリズム⁽³⁾を用いて、上述の基礎構造物の水平ばね剛性について解析し、各種基礎について比較検討を行なったので、ここに報告する。

2. 解析手法 本解析法は基礎構造物の躯体が柔あるいは剛な場合についても適用しうるが、ここでは前者の解法のみを記すことにする。FIG. 1のように、等方均質な粘弾性地盤（ソイルプリズム）中に基礎構造物が埋設され、その先端は剛基盤面に達しているとき、地盤の(x, y)方向の変位 $\{u\}^e$ は次のFourier級数に展開して表わせる。

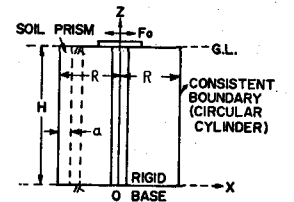


FIG. 1 FOUNDATION STRUCTURE AND SOIL STRATUM MODEL

$$\{u\}^e = \sum_{m=1}^{\infty} [N]_m \{\delta\}_m \cdot \sin \frac{(2m-1)\pi z}{2H} \quad \dots\dots (1)$$

プリズムの断面は三角または扇形とし、その上下端は境界条件 $\{T_{xz}(H)\} = \{T_{xz}(H) = 0, u(0) = v(0) = 0\}$ を満足する。さらにLysmer⁽⁵⁾の手法に

より、円筒状境界（図中のC.B.）に加えるべき、 $[r(\text{動径}), \theta(\text{接線})]$ 方向の力は各々次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} [N]_s &= -[R]_s [u]_s, \text{ ただし } [R]_s = \frac{GRH^2 \theta}{24a} [A][Q] \left[\alpha^2 (\omega_m^2 - \omega^2) + 2i\alpha \xi_p \alpha V_p^2 \right] [Q]^{-1} \\ [T]_s &= -[R]_s [v]_s, \text{ ただし } [R]_s = \frac{GRH^2 \theta}{24a} [A][Q] \left[\alpha^2 (\omega_m^2 - \omega^2) + 2i\alpha \xi_s \alpha V_s^2 \right] [Q]^{-1} \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} \text{および } \xi_s &= \frac{V_p}{V_s} \xi_p, \omega_m^2 = \omega^2 (1 + 2i \xi_s \frac{\omega}{\omega_m}), \omega_m = \frac{(2m-1)\pi V_s}{2H} : \text{地盤の} m \text{ 次固有円振動数}, \xi_p : \text{減衰定数(地盤)} \\ V_p^2 &= V_p^2 (1 + 2i \xi_s \frac{\omega}{\omega_m}), V_s^2 = V_s^2 (1 + 2i \xi_s \frac{\omega}{\omega_m}), V_p, V_s : \text{縦波・横波の伝播速度}, [A] = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad \dots\dots (3)$$

さらに、波数 $\{\xi_p\}$ 、モーダルマトリックス $[Q]$ は次の固有方程式を解いて求められる。

$$([C] - (\frac{\omega}{V_p})^2 [\xi_p] \alpha^2 [A])[Q] = [0], \text{ ただし } [C] = (6\omega^2 [I] - \omega_m^2 [A]) \quad \dots\dots (4)$$

(4)を解くと、 $\{\xi_p\}$ および $[Q]$ はともに複素数で得られるが、 $\{\xi_p\}$ の値が波動の伝播性と距離減衰性を表現するためには、固有値として得られた ξ_p^2 の値を $-i\sqrt{\xi_p^2}$ として用いればよい。

一方曲がり変形する基礎構造物の運動方程式は次式のように書き表わすことが出来る。

$$(E_p + E_p \frac{\partial^2}{\partial t^2}) I \frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2} + E_p A_p \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = f(z; t) - p(z; t), \quad \left(\begin{array}{l} A_p : \text{基礎の断面積} \\ I : \text{断面2次モーメント} \end{array} \right) \quad \dots\dots (5)$$

そこで、基礎構造物の水平変位 $\eta(z; t)$ および頂部水平弾制力 $F_0 e^{i\omega t}$ を次のようにFourier展開しておく。

$$\eta(z; t) = \sum_{m=1}^{\infty} B_m \sin \frac{(2m-1)\pi z}{2H} \cdot e^{i\omega t}, \quad f(z; t) = \frac{ZF_0}{H} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \sin \frac{(2n-1)\pi z}{2H} \cdot e^{i\omega t} \quad \dots\dots (6)$$

地盤の各節点における運動方程式は、各振動モードが独立しているので、 m 次モードについて書くと

$$[M]_{mm}\{\ddot{x}\}_m + [K]_{mm}\{x\}_m = \{F\}_m - [R]_m\{x\}_s \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで、(6)を(5)に代入して、基礎の地盤に対する外力項 $\{F\}_m$ を解析的に表わすことができ、一方(2)の境界マトリックス $[R]_p$ 、 $[R]_s$ を土島に埋め込んで $[R]_m$ を作ることができるので、(7)は次式となる。

$$[\bar{K}]_m\{x\}_m = \{F\}_m, \quad \text{ただし} \quad [\bar{K}]_m = [K]_{mm} - \omega^2[M]_{mm} + [R]_m \quad \dots\dots\dots (8)$$

基礎と地盤の変位の連続性を考慮して(8)より係数 $\{B\}$ を求め、これより基礎頂部の複素水平剛性 K_p をうる。

$$K_p = \frac{\sum_{m=1}^{\infty} [-\omega^2 + 2i\zeta_m \omega \omega_m + \omega_m^2 + \zeta_m / \rho A_p]^{-1}}{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{\rho A_p H / 2}{\dots\dots\dots}} \quad \left(\begin{array}{l} \zeta_m: \text{地盤の} m \text{次水平剛性} \\ \omega_m, \omega_m: \text{基礎の} m \text{次減衰定数, 固有円振動数} \end{array} \right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

3. 数値計算例 数値計算の対象としてFIG.2の各断面を選んで、その1/4を図示している。FIG.3は地盤の1次モードの水平ばね剛性(基礎頂部)であるが、隅角部を持つ基礎に対する地盤の支持力は大きいことが明らかである。FIG.4では受圧面の大きなもの、例えば翼壁型基礎はかなり水平支持力の面で有利であることを示している。その他の結果と考察は講演時にゆづる。

参考文献: 1)小坪 高西;土木学会論文報告集,第241号,1975. 9, pp.13-23, 2)小坪 高西;土木学会論文報告集,第277号,1978. 9, pp.15-24, 3)秋吉 他2名;第5回日本地震工学シンポジウム(1979)講演集, pp.369-376, 4)後藤 他3名, 第8回日本道路会議, 第3部会, 特定課題4. 橋梁下部構造の水平抵抗について, 1965, pp.116-128. 5) Lysmer, Wags, Jour. of the Engrg. Mech. Div., Proc. of ASCE, Vol. 98, No. EH1, Feb., 1972, pp. 85-105.

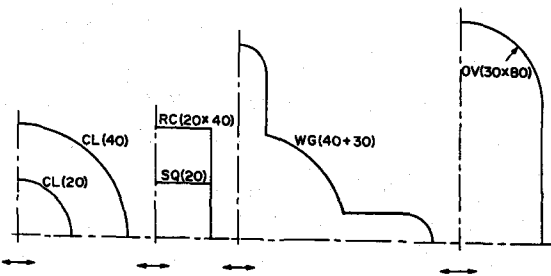
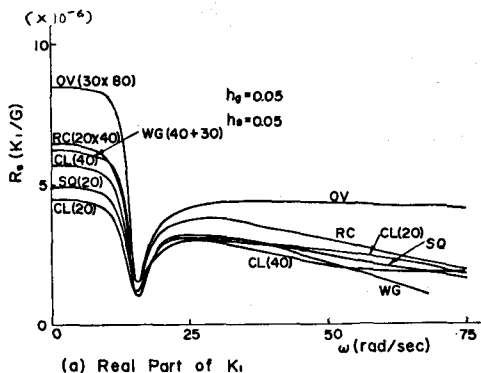
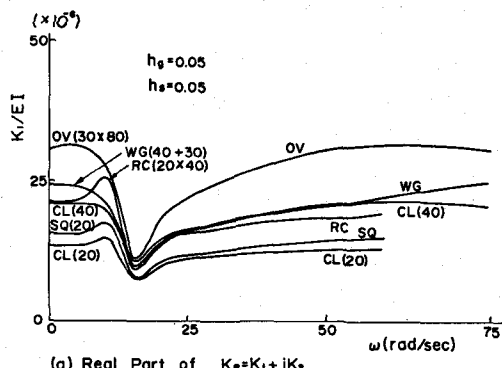


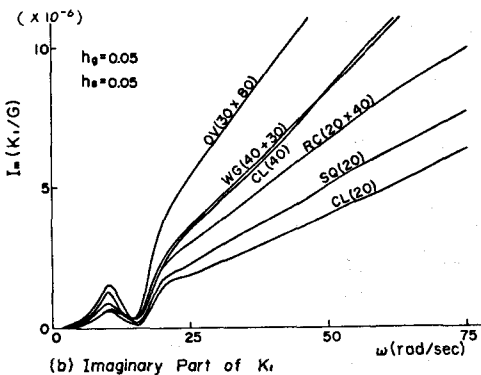
FIG. 2 CROSS SECTIONS OF FOUNDATION STRUCTURES



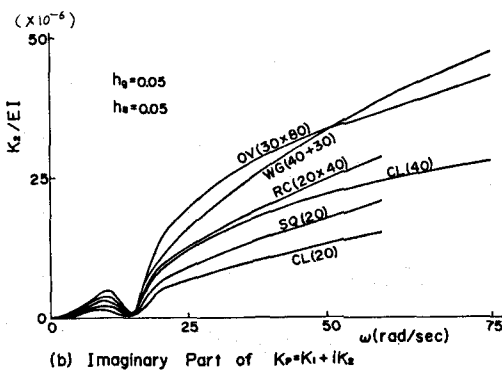
(a) Real Part of K_i



(a) Real Part of $K_p = K_i + iK_s$



(b) Imaginary Part of K_i



(b) Imaginary Part of $K_p = K_i + iK_s$

FIG. 3 COMPLEX LATERAL STIFFNESS OF SOIL

FIG. 4 COMPLEX STIFFNESS COEFFICIENTS OF FOUNDATION STRUCTURES