I-256　地盤構造物の相互作用について

九州大学　正員　　小坪　清真
〃　　　学生員○武田　純男
佐賀大学　正員　　荒牧　軍治

1。まえがき

現在、本州四国連絡橋等の大型土木構造物が計画され、その基礎形式としてケーソン基礎、多柱基礎等が考えられている。基礎構造物の設計条件を支配しているものはその耐震性である。特に基礎構造物をとりまく地盤と構造物の相互作用については未だ不明な点が多い。その中で最も重要な要素は構造物を支持する機構、すなわち動的地盤反力係数及び減衰常数である。この問題に関しては種々の研究がなされているが、未だ確かな結論が得られているとはいい難い。この問題を弾性波動論を用いて解析することがしばしば用いられているが、境界条件が非常に複雑になり、厳密な解は得られていない。そのため二次元平面問題として近似的に解析すると、静的すなわち$\omega \to 0$の場合に地盤反力係数が0に近づく。あるいは減衰定数がある値をもつなどの不合理な点があった。そこで著者等は無限弾性体中の球が膨張・収縮・回転・水平振動した場合、地盤が球に及ぼす複素復元力、すなわち地盤反力係数および減衰定数を求め、地盤の構造物に及ぼす支持機構の動的効果を求めたものである。

2。球座標波動論を用いた複素復元力

2.1。CASE I　膨張収縮のみを行う場合

球が膨張収縮のみを行う場合の地盤反力係数及び減衰力は次式で表わされる。

$$k_{rr} r_0/\mu = Re\left\{3\xi_0 \frac{h_0^{(2)}(\xi_0)}{h_1^{(2)}(\xi_0)} - 4\right\} \qquad C_{rr}\omega r_0/\mu = I_m\left\{3\xi_0 \frac{h_0^{(2)}(\xi_0)}{h_1^{(2)}(\xi_0)} - 4\right\} \quad \cdots\cdots (1)$$

ただし，$\xi_0 = h r_0 = \sqrt{\frac{\rho\omega^2}{\lambda + 2\mu}}\, r_0$　　λ, μ：ラーメの定数

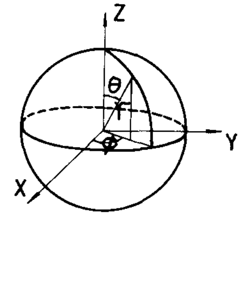
$h_1^{(2)}(\xi_0)$，$h_0^{(2)}(\xi_0)$　球ベッセル関数

2.2。CASE II　回転のみを行う場合

Z軸のまわりに回転する場合の地盤反力係数と減衰力は次式で表わされる。

$$k_{r\phi} r_0/\mu = Re\left\{\zeta_0 \frac{h_0^{(2)}(\zeta_0)}{h_1^{(2)}(\zeta_0)} - 3\right\} \qquad C_{r\phi}\omega r_0/\mu = I_m\left\{\zeta_0 \frac{h_0^{(2)}(\zeta_0)}{h_1^{(2)}(\zeta_0)} - 3\right\} \quad \cdots\cdots (2)$$

ただし　$\zeta_0 = k r_0 = \sqrt{\frac{\rho\omega^2}{\mu}}\, r_0$



図－1

2.3。CASE III　水平振動する場合

球がX軸方向に$U_0 e^{i\omega t}$で振動する場合の$r = r_0$における境界条件式は次式で与えられる。

$$u_r = \sin\theta \cdot \cos\phi \cdot U_0 e^{i\omega t}, \quad v_\theta = \cos\theta \cdot \cos\phi \cdot U_0 e^{i\omega t}, \quad w_\phi = -\sin\phi\, U_0 e^{i\omega t}$$

波動方程式の極座標表示解を上記の境界条件式に代入すると，θ方向とϕ方向の二式は全く同じ式となるので

$$U_0 r_0 = A_1 \xi_0 \left[\frac{d}{d\xi} h_1^{(2)}(\xi)\right]_{r=r_0} + 2C_1 h_1^{(2)}(\zeta_0)$$
$$U_0 r_0 = A_1 h_1^{(2)}(\xi_0) + C_1 \left[\frac{d}{d\zeta}\left\{\zeta h_1^{(2)}(\zeta)\right\}\right] \quad \cdots\cdots (3)$$

係数A_1，C_1を求めると，$A_1 = \frac{3U_0 h_2^{(2)}(\zeta_0)}{D}$，　$C_1 = \frac{3U_0 h_2^{(2)}(\xi_0)}{D}$　ただし，$D = h_0^{(2)}(\xi_0) h_2^{(2)}(\zeta_0) + 2h_2^{(2)}(\xi_0) h_1^{(2)}(\zeta_0)$

これを変位式に代入し，$r = r_0$における応力度を求めると，

$$\sigma_{r_0} = -\frac{3U_0}{D r_0}(\lambda + 2\mu)\xi_0 h_1^{(2)}(\xi_0) h_2^{(2)}(\zeta_0) \sin\theta \cdot \cos\phi \cdot e^{i\omega t}$$
$$\tau_{r_0\phi} = -\frac{3U_0 \mu}{D r_0} \zeta_0 h_2^{(2)}(\xi_0) h_1^{(2)}(\zeta_0) \sin\phi\, e^{i\omega t} \quad \cdots\cdots (4)$$

$\theta = 90°$，すなわち$x - y$平面における抵抗力Pは次式で与えられる。

$$P = 4\int_0^{\pi/2}(-\sigma_{r_0}\cos\phi + \tau_{r\phi}\sin\phi)\, r_0\, d\phi$$

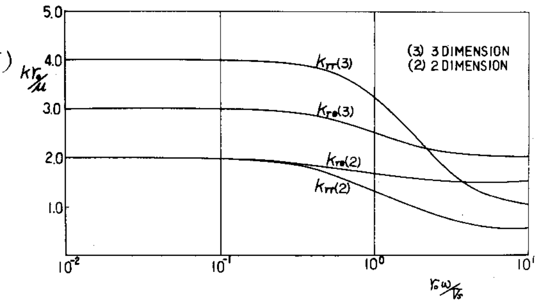
地盤反力係数を抗力のReal Partを2dで除したもの、すなわち片面に等分布と仮定すると、

$$\overline{k_{rr}}\, r_0/\mu = \frac{9\pi}{4D} Re\{\xi_0 h_1^{(2)}(\xi_0)\, h_2^{(2)}(\zeta_0)\}$$
$$\overline{k_{r\phi}}\, r_0/\mu = \frac{3\pi}{4D} Re\{\zeta_0 h_2^{(2)}(\xi_0)\, h_1^{(2)}(\zeta_0)\} \quad \cdots\cdots (5)$$

全水平地盤反力は $\overline{k_H} = \overline{k_{rr}} + \overline{k_{r\phi}}$

同様に単位面積当りの減衰定数は次式で与えられる。

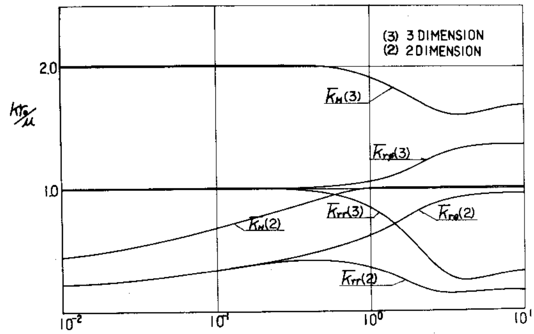
$$\overline{C_{rr}}\, \omega_0 r/\mu = \frac{9\pi}{4D} Im\{\xi_0 h_1^{(2)}(\xi_0)\, h_2^{(2)}(\zeta_0)\}$$
$$\overline{C_{r\phi}}\, \omega_0 r/\mu = \frac{3\pi}{4D} Im\{\zeta_0 h_2^{(2)}(\xi_0)\, h_1^{(2)}(\zeta_0)\} \quad \cdots\cdots (6)$$



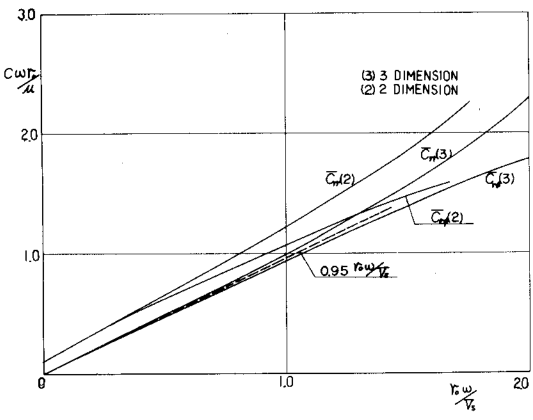
図－2

3.数値計算

図－2,3は地盤反力係数を無次元化表示したものを縦軸に、$\omega r_0/V_s$を横軸にとって現わした。図－2は膨張収縮及び回転を行う場合の地盤反力係数k_{rr}, $k_{r\phi}$を示したものであるが、$r_0\omega/V_s$が小さい範囲では3～4の値を示し、$r_0\omega/V_s$が0.5付近から減少を始め、後一定の値に近づく。図－2には2次元平面による解も併記したが、球の場合とほぼ同様の傾向を示している。図－3は水平振動する場合の地盤反力係数を示したものであるが、直応力σ_rによる地盤反力係数は無次元量$r_0\omega/V_s$の増大に伴ない減少する傾向にあるが、せん断力$\tau_{r\phi}$による地盤反力係数$\overline{k_{r\phi}}$はむしろ増加する傾向にある。全体としての地盤反力係数はやや減少する傾向にある。$\omega \to 0$に近づけた時、kr_0/μは一定値を持つので、地盤反力係数kはせん断弾性定数μに比例し、半径r_0に逆比例することになる。図－4は水平振動の場合の減衰力を無次元化して示したものであるが、ζ_0に対してほぼ一次比例をなすと考えてよいであろう。すなわち減衰定数は振動数に対してほぼ一定であると見なされる。2次元解では$\omega \to 0$に近づけても減衰力は0とならないという不合理な点がある。



図－3



図－4

4.結語

無限弾性体中の球に及ぼす地盤反力係数、減衰定数を求めると、地盤反力係数は振動数に対して減少する傾向にあること、又その減少の割合は無次元量$r_0\omega/V_s$によること、減衰定数は振動数に対してほぼ一定であると考えてよいことが明らかになった。

参考文献　(1) 土木学会第28回年次学術講演集　小坪他「地盤構造物系のモデル化について」
(2) 妹沢克惟「振動学」