

宮崎大学工学部土木工学科 正員 原田 隆典

三井共同建設コンサルタンツ 正員 徳永 修一

パシフィックコンサルタンツ 正員 三宅 淑正

1. まえがき 図-1に示すような地中円筒剛体基礎の動的ばね係数と減衰係数の評価式を開発し、起振機を用いた実験結果と比較検討したのでその概要を報告する。この評価式は、水平と回転の連成振動を対象として、図-1に示すような、表層地盤の途中に基礎底面が設置される場合を基本モデルとする。半無限地盤の場合や基礎が表層地盤を突き基礎底面が基礎に設置される場合は基本モデルのパラメータを変えて処理することが出来る。

2. 動的復元力の評価式の概説 水平と回転の連成モードに対する動的ばね係数と減衰係数は、式(1)と(2)で与えられる。ここに、 C_{jR} , S_{jR} はそれぞれ水平と回転に対する基礎底面及び基礎側壁の無次元複素ばね係数であり、実数部は地盤の剛性を、虚数部は減衰性を表わす。基礎底面に対しては、Kauselらの研究から¹⁾、水平成分では、 $a/H_1 \leq 1$ で、

$$C_{u1} = \frac{8}{2-\nu} \left(1 + \frac{a}{2H_1}\right), \quad C_{u2} = \begin{cases} 0.53 \omega a / v_s & \nu=0.0 \\ 0.40 \omega a / v_s & \nu=0.5 \end{cases}$$

ここに、 ω = 振動数、 ν = ポアソン比、 v_s = せん断波速度、回転成分は

$$C_{\phi 1} = \frac{8}{3(1-\nu)} \left(1 + \frac{a}{6H_1}\right), \quad C_{\phi 2} = \frac{0.3(\omega a / v_s)^3}{1 + (\omega a / v_s)^2}$$

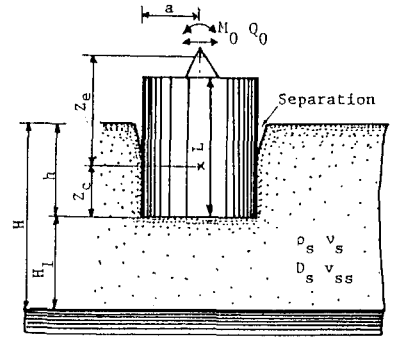


図-1 数学モデルとその記号

基礎側壁の S_{jR} の解析解の詳細は参考文献(2)に譲るが、解析解の簡易式を次のように求めた。

$$S_{jR} = S_{tj} \times S_{djR} \times K \cdots (3)$$

S_{tj} は静的無次元ばね係数で、式(4)と(5)で与えられる。一方、 S_{djR} は振動特性を表わし、式(6)~(9)で与えられる。 ω_g と ω_p は表層地盤の基本せん断波長及び縦波固有振動数である。式(3)の K は、拘束圧の不足などによる

dynamic spring coefficients K_{ij} ,

$$K_{xx} = G a [C_{u1} + \frac{G_s}{G} \delta s_{u1}]$$

$$K_{\psi\psi} = G a^3 [C_{\psi 1} + (\frac{Z_c}{a})^2 C_{u1} + \frac{G_s}{G} \delta s_{\psi 1} + \frac{G_s}{G} \delta (\frac{\delta^2}{3} + \frac{Z_c^2}{a^2} - \delta \frac{Z_c}{a}) s_{u1}] \quad (1)$$

$$K_{x\psi} = -G a [Z_c C_{u1} + \frac{G_s}{G} \delta (Z_c - \frac{1}{2} h) s_{u1}]$$

and dynamic damping coefficients C_{ij} ,

$$C_{xx} = \frac{G a}{\omega} [C_{u2} + \frac{G_s}{G} \delta s_{u2}]$$

$$C_{\psi\psi} = \frac{G a^3}{\omega} [C_{\psi 1} + (\frac{Z_c}{a})^2 C_{u2} + \frac{G_s}{G} \delta s_{\psi 2} + \frac{G_s}{G} \delta (\frac{\delta^2}{3} + \frac{Z_c^2}{a^2} - \delta \frac{Z_c}{a}) s_{u2}] \quad (2)$$

$$C_{x\psi} = -\frac{G a}{\omega} [Z_c C_{u2} + \frac{G_s}{G} \delta (Z_c - \frac{1}{2} h) s_{u2}]$$

in which $\delta = h/a$ is embedment ratio and $c_{ij}(i=u, \psi; j=1, 2)$ is nondimensional dynamic stiffness for base of foundation, s_{ij} for side wall of foundation.

$$S_{t0} = \left(\frac{-1.2}{\frac{1}{15} - 0.59} + 11 \right) \left(\frac{a}{H} + \frac{0.002}{\frac{1}{15} - 0.53} + 0.19 \right) \cdots (4)$$

$$S_{t\phi} = \left(\frac{-0.56}{\frac{1}{15} - 0.51} + 4.7 \right) \left(\frac{a}{H} + \frac{0.08}{\frac{1}{15} - 0.64} + 0.61 \right) \cdots (5)$$

$$(6) \quad 0 \leq \frac{\omega}{\omega_g} \leq 1 \quad S_{du1} = 1 - 0.9 \sqrt{\frac{a}{H}} \left(\frac{\omega}{\omega_g} \right)^3, \quad S_{du2} = 0.24 D_s^{0.2} \left(\frac{\omega}{\omega_g} \right)^6$$

$$(8) \quad 0 \leq \frac{\omega}{\omega_p} \leq 1 \quad S_{d\phi 1} = 1 - 0.9 \sqrt{\frac{a}{H}} \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^3, \quad S_{d\phi 2} = 0.41 \sqrt{D_s} \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^6$$

$$(7) \quad 1 \leq \frac{\omega}{\omega_g} \leq 5 \quad S_{du1} = \begin{cases} 1.25 - 0.9 \sqrt{\frac{a}{H}} - 0.25 \left(\frac{\omega}{\omega_g} \right), & A(0.3 \leq \frac{a}{H} \leq 1, 0.47 \leq \frac{1}{15} \leq \frac{1}{15} \leq 0.49) \\ 1 - 0.9 \sqrt{\frac{a}{H}}, & B(\text{その他}) \end{cases}$$

$$S_{du2} = \begin{cases} (0.3 + 1.2 \sqrt{\frac{a}{H}}) \left(\frac{\omega}{\omega_g} - 1 \right) + 0.24 D_s^{0.2}, & A \\ ((0.25 + \sqrt{\frac{a}{H}}) \left(\frac{\omega}{\omega_g} - 1 \right) + 0.24 D_s^{0.2}), & B \end{cases}$$

$$(9) \quad 1 \leq \frac{\omega}{\omega_p} \leq 5 \quad S_{d\phi 1} = 1 - 0.9 \sqrt{\frac{a}{H}}$$

$$S_{d\phi 2} = (0.02 + 1.5 \sqrt{\frac{a}{H}}) \left(\frac{\omega}{\omega_p} - 1 \right) + 0.41 \sqrt{D_s}$$

地表近傍の地盤と基礎側壁の不完全付着などの効果を近似的に表わす低減係数である。もちろ、 $K=1.0$ の場合は完全付着の場合を表わし、式(1)と(2)で与えられる動的復元力の評価式は通常の粘弾性地盤を想定した有根要素法の結果とよく一致した値を与えることが確かめられている²⁾。

3. 加振実験結果との比較検討

表-1のオ2列目に示すような半径0.68~2.82mの4つの埋設基礎の頂部水平加振実験から得られた基礎頂部の単位力当りの水平応答変位と式(1)と(2)を用いた計算値の比較を示すと、図-2~5のようになる。計算では、現地の弾性波探査から得られている弾性定数を直接使用して、式(3)の低減係数 $K=1/4 \sim 1/2$ を用いたが、図-2~5に示すように両者のよい一致が認められる。表-1は4つの実験値との比較結果をまとめたもので、6列目の値は地表レベルの基礎応答変位を根入れ深さで除したもので、基礎の擬相対回転角を表わす。この値は基礎側壁近傍の地盤変形率(歪)に関連する量と考えられるが、この値が $10^{-5} \sim 10^{-4}$ 程度では、 $K=1/4 \sim 1/2$ を使用すると、提案式は実験値とよく説明できようである。なお、実験結果は、それぞれ、土岐電三教授(京都大学)、日本建築学会、建物と地盤の相互作用に関する特別委員会(大表、大崎順孝博士清水建設)、川島一孝博士(建設省土木研究所)および柳信昭氏(日本鋼管(株))の御好意により提供いただいたもので、ここに記して感謝の意を表わす次第である。

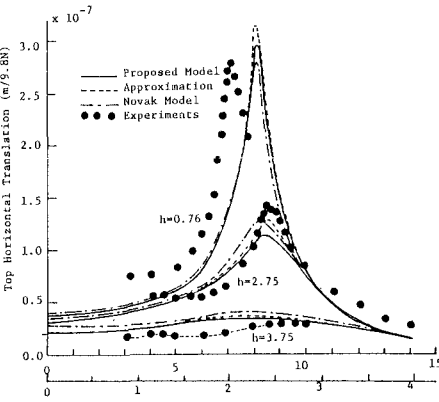


図-2 日本建築学会の実験結果と計算値の比較

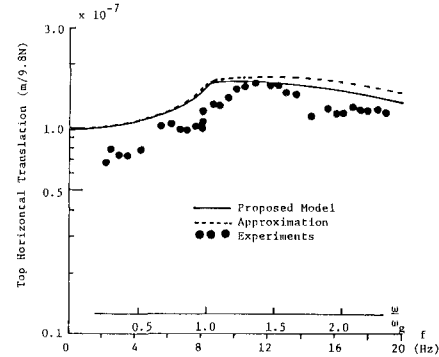


図-4 松山の実験結果と計算値の比較

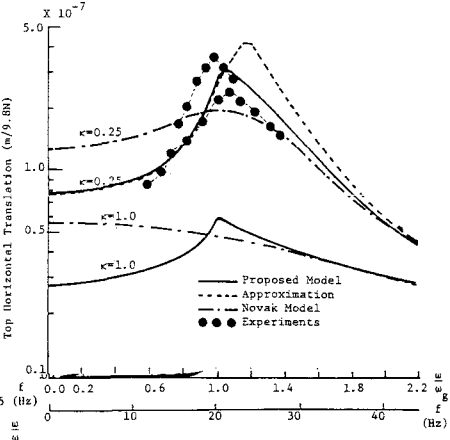


図-3 土岐の実験結果と計算値の比較

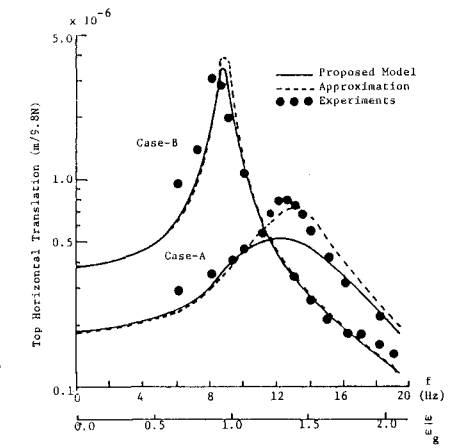


図-5 川島の実験結果と計算値の比較

表-1 4つの実験結果と計算値の比較表

case no	radius (m)	force* (N)	$\frac{f_{slComp}}{f_{slMeas}}$ (4)	$\frac{u_{TComp}}{u_{lMeas}}$ (5)	θ^{***} ($\times 10^{-5}$) (6)	K (7)
(1)	(2)	(3)				
4-1	0.68	1960-3920	1.04 (1.2)**	0.86 (1.1)	2.5-7.0	0.25
4-2	2.82	3920-7840	1.04-1.14 (1.04-1.14)	1.1-1.4 (1.1-1.4)	0.8-6.0	0.25
4-3	1.00	1274-2940	1.04-1.08 (1.02-1.05)	1.1-1.7 (0.82-1.4)	12-14	0.30
4-4	1.47	29400	-----	-----	15-27	0.33

* Exciting Force at First Resonant Frequency of Foundation
 ** By Approximate Model
 *** (Foundation Translation at Level of Ground Surface) / (Embedment Depth)

1) Kausel, E. and Roesset, J.M.: Dynamic Stiffness of Circular Foundations, Proc. of ASCE, Vol. 101, No. EM6, 1975 Dec.
 2) 原田、久保、片山: Dynamic Soil-Structure Interaction Analysis by CFM, 京大工学部技術研究所報告, Vol. 29, No. 5, 1981.