

地中円筒基礎の動的ばね係数、減衰係数の簡易式、および実験結果によるその検討

宮崎大学工学部 学生員・徳永 修一

宮崎大学工学部 学生員 三宅 淑正

宮崎大学工学部 正 員 原田 隆典

1. はじめに 構造物の動的耐震設計を行う時、基礎と地盤の動的相互作用の問題は重要な課題の一つである。この分野の研究は比較的早くから行なわれており、半無限弾性体上の基礎の振動に関する理論解は多いが、埋設基礎に関する理論解は少なく、理論解のままでは実用上困難な点が多い。本文では水平と回転の連成運動の教理モデルに用いられる動反力係数の理論解と実用的な簡易式にすることを試み、更に、起振機実験結果との比較により、この簡易式の有用性を検討したのでここに報告する。

2. 動的ばね係数、減衰係数の簡易式化 水平と回転の連成振動に対する地中円筒基礎の動的復元力は、 ω 、 ω 式で与えられる。ここに、 C_{ij} 、 S_{ij} は実数で、それぞれ水平と回転における基礎底面、及び基礎側面の無次元複素ばね係数であり、 C_{i1} 、 S_{i1} は地盤の剛性と、 C_{i2} 、 S_{i2} は減衰特性を表わす。基礎底面の動反力係数 C_{ij} には、半無限地盤から得られる近似解を用いるが、剛な基礎層が存在する場合には、基礎層の影響を考慮したKausel 5)の近似解を用いると下記に示すようになる。

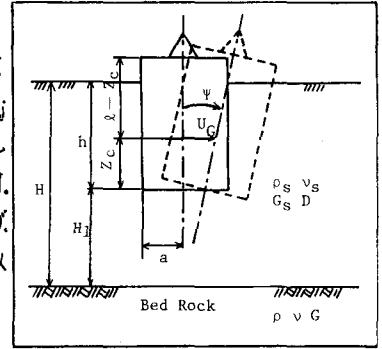


図-1

水平成分 $a/H_1 \leq 1$, $0 \leq a_0 \leq 2.0$

$$C_{u1} = \frac{8}{2-\nu} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{a}{H_1}\right)$$

$$C_{u2} = \begin{cases} 2.70 a_0 & \nu = 0 \\ 3.15 a_0 & \nu = 0.5 \end{cases}$$

回転成分 $a/H_1 \leq 1$, $0 \leq a_0 \leq 2.0$

$$C_{\psi 1} = \frac{8}{3(1-\nu)} \left(1 + \frac{1}{6} \frac{a}{H_1}\right)$$

$$C_{\psi 2} = 0.43 a_0$$

∴ ν 、 ν = ポアソン比、 $a_0 = \omega/\omega_s$: 無次元振動数

基礎側面の動反力係数 S_{ij} についての簡易式は原因

dynamic spring coefficients K_{ij} ,

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

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

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

and dynamic damping coefficients C_{ij} ,

$$C_{xx} = \frac{G}{\omega} \left[C_{u2} + \frac{G_s}{G} \delta S_{u2} \right]$$

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

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

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.

表-1 水平と回転の動反力係数の簡易式

	S T (静的ばね)		D Y ₁ (実数部)	D Y ₂ (虚数部)
水 平	$\left(\frac{-1.2}{\nu-0.59} + 1 \right) \left(\frac{a}{H} + \frac{0.002}{\nu-0.53+0.19} \right)$	$0 \leq \frac{\omega}{\omega_g} \leq 1$	$0.9(2D-1) \left(\frac{a}{H} \right)^2 \left(\frac{W}{W_g} \right)^3 + 1$	$0.5 \left(\frac{a}{H} \right)^{0.1} D^{0.4} \left(\frac{W}{W_g} \right)^5$
		$\frac{\omega}{\omega_g} \geq 1$	$0.8 \left(1 - \frac{a}{H} \right)^{1.7} + \frac{3 \left(\frac{a}{H} \right)^{0.8} (\nu-0.24)}{4 \sqrt{2-1}} - 0.7 \left(\frac{W}{W_g} - 1 \right) + 0.9(2D-1) \left(\frac{a}{H} \right)^2 + 1$	$1.2 \left(\frac{a}{H} \right)^{0.3} - 0.12 \left(64 \sqrt{7} \frac{a}{H} + 1 \right) \left(\frac{W}{W_g} - 1 \right) + 0.5 \left(\frac{a}{H} \right)^{0.1} D^{0.4}$
回 転	$\left(\frac{0.56}{\nu-0.51} + 4.7 \right) \left(\frac{a}{H} + \frac{0.008}{\nu-0.64+0.61} \right)$	$0 \leq \frac{\omega}{\omega_g} \leq 1$	$\frac{1}{1+D} \left(\frac{0.33 \frac{a}{H} - 0.011}{\sqrt{2.8 - 0.33 \frac{a}{H} + 0.14}} \right) \left(\frac{W}{W_g} \right)^{2.3} + 1$	$0.5(1-6\nu^3) D^{0.7} \left(\frac{W}{W_g} \right)^6$
		$\frac{\omega}{\omega_g} \geq 1$	$(1+D) \left(\frac{a}{H} - 0.1 \right)^4 + 0.04 \left(\frac{a}{H} - 2 \right) \left(\frac{W}{W_g} - 1 \right) + \frac{1}{1+D} \left(\frac{0.33 \frac{a}{H} - 0.011}{\sqrt{2.8 - 0.33 \frac{a}{H} + 0.14}} \right) + 1$	$4 \left(\frac{a}{H} \right)^{0.1} - 0.72 \left(1 + 10 \nu^5 \right) \left(\frac{W}{W_g} - 1 \right) + 0.5(1-6\nu^3) D^{0.7}$
備 考	$0.05 \leq \frac{a}{H} \leq 1.0$	$0.01 \leq D \leq 0.1$	$0.2 \leq \nu \leq 0.49$	

らの解を近似して、表-1に与えられる。表-1の ST, DY_1, DY_2 より S_{ij} は、

$$S_{ij} = ST \cdot (DY_1 + DY_2)$$

で与えられる。表-1の各パラメータは図-1に示すが、 ω = 振動数、 ω_g = 表層地盤のせん断1次振動数、 D = 地盤材料の履歴減衰定数である。

この S_{ij} の近似解と原田の解と比較したものを図-2, 3に

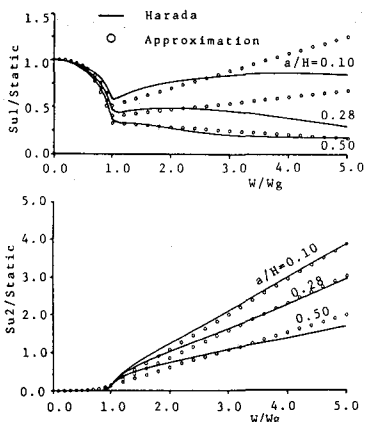


図-2 S_{u1} と S_{u2} の振動数特性および a/H による変化

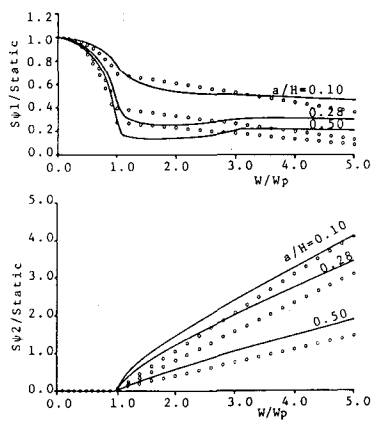


図-3 S_{p1} と S_{p2} の振動数特性および a/H による変化

示す。図-2は、 S_{u1} と S_{u2} の振動数および a/H による変化の様子を示したもので、表層地盤のせん断1次振動数 ω_g ($\omega_g = \pi v_s / 2H$)より低い振動数範囲ではほぼ一致していることがわかる。また、図-3に示した S_{p1} 、 S_{p2} の場合も表層地盤の基本上下振動数 ω_p ($\omega_p = \pi v_p / 2H = (v_s/v_p)\omega_g \approx 3.0\omega_g$)の前後において図-2と同様の結果がみられる。

3. 実験結果との比較検討

実験データは

表-2 近似解法に適用した地盤の変形特性

建設省土木研究所、川島博士の御好意により提供されたものを用いるが以下にその概要を述べる²⁾。使用した地中円筒基礎は、外径2.0

	$G = G_s$	$\rho = \rho_s$	$\nu = \nu_s$	D	H
単位	K_g / m^2	K_g / m^3	—	—	m
数値	2327130.0	137.0	0.45	0.07	3.5

内径1.0m、高さ2.0m(重量12t)であり、根入れ深さは1.5mである。加振実験は、この円筒基礎の頂部に起振機を設置した場合をA試験とし、この上部にさらに外径と内径が同じ寸法で、高さ1.0m、重量6.0tの上載マスを剛結して、その頂部に起振機を設置した場合をB試験とする2つのケースについて行われた。また、円筒基礎を直接支持する表層地盤は、関東ローム層(約3.0m)であり、各種の土質調査が行われており、その結果から近似解法に適用する値を表-2のように決定した。

起振機実験結果との比較は図-4に示す。破線は原田の解を、実線は表-1に示した近似解を用いたものである。3者は2つのケースともよく一致を示している。以上の結果から、本論文で求められた動的ばね係数、減衰係数の近似式は実用上かなりの有用性を示したものと考えられるが、今後、実測値との対応をさらに近似式の簡略化を継続して、実施する予定である。

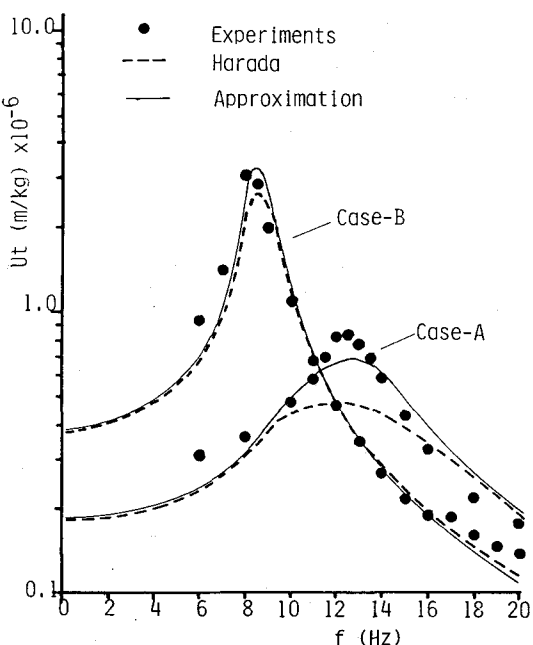


図-4 起振実験結果との比較

参考文献

- 1) 原田隆典, 久保慶三郎, 片山恒雄; “表層地盤の動反力係数とその埋設剛体基礎の動的復元力評価への応用”, 第15回地震工学研究発表会論文集, 1979年7月。
- 2) 建設省土木研究所地震防災部振動研究室; “根入れのある円筒基礎の加振実験”, 土木研究所資料, 1935号, 昭和56年3月。