

中央大学大学院

学生員 〇廣瀬利光

東京大学大学院

学生員 栗田隆雄

東京大学生産技術研究所

正員 片山恒雄

1. まえがき

ケーソン基礎や杭基礎などを有する構造物の耐震設計では、地盤の性質と基礎の形状から動的解析に必要なばね特性と減衰特性を見積る必要があり、特定の実験から地盤の普遍的な性質を抽出することが重要となる。従って、設計に役立つ係数を求めるには、何らかの仮定によって数理モデルを構成し、この特定のモデルと合わせて実験値を解釈することが不可欠となる。一般に、実験値と理論値の比較(図-1)は、応答曲線

や複素ばね係数の形で行われる。この際、応答曲線や複素ばね係数には、基礎の質量や寸法の効果が含まれる。数理モデルでは、ある仮定の基にいわゆる動的地盤反力係数のような無次元複素ばね係数(C_{ij}, S_{ij})を求め、この係数に基礎の寸法効果を考慮して複素ばね係数(K_{ij}, C_{ij})が求まる(式(2),(3)参照)。従って、この無次元複素ばね係数(C_{ij}, S_{ij})を特定の実験から直接求め、理論値との比較ができれば、実際の現象と数理モデルの間の隔たりを多少とも解消できよう。本小文では、基礎頂部の水平加振実験から得られる振幅・位相特性を用いて、地盤の無次元複素ばね係数を評価する方法を示す。更に、本方法により得られた解と理論解との比較を通して、基礎の動的復元力特性および数理モデルの検討を行なう。土波うけは、実験から複素ばね係数を算定しているが、本方法の特長は、2自由度モデルに対して、基礎頂部

変数	M, S, R	S, R	R
実験値	応答曲線	複素ばね係数	無次元複素ばね係数
比較	↑ 比較	↑ 比較	↑ 比較
理論値	応答曲線	複素ばね係数	無次元複素ばね係数

注 M:質量 S:寸法 R:無次元複素ばね係数

図-1 理論値と実験値の比較

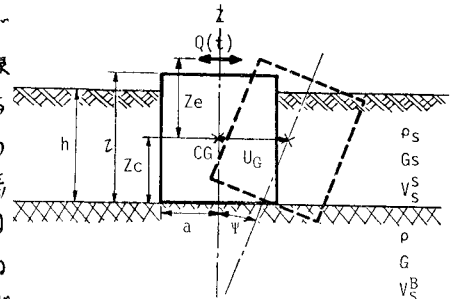


図-2 埋入型基礎の数理モデル

運動方程式 剛体2自由度モデル

$$\begin{bmatrix} K_{xx} - m_G \omega^2 + i \omega C_{xx} & K_{x\psi} + i \omega C_{x\psi} \\ K_{x\psi} + i \omega C_{x\psi} & K_{\psi\psi} - J_G \omega^2 + i \omega C_{\psi\psi} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_G \\ \psi \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_0 \\ M_0 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

where dynamic spring coefficients K_{ij} ,

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

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

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

and dynamic damping coefficients C_{ij} ,

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

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

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

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.

部水平加振実験データのみを用いて、基礎の質量や寸法の効果を含まない無次元複素ばね係数を求める点にある。

2. 評価方法の概説

水平と回転の連成振動(図-2)の運動方程式とその複素ばね係数を、(1)~(3)式に示す。

式(2)、(3)において、 C_{ij} と S_{ij} は、それぞれ基礎底面と基礎側面の無次元複素ばね係数を表わし、共に振動数の関

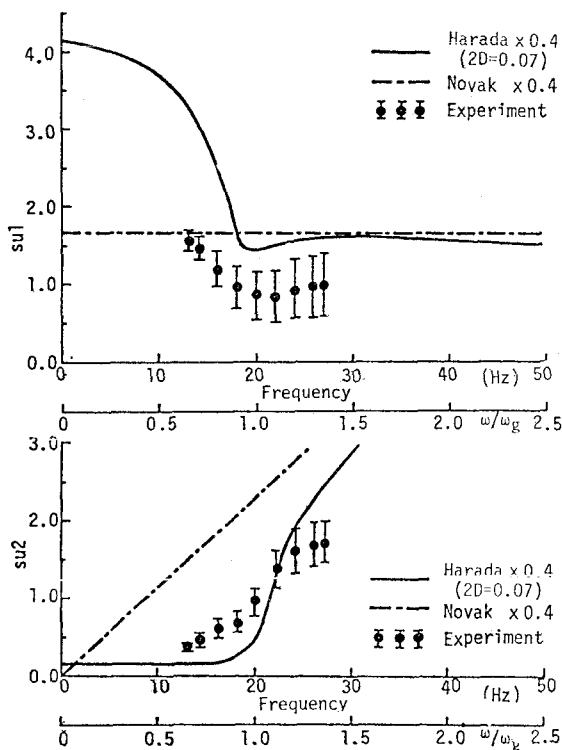


図-3 実験による Su_1, Su_2 と理論解の比較

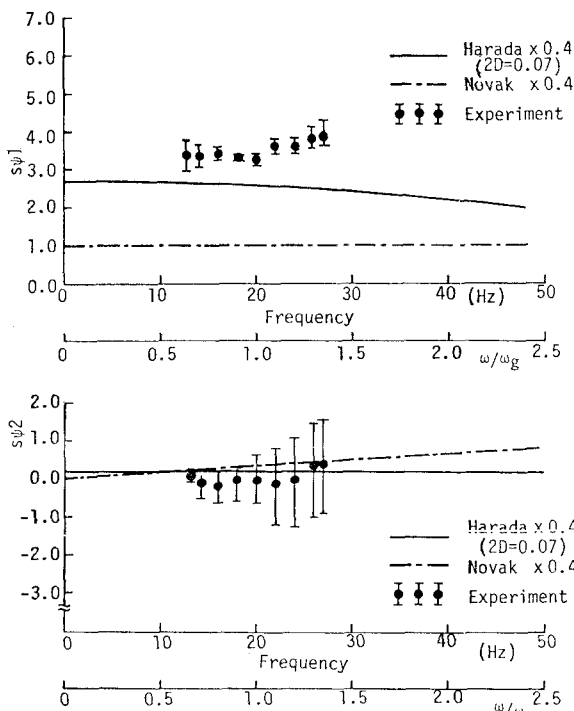


図-4 実験による Sp_1, Sp_2 と理論解の比較

数である。基礎底面の C_{ij} に関しては、理論的研究やその検証例が多いため従来の理論値を用いる。基礎の質量と寸法は既知であるから、地盤定数として弾性波速度による値を使えば、運動方程式の未知量は、基礎周囲の S_{ij} に関する4つとなる。一応、起振実験から水平と回転に関する振幅、位相特性の4つの情報が得られるから、結局、4つの未知量 S_{ij} は、式(1)を解いて得られる。

3. 結果とその考察 基礎底面地盤の剛性率($V_s=200\sim300\%$)を補助変数として変化させた場合の結果を図-3～4に示す。

ここで、表層地盤の物理定数は、測定精度を考慮して $V_s=16\%$ と固定した。同様に、実験値と破線が既往の理論解を示す。そとの理論解は、実験値より大きいので4割に削減した値を示した。4割に削減した理論曲線と実験値は、比較的良い一致を示す(図-3,4)。更に、基礎頂部の応答曲線による比較を、図-5に示した。図-3～5より次のことが言える。(1)本方法は比較的変形した解を導き、理論解の約1/2の値との対応が良い。(2)Novakの解は減衰を過大に評価しており、原田の解の方がより現象に近い。

なお、貴重な実験データを提供して下さい、京都大学防災研究所、土岐憲三教授に感謝の意を表わす次第である。参考文献

- (1)土岐,小松:井筒基礎の地震応答解析に関する研究 土木学会論文報告集, No.281, 1976-1 pp.29~40
- (2)原田,久保,片山: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回地震工学研究会
- (3)Beredugo, Y.O. and M.Novak: Coupled Horizontal and Rocking Vibration of Embedded Footings Canadian Geotechnical Journal, vol.9, 1972, pp.477~497

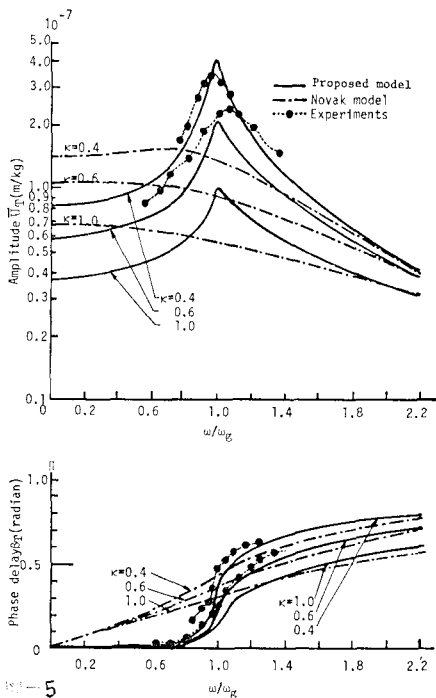


図-5 Comparison of theoretical (Novak and Presented models) and measured response curves for top horizontal translation in coupled motion of embedded circular foundation ($v=0.42, G=0.11848 \times 10^4 \text{ kg/m}^2, G_0=0.52240 \times 10^4 \text{ kg/m}^2, \rho_p=200.0 \text{ sec}^2/\text{kg} \cdot \text{m}^3, a=0.685 \text{ m}, H=2.0 \text{ m}, Z_0=1.24 \text{ m}, Z_0=1.34 \text{ m}, \tan \phi=0.07, m_g=847.4 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}, \omega_g=571.3 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}, C_{ij1}=5.1, C_{ij2}=3.1, C_{ij3}=2.5, C_{ij4}=0.43$)