

1. まえがき

基礎の根入れ効果の評価法については未だ確立されていないのが現状である。本報告は、根入れのある場合とない場合の剛体（コンクリート製直方体）について実施した起振実験結果と根入れの浅い直接基礎の基礎・地盤系としての固有振動数についての若干の考察を述べたものである。

2. 剛体の起振実験から得られた根入れ効果

起振実験で使用した剛体諸元が表-1に示されている。本実験では、各剛体とも、根入れした状態で起振実験を行なった後、剛体周囲地盤を剛体底面レベルまで幅約1mで掘削して縁切りした状態（「根入れなしの状態」）でも起振実験を実施した。図-1に根入れの有無による剛体上面応答水平変位の共振曲線の例が、図-2に起振力に対する位相遅れ角特性の例が示されている。図-3には、これらの応答特性から根入れ部の地盤ばね係数を求めるために用いたモデル化が示されている。根入れ部の水平・回転ばねは一樣に分布していると仮定しているため、単位根入れ厚さ当りのばね係数をそれぞれ k_{hs} 、 k_{rs} とすれば、根入れ部の水平ばね係数 K_{hs} 、回転ばね係数 K_{rs} は、それぞれ次式で定義される。

項目	寸法	質量	重心位置	慣性モーメント	固有振動数	実験値	計算値
1	401	799	98	39492	1680630	50.3	
2	199	407	97	18989	77528	49.9	
3	103	201	96	4899	9706	53.4	

表-1 実験使用剛体諸元

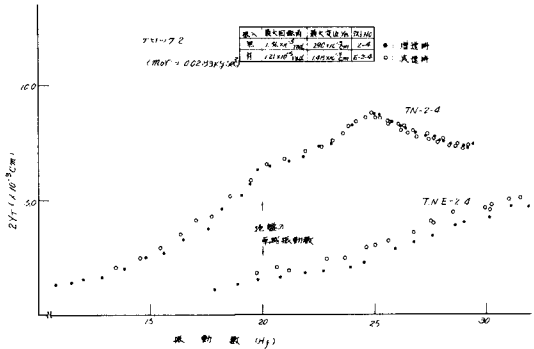


図-1 根入れ有の場合と無の場合の共振曲線の比較

このモデルに従って底面に作用するばね係数（根入れのない場合のばね係数に相当）に対する根入れ部のばね係数の比を求めると次式となる。

$$\alpha = \frac{K_{hs}}{K_H} = \frac{m \omega_n^2 \cos \phi + (\frac{\omega_n^2}{\omega_{n0}^2} - 1) U_0 + S \theta_0}{U_0 - (S - \frac{L}{2}) \theta_0} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{K_{rs}}{K_R} = \frac{m \omega_n^2 \cos \phi + (\frac{\omega_n^2}{\omega_{n0}^2} - 1) U_0 + S \theta_0}{\frac{\omega_n^2}{\omega_{n0}^2} (S - \frac{L}{2}) U_0 - (\frac{L^2}{3} - LS + S^2) \theta_0} \quad (2)$$

ここに、 K_H, K_R : それぞれ底面に作用する水平・回転ばね係数、 M : 振動質量（剛体+起振機）、 I_x : 重心軸回り質量慣性モーメント（剛体+起振機）、 S : 重心・底面間距離、 $\omega_n = 2\pi f_n = \sqrt{\frac{K_H}{M}}$ 、 $\omega_{n0} = \sqrt{\frac{K_H}{M_0}}$ 、 ϕ : 起振機偏心モーメント、 U_0 : 重心位置応答水平変位、 θ_0 : 応答回転角、 ϕ : 応答位相遅れ角、 ω : 起振機振動数

上式の右辺で、 K_H, K_R は根入れなしの起振実験から既知量となり、他の値も剛体諸元および実験測定値として既知量となるので、 α, β 値は式(1)から求まる。図-4にはそのようにして求めた α, β 〜加振振動数関係が示されている。同図中には円形断面に対して求められたBaranovの解も併記されている。

図-5には、3種の剛体から得られた α, β が等価半径 r_e （ $r_e = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ ）に対する根入れ深さ h の比に対して示されている。この図

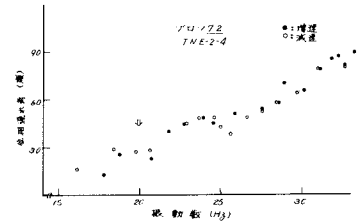


図-2 位相遅れ角～振動数関係

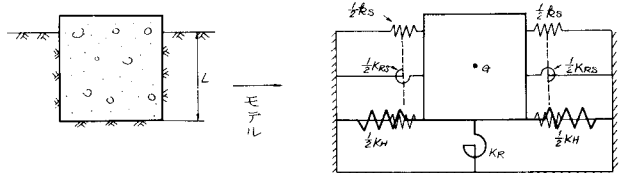


図-3 浅い根入れ基礎のモデル

から、 α, β は互いに共にならずとも大きくならなかつたこと、Baranovの解よりは大きな値を示すことがわかる。

3. 浅い基礎の固有振動数

図3のモデルに従って基礎・地盤系としての固有振動数を求めると次式が得られる。

$$\left(\frac{f_0}{f_H}\right)^2 = \frac{1}{2} \left(A \mp \sqrt{A^2 - 4B} \right) \quad \dots (2)$$

$$\text{ここに、} A = \frac{1}{L^2} \left(E^2(1+\beta) + (G^2 + I_0^2)(1+\alpha) + \alpha L \left(\frac{1}{4} - S \right) \right)$$

$$B = \frac{1}{L^2} \left[E^2(1+\alpha)(1+\beta) + \frac{1}{3} \alpha^2 (1 + \frac{1}{4} \alpha) \right]$$

f_0 の特性を調べるため次の仮定を設ける。(i)基礎は均質材料からなる立方体(密度 ρ 、幅 a 、奥行 b 、高さ c)、(ii)基礎高さ c と根入れ長 h は等しい、(iii) K_H, K_R はBarkanの式から求める、(iv) α, β としてBaranovの解を参考にする。この仮定のもとに E^2, I_0^2 を求めると次式となる。

$$E^2 = \frac{G_H}{\alpha R} \frac{2-L}{4(1-L)} T_0^2, \quad I_0^2 = \frac{1}{12} (a^2 + c^2) \quad \dots (3)$$

ここに、 G_H, G_R ：それぞれ K_H, K_R の矩形接地面に対する円形接地面との値の比、 L ：ポアソン比

すなわち、 A, B は地盤弾性(例えば波速 V_s)の影響を受けないこと、 f_H は V_s に比例するので、 f_0 は V_s と線形関係にあることがわかる。

根入れの浅い基礎の場合、近似的に次式が成立する。

$$\frac{\partial^2 c}{\partial a^2 \partial c} \ll 1, \quad \frac{2c^2}{a^2 + c^2} \frac{\alpha}{1+\alpha} \ll 1, \quad \frac{4c^2}{a^2 + c^2} \frac{\alpha(1+\frac{1}{4}\alpha)}{(1+\alpha)^2} \ll 1 \quad \dots (4)$$

式(3)(4)の関係を用いて式(2)を整理すると、 $G_H \approx 1$ から次式が成立する。

$$\left(\frac{f_0}{f_H}\right)^2 = 1 + \alpha \quad \dots (5)$$

この式は、根入れされた基礎が水平振動のみの1自由度振動をする場合に相当する。

$\alpha \propto \frac{c}{h}, f_H \propto V_s \left(\frac{1}{cA_0} \right)^{\frac{1}{2}}$ が成立するので式(5)に代入し整理すると次式が得られる。

$$f_0 = K_1 V_s \sqrt{\frac{1}{cA_0} + \frac{K_2}{A_0}} \quad \dots (6)$$

$$\text{ここに、} K_1 = \left(\frac{1}{2\pi \rho (2-L)} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad K_2 = \frac{G_H \sqrt{A_0}}{K_H}, \quad \rho: \text{地盤密度}, \quad A_0 = ab.$$

ここで提案した式(2)(5)を図2の起振実験結果に適用したところ、Baranovの解を用いると32Hz、その2倍の値を用いると38Hz、式(5)の場合は34Hzとなり実験値と良好一致を示している。

本報告では図示していないが、式(2)(5)を用いて f_0 の基礎根入れ長・幅などの依存性を調べたところ次のような結果が得られた。(i)根入れ(=基礎高さ)と共に f_0 は小さくなる、(ii)底面積と共に f_0 は小さくなる、(iii)式(2)の近似式である式(5)で f_0 の推定は可能である、(iv)ある底面積以上になると根入れ効果の評価が f_0 に与える影響は少ない。この(i)(ii)の結果は、式(6)から理解できる特性である。

4. 結論

柔な構造物を支える基礎の場合、その f_0 は、構造物の固有振動数と離れたところにあることが望ましい。したがって、上部構造物の耐震性の面からは、基礎の根入れや幅が f_0 の低下に結びつくことを考慮すると常に耐震的に有利であるとは言えないことがわかった。 f_0 の推定式として式(2)(5)の使用が可能である。今後はこの式がどの程度の基礎寸法・根入れ長まで適用できるかを検討する所存である。

文献(1): Y.O.Beredugo, M.Novak: Coupled Horizontal and Rocking Vibration of Embedded Footing, Canadian Geotechnical Journal, 9, 1972 pp.497~497

(2): D.D.Barkan: Dynamics of Bases and Foundations, McGRAW-HILL, 1962, pp.30~40.

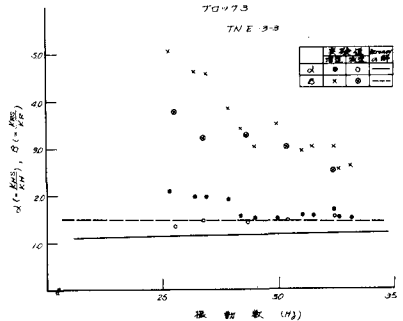
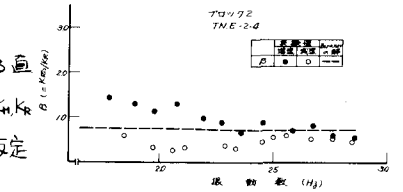
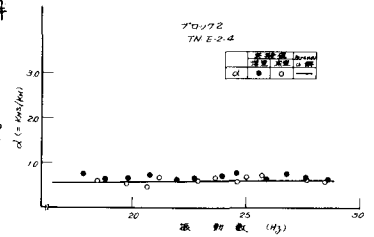


図-4 $\alpha, \beta \sim$ 振動数関係

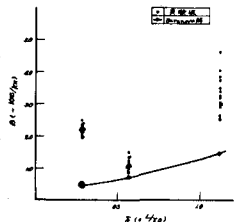
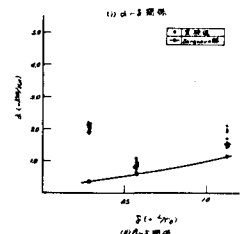


図-5 $\alpha, \beta \sim \delta$ 関係