

弾塑性地盤上の構造物基礎の浮上り振動について

京大工学部 正員 工博 後藤尚男
 京大工学部 正員 工修 亀田弘行
 東京都 正員 工修 富岡 紘

1. まえがき

一般にケーソン基礎のような巨大で剛な構造物は地震力を受けると基礎地盤の引張抵抗があまり期待できないから、基礎底面の一端が浮上るロッキング振動を行なうものと考えられる。ここでは基礎地盤を弾塑性体と仮定してこの地盤上における構造物基礎の浮上り振動の機構をモデル化し、地震応答について解析しようとするものである。

2. ロッキング振動の解析

構造物基礎の一例としてケーソン基礎を考えて水平変位、鉛直変位、および回転についての運動方程式は3つの連立微分方程式で表わされるが、いま底面中央の水平変位を零と考えると図-1のようなモデルとなり、式(1)のような2自由度の運動方程式となる。

$$\left. \begin{aligned} (I + m h_g^2) \ddot{\theta} + C_r \dot{\theta} + \sum_{i=1}^N r_i f_i(y_i) &= -m h_g \ddot{z}(t) \\ m \ddot{y} + C_v \dot{y} + \sum_{i=1}^N f_i(y_i) - m g &= m \ddot{v}(t) \end{aligned} \right\} (1)$$

ここに、 I は重心まわりの慣性モーメント、 m はケーソンの質量、 h_g は底面から重心までの高さ、 θ は回転角、 C_r は回転に対する減衰係数、 r_i は底面中心から i 番目のバネまでの距離、 f_i は i 番目のバネの復元力、 y_i は i 番目のバネの鉛直変位、 $\ddot{z}$ は外力の水平加速度、 N はバネの総数、 y は鉛直変位、 C_v は鉛直変位に対する減衰係数、 $\ddot{v}$ は外力の鉛直加速度である。

式(1)を無次元化するとつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} \eta'' + \beta_r \eta' + \alpha_r \sum_{i=1}^N \phi_i(\eta_i) - \alpha_r = \alpha_r \delta_{rn}(t) \\ \theta'' + \beta_\theta \theta' + \alpha_\theta \sum_{i=1}^N \rho_i \phi_i(\eta_i) = -\lambda_\theta \delta_{rn}(t) \end{aligned} \right\} (2)$$

ここに、 $\eta = \frac{y}{y_g}$, $\alpha_r = \frac{T_n^2 g}{y_g}$, $\beta_r = 2 h_g \omega_r T_n = \frac{T_n C_v}{m}$, $\alpha_\theta = \frac{B g T_n^2}{r_g^2}$, $\beta_\theta = 2 h_g \omega_\theta T_n = \frac{T_n C_r}{m r_g^2}$, $r_g^2 = \frac{I}{m} + h_g^2$, $\lambda_\theta = \frac{h_g g T_n^2}{r_g^2}$, $\phi_i = \frac{f_i(y_i)}{m g}$, $\rho_i = \frac{2 r_i}{B}$, $\delta_{rn} = \frac{\ddot{v}}{g}$, $\delta_{rn} = \frac{\ddot{z}}{g}$, $T_n = \frac{1}{\omega}$ であり、また y_g は降伏変位、 T_n は非減衰固有周期、 ω_r は減衰定数(鉛直変位)、 ω_θ は減衰定数(回転)、 ω_r は固有円振動数(鉛直変位)、 ω_θ は固有円振動数(回転)、 B は底面幅である。

つぎに各バネの復元力曲線は履歴特性を有する Bi-linear な曲線であると仮定すると、バネの引張抵抗を無視した復元力曲線は図-2 のようになる。

ここに y_{rn} は残留変位、 y_0 は除荷されるときのバネの変位、 f^* は降伏時の復元力である。またここではすべてのバネについて f^* は同一値をとるものとする。

図-2 よりバネの変位と復元力との関係を式で表わすと、

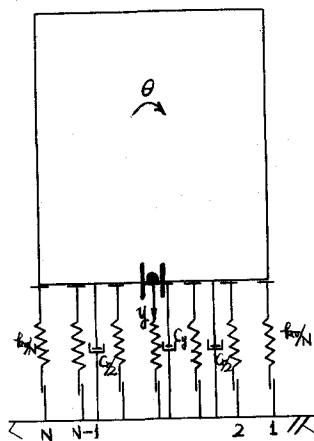


図-1

$$f(y_i) = \frac{k}{N} \{ (1-n)y_i \pm ne(y_i \mp y_0) \} \quad (3)$$

となる。ここに、 n は弾性域のときに0、塑性域のときに ne である。

したがって数値計算を行なうには式(3)を無次元化して式(2)に代入すればよい。

3. 数値計算例

一例としてつぎのような諸元を有するケーソン基礎について弾性反力地盤をI、弾塑性反力地盤をIIとしてつぎのデータをもとにして計算を行なった。

[ケーソン基礎] $B = 10\text{ m}$, $L = 10\text{ m}$,

$H = 20\text{ m}$, $W = 4.6 \times 10^3\text{ t}$

[地盤 I] $E = 450 \times 10^4\text{ t/m}^2$, $k_0 = 253 \times 10^5\text{ t/m}$,

$y_g = 9.89\text{ cm}$, $N = 7$, $n = 0.95$, $f_y = 0.10$

$f_0 = 0.10$

[地盤 II] $E = 450 \times 10^4\text{ t/m}^2$, $k_0 = 253 \times 10^5\text{ t/m}$,

$y_g = 2.19\text{ cm}$, $N = 7$, $n = 0.75$, $f_y = 0.10$

$f_0 = 0.10$

入力としては矩形1波および実地震記録(Taft, 1952)を用いたが、いま矩形1波を入力としたときの底面端点の変位応答およびロッキング角の応答を示すと図-3、図-4のようになる。A-Iの場合基礎地盤が降伏して沈下するので浮上り量が直接わがらないが、A-IIの場合においては基礎の一部が浮上る状態が明確にわかる。

4. おまへ

応答結果からおよそつぎのことがわかった。すなわち構造物基礎の浮上りは基礎地盤が硬く反力が弾性反力状態を示す場合の方が大きく表われるが、ここでの計算例ではTaft地震のような中程度の強さの地震力によっては地盤の硬軟にかかわらず浮上りを生じないようである。

今後構造物のモデルを一般化することによって浮上り振動のより一般的な性状について研究されなければならぬと思われる。

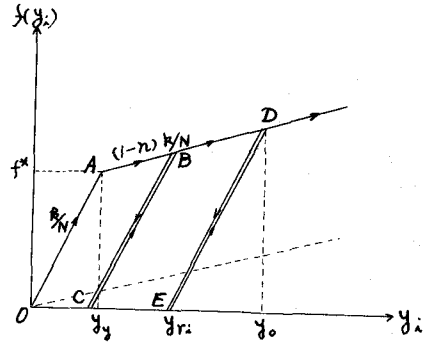


図-2 復元力曲線

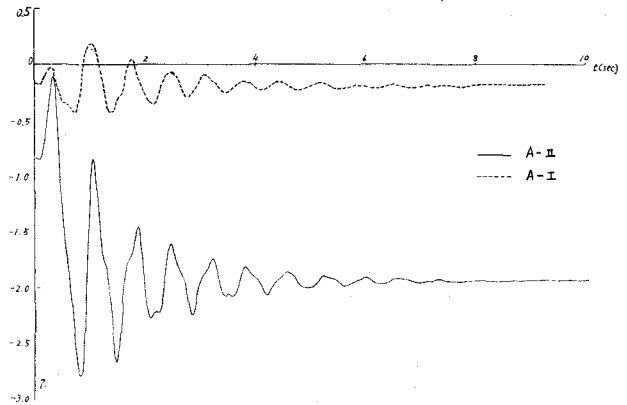


図-3 底面端点の変位応答

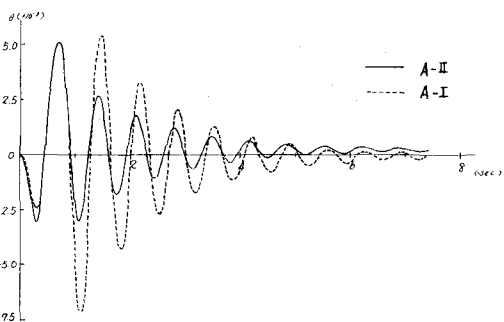


図-4 ロッキング角の応答