

岡山大学 正員 竹宮宏和
○岡山市 正員 奥国長一郎

1. まえがき 本研究は、根入れのあるケーソン基礎構造物の地震応答解析を行なったものである。解析モデルは図1に示すように、ケーソン基礎構造物を剛体とみなして並進と回転を示す2自由度系とした。従来、地盤の影響はインピーダンスとしてバネ、ダッシュポットで置換されるが、地盤振動効果は入力に含めている。今回は、地盤反力算定に地盤振動を考慮してこの妥当性を調べた。

2. 解析手法 地盤-基礎構造物系の運動方程式は図1を参照して、ケーソン基礎がその底面で $u_g(t)$ の地動を受けたとき、その重心の水平変位 $U(t)$ と回転角 $\psi(t)$ とすると

$$m\ddot{U}(t) = Q(t) - R_x(t) - N_x(t) \quad (1)$$

$$J_G\ddot{\psi}(t) = M(t) - R_\psi(t) - N_\psi(t) \quad (2)$$

ただし m ; ケーソンの質量 J_G ; ケーソンの重心回りの慣性回転モーメント $R_x(t)$; ケーソン底面に作用する水平反力 $R_\psi(t)$; ケーソンの重心に関する底面の反力モーメント $N_x(t)$; ケーソン側面に作用する水平反力 $N_\psi(t)$; ケーソンの重心に関する側面の反力モーメント $Q(t)$, $M(t)$; 上部構造物による加振力、加振モーメント

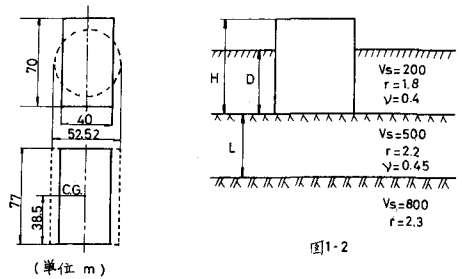


図1-1 地震応答解析に用いたケーソンおよびそれと等価な剛形ケーソン

H=77.0(m)
L=50.0(m)
D=(1, 1/2, 1/3)H

本研究では、地盤の反力係数はケーソン基礎側面について¹⁾は Beredugo と Novak の式を用いる。

$$\text{並進に対して} \quad K_{HH} = G_s(S_{u1} + iS_{u2}) \quad S_{u1} = 4.10 \quad S_{u2} = 10.60$$

$$\text{回転に対して} \quad K_{\psi\psi} = G_s r^2(S_{\psi 1} + iS_{\psi 2}) \quad S_{\psi 1} = 2.50 \quad S_{\psi 2} = 1.80$$

ただし G_s ; 表層地盤のせん断弾性係数 r ; ケーソン基礎の半径 S_{u1} , S_{u2} ; ケーソン側面の動的地盤係数 $S_{\psi 1}$, $S_{\psi 2}$; 減衰定数 $i = \sqrt{-1}$

一方、ケーソン基礎底面について²⁾は Veletsos と Vrbic の式を近似的に採用する。

$$\text{並進に対して} \quad K_{vv} = K_x(k_x + i a_0 C_x) \\ K_x = 8Gr/(2-\nu) \quad k_x = 1 \quad C_x = \alpha_1 = 0.60$$

$$\text{回転に対して} \quad K_{\psi\psi} = K_\theta(k_\theta + i a_0 C_\theta) \\ K_\theta = 8Gr^3/3(1-\nu) \quad k_\theta = 1 - \beta_1(\beta_2 a_0^2 / (1 + (\beta_2 a_0^2)^2)) - \beta_3 a_0^2 \quad C_\theta = \beta_1 \beta_2 (\beta_2 a_0^2 / (1 + (\beta_2 a_0^2)^2))$$

ただし K_x , K_θ ; 静的地盤剛性 k_x , k_θ , C_x , C_θ ; ポアソン比 ν による無次元関数 θ ; 第2層の土のせん断弾性係数 G_s ; 無次元振動数 $a_0 = \omega r / V_s$ ω ; 振動数 V_s ; 第2層の土のせん断速度 $\beta_1 = 0.45$ $\beta_2 = 0.80$ $\beta_3 = 0.023$ したがって、地盤反力は次式のように表わされる。

$$R_x(t) = K_{vv} \{U(t) - z_c \psi(t) - u_g(t)\}$$

$$R_\psi(t) = K_{\psi\psi} \psi(t) - z_c K_{vv} U(t) - z_c \psi(t) - u_g(t)$$

$$N_x(t) = \int_{-z_c}^{P-z_c} K_{HH} \{U(t) + z\psi(t) - u_s(z,t)\} dz = K_{HH} D [U(t) + (\frac{P}{2} - z_c) \psi(t)] - K_{HH} \int_{z_c}^{P-z_c} u_s(z,t) dz$$

$$N_\psi(t) = \int_{-z_c}^{P-z_c} K_{\psi\psi} \psi(t) dz + \int_{z_c}^{P-z_c} K_{HH} \{U(t) + z\psi(t) - u_s(z,t)\} z dz = K_{\psi\psi} D \psi(t) + [(\frac{P}{2} - z_c) U(t) + (\frac{P^2}{3} - Pz_c + z_c^2) \psi(t)] K_{HH} D - K_{HH} \int_{z_c}^{P-z_c} u_s(z,t) z dz$$

ただし $U_0(t)$; ケーソン底面における地盤変位 $U_0(z, t)$; 表層地盤の変位 Z_c ; ケーソン基礎の重心の高さ
 上式中の地盤変位 $U_0(z, t)$ は、地盤を一次元せん断柱モデルとし伝達マトリックス法³⁾により解析した。調和振動時
 には式(1), (2)は次式となる。

$$\begin{Bmatrix} U \\ \Psi \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} K_{VV} + DK_{HH} - M\omega^2 & -Z_c K_{VV} + D(\frac{P}{2} - Z_c) K_{HH} \\ -Z_c K_{VV} + D(\frac{P}{2} - Z_c) K_{HH} & K_{HH} + Z_c^2 K_{VV} + DK_{\theta\theta} + D(\frac{P^2}{3} - DZ_c + Z_c^2) K_{HH} - J_H \omega^2 \end{Bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} D_0 + 2EK_{VV} \cos kD + 2EK_{HH} \sin kD / k \\ M_0 - 2EZ_c K_{VV} \cos kD + 2EK_{HH}(1 - \cos kD - kZ_c \sin kD) / k^2 \end{Bmatrix}$$

あるいは $\{Y(\omega)\} = [H(\omega)]^{-1} \{Z(\omega)\}$

ここで、 Z は基礎入力波に対する地表面加速度のフーリエ変換を示す。そして、応答計算は上式で各振動数
 について求めた値を逆フーリエ変換して時刻歴応答にした。フーリエ変換および逆フーリエ変換の演算には、高
 速フーリエ変換(FFT)を使用した。以上の地震入力の考え方をモデル1と呼ぶ。従来、剛体基礎に対する入
 力の把握の仕方は、剛体の重心の位置あるいは地表面での
 地盤加速度を採っている。これをモデル2と称する。この $\{X(\omega)\} = \begin{Bmatrix} D_0 + 2EK_{VV} \cos k(D - Z_c) + 2EDK_{HH} \cos k(D - Z_c) \\ M_0 - 2EZ_c K_{VV} \cos k(D - Z_c) + 2ED(\frac{P}{2} - Z_c) K_{HH} \cos k(D - Z_c) \end{Bmatrix}$
 ときの外力項は右式となる。

3. 解析結果 数値計算は、図1に示す明石海峡大橋の基礎構造物⁴⁾について根入れ深さ D/H をパラメータと
 して行なった。図2に $D/H = 1, 1/3$ の場合の応答倍率を示す。これから、 $D/H = 1$ では応答ピークは地盤振動の影響
 によるものであり、 $D/H = 1/3$ では構造物自体の振動特性によることが判る。しかも、根入れのあるケーソ
 ン基礎構造物は、その深さが深くなるにしたがって周辺の地盤の影響が大きくなることが判る。モデル1とモデ
 ル2の差は、並進よりも回転に大きく現われている。表1は入力波、EL CENTRO 1940' NS に対する最大加速度
 応答値を掲げたもので、これより、モデル2の入力の仕方は根入れが深いときは良い近似となっているが、根入
 れが浅いときはモデル2の考え方は入力を過大評価することになる。

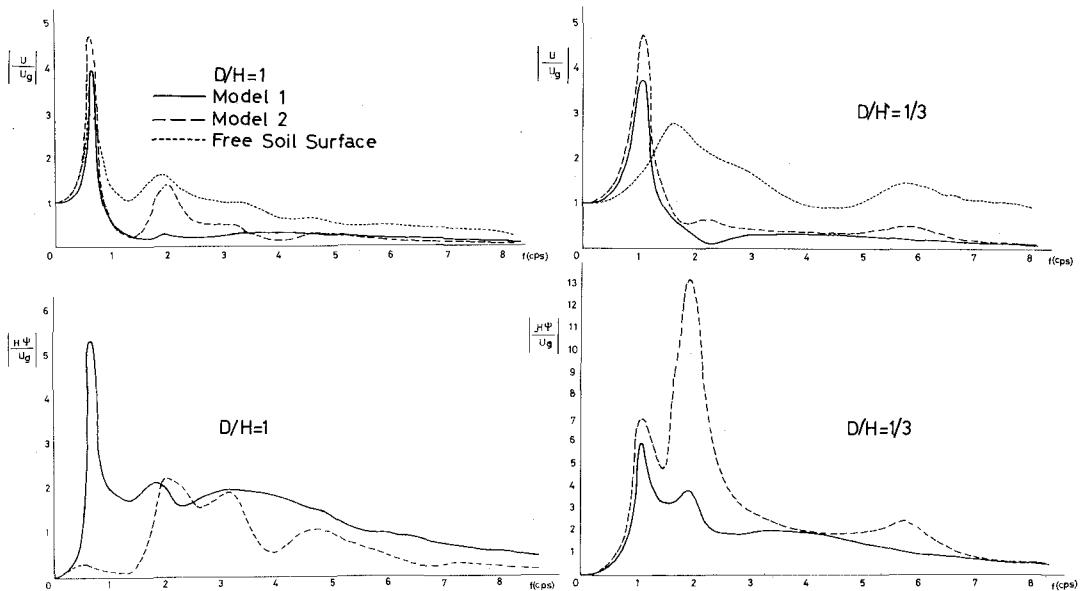


表1. 基礎面入力波に対する応答水平加速度(gal)

モデル		D	H/3	H/2	H
1	重心	62	68	23	
	天端	132	129	69	
2	重心	75	89	35	
	天端	213	181	69	

図2 応答倍率

参考文献

- 1) Beredugo & Novak: Coupled Horizontal and Rocking Vibration of Embedded Footing, Canadian Geotechnical Journal, Vol.9, 1972, pp.477-497
- 2) Veletsos & Verbic: Vibration of Viscoelastic Foundations, Earthq. Eng. & Struc. Dyn., Vol.2, 1973, pp.87-90
- 3) Schnabel, Lysmer & Seed: SHAKE, A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Site, EERC 72-12, 1972
- 4) 土木学会, 明石海峡大橋耐震設計小委員会
 明石海峡大橋の耐震設計に関する調査研究報告書 昭和53年