

九州大学 学生会員 ○小川健吾
九州大学 正会員 小坪清真
九州大学 正会員 園田敏矢

I. まえがき

地震時におけるケーソンの振動特性については、円筒形ケーソンに対しては三次元波動論により理論的解析が行なわれている。一方、矩形ケーソンに対してはその形状から、三次元波動論による理論的解析が困難であり、波動論による理論的研究が行なわれていない。本研究は大きさが等しい鋼製の矩形、及び円筒形のケーソンを用いてその復元力特性や振動特性を実験的に求めるとともに、両者の比較検討を行ない、また近似波動論によって矩形ケーソンの振動特性を理論的に解析し、実験値と理論計算値とを比較検討したものである。

II. 実験

図-1に示すように一辺40cm、深さ60cmの矩形鋼製ケーソンの前面に土圧計をとりつけ、ケーソンの天端にサーボ加速度計をセットし、歪リングを介して天端に起振機を設置し、水平力を加えた。また別に、ケーソンの天端と底にゲージ式加速度計をとりつけ、ロッキングセンターの位置を調べた。水平力、加速度、および土圧をオシロスコープに記録するとともに、オシロスコープの横軸にサーボ加速度計の出力を、縦軸に加振力を入力してヒステリシス曲線を描かせた。また、オシロスコープには横軸にサーボ加速度計の出力を縦軸に土圧計の出力を入力して、側面土圧のヒステリシス曲線をも記録した。

同様の実験を円筒形鋼製ケーソンの場合についても行った。この場合側面土圧の測定は行なわなかった。

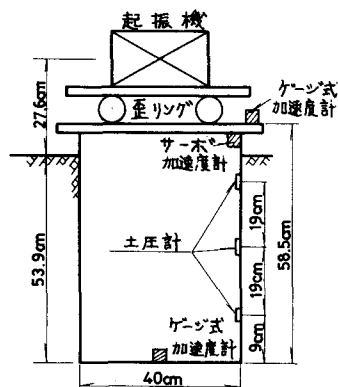


図-1 矩形ケーソン

III. 実験結果

ケーソンの振動方程式は次式で表わされる。

$$J\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + K\theta = M \cos \omega t \quad (1)$$

J : ロッキングセンターまわりの質量慣性モーメント

C : 減衰係数 K : ケーソンのばね定数 θ : 回転角

M : ロッキングセンターまわりの起振機の回転モーメント

(1)式の解は $\theta = \Theta \cos \omega t$ において、次式で示される。

$$\Theta = \frac{M}{\sqrt{(K - J\omega^2)^2 + C^2\omega^2}} \quad (2)$$

オシロスコープに描かれたヒステリシス曲線から、加速度計の位相のずれを考慮して各振動数における減衰係数 C を求めることができる。

(2)式を変形して

$$K = \sqrt{(M/\Theta)^2 - C^2\omega^2} + J\omega^2 \quad (3)$$

この式より各振動数におけるばね定数 K を求めることができる。したがって、各振動数におけるケーソンの減衰定数 h は次式で求められる。

$$h = \frac{C}{2\sqrt{JK}} \quad (4)$$

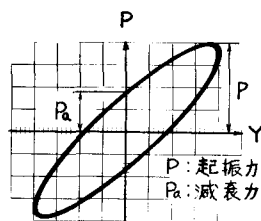


図-2 ヒステリシス曲線

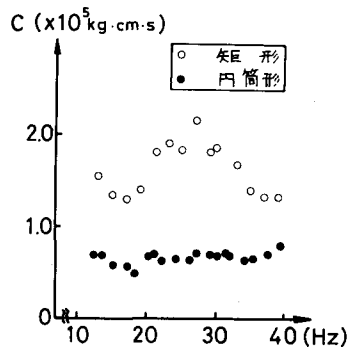


図-3a 減衰係数 C

図-3a, 3b, 3c は実験で得られたケーソンの減衰係数 C 、ばね定数 K 、および減衰定数 h の振動数特性である。なおロッキングセンターは実験よりケーソンの底面にあることがわかった。

次に、側面土圧 P_s は変位 Y に比例する項 $k_s Y$ と速度 $\dot{Y}$ に比例する項 $C_s \dot{Y}$ とのベクトル和であるから

$$P_s^2 = (k_s Y)^2 + (C_s \dot{Y})^2$$

これより

$$k_s = \frac{\sqrt{P_s^2 - (C_s \dot{Y})^2}}{Y} \quad (5)$$

ヒステリシス曲線から各振動数における C_s の値を求めれば、上式より地盤反力係数 k_s の振動数特性を求めることができる。図-4a, 4b は側面土圧の減衰係数 C_s 、および反力係数 k_s の振動数特性を求めたものである。

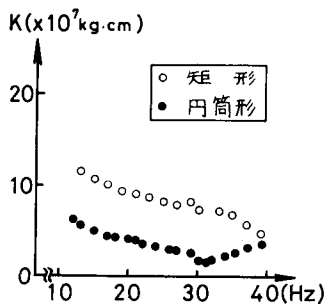


図-3b はね定数 K

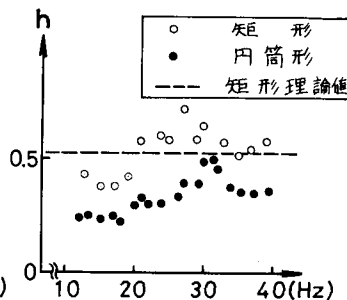


図-3c 減衰定数 h

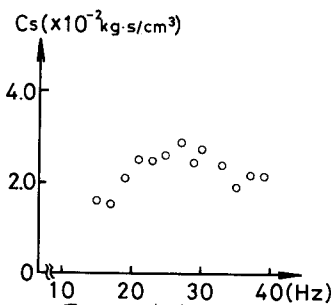


図-4a 減衰係数 C_s

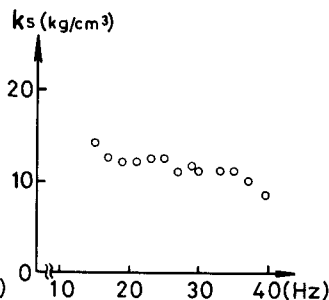


図-4b 地盤反力係数 k_s

Ⅳ. 理論的考察

図-5のように正方形ケーソンが水平振動した場合の地盤を5つの領域に分けそれぞれについて地盤反力係数、減衰係数を理論的に解析する。

(1) 圧縮・引張領域について

任意の断面における縦振動の微分方程式より単位面積当たりについて

$$\begin{aligned} \text{地盤係数 } k_u &= 2(1-\nu)G/(1-2\nu)a & \nu: \text{ポアソン比} & \quad G: \text{剛性率} \\ \text{減衰係数 } C_u &= 2(1-\nu)wG/(1-2\nu)g & w: \text{土の単位体積重量} \end{aligned}$$

(2) 側面せん断領域について

$$\begin{aligned} \text{地盤係数 } k_{su} &= G/a \\ \text{減衰係数 } C_{su} &= wG/g \end{aligned}$$

(3) 底面せん断領域について

$$\begin{aligned} \text{地盤係数 } k_{sz} &= G/H \\ \text{減衰係数 } C_{sz} &= wG/g \end{aligned}$$

次にLagrangeの運動方程式において重心点の水平変位、重心まわりの回転角を
 $X = \sum_{i=1}^S \phi_i(t) X_i$ 、 $\theta = \sum_{i=1}^S \phi_i(t) \Theta_i$ 、 ϕ_i : 一般座標、 X_i, Θ_i : 振動形、 S : 次数
 と置き、 ϕ_i だけ生ずるものとして、 K_i, V_i, F_i を求め減衰定数 h を求めると

$$h = \frac{F_s}{2\sqrt{K_s V_s}} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} K_s &= WX_i^2/g + J_s \Theta_i^2 & W: \text{ケーソンの重量} & \quad J_s: \text{重心まわりの質量慣性モーメント} \\ V_s &= 4(k_u + k_{su})aH[X_i^2 + 2(H/2 - H_g)X_i\Theta_i + (H^2/3 - HH_g + H_g^2)\Theta_i^2] + 4k_{sz}a^2(X_i - H_g\Theta_i)^2 - 4k_v a^4 \Theta_i^2/3 \\ F_s &= 4(C_u + C_{su})aH[X_i^2 + 2(H/2 - H_g)X_i\Theta_i + (H^2/3 - HH_g + H_g^2)\Theta_i^2] + 4C_{sz}a^2(X_i - H_g\Theta_i)^2 - 4C_v a^4 \Theta_i^2/3 \end{aligned}$$

垂直方向地盤反力係数 k_v を $10k_u/7$ に、垂直方向減衰係数 C_v を C_u に等しいと仮定し、また実験よりケーソン底面にロッキングセンターがあるものとみなし、(6)式より理論値を求めると 減衰定数は

$$h = 0.518 \quad \text{となる。}$$

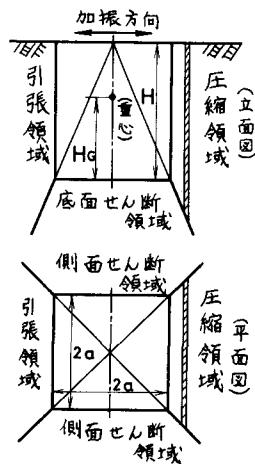


図-5