I—19　矩形ケーソンの耐震性状

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

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，実験結果ともよく一致することが確かめられている。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われていない。本研究は鋼製の矩形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，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。水平加振力，加速度，および土圧をオッシロに記録するとともに，オッ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，オッ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。

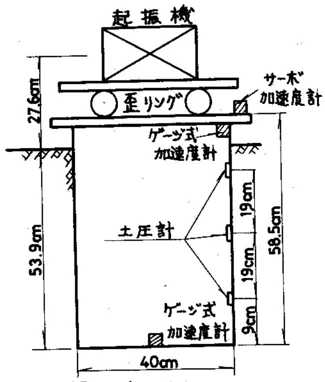


図-1　矩形ケーソン

III. 実験結果

ケーソンの振動方程式は次式で表わされる。

$$J\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + K\theta = M_0 \cos\omega t \quad (1)$$

J：ロッキングセンターまわりの質量の慣性モーメント
C：減衰係数　　K：ケーソンのばね定数
M_0：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 $\theta = \Theta \cos\omega t$ とおいて，次式で示される。

$$\Theta = \frac{M_0}{\sqrt{(K - J\omega^2)^2 + C^2\omega^2}} \quad (2)$$

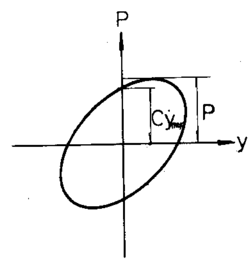


図-2　ヒステリシス曲線

オッシロスコープに描かれたヒステリシス曲線から，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

$$K = \sqrt{(M_0/\Theta)^2 - C^2\omega^2} + J\omega^2 \quad (3)$$

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。

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

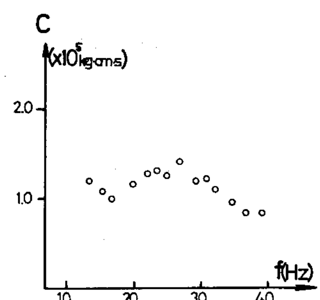


図-3a　減衰係数C

図－3 a, b, c 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 ky と速度 $\dot{y}$ に比例する項 $C\dot{y}$ とのベクトル和であるから

$$P_s^2=(ky)^2+(C\dot{y})^2$$

これより

$$k=\sqrt{P_s^2-(C\dot{y})^2}\Big/y \qquad (5)$$

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

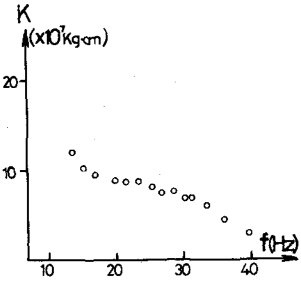


図-3b ばね定数K

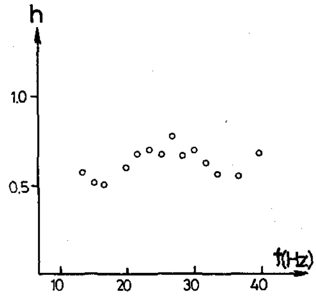


図-3c 減衰定数h

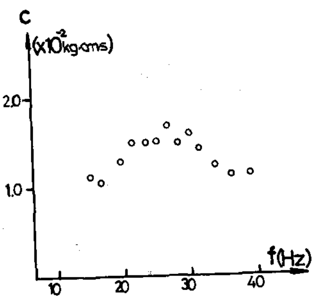


図-4a 減衰係数c

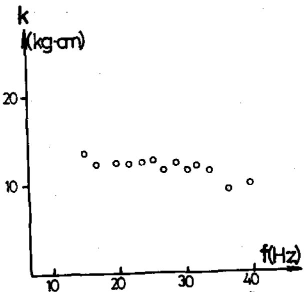


図-4b 地盤反力係数k

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りについて

地盤係数 $k_H=2(1-\nu)G/(1-2\nu)a$　　ν：ポアソン比　G：剛性率

減衰係数 $C_H=\sqrt{2(1-\nu)wG/(1-2\nu)g}$　　w：土の単位体積重量

(2) 側面せん断領域について

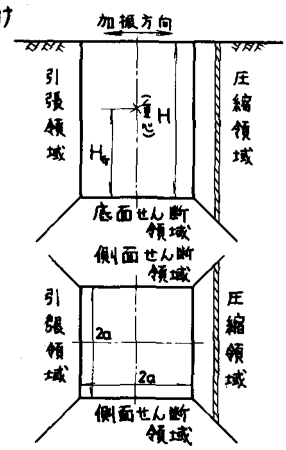
地盤係数 $k_{s1}=G/a$

減衰係数 $C_{s1}=\sqrt{wG/g}$

(3) 底面せん断領域について

地盤係数 $k_{s2}=G/H$

減衰係数 $C_{s2}=\sqrt{wG/g}$



図－5

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

$x=\sum_{s=1}\phi_s(t)X_s$　$\theta=\sum_{s=1}\phi_s(t)\Theta_s$　ϕ_s：一般座標　X_s, Θ_s：振動形　s：次数

と置き ϕ_1 だけ生ずるものとして, K, V, F を求め減衰定数 h を求めると

$$h=F/2\sqrt{KV} \qquad (6)$$

$K=WX_1^2/g+J_G\Theta_1^2$　　W：ケーソンの重量　J_G：重心まわりの質量慣性モーメント

$$V=4(k_H+k_{s1})aH\left[X_1^2+2(H/2-H_G)X_1\Theta_1+(H^2/3-HH_G+H_G^2)\Theta_1^2\right]+4k_{s2}a^2(X_1-H_G\Theta_1)^2-4k_V a^4\Theta_1^2/3$$

$$F=4(C_H+C_{s1})aH\left[X_1^2+2(H/2-H_G)X_1\Theta_1+(H^2/3-HH_G+H_G^2)\Theta_1^2\right]+4C_{s2}a^2(X_1-H_G\Theta_1)^2-4C_V a^4\Theta_1^2/3$$

垂直方向地盤反力係数 k_V を $10k_V/7$ に, 垂直方向減衰係数 C_V を C_H 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

$h=0.518$

となる。この値は周波数にも剛性率 G にも無関係である。