

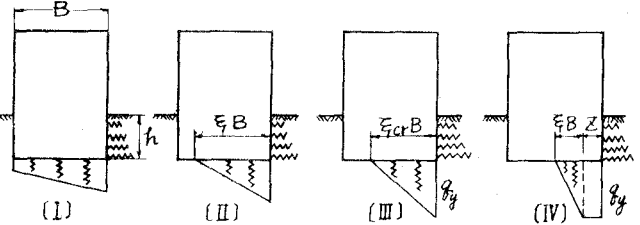
ケーソン基礎の浮き上り振動(續)

大 阪 市 立 大 学 正 員 倉 田 宗 章
 大 阪 工 業 大 学 正 員 岡 村 宏 一
 建 設 省 近 畿 地 方 建 設 局 正 員 多 田 浩 彦
 建 設 省 近 畿 地 方 建 設 局 正 員 ○ 山 下 理 雄

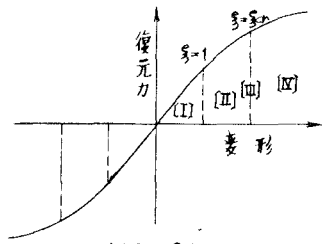
1) まえがき われわれはさきにケーソンの基礎地盤を弾性体と見なし地震時に基礎底面の一部に浮き上りを生ずるような場合の非線形振動について、多数の計算例と共にその応答の特性を報告したが、(42耐震工学研究発表会)今回は地盤の一部に塑性流動の発生するような場合を含めて理論の一元化を計ると共に数値例を付して報告する。

2) ケーソンの復元力特性 ケーソンの変形は底面の鉛直合力の偏心の増大に伴って、(図-1)に示すように、全面支持状態(I)から浮き上りが進行し更に弾塑性(IV)に移行するものと考えらる。

すなわち側面の水平抵抗バネは比較的弱く、大きな反力は生じない故、この部分は塑性流動はおこさないものと仮定し、弾塑性的支持力状態に於ける支持力分布は(IV)の如き簡易化が許されるものと仮定する。ここで ξ_y は弾性限界支持力であり、 ξ_{cr} は支持力分布状態が弾塑性的状態に移行する際のパラメータの限界値である。復元力は(図-2)に示す様な可逆性の復元力を仮定する。次に(図-3)に示す力学モデルの均合条件から弾塑性(IV)における復元力特性は次の様に表わされる。



(図-1)



(図-2)

$$\xi_{cr} = \frac{2N(1-\beta)}{\xi_y \cdot B \cdot L} \quad (1) \quad Z = (\xi_{cr} - \xi) B \quad (2)$$

$$\chi = \frac{N(1-\beta)}{k_H \cdot B} \left\{ \frac{(1+\lambda n \xi) \kappa l - 1}{\kappa n \xi_{cr} (\xi - \frac{1}{2} \xi_{cr})} n l + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \kappa n^2 f(\xi_{cr}, \xi) \right\} \quad (3)$$

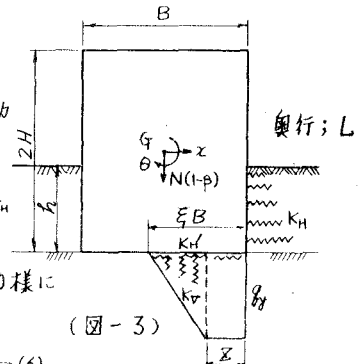
$$\theta = \frac{N(1-\beta)}{k_H \cdot B^2} \frac{1}{\kappa \xi_{cr} (\xi - \frac{1}{2} \xi_{cr})} \quad (4) \quad (\text{但し, } \xi > \frac{1}{2} \xi_{cr})$$

式中 ξ_{cr} ; 支持力分布状態パラメータ限界値、 Z ; 支持力流動区間長、 χ ; ケーソン重心点の水平変位、 θ ; 同回転角

たゞし β ; 浮力の比率、 $l = H/B$ 、 $n = B/R$ 、 $\kappa = k_v/k_H$ 、 $\lambda = k_{iv}/k_H$
 $f(\xi_{cr}, \xi) = \xi_{cr}(\xi - \frac{1}{2}\xi_{cr}) - \frac{2}{3}\xi_{cr}^3 + \frac{1}{3}\xi_{cr}^3 - \xi_{cr}^2\xi + \xi_{cr}\xi^2$

尚、領域(I)(II)(III)の復元力特性は(1)~(4)式において ξ の値を次の様に置換して求めることができる。

$$\xi = 1 \rightarrow \text{[I]} \quad (5) \quad , \quad \xi_{cr} = \xi \rightarrow \text{[II], [III]} \quad (6)$$



(図-3)

3) 計算式

ケーソンの運動は並進と回転よりなるものとするれば、2自由度の運動方程式は次の様に書かれる。

$$\ddot{x} + \frac{C}{m} \dot{x} + \frac{P(x, \theta)}{m} = -\ddot{Z} \quad (7)$$

$$\ddot{\theta} + \frac{C'}{I} \dot{\theta} + \frac{M_1(x, \theta)}{I} + \frac{M_2(\theta)}{I} = 0 \quad (8)$$

式中 x : 並進変位, θ : 回転角, $P(x, \theta)$: 水平方向復元力, $M_1(x, \theta)$: 水平反力による復元モーメント, $M_2(\theta)$: 鉛直反力による復元モーメント, Z : 地動の加速度, m : ケーソンの質量
 $I = \frac{H^2 + B^2}{3}$, ($B = \frac{B}{2}$) ケーソンの重心を中心とする回転慣性を示し, また C, C' はそれぞれ水平ならびに回転運動における減衰力の係数であるが, いまケーソンに働く任意方向の減衰力はその方向の速度ベクトルに比例すると仮定出来るような場合は水平ならびに角運動の関係から $\frac{C}{m} = \frac{C'}{I}$ なる関係を得る。

次に運動方程式中に含まれる, それぞれの復元力は(図-3)に仮定されたバネ系について,

$$P(x, \theta) = K_H R \left\{ x - H\theta + \lambda n(x - H\theta) \xi \right\} \quad (9)$$

$$M_1(x, \theta) = K_H R \left\{ H^2 x - (H^2 - R H + \frac{R^2}{3}) \theta + \lambda n \xi (x - H\theta) H \right\} \quad (10)$$

$$M_2(\theta) = \frac{1}{2} K n^3 K_H R^3 \left(\frac{1}{2} - \frac{\xi}{3} \right) \xi^2 \theta - \frac{1}{2} K K_H Z^2 \left(\frac{B}{2} - \frac{Z}{3} \right) \theta \quad (11)$$

(ただし $H = H - \frac{R}{2}$) で表わされる。すなわち運動方程式は次式で表わされる。

$$\ddot{x} + \frac{C}{m} \dot{x} + \frac{K_H R}{m} \left\{ (1 + \lambda n \xi) x - (H' + \lambda n H \xi) \theta \right\} = -\ddot{Z} \quad (12)$$

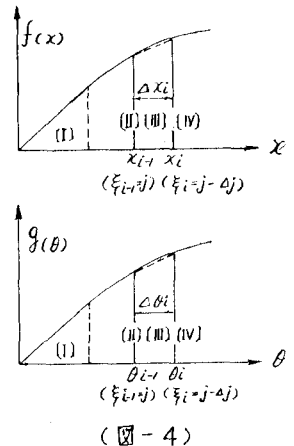
$$\ddot{\theta} + \frac{C'}{I} \dot{\theta} - \frac{K_H R^3}{I} \left[(H' + \lambda n H \xi) R^2 x - \left\{ (H^2 + \lambda n H^2 \xi) R^2 + \frac{1}{12} \left[1 + K n^3 - \xi_{cr}^2 (\beta - 2\xi_{cr}) \right] \right\} \theta \right] = 0 \quad (13)$$

式中, 非線形関数は, $\xi x, \xi \theta, \xi^2 \theta, \xi^3 \theta$, であり, ξ は x, θ に対して非線形のパラメータである。(図-4)に示すような, $\xi = j$ から $\xi = j - \Delta j$ に変動する非線形区間において, 復元力特性に含まれる非線形項, $f(x), g(\theta)$, を(図-4)に示すように折線で近似し, 線形化すると, 非線形関数は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \xi x &= (j - \alpha_i) \theta + \alpha_i \theta_i, & \alpha_i &= \frac{\Delta j}{\Delta x_i} x_i \\ \xi \theta &= (j - \beta_i) \theta + \beta_i \theta_i, & \beta_i &= \frac{\Delta j}{\Delta x_i} \theta_i \\ \xi^2 \theta &= (j^2 - \gamma_i) \theta + \gamma_i \theta_i, & \gamma_i &= \frac{2j \Delta j - (\Delta j)^2}{\Delta \theta_i} \theta_i \\ \xi^3 \theta &= (j^3 - \delta_i) \theta + \delta_i \theta_i, & \delta_i &= \frac{3j^2 \Delta j - 3j(\Delta j)^2 + (\Delta j)^3}{\Delta \theta_i} \theta_i \end{aligned} \right\} (14)$$

以上の諸値を用いて, 一元化した運動方程式として次式を得る。

$$\ddot{x} + \frac{C}{m} \dot{x} + \frac{K_H R}{m} (D_i x - E_i \theta + F_i) = -\ddot{Z} \quad (15)$$



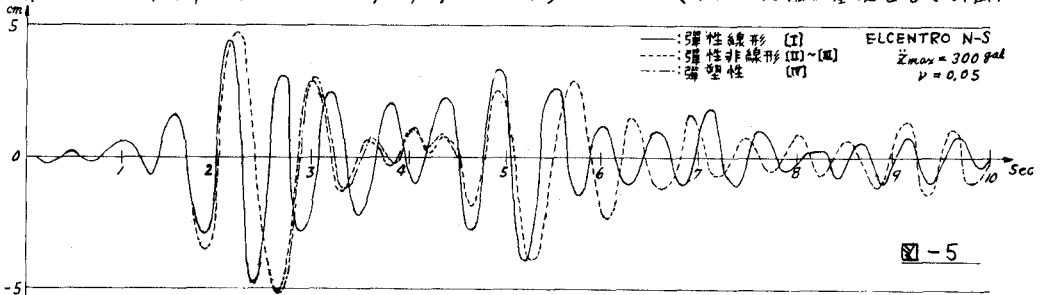
$$\ddot{\theta} + \frac{C'}{I} \dot{\theta} - \frac{K_H h^3}{I} (D'_i x - E'_i \theta + F'_i) = 0 \quad (16)$$

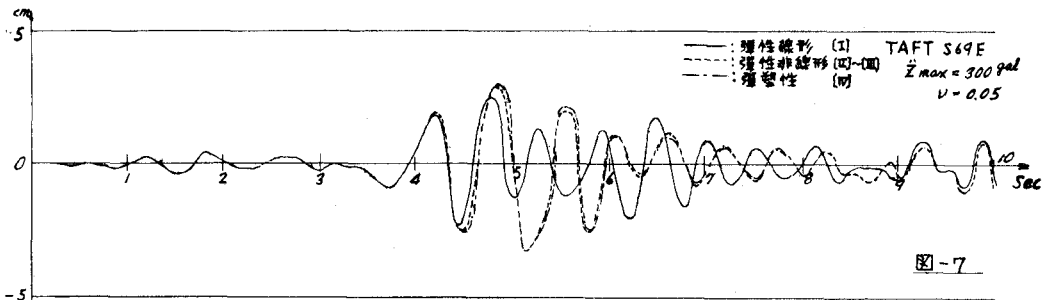
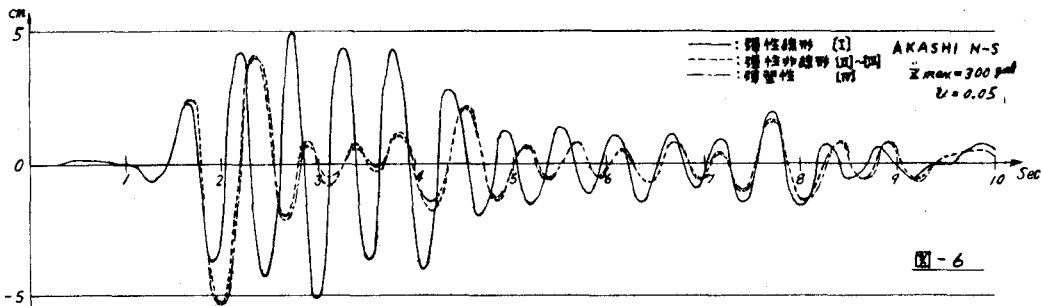
こゝで D_i, E_i, F_i , 及び D'_i, E'_i, F'_i , は各領域において次の様に表わされる。

領域 [I] (弾性線型の場合)	$D_i = 1 + \lambda n \quad E_i = H' + \lambda n H \quad F_i = 0$ $D'_i = h^2 (H' + \lambda n H) \quad E'_i = h^2 (H^2 + \lambda n H^2) + \frac{1}{12} (1 + \kappa n^3) \quad F'_i = 0$
領域 [II] [III] (弾性非線形の場合)	$D_i = 1 + \lambda n (\xi_{i-1} - \alpha_i) \quad \alpha_i = \frac{\xi_{i-1} - \xi_i}{x_i - x_{i-1}} x_i$ $E_i = H' + \lambda n (\xi_{i-1} - \beta_i) \quad \beta_i = \frac{\xi_{i-1} - \xi_i}{\theta_i - \theta_{i-1}} \theta_i$ $F_i = \lambda n (\alpha_i x_{i-1} - H \beta_i \theta_{i-1}) \quad D'_i = h^2 \{ H' + \lambda n H (\xi_{i-1} - \alpha_i) \}$ $E'_i = h^2 \{ H^2 + \lambda n H^2 (\xi_{i-1} - \beta_i) \} + \frac{1}{12} \{ 1 + \kappa n^3 (3 \xi_{i-1}^2 - 2 \xi_{i-1}^3 - 3 \gamma_i + 2 \delta_i) \}$ $\gamma_i = \frac{2 \xi_{i-1} (\xi_{i-1} - \xi_i) - (\xi_{i-1} - \xi_i)^2}{\theta_i - \theta_{i-1}} \theta_i$ $\delta_i = \frac{3 \xi_{i-1} (\xi_{i-1} (\xi_{i-1} - \xi_i) - (\xi_{i-1} - \xi_i)^2) + (\xi_{i-1} - \xi_i)^3}{\theta_i - \theta_{i-1}} \theta_i$ $F'_i = \lambda n H h^2 \alpha_i x_{i-1} - \left\{ \lambda n H^2 h^2 \beta_i + \frac{1}{12} \kappa n^3 (3 \gamma_i - 2 \delta_i) \right\} \theta_{i-1}$
領域 [IV] (弾塑性の場合)	$D_i, E_i, F_i, D'_i ; \text{領域 [II], [III] に同じ}$ $E'_i = h^2 \{ H^2 + \lambda n H^2 (\xi_{i-1} - \beta_i) \} + \frac{1}{12} \{ 1 + \kappa n^3 \xi_{cr}^2 (2 \xi_{cr} - 3) \} + \frac{1}{2} \kappa n^3 \xi_{cr} \times (1 - \xi_{cr}) (\xi_{i-1} - \beta_i) + \frac{1}{2} \kappa n^3 \xi_{cr} (\xi_{i-1}^2 - \gamma_i) - \frac{1}{3} \kappa n^3 (\xi_{i-1}^3 - \delta_i)$ $F'_i = \lambda n H h^2 \alpha_i x_{i-1} - \left\{ \lambda n H^2 h^2 \beta_i + \frac{1}{2} \kappa n^3 \{ 3 (1 - \xi_{cr}) \xi_{cr} \beta_i + 3 \xi_{cr} \gamma_i - 2 \delta_i \} \right\} \theta_{i-1}$

4) 計算例 先に研究したケーソンの浮上り振動の状態(状態 [II]~[III])からIVの弾塑性へ移行した時、本文で扱ったような剛体ケーソンの場合特に問題になる変位について設計上問題にすべき点が生ずるかどうかを調べるため、 ξ_{cr} を設定して計算を行なった。以下にその若干の例を示す。

ケーソンの諸元、諸常数: $2H = 47\text{m}$, $\theta = 27\text{m}$, $L = 51\text{m}$, $h = 10\text{m}$, $K_T = 1.6 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$
 $K_H = 2.6 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$, $K'_H = 0.8 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$, $\beta = 0.2$, $\xi_{cr} = 0.6$ (本四連絡橋の基礎として計画)





5) むすび 計算例で示した Data はケーソンの支持条件、地震の強さ、減衰定数等、変形に対して厳しい条件を選んだものであるが、図(5)(6)(7)に示す応答曲線ならびに表-1からわかるように、ケーソンが図-1の状態Ⅱ~Ⅲに相当する弾性浮上り振動から状態Ⅳに相当する底面支持力の一部が限界支持力に到達し側面の地盤が弾性を保持する可逆性の復元力特性を有する弾塑性振動に移行しても、この種の()内の値は[Ⅱ]~[Ⅲ]の値と100比にときの比率剛体ケーソンの設計上のポイントである変位についてほとんど差異はない。本州四国連絡橋の基礎として計画された他の若干のケーソンについても演算を試みたが全様の結果が得られた。先に報告¹⁾した弾性浮上り振動、ならびに今回の報告を通じて検討した多数の Data によれば、慣用の静的計算では著しい変位の増大を与える結果となるこれら核外偏心の諸状態に於いて心配しなげなければならないような変位の増大はみられない。

表-1 最大変位(cm)の比較

地震名	振動状態	[Ⅱ]~[Ⅲ]	[Ⅳ]
ELCENTRON N-S		5.5 (100)	5.2 (95)
AKASHI N-S		5.2 (100)	5.2 (100)
TAFT S69E		3.4 (100)	3.4 (100)

1) 倉田、岡村、多田：ケーソンの浮上り振動について、第9回地震工学研究発表会(S.42.10)