

土木研究所資料

第258号

● 水平力を受けたケーソン基礎の安定計算法

●  
●  
昭和42年3月

建設省土木研究所

| ページ | 行    | 誤                                                    | 訂正                                                            |
|-----|------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 7   | 上 24 | 水平震度長の深さ。                                            | 水平震度長の地震をうけて地震面よりおの深さ。                                        |
| 9   | 上 4  | $\min$                                               | $\min$                                                        |
| 9   | 上 7  | 与えられた長で                                              | 与えられたケーソン長で                                                   |
| 9   | 下 3  | $= 2a^2 \sin^2 \varphi$                              | $= -2a^2 \sin^2 \varphi$                                      |
| 10  | 上 11 | $= 20'' K_2 l \theta$                                | $= 2a'' K_2 l \theta$                                         |
| 10  | 上 11 | $\frac{1}{3} \sin^2 \beta \cos$                      | $\frac{1}{3} \sin^2 \beta \cos \beta$                         |
| 12  | 下 6  | $+ H_a + k \cdot w_1 \cdot l + \dots$                | $\therefore + H_a + k \cdot w_1 \cdot l + 2a \cdot u + \dots$ |
| 13  | 上 9  | $P_i = P_R = \frac{1}{2} K_P \cdot w \cdot h$ ⑩      | $P_i = P_R = \frac{1}{2} K_P \cdot w \cdot h$ ——— ⑩           |
| 13  | 上 12 | $2a \cdot \mu' K_A \cdot w (l^2 - 2h^2)$             | $2a \cdot \mu' K_A \cdot w (l^2 - 2h^2)$                      |
| 14  | 下 8  | $\frac{8a}{y^2} P_i ( \quad )$                       | $\frac{8a}{h^2} P_i ( \quad )$                                |
| 14  | 下 1  | $\frac{1}{2} \mu L W K_A \cdot y^2$                  | $\frac{1}{2} \mu L W K_A \cdot y^2$                           |
| 15  | 上 2  | の外の                                                  | の偏心外に                                                         |
| 15  | 上 17 | $N_o = N_{ou} + w_1 l$                               | $N_o = N_{ou} + w_1 l$ (ト)                                    |
| 15  | 上 23 | $Z_1$ の生じる深さ                                         | $Z_1$ : $P_i$ の生ずる深さ                                          |
| 16  | 下 11 | $K_R = K_{RA} \cdot Z^r$                             | $K_R = K_{RA} \cdot Z^r$ ——— ①から                              |
| 17  | 上 4  | $P_R = b \int_0^l l P \cdot dz$                      | $P_R = b \int_0^l P \cdot dz$                                 |
| 17  | 上 12 | $l H_a + b \int_0^l l P \cdot z \cdot dz$            | $l H_a + b \int_0^l P \cdot z \cdot dz$                       |
| 17  | 上 15 | $= \left\{ (\gamma + 3) \frac{M_{op}}{l} + \right\}$ | $= \left\{ (\gamma + 3) \frac{M_{op}}{l} + \right\}$          |
| 17  | 上 17 | $M_{op} =$                                           | $M_{of} =$                                                    |

| 70-22 | 行    | 誤                                                                                 | 訂正                                                                                |
|-------|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 17    | 上 18 | $(\because H_0 + F_A = P_h = P_h - P_h)$                                          | $(\because H_0 + F_A = P_h = P_h - P_h)$                                          |
| 17    | 上 19 | $M_0 + [(r+3)$                                                                    | $M_0 + a[(r+3)$                                                                   |
| 17    | 下 2  | $= M_0 - \frac{l}{r+3}$                                                           | $= M_0 - \frac{l}{r+3}$                                                           |
| 18    | 上 11 | $\left\{ \frac{l}{r+3} + b \left( \frac{h}{l} \right)^{r+1} \tan \delta \right\}$ | $\left\{ \frac{l}{r+3} + b \left( \frac{h}{l} \right)^{r+1} \tan \delta \right\}$ |
| 18    | 上 18 | $= \frac{Ca}{2} \cdot ab \{ (l-h) + h \}$<br>$= \frac{Ca}{2} \cdot ab \cdot l$    | $= \frac{C}{2} \cdot ab \{ (l-h) + h \} = \frac{C}{2} ab l$                       |
| 18    | 上 19 | $-(r+2)H_0 + Ca \cdot ab \}$                                                      | $-(r+2)H_0 + Ca \cdot ab \}$                                                      |
| 18    | 下 4  | $= M_0 - \frac{Ca bl}{2}$                                                         | $= M_0 - \frac{C bl}{2}$                                                          |
| 18    | 下 1  | $(r+2) \frac{Ca \cdot ab}{2} \cdot l \}$                                          | $(r+2) \cdot \frac{C \cdot ab}{2} \cdot l \}$                                     |
| 19    | 上 5  | $\left\{ 1 + \frac{r+1}{r+2} + \dots \right\}$                                    | $\left\{ 1 + \frac{r+1}{r+2} + \dots \right\}$                                    |
| 19    | 上 11 | $\left\{ \frac{r+2}{r+2} \right\}$                                                | $\left\{ \frac{l^{r+2}}{r+2} \right\}$                                            |
| 19    | 下 8  | $= N_0 - P_h \tan \delta$                                                         | $= N_0 - P_h \tan \delta$                                                         |
| 20    | 上 1  | $Z_1 \frac{r}{r+1} l$                                                             | $Z = \frac{r}{r+1} l$                                                             |
| 20    | 上 3  | $\frac{( ) ( ) K a^3}{1^2 l^3}$                                                   | $\frac{( ) ( ) K a^3}{12 l^3}$                                                    |
| 21    | 上 6  | $\frac{ab}{z} \cdot C \cdot Z =$                                                  | $\frac{ab}{z} \cdot C \cdot Z =$                                                  |
| 21    | 上 7  | $-\frac{ab}{z} C \cdot Z$                                                         | $-\frac{ab}{z} C \cdot Z$ (35)                                                    |
| 21    | 上 8  | $= -H_0 - K W_1 Z - \frac{ab}{2} C$                                               | $= -H_0 - K W_1 Z - \frac{ab}{2} C$                                               |
| 17    | 下 10 | $= b \int_0^l P \cdot dz$                                                         | $= b \int_0^l P dz$                                                               |

# 水平力をうけたケーソン基礎の安定計算法に関する資料

## 目 次

|    |             |       |    |
|----|-------------|-------|----|
| 1. | ま え が き     | ..... | 1  |
| 2. | 記 号         | ..... | 1  |
| 3. | 物 部 式       | ..... | 2  |
| 4. | 酒 井 式       | ..... | 4  |
| 5. | 池 原 、 横 山 式 | ..... | 7  |
| 6. | 後 藤 式       | ..... | 11 |
| 7. | 白 石 式       | ..... | 15 |
| 8. | 参 考 文 献     | ..... | 21 |

## 1. ま え が き

水平力をうけたケーソン基礎の安定計算法は、現在のところ摂度法に基づいており、ケーソン躯体や、根入れ地盤の性質の仮定および、作用外力に抵抗する要素のとり方の違いによって、何種類かの計算法がある。本資料はこのうちよく知られている5種類の方法を集録したものである。なお各方法の計算上の仮定は下表の通りである。

| 計 算 方 式 | ケーソン<br>躯体の仮定 | 水 平 力 に 抵 抗 す る 要 素 |         |           |           |           |
|---------|---------------|---------------------|---------|-----------|-----------|-----------|
|         |               | 受動抵抗土               | 底面反力の偶心 | 側面の水平マサツ力 | 側面の鉛直マサツ力 | 底面の水平マサツ力 |
| 物 部     | 剛 体           | ○                   | —       | —         | —         | —         |
| 酒 井     | 弾 性 体         | ○                   | ○       | —         | ○         | —         |
| 池原、横山   | 剛 体           | ○                   | ○       | —         | —         | —         |
| 後 藤     | 剛 体           | ○                   | ○       | ○         | ○         | —         |
| 白 石     | 剛 体           | ○                   | ○       | —         | ○         | ○         |

本資料の作成に当って、佐藤工業株式会社技術研究部の鈴木秀夫君の協力を得たので、ここに感謝の意を表したい。

土 木 研 究 所 基 礎 研 究 室  
吉 田 巖

昭和42年3月

## 2. 記 号

(各式における記号は、白石式を除いてすべて、以下のものに統一する。)

- $\ell$  : ケーソン根入長 (  $m$  )
- $2a$  : ケーソン最大奥行 (地震の作用方向に平行  $m$  )
- $2b$  : ケーソン最大巾 ( 直角  $m$  )
- $A$  : ケーソン底面積 (  $2a \times 2b$   $m^2$  )
- $H_0$  : ケーソン天端に働く、上部構造物の水平力 (  $t \cdot n$  )
- $M_0$  :  $H_0$ による ケーソン天端に働く曲げモーメント (  $t \cdot m$  )
- $N_0$  : ケーソン天端に働く上部構造からの垂直力 (  $t$  )
- $R_A$  : ケーソン底面に働く、垂直合力 (  $t$  )
- $M_A$  :  $R_A$ による 抵抗モーメント (  $t \cdot m$  )
- $k$  : 水 平 震 度
- $w_1$  : ケーソンの単位長当りの重量 (  $t/m$  )
- $w$  : 土の単位体積重量 (  $t/m^3$  )
- $p$  : ケーソン側面に働く水平反力 (  $t/m^2$  )
- $p_1$  : ケーソン底面に働く最大水平反力 (  $t/m^2$  )
- $p_A$  : ケーソン底面に働く水平反力 (  $t/m^2$  )
- $q$  : ケーソン底面に働く地盤反力 (  $t/m^2$  )
- $q_1$  : ケーソン底面に働く最大地盤反力 (  $t/m^2$  )

- $y_1$  :  $p_1$  の生ずる点の地表面からの深さ (m)  
 $h$  : ケーソンの回転中心までの深さ ( $= 2 y_1$ , m)  
 $K_p$  : 土の受働土圧係数 (地震時)  $K_a$  : 土の主動土圧係数  
 $p_{p1}$  : 土の最大受働土圧 ( $t/m^2$ )  
 $K_1, K_2$  : 単位深さ当りの水平方向および垂直方向の地盤の反力係数 ( $t/m^4$ )  
 $K$  :  $K_2/K_1$   
 $\eta$  : 地盤の変形量 (m)  
 $\theta$  : ケーソンの傾斜角 (ラジアン)  
 $\tau$  : ケーソン側面水平マサツ力 ( $t/m^2$ )  
 $P_y$  : ケーソン鉛直マサツ力 (t)  
 $\mu', \mu$  : ケーソン水平および鉛直方向マサツ力係数  
 $u$  : ケーソン全体に対する浮力  
 $K_{1A}$  : 単位深さあたりの水平方向地盤反力係数 ( $t/m^4$ )  
 $K_{2A}$  : " 鉛直 " "  
 $L$  : ケーソン周辺長 (m)  
 $P_0$  : 1次分布の主動土圧
- $$\frac{K_{2A}}{K_{1A}} = \frac{K_2}{K_1} = K$$

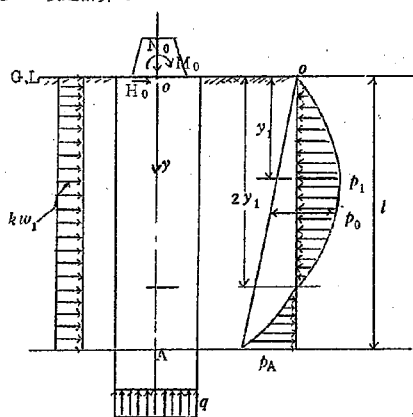
### 3. 物 部 式

物部長瀬博士が、その著書『土木耐震学』で発表した最も古典的な安定計算法で、地盤に生じる水平反力を2次放物線と仮定し、これだけが唯一の抵抗要素であるとし、他の抵抗要素を考えずに計算式を導びいている。計算が簡単なので、今日もよく使われているものである。

#### §1 仮 定

1. ケーソンは剛体とする。
2. 地盤の水平反力の分布は放物線とする。
3. 底面反力の分布は一定で、偏心を考えない。

#### §1.1 安定計算式



( 図 - 1 )

水平力をうけたケーソンに抵抗する地盤の水平反力の分布をエンゲル教授の実験に基づき、放物線分布と仮定する時図-1において

|       |   |       |        |        |
|-------|---|-------|--------|--------|
| $y =$ | 0 | $y_1$ | $2y_1$ | $\ell$ |
| $p =$ | 0 | $p_1$ | 0      | $P_A$  |

から

$$p = \frac{p_1}{y_1^2} \cdot y (2y_1 - y) \quad \text{①}$$

$$p_A = \frac{p_1}{y_1^2} \cdot \ell (2y_1 - \ell) \quad \text{②}$$

次に放物線の最大横距を  $p_0$  とすると、放物線の性質より、

$$p_0 = \frac{\ell^2}{4y_1^2} \cdot p_1 \quad \text{③}$$

ケーソン根入長(ℓ)の与えられた場合の計算式

この場合、 $p_1$  および  $y_1$  を求め、 $y_1$  における土の受働土圧  $p_{p1}$  を計算し、 $p_{p1} \geq p_1$  となることを必要とする。従って、 $p_1$ 、 $y_1$  は次のようになる。

$$p = p_{p1} = K_p \cdot w \cdot y_1$$

$$\text{即ち } p_1 = K_p \cdot w \cdot y_1$$

$$p_A = \frac{K_p \cdot w}{y_1} \cdot \ell (2y_1 - \ell)$$

水平力の総和  $\Sigma H = 0$  から

$$-H_0 - k \cdot w_1 \cdot \ell \cdot \frac{1}{2} p_A \cdot \ell + \frac{2}{3} \cdot p_0 \cdot \ell = 0$$

上式に先の②、③、式を代入して

$$-H_0 - k \cdot w_1 \cdot \ell + \frac{q_1}{2y_1^2} \ell^2 (2y_1 - \ell) + \frac{2\ell^3}{12y_1^2} p_1 = 0$$

$$\therefore p_1 = \frac{H_0 + k \cdot w_1 \cdot \ell}{y_1 - \frac{1}{2} \cdot \ell} \cdot \frac{y_1^2}{\ell^2} \quad \text{--- ④}$$

また、O点のまわりの曲げモーメントの総和  $\Sigma H = 0$  より

$$-M_0 - \frac{2}{3} p_0 \cdot \ell \cdot \frac{\ell}{2} - \frac{1}{2} p_A \cdot \ell \cdot \frac{2}{3} \ell + k w_1 \ell \cdot \frac{\ell}{2} = 0$$

上式に②、③式を代入して

$$-M_0 - \frac{\ell^4}{12 \cdot y_1^2} \cdot p_1 - \frac{\ell^3}{3y_1^2} (2y_1 - \ell) \cdot p_1 + \frac{\ell^2}{2} \cdot k w_1 = 0$$

$$\therefore p_1 = \frac{\frac{1}{2} k w_1 \ell^2 - M_0}{2y_1 - \frac{3}{4} \ell} \cdot \frac{5y_1}{\ell^3} \quad \text{--- ⑤}$$

④=⑤において  $y_1$  を求めると

$$y_1 = \frac{\frac{3}{4} \ell - e}{2\ell - 3e} \cdot \ell, \quad \text{--- ⑥} \quad \text{ここに } e = \frac{\frac{1}{2} k w_1 \ell^2 - M_0}{H_0 + k w_1 \ell} \quad \text{--- ⑦}$$

$e$  はケーソンに作用する水平力の合力の作用点の地表面Oよりの距離を示し、 $-\infty < e < \ell/2$  にあり、従って、 $\ell/3 < y_1 < \ell/2$  にあることになる。

次に底面反力を  $q$  とすると、偏心が無いものと仮定していることから

$$q = \frac{N_0 + w_1 \cdot \ell}{A} \quad \text{--- ⑧} \quad \text{で示される。}$$

### §III ケーソン根入長の決定

$y_1$  なる深さにおける水平反力  $p_1$  がこの点の土の受働土圧  $p_{p1}$  を越えないように、根入長  $\ell$  を決める。

即ち  $\Sigma H = 0$  から

$$\begin{aligned} H_0 + k \cdot w_1 \cdot \ell &= \frac{2}{3} p_0 \cdot \ell + \frac{1}{2} p_A \cdot \ell \\ &= \frac{2}{3} \cdot \frac{\ell^2}{4y_1^2} \cdot K_p \cdot w \cdot y_1 \cdot \ell + \frac{1}{2} \cdot \frac{K_p \cdot w \cdot y_1}{y_1^2} \cdot \ell (2y_1 - \ell) \cdot \ell \\ &= \frac{1}{6} \cdot \frac{K_p \cdot w}{y_1} \cdot \ell^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{K_p \cdot w}{y_1} \cdot \ell^2 \cdot (2y_1 - \ell) \end{aligned}$$

$$\therefore y_1 = \frac{-K_p \cdot w \cdot \ell^3}{5(H_0 + k w_1 \ell - K_p \cdot w \cdot \ell^3)} \quad \text{--- ⑧}$$

また、O点において、 $\Sigma M=0$ から

$$\begin{aligned} -M_0 + \frac{1}{2} \cdot k w_1 \ell^3 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} p_0 \ell^2 + \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} p_A \cdot \ell^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot \frac{K_p \cdot w}{y_1} \cdot \ell^4 + \frac{1}{3} \cdot \frac{K_p \cdot w}{y_1} \ell^3 (2y_1 - \ell) \\ \therefore y_1 &= \frac{-K_p \cdot w \cdot \ell^4}{4(-M_0 + \frac{1}{2} \cdot k w_1 \ell^2 - \frac{2}{3} K_p \cdot w \cdot \ell^3)} \quad \text{--- ⑩} \end{aligned}$$

⑧ = ⑩ とおくことにより

$$K_p \cdot w \cdot \ell^3 - 5 k w_1 \ell^2 - 9 H_0 \cdot \ell - 12 M_0 = 0 \quad \text{--- ⑪}$$

この5次方程式を解いて、耐震上必要なケーソンの根入長 $\ell$ が得られる。

§iv ケーソンの任意深さZの点における  $M_z, S_z, N_z$  の計算式

$$\begin{aligned} M_z &= -M_0 - H_0 \cdot Z - \frac{1}{2} \cdot k w_1 Z^2 + \frac{p_1}{y_1^2} \int_0^Z y (2y_1 - y) (Z - y) dy \\ &= -M_0 - H_0 \cdot Z - \frac{1}{2} \cdot k w_1 Z^2 + \frac{p_1}{y_1^2} \left( \frac{1}{3} y_1 Z^3 - \frac{1}{12} Z^4 \right) \quad \text{--- ⑫} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_z &= -H_0 - k w_1 Z + \frac{p_1}{y_1^2} \int_0^Z y (2y_1 - y) \cdot dy \\ &= -H_0 - k w_1 Z + \frac{p_1}{y_1^2} \left( y_1 Z^2 - \frac{1}{3} Z^3 \right) \quad \text{--- ⑬} \end{aligned}$$

$$N_z = N_0 + w_1 \cdot Z \quad \text{--- ⑭}$$

#### 4. 酒 井 式

物部式では、底面反力の等分布を仮定していたが、ここでは底面反力の偏心を考慮することにより底面に生じる抵抗モーメント $M_A$ 、なる未知数の介入により、ケーソン躯体を弾性体と仮定して、計算式を求めたものである。

§i 仮 定

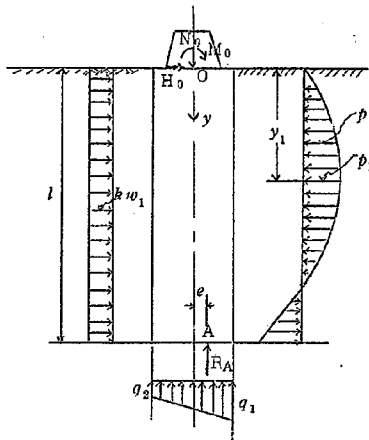
1. ケーソンを弾性体とする。
2. 地盤の水平反力分布は放物線とする。
3. 底面反力の偏心を考える。

§ii 安定計算式

(図-2)において

$\Sigma H=0$ から

$$\int_0^\ell p \cdot dy - k w_1 \ell - M_0 = 0 \quad \text{--- ①}$$



(図 - 2)

$R_A \cdot e = 0$  で 物部式に一致する。

④、⑤式において未知数は  $p_1, y_1, M_A$  の3個であるから、もう1個の関係を誘導するためにケーソンを弾性体として取扱う。

今、根入Zなる地点における  $M_z, S_z, N_z$  は、

$$\begin{aligned} M_z &= -M_0 - H_0 Z - \frac{6}{2} k w_1 Z^2 + \int_0^Z p(Z-y) dy \\ &= -M_0 - H_0 Z - \frac{1}{2} k w_1 Z^2 + \frac{p_1}{y_1^2} Z^3 \left( \frac{y_1}{3} - \frac{Z}{12} \right) \end{aligned} \quad \text{⑥}$$

$$S_z = -H_0 - k w_1 Z + \int_0^Z p \cdot dy = -H_0 - k w_1 Z + \frac{p_1}{y_1^2} Z^2 \left( y_1 - \frac{Z}{3} \right) \quad \text{⑦}$$

$$N_z = N_0 + w_1 Z \quad \text{⑧}$$

$p$  の分布ならびに大きさを決定するために静力学的条件、 $\sum H=0, \sum N=0, \sum M=0$  だけでは基礎底面の反力分布が一様でないために決定できない。したがって ⑥、⑦、⑧式を用いて  $p_1$  がケーソンに対する内部仕事の最少を与える値を取るものとして決定する。即ち、 $p_1$  を不定反力と考え、またケーソンを弾性体と考え、地盤は底面、および側面共反力を生じることで変形はないものと仮定する。

カステリャノの最少仕事の原理から

$$\frac{\partial W}{\partial p_1} = 0 \quad \text{⑨}$$

$$W = \int_0^l \frac{M^2}{2EI} dz + \int_0^l \frac{\alpha S^2}{2GA} dz + \int_0^l \frac{N^2}{2EA} dz \quad \text{⑩}$$

ここに  $E$  : ケーソンの弾性係数

$G$  : ケーソンのせん断弾性係数

$I$  : ケーソン断面の二次モーメント

$\alpha$  : 定数

$A$  : ケーソン断面積

軸力  $N_z$  は  $p_1$  に無関係なところに留意して、

⑩式に、⑥、⑦、⑧式を代入し、⑩式を仕事の式⑨式に代入すると

$$\frac{p_1}{EI} \int_0^l \left( \frac{Z^3}{3y_1} - \frac{Z^4}{12y_1^2} \right)^2 dz - \frac{1}{EI} \int_0^l \left( M_0 + H_0 Z + \frac{1}{2} k w_1 Z^2 \right) \left( \frac{Z^3}{3y_1} - \frac{Z^4}{12y_1^2} \right)^2 dz$$

0点に関して、 $\sum M=0$  から

$$\int_0^l p y \cdot dy + M_0 - \frac{k w_1}{2} l^2 + R_A \cdot e = 0 \quad \text{②}$$

ここに、 $e$  は底面反力の合力の偏心量である。

側面の水平抵抗土圧を  $p$  とすると、物部式から

$$p = \frac{p_1}{y_1^2} (2y_1 y - y^2) \quad \text{③}$$

③式と、①、②式に代入すると

$$\left\{ \frac{p_1}{y_1^2} y^2 \left( y - \frac{l}{2} \right) - k w_1 l - M_0 = 0 \right. \quad \text{④}$$

$$\left. \frac{p_1}{y_1^2} y^3 \left( \frac{2}{3} y_1 - \frac{l}{4} \right) + M_0 - \frac{1}{2} k w_1 l^2 + R_A \cdot e = 0 \right. \quad \text{⑤}$$

ただし、 $M_A = R_A \cdot e$

⑤式において、底面反力が等分布一様であれば  $e=0$  により

$$+\frac{\alpha p_1}{GA} \int_0^{\ell} \left( \frac{z^2}{y_1} - \frac{z^3}{3y_1^2} \right)^2 dz - \frac{\alpha}{GA} \int_0^{\ell} (H_0 + kw_1 z) \left( \frac{z^2}{y_1} - \frac{z^3}{3y_1^2} \right) dz = 0 \quad \text{--- ⑩}$$

⑩式において

$$\text{第 1 項} = \frac{p_1}{EI} \cdot \frac{\ell^5}{y_1^2} \left( \frac{1}{65} - \frac{\ell}{144y_1} + \frac{\ell^2}{1296y_1^2} \right)$$

$$\text{第 2 項} = \frac{\ell^4}{EI} \cdot \left\{ M_0 \left( \frac{1}{12} - \frac{\ell}{50 \cdot y_1} \right) + H_0 \left( \frac{\ell}{15} - \frac{\ell^2}{72y_1} \right) + \frac{kw_1}{2} \left( \frac{\ell^2}{18} - \frac{\ell^3}{84y_1} \right) \right\}$$

$$\text{第 3 項} = \frac{\alpha \ell^5 \cdot p_1}{GA y_1^2} \cdot \left( \frac{1}{5} - \frac{\ell}{9y_1} + \frac{\ell^2}{63y_1^2} \right)$$

$$\text{第 4 項} = \frac{\alpha \ell^3}{GA y_1} \cdot \left( \frac{H_0}{5} - \frac{H_0 \ell}{12y_1} + \frac{kw_1}{4} \cdot \ell - \frac{kw_1}{15} \cdot \frac{\ell^2}{y_1} \right)$$

次に  $a = 1/EI$ ,  $b = \alpha/GA$ ,  $n = \ell/y_1$  と置いて  $p_1$  について⑩式を整理すると、

$$p_1 = \frac{\alpha \ell \left\{ M_0 \left( \frac{1}{12} - \frac{n}{60} \right) + H_0 \left( \frac{\ell}{15} - \frac{n\ell}{72} \right) + kw_1 \ell^2 \left( \frac{1}{36} - \frac{n}{168} \right) \right\} + b \left( \frac{H_0}{5} - \frac{H_0 n}{12} + \frac{kw_1 \ell}{4} - \frac{kw_1 \ell}{15} \cdot n \right)}{n \ell^3 a \left( \frac{1}{65} - \frac{n}{144} + \frac{n^2}{1296} \right) + n \cdot \ell \cdot b \left( \frac{1}{5} - \frac{n}{9} + \frac{n^2}{63} \right)} \quad \text{--- ⑪}$$

⑪式から

$$p_1 = \frac{H_0 + kw_1 \ell}{n \ell \left( 1 - \frac{n}{3} \right)} \quad \text{--- ⑫}$$

⑫および⑪式を  $n$  について解くと、

$$n^2 \left\{ \frac{a\ell}{180} M_0 + \left( \frac{5a\ell^2}{1296} + \frac{b}{84} \right) H_0 + \left( \frac{11a\ell^3}{9072} + \frac{2b\ell}{315} \right) kw_1 \right\} - n \left\{ \frac{2a\ell}{45} M_0 + \left( \frac{7a\ell^2}{240} + \frac{b}{12} \right) H_0 + \left( \frac{25a\ell^3}{3024} + \frac{7b\ell}{180} \right) kw_1 \right\} + \frac{a\ell}{12} M_0 + \left( \frac{16a\ell^2}{315} + \frac{2b}{15} \right) H_0 + \left( \frac{a\ell^3}{84} + \frac{b\ell}{20} \right) kw_1 = 0 \quad \text{--- ⑬}$$

⑬式から  $n$  を解けば  $y_1 = \ell/n$  から  $y_1$  が決定し、⑫式から  $p_1$  が決定出来る。ただし、⑬式から  $0 < n < 3$  である。

$p_1$  および  $y_1$  が決定されると、③式により  $p$  の分布が求められ ⑥、⑦、⑧式よりケーソンの各点における  $M_x$   $S_z$   $N_x$  が求められる。

### §III ケーソン底面における反力

基礎底面における地盤反力は、⑤式から

$$MA = RA \cdot e = \frac{p_1}{y_1^2} \left( \frac{2y_1}{3} \ell^3 - \frac{\ell^4}{4} \right) + M_0 - \frac{1}{2} kw_1 \ell^2$$

で、 $p_1$ ,  $y_1$  が求められた時、底面反力、 $q_1$   $q_2$  は

$$\left. \begin{matrix} q_1 \\ q_2 \end{matrix} \right\} = \frac{NA}{A} \pm \frac{MA \cdot a}{I} \quad \text{--- ⑭}$$

ただし、 $NA = N_0 + w_1 \ell$

ケーソン側面に働らく、上向マサツ力を考えた場合

$$\left. \begin{matrix} q_1 \\ q_2 \end{matrix} \right\} = \frac{NA}{A} \pm \frac{MA \cdot a}{I} - \frac{L\ell f}{A}$$

にて計算出来る。

$L$  : ケーソン外周長  
 $f$  : 単位マサツ抵抗

#### §iv ケーソン掘入長の決定

水平反力  $p_1$  が  $p_1$  の生じる点における土の受働土圧  $p_{p1}$  を越えてはならないということより、⑫、⑬式を組合せ  $p_1, y_1$  を消去して、 $\ell$  を求めるわけであるが、ここでは、⑬式におけるせん断力による項を無視して、(⑩式においてせん断力による内部仕事を無視したもので、実際の計算においては、これらの項は約5%の影響を与えるにすぎない。) 次の関係式を導びいた。

⑫式から

$$p_1 = Kp \cdot w \cdot y_1 = \frac{M_0 \left( \frac{1}{12} - \frac{n}{60} \right) + H_0 \ell \left( \frac{1}{15} - \frac{n}{72} \right) + kw_1 \ell^2 \left( \frac{1}{56} - \frac{n}{168} \right)}{n \ell^2 \left( \frac{1}{63} - \frac{n}{144} + \frac{n^2}{1296} \right)}$$

⑬式から

$$p_1 = Kp \cdot w \cdot y_1 = \frac{H_0 + kw_1 \ell}{n \ell \left( 1 - \frac{n}{3} \right)}$$

$y_1 = \ell/n$  から 後式より、

$$n = \frac{3(Kp \cdot w \ell^2 - H_0 - kw_1 \ell)}{Kp \cdot w \ell^2} \text{ を、前式に代入して、} \ell \text{ について整理すると、}$$

$$\begin{aligned} \ell^5 \left\{ \frac{(Kp \cdot w)^2}{504} \right\} - \ell^4 \frac{Kp \cdot w \cdot kw_1}{536} - \ell^3 \left\{ \frac{15H_0 \cdot Kp \cdot w}{720} + \frac{11(kw_1)^2}{1008} \right\} - \ell^2 \left( \frac{M_0 Kp \cdot w}{30} + \frac{25 \cdot kw_1 H_0}{504} \right) \\ - \ell \left( \frac{kw_1 \cdot M_0}{20} + \frac{5H_0^2}{144} \right) - \frac{H_0 M_0}{20} = 0 \quad \text{⑭} \end{aligned}$$

⑭式を解いて、 $\ell$  を求めるが5次式ゆえに試算によらねばならないのでやっかいである。

#### 5. 池原・横山式

物部式がケーソンに生じる底面反力の偏心を無視したもので安全すぎるきらいがあったが、ここではケーソン側面の受働土圧と底面反力の偏心の2抵抗要素が水平力による曲げモーメントに抵抗するものとして、計算を行なっている。

§i 仮定 1 ケーソンは剛体とし、その弾性変形は考えない。

2 基礎地盤は、地表面からの深さに比例する水平反力係数をもつ弾性体である。

3 ケーソン壁面と地盤とのマサンは無視する。

#### §ii 安定計算式

地表面から  $y$  の深さにおける地盤の変形量  $\eta$  に対応する地盤応力  $\sigma$  は

$$\sigma = K_{1,2} \eta \cdot y$$

ケーソンが水平傾度  $h$  の深さ  $m$  を中心として  $\theta$  だけ傾くとする。点  $m$  は合力の作用点が底面の構内にある限りはケーソンの中心線上にある。(中心線上にない場合は後述) この時、ケーソン前面の地表面より  $y$  の深さの地盤がうける水平方向の変形量  $\eta_y$  は

$$\eta_y = x \left( \cos \theta + \frac{h-y}{x} \cdot \sin \theta - 1 \right)$$

$\theta$ : 微小により  $\sin \theta = \theta$ ,  $\cos \theta = 1$  から

$$\eta_y = (h-y) \cdot \theta$$

よって、この点の水平方向の反力  $p$  は

$$p = K_1 \cdot y \cdot \eta_y = K_1 \cdot y \cdot (h-y) \cdot \theta \quad \text{.....(1)}$$

また底面に接する地盤の垂直方向変形量  $\eta x$  は

$$\eta x = x \cdot \theta$$

したがって地盤反力  $q$  は

$$q = K_2 \cdot \ell \cdot x \cdot \theta + \frac{N_0 + w_1 \ell}{A} \dots\dots\dots(2)$$

ケーソン断面の最大巾を  $2b$  とすると、 $\Sigma H = 0$  から

$$H_0 + kw_1 \ell - \int_0^\ell 2bK_1 y(h-y)\theta \cdot dy = 0$$

$$\therefore H_0 + kw_1 \ell - 2bK_1 \theta \left( \frac{h}{2} \ell^2 - \frac{\ell^3}{3} \right) = 0 \dots\dots\dots(3)$$

また中心線より  $x$  のキヨリの点のケーソン巾を  $2bx$  とすれば

$\Sigma M = 0$  より

$$M_0 - \frac{kw_1 \ell^2}{2} + \int_0^\ell 2bK_1 y^2(h-y)\theta dy - \int_{-a}^a 2bx \left( K_2 \ell \cdot x \cdot \theta + \frac{N_0 + w_1 \ell}{A} \right) x \cdot dx = 0$$

$$\therefore M_0 - \frac{kw_1 \ell^2}{2} + 2bK_1 \cdot \theta \left( \frac{h}{3} \ell^3 - \frac{\ell^4}{4} \right) - \frac{4}{5} K_2 \cdot \alpha \cdot b \cdot \ell \cdot \theta \cdot a^3 = 0 \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{ただし、} \alpha = \frac{5}{2b \cdot a^3} \int_{-a}^a bx \cdot x^2 \cdot dx$$

( $\alpha$  の数値は表-1 に示す)

(表-1)

(5)式より

$$\theta = \frac{3(kw_1 \ell + H_0)}{bK_1 \ell^2(3h - 2\ell)} \dots\dots\dots(5)$$

(5)を(4)式に代入、整理して、 $K = \frac{K_2}{K_1}$

$$h = \frac{kw_1 \ell^4 + 3H_0 \ell^3 + 4M_0 \ell^2 + 8\alpha K a^3 (kw_1 \ell + H_0)}{\ell (kw_1 \ell^2 + 4H_0 \ell + bM_0)} \dots\dots\dots(6)$$

これを(5)式に代入して、

$$\theta = \frac{3(kw_1 \ell^2 + 4H_0 \ell + bM_0)}{bK_1 \ell (\ell^3 + 24\alpha K a^3)} \dots\dots\dots(7)$$

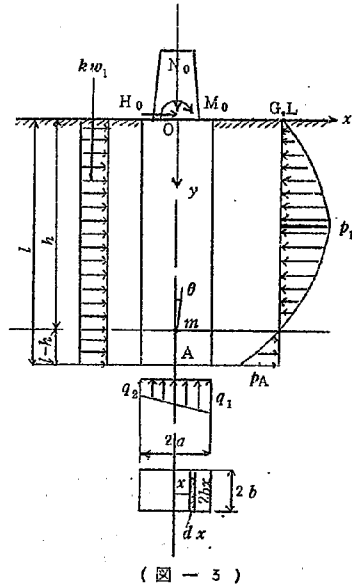
次に側面における最大水平反力  $p_1$  を求める。

(1)式を微分して

$$\frac{dp}{dy} = K_1 \theta (h - 2y)$$

したがって  $pp$  生じる位置  $y_1$  は

$$y_1 = \frac{h}{2}$$



| 底面形状 | $\alpha$ の 値                                                         |
|------|----------------------------------------------------------------------|
|      | 1                                                                    |
|      | $\frac{3\pi}{16} = 0.588$                                            |
|      | $\frac{3\pi}{16} = 0.588$                                            |
|      | $1 - 0.643n + 0.356n^2 - 0.0625n^3$<br>$n = \frac{b}{a}$             |
|      | $1 - \frac{0.412}{n}$<br>$n = \frac{b}{a}$                           |
|      | $\frac{3\pi}{16} \left\{ 1 - \left( \frac{a'}{a} \right)^4 \right\}$ |
|      | $\frac{3\pi}{16} \left( 1 - \frac{b \cdot a^3}{b \cdot a^3} \right)$ |

$$\therefore p_1 = K_1 \theta \frac{h^2}{2}$$

上式に(6)および(7)を代入すると

$$p_1 = \frac{3 \{ k w_1 \ell^4 + 3 H_0 \ell^3 + 4 M_0 \ell^2 + 8 \alpha K a^3 (k w_1 \ell + H_0) \}^2}{4 b \ell^3 (\ell^3 + 24 \alpha K a^3) (k w_1 \ell^3 + 4 H_0 \ell + 6 M_0)} \quad \dots\dots\dots(8)$$

また底面における地盤の max & min 反力  $q_1, q_2$  は(2)式、(7)式より

$$\left. \begin{matrix} q_1 \\ q_2 \end{matrix} \right\} = \frac{N_0 + w_1 \ell}{A} \pm \frac{3 \alpha K (k w_1 \ell^2 + 4 H_0 \ell + 6 M_0)}{b (\ell^3 + 24 \alpha K a^3)} \quad \dots\dots\dots(9)$$

ケーソンの安定計算においては(8)式により  $p_1$  を計算し、これとその点、(地表より  $1/2 \cdot h$  の深さ)の受動抵抗土圧と比べ所要の安全率を有するかどうかを調べ、与えられた長で安全であることを確かめる。次に(9)式により計算した底面反力  $q_1$  を、その点の許容支持力と比較してみる。

#### § iii ケーソン根入長の決定

最大水平反力  $p_1$  によって根入長がきまる場合、 $p_1$  とその点の受動土圧  $p_{p1}$  とを比較して、与えられた根入長で十分の時には次式によって所要の根入長  $\ell$  を求める。

$$p_1 = p_{p1} \text{ とおくと、 } p_1 = K_1 \cdot \theta \cdot y_1^3 \quad p_{p1} = \frac{1}{n} \cdot K_p \cdot w \cdot y_1 \quad \text{から}$$

ここで  $n$  は安定率とする。

$$K_1 \cdot \theta \cdot y_1^3 = \frac{1}{n} \cdot K_p \cdot w \cdot y_1 \quad (y_1 = h/2)$$

$$y_1 = h/2 \text{ から } K_1 \cdot \theta \cdot h = \frac{2}{n} \cdot K_p \cdot w$$

上式に(6)および(7)式を代入して整理すると

$$\left( \frac{2}{n} \cdot K_p \cdot w b \right) \ell^5 - (3 k w_1) \ell^4 - (9 H_0) \ell^3 - 12 \left( M_0 - \frac{4}{n} K_p \cdot w b \cdot \alpha \cdot K a^3 \right) \ell^2 - (24 \alpha K a^3 k w_1) \ell - (24 \alpha K a^3 H_0) = 0 \quad \dots\dots\dots(10)$$

(10)式から、必要根入長、 $\ell$  が得られる。

#### § iv 回転中心がケーソン中心線上にない場合

水平力による回転モーメントが過大になって、底面に働らく垂直合力  $R$  が底面の核外に出る場合には、回転中心はもはや井筒中心線上には存在しない。ここでは井筒底面が円形の場合について考える。図-4において影線を描いた微小面積  $dA$  に対して働らいている垂直力を  $dRA$  とすれば

$$dRA = dA \cdot q = 2 a s_i n \varphi dx \cdot q$$

しかるに

$$q = \frac{d - (a - x)}{d} q_1 = \frac{\cos \varphi + \cos \beta}{1 + \cos \beta} q_1$$

$$x = a \cos \varphi$$

$$dx = -a \sin \varphi d\varphi$$

$$\therefore dRA = 2 a^2 s_i n^2 \varphi \frac{\cos \varphi \cdot \cos \beta}{1 - \cos \beta} q_1 d\varphi$$

$$\therefore dRA = \frac{-2 a^2 q_1}{1 + \cos \beta} \int_{\pi-\beta}^0 (\sin^2 \varphi \cos \varphi + \sin^2 \varphi \cos \beta) d\varphi$$

また

$$q_1 = K_2 \ell \theta a (1 + \cos \beta)$$



ただし

$$\frac{6Ka^2m_1(hw_1l^2+4H_0l+6M_0)}{l^3+24m_2Ka^2}=N_0+wl$$

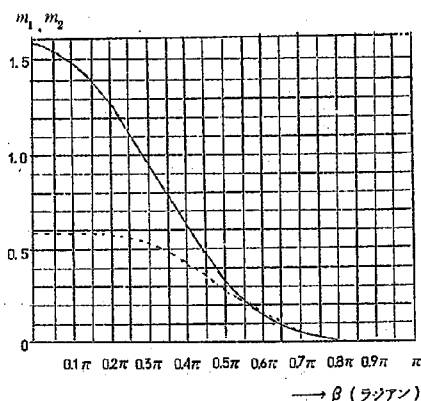
$$m_1=\frac{1}{3}\sin^3\beta+\frac{\sin\beta\cos^2\beta}{2}+\frac{1}{2}(\pi-\beta)\cos\beta$$

$$m_2=\frac{5}{2}\left(\frac{\pi-\beta}{6}+\frac{1}{3}\sin^3\beta\cos\beta-\frac{\sin 4\beta}{32}\right)$$

$m_1$  と  $m_2$  との関係は図-4に示す。これを用いてトリアルで (6), (7) 式に必要な  $m_2$  を容易に求めることができる。

なお、ケーソンの任意深さにおける  $M_z$ ,  $S_z$ ,  $N_z$  の計算式は物部式と同じにつき省略

$m_1$  と  $m_2$  との関係



## 6. 後藤式

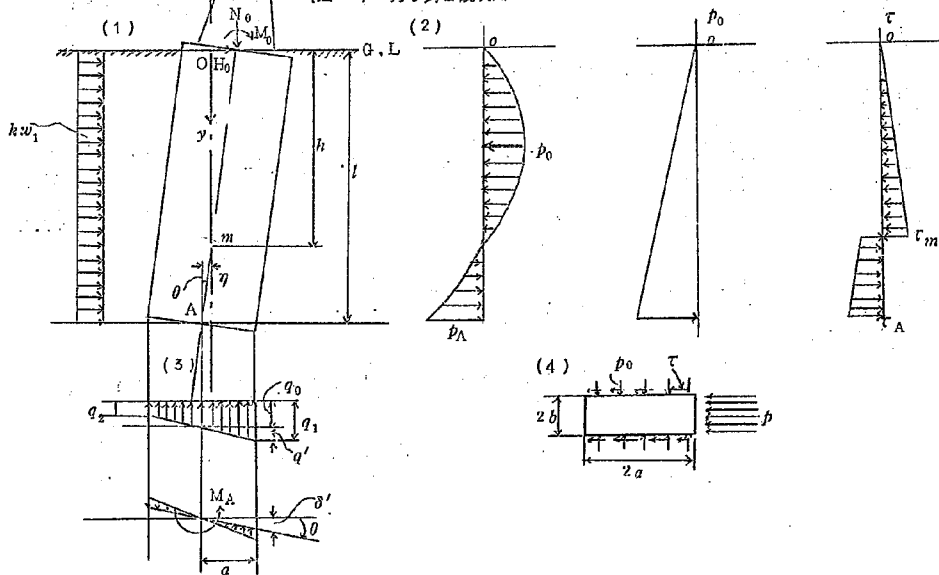
横山・池原氏の安定計算式にケーソン側面と基礎地盤との間に作用する水平方向マサツ力と鉛直方向マサツ力  $f_v$  とを加えて、合理的な理論式を導びいたものである。

### §I 仮定

1. ケーソンは剛体とする。
2. 受働抵抗土圧は2次曲線分布をとるものとする。
3. マサツ抵抗力  $\tau$ 、および  $f_v$  は1次分布の主働土圧  $p_0$  に比例するものとし、その比例定数はマサツ係数  $\mu'$ ,  $\mu$  で表わされるものとする。
4. 地盤は地表面からの深さに比例する水平および鉛直反力係数  $K_1$ ,  $K_2$  をもつ弾性体とする。

### §II 基礎平衡式の誘導

(図-5) 力の釣合説明図



(1)  $\tau$ ,  $q$ ,  $MA$ ,  $NA$  等の算出

$\tau$  は (図-5) の(4)に示すように、両側面  $a$  に作用し、かつ同図(2)の1次分布主働土圧  $P_0$  に比例すると考える。

$$\tau = \mu' \cdot KA \cdot w \cdot y, \quad \tau_A = -\mu' \cdot KA \cdot w \cdot \ell \quad 1\tau_m = \mu' \cdot KA \cdot w \cdot h \quad \text{.....①}$$

次に  $q$  は (図-5) の(1), (3)から

$$\left. \begin{aligned} q_1 \\ q_2 \end{aligned} \right\} = q_0 \pm q' = \frac{NA}{A} \pm \frac{MA}{I(2b)} \cdot a \quad \text{.....②}$$

式②の  $q'$  の偏心作用のため、(図-5) の(1), (3)から

$$q' = K_{2A} \cdot \delta', \quad \delta' = \theta \cdot a, \quad \theta = -\eta/\ell - h, \quad \eta = p_A/K_{1A} \quad \text{物部式より } p_A = \frac{4\ell(h-\ell)}{h^2} p_1$$

これから

$$q' = \frac{K_{2A}}{K_{1A}} \cdot \frac{4 \cdot \ell \cdot a \cdot p_1}{h^2} \quad \text{.....③}$$

$$\text{②, ③から } MA = q' \cdot \frac{I(2b)}{a} = \frac{K_{2A}}{K_{1A}} \cdot I(2b) \cdot \frac{4\ell}{h^2} \cdot p_1 = K \cdot \frac{4 \cdot \ell \cdot I(2b)}{h^2} p_1 \quad \text{.....④}$$

$$\text{ここで } K = \frac{K_{2A}}{K_{1A}}$$

また、ケーソンに働く上向マサツ力  $fv$  は、(図-5) の(2)の  $p_{0A}$  から

$$fv = \mu \cdot L \cdot p_{0A} \cdot \frac{\ell}{2} = \mu \cdot L \cdot w \cdot KA \cdot \frac{\ell^2}{2} = \frac{1}{2} \mu \cdot L \cdot w \cdot KA \cdot \ell^2 \quad \text{.....⑤}$$

$$\therefore NA = N_0 + w_1 \cdot \ell - fv$$

$$q_0 = \frac{NA}{A} \quad \text{.....⑥}$$

(2) 釣合方程式

②式に④式の  $MA$ 、⑥式の  $NA$  を代入し、 $q_1 > q_2$  として、 $q_1$  のみを考えて、 $\Sigma N = 0$  から

$$q_1 = \frac{1}{A} (N_0 + w_1 \ell - fv) + 4K \cdot \ell \cdot a \cdot p_1 / h^2 \quad \text{.....⑦}$$

$\Sigma H = 0$  は (図-6) を参照して、

$$+H_0 + kw_1 \cdot \ell + 2a(\tau_m + \tau_A)(\ell - h) - 2a\tau_m \cdot h - 2b \int_0^\ell p \cdot dy = 0$$

しかるに

$$(\tau_m + \tau_A)(\ell - h) = \mu' \cdot KA \cdot w(\ell^2 - h^2)$$

$$p = 4p_1 y(h - y) / h^2,$$

$$+H_0 + kw_1 \cdot \ell + 2a \cdot \mu' \cdot KA \cdot w(\ell^2 - 2h^2) + \frac{8b \cdot p_1}{h^2} \ell^2 \left( \frac{h}{2} - \frac{\ell}{3} \right) = 0$$

.....⑧

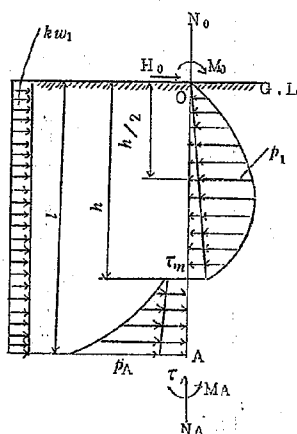
次に原点 (地表面)  $O$  のまわりの  $\Sigma M = 0$  をとると、

$$+M_0 - \frac{1}{2} kw_1 \cdot \ell^2 + \frac{4}{3} a \cdot \tau_m \cdot h^2 + 2b \int_0^\ell py \cdot dy$$

$$- 2a(\tau_m + \tau_A)(\ell - h) \times \left\{ h + \frac{1}{3} \cdot \frac{\tau_m + 2\tau_A}{\tau_m + \tau_A} (\ell - h) \right\} + MA = 0$$

$$\text{ここで上式の第4項} = 8b \cdot p_1 \cdot \ell^3 \cdot \left( \frac{h}{3} - \frac{\ell}{4} \right) / h^2$$

$$\text{第5項} = -4a\mu' KA \cdot w(\ell^3 - h^3) / 3$$



(図-6)

MA = ⑦式 を代入すると、

$$\therefore M_0 - \frac{1}{2} w_1 \cdot h \cdot l^2 + \frac{4}{3} a \cdot \mu' \cdot K_A \cdot w (2h^3 - l^3) + \frac{8b \cdot p_1 l^3}{h^2} \left( \frac{h}{3} - \frac{l}{4} \right) - K \cdot I (2b) \cdot \frac{4l}{h^2} \cdot p_1 = 0 \quad \text{⑧}$$

以上の釣合方程式⑦、⑧、⑨に対して、未知数は  $q_1, l, p_1, h$  の4個で、解くことはできない。したがって、4つの未知数のうち、1つが与えられれば解けることになる。

§ 3 ①  $p_{p1}$  (側面の土の最大受働土圧) が与えられた場合

(図-2) の  $p_1$  が与えられた  $p_{p1}$  を越えることはできないから、 $p_1 \leq p_{p1}$ 、したがって、両者を等しいと置くことにより

$$p_1 = p_{p1} = \frac{1}{2} K_p \cdot w \cdot h \quad \text{⑩}$$

式⑩を式⑦、⑧、⑨に代入すると、これらの未知数は  $q_1, h, l$  の3個となるが  $q_1$  は⑦式で与えられるので、式⑧を式⑧、⑨に代入すれば未知数  $h, l$  に対して次の2式を得る。

$$H_0 + h w_1 l + 2a \cdot \mu' \cdot K_A \cdot w (l^3 - 2h^3) - \frac{4b \cdot K_p \cdot w l^2}{h} \left( \frac{h}{2} - \frac{l}{3} \right) = 0 \quad \text{⑪}$$

$$M_0 - \frac{1}{2} h w_1 l^2 + \frac{4}{3} a \cdot \mu' \cdot K_A \cdot w (2h^3 - l^3) + \frac{4K_p \cdot w l}{h} \left\{ b \cdot l^2 \left( \frac{h}{3} - \frac{l}{4} \right) - K I (2b) \right\} = 0 \quad \text{⑫}$$

⑪式の上の式を  $h$  について整理すると、

$$4a \cdot \mu' \cdot K_A \cdot w h^3 - \left\{ H_0 + h w_1 l + (2a \cdot \mu' \cdot K_A - 2b \cdot K_p) w l^2 \right\} h - \frac{4}{3} b \cdot K_p \cdot w l^3 = 0 \quad \text{⑬}$$

また、⑫式  $\times h$  - ⑬式より、 $h$  に関する2次方程式を得る。

$$\alpha \cdot h^2 + \beta \cdot h + \gamma \cdot K_p \cdot w l = 0 \quad \text{⑭}$$

$$\text{ここに } \alpha = H_0 + h w_1 l + (2a \cdot \mu' \cdot K_A - 2b \cdot K_p) w l^2$$

$$\beta = \frac{3}{2} \left( M_0 - \frac{1}{2} h \cdot w_1 l^2 \right) - (2a \cdot \mu' \cdot K_A - \frac{10}{3} b \cdot K_p) w l^3$$

$$\gamma = -\frac{3}{2} (2K I (2b) + b l^3)$$

同様に、⑫式を変形すると、

$$F \cdot h^3 - \alpha \cdot h - \frac{4}{3} b \cdot K_p \cdot w l^3 = 0 \quad \text{⑮}$$

$$\text{ここに } F = 4a \cdot \mu' \cdot K_A \cdot w$$

⑬式から  $h$  を求め、⑭式に代入すると、根入長決定式として

$$\gamma^2 (K_p \cdot w l)^2 F - \left\{ \alpha \cdot \gamma \cdot K_p w l (2\alpha \cdot \gamma + \frac{4}{3} \beta b l^2) + \beta^2 (\alpha \gamma + \frac{4}{3} \beta b l^2) \right\} F + \alpha^3 (\alpha \gamma + \frac{4}{3} \beta b l^2 - \frac{16}{9} b^2 K_p \cdot w l^3) = 0 \quad \text{⑯}$$

となるが 式⑯は第1項からわかるように  $l$  に関する11次方程式であるので、試算法でやることは非常に時間がかかるので実際には以下のように数値計算を行なうのが便利である。

即ち、⑬、⑮ の各々において、 $l$  を順次仮定して、これに対する  $h$  を2次式、および3次式の根の公式から算出して、 $l-h$  曲線を描く、これにより式⑬、⑮の2つの  $l-h$  曲線の交点が求める根入長  $l$  を与える。

以上のようにして与えられた  $p_p$  に対して  $l$  が決定すると、この  $l, h$  を式⑦に代入して  $q_1$  を算出し、底面の許容支持力  $q_m$  を越えるか越えないかを検討する。

§iv 底面の許容支持力  $q_m$  が与えられた場合の根入長決定式

(図-5) の力の釣合状態で図の  $q_1$  が  $q_m$  を越えてはならない。

$$\text{即ち, } q_1 = q_m \text{ ———— (17)}$$

(16) 式を (7) 式に代入し, (6) 式の  $N_A$ 、即ち,  $q_0$  を用いると式 (7) から  $p_1$  は

$$p_1 = \frac{K_1 A}{K_2 A} \cdot \frac{h^2}{4al} (q_m - q_0) = \frac{1}{K} \cdot \frac{h^2}{4al} \cdot q' \text{ ———— (18)}$$

この  $P_1$  を式 (8) 及び式 (9) に代入すると、未知数  $l$ 、 $h$  に対して (18)、(19) 式が得られる。

$$4a\mu' K_A \cdot w \cdot h^2 + \frac{b}{a} \cdot \frac{1}{K} \cdot q' \cdot l \cdot h - (H_0 + k w_1 l) - (2a\mu' K_A \cdot w + \frac{2b \cdot q'}{3a \cdot K}) l^2 = 0 \text{ ———— (19)}$$

$$4a\mu' K_A \cdot w \cdot h^3 + \frac{b}{a} \cdot \frac{1}{K} \cdot q' \cdot l^2 \cdot h - \frac{3}{2} (M_0 - \frac{1}{2} w_1 l^2) - 2a\mu' K_A \cdot w \cdot l^3 \\ - \frac{3}{2aK} q' \cdot (2 \cdot K \cdot I (2b) - b l^3) = 0 \text{ ———— (20)}$$

(19) 式  $\times h$  - (20) 式から

$$\frac{b}{a} \cdot \frac{1}{K} \cdot q' \cdot l \cdot h^2 - \{ H_0 + k w_1 l + (2a\mu' K_A \cdot w + \frac{2b}{3aK} q') l^2 + \frac{b q'}{a \cdot K} l^2 \} h \\ + 2a\mu' K_A \cdot w l^3 - \frac{3}{2} (M_0 - \frac{1}{2} k w_1 l^2) - \frac{3}{4a} \{ 2I (2b) - \frac{b}{K} l^3 \} q' = 0 \text{ ———— (21)}$$

(19)、(21) 式から  $h$  を消去すれば  $l$  に関する根入長決定式を得る 前記と同様にして

$$\text{式 (19)} \quad \alpha_1 h^2 + \beta_1 h + \gamma_1 = 0$$

$$\text{式 (21)} \quad \alpha_1 h^2 + \beta_2 h + \gamma_2 = 0$$

} と書く、

$\alpha_1 \alpha_2 \beta_1 \beta_2 \gamma_1 \gamma_2$  は (19)、(21) 式における  $h$  の係数である。

あとは前述と同じ操作を行なって、所要の  $l$ 、 $h$  がきめられる。これがきまったら、(17) 式から  $p_1$  を算出し、 $p_{pi}$  を越えるか越えないかを検討する。

結果、§iii、§iv で与えられる  $l$  のうち大きな方で根入長は決定される。

§v ケーソンの任意深さにおける  $M_y, S_y, N_y$  の計算

1)  $0 < y \leq h$

$$M_y = -M_0 - H_0 \cdot y - \frac{1}{2} k w_1 y^2 + \frac{1}{3} b \mu' K_A \cdot w y^3 + \frac{8a}{y^2} P_1 (\frac{h}{6} y^3 - \frac{1}{12} y^4)$$

$$S_y = -H_0 - k w_1 y + b \mu' K_A \cdot w y^2 + \frac{8a}{h^2} \frac{P_1}{h^2} (\frac{h}{2} y^2 - \frac{1}{3} y^3)$$

$$N_y = N_0 + w_1 y - \frac{1}{2} \mu L w K_A \cdot y^2 \quad (\text{浮力 } u \text{ は無視})$$

2)  $h < y < l$

$$M_y = -M_0 - H_0 y + \frac{1}{2} k w_1 y^2 + \frac{1}{3} b \mu' K_A \cdot w (4h^3 - 6h^2 y + y^3) \\ + \frac{8a}{h^2} \frac{P_1}{h^2} (\frac{h}{6} y^3 - \frac{1}{12} y^4)$$

$$S_y = -H_0 - k_1 w y - b \mu' K_A \cdot w (y^2 - 2h^2) + \frac{8a}{h^2} \frac{P_1}{h^2} (\frac{h}{2} y^2 - \frac{1}{3} y^3)$$

$$N_y = N_0 + w_1 y - \frac{1}{2} \mu L w K_A \cdot y^3$$

## 7. 白石式

前述の4つの計算法に比べて最も難解な方法である。この原因は外力に対する抵抗要素として受働抵抗土圧、底面反力の外に、壁面の鉛直マサツ力 $f_v$ および底面の水平マサツ力 $F_a$ を、実験的検証の上でとり入れ、また地盤の水平反力係数 $K_h$ がエンゲル氏系統の在来の理論では深さ $Z$ に正比例して増加するように考えられていたが $K_h$ の分布は地盤条件により異なるので $K_h = K_{h1} Z^r$  ( $0 < r \leq 1$ )とした所にある。

### § 1. 仮 定

1. ケーソンは剛体とする。
2. 水平反力 $p$ および底面反力 $q$ は壁面または底面の変位に比例する値をとるものとする。
3. 水平反力係数 $K_h$ が深さ $Z$ の $r$ 乗 ( $0 < r \leq 1$ ) に比例する。  
即ち、 $K_h = K_{hA} \cdot Z^r$   $K_{hA}$  は単位深さにおける $K_h$ の値。
4. 底面における鉛直反力係数  $K_{vA} = K \cdot K_{hA} \cdot \ell^r$  と仮定する。

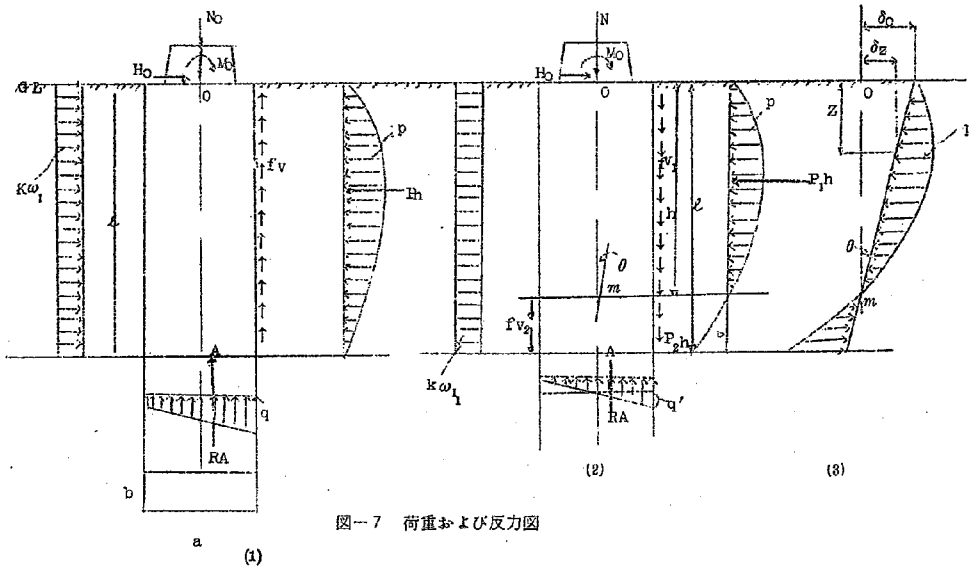
### § 2. 記 号

- $\ell$  : ケーソン長 (m)
- $h$  : 回転中心の深さ (m)
- $M_{0u}$  : 0点に働く  $H_{0u}$  による曲げモーメント, また  $M_0 = M_{0u} - \frac{1}{2} k_w \ell^2$  (t.m)
- $H_{0u}$  : 0点に働く上部構造物の水平力, また  $H_0 = H_{0u} - k_w \ell$  (t)
- $N_{0u}$  : 0点に働く上部構造からの垂直力, また  $N_0 = N_{0u} + w_1 \ell$
- $f_v$  : 側面に働く鉛直マサツ力 (t)
- $F_a$  : 底面に働くマサツ力 (t)
- $p$  : 水平反力 ( $t/m^2$ )
- $P_h$  :  $p$  の合力  $= \int_0^\ell p \cdot dz = H_0 + F_a$  (t)  $P_{1h}, P_{2h}$  : (図-7-2) に示すとおり。
- $p_1$  :  $p$  の最大値 ( $t/m^2$ ) (側面に働くせん断力をも含めたものとする。)
- $Z$  : 地表面からの深さ (m)
- $Z_1$  :  $1$  の生じる深さ (m)
- $w_1$  : ケーソンの単位長当りの重量 ( $t/m$ )
- $K$  : 水平変位
- $K_h$  : 水平地盤係数  $K_{hA}$  : 底面における水平地盤係数
- $K_{vA}$  : 底面における鉛直地盤係数
- $k = K_{vA} / K_{hA} = K_v / K_h$
- $m$  : 回転中心点
- $R_A$  : 底面反力の合力 (t)
- $q$  : 底面反力 ( $t/m^2$ )  $q_1$  :  $q$  の最大値
- $a$  : 底面巾 (m)  $a \cdot b = A$
- $b$  : 奥行巾 (m)
- $G_a$  : 底面の粘着力 ( $t/m^2$ )  $G$  : 壁面の粘着力 ( $t/m^2$ )
- $M_{0p}$  : 底面マサツ力 $F_a$ および水平反力 $p$ による0点の曲げモーメント (t.m)
- $M_{0R}$  : 底面反力 $q$ による0点の曲げモーメント (t.m)

(1)  
 $M_0 f$  : 側面の鉛直マサツ力  $f_v$  による  $O$  点の曲げモーメント (t.m)

$\delta$  : 壁面マサツ角  $\phi_A$  : 底面マサツ角  $\phi$  : 土の内部マサツ角

### § 3. 安定計算式の誘導



図一七 荷重および反力図

図一七における(1)と(2)との差は底面が原位置で回転するか底面がずれて水平に移動するかどうかによって生じる。

#### § 3.1 水平反力 $P$ の計算式

(図一七-3) においてケーソンが  $m$  点を中心に回転し、地表面において  $\delta_0$ ,  $Z$  の深さで  $\delta_Z = \delta_0 (1 - \frac{Z}{h})$  だけ水平変位が生じるとすれば当初の仮定

当初の仮定

$$K_h = K_h A \cdot Z \gamma \quad \text{--- ①}$$

ここに  $\gamma$  の値は下表の如くである。

| 地盤条件      | 粘性土                      | 砂質土                      |
|-----------|--------------------------|--------------------------|
| 深さ方向に土質不変 | $\gamma = 0.5 \sim 0.75$ | $\gamma = 0.75 \sim 1.0$ |
| 深くなる程密度大  | $\gamma = 0.75 \sim 1.0$ | $\gamma = 1.0$           |
| 小         | $\gamma = 0.25 \sim 0.5$ | $\gamma = 0.5 \sim 0.75$ |

水平反力  $P$  は仮定 2 により

$$P = K_h \cdot \delta_Z = K_h \cdot \delta_0 (1 - \frac{Z}{h}) = K_{h1} \cdot Z^r \delta_0 \cdot (1 - \frac{Z}{h}) \quad \text{--- ②} \quad \text{で示される。}$$

水平力の総和  $\sum H = 0$  より

$$H_0 + F_a - b \int_0^L f \cdot dz = 0 \quad \text{--- ③} \quad \int_0^L P \cdot dz = P_h$$

③に②を代入して、

$$H_0 + F_a - b \cdot K_{hA} \cdot \delta_0 \left\{ \frac{\ell^{r+1}}{r+1} - \frac{\ell^{r+2}}{h(r+2)} \right\} = 0 \quad \text{--- ④}$$

②と④を連立させ、 $K_{h1} \cdot \delta_0$  を消去し、 $p$  について解くと、

$$p = \frac{(r+1)(r+2)(H_0 + F_a) \cdot Z^r}{\{r+2 - (r+1)\ell/h\} \cdot b \cdot \ell^{r+1}} \cdot \left(1 - \frac{Z}{h}\right)$$

$$F_h = b \cdot \int_0^\ell p \cdot dZ = H_0 + F_a \text{ であるから}$$

$$p = \frac{(r+1)(r+2) \cdot Ph \cdot Z^r}{\{r+2 - (r+1)\ell/h\} \cdot b \cdot \ell^{r+1}} \cdot \left(1 - \frac{Z}{h}\right) \quad \text{--- ⑤}$$

⑤式が水平反力の分布を与える一般式であるが、ここには未知数  $Ph$ 、および  $h$  を含むので、次に(図-7-2)において0点に関するモーメントの釣合いを考える。

0点に働くモーメントは、外力モーメント  $M_0$ 、水平反力  $P$  および底面マサツ力  $F_a$  による0点モーメント  $M_{op}$ 、底面反力  $q$  による0点の抵抗モーメント、 $M_{or}$ 、および壁面の鉛直マサツ力  $f_v$  による0点のモーメント  $M_{of}$  である。

$$\text{従って、} \quad M_0 = M_{op} + M_{or} + M_{of} \quad \text{--- ⑥} \quad \text{が成り立つ。}$$

$$M_{op} = \ell F_a + b \cdot \int_0^\ell p \cdot Z \cdot \alpha Z \quad \text{--- ⑦} \quad \text{より}$$

$$b \cdot K_{h1} \cdot \delta_0 = \frac{(r+1)(r+2)(r+3)}{\ell^{r+2}} \left\{ M_{op} + \frac{r+2}{r+3} \ell H_0 - \frac{\ell F_a}{r+3} \right\} \quad \text{--- ⑧}$$

$$\begin{aligned} \text{また } P_1 h &= b \int_0^h p \cdot \alpha Z = b \cdot K_{h1} \cdot \delta_0 \left\{ \frac{h^{r+1}}{r+1} - \frac{h^{r+1}}{r+2} \right\} = b \cdot K_{h1} \cdot \delta_0 \cdot \frac{h^{r+1}}{(r+1)(r+2)} \\ &= \left\{ (r+3) \frac{M_{op}}{\ell} + (r+2) H_0 - F_a \right\} \left( \frac{h}{\ell} \right)^{r+1} \quad \text{--- ⑨} \end{aligned}$$

(A)  $C_a = 0 = 0$  の砂の場合を考える。

$$M_{op} = \frac{a}{2} (P_1 h + F_a h) \tan \delta = \frac{a}{2} (2 P_1 h - H_0 - F_a) \tan \delta, \text{ ここに } \delta \text{ は壁面マサツ角である。}$$

$$\text{⑧式を上式に代入することにより} \quad (\because H_0 + F_a = Ph = P_1 h - P_2 h)$$

$$M_{of} \left\{ (r+3) \frac{M_{op}}{\ell} + (r+2) H_0 - F_a \right\} \left( \frac{h}{\ell} \right)^{r+1} = \frac{H_0 + F_a}{2} \quad \text{--- ⑩}$$

$$\text{しかるに } H_0 + F_a = P_1 h - P_2 h = b \int_0^\ell p \cdot dZ = b K_{hA} \cdot \delta_0 \left\{ \frac{\ell^{r+1}}{r+1} - \frac{\ell^{r+2}}{h(r+2)} \right\}$$

$$= \left\{ (r+2) - (r+1) \frac{\ell}{h} \right\} \left\{ (r+3) \frac{M_{op}}{\ell} + (r+2) H_0 - F_a \right\} \quad \text{--- ⑪}$$

⑦と⑩から  $M_{op}$  について解けば

$$M_{of} = \frac{\ell}{r+3} \left\{ \frac{H_0 + F_a}{r+2 - (r+1)\ell/h} - (r+2) H_0 + F_a \right\} \quad \text{--- ⑫}$$

⑪式を、⑩式に入れて

$$M_{of} = a \left\{ \frac{H_0 + F_a}{r+2 - (r+1)\ell/h} \left( \frac{h}{\ell} \right)^{r+1} - \frac{H_0 + F_a}{2} \right\} \cdot \tan \delta \quad \text{--- ⑬}$$

従って、⑥、⑫、⑬式より

$$M_{or} = M_0 - M_{op} - M_{of}$$

$$\begin{aligned} &= M_0 - \frac{\ell}{r+3} \left\{ \frac{H_0 + F_a}{r+2 - (r+1)\ell/h} - (r+2) H_0 + F_a \right\} \\ &\quad - a \left\{ \frac{H_0 + F_a}{r+2 - (r+1)\ell/h} \left( \frac{h}{\ell} \right)^{r+1} - \frac{H_0 + F_a}{2} \right\} \cdot \tan \delta \quad \text{--- ⑭} \end{aligned}$$

一方、底面反力  $q$  が等分布をする時、 $M_{OR}$  のみによる底面前端の鉛直反力は (図-7-2) を参照して、

$$q' = \frac{M_{OR}}{r_A} = \frac{a}{2} \cdot \theta \cdot K_v A \quad \text{ただし、} W_A = \frac{b a^2}{6} \text{ (断面係数)}$$

仮定4により

$$\theta = \text{ケーソン回転角}$$

$$(\theta = \delta c/h)$$

$$K_v A = K \cdot K_h A \cdot \ell^r \quad \text{であるから}$$

$$\therefore M_{OR} = \frac{K \cdot a \cdot W_A}{2} \cdot \theta \cdot K_h A \cdot \ell^r = \frac{K \cdot a \cdot W_A}{2} \cdot \frac{K_h A \cdot \delta c}{h} \cdot \ell^r \quad (14)$$

⑭式から、 $K_h A \cdot \delta c$  を出し、⑬式に代入することにより  $M_{OR}$  が求まる。

即ち、

$$\begin{aligned} M_{OR} &= \frac{K \cdot a \cdot W_A (r+1)(r+2)(H_0 + Fa)}{2 b \ell^2 \{r+2 - (r+1) \ell/h\}} \cdot \left(\frac{\ell}{h}\right) \\ &= \frac{K \cdot a^3 \cdot (r+1)(r+2)(H_0 + Fa)}{12 b \cdot \ell^2 \{r+2 - (r+1) \ell/h\}} \left(\frac{\ell}{h}\right) \quad (15) \end{aligned}$$

⑬式=⑮式をおくことにより、

$$\begin{aligned} \frac{K \cdot a \cdot W_A (r+1)(r+2)(H_0 + Fa)}{2 b \cdot \ell^2 \{r+2 - (r+1) \ell/h\}} \left(\frac{\ell}{h}\right) &= M_0 - \frac{(H_0 + Fa) \left\{ \frac{\ell}{r+3} + b \left(\frac{h}{\ell}\right)^{r+1} \cdot \tan \delta \right\}}{r+2 - (r+1) \ell/h} \\ &\quad + \frac{r+2}{r+3} \ell H_0 - \frac{\ell Fa}{r+3} + a \cdot \frac{H_0 + Fa}{2} \tan \delta \end{aligned}$$

上式を移項整理して  $h/\ell$  を求めると次式になる。

$$\frac{h}{\ell} = \frac{(r+1) \left\{ (r+3) M_0 + (r+2) \ell H_0 - \ell Fa + \frac{a}{2} (H_0 + Fa) \tan \delta (r+3) \left\{ 1 + \frac{(r+2) K \cdot W_A}{b \ell^2 \cdot \tan \delta} \right\} \right\}}{(r+3) \left\{ (r+2) M_0 + (r+1) \ell H_0 - \ell Fa + \frac{a}{2} (H_0 + Fa) \tan \delta \left\{ (r+2) - 2 \left(\frac{h}{\ell}\right)^{r+1} \right\} \right\}} \quad (16)$$

(B) 土の内部マサツ角  $\phi = \delta = 0$  の粘土の場合

底面粘着力が底面全部に働らく時には  $F_a = C_a \cdot A = C_a \cdot a b$  となる。

従って

$$M_{of} = \frac{C_a}{2} \cdot a b \{ (\ell - h) + h \} = \frac{C_a}{2} \cdot a b \cdot \ell \quad (17)$$

$$M_{op} = \frac{\ell}{r+3} \left\{ \frac{H_0 + C_a \cdot a b}{r+2 - (r+1) \ell/h} - (r+2) H_0 + C_a \cdot a b \right\} \quad (18)$$

$$M_{OR} = \frac{K \cdot a \cdot W_A (r+1)(r+2)(H_0 + C_a \cdot a b)}{2 b \ell^2 \{r+2 - (r+1) \ell/h\}} \left(\frac{\ell}{h}\right) \quad (19)$$

(A)と同様にして

$$M_0 = M_{op} + M_{of} + M_{OR} \text{ より}$$

$$\begin{aligned} \frac{K \cdot a \cdot W_A \cdot (r+1)(r+2)(H_0 + C_a \cdot a b)}{2 b \ell^2 \{r+2 - (r+1) \ell/h\}} \cdot \left(\frac{\ell}{h}\right) &= M_0 - \frac{C_a b \ell}{2} - \frac{\ell}{r+3} \left\{ \frac{H_0 + C_a \cdot a b}{r+2 - (r+1) \ell/h} \right. \\ &\quad \left. - (r+2) H_0 + C_a \cdot a b \right\} \end{aligned}$$

上式を移項して  $h/\ell$  を求めると

$$\frac{h}{\ell} = \frac{(r+1) \left\{ (r+3) M_0 + (r+2) \ell H_0 - C_a a b \ell - \frac{r+3}{2} C_a \cdot a b \ell + \frac{(r+2)(r+3)}{2 b \ell^2} (H_0 + C_a \cdot a b) K \cdot a \cdot W_A \right\}}{(r+3) \left\{ (r+2) M_0 + (r+1) \ell H_0 - C_a \cdot a b \ell - (r+2) \cdot \frac{C_a \cdot a b}{2} \cdot \ell \right\}} \quad (20)$$

(4)  $\delta \approx \phi_a > 0, C_a, 0 > 0$  の一般の場合

この場合には(A)および(B)における⑩式と⑪式とを合成することにより回転中心の深さ  $h$  は次式で与えられる。

$$\frac{h}{\ell} = \frac{(r+1) \left\{ (r+3) M_0 + (r+2) \ell H_0 - \ell F_a - (r+3) \cdot \frac{C_a}{2} a b \cdot \ell + (r+3) \frac{a}{2} (H_0 + F_a) \left\{ \tan \delta + (r+2) \cdot \frac{K W_A}{b \ell^2} \right\} \right\}}{(r+3) \left\{ (r+2) M_0 + (r+1) \ell H_0 - \ell F_a - (r+2) \frac{C_a}{2} a b \ell + (r+2) \frac{a}{2} (H_0 + F_a) \tan \delta \left\{ 1 - \frac{2}{r+2} \left( \frac{h}{\ell} \right)^{r+1} \right\} \right\}} \quad (21)$$

または、 $H_0 + F_a = P_h$  とおくことにより、

$$\frac{h}{\ell} = \frac{(r+1) \left\{ 1 + \frac{r+1}{r+3} \frac{a}{\ell} \left( \frac{h}{\ell} \right)^{r+1} \cdot \tan \delta + \frac{(r+2)^2 K \cdot a^3}{12 \ell^3} \right\}}{\frac{r+2}{P_h} \left\{ \ell H_0 - \ell F_a - \frac{C_a}{2} a b \right\} + \frac{a}{2 \ell} \left\{ r+2 - 2 \left( \frac{h}{\ell} \right)^{r+1} \right\} \tan \delta - 1} \quad (22)$$

一般に、 $\ell \gg a$  の場合には、底面反力による抵抗モーメント  $M_0 R$  および鉛直マサツ力  $F_v$  によるモーメント  $M_0 f$  を無視出来、考慮すべき抵抗要素は水平反力  $P$  と底面マサツ力  $F_a$  だけとなる。

従って、O点のまわりのモーメントの釣合から

$$M_0 - \ell \cdot F_a + b \int_0^\ell P \cdot Z \cdot dZ = 0$$

$$\int_0^\ell P \cdot Z \cdot dZ = K h_1 \cdot \delta_0 \left\{ \frac{\ell^{r+2}}{r+2} - \frac{\ell^{r+3}}{h(r+3)} \right\}$$

$$\therefore M_0 - \ell \cdot F_a + b \cdot K h A \cdot \delta_0 \left\{ \frac{r+2}{r+2} - \frac{\ell^{r+3}}{h(r+3)} \right\} = 0 \quad (23)$$

④と②式を連立し、 $b \cdot K h A \cdot \delta_0$  を消去し、移項整理すると

$$\frac{h}{\ell} = \frac{(r+1) \left\{ (r+3) M_0 + (r+2) \ell H_0 - \ell F_a \right\}}{(r+3) \left\{ (r+2) M_0 + (r+1) \ell H_0 - \ell F_a \right\}} \quad (24)$$

②式と④式を比較してみると、②式は④式の分子、分母に0を含む項と、 $\frac{a}{2} \cdot (H_0 + F_a) \tan \delta$  の含む項が加わった形であり④式の  $\frac{h}{\ell}$  は、②式の  $\frac{h}{\ell}$  より一般に大きい。これら新たに加わった項は  $M_0 f$  および  $M_0 R$  の影響を表わすものである。これらの項の大きさが微小な場合には④式の  $h$  を用いても大差はないが、そうでない時には④又は②式によって、 $h$  を算出しなければならない。

なお以下の記述において、底面反力の分布巾は図-8のように2通り考えられるが(イ)の  $a'$  の算出法には疑問点が多く、またきわめて複雑なので、ふれず(ロ)の場合についての

み考えることにする。

即ち  $\frac{R_A}{A} \geq \frac{M_0 R}{W_A}$  の場合である。

$$R_A = N_c - P_h \cdot \tan \delta$$

### § 3.2. 諸反力の計算

(1)  $h = \ell$  の場合 (図-7-1)

この場合には底面が滑動を生じない時で重心が低い重構造物に多い。

水平反力の一般式 (⑤式) より、 $h = \ell$  とおいて

$$P = (r+1)(r+2) \cdot \frac{P_h \cdot Z^r}{b \cdot \ell^{r+1}} \left( 1 - \frac{Z}{\ell} \right) \quad (25)$$

また  $P$  および  $Z_1$  は  $\frac{dP}{dZ} = 0$  から

$$Z_1 = \left( \frac{r}{r+1} \right)^{\frac{1}{r}} \cdot \frac{(r+2) P_h}{b \cdot \ell} \quad (26)$$

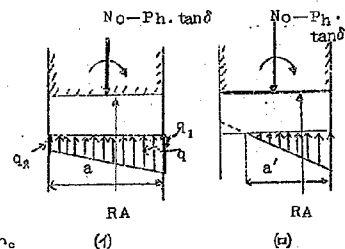


図-8

$$Z_1 = \frac{r}{r+1} \cdot \ell \quad \text{--- ㉔}$$

㉓、㉔式における  $Ph$  は、㉒式において、 $h = \ell$  とおくことにより

$$Ph = \frac{\frac{Mo}{\ell} + Ho - \frac{ab}{2} \cdot Ca}{\frac{2}{r+3} + \frac{a}{2\ell} \cdot \tan \delta + \frac{(r+1)(r+2)K \cdot a^3}{12\ell^3}} \quad \text{--- ㉕}$$

次に底面反力  $q$  は

$$q_{1,2} = \frac{RA}{A} \pm \frac{MoR}{WA}$$

ここに  $RA = No - Ph \cdot \tan \delta$ ,  $A = ab$

$$MoR = \frac{K \cdot a^3 (r+1)(r+2)Ph}{12 \cdot b \ell^2} \quad (\because \text{㉕において } h = \ell \text{ と置く})$$

$$WA = b \cdot a^2 / 6$$

$$\therefore q_1 = \frac{No - Ph \cdot \tan \delta + K \cdot a (r+1)(r+2)Ph}{a \cdot b \cdot 2b \ell^2} \quad \text{--- ㉖}$$

㉖  $h < \ell$  の場合 (図-7-2)

この場合は底面の水平マツ力  $Pa$  がある限界値  $Pa'$  を超過して、底面が滑動する。

㉖と同様にして

$$P_1 = \left\{ \frac{r \cdot h}{(r+1)\ell} \right\}^r \cdot \frac{(r+2)Ph}{\{r+2 - (r+1)\ell/h\}b \cdot \ell} \quad \text{--- ㉗}$$

$$Z_1 = \frac{r}{r+1} \cdot h \quad \text{--- ㉘}$$

また底面反力は

$$q_{1,2} = \frac{RA}{A} \pm \frac{MoR}{WA} \quad \text{--- ㉙}$$

$$\text{㉙式から、} MoR = \frac{(r+1)(r+2)K \cdot a^3 \cdot Ph}{12 \{r+2 - (r+1)\ell/h\}h \cdot \ell}$$

従って

$$q_1 = \frac{No - Ph \cdot \tan \delta + \frac{(r+1)(r+2)K \cdot a \cdot Ph}{2 \{ (r+2)h - (r+1)\ell \} \cdot b \cdot \ell}}{a \cdot b} \quad \text{--- ㉚}$$

㉙、㉚、㉛ 各式における  $h$  の算出は㉒式、あるいは㉒式から求められるが、 $Ph$  については、㉑で述べた

$Ph$ ・㉒式と異なり、底面のすべり出しの限界値  $Pa'$  を用いて求める。

即ち、水平反力の合力が

$$Ph = Pa' + Ho \quad \text{--- ㉛となる}$$

ここで  $Pa'$  について考える。

図-9において

$\phi, \phi_a$  : 側面の土の内部マツ角および底面の内部マツ角

$G, Ca$  : " 粘着力 " 粘着力

$RA$  : 底面反力  $G$  は奥行のみに作用する。

とする時、

$$Pa' = RA \cdot \tan \phi_a + Ca \cdot ab$$

$$RA = No - (Ho + Pa') \tan \phi - G \cdot r(2h - \ell)$$

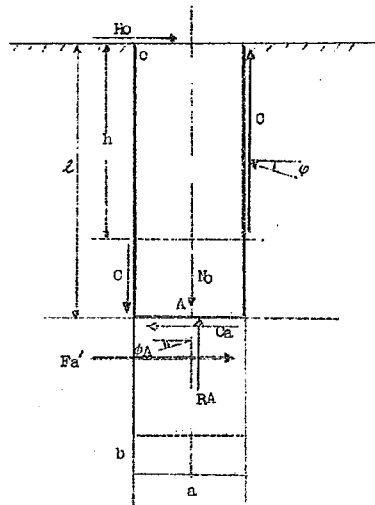


図 - 9

$$\therefore F_a' = \{N_0 - c_a \cdot b(2h - L) - (H_0 + F_a') \tan \phi\} \cdot \tan \phi_a + c_a \cdot a \cdot b.$$

上式を解いて

$$F_a' = \frac{N_0 - H_0 \cdot \tan \phi - c_a \cdot b(2h - L) + c_a \cdot a \cdot b \cot \phi_a}{\tan \phi + \cot \phi_a} \quad (31)$$

従って、(31)式による  $F_a'$  を(30)式に代入して、 $P_h$  を得る。

§ 4. ケーソンの任意深さ  $Z$  における  $M_Z$ ,  $S_Z$ ,  $N_Z$  の計算式。

$$\begin{aligned} M_Z &= M_0 - H_0 z + b \int_0^Z p \cdot \left\{ \left( \frac{Z'}{L} - Z \right) + \frac{a}{2} \cdot \tan \delta \right\} dz + \frac{a \cdot b}{2} \cdot c \cdot z = -M_{0u} - H_{0u} \cdot Z - \frac{1}{2} k \omega_1 Z^2 \\ &+ \frac{(r+1)Ph}{\{r+2-(r+1)\frac{a}{L}\}} \left( \frac{Z}{L} \right)^{r+1} \left\{ \frac{Z}{r+3} \left( \frac{r+3}{r+1} \frac{Z}{h} \right) + \frac{a}{2} \left( \frac{r+2}{r+1} \frac{Z}{h} \right) \tan \delta \right\} - \frac{a \cdot b}{2} \cdot c \cdot Z \\ S_Z &= \frac{dM_Z}{dz} = -H_{0u} - k \omega_1 Z - \frac{a \cdot b}{2} \cdot c \\ &+ \frac{(r+1)Ph}{\{r+2-(r+1)\frac{a}{L}\}} \left( \frac{Z}{L} \right)^{r+1} \left\{ \frac{r+2}{r+1} \frac{Z}{h} + \frac{a}{2} \tan \delta \left\{ \frac{(r+2)^2}{r+1} - \frac{r+2}{h} \right\} \right\} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} N_Z &= N_{0u} + \omega_1 Z - b \int_0^Z p \cdot \tan \delta \cdot dz - c \cdot b \cdot Z \\ &= N_{0u} + \omega_1 Z - \frac{(r+1)Ph}{\{r+2-(r+1)\frac{a}{L/h}\}} \left( \frac{Z}{L} \right)^{r+1} \cdot \left\{ \frac{r+2}{r+1} \frac{Z}{h} \right\} \cdot \tan \delta - c \cdot b \cdot Z \end{aligned} \quad (33)$$

## 8. 参考文献

1. 物部 長穂 : 土耐震学 (昭和27年6月) 理工図書
2. 酒井 信男 : 橋脚用特殊井筒基礎工の水平力に対する安定について 土木学会誌 (昭和14年6月)
3. 池原武一郎・横山 章 : 水平力をうけた井筒の安定計算について 土木学会誌 (昭和28年12月)
4. 後藤 尚男 : 橋脚井筒の側面摩擦力和底面上向反力とを考慮した場合の耐震静計算法 土木学会誌 (昭和31年2月)
5. 白石 俊多 : 構造物基礎の安定に関する土質力学的研究 学位請求論文 (昭和34年11月)