

鳥取大学 正員 勝見 雅  
 “ “ 正員 藤村 尚  
 沖縄県庁 正員 渡嘉敷 隆

1. まえがき

水平力のみが作用する場合の単杭の水平抵抗に関しては、従来より数多くの研究が行われている。しかし、軸力と考慮した単杭の水平抵抗に関する研究は、より現実的な問題にもかかわらず、2, 3の理論的な研究がなされているだけであり、実験的研究も杭の水平力および軸力と同時に作用させることがなされていないために、ほとんど行われていないのが現状である。

そこで、筆者らは今までに導いた結果を踏えて、水平力のみを取り扱う理論式をも考慮した理論式に拡張する試みを行った。また、杭の軸力と考える場合には、杭頭が床版などに剛結されていて、その上に上部構造物が載っている場合がほとんどであることより、ここでは頭部が固定された杭に関して述べる。さらに、誘導した理論式の妥当性及び杭の水平抵抗に及ぼす軸力の影響をみるために室内模型実験を行った。

2. 理論式の誘導

ここでは、杭の周辺地盤の非線形性を杭の周辺地盤が荷重の増大とともに、地表面から徐々に降伏状態に達するものとする、いわゆる複合地盤反力法を考慮し、軸力と考慮した理論式を誘導する。理論式の誘導の際には、図-1に示すような杭頭固定で、しかも地上に突出していない単杭の杭頭に水平力Hと軸力Nが作用する場合について考える。地盤反力の分布は以前砂質性土盤では2次曲線であることが確かめられたことより、図-2に示すごとく、塑性領域および弾性領域においてそれぞれ  $bp_1x_1^2$ ,  $bk_1y_2$  として与える。また、軸力Nを杭頭から杭先端まで一定とし、横方向地盤反力係数も深さ方向に一定であるとすれば両領域における杭の挙動に関する基礎微分方程式を無次元表示すると、それぞれ次式で示される。

$$\text{塑性領域} (Z \leq Z_p) : \frac{d^4 Y_1}{dZ_1^4} + \frac{N}{EI \beta_1^2} \frac{d^2 Y_1}{dZ_1^2} + Z_1^2 = 0 \quad (1)$$

$$\text{弾性領域} (Z > Z_p) : \frac{d^4 Y_2}{dZ_2^4} + \frac{N}{EI \beta_2^2} \frac{d^2 Y_2}{dZ_2^2} + 4Y_2 = 0 \quad (2)$$

無限長の杭に対し式(1)および(2)の一般解を求めると、それぞれつぎのようになります。

$$Y_1 = C_1 + C_2 Z_1 + C_3 \cos A Z_1 + C_4 \sin A Z_1 - \frac{1}{12A^2} Z_1^4 + \frac{1}{A^2} Z_1^2 \quad (3)$$

$$Y_2 = e^{-dZ_2} (C_5 \cos \gamma Z_2 + C_6 \sin \gamma Z_2) \quad (4)$$

ここに、 $\beta_1 = \sqrt{bp_1/EI}$ ,  $\beta_2 = \sqrt{bk_1/4EI}$ ,  $Z_1 = \beta_1 x_1$ ,  $Z_2 = \beta_2 x_2$ ,  $Z_p = \beta_1 x_p$ ,  $Y_1 = \beta_1 y_1$ ,  $Y_2 = \beta_2 y_2$ ,  $A = \sqrt{N/EI \beta_1^2}$ ,  $d = \sqrt{1-N/4EI \beta_2^2}$ ,  $\gamma = \sqrt{1+N/4EI \beta_2^2}$  であり、 $C_1 \sim C_6$ は境界条件と接続条件によって定まる積分定数である。杭頭 ( $Z_1=0$ ) における境界条件と弾塑性両域の境界 ( $Z_1=Z_p$ ,  $Z_2=0$ ) においては  $\beta = \beta_2/\beta_1$  として) における接続条件から次式が書ける。

$$(Y_1')_{Z_1=0} = 0, \quad \beta_1^2 (Y_1''')_{Z_1=0} + \frac{N}{EI} (Y_1')_{Z_1=0} = \frac{H}{EI} \quad (5)$$

$$(Y_1)_{Z_1=Z_p} = \frac{1}{\beta} (Y_2)_{Z_2=0}, \quad (Y_1')_{Z_1=Z_p} = (Y_2')_{Z_2=0} \quad (6)$$

$$(Y_1'')_{Z_1=Z_p} = \beta (Y_2'')_{Z_2=0}, \quad (Y_1''')_{Z_1=Z_p} = \beta^2 (Y_2''')_{Z_2=0}$$

そこで、式(3)、(4)と式(5)、(6)のもとに解けば、積分定数  $C_1 \sim C_6$  はつぎのように定まる。

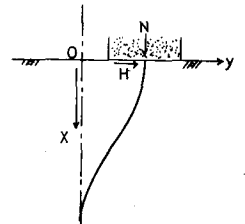


図-1 杭頭に水平力Hと軸力Nと受ける杭頭固定の単杭

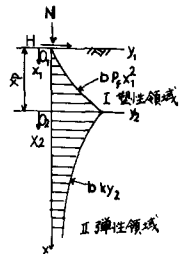


図-2 弾、塑性域と地盤反力

$$C_1 = Y_0 + \frac{1}{\Delta} \{ [\beta^2 \{ A^2 (r^2 - 3\alpha^2) - 4\beta^2 \} \bar{x} + 2A^2 \alpha \beta \bar{z}] Y_0' + \{ -4\alpha \beta^2 \bar{x} + A \{ A^2 - \beta^2 (r^2 - 3\alpha^2) \} \bar{z} \} Y_0'' + \{ (A^2 - 2\beta^2) \bar{x} + 2A\alpha \beta \bar{z} \} Y_0''' \}$$

$$C_2 = \frac{H}{EI\beta^2 A^2} (\equiv Q), \quad C_3 = \frac{2\beta^2}{\Delta} (2\beta^2 Y_0' + 2\alpha \beta Y_0'' + Y_0'''), \quad C_4 = -\frac{H}{EI\beta^2 A^2} (\equiv P)$$

$$C_5 = \frac{A\beta}{\Delta} \{ \beta \{ A\beta (r^2 - 3\alpha^2) \bar{x} + 2A^2 \alpha \bar{z} \} Y_0' + \{ A^2 - \beta^2 (r^2 - 3\alpha^2) \} \bar{z} Y_0'' + (A\bar{x} + 2\alpha \beta \bar{z}) Y_0''' \} \quad (7)$$

$$C_6 = \frac{A\beta}{\Delta r} \{ \{ A\alpha \beta^2 (3r^2 - \alpha^2) \bar{x} + A^2 \beta (\alpha^2 - r^2) \bar{z} \} Y_0' + \alpha \{ A^2 - \beta^2 (3r^2 - \alpha^2) \} \bar{z} Y_0'' + \{ A\alpha \bar{x} + \beta (\alpha^2 - r^2) \bar{z} \} Y_0''' \}$$

式(7)において

$$\Delta = 2\beta^2 A \{ -2A\alpha \beta \bar{x} + (A^2 - 2\beta^2) \bar{z} \} \quad (\Delta = 0 : \text{座屈条件式})$$

$$Y_0 = \frac{1}{12A^2} Z_p'' - \frac{1}{A^2} Z_p' - Q Z_p - P \bar{z}, \quad Y_0' = \frac{1}{3A^2} Z_p'' - \frac{2}{A^2} Z_p' - Q - AP \bar{x} \quad (8)$$

$$Y_0'' = \frac{1}{A^2} Z_p'' - \frac{2}{A^2} + A^2 P \bar{z}, \quad Y_0''' = \frac{2}{A^2} Z_p' + A^2 P \bar{x}, \quad \bar{x} = \cos AZ_p, \quad \bar{z} = \sin AZ_p$$

である。また両域における曲げモーメント  $M_1, M_2$  は  $M_1 = -EI\beta_1 (Y_1'')$ ,  $M_2 = -EI\beta_2 (Y_2'')$  の関係より次式が与えられる。

$$M_1 = EI\beta_1 (A^2 C_2 \cos AZ_1 + A^2 C_4 \sin AZ_1 + \frac{1}{A^2} Z_1'' - \frac{2}{A^2})$$

$$M_2 = -EI\beta_2 e^{-\alpha Z_2} \{ (\alpha^2 - r^2) C_5 - 2\alpha r C_6 \} \cos r Z_2 + \{ (\alpha^2 - r^2) C_6 + 2\alpha r C_5 \} \sin r Z_2$$

すなわち、式(8)に含まれる  $Z_p$  は塑性領域の深さ  $x_p$ 、 $\beta$  を乗じたもの、すなわち、 $Z_p = \beta_1 x_p$  を表わし、その値は  $(Y_1)_{z_1=x_p} = \beta_1 p_f (Z_p/\beta_1)^2/k$  あるいは  $(Y_2)_{z_2=0} = \beta_2 p_f (Z_p/\beta_1)^2/k$  の関係より次式を満足する解として与えられる。

$$\frac{Z_p^2}{4\beta^2} - C_5 = 0$$

### 3. 計算結果とその考察

模型実験装置の概略図を図-3に示す。軸力の水平抵抗におよぼす影響を討つために、両式における  $N = 45 \text{ kg}$  に対して曲げモーメントの測定結果および式(9), (10)と地盤を完全弾性体と考える理論計算曲線を描いたのが図-4である。対象とした杭は、昨年著者らが行った数値計算を参考にし、興行幅が  $1 \text{ cm}$ 、作用幅  $b = 3 \text{ cm}$ 、弾性係数  $E = 30,000 \text{ kg/cm}^2$  であり、地盤定数としては式(9), (10)に対し、降伏地盤反力係数  $p_f = 0.015 \text{ kg/cm}^2$ 、横方向地盤反力係数  $k = 8 \text{ kg/cm}^3$  を弾性理論式に関して  $k = 8 \text{ kg/cm}^3$  の値を採用した。図-5は軸力の違いによる曲げモーメントの測定結果の比較と現わしたものであるが、図-4、図-5による地盤の非線形性、軸力の大きさが曲げモーメントに与える影響が大なることがわかる。

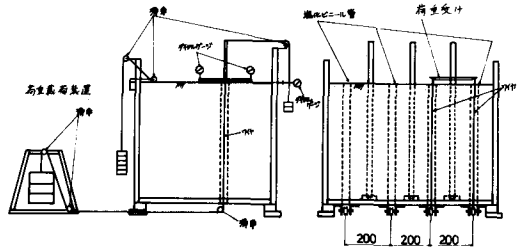


図-3 模型実験装置の概略図

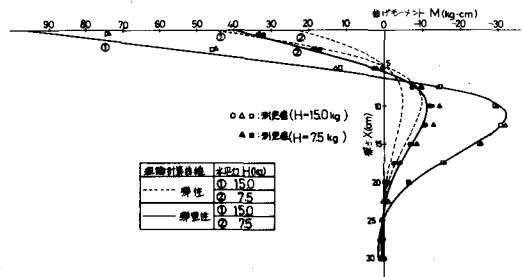


図-4 曲げモーメントの測定結果と理論計算曲線

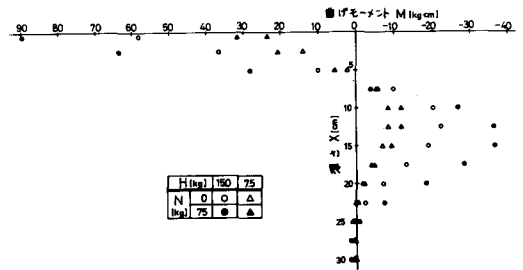


図-5 軸力の違いによる曲げモーメント測定結果の比較