

くい先端差異における支持力

名城大学理工学部土木科 正会員 柴田道生
名城大学理工学部土木科 正会員 阿河武志

諸言

杭の半径方向の変位については、2、3発表されているが、杭鉛直下方の変位はほとんど無視されている。著者らの実験において（先端角度、30度、60度）杭の鉛直下方の変位がかなり影響が見られているので無視することが出来ない。そこで前回の実験においては半径方向の変位を重視して行なったが、今回はその結果を用いて、杭鉛直下方の変位の計算を行なったものである。

1) 理論

地表より z なる位置の杭軸力は杭頭からその位置までの杭周摩擦抵抗を差引いたものに等しい。

$$N_z = Q_0 - \int_0^z \psi f_z dz \quad \text{--- (1) 但し } N_z: z \text{ の位置の杭軸力 (Kg)}$$

(1) 式を z で微分して

Q_0 : 杭頭荷重 (Kg) ψ : 杭周長 (Cm)

$$dN_z/dz = -\psi f_z \quad \text{--- (2) } f_z: \text{ 上向きの杭周摩擦強度}$$

次に杭の任意の点の変位量は、杭先端の貫入量 u_0 と z から $z=l$ までの杭の圧縮量の和に等しい、 $u_z = u_0 + 1/AE \cdot \int_z^l N_z dz$ --- (3) 式を z で2度微分すると

$$d^2 u_z / dz^2 = -1/AE \cdot dN_z / dz \quad \text{--- (4) } A: \text{ 杭の純断面積, } E: \text{ 杭材ヤング率}$$

(4) 式に (2) 式を代入して $d^2 u_z / dz^2 - \psi f_z / AE = 0$ --- (5) f_z は変位 u_z の関数として地盤が降伏するまで、線形関係にあるものとする、 $f_z = C u_z$ (6) 但し、 C : セン断係数、(5) 式は $d^2 u_z / dz^2 - C u_z = 0$ --- (7) 式の解は、 $u_z = M e^{\alpha z} + N e^{-\alpha z}$ --- (8) 但し、 M : N は積分常数である。そこで地盤係数を k として $k = Q_0 / A_p u_0$ (Kg/cm³) 但し、 A_p : 杭先端支持面積、 u_0 : 変位量 Q_0 : 軸力、境界条件は $z=0$ ($\eta=0$) で $u_z = u_0$ 、 $z=l$ ($\eta=1$) $u_z = u_l$ を用いると

$$M = -\frac{u_0 e^{\beta} - u_l}{2 \sinh \beta} \quad N = \frac{u_0 e^{\beta} - u_l}{2 \sinh \beta} \quad \text{但し } \beta = \alpha l = \sqrt{\frac{C \psi}{AE}} \cdot l \quad \text{従って、(8) 式は}$$

$$u_z = \frac{u_0 \sinh \beta (1-\eta) + u_l \sinh \eta \beta}{2 \sinh \beta} \quad \text{--- (9) } \eta = \frac{z}{l}$$

$$N_z = Q_0 - \frac{C \psi l}{\beta \sinh \beta} \left\{ u_0 \cosh \beta - u_0 \cosh \beta (1-\eta) + u_l (\cosh \eta \beta - 1) \right\} \quad \text{--- (10)}$$

$$u_0 = u_l + \frac{1}{AE} \int_0^l N_z dz \quad \text{この式に (10) 式を代入し、すると } u_0 = \frac{Q_0 l \tan \beta}{AE \beta} + \frac{u_l}{\cosh \beta} \quad \text{--- (11)}$$

次に $\frac{z}{l} = \eta$ においてから $z=l$ で $\eta=1$ (10) 式を代入 $k = \frac{Q_0 l}{A_p u_0} = \frac{N_0}{A_p u_0}$ --- (12) これを (11) 式に代入すると u_0 が求まる。

$$u_l = \frac{\cosh \beta \left(Q_0 - \frac{C \psi l}{\beta \sinh \beta} \frac{Q_0 l \tan \beta}{AE \beta} \cosh \beta + \frac{C \psi l}{\beta \sinh \beta} \frac{Q_0 l \tan \beta}{AE \beta} \right)}{k A_p \cosh \beta - \frac{C \psi l}{\beta \sinh \beta} + \frac{C \psi l}{\beta \sinh \beta} \cosh \beta} \quad \text{--- (13)}$$

2) 杭先端下方地盤の変位量

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\sigma_z - \nu \sigma_r - \nu \sigma_t}{E} \quad (14) \quad \text{但し、 } u: z \text{ 方向の土の変位 } \nu: \text{土のポアソン比}$$

$$E: \text{土の弾性係数} \quad u: r \text{ 方向の土の変位}$$

そこで (r, t, z,) の円柱座標を用いて、 $\nu = 0.3$ とする、 $\sigma_z, \sigma_r, \sigma_t$ を (18) 式に代入する

$$\frac{\partial u}{\partial z} = -1.5 \left(\frac{\partial u'}{\partial r} + \frac{u'}{r} \right) \quad (15) \quad \text{杭先端下方の土の締固を R として仮定する。R の}$$

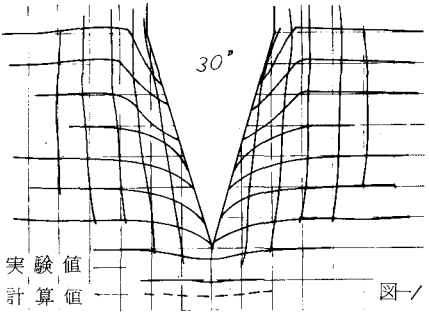
変位量、 $\int_0^R \frac{\partial u}{\partial z} dz = - \int_0^R 1.5 \frac{\partial u'}{\partial r} dz - \int_0^R 1.5 \frac{u'}{r} dz = (16) \quad \frac{\partial u'}{\partial r} \quad \frac{u'}{r}$ は次のように表はされる

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u'}{\partial r} = \frac{1}{E} \{ \Delta \sigma_r - \nu \Delta \sigma_t - \nu \Delta \sigma_z \} \quad (17) \quad \varepsilon_t = \frac{1}{E} \{ \Delta \sigma_t - \nu \Delta \sigma_r - \nu \Delta \sigma_z \} \quad (18)$$

但し、 $\Delta \sigma_z = \sigma_z - K_n \delta z$ 、 $\Delta \sigma_t = \sigma_t - K_n \delta z$ モールの破壊条件から $\Delta \sigma_r = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \Delta \sigma_t$ 但し、 $K_n =$ 静止土圧係数、 r : 土の単位重量、そこで $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ を 3 主応力として $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ の関係で砂の破壊条件として $\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$ 又 $\sigma_2 = \nu(\sigma_1 + \sigma_3)$ 、 $\sigma_z = \delta z$ 次に σ_t は最小主応力と考える $\sigma_t = \sigma_3$ 又 $\sigma_z + \sigma_t + \sigma_r = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ 従って $\sigma_3 = \sigma_t = \frac{\nu(1 - \sin \varphi)}{2(1 + \nu + 1)} (2K_n + 1) \delta z$ 、これを (17) 式と (18) 式に代入して、 $\varphi = 30^\circ, \nu = 0.3, K_n = 0.5$ とすると $\frac{\partial u'}{\partial r} = 0.4875 \frac{1}{E} r z, \frac{u'}{r} = -0.1625 \frac{1}{E} r z$ 従って (16) 式の右辺に代入して $\int_0^R \frac{\partial u}{\partial z} dz = \frac{1}{E} 1 r R \times 0.975 \quad (19)$ 、そこで (13) 式の u_0 は杭の貫入量であるからこれを地盤の変位量と考える。この地盤の変位量は、杭先端下方の円柱土層の変位の総量に等しいと考えて (13) 式と (17) 式と等しいと考えて、杭先端下方の影響範囲 R が求められる。そこで、この式は扁平の R の範囲であるから、先端角度 $30^\circ, 60^\circ$ を計算する場合には A_p を考えれば良い。

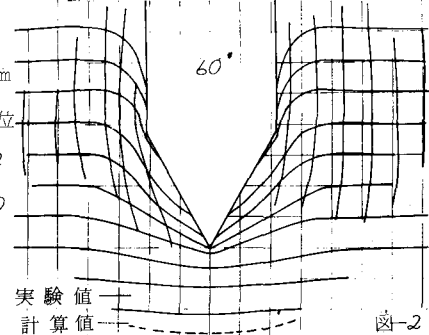
3) 杭先端下方地盤の影響圏の計算

杭径 15 cm、杭の根入 $l = 40$ cm、杭頭荷重 $Q_0 = 0.2t$
 杭材の弾性係数 $E = 97000 \text{ kg/cm}^2$ 、杭の純断面積 $A_p = \pi (7.5^2 - 3^2) = 1130.4 \text{ cm}^2$ 、 A_p 杭の先端支持面積 A_p は
 $[30^\circ] A_p = \pi r^2 \cos \theta = 353.25 \text{ cm}^2$ 、 $[60^\circ] A_p = \pi r^2 \cos \theta = 151.89 \text{ cm}^2$ 、 $\phi = \alpha_D = 47.1 \text{ cm}$ 、 $G = 0.4 \text{ kg/cm}^3$ 、 $K = 1.5 \text{ kg/cm}^2$
 地盤の弾性係数 $E = 270 \text{ rz kg/cm}^2$



4) 考察

先端角度 $30^\circ, 60^\circ$ の鉛直下方の変位を比較してみると
 実験値は、 30° の方は 6cm の変位、 60° の方は 22 cm の変位である。又計算値は、 30° の方が、8cm の変位、 60° の方が、28cm の変位の範囲である。図-1、2
 以上から荷重 Q_0 を越る層圧で止める時に先端角度 $30^\circ, 60^\circ$ を比べると、 30° の方は変位が小さく、 60° の方は変位の範囲が大きから、 30° の方が優る。



参考文献

1) くい先端角度の差異における地盤変位 (その 2) 昭和 46 年、中部支部、柴田阿河