

円錐先端角をもつくい塑性域

名城大学理工学部土木工学教室 正会員 柴田道生

1. 緒言

地盤にくいを貫入すると、くい周地盤に於ける塑性域に就いては、くい半径の何倍という数値で理論的に示されている。その数値は、くい半径の3~8倍とされている。筆者等は粘土地盤、砂地盤で行なった計測によると、理論的に算出された数値よりも、小さく表れるようであるが、弾塑性の境界を見出すことが著しく困難であるため、このような差が生ずるのかも知れない。元来、一般に施工されているくいは、先端部は円錐体で形成されている。そこで、円錐体周地盤も、くい本体と同様、円錐体の半径の3~8倍で示されるべきかと理論的に求めて見たのが本文の内容である。

2. 円錐体周地盤の塑性域の計算

図1に於いて、先端断面AB面に加える荷重を Q 、

HF、IG面に沿う土相互の摩擦力を T 、摩擦力の長さを C_2

と示すと、ベラズンツェにより

$$C_2 = \frac{\tan(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2})}{\lambda - 1} \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + \frac{\varphi}{\lambda_0} \tan(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2})} \right]^{\lambda - 1} \right\} \lambda l_0 \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{但し } \lambda = 2 \tan \varphi \tan(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2})$$

$$T = 2\pi l_0 Z \frac{C_2}{2} \quad \varphi_0 = \frac{\pi(l_0^2 - r^2) \gamma Z - T}{\pi(l_0^2 - r^2)} \quad \text{ここで } \varphi = \text{土の内部摩擦角}$$

γ : 土の単位重量

$$\pi r^2 \varphi = \pi(l_0^2 - r^2) \gamma Z \quad \varphi = \sqrt{12N} + 15 \quad \pi r^2 \varphi = NA$$

N : 先端地盤の N 値、 A : 杭の先端断面積

$$\pi r^2 \varphi - T = F, \quad \text{この } F \text{ が } AB \text{ 断面に加える荷重である。}$$

この φ の値は次の(2)式で示される。(図2参照)

$$\text{即ち } \varphi = \varphi_0 \frac{\cos(90 - \theta - \varphi) \cos \varphi}{\cos(90 - \theta)(1 - \sin \varphi)} e^{2(\frac{3\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - 90 + \theta) \tan \varphi} \quad \text{----- (2)}$$

ここで先端角は 2θ である。

図2に於いて、 $\triangle AOC$ に於ける AO 面の垂直応力 $\sigma_1 = \sigma_2$ と、水平応力と σ_3 とする。いま、地盤が円錐面に沿って破壊されるとする。この破壊円錐面地盤への垂直応力 σ_1 と、その面に沿う地盤の剪断応力 τ は、次の(3)式(4)式で示される。

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2(90 - \theta) \quad \text{----- (3)}$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2(90 - \theta) \quad \text{----- (4)}$$

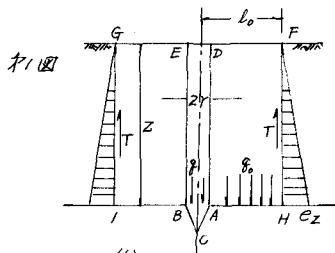
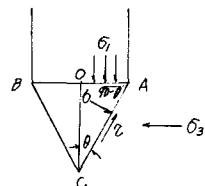


図2



即ち、 σ と τ はモールの円を満足する。いすくい本体の長さ $L = 100 \text{ cm}$ 、径 15 cm 。

$\varphi = 30^\circ$ 、 $\gamma = 1800 \text{ kg/m}^3$ 、といて (1) 式より $C_2 = 0.0186 \text{ kg/cm}^2$ 、 $L_0 = 28 \text{ cm}$

$T = 152 \text{ kg}$ 、 $\delta_0 = 0.017 \text{ kg/cm}^2$ と得る。さて先端円錐角 $\theta = 30^\circ$ の場合と方へは。

(2) 式より $\delta = \delta_1 = 1.8643 \text{ kg/cm}^2$ と得る。

次に $\sigma_3 = K_m \delta Z$ とおくと σ_3 は深さ Z の函数で示される。

$K_m = 0.5$ とすると、 σ_3 の値は深さに δ によって変化する。従つて、(3) (4) 式を用いて

任意の深さ Z に於ける σ と τ の計算される。

次に σ を水平分力に換算すると

$$\sigma' = \sigma \sin(90 - \theta)$$

いす $Z = 105 \text{ cm}$ の處と計算すると、 $\sigma = 0.5369 \text{ kg/cm}^2$ 従つて水平分力 $\sigma' = 0.465 \text{ kg/cm}^2$

次に、塑性域の範囲を r の中心より R とし、 R の處の地盤変位を u_R 、地盤変位 u 、

地盤の歪を $\frac{\partial u}{\partial r}$ として、円錐体において、 r の微小幅 (厚) の体積に等しい土を
横方向へ排除、押圧されると方へは $r = a$ として

$$\pi a^2 = \pi R \left\{ r \frac{\partial u}{\partial r} dr + 2\pi R u_R \right\} \quad \text{----- (5)}$$

一方、 $r = R$ 附近

地盤応力 (半径方向) の変化は $\frac{1}{m}$ と地盤のポアソン比とすると、

$$\Delta \sigma_{rR} = \sigma_{rR} - K_m \delta Z = \delta Z \left\{ \frac{1+m \sin^2 \varphi}{m+1} K_m - \frac{m(1-\sin^2 \varphi)}{2(m+1)} \right\} \quad \text{----- (6)}$$

又、円周方向の変化は

$$\Delta \sigma_{tR} = -\delta Z \left\{ \frac{1+m \sin^2 \varphi}{m+1} K_m - \frac{m(1-\sin^2 \varphi)}{2(m+1)} \right\} \quad \text{----- (7)}$$

一方地盤の歪 $\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{E} (\Delta \sigma_r' - \frac{1}{m} \Delta \sigma_t')$ ----- (8)

但し E : 地盤の弾性係数。

こゝで $\Delta \sigma_r'$ 、 $\Delta \sigma_t'$ は、半径方向応力及円周方向応力の变化量である。 K_m : 静止土圧係数

$$\text{即ち } \Delta \sigma_r' = \sigma_r' - K_m \delta Z \quad \text{----- (9)}$$

一方 $\Delta \sigma_t'$ は、 $\sigma_r' = \frac{1+m \sin^2 \varphi}{1-\sin^2 \varphi} \sigma_t'$ の関係より $\varphi = 30^\circ$ とすると

$$\Delta \sigma_t' = \frac{1}{3} \Delta \sigma_r' \text{ の関係が成立するものと仮定する。}$$

因式に於ける $\frac{1}{m} = \frac{1+m \sin^2 \varphi}{2}$ の関係を用いると (8) 式は $\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{E} (\Delta \sigma_r' - \frac{1+m \sin^2 \varphi}{2} \Delta \sigma_t') \quad \text{----- (10)}$

又、 $u_R = \frac{R}{E} (\frac{1}{m} \Delta \sigma_{rR} - \Delta \sigma_{tR}) \quad \text{----- (11)}$ いす $Z = 105 \text{ cm}$ の處での円錐体の半径は 5 cm

であるから、 $\frac{\partial u}{\partial r}$ 、 u_R を計算して、之等を (5) 式に代入すれば、 R の二次方程式、即ち

$$1.1058 R^2 = 23.03 + 78.5 E \quad \text{得る結果より } R \text{ の数値は } E \text{ の}$$

函数として表はされる。いす $E = 1308 Z$ とすれば $R = 42.98 \text{ cm}$ ($\frac{R}{a} = 8.6$)

$$E = 248 Z \text{ とすれば } R = 18.88 \text{ cm} \quad (\frac{R}{a} = 3.8)$$

即ち $R = (8.6 \sim 3.8) a$ と得る。いす本体と同様の塑性域と得る。

(参考文献) 西田義親: 砂地盤に及ぼす杭の端部範囲 土基礎 Vol. 12, No. 8 最上武雄、渡田隆、山口裕樹 土木 85, p. 71.