

金沢大学工学部 正員 西田 義親
 金沢大学工学部 正員 中川 誠志
 建設省中部地建 正員 関本 道尚
 金沢大学大学院 学生員 ○ 若松 措次

1. 緒言 著者の一人によって既に発表されている理論的研究を更に発展させて群杭が砂地盤中に打ち込まれている場合について、地盤の破壊機構、及びその時の破壊影響範囲と地盤内応力を理論的に誘導し、計算してみた。

2. 基本式 円柱座標 (r, τ, z) を用いると、砂地盤中の釣り合い方程式は(1), (2)式である。

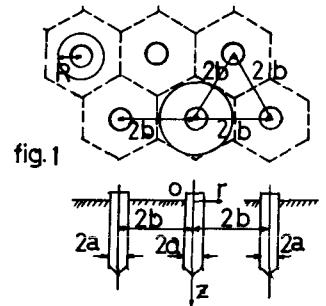
$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_z}{r} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau}{r} + \gamma = 0 \quad (2)$$

杭と砂地盤との間に側面摩擦はないと考えると、 $\tau = 0$ である。

(1), (2) を満たす解として、次のように仮定する。

$$\sigma_r = C_1 + \frac{C_2}{r^2}, \quad \sigma_z = C_1 - \frac{C_2}{r^2}, \quad \sigma_\tau = \gamma z \quad (3), (4), (5)$$

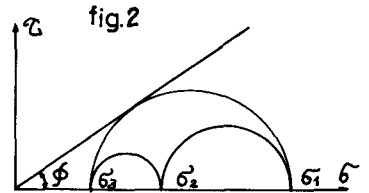


3. 砂の破壊条件 いま、3主応力を $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) として次の関係を用いる。

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (6)$$

ここに ϕ は砂の内部摩擦角である。

(6)式が成立するところ ($a \leq r \leq R$) を破壊領域、その外側 ($R \leq r \leq b$) を弾性領域とする。



4. 各応力の決定 砂が破壊しようとしている時は全仕事量が σ_2 に対して最大になっていると仮定して σ_2 を(7)によって与える。他方、弾性論から(8)が成立する。 $1/m$ はポアソン比。

$$\sigma_2 = \frac{1}{m} (\sigma_1 + \sigma_3), \quad \sigma_r + \sigma_z + \sigma_\tau = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (7), (8)$$

境界条件 (i) $r = R$ において、 $\sigma_r = \sigma_z, \sigma_\tau = \sigma_r$ (ii) $r = b$ において、変位 $U_r = 0$ より C_1, C_2 が決定され、各領域の応力が求まる。結果は次のとおりである。

[弾性領域における応力]

$$\sigma_r = \frac{\gamma z}{2} \frac{R^2 m (1 - \sin \phi - 2b^2 k_0 (m-1))}{R^2 (1 + m \sin \phi - b^2 (m-1))} + \frac{\gamma z}{2} \cdot \frac{(m-1) \{ m(1 - \sin \phi) - 2k_0 (1 + m \sin \phi) \}}{(m+1) \{ R^2 (1 + m \sin \phi) - b^2 (m-1) \}} \cdot \frac{b^2 R^2}{r^2} \quad (9)$$

$$\sigma_z = \frac{\gamma z}{2} \frac{R^2 m (1 - \sin \phi - 2b^2 k_0 (m-1))}{R^2 (1 + m \sin \phi - b^2 (m-1))} - \frac{\gamma z}{2} \cdot \frac{(m-1) \{ m(1 - \sin \phi) - 2k_0 (1 + m \sin \phi) \}}{(m+1) \{ R^2 (1 + m \sin \phi) - b^2 (m-1) \}} \cdot \frac{b^2 R^2}{r^2} \quad (10)$$

(破壊領域における応力)

$$\sigma_r' = \frac{\gamma z}{2} \left[\frac{b^2(m-1)(2+m+m \sin \phi) \{m(1-\sin \phi) - 2K_0(1+m \sin \phi)\}}{(m+1)(1+m \sin \phi) \{R^2(1+m \sin \phi) - b^2(m-1)\}} \left(\frac{R}{r}\right)^\alpha + \frac{m(1-m \sin \phi)}{1+m \sin \phi} \right] \quad (11)$$

$$\sigma_t' = \frac{\gamma z}{2} \left[\frac{b^2 m(m-1)(1-\sin \phi) \{m(1-\sin \phi) - 2K_0(1+m \sin \phi)\}}{(m+1)(1+m \sin \phi) \{R^2(1+m \sin \phi) - b^2(m-1)\}} \left(-\frac{R}{r}\right)^\alpha + \frac{m(1-\sin \phi)}{1+m \sin \phi} \right] \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{2m(1-\sin \phi)}{2+m+m \sin \phi} \quad (13)$$

鉛直方向の応力 σ_z , σ_z' はともに γz である。

5. 破壊半径 R の決定

$$\frac{C_c}{1+e_0} \int_a^R 2\pi R \log_{10} \frac{\sigma_r' + \sigma_t' + \sigma_z'}{(2K_0+1)\gamma z} dr = \pi a^2 - 2\pi R U_R \quad (14)$$

ここに e : 間隙比 C_c : 圧縮指数 K_0 : 静止土圧係数 U_R は $r=R$ における地盤の水平方向の変位である。 U_R は(15)によって求めることができる。

$$U_R = \frac{R}{E} \left(\frac{1}{m} \Delta \sigma_r - \Delta \sigma_t \right) \quad (15)$$

$\Delta \sigma_r$, $\Delta \sigma_t$ は $r=R$ における応力の変化量である。(15)を(14)に代入すれば破壊半径 R が求まる。またこの R を(9)~(12)に代入することによって地盤内の各応力が計算できる。

6. 計算例 一般的に砂地盤と考えられる各々のデータを与えた時の結果は fig.3 (実線) である。この結果における $b/a=10$ の時の破壊半径 $R/a=5.4$ ($1/m=1/2$), $R/a=6.8$ ($1/m=1/3$) を(9)~(12)に代入して砂地盤内の任意の点の各応力を計算したものが fig.4 である。

7. 破壊領域の限界 ランキンの土圧論によって応力は次の制限を受ける。

$$\sigma_r' \Big|_{r=a} = \gamma z \frac{1+\sin \phi}{1-\sin \phi}, \quad \sigma_t' \Big|_{r=R} = \gamma z \frac{1-\sin \phi}{1+\sin \phi}$$

上式から、砂地盤の破壊領域の限界値が計算できる (fig.3 破線に示す)。この値が(14)式から得られたものより小さくなってるのは先の誘導理論がすべて三次元的にとり扱っているのに対して、ランキンの土圧論が二次元的であり比較的地表に近いところに適用されるものと考えられる。

8. 結言 砂地盤に群杭が使用されるに場合、その地盤の破壊する範囲と、その時の地盤内に生じる応力状態を砂の土質力学的性質から理論的に計算することができた。

参考文献 西田義親, 保田市兵衛: 土木学会論文集, 才69号, 1960

西田義親: 土木学会論文集, 才129号, 1966.

