

名城大学理工学部土木工学教室 正会員 柴田道生.

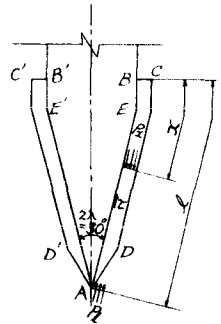
名城大学理工学部土木工学教室 正会員 深谷 実.

1. 緒言.

くいの支持力は、くい先端の支持面積に大きく影響する。つまり先端の支持面積の大きいほど支持力も大きく現われることは当然である。著者等は、くい先端部に放射状に仕切板を取り付けたくいを地盤に打ち込み、この仕切板によって外周閉塞効果を生じて支持面積が増加し、支持力の増大することを実験によって確認している。ここに、この放射状仕切板による閉塞効果の理論的解明と、理論式による数値計算とを行つた。また実験結果との対比により、仕切板を有するくいは結果的に、その支持面積を半径において仕切板の高さのほぼ $\frac{1}{2}$ だけ拡大すると考えられる。

2. 閉塞効果の理論解.

いま先端角 30° の円錐形先端部の周囲に放射状仕切板6枚を有するくいの、仕切板の1枚をオノ図のごとく ABCD にて表はす。このくいが地中に貫入すれば、相互の仕切板の間に土が敷入し、くいの貫入に伴い敷入された土は圧縮され、密実な土質となり、いわゆる閉塞効果を生ずる。仮りに仕切板内に敷入された密実な土質が、地盤の土質より密実な状態であれば、このくいの閉鎖断面面積は BB' より CC' に増大され、くいの先端支持力は当然閉鎖断面面積に比例して増加するであろう。



オノ図.

いま、 R : 仕切板内の任意の点 x における土の圧縮力. f_x : x の点に生ずる摩擦力. P_x : 仕切板内の土の摩擦に抗して SL だけ土を仕切板内に押込む力. U : 仕切板と仕切板との間の周長.

$$\text{とすると,} \quad R = R - \int_x^L U f_x dx \quad (1)$$

$$(1) \text{式を微分して,} \quad \frac{dR}{dx} = -U f_x \quad (2)$$

$$x \text{ の点の土の圧縮量を } \delta x \text{ とすると,} \quad \delta x = \frac{1}{AE} \int_x^L R dx \quad (3)$$

但し、 A : 仕切板内の土の断面積、 E : 土の圧縮係数.

$$(3) \text{式を2度微分すると,} \quad \frac{d^2 \delta x}{dx^2} = -\frac{1}{AE} \frac{dR}{dx} \quad (4)$$

$$(4) \text{式に(2)式を代入して,} \quad \frac{d^2 \delta x}{dx^2} - \frac{U}{AE} f_x = 0 \quad (5)$$

さて、ここで $f_x = C_s \delta x$ ----- (6) の関係が成立するものとする。但し、 C_s : 滑動係数.

(6) 式を (5) 式に代入すると, $\frac{d^2 \delta x}{dx^2} - a^2 \delta x = 0$ ----- (7) 即ち (7) 式はオズ階線型微分方程式で

あり, その解は $\delta x = Ae^{ax} + Be^{-ax}$ ----- (8) 但し, $a^2 = \frac{CsU}{AE}$.

次に, U が貫入するとき, 円錐斜面 AE における剪断抵抗力 τ は,

$$\tau = WHKp \sin(\lambda + \theta) \tan \theta \text{ ----- (9)}$$

ここで, W : 土の単位重量,

H : 地表面より U の先端部までの深さ,

2λ : U の先端角度,

θ : 土の内部摩擦角,

いま (9) 式の $\tau = R$ と考えると, (1) 式は $R = \tau - \int_x^l U f_x dx$ ----- (10)

さて, (8) 式の A, B は積分常数で, $x = 0$, $\tau = \delta x = S_0$ ($x = 0$ の土の圧縮量)

$x = l$, $\tau = \delta x = S_l$ ($x = l$ の土の圧縮量)

の境界条件を (8) 式に用いると,

$$A = S_0 - \frac{S_0 e^{al} - S_l}{2 \sinh al}$$

但し, $al = l \sqrt{\frac{CsU}{AE}}$.

$$B = \frac{S_0 e^{al} - S_l}{2 \sinh al}$$

従つて (8) 式は, $\delta x = \left(S_0 - \frac{S_0 e^{al} - S_l}{2 \sinh al} \right) e^{ax} + \left(\frac{S_0 e^{al} - S_l}{2 \sinh al} \right) e^{-ax}$ ----- (11)

さて, 任意の点 x の土の圧縮力 R は (10) 式と (6) 式より

$$R = \tau - U \int_x^l f_x dx = \tau - U \int_x^l Cs \delta x dx \text{ ----- (12)}$$

(12) 式に (11) 式を入れて計算すると,

$$R = \tau - UCs \left\{ \frac{S_0}{a} (e^{al} - e^{ax}) - \frac{S_0 e^{al} - S_l}{a^2 \sinh al} (e^{al} - e^{ax}) - \frac{S_0 e^{al} - S_l}{a^2 \sinh al} (e^{-al} - e^{-ax}) \right\} \text{ ----- (13)}$$

次に (13) 式に (11) 式を入れて計算すると, $\delta x = S_l - \frac{1}{AE} \tau (l - x) + \frac{UCs}{AE} \left\{ \frac{S_0}{a} e^{al} (l - x) \right.$

$$- \frac{S_0}{a^2} (e^{al} - e^{ax}) - \frac{S_0 e^{al} - S_l}{a^2 \sinh al} e^{al} (l - x) + \frac{S_0 e^{al} - S_l}{a^2 \sinh al} (e^{al} - e^{ax}) - \frac{S_0 e^{al} - S_l}{a^2 \sinh al} e^{-al} (l - x)$$

$$\left. - \frac{S_0 e^{al} - S_l}{a^2 \sinh al} (e^{-al} - e^{-ax}) \right\} \text{ ----- (14)}$$

さて $S_0 = 0$ で $R = 0$ と考えると, (13) 式より, $S_l = \frac{\tau a \sinh al}{UCs (e^{al} - e^{ax}) - UCs (e^{-al} - e^{-ax})} \text{ ----- (15)}$

$$(15) \text{ 式の } S_l \text{ を (11) 式に代入して, } S_0 = \frac{2 \sinh al \delta x - S_l (e^{ax} - e^{-ax})}{2 \sinh al e^{al} - e^{al} e^{ax} + e^{-al} e^{-ax}} \text{ ----- (16)}$$

(16) 式の S_l は (15) 式によつて与えられるから, S_0, S_l の値が求められる。

次に仕切板内の土の全圧縮力は, (12) 式, (11) 式より,

$$\begin{aligned} \Sigma P_x &= \tau - UCs \int_0^l \delta x dx = \tau - UCs \int_0^l \left\{ \left(S_0 - \frac{S_0 e^{al} - S_l}{2 \sinh al} \right) e^{ax} + \left(\frac{S_0 e^{al} - S_l}{2 \sinh al} \right) e^{-ax} \right\} dx \\ &= \tau - UCs \left\{ \frac{S_0}{a} (e^{al} - 1) - \frac{S_0 e^{al} - S_l}{a^2 \sinh al} (e^{al} - 1) - \frac{S_0 e^{al} - S_l}{a^2 \sinh al} (e^{-al} - 1) \right\} \text{ ----- (17)} \end{aligned}$$

次に, x の点において仕切板, 及び 円錐斜面に対する垂直圧力を P_x とすると,

$$P_x = \frac{CU + WA}{U \cdot \tan \theta} \left(e^{\frac{UV \tan \theta}{A} x} - 1 \right) \text{ ----- (18)}$$

但し, $\beta_x = \nu R$ と考える.

C : 土の粘着力.

A : 円錐斜面と仕切板とに挟まれる断面積.

又、仕切板及び円錐斜面に生ずる摩擦力 f_x は,

$$f_x = (C + \beta_x \tan \theta) U \quad \text{----- (19)}$$

で与えられ, (19) 式に (18) 式を代入して,

$$f_x = (CU + WA) e^{\frac{U \nu \tan \theta}{A} x} - WA$$

従って仕切板内の全摩擦力 F_x は,

$$F_x = \int_0^l f_x dx = \frac{(CU + WA) A}{U \nu \tan \theta} (e^{\frac{U \nu \tan \theta}{A} l} - 1) - WAl \quad \text{----- (20)}$$

3. 数値計算.

いま本体正六角形の形状が其のまま先端に移行するくいの先端部に, オ 2 図に示すように高さ 50mm の仕切板を 6 枚設定した短径 30cm のコンクリートくいを取扱い, 仕切板による土の閉塞効果が表われるか否かを前述した理論式を用いて計算して見る. 前述の理論式の各数値を次のように定める.

C_s : 0.5% (一般に C_s の値は 0.9 ~ 1.0% と考えられている.)

$$U: \frac{175 + 0}{2} + 5 + 5 = 18.75 \text{ cm}$$

$$A: \frac{1}{2} \left(\frac{23 + 0}{2} + \frac{175 + 0}{2} \right) \times 5 = 50.625 \text{ cm}^2$$

H : くいの根入長 = 5.6 m

E : 土の弾性係数を E' , 土の材質による指数を m , とすると

普通砂の場合 $m = \frac{1}{3}$, E' の値はポアソン比 0.25 の細砂では

$$E' = 280 \text{ kg/cm}^2 \quad \therefore E = \frac{280}{\frac{1}{3}} = 840 \text{ kg/cm}^2$$

$$a: a = \sqrt{\frac{C_s U}{A E}} = \sqrt{\frac{0.5 \times 18.75}{50.625 \times 840}} = 0.015 \text{ cm}^{-1}$$

$$a l = 0.015 \times 69 \text{ cm} = 1.035 \text{ (無次元)}$$

W : 1.6%

$$K_p: K_p = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta}$$

$$\lambda: \lambda = 15^\circ (2\lambda = 30^\circ)$$

θ : 自然地盤土質の内部摩擦角 $\theta = 30^\circ$.

先ず S_e の値は (15) 式を用いる. この場合 $l = 69 \text{ cm}$ にとるが, 閉塞効果を表わす位置は先端より 13 cm 上方と考へ,

$$x = 69 - 13 = 56 \text{ cm} \text{ とする.}$$

$$\text{各数値を代入して } S_e = 1.094 \text{ cm} \quad \text{----- (21)}$$

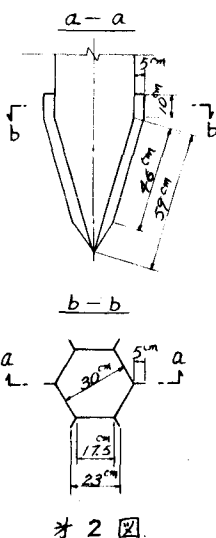
但し, (15) 式の τ は, $\tau = A W H K_p \sin(\lambda + \theta) \tan \theta$, τ へ $\theta = 30^\circ$ とすると $\tau = 55.54 \text{ kg}$.

この S_e の値を (16) 式に代入する. この場合 S_0 の値は $x=0$ の位置の数値であるから $x=0$ とする.

よ $S_0 = S_{x=0}$, 次に S_e, S_0 の値を (14) 式に代入して $S_{x=0}$ の値を求める. この場合も $S_0 = S_{x=0}$ であるから $x=0$ とする. $S_{x=0} = 0.3873 \text{ cm}$, 即ち $S_0 = 0.3873 \text{ cm}$ ----- (22)

$$\text{次に (17) 式に } S_e, S_0 \text{ の値を代入して, } \Sigma R = \tau - U C_s \times 44.9257 = \tau - 422 \text{ kg} \quad \text{----- (23)}$$

(23) 式に示す ΣR が仕切板内で摩擦力として働くとすれば (20) 式に示す F_x に等しい筈であるか



$$\therefore \Sigma R_x = F_x, \quad \text{次に(23)式により} \quad \Sigma R_x = F_x = 7 - 422 \text{ kg} \text{ ----- (24)}$$

$$(24) \text{ 式の } 7 = AWHKp \sin(\lambda + \theta) \tan \theta = AWH \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} \sin(\lambda + \theta) \tan \theta$$

で表わされるが、仕切板内で摩擦力が生じるとすると土の内部摩擦角 θ の値と変化する筈である。

$$\text{従つて(20)式より} \quad \frac{(CU + WA)A}{UV \tan \theta} \left(e^{\frac{UV \tan \theta}{K}} - 1 \right) - WAL = AWH \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} \sin(\lambda + \theta) \tan \theta - 422 \text{ ----- (25)}$$

(25) 式において土質を砂とすれば $C=0$, ここでシルト又は粘土を含む砂質土の場合 $V \tan \theta = 0.03$,

(25) 式に数値を代入して(25)式を満足する θ の値を求めると、 $\theta \approx 40^\circ$, いま θ と N 値との関係式

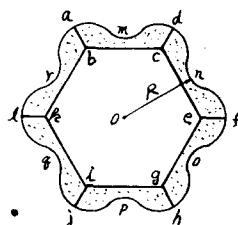
$$\theta = \sqrt{12N} + 20 \quad \text{より} \quad \theta = 40^\circ \text{ とすると } N \approx 33 \text{ となる。}$$

即ち、仕切板内の土質の N 値は $N \approx 33$ となり、地盤の N 値がこの値以下であれば、閉鎖断面積は仕切板の部分まで増大させることができる。

4. 仕切板による閉鎖断面積の増加分

前述したように、仕切板に囲まれた部分の土は圧密、密実化される結果閉鎖断面積は増加されることは明らかになったが、先端支持力を計算する場合の閉鎖断面積はどれほどに算定すればよいかという実が問題になる。

いま、オ3図において、 $ab, cd, ef, \dots$ を仕切板とすると、土の密実化の範囲は $amdnfoph \dots$ の曲線によって囲まれた範囲と考えられる。従つて、増加後の閉鎖断面積の半径 R は $R = On$ と考えてよい。そうすると、仕切板の長さ cd の約 $\frac{1}{2}$ を本体の半径に加えた長さが、閉鎖断面積の半径と考えられる。



オ3図

オ1表 載荷試験結果比較表

諸元	円形く1	仕切板を有しない 六角く1	
		高さ5mの仕切板を設けた六角く1	高さ5mの仕切板を設けた六角く1
く1長	6m	6m	6m
断面	諸元	短径 30cm 長径 35cm	短径 30cm 長径 35cm
	断面積	707cm ²	779cm ²
載荷試験支持力		43t	54t

オ1表は、先端地盤 N 値が30程度の現場に打撃貫入後、く1載荷試験を行なつて得た各々のく1の鉛直支持力の数値を示したものである。これにより仕切板による支持力の増加が明らかに確認され、約20%程度の増加が認められる。

一方、仕切板の長さの約 $\frac{1}{2}$ を本体の半径に加えた

長さ am 、閉鎖断面積の半径とし、これによつて得られる先端支持力 $R_p = 40N_{ap}$, によつて R_p を算定すると、仕切板による支持力の増加は、約25% となり、仕切板設定による閉鎖断面積が、ほぼ、実際と一致する。

参考文献

山原浩、—— 鋼管く1の支持力機構、

土と基礎 Vol.17, No.11

柴田道生、深谷実、—— 異形合成く1の特性に関する2,3の考察、

土木学会、オ26回年次学術講演会。