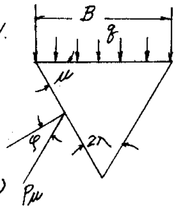
III-80　先端部円錐角度の差異による杭の貫入性状と支持力

名城大学理工学部　正会員　柴田道生

(1). 緒言

現在,一般に使用施工されている既成杭の先端円錐角度は.略: 60°である。この 60°の角度を鋭角の 30°とした場合.その貫入性並びに,支持力とも 60°のそれよりも大であることが実験的に確認されている。本文は.先端平端杭の場合に生じると仮定された楔状の Kurdjumoff 効果を杭先端円錐部に仮定.置換へて.理論的に実験上の事実を証明したものである。

Fig 1.



(2). Kurdjumoff 効果による釣合方程式

Fig 1 による応力の釣合の関係より次の(1)式.(2)式が成立する。即ち

$$q\frac{B}{2} = (P_\mu \sin\varphi + C)\frac{B}{2\cos\mu}\cdot\sin\mu + P_\mu\cos\varphi\frac{B}{2\cos\mu}\cdot\cos\mu \quad \text{------}(1)$$

$$P_\mu = \left(\frac{1+\sin\varphi}{\sin\varphi}C + \frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi}q_0\right)e^{2\left(\frac{3}{4}\pi+\frac{\varphi}{2}-\mu\right)\tan\varphi} - \frac{C}{\sin\varphi} \quad \text{---------}(2)$$

(2)を(1)に代入して.砂地盤と考へて $C = 0$ とおくと　(C:粘着力)　(φ:土の内部摩擦角)

$$q = q_0\frac{\cos(\mu-\varphi)}{\cos\mu}\frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi}e^{2\left(\frac{3}{4}\pi+\frac{\varphi}{2}-\mu\right)\tan\varphi} \quad \text{-------------}(3)$$

但し $q_0 = \gamma' h$.　h: 地表面より円錐体上面までの深さ、　γ′: 土の単位重量.

(3). 杭頭荷重の許容値の算定.並びに貫入(沈下)性状

いま.杭の任意点の上向きの杭周摩擦強度を τ_x.　杭の任意の点の深さ方向の変位量を δ_x とすると.　$\tau_x = C_s\delta_x$ の関係式が成立する。　但し C_s: 滑動係数.

杭の貫入の基本式は　$\frac{d^2\tau_x}{dx^2} - a^2\tau_x = 0$ -------(4)　但し $a^2 = \frac{C_s U}{AE}$　U: 杭周長

A: 杭の断面積.　E: 杭の弾性係数.　(4)式の解は　$\delta_x = Ae^{\mu\beta} + Be^{-\mu\beta}$

但し $\mu = \frac{x}{l}$.　$\beta = al = l\sqrt{\frac{C_s U}{AE}}$　l: 杭本体長.　境界條件を入れて.　$A = -\frac{\delta_0 e^{-\beta} - \delta_l}{2\sinh\beta}$

$B = \frac{\delta_0 e^{\beta} - \delta_l}{2\sinh\beta}$.　δ_0: 杭頭の変位量で δ_l: 杭先端の変位量.　従って.　$\delta_x = \frac{\delta_0\sinh\beta(1-\mu) + \delta_l\sinh\mu\beta}{\sinh\beta}$

又.　N_x(杭任意の点の軸力) $= P_0 - C_s U l\int_0^\mu \delta_x d\mu$　茲で P_0: 杭頭荷重.　杭先端支持抵抗 N_l は

$$N_l = (N_x)_{\mu=1} = P_0 - \frac{\cosh\beta - 1}{\beta\cdot\sinh\beta}(\delta_0 + \delta_l)C_s U l = \frac{P_0\gamma}{\gamma\cosh\beta + \beta\sinh\beta} \quad \text{-----}(5)$$

但し $\gamma = \frac{k_s l}{E}$

茲で k_s: 支持層の鉛直方向地盤反力係数.　いま.　$N_l = q$ とおく.(但し q: 杭断面積の q)

数値計算を行って.　$l = h = 10^m$.　$\gamma' = 1.6^{t/m^3}$.　$2\lambda = 60°$の場合　$\mu = 60°$.　$\varphi = 30°$

杭半径 $r_0 = 0.15^m$.　従って(3)式の $q = 294.463\ ^{t/m^2}$.　先端軸力 $N_l = \pi r^2 q = 20.8038^t$

今様に　$2\lambda = 30°$の場合　$\mu = 75°$　∴ $q = 342.787\ ^{t/m^2}$　$N_l = 24.2179^t$

又一方 $N_l = \dfrac{P_0\gamma}{\gamma\cosh\beta+\beta\sinh\beta}$　いま $E = 350{,}000\ \mathrm{kg/cm^2}$　$k_s = 25\ \mathrm{kg/cm^3}$ とすると.

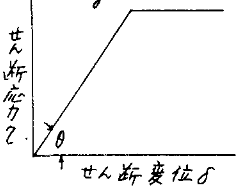
$\gamma = 0.07143.$　又 $\beta = 1000\sqrt{0.00000381C_s}$ ------ (6)　$N_l = q$ であるから
（この q は杭の断面積の荷重値とする）

$2\lambda = 60°$ の場合

$$N_l = \frac{P_0\gamma}{\gamma\cosh\beta+\beta\sinh\beta} = 20.8038\,t \text{ ---(7)}\quad 即ち\ \frac{0.07143P_0}{0.07143\cosh\beta+\beta\sinh\beta} = 20.8038^t \text{ -----(7)'}$$

(7) 式中の β の値は (6) 式によって示されるから. 杭頭荷重と. C_s は相互関係にある。
いま. 杭周摩擦抵抗力を R とおくと. $P_0 = q+R$ である。
さて φ を N 値に換算して　$\varphi = \sqrt{12N}+15$ と考へて.　$R = \dfrac{N l}{5}U$　U：杭周長. N：N 値
より　$2\lambda = 60°$ の場合　$R = 35.325^t$　$N_l = q = 20.8038^t$　∴ $P_0 = 56.1288^t$
(7) 式に代入して.　$0.07143\cosh\beta+\beta\sinh\beta = 0.1927$ ------ (8)
従って (6) 式 (8) 式を満足する C_s の値を求めると　$C_s = 0.3\ \mathrm{kg/cm^3}$ を得る。
全様に $2\lambda = 30°$ の場合を計算すると.　$R = 35.325^t.$　$N_l(q) = 24.2179^t$
従って.　$P_0 = 59.5429^t$ となる。全様に (7) 式より $\dfrac{P_0\gamma}{\gamma\cosh\beta+\beta\sinh\beta} = 24.2179$ より
$0.07143\cosh\beta+\beta\sinh\beta = 0.1756$ ------- (9)
即ち (6) 式と (9) 式を満足する C_s の値は.　$C_s = 0.26\ \mathrm{kg/cm^3}$ を得る。
以上の結果から.　$2\lambda = 60°$ の杭では. 杭頭に与へ得る荷重は約 56^t,　$2\lambda = 30°$ の杭では約 59^t となる。滑動係数 C_s の値は. $2\lambda = 60°$ の杭では $0.3\ \mathrm{kg/cm^3}$,
$2\lambda = 30°$ の杭の場合は. $0.26\ \mathrm{kg/cm^3}$ となる。即ち $C_s = \dfrac{\tau_x}{\delta_x}$
で示されるから Fig 2 に示すように. 土がせん断破壊される
迄の间は. τ と δ は略々直線関係にあると考へてよい。

Fig 2.



$C_s = \dfrac{\tau_x}{\delta_x} = \tan\theta$ であるから C_s の低いことは $\tan\theta$ の小さい
ことを意味し 従って 任意のせん断変位で $\tan\theta$ の小さい事は
せん断応力 τ は小であることを示す。せん断応力は上向きの摩擦力を
表はすから τ が小さければ貫入性が良好であることになる。$2\lambda = 30°$ の杭が貫入性が
良好であるとの證明は次の鉛直方向バネ常数を求めても理解できる。
上述の荷重 q は. 楔状の釣合の上に成立したものであることに注視して. ϕB の底面は. 地中に
置かれた円形板と考へる。さうすると. 円形板中心部の変位 δ（この変位は地盤の変位と見做す）
は. 底面 B の半径に比し 円形板の深さが深いときは. δ は次の (10) 式で示される。

即ち　$\delta = \dfrac{q(1+\nu)(3-4\nu)r_0}{4E(1-\nu)}$ ---------- (10)　但し ν：地盤のポアソン比.
r_0：ϕB の円形板の半径
E：地盤の弾性係数

いま. E の値は. ポアソン比. 間隙比によって異なるが　$\nu = 0.3$　間隙比 $0.6\sim0.7$ では E の値
$E \fallingdotseq 240\ \mathrm{kg/cm^2}\ (2400\ \mathrm{t/m^2})$ と考へ. q の値を (10) 式に代入すると.　$2\lambda = 60°$ の場合. δ の値
は $\delta = 0.0154^m$.　$2\lambda = 30°$ の杭では $\delta = 0.0179^m$ を得る。従ってバネ常数 K_V の値は
$2\lambda = 60°$ の場合　$K_V = \dfrac{P_0}{\delta} = \dfrac{56.1288}{0.0154} = 3644.7273\ \mathrm{t/m}\ (36.45\ \mathrm{t/cm})$　$2\lambda = 30°$ の場合は.
$K_V = \dfrac{59.5429}{0.0179} = 3326.4189\ \mathrm{t/m}\ (33.26\ \mathrm{t/cm})$ となって沈下性状は $2\lambda = 30°$ の方が大となる。

参考文献：西田義親 ―地下の分布荷重によって生じる地盤内の鉛直応力と変位― 土と基礎 Vol 13. No.11　大崎順彦 ―基礎構造 P.248