

名城大学理工学部土木工学科

正会員 柴田道生

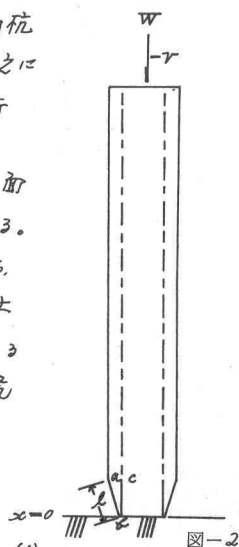
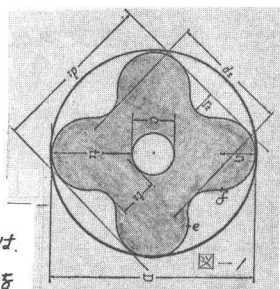
名城大学理工学部土木工学科

正会員 O 阿河武志

(1) 緒言

茲で取扱う十字形断面杭とは、図-1に示すように、凹凸の面で形成され、その先端部も凹凸の面だ。その儘、移行するもので、凸部が水平線となす角度は 60° 、凹部の最深部が水平線となす角度は 90° の形態のものである。

この十字形断面杭と円形断面杭との支持力、並びに貫入性を対比すると、その断面積が、円形杭の断面積より小なる場合は、勿論、大なる場合に於いても十字形断面杭が優れていることを実験的に認めている。これに対し若干の考察を試みたが、十字形断面杭が、貫入する場合は凸部で土を剪断し、時間的に遅れて、凹部へ之に続くもので、貫入時に要するエネルギーが少ない。この際、凸部で剪断された土は、凹部へ向って流動し、凹部で土の締固めが起る。所謂、閉塞効果が発起すると考へる。之に反し円形杭の場合は、全断面で土を剪断するのみで、貫入時の機構が、十字形断面杭とは全く異なる。杭の貫入は、先端部に於いて行われ、本体は、之に続くのみである。十字形断面杭の場合も、同様である。凹部への土の流動による、土の締固め、即ち閉塞効果も、円錐形体に於いて発起されるものである。この先端円錐部を注視して、振動方程式を用いて、十字形断面杭先端部変位、並びに発生する応力を次のようにして求める。



(2) 誘導方程式

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{但し } a^2 = \frac{Eg}{\rho}$$

$$(1) \text{ 式の解は, } u = X(A \cos pt + B \sin pt) \quad \text{----- (2)}$$

境界条件は、振動中に於いても 固定端の変位は零である

$$u|_{x=0} = 0$$

杭の頭部では、荷重 W の慣性力に等しい

$$AE \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=L} = - \frac{W}{g} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right)_{x=L} \quad \text{----- (3)}$$

$$(1) (2) \text{ 式より } X = C \cos \frac{px}{a} + D \sin \frac{px}{a} \quad \text{----- (4)}$$

C, D : 積分常数.

$u|_{x=0} = 0$ を満足するためには、(4) 式に於いて $C = 0$. 従つて (3) 式より

$$AE \frac{p}{a} \cos \frac{pL}{a} = - \frac{W}{g} p^2 \sin \frac{pL}{a} \quad \text{----- (5)}$$

但し、 α を杭の重さと荷重との比として、 $\beta = \frac{Pl}{a}$ とする。

(5) 式は、 $\alpha = \beta \tan \beta$ 。これは、この場合の振動方程式にその根は、比 α が求まれば容易に求められる。 $\beta = \frac{Pl}{a}$ より $P = \frac{\beta a}{l}$ を (2) 式に代入して、

$$\mu = \sum_{l=1}^{\infty} \sin \frac{\beta l x}{l} \left(A \cos \frac{\beta l a t}{l} + B \sin \frac{\beta l a t}{l} \right) \quad \text{----- (6)}$$

(6) 式の A, B は初期条件より定める。

$$\mu(x, 0) = S_1 = \sum_{l=1}^{\infty} A \sin \frac{\beta l x}{l} \quad \frac{\partial}{\partial t} \mu(x, 0) = -v = \frac{\beta l a}{l} \sum_{l=1}^{\infty} B \sin \frac{\beta l x}{l} \quad \text{--- (7)}$$

(7) 式をフーリエ級数の係数として表せば $A = \frac{2}{l} \int_0^l S_1 \sin \frac{\beta l x}{l} dx$, $B = -\frac{2}{l} \int_0^l \frac{v l}{\beta l a} \sin \frac{\beta l x}{l} dx$ ----- (8)

(8) 式を (6) 式に代入して、整理すると (9) 式を得る。即ち

$$\mu = \left\{ \frac{4 S_1}{\beta} \sum_{l=1}^{\infty} \frac{1}{2l-1} \sin \frac{(2l-1)\beta x}{l} \cos \frac{\beta l a t}{l} - \frac{4 v l}{\beta a} \sum_{l=1}^{\infty} \frac{1}{2l-1} \sin \frac{(2l-1)\beta x}{l} \sin \frac{\beta l a t}{l} \right\} \sin \frac{\beta l x}{l} \quad \text{--- (9)}$$

さて、十字形断面杭の凹部に於ける土の応力を次のようにして求める。図-1を参照して。

P_x : 凹部 EF 内、任意の真 x に於ける土の圧縮力

f_x : x の真に生じる摩擦力。 P_L : 凹部 EF 内の土の摩擦に抗して、 S_L 土を凹部

内に押込む力とすると、 $P_x = P_L - \int_x^l U f_x dx$ ----- (10) $\frac{dP}{dx} = -U f_x$ ----- (11)

$$\delta x = S_L - \frac{1}{AE} \int_x^l P_x dx \quad \text{--- (12)} \quad (12) \text{ 式を 2 度微分して、} \frac{d^2 \delta x}{dx^2} = \frac{U}{AE} f_x = 0 \quad \text{--- (13)}$$

但し、 x の真の圧縮量を δx , A : CB' 間の凹部内の平面積、 E : 土の圧縮体積係数

いま、 $f_x = c_s \delta x$ ----- (14) と成立するとして、(14) 式を (13) 式に代入すると、(c_s : 摩擦係数)

$$\frac{d^2 \delta x}{dx^2} - a^2 \delta x = 0 \quad \text{--- (15)} \quad (15) \text{ 式の解は、} \delta x = A e^{ax} + B e^{-ax} \quad \text{但し } a^2 = \frac{c_s U}{AE}$$

凹部内で向上きに力 P_x が P_L であるから $P_L = P$ と考へると (10) 式は $P_x = P - \int_x^l U f_x dx$ ----- (16)

さて、積分定数 A, B を境界条件によって定めて、($x=0$ で $\delta x = S_0$, $x=l$ で $\delta x = S_L$)

$$A = S_0 - \frac{S_0 e^{al} S_L}{2 \sinh al}, \quad B = \frac{S_0 e^{al} S_L}{2 \sinh al} \quad \text{但し } al = l \sqrt{\frac{c_s U}{AE}} \quad \therefore \delta x \text{ は (17) 式となる。}$$

$$\delta x = \left(S_0 - \frac{S_0 e^{al} S_L}{2 \sinh al} \right) e^{ax} + \left(\frac{S_0 e^{al} S_L}{2 \sinh al} \right) e^{-ax} \quad \text{--- (17)} \quad \text{さて任意の真の } x \text{ に於ける土の圧縮力}$$

P_x は、(10) 式と (14) 式より $P_x = P - U \int_x^l f_x dx = P - U \int_x^l c_s \delta x dx$ ----- (18) (18) 式を (17) 式に

$$\text{代入して、} P_x = P - U c_s \left\{ \frac{S_0}{a} (e^{al} - e^{-ax}) - \frac{S_0 e^{al} S_L}{a 2 \sinh al} (e^{al} - e^{-ax}) \right. \\ \left. - \frac{S_0 e^{al} S_L}{a 2 \sinh al} (e^{-al} - e^{-ax}) \right\} \quad \text{--- (19)} \quad \text{次に (12) 式を (19) 式}$$

を代入して、 $S_0 = 0$ で $P_x = 0$ と考へると、(18) 式より S_L は

$$S_L = \frac{2 a \sinh al}{U c_s (e^{al} - e^{-ax}) - U c_s (e^{-al} - e^{-ax})} \quad \text{--- (20)}$$

(3) 数値計算

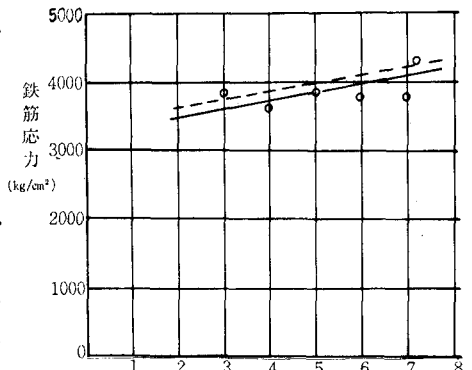
外径 30^{cm}、長さ 8^m、 $c_s = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 、 $U = 5 \text{ cm}$ 、 $E = \frac{E'}{m}$ 、 $\beta = 0.98$

E' : 土の弾性係数で 280 kg/cm^2 、 $m = \frac{1}{3}$ 、 $\gamma = 0.1546 \text{ kg/cm}^2$

$l = 20 \text{ cm}$ 、 $a = 4000 \text{ /sec}$ 、 $v = 1.9 \text{ /sec}$ 、 $W = 1.25 \text{ t}$ 、 $Ail = 1.89$

図-3 の破壊 : 計算値、実験 : 実験値、 $E(\text{鉄筋}) = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

(参考文献) 栄田道生「十字形断面杭の杭頭地盤応力」昭和 50、東海支那土木学会



杭先端部の貫入深度 m 図-3