

帯状荷重を受ける基礎破壊防止杭の解析に就いて.

名城大学理工学部土木工学科 正会員 柴田道生

(1). 緒言

筆者は、さきに土木学会に於いて、表題に就いて、理論を発表した。茲に再びこの問題をとり上げ、滑り面より上方及び下方に於ける防止杭に受けるモーメントを考へ滑り面以下の杭の根入長さを求めて、滑り破壊を防止する解を求めた。

(2) 滑り面上方の水平土圧力の合力 H とモーメント M

図-1に於いて、杭の任意の点 G の

水平土圧力 σ_x は $\sigma_x = \frac{q}{\pi} (2\theta - \sin 2\theta \cos 2\psi)$

但し q : 帯状分布荷重.

$$\tan \beta_1 = \frac{m}{n} \quad \tan \beta_2 = \frac{m+l}{n} \quad 2\theta = \beta_2 - \beta_1 \quad 2\psi = \beta_1 + \beta_2$$

杭の任意の点の水平土圧荷重を (1) 式より求めると、図-2 のようになる。滑り面上方の荷重を a_n で表す。荷重 a_n は不連続荷重であるが、之を連続荷重として取扱うために

フーリエの正弦級数に展開する。任意の点 x の土圧荷重の大きさを

$$q_x \text{ とすると } q_x = \sum_{n=1,3,5,\dots} a_n \sin \frac{n\pi}{L} x \quad (2)$$

$$\text{但し } a_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \sin \frac{n\pi}{L} x \cdot dx \quad (3)$$

w : 土の単位重量とすると $f(x) = w \left\{ \frac{h}{b} x + h' + \frac{h''}{l-b} (l-x) \right\}$ とおくと q_x は (3) 式

$$\text{を (2) 式に入れて求められる。茲で } a_n = \frac{2w}{L} \left\{ \frac{h^2}{b} \sin \frac{n\pi b}{L} - \frac{hb}{n\pi} \cos \frac{n\pi b}{L} \right\} + \frac{2w}{L} h' x$$

$$\left\{ \frac{1}{n\pi} \left(\cos \frac{n\pi b}{L} - \cos \frac{n\pi(l-b)}{L} \right) \right\} + \frac{2w}{L} \frac{h''}{l-b} \left\{ \frac{1}{n\pi} \left(\cos \frac{n\pi b}{L} - \cos \frac{n\pi(l-b)}{L} \right) \right\} - \frac{2w}{L} \frac{h''}{l-b} \left[\frac{l^2}{n^2\pi^2} \left(\sin \frac{n\pi(l-b)}{L} \right. \right.$$

$$\left. \left. - \sin \frac{n\pi b}{L} \right) - \frac{l}{n\pi} \left\{ (l-b) \cos \frac{n\pi(l-b)}{L} - b \cos \frac{n\pi b}{L} \right\} \right] \quad (4) \quad \text{但し } \pi = 180^\circ$$

いま、地表面よりの深さ $1^m, 2^m, 3^m, \dots$ 毎の水平土圧荷重を計算すると、図-2を得る。

次に滑り面の深さを、杭の位置で 5^m とすると、滑り面 H 点に於ける水平土圧荷重 σ_{x_5}

$$\text{は } \sigma_{x_5} = 0.6419 \frac{q}{\pi} \quad \text{図2の } h' = 0.6419 \frac{q}{\pi} = 0.2045 q, \quad h = \sigma_{x_1} = 1.045 \frac{q}{\pi} = 0.3228 q$$

$$h'' = h - h' = 0.4031 \frac{q}{\pi} = 0.1284 q, \quad \text{さて } b = 1^m, \quad l = 5^m, \quad w = 1.6 \text{ t/m}^3 \quad \text{とて (4) 式}$$

$$\text{に } n=1 \text{ とて、 } a_n \text{ の値は、 } a_n = 0.7244 q \quad \text{従つて、 } q_x \text{ は (2) 式より } q_x = 0.7244 q \sin \frac{n\pi}{L} x$$

$$\text{よつて } q_x = \sum a_n \sin \frac{n\pi}{L} x \text{ とあるが } \frac{d^2 q_x}{dx^2} = -\sum \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 a_n \sin \frac{n\pi}{L} x, \quad \text{モーメントをフーリエ級数で}$$

$$\text{表はすと } M = \sum a_m \sin \frac{n\pi}{L} x, \quad \text{但し } a_m: \text{未知数, 又 } \frac{d^2 M}{dx^2} = -\sum \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 a_m \sin \frac{n\pi}{L} x,$$

$$\text{故に、} -\bar{Z}\left(\frac{n\pi}{l}\right)^2 a_n \sin \frac{n\pi}{l} x = -\bar{Z} a_n \sin \frac{n\pi}{l} x. \quad \therefore a_n = \left(\frac{l}{n\pi}\right)^2 a_n$$

$$\text{従つて } M = \bar{Z}\left(\frac{l}{n\pi}\right)^2 a_n \sin \frac{n\pi}{l} x = \frac{l^2}{\pi^2} \bar{Z} \frac{1}{n^2} a_n \sin \frac{n\pi}{l} x, \text{ 又 } x \text{ 点の水平土圧荷重 } \delta x \text{ は}$$

$$\delta x = 0.7244 \delta \bar{Z} \sin \frac{n\pi}{l} x. \quad \text{従つて 土圧荷重の合力 } H = \int_0^l 0.7244 \delta \sin \frac{n\pi}{l} x dx = 0.7244 \delta \frac{2l}{\pi}$$

$$\text{次に、モーメント } M \text{ は、} M = \frac{l^2}{\pi^2} \bar{Z} \frac{1}{n^2} a_n \sin \frac{n\pi}{l} x = \frac{l^2}{\pi^2} \bar{Z} \frac{1}{n^2} 0.7244 \sin \frac{n\pi}{l} x \quad \text{故に}$$

$$\text{モーメント } M \text{ は、} M = 0.7244 \delta \frac{l^2}{\pi^2} \int_0^l \sin \frac{n\pi}{l} x dx = 0.7244 \delta \frac{2l^2}{\pi^2}$$

(3) 杭の根入深さの解析

滑り面以下の杭に効らくモーメント M は、既知のように、滑り面を地表面と考へると、任意の点 x のモーメント $M = -\frac{H}{\beta} e^{-\beta x} \{ \beta h \cos \beta x + (1 + \beta h) \sin \beta x \} \dots (5)$ 但し h : 滑り面(地表面)より水平土圧荷重合力 H までの距離で $h = \frac{M}{H} = 1.59m$ を得る。 β : 杭の横係数である。さて、滑り面より上方の杭の反力 P は、深さ z の関数として、 $P_z(z)$ で表はす。杭頭より滑り面までの杭反力の合力 H' は、

$$H' = \int_0^l P_z(z) dz$$

$$\text{いま、杭の水平方向反力係数を } k \text{ とすると、} P_z(z) = k W z \quad \therefore H' = \int_0^l k W z dz = k W \frac{l^2}{2}$$

次に滑り面以下のモーメントは(5)式より $\frac{d^2 M}{dx^2} = -\frac{H}{\beta} \{ 4\beta^3 h e^{-\beta x} \sin \beta x - 2\beta^3 h e^{-\beta x} \cos \beta x - 2\beta^2 \cos \beta x e^{-\beta x} \} \dots (6)$ 杭の反力 $P = \frac{d^2 M}{dx^2}$ であるから(6)式は、滑り面以下の杭の反力を表はしている。いま杭の根入深さを l' とすると、滑り面以下、杭の先端までの杭の反力の総和 P' は

$$\begin{aligned} P' &= -\frac{H}{\beta} \left\{ \int_0^{l'} 4\beta^3 h e^{-\beta x} \sin \beta x dx - \int_0^{l'} 2\beta^3 h e^{-\beta x} \cos \beta x dx - \int_0^{l'} 2\beta^2 \cos \beta x e^{-\beta x} dx \right\} \\ &= -\frac{H}{\beta} \left\{ 4\beta^3 h \left| \frac{e^{-\beta x} (-\beta \cos \beta x - \beta \sin \beta x)}{2\beta^2} \right|_0^{l'} - 2\beta^3 h \left| \frac{e^{-\beta x} (-\beta \cos \beta x + \beta \sin \beta x)}{2\beta^2} \right|_0^{l'} \right. \\ &\quad \left. - 2\beta^2 \left| \frac{e^{-\beta x} (-\beta \cos \beta x + \beta \sin \beta x)}{2\beta^2} \right|_0^{l'} \right\} \dots (7) \end{aligned}$$

茲で $\beta = 0.00292 \text{ cm}^{-1}$ $h = 1.59 \text{ cm}$ とする。さて、荷重の総和と反力の総和は等しいから $H = H' + P' \dots (8)$ 茲で $H' = k W \frac{l^2}{2} = k W \frac{5^2}{2}$ さて(7)式は、

$$\begin{aligned} P' &= -H \left\{ -\beta h e^{-\beta l'} \cos \beta l' - 3\beta h e^{-\beta l'} \sin \beta l' + \beta h e^{-\beta l'} \cos \beta l' \right. \\ &\quad \left. - e^{-\beta l'} \sin \beta l' - 1 \right\} \end{aligned}$$

$$\text{故に(8)式は、} 0.7244 \delta \frac{2l}{\pi} = k W \frac{l^2}{2} - 0.7244 \delta \frac{2l}{\pi} \left\{ -\beta h e^{-\beta l'} \cos \beta l' - 3\beta h e^{-\beta l'} \sin \beta l' + \beta h e^{-\beta l'} \cos \beta l' \right. \\ \left. + e^{-\beta l'} \sin \beta l' - 1 \right\} \dots (9) \quad \text{茲で } \delta = 9 \frac{t}{m^2} \quad l = 5m \text{ とすると(9)式は、}$$

$$20.76 \frac{t}{m} \left\{ 0.536 e^{-\beta l'} \cos \beta l' - 2.392 e^{-\beta l'} \sin \beta l' + 0.464 \right\} = 22.5 \frac{t}{m} k \dots (10)$$

(10)式の k の値は、滑りの進行程度、杭の剛性、又は滑りの深さに左右されるが過去の実測値より $k = 0.3$ を採ると、(10)式を満足する杭の根入深さ $l' = 6m$ となる。