

京都大学工学部 正員 後藤尚男  
立命館大学理工学部 正員 ○勝見 雅

1. まえがき 橋りょう下部構造の基礎工などに最近わが国でも、各種の有利性が期待される大径口の鋼管杭が実用されつつあり、わねわねもかかる大径鋼管杭の現地試験ならびに模型実験などについて発表していることがあるが<sup>1)</sup>、設計計算法はまだ十分確立されるに至っていない。一方、大径鋼管杭の支持力に関しては山原氏<sup>2)</sup>などの論文があるが、沈下に関する研究はほとんど見受けられない。そこでわねわねは、大径鋼管杭の沈下に関する研究の一段階として、杭先端開放と杭先端閉鎖の両状態について、先端地盤は等方等負の半無限弾性体、杭体の沈下によって生ずる周面摩擦応力と沈下量との関係は弾性域にあるものと仮定して、杭頭における沈下量を求める式を誘導した。しかるのち、上記の両状態において同一の沈下量を生ずる荷重の比率を数値計算によって求め、実験結果と比較した。

2. 杭先端に注目した場合の沈下量算定式 杭の先端のみに注目した場合の杭先端閉鎖状態における沈下量は上記の仮定のもとに、半無限弾性地盤上における剛性円板の沈下量と考える。しかして、半無限弾性体に等分布の円形荷重が作用しているときの荷重作用各点の沈下量の平均値  $W_{c1}$  は、同一荷重による剛性円板の沈下量  $W_{c2}$  と近似的に等しい<sup>3)</sup>。すなわち、

$$W_{c1} = \frac{16}{3\pi^2} \frac{P_0(1-\nu^2)}{RE_s}, \quad W_{c2} = \frac{P_0(1-\nu^2)}{2RE_s} \quad \dots(1)$$

$$W_{c1}/W_{c2} = 0.54/0.50 \approx 1 \quad \therefore W_{c1} \approx W_{c2} = W_c \quad \dots(2)$$

ここに、 $P_0$ : 全荷重、 $R$ : 円板すなわち杭の半径、 $E_s$ : 土の弾性係数、 $\nu$ : 土のポアソン比、 $W_c$ : 円板すなわち杭の沈下量。

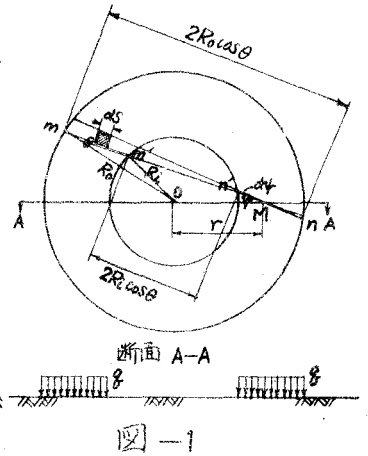
一方、杭先端開放状態における沈下量は半無限弾性体上の肉厚の小さい剛性円環に荷重が作用した場合の沈下量と考える。しかし、等沈下を生ぜしめる円環状の分布荷重を求めることは困難であるので、上記の円板で述べた関係がこの場合も成立するものと考えて理論を進める。すなわち、図-1に示した円環内の1点Mの沈下量を求め、これを円環全体にわたって積分し、しかるのちその全面積で除した値が杭先端開放状態における沈下量  $W_0$  であると考えられる。かかる  $W_0$  は次式のように表わされる。

$$W_0 = \frac{8}{3\pi^2} \frac{P_0 R_0^3 (1-\nu^2)}{(R_0^2 - R_1^2)^2 E_s} \cdot I_1 - \frac{8}{\pi^2} \frac{P_0 R_1 (1-\nu^2)}{(R_0^2 - R_1^2)^2 E_s} \cdot I_2 \quad \dots(3)$$

ここに 
$$I_1 = \int_0^{\pi/2} \left\{ \frac{1}{\sin^2 \psi} \left( 1 - \frac{R_1^2}{R_0^2} \sin^2 \psi \right)^{\frac{3}{2}} - \frac{\cos^3 \psi}{\sin^2 \psi} \right\} d\psi, \quad I_2 = \int_{R_1}^{R_0} \int_0^{\sin^{-1} \frac{R_2}{r}} r \left( 1 - \frac{r^2}{R_1^2} \sin^2 \psi \right)^{\frac{1}{2}} d\psi dr$$

ついで、上記の閉鎖と開放の両状態において同一沈下量を生ずる荷重  $P_c$  と  $P_0$  の比率は式(1)、(2)と式(3)における  $W_c$  と  $W_0$  を等置することにより

$$\frac{P_0}{P_c} = \frac{2(R_0^2 - R_1^2)^2}{R_0^4 I_1 - 3R_0 R_1 I_2} \quad \dots(4)$$



3. 杭の周面摩擦力を考慮した場合の沈下量算定式 Seed と Reese は杭の沈下量  $u$  を杭の深さ  $z$  の関数としてつぎの基礎方程式を与えている<sup>4)</sup>。

$$\frac{d^2u}{dz^2} - \frac{r\phi}{AE_p} = 0 \quad \dots(5) \quad \text{ここに, } u: \text{深さ } z \text{ における杭の沈下量, } \phi: \text{杭の周面摩擦応力, } \phi: \text{杭の周長, } E_p: \text{杭の弾性係数, } A: \text{杭の断面積.}$$

しかして, 中間層が粘土またはシルトからなり, 杭の周面摩擦応力  $\phi$  が弾性域にある場合は  $\phi$  は沈下量  $u$  に比例するものと考えて,  $\phi = \beta u$  ( $\beta$ : 定数) と書ける。したがって式(5)に  $\phi = \beta u$  を代入して解き, 杭の両端における境界条件を与えて演算を進めると, 杭先端閉鎖・開放の両状態についてそれぞれつぎの結果をうる事ができる。

$$\bar{W}_c = \frac{\alpha_c \gamma + \sinh \gamma l (\cosh \gamma l / AE_p + \alpha_c \gamma \sinh \gamma l)}{\cosh \gamma l (\gamma \cosh \gamma l + \alpha_c \beta \phi \sinh \gamma l)} \cdot \bar{P}_c \quad \dots(6)$$

$$\bar{W}_o = \frac{\alpha_o \gamma + \sinh \gamma l (\cosh \gamma l / AE_p + \alpha_o \gamma \sinh \gamma l)}{\cosh \gamma l (\gamma \cosh \gamma l + \alpha_o \beta \phi \sinh \gamma l)} \cdot \bar{P}_o \quad \dots(7)$$

ここに,  $\bar{W}_c, \bar{W}_o$ : それぞれ杭先端閉鎖と開放における杭頭沈下量,  $\bar{P}_c, \bar{P}_o$ : それぞれ両状態における上載全荷重,  $l$ : 杭の長さ(根入長),  $\alpha_c, \alpha_o$ : 係数

$$\alpha_c = \frac{\beta \phi}{AE_p}, \alpha_o = \frac{16(1-\nu^2)}{3\pi^2 R_o E_s}, \alpha_c = \frac{8}{3\pi^2 (R_o^2 - R_i^2)^2 E_s} \cdot I_1 - \frac{8}{\pi^2 (R_o^2 - R_i^2)^2 E_s} \cdot I_2$$

これからより杭先端の閉鎖と開放の両状態において同一沈下量を生ずる荷重  $P_c$  と  $P_o$  の比率は

$$\frac{\bar{W}_o}{\bar{W}_c} = \frac{\gamma \cosh \gamma l + \alpha_o \beta \phi \sinh \gamma l}{\gamma \cosh \gamma l + \alpha_c \beta \phi \sinh \gamma l} \cdot \frac{\alpha_c \gamma + \sinh \gamma l (\cosh \gamma l / AE_p + \alpha_c \gamma \sinh \gamma l)}{\alpha_o \gamma + \sinh \gamma l (\cosh \gamma l / AE_p + \alpha_o \gamma \sinh \gamma l)} \quad \dots(8)$$

#### 4. 数値計算と実験結果 式(4)と式(8)

のように導かれた同一沈下量を生ずる荷重の比率を数値計算により求めた結果の一例を, それぞれ図-2, 図-3に示した。当然のことながら, これらの図によると杭径  $2R_o$  が大きくなるほど, 肉厚  $t$  が小さくなるほど, 根入長  $l$  が小さくなるほど荷重比は(いずれも)小さくなる傾向を示している。 $P_o/P_c$  の概略値はそれぞれによる一現地実験結果<sup>1)</sup>と比較的対応しており, また模型実験結果からも式(4)の妥当性が裏付けられた。なお, 数値計算は京都大学電子計算機 KDC-II を用いた。

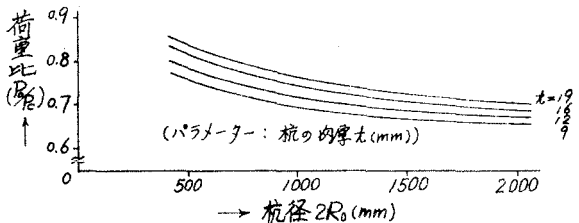


図-2 杭径-荷重比の数値計算結果, 式(4)

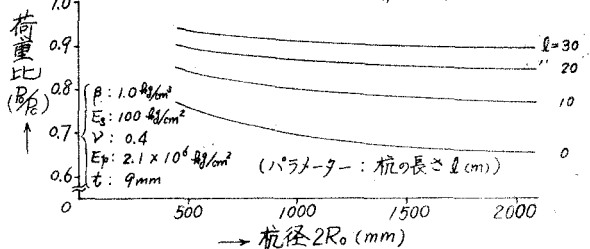


図-3 杭径-荷重比の数値計算結果, 式(8)

- 1) たとえば, 後藤尚男・勝見雅・松浦伸; 第19回年次学術講演会講演概要 I, 昭. 39年5月
- 2) 山原浩; 鋼管(ι)の閉塞効果と支持力機構(その1, その2), 日本建築学会論文報告集, 第96, 97号, 昭. 39年3, 4月
- 3) たとえば, Timoshenko, S.; Theory of Elasticity, p 372
- 4) Seed, H. and Reese, L.; The Action of Soft Clay along Friction Piles, ASCE, Vol. 81, p 19, 1963