

鳥取大学大学院 〇川崎 末管
鳥取大学工学部 勝見 雅
鳥取大学大学院 森野 久栄

1. 緒言

本研究は鋼管内土の支持力と杭先端支持地盤の支持力との関係から開端杭の閉塞効果を論じようとするものである。著者らは管内土の支持力を求めるに際しては、すべり線の概形を対称擁壁¹⁾を参考にして考え、すべり線網目を組んでKötterの方程式を差分方程式で表わし、管内土の境界条件をもとに逐次解いたことがある²⁾。そして今回は著者の1人が円形剛基礎³⁾に対して求めた支持力計算値³⁾に、杭の根入水深さに対する値を加えて杭先端支持地盤の支持力とし、管内土の支持力と比較することによって特に鋼管内部に詰まった土の深さと閉塞効果の関係について考察した。

2. Kötterの方程式の管内土への適用

著者の1人は円形剛基礎の支持力について軸対称問題としてKötterの方程式を拡張したことがある³⁾。さらに著者らはこれを管内土の支持力へ適用して、少なからず成果を得た²⁾。ここでは管内土へ適用するに際し、その概略を簡単に述べる。管内土が塑性降伏状態に達した状態を後働状態であると考え、水平方向の主応力は鉛直方向のそれよりも大きくなる。そこで中間主応力 $\sigma_2 = \sigma_1$ (最大主応力)の場合について検討を行う。すなわちこの場合の管内土のすべり線の概形を対称擁壁¹⁾を参考にしてKötterの方程式を適用すれば次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dS_1} - 2\left(p \tan \phi + \frac{C}{\cos \phi}\right) \frac{d\theta}{dS_1} - \left[\left(p \tan \phi + \frac{C}{\cos \phi}\right) \left\{ \cos(\theta - \phi) + \sin \theta \right\} + \gamma r \sin(\theta - \phi) \right] \frac{1}{r} &= 0 \\ \frac{dP}{dS_2} + 2\left(p \tan \phi + \frac{C}{\cos \phi}\right) \frac{d\theta}{dS_2} + \left[\left(p \tan \phi + \frac{C}{\cos \phi}\right) \left\{ \cos(\theta - \phi) + \sin \theta \right\} - \gamma r \cos \theta \right] \frac{1}{r} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式(1)の2つの式において[]内の第1項を0とおけば周知のように2次元帯状基礎としてのKötterの方程式に帰着する。次に式(1)を差分方程式で表わし管内土の境界条件を加味して任意深さにおける垂直応力 σ_2 を $\gamma = 0$ と $C = 0$ に対して、前者を C で除した値、後者を γ で除した値を杭の任意の深さにおける断面積にわたって平均した値がそれぞれ粘着力による支持力係数 N_c 、自重による支持力係数 N_γ を与える。

3. 計算結果および考察

2.で述べた方法で各根入れ比(%)ごとに求めた支持力係数を表-1に示してある。ここで2次元帯状基礎として求めた支持力係数はすべてTerzaghiの経験公式における形状係数、すなわち N_c は1.3、 N_γ は0.6を乗ずることにより円形である開端杭の管内土の支持力係数とした値である。

表-1

開端杭の閉塞効果を定量的に表わす閉塞率を次のように定義する。

$$\text{閉塞率}(\%) = \frac{q_{ui}}{q_{uo}} \times 100$$

q_{ui} : 管内土の極限支持力

q_{uo} : 杭先端支持地盤の極限支持力

ただし、右辺>100の場合は閉塞率100%とする。

次に土の粘着力が自重に比べて無視できる場合と、逆に自

数値計算より求まる支持力係数

DATA 根入れ比 (%)	$\phi = 20^\circ$ $\delta = 10^\circ$ 3次元	$\phi = 36^\circ$ $\delta = 23^\circ$ 3次元	$\phi = 20^\circ$ $\delta = 10^\circ$ 3次元	$\phi = 20^\circ$ $\delta = 10^\circ$ 2次元	$\phi = 36^\circ$ $\delta = 23^\circ$ 2次元	$\phi = 20^\circ$ $\delta = 10^\circ$ 2次元
L/D	N_γ	N_γ	N_c	N_γ	N_γ	N_c
0.5	0.34	1.34	0.61	0.71	1.48	1.57
1.0	0.95	10.08	1.64	1.40	4.93	2.94
1.5	2.21	75.57	3.16	2.93	19.06	5.40
2.0	4.55	676.90	6.44	4.64	68.94	8.42
2.5	9.14	2174.65	11.83	7.28	219.54	12.21
3.0	17.69		21.24	10.59	808.80	18.79
3.5				15.55		25.45
4.0				22.17		37.13
5.0				45.01		
6.0				89.01		
7.0				174.89		
8.0				346.12		

重が粘着カに比べて無視できる場合、すなわち土質の両極端な場合の土における閉塞率を次式で求めてみた。ただし根入れ深さ D_f を開端杭打設時の管内土上昇量 δ と等しいとしている。

1) $N_r = 0$ の場合、 $C \gg \gamma$ よう

$$\text{閉塞率}(\%) = \frac{N_{ci}}{N_{co}} \times 100 \quad (3)$$

2) $N_c = 0$ の場合

$$\begin{aligned} \text{閉塞率}(\%) &= \frac{B\gamma N_{ri}}{B\gamma N_{ro} + D_f \gamma N_g} \times 100 \\ &= \frac{N_{ri}}{N_{ro} + 2 \cdot \frac{1}{D} \cdot N_g} \times 100 \quad (\because D_f = L, 2B = D) \end{aligned} \quad (4)$$

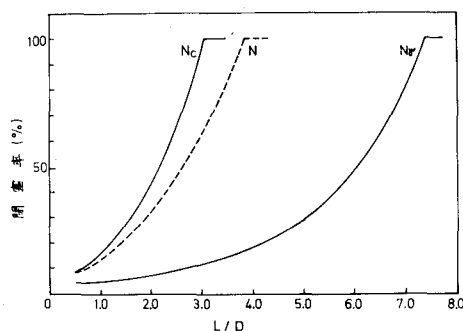


図-1 閉塞率～%

ここで N_g は根入れ深さによる支持力係数で、添字 i , o はそれぞれ杭内, 杭外を意味する。

管内土の支持力係数 N_{ci} , N_{ri} は今回の数値計算結果(表-1参照)を用い、杭先端支持地盤の支持力係数 N_{co} , N_{ro} は著者の1人が以前に計算した値³⁾を用いている。そして根入れ深さによる支持力係数 N_g は同じく著者の1人が以前に計算した値⁴⁾を使用している。ちなみにそれらの値は2次元で内部摩擦角 $\phi = 20^\circ$ に対して、 $N_{co} = 19.3$, $N_{ro} = 1.84$, $N_g = 15.2$ である。

さて以上の数値を用いて式(3), (4)によって計算を行い、これより得た壁面摩擦角 $\delta = 10^\circ$ に対する閉塞率の値と根入れ δ の%の関係を示したものが図-1の実線である。そして $C \gg 0$, $\gamma \gg 0$ である実際の土の場合における閉塞率を次の式(5)より求め、同図に点線として付け加えている。ここでその土は $\phi = 20^\circ$, $C = 3 \text{ t/m}^2$, γ (水中単位体積重量) $= 0.7 \text{ t/m}^3$ の物理定数を持つ砂質シルトを用いた。また杭径 D は1.2mの外径鋼管杭を用い、 $\delta = 10^\circ$ の場合の閉塞率を求めている。この結果上述の物理定数を有する土における閉塞率～%曲線 N は N_c 側に寄り、粘着カ

$$\text{閉塞率}(\%) = \frac{CN_{ci} + B\gamma N_{ri}}{CN_{co} + B\gamma N_{ro} + D_f \gamma N_g} \times 100 = \frac{CN_{ci} + B\gamma N_{ri}}{CN_{co} + B\gamma N_{ro} + L\gamma N_g} \times 100 \quad (\because D_f = L) \quad (5)$$

が自重に比べて支配的であると思われる。このように同図は土質の両極端な状態の場合($N_c = 0$ あるいは $N_r = 0$)における閉塞率～%の関係を実線で表わし、これらが完全閉塞状態となる%の上限下限を与え、さらに実際の土はおよそどのあたりに位置しているのかを見当づけている。同図中 N_c は% = 3.1で、 N_r は% = 7.4で閉塞率100%に達しており、完全閉塞状態となるには N_r は N_c より約2倍の%を必要とすることがわかる。このことは砂質土の方が粘性土より完全閉塞状態となるためには多くの根入れを必要とすることも同図よりわかる。

本研究で用いた内部摩擦角 ϕ , 壁面摩擦角 δ はそれぞれ 20° , 10° と実際のそれらの値より幾分小さめである。このため同図において上限下限の実線は、実際には弱干移動するものと想像されるが、点線は粘性土を多く含むほど左に、砂質土を多く含むほど右に、 C , γ の割合によって遷移する。

4. 今後の研究課題

今後中、 δ に実際の値を用いて図-1を改良していきたいと考えている。加えて土の物理定数、杭径をパラメータにとり同様な図を作成する予定である。またこれに平行して比較的大きな模型鋼管杭を用いて砂の場合における押込み試験、載荷試験、管内土の抜き上げ試験などを逐次行い、これらの結果から閉塞率を求め理論値との比較検討を行う予定である。これらの詳細は講演時に述べる。

1) 星聖和, 佐藤健吉: 土のような粒状体の力学 2) 第14回土質工学研究発表会講演集, 230, 昭54

3) 勝見雅: 中間土に力に注目した円形剛基礎の支持力に関する研究, 土木学会論文報告集, 第252号

4) 勝見雅: 円形剛基礎に関する支持力理論の杭基礎への適用, 鳥取大学工学部研究報告, 第9巻, 第1号