

# 土木工学基礎演習土質力学（3回：支持力、土圧、斜面安定）

問1：浅い基礎の支持力に関する以下の記述内容の正誤について解説よ。但し、ここで言うところの支持力とはすべて荷重強度（応力）としての支持力をさす。

1. 表面帯基礎の基礎幅を2倍にすると、単位奥行きあたり支持し得る荷重は砂地盤では約4倍、粘土地盤では2倍となる。
2. 表面基礎の支持力増加の有効な方法はとして、砂地盤では締固めて密度を増す方法、また、粘土地盤では圧密して非排水強度を増す方法が上げられる。
3. 砂、粘土地盤ともに基礎の根入れを増すことが支持力増加の有効な手段となる。
4. 砂地盤上の基礎の支持力に関する根入れ効果と、基礎幅の効果は砂の内部摩擦角(  $\phi$  )に依存し、 $\phi$  が小さいうちは根入れ効果が基礎幅の効果より大きい、 $\phi$  が大きくなると基礎幅の効果が大きくなる。但し、ここで効果とは単位長さあたりの根入れ増分及び基礎幅増分に対する支持力の増分をさす。
5. 緩い砂の地盤剛性は小さく、荷重沈下曲線に明確なピーク（極限支持力）は現れない。また密な砂地盤でも基礎の根入れが増すと同様の傾向が現れ、局所せん断的な破壊形態をとる。

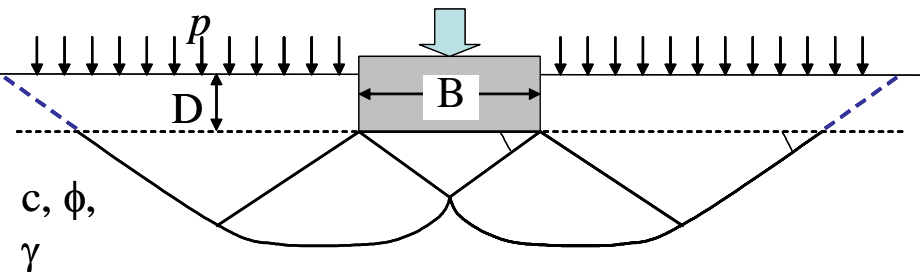
$$q_{ult} = Q_{ult} / B = cN_c + q_s N_q + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma \quad q_s = \gamma D + p \quad (1)$$

支持力係数の例：

$$N_q = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \exp(\pi \tan \phi) \quad (2-1)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (2-2)$$

$$N_\gamma \approx 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (2-3)$$



浅い基礎の支持力は、式(1)で表され、支持力は粘着力、根入れ、土の自重成分の三項によって表される。それぞれの成分には支持力係数( $N_c, N_q, N_\gamma$ )がかかり、これらは塑性論によって求められる。それぞれの値は仮定したメカニズムによって若干異なるが、すべて $\phi'$ の関数((2)式)となる。通常的设计では、粘性土地盤と砂質土地盤に分けて安定計算が行われ、前者であれば、多くの場合、飽和非排水条件を仮定して、強度定数として $\phi_u=0, c_u$ を用いて全応力解析が行われ、後者であれば粘着力を無視( $c'=0$ )し、 $\phi'$ を用いた有効応力解析が行われる。

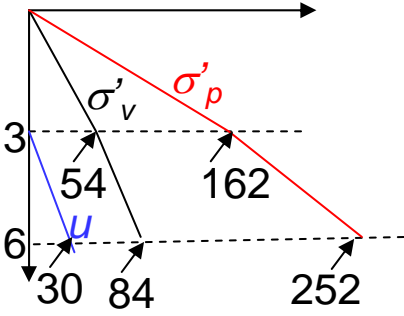
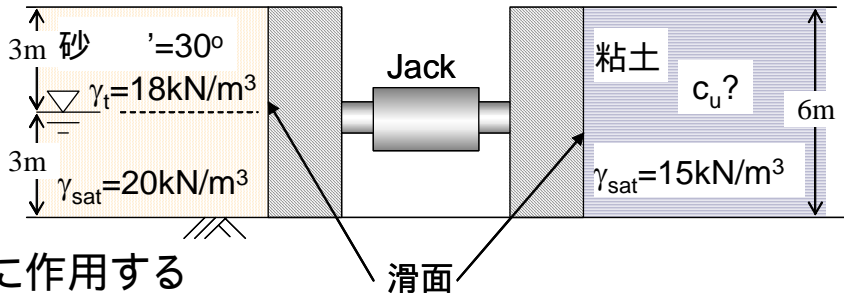
- (1)式からわかるように、表面基礎(根入れゼロ、 $q_s=0$ )の場合、粘土地盤の場合は、 $\phi_u=0$ ( $N_\gamma=0$ )であるので、支持力は粘着力成分のみであり、与えられた $c_u$ の下では、支持力は一定であり、基礎幅が2倍になれば単位奥行き当り支持しうる荷重も2倍になる。一方、砂地盤の場合、支持力は自重成分(右辺3項)のみであるが、支持力が基礎幅に比例するので、幅が2倍になると支持しうる荷重は4倍となる。(正解)
- 粘土の支持力は粘着力によって決まる。上述の通り砂の支持力は幅等によっても変わるが、 $N_q$ が $\phi'$ の関数であり、締固めてこれを増加させることにより理論上の支持力係数は大きく増加する。また、緩詰め、密詰め状態では破壊のメカニズムも異なり、 $f$ から求まる理論以上に支持力の差は大きくなる。(正解)
- 砂の場合( $\phi' = 0$ )の場合、 $N_q$ はそれなりに大きな値となり、浅い基礎でも根入れ( $q_s$ )を増すことにより支持力は増大する。一方、粘土の場合( $\phi_u=0$ ),  $N_q=1$ となる。従って、根入れを増しても、基礎底面での支持力が $\gamma\Delta D$ のみ増えるだけで、根入れ増加部の構造物の重量増加を考えると、実質的な支持力増加は期待できない。(ただし、深い基礎であれば、基礎先端部の強度も増加し、周面摩擦も期待できるので、支持力は大きく増加する。)(誤)
- (2-2)式、(2-3)式を比べることにより命題の傾向を確認できる。(正解)
- 破壊メカニズムは、砂の応力ひずみ関係、せん断に伴う体積変化(ダイレイタンス)に依存し、これらは密度のみならず、拘束圧に依存する。密度が大きなほど、正のダイレイタンスが生じるが、大きな密度でも拘束圧が大きくなると体積圧縮傾向が強まる。また、摩擦角も拘束圧に依存し、特に密詰めの場合、その増大とともに減少する。(正解)

問2：下図のように二つの鉛直壁の間にジャッキが剛結されている。壁の高度は6mであり、右側の壁は単位体積重量 $15\text{kN/m}^3$ の飽和粘土を、左側の壁は内部摩擦角 $30^\circ$ の砂を支えている。砂地盤の水位は $-3\text{m}$ であり、砂の飽和単位体積重量は $20\text{kN/m}^3$ 、水位より上の湿潤単位体積重量は $18\text{kN/m}^3$ である。このジャッキにより二つの壁を押したところ、壁はほぼ同時に動き出した。この時の粘土の非排水強度 $c_u$ を求めよ。なお壁面は十分滑らかなものとする。また、不飽和部も砂の粘着力はゼロ、水の単位重量は $10\text{kN/m}^3$ とする。

**砂は有効応力解析、粘土は全応力、**

壁面は滑らか ( $t=0$ )、従ってRankine土圧適用可

**砂部:**  $\sigma'_p = K_p \sigma'_v$ ,  $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi'/2) = 3$



左図より、砂地盤側の壁に作用する全水平力は、

$$P_{sand} = \frac{1}{2} (162 \times 3 + (162 + 252) \times 3 + 30 \times 3) = 909 (\text{kN} / \text{m})$$

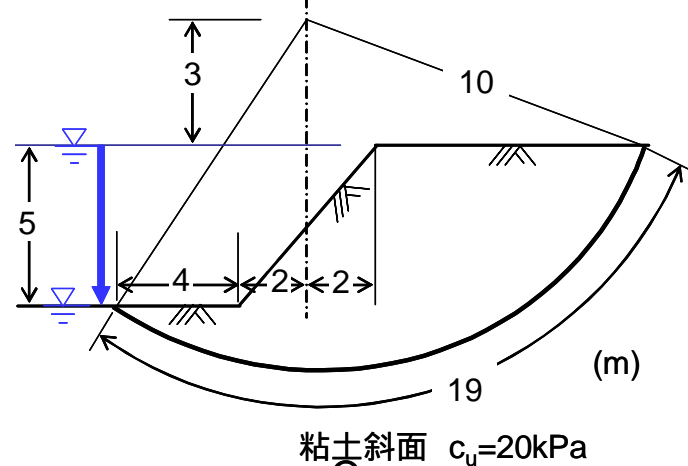
**粘土部:**  $\sigma_p = K_p \sigma_v + 2c_u$ ,  $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi'/2) = 1$ ,  $\sigma_v = 15z$

$$P_{clay} = \int_0^6 \sigma_p dz = \frac{1}{2} 90 \times 6 + 2 \times 6c_u = 270 + 12c_u$$

$$P_{sand} = P_{clay} \text{ より } c_u = \frac{909 - 270}{12} \approx 53 \text{ kPa}$$

問3：右図のような幾何形状をもつ高さ5mの粘土斜面がある。斜面前面の水位は斜面上部まであり、図中に示した円弧滑り面に対する安全率は約2である。この状態から前面の水位を斜面下部まで急激に変化させた場合、この滑り面に対する安全率はいくらになるか。

なお、粘土の非排水強度は20kPaであり、水の単位重量は10kN/m<sup>3</sup>とせよ。また、図中の数字はすべてmで表した長さである。



粘土( $\phi_u=0$ )であるため、強度安全率とモーメント安全率が等しい。

$$F_s = \frac{M_R (\text{抵抗モーメント})}{M_D (\text{滑動モーメント})}$$

$$M_R = 20 \times 19 \times 10 = 3,800 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

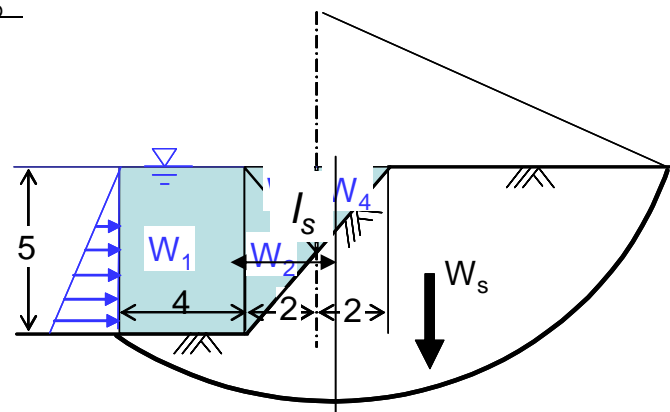
水位が斜面上部の時:

$$M_D = W_s l_s - \left\{ \left( 2 \times 2.5 \times \frac{4}{3} \times 10 \right) + (4 \times 5 \times 4 \times 10) + \left( \frac{10}{2} \times 5^2 \left( 3 + 5 \times \frac{2}{3} \right) \right) \right\} = W_s l_s - 1658 (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$\text{この時、} F_s = 2 \text{ より、} F_s = \frac{3800}{W_s l_s - 1658} = 2, \therefore W_s l_s = 3,558 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

水位が斜面下部まで急激に低下させた時:  $M_D = W_s l_s (\text{kN} \cdot \text{m})$

$$\therefore F_s = \frac{3,800}{W_s l_s} = \frac{3,800}{3,588} = 1.07 \approx 1.1$$



問4：下図のような高さ $H=10\text{m}$ 、斜面角  $=45^\circ$  の斜面の安全率( $F_s$ )をTaylorの安定図表を用いて求めよ。ここで、斜面材料は、単位体積重量  $\gamma_t=20\text{kN/m}^3$ 、粘着力 $c=20\text{kPa}$ 、内部摩擦角  $=20^\circ$  のc 材料である。

材料である。

$$\text{Hint } F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_m + \sigma \tan \phi_m}, F_c = \frac{c}{c_m}, F_\phi = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_m}$$

$c_m, \phi_m$  は実際に発揮されている粘着力、摩擦角

ここでの安全率は強度安全率、 $c, \phi$ 材の場合、 $c_m, \phi_m (\tan \phi_m)$  の発揮割合 ( $F_c F_\phi$ ) が同じになった時。

$$\tan \phi = 20^\circ \text{ とすると、 } F_\phi = 1, N = 16, \Rightarrow F_c = \frac{Nc}{\gamma H} = 1.6$$

$$\tan \phi = 15^\circ \text{ とすると、 } F_\phi = \frac{\tan 20^\circ}{\tan 15^\circ} = 1.36, N = 12, \Rightarrow F_c = \frac{Nc}{\gamma H} = 1.2$$

$$\tan \phi = 10^\circ \text{ とすると、 } F_\phi = \frac{\tan 20^\circ}{\tan 10^\circ} = 2.07, N = 9.3, \Rightarrow F_c = \frac{Nc}{\gamma H} = 0.93$$

右図より、 $F_s \approx 1.25$

