

演習問題解答例

第1章

省略

第2章

【問題 2.1】 解答例

乾燥密度 の定義によると、

$$\begin{aligned}\rho_d &= \frac{m_s}{V} = \frac{m - m_w}{V} = \frac{m}{V} \left(1 - \frac{m_w}{m} \right) = \frac{m}{V} \left(1 - \frac{m_w}{m_s + m_w} \right) \\ &= \frac{m}{V} \left(\frac{m_s}{m_s + m_w} \right) = \frac{m}{V} \left(\frac{1}{1 + m_w/m_s} \right)\end{aligned}$$

となる。 m は土の質量, m_s は土粒子の質量, m_w は水の質量, V は土の体積である。一方, 含水比 w と湿潤密度 ρ_t は, 下記の式で定義される。

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100 \quad \rho_t = \frac{m}{V}$$

これらを乾燥密度 の式に代入すると

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{w}{100}} = \frac{\rho_t}{100 + w} \times 100$$

この式に与えられた数値を代入して

$$\rho_d = \frac{1.4}{100 + 95} \times 100 = \frac{140}{195} = 0.72 \text{ g/cm}^3$$

【問題 2.2】

それぞれ定義式より、以下のように求められる。

$$\text{乾燥密度: } r_d = \frac{r_t}{1 + w/100} = \frac{1.73}{1 + 0.0760} = 1.608 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{間隙比: } e = \frac{r_s}{r_d} - 1 = \frac{2.60}{1.608} - 1 = 0.617$$

$$\text{相対密度: } D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 = \frac{0.670 - 0.617}{0.670 - 0.464} \times 100 = 25.7\%$$

【問題 2.3】

$$(1) \rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{m/V}{m/m_s} = \frac{m/V}{\frac{m_s + m_w}{m_s}} = \frac{m/V}{1 + m_w/m_s} = \frac{100\rho_t}{100 + w}$$

$$(2) n = \frac{V_v}{V} \times 100 = \frac{100V_v/V_s}{V/V_s} = \frac{100V_v/V_s}{\frac{V_s + V_v}{V_s}} = \frac{100V_v/V_s}{1 + \frac{V_v}{V_s}} = \frac{100e}{1 + e}$$

$$(3) e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{\frac{V - V_s}{V_s \cdot V}}{\frac{1}{V}} = \frac{m_s \left(\frac{1}{V_s} - \frac{1}{V} \right)}{\frac{m_s}{V}} = \frac{m_s/V_s - m_s/V}{m_s/V} = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$$

【問題 2.4】

(1) 最も大きい D_{10} は試料 C で、 $D_{10} = 0.015(\text{mm})$

(2) 均等係数 U_c の大きいのは試料 B で、また、その U_c は、 $U_c = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.58}{0.04} = 14.5$

(3) B の粘土分、シルト分、砂分、礫分はそれぞれ粘土分：2%，シルト分：15%，砂分：63%，礫分：20%

(4) 最も大きい乾燥密度に締固めれる（粒度の良い）のは、B である。

【問題 2.5】

(1) 粗粒分が 50%以上、砂分 $\geq$ 礫分、細粒分 $<$ 15%、礫分 $<$ 15%、細粒分 $<$ 5%、5% $\leq$ 礫分 $<$ 15%であることから、図 2-16 より「礫まじり砂(S-G)」に分類される。

(2) 細粒分が 50%以上の暗色で有機臭があるもので、かつ液性限界 $\geq$ 50%であることから、「有機質粘土（高液性限界）(OH)」に分類される。

第 3 章

【問題 3.1】

最適含水比とは、土の含水比を変えながら同一の方法で締め固めた場合に、最も大きな乾燥密度が得られる含水比のこと。

締め固めた土の強度や剛性は最適含水比より低い含水比で最大となり、圧縮性は最適含水比より低い含水比で最小となる。水浸によって飽和度が上昇すると乾燥側の強度や剛性は大きく低下し、圧縮性は増加するため、強度や剛性は最適含水比で最大となり、圧縮性は最適含水比で最小となる。透水係数は飽和供試体で求めるのが一般的であり、最適含水比より高い含水比で最小となる。

【問題 3.2】

飽和度が 0 でないとき、メニスカス径： R 、接触角： θ とすると、水平方向の力の釣り合いから、

$$2\sigma \cdot \cos(\alpha) = \int_0^{\pi-2\alpha} (P_a - P_w) \sin(\alpha + \theta) R d\theta = 2R(P_a - P_w) \cos(\alpha)$$

となるから、サクシヨン： $P_a - P_w$ は次式で得られる。

$$P_a - P_w = \frac{\sigma}{R}$$

次に、表面張力によって発生する粒子間接触力： F について、図の破線で示した断面における力の釣り合いを考えると、

$$F = 2h(P_a - P_w) - 2\sigma = 2h\frac{\sigma}{R} - 2\sigma$$

となる。ここで、 h は図の破線から土粒子（直径： D ）までの最短距離であり、幾何学的な関係から次式が成り立つ。

$$h = \sqrt{\left(R + \frac{D}{2}\right)^2 - \left(\bar{r} + \frac{D}{2}\right)^2} - R$$

ここで、2粒子のみの接触を考えて $\bar{r} = 0$ を仮定すると、

$$h = \sqrt{\left(R + \frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} - R = R \left(\sqrt{1 + \frac{D}{R}} + 1 \right)$$

となる。したがって、粒子間接触力： F は次式となる。

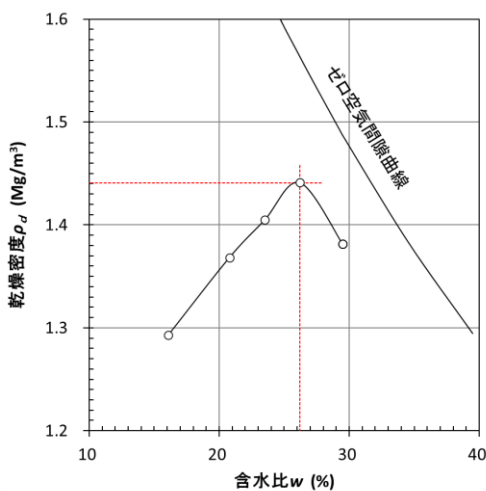
$$F = 2R \left(\sqrt{1 + \frac{D}{R}} + 1 \right) \frac{\sigma}{R} - 2\sigma = 2\sigma \sqrt{1 + \frac{D}{R}}$$

以上より、粒子間接触力： F はメニスカス径： R の平方根に反比例する。飽和度が大きくなるとメニスカス径も大きくなるから、間隙水が存在するとき、粒子間力は減少する。

一方、飽和度がゼロのときは、表面張力は存在しないため $F = 0$ となる。したがって、粒子間接触力は飽和度に対して上に凸の曲線を描く。土の密度は粒子間接触力の大きさに比例すると考えられることから、締固め曲線も上に凸の形状となる。

【問題 3.3】

締固め曲線およびゼロ空気間隙曲線は下図のとおりである。この図より、最大乾燥密度は 1.441 Mg/m^3 、最適含水比は 26.2% である。



【問題 3.4】

試料の湿潤密度は、

$$\rho_t = \frac{4630}{3256} \times 1.51 = 2.15 \text{ (Mg/m}^3\text{)}$$

であるから、乾燥密度は

$$\rho_d = \frac{2.15}{1 + 8/100} = 1.99 \text{ (Mg/m}^3\text{)}$$

となる。したがって、締固め度は

$$D_c = \frac{1.99}{2.05} \times 100 = 97.1\%$$

【問題 3.5】

[静的な機構による締固め]

ロードローラー、タイヤローラー、タンピングローラー等

[動的な機構による締固め]

振動ローラー、コンパクター等

[衝撃的な機構による締固め]

ランマー、タンパー等

※ 締固め機構の詳細については各自で調べること。

第 4 章

【問題 4.1】

限界動水勾配 i_c は

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} = \frac{2.65 - 1}{1 + 0.65} = 1.0$$

図 4.1 における動水勾配は

$$i = \frac{h}{30} = i_c$$

よって、 $h=30$ cm である。

【問題 4.1】

砂の形状係数が $0.1\text{--}0.5\text{cm}^2$ なので、式 4.4 より $19.9\text{cm} \sim 99.5\text{cm}$ である。

【問題 4.3】

まず全水頭差は、 $14-3=11\text{m}$

砂 a と砂 b の二種類の砂があるためそれぞれの動水勾配 i_a, i_b を考える必要がある。また砂 a と砂 b は連続していることから、全水頭と流量 q は次のように書ける。

$$5i_a + 3i_b = 11$$

また $q_a = q_b$ より $1 \times 10^{-3} \times i_a \times 42 = 1 \times 10^{-4} \times i_b \times 21$ という連立方程式の問題に置き換わる。したがって、

$i_a=0.169, i_b=3.38$ となる。求めるべきは実流速とあるのでダルシー流速を間隙率(n)で徐さなければならぬことに注意して、間隙比と間隙率の関係式より

$$V_a = \frac{v_a}{n} = 1 \times 10^{-3} \times 0.169 \div \frac{0.93}{1 + 0.93} = 1.14 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

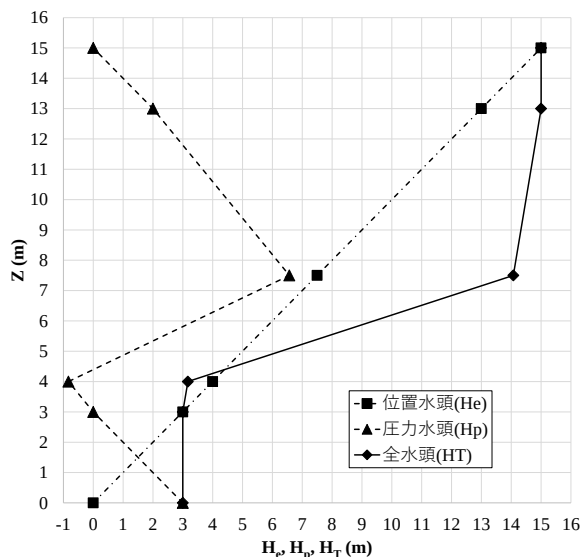
$$V_b = \frac{v_b}{n} = 1 \times 10^{-4} \times 3.38 \div \frac{0.75}{1 + 0.75} = 7.89 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

以下が、各水頭の分布である。もし、砂 a と砂 b が同じ材料かつ同じ断面積であれば、この問題は非常シンプルであるが、そうではないことから少し難しい。この手の問題は、まず位置水頭を確定できる。次に、砂の影響がないところまでは圧力水頭は静水圧分布で考えることができる。さて、次に砂 a だけ

に関して考える。その全水頭差 Δh_a とすると動水勾配 i_a は、 $i_a = \frac{\Delta h_a}{5.5} = 0.169$ となる。同様に砂 b は、 $i_b =$

$\frac{\Delta h_b}{3.5} = 3.38$ となる。したがって、砂 a 下部までの全水頭損失は 0.930、砂 b のそれは 11.83 となる。つま

り、砂 a と砂 b の境界までの全水頭差は $14 - 0.930 = 14.07$ となり、砂 b と水の境界面までの全水頭差は $14 - 11.83 = 3.17$ となる。よって、各圧力水頭＝各全水頭－各位置水頭より圧力水頭が求まり、それらを直線で結ぶと下記のようになる。



第 5 章

【問題 5.1】

地盤内の鉛直有効応力 σ'_v は $\sigma'_v = \gamma'z + p$ で表現されるため、圧密中の有効単位体積重量 γ' と上載圧 p の変化を考えればよい。

ア→イ：地表面より上で水面が変化しても鉛直有効応力は変化しない（全応力と水圧が同じように変化し、その差である鉛直有効応力は変化しない）。このため、ア→イでは間隙比 e と $\log \sigma'_v$ も変化しない。

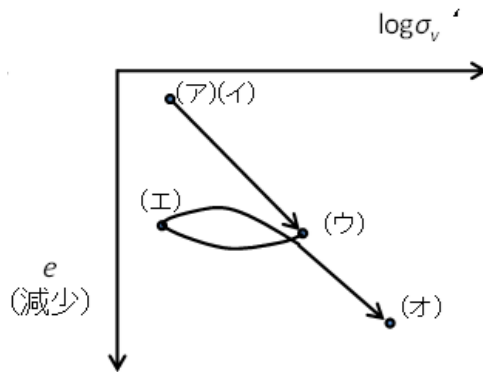
イ→ウ：広い範囲に盛土が載るため、A 点の鉛直有効応力は盛土荷重分だけ増加する。その結果、増加した鉛直有効応力の分だけ間隙比が減少する（正規圧密状態であるため、間隙比 e は $\log \sigma'_v$ の増加とともに直線的に減少する）。

ウ→エ：盛土の除去により、イと同じ鉛直有効応力に戻る。しかしながら、地盤の応力状態が過圧密状

態となるため、間隙比は同じように元に戻らない。

エ→オ：盛土重量よりも大きな荷重の構造物が載るため、応力状態は、過圧密状態から正規圧密状態に移行する。ただし、過圧密状態では、ヒステリシスを描くこと、また、過去に受けた最大の応力に至るまでは過圧密としての挙動を示す。

以上のことをから、 e と $\log \sigma'_v$ の関係は、以下ようになる。



【問題 5.2】

層厚 H の初期間隙比 e_0 の地盤があり、圧密沈下により間隙比が e_1 に変化した時の圧密沈下量 S_f は、以下の式となる。

$$S_f = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \times H$$

問題では、粘土層と砂層の沈下量をそれぞれ計算して合算する必要がある。

$$S_f = \frac{1.6 - 1.44}{1 + 1.6} \times 7.0 + \frac{0.8 - 0.76}{1 + 0.8} \times 10.0 = \frac{0.16}{2.6} \times 7.0 + \frac{0.04}{1.8} \times 10.0 = 0.43 + 0.22 = 0.65m$$

【問題 5.3】

最終沈下量 S_f は、体積圧縮係数 m_v 、粘土層厚 H および鉛直応力増分 Δp を用いて、 $S_f = m_v H \Delta p$ で与えられる。したがって、地盤 A, B, C の最終沈下量は、以下のようになる。

$$\text{地盤 A : } S_{fA} = 2m_v \cdot H \cdot q + m_v \cdot H \cdot q = 3m_v Hq$$

$$\text{地盤 B : } S_{fB} = 2m_v \cdot H \cdot \frac{3}{2}q + \frac{1}{2}m_v \cdot H \cdot \frac{3}{2}q = 3\frac{3}{4}m_v Hq$$

$$\text{地盤 C : } S_{fC} = \frac{1}{2}m_v \cdot H \cdot 2q + \frac{1}{2}m_v \cdot H \cdot 2q = 2m_v Hq$$

よって、最終沈下量は、地盤 B > 地盤 A > 地盤 C となる。

圧密時間 t は、時間係数を T_v と圧密係数を c_v とすると、 $t = T_v D^2 / c_v$ で与えられる。ここに、 D は圧密層の排水距離であり、粘土層厚 H とすると両面排水の場合は $D=0.5H$ 、片面排水の場合 $D=H$ となる。また、一次元圧密理論に基づくと、 c_v と m_v 、透水係数 k との間には $c_v = k / m_v \gamma_w$ の関係がある。これら 2 式から、圧密に要する時間 t は次式で与えられる。

$$t = \frac{m_v \gamma_w T_v D^2}{k}$$

この関係式に基づいて、地盤 A, B, C の圧密時間 t_A, t_B, t_C を各層の上と下の層にそれぞれ分けて、計算すると以下ようになる。

$$\text{地盤 A の上層: } t_{A上} = \frac{2m_v \gamma_w T_v H^2 / 2^2}{k/2} = \frac{m_v \gamma_w T_v H^2}{k}, \text{ 地盤 A の下層: } t_{A下} = \frac{m_v \gamma_w T_v H^2 / 2^2}{k} = \frac{m_v \gamma_w T_v H^2}{4k}$$

$$\text{地盤 B の上層: } t_{B上} = \frac{2m_v \gamma_w T_v H^2 / 2^2}{2k} = \frac{m_v \gamma_w T_v H^2}{4k}, \text{ 地盤 B の下層: } t_{B下} = \frac{m_v / 2 \cdot \gamma_w T_v H^2}{k} = \frac{m_v \gamma_w T_v H^2}{2k}$$

$$\text{地盤 C の上層: } t_{C上} = \frac{m_v / 2 \cdot \gamma_w T_v H^2}{k} = \frac{m_v \gamma_w T_v H^2}{2k}, \text{ 地盤 C の下層: } t_{C下} = \frac{m_v / 2 \cdot \gamma_w T_v H^2}{2k} = \frac{m_v \gamma_w T_v H^2}{4k}$$

したがって、同じ圧密度（同じ T_v ）まで到達する時間は $t_{A上} > t_{B下} = t_{C上} > t_{A下} = t_{B上} = t_{C下}$ となる。また、地盤 A, B, C の圧密に要する時間 t_A, t_B, t_C は、各上下層の圧密時間の大きい方に依存するので、 $t_A > t_B = t_C$ となる。

【問題 5.4】

最終沈下量は $S_f = m_v \times H \times \Delta p$ で計算し、途中の沈下量 S は $S = S_f \times U$ で計算する。 U は時間係数であり、時間係数 U と時間係数 T_v の関係は図 5.16 や表 5.4 のように一義的な関係がある。例えば、 $U=50\%$ のとき、 $T_v=0.197$ となる。

図 I, 図 II および図 III の地盤の平均圧密度 $U=50\%$ の時の沈下量は、以下ようになる。

$$\text{地盤 I: } S_{50I} = m_v \cdot H \cdot \Delta p \times U = m_0 \cdot H_0 \cdot p \times 0.5 = 0.5 \cdot m_0 \cdot H_0 \cdot p$$

$$\text{地盤 II: } S_{50II} = m_v \cdot H \cdot \Delta p \times U = m_0 / 2 \cdot H_0 \cdot p \times 0.5 = 0.25 \cdot m_0 \cdot H_0 \cdot p$$

$$\text{地盤 III: } S_{50III} = m_v \cdot H \cdot \Delta p \times U = 2m_0 \cdot H_0 \cdot p \times 0.5 = m_0 \cdot H_0 \cdot p$$

よって、沈下量は、地盤 III > 地盤 I > 地盤 II となる。

圧密時間 t は、時間係数を T_v と圧密係数を c_v とすると、 $t = T_v D^2 / c_v$ で与えられる。ここに、 D は圧密層の排水距離であり、粘土層厚 H とすると両面排水の場合は $D=0.5H$ 、片面排水の場合 $D=H$ である。また、一次元圧密理論に基づく、 c_v と m_v 、透水係数 k との間には $c_v = k / m_v \gamma_w$ の関係がある。これら 2 式から、圧密に要する時間 t は次式で与えられる。

$$t = \frac{m_v \gamma_w T_v D^2}{k}$$

この関係式に基づいて、地盤 I, 地盤 II, 地盤 III の圧密度 50% までの圧密時間 t_I, t_{II}, t_{III} を計算すると以下ようになる。

$$\text{地盤 I: } t_{50I} = \frac{m_0 \gamma_w \cdot 0.197 \cdot (\frac{H_0}{2})^2}{k_0} = \frac{0.197}{4} \frac{m_0 \gamma_w (H_0)^2}{k_0}$$

$$\text{地盤 II: } t_{50II} = \frac{m_0 / 2 \cdot \gamma_w \cdot 0.197 \cdot (\frac{H_0}{2})^2}{2k_0} = \frac{0.197}{16} \frac{m_0 \gamma_w (H_0)^2}{k_0}$$

$$\text{地盤 III: } t_{50III} = \frac{2m_0 \gamma_w \cdot 0.197 \cdot (\frac{H_0}{2})^2}{k_0 / 2} = 0.197 \frac{m_0 \gamma_w (H_0)^2}{k_0}$$

したがって、同じ圧密度（同じ T_v ）まで到達する時間は $t_{III} > t_I > t_{II}$ となる。

【問題 5.5】

ある圧密度に到達する時間を比較するには、以下の式を用いてから t の大小関係を調べればよい。

$$t = \frac{T_v(D)^2}{c_v}$$

ここで、 D は排水距離、 c_v は圧密係数、 t は圧密時間である。なお、 T_v の定義から、 T_v は荷重の大きさには無関係である。飽和粘土 A と飽和粘土 C の場合は $D = H/2$ 、飽和粘土 B と飽和粘土 D の場合は $D = H$ となる。以上から t を求めると、以下のようになる。

$$t_A = \frac{T_v(H/2)^2}{a} = \frac{T_v H^2}{4a}, \quad t_B = \frac{T_v H^2}{2a}, \quad t_C = \frac{T_v(H/2)^2}{1.5a} = \frac{T_v H^2}{6a}, \quad t_D = \frac{T_v H^2}{1.5a}$$

この結果から、 $t_C < t_A < t_B < t_D$ となる。

【問題 5.6】

ア：テルツァーギの圧密理論は、5.4.1 に示す以下の条件が仮定されている。

- (a) 土は均一である。
- (b) 土の間隙は水で完全に飽和されている。
- (c) 土粒子および水の圧縮量は無視できる。
- (d) 土中の水の排出は一次元的に行われ、かつダルシーの法則が成り立つ。
- (e) 土の圧縮も一次元的である。
- (f) 透水係数は圧力の大きさに関係なく一定である。
- (g) 小さい供試体で示される土の性質は、実際の地盤の性質と同じである。
- (h) 圧密圧力と間隙比とは、微小変形の範囲で直線関係にある。

したがって、アの記述は(d)と(e)に該当するため正である。

イ：テルツァーギの圧密方程式は、一般に式(5.21b)に示すように次式で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

これは、放物型の方程式として知られている。一方、ラプラス方程式は、一般に次式で表現され、流れが定常である場合の地下水の浸透などを扱う方程式として知られており、楕円型の方程式である。

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \nabla^2 h = 0$$

したがって、イの記述は誤である。

ウ：初期の部分で直線で近似できる方法は、時間 t の平方根を横軸にとって整理する $\sqrt{t}$ 法 (5.5.1(a)参照) のことである。したがって、ウの記述は誤である。

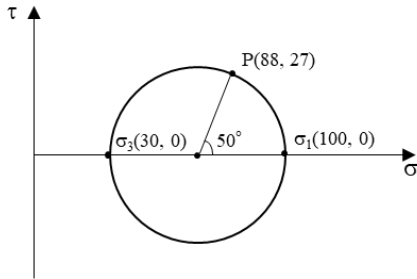
エ：圧密度 U と時間係数 T_v の関係は図 5.16 や表 5.4 に示すように非線形である。圧密度が小さい領域では、圧密度の変化に対して時間係数の変化は小さい。一方、圧密度が大きくなると、圧密度の変化に対する時間係数の変化は大きくなる。つまり、圧密度の変化にかかる時間は、どの圧密度から変化するかによって異なる。したがって、エの記述は誤である。

オ：一次元圧密を考えると、最終沈下量 S_f は $S_f = m_v H \Delta p$ となる。ここで、 m_v ：体積圧縮係数、 Δp ：荷重増分である。同じ飽和粘土地盤の場合、最終沈下量 S_f は粘土の層厚 H に比例する。したがって H が 2 倍になれば、沈下量も 2 倍となる。次に、圧密度 U は時間係数 T_v と一義的な関係にあり、一次元圧密の場合は $T_v = \frac{c_v t}{D^2}$ の関係がある。ここで、 c_v ：圧密係数、 D ：排水距離である。この式から、層厚 H が 2 倍になると排水距離 D も 2 倍となるため、同じ時間係数（圧密度）になるためには 4 倍の時間が必要になる。したがって、オの記述は正である。

第 6 章

【問題 6.1】

題意より， $\sigma_1=100\text{kN/m}^2$ ， $\sigma_3=30\text{kN/m}^2$ なので，モール円は以下のようなになる。



最大主応力面と 25° をなす面上に働く応力値は図中の P 点の座標で与えられる。

式 (6.1) より，

$$\sigma = \frac{100 + 30}{2} + \frac{100 - 30}{2} \times \cos(2 \times 25^\circ) = 87.5\text{kN/m}^2$$

$$\tau = \frac{100 - 30}{2} \times \sin(2 \times 25^\circ) = 26.8\text{kN/m}^2$$

【問題 6.2】

題意より，粘着力 $c=0\text{kN/m}^2$ となり，式 (6.1) のクーロンの破壊基準より，

$$\tan\phi = \frac{60}{100}$$

$$\therefore \phi = 30.9^\circ$$

$\sigma=250\text{kN/m}^2$ のとき，

$$\tau_f = 250 \times \tan(30.9^\circ) = 149.6\text{kN/m}^2$$

【問題 6.3】

密な砂はせん断時に体積膨張が発生するので，非排水条件では負の過剰間隙水圧が発生する。したがって，このとき有効応力は増加する。排水条件では密度が減少することになる。したがって，非排水条件の方がせん断強さは大きい。(図 6.10 参照)

【問題 6.4】

式 (6.27) より，

$$c_u = \frac{20}{\pi \times 0.05^2 \times \left(\frac{0.1}{2} + \frac{0.05}{6}\right)} = 44\text{kN/m}^2$$

【問題 6.5】

非排水せん断強さは， $c_u=q_u/2$ なので，

$$c_u = \frac{q_u}{2} = \frac{200}{2} = 100\text{kN/m}^2$$

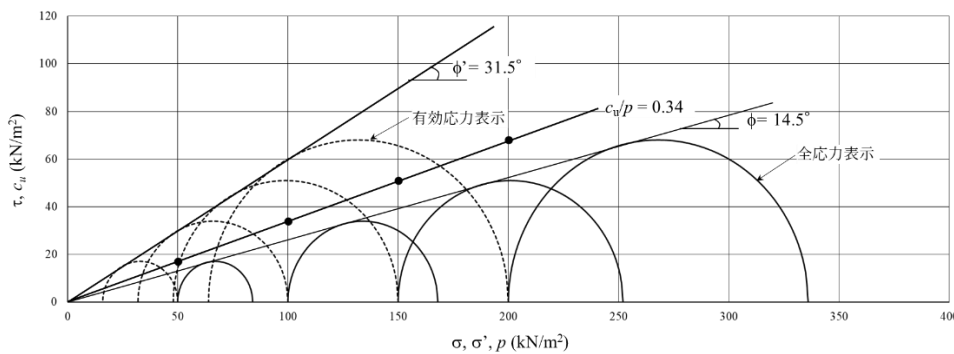
式 (6.29) より,

$$S_r = \frac{q_u}{q_{ur}} = \frac{200}{18} \approx 11$$

【問題 6.5】

圧密圧力は σ_3 , 軸差応力 $q=\sigma_1-\sigma_3$ なので, 試験結果より, 全応力および有効応力で表示した各主応力, およびモールの応力円は以下ようになる。

σ_1 (kN/m ²)	σ_3 (kN/m ²)	σ_1' (kN/m ²)	σ_3' (kN/m ²)	$c_u=(\sigma_1-\sigma_3)/2$ (kN/m ²)
84	50	50	16	17
168	100	100	32	34
252	150	150	48	51
336	200	200	64	68



$c_u=q/2$, $p=\sigma_3$ なので, 強度増加率 c_u/p は以下ようになる。

$$\frac{c_u}{p} = \frac{34}{100} = 0.34$$

第 7 章

【問題 7.1】

- ① 海溝型地震, ②スラブ内地震, ③内陸型地震, ④海溝型地震, ⑤内陸型地震

【問題 7.2】

- ① セン断剛性, ②せん断ひずみ, ③減衰定数, ④礫質土, ⑤砂質土, ⑥粘性土

【問題 7.3】

- (1) ① ; 緩い砂, ② ; 中密な砂, ③ ; 密な砂
(2) 0.15

【問題 7.4】 7.4.1 液状化のメカニズムを参照のこと。

第 8 章

【問題 8.1】

x、z 両方向についての釣り合いから

$$x \quad \sigma'_x \cdot ds \cdot \cos \alpha + \tau_{xz} \cdot ds \cdot \sin \alpha + \tau_\alpha \cdot ds \cdot \sin \alpha = \sigma'_\alpha \cdot ds \cdot \cos \alpha$$

$$z \quad \sigma'_z \cdot ds \cdot \sin \alpha + \tau_{xz} \cdot ds \cdot \cos \alpha = \sigma'_\alpha \cdot ds \cdot \sin \alpha + \tau_\alpha \cdot ds \cdot \cos \alpha$$

上式に $\cos \alpha$ 、下式に $\sin \alpha$ を乗じて加えると

$$\begin{aligned} \sigma'_\alpha (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) - \sigma'_x \cos^2 \alpha - \sigma'_z \sin^2 \alpha &= 2\tau_{xz} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \\ \therefore \sigma'_\alpha &= \sigma'_x \cos^2 \alpha + \sigma'_z \sin^2 \alpha + 2\tau_{xz} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

上式に $\sin \alpha$ 、下式に $\cos \alpha$ を乗じてその差をとると

$$\tau_\alpha = (\sigma'_z - \sigma'_x) \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \tau_{xz} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \quad (2)$$

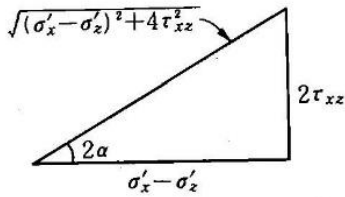
主応力面上では、 $\tau_\alpha = 0$ であるから

$$(\sigma'_z - \sigma'_x) \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \tau_{xz} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) = 0$$

$$\therefore 1/2(\sigma'_z - \sigma'_x) \sin 2\alpha = -\tau_{xz} \cos 2\alpha$$

$$\therefore \frac{\sin 2\alpha}{\cos 2\alpha} = \frac{-2\tau_{xz}}{\sigma'_z - \sigma'_x} = \frac{2\tau_{xz}}{\sigma'_x - \sigma'_z}$$

$$\therefore \tan 2\alpha = \frac{2\tau_{xz}}{\sigma'_x - \sigma'_z} \quad (3)$$



上図に示す関係から、式②は

$$\sin 2\alpha = \pm \frac{2\tau_{xz}}{\sqrt{(\sigma'_x - \sigma'_z)^2 + 4\tau_{xz}^2}}$$

$$\cos 2\alpha = \pm \frac{\sigma'_x - \sigma'_z}{\sqrt{(\sigma'_x - \sigma'_z)^2 + 4\tau_{xz}^2}} \quad (4)$$

よって最大、最小両主応力の方向が $0z$ 線となす角は

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\tau_{xz}}{\sigma'_x - \sigma'_z}$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 \pm \pi/2 \quad (5)$$

式①は

$$\begin{aligned} \sigma'_\alpha &= \sigma'_x \cos^2 \alpha + \sigma'_z \sin^2 \alpha + 2\tau_{xz} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \\ &= \sigma'_x \frac{\cos 2\alpha + 1}{2} + \sigma'_z \frac{1 - \cos 2\alpha}{2} + \tau_{xz} \sin 2\alpha \\ &= \frac{\sigma'_x + \sigma'_z}{2} + \frac{\sigma'_x - \sigma'_z}{2} \cos 2\alpha + \tau_{xz} \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (6)$$

さらに $\cos 2\alpha$ 、 $\sin 2\alpha$ に対して式④を用いて

$$\sigma'_\alpha = \frac{\sigma'_x + \sigma'_z}{2} \pm \frac{(\sigma'_x - \sigma'_z)}{2} \frac{(\sigma'_x - \sigma'_z)}{\sqrt{(\sigma'_x - \sigma'_z)^2 + 4\tau_{xz}^2}} \pm \tau_{xz} \frac{2\tau_{xz}}{\sqrt{(\sigma'_x - \sigma'_z)^2 + 4\tau_{xz}^2}} = \frac{\sigma'_x + \sigma'_z}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma'_z - \sigma'_x)^2 + 4\tau_{xz}^2}$$

⑦

この第2項の正の値が最大主応力 σ'_1 の大きさを、負の場合が最小主応力 σ'_3 の大きさを与える式である。

【問題 8.2】

荷重の直下、深さ 10m の点における鉛直方向の応力 σ'_z :

$\rho = 0, z = 10, \theta = 0^\circ$ となるから式 (8.15) より

$$\sigma'_z = \frac{3 \times 100}{2\pi \times 10^2}$$

$$= 0.447(\text{kN/m}^2)$$

荷重点から水平に 5m 離れた点の直下、深さ 10m における鉛直方向の応力 σ'_z :

$\rho = 5, z = 10, \theta = \tan^{-1} \frac{1}{2} = 26.565^\circ$ となるから式 (8.15) より

$$\sigma'_z = \frac{3 \times 100}{2\pi \times 10^2} \times (\cos 26.565^\circ)^5$$

$$= 0.273(\text{kN/m}^2)$$

【問題 8.3】

$m = \frac{a}{z} = \frac{20}{10} = 2.0, n = \frac{b}{z} = \frac{15}{10} = 1.5$ となるから、式 (8.30) より

$$f_B(2.0, 1.5) = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{2.0 \times 1.5}{\sqrt{2.0^2 + 1.5^2 + 1}} \frac{2.0^2 + 1.5^2 + 2}{2.0^2 \times 1.5^2 + 2.0^2 + 1.5^2 + 1} + \sin^{-1} \frac{2.0 \times 1.5}{\sqrt{2.0^2 \times 1.5^2 + 2.0^2 + 1.5^2 + 1}} \right] = 0.224$$

よって、 $q = 100(\text{kN/m}^2)$ であるから

$$\sigma'_z = q f_B(m, n) = 100 \times 0.224 = 22.4(\text{kN/m}^2)$$

【問題 8.4】

オスターバーク法を用いる。

まず、盛土載荷厚 5m に対応する荷重強度 q は、 $q = \gamma \cdot z = 16 \times 5 = 80(\text{kN/m}^2)$

オスターバーク法におけるパラメータ a, b は各々

$a = 10, b = 15$ であるから

$$\frac{a}{z} = \frac{10}{10} = 1 \quad \frac{b}{z} = \frac{15}{10} = 1.5$$

よって、図 8.18 より、 $N_0 = 0.48$

以上の計算は片側半分についての算定に関するものであるから、最終的にはこれを 2 倍することによって応力増分を求めることができる。

$$\sigma'_z = 2 \times N_0 \cdot q = 2 \times 0.48 \times 80 = 76.8(\text{kN/m}^2)$$

【問題 8.5】

$$\sigma'_z = \frac{qBL}{(B+2Z \tan \alpha)(L+2Z \tan \alpha)} = \frac{100 \times 10 \times 10}{(10+2 \times 10 \times \tan 30^\circ)}$$

$$= 21.5(\text{kN/m}^2)$$

なお、この方法はポストンコード法とも呼ばれる。

第9章

【問題 9.1】

(1) 式(9.7)を用いて、所定の深さ z における擁壁に作用する土圧は、 $\sigma_v = \gamma_t z$ を用いて以下の式で表される。

$$\sigma'_{h,a} = \gamma_t z \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} - 2c' \frac{\cos \phi'}{1 + \sin \phi'}$$

主働土圧係数 K_a を用いると以下の式となる。

$$\sigma'_{h,a} = \gamma_t z \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} - 2c' \frac{\cos \phi'}{1 + \sin \phi'} = K_a \gamma_t z - 2c' \sqrt{K_a}$$

ここで、主働土圧係数は、 $K_a = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi'}{2} \right)$

引張亀裂が発生しない場合は、主働土圧の合力 P_a は、以下の式となる。

$$P_a = \int_0^H \left(\gamma_t z \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} - 2c' \frac{\cos \phi'}{1 + \sin \phi'} \right) dz = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} - 2c' H \frac{\cos \phi'}{1 + \sin \phi'}$$

(2) 壁無しで自立できる擁壁の限界高さ H_c は、上記の主働土圧合力 P_a において、土圧合力の引張部分と圧縮部分が釣り合う（土圧合力がゼロ）になる場合である。よって、限界高さ H_c は以下となる。

$$H_c = \frac{4c'}{\gamma_t} \cdot \frac{\cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

(3) 引張クラック深さ z_0 は式(9.18)を用いて、

$$z_0 = 2c' / [\gamma_t \tan(45^\circ - \phi'/2)] = 2 \times 10 / [18 \times \tan(45^\circ - 30^\circ/2)] = 1.92 \text{ m}$$

(4) 主働土圧の分布は、式(9.8)を用いて求める。

$z=4\text{m}$ の時、 $\sigma'_{h,a, z=4\text{m}} = 18 \times 4 \times \tan^2(45^\circ - 30^\circ/2) - 2 \times 10 \times \tan(45^\circ - 30^\circ/2) = 24 - 11.55 = 12.45 \text{ kN/m}^2$

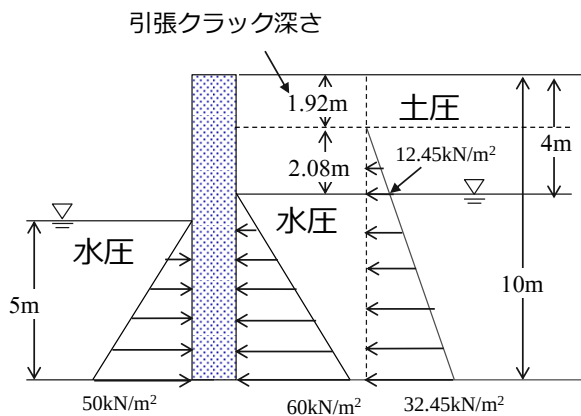
$z=10\text{m}$ の時、 $\sigma'_{h,a, z=10\text{m}} = [18 \times 4 + (20 - 10) \times 6] \times \tan^2(45^\circ - 30^\circ/2) - 2 \times 10 \times \tan(45^\circ - 30^\circ/2) = 44 - 11.55 = 32.45 \text{ kN/m}^2$

水圧分布は以下より求める。

擁壁の前面では、 $z=5\text{m}$ の時、 $u_w=0$ 、 $z=10\text{m}$ で、 $u_w=5 \times 10 = 50 \text{ kN/m}^2$

擁壁の背面では、 $z=6\text{m}$ の時、 $u_w=0$ 、 $z=10\text{m}$ で、 $u_w=6 \times 10 = 60 \text{ kN/m}^2$

各深度分布は以下の通りとなる。



(5) すべての合力とその矢板底面からの作用点は以下より求める。

地下水位以浅の土圧合力の作用点は、矢板底面から $6 + (4 - 1.92)/3 = 6.7 \text{ m}$ にある。

土圧合力は、 $P_{a-1} = \frac{1}{2} \times 12.45 \times (4 - 1.92) = 12.95 \text{ kN/m}$ である。

地下水位以深の土圧合力の長方形分布および三角形分布の作用点は、矢板底面から 3.0m および 2.0m にある。

各土圧合力は、 $P_{a-2} = 12.45 \times 6 = 74.7 \text{ kN/m}$ 、 $P_{a-3} = \frac{1}{2} \times (32.45 - 12.45) \times 6 = 60 \text{ kN/m}$ である。

擁壁背面の水圧合力は、 $P_{w-1} = \frac{1}{2} \times 60 \times 6 = 180 \text{ kN/m}$ であり、作用点は矢板底面から 2.0 m にある。

擁壁全面の水圧合力は、 $P_{w-2} = \frac{1}{2} \times 50 \times 5 = 125 \text{ kN/m}$ であり、作用点は矢板底面から 1.67 m にある。

(他と反対方向)

よって、合力は以下のとおりである。

$$P = 12.95 + 74.70 + 60 + 180 - 125 = 202.65 \text{ kN/m}$$

矢板底面からの合力の作用点の位置は、 $z_b = \sum(M)/P$ で表されることから、

$$z_b = (12.95 \times 6.7 + 74.7 \times 3 + 60 \times 2 + 180 \times 2 - 125 \times 1.67) / 202.65 = 2.87 \text{ m}$$
 となる。

【問題 9.2】

境界条件が複雑な場合の、主働土圧係数 K_{ca} は以下の式(9.35)で表される。

$$K_{ca} = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - i)}{\sin(\beta - i) \sin(\beta + \delta)}} \right\}^2}$$

ここに、 $\beta = 100^\circ$ 、 $\varphi' = 30^\circ$ 、 $\delta = 20^\circ$ 、 $i = 10^\circ$ を代入すると、 $K_{ca} = 0.44$ となる。

よって、クーロンの主働土圧合力は、 $P_a = \frac{1}{2} K_{ca} \gamma_t H^2 = \frac{1}{2} \times 0.44 \times 19 \times 10^2 = 418 \text{ kN/m}$

第 10 章

【問題 10.1】

基礎底面の地盤のせん断抵抗角 $\varphi' = 10^\circ$ であるから表 10.4 より、支持力係数は、 $N_c = 8.3$ 、 $N_q = 2.5$ 、 $N_\gamma = 0.4$ である。

長方形基礎：表 10.5 より $\alpha = 1 + 0.2 B/L = 1 + 0.2 \times (3/6) = 1.10$

$\beta = 0.5 - 0.2 B/L = 0.5 - 0.2 \times (3/6) = 0.40$ であるから、式(10.17)より、

$$\begin{aligned} q_f &= 1.10 \times 10 \times 8.3 + 0.40 \times 17.0 \times 3 \times 0.40 + 17.0 \times 1.0 \times 2.47 \\ &= 141 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

よって、 $Q = q \times (B \times L) = 141 \times (3 \times 6) = 2538 \text{ kN}$

【問題 10.2】

$$\begin{aligned} q_f &= 1.10 \times 10 \times 8.3 + 0.40 \times 17.0 \times 3 \times 0.40 + 17.0 \times 0.4 \times 2.47 \\ &= 116 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

よって、 $Q = q \times (B \times L) = 116 \times (3 \times 6) = 2088 \text{ kN}$

【問題 10.3】

$$\begin{aligned} q_f &= 1.10 \times 10 \times 8.3 + 0.40 \times 17.0 \times 3 \times 0.40 + 19.0 \times 1.0 \times 2.47 \\ &= 146 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

よって、 $Q = q \times (B \times L) = 146 \times (3 \times 6) = 2628 \text{ kN}$

【問題 10.4】

円形基礎：表 9.5 より $\alpha = 1.2$ 、 $\beta = 0.3$ であるから、式(10.17)より、

$$q_f = 1.2 \times 10 \times 8.3 + 0.3 \times 17.0 \times 3 \times 0.40 + 17.0 \times 1.0 \times 2.47$$

$$= 147 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{よって, } Q = q \times (B \times L) = 147 \times (5 \times 5 \times 3.14/4) = 2884 \text{ kN}$$

【問題 10.5】

a)

基礎直下の地盤の単位体積重量（水中単位体積重量）

$$\gamma_1 = \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 20.0 - 9.8 = 10.2 \text{ kN/m}^3$$

根入れ部の地盤の単位体積重量（水中単位体積重量）

$$\gamma_2 = \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 20.0 - 9.8 = 10.2 \text{ kN/m}^3$$

$$q_f = 1.10 \times 10 \times 8.3 + 0.40 \times 10.2 \times 3 \times 0.40 + 10.2 \times 1.0 \times 2.47 \\ = 121 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{よって, } Q = q \times (B \times L) = 121 \times (3 \times 6) = 2178 \text{ kN}$$

b)

基礎直下の地盤の単位体積重量（水中単位体積重量）

$$\gamma_1 = \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 20.0 - 9.8 = 10.2 \text{ kN/m}^3$$

根入れ部の地盤の単位体積重量

$$\gamma_2 = \frac{(0.5 \times \gamma' + 0.5 \times \gamma_t)}{1} = \frac{(0.5 \times 10.2 + 0.5 \times 17.0)}{1} = 13.6 \text{ kN/m}^3$$

$$q_f = 1.10 \times 10 \times 8.3 + 0.40 \times 10.2 \times 3 \times 0.40 + 13.6 \times 1.0 \times 2.47 \\ = 129 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{よって, } Q = q \times (B \times L) = 129 \times (3 \times 6) = 2322 \text{ kN}$$

【問題 10.6】

基礎底面の地盤のせん断抵抗角 $\phi' = 5^\circ$ であるから表 10.4 より，支持力係数は， $N_c = 6.5$ ， $N_q = 1.6$ ， $N_\gamma = 0.1$ である。

$$q_f = 1.10 \times 10 \times 6.5 + 0.40 \times 17.0 \times 3 \times 0.10 + 17.0 \times 1.0 \times 1.6 \\ = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{よって, } Q = q \times (B \times L) = 100 \times (3 \times 6) = 1800 \text{ kN}$$

【問題 10.7】

基礎底面の地盤のせん断抵抗角 $\phi' = 25^\circ$ であるから表 10.4 より，支持力係数は， $N_c = 20.7$ ， $N_q = 10.7$ ， $N_\gamma = 6.8$ である。

$$q_f = 1.10 \times 0 \times 20.7 + 0.40 \times 19.0 \times 3 \times 6.8 + 19.0 \times 1.0 \times 10.7 \\ = 358 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{よって, } Q = q \times (B \times L) = 358 \times (3 \times 6) = 6444 \text{ kN}$$

【問題 10.8】

表 10.7 に従い，「打込み杭」の先端支持力 Q_p (kN) と周面抵抗力 Q_s (kN) に分けて算定する。

1) 先端支持力 Q_p (kN) の算定

杭先端より下に 1 d，上に 4 d の範囲は完全に N 値 50 の砂質土に含まれているので， $\bar{N} = 50$ ，また閉端杭なので $\eta = 1$ より，

$$Q_p = q_p A_p = 300 \eta \bar{N} A_p = 300 \times 1 \times 50 \times (0.4/2)^2 \pi = 1884 \text{ kN}$$

2) 周面抵抗力 Q_s (kN)の算定

地表面から杭先端まで、砂質土層と粘性土層に分けて表 10.7 を参照にし算定する。

2) -1 砂質土各層において、 $\tau_{si} \times H_{si} \times D\pi = 2.0N_{si} \times H_{si} \times D\pi$ kNとして、

$$Q_{ss} = 2.0 N_s A_s = \sum(\tau_{si} \times H_{si} \times D\pi) = \sum(2.0N_{si} \times H_{si} \times D\pi) \text{ kN}$$

$$Q_{ss} = 2.0 \times 15 \times 2.0 \times 0.4\pi + 2.0 \times 50 \times 3.0 \times 0.4\pi = 452 \text{ kN}$$

2) -2 粘性土層において、

$$0.8c_{ui} \times H_{ci} \times D\pi = 0.8 \times (q_{ui}/2) \times H_{ci} \times D\pi \text{ kNとして、}$$

$$Q_{sc} = 0.8c_u A_s = \sum(0.8c_{ui} \times H_{ci} \times D\pi) = \sum(0.8 \times (q_{ui}/2) \times H_{ci} \times D\pi) \text{ kN}$$

$$Q_{sc} = 0.8 \times (40/2) \times 10.0 \times 0.4 \times 3.14 = 200 \text{ kN}$$

よって、

$$\text{極限鉛直支持力 } Q_f = Q_p + Q_{ss} + Q_{sc} = 1884 + 452 + 200 = 2536 \text{ kN}$$

$$\text{許容鉛直支持力 } Q_a = Q_f/3 = 2536/3 = 845 \text{ kN}$$

第 11 章

【問題 11.1】

$$(1) \quad W = \gamma_t Hb$$

$$(2) \quad T = W \sin \alpha = \gamma_t Hb \sin \alpha$$

$$(3) \quad N = W \cos \alpha = \gamma_t Hb \cos \alpha$$

$$(4) \quad S = (c + \sigma \tan \phi) \frac{b}{\cos \alpha} = \left(c + \frac{N}{b/\cos \alpha} \tan \phi \right) \frac{b}{\cos \alpha} = (c + \gamma_t H \cos^2 \alpha \tan \phi) \frac{b}{\cos \alpha}$$

$$(5) \quad F_s = \frac{S}{T} = \frac{(c + \gamma_t H \cos^2 \alpha \tan \phi) b / \cos \alpha}{\gamma_t Hb \sin \alpha} = \frac{c + \gamma_t H \cos^2 \alpha \tan \phi}{\gamma_t H \cos \alpha \sin \alpha}$$

$$(6) \quad F_s = \frac{c + \gamma_t H \cos^2 \alpha \tan \phi}{\gamma_t H \cos \alpha \sin \alpha} = \frac{15 + 18 \times 2 \times \cos^2 40^\circ \times \tan 35^\circ}{18 \times 2 \times \cos 40^\circ \times \sin 40^\circ} = \frac{29.79}{17.73} = 1.68$$

安全率が 1 以上であるため、この斜面は安定である。

【問題 11.2】

$$(1) \quad W = \gamma_{sat} Hb$$

$$(2) \quad T = W \sin \alpha = \gamma_{sat} Hb \sin \alpha$$

$$(3) \quad N' = W \cos \alpha - U$$

帯片 ABCD の底面に働く間隙水圧 u_w の合力 U は、

$$U = u_w \frac{b}{\cos \alpha} = \gamma_w H \cos^2 \alpha \frac{b}{\cos \alpha} = \gamma_w Hb \cos \alpha$$

$$N' = W \cos \alpha - U = \gamma_{sat} Hb \cos \alpha - \gamma_w Hb \cos \alpha = (\gamma_{sat} - \gamma_w) Hb \cos \alpha = \gamma' Hb \cos \alpha$$

$$(4) \quad S = (c' + \sigma' \tan \phi') \frac{b}{\cos \alpha} = \left(c' + \frac{N'}{b/\cos \alpha} \tan \phi' \right) \frac{b}{\cos \alpha} = (c' + \gamma' H \cos^2 \alpha \tan \phi') \frac{b}{\cos \alpha}$$

$$(5) \quad F_s = \frac{S}{T} = \frac{(c' + \gamma' H \cos^2 \alpha \tan \phi') b / \cos \alpha}{\gamma_{sat} Hb \sin \alpha} = \frac{c' + \gamma' H \cos^2 \alpha \tan \phi'}{\gamma_{sat} H \cos \alpha \sin \alpha}$$

$$(6) \quad F_s = \frac{c' + \gamma' H \cos^2 \alpha \tan \phi'}{\gamma_{sat} H \cos \alpha \sin \alpha} = \frac{10 + (20 - 10) \times 2 \times \cos^2 40^\circ \times \tan 35^\circ}{20 \times 2 \times \cos 40^\circ \times \sin 40^\circ} = \frac{18.22}{19.7} = 0.92$$

安全率が 1 を下回っているため、この斜面は不安定である。

【問題 11.3】

$$(1) \text{ 安定係数は, } N_s = \frac{\gamma_t \cdot H}{c_u} = \frac{18 \times 20}{60} = 6.0 \text{ となり, } n_d \text{ は } n_d = \frac{n_d \cdot H}{H} = \frac{30}{20} = 1.5 \text{ となる。}$$

図 11.16 より、20m の斜面を掘削する際の可能な傾斜角は、 $\beta=28^\circ$ となる。

また、崩壊パターンは、底部破壊であることが図 11.16 より読み取れる。

$$(2) \beta=70^\circ \text{ の時の安定係数は, 図 11.16 より, } N_s=4.8 \text{ と読み取れる。}$$

$$\text{よって, 臨界高は, } H_c = \frac{4.8 \times 60}{18} = 16m \text{ となる。}$$

また、安全率は、掘削可能な深さを H_1 とすると、臨界高との比で定義される。

$$\text{安全率} = \frac{H_c}{H_1} = \frac{16}{H_1} = 1.2 \quad \text{よって, } H_1 = 13.3m$$

$$(3) \text{ 鉛直な壁は, } \beta=90^\circ \text{ であり, 安定係数は, } N_s=3.85 \text{ であることがわかる。}$$

$$\text{臨界高 } H_c \text{ は, } H_c = \frac{c_u \cdot N_s}{\gamma_t} = \frac{60 \times 3.85}{18} = 12.83m \text{ であり,}$$

$$10m \text{ 掘削するときの安全率は, } F_s = \frac{H_c}{H} = \frac{12.83}{10} = 1.283 \text{ となる。}$$

第 12 章

省略