

## 平成20年土質力学第二中間試験解答例

1. 以下の土質力学関する用語を和訳せよ。また、下線のついてる用語については簡単に説明せよ(20)

- i) normally consolidated clay, ii) over-consolidated clay, iii) principle of effective stress, iv) volumetric strain,  
v) settlement, vi) oedometer test, vii) secondary compression, viii) plane strain

解答:i)正規圧密粘土、ii)過圧密粘土、iii)有効応力の原理、iv)体積ひずみ、v)沈下、vi)圧密試験、  
vii)二次圧縮、viii)平面ひずみ

- i)正規圧密粘土:現在の有効土被り圧が、粘土の圧密履歴の中で最大の圧密圧力である粘土。沖積粘土のような体積年代が若い層が正規圧密状態となっていることが多く、その場合間隙比は大きく、圧縮性も大きい。正規圧密状態では間隙比は圧密圧力の対数にほぼ比例して減少する。
- ii)過圧密粘土:過去において現在の有効土被り圧( $\sigma'_{v0}$ )より大きな圧力で圧密を受けたことのある粘土。過去の履歴の中で最大の圧密圧力(最大先行圧密圧力: $p_c$ )と $\sigma'_{v0}$ の比を過圧密比(OCR)と呼び、 $\sigma'_{v0}$ が同じであれば、OCRが大きいほど粘土は固く、強度も大きくなる。体積年代が比較的古い洪積層粘土はほぼ過圧密粘土である。
- iii)有効応力の原理:飽和した土中内の応力(全応力 $\sigma$ )は、有効応力( $\sigma'$ )と等方的な間隙水圧( $u$ )の和で表される。全応力と間隙水圧の差である有効応力( $\sigma'=\sigma-u$ )は、もっぱら土粒子骨格に作用するものである。したがって、土の圧縮、せん断、強度、剛性といった応力の変化に伴う計測しうる量は、もっぱら有効応力の変化による。

2. 図-1に示すような間隙比が一様な砂層を考える。地下水面は地表面と一致しており、砂層の飽和単位体積重量 $\gamma_{sat}=20\text{kN/m}^3$ 、比重 $G_s=2.7$ である。水の単位体積重量 $\gamma_w=10\text{kN/m}^3$ として、以下の問いに答えよ。(20)

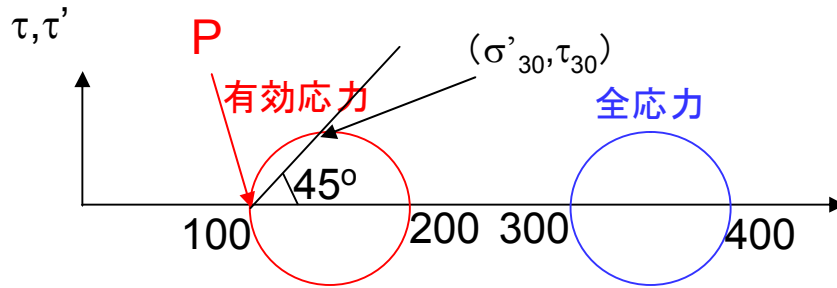
- (1)深さ $z=20\text{m}$ の地盤内の鉛直全応力( $\sigma_v$ )、間隙水圧( $u$ )、鉛直有効応力( $\sigma'_v$ )はいくらか。
- (2)深さ $z=20\text{m}$ の水平有効応力 $s'_h=100\text{kPa}$ として、この深さの全応力とお有効応力のモール円を描き、有効応力のモール円には極(pole)の位置も示せ。
- (3)図に示す $z=20\text{m}$ の位置での水平角 $45^\circ$ の面に作用する有効直応力( $\sigma'_{45}$ )とせん断応力( $\tau_{45}$ )はいくらか。
- (4)図に示すように地盤内水位が、1)地表面より5m上昇した、2)地表面より5m低下した場合、 $z=20\text{m}$ の鉛直有効力はそれぞれどのように変化するか。なお、地下水面以浅の単位堆積重量は $\gamma_t=18\text{kN/m}^3$ とする。

解答

(1)

$$\sigma_{v0} = 20\gamma_{sat} = 20 \times 20 = 400\text{kN/m}^2, \quad u_0 = 20\gamma_w = 200\text{kN/m}^2, \quad \sigma'_{v0} = \sigma_v - u = 200\text{kN/m}^2$$

解答:  
(2)



(3)  $\sigma'_{30} = 150 \text{ kPa}, \tau_{30} = 50 \text{ kPa}$

(4) 1) 5m上昇時:  $\Delta\sigma'_v = 0$

2) 5m低下時:  $\Delta\sigma'_v = 5(\gamma_t - \gamma') = 40 \text{ kPa}$

3. 土粒子密度 $\rho_s = 2.7 \text{ g/cm}^3$ 、初期高さ $h_0 = 2 \text{ cm}$ 、直径 $6 \text{ cm}$ 、初期質量 $m_0 = 98.1 \text{ g}$ 、乾燥質量 $m_s = 66.0 \text{ g}$ の圧密試験供試体がある。これに対して、上下端排の状態段階で段階載荷一次元圧密試験を行い、圧密圧力 $p$ を $80 \text{ kPa}$ から $160 \text{ kPa}$ に増加させる載荷段階において、供試体は $18.0 \text{ mm}$ から $16.5 \text{ mm}$ に圧縮し、この段階における90%圧密時間( $t_{90}$ )は30分であった。以下の問いに答えよ。(単位に注意すること)(20)

(1) この供試体の初期含水比( $w$ )、間隙比( $e$ )、飽和度( $S_r$ )はそれぞれいくらか?

(2) この載荷段階において試料は正規圧密状態であったとすると、圧縮指数( $C_c$ )はいくらか。

(3) この載荷段階における、体積圧縮係数( $m_v$ )、圧密係数( $c_v$ )、透水係数( $k$ )はいくらか?

(4) この載荷段階において圧密圧力を $169 \text{ kPa}$ から $320 \text{ kPa}$ に増加させると、供試体の高さは何 $\text{mm}$ なるか。

解答  
(1)  $w_0 = \frac{m_0 - m_s}{m_s} \times 100 = \frac{98.1 - 66.0}{66.0} \times 100 = 48.6 \quad (\%)$

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{h_0 \cdot A - m_s / \rho_s}{m_s / \rho_s} = \frac{2 \times 3^2 \pi - 66.0 / 2.7}{66.0 / 2.7} = 1.313, \quad S_r = \frac{G_s w}{e} = \frac{\rho_s / \rho_w w}{e} = \frac{2.7 \times 0.486}{1.313} \approx 100\%$$

解答:

$$(2) \quad e_{80} = \frac{A \times h_{80}}{m_s / \rho_s} - 1 = \frac{9\pi \times 1.8}{66.0 / 2.7} - 1 = 1.082$$

$$e_{160} = \frac{A \times h_{160}}{m_s / \rho_s} - 1 = \frac{9\pi \times 1.65}{66.0 / 2.7} - 1 = 0.909$$

$$\Delta e = 0.173, \quad \Rightarrow C_c = \frac{\Delta e}{\log 160 - \log 80} = 0.576$$

---

$$(3) \quad \Delta \varepsilon = \frac{\Delta h}{\bar{h}} = \frac{h' - h}{\bar{h}} = \frac{18.0 - 16.5}{(18.0 + 16.5) / 2} = 0.0870, \quad m_v = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta p} = \frac{0.0870}{160 - 80} = 0.00108 m^2 / kN$$

---

$$c_v = \frac{0.197 \bar{H}^2}{t_{50}} = \frac{0.197 \times (\bar{h} / 2)^2}{2} = \frac{0.848 \times \{(1.8 + 1.65) / 4\}^2}{30} = 0.021 cm^2 / min = 0.0030 \times m^2 / day$$

---

**単位の統一に注意**

$$k = c_v m_v \gamma_w = 0.0030 \times 0.00108 \times 9.8 (kN / m^3) = 3.2 \times 10^{-5} m / day = 3.7 \times 10^{-10} m / sec$$

---

(4)

$$\Delta e = C_c \log \left( \frac{320}{160} \right) = 0.576 \log 2 = 0.173$$

$$\Delta \varepsilon_v = \frac{\Delta e}{1 + e_{160}} = 0.0909$$

$$h = h_{160} - h_{160} \Delta \varepsilon_v = 16.5 - 16.5 \times 0.090 = 15.0 mm$$

---

4. 薄い砂層の下に10mの飽和粘土層があり、その下に透水性の砂礫層がある。この粘土層が一様な200kPaの応力増分を受けるとき、90%圧密沈下量とそれに要する圧密年数を求めよ。ただし、 $m_v=5.0 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{kN}$ 、 $c_v=2 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{day}$ とせよ。(12)

$$\varepsilon_v = m_v \Delta \sigma_v' = 5.0 \times 10^{-4} \times 200 = 0.1$$

一次元の場合、体積歪み＝鉛直歪み

$$\therefore S_{90} = 0.9 \int_0^h \varepsilon_v dz = 0.9 h \varepsilon_v = 0.9 \times 10 \times 0.1 = \underline{0.9(m)}$$

一次元圧密において、ある圧密度までの沈下に要する圧密時間 $t$ は、時間係数( $T_v$ :無次元)、最大排水長 $H$ (= $h$ (片端排水)、 $h/2$ (両端排水))、圧密係数 $c_v$ によって与えられる。初期過剰間隙水圧分布が一様な場合の90%圧密時の時間係数 $T_{90}=0.848$

$$t = T_v \frac{H^2}{c_v} = 0.848 \frac{(10/2)^2}{2 \times 10^{-3}} = \underline{10600 \text{day} = 29 \text{years}}$$

6. 図-2のような厚さ3mの砂層の下にある厚さ8mの粘土層中央部(深さ $z=7\text{m}$ )から不攪乱試料をサンプリングし、圧密試験を行ったところ、図-3のような $e \sim \log p$ 関係を得た。なお、この圧密試験では初期状態(A)から200kPa(C)まで載荷し、その後、除荷(C→D)、さらに再載荷(D→E→F)している。この試験で得られた正規圧密曲線、過圧密曲線の式は図-3に示してある。砂層、粘土層ともに飽和しており、粘土と砂の飽和単位体積重量( $\gamma_{\text{sat}}$ )はそれぞれ $15\text{kN/m}^3$ 、 $20\text{kN/m}^3$ で、ここでは水の単位体積重量( $\gamma_w$ )は $10\text{kN/m}^3$ とする。また、地盤内の粘土の間隙比( $e_0$ )は2.330、比重( $G_s$ )は2.66であった。以下の問いに答えよ。なお、数値は、図から読み取ってもOK。(30)

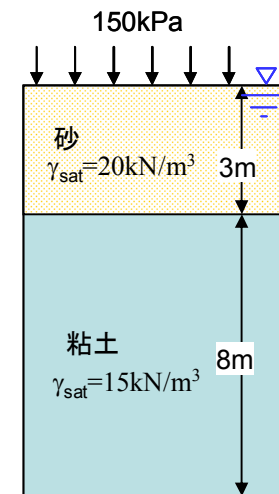


図-2

(1)この粘土の鉛直有効土被り圧( $\sigma'_{v0}$ )、圧密降伏応力( $p_c$ )、過圧密比(OCR)はいくらか。

(2)過圧密線1と過圧密線2の圧密圧力50kPaにおける体積圧縮係数( $m_v$ )は理論上いくらになるか。また、得られた解が物理的に妥当であるかをどうかを議論せよ。

(3)この地盤上から150kPaの上載圧をかけて粘土を圧密させた場合の地盤の圧密沈下量はいくらか。(砂の沈下は無視でき、粘土地盤に生じる平均的な体積ひずみは年度中央のもとと同じとする)

(4)上記圧密試験と同様に、まず地盤に150kPaの載荷を行い、その載荷に対する圧密終了後、その荷重を取り除き地盤を過圧密にした場合、再び同様の荷重(150kPa)で載荷して生じる圧密沈下量はいくらになるか。

解答  $\sigma'_{v0} = \gamma'_{\text{sand}} \times 3 + \gamma'_{\text{clay}} \times 4 = 10 \times 2 + 5 \times 4 = \underline{50\text{kPa}}$

(1)

$$p_c = \underline{100\text{kPa}}, \quad \text{OCR} = \frac{p_c}{\sigma'_{v0}} = \underline{2.0}$$

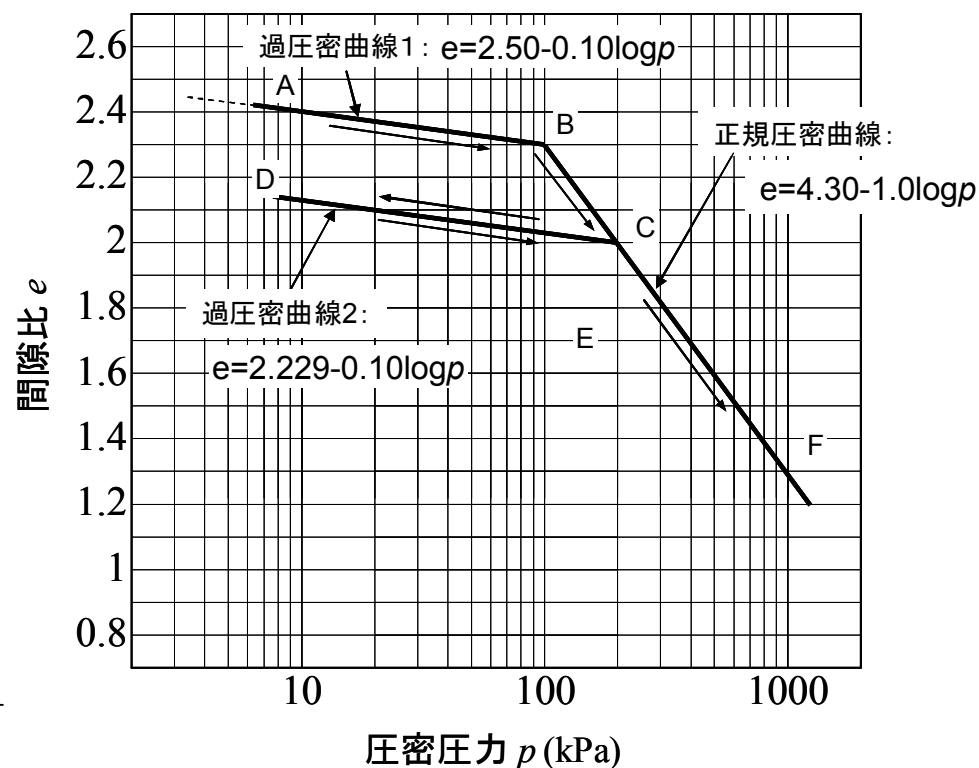


図-3

$$(2) \quad e_{50OC1} = 2.330 \Rightarrow m_{v50OC1} = \frac{0.43C_c}{(1+e_{50OC1})p(=50)} = \frac{0.43 \times 1.0}{2.33 \times 50} = 0.000258 m^2 / kN$$

$$e_{100OC2} = 2.059 \Rightarrow m_{v50OC2} = \frac{0.43C_s}{(1+e_{50OC2})p(=50)} = \frac{0.000281 m^2 / kN}{}$$

矛盾: 同じ有効応力なのに、過圧密比が大きく、密に詰まっている過圧密線2状態の方が圧縮性が大きい。

$$(3) \quad \Delta e = e_{50OC1} - e_{200NC} = 2.330 - 1.999 = 0.331$$

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta e}{(1+e_0)} = \frac{0.331}{1+2.33} = 0.099, \quad 9.9\% \quad S = h \cdot \varepsilon_v = \underline{8 \times 0.099 = 0.795m}$$

$$(4) \quad \Delta e = e_{50OC2} - e_{200OC2} = 2.059 - 1.999 = 0.060,$$

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta e}{(1+e_0)} = \frac{0.060}{1+2.059} = 0.0197,$$

プレロードの沈下を無視した場合  $\underline{S = h \cdot \varepsilon_v = 8 \times 0.0197 = 0.157m}$

プレロードの沈下を考慮した場合, これによる沈下量は

$$\Delta e_{\text{preload}} = e_{50OC1} - e_{50OC2} = 2.330 - 2.059 = 0.271$$

$$\varepsilon_{\text{vpreload}} = \frac{\Delta e}{(1+e_0)} = \frac{0.271}{1+2.330} = 0.081, \quad \Delta h = h \varepsilon_{\text{vpreload}} = 0.65,$$

プレロード後の粘土層の厚さ  $h' = 7.35m$ , 再載荷による沈下量:  $\underline{S = h' \varepsilon_v = 0.145m}$

6. 厚く堆積した沖積地盤の圧密促進方法としてのサンドドレーンについて、概念図等を用いて、その原理を含めて簡単に説明せよ。(10)

解答

一様な粘土層の圧密時間は層厚に関係する最大排水長の2乗に比例するため、層厚がある程度の厚さを有すると圧密に大きな時間を要する。沖積粘土の場合、圧縮性が大きく、数mにも及ぶ沈下が10年以上にもわたって長期に生じることもあり、道路や埋め立て盛土等を建設した場合、この長期沈下のために上部構造物の供用が遅れることになる。この長期に及ぶ圧密沈下を促進するために施される地盤改良工法であるバーチカルドレーンのひとつがサンドドレーン(SD)である。厚く堆積した粘土地盤に一次元圧密を仮定した場合の最大排水長より短い間隔( $s=2\text{m}$ 程度)で透水性が大きな砂杭を打設すると排水長は $s/2$ 程度となり、粘土層厚に比べはるかに短くなり圧密が促進される。