

平成19年土質力学第二中間試験解答例

1. 以下の英語を和訳せよ。(10)

- i) normally consolidated clay, ii) over-consolidated clay, iii) excess pore water pressure, iv) volumetric strain, vi) settlement, vii) oedometer test, viii) secondary compression, ix) pre-consolidation pressure, x) plane strain

解答: i) 正規圧密粘土, ii) 過圧密粘土, iii) 過剰間隙水圧, iv) 体積ひずみ, vi) 沈下, vii) 圧密試験, viii) 二次圧縮, ix) 先行圧密圧力, x) 平面ひずみ

2. 図-1に示すような厚さ10mの一様な砂層、その下にある4mの一様な粘土層を考える。初期地下水位は地表面から6mの深さにあり、砂層の飽和単位体積重量 $\gamma_{sat}=20\text{kN/m}^3$ 、地下水面以浅の単位堆積重量 $\gamma_t=19\text{kN/m}^3$ 、比重 $G_s=2.7$ である。粘土層の単位体積重量 $\gamma_{sat}=15\text{kN/m}^3$ で、この状態で圧密は終了している。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。(25)

- (1) 粘土層中央部( $z=12\text{m}$ )の地盤内の鉛直全応力( $\sigma_{v0}$ )、間隙水圧( $u_0$ )、鉛直有効応力( $\sigma'_{v0}$ )はいくらか。  
 (2) 地下水面以浅の砂の飽和度、空隙率はいくらか。

この状態から地下水位が上昇し地表面まで達し、それに応じた地盤内の応力変化により圧密が生じたとする。

- (3) この地下水位上昇に伴う粘土地盤の鉛直有効変化分( $\Delta\sigma'_v$ )はいくらか。また、それによって、地盤は沈下するか、盛り上がるか。  
 (4) この応力変化による粘土の平均的な体積圧縮係数 $m_v=2.0 \times 10^{-4}\text{m}^2/\text{kN}$ とすると、それによって生じる粘土地盤の表面の鉛直変位はいくらか。(沈下を正、盛り上がりを負とする)

解答

(1) 
$$\sigma_{v0} = 6\gamma_t + 4\gamma_{sat} + 2\gamma_{sat\_clay} = 6 \times 19 + 4 \times 20 + 2 \times 15 = 224\text{kN/m}^2$$
  

$$u_0 = 6\gamma_w = 60\text{kN/m}^2$$
  

$$\sigma'_{v0} = \sigma_v - u = 164\text{kN/m}^2$$

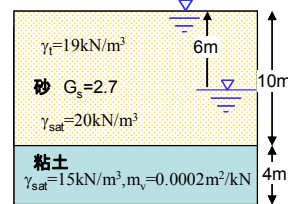


図-1

解答:  
 (2) 
$$\gamma_{sat} = 20 = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w = \frac{2.7 + e}{1 + e} 10, \quad \therefore e = 0.7,$$

$$\gamma_t = 19 = \frac{G_s + eS_r/100}{1 + e} \gamma_w = \frac{2.7 + 0.007S_r}{1.7} 10, \quad \therefore S_r = \left( \frac{19 \cdot 1.7}{10} - 2.7 \right) \frac{1000}{7} = 76\%$$

$$v_a = \frac{V_a}{V} \times 100 = \frac{(20 - 19)/10}{1} \times 100 = 10\%$$

(3) 
$$\Delta\sigma'_v = 6(\gamma_{sat} - \gamma_w) - 6\gamma_t = 6 \times 10 - 6 \times 19 = -54\text{kN/m}^2$$

(4) 
$$\varepsilon_v = m_v \Delta\sigma'_v = -0.0002 \times 54 = -0.0108, \quad \therefore S = h\varepsilon_v = -4 \times 0.0108 = -0.0216\text{m} = -43.2\text{mm}$$

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 $m_0=99\text{g}$ 、乾燥質量 $m_s=67.5\text{g}$ の圧密試験供試体がある。これに対して、下端面からの排水バルブを閉じた状態で段階載荷圧密試験を行った。この試験で圧密圧力 $p$ 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 $17.0\text{mm}$ から $15.8\text{mm}$ に圧縮し、50%圧密時間( $t_{50}$ )は2分であった。(単位に注意すること)(15)

- (1) この供試体の初期含水比( $w$ )、空隙比( $e$ )はいくらか?  
 (2) 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?  
 (3) この載荷段階において試料は正規圧密状態にあったとすると、圧縮指数( $C_c$ )はいくらか。

解答:

$$(1) \quad w_0 = \frac{m_0 - m_s}{m_s} \times 100 = \frac{99 - 67.5}{67.5} \times 100 = 46.7 \quad (\%)$$

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{h_0 \cdot A - m_s / \rho_s}{m_s / \rho_s} = \frac{2 \times 3^2 \pi - 67.5 / 2.7}{67.5 / 2.7} = 1.262$$

$$(2) \quad \Delta \varepsilon = \frac{\Delta h}{\bar{h}} = \frac{h' - h}{\bar{h}} = \frac{17.0 - 15.8}{(17.0 + 15.8) / 2} = 0.0731, \quad m_v = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta p} = \frac{0.0731}{160 - 80} = 0.00091 \text{ m}^2 / \text{kN}$$

$$c_v = \frac{0.197 \bar{H}^2}{t_{50}} = \frac{0.197 \times (\bar{h} / 2)^2}{2} = \frac{0.197 \times \{(1.67 + 1.56) / 4\}^2}{2} = 0.0666 \text{ cm}^2 / \text{min} = 0.0095 \times \text{m}^2 / \text{day}$$

**単位の統一に注意**

$$k = c_v m_v \gamma_w = 0.0095 \times 0.00091 \times 9.8 (\text{kN} / \text{m}^3) = 8.5 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{day} = 9.9 \times 10^{-10} \text{ m} / \text{sec}$$

$$(3) \quad e_{80} = \frac{A \times h_{80}}{m_s / \rho_s} - 1 = \frac{9\pi \times 1.7}{67.5 / 2.7} - 1 = 0.923$$

$$e_{160} = \frac{A \times h_{160}}{m_s / \rho_s} - 1 = \frac{9\pi \times 1.58}{67.5 / 2.7} - 1 = 0.787$$

$$\Delta e = 0.136, \quad \Rightarrow Cc = \frac{\Delta e}{\log 160 - \log 80} = 0.451$$

4. 薄い砂層の下に20mの飽和粘土層があり、その下に不透水性の岩盤がある。この粘土層が一様な100kPa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、 $m_v = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{kN}$ 、 $c_v = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{day}$ とせよ。(12)

$$\varepsilon_v = m_v \Delta \sigma_v' = 1.0 \times 10^{-3} \times 100 = 0.1$$

一次元の場合、体積歪み＝鉛直歪み

$$\therefore S_{90} = 0.9 \int_0^h \varepsilon_v dz = 0.9 h \varepsilon_v = 0.9 \times 20 \times 0.1 = 1.80 (\text{m})$$

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 $T_{90} = 0.848$

$$t = T_v \frac{H^2}{c_v} = 0.848 \frac{20^2}{5 \times 10^{-3}} = 67840 \text{ day} = 186 \text{ years}$$

6. 図-2のような厚さ4mの砂層の下にある厚さ4mの粘土層中央部（深さz=6m）からサンプリングし、圧密試験を行ったところ、図-3のようなe~logp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( $\gamma_{sat}$ )はそれぞれ15kN/m<sup>3</sup>、20kN/m<sup>3</sup>で、ここでは水の単位体積重量( $\gamma_w$ )は10kN/m<sup>3</sup>とする。また、地盤内の粘土の間隙比( $e_0$ )は2.316、比重( $G_s$ )は2.66であった。以下の問いに答えよ。(30)

(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)正規圧密線上(問題文は過圧密線1)と過圧密線2の圧密圧力 $p=100$ kPaにおける体積圧縮係数( $m_v$ )はそれぞれいくらか。

(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るものとする)

(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。

図-2

図-3

**解答**

(1)  $\sigma'_{v0} = \gamma'_{sand} \times 4 + \gamma'_{clay} \times 2 = 10 \times 4 + 5 \times 2 = 50 \text{ kPa}$

$p_c = 80 \text{ kPa}, \quad OCR = \frac{p_c}{\sigma'_{v0}} = 1.6$

(2)  $e_{100NC} = 2.2 \Rightarrow m_{v100NC} = \frac{0.43C_c}{(1 + e_{100NC})p(=100)} = \frac{0.43 \times 0.997}{2.2 \times 100} = 0.00134 \text{ m}^2 / \text{kN}$

$e_{100OC2} = 1.93 \Rightarrow m_{v100OC2} = \frac{0.43C_s}{(1 + e_{100OC2})p(=100)} = 0.000147 \text{ m}^2 / \text{kN}$

$\therefore \frac{m_{v100NC}}{m_{v100OC2}} = \frac{C_c(1 + e_{100OC2})}{C_s(1 + e_{100NC})} = \frac{0.997 \times 2.2}{0.1 \times 1.93} = 9.1 \text{ 倍}$

(3)  $\Delta e = e_{50OC1} - e_{200NC} = 2.316 - 1.899 = 0.417$

$\epsilon_v = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} = \frac{0.417}{1 + 2.316} = 0.126, \quad 12.6\% \quad S = h \cdot \epsilon_v = 4 \times 0.126 = 0.50 \text{ m}$

(4)  $\Delta e = e_{50OC2} - e_{200OC2} = 1.959 - 1.899 = 0.060,$

$\epsilon_v = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} = \frac{0.060}{1 + 1.959} = 0.0203,$

プレロードの沈下を無視した場合  $S = h \cdot \epsilon_v = 4 \times 0.0203 = 0.081 \text{ m}$

プレロードの沈下を考慮した場合、これによる沈下量は

$\Delta e_{\text{preload}} = e_{50OC1} - e_{50OC2} = 2.316 - 1.959 = 0.357$

$\epsilon_{v\text{preload}} = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} = \frac{0.357}{1 + 2.316} = 0.108, \quad \Delta h = h \epsilon_{v\text{preload}} = 0.43,$

プレロード後の粘土層の厚さ  $h' = 3.57 \text{ m},$  再載荷による沈下量:  $S = h' \epsilon_v = 0.073 \text{ m}$

6. 以下のいずれかの間に答えよ。(10)

(1) 新関西国際空港の人工島建設のように、多くの粘土層と砂層の互層からなる非常に厚く堆積した洪積地盤が極めて大きな埋立て荷重を受けて、それによる沈下挙動(沈下量や沈下時間)を予測する場合、粘土層の圧密降伏応力の正確な評価と、介在する砂層が排水層として機能するかどうかの判断が非常に重要となる。その理由を簡単に説明せよ。

(2) 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、その原理を含めて簡単に説明せよ。

解答

(1) 洪積層は過圧密状態であることが多く、もし載荷重によって圧密圧力が圧密降伏応力( $p_c$ )を超えるか、超えないかで体積ひずみに大きな違いが生じる。(問題、5(3)(4)のように)。したがって、 $p_c$ を過小評価すると沈下量は過大となり、逆もありうる。一方、層厚が大きく、しかも深い洪積層の場合は、圧密促進のためのバーチカルドレーンを施工することが難しく、圧密時間は排水層に挟まれた粘土層の1/2(排水長)の2乗に比例する。したがって、途中に介在する砂層が排水層となるかどうかで、仮定排水長が違ったものとなり、結果として圧密予測時間に大きく影響する。

(2) (1)で説明したとおり、一様な粘土層の圧密時間は層厚に関する最大排水長の2乗に比例するため、層厚がある程度にな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。SDは厚く堆積した粘土地盤上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( $s=2m$ 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。