

# 平成21年土質力学第二中間試験問題および解答例

1. 土質力学関する以下の英文用語を和訳し、それぞれについて簡単に説明せよ。(20)

- i) normally consolidated clay, ii) void ratio, iii) Darcy's low, iv) pre-consolidation pressure, v) compression index, vi) principle of effective stress

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) **間隙比**: 土の中の間隙の体積 ( $V_v$ ) と土粒子体積 ( $V_s$ ) の比,  $e=V_v/V_s$ 。  $1+e$  は土粒子体積が1の土要素の体積。

iii) **ダルシーの法則**: 土中の流体(水)の流れに関する法則。流速 ( $v$ ) は動水勾配 ( $i$ ) に比例する。その比例定数を透水係数 ( $k$ ) という。  $v=ki$ , ここで動水勾配  $i=-\Delta h/\Delta s$ , ( $h$ : 水頭、 $s$  は流れの距離)

iv) **先行圧密圧力**: 土要素が過去受けた圧密圧力。過去の履歴の中で最大の圧密圧力を最大先行圧密圧力 ( $p_c$ ) といひ現在の有効土被り圧 ( $\sigma'_{v0}$ ) との比を過圧密比 (OCR) と呼ぶ。

v) **圧縮指数**: 土の  $e-\log p$  曲線では、正規圧密部分がほぼ直線となる。この直線の傾きを圧縮指数 ( $C_c$ ) とよぶ。

正規圧密曲線の式:  $e=e_{1,0}-C_c \log p$  ( $e_{1,0}$ : 単位圧密圧力における間隙比)

vi) **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。地盤の地下水は地表面下5mにあり、砂層の間隙比は一様で比重は  $G_s=2.7$  あり、地下水位以浅の砂の単位重量は  $\gamma_t=18\text{kN/m}^3$ 、地下水位以深は飽和しており、砂の飽和単位体積重量は  $\gamma_{\text{sat}}=20\text{kN/m}^3$  である。一方、粘土層の単位体積重量は  $\gamma_{\text{sat}}=15\text{kN/m}^3$  で、上載圧力による粘土の圧密は終了し、地盤内の間隙水圧は静水圧分布となっている。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。(20)

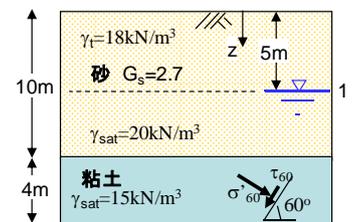


図-1

(1) 鉛直全応力 ( $\sigma_v$ )、間隙水圧 ( $u$ )、鉛直有効応力 ( $\sigma'_v$ ) の深さ ( $z$ ) 方向の分布を描け。

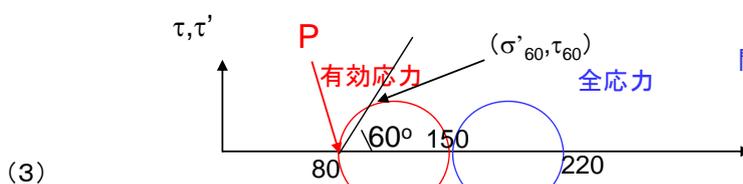
(2) この砂地盤の間隙比 ( $e$ )、地下水位以浅の砂の飽和度はいくらか。

(3)  $z=12\text{m}$  の位置の水平有効応力 ( $\sigma'_h$ ) が  $80\text{kPa}$  として、この深さの土要素の全応力と有効応力のモール円を描き、モール円には極 (pole) の位置も示せ。

(4) 図に示すように  $z=12\text{m}$  の位置の水平角  $60^\circ$  の面に作用する有効直応力 ( $\sigma'_{60}$ ) とせん断力 ( $\tau_{60}$ ) はいくらか。

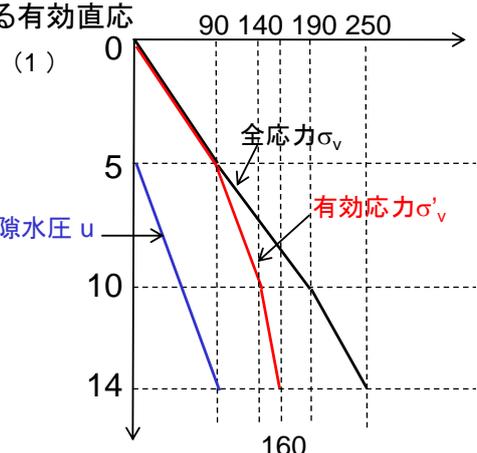
解答:

(2) 間隙比  $e=0.7$ 、飽和度  $S_r=51.4\%$



(3)

(4)  $\sigma'_{60}=97.5\text{kPa}$ ,  $\tau_{60}=30.3\text{kPa}$



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 $m_0=99\text{g}$ 、乾燥質量 $m_s=65\text{g}$ の圧密試験供試体がある。この試料は完全に飽和しており、これに対して、上下端排水の状態では段階的荷一次元圧密試験を行い、圧密圧力 $p$ を $80\text{kPa}$ か $160\text{kPa}$ に増加させる荷段階において、供試体は高さ $18.0\text{mm}$ から $16.4\text{mm}$ に圧縮し、その時の90%圧密時間( $t_{90}$ )は2分であった。以下の問いに答えよ。(15)

- (1)この荷段階初期における供試体の初期含水比( $w$ )、間隙比( $e$ )はいくらか？  
 (2)この荷段階における、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

$$(1) \quad w_0 = \frac{m_0 - m_s}{m_s} \times 100 = \frac{99 - 65.0}{66.0} \times 100 = 52.0 \quad (\%)$$

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{h_0 \cdot A - m_s / \rho_s}{m_s / \rho_s} = \frac{2 \times 3^2 \pi - 65.0 / 2.7}{65.0 / 2.7} = 1.349$$

$$(2) \quad \Delta \varepsilon = \frac{\Delta h}{h} = \frac{h' - h}{\bar{h}} = \frac{18.0 - 16.4}{(18.0 + 16.4) / 2} = 0.0930, \quad m_v = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta p} = \frac{0.0930}{160 - 80} = 0.00116 \text{ m}^2 / \text{kN}$$

$$c_v = \frac{0.197 \bar{H}^2}{t_{50}} = \frac{0.848 \times (\bar{h} / 2)^2}{2} = \frac{0.848 \times \{(1.8 + 1.64) / 4\}^2}{2} = 0.314 \text{ cm}^2 / \text{min} = 0.045 \times \text{m}^2 / \text{day}$$

**単位の統一に注意**

$$k = c_v m_v \gamma_w = 0.045 \times 0.00116 \times 9.8 (\text{kN} / \text{m}^3) = 5.1 \times 10^{-4} \text{ m} / \text{day} = 6.0 \times 10^{-9} \text{ m} / \text{sec}$$

$$(3) \quad e_{80} = \frac{A \times h_{80}}{m_s / \rho_s} - 1 = \frac{9\pi \times 1.8}{65.0 / 2.7} - 1 = 1.114, \quad e_{160} = \frac{A \times h_{160}}{m_s / \rho_s} - 1 = \frac{9\pi \times 1.64}{66.0 / 2.7} - 1 = 0.926, \quad \Delta e = 0.188,$$

$$\Rightarrow Cc = \frac{\Delta e}{\log 160 - \log 80} = 0.624$$

4. 薄い砂層の下に18m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 $100\text{kPa}$ 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、 $m_v=1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{kN}$ 、 $c_v=4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{day}$ とせよ。(10)

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

一次元の場合、体積歪み=鉛直歪み

$$\therefore S_{90} = 0.9 \int_0^h \varepsilon_v dz = 0.9 h \varepsilon_v = 0.9 \times 18 \times 0.1 = 1.62 (\text{m})$$

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 $T_{90}=0.848$

$$t = T_v \frac{H^2}{c_v} = 0.848 \frac{18^2}{4 \times 10^{-3}} = 68690 \text{ day} = 188 \text{ years}$$

6. 図-2のような厚さ4mの砂層の下にある厚さ8mの粘土層中央部(深さz=8m)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-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)まで载荷し、その後、除荷(C→D)、さらに再载荷(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に示すように理想化できるものとする。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。なお、数値は、図から読み取ってもOK。(25)



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) 正規圧密曲線上の圧密圧力150kPaにおける体積圧縮係数( $m_v$ )は、過圧密曲線2の圧密圧力150kPaにおける $m_v$ の何倍か。

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

(4) この地盤上から140kPa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)

(5) 上記の载荷圧を取り除き地盤を過圧密にした場合、再び同様の荷重(140kPa)で载荷して生じる圧密沈下量はいくらになるか。

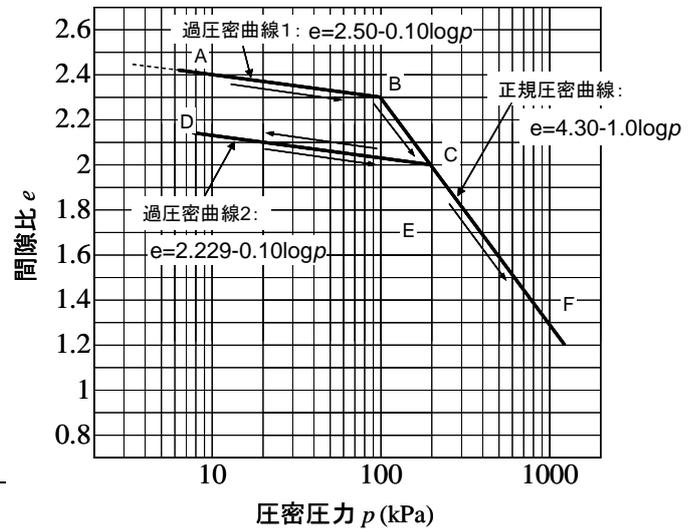


図-3

解答  $\sigma'_{v0} = \gamma'_{sand} \times 4 + \gamma'_{clay} \times 4 = 10 \times 2 + 5 \times 4 = \underline{60kPa}$   
 (1)  $p_c = 100kPa$ ,  $OCR = \frac{p_c}{\sigma'_{v0}} = 1.67$

(2)  $e_{150NC} = 2.124 \Rightarrow m_{v150NC} = \frac{0.43C_c}{(1 + e_{150NC})p(=150)} = \frac{0.43 \times 1.0}{3.214 \times 150} = 0.000914 m^2 / kN$

$e_{150OC2} = 2.011 \Rightarrow m_{v150OC2} = \frac{0.43C_s}{(1 + e_{150OC2})p(=150)} = \frac{0.000097 m^2 / kN}{}$  約9.7倍

(3)  $e_{50OC1} = 2.330 \Rightarrow m_{v50OC1} = \frac{0.43C_s}{(1 + e_{50OC1})p(=50)} = \frac{0.43 \times 0.1}{3.33 \times 50} = 0.000258 m^2 / kN$

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

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。

(4)  $\Delta e = e_{60OC1} - e_{200NC} = 2.322 - 1.999 = 0.323$

$\epsilon_v = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} = \frac{0.323}{1 + 2.32} = 0.0971$ ,  $9.7\%$   $S = h \cdot \epsilon_v = 8 \times 0.097 = 0.776m$

(5)

$\Delta e = e_{60C2} - e_{200OC2} = 2.051 - 1.999 = 0.052$ ,  $\epsilon_v = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} = \frac{0.052}{1 + 2.051} = 0.0171$ ,

プレロードの沈下を無視した場合  $S = h \cdot \epsilon_v = 8 \times 0.0171 = 0.137m$

プレロードの沈下を考慮した場合、これによる沈下量は

$\Delta e_{preload} = e_{60OC1} - e_{60OC2} = 2.322 - 2.051 = 0.271$

$\epsilon_{vpreload} = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} = \frac{0.271}{1 + 2.322} = 0.0814$ ,  $\Delta h = h \epsilon_{vpreload} = 0.65$ ,

プレロード後の粘土層の厚さ  $h' = 7.35m$ , 再载荷による沈下量:  $S = h' \epsilon_v = 0.126m$

6. 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。(10)

#### 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(4)(5)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、途中で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。