

平成22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用語を英訳し、それぞれについて簡単に説明せよ。(18)
 - i) 正規圧密粘土, ii) 過圧密粘土, iii) 体積圧縮係数, iv) 圧縮指数, v) 有効応力の原理, vi) 間隙比
 - i) normally consolidated clay: 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) over consolidated clay: 過去において現在の有効土被り圧 (σ'_{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 σ'_{v0} の比を過圧密比 (OCR) と呼び、 σ'_{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) coefficient of compressibility: ある有効応力の範囲で、土の体積ひずみ (ε_v) と有効応力増分 ($\Delta\sigma'$) は線形(比例)関係にあると仮定し、 $\varepsilon_v = m_v \Delta\sigma'$ と関係付ける定数。次元は応力の逆数(例えば、 m^2/kN)。圧密試験より求めることができ、この場合、 σ' は一次元変形条件における鉛直有効応力である。
 - iv) compression index: 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)
 - v) principle of effective stress: 飽和した土中内の応力(全応力 σ) は、有効応力 (σ') 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。
 - vi) void ratio: 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。

2. 図-1に示すような厚さ10mの一様な砂層とその下にある一様な粘土層を考える。地盤の地下水は地表面(砂層上面)と一致しており、砂、粘土とも比重は $G_s=2.7$ ある。地下水位以深は飽和しており、砂の飽和単位体積重量は $\gamma_{sat}=20\text{kN/m}^3$ である。一方、粘土層の単位体積重量は $\gamma_{sat}=16\text{kN/m}^3$ で、上部砂層からの土被り圧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)

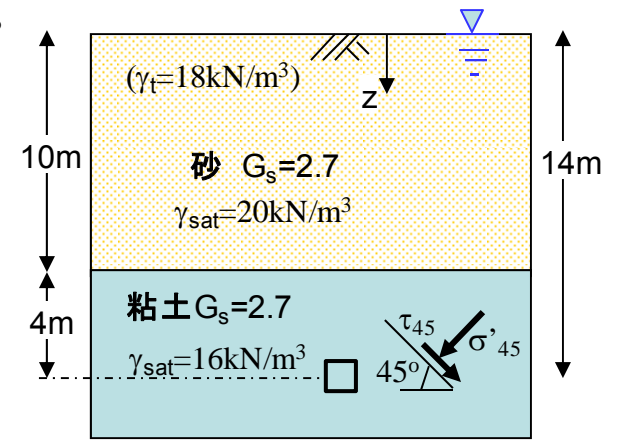


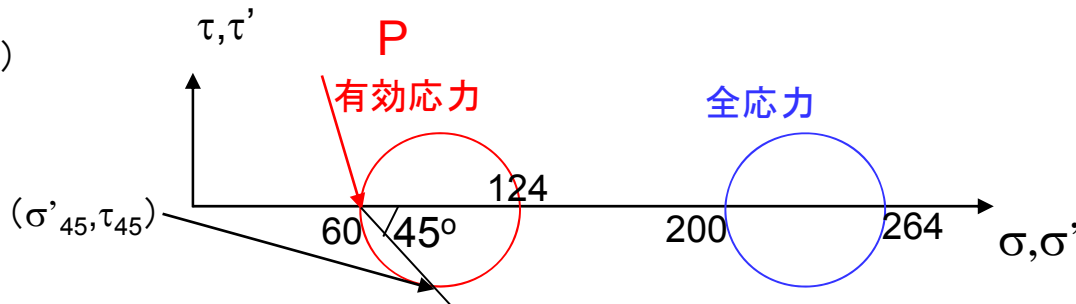
図-1

- (1) 深さ14mまでの鉛直全応力(σ_v)、間隙水圧(u)、鉛直有効応力(σ'_v)の深さ(z)方向の分布を描け。
- (2) この粘土層の間隙比(e)と含水比(w)はそれぞれいくらか。
- (3) $z=14\text{m}$ の位置の水平有効応力(σ'_h)が 60kPa 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、有効応力のモール円には極(pole)の位置も示せ。
- (4) 図1に示す $z=14\text{m}$ の水平角 45° の面に作用する有効直応力(σ'_{45})とせん断力(τ_{45})はいくらか。
- (5) 図1の状態から地下水位が 5m 低下した。この時の $z=10\text{m}$ の鉛直全応力と有効応力はいくらになるか。なお、地下水以浅の砂の単位重量は $\gamma_t=18\text{kN/m}^3$ とする。

解答:

(2) 間隙比 $e=1.83$ 、含水比 $w=67.9\%$

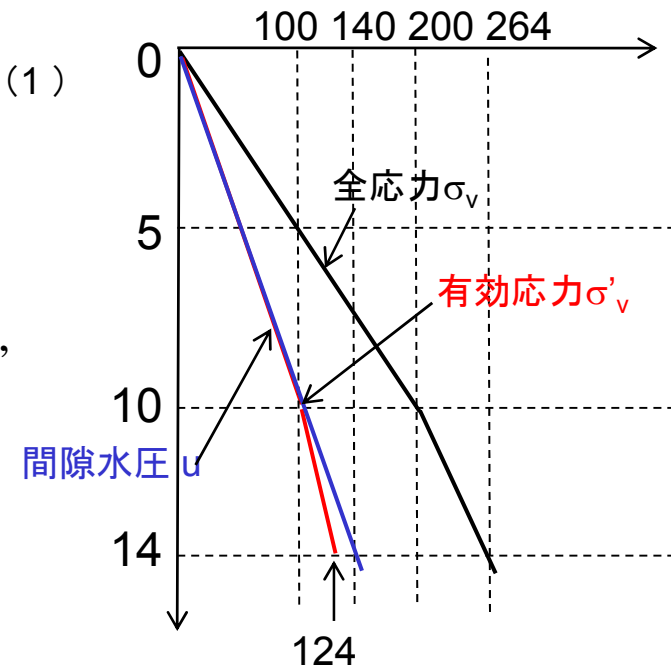
(3)



(4) $\sigma'_{45}=92\text{kPa}$, $\tau_{45}=-32\text{kPa}$

(5) $\sigma_{z=10}=190\text{kPa}$, $\sigma'_{z=10}=140\text{kPa}$,

(1)



3.土粒子密度 $\rho_s=2.65\text{g/cm}^3$ 、初期高さ $h_0=2\text{cm}$ 、直径 6cm 、初期質量 $m_0=95\text{g}$ 、乾燥質量 $m_s=63\text{g}$ の圧密試験供試体がある。これに対して、上下端排水条件で段階載荷一次元圧密試験を行い、圧密圧力 p を 160kPa か 320kPa に増加させる載荷段階において、供試体は高さ 16.5mm から 15.0mm に圧縮し、その時の90%圧密時間(t_{90})は5分であった。以下の問いに答えよ。(15)

(1)この載荷段階初期における供試体の初期含水比(w)、間隙比(e)、飽和度(S_r)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

$$(1) \quad w_0 = \frac{m_0 - m_s}{m_s} \times 100 = \frac{95 - 63}{63} \times 100 = \underline{50.8 \quad (\%)}$$

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{h_0 \cdot A - m_s / \rho_s}{m_s / \rho_s} = \frac{2 \times 3^2 \pi - 63 / 2.65}{63 / 2.65} = 1.379, \quad S_r = \frac{G_s w}{e} = \frac{2.65 \times 50.8}{1.379} = \underline{97.6 \quad (\%)}$$

$$(2) \quad \Delta \varepsilon = \frac{\Delta h}{h} = \frac{h' - h}{h} = \frac{16.5 - 15.0}{(16.5 + 15.0) / 2} = 0.0952, \quad m_v = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta p} = \frac{0.0953}{320 - 160} = \underline{0.00060 \text{ m}^2 / \text{kN}}$$

$$c_v = \frac{0.848 \bar{H}^2}{t_{50}} = \frac{0.848 \times (\bar{h} / 2)^2}{2} = \frac{0.848 \times \{(1.65 + 1.5) / 4\}^2}{2} = \underline{0.105 \text{ cm}^2 / \text{min} = 0.015 \times \text{m}^2 / \text{day}}$$

単位の統一に注意

$$k = c_v m_v \gamma_w = 0.015 \times 0.00060 \times 9.8 (\text{kN} / \text{m}^3) = \underline{8.8 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{day} = 1.02 \times 10^{-9} \text{ m} / \text{sec}}$$

$$(3) \quad e_{160} = \frac{A \times h_{160}}{m_s / \rho_s} - 1 = \frac{9\pi \times 1.65}{63.0 / 2.65} - 1 = 0.962, \quad e_{320} = \frac{A \times h_{320}}{m_s / \rho_s} - 1 = \frac{9\pi \times 1.50}{63.0 / 2.7} - 1 = 0.784, \quad \Delta e = 0.178,$$

$$\Rightarrow C_c = \frac{\Delta e}{\log 320 - \log 160} = \underline{0.593}$$

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、 $m_v=5.0 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{kN}$ 、 $c_v=5.0 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{day}$ とせよ。(10)

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

一次元の場合、体積歪み＝鉛直歪み

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

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 $T_{90}=0.848$

$$t = T_v \frac{H^2}{c_v} = 0.848 \frac{(10/2)^2}{5 \times 10^{-3}} = \underline{4240 \text{day} = 11.6 \text{years}}$$

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(γ_{sat})はそれぞれ 15kN/m^3 、 20kN/m^3 で、ここでは水の単位体積重量(γ_w)は 10kN/m^3 とする。また、地盤内の粘土の間隙比(e_0)は2.330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)

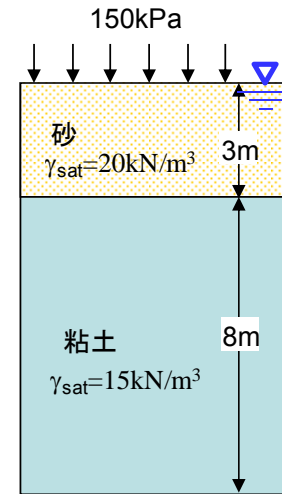


図-2

(1) この粘土の鉛直有効土被り圧(σ'_{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200kPa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) 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(150kPa)で载荷して生じる圧密沈下量はいくらになるか。

(5) 過圧密曲線1と過圧密曲線2における圧密圧力60kPaにおける体積圧縮係数 m_v は理論上いくらになるか。また得られた値の大小関係が物理的に妥当であるかどうかを議論せよ。もし物理的におかしい場合は、 $e\sim\log p$ 関係の仮定と実際の違いについて考察せよ。

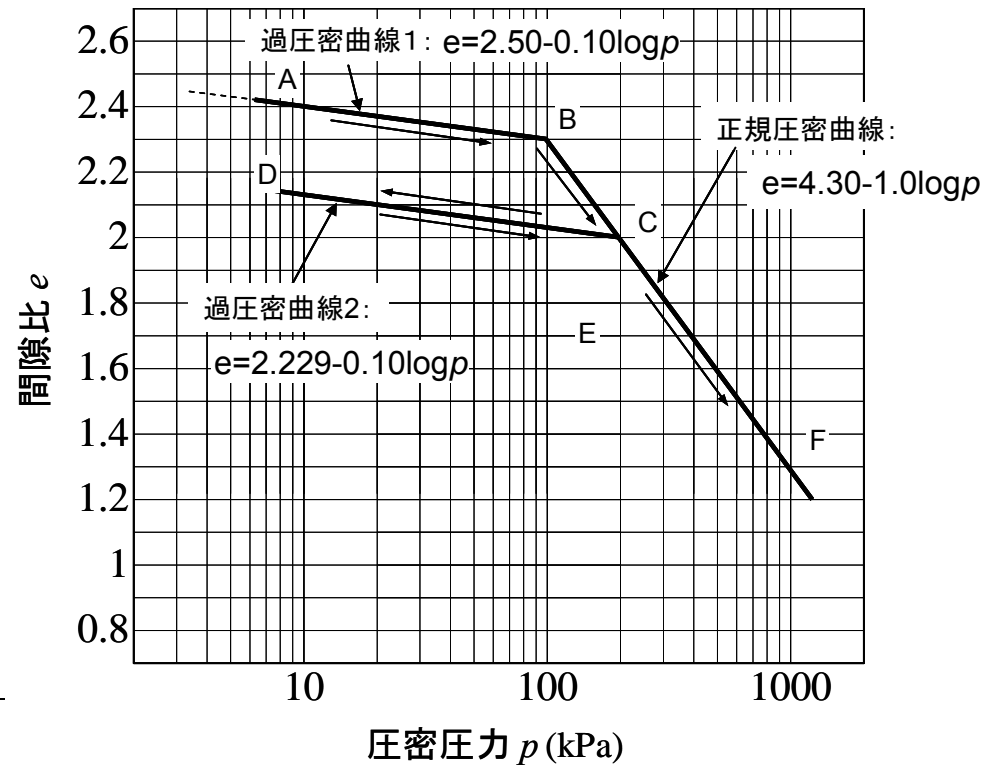


図-3

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

(1)

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

$$(2) \quad e_{150NC} = 1.999 \Rightarrow m_{v200NC} = \frac{0.43C_c}{(1 + e_{200NC})p(=200)} = \frac{0.43 \times 1.0}{2.999 \times 200} = 0.000717m^2 / kN$$

$$e_{150OC2} = 2.011 \Rightarrow m_{v150OC2} = \frac{0.43C_s}{(1 + e_{150OC2})p(=150)} = \frac{0.000095m^2}{kN} \quad \text{約7.5倍}$$

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

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} = \frac{0.331}{1 + 2.330} = 0.0994, \quad 9.9\% \quad S = h \cdot \varepsilon_v = \frac{8 \times 0.097}{1} = 0.80m$$

$$(4) \quad \Delta e = e_{50C2} - e_{200OC2} = 2.059 - 1.999 = 0.060, \quad \varepsilon_v = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} = \frac{0.060}{1 + 2.059} = 0.0197,$$

$$\text{プレロードの沈下を無視した場合} \quad S = h \cdot \varepsilon_v = \frac{8 \times 0.0197}{1} = 0.157m$$

プレロードの沈下を考慮した場合,これによる沈下量は

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

$$\varepsilon_{v\text{preload}} = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} = \frac{0.271}{1 + 2.330} = 0.0814, \quad \Delta h = h \varepsilon_{v\text{preload}} = 0.65,$$

$$\text{プレロード後の粘土層の厚さ} \quad h' = 7.35m, \text{再載荷による沈下量: } S = h' \varepsilon_v = 0.140m$$

$$(5) \quad e_{60OC1} = 2.322 \Rightarrow m_{v60OC1} = \frac{0.43C_s}{(1 + e_{60OC1})p(=60)} = \frac{0.43 \times 0.1}{3.322 \times 50} = 0.000216m^2 / kN$$

$$e_{60OC2} = 2.051 \Rightarrow m_{v60OC2} = \frac{0.43C_s}{(1 + e_{60OC2})p(=60)} = \frac{0.000235m^2}{kN}$$

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。

6. 以下の問いに答えよ。(12)

- (1) 圧密粘土層厚が大きくなると、砂杭(サンドドレーン)などのバーチカルドレーン工法が採用される。この主たる利点と原理について図を用いて簡単に説明せよ。
- (2) 一次元圧密方程式の誘導において用いられる仮定をできるだけ挙げよ。

解答

(1) 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($s=2m$ 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。

(2)

- ① 一次元変形、一次元流れ
- ② 有効応力に従って、土の応力ひずみ関係には弾性論が成り立つ
- ③ Darcy則($v=ki$)が成立
- ④ 土は均質で飽和
- ⑤ 土粒子と水は非圧縮
- ⑥ 土質定数(k, m_v)は、ある圧力増分間は一定(Terzaghi: 変数 u)
(cf: 体積ひずみを変数とした三笠の圧密方程式は $k, m_v \neq const$)