

2019 年度 土質力学Ⅱ及び演習 中間試験

2019 年 6 月 5 日 (水) 8:45~10:15 共通 1・共通 155 講義室

注意事項：

- 問題は 3 問です。解答用紙も 3 枚ありますので、3 枚すべてに氏名・学生番号等必要事項を記入した上で各問 1 枚の解答用紙を用い、【1】の問題から順に解答してください。表側に書ききれないときはその旨明記し、その用紙の裏側に解答してください。
- 各問の配点は均等です。
- 関数電卓の持ち込みは可能です。ただし、プログラム機能、携帯電話等の電卓機能の使用は一切不可です。その他、不正行為があった場合は、本科目の単位は認定されないと共に、しかるべき対応をとります。
- 解答に単位が必要な場合は明記すること。

【1】以下の問いに答えよ。

(1) Terzaghi の一次元圧密方程式は、以下の 4 つの仮定・条件から導かれる。

1. 土の有効応力-ひずみ関係 (構成則)
2. 全応力一定
3. ダルシーの法則
4. 水の連続式 (質量保存則)

上記 4 つの仮定における条件式を全て示せ。また、これらを用いて Terzaghi の一次元圧密方程式を誘導せよ。ただし、土質パラメータは表-1 に示すものを用いること。

表-1

$v$ : 間隙水の流速	$k$ : 透水係数	$\gamma_w$ : 水の単位体積重量
$u$ : 過剰間隙水圧	$\varepsilon$ : 体積ひずみ	$m_v$ : 体積弾性係数
$\sigma'$ : 有効応力	$\sigma$ : 全応力	$c_v$ : 圧密係数
$t$ : 時間	$z$ : 位置座標	

(2) 堤防や道路盛土のような台形の帯状荷重によって発生する弾性地盤中の鉛直応力は、Osterberg によって次式により求められる (図-1)。

$$\sigma_v = \frac{p}{\pi} \left[ \frac{a+b}{a} (\theta_1 + \theta_2) - \frac{b}{a} \theta_2 \right] = I_z \cdot p$$

いま、図-2 に示すように、弾性地盤上に台形の帯状荷重が作用している。図-2 の点 A~C で表される各地点における鉛直方向の応力増分を求めよ。解を求めるにあたり、図-3 を用いてもよい。

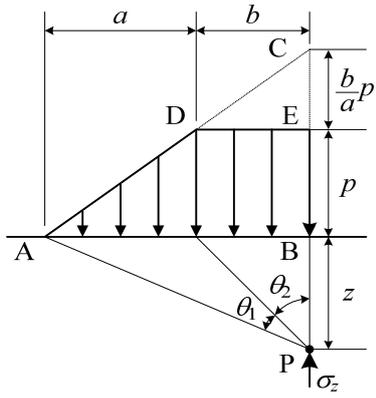


图-1

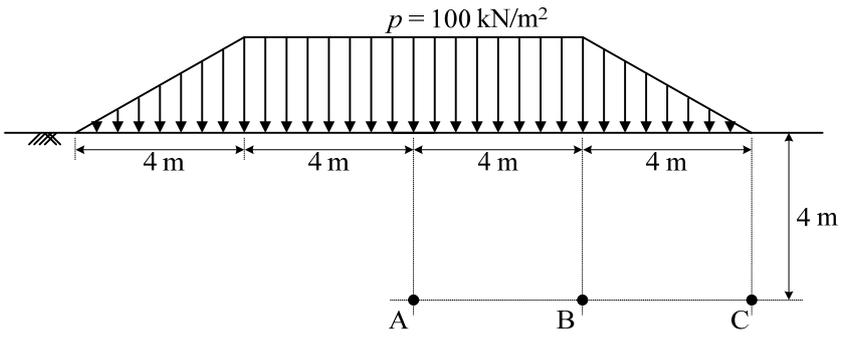


图-2

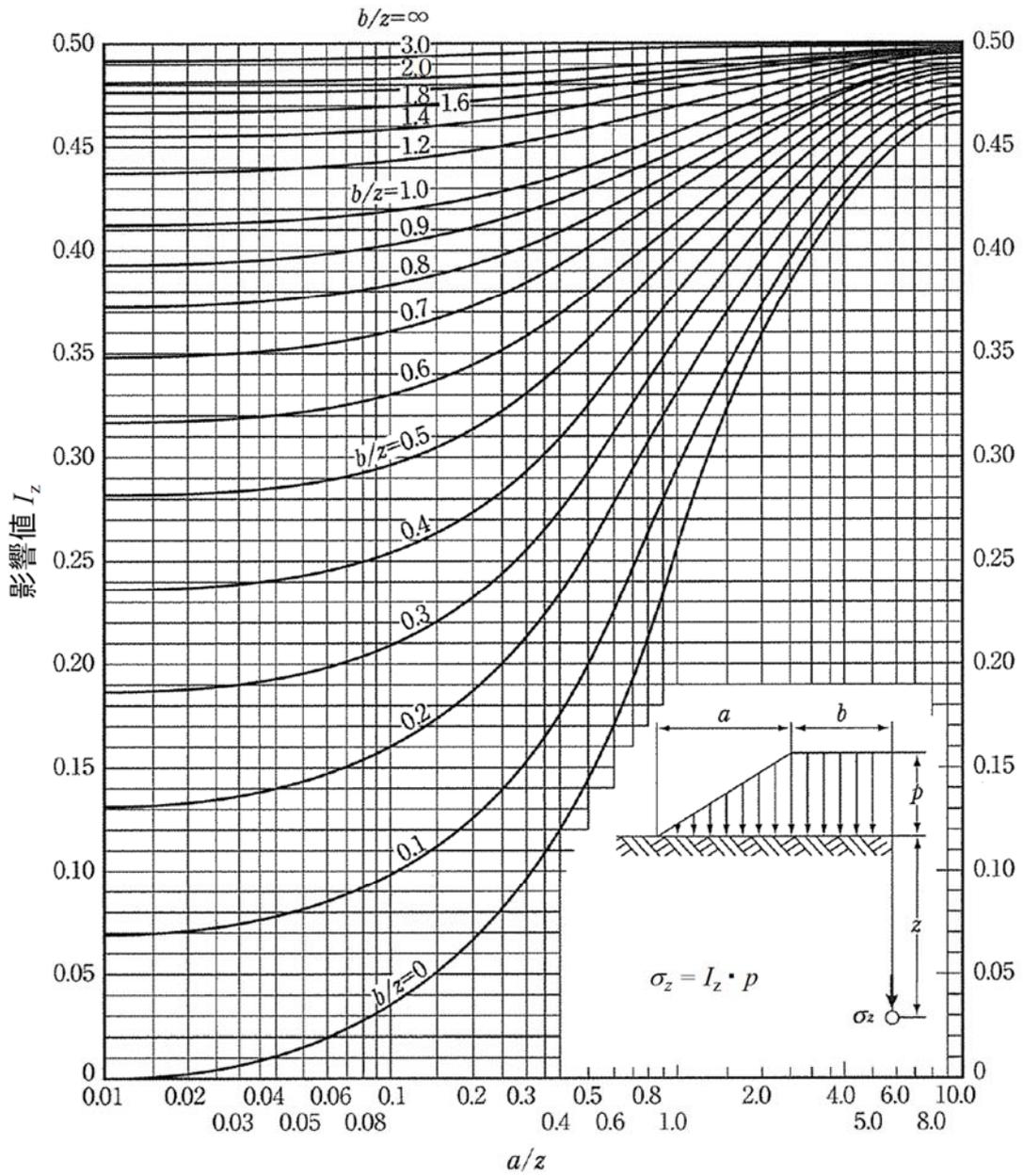


图-3

【2】土の破壊理論に関する，下記の設問に答えなさい。

- (1) 原位置から採取した試料を用いて一軸圧縮試験を実施する。以下の問いに答えなさい。
- (a) 原位置の土被り圧が 100 kPa，間隙水圧が 50 kPa であったとする。粘土を採取し，地表面に取り出した場合，この試料内の間隙水圧はどのように変化するか説明せよ。ただし，取り出しても間隙比は変化していないと仮定できるものとする。
  - (b) 試料の間隙比を変化させないために，通常，原位置から採取した試料はシールして非排水状態で保存する。その理由を簡潔に説明せよ。
- (2) 土の破壊規準およびダイレイタンスーについて，以下の問いに答えなさい。
- (a) Coulomb の破壊規準，Mohr の破壊規準，Mohr-Coulomb の破壊規準について，それぞれの違いが分かるように，図と式を用いながら説明せよ。
  - (b) 正規圧密粘土を用いて，圧密排水三軸圧縮試験（CD 試験）と圧密非排水三軸圧縮試験（CU 試験）を同じ拘束圧 $\sigma_3$ で実施したところ，破壊時の軸差応力 $q(= \sigma_1 - \sigma_3)$ は CD 試験の方が大きくなった。この理由をダイレイタンスーに着目して説明せよ。
  - (c) Mohr-Coulomb の破壊規準を粘着力  $c'$  ( $\neq 0$ )，内部摩擦角  $\phi'$ ，有効主応力  $\sigma'_1$ ， $\sigma'_3$  の関係で表せ。
- (3) ある正規圧密粘土の試料を 140 kPa で等方圧密し，その後，側圧 $\sigma_3$ 一定で非排水三軸圧縮試験を実施した結果，破壊時の軸差応力 $q(= \sigma_1 - \sigma_3)$ は 150 kPa であった。なお，この粘土の破壊応力比 $M_f$ は 1.25 であることが分かっている。ここで， $M_f$ は破壊時の応力比 $q/p'$  ( $p'=(\sigma'_1 + 2\sigma'_3)/3$ ):平均有効応力)。
- (a) 三軸圧縮前から破壊に至るまでの間隙水圧増分（破壊時の過剰間隙水圧）を求めよ。
  - (b) スケンプトン（Skempton）の間隙圧係数 $A_f$ を求めよ。
  - (c) 粘着力  $c'=0$  とするとき，この粘土の内部摩擦角  $\phi'$  を求めよ。
  - (d) この試験の全応力径路および予測される有効応力径路をそれぞれ  $p$ - $q$  平面と  $p'$ - $q$  平面に描け。なお， $p(= (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3)$  は平均全応力， $p'$  は平均有効応力， $q$  は軸差応力であり，せん断開始時および破壊時のそれぞれの値を図中に示すこと。

【3】 図-4 に示すように片方の側壁が回転する擁壁の模型実験を考える。

模型は、紙面に平行な一対の壁面が奥行き方向に存在する剛な土槽であり、壁体 AC（奥行き  $b$ 、高さ  $h$ ）は回転支点（ヒンジ）A で回転する。まず、土槽内に壁体を垂直に保ちながら、内部摩擦角  $\phi$ 、粘着力  $c$  をもつ単位体積重量  $\gamma$  の土を深さ  $t$  まで充填した。次に、壁体上端の奥行き方向の中央部に水平方向にワイヤ CE を取り付け、滑車 D を通して質量  $m$  の重りに連結した。壁体は、壁面に作用する土圧とワイヤの張力とのバランスにより土槽の内側あるいは外側へゆっくり回転する。重りによる荷重が主働土圧あるいは受働土圧によって許容される限界値を超えると、土は破壊して壁体が大きく動いた。土槽の長さ  $l$ 、壁体の質量、ヒンジの摩擦、土と土槽および壁との摩擦の影響は無視できるとし、以下の設問に答えよ。ただし、破壊するまでの壁体の変位は十分小さく、無視できるものとする。

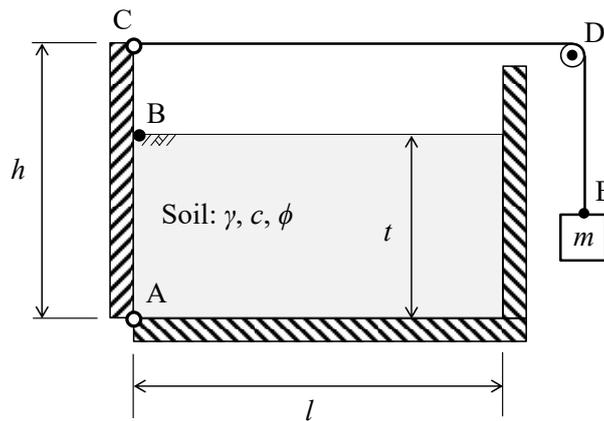


図-4

- (1) ランキンの土圧理論に基づいて、擁壁の背後に作用する主働土圧の分布および受働土圧の分布を描け。また、土表面の点 B および点 A における主働土圧および受働土圧を式で表し、それぞれの分布図に示せ。
- (2) 合力の計算では、負の土圧（引張応力）を無視するのが一般的な方法である。重力加速度  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  を用いて、(1) に関して、壁体を安定させることができる重りの質量  $m$  の最小値および最大値を計算せよ。ここで、 $h = 0.30 \text{ m}$ 、 $t = 0.20 \text{ m}$ 、 $b = 0.25 \text{ m}$ 、 $\gamma = 12.5 \text{ kN/m}^3$ 、 $\phi = 34^\circ$ 、 $c = 0.2 \text{ kPa}$  である。

【1】

### (1) Terzaghiの圧密方程式

(1) 構成式  $d\varepsilon = m_v d\sigma'$   $\sigma'$ を消去  $\rightarrow \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{m_v} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$

(2) 全応力一定  $\frac{\partial \sigma'}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial t} = 0$   $\varepsilon$ を消去  $\rightarrow$  Terzaghiの圧密方程式  $\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$

(3) ダルシーの法則  $v = -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z}$  圧密係数:  $C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w}$

(4) 連続式  $\frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$   $v$ を消去  $\rightarrow -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$

### (2) 地盤内応力

点A 左側の盛土:  $a_L = 4 \text{ m}$ ,  $b_L = 4 \text{ m}$ より,  $a_L/z = 1$ ,  $b_L/z = 1$   
 図-4より,  $I_{zL} = 0.456$ だから,

右側の盛土: 対称性から左側と同様に  $\sigma_{zR} = 45.6 \text{ kN/m}^2$

左右の盛土による応力を重ね合わせて,

$$\sigma_z = \sigma_{zL} + \sigma_{zR} = 45.6 + 45.6 = \underline{91.2 \text{ kN/m}^2}$$

点B 左側の盛土:  $a_L = 4 \text{ m}$ ,  $b_L = 8 \text{ m}$ より,  $a_L/z = 1$ ,  $b_L/z = 2$   
 図-4より,  $I_{zL} = 0.49$ だから,

右側の盛土:  $a_R = 4 \text{ m}$ ,  $b_R = 0 \text{ m}$ より,  $a_R/z = 1$ ,  $b_R/z = 0$

図-4より,  $I_{zR} = 0.256$ だから,

左右の盛土による応力を重ね合わせて,

$$\sigma_z = \sigma_{zL} + \sigma_{zR} = 49.0 + 25.6 = \underline{74.6 \text{ kN/m}^2}$$

点C 図-4の関係を用いるため, 点B~点Cの直上に仮定の盛土を考えて,

左側の盛土は,  $a_{L1} = 4 \text{ m}$ ,  $b_{L1} = 12 \text{ m}$ より,  $a_{L1}/z = 1$ ,  $b_{L1}/z = 3$

図-4より,  $I_{zL1} = 0.498$ だから,

$$\sigma_{zL1} = I_{zL1} \times p = 0.498 \times 100 \text{ kN/m}^2 = 49.8 \text{ kN/m}^2$$

点B~点Cの直上の仮定の盛土による応力増分は,

$a_{L2} = 4 \text{ m}$ ,  $b_{L2} = 0 \text{ m}$ より,  $a_{L2}/z = 1$ ,  $b_{L2}/z = 0$

図-4より,  $I_{zL2} = 0.256$ だから,

$$\sigma_{zL2} = I_{zL2} \times p = 0.256 \times 100 \text{ kN/m}^2 = 25.6 \text{ kN/m}^2$$

これらの応力を重ね合わせて,

$$\sigma_z = \sigma_{zL1} - \sigma_{zL2} = 49.8 - 25.6 = \underline{24.2 \text{ kN/m}^2}$$

【2】

(1)

1) (a) 間隙比が変化しないので有効応力 50kPa は変化しない. 全応力はゼロとなるため, 間隙水圧は-50kPa となる.

(b) 吸水させると膨潤して間隙比が増加するため.

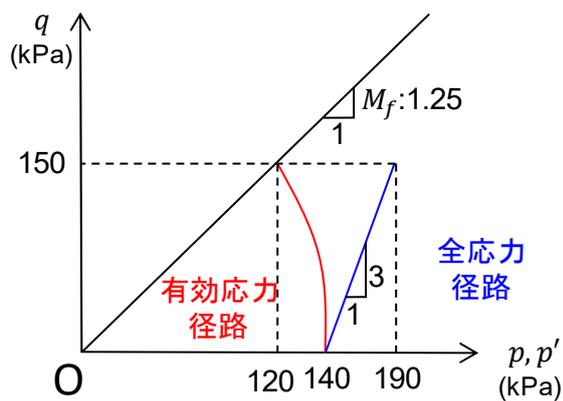
2) (a) 演習問題集[4-10]参照.

(b) 演習問題集[4-10]参照. 
$$\left( \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + c \cdot \cot \phi \right) \sin \phi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

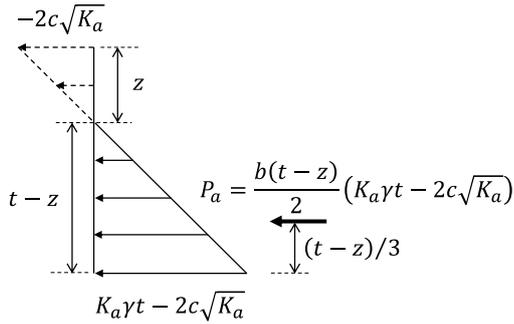
(c) 正規圧密粘土は, せん断によって負のダイレイタンス (体積圧縮) を示すため, 非排水条件では正の間隙水圧増分が発生し, 有効応力  $\sigma'_3$  が減少する. 一方, 排水条件ではせん断中に間隙水圧増分が発生せず  $\sigma'_3$  は一定である. つまり, CD 試験の方が有効拘束圧が大きいいため, せん断強さ (破壊時の軸差応力) が大きくなる.

3) (a) 70 kPa, (b) 0.467, (c) 31.1°

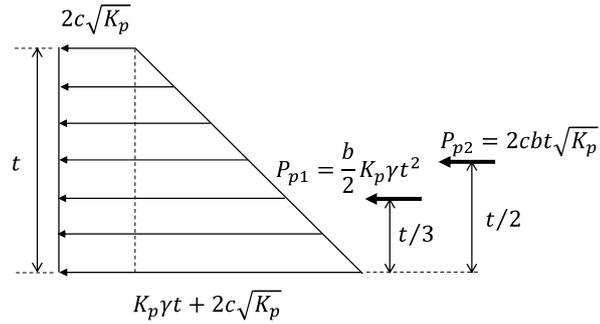
(d)



【3】



The active earth pressure diagram



The passive earth pressure diagram

1)  $K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$ ,  $K_p = \frac{1}{K_a}$  :  $K_a=0.283$ ,  $K_p=3.537$

The active pressure at the top surface:  $-2c\sqrt{K_a} = -0.21 \text{ kN/m}^2 \blacktriangleleft$

The active pressure at point A:  $K_a\gamma t - 2c\sqrt{K_a} = 0.49 \text{ kN/m}^2 \blacktriangleleft$

The passive pressure at the top surface:  $2c\sqrt{K_p} = 0.75 \text{ kN/m}^2 \blacktriangleleft$

The passive pressure at point A:  $K_p\gamma t + 2c\sqrt{K_p} = 9.60 \text{ kN/m}^2 \blacktriangleleft$

2) The depth of tensile cracks:  $z = \frac{2c}{\gamma} \frac{1}{\sqrt{K_a}} = 0.06 \text{ m}$

The resultant active force:  $P_a = \frac{b(t-c)}{2} \sigma_{ha} = 8.64 \text{ N}$

Therefore, the minimum mass:  $m_{\min} = \frac{1}{gh} P_a \frac{t-z}{3} = 0.14 \text{ kg} \blacktriangleleft$

The resultant passive force:  $P_{p1} = \frac{b}{2} K_p \gamma t^2 = 221.07 \text{ N}$ ,  $P_{p2} = 2cbt\sqrt{K_p} = 37.61 \text{ N}$

Therefore, the maximum mass:  $m_{\max} = \frac{t}{gh} \left( \frac{P_{p1}}{3} + \frac{P_{p2}}{2} \right) = 6.29 \text{ kg} \blacktriangleleft$