

## 土質力学Ⅱ及び演習 中間試験

2023年6月7日(水) 8:45~10:15 共通155・共通1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。
- 関数電卓と定規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ともに、し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】

(1) Terzaghi の圧密方程式に関する以下の問いに答えよ。

(1-1) Terzaghi の圧密方程式の誘導では、主に(a)~(f)に示す仮定を設けている。①~⑥に入る用語を答えよ。

- (a) 土の変形および間隙水の流れは全て  ① に起こる。
- (b) 土の間隙は常に間隙水で  ② 。
- (c) 間隙水の流れは  ③ に従う。
- (d) 土の圧縮量は  ④ に比例する。
- (e) 土粒子と水自体の  ⑤ は小さいので無視する。
- (f) 透水係数は  ⑥ である。

(1-2) Terzaghi の圧密方程式は式(1)~式(4)を用いて以下の通り誘導される。⑦~⑩に入る数式を示せ。

$$\text{(Terzaghi の圧密方程式)} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

土の有効応力-ひずみ関係：  $d\varepsilon = \text{  } \text{ ⑦}$  式(1)

全応力一定：  $\frac{\partial \sigma}{\partial t} = \text{  } \text{ ⑧} = 0$  式(2)

ダルシーの法則：  $v = -k \frac{\partial h}{\partial z} = \text{  } \text{ ⑨} \frac{\partial u}{\partial z}$  式(3)

水の連続式：  $\frac{\partial v}{\partial z} = \text{  } \text{ ⑩}$  式(4)

ここで、 $c_v$ ：圧密係数、 $\sigma$ ：全応力、 $\sigma'$ ：有効応力、 $u$ ：過剰間隙水圧、 $t$ ：時間、 $\varepsilon$ ：土のひずみ、

$m_v$  : 体積圧縮係数,  $v$  : 間隙水の流速,  $k$  : 透水係数,  $h$  : 全水頭,  $z$  : 位置座標,  $\gamma_w$  : 水の単位体積重量, とする.

(1-3) 式(4)の根拠となる仮定を(1-1)の(a)~(f)の中から選び, その理由を説明せよ.

(2) 上下を砂層に挟まれた層厚 5 m の飽和粘性土がある. この粘土層から試料を採取して圧密試験を行ったところ, 厚さ 2 cm の供試体が 50%圧密するのに 10 分かかった. この飽和粘土層の圧密係数 $c_v$ を求めよ. また, この飽和粘土層が 90%圧密するのに要する時間を答えよ. ただし, 解答に際しては表 1 の値を用いてもよい.

表 1

圧密度 $U$ [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90
時間係数 $T_v$	0.008	0.031	0.071	0.127	0.197	0.287	0.403	0.567	0.848

(3) 図 1 に示すような三角形帯状荷重による点 A の鉛直応力 $\sigma_z$ は式(5)のように表される. 式(5)を用いて, 図 2 に示す点 A に生じる鉛直応力 $\sigma_z$ を示せ. ただし, 地盤は線形弾性体とする.

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi} \cdot \theta \tag{5}$$

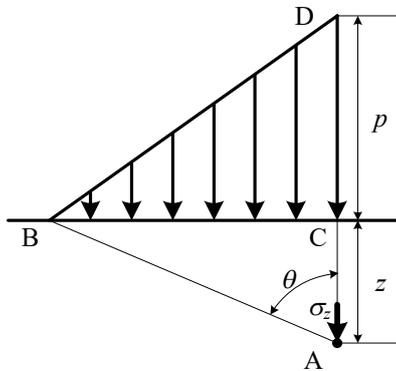


図 1

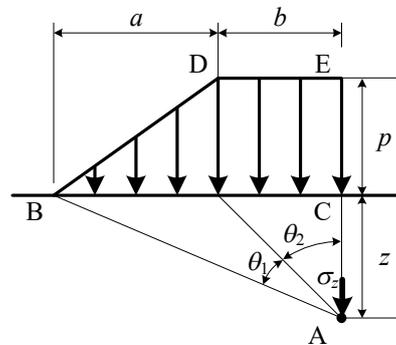


図 2

【2】

等方圧密した粘土試料を用いて、圧密排水三軸圧縮試験（CD 試験）および圧密非排水三軸圧縮試験（ $\overline{CU}$  試験）を実施する。同じ圧密圧力  $p'_o$  を受けた試料が一定拘束圧でせん断された場合、破壊時に CD 試験と  $\overline{CU}$  試験による有効平均応力  $p'_f$  と軸差応力  $q_f$  が異なる。一方、破壊時に CD 試験と  $\overline{CU}$  試験による同じ  $p'_f$  と  $q_f$  が得られた場合、試料は異なる  $p'_o$  と拘束圧を受けなければならない。このような挙動を説明するため、3 つの飽和状態にある正規圧密粘土の三軸圧縮試験を行った。試験中の拘束圧は、圧密過程からせん断過程まで一定であり、Test 1 が CD 試験、Test 2 と Test 3 が  $\overline{CU}$  試験である。破壊時における過剰間隙水圧  $u_f$ 、 $p'_f$ 、 $q_f$ 、 $p'_o$  の値を表 2 に示す。なお、未知の(a), (b), (c), (d)は以下の計算に必要な値である。

表 2

項目	Test 1 (CD)	Test 2 ( $\overline{CU}$ )	Test 3 ( $\overline{CU}$ )
圧密圧力 $p'_o$ (kN/m <sup>2</sup> )	200	200	(c)
破壊時の有効平均応力 $p'_f$ (kN/m <sup>2</sup> )	284	(a)	284
破壊時の軸差応力 $q_f$ (kN/m <sup>2</sup> )	252	93	252
破壊時の過剰間隙水圧 $u_f$ (kN/m <sup>2</sup> )	0	(b)	(d)

各試験に用いた試料の特性は全て同じであると仮定し、粘着力  $c' = 0$  とする。以下の問いに答えよ。

- (1)  $p'_f$  と  $q_f$  の式を三軸試験による破壊時の主有効応力  $\sigma'_{1f}$  と  $\sigma'_{3f}$  で表し、Test 1 による  $\sigma'_{1f}$  と  $\sigma'_{3f}$  を求めよ。
- (2) モール・クーロン破壊条件に基づいて、Test 1 から内部摩擦角  $\phi'$  を計算せよ。
- (3) Test 1 から破壊線の勾配（破壊応力比） $M$  を決定せよ。
- (4) Test 2 の(a)を計算せよ。
- (5) Test 2 の(b)を計算せよ。
- (6) Test 2 による強度増加率  $c_u/p'_o$  の値を決定せよ。ただし、 $c_u$  は非排水せん断強度である。
- (7) 正規粘土の  $c_u/p'_o$  が一定であることから、Test 3 の(c)を計算せよ。
- (8) Test 3 の(d)を計算せよ。
- (9) Test 3 の破壊時のスケンプトンの間隙圧係数  $A_f$  の値を求めよ。
- (10) Test 1, Test 2, Test 3 の有効応力径路と破壊線との関係を  $p'$ - $q$  平面に描け。また、(a), (b), (c), (d)の値を図中に記入せよ。

**【3】**

図3に示すように、高さ6mの擁壁を建設した。擁壁は側方の両面が垂直で平滑であり、擁壁背面は2層の土で構成されている。各層の層厚と特性は図に示すとおりであり、土層1と土層2の乾燥単位体積重量はそれぞれ17 kN/m<sup>3</sup>、17.5 kN/m<sup>3</sup>、土層2の飽和単位体積重量は19 kN/m<sup>3</sup>であり、正規圧密状態にある。また、地下水位は土層2の上端に一致しており、水の単位体積重量 $\gamma_w$ は9.8 kN/m<sup>3</sup>である。以下の問いに答えよ。

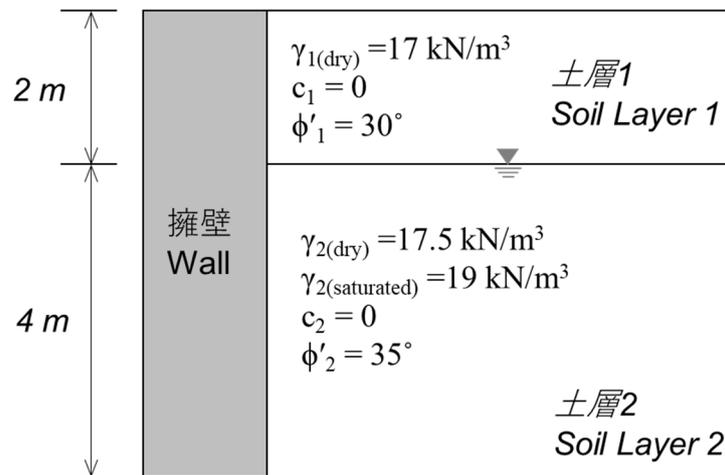


図3

- (1) 擁壁は横方変位の無い静止状態にあるとする。壁面に作用する側方土圧と水圧の分布を図示せよ。各土層の上端と下端の各圧力の大きさは図中に記すこと。正規圧密土の静止土圧係数は、 $K_0 = 1 - \sin\phi'$ で求められる。
- (2) 静止状態の擁壁に作用する合力（図に垂直な単位長さあたり）を求め、(1)で描いた図に合力の作用点を示せ。
- (3) 擁壁の外向きに変位が生じた場合、主動状態における Rankine の土圧理論を用いて、擁壁に作用する合力（図に垂直な単位長さあたり）を計算せよ。
- (4) 再び静止状態にある擁壁を仮定する。擁壁背面の空間が、一様な荷重  $q$  に相当する土の一時的な保管のために使用され、長期間保管した後に土が全量撤去されたとする。この状態を図4に示す。このとき、土層から小さな土の要素Aを取り出し、応力の変化を調べる。以下に示す図5（解答用紙に描き写すこと）に、要素Aにおける条件1から条件2、条件2から条件3への応力経路を模式的に図示せよ。横軸は水平方向の有効応力、縦軸は鉛直方向の有効応力を表す。

ヒント：既往の研究により、過圧密土の静止土圧係数  $K_0$  は、 $K_0 = (1 - \sin\phi')OCR^{\sin\phi'}$ （OCRは過圧密比）で求められることが分かっている。

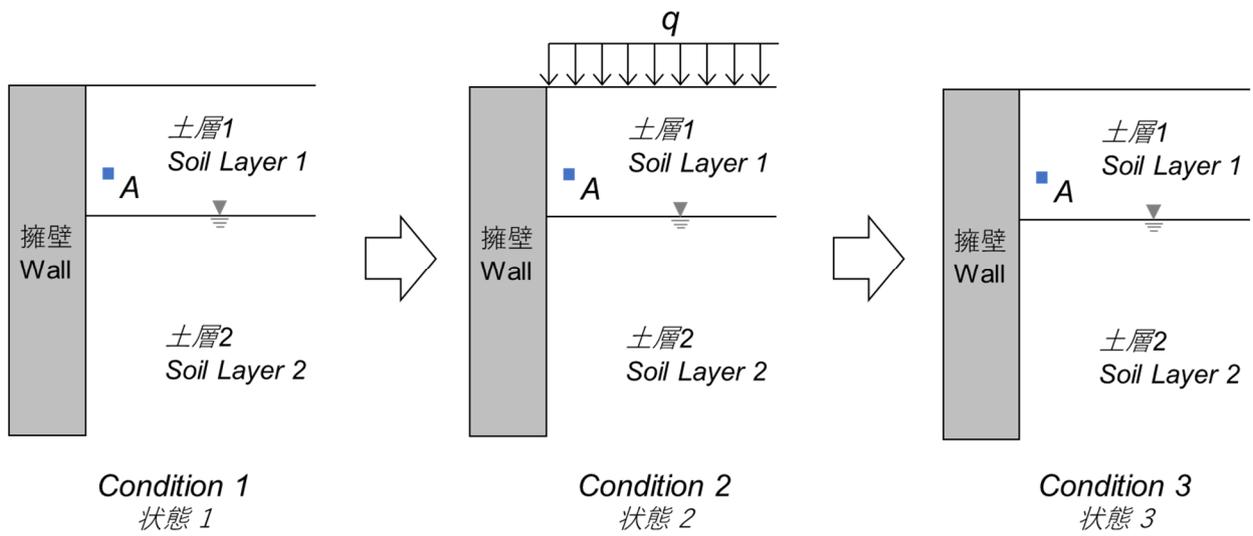


図 4 擁壁背面の使用状況の遷移

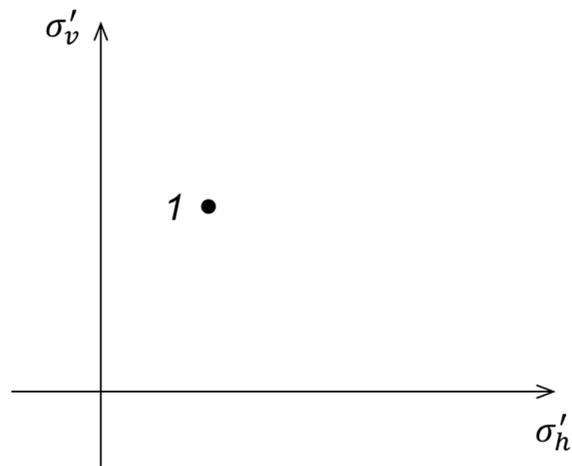


図 5 要素 A における応力経路図 (状態 1 における応力は図中に示すとおり)