

## 2023 年度 土質力学Ⅰ及び演習 定期試験

2024 年 1 月 30 日 (火) 13:15～15:15

### 注意事項：

- 問題は全部で 4 問である。
- 解答用紙 4 枚と解答用グラフ 1 枚の計 5 枚を配付する。5 枚すべてに氏名・学生番号等の必要事項を記入すること。記入漏れがあった場合は採点できない場合がある。
- 各問に 1 枚の解答用紙を用い、【1】から順に解答すること。それぞれ表側に書ききれないときは同じ用紙の裏面に続きを解答し、1 つの大問の答案が複数枚の用紙にまたがらないよう注意すること。複数枚にわたって解答した場合は採点できない場合がある。
- 解答に単位が必要な場合は必ず明記すること。
- 関数電卓と定規の持ち込みは可能であるが、電卓のプログラム機能、携帯電話等の電卓機能の使用は認めない。
- 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、然るべき対応を取る。

【問 1】 以下の問いに答えよ.

(1) 宅地造成のため、近隣の土取り場から土を採取し、盛土を築造することを考える. 水の密度を $1.00 \text{ Mg/m}^3$ として、以下の問いに答えよ.

- 1) 土の物理特性を把握するため、土取り場から体積 $4.00 \text{ m}^3$ の土を採取して質量を計測したところ  $8.00 \text{ Mg}$ であった. また、この土の含水比は $18.0\%$ 、土粒子密度は $2.50 \text{ Mg/m}^3$ であった. この土取り場における自然状態の土の湿潤密度、乾燥密度、間隙比、飽和度を求めよ.
- 2) 土取り場から採取した土を散水しながら締め固めて、高さ $2.00 \text{ m}$ 、面積 $2.00 \times 10^4 \text{ m}^2$ の盛土を築造する. 目標とする乾燥密度が $1.50 \text{ Mg/m}^3$ である場合、土取り場から採取すべき自然状態の土の体積を求めよ.
- 3) 締め固め後の盛土の飽和度を $80.0\%$ とするために、散水により加えるべき水の質量を求めよ. また、このときの盛土の含水比と空気間隙率(土全体の体積の中で空気の体積が占める割合)を求めよ.
- 4) 3)の状態の含水比を保ったまま、乾燥密度 $1.80 \text{ Mg/m}^3$ まで締め固めることが可能かどうか、理由とともに述べよ. 必要であれば、図を用いてもよい.
- 5) 2), 3)の条件で盛土の築造を試みたところ、盛土の乾燥密度が鉛直方向に一様とならず、ある高さを境にして上部層では $1.42 \text{ Mg/m}^3$ 、下部層では $1.55 \text{ Mg/m}^3$ であることがわかった. 上部層と下部層の境界の高さを求めるとともに、それぞれの層における含水比と飽和度を求めよ. なお、上部層と下部層に含まれる水の質量は等しいとする.

(2) 以下の用語について、定義を数式で示すとともに簡単に説明せよ.

- 1) 相対密度
- 2) 均等係数
- 3) 塑性指数

【問2】土中の水の流れに関する以下の問いに答えよ。

(1) 二層の異なる土 Soil 1 (厚さ  $H_1$  [cm], 透水係数  $k_1$  [cm/s]) と Soil 2 (厚さ  $H_2$  [cm], 透水係数  $k_2$  [cm/s]) からなる供試体に対し、水平方向に定水位透水試験を行った (図 2-1)。以下の問いに答えよ。  
 なお、層の境界は水平であり、以下では全て単位奥行きで考える。

- 1) ダルシーの法則について説明せよ。
- 2)  $H_1 = 10$  cm,  $H_2 = 20$  cm として、供試体の左右に 15 cm の水頭差を与え、透水試験を行ったところ、下流から 10 分間に  $27.0$  cm<sup>3</sup> の水が流出した。Soil 1 と Soil 2 を一つの層とみなしたときの、水平方向の等価透水係数  $k_h$  の値を求めよ。
- 3)  $H_1 = 25$  cm,  $H_2 = 5$  cm として、供試体の左右に 20 cm の水頭差を与え透水試験を行ったところ、下流から 10 分間に  $54.0$  cm<sup>3</sup> の水が流出した。2)の透水試験結果も踏まえて、Soil 1 と Soil 2 の透水係数  $k_1$  と  $k_2$  の値をそれぞれ求めよ。

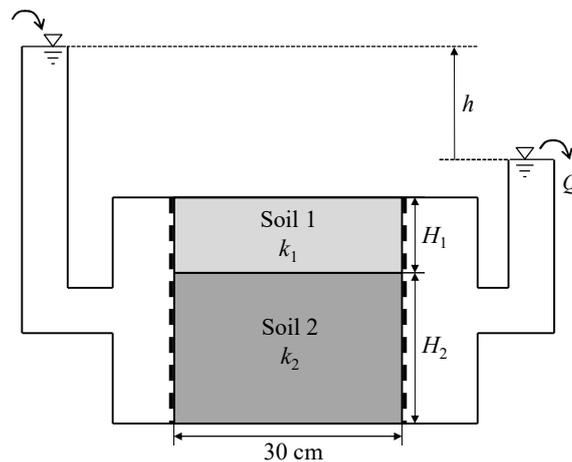


図 2-1

(2) 図 2-2 のように水平な不透水層上に造成された、ため池のアースダムを考える。堤外側では不透水層から 12 m の高さまで湛水し、堤内側の法尻にはドレーン工が設けられており、定常状態になっているものとする。以下の問いに答えよ。

- 1) 図2-2には湛水している堤外側から堤内側のドレーン工へと流れる浸潤面と流線が描かれている。流線網を描く際に満たすべき条件を説明せよ。また、等ポテンシャル線を描き加えて流線網を完成させよ (別途配付した解答用グラフに描き込むこと)。
- 2) アースダムからの単位奥行き、1日あたりの堤内側の漏水量を計測したところ  $0.58$  m<sup>3</sup>であった。土の透水係数が Hazen の式  $k = 70D^2$  [cm/s] ( $D$ : 有効径 [cm]) で近似できるとき、アースダムを構成している盛土材料の有効径を求めよ。さらに、その盛土材料の粒径加積曲線が図2-3の(a)~(c)のいずれであると予想されるか答えよ。なお、位置水頭の基準は不透水層上面とし、盛土とドレ

ー工の境界では全水頭がゼロであるとする。

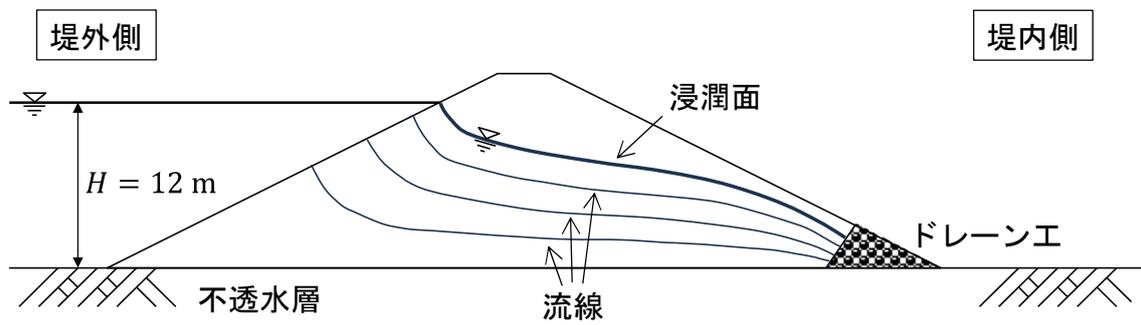


図2-2

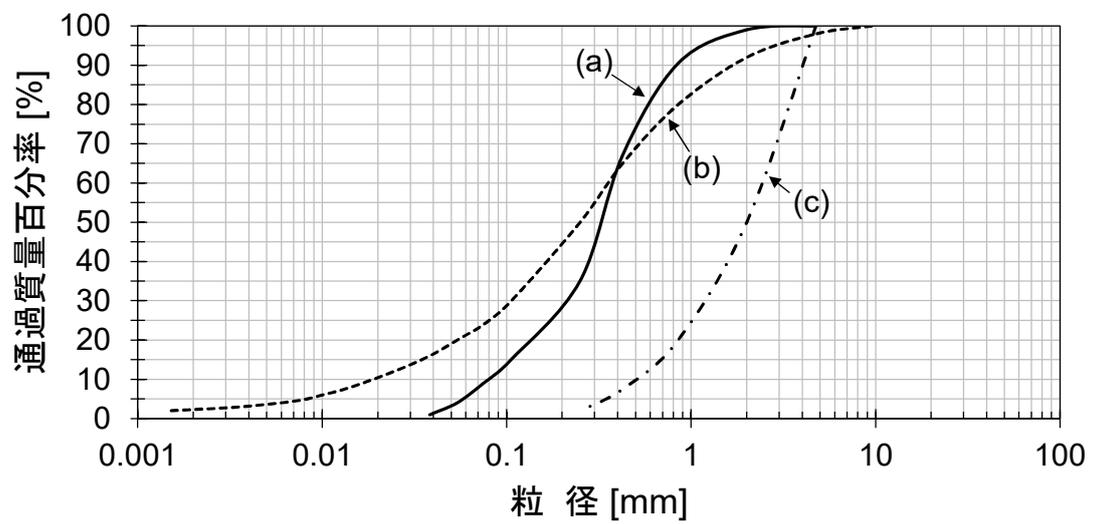


図2-3

【問3】以下の問いに答えよ。

(1) 図3-1に示すように、不透水性の岩盤上に層厚10mの粘土層と層厚6mの砂層からなる地盤がある。ここで、地下水面下の砂層の湿潤単位体積重量 $\gamma_{sat}$ は20 kN/m<sup>3</sup>とし、地下水位が低下した部分の砂層の単位体積重量 $\gamma$ は、地下水面より上の土と同じ19 kN/m<sup>3</sup>とする。また、粘土層の湿潤単位体積重量 $\gamma_{sat}$ は17 kN/m<sup>3</sup>とし、初期間隙比 $e_0$ は1.5、体積圧縮係数 $m_v$ は $8.0 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/kN、圧密係数 $c_v$ は50 cm<sup>2</sup>/dayとする。さらに、水の単位体積重量は $\gamma_w = 10$  kN/m<sup>3</sup>とする。

- 1) 地下水位が地表面から1mの位置にあるとき、砂層底面における有効応力を求めよ。
- 2) 地下水をくみ上げたことにより地下水位が地表面から4mまで低下した。このとき、砂層底面における有効応力を求めよ。
- 3) 上記の地下水くみ上げにより粘土層が圧密沈下するが、その沈下による体積ひずみと最終沈下量を求めよ。
- 4) 圧密度が90%に達するまでの時間を求めよ。ただし、圧密度90%のときの時間係数は0.85とする。
- 5) その後、地下水のくみ上げをやめたところ、地下水位は地表面まで上昇した。このとき、粘土層表面での過圧密比を求めよ。なお、過圧密比とは、有効土被り圧（粘土が現在受けている応力）に対する圧密降伏応力（過去に粘土に加えられたことのある最大の応力）の比である。

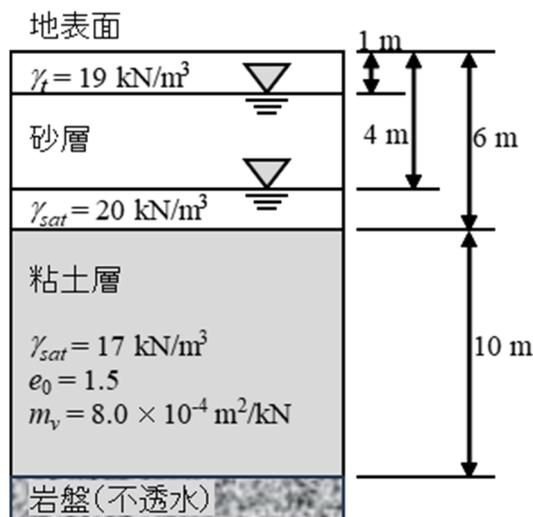


図3-1

(2) 粘土の圧密について以下の問いに答えよ。

- 1) 以下の記述について、一次元圧密理論の前提条件として正しいか誤っているかを答えよ。
  - (a) 土は完全に飽和していると仮定され、土の間隙は水で完全に満たされている。

- (b) 圧密は水平方向も重要であると仮定され、水平方向の変形も考慮される。
- (c) 土粒子自体は圧縮されると仮定され、圧密は土粒子と間隙の両方の圧縮によって生じる。
- (d) 透水係数は圧密過程全体で一定であると仮定される。
- (e) 間隙水の流れはダルシー則に従うと仮定され、水の流れは層流である。
- (f) 土の応力-ひずみ関係は非線形であり、応力の変化はひずみの変化に比例しない。
- (g) 土は均質で等方性であると仮定され、物理的および力学的特性は粘土層内で一定であり方向に依存しない。

2) 以下の4式を用いて Terzaghi の圧密方程式を導出しなさい。また、圧密係数  $C_v$  と他の土質パラメータとの関係を式で表しなさい。

$$v = -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z}$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$$

$$d\varepsilon = m_v d\sigma'$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = \frac{\partial \sigma'}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

ただし、 $v$  は間隙水の流速、 $k$  は対象粘土層の透水係数、 $\gamma_w$  は水の単位体積重量、 $u$  は間隙水圧、 $z$  は地表面からの深さ、 $t$  は時間、 $\varepsilon$  は鉛直ひずみ、 $m_v$  は体積圧縮係数、 $\sigma'$  は有効応力である。

【問 4】以下の問いに答えよ。

(1) 地盤内のある点において、図 4-1 のように応力が作用している状態を考える。

- 1) モールの応力円を描き、最大主応力、最小主応力をそれぞれ求めよ。
- 2) 最大主応力が作用する面の方向を求めよ。
- 3) A-A' 面に作用する垂直応力とせん断応力を求めよ。

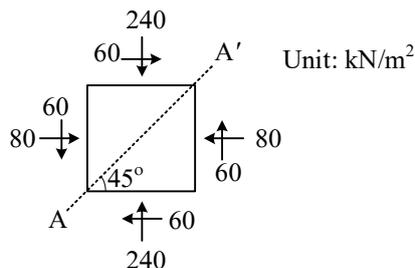


図 4-1

(2) 飽和した正規圧密粘土を対象に、側圧 $\sigma_3 = 200 \text{ kN/m}^2$ の条件で圧密非排水 ( $\overline{\text{CU}}$ ) 三軸圧縮試験を実施したところ、軸圧 $\sigma_1 = 500 \text{ kN/m}^2$ 、間隙水圧 $u_w = 50 \text{ kN/m}^2$ に達したところで破壊が生じた。

- 1) 破壊時の全応力および有効応力に関するモールの応力円をそれぞれ描け。
- 2) Mohr-Coulomb の破壊規準が成立すると仮定して、この粘土の有効応力に関する内部摩擦角 $\phi'$ の値を求めよ。なお、正規圧密粘土であることから、有効応力に関する粘着力 $c' = 0 \text{ kN/m}^2$ とみなせると考えてよい。

(3) 砂と粘土のせん断試験に関する以下の問いに答えよ。必要であれば図や式を用いてもよい。

- 1) 一面せん断試験から土の内部摩擦角 $\phi$ と粘着力 $c$ を求める方法について説明せよ。
- 2) 飽和した密な砂質土を用いて圧密排水 (CD) 三軸圧縮試験と圧密非排水 ( $\overline{\text{CU}}$ ) 三軸圧縮試験を実施したところ、後者の方がより大きなせん断強さが得られた。土のダイレイタンス特性に着目して、この理由を考察せよ。
- 3) 一般的に、粘土に対して圧密排水 (CD) 三軸圧縮試験が実施されることは少ないが、その理由を述べよ。
- 4) 一軸圧縮試験によって得られる鋭敏比について説明せよ。