

## 問題 1

### 問 1

サンプルの体積は

$$\pi \times \left( \frac{50.0}{2} \right)^2 \times 51.0 = 100.1 \text{ cm}^3$$

質量は 168.4 であるため、湿潤密度は

$$\frac{168.4}{100.1} = 1.682 \text{ g/cm}^3$$

この問題では有効数字は 3 桁であり、1.68 g/cm<sup>3</sup> とする。

### 問 2

含水比は土に含まれていた水の質量を土の乾燥質量で除すことで得られ、

$$\frac{168.4 - 152.5}{152.5} = \frac{15.9}{152.5} = 0.104$$

つまり、10.4%となる。

乾燥密度は、乾燥質量をサンプルの体積で除すことで得られ、

$$\frac{152.5}{100.1} = 1.522 \text{ g/cm}^3$$

有効数字を考慮して、1.52g/cm<sup>3</sup>となる。

### 問 3

サンプルが有する土粒子の体積は、乾燥質量を土粒子密度で除して得られ、

$$\frac{152.5}{2.65} = 58.21 \text{ cm}^3$$

となり、間隙の体積は全体の体積から土粒子の体積を減じて

$$100.1 - 58.21 = 41.89 \text{ cm}^3$$

と得られる。これにより、間隙率は

$$\frac{41.89}{100.1} = 0.419$$

となる。飽和度は水の体積を間隙の体積で除し、

$$\frac{15.9}{41.89} = 0.380$$

と得られる。

## 問題 2

この問題では、スポンジの幅を  $L (=10.0 \text{ cm})$ 、高さを  $D (=4.0 \text{ cm})$ 、奥行きを  $T (=5.0 \text{ cm})$ 、とおく。

### 問 1

中央層の厚さを  $d_m (=2.0 \text{ cm})$ 、両端の層の厚さを  $d_e (=1.0 \text{ cm})$  とおく。上下方向に通水を行う場合は、各層での動水勾配は異なるが、流速は同じになる。各層においてダルシー則を記述すると

$$v = k_m i_m \quad (1)$$

$$v = k_e i_e \quad (2)$$

となる。ここに、 $i_m$  と  $i_e$  はそれぞれ中央と両端の層での動水勾配であり、 $v$  は鉛直方向のダルシー流速である。式(1)と(2)に現れるダルシー流速  $v$  は、水の流出量  $Q$  と

$$v = \frac{Q}{LT} \quad (3)$$

の関係がある（本問では  $Q=1.9 \text{ cm}^3/\text{s}$ ）。また、通水時の水頭差  $\Delta H$ （本問では  $\Delta H=8.0 \text{ cm}$ ）は各層の動水勾配と厚さを用いて

$$i_e d_e + i_m d_m + i_e d_e = \Delta H \quad (4)$$

と与えられる。式(1)と(2)を式(4)に代入し、式(3)を用いると

$$\frac{2Qd_e}{LT} \cdot \frac{1}{k_e} + \frac{Qd_m}{LT} \cdot \frac{1}{k_m} = \Delta H \quad (5)$$

となる。式(5)に数値を代入して、整理すれば

$$\frac{1}{k_e} + \frac{1}{k_m} = 105 \quad (6)$$

の関係を得る。（本問では有効数字は 2 桁と考えられるが、最終的な透水係数を求めるための計算途中であるため、右辺は有効数字にして 3 桁まで計算している。）

### 問 2

水平方向に通水を行う場合は、各層の動水勾配は同じであるが、流速が異なる。前問と同様に各層においてダルシー則を記述すると

$$v_m = k_m i \quad (7)$$

$$v_e = k_e i_e \quad (8)$$

ここに、 $v_m$  と  $v_e$  はそれぞれ中央と両端の層でのダルシー流速であり、 $i$  は水平方向の動水勾配である。各層のダルシー流速と流出量  $Q$ （本問では  $Q=2.1 \text{ cm}^3/\text{s}$ ）の間には

$$v_e d_e T + v_m d_m T + v_e d_e T = Q \quad (9)$$

の関係があり、動水勾配  $i$  は

$$i = \frac{\Delta H}{L} \quad (10)$$

と与えられる（本問では $\Delta H=10.0$  cm）。式(7)と(8)を式(10)に代入し、式(9)を用いると

$$2d_e T \frac{\Delta H}{L} \cdot k_e + d_m T \frac{\Delta H}{L} \cdot k_m = Q \quad (11)$$

をとなる。式(11)に数値を代入し、整理すれば

$$k_e + k_m = 0.21 \quad (12)$$

問3

式(6)と(12)を $k_m$ と $k_e$ について解けばよい。式(6)の両辺に $k_m k_e$ を乗じると

$$k_e + k_m = 105k_e k_m \quad (13)$$

式(12)から式(13)を減じると

$$\begin{aligned} 0.21 - 105k_e k_m &= 0 \\ \Rightarrow k_e k_m &= 0.002 \end{aligned} \quad (14)$$

となる。式(12)と(14)より、 $k_m$ と $k_e$ は次の $x$ についての二次方程式の解として与えられることが分かる。

$$x^2 + 0.21x + 0.002 = 0 \quad (15)$$

式(14)を $x$ について解くと、 $x=0.2$ と $x=0.01$ をとなり、 $k_m < k_e$ であることから

$$k_m = 0.01 \text{ cm/s} , \quad k_e = 0.2 \text{ cm/s}$$

と求まる。

### 問題 3

#### 問 1

粘土層を 5 m の間隔で 4 層に分割すると、各層の中心における深さは（浅いものから順番に）4.5, 9.5, 14.5, 19.5 m となる。家が建てられる前の有効応力を層毎に示すと次のようである。

$$1 \text{ 層目} : 20 \times 2 + (16 - 9.8) \times 2.5 = 55.5 \text{ kPa}$$

$$2 \text{ 層目} : 20 \times 2 + (16 - 9.8) \times 7.5 = 86.5 \text{ kPa}$$

$$3 \text{ 層目} : 20 \times 2 + (16 - 9.8) \times 12.5 = 117.5 \text{ kPa}$$

$$4 \text{ 層目} : 20 \times 2 + (16 - 9.8) \times 17.5 = 148.5 \text{ kPa}$$

圧密降伏応力 71.0 kPa での間隙比を（問題用紙の）式(1)から計算すると、0.597 となる。層毎の間隙比は、次のように求められる。（1 層目は過圧密状態にあり、膨潤指数  $C_s (=0.008)$  を用いることに注意する。）

$$1 \text{ 層目} : 0.597 + 0.008 \times \log(71.0 / 55.5) = 0.606$$

$$2 \text{ 層目} : 1.56 - 0.520 \times \log 86.5 = 0.553$$

$$3 \text{ 層目} : 1.56 - 0.520 \times \log 117.5 = 0.484$$

$$4 \text{ 層目} : 1.56 - 0.520 \times \log 148.5 = 0.431$$

#### 問 2

家が建てられると、全ての層に 14.0 kPa の荷重が加えられる。まず、この荷重が加えられた後の間隙比を計算すると次の通りである。（1 層目は過圧密状態にあり、膨潤指数  $C_s (=0.008)$  を用いることに注意する。）

$$1 \text{ 層目} : 0.597 + 0.008 \times \log \{71.0 / (55.5 + 14.0)\} = 0.598$$

$$2 \text{ 層目} : 1.56 - 0.520 \times \log(86.5 + 14.0) = 0.519$$

$$3 \text{ 層目} : 1.56 - 0.520 \times \log(117.5 + 14.0) = 0.458$$

$$4 \text{ 層目} : 1.56 - 0.520 \times \log(148.5 + 14.0) = 0.410$$

載加前後の間隙比が求めれば、各層における沈下量（圧縮量）は、次の式で求められる。

$$S = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} H \quad (16)$$

ここに、 $S$  は沈下量、 $e_0$  は載荷前の間隙比、 $e$  は載荷後の間隙比、 $H$  は層厚（本問では 5.0 m）である。式(16)を用いて、各層の沈下量を計算すると次の通りとなる。

$$1 \text{ 層目} : 0.024 \text{ m}$$

$$2 \text{ 層目} : 0.109 \text{ m}$$

$$3 \text{ 層目} : 0.086 \text{ m}$$

$$4 \text{ 層目} : 0.071 \text{ m}$$

これら 4 層の合計は 0.29 m となる。

#### 問題 4

片面排水の場合、時間係数  $T_v$  と圧密係数  $c_v$  の間には次の関係がある。

$$T_v = \frac{c_v t}{H^2} \quad (17)$$

ここに、 $H$  は圧密層の層厚、 $t$  は時間である。圧密試験の結果を式(17)に代入すると

$$0.848 = \frac{c_v \cdot 20}{1^2}$$

となり、圧密係数  $c_v$  は  $0.0424 \text{ cm}^2/\text{min}$  と求められる（圧密試験は両面排水であるため、層厚  $H$  に  $2.0/2=1.0 \text{ cm}$  を代入していることに注意）。この圧密係数を用い、層厚が  $1.5 \text{ m}$  の粘土層が  $90\%$  圧密するのに必要な時間を計算すると

$$t = \frac{H^2 T_v}{c_v} = \frac{(150/2)^2 \times 0.848}{0.0424} = 112500 \text{ min} = 78.1 \text{ day}$$

を得る。

#### 問題 5

（解答例）

一面せん断試験、三軸試験ともに土のせん断強度を測定する試験である。前者はせん断面に直接的に垂直応力とせん断応力を作用させる試験であるが、後者は供試体の上面と側面に主応力を作用させ、これらの応力の差である軸差応力を与えることで供試体の内部に垂直応力とせん断応力を間接的に作用させる試験である。（145 字）