

2014年 土質力学第一期末試験問題解答例

問1解答例

1. 以下の問に答えよ。

(1) 以下の用語を英訳せよ。

i) 最適含水比、ii) 間隙比、iii) 飽和度、iv) 有効応力、v) 動水勾配

解答: i) optimum water content, ii) void ratio, iii) degree of saturation, iv) effective stress, v) hydraulic gradient

(2) 以下の英語を和訳し、それぞれについて単に説明せよ。

i) Proctor's principle => プロクターの原理

“締固めに影響を及ぼす諸因子の中で含水比(w)以外の条件を同じにして、 w だけを変えていくと、

乾燥密度(ρ_d)が最大となる含水比(最適含水比: w_{opt})が存在する。

ii) Darcy's law => ダルシーの法則

$$v = -k \frac{dh}{dl} = ki \quad \text{土中水の流量速度}(v) \text{は動水勾配}(i) \text{に比例する。ここで} h \text{はピエゾ水頭、} l \text{は流れ方向方向の長さ}$$

問2解答例

2. 2種類の砂試料(A砂、B砂)について定水位透水試験を行う。それぞれ試料の土粒子比重(G_s)、間隙比(e)、平均粒径(D_{50})と10%通過粒径(D_{10})、均等係数(U_c)は表1に示す通りである。試料の高さは10cm、断面積は100cm²で完全に飽和しており、水の密度(ρ_w)は1g/cm³として、以下の問いに答えよ。(20)

表1

試料	A砂	B砂
土粒子比重 (G_s)	2.7	2.7
間隙比 (e)	0.7	0.75
D_{50} (mm)	0.5	0.1
D_{10} (mm)	0.01	0.05
均等係数 (U_c)	55	2.1

(1) A砂試料の乾燥質量はいくらか。

(2) A砂試料の飽和密度(ρ_{sat})はいくらか。

(3) どちらの砂試料が透水係数は小さいと考えられるか。その主な理由を含めて答えよ。

(4) A砂試料に対する試験で、水頭差(Δh)5cmとした場合、100分間通水量は21cm³であった。A試料の透水係数はいくらか。

(5) 試験時間を短くし、しかも信頼できる精度を得るためには、どのような試験を行えばよいか

(1)
$$\rho_d = \frac{\rho_s}{1+e} = \frac{G_s \rho_w}{1+e} = 1.588 \text{g/cm}^3, Ms = \rho_d V (1000 \text{cm}^3) = 1.59 \text{kg}$$

(2)
$$\rho_{sat} = \frac{\rho_s + e \rho_w}{1+e} = 2.0 \text{g/cm}^3$$

(3) A砂: 理由: D_{10} が小さく、均等係数も大きく、間隙比も小さいから

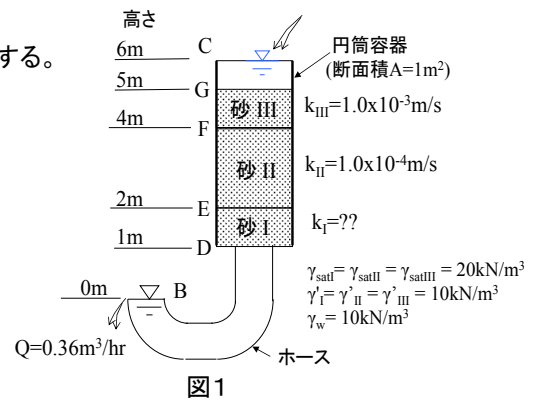
(4)
$$v = \frac{Q}{A} = \frac{21 / (100 \times 60)}{100} = 3.5 \times 10^{-5} \text{cm/s}, i = -\frac{\Delta h}{L} = 0.5,$$

$$k = \frac{v}{i} = 7.0 \times 10^{-5} \text{cm/s} = 7.0 \times 10^{-7} \text{m/sec}$$

(5) 透水量が少ない場合は、変水位透水試験を用いれば、試験時間は短くできる。

第3問 解答例: h : 全水頭、 h_e : 位置水頭、 h_p : 圧力水頭、 u : 水圧とする。

3. 図1のような一様断面円筒容器内に作成された飽和単位体積重量 (γ_{sat})、水中有効重量 (γ') が同じで、透水係数 (k) と厚さが異なる3種類の砂 (砂I, 砂II, 砂III) からなる3層試料に対して図示された条件で定水位透水試験を行う。試験前は、下部ホースの端B点はC点と同じ高さであり、水の流れはない静水圧状態であった。次いで、B点の高さを0mとし、C点からの注水をつけ、水位を容器上端の高さ(6m)に固定し定常透水を行った結果、 $Q=0.36\text{m}^3/\text{hr}$ の流量速度をB点で得た。水の単位体積重量を $\gamma_w=10\text{kN/m}^3$ として、以下の問に答えよ。(25)

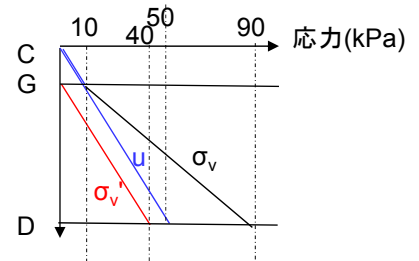


- 透水前の静水圧状態 (水面高さ5m) における、C点からD点までの全応力、間隙水圧、有効応力の深さ方向の分布を描け。
- 定常透水試験時のD, E, F, G点の全水頭はそれぞれいくらか。なお、基準面はB点 (0m) の位置とする。
- この時のC点からD点までの全応力、間隙水圧、有効応力の深さ方向の分布を描け。
- 砂Iの透水係数 (k_I) を求めよ。
- C点の水位を保った状態でホース端B点の位置を1mずつ上昇させ、各位置において定常透水状態を確認した。この時のホース端の高さと透水流量速度の関係を図示せよ。

回答: 全応力: σ 、有効応力: σ' 、間隙水圧: u

- (1) C-G間: $\sigma_v = \gamma_w Z$, $u = \gamma_w Z$, $\sigma'_v = \sigma_v - u$ ここで z はCからの深さ

G-D間: $\sigma_v = \gamma_w 1 + \gamma_{sat} (z - 1)$, $u = \gamma_w Z$, $\sigma'_v = \sigma_v - u$



(2) $v = Q/A = v_I = v_{II} = v_{III} = \frac{0.36}{1.0} = 0.36\text{m/hr} = 1.0 \times 10^{-4}\text{m/s}$

CG間、DB間では損失無し、従って、 $h_C = h_G = 6\text{m}$, $h_B = h_D = 0\text{m}$ (B,Cでは、圧力水頭ゼロ、位置水頭のみ) より、砂 I、IIについて、

$i_{II} = \frac{h_F - h_E}{L_{II}} = \frac{v_{II}}{k_{II}} = \frac{1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-4}} = 1.0$, $\therefore h_E = h_F - 1 \times 2 = 3.9\text{m}$ $i_{III} = \frac{h_G - h_F}{L_{III}} = \frac{v_{III}}{k_{III}} = \frac{1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-3}} = 0.1$, $\therefore h_F = h_G - 0.1 \times 1 = 5.9\text{m}$

- (3) 全応力は変化なし、また $h_p = h - h_e$, $u = h_p \gamma_w$ より

$h_{pD} = 0 - 1 = -1$, $u_D = h_{pD} \gamma_w = -10\text{kPa}$, $\sigma'_{vD} = \sigma_{vD} - u_D = 90 - (-10) = 100\text{kPa}$

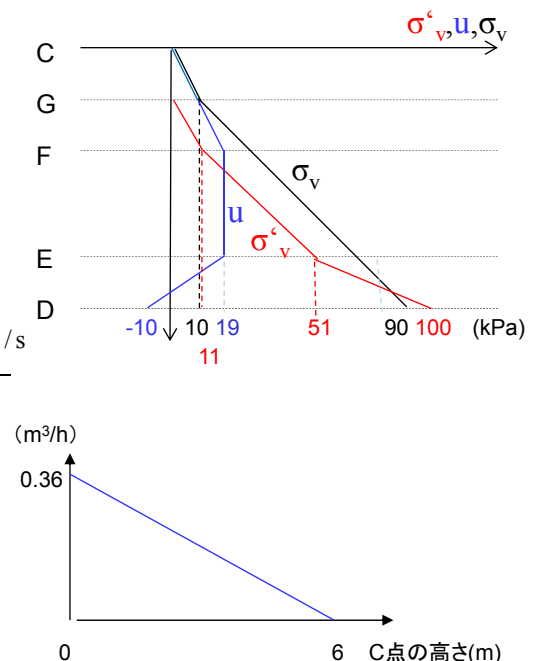
$h_{pE} = 3.9 - 2 = 1.9$, $u_E = h_{pE} \gamma_w = 19\text{kPa}$, $\sigma'_{vE} = \sigma_{vE} - u_E = 70 - 19 = 51\text{kPa}$

$h_{pF} = 5.9 - 4 = 1.9$, $u_F = h_{pF} \gamma_w = 19\text{kPa}$, $\sigma'_{vF} = \sigma_{vF} - u_F = 30 - 19 = 11\text{kPa}$

$h_{pG} = 6 - 5 = 1$, $u_G = h_{pG} \gamma_w = 10\text{kPa}$, $\sigma'_{vG} = \sigma_{vG} - u_G = 10 - 10 = 0\text{kPa}$

(4) $i_I = \frac{h_E - h_D}{L_I} = \frac{3.9}{1} = 3.9 = \frac{v_I}{k_I} = \frac{1 \times 10^{-4}}{k_I}$, $\therefore k_I = \frac{1}{3.9} \times 10^{-4} = 2.56 \times 10^{-5}\text{m/s}$

- (5) 動水勾配は、CB間の水頭差に正比例、したがって、透水流量速度は、0mの $0.36\text{m}^3/\text{hr}$ から6mの $0\text{m}^3/\text{hr}$ まで直線的に変化する。



第4問 解答例:

4. 図2のような砂地盤中の矢板壁締切り周りの二次元定常透水を考える。図に示す正方形フローネット、水理境界条件、地盤条件(土粒子比重 $G_s=2.7$ 、透水係数 $k=1.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 、飽和単位体積重量 $\gamma_{\text{sat}}=20 \text{kN/m}^3$ 、水の単位体積重量 $\gamma_w=10 \text{kN/m}^3$)を用いて以下の問に答えよ。尚、矢板面は完全に滑でせん断力はゼロと仮定できるものとする。(30)

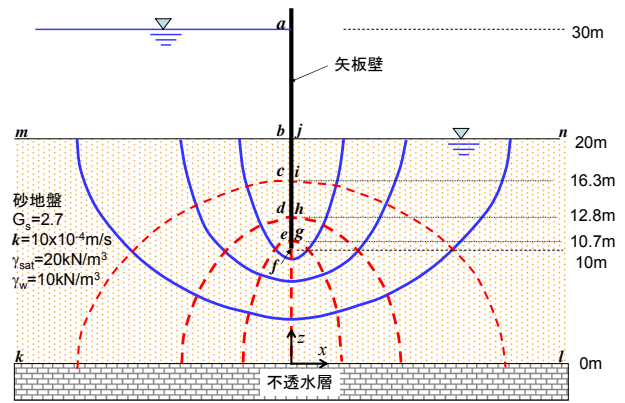


図2

- (1) 境界 mb と af の境界条件式を示せ。この時、座標軸は図に示す x, z を、また全水頭、位置水頭、圧力水頭の記号には、 h, h_e, h_p をそれぞれ用いよ
- (2) この条件での単位奥行き一日当りの透水量を求めよ。
- (3) 矢板の d 点と h 点の水圧(u_d, u_h)、並びに有効鉛直応力($\sigma'_{vd}, \sigma'_{vh}$)はそれぞれいくらか。
- (4) fj 間の平均動水勾配はいくらか。
- (5) fj 間の平均動水勾配が限界動水勾配(i_{cr})となる a 点の地盤表面からの水位はいくらか。
- (6) 矢板周りの透水量を1/10に減らすためには、 mb 上か jn 上のいずれかに透水性の小さな厚さ1mの層を築造することを検討する。その場合、その層の透水係数はどれくらい必要か、また、 mb 上か jn 上のどちら側に築造すべきか、理由を含めて説明せよ。

(1) mb で水頭一定: $h=30\text{m}$ 、 af で x 方向の動水勾配ゼロ $\frac{dh}{dx} = 0$

(2) $q = -k(N_f/N_d)(h_B - h_F)$ より、 $N_f=4, N_d=8$, 単位奥行き幅(1m)、一日当りの透水量は
 $q = 10^{-4} \times (4/8) \times 10 = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m} = 43.2 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$

- (3) 境界条件より、 $h_a = h_b = 30\text{m}$, bj 間の水頭差 $\Delta h = 10\text{m}$ 、正方形フローネットより(等ポテンシャル線の分割数 $N_d=8$, 流管数 $N_f=4$)、等ポテンシャル線間の損失水頭
 $dh = 10/8 = 1.25$
 従って、 d 点の水頭は、 $h_d = 30 - 2dh = 27.5\text{m}$ 、また j 点の水頭は、 $h_j = 20 + 2dh = 22.5\text{m}$

d 点の水圧は、 $h_p = h - h_e, u = h_p \gamma_w$ より、 $u_d = (27.5 - 12.8) \times 10 = 147 \text{ kPa}$ 、 j 点の水圧 $u_j = (22.5 - 12.8) \times 10 = 97 \text{ kPa}$
 d 点の有効応力は、 $\sigma'_{vd} = 10 \times 10 + 20 \times 7.2 - u_d = 97 \text{ kPa}$ 、 j 点の有効応力 $\sigma'_{vj} = 144 - 97 = 47 \text{ kPa}$

(4) 平均動水勾配: $i_{fj} = 5/10 = 0.5$

(5) 限界動水勾配: $i_{cr} = \frac{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w}{\gamma_w} = 1.0 = 2i_{fj}$

従って、 $(h_a - h_j)_{cr}$ は、現在の2倍で、 a の水位は地盤面から20m

- (6) 透水係数の小さな層を造っても、フローネットの形は大きくは変わらないとする。

その条件で流量を現在の1/10 ($1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$)にするためには、 mb と jn 間の水頭差を現在の1/10にする必要があり、 mb の水頭を21mにするか、 jn の水頭を29mにするかのどちらかである。いずれの場合も、1mの層の水頭差は9mであり、その間を通る流量は現在の1/10である。主に透水が生じる mb 間の長さを20mとすると、流速は $5.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

厚さが1mであるため、動水勾配 i は9

したがって、 $k = v/i \sim 5.6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ここでは、追加層を一次元に水が流れると仮定し、 mb の上下でも連続の条件が保たれないため、厳密な回答ではないことに注意。

したがって、 k は $4 \sim 7 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

築造場所としては、上向きの流れとなる jn 側においた場合、透水力でヒービングが発生するため、下向きの流れとなる上流(mb)側にすべき。

第5問 解答例:

5. 土粒子密度 ($\rho_s=2.70\text{g/cm}^3$) が等しい3種類の土(路床材、砂質ローム、粘土質ローム)に対して、突固めによる締固め試験を行った。締固め試験では1,000ml容積のモールド、質量2.5kg、落下高さ30cmのランマーを用い、3層に分けて、各層25回突固めた。その結果、表2に示す結果を得た。以下の問に答えよ。(30)
 注意: 試料2については、湿潤密度と含水比しか与えられていない。

表2 締固め試験結果

試料1					
平均含水比w (%)	70.0	80.0	86.0	93.0	100.0
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.70	0.72	0.76	0.73	0.69
試料2					
平均含水比w (%)	12.5	15.5	18.0	23.0	32.0
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.75	1.87	1.96	1.96	1.93
試料3					
平均含水比w (%)	25.0	30.0	36.0	41.0	52
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.11	1.18	1.26	1.22	1.16

- 添付のグラフ用紙に3試料の締固め曲線を描け。(解答用紙とともに提出せよ。)
- この締固め条件での3試料の最適含水比(w_{opt})、最大乾燥密度(ρ_{dmax})はいくらか。
- 図中にゼロ空隙曲線、飽和度 $S_r=90\%$ 一定曲線を描け。
- 粘土質ロームは、どの試料か、その根拠も含めて答えよ。
- 3つの試料の試験の中で、計測ミスで正しい試験結果になっていない含水比と乾燥密度の関係が1点ある。それは、どの試料の何番目の計測点か。また、その理由も述べよ。
- 試料2を用いて現場締固め試験を行ったところ、含水比 $w=22\%$ で湿潤密度 $\rho_t=1.93\text{g/cm}^3$ となった。この現場締固めにおける締固め度(D_c)、飽和度(S_r)と空隙率(v_a)、間隙比(e)を求めよ。(水の密度 $\rho_w=1.0\text{g/cm}^3$ とせよ)。
- 試料2に対して、容積2,209mlのモールド、質量4.5kg、落下高さ45cm、5層、各層55回による突固めを行った場合、締め固め曲線は概略どのようになるかを図示せよ。また、その理由も簡単に説明せよ。

第5問解答例

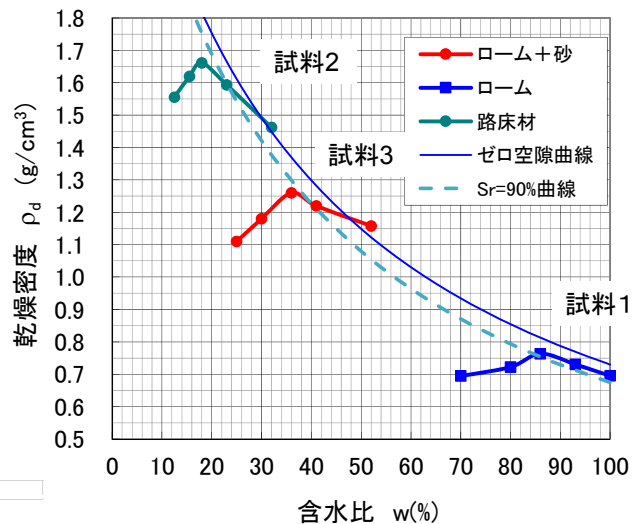
- (1) 締固め曲線は右図 $\rho_d = \frac{\rho_t}{1+w/100}$

- (2) w_{opt} 、 ρ_{dmax} は、締固め曲線より

	試料1	試料2	試料3
w_{opt} (%)	86	18	36
ρ_{dmax} (g/cm ³)	0.76	1.66	1.26

- (3) ゼロ空隙曲線は右図 $(\rho_d)_{sat} = \frac{\rho_s}{1+e} = \frac{\rho_w}{\frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{w}{100}}$

飽和度90%曲線右図 $(\rho_d)_{Sr} = \frac{\rho_s}{1+e} = \frac{\rho_w}{\frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{w}{S_r}}$



- (4) 試料1: 粘土質ローム(最適含水比最も大きく、最大乾燥密度最小)
 試料2: 路床材(もっとも工学的に優れている(密度が大きい))
 試料3: 砂質ローム(粘土質ロームに比べて左上に来る)

- (5) 試料3の5番目のサンプル、最大乾燥密度がゼロ空隙曲線の上に位置したから。(試料2の5番目もOK)

- (6) 現場締固め土の乾燥密度は、 $\gamma_d=1.582\text{g/cm}$

$$D_c = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \times 100 = 95.3\%, \quad \rho_d = \frac{\rho_s}{1+e} \quad \text{より} \quad e = \frac{2.7}{1.573} - 1 = 0.707$$

$$S_r = \frac{\rho_s}{\rho_w} \frac{w}{e} = 84.0\%, \quad v_a = \frac{V_a}{V} \times 100 = \frac{V_v - V_w}{V_s + V_v} \times 100 = \frac{e(100 - S_r)}{1+e} = 6.6\%$$

- (7) 締め固めエネルギーが、551KJ/m³から2,471KJ/m³と約5倍になるため、相対的に大きなサクションでも粒子の移動が可能となり、最適含水比は減少し、相対密度は大きくなる。従って、締め固め曲線は左上方向に移動する。

第6問 解答例

6. 不飽和状態で締固めた土が、雨水浸透などにより飽和状態に近くなると強度や、剛性、透水性等が変化する。これらがどのように変化し、また何故変化するのかを簡単に説明せよ。(10)

解答例： 締固め時は、土は不飽和状態であり、飽和することにより、

・強度の低下や、圧縮性の増加、沈下が生じる。 => (理由)不飽和状態で発揮されているサクションが、飽和することにより減少、消失するため。

・透水系数は増加する。=> (理由)不飽和時は、空気部では水を通すことができず、微細な空気の存在により、飽和状態に比べると、透水のための有効断面積が小さくなるとともに、仮想的な流管断面が小さくなる。従って、不飽和時の透水系数は、飽和時に比べると小さい。