

2013年 土質力学第一期末試験問題解答例

第1問解答例

1. 以下の問に答えよ。

(1) 以下の用語を和訳せよ。

- i) optimum water content, ii) void ratio, iii) degree of saturation, iv) effective stress, v) artesian well
 解答:i) 最適含水比、ii) 間隙比、iii) 飽和度、iv) 有効応力、v) 掘抜き井戸

(2) 透水力による地盤の破壊現象としてボイリング、パイピングがある。これらについて簡単に説明せよ。

ボイリング: 粘着力がない砂質土内で上向き透水による透水力が土粒子の重力と等しくなるか、それ以上になると、土の有効応力(粒子間接触力)がゼロとなり、強度が失われて、砂が液体のようにふるまう現象。土粒子に作用する有効重量(自重から浮力を引いたもの)と透水力が釣り合うときの動水勾配を限界動水勾配(i_{crit})といい、 $i_{crit}\gamma_w = \gamma'$ (有効単位体積重量)となる。

パイピング: 粘着力がある粘性土の場合、有効応力ゼロの状態でも強度があるためボイリングは起こらないが、動水勾配*i*を更に増加させていくと、局所的な粘土の流れ出しによる細孔が現れる。これがパイピング(piping)である。動水勾配の大きな流れが継続する、孔が発達し粘土層を貫通し、大量の水の流出、ダムや堤防等の破壊につながる。

(3) 以下の日本語を英訳し、それぞれについて簡単に説明せよ。

i) 有効応力の原理(Principle of effective stress)

飽和した土中内の応力(全応力 σ)は、有効応力(σ')と等方的な間隙水圧(u)の和で表される。全応力と間隙水圧の差である有効応力($\sigma' = \sigma - u$)は、すべて土粒子骨格に作用するものである。

したがって、土の圧縮、せん断、強度、剛性と言った応力の変化に伴う計測しうる量は、もっぱら有効応力の変化によって生じる。言い換えると、これらの量の変化がないということは有効応力も変化していないということである。

ii) 動水勾配(hydraulic gradient)

流れの中で Δs の距離がある流線間のピエゾ水頭の差が Δh である場合、流れ方向を正の向きとすると、動水勾配*i*は $i = -\Delta h / \Delta s$ で与えられる。土中水の流量速度*v*に関するダルシーの法則は、 $v = ki$ (*k*: 透水係数)で与えられる。

iii) プロクターの原理 (Proctor's principle)

含水比以外の条件を一定にして、土を締め固めた場合、乾燥密度が最大となる含水比(最適含水比)が存在する。

第2問解答例

(1) 変水位透水試験の透水係数

$$k = \frac{aL}{A} \cdot \frac{\ln(h_0/h_1)}{t_1 - t_0} = \frac{1.0 \times 10}{100} \cdot \frac{\ln(2)}{100} \quad (1)$$

$$= 7.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec} = 7.0 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

(2) 透水係数*k*は、土固有の定数ではなく、流体の密度や粘性係数によって変化する(右式)。

$$k = \frac{k_s \rho g}{\mu} \quad (2)$$

絶対透水係数 ← k_s
流体の密度 ← ρ
流体の粘性係数 ← μ

従って、粘性係数が9倍、密度が0.9倍になると、計測される透水係数は1/10となる。

式(1)より、透水係数が1/10になると $\ln(h_0/h_1)$ も $\ln(2)$ の1/10になる。

$$\frac{\ln(100/h)}{k/10} = \frac{\ln(2)}{k}, \quad \ln(100/h) = \ln(2)/10, \quad 100/h = 2^{1/10},$$

$$\therefore h = \frac{100}{2^{1/10}} = 93.3 \text{ cm}$$

(3) 理論的には、どのような土質でも適用は可能であるが、透水係数が多いとスタンドパイプの水位の降下スピード速すぎて、正確な測定が難しく。一方、小さすぎると非常に長い実験時間を要する。従って、適用範囲は、透水係数が大きすぎず、小さすぎずということになり。 $10^{-9} \text{ m/s} < k < 10^{-4} \text{ m/s}$ 程度(特殊な変水位装置はのぞく)。

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。

(1) 流れがないので、水頭損失無し、したがって、全水頭はすべて同じで、 $h_C=h_D=h_E=3m$ 。

間隙水圧は、静水圧なので、 $u=z\gamma_w=u_C=30kPa, u_D=20kPa, u_E=10kPa$

全応力は、 $\sigma_C=1x\gamma_w+2x\gamma_{sat}=50kPa, \sigma_D=1x\gamma_w+1x\gamma_{sat}=30kPa, \sigma_E=1x\gamma_w=10kPa$

従って、有効応力 $\sigma'=\sigma-u$ より、 $\sigma'_C=20kPa, \sigma'_D=10kPa, \sigma'_E=0kPa$

(2) $v = Q/A, v_{II} = 0.072m/hr = 2.0 \times 10^{-5} m/s, \quad v_I = 0.288m/hr = 8.0 \times 10^{-5} m/s$

(3) BC間、EF間では損失無し、従って、 $h_B=h_C=4m, h_E=h_F=3m$ (B,Fでは、圧力水頭ゼロ、位置水頭のみ)

より、砂2について、

$$v = ki \text{より} \quad i_2 = \frac{h_C - h_D}{L_2} = \frac{v_2}{k_2} = \frac{2 \times 10^{-5}}{1 \times 10^{-4}} = 0.2, \quad \therefore h_D = h_C - 0.2 = 3.8m$$

$$\underline{h_C = 4m, \quad h_D = 3.8m, \quad h_E = 3m,}$$

(4) $h_p=h-h_e$ より、 $h_{pC}=4m, \quad h_{pD}=2.8m$ 。 $u=h_p\gamma_w$ より、 $u_{pC}=40kPa, \quad u_{pD}=28kPa$ 、

$$\underline{\sigma'_D=50-40=10kPa, \quad \sigma'_D=30-28=2kPa}$$

(5) 砂1について、 $i_1 = \frac{h_E - h_D}{L_1} = 0.8, \quad k_1 = \frac{v_1}{i_1} = 1 \times 10^{-4} m/s$

(6) 断面積(1/4倍)、透水係数(1倍)と連続条件より、砂1の動水勾配は砂2に比べ4倍大きくなる。

従って、砂1が先に限界動水勾配に達する。

砂1の限界動水勾配は

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_w} = 1.0$$

1mの水頭差で $i_1=0.8$ であったので、限界動水勾配を与える水頭差は $\Delta h=1/0.8=10/8=1.25m$

第4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。

(1) z方向の動水勾配ゼロ $\frac{\partial h}{\partial z} = 0$

(2) 境界条件より、 $h_A=h_B=20m, h_H=12m$ 。BF間の水頭差 $\Delta h=8m$ 、

正方形フローネットより(等ポテンシャル線の分割数 $N_d=14$ 、流管数 $N_f=4$)、等ポテンシャル線間の損失水頭 $dh=8/14$ 、BからE点までの等ポテンシャル線の数は7の水頭は、

従って、E点の全水頭は $h_E = h_B - 7dh = 16m$ 、

E点の水圧は、 $h_p=h-h_e, u=h_p\gamma_w$ より、C

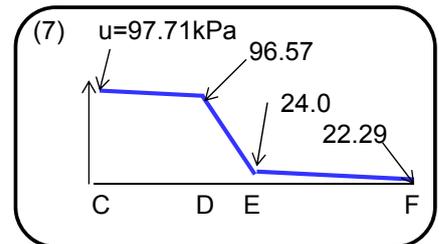
$$h_{pE} = h_E - h_{eE} = 16 - 10 = 6m,$$

$$u_B = 80kPa, \quad u_E = 60kPa, \quad u_H = 0kPa,$$

(3) G点の全水頭は $h_{pJ} = h_H + 4/7 = 12 + 4/7(m), \quad h_{pJ} = h_H + 4/7, \quad h_{pG} = u_G - u_{eG} = 3 + 4/7,$

$$u_G = \gamma_w h_{pG} = 35.7kPa,$$

$$\underline{\text{深さ3mの全応力: } \sigma_{vE} = \gamma_{sat} z = 60kPa, \quad \sigma'_{vG} = 3\gamma_{sat} - u_G = 24.3kPa}$$



流れが平行であるため、J点近傍の正方形同じサイズで一辺が2.5m

(4) D点付近の正方形の一辺は2.5m、従って、 $i_D = dh/L = (4/7)/2.5 = 0.229, \quad v = i_D k = 1.15 \times 10^{-5} m/s$

(5) $q = -k(N_f/N_d)(h_B - h_F)$ より、単位奥行き幅(1m)、一日当りの透水量は $Q = 5 \times 10^{-5} \times \frac{4}{14} \times 8 \times 3600 \times 24 = 9.9m^3/day$

(6) 流量を1/10にするためには、DE間以外の動水勾配は、1/10となり、DE間以外の損失水頭は $4/7 \times 13 \times 1/10$ となり、

従って、DE間の損失水頭 $\Delta h'_{DE}$ は $8 - 4/7 \times 13/10 = 7.26m$ 、動水勾配は $i'_{DE} = \Delta h'_{DE}/2.5 = 2.90$ 、動水勾配、DE間の i_k が原

地盤の1/10になるので、 $i'_{DEk}_{DE} = 1/10 i_{DEk}_{DE} \Rightarrow k'_{DE} = 1/10 (i_{DE}/i'_{DE}) k_{DE} = ((4/7)/2.5)/2.9 \times 5 \times 10^{-6} = 3.9 \times 10^{-7} m/s$

第5問解答例

(1) エネルギー密度 $E_d = M \cdot g \cdot h \cdot N_B \cdot N_L / V$ ここで、 N_B :1層当り落下回数、 N_L :層数
 $= 4.5 \times 9.8 \times 0.45 \times 55 \times 5 / (2,209 \times 10^{-6}) = 2,471 \times 10^3 \text{ Nm} / \text{m}^3 = 2,471 \text{ kJ} / \text{m}^3$

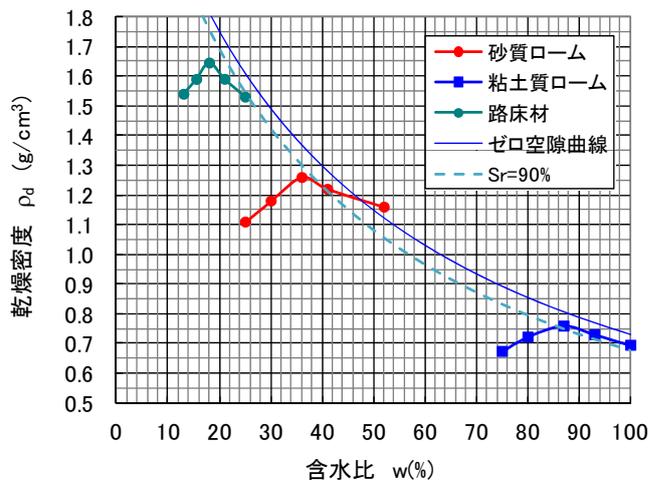
(2) 締め固め曲線は右図 $\rho_d = \frac{\rho_t}{1+w/100}$

(3) w_{opt} 、 ρ_{dmax} は、締め固め曲線より

	試料1	試料2	試料3
w_{opt} (%)	18	37	87
ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.65	1.27	0.76

(4) 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 $(\rho_d)_{Sr} = \frac{\rho_s}{1+e} = \frac{\rho_w}{\frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{w}{S_r}}$



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

(6) 試料2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。

(7) 現場締め固め土の乾燥密度は、 $\rho_d = 1.573 \text{ g/cm}^3$

$$D_c = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \times 100 = 95\%, \quad \rho_d = \frac{\rho_s}{1+e} \quad \text{より} \quad e = \frac{2.7}{1.573} - 1 = 0.716$$

$$S_r = \frac{\rho_s}{\rho_w} w / e = 82.9\%, \quad v_a = \frac{V_a}{V} \times 100 = \frac{V_v - V_w}{V_s + V_v} \times 100 = \frac{e(100 - S_r)}{1+e} = 7.1\%$$

(8) 締め固めエネルギーが、551KJ/m³と約1/5になるため、締め固めの為には、より潤滑材 (水) が必要になり、乾燥密度は低下し、最適含水比は増加する。従って、締め固め曲線は右下方向に移動する。

第6問 解答例

締め固め時は、土は不飽和状態であり、土中にはかなりのサクシオンが生じている。しかし、施工後、降雨等により飽和度が上がるとサクシオンが減少、消失する。これに伴い、強度の低下や、圧縮性の増加、沈下が生じる。この割合は、含水比の変化が大きいほど大きい。従って、同じ締め固め度(乾燥密度)を得るのであれば、初期含水比が大きく、飽和度が高い状態のほうが、施工後の飽和度の変化は小さく、上述のようなトラブルを避けることができる。