『書き込み式 はじめての土質力学』の書き込み欄の答えと章末問題解答
（2023 年 2 月 22 日修正版）

扉裏「土質力学の父」

①テルツアギー

1 章　土　の　諸　元

本 文 の 空 欄

図 1.1　①土粒子（soil particle）　②水（water）　③空気（air）　④間隙（void）

図 1.2　①V　②V_v　③V_a　④V_w　⑤V_s　⑥m_w　⑦m_s　⑧m

図 1.3　①乾燥 dry　②湿潤 wet　③飽和 saturation

図 1.4　①1　②1 000　③1　④1　⑤1　⑥1 000

図 1.5　②水の密度　ρ_w　m_w / V_w　1 g/cm^3　③土粒子の密度　ρ_s　m_s / V_s　2.6 g/cm^3
④乾燥密度　ρ_d　m / V　1.4 g/cm^3　⑤湿潤密度　ρ_t　m / V　1.7 g/cm^3
⑥飽和密度　ρ_{sat}　m / V　1.8 g/cm^3　（②以外の値は，だいたい近ければよい）

表 1.1　①水の密度ρ_w　②土粒子の密度ρ_s　③乾燥密度ρ_d　④湿潤密度ρ_t　⑤飽和密度ρ_{sat}
⑥水の単位体積重量γ_w ⑦乾燥単位体積重量γ_d　⑧湿潤単位体積重量γ_t
⑨飽和単位体積重量γ_{sat}

図 1.6　①粒径

表 1.2　①粘土　②シルト　③礫　④clay　⑤silt　⑥gravel　⑦細粒分　⑧粗粒分

図 1.8　①粒径　②通過質量百分率　③A　④D_{10}　⑤D_{30}　⑥D_{60}

図 1.9　①収縮限界 w_s　②塑性限界 w_p　③液性限界 w_L ④塑性指数 I_p
⑤コンシステンシー限界（アッターベルグ限界）

表 1.3　①1.98　②1.71

図 1.12　①最大乾燥密度$\rho_{d\max}$　②最適含水比 w_{opt}　③ゼロ空気間隙曲線

図 1.13　①標準貫入試験　②N 値

復　習　問　題

【1】①土粒子　②水　③空気　④間隙　（②と③は順不同）

【2】①質量　②土粒子の質量　③間隙の体積　④V_w　⑤m_w

【3】①湿潤　②飽和　（①と②は順不同）

【4】①間隙比　②V_v / V_s　③緩い　④間隙率　⑤V_v / V　⑥緩い　⑦含水比　⑧m_w / m_s　⑨多い
⑩飽和度　⑪V_w / V_v　⑫多い

【5】①密度　②水の密度　③土粒子の密度　④乾燥密度　⑤湿潤密度　⑥飽和密度

⑦1.0 g/cm^3　⑧2.6 g/cm^3（近い値でよい）

【6】①単位体積重量　②水の単位体積重量　③乾燥単位体積重量　④湿潤単位体積重量
⑤飽和単位体積重量　⑥9.8 kN/m^3

【7】①粒径　②粘土　③シルト　④礫　⑤粒度試験　⑥ふるい分析　⑦沈降分析
⑧粒径加積曲線　⑨粒径　⑩通過質量百分率

【8】①コンシステンシー　②収縮限界 w_s　③塑性限界 w_p　④液性限界 w_L
⑤コンシステンシー限界（アッターベルグ限界）

【9】①締固め試験　②締固め曲線　③含水比　④乾燥密度　⑤最大乾燥密度$\rho_{d\max}$
⑥最適含水比 w_{opt}　⑦ゼロ空気間隙曲線

【10】①標準貫入試験　②N 値　③強い

基　本　問　題

【1】(1)　①（全）質量：m =1000 g　②乾燥質量：m_s=500 g

(2)　水の質量は m_w=500 g なので，含水比は $w = m_w/m_s$ = 500/500 = 1.0 = 100 %となる。

【2】(1)　V = 1000 cm^3

$\rho_s = m_s / V_s$ = 1300/ 2.6 なので，V_s = 500 cm^3 となる。

$V_v = V - V_s$ = 1000 - 500 = 500 cm^3

(2)　$e = V_v / V_s$ =1.0

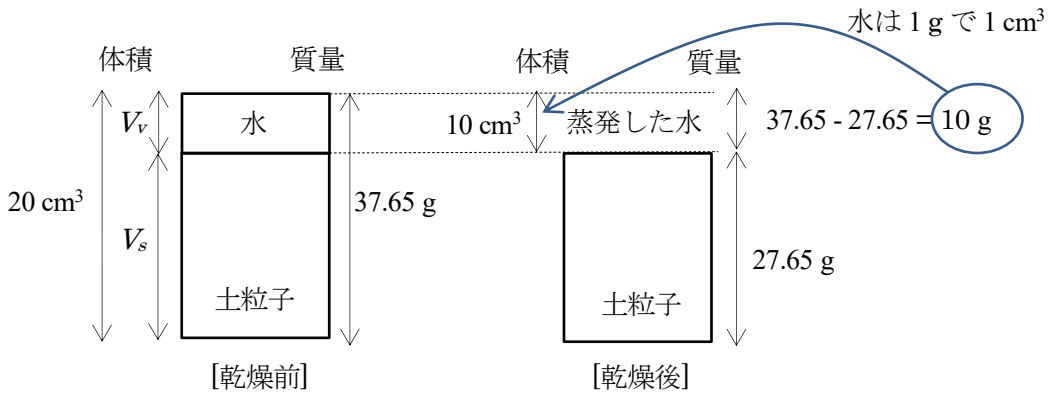
(3)　$\rho_d = m / V = m_s / V$ =1 300/1 000 =1.3 g/cm^3

（乾燥土では m_w = 0 なので，$m = m_s + m_w = m_s$）

$\gamma_d = \rho_d \times g$ =1.3×9.8 = 12.7 kN/m^3

【3】水の質量：$m_w = m - m_s$ = 35.0 - 25.0 = 10.0 g なので，
含水比：$w = m_w/m_s$ = 10/25 = 0.4 = 40 %　となる。

【4】問題が難しく見えたら，三相モデルを書くとよい。「飽和した粘土」なので空気はいらない。**解図 1.1** より，間隙比：$e = V_v / V_s$ = 10/10 = 1.0 となる。



解図 1.1

【5】$w = 20$ %なので，$w = 0.2 = m_w / m_s$，すなわち $m_w = 0.2m_s$ となる。よって，
$m = m_w + m_s = 0.2m_s + m_s = 1.2m_s = 120$ なので，土粒子の質量は $m_s = 100$ g となる。

【6】問題文の条件を並べると，$S_r = V_w / V_v = 0.8$，$w = m_w / m_s = 0.2$，$\rho_s = m_s / V_s = 2.5$ g/cm^3 となる。

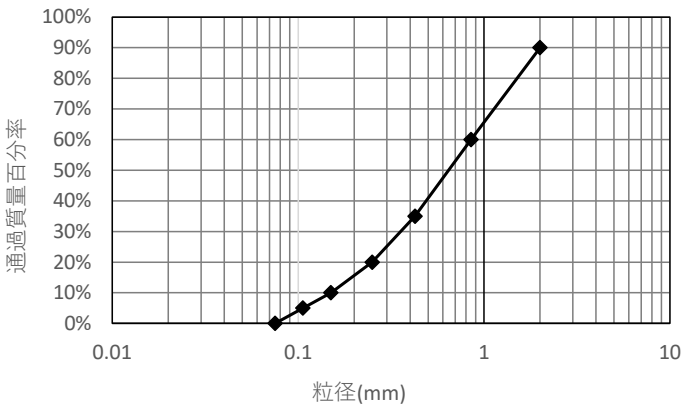
ここで，V_v=10 cm^3 とする（問題文中に体積や質量に関する数字がまったくないので，一つだけこちらで勝手に決めてよい。V=100 cm^3 でも m_s=100 g でもなんでもよいが，ここでは計算しやすそうな V_v=10 cm^3 とした。どれで計算しても答えは同じになる）。

以上より，V_w= 8 cm^3，m_w= 8 g（水は 1 cm^3 で 1 g），m_s= 40 g，V_s= 16 cm^3 が得られる。湿潤密度は$\rho_t = m / V = (m_w + m_s) / (V_v + V_s)$ = (8+40) / (10+16) = 48÷26 = 1.85 g/cm^3 となる。なお，難問の式(1. 20) と(1. 21)を利用しても解くことができる。

【7】(1)　使用した土はふるいのどこかに残るので，総質量は 30+90+75+45+30+15+15=300 g となる。

(2)　① 全 300 g のうち 30 g だけふるいに残るので，通過したのは 300 – 30 = 270 g となる。② 2 mm を通過した 270 g のうち，90g はふるいに残るので，通過したのは 270 - 90 =180 g となる。以下同様にして，③105　④60　⑤30　⑥15　⑦0　⑧ 通過した質量 270 g は，全体 300 g に対して，270÷300 = 0.9 = 90 %である。以下同様にして，⑨60　⑩35　⑪20　⑫10　⑬5　⑭0 となる。

(3)　これまでの結果から**解図 1.2** を書く。



解図 1.2

(4) グラフから読み取ると，D_{10}=0.15 mm，D_{30}=0.37 mm，D_{60}=0.85 mm（D_{30} は近い値であればよい）

(5)　$U_c = D_{60} / D_{10}$ = 0.85/0.15 = 5.67

$U_c' = (D_{30})^2 / (D_{10} D_{60})$ = 0.37×0.37÷0.15÷0.85 = 1.07

(6)　$1 < U_c' < 3$ は満たすが，$U_c \geqq 10$ には当てはまらないので，粒度分布がよいとはいえない。

【8】 (1)　1 L=1 000 cm^3 なので，①1 500 ÷ 1 000 = 1.50 g/cm^3，同様にして，②1.58　③1.70　④1.78　⑤1.85　⑥1.87　⑦1.88　⑧$w = m_w/m_s = 0.03$ なので $m_w = 0.03m_s$ となる。

また，$m = m_w + m_s = 0.03m_s + m_s = 1.03 \times m_s = 1\ 500$ g なので，$m_s = 1\ 500 \div 1.03 = 1\ 456$ g となる。すると，乾燥密度：$\rho_d = m_s/V = 1.46$ g/cm^3 となる。

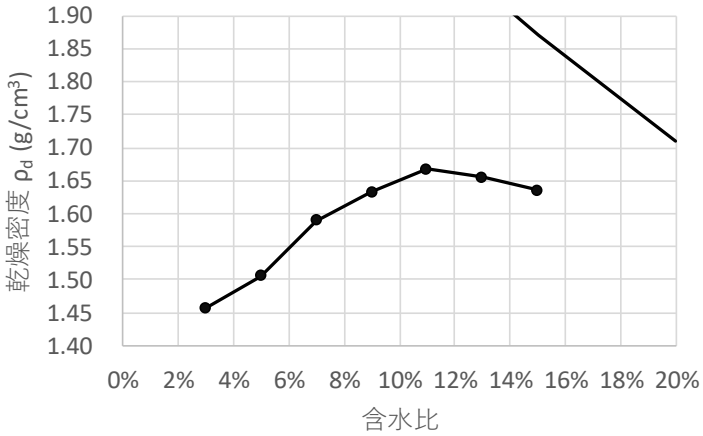
同様にして

⑨1.50 g/cm^3　⑩1.59 g/cm^3　⑪1.63 g/cm^3　⑫1.67 g/cm^3　⑬1.65 g/cm^3　⑭1.63 g/cm^3

となる。

なお，難問の式(1. 19)を知っていると，もっと簡単に計算できる。

(2)　これまでの結果から**解図 1.3** を書く。



解図 1.3

(3)　グラフの山のてっぺんに着目すると，$\rho_{d\,\max} = 1.67$ g/cm^3，$w_{opt} = 11$ %となる。

(4)　難問の式(1. 20) と(1. 21)から，$\rho_s = 2.6$ g/cm^3，$\rho_w = 1.0$ g/cm^3，$S_r = 100$ %であることに注意すると，**解表 1.1** の一番右の行（ゼロ空気間隙曲線）がつくられる。すると，解図 1.3 の右上にゼロ空気間隙曲線が得られる。

(5)　$D_c = \rho_d/\rho_{d\,\max} = 1.5/1.67 = 90$ %

解表 1.1

体積(cm^3)	質量(g)	湿潤密度(g/cm^3)	含水比	乾燥密度(g/cm^3)	ゼロ空気間隙曲線
1000	1500	1.50	0.03	1.46	2.41
1000	1580	1.58	0.05	1.50	2.30
1000	1700	1.70	0.07	1.59	2.20
1000	1780	1.78	0.09	1.63	2.11
1000	1850	1.85	0.11	1.67	2.02
1000	1870	1.87	0.13	1.65	1.94
1000	1880	1.88	0.15	1.63	1.87
		作図のため追加→	0.2		1.71

難　　問

右辺（複雑なほう）からスタートするとよい。

式(1.19)

$$\frac{\rho_t}{1+w}=\frac{m/V}{1+m_w/m_s}=\frac{mm_s/V}{m_s+m_w}=\frac{mm_s/V}{m}=\frac{m_s}{V}=\rho_d$$

式(1.20)

$$w\frac{\rho_s}{\rho_w}=\frac{m_w}{m_s}\frac{m_s/V_s}{m_w/V_w}=\frac{V_w}{V_s}=\frac{V_v}{V_s}\frac{V_w}{V_v}=eS_r$$

式(1.21)

$$\frac{\rho_s}{\rho_d}-1=\frac{m_s/V_s}{m/V}-1=\frac{m_s/V_s}{m_s/V}-1=\frac{V}{V_s}-1=\frac{V-V_s}{V_s}=\frac{V_v}{V_s}=e$$

式(1.22)

$$\frac{e}{1+e}=\frac{V_v/V_s}{1+V_v/V_s}=\frac{V_v}{V_s+V_v}=\frac{V_v}{V}=n$$

公務員試験問題

【1】　式(1. 21)より，$0.60=2.60/\rho_d-1$ なので，$\rho_d=1.625$ g/cm^3 となる。また，式(1. 19)より，$\rho_t=1.625\times(1+0.2)=1.95$ g/cm^3 となる。

【2】　式(1. 21)より，$e=\rho_s/\rho_d-1=2.7/1.6-1=0.687\,5 \fallingdotseq 0.69$ となる。よって「ウ」が正解である。

2章　土　中　の　水

本 文 の 空 欄

図 2.1　① Avt

図 2.2　① 流速〔m/s〕　②透水係数〔m/s〕　③動水勾配〔単位なし〕　④水頭差〔m〕
　　⑤$\Delta h/L$　⑥ki　（単位の〔m〕は〔cm〕でもよい）

図 2.3　①にくい　②やすい

図 2.4　①室内透水試験　②現場透水試験

図 2.8　①透水層　②不透水層　③揚水　④観測井

図 2.9　①不透水層　②透水層　③揚水　④観測井

図 2.10　①5　②11　③流線　④等ポテンシャル線

図 2.12　①Δh/11〔m〕　②3Δh/11〔m〕　③10Δh/11〔m〕

図 2.13　①毛管現象

復　習　問　題

【1】①透水係数 k　②動水勾配 i　③$v=ki$　ダルシーの法則　④$10^{-2}$ cm/s　⑤$10^{-9}$ cm/s　⑥粘土
(④と⑤は近い値であればよい)

【2】①透水試験　②室内透水試験　③現場透水試験　④定水位透水試験　⑤変水位透水試験
⑥自由地下水　⑦被圧地下水　（⑥と⑦は順不同）

【3】①流線網　②流線　③等ポテンシャル線

【4】①毛管現象　②サクション　③粘土

基　本　問　題

【1】(1)　砂（必ずしも砂とは限らないが，表 2.1 に従った）

(2)　直径 2 cm なので半径は 1 cm，すると断面積は $A=1\times1\times3.14=3.14$ cm^2 となる。

(3)　流速：$v=ki=k(\Delta h/L)=3.0\times10^{-2}\times(10/100)=3.0\times10^{-3}$ cm/s

(4)　流量：$q=Av=3.14\times3.0\times10^{-3}=9.42\times10^{-3}$ cm^3/s

【2】　まず単位を〔cm〕と〔s〕に統一する。すると $L=100$ cm，　$k=5.0\times10^{-3}$ cm/s であり，5 分間は 300 秒（s）である。よって，$Q=qt=Avt=Akit=Ak(\Delta h/L)t=200\times5.0\times10^{-3}\times(5/100)\times300=15$ cm^3 となる。

【3】(1)　①$A=100$ cm^2　②$L=200$ cm　③$t=300$ s　④$Q=300$ cm^3　⑤$\Delta h=100$ cm
（1m=100cm なので，両辺 2 回掛けて 1m^2=10 000cm^2，また両辺 3 回かけて 1m^3=1 000 000cm^3）

(2)　1 秒間の流量 $q=Q/t=1$ cm^3/s なので $k=qL/(A\Delta h)=200/(100\times100)=0.02$ cm/s となる。

(3)　砂（必ずしも砂とは限らないが，表 2.1 に従った）

【4】(1)　①$A=100$cm^2　②$L=6$cm　③$t=230$s　④$a=1$cm^2　⑤$h_1=200$cm　⑥$h_2=100$cm

(2)　$k = (2.3\times1\times6/(100\times230))\times\log(200/100) = 6\times10^{-4}\times0.3 = 1.8\times10^{-4}$ cm/s

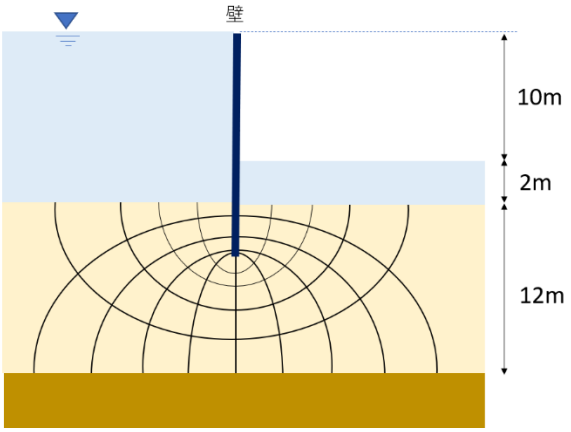
(3)　シルト（必ずしもシルトとは限らないが，表 2.1 に従った）

【5】 (1)被圧地下水

(2)　$k = (2.3\times31.4/(2\times3.14\times2.3\times(5-4))) \times \log_{10}(10/5) = 1.5$ m/h

(3)　$k = 1.5$ m/h = 150 cm/h = 150÷3 600 cm/s = 0.04 cm/s なので砂である。

【6】(1)　**解図 2.1** は例で，必ずしもこのとおりになる必要はない。ただし「流線とポテンシャル線は直角」「区切りは正方形状」はおさえる必要がある。



解図 2.1

(2)　解図 2.1 に従うと，流管の数：$N_f = 5$，流管の分割数：$N_d = 10$ である。また，透水係数 $k = 5.0\times10^{-3}$ cm/s = 5.0×10^{-5} m/s である。奥行き 1m として

1 秒当りの流量：$q = k\times\Delta h\times(N_f / N_d)\times1 = 5.0\times10^{-5}\times10\times(5/10)\times1 = 2.5\times10^{-4}$ m^3/s

1 日当りの流量：$Q = 60\times60\times24 \times q = 21.6$ m^3/d

【7】(1)　$e = V_v/V_s = (V - V_s)/V_s = V/V_s - 1 = V/(m_s/\rho_s) - 1 = 1\,600/(2\,080/2.6) - 1 = 1.0$

(2)　$D_{10} = 0.5$mm = 0.05cm なので，最大値 $C = 0.5$cm^2 として，$h_c = 0.5/(1.0\times0.05) = 10$ cm となる。

難　　問

【1】(1)　流量：$q = Av = Aki = Ak(\Delta h/L)$ より，式(2.7)が得られる。

(2)　例えば，本書巻末の文献 3)の pp.27-28，文献 4)の pp.70-71，文献 5)の pp.86-87 を参照。

(3)　例えば，文献 3)の p.28，文献 4)の pp.81-82，文献 5)の pp.87-88 を参照。

(4)　例えば，文献 3)の p.29，文献 4)の pp.81-82，文献 5)の pp.87-88 を参照。

【2】(1)　例えば，文献 4)の pp.73-74 を参照。

(2)　例えば，文献 3)の pp.33-34，文献 4)の pp.74-75，文献 5)の pp.89-90 を参照。

公務員試験問題

$N_f = 5$, $N_d = 10$, $\Delta h = 4.5\text{m}$, $k = 5.0\times10^{-2}$ m/s なので

奥行き 1m かつ 1 秒当りの流量：$q = 5.0\times10^{-2}\times4.5\times5/10 = 1.125\times10^{-1}$ m^3/s

奥行き 1m かつ 1 日当りの流量：$Q = q\times86\,400 = 9\,720$ m^3

となる（奥行き 1m との記載はないので，こちらで規定してよいだろう）。

3章　土　の　応　力

本 文 の 空 欄

図 3.1　①10 kN/m^2　②1 kN/m^2

図 3.2　①有効応力σ'　②間隙水圧 u　③全応力σ

復　習　問　題

【1】①N（kN でもよい）　②応力　③kN/m^2

【2】①有効応力σ'　②間隙水圧 u　③全応力σ　④有効応力の原理　kN/m^2

【3】①掛ける

基　本　問　題

【1】① 全応力：$\sigma = \gamma_{sat} \times z = 20 \times 5 = 100$ kN/m^2

② 間隙水圧：$u = \gamma_w \times z = 9.8 \times 5 = 49$ kN/m^2

③ 有効応力：$\sigma' = \sigma - u = 100 - 49 = 51$ kN/m^2

【2】① 全応力：$\sigma = \gamma_d \times z_1 + \gamma_{sat} \times z_2 = 15 \times 5 + 20 \times 5 = 175$ kN/m^2

② 間隙水圧：$u = \gamma_w \times z_2 = 9.8 \times 5 = 49$ kN/m^2

③ 有効応力：$\sigma' = \sigma - u = 175 - 49 = 126$ kN/m^2

【3】① 全応力：$\sigma = \gamma_{sat} \times z + q = 20 \times 5 + 20 = 120$ kN/m^2

② 間隙水圧：$u = \gamma_w \times z = 9.8 \times 5 = 49$ kN/m^2

③ 有効応力：$\sigma' = \sigma - u = 120 - 49 = 71$ kN/m^2

難　　問

まず次元（kN/m^2）を考えると，「イ」と「ウ」が残る。そして地盤が弾性体であれば，地盤内の応力にヤング率は関係しない，という事実がある。つまり鋼のような硬い地盤だろうが，豆腐のような軟らかい地盤だろうが，地盤内の応力は同じなのである。すると式内に E がない，「ウ」が答えとなる。

詳しい式の導出については，例えば，文献 1)の pp.226-235 を参照してほしい。

公務員試験問題

全応力：$\sigma = \gamma_t \times z_1 + \gamma_{sat} \times z_2 = 17 \times 2 + 20 \times 5 = 134$ kN/m^2

間隙水圧：$u = \gamma_w \times z_2 = 9.8 \times 5 = 49$ kN/m^2

有効応力：$\sigma' = \sigma - u = 134 - 49 = 85$ kN/m^2

4章　圧　　密

本 文 の 空 欄

図 4.1　①粘土

図 4.4　①圧密降伏点　②過圧密領域　③正規圧密領域　④圧密降伏応力 P_c　⑤圧縮指数 C_c

図 4.5　① p_2 -p_1　② e_1-e_2　③ $(e_1-e_2)/(p_2-p_1)$　④ $(e_1-e_2)/(\log_{10}p_2 - \log_{10}p_1)$　⑤ $-(e_1-e_2)/(\log_{10}p_2 - \log_{10}p_1)$

図 4.7　① $(1+e_0)\Delta H/H$　② $e_0-(1+e_0)\Delta H/H$

復　習　問　題

【1】①飽和　②粘土　③長期間　④圧密

【2】①圧密試験　②e-log P 曲線　③e 間隙比　④$\log_{10}P$ 圧密応力　⑤圧密降伏点
⑥圧密降伏応力　⑦過圧密領域　⑧正規圧密領域　⑨圧縮指数 C_c

【3】 ①e-log P 法：　$S = H\frac{\Delta e}{1+e_0}$

②C_c 法：　$S = H\frac{C_c}{1+e_0}\log_{10}\frac{P_1}{P_0}$

③m_v 法：　$S = Hm_v\Delta P$

【4】①圧密方程式　②テルツアギー　③圧密度 U　④時間係数 T_v　⑤$T_v = \frac{C_v t}{(H')^2}$

基　本　問　題

【1】(1)　$V = 100\times2 = 200$ cm^3　(2)　$V_s = m_s/\rho_s = 260/2.6 = 100$ cm^3

(3)　$V_v = V - V_s = 200-100 = 100$ cm^3　(4)　$e = V_v/V_s = 100/100 = 1.0$

(5)　$V' = 100\times1.9 = 190$ cm^3　(6)　$V_s' = 100$ cm^3（圧密で失われるのは水のみ）

(7)　$V_v' = 190 – 100 = 90$ cm^3　(8) $e' = V_v'/V_s' = 90/100 = 0.9$

(9)　式(4. 4)より，$10^{-3} = 0.02\times m_v\times10$ なので，体積圧縮係数は $m_v = 5\times10^{-3}$ m^2/kN となる。

【2】式(4. 3)より，圧縮指数は $C_c = (1.0 - 0.8)/(\log_{10}1\,000-\log_{10}100) = 0.2/(3-2) = 0.2$ となる。

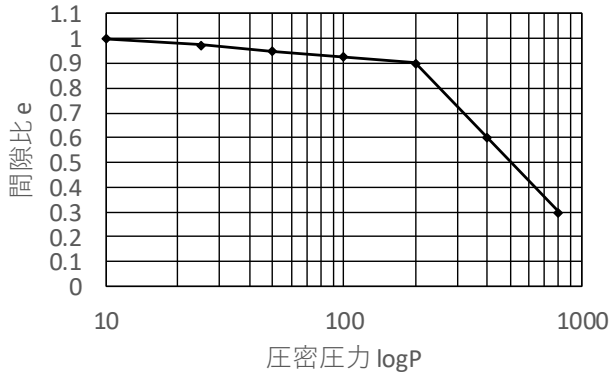
【3】式(4. 3)より，$1.0 = (1.5 - 0.5)/(\log_{10}P - \log_{10}100)=1/(\log_{10}P - 2)$ なので，$\log_{10}P=3$，すなわち $P = 1\,000$ kN/m^2 となる。

【4】(1)　①kN/m^2　②cm^2　③cm^3　④cm^3　⑤cm^3 ⑥単位なし ⑦1.975　⑧195　⑨265
⑩100　⑪60　⑫0.3

(2)　**解図 4.1** となる。

(3)　解図 4.1 の折れ曲がり点を読み取ると，P_c=200 kN/m^2 となる。

(4)　解図 4.1 の 5 回目と 6 回目の点を見ると



解図 4.1

C_c= (0.9-0.6)/($\log_{10}$400-$\log_{10}$200) = (0.9-0.6)/$\log_{10}$(400÷200) = 0.3/$\log_{10}$2 = 0.3/0.3 = 1.0

($\log A - \log B = \log(A/B)$である。$A$=100，$B$=10 など，好きな値を入れて確認するとよい)

【5】 式(4.2)より，S = 10×(1.0 - 0.8)/(1+1.0)=1 m となる。

【6】 式(4.3)より，S = 10×1.2/(1+1.0)×$\log_{10}$ (200/100)= 1.8 m となる。

【7】 式(4.4)より，S = 10×8.0×10^{-4}×200 = 1.6 m となる。

【8】(1) 上下砂層なので，最大排水距離は H' = 2 m = 200 cm となる。また，図 4.8 より圧密度：U=50%となるのは T_v=0.2 となる。

式(4.7)より，T_v=20×t/(200^2) = 0.2 なので，t = 400 日となる。

(2) T_v = 20×2 200/(200^2) = 1.1 なので，図 4.8 より圧密度 U=95 %となる。よって，圧密沈下量は 100×0.95= 95 cm となる。

【9】(1) 片面排水条件なので，最大排水距離は H'=4 m = 400 cm となる。また，図 4.8 より圧密度：U = 50 %となるのは T_v = 0.2 となる。

式(4.7)より，T_v=20×t /(400^2) = 0.2 なので，t = 1 600 日となる。

(2) T_v = 20×4 000/(400^2) = 0.5 なので，図 4.8 より圧密度は U = 75%となる。よって，圧密沈下量は 100×0.75= 75 cm となる。

難　　問

【1】(1) 図 4.7 を参照

(2) $C_c = \Delta e/\log_{10}(P_1/P_0)$ を変形すると，(1)と同じ式になる。

【2】例えば，文献 4)の pp.110-117，文献 5)の pp.145-149 を参照。

公務員試験問題

式(4.2)より，S = 8×(2.0-1.6)/(1+2.0) = 1.067 m となる。

5章　土　の　破　壊

本 文 の 空 欄

図 5.1　①圧縮　②引張　③せん断

表 5.1　①0 kN/m^2　②30°　③0°　（これらは目安の値である）

図 5.4　①モールの応力円　②クーロンの破壊基準の線

表 5.2　①砂　②粘土，岩，コンクリート　③砂，粘土

復　習　問　題

【1】①強度　②せん断力　③せん断破壊

【2】①kN　②kN/m^2 ③圧縮応力σ　④せん断応力τ

【3】①せん断　②$S = c + \sigma \tan \phi$　③粘着力〔kN/m^2〕　④内部摩擦角〔°〕　⑤土の強度定数
⑥大きい　⑦大きい　⑧砂　⑨粘土

【4】①σ〔kN/m^2〕　②τ〔kN/m^2〕　③モールの応力円　④クーロンの破壊基準の線
⑤内部摩擦角ϕ　⑥粘着力 c　⑦破壊している

【5】①せん断試験　②一面せん断試験　③一軸圧縮試験　④三軸圧縮試験
⑤一軸圧縮強度〔kN/m^2〕　⑥2 倍　⑦砂　⑧粘土，岩，コンクリート　⑨砂，粘土

【6】①非圧密非排水（UU）　②圧密非排水（CU または$\overline{\mathrm{CU}}$）　③圧密排水（CD）

基　本　問　題

【1】土の強度は $S = 10 + 10 \tan 30° \fallingdotseq 10 + 10/1.7 \fallingdotseq 15.8$ kN/m^2 である。これは，せん断応力 τ=50 kN/m^2 より小さいので，土は破壊する。

【2】(1)　点 A：$\sigma = 18 \times 5 = 90$ kN/m^2，点 B：$\sigma = 18 \times 10 = 180$ kN/m^2

(2)　点 A：$S = 10 + 90 \tan 30° = 62.0$ kN/m^2，点 B：$S = 10 + 180 \tan 30° = 113.9$ kN/m^2

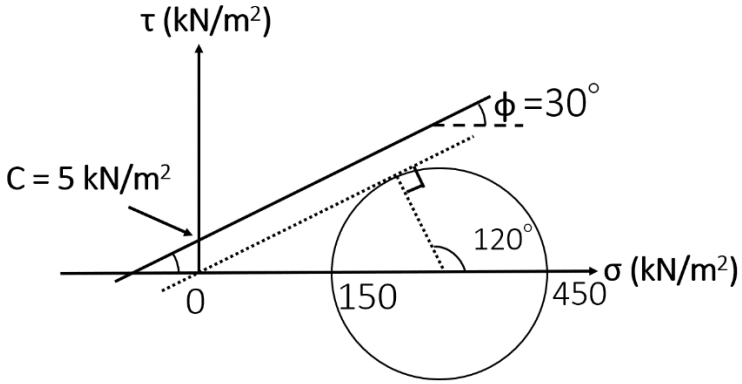
(3)　大きくなる（(2)の A と B を比べると，地中深くの B の強度のほうが大きい）

(4)　点 A : 土は破壊する，点 B : 土は破壊しない（(2)の値とせん断応力 100 kN/m^2 を比較する）

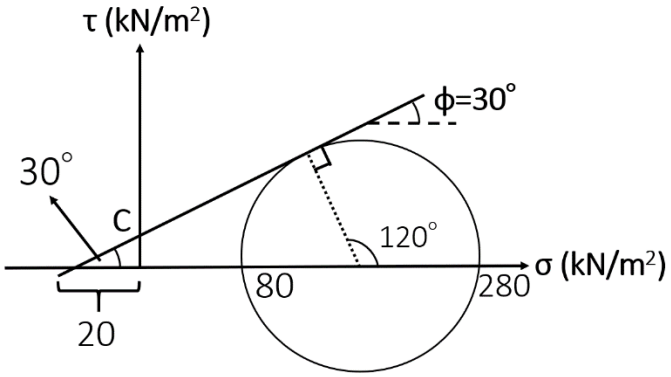
【3】詳しい解法は 5. 3. 3 項の例題を参照してほしい。

(1)　**解図 5. 1** より，クーロンの破壊基準の線とモールの応力円は接していないので，破壊しない。

(2)　**解図 5. 2** より，内部摩擦角：ϕ=30°，粘着力：c=20÷√3=11.5 kN/m^2 となる。



解図 5. 1



解図 5. 2

【4】(1)　断面積 $A = 5\times5 = 25$ cm^2

(2)　① 250÷25 = 10　② 500÷25 = 20　③1000÷25=40

1 N/cm^2 = 10 kN/m^2（なぜなら 1 N/cm^2 =1 N/1cm^2 = 1 N/(1 cm×1 cm) = 1 N/(0.01m×0.01m) = 1 N/(0.000 1m^2) = 10^4 N/m^2 = 10 kN/m^2）なので

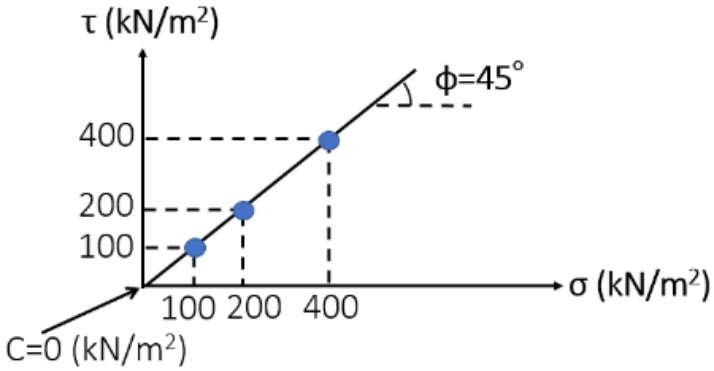
④100　⑤200　⑥400　⑦250÷25 = 10　⑧500÷25 = 20　⑨1000÷25=40　⑩100　⑪200　⑫400

となる。

(3)　**解図 5. 3** となる。

(4)　粘着力：c =0 kN/m^2, 内部摩擦角：ϕ=45°

(5)　砂（粘着力がゼロなので）



解図 5. 3

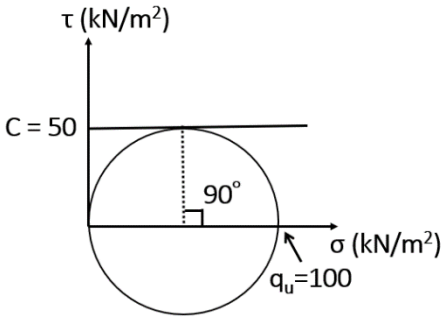
【5】(1)　$A = 3\times3\times3.14 = 28.26$ cm^2

(2)　282.6÷28.26=10 N/cm^2

(3)　100 kN/m^2（**【4】**に換算方法を記載）

(4)　一軸圧縮強度：q_u=100 kN/m^2

(5)　**解図 5. 4** となる。



解図 5. 4

(6)　粘着力 c =50 kN/m^2

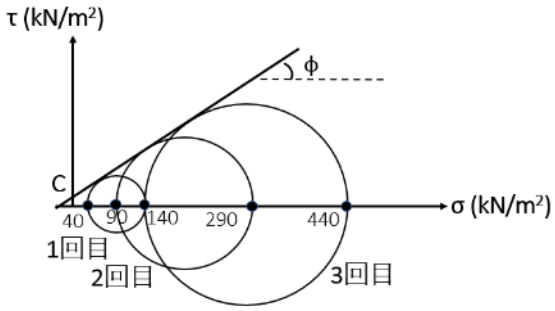
(7)　45°　（破壊面の角度は 90°　の半分という関係）

【6】　(1)　①140　②290　③440　④40　⑤90　⑥140

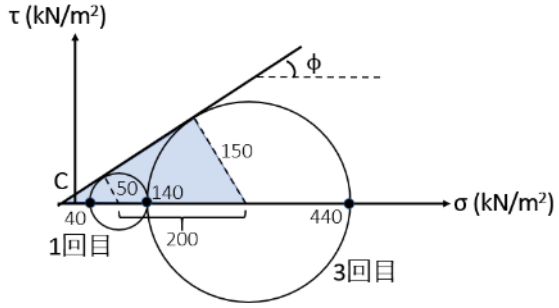
(2)　**解図 5. 5** (a)となる。

(3)　解図 5. 5 (b)，(c)を参考にして，粘着力：c=10÷√3= 5.77 kN/m^2，内部摩擦角：ϕ=30°　となる。

(4)　60°

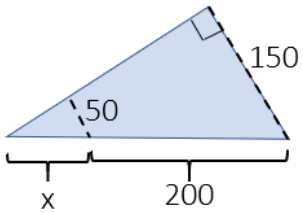


(a)



(b)

（じつは円は二つあれば解けるので，2 回目の円を削除）



x : 50 = (x+200) : 150

x =100

なので、これらは

30°　60°　90°　の三角形である。

また、左の頂点の座標は(-10, 0)

となる。

(c)

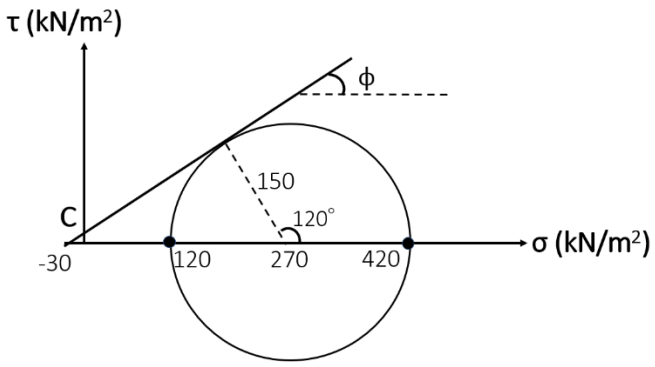
解図 5. 5

難　　問

例えば，文献 5)の pp.178-p.181 を参照。

公務員試験問題

(1)　**解図 5. 6** となる。



解図 5.6

(2)　ϕ=30°　，c =17 kN/m^2

(3)　σ_α=195 kN/m^2，τ_α=130 kN/m^2　（解図 5.6 の接点の座標）

6章　土　　圧

本 文 の 空 欄

図 6.1　①静止土圧　②主働土圧　③受働土圧

図 6.2　①主働土圧　②受働土圧

図 6.3　① $\gamma_t H$〔kN/m^2〕　② $K\gamma_t H$〔kN/m^2〕

図 6.4　① $K\gamma_t H^2/2$〔kN/m〕

図 6.5　① $H/3$〔m〕

図 6.7　① 0.33 (=1/3)　②3.0

復　習　問　題

【1】①土圧　②kN/m^2

【2】①主働土圧　②静止土圧　③受働土圧　④土圧係数 K　⑤主働土圧係数 K_a
⑥静止土圧係数 K_0　⑦受働土圧係数 K_p

【3】①クーロン　②ランキン

【4】①小さく　②小さく

基　本　問　題

【1】図 6.15 は主働土圧状態である。式(6. 10)もしくは式(6. 12)より ϕ=30°とすると K_a=1/3 となる。

(1)　式(6. 4)より

土圧：$p_a = K_a \times \gamma_t \times H = (1/3)\times 18\times 12 = 72$ kN/m^2

(2)　式(6. 7)より

土圧の合力：$P_a = (1/2) \times p_a \times H = (1/2)\times 72\times 12 = 432$ kN/m

(3)　式(6. 9)より

作用点の位置：$H_c = (1/3)\times H = (1/3)\times 12 = 4$ m なので，下から 4 m となる。

【2】飽和砂なので水で満たされている。すなわち壁には土圧だけではなく，水圧まで作用しているのだ。土圧と水圧は分けて考えないといけない。

(1)　上下方向（鉛直方向）の応力を計算しよう。

全応力：$\sigma = \gamma_{sat} \times H = 20 \times 12 = 240$ kN/m^2

間隙水圧：$u = \gamma_w \times H = 9.8 \times 12 = 117.6$ kN/m^2

有効応力：$\sigma' = \sigma - u = 240 - 117.6 = 122.4$ kN/m^2

有効応力は土の応力を示しているので，土圧は有効応力に土圧係数を掛けたものとなる。

土圧：$p_a = \sigma' \times K_a = 40.8$ kN/m^2

ちなみに水圧は間隙水圧のことで，このままでよい。

水圧：$u = 117.6$ kN/m^2

(2)　土圧と水圧の合力をそれぞれ求める。

土圧の合力：$P = 0.5 \times p \times H = 244.8$ kN/m

水圧の合力：$U = 0.5 \times u \times H = 705.6$ kN/m

足し合わせると，壁に作用する合力 P_a は 950.4 kN/m となる。

【3】 壁の背面に建物や道路があると，上載荷重として背面土に作用する。これは土圧にもおおいに影響してくる。

(1)　上載荷重がない場合，上下方向（鉛直方向）の応力は$\sigma=\gamma_t \times H = 18\times12 = 216$ kN/m^2 となる。これに上載荷重（q =15 kN/m^2）が加わると，$\sigma = 216+15 = 231$ kN/m^2 となる。

よって，土圧は $p_a = K_a \times \sigma = 1/3\times231 = 77$ kN/m^2 となる。

(2)　地表面にも荷重が作用していることがポイントである。

地表面の土圧は $p_a = K_a \times q = 1/3\times15 = 5$ kN/m^2，土圧の合力は台形の面積となるので，

$P_a = (5+77)\times12\times1/2 = 492$ kN/m となる。

【4】 粘性を持つ土の場合，ランキン土圧を適用する。

(1)　式(6. 18)より

$$p_a = \gamma_t H K_a - 2C\sqrt{K_a} = 18 \times 12 \times \frac{1}{3} - 2 \times 10 \times \sqrt{\frac{1}{3}} = 60.45 \text{ kN/m}^2$$

(2)　式(6. 20)より

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma_t H^2 K_a - 2CH\sqrt{K_a} = 293.4 \text{ kN/m}$$

難　　問

例えば，文献 4)の pp.235-247 を参照。

公務員試験問題

主働土圧を求める問題だが，土圧の合力でよいだろう（深さの指定がないため）。

主働土圧係数：$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) = \tan^2 30^\circ = 1/3$ なので，式(6. 20)より

主働土圧：$P_A = \frac{1}{2}\gamma_t H^2 K_a - 2CH\sqrt{K_a} = \frac{1}{2} \times 18 \times 100 \times \frac{1}{3} - 2 \times 9 \times 10 \times \sqrt{\frac{1}{3}} = 196 \text{ kN/m}$

となる。

7章　斜　面　安　定

本 文 の 空 欄

図 7.1　①$F>R$

図 7.2　①平面すべり　②円弧すべり

図 7.6　①$H\cos\theta$　②$H\cos\theta$

図 7.7　①$(L_1+L_2)b/2$〔m²〕　②$(L_1+L_2)b/2$〔m³〕　③$\gamma_t(L_1+L_2)b/2$〔kN〕

復　習　問　題

【1】①すべる方向のせん断応力　②土のせん断強度　③地震　④降雨

【2】①平面すべり　②円弧すべり

【3】①安全率 F_s　②安定　③崩壊　④1.2 以上

【4】①大きい

【5】①斜面対策工　②押え盛土　③擁壁もしくは斜面補強杭　④排水パイプ

基　本　問　題

【1】7.3.3 項「安定計算の方法」の〔1〕平面すべりを読みながら進めるとよい。

(1)　縦 2 m，横 1 cos 45°〔m〕の長方形（横は 1 m ではない。これは斜めの長さである）と同じ面積なので，面積 A=1.4 m² となる。

(2)　奥行きが 1 m なので，体積 $V=A\times1=1.4$ m³ となる。

(3)　重量：$W=\gamma_t\times V=18\times1.4=25.2$ kN

(4)　重量は下向きの力なので，斜め方向に変換すると，$F=W\sin45°=17.8$ kN となる。

(5)　斜面に対して垂直な力は 17.8 kN なので，摩擦抵抗力は R=17.8 tan 30°＝10.3 kN となる。

(6)　安全率：$F_s=R/F=0.58$

(7)　安全率は 1 より小さいのですべる。

*有効数字の取り方しだいで(4)は 18kN となり，(5)以降の解答も若干変化する。近い値であればよい。

【2】　(1)　すべらない。すべり面の角度θと内部摩擦角ϕが等しいとき，F_s=1（ぎりぎり安定）である。この場合，すべり面の角度のほうが小さいので安定している。

(2)　式(7.17)より，$F_s>1$ なので，やはり安定している。

$$F_s=\frac{5+18\times5\times\cos^2 30°\tan 45°}{18\times5\cos30°\sin30°}=\frac{5+67.5}{38.97}=1.86$$

【3】(1)　①m²　②m³　③kN　④kN　⑤kN　⑥単位なし

⑦2×2 = 4 m²

⑧4×1 = 4 m³（1 は奥行き 1 m）

⑨4×18 = 72 kN

⑩30°

⑪sin30° = 0.5

⑫cos30° = 0.87

⑬72×sin30° = 36 kN

⑭3.13+18.47+36+25.46 = 83.05 kN

⑮72×cos30° ×tan30° = 36 kN

⑯10.23+29.30+36+14.70 = 90.23 kN

⑰90.23/83.05 = 1.09

※有効数字の取り方次第で若干の数値変動あり

(2) F_s>1 よりすべらない

難　　問

【1】 例えば，文献 4)の pp.275-277，文献 5)の pp.315-316 を参照。

【2】 例えば，文献 4)の pp.281-283，文献 5)の pp.322-323 を参照。

公務員試験問題

式(7.17)より

$$F_s = \frac{9+18\times2\times\cos^2 45^\circ \tan 30^\circ}{18\times2\times\cos 45^\circ \sin 45^\circ} = \frac{9+\frac{18}{\sqrt{3}}}{18} = 1.08$$

となり，F_s>1 なので安定している。

8章　支　　持　　力

本 文 の 空 欄

図 8.1　①支持力

図 8.2　①べた基礎　②フーチング基礎　③浅い基礎　④杭基礎　⑤ケーソン基礎
　　⑥深い基礎

図 8.3　①杭の先端支持力 Q_p　②杭の周面摩擦力 Q_f

図 8.4　①$\pi B^2/4$　②πBD_f

復　習　問　題

【1】①支持力　②べた基礎　③フーチング基礎　④杭基礎　⑤ケーソン基礎　⑥安く
　　⑦薄い　（②と③，④と⑤は順不同）

【2】①極限支持力 q_u　②許容支持力 q_a　③安全率 F_s

【3】①kN/m^2　②kN

【4】①先端支持力　②周面摩擦力

【5】①載荷試験　②テルツアギー

基　本　問　題

【1】正方形なので，形状係数は$\alpha = 1.3$，　$\beta = 0.4$ となる。

$\phi = 28°$ の支持力係数は，$N_c = 11.4$，$N_q = 7.1$，$N_\gamma = 4.4$，$N_q^* = 9.1$ なので

(1)　極限支持力：$q_u = 1.3\times0\times11.4 + 20\times1\times7.1 + 0.4\times20\times10\times4.4 = 494$ kN/m^2

(2)　許容支持力：$q_a = 1/3\times(1.3\times0\times11.4 + 20\times1\times9.1 + 0.4\times20\times10\times4.4) = 178$ kN/m^2

【2】正方形なので，形状係数は$\alpha = 1.3$，　$\beta = 0.4$ となる。

$\phi = 32°$ の支持力係数は，$N_c = 20.9$，$N_q = 14.1$，$N_\gamma = 10.6$，$N_q^* = 16.1$ となる。

土の有効単位体積重量 は$\gamma_1 = 19.8 - 9.8 = 10.0$ kN/m^3，$\gamma_2 = 19.8 - 9.8 = 10.0$ kN/m^3 なので

(1)　極限支持力：$q_u = 1.3\times0\times20.9 + 10\times1\times14.1 + 0.4\times10\times10\times10.6 = 565$ kN/m^2

(2)　許容支持力：$q_a = 1/3\times(1.3\times0\times20.9 + 10\times1\times16.1 + 0.4\times10\times10\times10.6) = 195$ kN/m^2

【3】$\phi = 32°$の支持力係数は，$N_c = 20.9$，$N_q = 14.1$，$N_\gamma = 10.6$，$N_q^* = 16.1$ となる。また

土の有効単位体積重量：$\gamma_1 = 20.0$ kN/m^3，　$\gamma_2 = 19.8 - 9.8 = 10.0$ kN/m^3

杭の先端面積：$A_p = 0.2\times0.2\times3.14 = 0.125\,6$ m^2

杭の周面積：$A_s = 0.4\times3.14\times10 = 12.56$ m^2

摩擦係数：$f = 0.2\times10\times9.8 = 19.6$ kN/m^2

である。

(1)　極限支持力

$Q_p = 0.125\,6 \times (1.3\times0\times20.9 + 20\times10\times14.1 + 0.3\times10\times0.4\times10.6) = 356.0$ kN

$Q_f = 12.56 \times 19.6 = 246.3$ kN

$Q_u = Q_p + Q_f = 602.3$ kN

(2)　許容支持力

$Q_a = 1/3 \times 602.3 = 200.8$ kN

難　　問

【1】例えば，文献 4)の pp.261-265 参照。

【2】例えば，文献 2)の pp.136-137 参照。

公務員試験問題

ア　×　杭基礎は深い基礎である。

イ　×　破壊するときの荷重は極限支持力である。

ウ　○

エ　×　最大圧縮荷重とは杭自体が破壊するときの荷重である。支持力ではない。