

## 104年公務人員高等考試三級考試試題

類 別：土木工程、結構工程、水利工程

科 目：土壤力學（包括基礎工程）

考試時間：2小時

※注意：(一)可以使用電子計算器。

(二)必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

(三)下列計算各題所需之物理常數、符號、參數及公式等如未給時，請自行合理假設或推知。

歐 陽老師 主解

一、試對下列問題作答：

- (一)定義土壤取樣管橫斷面之面積比，並說明其對土壤樣品之影響。(5分)
- (二)若某次標準貫入試驗(SPT)之原始成果為(2、3、6下)，則該次試驗之SPT-N值為何？另說明符號 $(N_1)_{60}$ 之意義為何？(6分)
- (三)使用統一土壤分類系統(USCS)對某土壤樣品進行分類的結果為SM，請說明其係符合那一些分類準則(criteria)？(5分)
- (四)某回填土壤樣品之固體比重為2.68，且飽和度為90%和含水量為32%，則其單位重為多少 $\text{kN/m}^3$ ？(5分)
- (五)說明在擋土式開挖工程中地盤可能發生塑性隆起破壞之機制。(4分)

解：

(一)取樣器面積比  $A_r = \frac{D_0^2 - D_e^2}{D_e^2}$ 。取樣器面積比 $\leq 10\%$ 者，可視為薄管，

薄管以靜壓方式貫入土內取土，可視為取得不擾動土樣，不擾動土樣可做為求取力學參數之用。面積比 $> 10\%$ 者，無法取得不擾動土樣，擾動土樣只能做一般物理性質試驗。

(二) $N=3+6=9$ 。下標1代表土壤圍壓等於一大氣壓，約是100kPa。下標60代表只有60%的能量用於有效貫入土壤。整體講， $(N_1)_{60}$ 的意義就是以打擊貫入效率為60%的SPT設備，相當於在土壤圍壓為100kPa之處，所打得到的N值。

(三)1.殘留在#200的重量超過總重的50%。

2.取出殘留在#200的量，以#4篩之，通過#4的量比殘留在#4的量還多。

3.通過#200的重量超過總重的12%。

4.取通過#40的部分進行塑性圖分析，點位落在A line之下。

$$(四) Se = wG_s$$

$$0.9e = 0.32 \times 2.68$$

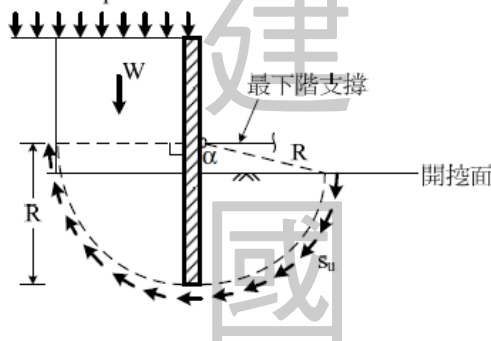
解出  $e = 0.953$

$$\gamma_m = \frac{G_s + Se}{1+e} \gamma_w = \frac{G_s + wG_s}{1+e} \gamma_w = \frac{2.68 + 0.32 \times 2.68}{1 + 0.953} \times 9.81 = \underline{17.77 \text{ kN/m}^3}$$

(五)隆起現象是黏土層底部的承載力破壞，通常是地表超載加上未開挖部分的土壤過重，導致新承載面承載力不足，發生土壤往開挖區的塑性流動而導致開挖面底部土壤產生向上拱起之現象。開挖面高程的左右側土壤，被視為新承載面。

依《建築物基礎構造設計規範》，

$$\text{抗隆起 FS} = \frac{M_r}{M_d} = \frac{R \int_0^{\frac{\pi}{2} + \alpha} s_u(Rd\theta)}{W \cdot \frac{R}{2}} \geq 1.2$$



二、某工址之地層剖面如圖一所示，從中可見地表以下有兩層砂土層和一層黏土層交互出現。假設於地表施加寬廣之瞬時均佈載重，使得黏土層發生單向度壓密現象；另假設砂土層之壓密壓縮現象可予以忽略。試對下列問題作答：

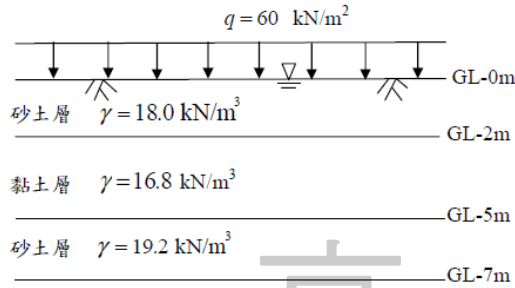
(一)黏土層之壓密係數為  $0.002 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、過壓密比 (OCR) 為 1.5、初始孔隙比為 1.0、 $C_c$  為 0.50、 $C_r$  為 0.10、 $C_\alpha$  為 0.020，砂土和黏土之單位重則顯示於圖一內。試計算黏土層發生 15 cm 壓密沉陷量所需之時間 (以 day 為單位)。(20 分)

(二)續上題，試計算從主要壓密完成時間到 20 年壓密時間之間將發生之二次沉陷量 (以 cm 為單位)。(5 分)

註：以平均壓密度等於 98% 的條件來計算主要壓密完成時間；單向度壓密理論之時間因子  $T$  與平均壓密度  $U$  的關係式為：

$$T = \frac{\pi}{4}(U)^2 \quad \text{for } 0 \leq U \leq 60\% ;$$

$$T = 1.783 - 0.933 \log[100(1-U)] \quad \text{for } U > 60\%$$



圖一

解：

$$(一) \text{黏土層中點 } \sigma'_0 = 2(18 - 9.81) + 1.5(16.8 - 9.81) = 26.865 \text{ kPa}$$

$$\text{黏土層中點 } \sigma'_c = \text{OCR} \times \sigma'_0 = 1.5(26.865) = 40.2975 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_c} \\ &= \frac{0.1 \times 300}{1 + 1} \log 1.5 + \frac{0.5 \times 300}{1 + 1} \log \frac{26.865 + 60}{40.2975} = 2.641 + 25.018 = 27.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$U_{\text{avg}} = 15 / 27.66 = 0.5423 \leq 60\%$$

$$T = \frac{\pi}{4} U_{\text{avg}}^2 = \frac{\pi}{4} (0.5423)^2 = 0.231$$

$$\text{依據 } TH_{\text{dr}}^2 = c_v t$$

$$0.231(150)^2 = 0.002t \quad \text{解出 } t = 2598606 \text{ sec} = \underline{30 \text{ days}}$$

$$(三) T = 1.783 - 0.933 \log(100 - 98) = 1.502$$

$$\text{依據 } TH_{\text{dr}}^2 = c_v t$$

$$1.502(150)^2 = 0.002t$$

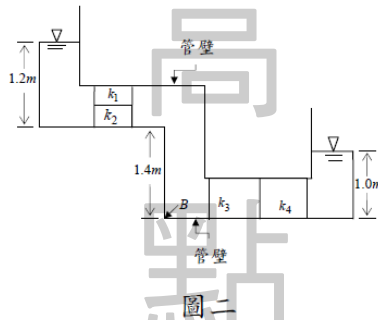
$$\text{解出 } t = 16899064 \text{ sec} = 195.6 \text{ days} = 0.536 \text{ year}$$

$$\Delta H = \frac{0.02 \times 300}{1 + 1} \log \frac{20}{0.584} = \underline{4.7 \text{ cm}}$$

三、圖二顯示某方管之縱斷面，其左方開口處之水位和右方開口處之水位高程保持不變，且方管內有兩處雙層淤積土壤；該方管之通水橫斷面尺寸為  $0.6\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ 。圖二中各淤積土壤之滲透性皆具等向性，其滲透係數為土壤 1 之  $k_1 = 0.004\text{ cm/sec}$ 、土壤 2 之  $k_2 = 0.008\text{ cm/sec}$ 、土壤 3 之  $k_3 = 0.003\text{ cm/sec}$ 、土壤 4 之  $k_4 = 0.006\text{ cm/sec}$ ；且在縱斷面上，土壤 1 之寬為  $0.6\text{ m}$ 、高為  $0.3\text{ m}$ ，土壤 2 之寬為  $0.6\text{ m}$ 、高為  $0.3\text{ m}$ ，土壤 3 之寬為  $0.8\text{ m}$ 、高為  $0.6\text{ m}$ ，土壤 4 之寬為  $0.8\text{ m}$ 、高為  $0.6\text{ m}$ 。試對下列問題作答：

(一) 計算方管內之滲流量（單位： $\text{m}^3/\text{day}$ ）。（20 分）

(二) 計算方管內 B 點之水壓力（單位： $\text{kPa}$ ）。（5 分）



解：

$$(一) k_{eq1} = \frac{H_1 k_1 + H_2 k_2}{H_1 + H_2} = \frac{0.3k_1 + 0.3k_2}{0.3 + 0.3} = 0.5k_1 + 0.5k_2 = 0.006\text{ cm/sec}$$

$$\frac{\Sigma H}{k_{eq2}} = \frac{H_3}{k_3} + \frac{H_4}{k_4} \quad \frac{1.6}{k_{eq2}} = \frac{0.8}{0.003} + \frac{0.8}{0.006}$$

$$k_{eq2} = 0.004\text{ cm/sec}$$

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_t = 1.4 + 1.2 - 1.0 = 1.6\text{ m}$$

$$\Delta H_1 : \Delta H_2 = \frac{L_1}{A_1 k_{eq1}} : \frac{L_2}{A_2 k_{eq2}} = \frac{0.6}{1 \times 0.006} : \frac{0.8 + 0.8}{1 \times 0.004} = 0.2 : 0.8$$

$$\text{聯立解出 } \Delta H_1 = 1.6 \times 0.2 = 0.32\text{ m}$$

$$q = q_1 = k_{eq1} i_1 A_1 = 0.006 \times 10^{-2} \times \frac{0.32}{0.6} \times 0.6^2 = 1.152 \times 10^{-5}\text{ m}^3/\text{sec}$$

$$= \underline{0.9953\text{ m}^3/\text{day}}$$

(二) 設 B 點位置為 datum， $2.6 - 0.32 = 2.28\text{ m}$

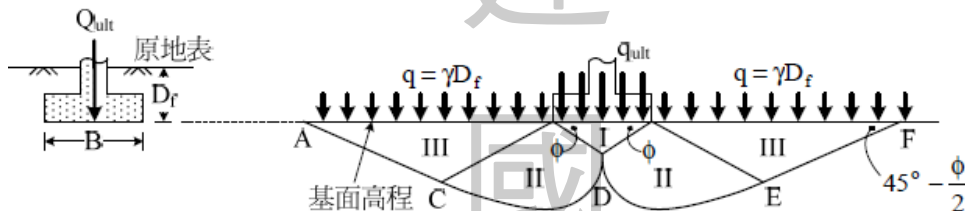
$$u_{w,B} = 2.28 \gamma_w = 2.28 \times 9.81 = \underline{22.367\text{ kPa}}$$

四、一般將淺基礎之極限承載力 (ultimate bearing capacity) 除以安全係數以推估其容許承載力。試對下列有關極限承載力之問題作答：

- (一)於推導淺基礎承受極限承載力公式時, Terzaghi 假設淺基礎下方土壤發生全面剪力破壞, 且破壞範圍由三種破壞區組成, 試說明之。(6分)
- (二)當淺基礎下方為黏土層, 欲計算短期承載力安全係數時, 需將那一種剪力強度參數代入極限承載力公式? 且該剪力強度參數應以那一種三軸剪力強度試驗來測得? 請儘量說明。(8分)
- (三)一般極限承載力公式增加考慮了那三項修正因子? 請略做說明。(6分)
- (四)淺基礎承受一維偏心載重時, 偏心距  $e$  應不大於淺基礎寬度  $B$  之  $1/6$ , 其理由為何? (5分)

解：

(一)圖中 I 區是彈性區, II 區是輻射剪力區(Radial Shear Zone), III 區是 Rakine 被動土壓力區。I 區斜線和水平夾角  $\phi$ , III 區斜線和水平夾角  $45^\circ - \frac{\phi}{2}$ , II 區曲線是對數螺線(Logarithmic Spiral)。當基面(基礎版底面)之壓應力來到  $q_{ult}$  時, 基礎下方土壤產生全面剪力破壞, I 區下移, II 區往下往外被推出, III 區往上往外被推出, 破壞面是 ACDEF, 破壞弧最深度大約在基面下  $1.0B$  處。



(二)須代不排水剪力強度  $c_u$  與  $\phi=0^\circ$ 。可進行 SUU 試驗以求得  $c_u$ 。黏土短期受圍壓與軸差應力時, 超額孔隙水壓來不及排除, 土壤內部有效應力無法上升, 而 SUU 試驗能模擬此過程。SUU 試驗試體破壞時的強度, 就可視為現場受載, 土壤短期來不及排水的強度。

(三)載重傾斜(inclination)修正、基礎形狀(shape)修正、埋置深度(depth)修正。

修正後通式形如  $q_{ult} = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + 0.5B'\gamma N_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$

柱底通常剪力不是零，軸力和剪力應向量加成一傾斜的載重力，故應進行載重傾斜修正。

Tezaghi 原始推導係針對條形基礎，專指  $L > 5B$  的狀況，但實際上  $L$  未必大於  $5B$ ，故應依實際的  $B$  與  $L$  進行形狀修正。

Tezaghi 原始推導撤掉了基面以上的土壤，等同於撤掉了基面以上的土壤強度，可是全面剪力破壞弧會切過基面以上的土壤，故應計回基面以上的土壤強度，這就是埋置深度修正。

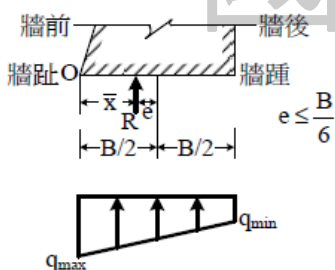
(四)取腳基底分離體，對左側  $O$  點取力矩平衡，可得牆底反力  $R$  的作用位置  $\bar{x}$ 。腳基底版土壤反力分布可用材料力學公式來求，若版底合力作用點在核心(Kem)內，即反力  $R$  的偏心量小於等於  $B/6$ ，則版底土壤承受壓應力，土壤承受最大壓應力

$$q_{\max} = \frac{R}{B} + \frac{My_{\max}}{I} = \frac{R}{B} + \frac{M}{S} = \frac{R}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

其中  $B$  是基礎寬，偏心彎矩  $M = Re$ ，面積二次矩  $I = \frac{1 \times B^3}{12}$

$$y_{\max} = B/2, S = \frac{1 \times B^2}{6}。$$

$$q_{\min} = \frac{R}{B} - \frac{My_{\max}}{I} = \frac{R}{B} - \frac{M}{S} = \frac{R}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$



若基腳底合力作用點超出核心(Kem)，即反力  $R$  的偏心量大於  $B/6$ ，則基腳底土壤理論上承受拉應力，但考慮土壤受拉能力薄弱，故保守設定土壤與基腳底間不能傳遞拉應力，放棄「變形連續」條件，亦即部分基腳底翹起不接觸土壤。爲了讓土壤與基腳底緊密接觸，故要求偏心距  $e$  不應大於  $B/6$ 。