

# 《土壤力學與基礎工程》

一、試說明下列名詞之意涵：(每小題 4 分，共 20 分)

- (一)有效應力 (effective stress)
- (二)土壤液化 (liquefaction)
- (三)相對密度 (relative density)
- (四)過壓密比 (overconsolidation ratio)
- (五)滲透係數 (hydraulic conductivity)

試題評析	這5個基本名詞解釋是讓考生不致抱蛋回家。
考點命中	有效應力詳《解說土壤力學》第四章。 土壤液化詳《解說基礎工程》第七章。 相對密度詳《解說土壤力學》第二章。 過壓密比詳《解說土壤力學》第六章。 滲透係數詳《解說土壤力學》第五章。

解：

- (一)有效應力乃人為定義，實際土體內不一定存在此應力。定義有效應力的好處是工程上方便利用，1925年Terzaghi說「土體內任何可測量的工程性質(eg：滲透性、壓縮性、剪力強度)，均和有效應力有關」，All measurable effect of a change of stress, such as compression, distortion and a change of shearing resistance, are exclusively due to changes in the effective stresses. 而實際的顆粒接觸應力，根本無法得知。嚴格來講，總應力、水壓力、有效應力都是統計上的算法，因為單位重是統計上平均得到的，而真實的水位線並不是平的，水位線也可能每週在變化。
- (二)對於飽和砂土，在短時間內受到劇烈震動或剪應力作用(e.g.大地震、爆炸)，使得砂土內的水壓急遽升高，由於加載(指土壤受剪)速度相對比排水速度快，在來不及排水之下，水壓力蓄積到與圍壓相等，砂土間之有效應力降至幾乎零，剪力強度幾近全喪失，砂土顆粒宛如浮在水當中，彼此無法傳遞承載應力，謂之**液化**。依據《建築物基礎構造設計規範》，飽和土壤產生液化之基本機制為：土壤內孔隙水壓因受地盤震動作用而上升，引致土壤剪力強度減小，當孔隙水壓上升至與土壤之總應力相等時，即產生土壤液化現象，而造成嚴重之損壞，諸如基礎支承力的喪失、崩瀉、建築物坍塌、地盤側向擴張及下陷等現象。
- (三)對於粗顆粒狀土壤(eg：砂土)，我們以相對密度評估緊密程度。D<sub>r</sub>還可以協助研判粒狀土壤的內摩擦角 $\phi$ 、評估砂土液化潛能。

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

$e$ 是粒狀土壤目前孔隙比，可以寫 $e_{\text{now}}$ 。 $e_{\max}$ 是同一種粒狀土壤最疏鬆時的孔隙比， $e_{\min}$ 是同一種粒狀土壤最緊密時的孔隙比。注意分子不是 $e - e_{\min}$ 。計算 $D_r$ 須注意地域性問題，例如想計算沙崙海邊砂土的 $D_r$ ，則 $e_{\max}$ 、 $e_{\min}$ 、 $e$ 之求取均須採用沙崙海邊的砂土為之，不可以拿別處的砂土。工址的孔隙比 $e$ ，可能每周不一樣，故 $D_r$ 是時間的函數。

(四) 定義過壓密比  $OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_v} = \frac{\text{曾經受過的最大有效應力}}{\text{分層加總算得之有效應力}}$

正常壓密土壤  $OCR=1.0$ ，過壓密土壤  $OCR>1.0$ ，壓密中土壤  $OCR<1.0$ 。

若  $\sigma'_v = \sigma'_c$ ，則現場土壤為正常壓密(Normally Consolidated, NC)土壤。黏土在自然沉積的過程中，僅受到自重壓縮，並且完成壓密，未經歷過解壓，這樣的黏土，稱為正常壓密黏土。

若  $\sigma'_v < \sigma'_c$ ，則現場土壤為過壓密(Over Consolidated, OC)土壤，現場處於解壓狀態。例如開挖地下室，開挖面以下的土壤即是 OC。興建地下室，是對 OC 加載。

若  $\sigma'_v > \sigma'_c$ ，則現場土壤為壓密中(Under Consolidated)土壤，現場土壤正在消散超額孔隙水壓，壓密持續進行中，縱然無後續加載，有效應力仍會上升，持續發生沉陷，或稱「壓密未完成土壤」。「Under Consolidated」即是「正處於壓密狀態」，壓密中之意。

(五)滲透係數  $k$  是定水頭試驗中的比例常數，與土壤性質有關，單位[L/T]。達西進行試驗發現，對於乾淨的砂以及發生黏滯性飽和層流的前提下，在定水頭試驗中，於一

定時間  $t$  內累積流量  $Q$ ， $\frac{Q}{t} = q = vA = kiA$ ，測量流量  $Q$ 、時間  $t$  以及土壤斷面積  $A$ 。達西定律是經驗公式，達西在試驗中歸納出外視流速與水力坡降成正比，即

$$v = ki \quad \text{或} \quad q = kiA$$

以上均可稱為達西定律。注意  $q$  是單位時間內的流量(eg:  $\text{cm}^3/\text{sec}$ )， $Q$  的單位是體積(eg:  $\text{cm}^3$ )， $k$  是比例常數，後稱滲透係數。面積  $A$  係垂直於流線，非平行於流線。

二、欲了解某工址土壤可壓密程度，茲以取樣器取得 500 ml 之土樣，稱其重量為 900 克，經烘乾後之重量為 850 克。土樣之飽和度為 27%，試問土粒之比重為何？另將此土樣置於夯實模內，其在最疏鬆狀態時之體積為 640 ml，相對密度為 70%，試求其在最緊密狀態時之體積為何？  
(20 分)

試題評析	1. 反覆應用基本單位重公式，考試本來就要背公式。 2. 將相對密度編排成很好的考題，觀念不清就會糾結做不出來。
考點命中	相對密度詳《解說土壤力學》第二章。

解：

$$(一) \gamma_m = \frac{W}{V} = \frac{900}{500} = 1.8 \text{ gw/cm}^3 = 1.8 \text{ tf/m}^3$$

$$\gamma_d = \frac{W_d}{V} = \frac{850}{500} = 1.7 \text{ gw/cm}^3 = 1.7 \text{ tf/m}^3$$

$$\gamma_m = \gamma_d (1+w) \quad \Rightarrow 1.8 = 1.7(1+w)$$

$$\text{解出 } w = 5.88\%$$

$$Se = wG_s \quad \Rightarrow 0.27e = 0.0588G_s$$

$$\text{故 } e = 0.2179G_s$$

$$\gamma_m = \frac{G_s + Se}{1+e} \gamma_w = \frac{G_s + wG_s}{1+e} \gamma_w = \frac{G_s + 0.0588G_s}{1+0.2179G_s} \times 1 = 1.8$$

$$\text{解出 } G_s = 2.7$$

$$\text{以及 } e = 0.5884$$

$$(二) \gamma_{d,\min} = \frac{850}{640} = 1.328 \text{ gw/cm}^3 = 1.328 \text{ tf/m}^3$$

$$\gamma_s = \gamma_{d,\min} (1 + e_{\max}) \quad \Rightarrow 2.7 = 1.328(1 + e_{\max})$$

$$\text{解出 } e_{\max} = 1.033$$

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{1.033 - 0.5884}{1.033 - e_{\min}} = 0.7$$

$$\text{解出 } e_{\min} = 0.398$$

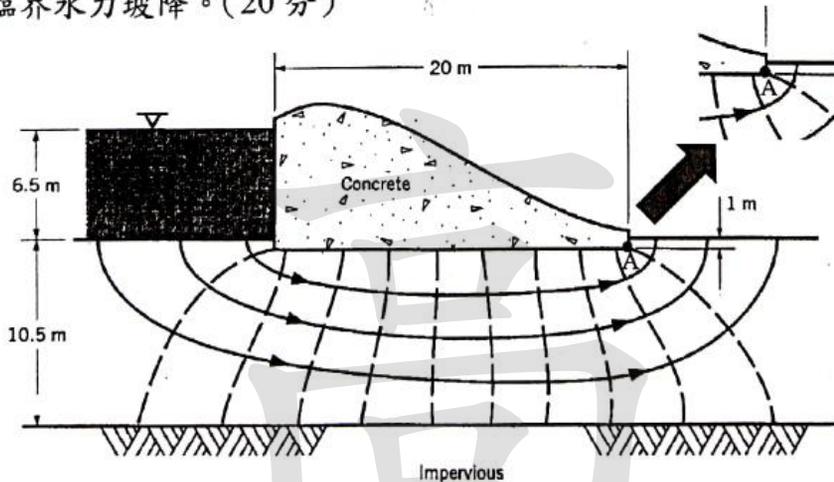
$$\gamma_s = \gamma_{d,\max} (1 + e_{\min}) \quad \Rightarrow 2.7 = \gamma_{d,\max} (1 + 0.398)$$

$$\text{解出 } \gamma_{d,\max} = 1.931 \text{ tf/m}^3 = 1.931 \text{ gw/cm}^3$$

$$\gamma_{d,\max} = \frac{W_d}{V_{\min}} = \frac{850}{V_{\min}} = 1.931$$

$$\text{解出 } V_{\min} = \underline{\underline{440.1 \text{ cm}^3}}$$

- 三、在以下的流網中，土壤之滲透係數與單位重分別為  $5.2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  和  $19.8 \text{ kN/m}^3$ 。請求出(1)在下游端之滲流量，(2)在壩趾處 A 點（圓點處）之孔隙水壓，(3)臨界水力坡降。(20 分)



試題評析	1. 您多看幾本原文書，就會注意到某些作者其流線網的最後一格會畫成「半格」，當然，第一格也有機會是半格。 2. 在題庫班，歐陽講過好幾題這種半格的題目。
考點命中	《土壤力學了沒》頁碼土5-26。

解：

(1) 設下游水位面切齊地面，按比例流線網下游出口處只有半格，上游第一格亦同

$$q = k_c \Delta h_t (N_f / N_q) = 5.2 \times 10^{-6} (6.5) (4/10) \times 24 \times 3600 = \underline{1.168 \text{ m}^3/\text{m}/\text{day}}$$

$$(2) u_{w,A} = u_{ss} + u_s = 1 \times 9.8 + (6.5/10) \times 0.5 \times \gamma_w = 9.8 + 0.65 \times 0.5 \times 9.8 = \underline{12.985 \text{ kPa}}$$

$$(3) \gamma' = 19.8 - 9.8 = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$i_c = \gamma' / \gamma_w = 10 / 9.8 = \underline{1.02}$$

- 四、一個橋墩的基礎預計將建置在一砂土層中，此砂土層 15 公尺厚，地下常水位在地表下 3 公尺。砂土之單位重為  $18.8 \text{ kN/m}^3$ ，飽和單位重為  $20.8 \text{ kN/m}^3$ ，以及有效摩擦角為 34 度。若此橋墩之基礎形式為矩形淺基礎，長、寬及厚度分別為 4、2 與 1 公尺，基礎底部埋設在地表下 1 公尺處，則此淺基礎之容許承载力為何？(20 分)

試題評析	1. 本題疑似漏數據，設 $N_q=36.5$ ， $N_\gamma=38.04$ ，速速跟考選部要分。 2. 考試歸考試，實務上千萬別把橋墩基礎只設置於地表下 1 公尺，台灣河川沖刷嚴重，改用樁基礎且入岩為常見型態，設計者別開自己的玩笑。 3. 既是橋墩，為何水位面不是河面？而是「地表下 3 公尺」，本題真怪，還是以題目數據求解。 4. 容許承载力是「應力」，不是力。
考點命中	詳《解說基礎工程》第三章。

解：

$$q_{\text{net}} = (1+0.3\frac{B}{L})cN_c + q(N_q-1) + (0.5-0.1\frac{B}{L})B\gamma N_\gamma$$

$$= 0 + 18 \times 1(36.5-1) + (0.5-0.1 \times \frac{2}{4}) \times 2 \times 18.8 \times 38.04 = 1283 \text{ kPa}$$

$$q_a = (q_{\text{net}}/FS) + \gamma D_f = (1283/3) + 18.8 \times 1 = \underline{446 \text{ kPa}}$$

五、在實驗室以一過壓密黏土做傳統三軸壓密排水試驗，在壓密完成，施予軸差應力的過程中，試體維持在 100 kPa 之有效圍壓 (Effective Confining Pressure)。試驗結果發現其應力應變為線性關係，故此黏土為一等向性完全彈性材料 (Isotropic Perfectly Elastic Material)。在剪切一開始，試體受到一個  $\Delta\varepsilon_a = 0.9\%$  的軸應變增量後，所量測到的軸差應力增量為 90 kPa，以及體積應變增量為  $\Delta\varepsilon_v = 0.3\%$ 。

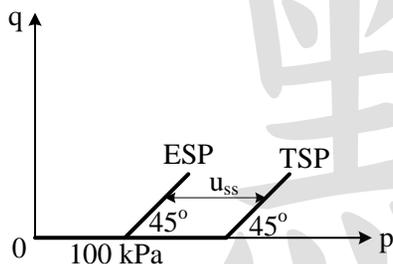
(一)請畫出此試體所經歷之應力路徑。(10分)

(二)在這個狀態下，請求出此黏土之剪力模數 (Shear Modulus)，楊式模數 (Young's Modulus)，統體模數 (Bulk Modulus)，與波松比 (Poisson's Ratio)。(10分)

試題評析	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 命題者精心設計，結合材力與土力，殊堪嘉許。</li> <li>2. 本題波松比必須算出來，不是背數據。</li> <li>3. 土力以壓應變為正，拉應變為負，體積縮小為正，歐陽上課強調300次了。</li> <li>4. 廣義虎克定律適用。</li> <li>5. 所謂的剪切，就是加軸差應力。</li> </ol>
考點命中	見《解說土壤力學》7-8與7-9節。

解：

(一)



(二)設試體水平方向為x及y軸，z軸為鉛錘方向

以下都是考慮加軸差應力階段

$$\sigma_z = 90 \text{ kPa}$$

$$\varepsilon_z = 0.9\%$$

$$\text{彈性係數 } E = \sigma_z / \varepsilon_z = 90 \text{ kPa} / 0.009 = 10000 \text{ kPa} = \underline{10 \text{ MPa}}$$

$$\text{體積應變 } \varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

$$\Rightarrow 0.3\% = \varepsilon_x + \varepsilon_y + 0.9\% = 2\varepsilon_x + 0.9\% \quad (\text{考慮對稱, } \varepsilon_x = \varepsilon_y)$$

解出  $\varepsilon_x = -0.3\%$  (代表側向膨脹)

依廣義虎克定律  $\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu}{E}(\sigma_y + \sigma_z) = 0 - \frac{\nu}{E}(0 + \sigma_z) = -\nu\varepsilon_z$

代入數據  $\Rightarrow -0.3\% = -\nu(0.9\%)$

解出  $\nu = 1/3 = \underline{0.3333}$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{10}{2(1+\frac{1}{3})} = \underline{3.75 \text{ MPa}}$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} = \frac{10}{3(1-2 \times \frac{1}{3})} = \underline{10 \text{ MPa}}$$

高點