

# 土壤力學(包括基礎工程)

一、繪製土壤顆粒體積為一單位之土壤三相圖(Three phase diagram), 詳細標註其各相之體積及重量(5分), 並據以推導下列公式:

(一)推導夯實理論中零空氣孔隙曲線(zero-air-void curve)  $\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{w+1/G_s}$ , 式中  $\gamma_{zav}$  = 零空氣孔隙單位重,  $\gamma_w$  = 水單位重,  $w$  = 重量含水量,  $G_s$  = 土壤顆粒比重。(10分)

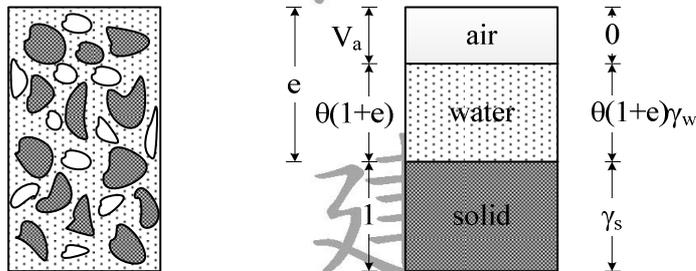
(二)定義土壤體積含水量  $\theta$  為孔隙水體積 ( $V_w$ ) 對總體體積 ( $V_T$ ) 之比值 ( $\theta = \frac{V_w}{V_T}$ ),

試推導體積含水量與重量含水量 ( $w$ ) 之轉換公式。(10分)

試題評析	零空氣曲線之推導算是送分, 歐陽老師上課有推導喔! $\theta$ 對 $w$ 之轉換公式係考驗考生反應能力, 只要能做出連結兩者之數學公式, 就是得分。
考點命中	請見《解說基礎工程》第6-4頁。

解:

(一)



$$\gamma_s = \gamma_{zav}(1+e) = \gamma_{zav}(1 + wG_s / S) = \gamma_{zav}(1 + wG_s)$$

$$\text{上式可化簡成 } G_s \gamma_w = \gamma_{zav}(1 + wG_s)$$

$$\text{整理得 } \gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{w + \frac{1}{G_s}} \quad \text{證畢Q.E.D.}$$

$$(二) \text{參考上述三相圖, 含水量 } w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{(1+e)\theta\gamma_w}{\gamma_s} = \frac{(1+e)\theta}{G_s}$$

$$\text{故 } \frac{\theta}{w} = \frac{G_s}{1+e} \quad \text{證畢Q.E.D.}$$

【版權所有，翻印必究】

二、一砂土試體進行三軸飽和壓密不排水試驗 (SCU test)，試體壓密完成之反水壓為 100 kPa，圍壓為 200 kPa，達到破壞時之軸差應力為 200 kPa，Skempton 孔隙水壓參數  $\bar{A}_f = 0.2$ ，依上述條件回答下列問題：

- (一) 計算總應力與有效應力強度參數 ( $c, \phi$ ) 及 ( $c', \phi'$ )。(10 分)
- (二) 依 Lambe (1964) 之定義，繪製此試體可能之總應力與有效應力之應力路徑。(10 分)
- (三) 推論此試體為緊砂或鬆砂狀態，並說明推論之依據。(5 分)

<b>試題評析</b>	記得要扣反水壓，歐陽上課有演練題目喔！ 畫應力路徑，記得要畫壓密段的應力路徑喔。
<b>考點命中</b>	請見《解說基礎工程》第3-13頁，有說這是緊砂。請見《解說土壤力學》第7-19頁，也可看出偏向緊砂。 使用歐陽獨創的公式 $A_f = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\sin \phi} - \frac{1}{\sin \phi'} \right)$ 也可以得解。

解：

- (一) 下表之建立，均已扣除反水壓 100 kPa  
加軸差應力引發之  $u_e = 200(0.2) = 40$  kPa

	總應力	水壓力(不含反水壓)	有效應力
圍壓階段	$\sigma_3 = 200 - 100 = 100 = \sigma_1$	0	$\sigma'_3 = 100 = \sigma'_1$
加軸差應力	$\sigma_3 = 100$ $\sigma_1 = 100 + 200 = 300$	40	$\sigma'_3 = 60$ $\sigma'_1 = 260$

砂土  $c = c' = 0$  kPa

按  $\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2(45^\circ + 0.5\phi)$

得  $300 = 100 \tan^2(45^\circ + 0.5\phi)$

解出  $\phi = 30^\circ$

按  $\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2(45^\circ + 0.5\phi')$

得  $260 = 60 \tan^2(45^\circ + 0.5\phi')$

解出  $\phi' = 38.68^\circ$

- (二)  $\tan \alpha = \sin \phi' = \sin 38.68^\circ = 0.625$

解出  $K_r$  線角度為  $32^\circ$

加完圍壓時， $p = (100 + 100) / 2 = 100$  kPa

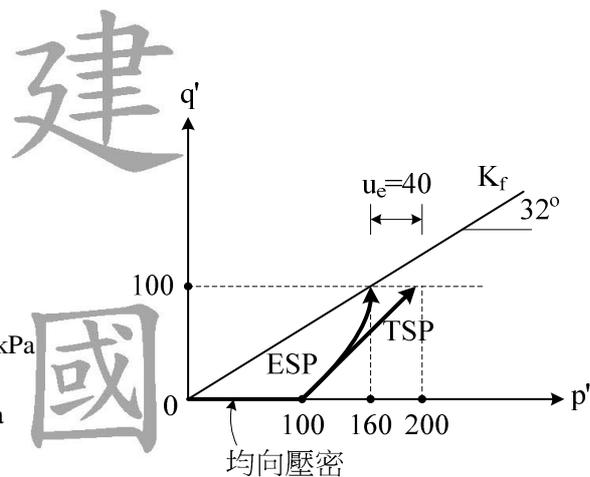
$q = q' = (100 - 100) / 2 = 0$  kPa

破壞時， $q = q' = (260 - 60) / 2 = 100$  kPa

$p = (300 + 100) / 2 = 200$  kPa

$p' = (60 + 260) / 2 = 160$  kPa

右圖數字單位為 kPa



- (三) 緊砂。從  $A_f$  數值與排水內摩擦角  $\phi'$  數值來研判，都是緊砂。

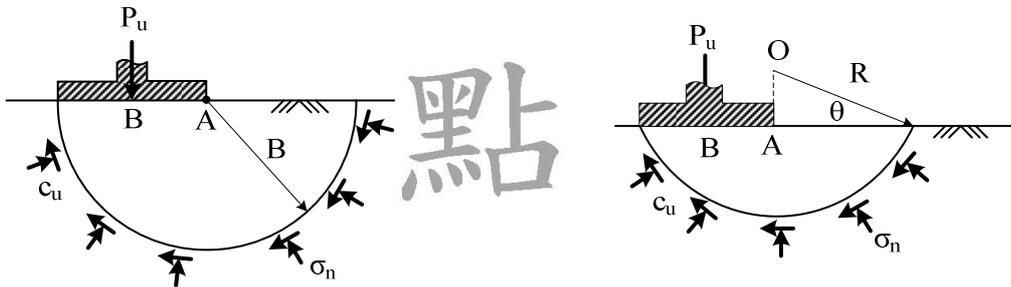
三、試以 Terzaghi 淺基礎承载力理論，回答下列問題：

- (一)繪出當土壤摩擦角 $\phi=0$ 時，其條狀基礎破壞面且詳細標註其幾何參數。(10分)  
 (二)以 Terzaghi 承载力理論，列出於地表進行圓形平板載重試驗 (plate load test)，所得平板極限承载力與實際基礎之極限承载力於黏土及砂土層需如何修正，並說明其原因。(10分)  
 (三)考慮土壤摩擦角 $\phi=0$ 且埋置深度 $D$ 之條狀基礎，計算淨極限承载力 (net ultimate bearing capacity) 時，如何進行地下水位修正？(5分)

試題評析	第(一)小題很冷門，但歐陽書上有相關練習題喔，見《解說基礎工程》第3-92頁。 第(三)小題非常靈活，命題者是挖洞讓考生跳。
考點命中	第(二)小題我們上課有用正方形平板舉例計算，考試考圓形，原理一樣，見《解說基礎工程》第3-44頁。

解：

(一)



輻射剪力區之滑動弧被設為對數螺線 $r = r_0 \exp(\pi \tan \phi)$ ，當 $\phi=0$ ， $r = r_0 =$ 固定半徑。

假設滑動弧圓心在上左圖之A點，則滑動弧半徑 $r = B =$ 基礎短邊寬度，破壞面是半圓，對A點取力矩平衡，可得 $N_c = 6.28$ 。

然左圖的圓心位置與滑動弧半徑係人為指定，不見得是真正破壞面。

假設滑動弧圓心在上右圖之O點，設O點在A之正上方，滑動弧半徑 $r = R$ ，對A點取力矩平衡，並透過微分求極值手段，可得 $\theta=23.2^\circ$ ，半徑 $R = 1.088B$ ， $N_c = 5.52$ 。此答案較前解為精確。

以上推導均忽略土體自重，不排水剪力強度為 $c_u$ 。

(二)圓形基礎淨承载力公式 $q_{net} = 1.3cN_c + q(N_q - 1) + 0.3 B \gamma N_\gamma$

在地表進行平板載重試驗，試驗時覆土深度為零， $q=0$

若土層是黏土，因 $N_\gamma = 0$ ，則 $q_{(p)} = 1.3cN_c$ ，此值與基礎大小無關

對應到實際基礎，則 $q_{(F)} = 1.3cN_c + q(N_q - 1) = \underline{q_{(p)} + \gamma D_f(N_q - 1)}$

$D_f$ 是實際基礎的埋置深度

若土層是砂土，因 $c = 0$ ，則 $q_{(p)} = 0.3 B \gamma N_\gamma$ ，此值與基礎直徑成正比

對應到實際基礎，則 $q_{(F)} = \underline{\gamma D_f(N_q - 1) + q_{(p)} \times B_F / B_p}$

(三)無須進行地下水位修正

$\phi = 0$  則  $N_c = 5.14$ ， $N_q = 1.0$ ， $N_\gamma = 0$

代入 $q_{net} = cN_c + q(N_q - 1) + 0.5B\gamma N_\gamma = c_u N_c$  此值與水位無關，無須進行地下水位修正。

另一理由， $\phi = 0$ 的觀念係把土壤和水合併看成單一相位(one phase)材料，進行總應力分析，此材料不再有水進出，有效應力維持常數，含水量維持常數，地下水位在哪裡已經無關緊要，分析時用不到地下水位。

四、回答下列開挖支撐 (Braced cut) 相關問題：

(一)說明為何進行支撐開挖側向土壓力多以 Peck (1969) 視側壓力分布圖估算側向土壓力而非主動與靜止側向土壓力。(15 分)

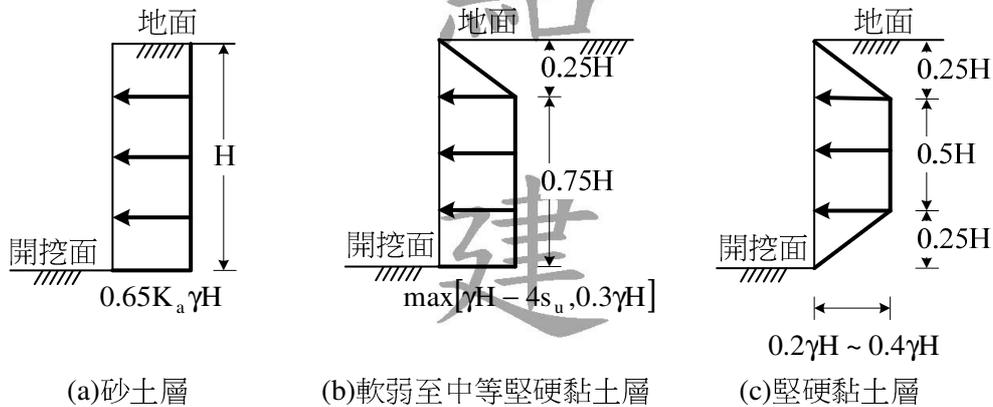
(二)以 Terzaghi 理論推導當開挖底部黏土層厚度大於開挖寬度 B 且開挖長度遠大於寬度時，其抗隆起安全係數。(10 分)

**試題評析** 本題屬於傳統送分題，有到班上課都能得分。

**考點命中** 請見《解說基礎工程》第1-71頁，以及第4-11頁。

解：

(一)內撐式支撐設施通常在分層開挖後逐層架設支撐，因而擋土設施之側向變位亦隨開挖之進行而逐漸增加，但擋土設施所受之側向壓力，同時受牆背之土層特性、土壤側向變位量、支撐預力、開挖程序與快慢、支撐架設時程等諸因素影響，使牆背之側向土壓力呈不規則分佈，而與一般擋土牆設計採用之主動或靜止土壓力，有明顯之不同。



(二)參考圖，新地表面的承壓能力是  $c_u N_c B_1 = 5.7c_u B_1$

$B_1$  是滑動弧半徑， $B_1 = B / 1.414$

考慮直線破壞面的抗剪能力  $c_u H$

故作用在新地表面的載重是  $qB_1 + \gamma HB_1 - c_u H$

Terzaghi 對隆起的見解是：以開挖面高程為新地表面，計算新地表面的承壓能力以及受載重大

小，以力量為比例表示安全係數，參考圖， $FS = \frac{5.7c_u B_1}{qB_1 + \gamma HB_1 - c_u H} \geq 1.5$