

109 年專門職業及技術人員高等考試大地工程學參考解答

一、針對活動斷層及斷層泥，請說明：(20 分)

- (一)依據經濟部中央地質調查所，說明臺灣之活動斷層如何定義？其如何分類？
- (二)說明斷層泥之力學性質。當隧道開挖時遭遇斷層泥，其可能產生之影響。

【解題老師】施國欽老師

• 109 年土木技師試題 •

參考解答

(一)依中央地質調查所（民國 99 年）之定義為：「十萬年以來曾發生錯移之斷層，稱為活動斷層」。並將台灣地區的活動斷層分為下列三類：

1. 第一類活動斷層（全新世活動斷層）
 - (1)全新世（距今 10,000 年內）以來曾經發生錯移之斷層。
 - (2)錯移（或潛移）現代結構物之斷層。
 - (3)與地震相伴發生之斷層（地震斷層）。
 - (4)錯移現代沖積層之斷層。
 - (5)地形監測證實具潛移活動性之斷層。
2. 第二類活動斷層（更新世晚期活動斷層）
 - (1)更新世晚期（距今約 100,000 年內）以來曾經發生錯移之斷層。
 - (2)錯移階地堆積物或台地堆積層之斷層。
3. 存疑性活動斷層（為有可能為活動斷層的斷層，包括對斷層的存在性、活動時代、及再活動性存疑者）：
 - (1)將第四紀岩層錯移之斷層。
 - (2)將紅土緩起伏面錯移之斷層。
 - (3)地形呈現活動斷層特徵，但缺乏地質資料佐證者。

(二)

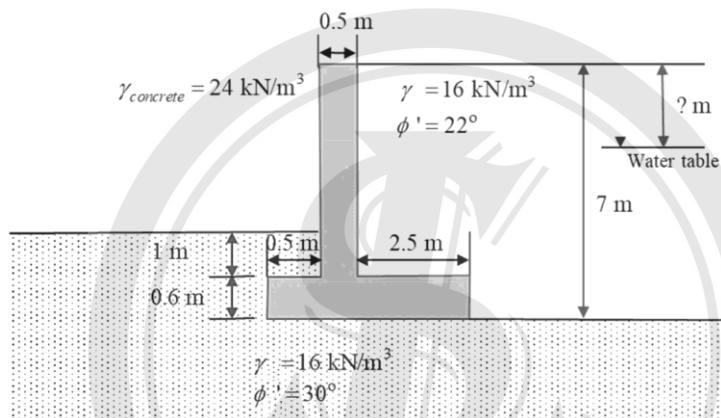
1. 斷層泥之力學特性：
 - (1)滲透性：滲透性低，猶如不透水層，可能使斷層帶兩側的水壓有極大的差異。
 - (2)變形性：岩體變形性大增，且岩體更為不均質，其受力後差異變形性大。
 - (3)剪力強度：岩體強度銳減，使邊坡易滑動，承载力降低，岩體的自立性變低。
2. 斷層泥的剪力強度低，易抽心；岩體變形性大，容易產生擠壓變形。其透水性極低，但是兩側的破碎帶的透水性高，常連通地下水源成為貯水層。當隧道開挖面至斷層泥時，使泥層逐漸變薄，最後，水壓力足以衝破斷層泥而發生大量湧水。

二、有一懸臂式擋土牆如圖所示，牆背回填土壤之單位重 $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ ，摩擦角 $\phi' = 22^\circ$ 。牆前土壤之單位重 $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ ，摩擦角 $\phi' = 30^\circ$ ，地下水位遠低於擋土牆底部。請以 Rankine 土壓力理論計算：(20 分)

(一)此牆抗傾倒之安全係數。

(二)若牆底於土壤之摩擦角為土壤之 $2/3$ ，此牆抗滑移之安全係數。

(三)由於擋土牆之排水孔失效，導致牆後地下水上升，土壤飽和單位重 $\gamma_{sat} = 19.5 \text{ kN/m}^3$ 。請問當地下水升至距牆背地表多少深度時將發生滑移破壞（假設牆底抗滑力同(二)題之結果）？



圖中尺寸未按實際比例繪製

【解題老師】施國欽老師

• 109 年土木技師試題 •

問題剖析

本題是擋土牆設計的穩定分析，特別注意牆背有地下水時，牆底的水壓力分佈。

參考解答

(一)擋土牆抗傾倒安全係數之計算

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{22^\circ}{2} \right) = 0.455$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a = \frac{1}{2} \times 16 \times 7^2 \times 0.455 = 178.36 \text{ kN/m}$$

擋土牆各區塊作用力之計算

位置	面積(m ²)	單位長度重量(kN/m)	力臂(m)	力矩(kN-m/m)
牆身	0.5×6.4=3.2	3.2×24=76.8	0.75	57.6
牆基	0.6×3.5=2.1	2.1×24=50.4	1.75	88.2
回填土	2.5×6.4=16	16×16=256	2.25	576
		ΣV=383.2		ΣM _r =721.8

$$\text{抗傾倒 } FS = \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_d} = \frac{721.8}{178.36 \times \frac{7}{3}} = 1.73 < 2.0 \text{ (NG.)}$$

(二)擋土牆抗滑移安全係數之計算

$$FS = \frac{F_r}{F_d} = \frac{\Sigma V \tan \delta}{P_a} = \frac{383.2 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 30\right)}{178.36} = \frac{139.47}{178.36} = 0.78 < 1.5 \text{ (NG.)}$$

(三)擋土牆發生滑移時，地下水位之計算

沒有地下水時，擋土牆抗滑移 $FS = 0.78 < 1$ ，就可能滑移破壞了。

三、針對一土壤（比重 2.70）進行標準夯實試驗（Standard Proctor Compaction test），其結果如下所示：（20 分）

濕密度 γ_m (kg/m ³)	1890	2080	2150	2130	1990
含水量 (%)	11.3	13.7	14.8	17.1	19.6

(一)繪製乾密度與含水量關係曲線，求取最大乾密度與最佳含水量。

(二)繪製無空氣孔隙曲線（Zero air void curve）。

(三)現地夯實時，欲降低其滲透性，含水量應控制在乾側或濕側？說明其原因。

【解題老師】施國欽老師

• 109 年土木技師試題 •

問題剖析

夯實試驗要注意夯實曲線的繪製要領。

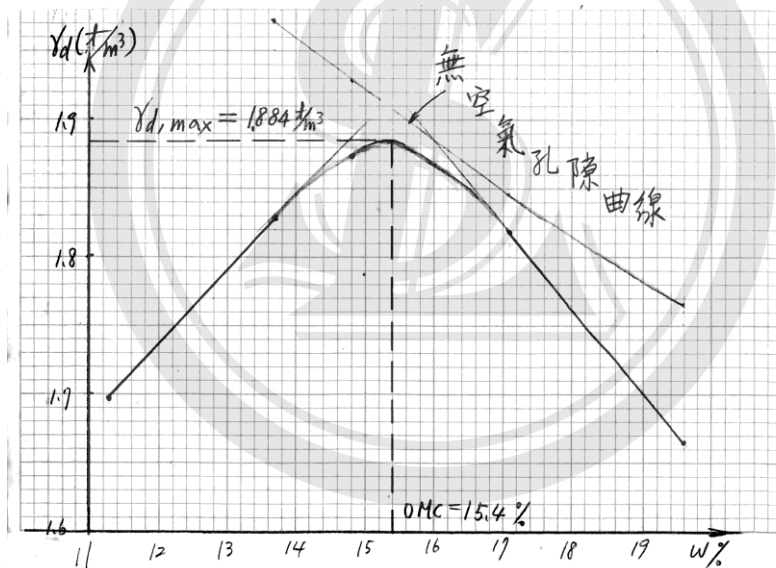
參考解答

(一) 夯實曲線之繪製，並求最大乾密度 $FS = 0.78 < 1$ 及最佳含水量 $FS = 0.78 < 1$

γ_m (t/m ³)	W (%)	γ_d (t/m ³)	飽和時的 γ_d (t/m ³)
1.890	11.3	1.698	2.069
2.080	13.7	1.829	1.971
2.150	14.8	1.873	1.929
2.130	17.1	1.819	1.847
1.990	19.6	1.664	1.766

註：1. $\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1+W}$

2. 飽和時 $\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e} = \frac{\gamma_s}{1+G_s W} = \frac{2.7 \times 1}{1+2.7 \times W}$



從夯實曲線可以求出最大乾密度 $\gamma_{d,max} = 1.884 \text{ t/m}^3$ ，最佳含水量 $OMC = 15.4\%$

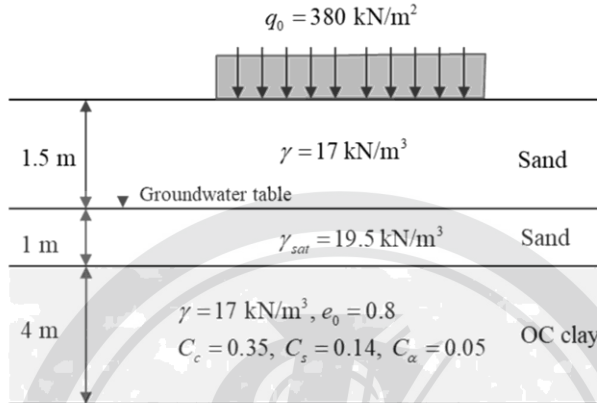
(二) 從計算表中，可看出土壤飽和時的乾密度，並繪製無空氣孔隙曲線如圖所示。

(三) 要降低夯實土的滲透性，含水量應控制在 OMC 的濕側，因為濕側屬於分散結構，滲透性較低。

四、一地層分佈與性質如圖所示，圖中黏土層（OC clay）之預壓密應力為 75 kN/m^2 ，初始孔隙比 $e_0 = 0.8$ 。今於此地層之上築一土堤，長度及寬度分別為 15 m 與 5 m ，試評估黏土層之壓密沉陷量：（20 分）

（一）主要壓密沉陷量。

（二）當主要壓密於 1 年後結束，評估 5 年後二次壓密沉陷量。



【解題老師】施國欽老師

• 109 年土木技師試題 •

問題剖析

題目已說明是 OC clay，計算壓密沉陷量時，要研判是純過壓密粘土，還是部份過壓密粘土。

參考解答

（一）主要壓密沉陷量 ΔH_c 之計算

粘土層中央有效覆土壓力 σ'_0

$$\sigma'_0 = 17 \times 1.5 + (19.5 - 9.8) \times 1 + (17 - 9.8) \times 2 = 49.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_0 = 49.6 \text{ kPa} < \sigma'_c = 75 \text{ kPa}, \therefore \text{屬於過壓密粘土}$$

假設有限面積加載採用 2 : 1（垂直：水平）向下擴散，

$$\text{應力增量 } \Delta \sigma' = \frac{380 \times (5 \times 15)}{(5 + 4.5)(15 + 4.5)} = 153.85 \text{ kPa}$$

$$\text{最終應力 } \sigma'_1 = 49.6 + 153.85 = 203.45 \text{ kPa} > \sigma'_c = 75 \text{ kPa}$$

\therefore 屬於部份過壓密粘土

$$\Delta H_c = H_0 \frac{C_s}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + H_0 \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_c}$$

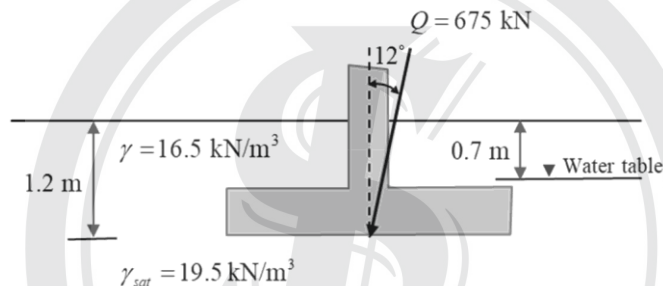
$$= 400 \times \frac{0.14}{1+0.8} \log \frac{75}{49.6} + 400 \times \frac{0.35}{1+0.8} \log \frac{203.45}{75}$$

$$= 5.59 + 33.71 = 39.3 \text{ cm}$$

(二)五年後二次壓密沉陷量 ΔH_s 之計算

$$\Delta H_s = H_0 \frac{C_\alpha}{1+e_0} \log \frac{t_s}{t_p} = 400 \times \frac{0.05}{1+0.8} \log \frac{5}{1} = 7.77 \text{ cm}$$

五、一正方形基礎座落於土壤中，基礎面在地面下 1.2 m，承受一傾斜荷重 675 kN，傾斜角度為 12° ，如圖所示。該土壤之濕單位重 $\gamma_m = 16.5 \text{ kN/m}^3$ ，飽和單位重 $\gamma_{sat} = 19.5 \text{ kN/m}^3$ 。地下水位在地面下 0.7 m。(20 分)



(一)為求取土壤強度參數，進行三個不擾動土壤試體之三軸壓密不排水試驗 (Consolidated Undrained Test)，試體破壞時所記錄的應力與孔隙水壓資料如下表所示。試繪出此土壤之總應力與有效應力破壞包絡線，求取上述基礎設計所需之莫爾-庫倫 (Mohr-Coulomb Criterion) 強度參數。

試體編號	圍壓 σ_3 (kN/m^2)	軸差壓力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) (kN/m^2)	孔隙水壓 (u) (kN/m^2)
1	50	57	21
2	100	118	40
3	200	205	82
4	400	423	158

(二)若安全係數 $FS = 3.0$ ，決定基礎寬度 B 為多少？

參考公式

$$q_{all} = \left(\frac{q_u - q}{FS} \right) + q$$

Shape factors	Depth factors	Inclination factors
$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L} \right) \left(\frac{N_q}{N_c} \right)$	$F_{cd} = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B} \right)$	$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ} \right)^2$
$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L} \right) \tan \phi'$	$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \frac{D_f}{B}$	$F_{ri} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'} \right)^2$
$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L} \right)$	$F_{\gamma d} = 1$	

ϕ (度)	N_c	N_q	N_γ	ϕ (度)	N_c	N_q	N_γ
23	18.05	8.66	8.20	37	55.63	42.92	66.19
24	19.32	9.60	9.44	38	61.35	48.93	78.03
25	20.72	10.66	10.88	39	67.87	55.96	92.25
26	22.25	11.85	12.54	40	75.31	64.20	109.41
27	23.94	13.20	14.47	41	83.86	73.90	130.22
28	25.80	14.72	16.72	42	93.71	85.38	155.55
29	27.86	16.44	19.34	43	105.11	99.02	186.54
30	30.14	18.40	22.40	44	118.37	115.31	224.64
31	32.67	20.63	25.99	45	133.88	134.88	271.76
32	35.49	23.18	30.22	46	152.10	158.51	330.35
33	38.64	26.09	35.19	47	173.64	187.21	403.67
34	42.16	29.44	41.06	48	199.26	222.31	496.01
35	46.12	33.30	48.03	49	229.93	265.51	613.16
36	50.59	37.75	56.31	50	266.89	319.07	762.89

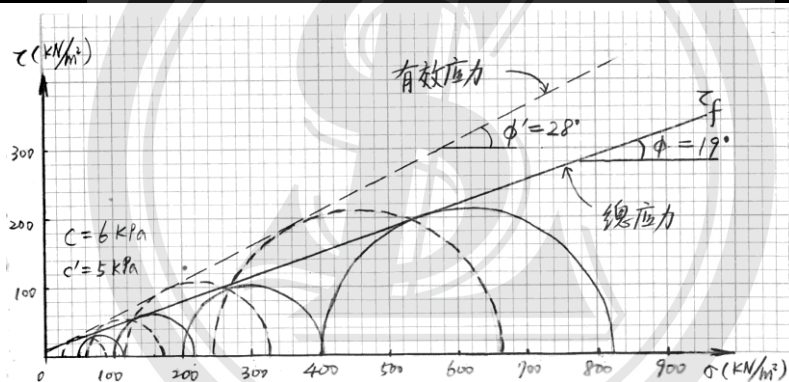
問題剖析

三軸試驗有四個試體，因考選部所規定的計算機不能迴歸，因此採用作圖方式求強度參數。

參考解答

(一)土壤剪力強度參數之計算

編號	σ_3	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_1	$P = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$	$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$	u	σ'_3	σ'_1	P'	q'
1	50	57	107	78.5	28.5	21	29	86	57.5	28.5
2	100	118	218	159.0	59.0	40	60	178	119	59.0
3	200	205	405	302.5	102.5	82	118	323	220.5	102.5
4	400	423	823	611.5	211.5	158	242	665	453.5	211.5



由圖中求出總應力強度參數 $C = 6 \text{ kPa}$ ， $\phi = 19^\circ$

有效應力強度參數 $C' = 5 \text{ kPa}$ ， $\phi' = 28^\circ$

(二)基礎寬度 B 之計算

極限承載力 q_u

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$\therefore C'$ 值很小，視為粒狀土壤，採用有效應力分析

$C' = 5 \text{ kPa}$ ， $\phi' = 28^\circ$ ，研判為局部剪力破壞

$$C^* = \frac{2}{3} C = \frac{2}{3} \times 5 = 3.33 \text{ kPa}, \phi^* = \tan^{-1} \left(\frac{2}{3} \tan 28^\circ \right) = 19.5^\circ$$

由於表中無數字可查，因此不考慮局部剪力破壞修正

當 $\phi' = 28^\circ$ 時， $N_c = 25.8$ ， $N_q = 14.72$ ， $N_\gamma = 16.72$

$$\begin{cases} F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right) = 1 + 1 \times \left(\frac{14.72}{25.8}\right) = 1.57 \\ F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \tan \phi' = 1 + 1 \times \tan 28^\circ = 1.53 \\ F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L}\right) = 0.6 \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{cd} = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B}\right) = 1 + 0.4 \frac{1.2}{B} = 1 + \frac{0.48}{B} \\ F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \times \frac{D_f}{B} \\ \quad = 1 + 2 \tan 28^\circ (1 - \sin 28^\circ)^2 \times \frac{1.2}{B} = 1 + \frac{0.36}{B} \\ F_{\gamma d} = 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{12^\circ}{90^\circ}\right)^2 = 0.75 \\ F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'}\right)^2 = \left(1 - \frac{12^\circ}{28^\circ}\right)^2 = 0.327 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} q_u &= cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \\ &= 5 \times 25.8 \times 1.57 \times \left(1 + \frac{0.48}{B}\right) \times 0.75 \\ &\quad + (16.5 \times 0.7 + 9.7 \times 0.5) \times 14.72 \times 1.53 \times \left(1 + \frac{0.36}{B}\right) \times 0.75 \\ &\quad + \frac{1}{2} \times 9.7 \times B \times 16.72 \times 0.6 \times 1 \times 0.327 \\ &= \left(151.9 + \frac{72.9}{B}\right) + \left(277 + \frac{99.73}{B}\right) + 15.91B \\ &= 428.9 + 15.91B + \frac{172.63}{B} \end{aligned}$$

$$\text{依題意 } q_{all} = \left(\frac{q_u - q}{FS}\right) + q$$

$$= \frac{\left(428.9 + 15.91B + \frac{172.63}{B}\right) - (16.5 \times 0.7 + 9.7 \times 0.5)}{3} + (16.5 \times 0.7 + 9.7 \times 0.5)$$

$$= \frac{412.5 + 15.91B + \frac{172.63}{B}}{3} + 16.4$$

$$= 153.9 + 5.3B + \frac{57.54}{B}$$

$$\text{外應力 } q = \frac{V}{A} = \frac{Q \cos 12^\circ}{B^2} = \frac{675 \cos 12^\circ}{B^2} = \frac{660.2}{B^2}$$

令外應力 $q = q_a$

$$\frac{660.2}{B^2} = 153.9 + 5.3B + \frac{57.54}{B}$$

$$660.2 = 153.9B^2 + 5.3B^3 + 57.54B$$

解得 $B = 1.84 \text{ m}$
