

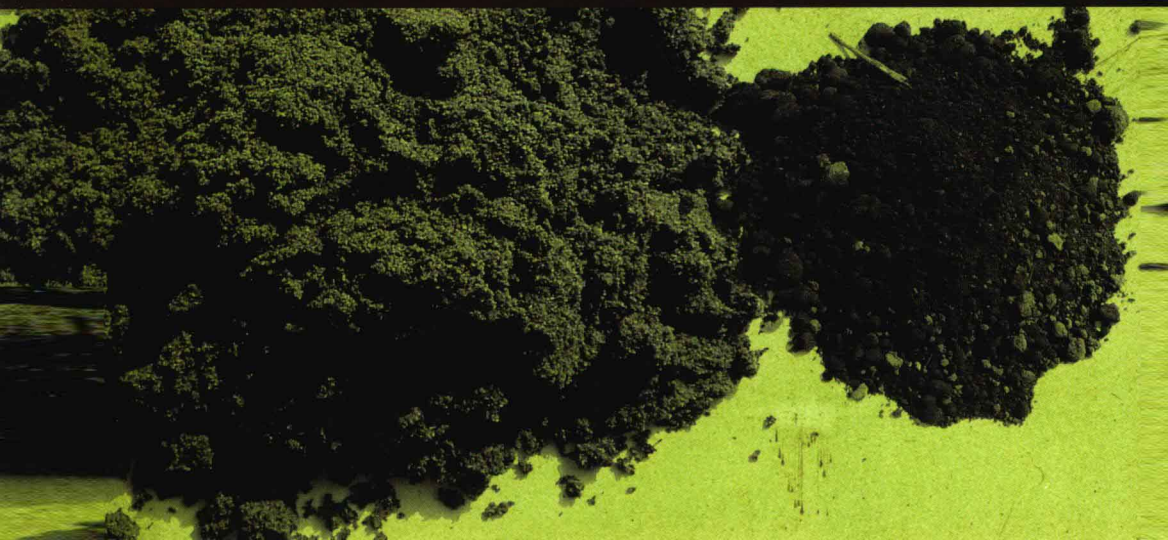


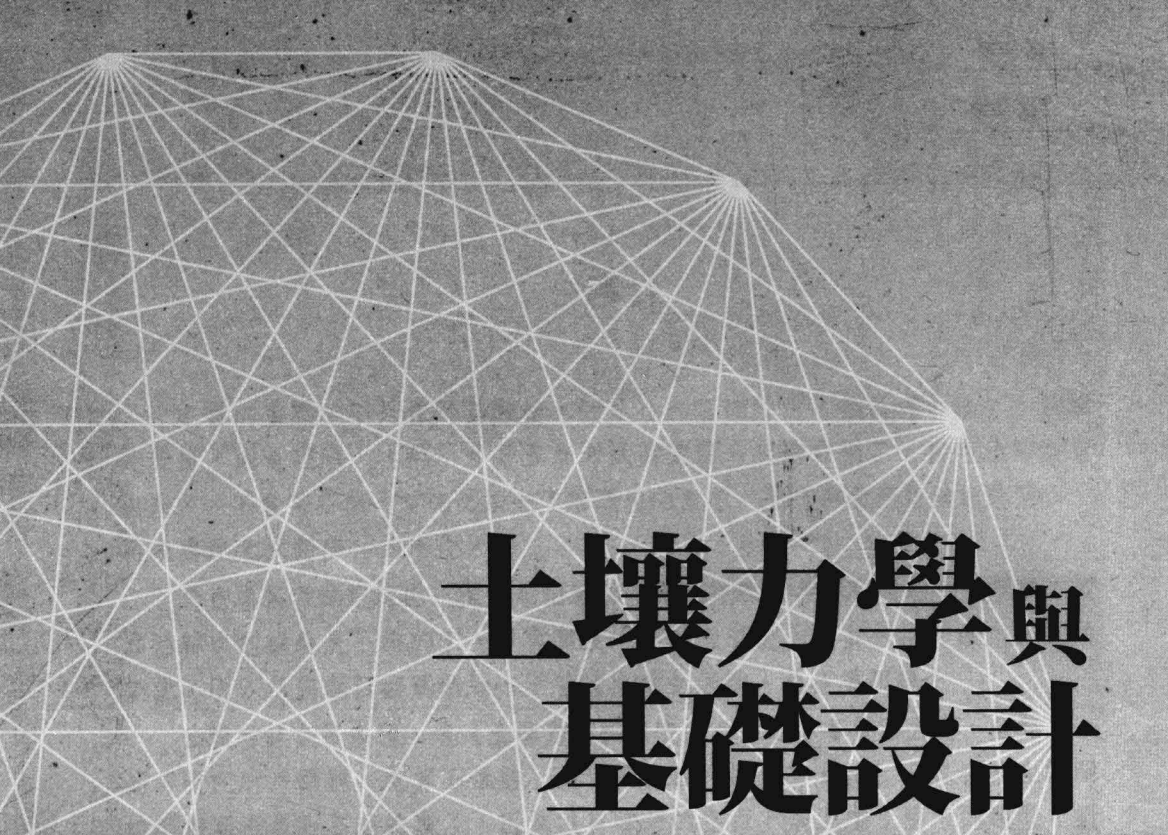
土壤力學與 基礎設計

Soil Mechanics And
Foundation Design

溫順華 著

● 高普考
● 研究所 考試用書





土壤力學與 基礎設計

Soil Mechanics And
Foundation Design

溫順華 著

五南圖書出版公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

土壤力學與基礎設計／溫順華作．一初版．一臺

北市：五南，2011.07

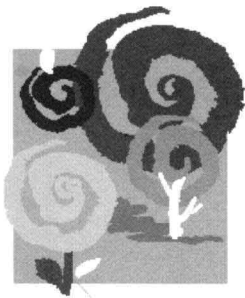
面；公分．

ISBN 978-957-11-6326-0（平裝）

1.土壤力學

441.12

100011431



5G26

土壤力學與基礎設計

Soil Mechanics and Foundation design

作 者 — 溫順華

發行人 — 楊榮川

總編輯 — 龐君豪

主 編 — 王正華

責任編輯 — 楊景涵

封面設計 — 郭佳慈

出版者 — 五南圖書出版股份有限公司

地 址：106 台北市大安區和平東路二段 339 號 4 樓

電 話：(02)2705-5066 傳 真：(02)2706-6100

網 址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：wunan@wunan.com.tw

劃撥帳號：01068953

戶 名：五南圖書出版股份有限公司

台中市駐區辦公室 / 台中市區中山路 6 號

電 話：(04)2223-0891 傳 真：(04)2223-3549

高雄市駐區辦公室 / 高雄市新興區中山一路 290 號

電 話：(07)2358-702 傳 真：(07)2350-236

法律顧問 元貞聯合法律事務所 張澤平律師

出版日期 2011 年 7 月初版一刷

定 價 新臺幣 550 元

序

本書的重點，不是在於其教材，而是在於懂的程度（很多考古題），無論是背懂，或是理解，「熟」才是參加考試的重點。試題作熟了，當考卷的題目出來，才不會茫茫然，首先必須先了解題目的意思，然後再看清楚給你的條件，再來要注意試題條件的單位。

念書準備考試跟烤肉一樣，最怕裝熟，所以熟練考古題和習題才是重點（僅靠補習班的講義是不夠的），畢竟很多考題都有變化的，要習慣考場上試題的變化，所以任何題目都要熟練，不管背熟還是理解，熟都要超熟。

公職考試有好多種，將《土壤力學與基礎設計》這本書買回去念，全熟了，高考研究所沒問題，就算不很熟，對其他公職考試也有幫忙，尤其在校中就開始準備國考最好不過的事了，因為沒有賺錢的壓力，加上念了國考的題型，對學校的學業也有幫助，將來面對國考具有殺傷力的考題也比較有觀念，加上以國考的層次去考國立研究所也是易如反掌。

加油！

溫順華 於 2011 年夏

目 錄

序

第一章 土壤的定義..... 1

- 1.1 工程上應用的土壤 3
- 1.2 土壤的工程及其他分類 6
- 1.3 組成土壤之三態 7
- 1.4 土壤的基本性質 8
- 1.5 參考資料 10
- 1.6 土壤性質試驗 12
- 1.7 累積曲線類型 20
- 1.8 阿太堡限度及指數 24

第二章 土壤分類與夯實..... 33

- 2.1 統一土壤分類系統 34
- 2.2 分類方法 36
- 2.3 土壤結構與黏土礦物 47
- 2.4 非黏性土壤結構 48
- 2.5 土壤夯實 56

第三章 土壤的滲透性與滲透分析..... 69

- 3.1 水在土壤中之行為 70
- 3.2 壓力水頭 73

- 3.3 滲透係數的測定 77
- 3.4 層狀土壤之滲透理論 86
- 3.5 二向度滲流 93
- 3.6 管內之層流 99

第四章 孔隙水壓與有效應力…………… 109

- 4.1 總應力，有效應力及孔隙壓力的關係 110
- 4.2 有效應力原理 111
- 4.3 黏土層壓密之原理及觀念 120
- 4.4 臨界水力坡降與土壤液化 122
- 4.5 土壤應力 128
- 4.6 水平應力 131
- 4.7 試題精華 134

第五章 土壤之壓密與沉陷…………… 147

- 5.1 土壤的壓縮性 148
- 5.2 壓密的原理及觀念 149
- 5.3 壓縮與沉陷 151
- 5.4 壓密速率 159
- 5.5 次要壓縮沉陷計算 164
- 5.6 工地現場壓縮曲線之應用 167
- 5.7 即時沉陷 177

第六章 基礎設計…………… 195

- 6.1 基礎型式及種類 196
- 6.2 基礎載重 197
- 6.3 載重組合 200

- 6.4 淺基礎設計 202
- 6.5 基礎地盤之容許承载力 215
- 6.6 樁基礎 229

第七章 檔土牆..... 245

- 7.1 作用力 247
- 7.2 靜止土壓力 248

第八章 邊坡的穩定性..... 273

- 8.1 邊坡破壞的原因 274
- 8.2 邊坡穩定之安全係數之選擇 274
- 8.3 邊坡破壞的種類 275
- 8.4 邊坡穩定分析方法 277
- 8.5 邊無限邊坡之穩定分析 280
- 8.6 平面破壞之有限邊坡 (Culmann's 分析法) 291
- 8.7 護坡工程之種類及優缺點探討 295
- 8.8 監測系統之設置 301

第九章 基地開挖與土壤液化評估..... 305

- 9.1 開挖之設計 306
- 9.2 安全措施 306
- 9.3 地下水位控制 307
- 9.4 邊坡式開挖 310
- 9.5 擋土式開挖 312
- 9.6 設計考慮 313
- 9.7 土壤液化 323
- 9.8 設計地震 324

9.9	土壤液化潛能評估	324
9.10	損害評估	327
9.11	地盤流動化之基礎耐震設計	328
9.12	液化地層土質參數之折減	329
第十章 總復習試題.....		331
索 引.....		383

.....

chapter ***1***

土壤的定義

.....

土壤與岩石的區別，在於膠結的程度之不同。土壤是未固結的顆粒組成的。部分土壤其顆粒之間也有膠結，但是膠結程度與岩石相較則極低。

因此，土壤屬於顆粒性材料，其行為和大多數的金屬或非金屬材料之間有很大的差異。一般用於研究其他固體材料的基本力學原理都是用於土壤，但是對於土壤行為的描述與分析計算，則和固體力學的範疇完全不同。

土壤與岩石循環的關係極為密切，土壤屬於岩土循環的一部份。岩石經過各種外力的風化作用後形成土壤。而各種不同的環境外力，又可以將這些土壤搬運到他處沈積。在土壤沈積長久的時間後，若經長久的時間後，由於其上覆蓋的土壤以及環境的作用，又可能轉化為岩石。

火成岩、變質岩、沈積岩，在接近地表面的部分都會因為風化作用，其靠近地表的部分逐漸形成土壤。

重要的三種粘土礦物：

- (1)高嶺土 (kaolinite)
- (2)伊利土 (illite)
- (3)蒙脫土 (montmorillonite)

土壤和岩石一樣都由礦物組成，不論是砂、沈泥或黏土都一樣。一般在大地工程中，土壤的礦物成份扮演的角色並不重要。在絕大部份的狀況下，工程師只要能掌握土壤的力學性質，就已經能夠達成其分析與設計的目標，不會出差錯。只有在極少數情況下，土壤的礦物組成會扮演關鍵性的角色。基本上，根據一般人的經驗，都知道土壤可以區分為卵石或礫石、砂、黏土三大類。至於沈泥則較不屬於一般人的經驗與常識範疇。以下簡單地介紹幾種土壤的分類方式。

- (1)依顆粒的粒徑大小區分土壤顆粒種類

名 稱	Name	粒徑範圍
中礫石	Cobble	$D > 150 \text{ mm}$
礫石	Gravel	$4.75 \text{ mm} < D < 150 \text{ mm}$
粗砂	Coarse Sand	$2.00 \text{ mm} < D < 4.75 \text{ mm}$
中砂	Medium Sand	$0.425 \text{ mm} < D < 2.00 \text{ mm}$
細砂	Fine Sand	$0.075 \text{ mm} < D < 0.425 \text{ mm}$
粉土、沉泥	Silt	$0.002 \text{ mm} < D < 0.075 \text{ mm}$
黏土	Clay	$D < 0.002 \text{ mm}$

1.1 工程上應用的土壤

土壤是一種極為複雜的材料，而任何一種工程皆與土壤有關，為使工程設計與施工，能達到安全性、經濟性、耐用性，工程師必須了解土壤性質，並加以分類，而得到土壤的工程性質，為設計之依據。

依照土壤顆粒粒徑來區分是最簡單、最直接的分類方式。這也是最基本的土壤分類。上述的各種複雜的工程土壤分類方法，也都是以粒徑的區分為根本。

雖然，可以用粒徑來區分土壤類別，但是事實上砂土和黏土幾乎是完全不同的東西，許多的性質有極大的差異；而且現地的土壤往往混雜了不同比例的各種粒徑顆粒，很難單純地歸類。因此才會衍生出各種複雜的土壤分類。

實際上的粒徑分析是必須要在實驗室內進行粒徑分析試驗才能得到精確的結果。粒徑在細砂以上的土壤較易用篩分析區分，粒徑較小的土壤不易用篩分析區分。

(a)篩分析（乾篩、溼篩）：使用於粗粒之粒徑分析，係將土樣通

過一組十盒的不同的篩號，分別計算停留各篩內的土重，一般用#4 (4.76mm) 至#200 (0.074mm) 號篩，過篩率計算方法，依序扣除留置在特定篩號（粒徑）的土壤重量百分比。

(b) 沉降法（比重計法）：

土粒採用篩分析，因銅篩製造技術關係，其孔徑僅小至某一定限度，如超出此限度，則無法適用。通常土粒小於 0.074mm 者，即通過泰勒氏標準篩及美國標準篩#200 者，將採用比重計分析法。部份顆粒沉降後，整體水溶液的比重會改變。粗顆粒較細顆粒沉降快。假設顆粒為球體，利用 Stoke's Law 自水的比重計算顆粒直徑。

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2, D = \sqrt{\frac{18\eta v}{\gamma_s - \gamma_w}}$$

式中， v 為土壤顆粒在水中沉降的速度； γ_s 與 γ_w 分別為土壤顆粒與水的比重； η 為水的黏滯度； D 為土壤的粒徑。

此法在顆粒太大時，因沉降時造成亂流 (Turbulent Flow) 較不適用；在顆粒太小時，因懸浮顆粒本身的布朗運動，不易再沉降，也不太適用。

土壤的粒徑可以畫出粒徑分佈曲線

簡單地可以區分為良好級配 (Well Graded)，此狀況下，土壤粒徑分佈平均，各種粒徑參雜混合，PSD 曲線較緩和，土壤的孔隙大小也較均佈，孔徑會較小；不良級配 (Poorly Graded) 的狀況下，土壤的粒徑較趨於一致，PSD 曲線較垂直，土壤的孔徑較一致，孔徑可能較大。另若由明顯的兩種粒徑土壤組成者，稱為越級配 (Gap Graded)；此種土壤受沖蝕的可能性較高。

由土壤的粒徑分佈曲線可以定義出幾個參數

(a) 均勻係數： $c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

式中， D_{60} 代表在 PSD 曲線上對應於過篩率為 60% 的粒徑； D_{10} 代

表在PSD曲線上對應於過篩率為10%的粒徑。以砂而言，當 $c_u > 6$ 為良好級配；以礫石而言，當 $c_u > 4$ 為良好級配。

$$(b) \text{曲率係數} : c_z = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

當 $1 < c_z < 3$ 視為良好級配。

比表面積 $S_s = \text{表面積} / \text{體積或質量}$

單位： m^2/m^3 或 m^2/g

比表面積和土壤粒徑成反比

(a)三種不同黏土礦物之構造比較

黏土礦物	厚度 (nm)	寬度 (nm)	比表面積 (m^2/g)
高嶺土	10-100	100-2000	15
伊利土	5-50	100-500	80
蒙脫土	1-5	100-500	800

(b)三種不同黏土礦物之工程性質比較

黏土礦物	剪力強度	滲透性	壓縮性	膨脹性	收縮性
高嶺土	大	大	小	小	小
伊利土	中	中	中	中	中
蒙脫土	小	小	大	大	大

(c)不同凝聚性土壤結構之工程性質比較

結構型式	電化力	剪力強度	滲透性	壓縮性	
				低應力	高應力
分散結構	排斥力 > 吸引力	低	低	高	低
膠凝結構	排斥力 < 吸引力	高	高	低	高

1.2 土壤的工程及其他分類

1.2.1 土壤工程性質包括下列幾項

- (a)壓縮性質：了解土壤受載重後變形狀況。
- (b)剪力強度性質：了解土壤的各種狀況下之剪力強度。
- (c)滲透性質：了解土壤內水滲透與土壤排水問題。

1.2.2 土壤的分類

(a)依土壤的質地區分 (Texture System)：USDA、FAA

(b)依土壤內聚力 (Cohesion) 的有無區分

(b-1)Cohesionless Soil 無凝聚性土壤、砂性土壤

(b-2)Cohesive Soil 凝聚性土壤、黏性土壤

此分類方式有時會誤導對土壤工程特性的判斷。

(c)AASHTO

大多用於道路工程 A,1, A-2,至 A-7, A-8 為有機土壤。

F 為粒徑小於#200 號篩的百分比，取整數，負者取零。

(d)統一土壤分類法 (Unified Soil Classification)

美國大地工程界常用。出了美國則不然。分類方法較詳細

1.3 組成土壤之三態：

- (a) 固態：包括岩石礦物，粘土礦物，粒間黏結劑及有機物。
- (b) 液態包括水份及溶於水中之離子。
- (c) 氣態包括空氣、水蒸氣。

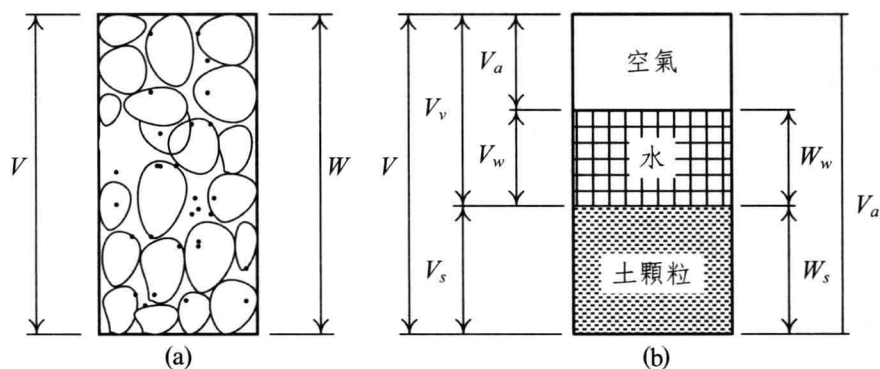
1.3.1 土壤的組成和基本符號：

體積：「 V 」，重量：「 W 」

和土顆粒有關的符號下標「 s 」，和孔隙有關的符號下標「 v 」

和水有關的符號以下標「 w 」，和空氣有關的符號以下標「 a 」

土壤由複雜物質組成，結構變化很大非連體，故嚴格說土壤不適用於所有連體力學，為土壤體積成份圖，稱為土塊圖這種表示方法只是一種假想，為了方便與了解。事實上，固、液、氣體不能完全分離。



土壤總體積符號及說明：

V_s ：土粒淨體積， V_v ：孔隙總體積， V_w ：孔隙水體積 ($V_v = V_w + V_a$)

V_a ：孔隙空氣體積， W ：土壤總重量， W_s ：土粒淨重量

W_w ：孔隙水重量， W_a ：空氣重量 ($W_a = 0$)

1.4 土壤的基本性質

1.4.1 單位重

單位重代表單位體積土壤的重量。工程師用以求出地表下不同深度土壤所承受的垂直向應力（壓力）。工程師可以將土層的單位重乘上土層厚度得到特定深度的土壤所受的應力。

求取單位重的概念十分簡單，只要知道土壤的體積和重量，重量除以體積即可得出。實際上比較嚴謹的作法應該是取薄管土樣將土樣修入小銅圈，秤其含土的銅圈總重，扣掉銅圈本身重量後，得到土重 (W)。量測大小並計算銅圈體積 (V)。二者相除，可得到：

(a) 溼土單位重 (γ)。

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s \gamma_s + W W_s}{V_s (1 + e)} = \frac{\gamma_s (1 + W)}{1 + e} = \frac{\gamma_w G_s (1 + W)}{1 + e} = r_d (1 + W)$$

(b) 含水量 $w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$

(c) 孔隙率 $n = \frac{V_u}{V} \times 100\%$

(d) 孔隙比 $e = \frac{V_u}{V_s}$

(e)飽和度 $S = \frac{V_w}{V_s} \times 100\%$

(f)乾土單位重 $r_d = \frac{W_s}{V}$

(g)土粒單位重 $\gamma_s = \frac{W_s}{V}$

(h)飽和單位重 $r_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} r_w$

(i)浸水單位重 $r_{sub} = r_{sat} - r_w$

(j)土粒比重 $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$

(k)相對密度

無塑性砂土，通常以相對密度來決定其鬆密的程度

(k-01)無塑性砂土相對密度 $D_d = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$

$e_{\max}$ = 無塑性砂土之最大空隙比

$e_{\min}$ = 無塑性砂土之最小空隙比

(k-02)相對密度 $D_d = \frac{(\gamma_d)_{\max} \times [(\gamma_d) - (\gamma_d)_{\min}]}{[(\gamma_d) \times (\gamma_d)_{\max}] - (\gamma_d)_{\min}}$

$(\gamma_d)_{\max}, (\gamma_d)_{\min}$ 為最大及最小乾土單位重

(l)Terzaghi 之規定

鬆砂	$0 < D_d < 1/3$	中密度砂	$0 < D_d < 2/3$	緊密度砂	$2/3 < D_d < 1$
----	-----------------	------	-----------------	------	-----------------