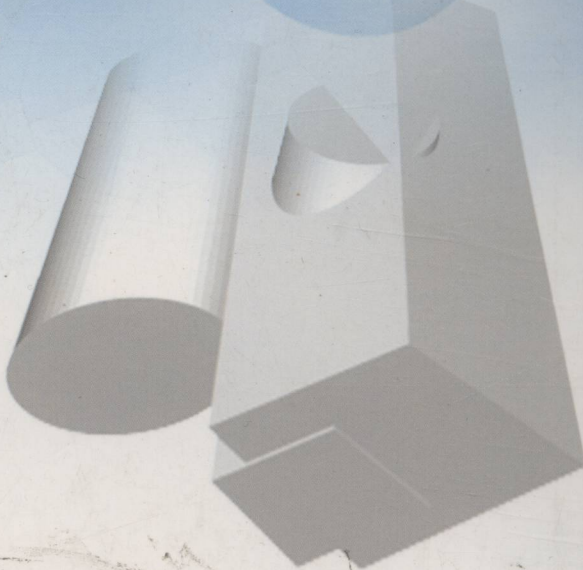


陳俶季 編著

土壤力學



土 壤 力 學

陳俶季 編著

五南圖書出版公司 印行

土壤力學 5G10

作 者／陳俶季 (258, 2)

責任編輯／林美玲

出 版 者／五南圖書出版有限公司

登 記 號:局版台業字第 0598 號

地 址:台北市大安區 106

和平東路二段 339 號 4 樓

電 話:(02)27055066 (代表號)

傳 真:(02)27066100

劃 撥:0106895-3

網 址:<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件:wunan@wunan.com.tw

發 行 人／楊 榮 川

門 市／五南文化廣場

總 店:台中市區 400 中山路 2 號

電 話:(04)2260330

沙 鹿 店:台中縣沙鹿鎮 433 中正街 77 號

電 話:(04)6631635

逢 甲 店:台中市西屯區 407 逢甲路 218 號

電 話:(04)2555800

高 雄 店:高雄市新興區中山一路 290 號

電 話:(07)2351960

排 版／辰皓電腦排版有限公司

製 版／永華製版有限公司

印 刷／國堡國際股份有限公司

裝 訂／乙順裝訂廠

中華民國 89 年 9 月 初版一刷

ISBN 957-11-2226-2

基本定價 8.8 元

(如有缺頁或倒裝，本公司負責換新)

土壤力學

陳俶季 編著

學歷：	美國喬治亞理工學院土木工程博士	
經歷：	國立台灣海洋大學河海工程系主任	1996-1999
	國立台灣海洋大學河海工程系教授	1991~
	國立台灣海洋大學河海工程系副教授	1986-1991
	國立台灣海洋大學河海工程系講師	1979-1980
	密西根大學土木工程系訪問教授	1997-1998

謹以本書

獻給

親愛的家人

序

本書的完成，首先要感謝海洋大學河海工程系許多老師的激勵與大地工程組衆多研究生的協助。河海工程系三十位幾乎都是土木工程博士的專任教師中，有多位已出版頗獲好評的教科書，尤以周宗仁教授，更是著作等身，一直是作者效法對象，希望有朝一日自己亦能像周教授一樣，出版一本對學生有所助益之教科書。

1986年自喬治亞理工學院學成回國任教迄今，匆匆已過十五年頭，由過去的大地工程教學經驗可知，國內學生普遍而言，計算能力頗強，但觀念則稍嫌不足；因而有將土壤力學觀念著於書之念頭。今蒙五南圖書出版公司之邀，遂將十年來教學編著之講義，詳加歸納整理成書，並佐以許多觀念與計算之例題，以增加讀者對土壤力學之瞭解。坊間目前已有甚多土壤力學專書，其中不乏優良著作者。讀者閱讀本書之餘，可以與其他優良的土壤力學書籍相比較，將本書內容欠缺與不足者，不吝指教，作為本書修訂之依據。

筆者自返國任教以來，承蒙國內大地工程界前輩多方提攜。本書的出版還希望大地工程先進與前輩能夠繼續給予指教，共同提升國內大地工程之知識與品質。

土壤力學 / 陳俶季編著. — 初版. — 臺北市

: 五南, 民 89

面; 公分

參考書目: 面

ISBN 957-11-2226-2(平裝)

1. 土壤力學

441.12

89014109

Chapter 1 基本性質 1

- 1-1 土壤在工程上之定義與土壤工程之發展 2
- 1-2 土木工程之土壤問題 2
- 1-3 土壤之礦物成分 4
- 1-4 粒徑 5
- 1-5 稠度試驗與阿太堡限界 7
- 1-6 指數性質 9
- 1-7 土壤分類 11
- 1-8 土壤型態 15

Chapter 2 滲透性與滲流 25

- 2-1 概論 26
- 2-2 達西定律 26
- 2-3 實驗室 k 之決定 27
- 2-4 現地抽水試驗 29
- 2-5 疊積層土壤的滲透係數 31
- 2-6 流網 33
- 2-7 不等向土壤的流網 38
- 2-8 有效應力觀念 40
- 2-9 臨界梯度 i_c 42
- 2-10 滲流力 44
- 2-11 濾層的設計 45
- 2-12 土石壩之滲流 45
- 2-13 土壤中之毛細管現象 47

Chapter 3 土壤的剪力強度與應力分佈 63

- 3-1 摩爾圓 64
- 3-2 摩爾包絡線 66
- 3-3 土壤的剪力強度 67
- 3-4 摩爾——庫倫屈伏理論 69
- 3-5 剪力強度參數之決定 71
- 3-6 土壤剪力強度參數之選擇 81
- 3-7 黏土靈敏度與復硬性 81
- 3-8 殘留強度 82
- 3-9 應力分析 82
- 3-10 Newmark 應力影響圖 89
- 3-11 應力球根 90
- 3-12 接觸壓 90

Chapter 4 側向土壓與擋土結構 107

- 4-1 靜止土壓 108
- 4-2 主動土壓與被動土壓 109
- 4-3 非凝聚土之主動土壓 109
- 4-4 凝聚力對主動土壓之效應 116
- 4-5 主動土壓評估法之選擇 118
- 4-6 設計參數選擇 118
- 4-7 背填排水 120
- 4-8 被動土壓 120
- 4-9 屈伏效應 124
- 4-10 擋土結構 124
- 4-11 加勁擋土牆 134
- 4-12 開挖之穩定分析 136

Chapter 5 基礎承载力 155

- 5-1 前言 156
- 5-2 淺基礎之極限承载力 157
- 5-3 Terzaghi 極限承载力公式 158
- 5-4 容許承载力 160
- 5-5 地下水對承载力之效應 161
- 5-6 承载力通式 162
- 5-7 偏心載重 164
- 5-8 非均質土壤條件 164
- 5-9 土壤參數之選擇 165
- 5-10 平版載重試驗 165
- 5-11 現地試驗值求基礎承载力 167
- 5-12 樁基礎 168
- 5-13 靜力分析法 169
- 5-14 動力分析 176
- 5-15 安全係數 179
- 5-16 負摩擦承載 179
- 5-17 群樁行為 179

Chapter 6 土壤的壓縮性與基礎沈陷 189

- 6-1 基本考慮 190
- 6-2 砂土層之基礎沈陷 191
- 6-3 黏土層之基礎沈陷 193
- 6-4 排水路徑長度 H_{dr} 205
- 6-5 壓密係數 c_v 之評估 205
- 6-6 壓密之模式律 208
- 6-7 砂樁排水 208

Chapter 7 邊坡穩定 223

- 7-1 邊坡破壞型式 224
- 7-2 無限邊坡之滑動 224
- 7-3 具凝聚力之有限邊坡 230
- 7-4 $C-\phi$ 土壤之穩定分析 232
- 7-5 臨界破壞圓心之決定 236
- 7-6 邊坡穩定分析圖 238

Chapter 8 土壤夯實 249

- 8-1 前言 250
- 8-2 夯實理論 250
- 8-3 標準 *Proctor* 夯實試驗 253
- 8-4 現場夯實 256
- 8-5 夯實凝聚土之性質與結構 259
- 8-6 現場夯實之控制與規範 262

Chapter 9 土壤調查 275

- 9-1 前言 276
- 9-2 土壤調查之重要性 276
- 9-3 土壤調查計畫 277
- 9-4 土壤鑽探 279
- 9-5 鑽孔與取樣 280
- 9-6 其他現地試驗 284
- 9-7 土壤探測報告 293

Chapter 10 土壤液化 301

10-1 土壤液化的原因 302

10-2 影響土壤液化的因素 303

10-3 土壤液化評估方法 305

10-4 相關經驗法評估土壤液化 306

10-5 荷式貫入錐試驗 (CPT- q_c) 液化評估法 310

10-6 試驗分析法 312

10-7 國內對於液化相關規定 314

10-8 土壤液化防治 318

Chapter 11 環境大地之工程 325

11-1 環境大地工程之演變 326

11-2 環境大地工程業務範圍 326

11-3 環境大地工程師必備之知識與技術 328

11-4 廢料與土壤之交互作用 328

11-5 污染源在次表土之傳輸 331

11-6 垃圾掩埋場 332

11-7 皂土截水牆之施工與設計 336

11-8 關閉之衛生垃圾掩埋場場址土地再利用 342

References 參考文獻 347

基本性質

1-1 土壤在工程上之定義與土壤工程之發展

1-2 土木工程之土壤問題

1-3 土壤之礦物成分

1-4 粒徑

1-5 稠度試驗與阿太堡限界

1-6 指數性質

1-7 土壤分類

地球表面大部分的陸地與部分海床，皆覆蓋著一層由岩石風化分解而形成的堆積物，此堆積物由固態之顆粒所組成，其間的孔隙有液體和氣體充斥其中，並保持未固結狀態者，稱為土壤(soils)。因而土壤在工程上之定義為無固結之礦粒與腐朽有機質之聚合體，固粒之孔隙中充滿液體和氣體。岩石(rocks)則為礦粒間呈固結狀態，開挖時需使用鑽孔機或爆裂方式才能進行者，其最低硬度為需具有 $1500\text{kN/m}^2(200\text{psi})$ 以上之壓縮強度。

史前早已有土壤之營建，例如建土堆以作為祭拜之用，挖洞穴掩埋屍體，或以土塊作為構屋材料等。歷史記載印度有超過 2000 年以上之土垣，巴比倫人建城在高於洪水位之填土上，並將建物置於筏基上以分散載重。九二一集集大地震，台中與南投地區受損房屋中即有許多是由土塊建造而成。

雖然如此，十八世紀之前，甚少有人從事土壤工程之研究，只因當時人們認為從事土壤工程之研究，有失紳士之尊嚴。造成土壤之改良只能由試誤和他人之經驗中獲得必備之知識。十八世紀後期，由於人類對建築結構有較高標準之需求，才開始有人將土壤問題視同結構設計一樣加以研究。庫倫(Coulomb)與朗金(Rankine)即以物理和應用力學家之背景，使用數學模式和粗略之試驗提出土壓力和基礎承載力之解。

二十世紀初，因建物載重增加，且力求省錢之營造，促使更多工程師投入土壤工程問題之研究，才開始有土壤力學這門學問，也造就許多土壤力學的學者，而德在基(Terzaghi)為其中之泰斗。1930 年起，土壤力學正式成為土木工程師設計時必備之工具，也成為所有營造業的得力幫手。

土木工程師在設計施工階段，難免會遭遇許多與土壤有關之問題。工程師

所遭遇與欲解決和土壤有關之問題約可綜合如下(Lambe et al, 1969)：

1. 基礎

每一個土木工程結構，例如房屋、橋樑、道路、堤等都需奠基於地面或地下之基礎上面。若堅實土層接近地表面，可使用展式基腳等淺基，以分散牆、柱等傳遞下來之集中載重於土層中。若堅實土層較深，則可採用樁等深基，將結構物之荷重傳遞至土層深處，由深層之堅硬土層來承載。

2. 作為營建材料

土壤是世界上最豐盛之營建材料，用以建造之結構體主要有土石堤，人工島與公路鋪面等。使用土壤作為營建材料時，需選擇適用之土壤與施工法，並控制其施工品質。

3. 斜坡與開挖

若地表並非水平，土壤的重力分量，會使土塊有向下滑動之趨勢。若沿著可能滑動面上所產生的驅動應力，超過土壤本身的抗剪強度，將產生剪力破壞而使土體產生滑動。至於建物與管路的開挖，以及渠道的斷面等，工程師在設計時，均應確保土壤的抗剪強度足以維持斜坡之穩定而不致崩塌。

4. 地下結構與擋土工

凡建於地表面以下之地下結構物，例如鐵路隧道，地下捷運與管路等，都得承受周圍土壤之壓力。土木工程師需了解土壤與結構間之互制關係，如此才能適當地設計擋土工。

除了上述與土壤有關之土木工程問題外，尚有許多雖不普遍但也甚為重要的問題，例如震動、爆炸與地震，地下儲存槽，冰凍與區域性地陷等，都需有完整的土壤力學知識，才得以圓滿解決問題。

大部分的土壤，是由岩石風化而成，若岩石之風化作用為機械式，只可將岩石破碎至 0.002mm 之粒徑，所形成之土壤有礫石與砂等較粗顆粒土以及粉土等細顆粒土，其保有與母岩一致之礦物成分。若欲形成小於 0.002mm 之土粒，則需藉助化學風化。化學風化形成之土粒雖保有近似母岩之化學成分，但卻有與母岩截然不同之晶體結構，稱之為黏土礦物。黏土礦物一般呈現頁片狀，厚度僅有數個分子厚，其主要由兩個依離子鍵保持在一起的基本單元所形成。此兩基本單元，一為中心是矽離子(Si^{4+})，而四周為氧離子(O^{2-})所包圍形成之四面體單元，如圖 1.1a 所示，此四面體單元會形成具有一般式 $n [(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}]$ 形式的四面體層（圖 1.1b）。另一則為中心是鋁離子(Al^{3+})或鎂離子(Mg^{2+})，外圍為氫氧離子 OH^- 包圍形成的八面體單元，如圖 1.2a 所示。八面體單元會形成具有一般式 $n [\text{Al}_2(\text{OH})_6]$ 或 $n [\text{Mg}_3(\text{OH})_6]$ 的八面體層（圖 1.2b）。

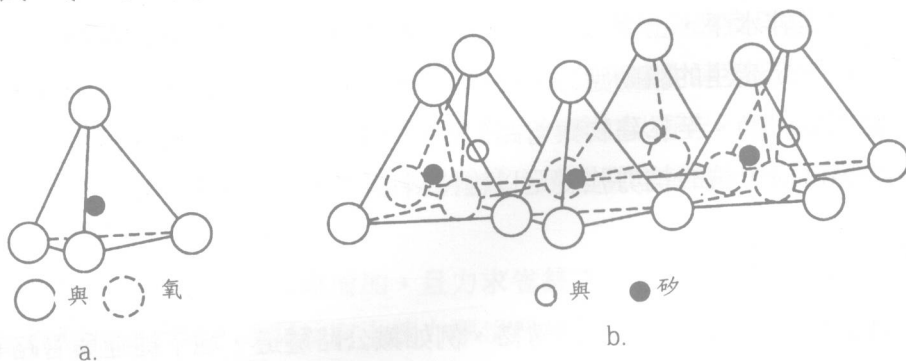


圖 1.1 四面體與四面體層(Grim, 1959)

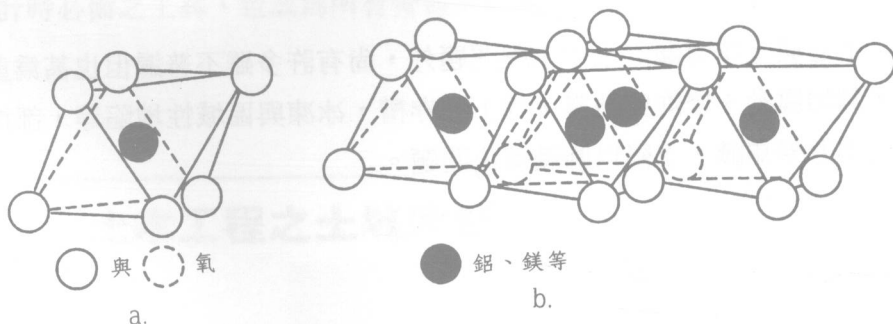


圖 1.2 八面體與八面體層(Grim, 1959)

若四面體或八面體單元中心的離子被其他不同價位的離子所取代，例如 Al^{3+} 取代四面體中心的 Si^{4+} ，或 Mg^{2+} 取代八面體中心的 Al^{3+} ，將發生電荷不平衡現象，使晶體留下一個負電荷，但晶體形狀仍維持不變，此稱為同形異構取代(isomorphous substitution)。同形異構取代使得黏土礦物晶片表面帶負電荷，為了平衡電荷，表面帶負電荷的黏土晶片勢必要吸引周遭溶液中的陽離子或水分子（呈 $\text{H}^+ - \text{OH}^-$ 狀），而形成表面吸著(adsorbed)水。黏土晶片所吸附之陽離子很容易被其他價位較高之陽離子所置換，此稱為陽離子交換(cation exchange)，陽離子交換會改變吸著水層的厚度，因此會改變土壤的滲透性與其他性質。

四面體層與八面體層的堆積，會形成不同的黏土礦物，主要的三種黏土礦物有：

1. 由一個矽四面體與鋁八面體結合一起所堆積而成的高嶺土類。
2. 由兩個四面體層中間夾一個八面體層所形成之伊利土類。
3. 與伊利土類類似，但晶片與晶片間無鎖住效應，使水易滲入其間之蒙脫土類。

高嶺土類為殘留黏土積層中最主要的成分，具有堅強結構體，吸著水層厚度小，性質穩定，含水量對其膨脹與收縮之效應並不顯著。伊利土類之吸著水層較高嶺土厚，水對其膨脹與收縮效應較顯著。蒙脫土類則有甚厚之吸著水層，水對其膨脹與收縮效應甚強烈，在潮濕與乾燥季節顯現鉅大的體積變化。因此，含有多量蒙脫土類的土壤，是不良的路基材料，淺基礎置其上面，也會引起甚多困擾。

皂土為鈉系蒙脫土類，通常由火山灰風化而成。具高度膨脹性，與水混合後，可作為填塞填與隧道縫隙之漿料，或作為鑽孔以及連續壁挖槽溝時之穩定液。

1-4 粒徑

土壤顆粒的尺寸範圍甚廣，一般依其粒徑大小，將之區分為礫石(76.2mm～

4.75mm)，砂(4.75mm~0.075mm)，粉土（沈泥）(0.075mm~0.002mm)與黏土(< 0.002mm)。其中礫石(gravel)，與砂(sand)由於土粒較大，易以肉眼辨試之，稱為粗料土(coarse soil)；粉土(silt)與黏土(clay)則因顆粒甚小，不易將每一顆粒分開，稱為細料土(fine soil)。為表示不同粒徑土壤之成分，一般以篩分析與比重瓶分析所得之粒徑分佈曲線顯示之。

篩分析通常用於粗料土，乃將烘乾敲碎之土壤置於由大而小排列的篩中搖動之，再量測留置每一篩中的土重，將每一篩中留置的土重以總土重百分比表示之。一般常用的篩其尺寸如表 1.1 所示。對於黏土之類的凝聚土，不易將之碎成細顆粒，則需使用比重瓶分析，其乃根據土粒於水中沈降原理評估之。當土粒分散於水中，顆粒將依其形狀、尺寸、重量和水粘滯性會以不同的速度沈降。

表 1-1 常用篩型式與尺寸

篩號	#4	#8	#10	#20	#40	#60	#100	#200	#270	#400
尺寸(mm)	4.76	2.38	1.68	0.84	0.42	0.25	0.149	0.074	0.053	0.037

篩分析結果以粒徑尺寸為橫座標，小於某一尺寸之累積百分比為縱座標，繪於半對數圖紙上。由於土粒的尺寸差距甚大，小至分子，大至卵石，橫座標之粒徑尺寸需用對數值，才能將全部土壤粒徑尺寸顯示於同一張圖紙上。

圖 1.3 為不同型式土壤之粒徑分佈曲線，曲線較陡者（虛線）為級配較差之均質土壤，曲線較平緩者（實線），則為級配較佳之土壤。由實線之粒徑分佈曲線中，可得知土壤的有效粒徑 D_{10} ，其為該土壤在通過百分率為 10 % 那一點上的粒徑，由圖 1.3 可知該土壤之 $D_{10} = 0.12 \text{ mm}$ ；同理可得該土壤之 $D_{50} = 0.45 \text{ mm}$ ； $D_{60} = 0.61 \text{ mm}$ ； $D_{85} = 1.4 \text{ mm}$ 。其中 D_{50} 稱為土壤之平均粒徑。

由土壤的 D_{60} 對 D_{10} 之比值，可得土壤的均勻係數 C_u ，可用以說明土壤之均勻度。若 $C_u < 4.0$ ，表示土壤為均勻級配； $C_u > 4.0$ 表示土壤通常為良好級配。由圖 1.3 可知該土壤之均勻係數 $C_u = D_{60}/D_{10} = 0.61/0.12 = 5.1$ ，為良好級配土壤。