

土力與基礎要義

Essentials of
Soil Mechanics
and Foundations

原著者：David F. McCarthy

譯述者：陳 煌 銘

科技圖書股份有限公司

9

土力與基礎要義

Essentials of
Soil Mechanics
and Foundations

原著者：David

McCarty

譯述者：陳

煌藏書章

科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：土力與基礎要義
原著者：David F. McCarthy
譯述者：陳煌銘
發行人：趙國華
發行者：科技圖書股份有限公司
台北市博愛路185號二樓
電話：3110953
郵政劃撥帳號15697

七十年八月初版

特價新台幣120元

原 序

本書將土壤力學的定理與應用，作廣泛而有系統的敘述。對於有志從事土壤基礎工程的規畫、設計及現場施工的學生們將有很大的助益。

由於本書屬於引導性的教科書，因此內容只限於基本定理的介紹與闡述，避免使用深奧題材與教學理論。但本書已涵蓋了土壤力學及基礎工程中所有重要的觀念。同時，將土壤力學的觀念與實際的設計與施工，連繫在一起。從事實際工作的工程師與教師們，當可發現本書所列的分析及評估方法，可應用到很多實際問題上。

本書的許多圖片係由器材製造廠商所惠贈，對本書的完成，有很大的助益。有關土壤鑽探方法的圖片，係節錄“土壤及岩心取樣的基本步驟（Will Acker's 著書，Basic procedures for soil sampling and core drilling）”一書。

在準備與編寫本書時，作者在“Dams & Moore、Empire soil investigation、Thomsen Associates”等公司的同事提供很多的資料與建議。另外，作者的家庭與 Patricia Klossnes，Sue Fox Hill，Grace Messere 女士等對於本書的出版提供了很多的幫助。在此一併誌謝。

David F. McCarthy

大衛·F·麥卡錫

土力與基礎要義

目 錄

原序

第一章 土層的起源及特性

1-1 緒 論	1
1-2 岩石：土壤的母體	1
1-3 土壤總類	5
1-3-1 重力及風力運積土	6
1-3-2 冰川沉積土	7
1-3-3 河川沉積土	11
1-3-4 海灘沉積土	15
1-3-5 沼澤沉積土	15
1-4 對設計及施工影響	16
習 題	16

第二章 土壤組成：名詞與定義

2-1 緒 論	18
2-2 土壤組成 - 分析表示法	18
2-2-1 重量 - 體積之基本關係	19
2-3 與土壤組成有關的基本名詞	20
2-4 浸水土壤	27
習 題	29

第三章 土壤種類與土壤結構

3-1 緒 論.....	32
3-2 主要土壤種類.....	32
3-3 顆粒形狀與大小.....	34
3-4 粘土與水.....	39
3-5 土壤結構.....	40
習 題.....	45

第四章 指數性質、分類試驗與土壤分類法

4-1 緒 論.....	48
4-2 指數性質.....	48
4-3 分類試驗.....	50
4-3-1 顆粒大小分佈.....	50
4-3-2 現場密度試驗.....	55
4-3-3 相對密度.....	56
4-3-4 含水量.....	59
4-3-5 粘土的稠度.....	59
4-3-6 重塑土壤的稠度與塑性.....	62
4-3-7 粘土礦物.....	64
4-3-8 其他性質.....	65
4-4 分類法.....	66
習 題.....	68

第五章 土內水的流動：基本原理

5-1 緒 論.....	71
5-2 滲 透.....	71
5-2-1 影響水流的因素.....	71
5-2-2 達西定律.....	74
5-2-3 層流與紊流.....	75
5-2-4 土壤型類的影響.....	76
5-2-5 經驗關係式.....	77

5-2-6 透水試驗·····	77
5-2-7 試驗室透水試驗·····	79
5-2-8 現場透水試驗·····	82
5-3 毛細現象·····	82
5-3-1 毛細管中之水·····	82
5-3-2 土壤的毛管水升高現象·····	87
5-3-3 毛管水上升率·····	90
5-3-4 懸浮毛細現象·····	90
5-3-5 土壤中毛管水的消除·····	90
5-3-6 表面張力的影響·····	91
習題·····	92

第六章 土壤中之流動水

6-1 緒論·····	95
6-2 流網與滲流·····	95
6-2-1 地下水流·····	95
6-2-2 流網及其原理·····	96
6-2-3 流網的繪製 - 等向性土壤的情況·····	98
6-2-4 流網的界限·····	101
6-2-5 非等向性土壤中的流網·····	104
6-2-6 上揚力·····	105
6-2-7 其他滲流力·····	106
6-2-8 實際狀況之考慮·····	108
6-2-9 流砂·····	109
6-3 排水·····	109
6-3-1 需要排水的情況·····	109
6-3-2 淺深度的排水·····	110
6-3-3 中深度的排水·····	111
6-3-4 深排水·····	115
6-3-5 壓密排水·····	115

6-3-6	施工後的排水	116
6-3-7	基礎排水	116
6-3-8	氈式排水	117
6-3-9	截水溝排水	117
6-3-10	流經結構物的水流	118
6-3-11	濾層設計	121
6-3-12	地面排水	122
6-3-13	排水的影響	122
6-4	土壤凍脹	127
6-5	土壤的滲漏率	128
習題		128

第七章 土壤應力：點應力與摩爾圓

7-1	緒論	131
7-2	點應力 - 分析法之演繹	131
7-3	摩爾圓	135
習題		143

第八章 地內應力

8-1	緒論	145
8-2	覆土重引起的應力	145
8-2-1	垂直應力	145
8-2-2	地下水位的影響	146
8-2-3	水平（側向）應力	148
8-3	由垂直地面荷重引起的地內應力	150
8-3-1	均質土壤載重	150
8-3-2	布斯涅克氏應力分佈	150
8-3-3	威斯特格氏應力分佈	151
8-3-4	查表計算法	152
8-3-5	基礎載重分析的應用	153

8-3-6	60° 近似法	157
8-3-7	不同性質的疊層土壤	158
8-3-8	基礎設置深度的影響	159
8-3-9	地面高程變化的影響	161
習題		163

第九章 沉陷：土壤體積變化及壓密

9-1	緒論	165
9-2	壓縮性	166
9-2-1	試驗室壓密試驗結果的表示與分析	167
9-2-2	由指數性質估計壓縮度	172
9-2-3	土壤壓縮引起的沉陷	172
9-3	砂土的體積變化	178
9-4	填土引起的沉陷	180
9-5	壓密	181
9-6	加載	185
9-6-1	縮短土壤改良時間的方法	186
9-6-2	砂樁排水或排水井	187
習題		190

第十章 剪力強度理論

10-1	緒論	193
10-2	試驗室剪力試驗	193
10-2-1	直接剪力試驗	195
10-2-2	三軸壓縮試驗	198
10-2-3	無圍壓縮試驗	199
10-2-4	十字片剪力試驗	199
10-2-5	將剪力試驗結果繪成摩爾圓	201
10-2-6	破壞包絡線	202
10-3	剪力強度	204

10-3-1	非黏性土壤的剪力強度	204
10-3-2	由鑽探資料求 ϕ 角	210
10-3-3	粘土的剪力強度	211
10-3-4	由鑽探資料推求粘土的凝聚力	217
10-3-5	混合土壤的剪力強度	217
10-3-6	與 ϕ 角對應的破壞面位置	218
習題		219

第十一章 現場調查：目的與方法

11-1	簡介	221
11-2	土質地圖及空照圖	222
11-2-1	美國地質調查地形圖	223
11-2-2	美國農業部水土保持地圖	223
11-2-3	地質圖	223
11-2-4	空照圖	223
11-3	鑽孔與試坑	224
11-3-1	鑽孔方法	224
11-3-2	土壤取樣	230
11-3-3	土樣的採取間距	235
11-3-4	鑽孔深度與距離	235
11-3-5	貫入抗力與標準貫入試驗	236
11-3-6	貫入抗力與錐頭貫入儀	237
11-3-7	試抗	240
11-3-8	岩心採樣	241
11-4	鑽探資料的表示	244
11-4-1	鑽探柱狀圖	244
11-5	鑽探資料的限制	247
11-6	地球物理探勘法	248
11-6-1	震波折射法	249
11-6-2	電阻法	253

11-6-3	電阻與土質間的關係	259
11-6-4	土層厚度	259
11-7	現場試驗	260
11-7-1	現場剪力試驗 - 十字片鑽剪力試驗	260
11-7-2	邊坡傾斜指示計	261
11-7-3	孔隙水壓與水壓計	262
習題		263

第十二章 土壤的搬運、夯實與穩定

12-1	簡介	265
12-2	土壤現場處理的步驟	266
12-3	現場夯壓機具	271
12-1-1	淺土夯壓機具	272
12-3-2	深震夯實法	277
12-3-3	爆炸夯實法	280
12-4	參考密度的決定法	280
12-5	現場夯壓控制與密度試驗	286
12-5-1	砂錐法	288
12-5-2	橡皮膜法	290
12-5-3	原子輻射法	290
12-6	土壤穩定	293
12-7	填土搬運的替代方法	296
習題		298

第十三章 基礎：概念

13-1	導論	301
13-2	一般的基礎型式	302
13-2-1	放腳基礎	302
13-2-2	筏式基礎	303
13-2-3	樁基與墩基	303

13-2-4	沉箱	305
13-2-5	浮式基礎	305
13-3	樁基種類與安裝步驟	306
13-3-1	錘擊樁用打樁機	307
13-3-2	樁的型式與材料	310
13-3-3	樁的承載力與適當長度	316
13-3-4	樁的埋植方法	317
13-3-5	樁的埋植必須考慮的其他事項	319
13-4	土層情況與基礎型式	320

第十四章 基礎：分析與設計

14-1	導論	323
14-2	淺基礎	324
14-2-1	承載力公式：長條基腳	324
14-2-2	方形、矩形及圓型基腳	329
14-2-3	承受傾斜載重的基腳	332
14-2-4	斜坡上的基腳	333
14-2-5	依貫入阻力試驗資料作基腳設計	336
14-2-6	依標準貫入試驗結果作支承砂土層基腳設計	336
14-2-7	標準貫入試驗與黏性土壤	341
14-2-8	應力靜力錐頭貫入試驗作砂土支承的基腳設計	341
14-2-9	靜力貫入儀的貫入阻力與黏性土壤	343
14-3	深基礎	345
14-3-1	靜力分析：通論	345
14-3-2	靜力分析：砂土層中樁的承載力	346
14-3-3	靜力分析：砂土層中的樁基礎	352
14-3-4	安全因數	357
14-3-5	負摩擦力	358
14-3-6	其他設計必須考慮的事項	359

14-3-7	靜力分析法：鑽掘式樁基與墩基·····	359
14-3-8	群樁的安排·····	362
14-3-9	群樁的承載力·····	363
14-3-10	群樁沉陷·····	366
14-3-11	試樁載重試驗·····	367
14-3-12	打樁公式·····	370
14-4	基礎施工的監督·····	375
習題	·····	376

附 錄

符號說明·····	381
單 位·····	385
參考書目·····	387
習題答案·····	401

第一章

土層的起源及特性

1-1 緒 論

地殼 (earth's crust) 係由岩石與土壤所組成。岩石 (rock) 是一種自然礦物顆粒結合而成的聚合體，顆粒與顆粒之間，具有強而久的吸引力，是一種固結 (consolidated) 的物質。土壤 (soil) 係由岩石經過風化或分解作用所產生的固體顆粒經堆積而成，是一種非固結 (unconsolidated) 物質。在工程含意上，土壤也包括動植物，及工業污廢的殘渣在內。

土壤，是由顆粒體 (particulate)，經吸引力或機械力黏結組合而成，只是其結合力要比岩石的顆粒間的結合力為弱。土壤 (岩石) 的顆粒間都有孔隙存在，孔隙中通常含有液體或氣體 (一般為水及空氣)。因此，土壤是由固體、液體、氣體組合而成的一種三相 (three-phase) 物質。

1-2 岩石：土壤的母體

無機性土壤，通常是由岩石風化分解而成，因此，岩石通常被認為是土壤的母體。依其起源及形成的方式，岩石可分為三大類：火成岩 (igneous rock)、沉積岩 (sedimentarg rock) 及變質岩 (

2 土力與基礎要義

metamorphic rock)。而土壤的生成，則與岩石的形成方式與礦物的成分有關。

火成岩，是地球內部的岩漿（magma）冷凝而成。由於冷凝速度的不同，火成岩的組織有粗粒、細粒、與玻璃質之分。若岩漿經火山口或其他裂縫口，漫散於地表而迅速凝固者，一般稱為“迸出岩（extrusive rock）”或“火山岩（volcanic rock）”，其結晶小，常為細粒組織。有時因為冷凝時間很短，未能形成結晶而成玻璃質組織。此類岩石包括玄武岩（basalts）、安山岩（andesites）及流紋岩（rhyolites）。

若岩漿在地面下頗深處緩慢冷凝者，稱為迸入岩（intrusive rock）或深成岩（plutonic rock），其結晶大的為粗粒組織。此類岩石包括花崗岩（granites）、正長石（syenites）、閃綠石（diorites）及斑禰石（gabbros）。

地球表面的火成岩其化學成份通常不太穩定。由於暴露在空氣及水中，受到溫度變化與風化作用，岩石礦物會漸漸分解而形成土壤。主要成分為石英（quartz）或正長石（orthoclase）的岩石，通常分解成砂或帶有微量粘土的礫質土*。花崗岩及流紋岩即屬於此類。由於此類岩石的矽酸（silica）含量很高，因此稱為酸性岩（acidic rock）。酸性岩（如花崗岩）是一種很好的建材。岩石含有鐵、鎂、鈣或鈉質及微量矽酸者稱為鹼性岩（basic rock），通常會分解成沉泥（silt）及粘土（clay）。此類岩石有斑禰石、玄武岩及輝綠岩（diabases）等。

通常，酸性岩色淺而鹼性岩色深。若顏色不深不淺者，表示其化學成份介於兩者之間。此類岩石有正長石、閃綠岩、火山岩（trachytes）及安山岩。因為閃綠石及安山石具有特殊的礦物成份，很容易分解成細組織的土壤（fine textured soil）。細組織的土壤（如粘

*依照工程上的定義，粗粒土壤包括砂與礫，其粒徑大於0.074mm，細組織的沉泥與粘土則小於0.074mm。此0.074mm的尺寸，是正常肉眼所能察出的最小粒徑，大部份的粘土粒徑是小於0.02mm。

土)並非母岩的原生礦物碎片所組成,而是由岩石的原生礦物再分解成更細的次礦物(secondary minerals)所組成。而礫石、砂、及非塑性的沉泥則仍為主要的岩石礦物所組成,因此,其性質均與粘土、相異。

沉積岩(sedimentary rocks)是土壤顆粒或某些有機物堆積後,因壓力作用硬化而成,或因礦物的作用黏結而成。促使堆積土壤硬化的壓力,可能來自厚的覆土或冰積(glaciers)。在壓力作用下,堆積土層因固結而產生很強的黏結力。岩石風化而成的土壤,含有多量的黏結性礦物如矽酸,碳酸鈣及氧化鐵等。當此等礦物質溶解於水中而流經土層,會沉澱或析出而附着在土壤顆粒上,促使產生黏結力。另一種黏結力係因土體中礦物質的溶解或發生化學變化而產生。沉積岩包括石灰岩(limestone)、白雲岩(dolomites)、頁岩(shales)、砂岩(sandstone)、礫岩(conglomerate)、及角岩(breccia)。淺海地區而形成石灰岩、頁岩及砂岩。因為沉積的層次顯明,因此大多數的沉積,可很容易的辨認(圖1-1)。



圖1-1 紐約州中部之沉積岩顯示顯著的層次

頁岩為粘土及沉泥質土壤沉積而成,其硬度大小受土壤的礦物成份、結合力、及外來的礦物成份等因素的影響。通常,其硬度是來自外加壓力及顆粒間的黏結力,而非來自黏結礦物。大多數的頁岩暴露

4 土力與基礎要義

在大氣中，都頗穩定，但是某些頁岩與水或空氣接觸，會發生膨脹及層裂。風化也會使頁岩分裂成不同大小的碎片，而這些碎片又會很容易分解成粘土。依據估計，在地殼表面或土壤覆蓋層下面的岩石，大約有百分之五十為頁岩。因而，頁岩的性質對工程的修築有很重要的影響。良好的頁岩，是一種很好的基礎材料，但頁岩容易碎裂，因此不適合作為營造材料。

砂岩是石英與矽酸、碳酸鈣、或鐵質複合物結合而成，為一種優良的施工材料。礫岩（砂及礫石的結合物）及角岩（岩石碎片的結合物）等也是優良的工程材料。

石灰岩是在水中形成的一種晶狀碳酸鈣〔方解石，（ calcite ）〕，是一種多源岩類；有因裂片經機械式運輸沉積形成者，也有由生物的澱積生長而成。因其沉積特性，石灰岩通常含有不潔物，如粘土及有機物。其硬度及韌性也有很大差別。某些石灰岩相當堅硬，但是很多石灰岩含有很多孔隙，很容易被水浸蝕。

白雲岩（ dolomite ）是一種與石灰岩類似的岩石，但比石灰岩硬。白雲岩與石灰岩的差別是因為兩者所含的碳酸物不同；前者的碳酸物為白雲石，而後者為方解石。其他如泥灰土（ marl ）及白堊（ chalk ）等則是一種較軟的石灰岩。

由石灰岩風化而產生的土壤，其顆粒太小分佈的範圍較廣，但是細粒土壤比較顯著。堅硬而且沒有孔隙的石灰岩，是優良的基礎材料，也是一種優良的營造材料。

母岩分解，通常會形成不同岩類相間的沉積層，如碎岩與頁岩相間，石灰岩與頁岩相間，或砂岩、頁岩及石灰岩相間。因此，再風化分解而成的土壤也具有相間層次的性質。

火成岩或沉積岩，經熱力、壓力或塑流（ plastic flow ）的作用，其岩石結構與礦物成分會發生變化，而形成變質岩（ metamorphic rock ）。在外力作用下，塑流在岩石裡面慢慢移動，會溶解、再結晶以及合成進入的礦物。因為塑流的作用，石灰岩變質為大理石（ marble ），而砂岩變質為石英岩（ quartzite ）。在壓力與塑流作用下，頁岩則會變質為板岩（ slate ）或雲母片岩（ phyllite ）。當這些作