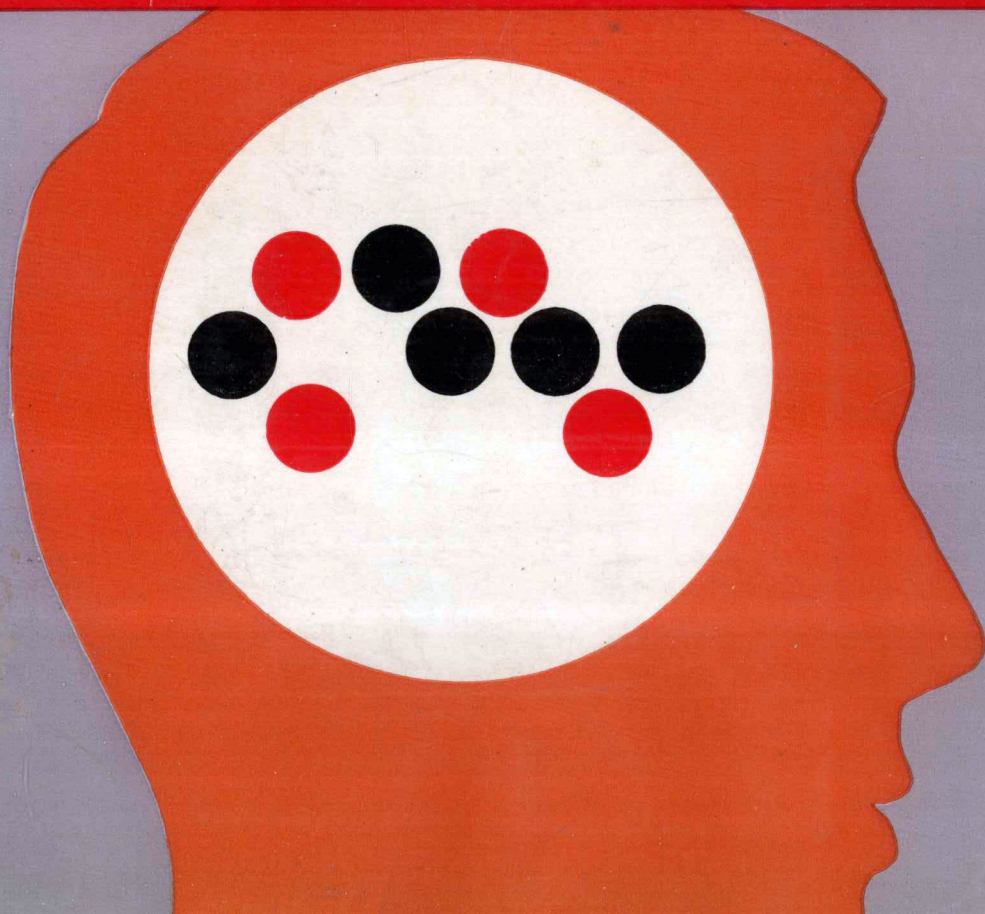


土壤力學

莊長賢 著

科學技術叢書／三民書局印行



土 壤 力 學

莊 長 賢 著

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

三 民 書 局 印 行

TU43

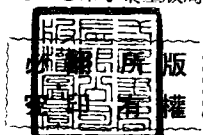
7927.02

中華民國六十八年六月初版
中華民國七十二年八月再版

◎ 土壤力學

基本定價叁元叁角叁分

行政院新聞局登記證 局版臺字第〇二〇號



著者 莊長賢
發行人 劉振強
出版者 三民書局股份有限公司
印刷所 三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十一號
郵政劃撥 九九九八號

土壤力學 目次

第一章 緒 論

1-1	土壤力學之歷史	1
1-2	土壤力學之特性及目的	4
1-3	土壤力學之工程應用	5

第二章 土壤之成因

2-1	岩石之種類與風化作用	7
2-2	土壤之形成與其礦物成分	11
2-3	土壤之種類	16
2-4	土壤與岩石之區別及其循環演變	19

第三章 土壤之基本性質

3-1	土壤之組成	21
3-2	土壤之基本性質及其間之關係	21
3-3	土壤之指數性質	32
3-4	土粒與水之相互作用	33
3-5	黏土之稠度與靈敏度	36
3-6	土壤結構	38

第四章 土壤之分析

4-1	土壤之指數試驗	43
4-2	阿太堡限度及其測定法	43

2 土 壤 力 學

4-3	粒徑分析之意義及其應用	55
4-4	篩分析之方法（步驟）	56
4-5	斯托克定律及其應用	59
4-6	比重計分析之方法、誤差及其防止	61
4-7	土粒之大小、形狀及其變化	66

第五章 土壤之分類

5-1	土壤分類之意義及其重要性	75
5-2	土壤分類之依據與分類方法	75
5-3	依粒徑大小之分類法	76
5-4	三角坐標分類法	76
5-5	美國公路員司協會（AASHO）分類法	77
5-6	Casagrande 分類法	80
5-7	統一土壤分類法	82
5-8	土壤之野外識別	85

第六章 土壤內部之毛細管作用

6-1	土壤內部之水分	91
6-2	土壤之毛細管性	91
6-3	接觸水分與接觸壓力	93
6-4	毛細管作用對於土壤性質之影響	97
6-5	毛細應力及其分佈	100
6-6	各種土壤（築路材料）之凍脹敏感性	101
6-7	土壤之凍害及其防止	102

第七章 土壤之滲透性與滲流問題

7-1	滲透性之意義及其影響	109
7-2	達西定律	109
7-3	影響土壤滲透性之因素	111
7-4	滲透性係數之求法	112
7-5	室內透水試驗	112
7-6	野外透水試驗	114
7-7	疊層土體（非均質土壤）之滲透性	116
7-8	滲流問題及其解法	121
7-9	滲流理論（流網之數學解析）	122
7-10	流網之內部條件邊界條件及流網之性質	126
7-11	流網之繪法及其用途	129
7-12	異向性透水層之流網繪法	139
7-13	不同土層邊界處之偏斜流網圖	142
7-14	臨界水力坡度與流砂現象	144
7-15	管湧作用與管湧破壞	152
7-16	土壩之滲流問題	156

第八章 土壤之壓縮性與壓密作用

8-1	土壤之壓縮性	169
8-2	壓密作用與 Terzaghi 模式、壓密質流模式	171
8-3	壓密理論	174
8-4	單軸壓密方程式及其解	174
8-5	壓密試驗及其結果之整理	181
8-6	時間因素與壓密度	188
8-7	正常壓密黏土與過壓密黏土	194
8-8	預壓密壓力之估計方法	195

4 土 壤 力 學

8-9	黏土之壓密沈陷量	195
8-10	天然黏土層壓縮性之估計方法	197

第九章 土壤之剪力強度與剪力變形

9-1	剪力強度之概念	207
9-2	Coulomb 破壞理論	207
9-3	Coulomb-Mohr 破壞理論	208
9-4	土壤剪力試驗之種類	211
9-5	直接剪力試驗之方法及其結果之分析	212
9-6	三軸壓縮試驗之方法及其結果之分析	218
9-7	孔隙水壓力參數	222
9-8	單軸壓縮試驗之方法及其結果之分析	227
9-9	翼片鑽剪力試驗	229
9-10	正常壓密土壤與過壓密土壤之應力、應變行為	230
9-11	各種土壤之剪力特性	231

第十章 側向土壓力

10-1	土壤之塑性平衡	247
10-2	土壓力之種類及其發生的條件	247
10-3	Rankine 土壓力理論	255
10-4	Coulomb 土壓力理論	261
10-5	Culmann 圖解法	267
10-6	Poncelet 圖解法	272

第十一章 邊坡之穩定分析

11-1	邊坡之破壞及其原因	279
------	-----------	-----

11-2	邊坡破壞之種類·····	280
11-3	邊坡之穩定分析及其簡化假定·····	282
11-4	鉛直坡面之穩定·····	283
11-5	無凝聚性土壤無限邊坡之穩定分析·····	285
11-6	圓弧面分析法·····	286
11-7	摩擦圓分析法·····	288
11-8	切片分析法·····	290
11-9	Culmann 分析法·····	294
11-10	軟弱黏土邊坡之穩定分析·····	296
11-11	邊坡穩定分析之檢討·····	299

第十二章 土壤之夯實

12-1	夯實之意義·····	311
12-2	夯實之效果·····	311
12-3	夯實之方法·····	312
12-4	Proctor 夯實理論·····	313
12-5	影響夯實效果之因素·····	315
12-6	Proctor 夯實試驗·····	315
12-7	土壤之夯實特性·····	317
12-8	加州承載率 (CBR) 試驗·····	325
12-9	振動對砂土之夯實效果·····	326

參考文獻

第一章 緒 論

1-1 土壤力學之歷史

土壤力學為土木工程科學中之一門新興之學科，根據德在基 (Terzaghi) 教授之卓見，定義土壤力學如下：

土壤係岩石經風化作用所產生固體顆粒之沈澱物及其他未壓密之堆積物；應用力學及水力學之原理以研究土壤工程問題之科學，謂之土壤力學。

土壤力學之研究雖晚近才大放光彩，然有關土壤工程之記載可遠溯自古埃及之金字塔建築。茲將土壤工程及土壤力學之發展，簡述如

(1) 古代土壤工程

紀元前約2000年，埃及人以石料沈箱建造金字塔下部軟弱土層之基礎。

羅馬帝國全盛時期建築之道路、橋樑至今尚有可觀者，其興建頗多符合近代公路設計要求，如堅固的基礎、良好的排水等。

(2) 中古時代土壤工程

1174年義大利比薩市政府興建一鐘樓，因地基軟弱產生不均勻沈陷，致使此一雄偉的建築物發生傾斜而成為舉世聞名的比薩斜塔。1350年全塔完工，高達54.6公尺，唯斜塔之沈陷現象仍繼續進行。

(3) 古典土壤力學時期

此一時期土壤工程之發展，為土壤力學之科學研究奠下基礎。

1773年，法國科學家庫倫 (Coulomb) 發表土壓力之滑動土楔理

2 土 壤 力 學

論，用以計算作用於擋土牆之土壓力大小。

1856年，法國物理學達西（Darcy）發表有關土壤滲透性之達西定律。土壤比重計分析有關之斯篤克定律（Stoccke's law）亦於此時發表。

1857年，英國克拉克大學教授朗金（Rankine）發表獨創之土壓力理論，對土壤力學之發展貢獻良多。朗金理論著眼於土壤微細部份之平衡，而不同於庫倫氏理論；庫倫及朗金土壓力理論迄今尚被沿用。

1871年，Mohr（摩爾）發表以摩爾氏圓表示之破壞應力圖解法。

1885年，英國人布士耐（Boussinesq）發表有關半無限彈性體之彈性力學理論，以求地層內部之各種應力大小。

(4)近代土壤力學時期

20世紀以後，土壤力學之研究，可以1925年為界限，劃分為近代土壤時期及現代土壤力學時期。在近代土壤力學時期，土壤物理特性之研究漸為學者所注意。

1900年，瑞典物理學家阿太堡（Atterberg）開始研究土壤分類方法，土壤之塑性及含水限界之特性。

1913年，「瑞典國有鐵路局土工技術委員會」於瑞典成立，為世界第一個土壤試驗研究機構。歐洲各主要國家亦紛紛效法成立機構，研究土壤力學及其工程應用。

(5)現近土壤力學時期

1925年德在基（Terzaghi）在維也納出版“Erdbaumechnik”一書，整理土壤力學有關之研究，而以數學解析作成嚴密之土壤力學理論。著名的黏土壓密理論（consolidation theory）即為其中之一，至此土壤力學在土木工程之範疇內自成一部專門學科。而德在基氏因對土壤力學所作最卓越之貢獻，被尊為土壤力學之父，有關其生平事

蹟及論著刊載於1960年出版之“From Theory to Practice in Soil Mechanics”書上。

1933年，美國工程師普羅克達 (Proctor) 發表土壤之壓實理論 (Compaction theory)，使土壤工程應用獲得重大突破，普氏壓實理論成爲各種填土工程之指導原理。

近年來由於電子計算機之快速發展，配合有限元素法，使土壤工程師能有效地來分析土體內應力與應變之關係，使土壤力學之發展進入一新里程碑。

1936年，國際土壤力學及基礎工程學會正式成立，同年在美國麻州哈佛大學舉行第一屆國際會議。1977年在日本東京舉行第九屆國際會議。歷屆會議年代及地點如表 1-1 所示。

表 1-1 歷屆國際土壤力學及基礎工程會議

年 代	會 議 名 稱	會 議 地 點
1936	第一屆國際會議	美國麻州康橋
1948	第二屆國際會議	荷蘭鹿特丹
1953	第三屆國際會議	瑞士蘇黎世
1957	第四屆國際會議	英國倫敦
1961	第五屆國際會議	法國巴黎
1965	第六屆國際會議	加拿大蒙特利爾
1969	第七屆國際會議	墨西哥墨西哥市
1973	第八屆國際會議	蘇俄莫斯科
1977	第九屆國際會議	日本東京

現代土壤力學研究風氣大開，人才輩出，其中以泰勒 (Taylor)、克沙哥蘭地 (Casagrande)、佩克 (Peck)、史肯普頓 (Skempton) 及繆倫 (Bjerrum) 之貢獻最卓越，被尊爲現代土壤力學及基礎工程學術之泰斗：

泰氏——壓密現象、黏土之剪力強度及土坡之穩定，著作甚多。

4 土 壤 力 學

克氏——土壤分類、土壤抗剪強度及土壤滲流現象甚有貢獻。

佩氏——芝加哥地下鐵路施工期間之土壤試驗室負責人，對基礎工程之設計及施工貢獻最大。

史氏——有效應力、黏土之孔隙水壓、土壤承載重及土坡之穩定方面著作甚豐，擔任1957年至1961年國際土壤力學及基礎工程學會主席。

繆氏——領導NGI（挪威地工研究所）成為世界土壤力學研究中心之一，擔任1965年至1969年國際土壤力學及基礎工程學會主席，對黏土剪力強度、靈敏度及土坡穩定方面貢獻甚大。

1-2 土壤力學之特性及目的

土壤力學既係應用力學及水力學原理以研究解決土壤工程問題之實用科學，在本質上可視為廣義應用力學之一支，且就其研究內容言，尚包括工程地質學及黏土礦物學，並涉及土質物理化學特性之研究，故土壤力學實為一門綜合性之土木工程應用力學。

由於土壤為岩石的自然生成物，其性質變化甚大，常隨時間、壓力、水份變化，及環境情況改變而變化，因此土壤及基礎工程師（近年來國際上皆習稱大地工程師，Geotechnical Engineer）對解決大地工程問題，有賴於其經驗與學識之判斷，其過程如圖1-1所示：

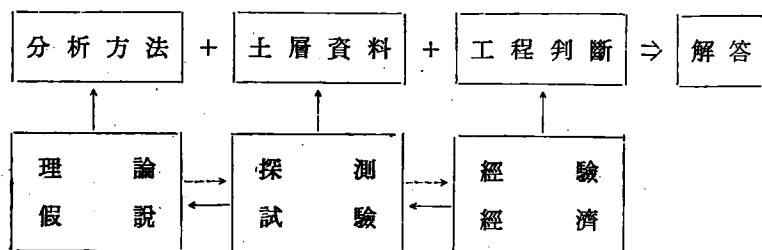


圖 1-1 大地工程問題之求解

總之，土壤力學之特性，吾人可引述德在基氏之信念：土壤力學係以土壤基礎有關問題（即大地工程問題）之設計及施工為目標（目的），數學及力學僅為達到目標之方法（手段）而已。此種土壤力學之實踐性觀點為上述泰氏、克氏、佩氏、史氏、繆氏等學者所繼承且發揚光大，遂奠定土壤力學在土木工程科學中之價值觀。

1-3 土壤力學之工程應用

土壤力學之工程應用主要可分為兩方面：即工程基礎與工程材料。

工程材料方面，係以土壤為一種構築材料 (construction material)，依土壤力學之壓實理論構築土壤結構物 (soil structure)，例如土壩 (earthdam)、路堤 (embankment) 及機場跑道 (runway) 等。

工程基礎方面，係以天然土層為基礎地盤，用以承載上部結構物之荷重。例如土木建築結構物、水工結構物之基礎。

土壤力學之工程應用，就其主題而言，可分為四類：

(1) 構造物與其支承地盤之關係，如基礎、擋土牆、隧道襯、埋管等，其所遭遇之工程問題有二：即土壤支承面之荷重—變位關係，與土壤之穩定性。

(2) 以土壤為構築材料之構造物，如公路及機場之填土及路床 (base) 土壩、回填 (backfill) 等。

(3) 自然邊坡與開挖邊坡之穩定問題。

(4) 地下水問題：滲流冲刷及管湧問題；地下水變化影響到土壤之強度及沈陷問題。

在本章結束之前，吾人再回顧土壤之複雜特性：

(1) 土壤之應力——應變關係並非線性的。

6 土 壤 力 學

(2)土壤性質隨其所受壓力、時間，及外在環境而變。

(3)土壤性質具有地區性，且土層內各點土壤性質並非均一。

(4)幾乎所有之情況，土壤因在地表面下，要探測其性質必須做鑽探取樣，經試驗來探討其性質。

(5)由於取樣不可能完全不擾動，故試驗結果與工地土層下之土質特性必有出入。

基於上述土壤之複雜性，純粹引用土壤力學之理論數學模式於大地工程問題上，無法獲得滿意之解答。實際應用上常須根據土層探測試驗資料、工地經驗及工程判斷，以解決大地工程問題，如前述圖1-1所示。

習 題 一

1. 就本章所述之土壤力學前輩學者，擇一說明其生平及貢獻。（註：自行查閱有關資料）
2. 土壤與基礎工程問題有何特色？如何解決？
3. 試略述土壤力學之工程應用。

第二章 土壤之成因

2-1 岩石之種類與風化作用

地球外殼 (crust) 的組成大部分是淺色石質或固結的花崗岩型物料，其平均比重為 2.65，形成了一極淺的水成、火成和變質型的岩石表層，厚約 0.8 公里。

火成岩 (igneous rocks) 是由地球內部之岩漿噴出而固體化於地表，或岩漿未到達地表而係冷卻於地下之裂縫或斷層中所形成。前者稱為迸出火成岩 (extrusive igneous rock)，通常因岩漿急驟冷卻及壓力降低，不能完全結晶化，形成斑狀組織 (porphyritic texture)；後者稱為迸入火成岩 (intrusive igneous rock)，通常侵入地下深處，冷卻緩慢，形成均勻結晶，其礦物成分多呈粒狀組織 (granular texture)。迸入火成岩中，有花崗岩 (granite) 及閃長岩 (diorite) 等；迸出火成岩有輝綠岩 (diabase) 及玄武岩 (basalt) 等。火成岩依礦物成份及組織情況之詳細分類，如表 2-1 所示。

表 2-1 火成岩分類法

色	淡	中	暗
主要礦物 組織	石英與長石及 少量他種礦物	長石含少量 或不含石英	長石與角閃石 輝石與長石 輝石、角閃石 與 橄欖石
甚粗而不規則 之結晶質	偉晶花崗岩 (Pegmatite)	正長岩 偉晶花崗岩	閃長岩 偉晶花崗岩 輝長岩 偉晶花崗岩
粗而中等 結晶質	花崗岩 (Granite)	正長岩 (Syenite)	閃長岩 (Diorite) 輝長岩 (Gabbro) 橄欖岩 (Peridotite)
細結晶質	長英岩 (Aplite)		雪花岩 (Dolerite) 輝綠岩 (Diabase)

8 土 壤 力 學

極細結晶質	晶基長英岩(Felsite)	玄武岩(Basalt)
玻 璃 質	玻璃質火山岩 (Volcanic glass)	
多 孔 質	浮岩(Pumice)	多孔細胞狀玄武岩 (Vesicular Basalt)
碎 屑 質	火山凝灰岩(Tuff)與火山角礫岩(Breccia)	

水成岩 (sedimentary rocks) 係由先成之火成岩、變質岩或水成岩經風化作用後，在水中沈積固結所成者。水成岩通常為成層狀岩石 (stratified rock)。水成岩之組織依顆粒之粗細、形狀及膠結物質 (cementing material) 之特性決定之。顆粒較粗者，如礫石及卵石等，固結後形成礫岩；砂經膠結後形成砂岩；細粒如黏土者，易於形成頁岩。顆粒之形狀有圓形及稜角形。膠結物質常見者為矽酸、碳酸鈣、氧化鐵及黏土。水成岩之詳盡分類如表2-2所示。

表 2-2 水 成 岩 分 類 法

成因	粒 徑 大 小	成	粉	岩	石	名	稱
物理作用	直 徑 大 於 2 公 厘	圓 狀 礫 石 稜 角 狀 之 岩 石 碎 屑		礫岩(Conglomerate) 角礫岩(Breccia)			
	50%以上之顆粒 直徑介於 0.074- 2公厘者	中等 石 英 顆 粒	他種礦物小於10% 黏 土 質 礦 物 方 解 石 氧 化 鐵 25% 以 上 之 長 石 25-50% 長 石 及 暗 色 礦 物	矽質砂岩 (Siliceous Sandstone) 黏土質砂岩 (Argillaceous Sandstone) 石灰質砂岩 (Calcareous Sandstone) 鐵質砂岩 (Ferruginous Sandstone) 長英砂岩(Arkose) 硬砂岩(Graywacke)			
	50%以上之顆粒 直徑介於 0.005- 0.074公厘者	細粒石英與黏土質礦物		泥岩(Siltstone)			
	主要顆粒直徑小 於 0.005 公厘者	極細 黏 土 質 礦 物	他種礦物小於10% 方 解 石 礫 氧 化 鐵	頁岩(Shale) 石灰質頁岩(Calcareous Shale) 瀝青質頁岩 (Carbonaceous Shale) 鐵質頁岩(Ferruginous Shale)			

有機作用	不定 中等至極細顆粒	方解石及化石 方解石及白雲石 礫	石灰岩(Limestone) 白雲岩(Dolomite) 瀝青質煤(Bituminous Coal)
	不定		
化學作用	極細顆粒	方解石 白雲石 石英 石鹽 石膏	石灰岩(Limestone) 白雲岩(Dolomite) 雜燧石(Chert) 岩鹽(Rock Salt) 硬石膏(Rock Cypsum)

變質岩 (metamorphic rock) 是由火成岩或水成岩經高壓及高熱之作用，岩石礦物重新結晶而生成之岩石。主要之變質岩有黏板岩 (slate)、大理石 (marble)、片麻岩 (gneiss) 及石英岩 (quartzite) 等。表2-3所示為變質岩之結構分類。

表 2-3 變質岩分類法

組 織	結 構	
	帶 狀 或 葉 片 狀	塊 狀
粗結晶質	片 麻 岩 (Gneiss)	礫岩(Conglomerate) 花崗片麻岩(Granite Gneiss)
中 等 結 晶 質	絹雲母片岩(Sericite Schist) 雲母片岩(Mica Schist) 滑石片岩(Talc Schist) 綠泥片岩(Chlorite Schist)	大理石(Marble) 石英岩(Quartzite) 蛇紋岩(Serpentine) 塊滑岩(Soapstone)
細至極細結晶質	千枚岩(Phyllite) 板岩(Slate)	角頁岩(Hörnfels) 無煙煤(Anthracite Coal)

地殼大致由95%火成岩及5%水成岩與變質岩所構成，但露出於地表面部份以水成岩為最多，水成岩幾佔75%。最主要之地球外殼之岩石依次為頁岩、砂岩、花崗岩、石灰岩、玄武岩，如表2-4所示。