

科技用書

土壤力學與

基礎工程學

工學博士 游啓亨 著

增訂本

大行出版社印行

科技用書

土壤力學與

基礎工程學

工學博士 游啓亨 著

增訂本

大行出版社印行

本書爲游啓亨博士精心著作
現已發行九版，備受推崇，爲土木工程界之巨獻。承蒙游博士禮讓，自民國六十九年十月起由本社榮譽出版，敬告親愛讀者並申謝忱。



中華民國六十九年十月 日初版

中華民國七十年十月 日二版

書名：土壤力學與基礎工程學

著作者：游 啓 亨 著

發行人：裴 振 九

出版者：大 行 出 版 社

社址：台南市體育路41巷26號

電話：6 1 3 6 8 5 號

本社免費郵政劃撥帳號南字第32936號

本社登記證字第：行政院新聞局

局版台業字第0395號

總經銷：成大書局有限公司

台南市體育路41巷26號

電話：6 5 1 9 1 6 號

特 價：平一七〇元精 二〇〇 元

編 號：B 0 0 0 1 8 - 0 0 5 4 3

同業友好・敬請愛護

土壤力學與基礎工程學(第八版)

序

著者自美國回國後編訂「土壤力學與基礎工程學」，民國五十二年八月付梓以來，不僅全國大專院校普遍採用爲土壤力學及基礎工程學課程之教材，且亦多承土木、水利、建築各工程界彥碩之重視及愛注，由初版而七版，特此誌謝。

著者在國立成功大學授課土壤力學及基礎工程學，經歷二十載，研究論著十五篇餘，且撰寫「土壤力學實驗法」「土壤力學精要」付梓出版，俾以達成土壤力學系統性介紹之夙願。

「土壤力學與基礎工程學」第八版今日問世，著者將適於大專院校學生閱讀之“土壤之礦物及有機物種類及含量之研究”，“分散劑及凝結劑”，“Terzaghi 教授之生平與貢獻”等三篇文章斟酌添附，以求更加完整。

著者所計劃之新著「高等土壤力學」尚未脫稿，期望對吾國土木、水利、建築各工程界土壤力學之研究及應用方面裨益良多，尙祈斯界彥碩惠賜教言。

游 啓 亨

民國六十五年四月

目 錄

上篇 土壤力學

第一章 緒 論

第一節 土壤之定義	1
第二節 土壤力學之定義	1
第三節 土壤力學之發展	1

第二章 岩石之風化與土壤之生成

第一節 岩石之種類	3
甲 火成岩	3
乙 水成岩	4
丙 變質岩	5
第二節 岩石之風化	5
甲 物理作用	5
乙 化學作用	7
丙 有機作用	8
丁 風化之速度	8
第三節 土壤之生成	8

第三章 土壤之天然性質與構造

第一節 土壤之天然性質	11
第二節 土壤天然性質之測定	14
第三節 土粒之形狀	18
第四節 土壤之構造	18
第五節 土粒與水份之中間作用	20

第四章 土壤之分析與分類

第一節 篩分析	22
第二節 比重計分析	24
甲 斯篤克氏定律	24
乙 比重計分析法原理	25
丙 比重計使用原理	26
丁 比重計讀數之校正	28
第三節 土粒大小分佈曲線之意義	29
第四節 土粒大小分類法	30

第五節 阿太堡氏限度及指數	32
甲 液性限度之測定	33
乙 塑性限度之測定	34
丙 縮性限度之測定	34
丁 阿太堡氏限度土壤分類法	35
第六節 土壤之特種分類法	38
甲 美國統一土壤分類法	38
乙 美國各州公路官員協會土壤分類法	38
丙 美國民航管理局土壤分類法	40
第七節 土壤之識別與特性	40
第五章 土壤之滲透性	
第一節 達塞氏定律	45
第二節 滲透性係數測定法	47
甲 定水頭式滲透試驗	47
乙 變水頭式滲透試驗	48
丙 工地唧筒試驗	48
第三節 成層土壤之滲透性係數	49
第四節 普恰錫里氏定律	49
第五節 經不均等管徑斷面之滲透現象	50
第六節 影響滲透性係數之因素	52
甲 滲透性係數與土粒大小之關係	52
乙 滲透性係數與液體溫度之關係	52
丙 滲透性係數與孔隙比之關係	53
丁 滲透性係數與孔隙形狀及排列之關係	53
戊 滲透性係數與未溶解氣體之關係	53
第六章 毛細管水	
第一節 表面張力	55
第二節 土壤內之毛細管作用	56
第三節 毛細管水頭之測定法	57
甲 橫置之毛細管試驗	57
乙 豎置之毛細管試驗	59
第七章 滲流量之計算	
第一節 拉伯拉斯氏方程式	62
第二節 流線網之原理	63
第三節 流線網作圖法	64
第四節 縱橫滲透性係數不相同時之流線網	68

第五節 流線經不同土壤界限之變化	69
第八章 土壤之壓縮性與固結試驗	
第一節 有效壓力及中和壓力	73
第二節 壓縮與沉陷之關係	75
第三節 壓縮時率	81
第四節 理論及試驗時率曲線之比較	84
甲 平方根時間調整法	85
乙 對數時間調整法	86
丙 乃勒氏曲線調整法	87
第九章 土壤之抗剪強度	
第一節 垂直應力與剪應力	90
第二節 摩爾氏破裂理論	92
第三節 土壤之剪力試驗	93
甲 直接剪力試驗	94
乙 三軸壓縮試驗	97
第四節 乾燥礫石，砂土及粉土之抗剪強度	101
第五節 飽和礫石，砂土及粉土之抗剪強度	102
第六節 飽和粘土之抗剪強度	102
第七節 部份飽和粘土之抗剪強度	104
第八節 泥結土壤之抗剪強度	105
第九節 土壤之應力與應變	105
第十章 土壓力之理論	
第一節 土壓力之種類	108
第二節 郎金氏土壓論	109
第三節 庫隆氏土壓論	112
甲 黎布漢氏之證明	112
乙 庫隆氏主動土壓力公式	113
丙 庫隆氏被動土壓力公式	114
丁 彭思烈氏之圖解法	115
戊 克爾曼氏之圖解法	117
第十一章 土坡之穩定	
第一節 坍方與破壞	121
第二節 破壞圓弧之分析	121
第三節 安全坡度之計算	124
甲 軟弱粘土	124
乙 有凝聚力之土壤	125

丙 無凝聚力之土壤·····	126
丁 層狀土壤·····	126
戊 安全坡度·····	127

第十二章 土壤之壓實

第一節 填土工程·····	129
第二節 壓實土壤之理論·····	129
第三節 標準及改良普羅克達壓實試驗·····	131
第四節 加州載重比試驗·····	135
甲 工地加州載重比試驗·····	135
乙 試驗室加州載重比試驗·····	135
第五節 各種土壤之工地壓實法·····	138
甲 無凝聚性土壤·····	138
乙 凝聚性較小之土壤·····	139
丙 粘土·····	140
丁 工地密度試驗·····	140

第十三章 鑽探與土壤試驗

第一節 鑽探之計劃·····	143
第二節 鑽探之方法·····	144
甲 螺絲鑽探法·····	144
乙 沖水鑽探法·····	144
丙 取土器鑽探法·····	145
丁 岩層鑽探法·····	147
戊 震動測探法·····	148
己 電阻測探法·····	149
第三節 取土與土壤試驗·····	150
第四節 鑽探之結果·····	152

下篇 基礎工程學

第十四章 緒論

第一節	基礎之定義	155
第二節	基礎之種類	155
第三節	土壤之種類	156

第十五章 壓力之分佈與傳播

第一節	壓力分佈之簡單假設	158
第二節	壓力傳播之等壓線圖	159
第三節	載重面積大小之影響	160
第四節	壓力之相互影響	161
第五節	布士耐氏公式	162
第六節	威斯克氏公式	164
第七節	紐馬克氏垂直壓力影響圖	165

第十六章 沉陷之計算及制馭

第一節	沉陷之原因	169
第二節	固結試驗與沉陷量之關係	171
第三節	沉陷量之計算	173
第四節	沉陷之制馭	175

第十七章 土壤容許承載重之試驗法

第一節	貫入試驗	179
甲	標準貫入試驗	179
乙	圓錐鑽貫入試驗	180
丙	十字鑽剪力試驗	181
丁	加州載重比試驗	182
戊	密西根貫入試驗	182
第二節	平鈹載重試驗	182
第三節	塑性平衡理論公式	185
甲	連續基脚	185
乙	單獨基脚	187

第十八章 擴展基脚

第一節	種類及設計原則	191
第二節	單獨混凝土柱基脚	193
第三節	單獨鋼筋混凝土柱基脚	195

第四節	連合基脚	202
第五節	牆基脚	205
第六節	筏形基礎	206
第十九章 樁基		
第一節	樁之種類	211
第二節	木樁	212
第三節	場鑄混凝土樁	213
第四節	預鑄混凝土樁	216
第五節	鋼樁	217
第六節	混合樁	217
第七節	版樁	218
第八節	打樁之方法及設備	219
第九節	打樁公式	221
第十節	打樁公式之應用	224
第十一節	樁載重試驗	226
第十二節	樁之間隔及集體作用	228
第二十章 擋土牆		
第一節	擋土牆之種類	240
第二節	擋土牆可能之破壞情形	242
甲	傾倒之考查	242
乙	壓碎之考查	242
丙	滑動之考查	243
第三節	重力式擋土牆之設計	244
第四節	懸臂式擋土牆之設計	245
第五節	扶壁式擋土牆之設計	251
第二十一章 圍堰與沉箱		
第一節	圍堰之種類	254
第二節	無支撐之單牆式圍堰之設計	255
第三節	單方向支撐之單牆式圍堰之設計	259
第四節	沉箱之種類	263
第五節	開口沉箱	263
第六節	氣壓沉箱	265
第二十二章 橋墩與橋座		
第一節	橋樑及橋墩型式之選擇	268
第二節	橋墩上之載重	269
甲	呆載重	269

乙 活載重	270
丙 風力	271
丁 地震力	272
第三節 公路橋樑橋墩之設計	272
第四節 鐵路橋樑橋墩之設計	275
第五節 橋座之種類	276
第六節 簡支及連續橋用橋座	276
第七節 剛構橋用橋座	279
第八節 拱橋用橋座	279
第九節 吊橋之錨座	280
參考書籍	282
附 表	284
附表 1 單位換算	284
附表 2 水之比重及溫度之關係	284
附表 3 水之粘滯係數及溫度之關係	285
附表 4 標準鋼筋之號數，面積，周長及重量	285
附表 5 標準鋼筋群之面積	285
附表 6 標準鋼筋群之周長	286
附表 7 版用鋼筋之面積	286
索 引	287

上篇 土壤力學

第一章 緒 論

第一節 土壤之定義

構成地球外殼之火成岩，水成岩及變質岩稱為岩石 (Rock)。此種岩石甚堅硬，如遇取料須應用爆炸或劈開等方法，同時於水中或於空氣中，經相當時期之變換仍不失抗壓強度。土壤 (Soil) 係指地球外殼之岩石風化層，鬆疏或不甚堅硬之沉積物如礫石，砂土，粉土及粘土等不屬於岩石者均屬之。

第二節 土壤力學之定義

任何土木建築工程須以土壤為基礎，如竣工後之各項工程由於基礎土壤承載重之不足或基礎土壤之不均勻沉陷則發生極嚴重之危險。土木建築工程亦須以土壤為全部或局部工程材料，如竣工後之各項工程由於土壤之不堅實或抗剪強度之不足，則造成極嚴重之損害。故土壤對於工程基礎及工程材料，具有密切關係。凡以工程觀點研究土壤之學問稱為土壤力學 (Soil Mechanics)。

土壤力學與農業土壤學具有顯著之區別。因農業土壤學之研究中心位於土壤對農作物種類，生長及改良方面，其研究對象為與植物生長有關之一層薄淺之土壤，其深度有限而不包括礫石之類。土壤力學所研究之土壤不但包括礫石，而時常須深入地下幾十公尺。土壤力學與地質學亦具有顯著之區別。因地質學係研究地球生成，演變及構造為目的。而土壤力學係以研究土壤與工程之直接間接關係，各種理論及應用為目的。

第三節 土壤力學之發展

自自古以來，土壤供給人類以各種生存條件，因此初期對土壤之研究所重視者為農作物種類，生存及改良有關之農業土壤學與地球生成，演變及構造有關之地質學。但自十九世紀工業革命以後，科學日進月步，土木工程之範圍擴大，如摩天樓，高水壩，大橋樑，長堤岸，高速公路及巨型飛機昇起降落之機場等工程相繼出現，土壤雖於工程材料方面減少原有之價值，但於工程基礎方面驟增重要性，故土壤與工程方面之密切關係漸為學者及工程師所注意。六十年來研究土壤性質而有特殊成就者，當推瑞典之阿太堡氏 (A. Atterberg)，阿太堡氏自1900年開始研究土壤之分類方法，繼則研究土壤之塑性，土壤之含水限界等性質。1913年12月9日世界第一個土壤研究試驗機構「瑞典國有鐵路局土工技術委員會」於瑞典正式成立以後，其隣國如芬蘭、丹麥、挪威各國亦於鐵路局下設立相似機構，以便推進土壤之研究工作。於歐州之其他各國如英國、德國及法國之學者

亦對科學之土壤試驗及數學解析特有貢獻。於 1925 年賓碩健氏 (K. Terzaghi) 發表粘土之固結理論及沉陷時間理論創立嚴正之數學解法後，土壤遂於土木工程之範疇內自成一部專門之學問即土壤力學。

土壤力學問世以後，因需要迫切，於歐美方面如德、美、英、法、比、瑞等國，研究此一新興科學之學者輩出，更由於試驗方法及儀器之進步，理論與試驗能容密切聯繫，故進步極速成就甚大。現在世界各國工科大學及重要工程機關均有完備之土壤試驗機構，同時甚多年青學者正集中精力從事研究，故土壤力學不日則得達到更週密及更完備之境域。

第二章 岩石之風化與土壤之生成

第一節 岩石之種類

岩石得分成火成岩 (Igneous Rock), 水成岩 (Sedimentary Rock) 及變質岩 (Metamorphic Rock) 三種。火成岩乃由地球內部之岩漿侵入地球內部或噴出地面, 待冷凝結而成。水成岩係由岩石破壞後之礫石, 砂, 粉土或粘土經沉積固結作用而成, 以河流為主動力, 風與冰河作用次之。火成岩或水成岩經壓力, 地熱及水蒸氣之地質作用, 使岩質重行組織, 變為一種特異岩石稱為變質岩, 如片麻岩係各種火成岩或水成岩變化所成, 大理石則係石灰岩變質所成者。

甲、火成岩

火成岩依產生方法得分成侵入岩 (Intrusive Rock) 及噴出岩 (Extrusive Rock) 兩種。地球內部之岩漿 (Magma) 上昇, 但仍於地面以下凝結, 及至表面地層剝蝕, 始能顯露者稱為侵入岩, 其組成礦物多係均勻之粗粒結晶質。岩漿如含有多量水蒸氣等氣體, 則由噴口內爆發而出, 最初液體物質散於空氣中, 最後凝結成碎塊, 小者稱為火山灰 (Volcanic Ashes) 被壓力冲至半空, 傳播極遠, 粗者則多落於火山口附近而組成錐狀稱為火山錐 (Volcanic Cone)。岩漿如含有少量水蒸氣等氣體則噴出地面時成為液體之熔岩 (Lava), 復行凝結為噴出岩。

火成岩完全不含有化石之類, 全部或一部份係玻璃質所組成, 岩石之表面於一方向與另一方向完全相同, 且無層狀, 帶狀或葉片狀構造。

火成岩得依礦物成份及組織情形分類之, 如第2—1表所示。

第2—1表 火成岩分類法

色		淡		中	暗	
組織	主要礦物	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	偉晶花剛岩 (Pegmatite)	正長岩 偉晶花剛岩	閃長岩 偉晶花剛岩	輝長岩 偉晶花剛岩	
粗而中等結晶質	花剛岩 (Granite)	正長岩 (Syenite)	閃長岩 (Diorite)	輝長岩 (Gabbro)	橄欖岩 (Peridotite)	
			雪花岩 (Dolerite)			
細結晶質	長英岩 (Aplite)			輝綠岩 (Diabase)		
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)					

乙、水成岩

水成岩又稱為成層岩 (Stratified Rock)，係先成之火成岩，變質岩或水成岩經物理，有機及化學作用腐解後沉積固結所成者。水成岩之組織依顆粒之粗細，形狀及膠結物質之特性決定之。顆粒之粗細，變化甚大，較粗物質如卵石及礫石等固結後即成礫岩，砂經膠結後即成砂岩，極細物質如粘土則成密緻之頁岩。顆粒之形狀，因其經運移之遠近而不同，如經河流運搬較遠，則形狀為圓形，如運搬距離不遠，則呈稜角形。膠結物質係凝聚水成岩之顆粒，將其由鬆疏碎屑變成堅硬之岩石。矽酸，碳酸鈣，氧化鐵及粘土為最普通之膠結物質，其耐久性以矽酸為最強，氧化鐵次之，碳酸鈣之耐久性最弱。粘土如少量且分佈均勻，則對岩石之性質無大影響，但如含量較多，甚易使岩石潤濕，減低其冰凍抗力而容易破碎。

第 2—2 表 水 成 岩 分 類 法

成因	粒 徑 大 小	成 份	岩 石 名 稱
物理作用	直 徑 大 於 2 公 厘 者	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% 粘 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	砂質砂岩 (Siliceous Sandstone) 粘土質砂岩 (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	細粒石英與粘土質礦物	泥岩 (Siltstone)
	主要顆粒直徑小 於0.005 公厘者	極細 粘土 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)
	不 定 中等至極細顆粒 不 定	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)
化學作用	極 細 顆 粒	方 解 石 白 雲 石 英 石 石 石 膏	石灰岩 (Limestone) 白雲岩 (Dolomite) 雜燧石 (Chert) 岩鹽 (Rock Salt) 硬石膏 (Rock Gypsum)

水成岩中，最普通之礦物為白色或無色之石英，高嶺土，長石，方解石及白雲石等。水成岩倘純含有此種礦物，則呈白色，如砂岩，粘土及白堊。水成岩通常含有氧化鐵或碳質等之成份，氧化鐵中赤鐵礦為紅色或紅褐色，褐鐵礦則為黃色至赤褐色，而碳質為黑色。故水成岩之顏色為白至淺灰，至深灰及黑色或自白色至淡紅，紅色，暗紅至紅褐色或自淺黃至黃褐色。水成岩如使用第 2—2 表則於工地或試驗室容易辨別之。

丙、變質岩

火成岩或水成岩之變質有三重要因素即壓力，地熱及水蒸氣。壓力，地熱及水蒸氣各有效用，倘岩石之變質甚大，則三者之作用必甚強烈，否則三者之中以一為主，餘者為副。如水成岩與火成岩相互接觸而發生變質，當以地熱之作用為主，水蒸氣次之，而壓力較無重要。

變質岩之構造與火成岩及水成岩不同，其最簡易分類法如第 2—3 表所示。

第 2—3 表 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 (Hornfels) 無煙煤 (Anthracite Coal)

第二節 岩 石 之 風 化

地球外殼之火成岩，水成岩及變質岩如暴露於大氣中，經長久時日之後，必產生自然破碎而磚壤之現象。此種自然作用稱為風化 (Weathering)，其來源大致分成物理作用，化學作用及有機作用三種。

甲、物理作用

1. 冰結作用：任何密縫岩石，其中必有細微孔隙，內蓄水分，如花崗岩含水量為 0.37%，石灰岩約 0.5 至 5%，砂岩較高，約 10% 至 12%。此種岩石內之水份，如遇冷凝結則體積大致增加十一分之一，而體積增加後所作用之壓力得達每平方英尺 150 噸左右，易使岩石中之礦物改變其原來位置。此種冰結作用如多次