

基本館藏

3349

專科學校用書

土壤力學

方
方

中國科學院
左英編
福森校

著
訂

中國科學圖書儀器公司

23

方

5(3)323

0044

K.3

方

專 科 學 校 用 書

土 壤 力 學

方 左 英 編 著
方 福 森 校 訂

中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司

出 版

內 容 提 要

本書係著者根據近年來所搜集的資料，經過適當的選擇，並參酌最新教材編寫而成。主要是作為土木及水利專科學校教本之用，但大學土木與水利兩系的專業課程也可適用。本書原稿曾在南京工學院土木系所屬各專業及專修科用為講義，頗為實用。

全書共分三方面敘述，其一為土壤的構成及物理性質，其二為土壤的力學關係，其三為土壤力學在工程上的應用。凡對土壤力學尚少研究的工程人員，讀之亦可得一明確概念。

土 壤 力 學

編 著 者	方	左	英
校 訂 者	方	福	森
出 版 者	中國科學圖書儀器公司		
印 刷	上海延安中路 537 號 電話 64545		
總 經 售	中國圖書發行公司		

★ 有 版 權 ★

CHE. 11—0.12 176 千字，開本：(762×1066)₃₂，印張：9.875
新定價 ¥ 13,600 1954 年 7 月初版第一次印刷 1—3000

上海市書刊出版業營業許可證出〇二七號

3349

441.219

0044

序 言

本書的編寫，是以土木及水利專修科的學生為主要對象，但亦可用作大學本科教本，或作為基本建設工程技術幹部的參考。

本書着重於基本原理與實用方面的敘述，其概括內容如下：

第一章講土壤的構成，最先使讀者對於土壤得一基本概念。第二章講機械分析，並着重講比重計分析。因感學生對於比重計分析不易掌握，故在這一章裏，從原理、試驗與計算方法，作一徹底的說明。第三章講土壤的性質，主要作一般性的敘述，使學生學過前兩章以後，進而了解土壤的全部性能，得一整體觀念。第四章講土壤吸水原理，說明土壤吸水對其性質的影響及對於壓實的作用，並介紹蘇聯學者關於土壤吸水的理解、標準壓實試驗及工地控制方法。第五章講土壤最基本的幾項試驗，也介紹蘇聯在這方面的標準試驗方法。第六及第七兩章，分別講土壤分組，以及土壤的滲透性及滲流，前者適用於土木系公路專業，後者適用於水利方面所屬專業。第八章講土壤的移動，這是聯繫以前第三章所講土壤的性質，進一步作總的敘述，使讀者了解土壤各種移動現象，如何與其性質密切相關。其中對於土壤的凍脹，則敘述較詳。第九至第十一章，分別講土壤固結與沉陷，

土壤抗剪强度與承重量分析，以及地基探測各種方法，這是學習基礎工程學以前先須了解的基本題材；並在第九章中說明蘇聯在土建方面用得最廣泛的沉陷計算方法。第十二及第十三章，分別講斜坡穩定土壓力，這也是學生在學習過程所不可或缺。

總括的說，內容可分為三方面：其一講土壤的構成及其物理性質；其二講土壤的力學關係；其三講土壤力學在工程方面的應用。

本書所用符號，主要以蘇聯書籍所習見者為準。

本書取材，一部份係根據著者在南京工學院任教所用的講義，大部份還是最近編撰而成。如尚有未盡善之處，深望工程界同志，惠予指正，幸甚幸甚。

最後，本書承方福森教授細心校訂，並承中國科學公司代為出版，印刷精美，著者謹申感謝之忱。

方左英謹識於南京工學院

一九五四年六月

目 錄

第一章 土壤的構成	1-17
1-1 土層位置	3
1-2 土層斷面	6
1-3 土壤的成份	7
1-4 土壤分類	8
1-5 土壤的結構	14
第二章 機械分析	18-42
2-1 銅篩分析	18
2-2 比重計分析	22
2-3 比重計分析的原理及 <u>司篤克</u> 氏定律	25
2-4 顆粒大小的計算	28
2-5 成份計算	36
2-6 例題	38
2-7 成份圖解法	41
第三章 土壤的性質	43-69
3-1 密度	43
3-2 抗剪強度	52
3-3 滲透性	52
3-4 壓縮性	56
3-5 彈性及塑性	57
3-6 毛細管作用	58
第四章 土壤吸水原理	70-90
4-1 物體吸引實例	70
4-2 物體吸引的選擇性	71
4-3 土壤吸水的基本原理	71
4-4 水的分類	73
4-5 土壤吸水四階段	74
4-6 <u>蕭樂德氏</u> 壓實試驗	76
4-7 <u>蘇聯標準</u> 壓實試驗	80
4-8 密度與含水量的工地控制	83
4-9 壓實時水膜的厚度與作用	87
第五章 土壤基本試驗	91-110
5-1 土壤的形態	91
5-2 土壤樣品的準備	94

5-3 含水量的檢定.....95	5-7 蘇聯液性限度試驗法..... 100
5-4 臨界含水量.....96	5-8 塑性指數..... 104
5-5 塑性限度.....97	5-9 容積收縮..... 104
5-6 液性限度.....98	5-10 線縮..... 109

第 六 章 土壤分組..... 111-124

6-1 土壤分組第一法..... 111	6-3 例題..... 123
6-2 土壤分組第二法..... 114	

第 七 章 土壤的滲透性及滲流..... 125-152

7-1 德薩氏公式..... 125	7-5 流網..... 140
7-2 滲透性係數..... 127	7-6 繪製流網圖解法..... 143
7-3 滲透性係數的試驗室檢定 法..... 132	7-7 分層土壤的流網繪法..... 145
7-4 滲透性係數的工地檢定法..... 138	7-8 管湧與土壤內部冲刷..... 147
	7-9 流沙現象..... 150

第 八 章 土壤的移動..... 153-170

8-1 回彈..... 153	8-4 橫流..... 170
8-2 收縮與膨脹..... 155	8-5 地面水的冲刷..... 170
8-3 凍脹或冰害..... 159	

第 九 章 固結與沉陷..... 171-201

9-1 概說..... 171	9-7 豎向壓力..... 184
9-2 固結試驗..... 172	9-8 沉陷估計例題..... 188
9-3 沙的固結..... 174	9-9 黏土壓縮的時間過程..... 191
9-4 黏土的固結..... 175	9-10 危險的標誌..... 192
9-5 固結比和壓縮係數..... 176	9-11 蘇聯關於全部沉陷的計算..... 194
9-6 黏土層壓縮的計算..... 179	

第十章 土壤抗剪強度與承重量分析..... 202-229

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 10-1 土壤剪力理論與試驗方法..... 202 | 10-5 承重量分析之一(蘇聯公式)..... 213 |
| 10-2 直接剪力試驗..... 204 | 10-6 承重量分析之二..... 218 |
| 10-3 三軸剪力試驗..... 207 | 10-7 承重量分析之三..... 221 |
| 10-4 土壤承重量概述..... 213 | 10-8 載重試驗..... 227 |

第十一章 地基土壤探測..... 230-257

- | | |
|---------------------|----------------------|
| 11-1 土坑法..... 231 | 11-5 貫插機探測法..... 245 |
| 11-2 貫入法..... 233 | 11-6 傳聲探測法..... 250 |
| 11-3 土鑽法..... 235 | 11-7 電阻探測法..... 254 |
| 11-4 水沖鑽探法..... 236 | |

第十二章 斜坡穩定..... 258-273

- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| 12-1 概說..... 258 | (ϕ 圓法)..... 265 |
| 12-2 乾沙的斜坡..... 259 | 12-6 斜坡的臨界高度..... 268 |
| 12-3 黏性土壤坍塌形式..... 259 | 12-7 連底崩毀..... 271 |
| 12-4 斜坡穩定校核的方法之一
(分塊法)..... 260 | 12-8 其他校核斜坡穩定的方法..... 273 |
| 12-5 斜坡穩定校核的方法之二 | |

第十三章 擋土牆土壓力原理..... 274-295

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 13-1 主動土壓力與被動土壓力..... 275 | 13-4 安格薩氏圖解法..... 282 |
| 13-2 試探圖解法..... 277 | 13-5 庫隆氏公式..... 286 |
| 13-3 庫門氏圖解法..... 279 | 13-6 倫金氏公式..... 289 |
| | 13-7 倫金氏公式的應用..... 293 |

附錄 貫插機的原理分析..... 296

第一章

土壤的構成

前言

土壤的定義 什麼叫做土壤？以廣義來說，土壤就是地殼上鬆散的礦物質，肇源於地殼上的岩石，經歷無數物理碎裂和化學分解等天然程序而成⁽¹⁾。但以工程的立場來說，土壤的性質和許多因素及所處環境有關，故工程師宜將某一特定的土壤作為單位，加以分析，明其特性，然後可以知所處理。但工程師所研究的土壤科學，和地質學家或農學家所研究的迥然不同。地質學家着重土壤的結構和形成；農業家着重土壤化學、水土保持及在農業上之利用。但土木工程師或水利工程師，則着重土壤力學，依土壤的性質，知在工程上怎樣應用。

至於土壤力學的發展，雖有深長的歷史，但以前各學者的研究，只為近代土壤力學的發展創造條件。其主要的發展，還是近

(1) 岩石之化為土壤，必須經風化作用。所謂風化作用，就是物理碎裂和化學分解之合稱。所謂物理碎裂，即岩石因大氣溫度的變化，易致膨脹或收縮，或內部藏水結冰，足致岩石碎裂而化為土壤。所謂化學分解，即岩石的化合成分，能吸收大氣氧氣而氧化，或吸收大氣水份而水化，亦足致岩石分解而化為土壤。故岩石之化為土壤，實經物理碎裂和化學分解二項程序。

三十年間的事。這一科學，經許多土壤學者的悉力研究，突飛猛進。這一新興科學，在土木與水利工程方面，已獲致妥適的應用，如橋梁房屋的地基、公路鐵路的路基、穩定土壤路面和築堤築壩即是。

一個土木或水利工程師，他已不只要懂得上層結構物的設計，也要懂得下層結構物的設計，更主要的要懂得這些建築物所依靠的土層和其性質及力學關係。否則，這些建築物，如果因立脚（地基）不穩，也就倒塌了。這樣我們也就了解到，土壤力學究竟在工程方面所處的是什麼地位了。

我們現在可下土壤的定義如下：

“土壤乃由不同大小、形狀、結構的顆粒所組成，其內部常含空氣和水份。其物理性質常隨顆粒的大小、形狀和結構的不同，與所含空氣及水份的多寡而變易，並相互有一定的關係”。

土壤既由岩石經風化作用而成，由岩石經物理性的碎裂和化學性的分解，化為不同形狀、大小和結構的土壤顆粒。其性質除隨顆粒的形狀、大小和結構而變化外，並受土內含水的多寡所影響。

但我們所研究的土層，居地球的若何位置，分為幾層，成份若何，如何分類和分類方法，應有先加敘述的必要。茲依次作如下之敘述：（一）土層位置；（二）土層斷面；（三）土壤成份；（四）土壤分類；（五）土壤結構。

1-1 土層位置 我們所研究的土層，不過是地球表面之一極薄層而已。為瞭解土層的位置，先須了解地球的結構。地球的結構，可分三部份。

a、岩石圈。

b、水界。

c、大氣。

如依其重量作比較，據安馬遜氏所稱：岩石圈約佔地球總重百分之九十二；水界約佔百分之七；而大氣所佔則不及百分之一。

(一)岩石圈 關於地球內部的構成，著論紛紜。但由天文、地震和火山爆發等現象來觀察，知地球的平均比重或密度(克/公分³)約為 5.6。歌登堡氏曾假設地球的第一圈為矽石質，厚約 1,200 公里；第二圈為鎳鐵質，厚約 1,700 公里；內心為隕石隕鐵質，直徑 7,100 公里。後賀皮氏根據歌登堡氏的假設，加以研究和分析，稱地球最外一圈為水成岩和火成岩混合圈，厚約 19 公里，其他各層依次為隕石質、隕鐵質及隕石隕鐵混合質，厚度與歌登堡氏所述的相同。各層的密度和厚度如圖 1-1 所示。

又關於地球的內心，有的說是液體，有的說是固體，爭論紛紜，莫衷一是。其所以稱之為液體，謂地心

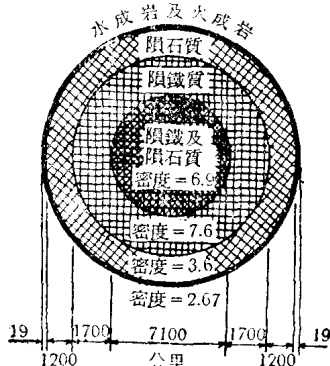


圖 1-1 岩石圈材料成份和分佈

溫度很高，所受的壓力很大，全然爲一熔質，其如由火山所噴出的爲熔液，流動自如，卽屬明證。其所以稱之爲固體，謂地心處高温和高壓之下，雖儼如液體，但經冷却和壓力低減後，能具固體所應具之性能，如剛性和彈性卽是。故火山熔液經噴出地面之後，溫度和壓力立即減低，熔質因之硬化，其堅如石，其韌如鐵，亦其明證。

考氣體、液體和固體三者的分界，不外根據三種因素：其一爲壓力的大小，其二爲受壓的久暫，其三爲溫度的高低。壓力大而溫度低，氣體可化爲液體。又例如固體的冰塊，加壓力於其上，

相當的時間以後，可逐漸溶化爲水。故捨上述三種因素而竟論物體的形態，均有所不當。

地球的溫度，越近內心，溫度越高，越近地表，溫度漸減。平均由地面每增深 30 公尺，溫度約增高爲攝氏表 $\frac{1}{2}$ 度或 1 度。賀皮氏謂每增深 20 公尺，升高 $\frac{1}{2}$ 度。故以世界最深的礦井而論，深達二千餘公尺，在此等礦井內採礦，必感熱不可耐，然如何使礦井的內部冷却，也成爲一個極大的困難問題了。

但我們所研究的土壤，不過是地殼表面的極薄部份，全然受大氣的壓力和溫度所影響，所受的壓力和溫度也都不大，故稱之爲固體即可。此等固體的土壤顆粒，乃由地球最外一圈的水成岩或火成岩，經碎裂和分解而成。但土粒與水份發生作用後，視所含水份的多寡，又有三種形態：（一）固體；（二）塑體；（三）液體。土壤內部不含水或含水甚少時，爲鬆碎的土粒，或略覺黏結的土

團，但土團受壓時仍可碎解為土粒，這是固體。如土壤內部含水量增加，土壤黏結成團，加壓力時能使之變形，但不碎解，亦不因其本身的重量而自由流動，其性質儼若做饅頭的粉糰，這是塑體。倘土壤內部的水份繼續增加以達飽和，土粒內孔隙全為水份所充塞，則土壤不復黏結，能因其本身重量自由流動，這是液體。故固體的土粒和液體的水份混合，視水分的多寡，乃有前述三種形態。

(二)水界 地球的表面面積，三分之一屬陸地，三分之二屬海洋。安馬遜氏稱水界約佔地球總重百分之七；但張伯倫氏稱，水之份量，約佔地球總重之 $\frac{1}{5,000}$ ，如使平均覆蓋地球一週，厚可達三公里。水份的終極歸宿為江、河、沼和海洋。但因溫度

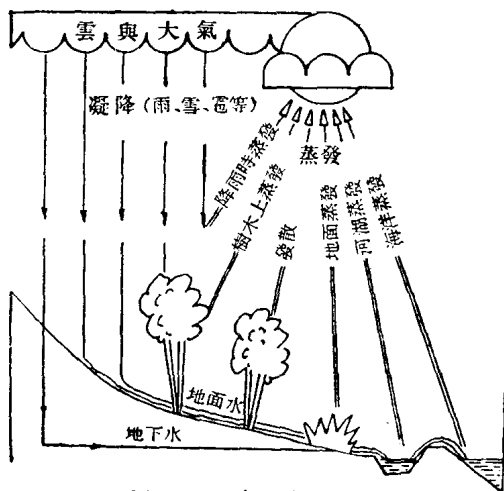


圖 1-2 水 份 循 環

的變化，可蒸發和發散而化為雲、霧；再經溫度的變化，又可聚結下降而為冰、雹或雨、雪。其橫流於地面之上的叫做地面水，其滲透入土的叫做地下水。水份的循環如圖 1-2 所示。

但水份之如何升雲化雨，與其如何匯聚以入江、河、湖、海，非此間所敘述的範圍。但橫流於地面的地面水和滲透入土的地下水，對於土壤性質的影響至鉅，故工程師應知其如何排除，如何改良排水設計，以使土壤得以穩定。

(三)大氣 大氣溫度的變化，能使岩石作物理性的碎裂；大氣所含氣體，能使岩石作化學性的分解，前已述及。故岩石經此兩種風化程序而化為土壤，大氣佔主動的作用。大氣為水份循環的媒介，以及能對地表發生保護作用，使在有太陽時不致過度受熱，無太陽時不致過度凍冷，皆因大氣所含的氣體和水蒸汽，有折光的作用。沿大氣的外層，氣流很薄，其溫度最低紀錄，可達攝氏表零度以下 57~62 度。此外在冬季或寒帶，土內藏水易於結冰，發生冰脹作用，為建築上所忌。

總言之，地球是由岩石圈、水界和大氣三者所組成。而我們所研究的土壤，不過是岩石圈的表層。這一表層，受水份和大氣的影響很大。

1-2 土層斷面 土層依次分為三層：(一)土壤層；(二)母岩層；(三)基石層。

土壤層——土壤層是曾經風化作用和其他程序而成的土層。

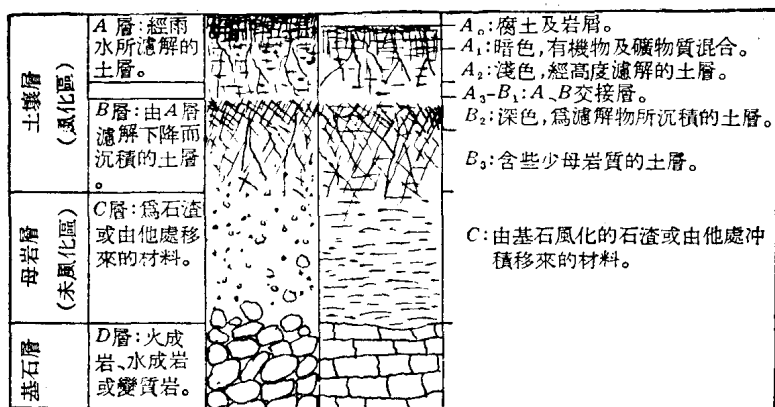


圖 1-3 土 層 斷 面

尋常誌為“A”層及“B”層。“A”層是最上的土層,深度由數公分以至數公尺。其中可溶解的礦物質均已濾出。其頂面則含有機物質,因受濾解作用,略形粗糙。而“B”層多屬由“A”層濾解下降的細土,如硬盤泥或黏性較大的黏土等,不易透水。“A”與“B”兩層又因情況的不同,分為 A₀、A₁、A₂、A₃ 及 B₁、B₂、B₃ 等層。

母岩層——母岩乃未經風化的石渣,或因水流的挾帶、搬運,由他處沖積移來的土壤,深度很深。這層尋常誌為“C”層,不受風化和其他程序的影響。

基石層——這層居母岩層之下,尋常誌為“D”層,屬不同性質的岩石:如火成岩、水成岩或變質岩。

1-3 土壤的成份 土壤的化學成份如何,姑暫置不論。然典型土壤的構成,約分為兩種物質:一為礦物質,一為有機物質(見

圖 1-4 所示)。有機物質在工程上無甚重要性,而主要的是礦物質。其內部又含或多或寡的水份與空氣(兩者分佔着土內的孔隙),或孔隙內完全為水份所充塞。壓實的土壤,其孔隙可低至

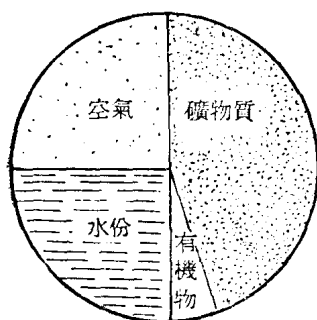


圖 1-4 土壤成份

15~20%；鬆浮的土壤，其孔隙可高至 70~75%；而所含的水份也可由甚小的百分數以至完全飽和。礦物質和水份及孔隙的關係，足以影響土壤的性質，這種關係，乃為土壤力學家所研究的主要題材。

土壤既由岩石碎裂和分解而成，但土壤也可積聚而成為岩石。由碎裂和分解而成土壤的岩石，不外以下種種(表 1-1)。

表 (1-1) 普 通 岩 石 種 類

火 成 岩			水 成 岩			變 質 岩		
花 崗 岩	正 長 岩	閃 長 岩	石 灰 岩	白 雲 岩	頁 砂 礫 岩	大 理 石	片 麻 英	岩 岩 岩

1-4 土壤分類 土壤分類方法，主要以土壤的纖維作為分類的標準。纖維之義，就是顆粒的粗細。

分類(一) 只依顆粒的粗細而分。根據蘇聯齊托維支所述，

其分類如表(1-2)。

表 (1-2) 土壤顆粒分類

顆 粒 名 稱	粒 徑 (公 厘)
卵石.....	大於 20
礫石.....	20—2
沙:	
(a)粗沙.....	2—0.5
(b)中沙.....	0.5—0.25
(c)細沙.....	0.25—0.05
粉沙:	
(a)粗粉沙.....	0.05—0.01
(b)細粉沙.....	0.01—0.005
黏土.....	小於 0.005

如果再加細分,可見表(1-3)。故土壤的分類,不是按其化學成份而分,主要還是按顆粒的大小而分。

分類(二) 將土壤分為粗料、細料及結合料三種:

粗料——顆徑在 2 公厘以上。

細料——顆徑 2—0.05 公厘 (或 2—0.074 公厘即 200 號篩孔徑)。

結合料——顆徑在 0.05 公厘以下 (或 0.074 公厘以下)。

粗料相當於礫石,細料相當於沙,結合料相當於粉沙和黏土。

分類(三) 依土壤顆粒的大小及混合後,以何種成份為主而區分。尋常依沙、粉沙及黏土三者各別成份的多寡,并視以何者為主,將土壤分為十二類,其各別所含沙、粉沙及黏土三者的成份如表(1-4)。