

土壤力學

錢家歡 編著
李崇德 校閱

大東書局出版

5(3)323

8334;4

K15

錢

167149

土壤力學

錢家歡 編著

李崇德 校閱

大東書局出版

土 壤 力 學 內 容 提 要

全書分十二章,每一章有明確的任務、對於土壤的基本性質、土壤鑽探及試驗、土壤的滲透性、土壤的壓縮性以及土壤的穩定性,都有系統的分析。例題、習題、課堂習題、複習提綱等都安插在適當的位置。

土 壤 力 學

書號: 5088

編 著 者	錢 家 歡
校 閱 者	李 崇 德
出 版 者	大 東 書 局 上海福州路310號
印 刷 者	大 東 印 刷 廠 上海安慶路268弄

20 開 90 印刷頁 170,000 字 定價 14,000 元
一九五三年六月初版

(0001—3000)

前 言

(一)本書適用為大學或工學院土木、水利兩系的教本；如果大學專修科用作教材，可略去有關微分方程的部份。假如本書對於從事基本建設工程的工作人員亦有幫助，編者尤感欣幸。

(二)本書內容的安排，係自基本的原理着手，再進入理論的探討，有時更闡明實驗對理論的幫助及作用。講完了每一個重要部份之後，必緊跟着一個例題，以說明原理的應用和計算的方法。在原理的討論中也常連繫到實際問題；但力避重覆其他課程的內容，如公路工程中的土壤穩定、水工結構中的土壩、基礎工程中的各種基礎設計和施工等，均不包括在本書範圍之內。

(三)本書的內容：“土壤力學的發展和範圍”一文描繪出土壤力學的簡略輪廓，可留給學生們自己閱讀；第一章緒論主要介紹土壤的構成和種類，以及土壤力學的基本名詞；第二章包括許多簡單而基本的土壤試驗；第三章土壤分類則採用蘇聯規範；第四章鑽探和採樣是獨立的，這是土工試驗和土工設計的準備工作；第五、第六、第七三章講土壤的滲透性、豎向應力及固結，可作為一個單元，討論流網和沉陷兩個基本題目；第八、第九、第十、三章講土壤的抗剪強度、土坡穩定、土壤壓實，又可作為一個單元，敘述土壤抗剪性質的測定，土坡設計方法，土壤壓實的原理、方法與工地控制等；第十一、十二兩章講土壓力及土壤載重量也是一個單元，介紹各家土壓力的學說以及計算土壤載重量的理論方法。

(四)按照上述的內容，每一單元多少有其獨立性，教者可以根據時間的多寡而增刪教材。如果時間充裕，在講第八章土壤抗剪強度之前，可介紹材料的破裂理論，從最大正交應力理論、最大剪力理論說到修正的最大剪力理論。如果時間不敷，在第九、第十一兩章許多平行的求解土坡穩定和土壓力方法中，可略去次要的幾種，第十二章土壤載重量的理論方法也可以考慮免去。

(五)書中例題及習題，一律採用公制。

(六)本書的編成，主要取材於太沙基，崔道維區(Цытович)，潘克，泰羅諸氏的

著作。第一章第三節部份材料取自四川大學李國潤教授的講義；第七章第八節蘇聯大孔性土壤壓縮的研究則採自饒鴻雁先生的譯文。首頁插圖五幀，有助於講堂解釋，其中土壤無側限壓縮儀照片，係由廈門大學曾國熙教授所惠借。

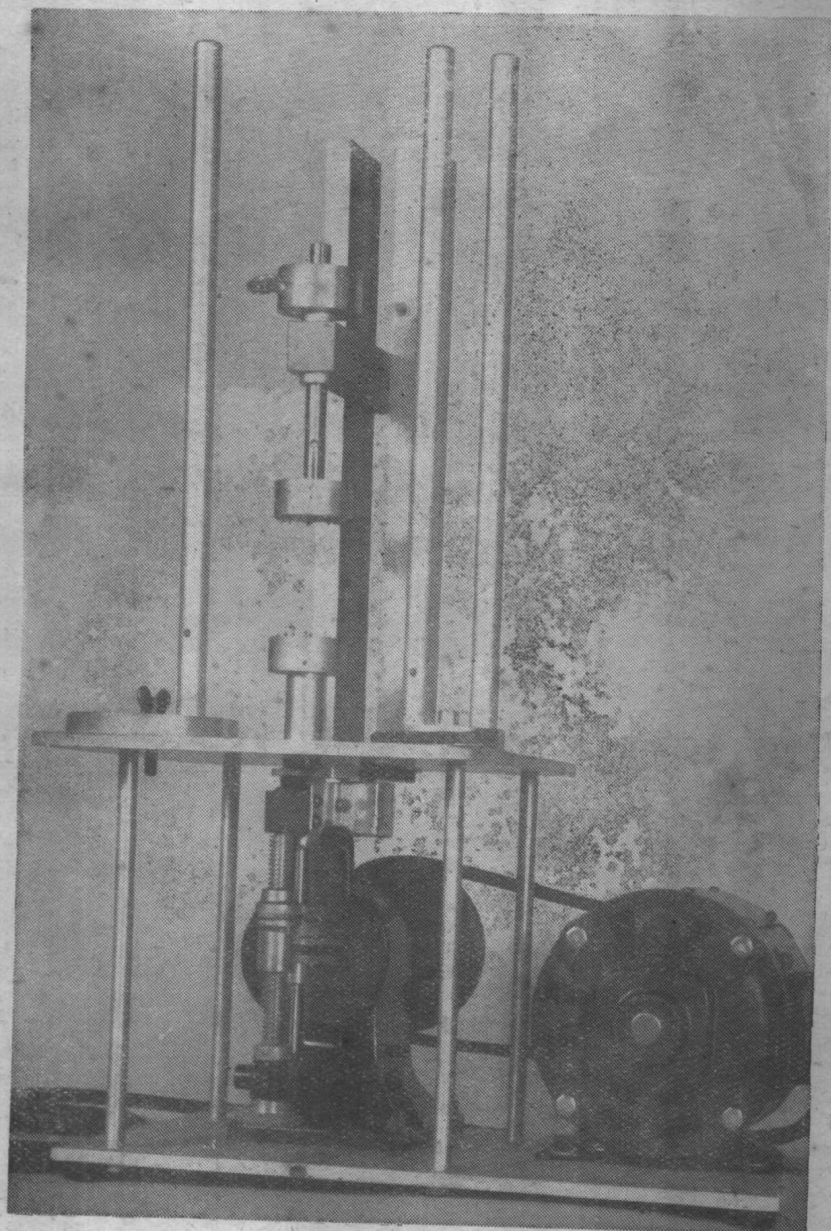
(七) 1949年冬，在浙江大學前土木系主任張樹森教授的鼓勵和督促下，寫成本書初稿。三年中曾試教五次，根據同仁和同學的反映意見，原稿也改編了三次。同仁中董友成、楊錫齡兩位先生教學上的幫助，以及三年中許多好以發問的同學，都有助於逐次的改編，編者應該在這裏向他們表示謝意。在第三次改寫中，浙大張自平同學擔任抄寫，頗費心力。付印之前，承華東水利學院李崇德教授校閱原稿，並提出許多寶貴而具體的意見，編者更是感激。

(八) 本書如有錯誤或欠妥之處，不論內容、譯名、次序以及文句方面，均希望土木及水利工程界同志多多指正。

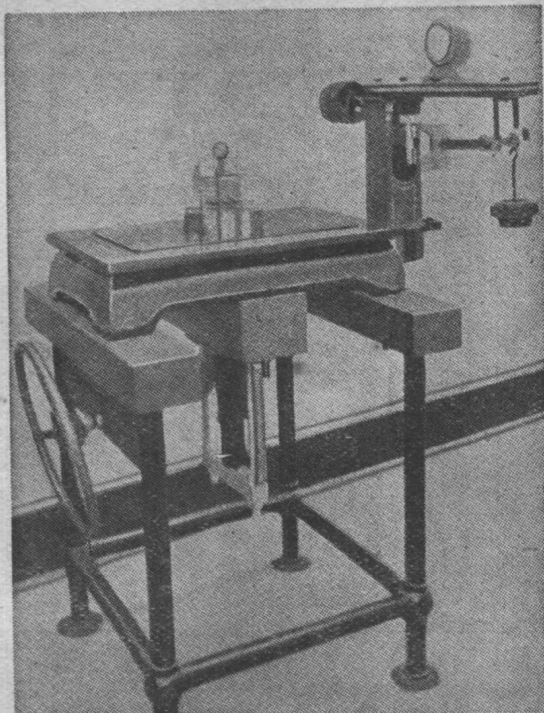
錢 家 歡

南京 華東水利學院

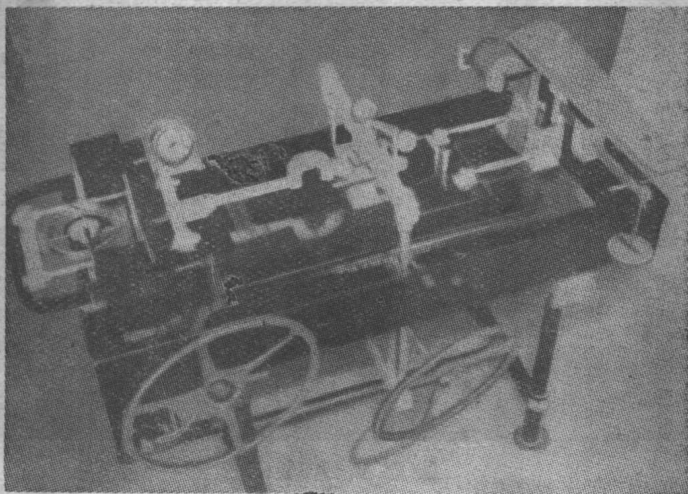
1953年1月



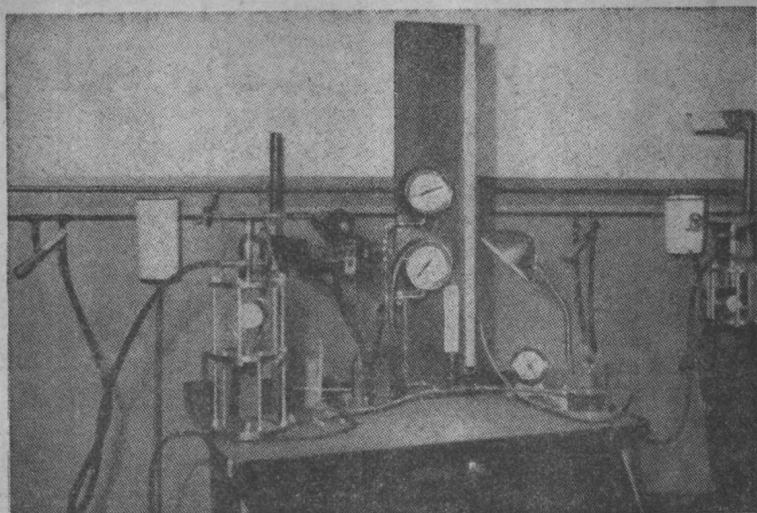
無側限壓縮機



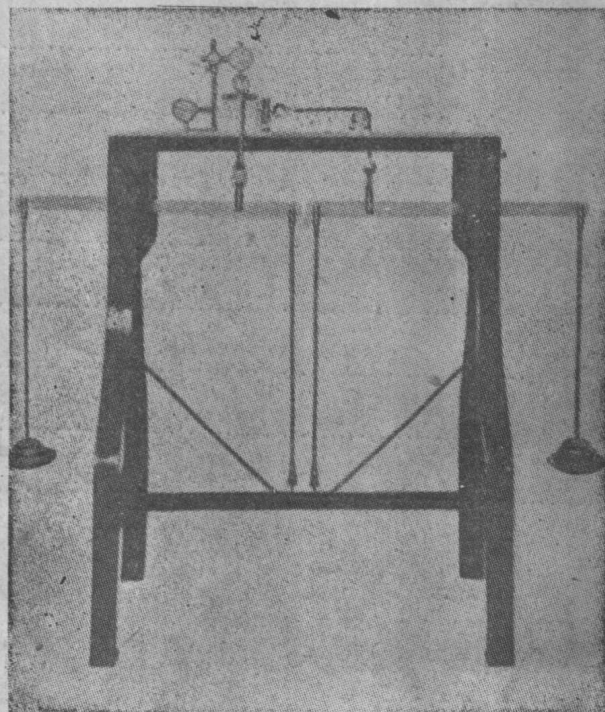
固 結 儀



直接式剪力儀(應變控制)



三軸壓縮式剪力儀



直接式剪力儀(應力控制)

土壤力學的發展和範圍

什麼是土壤力學？

“空中樓閣”原是譏諷幻想者的一句俗語，事實上任何土木工程都必須有一個基礎，而基礎不能浮在空中，必得築在地面上。

地表的構成物質，普通可分為兩類：即石和土。前者有花崗石、頁岩、砂石、石灰石等；後者包括礫、砂、壤土、黏土、淤土等，而總稱之為土壤。因為土壤比較石層要脆弱得多，易壓縮，易受風化，也容易被水滲透，所以基礎建築在土壤上也比較在石層上困難得多。

一切工程材料都有特殊的性質，鋼性堅，石性硬，而一塊鋼和其他一塊鋼，沒有什麼不同，同種類的石塊，也具有相似的性質。唯有土壤分類繁多，即使同類的土樣，取自同一地方，其性質亦有迥異之處。因土壤性質未能明瞭而工程失事的多至不可勝數。最近幾十年來，土木工程師開始注意和研究土壤問題。凡藉力學的原理，研究土壤的性質及其狀態，以作為施於工程之用者，稱為土壤力學。這是一個廣泛的定義。

雖然土壤力學祇應用到土木工程方面，但是與其他科學及土木工程的其他學程有密切的關係：土壤的沖積和分層需要地質學者來解說；土壤風化和沖刷的防止需要水土保持專家的合作；研究土壤的滲透和固結更需要水力學的知識；而推求土壤中理論應力和應變的關係，則非彈性力學幫助不可。

土壤力學的範圍

土壤力學在土木工程方面的應用範圍至廣，包括鐵路、公路、機場、隧道、海塘、河堤、土壩，以及各種建築物的基礎。以內容來說，可分兩大部份：即穩定問題及變形問題。穩定問題包括土壤抗剪失敗及土壤沖蝕，變形問題指土壤受壓縮或風化所引起的容積和形狀的改變。

(一)穩定問題

1. 土坡的穩定。
2. 擋土牆及板樁的土壓力。
3. 土壩的設計及滲透問題。
4. 開挖及支撐的受壓問題。
5. 基脚、樁、公路及機場跑道的載重量。

(二)變形問題

1. 建築物的沉陷。
2. 填土及土壩的變形。
3. 擋土建築物的側向位移。
4. 隧道及涵洞的受壓作用。

土壤力學的發展歷史

土壤力學雖然是一個近三十年來新興的名詞，它的歷史淵源卻可追溯到十八世紀末葉。從那時候起，研究工程土壤的學者已很明顯的分為兩派，一派是庫倫^①朗肯^②、蓬斯雷^③以及近代蘇聯學者基爾塞萬諾夫^④所領導的理論工作者，專研究土壓力問題。另一派注重實驗和實際工程資料的收集，科林^⑤、培克^⑥、阿太堡^⑦，以及蘇聯學者華西里也夫^⑧實開其端。

由於實際土壤情形的變化多端，而舊的理論非但視土壤是理想的均勻體，土壤的性質也祇有內摩擦及密度兩項，致純理論的應用受到多方的限制。一直到1925年，太沙基^⑨氏在君士坦丁堡發表了他的名著土壤力學^⑩後，理論與應用間的距離，被拉近了一大步。下表是土壤力學的先進學者所開闢的一條歷史道路：

1720	培利多爾 ^①	休止角
1773	庫倫	土壓力的滑楔理論，黏土填土的臨界高
1840	蓬斯雷	滑楔理論的實際應用
1856	達賽 ^②	砂土的滲透性

① Coulomb

② Rankine

③ Poncelet

④ Герсеванов

⑤ Collin

⑥ Baker

⑦ Atterberg

⑧ Бажин

⑨ Terzaghi

⑩ Erdbaumechanik

⑪ Belidor

⑫ Darcy

1857	朗肯	砂土載重量及土壓力
1881	培克	土壓力的實地觀測
1885	鮑沁內斯克 ^①	地面下應力分佈
1911	阿太堡	黏性土壤的液限及塑限
1918	克賴 ^②	基礎、土坡、擋土牆的穩定分析
1922	腓里紐斯 ^③	瑞典法的土坡穩定分析
1936	第一次土壤力學國際會議, 出彙刊三冊	
1937	基爾塞萬諾夫	土體動力學 ^④ 出版
1937	崔道維區 ^⑤	冰凍地基的研究
1938	巴爾加 ^⑥	機器基礎的設計
1940	崔道維區	名著土壤力學 ^⑦ 出版
1940	阿比里夫 ^⑧	大孔性土壤的壓縮
1948	第二次土壤力學國際會議, 出彙刊六冊	
1950	獨勃樂娃 ^⑨	土壤載重量的特殊研究

中國房屋建築術雖然發達得極早, 利用土堤以禦洪水也有數千年的歷史, 但始終不能以科學的方法(如數學的理論, 試驗的印證, 實地的觀測)來分析和研究地基及填土問題。

新中國成立以來, 各方面的建設突飛猛進, 例如淮河流域的土壩工程, 東北和華北的廠房建築工程, 西北和西南的鐵路工程等, 都促使土壤力學跟隨着其他科學, 飛躍前進。在學校中, 土壤力學已訂為土木、水利學生的必修課。各大學和專門學院以及工礦機構, 都紛紛成立土工試驗室。展望前途, 實未可限量。

研究土壤專題的步驟

土壤的研究專題可分為兩大類:(一)以土壤作為建築材料(如土壩),(二)以土壤為基礎的承托。

不論專題屬於那一類, 着手研究的步驟是一樣的。先鑽探和採樣、試驗土壤性

① Boussinesq ② Krey ③ Fellenius ④ Основы Динамики Грунтовой Массы
⑤ Цытович ⑥ Баркан ⑦ Механика Грунтов, 1951 年再版 ⑧ Абелев ⑨ Дуброва

質、鑑別土壤種類，然後依需要作專門性的試驗。如土壤是土壩的材料，應作搞實試驗、滲透試驗及剪力試驗。如土壤是基礎的承托，則作載重試驗、固結試驗、剪力試驗等。試驗和觀察所得的結果，便是最後設計的資料。近年來更盛行施工觀測，隨時與設計資料相印證，以避免功敗垂成的危險。

土壤力學發展趨勢

近來土壤力學的研究，已漸拋開純理論的工作，而專趨向實用方面。例如建築物沉陷的觀測、板樁的設計、隧道鑲護的受壓作用、土壩及河堤的穩定性問題、土崩滑動面的觀測等等，正是歐美各國土壤力學專家所孜孜研究的。他如土壤試驗的儀器和方法，也正不斷改進中。

綜上所述，我們可以得到一個結論：

(一)近代的土壤力學並不是一個新科學，而是從昔日工程學者研究土壤的經驗逐步提高的。

(二)土壤力學的方法和技術，對於土木及水利工程師確有寶貴的實用價值。更根據蘇聯的先進經驗，土壤力學必須與水文和地質兩門科學緊緊配合，方始可以解決實際問題。

(三)土壤力學的發展，正趨向工程的實地觀測。

目 錄

前言

土壤力學的發展和範圍

第一章 緒論	1
第二章 土壤基本性質的試驗方法	11
第三章 分類試驗及土壤分類	17
第四章 鑽探和採樣	26
第五章 土壤的滲透性	34
第六章 土壤的豎向應力	55
第七章 固結及沉陷分析	67
第八章 土壤的抗剪強度	99
第九章 土坡穩定	109
第十章 土壤壓實	127
第十一章 土壓力	135
第十二章 土壤載重量	154
附 錄	161

(一)蘇聯地基許可載重量規範

(二)土壤力學複習提綱

(三)土壤力學英中俄名詞對照表

第一章

緒論

(1.1) 土壤的形成

石塊受空氣的侵蝕，轉變為土壤。轉變的原因，或由於物理的分裂，或由於化學分解。物理分裂的起因，如溫度突變，或裂縫中積水成冰。化學分解是岩石礦物質的氧化或水化。物理和化學的混合作用，稱為風化。總之，不論藉何種作用，土壤是由岩石轉變而成的，稱為無機土。若土壤大部份由植物或動物腐敗而生成，則稱為有機土。土壤如有壓實的機會，也可慢慢變成岩石。

凡是就地變成的土壤，稱為定積土。大部份的土壤都是藉外力的挾帶，至較遠的地方。被水流挾帶而沉澱的，稱為沖積土；藉風力者稱為風積土；藉冰層移動者稱為冰積土。其他如因地殼某部的滑動，火山的爆發，都能使土壤遷移到別的地方。

(1.2) 土壤的種類^①

研究土壤力學，必須先明瞭各種土壤的簡單性質。下面提出幾種比較主要的土壤：

(一)砂及礫，都是無凝聚力的粗粒。粒徑在 2 公厘至 20 公分之間的，稱為礫石。砂的粗細分四等：1-2 公厘為粗砂，0.5-1 公厘為中砂，0.25-0.50 公厘為細砂，0.05-0.25 公厘為極細砂。

可以用鏟鏟起的砂，稱為疏鬆的砂，否則稱為密實。

(二)有機淤土，粒徑在 0.05 至 0.002 公厘之間，可能其中僅含有一部份的有機土，易壓縮，不甚透水，略有塑性。其顏色呈淡灰、深灰或黑色，微有臭味。當被揉於兩指之間時，頗覺鬆軟，無機淤土就沒有這種感覺。

因為有機淤土易壓縮，不宜作為基地或填料。

①本節所述各種土壤的粒徑大小，採自 Методы Лабораторных Исследований Физико-Механических Свойств Песчаных и Глинистых грунтов

(三)無機淤土和石粉,祇有礦物質的顆粒而無有機質。大部份的無機淤土粒徑稍大於 0.002 公厘,石粉的粒徑卻小於 0.002 公厘。這兩種土壤的圓形顆粒就不易壓縮,扁平的很容易壓縮。指上如留有少許,乾後頗易彈去。以顆粒大小來說,石粉應屬於黏土一類,但兩者性質顯然不同。

(四)無機黏土或稱黏土,粒徑在 0.002 至 0.0002 公厘之間,甚至在 0.0002 公厘之下。黏土在任何含水量時(除非含水量甚少)能被揉成條狀,且具有顯著的抗拉力。濕黏土黏附手指,乾後也不易刷去。

黏土又有軟硬之分。硬黏土天然被壓實,含水量少,是優良的基地。軟黏土易壓縮,抗剪強度很小,不能承受過重負載。

(五)泥炭土由植物質部份炭化而成,抗剪強度很小,非常易壓縮,不宜作為基地。藉其深色及臭味,很易辨別。

(六)硬盤泥指膠結的硬土層,即使水浸也不軟化。對於鑽土器械,有極大的抵抗能力。

(七)黃土是粒徑幾近均一(0.01-0.05 公厘)而又非常細小的風積土,孔隙比(見第 1.5 節)大,內部微有膠結作用。所以黃土層的開挖,邊壁常可直立。但黃土一經水浸,膠結便消失,凝聚力大為減小。

(八)頁岩是黏土變成石板石的過程產物,通常誤認為岩石;可是一經著水,便會迅速分解。

(九)極把土^①是細質黏土中,含有少量砂土。

(十)高嶺土^②,質純粹而帶白色,用於陶瓷工業。

(十一)壩塢^③是砂、淤土和黏土的混合土,有時更參雜有機質。

(十二)泥灰土是黏土和砂的混合土,更含有碳酸鈣和有機物。

(1.3)土壤的結構

土壤是許多大大小小的土壤顆粒混合而成。這些顆粒排列的形式,稱為土壤的結構。

地面土壤大部為沖積土,沖積土的結構有三種基本類型的組織,即單粒結構、

① Gumbo ② Kaolin ③ Loam

蜂巢結構和密族結構。這三種類型的存在正說明了土壤形成的過程。

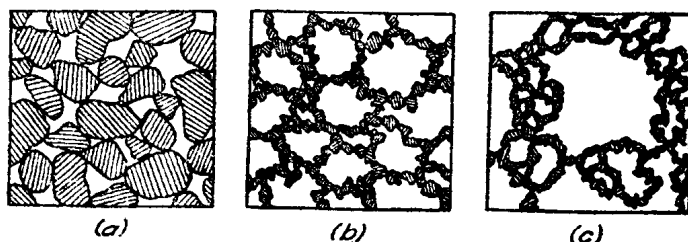


圖 1.1 土壤的結構 (a)單粒結構 (b)蜂巢結構 (c)密族結構

單粒結構常見於無凝聚性土壤。砂、礫石沉積時，形成這種結構，各顆粒之間互相依靠，交錯重疊。這種結構的特點為能承受較大的壓力而壓縮很小。即使在疏鬆狀態下，壓力慢慢增加，壓縮也不會太大。若經搖動或振動，土粒便趨緊密。均勻的砂土，在緊密狀態下，空隙約佔全體積的 26%，疏鬆時空隙約佔全體積的 47%。

在試驗中發現土壤的空隙有佔全體積 47% 以上者，這說明土壤結構尚有其他的形式。

圖 1.2 表示有些土粒已經沉下，有些土粒正在往下沉。當它們正下沉時受到的力是水的上浮力和顆粒本身的重量。但當它們和已沉積的土粒接觸時，就受到接觸點上的反作用力和分子吸引力。在顆粒大的土壤中，這種分子吸引力比起顆粒重量小得多，影響就不顯著。顆粒重力與支點的反作用力形成力偶；因此顆粒滾下去形成單粒結構〔例如圖 1.2 中的 (a)〕。

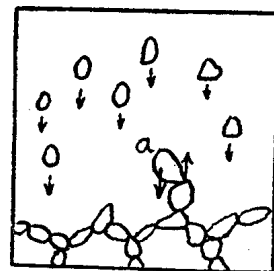


圖 1.2 土粒沉積過程

可是非常細小的土粒，如直徑為 2μ (即 0.002 公厘) 時，它本身的重力約為 1×10^{-8} 達因，而分子吸引力就有 1×10^{-6} 達因；所以分子吸引力的影響很顯著，足以制止顆粒滾下而使其停留在原來落下的地位上。這就成為蜂巢結構〔參閱圖 1.1(b)〕，空隙體積可大至 80%。

如果土壤的顆粒再要小些，即為膠體顆粒，帶有電荷，懸浮時作布朗運動。^① 當水中含有電解質時，膠體就結成互相聯接的蜂巢結構沉澱，於是各個蜂巢單位又聯接起來成為密族結構〔參閱圖 1.1(c)〕。

膠體顆粒的直徑小於 0.1μ ，主要有高嶺膠體、^②雲母高嶺膠體^③和微晶高嶺膠

① Brownian movement

② kaolinito

③ illite

體③三種，其大小依次遞減，而活動程度卻依次增加。因此，土壤中土粒較小的部份，卻決定全部土壤的物理性質。

上面所說的是土壤結構基本形式。實際上土粒大小極不均勻，組成的過程也很複雜，所以結構也就複雜起來。圖 1·3 是三種基本結構的混合組織，從圖中更可看出土壤受到外力後其內部應力的傳導情形。

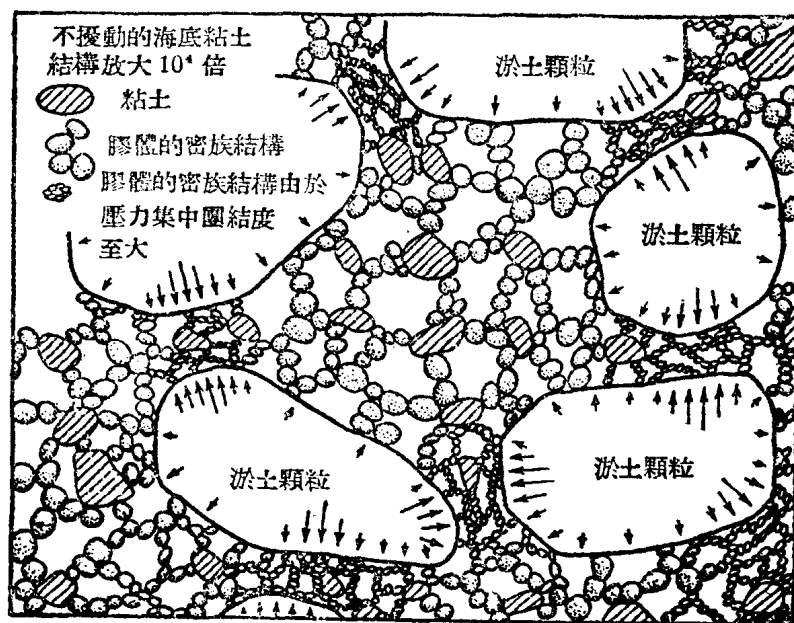


圖 1·3 混合結構

(1·4) 土壤中的水份

根據上節所述，土壤的組織是由顆粒所構成。至於粒與粒之間的空隙，是被水或空氣所佔據。空隙完全被水所填充的土壤，稱為飽和土。空隙中無水份，完全是空氣的，稱為乾土。空隙中水份和空氣都存在的，稱為濕土。

水份在土壤中存在的狀態，可分為吸附的和自由的二種。

土粒表面粗糙，多少帶有電荷。而水是有極性的，所以和土粒面接觸的水份就緊緊吸附在它的周圍，形成吸附層，厚度自 $1/400,000$ 至 $1,100,000$ 公分，稱為附着水。最內層的附着水受到極強的吸附力，故緊附在土粒周圍，呈半固體狀態，非加高

① montmorillonite