

科學圖書大庫

大專用書

土 壤 工 程

(土壤試驗與管制)

編譯者 劉副雁

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

大專用書

土 壤 工 程

(土壤試驗與管制)

編譯者 劉副雁

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

徐氏基金會出版

我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啟發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啟導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧銓氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校：或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

編譯小引

近三十年工業發展，給整個世界帶來重大改變。因為交通工具其體型日漸增大，能量日漸提高，促使土木工程有重作估量的必要。飛機需要更長跑道；路面須能承受更大衝力，並須更能耐熱。車輛需要曲率半徑更大的道路，橋樑須能通過更大載重的車輛，船艦需要更廣更深的港口與更大更堅的碼頭，工業生產需更複雜的廠房，農田水利需更多的水庫與堤壩。至於生活環境，在城市中已由平面趨向高空。所以土木工程殆為工業及其他方面發展的先驅。

因有上述種種變化，舊日建築技術，已不能滿足今日工程要求，設計與施工，須依今日要求從事精密裁度。本書編譯目的，係乘國家建設方殷，民間營造正急，提供有關改進土壤工程試驗管制技術，希從觀念的更新到技術的改進，無論工程基礎或建物構造，均有更優良的品質。深願本書之發行，能給部份工程界帶來一番革新，使土木工程達到國際水準。

劉副雁 謹識

目 錄

第一章 敘 論.....	1	第二節 骨料試驗.....	156
第二章 土壤來源及特性.....	2	第三節 混凝土拌合比例.....	167
第一節 土壤來源.....	2	第四節 彎曲強度試驗.....	190
第二節 土壤特性.....	3	第五節 抗壓力試驗.....	193
第三章 土壤分類.....	26	第十章 瀝青材料拌合.....	202
第一節 概說.....	26	第一節 概說.....	202
第二節 土壤工程分類.....	26	第二節 試驗樣品選擇.....	212
第三節 採樣.....	42	第三節 瀝青識別.....	214
第四章 水在土壤中活動.....	54	第四節 骨料識別.....	218
第五章 壓縮性.....	62	第五節 瀝青材料試驗.....	220
第六章 土壤剪力.....		第六節 骨料及填充料試驗.....	228
第七章 土壤承载力.....	94	第七節 瀝青拌合設計.....	237
第一節 淺基礎.....	94	第八節 拌合廠作業管制.....	267
第二節 淺基礎.....	107	第十一章 土坡及堤壩.....	269
第八章 土壤壓實.....	118	第一節 概說.....	269
第九章 混凝土.....	145	第二節 滲流.....	269
第一節 特性.....	145	第三節 滲流管制.....	273
		第四節 土體穩定性.....	275
		第五節 除土邊坡.....	277
		第六節 路堤.....	279
		第十二章 檔土牆.....	281
		第一節 橫向壓力.....	281
		第二節 檔土牆.....	285

第一章 叙 論

一就我們人類活動範圍來說，每個人與土壤都發生密切關係，我們衣得自棉麻，產之於土地，我們食稻麥果菜，生之於土，我們住建於地，我們行無論道路、橋梁、港口、碼頭、機場，無不建於土地，而尤以重工業愈發達，則對土壤認識與運用則愈感重要，今日飛機由螺旋槳進而噴射，由 707 而 727 至 747，其輪重設計，與因噴射而增加熱量，以及其起降率所引起材料疲勞等問題，已非螺旋槳推進時代同等考量因素，今日橋樑道路，因車輛改進發展，無論就載重噸位，車輛型態，以及數量而言，均遠非昔日之輪具可相比擬，故不獨橋樑之承載增加，道路之彎曲與坡度、幅寬與承載，以及城市與郊區之通達運輸，均已改變舊有觀念。

二自然土壤斷面概可分為三層，其上層通常為有機物質與下部份之膠狀物及可溶解土壤，中層多為數吋厚黏土，底層則是未經變動之原土。研究表面土壤，氣候、水份與植物成長關係屬農業範圍，研究土壤承載抗力，與其所採各種增加強度措施，則列為土壤工程體系。

三材料裝具，人員、時間是任一種工程上基本條件，就材料一項而言，無論在土木與建築上，土壤均屬首先考慮問題。因為土壤質與量無不直接與工程強度，施工時間以及成本發生密切關係。過去因土壤之良莠而影響工程之成敗，不乏往例，在工業高速成長之今日，此何以吾人重視土壤工程而加研討。

第二章 土壤來源及特性

第一節 土壤來源

一土壤是覆蓋在地殼上土石物質之總稱，其中有礦沙結合之岩石塊，亦有極微礦物結晶，成顆粒狀之砂礫與大小不等之漂石，以及黏土、濕泥與淤沙等物均屬於土壤範圍。

二四季寒暑，天候風雨，濕潤乾燥凍結化，經年累積，以及地殼自然所生變化，使岩石泥土具有機械與化學風化作用，而成為地面土壤，就其來源，可分為殘積與運積兩類。

(一)殘積土 岩石經風化後即產生殘積土，在生長植物地區，因潮濕分解出營養植物之細小物質，經多年連續累積，造成礦物分裂，水中所含二氧化碳與氧，分解更多可熔物質，礦物結構經與熔解物連續浸潤，使岩石逐漸變為細粒，且難透水，而在與細粒物質下層，多為局部分裂之岩石，此已分裂之岩層，若再進一步遭受地殼變動、重荷、剝蝕或風化一時，則易裂碎，因逐次向深度浸蝕風化而生變動，故岩石與土壤之間，並無顯明界限，殘積土受風化力而生變動，故其性不穩。

(二)運積土 冰、水、風為運積土三種原動力，因冰、水及風移動而沖積吹刮土壤，使原有位置型態產生變化，在三種原動力中，尤以水力最為顯著，水力移動土壤可分兩類，一是動態沖積，一是靜態沉澱。

甲、沖積一條河川若上下流之高度差大，則形成急峻，如其兩岸與河床土質輕軟或缺少黏性，又於季節暴雨，每易將上游沿岸浮土鬆沙，隨流水沖下，則形成上游河幅變寬，下游河床加高，常易造成泛濫平原，因河床之累年加高而使河水改道，此加高之河床自然成為沖積平原。

乙、沉澱 沉澱可分為兩類，一是潮水沉澱，一是海水沉澱，在潮汐沉澱

中，一種是因水雪溶化而使衝潰微粒土壤，流入湖中沉澱，日久而成巨大盆地，另一種是有河川通入湖中，河川中帶來泥沙，流入湖中沉澱而成湖中沙洲小島，此種沉積物均含有稀薄淤泥與黏土，覆蓋一層有機物質。

許多河川流入海中，因之河川入海口，由於河川帶來泥沙，日久而形成淤泥沙灘，通常稱三角洲。此等沉積物為泥土與黏土，因潮流之起落與波浪推送作用使沉積物混合，而產生黏土。

丙·風積土 在乾燥沙漠地區，風是移動與沉積土壤原始動力，連續風，不但將土移動數里，並可堆成若干小起伏地，而此種風積土結構均鬆弛不堅，並有垂直微孔，通常呈現黃色，許多黃土沉積層，含有黏着劑，遇水浸透後，即呈鬆軟，反之，若能將火山灰燼風積成為積土時，可成為良好壓實土壤。

第二節 土壤特性

一、概說

土壤顆粒大小、土質種類、級配、顆粒形狀、比重、結構、密度與堅實等，對工程有密切關係，工程之能長久承受連續之載荷而無不良變化，其與上述各種因素，均有各別與共同關聯，研討土壤工程，首先將土壤予以分類，而後再視土壤類別特性，以人工改造組成分子，使達成工程上要求，為確定土壤原有本性，與各組成分子在土壤結構中之排列狀態，故須行各種試驗，以求得分析結論，供變更結構分子之依據。

二、土壤分子

土壤顆粒彼此間有若干空隙，空隙中通常存有空氣、水份及許多有機物質，空隙之大小與土壤顆粒、形狀有關，概言之，顆粒愈大，其空隙亦愈大，稜角愈多，其空隙愈小且少。

三、土壤顆粒大小

土壤係由若干顆粒大小不同物質排列結配而成，其間有單獨卵石，亦有微粒粉末泥土，且有若干有機物摻雜其間，但就土壤性質與作用言，則多重視細粒土壤，縱粗粒土壤對工程雖具若干影響因素，然細粒土壤却對工程每產生決定性條件。就現有土壤，使用一定尺度篩子，加以分析，以其通過篩子之

4 土壤工程（土壤試驗與管制）

重量及百分比而定其種類與粒徑分佈狀況，為求普遍化而採用土壤統一分類，土壤顆粒大小與所定土壤名稱如下：

第一表

篩 子 呎 吋		土 壤 大 小
通 過	留 量	
	3 吋 (40 以下)	圓 石
3 吋	No. 4 篩	砂 石
No. 4 篩	No. 200 篩	沙
No. 200 篩		細粒土壤 (泥土或黏土)
無呎吋界限		土中有機物量

土壤密度為影響土壤承载力因素之一，根據實驗比較，粗顆粒土壤可壓實之密度較大。

四、顆粒形狀

土壤顆粒形狀，在土壤中之排列與其黏性、壓縮性及堅固程度有直接影響，土壤中主要形狀為塊狀、片狀。如圖：



圖 1

(一)塊狀 塊狀土壤顆粒之高厚，概略相近，此種形狀土壤除黏性者外，則多為岩石、泥土，固有，為數不多。在塊狀土壤中，又依其形狀，分為圓形、多角形、角形、不規則圓形。角形與多角形顆粒，具有緊密與穩固性，因有多角顆粒與顆粒之間存有較多空隙，且顆粒之間因角之搭接而相互磨擦，故角狀顆粒土壤，壓實後能產生較大強度，圓形塊狀雖能承載較重靜載重

，但在密集土壤中，却難以壓縮，若受震動時，更易變動位置，故形成一種不穩定狀態。

□片狀 長度大於厚度之石片或土片，多屬黏土礦物質，亦有雲母鱗狀顆粒，其體積有小至0.0001公厘者。此種顆粒形狀土壤，有高度壓縮性，並能承受重靜載重，若受震動，其性較為穩定。

五、土壤粒徑決定方法

土壤中所含分子大小及各分子在土壤中分佈狀況，可用乾篩分，濕篩分及乾濕聯合篩分法，予以分析，以示土壤粒徑大小與級配情形。

用於土壤分析之篩，以其篩孔之大小而編號，其號數愈大者，其篩孔愈小，如以No.4 篩為例，係表示每一吋有四個篩孔，換言之，每平方吋中有16篩孔，而No.10篩，每長吋有10個孔，則每平方吋有100孔，以此類推，常用篩有No.4、10、20、40、60、80、100及200。

(一)乾篩分 將乾燥土壤最初放置在較大篩孔之土篩中，藉震動而使土壤盡量通過某一號篩，其不能通過留置於篩上，以重量定其百分比，逐篩量之並記錄其值，則此值即為粒徑之分佈狀況，一般建築與土木工程均採此法。

□濕篩分 No.200 篩每個平方吋有40,000篩孔，每一個篩孔是0.074公厘，在乾篩分一般均用至200號篩為最小，凡在200號篩以下土壤，通常不加考慮，但在某些特殊工程上，有分析過微顆粒分佈情形

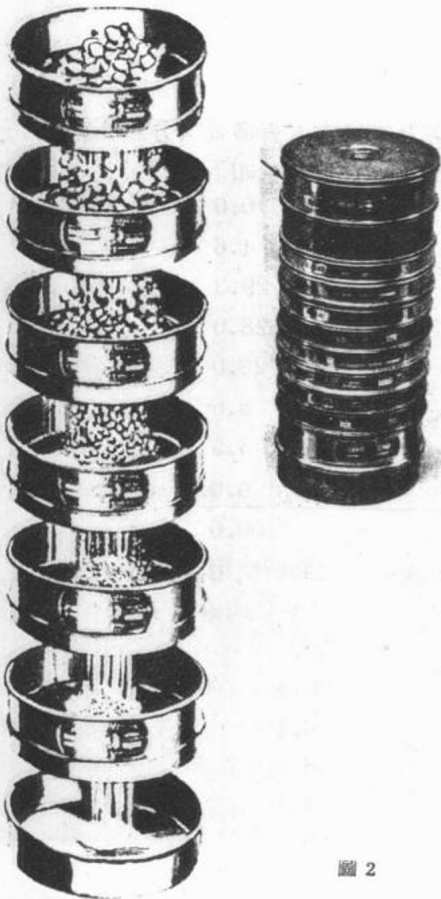


圖 2

。則應用大小不同顆粒，以不同速度通過液體，以沉澱原理分析，如水凍熔解作用，其對0.02公厘顆粒土壤承載，具有直接影響，但一般工地作業，用之不多。

(三)乾濕聯合篩分法 在200號篩以上土壤，以乾篩分析，凡透過200號篩細屑土壤，再進一步分析時，使用沉澱方法，則可將土壤中全部粒徑，作完整無缺分析。

六、分析報告

分析結果可用兩種方法填製報告，一種是以百分比為值之表格式，一種是用粒徑分佈曲線圖解式，工程人員對兩種分析報告之填製，閱讀與運用均應熟練。

(一)表格式 分析粗顆粒土壤常用表格方式報告。表格式又分為兩種。

甲種 常用於砂石基礎或道路之損壞部分，其記載如下：

留置1吋篩	0.0 %
通過1吋篩，留置¾吋篩	4.6
通過¾吋篩，留置No.4篩	29.3
通過No.4篩，留置No.10篩	28.0
通過No.10篩，留置No.40篩	20.0
通過No.40篩，留置No.100篩	8.6
通過No.100篩，留置No.200篩	3.5
通過No.200篩	6.0
總計	100.0

乙種 自然土壤篩分析常採用此法，表中可填到所使用各號篩。

篩號	% (通過數)
1吋	100
¾吋	95.4
No.4	66.1
No.10	38.1
No.40	18.1
No.100	9.5
No.200	6.0

篩分析報告表

工程名稱：_____

採樣地點：_____ 樁號：_____ 採樣時間：_____

採樣編號：_____

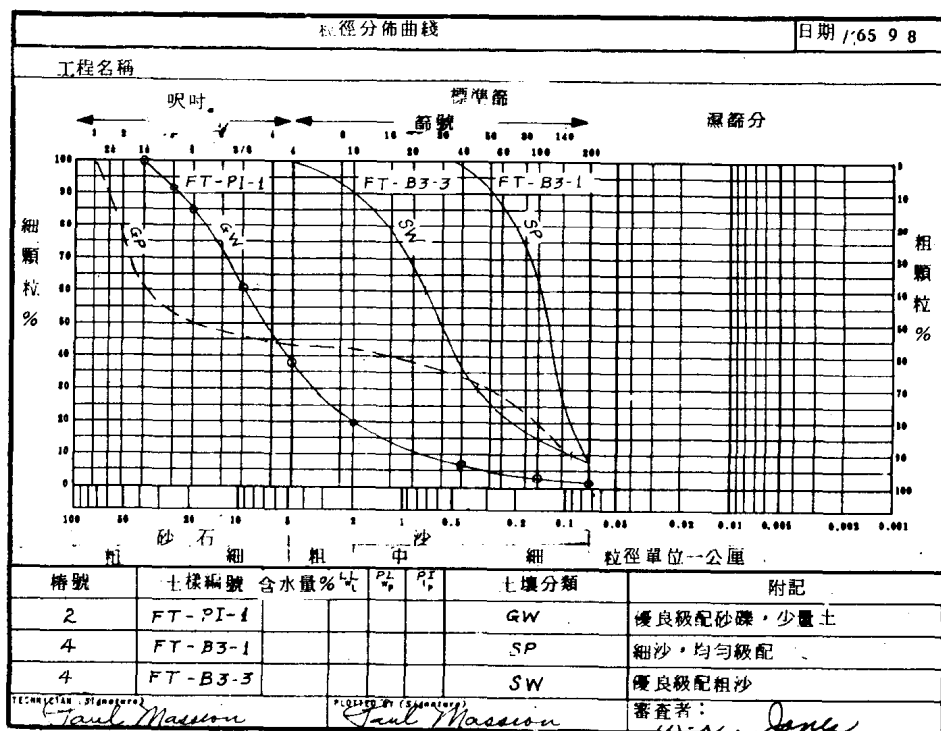
原始土樣：_____GM 沖洗後：_____GM

冲洗损失： GM

第二表

篩 號	篩 徑 MM	留在篩上重 GM	通 過 各 篩		
			重量GM	%	
1 "	25.4				礫
3/4 "	19.1				
1/4 "	6.35				
No. 4	4.75				石
No.10	2.00				
No.40	2.42				
No.60	2.25				
No.100	0.149				土
No.200	0.74				
留在盤上重		GM	誤差		
沖洗損失		GM	合計 GM		
留在篩上重		GM	原始樣品總重		GM
各部份總重		GM	試驗總重		GM
					%
試驗者：			試驗單位：		
試驗時間： 年 月 日			審訂者：		

(二)曲線式 先用對數作成縱座標，再以半對數作成橫座標素圖，在上方表示標準篩號與呎吋，在下方表示土壤粒徑尺寸，以公厘為單位，左方由零至 100 表示細顆粒百分率，右方由 100 至零，表示粗顆粒百分率，將篩分結果，以點或圓圈記於圖中，再以圓滑曲線，接連各點，則形成一個自然曲線圖，表示土壤中粒徑分佈狀況。根據此種狀況，可定砂石、細沙之百分比，其通過 200 號篩者則屬黏土，使用粒徑分佈曲線，不但可以明顯見到土壤顆粒具體分佈概況，尤能獲得確切百分比數。



七、級配

土壤中顆粒分佈狀況為各種土壤分佈接合原始情形，此種情形稱土壤顆粒級

配。

(一)有效尺度與均勻係數 粒徑分佈曲線圖上10%粒徑稱為Hazen 有效尺度， D 表示粒徑，則此有效尺度以 D_{10} 代表，與土壤之滲透性有密切關係。 D_{10} 是 0.7mm

在線圖上查得 6 % 粒徑，今與 1 % 粒徑比，則成為 D_{10}/D_{60} 。其比值即為粒徑之均勻係數，以 G_u 表示，故 $G_u = D_{60}/D_{10}$ 。查土壤表 $D_{60} = 4.0\text{mm}$ ，則 $G_u = 4.0/0.17 = 23.5$ ，使用此係數以供研判土壤之級配概況。

(二)級配係數 研判土壤之級配用級配係數，級配係數以 C_g 表示，由粒徑30%平方與 $D_{60} \times D_{10}$ 相乘積之比而得之 即

$$C_g = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad D_{30} = 1.2 \text{ MM} \quad \therefore C_g = 2.1$$

(三)優良級配 土壤最大顆粒與最小顆粒之間，分子散佈均勻而合理，尺度大小無驟然變化，因其散佈均勻，所以在粒徑分佈曲線圖上之曲線呈平滑，其傾斜亦逐漸升高或降低變換，如圖中之GW或SW，均為優良級配之砂與石。

在土壤分類中規定砂石之均勻係數 C_u 值，必須在 6 以上，沙之均勻係數 C_u 值，必須在 4 以上，砂石與沙之級配係數 C_g 值須在 1 - 3 間，始為優良級配。

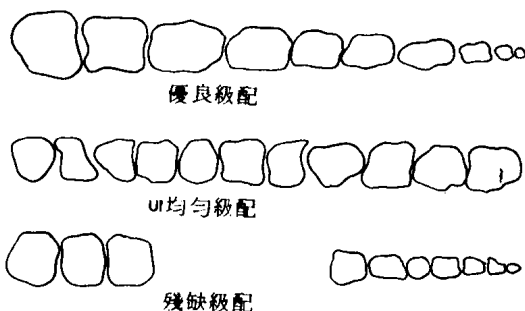


圖 3

(四)不良級配 土壤不良級配為土壤中顆粒大小

不能成均勻合理散佈，其狀況有二：一為均勻級配。其 C_u 值，礫石小於 6，沙小於 4， C_g 值亦不在 1 - 3 範圍中。

甲、均勻級配土壤中顆粒大小幾近相同，最小顆粒與最大顆粒間之差別甚微，如海灘之沙，即為其中之一種，均勻級配土壤繪在曲線圖上，其上升或下降均呈急峻，如圖中之SP。

乙、殘缺級配 殘缺級配是在整組大小不同顆粒之間，缺少某一種尺度顆

粒，使顆粒大小變化，中間產生若干空隙。在曲線圖上，呈現一段水平，如圖中之 GP 是。

八、密度與級配關係

土壤因顆粒大小與形狀不同，因而產生若干空隙，其形狀不同之接搭與顆粒大小不同之空間，正需要小顆粒填補所生空隙，故小顆粒補填空隙愈多，則土壤顆粒間之密度愈緊，土壤顆粒之間呈完整密接，若上部承受壓力，則可分佈於其臨近之其他顆粒，故其承載能力亦高，反之，顆粒中間無足夠小顆粒填充，使土壤顆粒彼此間未能完全密接，若加壓力時，不但成為單獨局部載重，如受震動，亦易變位，形成穩定不足，是以密度愈高，其承載力不但大，亦較穩定。

九、比重

土壤比重，土壤體積，遇水後變化及接受承載能力相互間有密切關連，所以取土壤顆粒乾重，作為計算比重標準，在土壤工程上無幾土壤比重為 2.60 至 2.80，一般自然土壤比重為 2.65 至 2.75，過輕或過重土質將超出或不達此值。凡不在此範圍數值，對工程均具特殊影響。

十、體積與重量關係

土壤中含有空氣與水份，因水份與空氣之滲入土壤，故改變土壤體積，亦改變土壤自身重量，因水份與空氣之滲入，不僅改其體積與重量，尤改變土壤

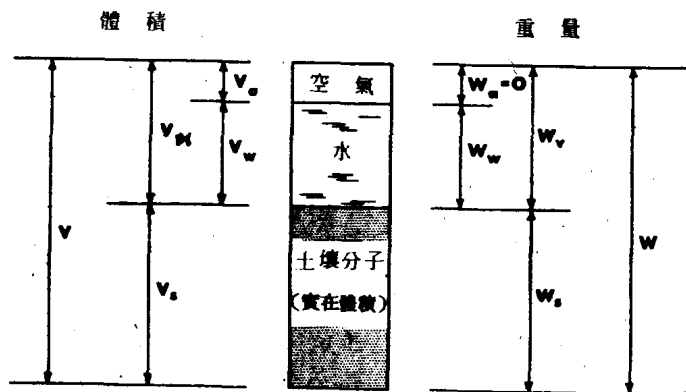


圖 4

性質，終至影響其載重與穩定，土壤體積重量與空氣，水份關係如圖四。

十一、土壤空隙比與孔比

土壤份子實在體積與空隙體積之比稱為空隙比，空隙比之代字為 E ，所以 $E = V_u : V_s$ ，此空隙比常使用小數。有時亦用 1， E 之數值自 0.30 起，優良級配可到 2.0。

整個土壤體積 V 與空隙體積 V_u 之比為孔比，常以 n 表示。則 $n = V_u : V$ 若以 V 為 100，則 V_u 佔 V_{10} 若干。

十二、含水重

土壤因受地下水份與雨雪河川等地面水份之浸潤，故含有若干水份，在土壤工程中所稱土壤之含水量，係土壤本身不含水之實際重量，與其前所含水份重量之比，再乘以 100

其公式為 $W = \frac{\text{水重}}{\text{乾土重}} \times 100 = \quad \%$ 例如：用重 44 G 模盛裝土樣，連同模

中土共重是 189.3 G，經烘乾後減至 170 G。求含水量。

$$\text{水重} = 189.39 - 170 = 19.3 \text{ G}$$

$$\text{乾土重} = 170 - 44 = 126$$

$$\text{含水量} = \frac{19.3}{126} \times 100 = 15.3 \%$$

十三、飽和

土壤顆粒之間與顆粒內部均勻空隙，此種空隙原由空氣填補，但遇有水份潮氣時，則將空氣逐走，而由水份佔據，土壤因而浸潤若干水份，若水份將全部空隙佔據時，土壤已無空隙可留，則土壤不再吸收水份，此稱謂土壤飽和。土壤飽和是水體積與空隙體積之比，以 S_r 表示土壤飽和，則

$S_r = V_w : V_u \times 100$ 。如 $S_r = 0 \%$ 時，則土壤全部烘乾，不含水份， S_r 如 0—99.9% 時，不但證明土壤中有水份，且已達部份飽和程度。

十四、單位重

單位重量是土壤體積與土壤重量比較，以 γ 表示單位重，則 $\gamma = \omega : v$ 。度量衡有英制與公制兩種，土壤中單位重與密度常通用，土壤含水量若非零，則稱濕單位重或濕密度。土壤如烘乾 $\omega = 0 \%$ ，則用乾單位重或乾密度。以 γ 表