



應用土壤 環境科學

陳信雄◎編著



應用土壤環境科學

編著 © 陳信雄



科技圖書

國家圖書館出版品預行編目資料

應用土壤環境科學 / 陳信雄 編著; --初版 -- 臺北市：
科技圖書，2005【民 94】

336 面：19x26 公分

含 參考書目；

ISBN 957-655-403-9 (平裝)

1. 土壤物理學

432.21

94011034

版權所有・翻印必究

應用土壤環境科學

編 著／陳信雄

出 版／科技圖書股份有限公司

發 行 人／張秉中

地 址／台北市忠孝西路一段 50 號 17 樓之 35 室

電話：(02)23707080・傳真：(02)23706160

網址：<http://www.techbook.com.tw/>

電子郵件：techbook@ms18.hinet.net

郵撥帳號：0015697-3 戶名：科技圖書股份有限公司

發 行 所／成陽出版股份有限公司

業務 ▶ 電話：(02)2225-6562・傳真：(02)2225-8783

物流 ▶ 電話：(03)358-9000・傳真：(03)358-1688

印 刷／海王印刷事業股份有限公司

地址：台北縣中和市中正路 800 號 11 樓之 2

初 版／2005 年 7 月

定 價／新台幣 350 元

I S B N／957-655-403-9

本書如有破損、裝訂錯誤，請寄回調換



科技圖書—Since 1969

序 言

土壤是萬物生存的泉源，地球的表面積約五億平方公里中，陸地約佔 30% 的 1.5 億平方公里。在地球上能免於對農業生產有重大限制的旱災，鹽分過多以及永久凍結的土地，約佔世界陸地面積的 11% 的 14.5 億公頃，恰好相當於現在耕地面積的 14.1 億公頃。然這些良好的土地並非平均的分佈於世界各地，可供農業使用土地的比例，世界上最大的地區是為歐洲的 36%，其次為中美洲的 25%，北美洲為 22%，相反的，較小的地區是北亞與中亞的 10%，東南亞的 14%，南美及澳洲的 15%。

然而，條件良好的土地多位於河口附近或平原之上，且為易於發展工商業的最適立地條件，因此近年來相繼被建築物或道路所佔據而變貌，例如，台灣及日本在 1962 年開始的經濟高度成長，在短期內，農地的 7% 到 13% 轉換為建地或道路，在同一時期，世界的農業先進國，例如荷蘭的 4.5%，加拿大約有 80 萬公頃以上的農地，因都市化而消失，在此農地不斷消失的波浪中，推估都市每增加一千人，等於消失 320 公頃的農地，被譽為世界穀倉的美國，因遭受掠奪型的土地利用，加上以經營至上主義的農業經營方式的結果，造成嚴重的土壤沖蝕，與其說是「穀物輸出」，不如說成「國土輸出」來得恰當。

於是由於都市化或土壤沖蝕造成土地的消失之外，也同時的引發了有害化學物的土壤污染。

因此本書為了喚醒大家對生於斯，用於斯，無可取代的土壤，能永續的經營與利用，特別對土壤的物理特性，尤其與我們生活息息相關的不飽和帶

土壤水的特性，在崩場地的調查，有關土壤物理特性的瞭解上，諸如摩爾應力圓的應用，土壤有效應力的認知以及土壤沖蝕的原理，進行系列的分析與基礎上的解說，以通俗的事例，深入淺出，期望以本書拋磚引玉，能喚起大家對土壤的認知與愛惜。

本書在撰稿及校稿期間，承台大森林環境暨資源研究所博士班研究生王志豪、劉維、林建村，碩士班廖禎茹等的鼎力協助，使本書能順利完稿，加上科技圖書公司發行人張秉中先生的鼓勵與協助出版，在此由衷的致謝。並乞諸先賢不吝指正。

陳信雄 謹識於
台灣大學森林環境暨資源研究所
2005 年 6 月 30 日

應用土壤環境科學 目 錄

第一部 探索不飽和土的奧秘

第一章	不飽和土的定義.....	3
1.1	不飽和土與飽和土.....	3
1.2	有關不飽和土的現象.....	5
第二章	不飽和土與吸力.....	9
2.1	不飽和土的有效應力.....	9
2.2	吸力與負的孔隙水壓.....	12
2.3	pF 與化學勢能	14
2.4	巨木內水分的上昇.....	15
2.5	吸力與稠度.....	16
第三章	不飽和土的調查與試驗.....	19
3.1	現場調查.....	19
3.2	室內土力試驗.....	27
第四章	不飽和土中的滲透.....	39
4.1	不飽和土的透水性.....	39
4.2	不飽和土的透氣性.....	51
4.3	不飽和土與凍害.....	53
第五章	不飽和土的強度.....	55
5.1	由取樣引起的不飽和土化	55

5.2	單軸壓縮試驗與負的孔隙水壓	58
5.3	夯實土滲水時的壓縮強度	60
5.4	不飽和土的三軸壓縮試驗	63
5.5	不飽和砂的強度	65
第六章	不飽和土的應變	69
6.1	在乾燥、濕潤狀態下不飽和粘土的應變	69
6.2	夯實與最適含水比	70
6.3	因滲水引起的下陷狀況	70
第七章	不飽和土坡面的穩定	77
7.1	坡面穩定與吸力	77
7.2	挖土坡面的穩定	78
7.3	自然坡面、填土坡面的穩定	84
第八章	今後的展望	89
8.1	不飽和土性的現場把握	89
8.2	防止土壤液化的排水工法	91
8.3	壓縮空氣貯藏系統的構想	92

第二部 有效應力

第一章	以力學觀察土壤	
	——以骨骼與孔隙的區別及兩者間的相互作用——	95
1.1	土壤、骨骼、孔隙流體	95
1.2	骨骼的基本性質	97
1.3	孔隙流體的基本性質	101
1.4	骨骼與孔隙流體的相互作用	103
第二章	何謂有效應力	
	——作用於土壤的應力與作用於骨骼應力的區別——	107

2.1	應力的一般性定義.....	107
2.2	作用於液狀體應力的定義	110
2.3	作用於土壤的應力.....	112
2.4	有效應力值的求法.....	116
第三章	作用於地盤內的自重應力 ——土的重量、垂直應力、水平應力——	121
3.1	自重力的求法.....	121
3.2	土體的重量.....	123
3.3	根據自重計算垂直應力	125
3.4	根據自重計算水平應力	129
第四章	作用地盤內之附加應力 ——全面荷重與局部荷重——	133
4.1	地盤內的二維度應力.....	133
4.2	全面荷重所生附加應力	137
4.3	局部荷重的附加應力.....	144
第五章	滲透與有效應力 ——達西定律、滲透力、管湧——	151
5.1	有關滲透的實驗定律.....	151
5.2	隨著滲透骨骼與水在力的相對應	156
5.3	砂地盤的土沸現象.....	161
第六章	壓密與有效應力.....	163
6.1	一維度載重與土壤的舉動	163
6.2	有關壓密的方程式.....	168
6.3	近似彈性理論及其解.....	172

第三部 摩爾應力圓

第一章	應力與應變.....	179
-----	------------	-----

1.1	力的概念.....	179
1.2	外力與內力.....	180
1.3	力的性質.....	181
1.4	應 力.....	186
1.5	應 變.....	192
第二章	一點的應力狀態.....	195
2.1	應力的張量.....	195
2.2	平衡條件.....	198
2.3	主應力（最大、最小主應力）.....	204
2.4	最大剪斷應力.....	206
2.5	極線圖.....	208
2.6	應力變換式總論.....	208
第三章	應力圓的構成與作圖法.....	211
3.1	圓的公式與圖形.....	211
3.2	應力圓的組合—應力圓在幾何學上的性質.....	213
3.3	應力圓的證明.....	214
3.4	應力圓的基本作圖.....	216
第四章	土壤力學上應力圓的應用.....	221
4.1	有效應力圓.....	221
4.2	土壤的強度係數.....	222
4.3	土質試驗—要素試驗.....	224
4.4	由應變計測定應力.....	227
4.5	土 壓.....	229

第四部 土壤沖蝕

第一章	緒 論.....	237
-----	----------	-----

第二章	影響國民經濟的沖蝕.....	239
2.1	土壤損失的影響.....	239
2.2	土壤的搬運與堆積的影響	239
2.3	化學物質輸送的影響.....	240
第三章	沖蝕的分類.....	243
3.1	根據沖蝕營力的分類.....	243
3.2	由形態的分類.....	245
3.3	根據強度的分類.....	246
第四章	沖蝕過程的機制.....	249
4.1	氣候及水文因素.....	249
4.2	地形的因素.....	268
4.3	地質及土壤的因素.....	273
第五章	水蝕理論.....	277
5.1	面狀表面逕流.....	277
5.2	集中表面逕流.....	280
5.3	表面逕流模式.....	286
5.4	輸送過程.....	290
第六章	水蝕強度的預測與沖蝕過程模式	295
6.1	表面逕流速度與其切線應力之沖蝕強度	295
6.2	沖蝕過程的經驗模式.....	297
6.3	沖蝕的概念性模式.....	301
6.4	集水區內沖蝕強度的預測	305
第七章	森林對沖蝕的影響.....	309
7.1	不同覆蓋對地表沖蝕之影響	309
7.2	小型可變傾斜滲透設備之沖蝕實驗	310
7.3	不同樹種拔根抵抗力之比較	313
7.4	土壤的母岩及物理性與受蝕度的關係	317

第一部

探索不飽和土的奥秘

第一章

不飽和土的定義

1.1 不飽和土與飽和土

1.1.1 前言

完全乾燥的土壤，土壤力學既派不上用場，此既意味著，因土壤孔隙內有水分的存在，而使土壤的性質複雜化。在類似二相系材料的飽和土壤內，混入空氣而成三相系的材料時，則不難想像其性質更趨複雜。茲舉簡單的事例來說明不飽和土的性質。

1.1.2 小朋友的玩沙

由小朋友玩沙的事例，可以明確的瞭解，不飽和土與飽和土在性質上之差異。在堆積沙山挖掘隧道時，小朋友一定一面加水於沙，一面敲打沙山的表面而構築，如此構築好不飽和狀態的沙山之內始可挖掘隧道，此因沙的孔隙水分持有負的孔隙水壓，而使沙帶有粘著力之故。

又在沙灘上玩沙時，可以發現沙山受海浪一次又一次的覆蓋而崩潰，這是由於被海浪所覆蓋的沙呈飽和，而使負的孔隙水壓消失，同時失去附帶的粘著力，而促使土沙流動。與沙地隧道同樣的現象，在沙的堆積地亦可觀察得到，沙在濕潤狀態下挖掘之可保持 1~2 m 高的垂直壁。但是沙一旦乾燥或遇雨時，沙壁即崩潰而變為緩坡面，這也是在溼潤狀態下的沙，其孔隙內含有負水壓的影響。在地下水面以下的沙質地盤內挖掘隧道時，為了保護隧壁的直立，往往採用壓氣工法，這是用壓氣來防止隧壁地下水的滲透，並使隧壁之沙呈不飽和化，在沙帶有粘著力之下，有助於隧壁的穩定。

1.1.3 所有試料土皆為不飽和土

一般水面下地層的土可認為飽和土；但是在從中採取試料時，此土塊即

轉變為不飽和土。作用於地盤內的荷重被解放，於是乎水面下的靜水壓隨即消失，乍見之下雖為飽和粘土，但在試料內部產生負的孔隙水壓，而呈不飽和土化。此粘土試料的單軸壓縮強度，是求飽和粘土的非排水剪斷強度的基本方法；然因試料為不飽和土，內部產生負的孔隙水壓，此負的孔隙水壓對單軸壓縮強度有所影響。

1.1.4 自然坡面內的地下水

在坡面內既使有地下水存在的地方，沿著地下水流動的水脈周圍雖呈飽和，但其餘的部分則呈不飽和狀態。又由挖土工程所造成的坡面，在挖土後因應力的解除而使坡面產生負的孔隙水壓，暫時維持穩定；降雨後隨既轉變為正的孔隙水壓，使坡面趨於不穩定狀態。晴天時如果滲透水停止，坡面內即可恢復為不飽和狀態。如此的反復的作用是為自然坡面內孔隙水壓的營運，促使坡面土在飽和與不飽和之間往返。

1.1.5 飽和土與不飽和土的定義

根據愛欽森（Aitchison）氏之研究如表 1-1 所示，除了從飽和度方面分為飽和土與不飽和土之外，亦有部分飽和及疑似飽和狀態。部分飽和是在飽和土中不飽和部分以塊狀存在；疑似飽和是 100%的飽和度，且在外觀上類似飽和，然其孔隙水壓為負，在定義上不屬飽和；所謂飽和土非僅飽和度 100%而已，孔隙水壓必需為正才是飽和土。

表 1-1 飽和與不飽和的定義

水分狀態	飽和度	孔隙水壓	孔隙空氣壓	B 值
飽和部分飽和	100	>0	--	1
部分飽和	<100	>0	>0	>1
疑似飽和	100	<0	--	1
不飽和	<100	<0	0	<1

又根據 Skempton，地盤內應力的增加量 $\Delta \sigma_1$ ， $\Delta \sigma_3$ ，而使孔隙水壓的增加量 Δu 可以用：

$$\Delta u = B(\Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3))$$

式表之。此時孔隙水壓係數，在飽和時為 $B=1$ ，不飽和時 $B<1$ 。利用此性質，在實驗室內確定是否飽和狀態時，進行測定 B 值。

1.2 有關不飽和土的現象

在多數情況下，以乾燥狀態存在的土壤，以及長期氣候乾旱的國度裡，因土壤的乾燥而收縮下陷，因濕潤而膨脹隆起，或因滲水而下陷等，在不飽和狀態下土中水分的變化，提起許許多多工學上的問題。

如圖 1-1 所示，奧喀拉荷馬州立大學的學生宿舍，是鋼筋水泥四層由獨立基礎的粘土地盤所支撐。但是完工一年後，由粘土地盤直接支撐的地板提高 14 cm，B 點柱提高 7.5 cm，C 點柱亦提高 0.5 cm。此建築物的基礎面是在地表下 4.2 m，粘土原本是乾燥且堅硬之頁岩狀。地下水面深為 15.2 m，但是由於建築物完工後把地表面完全覆蓋，至使粘土層濕潤化而將建築物提高。

B 點柱的基礎與 A 點柱的基礎是以相同的接地壓設計，但是 A 點柱在構造上荷重大，則因地盤內應力的影響範圍，應力值大之故，地盤土的膨脹抑止效果大，而與 B 點柱產生差異。像這樣的膨脹性粘土，在埃及、以色列、南非、西班牙、南美、西美，以及委內瑞拉等乾燥地帶頗成問題。像這樣的膨脹性地盤，在構築建築物時，也必須考量因建築物的影響，所引起地盤粘土含水比的變化。因此以樁作為基礎時，如圖 1-2 所示，先挖掘比樁徑大之穴，再將樁的先端打入地盤內，使地層內的空氣流入樁的周圍，使地盤粘土的含水狀態不致變化。

又以緩坡度堆積的土，往往會因水的入滲而顯示大規模的下陷。例如：在美國加州的 Sun Joaquin Valley 是灌溉農業發達的地區，因此在此地區發現有多數的地表下陷、破壞的渠道、起伏的農場、傾斜的建築物，以及構造物等。在此地區因滲水通常下陷 1~2 m，有的地方達 4.5 m。

在地下水面附近，因表面張力而使水位吸至水面以上較高地位置，以毛管水存在。在此土壤的飽和度雖高，其孔隙水持有負的孔隙水壓，是為不飽和狀態；若此位置接近地表時，則由地表的乾燥或濕潤的影響，孔隙水壓隨之變動，在冬季因地表凍結，土壤在 0°C 以下時，毛管水因凍結而成冰的固體，而使表面張力的平衡破壞，重新吸上地下水。如此反復的作用使凍結領域形成大量的冰塊，而使地表提高。像這樣的凍結現象，是不飽和土在凍結時，由孔隙水的供給而產生的現象。

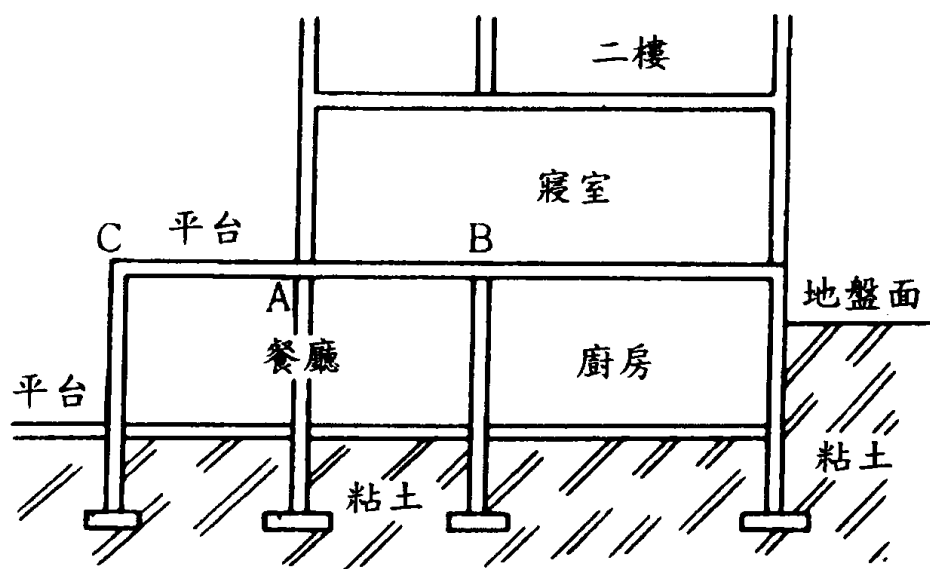


圖 1-1 Cotton-hall 之斷面

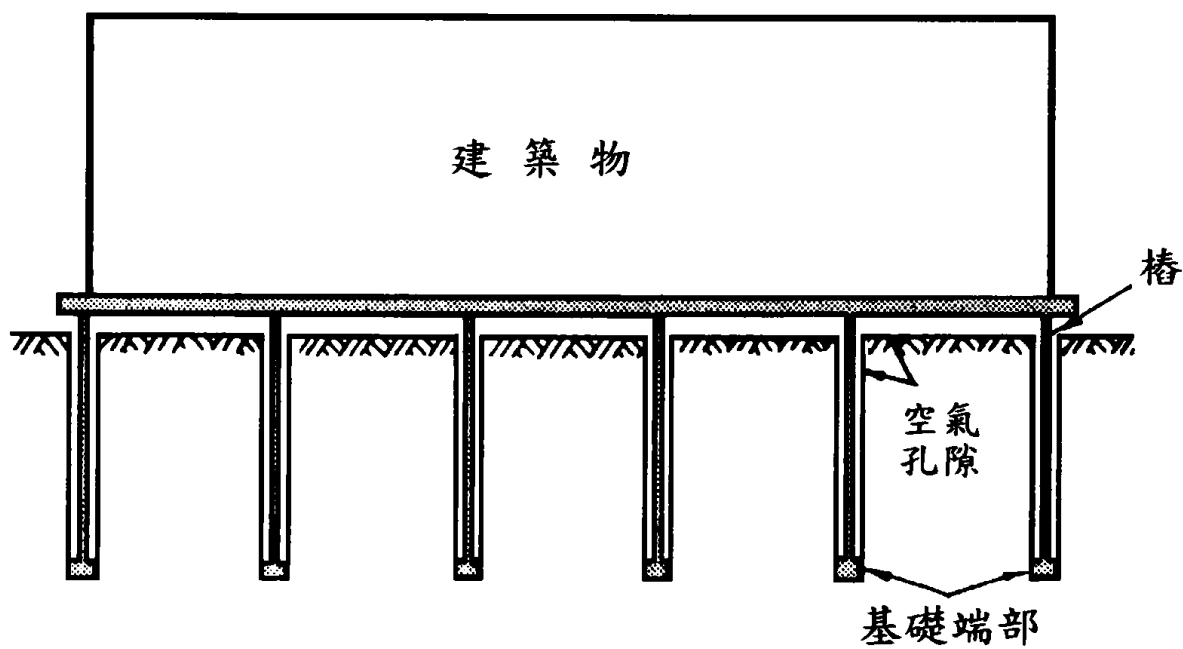


圖 1-2 膨脹性粘土上之建築物

參考文獻

1. Aitchison G.D.: The Strength of Quasi-saturated and unsaturated Soil in Relation to the Pressure Deficiency in the Pore Water, Proc.4th.Int.Conf.on SMFE., Vol1,pp:135~139,1957.
2. Pracher, J.V. and Means, R.E.: Soil Mechanics and Foundations, Charles E.: Merrill Publishing Company,1968.
3. Lambe, T.W. and Whitman, R.V.: Soil Mechanics, p.7, John Wiley & Sons, Inc., 1969.
4. Lofgren, B. E.: Land Subsidence due to the Application of Water, USGS Publications, Reviews in Engineering Geology II.1969.