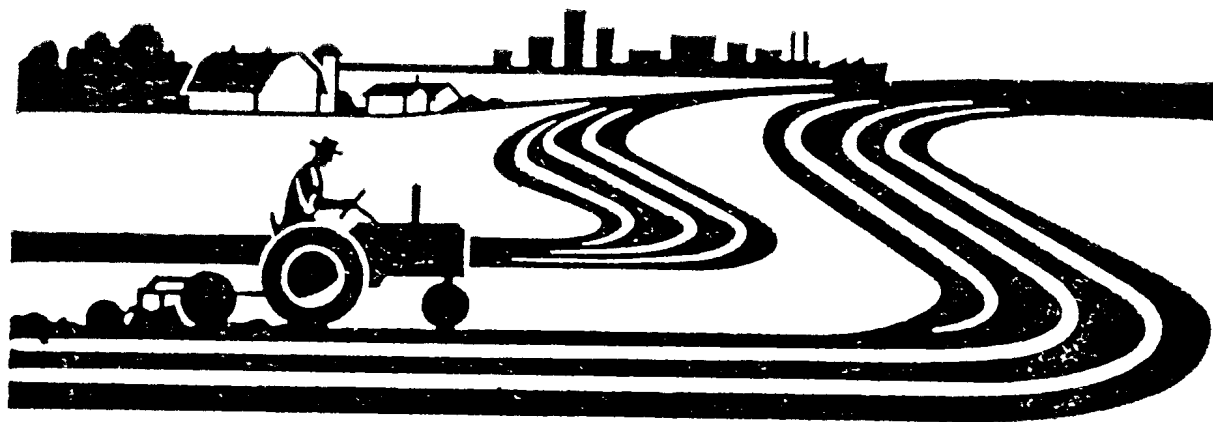


土壤力學試驗步驟及試驗報告



≡ SOIL MECHANICS LABORATORY PROCEDURES ≡
and
REPORT PREPARATION

(First Edition)

易 任 編著

曉 園 出 版 社

版權所有·翻印必究

初版 1986年9月第一次印刷發行

土壤力學試驗步驟及試驗報告

平裝本定價：新臺幣 150 元

著者：易 任
發行人：黃 旭 政
發行所：曉 園 出 版 社
臺北市青田街7巷5號
電話：(02) 394-9931 三線
郵撥：0745333-7 號
門市部(1)：臺北市新生南路三段96號之三
電話：3917012·3947375
門市部(2)：臺北市重慶南路一段61號地下樓
電話：三一四九五八〇
門市部(3)：臺北縣淡水鎮英專路71號
電話：六二一七八四〇
門市部(4)：臺中市西屯區文華路113號
電話：(04)251-2759·254-6663
印刷所：遠 大 印 刷 廠
臺北市武成街36巷16弄15號
出版登記：局版臺業字第 1244 號
著作執照：臺內著字第 號

序 言

一、土壤力學與試驗之沿革

土壤力學試驗雖為廿世紀新興之獨立科學，但其理論之起源則遠在二百餘年以前，公元 1773 年法國工程師庫倫 (Coulomb) 首創著名之土壓力理論，是即古典派土功學 (Classical Soil Mechanics, Klassische Erdbaumcchanik) 之肇始；後經萊金 (Rankine, 1856)、雷柏漢 (Rebhaun, 1871)、文克爾 (Winkler, 1872)、庫爾曼 (Culmann, 1878)、衛爾洛 (Weyrauch, 1878)、莫爾 (Mohr, 1880)、彭斯勒 (Poncelet, 1885)、及廿世紀之米勒 (Miller-Breslan, 1906)、德植基、基爾貝及卡薩葛蘭第 (Terzaghi, Gilboy and Casagrande, 1926~1930)、克雷 (Krey, 1932)、司更普登 (Skempton, 1946)、泰勒 (Taylor, 1948)、德植基與貝克 (Terzaghi and Peck, 1948)、比耳莫 (Bjerrum, 1951)、吳氏 (T.H. Wu, 1966)、蘭姆與惠德曼 (Lambe and Whitman, 1969) 以及鮑爾斯 (J.E. Bowles, 1970~1978) 諸多先進與其他各學者專家之努力鑽研，期使理論與試驗相輔而行，闡發與貢獻殊多也。

二、土壤力學試驗之意義

「安全」與「經濟」為工程上之兩大原則，舉凡各種主要建築材料如木材、石材、磚、鋼鐵、水泥與混凝土等，其成份、強度及特性，類皆經過精確之試驗與研究，工程設計者根據試驗研究之所得，衡其性能，定其尺度，而致於實用，庶幾克臻安全經濟之境地。土壤在工程上地位之重要，與其對於工程安全之影響，實不亞於上述各種材料，甚或過之，其有需乎試驗研究，自不待言。

土壤之為物、種類繁多，性質各異，而又絕對不能使之一致，工程書籍中，雖可查得土壤之許可載重量及其他力學性質，然其名稱龐雜，數值亦欠一致，故昔時從事土工及基工之設計工程師，通常多憑個人之經驗及判斷為依據，對於工程之安全與否，鮮有把握；此工程建築物往往因土壤之沉陷、膨脹、旁流等作用，發生崩坍之現象；又若堤岸、公路以及擋土牆、山洞等之因基地土壤含水量變化或冰凍作用而崩裂毀壞者，亦時有所聞，是皆由於不明瞭土壤壓力分佈之情況及其正確之力學數值，有以致之。

土壤對於各種工程關係之密切，既如上述，故應用試驗方法研究工程上土壤之各種物理性質，以解決各項土工及基工之實際問題，實為迫切需要，近代科學昌明，進步神速，而土工儀器及試驗方法之進展，已足可於試驗室及工地作各種實地之試驗，以確定力學性質及地基之優劣，又因取土方法之改進，可以採取工地之原狀土樣，携歸試驗室作各種力學試驗，準確測定各種物理數值。且土壤力學之理論，由於試驗結果日益闡發，使土壤力學之專家學者對於土工工程有關之各項實際問題，均可藉土力試驗獲得正確之認識，故土壤力學試驗意義之重大，由此可知矣！

筆者於國立台灣大學農業工程學系擔任土壤力學教課已廿餘載，土壤力學試驗教課亦近十載，依據若干年之教學經驗，並參考國內外學者專家之文獻編著土壤力學試驗步驟及試驗報告一書，以便利大專院校教學做為教材及參考，重點在使學生了解試驗之步驟、操作及報告之如何編寫。筆者不揣謏陋，撰寫此書，謬誤不適之處，勢所難免，敬希學者專家，勿吝指正，實感幸甚。

台北市曉園出版社承印本書，該出版社發行人黃旭政先生及總經理游鳳珠小姐之熱忱關注，指導所屬編排與校印，使本書得以順利完成，謹此致謝。

國立台灣大學教授
易任(任之) 謹識
民國75年7月20日

土壤力學試驗須知

一、分 組：

每組由八至九人合成，並推舉組長一人負責領導試驗工作及領用與交還試驗儀器；為訓練各生具有領導之才能，組長為輪流擔任，即每一試驗每一組均有不同之組長，以期公平。各負責之組長如有優異之表現，則該次試驗之成績予以加分。

二、試 驗：

- (一) 試驗前，各生應先閱讀試驗講義中各要點及指定之參考書，熟記試驗之步驟或方法；依照組長所分配之工作，悉心實施。
- (二) 試驗時勿忘攜帶試驗講義、筆記簿、原子筆、鉛筆及計算機等必備之文具，俾便記錄與計算，否則到處借用，擾亂次序，影響試驗之進行，當予扣分。
- (三) 仔細觀察試驗過程中所發生之各種現象而記錄之，對儀器之構造與使用方法尤應明瞭，而記錄應力求精確。
- (四) 試驗記錄於試驗完畢後，須經教員簽字，並隨試驗報告一同繳進，以便核對。
- (五) 試驗完畢後，應將儀器擦洗乾淨，並處理善後工作後，將儀器交還，如有損壞，各自負責賠償。
- (六) 以科學原理解析試驗結果，以試驗結果證明原理。如此相互印

Handwritten signature: Hwb/19/02

證，獲益必多。

三、試驗報告：

- (一) 每次試驗完畢之後，各生應呈交試驗報告一份，本週試驗後，其試驗報告應於次週交進，過期一週者六折計分，如有嚴重錯誤而發還改正者，須於一週內重交。
- (二) 試驗報告內容分目的、儀器、理論或說明、程序設備及裝置草圖、記錄及計算表、作圖、結果及討論等項。
- (三) 試驗報告必須字跡清析、形式整齊、語句明確、記錄有系統，須知試驗報告書之重要，並不次於試驗工作。
- (四) 試驗報告紙張以 19 公分寬 26 公分長為準。
- (五) 以原子筆或鋼筆繕寫報告各單頁經整理裝訂成冊加上封面而後交進。
- (六) 報告應用之紙張：記錄紙、報告紙、公制方格紙、對數紙、半對數紙及繪圖用紙。

四、試驗計分：

- (一) 目的 (Purpose) : (3%) 意即各試驗項目之闡述。
- (二) 試驗設備概述 (Description of plant) : (12%) 敘述試驗設備各組成部份及其相互之關係以及試驗設備應用之原理。
- (三) 試驗簡圖 (Sketch) : (10%) 繪製試驗簡圖表明試驗裝置及試驗之情形，主註明各試驗部門之名稱。(避免與(二)項重複)。
- (四) 試驗步驟 (Procedure) : (15%) 敘述試驗時所用方法之順序，即對試驗步驟作合理而便利之安排。
- (五) 計算 (Computations) : (20%) 根據試驗記錄資料，悉心計

算之。

- (六) 作圖 (Graphs) : (5 %) 將試驗資料及計算結果繪於方格紙 (Section paper)、半對數紙 (Semi-logarithmic paper) 或全對數紙 (Logarithmic paper) 上以表示試驗之結果。
- (七) 結論 (Conclusions) : (25 %) 可由作圖所得試驗曲線 (Empirical curve) 推求結論之一部分，因圖中可表示自變數 (Independent variable) 與因變數 (Dependent Variable) 相互之關係及特性。它如由試驗求得之係數 (Coefficient) 可與標準係數 (如土壤力學教科書或其它有關論文中所述者) 作比較而得結論等。
- (八) 繕寫整潔雅觀 (Neatness) : (10 %) 報告繕寫整潔而有系統亦為重要之事項。

試驗項目表

日	期	試	驗	項	目	頁次
月	日	試驗一、土壤比重、容重、空隙率及空隙係數之測定……				1
月	日	試驗二、土壤含水率及田間含水當量之測定……				8
月	日	試驗三、土壤之機械分析—鮑氏比重計分析法(細顆粒)……				13
月	日	試驗四、土壤之機械分析—篩分析法(粗顆粒)……				24
月	日	試驗五、土壤之粘結限界與塑性指數……				28
月	日	(一)液性限界……				30
月	日	(二)塑性限界與塑性指數……				36
月	日	(三)縮性限界與縮性比……				40
月	日	試驗六、土壤之透水性試驗……				47
月	日	試驗七、土壤之直接剪力試驗……				57
月	日	試驗八、無側限壓縮試驗……				65
月	日	試驗九、單向壓密(固結)試驗……				73
月	日	試驗十、土壤含水量與密度關係試驗(夯實試驗)……				92
月	日	試驗十一、土壤之加州承載比(CBR)試驗……				98
月	日	試驗十二、土壤之三軸試驗：……				112
		(一)不排水、不測孔隙水壓力試驗(即UUU試驗)……				120

試 驗 一

土壤比重、容量、空隙率及空隙係數之測定

To Determine Real Specific Gravity, Apparent Specific Gravity, Porosity and Void Ratio of the Soils

目 的：

- (一) 根據測定結果判定土壤結構與組織緻密之程度。
- (二) 根據測定結果計算農田施灌之經濟水量。

$$d = P \times S_a \times D$$

- (三) 用為計算土壤之相對濕度 (Relative Humidity)。
- (四) 判定土壤中可資利用水量範圍之上限。
- (五) 用為土工工程 (Earth Work) 設計之依據。

儀 器：

電烘箱、乾燥器、精密天秤、比重瓶、電爐、燒杯、溫度計、酒精燈、三腳鐵架、蒸發皿、研鉢一套、10號篩連底盤及蓋(若土樣顯然可通過10號篩者，則本項可免)細線、白臘。

方法與步驟：

(一) 比重 S_r ：

1. 將比重瓶連同瓶塞烘乾後，置於乾燥器中冷卻至室溫。
2. 以四分法取出風乾之粉狀土樣 W （必要時使用 10 號篩篩析之）約 50 克，置於電烘箱中烘至 110°C 之高溫凡 24 小時後取出，置於乾燥器中冷卻至室溫。
3. 自乾燥器中取出比重瓶一只，秤其重量為 W_1 ，然後盛滿蒸餾水，秤瓶與水之合重為 W_2 。
4. 將 W 克之土壤樣品倒入比重瓶中，加入蒸餾水約半瓶，使其充分淹沒土樣，然後搖動瓶身使其充分混合均勻，必要時以酒精燈加熱煮沸約 15 分鐘，以使土中空氣逸去。
5. 續加水入瓶至瓶之容量指標而止，並拭乾瓶外之水，然後秤（瓶 + 土 + 水）之共重為 W_3 克，則該土樣之比重乃可以下式求得：

$$S_r = W / (W_2 + W - W_3) / \rho$$

式中 ρ = 水之密度，隨溫度變化而異，可由表查知。

(二) 容重 S_a ：

1. 取自然結構未經擾動之原狀土若干塊，置於烘箱中如上法烘乾之。
2. 將烘乾之原狀土塊，繫以絲線，秤得土重為 W_{1a} 克。
3. 執線之一端，將土塊迅速浸入行將凝固之臘液中，勿使臘液進入土塊之空隙內，於取出後土塊表面乃均勻塗上一不透水之白臘薄層。
4. 俟臘乾後秤得土與臘之共重為 W_{2a} 克。

5. 將塗臘之土塊浸入水中，秤得土與臘於水中之共重為 W_{3a} 克。
6. 量水之溫度 $T^{\circ}C$ ，檢出相應之水密度 ρ_T ，白臘之比重為 P_{ρ} ，故原狀土樣之容重 S_a 可以下式求之：

$$S_a = W_{1a} / \left[\frac{W_{2a} - W_{3a}}{\rho_T} - \frac{W_{2a} - W_{1a}}{P_{\rho}} \right]$$

- (三) 空隙率 η ：亦稱孔度 (Porosity, Pore Space or Volume of Void)

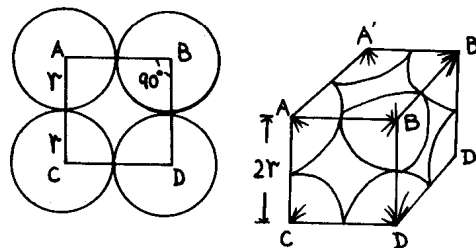
$$\eta = \frac{S_r - S_a}{S_r} \times 100\%$$

- (四) 空隙係數 e ：亦稱空隙比 (Void Ratio)

$$e = \frac{S_r - S_a}{S_a} \times \eta / (100 - \eta)\%$$

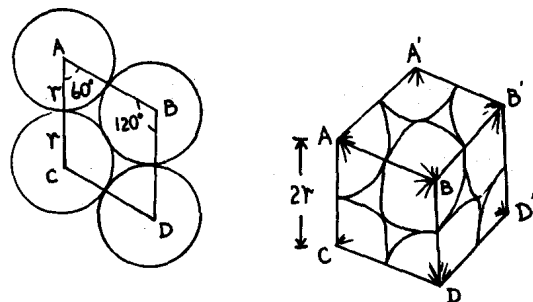
討 論：

- (一) 求證上述之 η 及 e 公式。
- (二) 試由圖一-1 及圖一-2 土壤之組織與結構之理想狀況



圖一-1

求證圖一-1 之空隙率為 47.64%，圖一-2 之空隙率為 26.00%。



圖一-2

- (三) 試述土壤相對濕度之定義及其值大小不同所表示之意義。
- (四) 試述土壤比重、容重、空隙率及空隙係數各值於水土經濟上之意義，並證明公式 $d = P \times S_a \times D$
- (五) 試驗者個人之感想與心得。

參考文獻：

- (一) 土力學試驗：洪如江編著，科技圖書股份有限公司發行，民國66年1月4版。
- (二) 土壤力學實驗法：游啓享著，大行出版社印行，民國70年8月初版。
- (三) Irrigation Principles and Practices: O. W. Israelsen and V. E. Hansen, 3rd Ed., 1962, John Wiley and Sons, Inc.
- (四) Engineering Properties of Soils and Their Measurement : Joseph E. Bowles, 2nd Ed., 1978, McGraw-Hill, Inc.

溫度 $T^{\circ}C$ 與水密度 ρ 之關係

$T^{\circ}C$	密 度	$T^{\circ}C$	密 度
1	0.999926	21	0.998017
2	0.999968	22	0.997795
3	0.999992	23	0.997563
4	1.000000	24	0.997321
5	0.999992	25	0.997069
6	0.999968	26	0.996808
7	0.999929	27	0.996538
8	0.999876	28	0.996258
9	0.999808	29	0.995969
10	0.999727	30	0.995672
11	0.999632	31	0.995366
12	0.999524	32	0.995052
13	0.999404	33	0.994728
14	0.999271	34	0.994397
15	0.999126	35	0.994058
16	0.998969	36	0.993711
17	0.998801	37	0.993356
18	0.998621	38	0.992993
19	0.998430	39	0.992622
20	0.998229	40	0.992244

試驗表格1 土壤真比重Sr之測定

土壤說明 _____ 採樣日期 _____ 採樣者 _____

取土孔號 _____ 取土深度 _____ 樣號 _____

測定日期 _____ 試驗者 _____ 校核者 _____

說 明	試驗次數	1	2	3	試驗結果
	土樣編號	No.			
比重瓶重(克)	W ₁				
瓶+滿水重(克)	W ₂				
水溫度	°C				S _r 最大值
水密度	ρ _T				
土樣重(克)	W				
(瓶+土+水)重(克)	W ₃				S _r 平均值
$\frac{W_2 + W - W_3}{\rho_T}$					
$S_r = \frac{W}{(W_2 + W - W_3) / \rho_T}$					

試驗表格 2 土壤容比重 S_a 之測定

土樣說明 _____ 採樣日期 _____ 採樣者 _____

取土孔號 _____ 取土深度 _____ 樣號 _____

測定日期 _____ 試驗者 _____ 校核者 _____

說明	試驗次數	1	2	3	試驗結果
土樣編號	No.				
烘乾土重 (克)	W_{1a}				
(土+臘)重 (克)	W_{2a}				
(土+臘)在水中之重量 (克)	W_{3a}				S_a 最小值
水溫度	$^{\circ}C$				S_a 最大值
水密度	ρ_T				
	$(W_{2a} - W_{3a}) / \rho_T$				S_a 平均值
	$(W_{2a} - W_{1a}) P_{\rho}$				
	$\frac{W_{2a} - W_{3a}}{\rho_T} - \frac{W_{2a} - W_{1a}}{P_{\rho}}$				
$S_a = \frac{W_{1a}}{\left[\frac{W_{2a} - W_{3a}}{\rho_T} - \frac{W_{2a} - W_{1a}}{P_{\rho}} \right]}$					

試 驗 二

土壤含水率及田間含水當量之測定

To Determine Water Content and Field Moisture Equivalent of the Soils

目 的：

- (一) 明瞭土壤含水率之各種表示方法，並比較之。
- (二) 測定田間含水當量以爲計算土壤體積變化 (Volumetric Change) C_v 及線狀收縮 (Lineal Shrinkage) L_s 之副值。

儀 器：

電烘箱、秤量瓶、蒸發皿、拌和刀、滴管、天秤。

方法與步驟：

(一) 含水率：

1. 置含有水分之土樣於秤量瓶中，秤其共重並減去瓶之淨重得濕土重爲 W_w 克。
2. 置秤過之濕土於烘箱中烘至 110°C 之高溫共 24 小時，冷卻後秤之並減去瓶之淨重得乾土重爲 W_d 。
3. 含水量以乾土重量百分數表之 (M_d)—乾重制

$$M_d = (W_w - W_d) / W_d \times 100\%$$