

土 工 試 驗

鐵道部鐵道研究所編

人 民 鐵 道 出 版 社

土 工 試 驗

鐵道部鐵道研究所編

人 民 鐵 道 出 版 社

一九五五年・北京

本書是鐵道部鐵道研究所爲了現場的需要所編底關於各種土工試驗的操作程序。

全書三章，包括含水率、單位體重、比重、液性和塑性的限度、最大分子吸水量、空隙比、滲透係數、毛細管水、膨脹、壓縮、剪切、夯實、休止角、水溶鹽、灼燒等試驗，以及土壤分類和基本指標的換算在內，並對於每種試驗提示其討論及注意事項，可供學校及工程實驗機構工作人員作爲試驗手冊與研究之用。

本書是鐵道部鐵道研究所土工研究組楊燦文，周鏡兩同志合編。

土 工 試 驗

鐵道部鐵道研究所編

人民鐵道出版社出版（北京市霞公府十七號）

北京市書刊出版營業許可證出字第零壹零號

新 華 書 店 發 行

人民鐵道出版社印刷廠印（北京市建國門外七聖廟）

一九五五年四月初版第一次印刷平裝印1—3,120冊

書號：307 開本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張4 $\frac{3}{4}$ 119千字 定價（8）0.81元

編 者 的 話

本所土工研究組在最近幾年中由於本身工作和鐵路現場的需要，編了一些土工試驗的操作程序，爲了交流經驗，特將這一些資料加以整理付印，以供鐵路系統以及其他基本建設工程中土工工作人員的參考。

在這些資料中，除了一般土工試驗方法外，我們還介紹了一些快速試驗方法，如§ 11，§ 12，§ 13，§ 14，§ 18等節。這些方法主要適合於在工地現場使用的。

在每一節試驗方法後並附有一段「討論及注意事項」，對於試驗中的技術細節與結果的準確程度作了較詳細的討論，其目的是要將試驗者在工作中的體會與心得盡量記載下來，如有不妥處，希讀者指正。

鐵道部鐵道研究所

目 錄

第一章 土壤的物理性質的試驗方法

§ 1.	天然含水率試驗.....	1
§ 2.	單位體重（容重）試驗.....	2
§ 3.	比重試驗.....	7
§ 4.	液性限度試驗.....	13
§ 5.	塑性限度試驗.....	16
§ 6.	最大分子吸水量試驗.....	19
§ 7.	顆粒分析試驗.....	22
§ 8.	砂土最大及最小空隙比試驗.....	41
§ 9.	毛細管水上升高度試驗.....	46
§ 10.	滲透試驗.....	49
§ 11.	酒精法快速測定土壤的含水率.....	66
§ 12.	比重天平法測定土壤的含水率.....	68
§ 13.	比重瓶法測定土壤的含水率.....	70
§ 14.	卡瓦列夫儀測定土的濕容重和乾容重.....	72

第二章 土壤的力學性質，水溶鹽及 灼燒損失的試驗方法

§ 15.	粘性土壤的膨脹試驗.....	76
§ 16.	壓縮試驗.....	81
§ 17.	壓縮試驗結果的校驗.....	93
§ 18.	粘性土壤的快速壓縮試驗.....	96
§ 19.	剪切試驗.....	97

§20. 砂土休止角試驗.....	104
§21. 夯實試驗.....	107
§22. 工地測定夾大顆粒土的容重——灌砂法.....	114
§23. 水溶鹽試驗.....	116
§24. 灼燒損失試驗.....	119

第三章 土壤分類及土壤性質的 基本指標的換算

§25. 土壤分類.....	122
§26. 天然空隙比的計算.....	126
§27. 空隙度的計算.....	128
§28. 乾容重的計算.....	128
§29. 水下容重的計算.....	130
§30. 飽和度的計算.....	131
§31. 飽和含水率的計算.....	132
§32. 相對稠度的計算.....	132
§33. 相對密度的計算.....	133
§34. 砂土的滲透係數的估計.....	135

附 錄

I. 工地觀察法鑑別土的種類.....	138
II. 土壤試驗總報告表的格式.....	140
III. 一般儀器的使用及保護.....	142
本書的主要參考資料.....	146

第一章 土壤的物理性質的試驗方法

§1. 天然含水率試驗

土壤的含水率是指一定體積的土樣中所含之水分重量與其礦物質重量的比率，以百分數表示之。

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{\text{水分重}}{\text{乾土重}} \times 100.$$

含水率試驗的目的在於求得土壤內的含水率用以計算土壤之稠度，飽和度，空隙比及其它物理性質指標。

(一) 儀器及設備：

1. 天平，感量0.01克；
2. 鋁盒；
3. 烘箱，能够保持恒温 $105^{\circ} \sim 110^{\circ}\text{C}$ ；
4. 乾燥器等。

(二) 試驗步驟：

1. 從原狀或擾動土樣中取出重量不少於15克的試樣放入鋁盒，蓋緊後置於天平上稱其合重。
2. 將已裝入濕土之鋁盒打開放在烘箱中，在恒温 $105^{\circ} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒重，即至土樣之乾重不變為止。然後將鋁盒取出放在乾燥器中冷卻至室溫。
3. 將冷卻後之鋁盒加蓋置於天平上稱鋁盒與乾土的重量。
4. 同一土樣應同樣地作兩個平行比較試驗。

(三) 計算：

$$\text{含水率, } W (\%) = \frac{\text{水分重}}{\text{乾土重}} \times 100 = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100,$$

式中， W_1 ——濕土與鋁盒合重，克；

W_2 ——乾土與鋁盒合重，克；

W_3 ——鋁盒重，克。

(四) 記錄格式及算例：

土壤含水率試驗記錄表

試樣來源

試驗者

試驗日期	試樣號碼	鋁盒號	鋁盒重 (克) W_3	鋁盒與濕土重 (克) W_1	鋁盒與乾土重 (克) W_2	水分重 (克) $(W_1 - W_2)$	乾土重 (克) $(W_2 - W_3)$	含水率 $W(\%)$		備註
								單試 獨件	平均	
53年 11月 24日	773	61	17.449	25.441	24.095	1.346	6.646	20.3	20.2	
		55	13.576	20.754	19.558	5.982	5.982	20.1		

(五) 討論及注意事項：

1. 天然含水率應該在打開土樣後立即進行，以免水分改變，影響結果。

2. 取試樣時應注意其代表性。使其能代表土樣的平均性質。

3. 兩次平行試驗結果的差數不得大於2%。

4. 天平每日使用前應校正一次。

5. 鋁盒的重量每隔相當時間應校正一次以免影響結果。

6. 為了保證土樣在烘箱中烘至恒重，並有效地利用工作時間，可在工作日結束時將所有需烘乾的土樣放入烘箱中過夜，次日取出稱重。但需注意安全。

7. 根據經驗，少量散土在 105°C 的溫度下保持六小時以上即可烘至恒重。

§2. 單位體重（容重）試驗

土壤單位體積的重量稱為單位體重或容重，通常以克/立方公分計。土壤在天然含水量的情況下之容重稱之為該土壤的天然

容重或濕容重，以 δ_w 表示。

$$\delta_w = \frac{W_r}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_u} \dots\dots\dots (1)$$

式中， W_r ——土壤濕重，克；

V ——土壤的體積，公分³；

W_s ——礦物質的重量（固體重），克；

W_w ——水分重，克；

V_s ——固體體積，公分³；

V_u ——空隙體積，公分³。

如果天然土壤的空隙內沒有任何水分時，其單位容重稱為乾容重， δ ，即公式（1）中 $W_w=0$ 。

$$\delta = \frac{W_s}{V_s + V_u} = \frac{W_s}{V} = \frac{\delta_w}{1 + W} \dots\dots\dots (2)$$

從公式（2）可看出：如果知道天然土壤之濕容重及含水率（小數），即可計算土壤之乾容重。

單位體重的試驗目的在於了解土壤的疏密和乾濕狀況，以供其它土壤物理性質指標之換算及工程設計之用。

（甲）環 刀 法

此法適用於可以用環刀切削之土樣。

（一）儀器及設備：

1. 普通天平附砝碼，感量0.01克；

2. 環刀及壓環器（圖1）；

3. 刮刀等。

（二）試驗步驟：

1. 取原狀土樣一塊用壓環器將環刀小心地垂直壓入土中。土樣應事先修整使其略大於環刀口徑。

2. 去掉壓環器並取出環刀，用

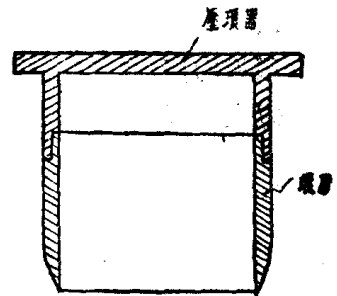


圖1. 環刀及壓環器

刮刀將環刀兩端多餘之土刮去使與環刀面齊平。

3. 稱環刀及土之合重， W_1 。

4. 同一土樣如上法共作兩個平行比較試驗。

(三) 計算：

$$\delta_w = \frac{W_1 - W_2}{V} = \frac{W_T}{V}$$

式中， V —— 環刀之體積；

W_2 —— 環刀重；

W_T —— 濕土重。

(四) 記錄格式及算例：

1. 記錄格式：

土壤單位容重試驗記錄表（環刀法）

試樣來源：_____

試驗者：_____

試驗日期：_____

校核者：_____

試樣說明：_____

土樣號碼	環 刀				濕土與環刀重 (克) W_1	濕土重 (克) $W_T = (W_1 - W_2)$	天然容重 $\delta_w = \frac{W_T}{V}$ (克/公分 ³)	備 註
	號	重量 (克) W_2	直徑 公分	高度 公分 V				

2. 算例：

環刀內徑為5.05公分，高4公分，重74克。

濕土與環刀重214克，則

$$V = \frac{\pi}{4} \times 5.05^2 \times 4 = 80 \text{ 公分}^3$$

$$\delta_w = \frac{214 - 74}{80} = 1.75 \text{ 克/公分}^3$$

(五) 討論及注意事項：

1. 用環刀切試樣時應垂直下壓，勿擾動土壤結構。如

果土壤較硬時用刀邊修邊壓，或改用蠟封法。不可用錘及其它工具將環刀打入土中，以免土壤的體積改變影響試驗結果。

2. 操作時應敏捷，減少水分的蒸發。
3. 二次平行試驗結果之差不得大於 0.02克/公分^3 。
4. 一般土壤之天然容重約在 $1.6\sim 2.2$ 之間。
5. 環刀的管壁要薄，以免壓入時擾動土壤結構。

(乙) 蠟 封 法

本法適用於堅硬，或易於碎裂的土壤。

(一) 儀器及設備：

1. 普通天平，感量 0.01克 ；
2. 玻璃杯；
3. 石蠟（純石蠟）；
4. 熱源（酒精燈或電爐）；
5. 細綫一根（長 0.5公尺 左右）；
6. 鋼針；
7. 大磁皿；
8. 濾紙等。

(二) 試驗步驟：

1. 在原狀土樣中盡可能切取一較規則的立方體（約重 $250\sim 300\text{克}$ ），在普通天平上稱其重量， W_r 。

2. 用綫將試件繫住浸入溶化之石蠟中（不允許煮沸，溫度約保持在 $50\sim 60^\circ$ ），依次將試件表面覆上一薄層石蠟。若試件的蠟膜上有氣泡，則表示石蠟進入土的孔隙，要用燒紅的針刺入氣泡中，並用熱針塗平針口。

3. 將蠟封試件放在普通天平上稱其重量， W_{10} 。

4. 將已知重量之蠟封試件放在盛水之量杯內稱其水中重量， W_2 。

5. 將試件由水中取出用濾紙揩乾，在空氣中稱其重量，得

W_3 。以 W_3 與 W_1 相比較，如果重量增大則表示水分進入土體。此時記錄進入土內之水分重量，即 $(W_3 - W_1)$ 。

6. 每個試樣作二個平行試驗。

(三) 記錄格式及計算：

1. 記錄格式

土壤單位容重試驗記錄表（蠟封法）

樣品來源：_____

試驗者：_____

試驗日期：_____

校核者：_____

試 樣 號 碼	試 件 重 (克)				蠟 封 試 件 浸 水 前 後 之 差 (克) ($W_3 - W_1$)	石 蠟 重 (克) W_4	蠟 封 試 件 之 體 積 V_1 (公分 ³) ²	石 蠟 體 積 V_2 (公分 ³)	試 件 體 積 V (公分 ³)	土 壤 容 量 δ_w 克/公分 ³	備 註
	無 蠟 時 W_T	蠟 封 後 W_1	蠟 封 試 件 中 W_2	蠟 封 試 件 後 W_3							
761	98.4	102.4	49.5	102.4	0	4.0	52.9	4.45	48.45	2.03	

2. 計算：

① 蠟封試件之體積 V_1 等於蠟封試件在空氣中之重量 W_1 與同一試件在水中重量 W_2 之差，即

$$V_1 = W_1 - W_2$$

② 石蠟體積 V_2 的計算，

試件消耗石蠟的重量 (W_4) 等於蠟封試件的重量 (W_1) 與未蠟封前試件的重量 (W_T) 之差，即

$$W_4 = W_1 - W_T$$

因而試件消耗石蠟之體積為

$$V_2 = \frac{W_4}{\gamma_n} = \frac{\text{石蠟重}}{\text{石蠟之比重}}$$

式中， γ_n 為石蠟之比重，如試驗時係採用純石蠟則其比重為0.91。

如石蠟不純時，則可用石蠟液體求出它的比重準確數值。

③ 試件體積， $V = V_1 - V_2$ 。

④ 土壤的單位容量，

$$\delta_w = \frac{W_r}{V}, \text{克/公分}^3.$$

(四) 討論及注意事項:

1. 二次平行試驗之差不得超過0.02克/公分³。
2. 石蠟之燃點很低，故溶化時不應使溫度太高以免發生危險。
3. 如蠟封試件浸水前後重量差 $(W_3 - W_1) > 0$ ，即水分進入土內，則蠟封試件的體積應等於：

$$\begin{aligned} V_s &= W_1 - W_2 + (W_3 - W_1) \\ &= W_3 - W_2 \quad (\text{假設水的比重爲 } 1) \end{aligned}$$

4. 試件封蠟時應避免蠟侵入土體空隙。
5. 蠟封試件在水中稱重時應避免試件與盛水容器壁接觸。

§3. 比重試驗

土壤的比重是指土壤礦物質成分單位實體積的重量與4°C時水單位體積重量的比率。也可以說是無空隙的乾土單位體積以克表示的重量。通常用符號 γ 表示，即

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

其中， W_s ——乾土重量，
克；

V_s ——乾土之實體
積，公分³。

比重試驗的目的是求得土壤的比重供給空隙比，飽和度及其它試驗如比重計分析，滲壓試驗等計算之用。

(一) 儀器及設備:

1. 比重瓶 (容積100

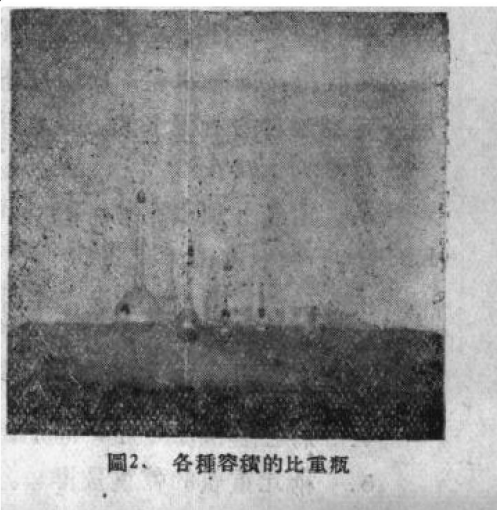


圖2. 各種容積的比重瓶

~500cc) ;

2. 天平附砝碼，感量0.001克；
3. 溫度計，0~50°C，最小刻度0.1°C；
4. 沖洗瓶；
5. 玻璃漏斗；
6. 滴管；
7. 吸水紙；
8. 烘箱；
9. 電爐或真空來源；
10. 蒸餾水（含鹽土用惰性液體如煤油）；
11. 電動攪拌機；
12. 磁針及帶橡皮頭的乳棒；
13. 篩子，孔徑2公釐。

(二) 試驗前準備工作：

(甲) 校準比重瓶：比重瓶在第一次使用前校準一次，繪成校準曲線，以後可以不再校準。

(a) 說明：

校準比重瓶是求比重瓶裝蒸餾水至一定界限（以比重瓶之容積而定）時在不同溫度下的重量（因為玻璃在不同溫度下會產生膨脹或收縮，同時水在不同溫度下之密度各不相同，所以在比重瓶一定刻度之內所盛水的重量也互不相同）。

(6) 方法：

1. 用硫酸加重鉻酸鉀洗液（100c.c. 的 H_2SO_4 + 30c.c. 的 $K_2Cr_2O_7$ ）將瓶內洗淨。
2. 將洗液倒出並用蒸餾水沖洗，然後盡量甩淨，再用酒精洗之。
3. 將酒精倒出，再用小量乙醚洗之。
4. 將乙醚倒淨，瓶口向下倒置十五分鐘。
5. 稱比重瓶的乾重量得 g。

6. 注入蒸餾水，使曲面的底部與瓶頸部的刻綫相重合。
7. 用溫度計量水之溫度得 T_1 。
8. 用吸水紙小心地將刻綫以上管內之水分吸乾，並用乾布將瓶外面的水分揩淨。稱瓶與水之合重 g_1 。
9. 重複6,7,8步驟一次，以資核對。
10. 將瓶裝滿蒸餾水放在熱水槽中，熱水溫度約高於室溫 5°C 。
11. 待瓶中水溫均勻時（即瓶中水溫與水槽內熱水溫度相等時），記錄其溫度 T_2 。校準水頂曲面，吸去管內多餘之水分，取出擦乾瓶之外部。管內之水面可能因溫度降低而下降，但不影響結果，然後稱瓶與水之合重 g_2 。
12. 重複10, 11兩步驟一次，以資校對。
13. 將瓶裝滿蒸餾水放在冷水槽中，水溫約低於室溫 5°C ，然後再按第11步程序進行，可測得另一對 T_3 和 g_3 值。
14. 重複第13步驟一次，以資校對。
15. 繼續更改水槽中的溫度，依照上述方法施行，可以測出不同溫度下瓶與蒸餾水的重量。
16. 根據上述結果，以橫坐標代表溫度，縱坐標代表瓶與水合重，繪出比重瓶之校準曲綫（圖3）。

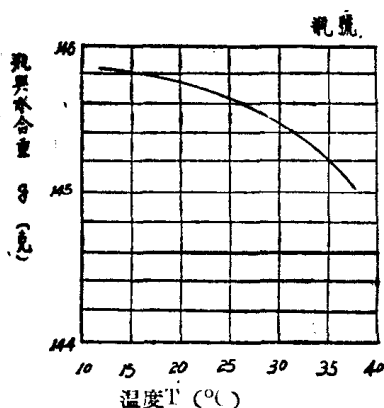


圖3. 比重瓶校準曲綫

(B) 注意事項:

1. 洗液的配法。將100c.c. 的硫酸加微熱，同時加入 30c.c. 重鉻酸鉀，邊熱邊攪至重鉻酸鉀全部溶於硫酸中為止，冷卻後即可使用。
2. 硫酸加重鉻酸鉀是配成的洗液強氧化劑，它的主要目的是使瓶內的還原物質氧化。操作時應特別小心，禁止加高熱，同

時也不要使洗液弄到身上或手上以免發生危險。

3. 乙醚是易燃的液體應加小心。

4. 使瓶內水頂曲面的底部與瓶頸部刻綫相重合時，可能會因各人的習慣而生誤差。觀察時視線的角度應使管上刻綫圈的前半和後半重合成一條直綫，同時應注意管身要垂直。為消除個人誤差，所有校準工作應由一人進行。

5. 讀溫度時，溫度計的水銀球必須置至瓶的中部，同時溫度計應該垂直，否則會產生視綫曲折的誤差。

6. 在水槽中調整溫度時必須使水溫均勻，且校準水面時亦應在水槽中進行。

7. 水中不允許有氣泡存在。

8. 校準試驗應始終採用同一溫度計和天平，以免產生儀器誤差。

9. 如有恒溫水槽設備，則不需要進行比重瓶的校準工作。

(乙) 樣品的製備：將風乾土樣放在碾鉢中磨碎，使通過 2 公厘孔徑的篩，大於 2 公厘的土樣繼續磨碎再過篩。

(三) 試驗步驟：

(甲) 不含水溶鹽土壤的試驗方法：

1. 取過篩並拌和均勻的土樣約 25~100 克，置於烘箱中烘至重量不變，然後取出放在乾燥器中冷卻。

2. 稱烘乾土樣 15 克（用 100c.c. 比重瓶時），或 30 克（比重瓶體積為 250c.c. 時），或 50~80 克（比重瓶體積為 500c.c. 時）準確至 0.001 克。

3. 用漏斗將土樣裝入比重瓶中。

4. 將比重瓶內加入約為其容積一半的蒸餾水。

5. 為了排除土中的空氣將比重瓶連接在真空設備上（圖 4），開動真空泵抽去土壤中之空氣。抽真空時應常常轉動比重瓶（緩緩傾斜搖動），待氣泡消失後再加水到比重瓶細頸的下端，繼續抽氣，直至水面不再上漲時即表示空氣已被抽淨。

如果沒有抽真空設備，則可用煮沸法排除土中的空氣(圖5)。

煮沸法是將裝有土及水之比重瓶置於電熱砂盤上加熱煮沸。砂土及砂質壙母從煮沸時算起煮30分鐘；砂質粘土及粘土則為一小時。然後待瓶冷卻至室溫時再繼續下一步。

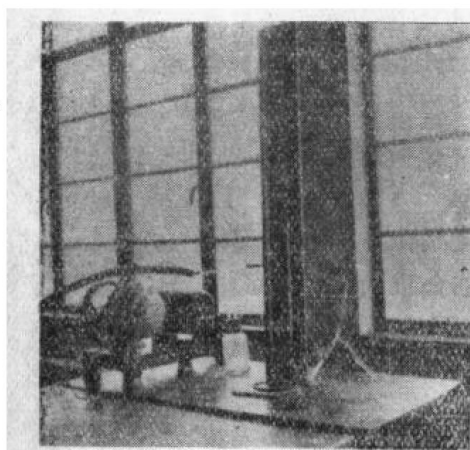


圖4. 真空設備的裝置

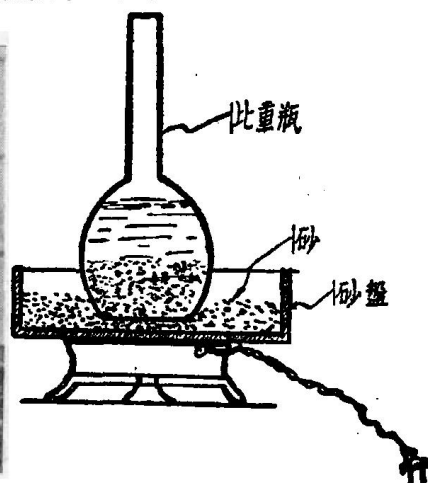


圖5. 煮沸法的裝置

6. 仔細加蒸餾水至比重瓶之刻綫，注意使水之曲面底部與刻綫相重合。
7. 用吸水紙吸去瓶管內部多餘之水分。
8. 稱水，土和瓶的重量。
9. 稱重後立刻量瓶內水之溫度（或先量水溫後校正曲面再稱重）。
10. 同一土樣作兩個平行試驗。

(乙) 含鹽土的試驗方法：

此類土壤不能用蒸餾水測定比重，因為煮沸時鹽分將溶解於水中使土壤之顆粒體積減少，液體比重增大結果所測得的比重會顯著的增大。故應改用惰性液體（煤油）代替蒸餾水。同時只能應用抽真空方法排除土及溶液中之空氣。

(四) 計算：

土的比重 γ 可根據下述公式計算，