

科技用書

土壤力學實驗法

游 啓 亨 著

大行出版社印行

土壤力學實驗法

游 啓 亨 著



中華民國七十三年八月 日三版
中華民國七十二年八月 日二版
中華民國七十一年八月 日初版

書名：土壤力學實驗法
著作者：游 啓 亨 著
發行人：裴 振 九
出版者：大 行 出 版 社

社址：台南市體育路41巷26號

電話：2613685 號

本社免費郵政劃撥帳號南字第32936號

本社登記證字第：行政院新聞局

局版台業字第0395號

總經銷：成大書局有限公司

台南市體育路41巷26號

電話：2651916 號

印刷者：信宏美術印刷廠

廠址：台南市公園路593巷127弄2號

電話：(06)2521139 號

特價：新台幣一四五元

編號：B00019-00549

同業友好·敬請愛護

序

本書所包括之十四種土壤實驗係土壤力學最基本實驗項目，極適合於大專院校土壤力學實驗一學期課程之需。

因各國土壤力學有關研究機構之土壤實驗法標準難免各有差異，故本書所列舉之十四種土壤實驗法與未包括之離心機濕當量、十字鑽剪力試驗、工地密度試驗、平板載重試驗等各項實驗法，敬請參酌下列規範或書籍，加以檢討為幸。

American Society for Testing and Materials; ASTM Standards.
American Association of State Highway Officials; Highway Materials.

Bureau of Reclamation, Department of the Interior, United States of America; Earth Manual 1960.

日本土質工學會；土質試驗法

T. W. Lambe; Soil Testing for Engineers, 1951.

R. H. Karol; Engineering Properties of Soils, 1956.

游 啓 亨；土壤力學與基礎工程學，民國五十二年

目 錄

| | | |
|-----------------|-----------------|----|
| 實 驗 一 | 土壤含水量之測定 | 1 |
| 實 驗 二 | 土粒比重之測定 | 4 |
| 實 驗 三 | 土壤之孔隙率及孔隙比之測定 | 7 |
| 實 驗 四 | 土粒大小分析 (篩分析法) | 10 |
| 實 驗 五 | 土粒大小分析 (比重計分析法) | 13 |
| 實 驗 六 | 阿太堡限度及指數之測定 | 19 |
| 實 驗 七 | 土壤工程分類法 | 26 |
| 實 驗 八 | 滲透性係數之測定 | 32 |
| 實 驗 九 | 壓實試驗 | 37 |
| 實 驗 十 | 加州載重比試驗 | 42 |
| 實 驗 十一 | 固結試驗 | 49 |
| 實 驗 十二 | 直接剪力試驗 | 53 |
| 實 驗 十三 | 無旁束壓縮試驗 | 57 |
| 實 驗 十四 | 三軸壓縮試驗 | 61 |
| 附 錄 | 單位換算表 | 68 |
| 實 驗 報 告 用 記 錄 紙 | | 71 |

實驗一 土壤含水量之測定

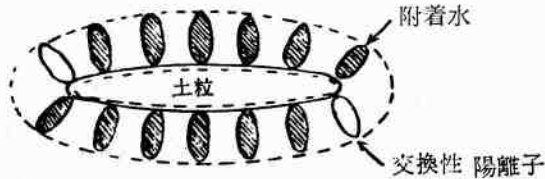
1. 目的：

使學生了解實驗室中測定土壤含水量之方法與決定土樣烘乾所需時間。

2. 說明：

土壤含有各種固體，如礦物質或有機質等所構成之土粒。土粒與土粒間之表面，雖相互緊靠，但仍有孔隙存在，而孔隙被空氣及水混合組成之流體所填滿。

土壤中之水可分成自由水及附着水兩種。自由水可分為重力水及毛細管水。由於重力現象而存於土壤中之水，稱為重力水 (gravitational water)。重力水承受地心引力之作用，依重力原理在土壤孔隙中流動。由毛細管現象而存於土壤中之水，稱為毛細管水 (capillary water)。如土壤孔隙甚小與毛細管類似，水即依毛細管原理在土壤孔隙中流動。由電荷吸附現象而附於土粒表面之水，稱為附着水 (hygroscopic water)。因土粒表面均有負電荷，水分子附着於土粒四周，形成一層薄膜之附着水如第 1-1 圖所示。



第 1-1 圖 土粒與附着水

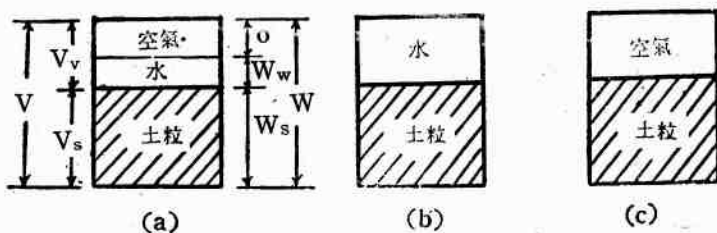
單位體積內之表面積稱為比面 (specific surface)，土粒愈細，比面愈大如第 1-1 表所示。土粒比面數值增加，土粒總帶電量及附着水均為增加。

第 1-1 表 土粒比面數值比較

| 立方體邊長 (公分) | 土粒數 | 總體積 (立方公分) | 總表面積 (平方公分) | 比面—總表面積 體積 (1/公分) |
|-----------------|-----------|---------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 6 | 6 |
| $1\mu-10^{-4}$ | 10^{12} | 1 | 60,000 | 60,000 |
| $1m\mu-10^{-7}$ | 10^{21} | 1 | 60,000,000 | 60,000,000 |

天然情況之土壤，在室溫下晾乾而失去重力水及毛細管水，成為晾乾土壤 (air dried soil)，但附着水需晾乾長時間或需加溫至 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{C}$ ，始能全部除去，成為烘乾土壤 (oven dried soil)。

於第 1-2 圖，(a) 表示天然情況土壤之柱狀圖，(b) 表示水飽和土壤，(c) 表示乾燥土壤。



第 1-2 圖 土壤柱狀圖

於第 1-2 圖 設

W - 土壤總重

W_s - 土粒淨重

W_w - 水淨重

V - 土壤總體積

V_s - 土粒淨體積

V_v - 土壤孔隙體積

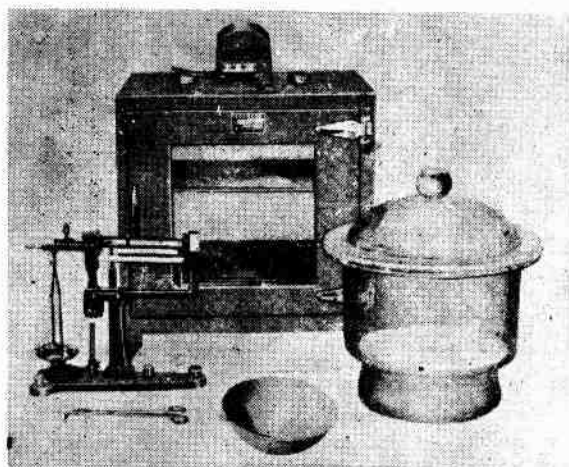
V_w - 水體積

含水量 (water content) w 為土壤中水淨重與土粒淨重之比值，以百分比表示之。

$$w = \frac{\text{水淨重}}{\text{土粒淨重}} \times 100 \% = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \%$$

3. 試驗儀器：

- (1) 蒸發皿
- (2) 天 秤
- (3) 銅 匙
- (4) 烘 箱
- (5) 溫 度 計
- (6) 乾 燥 器



第 1-3 圖 蒸發皿、天秤、烘箱及乾燥器

4. 試驗步驟：

- (1) 預備裝於銅製土樣罐內之代表性土壤，如粗粒土壤及細粒土壤兩種。
- (2) 先取二個蒸發皿，洗淨烘乾後，各別衡其重量 W_0 。
- (3) 由土樣罐中取出約 20~50 克之土樣，置放蒸發皿內，衡其重量 W_1 。
- (4) 繼將放入恒溫烘箱內烘乾之。烘箱溫度宜保持 $110^{\circ} \sim 120^{\circ}C$ ，所需烘乾時間視土樣之多寡及土壤之種類而定。一般而言，50 克土樣需 12 小時以上之烘乾時間。烘箱溫度不可太高，以免有機質燃燒或改變礦物質之特性。

- (5) 記錄開始時間，每隔半小時自烘箱中取出，置放乾燥器內冷卻，衡其重量，依次記錄 W_2' ， W_2'' ， W_2''' ……。蒸發皿尚未冷卻前，不可置放天秤上衡重，以免影響天秤之平衡。
- (6) 比較每隔半小時所衡重量，查驗每次重量之變化情況及重量是否到達定值。
- (7) 經 12 小時後取出，置放乾燥器內冷卻，衡其重量 W_2 。

5. 計 算：

- (1) 記錄所衡重量於記錄紙上。
- (2) 以乾土重為縱坐標，烘乾時間為橫坐標，繪製乾土重烘乾時間曲線，而決定除去土壤中附着水份烘乾所需時間。
- (3) 依下式計算土壤含水量。

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 \%$$

6. 範 例：

| | |
|-----------------------------|---------|
| 濕土重 + 蒸發皿重， W_1 | 97.09 g |
| 乾土重 + 蒸發皿重， W_2 | 90.00 g |
| 水淨重， $W_1 - W_2$ | 7.09 g |
| 蒸發皿重， W_c | 37.46 g |
| 土粒淨重， $W_2 - W_c$ | 52.54 g |
| 含水量， $w = 7.09/52.54$ | 13.5 % |

實驗二 土粒比重之測定

1. 目的：

應用比重瓶決定烘乾土壤之土粒比重。

2. 說明：

土粒淨重與同體積 4°C 蒸餾水重之比值，稱為土粒比重 (specific gravity of soil grains)。

$$G_s = \frac{\text{土粒淨重}}{\text{同體積 } 4^\circ\text{C 蒸餾水重}} = \frac{W_s}{V_s \gamma_{w4^\circ\text{C}}}$$

或

$$G_s = \frac{\text{土粒單位重}}{\text{4°C 時之蒸餾水單位重}} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{w4^\circ\text{C}}}$$

上式中 W_s = 土粒淨重

V_s = 土粒體積

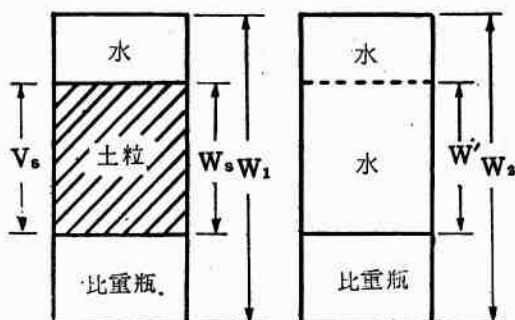
γ_s = 土粒單位重

$\gamma_{w4^\circ\text{C}}$ = 4°C 時之蒸餾水單位重

土粒比重與土粒所含礦物質成份之種類及多寡有關，如重礦物質含量較多，土粒比重較大，一般而言，土粒比重為 2.60~2.80 之間。於臺灣省南部沖積平原區，砂質壤土之平均土粒比重為 2.67，粘土之土粒比重平均值為 2.70。

土粒比重係一無單位之比值，對土壤之孔隙率、孔隙比、飽和度、單位重、比重計分析、臨界水力坡度及壓實試驗無空氣孔隙曲線等計算、極關密切。

烘乾土壤之土粒比重依據等體積法求之，所使用之比重瓶體積為 500, 200, 100 或 50 立方公分。土粒較粗者宜用 500 或 200 立方公分之大型比重瓶，土粒較細者宜用 100 或 50 立方公分之小型比重瓶。



第 2-1 圖 比重瓶內之重量比較圖

於第 2-1 圖，設 W' = 與土粒等體積之蒸餾水重

γ_w = T°C 時之蒸餾水單位重

G_w = T°C 時之蒸餾水比重

$$V_s = \frac{W'}{\gamma_w}$$

$$W' = W_2 + W_s - W_1$$

故

$$G_s = \frac{W_s/V_s}{r_{w4}^{\circ C}} = \frac{W_s/(W'/r_w)}{r_{w4}^{\circ C}} = \frac{W_s r_w}{(W_s - W_1 + W_2) r_{w4}^{\circ C}} = \frac{G_w W_s}{W_s - W_1 + W_2}$$

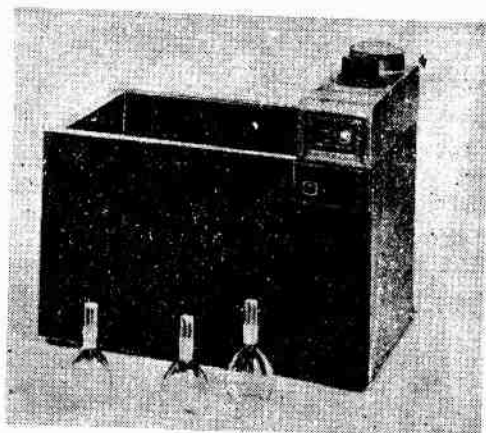
各種不同溫度時之蒸餾水比重 G_w 如第 2-1 表所示。

第 2-1 表 各種不同溫度時之蒸餾水比重 G_w

| °C | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9998 |
| 10 | 0.9997 | 0.9996 | 0.9995 | 0.9994 | 0.9993 | 0.9991 | 0.9990 | 0.9988 | 0.9986 | 0.9984 |
| 20 | 0.9982 | 0.9980 | 0.9978 | 0.9976 | 0.9973 | 0.9971 | 0.9968 | 0.9965 | 0.9963 | 0.9960 |
| 30 | 0.9957 | 0.9954 | 0.9951 | 0.9947 | 0.9944 | 0.9941 | 0.9937 | 0.9934 | 0.9930 | 0.9926 |
| 40 | 0.9922 | 0.9919 | 0.9915 | 0.9911 | 0.9907 | 0.9902 | 0.9898 | 0.9894 | 0.9890 | 0.9885 |
| 50 | 0.9881 | 0.9876 | 0.9872 | 0.9867 | 0.9862 | 0.9857 | 0.9852 | 0.9848 | 0.9842 | 0.9838 |
| 60 | 0.9832 | 0.9827 | 0.9822 | 0.9817 | 0.9811 | 0.9806 | 0.9800 | 0.9795 | 0.9789 | 0.9784 |
| 70 | 0.9778 | 0.9772 | 0.9767 | 0.9761 | 0.9755 | 0.9749 | 0.9743 | 0.9737 | 0.9731 | 0.9724 |
| 80 | 0.9718 | 0.9712 | 0.9706 | 0.9699 | 0.9693 | 0.9686 | 0.9680 | 0.9673 | 0.9667 | 0.9660 |
| 90 | 0.9653 | 0.9647 | 0.9640 | 0.9633 | 0.9626 | 0.9619 | 0.9612 | 0.9605 | 0.9598 | 0.9591 |

3. 試驗儀器：

- (1) 比重瓶
- (2) 酒精燈
- (3) 天 秤
- (4) 烘 箱
- (5) 溫 度 計
- (6) 恒溫水槽
- (7) 蒸 餾 水



第 2-2 圖 比重瓶及恒溫水槽

1. 試驗步驟：

(A) 比重瓶之量定

- (1) 將洗淨乾燥之容量 50 立方公分比重瓶內，裝滿蒸餾水至頸部刻劃線後，置放恒溫水槽內。恒溫水槽之溫度宜保持 $25^{\circ} \pm 1^{\circ}C$ 。當比重瓶內之水溫與恒溫水槽之水溫相同時，放入溫度計記錄恒溫水槽之水溫度 $T^{\circ}C$ 。
- (2) 由恒溫水槽取出比重瓶，擦乾其表面水份，衡其重量 W_2 。

(B) 土粒比重之測定

- (1) 先取通過 4 號標準篩之烘乾土壤約 20 克，衡其重量 W_s 後，放入半滿蒸餾水之比重瓶內。
- (2) 將比重瓶置放酒精燈上煮沸十分鐘，而緩慢地旋轉，以便除去土壤中之空氣。（如藉用真空

抽氣後，宜用水銀柱 100 公厘以下之氣壓，所需時間約 30 分鐘）。

- (3) 除盡空氣後，俟比重瓶之溫度降至室溫時，置放恒溫水槽內，保持水槽溫度 $25^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ ，至比重瓶內之水溫與恒溫水槽之水溫相等為止。
- (4) 添加蒸餾水於比重瓶內，裝滿蒸餾水至與前相同之頸部刻劃線。
- (5) 由恒溫水槽取出比重瓶，擦乾其表面水份，衡其重量 W_1 。

5. 計 算：

- (1) 記錄所衡重量及溫度於記錄紙上。
- (2) 依下式計算土粒比重。

$$G_s = \frac{G_w W_s}{W_s - W_1 + W_2}$$

6. 範 例：

| | |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------|
| 比重瓶號碼..... | No. 39 |
| 比重瓶重+蒸餾水重+土樣重, W_1 | 84.87 g |
| 水溫度, $T^{\circ}\text{C}$ | 25.5°C |
| $T^{\circ}\text{C}$ 時之蒸餾水比重, G_w | 0.9969 |
| 比重瓶重+蒸餾水重, W_2 | 72.37 g |
| 土粒淨重, W_s | 20.00 g |
| 土粒比重, $G_s = 0.9969 \times 20.00 / 20.00 - 84.87 + 72.37$ | 2.66 |

實驗三 土壤之孔隙率及孔隙比之測定

1. 目的：

使學生了解土壤之孔隙率、孔隙比、濕土單位重、乾土單位重及飽和度之意義及測定方法。

2. 說明：

因土粒與土粒間之擠壓情況及程度不同，各種土壤具有不同之孔隙體積。孔隙率 (porosity) n 為土壤孔隙體積與土壤總體積之比值，以百分比表示之。

設 V_s = 土粒淨體積

V_v = 土壤孔隙體積

V = 土壤總體積

$$n = \frac{\text{土壤孔隙體積}}{\text{土壤總體積}} \times 100\% = \frac{V_v}{V} \times 100\%$$

孔隙比 (void ratio) e 為土壤孔隙體積與土粒淨體積之比值。

$$e = \frac{\text{土壤孔隙體積}}{\text{土粒淨體積}} = \frac{V_v}{V_s}$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V - \frac{W_s}{G_s \gamma_w}}{\frac{W_s}{G_s \gamma_w}} = \frac{G_s \gamma_w V - W_s}{W_s} - 1 = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

濕土單位重 (unit weight of wet soil) γ_m 為土壤總重與土壤總體積之比值。

$$\gamma_m = \frac{\text{土壤總重}}{\text{土壤總體積}} = \frac{W}{V}$$

乾土單位重 (unit weight of dry soil) γ_d 為土粒淨重與土壤總體積之比值。

$$\gamma_d = \frac{\text{土粒淨重}}{\text{土壤總體積}} = \frac{W_s}{V}$$

飽和度 (degree of saturation) S 為土壤內水體積與土壤孔隙體積之比值，以百分比表示之。

$$S = \frac{\text{土壤內水體積}}{\text{土壤孔隙體積}} = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$$

$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w W_s / \gamma_w}{e W_s / G_s \gamma_w} = \frac{w G_s}{e}$$

土壤之構造常因時間或外界情況之改變而變化，即土壤孔隙體積及土壤總體積均為可變化之不定值。因土粒淨體積與土壤構造之變化無關，任何情況下仍保持一定值，故土壤力學之數學計算上，如單位重、相對密度、固結試驗、沉陷分析、滲透性係數等，孔隙比較孔隙率應用方便。

粗粒土壤之土粒與土粒間之凝聚力甚小，幾乎無凝聚力存在，而不能隨意塑成圓筒狀或方形狀，其孔隙比約為 0.4~0.9 之間，但此項數值易受擾動或震動之影響而產生變化。

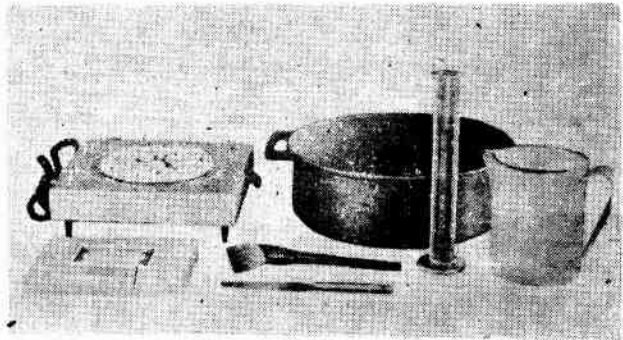
細粒土壤，因土粒與土粒間具備凝聚力，可隨時塑成試驗所需形狀，雖經取樣及修整等過程，仍能保持其原有之孔隙比，故易決定孔隙率及孔隙比。細粒土壤之土粒與土粒間之孔隙可能超出土粒淨體積，故孔隙比為 0.6~3.0 之間，範圍較大。土粒比重 2.67, 2.68, 2.69, 2.70 之土壤，在各種乾土單位重情況之孔隙比如第 3-1 表所示。

第 3-1 表 土粒比重、乾土單位重及孔隙比

| 土粒比重 G_s | 孔 隙 比 $(e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2.67 | | | | 2.68 | | | | 2.69 | | | | 2.70 | | | | | | | |
| 乾土單位重 γ_d (g/cm^3) | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.08 |
| 1.1 | 1.43 | 1.38 | 1.34 | 1.30 | 1.26 | 1.44 | 1.39 | 1.35 | 1.31 | 1.27 | 1.45 | 1.40 | 1.36 | 1.32 | 1.28 | 1.46 | 1.41 | 1.37 | 1.33 | 1.29 |
| 1.2 | 1.23 | 1.19 | 1.15 | 1.12 | 1.09 | 1.23 | 1.20 | 1.16 | 1.13 | 1.09 | 1.24 | 1.21 | 1.17 | 1.14 | 1.10 | 1.25 | 1.21 | 1.18 | 1.14 | 1.11 |
| 1.3 | 1.05 | 1.02 | 0.99 | 0.97 | 0.94 | 1.06 | 1.03 | 1.00 | 0.97 | 0.94 | 1.07 | 1.04 | 1.01 | 0.98 | 0.95 | 1.08 | 1.05 | 1.02 | 0.99 | 0.96 |
| 1.4 | 0.91 | 0.88 | 0.86 | 0.83 | 0.81 | 0.92 | 0.89 | 0.86 | 0.84 | 0.81 | 0.92 | 0.89 | 0.87 | 0.85 | 0.82 | 0.93 | 0.90 | 0.88 | 0.85 | 0.83 |
| 1.5 | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.71 | 0.69 | 0.79 | 0.76 | 0.74 | 0.72 | 0.70 | 0.80 | 0.77 | 0.75 | 0.73 | 0.71 | 0.80 | 0.78 | 0.75 | 0.73 | 0.71 |
| 1.6 | 0.76 | 0.65 | 0.63 | 0.61 | 0.59 | 0.68 | 0.66 | 0.64 | 0.62 | 0.60 | 0.68 | 0.66 | 0.64 | 0.62 | 0.60 | 0.69 | 0.67 | 0.65 | 0.63 | 0.61 |
| 1.7 | 0.57 | 0.55 | 0.54 | 0.52 | 0.50 | 0.58 | 0.56 | 0.54 | 0.52 | 0.51 | 0.58 | 0.57 | 0.55 | 0.53 | 0.51 | 0.59 | 0.57 | 0.55 | 0.53 | 0.52 |
| 1.8 | 0.48 | 0.47 | 0.45 | 0.44 | 0.42 | 0.49 | 0.47 | 0.46 | 0.44 | 0.43 | 0.50 | 0.48 | 0.46 | 0.45 | 0.43 | 0.50 | 0.48 | 0.47 | 0.45 | 0.44 |
| 1.9 | 0.41 | 0.39 | 0.38 | 0.36 | 0.35 | 0.41 | 0.40 | 0.38 | 0.37 | 0.35 | 0.42 | 0.40 | 0.39 | 0.37 | 0.36 | 0.42 | 0.41 | 0.39 | 0.38 | 0.36 |
| 2.0 | 0.35 | 0.32 | 0.31 | 0.30 | 0.28 | 0.34 | 0.33 | 0.31 | 0.30 | 0.29 | 0.35 | 0.33 | 0.32 | 0.31 | 0.30 | 0.35 | 0.34 | 0.32 | 0.31 | 0.30 |

3. 試驗儀器：

- (1) 融盤及石臘
- (2) 量筒
- (3) 軟刀
- (4) 天 秤
- (5) 烘箱
- (6) 蒸發皿



第 3-1 圖 融盤及石臘

4. 試驗步驟：

- (1) 先取約 100 克之土塊，衡其重量 W 。
- (2) 將所取土塊放入融臘中，使土塊外表完全被覆一層石臘薄膜。
- (3) 俟石臘冷卻後，衡其試樣重量 W_1 。
- (4) 將量筒洗淨，裝入約四分之三之蒸餾水，記錄其刻劃讀數 R_1 。
- (5) 將試樣放入量筒內，當水面平穩時；記錄其刻劃讀數 R_2 。
- (6) 由量筒內取出試樣，以軟刀除去石臘後，土樣放入烘箱中烘乾，而衡其乾土重，決定含水量。復取土樣約 20 克，另作土粒比重之測定，決定土粒淨體積。

5. 計 算：

- (1) 記錄所衡重量於記錄紙上。

(2) 以石臘比重 0.89，計算石臘體積。

(3) 依下式計算孔隙率、孔隙比、濕土單位重、乾土單位重及飽和度。

$$(a) \quad n = \frac{V_v}{V} \times 100 \%$$

$$(b) \quad e = \frac{V_v}{V_s}$$

$$(c) \quad \gamma_m = \frac{W}{V}$$

$$(d) \quad \gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

$$(e) \quad S = \frac{wG_s}{e} \times 100 \%$$

6. 範 例：

| | |
|------------------------------------------|------------------------|
| 濕土重+石臘重， W_1 | 72.2 g |
| 濕土重， W | 69.1 g |
| 石臘重， $W_1 - W$ | 3.1 g |
| 石臘比重， G_p | 0.89 |
| 石臘體積， $W_1 - W / G_p$ | 3.5 cm ³ |
| 最後量筒讀數， R_2 | 787.0 cm ³ |
| 最初量筒讀數， R_1 | 750.0 cm ³ |
| 土樣體積+石臘體積， V_1 | 37.0 cm ³ |
| 土樣體積， V | 33.5 cm ³ |
| 含水量， w | 21.4 % |
| 土粒淨重， $W_s = W / (1 + w)$ | 56.9 g |
| 土粒比重， G_s | 2.70 |
| 土粒淨體積， $V_s = W_s / G_s$ | 21.1 cm ³ |
| 孔隙體積， $V_v = V - V_s$ | 12.4 cm ³ |
| 孔隙率， $n = 12.4 / 33.5$ | 36.8 % |
| 孔隙比， $e = 12.4 / 21.1$ | 0.58 |
| 濕土單位重， $\gamma_m = 69.1 / 33.5$ | 2.07 g/cm ³ |
| 乾土單位重， $\gamma_d = 56.9 / 33.5$ | 1.70 g/cm ³ |
| 飽和度， $S = 21.4 \times 2.70 / 0.58$ | 99.2 % |

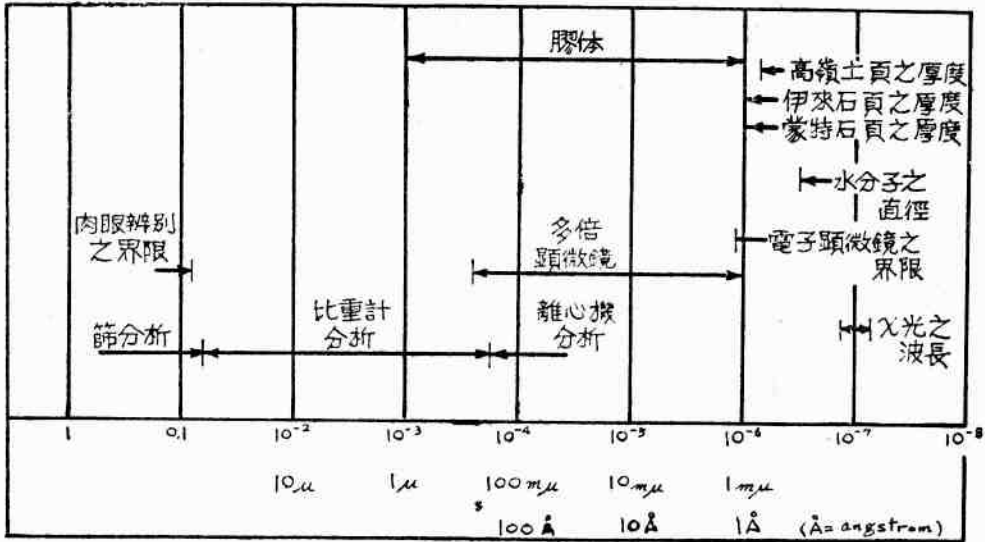
實驗四 土粒大小分析（篩分析法）

1. 目的：

應用標準篩決定土壤之直徑大於 0.074 公厘之各種土粒重量及通過百分比。

2. 說明：

土壤之物理特性與土粒之各種直徑所佔百分比有關，各種土粒所佔重量百分比之分析法，稱為土粒大小分析。土粒大小分析乃包括篩分析法、比重計分析法、離心機分析法、電子顯微鏡分析法，X光分析法等多種，所測定之土粒直徑大小範圍如第 4—1 圖所示。



第 4—1 圖 土 粒 大 小 分 析 法

土壤力學實驗中之土粒大小分析，因膠體部份在工程應用方面之意義及重要性較小，故沿用篩分析法及比重計分析法兩種。篩分析法所使用之中國標準篩（CNS 386）及美國標準篩之篩號碼及孔徑如第 4—1 表所示。

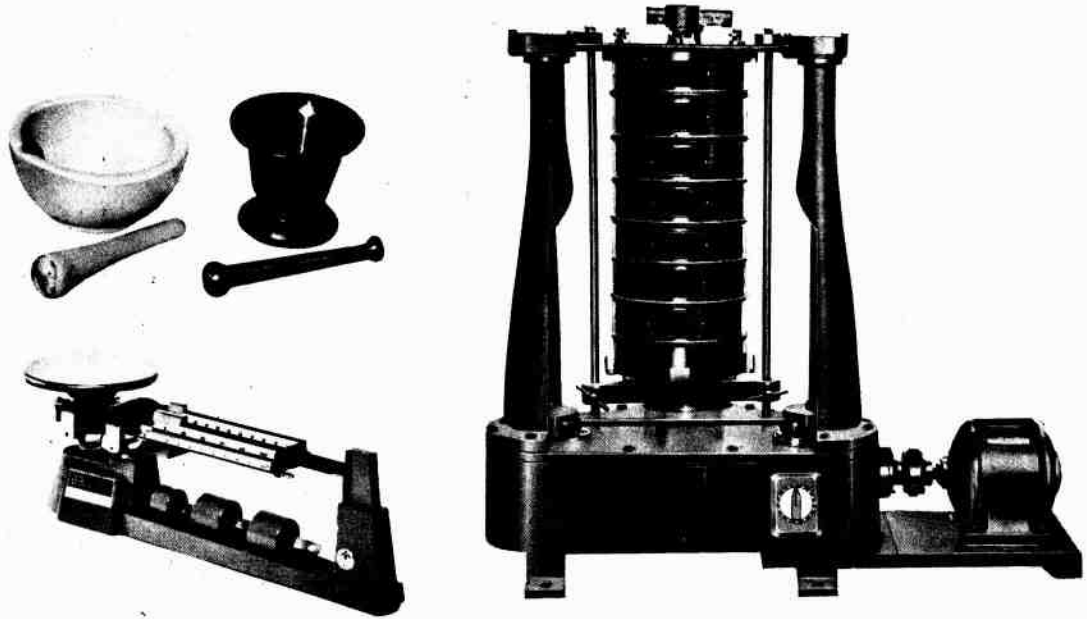
以通過百分比為縱坐標，土粒直徑為橫坐標（對數分度）所繪製之曲線，稱為土粒大小分佈曲線（grain size distribution curve）。土粒大小分佈曲線表示土粒之組成係均勻抑或不均勻者，級配良好抑或不良者，而可決定土壤之有效粒徑，均勻係數及曲率係數。通過百分比為 10% 時，其所相對之土粒直徑 D_{10} 稱為有效粒徑（effective size）。 D_{60} 與 D_{10} 之比值為均勻係數（coefficient of uniformity） C_u ， $(D_{30})^2$ 與 $D_{10} \times D_{60}$ 之比值為曲率係數（coefficient of curvature） C_c 。

第 4-1 表 標準篩號碼及孔徑

| 中國標準篩 (CNS 386) | | 美 國 標 準 篩 | | |
|-----------------|---------|-----------|--------|-------|
| 孔 徑 | 鋼 絲 直 徑 | 號 碼 | 孔 徑 | |
| (公 厘) | (公 厘) | | (英 寸) | (公 厘) |
| 25 | 5 | — | | |
| 20 | 5 | — | 4.00 | 101.6 |
| 18 | 4.5 | — | 2.00 | 50.8 |
| 16 | 4 | — | 1.00 | 25.4 |
| 12.5 | 4 | — | | |
| 10 | 4 | — | 0.750 | 19.1 |
| 8 | 3.15 | — | 0.500 | 12.7 |
| 6.3 | 2.5 | — | 0.375 | 9.52 |
| 5 | 2 | — | 0.250 | 6.35 |
| 4 | 1.6 | 3 | 0.187 | 4.67 |
| 3.15 | 1.25 | 4 | 0.132 | 3.36 |
| 2.5 | 1 | 6 | 0.0937 | 2.38 |
| 2 | 1 | 8 | 0.0787 | 2.00 |
| 1.6 | 0.8 | 10 | 0.0661 | 1.68 |
| 1.25 | 0.63 | 12 | 0.0469 | 1.19 |
| 1 | 0.5 | 16 | 0.0331 | 0.840 |
| 0.8 | 0.4 | 20 | 0.0232 | 0.590 |
| 0.63 | 0.315 | 30 | 0.0165 | 0.420 |
| 0.5 | 0.25 | 40 | 0.0117 | 0.297 |
| 0.4 | 0.2 | 50 | 0.0098 | 0.250 |
| 0.315 | 0.16 | 60 | 0.0083 | 0.210 |
| 0.25 | 0.125 | 70 | 0.0059 | 0.149 |
| 0.2 | 0.1 | 100 | 0.0041 | 0.105 |
| 0.16 | 0.08 | 140 | 0.0029 | 0.074 |
| 0.125 | 0.063 | 200 | 0.0021 | 0.053 |
| 0.1 | 0.056 | 270 | 0.0015 | 0.037 |
| 0.09 | 0.05 | 400 | | |
| 0.08 | 0.045 | | | |
| 0.071 | 0.04 | | | |
| 0.063 | 0.036 | | | |
| 0.056 | 0.032 | | | |
| 0.05 | 0.028 | | | |
| 0.045 | 0.025 | | | |
| 0.04 | | | | |

3. 試驗儀器：

- (1) 標準篩一組 (如 4 號, 10 號, 40 號, 100 號, 200 號, 頂蓋及底盤)
- (2) 搖 篩 器
- (3) 鋼刷及毛刷
- (4) 研磨臼及研磨棒
- (5) 天 秤
- (6) 烘 箱
- (7) 蒸 發 皿



第 4—2 圖 研磨臼，研磨棒，天秤，標準篩及搖篩器 \triangle

4. 試驗步驟：

(A) 粗粒土壤之篩分析

- (1) 先取約 500 克之烘乾土樣，衡其重量。如土樣聚成塊狀，以研磨棒輕輕地磨碎，使土粒相互分離。
- (2) 將以鋼刷刷淨孔徑大之標準篩，以毛刷刷淨孔徑小之標準篩，繼衡蒸發皿重量。
- (3) 將依次序組合標準篩後，放入土樣於最上頂之標準篩內，蓋覆頂蓋，置放搖篩器上，使之搖轉震動十分鐘。
- (4) 篩搖工作完竣後，將依次序刷淨每一標準篩上之土樣，置放蒸發皿內，繼續衡其重量。
- (5) 通過 200 號標準篩土樣，如有需要，保留以供比重計分析之用。

(B) 細粒土壤之篩分析

- (1) 細粒土壤宜先作比重計分析，後作篩分析。
- (2) 比重計分析讀完最後讀數後，將量筒內混合液倒入 200 號標準篩內，而以水沖洗之。（停留於 200 號標準篩上之土樣不可遺失）。
- (3) 沖洗完竣，將停留於 200 號標準篩內之土樣倒入蒸發皿內，而放入烘箱中烘乾。
- (4) 由烘箱取出而冷卻後，置放篩組內作篩分析。

5. 計 算：

- (1) 記錄所衡重量於記錄紙上。
- (2) 計算每一標準篩之通過百分比。
- (3) 以通過百分比為縱坐標，土粒直徑為橫坐標（對數分度），繪製土粒大小分佈曲線。
- (4) 依下式計算均勻係數及曲率係數。

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_d = \frac{(D_{80})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$