

# 土壤力學與基礎 工程講義

第一回

504986-1



考友社 出版發行

# 第一講 土壤指數性質

## 命題重點

### 一、土壤性質

(一)土壤是一種由固體粒子、液體以及氣體所組合而成之物質。判定土壤在工程上之適用性，需要加以探討之工程性質包括：

1. 剪力強度特性。
2. 壓縮性與膨脹性。
3. 收縮性與回脹性。
4. 滲透性。

土壤基本定義表示法

基本定義	表示式
孔隙率 ( porosity ) , $n$	$n = V_v / V \times 100\%$
孔隙比 ( void ratio ) , $e$	$e = V_v / V_s$
飽和度 ( degree of saturation ) , $S$	$S = V_w / V_v \times 100\%$
含水比 ( water content ) , $w$	$w = W_w / W_s \times 100\%$
土粒單位重 , $\gamma_s$	$\gamma_s = W_s / V_s$
乾土單位重 , $\gamma_d$	$\gamma_d = W_s / V$
統體單位重 , $\gamma_m$	$\gamma_m = W / V$
飽和單位重 , $\gamma_{sat}$	$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w$
浸水單位重 , $\gamma_{sub}$ 或 $\gamma'$	$\gamma_{sub} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \gamma_w$
土粒比重 , $G_s$	$G_s = \gamma_s / \gamma_w$

(二)爲了決定土壤工程特性，經常需取得具有代表性之不擾動土樣進行試驗以得之，這些試驗費時且費錢，對於某些工程有些不切實際，因此一套簡單試驗之結果使用來將具有類似性質土壤歸類，以後便可依簡單試驗結果估計土壤工程性質，這套簡單試驗稱爲指數試驗，試驗所得土壤性質稱爲土壤之指數性質 ( index properties )。

二、土壤基本性質表示法：(如圖 1-1 所示)

- $W$  = 土體總重量  
 $W_s$  = 土粒淨重量  
 $W_w$  = 水淨重量  
 $V$  = 土壤總體積  
 $V_s$  = 土粒淨體積  
 $V_w$  = 水體積  
 $V_a$  = 空氣體積  
 $V_v$  = 土體孔隙總體積  
 $\gamma_w$  = 4°C時蒸餾水單位重

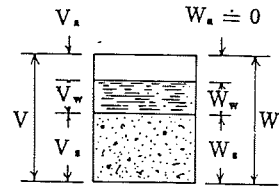


圖 1-1 土壤三相系

### (一) 土壤基本定義與質量體積關係

#### 1. 孔隙率與孔隙比間關係

$$n = \frac{e}{1 + e} \qquad e = \frac{n}{1 - n}$$

#### 2. $Se = wG_s$ 關係式

#### 3. 單位重間之關係式

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + e} = \frac{\gamma_m}{1 + w}$$

由上列三式可得  $\gamma_{sat}$  與  $\gamma_{sub}$  之表示式：

$$\gamma_{sat} = \gamma_d (1 + w) = \gamma_d \left( 1 + \frac{e}{G_s} \right) = \frac{\gamma_s}{1 + e} \left( \frac{G_s + e}{G_s} \right)$$

$$\therefore \gamma_{sat} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \left( \frac{G_s + e}{G_s} \right) = \gamma_w \frac{G_s + e}{1 + e}$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = \gamma_w \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

### (二) 土壤基本性質表示值之界限

瞭解土壤基本性質之上下限，有助於判斷試驗結果之正確性。

1. 孔隙率：  $0 < n < 1$
2. 孔隙比：  $0 < e \ll \infty$ 
  - (1) 自然砂土 0.5 ~ 0.8
  - (2) 粘性土壤 0.7 ~ 1.1
3. 含水比：  $0 \leq w$  (百分比)  $\ll \infty$
4. 飽和度：  $0 \leq S$  (百分比)  $\leq 100$
5. 土粒比重：在 2.65 ~ 2.85 間

### 三、指數性質與指數試驗

(一)指數性質 ( index properties ) 係用於將土壤分類及區分土層層次並且從有限的工程性質試驗中推估同樣材料工程性質，為此目的而發展的試驗，稱為指數試驗 ( index test )。指數試驗包含了下述三大項：

1. 含水比、單位重、比重試驗：一般來說以代表性土樣 ( 擾動或非擾動 ) 之含水量來做為主要層次中材料分類歸類之用。
2. 粒徑分析試驗：除了作為分類之用外，粒徑分析也可以用來處理滲透、排水之問題、濾層與灌漿設計以及凍脹 ( frost heave ) 之估計，這個試驗使得我們能作粗粒土壤工程性質之估計。
3. 阿太堡限度試驗：本試驗除了供土壤分類之用外，尚可做為細粒土壤工程性質之指標，正常壓密粘土壓縮指數  $C_c$ ，可用液性限度  $LL$  來估計，即  $C_c = 0.009 ( LL - 10 )$ ，細粒土壤不排水剪力強度可用塑性指數來估計。

(二)含水比單位重比重試驗

#### 1. 含水比 $w$ 試驗

在土層區分時，含水量為最主要之區分標準，因在相鄰土層間，含水量有明顯的差異故也，雖然含水量極易測得，但其重要性並不因之遜色，比如，由許多研究得知，飽和粘土之剪力強度即與含水量有密切關係。如例 1-1 所示，含水比  $w$  之計算公式為

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c}$$

式中  $W_1$  = 容器與所盛濕土重

$W_2$  = 容器與烘乾土重

$W_c$  = 容器重

#### 2. 比重試驗

土壤比重乃是一定體積之土粒於空氣中重量與同體積之水於  $4^\circ\text{C}$  時重量之比，其測定方法係採用比重瓶法，依下式計算之。

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

式中  $G_T$  = 溫度為  $T$  時，蒸餾水比重

$W_s$  = 乾土重

$W_1$  = ( 比重瓶 + 土 + 水 ) 重量

$W_2$  = ( 比重瓶 + 水 ) 重量

#### 3. 單位重試驗

單位重乃單位體積內土壤重量，其測定法通常測定置於已知體積容器內土壤重量而得之，如夯實、透水、壓密、剪力等試驗之試體，體積均可依容器而定之。

#### 4. 基本性質計算

## 精選試題

一、已知一飽和土樣  $W_1 = W_c + W = 70 \text{ g}$ ，皿重  $W_c = 31.5 \text{ g}$ ， $W_2 = W_c + W_s = 60 \text{ g}$ ， $G_s = 2.69$ ，試求含水比  $w$ ，孔隙比  $e$ ，乾土單位重  $\gamma_d$ ，浸水單位重  $\gamma'$ 。

【答】濕土重  $W = W_1 - W_c = 70 - 31.5 = 38.5 \text{ g}$

乾土重  $W_s = W_2 - W_c = 60 - 31.5 = 28.5 \text{ g}$

含水重  $W_w = W_1 - W_2 = 70 - 60 = 10 \text{ g}$

$$(一) \text{ 含水比 } w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{10}{28.5} = 35.1\%$$

(二) 孔隙比  $e$

由  $Se = wG_s$  一式， $S = 100\%$ ， $G_s = 2.69$ ， $w = 0.351$  代入得

$$e = 0.351 \times 2.69 = 0.944$$

(三) 乾土單位重  $\gamma_d$

由  $\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}$  一式得

$$\gamma_d = \frac{2.69}{(1+0.944)} = 1.38 \text{ g/cm}^3$$

(四) 浸水單位重  $\gamma'$

由  $\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1+w}$  一式得

$$\gamma_{\text{sat}} = \gamma_d (1+w) = 1.38 (1+0.351) = 1.864 \text{ g/cm}^3$$

$$\therefore \gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 1.864 - 1.0 = 0.864 \text{ g/cm}^3$$

二、已知土壤單位重為  $2 \text{ g/cm}^3$ ，含水量  $20\%$ ，飽和度  $90\%$ ，試求土粒比重。

【答】首先由

$$\gamma_m = \frac{\gamma_s}{1+e} (1+w) = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} = \frac{1.2 G_s \gamma_w}{1+e}$$

$$\text{得 } G_s = \frac{2(1+e)}{1.2 \gamma_w} = 1.666 (1+e) \dots\dots\dots ①$$

由  $Se = wG_s$

$$\text{得 } G_s = \frac{Se}{w} = \frac{0.9e}{0.2} = 4.5e \dots\dots\dots ②$$

解①②式得  $e = 0.588$  代入①得  $G_s = 2.646$

三某土壤含水量  $w = 22\%$ ，土粒比重  $G_s = 2.70$ ，孔隙比  $e = 0.65$ ，試求飽和度。

【答】由  $Se = wG_s$

$$\text{得 } S = \frac{0.22 \times 2.70}{0.65} = 0.914 = 91.4\%$$

四土壤體積為  $100 \text{ cm}^3$ ，濕土重  $190 \text{ g}$ ，烘乾後重量  $150 \text{ g}$ ，土粒比重  $2.68$ ，求土壤孔隙比  $e$ ，含水比  $w$ ，飽和度  $S$ 。

【答】統體單位重  $\gamma_m = \frac{190}{100} = 1.9 \text{ g/cm}^3$

$$\text{乾土單位重 } \gamma_d = \frac{150}{100} = 1.5 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{由 } \gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}, \text{ 得 } e = 0.79$$

$$\text{由 } \gamma_d = \frac{\gamma_m}{1+w}, \text{ 得 } w = 0.27$$

$$\text{由 } Se = wG_s, \text{ 得 } S = \frac{0.27 \times 2.68}{0.79} = 0.92 = 92\%$$

五有一飽和粘土樣，進行試驗，原來  $D = 10 \text{ cm}$ ， $H = 3 \text{ cm}$ ，經壓縮後  $D = 10 \text{ cm}$ ， $H = 2.5 \text{ cm}$ 。其  $G_s = 2.7$ ， $w = 50\%$ ，試求：(一)原來飽和單位重 ( $\gamma_{sat}$ )，(二)受壓後單位重，(三)受壓後孔隙比  $e$ 。假設試體體積減少完全是由水排出所致。

【答】依  $\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w$  求  $\gamma_{sat}$ ，但需先求  $e$ 。

$$\text{由 } Se = wG_s, \text{ 得 } e = \frac{wG_s}{S} = 0.5 \times 2.7 = 1.35$$

$$\gamma_{sat} = \frac{2.7 + 1.35}{1 + 1.35} \times 1 = 1.72 \text{ t/m}^3$$

$$\text{由 } \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0}$$