

土壤力學與例題詳解

袁芝編譯



工藝出版社

515-9

0921

土壤力學與例題詳解

潘國棟編譯

工藝出版社

土壤力學與例題詳解

出版者：工藝出版社

地址：九龍旺角上海
街155號三樓

承印者：文英印刷廠

地址：九龍新蒲崗八達街七至九號
均樂工業大廈地下

目 錄

譯 序

第一章 土壤之物理性質與分類

1.1 土壤之構成與密度	1
1.1.1 土壤之構成 1.1.2 土壤顆粒密度與比重 1.1.3 土壤之構成形態間相互之容積比 1.1.4 土壤之單位容積與含水量 1.1.5 相對密度 1.1.6 由實驗求得之數值與各數值之相互關係	
1.2 土壤之粒徑度	30
1.2.1 粒徑度分佈之測定 1.2.2 用沈澱分析法之粒徑度測定 1.2.3 粒徑之區分與土壤依粒徑度之分類 1.2.4 粒徑分佈與其利用	
1.3 土壤之稠度	45
1.3.1 稠度與狀態之限度 1.3.2 Atterberg 限度及諸指數之意義	
1.4 土壤在工程性質上之分類	56
1.4.1 分類特性 1.4.2 分類法與分類基準 1.4.3 AASHO 法與統一分類法之特點 1.4.4 分類結果之利用	

第二章 土質調查

2.1 土質探查試驗	69
2.2 土質探查試驗裝置之種類	70
2.3 土質探查試驗裝置之選擇	70
2.4 主要土質探查試驗之試驗方法	70

第三章 構造物基礎之沈陷與變形

3.1 計算法之適用範圍	84
3.2 土壤之壓縮量計算原理	85
3.3 因構造物載荷所引起地盤內之增加應力	93
3.3.1 垂直方向之集中荷重情形 3.3.2 無限長垂直方向之等分佈荷重	

情形 3.3.3 無限長之等分佈帶狀荷重情形 3.3.4 載荷面爲圓形而荷重爲等分佈之情形 3.3.5 載荷面爲長方形或可分割爲長方形狀且荷重爲等分佈之情形 3.3.6 影響圓法之情形 3.3.7 三角形或梯形分佈之無限長帶狀荷重情形 3.3.8 其他情形	
3.4 構造物基礎沈陷量之計算	113
3.4.1 黏性土層沈陷量之計算 3.4.2 砂層沈陷量之計算 3.4.3 考慮構造物荷重所引起地盤內應力增加之 Skempton 及 Bjerrum 計算法	
3.5 壓實所需時間之計算	125
3.5.1 壓實計算之基本 3.5.2 預測壓實之進行 3.5.3 如 Sand drain 允許水平方向排水之壓實進行	
3.6 利用觀測沈陷—時間曲綫之雙曲綫法	138
第四章 斜坡面之穩定以及在軟弱地盤上填土基礎之穩定	
4.1 計算法之適用範圍	140
4.2 土壤之抗剪	140
4.2.1 由剪斷試驗求得土壤之剪斷強度 4.2.2 軟弱地盤上黏性土壤之剪斷強度	
4.3 斜面之臨界高度與滑動破壞形狀	145
4.4 利用摩擦圓法之圖解法	149
4.5 切片分析法	155
4.6 軟弱地盤上填土基礎之穩定檢討	161
4.6.1 穩定計算之方法 4.6.2 瞬間載荷條件之穩定計算 4.6.3 考慮基礎地盤因壓實而增加強度之穩定計算	
4.7 複合滑動面之解析	186

第五章 壁體之穩定

5.1 Rankine 之土壓	194
5.2 Coulomb 之土壓	211
5.2.1 Poncelet 之圖解法 5.2.2 Culman 之圖解法 5.2.3 土質爲黏性土，且在載荷時之一般解法 5.2.4 Coulomb 土壓之公式解析	
5.3 擁壁之設計	221
5.4 作用於板樁之土壓	230
5.4.1 作用於擋土牆之土壓 5.4.2 岸壁板樁之穩定計算	

5.5 作用於地下壁之土壓	242
5.6 地震時之土壓	246
5.6.1 地表面無載荷重情形	
5.6.2 地表面作用等分佈荷重情形	

第六章 構造物基礎之支承力 254

6.1 構造物基礎之形式與支承力	254
6.2 淺基礎之支承力	256
6.2.1 Terzaghi 之支承力公式	
6.2.2 Meyerhof 之支承力公式	
6.2.3 黏性土地盤基礎之支承力公式	
6.2.4 承受傾斜荷重及偏心荷重情形之支承力公式	
6.2.5 考慮容許沈陷量之容許地耐力計算	
6.3 樁基礎之支承力	274
6.3.1 樁基礎種類及對設計所考慮之基本要點	
6.3.2 關於單樁之軸方向壓入支承力靜力學公式	
6.3.3 單樁在軸方向之打樁公式	
6.3.4 單樁在軸方向引拔力之靜力學公式	
6.3.5 摩擦樁之支承力及群樁之效果	
6.3.6 承受軸直角方向荷重之樁	

第七章 作用於地下埋設物之土壓 300

7.1 地下埋設物之形式、材質及土壓之種類	300
7.2 埋設情形與土壓	301
7.2.1 溝形情形之土壓	
7.2.2 正突出情形之土壓	
7.2.3 負突出情形之土壓	
7.2.4 不完全溝形情形之土壓	
7.2.5 溝形情形與正突出情形之界限	
7.2.6 依隧道開挖方式施工時作用於地中構造物之土壓	
7.3 上載荷重之影響	312

第八章 填體與遮水構造物之漏水及排水 315

8.1 滲透係數	315
8.2 影響滲透係數之諸因素	316
8.3 滲透係數之測定	322
8.4 層土之滲透係數	325
8.5 流網	328
8.6 滲透水量	335
8.7 滲透水壓與流砂現象	341

8.7.1 滲透水壓 8.7.2 流砂現象 8.7.3 瀘層砂之粒度 8.7.4 潛
變比

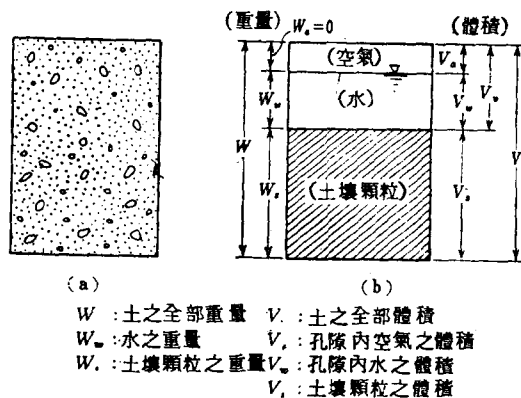
第九章 地下水之流動 351

9.1 在工地計算滲透係數.....	351
9.1.1 由地下水流速求滲透係數之方法	
9.1.2 簡易抽水試驗（其一）	
9.1.3 簡易抽水試驗（其二）	
9.1.4 抽水試驗（其一）	
9.1.5 抽水試驗（其二）	
9.2 淤水層試驗.....	373
9.2.1 平衡式	
9.2.2 非平衡式	
9.2.3 集水影響半徑之計算	
9.3 集水暗渠之湧水量.....	389
各章參考資料	394

第一章 土壤之物理性質與分類

1.1. 土壤之構成與密度

1.1.1. 土壤之構成 如第1.1圖 (a) 所示，土壤係由具有各種粒徑之礦物質顆粒（有時亦含有機物）所聚集而成，若擬將土塊之狀態以容積表示，如第1.1圖 (b) 所示，將分為空氣、水、土壤顆粒之三種，則其處理甚方便。



第1.1圖 表示土壤之構成形態圖

土壤之構成狀態內，由空氣和水所佔居部份，稱為孔隙。

圖示者，為表示一般構成形態，僅表示包含空氣之狀態者，其實孔隙內充滿水份而無空氣之狀態者亦有。

因而，由於空氣之有無存在，稱為土壤之飽和與不飽和。

在土壤力學上，孔隙容積與土壤顆粒容積之比，水之重量與土壤顆粒重量之比，或者對全部容積之土壤顆粒重量比等，求各形態相互間之比，藉此等值研究土壤之狀態，或利用為設計數值者甚多。

2 土壤力學與例題詳解

1.1.2 土壤顆粒密度與比重 土壤顆粒之密度，乃土壤顆粒實質部份之單位容積重量，以下式表示之。

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad [\text{g/cm}^3] \quad (1.1)$$

【註】雖與一般固體物質之密度在本質上無任何不同，但土壤之情形乃因其構成係由顆粒之聚集所成，每個顆粒之合計容積及重量，則與其他物質不同之處。又每個顆粒不一定為均勻物質，所求得之數值並非每個土壤顆粒密度，是為其平均值。

4〔°C〕之純水密度 γ_w (4 °C) 與土壤顆粒密度 γ_s 之比，稱為土壤顆粒之比重，以下式表示之。

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w (4^\circ\text{C})} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w (4^\circ\text{C})} \quad (1.2)$$

土壤顆粒之比重，在 2.00 ~ 3.00 之範圍內，通常以 2.65 ~ 2.85 者為多。

G_s 之值，為將在後述之求土壤孔隙體積等所需要之基本數字。

1.1.3 土壤之構成形態間相互之容積比 土壤之容積，可由第 1.1 圖 (b) 示知，由下式表示之。

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (1.3)$$

又表示土壤之構成形態間相互之容積比者，有如下述所示。

(a) 孔隙比與孔隙率 孔隙容積與土壤顆粒容積之比值，稱為孔隙比又孔隙容積與土壤全部容積之比，稱為孔隙率，以下式表示之。

$$\left. \begin{aligned} e &= \frac{V_v}{V_s} \\ n (= v_v) &= \frac{V_v}{V} \times 100 [\%] \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

又 e, n 兩者之關係如下：

$$e = \frac{n}{100 - n} \quad \left. \right\}$$

$$n = \frac{e}{1+e} \times 100 \quad (1.5)$$

【備註】 n 為百分比，習慣上 e 係以實數表示。舉例言之，今如考慮 V_v 與 V_s 相等，則 e 為 1.0 而 n 為 50〔%〕。 n 雖不超過 100〔%〕，但 e 值有時超過 1.0，尤其在細顆粒之土壤，通常表示 1.0 以上之值為多。

(b) 空氣孔隙率、水孔隙率及土壤顆粒容積率各形態之容積對土壤全部容積比，稱為空氣孔隙率 V_a ，水孔隙率 V_w 及土壤顆粒容積率 V_s ，以下列各式表示之。

$$\left. \begin{aligned} v_a &= \frac{V_a}{V} \times 100 [\%] \\ v_w &= \frac{V_w}{V} \times 100 [\%] \\ v_s &= \frac{V_s}{V} \times 100 [\%] \\ v_s + v_w &= v_s + v_a + v_w = 100 \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

【備註】 此種容積比之表示，雖不如 e ， n 常用，但舉例言之， v_a 在研究夯實土壤之狀態時很有用，可代替下述之飽和度 S_r 使用。

(c) 飽和度 即水之容積與孔隙容積之比，稱為飽和度，以下式表示之。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 [\%] \quad (1.7)$$

【備註】 飽和度之變化，可由 0 至 100〔%〕。 $S_r = 100$ 〔%〕之狀態，為飽和土； $S_r = 0$ 〔%〕，為完全乾燥狀態之土壤。

S_r 在 0 與 100〔%〕間之狀態者，稱為部份飽和土，或不飽和土。

1.1.4. 土壤之單位容積與含水量 土壤單位容積之重量，稱為土壤之密度。

土壤顆粒重量與孔隙中之水 ($W_s + W_w = W$) 合併考慮時，稱為潤濕單位容積重量 (潤濕密度) γ ，如僅考慮土壤顆粒 (W_s) 時，則稱為乾燥單位容

4 土壤力學與例題詳解

積重量（乾燥密度） γ_d ，以下式表示之。

$$\left. \begin{aligned} \gamma_t &= \frac{W}{V} \text{ [g / cm}^3 \text{]} \\ \gamma_d &= \frac{W_s}{V} \text{ [g / cm}^3 \text{]} \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

【備註】就孔隙容積一定之土壤而言，孔隙中水量如變化，則潤濕密度起變化。即乾燥密度乃外表上表示土壤在其狀態之最小密度，飽和時之潤濕密度係表示土壤之最大密度。

γ_d 隨全部容積中土壤顆粒所佔容積愈多，其值愈大，即土壤顆粒愈密， γ_d 值愈大。

土壤之乾燥密度與孔隙比之關係，可由下式表示之。

$$\left. \begin{aligned} \gamma_d &= \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \\ \text{或者} \\ e &= G_s \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - 1 \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

土壤所含水之重量 W_w 與土壤顆粒重量 W_s 之比，稱為含水比。

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \text{ [\%]} \quad (1.10)$$

【備註】在此所謂含水，乃包圍土壤顆粒周圍之水，亦即指孔隙中之自由水及粘着水。如就土壤全部考慮時，除上述以外，尚有例如構成土壤顆粒之礦物質內結晶水等。在含水量之試驗時，規定乾燥溫度（110〔°C〕）之原因，其主要目的係為防止結晶水之游離。

1.1.5. 相對密度 關於孔隙比或者密度，由於土壤之種類而具有某種幅度。

為判斷土壤之狀態是密實或鬆弛，在該項土壤之孔隙比或密度之範圍內比較其值之大小則可。

設土壤之孔隙比為 e ，乾燥密度為 γ_d ，同樣土壤最密實狀態之孔隙比為 $e_{\min}$ ，乾燥密度為 $\gamma_{d_{\max}}$ ，最鬆弛狀態之孔隙比為 $e_{\max}$ ，乾燥密度為

γ_{dmin} ，則其相對密度可由下式表示之。

$$\left. \begin{aligned} D_r &= \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \\ \text{或者} \\ D_r &= \frac{1/\gamma_{dmin} - 1/\gamma_d}{1/\gamma_{dmin} - 1/\gamma_{dmax}} \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

【備註】 D_r 值在 0~1 之範圍內，0 時為最鬆弛狀態，1 時為最密實狀態，通常 D_r 適用於如砂或砂礫之粗顆粒土壤，以下述之區分而可判定土壤之粗密度。

$D_r = 0 \sim 0.33$ 鬆弛之狀態

$D_r = 0.33 \sim 0.70$ 普通之狀態

$D_r = 0.70 \sim 1.00$ 密實之狀態

1.1.6. 由實驗求得之數值與各數值之相互關係 為求得上述土壤形態之容積比或重量比，必須悉知各數值。

但例如孔隙容積之數值，不能直接自實驗求得，因此，此等數值甚難實測，抑或不能實測者，需自既知之數值經計算而獲悉。下面將容易實測之數值與由計算始可獲得之數值分別述明。

(a) 由實驗求得之數值

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| (1) 潤濕土壤之重量 (W) | } 未經攪亂之試驗材料，或者在模盤內搗固之試驗材料。 |
| (2) 乾燥土之重量 (W_s) | |
| (3) 成塊者之容積 (V) | |
| (4) 土壤顆粒之比重 (G_s) | } 經攪亂之試驗材料。 |
| (5) 土壤之含水量 (w) | |

【註】 γ_w : 水之單位容積重量， γ_w 因依溫度而起變化，故照理應依 (1.2) 式而規定溫度，但在土壤力學，實用上取 $\gamma_w \approx 1$ [g/cm³] 幾乎無妨礙。

(b) 由計算求得之數值

(1) W_s 與 V_s ; γ_d 與 v . W_s 雖可將土壤用火爐乾燥後則可求得，但如已知濕土重量 W 與含水比 w 時，可由下式求得。

$$W_s = \frac{100W}{100+w} \text{ [g]}, \quad \gamma_d = \frac{100\gamma_t}{100+w} \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad (1.12)$$

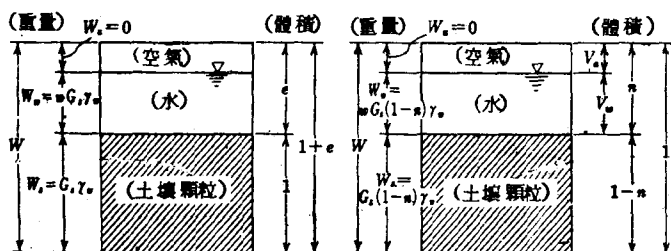
又 V_s, v_s 可藉 $W_s, \gamma_d, G_s, \gamma_w$ 並經 (1.2) 式求得如下。

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_w G_s} \text{ [cm}^3\text{]}, \quad v_s = \frac{\gamma_d}{\gamma_w G_s} \times 100 \text{ [%]} \quad (1.13)$$

(2) V_s 與 V_w 及 V_a ; $v_v (=n)$ 與 v_w 及 v_a

$$\left. \begin{aligned} V_s &= V - V_w = V - \frac{W_s}{\gamma_w G_s} \text{ [cm}^3\text{]}, \quad v_s = 100 - v_w \text{ [%]} \\ V_w &= \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{W - W_s}{\gamma_w} \text{ [cm}^3\text{]}, \quad v_w = \frac{\gamma_d}{\gamma_w} w \text{ [%]} \\ V_a &= V_s - V_w = \left(V - \frac{W_s}{\gamma_w G_s} \right) - \left(\frac{W - W_s}{\gamma_w} \right) \text{ [cm}^3\text{]} \\ v_a &= v_s - v_w \text{ [%]} \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

(c) 各定數之相互關係 由第 1.2 圖可獲悉各定數之相互關係如下式表示。



(a) 以土壤顆粒體積為基準者

(b) 以土之全部體積為基準者

第 1.2 圖 各形態之數值關係

(1) e 或 n 及 G_s 為已知時之 v_s, γ_s

$$\left. \begin{aligned} v_s &= 100 - n = \frac{100}{1+e} [\%] \\ \gamma_d &= G_s \cdot \frac{100-n}{100} \gamma_w = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

(2) e 或 n 及 S_r 爲已知時之 W_w/V 與 w

(i) 飽和時

$$\frac{W_w}{V} = \frac{n}{100} \gamma_w = \frac{e}{1+e} \gamma_w$$

(ii) 不飽和時

$$\frac{W_w}{V} = \frac{n}{100} S_r \gamma_w = \frac{S_r e}{1+e} \gamma_w$$

$$w = S_r \cdot \frac{e}{G_s}$$

(1.16)

【註】在飽和土 ($S_r = 100 [\%]$)， $w = 100 e / G_s$ 。

(3) e ， G_s 及 S_r 爲已知各條件下之 γ_t

(i) 飽和土之 γ_t

$$\gamma_t^{(sat)} = \left(G_s \cdot \frac{100-n}{100} + \frac{n}{100} \right) \gamma_w = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w$$

(ii) 水浸濕條件下之 γ_t

$$\gamma_t^{(sub)} = \gamma_t^{(sat)} - \gamma_w = (G_s - 1) \frac{100-n}{100} \gamma_w = \frac{G_s - 1}{1+e} \gamma_w \quad (1.17)$$

(iii) 不飽和土之 γ_t

$$\gamma_t = \frac{G_s + S_r e}{1+e} \gamma_w = \frac{G_s (1+w)}{1+e} \gamma_w \quad (\because w G_s = S_r e)$$

【例題 1.1】爲求 V_s (土壤顆粒容積)， V_w (所含水之容積)， V_v (孔隙容積) 及 V_a (空氣孔隙容積)，需悉知何種數值？又此等數值用何種

方法可測定？

【解】 由 (1.13) 式及 (1.14) 式可悉知。

V_v : 求 W_s , G_s , γ_w , 由 $V_v = W_s / (G_s \gamma_w)$ 而計算。

V_o : 知 V 與 V_v , 由 $V - V_v = V_o$ 求之。

V_w : 將 W_w 由 $(W - W_s)$ 求之, 由 W_w / γ_w 而計算。

V_a : 知 V_o 與 V_w , 由 $V_a = V_o - V_w$ 而計算。

由上述事項, 為悉知各數值, 應先測定下表之數值。

又各數值可用下表右欄所示方法測定。

必須測定之數值	測定方法
土塊之容積 V	塊狀而可整形者, 塑成立方體或圓筒形而求之。 不易整形者, 或者需在當地稱量者, 用置換法求之。
土塊之重量 W	土塊容積 V 全部予以稱量。
土壤顆粒之比重 G_s	用 JIS A 1203 之方法測量。
土壤顆粒全部重量 W_s	將土塊乾燥後, 其全部重量予以稱量。 如土壤之含水比為已知, 則由 $W_s = \frac{100W}{100+w}$ 可求得。
水之密度 γ_w	$\gamma_w \doteq 1$ [g/cm ³] (因溫度而異, 請參考物理定數表)

【例題 1.2】試證明 e , n , S_r 及 γ_d 可由下式表示。

$$(1) e = \frac{\gamma_w G_s}{\gamma_d} - 1 \quad (2) n = \frac{e}{1+e} \times 100$$

$$(3) S_r = \frac{w G_s}{e} \quad (4) \gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e}$$

【解】

$$(1) e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1$$

$$\text{因 } V_s = (G_s \gamma_w) / W_s,$$

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

但 $V/W_s = 1/\gamma_s$

$$\text{故 } e = \frac{\gamma_w G_s}{\gamma_s} - 1$$

$$(2) \quad n = \frac{V_v}{V} \times 100 = \frac{V_v}{V_s + V_v} \times 100 = \frac{V_v/V_s}{1 + (V_v/V_s)} \times 100$$

因 $V_v/V_s = e$,

$$\text{故 } n = \frac{e}{1 + e} \times 100$$

$$(3) \quad w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{\gamma_w V_w}{\gamma_s V_s G_s} \times 100$$

因 $V_w = (S_r / 100) V_s$,

$$w = \frac{V_s S_r}{V_s G_s}$$

而 $V_v/V_s = e$

$$w = e \frac{S_r}{G_s} \quad \therefore S_r = \frac{w G_s}{e}$$

$$(4) \quad \gamma_s = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{V_s + V_v}$$

今設 $V_s = 1$,

則 $V_v = V - V_s = (e + 1) - 1 = e$, $W_s = G_s \gamma_s$

$$\therefore \gamma_s = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$$

【例題 1.3】 已知土壤 7 種類之數值如次表所填列者，試求各試料之空白部份數值。

各要素 試料 No.	γ_t [g/cm ³]	γ_s [g/cm ³]	G_s	w [%]	e	n [%]	S_r [%]	V [cm ³]	W [g]	W_s [g]
1	1.64	()	()	0	0.62	()	()	—		
2	()	()	2.686	84.95	()	70.45	()	—		

3	1.73	()	2.717	()	1.22	()	()	—		
4	()	()	2.695	()	()	60.88	98.48	—		
5	1.34	()	2.716	()	()	()	()	56.52	75.50	39.88
6	()	()	2.650	()	0.89	()	100	86.00	126.00	()
7	1.77	1.25	2.720	()	()	()	()	()	168.85	119.40

【解】No. 1 試料之情形：

(1) 由於 $w = 0$, $S_r = 0$, 又 $\gamma_t = \gamma_d = 1.64$ [g/cm³]

(2) 因 $n = \{e / (1+e)\} \times 100$, $n = 62 / (1+0.62) = 38.27$ [%]

(3) $G_s = \gamma_d (1+e) / \gamma_w$, $G_s = 1.64 (1+0.62) / 1.0 = 2.650$

其他試料之情形同樣可求得各數值，依序計算，可得如下表：

	γ_t	γ_d	G_s	w	e	n	S_r	V	W	W_s
1		1.64	2.650			38.27	0			
2	1.47	0.79			2.38		95.71			
3		1.23		40.73		54.89	90.93			
4	1.65	1.06		56.86	1.56					
5		0.71		89.33	2.85	74.01	85.16			
6	1.46	1.10		33.58		47.08				94.32
7				41.41	1.17	53.85	95.51	95.14		

【例題 1.4】試證明土壤之密度依 (1) 不飽和，(2) 飽和，(3) 浸水，之各狀態而可用下列各式表示。

$$(1) \gamma_t = \frac{\left(\frac{eS_r}{100} + G_s\right) \gamma_w}{1+e} \quad \text{或} \quad \gamma_t = \frac{(w+100) \gamma_w G_s}{100(1+e)}$$

$$(2) \gamma_{t(\text{sat})} = \frac{(e+G_s) \gamma_w}{1+e}$$

$$(3) \gamma_{t(\text{sub})} = \frac{(G_s - 1) \gamma_w}{1+e}$$

【解】土壤之構成各部容積及重量可表示如下：