

86.11
HRJ
2

86.11
HRJ
2

土 壤 力 學

Soil Mechanics

SI 版

(下 冊)

原著者：T. William Lambe
Robert V. Whitman

譯述者：洪 如 江 郭 俊 良 徐 裕 昌
詹 勳 山 馬 堅 志 何 鏗 鏘
楊 彰 文 趙 國 華

科技圖書股份有限公司

土 壤 力 學

Soil Mechanics

SI 版

(下 冊)

原著者：T. William Lambe
Robert V. Whitman

譯述者：洪 如 江 郭 俊 良 徐 裕 昌
詹 勳 山 馬 堅 志 何 鏗 鏘
楊 彰 文 趙 國 華

科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：土壤力學(下冊)
原著者：Lambe and Whitman
譯述者：洪如江等
發行人：趙國華
發行者：科發圖書股份有限公司
台北市博愛路185號二樓
電話：3110953
郵政劃撥帳號：15697

六十八年八月初版
六十九年十二月三版 特價新台幣110元

目 錄

原 序

國際制版序

第一篇 導 論

	頁數	譯 者
第 一 章 土木工程中的土壤問題·····	3	洪如江
第 二 章 土壤行為簡介·····	28	趙國華

第二篇 土壤的本質

第 三 章 土粒組合的描述·····	41	洪如江	郭俊良
第 四 章 土粒的描述·····	59	徐裕昌	郭俊良
第 五 章 土粒間的垂直正應力·····	73	徐裕昌	郭俊良
第 六 章 土粒間的剪力抵抗·····	89	徐裕昌	郭俊良
第 七 章 土壤的形成·····	108	徐裕昌	郭俊良

第三篇 乾土壤

第 八 章 土體內的應力·····	141	詹勳山	洪如江
第 九 章 應力 - 應變性質的試驗方法·····	170	詹勳山	洪如江
第 十 章 應力 - 應變性質的試驗方法·····	180	詹勳山	洪如江
第 十 一 章 非粘性土壤的剪力強度·····	204	馬堅志	郭俊良
第 十 二 章 應力 - 應變的關係·····	228	馬堅志	郭俊良
第 十 三 章 擋土結構與邊坡·····	249	馬堅志	郭俊良
第 十 四 章 淺基礎·····	303	馬堅志	郭俊良
第 十 五 章 土壤的動力載荷·····	355	馬堅志	郭俊良

第四篇 土內水 - 不流或恒流

第十六章	有效應力	375	何鏗鏘	郭俊良
第十七章	單向度的流體流動	392	何鏗鏘	郭俊良
第十八章	二向度的流體流動	418	何鏗鏘	郭俊良
第十九章	土壤透水性及濾層的必備條件	445	何鏗鏘	郭俊良
第二十章	排水式應力 - 應變性質通論	467		洪如江
第二十一章	排水式剪力強度	481		郭俊良
第二十二章	充分排水情形下的應力 - 應變 關係	504		郭俊良
第二十三章	有排水狀況存在的擋土結構	519	楊彰文	趙國華
第二十四章	有排水狀況的邊溝	560	楊彰文	趙國華
第二十五章	排水淺基礎	600	楊彰文	趙國華

第五篇 土內水 - 瞬流

第二十六章	不排水式荷重後所發生的孔隙壓力	625	何鏗鏘	趙國華
第二十七章	壓密理論	650	洪如江	何鏗鏘
第二十八章	充分排水與不排水的應力 - 應變 性質	680	詹勳山	趙國華
第二十九章	不排水剪力強度	706	詹勳山	趙國華
第三十章	不排水情況下的應力 - 應變關係	734	詹勳山	趙國華
第三十一章	排水狀況下的擋土結構與土壤邊 坡	748	詹勳山	趙國華
第三十二章	不排水情況的淺基礎	780	詹勳山	趙國華
第三十三章	深基礎	803	詹勳山	趙國華
第三十四章	土壤的改良	828	詹勳山	趙國華
附 錄	A 符號	845		趙國華
附 錄	B 換算	865		趙國華
附 錄	C 參考資料	875		趙國華

第十九章

土壤滲透性與濾層的必備條件

在第十七章及第十八章中已經說過，當土壤涉及水流問題時，其有關的基本性質為滲透性（permeability）。本章將敘述如何求得土壤的滲透性，討論影響滲透性的因素，最後並考慮濾層（filters）。我們所以在此討論濾層，是因為濾層的工程性質與滲透性有非常密切的關係。

19.1 如何決定滲透性

土壤的滲透性，可在實驗室及野外加以測定。不過在實驗室中測定滲透性，要比在野外測定來得方便。因為土壤的滲透性與土壤的結構有很大的關係（包括微體的結構——土壤顆粒的排列以及整體的結構——如土壤的層理），而且難以取得具代表性的土樣。因此，滲透性的野外測度，其目的在求得平均滲透的良好指標。因為在實驗室中可求出滲透性與孔隙比的關係。因此，不論是否已經在野外做過滲透性的測定，最好在實驗室中再做一次。

實驗室中用以測定滲透性的方法包括：

1. 用落水頭（或稱變水頭）滲透計測定之。
2. 用定水頭滲透計測定之。
3. 在壓密試驗中直接或間接測定滲透性。

用變水頭計（variable-head permeameter）時，滲透性必須較大才能測得準確結果。所以，此法只能用於滲透性良好的土壤，而且，在試驗進行時，若所用土樣並非完全飽和，則其飽和度會改變。因此，這種方法也只能用於飽和土樣。又因壓密試驗（oedometer tests）通常只施於塑性土壤。

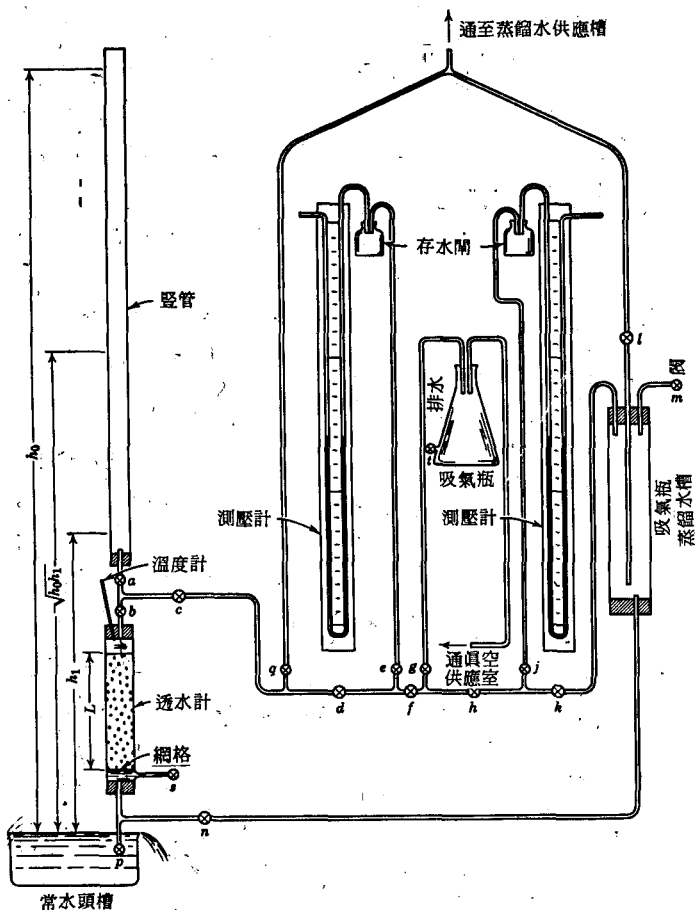


圖 19.1 變水頭滲透性試驗裝置

由壓密試驗以測定滲透性之法，只適用於低滲透性土壤。通常用以測定滲透性的方法是定水頭法（constant head permeability test）。此法可廣用於任何種類的土壤。

圖 19.1 所示為變水頭法所用的裝置。滲透係數（coefficient of permeability）可由下式求得

$$k = 2.3 \frac{aL}{A(t_1 - t_0)} \cdot \log_{10} \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \quad (19.1)$$

式中； a = 豎管的橫斷面積

L = 滲透計中土樣的長度

A = 滲透計的橫斷面積

t_0 = 當豎管中水平面高度為 h_0 的時間

t_1 = 當豎管中水平面高度為 h_1 的時間

h_0, h_1 = 用以測定滲透性的水頭。

圖 19.2 所示為定水頭法所用的兩種裝置。滲透係數可由下式求得

$$k = \frac{QL}{thA} \quad (19.2)$$

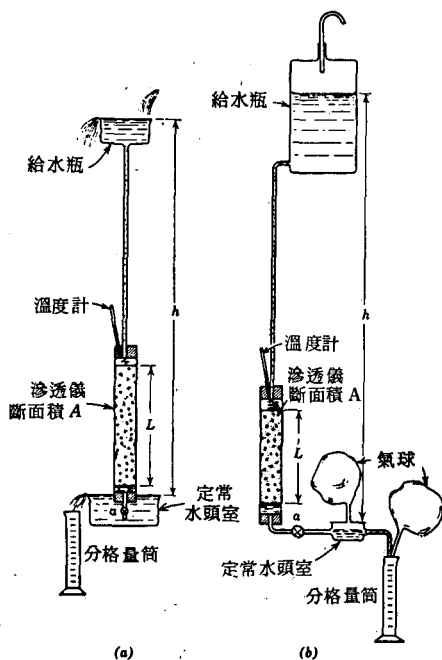


圖 19.2 常水頭滲透性試驗裝置

式中； Q = 在 t 時間內，流過土樣的總水量

h = 水頭損失重

公式 19.1 與公式 19.2 都是用 Darcy's 定律，即公式 17.1 導出。適用於滲透計中的水流狀況。

當溫度為 T 時的滲透係數 k_T ，可用下式轉換為溫度 20°C 時的滲透係數 $k_{20^\circ\text{C}}$ 。

$$k_{20^\circ\text{C}} = \frac{\mu_T}{\mu_{20^\circ\text{C}}} k_T \quad (19.3)$$

式中； $k_{20^\circ\text{C}}$ = 溫度為 20°C 時的滲透係數

k_T = 溫度為 T 時的滲透係數

$\mu_{20^\circ\text{C}}$ = 溫度為 20°C 時水的滯粘度 (viscosity)

μ_T = 溫度為 T 時水的滯粘度

如同本書第五篇所討論的，土壤的壓密速率，與滲透係數具直接的關係。因此，使用適當的方法，可由量得的壓密速率求出土壤的滲透係數。但在壓密速率 - 滲透係數的關係式中，除了滲透係數之外，尚有其他因素牽涉在內。因此，由壓密試驗求出的滲透係數並不十分準確。這些因素很難求得正確答案。每當一個壓縮增量完成之後，可用定水頭法，對土樣直接測定滲透係數。像這樣直接由土樣測得的滲透係數，要比由壓密速率記錄換算所得的正確得多。

若由土壤直接量取滲透係數時，圖 19.2 中所用的儀器，必須作一些修正，以便求得更理想答案。圖 19.3 所示的儀器，用於測定滲透係數時，——即使是用來測定高塑性粘土——有十分令人滿意的結果。

在試驗室中用來測定滲透係數的方法是十分直截了當。不過在試驗的過程中必須十分小心，才能得到可靠結果。有關此種試驗的細節，可參考 Lambe (1951) 的著作。

圖 19.4 所列為 Hvorslev (1949) 所設計的儀器，可用在野外測定滲透係數。不過，在野外測定滲透係數所得結果並不準確，因為無法確定所要測定滲透係數的位置的土壤及水分的確實存在情形。

19.2 一般土壤的滲透係數值

表 19.1 列出一般土壤的滲透係數值。表 19.2 乃根據滲透係數將土壤

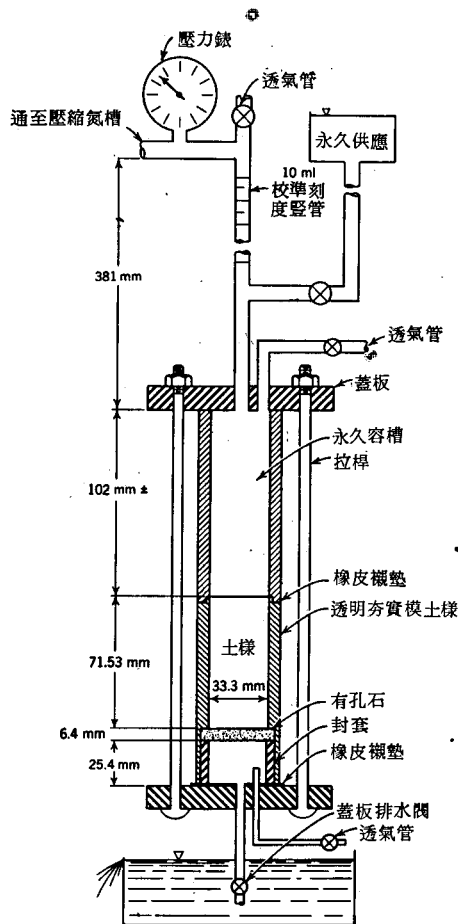
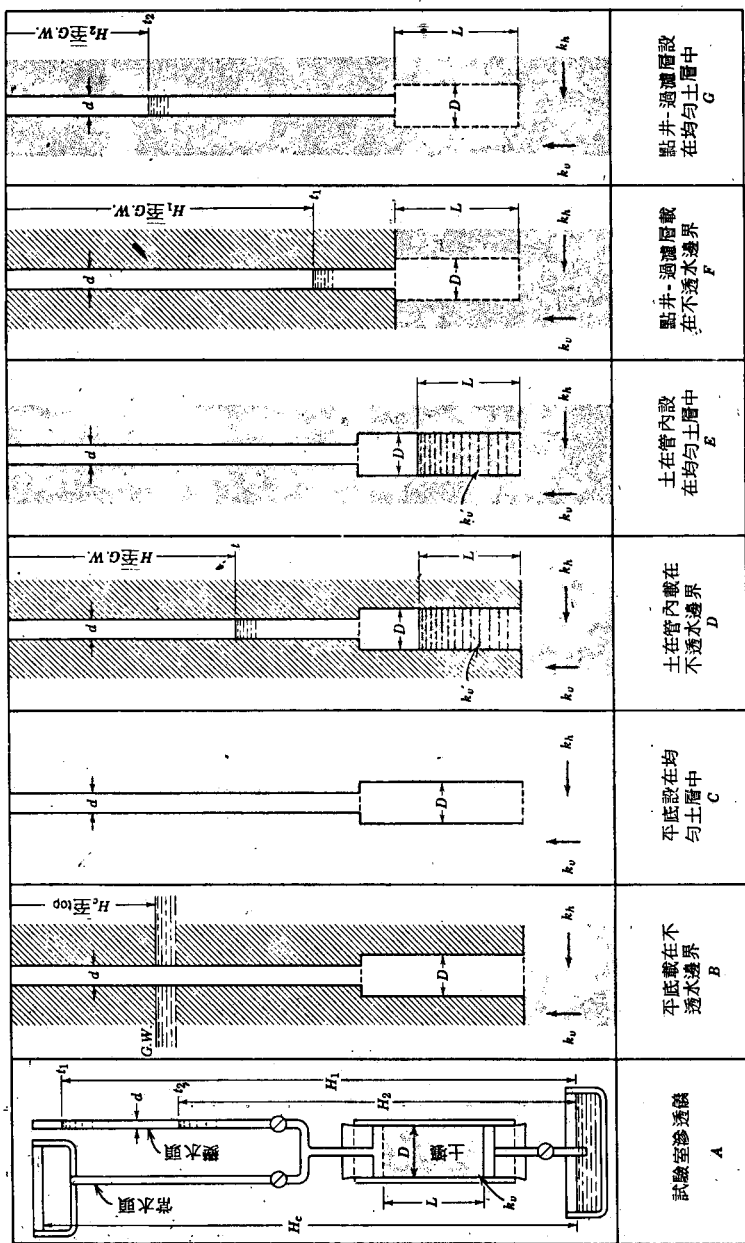


圖 19.3 滲透性試驗裝置

給以分類。圖 19.5 所列為在試驗室中對各種不同土壤測得的滲透係數記錄。讀者也可從下一節所列出的數據得到土壤滲透性的概括印象。

19.3 影響滲透性的因素



類別	常水頭	變水頭	基本時間滯後	符 號
A	$k_v = \frac{4 \cdot q \cdot L}{\pi \cdot D^3 \cdot H_c}$	$k_v = \frac{d^3 \cdot L}{D^3 \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ $k_v = \frac{L}{t_2 - t_1} \ln \frac{H_1}{H_2}$ 當 $d = D$	$k_v = \frac{d^3 \cdot L}{D^3 \cdot T}$ $k_v = \frac{L}{T}$ 當 $d = D$	D = 入口，土壤直徑 (cm) d = Diameter, s' and (cm) L = 入口，土壤長度 (cm) H_0 = 常壓力頭 (cm) $H_1 = t = t_1$ 時的壓力頭 (cm) $H_2 = t = t_2$ 時的壓力頭 (cm) q = 流量 — (cm ³ /sec) t = 時間 (sec) T = 基本時間滯後 (秒) k_v' = 管內垂直滲透 (cm/sec)
B	$k_m = \frac{q}{2 \cdot D \cdot H_c}$	$k_m = \frac{\pi \cdot d^2}{8 \cdot D \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ $k_m = \frac{\pi \cdot D}{8 \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ 當 $d = D$	$k_m = \frac{\pi d^2}{8 \cdot D \cdot T}$ $k_m = \frac{\pi \cdot D}{8 \cdot T}$ 當 $d = D$	
C	$k_m = \frac{q}{2.75 \cdot D \cdot H_c}$	$k_m = \frac{\pi \cdot d^2}{11 \cdot D \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ $k_m = \frac{\pi \cdot D}{11 \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ 當 $d = D$	$k_m = \frac{\pi \cdot d^2}{11 \cdot D \cdot T}$ $k_m = \frac{\pi \cdot D}{11 \cdot T}$ 當 $d = D$	
D	$k_v' = \frac{4 \cdot q \left(\frac{\pi}{8} \cdot \frac{k_v' \cdot D}{k_v \cdot m} + L \right)}{\pi \cdot D^3 \cdot H_c}$	$k_v' = \frac{d^3 \cdot \left(\frac{\pi}{8} \cdot \frac{k_v' \cdot D}{k_v \cdot m} + L \right)}{D^3 \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ $k_v = \frac{\pi \cdot D}{8 \cdot m} + L \ln \frac{H_1}{H_2}$ 當 $\left\{ \begin{matrix} k_v' = k_v \\ d = D \end{matrix} \right.$	$k_v' = \frac{d^3 \cdot \left(\frac{\pi}{8} \cdot \frac{k_v' \cdot D}{k_v \cdot m} + L \right)}{D^3 \cdot T}$ $k_v = \frac{\pi \cdot D}{8 \cdot m} + L$ 當 $\left\{ \begin{matrix} k_v' = k_v \\ d = D \end{matrix} \right.$	k_v = 地內垂直滲透 (cm/sec) k_h = 地內水平滲透 (cm/sec) k_m = 平均滲透係數 (cm/sec) m = 換算比 $k_m = \sqrt{k_h \cdot k_v}$ $m = \sqrt{k_h/k_v}$ $\ln = \log_e = 2.3 \log_{10}$
E	$k_v' = \frac{4 \cdot q \cdot \left(\frac{\pi}{11} \cdot \frac{k_v' \cdot D}{k_v \cdot m} + L \right)}{\pi \cdot D^3 \cdot H_c}$	$k_v' = \frac{d^3 \cdot \left(\frac{\pi}{11} \cdot \frac{k_v' \cdot D}{k_v \cdot m} + L \right)}{D^3 \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ $k_v = \frac{\pi \cdot D}{11 \cdot m} + L \ln \frac{H_1}{H_2}$ 當 $\left\{ \begin{matrix} k_v' = k_v \\ d = D \end{matrix} \right.$	$k_v' = \frac{d^3 \cdot \left(\frac{\pi}{11} \cdot \frac{k_v' \cdot D}{k_v \cdot m} + L \right)}{D^3 \cdot T}$ $k_v = \frac{\pi \cdot D}{11 \cdot m} + L$ 當 $\left\{ \begin{matrix} k_v' = k_v \\ d = D \end{matrix} \right.$	
F	$k_h = \frac{q \cdot \ln \left[\frac{2mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{2mL}{D} \right)^2} \right]}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot H_c}$	$k_h = \frac{d^2 \cdot \ln \left[\frac{2mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{2mL}{D} \right)^2} \right]}{8 \cdot L \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ $k_h = \frac{d^2 \cdot \ln \left(\frac{4mL}{D} \right)}{8 \cdot L \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ 當 $\frac{2mL}{D} > 4$	$k_h = \frac{d^2 \cdot \ln \left[\frac{2mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{2mL}{D} \right)^2} \right]}{8 \cdot L \cdot T}$ $k_h = \frac{d^2 \cdot \ln \left(\frac{4mL}{D} \right)}{8 \cdot L \cdot T}$ 當 $\frac{2mL}{D} > 4$	
G	$k_h = \frac{q \cdot \ln \left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D} \right)^2} \right]}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot H_c}$	$k_h = \frac{d^2 \cdot \ln \left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D} \right)^2} \right]}{8 \cdot L \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ $k_h = \frac{d^2 \cdot \ln \left(\frac{2mL}{D} \right)}{8 \cdot L \cdot (t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ 當 $\frac{mL}{D} > 4$	$k_h = \frac{d^2 \cdot \ln \left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D} \right)^2} \right]}{8 \cdot L \cdot T}$ $k_h = \frac{d^2 \cdot \ln \left(\frac{2mL}{D} \right)}{8 \cdot L \cdot T}$ 當 $\frac{mL}{D} > 4$	基本滯後時間 T 的定出

假定

土在入口，無窮深，等方向性 (k_v 與 k_h 不變)。土未擾亂，分散，膨脹或壓密。無沉澱或漏失。土內不含空氣或氣體，井點 (well point) 或管子。管內，井點及過濾層內的水壓頭損失不計

圖 19.4 決定滲透性公式表 (自 Hvorslev, 1949)

表 19.1 一般自然形成土壤的滲透係數

形 成	k 值 (mm/sec)
河流沖積	
萊茵，根尼雪	高達 4.0
阿爾卑士山東側溪流	0.2 ~ 1.6
米蘇里河	0.2 ~ 2.0
密西西比	0.2 ~ 1.2
冰河沖積	
橫流積土平原	0.5 ~ 20
西鄉，麻州冰河砂灘	0.1 ~ 1.3
三角洲，奇可比，麻州	0.001 ~ 0.15
漂零土	小於 0.001
風積土	
砂丘	1 ~ 3
黃土	0.01 ±
黃土壤	0.001 ±
內湖與海灘沉積土	
極細勻砂 $U^* = 5 \sim 2$	0.001 ~ 0.064
牛肝土六號街，紐約， $U = 5 \sim 2$	0.001 ~ 0.05
牛肝土布洛葛林， $U = 5$	0.0001 ~ 0.001
粘土	小於 0.000001

* U = 均勻係數，摘自德植基與沛克 (1967)。

表 19.2 根據滲透係數的土壤分類

滲 透 度	k 值 (mm/sec)
高	1 以上
中	$1 \sim 10^{-2}$
低	$10^{-2} \sim 10^{-4}$
極 低	$10^{-4} \sim 10^{-6}$
幾 不 滲 透	小於 10^{-6}

摘自 Terzaghi 與 Peck (1967)。

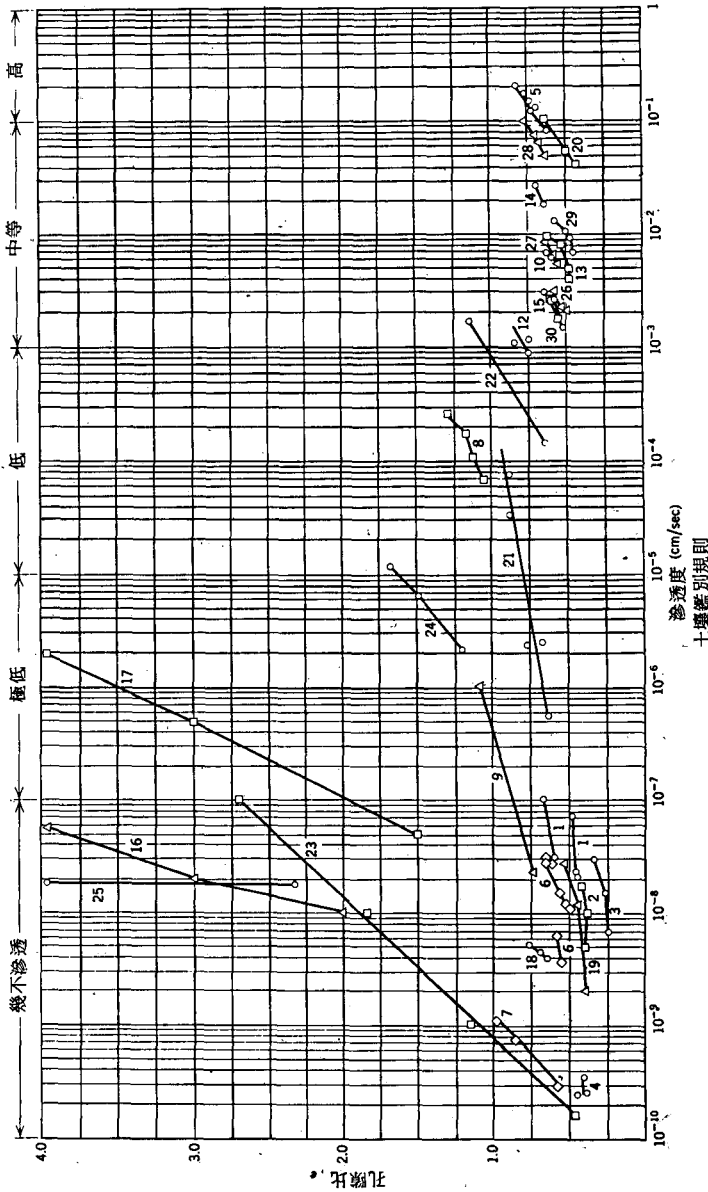


圖19.5 滲透度試驗資料

土木工程師所用的滲透係數，乃指在單位坡降下，流質通過土壤單位面積時的表面或接近速度。因此，滲透係數全受土壤與流質雙重影響。

Taylor (1948) 曾用 Poiseuille's 定律導出一個公式，由此可看出流質與土壤性質對滲透係數的影響。在推導這個公式時，將通過滲透質的水流當作類似通過一束毛細的水流來處理。其公式如下

$$k = D_s^2 \frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{e^3}{(1+e)} C \quad (19.4)$$

式中 k = Darcy 滲透係數

D_s = 有效顆粒直徑

γ = 流質的單位重量

μ = 流質的滯粘度

e = 孔隙比

C = 形狀因數

下式為一代表透水介質 (porous media) 的滲透係數公式。這個公式是由 Kozeny 導出而由 Carman 修正，故稱為 Kozeny-Carman 公式。

$$k = \frac{1}{k_0 S^2} \frac{\gamma}{\mu} \frac{e^3}{(1+e)} \quad (19.5)$$

式中 k_0 = 一項與孔隙形狀、實際流經長度與土層厚度比值有關的因數。

S = 比表面積。

設顆粒的比表面積為 S ，其直徑用 D_s 定義之。因此，公式 19.4 可視為 Kozeny-Carman 公式的簡化。

公式 19.4 或 19.5，對研究影響滲透係數的各種因素有用。下面先研究那些與流質有關的因素，然後再討論與土壤組織有關者。

流質

由公式 19.4 與公式 19.5 可知，流質的滯粘度與單位重量對滲透係數均有影響。可用一個新的名詞來定義代表流質的兩種性質。稱為比滲透係數 (specific permeability) 或絕對滲透係數 (absolute permeability)。用下式表示之：

$$K = \frac{k\mu}{\gamma} \quad (19.6)$$

因 K 具有速度的單位，故 K 的單位是長度的平方。舉例而言，如果 k 的單

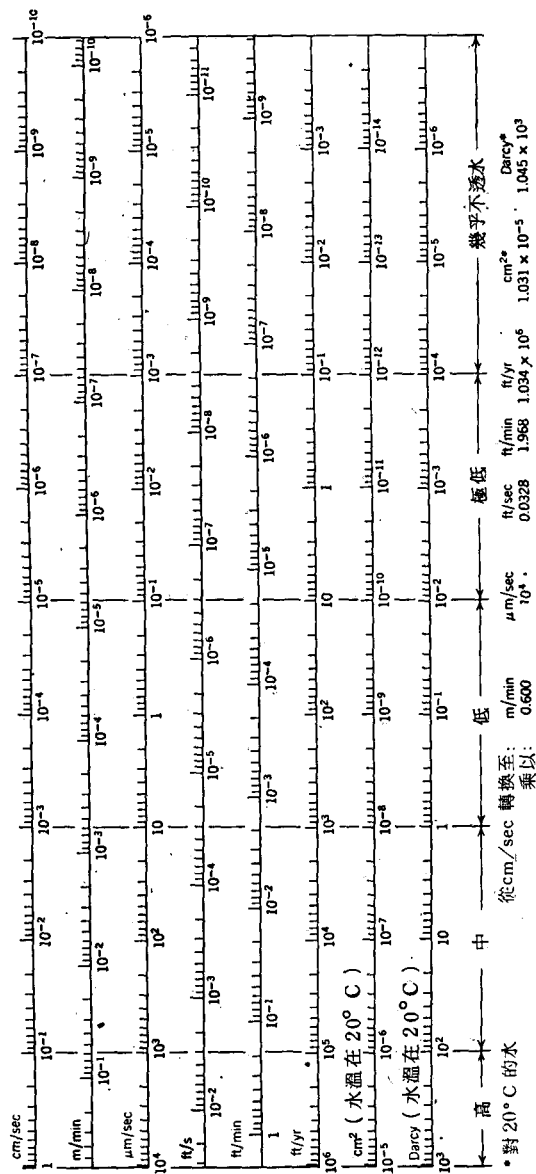


圖 19.6 透水係數轉換圖表

位是長度的平方。舉例而言，如果 k 的單位是 mm/sec ，相對的 K 值，其單位為 mm^2 ， K 也可用“darcy”作單位， $1 \text{ darcy} = 0.987 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ ，對於在溫度為 20°C 時的水，可用下列兩式將 k 值換算成 K 值：

$$K (\text{以 } \text{mm}^2 \text{ 爲單位}) = k (\text{以 } \text{mm/sec} \text{ 爲單位}) \times 1.02 \times 10^{-4} \quad (19.7)$$

$$K (\text{以 darcy 爲單位}) = k (\text{以 } \text{mm/sec} \text{ 爲單位}) \times 1.035 \times 10^2 \quad (19.8)$$

圖 19.6 中所列出的是不同單位滲透係數值的換算。（換算因數列於附錄中）。

對於透水性土壤，流質的性質中對滲透係數有影響的只是滯粘度及單位重量，但是對於滲透性較差的土壤，除了滯粘度與單位重量外，流質的其他性質對滲透係數也發生很大的影響。這些其他因素對滲透性的影響如何，讀者可參考圖 19.7 中所列資料。在該圖中列出飽和高嶺土當不同流質流過時所具的各種滲透係數值。這些值是以絕對滲透係數來表示，因此滯粘度與單位重量所生的影響已不計在內。圖 19.7 中的數據顯示，流質的自然性質對滲透性有很重要的影響。不同流質所產生的絕對滲透係數甚

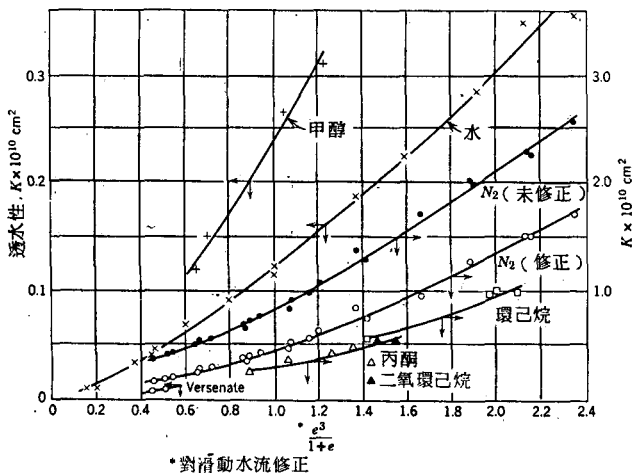


圖 19.7 高嶺土對不同流體之透水性為 $e^3/(1+e)$ 的函數，此處 e = 孔隙比（摘自 Michaels 與 Lin, 1954）