

第五章 滲透

第一節 土中ノ水

68. 土中ニ於ケル水ノ分布ト其運動 地球ノ表面ニ液體トナツテ存在スル水ハ即チ地表水又ハ表水デ、其地中ニ存在スルモノハ言フマデモナク地下水又ハ地水デアル。地表水ヲ科學的ニ研究スルモノハ表水學デ、地下水ヲ論ジテ居ルモノハ即チ地水學デアル。孰レモ水ヲ對照トシテ地表又ハ地中ニ於ケル性能狀態等ヲ研究スル學問デアル（第一章第一節1參照）。

地下水ノ起源ハ一部地心ノ岩漿カラ來ルモノモアルト考ヘラレルガ大部分ハ地表カラ來ルモノデ、孰レニシテモ必然的ニ地中ヲ循環シ、地殻ノ空隙ノ一部又ハ全部ヲ占有シテ居ル。地下水ハ泉ノ形トナツテ天然ニ岩石ノ隙間カラ迸出ル時ニ始メテ知ラレルモアリ、或ハ掘抜井ノ形トナツテ見出サレルモノモアル。而シテ地中ノ如何ナル部分又ハ如何ナル深サニ如何ナル性質ノ地下水ガ如何ナル分量ヲ以テ存在シテ居ルカハ之ヲ知ルコトガ多クノ場合困難デ、地質、地形其他ノ環境ニ支配セラレルコトガ多イ。

水ガ地中ニ浸込ニテ通過スルヲ其滲透ト呼ンデ居ル。嚴格ナ意味デ言ハバ如何ナ岩盤デモ水ヲ滲透セシメル。例ヘバ 1926 年米國ノ標準局デ發表シタ處ニ依レバ天然石モ皆多少ノ空隙ヲ持ツテ居ル。即チ每方吋 300 封度ノ水壓又ハ高サ 700 呎ノ水頭ヲ以テ壓力ヲ加ヘタ所ガ天然石ハ皆多少ノ水ノ滲透ヲ見タ。石版石及花崗岩ハ滲透量最モ少ク、大理石之ニ次ギ、石灰岩及砂岩ハ最モ滲透ガ多カッタ。然シ一般ニ緻密ナ岩盤ニハ水ノ滲透ハ殆ドナク、唯割目ヤ虧隙ナドガ存在シテ居ルトキハ地下水ガ滲透シ、此ニ集マリ又ハ循環スル可能性ガアルコトハ想像スルコトガ出來ル。地下水ヲ包藏スル所ハ即チ地

下潜水池又ハ容水盤並ニ地下川ノ類デ、是等ヲ見出スコトハ地水學ノ實際的調査ニ待タナケレバナラナイ。

空隙ヲ持ツタ土ノ中ニ水ガ滞留シタリ、又ハ此處カラ彼處ニ運動スルノハ其土質地形其他ノ環境ニ依ルノデアル。

土粒ノ間ノ空隙ハ互ニ繋ツテ居ルカラ昔ノ考デハ漠然ト之ヲ毛細管又ハ毛管ノ束ト假定シ、表面張力ヤ毛管引カヲ簡單ニ之ニ適用シテ土中ノ濕氣又ハ土濕ノ散布ヲ説明シタ。勿論土粒ハ一様デナイカラ以上ノ推定ニハ多少ノ變化ヲ免レ得ナイモノト考ヘタ。是レ所謂毛管説デアル。此説ハ簡單デアルカラ屢々土濕ノ説明ニ用ヒラレタガ、少シ考ヘテ見レバ土粒ノ間ノ不規則極リナイ空隙ヲ毛管ト假定スルコトニ大ナル無理ガアル。

然ルニ之ト全然異ツタ起點カラ土濕ノ數學的説明ヲ試ミタモノニ之ヲ初ニシテば、きんがむ (Buckingham) ガアリ、之ヲ後ニシテガーどナー (Gardner) ガアル。彼等ハ孰レモ特別ナ假説ヲ用ヒナイテ空隙ヲ有スル物質ノ間ヲ水ガ移動スルノハ良導體ノ間ヲ電氣ヤ熱ガ流レルノニ類似シテ居ルト云フノデアル。

輓近ニ至ツテ土粒ノ間ノ空隙ハ互ニ相連ツテ居ル小細胞群ニ外ナラナイコトガ明ニセラレルニ至ツテ此問題ノ眞ノ物理的性質ガ知ラレル様ニナリ、不規則ナ絲狀ノ毛管カラ成ルト云フ毛管説ハ其不合理ナルコトガ知ラレルニ至ツタ。即チ細胞ノ中ニ水分ガ分布シテ平衡ヲ保ツノハ水ガ其開放面ヲ減少シ、其表面ノえねるぎ一ヲ最小ニスル傾向ヲ辿ルノデアルト云フ理窟ニ立脚シテ居ル。ふゑるすのいす (Versluys) ガ始メテ之ヲ唱ヘ、其後ヘーんす (Haines) ハ吸引壓力ノ影響即チ土ノ細胞ニ氣水境界面ヲ劃スルニ必要ナ壓力ノ不足ノ影響ヲ考ヘテ此問題ニ寄與スル所ガ多クツタ。

69. 毛管説 毛管説ニ於テハ地下水面カラ水ガ高マルノハ毛管作用ニ依ル

モノトシ、地中ヲ水ノ移動スルノハ亦毛管ノ中ヲ流ル、速度ニ依ルモノト假定シテアル。

今半径 r ノ毛管ヲ水中ニ立テレバ h 丈ケ管内ノ水柱ガ高クナル。 γ ヲ水ト空氣ノ間ノ表面張力、 ρ ヲ液體ノ密度、 g ヲ重力加速度トスレバ [33] カラ

$$(1) \quad h = \frac{2\gamma}{r\rho g}$$

今若シ攝氏 20° ニ於テ $\gamma = 72.75$ だん/耗、 $\rho = 1$ 、 $g = 981$ 糎/(秒)² トスレバ r ヲ糎デ表ハシテ

$$h = \frac{0.15}{r} \text{ (糎)} \quad [48]$$

トナル。土中ノ水ニ此公式ヲ代用スレバ r ハ空隙ノ容積カラ成ル毛管ノ相當半径トデモ云フベキモノニ當ル。土ノ平均空隙ハ非常ニ小サイカラ h ハ非常ニ大キクナル。例ヘバ極細砂ノ $r = 0.06$ 糎ヲ取レバ $h = \frac{0.15}{0.006} = 25$ 糎トナル。まくぎー (McGee) ハ此種ノ砂ガ一年少クモ 10 呎ニ昇リ、工合ノ良イ年デハ 30 乃至 35 呎ハ昇ルト云ヒ、ほーる (Hall) ハ旱魃ノ時ニ石灰質ノ平野ニ於テ野菜ノ爲ニ 200 呎昇ツタナド、云ツテ居ル。然ルニ實驗室ノ結果デハ 4 呎ヲ越エルコトハ稀デアル。又ろーぎむすてど (Rotthamsted) ニ於テ徑 60 糎、深サ 1.8 米ノ圓壙ノ底ヲ水ガ通ラヌ様ニシテ中ニ土ヲ滿シ、8 ケ年モ經過シテ天然ノ状態ニ達セシメ、後水ヲ飽和シテ細イ管ヲ挿入シ管内ノ水面ノ高サヲ觀測シタ所ガ旱魃ノ年デモ粗砂デ 35 糎、細砂ヲ 70 糎、重壙母デ 80 糎ニ降ツタ後ハ其降下ガ非常ニ遅ク、實際毛管上昇ハ是等ノ限界以上ニハ達シナイコトヲ示シ、毛管説ガ成立タナイコトヲ證明シタ。

又毛管説ニ於テハ地下水面ト毛管上昇ノ上限トノ間ハ凡テ水ガ飽和シナケレバナラナイ。然シ土粒ノ形ハ不規則デ毛管モ亦一様ナ直径ヲ持ツテ居ラナイ。或部分ニ大キナ空隙ガアレバ水柱ハ中斷セラレテ之ヨリ上ラナイガ、附

近ニ狭イ空隙ガアレバ毛管水ハ之ヲ昇ツテ行ク。從テ地平ノ横斷面ヲ考ヘレバ平均ノ水分ノ量ハ高サト共ニ減少スル。

次ニ水ガ地中ヲ移動スル流速ハ圓管内ヲ液體ガ流レル場合ノほあすういゆ (Poiseuille) ノ等式ヲ適用シテ之ヲ知ルコトガ出來ル。即チ v ヲ時間 t ニ通過スル液體ノ量、 h ヲ壓頭、 ρ ヲ液體ノ密度、 l ヲ管ノ長さ、 η ヲ液體ノ粘性係數、 r ヲ管ノ半径、 g ヲ重力加速度トスレバほ氏等式ハ次ノ如クデ表ハコトガ出來ル。

$$v = \pi g h \rho t \frac{r^4}{8\eta l} \quad [49]$$

グリーン (Green) ヤあんふと (Ampt) ノ研究ニ依レバ土中ヲ水ガ流動スル場合ニほ氏等式ヲ適用スルコトガ出來ル。今長さ l ノ飽和シタ堅ノ土粒ヲ考ヘ、之ヲ通シテ水ヲ滲透セシメ、土柱内ノ水頭ヲ一定ノ深サ a ニ保テバ[49]ハ

$$v = \pi g (a + l) \rho t \frac{\Sigma r^4}{8\eta l} \quad [50]$$

トナル。此ニ Σr^4 ハ毛管ノ全部ノ有効斷面ヲ表ハス。若シ單位時間ニ單位ノ長さノ壓頭デ單位ノ長さ、單位ノ斷面積ノ土柱ヲ流レル水量ヲ其土ニ對スル水ノ滲透度ト呼ビ P_w ヲ以テ之ヲ表ハセバ $P_w = \frac{v}{(a + l)t} \frac{l}{F}$ デ

$$P_w = \frac{\pi g \rho}{8\eta} \frac{\Sigma r^4}{F} \quad [51]$$

此ニ F ハ土柱ノ實際ノ斷面積ヲ表ハス。[51]ヲ[50]ニ代用スレバ

$$v = P_w t F \frac{(a + l)}{l} \quad [52]$$

此等式カラ實驗ニ依ツテ P_w ヲ定メルコトガ出來ル。

乾燥シタ土ノ中ヲ水ガ移行スルニハ上下左右ニ及ンデ居ルガ、之ヲ縦ニ降ル場合即チ灌溉、縦ニ昇ル場合即チ毛管上昇及地平ニ移動スル場合ノ三種ニ分ケルコトガ出來ル。

第一、縦ニ降ル場合 土面カラ一定ノ深サ a ニ水頭ヲ保チ、時間 t ニ於

テ水先ガ土面以下 h ニ達シタトスレバ毛管引力ガ前進スル水先ニ作用シテ水ノ降下ヲ助ケ、恰カモ k ニ等シイ水頭ノ力ヲ備ヘテ、全水頭ハ $a + h + k$ ニ等シイ。依テ

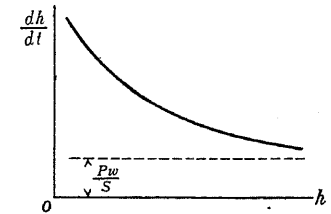
$$v = P_w t F \frac{(a + h + k)}{h} \quad [53]$$

S ヲ土ノ空隙トスレバ $v = FS h$ デアルカラ、之ヲ[53]ニ代用シ、 t ニ就テ微分スレバ水先ノ沈下スル速度 $\frac{dh}{dt}$ ガ得ラレル。即チ

$$\frac{dh}{dt} = \frac{P_w}{S} \left(1 + \frac{a + k}{h} \right) \quad [54]$$

$\frac{dh}{dt}$ ト h ノ關係ハ第五十三圖ニ示スガ如ク雙曲線ヲ爲シ、 $h = 0$ ノ時ハ

沈下速度ハ無窮大デアルガ、 h ノ増加ト共ニ減ジテ漸近線的ニ $\frac{P_w}{S}$ ナル一定量ニ近ヅク。しべとる (Spöttle) 及しえーるはーぜ (Scheelchase) ガ人工滲透水ノ沈下速度ヲ測ツタ結果ハ次表ノ如クデア



第五十三圖
毛管高ト沈下速度

第三十三表 土中ノ水ノ沈下速度

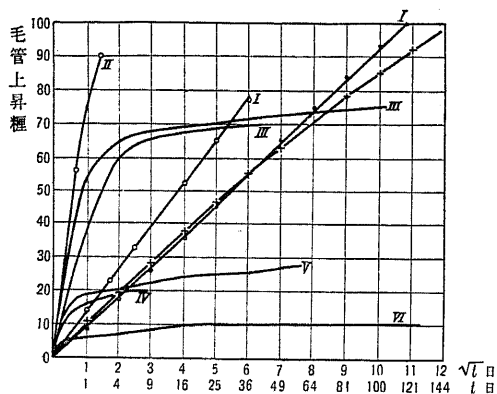
土ノ種類	縦ノ沈下滲透速度 耗/秒
腐植土性石灰砂	0.0060
いごーる河石灰砂	0.0089
煉瓦用壘母	0.0099
ふらんくふと砂	0.0058—0.1116

之ニ依レバ土中ノ水ノ沈下速度ハ一日 0.5 米乃至 1.0 米ノ間ニ在ル。

第二、縦ニ昇ル場合 此場合ニハ h ト k トハ反對ニ働キ、 a ハナクナル、最後ノ[54]ト同ジク

$$\frac{dh}{dt} = \frac{P_w}{S} \left(\frac{k}{h} - 1 \right) \quad [55]$$

$h=0$ ノ時ハ其速度無窮大デ h ガ最大値 h ニ近ヅケバ上昇速度ハ雙曲線ノ $=0$ トナル。即チ毛管上昇ト時間ノ關係ハえどら—(Edler)ノ實驗ヲりうでっけ(Luedecke)ガ圖ニ示シタモノデ知ルコトガ出來ル。之ニハ横距ニ觀測



第五十四圖 毛管上昇ト時間

日數ノ二乗根ヲ用ヒ、縦距ニ毛管上昇ノ高サヲ用ヒタモノデ、Iハ土ノ粒徑 0.01 耗以下、IIハ 0.01—0.05 耗(黄土)、IIIハ 0.05—0.10 耗、IVハ 0.10—0.25 耗、Vハ 0.25—0.50 耗、VIハ 0.5—1.00 耗デア

アルガ、黄土ハ毛管作用ガ最モ猛烈デ、其線ガ最モ多ク起立シテ居ル。是レ黄土ガ保水力ノ最モ大ナルヲ示スモノデア。ぐれーべ(Grebe)ニ從ヘバ若シ砂ノ粒徑 0.3 耗迄ノモノガ 46 乃至 50 %、0.3 耗乃至 1.0 耗ノモノガ 50 乃至 54 %ナレバ其毛管上昇ハ $\frac{1}{3}$ 米以上ニ上ラズ。又粒徑ガ $\frac{1}{3}$ 耗ヨリ小サイモノガ凡ソ 80 %ナル様ナ細カイモノナラバ上昇高ガ $\frac{1}{2}$ 米以上ニハ達シナイ。

第三、地平ノ移動ノ場合 地下水地平ノ移動ハ土ノ毛管牽引ニ依テノミ定メルコトガ出來ル。從テ [53]ノ分子 $a+h$ ハ消エテ

$$\frac{dh}{dt} = \frac{P_w k}{S h} \quad [56]$$

トナル。移行速度ハ h ニ反比例シ、 $h=0$ ノ時無窮大トナリ、 h ノ最大ノ時有限ノ値ヲ示シ、雙曲線ノ $=減少$ スル。

以上三ノ $\frac{dh}{dt}$ ノ等式ハ地下水移動ノ實際ニ適合スルコトハ多クノ實驗デ證明セラレテアルガ、此ニ一ノ曖昧ナ假定ガアルコトヲ忘レテハナラナイ。

即チ土中ニハ水先ノ後ニ凡テ水ガ飽和シテ居ルト云フ假定ガ用ヒラレテアルガ實際ニハ空隙ノ大小不規則ノ爲ニ前ノ理論通りニハ行カヌコト是デア。[55]及[56]ニ於テ $-\frac{P_w}{S} a$ 、 $\frac{P_w k}{S} = \beta$ トスレバ a 及 β ハ定數デ、

兩式ハ次ノ如ク表ハスコトガ出來ル。

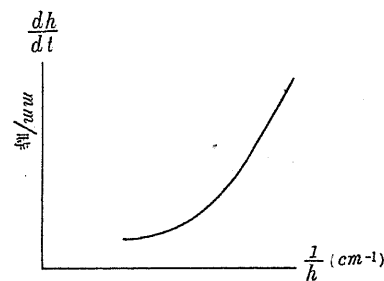
$$\frac{dh}{dt} = a + \frac{\beta}{h} \quad [57]$$

但シ [56]ニ於テハ $a=0$ トナル。 $\frac{dh}{dt}$ 即チ毛管上昇率ト $\frac{1}{h}$ 即チ高サノ反數トヲ夫々縦距ト横距トシテ圖ニ表ハセバ直線ヲ爲スベキ管デア。然ルニ實驗ノ結果ヲ用ヒテ兩者ノ關係ヲ表ハセバ唯始ノ 15 分カ 20 分位ノ間ガ直線ヲ爲スノミデ、毛管上昇ガ大ナル程、時間ガ永イ程 $\frac{dh}{dt}$ ハ小トナリ、毛管説ノ不完全ヲ證明シテ居ル(第五十五圖)。

又地平移動ノ場合 $= h \frac{dh}{dt} = \beta$ ヲ積分スレバ

$$\frac{h^2}{t} = \frac{2 P_w k}{S} \quad [58]$$

是レ硝子製ノ地平毛管ノ中ヲ流ルル水ニ適用スルコトガ出來ル。土ノ中デハ一般ニ h ノ指數ガ 2 ヨリモ大デア。然シ實際上毛管水ハ廣狹



第五十五圖 毛管上昇率ト高サノ反數

不規則ナ管内ニ充實シテ居ラナイカラ或時間 t ニ於テ所謂水濕柱(毛管水柱トモ呼ビ得ベキ)ノ有効長ハ h ト云フヨリハ寧ロ土ノ空隙ノ單位斷面積ノ水濕柱ヲ爲ス水ノ質量 $\frac{m}{FS}$ (m ハ全水量)ヲ h ノ代リニ用ヒレバ [58]ハ

$$\frac{m^2}{t} = 2 F^2 P_w k S \quad [59]$$

實驗ニ徴スレバ [59]ハ [58]ニ勝ツテ居ル。

然シナガラ土粒ノ間ノ毛管現象ハ硝子毛管ノ中ヲ水ガ流レル様ナ簡單ナモノデハナイ。殊ニ陶土ノ如キ細カイ粒ノ中ヲ滲透スル水ハ更ニ複雑ナ作用ヲ爲シ、空氣ヤ水ノ粘性、種々ナ成分ヲ有スル水ノ表面張力等ノ影響ヲ免レルコトハ出來ナイ。殊ニ膠質土壤ノ中ノ水ノ滲透ハ水中ノ膠質物ノ膨脹ノ爲ニ毛管ノ縮小ナドモ必然的ニ起リ、滲透ハ非常ニ遲鈍トナル。

之ヲ要スルニ毛管説ニ依ツテ土中ニ於ケル水ノ滲透ヲ説明スルハ非常ニ修正ヲ要スベク、強イテ其比較ヲ求メルナラバ断面ノ圓イ而カモ其直徑ガ最大最小ノ間ニ變化シテ居ル毛管ノ中ヲ水ガ移動スルモノト考ヘルナラバ稍々眞ニ近イ結果ヲ見ルコトガ出來ル筈デアル。

70. 熱又ハ電氣ノ傳導トノ類似 熱ヤ電氣ガ物質ノ中ヲ傳導スル性質ノ類似ヲ以テ土ノ中ヲ滲透スル水ヲ説明セントスルノガ次ニ來ル問題デアル。今熱ノ傳導ニ於テ單位時間內ニ單位斷面積ヲ通過スル熱量ヲ H_x トシ、 λ ヲ其導體ノ熱傳導度、 $\frac{\partial T}{\partial x}$ ヲ x ナル距離ニ於ケル溫度勾配トスレバ、

$$H_x = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad [60]$$

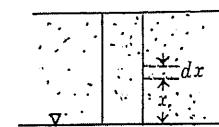
若シ一ノ物質ノ熱傳導度及一ノ地點ニ於ケル溫度勾配ヲ知レバ或ル時間內ニ與ヘラレタ断面ヲ過グル熱量ハ上ノ等式カラ知ルコトガ出來ル。同様ニ電氣ノ場合ニハ一ノ物質ノ電氣傳導度及針金ノ兩端ニ於ケル電位又ハぼてんしあるノ差ガ知ラレ、バ針金ヲ流レル電流ノ量ガ知ラレル。但シ電氣ノ場合ニハ一般ニ其傳導度ノ反數ガ用ヒラレ、之ヲ比抵抗ト呼ンデ斷面積1方糎、長さ1糎ノ抵抗ヲおーむデ測ツタモノヲ用ヒテ居ル。例ヘバ銅線ハ攝氏 18° ニ於テ其比抵抗ハ 1.78×10^{-6} おーむ、鐵線ハ同溫度デ 13.9×10^{-6} おーむ、えぼないとガ 2×10^{15} おーむ糎、硝子(えな)ガ 2×10^{14} お糎、護膜ガ 2×10^9 、雲母ガ 9×10^{15} 、陶器ガ 50°C デ 2×10^{14} お糎ナドガ其數例デア

熱ヤ電氣ノ類似カラ地中ヲ流レル水量ハ其地中ヲ水ノ流レル容易サヲ毛管傳導度ト呼ビ、毛管ぼてんしあるノ勾配即チ或點ニ於テ水ニ對スル土ノ引力ノ勾配ト件ノ毛管傳導度ニ依ルモノデ、 Q_x ヲ或起點又ハ水源カラ x ナル距離ニ於テ水ノ流レル方向ニ垂直ナ單位斷面積ヲ通シテ單位時間內ニ通過スル水量、 α ヲ毛管傳導度又ハ通過常數、 ψ ヲ毛管ぼてんしあるトスレバ

$$Q_x = -\alpha \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad [61]$$

然シナガラ熱ヤ電氣ト水トノ類似ハ單ニ等式ノ形ニ止リ、似テ非ナルモノデアル。即チ熱ヤ電氣ノ場合ニハ其傳導度ヤぼてんしあるハ實際一定デ熱ヤ電氣ノ流レニハ關係ガナイケレドモ水ニ於テハ其流レガ之ニ反シテ居ル。地中ノ毛管傳導度ハ距離ト時トニ從テ異ナリ、又土ト水トノ引力又ハ或點ニ於ケル毛管ぼてんしあるハ其點ニ於ケル實際ノ水分ノ函數デ、且ツ距離ト時間ト共ニ變化スル。即チ α ヤ ψ ガ水分ノ函數トシテ表ハサレナケレバ [61] ハ單ニ性質ヲ表ハス等式ニ過ギナイ。

71. 毛管ぼてんしある又ハ毛管能 土ノ含水量ヲ m トスレバ m ト其毛管能 ψ トノ關係ハ縦ノ土柱ノ下端ヲ第五十六圖ニ示スガ如ク水ニ漬ケ、上端カラハ蒸發ヲ防イデ平衡ヲ保タシメ、其水分ノ分布ヲ觀測スレバ之ヲ知ルコトガ出來ル。



第五十六圖
土ノ含水量ト毛管高

今第五十六圖ニ示スガ如ク、下ノ水面カラ x ナル高さノ dm ナル小サイ水ノ質量ヲ $x + dx$ ニ動シタト考ヘル。 x ニ於ケル毛管能ハ ψ デ、 $x + dx$ ニ於ケル毛管能ハ $\psi + \frac{\partial \psi}{\partial x} dx$ デアル。此毛管能ニ逆ツテ作用シタ總働カ

$$(1) \quad \psi dm - \left(\psi + \frac{\partial \psi}{\partial x} dx \right) dm = -\frac{\partial \psi}{\partial x} dx dm$$

dm ナル質量ガ dx ナル高さヲ引力ニ逆ツテ持揚ゲラレタカラ其働カ即チ

$g dx dm$ デアル。全系統ガ平衡ヲ保ツテ居ルカラ可能働ノ現窟ヲ適用スレバ此無限小ノ移動ニ對スル總働量ハ零ニ等シク

$$(2) \quad -\frac{\partial \psi}{\partial x} dx dm + g dx dm = 0$$

又ハ

$$(3) \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} = g$$

毛管能ハ水分ニ關係アルコト勿論デ、水分ハ亦高サ x ノ函數デアルカラ

$$(4) \quad \frac{\partial \psi}{\partial m} = \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{dx}{dm}$$

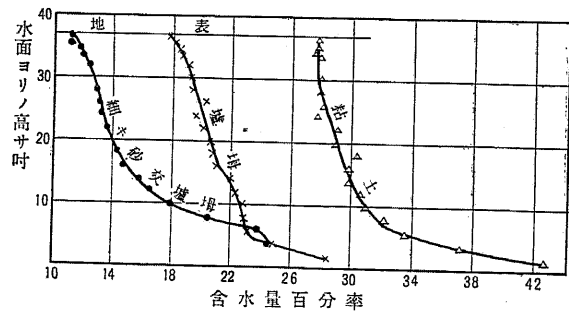
(3) テ (4) ニ適用スレバ

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial m} &= g \frac{dx}{dm} \\ &= \frac{g}{\frac{dm}{dx}} \end{aligned} \right\} [62]$$

(3) テ積分シテ $x=0$ ノトキ $\psi=0$ トスレバ

$$\psi = gx [63]$$

即チ毛管能ハ高サニ正比例スル。又高サガ變レバ含水量ガ如何ニ變ルカ、



第五十七圖 水面ヨリノ高サト土ノ含水量

實驗的ニ觀測シ得ラレ、バ毛管能ト含水量トノ關係ハ明瞭トナル。ばっきんガむガ輕土、中土及重土ノ三種ニ就テ其土柱ノ水面カラノ高サト土ノ含水量ヲ測定シタ結果ニ依レバ第五十七圖ニ示スガ如ク、孰レモ皆雙曲線狀ヲナシテ居ル。地下水々面カラ昇ルニ從テ含水量ハ急ニ減少スル。毛管能ハ [63]ニ示スガ如ク水面ヨリノ高サニ比例スル爲メ、此地下

水面ニ近く、含水量ガ飽和ノ値ニ對シテ漸近的ニ接近シテ居ルカラ、含水量ガ著シク減少シテ後毛管能ハ徐々に増加スル。然シ含水量ガ之ヨリ尙多ク減少スレバ毛管能ハ急ニ増加スル。又毛管能ノ一般ノ高サハ土ガ粗イ程低イ。

土層ノ中ノ水分分布ハ水ガ降下スル場合即チ排水ノ時デモ、又ハ水ガ吸上ゲラレル場合即チ毛管上昇ノ時デモ、其性質ハ一般ニ相等シイ。

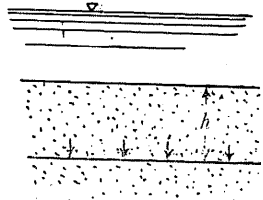
72. 毛管傳導度 熱ヤ電氣ノ傳導度ハ物質ノ原子及電子ノ間ヲ傳ハル熱量ヤ電氣量ニ關スルモノデ、其如何ナル状態ヲ以テ傳ハリ行クカハ神秘デ知ル由モナイ。土粒ノ間ヲ水ガ流レル状態ハ熱ヤ電氣ニ較ベテ見レバ更ニ曖昧ナモノガアル。從テ其類似ト云フ點カラ之ヲ見レバ便利デハアルガ毛管傳導度ト含水量トノ關係ヲ知ルコトガ容易デナイ。唯一般ニ土粒ノ中ニ水ガ分布スル現象カラ見レバ含水量ガ大ナレバ粒ノ上ヲ包ム水ノ膜ガ厚ク連續シテ居ル爲メ水ノ滲透ガ良ク、毛管傳導度ガ最大デアルガ含水量ガ少クナレバ水ハ唯土粒ノ相接觸シテ居ル點ノ近くニ集ツテ且ツ粒ノ面ニハ非常ニ薄イ水ノ膜ガアルノミデアルカラ水ノ傳導度ハ急ニ低下シ、終ニハ零ニモ等シクナル。

V テ土ノ單位容積内ノ水ノ容積、 v テ流水ノ速度、 x テ地下水々面ヨリノ高サ、 $\frac{dv}{dx}$ テ x 點ニ於ケル水分變化ノ割合トスレバガ一どな一ハ毛管傳導度 α ノ値ヲ次ノ如ク見出シタ。

$$\frac{Vv}{\frac{dV}{dx}} = \alpha [64]$$

而シテ α ノ平均ノ値トシテ 5.8×10^{-3} テ得タ。

等大ノ球カラ成ル理想的ノ土壤ヲ取ツテ能ク之ヲ推固メ、毛管能ヲ以テ含水量ノ反數ノ一次函數ト假定シ、且ツ固有水分ノ傳導度ハ含水量ニ關係ナイモノトシテ、砂ノ上面ニハ水ガ飽和シテ砂ノ中ヲ水ガ降下スル場合ニ、 t テ時



第五十八圖
砂中水ノ降下

間、 h ナ砂面カラノ水先ノ距離トスレバガー
ドナー (Gardner) ヤウィットソー (Widtsoe)
ハ次ノ關係ヲ發表シタ。

$$h = C_1 t + C_2 (1 - e^{-\beta t}) \quad [65]$$

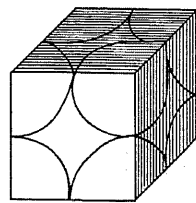
此ニ C_1, C_2 及 β ハ定數デアアル。此式ヲ微
分シテ $\frac{dh}{dt}$ ナ作レバ

$$\frac{dh}{dt} = C_1 + C_2 \beta e^{-\beta t} \quad [66]$$

[55] 又ハ [56] ニ比較スレバ $\frac{dh}{dt}$ ノ $h=0$ 又ハ $t=0$ ノ場合ニ前者ハ無
窮大ナルニ對シテ後者ハ一定ノ値ヲ持つテ居ルコトハ特筆ニ値スル。

73. 土粒ノ空隙又ハ細胞間ノ水ノ分布 實際土粒ノ大サハ大小不同デ、其
配置モ亦甚シク不規則デアアルベキコトハ前ニ述べタ通りデアアルガ、先ヅ理想
的土壤ヲ考ヘ同一直徑ノ球ガ組織的ニ駢ンデアアルモノト假定スル。

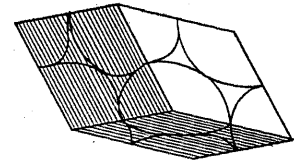
球ノ配置ニハ最も開放的ノモノト最も密集的ノモノトアル。開放配置ハ第
十四圖ニ示シタ如ク球ノ中心ヲ結付ケル直線ハ正立
體ヲ形クルモノデ、第五十九圖ニ示スガ如ク半徑 r
ノ八個ノ球ガ互ニ相接シテ居ル場合ヲ取レバ正立體
ノ一邊ハ $2r$ デ、其8個ノ各稜ニ球ノ $\frac{1}{8}$ ガアル。
從テ $(2r)^3 - \frac{4}{3}\pi r^3$ ハ球以外ノ空隙ヲ表ハシテ
居ル。今之ヲ全容積 $8r^3$ ニ比スレバ $\frac{1}{8r^3} (8r^3 -$
 $\frac{4}{3}\pi r^3) = 0.4764$ デ前ニ述べタ如ク 47.64 % トナリ、半徑ニハ關係ガナイ。



第五十九圖
開放配置

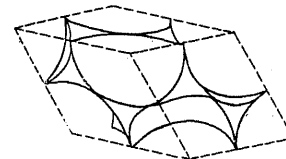
密集配置ハ大砲丸ヲびらみつと形ニ積重ネタ様ナモノヲ第十五圖ニ示シ
タモノガ即チ是デアアル。今第六十圖ニ示スガ如ク邊長 $2r$ ノ斜立體ヲ作レバ
恰カモ密集配置ヲ爲シ、底面ノ面積ハ $2r \times 2r \cos 30^\circ = 3.468 r^2$ 高サハ

$\frac{1}{2} \times 3.468 r \cos 30^\circ = 1.503 r$ デ、從テ容積
ハ $3.468 \times 1.503 r^3 = 5.202 r^3$ 、土粒ノ間ノ空
隙ハ $\frac{1}{5.202 r^3} (5.202 r^3 - \frac{4}{3} \pi r^3) = 0.2595$
又ハ 25.95 % デ前ノ如ク球ノ半徑ニハ無關係
デアアル。



第六十圖 密集配置

土粒ノ間ノ空隙ニ就イテハ理論的ノ研究ガ次々ニ行ハレ、細胞又ハ毛管ノ
大サヤ形迄之ヲ精密ニ定メテ其中ニ水ヲ充滿シタモノトシ、水量ヲ精密ニ計



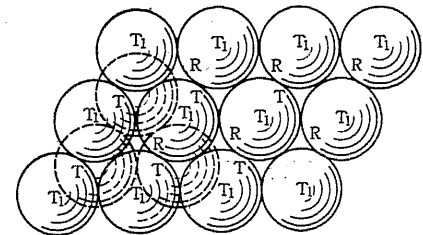
第六十一圖
密集配置ノ粒隙

算シ得ルニ至ツタ。すりひたー (Slichter) ハ
半徑 r ノ球ノ間ニ存在スル空隙ヲ以テ曲ツタ
軸ヲ有スル管ガ土球ノ一般ノ形ニ從フモノト
考ヘタ。從テ其斷面ハ第六十一圖ニ示スガ如
ク三角形ヲ爲シ、狭イ部分ト廣イ部分トアル。
其最も狭イ所ハ $0.155 r$ デ、最も廣イ所ガ

0.288 r デアル。

ヘーンズ (Haines) ハ密集土粒ノ空隙又ハ細胞ニ二種類アツテハ四面體、
他ハ多面體デアアルコトヲ主張シ

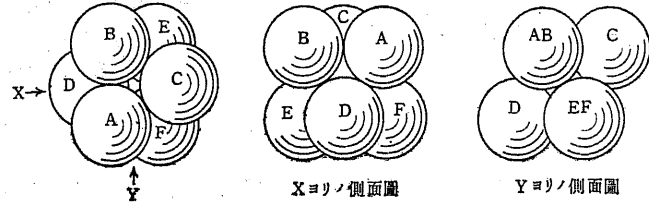
タ。第六十二圖ニ示スガ如ク第
一層ハ實線デ、第二層ハ點線デ
表ハサレテアル。T ハ點線球ノ
下ニ三ノ相接シテ居ル實線球ノ
間ニ在ル四面體狀ノ細胞デ、R
ハ三個ノ實線球及三個ノ點線球



第六十二圖 球ノ配置

ニ依ツテ作ラレタ多面體狀ノ細胞デアアル。第六十三圖ハ多面體細胞ヲ示シタ
モノデ、左側ハ其平面圖、中央ト右側ノ二圖ハ側面圖デアアル。又實線球ノ二

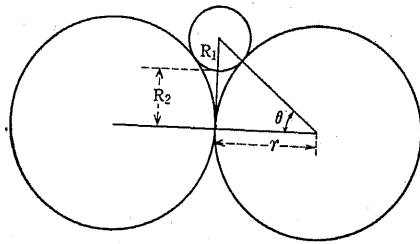
個ノ上ニ三個ノ點線球ガ形クル T_1 ナル四面體狀ノ細胞ガアル。 T_1 ハ T ト



第六十三圖 球ノ配置

同形同容デアル。即チ多面體狀ノ細胞一個ニ付キ四面體狀ノ細胞ニガ附隨スル、細胞 R ノ八隅ハ各一個ノ T 細胞ノ一隅ト連絡シテ居ル。 R ハ下ニ向ツテノ隅ガアリ、實線球下ノ T 細胞ニ連リ、上ニ向ツテ點線球ノ上ノ T 細胞ニ連リ、之ニ實線球ノ間ノ三ノ T 及點線球ノ間ノ三ノ T_1 ニ連ツテ居ル。

含水量ノ種々ナル状態ニ於テ如何ナル風ニ以上ノ空隙又ハ細胞ニ水ガ分布セラレテアルカヲ知ル必要ガ起ル。之ニハ相接シテアル二ノ球ノ間ニ出來ル



第六十四圖 水楔

簡單ナル水楔ニ就テ先ヅ研究ヲ進メナケレバナラナイ。

第六十四圖ニ示サガ如ク、直径 r ナル二ノ球ノ間ニ水ガ保タレテ所謂水楔ヲナスモノトスレバ弧狀水面ノ壓力ハ外側ヨリ小サク、其壓力不足又

ハ負壓 P 、表面張力 γ 、水楔ノ曲率半径ヲ夫々 R_1 及 R_2 トスレバ

$$P = \gamma \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad [67]$$

是レらふら一すノ法則デアル ([34] 参照)。然ルニ

$$(1) \begin{cases} R_1 = r(\sec \theta - 1) \\ R_2 = r(1 + \tan \theta - \sec \theta) \end{cases}$$

之ヲ [67] ニ代入スレバ

$$P = \frac{\gamma}{r} \frac{2 + \tan \theta - 2 \sec \theta}{(1 + \tan \theta - \sec \theta)(\sec \theta - 1)} \quad [68]$$

即チ壓力不足量 P ハ γ/r ト三角函數ノ積カラ成ル。今水楔ガ小サクナレバ θ ハ減少シ $\tan \theta$ ハ 0 ニ近ヅキ、 $\sec \theta$ ハ 1 ニ近ヅキ、分母ノ二ノ因數ハ共ニ零ニ近ヅク、即チ $f(\theta)$ ヲ三角函數トスレバ

$$P = \frac{\gamma}{r} f(\theta) \quad [69]$$

トナル。

含水量ガ飽和ト乾燥ノ間ニ増減スル場合ニ水ガ空隙又ハ細胞ノ間ニ如何ニ分布スルカヲ知ラナケレバナラナイ。

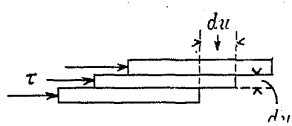
含水量ガ非常ニ少イ時ハ水ハ相接シテ居ル球ノ接點ノ周圍ニ環トナツテ保タレルガ、含水量ガ多クナル程其環ハ大クナリ、終ニ其縁ガ隣ノ環ノ縁ト相連ル。 $\theta = 30^\circ$ デ (1) カラ $R_1 = 0.15r$ トナリ、水分ハ重量デ 3.55% 、空隙ノ 24% ガ水トナル、又同ジク (1) カラ $R_2 = 0.423r$ トナル。水分ガ益々多クナレバ益々壓力不足ハ増加シ、球ノ間ノ氣泡ハ縮少シ、終ニ空隙ハ全部水ヲ以テ充タサレル様ニナル。即チ毛管ノ状態ヲナスノデアル。此時壓力不足ハ急ニ零ニ降り、土ノ中ノ水分ハ飽和カラ溢出トナル。

次ニ飽和カラ逆ニ水分ガ減少スルトキハ其壓力不足ノ状態ハ前ノ道行ト異ナリ一種ノ一ふ状ヲ爲ス。

74. 水ノ粘性ト摩擦液體ノ等式 土粒ノ間ニ在ル水ノ粘性ハ土ノ凝集力ニ關係ガ深イコトハ第一章及第三章ニ述べタ通りデアル。此ニハ先ヅ水ノ粘性ト摩擦ヲ考慮ニ入レタル液體ノ状態ヲ述べル。

元來靜止シタ液體ノ中ノ一點ニ於テハ其表面カラノ深サニ應ジタ所ノ靜水

壓ガ其一點ヲ過ギル任意ノ平面ニ垂直ニ作用シテ居ル。斯クノ如ク靜水壓ノ垂直ト云フコトハ他ノ力ガ動イテ居ラナイコトヲ假定シタモノデ、一般ニ斯カル物質ヲ理想的流體ト呼ンデ居ル。普通ノ水力學デハ即チ理想的流體ヲ論ジテ居ルガ、實際ニハ液體ノ分子ノ間ニハ他ノ力ガ働キ一層ト他ノ層ノ間ニハ所謂内摩擦ガ働イテ居ル。此内摩擦ニ依ツテ分子カラ分子ニ傳ハル力ヲ



第六十五圖 液體ノ粘性

粘性ト呼ブ。内摩擦ノ簡單ナル規則トシテ第六十五圖ニ示スガ如ク二ノ相隣シテ居ル層ガ dy ナル厚サニ於テ du ナル速度ノ差ヲ表ハシタトスレバ此 du ナル遅レハ内摩

擦ニ依ルモノデ、 η (Navier) ニ從ヘバ面積 ω ノ間ニ、接線ノ方向ノ内摩擦抵抗又ハ粘性 τ ハ速度ノ傾斜 $\frac{du}{dy}$ ニ比例スル。

$$\tau = \eta \omega \frac{du}{dy} \quad [70]$$

η ナ名ケテ粘性係數ト云フ (第一章第一節 11 第六表参照)。

液體ノ内摩擦抵抗ハ (1) 摩擦面ノ大サニ比例シ、(2) 摩擦面ニ直角ナル方向ニ對シテ速度 v ノ變化或ハ $\frac{du}{dy}$ ニ關シ、(3) 溫度及液體ノ性質ニ依ル定數 η 即チ粘性係數ニ依ツテ異ナル。C. G. S. 單位デ表ハサレタ η ナ 981 デ除レバ瓦 (糧)⁻¹ (秒)⁻¹ ノ η ガ得ラレル。 η ノ反數 $1/\eta$ ハ内摩擦ノ少イ程度ヲ表ハシ得ベク、流動性又ハ流動係數ト呼バレテアル。

液體ヲ毛管ノ中ニ流シ、 p ナ抵抗ニ打勝ツニ必要ナル壓力、 l ナ毛管ノ長さ、 r ナ其半徑、 V ナ流量、 t ナ流出ニ費シタ時間トスレバ粘性係數 η ノ値ハばあすーいゆ (Poiseuilles) ノ公式カラ知ラレル。

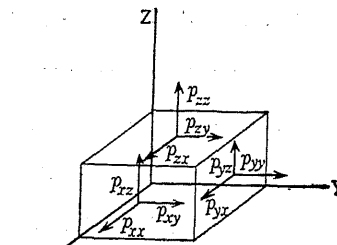
$$\eta = \frac{\pi pr^4 t}{8 l V} \quad [71]$$

今力ハ質量 M ト加速度 a ノ積 Ma ニ等シク、 L 及 T ナ夫々長さ及時間トスレバ $a = LT^{-2}$ デ從テ 力 = LMT^{-2} デアル。又粘性 = 力 $\times \frac{T}{L^2} =$

$ML^{-1}T^{-1}$ 或ハ η ノ寸法ハ瓦 (糧)⁻¹ (秒)⁻¹ デアル。

内摩擦ノ現象ハ擴散又熱傳導ヨリモ複雑デアル。即チ後ノ二者ハ共ニ數量的ノ移動デアルガ内摩擦ハ衝動即チ力ニ關係スルモノデべくとるノ寸法ヲ持ツテ居ル。

内摩擦ニ依ル歪ミノ應力ハ三部カラ成ル。第六十六圖ニ示スガ如ク、小立體ヲ考ヘレバ第一、各平面ニハ垂直ナ靜水壓 p (勿論單位面積ノ上ノ壓力ノ強サ) ガ働キ、第二、膨脹ノ力ニ依ル垂直分力即チ x, y, z ノ三方面ニ於ケル分速度ヲ $u,$



第六十六圖 液體ノ摩擦

v, w トシ、 λ ナ一ノ係數トスレバ膨脹ニ比例スル應力ハ即チ $\lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$ ナ以テ表ハサレ、第三、垂直及接線變形ニ依ル應力ヲ含ミ、液體分子ノ變形速度ヲ生ズル應力ニ比例シ、 $\eta \left(\frac{\partial v_k}{\partial k} + \frac{\partial v_l}{\partial l} \right)$ トスルコトガ出來ル。此ニ i, k ハ x, y, z ノ中ノ二ヲ表ハシ、 v_i, v_k ハ u, v, w ノ中ノ二ヲ表ハス。 η ハ他ノ係數デ、粘性係數ヲ表ハス。小立體上ニ第三ノ部分ノ垂直分力ハ $\frac{\partial u}{\partial x}$ ナ正トスレバ第六十六圖ニ示ス様ナ方向ニ働イテ居リ、靜水壓ト反對ノ符號ヲ持ツテ居ル。分解シタ應力ハ次ノ如クデアル。

$$\left. \begin{aligned} p_{xx} &= -p - \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + 2\eta \frac{\partial u}{\partial x} \\ p_{yy} &= -p - \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + 2\eta \frac{\partial v}{\partial y} \\ p_{zz} &= -p - \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + 2\eta \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned} \right\} [72]$$

$$\left. \begin{aligned} p_{xy} &= p_{yx} = \eta \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ p_{yz} &= p_{zy} = \eta \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ p_{zx} &= p_{xz} = \eta \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{aligned} \right\} [73]$$

應力ハ對稱ヲナシテ居ル。例へバ p_{xy} ト p_{yx} ハ z 軸ノ周圍ニ廻轉シテ而カモ反對ノ方向ヲ持ツテ居ルカラ平衡ヲ保ツ場合ニハ斯ク對稱ヲ保ツテ居ル。

三ノ垂直變形ノ和ヲ作レバ不變デアアル。

$$p_{xx} + p_{yy} + p_{zz} = -3p + (2\eta - 3\lambda) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad [74]$$

非壓縮液體ノ場合ニハ [74] ノ最後ノ括弧内ノ量ハ 0 = 等シク、所謂連續等式ヲ形クル。即チ靜水壓ハ三ノ垂直變形ノ平均ノ値ニ等シイ。可壓液體ニ於テモ亦此關係ガ成立ツモノトスレバ

$$3\lambda = 2\eta \quad [75]$$

但シ此關係ハ常ニ假定的ノモノデアアル。何ゼナラバ可壓液體内ノ平均垂直壓力ハ膨脹速度ニ依ルモノデ、靜止シタ液體ノ壓力即チ靜水壓トハ同一デナイコトヲ根本的ニ否ムベクモナイ。之ニ就テハ實驗的ニハ知ラレテ居ラナイ。摩擦ト壓縮性ヲ考入レル問題ハ必要ナモノモナイカラ、唯非壓縮液體ニ就テノミ論ジ、從テ $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$ ガ成立スルノデアアル。

以上摩擦液體ノ應力ハ彈性應力ニ似タモノデアアルガ、其相異ナル點ハ唯彈性變形ハ歪ミニ比例スルニ對シテ水力學ノ變形ハ歪ミノ速度ニ比例スルコトガデアアル。

今 ρ ヲ密度、 Ω ヲ單位質量上ノ外力ノぼてんしやる、 u, v, w ヲ分速度トシ、 $\frac{du}{dt}$ 等ヲ全微分係數トスレバ一般ニ

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{du}{dt} &= -\frac{\partial \Omega}{\partial x} + \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z} \\ \rho \frac{dv}{dt} &= -\frac{\partial \Omega}{\partial y} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial z} \\ \rho \frac{dw}{dt} &= -\frac{\partial \Omega}{\partial z} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad [76]$$

之ニ [72] ヲ挿入シ、且ツ水力學カラ

$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{dt} &= \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{dw}{dt} &= \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad [77]$$

及ビ $\Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ ナル符號ヲ用ヒレバ次ノ如キなびやすと一くす (Navier-Stokes) 等式ガ得ラレル。

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial (p + \Omega)}{\partial x} + \eta \Delta u \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial (p + \Omega)}{\partial y} + \eta \Delta v \\ \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial (p + \Omega)}{\partial z} + \eta \Delta w \end{aligned} \right\} \quad [78]$$

之ト關聯シテ次ノ連續等式ガ成立スル。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad [79]$$

即チ四ノ微分等式ニ於テ四ノ未知量壓力及分速ガアル。完全液體ト摩擦液體トノ差異ハ [78] ニ於テ摩擦力ヲ表ハス所ノ $\eta \Delta u$ 等ガ無イト有ルトニ存スル。是等ノ項ハ分速ノ二次微分係數ヲ含ンデ居ルガ、他ノ諸項ハ皆一次微分係數トシテ存在シテ居ル。若シ摩擦力ガ小サケレバ是等ノ項ハ殆ド 0 = 等シクナル。

75. 土ノ凝集力ト附着力及粘性 土ノ凝集力トハ同質ノ土粒、例へバ粘土ト粘土ノ間ノ凝結スルカデ乾イタ土ノ凝集力ノ如キモ亦之ニ屬スル。又土ノ附着力トハ土ガ外ノ物質ニ附着スルカデ、例へバ濕ツタ土ガ金屬面ニ附着スル場合ノ力ガ是デアアル。前者ハ鈍イ楔様ノ鋼ヲ以テ乾イタ土ノ塊ヲ壞スニ要スル力ヲ見出セバ之ヲ知ルコトガ出來、後者ハ一定面積ヲ有スル鐵板面ニ接觸シタ濕ツタ土ヲ離スニ必要ナ力ヲ見出シテ之ヲ測定スルコトガ出來ル。乾

イタ鼠色ノ純粘土ノ凝集力ヲ10)トシ、1立方尺ノ鐵板ト濕ツタ土ノ間ノ附着力ヲ其土ノ附着力トシ、含水量ハ1立尺ノ土ノ中ニ含マレタ水ノ重量(封度)ヲ以テ表ハシ、しゅーぶらー(Schübler)ハ各種ノ土ノ凝集力ト附着力ヲ次ノ如ク表ハシタ。

第三十四表 各種ノ土ノ凝集力ト附着力(しゅーぶらーニ據ル)

土ノ種類	凝集力	附着力 封度/方呎	含水量 封度/方呎
珪石砂	0.0	3.8	27.3
腐植土	8.7	8.8	50.1
庭土	7.6	6.4	48.4
耕土	33.0	5.8	40.8
砂交リノ粘土	57.3	7.9	38.8
壙埤質粘土	68.8	10.6	41.4
煉瓦土	83.3	17.2	45.4
鼠色純粘土	100.0	27.0	48.3

附着力ハ粘性ト表面摩擦ヲ含ム複雑ナ性質デアアル。從テ粘土分ガ多イ程附着力ガ多く、腐植土ガ混ツテ居レバ附着力ガ減少スル。但シ乾ケバ腐植土ハ附着力ヲ増ス。

第六十四圖ニ示スガ如ク土粒ノ上ニ水ノ薄膜ヲ以テ覆ハレル時ハ粒ノ間ニ水楔ガ取巻イテ之ガ爲ニ凝集力ガ表ハレル。即チ土粒ヲ半径 r ノ二ノ球トシ、其間ニ半径 R_2 ナル水環ガ繞ラサレテアルモノトシ、球ト環ノ界ニハ其全周 $2\pi R_2$ ノ單位ノ長サニ對シテ γ ナル表面張力ガ起リ、其全周ニハ張力 $2\pi R_2 \gamma$ ガ表ハレル。又水楔ノ外面弧狀ノ半径ヲ R_1 トスレバ壓力不足 P ハ[67]ニ示シタ通り $P = \gamma \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$ デ液體內ノ減少壓力カラ起ル張力ハ $\pi R_2^2 P$ デアアル。全張力ヲ F トスレバ F ハ $2\pi R_2 \gamma$ ト $\pi R_2^2 P$ ノ和ニ等シク

$$\left. \begin{aligned} F &= 2\pi R_2 \gamma + \pi R_2^2 \gamma \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \\ &= \pi \gamma \frac{R_2}{R_1} (R_1 + R_2) \end{aligned} \right\} [80]$$

又ハ R_1 及 R_2 ノ三角函數ノ値ヲ代用スレバ

$$F = 2\pi r \gamma \left(1 + \tan \frac{\theta}{2} \right) [80']$$

此ニ θ ハ二ノ球ヲ結付ケル直線ト球ノ中心及外接弧ノ中心ヲ結付ケル直線トガ爲ス角デアアル。(第六十四圖參照)

76. 土中ノ水ノ種類 土ノ乾燥カラ飽和ニ至ルマデノ間ノ水分ヲ三段ニ分ケルコトガ出來ル。岩濕ハ岩石ノ成分トナリ、又ハ土壤ノ上ニ沈澱シタ水蒸氣ガ薄膜ヲ爲シテ著シイ張力デ土粒ノ上ニ張詰メテアツテ勿論移動ナドハ出來ズ。植物ノ利用シ得ナイモノデアアル。毛管水ハ土ノ表面ノ蒸發トカ植物ノ根ノ吸收ナドニ依ツテ在來ノ平衡ガ破ラレ、表面張力ノ影響ヲ受ケテ移動スル水デ植物ガ之ヲ利用シ得ルモノデアアル。重力水ハ重力ノ作用デ排除セラレルモノデ、從テ直接ニハ植物ニ用ヒラレナイモノデアアル。毛管水ガ少クナツテ植物ガ萎縮スルニ至ル程度ノ含水量ヲ萎縮係數ナド、呼ビ特定ノ植物ニ就テ夫々土ノ百分率ヲ以テ表ハスコトガ出來ル。又水ヲ飽和セシメタ土ヲ孔ヲ開ケタ器ニ容レ、或ル速度ノ離心動ヲ與ヘテ尙土ノ中ニ保有セラレル水分ヲ含水相當量ナド、云ヒ亦土ノ原容積ノ百分率ヲ以テ表ハシ、或力ノ下ニ土ガ水ヲ保有スル尺度トスルコトモアル。然シ是等二ノモノハ寧ろ作物ナドニ關係ガ深く、一般ノ地下水ヲ論ズル場合ニハ比較的影響ガ少イ。

第二節 滲透

77. 滲透ノ現象 水ガ地中ニ滲透スル状態ハ雨量及其強サ、蒸發、排水ノ深サ、土質、地盤ノ傾斜、氣候及地表ノ被覆物ナドニ依ツテ同一デナイ。

一般ニ雨量が多ケレバ土中ニ滲透スル水モ亦多クナルノハ常識的ニ當然デア
 ルガ、是ニハ同一ノ状態ヲ以テシタ同質ノ土ニ雨が降ツタ場合ノ滲透ノ多
 少ト云フコトヲ意味スルノデア。農林省林業試験所ノ研究ノ結果ニ見ルモ
 地中滲透量ハ降水量ニ伴ツテ増加スルガ、其増加ハ漸増的デア。又強イ雨
 ガ一時ニ降ルヨリモ弱イ雨が永ク降レバ滲透が多い。西曆 1425 年ノ頃朝鮮
 李朝ノ世宗皇帝ハ雨濕入土ト稱シテ雨が土中ニ滲透スル深サヲ測リ雨ノ濕ヒ
 又ハ所謂雨濕ヲ計ツタ事ガアルガ勿論農業上ノ見地カラシタモノデア。

地面蒸發ハ言フ迄モ خاک土ノ水分ヲ失フコトデアルカラ其多イ程滲透ノ少
 クナルノハ亦當然ノコトデア。農林省林業試験所ニ於ケル研究ニ依レバ地
 面(耕耘セザル畑地)カラノ水分ノ蒸發量ハ一ヶ月以上ノ如キ相當永イ期間
 ノ値ハ蒸發計ノ蒸發量カラ之ヲ推算シ得ベク、凡ソ蒸發計ガ示ス蒸發量ノ約
 55%ト見テ大差ナイ様デアルト發表シテ居ル。又畑地ノ滲透量ハ深サ 30 釐
 ニ於テ年雨量ノ 40 乃至 70%デアリ、或土層ノ滲透終リノトキニ於ケル含
 水量ハ各季節ヲ通ジテ略同様デ、此量ハ同ジ土層ノ下端ヲ水面ニ浸シタトキ
 ノ飽水量ニ近イモノデアルト考ヘラレテ居ル。

植物ノ根ニ依ツテ土中ノ水分ヲ吸收シ、其葉面カラ蒸發スル所ノ葉面蒸發
 又ハ蒸散作用モ亦前ノ地面蒸發ト同ジク滲透水ヲ少クスルコトハ想像ニ難ク
 ナイ。

排水ノ深サト云フノハ地中ノ水ガ排除セラレテ新ナル水ノ滲透ガ起ル難易
 ニ關スルモノデア。

土質ノ差異ハ其土ノ含水量ノ多少ヲ來ス。土粒ノ間ノ間隙が多い程含水量
 モ多クナリ得ルノデ、滲透モ亦多クナリ得ル筈デア。實際ニハ水ハ粘性
 ヤ表面張力ナドノ爲ニ土粒ノ間ニ保有セラレテアル爲メ單ニ空隙ノミヲ取ツ
 テ滲透量ヲ推定スルコトハ困難デア。砂礫ナドニハ水ノ浸込ムコトが多い

ケレドモ粘土質ノ土壤デハ滲透ガ非常ニ少ク、一般ニ粘土ハ全然不滲透質ト
 ナル。地面ヲ掘起シテ空隙ヲ作レバ滲透ハ増加スルガ、砂質ノ土地ハ空隙ガ
 多く滲透ハ多イ。即チ土ノ空隙ノ總容積ヨリハ箇々ノ空隙ノ大サガ小サイモ
 ノハ不滲透性トナリ、其大ナルモノハ滲透性トナルノデ水ノ粘性ヤ表面張力
 ノ關係ガアルコトヲ忘レテハナラナイ。從テ土中ニ砂ガ多イカ又ハ粘土ガ多
 イカラ識別スレバ其土地ノ滲透性ノ程度ヲ知ルコトガ出來ル。我國ノ水田ハ
 稻ノ生育期間ハ水ヲ保有スルコトガ殆ド絶對的ノ必要ノモノデア。我國ノ水田ハ
 基盤ノ上ニ壟垆ヤ粘土ノ一層ヲ置イテ水田ヲ作ツテ居ル所謂山田ナドヲ見レ
 バ如何ニ被覆層ナドニ依テ不滲透性地層ガ作ラレ得ルカガ知ラレル。

滲透ニ對スル氣候ノ影響ハ想像ニ難クナイ。冬ノ溫和ナ處デハ滲透ハ中々
 多イケレドモ嚴冬ノ土地ニハ滲水ハ一般ニ貧弱デ、極端ナ例トシテ結氷シテ
 居ル所デハ滲透ガ止マルノハ一時水ヲ通サナイカラデア。又雨期ガ夏ニア
 ルカ秋ニアルカ等ハ亦皆滲透ニ少ナカラザル關係ヲ持ツテ居ル。

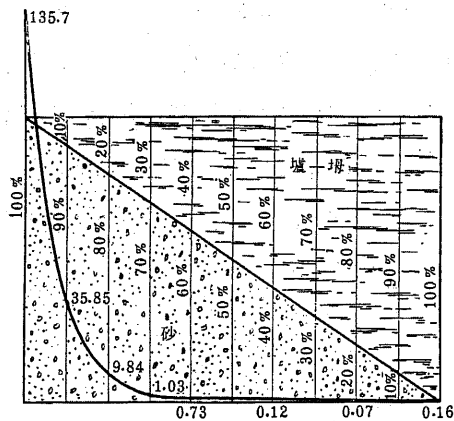
地盤傾斜ノ緩急ハ山岳丘陵ノ多少ナド、共ニ亦滲透ニ影響ガアル、土地平
 坦ナ程水ハ浸込ミ易ク、急峻ナ程水ハ流去ツテ滲透ガ少イ。

地表ノ被覆物ノ有無及種類ナドモ亦滲透ニ影響ガアル。枯草ヤ地衣蘚苔ナ
 ドガ地表ヲ覆ツテ居レバ滲透ヲ増シ、土濕ヲ多クスル。然シ草木ノ如キ生物
 ヲ以テ地面ヲ被覆シテ居レバ地面ガ水ヲ保有スルコトハ多イガ、植物ノ根ニ
 依ツテ地中ノ水ヲ吸收スルコトモ亦多ク、一般ニ滲透ガ多カラザルコト第六
 章 87 地下水ト森林ノ條ニ述ベル通りデア。

78. 土ノ滲透性及不滲透性 元來滲透性ト不滲透性ノ地質ノ區別ハ稍々漠
 然タルモノガアル。即チ砂ヤ砂利ハ粒ノ間ニ空隙ヲ持ツテ居ルカラ水ヲ滲透
 セシメ、從テ之ヲ滲透性ノ土ト呼ビ、粘土ヤ岩石ナドハ斷隙等ガ存在シナイ
 限リハ空隙ガ殆ドナク又ハ極メテ小サクテ水ヲ滲透セシメナイ爲メ、之ヲ不

滲透性ノ土ト呼ブコトハ勿論異論ハナイノデアアルガ、然シ中間ノ土即チ粘土ヤ砂ノ混合物ハ其混合ノ割合ヤ土ノ粒徑ノ細粗等ニ依リ、水ヲ滲透セシメル性能ニ可ナリノ差異ガアル。是レ水ノ毛管引力ヤ粘性ナドニモ關係ガアツテ穴隙空隙ノ有無ノミヲ以テ滲透性ヲ區別スルコトハ困難デアアル。

げんねりっひ(Gennerich)ハ砂ト壙母ノ混合ノ比ヲ種々ニ變化シテ其保水量



第六十七圖 土砂ノ含水量

又ハ含水量ヲ測ツタ。即チ純砂ハ第六十七圖ニ示スガ如ク、一定量ニ就テ 135.7 瓦ノ水ヲ保有スルニ對シテ 1 割ノ壙母ヲ加ヘレバ水ノ保有量ハ 35.85 瓦トナリ、 2 割ノ壙母ヲ加ヘレバ急ニ減ジテ 9.84 瓦トナツタ。又 3 割ノ壙母ヲ加ヘレバ其水ヲ保有スル量ハ僅カニ

1.03 瓦トナリ、砂ハ實際上完全ナ不滲透性トナツタ。然シ如何ナル混合率ガ滲透ト不滲透ヲ區別スルカハ其砂ヤ粘土ノ性質ニモ關係ガ深く、科學的ニ之ヲ定メルコトガ困難デアアル。

をるにー (Wollny) ハ容積ノ種々ナ割合デ粒徑 0.5 耗乃至 1 耗ノ砂ト壙母トヲ混ゼテ厚サ 20 糎ノ土層ヲ作り、其上ニ深サ 50 糎ノ水ヲ入レテ 10 時間ニ滲出シタ水量ヲ測ツテ次ノ第三十五表ノ結果ヲ得タ。

次表ノ結果ヲ見レバ其精度ニ於テハ未ダ必ズシモ最高ノ域ニハ達シテ居ナイ様デアアルガ、大體ニ於テ砂ヲ 3 割乃至 4 割壙母ニ混ジタモノハ滲透ガ少ク、之ヨリ少ク砂ヲ混ジテモ不滲透ノ效果ハ必ズシモ多クナラナイ。又砂ヲ 4 割

以上 9 割位マデ混ジタモノハ滲透ガ急ニ増加スルガ、9 割以上トナレバ事實上壙母ノ無イモノト殆ンド同一ノ滲透水量ヲ見ルノデアアル。

第三十五表 土壤ノ滲透性

種目	百分率											
土壤	砂	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
	壙母	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
滲透水量 (びっとる)		366.6	46.9	12.9	3.1	2.9	0.7	0.14	0.14	0.06	0.09	0.17

次ニ滲透地層ノ厚サガ 30 糎位ノ薄イモノハ、之ヨリ厚イモノヨリハ滲水量ガ少イガ、是レ地表ヨリノ蒸發ガ前ノ場合ニハ大ナル爲デアアル。然シ 60 糎乃至 120 糎ノ間デハ地層ノ厚サハ滲水量ニ對シテ影響ヲ持ツテ居ラナイ。

岩石ハ一般ニ不滲透性ノモノト考ヘラレテアルガ 1926 年北米合衆國標準局ニ於テ天然石ノ滲透度ヲ發表シタコト 68 ニ述ベタ通りダ。

此事實ハ亦こんくれーとノ如キ人造石ガ如何ニ滲透性ニ缺ケテ居ルカヲ推定セシメル。殊ニ搗固ノ不充分ナモノ、又ハ混石こんくれーとノ如キモノガ墳メタ石ノ周圍殊ニ其下底トこんくれーとノ間ニ空隙ヲ存シ易ク、屢々壙堤ナドニ漏水ヲ見ルノハ之ガ爲デアアルガ、相當ニ注意ヲ用ヒテ搗固ヲ行ツテモ尙稀ニハ漏水ヲ免レナイノハ前ノ天然石ノ場合ト同一デアアル。

79. 滲透ノ法則 土ノ粒ノ間ニハ空隙ガアツテ壓力又ハ落差ヲ有スル水ガ土粒ノ表面張力ニ打勝ツトキハ水ハ粒ノ間ヲ移動スル。此現象ヲ土ノ滲透性ト呼ブノデアアル。今地中ノ水ノ進行スル方向ニ直角ナル斷面積 F ノ壙體ヲ爲ス土ヲ考ヘ、其中ヲ滲透スル水ノ速サ即チ濾速ガ毎秒 u 米デアルトスレバ流量毎秒 Q 立米ハ勿論 $Q = uF$ デアル。然ルニ鐵管ヤ開渠ヲ流ル、水ハ層又層ニ動ク所ノ所謂層動ヲ爲シテ其濾速ハ動水勾配ニ比例シテ居ルコトハ早

クカラ知ラレテ居タ。即チ J ナ動水勾配トスレバだるしー (Darcy) ノ公式トシテ流量 Q ハ

$$Q = k F J \quad [81]$$

此ニ k ハ滲透係數ト呼バレルモノデ、單位斷面積、動水勾配ガ1ニ等シイ場合ノ流量ヲ表ハス。若シ又 $\frac{Q}{F} = u$ ナ濾速トスレバ

$$u = k J \quad [81']$$

テ k ハ $J = 1$ ナル場合ノ濾速 (糎/秒) ナル寸法ヲ持ツテ居ル。又 J ハ長さ l 米ニ對シテ落差ノ減耗 h 米ナル場合ニ h/l ナル比ニ等シイ。

u ト J トノ關係ハ [81'] ニ示シタ様ナ直線式デナク、次ノ様ナ拋線式ヲ以テ表ハスコトガ出來ル。

$$J = a + bu + cu^2 \quad [82]$$

此ニ a, b 及 c ハ或定數デ、土粒ノ大小ヤ溫度等ニ依ツテ異ナル。ふゑるしはいまー (Forchheimer, ph.) ハどなう河まるしふゑると礫ヲ用ヒテ濾速 0.00031 糎/秒乃至 0.011 糎/秒ノ間デ $J = 1.53u + 237u^2$ ナル結果ヲ得タ。

土粒ノ大サハ濾速ノ大小ニ依リ土ノ中ノ水ノ滲透ハ層動ト共ニ一部ニハ渦動が行ハレルコトハ想像ニ難クナイ。從テ其孰レガ主ナルモノニナルカハ或ハ u ノ一次式トナリ或ハ其二次式トナラシメルモノデアロウ。

前ノ諸法則ハ水ガ層動ヲナスモノトシテ適用スベキモノデアアルガ、若シ渦動ヲ爲スモノナラバ其適用ハ無理デアアル。今水ガ土粒ノ間ヲ進ム場合ニハ各粒ノ間ニ渦卷ヲ生ズベク、此渦卷ハ土粒ノ大小及組織ノ粗密等ニ關係スルコトモ事實デアアル。

80. 滲透係數及其測定 前ニ述べタ如ク土砂ノ滲透係數ハ其土砂ノ粒ノ大サ及形、其配置又ハ積疊ノ狀態及粒ノ混合ノ割合等ニ依テ異ナル。然ルニ土壤ノ天然ノ狀態ノ儘デ地中ニ入込ムコトハ不可能デアアルカラ以上四ツノ値ヲ

直接ニ認識スルコトハ出來ナイ。唯普通ノ試錐ニ依レバ地中カラ土ノ試料ヲ採リ、其粒徑ヤ形ヲ定メ、且ツ粒ノ混合ノ割合ヲ定メルコトガ出來ル。然シ以上ノコトヲ知り得テモ天然ノ狀態ニ於ケル土ノ滲透性ハ如何ナルモノデアアルカハ之ヲ確カメルコトガ六ケシイ。又前ノ様ニシテ一箇所ノ滲透性ガ知ラレテモ廣イ區域ノ地下帶水層ノ縱又ハ横ノ滲透性ノ變化ハ之ヲ推定スルコトハ容易デナイ。言ハバ平面上ノ一點カラ其平面上ノ全局ヲ斷言セントスル様ナモノデアアル。

砂粒ガ齊一デアレバ其滲透性ハ大イガ、粒ガ大小混合シテ居ルモノハ其滲透性ガ少イ。而カモ成ルベク大キナ粒ノ土ガ一樣ナ大サノモノデアルトキ滲透性ガ最モ大キイ。粒徑ガ相等シイ球ノ場合ニ空隙率ハ其半徑ノ大小ニ關係セズ皆相等シイコトハ嘗テ述べタ通りデアアルガ粒ノ大小ハ粘性ヤ表面張力ニ關係ガアル。

即チ地下流水ノ方向ニ直角ニ一ノ斷面ヲ考ヘレバ水ヲ通ス所ノ通面面積ガ得ラレル。今粒徑ノ相等シイ土ノ粒ノ大サガ大トナレバ縱令二ノ通面面積ガ相等シクアツテモ其水ニ接觸スル潤周ガ減少スル、地表水ノ場合ト同ジク潤周ガ減少スレバ滲透性延イテ流量ハ増加スル。

試錐ニ依ツテ土ノ試料ヲ地中カラ採ツテ其緊マツタ土ノ粒徑ヲ知ルハ嘗テ述べタ淘汰法ヤ沈澱法及篩別法ニ依ラナケレバナラナイ。

土粒ノ形相ハ主トシテ其成立ト大サニ依ツテ異ナル。所謂帶水層ハ岩石ノ破片カラ成リ其輾轉移動シタ揚句ニ成立ツタモノデ、其起源カラ現在ノ所ニ來ル迄ノ徑路ガ遠イ程各粒ハ磨滅シテ尖角ヲ失ヒ圓味ヲ帶ビル様ニナル。

母岩カラ風化セラレテ破片トナリ、附近ニ横ハル所ノ殘層又ハ定積土並ニ流水、氷河及風生ノ諸沈澱物即チ運積土ハ帶水層トシテ區別スベキモノデアアル。各土粒ノ形相ヤ其他ノ物理的性質カラ殆ド除外例ナシニ其土砂ガ如何ニ

運搬セラレテ來タカヲ知ルコトガ出來ル。

定積土ハ母岩ノ破壞ノ爲ニ出來テ且ツ其母岩ノ附近ニ殘留シテ居ルモノデア
アル爲メ尙尖銳デ大小不同デア。從テ細イ破片ガ混ツテ居ル程滲透性ハ少
イガ、然ラザレバ濾過作用ハ多イ。氷河礫ハ其移動ノ徑路ガ長ケレバ圓味ヲ
帶ビ、短ケレバ尖ツテ居ル。其單純ニ氷河ノ堆石カラ現ハレテ水力ニ翻弄輾
轉セラレナイモノハ尖リガ多イ。然シ氷河ニ生レテ流水ニ送ラレタ流水氷河
ノ起源ヲ有スル礫ノ類ハ磨滅シテ圓味ヲ帶ビテ居ル。流水及風生礫ハ流水ヤ
風ノ爲ニ長距離移動シタ爲メ角ハ取レテ球狀トナリ或ハ橢圓形トナツテ居
ル。

個々ノ粒ノ不規則ナ形相ニ就テハ其長サ幅及厚サノ間ニ如何ナル關係ガ存
スルカタ定メルコトハ困難デア。はーぜん (Hazen, A.) ハ沖積地ニ見出サ
レ濾過用砂トシテ用ヒラレル規則正シク磨損シタ砂ニ就テ實驗シタ所ニ依レ
バ圓味ヲ持ツタ砂粒ノ三軸ヲ取り、其軸ノ方向ニ測ツテ 1.38 : 1.05 : 0.69
ナルコトヲ見出シタ。此ニ砂粒ノ容積ハ直徑1ノ球ニ等シイモノトシテア
ル。ケーラー (Koehler) ハ以上ノ關係ヲ研究シテ長軸ヲ1トスレバ三軸ノ比ハ
1 : 0.75 : 0.5 デアルト言ツテ居ル。

一般ニ短イ山川ヤ沿岸流ナドノ砂礫ハ種々ナ大サノ尖銳ナ粒ノモノガ多
ク、大河ノ下流ニ於テハ殆ド粒ノ大サガ等シク圓味ヲ帶ビテ居ル。

おーだー、らいん、どなう、ざーれ等中歐諸川ノ河砂 1.0 耗及更ニ小サイ
粒ノ中ニハ 0.1 耗ヨリモ小サイ無數ノ角張ツタ粒ノモノガアルノハ注目ニ値
スル。是レ大クテ重イ砂礫ハ河底ヲ轉下スルニ反シテ小クテ輕イ粒ノ砂ハ浮
游シテ流レル爲メ其角ノ取レルコトガ少イ爲デア。

各方面ノ研究ニ依レバ礫物ノ破片カラ成ル土砂ノ物理的特性ハ殆ド各土粒
ノ形相ノ大サノミニ關スル様デア。即チ最も必要ナ性質ハ其粒ノ大サデア

ル。而シテ各粒徑ヲ夫々定メタ範圍ノ中ニ分類スルコトモ有益デア。實用
上他ノ規格ヲ用ヒルコトモ出來ル。例ヘバはーぜん、せーるはいむ (Seelhe-
im)、ぎせびうす (Gisevius) 等ノ所謂土砂ノ平均粒徑ハ其一デア。

土砂ノ平均粒徑ト云フノハ先ヅ一定容積内ノ粒ノ數ヲ算ヘ、其總重量ヲ精
密ニ測定スル。此總重量ヲ粒ノ數デ除ツテ各粒ノ平均重量ガ得ラレル。若シ
更ニ砂ノ比重ガ知ラレテアレバ各粒ヲ球トシテノ直徑ヲ計算スルコトハ容易
デ、是ガ平均粒徑デア。今細イ砂ノ大部分ト若干ノ大イ砂礫トガ混ツタ土
砂ガアツタ場合ニ所謂平均粒徑ハ大半ノ細カイ砂ノ直徑ヨリハ著シク大キク
ナツテ居ル。然ルニ帶水層内ノ毛管引力ノ現象ハ地下ノ成立ヤ流水及滲透等
ノ内部ノ性質ニ關係スルモノデ殆ド全く最も細カイ土砂ニ關シテ居ルト言ツ
テモ過言デナイ。是等ノ理由カラ礫物破片ノ滲透性ヲ種別スルニハ所謂平均
粒徑ヨリモ反ツテ細カイ土砂ノ直徑ニ依ルノガ理窟ニ合フ。唯粒ガ比較的揃
ツテ居ル様ナ場合ニハ平均粒徑ガ實際ニ適應スル筈デア。はーぜんハ以上
ノ見解カラ最も有効ニ滲透性ニ呼應スル所ノ粒ノ大サヲ定メル爲ニ砂ノ有効
粒徑ナルモノヲ用フベキコトヲ唱導シタ (第二章第一節 17 參照)。

砂ノ有効粒徑ト云フノハ篩別スル場合ニ全體ノ砂ノ一割ヲ篩通スガ其9割
ハ之ヲ通サヌ様ナモノヲ云フデア。然シ此方法デモ可ナリ揃ツタ粒ノ砂
ニハ適用出來ルガ、不揃ノ粒ノモノニハ之ヲ見出シテモ役ニ立たナイト云フ
コトニナル。是ニ於テ砂ノ有効粒徑ガ混ツテ居ル場合ニ其物理的特性ヲ定メ
ル方法トシテはーぜんハ更ニ齊粒係數ナルモノヲ定メタ。

即チ砂ノ6割ヲ篩落シテ残り4割ヲ止メル篩ノ目ノ大サヲ定メ、之ヲ有効
粒徑デ除ツタ商ガ所謂齊粒係數デア。例ヘバ大小色々ノ粒ノ混ツタ砂ノ6割
ガ0.5耗ヨリ細カク、1割ガ0.25耗ヨリ細カイナラバ其齊粒係數ハ0.50/0.25
=2.00デア。此係數ガ大イ程砂ハ不齊デ、之ニ反シテ其小サイ程粒ノ大サ

ハ齊一ナルニ近く、若シ此係数が1 ナラバ完全ニ齊一デアル。齊粒係数が5
ヲ越ヘナイ間ハ粒ハ有効粒徑ヲ以テ表ハシ得ラレルトハ一ゼンハ言ツテ居
ル。以上は一ゼンガ唱導シタ土砂ノ有効粒徑及齊粒係數ハ砂ノ滲透ノ値ヲ比
較スルニ當リ簡單デ且ツ實用上満足スベキ標準トナル。

帯水層ノ滲透性ハ獨リ土砂ノ空隙及粒徑ニ依ツテ異ナル許リデナク、各粒
ノ配置又ハ積疊等ニ依ツテ同一デナイ。水流ノ中ニ長短様々ノ障害物ヲ置ケ
バ夫々異ナル流線ヲ得ルト同ジク、土粒ノ種々ナル配置ガ亦夫々異ナツタ地
下水ノ滲透ヲ生ズルコトハ有リ得ベキコトデアル。ちえーむ (Thiem) ハ土粒
ノ全く不規則ニ配置シタ場合ト流過ノ方向ニ砂礫ノ配置シタモノトニ依ツテ
滲透性ヲ區別シテ居ル。球狀ノ細砂ノ場合ニハ流レノ方向ニ平行ナ層ヲ以テ
シテモ別ニ滲透性ヲ増スコトハナイガ不規則ナ半バ尖ツタ形ノ礫ニ於テハ流
レノ方向ニ平行ナ層ノ滲透性ハ不規則ニ配置セラレタモノ、3.68 倍ニ達ス
ル。

帯水層ヲ組立テ、居ル土砂ノ粒ハ大小非常ニ異ナリ、其混合ノ比モ亦著シ
ク變化シテ居ル。

地水學デハ地下帯水層ヲ其粒徑、粒ノ形及混合ノ比ニ從テ係數ヲ以テ表ハ
シテ居ルガ實際ニハ砂交リノ粘土、粘土交リノ砂、細砂及粗砂、礫交リノ砂ナ
ド數量的ニハ稍々曖昧ナモノガ多イケレドモ篩別ヤ淘汰法沈澱法等ニ依レバ
混合ノ比ハ之ヲ量的ニ表ハスコトガ出來ル。

すりひたー (Slichter, C. S.) ハ相等シイ球ノ直徑 d 糶ノモノヲ取り其空
隙率ガ 26.0 乃至 47.6 %ナル場合ニ其滲透係數 k ト d トノ間ニ次ノ關係ガ
アルコトヲ發表シタ。此ニ c ハーノ因數デ攝氏 10° ノ溫度ニ於テ次ノ値ヲ持
ツテ居ル。 x モ亦空隙ニ關スル他ノ定數デアアル。

$$k = 771 d^2/c = x d^2 \quad [83]$$

第三十六表 滲透係數 k 、因數 c 及定數 x ノ値

空隙率 p	26	28	30	34	38	42	46
虛實率 ϵ	0.352	0.388	0.428	0.515	0.612	0.723	0.856
因數 c	84.3	65.9	52.5	34.7	24.1	17.3	12.8
定數 x	9.1	11.7	14.7	22.2	32.0	44.6	60.2

ハ一ゼンハ d_w ヲ土粒ノ有効粒徑 (糶) 又ハ全容積ノ $1/10$ ヨリ小ナル如キ
粒ノ直徑、 t ヲ水溫トスレバ細カキ淨砂ニ對シテ次ノ如ク k ノ値ヲ定メ
タ。

$$k = 116 (0.7 + 0.03 t) d_w^2 \quad [84]$$

くれすにっく (Kresnik, P.) ハ其後暖水ヲ以テスル粗砂ノ滲透係數ハ細砂ヨ
リモ著シク増加スルコトヲ見出し、次ノ公式ヲ提供シタ。

$$k = k_0 [1 + 0.0745 (t - 10) \sqrt{d_w}] \quad [85]$$

此ニ k_0 ハ攝氏 0° ノ時ノ滲透係數ヲ表ハス。すりひたーハ更ニ砂ノ有効粒
徑 d_w ニ就イテ攝氏 10° ノ地下水ニ對スル滲透係數 k_0 ヲ發表シタ。

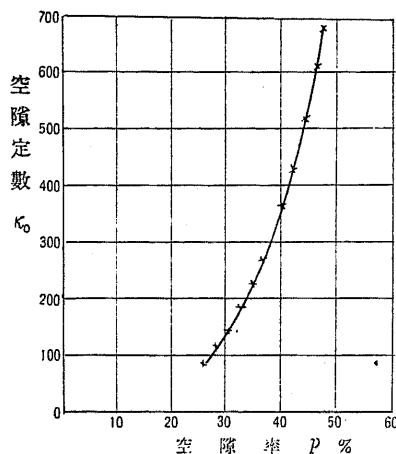
$$k_0 = x_0 d_w^2 \quad [86]$$

此ニ空隙定數 x_0 ト空隙率 p トノ關係ハ第三十七表ニ示スガ如クデアアル。

第三十七表 攝氏 10° ノ空隙定數ト空隙率

空隙率 p	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	47
空隙定數 x_0	90	120	150	190	230	270	310	370	430	520	610	680

第六十八圖ハ空隙率 p ト空隙定數 x_0 トヲ圖示シタモノデアアル。唯此ニ注意
スベキコトハ土砂ノ粒徑ヤ配置ノ状態ハ天然ト實驗トガ同一デナイ許リデナ
ク、天然ニ於テモ處ニ依ツテ異ナリ同一律ニハ推スコトガ出來ナイコトガ是



第六十八圖 空隙滲透曲線

k を定メルコトが出来ル。但シ理論的ニ k の値ヲ定メルノハ頗ル困難デアルガてるざき一ハ砂ニ就テすりひたノ公式カラ次ノ公式ヲ誘導シタ。即チ d_w ナ前ノ如ク土粒

ノ有効粒徑 (輝)、 p ナ小数デ表ハシタ空隙率、 η_0 及 η_t ナ夫々攝氏 10° 及 t° ニ於ケル水ノ粘性係數、 C ナ一ノ實驗係數デ 800% 乃至 460% トシ、粒ノ形ヤ齊粒又ハ粒ノ齊一度ニ關スルモノトスレバ

$$k = \left(\frac{C}{\eta_0}\right) \left(\frac{\eta_0}{\eta_t}\right) \left(\frac{p - 0.13}{\frac{2}{3} / 1 - p}\right)^2 d_w^2 \quad [88]$$

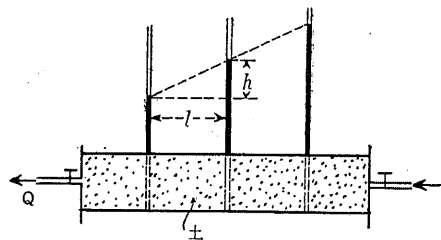
[88] ナ見レバ k ト p トハ一ノ種ノ拋線ノ關係ヲ保ツテ居ル。

以上ノ事實カラ攝氏 10° ナ標準溫度トシ、空隙率 50% ノモノニ滲透係數ヲ更正シテ之ヲ更正滲透係數ト呼ビ、 k_r ナ以テ之ヲ表ハセバ [88] カラ

デアル。

今實驗的ニ滲透係數ヲ定メルニハ第六十九圖ニ示スガ如ク、土ノ試料ヲ斷面積 F 方米ノ鐵管ノ中ニ入レテ一端カラ水ヲ通セバ他端カラ出ル水量ヲ測定スルコトが出来ル。而シテ水壓計ヲ取附ケレバ $J = h/l$ カラ動水勾配ヲ知ルベク又 $Q = k F J$ カラ

$$k = \frac{Q}{FJ} \quad [87]$$



第六十九圖 滲透係數測定裝置ノ一

$p = 0.5 \eta_0 = \eta_t$ トシテ係數 C ナ C_0 トスレバ

$$k_r = C_0 d_w^2, \quad C_0 = 174 - 100 \quad [88']$$

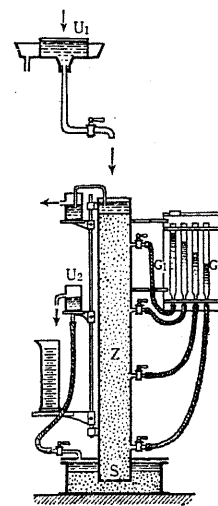
トナル。即チ k_r ハ溫度ヤ空隙率ニハ關係セズシテ粒ノ性質ヤ齊粒ニ依ルコトヲ示シ、其如何ニ滲透ニ影響スルカタ知ルコトが出来ル。但シ以上ノ場合ニハ全然粘土ヲ含マヌ淨砂タルヲ要スル。

粘土ノ滲透係數ハ ϵ ナ虚實率即チ空隙ノ容積ト實質ノ容積トノ比トスレバ次ノ如ク表ハスコトが出来ル。但シ係數 c ハ $c = 0.0166$ デアル。

$$k = \left(\frac{C}{\eta_0}\right) \left(\frac{\eta_0}{\eta_t}\right) \frac{(\epsilon - 0.15)^{11} (1 + \epsilon) d_w^2}{(\epsilon - 0.15)^5 + \frac{c}{d_w^3}} \quad [89]$$

或ハ更正滲透係數ニ於テ粘土ノ場合ニハ凡ソ $C_0 = 1.9$ トナリ、砂ノ 90 分 1 乃至 50 分 1 トナル。

滲透係數ハ亦第七十圖ニ示ス様ナ裝置デ測定スルコトが出来ル。即チ土砂ノ試料ヲ圓壻 Z ニ填メ、Z ノ底 S ニハ篩ヲ置キ其上ノ濾過層ハ約 1 米トシ、之ヲ三乃至四ノ相等シイ高サニ分ケ、内容土砂ノ抵抗ガ相等シイ場合ニハ其配置又ハ積重ノ齊一ヲ示ス。圓壻ノ上ニ注入スル流量ヲ一定ニスル爲ニハ溢流 U_1 ガアリ、又水面ノ高サハ流出 U_2 ニ依ツテ調節スルコトが出来ル。硝子管 $G_1 G_2 G_3 G_4$ ハ遊標ノ類ニ依ツテ精密ニ其高サヲ讀ムコトが出来、各管ニハ亦其中ノ空氣ヲ排除スル爲メ排氣裝置ヲ備ヘテアル。連絡管ノ直徑ハ 1 耗デ圓壻カラ砂が出ナイ様ニ砂止ノ網ヲ取付ケテアル。



第七十圖 滲透係數測定裝置ノ二

だるしー (Darcy) ハ篩目 0.77 耗ヲ通過シタ砂 58% 1.1 耗ノモノ 13%、

2.0 ノモノ 12 %、粗礫 17 % ノ混合砂ヲ用ヒテ $k = 0.0003$ 米/秒ヲ得タ。次表ハ他ノ觀測者ガ得タ若干ノ滲透係數ノ値デアアル。

第三十八表 滲透係數表

種類	粒徑(耗)	滲透係數(米/秒)	實驗者
和蘭砂丘ノ砂	—	0.0002	Penninck
壩母ノ痕跡ヲ有スル砂	—	0.0002	國立運河委員
河砂	0.1—0.3	0.0025	〃
河砂	0.1—0.8	0.0088	〃
濾砂(はんぶるぐ)	—	0.0077	〃
細礫	2.0—4.0	0.0300	Welitschkowsky
中礫	4.0—7.0	0.0351	〃

前ノ様ナ裝置デ滲透係數ヲ定メテモ實驗ニ用ヒタ土砂ノ配置又ハ積層ノ状態ハ天然ニ緊マツタ土トハ同一デナイカラ實驗ノ結果ハ天然ノ土砂ノ場合トハ自ラ異ナルモノガアルコトヲ知ラナケレバナラナイ。

天然ノ儘ノ地中ヲ滲透スル水ノ滲透係數ヲ定メルニハ地下水ノ流向ニ直角ニ斷面積 F 、其斷面積ノ流量 Q 及動水勾配 h/l ヲ測レバ $k = \frac{Q}{F} \frac{l}{h}$ ノ關係カラ之ヲ定メルコトガ出來ル。即チ k ハ單位斷面積デ h/l ガ 1 即チ單位勾配ノ處デ單位時間内ニ移動スル地下水ノ流量ヲ表ハシテ居ルカラ、ちえーむ(Thiem) ヤふるしはいまー(Forchheimer) ハ k ヲ單位滲透量ト呼び、天然ノ緊マツタ地中ノ k ノ値ヲ定メル爲ニ所謂えぶしるん(ϵ)法ヲ用ヒタ(128 參照)。又同ジ目的デるんめると(Lummert)ノ提案シタ方法モアル(129 參照)。

然シ地中ノ實地ニ就テ滲透係數ノ絕對値ヲ見出スハ困難デアルカラ、其比較値ヲ用ヒルコトモ亦一方法デアアル。例ヘバ天然ノ地域ニ井戸ヲ掘ッテ一定水量 q ガ繼續シテ涌出スル様ニナリ、之ガ爲ニ始ノ水位カラ下ツタ深サヲ h_0 トスレバ q/h_0 ヲちえーむハ比滲透量ト呼ンデ居ル。換言スレバ水位ガ 1

米丈ケ下ル爲ニ其井戸カラ涌出スル水量ヲ云フノデアアル。然シ後ニモ述べル如ク井戸ノ湧出量ハ其直徑ガ大ナル影響ヲ持ツテ居ルカラ、之ヲ無視シタ比滲透量ハ正シイ比較ニハナラナイ。從テ吸水孔ヲ備ヘタ管ノ直徑ヲ d_0 、其長サヲ l_0 トスレバ吸水面積 f_0 ハ $\frac{\pi}{4} d_0^2 l_0$ ニ等シイカラ f_0 ヲ以テ q/h_0 ヲ除ツタ $\frac{q}{h_0 f_0} = \frac{q}{h_0 \frac{\pi}{4} d_0^2 l_0} = \frac{4q}{\pi h_0 d_0^2 l_0}$ ヲ比滲透量トシ、水位ノ降下 1 米ニ對シ、吸水面ノ 1 方米カラ涌出スル水量リットル又立米/秒ヲ以テ之ヲ表ハセバ有壓地下水ノ流量又ハ滲透量ヲ比較シタ値ヲ知ルコトガ出來ル。然シ又帶水層ガ非常ニ厚ク水量ガ豊富デ水位ノ降下ガ少ケレバ開放地下水ノ場合デモ實用上以上ノ比滲透量ヲ用ヒテ比較スルコトガ出來ル。

然シナガラ比滲透量ハ地下滲透量ノ比較的ノ値ヲ與ヘルニ過ギナイカラ、幾多試驗ノ測定セラレタ水源地方ナドデ充分知ラレテアル地下湧出量ノ比較ニ用ヒル様ナ場合ニハ適當デアルガ、絕對値トシテ之ヲ甘受スルコトハ出來ナイ。

比滲透量ヲ σ 、地下水斷面積ヲ F 、 l ナル距離ニ於テ水位ノ降下ヲ h トスレバ二ノ取水地點ニ就テ $\sigma F \frac{h}{l}$ ナル積ヲ作り、是等ヲ比較スレバ兩取水地點ニ於ケル湧水量ヲ比較スルコトガ出來ル。例ヘバ A, B 兩取水地點ニ於テ次ノ如キ材料ヲ得タモノトスル。

取水地點	比滲透量 σ (毎秒リットル)	帶水層斷面積 F (方米)	動水勾配 h/l	$\sigma F h/l$
A	1.65	35000	0.0015	86.63
B	5.30	24000	0.0012	152.64

即チ A 及 B ニ於ケル湧水量ノ比ハ 86.63 : 152.64 又ハ 1 : 1.76 デアル。故ニ A ニ於テ毎日 6000 立米又ハ 33240 石ヲ湧出シテ居ルナラバ B ニ於

テハ 10560 立米又ハ 58502 石ノ毎日湧水量ヲ得ル勘定デアアル。

手押唧筒ノ類デ湧水量ヲ調査スル場合ニハ其固定状態ニ達スルコトハ困難デ、且多クノ帯水層ノ滲透性ナルモノハ著シク變化スルカラ比滲透量モ亦可ナリ廣イ範圍内ニ異動アルヲ免レナイ。即チ比滲透量ナルモノモ或偶然ノ値ト見做サナケレバナラナイ。

81. 地下水流動論 井戸ノ水ヲ吸揚ゲル爲ニ地中ニ生ズル水理上ノ状態ヤ其後ノ現象ハ地下水流動論ニ依ツテ計數的ニ之ヲ知ルコトガ出來ル。地下水ノ流動ハ緩イ土砂ノ堆積内ニ始マリ、粒ノ間ニ存在スル空隙ノ間ヲ蜿蜒進行シ、屢々分岐シタリ、又ハ合流スル溝渠ヲ爲シ、是等ノ溝渠ノ断面ハ至ル所變化シ、所謂毛管ノ集團ト見做スベク、多クノ帯水層ノ特質カラ水ノ毛管作用ノ法則デ地下水流動論ヲ組立テルコトガ出來ル。

地下水流動ニ關スル嶄新ナ文獻トシテハび_どう(Budau)、ふ_おるしはいまー(Forchheimer)、あんぼー(Imbeaux)、きんぐ(King)、ろれんつ(Lorenz)、り_ゆーがー(Lueger)、すりひたー(Slichter)、すむれーかー(Smreker)、ちえーむ(Thiem)、ふ_えるするいす(Versluys)、ゑーらうふ(Weyrauch) ナドノ研究ヲ舉ゲルコトガ出來ル。

82. だるしーノ法則 ぽ_すういーゆ(Poisueille)ノ非常ニ小サイ直径ノ管即チ毛管ニ關スル實驗ヲ基トシテだるしー(Darcy)ハ洗ハヌ濾砂ヲ通シテ水ヲ流シテ實驗ヲ行ツタ。即チ流量ヲ Q 、断面積ヲ F 、空隙率ヲ p 、流速ヲ v 、滲透係數ヲ k 、砂ノ長サヲ l 、落差ヲ h トスレバ 79 [81] 又ハ [81] ニ述ベタ通り次ノ關係ヲ見出シタ。

$$\frac{Q}{F} = pv = k \frac{h}{l} \quad [90]$$

即チ流速ハ地下水勾配ニ單比例ヲナシテアル。ち_びるー(Dupuit)ハ運河ニ於ケル流水ノ研究カラ次ノ二次式ヲ得タ。

$$h = \alpha u + \beta u^2 \quad [91]$$

此ニ α 、 β ハ係數デ、殊ニ u ガ小サイ場合ニ第二項ハ非常ニ小サイモノデアツタ。即チ [90] ト [91] トハ極メテ相近イモノデアアル。[91] ナらば、すういーゆ、だるしー及ち_びるーノ法則ト呼ビ、簡單ノ爲ニ之ヲだるしーノ法則ト云ツテ居ル。

許多ノ實驗カラだるしーノ法則ハ小勾配及小流速ニ非常ニ良ク當嵌マルコトガ知ラレタ。是レ最モ多クノ天然ノ地下水ニ適スル關係デ、多クノ地下水流ニ用ヒ得ル所以デアアル。ぷりんつ(Prinz)ノ説ニ從ヘバ地下水ノ勾配 1:100 乃至 1:3000 ヲ限界トシテ之ヨリ小サイ勾配ニだるしーノ法則ガ當嵌マル。

勾配ガ大トナレバ水量ノ増加ハ勾配ニ伴ハナイ。又濾過材料ヲ組立テアル粒ガ大キナル程益々外レ方ガ甚ダシイ。其外大小ノ粒ノ混合ノ比ニモ關係シテ居リ、大粒ノモノガ多イ程空隙ガ減少スル爲メ抵抗ヲ増シ、だるしーノ法則ハ益々多ク外レル。

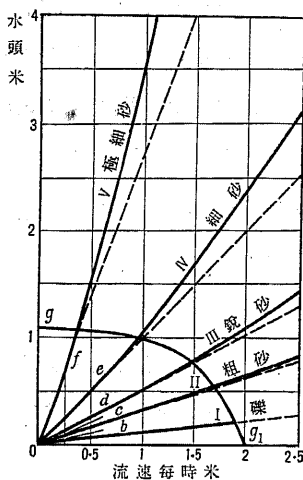
又勾配ガ前ニ述ベタ限度ヲ越エレバ縦ヘ粒ガ揃ツテ居テモだるしーノ法則ガ當嵌マラナイ。此理由カラ人工濾過ハ一般ニ勾配ガ大デアアル爲メ此法則ノ適用ハ六ケシイ。

流速ガ大ナル場合ニモだるしーノ法則ハ亦適用シ得ナイ。例ヘバ揚水設備ニ依ツテ地中ガ人工的ニ變形ヲ受ケタ場合ナドハ即チ是デアアル。即チ流速ガ砂粒ニ對シテハ過大ナ爲メ砂ノ移動ガ起ツテ大キナ空隙ヲ生ジ、水分子ハ側面ノ運動ヲ起ス。此側面運動ハえねるぎーヤ壓力ノ損失ヲ生ジテ恰カモ渦巻ノ爲ニ其損失ノ起ルト同工異曲デアアル。

ぴーふけ(Piefke)ハ礫、粗砂、銳砂、細砂及極細砂ヲ夫々第一號乃至第五號ノ砂ト名ケテ其空隙率ヲ測リ、且ツ礫ノ空隙率ヲ 100% トシテ他ノ土砂ノ空隙率ヲ比較シタ所ガ次ノ如キ結果ヲ得タ。

番 號	砂ノ種類	空隙率%	空隙率ノ比%
I*	礫	24.9	100
II	粗 砂	31.4	126
III	銳 砂	22.3	129
IV	細 砂	33.6	134
V	極細砂	34.0	137

第七十一圖ハ 流速毎時米ヲ 横距トシ、1 米ノ 通路ニ 必要ナル 水柱ノ 高さ



第七十一圖

砂礫ノ 壓力流速線(びーふけニ據ル)

失ツテ弧狀トナリ、礫デハ毎時 2.0 米デ漸ク比例ガ止ンデ居ル。即チ方ニ 8 倍ノ 流速デアル。

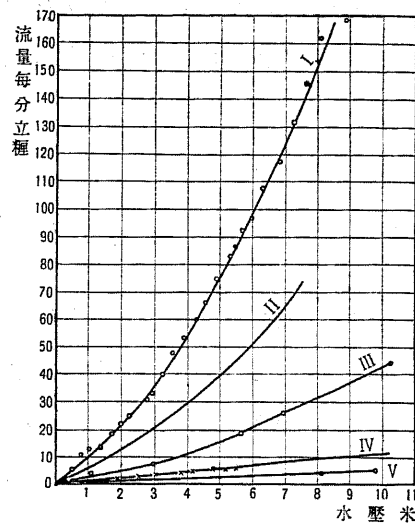
天然ノ 地下容水盤ハ 多く極細砂ト礫ノ 間ノ 土砂カラ 成ツテ居ル。而シテ地 下水ノ 平均流速ハ 毎時 0.25 米又ハ 1 日 6 米ヲ 超エルモノハ 稀デアルカラ びーふけノ 實驗カラ 見レバ だるしーノ 法則ハ 實際ノ 必要ニ 對シテ 充分精密ナ 結果ヲ 與ヘルガ、然シ 更正ノ 必要ガ 全然無イト云フ譯ニ 行カナイ。

(米)ヲ 縦距トシタ 以上各種ノ 砂礫ノ 壓力流速曲線デ、基點ニ 近い部分ハ 孰レモ 皆直線ヲ 爲シテ 居ルガ、粒ガ 大キイ程 即チ 空隙率ガ 小ナル程 流速ガ 増シテ 横軸ニ 向テ 凸出シ、而カモ 直線ヲ 以テ 基點カラ ノ 直線ヲ 描ケバ 弧線ノ 切點ヲ 繋イテ 曲線 gg_1 ヲ 得ベク、 gg_1 ト 基點 0ノ 間ガ 即チ だるしーノ 法則ヲ 適用シ 得ベキ 部分デア ル。 gg_1 ヨリ 先端ノ 部分ハ 曲線ノ 傾斜ガ 孰レモ 流速ガ 増スト 共ニ 又砂粒ガ 細イ程 益々 速ニ 且ツ 曲率ガ 大トナル。極細砂ニ 於テハ 毎時 0.25 米ノ 流速デ 既ニ 比例ヲ

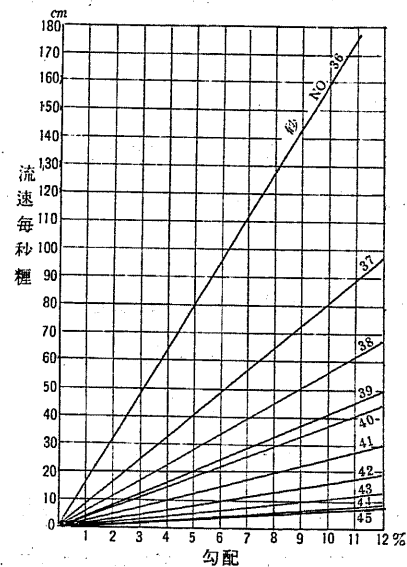
廣イ 範圍ニ 涉リ、大ナル 注意ヲ 以テ 行ツタ きんぐ(King)ノ 實驗ニ 依レバ 實際現ハレル 地下水 流速ノ 範圍内デハ 徹頭徹尾 だるしーノ 法則ヲ 用フベキモノデア ルコトガ 知ラレタ。きんぐハ 緩イ 砂礫ノ ミデナク、而カモ 多孔質ノ 砂岩ノ 滲透性ヲ 研究シテ、殊ニ 後者ニ 就テハ 水壓ヲ 横距トシ、攝氏 15ニ 於テ 1 分間ニ 滲透シタ 水量、立櫃ヲ 縦距トシテ 第七十二圖ノ 示ス 様ナ 關係ヲ 得タ。

きんぐノ 實驗ノ 結果ニ 基キ、りーでっけハ 第七十三圖ニ 示ス 様ナ 平均粒徑 0.52 耗乃至 2.54 耗ノ 砂ヲ 取り、其 勾配 0カラ 12%ノ 間ニ 流速毎秒 糎ヲ 見出シ、之カラ 1 方米ノ 斷面積カラ 流出スル 流量毎分 糎ト するヲ 知り得ベカラシメタ。

今 Vヲ 毎日米ヲ 以テ 表シタ 全斷面ノ 流速、Jヲ 勾配、dヲ 砂粒ノ 有効粒徑(耗)トスレバ



第七十二圖 砂岩ノ 滲透性(きんぐニ據ル)



第七十三圖 篩別砂ノ 滲透性(きんぐニ據ル)

くれすにく (Kresnik) ハ攝氏 10° ノ水ニ於テ細砂ニ對シ

$$\left. \begin{aligned} V &= \delta(Jd - 0.01) + \sqrt{\delta \sqrt{\delta(Jd - 0.01)^2 + 1.4J\delta}} \\ \delta &= 40 + 52.5d \end{aligned} \right\} [92]$$

又粗砂ニ對シテハ

$$\left. \begin{aligned} V &= -1875.d\gamma + 54.77\sqrt{d \sqrt{1172d\gamma^2 + 100Jd - 1}} \\ r &= \frac{1}{1 + 1.3d} \end{aligned} \right\} [93]$$

ナルコトヲ見出シタ。

限界流速ノ研究カラルーのーるづ (Reynolds) ハだるしー法則ノ適用範圍ヲ明ニシタ。即チ狹イ空隙ヲ持ツタ土砂ノ間ノ滲透ニ適用スベキ毛管動ノ法則ハ粗粒ノ地層デハ漸次大キナ直径ノ管内ヲ流レル流動體ノ運動ニ推移スル。

すむれーかー (Smreker) ハ次ノ公式ヲ作ツタ。

$$\left. \begin{aligned} h/l &= \alpha u^2 + \beta u^{3/2} \\ \text{又ハ } h/l &= \gamma u^{3/2} \end{aligned} \right\} [94]$$

即チ抵抗ハだるしー公式ノ如ク流速ノ一次式デナク、其 $3/2$ 乗ニ比例シテ居ル。其後すむれーかーハ更ニ之ヲ一般化シテ

$$h/l = \gamma u^m \quad [95]$$

トシタ。m = 1 ノ場合ハだるしーノ公式トナル。1884 年くれーばー (Kröber) ハ揃ツタ粒ノ地層ニ對シ、實驗ノ結果次ノ公式ヲ案出シタ。

$$\left. \begin{aligned} h/l &= (c h u)^w \\ w &= \frac{8 + 2d}{8 + d} \end{aligned} \right\} [96]$$

此ニ c ハ粒徑ニ反比スル係數デアル。是レ一種ノ指數公式ト稱スベキモノデ、其外ろーたー (Rother) ヤつんかー (Zunker) 等ガ之ヲ支持シテ居ルケレドモ勿論指數ノ値ハ必ズシモ同一デナイ。

83. 水温ト地下水ノ運動 水ノ粘性ハ水温ニ關係スルカラ、水温ガ變化スレバ地中ノ滲透性又ハ地下水ノ流速ガ變ハルコトハ見易イ道理デアル。すりしたーニ從ヘバリ、一でっけノ公式ハ水ノ粘性ヲ考慮ニ入レテアル點デ適用スベキモノデアル。即チ v ヲ毎秒糎デ表シタ流速、h ヲ水柱ノ壓力(糎)、l ヲ長サ(糎)、d ヲ有効粒徑、c ヲ空隙率ニ關スル因數、η ヲ粘性係數トスレバ

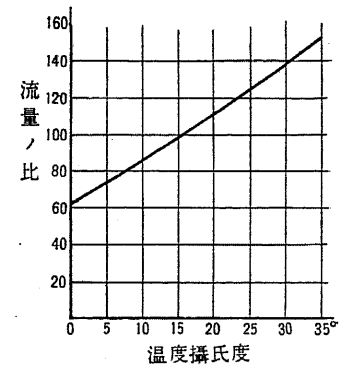
$$v = 10.219 \frac{d^2}{c\eta} \cdot \frac{h}{l} \quad [97]$$

e 及 η ヲ再録スレバ次ノ如クデアル。(第三十六表及第六表参照)

空隙率 %	26	30	35	40	45
因數 c	84.3	52.5	31.6	20.3	13.7

温度攝氏	0°	5	10	15	20	25	30
粘性係數 η	0.0179	0.0152	0.0131	0.0114	0.0101	0.0089	0.0080

り、一でっけハ水温ヲ横距トシ、流量ノ割合ヲ縦距トシテ第七十四圖ヲ與ヘテ居ル。即チ攝氏 15°.40 空隙率 30% ノ場合ノ流量ヲ 100 トスレバ 0° ノ流量ハ 64、5° ノ流量ハ 74、10° ノ時 86、20° ノトキ 112、25° ノ時 126、30° ノトキ 140、35° ノトキ 155 ノ割合ヲ爲ス。即チ 25° ノ流量ハ 0° ノ 2 倍ニ近ク、15° カラ 20° トナレバ流量ハ凡ソ



第七十四圖 水温流量曲線

12%ヲ増ス。ほーそん (Howson) ノ報告ニ依レバ砂ノ中ヲ通過スル流量ハ

攝氏 32° の時ハ 10° の場合ノ 175 % = 達スル。然ルニ第七十四圖カラ攝氏 32° ノ流量 143 ト同ジク 10° ノ流量 86 トヲ比較スレバ恰カモ 166 % トナリ、餘リ甚シキ差異ヲ見ナイ。

すりひたノ公式ニ於テ $10.219 \frac{d^2}{e\eta} = k$ トスレバだるしノ公式ノ形トナル。

リー (Lee) ハ攝氏 10° = 於テ 10/1000 ノ動水勻配デ次ノ如キ地下水流速ヲ與ヘテ居ル。

第三十九表 砂ノ粒徑ト流速

土ノ種類	流 速	
	一年ニ付哩	一年ニ付呎
細砂 徑 0.2 耗	0.010	52.8
中砂 徑 0.4 耗	0.041	216.0
粗砂 徑 0.8 耗	0.160	845.0
細礫 徑 2.0 耗	1.020	5368.3

地中ノ溫度ハ一地點ニ於テハ其變化ガ甚ダ多クナイ。依テ或帶水層中ノ一地點ニ於テハ其溫度ノ差異カラ來ル流速ノ變化ハ甚ダ少イ。然シ深サガ異ナルカ又ハ特異性ノ爲ニ一地點ト他ノ地點トノ溫度ハ相等ニ大ナル變化ガアル勘定デアル。

前ニ述ベタ如ク滲透性カラ砂ト粘土ノ差異ヲ説明スルコトガ出來ル。即チ滲透係數カラ導出シタ更正滲透係數 k_r ハ土砂ノ有効粒徑 d_w ヲ以テ [88]ニ示スガ如ク

$$k_r = C_0 d_w^2 \text{ (糎/秒)}$$

$$C_0 = 1.9 \text{ 粘土}$$

$$C_0 = 174-100 \text{ 砂}$$

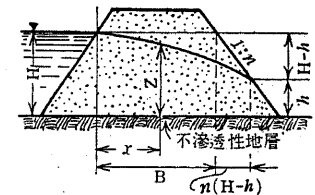
然ルニ粘土分子ノ粒徑ト云フノハ相等シイ容積ノ球ノ直徑デナク、水中デ粘土分子ト同ジ速度ヲ以テ沈下スル球粒ノ直徑ヲ指スベキモノデ之ヲ等速粒徑ト呼バベキモノデアル。片鱗狀分子ハ粘土ノ特色トモ云フベク其片鱗ヲ地平ニシテ沈下スルカラ、斯カル分子ノ容積ハ同一ノ等速粒徑ノ球ノ容積ニ比較スレバ遙ニ小サイモノデアル。故ニ砂ハ粘土ト同一ノ等速粒徑ヲ持つ程細カイモノデアツテモ一定容量ノ砂ハ同容量ノ粘土ノ分子ノ數ニ比スレバ遙ニ少イ分子ヲ持つテ居ルノデアル。

化學ニ於テハ分子ノ大サガ 0.1 μ (μ ハみくろ一ン) ヨリ小サイ粉末ヲころいど又ハ膠質物ト呼ンデ居ル。而シテ粘土分子ノ等速粒徑ハ 2 μ デモ片鱗狀ヲシテ居ル爲ニ 0.1 μ 位ノ粒徑ノ分子ト同ジ容積デアル。從テ最大粒ガ 2 μ 位ノ等速粒徑ノ粘土ハ膠質物ト同ジ性質ヲ持つテ居ルカラあつた一べるぐ (Atterberg) ハ 2 μ 以下ノ大サノ粘土分子ヲ膠質泥ト呼ンデ居ル。あつた一べるぐハ種々ナル鑛物ヲ磨潰シテ出來タ所謂膠質粉末ヲ見レバ片鱗ノ構造ヲ持つタ破片ノミガ粘ル泥トナルコトヲ見出シタガ凡ベテノ粘土ハ粘リガアル。

之ヲ要スルニ砂ト粘土ノ間ノ差ハ其粒ノ大サト形ニ過ギナイ。

84. 堰堤内ノ滲透 土ヲ盛上ゲテ其一方ニ水ヲ灌ヘルノハ土堰堤、河川堤防又ハ海岸堤防ナドニ克ク見ラレル。其施

工ハ殊ニ充分ナル注意ヲ要スルノデアルガ、若シ搗固ヲ忘レタリ又其堤腹ノ防護ヲ忽セニスルトキハ屢々不測ノ決潰ナドヲ招クコトガアル。



第七十五圖 堰堤内ノ滲透曲線

一ノ土堰堤ヲ通シテ第七十五圖ニ示シタ

様ナ滲透ガ現ハレタトスレバ堤防ノ他側ニハ下ノ不透性層ノ上ハ丈ケノ高サ

ノ處ニ漏水ヲ見ルニ至ル。今長さ1米ノ堤防ヲ取ツタモノトスレバ Q 丈ノ
 ノ滲透水量ヲ生ズル勘定トスル。此堰堤ノ滲透率ヲ k トシ、不滲透性地層ノ
 上ニ載セラレテアルモノトスルトキハ地下水ノ動水勾配 J ハ勿論

$$(1) \quad J = -\frac{dz}{dx}$$

ヲ以テ表ハシ得ベク、だるしーノ法則ニ從テ濾過速度 u ハ

$$(2) \quad u = -k \frac{dz}{dx}$$

デアル。滲透量 Q ハ堰堤ノ長さ1米ニ對シテ

$$(3) \quad Q = uz \cdot 1 = -kz \frac{dz}{dx}$$

之ヲ積分スレバ

$$(4) \quad Qx = -\frac{k}{2} z^2 + C$$

$x=0$ ナレバ $z=H$ デアルカラ

$$(5) \quad 0 = -\frac{k}{2} H^2 + C$$

又ハ

$$(6) \quad C = \frac{k}{2} H^2$$

從テ

$$Q = \frac{k}{2x} (H^2 - z^2) \quad [98]$$

或ハ Q ガ定ツテアルナラバ

$$k(H^2 - z^2) = 2Qx \quad [98']$$

z ト x トハ拋線ノ關係ヲ保ツテ居ル。潮汐ノ干満ノ如キ水位ノ變化ガ H ニ
 起ル場合ナドハ頗ル複雑ナ水面 z ノ變化ガ之ニ伴ツテ起ルガ、由來地中ノ滲
 透地層トモ違ツテ土堰堤ナドハ成ルベク不滲透性ナルヲ尙ブモノデアルカラ
 滲透曲線ナドモ極メテ稀デ耐カモ複雑ナ關係ヲ持ツテ居ル。