

乾燥砂中への水の滲透について<sup>1)</sup>

正員 内田 一郎\*

## ON THE PERCOLATION OF WATER INTO THE DRY SAND

(JSCE June 1952)

Ichiro Uchida, C.E. Member

**Synopsis** The writer compacted dry sand in a glass tube of 4.5 cm diameter, and measured the velocity of percolation of water into the sand when the water table was kept at constant height. As the result of this measurement, he obtained next equation.

$$y = at^b$$

where  $y$  = the distance of percolation of water

$t$  = the time required for the percolation of water through a distance  $y$

$a, b$  = constants

It seems that this equation is also applicable to soils of the smaller particles.

**要旨** 乾燥砂を径 4.5 cm のガラス円筒に詰め、水面を砂の表面上或る一定の深さに保つて滲透する水の速度を測定した結果次の関係を得た。

$$y = at^b$$

但し  $y$  : 水が滲透した距離

$t$  : 水が  $y$  なる距離を滲透するに要した時間

$a, b$  : 常数

この関係は砂よりも細い粒子の土についても成立するようである。

## 1. 序論

乾燥砂中への水の滲透に関しては従来ダルシーの法則を適用して次のように考えていた。

今  $K$  : 滲透係数

$y$  : 滲透距離

$h$  : 砂の表面上一定に保たれた水の深さ

$h_c$  : 毛細管ポテンシャルを代表する水頭

$h_v$  : 地中空気圧を代表する水頭

$n$  : 間隙率

とすれば

$$n \frac{dy}{dt} = K \frac{h + y + h_c - h_v}{y}$$

$n, h, h_c$  及び  $h_v$  を一定としてこれを解けば

$$y + (h + h_c - h_v) \log \frac{h + h_c - h_v}{h + h_c - h_v + y} = \frac{K}{n} t$$

或る一定の  $h$  及び  $n$  の値に対して  $y$  及び  $t$  を測

定した場合、もしこの式が成立するならば、 $y, t$  の如何にかかわらず一定の  $K$  及び  $(h_c - h_v)$  の値を得る筈である。然るに実験によつて得た  $y, t$  を用いて  $K$  及び  $(h_c - h_v)$  の値を求めて見るとそれ等の値は一定とはならない。即ち  $K$  及び  $(h_c - h_v)$  が一定であるという考え方は正しくないと考えられる。

Gardner 及び Widtsoe はダルシーの法則を基にして得た結果を実験によつて変形して次式を得ている<sup>2)</sup>。

$$y = c_1 t + c_2 (1 - e^{-Bt})$$

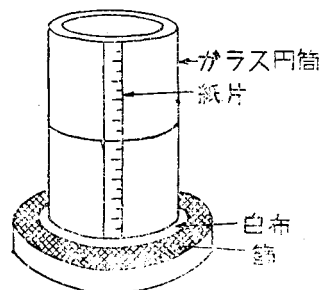
$c_1, c_2, B$  : 常数

この式は常数を決めるのに困難があり、又理論的な解釈も困難である。

本研究においては実験の結果より実験式を作り、 $y$  と  $t$  との関係求めた。

## 2. 実験方法

図-1 実験装置



内径約 4.5 cm、高さ約 5.0 cm の硬質ガラス円筒を図-1 のように 2~5 個重ねて、その接続部の外部を紙片で巻いて糊付けし、その底を白布で覆つて篩の上においた。ガラス

\* 九州大学助教授、工学部土木工学教室

1) 昭和 26 年 12 月 15 日、日本応用力学会、九州大学応用力学研究会第 5 回講演会で講演

2) B.A. Keen: The Physical Properties of the Soil p. 107

円筒は 10 個用意したがその寸法は製作誤差を含み、正確には内径 4.5 cm, 高さ 5.0 cm にならなかつたので、その各々の寸法を精密に測つて容積の計算を行つた。ガラス円筒には紙片を貼り付けて上下方向に 0.5 cm 毎に目盛を補し、乾燥砂を 9~24 cm の厚さに詰めた。使用した砂及びその比重, 含水比, 詰め厚さ, 間隙率, 砂の表面上一定に保つた水深等は表-1 の通りである。詰め方は径 0.5 cm のガラス棒を用い, 厚さ 9 cm のもの (A~D) に対しては 3 cm の厚さ毎に 10 回, E は 5 cm の厚さ毎に 10 回, 他 (F~K) は 5 cm の厚さ毎に 20 回突き固め密度の均一を計つた。このようにして詰め乾燥砂の表面上に表-1 に示す水深を保つて水を滲透させ、その速度を測定して滲透する距離と時間との関係を探つた。

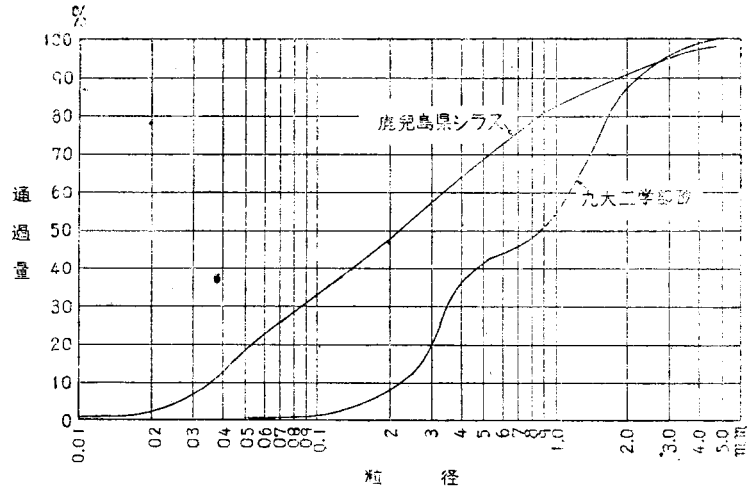
A~E に対しては滲透速度が大きく測定が困難なため数組に分けて測定を行つた。例えば 9 cm の厚さのものに対しては (3, 6, 9 cm), (2, 5.5, 8 cm), (1, 2.5, 7 cm) というように滲透距離を 3 組に分けて 1 回の測定にはその 1 組について行つた。従つて測定回数は表-2 に示すように各滲透距離に対して必ずしも同一ではない。

なおこのようにして水を滲透させた砂は、上面からの蒸発を時計皿を覆う事によつて防いでそのまま放置し、排水の時間的経過の研究を行つた。この研究につ

表-1 実験使用材料

記号	粒度 (mm)	比重	含水比 (%)	詰め厚さ (cm)	間隙率 (%)	水深 (cm)	摘要
A	0.11 ~ 0.3	2.64	0.1	9	42.7 (42.17~43.69)	0.5	豊浦標準砂
B	0.074 ~ 0.208	2.66	0.9	"	55.4 (54.89~56.17)	"	九大工学部 構内の砂
C	0.208 ~ 0.42	2.64	0.5	"	50.8 (50.04~52.01)	"	"
D	図-2 参照	2.64	0.2	"	38.9 (37.96~39.92)	"	"
E	0.208 ~ 0.42	2.64	0.5	24	50.9 (50.67~51.29)	"	"
F	図-2 参照	2.38	5.7	"	59.3	"	鹿児島県シ ラス
G	"	"	2.5	"	56.9	"	"
H	"	"	伊乾葉	"	56.9	"	"
I	"	"	"	18	55.0	3.0	"
J	"	"	2.9	21	57.6	2.7	"
K	"	"	1.0	"	55.0	3.0	"

図-2 材料 D 及び F~K の粒度



いては後に発表する予定である。

3. 滲透距離と時間との関係

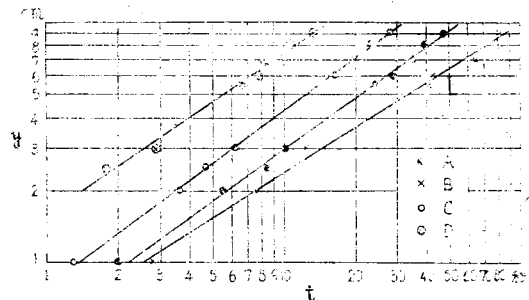
A~D の場合の測定回数及び各滲透距離に対する所要時間の平均は表-2 の通りである。

表-2 A~D の場合の測定回数及び滲透所要時間の平均

滲透距離 (cm)	A		B		C		D	
	測定回数	所要時間 (秒)	測定回数	所要時間 (秒)	測定回数	所要時間 (秒)	測定回数	所要時間 (秒)
1	4	2.0	6	2.8	6	1.3	—	—
2	4	5.5	5	7.6	7	3.6	4	0.9
2.5	4	8.5	6	11.5	6	4.7	3	1.8
3	10	10.1	5	12.6	24	6.2	5	2.9
5.5	4	24.4	5	41.1	7	14.1	4	6.6
6	10	29.2	5	42.3	24	16.7	5	7.9
7	4	35.1	6	64.3	6	20.0	3	8.3
8	4	39.3	5	79.5	7	23.2	4	10.9
9	10	47.9	5	80.4	24	28.1	5	13.4

かくして求めた滲透距離と所要時間とを両対数方眼紙に記入すれば図-3 のように直線関係になる。

図-3 A~D の場合の滲透距離と時間との関係 (両対数紙に於ける)



即ち滲透距離を  $y$ , 所要時間を  $t$  とすれば次のような関係式が成立する。

$$y = at^b, \quad a, b: \text{常数}$$

この式に対して表-2 の  $y$  及び  $t$  の測定値を入れ、最小自乗法を用いて常数  $a, b$  を決定すれば、各々の場合について表-3 のような値を得る。

表-3 A~D の場合の  $a, b$  の値

種類	$a$	$b$	種類	$a$	$b$
A	0.604	0.692	C	0.816	0.717
B	0.558	0.622	D	1.868	0.589

かくして求めた実験式及び測定値を図示すると図-4 のようになる。

E の場合に対しては次式が成立し、それを図示すると図-5 のようになる。なおこの場合の測定回数滲透

図-4 A~D の場合の滲透距離と時間との関係

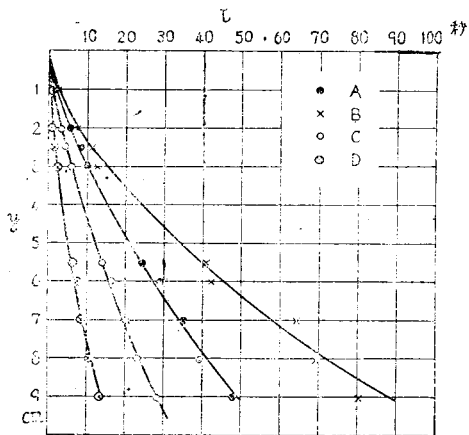
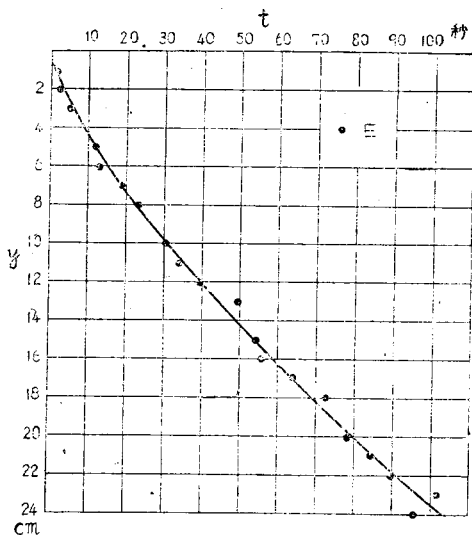


図-5 E の場合の滲透距離と時間との関係



透距離すべてに対して 2 回宛である。

$$y = 0.841t^{0.724}$$

F~K は鹿児島県のシラスについて行つたもので表-1 のように含水量及び砂の表面上の水深等を変えて測定したものである。この場合測定回数は F~K 各場合とも 1 回である。その結果から求めた  $a, b$  の値は表-4 の通りで図示すると図-6, 7 のようになる。但

表-4 F~K の場合の  $a, b$  の値

種類	$a$	$b$	種類	$a$	$b$
F	0.536	0.550	I	0.524	0.558
G	0.528	0.538	J	0.491	0.587
H	0.601	0.578	K	0.364	0.614

図-6 F~H の場合の滲透距離と時間との関係

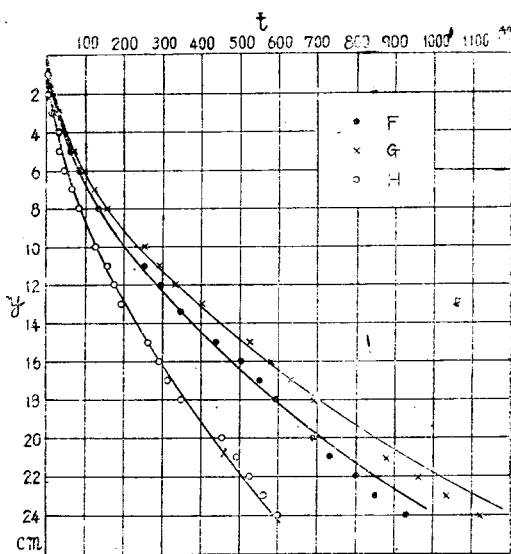
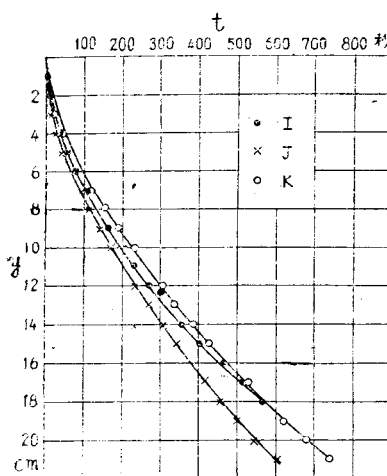


図-7 I~K の場合の滲透距離と時間との関係



し砂の表面上の水深の大なる時には、最初の時期は実験誤差が大きく、例えば I~K に於ては砂の表面より 4~5cm の深さまでは両対数方眼紙上に於て直線とならなかつたので計算に際しては除外した。

Gardner 及び Widdsoe の実験<sup>3)</sup> 或いは Bodman 及び Colman の実験<sup>4)</sup> に対しても  $y=at^b$  の関係は明らかに成立し、 $a, b$  としては表-5 のような値を得る。

- 3) B.A. Keen: The Physical Properties of the Soil p. 108
- 4) Baver: Soil. Physics p. 228~229

表-5

種類 $a, b$	Gardner, Widdsoe			Bodman, Colman	
	粒径 0.3mm	粒径 0.4mm	粒径 0.6mm	シルト質 ローム	砂質 ローム
$a$	0.365	0.360	0.447	0.115	0.435
$b$	0.677	0.804	0.898	0.529	0.510

Bodman 及び Colman の用いた土はシルト質ローム及び砂質ロームであるが、これ等についても  $y=at^b$  が成立する事は砂よりも粒径の小さい土に対してもこの関係が適用出来る事が推測される。

(昭. 27. 1. 28)

UDC 624.135/.137  
622.223.016.5:622.331

## 三池炭鉱に於ける人工島工事について

正 員 森 田 定 市\*

### ON THE CONSTRUCTION WORK OF ARTIFICIAL ISLAND AT MIIKE COLLIERY

(JSCE June 1952)

Sadaichi Morita, C.E. Member

**Synopsis** The following treatise is a report on the construction of a circular artificial island, having a height of 10 meters and an effective diameter of 120 meters, laid above a soft mud strata as a foundation for the sinking of an in-the-bay vertical shaft for the purpose of developing the coal bed of Miike Colliery below the Ariake Sea.

#### 1. 概要

本論文は三池炭鉱に於て有明海底の石炭資源開発のため海中堅坑開鑿の根拠地として軟弱地盤上に高さ 10 m 有効直径 120 m の円型人工島を構築した工事報告の概要を説明したものである。

#### 2. 三池炭鉱の現況と将来

三池炭田は福岡県の南部大牟田市より熊本県の北部荒尾市に拡がり東は三池山、小岱山麓に露頭を現わしこれより約 5~8° の緩傾斜にて西は有明海底深く総面積 740 km<sup>2</sup> に及ぶ大炭田である。

三池炭田中有明海底に埋蔵する石炭の量はなお 10 数億 ton と称せられ今後の三池炭鉱の生産は専らこの方面に依存せねばならない。然しながら深部採掘と共に高温、多湿、メタン瓦斯の発生量も多くなりそのために坑内労働条件も頓に悪化し出炭能率も極度に低下しつつあるのである。それ故経済出炭を確保するためには適当の間隔に堅坑を開鑿して人員、資材、石炭

の運搬距離を短縮すると共に労働条件を改善するため採掘現場に新鮮な空気を送つてやらねばならない。三池炭鉱に於ては一坑口より採掘し得る経済的範囲は堅坑を中心とする半径 2 km の範囲とされている。

既に行詰つた現況を開拓するため昭和 21 年末よりこれが研究に着手し

有明海全域の埋立計画

沿岸 150 町歩の干拓計画

等の研究経過を経て最後に最も工事費の安いしかもさし当りの急場を切り抜け得る人工島構築に決定し昭和 24 年 11 月末より海岸線より 2 km を隔たる有明海軟弱地盤上に有効直径 120 m 高さ 10 m に及ぶ人工島構築に着手したのである。

#### 3. 予備調査

(A) 風向及び風速 風向及び風速の観測調査は本設計に極めて重大なる要素であるから当社の観測の外に福岡、佐賀の各測候所の既往の観測値を参考とした。表-1 は過去 40 年間における暴風の主なものを

\* 三井鉱山株式会社, 三池炭業所建設部長