

# 暗渠排水における地下水位低下と排水時間に関する研究

## 第4報 室内試験における理論と実際

磯島 義一\*

A Study on the Ground Water Movement by  
Drainage of Sub-surface Water

4. The comparison on a Reality and  
a theory in Model Experiment

Yoshikazu ISOJIMA

### 緒言

著者は三重県農業技術センター研究報告、第1報及び第2報で暗渠排水における地下水位低下と排水時間に関する研究を報告した。これは暗渠から排水されて地下水位が低下する時、水位の時間的な推移を計算から求めようとするものである。

実際地下水位が低下しながら暗渠から排水が行われる水の流れは非定常流である。著者は非定常流の水の流れを定常流における関係式で説明しようとした。それは単純明快に説明できるからである。定常流とは、ある断面から1秒間に出て行く流量と、その断面に丁度到着する流量は等しいという水の流れが定常流である。しかし実験によると暗渠から排水が行われている時の砂の中の水面形は、定常流から導かれた理論の水面形とは少し異なる。定常流から導かれた水面形は、暗渠へ向って急な勾配の曲線に沿って流れるのに対して実際の流れは、サインカーブのような滑らかな曲線に沿って流れる。

今回は実際の非定常流の水の流れを非定常流の考え方で説明しようとした。即ちその考え方はある断面から出て行く流量と、その断面に到着する流量との間に流量差が生じて、その結果その断面の水位に変化が生ずるといものである。このような考え方で透水層の底に暗渠を敷設した場合、地下水位の低下と排水時間の関係を微分方程式で表わし、近似計算を行なって理論の曲線を作成して、実験の曲線と比較した。

### 実験材料及び研究方法

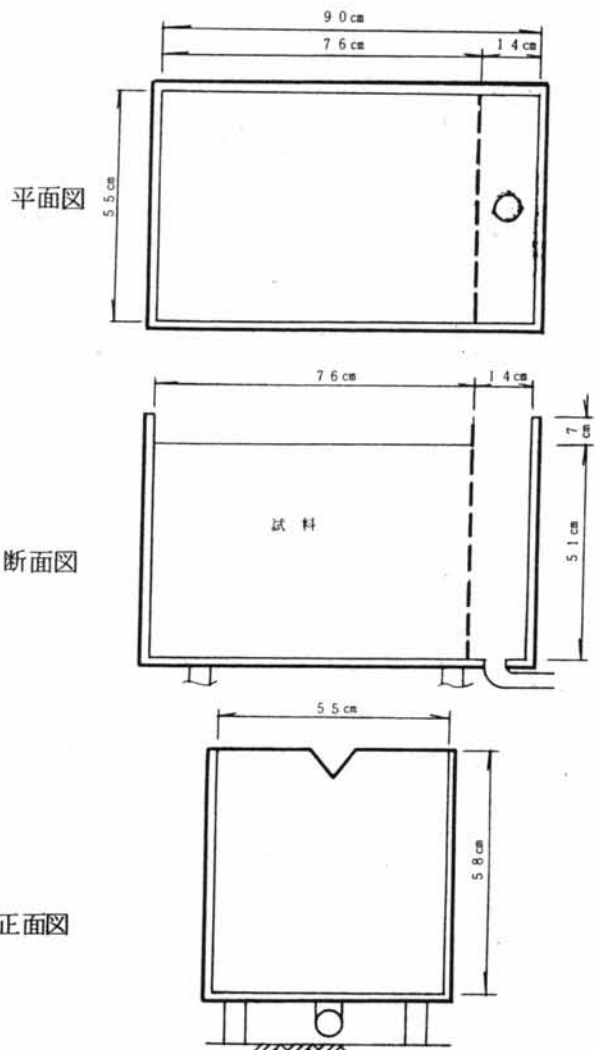
#### 実験材料

粗砂及び木曾岬干拓地から採取した土壌(細砂)を実験材料とした。

#### 実験方法

縦90cm、横55cm、高さ58cmの木製の箱を作り、

箱の中には実験材料を入れる部分と水を入れる部分を受け、その境は繊維製の布で仕切りを行なって隔壁とし、水は繊維の布を通して自由に行き来できるようにした。(第1図参照)



第1図 水位観測の実験装置

\* 作物部

水を入れる部分、即ち水槽の底に穴をあけ排水できるようにして、穴には栓を行なって水を貯えられるようにした。この装置は暗渠ではないが、暗渠排水と相似の実験ができると思ってよい。

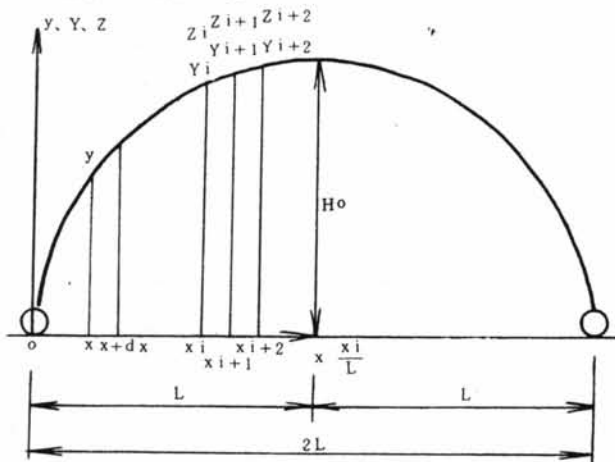
第1図に示した実験箱に実験材料を入れ、排水口に栓をして水槽に水を入れ、実験材料を水で飽和させる。その後栓を外して排水口から排水を行い、実験材料中の水位観測を行う。水位の観測位置は隔壁から水平方向に5、10、15、30、45、67.5 cmとした。水位は実験箱の横断面における中央の位置に、直径1 cmのエスロンチューブを設け、底から箱の外側にU字形に立ち上らせた。実験材料の中を通る部分のU字管は、水が自由に出入りできるよう直径5 mm程度の穴をあけ、管の外側をかんれいしゃで巻いて実験材料が入らぬよう保護した。  
(実験1、2)

同時に砂粒の間に入っている水が、砂粒の間を移動して暗渠へ出ることができる水を計量した。著者が重力水のポケットと云っているもので、砂粒の間から排水された水に対する砂全体の体積比で表わす。(実験3、4)

暗渠排水における地下水位低下と排水時間に関する理論(透水層の底から排水が行われる場合)

緒言で述べたように砂の中の水が排水口の方へ移動するとき、自由水面をたどって行けば水面形が見られる。この水面形は時刻の経過と共に減衰して行く。この水の流れは、時刻と共に水位が変化して行くので非定常流である。

著者はこのような考え方を数式で表わそうとした。以前球面における熱伝導の微分方程式<sup>1)</sup>を作成したときに参考<sup>2)</sup>にしたのと同じように、今回も熱伝導の微分方程式の作り方に沿った。



第2、3図の座標は(x, y)、第4図の座標は(x, Y)

第5図の座標は(x<sub>i</sub>, Z)と読む。

第2、3、4、5図 暗渠の位置及び水面形図

第2、3図の座標は(x, y)、第4図の座標は(x, Y)

第5図の座標は(x<sub>i</sub>, Z)と読む。

第2図に示すように暗渠を原点にとり、水平方向にx軸、鉛直方向にy軸をとる。x = xにおける自由水面をyとする。yはxの関数である。砂の中の水は動水勾配に比例して、自由水面の高い所から低い所へ向って流れる。時間dtの間にx = xのところを通過して、左から右に向って流れる流量はk  $\frac{\partial y}{\partial x} \cdot y dt$  である。又同じ時間dtの間に(x + dx)のところを通過して左から右に流れる流量は

$$k \frac{\partial y}{\partial x} \cdot y dt + \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial y}{\partial x} \cdot y dt) dx$$

$$= k \frac{\partial y}{\partial x} \cdot y dt + k y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dt dx + k (\frac{\partial y}{\partial x})^2 dt dx$$

である。この両者の差だけの流量がdxの間にたまってその自由水面をたかめるのだから

$$\alpha dx dy = k y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dt dx + k (\frac{\partial y}{\partial x})^2 dt dx$$

$$\alpha \frac{dy}{dt} = k \{ y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + (\frac{\partial y}{\partial x})^2 \}$$

これは透水層の底から排水が行われている時、地下水面の時間的な推移を表わす微分方程式である。但しαは重力水、即ち暗渠から排水できる水に対する土壌全体の体積比である。kは透水係数、yは水の流れる断面で奥行は単位の長さである。

透水層の底に暗渠を2Lの間隔で設ける。最初砂の中は水で飽和しているものとする。第2図のように暗渠から排水を行なった時、砂の中の水面はどのように変化していくかを考察する。このとき自由水面yはxとtのみの関数で一次元の浸透の問題である。

- (i)  $\frac{\partial y}{\partial t} = \alpha \{ y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + (\frac{\partial y}{\partial x})^2 \} (0 < x < 2L \quad t > 0)$
- (ii)  $y = f(x) \quad (t \rightarrow 0 \quad 0 < x < 2L)$
- (iii)  $y = \begin{cases} 0 & (x \rightarrow 0 \quad t > 0) \\ 0 & (x \rightarrow 2L \quad t > 0) \end{cases}$

を解いて自由水面の分布が得られる。

(i)(iii)の特解を

$$y = X(x)T(t)$$

と仮定してみる。X、Tはそれぞれx、tのみの関数である。(i)に代入すると

$$X \frac{dT}{dt} = \frac{k}{\alpha} \{ X T \cdot T \frac{d^2 X}{dx^2} + (T \frac{dX}{dx})^2 \}$$

$$\frac{1}{T^2} \frac{dT}{dt} = \frac{k}{\alpha} \{ \frac{d^2 X}{dx^2} + \frac{1}{X} (\frac{dX}{dx})^2 \}$$

となる。左辺はtのみの関数、右辺はxのみの関数であるからこの式が常に成立するためには各辺は常数でなければならぬ。この定数を-βとおけば

$$\frac{1}{T^2} \frac{dT}{dt} = -\beta \tag{1}$$

$$\frac{d^2X}{dx^2} + \frac{1}{X} \left( \frac{dX}{dx} \right)^2 = -\frac{\alpha}{k} \beta \tag{2}$$

(1)式は  $T = \frac{1}{\beta t + \text{Const}}$  となり  $t \rightarrow 0$  のとき  $T = 1$

であるから  $\text{Const} = 1$  となり

$$T = \frac{1}{\beta t + 1} \tag{3}$$

が得られる。(2)式は今から約100年前<sup>3)</sup>Boussinesqが解いた微分方程式と偶然一致するものである。この微分方程式は容易に解けないので、(2)式を満足するよう近似計算をする。(2)式を変形すると

$$\frac{d^2X}{dx^2} + \frac{1}{X} \left( \frac{dX}{dx} \right)^2 + \frac{\alpha \beta}{k} = 0$$

$$\frac{k}{\alpha \beta} \left\{ \frac{d^2X}{dx^2} + \frac{1}{X} \left( \frac{dX}{dx} \right)^2 \right\} + 1 = 0$$

$$\frac{d^2}{dx^2} \left( \frac{k}{\alpha \beta} X \right) + \frac{1}{\frac{k}{\alpha \beta} X} \left\{ \frac{d}{dx} \left( \frac{k}{\alpha \beta} X \right) \right\}^2 + 1 = 0$$

$$\frac{k}{\alpha \beta} X = Y \text{ とおくと} \tag{4}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{1}{Y} \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 + 1 = 0 \tag{5}$$

を得る。(5)式の近似計算をするため第4図のように  $x_i$  における  $Y$  の値を  $Y_i$ 、 $x_{i+1}$  に対して  $Y_{i+1}$ 、 $x_{i+2}$  に対して  $y_{i+2}$  とすると

$$\frac{dY}{dx} = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{\left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right) L}$$

$$\frac{d^2Y}{dx^2} = \frac{\left( \frac{Y_{i+2} - Y_{i+1}}{x_{i+2} - x_{i+1}} \right) L - \left( \frac{Y_{i+1} - Y_i}{x_{i+1} - x_i} \right) L}{\left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right) L}$$

$x_{i+2} - x_{i+1} = x_{i+1} - x_i$  のように等間隔にとると

$$\frac{d^2Y}{dx^2} = \frac{Y_{i+2} - 2Y_{i+1} + Y_i}{\left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right)^2 L^2} \tag{6}$$

$$\left( \frac{dy}{dx} \right)^2 = \frac{(Y_{i+1} - Y_i)^2}{\left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right)^2 L^2}$$

$$\frac{1}{Y} \left( \frac{dY}{dx} \right)^2 = \frac{Y_{i+1}^2 + 1 - 2Y_{i+1} + Y_i + Y_i^2}{\left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right)^2 L^2}$$

$$= \frac{Y_{i+1} - 2Y_i + Y_{i+1} + \frac{Y_i^2}{Y_{i+1}}}{\left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right)^2 L^2} \tag{7}$$

(6)式を(5)に代入して

$$\frac{Y_{i+2} - 2Y_{i+1} + Y_i}{\left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right)^2 L^2} + \frac{Y_{i+1} - 2Y_i + Y_{i+1} + \frac{Y_i^2}{Y_{i+1}}}{\left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right)^2 L^2} + 1 = 0$$

$$-Y_i - Y_{i+1} + Y_{i+2} + \frac{Y_i^2}{Y_{i+1}} + \left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right)^2 L^2 = 0$$

両辺を  $L^2$  で割ると

$$\frac{Y_i}{L^2} - \frac{Y_{i+1}}{L^2} + \frac{Y_{i+2}}{L^2} + \frac{\left( \frac{Y_i}{L^2} \right)^2}{\frac{Y_{i+1}}{L^2}} + \left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right)^2 = 0$$

$$\frac{Y}{L^2} = Z \text{ とおくと } \left( = \frac{kX}{L^2 \alpha \beta} \right) \tag{8}$$

$$-Z_i - Z_{i+1} + Z_{i+2} + \frac{Z_i^2}{Z_{i+1}} + \left( \frac{x_{i+1} - x_i}{L} \right)^2 = 0 \tag{9}$$

$X$  の範囲は  $0 \leq X \leq H_0$  であるから

$Z$  の範囲は

$$X = \frac{L^2 \alpha \beta Z}{k}$$

$$0 \leq \frac{L^2 \alpha \beta Z}{k} \leq H_0$$

$$0 \leq Z \leq \frac{k H_0}{L^2 \alpha \beta}$$

$Z$  の範囲を  $0 \leq Z \leq 1$  とする。

初期条件として  $t \rightarrow 0$  のとき

$$Z = \frac{k H_0}{L^2 \alpha \beta} = 1$$

から積分定数  $\beta$  は

$$\beta = \frac{k H_0}{\alpha L^2} \tag{10}$$

(10)式を(3)式に代入して

$$T = \frac{1}{\frac{k H_0 t}{\alpha L^2} + 1} \tag{11}$$

t → 0 のとき X の値は(8式より X = H · Z となるので  
求める自由水面の関係式は

$$y = H \cdot Z \times \frac{1}{\frac{k H \alpha t}{\alpha L^2} + 1}$$

(11)

$$-Z_i - Z_{i+1} + Z_{i+2} + \frac{Z_i^2}{Z_{i+1}} + 0.1 \times 0.1$$

$$= -0.97 - 0.99 + 1 + \frac{0.97^2}{0.99} + 0.01$$

$$= 0.0004 \text{ O.K}$$

次いで Z<sub>9</sub> = 0.99、Z<sub>8</sub> = 0.97、Z<sub>7</sub> = 0.94 と

仮定すると、

$$-Z_i - Z_{i+1} - Z_{i+2} + \frac{Z_i^2}{Z_{i+1}} + 0.01$$

$$= -0.94 - 0.97 + 0.99 + \frac{0.94^2}{0.97} + 0.01$$

$$= 0.0009 \text{ OK}$$

となる。Z は(9式)を満足する Z である。

(11式)は第3図にあるように初期条件として、暗渠の中央で水深が H である水面形が、時刻の経過と共に減衰するとき、任意の位置及び時刻 (x、t) における水深 y を表わす関係式である。

(9式)を満足する Z<sub>i</sub>、Z<sub>i+1</sub>、Z<sub>i+2</sub> の数値計算は次のとおりである。Z の範囲は 0 から 1 までである。x は単位長さ 1 を 10 等分した。

第5図のように、x<sub>10</sub> - x<sub>9</sub> = 0.1、Z<sub>0</sub> = 1 として Z<sub>9</sub> = 0.99、と仮定しなお Z<sub>8</sub> = 0.97 と仮定して(9式)を満足するか確認を行なう。

以上のとおり順次試行錯誤の方法で行うと第1表のようになる。第1表は(9式)を満足するよう数値を与えて近似計算から得られた水面形である。この水面形は(11式)における初期条件 (t → 0) の時の Z の値である。

第1表 (9式)を満足する水面形

$\frac{x_i}{L}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Z	0	0.41	0.57	0.69	0.78	0.85	0.90	0.94	0.97	0.99	1.00

実験結果

粗砂における実験1の結果は第2表に、細砂における 実験2の結果は第3表に示す。

第2表 粗砂における実験1の結果

単位 cm

時刻	Q cm <sup>3</sup> /S	x	5	10	15	30	45	67.5
0	0		51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0
1' 40"	55.5		10.2	13.1	15.5	21.5	23.5	25.0
2' 40"	45.1		9.0	11.5	13.5	18.9	20.7	21.7
4' 10"	35.0	y	7.7	9.5	11.1	14.5	16.7	17.5
6' 40"	23.8		6.0	7.3	8.5	11.0	12.5	13.5
10' 30"	14.6		4.2	5.1	5.9	7.5	8.5	8.7
16' 40"	8.0		2.7	3.5	3.7	4.5	5.0	5.1

第3表 細砂における実験2の結果

単位 cm

時刻	Q cm <sup>3</sup> /S	x	5	10	15	30	45	67.5
0	0		42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
15"	46.7		24.2	25.8	27.7	32.9	36.8	39.2
30"	19.6		18.5	20.9	23.8	28.6	33.2	35.9
45"	15.0		17.0	18.2	21.0	25.2	29.5	33.0
1' 00"	12.0		15.7	16.3	19.1	22.3	26.1	30.1
1' 30"	8.0		12.7	13.4	14.7	17.7	20.6	24.7
2' 00"	6.2		11.0	11.4	12.4	14.9	17.2	19.8
2' 30"		y	9.5	10.4	10.8	13.0	14.6	16.7
3' 00"	4.5		8.1	9.0	9.6	11.4	12.6	14.2
3' 30"			7.3	8.3	8.6	10.3	11.1	12.3
4' 00"	2.7		6.6	7.6	7.7	9.5	10.0	11.0
4' 30"			6.1	7.0	7.1	8.3	9.0	10.0
5' 00"	2.5		5.9	6.7	6.8	7.9	8.3	9.0
10' 00"			3.7	3.8	3.9	5.0	5.1	5.2
20' 00"			2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8

第4表 粗砂における重力水のポケット 実験3の結果

時刻分	飽和粗砂からの排水量 cm <sup>3</sup>	時刻分	飽和粗砂からの排水量 cm <sup>3</sup>	時刻分	飽和粗砂からの排水量 cm <sup>3</sup>
0~1	5,798	21~22	330	42~43	140
1~2	3,640	22~23	310	43~44	140
2~3	3,000	23~24	305	44~45	125
3~4	2,320	24~25	285	45~46	125
4~5	2,015	25~26	265	46~47	120
5~6	1,735	26~27	255	47~48	115
6~7	1,500	27~28	245	48~49	115
7~8	1,285	28~29	230	49~50	105
8~9	1,105	29~30	220	50~51	105
9~10	1,015	30~31	200	51~52	105
10~11	880	31~32	200	52~53	100
11~12	820	32~33	200	53~54	95
12~13	765	33~34	185	54~55	95
13~14	605	34~35	180	55~56	90
14~15	565	35~36	170	56~57	90
15~16	485	36~37	165	57~58	90
16~17	455	37~38	165	58~59	85
17~18	435	38~39	145	59~60	85
18~19	425	39~40	145	60~220	4,015
19~20	355	40~41	140		
20~21	345	41~42	140	計	3,996.8

粗砂における重力水のポケットの実験3の結果は第4表のとおりである。最初砂の中の水深を5.1cmに保った状態から水深が0になるまで排水を行なった結果、飽和した砂からの排水量は3,996.8cm<sup>3</sup>である。水で飽和した砂全体の体積は  $76 \times 55 \times 51 = 213,180 \text{ cm}^3$  で、重力水のポケットの割合は  $3,996.8 \div 213,180 = 0.187$  である。他に2回行い0.187、0.158であった。3回の試験の平均値として0.17を得た。

第5表 細砂における重力水のポケット 実験4の結果

時刻分	飽和細砂からの排水量 cm <sup>3</sup>	時刻分	飽和細砂からの排水量 cm <sup>3</sup>	時刻分	飽和細砂からの排水量 cm <sup>3</sup>
0~1	775	8~9	78	16~17	42
1~2	496	9~10	68	17~18	37
2~3	290	10~11	66	18~19	36
3~4	204	11~12	58	19~20	36
4~5	152	12~13	54	20~80	730
5~6	122	13~14	50	80~	320
6~7	102	14~15	48		
7~8	88	15~16	42	計	3,894

細砂における重力水のポケットの実験3の結果は第5表のとおりである。最初細砂の中の水深を4.3cmに保った状態から水深が0になるまで排水を行なった結果、飽和した細砂からの排水量は3,894cm<sup>3</sup>である。水で飽和した細砂全体の体積は  $76 \times 55 \times 43 = 179,740 \text{ cm}^3$  で重力水のポケットの割合は  $3,894 \div 179,740 = 0.021$  を得た。

考 察

粗砂における実験結果は第2表のとおりである。この実測結果より実測のTが得られる。Tは(3')式で表わされる。

$$T = \frac{1}{\frac{kH_0 t}{\alpha L^2} + 1} \quad (3')$$

$\alpha$ は重力水のポケットの割合で実験3より0.17、Lは暗渠間隔の半分の値76cm、 $H_0$ は暗渠間隔の中央の位置における水深25cmである。従って(3')式から

未知の透水係数が得られる。計算の結果は第6表のとおりで、透水係数の平均値は0.125 cm/Sを得る。

第6表 Tの実測値より透水係数を求める計算表(粗砂)

時刻	x=7.4 における yの値 cm	T	$\frac{1}{T}$	$\frac{1}{T} - 1 = \frac{kH_0 t}{\alpha L^2}$	t 秒	透水係数 k cm/S	透水係数の 平均値 cm/S
1' 40"	25.0	1.000	1.000	0	0		0.125
2' 40"	21.7	0.871	1.148	0.148	60"	0.097	
4' 10"	17.5	0.703	1.422	0.422	150"	0.110	
6' 40"	13.5	0.542	1.845	0.845	300"	0.110	
10' 30"	8.7	0.349	2.865	1.865	530"	0.138	
16' 40"	5.1	0.205	4.878	3.878	900"	0.170	

(注) x=7.4におけるyの値は実測していないのでx=6.7.5における値を代用した。

第7表 実測の平均透水係数より理論のTを求める計算表(粗砂)

時刻	透水係数 k cm/S	H <sub>0</sub> cm	$\alpha$	L cm	t 秒	T
1' 40"	0.125	25	0.17	7.6	0	1.000
2' 40"					60	0.840
4' 10"					150	0.677
6' 40"					300	0.511
10' 30"					530	0.372
16' 40"					900	0.258

この平均の透水係数を使って理論のTを求めると第7表のようになる。理論の水面形は11式で与えられる。t → 0のときy = H<sub>0</sub> Zであるから、H<sub>0</sub> = 25 cm (初期条件) のときの水面形は第1表の数値に25をかけると

第8表 理論の水面曲線(粗砂)

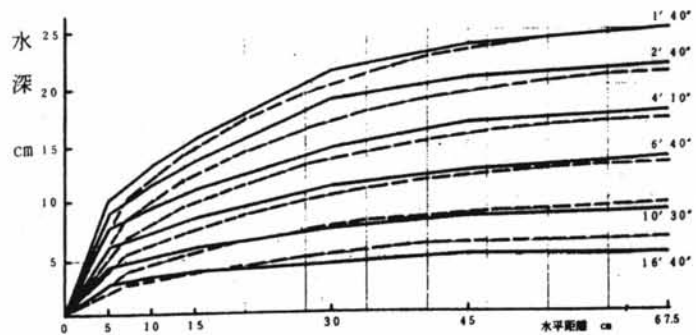
単位 cm

時刻	T	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1' 40"	1.000	10.2	14.2	17.2	19.5	21.2	22.5	23.5	24.2	24.7	25.0
2' 40"	0.840	8.5	11.9	14.4	16.3	17.8	18.9	19.7	20.3	20.7	21.0
4' 10"	0.677	6.9	9.6	11.6	13.2	14.3	15.2	15.9	16.3	16.7	16.9
6' 40"	0.511	5.2	7.2	8.7	9.9	10.8	11.4	12.0	12.3	12.6	12.7
10' 30"	0.372	3.7	5.2	6.3	7.2	7.8	8.3	8.7	9.0	9.1	9.3
16' 40"	0.258	2.6	3.6	4.4	5.0	5.4	5.8	6.0	6.2	6.3	6.4

粗砂で考察を行ったのと同様の手法で細砂について考察を行う。実験2の実測値よりTを算出し透水係数を求めると第9表のようになる。(α = 0.021, L = 7.6 cm, H<sub>0</sub> = 39.2 cm)

実測より求めた平均の透水係数(0.0285 cm/S)を使って理論のTを求めると第10表のようになる。理論のTが求められたので水面曲線は11式より第11表のように求めることができる。これを図表に書き表わすと第7図となる。実線は実験値、点線は理論値である。

排水口のすぐ近くでは少しあわないが、全体として理論と実際の水面曲線は相似の形をしている。



第6図 粗砂における排水試験、実線は実測、点線は理論値

磯島：暗渠排水における地下水位低下と排水時間に関する研究

第9表 Tの実測値より細砂の透水係数を求める計算表

時刻	x = 7.4 における yの値 cm	T	Tの逆数	$\frac{1}{T} - 1 = \frac{k H_0 t}{\alpha L^2}$	t 秒	透水係数 k cm/S	透水係数 の平均値 cm/S
0' 15"	39.2	1.000					
0' 30"	35.9	0.915	1.093	0.093	15	0.0191	
0' 45"	33.0	0.842	1.188	0.188	30	0.0193	
1' 00"	30.1	0.768	1.302	0.302	45	0.0207	
1' 30"	24.7	0.630	1.587	0.587	75	0.0242	
2' 00"	19.8	0.505	1.980	0.980	105	0.0288	0.0285
3' 00"	14.2	0.362	2.762	1.762	165	0.0330	
4' 00"	11.0	0.281	3.558	2.558	225	0.0351	
5' 00"	9.0	0.229	4.366	3.366	285	0.0365	
10' 00"	5.2	0.132	7.575	6.575	585	0.0347	
20' 00"	2.8	0.071	14.085	13.085	1,185	0.0341	

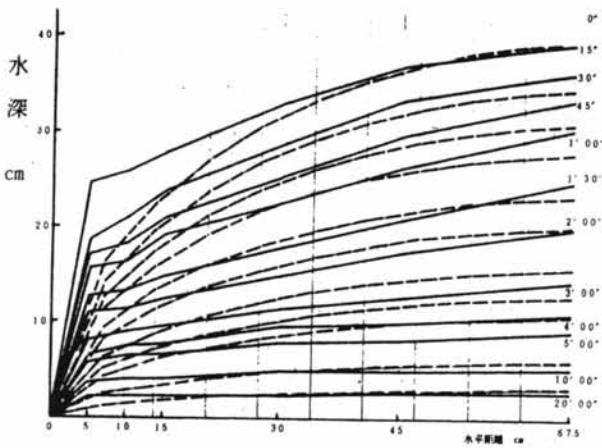
第10表 実測の細砂の透水係数を使って理論のTを求める計算表

時刻	透水係数	H <sub>0</sub>	$\alpha$	L	t	T
0' 15"	cm/S	cm		cm	0'	1.000
0' 30"					15'	0.878
0' 45"					30"	0.783
1' 00"					45"	0.707
1' 30"					75"	0.591
2' 00"	0.0285	39.2	0.021	7.6	105"	0.508
3' 00"					165"	0.396
4' 00"					225"	0.325
5' 00"					285"	0.275
10' 00"					585"	0.156
20' 00"					1,185"	0.083

第11表 細砂における理論の水面曲線

単位 cm

時刻	T	$\frac{x}{L}$										
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
15"	1.000	16.0	22.3	27.0	30.5	33.3	35.2	36.8	38.0	38.8	39.2	
30"	0.878	14.0	19.5	23.7	26.7	29.2	30.9	32.3	33.3	34.0	34.4	
45"	0.783	12.5	17.4	21.1	23.8	26.0	27.5	28.8	29.7	30.3	30.6	
1' 00"	0.707	11.3	15.7	19.0	21.5	23.5	24.8	26.0	26.8	27.4	27.7	
1' 30"	0.591	9.4	13.1	15.9	18.0	19.6	20.8	21.7	22.4	22.9	23.1	
2' 00"	0.508	8.1	11.3	13.7	15.4	16.9	17.8	18.6	19.3	19.7	19.9	
3' 00"	0.396	6.3	8.8	10.6	12.0	13.1	13.9	14.5	15.0	15.3	15.5	
4' 00"	0.325	5.2	7.2	8.7	9.9	10.8	11.4	11.9	12.3	12.6	12.7	
5' 00"	0.275	4.4	6.1	7.4	8.3	9.1	9.6	10.1	10.4	10.6	10.7	
10' 00"	0.156	2.4	3.4	4.2	4.7	5.1	5.4	5.7	5.9	6.0	6.1	
20' 00"	0.083	1.3	1.8	2.2	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	



第7図 干拓地土壤（細砂）の排水試験  
実線は実測、点線は理論値

## 結 論

著者は数年前から暗渠排水における地下水位低下と排水時間に関する研究という課題にとりくんできた。このたび粗砂及び細砂について実験を行なった。同時に透水層の底に暗渠を設けた場合、非定常流における暗渠排水の現象を微分方程式で表わし、近似計算を行なって理論値と実験値を比較した結果、両者は良く合っていることが確認された。

## 要 約

透水層の底に暗渠を2Lの間隔で設けた場合、任意の位置及時刻における水深 $y$ を表わす関係式は

$$y = H_0 Z \times \frac{1}{\frac{k H_0 t}{\alpha L^2} + 1}$$

$H_0$  (cm) は  $t=0$  のとき暗渠と次の暗渠の中央における水深である。

$Z$  は第1表に示されるもので  $\frac{x}{L}$  に対する値である。

$\alpha$  は暗渠で排水できる水に対する土壤全体の体積比。

$L$  は暗渠間隔の半分の数値 (cm)

$t$  は時間 (sec)

$k$  は透水係数 (cm/sec)

実験より得られた数値を使って理論式(3')より透水係数を求めた結果、粗砂については0.097から0.17 cm/S、細砂については0.019から0.036 cm/Sの範囲の数値を得た。

平均の透水係数を使って粗砂及び細砂についてそれぞれ理論の水面曲線を計算した結果、実測の水面曲線に近い理論曲線を得た。

理論と実際の水面曲線はよく合うという結論を得たが、理論式はダルシーの法則、即ち透水速度は動水勾配に比例するという法則から出発しているので、ダルシーの法

則が今回実験材料に使った細砂及び粗砂について、非常によい精度で適合していることが確認された。

細砂の採取については県農技センター環境部吉川土壤肥料研究室長、橘研究員の協力を得た。論文作成に際して原作物部長並びに編集委員の皆さんの御指導を賜った。心からお礼申しあげる。

## 引用文献

- 1) 磯島義一(1980)：太陽熱を地下に貯蔵する場合熱エネルギーの拡散について、第37回農業土木学会京都支部研究発表会講演要旨集
- 2) 坪井忠二(1969)：数理のめがね、岩波書店
- 3) 玉井信行(1979)：地下水ハンドブックP87、建設産業調査会