

海水飽和地盤における淡水注入溝の浸透*

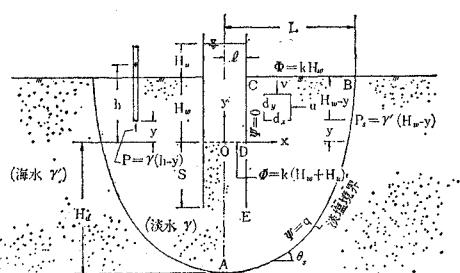
SEEPAGE FLOW OUT OF A FRESH-WATER CANAL
IN THE SATURATED GROUND WITH SEA-WATER

上田 年比古**・崎山 正常***
By Toshihiko Ueda and Masatsune Sakiyama

1. まえがき

海岸付近における地下水の汲揚げによる地下水位の低下あるいは地下水と海水の密度差などに起因する内陸への海水の浸入は沿岸の農耕地に対する塩害あるいは井戸内への海水の浸入などの現象を生じ沿岸住民をなやませてきた。これに対する対策の一つとして近時、提唱されたものにウォーター・カーテン工法がある。この工法は海岸付近に淡水注入の井戸あるいは溝を設け注入淡水と飽和海水との圧力差によって海水を不透水層までおし下げ海水の浸入をしゃ断しようとする試みであり、わが国でも河口貯水池などの計画にその導入が検討されている¹⁾。本報はこのような海水浸入防止対策に対する基礎的研究の一部であり、海水で飽和されている一様な透水性地盤に設けられた淡水注入溝（以下においては溝といふ）からの浸透流を飽和海水が流れていらない場合について解析しこれを実験によって検討したものである。なお本研究と類似の研究はすでに N.L. Ackermann 氏ら²⁾によって理論解析が行なわれ電気モデルによる実験によって検討されているが、これは海水飽和地盤上に2列に矢板を打込み、この矢板の内部を淡水注入溝とし、かつ溝の底面を外部の地面と同じレベルにした場合についてである。本報では図-1に示しているように溝に任意の深さ H_w を与えた場合を取り扱い、解析結果を砂モデルによって検討した。なお、前記 N.L. Ackermann

図-1 流れの場



* 土木学会 第21回年次学術講演会（昭41.5）において一部発表

** 正会員 工博 九州大学助教授 工学部水工土木学教室

*** 正会員 九州産業大学助教授 工学部土木工学教室

氏らの解析された結果は溝の深さ $H_w = 0$ とすることによって本報の理論に含まれる。

2. 解析

(1) 境界条件と写像関数

図-1に示しているように淡水の単位重量を γ 、海水のそれを γ' として海水は流れていないと仮定する。溝の側壁（CD）は不透水性の矢板壁であり、その下に根入部（DE）があり、その厚さは無視できるものとする。流れの関数を ψ 、速度ポテンシャルを ϕ として、 x および y の負方向の流速を u および v とすれば、

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} \text{ or } \frac{\partial \psi}{\partial y}; v = \frac{\partial \phi}{\partial y} \text{ or } -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad \dots \quad (1)$$

であり、また複素ポテンシャル w は

$$w = \phi + i\psi \quad \dots \quad (2)$$

つぎに、流れの場の任意点における全水頭を x 軸を基準にとり h として、その点での圧力を P とすれば、

$$P = \gamma(h - y) \therefore h = P/\gamma + y \quad \dots \quad (3)$$

一方、透水係数を k とすると Darcy の法則は

$$u = k \frac{\partial h}{\partial x}; v = k \frac{\partial h}{\partial y} \quad \dots \quad (4)$$

式(1), (3) および (4) から

$$\phi = kh = k \left(\frac{P}{\gamma} + y \right) \quad \dots \quad (5)$$

つぎに、淡塩境界の外側では海水は流れていらないから、この境界における任意点の圧力を P_s とすると

$$P_s = \gamma'(H_w - y) \quad \dots \quad (6)$$

これを式(5)の P に適用すると淡塩境界における速度ポテンシャル ϕ_s が求められる。すなわち、

$$\frac{\gamma'}{\gamma} H_w = H_w'; \gamma' - \gamma = 4\gamma; \frac{4\gamma}{\gamma} k = k' \quad \dots \quad (7)$$

とおけば、

$$\phi_s = k H_w' - k' y \quad \dots \quad (8)$$

つぎに、Zhukovsky 関数^{2), 3)}

$$\begin{aligned} \varrho_1 &= \phi + k'y, \quad \varrho_2 = \psi - k'x \\ \varrho &= \varrho_1 + i\varrho_2 = w - ik'z, \quad z = x + iy \end{aligned} \quad \dots \quad (9)$$

を導入して流れの場の各境界値を z , w および ϱ 平面について求めると表-1のようになる。これについて w および ϱ 平面を描けば図-2がえられる。すなわち w および ϱ 平面はその境界値に対していずれも長方形化されたので両平面に対して Schwarz-Christoffel の定理

$$\frac{F(\theta_e, m')}{K(m')} = \left\{ \frac{1}{1 - \frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}} \right\} \left\{ \frac{F(\theta_e, \kappa')}{K(\kappa')} + \frac{4r}{r} \cdot \frac{S}{H_u} \right\} \quad (45)$$

がえられる。つぎに式(22)および(35)を辺々除すれば

$$\frac{K(\kappa')}{K(m')} = \left\{ \frac{1}{1 - \frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}} \right\} \sqrt{\frac{b+1}{a+1}} \cdot \frac{M_r}{N_r} \quad (46)$$

がえられる。ここで M_r/N_r はまだ未知であるが、これは矢板のまわり、すなわち DEC 線にそっての流速条件からつぎのようにして求められる。すなわち式(38)をもとの変数 t で書き表わすと

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} + k' \frac{dy}{dt} = -M_r \cdot \frac{1}{\sqrt{(a+t)(t)(t-1)}} \quad (47)$$

つぎに式(26)から

$$\frac{d\varphi}{dt} = -N_r \cdot \frac{1}{\sqrt{(b+t)(t)(t-1)}} \quad (48)$$

式(47)および(48)を辺々除すれば

$$1 + k' \frac{dy}{d\varphi} = \frac{M_r}{N_r} \sqrt{\frac{b+t}{a+t}} \quad (49)$$

$$\therefore \frac{v}{k} = \frac{1}{k} \cdot \frac{\partial\varphi}{\partial y} = -\frac{\frac{4r}{r}}{\frac{M_r}{N_r} \sqrt{\frac{b+t}{a+t} - 1}} \quad (49)$$

がえられる。根入の先端 E 点での流速成分は根入の内側 ($1 \leq t \leq e$) では正で、根入の外側 ($e \leq t \leq \infty$) では負であることから

$$\frac{M_r}{N_r} \sqrt{\frac{b+e}{a+e}} - 1 = 0 \quad \therefore \frac{M_r}{N_r} = \sqrt{\frac{a+e}{b+e}} \quad (50)$$

であり、これを式(46)に適用すると

$$\frac{K(\kappa')}{K(m')} = \left\{ \frac{1}{1 - \frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}} \right\} \sqrt{\frac{(b+1)(a+e)}{(a+1)(b+e)}} \quad (51)$$

となる。すなわち a , b および e の 3 個の基本の未知定数に対して独立な条件式(42), (45)および式(51)の 3 式がえられた。すなわち、この 3 式を与えられた $\frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}$, $\frac{4r}{r} \cdot \frac{l}{H_u}$ および $\frac{4r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$ のもとに連立に解けば a , b および e の値が決定される。これらを実際の計算に便利なように表わすと、

$$\kappa^2 = \frac{1}{b+1}, \quad \kappa'^2 = 1 - \kappa^2 \quad (a)$$

$$\frac{K(m)}{K(m')} = \left\{ \frac{1}{1 - \frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}} \right\} \left\{ \frac{K(\kappa)}{K(\kappa')} + \frac{4r}{r} \cdot \frac{l}{H_u} \right\} \quad (b)$$

$$a = \frac{m'^2}{m^2} \quad (c)$$

$$e = \frac{b \frac{(a+1)}{(b+1)} \left\{ \frac{K(\kappa')}{K(m')} \left(1 - \frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u} \right) \right\}^2 - a}{1 - \frac{(a+1)}{(b+1)} \left\{ \frac{K(\kappa')}{K(m')} \left(1 - \frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u} \right) \right\}^2} \quad (d)$$

$$\sin \theta_e = \sqrt{\frac{e-1}{e}} \quad (e)$$

$$\frac{4r}{r} \cdot \frac{S}{H_u} = \frac{F(\theta_e, m')}{K(m')} \left\{ 1 - \frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u} \right\} - \frac{F(\theta_e, \kappa')}{K(\kappa')} \quad (f)$$

$$\dots \dots \dots (52)$$

すなわち、与えられた $\frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}$ および $\frac{4r}{r} \cdot \frac{l}{H_u}$ に対して、まず b の値を仮定すると式(52)の式(a)より κ^2 および κ'^2 が求まるから式(b)より m^2 および m'^2 が求まる。つぎに式(c)より a が求まり、式(d)で e が求まり、式(e)で θ_e が求まる。そうすると式(f)から仮定の b に対する $\frac{4r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$ の値が定まる。これが与えられた $\frac{4r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$ に等しくなるまで試算をくり返せばよいわけであるが、実際に b と $\frac{4r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$ との関係を plot してゆくと与えられた $\frac{4r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$ に対する b の値は数回の試算で十分正確にえられる。このようにして与えられた $\frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}$, $\frac{4r}{r} \cdot \frac{l}{H_u}$ および $\frac{4r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$ に対する a , b および e の値が定ると式(22)および(35)より N_r/v および M_r/μ の値はそれぞれ、

$$\frac{N_r}{v} = k H_u \cdot \frac{1}{K(\kappa')}, \quad \frac{M_r}{\mu} = k H_u \left(1 - \frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u} \right) \frac{1}{K(m')} \quad (53)$$

となり、すべての未知定数が決定される。

3. 流量算定式と淡塩境界の式

まず、溝の左右片側への単位奥行き当りの流量 q は式(40)より

$$\frac{q}{k H_u} \text{ or } \frac{4r}{r} \cdot \frac{(q/k')}{H_u} = \frac{K(\kappa')}{K(\kappa)} \quad (54)$$

となる。つぎに淡塩境界の式は式(30)の ψ を q とおき、式(53)を用いて M_r/μ を消去し、また式(20)の φ を式(8)の φ_s でおきかえ、式(53)で N_r/v を消去して表わすとつぎのようにえられる。

$$\frac{4r}{r} \cdot \frac{x}{H_u} = \left(1 - \frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u} \right) \cdot \frac{F(\theta_x, m)}{K(m')} \quad (55)$$

$$\frac{4r}{r} \cdot \frac{y}{H_u} = - \left(1 - \frac{4r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u} \right) + \frac{F(\theta_y, \kappa')}{K(\kappa')}$$

ここに、

$$\sin \theta_x = \sqrt{\frac{-a-t}{-t}}, \quad \sin \theta_y = \sqrt{\frac{(b+1)(-t)}{b(1-t)}} \quad (55)$$

$$-b \leq t \leq -a$$

すなわち、 t に上述の範囲で、ある値を与えるとこの t に対する x および y が決まり、これは淡塩境界上の一つの座標を表わすから、 t に種々の値を与えてえられた座標を群連ねると淡塩境界の曲線がえられる。

4. 数値計算および実験

本解析の結果を用いて $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}$, $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{l}{H_u}$ および $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$ をいろいろに与えて行なった数値計算の結果を表

表-2 数値計算結果

(a) $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{l}{H_u} = 0.015$

$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}$	b	a	e	$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$	$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{L}{H_u}$	$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{H_d}{H_u}$	$\frac{q}{kH_u}$
0	1.000	0.937	2.433	0.0030	0.1389	0.1431	1.000
	99.000	76.912	33.828	0.0177	0.1377	0.1380	0.397
	9 999.000	5 164.560	1 439.220	0.0360	0.1365	0.1419	0.262
	99 999.000	293 022.000	73 252.000	0.0570	0.1299	0.1509	0.189
0.075	5.637	3.484	1.000	0	0.2835	0.2223	0.685
	9 999.000	2 216.290	347.929	0.0297	0.1908	0.1560	0.262
	99 999.000	90 908.100	16 744.300	0.0483	0.1647	0.1491	0.190
	999 999.000	3 999 999.000	905 097.000	0.0669	0.1407	0.1410	0.147
	9 999 999 999.000	30 893 565.000	7 597 621.000	0.0840	0.1284	0.130	
0.150	14.400	5.334	1.000	0	0.3363	0.2319	0.574
	999.000	162.007	19.173	0.0159	0.2655	0.1716	0.325
	99 909.000	5 293.370	795.786	0.0339	0.2001	0.1494	0.220
	9 999 999.000	154 798.000	29 705.600	0.0516	0.1668	0.1437	0.166
	9 999 999 999.000	6 226 649.000	1 526 684.000	0.0732	0.1422	0.1473	0.130
0.225	30.272	6.155	1.000	0	0.3615	0.2262	0.507
	9 999.000	401.212	49.507	0.0204	0.2415	0.1572	0.262
	99 999.000	9 072.920	1 510.730	0.0366	0.1920	0.1416	0.189
	9 999 999 999.000	1 290 571.000	316 244.000	0.0630	0.1434	0.1368	0.130
0.300	62.700	6.305	1.000	0	0.3693	0.2109	0.454
	999.000	40.105	4.515	0.0084	0.2958	0.1719	0.325
	99 999.000	693.020	96.947	0.0237	0.2238	0.1446	0.220
	9 999 999 999.000	252 844.000	61 948.700	0.0558	0.1440	0.1293	0.130

(b) $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{l}{H_u} = 0.03$

$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}$	b	a	e	$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$	$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{L}{H_u}$	$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{H_d}{H_u}$	$\frac{q}{kH_u}$
0	1.000	0.879	2.643	0.0051	0.1971	0.1935	1.000
	99.000	60.755	30.792	0.0351	0.1941	0.1950	0.426
	9 999.000	2 891.150	1 092.210	0.0693	0.1866	0.2049	0.262
	99 999.000	103 357.000	41 029.000	0.1044	0.1737	0.2217	0.189
0.075	9 999 999 999.000	21 770 000.000	11 291 102.000	0.1629	0.1548	0.2445	0.130
	3.024	1.790	1.000	0	0.3300	0.2661	0.780
	99.000	36.051	9.695	0.0243	0.2670	0.2187	0.426
	9 999.000	1 301.370	376.237	0.0594	0.2235	0.2049	0.262
	99 999.000	35 026.900	12 566.700	0.0933	0.1932	0.2097	0.189
0.150	9 999 999 999.000	5 030 636.000	2 601 807.000	0.1491	0.1575	0.2304	0.130
	7.523	2.750	1.000	0	0.3810	0.2727	0.645
	9 999.000	565.572	136.938	0.0507	0.2472	0.2028	0.262
	99 999.000	2 701.700	817.040	0.0672	0.2238	0.1989	0.220
	999 999.000	12 047.200	4 187.990	0.0825	0.2040	0.2001	0.190
0.225	9 999 999 999.000	232 557.000	105 424.000	0.1161	0.1710	0.2082	0.147
	9 999 999 999.000	1 160 092.000	599 540.000	0.1359	0.1593	0.2193	0.130
	15.208	3.175	1.000	0	0.4068	0.2661	0.568
	99.000	12.513	2.721	0.0111	0.3489	0.2295	0.426
0.300	9 999.000	258.525	65.157	0.0432	0.2622	0.1944	0.262
	99 999.000	4 042.050	1 390.180	0.0723	0.2106	0.1905	0.189
	9 999 999 999.000	263 577.000	136 226.000	0.1191	0.1593	0.2028	0.130
	30.115	3.268	1.000	0	0.4140	0.2508	0.507
0.300	999.000	30.377	6.697	0.0210	0.3147	0.2007	0.325
	99 999.000	407.380	120.006	0.0495	0.2368	0.1821	0.220
	9 999 999 999.000	4 500.000	1 767.160	0.0750	0.1938	0.1812	0.167
	9 999 999 999.000	58 025.800	29 988.100	0.1029	0.1596	0.1908	0.130

2 に示している。表-2 の欄中, L および H_d は図-1 にも示しているようにそれぞれ地表面での淡水化幅, および溝の底面から淡水化領域の最深部までの深さである。この表からわかるように与えられた $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{l}{H_u}$ および

$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}$ に対して b の値を相

当に大きくとっても $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$ は

あまり大きくならない。数値

計算に当っては九州大学電子計

算機 OKITAC 5090 によって,

母数を 0 から 0.9999999999 ま

で適当なステップでとり第一種

だ円積分の関数表を作製して既

往の関数表⁴⁾の不足を補ったも

のを使用した。つぎに図-4 は

表-2 の (a), (b) および (c) 欄

中 $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u} = 0, 0.15$ および

0.30 について, $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$ の種々

の値に対する $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{L}{H_u}$, $\frac{\Delta r}{r} \cdot$

$\frac{H_d}{H_u}$ および $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{(q/k')}{H_u}$ の関係

を示したものである。また写真

-1 および 2 はそれぞれ $\frac{\Delta r}{r} \cdot$

$\frac{H_w}{H_u} = 0.3$, $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{l}{H_u} = 0.06$,

$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{S}{H_u} = 0$ (実験では $H_u =$

4.0 cm, $H_w = 40.0$ cm, $l = 8.0$

cm, $S = 0$, $r = 1$ gr/cc, $\Delta r = 0.03$

gr/cc) および $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u} = 0.15$,

$\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{l}{H_u} = 0.06$, $\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$

= 0.15 (実験では $H_u = 4.0$ cm,

$H_w = 2.0$ cm, $l = 8.0$ cm, $S =$

20.0 cm, $r = 1$ gr/cc, $\Delta r = 0.03$

gr/cc) についての諸種の理論値

と実験値を示したものである。

写真の (a) および (b) の黒線

はそれぞれ淡水注入開始前に過

マンガン酸カリウムで着色した

塩水で水槽を飽和させておき,

一定水頭で淡水を注入はじめ

た時刻を基準として, 砂中の塩

水が排除される過程を示したも

のであり, 線上に記載の数字は

淡水注入開始後の時刻を示して

いる。すなわち内側の黒線より

(a) では 10, 20, 30, 40, 60, 90,

150, 240分, (b)では20, 30, 40, 80, 240分である。また写真の(a)'および(b)'はそれぞれ定常状態に達したと思われる状態での淡塩境界を撮影したもので、黒線の

$$(c) \frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{l}{H_u} = 0.06$$

$\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}$	b	a	e	$\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$	$\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{L}{H_u}$	$\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{H_d}{H_u}$	$\frac{q}{kH_u}$
0	1.000	0.775	2.609	0.0096	0.2808	0.2718	1.000
	9.000	5.628	5.894	0.0315	0.2790	0.2733	0.625
	99.000	219.216	128.675	0.0963	0.2649	0.2871	0.325
	999.000	4 617.940	3 096.850	0.1578	0.2415	0.3105	0.220
	9 999 999 999.000	981 382.000	1 119 873.000	0.2697	0.1884	0.3741	0.130
0.075	1.683	0.897	1.000	0	0.3993	0.3600	0.888
	99.000	24.170	11.471	0.0504	0.3249	0.2835	0.426
	9 999.000	512.452	283.613	0.1230	0.2751	0.2862	0.262
	999 999.000	6 767.190	5 027.640	0.1674	0.2364	0.3096	0.190
	9 999 999 999.000	392 156.000	447 440.000	0.2607	0.1887	0.3387	0.130
0.150	4.090	1.364	1.000	0	0.4479	0.3312	0.732
	99.000	14.696	6.184	0.0477	0.3621	0.2814	0.426
	9 999.000	248.091	132.228	0.0978	0.2898	0.2730	0.262
	996 999.000	2 764.260	2 040.160	0.1491	0.2412	0.2866	0.189
	9 999 999 999.000	77 880.600	88 855.800	0.2211	0.1893	0.3282	0.130
0.225	8.094	1.581	1.000	0	0.4689	0.3210	0.638
	99.000	8.864	3.702	0.0276	0.3900	0.2769	0.426
	9 999.000	119.019	62.564	0.0837	0.3000	0.2595	0.262
	999 999.000	1 081.950	797.300	0.1311	0.2442	0.2703	0.189
	9 999 999 999.000	23 583.900	26 908.500	0.1980	0.1896	0.3030	0.129
0.300	15.000	1.566	1.000	0	0.4779	0.3060	0.570
	999.000	18.536	8.391	0.0444	0.3507	0.2511	0.324
	7 999.000	52.350	27.276	0.0672	0.3096	0.2460	0.266
	9 999 999.000	1 034.066	881.483	0.1327	0.2255	0.2590	0.165
	9 999 999 999.000	2 632.380	2 602.160	0.1464	0.2061	0.2685	0.146

$$(d) \frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{l}{H_u} = 0.09$$

$\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}$	b	a	e	$\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$	$\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{L}{H_u}$	$\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{H_d}{H_u}$	$\frac{q}{kH_u}$
0	1.000	0.685	2.578	0.0135	0.3459	0.3316	1.000
	9.000	4.561	5.567	0.0450	0.3435	0.3327	0.625
	99.000	27.010	22.105	0.0909	0.3342	0.3408	0.426
	999.000	462.919	406.768	0.1785	0.3036	0.3699	0.262
	9 999 999 999.000	102 374.000	1 916 675.000	0.3483	0.2187	0.4674	0.130
0.075	1.220	0.584	1.000	0	0.4554	0.3756	0.955
	9.000	3.151	2.695	0.0270	0.4119	0.3465	0.625
	99.000	16.930	11.445	0.0738	0.3744	0.3360	0.426
	999.000	238.395	201.229	0.1563	0.3174	0.3513	0.262
	9 999 999 999.000	34 753.100	65 068.700	0.3198	0.2193	0.4359	0.130
0.150	2.959	0.885	1.000	0	0.5019	0.3756	0.784
	99.000	10.546	6.647	0.0579	0.4047	0.3282	0.426
	999.000	38.711	26.951	0.1005	0.3621	0.3258	0.325
	9 999 999.000	342.974	329.790	0.1662	0.2964	0.3441	0.220
	9 999 999 999.000	11 955.100	22 385.300	0.2847	0.2196	0.4056	0.130
0.225	5.798	1.021	1.000	0	0.5244	0.3621	0.681
	99.000	6.504	4.125	0.0432	0.4281	0.3180	0.426
	999.000	21.715	15.049	0.0828	0.3753	0.3102	0.325
	9 999 999.000	160.611	159.821	0.1497	0.3027	0.3222	0.220
	9 999 999 999.000	799.871	1 097.100	0.2028	0.2556	0.3477	0.160
0.300	4 011.840	7 504.130	0.2565	0.2196	0.3756	0.130	
	10.948	1.045	1.000	0	0.5280	0.3426	0.603
	999.000	12.088	8.525	0.0588	0.3843	0.2946	0.325
	9 999 999.000	74.912	74.958	0.1298	0.3057	0.3003	0.220
	9 999 999 999.000	331.671	457.167	0.1791	0.2562	0.3192	0.166
	9 999 999 999.000	1 461.050	1 005.390	0.2160	0.2187	0.3423	0.130

理論境界線とよく一致していることがわかる。これらのほかにも $\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{H_w}{H_u}$, $\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{l}{H_u}$ および $\frac{4\gamma}{r} \cdot \frac{S}{H_u}$ の値をい

ろいろにかえて実験を行なったが、これらのすべてについて淡塩境界の曲線は理論と実験とがよく一致し、また流量についても式(54)の q および H_u に実測値を適用して逆算された透水係数 k の値がいずれの実験の場合にも一定値(相馬砂径 0.49~0.75 mm に対して $k=0.35 \text{ cm/sec}$)となることから理論が妥当であることがわかる。

5. むすび

実験および数値計算の結果から q , L および H_d についてつぎのようなことがいえる。

i) q について: S の小さいところでは S が大きくなると急激に小さくなる。 l を一定にすると H_w が大きいほど小さい。 H_w を一定にすると l が大きいほど大きい。

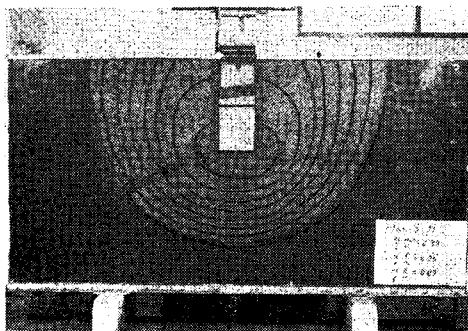
ii) L について: S が大きくなると L は小さくなる。 l を一定にすると S が大きいところでは H_w が大きいほど小さいが、 S が小さいところでは H_w が大きいほど大きい。

iii) H_d について: S のある値で一般に最小値をもつ。しかし $H_w=0$ の場合については S が大きいほど大きい。 H_w を一定にすると l が大きいほど大きい。なお、この $H_w \neq 0$ の場合に対して H_d が S のある値で最小になるということは効果的な根入長について検討を要するということで筆者らには特に興味深いことであった。

本報では前記 N.L. Ackermann 氏による解析をより一般化し、淡水注入溝が塩害防止対策あるいはウォーター・カーパー

写真-1

(a) 非定常流過程



(a') 定常状態

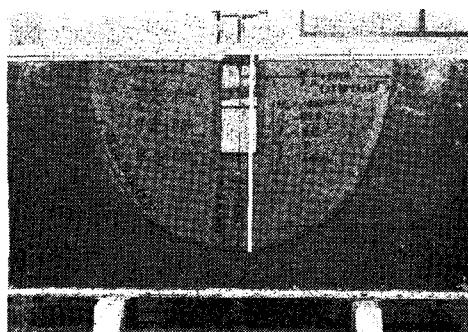
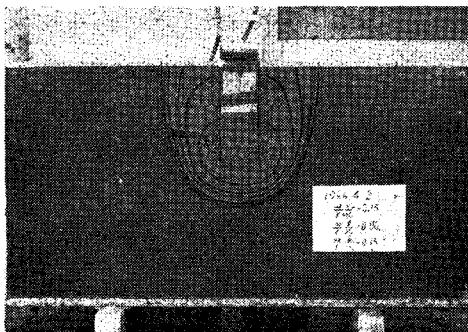


写真-2

(b) 非定常流過程



(b') 定常状態

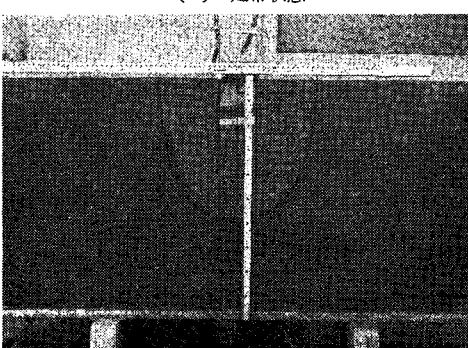
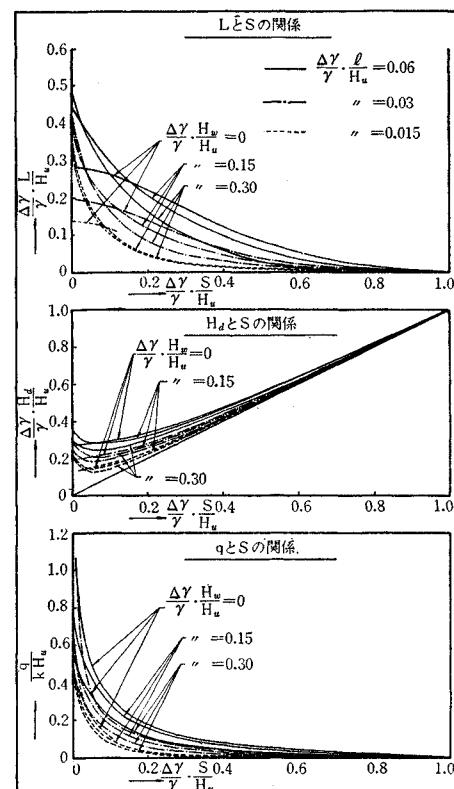


図-4 数値計算結果



テン工法に導入される場合に対して理論と砂モデルによる実験によって検討を加えた。本文がこの方面的計画にあたっての基礎的資料の一端にでもなれば幸いである。末筆ながら本研究にご指導をいただいた九大工学部水工土木学教室 椿東一郎教授、また関数表作製にご指導いただいた同採鉱学教室小野寺清兵衛助教授ならびに九大計数施設の皆様に深謝申上げます。

なお、本研究は文部省科学研究費（総合研究「河口湖の水理学的研究」代表者室田 明）の援助をうけていることを付記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 東大工学部土木教室河川研究室：滲透水防止工法に関する基礎的研究、昭 40.4
- 2) Norbert L. Ackermann and Pachern Sridurongkatum : Salt water interface near a fresh-water canal; Hy 6. A.S.C.E. 1964
- 3) M.E. Harr : Ground water and Seepage; McGraw-Hill Book Co. Inc. 1962
- 4) 林 桂一：高等函数表、岩波書店、昭 16

(1966.4.16・受付)