

III - 4

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からの浸透について

九州大学工学部 正眞 崎山 正常

1. まえがき 海岸地域における地下水の利用による地下水位低下、あるいは地下水と海水との密度差などに起因する内陸への海水の浸入は我々を絶えず悩ませてきた。最近においては水資源の確保が大きく叫ばれ、これにともなう我が国でも河口貯水池計画が随所に見られる。例えば千葉県の小櫃川、岡山県の児島湾、福岡県では曾根、多々良などにおける計画がそれである。このような海岸地域あるいは河口貯水池において海水の浸入防止対策は大きく取上げられている。本報はこのような海水浸入防止対策の一工法としてのウオーター・カーテン工法に対する基礎的研究として、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云う）からの浸透流（飽和している海水が動いていない場合について）解析し、これを実験によって検討したものである。

2. 解析 図-1 に示しているように淡水の単位重量を ρ 、地盤を飽和している海水の単位重量を ρ' として海水は動かないものと仮定する。溝の側壁(CD)は不透水性の壁でできている、その下に根入部(DE)をもち、その厚さは無視できる程度に薄いものとする。座標軸を x, y にとり、それぞれの方向の流速を図のようにとると定常状態の連続の式は

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \dots (1)$$

上式は $u \cdot dy - v \cdot dx$ なる微分が全微分であるための必要充分条件であるので

$$u \cdot dy - v \cdot dx = d\psi \quad \dots (2)$$

なる流れの関数 ψ が存在する。 u, v を ψ を用いてあらわすと

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad \dots (3)$$

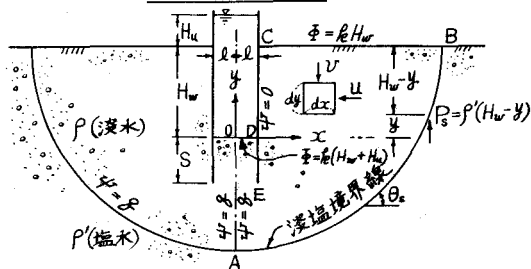
一方、流線の式は

$$u \cdot dy - v \cdot dx = 0 \quad \dots (4)$$

したがって流線の上では $\psi = \text{const.}$ であり、 ψ の差はその流線間の単位奥行き当りの流量をあらわす。次に流れが非回転であるために

$$\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad \dots (5)$$

図-1. 流れの場合



上式は $u \cdot dx + v \cdot dy$ なる微分が全微分であるための必要充分条件であるので

$$u \cdot dx + v \cdot dy = d\phi \quad \dots (6)$$

なる速度ポテンシャル ϕ が存在する。 u, v を ϕ を用いてあらわすと

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad \dots (7)$$

(7)式を(1)式に、(3)式を(5)式にそれぞれ代入すると $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$, $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0$ $\dots (8)$

したがって ϕ と ψ は共に Laplace の微分方程式を満足し、交換可能であることがわかる。

次に複素ポテンシャル w は

$$w = \phi + i\psi \quad \dots (9)$$

で定義され w が(1)式および(5)式を満足するとは(8)式より明らかであり、また(3)式および

(7)式から Cauchy-Riemann の微分方程式を満足していることも明らかであるので ω は正則であり、したがって二次元の非回転の定常流では境界条件を満足するように ω を求めればよい。次に流れの場の任意点における圧力水頭を x 軸を基準として h とすればその点の圧力 P は

$$P = \rho(h - y), \quad h = \frac{P}{\rho} + y \quad \dots (10)$$

一方、透水係数を k とすると Darcy の法則は

$$u = k \frac{\partial h}{\partial x}, \quad v = k \frac{\partial h}{\partial y} \quad \dots (11)$$

(7)式と上式とより

$$\Phi = k h = k \left(\frac{P}{\rho} + y \right) \quad \dots (12)$$

淡塩境界の外側では海水は動いていないからこの境界での任意点の圧力を P_0 とすると

$$P_0 = \rho(H_w - y) \quad \dots (13)$$

この P_0 を (12) 式の P に適用すると淡塩境界における速度ポテンシャル Φ_0 が求められる。すなわち

$$\frac{P_0}{\rho} H_w = H'_w, \quad k \left(\frac{P_0 - P}{\rho} \right) = h' \quad \dots (14)$$

$$\text{とあけば } \Phi_0 = k H'_w - k' y \quad \dots (15)$$

次に、Zhukovsky 関数^{(1), (2)}

$$\left. \begin{aligned} \Omega_1 &= \Phi + k' y, & \Omega_2 &= \Psi - k' x \\ \Omega &= \Omega_1 + i \Omega_2 = \omega - i k' z \\ z &= x + i y \end{aligned} \right\} \quad \dots (16)$$

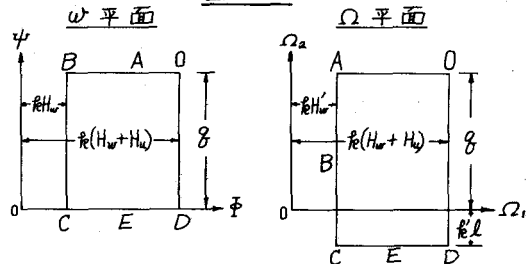
を導入すると Ω もまた (1) 式および (5) 式を満足し、Laplace および Cauchy-Riemann の微分方程式を満足しているので Ω は正則であることがわかる。故にこの場合の二次元の非回転の定常流では境界条件を満足するように Ω を求めてもよい。各境界についての Ω , ω および Ω の値を示すと表-1 のようである。これを用いて ω および Ω 平面を画けば図-2 のような矩形がえられる。すなわち ω および Ω 平面は多角形化されたのでこれに対して Schwarz-Christoffel の定理が適用できる。

表-1. 境界値

* 記したものは const.

境界線	$z = x + iy$	x	y	$\omega = \Phi + i\Psi$	Φ	Ψ	$\Omega = \Omega_1 + i\Omega_2$	Ω_1	Ω_2
OA	*0	y	Φ	* Φ	* Φ	Ω_1	* Φ	Ω_1	* Φ
AB	x	y	Φ_0	* Φ	* Φ	* $k H'_w$	$g - k' x$	Ω_1	* Φ
BC	x	* H_w	* $k H_w$	Ψ	* $k H'_w$	Ω_2		Ω_2	
CED	* l	y	Φ	*0	*0	Ω_1	* $-k' l$	Ω_1	* $-k' l$
DO	x	*0	* $k(H_w + H_w)$	Ψ	* $k(H_w + H_w)$	Ω_2		Ω_2	

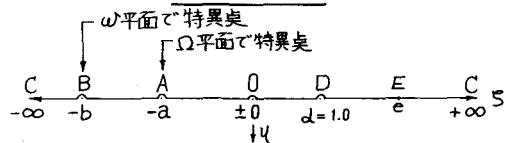
図-2



まず、 $z = x + iy$... (17)

なる t 平面を定義し t を媒介変数として ω 平面と Ω 平面(ひいては z 平面)との各境界値と関係づけよう。Schwarz-Christoffel の定理によって多角形の特異点に対する t の値のうち任意の3つは自由にその値をえらんでよい。多角形の各境界を t の実軸上に対応させ 0 点に対しては $t = 0$, C 点に対しては $t = \pm\infty$, A , B および D 点に対しては $-a$, $-b$, および $d=1.0$ とえらんで、これに従って t 平面を画くと図-3 のようになる。

図-3. t 平面



そうすると写像関数は

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{N}{\sqrt{(b-t)\sqrt{(0-t)\sqrt{(d-t)}}}} \quad \dots (18)$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{M}{\sqrt{(-a-t)\sqrt{(0-t)\sqrt{(d-t)}}}} \quad \dots (19)$$

で与えられる。a, b および c の値はそれぞれ境界条件によって定まる実定数であり、また N および M は境界条件によって定まる定数（一般の多角形では複素定数）である。次に、(18) および (19) 式を ω および Ω 平面の各境界にそれぞれ積分しよう。まず

2.1. ω 平面の解析

(A). $-\infty \leq t \leq -b$ すなわち CB 線上

B 点に積分の下限をえらんで (18) 式を積分すると積分定数を考慮して

$$\omega = \Re H_w + i\Im + N \int_{-b}^t \frac{dt}{\sqrt{(-b-t)(-t)(d-t)}} \quad (A-1)$$

この境界では $\omega = \Re H_w + i\Im$ であるので

$$\Im = \Im + \frac{N}{i} \int_{-b}^t \frac{dt}{\sqrt{(-b-t)(-t)(d-t)}} \quad (A-2)$$

ここで左辺は実数であるので

$$N = iN_0 \quad (A-3)$$

とくと N_0 は実数であることがわかる。

$$\sin \theta = \frac{\sqrt{-b-t}}{-t} \quad \therefore t = -\frac{b}{\cos^2 \theta} \quad (A-4)$$

とくと変域の対応は

$$-\infty \leq t \leq -b \\ \pi/2 \geq \theta \geq 0$$

(A-4) 式を用いて (A-2) 式を書きかえると

$$\Im = \Im - \frac{N_0}{\nu} \cdot F(\theta, k) \quad (\because N_0 > 0) \quad (A-5)$$

$$\text{ここに } \nu = \frac{\sqrt{b+d}}{2}, \quad k^2 = \frac{d}{b+d} \quad (A-6)$$

であり、 $F(\theta, k)$ は k を母数とする第一種楕円積分である。(A-5) 式に C 点における条件 $\Im = 0$, $\theta = \pi/2$ を適用すると

$$\Im = \frac{N_0}{\nu} \cdot K(k) \quad \text{or} \quad \frac{\Im}{\Re} = \frac{N_0}{\Re \nu} \cdot K(k) \quad (A-7)$$

ここに $K(k)$ は k を母数とする第一種完全楕円積分であり、上式は未知定数決定の条件式の一つである。

(B). $-b \leq t \leq 0$ すなわち BA 線上

O 点に積分の下限をえらんで (18) 式を積分すると積分定数を考慮して

$$\Phi = \Re(H_w + H_u) + N_r \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{(b+t)(-t)(d-t)}} \quad (B-1)$$

$$\text{ここで } \sin \theta = \frac{\sqrt{(b+t)(-t)}}{\sqrt{b(d-t)}} \quad \therefore t = -\left\{ \frac{b \cdot d \sin^2 \theta}{(b+d) - b \sin^2 \theta} \right\} \quad (B-2)$$

とくと変域の対応は

$$-b \leq t \leq 0 \\ \pi/2 \geq \theta \geq 0$$

(B-2) 式を用いて (B-1) 式を書きかえると

$$\Phi = \Re(H_w + H_u) - \frac{N_r}{\nu} \cdot F(\theta, k') \quad (B-3)$$

$$\text{ここに } k'^2 = 1 - k^2 \quad (B-4)$$

であり $F(\theta, k')$ は k' を母数とする第一種楕円積分である。(B-3) 式に B 点における条件 $\Phi = \Re H_w$, $\theta = \pi/2$ を適用すると

$$\Re H_u = \frac{N_r}{\nu} \cdot K(k') \quad \text{or} \quad H_u = \frac{N_r}{\Re \nu} \cdot K(k') \quad (B-5)$$

ここに $K(k')$ は k' を母数とする第一種完全楕円積分であり、上式は未知定数決定の条件式の一つである。

(C). $0 \leq t \leq d$ すなわち OD 線上

O 点に積分の下限をえらんで (18) 式を積分すると積分定数を考慮して

$$\Im = \Im - N_0 \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{(b+t)(t)(d-t)}} \quad (C-1)$$

$$\text{ここで } \sin \theta = \frac{\sqrt{(b+d)t}}{\sqrt{d(b+t)}} \quad \therefore t = \left\{ \frac{b d \sin^2 \theta}{(b+d) - d \sin^2 \theta} \right\} \quad (C-2)$$

とくと変域の対応は

$$0 \leq t \leq d \\ 0 \leq \theta \leq \pi/2$$

(C-2) 式を用いて (C-1) 式を書きかえると

$$\Im = \Im - \frac{N_0}{\nu} \cdot F(\theta, k) \quad (C-3)$$

上式に D 点における条件 $\Im = 0$, $\theta = \pi/2$ を適用すると (A-7) 式と同じ条件式をうる。

(D). $d \leq t \leq \infty$ すなわち DEC 線上

D 点に積分の下限をえらんで (18) 式を積分すると積分定数を考慮して

$$\Phi = h(H_w + H_u) - N_g \int_d^t \frac{dt}{\sqrt{(b+t)(t)(t-d)}} \quad \text{---(D-1)}$$

$$\therefore \sin \theta = \frac{\sqrt{t-d}}{t} \quad \therefore t = \frac{d}{\cos^2 \theta} \quad \text{---(D-2)}$$

とあとと変域の対応は

$$d \leq t \leq \infty$$

$$0 \leq \theta \leq \pi/2$$

(D-2) 式を用いて (D-1) 式を書きかえると

$$\Phi = h(H_w + H_u) - \frac{N_g}{V} \cdot F(\theta, k') \quad \text{---(D-3)}$$

上式に C 点における条件 $\Phi = hH_w$, $\theta = \pi/2$ を適用すると (B-5) 式と同じ条件式をうる。

2.2. Ω 平面の解析

Ω 平面における (19) 式の取扱は ω 平面における N の替りに M, b の替りに a とおいた式型であるから ω 平面の

$$\left. \begin{array}{l} \nu \text{ の替りに } \mu = \frac{\sqrt{a+d}}{2} \\ N \text{ の替りに } M = i M_r, (M_r > 0) \\ k'^2 \text{ の替りに } m^2 = \frac{d}{a+d} \\ k'^2 \text{ の替りに } m'^2 = 1 - m^2 \end{array} \right\} \quad \text{---(20)}$$

とあって 2.1 におけると同様に取扱えば各特異点についての積分定数に注意して、ただちに

(a). $-\infty \leq t \leq -a$ すなわち CBA 線上

$$\sin \theta = \frac{\sqrt{-a-t}}{-t} \quad \therefore t = -\frac{a}{\cos^2 \theta} \quad \text{---(a-1)}$$

とあって

$$\Omega_2 = \Phi - h'x = g - \frac{M_r}{\mu} \cdot F(\theta, m) \quad \text{---(a-2)}$$

C 点における条件より

$$\frac{g}{h} + \left(\frac{p' - p}{p} \right) \cdot l = \frac{M_r}{h\mu} \cdot K(m) \quad \text{---(a-3)}$$

(b). $-a \leq t \leq 0$ すなわち AO 線上

$$\sin \theta = \frac{\sqrt{(d+a)(-t)}}{a(d-t)} \quad \therefore t = -\left\{ \frac{ad \sin^2 \theta}{(d+a) - ad \sin^2 \theta} \right\} \quad \text{---(b-1)}$$

とあって

$$\Omega_1 = \Phi + h'y = h(H_w + H_u) - \frac{M_r}{\mu} \cdot F(\theta, m') \quad \text{---(b-2)}$$

A 点における条件より

$$(H_w + H_u) - \frac{p'}{p} H_w = \frac{M_r}{h\mu} \cdot K(m') \quad \text{---(b-3)}$$

(c). $0 \leq t \leq d$ すなわち OD 線上

$$\sin \theta = \frac{\sqrt{(a+d)t}}{d(a+t)} \quad \therefore t = \left\{ \frac{ad \sin^2 \theta}{(a+d) - d \sin^2 \theta} \right\} \quad \text{---(c-1)}$$

とあって

$$\Omega_2 = \Phi - h'x = g - \frac{M_r}{\mu} \cdot F(\theta, m) \quad \text{---(c-2)}$$

D 点における条件を適用すると (a-3) 式と同じ条件式をうる。

(d). $d \leq t \leq \infty$ すなわち DEC 線上

$$\sin \theta = \frac{\sqrt{t-d}}{t} \quad \therefore t = \frac{d}{\cos^2 \theta} \quad \text{---(d-1)}$$

とあって

$$\Omega_1 = \Phi + h'y = h(H_w + H_u) - \frac{M_r}{\mu} \cdot F(\theta, m') \quad \text{---(d-2)}$$

C 点における条件を適用すると (b-3) 式と同じ条件式をうる。

ニでえられた (a-3) および (b-3) 式は後に未知定数決定の条件式として必要になる。

2.3. 浸塩境界の式と各境界での流速

(X). 浸塩境界の式とニでの流速

(a-2) 式の中を g , (B-3) 式の Φ を (15) 式の Φ で置きかえたと浸塩境界の式がえられる。すなわち

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \left(\frac{p}{p' - p} \right) \frac{M_r}{h\mu} \cdot F(\theta, m) \\ \text{ただし } \sin \theta = \frac{\sqrt{-a-t}}{-t}, (-b \leq t \leq -a) \\ y = \left(\frac{p}{p' - p} \right) \left\{ \frac{p' H_w - p(H_w + H_u)}{p} + \frac{N_g}{hV} \cdot F(\theta, k') \right\} \\ \text{ただし } \sin \theta = \frac{\sqrt{(d+b)(-t)}}{b(d-t)}, (-b \leq t \leq -a) \end{array} \right\} \quad \text{---(a-1)}$$

上の x , y の式をもとの変数 u で書きかえた

$$\text{よって } \frac{dy}{dx} = \frac{N_g}{M_r} \sqrt{\frac{-a-t}{b+t}} = \tan \theta_s = \frac{v_s}{u_s} \quad \text{---(a-2)}$$

ニニに u_s , v_s は浸塩境界上における x , y 方向の流速成分である。(7)および(5)式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_s}{h} &= \frac{1}{h} \frac{\partial \Phi}{\partial y} = -\left(\frac{P'-P}{P}\right) = \text{const.} \\ \therefore \frac{u_s}{h} &= -\left(\frac{P'-P}{P}\right) \cot \theta_s = -\left(\frac{P'-P}{P}\right) \frac{M_r}{N_r} \sqrt{\frac{b+t}{a-t}} \end{aligned} \right\} \quad \dots (\alpha-3)$$

また、この境界にそり流速を $v_{f,s}$ とすると、境界上に線素 ds をとって

$$\begin{aligned} v_{f,s} &= \frac{\partial \Phi}{\partial s} = \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial s} = u_s \cos \theta_s + v_s \sin \theta_s \\ \therefore \frac{v_{f,s}}{h} &= -\left(\frac{P'-P}{P}\right) \frac{1}{\sin \theta_s} \end{aligned} \quad \dots (\alpha-4)$$

(β). AO 線上の流速 (b-2) 式をもとの変数 t で書きかえたものと (B-1) 式とから

$$\frac{v}{h} = \frac{1}{h} \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{\left(\frac{P'-P}{P}\right)}{\frac{M_r}{N_r} \sqrt{\frac{b+t}{a+t}} - 1} \quad \dots (\beta-1)$$

(ただし $-a \leq t \leq 0$)

(δ). DD 線上の流速 (c-2) 式をもとの変数 t で書きかえたものと (C-1) 式とから

$$\frac{v}{h} = \frac{1}{h} \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{\left(\frac{P'-P}{P}\right)}{\frac{M_r}{N_r} \sqrt{\frac{b+t}{a+t}} - 1} \quad \dots (\delta-1)$$

(ただし $0 \leq t \leq d$)

(δ). DEC 線上の流速 (d-2) 式をもとの変数 t で書きかえたものと (D-1) 式とから

$$\frac{v}{h} = \frac{1}{h} \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{\left(\frac{P'-P}{P}\right)}{\frac{M_r}{N_r} \sqrt{\frac{b+t}{a+t}} - 1} \quad \dots (\delta-1)$$

(ただし $d \leq t \leq \infty$)

とここでこの境界上において流速成分 v は根入の底部 E 点 ($t=e$) の前後において $d \leq t \leq e$ では正で $e \leq t \leq \infty$ では負であるので

$$\frac{M_r}{N_r} \sqrt{\frac{b+e}{a+e}} - 1 = 0 \quad \text{or} \quad \frac{M_r}{N_r} = \sqrt{\frac{a+e}{b+e}} \quad \dots (\delta-2)$$

したがって E 点に於て流速成分は無限大となる。(δ-2) 式は後に未知数決定の条件式として必要になる。

(ε). CB 線上の流速 (a-2) 式をもとの変数 t で書きかえたものと (A-2) 式とから

$$\frac{v}{h} = \frac{1}{h} \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{\left(\frac{P'-P}{P}\right)}{\frac{M_r}{N_r} \sqrt{\frac{b-t}{a-t}} - 1} \quad \dots (\varepsilon-1)$$

(ただし $-\infty \leq t \leq -b$)

2.4. 未知定数の決定

(A-7) 式と (B-5) 式で辺々除すれば

$$\frac{g}{h} = H_u \frac{K(K')}{K(K')} \quad \dots (21)$$

また (a-3) 式と (b-3) 式で辺々除すれば

$$\frac{\frac{g}{h} + \left(\frac{P'-P}{P}\right) l}{(H_u + H_d) - \frac{P'}{P} H_w} = \frac{K(m)}{K'(m)} \quad \dots (22)$$

(21) 式を (22) 式に代入して整理すると

$$\frac{K(m)}{K'(m)} = \left\{ \frac{H_u}{(H_u + H_d) - \frac{P'}{P} H_w} \right\} \frac{K(K')}{K(K')} + \left(\frac{P'-P}{P} \right) \left\{ \frac{l}{(H_u + H_d) - \frac{P'}{P} H_w} \right\} \quad \dots (23)$$

次に (b-3) 式と (B-5) 式で辺々除し、= 式に (δ-2) 式を適用し、さらに (A-6) 式および (20) 式の v_s, μ を適用して整理すると

$$\frac{K(K')}{K'(m)} = \left\{ \frac{H_u}{(H_u + H_d) - \frac{P'}{P} H_w} \right\} \frac{(b+d)(a+e)}{(a+d)(b+e)} \quad \dots (24)$$

次に E 点において $\Phi = \Phi_0$, $\theta = \theta_0$ として、= 式を (D-3) 式および (d-2) 式に適用し、 Φ_0 を消去したものに (B-5) 式および (b-3) 式を適用すると

$$\begin{aligned} \frac{F(\theta_0, m')}{K'(m')} &= \left\{ \frac{H_u}{(H_u + H_d) - \frac{P'}{P} H_w} \right\} \frac{F(\theta_0, K')}{K(K')} + \left(\frac{P'-P}{P} \right) \left\{ \frac{S}{(H_u + H_d) - \frac{P'}{P} H_w} \right\} \quad \dots (25) \\ &= \sin \theta_0 = \sqrt{\frac{e-d}{e}}, \quad (d=1.0) \end{aligned}$$

すなわち (23), (24) および (25) 式を連立にとけば a , b および e の未知定数が決定でき、 N_r および M_r も (B-5) および (b-3) 式から決定できる。なお独立な境界条件式は、もう一つ (23), (24) および (25) 式の 3 つしかえられないので、D および C 点の t の値それぞれ 0, 1, および $\pm \infty$ に与えたことは Schwarz-Christoffel の定理に矛盾しない。なおまた、溝に根入部分がない場合には、 $S=0$ $e=d$ 故に $\theta_0=0$ となって (25) 式の条件式は不要となる。

斯くして ξ を媒介変数として z 平面と w 平面の境界値の間の関係を知ることができた。

3. 実験との照合

以上の解析結果を実験によって検討するため図-4のような装置を用い、 $H_u = 1.0 \text{ cm}$, $H_w = 10.0 \text{ cm}$, $l = 2.0 \text{ cm}$, $S = 0$, $P' = 1.03 \%$, $P = 1.00 \%$ を与えて行った計算および実験結果を図-5に示している。この例についての測定は浸塩境界の形状と流量についての測定しかできなかったが、これらの実験値は理論値とほとんど一致している。なお、図-5に書きこんでいる等ポテンシャル線と流線は各境界についての重と中の計算値を利用して筆者が予想で書きこんだものであるが、このように各境界についての重

図-4. 実験概要図

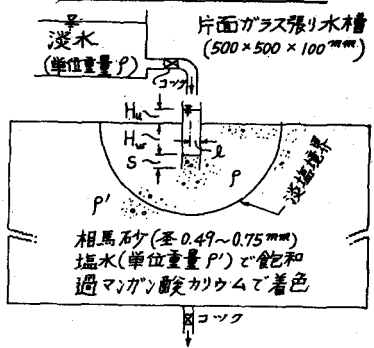
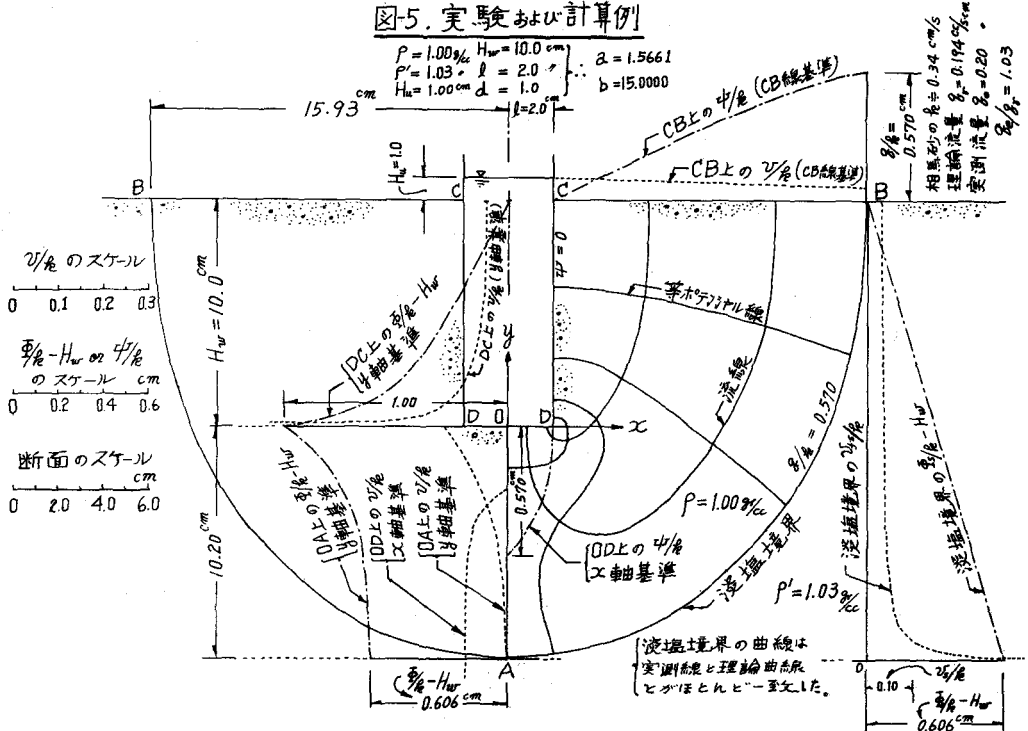


図-5. 実験および計算例



と中の値を知れば流れの内部における重と中の大略の値の予想は容易につけることができる。紙面の都合で、溝の断面および水頭、根入長、浸塩水の密度差ならびに浸塩境界の拡散などについて記すことはできなかったが、これらについては講演時にふれたい。

4. 結語

このような流れの場に対しては浸塩境界の形状と流量とが重要な物理量と考えられるが、これらに対しては本解析の結果は実験値とほとんど一致することを知った。

未著ながら本研究に温かい御指導をいただいた元工学部水工土木学教室 橋 東一郎先生、同 田中比古先生、ならびに貴重な関係表をおかしくいただいた同 榎 学教室 小 野寺清矢先生に深謝致します。

文献

- 1) Norbert L. Ackermann, SALT-WATER INTERFACE NEAR A FRESH-WATER CANAL; HYD. ASCE (1964)
- 2) M.E. Hays, GROUNDWATER AND SEEPAGE; MCGRAW-HILL BOOK COMPANY (1962)