Ⅱ－117　海水飽和地盤における淡水注入溝の浸透

九州大学工学部　正員　上田年比古
仝　仝　○崎山　正常

1．まえがき　海水飽和地盤における淡水注入溝からの浸透については既にN.L.Ackermann氏ら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た報告[1]があるが,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(以下においては溝という)とし，かつ,溝の底面を外部の地盤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を与えた場合を取扱い，解析結果を実験によって検討した。なお，前記N.L.Ackermann氏らの解析されたものは溝の深さ$H_w=0$とすることによって本報の理論に含まれる。

2．解析　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とすると，xおよびy方向の流速はそれぞれ

$$u=\partial\Phi/\partial x \text{ or } \partial\Psi/\partial y \quad ; \quad v=\partial\Phi/\partial y \text{ or } -\partial\Psi/\partial x \qquad \cdots (1)$$

複素ポテンシャルwは　$$w=\Phi+i\Psi \qquad \cdots (2)$$

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

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

一方，透水係数をkとするとDarcyの法則は

$$u=k\,\partial h/\partial x \quad ; \quad v=k\,\partial h/\partial y \qquad \cdots (4)$$

(1)式と(4)式から　$$\Phi=kh=k(P/\gamma+y) \qquad \cdots (5)$$

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

$$P_s=\gamma'(H_w-y) \qquad \cdots (6)$$

これを(5)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_sが求められる。すなわち

$$\frac{\gamma'}{\gamma}H_w=H_w' \quad , \quad k\,\Delta\gamma/\gamma=k' \,, \quad \Delta\gamma=\gamma'-\gamma \qquad \cdots (7)$$

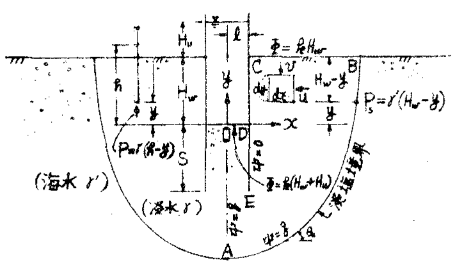
とおいて　$$\Phi_s=kH_w'-k'y \qquad \cdots (8)$$

次にZhukovsky関数[1,2]

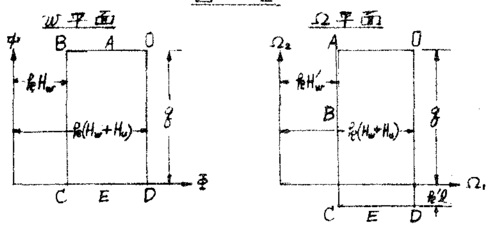
$$\left.\begin{aligned} \Omega_1&=\Phi+k'y \quad , \quad \Omega_2=\Psi-k'x \\ \Omega&=\Omega_1+i\Omega_2=w-ik'z \quad , \quad z=x+iy \end{aligned}\right\} \qquad \cdots (9)$$

を導入してwおよびΩ平面を画くと,図－2がえられ,流れの場の境界は両平面の矩形の周囲に対応している。

図－1．流れの場

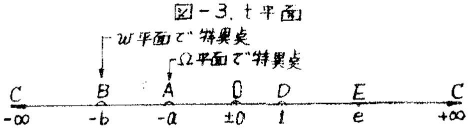


図－2



これらに対するt平面を図－3のようにえらぶ。

図－3．t平面



そうするとSchwarz-Christoffelの定理によって写像関数は

$$dw/dt=N\Big/\left\{\sqrt{(-b-t)}\cdot\sqrt{(-t)}\cdot\sqrt{(1-t)}\right\} \qquad \cdots (10)$$

$$d\Omega/dt=M\Big/\left\{\sqrt{(-a-t)}\cdot\sqrt{(-t)}\cdot\sqrt{(1-t)}\right\} \qquad \cdots (11)$$

で与えられる。ここにa，b，e，NおよびMの値は境界条件によって定まる定数である。(10)および(11)式を各境界にそって積分すると未知定数決定の条件式として

$$K(m)/K(m')=\left\{1\Big/\left(1-\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}\right)\right\}\left\{\left(K(k)/K(k')\right)+\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{l}{H_u}\right\} \qquad \cdots (12)$$

$$e=\frac{b\left[(a+1)/(b+1)\right]\left[\left(K(k')/K(m')\right)\left(1-\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}\right)\right]^2-a}{1-\left\{(a+1)/(b+1)\right\}\left\{\left(K(k')/K(m')\right)\left(1-\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}\right)\right\}^2} \qquad \cdots (13)$$

$$\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}=\left\{\left(F(\theta_e,m')/K(m')\right)\left(1-\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}\right)-\frac{F(\theta_e,k')}{K(k')}\right\} \quad \cdots\cdots (14)$$

ただし

$$\left.\begin{array}{l} k^2=1/(b+1)\ ,\quad k'^2=1-k^2,\quad m^2=1/(a+1),\ m'^2=1-m^2 \\ a=m'^2/m^2\ ,\quad \sin\theta_e=\sqrt{(e-1)/e} \end{array}\right\} \cdots\cdots (15)$$

がえられる。ここに $F(\theta,n)$ および $K(n)$ の標示は n を母数とする第一種楕円積分およびその完全楕円積分を意味する。すなわち任意の $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}(<1)$, $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{l}{H_u}$ および $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ を与えて (12), (13) および (14) 式を連立にとけば, a, b, e の値が求まる。しかし実際の計算においては先ず $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}$ および $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{l}{H_u}$ の値のみを与え, b を適当に仮定して (15) 式で $k^2(=1-k'^2)$ を求め (12) 式で $m^2(=1-m'^2)$ を求め, 次に (15) 式で $a\left(=m'^2/m^2\right)$ を求め (13) 式で e を求め, (15) 式で θ_e を求めた後, この仮定の b に対する $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ の値を (14) 式で求める手順で, はじめの b の仮定値を二, 三かえて与えられた $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ に対する a, b, e の値を決定する方が計算は簡単なようである。次に溝の片側への単位奥行当りの流量 q, および淡塩境界の曲線は次式で求められる。すなわち

$$\left.\begin{array}{l} q/kH_u=K(k)/K(k') \\ \frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{x}{H_u}=\left\{\left(1-\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}\right)\cdot F(\theta_x,m)/K(m')\right\} \\ \frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{y}{H_u}=\left\{-\left(1-\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}\right)+F(\theta_y,k')/K(k')\right\} \\ \text{ここに}\quad \sin\theta_x=\sqrt{(-a-t)/-t}\ ,\quad \sin\theta_y=\sqrt{\frac{(1+b)(-t)}{b(1-t)}} \\ \qquad -b\leq t\leq -a \end{array}\right\} \cdots\cdots (16)$$

本解析の結果に対して数値計算を行ったものを図-4, 5, 6に示し, これらについて行った実験の一部を図-7に示している。

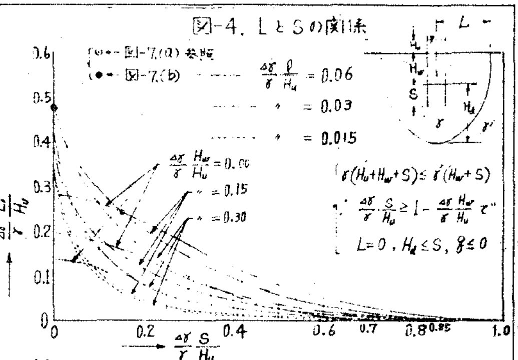


図-4. LとSの関係

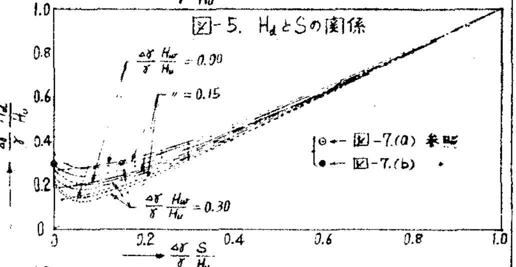


図-5. H_dとSの関係

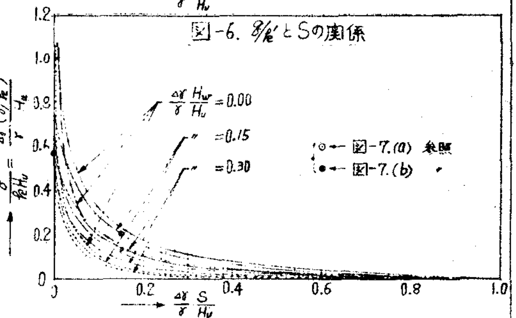
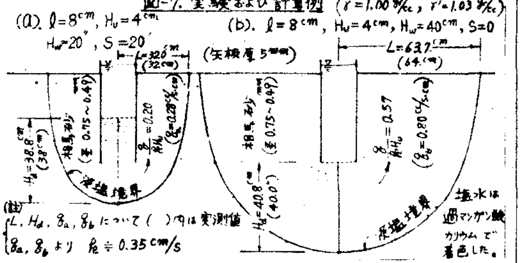


図-6. q/kとSの関係

図-7. 実験および計算例 ($\gamma=1.00$ g/cc, $\gamma'=1.03$ g/cc)



(註) L, H_d, q_a, q_b について ( ) 内は実測値
q_a, q_b より $k\doteqdot 0.35$ cm/s

3. むすび　数値計算および実験から次の事が云える。

(1) $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{L}{H_u}$ について; $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ が大きくなると小さくなる。$\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{l}{H_u}$ を一定にすると $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ が大きいところでは $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}$ が大きい程小さいが $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ が小さいところでは $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}$ が大きい程大きい。$\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}$ を一定にすると $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{l}{H_u}$ が大きい程大きい。

(2) $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_d}{H_u}$ について; $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ のある値で一般に最小値をもつ。しかし $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}=0$ の場合についてだけは $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ が大きい程大きい。$\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{l}{H_u}$ を一定にすると $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ が大きいところでは $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}$ が大きい程小さい。$\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}$ を一定にすると $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{l}{H_u}$ が大きい程大きい。

(3) q/kH_u について; $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ の小さいところでは $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{S}{H_u}$ が大きくなると急激に小さくなる。$\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{l}{H_u}$ を一定にすると $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}$ が大きい程小さい。$\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{H_w}{H_u}$ を一定にすると $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\cdot\frac{l}{H_u}$ が大きい程大きい。

参考文献　1) Norbert L. Ackermann and Pachern Sridurongkatum: SALT-WATER INTERFACE NEAR A FRESH-WATER CANAL; HY6, ASCE. 1964

2) 崎山正常: 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; 昭和40年度 土木学会西部支部研究発表会 論文集 (Ⅲ-4)