

九州産業大学 正員 崎山正常  
タクシード 阿部孝行

1. まえがき 淡水カーテンによる河口貯水池への塩水浸透防止については、これまでにもかなりの機会をとられてのべているが、それらの多くは淡水注入部を直線境界面とした溝からの注入によるものであった。<sup>1)</sup>など。本報では、この注入部を図-1に示しているような微小円形とした場合の解析結果およびその砂モデルによる実験結果について述べる。

2. 解析 淡水カーテン形成の機構は図-1に示している。図示の記号に従い、取り扱う物理諸量についての無次元化を行なうと次のようになる。すなわち、

$$X = x/D, Y = y/D \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\chi = (\eta - \eta_f(H_f + D)) / (\eta_f h) \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\psi = \Psi / (\eta_f h) \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに重は

$$\varphi = \eta_f \{ p / \eta_f + \chi \} \quad \dots \dots \dots (4)$$

であらわされる速度ポテンシャルであり、 $\Psi$ は流れの関数である。また、 $p$ は任意点の圧力、 $\eta_f$ は透水係数、 $\eta$ および $\eta_f$ は淡水および塩水の単位重量である。次に

$$\varepsilon = (\eta_s - \eta_f) / \eta_f \quad \dots \dots \dots (5)$$

を定義し、中中平面において

$$\nabla^2 Y = \partial^2 Y / \partial \varphi^2 + \partial^2 Y / \partial \psi^2 = 0 \quad \dots \dots \dots (6)$$

なるLaplaceの式を解くことになるが、この場合、 $Y$ についての境界条件を整理すると図-2に示しているようになる。ここに、 $EF$ 上の $Y$ の式は、式(4)に砂中の静止塩水の圧力

$$P = \eta_f H_f + \eta_f (D - y) \quad \dots \dots \dots (7)$$

を適用し、これをさらに式(2)に適用して

$$Y = 1 - \{\chi / (ED / \eta_f)\} \quad \dots \dots \dots (8)$$

となる。また、 $HI$ 上の $Y$ の式は、式(4)に砂中の静止塩水の圧力

$$P = \eta_f (H_f + D - y) \quad \dots \dots \dots (9)$$

を適用し、これをさらに式(2)に適用して、

$$Y = 1 - \{\chi - \{(1+\varepsilon)H_f / \eta_f - H_f / \eta_f\}\} / (ED / \eta_f) \quad \dots \dots \dots (10)$$

となる。次に、淡水注入部を微小半径 $r$ なる円形とみなし、この円形周辺における $\psi$ 方向の流速を $U_r$ 、 $y$ 方向のそれを $U_y$ とすれば

$$U_y = U_r \cdot \sin \theta \quad \dots \dots \dots (11)$$

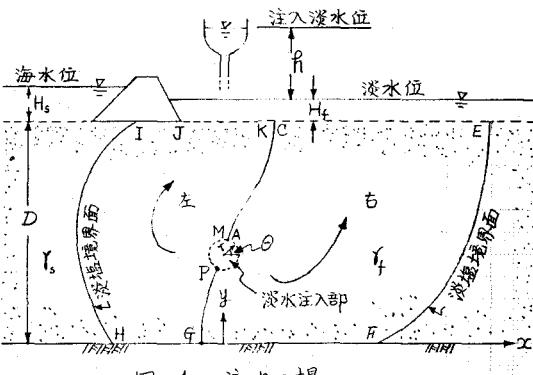


図-1 流れの場

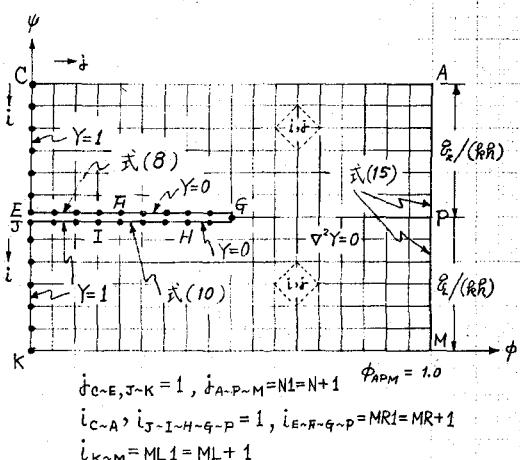


図-2 中中平面における $Y$ の境界条件

が成立し、また、2次元ポテンシャル流の基礎理論より

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Y}{\partial \varphi} &= -J \cdot \frac{\partial Y}{\partial \psi} \\ J &= U_y^2 + U_x^2 = U_r^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (12)$$

が成立するから、これと式(11)とより

$$\frac{\partial Y}{\partial \varphi} = -\sin \theta / U_r \quad \dots \dots \dots (13)$$

がえられる。そこで上式(13)に式(1)および(2)の無次元化を適用すれば、若干の演算過程をへて

$$\frac{\partial Y}{\partial \phi} = -\frac{2\pi \cdot \sin \theta}{\{2\pi r \cdot U_r / (R_h)\} (D/r)} \quad \dots (14)$$

がえられる。ここで  $\gamma$  を単位幅当たりの流量とすれば  $\gamma = 2\pi r \cdot U_r$  であり、また  $\gamma / (R_h) = M/N$  であるから、式 (14) は  $\frac{\partial Y}{\partial \phi} = -2\pi \left(\frac{N}{M}\right) \left(\frac{r}{D}\right) \sin \theta \quad \dots (15)$

とかきなおすことができる。したがって、ここでは上式 (15) を微小円形周辺のYについての境界条件として使用する。さて、これらの諸式を用いた実際の数値計算は、大型コンピューターを用いて、SOR法によることになるので、式 (6) および (15) について差分化を行なっておくと

$$Y_{i,j}^m = (\omega/4) \left\{ Y_{i-1,j}^m + Y_{i,j-1}^m + Y_{i+1,j}^{m-1} + Y_{i,j+1}^{m-1} \right\} - (\omega - 1) Y_{i,j}^{m-1} \quad \dots (16)$$

$$Y_{i,N1}^m = Y_{i,N}^m - 2\pi \left(\frac{1}{M}\right) \cdot \left(\frac{r}{D}\right) \cdot \sin \theta \quad \dots (17)$$

となる。ここに、 $\omega$  は加速定数であり、 $Y_{i,j}^m$  は計算回数  $m$  回目の  $i, j$  点のYの値を示している。なお、図-2 の境界面上に印で示している点のYの値はあらかじめ与えられており、SOR法による演算においては除外できる点である。以上のようにして、図-2 の中央平面上において、その境界条件を満たす式 (6) の数値解がえられたならば、これに対応するXは、YとXとの間に成立するCauchy-Riemann の条件により、

$$\phi = \text{const.} \text{ にそって } X = -\int \frac{\partial Y}{\partial \phi} d\phi \text{ あるいは } \psi = \text{const.} \text{ にそって } X = \int \frac{\partial Y}{\partial \psi} d\phi \quad \dots (18)$$

が成立するから、上式 (18) にまとめて、あらかじめ求められているYを数値積分することによって容易に求めることができる。ここでは、図-1 および図-2 の点MのXを0とし、まずMPA上の中=1.0 にそって、MPA上のXをあらかじめ求めておき、次に、これをもとに各  $\psi = \text{const.}$  にそって図-2 に示す各格子点のXを求めこれによって図-3 に示しているような流れの場を画いている。

3. 数値解およびその実験結果 数値計算結果の一例を図-3 に示している。これによると、淡水注入部の近くではまだ流線と等ボテンシャル線の直交性が充分に満足できるまでには至っていないが、淡水注入部より離れるにしたがってほぼ満足できる程度になっており、全体的にはほぼ妥当な流線網になっていると考える。そこで、この結果を砂モデルによる実験によって検証することを試みた。その模様を右の写真に示している。実験による淡塩界面は白線で示している理論淡塩界面にはほぼ一致していることが認められよう。

4. あとがき 今後は、本報でのべたような機構による淡水カーテン工法の実用化について、さらに研究を進めなければならないと考えている。

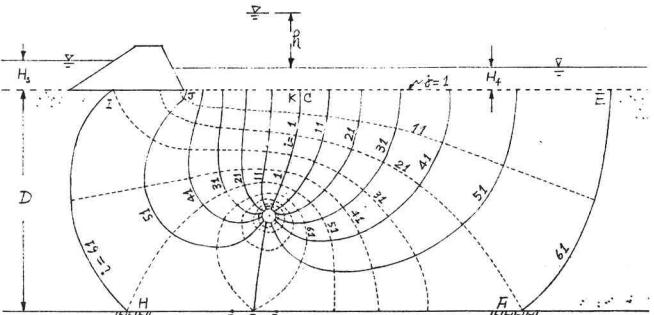


図-3 数値解析の結果

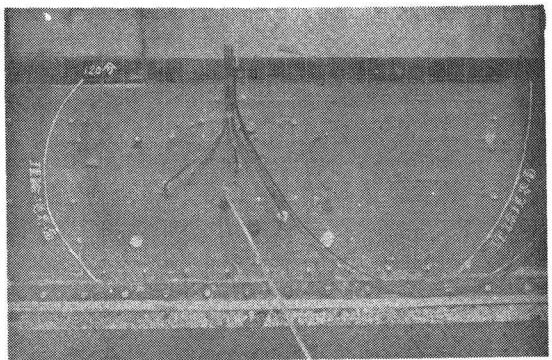


写真-1. 砂モデルによる実験結果

1) 崎山正常：淡塩二層地下水流における塩水排除に関する水理学的研究、九州大学学位論文、昭和46年3月