

九州産業大学 正員 ○ 崎山 正常  
 総合技術コンサルタント , 新見 文彦  
 九州産業大学 , 阿部 孝行

1. まえがき 海岸付近の埋立場においては埋立土中に含まれている工場廃水あるいはその他の人工廃棄物中の有害物の湾域への溶出防止対策が検討されなければならない。この防止対策には、生物、化学および力学的諸処理方法あるいはこれらを併用する方法などが考えられよう。本報は、これらのなかの力学的対策の一つとして図-1に示しているような海水注入によるウォーターカーテンによって防止する工法を提案し、そのモデル化を行なった流れの場について水理解析を行ない、その結果を砂モデルによる実験によって検討したものである。なお、海水注入部が矢板側壁の溝である場合については著者の一名と他二名がすでに発表している。<sup>1)</sup>

2. 解析 海水を砂層中に注入してウォーターカーテンを形成させる機構は図-1に示しているようなものである。もちろん、現地の流れの場は図-1に示しているものよりもっと複雑であると考えられるが、ここではこれをかなり理想化して、図のような等方性均質砂層内の2次元定常流を取り扱う。いま、図示のような記号に従い、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、

$$X = x/D, \quad Y = y/D \quad \text{----- (1)}$$

$$\phi = (\Phi - \rho_s H_s) / (\rho R) \quad \text{----- (2)}$$

$$\psi = \Psi / (\rho R) \quad \text{----- (3)}$$

ここに至は

$$\Phi = \rho \{ p / \gamma_s - y \} \quad \text{----- (4)}$$

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、 $\rho$ は透水係数および $\gamma_s$ は汚水および海水の単位重量である。次に

$$\varepsilon = (\gamma_s - \gamma_f) / \gamma_f \quad \text{----- (5)}$$

を定義し、 $\phi$ - $\psi$ 平面において

$$\nabla^2 Y = \partial^2 Y / \partial \phi^2 + \partial^2 Y / \partial \psi^2 = 0 \quad \text{----- (6)}$$

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HF上の $Y$ の式は、式(4)に

大気圧 ( $p = 0$ ) を適用し、これをさらに式(2)に適用して、

$$Y = (\phi + H_s / R) / (D / R) \quad \text{----- (7)}$$

また、CD上の $Y$ の式は、式(4)に砂中の静止汚水の圧力  $p = \gamma_f (H_f - y)$  を適用し、これをさらに式(2)に適用して

$$Y = \{ \phi - (1/\varepsilon) H_f / R + H_s / R \} / \{ (\varepsilon / 1 + \varepsilon) D / R \} \quad \text{----- (9)}$$

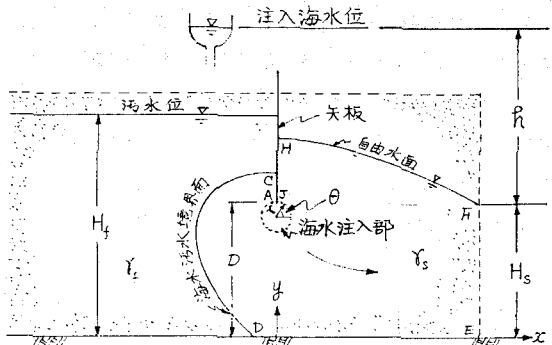


図-1 流れの場

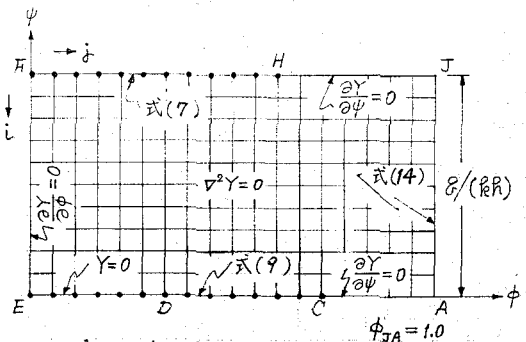


図-2  $\phi$ - $\psi$ 平面における $Y$ の境界条件

$$\begin{aligned} \phi_{F-E} &= 1, \quad \phi_{J-A} = N1 = N + 1 \\ \psi_{H-H \sim J} &= 1, \quad \psi_{E-D \sim C \sim A} = M1 = M + 1 \end{aligned}$$

この円形周辺における $r$ 方向の流速を $U_r$ 、 $y$ 方向のそれと

$$U_y \text{ とすれば } U_y = U_r \cdot \sin \theta \quad \text{----- (10)}$$

が成立し、また、2次元ポテンシャル流の基礎理論より、

$$U_y = -\partial \psi / \partial y = -J \partial \psi / \partial \phi, \quad J = U_y^2 + U_x^2 = U_r^2 \quad \text{----- (11)}$$

が成立するから、これと式(10)より

$$\frac{\partial \psi}{\partial \theta} = -\sin \theta / v_r \quad \text{----- (12)}$$

がえられる。そこで、上式(12)に式(1)および(2)の無次元化を適用すれば、若干の演算のちに

$$\frac{\partial Y}{\partial \phi} = -\frac{2\pi \cdot \sin \theta}{\{2\pi r v_r / (Rr)\} (D/r)} \quad \text{----- (13)}$$

がえられる。ここで  $\delta$  を単位幅当りの流量とすれば、 $\delta = 2\pi r v_r$  であり、また、 $\delta / (Rr) = M/N$  であるから、式(13)は

$$\frac{\partial Y}{\partial \phi} = -2\pi \cdot \left(\frac{N}{M}\right) \left(\frac{r}{D}\right) \sin \theta \quad \text{----- (14)}$$

と書きなおすことができる。したがって、ここでは上式(14)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を用いて、SOR法によることになるので、式(6)および(14)についての差分化を示しておく

$$Y_{i,j}^m = (\omega/4) \{ Y_{i-1,j}^m + Y_{i+1,j}^m + Y_{i,j-1}^{m-1} + Y_{i,j+1}^{m-1} \} - (\omega-1) Y_{i,j}^{m-1} \quad \text{----- (15)}$$

$$Y_{i,N}^m = Y_{i,N}^{m-1} - 2\pi (1/M) (r/D) \cdot \sin \theta \quad \text{----- (16)}$$

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  $\bullet$  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  $\phi, \psi$  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  $X$  との間で成立する Cauchy-Riemann の条件により

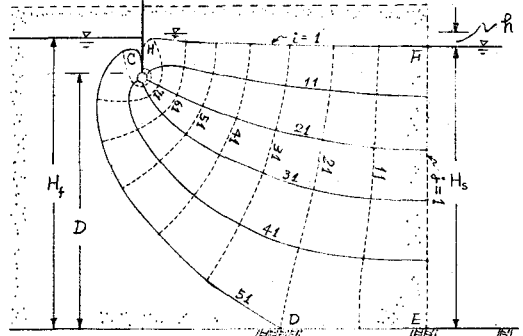
$$\left. \begin{aligned} \phi = \text{const. に} \text{よって} \quad X &= -\int \frac{\partial Y}{\partial \phi} d\phi \\ \text{あるいは} \\ \psi = \text{const. に} \text{よって} \quad X &= \int \frac{\partial Y}{\partial \psi} d\psi \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (17)}$$

が成立するから、上式(17)にもとづき、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において点Aの  $X$  を0とし、まず、AJ上の  $\phi = 1.0$  によってAJ上の  $X$  をあらかじめ求めておき、次に、これをもと

に各  $\psi = \text{const.}$  によって図-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. 数値解の結果

数値計算結果の一例を図-3に示している。



$D/R = 20.0 \rightarrow 22.7$ ,  $H_2/R = 25.0$ ,  $H_4/R = 25.83$ ,  $r/D = 0.01$   
 $E = 0.025$ ,  $N = 100$ ,  $M = 50$ ,  $\phi_H = 0.7$ ,  $\phi_D = 0.2$ ,  $\phi_0 = 0.81$   
 $\omega = 1.6$ ,  $MAXE = 1.0 \times 10^{-3}$ ,  $K = 1118$ 回,  $ZIKAN = 115$  sec

図-3 数値解析の結果

等ポテンシャル線と流線の直交性など、えられた流線網はほぼ妥当であると考えられる。なお、この結果に対しては講演時までには砂モデルによる実験を行ない、海水汚水境界面形成の様相などについてのべる計画である。

4. あとがき 以上、本報では、海岸付近の埋立場などではしばしば発生する埋立土中の有害物溶出防止対策として、海水カーテン工法を提案し、その水理解析の指針をのべるにとどまったが、今後は、この種の工法の実用化にあたっての諸問題について検討を進める計画である。

### 参考文献

- 1) 崎山正常, 杉尾哲, 青柳茂敏: 海水カーテンによる汚泥中有害物の溶出防止工法, 第29回土木学会年次学術講演会講演概要集, II-193, 昭和49年10月
- 2) 崎山正常: 浸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