

九州産業大 正員 ○ 崎山 正常
 “ “ 杉尾 哲
 “ “ 青柳 茂敏

1. まえがき ある海岸付近の埋立場において、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汚域への溶出防止対策が検討されつつある。この防止対策には、化学的処理方法、力学的処理方法あるいはこれらを併用する方法などいろいろな対策が考えられるが、本報は力学的方法の一つとして、図-1に示すような、海水注入によるウオーターカーテンによって防止する工法を提案し、水理解析を行なった結果を砂モデル実験によって検証したものである。

2. 解析 海水を地盤に注入してウオーターカーテンを形成させる機構は図-1(A)に示しているようなものである。もちろん現地での流れの場については、たとえば流出部(EF)が法面であったり、浸出面が生じたり、3次元流とみるべきものであったり、あるいは均一地盤ではなかったり、その境界条件に多くの解析上の困難が考えられるが、ここでは、まずその手はじめとして図-1(A)に示している流れの場をとり上げる。

いま、流れの場の座標軸を図示のようにとり、透水係数を k 、海水の単位重量を γ 、任意点の圧力を p とすれば、その点での速度ポテンシャル ψ は

$$\psi = k \left(\frac{p}{\gamma} + y \right) \quad \text{----- (1)}$$

である。そこで注入部(AJ)と流出部(EF)の ψ の差(= $k \cdot \Delta H$)で、任意点の ψ と流出部の ψ (= $k H_2$)との差を無次元化し、さらに流れ関数 ϕ にも同じ無次元化をほどこせば

$$\phi = \frac{\psi - k H_2}{k \cdot \Delta H}, \quad \psi = \frac{\psi^*}{k \cdot \Delta H} \quad \text{----- (2)}$$

がえられる。また座標については

$$X = \frac{x}{D}, \quad Y = \frac{y}{D} \quad \text{----- (3)}$$

のように無次元化し、次に汚水の単位重量 γ と γ' とのあいだに

$$\varepsilon = \frac{\gamma' - \gamma}{\gamma} \quad \text{----- (4)}$$

を定義する。そうすると汚水と海水との境界面(CD)において式(1)、(2)、(3)および(4)より次式がえられる。すなわち

図-1(A) 海水カーテンの機構

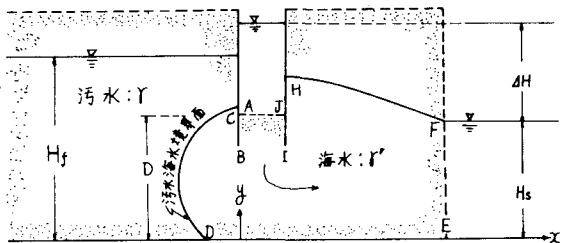


図-1(B) ψ 平面とその境界条件

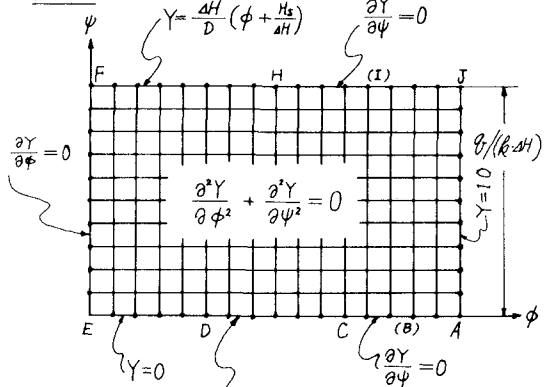
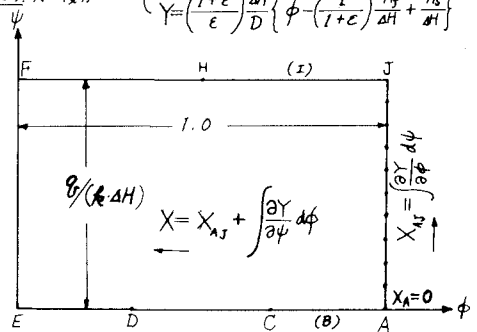


図-1(C) Xの積分



$$Y_{cd} = \left(\frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \right) \frac{\Delta H}{D} \left\{ \phi - \left(\frac{1}{1 + \varepsilon} \right) \frac{H_1}{\Delta H} + \frac{H_2}{\Delta H} \right\} \quad \text{----- (5)}$$

上式に点Dの $Y (=0.0)$ および点Cの $Y (=Y_c)$ を適用して

$$\phi_D = \left(\frac{1}{1+\varepsilon} \right) \frac{H_2}{\Delta H} - \frac{H_2}{\Delta H}, \quad \phi_C = \phi_D + \left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon} \right) \frac{D}{\Delta H} Y_c \dots\dots\dots (6)$$

がえられる。また H_H は自由水面であるから $P=0$ であり、したがって式(1), (2) および (3) より

$$Y_{H_H} = \frac{\Delta H}{D} \phi_{H_H} + \frac{H_2}{D} \dots\dots\dots (7), \quad \phi_H = \frac{D}{\Delta H} Y_H - \frac{H_2}{\Delta H} \dots\dots\dots (8)$$

がえられる。これらをもとに $\phi\psi$ 平面をその境界条件とともに示したものが図-1(B) である。いま, $\varepsilon, D/\Delta H, H_2/\Delta H, H_2/\Delta H, Y_c, Y_H$ および $g/(k \cdot \Delta H)$ を与えると, 図中の式より $\phi\psi$ 平面上に示された境界条件をみたす Y が求められ, 次に図-1(C) に示された手順によって X が求められる。

実際の数値計算はSOR法により, 電算機を使用することになり, 次にその計算式と図-2 に示しているフローチャートについて略述して置こう。図-2 に示しているように $\phi\psi$ 平面を分割した場合, I 行 J 列の格子点において, Y についてのLaplaceの式を差分化し, これにSOR法を適用すれば次式がえられる。

$$Y(I, J)^m = (\omega/4) \{ Y(I-1, J)^m + Y(I, J-1)^m + Y(I+1, J)^m + Y(I, J+1)^m \} - (\omega-1) \cdot Y(I, J)^{m-1} \dots\dots\dots (9)$$

ここに m は計算の回数, ω は加速定数である。なお境界条件が Y の微分係数として与えられているとせば HJ 上では式(9)は $Y(I, J)^m = (\omega/4) \{ Y(I, J-1)^m + 2Y(I, J)^{m-1} + Y(I, J+1)^m \} - (\omega-1) Y(I, J)^{m-1}$ のようになる。次に $X(I, J)$ については, 点Aを $X=0$ に与えれば

$$X(I, N+1) = \sum_{I=H}^I \{ 2.0 - (Y(I, N) - Y(I, N)) / 2.0 \} / 2.0 \dots\dots\dots (10)$$

のように求められる。任意の格子点では

$$X(I, J) = X(I, N+1) + \sum_{J=NH}^J \{ Y(I, J-1) - Y(I, J) \} / 2.0 \dots\dots\dots (11)$$

のように求められる。また H_HJ 上では $X(1, J) = X(1, N+1) + \sum_{J=NH}^J \{ Y(1, J) - Y(2, J) \}$ のように求められる。

3. 計算結果と砂モデルによる実験 図-3 に数値計算結果

の一例を示している。えられた流線網は全体的にはほぼ等分に画かれているが, 図の左肩の汚水と海水の境界面(実線は数値計算結果, 点線は推測による修正結果)にまだ若干の数値計算上の誤差がみとめられる。しかしこれは $\phi\psi$ 平面の縦および横方向の分割数 M および N の比 (ここでは $M/N = 100/200 = 1/2$) を保つたがらずそれぞれを多くすれば修正されるものである。写真に示している実験結果は, 自由境界面(H_H)上の毛管上昇部分を除外すれば数値計算結果によく一致している。

(参考文献: 47年, 青柳, 花園) 海岸に立地する海水カーテンによる汚泥中有害物の汚染防止について, 土木学会西部研究発表会論文集, 昭和47年2月)

図-2 フローチャートの主要部分

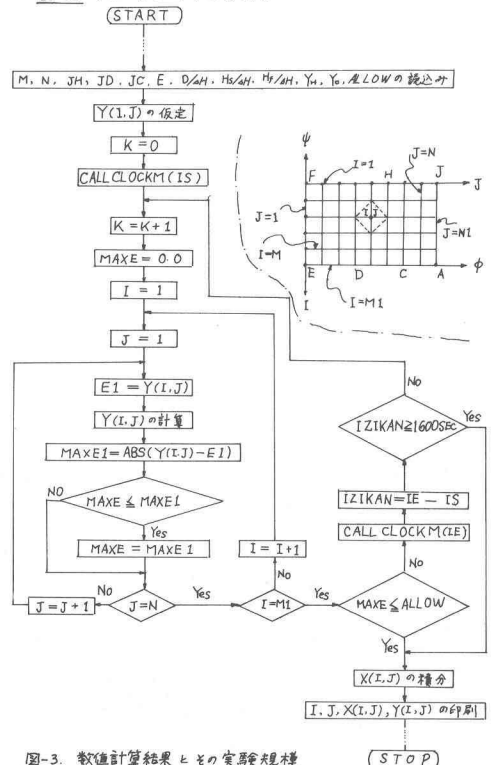


図-3 数値計算結果とその実験規模 (ALLOW=0.00001 に対して K=427回)

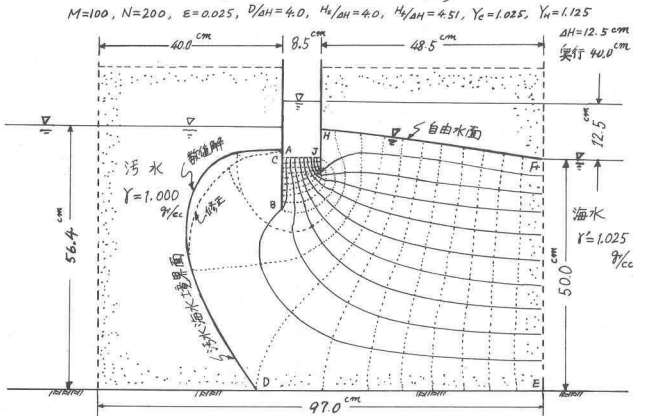


写真 実験結果

