

九州産業大学 正会員 崎山 正 常
九州産業大学 正会員 ○ 細川 土佐男
九州産業大学 学生員 林 正 国

1. まえがき 本報では、図-1に示すように上層淡水の自由水面が地表下に形成されている一般的な海岸付近の透水性地盤においてABCDなる淡水層とDCGHなる塩水層における取水と排水とを解析の対象とする。

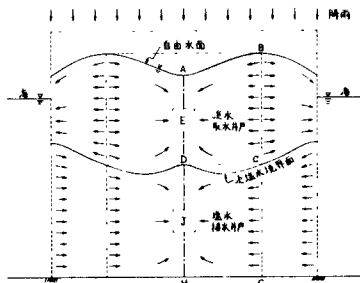


図-1 淡水取水および塩水排水の機構

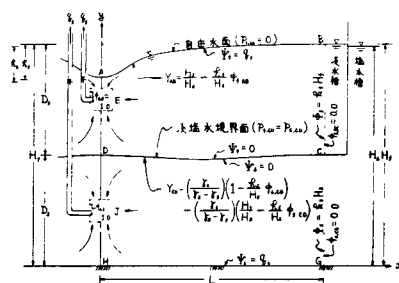


図-2 軸対称流におけるXY円筒体の境界条件

2. 数値解析 対象とする流れの場が図-2に示すようなY軸を対称軸とする軸対称流の場合には

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \quad v = \frac{\partial \Phi}{\partial y} = -\frac{\partial \Psi}{\partial x} \quad \text{----- (1)} \quad \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} - \frac{\partial \Psi}{\partial x} = 0 \quad \text{----- (2)}$$

が成立する。ただし、この場合の Ψ はStokesの流れ関数、 Φ は速度ポテンシャルである。まず図-2に示す流れの場の任意点 (x, y) について $X=x/H_s, Y=y/H_s$ ----- (3)

なる無次元化をほどこし、次に $(\Phi_f, \Psi_f), (\Phi_s, \Psi_s)$ について

$$\Phi_f = (r_s H_s - \Phi_f) / (r_s r_f), \quad \Psi_f = \Psi_f / (r_s r_f H_s) \quad \text{----- (4)}$$

$$\Phi_s = (r_s H_s - \Phi_s) / (r_s r_s), \quad \Psi_s = \Psi_s / (r_s r_s H_s) \quad \text{----- (5)}$$

なる無次元化を行なう。ただし、 $\Phi_f = r_f \{ (\Phi_f / r_f) + y \}$ ----- (6)

$\Phi_s = r_s \{ (\Phi_s / r_s) + y \}$ ----- (7) である。そこで $\Phi_{f,CD} = \Phi_{s,CD}$ なる境界条件を用いると

$$Y_{CD} = \left(\frac{r_s}{r_f} \right) \left(1 - \frac{r_s}{H_s} \cdot \Phi_{s,CD} \right) - \left(\frac{r_f}{r_s} \right) \left(\frac{H_f}{H_s} - \frac{r_f}{H_s} \cdot \Phi_{f,CD} \right) \quad \text{----- (8)}$$

書きかえて $\Phi_{s,CD} = f_1(\Phi_{f,CD}, Y_{CD})$ ----- (8') $\Phi_{f,CD} = f_2(\Phi_{s,CD}, Y_{CD})$ ----- (8'')

がえられ、また特に $\Phi_{f,C} = \Phi_{s,C}, \Phi_{f,D} = \Phi_{s,D}$ および $y_C = y_D = D_s$ を適用すると

$$r_{s,D}/H_s = (r_f/r_s) (\Phi_{f,D}/\Phi_{s,D}) (r_f/H_s) \quad \text{----- (9)}$$

$$H_f/H_s = (r_s/r_f) - \{ (r_s - r_f)/r_f \} (D_s/H_s) \quad \text{----- (10)}$$

なる地下密度流の特性式がえられる。また、自由水面の式は式(4)の第1式と式(6)および $\Phi_{f,AB} = 0$ なる条件より

$$Y_{AB} = (H_f/H_s) - (r_f/H_s) \cdot \Phi_{f,AB} \quad \text{----- (11)}$$

書きかえて $\Phi_{f,AB} = \{ (H_f/H_s) - Y_{AB} \} / (r_f/H_s)$ ----- (11')

がえられる。

さて、与えられた流れの場の諸元に対して、これらの関係と図-3の上部に示す境界条件を満足するXY円筒体を求める過程について述べる。まず始めに、経験的な近似淡水塩水境界面、近似自由水面および

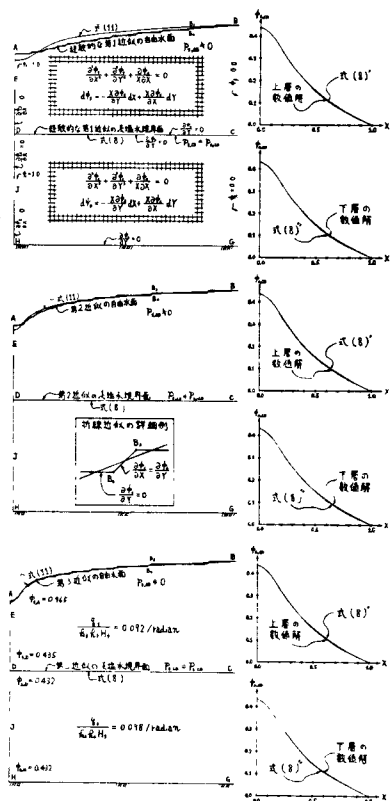


図-3 軸対称流におけるXY円筒体の決定過程 (第1~3近似)

その他の固定境界面で解析の対象とする領域を画定する。次に、この両曲面を図-3の中央部に示すように、その近傍の格子線を通る近似の折面境界で表わし、これらによって画定された上層および下層の領域をそれぞれ第1近似のXY円筒体とし、これらの中でそれぞれ ϕ_s , ψ_s および ϕ_b , ψ_b の数値解を求める。そこでこの場合の数値解による $\phi_{s,cd}$ と式(8)'に下層の数値解による $\phi_{b,cd}$ および折面上の Y_{co} を適用して算定される $\phi_{s,cd}$ とがほぼ一致すれば近似の淡水境界面CD上で $\phi_{s,cd} \doteq \phi_{b,cd}$ が保証され、同時に、この場合の $\phi_{s,AB}$ を式(11)に適用して算定される Y_{AB} が近似の Y_{AB} にほぼ一致すれば近似の自由水面AB上で $\phi_{s,AB} \doteq 0$ が保証される。もし一致の度合が不十分であると考えられる場合には、上記の数値解による $\phi_{s,cd}$ および $\phi_{b,cd}$ を用いて式(8)で算定される Y_{co} と数値解による $\phi_{s,AB}$ を用いて式(11)で算定される Y_{AB} とをめやすとして両曲面を再近似し、これらについて同様な数値解を求め一致の度合が十分であると考えられるまで数回の試行を実施すればよい。

次に、下層排水を行なわないで、上層取水のみを行なう場合の流れの場は図-5のようになり、この場合には式(8), 式(8)'にかわり

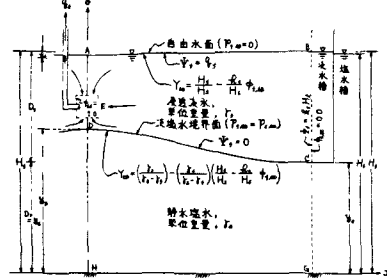


図-5 上層取水の一般の状態

$$Y_{co} = \left(\frac{Y_s}{H_s - H_b} \right) - \left(\frac{Y_b}{H_s - H_b} \right) \left(\frac{H_s - H_b}{H_s - H_b} \right) \phi_{s,cd} \quad (12)$$

書きかえて $\phi_{s,cd} = f(Y_{co})$ ----- (12)' がえられ、また、式(9), 式(10)にかわり

$$\frac{H_s}{H_b} = \left(\frac{Y_s - Y_b}{Y_b} \right) \left(\frac{Y_b - Y_{co}}{\phi_{s,cd}} \right) \quad (13)$$

$$\frac{H_s}{H_b} = \frac{Y_s}{Y_b} - \left(\frac{Y_s - Y_b}{Y_b} \right) Y_{co} \quad (14)$$

がえられる。なお、これらの関係と与えられた境界条件を満足するXY円筒体を求めるには、前述の過程と同様な試行を行えばよい。

3. 検討 図-4と図-5に示す淡水境界面の頂点が井戸の下端に達した限界状態である図-7とのそれぞれの g_s を比較してみよう。同じ $R_s H_b^2 / \text{radian}$ であらわせば、それぞれ $g_s = 0.01886 R_s H_b^2 / \text{radian}$, $g_s = 0.00046 R_s H_b^2 / \text{radian}$ となる。従ってこれらの比は $0.01886 : 0.00046 = 41 : 1$ となり上層取水可能量に寄与する下層排水の効果は極めて顕著に現われている。

なお、上述の解析結果を検証するため砂模型実験の結果については講演時に示される計画である。

- 文献 1) 嶋山正常ほか3名: 海岸付近の淡水池地盤における効率的な上層取水の方法, 土木学会論文報告集, 第291号, pp.85~99, 1979年11月。
2) 嶋山正常ほか3名: 海岸付近の通第砂層地盤における効率的な上層取水の方法, 土木学会論文報告集へ投稿中。
3) 嶋山正常ほか3名: 海岸付近の淡水池地盤における井戸からの効率的取水について, 本講演概要集内。

$$\begin{aligned} L/H_b &= 1.000, & Y_s/H_b &= 0.750, & Y_{co}/H_b &= 0.800 \\ Y_{b1}/H_b &= 0.700, & Y_{b2}/H_b &= 0.500, & Y_{b3}/H_b &= 0.500 \\ Y_{b4}/H_b &= 0.250, & Y_{b5}/H_b &= 0.300, & Y_{b6}/H_b &= 0.200 \\ R_s/H_b &= 0.20, & R_b/H_b &= 0.19646 \\ Y_s/Y_b &= 1.025, & H_s/H_b &= 1.01235 \\ g_s/(R_s R_b H_b) &= 0.092 / \text{radian}, & g_b/(R_s R_b H_b) &= 0.097 / \text{radian} \\ g_s &= 0.01886 R_s H_b^2 / \text{radian}, & g_b &= 0.00046 R_s H_b^2 / \text{radian} \end{aligned}$$

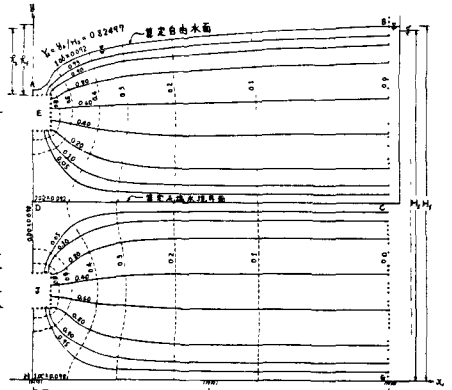


図-4 上層取水および下層排水の数値解例

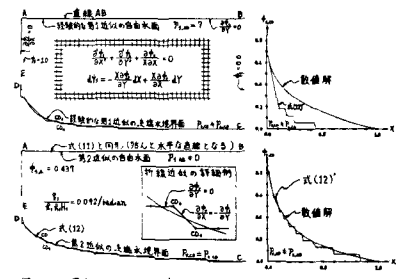


図-6 下層排水中止時の軸対称流におけるXY円筒体の決定過程(第1~2近似)

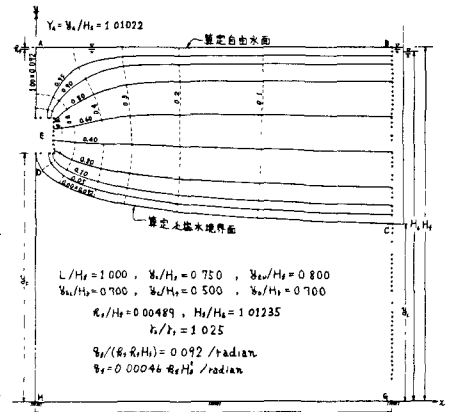


図-7 下層排水中止時の上層取水の数値解例