

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 ○ 丑田 敏昭

1. まえがき さきに著者らは、地表面が淡水池である淡塩二層の均質な浸透層において、上層取水と下層排水とを同時に行なえば、淡塩水境界面上昇あるいは下降の変動量は、取水あるいは排水のどちらか一方だけを行なう場合に比べて少なくなり、取水中への塩水混入の危険性が緩和され、さらに、取水の効率を高めることを二次的に取り扱っている¹⁾。ところで、本報では、より実用的な3次元定常軸対称の流れの場で、ほぼ厳密な境界条件を導入して同様な数値解析を行ない、上層取水と下層排水とを同時に行なう場合の効果について検討を加えた。

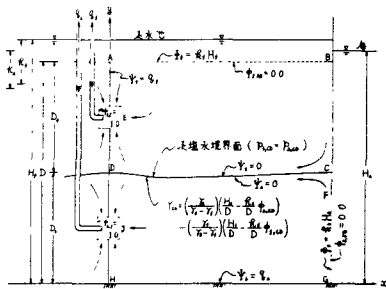


図-1 軸対称流におけるXY円筒体の境界条件

2. 数値解析 対象とする流れの場が図-1に示すような軸を対称軸にと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-1に示す流れの場の任意点 (x, y) について $X = x/D$, $Y = y/D$ -----(3) なる無次元化をほどこし、

次に、 (Φ_f, Ψ_f) , (Φ_s, Ψ_s) について $\Phi_f = (R_f H_f - \Phi_f) / (R_f R_f)$, $\Psi_f = \Psi_f / (R_f R_f D)$ -----(4)

$\Phi_s = (R_s H_s - \Phi_s) / (R_s R_s)$, $\Psi_s = \Psi_s / (R_s R_s D)$ -----(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

$$Y_{CD} = \{ Y_s / (Y_s - Y_f) \} \{ H_s / D - (R_s / D) \Phi_{s,CD} \} - \{ Y_f / (Y_s - Y_f) \} \{ H_f / D - (R_f / D) \Phi_{f,CD} \} \quad \text{---(8)}$$

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

$\Phi_{s,CD} = f_2(\Phi_{f,CD}, Y_{CD})$ -----(8)'' がえられ、また特に、

$Y_C = Y_0 = D_s / D$ を用いると

$$\frac{H_f}{D} = \frac{D_s}{D} + \frac{Y_s}{Y_f} \left(\frac{H_s}{D} - \frac{D_s}{D} \right) + \frac{R_f}{D} \left(\frac{\Phi_{s,D} \Phi_{f,C} - \Phi_{f,D} \Phi_{s,C}}{\Phi_{s,D} - \Phi_{s,C}} \right) \quad \text{---(9)}$$

$$\frac{R_s}{D} = \frac{Y_f}{Y_s} \left(\frac{\Phi_{f,D} - \Phi_{f,C}}{\Phi_{s,D} - \Phi_{s,C}} \right) \frac{R_f}{D} \quad \text{---(10)}$$

なる地下密度流の特性式が得られる。

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-2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、円筒体ABGHの内部領域を経験的な近似淡塩水境界面すなわち第1近似曲面で分割し、この曲面を図-2の上部に示すように、その近傍の格子線を通る近似の折面境界で表わし、これによって分割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_f , Ψ_f および Φ_s , Ψ_s の数

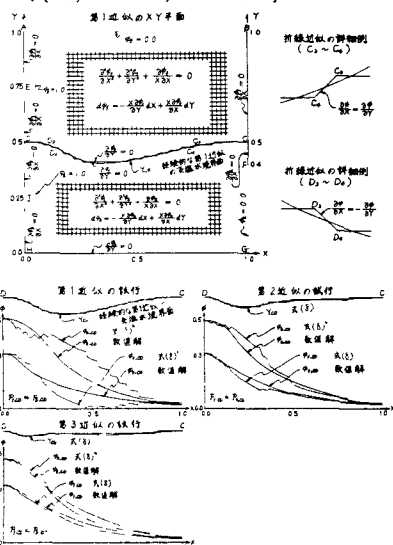


図-2 軸対称流におけるXY円筒体の決定過程(第1~3近似)

値解を求める。そこでこれらの数値解のうちの折面境界CDに沿っての $\phi_{s,cd}$, γ_{cd} あるいは $\phi_{f,cd}$, γ_{cd} を用いて式(8)あるいは式(8')で算定される $\phi_{f,cd}$ あるいは $\phi_{s,cd}$ が上層の数値解の $\phi_{f,cd}$ あるいは下層の数値解の $\phi_{s,cd}$ とほぼ一致すれば、折面境界CD上で $\phi_{f,cd} = \phi_{s,cd}$ が保証されるから、この場合の折面境界CDは実際の浸塩水境界面に近いものであると考えられる。もし上記の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 $\phi_{f,cd}$ および $\phi_{s,cd}$ を用いて式(8)で算定される γ_{cd} をめやすとして、図-2の下部に示すように、折面境界CDを全体的にあるいは部分的に徐々に上下させて、これ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。そうすれば、図-3に示すような十分満足しうるXY円墳体を求めることができる。

3 検討 ここで、下層排水を行なわないで、上層取水のみを行なう場合と上述の上層取水と下層排水とを同時に行なう場合

とを取・排水量や浸塩水境界面などについて比較しておきたい。

まず、上層取水のみを行なう場合の流れの場は図-4のようになり、この場合には式(8), 式(8')にかり

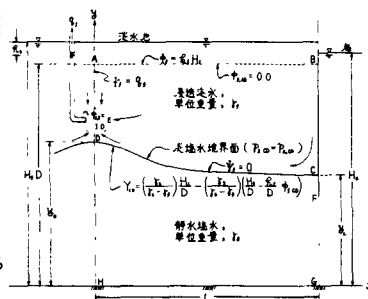


図-4 上層取水の一般的状态

$$\gamma_{cd} = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_f} \right) \frac{H_s}{D} - \left(\frac{\gamma_f}{\gamma_s - \gamma_f} \right) \left(\frac{H_f}{D} - \frac{r_f}{D} \phi_{f,cd} \right) \quad (11)$$

書きかえて $\phi_{f,cd} = f(\gamma_{cd}) \quad (11')$

がえられ、また、式(9), 式(10)にかり

$$\frac{H_f}{D} = \frac{\gamma_s}{\gamma_f} \frac{H_s}{D} - \left(\frac{\gamma_s - \gamma_f}{\gamma_f} \right) \left(\frac{\phi_{f,0} \gamma_{cd} - \phi_{f,c} \gamma_0}{\phi_{f,0} - \phi_{f,c}} \right) \quad (12)$$

$$\frac{r_f}{D} = \left(\frac{\gamma_s - \gamma_f}{\gamma_f} \right) \left(\frac{\gamma_0 - \gamma_{cd}}{\phi_{f,0} - \phi_{f,c}} \right) \quad (13)$$

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円墳体を求めるには、前述の過程と同様な試行を行えばよい。そうすれば、図-6に示すようなXY円墳体を求めることができる。そこで、図-3と図-4に示す浸塩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-6との取水量 q_f の比を求めるため、同じ $q_f D^2 / \text{radian}$ であらわせれば、それぞれ $q_f = 0.0026 q_{f,0} D^2 / \text{radian}$, $q_f = 0.00072 q_{f,0} D^2 / \text{radian}$ となる。従って前述の比は $0.0026 : 0.00072 = 3.6 : 1$ となり、上層取水可能量に寄与する下層排水の効果が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の砂模型実験の結果については講演時にふれる計画である。

文献 1) 崎山正常ほか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。

$$\begin{array}{lll} L/D = 1.000 & \gamma_s/D = 0.750 & \gamma_w/D = 0.800 \\ \gamma_w/D = 0.700 & \gamma_w/D = 0.500 & \gamma_w/D = 0.500 \\ \gamma_s/D = 0.750 & \gamma_w/D = 0.500 & \gamma_w/D = 0.200 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} H_1/D = 0.020 & H_2/D = 1.100 \\ H_1/D = 0.01284 & H_2/D = 1.11527 \\ \gamma_s/\gamma_f = 1.025 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} q_f/(q_{f,0} D) = 0.134 / \text{radian} & q_f/(q_{f,0} D) = 0.072 / \text{radian} \\ q_f = 0.0026 q_{f,0} D^2 / \text{radian} & q_f = 0.00072 q_{f,0} D^2 / \text{radian} \end{array}$$

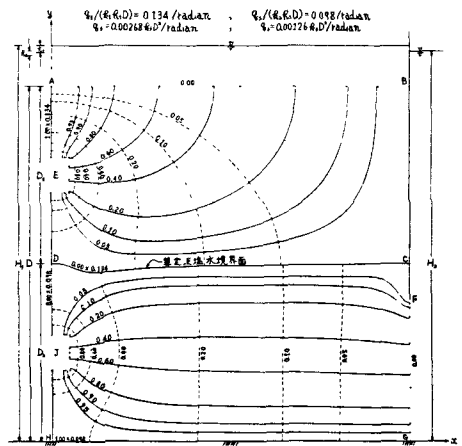


図-3 上層取水および下層排水の数値解析例

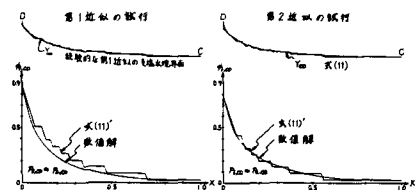


図-5 下層排水中止時の軸対称流におけるXY円墳体の決定過程(第1~2近似)

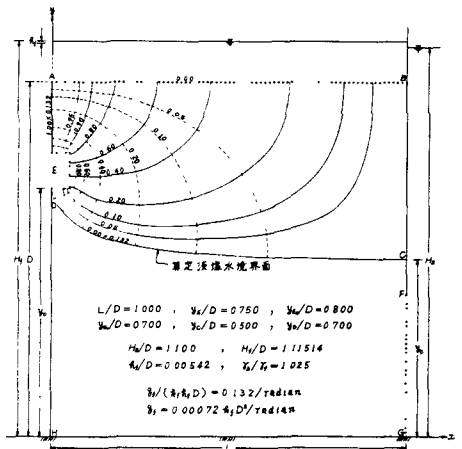


図-6 下層排水中止時の上層取水の数値解析例