

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 正会員 阿部 孝 行

1. まえがき 海岸付近の砂層地盤における淡水取水を目的として、図-1に示すような流れの場を解析したので報告する。すなわち、海岸砂層で海水位と淡水位の差が少ないところでは通常は淡水取水は考えられないが、海岸都市や離島などでは、原理的には、このような取水ができれば助かるところも多いのではないかと考える。図-1に示す浸塩境界面は、淡水側と塩水側との対称性にもよるが、ほぼ鉛直に生じさせることが出来る。従って浸塩境界面よりやや陸側に止水壁を考え、塩水化防止の補助手段としての塩水排除も考えられよう。

2. 解析 速度ポテンシャルを ψ 、流れ関数を ϕ として無次元量

$$X_f = x/H_f, Y_f = y/H_f, X_s = x/H_s, Y_s = y/H_s, \phi_f = \{\psi_f - R_f(H_f - R_f)\} / (R_f R_f), \phi_s = \{\psi_s - R_s(H_s - R_s)\} / (R_s R_s), \psi_f = \psi_f / (R_f R_f), \psi_s = \psi_s / (R_s R_s) \quad \dots \dots \dots (1)$$

を用いて解析する。ただし、 $\psi_f = R_f(P_f/\sigma_f + y)$, $\psi_s = R_s(P_s/\sigma_s + y)$ である。境界条件は、ABCおよびA'B'C'上で $P_f = 0$ および $P_s = 0$ なる条件より $Y_f = (R_f/H_f)\phi_f + (1 - R_f/H_f)$, $Y_s = (R_s/H_s)\phi_s + (1 - R_s/H_s)$ あるいは $\phi_f = (H_f/R_f)\{Y_f - (1 - R_f/H_f)\}$, $\phi_s = (H_s/R_s)\{Y_s - (1 - R_s/H_s)\}$ と仮定 $\partial\phi_f/\partial N = 0$ および $\partial\phi_s/\partial N = 0 \dots (2)$; CDおよびC'D上で $Y_f = Y_{f,CD}$ および $Y_s = Y_{s,CD}$; DE上では $P_f = P_s$ と仮定 $\partial\phi_f/\partial N = 0$ および $\partial\phi_s/\partial N = 0$; なおDE上では $P_f = P_s$ なる条件から

$$\left. \begin{aligned} Y_f &= \frac{H_s}{H_f} Y_s = \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_s - \sigma_f} \right) \left\{ \frac{R_s}{H_f} \phi_s + \left(\frac{H_s}{H_f} - \frac{R_s}{H_f} \right) \right\} - \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_s - \sigma_f} \right) \left\{ \frac{R_f}{H_f} \phi_f + \left(1 - \frac{R_f}{H_f} \right) \right\} \\ \phi_f &= \frac{\sigma_s}{\sigma_f} \left\{ \frac{R_s}{R_f} \phi_s + \left(\frac{H_s}{R_f} - \frac{R_s}{R_f} \right) \right\} - \left(\frac{H_f}{R_f} - 1 \right) - \left(\frac{\sigma_s - \sigma_f}{\sigma_f} \right) \frac{H_s}{R_f} Y_s = f(\phi_s, Y_s) \\ \phi_s &= \frac{\sigma_f}{\sigma_s} \left\{ \frac{R_f}{R_s} \phi_f + \left(\frac{H_f}{R_s} - \frac{R_f}{R_s} \right) \right\} - \left(\frac{H_s}{R_s} - 1 \right) + \left(\frac{\sigma_s - \sigma_f}{\sigma_s} \right) \frac{H_f}{R_s} Y_f = f(\phi_f, Y_f) \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

なる密度流の特性式が成立し、解析結果はこの条件を満たさなければならない。

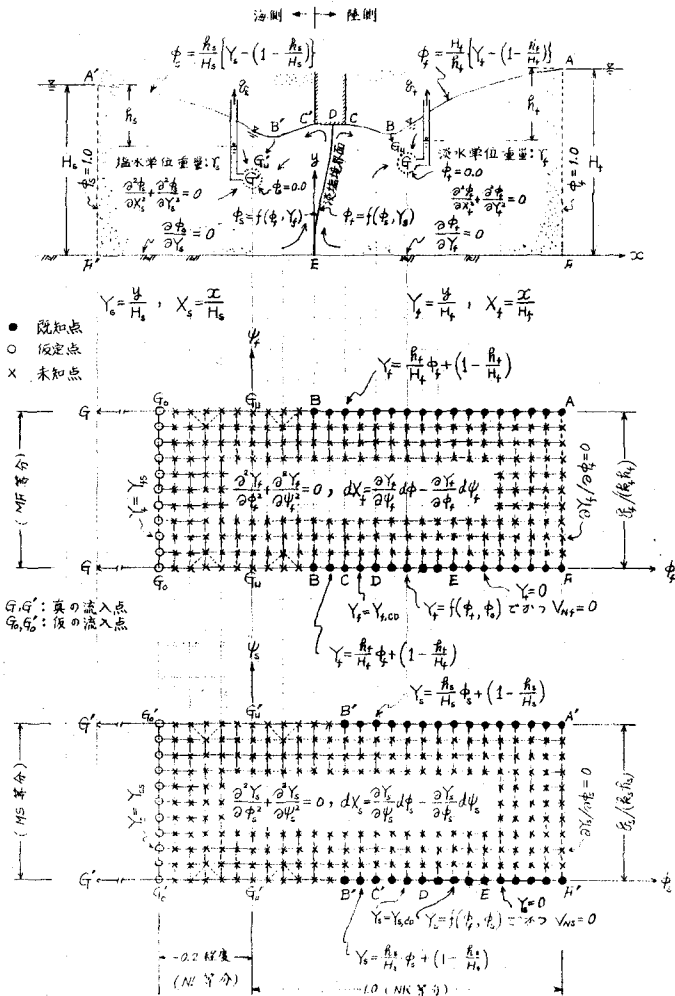


図-1

さらに, EF 上および EF' 上では $\partial \phi_s / \partial Y_f = 0$, $Y_f = 0$ および $\partial \phi_s / \partial Y_s = 0$, $Y_s = 0$; AF 上および $A'F'$ 上では $\partial \phi_s / \partial Y_f = 0$, $\partial Y_f / \partial \phi_s = 0$ および $\partial \phi_s / \partial Y_s = 0$, $\partial Y_s / \partial \phi_s = 0$ が成立しなければならない。特に, 点 E および点 D で

$$\phi_{s,E} = \frac{\sigma_s}{\sigma_f} \left(\frac{H_s}{H_f} \phi_{s,D} + \left(\frac{H_s}{H_f} - \frac{H_s}{H_f} \right) \right) - \left(\frac{H_f}{H_f} - 1 \right), \quad \phi_{s,D} = \frac{\sigma_s}{\sigma_f} \left(\frac{H_s}{H_f} \phi_{s,D} + \left(\frac{H_s}{H_f} - \frac{H_s}{H_f} \right) \right) - \left(\frac{\sigma_s - \sigma_f}{\sigma_f} \right) \frac{H_s}{H_f} Y_{s,D} \quad (4)$$

が成立するから, したがって

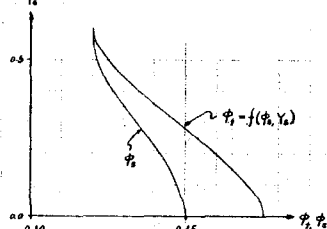


図-2

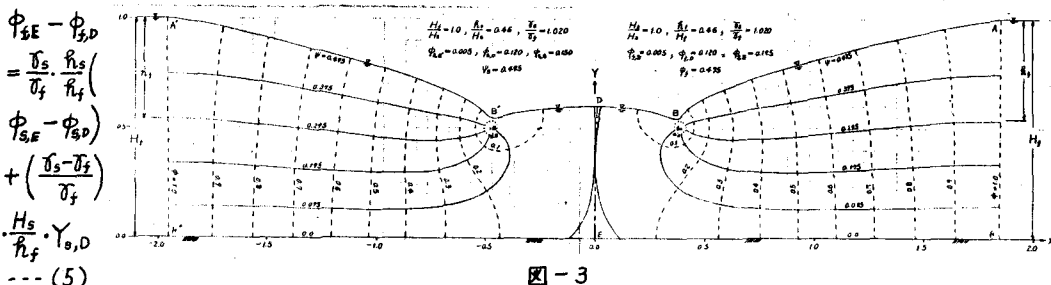


図-3

が成立する。特に塩水が静止している場合には

$$\phi_{s,E} = \phi_{s,D} \text{ であるから}$$

$$\phi_{s,E} - \phi_{s,D} = \left(\frac{\sigma_s - \sigma_f}{\sigma_f} \right) \frac{H_s}{H_f} Y_{s,D} \quad (6)$$

がえられる。なお, この場合, ED 上では式(3)

$$\text{の代りに, } Y = \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_s - \sigma_f} \right) \left\{ \frac{\sigma_s}{\sigma_f} Y_k - \left(1 - \frac{H_f}{H_s} \right) - \frac{H_f}{H_s} \phi \right\}, \quad \phi = \frac{\sigma_s}{\sigma_f} \frac{H_f}{H_s} Y_k - \left(\frac{H_f}{H_f} - 1 \right) - \left(\frac{\sigma_s - \sigma_f}{\sigma_f} \right) \frac{H_f}{H_s} Y \quad (7)$$

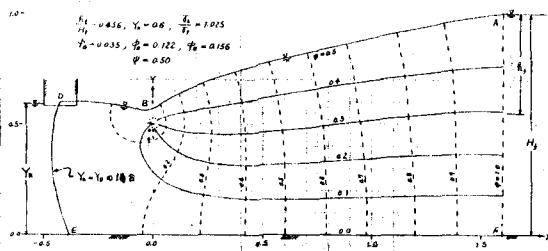


図-4

が成立し, 他の境界においては, 図-1 の場合と同様である。

3. 数値計算例 図-3 および 図-4 に数値解析結果を例示している。妥当な流線網がえられているようである。なお, 数値解析には ϕ - Y 法を適用した。また, 図-3 における DE 上の密度特性は, まず, DE 上を鉛直線とみなして, 図-1 の上部に示す X - Y 平面の左半分を擬似化して解析し, これから得られる DE 上の $\phi_s \sim Y_s$ の関係を図-2 に示すように求め, この $\phi_s \sim Y_s$ の関係も, 式(3) の第2式に適用して, ϕ_f を算定し, これを図-1 の真中に示す $\phi_s \sim \phi_f$ 平面の DE 上に適用して, 図-3 の右半分の淡水領域を算定した。さらに, 図-3 の左半分は, 上記の $\phi_s \sim Y_s$ の関係を再度図-1 の最下部に示す $\phi_s \sim \phi_f$ 平面に適用して算定したものである。この場合, 図-3 の左半分は, 先に擬似化した X - Y 平面と必然的にほとんど一致したが, DE 線はこれによって若干曲線化された。しかし, この左右半分ずつの平面をつき合せ, DE 線については平均化を行えば, これはもとの鉛直線とほとんど一致した。すなわち, 解析結果は, 先の左半分の擬似平面に対応し, さらに DE 上の密度特性を満たす右半分の領域を決定したことになっている。

4. Hele-Shaw モデルによる実験 淡水 (グリセリンの水溶液 $\nu = 1.075 \text{ cm}^2/\text{s}$, $\rho = 1.220 \text{ g/cc}$) および塩水 (グリセリンの水溶液 $\nu = 4.051 \text{ cm}^2/\text{s}$, $\rho = 1.245 \text{ g/cc}$) を作成して, Hele-Shaw モデルにより, 図-3 の例を検討した結果は, 自由水面および流量については理論値とよく一致を見たが, 境界 DE については, 淡水と塩水との ν をもっと近づけ, D 点直上に, 図-1 および 図-4 (Y_k キ Y_0) に示すような固定境界を設けなければ, 理論値によく一致する境界 DE の作成は困難なようである。なお, このことについては砂モデルによって検討し, 講演時に述べる計画である。