

九州産業大学 正会員 杉尾 哲, 白地 哲也
 〃 学生会員 泊 清志

1. まえがき 本報は、海水の侵入を受ける浸透層において、グラウト工などにより有効な侵入防止壁が構築できない程度に不透水層が深い場合の、防止方式の一検討であり、海水で飽和された地盤中に水平方向に暗きょ(多孔管)を2本並列して埋設し、暗きょから淡水を注入して淡水境界面を形成させる場合を考えている。暗きょが1本の場合について行なった解析で、流れの重ね合わせ手法による近似解が、十分な精度で Zhukovsky 関数による厳密解と一致することを確かめているので、本報においても、流れの重ね合わせ手法を用いて解析する。

2. 定常状態の解析 地盤中で静止している海水を、同じ圧力分布を持つ淡水で置換すると想定すると、その淡水は鉛直方向にポテンシャル分布を持ち、鉛直上方向へ平行流を表現する。したがって暗きょから注入する淡水の流れを、流入・流出点間のポテンシャル流と考え、この流れに鉛直上向流を重ね合わせると、図-1の流れが次式で表わされる。

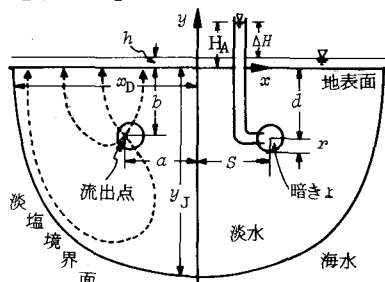


図-1 流れの領域

$$W = \frac{Q}{2\pi} \ln \left\{ \frac{Z - (a+ib)}{Z - (a-ib)} \cdot \frac{Z - (-a+ib)}{Z - (-a-ib)} \right\} + i m R \epsilon Z + R \epsilon R \quad \dots (1)$$

ここに $\epsilon = (\rho_s - \rho_f) / \rho_f$, R : 透水係数, $Z = x + iy$, $W = \Phi + i\psi$ であり。

$$\Phi = \frac{Q}{4\pi} \ln \left\{ \frac{(x-a)^2 + (y-b)^2}{(x+a)^2 + (y-b)^2} \cdot \frac{(x+a)^2 + (y+b)^2}{(x-a)^2 + (y+b)^2} \right\} - m R \epsilon y + R \epsilon R \quad \dots (2) \quad \psi = \frac{Q}{2\pi} \tan^{-1} \frac{-4bx(x^2 - a^2 + y^2 - b^2)}{(x^2 - a^2 + y^2 - b^2)^2 - 4(b^2x^2 - a^2y^2)} + m R \epsilon x \quad \dots (3)$$

と整理されるから、各点の境界条件を $\Phi(s, -d+r) = R \epsilon H A$, $(\partial \Phi / \partial y)(0, -y_2) = 0$, $\Phi(0, -y_2) = R \epsilon R + R \epsilon y_2$, $\psi(x_0, 0) = Q$, $\Phi(s+r, -d) = R \epsilon H A$, $\Phi(s, -d-r) = \Phi(s, -d+r)$ と設定すると、それぞれ次式のように表わされる。

$$Q = \frac{4\pi \{ R \epsilon H A - m R \epsilon (d-r) \}}{\ln \left\{ \frac{(s-a)^2 + (d-r+b)^2}{(s-a)^2 + (d-r-b)^2} \cdot \frac{(s+a)^2 + (d-r+b)^2}{(s+a)^2 + (d-r-b)^2} \right\}} \quad \dots (4)$$

$$m = \frac{Q}{\pi R \epsilon} \cdot \frac{2b(y_2^2 - b^2 - a^2)}{\{a^2 + (y_2 - b)^2\} \{a^2 + (y_2 + b)^2\}} \quad \dots (5)$$

$$(1-m) R \epsilon y_2 = \frac{Q}{2\pi} \ln \frac{a^2 + (y_2 + b)^2}{a^2 + (y_2 - b)^2} \quad \dots (6)$$

$$\tan \left(\frac{2\pi m R \epsilon}{Q} x_0 \right) = \frac{4bx_0(x_0^2 - a^2 - b^2)}{(x_0^2 - a^2 - b^2)^2 - 4b^2x_0^2} \quad \dots (7)$$

$$\frac{(s+r-a)^2 + (d+b)^2}{(s+r-a)^2 + (d-b)^2} \cdot \frac{(s+r+a)^2 + (d+b)^2}{(s+r+a)^2 + (d-b)^2} = e^{(R \epsilon H A - m R \epsilon d) 4\pi / Q} \quad \dots (8)$$

$$\frac{(s-a)^2 + (d-r+b)^2}{(s-a)^2 + (d-r-b)^2} \cdot \frac{(s+a)^2 + (d-r+b)^2}{(s+a)^2 + (d-r-b)^2} \cdot \frac{(s-a)^2 + (d+r-b)^2}{(s-a)^2 + (d+r+b)^2} \cdot \frac{(s+a)^2 + (d+r-b)^2}{(s+a)^2 + (d+r+b)^2} = e^{2\pi m R \epsilon r / Q} \quad \dots (9)$$

したがって、これらを与えられた境界 $d, r, s, \Delta H$ および R, ϵ について解くと、未知量 Q, m, y_2, x_0, a, b がえられる。また淡水境界面形状は、式-3を $\psi = Q$ とおいた式で表現される。

3. 非定常状態の解析 以上の定常解を用いて、暗きょ内水頭 $H A$ を急に变化させた時に生ずる遷移過程の淡水境界面の形状を算定しよう。いま遷移過程の淡水境界面の移動が、 $H A$ を变化させた後に終局的に形成される定常流における、同じ位置の淡水の移動と同じであると仮定すると、その移動は、あらかじめ式-3によって求めておいた各流線に沿って、速度ポテンシャルの変化を式-2から求めてゆき、微小区間 Δl での変化 $\Delta \psi$ から移動時間 Δt を求めて累積すれば、等時到達位置を選んで結びことにより、その時刻の淡水境界面が描ける。いま有効空隙率を λ とすると、微小区間の移動は $\Delta l / \Delta t = -1 / \lambda \cdot \Delta \psi / \Delta l \quad \dots (10)$, ある流線上で $n=1$ 点から $n=i$ 点までの所要時間は $t_i = \lambda \cdot \sum_{n=1}^i \left\{ \frac{(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2}{2} \right\} / \{ \psi(x_{n+1}, y_{n+1}) - \psi(x_n, y_n) \} \quad \dots (11)$ で表わされる。

4. モデル実験による検証 以上の解析結果を Hele-Shaw モデルを用いて検証しよう。粘性液体は C.M.C. の溶

液を用い、海水にはC.M.C.溶液に砂糖を混ぜて比重調整し、 KMnO_4 で着色したものをを用いた。両液体の動粘性係数と比重は淡水が $\lambda_s = 2.15 \text{ cm}^2/\text{s}$, $\rho_s = 1.007$, 海水が $\lambda_s = 1.88 \text{ cm}^2/\text{s}$, $\rho_s = 1.034$ であった。図-2に実験装置の概略を示している様に、現象がy軸を対称軸として左右対称であることから、領域の右半分だけで実験を行なうことにした。実験装置に $\Delta H = 1.3 \text{ cm}$ を与え、濃塩境界面が変化しなくなるまで静置すると、約1時間半で図-3の定常1の境界面形状(実線)がえられた。解析結果は鎖線を示す様に、鉛直方向はよく一致しているが、水平方向で小さな値を与えている。次に定常1を初期条件として、 $\Delta H = 2.3 \text{ cm}$ に急変させると、約1時間では定常2となり、その間に遷移過程の境界面形状が観測される。定常2の流線に沿って式-11を算定し、各時刻の境界面形状を描くと図-3の点線の様になり、鉛直方向は実験結果とよく一致しているが、水平方向では定常1時の違いをそのまま持続して相違している。また図-4は定常2を初期条件として $\Delta H = 1.3 \text{ cm}$ にもどした場合について示したもので、約45分では定常3となる。両図とも実験結果と解析結果の一致度は良くないが、境界面の移動傾向としては良く表現できたのではないかと考えている。

5. 算定結果による検討 図-5は $r/d, \Delta H/d$ をパラメータとして S/d を変化させた場合の境界面の大きさの変化を示したものである。 S/d を大きくしてゆくと、 x_0/d は増加してゆくが、 y_0/d は最大値を示し、 r/d を大きくし過ぎると、かえって小さくなる傾向にある事がわかる。また図の左端に示す暗きよが1本の場合と比較すると、 y_0/d の値は大きくなるものの、その増加は最大の時で約3割程度でしかないことがわかる。図-6は同様に淡水注流量 Q/kd の変化を示したものである。 S/d が小さい場合、互いに干渉し合っ

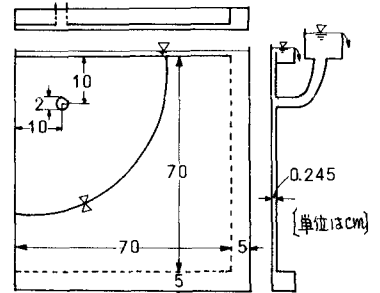


図-2 透明塩板製 Hele-Shaw モデル

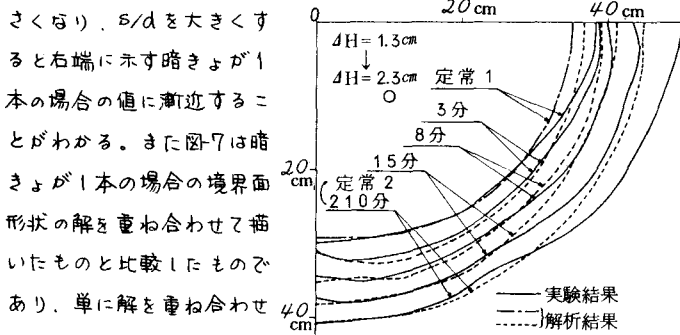


図-3 濃塩境界面拡大時の遷移状態

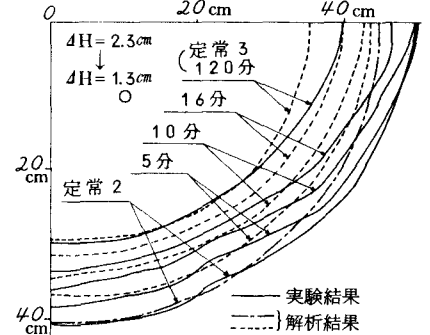


図-4 濃塩境界面縮小時の遷移状態

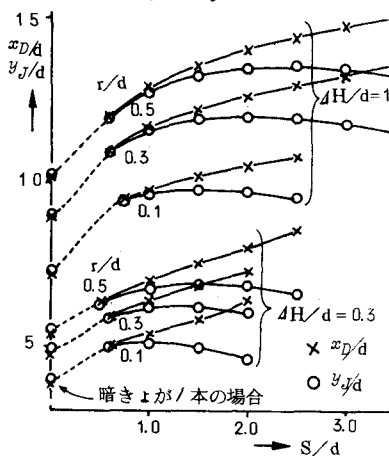


図-5 濃塩境界面の大きさ

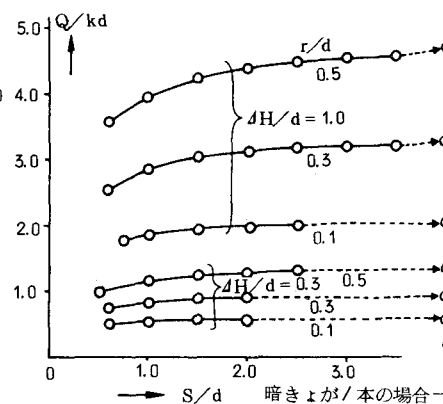


図-6 暗きよ1本当りの淡水注流量

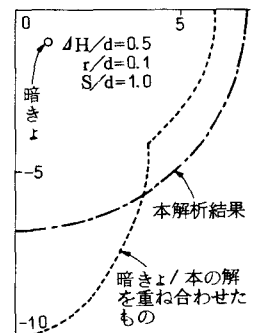


図-7 図形的な重ね合わせの解と本解析結果との比較

参考文献 上田・杉尾：暗きよからの淡水注入による濃塩境界面の解析，土木学会論文報告集 第225号，pp.43～52，1974年5月。