

淡水流出幅を考慮した2次元地下密度流の数値解析(第4報)

東和大学工学部 正会員 中田 欣也
 宮崎大学工学部 正会員 杉尾 哲

1. まえがき

筆者らはこれまでに準一様流の仮定を用いて、2次元問題を1次元になおした差分数値解法と不圧浸透層内の地下密度流現象に適用して解析を行い、一応の結論を得ている。そこで本報は、次の問題を被圧浸透層内の地下密度流現象と定め、これまでと同様の仮定を用いて数値解析を行い、2次元砂箱モデル実験装置を用いて行った実験結果と数値解析結果との比較を行い検討したものである。

2. 基礎方程式

図-1に示すように、下部不透水層面を基準面($Z=0$)にとって、 h_f を淡水ポテンシャル、 h_s を淡塩境界面の高さ、 D を被圧浸透層の厚さと考え、被圧浸透領域の基礎方程式は次のようになる。

淡水領域の淡水ポテンシャルについて

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K(D-Z) \frac{\partial h_f}{\partial x} \right] = 0 \quad \text{-----}(1)$$

淡塩領域の淡水ポテンシャルについて

$$-n \frac{\partial h_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(D-h_s) \frac{\partial h_f}{\partial x} \right] \quad \text{-----}(2)$$

淡塩境界面の移動について

$$n \frac{\partial h_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h_s-Z) \left(\frac{F_f}{F_s} \frac{\partial h_f}{\partial x} + \frac{\Delta P}{F_s} \frac{\partial h_s}{\partial x} \right) \right] \quad \text{-----}(3)$$

ここに、 n は有効空ゲキ率、 K は透水係数、 F_s は塩水の比重、 F_f は淡水の比重、 $\Delta P = F_s - F_f$ である。

3. 数値解析について

これまでの不圧浸透領域の問題については陽形式の差分方程式で十分に解を求めることができた。しかし、本問題においては基礎方程式(2)と(3)を等置した式より淡塩領域の淡水ポテンシャルを計算しているが、陽形式の差分方程式で計算を行うと、比較的早い時間で解が発散してしまうために陰形式の差分方程式に修正して解を求めている。この場合、式(3)の右辺(h_s-Z)の項の h_s には $h_{s,t}$ を $\frac{\partial h_f}{\partial x}$ の項の h_f 、 $\frac{\partial h_s}{\partial x}$ の項の h_s にはそれぞれ $h_{f,t+\Delta t}$ 、 $h_{s,t+\Delta t}$ の値を代入して、式(1)、(2)より求めた淡水ポテンシャルが $|h_{f,t+\Delta t}^n - h_{f,t+\Delta t}^{n-1}| / h_{f,t+\Delta t}^n < \varepsilon$ の条件を満足するまで数回の繰返し計算を行っている。なお、この手法で計算する場合、解の安定条件は無条件ということになっているが、ここでは時間々隔 Δt を1.0 sec、格子間隔 Δx を2.4 cmにとって、2280 secまでの計算を行っている。次に、淡塩境界面先端の計算は図-2に示すように、これまでの不圧問題と同様に、不透水層下にも淡塩境界面が一部存在するものとして仮想境界面(一点鎖線)を考えて、 $h_{s,i}$ と $h_{s,i+1}$ の値を用いて $h_{s,i-1}$ を直線的に外挿して、つねに*i*点より右側(海側)に向かって計算を進めるようにしている。さらに、海側境界上の淡塩境界面の位置についても、図-3に示すように、これまでと同様に、海側境界より内側の

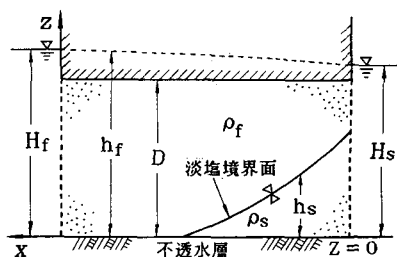


図-1. 解析モデル

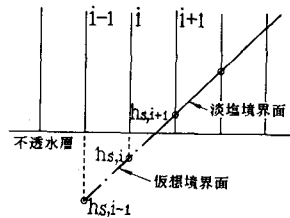


図-2. 淡塩境界面先端

3点の値を用いて、2次曲線外挿により求めている。このときに外挿された値は不圧問題同様、実験結果の定常値と比較してみるといくぶん小さく外挿されることになるので、 α なる外挿係数を導入して算定するようにしており、算定式は次のようである。

$$h_{s,M} = \alpha \cdot (3 \cdot h_{s,M-1} - 3 \cdot h_{s,M-2} + h_{s,M-3}) \quad \text{----- (4)}$$

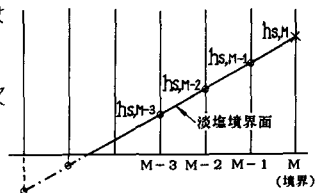


図-3. 海側境界値

4. 実験結果と解析結果の比較検討

図-4は被圧浸透層内の淡塩境界面の侵入状況について、実験結果と解析結果を対比して示したものである。はじめに比重 $\rho_s=1.025$ の塩水を用いて、定常淡塩境界面を淡水水位 $H_f=24.0\text{cm}$ 、塩水水位 $H_s=22.8\text{cm}$ に保って形成させておき、非定常過程は瞬間的に淡水水

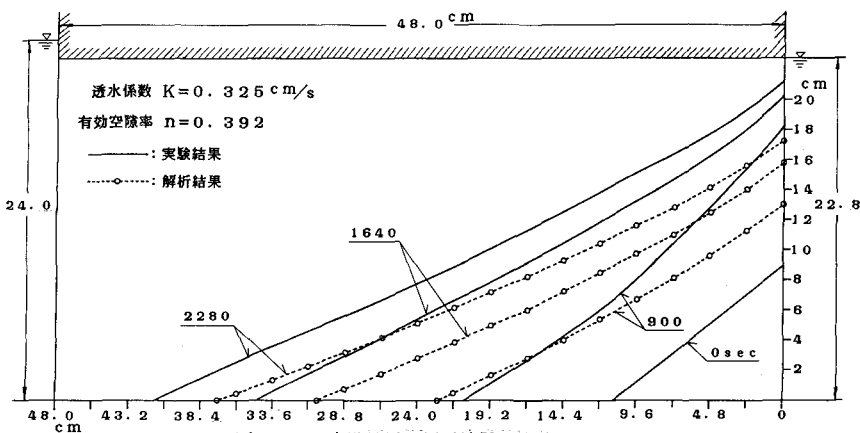


図-4. 実験結果と解析結果の比較

位 $H_f=22.8\text{cm}$ に急降下させて実験されたものである。なお、この実験結果は浸透砂層内に塩分濃度測定センサーを埋め込んで、砂層内の塩分の分散・混合領域の幅を測定するために行われた実験の等濃度線($C/C_s=0.5$)の経時変化を描いている²⁾。これより海側境界上における淡塩境界面の位置について見てみると、900secで約5cm、1640、2280secで約4cm計算結果が実験結果よりも低くなっている。これは式(4)に示すような算定式で2次曲線外挿により海側境界上の淡塩境界面の位置を算定しており、不圧問題の場合にはこれで十分に解を求めることができたが、被圧問題の場合には少し無理があるようである。それは海側境界上の淡塩境界面の位置を高くしようとすると、どうしても淡塩水領域の淡水ポテンシャルが800sec程度で発散してしまい解が求まらなくなるからである。そこで、被圧問題の場合には式(4)のような算定式により求めるのではなく、連続の条件を満足するような力学的な方法によらなければならないものと考え。次に淡塩境界面の先端位置について見てみると、900secでは解析結果の方が先に進み、1640、2280secでは実験結果の方が先に進んでいる。このことから、1640、2280secにおける実験結果と解析結果の関係より、少なからず海側境界上の淡塩境界面の位置が低く算定されることが影響して、解析結果が遅れて侵入していくように考える。

5. あとがき

被圧浸透層内の地下密度流現象に、準一様流の仮定を導入した差分数値解法を適用して検討してきたが、海側境界上の淡塩境界面の算定手法など種々の問題点が残った。今後、これらの点について検討を重ねて新たな知見が得られたならば御報告したいと考えている。

○参考文献

- 1) 中田・白地・杉尾：淡水流出幅を考慮した2次元地下密度流の数値解析(第3報)、第37回年講第2部, PP.415~416, 1982
- 2) 細川・神野：地下塩水楔の侵入・排除過程における塩分混合特性, 第41回年講第2部, PP.207~P.208, 1986