

東和大学 正会員 中田 欣也
宮崎大学 正会員 杉尾 哲
九州産業大学 学生員 泊 清志

1. まえがき

近年、離島などでの水資源確保の有効な手段として、地下水を貯留しておくための地下ダム（遮水壁）が盛んに計画、施工されるようになった。しかし、グラウト遮水壁の場合にはわずかながら浸透性があるため、不透水基盤の深い地点では遮水壁による地下貯留水の塩水化に対する防止効果を検討しておく必要がある。そこで、本報では従来の均質性地盤の場合に適用してきた準一様流の仮定を用いる解析手法を遮水壁を含めた浸透層内の淡塩境界面移動の非定常解析に拡張して適用し、海水が淡水領域に侵入していく過程および排除される過程について解析の妥当性と実験値と比較することによって検討した。

2. 基礎方程式

基礎式は図-1に示すような慣用記号を用いて表わすと次のようである。

〔淡水領域〕

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

〔淡塩水領域〕

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

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

ここに、数値解析は式(1),(2),(3)を差分法で行った。
解の安定条件は、 $\Delta t \leq \frac{1}{2} \cdot \frac{n}{K} \cdot \frac{(\Delta x)^2}{(h_f)_{\max}}$ ----- (4) とした。

3. 実験装置、実験方法および各諸量の数値

実験装置は図-2に示すように、左右にヘッドタンクをつけた透明塩化ビニル製の幅10cm、長さ140cm、高さ45cmの長方形水槽である。その中に、金網で仕切りを設けて長さ120cmの浸透部をつくり、さらに海側境界から40~45cmの区間に金網で仕切って遮水壁を設けた。遮水壁は豊浦砂($d_{50}=0.165\text{mm}$, 空ゲキ率=45%)を詰めることによって代用し、その他の遮水壁上下流の浸透層は相馬砂($d_{50}=0.57\text{mm}$, 空ゲキ率=42%)を詰めることによって両者に透水係数の違いがあらわれるように配慮した。なお、透水係数は遮水壁部分に豊浦砂を詰めた状態および上下流部に相馬砂を詰めた状態などで淡水のみを流して流量を測定することによって、遮水壁の透水係数 $K'=0.021\text{cm/s}$ 、遮水壁上下流浸透層の透水係数 $K=0.35\text{cm/s}$ と決定した。また、有効空ゲキ率は遮水壁、上下流浸透層とも $n=0.4$ とした。次に本実験に用いた液体の密度は $\rho_s=1.0265$, $\rho_f=1.002$ であった。実験方法は、最初に定常状態の淡塩境界面が遮水壁の海側(下流)に形成されるように両端水位を調節して淡塩境界面を形成させておき、淡水側水位を急激に下げて遮水壁を通過していく過程の淡塩境界面の動きを時間的に追跡した。なお、海水には過マンガン酸カリウムで着色した食塩水を用い、淡塩境界面が侵入、排除していく過程を実験時に写真撮影しておき、実験後に写真から読み取って整理した。さらに数値計算において、時間間隔 Δt は安定条件式(4)に $\Delta x=5\text{cm}$, $K=0.35\text{cm/s}$ を代入して、 $\Delta t=0.2\text{sec}$ と決定した。その他、淡塩境界面の先端部分の計算は直線外挿して行なうなどの処理方法は全て従来のものと同様である。

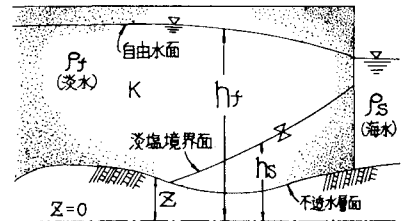


図-1. 記号

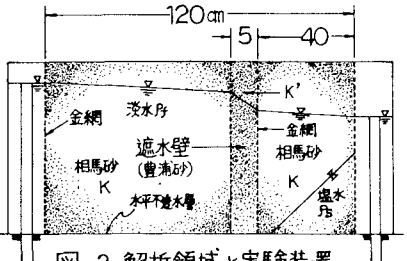


図-2. 解析領域と実験装置

4. 実験値と解析値の比較検討

図-3は淡塩境界面の侵入過程について、実験値と解析値を比較して示した図であり、初期淡水位を38.0cm、海水位を34.0cmに設定して、5時間程度待って定常状態の淡塩境界面(図中の0分)を形成させておき、急激に淡水位を34.47cmに下げた場合の結果である。これより、遮水壁到達直後の20分までは淡塩境界面の先端から海側境界までよく一致していることがわかる。

その後、海側へ向かう淡水の流れがゆるやかになるにつれて遮水壁よりも海側の淡塩境界面は上方へ拡散したため、解析結果は識別した淡塩境界面の位置よりかなり下に位置するようになった。

また、遮水壁内部の境界面形状は実験結果と若干相違するようであるが、これは豊浦砂を詰めるために目の細かな金網自身が豊浦砂より小さな透水性をもっていたためと考えられる。しかし、このような違いはみられるものの、遮水壁内部において淡塩境界面が大きく傾斜するという傾向さらに遮水壁上流側境界から境界面先端までの間で、まっすぐな直線形状を示すという傾向はよく一致しており、先端位置、境界面の高さが多少異なるものの、鉛直成分を無視して解析している点を考慮するとほぼ現象を表現していると言えよう。次に、図-4は淡塩境界面の排除過程について示した図であり、270分時点で淡水位を38.0cmに急激にもどした場合の結果である。淡塩境界面が0分時の位置にもどるにつれて実験と解析に違いが生じているが、これは式(1)～式(3)が定常状態の淡塩境界面を表現できないことによるものであり、その点を考慮すれば排除過程の非定常現象もほぼ表現していると言えよう。なお、遮水壁内部の淡塩境界面の形状がやや異なるが、この点については今後も検討を重ねていかねばならないと考えている。

5. あとがき

以上のように、解析結果は実験結果とよく一致したとは言えないが、本実験のような鉛直成分のかなり強い場合についても準一様流の仮定を用いた解析で、ある程度現象を追跡できることがわかった。今後は実験精度を向上させつつ、種々の検討を重ねていきたいと考えている。

(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, II-208, 昭和57年。

2) 杉尾・中田・白地：グラウト壁を通る淡塩境界面の非定常解析, 昭和57年西部支部年講, P.152, II-28, 昭和58年2月。

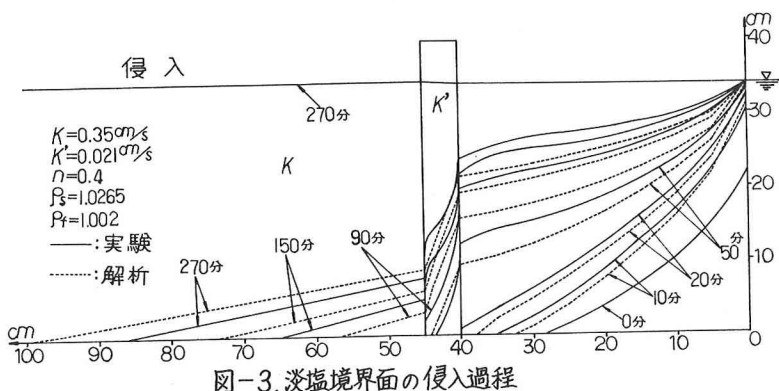


図-3. 淡塩境界面の侵入過程

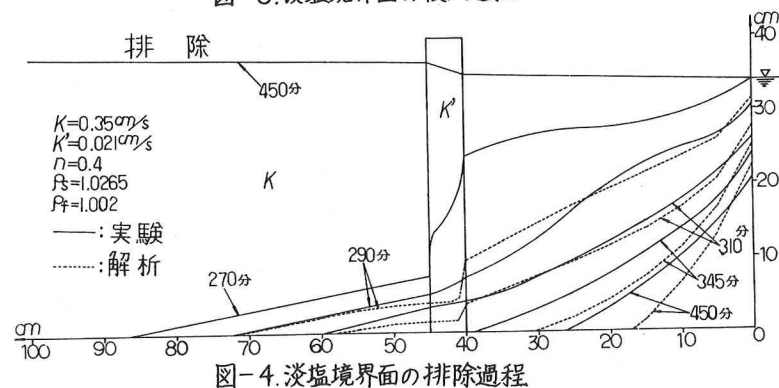


図-4. 淡塩境界面の排除過程

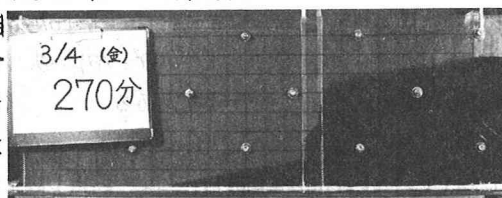


写真-1. 侵入状況

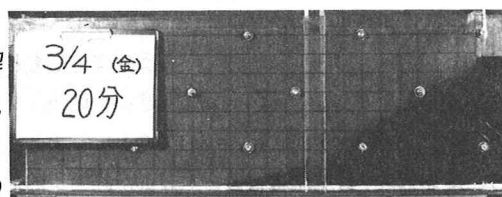


写真-2. 排除状況(図-4の290分)