

東 和 大 学 正 会 員 中 田 敏 也

九 州 産 業 大 学 正 会 員 白 地 哲 也

九 州 産 業 大 学 正 会 員 杉 尾 哲

1. まえがき

海岸付近の滞水層内においては、塩水が侵入し塩水楔が形成されている。筆者らは、これまでも準一様流の仮定を用いて淡水水位急降下に伴う塩水楔の非定常解について検討を重ねてきた。解析手法は第2報に示したものと同じであるが、本報では砂層モデルを用いて実験を行い、塩水楔の侵入、排除の過程について解析結果と実験結果と比較し、合わせて砂層内の残留塩分の測定結果について報告するものである。

2. 基礎方程式

図-1の解析領域において、淡水密度を ρ_f 、塩水密度を ρ_s 、 $\Delta\rho = \rho_s - \rho_f$ 、有効空ゲキ率を n 、透水係数を K 、陸部の長さを L とすれば、非定常解析の基礎方程式は次のようである。

$$[\text{淡水領域}] \quad \frac{\partial H}{\partial T} = \left(H - \frac{\Delta\rho}{\rho_s} R \right) \frac{\partial^2 H}{\partial X^2} + \frac{\Delta\rho}{\rho_s} R \frac{\partial^2 R}{\partial X^2} + \frac{(\partial H)^2}{(\partial X)} + \frac{\Delta\rho}{\rho_s} \left(\frac{\partial R}{\partial X} \right) \left(\frac{\partial R}{\partial X} - \frac{\partial H}{\partial X} \right) \quad (1)$$

$$[\text{塩水領域}] \quad \frac{\partial R}{\partial T} = \frac{\rho_f}{\rho_s} \left[R \frac{\partial^2 H}{\partial X^2} + \left(\frac{\partial R}{\partial X} \right) \left(\frac{\partial H}{\partial X} \right) \right] + \frac{\Delta\rho}{\rho_s} \left[R \frac{\partial^2 R}{\partial X^2} + \left(\frac{\partial R}{\partial X} \right)^2 \right] \quad (2)$$

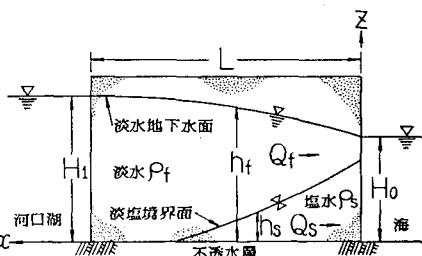


図-1. 解析領域

ここに、 $X=x/L$ 、 $H=h/L$ 、 $R=r/L$ 、 $T=t/(L^2/K)$ などの無次元量であり、 t は時間変数である。なお、数値解析は式(1)と式(2)を差分近似し、陽解法で行った。解の安定条件は $r = \Delta T / (\Delta X)^2 \leq \frac{1}{2}$ を用いた。

3. 実験装置ならびに実験方法

実験装置は図-2に示すような、前面アクリル張り製の長さ2m、高さ50cm、幅30cmの長方形水槽である。その中に金網で仕切りを設けて、相馬砂 $d_{50}=0.72\text{mm}$ を用いて浸透層をつくり、 $X=30\text{cm}$ ～ 120cm の区間に20cm間隔でマノメータを設けている。透水係数は、単一流体の場合と二層流の場合の実験開始時および実験終了時の定常状態の淡水流量を測定し $K=2LQ/(H_1^2 - (1+\alpha\rho_f)H_0^2)$ (単一流体の時 $\Delta\rho=0$)に代入して平均すると $K=0.381\text{cm/s}$ であった。また有効空ゲキ率は色素の移動で実流速 v_b を測定し、みかけの流速 v との関係式 $v=nv_b$ より求めると $n=0.337$ となった。なお砂の総重量から求めた空ゲキ率は0.405である。実験は左側に水道水($\rho_f=1.0022$)を入れ、右方に塩で比重調整し KMnO_4 で着色した塩水($\rho_s=1.0250$)を入れて、最初に5時間程度待つて定常状態の塩水楔を形成させておき、急激に淡水位を低下させた時の浸透層内の淡塩境界面の侵入過程を時間的に追跡した。さらに、210分で定常時の淡水位に急激に回復させて、淡塩境界面の排除過程について時間的に追跡した。なお境界面形状は実験時に写真およびV.T.R.で撮影しておき、実験後に整理している。次に残留塩分の測定は、図-3に概略を示す様な0.5mm白金線を5mm間隔で埋め込んだ電導度プローブを作成し、これを図-2に○印で示す様に水平方向20cm間隔、鉛直方向約5cm間隔の7点に配置して電導度計により時間的に読み取った。

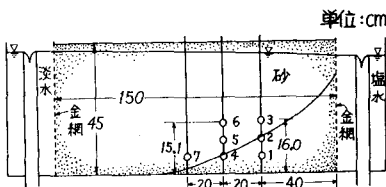


図-2. 実験装置

図-3は、塩水楔の侵入過程について示したものである。まず初期の定常状態について比較すると、解析結果(鎖線)は実験結果(実線)よりやや小さめの値を与えているので、非定常解析の

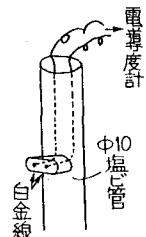


図-3. 電導度プローブ

初期条件としては、実験結果を用いることにした。なお安定条件に $\Delta x = 5 \text{ cm}$ と与え、 $\Delta t = 0.074 \text{ 秒}$ となるが、安全を考えて 0.05 秒 としている。非定常時の淡塩境界面を比較すると全体的な境界面形状、塩水楔先端位置とともに解析結果(点線)と実験結果は非常によく一致していることがわかる。

また自由地下水面の形状をマ/メ-タの読みから推定すると、実験開始後約30分ではば一定値になる。図-4には60分時の実験結果だけを示しているが、解析結果も同一線上に描かれる。次に図-5は塩水楔の排除過程について示したものであり、解析は210分時の解析結果を初期条件としている。この解析結果と実験結果と比較すると両者の違いは大きく、解析結果は全体的に境界面の後退を速く与える傾向にあることがわかる。特に210分時から240分にかけての海側境界での淡水流出幅の移動がかなり大きく算出されており、その違いがその後の境界面形状に大きく影響しているようにみうけられる。

次に図-6は砂層内で測定した電導度を用いて描いたもので、あらかじめ淡水で飽和させた時の測定値を0%とし、実験中に塩水領域に含まれた時の最大値を100%と換算して描いている。全体的な傾向としてとらえると、淡塩境界面が侵入してきて測定点が塩水領域に含まれる場合、電導度は急激に増加して100%近くに達するが、淡塩境界面が排除されて淡水領域にもどる場合1%程度の電導度への減少は短時間で行われれるものの、それ以下の減少は長時間を要する結果となっている。例えば、NO.4のプロープでは270分時の84.7%が320分時に1.7%に減少し、370分時に0.2%、420分時に0.1%となり470分時点で0%に回復している。これらの回復の状態は塩水領域に含まれる継続時間によって変化することも考えられるし、実際上は数%程度の低濃度の残留塩分が問題になるであろうが、今回の実験からは、以外に塩分の除去が速い印象を受けた。

5. あとがき

今後は、実際地盤への適用を考えてみたい。なお本計算は、九州大学大型計算機センターならびに東和大学計算機センターで行ったものである。

参考文献

- 1) 川谷 健: 海岸帯水層内の地下水位と淡塩境界面に関する数値解析(英文), 土木学会論文報告集, NO.238, 1975.
- 2) 杉尾・中田・白地: 淡水流出幅を考慮した2次元地下密度流の数値解析, 第36回年講第2部, P.392, 1981.
- 3) 杉尾・中田: 淡水流出幅を考慮した2次元地下密度流の数値解析(第2報), 昭和56年度西部支部年講, P.123, 1982.

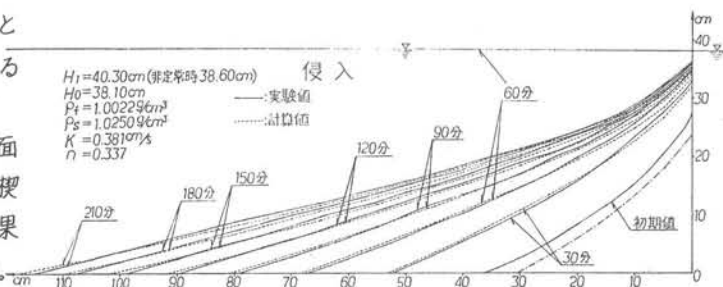


図-4. 実験値と解析値の比較(侵入過程)

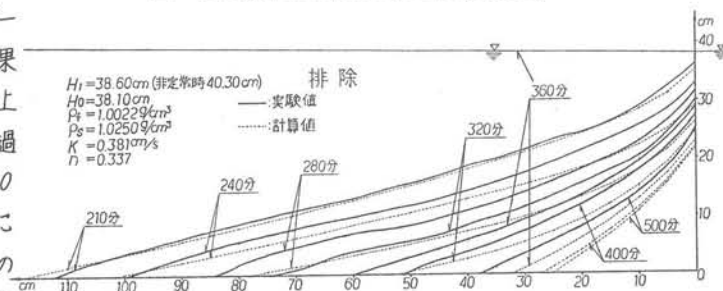


図-5. 実験値と解析値の比較(排除過程)

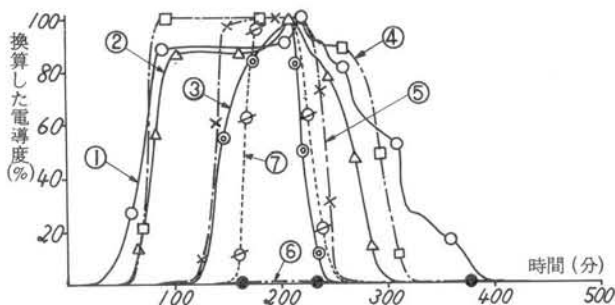


図-6. 砂層内電導度の変化傾向

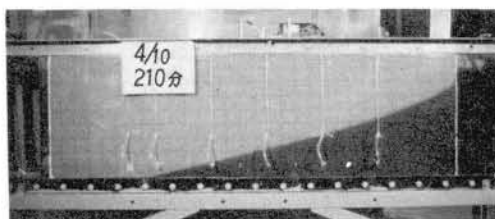


写真-1. 実験状況(210分時)