

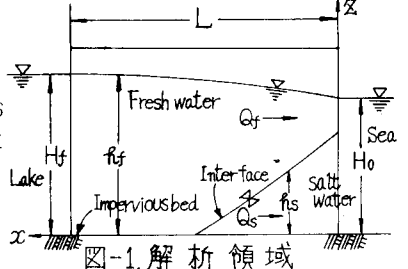
九州産業大学 正員 杉尾 哲
東 和 大 学 正員 中田 欣也
九州産業大学 正員 白地 哲也

1. まえがき

海岸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。そこで、この塩水楔の挙動を解明することは、地下水利用の上で重要な課題である。塩水楔が淡水位の変化に伴って、どこまで侵入するかを時間的に追跡した研究も多数発表されている。しかし、これらの研究は、海側境界の自由地下水面と淡塩水境界面の位置を海水位に固定して考えられており、淡水の流出幅の変化を考慮して解析されたものは少ないようである。そこで、本報は、淡水の流出幅の変化を考慮して少しでも実際の現象に近い状態で解析できないものかと考えて、非定常解析を行ない実験結果と比較したものである。なお、数値解析は、準一様流の仮定を用いて、2次元を1次元の近似式にし、塩水楔先端の位置も比較的容易に算定した。また、海側境界の淡塩水境界面の位置は、2次式で外挿した値に補正係数を乗じて算定した。さらに、初期条件には、野満氏の理論式より求めた値を用いた。

2. 基礎方程式

図-1に示すような解析領域において、淡水密度 ρ_f 、塩水密度 ρ_s 、 $\Delta\rho = \rho_s - \rho_f$ 、空げき率 n 、淡水領域の透水係数 K_f 、塩水領域の透水係数 K_s とすれば、淡水領域と塩水領域における透水係数の相違をとり入れた非定常解析の基礎方程式は、次のようになる。



$$\begin{aligned} \text{(淡水領域)} \quad \frac{\partial H}{\partial T} = & \frac{K_f}{K_s} \cdot \left[(H-h) \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 - \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) \cdot \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) \right] \\ & + \frac{\rho_f}{\rho_s} \cdot \left[h \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) \cdot \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) \right] + \frac{\Delta\rho}{\rho_s} \cdot \left[h \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad \text{----- (1)}$$

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

ここに、 $X=x/L$ 、 $H=h/L$ 、 $h=h_s/L$ 、 $T=t/(L^2/K_s)$ などの無次元量であり、 t は時間変数である。なお、式(1)と式(2)を差分近似し、陽解法で解析を行なった。この場合、解の安定条件としては、 $r = \Delta T / (\Delta x)^2 \leq 1/2$ を用いた。いま、 $\Delta x = 5\text{cm}$ とすると $\Delta t = 0.009\text{sec}$ となるが、安全率を考慮して $\Delta t = 0.005\text{sec}$ とした。次に、初期条件として用いた野満の定常理論解は、淡水流量 $Q_f = K_f \cdot \{H_f^2 - (1+\varepsilon)H_0^2\} / 2L$ ----- (3)、海岸線付近の鉛直流速の効果をとり入れた淡塩水境界面形状の式 $h_s = H_0 - \sqrt{2X/\varepsilon \cdot (Q_f/K_f) + 0.5/\varepsilon^2 \cdot (Q_f/K_f)^2}$ ----- (4) となる。ここには、 $\varepsilon = \Delta\rho/\rho_f$ である。

さらに、自由地下水面については、野満の理論解が上流側境界付近で不連続となるため、式(1)を $\frac{\partial H}{\partial T} = 0$ とおいて整理した式に式(4)の h_s を代入して計算した。次に、境界条件について自由地下水面は、浸出面を考えず、淡水湖側境界および海側境界の高さが、それぞれ淡水位および海水位に等しいとした。また、海側境界の淡塩水境界の位置は、 $x = 5\text{cm}, 10\text{cm}, 15\text{cm}$ の h_s の値を用いて2次式により外挿した。同じく、淡水湖側においては、 $x = 145\text{cm}, 140\text{cm}, 135\text{cm}$ の h_s の値を用いた。しかし、この外挿の結果は、定常状態で式(4)より求めた淡塩水境界面の位置と比較すると過小の値となるため、両者が一致するように補正することとした。

なお、この補正係数は、非定常時にも変らないものとした。

3. 実験値と数値解析値との比較

①実験装置と実験方法及び実験ならびに解析にあたっての諸量

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塩化

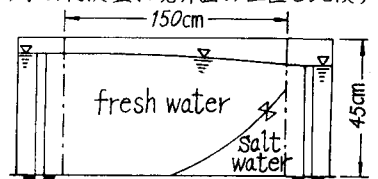


図-2. 実験装置

ビニール製の *Helle-Shaw* モデルを作った。モデルの平行平板間の間隔は、2.3 mm であった。実験に用いた液体は、加ボキシカルセロストリウム の粉末を水に溶かしたものを用い、塩水は、塩を混入してつくり、過マンガン酸カリウムで着色した。本実験にはいる前に淡水、塩水の動粘性係数 ν_f, ν_s を測定しておき、本実験時に温度を測定して、温度補正を行なうことにより動粘性係数の値を定めるようにした。その結果、本実験時における液体の温度 14℃ において、 $\nu_f = 1.065 \text{ cm}^2/\text{s}$, $\nu_s = 0.479 \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。また、その時の透水係数 K_f, K_s は、*Poiseuille* の式より、 $K_f = 4.17 \text{ cm/s}$, $K_s = 9.27 \text{ cm/s}$ となる。そのほかの各種諸量の数値は、陸部の長さ $L = 150 \text{ cm}$, 淡水水位 $H_f = 40.35 \text{ cm}$ (非定常時 38.56 cm), 海水水位 $H_0 = 38.20 \text{ cm}$, 淡水密度 $\rho_f = 1.0043 \text{ g/cm}^3$, 塩水密度 $\rho_s = 1.0344 \text{ g/cm}^3$ とした。実験方法は、左方に淡水、右方に塩水を入れ、始めに定常状態の塩水楔を形成させておき、瞬間的に淡水の水位を降下させて、浸透層内の淡塩水境界面と自由地下水面の変化を時間的に追跡した。

b) 実験値と計算結果との比較検討

図-3 の点線は、淡塩水境界面の形状の計算結果を示したものである。このように、海側境界での淡水の流出幅の変化を考慮にいれて、十分解析できることを確認した。次に、計算結果と実験結果を比較してみよう。

図-3 に実験結果を実線で示している。計算結果は、塩水楔の先端部がとがった形状を示しているのに対し、写真-1 からわかるように、実験結果は、楔の侵入時間および侵入距離が長くなるほど、先端部が丸みをおびてくる傾向を示した。また、全体的に淡塩水境界面の形状を見ると、実験値の方が計算値よりも、特に楔中央部付近から先端部にかけて高くなっている。これについては、淡水と塩水の透水係数が相違したためとも考えられるので、今後も検討を進めていきたい。また、本解析においては、拡散現象を無視しているの、計算による楔先端位置が多少進行がおそくでることも考えられる。しかし、塩水楔の侵入時間および距離が、短い場合には、初期条件の相違などを考慮すれば、実験値と計算値が比較的良好に合っており、十分満足できる結果であると考ええる。また、海側境界における淡水の流出幅の変化については、初期条件の相違などを考えれば、実験値と計算値がよく似た傾向を示しており、十分満足できる結果と考える。次に、自由地下水面の形状については、12分30秒時に、15ヶ所程度、高さを読んで検証したが、全体的に実験値の方が計算値よりも高くなった。これは、メニスカスによるものとも考えられるので、今後も検討していきたい。なお、実験値、計算値とも中央部付近で水位が、どっとも高くなるという似たような傾向を示した。

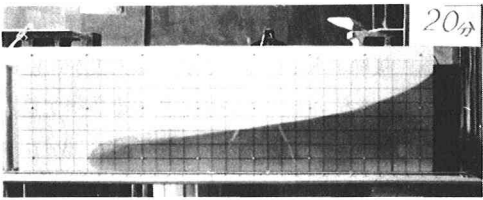


写真-1. 実験状況

4. あとがき

初期条件の設定、拡散現象など多くの課題があるので、今後さらには、検討をしていきたいと思います。

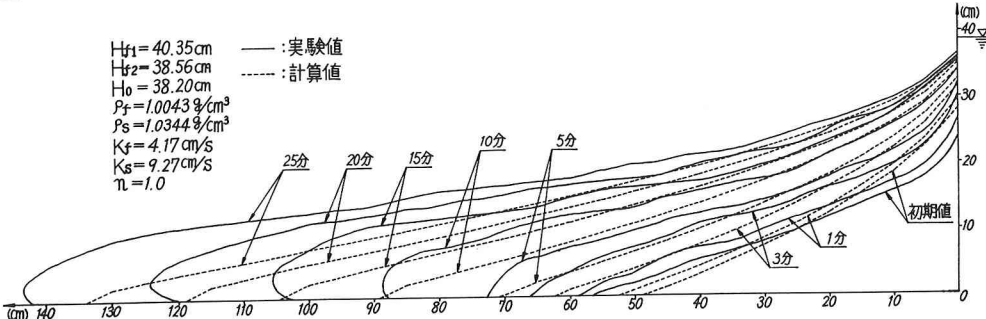


図-3. 淡塩水境界面の実験値および計算結果

参考文献

- 1) 嶋 裕之：地下水(密度流的諸問題) 水工学に関する夏期研修会講義集 A-8, 1971.
- 2) 川谷 健：海岸滞水層内の地下水位と淡塩水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.
- 3) 平野 藤野 上田：地下塩水楔の2次元非定常の数値解について 土木学会第33回年講, 第2部 P.632.