

東和大学 正員 ○中田欣也
九州産業大学 正員 杉尾 哲

1. まえがき

海岸地帯の透水性地盤においては、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知ること、地下水利用などの点で、非常に重要である。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、いずれも海側境界の自由地下水面と塩水境界面の位置を海水位に固定して考えられており、浸出面を考慮して解析された研究は、少ないようである。

そこで、本報は、浸出面を考慮し、少しでも実際の現象に近いかたちで解析できないものかと考えて、まず定常解を求め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できるようにした。また、浸出面は、Darcy則をもとに連続の式を立てて、算定することができるように試みた。

2. 基礎方程式および差分方程式

図-1に示すような解析領域を考えて、基礎方程式は、次の2つの式を用いた。

自由地下水面について

$$\frac{\partial H}{\partial X^2} = \frac{1}{(H - \frac{\Delta P}{\rho_s} R)} \left\{ -\frac{\Delta P}{\rho_s} R \frac{\partial^2 R}{\partial X^2} - \left(\frac{\partial H}{\partial X} \right)^2 - \frac{\Delta P}{\rho_s} \frac{\partial R}{\partial X} \left(\frac{\partial R}{\partial X} - \frac{\partial H}{\partial X} \right) \right\} \quad \dots\dots(1)$$

浸出水境界面について

$$\frac{\partial^2 R}{\partial X^2} = -\frac{\rho_f}{\Delta P} \frac{1}{R} \left\{ R \frac{\partial^2 H}{\partial X^2} + \frac{\partial H}{\partial X} \frac{\partial R}{\partial X} \right\} - \frac{1}{R} \left(\frac{\partial R}{\partial X} \right)^2 \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 $X = x/L$ 、 $H = h_f/L$ 、 $R = r_s/L$ などの無次元量であり、

L は陸部の長さ、 ρ_f は淡水の密度、 ρ_s は塩水の密度、 $\Delta P = \rho_s - \rho_f$ などである。式(1)および式(2)を差分化して整理すると、次のようになる。

$$H_{i,j} = \frac{1}{2} \cdot (H_{i+1,j-1} + H_{i-1,j-1}) + \frac{1}{2 \cdot (H_{i,j-1} - \frac{\Delta P}{\rho_s} R_{i,j-1})} \left[\frac{\Delta P}{\rho_s} R_{i,j-1} \cdot (R_{i+1,j-1} - 2R_{i,j-1} + R_{i-1,j-1}) + \frac{1}{4} \cdot (H_{i+1,j-1} - H_{i-1,j-1})^2 \right. \\ \left. + \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta P}{\rho_s} \cdot (R_{i+1,j-1} - R_{i-1,j-1}) \cdot (R_{i+1,j-1} - R_{i-1,j-1} - H_{i+1,j-1} + H_{i-1,j-1}) \right] \quad \dots\dots(3)$$

$$R_{i,j} = \frac{1}{2} \cdot \left[R_{i+1,j-1} + R_{i-1,j-1} + \frac{\rho_f}{\Delta P} \cdot (H_{i+1,j-1} - 2H_{i,j-1} + H_{i-1,j-1}) \right] + \frac{1}{8 R_{i,j-1}} \cdot \left[\frac{\rho_f}{\Delta P} \cdot (H_{i+1,j-1} - H_{i-1,j-1}) \cdot (R_{i+1,j-1} - R_{i-1,j-1}) \right. \\ \left. + (R_{i+1,j-1} - R_{i-1,j-1})^2 \right] \quad \dots\dots(4)$$

ここに、 i は格子点番号、 j は繰返しの計算回数を表わしている。なお、計算の順序は、式(3)で一連の計算を行なったのちに、式(4)の計算をし、これを繰返すようにした。

3. 解析における諸量ならびに数値解析

図-1に示す解析領域の解析にあたっての各種諸量の数値は、陸部の長さ $L = 150\text{cm}$ 、淡水水位 $H_f = 40.35\text{cm}$ 、塩水水位 $H_0 = 38.20\text{cm}$ 、淡水密度 $\rho_f = 1.03\text{g/cm}^3$ 、塩水密度 $\rho_s = 1.039\text{g/cm}^3$ とした。数値解析は、淡水湖側から海側に向かって5cm間隔で30分割しておいて、淡水湖側の格子点番号2から海側境界の31番まで計算を行なった。

繰返し計算前の初期値は、Ghyben-Herzbergの条件(以後、G.H.の条件と書く)であたえられる平衡状態にあるものとした。すなわち、 $R_{f0} = (H_f - H_0)/L = 0.176$ 、 $R_{s0} = (\rho_0/\Delta\rho) \cdot R_{f0} = 5.85$ とすると、初期自由地下水面

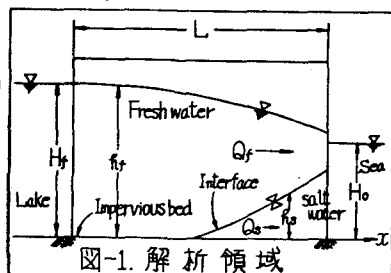


図-1. 解析領域

は、 $h_f = H_0 + h_{se}\sqrt{x} = H_0 + 0.176\sqrt{x}$ 、初期淡水境界面は、 $h_s = H_0 - h_{se}\sqrt{x} = H_0 - 5.85\sqrt{x}$ となる。

さらに、自由地下水面を式(3)で計算するとき、 $i+1, i, i-1$ の3格子点で、いずれも h_s が負であれば $\Delta P=0$ と
 おいて計算した。

4. 塩水楔の先端位置および浸出面の算定

まず、塩水楔の先端位置を算定するにあたっては、図-2で説明すると、塩水水位 h_s
 が正となる格子点 $x(i)$ とその手前の h_s が負となる格子点 $x(i-1)$ の間の淡水境界面
 を直線と考えて、不透水層(x 軸)との交点を塩水楔先端位置とするものである。

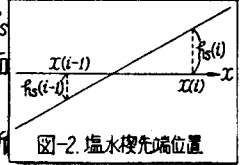


図-2. 塩水楔先端位置

次に、浸出面の算定において海側境界の自由地下水面の位置は、格子点番号30の場所
 を流れる流量と格子点番号2と3の間を流れる流量が等しいという関係から計算をする。すなわち、

$$Q = k \cdot \frac{h_f(2) - h_f(3)}{\Delta x} \cdot \frac{h_f(2) + h_f(3)}{2} = \frac{k \cdot \{h_f(2)^2 - h_f(3)^2\}}{2 \cdot \Delta x} \quad \dots\dots(5)$$

$$Q = \frac{k \cdot \{h_f(29) - h_f(31)\}}{2 \cdot \Delta x} \cdot \{h_f(30) - h_s(30)\} \quad \dots\dots(6)$$

$$(5)式, (6)式より, \quad h_f(31) = h_f(29) - \{h_f(2)^2 - h_f(3)^2\} / \{h_f(30) - h_s(30)\} \quad \dots\dots(7) \quad \text{を得た。}$$

同じく、海側境界の淡水境界面の位置は、G.H.の条件より、 $h_s(31) = H_0 - 5.85 \cdot (h_f(31) - H_0) \quad \dots\dots(8)$ を得た。

5. 計算結果および実験値

図-3は、淡水境界面の形状について、(ア)浸出
 面の計算に式(7)および式(8)を用いた計算結果、
 (イ)浸出面を考えないで求めた計算結果、(ウ)全格子
 点においてG.H.の条件で求めた計算結果、(エ)九州大
 学でガラス球を使用して行われた実験結果を示し
 たものである。これらの結果から見て、(イ)の方法で
 計算した結果は、実験値と塩水楔の先端部付近では
 とんど一致していることがわかる。(ア)の方法による
 計算結果は、海側境界において淡水境界面が実験
 値とまったく一致しているが全体的な淡水境界面

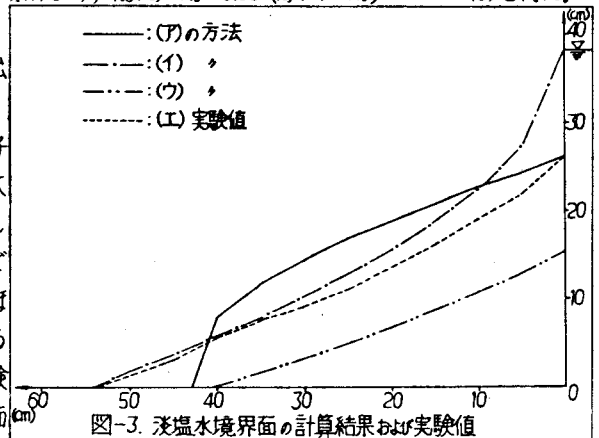


図-3. 淡水境界面の計算結果および実験値

表-1. 自由地下水面の形状

距離 解法	150	100	50	20	10	5	0
ア	40. 350	40. 332	40. 315	40. 299	40. 291	40. 287	40. 282
イ	40. 350	39. 821	39. 288	38. 880	38. 672	38. 523	38. 200
オ	40. 350	39. 880	39. 402	39. 113	39. 017	38. 968	38. 920

の形状が、上に凸のかたちを示しており、塩水楔の先端までの長さも
 約10cm程度短くなっている。今後、まだ塩水楔先端部での処理に検討
 の必要があると考える。次に、自由地下水面の形状については、上記
 の(ア)の方法および(イ)の方法のほかに、(オ)単一流体の浸出面を考慮
 した計算結果も合わせて、表-1に示している。

これより、(ア)の方法による計算結果は、(オ)の方法による計算結果よ
 りも水位が高くなっており、自由地下水面が塩水楔の侵入によって、押し上げられたかたちになっていることが
 わかる。以上のような結果をえたが、講演発表までに *Halle-Schauer* モデルによる実験を行ない報告したいと思う。

6. あとがき

本研究は、いまだ不明確な部分も多く、今後さらに検討をしていかなければならないと考えている。尚、貴重
 な実験資料を提供していただいた九州大学工土木科上水研究室の方々に、心より謝意を表します。

(参考文献)

- 1) 川谷 健: 海岸滞水層内の地下水位と淡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.
- 2) 平野 謙野 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.