

海岸互層地盤における地下密度流について

東和大学 正会員 中田 欣也

宮崎大学 正会員 杉尾 哲

1. はじめに

筆者らは、これまでに準一様流を仮定して、不圧および被圧帯水層内の淡塩境界面の動きを追跡する数値解析手法を提案し、地下水の塩水化について検討してきた。^{1), 2)} 本報は帯水層の一部に不透水層を挟んでいるため、上層が不圧、下層が被圧の流れに分離されているF市の互層地盤を対象にして、同じ手法を適用して平面二次元の数値計算を行い、井戸取水に起因する地下水の塩水化について検討したものである。

2. 基礎方程式

図-1に示すように、底部の不透水層の中に基準面 ($z=0$) をとると、基礎方程式はつぎようになる。

$$\text{淡水領域: } S \frac{\partial H_f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(D_f - z_s) \frac{\partial H_f}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(D_f - z_s) \frac{\partial H_f}{\partial y} \right] + Q_r - \sum Q_p \cdot \delta(x - x_p) \cdot \delta(y - y_p) \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{淡塩水領域: } S_1 \frac{\partial H_f}{\partial t} - n \frac{\partial H_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(D_f - H_s) \frac{\partial H_f}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(D_f - H_s) \frac{\partial H_f}{\partial y} \right] \quad \dots\dots (2)$$

$$\text{淡塩境界面: } n \frac{\partial H_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(H_s - z_s) \left\{ \frac{\rho_f}{\rho_s} \frac{\partial H_f}{\partial x} + \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s} \frac{\partial H_s}{\partial x} \right\} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(H_s - z_s) \left\{ \frac{\rho_f}{\rho_s} \frac{\partial H_f}{\partial y} + \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s} \frac{\partial H_s}{\partial y} \right\} \right] \quad \dots (3)$$

ここに、 k は透水係数、 n は有効空隙率、 S_0 は比貯留量、 ρ_f は淡水の比重、 ρ_s は海水の比重、 x_p, y_p は井戸Pの x, y 座標、 Q_p は井戸の揚水量、 Q_r は降雨涵養量、 $\delta(x), \delta(y)$ はデルタ関数である。

また上記の基礎方程式において、不圧帯水層については $S=S_1=n, D_f=H_f=h_f, H_s=h_s, z_s=z$ おき、被圧帯水層については $S=S_0 \cdot (D-z'), S_1=S_0 \cdot (D-h_s'), H_f=h_f', H_s=h_s', D_f=D, z_s=z', Q_r=0$ において計算している。

3. 計算概要

図-2は、不圧帯水層の計算領域と実測結果より得られた計算の初期値を示したものである。点線は地下水位を、実線は淡塩境界面の先端位置を、一点鎖線は河川的位置を示している。海側境界には、海岸護岸が設けられており、中央部の一部分には海浜を残すために護岸を設けていないところがある。領域の両側に位置する河川と領域の中心部より左側下方に向かって流下する小河川については、いずれも河川水位を時間的に一定としている。また内陸側の

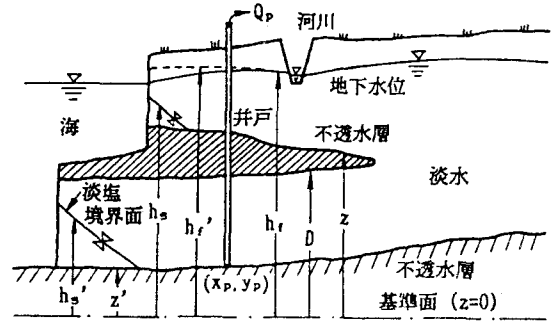


図-1 流れの場

境界においては、実測結果からは季節的に地下水位が変動するが、その変化はわずかであるため、ここでは定水頭境界として取扱っている。図-3は、被圧帯水層の計算領域と地下水頭(点線)および淡塩境界面の先端位置(実線)の初期値を示したものである。領域の内陸側境界には不圧帯水層の計算結果を与え、海側境界では定水頭としている。また領域の右側境界には断層面があり、左側境界は山が迫っているため、いずれも不透水性境界とした。このような条件のもとに、不圧領域については $2.4 \times 3.4 \text{ km}^2$ 、被圧領域については $3.0 \times 3.4 \text{ km}^2$ の流域を 200 m の正方格子に分割して計算している。差分は空間的に不圧および被圧領域とも中央差分、時間的に不圧の場合には前方差分をとって、陽形式差分法で計算し、被圧の場合には後方差分をとって、陰形式差分法で計算している。その他の数値パラメータは $k=10^{-2} \text{ cm/s}$, $n=0.1$, $\rho_f=1.0$, $\rho_s=1.025$, $S_0=10^{-4} \text{ cm}^{-1}$, 時間間隔 $\Delta t=120 \text{ hr}$ としている。さらに、降雨涵養量は年間 1800 mm の降雨のそれぞれ $0 \sim 5\%$ が全領域の地表面から浸透する場合を考えている。また、井戸からの揚水量は二箇所とも同じで、不圧層より $50 \text{ m}^3/\text{day}$ 、被圧層より $500 \text{ m}^3/\text{day}$ の一定量を連続して取水するものとしている。

4. 計算結果

図-4は、降雨涵養量がないときの不圧帯水層内の6,550日目の計算結果を示したものである。これより、淡塩境界面の先端は、三地点とも初期の位置よりわずかに侵入しているが、井戸まで到達するに至っていない。一方、図-5に示した被圧帯水層内においては、淡塩境界面の先端は井戸に達しており、塩水化することがわかる。図-6は左側の井戸を通る断面でとらえた流れの状況で、淡塩境界面の経時変化と6,550日目の地下水位および地下水頭を示したものである。図-7~9は降雨浸透率が5%の場合の7,300日目の状況を示している。図-10は降雨浸透率と塩水侵入日数の関係を示したものである。

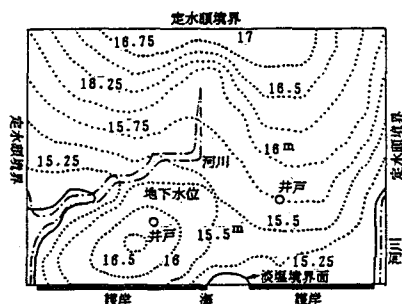


図-2 不圧帯水層 ($t=0$)

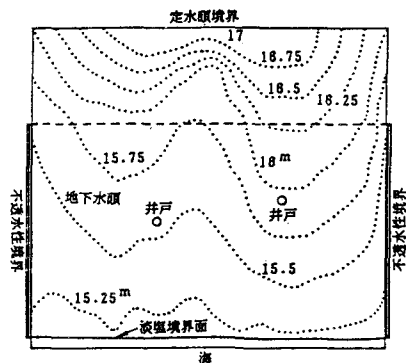


図-3 被圧帯水層 ($t=0$)

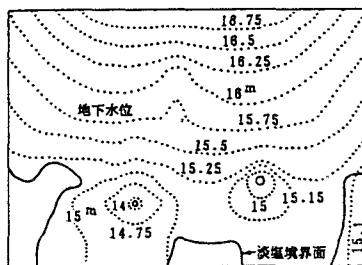


図-4 $Q_r=0$ ($t=6,550$ 日)

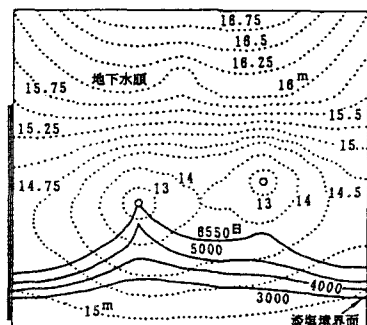


図-5 $Q_r=0$ ($t=6,550$ 日)

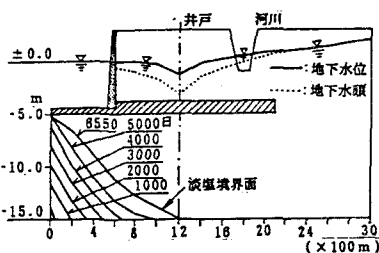


図-6 $Q_r=0$

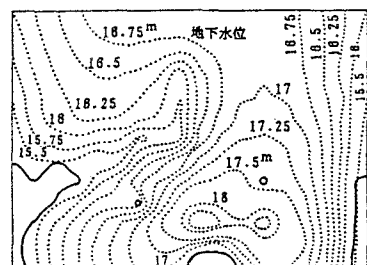


図-7 $Q_r=5\%$ ($t=7,300$ 日)

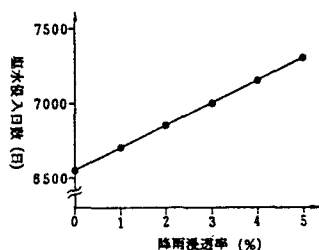


図-10

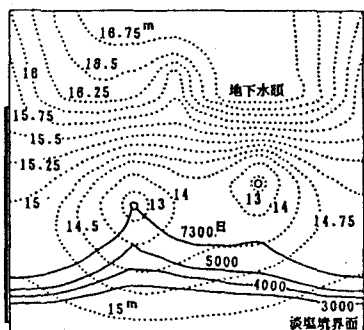


図-8 $Q_r=5\%$ ($t=7,300$ 日)

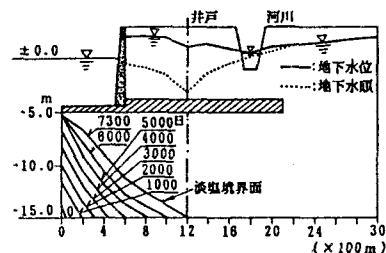


図-9 $Q_r=5\%$

- 参考文献 1)中田・杉尾：遮水型地下ダムの有用性に関する基礎的検討,第40回年講2部,PP.191-192,1985
2)中田・杉尾・細川：被圧帯水層内の地下密度流に関する基礎的検討,第42回年講2部,PP.230-231,1987