

基盤が傾斜した帯水層での塩水楔先端の挙動解析

九州大学 工学部 学生員 餅原 実 GEOSCO 正会員 堤 敦
九州大学 工学部 学生員 中川 啓 九州大学 工学部 正会員 神野健二
九州大学 工学部 学生員 西崎朋和

1. はじめに

F市のM地区は、海岸域近くを流れる二級河川の河口に隣接した沖積平野である。この河川は感潮河川である。井戸の過剰揚水や大規模土地造成による涵養量減少などにより地下水位が低下して、この河川から塩水の侵入が進行して種々の塩害を生ずることが懸念されている。したがって、水位低下に伴う塩水楔の挙動について事前に検討することが重要である。本研究では、本地区を下部に傾斜した不透水層を持ち、上部に自由水面をもつ広域地下密度流領域とし、準一様流の仮定を用いた準3次元モデルにより、塩水楔の挙動について検討した。

2. 解析対象地の概略

図-1に解析領域を示す。本研究の対象地としたF市のM地区は、海岸域近くの二級河川左岸の河口部に位置し、海拔標高1.0mの平野部から標高102mの山地部に至っている。周辺集落の生活水は地下水でまかなわれており、また農業振興地域である平野部では、ハウス栽培や稲作に灌漑用水として地下水が揚水され用いられている。したがって、地下水の塩水化は住民にとって重大な問題となっている。

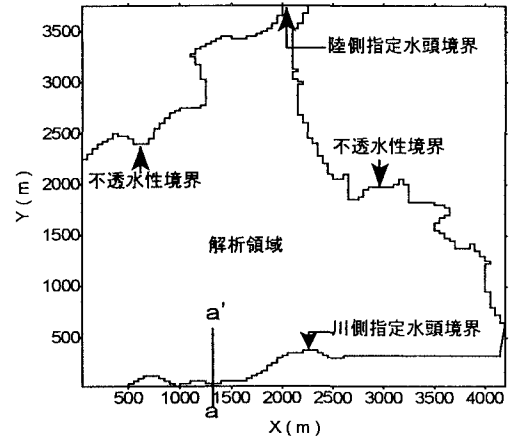


図-1 現地概略および解析領域図

3. 数値解析

3.1. 基礎式

モデルとした帯水層は、これまでの調査から変成岩類、花崗岩類中の不圧帯水層で、一様な透水係数および有効空隙率をもつものとする。地下水流について垂直流速を無視した準一様流を仮定すれば基礎式は、以下になる。

$$\text{淡水層の基礎式:} \quad \frac{\lambda_e}{k} \frac{\partial h_f}{\partial t} = \frac{\lambda_e}{k} \frac{\partial h_s}{\partial t} + \frac{\partial h_f}{\partial x} \left(\frac{\partial h_f}{\partial x} - \frac{\partial h_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial^2 h_f}{\partial x^2} (h_f - h_s) + \frac{\partial h_f}{\partial y} \left(\frac{\partial h_f}{\partial y} - \frac{\partial h_s}{\partial y} \right) + \frac{\partial^2 h_f}{\partial y^2} (h_f - h_s) - \frac{1}{k} Q \delta(x - x_m) \delta(y - y_m) + \frac{1}{k} q_w(x, y, t)$$

$$\text{塩水層の基礎式:} \quad \frac{\lambda_s}{k} \frac{\partial h_s}{\partial t} = \left[\frac{\rho_f}{\rho_s} \right] \left\{ \frac{\partial h_f}{\partial x} \left(\frac{\partial h_s}{\partial x} - \frac{\partial b}{\partial x} \right) + \frac{\partial^2 h_f}{\partial x^2} (h_s - b) + \frac{\partial h_f}{\partial y} \left(\frac{\partial h_s}{\partial y} - \frac{\partial b}{\partial y} \right) + \frac{\partial^2 h_f}{\partial y^2} (h_s - b) \right\} + \left[\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s} \right] \left\{ \frac{\partial h_s}{\partial x} \left(\frac{\partial h_s}{\partial x} - \frac{\partial b}{\partial x} \right) + \frac{\partial^2 h_s}{\partial x^2} (h_s - b) + \frac{\partial h_s}{\partial y} \left(\frac{\partial h_s}{\partial y} - \frac{\partial b}{\partial y} \right) + \frac{\partial^2 h_s}{\partial y^2} (h_s - b) \right\}$$

ここで、 h_f :基準面から淡水層上面までの高さ、 h_s :淡塩境界面までの高さ、 b :岩盤までの高さ、 q_w :涵養量、 λ_e :有効空隙率、 k :透水係数、 ρ_f :淡水密度、 ρ_s :塩水密度、 (x_m, y_m) :井戸(揚水量は Q で揚水が+)の座標。

3.2. 解析方法

数値解析については、楔先端位置の推定に適した格子点固定法の差分法によりおこなった。各パラメータは、 b 、 k 、 Q は実測値、 q_w はタンクモデルによる算定値、その他の値は表-1に示すとおりである。解析領域は、両側を不透水性境界、指定水頭境界として陸側指定水頭境界、川側指定水頭境界に囲まれるものとした。まず、全領域の格子点の h_s 、 h_f を仮定して、揚水量0、涵養量1[mm/d]のもとで、定常状態となるまで繰り返

し計算を行う。

次に、先に求めた h_s , h_f を初期値として、顕著な淡水面および塩水面の応答をみるために、河川から約600mの点を井戸と見なし、水位を地表面から5mに下げて塩水および淡水の挙動を解析した。なお、本報では、涵養量や井戸からの揚水量については考慮せずに、仮定した井戸の水位を低下させることで、井戸からの揚水を表現した。

表-1 数値計算に用いた諸定数

有効空隙率 : λ_e	0.1
淡水密度 : ρ_f	1.000 [g/m ³]
塩水密度 : ρ_s	1.025 [g/m ³]
陸側指定水頭 : H_f	10~24 [m]
川側指定水頭 : H_s	0 [m]
差分格子間隔 : Δx	50 [m]
: Δy	25 [m]

3.3. 解析結果および考察

図-2には定常状態の、図-3には水位低下から5年後の淡水位コンターと流速ベクトル分布を示している。定常状態では、山側の高いところから海側に向かって複雑に流れているが、5年後には水位低下の影響を受けて、全体的に淡水位がなだらかになり低くなっており、流速ベクトルは井戸に集中している。図-4にはa-a'断面における水位低下から1,2,5年後の淡水と塩水楔の挙動を示している。淡水位の低下の影響を受けて、塩水楔が陸側に侵入している様子がわかる。また、基盤が川側に向かって傾斜しているにもかかわらず、塩水侵入が進んでおり、本モデルにより、基盤を考慮した塩水侵入の解析が可能であることがわかった。

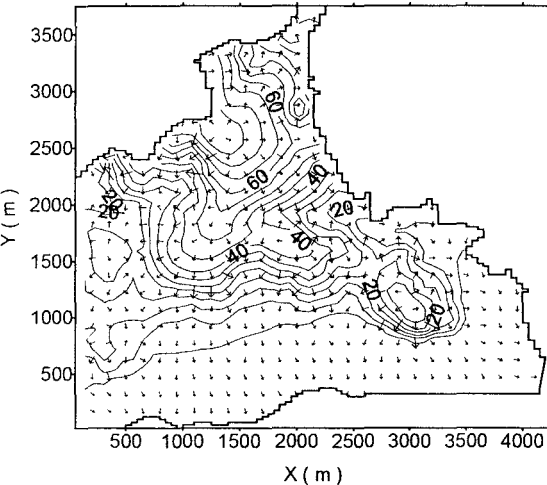


図-2 定常状態の淡水位コンターおよび流速ベクトル分布

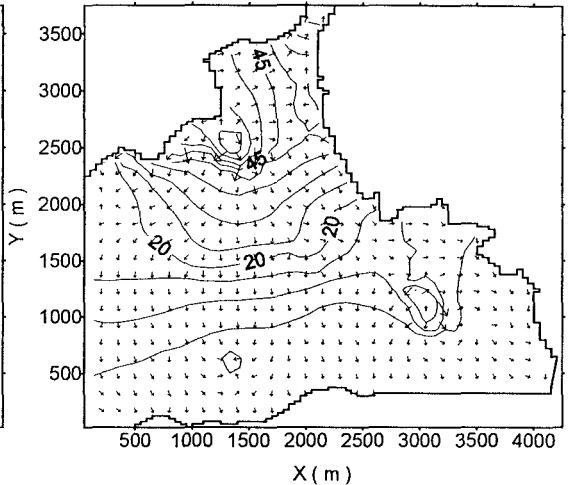


図-3 揚水開始5年後の淡水位コンターおよび流速ベクトル分布

4. おわりに

本研究では、下部に傾斜した不透水層をもち、上部に自由水面をもつ広域地下密度流領域で、準一様流の仮定を用いた準3次元モデルにより、塩水楔の挙動について検討した。しかしながら、現実には降雨・蒸発散などの影響が存在するので、それらを考慮した評価を行うことを今後の検討課題としたい。

<謝辞> 本研究をおこなうにあたり貴重な資料および助言を頂いた関係諸機関に御礼申し上げます。

<参考文献> 1) 茹瑛ほか、平成6年度土木学会、西部支部研究発表会講演概要集、1994。 2) 神野健二ほか、水工学論文集、第40巻、1996。 3) 上田年比古ほか、水道協会雑誌、第561号、pp.21-28、1981。

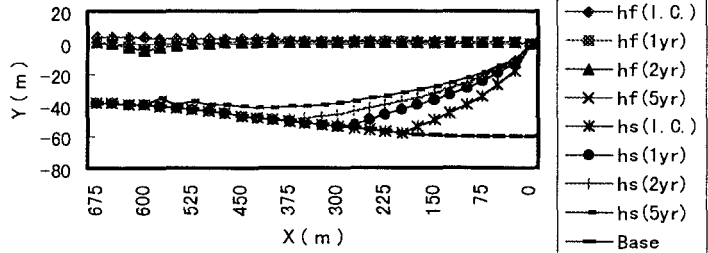


図-4 a-a'断面における淡水と塩水の挙動