

地下水汚染問題における塩水拡散について

京都大学工学部 正員 嘉門 雅史
 京都大学工学部 正員 香木 一男
 鹿島建設 正員 〇内山 雄一郎

1. はじめに

地下水汚染問題のひとつに、地下水の塩水化がある。この塩水化は、塩分の移流・拡散現象により発生するものであり、これまでに数多くの研究がなされてきた。その計算手順としては、水位分布を算定し、次に流速分布、濃度分布を求めるといった段階の過程で処理されてきた。しかし、このような計算手順では、水位差が小さく、拡散項に比べて移流項が卓越する場合には、流速分布の連続性が保証されないといった問題が生じてくる。そこで本報告では、この問題を解決するためカツプリング手法を用い、有限要素法で解析検討した一例を示す。

2. 基礎方程式と解析手法

帯水層が飽和状態にある時、地下水の運動式と連続式は次のようになる。

$$L_1(q, p) = S_s \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla p q = 0 \quad \text{----- 式(1)}$$

$$L_2(g_x, p) = g_x + \frac{k_x}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad \text{----- 式(2)}$$

$$L_3(g_y, p) = g_y + \frac{k_y}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial y} + p g \right) = 0 \quad \text{----- 式(3)}$$

一方、塩分の移流・拡散方程式は次のようになる。

$$L_4(C) = \frac{\partial(mC)}{\partial t} + mC\alpha \frac{\partial p}{\partial t} + \text{div}(Cq - D \text{grad } C) - QC = 0 \quad \text{----- 式(4)}$$

ここに、 S_s は比貯留係数、 p は液体密度、 g は比流量、 p は圧力、 μ は動粘性係数、 k は突透水係数、 g は重力、 Q は揚水量、 m は間げき率、 C は塩分濃度、 α は帯水層の圧縮率、 D は分散係数である。

以上の式(1)～式(4)を解く手法としてGalerkin法を用い定式化を行った。特に流れ問題を厳密に解くため、式(1)～式(3)を連立させて同時に解を求めるカツプリング手法¹⁾を採用した。すなわち、この手法により、流れ場の連続性が保たれると考えられる。そこで、計算手順のフローチャートを図-1に示す。

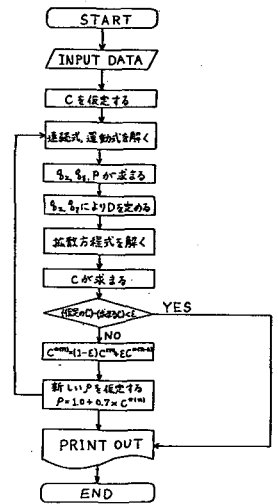


図-1 フローチャート

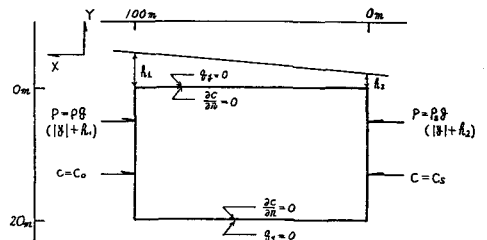


図-2 帯水層モデル

3. 解析結果

帯水層モデルとして、図-2に示すような場合を考え、塩分の移流・拡散が進行し定常状態になった状況を解析した。境界条件については、図-2に示すとおりである。さて地盤パラメータであるが縦分散長 $\alpha_L=6m$ 、横分散長 $\alpha_T=0.6m$ とし透水係数 $K=10^{-4}m/s$ とした。また水頭差は、移流現象を卓越される目的から $0.4m$ 、 $0.8m$ の2ケースを考えた。ここで分散係数 D は、式(5)に示すように α_L 、 α_T および平均比流量 q より得られる値を用いた。

$$D_{ij} = \alpha_T \bar{S} \delta_{ij} + (\alpha_L - \alpha_T) \frac{\partial x \partial y}{\partial} + D_d \delta_{ij} - \alpha_L q$$

ここに D_d は分子拡散係数、 $\bar{S}$ は媒体の曲率、 δ_{ij} はクロネッカーデルタを示す。ただし本解析では D_d の項を無視している。

以上の条件下のもとで解析した結果を図-3～図-6に示す。図-3、図-5は比流量の分布を表わしている。これによると、水位差の小さい $0.4m$ の場合では、帯水層下部において比流量の方向が上流側に向い、かなりの移流現象が生じている。また帯水層下部のう上部へ向う上昇流も明白に表われている。次に図-4、図-6は濃度分布を示したもので、これによると水位差が $0.4m$ の場合には、かなり大きな塩分の拡散が生じているが、水位差 $0.8m$ の場合には地下水の流れが大きく、塩分の拡散が押えられることがわかる。

4. おわりに

今回の報告では、実際問題として大きな要素である塩分の吸着、揚水等を考慮に入れていないため、今後これらについて検討して行く予定である。なお、本研究に際し多大の御援助、御指導いただいた京都大学教養赤井浩一先生に深く感謝いたします。

(参考文献) 1) Segoliz: A Galerkin-Finite Element Technique for Calculating the Transient Position of the Saltwater Front Water Resources Research, pp.343~347, 1977.

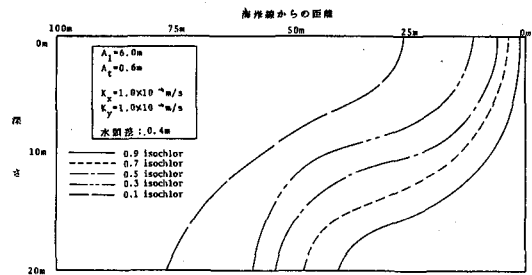


図-3 濃度分布

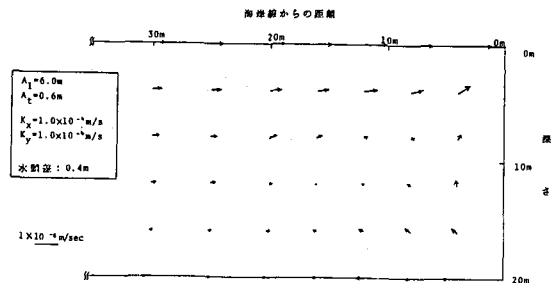


図-4 比流量分布

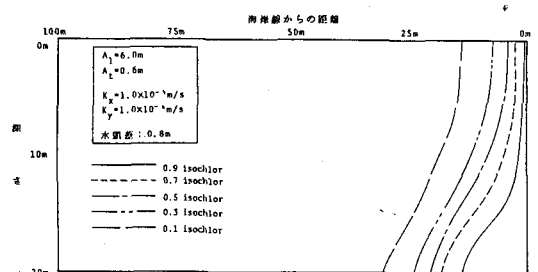


図-5 濃度分布

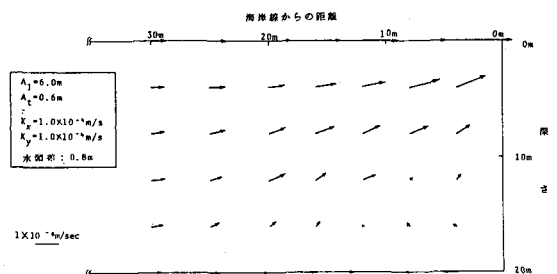


図-6 比流量分布