

VII-289 被圧地下水中の環境汚染物質の輸送現象に関する2・3の数値解析例と考察

法政大学 学 秋元 護

法政大学 正 草深 守人

大京管理 昆野 和幸

ケイエムエンジニアリング 土井 奈月

1. まえがき

自然環境の悪化は、経済活動の維持・発展に大きなマイナス要因となるばかりでなく、人間の生活環境のみならず生物全体の生態系にも深刻な悪影響を及ぼしつつある。

本文は、今日的なさまざまな環境問題の内、大規模なゴミ処分場や工場から排出される環境汚染物質による地下水の汚染問題について、比較的簡単な数値計算例を示し考察したものである。対象とした計算例は、二次元問題として扱える飽和被圧帯水層中を流れる定常浸透流場での汚染物質の輸送問題である。

2. 数値解析手法

本文に示す計算例は、浸透流の支配方程式と帯水層中の物質輸送支配方程式として知られている以下の式(1)と式(2)をガラーキン法により離散化した有限要素法に従っている。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) + b = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{u}{R} \cdot \nabla c - \nabla \cdot \left(\frac{D}{R} \nabla c \right) \lambda c - \frac{q_w}{n_e HR} (c_s - n_e c) - \frac{S_s}{n_e HR} - \frac{c}{HR} \left(S \frac{\partial h}{\partial t} - R \frac{\partial H}{\partial t} \right) = 0 \quad (2)$$

ここで、 k_{ij} は透水係数テンソル、 h は水頭、 b はコンロールボリューム内部での単位体積当たり湧き出し量、 S は貯留係数、 t は時間、 c は地下水に溶解している物質の濃度、 u は流速ベクトル、 R は土粒子への溶質の吸着に関する線形等温式を仮定した場合の遅れ係数、 D は水中における着目物質の分子拡散係数と間隙内を流れる水の微視的变化による混合を表す分散テンソルの和、 λ は反応によって溶質が土粒子骨格に吸収される一次反応項を考慮した場合の減衰係数、 q_w は帯水層境界面から流入する間隙水の流量、 n_e は有効間隙率、 H は帯水層の厚さ、 c_s は帯水層境界面からの流出入水の溶質濃度、 S_s は帯水層平面内単位面積当たりに湧き出す溶質の質量、 ∇ は微分演算子である。

3. 被圧帯水層内部の汚染問題の解析例と考察

図1に示すような扇状地上流部から定常的に濃度 100 g/m^3 の汚染物質が投下される被圧帯水層内部での物質輸送問題を想定した。帯水層は透水量係数 $0.1 \text{ m}^2/\text{sec}$ の等方性と仮定し、上流境界に 50 m 、下流境界に 30 m の指定水頭を与え、かつ帯水層中央付近で $0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ の定常揚水がある場合とない場合について計算した。計算では、被圧帯水層であることから層厚 H と水頭 h が時間的变化を生じないと仮定することにより、式(1)は右辺を省略した定常浸透流とし、かつ式(2)は左辺第6項を省略している。

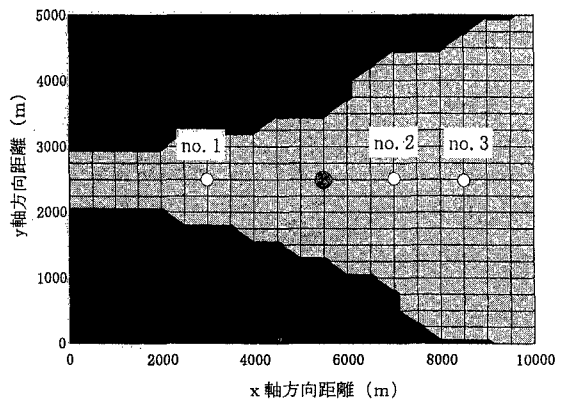


図1 仮想被圧帯水層図

図2は揚水なしとした場合の濃度分布を、図3は揚水ありとした場合の濃度分布をそれぞれ3年後の計算値として示したものである。両図を比較すると、揚水がない場合の汚染領域は広く下流部に及ぶが、揚水

キーワード：地下水汚染、浸透流、物質輸送、被圧帯水層、有限要素法

連絡先：〒184-0002 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学工学部土木工学科

がある場合の汚染領域の拡大は揚水井下流部で顕著に抑制されている。

図4と図5は、それぞれ揚水がない場合とある場合について図1に示した三つの観測点での汚染物質濃度の経時変化を示したものである。両図を比較すると、揚水井上流部では汚染物質濃度の経時変化にさほど差異は見られない。しかし、揚水がある場合の下流部での濃度上昇は小さく、また上昇速度も極めて遅いことが分かる。特に、No.3の観測点での濃度は、揚水がない場合の濃度の約20%程度に軽減されている。

以上の考察から、汚染源下流部での揚水は、帯水層内部の汚染領域の拡大と濃度上昇を抑止する上でかなりの効果を期待できることが予想される。

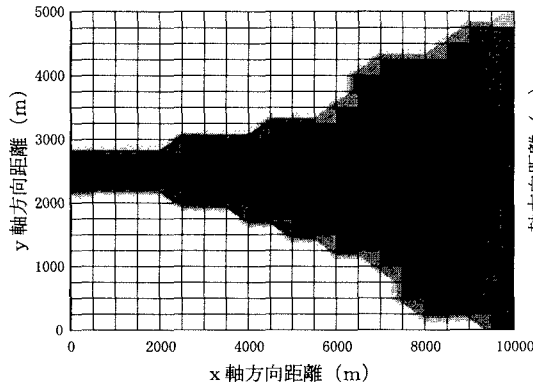


図2 揚水なしの濃度分布 (t=3年後)

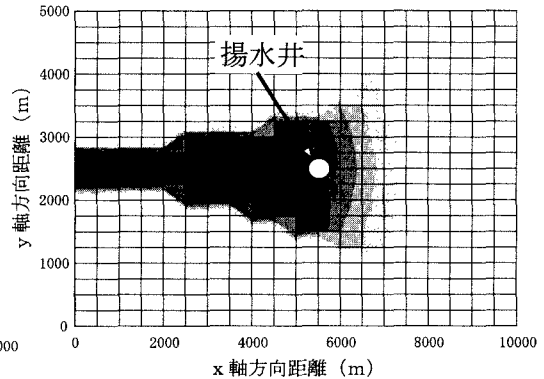


図3 揚水有りの濃度分布 (t=3年後)

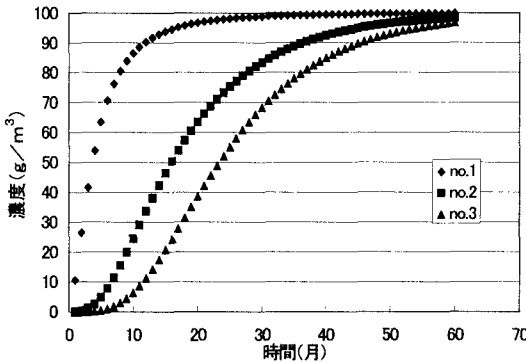


図4 揚水なしの節点濃度変化

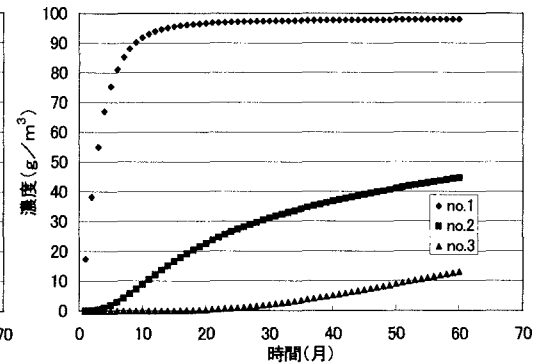


図5 揚水有りの節点濃度変化

4.あとがき

本文では、地下水の汚染解析の内、もっとも単純な被圧帯水層内部での汚染物質の輸送問題に関する一解析例を示し、考察した。その結果、揚水は汚染帯水層の浄化手段としてかなり有効な手段と思われることを示唆した。また反面、帯水層上流部に汚染源となる施設を設置する場合や既設汚染源下流部で地下水を利用する場合などにおいては、水質環境の調査を含めて汚染の程度を精度良く予測・評価する手法の確立と適切で確実な対策技術の開発を急ぐべきと考える。ただし、ここで述べた考察は単に仮定の計算例の範囲であり、計算手法の改善を含めて実測データのある実際の問題に対する今後の慎重な検討が必要であることは言うまでもない。

参考文献

- [1] W.キンツェルバッハ：パソコンによる地下水解析，上田年比古監訳，森北出版，1990。
- [2] Jacob Bear, Yehuda Bachmat：Theory and Applications of Transport in Porous Media, Kluwer Academic Publishers, 1991。