

II-73

揚水による地下水中の汚染物質の除去について

八代高専 正員 藤野和徳

1. はじめに

有機塩素化合物や農薬による地下水汚染が各地で発生し問題となっている。この対策として、ここでは揚水法を取り上げ、汚染物質の回収、汚染領域の拡大を防ぐための揚水量の算定手法を線形計画法を用いて導き、汚染物質が設定された許容領域から流出することのない最小揚水量を求めている。次に、得られた揚水量のもとで粒子移動法による濃度変化の算定手法を提示し、その解を検討し、汚染物質の早期の回収のための揚水井戸位置を検討している。

2. 地下水汚染領域の拡がりを制御するための揚水量

定常時の不圧地下水流はダルシーの式と連続の式より、次式で与えられる。

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = \sum_i \frac{2}{k} Q_i \delta(x_i) \delta(y_i) \quad (1)$$

ここに、 $H = h^2$ (m^2)、 h : 地下水位 (m)、 k : 透水係数 ($m/日$)、 Q : 揚水量 ($m^3/日$)、 δ : デルタ関数 ($1/m$) である。解析領域を離散化し、差分法等を用いて離散点の H と揚水量 Q の関係を求めると、式(1)は次式となる (A 、 B は係数行列である)。

$$Q = AH + B \quad (2)$$

揚水量最小で汚染物質の回収と汚染領域の拡がりを制御するのに、ここでは線形計画法を用いる。汚染領域の拡大の制御は流出制限線(図-1参照)の外側の地下水位を内側の地下水位より高くすることで達成される。したがって、制約条件は、

$$h_i - h_m \geq h' \quad (3)$$

目的関数は、総揚水量を Q_t とすると、

$$Q_t = \sum_{i=1}^M Q_i \rightarrow \text{最小} \quad (4)$$

なお、式(2)は H についての方程式のため、ここでは、初期値として適当な H' を与えて解析を行い、得られた地下水位差が所定の水位差 h' になるよう、ニュートンラプソン法により収束計算を行った。

3. 汚染物質の濃度変化

汚染物質の拡がりが制御されているか否かの検討は、さらに拡散を考慮した算定が必要である。ここでは、移流項の離散化誤差をなくすため粒子移動法を用いて解析を行っている。

$$n \frac{\partial(hc)}{\partial t} + u \frac{\partial(hc)}{\partial x} + v \frac{\partial(hc)}{\partial y} = D_{xx} \frac{\partial^2(hc)}{\partial x^2} + 2D_{xy} \frac{\partial^2(hc)}{\partial x \partial y} + D_{yy} \frac{\partial^2(hc)}{\partial y^2} + \sum_i \frac{Q_i c}{\Delta x \Delta y} \quad (5)$$

ここに、 n : 空隙率、 D_{xx} 、 D_{yy} 、 D_{xy} は拡散係数である。

4. 解析例と結果の考察

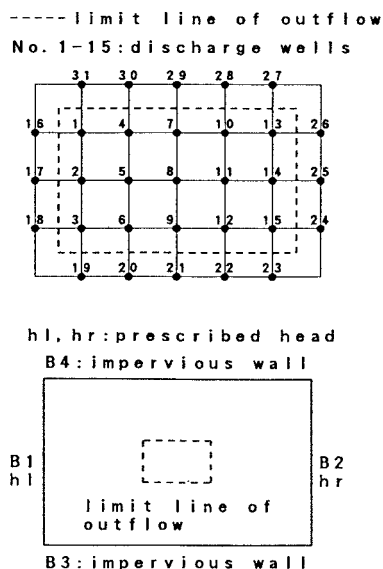


図-1 シミュレーションモデル

算定手法の有用性と揚水量と揚水井戸位置との関係を検討するため、図－1のシミュレーションモデルに、本手法を適用した。解析領域は600m×360mで、透水係数 k は2.592m/日(0.003cm/sec)とし、B1($h_1=10$ m)、B2($h_2=8$ m)は地下水位一定の境界条件を、B3、B4は不透水壁の境界条件を与え、汚染物質は節点番号11のみを占め、その濃度は100mg/lとして解析をすすめた。case1～5は揚水井戸数とその配置によって分類されている(図－1と表－1を参照)。また、case6はcase1と揚水井戸数とその位置は同じであるが、井戸11の揚水量を30m³/day以上と条件をつけたものである。表－1に各caseの揚水量を示している。また、図－2、3にcase4、6の節点11と14の濃度変化と100日後の濃度分布を示している。

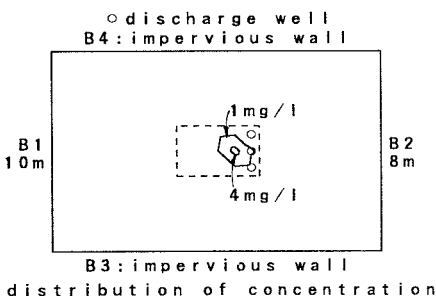
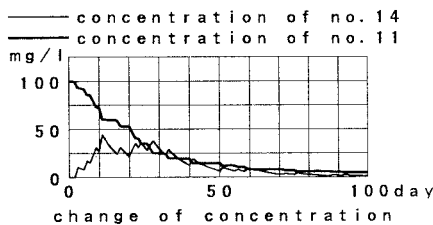
総揚水量はcase1が最小であり、汚染物質を早期に回収することを考慮しなければ、中央に井戸を配置する方が総揚水量は少なくなっている。case4の総揚水量は図－1に示す h_1 と h_{31} 間または h_9 と h_{19} 間の水位差の制約を受けて多くなっている。しかし、汚染物質を回収する時間としてはcase1よりcase4の方が短くなる。これは、汚染物質の回収には、揚水井戸を汚染物質が存在する近くに設置することが有利なためである。したがって、case6のように汚染物質の回収のための揚水井戸をその近傍に設置し、必要であれば汚染物質の拡大を防ぐための揚水井戸を周囲に設置することが有利になると思われる。

表－1 最小揚水量(m³/day)

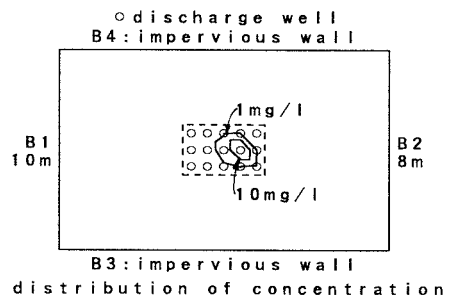
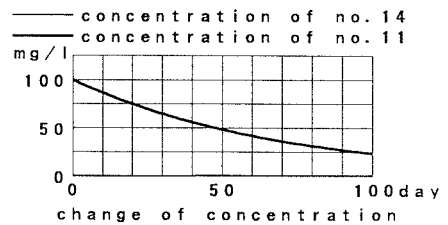
boundary condition		h ₁ =10m h ₂ =8m					
constraint		h' ≥ 5cm					
well number		case1	case2	case3	case4	case5	case6
1		2.39	0.0			3.78	1.86
2		0.0	105.89				0.0
3		2.39	0.0			3.78	1.86
4		1.44					0.0
5		0.0					0.0
6		1.44					0.0
7		0.59					0.0
8		0.0		53.55			0.0
9		0.59		0.0			0.0
10		0.0					0.0
11		0.0					30.00
12		0.0					0.0
13		8.62			0.0		3.30
14		6.42			111.43	39.84	0.0
15		8.62			0.0		3.30
total discharge		32.50	105.89	53.55	111.43	47.40	40.32

5. むすび

地下水汚染の対策として、線形計画法を用いた揚水量の算定手法を提示し、さらに、拡散を考慮した濃度分布の算定手法について提示した。揚水井戸の位置は地理的な条件や水理的な条件があるため線形計画法は有用性があると思われる。



図－2 濃度分布と濃度変化(case4)



図－3 濃度分布と濃度変化(case6)