

II-382

廃棄物埋立処分場周辺の地下水汚染監視用モニタリング井戸の最適配置

----地層の不均質性を考慮した配置手法の検討----

京都大学工学部 正会員 森澤真輔
 京都大学工学部 正会員 井上頼輝
 (株) 松下電器産業 田崎芳郎

1. はじめに

地下水の汚染が全国規模で問題になり、その早急な対策が要請されている。野外の実地層での有害物質の挙動については未解明の部分が多く、合理的な対策を樹立するためにはまず地下水汚染の実態を把握することが必要であり、また有害物質の地層中への漏出を監視することが必要である。筆者等⁽¹⁾はすでに、一般廃棄物の埋立処分場を対象に地下水汚染を監視するためのモニタリング井戸群を最適配置する手法について検討し、その成果を報告している。ここでは、地層の不均質性を確率論的に処理することにより、より現実に近い場を想定し、モニタリング井戸群の最適配置手法について報告する。

2. 最適配置手法

(1) 最適配置の考え方: ここでは一般廃棄物の埋め込みに起因する地下水汚染問題を検討対象に設定することとし、(1)できるだけ速く(迅速性)、(2)確実に(確実性)、(3)モニタリング井戸に故障が生じても余裕をもって(冗長性)、かつ(4)少数の井戸で(経済性)汚染を監視できるシステムを設計することにす。これらの4属性(目的)の尺度値の効用を評価し、それを加法的に結合して代替案(井戸の数と位置で定まるシステム)の総合効用を設定することにする。総合効用が最大の代替案を最適案とする。

(2) 最適配置問題の設定: モニタリング井戸最適配置問題の代替案の属性を以下のように定義する。

迅速性 (X_1): 各漏出位置から漏出する有害物質が、代替案を構成する井戸(以後、MP; Monitoring-well point と略記する)のいずれかによって検知されるのに要する最小時間の、全漏出点についての平均値。

冗長性 (X_2): 代替案を構成するMPのいずれかが故障し、かつ確実探知の要件が満たされる確率。すなわち、MPの故障に対するシステムの安全余裕(信頼度)。

経済性 (X_3): モニタリング井戸群の建設、運用に要する費用。

確実性 (X_4): 任意の漏出点から漏出した物質を、代替案を構成するいずれかのMPで探知できる確率。MPでの地下水中有害物質濃度が定量限界を越えると探知できるとする。

ここで、効用関数は加法的であると仮定すると、モニタリング井戸群の最適配置問題は次式のように定式化することができる。

$$\text{Max. } U_i = \text{Max. } \left[\sum_{m=1}^4 w_m U_{m,i} (X_{m,i}) \right] \quad (1)$$

ここに、 U_i , $U_{m,i}$, $X_{m,i}$ は第*i*代替案のそれぞれ総合効用、第*m*属性効用、第*m*属性尺度値、また w_m は第*m*属性の重みである ($\sum w_m = 1.0$)。上式の総合効用を最大にする代替案がここで定義する意味での最適案となる。

(3) 最適配置問題の解法手順: 上で定義した各属性の尺度値は、想定漏出位置で地中に漏出した物質がモニタリング井戸まで移動するのに要する時間(TVLT(i, j, k); Travel time)を用いて算定される。すなわち、モニタリング井戸群の最適配置問題の解法は、シミュレーションによりTVLT(i, j, k)を推定する段階とそれを用いて最適案を選定する段階とに区分されることになる。

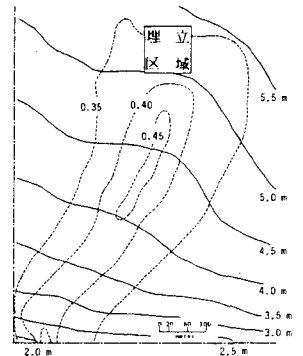


図-1 想定した廃棄物埋立処分場敷地
 (鎖線:敷地境界、破線:間隙率分布、実線:地下水等高線)

3. 最適配置のケーススタディ

想定した廃棄物埋立処分場敷地を図-1に、有害物質の想定漏出位置を図-2に示す。移流分散方程式の数値シミュレーションにより、TVLTを推定する方法については既に報告済み⁽¹⁾であるので、ここでは各属性の定量化法について述べる。各属性の尺度値 U_m は式(2)~(5)で、またそれらの属性効用は式(6)~(9)で与えられるものとする。

$$X_{1,t} = \frac{1}{KEND} \sum_{i=1}^{KEND} \text{Min}_{(i,j,k)} \{TVLTE(i,j,k)\} \quad (2)$$

$$X_{2,t} = 1.0 - \sum_{NOMP_t} C_i P^i (1-P)^{NOMP_t - i} (1 - X'_{4,t}) \quad (3)$$

$$X_{3,t} = (NOMP_t)^s \quad (4)$$

$$X_{4,t} = \text{Min}_k [\text{Max}_{(i,j,k)} \int_0^D f \{TVLT(i,j,k)\} dTVLT(i,j,k)] \quad (5)$$

$$U_{1,t} = 1.11 - 2.48 \times 10^{-2} \sqrt{X_{1,t}} \quad (6) \quad U_{2,t} = \sqrt{X_{2,t}} \quad (7)$$

$$U_{3,t} = 1.65 - 0.65 \sqrt{X_{3,t}} \quad (8) \quad U_{4,t} = \sqrt{X_{4,t}} \quad (9)$$

ここに、 ℓ は代替案の番号、 k は漏出点の番号(図-2参照)、 $KEND$ は漏出点数、 $NOMP_t$ は第 ℓ 代替案を構成するMPの数、 P は井戸の故障確率(0.1)、 s は規模の経済効果を表すパラメータ(0.9)、 $X'_{4,t}$ は故障したMPを除いたシステムの確実性尺度値、 C は組み合わせ(Combination)、 i, j はMPの位置座標、 D は迅速性を評価する時間の上限値(2000日)である。式(2)中の $TVLTE(i,j,k)$ は $TVLT(i,j,k)$ の期待値であり、次式で算定した。

$$TVLTE(i,j,k) = \int_0^D TVLT(i,j,k) f \{TVLT(i,j,k)\} dTVLT(i,j,k) \quad (10)$$

$TVLT(i,j,k)$ の確率密度関数 $f \{TVLT(i,j,k)\}$ は、土壌密度、透水係数、分散能、分配係数等の諸地層特性値が確率変動するとしてモンテカルロシミュレーションを実施して決定した(図-3参照)。また、最適井戸配置例を図-4に、最適代替案の属性尺度値及び効用値を表-1に示す。

4. 考察及び結論

地層特性値や物質の土壌との吸着反応特性値を確定量として完全に把握することは困難であるとの立場から、物質の地中での移動時間TVLTを確率変数であるとみなして、確定値であるとした最適配置手法を改良するとともに、その適用例を示した。図-4によると、最適案を構成する井戸はいずれも地下水の下流側境界に近い位置に設定されており、従来の検討結果⁽¹⁾とも一致している。表-1によると、最適案は第4属性(確実性)尺度値が1.0であることから、いずれの想定漏出点からの漏出であっても確実に探知できる代替案であることがわかる。各属性に対する重みの設定を均等重み(表-1)からZelenyの改良重みに変更しても上位代替案に変化は認められなかった。各属性値の評価になを改良を要する点が残されているものの、より実用的なモニタリング井戸配置手法が得られたと考えられる。

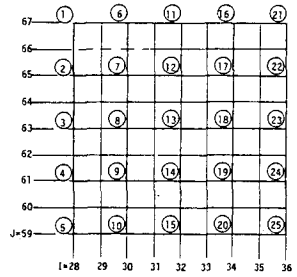


図-2 有害物質の想定漏出位置 (○印内数は漏出位置番号)

TVLT (日)	頻度
0 - 100:	0
100 - 200:	0
200 - 300:	5*****
300 - 400:	5*****
400 - 500:	11*****
500 - 600:	10*****
600 - 700:	12*****
700 - 800:	8*****
800 - 900:	9*****
900 - 1000:	9*****
1000 - 1100:	6*****
1100 - 1200:	5*****
1200 - 1300:	5*****
1300 - 1400:	4****
1400 - 1500:	3****
1500 - 1600:	2**
1600 - 1700:	4****
1700 - 1800:	2**
1800 - 1900:	0
1900 - 2000:	0

図-3 TVLT(28,59,13)の確率密度関数の算定例

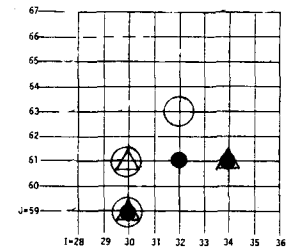


図-4 モニタリング井戸の最適配置例 (○:第一代替案、●:第二代替案、△:第三代替案)

表-1 最適代替案の各属性尺度値及び効用値

順位	属性	重み	属性尺度値	属性効用値	総合効用値
1	迅速性	0.25	221.0	0.741	0.825
	冗長性	0.25	0.951	0.957	
	経済性	0.25	2.688	0.584	
	確実性	0.25	1.000	1.000	

参考文献: (1) 森澤真輔、林伸行、井上頼輝: 廃棄物埋立処分場周辺の地下水汚染モニタリング井戸の最適配置、衛生工学研究論文集、Vol.20, pp.133-146, (1984)