

II-464

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

----先行指標物質の利用可能性について----

京都大学工学部 正会員 森澤真輔

京都大学工学部 大島 仁

京都大学工学部 正会員 井上頼輝

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。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、人等に支配的な影響を及ぼす物質(以下、決定物質という)よりも速く地中を移動しかつ決定物質よりも毒性の小さい物質、すなわち先行指標物質をモニタリングの対象物質に利用することの有効性および可能性について検討するとともに、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立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: X_1)、(2)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: X_2)、(3)少数の井戸で(経済性: X_3)、かつ(4)確実に(確実性: X_4)、汚染を監視できるシステムを設計することにする。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。先行指標物質が決定物質と共に埋立廃棄物に由来する場合には、先行指標物質の検出は決定物質の埋立区域からの漏出(隔離の失敗)を意味する。先行指標物質の検出の後、決定物質が流達するまでには時間(後に、遅れ時間と定義する)を要するので、この間に適切な漏出源対策を講じることにより、決定物質による地下水汚染域の拡大を防ぐことができる。

(2) 最適配置問題の設定: 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 U^* は次式で定式化することができる。

$$U_l^* = \text{Max}_l \quad U_l = \text{Max}_l \quad \left[\sum_{m=1}^4 w_m U_{m,l} (X_{m,l}) \right] \quad (1)$$

ここに、 U 、 $U_{m,l}$ 、 $X_{m,l}$ は第 l 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。ただし、モニタリング位置において先行指標物質を検出した後、決定物質を検出するまでに要する時間(「遅れ時間」と定義する)が所定の時間より短い代替案は最適案にはなり得ない。

(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((i, j) はモニタリング井戸の位置、 k は漏出位置の番号: 図-2参照)。地層の不均質性を考慮したモンテカルロシミュレーションによりTVLT(i, j, k)を推定する手段及び効用判定に伴う主観的あいまいさ(ファジィネス)を考慮して最適案を選定する手段については既に報告済み⁽¹⁾である。

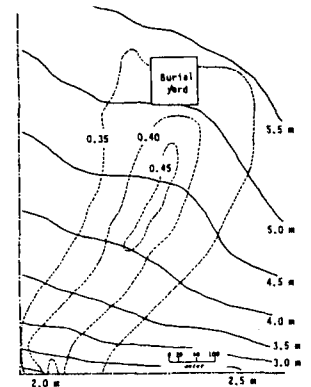


図-1

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

想定した固体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。各属性の尺度値 $U_{m, \ell}$ は式(2)～(5)で、また例えば迅速性の属性効用は図-3の帰属度関数で与えられるものとする。

$$X_1 = \frac{1}{KEND} \sum_{k=1}^{KEND} \min_{(i,j) \in \ell} \{TVLT(i,j,k) \mid (i,j) \in \ell\} \quad (2)$$

$$X_2 = 1.0 - \sum_{i=1}^{NOMP_{\ell}} C_i P^i (1-P)^{NOMP_{\ell}-i} (1-X_{4,\ell}) \quad (3)$$

$$X_3 = (NOMP_{\ell})^s \quad (4)$$

$$X_4 = \min_k \int_0^D f[\min_{(i,j) \in \ell} \{TVLT(i,j,k) \mid (i,j) \in \ell\}] dTVLT \quad (5)$$

ここに、KENDは漏出点数(25)、 $NOMP_{\ell}$ は第 ℓ 代替案を構成するモニタリング井戸の数、 ℓ は第 ℓ 代替案を構成する井戸の集合、すなわち $\ell \equiv \{(i,j)_1, (i,j)_2, \dots, (i,j)_{NOMP_{\ell}}\}$ 、 P は1つの井戸の故障確率(0.1)、 s は規模の経済効果を表すパラメータ(0.9)、 $X_{4,\ell}$ は第 ℓ 代替案を構成する $NOMP_{\ell}$ 個の井戸の内 i 個が故障したときの確実性尺度値、 C は組み合わせ(Combination)、 D は迅速性を評価する時間の上限値(2000日)である。遅れ時間は、決定物質(添字 c)および先行指標物質(添字 p)ごとにTVLTの期待値

$$TVLTE_M(i,j,k) = \int_0^D TVLT_M(i,j,k) f\{TVLT_M(i,j,k)\} dTVLT_M \quad (6)$$

を算定し($M=c, p$)、その井戸群に対する代表値

$$DT_M = \frac{1}{KEND} \sum_{k=1}^{KEND} \min_{(i,j) \in \ell} \{TVLTE_M(i,j,k) \mid (i,j) \in \ell\} \quad (7)$$

を得て、 $DT_c - DT_p$ で与えた。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

表-1によると、先行指標物質を用いれば、効用の大きなシステムを配置できること、経済性と同時に迅速性、確実性を向上させること、遅れ時間を確保するために迅速性が著しく損なわれることはないこと、等が分る。また図-4より、決定物質を対象にする最適井戸配置案から幾つかの井戸を減じた井戸配置案が先行物質を対象にする最適配置案に似ていることが分る。このことは先行指標物質選定にあいまいさがある場合に、先行指標物質モニタリングシステムが、決定物質モニタリングの一部を代行しうる能力、すなわち決定物質を感知する余裕を有することを意味する。

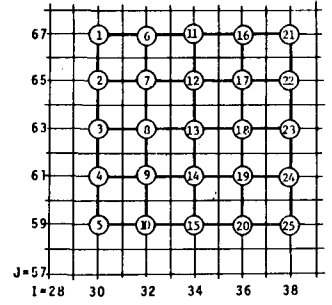


図-2 有害物質の想定漏出位置
(○印内数は漏出位置番号)

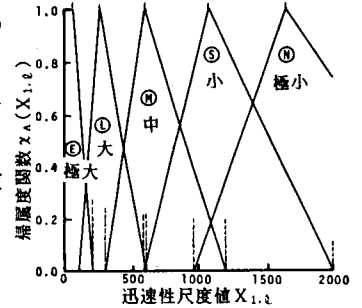


図-3 採用した属性効用の帰属度関数
(迅速性に対する例示)

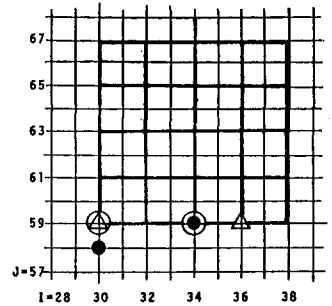


図-4 モニタリング井戸の最適配置例
(○:第一代替案、●:第二代替案
△:第三代替案)

参考文献：(1)森澤眞輔、田崎芳郎、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.23, pp.183-194, (1987)

表-1. A 最適井戸配置案の効用および属性尺度値 (先行指標物質) (注) 重みは各属性に対して均等 (0.25)、遅れ時間は最大365日

N.O	総合効用	属性効用				属性尺度				モニタリング井戸の位置
		U1	U2	U3	U4	X1	X2	X3	X4	
1	0.856	0.895	0.900	0.729	0.900	58.6 (558.4)	0.810 (0.810)	1.866 (1.866)	1.000 (0.490)	(30,59) (34,59)
2	0.856	0.894	0.900	0.729	0.900	59.8 (609.3)	0.830 (0.810)	1.866 (1.866)	1.000 (0.490)	(30,58) (34,59)
3	0.855	0.892	0.900	0.729	0.900	61.2 (610.0)	0.810 (0.810)	1.866 (1.866)	0.970 (0.440)	(30,59) (36,59)

表-1. B 最適井戸配置案の効用および属性尺度値 (決定物質) (注) 重みは各属性に対して均等 (0.25)

N.O	総合効用	属性効用				属性尺度				モニタリング井戸の位置
		U1	U2	U3	U4	X1	X2	X3	X4	
1	0.773	0.696	0.900	0.598	0.900	384.1	0.765	2.688	0.840	(30,59) (36,59) (32,63)
2	0.772	0.688	0.900	0.598	0.900	397.7	0.765	2.688	0.840	(30,59) (36,59) (32,61)
3	0.770	0.681	0.900	0.598	0.900	409.4	0.761	2.688	0.840	(30,58) (32,63) (36,59)