

II-451 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

— 追加情報による配置結果の変動について —

京都大学工学部 学生員 田中寛生

京都大学工学部 正会員 井上頼輝

京都大学工学部 正会員 森澤眞輔

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、最適配置された井戸群の信頼性（最適性の余裕）を向上させるためには、どのような追加情報を得るのが最も望ましいかについて検討するとともにそれらの情報の価値を判断し、優先順位を評価することを試みる。

2. 最適配置手法

最適配置の考え方は既報(1)と同じである。すなわち、(1)できるだけ速く（迅速性： X_1 ）、(2)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（価値、満足度）を評価し、こ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 ℓ は次式で定式化することができる。

$$U_{\ell} = \text{Max}_{\ell} U_{\ell} = \text{Max}_{\ell} \left[\sum_{m=1}^4 W_m \cdot U_{m, \ell} (X_{m, \ell}) \right] \quad (1)$$

ここに、 U 、 $U_{m, \ell}$ 、 $X_{m, \ell}$ は第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 属性のファジイ重みである（ $\sum W_m = 1.0$ ）。上式の総合効用（効用のファジイ期待値）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。各属性の尺度値 $X_{m, \ell}$ は式(2)～(5)、また例えば迅速性の属性効用はファジイ量として図-3の帰属度関数で与えられるものとする。

$$X_{1, \ell} = \frac{1}{KEND} \sum_{k=1}^{KEND} \text{Min}_{(i, j)} \{ \text{TVLT}(i, j, k) \mid (i, j) \in \mathcal{L} \} \quad (2)$$

$$X_{2, \ell} = 1.0 - \sum_{i=1}^{NOMP_{\ell}} C_i P_i (1.0 - P)^{NOMP_{\ell} - i} (1.0 - X_{4, \ell}^i) \quad (3)$$

$$X_{3, \ell} = (NOMP_{\ell})^s \quad (4)$$

$$X_{4, \ell} = \text{Min}_k \int_0^D f \left[\text{Min}_{(i, j)} \{ \text{TVLT}(i, j, k) \mid (i, j) \in \mathcal{L} \} \right] d\text{TVLT} \quad (5)$$

ここに、 $\text{TVLT}(i, j, k)$ は想定漏出位置(k)で地中に漏出した物質がモニタリング井戸(i, j)まで移動するのに要する時間、 $KEND$ は漏出点数(25個)、 $NOMP_{\ell}$ は第 ℓ 代替案を構成するモニタリング井戸数、 $\mathcal{L}$ は第 ℓ 代替案を構成する井戸の集合、 P は1つの井戸の故障確率(0.1)、 C は組み合わせ、 s は規模の経済効果を表す定数(0.9)、 f (*)は第 ℓ 代替案の井戸群で第 k 漏出位置から漏出する有害物質を感知するのに要する時間の確率密度関数(100回のモンテカルロシミュレーションにより算定)である。 $X_{4, \ell}^i$ 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、 D は確実性を評価する評価時間(2000日)

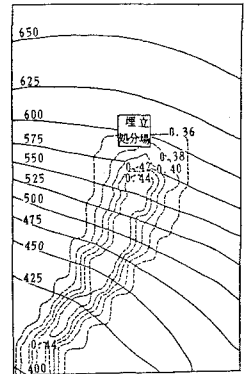
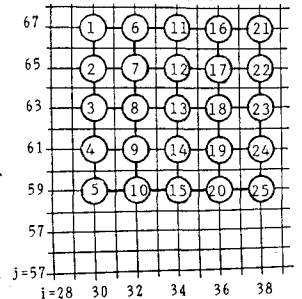


図-1 想定した埋立処分場

実線：地下水位分布 (cm)

破線：空隙率分布

図-2 有害物質の想定漏出位置
(○印内番号は漏出位置番号)

である。

ここでは、最適配置に関する各パラメータの影響の程度を見るために①各環境パラメータが表-1の想定変動範囲内に一様分布する場合、②～⑩環境パラメータに追加情報を与える場合、⑪効用の区分を5段階から7段階にする場合、⑫重みの区分を5段階から7段階にする場合、⑬重み及び効用が確率情報で与えられる場合、⑭全ての情報が確定情報で与えられる場合の12通りについて最適井戸配置を選定した。最適井戸配置を図-2に、最適案の属性尺度値及び総合効用値を表-2に示す。

4. 考察及び結論

表-2によると、透水係数、有害物質の漏出濃度、の変動範囲を1/2にする場合と、効用のあいまいさを小さくする場合及び全ての情報が確定情報で与えられる場合に最適案がB配置に変わり、特に有害物質の漏出濃度に関する追加情報を与えた場合に総合効用値が最も大きく向上している。また効用及び重みのあいまいさを小さくすれば各属性尺度値の変化が総合効用値によく反映されることが分かった。このことは、最適配置された井戸群の信頼性を向上させるためには、透水係数または漏出濃度に関する情報と効用及び重みに関する情報を組み合わせて追加するのが効果的であることを意味している。

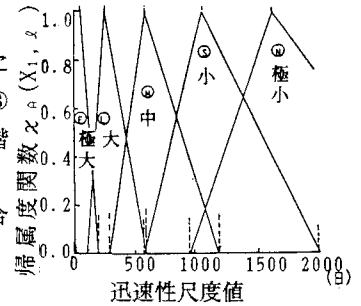


図-3採用した属性効用の帰属度関数

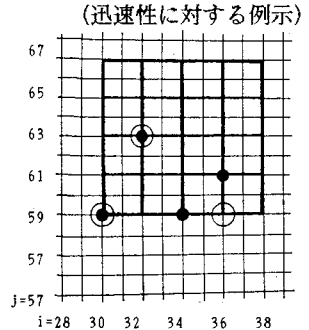


図-4モニタリング井戸の最適配置例

(○:A配置 ●:B配置)

参考文献：(1)森澤真輔、井上頼輝、井上正行：あいまい情報下での地下水汚染監視井戸の最適配置、京都大学環境衛生工学研究会第9回シンポジウム講演論文集、p. 408-415、(1987)

表-1 各環境パラメータとその変動範囲

パラメータ	単位	想定変動範囲			追加情報を与えた場合の変動範囲			参 考
		上限値	中央値	下限値	上限値	中央値	下限値	
地下水位H	m	$1.1 \times H$	H	$0.9 \times H$	$1.05 \times H$	H	$0.95 \times H$	図-1 (中央値)
地層の空隙率f	—	$1.1 \times f$	f	$0.9 \times f$	$1.05 \times f$	f	$0.95 \times f$	同上
透水係数p	cm/day	6.8×10^4	3.4×10^4	1.7×10^4	5.1×10^4	3.4×10^4	2.55×10^4	
土壌の真密度ρ	g/cm³	2.92	2.65	2.39	2.78	2.65	2.65	
分配係数 Kd	ml/g	10.0	5.0	2.5	7.5	5.0	3.75	
漏出濃度		$10.0 \times C_0$	C_0	$0.1 \times C_0$	$5.0 \times C_0$	C_0	$0.5 \times C_0$	検出濃度 $10^{-4} \times C_0$
分散能α _L	cm	10.0	1.0	0.1	5.0	1.0	0.5	$\alpha_T = 0.2 \times \alpha_L$

表-2 追加情報を与える場合の最適案の比較

与える追加情報	総 合 効用値	属性尺度値				配 置
		迅速性	冗長性	経済性	確実性	
① 追加情報無し	0.752	362.3	0.722	3.482	0.790	A
② 地下水位分布の変動範囲を1/2に	0.752	363.3	0.723	3.482	0.790	A
③ 空隙率分布の変動範囲を1/2に	0.753	360.7	0.722	3.482	0.790	A
④ 分散能の変動範囲を1/2に	0.752	362.4	0.722	3.482	0.790	A
⑤ 有害物質の分配係数の変動範囲を1/2に	0.752	344.2	0.721	3.482	0.810	A
⑥ 土壌の真密度の変動範囲を1/2に	0.754	351.0	0.725	3.482	0.820	A
⑦ 透水係数の変動範囲を1/2に	0.756	511.0	0.747	2.688	0.650	B
⑧ 有害物質の漏出濃度の変動範囲を1/2に	0.759	497.3	0.754	2.688	0.650	B
⑨ 効用のあいまいさを小さく	0.733	516.9	0.753	2.688	0.590	B
⑩ 重みのあいまいさを小さく	0.751	362.3	0.722	3.482	0.790	A
⑪ 効用、重みを確率情報に	0.747	362.3	0.722	3.482	0.790	A
⑫ 全ての情報を確定情報に	0.758	434.0	0.729	2.688	1.000	B

(注1) A 配置：(30, 59), (32, 63), (34, 59), (36, 61) B 配置：(30, 59), (32, 63), (36, 59)

(注2) 上表には、4つの重みにそれぞれ中程度 (Mレベル) を与えた場合の結果を示している。