

地下水汚染到達距離の評価に関するパラメーターの感度解析

(株) 竹中工務店 正会員 ○奥田 信康

1. はじめに

土壌汚染対策法では、地下水経由の健康被害のおそれの有無を、特定有害物質を含む地下水の到達可能範囲を特定し、その範囲内での飲用井戸等の存在より自治体が判断する。汚染地下水の到達可能範囲は、個々の事例ごとに地下水の流向・流速および地下水質や地盤の測定結果に基づき設定されることが望ましいとされている。しかし現状は、地下水流速や地盤条件を把握する調査は省略され、地下水の環境省通知の地下水汚染が到達しうる一定の距離の目安が用いられている。透水性の低い地盤等では目安の距離よりも実際の到達距離が短くなり、合理的な対策軽減に繋がることから、リスク評価で用いる計算式の適用上の留意点について検討した。

2. 検討条件

(1) 検討に用いる計算式

地下水汚染到達距離の計算に用いる平面 2 次元 Domenico 式を式 1 に示す。一定厚さの帯水層(一様な地盤・地下水移流条件)が一様な地下水汚染が存在し、汚染源濃度は時間的に減衰せずに一定である前提に立ち、t(年)経過時点の下流側距離 X(m)での地下水濃度を求める式である。ASTM RBCA¹⁾や土壌環境センターSERAM²⁾などのリスク評価モデルにおいて採用されており、移流拡散、吸着、分解の影響評価が可能である。

$$C_{gw}(x,0,t) = \left\{ \frac{1}{4} \exp \left[\frac{x}{2\alpha_x} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4 \times \lambda \times \alpha_x}{v}} \right) \right] \right\} \times \left\{ \operatorname{erfc} \left[\frac{1}{2\sqrt{\alpha_x \times v / R \times t}} \left(x - \frac{vt}{R} \sqrt{1 + \frac{4 \times \lambda \times \alpha_x}{v}} \right) \right] \right\} \times \left\{ \operatorname{erf} \left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_y \times x}} \right) \right\} \times C_{sw} \quad (式 1)$$

(2) 各種パラメーターの設定方法

本検討の対象物質は、第 1 種特定有害物質の代表としてテトラクロロエチレン(以下 PCE)とベンゼン(以下 Bz)、第 2 種特定有害物質の代表として鉛、砒素、六価クロムを選定し、表 1 に示す標準ケース入力値をベースに個別パラメーターを変動させた感度解析を実施し、地下水汚染到達距離の変化に及ぼす各パラメーターの影響を評価し、重要なパラメーターを選定した。汚染源地下水濃度は 10 mg/L とし、各設定条件において地下水基準(PCE, Bz, 鉛, 砒素: 0.01 mg/L, 六価クロム: 0.05 mg/L)となる距離 X(m)を逆解析により求めた。なお、経過時間 t(年)には、ヒト健康リスクの曝露期間 70 年を十分に超える 100 年と設定した。

表 1 Domenico 式で用いる各種パラメーターと標準ケース・感度解析の入力値

記号	名称	単位	標準ケース入力値	変動幅	記号	名称	単位	入力値
C _{gw}	汚染源地下水濃度	mg/L	10	固定	x	評価点のx座標	m	逆解析により求める
t	経過時間	year	100	固定	C _{gw} (x, 0, t)	距離x、時刻tの地下水濃度	mg/L	計算結果
S _w	汚染源幅	m	10	1, 5, 10, 20, 50	K _d	土壌-水分配係数	cm ³ -H ₂ O/g-soil	PCE, Bz: K _d =K _{oc} × f _{oc}
α _x	x方向の分散長	m	0.1X	0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 X	λ	一次分解定数	1/y	PCE, Bzのみ (λ=Ln2/t _{1/2})
α _y	y方向の分散長	m	0.1 α _x	0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 α _x	v	地下水流速	m/y	V=k × i / θ _e
k	透水係数	m/s	3.E-05	1E-7, 1E-6, 1E-5, 1E-4, 1E-3	R	帯水層の遅延係数		R=1+K _d × ρ _d / θ _e
i	動水勾配	m/m	0.005	0.005, 0.01, 0.032, 0.05, 0.07	標準ケースの主な条件			
θ _e	帯水層の間隙率	-	0.2	0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4	<ul style="list-style-type: none"> 汚染源幅: 10m (区域指定の単位区画の幅) 地下水流速: 23m/y (環境省通知の距離目安条件) X, Y 方向の分散長 (RBCA, SERAM のデフォルト値) 			
t _{1/2}	半減期	year	7.0	なし, 1, 3, 7, 10, 14				
f _{oc}	有機炭素含有量	g-C/g-soil	0.001	0.001, 0.005, 0.01, 0.1, 0.2				
ρ _d	土壌乾燥密度	kg/L	1.67	固定				
K _d	土壌-水分配係数	cm ³ -H ₂ O/g-soil	鉛:347, 砒素:25, 六価クロム:3.4	0.5, 1, 2, 5, 10倍				
K _{oc}	有機炭素-水分配係数	cm ³ -H ₂ O/g-OC	PCE151, Bz58.9	1, 2, 5, 10, 20倍				

3. 検討結果と考察

(1) 標準ケース入力値での地下水汚染到達距離は、PCE 606 m, Bz 606 m, 鉛 3.0 m, 砒素 36.6 m, 六価クロム 149.2 m であり、環境省通知の到達しうる一定の距離の目安以内であった。

(2) 汚染源幅を 0.1 倍~5 倍で変動させると、PCE, Bz は 0.3 倍~1.5 倍、鉛は変化なし、砒素、六価クロムは 0.7 倍~1.1 倍程度で変化した(図 1(1))。X 方向の分散長を 0.2 倍~5 倍に変動させると、PCE, Bz は 1.2 倍~0.8 倍に減少し、鉛は 0.5 倍~2.9 倍、砒素は 0.6 倍~2.1 倍、六価クロム 0.8 倍~1.2 倍に増加した(図 1(2))。

キーワード 地下水汚染, 移流拡散パラメーター, 吸着パラメーター, 分解パラメーター, 感度解析

連絡先 〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1 (株) 竹中工務店技術研究所 TEL: 0476-47-1700

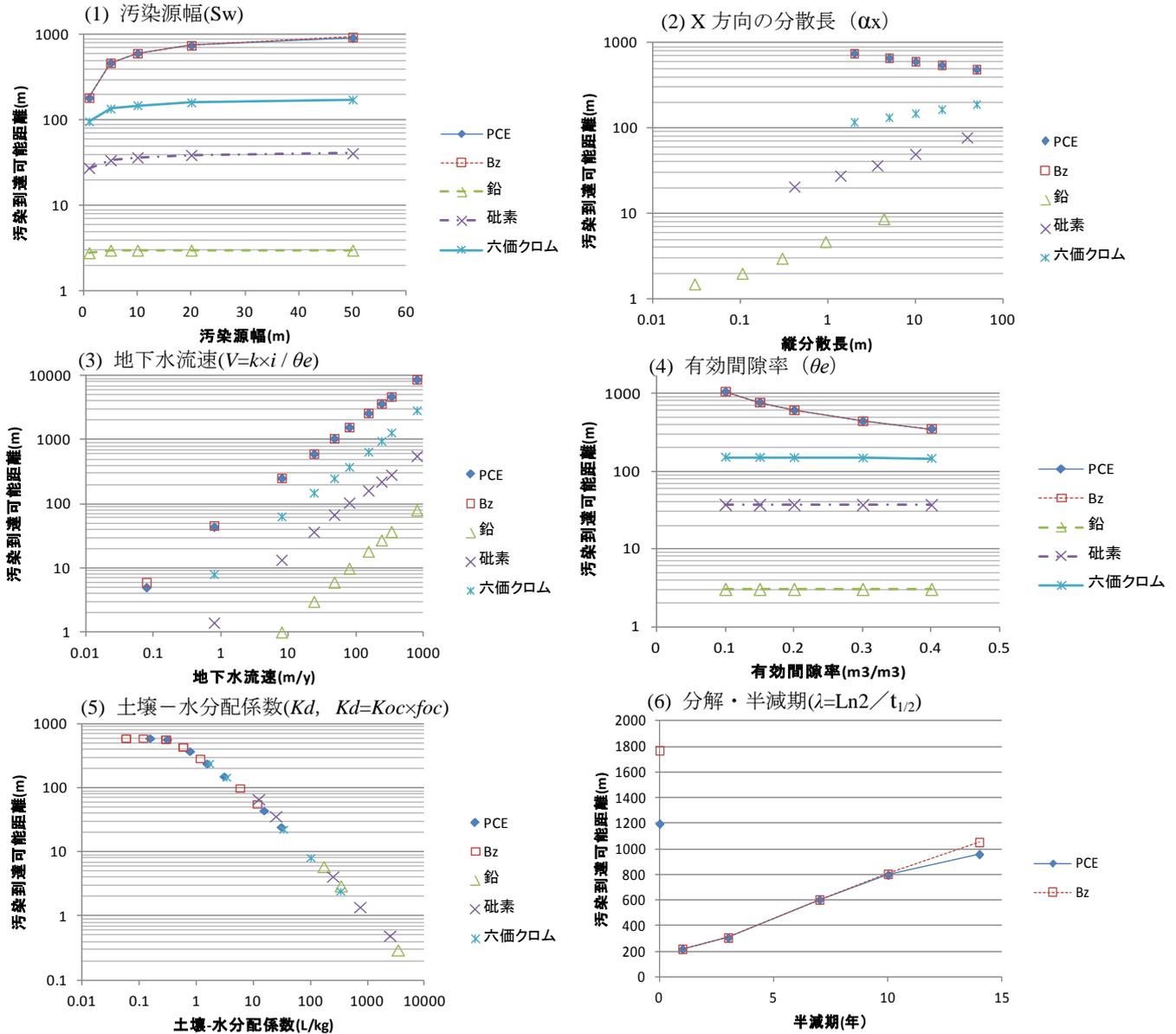


図1 移流拡散・吸着・分解パラメータの感度解析結果

- (3) 地下水流速に関わる透水係数，動水勾配を 0.0033 倍～33 倍で変動させると全物質とも 0.009 倍～15 倍程度とほぼ正比例して変化する(図 1(3))。有効間隙率は，その逆数が地下水流速と正比例し PCE, Bz では透水係数，動水勾配と同様の傾向を示すが，鉛，砒素，六価クロムの汚染到達距離は殆ど変化が無い(図 1(4))。
- (4) 土壌-水分配係数は 1 L/kg 以上ではほぼ反比例して減少し，到達距離は物質種類の影響を受けない(図 1(5))。
- (5) 分解は PCE, Bz 等の VOC のみが対象であり，半減期 7 年では分解しない場合の 1/3～1/2 となる(図 1(6))。

4. おわりに

地下水汚染到達距離を Domenico 式を用いて算定する場合，影響の大きいパラメータは，汚染源地下水濃度，地下水流速(透水係数，動水勾配)，土壌-水分配係数(有機炭素-水分配係数，有機炭素含有率)であった。物質では，土壌-水分配係数の小さい VOC は到達距離が長く，分解条件(半減期)パラメータも重要となる。汚染源の幅や縦・横分散長のパラメータの影響はやや小さく，設定により 1/3～3 倍の変動を生じる可能性がある。これら重要なパラメータは，現場の調査結果を踏まえ適切に設定する必要がある。また，検討の前提条件，調査結果，検討の経緯をオープンにし，ステークホルダーとの合意形成を得ることが重要である。

参考文献

1)ASTM E2081-00(2000) : Standard Guide for Risk Based Corrective Action,95p
 2)奥田信康, 佐々木哲夫, リスク評価モデル普及・ツール化検討部会(2013) : サイト環境リスク評価モデル SERAM のツールの開発と活用方法, 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, vol.19, pp574-579.