

立命館大学理工学部	正会員	勝見 武
立命館大学理工学部	学生会員	○山田惠一
京都大学大学院	正会員	乾 徹
京都大学大学院	学生会員	土居 亮
京都大学大学院	正会員	嘉門雅史

1. はじめに

近年、TCE や PCE に代表される有害化学物質による土壌・地下水汚染が顕在化し、人や生態系への影響が懸念されている。我が国では行政上の環境規制として「環境基準（値）」が一律に定められているが、土壌・地下水汚染による環境リスクは各サイトの地盤特性等に影響を受けると予想される。そのため、各サイトに応じたリスク管理手法（Risk-Based Corrective Action）の必要性が指摘され、そのリスク管理のツールとして環境リスク（Environmental Risk）による定量評価が求められている。本研究は、土壌・地下水汚染ならびにその対策工法に伴う環境リスク評価手法の一連の流れを提案するものである。

2. 仮想モデルを用いたリスク評価

a) リスク評価の対象と計算条件

リスク評価の対象は、汚染源から 10 m 地点（ $L=10$ ）の井戸から砒素により汚染された地下水を 50 年間飲用し続けた場合の発ガンリスクとした。地盤モデル（図 1）の C_0 は汚染源における地下水中の汚染物質濃度、 $C(L,t)$ は井戸での汚染濃度、 v_x は地下水の流速、 h は水頭差（ $h=10$ cm）で、原地盤は砂層（ $k=10^{-3}$ cm/s）と仮定した。本研究では、“ケース(i)”として対策を施さない場合のほか、“ケース(ii)”として $k=10^{-5}$ cm/s、層厚 50 cm の遮水壁を、“ケース(iii)”として $k=10^{-6}$ cm/s、層厚 50 cm の遮水壁を設けた場合を汚染修復対策例として検討した。遮水層の遅延係数は 1、2、5 および 100 とし、水平方向の一次元問題として、以下の一次元移流・分散方程式の解析解¹⁾により 10 m 離れた地点での濃度の経時変化を求めた。

$$\frac{c(x=L,t)}{c_0} = 0.5 \left[\operatorname{erfc} \left[\frac{1-T_R}{2\sqrt{T_R/P_L}} \right] + \exp(P_L) \operatorname{erfc} \left[\frac{1+T_R}{2\sqrt{T_R/P_L}} \right] \right]$$

ただし、 $T_R = \frac{v_x t}{RL}$ 、 $P_L = \frac{v_x L}{D}$ である。解析結果を図 2 に示す。

b) 集団分布（人の活動パラメーターの累積分布）の算出

曝露量は CW （汚染濃度）、 IR （摂取量）、 EF （曝露頻度）、 ED （曝露期間）、 BW （体重）、 AT （平均曝露時間）によって求められる²⁾。集団リスクの計算において個人差（ライフスタイルや身体的特徴の違い）を考慮するため、図 3 に

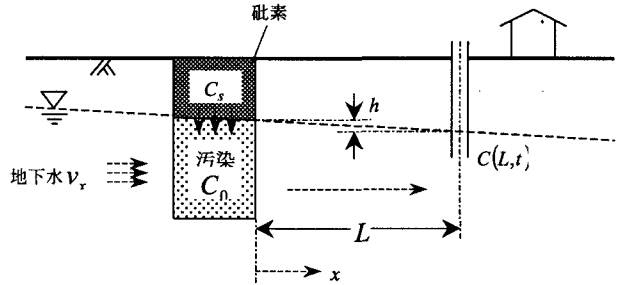


図 1 仮想モデル

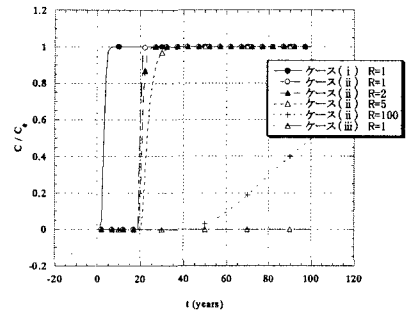


図 2 解析結果

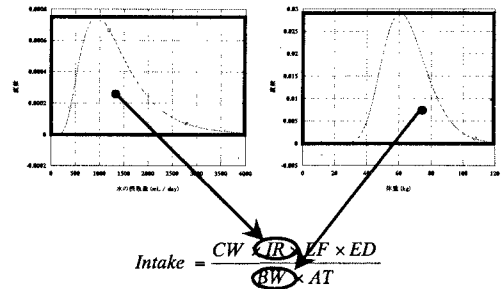


図 3 個人値決定のプロセス

示すように曝露量の計算にモンテカルロ法を導入し、*IR* および *BW* の個人差を反映させた。計算方法は、①所定数値域に一樣乱数を発生させ (20,000 point)、②用意した度数分布³⁾の範囲内に両者の乱数とも入った場合個人値として採用する (1,804 point) ことによった。個人値は 50 年間不変とした。曝露量計算式²⁾の *CW* (= *C*(10,*t*)) 以外は、「人の活動」により決定されるパラメーターであり、個人値 (*IR*, *BW*) と *EF* (= 365 days)、*ED* (= 50 years)、*AT* (= 365×50 days) を用いて「人の活動」パラメーターを計算し、それらの累積曲線である「集団分布」を求めた (図 4)。

3. 計算結果と考察

汚染物質が飽和層に流れ込んだ瞬間を *t* = 0 とすると、50 年間の集団リスクは以下のように定義できる。

$$Risk = \frac{\int_0^{50} (C(10,t) \times SF \times \text{集団分布}) dt}{50} = \frac{\sum_{t=1}^{50} (C(10,t))}{50} \times SF \times \text{集団分布}$$

ここで *SF* はスロープファクター⁴⁾と呼ばれ (砒素では 1.5 kg-day/mg)、物質の毒性の程度を表すものである。*C*₀ を 0.01 mg/L とした場合の集団リスク (図 5) は、非常に高いレベルにあると言える。米国やオランダの環境規制では、1つの物質がもたらす発ガンリスクを 10⁻⁴ 以下に抑えることとされており、ケース(i)では 96.5 %、ケース(ii)では *R* = 2 とした場合 83 % の人がこのレベルを超える。この初期濃度では、遮水壁による対策工を行ったとしても環境リスクを 10⁻⁴ 以下に抑えることはできないと考えられる。一方、*C*₀ を 0.0025 mg/L とした場合の集団リスク (図 6) は、*C*₀ が減少した分だけ累積曲線が左にスライドしている。しかし、リスクレベル 10⁻⁴ に着目した場合、依然として高いリスクレベルであると言える。そこで、このレベルのリスクに対しては、リスク低減によりもたらされる効果と対策工の費用のバランス (費用対効果分析) を考慮し、適切な対策工を選択することが肝要である。リスク低減効果を次式により評価した。

$$\text{リスク低減効果(\%)} = \left(1 - \frac{\text{対策工ありの場合の発ガンリスク}}{\text{現状での発ガンリスク}} \right) \times 100$$

リスクの低減効果は、ケース (ii) では遮水壁の遅延係数が 1、2、5、100 の場合でそれぞれ 35.4、37.5、43.4、99.7%であり、またケース (iii) では 100%であった。

4. 結論

土壌・地下水汚染ならびにその対策工法に対してリスク評価を行った結果、環境リスクには汚染源の化学物質濃度ならびに地盤特性が影響を及ぼすことが明らかとなった。そこで、現実的で経済効率の高い修復を達成し、一定レベルまで環境リスクを低減させる「RBCA」の考え方を取り入れることの有用性が示された。

参考文献

- 1) Shackelford, C.D. (1990): Transit-time design of earthen barriers, Engineering Geology, Vol.29, pp.79-94.
- 2) USEPA (1989): Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol.1: Human Health Evaluation Manual, Part A EPA/540/1-89/002.
- 3) USEPA (1997): Exposure Factors Handbook, EPA/600/P-95/002.
- 4) USEPA (2001): Integrated Risk Information System (IRIS), <http://www.epa.gov/>.

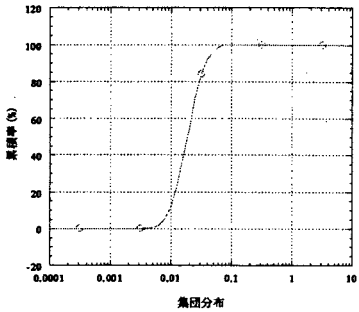


図 4 地下水飲用に関する集団分布

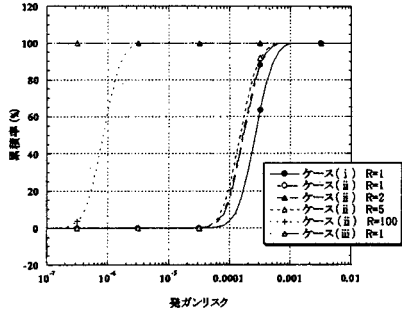


図 5 *C*₀ = 0.01 mg/L (環境基準値)

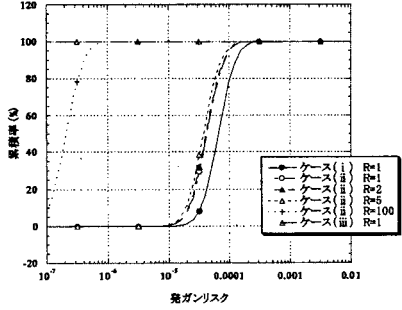


図 6 *C*₀ = 0.0025 mg/L