

有機塩素化合物の地下水浸透による溶解現象のモデル化（第二報）

大林組技術研究所 正会員 西田憲司
大林組技術研究所 正会員 上野孝之

1. はじめに

近年、揮発性有機化合物による土壌・地下水汚染が全国各地で多数確認され、環境保全上の重要な課題の一つとなっている。ゆえに汚染地盤の浄化技術の確立は急務であるが、現時点で我が国の地盤に適合した浄化技術は発展途上にある^{1,2)}。透水性飽和地盤における原位置修復技術としては、地下水揚水洗浄法や透過性浄化壁などが挙げられ、これまでもいくつかの実施例が報告されている³⁾。しかし、有機塩素化合物の地盤内における挙動が明確でないことや、我が国の複雑極まりない地盤構成などの理由により、各種方法による浄化効果を予測することは非常に困難といえる。したがって、地盤内に存在する有機塩素化合物の溶解現象に関する簡易的な数値モデル化は非常に重要と考えられ、これまでに飽和地盤中に有機塩素化合物などの汚染物質が存在する場を想定し、地下水流れによる汚染物質の溶解現象を定量的に評価することを試みてきた。ここでは、さらに地盤内の汚染物質残存量分布も推定し得るモデル化を検討した。

2. モデル化の基本概念

図 - 1 に地盤内の汚染物質の存在状態を模式的に示した。汚染物質は図に示すとおり土粒子の表面、土粒子と土粒子の間隙、土粒子表面から内部に存在する細孔中に存在するものと考えられる。したがって汚染物質は物理化学的には表面に吸着状態にあるものや、液体として吸着膜上や間隙に存在するものなどがあると考えられる。汚染物質は系内で地下水に溶解した後、物理化学的には再び一部が別の土粒子に吸着し、また脱着するという現象を繰り返すことが十分予想される。しかし、個々の粒子についてこうした情報、すなわち個々の粒子の情報（例えば吸着活性度）を含めて得ることは非常に困難と考えられる。そこで、下記の条件を仮定してモデル化を行った。

全ての土粒子は地下水中に溶けた汚染物質と吸着平衡関係にある。吸着に関して均一系。

地下水は一定流速で流れる。

汚染物質の水への飽和溶解度と実際の濃度の差が溶解の推進力である。

いま、図 - 2 に示す n 個に分割された地盤を想定する。汚染物質濃度 C_{before} の溶液が単位要素内（体積 V ）に流入すると、地盤中の汚染物質と何らかの相互作用を起こし、時間 t の間に新しい濃度 C_{after} になるとともに、土粒子に吸着していた汚染物質の量 X_{before} も変化し、新しい量 X_{after} になる。したがって、

$$V(C_{\text{after}} - C_{\text{before}}) = (X_{\text{before}} - X_{\text{after}})AB \quad \cdots (1)$$

ここに、 A ：土粒子表面積、 B ：地盤乾燥重量。

汚染物質の濃度と残存量の間には、平衡時には時間の影響をほとんど受けないため、

$$X = f(C) \quad \cdots (2)$$

と仮定する。式(2)において平衡論的關係が成立するとすれば、

$$X = KC X_m / (KC + 1) \quad \cdots (3)$$

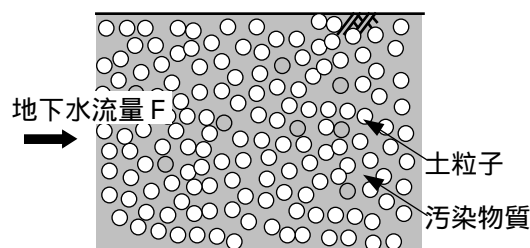


図 - 1 飽和地盤中の汚染物質

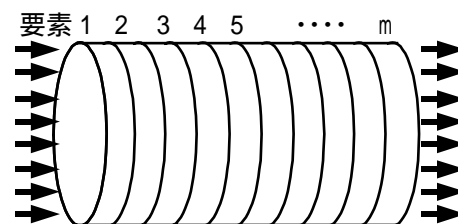


図 - 2 汚染物質溶解現象のモデル化

数値解析，地下水，飽和土，物理学的性質

〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 TEL:0424-95-0910 FAX:0424-95-0903

ここに、 K ：平衡定数、 X_m ：飽和汚染物質残存量、 C ：汚染物質濃度。

したがって、ある要素1において初期濃度 C_0 の汚染水が流入したことによって濃度が C_{11} に変化し、同様に残存量についても初期残存量 X_0 が X_{11} に変化したと想定すれば、次式が成り立つ。

$$V(C_{11} - C_0) = (X_0 - X_{11}) AB \quad \dots (4)$$

$$X_{11} = f(C_{11}) \quad \dots (5)$$

$$X_{11} = KC_{11}X_m / (KC_{11} + 1) \quad \dots (6)$$

式(4),(6)から式(7),(8)が導かれる。

$$\text{濃度} : C_{11} = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4Kh}}{2K} \quad \dots (7)$$

$$\text{残存量} : X_{11} = \frac{KC_{11}X_m}{KC_{11} + 1} \quad \dots (8)$$

ここに、

$$b = \{(1 - KC_0) + (AB/V)K(X_m - X_0)\}$$

$$h = (C_0 + (AB/V)X_0) \quad \dots (9)$$

したがって、式(7)～(9)により各時刻における各要素内の汚染物質溶解現象をシミュレートできると考えられる。

3. 計算例

3.1 計算条件

計算モデルを図-3に示す。ここでは半径5cm、高さ30cmの円柱カラムを想定して計算した。カラム内には汚染物質で均一に汚染された砂が充填されており飽和されている。そしてカラム底面から一定流速の真水が鉛直上向きに流れる状況を考える。解析にあたってはカラムを $x_1 \sim x_{10}$ の10要素に分割した。ただし、各要素の体積 V は同じである。その他の条件は、 $K = 0.02$ 、 $A = 20\text{m}^2/\text{g}$ 、 $B = 75\text{g}$ 、空隙率 = 0.3、 $X_0 = 0.2\text{g}/\text{m}^2$ 、 $X_m = 0.5\text{g}/\text{m}^2$ とした。

3.2 計算結果

図-4に要素 $x_1 \sim x_6$ における通水量とTCE濃度の関係を示した。通水量が増加するにしたって各要素の濃度が低下していき、また、真水の入口付近から出口付近の要素から順に浄化されていく様子がシミュレートされている。これは、揚水洗浄工法において注水井付近の地盤から浄化され始め、時間の経過とともに揚水井付近の地盤が浄化されるということを示している。目下の問題については正解値が未知であるためこれ以上の議論はできないが、ごく自然な結果が得られている点に注意されたい。

4. おわりに

ここでは、飽和地盤中に有機塩素化合物などの汚染物質が存在する場を想定し、地下水流れによる汚染物質の溶解現象を簡便なモデルで再現した。まだ検討の初期段階であり、今後、実験を通して本検討の妥当性を検証していく必要がある。

【参考文献】1)中杉修身：日本における地盤環境汚染の現状，土と基礎，Vol.42，No.4，1994．

2)平田健正：地下水汚染と対策の動向，地下水技術，Vol.37，No.4，pp.29～38，1995.

3)平田健正：地下水汚染の現状とその対策，地盤工学会主催公開市民講座地盤に関する疑問に答える

Part8：わかりやすい地盤環境問題 あしもとの環境をみなおそう，pp.15～26，2000.

4)西田憲司：有機塩素化合物の地下水浸透による溶解現象のモデル化，第36回地盤工学研究発表会，2001.

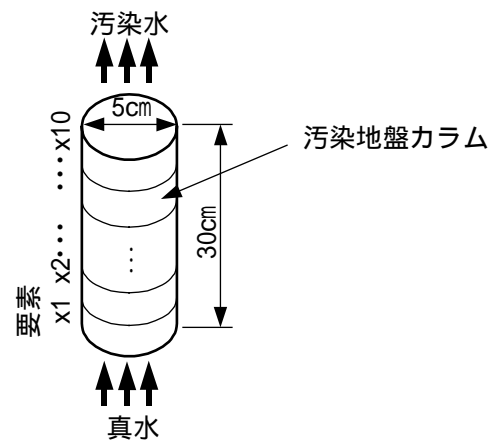


図-3 計算モデル

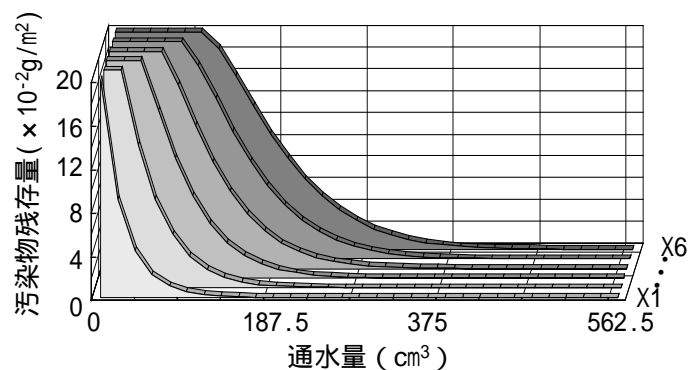


図-4 通水量と汚染物質残存量の関係