

III-107 分解を考慮した移流拡散解析における地下水濃度の変化

大成建設(株)技術研究所 ○ 正会員 下村雅則
同 正会員 今村 聡

1. はじめに

近年、市街地においてトリクロロエチレン（以下TCEとする）等の揮発性有機塩素化合物による土壌・地下水汚染が大きな問題となってきた。地下水汚染は、工場等から漏洩した汚染物質が土壌中に浸透して帯水層まで達し、地下水の流れとともに下流側一帯に拡がることによって生じるものであり、種々の対策が検討されている。浄化の検討を行うに当たり、地下水汚染の現状を把握するための観測井でのモニタリングを行っているが、汚染源と考えられる地点で使用していない物質が確認されることがある。これらの多くは分解によって生成されたと考えられるが、移流拡散解析では分解生成物を考慮していないのが実情である。

本研究では、透水性の良い砂礫層中のTCEの挙動について、分解に着目した移流拡散解析により、分解定数と地下水濃度の関係についての検討を行った。

2. 移流拡散解析の概要

本研究で用いた移流拡散プログラムでは式(1)で示される物質輸送方程式を用いており、分解定数 λ_k については $\lambda_k = \ln 2 / (t_{1/2})_k$ という半減期の考え方を取り入れている。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Phi D_{ij} \frac{\partial C_k^w}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (v_i C_k^w) - \frac{\partial}{\partial t} (\Phi R_k C_k^w) - \Phi R_k \lambda_k C_k^w + \sum_{m=1}^M \Phi \xi_{km} \lambda_m C_m^w = 0 \quad (1)$$

ここに D_{ij} : 分散係数 (cm²/sec)

V_i : 流速 (cm/sec) 浸透流解析からの計算結果

C_k^w : k 種の物質水中濃度 (g/ml等) ξ_{km} : 分解生成物 k へと分解する有機塩素化合物 m の割合

λ_k : k 種の有機塩素化合物の分解定数 (1/sec) Φ : 間隙率

ρ_s : k 種の比重 (単位体積あたりの実質重量) R_k : みかけの遅延係数 $\left(= \frac{1-\Phi}{\Phi} \rho_s K_{dk} + 1 \right)$

M : 分解生成物 k へ分解する有機塩素化合物の数

3. 解析条件

解析を行う領域は図-1に示すように、1000m×500mとし、流速は解析領域の長辺方向への一様流である。また、汚染源は定濃度境界としている。

対象とする物質は、代表的な汚染物質であるTCEを考え、その分解生成物はジクロロエチレン(DCE)としている。これらの物質の微生物による分解に関しては多くの研究者が室内実験等による研究を行っているが、実際の土壌中や地下水での分解速度に関する報告は少ない²⁾。したがって、表-1に示す条件で移流拡散解析を行い、TCEの半減期についてのパラメータスタディを行った。DCEは分解しないものと仮定している。

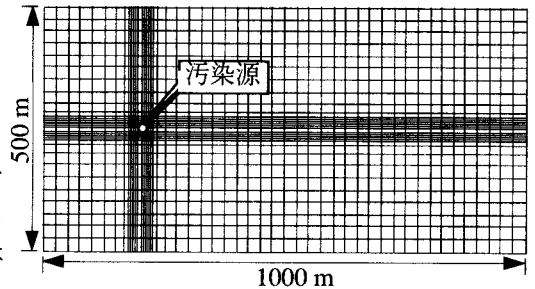


図-1 解析メッシュ図。

表-1 解析条件

条件で移流拡散解析を行い、TCEの半減期についてのパラメータスタディを行った。DCEは分解しないものと仮定している。

流速 (m/Year)	間隙率	有機物含有量	分散係数		分子拡散係数 (m ² /Day)	半減期 t _{1/2} (day)
			D _L (m)	D _T (m)		
10.0	0.30	0.2 %	10.0	1.0	7.28 × 10 ⁵	500~1500

4. 解析結果

解析結果の一例を図-2及び図-3に示す。ここで、 C/C_0 は地下水濃度と汚染源での濃度の比である。図-2は半減期が500日の場合のTCE濃度分布を示している。TCEは時間とともに拡散して行き、20年程度ではほぼ定常状態に達している。ところが、図-3に示すTCEの分解生成物であるDCEの濃度分布は、汚染開始から20年で汚染のフロントが800m以上と、解析領域から大きくはみだしている。このように、分解を考慮した計算では、その分解定数によっても異なるであろうが、分解生成物の濃度がかなり大きなウェイトを占めることが予想できる。したがって、親物質（この場合TCE）のみを考慮した場合では、図-3に示すような分解生成物の挙動を追うことが出来ず、将来の予測を行うに当たって大きな問題になると思われる。

半減期に関してTCEとDCE濃度比の経時変化を整理したものを図-4に示す。図-4は汚染源からの500m下流側へ離れた地点での濃度比を示したものであり、この地点では半減期にかかわらず約20年で定常状態に達している。実際には10年以上前に地下水汚染が始まっていることが多く、今後地下水濃度が急激に増加することは無いと考えられる。また、TCEの半減期が短いほどTCEとDCEの濃度比は高くなり、分解生成物の影響が大きくなっている。実際に対象とする帯水層においてどの程度の分解が生じているか明確ではないが、分解生成物が確認されている場合には、その濃度比から半減期を推定して分解を考慮した移流拡散解析を行うことが望ましいと考えられる。

5. おわりに

今回の解析では、地質・水理構造等を簡単なモデルで置き換えており、単純な濃度分布となっている。実際にはもっと複雑な濃度分布を示すであろう。しかしながら、定性的な傾向は十分捉えていると考えられる。また、現状の汚染状況を把握するための調査に関しては、まだ不十分な点が多く、今後、調査の精度を高めていく取組が要求されるであろう。

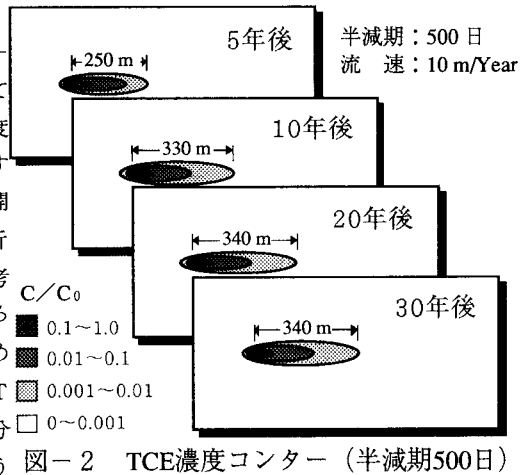


図-2 TCE濃度コンター（半減期500日）

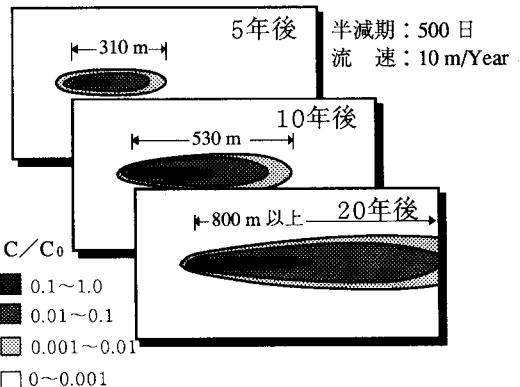


図-3 DCE濃度コンター（半減期500日）

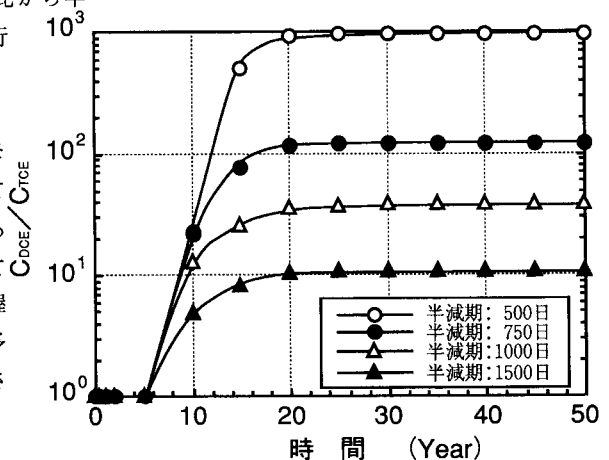


図-4 濃度比の経時変化

【参考文献】

- 1) たとえばP.S.フヤコーン,G.F.ピンダー;地下水解析の基礎と応用(上),pp.183-185,1987.
- 2) 村岡浩爾;最近の地下水汚染について,土木学会論文集第405号/II-11,pp.33-34,1989.