

有機汚染物質(TCE)と有明粘土との相互作用に関する研究

佐賀大学理工学部 正 柴 錦春
佐賀大学理工学部 正 三浦哲彦
佐賀大学理工学部 学 古野 輝

1. はじめに

地盤汚染が社会的な環境問題の一つとなっている。佐賀県内においても有機汚染物質トリクロロエチレン (TCE) 等に汚染された地盤がいくつかある。汚染範囲の予測と汚染地盤の浄化には、汚染物質と土との相互作用メカニズムを明らかにすることが重要である。本研究では、まず TCE に対する有明粘土の吸着特性 (分配係数) を実験により測定した。次に、汚染物質の移流・拡散過程における地盤の吸着特性の影響及び廃棄物質処分場の遮水層の効果について解析によって検討した。

2. バッチコンタクト試験と結果

分配係数は、次に述べるバッチコンタクト試験によって測定した。まずガラス容器 (今回は 1l の瓶) に溶液と試料 (土) を入れ 24 時間攪拌する。攪拌後、土と溶液を分離し、溶液の攪拌前後での濃度変化から吸着量を求める (ASTM D5285 基準¹⁾)。揮発性を有する有機汚染物質に対しては、有機物質の吸着量が極めて小さい珪砂を基準試料として用い、これに対して土試料と同じように攪拌、分離作業を行った。基準試料と土試料の溶液の濃度差をもって土の吸着量と分配係数を計算した。使用した有明粘土は液性限界 $W_L=102\%$ 、塑性限界 $W_P=34.3\%$ であった。また、試料 (土) と溶液の重量比は 1:10 であった。

バッチコンタクト試験から得られた有明粘土の吸着特性を図 1 に示す。TCE の濃度が 40ppm 以下の場合、吸着量が濃度の増加に伴って増加した。濃度が 40ppm より大きくなると、吸着量はあまり変化しない特性を示している。濃度 40ppm 以下の分配係数は $K_d=6 \text{ ml/g}$ である。Acar と Haider²⁾ は、高塑性粘土における TCE の分配係数を $K_d=8.3 \text{ ml/g}$ と報告している。今回の試験結果は Acar と Haider の結果と近いものであった。

3. 吸着性の影響と遮水層効果に関する解析検討

地盤中における汚染物質の移流・拡散に対する地盤吸着特性の影響と埋立地底部の遮水層の効果について、2次元解析によって検討した。仮定した汚染源状況と地盤モデルは次の通りである。

(1) 汚染源。面積 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 、厚さ 5m の埋立地を想定した。汚染源の状態として a) 汚染源の濃度が一定 (大量な汚染物質が含まれた埋立地)、b) 有限汚染源 (汚染溶液深さ 3m に相当する汚染物質) の二つの場合を検討した。有限汚染源の場合、汚染源濃度は時間の経過に伴って変化する。さらに、浸透量計算に当たり埋立地底部に溜まった汚染溶液の深さは 0.5m と仮定した。

(2) 地盤モデル。厚生省が定めた廃棄物最終処分場の設計基準³⁾に基づいて二つの地盤モデルを仮定した (図 2)。モデル I は埋立地の下に厚さ 5m、透水係数 10^{-7} m/sec 、間隙率 0.58 の粘性土 (遮水層) で、その下に地下水層 (砂層) があり、その水頭は埋立地底部に一致する。粘土層の分配係数は本研究の測定値 6 ml/g を使用

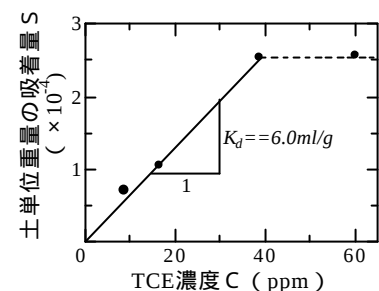


図 1 TCE に対する有明粘土の吸着特性

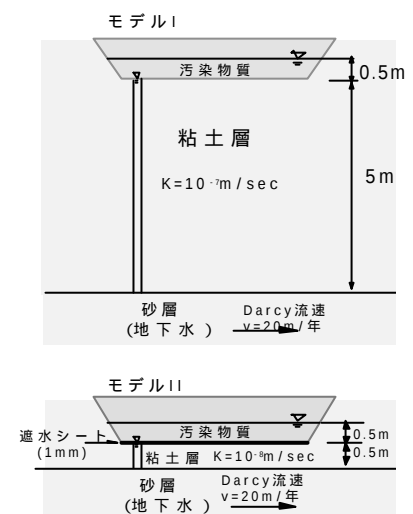


図 2 仮定した地盤モデル

した。TCEの水中の拡散係数 $D_0=9.89 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{sec}$ （温度 25°C ）であるので、地盤中における空隙経路の曲がり程度（Tortuosity Factor） t を0.4とすると、地盤中の有効拡散係数は $D_e=D_0 \cdot t=3.96 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{sec}$ となる。また、地下水のDarcy's速度は $6.34 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ （ $20 \text{ m}/\text{年}$ ）、砂層の拡散係数は $6.34 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ （ $20 \text{ m}^2/\text{年}$ ）、間隙率 n は0.37、汚染物質と混合する砂層厚 3.0 m と仮定した。モデルIIの遮水層は一層の遮水シートと厚さ 0.5 m 、透水係数 10^{-8} m/sec の粘性土からなる。遮水シートの厚さは 1 mm で、拡散係数は $10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}^{4)}$ と採用した。遮水シートの破損率は 10 mm^2 の孔が1ヘクタール当たり5個あると仮定した。

（3）解析とその結果。本研究では、多層地盤準解析理論⁵⁾を用いて、2次元解析を行った。その結果は図3～4に示している。図3のモデルIの場合、吸着なしのケースにおいては濃度比 c/c_0 （ c_0 :汚染源の初期濃度、 c :検討している地点での濃度）がピークになる時期は約12.5年であり、吸着あり（ $K_d=6$ 、遅延係数 $R_d=12.5$ ）のケースでは約150年になる。モデルIIの場合、遮水シートの効果により c/c_0 値は下がったが、吸着の影響については、モデルIと同じ傾向を示している。

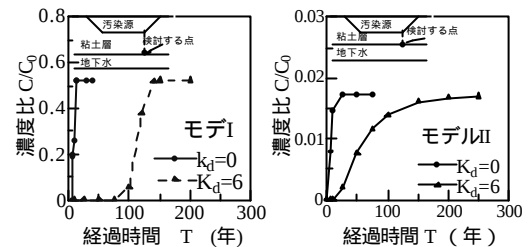


図3 汚染源濃度一定の場合の比較

図4は有限汚染源の場合の比較である。吸着性の影響により c/c_0 のピーク値が小さくなる一方、汚染物質が通過する時間が長くなることが分かる。モデルIIの場合、遮水シートがあるので、吸着性の影響はモデルIより小さい。以上の比較から、地盤の吸着性は汚染物質の拡散過程に大きく影響することが明らかになった。遮水層の設計あるいは汚染範囲の予測において、対象とする汚染物質と土との相互作用を考慮することが重要である。また、

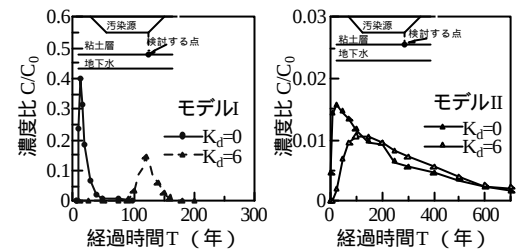


図4 有限汚染源の場合の比較

モデルIとモデルIIとの c/c_0 ピーク値を比べると、モデルIIのピーク c/c_0 値はモデルIの10%以下になることが分かった。地下水中のTCEの環境基準値は 0.03 ppm である。本解析の条件において、 c_0 を 1.5 ppm とすると、図3～4から分かるように、モデルIIでは、検討している地点の最大濃度 c_{max} は 0.03 ppm 以下となり、環境基準値が超えない。しかし、モデルIの場合には、 c_{max} は $0.375 \sim 0.75 \text{ ppm}$ となり、環境基準値を大きく超える。これより汚染物質濃度のピーク値を減少するのに、遮水シートの効果は大きいことが分かる。

4. 結論

(1)土と溶液の重量比1:10のバッチコンタクト試験から、有明粘土におけるTCEの分配係数は、 $K_d=6.0 \text{ ml/g}$ （溶液濃度 40 ppm 以下）と測定された。

(2)仮定した二つのモデル地盤におけるTCEの移流・拡散の2次元解析により、粘土の吸着性は汚染物質の移流・拡散過程に大きく影響していることが明らかとなった。汚染範囲の予測と汚染物処分場の設計において、対象とする汚染物質における地盤の吸着性を直接測定することが重要であることを示した。

(3)モデルIとモデルIIの比較により、遮水シートの効果は大きいことが分かった。厚生省で定めた廃棄物処分場の遮水層の一つ、モデルIの場合も遮水シートを使用すべきであると考える。

謝辞

TCEの濃度分析は（財）九州産業技術センターで行った。富山 裕氏のご支援とご協力に深く感謝致します。

参考文献

- 1) ASTM (American Society of Testing and Materials) standard: D5285 (1992, re-approved 1997).
- 2) Acar, Y. B. and Haider, L. (1990). Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 116, No. 7, pp. 1031-1052.
- 3)一般廃棄物および産業廃棄物の最終処分場に係わる技術上に基準（厚生省令第2号、1998.6改正）.
- 4) Rowe, R. K. (1998). Proc. Sixth Inter. Conf. on Geosynthetics, Atlanta, USA, pp. 27-102.
- 5) Rowe, R. K. and Booker, J. R. (1985). Canadian Geotechnical J., Vol. 22, No. 4, pp. 479-499.