

九州の特殊土における拡散係数の評価

佐賀大学大学院 学生会員○田中健太

佐賀大学低平地防災研究センター F 会員 林 重徳 正会員 日野剛徳

佐賀大学大学院 学生会員 杜 延軍 金原広和 藤本宏一

1. はじめに

著者らは、遮水シートの下層に土層を設けた土質遮閉型埋立処分場の開発を行っており、遮閉土層の材料には九州に分布する特殊土の適用を考えている¹⁾。埋立処分場を設計する場合、地下水が土質遮閉層を通過した浸出水に含んだ汚染物質によりどれくらい影響を受けるか定量的に予測することが重要である。土層に用いる土質材料には透水係数が小さい粘性土が用いられ、その中の動水勾配は無視できるほどである。したがって、汚染物質の輸送は、移流はかなり小さく、拡散輸送に大きく支配される²⁾と考えられている。汚染物質の拡散輸送は、拡散係数および土粒子と汚染物質の相互作用などに依存する。本報では、有明粘土を用いて拡散実験を行い、逆解析により拡散係数を予測した結果を報告する。

2. 実験装置、供試体作製および実験手順

図-1 に実験装置の概略図を示す。シリンダーは溶質を吸着しないようにパイレックスガラスを用いて作製した。セルは4つに分割することができ、供試体の高さや溶液の高さを変えることが可能である。バンドを用いて固定する箇所のガラスの接触部分にはシリコングリスを塗布して、上部の溶液の漏れを防いだ。供試体は、佐賀県江北町から採取した自然含水比 $w_n=153\%$ の有明粘土を 520g シリンダー内の側壁によく密着するように入れ、圧力 2.94kPa で一次圧密が終了するまで圧密して作製した。この実験は、供試体の飽和度が結果に大きな影響を与えるので飽和度を 100% に近づけることが重要である。圧密終了後、整形し削りくずから含水比および供試体の質量を調べた。供試体の諸特性を表-1 に示す。

次に、供試体の上部に設定濃度 1000mg/L の KCl 溶液を入れ、実験中は、溶液中の濃度勾配をなくすため 6rpm で攪拌棒を回転させた。溶媒の蒸発防止のため、溶液取り出し口および攪拌棒とシリンダーとの間に密閉処理を施した。そして、1 日ごとに上部溶液から溶液の高さの変化を無視できるように溶液を 0.5mL ずつ採取し、その陽イオン濃度を原子吸光測定装置 (HITACHI Z-6000) を用いて測定した。実験は室内温度 25℃ で計 6 日間継続した。今回は、供試体の深さ 5cm、溶液の高さ 10.1cm に設定した。

3. 実験結果および拡散係数の予測

土粒子の吸着能力を評価するために、バッチ試験を行い、吸着等温線を Freundlich 型モデルにより求め、吸着定数 K_f 、 n を求めた。バッチ試験の詳細は、参考文献 3) を参照された。バッチ試験により求めた K_f に対する吸着定数はそれぞれ $K_f=0.077$ 、 $n=0.659$ である。これらから拡散係数を逆解析するために必要な分配係数 K_p を設定擦る必要がある。吸着量 S と

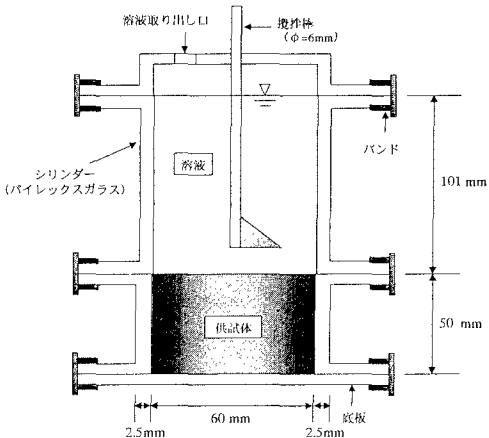


図-1 実験装置の概略図

表-1 供試体の諸特性

試料土	有明粘土
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.616
粘土分 (<74 μ m) (%)	85
含水比 w (%)	115.7
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.63
間隙比 e	3.18
間隙率 n (%)	0.76
飽和度 S_r (%)	95.1
体積含水比 θ	0.72
透水係数 k (cm/s) *	6.23×10^{-8}
CEC (meq/100g)	36.0
pH at 1:3 soil:solution	8.0

* 透水係数は、圧密試験より求めた。

平衡濃度 C_e の関係が線形であるとき、その傾きを分配係数 K_d として得られる。ただし、 S と C_e との線形関係は濃度が低い範囲では得られるが濃度が、高くなると非線形となる。 K_p の概念を図-2 に示す。分配係数 K_p は次式のように表される。

$$K_p = \frac{\partial S}{\partial C_e} = K_f \cdot C_e^{n-1} \quad (1)$$

ここで、 K_p : 分配係数 (partition coefficient), C_e : ある濃度に定められた平衡濃度

K_d は一定値を与えるのに対して、 K_p は式 (1) からわかるようには平衡濃度の関数であり、様々な値を取ることになる。そこで、今回は Shackleford (1989) が提案している式 (2) を用いて K_p を設定した⁴⁾。

$$K_p = \frac{\partial S}{\partial C_e} = K_f \cdot C_0^{n-1} \quad (2)$$

ここで、 C_0 : 拡散実験に用いる溶液の初期濃度

実験結果を縦軸に溶液中の K⁺ 濃度、横軸に経過時間を図-3 に示す。逆解析には、Rowe ら (1994) により開発された POLLUTE-v6⁵⁾ を用いた。このプログラムは最も理論曲線が実測値に適合するように拡散係数を変えることにより、拡散係数を予測することが可能である。 $K_p=7.4$ (mL/g)、拡散係数 $D_e=1.4 \times 10^{-9}$ (m²/s) と予測された。また、土中における拡散係数と自由溶液中における拡散係数の関係は次式で表される。

$$D_e = \tau D_0 \quad (3)$$

ここで、 τ : 物理-化学的な流路曲折比 (tortuosity factor), D_0 : 無限希釈溶液の拡散係数⁶⁾

τ は実験的に定められ、溶質が土中を拡散移動することによる移動距離の増加などのために $D_e < D_0$ となり、 $\tau < 1$ となる。本実験では、 $\tau=0.71$ と求められる。Rowe ら (1989) は粘性水礫土を用いて実験を行い、 $D_e=6.3 \times 10^{-10}$ (m²/s) と予測している⁷⁾。この違いは、 $\theta=0.39$ に対して今回作製した供試体は $\theta=0.72$ と大きい点が、最も影響していると考えられる。これは、間隙水が占める体積が大きいことを表し、K⁺ が間隙水中を拡散することが容易になる。よって、さらに間隙を小さくし体積含水比を小さくすれば、拡散係数は小さくできると考えられる。

4. おわりに

本報では、有明粘土についての拡散実験並びに逆解析による拡散係数の予測のみを述べた。当日、九州の特殊土である灰土や赤ぼくを用いて行った結果も報告する予定である。

【謝辞】 溶液の濃度測定を行うにあたり、(財)九州産業技術センターには多大な協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

【参考文献】 1) 田中健太他：九州の特殊土の吸着等温線に関する基礎的検討，第 34 回地盤工学研究発表会講演集，pp.1337-1338，1999. 2) Barone et al. : Effect of multiple contaminant migration on diffusion and adsorption of some domestic waste contaminants in a natural clayey soil. Can. Geotech. J., 26, pp.189-198, 1989. 3) 藤本宏一他：土質遮閉層に用いる九州の特殊土の吸着特性，平成 11 年度土木学会西部支部（投稿中） 4) Shackleford, C.D et al. : Diffusion of inorganic chemical species in compacted clay soil. J. Contaminant Hydrology, 4(3), pp.241-273, 1989. 5) Rowe, R.K., and Booker, J.R. : POLLUTE-v6. A program for modelling pollutant migration through soil, Geotech. Ctr., Univ. of Western Ontario, London, Canada, 1994. 6) Yong, R.N., Mohamed, A.M.O., and Warkentin, B.P.著，福江正治他訳：地盤と地下水汚染の原理，東海出版会，241p, 1995. 7) Rowe, R.K. et al. : Laboratory determination of diffusion and distribution coefficients of contaminants using undisturbed clayey soil, Can. Geotech. J., 25, pp.108-118, 1989.

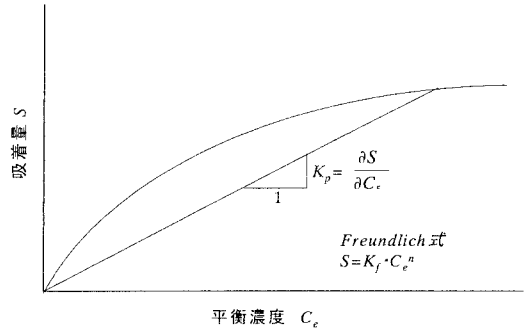


図-2 分配係数 K_p の概念図

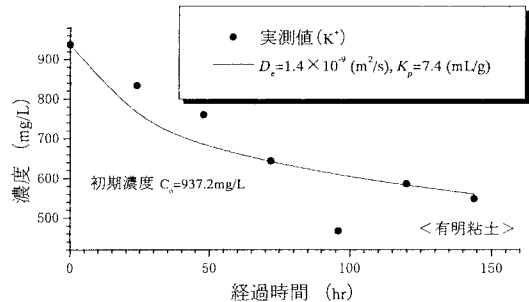


図-3 溶液の濃度と経過時間の関係