

土質遮閉型埋立処分場に用いる土質材料の吸着および拡散に関する研究

佐賀大学 理工学部

佐賀大学 低平地防災研究センター

佐賀大学 低平地防災研究センター

佐賀大学 大学院

学生員 ○佐々木 綾

F 会員 林 重徳

正会員 日野 剛徳

学生員 杜 延軍

1. はじめに

本研究センターでは、遮水シートの下層に汚染物質を吸着する土層を設けた土質遮閉型埋立処分場システムの開発を行っており、九州の特殊土を用いたこれまでの実験によって有明粘土が土質遮閉層として有望であるデータを得ている。本報では、汚染物質の拡散輸送に関するパラメータを予測および評価するために、模擬汚染物質を用いてバッチ試験を行い有明粘土の吸着能力を検討するとともに、拡散実験の結果を逆解析して拡散係数 D_e を予測する。

2. 実験方法

2.1 バッチ試験

バッチ試験は、ASTM D4646-87 に準拠して行った。模擬汚染物質の濃度段階は、200,400,600,800,1000, mg/L の 5 段階でおこなった。試験によって得られた供試液の陽イオン濃度を、原子吸光分析装置を用いて測定する。バッチ試験の内容については、参考文献¹⁾を参照されたい。

2.2 拡散実験

自然含水比の有明粘土 360g を圧力 $\sigma = 3.47\text{kPa}$ で一次圧密が終了するまで圧密して供試体を作製し、長さ 10.1cm のシリンダーをバンドにより固定する。図-1 に拡散実験装置の概略図を、表-1 に作製した供試体の諸特性を示す。

次に、陽イオンの濃度が 1000mg/L の溶液を供試体の表面が乱れないよう注意している。攪拌棒をセットしたシリンダー上部を取りつける。溶液の蒸発を防ぐために溶液取り出し口にビニールテープを貼り、攪拌棒とふたの隙間をシリコングリスで塞ぐ。その後、溶液内の濃度勾配をなくすためにかき混ぜ棒を 6rpm で回転させる。サンプルの採取は、溶液の高さの変化を無視できるように 0.5ml ずつ 2 日おきに行う。採取したサンプルを蒸留水により 20ml に希釈する。実験終了となる 2 週間後、供試体を 1cm 間隔で分割し、各層の含水比を測る。また、各層の間隙水の濃度サンプルも採取する。採取したサンプルの陽イオン濃度は、バッチ試験と同様に、原子吸光分析装置で測定する。

3. 実験結果の整理と考察

バッチ試験の結果から吸着等温線が得られ、これから吸着定数を算定する。土 1g あたりの吸着量 S は (1) 式で表される。

$$S=(C_0-C_e)V_{sol}/M_s \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 S : 吸着量 (mg/g) C_0 : 初期濃度 (mg/L)

C_e : 平衡濃度 (mg/L) V_{sol} : 吸着質溶液の体積 (L)

M_s : 試料土の乾燥質量 (g)

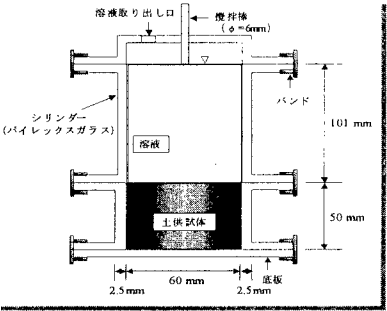


図-1 拡散実験装置

表-1 拡散実験に使用した供試体の諸特性

試料土	有明粘土
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.616
粘土分 (<5 μ m) (%)	85
自然含水比, w_n (%)	153
乾燥密度, ρ_d (g/c m ³)	0.65
間隙比, e	3.05
間隙率, n (%)	0.75
飽和土, S_r (%)	96.3
体積含水比, $\theta = nS_r$	0.725
透水係数, k (cm/s)	6.2×10^{-8}
¹ CEC (meq/100g)	36.0
pH at 1:3 soil:solution	8.0
液性指数 w_L (%)	116
塑性指数 I_p	66
粘土鉱物	
smectite	40
illite	34
kaolinite	22
vermiculite	4
交換性陽イオン (meq/100g)	
Na ⁺	14.4
K ⁺	7.49
Ca ²⁺	4.05

¹ CEC...陽イオン交換容量

吸着モデルには、主に線形吸着モデル、Freundlich モデル、Langmuir モデルがあるが、今回はバッチ試験結果に最も適合した、Freundlich 型吸着等温線を用いた。Freundlich 式は (2) 式で表される。

$$S=K_f \cdot C^n \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 K_f, n : 吸着定数 (バッチ試験から求まる)

次に、拡散実験の結果を逆解析して拡散係数を予測する。ここで、汚染物質の土粒子への吸着を考慮した場合の、遅延係数 R_d は (3) 式で表される。

$$R_d \frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 R_d : 遅延係数 D_e : 分散係数 t : 時間
 C : 間隙中の対象としている物質の濃度

$$R_d = 1 + \frac{\rho_d}{\theta} K_p \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 ρ_d : 乾燥密度 K_p : 分配係数 θ : 体積含水比

また、分配係数 K_p は、(5) の式で表される。吸着等温線が非線型の場合、分配係数は平衡濃度の関数となり、一定の値をとらない。しかし、今回用いている POLLUTEV6.3 は、分配係数が一定の値でなければ解析できないため、分配係数を一定の値に表す必要がある。

$$K_p=K_f \cdot C^{n-1} \quad \dots \dots \dots (5)$$

図-2 において K^+ に対する吸着特性について見ると、吸着能力が認められる。 Na^+ について見ると、間隙水中に含まれる Na^+ が多いために平衡濃度が初期濃度よりも高くなるので、吸着量が負の値を示す結果となった。 Ca^{2+} について見ると、陽イオン置換能力は $Ca^{2+} > K^+$ であるのに、有明粘土では Ca^{2+} よりも K^+ の吸着量のほうが高くなっている。これは、 $CaCl_2$ 溶液を用いてバッチ試験を行っている間、有明粘土の間隙水の中には HCO_3^- イオンが存在し、また溶液の中に溶けている CO_2 が原因で HCO_3^- イオンが形成されるので、 Ca^{2+} は HCO_3^- と結びつき $Ca(HCO_3)_2$ イオンを形成する。 $Ca(HCO_3)_2$ イオンは K^+ よりもイオンサイズが大きい。従って、 Ca^{2+} の吸着量が K^+ よりも小さくなっているものと考えられる。

次に、図-3 において拡散実験の結果を見ると、時間が経つにつれて混合溶液中の K^+ の濃度が小さくなっている。POLLUTEV6.3 を用いて、図-3 から拡散係数を求めた。図-4 到有明粘土供試体内の間隙水濃度分布を示す。図-4 を見ると、実測値と予測値がほぼ一致している。

【参考文献】 1) 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 2) Rao,P.S.C.:Pore geometry effects on solute dispersion in aggregated soils and evaluation of a predictive model. Thesis provided to the University of Hawaii, in partial fulfillment of requirements for the degree of Doctor of Philosophy. 1974. 3) Batch- type adsorption procedures for estimating soil attenuation of chemicals. EPA/530-SW-006 : Draft Tech. Resour. Document for Public Comment (NTIS PB87-146-155). U.S. Envir. Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

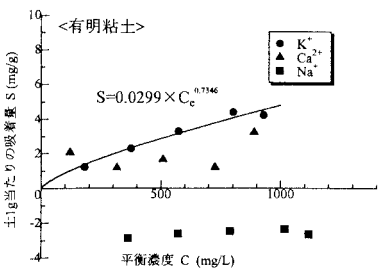


図-2 混合溶液による吸着等温線

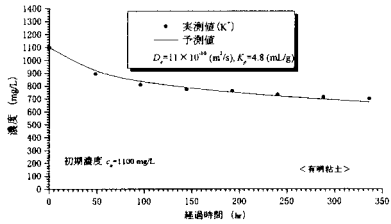


図-3 拡散実験結果

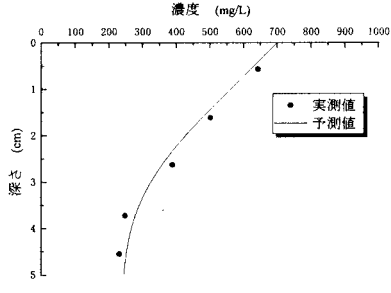


図-4 間隙水濃度