

# In-diffusion 法による豊浦砂混合 NSF 粘土の分子拡散係数 $D_d^*$ の測定

岩手大学 学生会員 ○佐々木智弘  
岩手大学 正会員 大河原文  
北海道大学大学院 フェロー 三田地利之  
北海道大学大学院 正会員 S.B.tamrakar  
北海道大学 学生会員 岡崎 孝輔

## 1. はじめに

土壌地下水汚染において、汚染範囲の拡大予測は浄化など汚染対策の設計精度に直接関わる重要事項である。汚染土壌の拡大予測には、通常、数値解析によるシミュレーションが行われ、六価クロムや鉛といった水溶性汚染物質の場合、移流分散方程式が用いられる。この方程式に代入される種々のパラメータのうち、分子拡散係数  $D_d^*$  は、粘土地盤の主要な移動現象を支配する重要なパラメータである。 $D_d^*$  は、分子のブラウン運動による拡散の程度を表し、従来の研究では pure な粘土を対象に測定されてきた。実地盤を想定するにあたり、砂分を含む粘性土の測定が不可欠であることから、本研究では、新たに粘性土用の分子拡散用セルを作製し、In-diffusion 法により粘土に豊浦砂を混合した粘性土の分子拡散係数  $D_d^*$  を測定した。

## 2. 試料および実験方法

試料には NSF 粘土 (カナヤ興産) と豊浦標準砂 (豊浦硅石鉱業株式会社) を質量比 4 : 6 で混合したものをを用いた。トレーサーには、非吸着性の塩化物イオン ( $Cl^-$ ) 濃度 1 mol/l を用いた。

In-diffusion 法とは、濃度の異なる 2 種類のトレーサーで飽和した試料を接触させ、所定の期間静置することで分子拡散のみによる物質の移動を再現する実験手法である。図-1 は試料を飽和させるためのアクリル製のセルで、試料充填部のサイズは直径 5cm、長さ 5cm、両端に試料漏出防止のメタルフィルターが付いている。図-3 はこのセルを 2 個接触させた拡散実験用セルである。両端は閉じられており外部との接触はない。



図-1 試料飽和用セル

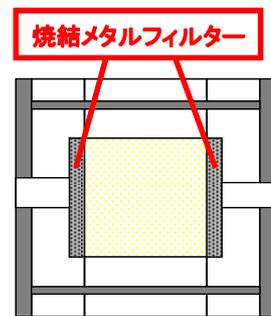


図-2 試料飽和用セル模式図



図-3 分子拡散用セル

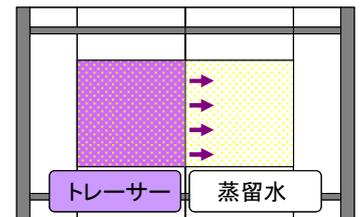


図-4 分子拡散用セル模式図

### <実験手順>

- ① 試料を試料飽和用セルに乾燥密度  $1.50g/cm^3$  で締固める。
- ② 試料を詰めた飽和用セル (2つ) を、蒸留水のみ、トレーサー溶液中加入し、真空ポンプで脱気する。
- ③ 2つのセルを接触させ、 $25^\circ C$  に保たれた温冷庫に所定時間静置する。
- ④ 所定時間後にセルを解体し、試料押し出し治具 (図-5) により 5 mm ずつ押し出し、釣糸で切断する。
- ⑤ 試料片をビーカーに入れ、蒸留水を 200ml 注いで攪拌する。超音波洗浄器にて分散させた後、ビーカー内の溶液を遠心分離し、上澄みを採取する。



図-5 試料押し出し治具

- ⑥採取された溶液の塩化物イオン濃度をマルチ水質計（東亜 DDK 社製 MM-60R+塩化物イオン電極）にて測定する（図-6）。
- ⑦測定結果から相対濃度を算出し，測定位置ごとの相対濃度をグラフにプロットする。
- ⑧相対濃度  $C_e=0.5$  の時の測定位置  $x$ [cm]，供試体の全長  $l$ [cm]，遅延係数  $R(R=1)$ ，実験時間  $t$ [s]を下式に代入し，分子拡散係数  $D_a^*$ を算出する。



図-6 マルチ水質計と塩化物イオン電極

### 分子拡散係数算出式

$$C_e = \frac{1}{2} - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{4 \sim 6} \frac{1}{2n-1} (-1)^{n-1} \cos \frac{(2n-1)\pi x}{l} \exp \left\{ - \left[ (2n-1) \frac{\pi}{l} \right]^2 \frac{D_a^*}{1} t \right\}$$

$C_e$  : 相対濃度[-]， $x$  : 測定位置[cm]， $l$  : 供試体の全長[cm]， $R$  : 遅延係数 ( $R=1$ )， $t$  : 実験時間[s]，  
 $D_a^*$  : 分子拡散係数[cm<sup>2</sup>/s]

### 3. 実験結果及び考察

拡散時間 1.2 時間，22 時間，64 時間の実験結果を図-7 に示す。理想的な曲線は，左右対称かつトレーサー側（左端）の相対濃度  $C$  が 1.0，拡散してくる側（右端）の相対濃度  $C$  がほぼゼロとなるが，いずれも左右非対称で，とくに拡散時間の短い 1.2 時間，22 時間が顕著である。これはトレーサーの塩化物イオン濃度が 1 mol/l と高濃度のため，拡散される側との濃度差が大きくなりすぎていることが原因と考えられる。トレーサー濃度を下げる必要がある。

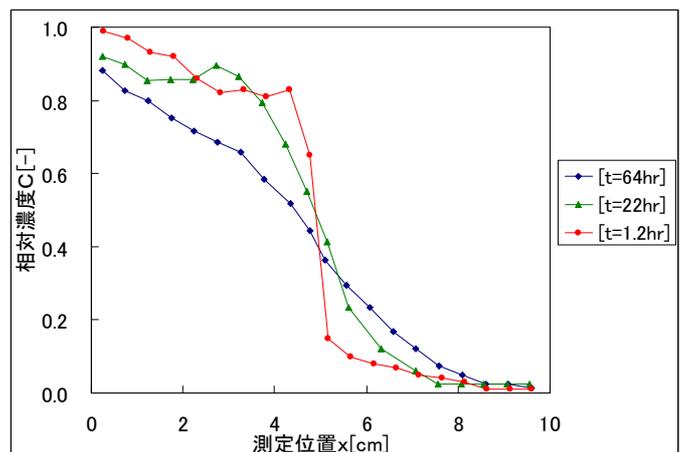


図-7 測定位置－相対濃度関係

各実験時間のデータを分子拡散係数算出式に代入したところ， $D_a^*=8.19 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$  (1.2 時間)， $D_a^*=4.38$

$\times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$  (22 時間)， $D_a^*=1.56 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$  (64 時間) が得られた。それぞれの分子拡散係数  $D_a^*$  が 25°C 水中での分子拡散係数  $D_a^*$  ( $2.03 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}^{1)}$  に比べ非常に大きい値をとった。水中に比べ試料中の拡散速度は遅いはずで，原因について今後の検討が必要である。

### 4. まとめ

新たに作製した分子拡散用セルを用いて，In-diffusion 法による豊浦砂混合 NSF 粘土内の塩化物イオン拡散現象を測定位置－相対濃度関係の曲線により表すことができた。

### <参考文献>

- 1) 社団法人地盤工学会：土壌・地下水汚染の調査・予測・対策，p222