

II-457

吸着等温線のモデル化が破過曲線に及ぼす影響

岐阜大学工学部 学生員 ○棚橋秀行

岐阜大学工学部 正会員 佐藤 健

1. はじめに

地盤内の汚染物質の挙動解明のために、カラム試験がよく行われている。本研究は、カラム試験の際に得られる、破過曲線上に現れるtailingを再現するモデルのひとつである、Two-Regionモデル¹⁾に着目し、吸着等温線のモデル化の違いが破過曲線の計算結果に及ぼす影響について検討した。

2. Two-Regionモデル

(1)(2)式がTwo-Regionモデルの基本式である。

$$(\theta_m + f\rho kd) \frac{\partial C_m}{\partial t} + [\theta_{im} + (1-f)\rho kd] \frac{\partial C_{im}}{\partial t} \quad (1)$$

$$= \theta_m D \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - \theta_m v_m \frac{\partial C_m}{\partial z}$$

$$[\theta_{im} + (1-f)\rho kd] \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \alpha (C_m - C_{im}) \quad (2)$$

ここで、m:mobile, im:immobile, C:液相濃度,
 θ :体積含水率, α :物質移動係数, v_m :可動水の平均実流速($=q/\theta_m$), ρ :土の見かけ密度, f :可動水に接している部分の土の体積分率, kd :分配係数, t :時間,
 z :距離, D :分散係数。

このモデルの特徴は、カラム試験の際に現れる破過曲線のtailingを可動水と不動水の間の物質移動に要する時間から説明しようとしている点である。吸着反応は瞬時に平衡が成立するものとしている。

3. 実験とパラメータの決定

土試料として豊浦標準砂(粒径110~450 μ m, $\rho=1.55$ g/cm³), 汚染水としてNH₄Cl水溶液(100mg-N/l)を用いて空気吸引カラム試験²⁾を行い、Cl⁻(非吸着性物質、図-3,4の白丸)とNH₄⁺(吸着性物質、図-3,4の黒丸)の破過曲線を記録した。さらに、吸着等温線を求めるためにNH₄⁺の抽出実験を別途行い、最終平衡時における平衡濃度と吸着量の関係を実測した(図-1,2)。

本研究では、不動水の量を残存飽和度($S_r=13.3\%$)として決定した。また、分散係数($D=0.4$ (cm²/min))、物

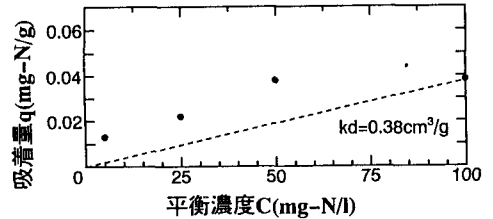


図-1 モデルA (ヘンリー型線形吸着)

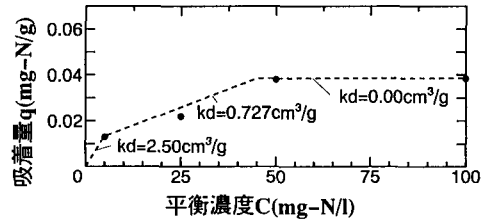


図-2 モデルB (3つの直線に近似)

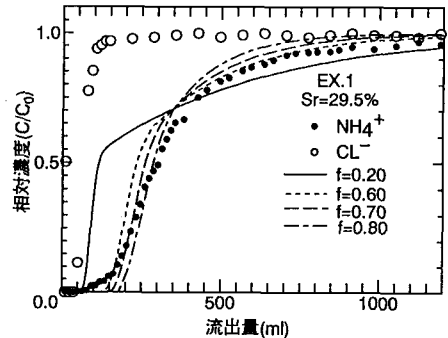


図-3 破過曲線:(モデルA)

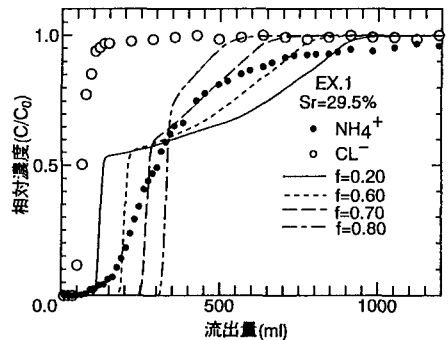


図-4 破過曲線:(モデルB)

質移動係数(α)=0.002(1/min)を非吸着性物質 Cl^- の破過曲線に対するfittingから決定した。これらのパラメータは吸着性物質 NH_4^+ の破過曲線の計算にも共通して用いた。 NH_4^+ の破過曲線を計算するには、このほかに k_d (分配係数)と f (可動水に接している部分の土の体積分率)が必要である。

4. 吸着等温線のモデル化と破過曲線の計算

抽出実験から求めた平衡濃度と吸着量の関係から、2通りの吸着等温線をモデル化し、 k_d (分配係数)を決定した。図-1はヘンリー型線形吸着とした場合、図-2は3つの直線に近似した場合である。それぞれの吸着等温線を用いて計算した NH_4^+ の破過曲線を図-3、図-4に示した。 f (可動水に接している部分の土の体積分率)の決定方法がまだ確立されていないので、 f の値の変化に対する破過曲線の変動も記載した。

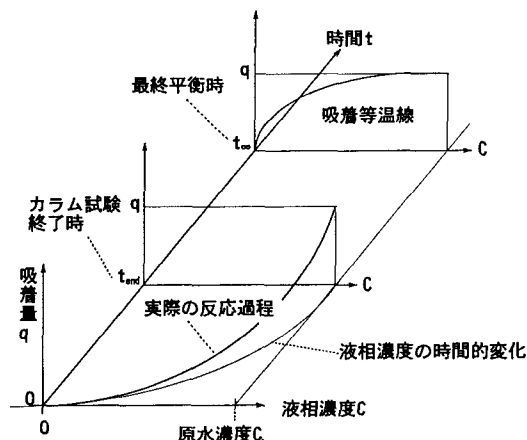


図-5 吸着等温線と実際の反応過程

5. 考察

平衡濃度と吸着量の関係を単純な線形としたモデルA(図-1)を用いて計算した破過曲線(図-3)のほうが、実際の平衡濃度と吸着量の関係に近いモデルB(図-2)を用いて計算した破過曲線(図-4)で計算した破過曲線よりも実測破過曲線に現れたtailingを良く再現している。この原因として、 NH_4^+ の破過曲線に現れたtailingが、物質移動によるものではなく反応時間によるものであることが考えられる。もしも実際の反応過程が例えばモデルBの吸着等温線上をたどってくるなら、液相濃度100.0mg-N/l付近ではもはや吸着反応は起きていないため、破過曲線は速やかに相対濃度1.0になるはずである。それが実際にはtailingするということは、液相濃度100.0mg-N/l付近でもまだ反応が行われているということである。同じ砂層中を流れた Cl^- の破過曲線がそれほどtailingしていないことからみても、 NH_4^+ の破過曲線に現れたtailingは、物質移動によるものではなく反応時間によるものであると考えられる。このことは本実験の流速(ダルシー流速0.0708cm/min)が比較的大きかったために起こったものと考えられる。吸着等温線に示されているラインは、最終平衡状態であって、いつでも液相濃度と吸着量の関係がこの線上にあるわけではない。ある程度の時間後の、液相濃度と吸着量の最終平衡状態を示すのが吸着等温線である(図-5)。おそらく、本実験における実際の反応過程は図-5に示したようになっていいるものと予想される。モデルBのように、最終平衡状態に忠実に液相濃度100.0mg-N/l付近で吸着反応を頭打ちにしてモデル化したことは、むしろ土中の実際の反応過程を再現していないと考えられる。

6. まとめ

物質移動から破過曲線のtailingを説明するTwo-Regionモデルに着目し、吸着等温線のモデル化の違いが破過曲線の計算結果に及ぼす影響を検討した結果から、物質移動係数を非吸着性物質に対して決定した際には、吸着反応時間を考慮しないとtailingが正確には説明できないことを明らかにした。

【参考文献】

- 1) M. Th. Van Genuchten and P. J. Wierenga: Mass transfer studies in sorbing porous media, I. Analytical solutions, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 40, pp. 473~480, 1976.
- 2) 山田賢吾・棚橋秀行・佐藤健: 不飽和帯における水分移動と溶質の挙動について, 平成5年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集Ⅲ-30, pp. 385-386, 1994.