

鉛直飽和カラムを用いた土の吸着実験

岐阜大学工学部 学生員 棚橋 秀行 ○小島 淳一
岐阜大学工学部 正 員 佐藤 健 湯浅 晶

1. はじめに

地上での農業散布等に起因する地下水汚染の事例が各地で報告され、大きな社会問題となっている。こうした地上での人間活動に伴う地下水汚染問題を解決するには、汚染物質の土壤中における挙動を解明する事も重要であると考え、地盤中の汚染物質の挙動及び吸着現象を砂層カラムによる室内実験と実験結果の解析から考察した。

2. 実験

豊浦砂（粒径0.11～0.42mm）を $\rho_s 1.55\text{g/cm}^3$ で充填した飽和砂カラム（直径3cm、長さ20cm）の上部に、汚染物質として NH_4Cl 溶液を、濃度を変えて散水した。 NH_4Cl は、水中で、土への吸着性をもつ NH_4^+ と、もたない Cl^- になることが知られており、カラム下端から流出する溶液をフラクションコレクターで一定時間毎採取し、それぞれの濃度変化を調べた。実験装置をFig. 1、破過曲線をFig. 2に示した。流出濃度が流入濃度と等しくなったところでカラムを解体し、砂への NH_4^+ の吸着量（Fig. 3の■点）を脱離実験によって調べ吸着等温線を描いた。Fig. 3には Cl^- と NH_4^+ の破過曲線の面積差から求めた吸着量（●点）も併記した。

同様の実験を100cmのカラムで行い、途中から散水する溶液を水道水（残留塩素を除いたもの）に変えてみた。その際の破過曲線をFig. 4に示した。

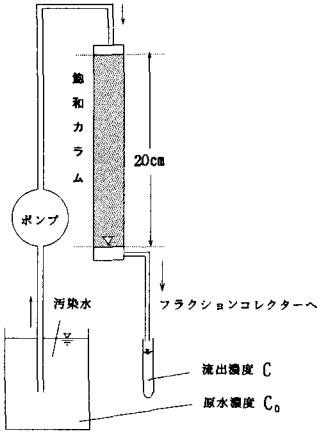


Fig. 1 飽和カラム実験

3. 考察

実験結果を従来の解析法を用いて検討した。飽和カラム実験の解析に用いられるのは、(1)式の1次元拡散方程式に吸着の効果を考慮したものである。

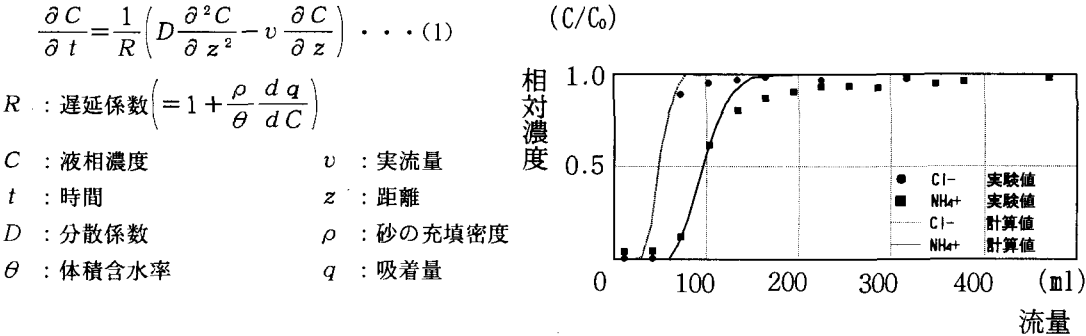


Fig. 2 破過曲線（濃度100ppm）

一般に $\frac{dq}{dC} = Kd = \text{const}$ とする。 Kd は分配係数である。(1)式の解析解は、(2)式になることが知られている。

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{z - v \frac{t}{R}}{2 \sqrt{D \frac{t}{R}}} \right) \cdots (2)$$

この式を用いて算出した実験条件に対応する際の破過曲線はFig.2に示した。(ここではFig.3の面積による吸着量から $Kd = 0.25 \text{ cm}^2/\text{g}$ とした。)

ところで、Fig.3で脱離実験で求めた吸着量が、すべての濃度で面積から算出した吸着量を上回っている。脱離実験は、CEC測定の際に用いられるショーレンベルガー法を応用したものであるが、間隙中のエタノールが完全に除去できていないのが原因であると考えられる。

Fig.4を見ると、①吸着側と脱離側が対称になっていないこと、②脱離側では流出濃度が0になるのに時間がかかること、がわかる。このような破過曲線は(2)式では再現できない。原因として、吸着と脱離では反応速度が違うことや、間隙に残った NH_4^+ が、流出するには時間がかかることなどが考えられ、こうしたことを考慮に入れた新たな解析法が必要である。

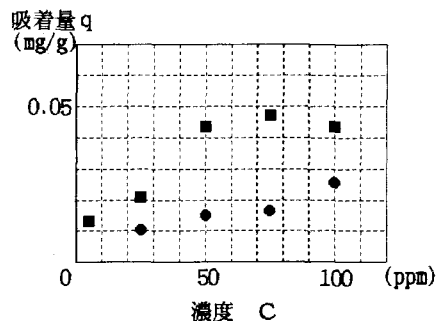


Fig.3 吸着等温線

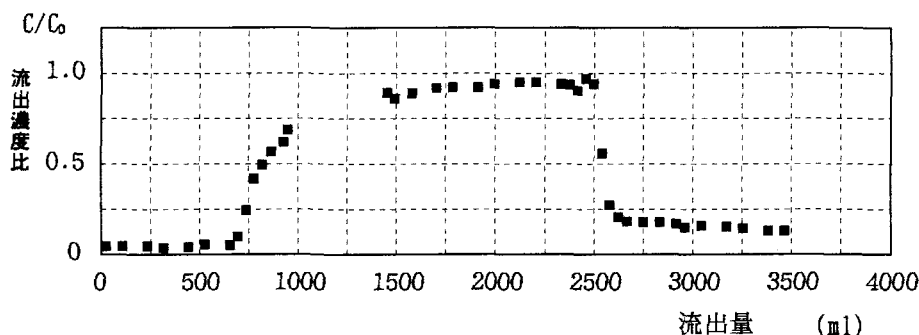


Fig.4 破過曲線 (濃度100ppm)

4. まとめ

- ・一次元拡散方程式による計算では、反応速度を考慮していないが、これでも飽和カラム実験の破過曲線(吸着側)は、十分な精度で説明できる。
- ・破過曲線の脱離側は、上記のような一次元拡散方程式によってうまく説明できない。
- ・脱離実験によって算出した吸着量は、間隙に残留した NH_4^+ のために、破過曲線の面積から算出した吸着量を上回る。
- ・本研究の濃度範囲では、吸着等温線を直線とする Kd モデルで、十分説明できるが、更に高濃度では、豊浦砂は吸着量が頭打ちになるので、 Kd モデルで説明できるかどうかは検討中である。

吸着側についての定量化は一般的な取扱いがほぼ定着している。地下水汚染の回復には脱離の定量化も必要となるが、この過程の定量化については、まだ明確な取扱いはない。その原因は、計算が煩雑であったり、化学的に細かい議論になったりする点が挙げられる。Fig.4に見られたような破過曲線の脱離側の形は tailing と呼ばれるものであり、不飽和カラム実験の際に、議論されるものである。しかしこのように飽和カラム実験でも現れることについてはあまり触れられていない。