

II-471 砂による Sr^{2+} イオンの吸着特性 ーバッチ法とカラム法の比較ー

電力中央研究所 正員 五十嵐敏文
正員 河西 基
正員 馬原保典

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物の陸地処分時安全評価に際しては、帯水層を構成する主要地盤材料である砂の核種吸着特性を把握することが重要である。本報では、非放射性 Sr を被吸着質として、バッチ法とカラム法によって砂の吸着特性を実験的に検討した。

2. 実験方法

実験は所定濃度の Sr あるいは $\text{Sr} \cdot \text{Ca}$ 混合溶液に一定量の砂（5～50 g/l）を加え、約1日振とう混合した後の液相中 Sr 、 Ca の濃度変化から吸着量を求めるバッチ法、および図1に示す飽和砂層カラム（ $\phi 16 \text{ mm} \times h 100 \text{ mm}$ ）によって Sr 、 Ca 等の流出曲線を求めるカラム法を併用した。なお、吸着剤として用いた砂（豊浦標準砂）は粒径を0.15～0.30 mmに調整したもので、比重2.62、交換性 Ca 0.71 meq/100 g、交換性 Mg 0.12 meq/100 g で吸着座の大部分は Ca 、 Mg で占められている。

3. バッチ試験結果

3.1 Sr 吸着等温線に及ぼす固液比の影響 図2は、固液比（砂添加率）をパラメータとした Sr 単成分系の吸着等温線である。なお、 Sr 初期濃度は1, 2, 5, 10 mg/lとした。この図から Sr 吸着等温線は固液比によって大きく異なり、固液比の増加とともに吸着量が減少することがわかる。

3.2 Sr 吸着等温線に及ぼす共存 Ca の影響 図3は、共存初期 Ca 濃度をパラメータとした Sr の吸着等温線である。この図から共存 Ca 濃度の増加とともに Sr 吸着量が減少することがわかる。一方、液相中 Ca 濃度は、条件によって異なり増加する場合と減少する場合があった。

3.3 $\text{Sr}-\text{Ca}$ 交換等温線 3.1, 3.2より Sr 吸着量は固液比および共存 Ca 濃度によって異なることがわかった。しかし、 Sr の分配係数を縦軸に、 Ca の分配係数を横軸とした $\text{Sr}-\text{Ca}$ 交換等温線（図4）を描くと、固液比および Ca 濃度に依存しない傾きが1の直線となった。このことから、 Sr の吸着は、砂表面の Ca とのイオン交換反応に起因し、 Sr の分配係数と Ca の分配係数とが1対1に対応することがわかる。図4では、 Sr の Ca に対する選択係数は

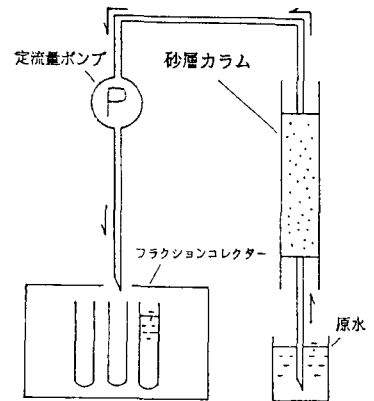


図1 カラム試験装置

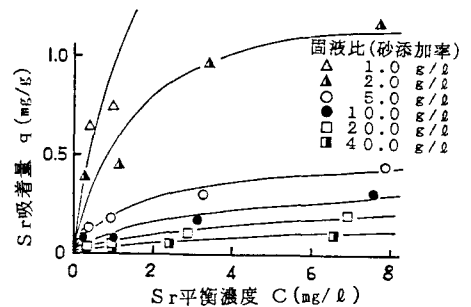


図2 Sr 吸着等温線に及ぼす固液比の影響 ($\text{Sr} \cdot \text{砂系}$, $\text{pH} 6.5 \sim 7.8$)

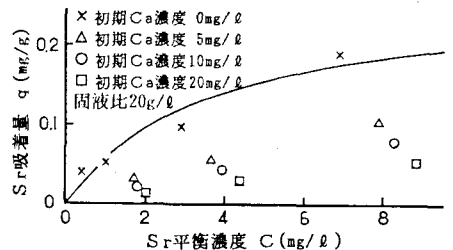


図3 Sr 吸着等温線に及ぼす共存 Ca の影響 ($\text{Sr} \cdot \text{Ca} \cdot \text{砂系}$, $\text{pH} 6.5 \sim 7.8$)

0.9程度の値を示す。

4. カラム試験

4.1 Sr, Ca, Mg 流出曲線 図5は、流入原水としてSr・Ca混合溶液を用いたときのSr, Ca, Mgの流出曲線である。なお、Srが十分破過した流出量1100mlで流入原水としてSrを含まないCa溶液にとりかえ、Srの脱離試験も行った。この図からSrの破過に先立ち、Ca, Mg流出濃度が増加し、Srの破過開始とともに遅減することがわかる。またSr吸着量とCa, Mg脱離量とを比較すると、両者の値がほぼ一致することから、Srの吸着は砂表面のCa, Mgとのイオン交換反応に起因することが確かめられた。脱離試験では、一時的に流出Ca濃度が減少するが、その後徐々に増加し流入濃度に近づく。これは、Srが共存しないので、Sr吸着座にCaが代わって吸着したためである。図6は、共存Ca濃度が5, 10, 20mg/lと変化させたSrの流出曲線である。なお図中には $k_d=0$ の非吸着性トレーサである Cl^- イオンの流出曲線も示す。この図から共存Ca濃度の増加とともにSrの破過がはやく進むことがわかる。

4.2 Srの移行解析 次式に示す一次元移流拡散式を差分近似することによって飽和砂層中のSrの移行解析を行った。

$$(\theta + \rho_b k_d) \frac{\partial C}{\partial t} + v \frac{\partial C}{\partial x} = \theta D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

ここに、 θ ：体積含水率（飽和の場合空隙率）， ρ_b ：砂の充填密度， k_d ：分配係数， C ：液相中Sr濃度， v ：ダルシー流速， D ：分散係数

図6にシミュレーション結果を示す。この図から k_d ， D の2パラメータによって流出曲線を十分な精度で評価することができる。ここで求めたSrの分配係数とCa固液相濃度からカラム試験の結果を図4にプロットすると、バッチ試験結果とよく一致する。すなわち、試験方法にかかわらず図4に示されるSr-Ca交換等温線は成立する。

5. まとめ

砂による Sr^{2+} イオンの吸着特性を検討した結果、Srの吸着は、砂表面のCa, Mgとのイオン交換反応に起因し、Sr-Ca交換等温線によってバッチ試験結果およびカラム試験結果を説明することができた。

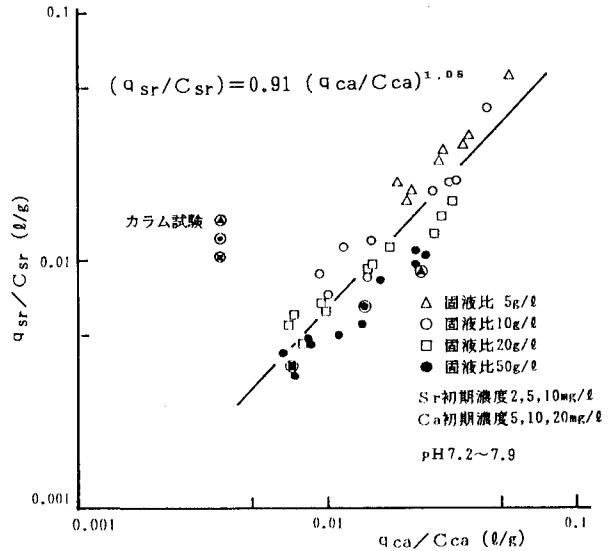


図4 Sr-Ca交換等温線 (Sr・Ca・砂系, Sr・水道水・砂系)

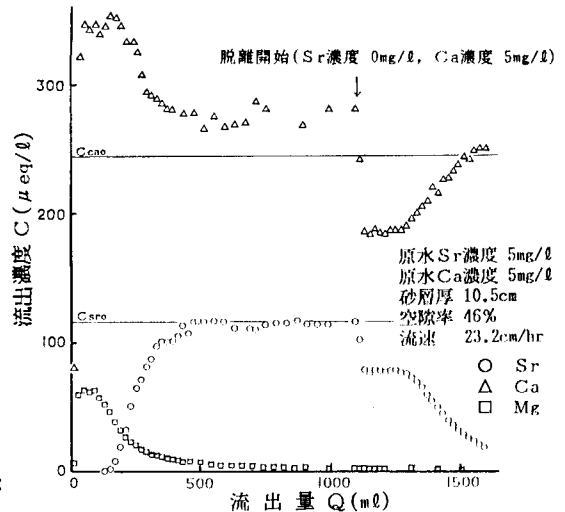


図5 SrおよびCa流出曲線

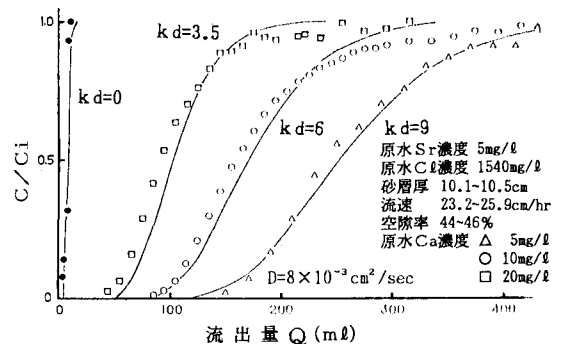


図6 共存Ca濃度をパラメータとしたSr流出曲線