

京都大学工学部 正会員 青木 一男

京都大学工学部 正会員 嘉門 雅史

鹿島建設

内山 雄一郎

1. はじめに

地下水汚染問題のひとつに、地下水の塩水化がある。この塩水化は、塩分の紛流・拡散現象により発生するものであり、これまでに数多くの実験、解析等の研究がなされてきた。しかし、そのほとんどは塩分の吸着現象を無視して行われているのが現状である。この吸着現象と地下水の塩水化に対応させて考えると次のようになる。帯水層中に侵入した海水によって、地下水はかなりの濃度の Na^+ と Cl^- とのイオンを含むようになり、陽イオンである Na^+ は土粒子表面に吸着されて行く。このため、塩水くさびが進行して行く過程においては塩分が吸着され拡散現象が遅れる。また逆に塩水くさびが後退して行く過程においては、塩分の脱着が生じ、地下水中の塩分濃度の低下が遅れると考えられる。そこで、本研究においては、塩分濃度が増加する過程における吸着現象、および塩分濃度が減少する過程における脱着現象に着目して実験的に検討した結果を述べる。

2. 実験方法

試料は、実験の目的から考えると帯水層中の現地採取試料を用いるのが最適と考えられるが、今回の実験では標準砂を用いた。一連の実験手法を以下に述べる。まず標準砂を20g取りビーカーに入れる。これに、第1回添加 NaCl として、海水の塩分濃度が約3.5%であることにより、0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5%の8種類の塩分濃度ケースを考え、この NaCl 溶液をそれぞれ添加し、ガラス棒を用いよく攪拌する。この試料を1時間放置した後、アルコールを加え洗浄し、間引き水中の遊離 Na^+ を追い出す。さらに、第2回添加 NaCl として、第1回添加と同じ塩分濃度の NaCl 溶液を加え同様の処理を行う。このような処理により、試料に吸着している Na^+ 量を知るため、10%酢酸アンモニウム溶液を加え攪拌し、30分間放置後そのろ液中の Na^+ 量を原子吸光分析により調べた。以上の実験が吸着過程についての実験方法である。次に脱着過程についての実験方法を述べる。実験の手順は、吸着過程における方法と同様であるが、第2回添加 NaCl の塩分濃度が異なる。すなわち、第2回添加 NaCl においては第1回添加 NaCl の塩分濃度より0.5%小さく減らした種類の NaCl 溶液を用いた。これにより、 Na^+ の脱着過程が明らかになると考えられる。これら一連の実験手順のフローチャートを図-1に示す。また表-1は、種々の塩分濃度の塩水が侵入した場合の条件をまとめたものである。

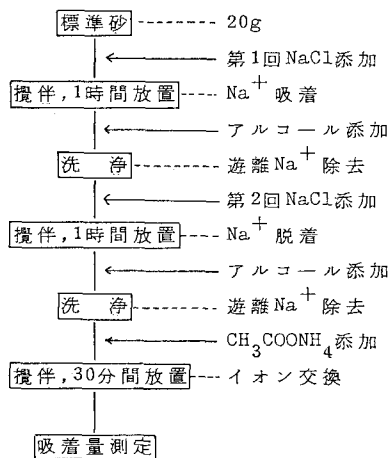


図-1 実験手順のフローチャート

表-1 塩水が侵入した場合の条件

塩分濃度3.5%の塩水が侵入した場合	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
塩分濃度3.0%の塩水が侵入した場合	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
塩分濃度2.5%の塩水が侵入した場合	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
塩分濃度2.0%の塩水が侵入した場合	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
塩分濃度1.5%の塩水が侵入した場合	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
塩分濃度1.0%の塩水が侵入した場合	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
塩分濃度0.5%の塩水が侵入した場合	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
塩水が侵入しない場合	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

上段...第1回添加 NaCl 濃度(%)
下段...第2回添加 NaCl 濃度(%)

3. 実験結果および考察

原子吸光分析により求められた Na^+ 吸着量を縦軸に、第2回添加 NaCl 濃度を横軸に取り、第1回添加 NaCl 濃度をパラメータとして示したものが図-2である。これによると、吸着過程と脱着過程とは異な、挙動を示す。

たとえば、第1回添加NaCl濃度が3.5%、第2回添加NaCl濃度が3.0%のもの、第1回、第2回添加NaCl濃度がともに、3.0%のものと比較すると、前者の方が Na^+ 吸着量が多い。これは、脱着過程において、間けき水中の塩分濃度が低下し

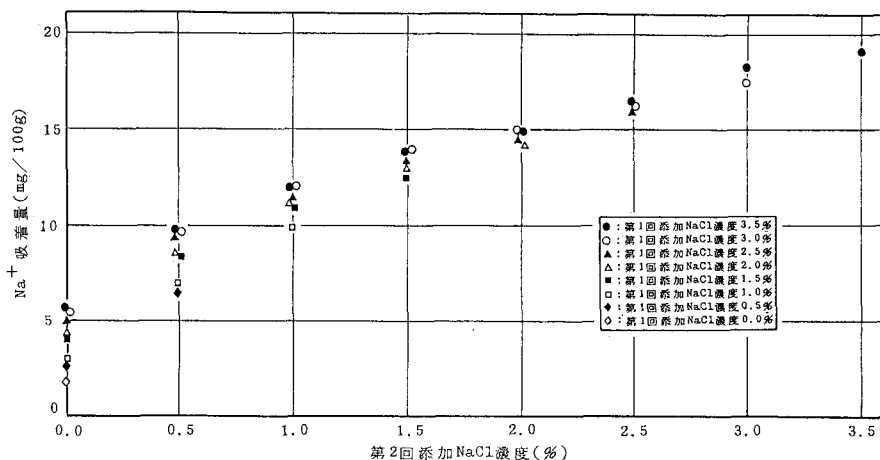
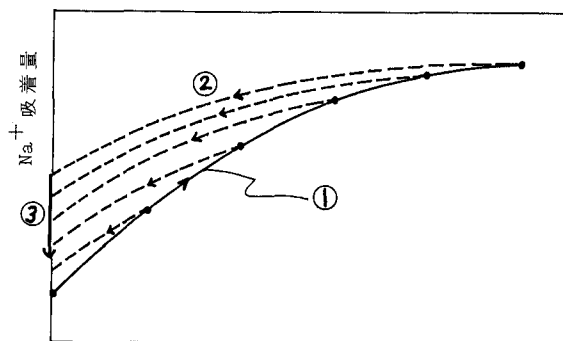


図-2 Na^+ 吸着量と塩分濃度の関係

ても、 Na^+ 吸着量が間けき水中の塩分濃度変化と同じ割合で減少せずに、土粒子表面に残っていることを示している。この現象は、ほとんどすべてのケースについて言える傾向であり、第1回、第2回添加NaCl濃度の差が大きくなればなるほど顕著になる。すなわち、脱着過程においては、 Na^+ の脱着に時間的な遅れがあるものと考えられ、第2回添加NaCl濃度で長時間放置しておけば脱着が進行し、 Na^+ 吸着量が減少して、吸着過程における Na^+ 吸着量の点におちつくものと思われる。以上の結果をまとめ、その傾向を模式的に示したものが図-3である。こ



塩分濃度

図-3 Na^+ 吸着量と塩分濃度の関係模式図

で、実験で示した曲線①は、間けき水中の塩分濃度が増加して行く吸着過程であり、点線で示した曲線②は、間けき水中の塩分濃度が減少して行く脱着過程を示す。曲線②は曲線①の上部に位置し、脱着開始時点の塩分濃度が大きいほどその差が大きい。また脱着過程において、塩分濃度0%のまま長時間放置すれば、直線③のような挙動を示し初期吸着量に近づくものと予想される。このように、塩分の吸着、脱着過程は一種のヒステリシスを描くものと考えられる。次に、実験結果の内、吸着過程と脱着過程(第1回添加NaCl濃度3.5%)のものと両対数軸上にプロットしたものが、図-4である。この図より、吸着過程において、塩分濃度0.5%から3.5%の範囲で直線関係がみられる。この関係より、吸着過程においては、Freundlichの吸着等温式の理論が適用でき、 $F = 9.614 \times C^{0.533}$ なる関係が求められた。ここでFは吸着量(mg/100g)、Cは塩分濃度(%)である。

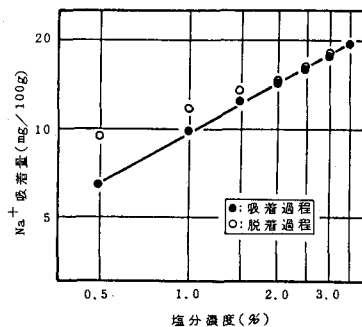


図-4

4. おわりに

今回の実験より、地下水の塩水化に伴う塩分の吸着現象、脱着現象が明らかになった。しかし、実際に用いた試料が標準砂であるため、 Na^+ 吸着量が小さく、攪拌することにより強制的に吸着させた。今後は、種々の試料を用いて、実際の浸透条件下で実験を行い、数多くのデータを得る計画である。なお、本研究に際し多大の御援助、御指導いただいた京都大学教授赤井浩一先生に深く感謝いたします。

<参考文献> 岩田了：土壌の化学，学会出版センター，pp57~98，1980。