

複数の化学種を含む水溶液からのヒ素の選択的吸着特性に関する研究

香川大学 賛助会員 ○竹下友理 香川大学 正会員 吉田秀典
香川大学 学生会員 谷中彩寧 香川大学 正会員 末永慶寛

1. はじめに

世界各地でヒ素汚染が確認されており¹⁾、特に、バングラデシュなどの発展途上国ではヒ素による健康被害が頻発している。こうした国々では、将来的にわたって人口増加が予測されるため、安全かつ十分な飲料水の確保にはヒ素の除去が急務であり、とりわけ、ヒ素汚染現場で安価かつ簡易なヒ素除去技術が求められている。ヒ素の除去に関して、簡易さを重要視すると吸着法が候補になりうるが、そのコストは一般に高い。また、現場でのヒ素除去となると、ヒ素が単独で存在しているわけではないので、ヒ素以外の化学種がヒ素の吸着に影響を及ぼす可能性²⁾がある。本研究では、ヒ素の除去を目的とした安価な吸着材（魚骨由来のヒドロキシアパタイトを改良）を開発すると同時に、他の化学種が吸着材のヒ素吸着性能に及ぼす影響について検討する。

2. 吸着等温線

吸着等温線とは、ある温度の条件下において平衡状態である溶質濃度と吸着量との関係を表したものである³⁾。横軸に吸着試験後の平衡濃度 C_i 、縦軸に吸着材単位質量当たりの平衡吸着量 W_i をプロットすると、図-1 のような吸着等温線が得られる。平衡濃度が増加するにつれて、吸着量が対数関数的に増加する場合（曲線I）、吸着材表面と吸着される物質（以下、吸着質）との間に吸着を促進する引力が働いており、化学吸着であると考えられる。このような吸着等温線の場合、吸着材として望ましい吸着形態であるとされる。また、平衡濃度が増加するにつれて、吸着量が指数関数的に増加する場合（曲線III）、吸着材と吸着質の引力が非常に弱く、物理吸着であると考えられる。

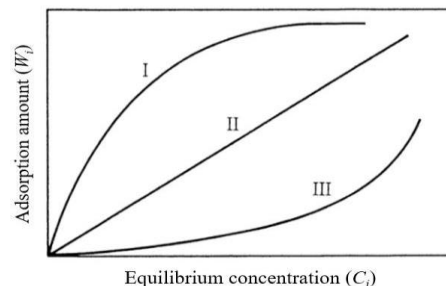


図-2 吸着等温線

3. 試験方法

他の化学種未混入（ヒ素(As)単体）の場合の他に、実際のヒ素汚染現場における水質を想定して化学種を複数種混入した場合について、開発した吸着材（高機能魚骨由来のヒドロキシアパタイト、Functional Fishbone Powder, 以下(FFP)）のヒ素吸着特性を検証した。試験方法を以下に示す。

- As の初期濃度を 3, 4, 5, 6, 7 ppm に調整し、濃度調整した化学種を混入する。
- 遠沈管に調整した溶液 10mL を注入し、FFP を 20mg 添加する。
- 振盪機に前述の試料を並べ、200 rpm, 20°C で 24 時間振盪を行う。
- 2000 rpm で 3 分間遠心分離を行い、ICP で As の残留濃度を分析する。

表-1 に世界各地のヒ素汚染地域で検出される化学種とその濃度の平均値を示す。本研究では、この濃度を採用した。試験では、代表的な水質 3 パターンを想定した。各パターンの化学種の組み合わせを表-2 に示す。

表 1 化学種の濃度

化学種	Na	K	Ca
濃度(ppm)	491.7	5.5	56.1
化学種	Mg	Mn	Fe
濃度(ppm)	30.9	241.7×10^{-3}	1.6
化学種	HCO ₃	SO ₄	NO ₃
濃度(ppm)	267.7	1371.3	19.3

表 2 化学種の組み合わせ

名称	想定地下水 1
化学種	Mn, Fe, HCO ₃
名称	想定地下水 2
化学種	Na, K, Ca, Mg, HCO ₃ , SO ₄ , NO ₃
名称	想定地下水 3
化学種	Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, HCO ₃ , SO ₄ , NO ₃

4. 試験結果・考察

化学種未混入の場合と複数種の化学種を混入した場合の試験後における As の残留濃度を図-2 に示す。横軸は As の初期濃度、縦軸は As の残留濃度である。また、それぞれの吸着等温線を図-3 に示す。なお、As の残留濃度が 0 ppm を示すと吸着等温線を作成することが困難となる。なおかつ、As 残留量がごく少量となる場合、本研究の環境下では明確な化学傾向が得にくいため、As の初期濃度を 3 ppm 以上とした。このことが基準値以下の As 残留濃度にならなかった要因と考えられる。また、図-2 より、As 単体の場合では As の残留濃度が初期濃度に対して 85%以上の吸着することが分かる。さらに、化学種を複数種混入した場合、As の残留濃度が初期濃度に対して 80%以上吸着可能であることが確認できる。図-3 より、As 単体の場合と化学種を複数種混入した場合を比較すると、試験終了後の As の平衡濃度が大きくなるにつれ、吸着材単位質量当たりの平衡吸着量の差は 2 倍以上に開く。これは、他の化学種による影響と考えられる。他方で、試験終了後の As の平衡濃度が小さければ、化学種の影響はわずかである加えて、化学種未混入および化学種を複数種混入した場合の As に関する FFP の吸着等温線は上に凸の曲線となっており、吸着材表面と As との間に吸着を促進する引力が働いていると考えられる。以上より、一般的な環境以下では、今回の一連の試験より As の濃度が低いことを鑑みれば、FFP は As に対して選択的吸着特性を有していると判明した。

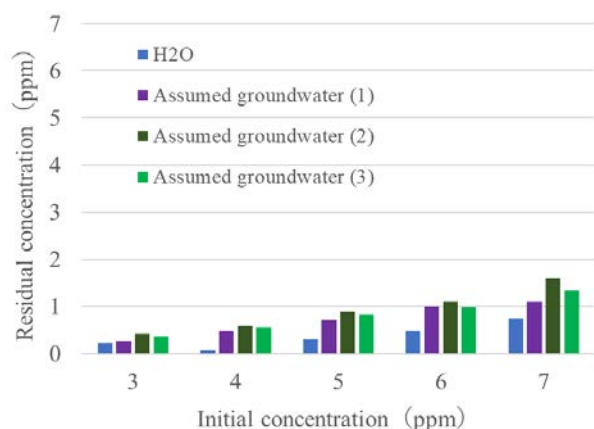


図-2 As の残留濃度

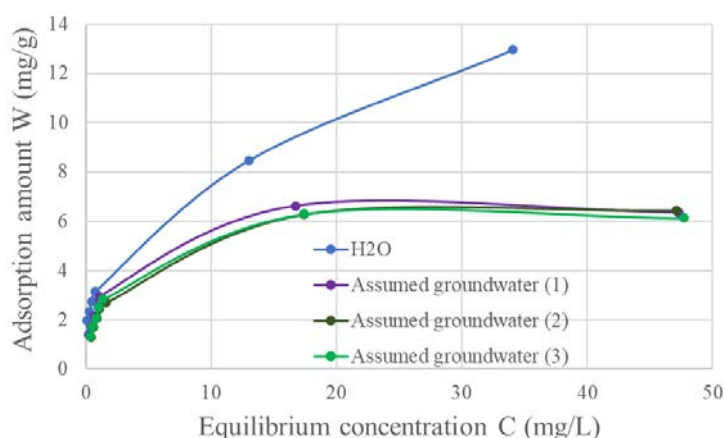


図-3 試験結果における吸着等温線

5. まとめ

本研究では、ヒ素除去技術として吸着法を選択した場合に、高価かつ水中に含まれる様々な化学物質（化学種）が吸着性能に影響を及ぼす可能性があることから、ヒ素の除去を目的とした安価な吸着材を開発すると同時に、その吸着性能に及ぼす他の化学種の影響を検証した。FFP は、As 単体の場合では 85%以上、化学種を複数種混入した場合でも 80%以上の吸着率を示した。また、As のみ及び想定地下水 1～3 の場合の As における FFP の吸着等温線は曲線 I のような上に凸の曲線となっており、吸着材表面と吸着質（ここでは、As）の間には非常に強い引力が働いていると考えられる。そのため、FFP は他の化学種が混入した場合においても As を選択的に吸着すると考えられる。以上より、ヒ素汚染現場において FFP は現場での As の除去を目的とした吸着材として、利活用が可能であると考えられる。

6. 参考文献

- M.Amini, K.C.Abbaspour, M.Berg, L.Winkel, S.J.Hug, E.Hoehn, H.yang, C.A.Johnson : Statistical Modeling of Global Geogenic Arsenic Contamination in Groundwater, Environmental Science and Technology, vol.42, pp.3669-3675, 2008
- 柳田友隆, 江耀宗, 中村未来 : 新規に開発した水酸化鉄のヒ素吸着特性, 水環境学会誌, 第 36 巻, 第 5 号, pp.149-155, 2013
- 安部郁夫 : 吸着の化学, オレオサイエンス, 第 2 巻, 第 5 号, pp.37-43, 2002