

バングラデッシュにおける AIRP・IARP のヒ素汚染地下水の浄化への適用

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻	学生会員	○杉村 昌紘
国立保険医療科学院水道工学部	正会員	島崎 大
東京大学環境安全研究センター	正会員	富士 謙介
東京大学環境安全研究センター	正会員	山本 和夫

1. はじめに

近年、バングラデッシュおよびインド西ベンガル地方の地下水ヒ素汚染に伴う健康影響が大きな問題となっている。ヒ素(As)は地質由来の自然的要因に起因され、人体への影響が大きい。飲料水および生活用水の大部分を井戸水に依存しているバングラデッシュでは汚染の少ない安全な水を供給することが喫緊の課題である。地下水の中のヒ素存在形態は、無機態の As(III)と As(V)が大部分である。毒性の強さはヒ素の存在形態によって異なるが、As(III)は全形態のなかでもっとも毒性が強く、As(III)の毒性は As(V)の毒性の約 60 倍である。また、バングラデッシュでは飲料水のヒ素に関する水質基準は 0.05mg/L と規定されている(日本では0.01mg/L)。しかしヒ素濃度の基準値を超過した水が飲料水として利用されているのが現状である。本研究の目的は現地で試験的に設置されている数ある地下水ヒ素除去装置のなかから AIRP (Arsenic and Iron Removal Plant)と IARP (Iron cum Arsenic Removal Plant)を選び、現地試料の分析結果を基にした技術的評価に経済面等の他の設計因子に関する考察をした上で総合的な導入可能性を探ることである。

2. AIRP に関する知見

AIRP・IARP ではヒ素と鉄の除去メカニズムの概要は好気的な条件下で As(III)を As(V)に酸化させると同時に Fe(III)凝集物に吸着させたのち砂濾過することである。ゆえに原水中の鉄もヒ素と共に除去できる。AIRP の構造を図1、IARP の構造を図2に示す。AIRP は tubewell とよばれる浅井戸からの水を原水とし、貯水槽の表面で曝気することによりヒ素と鉄の酸化そして凝集沈殿を促進させる。つづいて濾過槽内では上向流による砂濾過でヒ素と鉄の凝集物が捕捉される。IARP は AIRP に下向流による砂濾過のプロセスを追加したものである。両装置とも濾過槽下部にバルブがついており、それを開くことで簡単に濾材を洗浄することができる。本研究において数あるヒ素除去装置のなかで AIRP と IARP が選ばれたのは、使用上・維持管理面・経済面に関してメリットがあるからである。

3. 2 種類の AIRP より採取した現地試料の分析

現地に設置されている 2 種類の AIRP (AIRP・IARP) のヒ素除去性能を探るべく、2002 年 3 月バングラデッシュ・ダッカ郊外の村 (Manikganj) にて各装置 2 箇所ずつより水試料を採取し日本にて分析した。分析対象成分は As(III)・As(V)・T-As・T-Fe である。なお、T-As = As(III) + As(V) と仮定した。測定方法は As(III)・As(V) は LC/ICP-MS 法、T-As は ICP-MS 法、T-Fe は ICP-AES 法である。サンプリングは原水・貯水槽内部の水(底部より約40cm上より)・処理水について行い、それぞれの水について 1) 濾過しなかったもの 2) 現場にて 0.45 μ m フィルター濾過したもの 3) 0.20 μ m フィルター濾過したものの 3 種類の試料を測定した。

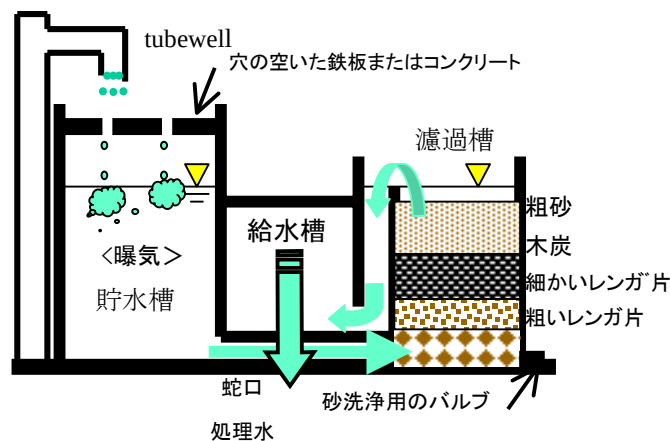


図1 AIRP の構造

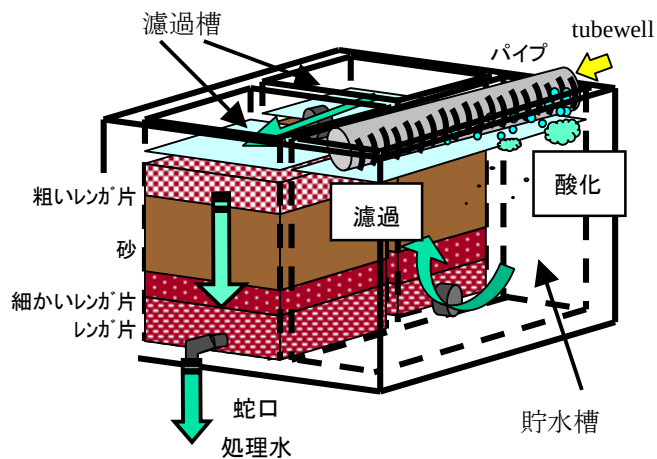


図2 IARP の構造

キーワード: バングラデッシュ ヒ素 地下水 AIRP IARP

連絡先: 東京都文京区本郷7丁目3番1号 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 杉村 昌紘
Tel: 03-5841-6242 mail: sugizo@env.t.u-tokyo.ac.jp

表 1. 本研究の分析対象装置に関する情報(ヒアリング調査より)

装置名	利用者数	利用開始月	逆洗頻度	備考
AIRP1	50	2001 年 1 月	1 ヶ月 1 回	図 1 と同じ構造 (AIRP2 と同じ)
AIRP2	50	2001 年 1 月	1 ヶ月 1 回	図 1 と同じ構造 (AIRP1 と同じ)
IARP1	30	2001 年 4 月	1 週間 1 回	図 2 と同じ構造
IARP2	40	2001 年 10 月	15 日 1 回	図 2 とは各槽の寸法が異なる

※利用者数は 1 家族 5 人と仮定して算出。

本研究での分析対象装置の詳細については以上の表1に示す。

なお AIRP1と AIRP2については構造・維持管理方法・利用期間が等しくかつ原水鉄濃度も同様である(9.8mg/Lと9.3mg/L)ことから原水ヒ素濃度の違いによる除去性能の比較をすることができた。

そして右の図3は各装置の形態別ヒ素濃度の分析結果、図4は各装置の処理水中のヒ素および鉄の粒径別濃度の分析結果である。

3.1 酸化について

図3によると AIRP1・AIRP2 ではヒ素の酸化は効率よく進行している。そして図4の T-Fe を見ると処理水を現地で濾過した試料には鉄がほとんど含まれていなかったことから鉄の酸化も効率よく進行していたと言える。また IARP1・IARP2 ではヒ素についてはやはり図3を、鉄については図4の T-Fe を参照すると鉄の酸化は進行しているがヒ素の酸化は不十分である。このことより図4の T-As における、各装置処理水中の0.20 μm 以下のヒ素は大半が溶解性ヒ素であると推測される。これらの結果より、AIRP の曝気システムは有効であり、IARP の曝気システムには改善の余地があると考えられる。

3.2 除去性能(濾材による捕捉性能)について

AIRP2 以外は原水ヒ素濃度が比較的低いこともあり、処理水ヒ素濃度は水質基準値を満たしている。AIRP2 については図3より As(V)の除去が不十分であったことがわかる。さらに図4の T-As・T-Feを見るとAIRP2の処理水について濾過しなかった試料と濾過した試料ではT-As・T-Fe濃度ともに大きな差があったことから、AIRP2の処理水にはヒ素と鉄の凝集物が多く含まれていることが示唆される。これらの結果により、原水中のヒ素濃度が高い時には上向流による砂濾過のみでは対処できないことがわかる。

4. おわりに

以上よりAIRPでは原水のヒ素濃度が高いとき、鉄とヒ素の凝集物を完全に除去することが困難であることがわかった。この場合 IARP のように下向流の砂濾過プロセスを追加することが有効だと思われる。さらに吸着材等の高度処理技術を追加する際にもヒ素と共に鉄も効果的に除去できる砂濾過プロセスはその前処理として不可欠な技術である。これまでの現地調査により、AIRP・IARP が設置された村では装置の洗浄や管理を交代制で村人によってなされており AIRP・IARP は人々の暮らしに定着している。このように原水ヒ素濃度が低い地域への適用が可能な段階にまで到達している現在、原水ヒ素濃度が高い地域でもこれらの装置が適用できるために最適な追加処理プロセスを調査し、さらにそのプロセスを既存の装置にどのようなかたちで追加するのかを今後研究する必要がある。

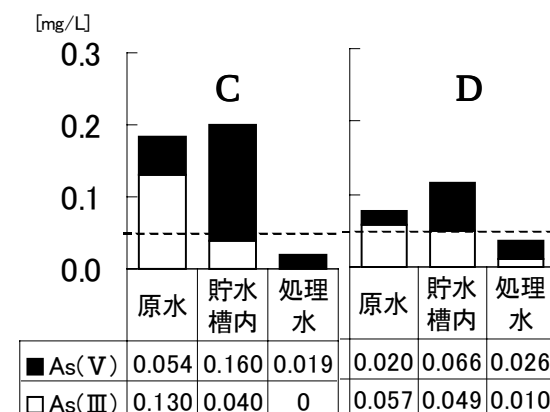
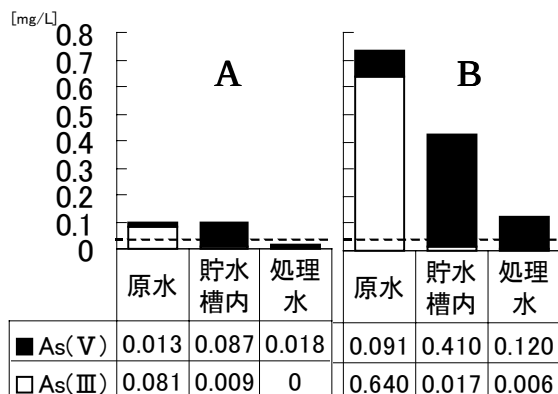


図3. 各装置の形態別ヒ素濃度
(A:AIRP1 B:AIRP2 C:IARP1 D:IARP2)

※図上の点線は水質基準値を表す

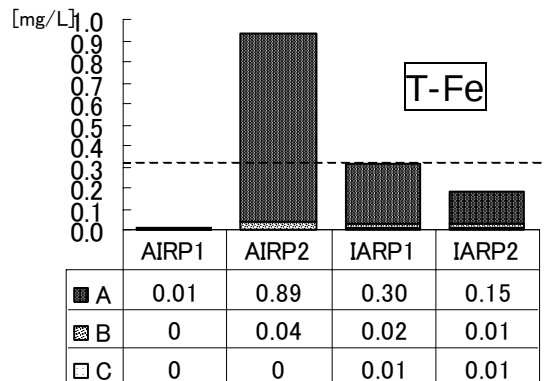
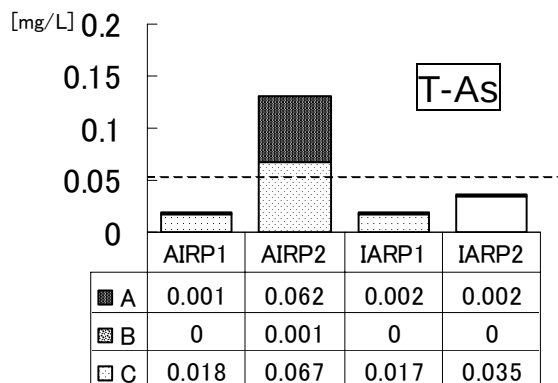


図4. 各装置処理水の粒径別濃度(上・ヒ素 下・鉄)
(A:0.45 μm 以上 B:0.20 μm 以上 0.45 μm 未満
C:0.20 μm 未満)

※図上の点線は水質基準値を表す