バングラデッシュにおける飲料水供給装置のヒ素除去性能評価

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
東京大学工学部附属総合試験所　正会員　島崎　大
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ため、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(Ⅴ)の約 60 倍である。[1)]

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)。しかし基準値を超過したヒ素濃度の水が飲料水として利用されているのが現状である。

本研究目的は**現地に設置された飲料水供給装置より採取した試料を分析し、装置の性能を評価すること**である。

2. 水供給装置の紹介(AIRP ・ Pitcher Filter ・ BTU)

バングラデッシュでは、人々に安全な飲料水を供給するためにさまざまなヒ素除去装置が試験的に導入されている。なかでもヒ素汚染された井戸水を原水とし、それにヒ素除去処理を施すことでリスクの少ない飲料水を提供する装置が昨今主流になりつつある。ヒ素を水中から除去する手段は様々であるが、そのうちの1つとして**好気的な条件下でAs(Ⅲ)をAs(Ⅴ)に酸化させ鉄イオンと共沈澱させるメカニズム**があり、バングラデッシュではそれに基づいた処理装置も数多く設置されている。このような装置の代表例として**AIRP ・ Pitcher Filter ・ BTU** の3つを採りあげる。

- **AIRP(Arsenic Iron Removal Plant)**:左のタンクにて原水を空気と接触させることで水中の鉄イオンと共沈殿反応を促進させ、右のタンク内では水の流れを上向流にしてヒ素を砂で捕捉させる。目詰まりしにくい利点がある。(図1)
- **Pitcher Filter**:粘土製のツボを3段に重ね、ツボ内で砂濾過する。低コストで構造がシンプルである。(図2)
- **BTU(Bucket Treatment Unit)**:上段のバケツでは薬品(凝集剤)・酸化剤を加えヒ素を凝集・沈澱、下段ではパッケージされた容器内の砂で濾過する。ヒ素除去率は高いが処理水を得るのに長時間を要する。(図3)

図1. AIRPの外観

図2. Pitcher Filterの外観

図3. BTUの外観

3. 飲料水供給装置より採取した試料の分析による装置のヒ素除去性能評価

上記の3種類の飲料水供給装置が安全な水を提供できているのかどうかを調査するべく、2000年12月と2001年3月にバングラデッシュ・ダッカ郊外の村(Nilkanda,Manikganj)にて各々の装置より水試料を採取し分析した。**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 IC/ICP-MS 法、T-As ・ T-Fe は ICP-MS 法 ・ ICP-AES 法である。

キーワード:バングラデッシュ ヒ素 地下水 ヒ素除去装置 健康リスク
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

3－1．各装置の処理前後のAs(Ⅲ)・As(Ⅴ)・T－As濃度

3-1-1.AIRP

図4より AIRP の**処理水T－As濃度(0．41mg/L)はバングラデッシュにおける水質基準(0．05mg/L)の8倍以上である**ことを考慮すると、装置の構造に改良を要する。As(Ⅲ)からAs(Ⅴ)への酸化は進行しているがAs(Ⅴ)の除去が不十分である。除去性能が悪い原因として、AIRP は水が上向流なので目詰まりは起こりにくいが、ヒ素と鉄の共沈殿物が濾材に捕捉されにくい点があげられる。

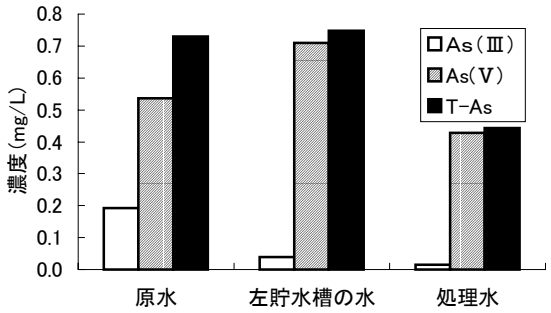

図4．AIRP におけるヒ素の形態別濃度
（２００１年３月 Nilkanda にて試料採取）

3-1-2. Pitcher Filter

図5のとおり処理水濃度は水質基準値を上回っており、AIRP同様安全な水が供給されていない。これは試料を採取したPitcher Filterは濾過砂を内容した Pitcher の段数が2段であったためだと考えられる(図2参照)。既存の研究によると、Pitcherの段数が増えるとヒ素の除去性能は向上する。濾過砂を内容したPitcherの段数が3段の Pitcher Filter ではT-Asは90％以上除去されるという報告がある。[2)]

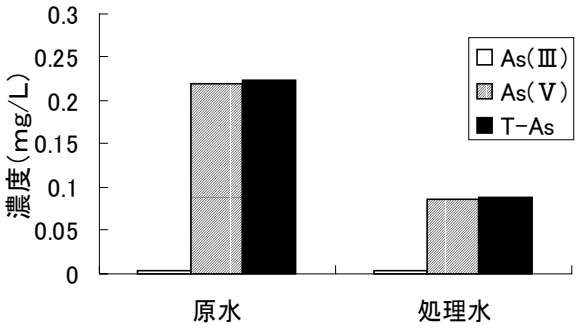

図5．Pitcher Filterにおけるヒ素の形態別濃度
（2000年12月Nilkandaにて試料採取）

3-1-3. BTU

図6によると**BTUによる処理水のT－As濃度は3つの装置のうち、唯一水質基準値(0．05mg/L)以下**である。ただ今回の原水のT－As濃度は他の処理装置の原水濃度より低かったため、高濃度時での除去性能を改めて調査する必要がある。

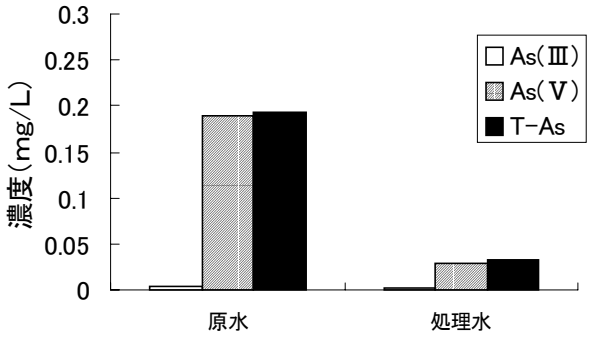

図 6．BTU によるヒ素の形態別濃度
(2000 年 12 月 Manikganj にて試料採取)

3－2．各装置のAs(Ⅲ)・As(Ⅴ)・T－As・T－Fe除去率

表1によるとヒ素に関してはAIRPの除去効率の悪さが注目すべき点である。ヒ素の酸化は進んでいるが、As(Ⅴ)の除去性能が低い。Pitcher Filterについては3－1－2で述べたようにPitcherが２段であったためAs(Ⅲ)・As(Ⅴ)とも除去処理が不十分である。BTUは除去効率が3つの装置の中で最も高く、処理水のT－As濃度は水質基準値(0．05mg/L)以下である。As(Ⅴ)の除去性能が高いことが主な原因だと考えられる。

鉄に関してはどの装置も除去性能が高い。前述のメカニズムにより水中の鉄濃度はヒ素を除去する際に減少するが、処理水内の濃度が高ければ風味を損なう。

表1．各装置の As(Ⅲ)・As(Ⅴ)・T-As・T-Fe 除去効率
（単位%）

	As(Ⅲ)	As(Ⅴ)	T-As	T-Fe
AIRP	**92**	**20**	**39**	**95**
Pitcher Filter	**30**	**61**	**60**	**99**
BTU	**25**	**85**	**84**	**98**

4．まとめ

以上の分析により、安全な水が供給できていない装置が存在することがわかった。このような状態を改善するため、今後水供給装置の定期的なモニタリングが必要である。それに加え、装置の維持管理を常時行うことも望まれる。たとえ装置に不備があったとしても、それを発見し改良しつづけることで健康リスクも減少しつづけるだろうと考える。

参考文献　1)本多 了， バングラデッシュにおける地下水ヒ素汚染対策としての代替水供給システムの検討, University of Tokyo, 2000
2)JEONGIK OH, Arsenic contamination in Bangladesh, University of Tokyo, 28June 2000