

バングラデシュの地下水の砒素汚染地域における表面水の 砒素含有原因調査とその飲料水化

Investigation and purification system of arsenic polluted ponds in the region of arsenic contaminated groundwater in Bangladesh

横田 漢¹⁾, 秋吉康弘²⁾, 瀬崎満弘¹⁾, 田辺公子³⁾, 広中博見⁴⁾, ハミドール・ラーマン⁵⁾, フェロセ・アーメッド⁶⁾
Hiroshi YOKOTA¹⁾, Yasuhiro AKIYOSHI²⁾, Mitsuhiro SEZAKI¹⁾, Kimiko TANABE³⁾, Hiromi HIRONAKA⁴⁾,
Hamidur RAHMAN⁵⁾, Feroze AHMED⁶⁾

1)宮崎大学工学部, 2)宮崎大学農学部, 3)宮崎大学機器分析センター, 4)福岡市保健環境研究所,
5)ラジャヒ鉦山地質大学, 6)バングラデシュ工科大学

1) Faculty of Engineering, 2) Faculty of Agriculture, 3) Materials Research Center, Miyazaki University, 4) Fukuoka
Institute of Health & Environment, 5) Rajahi University, 6) Bangladesh University of Engineering Technology

The arsenic-free water supply system is urgently needed in Bangladesh, where arsenic-contaminated groundwater has been found in 59 districts out of a total of 64 districts. We have been developing arsenic-free water supply systems by using the water in pond (Pond Sand Filter: PSF). This paper shows the results of our investigations on arsenic pollution of pond water, the quality of the treated water by PSF, the mechanism of PSF and application of PSF to arsenic removal from groundwater.

1. 研究目的

バングラデシュでは飲料水をほとんど地下水に頼っているが、その地下水は全 64 県中 59 県において砒素に汚染されており[1]、砒素に汚染されていない飲料水を供給することが緊急に求められている。

我々は、バングラデシュのジェソール県・シャムタ村をモデル村として、1997 年 3 月から種々の調査研究活動を行っており[2]、ため池水を濾過して飲料水化する PSF を開発してきた。PSF の建設に先立ち、14 個のため池の水質調査を行ったところ、半分の池から低レベルの砒素(0.01-0.04mg/L)が検出された。

本研究の目的の 1 つは池水の砒素汚染の原因究明であり、他の 1 つは PSF の水処理能力の検証である。その検証として、操業中の PSF 処理水の水質検査と模型実験による濁度低下のメカニズム解明を行った。さらに、PSF を井戸水に適用して、井戸水中の砒素除去に関する能力を検討した。

べるため、池のすぐ近くの井戸の水位を測定した。また、シャムタ村には汚水処理システムが存在しないため、井戸からの排水は主にとってため池に注ぐ。この 2 点を中心にして調査を行った。池水の砒素濃度、電気伝導率(EC)、酸化還元電位(ORP)、pH、温度、池水の濁度の測定結果を表-1 に示す。

表-1 ため池水質測定結果

Pond	As (mg/l)	Water level (m)		Turbidity	EC (μ S/cm)	pH	ORP (mV)	Temp ($^{\circ}$ C)
		Pond	Well					
P1	0.02			Turbid	525	8.7	145	35.1
P2	0.00			Turbid	488	9.3	124	33.3
P3	0.02	-2.68	-4.31	Turbid	545	8.7	165	33.9
P4	0.04	-2.95	-4.27	Turbid	711	8.6	146	33.8
P5	0.00	-2.41	-4.26	Turbid	523	8.4	166	35.7
P6	0.00	-3.29	-4.27	Clean	786	7.7	119	36.6
P7	0.00			Clean	408	8.8	156	34.3
P8	0.02			Turbid	555	8.0	165	35.1
P9	0.03			Turbid				
P10	0.04	-3.19	-4.17	Clean	417	9.0	138	36.0
P11	0.03	-3.21	-4.35	Turbid				
P12	0.00	-1.54	-4.27	Turbid				
P13	0.00	-2.79	-4.14	Clean				
P14	0.00	-3.55	-4.21	Clean	399	8.4	140	

2. 研究経過

2.1 池水の砒素汚染原因調査

砒素を含む地下水がため池に浸透した可能性を調

表-1 に示すように、14 池のうち 7 個の池から低濃度の砒素が検出された。また、9 池に関してその水面水位と近くの井戸の水位を比較したところ、すべて池水の

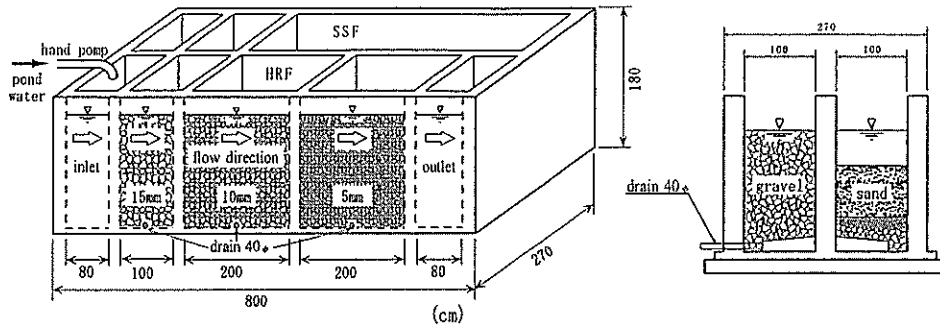


図-1 PSF の構造図

水位の方が高いことがわかった。このことから地下水のため池への浸透は考えられないこととなった。

井戸からの排水はため池に流入する。P11 近くの井戸 ($As=0.60\text{mg/L}$) の排水の水たまり部分と排水が流れ込んでいるため池の砒素濃度はそれぞれ 0.40mg/L 、 0.03mg/L であった。また、P12 の近くに砒素に高濃度汚染された井戸 ($As=1.16\text{mg/L}$) があり、その排水がおよそ 10 年にわたって P12 に流れ込んでいた。しかし、その井戸は 2 年程前に封印されたが、P12 の池水からは砒素が検出されなかった。これは過去 2 年間に砒素が池の底に沈殿してしまったためとみなされる。

これらの調査から、ため池の砒素汚染は井戸からの排水の流入が主要原因であると考えられた。

2.2 PSF の概要

PSF は 2 つのシステムからなる(図-1、写真-1 参照)。1 つは Horizontal Roughing Filter[3](以後 HRF)であり、もう 1 つは Slow Sand Filter(以後 SSF)である。HRF の断面は $1.0\text{ m (W)} \times 1.4\text{ m (D)}$ であり、入水口、3 槽の濾床、放水口の 5 つの部分からなっている。濾床の第 1、第 2、第 3 槽はそれぞれ長さが 1.0 、 2.0 、 2.0 m で、粒径 15 mm 、 10 mm 、 5 mm の砂利が敷き詰められている。入水口と放水口の長さはいずれも 0.8 m である。各槽の隔壁には多数の小孔があり、水は 3 つの濾床槽を水平に流れてゆく間に沈殿・濾過されていく。HRF は SSF のための代替的な前処理として取り付けられている。

PSF は水処理容量が 1000 L/h として設計されている。1 日 3 時間の運転で、1 人の飲水量を 6 L/day 、1 世帯 5 人とすると、約 100 世帯に供給できることとなる。

2.3 PSF 試験結果

PSF は、シャムタ村で 1999 年 1 月 (PSFNo.1)、隣のデウリ村(PSFNo.2)で 2000 年 3 月に建設された。水源のため池には井戸からの排水は流入しないように処置された。PSF の建設終了後 40 日間にわたって PSF 処理水

の水質を測定した結果(PSFNo.1)、一般細菌群数、大腸菌群数は図-2 に示すように減少し、1999 年 3 月初めより処理水は飲用に供された。PSFNo.2 も現在良好な飲料水を提供している。

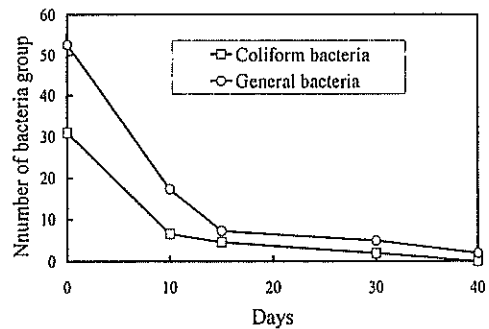


図-2 PSF による細菌類の除去 (PSFNo.1)

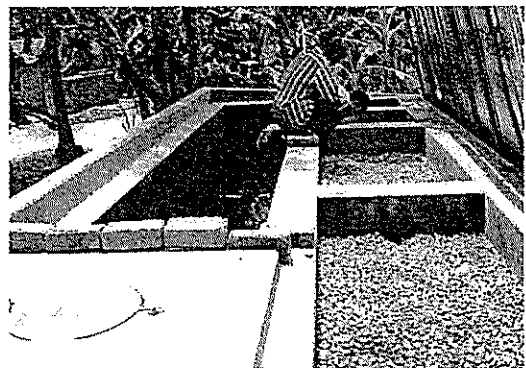


写真-1 PSF(No.2)内の構造

2.4 礫間浄化槽 (HRF) の濁水処理メカニズム

HRF の一部分を切り出した状態を想定して、図-3 に示すような礫間浄化槽を実験に用いた。濁度の低下は礫の粒径、礫層の長さ、流速に支配される。その関係を求めるために、 100 L タンクに泥岩土粒子の濁水を inlet に一定の流量で流し、礫間浄化槽を通過させ

outlet で 15 分おきに濁度を測定した。

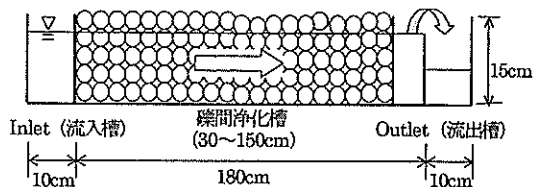


図-3 礫間浄化槽模型設計図

シャムタ村のため池は濁度が 40 度程度であるため、inlet の濁度を 40～50 度になるようにし、礫長は 30cm、60cm、90cm、120cm、150cm のものを用いた。inlet 濁度は多少ばらつくため、inlet 濁度が礫間浄化に与える影響をまずみた。図-4 は、inlet の濁度が高濃度(130～140 濁度)の場合と低濃度(40～50 濁度)の場合の結果を示すものである。なお、礫の粒径は 5mm、礫長は 90cm、流速が 1.1m/h の場合の結果である。

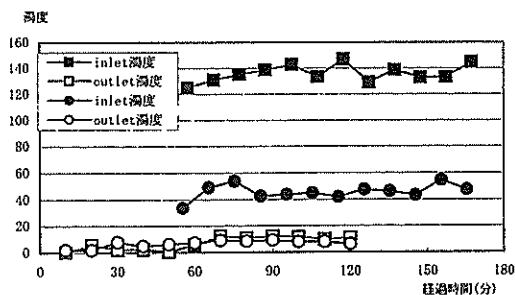


図-4 inlet 濁度の大小による礫間浄化の違い

図-4 のグラフから inlet 濁度の大小に関係なく、outlet 濁度がほぼ同じであることが分かる。よって、実験は inlet の濁度が 40～50 で行った。実験の最終的な成果を示すものが図-5 である。outlet の濁度に与える礫長と流速の影響を見たものである(粒径:5mm)。outlet 濁度が 0 度、5 度、10 度の処理水を得るに必要な礫長と流速流速の関係を示している。

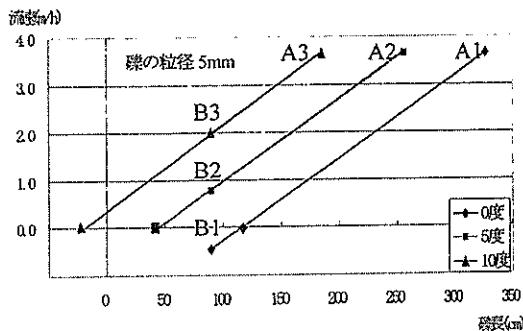


図-5 所定の濁度を得るために必要な礫長と流速 2.5 HRF による砒素除去能力

2001 年 3 月の現地調査で小規模な HRF の模型を作り、ため池水の代わりに砒素を含む井戸水流入させ砒素を除去する実験を行った。バングラデシュの地下水は鉄分が多いため、酸化状態下の鉄と砒素の共沈を利用して、水中から砒素を除去する手法となっている。

模型は図-3 と同じである。礫槽には粒径 5mm の礫を詰め、その高さは約 10cm とした。ただ、outlet を通過した水は砂を約 5cm 敷き詰めたバケツに導かれ、砂濾過もされるようになっている。本実験においては流速一定で鉄を添加した場合と、鉄を加えずに流速だけを変化させた場合を行っている。

鉄を 40ppm、60ppm 添加した場合の outlet 及び砂濾過後の測定結果を図-6、7 に示す。いずれの場合でも 30 分後には砒素濃度が 0.05ppm 以下に低下している。

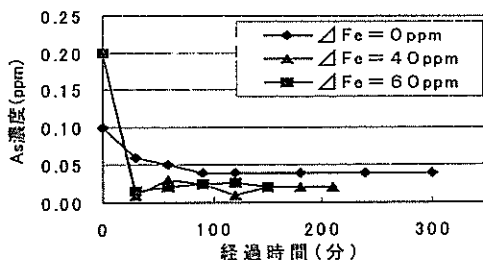


図-6 鉄添加時の砒素濃度変化(outlet)

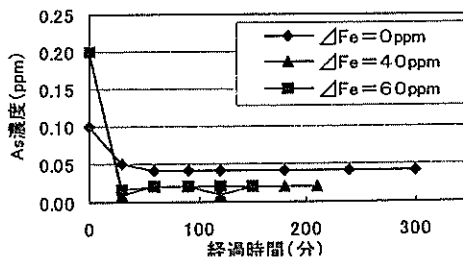


図-7 鉄添加時の砒素濃度変化(砂濾過後)

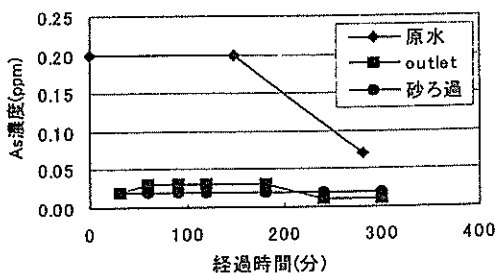


図-8 砒素濃度変化(平均流速 338cm/l)

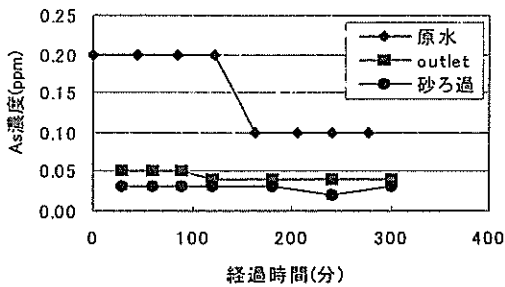


図-9 砒素濃度変化(平均流速 241cm/h)

流速を変化させた実験の outlet 及び砂濾過後の測定結果(鉄の添加なし)を図-8、9 に示す。HRF 模型内の平均流速は1時間あたり338cm(図-8)、241cm(図-9)としている。この何れにおいても砒素濃度は0.05mg/l 付近まで低下しているので、礫間浄化を用いれば鉄を添加せずとも砒素は除去可能であるといえる。

3. 研究成果

- 1) ため池水中に含まれる低濃度の砒素は井戸水からの排水流入が原因である。
- 2) PSF によるため池水の飲料化は効果的である。
- 3) PSF の合理的な設計が行われるようになった。
- 4) PSF による井戸水中の砒素除去も効果的であることが分かった。

4. 今後の課題と発展

1) PSF の合理的な設計へ向けて

図-5 は粒径 5mm の浄化槽の濁水処理能力を示すグラフであり、これを用いて PSF の規模を集落や池の規模に合わせて3種類(大:100世帯、中:50世帯、小:30世帯)作れないかどうかを検討してみた。HRF 濁度が0となるときの結果を表-2 に示す。1日給水量はPSFの稼動時間を3時間、1人が1日に6l使用、1世帯5人として算出した。

表-2 HRF の概略設計結果

PSFの規模	一日給水量 (m ³ /day)	礫間内の流速(m/h)	礫長 (cm)
大	3~4	2.5	270
中	1.5~2	1.25	190
小	0.9~1.2	0.8	170

現在稼動中(PSF 規模:大)の HRF の長さは粒径

5mm 礫槽が 200cm、10mm礫槽が 200cm、15mm礫槽が 100cmとなっている。表-2 からもわかるように大規模な PSF においては 5mm礫槽単独でもその長さは270cm あれば処理水の濁度は0となる。稼動中のものは過大な設計であるといえる。

今回は 5mm 粒径の礫槽の最適規模のみしか示すことが出来なかったが、今後 10mm 粒径、15mm 粒径においても同様の実験を行い、流速と礫長の関係を求めれば、その村人口や池の大きさに適した規模の PSF が設計可能になる。10mm 粒径、15mm 粒径に関する実験が今後に残された課題といえる。

2) PSF の砒素除去(井戸水利用)への応用

PSF による砒素除去の実験は今回が初めての試みであり、現地の1つの井戸水を使って行ったものである。鉄を添加せずとも、砒素は井戸水に自然に含まれている鉄分と共沈して礫間に沈殿・堆積することが分かった。しかし、井戸水中の砒素濃度や鉄分濃度は場所によって異なっている。また、共沈に影響を及ぼすpH 値や他の溶存イオンも場所によって異なる。

従って、今後の課題として他の井戸や、砒素濃度の高い井戸水に対して実験を行う必要がある。また、礫間に堆積した砒素の処分方法として現在、砒素を含む礫をそのままセメント固化する方法を考えている。そのセメント固化体からの砒素溶出特性や同固化体の路盤材への有効利用なども今後の研究課題といえる。

参考文献

- [1] Sk. Akhtar Ahmad, et al., "Health Effects due to Arsenic Toxicity in Bangladesh", The 3rd Forum on Arsenic Contamination of Ground Water in Asia, pp5-6, 1998.11.
- [2] 横田 漢、他、「バングラデシュにおける地下水のヒ素汚染の機構解明と対策実践」、第8回地球環境シンポジウム講演論文集、土木学会、pp51-56、2000.7.
- [3] K. J. Nath, et al., "Horizontal Roughing Filter-An Appropriate Pretreatment Method for Upgradation of Traditional Surface Water Sources", Bulletin on Ground Water, pp81-86.

発表論文リスト(上記、[2]以外)

- [4] H.Yokota, K.Tanabe, M.Sezaki, et al., "A study on arsenic contamination of groundwater in Samta village, Bangladesh", Journal of Global Environmental Engineering Vol.7, JSCE, 2001(in print).
- [5] 田辺公子, 横田 漢, 廣中博見, M. H Rahman, M.F. Ahmed, 他、「バングラデシュにおける地下水のヒ素汚染について」—シャムタ村におけるヒ素濃度特性と溶出メカニズムに関する一考察—、水環境学会誌、2001(印刷中).