

Table 6-1 Arsenic in hairs on June 2005, February 2006 and August 2006

	Sample No.	Sex	Age	arsenicosis	As (mg/kg) in hair		
					June 2005	Feb. 2006	Aug. 2006
1	001-A	F	40	+	1.30	n.d	n.d
2	001-B	M	42	+	8.20	n.d	n.d
3	001-C	M	16	-	8.10	-	n.d
4	001-D	F	13	-	0.10	4.71	n.d
5	001-E	F	7	-	1.80	n.d	n.d
6	001-F	F	10	-	-	0.51	n.d
7	001-G	M	20	-	-	-	1.86
8	002-A	F	55	+	3.20	n.d	n.d
9	002-C	M	28	-	13.30	1.62	n.d
10	002-D	F	24	-	1.90	9.18	n.d
11	002-E	M	19	-	7.30	1.76	0.13
12	002-F	F	20	-	14.20	4.91	0.16
13	003-A	F	60	+	3.30	12.04	0.58
14	003-B	M	55	-	8.90	-	-
15	003-C			-	-	-	0.29
16	003-D	F	15	-	5.10	1.02	2.13
17	003-E			-	8.60	-	-
18	003-F	F	20	-	3.30	2.21	1.86
19	004-A	F	60	+	3.30	0.28	n.d
20	004-B	M	30	+	7.80	0.93	-
21	004-C	F	20	-	1.70	0.44	0.90
22	004-D	M	3	-	-	-	0.43
23	004-E	F	30	-	-	n.d	-
24	005-A	F	55	+	6.20	1.43	1.72
25	005-B	M	28	-	12.10	3.07	3.21
26	006-A	F	35	+	4.90	n.d	0.05
27	006-B	F	4	-	-	-	-
28	007-A	F	60	+	3.30	0.10	n.d
29	007-B	F	8	-	4.20	n.d	0.921
30	007-C	M	4	-	-	n.d	1.28
31	008-A	F	50	+	12.60	2.23	2.27
32	008-B	M	60	-	3.70	-	0.86
33	008-C	M	18	-	5.00	-	0.53
34	008-D	F	11	-	13.40	3.15	0.65
35	008-E	M	9	-	16.20	n.d	0.51
36	008-F	F	2	-	-	-	n.d
37	009-A	M	77	+	8.20	-	2.86
38	009-B	M	32	+	2.30	n.d	0.07
39	009-C	M	35	-	-	-	0.47
40	009-D	M	30	+	4.70	-	-
41	009-E	M	45	-	-	-	n.d
42	009-F	F	28	-	-	-	0.15
43	010-A	M	15	+	10.30	6.45	0.56
44	010-B	M	41	-	16.10	25.68	0.17
45	010-C	F	35	-	20.70	8.55	0.81
46	010-D	F	16	-	-	-	-
47	011-A	M	70	+	1.20	n.d	n.d
48	011-B	M	26	-	3.40	-	n.d
49	011-C	F	60	-	2.40	n.d	n.d
50	012-A	M	80	+	3.40	-	n.d
51	012-B	M	36	+	4.80	-	n.d
52	012-C	M	50	-	1.40	-	-
53	012-D	F	35	-	2.30	-	n.d
54	013-A	F	30	+	0.70	-	-
55	013-B	F	4	-	-	-	-
56	013-C	M	8	-	3.00	-	-
57	013-D	M	40	-	2.00	-	-
58	014-A	F	30	+	8.50	-	-
59	014-B	F	15	-	9.50	-	-
60	014-C	F	10	-	2.40	3.00	-
61	015-A	F	32	+	11.70	-	n.d
62	015-B	M	40	-	7.10	n.d	n.d
63	015-C	F	10	-	11.00	n.d	n.d
64	015-D	F	8	-	11.90	n.d	n.d
65	015-E	F	5	-	11.90	n.d	n.d
66	016-A	F	30	+	7.00	n.d	n.d

Table 6-2 Arsenic in hairs on June 2005, February 2006 and August 2006

	Sample	Sex	Age	arsenicosis	As (mg/kg) in hair		
					June 2005	Feb. 2006	Aug. 2006
67	016-B	M	70	-	5.90	n.d	n.d
68	017-B	F	35	-	3.90	-	n.d
69	017-C	M	20	-	2.50	-	0.06
70	017-D	M	13	-	2.80	n.d	-
71	017-E	M	51	+	3.60	n.d	0.05
72	018-A	M	51	+	3.60	n.d	0.26
73	018-B	F	40	-	6.70	n.d	n.d
74	018-C	M	25	-	2.60	n.d	n.d
75	018-D	M	26	-	-	n.d	n.d
76	018-E	M	6	-	7.30	-	n.d
77	018-F	F	15	-	-	n.d	-

Table 7 Arsenic in hairs obtained from non arsenic patients and arsenic patients

Non arsenic patients					arsenic patients				
	Sample	June 2005	Feb. 2006	Aug. 2006		Sample	June 2005	Feb. 2006	Aug. 2006
1	001-C	8.10	-	n.d	1	001-A	1.30	n.d	n.d
2	001-D	0.10	4.71	n.d	2	001-B	8.20	n.d	n.d
3	001-E	1.80	n.d	n.d	3	002-A	3.20	n.d	n.d
4	001-F	-	0.51	n.d	4	003-A	3.30	12.04	0.58
5	001-G	-	-	1.86	5	004-A	3.30	0.28	n.d
6	002-C	13.30	1.62	n.d	6	004-B	7.80	0.93	-
7	002-D	1.90	9.18	n.d	7	005-A	6.20	1.43	1.72
8	002-E	7.30	1.76	0.13	8	006-A	4.90	n.d	0.05
9	002-F	14.20	4.91	0.16	9	007-A	3.30	0.10	n.d
10	003-B	8.90	-	-	10	008-A	12.60	2.23	2.27
11	003-C	-	-	0.29	11	009-A	8.20	-	2.86
12	003-D	5.10	1.02	2.13	12	009-B	2.30	n.d	0.07
13	003-E	8.60	-	-	13	009-D	4.70	-	-
14	003-F	3.30	2.21	1.86	14	010-A	10.30	6.45	0.56
15	004-C	1.70	0.44	0.90	15	011-A	1.20	n.d	n.d
16	004-D	-	-	0.43	16	012-A	3.40	-	n.d
17	004-E	-	n.d	-	17	012-B	4.80	-	n.d
18	005-B	12.10	3.07	3.21	18	013-A	0.70	-	-
19	006-B	-	-	-	19	014-A	8.50	-	-
20	007-B	4.20	n.d	0.921	20	015-A	11.70	-	n.d
21	007-C	-	n.d	1.28	21	016-A	7.00	n.d	n.d
22	008-B	3.70	-	0.86	22	017-E	3.60	n.d	0.05
23	008-C	5.00	-	0.53	23	018-A	3.60	n.d	0.26
24	008-D	13.40	3.15	0.65		average	5.40	3.35	0.94
25	008-E	16.20	n.d	0.51		MAX	12.60	12.04	2.86
26	008-F	-	-	n.d		MIN	0.70	n.d	n.d
27	009-C	-	-	0.47					
28	009-E	-	-	n.d					
29	009-F	-	-	0.15					
30	010-B	16.10	25.68	0.17					
31	010-C	20.70	8.55	0.81					
32	010-D	-	-	-					
33	011-B	3.40	-	n.d					
34	011-C	2.40	n.d	n.d					
35	012-C	1.40	-	-					
36	012-D	2.30	-	n.d					
37	013-B	-	-	-					
38	013-C	3.00	-	-					
39	013-D	2.00	-	-					
40	014-B	9.50	-	-					
41	014-C	2.40	3.00	-					
42	015-B	7.10	n.d	n.d					
43	015-C	11.00	n.d	n.d					
44	015-D	11.90	n.d	n.d					
45	015-E	11.90	n.d	n.d					
46	016-B	5.90	n.d	n.d					
47	017-B	3.90	-	n.d					
48	017-C	2.50	-	0.06					
49	017-D	2.80	n.d	-					
50	018-B	6.70	n.d	n.d					
51	018-C	2.60	n.d	n.d					
52	018-D	-	n.d	n.d					
53	018-E	7.30	-	n.d					
54	018-F	-	n.d	-					
	average	6.81	4.99	0.87					
	MAX	20.70	25.68	3.21					
	MIN	0.10	n.d	n.d					

Table 8-1 Urinary creatinine and arsenic species obtained from arsenic-affected families on June, 2005

(unit: ng/mg creatinine)

	Sample No.	arsenicosis	creatinine (mg/ml)	1)As(III)	2)DMA	3)MMA	4) As(V)	Total As
1	001-A	+	0.207	19.0	135.9	8.8	0.0	163.6
2	001-B	+	0.538	33.0	301.8	81.6	15.4	431.9
3	001-C	-	0.114	65.0	639.0	103.7	18.0	825.7
4	001-D	-	0.218	9.2	73.0	4.3	0.0	86.6
5	001-E	-	0.111	62.6	496.3	69.2	100.4	728.5
6	001-F	-	0.089	60.7	783.1	99.4	410.7	1353.9
7	002-A	+	0.110	31.3	319.6	36.4	25.2	412.4
8	002-C	-	0.578	68.0	505.4	87.1	8.0	668.4
9	002-D	-	0.088	72.7	968.3	71.4	0.0	1112.3
10	002-E	-	0.113	67.7	760.8	101.5	0.0	930.0
11	002-F	-	0.086	969.2	3466.8	967.3	88.9	5492.1
12	003-A	+	0.192	58.6	390.5	89.4	33.9	572.4
13	003-B	-	0.466	24.5	377.6	47.1	8.8	458.0
14	003-C	-	0.862	42.9	240.4	51.2	12.6	347.1
15	003-D	-	0.187	78.3	212.4	54.0	23.9	368.6
16	003-E	-	0.066	145.1	1121.6	210.1	69.3	1546.1
17	003-F	-	0.163	51.6	452.8	55.3	21.0	580.7
18	004-A	+	0.965	48.4	279.0	49.9	11.1	388.5
19	004-B	+	0.169	0.0	115.0	35.2	6.7	156.9
20	004-C	-	0.547	9.5	166.8	8.9	4.7	189.9
21	004-D	-	0.126	2.9	122.7	11.3	23.6	160.6
22	005-A	+	0.352	15.7	336.1	42.9	2.1	396.8
23	005-B	-	1.257	40.4	351.6	69.1	7.6	468.6
24	006-A	+	0.440	19.1	245.5	17.4	1.9	283.9
25	006-B	-	0.284	15.9	329.6	60.8	489.3	895.5
26	007-A	+	0.725	25.6	377.1	47.7	3.8	454.2
27	007-B	-	0.585	49.9	538.3	83.3	11.7	683.2
28	007-C	-	0.409	36.7	583.0	46.7	9.6	676.0
29	008-A	+	0.130	58.0	421.9	77.2	29.0	586.0
30	008-B	-	0.230	76.4	507.3	116.5	22.6	722.9
31	008-C	-	0.696	157.9	661.5	176.3	41.3	1037.0
32	008-D	-	0.235	171.7	1147.6	292.0	40.2	1651.4
33	008-E	-	0.080	112.7	883.9	183.9	20.7	1201.2
34	008-F	-	0.131	95.8	1274.1	228.1	21.1	1619.0
35	009-A	+	0.701	11.8	182.8	24.9	6.0	225.5
36	009-B	+	0.237	11.7	146.9	24.5	17.5	200.6
37	009-C	+	0.533	12.3	202.4	23.3	2.9	241.0
38	009-D	+	0.736	45.7	249.4	54.9	10.0	360.0
39	010-A	+	1.008	76.6	337.0	74.9	10.3	498.9
40	010-B	-	0.709	179.7	1017.4	260.1	40.0	1497.2
41	010-C	-	0.397	41.6	539.2	73.6	12.0	666.5
42	011-A	+	1.157	1.0	58.9	3.5	2.3	65.8
43	011-B	-	0.090	45.8	29.5	1.1	129.3	205.8
44	011-C	-	0.645	1.7	95.4	7.1	2.4	106.6
45	012-A	+	0.601	0.0	47.6	5.6	2.6	55.8
46	012-B	+	0.324	2.6	94.6	21.4	15.2	133.8
47	012-C	-	0.683	3.0	69.7	10.3	5.2	88.2
48	012-D	-	0.208	0.6	38.7	1.5	14.2	54.9
49	013-A	+	0.367	5.6	57.3	7.0	0.0	69.8

Table 8-2 Urinary creatinine and arsenic species obtained from arsenic-affected families on June, 2005

(unit: ng/mg creatinine)

	Sample No.	arsenicosis	creatinine (mg/ml)	1)As(III)	2)DMA	3)MMA	4) As(V)	Total As
50	013-B	-	0.310	11.7	116.7	19.9	0.0	148.3
51	013-C	-	0.137	3.8	91.5	12.0	1.6	109.0
52	013-D	-	0.187	32.7	160.5	43.5	7.5	244.1
53	014-A	+	0.222	10.8	142.5	6.7	4.7	164.6
54	014-B	-	0.371	43.7	325.1	40.4	9.4	418.6
55	014-C	-	0.099	17.6	150.0	13.9	15.7	197.3
56	015-A	+	0.331	188.1	1103.5	197.8	14.1	1503.5
57	015-B	-	2.328	18.0	191.9	29.2	2.2	241.3
58	015-C	-	0.482	71.6	785.0	71.4	13.7	941.7
59	015-D	-	0.711	139.2	1406.2	101.0	8.1	1654.5
60	015-E	-	0.319	100.4	1080.2	179.5	26.5	1386.6
61	016-A	+	0.546	14.2	32.8	10.0	4.7	61.6
62	016-B	-	0.243	21.2	125.7	35.9	12.1	194.9
63	016-C	-	0.212	25.9	156.8	25.8	13.7	222.2
64	016-D	-	0.259	51.1	392.6	108.7	5.2	557.5
65	017-A	+	0.576	15.7	88.4	25.9	13.0	143.1
66	017-B	-	0.269	23.7	367.7	21.4	5.0	417.9
67	017-C	-	2.352	11.9	83.4	11.9	3.2	110.4
68	017-D	-	1.448	35.4	236.0	49.7	98.1	419.2
69	017-E	-	0.508	30.9	273.9	28.0	11.4	344.2
70	018-A	+	1.598	8.0	97.5	9.4	2.4	117.2
71	018-B	-	0.892	12.0	105.9	24.4	6.0	148.3
72	018-C	-	0.264	42.4	8.1	96.9	14.2	161.7
73	018-D	-	0.573	14.9	364.3	23.7	9.2	412.1
74	018-E	-	0.685	23.3	142.3	30.2	5.5	201.2
75	018-F	-	0.576	10.3	172.7	18.2	5.5	206.7
		average	0.486	56.2	412.7	73.5	28.9	571.3
		MAX	2.352	969.2	3466.8	967.3	489.3	5492.1
		MIN	0.066	0.0	8.1	1.1	0.0	54.9

Table 9 Arsenic species in urines on February 2006

	Sample No.	creatinine (mg/mL)	As species (ng/mg creatinine)				Total As
			1) As(III)	2)DMA	3)MMA	4) As(V)	
1	001-A	0.547	9.5	67.6	10.1	0.0	87.2
2	001-B	0.681	3.5	48.5	8.1	0.0	60.1
3	001-D	0.887	4.4	44.4	6.9	0.4	56.0
4	001-E	0.616	6.1	72.5	9.7	0.0	88.3
5	001-F	0.324	5.7	70.5	4.9	0.0	81.1
6	001-G	0.967	2.3	24.5	2.1	0.0	28.9
7	002-A	0.282	4.0	78.0	18.8	0.0	100.8
8	002-C	0.978	5.0	61.2	11.0	0.9	78.0
9	002-D	0.946	7.3	82.2	10.2	2.2	101.9
10	002-E	0.298	10.5	217.1	26.9	0.5	254.9
11	002-F	0.389	15.5	256.2	23.8	0.0	295.5
12	003-A	0.575	13.5	124.6	17.1	5.1	160.4
13	003-D	0.726	11.3	289.0	70.6	162.1	533.0
14	003-F	1.395	10.7	133.6	15.0	1.9	161.2
15	004-B	0.603	23.3	115.5	17.6	9.3	165.7
16	004-C	0.683	13.6	96.1	21.3	5.2	136.2
17	004-E	1.118	11.1	85.2	23.5	0.0	119.8
18	005-A	0.272	13.1	117.0	36.1	7.4	173.6
19	005-B	1.325	6.3	64.8	6.6	2.4	80.1
20	006-A	0.869	10.5	79.6	10.5	1.8	102.4
21	007-A	0.513	17.9	90.4	18.9	0.0	127.2
22	007-B	0.961	12.8	105.7	12.4	0.9	131.9
23	007-C	1.123	13.7	121.2	11.3	2.1	148.3
24	008-A	0.665	21.5	106.0	31.4	2.0	160.8
25	008-D	0.468	31.4	221.0	48.1	0.0	300.5
26	008-E	0.885	41.8	241.7	70.4	2.7	356.7
27	009-A	0.709	11.0	83.2	20.8	3.2	118.1
28	010-B	0.772	22.2	209.4	36.1	1.0	268.7
29	010-C	1.657	15.2	187.7	41.1	1.8	245.8
30	010-D	0.714	17.4	114.9	25.4	0.0	157.7
31	011-B	0.765	1.5	35.5	1.7	0.0	38.6
32	012-A	2.185	0.5	82.9	10.3	0.0	93.7
33	015-A	0.508	50.6	341.1	87.9	4.4	484.0
34	015-C	1.154	6.8	188.7	10.1	1.8	207.3
35	015-D	0.854	8.5	208.8	9.0	4.3	230.6
36	015-E	0.637	9.7	191.2	13.4	4.0	218.3
37	016-A	0.291	5.7	6.7	5.6	0.0	18.0
38	016-B	0.412	5.1	45.4	7.4	0.0	57.9
39	016-C	0.358	8.9	65.4	18.1	4.9	97.3
40	016-D	0.615	6.7	42.3	11.4	2.8	63.3
41	017-A	1.396	23.6	74.3	23.3	4.8	126.1
42	017-B	0.478	9.7	170.5	17.8	3.6	201.7
43	017-E	1.388	5.4	89.8	13.6	2.1	111.1
44	018-A	1.994	3.8	61.1	6.6	1.2	72.7
45	018-B	1.290	7.0	98.4	16.7	1.7	123.8
46	018-C	0.233	5.6	72.2	12.6	9.9	100.3
47	018-D	0.564	8.9	81.3	9.2	0.0	99.5
48	018-E	0.391	10.4	222.9	16.5	6.0	255.8
49	018-F	0.197	16.6	251.1	28.2	13.8	309.7
	Average	0.789	12.0	121.2	20.1	5.7	159.0
	MAX	2.185	50.6	341.1	87.9	162.1	533.0
	MIN	0.197	0.5	6.7	1.7	0.0	18.0

Table 10-1 Arsenic species obtained from non arsenic-affected villagers
on February 2006

	Sample No.	creatinine (mg/dL)	As species (ng/mg creatinine)				Total As
			1) As(III)	2)DMA	3)MMA	4) As(V)	
1	001D	0.887	4.4	44.4	6.9	0.4	56.0
2	001E	0.616	6.1	72.5	9.7	0.0	88.3
3	001F	0.324	5.7	70.5	4.9	0.0	81.1
4	002C	0.978	5.0	61.2	11.0	0.9	78.0
5	002D	0.946	7.3	82.2	10.2	2.2	101.9
6	002E	0.298	10.5	217.1	26.9	0.5	254.9
7	002F	0.389	15.5	256.2	23.8	0.0	295.5
8	003D	0.726	11.3	289.0	70.6	162.1	533.0
9	003F	1.395	10.7	133.6	15.0	1.9	161.2
10	004C	0.683	13.6	96.1	21.3	5.2	136.2
11	004E	1.118	11.1	85.2	23.5	0.0	119.8
12	005B	1.325	6.3	64.8	6.6	2.4	80.1
13	007B	0.961	12.8	105.7	12.4	0.9	131.9
14	007C	1.123	13.7	121.2	11.3	2.1	148.3
15	008D	0.468	31.4	221.0	48.1	0.0	300.5
16	008E	0.885	41.8	241.7	70.4	2.7	356.7
17	010B	0.772	22.2	209.4	36.1	1.0	268.7
18	010C	1.657	15.2	187.7	41.1	1.8	245.8
19	010D	0.714	17.4	114.9	25.4	0.0	157.7
20	011B	0.765	1.5	35.5	1.7	0.0	38.6
21	015C	1.154	6.8	188.7	10.1	1.8	207.3
22	015D	0.854	8.5	208.8	9.0	4.3	230.6
23	015E	0.637	9.7	191.2	13.4	4.0	218.3
24	016B	0.412	5.1	45.4	7.4	0.0	57.9
25	016C	0.358	8.9	65.4	18.1	4.9	97.3
26	016D	0.615	6.7	42.3	11.4	2.8	63.3
27	017B	0.478	9.7	170.5	17.8	3.6	201.7
28	017E	1.388	5.4	89.8	13.6	2.1	111.1
29	018B	1.290	7.0	98.4	16.7	1.7	123.8
30	018D	0.564	8.9	81.3	9.2	0.0	99.5
31	018E	0.391	10.4	222.9	16.5	6.0	255.8
32	018F	0.197	16.6	251.1	28.2	13.8	309.7
	avrage	0.793	11.5	136.4	20.3	7.2	175.3
	MAX	1.657	41.8	289.0	70.6	162.1	533.0
	MIN	0.197	1.5	35.5	1.7	0.0	38.6

Table 10-2 Arsenic species obtained from arsenic-affected villagers
on February 2006

	Sample No.	creatinine (mg/dL)	1) As(III)	2)DMA	3)MMA	4) As(V)	Total As
1	001A	0.547	9.5	67.6	10.1	0.0	87.2
2	001B	0.681	3.5	48.5	8.1	0.0	60.1
3	001G	0.967	2.3	24.5	2.1	0.0	28.9
4	002A	0.282	4.0	78.0	18.8	0.0	100.8
5	003A	0.575	13.5	124.6	17.1	5.1	160.4
6	004B	0.603	23.3	115.5	17.6	9.3	165.7
7	005A	0.272	13.1	117.0	36.1	7.4	173.6
8	006A	0.869	10.5	79.6	10.5	1.8	102.4
9	007A	0.513	17.9	90.4	18.9	0.0	127.2
10	008A	0.665	21.5	106.0	31.4	2.0	160.8
11	009A	0.709	11.0	83.2	20.8	3.2	118.1
12	012A	2.185	0.5	82.9	10.3	0.0	93.7
13	015A	0.508	50.6	341.1	87.9	4.4	484.0
14	016A	0.291	5.7	6.7	5.6	0.0	18.0
15	017A	1.396	23.6	74.3	23.3	4.8	126.1
16	018A	1.994	3.8	61.1	6.6	1.2	72.7
17	018C	0.233	5.6	72.2	12.6	9.9	100.3
	avrage	0.782	12.9	92.5	19.9	2.9	128.2
	MAX	2.185	50.6	341.1	87.9	9.9	484.0
	MIN	0.233	0.5	6.7	2.1	0.0	18.0

Table 11-1 Arsenic species in urines on August 2006

	Sample No.	creatinine (mg/mL)	As species (ng/mg creatinine)				Total As
			1) As(III)	2)DMA	3)MMA	4) As(V)	
1	001-A	1.144	10.8	147.0	9.7	6.9	174.4
2	001-B	0.337	5.5	130.7	14.6	6.8	157.7
3	001-C	0.860	10.0	124.5	10.3	6.4	151.1
4	001-D	0.965	1.6	78.5	3.7	0.0	83.9
5	001-E	0.301	15.1	178.8	20.2	0.0	214.2
6	001-F	0.376	2.8	176.9	13.8	15.4	209.0
7	001-G	0.357	13.0	108.8	18.1	9.6	149.5
8	002-A	0.306	3.9	192.9	33.0	10.6	240.4
9	002-C	0.852	11.9	162.6	11.6	3.2	189.4
10	002-D	0.805	14.5	219.4	13.9	1.1	248.9
11	002-E	0.025	258.7	4997.7	367.5	89.0	5712.8
12	002-F	0.043	199.1	3965.6	220.4	0.0	4385.1
13	003-A	0.032	78.8	1877.1	161.1	0.0	2116.9
14	003-C	0.120	122.3	1617.4	174.6	18.8	1933.1
15	003-D	0.022	13.5	118.2	148.7	77.7	358.1
16	003-E	0.005	380.0	3345.5	372.6	0.0	4098.0
17	003-F	0.041	22.6	1115.0	108.4	0.0	1246.0
18	004-A	0.784	11.3	194.6	26.6	5.8	238.4
19	004-B	2.096	29.1	216.8	37.3	24.5	307.7
20	004-C	0.531	6.1	80.7	19.5	90.5	196.8
21	004-D	0.007	0.0	0.0	0.0	3755.8	3755.8
22	005-A	0.491	9.0	162.4	19.7	7.4	198.5
23	005-B	1.282	8.2	79.1	5.8	2.8	95.8
24	006-A	0.845	8.5	92.9	10.3	0.9	112.5
25	006-B	0.863	18.3	179.5	26.1	7.1	231.0
26	007-A	0.922	11.2	150.6	15.7	6.3	183.7
27	007-B	0.302	21.9	239.9	30.5	12.4	304.6
28	007-C	1.192	15.0	185.2	15.7	5.2	221.0
29	008-A	0.782	9.8	101.3	23.5	1.0	135.6
30	008-B	0.136	20.5	166.4	37.2	9.0	233.0
31	008-C	0.980	15.4	78.5	21.3	2.3	117.5
32	008-D	0.634	22.3	173.6	26.6	1.2	223.7
33	008-E	0.310	30.4	299.0	42.7	5.1	377.2
34	008-F	0.619	19.0	250.6	29.6	6.3	305.5
35	009-A	2.747	2.9	79.9	9.4	1.7	94.0
36	009-B	0.814	5.2	89.5	16.2	2.7	113.5
37	009-C	1.377	9.1	100.7	14.9	1.4	126.1
38	009-E	1.551	4.6	74.2	7.8	2.1	88.7
39	009-F	2.124	1.4	37.6	6.5	1.6	47.2
40	010-A	1.405	19.9	171.7	27.9	2.3	221.8
41	010-B	0.423	24.9	154.3	27.8	12.9	220.0
42	010-C	1.493	3.7	3.7	18.2	0.0	25.5
43	011-A	2.041	2.0	64.6	7.6	1.1	75.2
44	011-B	2.006	11.5	89.0	24.1	0.6	125.2
45	011-C	2.081	3.1	56.7	4.6	0.0	64.4
46	012-A	0.818	8.8	149.7	20.6	0.0	179.1
47	012-B	0.448	5.0	37.8	9.5	7.4	59.7
48	012-C	1.642	19.1	157.0	41.4	4.6	222.1
49	012-D	0.798	4.9	60.2	6.9	0.0	72.0
50	015-A	1.081	7.8	149.9	12.5	0.0	170.2
51	015-B	2.372	6.1	89.1	7.4	1.0	103.6
52	015-C	0.541	10.4	192.1	14.2	0.0	216.7
53	015-D	0.042	264.6	4272.4	275.6	25.0	4837.6
54	015-E	0.023	181.3	4258.0	271.4	0.0	4710.7
55	016-A	0.022	0.0	344.7	94.9	56.7	496.3

Table 11-2 Arsenic species in urines on August 2006

	Sample No.	creatinine (mg/mL)	As species (ng/mg creatinine)				Total As
			1) As(III)	2)DMA	3)MMA	4) As(V)	
56	016-B	0.116	542.0	4724.8	463.2	87.4	5817.5
57	016-C	0.078	120.5	1098.5	104.3	30.5	1353.9
58	017-B	0.067	283.5	10386.8	919.6	30.5	11620.4
59	017-C	0.050	715.5	3173.4	993.7	31.8	4914.5
60	017-E	0.029	499.5	3316.2	603.1	61.1	4479.9
61	018-A	0.166	166.5	4155.7	228.1	33.8	4584.0
62	018-B	0.112	106.7	1975.9	266.4	26.1	2375.0
63	018-C	0.035	63.2	401.4	301.3	9.4	775.3
64	018-D	0.021	105.8	1339.0	237.6	0.0	1682.4
65	018-E	0.035	276.9	5785.0	397.1	27.6	6486.6
66	018-F	0.015	395.5	5223.7	395.0	137.9	6152.2
	Average	0.696	80.2	1112.4	120.0	72.5	1385.1
	MAX	2.747	715.5	10386.8	993.7	3755.8	11620.4
	MIN	0.005	0.0	0.0	0.0	0.0	25.5

Table 12-1 Ratio of (DMA+MMA)/Total As and MMA/DMA on June 2005, February 2006 and August 2006

Sample No.	arsenicosis	Data of June 2005		Data of February 2006		Data of August 2006		
		(DMA+MMA)/Total As(%)	MMA/DMA (%)	(DMA+MMA)/Total As(%)	MMA/DMA (%)	(DMA+MMA)/Total(%)	MMA/DMA (%)	
1	001-A	+	88.4	6.5	89.1	15.0	89.9	6.6
2	001-B	+	88.8	27.0	94.2	16.7	92.2	11.2
3	001-C	-	89.9	16.2	-	-	89.2	8.3
4	001-D	-	89.4	5.9	91.5	15.5	98.1	4.8
5	001-E	-	77.6	13.9	93.1	13.4	92.9	11.3
6	001-F	-	65.2	12.7	93.0	6.9	91.3	7.8
7	001-G	-	-	-	92.1	8.8	84.9	16.7
8	002-A	+	86.3	11.4	96.0	24.1	94.0	17.1
9	002-C	-	88.6	17.2	92.5	17.9	92.0	7.2
10	002-D	-	93.5	7.4	90.7	12.4	93.7	6.3
11	002-E	-	92.7	13.3	95.7	12.4	93.9	7.4
12	002-F	-	80.7	27.9	94.7	9.3	95.5	5.6
13	003-A	+	83.8	22.9	88.4	13.7	96.3	8.6
14	003-B	-	92.7	12.5	-	-	-	-
15	003-C	-	84.0	21.3	-	-	92.7	10.8
16	003-D	-	72.3	25.4	67.5	24.4	74.5	125.7
17	003-E	-	86.1	18.7	-	-	90.7	11.1
18	003-F	-	87.5	12.2	92.2	11.2	98.2	9.7
19	004-A	+	84.7	17.9	-	-	92.8	13.7
20	004-B	+	95.7	30.6	80.3	15.2	82.6	17.2
21	004-C	-	92.5	5.3	86.2	22.1	50.9	24.2
22	004-D	-	83.5	9.2	-	-	0.0	-
23	004-E	-	-	-	90.7	27.6	-	-
24	005-A	+	95.5	12.8	88.2	30.9	91.7	12.1
25	005-B	-	89.8	19.6	89.2	10.2	88.6	7.3
26	006-A	+	92.6	7.1	88.0	13.1	91.7	11.0
27	006-B	-	43.6	18.4	-	-	89.0	14.5
28	007-A	+	93.5	12.6	85.9	20.9	90.5	10.4
29	007-B	-	91.0	15.5	89.6	11.8	88.8	12.7
30	007-C	-	93.2	8.0	89.3	9.3	90.9	8.5
31	008-A	+	85.2	18.3	85.4	29.6	92.0	23.2
32	008-B	-	86.3	23.0	-	-	87.3	22.3
33	008-C	-	80.8	26.6	-	-	84.9	27.1
34	008-D	-	87.2	25.4	89.5	21.8	89.5	15.4
35	008-E	-	88.9	20.8	87.5	29.1	90.6	14.3
36	008-F	-	92.8	17.9	-	-	91.7	11.8
37	009-A	+	92.1	13.6	88.0	25.0	95.1	11.8
38	009-B	+	85.4	16.7	-	-	93.1	18.1
39	009-C	+	93.7	11.5	-	-	91.7	14.8
40	009-D	+	84.5	22.0	-	-	-	-
41	009-E	-	82.6	22.2	-	-	92.4	10.5
42	009-F	-	82.6	22.2	-	-	93.5	17.2
43	010-A	+	82.6	22.2	-	-	90.0	16.3
44	010-B	-	85.3	25.6	91.4	17.2	82.8	18.0
45	010-C	-	92.0	13.7	93.1	21.9	85.7	488.3
46	010-D	-	-	-	89.0	22.1	-	-
47	011-A	+	94.9	6.0	-	-	96.0	11.7
48	011-B	-	14.9	3.7	96.2	4.8	90.4	27.1
49	011-C	-	96.2	7.4	-	-	95.2	8.1
50	012-A	+	95.4	11.7	99.5	12.4	95.1	13.8
51	012-B	+	86.7	22.6	-	-	79.3	25.1
52	012-C	-	90.7	14.8	-	-	89.3	26.4
53	012-D	-	73.1	3.9	-	-	93.2	11.5
54	013-A	+	92.0	12.2	-	-	-	-
55	013-B	-	92.1	17.1	-	-	-	-
56	013-C	-	95.0	13.1	-	-	-	-
57	013-D	-	83.6	27.1	-	-	-	-
58	014-A	+	90.6	4.7	-	-	-	-
59	014-B	-	87.3	12.4	-	-	-	-
60	014-C	-	83.1	9.3	-	-	-	-
61	015-A	+	86.5	17.9	88.6	25.8	95.4	8.3
62	015-B	-	91.6	15.2	-	-	93.2	8.3

Table 12-2 Ratio of (DMA+MMA)/Total As and MMA/DMA on June 2005, February 2006 and August 2006

Sample No.	arsenicosis	Data of June 2005		Data of February 2006		Data of August 2006		
		(DMA+MMA)/Total As(%)	MMA/DMA (%)	(DMA+MMA)/Total As(%)	MMA/DMA (%)	(DMA+MMA)/Total(%)	MMA/DMA (%)	
63	015-C	-	90.9	9.1	95.9	5.3	95.2	7.4
64	015-D	-	91.1	7.2	94.5	4.3	94.0	6.4
65	015-E	-	90.9	16.6	93.7	7.0	96.2	6.4
66	016-A	+	69.4	30.4	68.2	83.0	88.6	27.5
67	016-B	-	82.9	28.5	91.2	16.3	89.2	9.8
68	016-C	-	82.2	16.5	85.9	27.7	88.8	9.5
69	016-D	-	89.9	27.7	85.0	27.0	-	-
70	017-A	+	79.9	29.3	77.4	31.4	-	-
71	017-B	-	93.1	5.8	93.4	10.4	-	-
72	017-C	-	86.3	14.2	-	-	84.8	31.3
73	017-D	-	68.2	21.0	-	-	-	-
74	017-E	-	87.7	10.2	93.2	15.2	87.5	18.2
75	018-A	+	91.1	9.6	93.2	10.8	95.6	5.5
76	018-B	-	87.9	23.0	93.0	16.9	94.4	13.5
77	018-C	-	65.0	1195.1	84.5	17.5	90.6	75.1
78	018-D	-	94.2	6.5	91.0	11.4	93.7	17.7
79	018-E	-	85.7	21.2	93.6	7.4	95.3	6.9
80	018-F	-	92.4	10.6	90.2	11.2	91.3	7.6

Table 13 Urinary samples for abnormal ratio of (DMA+MMA)/Total As and of MMA/DMA

Sample No.	arsenicosis	Data of June 2005		Data of February 2006		Data of August 2006		
		(DMA+MMA)/Total As(%)	MMA/DMA (%)	(DMA+MMA)/Total As(%)	MMA/DMA (%)	(DMA+MMA)/Total(%)	MMA/DMA (%)	
1	003-D	-	72.3	25.4	67.5	24.4	74.5	125.7
2	004-D	-	83.5	9.2	-	-	0.0	-
3	010-C	-	92.0	13.7	93.1	21.9	85.7	488.3
4	011-B	-	14.9	3.7	96.2	4.8	90.4	27.1
5	018-C	-	65.0	1195.1	84.5	17.5	90.6	75.1

我々は、バングラデシュにコミュニティ用砒素除去装置 GSF (Gravel Sand Filter) の 1 号基を 2003 年 1 月に設置して以来、現在までに 4 基が現地で稼働している。2004 年年度から 2006 年度の 3 年間に砒素除去性能のメンテナンスを通じて、また排出される砒素汚泥の処分の研究を通じて、GSF の設計基準化を試みてきた。GSF は砂利槽と砂槽からなるが、砒素除去のメカニズムは地下水中に高濃度に含有されている鉄分を本装置内で酸化し、砒素を 3 価鉄の共沈物として砂利槽内の砂利間隙中でトラップするものである。砂層は緩速砂ろ過槽の役割を与えられている。

砒素も共沈のためには 5 価砒素にならなければならない。そのためバッキ、砒素と鉄の接触時間およびリンなどの競合イオンの濃度がキーポイントとなる。過去 3 年間にわたる研究でバッキや接触時間については十分に検討し、設計基準は得られている。

GSF4 基の原水水質と処理水を同時期に一斉に調べた結果、原水中のリン濃度が高い GSF1 号基の処理効率が相対的に低い、ということが分かった。リン濃度の高い原水では鉄/砒素値を 30（通常は 10）となるように鉄屑の付加という基準を得ている。

砂層にも砒素が蓄積してゆく。砂層中が嫌気性になれば蓄積した砒素が溶出してくる。そのため、砂槽表面に生物膜が生育し、砂中に酸素が供給されるようなメンテナンス基準をつくっている。

また、砒素除去装置から排出される汚泥は、砒素汚泥槽で沈殿処理され、その上澄み液は人工池に放流されている。沈殿汚泥の処分に関しては、汚泥のセメント固化処分の研究を行ってきた。溶出試験の結果、セメントを添加しない場合でも、汚泥中の砒素はその 90% が汚泥中に閉じ込められるが、溶出濃度が 0.05~0.65mg/L と試料によって環境基準値を超える場合がある。セメント添加量が 2% の場合では 0.05~0.11mg/L とわが国の第 2 溶出基準をクリアする。pH=10.5~10.9 とアルカリ性でもあるので、遮水して貯蔵すれば問題ないと考えられる。

本研究では、砒素汚泥の成分分析 (SEM) も行われており、粒子によっては砒素が 2~4% と高濃度に集積していた (その他の成分は Fe (3~9%)、Mg (11~19%)、Ca (26~45%) など)。また、汚泥の砒素含有量試験では 100~300mg/kg が得られている。バングラデシュの砒素汚染地では砒素含有濃度は 10mg/kg 程度であるので、砒素汚泥中では高濃度に砒素が濃縮されていることとなる。汚泥からの砒素回収は再資源化の面で今後重要な研究課題となるであろう。

汚泥タンクの上澄み液は人工池に放流されるが、そこで砒素の自然浄化処理を 2 年間試みている。自然浄化に関する基礎データを得るため、人工池環境における砒素の自然・生態系中の流れを解明することを目的として、池底土中の砒素堆積状況の追跡と同土中における砒素を効率よく有機化する細菌の探索を行っている。ここでは砒素汚泥槽及び池中の砒素環境について 2 年間のデータが紹介されている。

汚泥タンクおよび人工池のいずれでも、僅かであるが両年とも有機砒素 (MMA, DMA) を確認することができた。さらに、両年とも砒素濃度にかかわらず $10^5 \sim 10^7$ cells/ml 以上の生菌数を示し、標準培養法によっても砒素の影響は見られなかった。1000mg/L の砒素を含む培地でもかなりの数のコロニーが両年とも出現したことから、砒素耐性能に優れた菌がかなり存在することが分かった。

A. 研究目的

バングラデシュでは飲料水の95%を地下水に依存しているが、その地下水がほぼ全国的に砒素に汚染されている。我々は、コミュニティ用の砒素除去装置 GSF (Gravel Sand Filter) をバングラデシュのマルア村に開発・設置し、その性能を検討してきた。

GSF は、地下水中に含まれる砒素と鉄が酸化状態で吸着・共沈する性質を利用し、この共沈物を Gravel Tank 内の砂利の間隙に沈殿させ地下水中の砒素除去を行うものである。GSF はここ4年間、メンテナンスの簡単化、砒素除去能力の向上のため、改良され続け、現在すでに4基がバングラデッシュで稼働している。

今後、GSF により砒素除去が行われてゆく場合、砒素汚泥タンクに貯蔵される砒素汚泥（砒素と鉄の共沈物）の処理処分方法の確立は避けられない

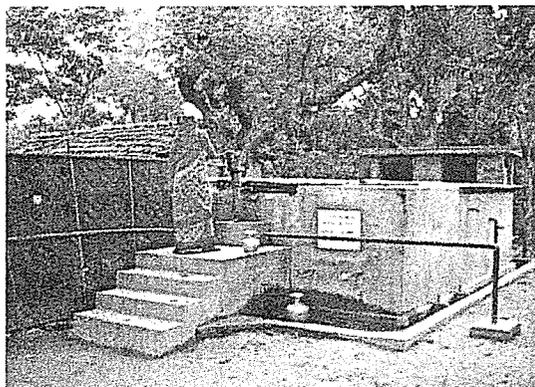


図-1(a) GSF の全景

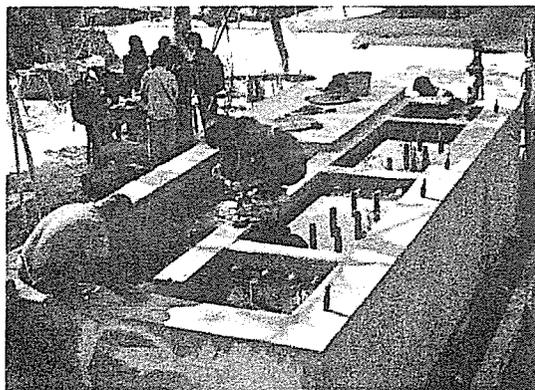


図-1(b) GSF の内部

問題である。そこで、本研究では砒素汚泥の処分

方法も開発されてきた。

以上のような研究活動を通じて、GSF の設計基準を検討してきた。以下、その内容について述べる。

B. 方法及び結果

B-1. GSF の設計基準 (2004~2006 年)

砒素除去のメカニズムは、地下水中に高濃度に含有されている鉄分を本装置内で酸化し、その砒素との共沈物を砂利槽内の砂利間隙中でトラップし、最後に砂槽で緩速ろ過するものである。

そのためバッキ、砒素と鉄の接触時間（流速）およびリンなど砒素と競合するイオン濃度などが砒素除去上のキーポイントとなる。

- 1) バッキ方法は、①ポンプからインレットタンクに地下水を汲み入れる場合の落下エネルギーを利用する方法 (GSF1 号基)、②汲み上げた地下水を本砒素除去装置の槽壁頭上に設置したチャンネル上を流して酸化させる方法 (GSF2, 4 号基)、③多くの細孔を持つプレートインレットタンクの頭部に設置し、汲み上げた地下水を水滴状に落下させて酸化させる方法 (GSF1, 2 号基) を適宜選択する。
- 2) 流速は模型実験などにより 75~100cm/h (見かけの速度) としている。
- 3) 競合イオンのリンについては、原水の砒素、鉄、リン濃度に応じて次のような基準を設けている。

表-1 リン、Fe/As と砒素除去性能

リン濃度 (mg/L)	Fe/As (濃度比)	性能
低い場合 (目安: 0~0.7)	>10	O.K
	<10	鉄屑添加
高い場合 (目安: 1~2)	>30	O.K
	<30	鉄屑添加

リン濃度が低い (目安: 0~0.7mg/L) 場合には、Fe/As 値が 10 以上であれば、砒素除去性能は O.K であるが、Fe/As < 10 では GSF に屑鉄付加し、同値を 10 以上とする。また、リン濃度が高い (目安:

1~2mg/L) 場合には、Fe/As>30 ならば O.K だが、Fe/As<30 では GSF に屑鉄付加し、Fe/As>30 とする。

なお、現在稼働している 4 基の GSF の性能に関して、一斉試験を行った結果、図-2 を得ている。GSF No.1 では Fe/As の値は 20 だが、競合イオンの磷酸濃度が 1.2mg/L と GSF4 基の中で最高値であった。設計仕様によれば Fe/As 値は 30 以上でなければならないので、2006 年の 12 月に鉄屑を砂利槽 2 に装填し、現在その効果を測定中である。GSF No.2、No.3 ではリン濃度がそれぞれ 0.44mg/L、0.61mg/L と小さく、Fe/As 値がそれぞれ、38、15 と大きかったため、砒素除去が良いのであろう。GSF No.4 では原水の砒素濃度が 0.26 mg/L と 4 基の中で最高であったが、リン濃度が逆に 0.21mg/L と最低であり、Fe/As 値も 27 と高いため、砒素除去性能が良い。

GSF4 基のこれまでのデータをまとめれば、図-3 のような結果をえている。No.1 は初代の砒素除去装置であり、サイズが大きく、何度も改良を重ねてきた。原水は通常、砒素濃度は 0.2~0.3mg/L と高く、鉄濃度は 3~4mg/L である。No.2 は原水の砒素濃度は 0.07~0.10mg/L で、Inlet 槽で

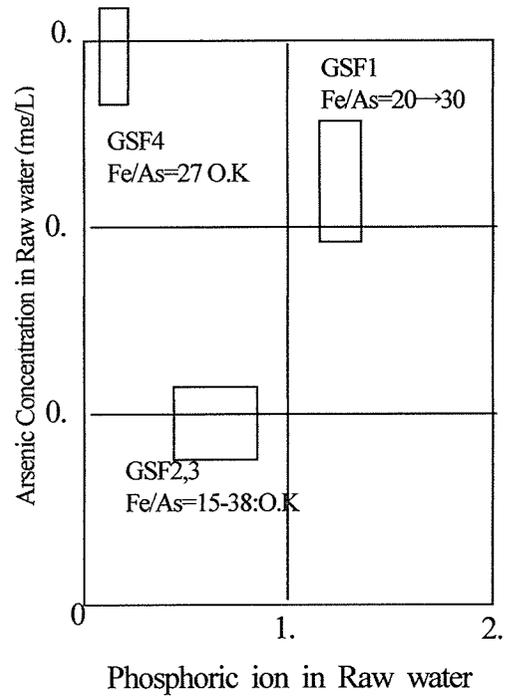


図-3 GSF1~4 の性能関係

50%を超える砒素を除去し、砂利槽(1)でさらに半分以上を除去、ここまでで 80%以上が除去できている。砂利槽 (2) 以降の施設はほとんど機能していないといえる。No.3 は深さ約 140 メートルの深

井戸を原水としている。手押しポンプで汲み上げたのち、Inlet 槽に入る前に曝気路 (aeration canal) を通過する構造になっているが、この部分のエアレーション機能は非常に高い。その他の機

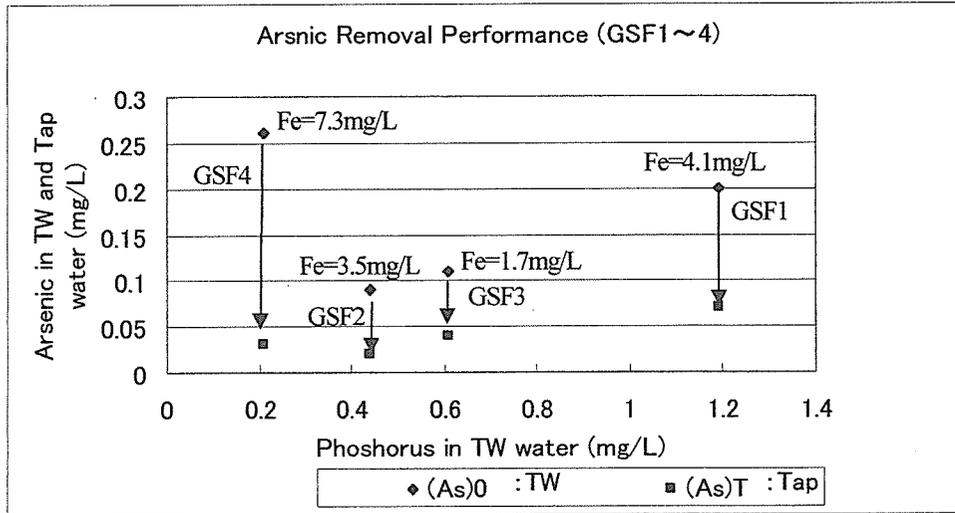


図-2 GSFNo.1~4 の性能一斉試験結果

能は、もっとコンパクトにする改良する余地がある。No.4 では原水の砒素濃度は 0.2~0.25mg/L、鉄濃度は 8~10mg/L である。一番最近設計したものであり施設の性能は良いが、利用量が多いので

時々砂の取り替えが必要である。現在、砂取り替え後のモニタリングをおこなっているところである。

B-2. GSF のメンテナンス基準 (2004~2005 年)

目詰まりや砂槽中の砒素再溶出などに関するメンテナンス基準については、以下のものが確立されている。

①砒素除去性能のチェック (住民によるフィールドキットを用いた測定: 1回/10日、AAN 砒素センターのAASによる測定: 1回/月)、②砒素汚泥による目詰まり防止 (砂利タンクの底部の数分間排水: 1回/10日、砂利槽内の砂利洗浄: 1回/3月、砂槽内の砂洗浄: 1回/3月、以上住民による作業)。

B-3. 砒素汚泥の固化処分基準 (2004~2005 年)

砒素汚泥槽内の沈殿汚泥処分に関しては、セメント固化処分の研究を行ってきた。本研究におけるセメントの添加割合は、汚泥重量の20%、10%、2%、0%である。

20%添加の場合、溶出試験による砒素濃度は0.02~0.04mg/Lであり、現地の基準をクリアしている。その際、汚泥中の砒素はわずか、その0.01~0.53%しか溶出しなく、99%以上の砒素が汚泥中に閉じ込められることが認められている。ただ、pHが12.1~12.3と高アルカリであり、放流時には中和処理が必要となる。

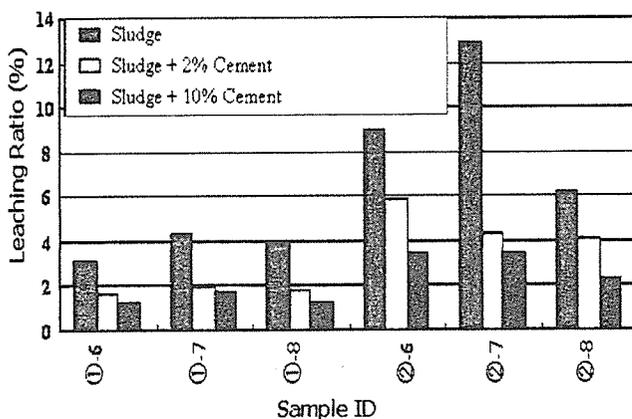


図-4 砒素スラッジの溶出割合

他のセメント添加量の場合には次のような結果となっている。すなわち、前述の溶出濃度、

溶出量およびpH値はそれぞれ、0.03~0.09mg/L、1.20~4.09%、pH=10.9~11.9 (以上セメント量10%の場合)、0.05~0.11mg/L、1.64~5.83%、pH=10.5~10.9 (セメント量2%の場合)、0.05~0.65mg/L、3.0~12.8% (セメント量0%)となっている (図-4参照)。

これらの結果より、セメントを添加しない場合でも、汚泥中の砒素はその90%が汚泥中に閉じ込められるが、溶出濃度が0.05~0.65mg/Lと試料によって環境基準値を超える場合がある。セメント添加量が2%の場合では0.05~0.11mg/Lとわが国の第2溶出基準をクリアする。pH=10.5~10.9とアルカリ性でもあるので、遮水して貯蔵すれば問題ないと考えられる。

なお、砒素汚泥の成分分析を行った結果、汚泥粒子によっては砒素は2~4%と高濃度に含まれていた。なお、その他の成分はFe(3~9%)、Mg(11~19%)、Al(4~7%)、K(1~2%)、S(0~1%)、Na(0%)、Ca(26~45%)、Si(10~25%)であった。また、汚泥の砒素含有量試験では100~300mg/kgが得られている。バングラデシュの砒素汚染地では地盤中の砒素含有濃度は10mg/kg程度であるので、砒素汚泥中では砒素が高濃度に濃縮されていることとなる。汚泥からの砒素回収は再資源化の面で今後重要な研究課題となるであろう。

B-4. 砒素汚泥の自然浄化について (2005~2006 年)

砒素除去装置から排出される汚泥は、砒素汚泥槽で沈殿処理され、その上澄み液は人工池に放流されている。1年間放置して、2年目と3年目に汚泥槽内および人工池内での砒素濃度や細菌活動などについて、調査・分析した結果、次のような内容が得られている。

上澄み液の砒素濃度は0.123mg/L (2年目) および0.178mg/L (3年目) であり、人工池の表面水の砒素濃度は0.054mg/L (2年目) および0.057mg/L (3年目) と両年で変わらなかった。しかし、汚泥タンクの底部汚泥および人工池の底部泥を吸引る過液の砒素濃度はそれぞれ、

表一 砒素汚泥槽および人工池中の砒素濃度と細菌数
(A) Sep. 2005

Source	Colony forming unit (cells/ml)					
	-	0.01g As/L	0.1g As/L	1g As/L	10g As/L	
Sludge tank	Surface water	3.0×10^6	8.1×10^5	8.0×10^5	6.5×10^4	5.0×10^2
	Filtrate of sludge	6.7×10^5	6.5×10^5	6.6×10^5	1.0×10^3	4.6×10^2
Artificial pond	Surface water	2.3×10^5	2.3×10^5	2.3×10^5	5.2×10^4	4.8×10^2
	Filtrate of sediment	5.5×10^5	5.5×10^5	5.5×10^5	1.1×10^3	5.1×10^2

(B) Aug. 2006

Source	Colony forming unit (cells/ml)					
	-	0.01g As/L	0.1g As/L	1g As/L	10g As/L	
Sludge tank	Surface water	6.9×10^6	6.8×10^5	3.8×10^5	5.3×10^4	4.7×10^2
	Filtrate of sludge	1.1×10^7	1.3×10^6	6.8×10^5	1.2×10^3	4.8×10^2
Artificial pond	Surface water	1.3×10^7	9.9×10^5	4.0×10^5	5.2×10^4	5.3×10^2
	Filtrate of sediment	1.3×10^7	1.4×10^6	5.5×10^5	1.0×10^3	5.2×10^2

1.347mg/L (2年目)、0.320mg/L (3年目) および0.086mg/L (2年目)、0.043mg/L (3年目) であった。2年目と3年目でタンク汚泥中の砒素濃度がかかなり異なっていた。汚泥タンク中は2年目では還元状態にあったが、3年目では酸化状態であった。それが影響しているかもしれない。

さらにどの試料でも僅かであるが、両年とも有機砒素 (MMA,DMA) を確認することができた。また、両年とも砒素汚泥槽及び人工池において、砒素濃度にかかわらず 10^5 cells/ml 以上の細菌数を示し、これらの細菌を標準寒天培地—塗布平板培養法によって培養実験を行ったが、砒素の影響は見られなかった。さらに、1000mg/L の砒素を含む培地でもかなりの数のコロニーが両年とも出現したことから、砒素耐性能に優れた菌がかかなり存在することが分かった。

C. 考察

B. で述べた種々の設計基準は以下のような考察で妥当であると考えられる。

GSFはこの4年間、メンテナンスの実施のもとで効果的な砒素除去を行っている。GSF内で鉄と共沈した砒素 (砒素汚泥) には数%の砒素が濃縮されていることでも証明される。これはB. で述べた設計基準で稼動している実態を表しているの、逆に言えば基準の確かさを示すものといえる。

砒素汚泥の固化処分方法としては、セメント2%添加すれば、汚泥中の砒素は95%以上が汚泥

中に閉じ込められ、溶出試験による砒素濃度は0.05~0.11mg/L とわが国の第2溶出基準をクリアしている。バングラデシュに廃棄物処理処分システムが出来るまではドラム缶で貯蔵するだけでよいと考えられる。

砒素汚泥槽の上澄み液の砒素濃度は、0.123~0.178mg/L (2~3年目) と高濃度であるが、この上澄み液中でも細菌は $10^5 \sim 10^7$ cells/ml (2~3年目) 以上生息していた。これは同槽の沈殿汚泥中でも同様であり、還元下 (ORP=-200mv:1年目)、または酸化下 (ORP=+200mv:2年目) での砒素耐性能のある微生物の活動が確認された。

汚泥槽の上澄み液が流入している人工池では表面水の砒素濃度が0.054mg/L (2年目)、0.057mg/L (3年目)、底部泥からの砒素溶出試験濃度が0.086mg/L (2年目)、0.043mg/L (3年目) と高濃度であるが、ここでも、砒素耐性能のある微生物の活動が確認された。

この砒素耐性能のある微生物の存在は、1000mg/L の砒素を含む培養実験によってもかなりの数のコロニーが出現した事実からも認められる。さらに、有機砒素 (MMA,DMA) の存在確認は、砒素の微生物による代謝活動をも示唆するものであった。

今後この種の研究が続行されてゆけば、将来は砒素汚泥そのものを排水とともに人工池に流入させることも可能となるであろう。将来の設計基

準となるものである。

D. 結論

GSF は特別な砒素吸着剤など使わないので、低廉でメンテナンスも簡単である。バングラデシュでは表面水や深層地下水が利用できない高濃度砒素汚染村の存在が明らかとなってきている。JICA/AAN プロジェクトなどではGSFを10~20基設置するようになってきている。本研究でつくられた設計基準はすぐ適用されるようになる。

その性能を踏まえてGSFはさらに合理的なものへと発展してゆくことであろう。そうなれば、GSFは例えば、ネパール・テライ平原やインドガンジス川中流域の砒素汚染地などでも使われることとなる。その折もGSF建設にかかわってゆきたいものと思っ

E. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Hiroshi Yokota, *et al.*, "Collaboration between NGO and University of Miyazaki and Asian Arsenic Network for the mitigation of arsenic contamination in Ganges basin", Proc. of 1st Intern. Symp. on Health Hazards of Arsenic Contamination of Groundwater and its Countermeasures, keynote lecture, pp.47-58, Nov., 2006.
- 2) M.M. Hussainuzzaman, H.Yokota and K.Tanabe, "Arsenic Removal from Contaminated Groundwater of Bangladesh with Naturally Occurring Iron", Proc. of 1st Intern. Symp. on Health Hazards of Arsenic Contamination of Groundwater and its Countermeasures, pp.137-142, Nov., 2006.
- 3) K.Ohe, T.Oshima, Y.Baba, M.Shimoizu, Y. Miyake, T.Horikawa and H.Yokota, "Removal of Arsenic from Contaminated Groundwater by Iron Oxide", Proc. of 1st Intern. Symp. on Health Hazards of Arsenic Contamination of Groundwater and its Countermeasures, pp.162-165, Nov., 2006.
- 4) M.Miyatake, H.Yokota, K.Tanabe, M.M. Hussainuzzaman and S.Hayashi, "Sludge Treatment of Arsenic Removal Unit in Bangladesh and Removal of Arsenic using Microorganisms", Proc. of 1st Intern. Symp. on Health Hazards of Arsenic Contamination of Groundwater and its Countermeasures, pp.166-169, Nov., 2006.
- 5) Miah M., Hussainuzzaman, Hiroshi Yokota, "Efficiency of Arsenic Removal Unit working in Bangladesh and Cement Stabilization of its Sludge", Journal of ASTM International, Vol.3, No.4, pp.1-9, April 2006.
- 6) Miah M., Hussainuzzaman, Hiroshi Yokota, "Performance of Arsenic Removal Unit Installed in Bangladesh and Cement Solidification of Arsenic Sludge from the Unit", Proc. of 16th Intern Conf. on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, pp.2379-2382, Spt.,2005.
- 7) M. M. Hussainuzzaman, Y. Setoyama, D. Kataoka and H. Yokota, "Arsenic removal and sludge treatment for Gravel Sand Filter", 1st IWA-ASPIRE, Conference & Exhibition, Environmental Engineering Society of Singapore, *F&IWA-ASPIRE/index.htm*, July, 2005.
- 8) Hiroshi Yokota, "Arsenic pollutions of groundwater in the world and arsenic removal unit installed in Bangladesh", Keynote Lecture, Vietnam-Japan Joint Seminar on Geotechnics and Geoenvironment Engineering, Hanoi, November, pp.226-242, Oct., 2004.
- 9) Miah M. Hussainuzzaman, Yohei Setoyama, Daisuke Kataoka, Hiroshi Yokota, "Arsenic Removal Performance Analysis of the Gravel Sand Filter", Vietnam-Japan Joint Seminar on Geotechnics and Geoenvironment Engineering, Oct., 2004.
- 10) Miah M. Hussainuzzaman, Yohei Setoyama, Daisuke Kataoka, Hiroshi Yokota, "Performance and Maintenance of Arsenic Removal Unit Installed at Bangladesh", International Symposium on Lowland Technology, 2004 (ISLT 2004), Bangkok, Thailand, September, 2004.

2. 学会発表

- 1) 伊藤 健一, 東谷 健一郎, 宮原 英隆, 成澤 桂, 池田 穂高, 倉 洋明, 福士 圭介, 川西 琢也, 佐藤 努, 米田 哲朗, 横田 漢, 「バングラデシュにおけるシュベルトマナイトを用いたヒ素汚染井戸水の浄化」, 第11回アジア地下水ヒ素汚染フォーラム, 宮崎大学, pp. 19~26, 平成18年11月.
- 2) 福田博之, 埜嘉一, 片岡大輔, M.M.Hussainuzzaman, 田辺公子, 横田 漢, 「バングラデシュで設置稼働中の砒素除去装置GSFの性能について」, H. 17土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 563-564, H. 18. 3.
- 3) 松本直之, 若林貢, M. M. Hussainuzzaman, 田辺公子, 横田 漢, 「ネパールにおける地下水砒素汚染の特徴〜トクノワール村の調査結果〜」, H. 17土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 565-566, H. 18. 3.
- 4) 前田倫志, 吉川正道, M.M.Hussainuzzaman, 田辺公子, 上野俊夫, 古川改造, 横田 漢, 「火山灰質セラミックスの砒素除去装置への適用に関する基礎実験」, H. 17土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 567-568, H. 18. 3.
- 5) 若林貢, 宮崎大学砒素研究グループ, 九州大学谷研究室, AAN, 「ネパールにおける地下水砒素汚染の特徴—クノワール村とバトカリ村の調査結果—」, 第10回アジア地下水ヒ素汚染フォーラム, 新潟市, pp.67-69, 2005年11月.
- 6) 田辺公子, 若林貢, 古結英樹, 帖佐宣昭, 瀬戸山充,

- 宮武宗利, 横田漠, 「ネパール・ナワルバラシ郡における地下水ヒ素汚染」, 第12回ヒ素シンポジウム, 岩手県立大学, pp. 86-87, 2005年11月.
- 7) 宮武宗利, 林幸男, 田辺公子, 横田漠, 「バングラデシュに設置したヒ素除去装置の汚泥処理に関する研究」, 第12回ヒ素シンポジウム 岩手県立大学, pp. 50-51, 2005年11月.
- 8) 大栄薫, 田貝泰之, 大島達也, 馬場由成, 志水雅之, 三宅義和, 堀河俊英, 横田漠, 「マグネタイト微粒子を用いた砒素の吸着特性」, 第12回ヒ素シンポジウム, 岩手県立大学, pp. 36-37, 2005年11月.

分担研究者 山内 博 北里大学大学院医療系研究科・医療衛生学部公衆衛生学 教授

現在、アジアと中南米諸国には自然由来の無機ヒ素による井戸水汚染から大規模な慢性ヒ素中毒が発生し、推定の被害者は約5000万人（潜在的な患者を含めて）に達し、増加の傾向が観察されている。本研究において、中国の慢性ヒ素中毒に関して発生機序、疫学調査、予防対策、特に、無機ヒ素汚染井戸水の改水による慢性ヒ素中毒の改善などを重点課題として活動を実施してきた。

平成16年度は、ヒ素汚染された井戸水を長期間摂取していた農民を対象にヒ素の代謝・排泄、そして、ヒ素暴露による酸化的DNA損傷の動態について、ヒ素暴露が近似した親子間を中心に調査研究を行った。調査対象者の村は500世帯、約2000名の村民で、0.16 mg/Lの無機ヒ素汚染された井戸水をパイプ管方式で給水を受け約7年間使用していた。村民の平均尿中ヒ素濃度は $199 \pm 110 \mu\text{g As/L}$ で、対照群に比較して約23倍の高値であった。家族単位で親子間の尿中ヒ素と尿中8-OH dG濃度の関係を検討した結果、尿中ヒ素と尿中8-OH dG濃度は子供と親の間に差のない実態が示され、このことは小児への無機ヒ素暴露からの生体影響のリスクは成人に比較して高くなることが推測され、小児への無機ヒ素暴露の軽減対策の必要性が望まれた。

平成17年度は、中国内蒙古自治区包頭市ガンファンエン村での井戸水の改水における無機ヒ素暴露の軽減後、半年、1年、5年目に皮膚症状の改善を中心に検証した。井戸水改水直後の皮膚症状の改善は顕著であったが、その後の症状の改善は緩慢なものであった。その原因の一つとして、無機ヒ素汚染のある井戸水を使用している野菜の栽培から、食事からの無機ヒ素摂取量が増加されることも推測された。さらに、山西省山陰県での検証作業から、5年間にわたる無機ヒ素暴露の軽減において、重症者の角化症は改善を認めたが、軽症者の角化症や色素沈着は顕著な改善が期待されなかった。このようなことから、慢性ヒ素中毒の皮膚症状の改善には、一日の無機ヒ素暴露量は $100 \mu\text{g}$ を大きく下回る条件を設定すべきである。さらに、患者の生活環境には、無機ヒ素汚染された井戸は依然として各家庭に存在していることから、それらの使用には更なる注意や指導の必要性を強く感じた。

平成18年度は、中国内蒙古自治区包頭市と山西省山陰県での調査研究を総括的に検証し、慢性ヒ素中毒の根絶と予防対策に必要な安全な飲料水の供給システムの構築について再検討した。具体的な研究成果として、患者に対して一日のヒ素暴露量を1年間 $100 \mu\text{g/日}$ 以下に制限したことにより、角化症と色素沈着・脱色は回復し、同時に角化症による痛みも消失することを確認した。

3カ年の研究から、現在、中国では慢性ヒ素中毒の予防対策として、井戸水中ヒ素濃度が飲料水基準（0.05 ppm）を満たすパイプ方式の給水システムの普及活動がなされるに至った。この事業は推奨されるものであるが、国土が広大なためにその限りでないこと、また、給水システムの維持管理は難しく、故障期間が長く続く場合などでは、無機ヒ素汚染の井戸水の使用が再開されてしまう実態も存在した。地域においては、高濃度に汚染された井戸水から無機ヒ素の除去システムが必要であり、そして最も重要なことは、除去して回収した無機ヒ素の安全な処理システムの必要性が新たな重要な問題であることなども明らかとした。