

自然由来ヒ素含有泥水を弱酸性領域で還流する泥水管理手法に関する基礎検討（その2）

(株)鴻池組 正会員 ○大山 将、小山 孝、阪部久敬

(株)鴻池組 非会員 松生隆司

1. はじめに

泥水式シールド工法により自然由来でヒ素を含有する地盤を掘削する際には、主にヒ素を含有するシルト・粘土分（余剰泥水）が基準不適合となる可能性が高く、汚泥処分時に多額の費用がかかることが懸念される。そこで、余剰泥水の二次処理前に鉄粉や薬剤を用いて泥水を浄化処理する方法が各社から提案されている^{例え ば 1)2)}。しかし、一次処理で分級回収する砂分にヒ素を含有するシルト・粘土分が付着してしまうことや、自然由来のヒ素は砂分でも基準を超過して溶出する場合もあるため³⁾、回収される発生土（一次処理土）が基準不適合となるおそれがある。したがって、掘削土全量に対して、自然由来で含まれるヒ素に低コストで対応できる技術の開発が望まれる。

我々は泥水式シールド工法が対象とする地盤における自然由来ヒ素の主な溶出メカニズムを勘案し、陰イオンであるヒ酸イオンが吸着する水酸化鉄の表面荷電が正荷電となる酸性～中性域となるよう泥水 pH を管理すること、泥水の酸化を促進させて水酸化鉄が安定して存在することの相乗効果により、泥水や掘削土砂に含まれる鉄分にヒ素が吸着して安定化し、掘削土全量に対して比較的 low コストでヒ素溶出量を低減させることが可能であると考えた⁴⁾。具体的には、切羽に還流する泥水の pH を 5 前後の弱酸性領域で管理すること、気体溶解効率が高いウルトラファインバブル (UFB、1 μ 以下の気泡) 技術を活用して泥水の溶存酸素を増加させて酸化の促進を図るものである。ただし、泥水を酸性化すると泥水の粘性が増大するため、一般的な泥水比重 (例えば 1.20 程度) で適正な粘性 (例えばファンネル粘性 30～40 秒以下) を確保するためには、分散剤を添加して泥水の粘性増大を抑制する必要がある⁴⁾。

本報告では、希硫酸および分散剤を添加して pH を 5 程度に泥水を酸性化させたいうで、UFB 発生装置により空気もしくは酸素 (O_2) ガスの UFB を泥水に直接導入した際の溶存酸素の変化について観察した結果を紹介する。

2. 試験方法

2.1 試料土

地下構造物建設工事現場の沖積粘土層から採取した、自然由来でヒ素を含有して溶出量が基準 (0.01mg/L) を超過している粘性土 B、E の 2 種類を試料土として使用した。試料土に対して、土粒子の密度試験、含水比試験、液性限界・塑性限界試験、粒度試験、土壌溶出量試験 (平成 15 年環境省告示第 18 号) および検液 pH 測定、土壌含有量試験 (底質調査方法、全含有量と表示) を行った (表-1)。

2.2 使用材料

泥水に添加する酸として工業用に市販されている 62.5% 希硫酸を使用した。また、酸性化による泥水の粘性増大を抑制する目的で、ポリアクリル酸系の酸性分散剤 (アロン A-10SL; 東亜合成 (株) 製) を使用した。

2.3 UFB 発生装置

UFB 発生装置として、(株)ワイビーエム製のフォームジェット (FJP-3; 3m³/h 小型試験機、図-1) を使用した。フォームジェットはキャビテーション自己発振渦流方式で UFB を発生させる大流量処理向けの装置⁵⁾であり、目詰まりが少ない構造で汚水等を直接処理可能などの特徴を有する。土木分野ではアルカリ性排水の中和 (炭酸ガス UFB)⁶⁾、干潟域などの海域貧酸素対策 (酸素ガス UFB)⁷⁾、湖沼アオコ対策や底質汚泥改質 (オゾン UFB)⁸⁾ などで活用されている。

試験機は図-1 の様にフォームジェットと水中ポンプが一体化した装置であるが、実験時にはそれぞれを分離して、水中ポンプの上部にフォーム

表-1 試料土の性状

項目	単位	粘性土B	粘性土E
地層名	—	Ac1	Ac2
土粒子密度	g/cm ³	2.672	2.653
含水比	%	50.6	57.0
湿潤密度	g/cm ³	1.694	1.641
液性限界	%	54.7	62.0
塑性限界	%	29.6	31.7
塑性指数	%	25.1	30.3
礫分	%	0.0	0.0
砂分	%	2.4	1.4
シルト分	%	62.3	58.5
粘土分	%	35.3	40.1
ヒ素溶出量	mg/L	0.059	0.014
検液pH	—	9.3	9.4
ヒ素全含有量	mg/kg	8.6	7.4

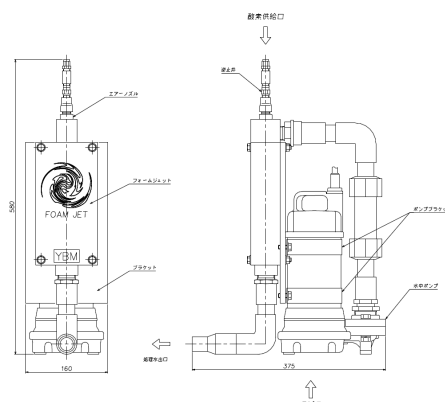


図-1 フォームジェット試験機外観図

キーワード: 自然由来、ヒ素、泥水、酸性化、ウルトラファインバブル

連絡先: 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町 1-9-1 (株)鴻池組 土木事業総轄本部 技術本部 環境エンジニアリング部 Tel.03-5201-7920 Fax.03-5201-7925

ジェットを配置し、水中ポンプと処理水出口のみが泥水に浸かっている状態とした(写真-1)。

2. 4 実験方法

2.1 に示した粘性土を用いて、以下の(1)に示す方法で概ね 9L 程度の泥水を作製し、(2)に示す方法で酸性化させた後、(3)に示す方法で泥水を循環させながら UFB を泥水に直接導入した。

- (1) 所定の比重となるように水を加えた粘性土をジュースミキサーおよびソイルミキサーを用いて解泥して泥水状とし、その後、容器を移し替えて卓上攪拌器(HS-90N)で攪拌した。
- (2) (1) の泥水に酸性分散剤(A-10SL)を 3.3kg/m³(地山)となるよう添加し、さらに pH が 5.0 程度となるように 62.5%希硫酸を添加しながら、攪拌器で攪拌した。
- (3) (2) の泥水中に水中ポンプを沈め、ポンプを稼働させてフォームジェットに泥水を循環させた。導入したガスは空気もしくは酸素で、流量は 1.0L/分とした。溶存酸素は蛍光式携帯型溶存酸素計(YSI ProODO;xylem 製)で測定した。粘性土 B のケースでは 18 分間空気を導入した後、3 分間酸素を導入した。粘性土 E のケースでは、5 分間酸素を導入した。



写真-1 実験状況

なお、それぞれの段階の泥水は容量 500mL のファンネル粘度計を用いて泥水のファンネル粘性(秒)を測定した。また、(1)、(3)後の泥水の一部を分取し、高速遠心分離機により固形分を採取して、ヒ素溶出量(平成 15 年環境省告示第 18 号)および検液 pH の測定を行った。

3. 試験結果

試験結果を表-2 および図-2 に示す。

酸性分散剤および希硫酸を添加して pH を 5.0 に調整した泥水を UFB 発生装置(フォームジェット小型試験機)に循環させたが、詰まりなどの不具合は認められなかった。また、泥水についても顕著な発泡等もなく、ファンネル粘性の大きな変化(増加)も認められなかった。

粘性土 B の泥水に対して初めに空気を導入したが、0.20mg/L(初期値)であった溶存酸素は速やかに上昇し、10 分後には 5mg/L 程度まで上昇したが、その後は頭打ちとなった。酸素ガスに切り替えたところ、その 3 分後には溶存酸素は 30mg/L 近くまで上昇した。

粘性土 E の泥水に対して最初から酸素ガスを導入したところ、5 分後には溶存酸素は 30mg/L 近くまで上昇した。

以上より、泥水中の溶存酸素を上昇させるために気液溶解効率の高い UFB 技術を用いることが有効であること、フォームジェットに泥水を循環させても詰まり等の不具合が生じにくいこと、空気(窒素と酸素の混合気体)よりも酸素分圧の高い酸素ガスを導入することで効率的に泥水中の溶存酸素を上昇させ得ることを確認した。

なお、粘性土 B の実験後(実験方法(3))のケースでヒ素溶出量が基準(0.01mg/L)を若干超過しているが、泥水比重や pH を下げるなどの調整で基準に適合できるものと考える。

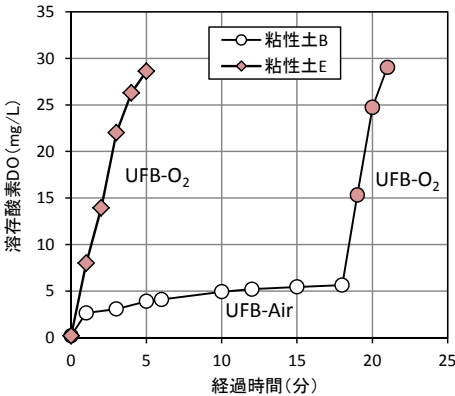


図-2 泥水の溶存酸素 DO 測定結果

表-2 試験結果

	設定 泥水比重	実験 方法	攪拌 時間	分散剤	分散剤 添加量	pH調整	泥水 最終比重	泥水 最終pH	ファンネル 粘性(秒)	ヒ素溶出量 (mg/L)	検液 pH
粘性土B	1.27	(1)	30分	—	—	—	1.269	8.19	25.7	0.055	8.9
		(2)	30分	A-10SL	3.3kg/m ³	希硫酸	1.269	5.00	26.5	—	—
		(3)	21分	UFB(空気18分→酸素3分)1.0L/min			1.267	—	26.0	0.017	7.7
粘性土E	1.25	(1)	30分	—	—	—	1.250	8.51	26.2	0.014	9.1
		(2)	30分	A-10SL	3.3kg/m ³	希硫酸	1.251	5.00	28.7	—	—
		(3)	5分	UFB(酸素)1.0L/min			1.250	—	27.9	0.007	7.9

参考文献

1) 三浦ほか:鉄粉を利用した砒素汚染土壌の洗浄技術、環境浄化技術、Vol.13、No.5、pp.20-23、2014 2) 石渡ほか:自然由来の砒素で汚染されたシールド掘削土の浄化技術の開発(その2)ー実証実験結果についてー、土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集、pp.171-172、2015 3) 川端ほか:泥水シールドでの鉄粉洗浄による砒素除去技術の現場実証、土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集、pp.877-878、2016 4) 大山ほか:自然由来ヒ素含有泥水を弱酸性領域で還流する泥水管理手法に関する基礎検討(その1)、第54回地盤工学研究発表会、2019、投稿中 5) (株)ワイビーエム資料:https://www.ybm.jp/download/FB_FJ.pdf(2019年3月閲覧) 6) 噴流式pH処理装置(NETIS:QS-130026-A) 7) 山西ほか:噴流式水質改善システムによる貧酸素水塊の解消とその対策に関する現地調査、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp.971-972、2008 8) 環境省:環境技術実証事業湖沼等水質浄化技術分野 実証技術カタログ、pp.27-32、No.6 噴流式水質浄化システム、http://www.env.go.jp/policy/etv/field/f04/f04_guide.pdf(2019年3月閲覧)