

自然由来ヒ素汚染土壌の分離浄化処理工法の開発

山本 達生*1・岩田 将英*1・野田 兼司*2・須江 まゆ*1・増田 昌昭*3・河野 浩之*4

Development of Hybrid Eliminate Arsenic System Using Iron Powder for the Naturally Originating Contaminated Soil

Tatsuo YAMAMOTO, Masahide IWATA, Kenji NODA, Mayu SUE, Masaaki MASUDA, Hiroyuki KONO

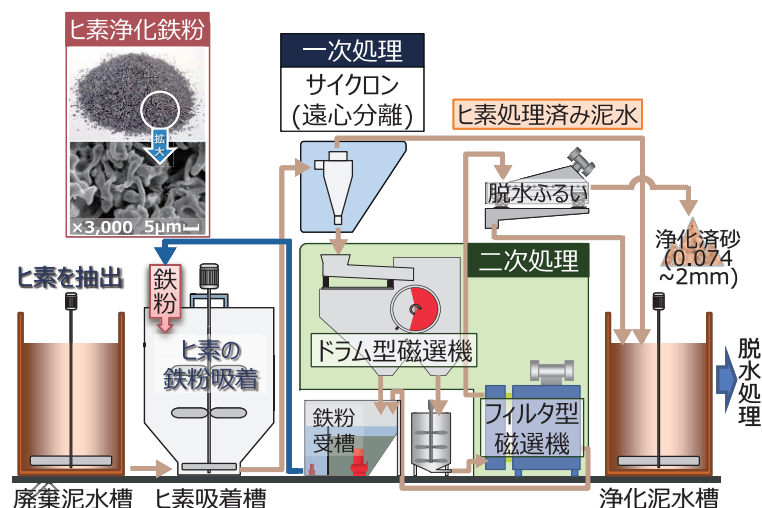


図-1 浄化処理技術模式図



写真-1 実証プラント

研究の目的

近年、地下構造物が輻輳する大都市圏では大深度地下での建設工事が増え、その過程で遭遇する自然由来ヒ素汚染土壌の処分方法が大きな課題となっている。汚染土壌を受け入れ可能な処分場の残余容量は逼迫しているため、大量の汚染土を確実に処理できる浄化技術が求められている。

本報は、自然由来ヒ素汚染土壌の分離浄化技術の開発から、現場への適用までを報告するものである。

技術の説明

自然由来ヒ素汚染地盤を泥水式シールド工法で掘削した際に発生する泥水中に含まれるヒ素を鉄粉に吸着させ、吸着後の鉄粉を遠心分離・磁性分離の二段階で回収する浄化工法を開発した。

本工法では、従来品に比べ粒径が6倍程度大きい、多孔質構造により比表面積は同程度となるヒ素吸着能力に優れた特殊鉄粉を使用する。粒径が大きい鉄粉の使用により、従来は困難であった遠心分離による泥水からの鉄粉の分離が可能である。汎用品であり大量処理が可能な遠心分離が適用可能となるため、二次処理である磁性分離に供する泥水量を低減でき、処理設備全体のコンパクト化を実現した。

また、泥水式シールドだけでなく、他の建設工事で発生する泥水に対しても適用が可能なシステムとなっている。

主な結論

- ・ 本工法の適用により、ヒ素溶出量が環境基準値の5倍程度超過する自然由来汚染土壌を検出下限値以下に浄化することが可能であった。
- ・ 大量処理が可能な遠心分離機であるサイクロンの採用により、二次処理である磁性分離に供する泥水量を全体の16%程度に減容することが可能であった。そのため、二次処理以降の設備にかかる負荷を低減でき、磁性分離だけで鉄粉を回収する従来法に比べ、設置面積を1/5に縮減することが可能となった。
- ・ 二次処理にて2種類の磁性分離機を併用することで、添加した特殊鉄粉のほぼ100%を回収できた。そのため、処理泥水中にヒ素を吸着した鉄粉の残存が無く、再汚染等が無い確実な浄化が可能となった。

*1 本店 土木事業本部 土木技術部 環境技術グループ
*3 東京土木支店 京浜耐震作業所

*2 本店 技術研究所 地盤・環境研究室
*4 東京土木支店 施工第1グループ

自然由来ヒ素汚染土壌の分離浄化処理工法の開発

山 本 達 生^{*1} 岩 田 将 英^{*1}
 野 田 兼 司^{*2} 須 江 ま ゆ^{*1}
 増 田 昌 昭^{*3} 河 野 浩 之^{*4}

要 旨

近年、地下構造物が輻輳する大都市圏では、大深度地下での建設工事が増えた結果、自然由来ヒ素等の重金属により汚染された地盤での掘削工事を余儀なくされる事例が増加している。このような地盤の掘削土砂は汚染土壌となり処分費用が高騰するため、掘削土砂の廃棄処分コスト縮減のための浄化技術が求められている。

このため、泥水式シールド工法等にて発生する廃棄泥水中に含まれるヒ素を鉄粉に吸着させ、吸着後の鉄粉を遠心分離・磁性分離の二段階で回収する浄化工法を開発した。

本工法では、従来品に比べ粒径が6倍程度大きい鉄粉を使用することにより、従来は困難であった遠心分離による泥水からの鉄粉の分離が可能となる。汎用品であり大量処理が可能な遠心分離が適用可能となるため、二次処理である磁性分離に供する泥水量を低減でき、処理施設全体のコンパクト化を実現した。

本報告は、開発した工法の概要および現場適用した結果についてまとめたものである。

キーワード 自然由来ヒ素／廃棄泥水／浄化／泥水式シールド工法

目 次

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1. 背景・目的 | 4. 泥水固化処理工事への適用拡大例 |
| 2. 開発工法の概要 | 5. まとめ |
| 3. 実証プラントによる効果確認 | |

DEVELOPMENT OF HYBRID ELIMINATE ARSENIC SYSTEM USING IRON POWDER FOR THE NATURALLY ORIGINATING CONTAMINATED SOIL

Tatuso	YAMAMOTO	Masahide	IWATA
Kenji	NODA	Mayu	SUE
Masaaki	MASUDA	Hiroyuki	KONO

Synopsis:

Recently construction work by great depths is increasing in the metropolitan area where an underground structure is overcrowded. As a result, it is compelled to execute excavation work which soil is polluted by natural arsenics. Soil contamination cleanup technology is needed because the polluted soil disposal cost is expensive.

We developed cleanup technology to remove arsenics by centrifuging special iron powder which adsorbs arsenics. By this method, it becomes possible to extract iron powder from contaminated slurry by using 6 times greater iron powder. The downsizing of treatment plant could be done due to the centrifuge separation process which is able to treat large amount of slurry and minimizing magnetic separation subsequently done after centrifuge separation.

This report was made to outline the new method of construction and the result of trial execution on the site.

* 1 本店 土木技術部 環境技術グループ
 * 3 東京土木支店 京浜島耐震作業所

* 2 本店 技術研究所 地盤・環境研究室
 * 4 東京土木支店 施工第1グループ

1. 背景・目的

リニア中央新幹線、東京都下水道更新事業、外環自動車道などの大規模建設工事ラッシュを迎えようとしているが、大都市圏では既に地下構造物が輻輳しているため、大深度地下での建設工事が増加する見込みである。

一方、国内における自然由来のヒ素元素の分布図¹⁾を図-1に示す。これより、局所的にヒ素濃度が高い地域が存在することや、低濃度であれば日本全国至る所にヒ素が分布していることが読み取れる。特に、関東平野や濃尾平野等の大都市圏の大深度地下に分布する上総層群土丹層や熱田層では、自然由来ヒ素等の重金属が含まれていることが知られている^{2),3)}。

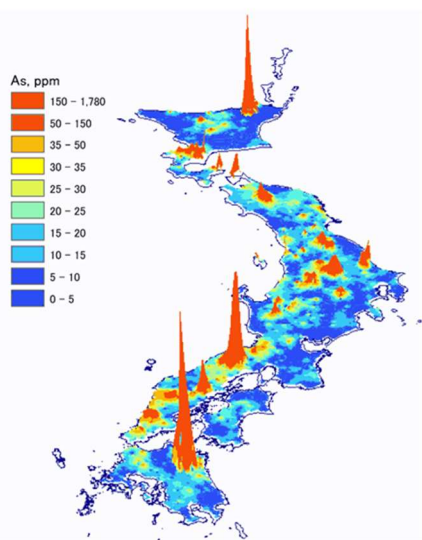


図-1 ヒ素元素の分布図¹⁾

大深度地下での大規模工事が増加する見込みがあることから、日本汚染土壌処理業協会では、自然由来汚染土壌の処分量が年間 300 百万 t 増えるとの推計値⁴⁾を公表している。自然由来ヒ素等の重金属を含む掘削土砂の処分費は、汚染が無い場合に比較して高価になるため、掘削土砂処分費の高騰による事業費の圧迫が課題となる。

自然由来ヒ素等の重金属類は、砂やシルトに比べ腐植土や粘土に強く吸着されて濃度が高くなる傾向がある⁵⁾。このため、粘性土地盤を対象とすることが多い泥水式シ

ールド工法等の廃棄泥水を対象とした自然由来ヒ素の浄化工法を開発した。

本報告は、①開発工法の概要、②小規模浄化プラントによる都内大深度地下から採取した自然由来ヒ素汚染土壌を対象とした開発工法の効果検証結果、さらに、③適用工法拡大のためニューマチックケーソン工事の一環で実施した泥水固化工事で生じた廃棄泥水の浄化処理実績についてまとめたものである。

2. 開発工法の概要

2.1 開発技術に対する要求性能

大口径泥水式シールド工法で生じる自然由来ヒ素が環境基準値を超過する廃棄泥水を、掘削サイクル時間内に環境基準以下に浄化できることを開発工法の要求品質とした。ここで、1 Ring 当たりの掘削サイクルは3時間、廃棄泥水量は 700 m³であるとした。

2.2 開発技術の基本原則

泥水式シールド工法等で自然由来ヒ素汚染地盤を掘削した際、廃棄泥水に溶出したヒ素イオンが土壌環境基準超過の要因となるため、図-3に示すよう、ヒ素イオンを鉄粉に吸着させた後、鉄粉を回収することで環境基準を超過するヒ素の浄化処理ができると考え、図-2に示す処理設備を考案した。

なお、自然由来ヒ素汚染土壌は、pH や酸化還元状態の変化により、ヒ素溶出量が増加する場合があるため、ヒ素抽出工程を追加することで、将来的な浄化土の安全性を確保した処理設備構成とした。

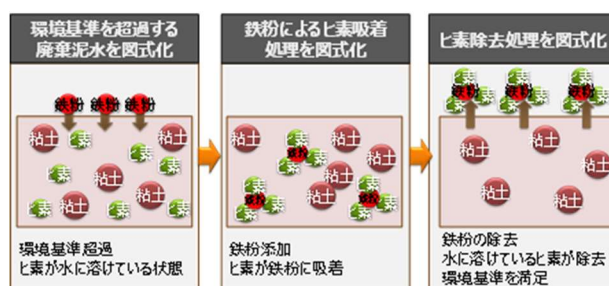


図-3 ヒ素浄化原理

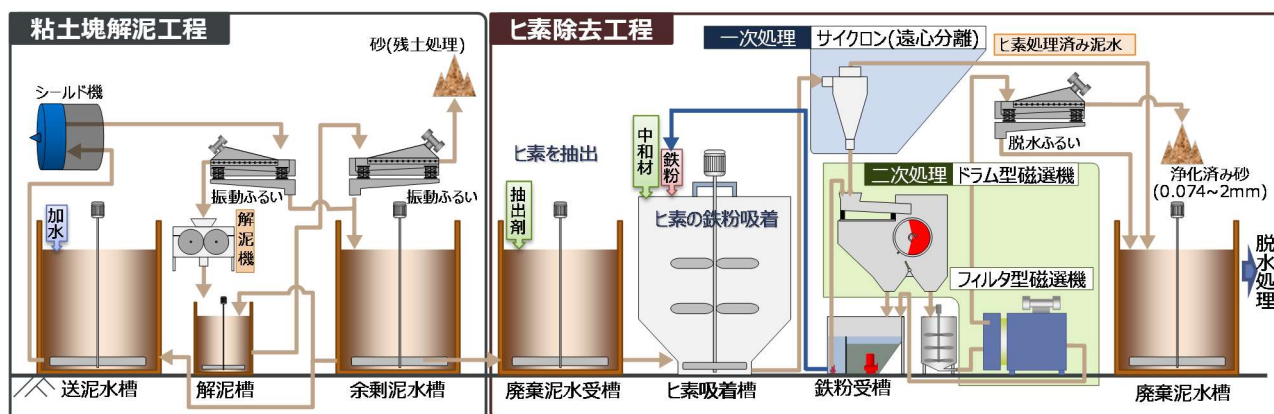


図-2 自然由来ヒ素の分離浄化工法概要図

2.3 特殊鉄粉

鉄粉を用いてヒ素浄化を行う場合、ヒ素を吸着させた後の鉄粉を如何に精度よく安価に廃棄泥水から回収できるかが、当該技術の費用対効果を左右する。

鉄粉は土粒子に比較して粒子の密度が 7.85t/m^3 と土粒子の 2.6t/m^3 に比較して3倍程度大きいこと、磁性を有していることから、沈降分離と磁性分離の2通りの方法で廃棄泥水から回収可能であると考えた。

沈降分離により鉄粉を回収する場合、ストークスの式(式[1]参照)で導かれる終端速度(終末沈降速度)が土粒子のそれに比較して速い程、鉄粉の回収は容易になる。この終端速度は粒子密度や粒径の二乗に比例することから、鉄粉の粒径が大きい程、回収が容易になることが分かる。

一方、廃棄泥水中のヒ素イオンは、鉄粉表面に吸着するため、粒径の大きな鉄粉を利用すると浄化能力が低下する懸念がある。

このため、粒径は大きいが多孔質形状を有するため表面積が大きい特殊鉄粉をヒ素吸着鉄粉として採用し、鉄粉回収の容易さとヒ素浄化能力の両立を図ることとした。当該特殊鉄粉は、ヒ素吸着用鉄粉として一般的に市場に流通している鉄粉(以下、従来鉄粉とする)に比較し粒径は6倍、表面積は同等である。特殊鉄粉・従来鉄粉の外観と電子顕微鏡写真を写真-1に示す。

$$v_s = \frac{D_p^2(\rho_p - \rho_f)g}{18\eta} \quad [1]$$

v_s : 終端速度[m/s] ρ_f : 流体の密度[kg/m³]
 D_p : 粒子径[m] g : 重力加速度[m/s²]
 ρ_p : 粒子の密度[kg/m³] η : 流体の粘度[Pa・s]

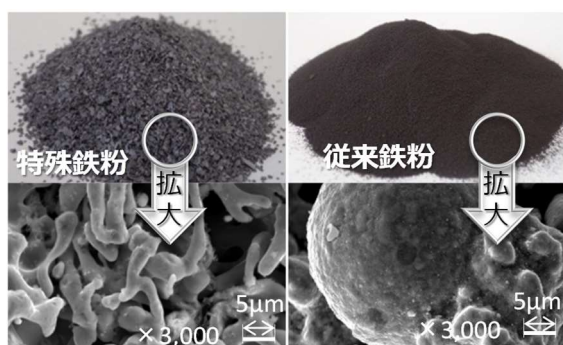


写真-1 特殊鉄粉の外観と電子顕微鏡写真

本特殊鉄粉のヒ素吸着能力確認のため、事前室内実験による浄化試験を行った。浄化対象は、神奈川県の実験現場より採取した上総層群土丹層の自然由来ヒ素実汚染土を水道水で解泥し、泥水密度 1.32t/m^3 に調整して得た。

試験結果を図-4、5に示す。土壤環境基準を3倍弱超過する模擬廃棄泥水に対し、特殊鉄粉を $0.3\text{wt\%-DS}$ 以上、反応時間を30分程度確保することで、ヒ素溶出量を基準値以内に浄化できることが分かった。

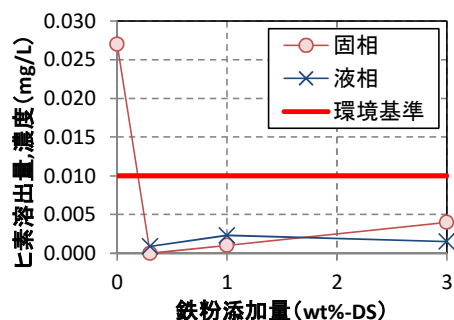


図-4 鉄粉添加量とヒ素の溶出量及び濃度

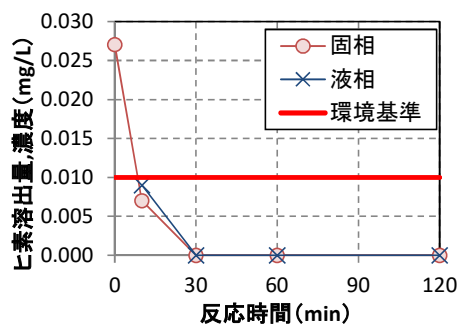


図-5 反応時間とヒ素の溶出量及び濃度

2.4 鉄回収設備について

磁力選別機のみで鉄粉を回収することでヒ素を浄化する先行技術が開発されているが、1 Ring で 700 m^3 の廃棄泥水が生じる大口径泥水シールド工法を対象とする場合、磁力選別機への負担が大きくなり、鉄粉回収設備が巨大化すると想定された。

従来鉄粉に比較して6倍程度粒径の大きな特殊鉄粉の利用に目途が立ったことから、サイクロンによる遠心分離と磁性分離の組合せにより、鉄粉回収設備の小型化を図った。

(1) サイクロンによる遠心分離について

サイクロンは、泥水式シールド工事や地盤改良工事等の廃棄泥水中から砂分を回収する設備として、一般的に用いられている設備である。模式図を図-6に示す。

特殊鉄粉を含む泥水を円錐形状のサイクロンにポンプ圧送すると、 $75\mu\text{m}$ より粒径の大きなシルト分や比重の重い特殊鉄粉は沈降速度(終端速度)が速いため、サイクロンの内側側壁に遠心力により押し付けられ、重力の作用でサイクロン下部より自然落下して排出される。

一方、水を含む $75\mu\text{m}$ 以下の粘土粒子は沈降速度が遅いため、揚力の作用でサイクロン上部から排出される。

今回使用したサイクロンは、MD-9型と呼ばれる土木工事で利用されることが多い汎用機であり、サイクロン内径は 230mm と小型であるにもかかわらず、 $40\text{ m}^3/\text{h}$ の処理能力を有する設備である。

事前検討の結果、サイクロンによる遠心分離処理により特殊鉄粉が除去されたことで浄化完了となる浄化泥水

が、廃棄泥水全体の7~8割程度になると試算された。つまり、磁性分離機のみで鉄粉を回収する先行技術に比較して、磁性分離機の必要能力を2~3割に縮減できるため、設備の大幅な小型化が図れる利点が生じると判断した。

なお、サイクロンの予備的な検討結果では、従来鉄粉は粒径が小さいため、鉄粉の10%弱が浄化泥水側に流出するが、粒径の大きな特殊鉄粉はほとんど浄化泥水側に流出しないことを確認している⁶⁾。

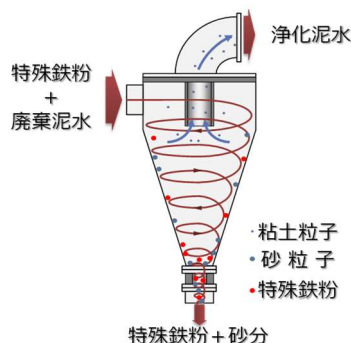


図-6 サイクロンによる比重分離の原理図

(2) ドラム型磁力選別機による特殊鉄粉の回収について

サイクロンの分級点は $75\mu\text{m}$ であるため、サイクロン下部からの排出物である特殊鉄粉には、廃棄泥水中的の $75\mu\text{m}$ 以上の砂分も含まれる。特殊鉄粉は複数回の繰返し利用が可能であるが、サイクロンによる遠心分離処理だけでは、廃棄泥水に由来する砂分と特殊鉄粉を分別することが出来ないため、特殊鉄粉を繰り返し利用する度に、砂分混入量が増加する問題が生じる。

このため、図-7に示す永久磁石を利用したドラム型磁選機を導入することとした。

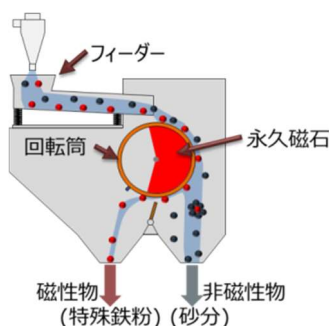


図-7 ドラム型磁選機

サイクロン下部よりドラム型磁選機に供給された砂分を含む特殊鉄粉は、フィーダーと呼ぶ供給機を経由して永久磁石(図中の赤塗)を内包したドラム型磁選機に供給される。永久磁石の作用を受けない非磁性物である砂分は、重力の作用のみにより、そのまま落下する。

一方、特殊鉄粉は磁力の作用を受け永久磁石に張り

付く。磁力により張り付いた特殊鉄粉は、永久磁石の外周に設置した回転筒により、徐々に設備下側に誘導され、永久磁石の引力が働かなくなった位置で、重力により落下する。これらの作用により、特殊鉄粉と砂分を分離回収するものである。

(3) フィルター型磁選機

ドラム型磁選機は鉄粉濃度が高い対象物から鉄粉を粗取りするのに適しているが、鉄粉の回収精度が低い欠点がある。このため、図-8に示すフィルター型磁選機の活用も視野に入れた。本鉄粉回収設備は、鉄粉濃度が低い対象物から鉄粉を精度よく回収するのに適した設備である。鉄球を内包した配管(以下、フィルターとする)の外側に電磁石を配置し電力を供給して磁界を与えると、鉄球同士の接点で磁力が発生する。この現象を利用して鉄粉を回収する設備である。

なお、電磁石への電力供給を停止するとフィルター内の磁力も消失するため、この状態でフィルター内に洗浄水を供給することで、特殊鉄粉の回収が可能となる。

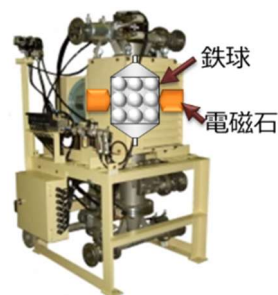


図-8 フィルター型磁選機

2.5 粘土解泥工程の概要

図-2に示すヒ素除去工程(特殊鉄粉を用いて溶解性ヒ素を廃棄泥水中から除去する工程)での処理対象は、泥水であることが条件となる。

一方、泥岩に区分される比較的硬質な上総層群土丹を泥水式シールド工法で掘削した際、廃棄泥水には20~30vol%程度の拳大土丹塊が混入する。この土丹塊は粘土粒子の集合体であるため、土壌汚染対策法の規制対象である。よって、以下の手順により拳大の粘土塊を泥水状に解泥・溶解する設備を設置することとした。

手順1: 鬼齒ロールクラッシャーにより拳大粘土塊を2cm以下に小割。

手順2: ロールクラッシャーにより数mm大に解砕。

手順3: 清水を加えてサンドポンプで攪拌することで泥水化。

ここで、各手順で使用した設備と土丹塊の解泥・溶解状況を写真-2に示す。



写真-2 土丹塊の解泥・溶解状況

3. 実証プラントによる効果確認

3.1 実証プラントの概要

考案した処理設備によるヒ素分離浄化効果を明確にするため、処理能力 40 m³/h 級の実証プラントを 140 m² の敷地内に建設した。実証プラントの全景を写真-3 に示す。

3.2 浄化対象

浄化対象泥水は、GL-55~60m の深度より掘削・採取した上総層群土丹を前述の土丹塊解泥工程で解砕し、水道水で泥水密度を、1.23、1.26、1.32t/m³に調整することで得た。解泥後の浄化対象泥水の粒度分布及び特殊鉄粉の粒度分布を図-9 に示す。これより、試験に供した土丹は、砂分を 0~20%程度を含み、特殊鉄粉より細かい粒度分布を示した。



写真-3 実証プラント全景

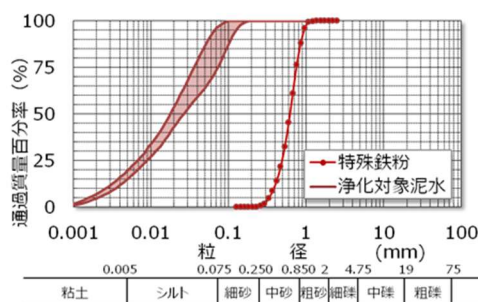


図-9 浄化対象泥水の粒度分布

(1) ヒ素溶出量について

各工程におけるヒ素溶出量の結果を表-1 に示す。これより、解泥前の土丹のヒ素溶出量は 0.007~0.052mg/L であり、最大で環境基準(0.01mg/L)の 5 倍程度を示した。

また、土壌を解泥し模擬泥水とした場合、ヒ素溶出量は土壌の状態に比較して小さくなる傾向を示し、ケースによっては土壌環境基準を下回った。

模擬泥水にヒ素抽出材を添加し、1 時間の抽出反応時間を確保した結果、全てのケースでヒ素溶出量は環境基準を超過する結果となった。

ヒ素抽出操作により濃度上昇したヒ素は、土壌環境条件の変化により溶け出しやすくなる形態のヒ素として泥水中に含まれていたものと考えられるため、浄化土の将来的な安全性を考慮し、ヒ素の抽出操作は有効であると判断した。

表-1 ヒ素濃度結果一覧

Case No.	土質 区分	処理 水量 [m]	泥水 密度 [t/m]	ヒ素溶出量[mg/L]		
				土壌	模擬 泥水	抽 出 操作後
1回目	泥岩②	0.84	1.23	0.052	0.008	0.072
2回目	泥岩②	0.83		0.052	0.006	0.055
3回目	泥岩②	0.83		0.052	0.011	0.061
4回目	泥岩②	0.90		0.052	0.010	0.050
5回目	泥岩②	0.93		0.052	0.024	0.051
合計(処理量)		4.34				
1回目	泥岩①	0.65	1.26	0.034	ND	0.036
2回目	砂質泥岩	1.07		0.007	ND	0.021
3回目	砂質泥岩	0.78		0.007	ND	0.018
4回目	泥岩②	0.83		0.052	0.008	0.033
合計(処理量)		3.33				
1回目	泥岩①	0.71	1.32	0.034	ND	0.034
2回目	砂質泥岩	0.89		0.007	ND	0.044
3回目	砂質泥岩	0.80		0.007	ND	0.027
4回目	砂質泥岩	0.87		0.007	ND	0.024
5回目	砂質泥岩	0.83		0.007	ND	0.034
6回目	砂質泥岩	0.74		0.007	ND	0.029
7回目	泥岩②	0.73		0.052	0.016	0.055
8回目	泥岩②	0.56		0.052	0.022	0.066
合計(処理量)		6.12				

(2) ヒ素浄化結果

ヒ素抽出槽にて抽出処理を行った後、特殊鉄粉を泥水中の乾燥土流量当たり 3 wt% 添加し、30 分間の反応時間を確保した。その後、サイクロン及び磁性分離機により、泥水に添加した特殊鉄粉を回収した。

特殊鉄粉を回収した泥水は、脱水処理により脱水土とろ液に分別し、それぞれヒ素濃度分析を行った。

脱水土とろ液のヒ素濃度分析結果を表-2 に示す。これより、全てのケースで脱水土及びろ液とも、ヒ素濃度は環境基準を下回る結果となり、自然由来ヒ素の分離浄化が確実に行われていることが証明できた。

表-2 分離浄化結果一覧

Case No.	土質区分	処理量 [m]	泥水密度 [t/m]	ヒ素溶出量[mg/L]		
				処理前 (抽出後)	処理後 脱水土 ろ液	
1回目	泥岩②	0.84	1.23	0.072	<0.005	<0.005
2回目	泥岩②	0.83		0.055	<0.005	<0.005
3回目	泥岩②	0.83		0.061	<0.005	<0.005
4回目	泥岩②	0.90		0.050	<0.005	<0.005
5回目	泥岩②	0.93		0.051	<0.005	<0.005
合計(処理量)		4.34				
1回目	泥岩①	0.65	1.26	0.036	<0.005	<0.005
2回目	砂質泥岩	1.07		0.021	<0.005	<0.005
3回目	砂質泥岩	0.78		0.018	<0.005	<0.005
4回目	泥岩②	0.83		0.033	<0.005	<0.005
合計(処理量)		3.33				
1回目	泥岩①	0.71	1.32	0.034	<0.005	<0.005
2回目	砂質泥岩	0.89		0.044	<0.005	<0.005
3回目	砂質泥岩	0.80		0.027	<0.005	<0.005
4回目	砂質泥岩	0.87		0.024	<0.005	<0.005
5回目	砂質泥岩	0.83		0.034	<0.005	<0.005
6回目	砂質泥岩	0.74		0.029	<0.005	<0.005
7回目	泥岩②	0.73		0.055	<0.005	<0.005
8回目	泥岩②	0.56		0.066	<0.005	<0.005
合計(処理量)		6.12				

表-3 サイクロンによる減容化率

Case No.	土質区分	処理量 [m³]	泥水密度 [t/m³]	減容率 [%]	濃縮率 [%]
1回目	泥岩②	0.84	1.23	79.6	20.4
2回目	泥岩②	0.83		82.6	17.4
3回目	泥岩②	0.83		86.1	13.9
4回目	泥岩②	0.90		92.3	7.7
5回目	泥岩②	0.93		90.7	9.3
合計(処理量)		4.34			
1回目	泥岩①	0.65	1.26	82.1	17.9
2回目	砂質泥岩	1.07		71.9	28.1
3回目	砂質泥岩	0.78		72.6	27.4
4回目	泥岩②	0.83		75.0	25.0
合計(処理量)		3.33			
1回目	泥岩①	0.71	1.32	82.2	17.8
2回目	砂質泥岩	0.89		80.0	20.0
3回目	砂質泥岩	0.80		73.8	26.2
4回目	砂質泥岩	0.87		69.1	30.9
5回目	砂質泥岩	0.83		68.4	31.6
6回目	砂質泥岩	0.74		66.4	33.6
7回目	泥岩②	0.73		89.0	11.0
8回目	泥岩②	0.56		93.5	6.5
合計(処理量)		6.12			

(3) サイクロンによる減容率及び特殊鉄粉回収状況

サイクロンによる減容率、濃縮率、特殊鉄粉の回収状況を表-3 に示す。図-10 に示すように減容率は、サイクロン処理により特殊鉄粉が除去された浄化泥水(②)の容量比率、濃縮率は磁性分離機での処理が必要となる特殊鉄粉と砂分の濃縮物(③)の容量比を示している。

これより、サイクロン処理を行うことにより、磁性分離機への負担が 10~30%程度に縮減できることが分かった。

なお、減量率、濃縮率にばらつきが生じているのは、模擬泥水中に含まれる砂分の量に影響を受けているためと考えられる。

サイクロン処理による浄化泥水(②)と濃縮物(③)の一例を写真-4 に示す。サイクロンによる浄化泥水(②)は泥水状を、濃縮物(③)は砂っぽい状態となっていることが観察された。



浄化泥水②



特殊鉄粉+砂分③

写真-4 サイクロン処理物

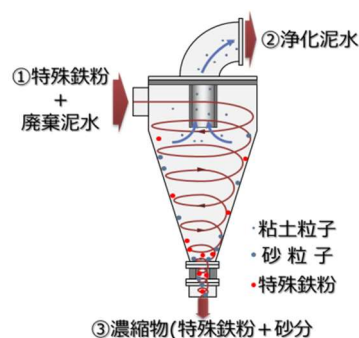


図-10 減容率と濃縮率

$$\text{減容率} = \frac{\text{②}}{\text{①}} \times 100$$

$$\text{濃縮率} = \frac{\text{③}}{\text{①}} \times 100$$

4. 実工事への適用例

4.1 工法適用現場の概要

芝浦～森崎水再生センターの連絡管建設工事の一環として泥水固化工事を実施したが、GL-50m 以深に自然由来ヒ素が土壌環境基準を 4~8 倍超過する上総層群土丹層が分布していたため、自然由来ヒ素を含む廃棄泥水が発生することが懸念された。

本開発工法は泥水式シールド工法の自然由来ヒ素を含む廃棄泥水の浄化工法であるが、当該泥水固化工事の廃棄泥水にも適用可能であると考え、浄化対象工法の適用拡大を目的に、開発工法を導入しその効果を検証した。

なお、本廃棄泥水は、地盤改良の目的のために添加したセメントミルクの影響を受け、高アルカリ性を呈する場合があった。当該廃棄泥水の性状と粒度分布を表-4、図-11 に示す。

表-4 廃棄泥水の性状一覧

泥水密度(t/m ³)	1.12 ~ 1.18
ヒ素溶出量(mg/L)	0.040 ~ 0.083
pH(-)	9.4 ~ 12.6

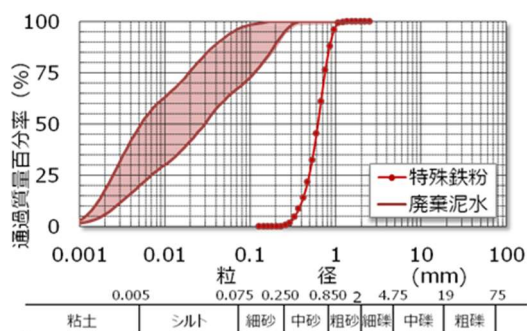


図-11 廃棄泥水の粒度分布

4.2 浄化プラント設置状況

40 m³/h 級の浄化プラントを現場敷地内に写真-5 に示すよう設置した。当該設備は実工事への適用であることを考慮し、連続的に処理できるシステム構成とした。



写真-5 浄化プラント設置状況

4.3 浄化結果

浄化結果の一覧を表-5 に示す。一日の処理廃棄泥水量は、施工の進捗の影響を受けて、4.5~7.4 m³/日程度の処理量であった。

また、処理前泥水の性状は、泥水密度 1.12~1.18t/m³、pH9.4~12.6 を示していた。

浄化泥水のヒ素溶出量は全てのケースで環境基準(0.01mg/L)を満足する結果となり、脱水ケーキについても同様の結果を示した。現場敷地条件の制約から、脱水機は小型試験機を導入したため、浄化期間中試験的に3回のみ脱水ケーキを作成するにとどまった。

また、特殊鉄粉は繰返し利用をしたが、処理を繰り返す毎に鉄粉重量が増加する傾向を示し、鉄粉添加量の重量調整をする必要が生じた。これは、処理前泥水(廃棄泥水)に地山に元々含まれていた鉄分が乾燥土重量当たり1.6~5.6wt%含まれていたためであった。

浄化泥水中に若干量の鉄が含まれていたため、処理前泥水、鉄粉添加後の泥水、浄化泥水それぞれに含まれる

鉄粉の重量を分析した。その結果、ほぼ全てのケースで鉄粉重量は、

処理前泥水>浄化泥水

となり、本鉄粉回収設備により添加した特殊鉄粉は概ねすべて回収されていることが示された。

さらに、図-12 に各処理工程における重量比で示したマテリアルフローの平均値を示す。

当該処理においては、サイクロンによる遠心分離で、特殊鉄粉を 16%程度に濃縮し、後段の磁性分離処理に係る負担を大きく低減した結果が得られた。

なお、回収した特殊鉄粉は地山由来の鉄分、水分、砂分の混入により、容積が倍程度に増加したが、ヒ素吸着及び鉄粉回収への影響はなく、写真-6~写真-10 に示すよう、トラブルなく分離浄化処理を行うことが出来た。

表-5 浄化結果一覧

処理日	処理泥水量(m ³)	ヒ素溶出量		処理前泥水性状	
		浄化泥水(mg/L)	脱水ケーキ(mg/L)	泥水密度(t/m ³)	pH
1日目	7.23	0.004	—	1.18	11.7
2日目	7.37	<0.002	—	1.12	9.8
3日目	4.51	<0.002	<0.002	1.15	9.9
4日目	6.30	<0.002	—	1.18	12.6
5日目	5.93	0.004	—	1.13	12.6
6日目	5.74	<0.002	<0.002	1.14	11.3
7日目	7.13	<0.002	<0.002	1.14	9.4

処理日	処理後pH		泥水中的鉄粉重量(kg)		
	浄化泥水	脱水ケーキ	処理前泥水	鉄粉添加後	浄化泥水
1日目	8.6	—	17.1	61.5	18.4
2日目	7.5	—	24.7	61.4	19.1
3日目	6.4	7.0	6.7	27.8	5.8
4日目	7.4	—	16.0	72.1	15.6
5日目	8.2	—	6.0	43.2	9.2
6日目	6.5	6.9	12.4	26.4	13.3
7日目	6.3	6.8	15.0	42.0	9.6

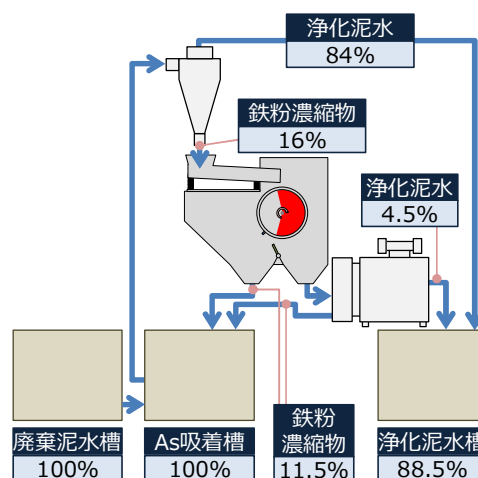


図-12 各処理工程における物質の重量比率



写真-6 廃棄泥水(処理前)



写真-7 特殊鉄粉の外観



写真-8 浄化処理泥水(サイクロン処理工程)



写真-9 浄化処理泥水(磁選処理工程)



写真-10 磁選機により回収した特殊鉄粉

5. まとめ

以上の検討により、以下に示すことが分かった。

- ・比較的硬質な握り拳大の上総層群土丹塊は、クラッシャーにより破碎し、清水を加えてサンドポンプ攪拌することで解泥することが可能である。
- ・上総層群土丹層を掘削した際に発生する自然由来ヒ素に汚染された廃棄泥水を対象とした場合、特殊鉄粉によるヒ素分離浄化工法により、土壤環境基準以下に分離浄化できることが検証できた。
- ・大粒径特殊鉄粉の利用により、サイクロン処理で8割程度の浄化処理が完了するため、磁力選別機の負担が2割程度に軽減できることから、磁力選別機のみで鉄粉を回収する工法に比較し、設備設置面積や浄化費用の縮減が図れる利点がある。

今後は、自然由来ヒ素が問題となる工事現場に、積極的に本工法を展開する予定である。

参考文献

- 1) 環境科学講座第 16 回 元素の地図-地球化学図-, 東京電機大学 工学部 環境科学科
- 2) 島田允堯, 自然由来重金属等による地下水・土壤汚染問題の本質: ヒ素, 応用地質技術年報, No.29, pp31~59, 2009 年
- 3) 神戸ら, 愛知県における砒素含有地下水の水質成分調査と砒素除去手法の検討, 愛知県環境調査センター調査・研究所報, 38 号, 2010 年
- 4) 自然由来重金属含有土壌年間 300 万トン増へ, 環境新聞, 21 面, 2015 年 1 月 14 日
- 5) 金子正史ら, 新潟県における自然由来のヒ素による地下水汚染の実態, 新潟県保健環境科学研究所年報, 第 25 巻, pp93~95, 2010 年
- 6) 岩田ら, 自然由来ヒ素汚染土壌の分離浄化処理工法の開発-各処理工程の検討-, 土木学会第 71 回年次学術講演会, VII-033, pp65~66, 2016 年