

鉄粉を利用した砒素汚染土壌の洗浄無害化技術

三浦俊彦 高田尚哉 中村哲
(本社エンジニアリング本部) (本社生産技術本部)

足立邦靖 守屋洋一 日笠山徹巳
(本社生産技術本部) (本社生産技術本部) (本社エンジニアリング本部)

Remediation of Arsenic-contaminated Soil by Washing using Iron Powder

Toshihiko Miura Naoya Takada Satoshi Nakamura
Kuniyasu Adachi Yoichi Moriya Tetsumi Higasayama

Abstract

The excavation of ground containing naturally originating arsenic by processes such as shield construction generates a large volume of arsenic-contaminated soil. Generally, such soils are transported to a waste disposal site and their treatment imposes a heavy financial burden. Then, this study developed a washing technique using iron powder in order to reduce the volume of contaminated soils. In this technique, washing water is added to the contaminated soil, which consequently changes into muddy water. Iron powder with a high adsorption capability for arsenic is added to the muddy water and it adsorbs arsenic dissolved in the muddy water. Then, the iron powder is separated. Washing tests performed using four kinds of contaminated soils show that addition of 0.5%-1.5% iron powder and a reaction time of 60 min were required to remediate the contaminated soils. In order to separate (i.e., collect) the iron powder from the muddy water efficiently, tests were performed using equipment for specific-gravity-based separation or magnetic sorting. The test results show that the collection rate of iron powder is affected by the specific gravity of muddy water and the collection speed.

概要

自然由来の砒素を含む地盤をシールド工事等で掘削する際には、砒素を含む大量の汚染土が発生する。一般に砒素汚染土は処分場等へ搬出処分されているが、土量が多いので経済的な負担が大きくなる場合がある。このため、工事で発生した砒素を含む汚染土壌の場外搬出量低減を目的として、鉄粉を利用した場内での洗浄手法を開発した。本技術は、汚染土に水を加えて泥水状態とした後に、砒素吸着力の高い特殊な鉄粉を汚染泥水に投入し、泥水中の砒素を鉄粉に吸着させて回収して、浄化土とする方法である。現場から採取した4種類の砒素汚染土壌を用いて洗浄試験を実施した結果、鉄粉添加量は乾土重量当り0.5~1%、反応時間60分で浄化が可能であることを確認した。また、泥水中の鉄粉を効率よく回収する方法を調べるために、比重分離と磁力選別の実規模の設備を用いた実証試験を実施した結果、鉄粉の回収率は泥水比重や処理速度に影響を受けることがわかった。

1. はじめに

掘削された重金属汚染土壌の洗浄処理として、一般に分級洗浄が行われている。分級洗浄は、湿式分級により重金属等を多く含んだ細粒分を除去し場外搬出処分して、きれいな砂を回収する方法である。砂質土には有効であるが、細粒分の多い粘性土では、回収できる砂量が少ないため適用が難しい。関東や関西地区における再開発工事やシールド、トンネル工事等で発生する自然由来の砒素汚染土は、細粒分を多く含む粘性土である場合が多く、分級洗浄が適用できないことが多い。そのため、大部分の汚染土は処分場等へ搬出処分されており、経済的な負担が大きくなる場合がある。

自然由来の砒素汚染土壌は、同じ地層であれば均一に存在する場合が多く、人工的な汚染土壌と比べて土量が多い傾向にある。また、自然由来の砒素汚染土壌は、含

有量は基準値以下であるが、溶解しやすい砒素が存在し、溶出量基準超過になることがある。そのため、汚染土に含まれる溶解性の高い砒素を安価な手法により除去し、溶出量を低減させることができれば、大量の掘削土を有効活用することが可能となり、環境負荷低減の観点からも望ましい。

そこで筆者らは、粘性土中に含まれる汚染物質を除去する手法の開発を目的として、鉄粉を用いた洗浄方法(以下、鉄粉洗浄と呼ぶ)を開発した。鉄粉洗浄は、鉄粉のもつ還元力を利用して、六価クロム汚染土の浄化に適用できることは報告済みであるが¹⁾、本開発では砒素の吸着力に優れた特殊鉄粉を使用することにより、自然由来の砒素を含む汚染土壌への適用性について検討した。特殊鉄粉の砒素吸着に関する基本性状と、実際の自然由来汚染土壌を対象とした鉄粉洗浄試験の結果、そして比重分離と磁力選別の実規模設備を用いて鉄粉の回収効率を

調査した結果を報告する。

2. 鉄粉洗浄の概要

鉄粉洗浄のフローをFig. 1に示す。鉄粉洗浄は、脱離と鉄粉による吸着反応、脱水の3工程から構成される。

- 1) 脱離工程は、水またはpH調整を兼ねた脱離液を用いて、土粒子表面に吸着している砒素を水または脱離液中に溶解させる工程である。
- 2) 鉄粉吸着工程は、砒素吸着力の高い特殊鉄粉を添加して、水または脱離液中に溶解した砒素を鉄粉表面に吸着させて除去する工程である。鉄粉による砒素の吸着原理は、鉄粉表面が酸化・腐食することで生じる酸化鉄および水酸化鉄と砒素が共沈して、鉄粉の表面に強く吸着する性質を利用したものである²⁾。砒素を吸着した鉄粉は、磁力選別機や比重分離機等を用いて泥水から回収する。
- 3) 脱水工程は、鉄粉と砒素が除去された泥水を脱水し、浄化土を得る工程である。

本洗浄で使用する特殊鉄粉の粒度分布をTable 1に示す。鉄粉の平均粒径は約60 μm で、75 μm 以下の粒径が50%以上存在していた。本鉄粉は、砒素の吸着力を高めるため、比較的粒径が小さく、かつ比表面積が高くなるように作られている。砒素の吸着等温線をFig. 2に示す。この吸着等温線は、三価と五価の砒素について、それぞれ1時間と3時間反応させた結果を示している。鉄粉は、三価と五価の砒素のどちらも吸着するが、五価砒素の方が吸着しやすい特徴がある。反応時間とともに吸着は進行し、砒素吸着量が0.1mg/g以下であれば、溶液中に存在する砒素の大部分を回収できる高い吸着力を示している。

3. 鉄粉による砒素吸着の基礎試験

砒素の模擬汚染水を用いて、鉄粉洗浄を想定した鉄粉の砒素吸着の基本特性を調べた。

3.1 試験方法

実験条件をTable 2に示す。試験に用いた汚染水は、三価砒素と五価砒素の0.05, 0.5mg/Lの溶液である。汚染土の土質や環境によっては、pHや共存する塩濃度が異なる場合があることから、汚染水のpHを4~10の範囲で変化させたケース、および汚染水に塩化ナトリウムと硫酸ナトリウムを0.05mol/L添加した溶液の場合についても試験を行った。泥水中に投入される鉄粉量と溶液量の割合から、各種溶液に特殊鉄粉を液固比で250となるように添加し、洗浄処理で想定される反応時間として、30, 60, 180分間振とうを行った。振とう後、0.45 μm でろ過して鉄粉を回収し、ろ液のpHと砒素濃度を測定した。

3.2 結果と考察

Fig. 3, 4に砒素汚染水の鉄粉処理の結果を示す。なお、

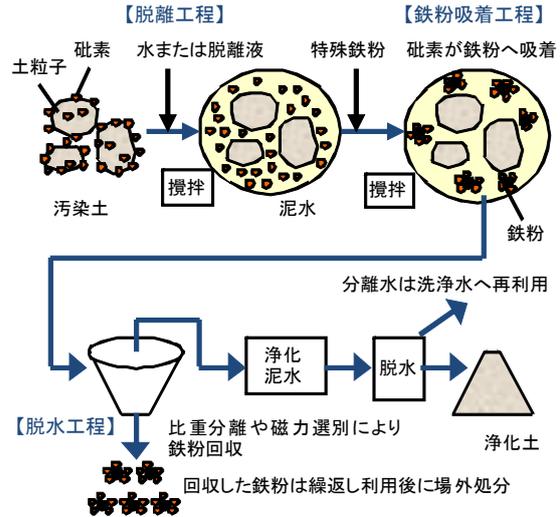


Fig. 1 鉄粉洗浄のフロー

Scheme of Washing Remediation Using Iron Powder

Table 1 鉄粉の粒度分布
Grain Size Distribution of Iron Powder

メッシュ	粒径 (μm)	重量 (%)	メッシュ	粒径 (μm)	重量 (%)
+18	850以上	0.1	+200	75~106	18.6
+60	250~850	4.4	+235	63~75	9.0
+83	180~250	6.8	+281	53~75	4.7
+100	150~180	5.0	-281	53以下	38.9
+140	106~150	12.5	—	—	—

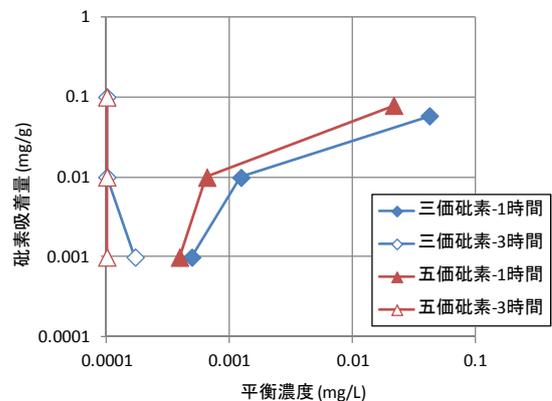


Fig. 2 鉄粉の砒素吸着等温線

Arsenic Adsorption Isotherm of Iron Powder

Table 2 試験条件
Test Conditions

種類	砒素汚染水の条件			鉄粉反応の条件	
	濃度 (mg/L)	pH	塩の種類と濃度 (mol/L)	液固比	反応時間 (分)
三価砒素	0.05	4,5,5,7,8,5,10	—	250	30,60,180
		5.5	NaCl 0.05 Na ₂ SO ₄ 0.05		
	0.5	4,5,5,7,8,5,10	—	250	
		5.5	NaCl 0.05 Na ₂ SO ₄ 0.05		
五価砒素	0.05	4,5,5,7,8,5,10	—	250	30,60,180
		5.5	NaCl 0.05 Na ₂ SO ₄ 0.05		
	0.5	4,5,5,7,8,5,10	—	250	
		5.5	NaCl 0.05 Na ₂ SO ₄ 0.05		

鉄粉処理後のpHは、pH7以上のケースでは変化がなく、処理前とほぼ同じであった。初期pHを4と5.5の酸性側に調整したケースは、鉄粉反応により少し上昇し、30分後には約pH6で一定となった。また、硫酸ナトリウムを添加したケースは、鉄粉反応とともにアルカリ性となり、30分後にpH10に達した。

三価砒素の汚染水は、鉄粉による洗浄時間の増加に伴い砒素濃度が低減し、鉄粉による三価砒素の吸着除去が進んだ。初期濃度が0.05mg/Lの場合は、いずれのケースも30分後には環境基準値(0.01mg/L)以下となった。本試験で使用した特殊鉄粉は、既報告の鉄粉³⁾と比べて砒素濃度の低減が比較的早く、短時間の洗浄が要求される現場洗浄処理では有効である。初期濃度が0.5mg/Lの場合は、大部分のケースで30分後には環境基準値以下となったが、pH10のアルカリ性のケースと、硫酸ナトリウムを添加したケースで、砒素濃度が低減し難い傾向を示した。硫酸ナトリウムを添加したケースは、180分後には環境基準値以下を達成したが、pH10のアルカリ性のケースは、180分後でも環境基準値まで低減しなかった。鉄粉の吸着反応が進まなかったのは、砒素との反応が進む前に、アルカリ性下で鉄粉表面に水酸化鉄が生成され、砒素と鉄粉の反応を阻害したことが原因と考えられる。

五価砒素の汚染水も、三価砒素と同様に、鉄粉反応とともに濃度が低減し、鉄粉による五価砒素の吸着除去が可能であった。初期濃度が0.05mg/Lの場合は、いずれのケースも30分後には環境基準値以下となった。初期濃度が0.5mg/Lの場合は、pHが5.5以下の酸性のケースと塩化ナトリウムを添加したケースでは、30分後に環境基準値以下となったが、pHがアルカリ性になるとともに砒素濃度が低減しにくくなる傾向にあった。pH10のアルカリ性のケースでは、砒素濃度はほとんど低減しなかった。

したがって、三価と五価の砒素汚染水は、鉄粉による吸着除去が可能であることが確認できたが、pHが8.5以上のアルカリ性、または多量の硫酸ナトリウムの共存下においては、反応が進みにくいことがわかった。硫酸塩だけではなく、リン酸塩や硝酸塩の共存も鉄粉による砒素吸着量を低減させる⁴⁾ことから、鉄粉洗浄を適用する際には、対象となる試料土がこれらの塩を多量に含む場合は、処理が不十分になる可能性があり、事前の確認が必要である。また、試料土がアルカリ性である場合は、事前に硫酸等で中性に調整する必要があると考えられる。

4. 汚染土の鉄粉洗浄試験

現場から採取した4種類の砒素汚染土壌を対象に、鉄粉洗浄の浄化効果を調べた。

4.1 試験方法

砒素汚染土壌の初期性状をTable 3に示す。A~Dの4種類の砒素汚染土壌は、いずれも自然由来と判定された汚染土壌である。試料土Aは関東地方から採取した土丹で、

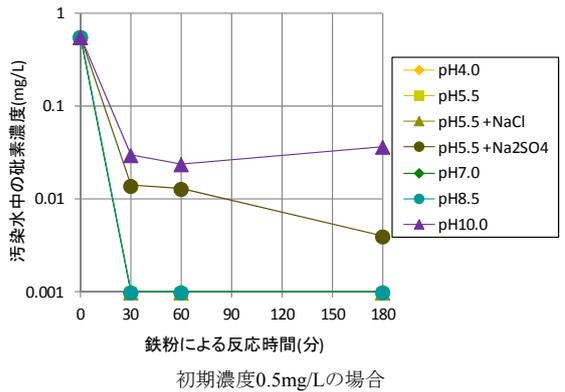
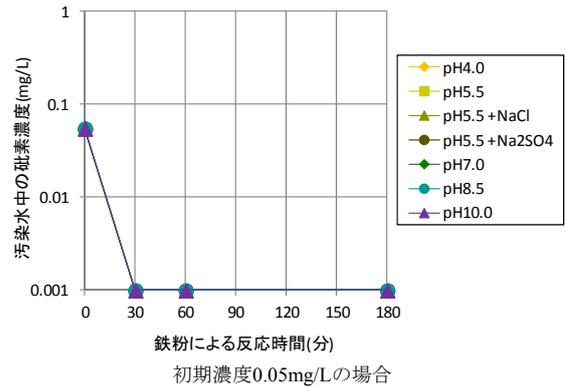


Fig. 3 三価砒素汚染水の鉄粉処理の結果
Results of Iron Powder Treatment of Trivalent Arsenic Water

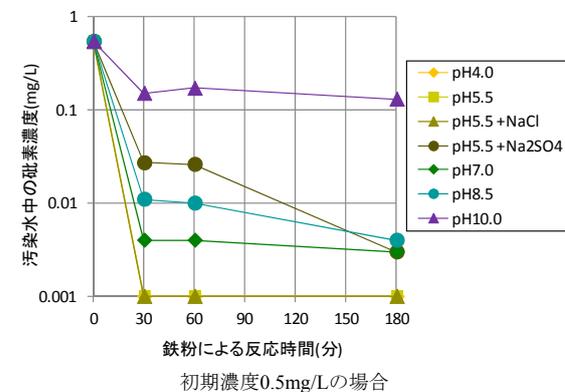
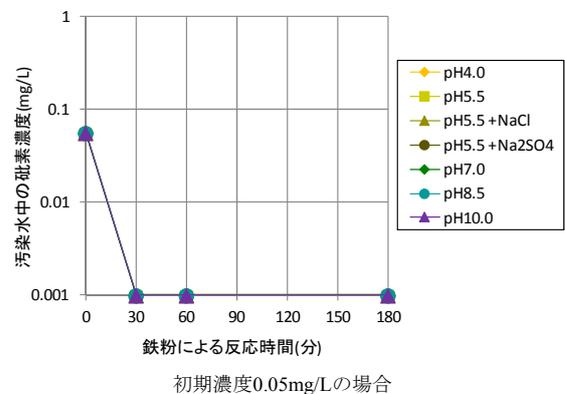


Fig. 4 五価砒素汚染水の鉄粉処理の結果
Results of Iron Powder Treatment of Tetravalent Arsenic Water

Table 3 試料土の性状
Properties of Arsenic Contaminated Soils

試料土	含水比 (%)	pH	EC (mS/m)	砒素溶出量 (mg/L)	砒素含有量 (mg/kg)
A	36.2	8.4	67	0.035	5.7
B	9.2	7.9	79	0.017	24
C	69.1	7.4	150	0.11	20
D	70.8	7.5	230	0.028	42

土塊状の試料を粉砕して使用した。試料土Bは関東地方から採取した岩ずりに付着した土砂である。試料土Cは関東地方から採取した粘性土で、試料土Dは中国地方から採取した粘性土である。いずれも環告18号溶出試験による砒素溶出量は土壌溶出量基準(0.01mg/L)を超過しており、環告19号の砒素含有量は基準値(150mg/kg)以下であった。試料土Bの含水比が9.2%と小さかったのは、砂分が多く含まれており、保管中に乾燥が進んだためである。電気伝導度(EC)は、試料土CとDで100mS/mを超えており、比較的塩を多く含む土壌であった。湿潤試料に水を加えてミキサーで攪拌し、泥水状態とした。その泥水を分級により75 μ m以上の砂分を除去した後、水を加えて、比重1.1~1.15程度の泥水試料を作製した。Fig. 5に泥水試料の粒径加積曲線を示す。鉄粉反応を進めるために、泥水に希硫酸を添加してpHを約6に調整した後、特殊鉄粉を乾土量あたり0, 0.5, 1, 2%添加して、60分間攪拌した。攪拌後、泥水中の鉄粉を磁石で回収し、0.45 μ mフィルターでろ過をして、ろ液のpHと砒素濃度を測定した。固形分は風乾した後に環告18号の砒素溶出量を測定した。

自然由来の砒素汚染土壌は、砒素の溶出量が小さく、1回の洗浄では鉄粉の吸着力を十分に利用していないことから、鉄粉を繰返し使用した洗浄試験も実施した。試料土Aを対象に、75 μ m以下の泥水を作製して、鉄粉を2%添加し、60分攪拌した。攪拌後、泥水中の鉄粉を磁石で回収し、0.45 μ mフィルターでろ過をして、ろ液のpHと砒素濃度、固形分の砒素溶出量を測定した。この操作を10回繰り返して、洗浄効果を調べた。

4.2 結果と考察

Table 4に試験結果を示す。いずれの試料土も、ろ液の砒素濃度と固形分の砒素溶出量は、鉄粉の添加とともに低減した。試料土AとCは鉄粉0.5%以上の添加で、Bは1%以上の添加で、砒素溶出量が溶出量基準値以下となった。したがって、試料土AとB、Cの3種類については、鉄粉洗浄による浄化が可能と判断された。試料土Dの砒素溶出量は、鉄粉洗浄によって低減したが、鉄粉2%の添加でも溶出量基準値までは低減しなかった。これは、他の試料に比べて砒素含有量が高いことや、ECが高くて塩を多く含むこと、そしてろ液に着色があり溶解性有機物の存在が推測されたことから、鉄粉による砒素吸着が十分に進まなかったと考えられる。また、溶液中の砒素を鉄粉が吸着除去しても、土壌から砒素が継続して溶出する可能性も考えられた。鉄粉洗浄は、すべての砒素汚染土壌に適用できるわけではないが、事前の室内洗浄試験により洗

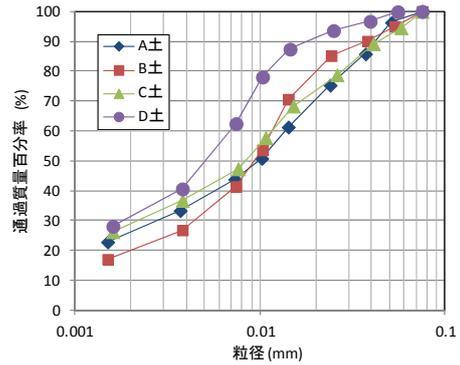


Fig. 5 泥水試料の粒径加積曲線
Grain Size Distribution of Muddy Water Samples

Table 4 洗浄試験の結果

Results of Washing Tests

試料土	試験条件			ろ液		固形分	
	泥水比重 (g/cm ³)	鉄粉添加量 (%)	鉄粉反応時間 (分)	pH	砒素濃度 (mg/L)	pH	砒素溶出量 (mg/L)
A	1.14	0	60	6.5	0.022	7.8	0.017
		0.5	60	6.5	<0.001	7.8	0.002
		1	60	6.5	<0.001	7.9	0.002
		2	60	6.4	<0.001	7.9	0.001
B	1.10	0	60	6.3	0.021	6.8	0.015
		0.5	60	6.1	0.013	6.8	0.014
		1	60	6.4	0.009	6.7	0.009
		2	60	6.5	0.006	6.8	0.007
C	1.15	0	60	7.0	0.087	7.4	0.070
		0.5	60	6.9	<0.001	7.5	0.003
		1	60	6.8	<0.001	7.5	0.002
		2	60	6.7	<0.001	7.5	0.002
D	1.13	0	60	6.8	0.014	6.9	0.030
		0.5	60	7.1	0.008	6.9	0.013
		1	60	7.0	0.005	7.0	0.013
		2	60	7.0	<0.001	6.9	0.011

Table 5 繰返し洗浄試験の結果

Results of Repetition Washing Tests

試料土	試験条件			ろ液		固形分	
	鉄粉添加量 (%)	鉄粉反応時間 (分)	洗浄回数 (回)	pH	砒素濃度 (mg/L)	pH	砒素溶出量 (mg/L)
A	0	60	0	7.2	0.051	7.3	0.020
	2	60	1	6.8	0.009	7.3	0.004
	2	60	2	6.9	0.009	7.3	0.004
	2	60	3	7.0	0.008	7.4	0.003
	2	60	4	6.9	0.007	7.4	0.003
	2	60	5	7.0	0.008	7.3	0.004
	2	60	6	7.0	0.009	7.3	0.003
	2	60	7	7.0	0.009	7.3	0.004
	2	60	8	7.1	0.009	7.3	0.005
	2	60	9	7.0	0.010	7.3	0.005
2	60	10	7.0	0.014	7.3	0.005	

浄特性を把握して、洗浄可否を判定すれば良いと考える。

繰返し洗浄試験の結果をTable 5に示す。ろ液の砒素濃度は、9回目まで環境基準値以下を示した。また、固形分の砒素溶出量は、10回目でも溶出量基準値以下であった。したがって、10回程度であれば鉄粉を繰返し使用しても、ほぼ同等の洗浄効果が得られることが推定された。先の

Table 6 鉄粉回収に使用した装置の仕様
Devices Using for Collecting Iron Powder

種類	処理能力 (m ³ /h)	設置動力 (kW)	寸法 (m)	他
スクリーデカンタ型遠心分離機	1.5~2.5	3.7	1.6×1.1×0.6	標準遠心効果 2000G
ドラム回転式磁力選別機	1.5~2	0.75	1.0×0.8×1.4	ドラム表面で6000 Gaussの磁力

試験結果と比べて、鉄粉添加量0%時のろ液や固形分の砒素溶出量が少し高い値であったが、これは調整したpHがわずかに高かったことが原因と考えられる。

5. 鉄粉回収方法の調査

施工現場で鉄粉を用いた汚染土壌の洗浄方法を適用するためには、泥水中の鉄粉を効率よく回収する手法を確立する必要がある。そこで、鉄粉回収装置の候補として、土粒子と鉄粉の比重差を利用したスクリーデカンタ型遠心分離機と、鉄粉の磁性を利用したドラム回転式磁力選別機を取り上げ、各々による鉄粉の回収効率を調べた。

5.1 試験方法

使用した装置の主な仕様をTable 6に示す。泥水試料は、現場から採取した懸濁粒子径75 μ m以下の泥水を使用し、鉄粉を乾土重量あたり2%添加して作製した。本試験は、鉄粉回収の効率調査が目的であるため、砒素を含まない泥水を使用した。スクリーデカンタ型遠心分離機を用いる試験は、泥水比重を1.12と1.16に設定し、処理速度を1, 1.5, 2m³/hの3段階として、泥水比重と処理速度が鉄粉回収に与える影響を調べた。遠心力は、事前の予備試験から、小さい遠心力でも十分に鉄粉が回収できたため、50, 100, 200Gの3ケースとした。各設定条件で泥水を処理する間に、10~20Lの泥水を採取して、泥水中に残存する鉄粉の量（鉄粉残存率）を調べた。また、回収される鉄粉は土砂を含んでいたため、その土砂量を測定して、鉄粉とともに回収されてしまう土砂量（土砂回収率）を求めた。ドラム回転式磁力選別機を用いる試験は、泥水比重を1.11, 1.15, 1.22の3段階とし、処理速度を1, 2, 3 m³/hの3段階に設定して、泥水比重と処理速度が鉄粉回収に与える影響を調べた。各設定条件で1分間の処理を3回繰り返して実施し、その平均値から、鉄粉残存率と土砂回収率を測定した。なお、磁力選別機は、事前の予備試験から、一般的なドラム回転式の処理システムでは鉄粉の回収効率が小さかったため、ドラムの磁石と泥水中の鉄粉が接触しやすいように改善した装置を使用した。

5.2 結果と考察

Fig. 6に泥水比重1.12の場合のスクリーデカンタ型遠心分離機の遠心力と泥水中の鉄粉残存率、土砂回収率の関係を示す。なお、泥水比重1.16の場合も同様の傾向を示した。鉄粉残存率は、遠心力が高いほど減少し、鉄粉の回収が進む傾向にあった。遠心力が50Gであっても、鉄粉

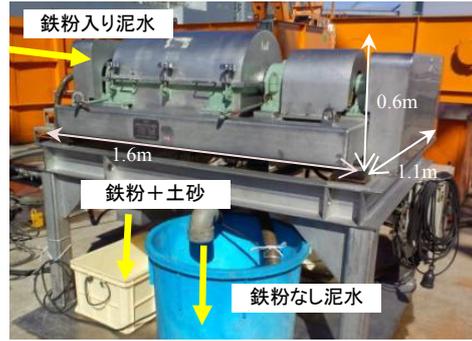


Photo 1 スクリューデカンタ型遠心分離機
Screw Decanter Type Centrifugal Separator

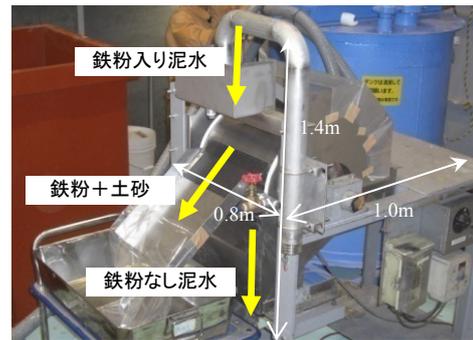


Photo 2 ドラム回転式磁力選別機
Drum Revolving Type Magnetic Separator

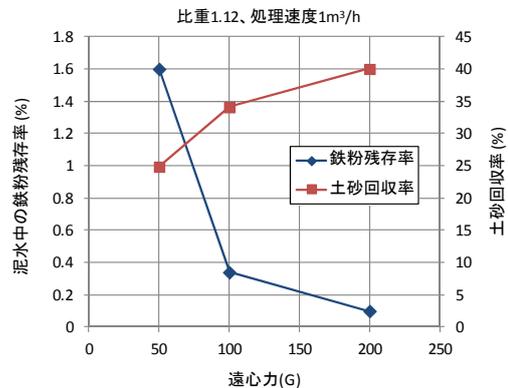


Fig. 6 遠心力と鉄粉残存率、土砂回収率の関係
Relation of Centrifugal Force and Iron Powder Residual Ratio, Soil Collecting Ratio

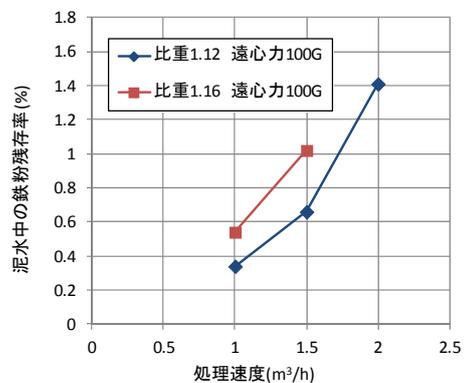


Fig. 7 処理速度と鉄粉残存率の関係（遠心分離機）
Relation of Separating Speed and Iron Powder Residual Ratio (Centrifugal Separator)

残存率は1.6%であるため、投入した鉄粉の98.4%が回収できる十分に高い回収率であった。一方で土砂回収率は、遠心力が高いほど大きくなり、鉄粉とともに回収されてしまう土砂量が多くなる。鉄粉を繰り返し利用する場合は、鉄粉とともに回収した土砂も処理対象の泥水に投入されるため、泥水比重が大きくなり処理効率が低下する。したがって、遠心力は泥水の性状に合わせて50~100Gの範囲で、なるべく鉄粉のみを回収できる条件を選定すべきである。Fig. 7, 8に、遠心力100Gにおける処理速度と鉄粉残存率、土砂回収率の関係を示す。鉄粉残存率は、処理速度の増加とともに大きくなった。一方で土砂回収率は小さくなり、鉄粉とともに土砂回収量が低減することを示している。遠心力と処理速度のどちらにおいても、鉄粉の回収効率を上げると、同時に土砂回収率も増加することから、鉄粉のみを選択的に回収したい場合は、泥水の性状に合わせた調整が必要である。

Fig. 9, 10に、ドラム型回転式磁力選別機を用いた場合の処理速度と鉄粉残存率、土砂回収率の関係を示す。遠心分離機と同様に、処理速度が大きいほど泥水中の鉄粉残存率は大きくなり、土砂回収率は小さくなる傾向にあった。また、泥水比重が最も高い1.22のケースでは、他のケースに比べて、鉄粉残存率は3%以上と高い値を示した。したがって、磁力選別機を用いる場合は、鉄粉回収効率を上げるために、洗浄対象となる泥水比重を約1.2以下に管理することが重要であることがわかった。泥水比重を小さくすることは、泥水の希釈により処理する泥水量が増えることにもつながることから、洗浄対象となる泥水の量や比重が大きい場合は適さないことも考えられる。

6. まとめ

自然由来の砒素汚染土壌を対象に、鉄粉を利用した洗浄無害化技術の開発を目的として、実汚染土を用いた室内洗浄試験と、鉄粉回収のための実証試験を実施した。

- 1) 模擬汚染水を用いた鉄粉の砒素吸着試験では、鉄粉は三価と五価砒素のどちらも吸着できることが確認できた。pH8.5以上のアルカリ性または多量の硫酸塩を含む場合は、鉄粉の砒素吸着力を低減させた。
- 2) 砒素汚染土を用いた鉄粉洗浄試験の結果、鉄粉0.5~1%、反応時間60分で浄化できることを確認した。ただし、浄化が困難な土もあるため、事前の洗浄試験による確認が必要である。また、鉄粉は1回の洗浄では吸着力が残るため、繰り返し利用が可能であると考えられた。
- 3) 遠心分離機と磁力選別機を用いた実証試験で、鉄粉回収効率の調査を行った。遠心分離機は遠心力が高いほど、処理速度が小さいほど鉄粉の回収効率が高かった。磁力選別機では比重が小さいほど、鉄粉を回収しやすい傾向にあった。浄化を確実にを行うためには鉄粉を回収することが必要だが、対象となる泥水の量や性状に合わせて、処理条件を選定する必要がある。

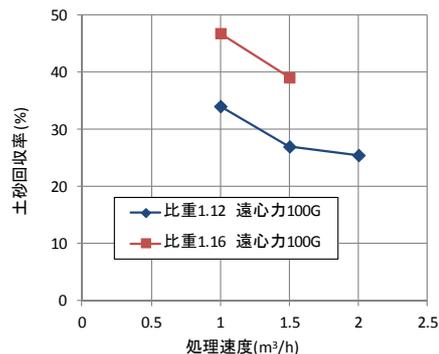


Fig. 8 処理速度と土砂回収率の関係 (遠心分離機)
Relation of Separating Speed and Soil Collecting Ratio (Centrifugal Separator)

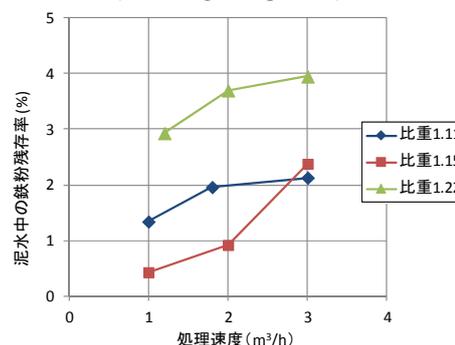


Fig. 9 処理速度と鉄粉残存率の関係 (磁力選別機)
Relation of Separating Speed and Iron Powder Residual Ratio (Magnetic Separator)

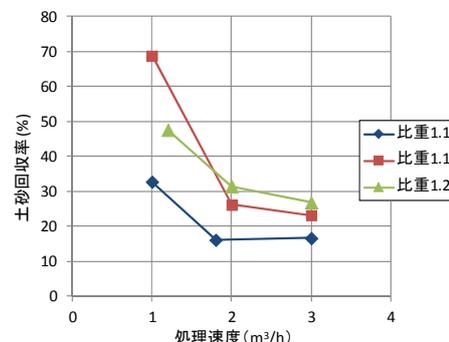


Fig. 10 処理速度と土砂回収率の関係 (磁力選別機)
Relation of Separating Speed and Soil Collecting Ratio (Magnetic Separator)

参考文献

- 1) 三浦俊彦, 他: 鉄粉を利用した六価クロム汚染土の洗浄無害化技術の開発, 大林組技術研究所報, No.69, (2005)
- 2) Sunbeak Bang, et al: Chemical reactions between arsenic and zero-valent iron in water, Water Res., Vol.39, No.5, pp.763~770, (2005)
- 3) Md. Anwarul ABEDIN, et al: Remediation of natural arsenic contamination in groundwater using zero valent iron, Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No.52B, pp.365~370, (2009)
- 4) Konstantina Tyrovola, et al: Arsenic removal from

geothermal waters with zero-valent iron. — Effect of temperature, phosphate and nitrate, Water Res., Vol.40, No.12, pp.2375~2386, (2006)