

# (整理番号：41) 砒素吸着材の性能とその利用方法について

宮西賢一<sup>1</sup>・岡野英樹<sup>1</sup>・森本辰雄<sup>1</sup>・和田信彦<sup>1</sup>・和田信一郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>株式会社アステック・<sup>2</sup>九州大学

## 1. はじめに

特定有害物質による土壌や地下水の汚染に対する環境保全の必要性が近年高まってきている。重金属の一つである砒素は自然濃集・温泉・砒素含有地層などの自然由来と、鉱業活動・砒素含有石炭燃焼・地熱発電所・遺棄化学兵器・化学工業など生活・生産活動にともなう人為的汚染がある。

前回の本研究集会で筆者らは水処理用砒素吸着材について報告したが、今回は土壌浄化用の砒素吸着剤を開発し、その性能の基礎データをとった。砒酸、亜砒酸ともに吸着する能力を有しており、また pH の影響を受けにくいことが確認された。次に砒素汚染土壌に吸着剤を混合した後、酸性雰囲気及びアルカリ性雰囲気で溶出試験を行ったがどちらの試験方法でも環境基準値以下まで浄化されていることが確認できた。

これらの基礎実験を経て砒素吸着剤の溶解液による原位置不溶化の実施工例を紹介し、その有効性と適用性について述べる。

## 2. 試料合成

アルミニウム塩と鉄塩を Fe/Al=5 になるように混合させ、マグネティックスターラで攪拌した。その後、pH6.5 程度になるように水酸化ナトリウムを添加した。攪拌後、懸濁液を濾過し生成物を得た。得られた生成物を乾燥し、メノウ乳鉢で破砕した。得られた粉末は水洗・乾燥し実験に用いた。この吸着材の粒度分布を図 2 に示す。



図 1 砒素吸着材

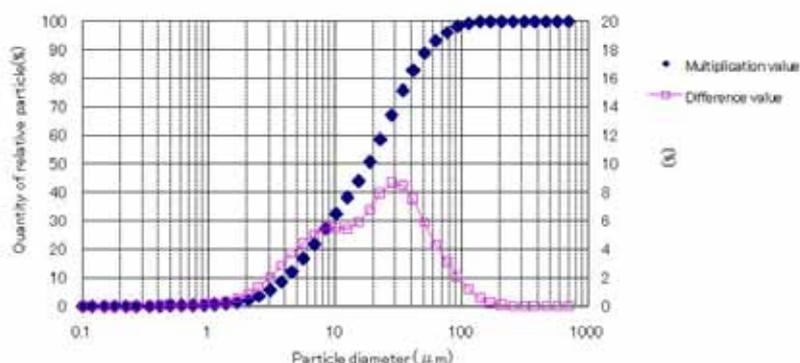


図 2 粒度分布

## 3. 試験方法及び結果

### 3-1. 砒素除去におよぼす pH の影響

As( )および As( )の電荷は、pH により価数が変化することが知られている。そこで、砒素除去におよぼす初期 pH の影響について検討をおこなった。結果は図 3 に示す。除去実験は初期濃度 20 mg/l の砒素溶液を用いて行った。図 3 より広い範囲の pH で高い吸着能力が認められた。特に中性付近では As( )および As( )ともに吸着されやすい。よって砒素除去の最適 pH は中性付近だといえる。

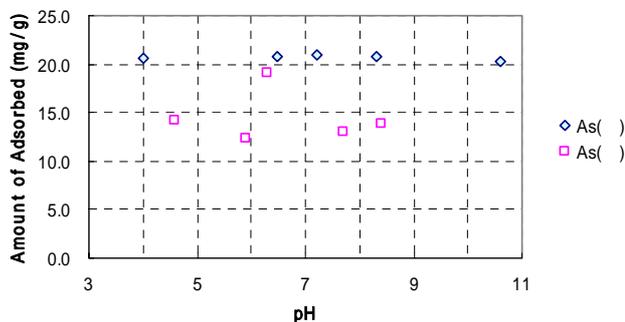


図 3 砒素除去におよぼす pH の影響

About performance of arsenic adsorption materials and the usage

Kenichi Miyanishi<sup>1</sup> and Ai Kuchibune<sup>1</sup> (ASTEC CO.,LTD.)

連絡先：〒670-0026 兵庫県姫路市岩端町 1 0 7 - 4 2F 株式会社アステック 宮西賢一

TEL 079-298-6666 FAX 079-298-6161 Email:miyanishi@astec-geo.co.jp

### 3 - 2 . 砒素除去におよぼす濃度の影響

上記実験より砒素の吸着能力が確認できた。本項では、砒素除去率におよぼす濃度の影響について、20 mg/l の砒素溶液を用い、吸着材の添加量を変化させ実験を行った。その結果を図4に示す。

吸着量と平衡濃度の関係を両対数でプロットした。吸着等温線はラングミュア型を示した。結果より濃度依存性は小さく、低濃度から高濃度まで広範囲にわたり、多量の砒素を除去できることが示された。

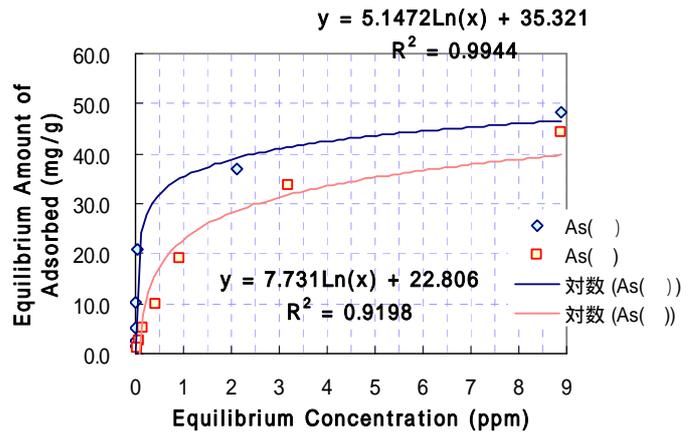


図4 砒素除去におよぼす濃度の影響

$$\text{As(III)}: q = 7.73 \ln(C) + 22.8$$

$$\text{As(V)}: q = 5.18 \ln(C) + 35.3$$

q:平衡吸着量 (mg/g)

C:平衡濃度 (mg/l)

吸着材の砒素汚染水処理性能を試算すると、1 mg/Lの砒素汚染水を 1 m<sup>3</sup>処理するのに必要な吸着材の量はおよそ 28 gである。

### 4 . 砒素汚染土壌不溶化試験

土壌汚染対策法では原位置不溶化は、地下水等の摂取によるリスクに対する措置の一つとして位置づけられ、重金属汚染土壌に対して用いられている。現在、掘削除去と比較して事例は少ないものの、方法が簡便で低コストである。しかし、環境変化や経時変化による再溶出が懸念されており、長期的な安全性の確保が不可欠である。

#### 4 - 1 . トリタピリティ試験

土壌には真砂土を用いた。土壌乾燥重量 1kg あたりに 1000 mg/l の砒素(ヒ酸水素二ナトリウム)溶液を 50ml、土壌への砒素添加量として 50 mg/kg 相当の砒素を加えてビニール袋で密閉し、室温で 3 日間養生後、風乾して試料とした。

#### 不溶化材

鉄塩及びアルミニウム塩の複合スラリー

#### 試験方法

不溶化材を汚染土壌に添加(原土に対して砒素吸着材を固形分換算で 0.1、0.5 及び 1.0 wt%) し、攪拌混合する。不溶化材の効果を確認するため土壌溶出試験(環告 18 号)を行った。

また、不溶化処理された砒素汚染土壌の環境変化の影響を評価するために、(社)土壌環境センターより提案されている、硫酸添加溶出試験法 および消石灰添加溶出試験法 を行った。試験方法は表 1 に示す。

表.1 溶出試験方法

試験方法	抽出液の調製方法
環境告示18号	pH 5.8-6.8になるように純水に塩酸を加える。
酸添加溶出試験法	硫酸を0.754g(純分)取り、蒸留水で1Lとする。H2SO4=0.796 mmol
アルカリ添加溶出試験法	水酸化カルシウム2.85g(純分)取り、蒸留水で1Lとする。Ca(OH)2=3.85

#### 結果

結果を表 2 に示した。

実験結果より添加量 0.1wt%で砒素の不溶化効果があることが確認された。しかし、環境変化によって再溶出する可能性がある。添加量 0.5wt%以上であれば pH の変化によって溶出する可能性は低くなることが確認された。

表.2 溶出試験結果

添加量 (%)	環境告示18号		酸添加溶出試験法		アルカリ添加溶出試験法	
	砒素溶出量(mg/l)	pH	砒素溶出量(mg/l)	pH	砒素溶出量(mg/l)	pH
0	0.2	6.9	0.2	2.7	0.05	11.3
0.1	<0.001	6.3	0.1	2.6	0.02	11.4
0.5	<0.001	6.0	<0.001	2.7	<0.001	11.6
1.0	<0.001	5.9	<0.001	3.2	<0.001	11.6

今後、長期安定性の評価をする際は pH の変化だけでなく酸化、還元雰囲気でも評価する必要がある。

## 5 . 本施工

### 5 - 1 . 汚染状況

対象地の汚染状況の汚染の概要を下記に示す。

調査ボーリング No.1 ~ No.4 の深度-0.5m、-1.5m、-3.0m、-4.0m で土壌試料を採取し公定法分析を行ったところ、No.2 を除いて深度-3.0m (No.1、No.4) ~ -4.0m (No.3) で砒素が溶出量基準不適合であった。

基準を超えた溶出量は 0.011 ~ 0.016mg/l で基準値の 2 倍以内の低濃度汚染であった。

地盤改良にともなう排水促進を目的として旧地表面に敷いた厚さ 1m 程度のサンドベッドが溶出量基準不適合を示していると考えられる。その上位の盛土材及び下位の旧耕作土等は基準適合であった。

### 5 - 2 . 目的

上位に厚さ 2 ~ 3m の盛土を有し溶出量基準 2 倍程度の低濃度砒素汚染の砂層 (サンドベッド) を対象に、砒素吸着材を用いて原位置不溶化工法を行い、砂層の砒素溶出量を基準値適合までに抑えるよう地質を改良することを目的とした。

### 5 - 3 . 手順

今回採用した原位置不溶化工法は、掘削等をおこなわずに原位置のまま不溶化材を拡散あるいは混合させて、溶出量基準に適合させる工法である。以下の手順を提案した。

不溶化材の場内拡散効果を上げると共に場外拡散を防止するため、シートパイルで全周を囲った。

圧入・揚水孔を設置した。

圧入孔から圧入循環した。

吸着材スラリーの拡散状況を揚水孔から汲み上げた地下水の電導度・pH の計測値で確認しながら、サンドベッド層に十分拡散するまで循環させた。

砒素吸着材スラリーが場内に十分拡散した後、土壌汚染対策法に準じて 100m<sup>3</sup> 毎 (10m × 10m 区画に確認ボーリング) に公定法分析を行い砒素溶出量が基準適合であることを確認した。

全区画が砒素溶出量基準に適合したことを確認して工事完了とした。

#### 井戸の配置

吸着材の注入・循環工に先立ち、井戸掘削時に得

られたボーリング資料から工事対象地の地質構造を把握するため、地質資料を任意の断面方向に並べた地質断面図及び地下水位等標高線図を作成した。

ボーリング掘削結果から、砂層 (サンドベッド) の構造及び地下水流動は下記の通りである。

サンドベッドは対象地中央で厚く、東側と西側で薄くなる。

サンドベッドの層厚は、概ね A 列で薄く、B 列 C 列の方向に厚くなる。

サンドベッドの分布標高は相対的に A 列で高く、B 列 C 列の方向に低くなる。

地下水は、概ね A 列から C 列に向かって流動している。

そこで注入法としては

吸着材の注入効果を上げるために、サンドベッドの層厚、高度変化及び地下水流動系に沿って、A 列及び B 列から注入して C 列で揚水した。

A 列-B 列間及び B 列-C 列間に注入井戸を追加増設し、注入量の増加を図った。

砒素吸着材が十分拡散したと判断した場合は、揚水井戸である C 列からも砒素吸着材を注入しサンドベッド全体を砒素吸着剤材で満たして注入工を終了した。

井戸は、径 115mm で掘削し、改良対象の砂層 (サンドベッド ; 礫混じりシルト混じり砂層) の下位にある有

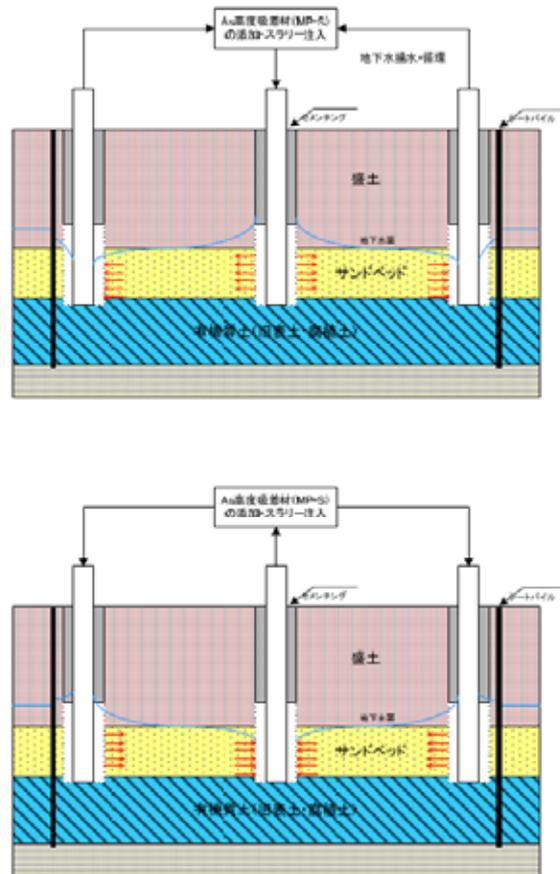


図 5 原位置不溶化概念図

機質シルト層を確認した時点で掘止めとし、砂層部分をスクリーンとした内径50mm塩ビ管(PVC50A)を挿入した。掘削孔壁と井戸管の間隙には、砂層以深に地下水流速の安定化と吸着材の浸透を目的に透水性の高い珪砂を、砂層より浅部に遮水性を目的にベントナイトペレットとセメントミルクを充填した。

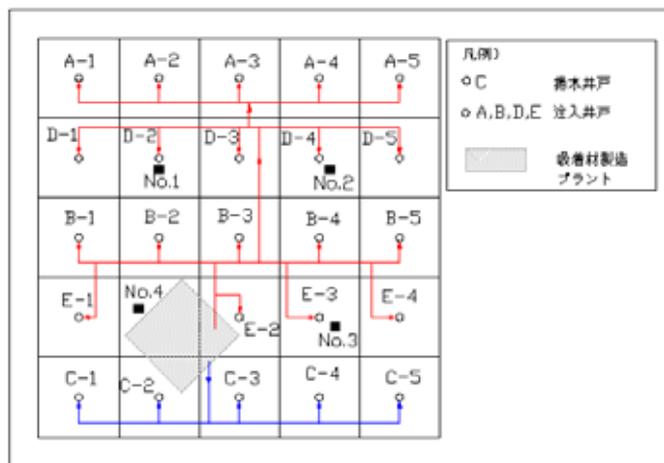


図6 井戸及びプラント配置概略図

#### 5 - 4 . 結果

C列地下水における電気伝導度(EC)の経時変化を図7に示す。注入前の砒素吸着材スラリーの電気伝導度は2,890mS/mであった。

当初、A列とB列から注入し徐々にC列へ到達していき、D,E列からの注入開始後はさらに多くの砒素吸着材が到達していると判断された。図7より12月9日に地下水の電気伝導度が吸着材の電気伝導度とほぼ同等の値を示していることから、砒素吸着材が十分拡散したと判断し、C列からも注入した。12月10日に注入計画量500m<sup>3</sup>に達したため、注入作業終了とした。

その後、効果確認のため各区画の砂層(サンドベッド)の試料を対象に砒素溶出試験を行った。

溶出試験は、全区画の試料について定量下限値未満であり、目的通りに吸着材によって不溶化されていることが確認された。

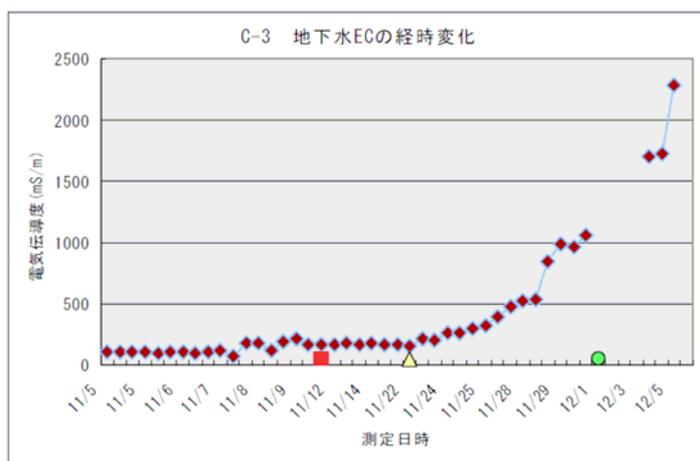


図7 地下水の経時変化

#### 6 . まとめと今後の課題

本報では、砒素吸着材の性能とその吸着材を利用した原位置不溶化工法の施工例について述べた。基礎実験から吸着材の性能が高いことが示され、それを応用し実施工でも適用可能であることが確認された。しかし、砒素吸着材の浸透方式は、対象地層・土壌の粒度や透水係数・透水量係数などの吟味をおこなった上で、細粒砂より粒径の大きく未固結な地層には適用可能と思われる。ただし、浸透の不均質性をいかに把握し、排除するかが課題である。また、浸透方式が困難な場合、原位置攪拌による混合方式の適用が考えられる。今後の課題として、砒素だけでなくその他重金属類の不溶化効果を得るために吸着材の改良を行うとともに、地質による施工手段の適応性・施工機材を進めていきたい。

#### 文献

小川正俊・加藤勝・奥山貞一・斉藤隆彦、2001、資源環境対策、37(14)、27-36  
 公害防止の技術と法規編集委員会、1995、五訂・公害防止の技術と法規(水質編)(社)産業環境管理協会