

ベトナム・ハノイ市の浄水施設から産出されるヒ素含有上水汚泥の有害性の検討

東京大学サステナビリティ学連携研究機構 正会員 ○福士 謙介⁽¹⁾

東京大学大学院工学系研究科 ホワン ティー マイ⁽²⁾

東京大学環境安全研究センター 正会員 山本 和夫⁽³⁾

1. はじめに

ベトナムやバングラデシュ等では地下水中にヒ素が含まれている場合があり、汚染地域においては安全な飲料水源を探る様々な努力が行なわれてきた。効率の良い浄化方法を適用し、作り出される水は安全となったとしても、ヒ素を多く含む汚泥等が恒常的に生じるという問題がある。本研究ではヒ素汚染地域として知られているベトナム・ハノイ市において¹⁾²⁾、浄水施設から産出される浄水汚泥のヒ素に関する有害性と環境安定性を検討し、汚泥の有効利用方法の提案をした。また、ヒ素除去が十分でない場合のための追加的なヒ素除去プロセスの検討も行った。

2. 調査および実験方法

(1) 対象浄水場: 本研究ではヒ素濃度が高い地下水を源水とする Tuong Mai (I)、Ha Dinh (II)と Phap Van (III)の浄水場を研究対象として選定した(図1)。これらの浄水場は地下水の鉄分を利用し、凝集剤を添加しない変則的な急速砂ろ過法を適用しており、一定の上水汚泥の産出がある。浄水プロセスから出た汚泥は繊維袋に入れ、浄水場内(屋外)に保管しているか、浄水場内の空き地や天日乾燥ベッドで乾燥後、般廃棄物埋立地に運ばれている。

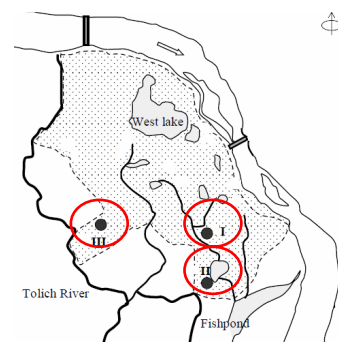


図1 研究地域と浄水場位置

(2) 実験方法: 本研究では浄水場の沈殿池からの汚泥とろ過砂洗浄水からの汚泥を試料とした。汚泥の物理特性の分析についてはpH、含水量、強熱減量、ICP-MSによる総ヒ素含有量を行い、また、ヒ素に関して汚泥の化学的シーケンシャルエクストラクション実験と日本環告示13号の溶出実験法による標準溶出実験を行った。追加的なヒ素除去プロセスの検討において、吸着実験と使用済み吸着剤の溶出実験を行った。セリウム吸着剤、活性炭と活性アルミナそれぞれ1gの吸着剤をヒ素濃度50μg/Lの溶液に入れ、吸着能力を見た。またヒ素で飽和した活性アルミナと活性炭それぞれ1gに対して蒸留水40mLで3回洗い、吸着剤の溶出実験を行った。

3. 汚泥の有害性および安全性の検討

(1) 汚泥の有害性の検討: 実験結果から汚泥の総ヒ素含有量は600~2000mg/kgであることが分かった。土壌ヒ素含有量基準値の日本の市街地土壌基準値(150mg/kg)³⁾を上回る(図2)。またドイツ連邦土壌保護令に定めるヒ素含有量の試験値は(暴露経路:土壌→人体)子供の遊び場が25mg/kg、住宅地が50mg/kg、公園・余暇施設が125mg/kgであり⁴⁾、サンプリングした上水汚泥はこれらの基準値を上回る。日本やドイツの基準値と比較すると浄水場内に置くことは望ましくない。なぜなら、これらの汚泥は乾燥し、風などにより飛散し、作業員や浄水場近傍の住民の健康に影響を与えるおそれがあるからである。

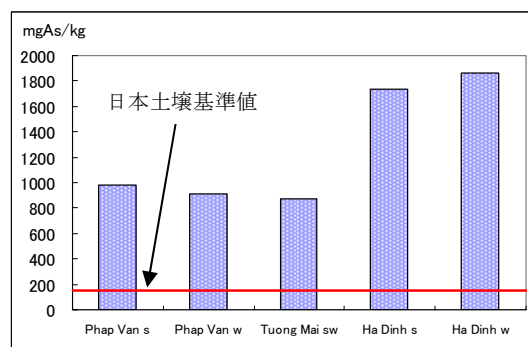


図2 汚泥のヒ素含有量

但し s: 沈殿池からの汚泥 w: ろ過砂洗浄水からの汚泥
sw 上の2種類の混合汚泥

なお、結果は示していないが溶出実験を行い、いずれのサンプルも日本環告示13によるヒ素判定基準を満たした。

キーワード ヒ素、毒性、地下水汚染、上水汚泥、ハノイ市

連絡先 (1) 〒113-8654 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学サステナビリティ学連携研究機構 E-mail: fukushi@ir3s.u-tokyo.ac.jp

(2) 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大学院 工学系研究科 E-mail: hoangmai@env.t.u-tokyo.ac.jp

(3) 〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学環境安全研究センター E-mail: yamamoto@esc.u-tokyo.ac.jp

(2)汚泥の安全性の検討:シーケンシャルエクストラクション実験で汚泥に含まれるヒ素と固相の間の結合形態に関する情報を得られた。実験結果によるとヒ素の95%が残渣態である(図3)。残渣態は化学的に安定であり、環境に影響を及ぼす可能性が低い。すなわち、汚泥中の95%のヒ素が安定ということが明らかになった。

4. より高度な上水処理プロセスの導入の可能性

(1)吸着実験:本実験ではA社のセリウム吸着剤、活性炭と活性アルミナ3種類の吸着剤のヒ素除去能力を確認し、本研究対象浄水場で適用可能性のなる処理方法を検討した。初期濃度は $50\mu\text{g/L}$ に設定し、2002年から改められたベトナム飲料水のヒ素基準値 $10\mu\text{g/L}$ に達するまでの吸着時間を見た。活性アルミナが最も迅速にヒ素を除去し、5分でヒ素濃度は $10\mu\text{g/L}$ に達した。一方、活性炭は吸着実験開始後6時間でヒ素濃度が $10\mu\text{g/L}$ になった。しかし、セリウムの場合には水中のヒ素の測定濃度が安定せず、24時間後のヒ素濃度は $10\mu\text{g/L}$ まで下がらなかった。この実験結果からセリウムの中に元々ある程度のヒ素が入っているという疑いが生じ、それを確認するためセリウムの40mLの蒸発水にセリウム1gを入れ、17時間振とうした結果、溶出液のヒ素濃度が $375\mu\text{g/L}$ だった。よって実験に使用したセリウムには微量ではあるが、ヒ素が入っているということが分かった。本実験のように希薄なヒ素の濃度を取り扱う場合は、このセリウム吸着剤は適当ではないことがわかった。おそらく、この吸着剤はより高いヒ素濃度の処理用途であろうと思われる。

(2)廃棄吸着剤の安全性の検討

現在のハノイの浄水場において高度処理を導入する場合、廃棄吸着剤はおそらく上水汚泥と同様に場内に保管され、吸着剤に吸着されたヒ素が再び溶出する恐れがある。ここではヒ素で飽和した吸着剤のヒ素含有量やヒ素溶出可能性を実験で確認した。実験の結果によると、ヒ素溶出量が 141mg/L (活性アルミナ) および 10.4mg/L (活性炭)いずれも日本環告示13号に定める判定基準値(0.3mg/L)を上回る。つまり吸着されたヒ素が活性アルミナや活性炭から容易に溶出することが分かった。

5. 汚泥の有効利用の提案

現状では大部分の有害廃棄物は家庭ごみなどと一緒に、埋め立て処分されていると考えられる。また埋立地の管理が不十分なことに起因する有害物質の漏洩等が懸念される。一方、実験で鉄分の含有量が汚泥の重量の約半分占めるという事が分かった。鉄を含される汚泥をペレタイジング、焼結して、原料として高炉に入れ最終的に高炉の炉内の強還元雰囲気中で還元され鉄として資源回収される。ヒ素は焼結工程で排ガス側のダストに移行すると考えられ、排ガスは湿式洗浄されるので洗浄塔排水のヒ素濃度が上昇する恐れがある。しかし、ハノイ近郊にある製鉄所の生産能力が約40トン/日であり、浄水場からの汚泥の量は原料負荷の50分の1程度しかないので大きな影響はないと考えられる。通常の鉄鉱石のヒ素含有量が数 mg/kg から数十 mg/kg であり、それと比較したら汚泥のヒ素含有量が50倍でも排水中のヒ素濃度増加にあまり影響しないと考えられる。ただし、浄水汚泥を製鉄所に運搬するコスト、浄水汚泥組成の保証、若干ではあるが増加する洗煙排水中のヒ素の処理費用など様々なファクターを勘案し計画を進める必要がある。

6. おわりに

ベトナム・ハノイ市のPhap Van、Tuong Mai、Ha Dinh 浄水場の浄水汚泥のヒ素成分の95%以上が安定であるという結果がでたが、現状では浄水場内に安全性を確保しない状態で保管され、ヒ素の漏洩等によるリスクや作業員及び周辺住民との物理的な接触、処理場周辺の地下水や土壌を汚染させる恐れがある。汚泥の製鉄所の原料として利用することで、ヒ素を含有する浄水汚泥の処理、処分や管理問題を解決できると期待される。またベトナム飲料水のヒ素基準値 $10\mu\text{g/L}$ に達するために活性炭や活性アルミナを利用するヒ素吸着法が有効であるが分かった。

参考文献

- (1) Michael Berg et al., ES&T, 2621-2626, Vol. 35, 2001. (2) Tran Thi Viet Nga, Ph.D.Thesis, The University of Tokyo, 2002. (3)環境省 土壌汚染対策法 (4)竹ヶ原啓介, 日本政策投資銀行,調査,1999

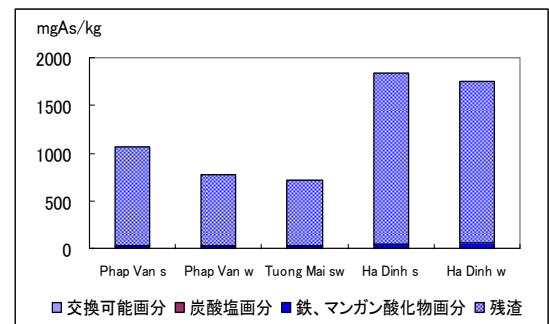


図3 各画分のヒ素濃度

但し s:沈殿池からの汚泥 w:ろ過砂洗浄水からの汚泥
sw 上の2種類の混合汚泥