

(続紙 1)

京都大学	博士（地球環境学）	氏名	Md. Anwarul Abedin
論文題目	Mitigation of Arsenic in Groundwater Using Zero Valent Iron: Removal Mechanism and Application		
(論文内容の要旨)			
本論文は、自然的原因によって地下水に存在するヒ素を除去するため、ゼロ価鉄粉を用いた地下水対策手法を提案し、その効果と適用性を実験により評価したものである。自然的原因による地下水のヒ素による汚染はバングラデシュやインド・西ベンガル地域をはじめ世界各地で報告されているが、特にバングラデシュではヒ素濃度が高い地下水が広く分布することに加え、飲料水としての地下水依存率の高さ、地下水灌漑稲作の普及などのため、人への健康影響や農作物の成長阻害といった被害が確認されている。そのため、ヒ素汚染地下水に対して低コストでメンテナンスが容易な浄化システムの開発が求められている。本論文では、吸着や還元反応によってヒ素の非水溶性態への変化が期待できるゼロ価鉄粉を取り上げ、ヒ素汚染地下水の小規模のオンサイト浄化システムの開発を目的とした室内試験を実施し、その評価を行っている。論文は6章からなっており、以下に各章の内容を説明する。 第1章は序論であり、自然的原因による地下水のヒ素汚染の現状とその影響について述べるとともに、現在開発適用されているヒ素汚染地下水対策について概説している。高価で大規模な水処理施設を有しえない地域では小規模・低コストでメンテナンスが容易な浄化システムの適用が期待されており、ゼロ価鉄粉を用いたシステムの開発が有望であるが、そのためにはゼロ価鉄粉による長期の浄化性能やそのメカニズムの解明が重要であることを論じている。 第2章では、自然的原因による地下水のヒ素汚染の現状、既往のヒ素汚染地下水対策技術、ゼロ価鉄粉による水処理・地下水対策技術について現状をとりまとめている。ヒ素汚染地下水の現状に関して、ヒ素の存在形態やヒ素濃度の範囲などを既往の研究に基づいてとりまとめるとともに、ヒ素汚染地下水による人の健康影響などの被害例について整理している。さらに、グラベルサンドフィルターシステムなど既往のヒ素汚染地下水対策の特徴を論じ、ゼロ価鉄粉のヒ素汚染地下水対策への適用可能性を示唆するとともに、その実現にあたってはカラム試験やパイロット試験を中心とした性能評価試験を長期にわたって行い、浄化メカニズムの解明をはかることの重要性を論じている。 第3章ではバッチ試験とカラム試験を実施し、材料としてのゼロ価鉄粉のヒ素除去能力を求めている。鉄分含有量と粒度分布が異なる3種の鉄粉を用いてバッチ試験を行ったところ、一定時間経過後にいずれの鉄粉についてもヒ素除去率が98%以上となり、高い除去性能が期待できることが明らかとなった。			

また、想定する現場の地下水のヒ素濃度およびpHレベルの範囲において、材料として求められる浄化性能を達成しうることが示唆された。

第4章では、ゼロ価鉄粉を用いたヒ素汚染地下水浄化システムの開発を想定したカラム試験と化学分析の結果について論じている。その内容は大きく四つに分類できる。第一に浄化効率を改良するため鉄粉と砂を混合した混合層の性能をカラム試験により検討している。鉄粉単体層は透水性が低く、汚染水浸透に伴う酸化鉄の沈殿により透水性がさらに低下して浄化効率が低下するが、鉄粉・砂混合層は透水性が高く、ヒ素除去率は保持したままでより大きな流速で地下水のろ過を行うことから、現場での適用には有利である。想定している流速の範囲では浄化性能に及ぼす流速の影響はみられず、また、排出水のpHや酸化還元電位、溶存酸素濃度の傾向から、還元的環境においてヒ素の除去が生じるとともに、鉄粉と酸素の反応によって生じた酸化鉄の沈殿がヒ素の除去に寄与していることが示唆された。第二に、カラム試験を約6ヶ月実施した後の供試体について含有量分析を行い、ヒ素の存在形態と存在量を確認したところ、非晶質の鉄酸化物などの沈殿が確認でき、既往の研究とも照らし合わせて酸化鉄の沈殿がヒ素除去に寄与していることが明らかとなった。また、酸化鉄の生成は供試体間隙の一部に限られていることから、ヒ素の浄化効果はさらに長期にわたって継続しうることを示した。第三に、含有量分析の結果を用いて物質移行パラメーターの同定を行い、ヒ素除去のモデルとして、減衰を考慮した移流分散方程式の適用性を示した。これらの結果は、鉄粉を用いた浄化システムを現場で適用する際の設計パラメーターとして活用しうる。第四に、鉄粉・砂混合層からの排出水はヒ素除去は達成されているものの鉄分濃度が高いことから、鉄分を除去するための砂カラムを鉄粉・砂混合層カラムに連結する二連カラムシステムを提案し、その有効性を室内試験により示した。

第5章は、第3章ならびに第4章で示した結果に基づいて、現場で適用するゼロ価鉄粉を用いた浄化システムの提案例を具体的に説明し、その耐久性や有効性を論じている。

第6章は結論であり、論文を総括するとともに今後の課題を示している。

(論文審査の結果の要旨)

自然的原因でヒ素を含有する地下水の対策はバングラデシュやインド・西ベンガル地域を中心とする地球上の様々な国・地域における重要な環境課題の一つであり、安全な水の供給のために簡易でメンテナンスが容易な浄化システムの開発が求められている。本論文では、ゼロ価鉄粉のヒ素除去性能に着目し、ゼロ価鉄粉を用いた浄化システム提案のための室内試験を実施し、その有効性を議論した

ものである。得られた主な成果は以下の通りである。

第一に、ゼロ価鉄粉と砂を混合した鉄粉・砂混合層のヒ素汚染地下水対策への適用性を示した。鉄粉単体層では透水性が低くて浄化効率が低く、さらに処理に伴って酸化鉄などが生成して間隙を閉塞し、浄化効率をさらに低下させ、長期の浄化性能が期待できないという問題点があった。鉄粉・砂混合層とすることにより、想定される地下水のヒ素濃度やpHに対して、ヒ素除去率は保持したままでより大きな流速で長期にわたって処理を行いうることを明らかにした。また、鉄粉・砂混合層カラムに砂カラムを連結するシステムを提案し、処理水の鉄分濃度の低下にも成功した。

第二に、鉄粉によるヒ素除去のメカニズムを議論するとともに、その性能が長期にわたって継続しうることを説明した。カラム試験の排出水の化学分析と供試体の全量分析の結果、鉄粉と酸素の反応によって生じた酸化鉄などの沈殿物がヒ素の除去に寄与していることが示された。また、酸化鉄の存在は供試体の一部に限定されており、さらなるヒ素の除去効果が期待できることが説明された。このように、本論文で示されたヒ素除去の長期性能の議論は地下水のオンサイト処理におけるメカニズムの解明に寄与し、地盤環境工学の成果として学術的意義が高い。

第三に、鉄粉・砂混合層によるヒ素除去の現象が、減衰を考慮した移流分散方程式によって表現できることを示すとともに、オンサイト浄化システムの実設計に適用しうる物質移行パラメーターを求めた。除去性能を表現するパラメーターの同定にはカラム試験後の含有量分布が適用できるが、バッチ試験から求められるヒ素除去能を参照値とすることができ、実際の適用にあたってはカラム試験を省略してシステムを設計することも可能である。また、得られたパラメーターに基づけば、オンサイト浄化システムは処理水量や処理時間に関して現地で十分に適用しうるレベルの性能を有するものであることが明らかとなった。これらの成果は地球環境学の発展に貢献するとともに、地下水汚染対策の実務に寄与するもので、社会的意義も高い。

以上の成果により、本論文は地球環境学の発展に大きく寄与した。よって本論文は博士（地球環境学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年2月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降