

氏 名	ね ぎし まさ のり 根 岸 昌 範
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2738 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 都 市 環 境 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	金属還元剤を利用した地盤環境修復技術に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 武 田 信 生 教 授 嘉 門 雅 史 教 授 森 澤 眞 輔

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は金属還元剤を利用した原位置での地盤環境修復技術に関して、特に金属還元剤の耐久性や各種有害金属類の安定化形態の解明を行った一連の研究をまとめたもので、全6章で構成されている。

第1章「序論」では、わが国における地盤環境汚染問題の歴史の変遷や汚染状況および既存の対策技術を整理するとともに、諸外国の取り組み経緯を文献調査した結果を示した。また、金属還元剤である鉄粉を利用した地盤環境修復技術に関する既往の研究について文献調査を実施し、これらを踏まえて本論文の目的および構成を示している。

第2章「金属還元剤による有機塩素化合物の分解試験」では、国内で入手可能な浄化用鉄粉について有機塩素化合物の脱塩素反応速度定数を求め、鉄粉の比表面積や鉄含有量との関係を検討した。さらに、固体表面 nm オーダーの表面分析が可能である X 線光電子分光 (XPS) 分析により、鉄粉表面における金属態 (零価)、二価、三価の割合を分析した。鉄粉の比表面積に XPS 分析で把握した鉄全体に占める金属鉄の割合を掛け合わせた指標を反応面積とすることで、反応速度定数の序列を表現することが可能であった。脱塩素反応の持続性に関しては6.4年におよぶ連続通水試験を実施し、長期間での反応性の推移を確認した。長期試験に供したカラムから採取した鉄粉を樹脂埋めして研磨した断面を観察し、鉄粉表面の酸化皮膜の厚さを分析する手法を確立し、鉄粉の長期的な反応性減衰に対する実験的評価を可能とした。

第3章「金属還元剤による有害金属類の安定化試験」では、ヒ素、クロム、鉛、カドミウムの4種類の有害金属に対して鉄粉による安定化能の評価および最新の X 線分析手法を利用した安定化メカニズムの解明に関する検討を実施した。振とう試験および連続通水試験により有害金属種類ごとの安定化能を定量的に評価した。また、ヒ素およびクロムを安定化した鉄粉に対する XPS 分析によって、安定化された有害金属の価数分布を測定したところ、表面付近から深部に向かって金属態にまで還元される割合が高くなることを明らかにした。さらに、大型放射光施設 SPring-8における高輝度 XAFS 分析によっても部分的に金属態にまで還元されていることを確認した。

第4章「浄化対策の設計および評価手法の検討」では、汚染地下水対策として透過性地下水浄化壁工法 (有機塩素化合物と重金属を対象) を、土壌も含めた面的な対策としては原位置攪拌混合工法 (有機塩素化合物のみ対象) を取り上げ、その設計手法や耐久性の評価手法を検討した。透過性地下水浄化壁工法では、適用サイトの汚染濃度および地下水流動状況から浄化壁の厚さを設定する方法を概説した。さらに、浄化壁の耐久性評価においては、鉄粉の嫌気性腐食を原因とした粒径減少による反応面積減少と周辺に生成した腐食皮膜の拡散障壁としての反応性阻害の双方を考慮した予測手法を構築した。有害金属類に対する浄化壁では有機塩素化合物の場合と異なり、汚染の流入負荷と安定化能から耐久性を評価する手法を示した。原位置攪拌混合工法の設計はサイトごとの土壌性状に大きく依存するため、配合設計に関する試験方法と濃度低減の予測手法を示した。

第5章「実汚染地盤への適用」では、実際に有機塩素化合物で汚染された工場跡地において、汚染地下水を浄化する透過性地下水浄化壁工法と、土壌を面的に浄化する原位置攪拌混合工法の適用事例についてとりまとめた。前者はテトラクロロ

エチレンで汚染された地下水の下流側に、総延長100 m の浄化壁を設置した案件であり、サイトの概要から設計手法、施工方法、2年間のモニタリングデータなどを示した。また、浄化壁内に設置した観測井戸から採取した鉄粉について酸化皮膜を観察したところ、5～10 μm の腐食皮膜が形成されており反応速度は設計時の80%程度となっていた。後者の原位置攪拌混合工法では、電子機器工場跡地の1000 m^2 ほどの汚染範囲に対して汚染深度に応じて7～10 m まで土壌重量に対し7%の鉄粉を混合した。土壌溶出濃度の経時変化ならびに施工機械ごとの分解反応速度のばらつきなどをとりまとめた。

第6章「結論」では、本研究により得られた知見の要点を整理し、さらに今後の研究課題についても言及し、本論文の総括をおこなった。

論文審査の結果の要旨

本論文は金属還元剤を利用した原位置での地盤環境修復技術に関して、特に金属還元剤の耐久性や各種有害金属類の安定化形態の解明を行った一連の研究をまとめたもので、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. わが国で入手可能な浄化用鉄粉に対して有機塩素化合物の脱塩素反応速度定数を評価する室内試験を実施し、銘柄によってもては鋳物工場などから排出されたりサイクル品でも実用的な反応速度を有することを明らかにした。
2. X線光電子分光(XPS)分析による鉄粉表面の零価、二価、三価の分布を評価し、さまざまな鋳鉄粉に対する反応性の支配要因を明らかにした。
3. 6年以上の長期間にわたる連続通水試験を実施し、その反応速度の推移を示すとともに、鉄粉の腐食による粒径減少と腐食物質による拡散障壁の生成を実測することで、有機塩素化合物に対する脱塩素反応速度の長期的な予測手法を確立した。
4. ヒ素やクロムなど有害金属類が鉄粉に安定化される際の化学形態をXPS分析や大型放射光施設 SPring-8における高輝度X線吸収微細構造(XAFS)分析により実施し、部分的には金属態にまで還元されて安定化していることを明らかにした。
5. 有機塩素系溶剤で汚染されたサイトに対する実際の浄化対策工事として、透過性地下水浄化壁や原位置攪拌混合工法を適用し、実汚染対策としての適用性を実証するとともにモニタリングデータなどから設計手法の妥当性を評価するデータを蓄積した。

以上要するに、本論文は金属還元剤の地盤環境中での有機塩素化合物分解の持続性や重金属の安定化形態を明らかにし、その結果にもとづき、実汚染対策の設計手法や汚染サイトへの適用を実施しており、その成果は、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年12月26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。