

| | |
|----------|---------------------------------|
| 氏名 | いぬい 乾 とおる 徹 |
| 学位(専攻分野) | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 論工博第3804号 |
| 学位授与の日付 | 平成16年7月23日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第2項該当 |
| 学位論文題目 | 地盤汚染の拡散防止技術を用いた環境リスクの制御とその工学的評価 |

論文調査委員 (主査) 教授 嘉門雅史 教授 大西有三 教授 森澤眞輔

論文内容の要旨

地盤汚染問題における「環境リスク」とは汚染物質による人体や環境への被害の生起確率として定義される。地盤汚染対策においてはリスク回避を目的とした経済的な手法の実施が現実的であり、汚染物質の移動性を低下させる固化・不溶化処理や遮水壁による封込めといった拡散防止技術が用いられ、廃棄物の埋立処分や汚染土の対策においても拡散防止技術の適用性は高い。しかし、拡散防止技術を適用する場合、有害物質は地盤中に残存することから、長期的な環境リスクを適正に制御できる対策工の性能を明らかにすることが、リスクコミュニケーションの観点からも重要となる。本論文では地盤汚染物質の拡散防止技術を対象として、固化・不溶化処理効果の環境中での耐久性を実験的に検討し、廃棄物を地盤材料として利用する際の化学物質の挙動の推定と簡便な環境影響評価手法を提案している。さらに、廃棄物処分における適正な遮水工構造の検討を行うとともに、実際の地盤汚染サイトでの環境リスクを解析的に評価し、危険性の高い曝露経路と実施する対策の優先度の決定、対策の妥当性の検証等を行っており、以下の6章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の社会的な背景を述べ、その意義を明らかにし、固化・不溶化処理、封込め処分といった拡散防止技術の妥当性を検証する上で、性能設計の導入や環境リスクに基づく定量的評価の重要性を詳述した。

第2章では、汚染物質の拡散防止を目的とした基幹的な技術のひとつである固化・不溶化処理を取り上げ、重金属の溶出特性と様々な物理化学的要因の関係を明らかにするために実施される種々の溶出試験を体系的にとりまとめ、これらの溶出試験を重金属汚染土のセメント同化体を対象として実施し、海水の接触、および乾燥・炭酸化等が重金属の溶出特性に与える影響を実験的に明らかにした。

第3章では重金属を含有する一般廃棄物焼却飛灰、下水汚泥焼却灰の地盤材料としての有効利用を想定して固化処理を実施し、その溶出特性を実験的に評価した。下水汚泥焼却灰を埋戻し材として有効利用する場合と、一般廃棄物焼却飛灰の埋立地盤を跡地利用する場合を想定し、溶出試験結果と簡便な数学モデルを用いた重金属溶出フラックスの推定方法、ならびに環境影響の溶出フラックスに基づく評価手法を提案し、その妥当性を検証した。下水汚泥焼却灰を埋戻し土として有効利用をする場合には、地盤が有する化学物質の吸着作用を利用した緩衝層を設けることにより、溶出した化学物質による環境影響を効果的に制御できることを明らかにした。一般廃棄物焼却飛灰の有効利用に伴う環境影響の評価においては、重金属の溶出濃度が浸出水のpHに依存することを実験的に明らかにするとともに、既設処分場での帯水層への溶出フラックスを算定し、浸出水水位の管理や遮水工の設置による環境影響の低減効果を定量的に評価して、適正な維持管理の重要性を指摘した。

廃棄物や汚染土から、ある一定の水準以上の化学物質の溶出が確認される場合は、管理型廃棄物処分場に埋立処分を行う必要があることから、第4章では廃棄物埋立護岸の損傷部等からの局所的な有害物質の流出をリスクとして定量的に評価し、流出が生じた場合にも、護岸全体として遮水機能を発揮する適正な構造形式を解析的に検討した。遮水シートと重力式ケーソンを用いた廃棄物埋立護岸を検討対象として、移流分散方程式に基づいた二次元有限要素解析を実施し、処分場外への化学物質の流出フラックスと濃度を最小化するという性能評価の考え方に基づいて、適正な護岸構造形式を提案した。遮水シ

ート損傷部からの流出量の評価においては、基盤層の透水係数等の影響要因を考慮した損傷部からの漏水量の定式化を行い、遮水シートの等価換算透水係数を決定する手法を確立した。さらに、シート敷設長や裏込め材料の透水性といった埋立護岸の設計細目が遮水性能に与える影響の解析的評価に基づいて、4つの推奨埋立護岸構造形式を提案し、その遮水性能を明示した。

第5章では廃棄物の不法投棄に起因したPCBsとダイオキシン類等による実汚染サイトを対象として、地盤汚染物質による当該サイト内と近隣住宅地における環境リスクを解析的に評価するとともに、CDF（Containment Disposal Facility）内に汚染土を封込め保管する対策の妥当性を検証した。当該サイトにおいて想定される曝露シナリオについて、曝露の対象となる集団がある濃度の化学物質を含有する媒体に曝露された場合におけるリスクの個人格差（分布）を、P値（化学物質を含有する媒体の単位体重あたりの日摂取量の分布）を用いて定量的に算定した。解析においては、地下水、および大気を経由してサイトから拡散する地盤汚染物質の移動特性を評価し、地下水中の水溶性化学物質の輸送評価には移流分散方程式に基づく2次元有限要素プログラム、大気中の粒子状浮遊物質の輸送評価には大気拡散方程式の解析解をそれぞれ使い、汚染源濃度等はモニタリングデータに基づいて推定した。さらに解析結果に基づいて、サイトにおける地下水の飲用摂取、大気中の浮遊粒子状物質（SPM）に吸着した形態の化学物質の吸引摂取・皮膚接触、サイト内での汚染土の直接接触等によるリスクを、対策の実施前後でそれぞれ算出・比較し、対策実施後の新たな環境リスクの発生がないことと、環境リスクの低減効果を定量的に示して、本サイトにおける地盤汚染対策の妥当性を明らかにした。以上のリスクの算出結果に基づいて、対策工の重要性（優先度）を評価する考え方を示し、本サイトにおける対策としてはSPMの発生を抑制するキャッピング、および土壌の直接摂取を防止する立入制限が最も重要であり、優先順位も高いことを明らかにした。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の課題を整理して示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は地盤汚染物質の拡散防止技術を対象として、汚染土や廃棄物からの汚染物質の溶出特性に着目し、①固化・不溶化処理効果の環境中での耐久性に関する実験的検討、②廃棄物を地盤材料として利用する際の化学物質の挙動の推定と簡便な環境影響評価手法の提案、③廃棄物処分における適正な遮水工構造の検討、④実際の地盤汚染サイトを対象とした、当該サイトの環境リスクの現地調査結果に基づいた解析的評価、⑤想定曝露経路に基づいた実施対策の優先度の決定と対策の妥当性の検証、などを行ったものであり、得られた成果は以下のとおりである。

(1)重金属汚染土壌を固化・不溶化処理した際に、環境中での海水の接触、および乾燥・炭酸化が固化・不溶化効果に与える影響を実験的に検討し、海水のpH緩衝作用によって固化体一溶媒のpHは重金属の溶解度が低い弱アルカリ性の値を示すため、重金属の溶出量が低減されること、乾湿繰り返し曝露によって供試体内部の中性化の進行が顕著であり、酸緩衝容量の低下が生じCdなどは溶出量が増加することを明らかにした。

(2)重金属を含有する一般廃棄物焼却飛灰や下水汚泥焼却灰の地盤材料としての有効利用を想定して、その溶出特性を実験的に評価するとともに、簡便な数学モデルを用い環境影響の溶出フラックスに基づく合理的評価手法を提案した。

(3)廃棄物処分に伴う地盤環境への負の影響の防止の観点から、管理型廃棄物処分場の遮水工に着目し、処分場周辺地盤の有害物質の挙動を浸透流・移流分散解析を用いて検証し、長期に渡って安定した性能を担保しうる遮水工構造を示した。

(4)廃棄物の不法投棄に起因するPCBsやダイオキシン類等による実汚染サイトを対象として、当該サイト内と近隣住宅地における環境リスクを解析的に評価し、原位置の封込め施設内に汚染土を封込め保管する対策の妥当性を検証した。

(5)想定される曝露シナリオについて、リスクの個人格差（分布）をP値という指標を用いて定量的に求めるとともに、これを用いたリスク解析においては、地下水および大気を経由してサイトから拡散する地盤汚染物質の輸送特性を、数値解析とモニタリングデータに基づいて検討し、拡散防止対策の実施後において環境リスクが大きく低減されることを定量的に明らかにした。

以上要するに、本論文は地盤汚染の拡散防止技術の有効性と環境リスク評価を実施して、それらの手法の合理性を検証したものであり、学術上、實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16年4月30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。