

学 位 論 文 題 名

不法投棄による地下水汚染現場の戦略的修復方法に関する研究

(Studies on a strategic remediation method for the groundwater field
contaminated by illegal dumping)

学位論文内容の要旨

廃棄物の不法投棄等不適正処分に起因した環境汚染は、周辺住民の生活環境の保全のため早急に修復しなければならないが、多量の廃棄物や汚染土壌を全量撤去することは社会経済的に困難であり、その修復は容易でない。近年、多くの不法投棄現場で廃棄物を残置したまま修復する原位置汚染修復が実施されているが、これらの修復において、廃棄物の不均一性や汚染物質の偏在等により、計画どおりに修復が進捗しないことや新たに環境基準項目に追加された 1,4-ジオキサンによる汚染など、予期せぬ事態が多々発生し、修復期間の長期化や事業費の増加など課題が明らかとなってきた。一方で、汚染修復に関しては、修復計画策定までの調査方法や拡散予測、リスクに応じた段階ごとの対策計画の策定など、既往研究により示されているものの、これまで計画の実行段階以降の方法論は示されていなかった。こうした中、計画の実行段階で明らかになる想定外のリスクに適切に対応するための方法論として、新たにベリファイドフォローアップ (Verified Follow-up、以下 VF-UP と記す) の概念が提案された。VF-UP は、修復計画の実行段階の想定できないリスクに対して、中間評価による検証とその評価を踏まえた実現可能な計画見直し、並びに目標達成後の事後評価による検証を行う修復方法の概念であり、本研究と並行して形成されてきた考え方である。本研究は、不法投棄に起因する地下水汚染現場で、VF-UP の考え方に基づき、対策中及び対策後に生じる想定外のリスクに的確に対応できる戦略的な修復方法を明らかにするものである。

第 1 章では、本研究の背景と目的について述べた。廃棄物の不法投棄等不適正な処分は、近年、減少傾向であるが無視できる量ではなく、全量が撤去されないことから残存しその累計量は増加している。これら廃棄物に起因する環境汚染の原位置修復は、廃棄物の不均一性等により修復計画どおりに浄化効果を得ることは困難である。そのため、修復計画の実行段階で発生する想定外のリスクに適切に対応するために、VF-UP の考え方に基づき、実汚染現場での戦略的な修復対策を実践により明らかにすることを研究目的として設定した。

第 2 章では、不法投棄現場の汚染修復に関する現状の方法論や制度的枠組みを整理するとともに、国内の不法投棄事案の現状を調査した。国内の不法投棄等の汚染修復では、産廃特措法による財政支援の対象となった 14 事案のうち計画期間内に 7 事案 (本研究対象の三重県桑名市事案を除く) で修復が完了しない見込みであり、その原因は、対策中の中間評価が不十分であるために、対策中に生じる想定外のリスクに対応できていないことであった。そのため、本研究では、揮発性有機化合物 (VOC) により地下水が汚染され、行政代執行により廃棄物を残置したまま修復措置を講じることが決定された三重県桑名市の

不法投棄現場で修復を実践し、VF-UP の考え方により計画の実行段階で明らかになる想定外のリスクに対応することにより研究を進めることを示した。

第3章では、三重県桑名市の実汚染現場において、汚染修復計画に基づき VOC を含む廃棄物を残置し鉛直遮水壁による拡散防止をしたうえで、遮水壁内の汚染地下水を揚水循環浄化により修復対策を実施した結果を示した。修復対策の過程では、検証により水みちの形成や有害物質の偏在、難透水性区域の存在などによる浄化の遅延を確認したが、追加対策を適時実施することにより目標とした5年間で地下水浄化を達成した。汚染修復を戦略的(システマ的)に進めるために、浄化対象とした6種のVOCを統合的に評価する総VOC濃度当量と加重平均による指標を開発するとともに、等濃度分布図を作成し浄化効果の可視化を行った。また、等濃度分布図における汚染残留区域は、難透水性であり廃棄物は未浄化のまま高濃度のVOCを含むことを明らかにし、これら廃棄物の部分撤去が地下水浄化に有効であることを示した。また、地下水浄化目標達成後も遮水壁内の廃棄物に高濃度のVOCが残留していたことから、揚水循環浄化では廃棄物を均一に浄化することが困難であることを明らかにした。したがって、当該現場は、今後、継続的なモニタリングの必要がある。

第4章では、当該現場においてVOCの修復後、新たに環境基準項目に追加された1,4-ジオキサンによる地下水汚染がモニタリングにより判明し、その汚染特性を明らかにするとともに、1,4-ジオキサンに対する修復方法を示した。遮水壁内外の地下水を対象として1,4-ジオキサン濃度を詳細に調査するとともに、遮水壁内に残置した廃棄物に含まれる1,4-ジオキサンの調査を実施した。また、遮水壁内外の地下水の無機イオン、地下水位等を調査し、汚染修復現場の1,4-ジオキサンの汚染特性を解明した。1,4-ジオキサンの汚染特性は、1) 当該現場において、地下水流下方向の遮水壁外第2帯水層及び第3帯水層に広範に拡散している、2) 地下水への溶解性が高く土壌吸着性と微生物分解性を有さず、地下水中でトレーサー物質である Cl^- と同様の拡散挙動を示す、3) ソイルセメント遮水壁による1,4-ジオキサンの汚染拡散防止は、地下水の完全な移動の制御が難しい当該現場では困難である、ことを明らかにした。したがって、応急的な修復対策は、汚染拡散防止を目的として、遮水壁内地下水の揚水による低水位管理(負圧管理)が有効であることを示した。

第5章では、汚染修復の実践により明らかとなった想定外のリスクへの対応について、VF-UPの観点から整理し、戦略的な汚染修復の方法論として示すとともに、制度的枠組みの改善を提案した。戦略的な修復手法は、1) 検証を踏まえたシステマ的な進行管理、2) 状況に適応した修復対策の方針や計画の変更、3) 目標達成後の汚染リスクに対する事後対策、であることを示した。また、制度的枠組みの改善として、廃棄物処理法には汚染修復における検証の実施とその公表、産廃特措法の財政支援スキームには中間、完了時、事後の検証と再汚染に対する再支援の規定が必要であることを提案した。

第6章は、総括であり、論文全体の成果を要約した。

不法投棄に起因する三重県桑名市の地下水汚染現場において、VF-UPの考え方に基づき戦略的な汚染修復を実践し、VF-UPの有効性とその具体例である戦略的修復方法を明らかにした。また、他の汚染修復の事例に適用できるよう廃棄物処理法及び産廃特措法の制度改善を提案した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	古市	徹
副査	教授	中辻	隆
副査	准教授	石井	一英

学位論文題名

不法投棄による地下水汚染現場の戦略的修復方法に関する研究

(Studies on a strategic remediation method for the groundwater field contaminated by illegal dumping)

廃棄物の不法投棄等不適正処分に起因した環境汚染は、周辺住民の生活環境の保全のため早急に修復されなければならないが、多量の廃棄物や汚染土壌を全量撤去することは社会経済的に困難であり、その修復は容易でない。そのため近年では、多くの不法投棄現場で廃棄物を残置したまま修復する原位置汚染修復が実施されている。しかし、これらの修復において、不法投棄廃棄物の不均一性や偏在等により計画どおりに修復が進捗しないことや、新たに水質及び地下水の環境基準項目に追加された1,4-ジオキサンによる汚染など、予期せぬ事態が多々発生し、修復期間の長期化や事業費の増加などの課題が明らかとなってきた。一方で、汚染修復に関しては、修復実施計画策定までの汚染調査、解析、対策など、標準的な計画策定プロセスは既往研究により示されているが、実行段階以降の状況に合った計画変更の方法論は示されていなかった。こうした中、実行段階で明らかになった想定外のリスクに適切に対応するための方法論として、新たにベリファイドフォローアップ (Verified Follow up、以下 VF-UP と記す) の概念が提案された。VF-UP は、計画段階で想定できなかったリスクに対して、中間評価による検証とその評価を踏まえた実現可能な計画に変更し、さらに目標達成後の事後評価による検証をも行う修復方法の概念であり、本研究の進捗と並行して形成されてきた考え方である。本研究は、実際の不法投棄現場の修復対策を通して、VF-UP の考え方に基づき、修復対策実施中及び対策後に生じる想定外のリスクに的確に対応できる戦略的な修復方法を明らかにするものである。

第1章では、本研究の背景と目的について述べている。近年、廃棄物の不法投棄等不適正な処分は、減少傾向であるが、全量撤去が困難なことから残存しその累計量は増加している。そのため、環境汚染の原位置修復は、廃棄物の不均一性等により修復計画どおりに浄化効果を得ることは困難である。したがって、修復計画の実行段階で発生する想定外のリスクに適切に対応するために、VF-UP の考え方に基づき、実汚染現場での戦略的な修復対策を実践により明らかにすることを研究目的としている。

第2章では、不法投棄現場の汚染修復に関する現状の方法論や制度的枠組みを整理し、国内の不法投棄事案の現状を調査している。国内の不法投棄等の汚染修復では、産業特措法による国の財政支援の対象となった14事案のうち計画期間内に8事案(本研究対象の三重県桑名市事案を含む)で修復が完了しない見込みである。その原因は、対策中の中間評価が不十分であり、対策実施中に生じる想定外のリスクに対応できていないことである。本研究では、揮発性有機化合物 (VOC) により地下水が汚染され、行政代執行により廃棄物を残置したまま修復措置を講じることが決定された三重県桑名市の不法投棄現場を対象に、VF-UP の考え方により計画の実行段階で明らかになった想定外のリスクについて言及し、その対応を検討している。

第3章では、実汚染現場の汚染修復計画に基づき、VOC を含む廃棄物を残置し鉛直遮水壁によ

る拡散防止をしたうえで、遮水壁内の汚染地下水を揚水循環浄化により修復対策を実施した結果を示している。修復対策の過程では、検証により水みちの形成や有害物質の偏在、難透水性区域の存在などによる浄化の遅延はあったが、追加対策を適時実施することにより目標とした5年間で地下水浄化を達成した。しかし、継続的なモニタリングにより、浄化停止後に高濃度な汚染区域が再出現し、難透水性の場所の廃棄物は未浄化のまま高濃度のVOCを含むことが明らかにされた。そのため、汚染修復を戦略的(システムの)に進めるために、浄化対象とした6種のVOCを統合的に評価する総VOC濃度当量と加重平均による指標を開発し、等濃度分布図を作成し浄化効果の可視化を行い、高濃度部分の廃棄物の部分撤去が地下水浄化に有効であることを示している。また、地下水浄化目標達成後も遮水壁内の廃棄物に高濃度のVOCが残留していたことから、揚水循環浄化では廃棄物を均一に浄化することが困難であることを明らかにし、今後も継続的なモニタリングが必要であるとしている。

第4章では、当該現場においてVOCによる汚染の修復後、新たに環境基準項目に追加された1,4-ジオキサンによる地下水汚染が調査により判明し、その汚染特性を明らかにするとともに、1,4-ジオキサンに対する修復方法を示している。遮水壁内外の地下水を対象として1,4-ジオキサン濃度を詳細に調査するとともに、遮水壁内に残置した廃棄物に含まれる1,4-ジオキサンの調査も実施している。また、遮水壁内外の地下水の無機イオン、地下水位等を調査し、汚染修復現場の1,4-ジオキサンの汚染特性を明らかにしている。その汚染特性は、1) 当該現場において、地下水流下方向の遮水壁外第2帯水層及び第3帯水層に広範に拡散している、2) 地下水への溶解性が高く土壌吸着性と微生物分解性を有さず、地下水中でトレーサー物質である塩素イオン(Cl^-)と同様の拡散挙動を示す、3) ソイルセメント遮水壁による1,4-ジオキサンの汚染拡散防止は、地下水の完全な移動の制御が難しい当該現場では困難である。したがって、地下水と同じ挙動をする1,4-ジオキサンの応急的な修復対策は、汚染拡散防止を目的として、遮水壁内地下水の揚水による低水位管理(負圧管理)が有効であると提案している。

第5章では、実汚染修復現場の実行段階で明らかとなった想定外のリスクへの対応について、VF-UPの観点から整理し、戦略的な汚染修復の方法論として示すとともに、制度的枠組みの改善を提案している。戦略的な修復手法は、1) 検証を踏まえたシステム的な進行管理、2) 状況に適応した修復対策の方針や計画の変更、3) 目標達成後の汚染リスクに対する事後対策、であると明示している。また、制度的枠組みの改善として、廃棄物処理法には汚染修復における検証の実施とその公表、産廃特措法の財政支援スキームには中間、完了時、事後の検証と再汚染に対する再支援の規定が必要であることを明らかにしている。

第6章は、総括であり、論文全体の成果を要約している。

これを要するに、著者は、廃棄物の不法投棄等不適正処分に起因した環境汚染現場において、事例を実証的に解析することにより解明し、VF-UPの考え方に基づき戦略的な汚染修復を実践し、VF-UPの有効性とその具体例である戦略的修復方法を明らかにした。また、他の汚染修復の事例に適用できるよう廃棄物処理法及び産廃特措法の制度改善について、新たな展開に向けての具体的かつ有用な解決策を提案しており、環境工学特に廃棄物管理工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。