



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Remediation planning of 1,4-dioxane-contaminated groundwater by using numerical simulation [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Hem, Ramrav
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11136号
Issue Date	2013-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/53894
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Ramrav_Hem_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 Hem Ramrav

審査担当者 主 査 特任教授 古市 徹
副 査 教 授 五十嵐 敏文
副 査 教 授 松井 利仁
副 査 准教授 石井 一英

学位論文題名

Remediation planning of 1,4-dioxane-contaminated groundwater by using numerical simulation
(数値シミュレーションを用いた 1,4-ジオキサンによる地下水汚染の修復計画)

製造プロセス等で広く使用されている発癌性物質である 1,4-ジオキサンは、2009 年に環境基準項目として追加された。不法投棄現場では、トリクロロエチレンやベンゼン等の揮発性有機化合物 (Volatile Organic Carbon, VOC) により地下水が汚染されている場合が多く、その修復計画の構築には、VOC の土壌吸着や微生物分解等の特性を考慮した数値シミュレーションによる地下水汚染解析が有効であった。しかし VOC と比べて非揮発性で水への溶解度が高く、土壌への吸着及び微生物分解がほとんど生じない 1,4-ジオキサンの地下水中の移動は、地下水の流向や流速 (地下水流れ場と呼ぶ) に大きく依存する。つまり、VOC とは異なる地下水汚染解析のアプローチが必要となる。そこで本研究では、三重県桑名市の不法投棄現場の 1,4-ジオキサンによる地下水汚染を対象に、1. 地下水中の 1,4-ジオキサン分布を推測するための新しい数値モデルによるアプローチを提案し、2. そして数値シミュレーションを用いたシナリオ解析により修復計画を提案することを目的としている。

第一章は、本論文の背景と目的を述べている。

第二章は、当該不法投棄現場の経緯を踏まえた、1,4-ジオキサンによる地下水汚染解析上の課題明らかにしている。当該現場では、VOC 等で汚染された約 30,000m³ の廃棄物が投棄され、敷地内外の地下水汚染が生じた。2002 年より、鉛直遮水壁による汚染拡散防止対策及び揚水循環法による廃棄物中 VOC の除去対策、揚水処理による周辺地下水の浄化対策が実施された。当初の目的であった VOC による地下水汚染の浄化目標は、2007 年度に中間評価で達成したものの、遮水壁外に、新たに 1,4-ジオキサン地下水汚染が発覚した。このことは、これまでの一連の修復対策が、1,4-ジオキサンに対しては機能していなかったことを意味する。地下水流向や流速が異なる鉛直方向に 3 つの帯水層を有する当該現場において、鉛直遮水壁施工後もなお水平だけでなく鉛直方向の地下水流れによる汚染拡散が進行していた 1,4-ジオキサンの汚染機構を明らかにするためには、この複雑な地下水流れ場の汚染メカニズムを推測することが重要となる。

第三章は、地下水中 1,4-ジオキサン分布を推測するための新しい 3 次元数値モデルによるアプローチを提案している。従来の VOC による地下水汚染解析では、観測地下水位を表現する最適な透水係数値を求め地下水流れ場を推定した後、土壌への吸着や微生物分解等の輸送パラメータを考慮した移流分散方程式により、汚染濃度分布が推定されてきた。しかし、土壌吸着や微生物分解がほとんど生じない 1,4-ジオキサン分布は、最適な地下水流れ場を用いて移流分散解析を行っても、

透水係数の推定誤差範囲内で濃度分布が大きく変化するために、1,4-ジオキサン分布の観測値を必ずしも表現できない。そこで本研究では、地下水位の季節変動等に基づく許容誤差範囲内で、観測地下水位を再現する透水係数値を組合せ最適化計算のより複数求めた後、移流分散解析を行い、1,4-ジオキサン分布の観測値と推定値の差の最小二乗誤差を比較することによって最良な透水係数値を選択する新たなアプローチを提案している。これにより、地下水位と1,4-ジオキサン分布の両方の観測値を考慮して透水係数値を決定することができる。つまり、この新しいアプローチを当該現場に適用することにより、まず許容誤差範囲内で、3つの帯水層の透水係数値の組み合わせを5通り求めた。次に、移流分散解析により観測値と推定値の分散と平均を比較することで、最良な透水係数値を選択した。従来の方よりも、1,4-ジオキサン分布をより良く表現できたことから、本アプローチが実用的なモデリング手法として現場へ適用できることが検証された。さらに、いくつかのシナリオを設定した数値シミュレーションにより、当該現場の1,4-ジオキサンの地下水汚染機構を明らかにした。

第四章は、第三章の数値モデルによる数値シミュレーションを用いて、修復計画の提案を行っている。まず、廃棄物の存在する層の深さと鉛直3層の帯水層毎の1,4-ジオキサン分布の2点を考慮し、廃棄物撤去量の違いによる4つの代替案修復シナリオを構築した(プラン a:撤去無し、プラン b:高濃度部分の撤去(全量の1/2)、プラン c:廃棄物層の深い部分の撤去(全量の2/3)、プラン d:全量撤去)。その上で、1,4-ジオキサン分布と地下水流向を考慮して位置を定めた井戸から揚水処理することとした。なお修復目標期間は、産業廃棄物特措法による国庫補助期間である10年間とした。その結果、全量撤去のプラン d のみ、修復目標期間内で地下水汚染浄化が可能であった。しかし全量撤去はコストが最大となることから、コスト解析により他のプランのコスト低減の可能性を再度検討したところ、プラン C のみが、修復開始5年後に揚水井戸の位置を低減効果が最大となる位置へ変更することにより、10年以内に地下水汚染浄化を完了できることを示せた。さらに、修復事業終了後のフォローアップとして、プラン c の場合、残存廃棄物からの1,4-ジオキサンの汚染拡散防止のためには、20t/day の揚水を継続する必要があることを示せた。

第五章は、本論文の総括を述べている。

これを要するに、著者は、地下水汚染数値シミュレーションに関する研究分野において、数値シミュレーションを実現場の修復計画に適用するためのより実用的な方法論を提示したという点で、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あるものと認める。