

論文内容要旨（和文）

氏名 王欣 

論文題目 ランチャー井戸による地下水汚染域浄化法

著者の所属する研究室では、垂直2セルに分割した単一井戸で土壌・地下水汚染域の洗浄と回収を同時に行うことができるランチャー型井戸の実用化に、2001年から取り組んでいる。汚染スポットが工場の敷地内にあってランチャー型井戸を設置できないなどの場合に対して、湧き出し部(涵養井戸)と回収部(揚水井戸)をそれぞれ個別に設置する擬似ランチャー方式を提案した。1998年に山形県でCr(VI)による地下水汚染が確認され、浄化作業が始められた。汚染サイトにおいて、汚染物質の存在状況や工場敷地等の条件に合わせて3本の井戸で擬似的にランチャー型井戸の機能を持たせる浄化作業を提案し、2002年からCr(VI)の地下水汚染域の浄化に着手してきた。このようなランチャー型井戸の適用や効果予測には簡素な実用3次元数値解析が有効である。

本論文の最終目標は、地下環境の回復を狙ったランチャー方式による地下水汚染浄化手法の開発であり、そのためにはシミュレーションコードの構築も合わせて必要である。はじめに、物質伝播を数値解析する上で必要となる吸脱着現象を扱い易い形で取り扱えるようモデル化した。次に、従来の風上差分法で生じる数値分散を改善するため、温度伝播の数値解法に倣って、移流項取扱いを改善した。

最終的に、1次元非定常厳密解を元に、より信頼性と汎用性の高い数値解析コードを構築した。1次元系で確認した数値解法を2次元に拡張して、数値解析コードを構築した上で、更に将来予測を念頭においた数値解析コードの3次元化を行い、物質伝播を簡素で実用上満足な精度で解析することを可能とした。

1次元室内カラム実験および2次元浸透実験による吸脱着を含めた物質伝播モデルの検証と、3次元室内縮小モデル実験により擬似ランチャー方式浄化法の有効性ととも、3次元数値解法の妥当性を明らかにした。同時にCr(VI)の実地下水汚染域において、室内縮小モデル実験により確かめた擬似ランチャー方式および他の方法(水攻法、揚水のみ)を用いて浄化の野外実験を行い、ランチャー方式による浄化の長期的な濃度低減や定量的な把握を行った。

最後に、上記妥当性を確認した3次元数値解析コードにより、擬似ランチャー方式の運用予測・最適化を行い、浄化作業の行く末を予測した。

続いて本論文の内容を章毎に概説する。

第1章では、本論文の背景、既存研究、目的および論文の構成について述べた。

第2章では、本論文で用いた2相吸脱着モデル(物質伝播支配方程式)および地下水流れの支配方程式を述べ、物質伝播の理論解析を説明した。

第3章では、本論文で改善された解析手法、設定条件および初期・境界条件などの数値解析について説明した。

第4章では、2種類のカラム装置を用いて実験壁面効果の有無を検討した上で1次元非定常の伝播実験を行い、次に必要となるCr(VI)の非吸着特性や分散係数の流速依存性を求めた。また、必要な物性値(分散係数、吸脱着速度など)を同定するとともに、吸脱着数値解の改善および妥当性を確かめた。

第5章では、汚染物質が汚染源から自由地下水に浸透する過程を想定した2次元の浸透実験を行い、2次元濃度伝播を検証した。本2次元数値解析コードは、地層が均質系である場合、実用上十分な精度で物質伝播を机上再現し、数値解析コードは満足なものであることを確認した。

第6章では、室内縮小実験装置において、飽和帯に限定した2本の井戸で擬似的にランチャー型井戸の機能を持たせ、その縮小実験を検証母体にし、実験で模式的に形成した飽和帯流動網下における清水による浄化効果を明らかにした。擬似ランチャーによる浄化機能の有効性ととも、それを模擬する本3次元数値解析コードの妥当性を明らかにした。

第7章では、本来のランチャー井戸の機能を若干修正した2本井戸の擬似ランチャー方式をCr(VI)の実地下水汚染現場に適用して、その実用機能試験を行った。更に浄化機能を高めるため、汚染源上流南側にバックグラウンドとしての涵養井戸を設け、上流側から清水を涵養して押し出し、下流側の回収井戸と組み合わせる水攻法も付加した。一定期間行った後は、汚染スポットの洗い出し浄化に集中するよりはより広範囲に拡散している汚染物を回収し、浄化効果を上げるステップに移すべきと判断し、その後3年間は揚水(回収)中心の浄化作業を行い、長期的な濃度低減の効果を見出した。

第8章では、実汚染フィールドでの浄化将来予測を念頭において、これまで本論で構築してきた2次元解析コードにより、擬似ランチャー方式を中心とした浄化作業の最適化、例えば、揚水量増加による汚染物質回収量の増加や環境基準をクリアするに至る浄化完了経過年月などについて、予測シミュレーションを行い、ランチャー方式及び派生した浄化作業の締め括りを行った。

第9章は本論の結論をまとめたものである。

以上より、ランチャー方式によって土壌および地下水汚染域を一貫して浄化することの有効性を明らかにした。並行して構築した解析コードは浄化の将来予測に供するものであり、これによって、浄化対策終了の判断へと役立てられることが明らかとなった。

学位論文の審査及び学力確認の結果の要旨

平成 24 年 8 月 17 日

理工学研究科長 殿

論文博士論文審査委員会

主査 横山 孝 男



副査 多賀谷 英 幸



副査 高橋 一 郎



副査 遠藤 昌 敏



学位論文の審査及び学力確認の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

氏名 王 欣

2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記する。)

ランチャー井戸による地下水汚染域浄化法

3. 審査年月日

論文審査 平成 24 年 7 月 25 日 ~ 平成 24 年 8 月 10 日

論文公聴会 平成 24 年 8 月 2 日

場所 工学部百周年記念館 セミナー室 I

学力確認 平成 24 年 8 月 2 日

4. 学位論文の審査及び学力確認の結果 (「合格」・「不合格」で記入する。)

(1) 学位論文審査 合格

(2) 学力確認 合格

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200 字程度)

別紙のとおり

6. 学力確認の結果の要旨

別紙のとおり

氏名 王 欣

学位論文の審査結果の要旨

本論文の目的は原位置浄化法でのランチャー型の特長である不飽和帯及び飽和帯に一貫して対応する地下水汚染浄化技術を実用化し、それに必要なシミュレーションコードを構築し、汚染状況の把握・予測を行うことである。本論文ではその礎を明らかにし、室内実験により本浄化法の基本特性について検討し、1次元系で確認した数値解法をベースに3次元数値解析コードを構築している。ランチャー方式が設置出来ない場合、ランチャー方式をベースにした擬似ランチャー方式や水攻法を含めたソフトな手法での土壌・地下水汚染浄化作業や予測を含めている。

本論文は9章から成っている。

第1章では、本研究の背景、目的について述べている。

第2章では、汚染物質に関する従来の等価1相モデルの不十分性を乗り越え、更に数値解析の簡便性を目指した2相吸脱着モデルを導入している。

第3章では、従来の風上差分法により生ずる数値分散を改めるため、温度伝播についての修正した数値解法を適用して基礎となる1次元非定常解析法を構築し数値解析コードの3次元化を行い、簡素で実用上満足な精度の解析コードを提案している。

第4章では、1次元カラム実験により、装置の妥当性を確めた上で、分散係数の流速依存性を求めている。その他必要な物性値を同定するとともに、吸脱着を含む物質伝播方程式に関する数値解法の妥当性を確かめている。

第5章では、2次元浸透実験により、鉛直2次元断面での物質伝播を検証し、数値解と実験値との比較検討により、伝播特性の把握と2次元解析コードの妥当性を確認している。

第6章では、ランチャー型浄化方式の基礎及び派生方式として、擬似ランチャー室内縮小実験を行い、3次元数値解析により、擬似ランチャー浄化法の有効性確認と井戸配置方針の明確化を行っている。

第7章では、対象とした実汚染物質 Cr(VI)の地下水汚染現場で、水攻法などと併用した擬似ランチャー方式で、浄化作業を促進し、その結果を確かめている。室内実験で構築・確認した3次元数値解をスケールアップして、実浄化実験に適用し、原位置浄化結果の確認と共に数値解の妥当性を明らかにしている。

第8章では、Cr(VI)の地下水汚染現場で、人為的浄化作業は停止し、汚染物質の自然減衰に身を委ねているが、3次元非定常数値解析により、このまま擬似ランチャー方式を中心とした原位置浄化作業を継続したらどの様に環境が復帰するかや最適浄化作業の行く末をシミュレーションしている。

第9章では、本論文の結論をまとめている。即ち、提案したランチャー方式での浄化機能をベースにした擬似ランチャー方式や水攻法を含めたソフトな手法で実例としての Cr(VI)土壌・地下水汚染の原位置浄化も行い、その有用性を明らかにし構築したシミュレーションコードにより将来予測が可能であることを結論付けている。

要するに本論文は独創性に富み、論証性を具備し、正確性に裏打ちされた内容で地下水汚染の除去に寄与する博士論文と認められ博士論文として合格である。

研究の成果については、学術雑誌へ3報掲載され、国際学会で2回、国内学会で4回の発表が行われている。

学力確認の結果の要旨

論文申請者は、平成 21 年 3 月に課程博士単位取得満期退学しており、すでに化学物質伝播、熱力学などの学力を有している。

博士論文公聴会における質疑応答と論文博士審査委員による面談を通じて、改めて専門知識についての理解力、研究能力、語学力など、博士(工学)として必要とされる能力が確認できたので、合格と判定した。