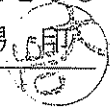


論文内容要旨 (和文)

平成11年度入学 大学院博士後期課程 物質生産工学専攻 エネルギー環境工学講座

学生番号 99522208

氏名 大岩 敏 男



論文題目 多変量解析に基づく地下水実汚染機構の二次元化による濃度予測及び除去戦略

近年、有機塩素化合物や重金属による地下水汚染は、日本のみならず世界の多くの地域で顕在化している。地下水汚染については、汚染物質が地中にあることから、汚染源の解明は容易ではない。また、地下環境では汚染物質の動きが遅く、濃度推移の評価を行うにもかなりの長期間を要することから、数値シミュレーションによる濃度予測は重要である。数値シミュレーションが多くの汚染地域で行われるためには、シミュレーション自体が簡易である必要がある。本研究では、三次元に比べて簡易な二次元での数値シミュレーションを目指して、山形県東根市のトリクロロエチレンによる地下水実汚染地域を対象にして、多変量解析結果に基づいた三次元の面内二次元化による数値シミュレーションを行い、一連の新しい手法を確立した。

同地域の地下水の流れは指交状と考えられることから、汚染物質は面内二次元である特定の帯水層を流れているものと想定して、1993年に対象地域内の51井戸におけるアニオンやカチオンなどの一般水質項目等調査を行い、多変量解析手法である主成分分析とクラスター分析による解析を行った。同じ帯水層にストレーナを持つ主要な汚染井戸グループを分類することにより、汚染物質は主に特定の帯水層の面内を移動しているものと推測することができた。この結果を基に、三次元地下水理の面内二次元化による非定常数値シミュレーションを行った。解析結果は、主要汚染井戸グループの長期的なモニタリング結果と概ね一致している。多変量解析と面内二次元の数値シミュレーションを組み合わせた一連の手法は、数値シミュレーションによる濃度予測を簡易にすることができ、地下水汚染の予測解析法として汎用性を拡大させ実用面から大いに有効と考えられる。

数値シミュレーションには、吸脱着のポテンシャルを考慮した物質伝播支配方程式を用いた。吸着について、平衡吸着量と実吸着量の2つの概念を考え、その差が吸脱着のポテンシャルになると想定した。従来からの遅延係数を用いた数値シミュレーションとは異なり、地下水における吸脱着の非平衡の状態を簡便に取り扱うことができるとともに、洗浄型汚染浄化素子による土壤に吸着している汚染物質の洗浄回収を評価する場合に特に有効である。その支配方程式の妥当性を確認するために、メチレンブルーを用いたカラム吸脱着試験を行った。吸着曲線、脱着曲線とも数値解とよく一致しており、吸脱着のポテンシャルを考慮した数値シミュレーションは実用可能な精度を有していることを確認することができた。

また、経済的、効率的な浄化技術の確立を目指し、ランチャー型井戸素子を提案した。ランチャー型井戸素子は、単一井戸で洗浄水湧き出しと吸い込みを同時に行うことから、土壤、地下水汚染両方に効

果的な汚染物質の回収が期待できるとともに、設置スペースの制限も少なく、小規模事業所に適した省スペース、省コスト、高効率の対策技術といえる。研究・開発自体が有害物質を扱うことにより二次汚染を引き起こす危険性があることを考慮し、汚染物質そのものを用いずに、物質挙動をアナロジー性の成立する熱輸送に置換して室内モデル特性試験を行い、ランチャー型井戸素子の基本的な性能を明らかにした。

本論文で述べる面内二次元化数値シミュレーションを有効に活用することができる手法に、浄化措置の一つとして期待されているMNA（科学的自然減衰）がある。汚染濃度の低減により積極的な浄化対策が効果的でなくなったサイトにおいて、地下水中の汚染物質濃度が微生物分解や吸着等の地域固有の要因によって自然に減衰していくことを科学的知見の基に確認し、濃度低減を自然減衰に委ねるという考え方であるMNAについて、実際の地下水汚染現場に適用するための基準の確立に向けて基礎的研究を行い、山形県内の複数の汚染地域におけるMNAの適用の可能性を確認した。MNAの適用を検討する場合には、対策の継続の有無、微生物分解等の違いなどによる濃度推移の変化を数値シミュレーションにより予測することは必要不可欠であり、三次元と比べ簡易で汎用性のある面内二次元化による数値シミュレーションを有効に活用することができる。また、自然減衰による濃度予測は吸着にも関連しており、吸脱着ポテンシャルを考慮しているという点からも本論文における数値シミュレーションは有効である。

今後の除去戦略として、このような三次元の面内二次元化による数値シミュレーションの活用を軸として、地下水汚染の解決を図っていく必要がある。

論文内容要旨 (英文)

平成11年度入学 大学院博士後期課程 物質生産工学専攻 エネルギー環境工学講座

学生番号 99522208

氏名 大岩敏男 

論文題目 Prediction of Concentration Changes in Contaminated Groundwater by 2 Dimensional Numerical Simulation based on Multivariate Analysis and Strategies for Countermeasures

A new series of methods for investigating the state of groundwater contamination and predicting long term movements of contaminants by 2-dimensional numerical simulation based on multivariate analysis has been established for simplicity of simulation in this paper.

Multivariate analysis of the results of a water quality investigation of trichloroethylene groundwater contamination of Higashine, Yamagata are described based on assumption that contaminant flows mainly in the limited in-plane 2-dimensional aquifer. A water quality investigation of anions and cations was conducted at 51 wells in 1993. Principal component analysis and cluster analysis, or multivariate analysis, were conducted on the data. The main contaminated wells whose strainers exist at the same aquifer were classified according to multivariate analysis and the movement of contaminant through the limited in-plane aquifer was confirmed.

The numerical simulations were conducted using simple analysis method in comparison with a 3-dimensional numerical simulation for the prediction of groundwater contamination. Three-dimensional numerical simulations were replaced with in-plane 2-dimensional numerical simulations based on the multivariate analysis. This replacement is effective for simplicity of simulation. The simulation results correspond well with monitoring results of the main contaminated wells.

These simulation codes are based on the mass transfer equation containing the adsorption-desorption potential term caused by the difference between equivalent adsorption quantity and actual adsorption quantity. Experiments in adsorption and desorption have been conducted with column and methylene blue solution in

order to confirm the adequacy of the mass transfer equation. The experimental results suggested that the numerical simulation code is precise enough for practical use.

Launcher-type wells, which combine both injection and withdrawal functions, are proposed as effective devices for extracting both soil and underground water contamination. The fundamental functions and characteristics of these wells have been confirmed by experiments conducted on indoor models.

MNA (Monitored Natural Attenuation), which has attracted attention as a possible purification measure, is the method which is able to take advantage of in-plane 2-dimensional numerical simulations effectively. MNA is a concept in which the reduction of contaminant concentration is left to biodegradation, adsorption and diffusion after countermeasures have been used for a certain period of time, since it usually takes many years and enormous cost for conventional countermeasures. The simplified numerical simulation is necessary for MNA application

The strategies for countermeasures of groundwater contamination centering on 2-dimensional numerical simulations replaced from 3-dimension is described in this paper.

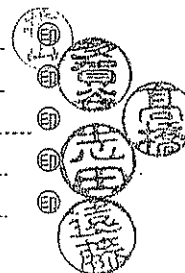
学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成 18 年 2 月 20 日

理工学研究科長 殿

課程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 志田惇一
副査 遠藤昌敏



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 物質生産工学 専攻
氏名 大岩敏男

2. 論文題目 (外国語の場合は, その和訳を併記すること。)

多変量解析に基づく地下水実汚染機構の二次元化による濃度予測及び除去戦略

3. 学位論文公聴会

開催日 平成 18 年 2 月 10 日
場 所 6-S 教

4. 審査年月日

論文審査 平成 18 年 1 月 25 日 ~ 平成 18 年 2 月 13 日
最終試験 平成 18 年 2 月 14 日 ~ 平成 18 年 2 月 20 日

5. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

(1) 学位論文審査 合格
(2) 最終試験 合格

6. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200 字程度)

別紙のとおり

7. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

別紙

専攻名	物質生産工学	氏名	大岩敏男
学位論文の審査結果の要旨			
第1章 序論			
<p>本章では従来の地下水汚染の広がりの特徴を概説し、対策技術の経緯を辿っている。本論の位置付けを簡便で実効性のある濃度予測手法及び汚染除去技術の提案としている点は、的を得ており、とかく複雑性を解明することはあっても実効性とは程遠い研究を一新する視点である。</p>			
第2章 多変量解析を用いた地下水汚染機構の解明			
<p>目視出来ない地下水流れ場を含めた地下水汚染機構を既存の観測井戸における水質項目の推移から解明する方法を用いて、ケーススタディとしての東根市蟹沢地区トリクロロエチレン汚染に取り組んでいる。その中で本汚染フィールドの特徴を多変量解析で実用上十分な精度で把握している。長年に亘る正確な観測の結果である。</p>			
第3章 吸脱着ポテンシャルを考慮した物質伝播支配方程式			
<p>従来の平衡を前提にした簡便な伝播モデルから、非平衡での伝播現象を取り扱えるよう、2式モデルによる伝播支配方程式を提案した。</p>			
<p>溶液濃度に対応する平衡吸着量の存在を仮定し、それとの(実)吸着量との差が、吸脱着ポテンシャルを生むとのモデルである。著者はこのモデルにもとづいて、バッチ試験により吸着等温線を求めて、既存の1次元非定常物質伝播厳密解と求めた吸脱着を含む伝播に対する数値解を用い、実験との一致性から提案モデルの妥当性を得ている。</p>			
<p>この部分は、共同研究者の王欣嬢との共同であるが、以後の章に続く解析手法の根幹を為す重要部分で独創性が高く、かつ正確な取り扱いを可能にした点が高く評価される。</p>			
第4章 非定常二次元数値シミュレーションによる濃度予測			
<p>多変量解析により対象フィールドの面内2次化を行い、2つの水理系統について数値解析を行っている。この手法はいたずらに3次元解析を行うのではなく、地下水流が指交状にかつ選択的に形成される特徴を巧く使って、解析を簡素化するもので、工学上有効な手段である。解析結果はモニターデータと一致し、有用性を得ている。</p>			
第5章 汚染物質除去対策技術			
<p>1つの除去技術として、汚染スポットを狙い打ちするランチャー井戸を提案している。物質伝播と熱伝播のアナロジー性に着目して可能な限り汚染を避ける研究手法も特徴の一つである。縮小モデルは実寸の1/10程度の大きさで、洗浄清水がどの様に患部に送られ、汚染物質を脱着して行くかなどを実験し、数値解で机上再現し両者の一致性を得ている。</p>			
第6章 地下水汚染低減に向けた除去戦略			
<p>著者の提案する多変量解析を始めとする一連の手法に最終段階としてMNA手法を加え、自然の治癒効果を抛り所にして汚染対策をクローズしようとするもので、的を得た提案である。そもそも技術は相対的な尺度を持って進めるものなので汚染対策が実用上受け入れられるために著者の一連の手法を有益足らんとして除去戦略がまとめられている。</p>			
第7章 結論 ここでは本論文の意義が要約されている。			
<p>これらの研究結果は既に2編の論文として学会誌に掲載され、同時に国際会議での発表も行っている。要するに本論文は、独創性があり、かつ正確で完成度も高く信憑性にも溢れ、将来に発展し得る内容を持ったもので博士学位論文として合格である。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>審査を通して全審査員から意見が出され、そのほとんどは公聴会までに応えている。更に除去戦略について、ランチャー井戸方式に拘るのではなくもっと広く汎用的にとの指摘についても、最終試験でそれらに応える内容で対応が行われ全般的にも十分な結果であったので、最終試験も合格である。</p>			