

氏名（本籍）	渡辺 俊一（滋賀県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲 第48号
学位授与日付	平成23年3月25日
専攻	システム工学専攻
学位論文題目	複雑な地下水流動場における有害化学物質の輸送機構に関する研究
学位論文審査委員	（主査）教授 平田 健正 （副査）教授 井伊 博行 准教授 江種 伸之

論文内容の要旨

1. 研究テーマ

複雑な地下水流動場における有害化学物質の輸送機構に関する研究

2. 研究の背景

平成15年4月、茨城県神栖地域の飲用井戸（通称A井戸）において有機ヒ素による地下水汚染が発覚した。汚染源の解明と汚染メカニズム解明を目的として、環境省の直轄下で、数多くの野外調査（ボーリング、地下水調査、地下水質観測等）が実施された。

調査の結果、汚染の範囲が数kmにおよぶこと、汚染源は平成5年頃に投棄され、かつ汚染源が高濃度であるため密度差を有する可能性が高いこと、さらには周辺の水利用が多く複雑な地下水流動場であることなど複雑な条件が重なっていた。

野外調査によって、過去の地下水流動場及び汚染物質の輸送機構の状況を把握することは困難であるため、数値解析による再現が求められた。

3. 研究上の課題

数値解析を行うに際し、現場の複雑な地下水流動場、そして密度差を有する汚染物質の輸送機構を1つのモデルですべて満たすことは極めて困難と考えた。数値解析は、あるシステムの動態を調べる場合に、そのシステムを構成する基本要素（パラメータ）を抽出して、現実の状態を反映できるモデルを構築するものであるが、基本要素の情報量、精度が数値解析の精度を左右する。

このため、現地情報量を踏まえ、4つの数値解析モデルを構築し、それぞれからのアウトプットを次のステップの数値解析の境界条件とすることで、各数値解析の精度を担保し、汚染物質の輸送機構の精度を高めることとした。

第1は広域を対象とした地下水流動解析により汚染発覚時からの地下水流動場を再現（広域地下水流動解析）、第2は汚染源付近において密度差を有する汚染物質の輸送解析（A地区を対象としたDPAA挙動解析）、第3は大量揚水等による複雑な地下水流動場条件下での広域汚染物質輸送解析（広域DPAA挙動解析）、第4は一部地域で特徴的にみられた地下水を利用した水田からの汚染物質の輸送解析（B地区を対象としたDPAA挙動解析）である。

4. 成果

広域地下水流動解析では、現場の地下水流動の長期変動特性を表わすことができた。これにより、汚染が発生した1993年から現在に至るまで、現場の地下水流動特性に大きな変

化はなく、ABトラック内ではA地区からB地区へ向かって流れ、B地区通過後に南西に向きを変えていること、および10本全ての企業局揚水井戸が稼働していた2003年までは、これらの井戸周辺部で揚水の影響により地下水位が低下していたことが明らかになった。

A地区を対象としたDPAA挙動解析では、A井戸南東90m地点の表層地盤中で発見されたコンクリート様の塊から溶出したDPAAが密度効果によって降下浸透し、深度30m付近の洪積砂礫層に達した後、流速の大きな地下水流れに乗って、A井戸およびその下流域にまで拡がっていく様子が示された。また、汚染源の濃度を10000mg-As/Lや1000mg-As/Lとした場合では、現地の汚染状況を再現することができず、1000mg-As/Lとした場合では顕著な密度効果が表れないことが確認された。

ABトラックおよびその南西部を対象とした広域DPAA挙動解析では、A井戸南東の90m地点直下の深度30m付近の砂礫層に到達した高濃度の汚染プルームが、B地区や下流南西部で確認されている地下水汚染の汚染源になりうることを示された。また、下流南西部へのDPAAの拡散には、企業局揚水井戸の揚水が関与していることが示唆され、汚染発見時までは、ABトラック内の企業局揚水井戸の揚水の影響を受けて、下流南西部へのDPAAの拡散が抑えられていたと推定された。これを裏付けるモニタリングとして、企業局揚水井戸が停止された2004年以降に、DPAAが観測井戸M-3、M-20、およびM-25から検出され始めた。

B地区を対象としたDPAA挙動解析では、A井戸方向の深度25～30mから移流してきた汚染地下水が過去に行われた農業用井戸による汚染地下水の揚水や揚水した汚染地下水の水田への涵養（浸透）などの水利用等の影響により、B地区の表層汚染の原因となっていることが示唆された。これにより、B地区付近の表層に別の高濃度の汚染源がなくとも、A井戸付近から移流してきた汚染地下水がB地区全体の地下水汚染源になりうることを検証された。

なお、これらの数値解析で得られた知見は、野外調査結果を十分説明するものであった。

以上のことから、神栖地区におけるDPAAによる地下水汚染については、数値解析なしには解明できないものであり、有害化学物質による地下水汚染機構解明に数値解析が非常に有効であることを示したものと言える。

5. 本研究の意義と主張

神栖地区における地下水汚染については、環境省が平成15年以降、総額十数億円を費やし、調査・解析を進めてきたものであり、地下水汚染事例の中でも、最も調査・観測データが多いと考えられる。

本研究は、これらの貴重なデータに対して学術的な整理を行い、知見の少ない有機ヒ素の地下水汚染解析手法を提供したものである。今後の地下水汚染の調査・予測・対策の参考資料として有益なものになったと考える。

論文審査の結果の要旨

本研究では、複雑な地下水流動場における有害化学物質の輸送機構を数値解析により明らかにしている。土壌地下水汚染問題では、地質の不均一性に起因した汚染挙動の複雑さのため、数値解析技術が調査や対策に適用されることは非常に少なく、野外調査と技術者の経験に頼ることが多い。しかし、本研究では、雨水の非定常浸透や地下水揚水などの流動過程を組み込んだ数値解析モデルを構築することで、野外調査だけではわからなかった汚染機構の解明に成功している。本研究で得られた成果は、研究対象とした実現場の汚染問題解決に役立つことはもちろん、数値解析技術を土壌地下水汚染現場に適用することの有用性を示しており、土木工学分野(水工水理学・地盤工学分野)や環境学分野(環境動態解析学)における学術的価値は非常に高く、博士論文の水準にあると判断した。

最終試験の結果の要旨

公聴会(平成23年2月14日)は全審査員、学内関係者など15名程度の出席により開催され、適切な発表と質疑応答がなされた。よって、個別審査、予備審査ならびに公聴会での結果を総合的に判断した結果、最終試験に合格したものと判定した。