

氏名	マコハ マリー MAKOKHA MARY
学位(専攻分野)	博士(農学)
学位記番号	農博第1689号
学位授与の日付	平成20年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	農学研究科地域環境科学専攻
学位論文題目	Seawater Intrusion and Contaminant Transport in Coastal Aquifers (沿岸帯水層における塩水侵入と汚染物質の移行)
論文調査委員	(主査) 准教授 小林 晃 教授 河地利彦 教授 川島茂人

論文内容の要旨

本論文は、沿岸地域の地下水汚染解析の基礎となる地下水流速場について実験的および数値解析的に検討を行ったものである。過去の研究では、地下水の塩分濃度分布の現地調査とシミュレーション技術に関する研究が中心であったが、本論文では、塩分濃度が流速場に与える影響について着目している。流速場の把握のために、二次元水槽において着色トレーサーを用いた実験を行い、画像解析により地下水流速の場所による違いを分析するとともに、それに及ぼす海水面位置の影響についても実験的に検討している。また、地下水の連続式と塩水の移流分散方程式を連立して解く数値モデルを構築し、その数値解析結果と実験結果とを比較することにより、モデルを検証している。その数値モデルを用いて、透水性の異なる上下2層からなる地層構造が地下水流速場と塩分濃度場に与える影響について検討を行っている。さらに、地下水の塩水化を防止するための種々の対策工に関して数値シミュレーションを行い、各工法の比較を行うことにより、有効な対策工を提言している。

第1章は緒論であり、世界における沿岸地下水の利用とその汚染の実態について整理している。そして、塩水侵入場における地下水流速場の把握の重要性について述べ、本論文の目的と意義を示している。

第2章では、塩水くさびのメカニズム、地下水の連続式、地盤中の物質の移流分散方程式、分散現象の基本となる機構的分散について既往の研究のレビューを行っている。

第3章では、地下水の連続式と塩分の移流分散方程式を連立して解く塩水侵入の数値モデルについて述べている。

第4章では、海水面変動が沿岸地域の地下水流速場に与える影響について検討している。二次元水槽中にガラスビーズを用いて模擬地盤を作成し、海水と同じ塩分濃度に調整した塩水境界と、塩分濃度がゼロの淡水境界を設定することにより、水槽内に塩水くさび場を再現している。その流れ場に着色トレーサーを投入し、トレーサーの移動過程をデジタルカメラで撮影している。デジタル写真からトレーサーの重心位置の移動を画像解析手法によって求め、模擬地盤内の間隙流速場を計測している。この実験を種々の海水面高さに対して行うことにより、海水面変動が流速場に与える影響について検討している。その結果、海水面の低下により、塩淡境界の流速は上昇し、塩水くさび内の流速は急激に減少することを明らかにしている。そして、この実験結果と粒子追跡法により流速場を再現した数値解析結果とを比較して、数値モデルの有効性を検証している。また、塩淡境界における高流速は塩分濃度の違いによって生じる密度流の影響であることを明らかにしている。

第5章では、検証した数値モデルを用いて、異なる透水性を有する上下2層からなる地盤内の地下水流速分布について検討している。この時、上層に高透水性地盤があり下層に低透水性地盤がある場合と、その逆の配置になっている場合を考え、下層部が高透水性である場合には、下層部の淡水場の流速が上層部のそれと比べて非常に大きくなることを明らかにしている。

第6章では、沿岸地域における地下水利用で問題となっている地下水の塩分化防止のための対策工について検討している。揚水井を海岸から離れた場合、山側に復水井を設けた場合、塩水域に塩水揚水井を設けた場合、止水壁で塩水侵入を制御し

た場合の4つのケースを考え、それぞれについて、揚水位置、対策工の位置、透水係数などを変えた場合の塩水化防止効果を比較検証している。そして、対策の有効性は地盤の透水係数に依存するものの、揚水井に近いところに復水井を設置する対策工が最も塩水化に対して効果的であることを示している。一方、この工法は経済性が悪く、維持管理が困難である場合があるので、比較的高透水性な止水壁による対策でも有効であるとしている。

第7章は、以上によって得られた知見をもとに、沿岸地下水の利用に関する今後の課題を述べている。

論文審査の結果の要旨

沿岸地域には人口が集中し、無規制状態で地下水を農業用水などに使用している国も多い。地下水の過剰の利用は地盤沈下を誘発し、揚水の塩水化を引き起こす。また、近年では、人口と産業の集中に伴う地下水・土壌汚染が深刻化している地域も多い。そのような地域では汚染した地下水の利用による被害も生じている。沿岸地域の地下水汚染の評価では、地下水流速場の評価が重要であるが、既往の沿岸地域の地下水に関する研究は、地下水の塩分濃度の予測に関するものがほとんどであり、塩水くさび場における流速分布の予測に関する研究は少ない。本研究は海水面の変動に伴う塩水くさびの変動と流速場の変化を実験的に検討し、それを再現できる数値解析手法を提案するとともに、揚水の塩水化防止対策工法について論じたものであり、本研究に対して評価できる主要な点は以下の通りである。

- (1) 海水面の変化による塩水くさびが変化する場を室内模型実験で再現し、その流れ場での流速分布を画像解析手法で明らかにした。その結果、塩淡水境界面では淡水場の2～3倍の流速が生じていること、塩水場の流速は海水面位置に依存し、海水面が低い場合には淡水場の半分ほどの流速になることを示した。これは、汚染源が塩水くさび内にある場合は汚染が広がる可能性は小さいが、海水面の変動により汚染源位置が淡水場になった場合には、急速に汚染が拡大する可能性があることを示唆しており、沿岸地域の地盤環境問題において重要な知見を与えている。
- (2) 地下水流れと塩分移動を連成して解く数値解析手法を用いて、数値モデルが実験結果をよく再現できることを示した。そして、塩淡水境界における高流速は塩分濃度による密度流が要因であることを明らかにした。また、異なる透水性を有する上下2層地盤において、下層部の透水性が上層部よりも大きい場合には、下層部から海水域に流出する淡水の流速が非常に大きいことを示した。これは、沿岸海域の汚染において、砂礫層などの高透水性地層の調査が重要であることを示唆している。
- (3) 現在行われている種々の揚水の塩水化防止対策工に関して、その有効性を数値解析を用いて検討し、各手法の優劣を明らかにした。そして、揚水井近傍に井戸を設ける復水工法が最も塩水化防止には効果があることを明らかにした。また、透水性が比較的高い止水壁でも一定の塩水化防止効果が期待できることを示し、今後の対策工の選択において維持管理、経済性を考慮した評価が具体的にできる資料を提供している。

以上のように、本論文は、数値解析と室内実験とにより沿岸地下水の流動と汚染過程、さらに揚水の塩水化防止対策について新たな知見を得たものであり、農業農村工学、地盤環境工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成20年2月8日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。