

審査の結果の要旨

氏名 劉 佳奇

大規模地震の発生に伴う津波は、沿岸域に大きな被害をもたらす。この被害は、地表にとどまらず、沿岸域に存在する貴重な淡水資源である地下水にも長期にわたり塩水化という問題を引き起こすことが想定される。一方、塩水が淡水地下水に浸入していく過程は、密度の大きな液体が密度の小さな液体に上方から浸入することになるため、重力不安定を引き起こすことにもなる。本研究では、南海トラフ地震により大きな被害が発生することが想定される東京都新島を対象とし、数値解析を主たる研究アプローチとして、上記課題に対する検討を行ったものであり、8章から構成される。

第1章では、沿岸域における地下水挙動を理解することの重要性について、特に津波発生に伴う沿岸域不圧帯水層の塩水化に関する課題が示されている。また、津波に伴う帯水層への塩水浸入に関しては、塩濃度が高く密度の大きな液体が淡水中に浸入していくことから、重力不安定場での挙動を評価することが必要であることも述べられている。その上で、本研究における検討対象を示し、本論文の目的、構成が述べられている。

第2章では、本研究に関わる事項について、これまでの研究成果のレビューがなされている。まず、多孔質媒体中での重力不安定場での流れに関する実験的研究並びに数値解析による研究の現状が整理されている。また、津波発生時の沿岸域不圧帯水層の塩水化について、インド洋津波と東日本大震災に伴う津波時の計測事例について紹介がなされている。また、これらの計測を基礎とした室内実験や数値解析について、これまでに行われた研究成果が包括的にレビューされている。これらのレビューに基づき、さらに研究すべき事項について示されるとともに、本研究の位置付けが示されている。

第3章では、地下水面よりも上部にあたる不飽和領域と地下水面下の飽和領域の両者を対象とした密度流解析を行うための数理的基礎について整理がなされている。ここでは、まず、いくつかの単純化を通して導き出される解析解が紹介されるとともに、数値解析で用いられる場の方程式の導出がなされている。また、本研究で利用したソフトウェアである FEFLOW の適用性について評価するための格子分割の考え方や、モデルの妥当性評価についての議論がなされている。特に、これまでに行われてきた室内実験を数値解析によって適切に再現できることにより、その妥当性を示している。

第4章では、仮想的な二次元断面モデルを用い、多数の計算を行うことを通し、地下水流れと物質移行の特徴を区分し、それらを無次元数で表す試みを行っている。その結果、3つの特徴的なレジームを定義することができ、また、それらのレジームの発生は、3つの無次元数（水平方向及び鉛直方向への convective ratio、修正レイリー数）によって説明できることを示している。そのうえで、帯水層物性が流れのレジームに与える影響についての包括的な検討も行っている。

第5章では、本研究の対象サイトとした東京都新島について、気象条件、社会的条件、地質並びに水理地質的特徴、想定される津波被害予測、現状での津波に対する対応状況が記述されている。

第6章では、新島を対象とし、代表的な二次元断面モデルを用い、津波発生後の帯水層塩水

化とその回復過程について数値解析を行った結果が示されている。ここでは、原位置計測結果を用いた物性パラメータ推定とモデルの妥当性評価を行ったのちに、いくつかの津波シナリオに基づく数値解析が行われている。その結果、地下水面よりも上の不飽和領域の厚さが浸入する塩水量に大きな影響を与えること、津波発生後の塩水浸入が極めて急速に行われること、帯水層中の地下水が淡水に回復するまでには 10 年を超える時間がかかることなどが明らかにされている。また、塩水化した地下水の回復においては、帯水層の底面をなす基盤岩の形状が大きな影響を与えることも明らかにされている。

第 7 章では、新島の三次元モデルを用いた数値解析を通し、津波発生後の地下水塩水化領域を把握するとともに、津波被害によっても影響を受けない淡水地下水の領域が存在することを明らかにしている。その結果に基づき、津波被害前に実施することが可能な淡水確保に向けた対処の考え方が示されている。

第 8 章では、本研究で得られた知見の取りまとめと今後の展望について述べられている。

なお、本論文第 6 章・第 7 章の研究の一部は、徳永朋祥との共著論文として公表しているが、論文提出者が主体となって調査・分析・解析を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上、本論文は、津波発生に伴う沿岸域帯水層の塩水化及びその回復過程に関して、数値解析によるアプローチの有効性を明確に示すとともに、その結果は、被災後復旧に資する情報を提供するという意義を持つものである。また、重力不安定場における塩水・淡水の帯水層中挙動についても新たな知見を得たものであり、環境システム学の進展に大いに貢献するものと評価される。したがって、本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 2,079 字