

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 伊藤一誠

論文題目:水文地質環境モデリング技術の開発とフィールドへの適用

現在、国連をはじめとして世界の関連諸機関から、先進国、発展途上国を問わず水資源・水汚染・水災害問題に対する予測・対策を速やかにとる必要性が指摘されている。実際、地表水、地下水から構成される陸域の水は、生活資源として我々の生活に欠くべからざるものである一方、人間活動により河川・湖沼・地下水の汚染が進み、また洪水、斜面崩壊、土石流等の多大な被害をおよぼす要因ともなっている。このような状況に鑑み、著者は、陸域水循環系問題を的確に評価・予測するための一つの不可欠な手法として数値シミュレーション技術を研究し、新しく実用性の高い評価手法の開発を行い成果をまとめている。

著者は、第一に、水汚染問題の代表的なものとして、難水溶性かつ揮発性の物質(石油、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン等の有機塩素系溶剤)による土壌・地下水汚染を取り上げ、地下の汚染状況を物理的に追跡するシミュレーション手法の開発・検証、およびフィールドへの適用を行っている。前記物質による汚染では、地下の多孔質媒体中において空気・水・汚染物質の3相状態での移動、汚染物質の水への溶解、空気相への揮発、固体表面への吸着が同時におこる。従来、揮発・溶解・吸着現象は瞬時に平衡状態に達するとしたモデルが一般的に考えられているが、著者は、そのようなモデルでは、解析上コントロールボリュームを大きく取らざる得ない場合や、揚水、吸引等によって地下水あるいは空気の状態変化が速い場合には、現象を適切に評価できない可能性が大きいことを指摘し、それら全てに非定常拡散型のモデルを導入している。最終的には、それらと3相流れの基本方程式とを組み合わせ、実用的な3次元数値シミュレーションコードを開発している。著者は、開発したシミュレーションモデルの適用性に関し、多孔質体からの長期揮発過程を実験室で計測すると共に、計測データと計算値を比較し、多孔質体と流体の物性の合理的な組み合わせで揮発現象を十分に再現できることを示した。また、吸着過程に関しても既存実験データから非定常吸着モデルに関連するパラメータの検討を通じて、著者の導入したモデルによって実験結果の良い再現性を示した。さらに、実際に有機塩素系溶剤による汚染フィールドでの長期間の実測データを用いて、汚染物質回収時の水中溶解濃度変化、吸引空気中の濃度変化と計算結果を比較し、これも良好な再現性を得ている。この様な解析技術は世界的にも最先端のものであり、今後の多数のフィールド評価への適用が待たれる。

第二に、地表水(河川・湖沼)と地下水の相互作用を考慮した水循環表現手法が検討され、実用化されている。従来、地下の多相流れと河川流れは方程式形が異なるため、両流動を十分に連動するのが難しく、殆どの場合別個に解析されてきたが、本研究では、地下の多相ダルシー流れと開水路流れの拡散波近似とを結合して、水循環の主要な部分を表現する方法が提案されている。その適切性・精度・安定性については、開水路実験結果、数値実験結果、および実際のフィールドの適用例を通して確認している。また、河川をより自然に表現するため、侵食され彫り込まれた河床への側方地層からの地下水の流入、および洪水時の越流を考慮した河道表現手法を開発している。そのモデルを実流域の流出解析に適用し、短期流出過程のマッチング度合いが大きく向上すること、長期の流出過程が短期のマッチング結果から得られたパラメータをそのまま用いて良い精度で再現できることを示した。このような成果は、今後水循環系全体の整合的モデリングにおいて重要な役割を果たすものと考えられる。

第三に、広域の地形を考慮した水理解析における離散化手法について検討を行い、新しい発想に基づく提案をしている。広域を対象とした差分型数値解析では、格子の直交性をなるべく維持し、格子の大きさがなるべく滑らかに漸移し落水線の方向に並ぶようなものが望まれる。このような条件を人間が手作業で満足させることは非常に難しい。著者は、領域全体に四辺形の数値的網(ネット)をかぶせ、ネットの交点には質点を、辺には弾性バネを配置し、四辺形の中には圧縮性流体が封じられている「バネ・質点・流体ネットワークモデル」を考案し、ネット交点の力の釣り合いを反復的に解くことで、地表面に最適な格子点位置を形成する手法を提案している。また、大領域の格子形成を効率化するためラプラス方程式を解く前処理を導入し、解を得るまでの計算時間が大幅に短縮できることを示した。著者はこの手法を実際の数千平方キロメートルの領域の格子分割に利用し、十分な適用性を検証している。

以上の3つの主要な成果は、陸域水循環系の挙動評価の信頼性の向上に大きく寄与するものであり、既に統合化された水循環シミュレーションシステムに組み込まれ実用上利用されるに至っている。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。