

審査の結果の要旨

氏 名 蛭 原 雅 之

近年、集中豪雨（ゲリラ豪雨）による洪水やヒートアイランド現象などの都市問題等を背景に「水循環健全化」の必要性が改めて認識され、河川・下水道・地表水・地下水環境全体をつなぐ統合的な水管理の必要性が広く認識されつつある。しかし、従来、分野毎に対象となる水の動きを解析し計画・設計をすることが多く、分野間の水の相互作用については十分考慮されてこなかったのが実状であり、これは、空間・時間スケールの異なる自然系流動と人工系流動の両方を取り扱う技術が未開発であったことが一つの大きな理由と考えられる。

そこで、本研究は、降雨、地表流出、地下浸透、地下水流動、河川流出等の自然系水システムと、河川・水路、下水道管路、貯留浸透施設等の人工系水システムを物理的に包含できる先駆的モデルとして『都市の地表・地下・管路網流れを連成した統合解析モデル』の開発を行った。本研究の具体的な内容・成果および開発モデルによる主な改善点は次のようにまとめられる。

(1) 統合モデルの開発

本研究では、下水管路網流動、地表流動、地下水流動等の各流動をモデル化すると共に、相互作用を一体的に考慮できる統合モデルを開発した。このモデルには以下の諸点が考慮されている。

- ・自然系の水挙動に関して、地下水流動には気液 2 相一般化ダルシー流れ式、地表水流動に開水路運動方程式の拡散波近似モデルを適用した。
- ・異なる構成則による流動を統合するため、開水路（管路）と地盤の接続部はダルシー則を適用し、擬似的な方向別相対浸透率、擬似毛管圧による流れの制御を行い滑らかな連続性を確保した。
- ・人工系の管路網に関しては、従来、一次元管路モデルを多数連結して上流側から陽的に解く方法が下水道分野等の実務で使われているが、本研究では開水路および圧力管流れを自然系流動と同様に 2 相流れとして、完全陰的に解く手法を採用した。
- ・連成系の基本データを作成するため、管路網情報処理プログラムの開発を行った。これは、管路網情報として与えられる人孔情報（形状・管底高・地盤高・接続管路）、管路情報（断面形・粗度・接続人孔・接続高（又は勾配）・管路長）から、人孔・管路の 3 次元差分型離散化格子モデルを自動生成するプログラムである。また、可視化処理プログラムの開発も行った。

(2) 動作確認及び検証

開発された統合モデルの動作確認・検証および実問題への適用検討を行った。その内容は以下のようにまとめられる。

- ・河川構造物の一つである樋門下部の空洞生成を想定した数値実験を行い、従来のダルシー則のみによる評価方法と比較し一意性の点で優位な再現性を確認した。
- ・堤防断面を模した室内模型実験により、空洞の有無による地盤中の水圧分布の計測を行った。計測結果は開発したモデルにより整合的に再現された。
- ・模擬的に 3 次元的な管路網を設定し、下水道管路網解析汎用ソフトとほぼ同じ条件下での動作比較を行った結果、開発したモデルにより同様の計算結果が得られることを確認した。

- ・自然系と人工系の連成計算の動作確認のため、管路の亀裂を想定し、管路内への地下水浸透（不明水）、及び豪雨時における管路から周辺地盤への流出入の試算を行った。その結果、管路網流動状況・地盤透水性・地下水位等に応じて流出入水量が算出され、異なる流動系の一体解析が可能である点を確認した。

(3) フィールドスケールへの適用検討

- ・堤防安全性検討の一つとして、樋門下部の空洞化問題を取り上げ、三次元的なモデル化を行った。従来は堤防一般部を対象に断面二次元浸透流解析による検討が行われているが、空洞内連通の考慮と縦断方向を含めた三次元的なモデル化により、浸透破壊対策として講じられる止水工周辺で起こる水の回り込みのため上下流隣接堤防では浸潤面が上昇し、安全性が低下する可能性が指摘された。
- ・都市域の実際の下水道管路網情報、及び地形・地質情報を利用して、主要枝管（径 600mm 以上）まで考慮した管路網と地表水・地下水流動の統合モデルを構築し、相互影響の解析可能性を検討した。ケース設定として、豪雨時に高所の人孔から流入した大量の水が低地人孔から溢水・地表流出し、透水性に応じて地盤浸透する状況、下流側人孔へ再流入する状況を追跡した。このような計算により、複雑な管路網流れ、地盤透水性の面的分布に応じた実質地下浸透量を考慮した管路網への再集水等の一体解析が可能であることを確認した。

(4) 都市域の雨水水質に関する現地データ取得および解析

都市型洪水対策においては地下浸透施設による流出抑制も重要となるが、降水が降下した屋根面・地表面で様々な沈着物質を溶存するため地下水汚染の懸念が生じる。本研究では、工学部 4 号館屋上への降雨を事前晴天日数（降雨までの日数）毎に採水し、水質分析を行った。この結果、初期雨水の含有成分 12 項目の負荷流出特性グラフ、及び事前晴天日数と累積降雨量に対する BOD・全窒素の流出負荷量非線形回帰式が導かれた。この成果は、将来的な統合モデルによる物質移動解析の基本情報となる。

以上より、本研究で開発された統合モデルは、都市域の自然系・人工系の流れを統合的に考慮した水マネジメントシステムの定量評価、特に、内水氾濫状況の解析精度向上、雨水浸透施設や地下水涵養施設の実質的効果量の予測、下水道不明水対策、豪雨時の下水道管渠からの水の流出入評価、人孔蓋の噴出予測、都市の水循環システムにおける水収支分析精度の向上、などに今後の寄与が大いに期待される。

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。