

審査の結果の要旨

氏名 蔚陽 (ゆい やん)

本研究は、「Model-based Evaluation of Hydraulic Behaviour and Pollutant Discharge Pattern of Combined Sewer Overflow Considering Characteristics of Rainfall and Drainage System (降雨と排水区の特徴を考慮した合流式下水道雨天時越流水の水理的挙動と汚濁排出パターンのモデル評価)」と題して、7つの章から論文が構成されている。

第1章では、研究の背景と目的、および論文の構成を述べている。

第2章では、下水道管路システムの特徴、合流式下水道雨天時越流水 (CSO) 及びそれに起因する受水域水質問題、初期雨水流出、合流改善対策などに関する文献の整理を行っている。

第3章では、研究対象とした排水区における土地利用や管路システムの特徴や降雨データ、分布型都市雨水流出モデルの構造や基礎式、統計解析に使用しているクラスター分析手法などについて記載している。

第4章では、まず、解析対象とした2007年の117降雨イベントに対して雨水流出解析を実施して、CSOの発生状況をモデル計算している。そして、降雨ごとに越流量や越流箇所数などを整理している。また、越流箇所における降雨開始から越流発生までの経過時間や越流継続時間の結果を含め、膨大なモデル解析結果を生み出している。

そして、年間の降雨イベントを二つの特性パラメータ群を用いて、クラスター解析により類型化している。まず、降雨特性パラメータとして降雨量、時間最大降雨強度、降雨継続時間を用いて、9つの降雨グループを求めている。一方、CSO特性パラメータとしては、イベントごとの越流量、越流発生箇所数、降雨開始から越流発生までの経過時間の平均値、累積越流継続時間の平均値を用いて、同様に10の降雨グループ化を行っている。そして、降雨特性とCSO特性による降雨分類の類似性を検討して、CSOが発生しない56イベントを含む小降雨グループと多量の越流量を発生させる7つのイベントを含む豪雨グループは相互の対応関係が見られたものの、中間的な降雨は各グループの対応が明確ではなかったことを示している。また、67の越流発生箇所についても、CSO特性パラメータにより6グループに類型化して、越流量や越流頻度から特徴づけながら、合流改善対策の対象とすべき越流箇所を検討する上で有効な成果を示している。

第5章では、4章において行った雨水流出解析の数値計算結果に基づき、CSO発生の有無を規定している時間降雨強度に着目して、越流箇所ごとにCSO発生の降雨強度の閾値を求めている。そして、管路施設設計の基礎式である合理式を用いて、各越流箇所におけるその閾値を簡易に推定する方法を提案している。数値計算結果から求めた閾値と簡易推定法での閾値との回帰式の傾きはほぼ1で

あり、その相関性が高い（決定係数 $R^2=0.81$ ）ことから、膨大な数値計算を行うことなく、各越流箇所での CSO 発生の有無を評価できる閾値を簡易に求めることの有効性を議論している。そして、降雨パターンを示すハイエトグラフが与えられると、降雨開始から降雨強度の閾値に至る時間、閾値降雨強度を超えている降雨時間、さらにはその閾値を超えた時間帯での降雨総量を求めることの意義を説明している。これら 3 つの特性値は、それぞれ降雨開始から越流発生までの経過時間、越流継続時間、越流量に相当すると考えられる。数値結果で求められた特性値との整合性を検討した結果、80%以上の越流箇所において、越流発生までの経過時間と越流継続時間に関しては決定係数 $R^2=0.8$ 以上という相関性が高い結果が得られたことを示している。また、越流量に関しても 4 章で降雨特性から類型化された特徴的な降雨イベントに関して比較したところ、その誤差は 18%程度であり、概略の越流量も推定できることを明らかにしている。

第 6 章では、2007 年において CSO が発生すると想定された 61 降雨イベントを対象として、SS を汚濁指標とした汚濁流出過程を含む水質モデルによる数値計算を実施している。そして、CSO 負荷量に及ぼす降雨特性や管路施設特性の影響を検討している。2mm/hr から 13mm/hr まで越流発生に関する降雨強度の閾値が異なる越流箇所について、雨天時に管路内を流下する総汚濁負荷量に対する CSO 汚濁負荷量の割合を議論している。越流発生の際の閾値が小さい箇所ほど、その割合が大きくなる傾向にあるが地点ごとに大きく異なること、同じ越流発生の際の閾値を有する越流箇所における年間越流負荷量は、当該箇所の上流排水域面積にほぼ比例して増加することなどの特徴を整理している。

また、年間越流負荷量と CSO 発生までの初期雨水量との関係性についても検討を行い、閾値が大きくなることにより初期降雨で汚濁負荷が CSO 発生前に流下して、CSO 汚濁負荷量の割合を低くしている現象を越流箇所の特徴と連携させて説明している。さらに、先行晴天日数も考慮した降雨グループごとの管路内を流下する汚濁負荷流出の経時変化について、CSO 発生や CSO 汚濁負荷量、さらには、初期雨水流出時に高濃度汚濁負荷が発生するファーストフラッシュ現象の有無などに関して考察を加えている。そして、ある一定以上の先行晴天日数がある場合に、初期段階に閾値以上の降雨強度が発生するかどうか、ファーストフラッシュ現象の有無に影響している可能性を示唆している。

第 7 章では、上記の研究成果から導かれた結論と今後の研究課題やその展望が述べられている。

本研究は、東京都区内の新河岸排水区を研究対象として、類型化された降雨イベントに対して、詳細な管路施設や土地利用のデータが組み込まれた分布型雨水流出モデルによる数値計算を体系立てて行い、CSO 発生の有無、越流量、越流頻度、越流継続時間、越流汚濁負荷量などの計算情報を整理している。また、個々の越流箇所における CSO 発生やその特性値を簡易に推定するために、管路データと降雨データから越流発生の際の降雨強度の閾値を求める方法も提示していることは貴重な成果である。本研究の成果は、CSO 対策を定量的に検討することに役立つだけでなく、雨天時における複雑な排水ネットワークのなかで発生する CSO 汚濁負荷流出特性やファーストフラッシュ現象との関係も議論するなど意欲的な内容で、学術だけでなく実務的にも非常に有用なデータや知見を提供しており、都市環境工学の学術の進展に大きく寄与するものである。

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。