

審査の結果の要旨

氏名 金 元載

本研究は、「Characterization and Modeling of Wet Weather Pollution Dynamics in Combined Sewer considering In-Sewer Deposits and Dry Weather Flow」と題して、9つの章から論文を構成している。

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、合流式雨天時越流水（CSO）問題やそれに伴う水質汚濁現象、越流水中に含まれる汚濁物質や病原微生物に関する問題点について詳細に整理している。また、都市域の雨天時汚濁流出現象をモデル解析する手法についての取りまとめも行っている。

第3章では、研究対象地域とした千葉市内の合流式下水道排水区の状況や下水採取地点の特徴、下水管渠からの下水サンプリングや流量測定方法、下水中に含まれる汚濁物質の化学分析方法、培養法および分子生物学的手法に基づいた微生物の定量方法が示されている。

第4章では、対象排水区（面積 67.4ha、人口 5518 人）において実施した晴天時下水水質の 24 時間変動調査（2 回）に基づき、汚濁負荷量変化は 10 倍から数十倍あること、その負荷量変動パターンが水質項目ごとに異なることを明らかにしている。そして、朝方と夜に負荷量ピークを示すグループ（SS、VSS、COD）、朝方と昼過ぎにピークを示すグループ（T-N、DTN、NH₃-N）、朝方に高いピークを示すグループ（大腸菌群等、エンテロウイルス）、さらに特定のパターンを示さないグループ（コリファージ、ノロウイルス）に分類することができることを示している。また、特定のパターンを示さない微生物指標の挙動を詳細に評価するために、その一部排水区（面積 1.1ha、人口 110 人）で 5 分間隔の採水調査を実施した結果、細菌類やエンテロウイルスはその濃度変動が比較的安定しているのに対して、アデノウイルスやノロウイルスについては、5 分程度の短時間においても大きく変動することを確認している。

第5章では、4章における 24 時間水質変動データをもとに、相関分析、クラスター解析、主成分分析などの統計解析を実施して、負荷量パターンの類似度を定量的に評価している。その結果、家庭排水や管路内堆積物の巻上げにより増加すると想定される水質項目（濁度、SS、VSS、COD）、主としてトイレ排水が起源と想定される水質項目（栄養塩類、健康関連細菌指標群）、洗濯排水が起源と想定される水質項目（界面活性剤、蛍光増白剤など）といった 3 グループに分けられることを示している。このことは、CSO 対策による水質モニタリングにおいて、グループごとに連続測定しやすい代表指標を選ぶことで、汚濁負荷変動の全体像を簡易に把握できる可能性を示唆している。

第6章では、従来から CSO 汚濁負荷に大きく寄与すると指摘されている管路内堆積物の雨天時流出特性を評価するために、人為的に大量の水を管渠に投入するフラッシュ実験を現場で実施した結果を報告している。水質項目ごとの流出パターンの相違を評価するために、平常時の汚濁負荷量に対する流出汚濁負荷量の比の大小、濃度と流量との相関図における時系列変化パターンの相対的な比較を行うことの有効性を指摘している。その結果、SS、VSS、COD などは初期フラッシュ現象が顕

著であること、健康関連細菌指標群は初期フラッシュ現象から部分的に遅れた負荷量ピークが観察されること、DOC やウイルス類については初期フラッシュ現象がなく、緩慢な負荷量ピークを示すことを示している。また、初期フラッシュ現象が顕著であった SS を基準として、平常時と流出時の水質項目ごとの負荷量の比を時系列的に求めることで、管路内堆積物の雨天時流出挙動との関連について議論している。

第7章では、家庭排水中の汚濁物が晴天時には管渠に堆積する現象を考慮して、晴天時汚水中の粒子状物質の挙動を再現できる流出解析パラメータの設定を行っている。実下水に対して適用したイメージアナライザによる観察と湿式での篩い分け試験の粒径分布結果から、細粒と粗粒の二つの代表粒径にそれぞれ比重を設定すると共に、粒子に付着する微生物の割合を実験的に決定することで、晴天時における下水管路流下現象をモデルで再現できることを示している。

第8章では、7章で求めた晴天時における下水汚濁物質の堆積状況を予測したのち、典型的な降雨条件を与えて汚濁物質の流出過程を推定した結果を示している。各水質項目の推定結果は、人為的なフラッシュ実験において観察された流出パターンと類似していることを報告している。また、汚濁負荷の挙動を起源別に追跡することで、CS0 における汚濁負荷のうち内訳についても考察を行っている。

第9章では、上記の研究成果から導かれる結論と今後の課題や展望が述べられている。

以上の成果では、雨天時合流式下水道越流水に伴う汚濁負荷量を解明する上で役立つ貴重な調査データやその解析結果を提供しているだけでなく、水質項目ごとの流出挙動・起源を考察することで、汚濁対策に有用な提言を行っている。さらには分布型モデルによる雨天時汚濁負荷流出解析の基礎的な手順手法を提供しており、それらの知見は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。