

氏 名	わ だ けい こ 和 田 桂 子
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3973 号
学位授与の日付	平 成 19 年 11 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	路面排水中の有機物質および栄養塩類の流出挙動とその削減手法に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 田 中 宏 明 教 授 藤 井 滋 穂 教 授 清 水 芳 久

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、道路からの雨天時に発生する路面排水汚濁負荷について、実測調査から水質特性と流出挙動を解析するとともに、その対策技術を実証実験および数値予測で検討するもので、7章からなっている。

第1章は序論であり、琵琶湖の水質変化やこれまでの水質保全に対する取り組みなどを整理し、依然として改善されない問題点、将来に対する課題等を抽出した。そしてノンポイント汚染源、とりわけ都市域路面排水対策の重要性を明らかにするとともに、その研究の遅れを指摘した。この背景を踏まえ、(1)雨天時路面排水の実測調査データの収集とそれに基づく水質汚濁特性・流出挙動の解明、(2)路面排水汚濁負荷削減のための土壌浸透実験による実証、(3)路面排水負荷量予測モデル構築と琵琶湖流域での削減量の評価を目的として設定した。

第2章は、都市ノンポイント汚染の基礎的情報として、汚濁物質、流出形態、土地利用別負荷量、影響要因に関する既往知見を整理した。現在の路面排水に関する知見と実態把握の限界についても論述するとともに、削減効果の評価方法と負荷削減技術の事例についても広範に調査・整理している。

第3章では、道路からのノンポイント汚染対策の基礎情報を得るために実施した雨天時に流出する路面排水の実測調査、および路面排水の汚濁負荷削減のために考案した初期フラッシュ排水選択取水装置を用いた土壌浸透処理実証実験について概要を整理し説明した。また、処理装置の開発の経緯および処理装置についても詳細を述べている。

第4章は、道路からのノンポイント汚染の実態把握のため、雨天時に流出する路面排水の実測調査データから、その流出挙動や水質特性について検討した。この結果、(1)路面排水量は、舗装表面での捕捉・蒸発散等により流出損失が生じ、総降水量の83～96%が路面排水として流出、(2)路面排水中リンは96%、COD、TOCは60～70%、窒素は26%が懸濁態で流出、(3)路面排水の水質濃度は累加流出高の増加とともに指数関数的に低下、(4)公共用水域への負荷を軽減するための実用的かつ有効なレベルは、累加流出高2～5mmの範囲。(5)汚濁物流出パターンは、路面残存量と流出流量に比例して掃出するモデルで表現可能であり、究極排出量 Lu と流出係数 k でその挙動を要約可能、(6) Lu 、 k は、先行無降雨条件と降雨条件に影響を受け、その関係は形態で差異、(7)粒子態成分は降水量が多くなるほど掃流力によって流出するため、降雨条件により Lu が影響。などの成果を得た。

第5章では、雨天時路面排水からのCOD、窒素、リンの汚濁負荷削減として、土壌浸透処理による初期フラッシュ排水対策について検討し、その削減効果を評価した。さらに、道路事業である路面清掃について水質保全の観点から実験調査し考察した。この結果、(1)土壌浸透処理は、高いCOD濃度の路面排水を $10\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下とする有効な有機物負荷削減対策手法、(2)排水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ は土壌浸透により、窒素の粒子態成分はほぼ除去されるが、溶存態では硝化による形態変化が主、(3)リンは各形態別とも高い除去率、(4)初期フラッシュ排水の土壌浸透処理削減率は、COD、TOC、T-N、T-Pそれぞれ77、78、51、89%であり、粒子態成分で高い削減率、(5)土壌浸透処理装置は、目詰まり回避のために年1回の土壌層表面の薄層除去が必要、(6)路面清掃による年間あたりの塵埃除去量は、COD、TOC、T-N、T-P、SSそれぞれ

350, 610, 11, 3.5, 7000 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$, の成果を得た。

第6章では、実測調査から得られたデータを基に雨天時路面排水を対象とした道路に適用可能なモデルを構築し、その適用から路面排水汚濁負荷量の推定および削減方法の効果予測を試みた。その結果、(1) 構築したモデルは、雨水流出量は各々の流出現象をよく再現、(2) 本モデルによる琵琶湖流域の都市域の雨天時路面排水の汚濁負荷予測量は、COD, TOC, T-N, T-Pそれぞれで28.7, 20.8, 3.34, 0.20 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ で、宅地や市街地と比較し道路はCOD負荷が大、(3) 形態ごとでは、粒子態成分が14.8, 8.5, 0.86, 0.16 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$, 溶存態成分が13.9, 12.3, 2.47, 0.04 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ と算出され、窒素は溶存態、リンは粒子態の形で汚濁負荷として排出、(4) 累加流出高2 mmまでの初期フラッシュ路面排水の土壤浸透処理で、粒子態成分で約6割、溶存態成分で約3割が削減、などの成果を得た。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに本分野における将来の研究展望に言及している。

論文審査の結果の要旨

本研究は、道路からの雨天時に発生する路面排水汚濁負荷について、実測調査から水質特性と流出挙動を解析するとともに、その対策技術を実証実験および数値予測で検討したものである。主要な成果は下記の通りである。

- (1) 琵琶湖流域、3カ所計12回の雨天時路面排水調査を実施し、路面排水の流出特性を検討した。その結果、①総降水量の83~96%が路面排水として流出、②リンの4%、CODやTOCの30~40%、窒素の74%が溶存態で流出、③水質濃度は累加流出高増加で指数関数的に低下し、初期累加流出高2~5 mmの範囲で十分な負荷対策が可能、などの成果を得た。
- (2) 上記、水質調査結果を基に、路面排水水量および汚濁物流出量の数式表現を検討した。その結果、路面排水汚濁流出パターンは、究極排出量 Lu と流出係数 k を用いた式で表現可能であり、 Lu , k の値は、水質指標、先行晴天日数、平均降雨強度の影響を受けることを明らかにした。
- (3) 路面排水汚濁負荷削減を目的として、実道路近傍にパイロットプラントを設置し、現場土壤浸透処理実験を実施した。その結果、①粒子成分は90%以上、溶存成分は約40%が除去され、全体としてCOD, TOC, T-N, T-Pの除去率は77, 78, 51, 89%, ② $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ は土壤浸透過程で硝化され $\text{NO}_3\text{-N}$ に変化、③土壤浸透処理装置は目詰まり回避のために年1回の土壤層表面の薄層除去が必要、などの成果を得た。
- (4) 以上の調査・実験結果に基づき、その過程をモデル化し、それを琵琶湖全体に適用することを試みた。その結果、①実測値との比較で本モデルが各々の流出現象とよく再現することを検証、②琵琶湖流域都市域の路面汚濁負荷量は、COD, TOC, T-N, T-Pそれぞれで28.7, 20.8, 3.34, 0.20 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ で、宅地や市街地より道路はCOD負荷が大きい、③土壤処理を導入し初期累加流出高2 mmを処理することで、粒子態成分の約6割、溶存態成分の約3割を削減効果、などの成果を得た。

以上、本論文は、路面からのノンポイント汚染の現況と処理方法を詳細に検討するものであり、さらにそのモデル化と琵琶湖流域での対策について論じており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年10月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。