

学位論文題名

雨天時下水の効率化処理による
合流式下水道改善の最適システムに関する研究

学位論文内容の要旨

合流式下水道は東京、大阪など 191 都市が採用しており、対象人口は下水処理人口の約 3 割である。雨天時に合流式下水道から放流される汚濁負荷量を削減する合流式下水道改善は、公共用水域の水質保全のため喫緊の課題である。国においても下水道施行令の改正を行い、雨天時放流汚濁負荷量削減の目標を明確にするとともに、原則として 10 年で目標を達成することを義務付けた。また、合流式下水道の改善は欧米においても解決すべき重要な課題である。

合流式下水道の改善は単一の手法で解決できるものではなく総合的な対策が必要である。雨天時放流汚濁負荷量を削減する基本的な手法は、雨天時下水を処理することであり、直接連続処理する方法と、一時貯留し降雨後貯留水を処理する方法の二つが実施されている。雨天時下水を晴天時処理水質と同等なレベルまで連続処理する実施可能な手法が開発されていないため、降雨初期の汚濁物濃度の高い雨天時下水を一時貯留し、降雨後処理能力の余裕を活用して処理する方法と既存最初沈殿池で沈殿処理する方法が一般的な解決策である。雨水滞水池と沈殿処理を中心とする現在の汚濁負荷量削減手法は、雨水滞水池の建設に多額の投資と長期間を要すること、汚濁物流出パターンにより効果が異なること、貯留水の速やかな処理が必要なこと、沈殿処理の効率化が必要なことなどの課題を持っている。

このため、本研究では、効率的な合流式下水道の改善手法として、既存の活性汚泥処理施設を活用して雨天時下水を連続的に処理する方法と、既存沈殿処理法の効率化を図る方法と二つの処理法を提案し、その有効性を検討するとともに、これらの処理法を組み合わせた合流改善の最適システムを検討するものである。

本論文の各章の内容は以下のようにになっている。

第 1 章では、本研究の背景、目的および論文の構成について述べた。

第 2 章では、雨天時下水活性汚泥処理法の処理原理について述べ、これをもとに実施設においてその処理効果を明らかにした。本法では雨天時下水を後段にステップ流入させることにより、反応槽後段の活性汚泥濃度が低下し、結果として最終沈殿池の固形物負荷の増大量を減少できること、また、後段にステップ流入した下水の溶解性 BOD は、概ね 30 分で 60~70% 程度まで急激に除去され、短時間で溶解性有機物の吸着除去の行われることにより雨天時の活性汚泥処理量を増大させることが可能となる処理原理を明らかにした。この結果をもとに、下水処理場において行った 27 回の実運転調査により、平均で SS9.3mg/L、BOD7.7mg/L の処理水水質が得られた。また各実運転の最大処理水量の平均は 2.70Qsh であり、最大で 4.62Qsh に達したが、最大処理水質の平均は SS で 14.6mg/l、BOD で 11.2mg/l であり、安定した運転を行うことができ、雨天時下水活性汚泥

処理法が合流式下水道改善のための雨天時下水処理に有効な手法であることを明らかにした。

第3章では、多階層沈殿池の流出管の考え方を導入することにより、既存の最初沈殿池を凝集傾斜板沈殿池に効果的に改造する方法を開発し、実施設に適用し、その処理効果を調査した。凝集傾斜板施設における設計流速を0.45m/分以下、滞留時間を10分以上、PAC注入率3~8mg-Al/Lで、短絡流や沈殿汚泥の巻き上がりを抑制し、安定した処理水質が得られることを確認した。この条件下で、概ね時間最大汚水量(Qsh)の3倍を超える雨天時下水を対象として凝集傾斜板沈殿処理を行うと、処理水の平均BODを20mg/L以下とすることが可能であることが確認された。

第4章では、合流式下水道改善対策として、雨天時下水活性汚泥処理法及び凝集傾斜板沈殿処理法を導入・実施した際に、高温高濃度嫌気性消化法に及ぼす負荷変動の影響について、プラント実験により調査し考察を行った。合流式下水道改善対策として、3Qsh相当の雨天時下水活性汚泥処理法及び3Qshを超え6Qsh以下の3Qsh相当の凝集傾斜板沈殿処理の実施により、下水処理場において一時的に発生する雨天時発生汚泥量を、晴天日年平均発生汚泥量に対する比率でみると、雨天日年平均発生汚泥量は約1.4倍となり、雨天日日最大発生汚泥量は約4.7倍となることが示唆された。高温高濃度嫌気性消化処理法は負荷変動に強く、設計条件の消化日数である15日消化の運転条件から消化日数3日に相当する負荷を1日で投入しても、投入直後にわずかに消化機能に影響を及ぼすものの翌日以降、定常負荷運転に戻すと、速やかに自然回復することが明らかとなった。これより、雨天時下水活性汚泥処理法及び凝集傾斜板沈殿池処理法の導入によって発生する汚泥量は増加するものの、既存の汚泥処理施設において十分に対応が可能であることが確認された。

第5章では、モデル処理区を対象として、数値解析モデルを用いて、2章、3章で提案した雨天時下水活性汚泥処理法、凝集傾斜板沈殿処理法、及び従来からの改善手法である雨水滞水池の組合せによる汚濁負荷削減システムの最適化についての考察を行った。

これより、下水処理場で3Qshの雨天時下水活性汚泥法及び3Qshの凝集傾斜板沈殿処理法、ポンプ場で3Qshの凝集傾斜板沈殿処理法を実施することにより、年間総汚濁負荷排出量を分流式下水道並みに削減することができ、雨水滞水池を組み合わせる手法に比して、年経費で15%~34%、有利であることを明らかにした。

また、浸水対策用大規模幹線を活用して、ポンプ場より下水処理場に6Qshの遮集を行い、下水処理場で3Qshの雨天時下水活性汚泥法及び3Qshの凝集傾斜板沈殿処理を実施することにより、従来からの雨水滞水池による貯留方式の改善対策に比べて、年経費で82%から86%以上削減できることを示した。

第6章では、本研究で得られた結論を総括し、今後の合流式下水道改善の展望について記した。本研究では、雨天時下水の新たな連続処理方法として、既存施設を活用した雨天時下水活性汚泥処理法と凝集傾斜板沈殿処理法を提案し、実施設を用いた実運転結果から、両処理方式とも良好な処理水質であることを確認し、その有効性を明らかにした。さらに、モデル処理区を対象として汚濁負荷流出解析モデルを用いて合流式下水道改善の最適システムについて考察し、両処理法による合流式下水道改善が経済性からも有効であることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 渡 辺 義 公
副 査 教 授 船 水 尚 行
副 査 教 授 高 橋 正 宏
副 査 助 教 授 木 村 克 輝

学位論文題名

雨天時下水の効率化処理による 合流式下水道改善の最適システムに関する研究

合流式下水道は東京、大阪など 191 都市が採用しており、対象人口は下水処理人口の約 3 割である。雨天時に合流式下水道から放流される汚濁負荷量を削減する合流式下水道改善は、公共用水域の水質保全のため緊急の課題である。国においても下水道施行令の改正を行い、雨天時放流汚濁負荷量削減の目標を明確にするとともに、原則として 10 年で目標を達成することを義務付けた。また、合流式下水道の改善は欧米においても解決すべき重要な課題である。

合流式下水道の改善は単一の手法で解決できるものではなく総合的な対策が必要である。雨天時放流汚濁負荷量を削減する基本的な手法は、雨天時下水を処理することであり、直接連続処理する方法と、一時貯留し降雨後貯留水を処理する方法の二つが実施されている。雨天時下水を晴天時処理水質と同等なレベルまで連続処理する実施可能な手法が開発されていないため、降雨初期の汚濁物濃度の高い雨天時下水を一時貯留し、降雨後処理能力の余裕を活用して処理する方法と既存最初沈殿池で沈殿処理する方法が一般的な解決策である。雨水滞水池と沈殿処理を中心とする現在の汚濁負荷量削減手法は、雨水滞水池の建設に多額の投資と長期間を要すること、汚濁物流出パターンにより効果が異なること、貯留水の速やかな処理が必要なこと、沈殿処理の効率化が必要なことなどの課題を持っている。

このため、本研究では、効率的な合流式下水道の改善手法として、既存の活性汚泥処理施設を活用して雨天時下水を連続的に処理する方法と、既存沈殿処理法の効率化を図る方法と二つの処理法を提案し、その有効性を検討するとともに、これらの処理法を組み合わせ合わせた合流改善の最適システムを検討するものである。

本論文の各章の内容は以下のようである。

第 1 章では、本研究の背景、目的および論文の構成について述べた。

第 2 章では、雨天時下水活性汚泥処理法の処理原理について述べ、これをもとに実施施設においてその処理効果を明らかにした。本法では雨天時下水を後段にステップ流入させることにより、反応槽後段の活性汚泥濃度が低下し、結果として最終沈殿池の固形物負荷の増大量を減少できること、また、後段にステップ流入した下水の溶解性 BOD は、概ね 30 分で 60~70% 程度まで急激に除去さ

れ、短時間で溶解性有機物の吸着除去の行われることにより雨天時の活性汚泥処理量を増大させることが可能となる処理原理を明らかにした。この結果をもとに、下水処理場において行った27回の実運転調査により、平均でSS:9.3mg/L、BOD:7.7mg/Lの処理水水質が得られた。また各実運転の最大処理水量の平均は時間最大汚水量(Qsh)の2.7倍であり、最大で4.6倍に達したが、最大処理水質の平均はSSで14.6mg/L、BODで11.2mg/Lであり、安定した運転を行うことができ、雨天時下水活性汚泥処理法が合流式下水道改善のための雨天時下水処理に有効な手法であることを明らかにした。

第3章では、多階層沈殿池の流出管の考え方を導入することにより、既存の最初沈殿池を凝集傾斜板沈殿池に効果的に改造する方法を開発し、実施に適用し、その処理効果を調査した。凝集傾斜板施設における設計流速を0.45m/分以下、滞留時間を10分以上、PAC注入率3~8mg-Al/Lで、短絡流や沈殿汚泥の巻き上げりを抑制し、安定した処理水質が得られることを確認した。この条件下で、概ね時間最大汚水量の3倍を超える雨天時下水を対象として凝集傾斜板沈殿池処理を行うと、処理水の平均BODを20mg/L以下とすることが可能であることが確認された。

第4章では、合流式下水道改善対策として、雨天時下水活性汚泥処理法及び凝集傾斜板沈殿池処理法を導入・実施した際に、高温高濃度嫌気性消化法に及ぼす負荷変動の影響について、プラント実験により調査し考察を行った。合流式下水道改善対策として、3Qsh相当の雨天時下水活性汚泥処理法及び3Qshを超え6Qsh以下の3Qsh相当の凝集傾斜板沈殿池処理の実施により、下水処理場において一時的に発生する雨天時発生汚泥量を、晴天日年平均発生汚泥量に対する比率でみると、雨天日年平均発生汚泥量は約1.4倍となり、雨天日最大発生汚泥量は約4.7倍となることが示唆された。高温高濃度嫌気性消化処理法は負荷変動に強く、設計条件の消化日数である15日消化の運転条件から消化日数3日に相当する負荷を1日で投入しても、投入直後にわずかに消化機能に影響を及ぼすものの翌日以降、定常負荷運転に戻すと、速やかに自然回復することが明らかとなった。これより、雨天時下水活性汚泥処理法及び凝集傾斜板沈殿池処理法の導入によって発生する汚泥量は増加するものの、既存の汚泥処理施設において十分に対応が可能であることが確認された。

第5章では、モデル処理区を対象として、数値解析モデルを用いて、2章、3章で提案した雨天時下水活性汚泥処理法、凝集傾斜板沈殿池処理法、及び従来からの改善手法である雨水滞水池の組合せによる汚濁負荷削減システムの最適化についての考察を行った。その結果、提案する方法によって従来からの雨水滞水池による貯留方式の改善対策より年経費で82%から86%以上削減できることを示した。

第6章では、本研究で得られた結論を総括し、今後の合流式下水道改善の展望について記した。これを要するに、著者は、雨天時下水の新たな連続処理方法として、既存施設を活用した雨天時下水活性汚泥処理法と凝集傾斜板沈殿池処理法を提案しその有効性を確認し、両処理法による合流式下水道改善が経済性からも有効であることを明らかにした。本研究は合流式下水道の改善の抜本的方策を提案しそれを実証し、下水道工学の新展開を示した。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。