

論文審査の結果の要旨

氏名：岩 佐 行 利

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：渦流発生による夾雑物の越流抑制効果に関する研究

審査委員：（主 査） 教授 森 田 弘 昭

（副 査） 教授 小 田 晃 教授 保 坂 成 司

教授 齋 藤 利 晃

下水道の排除方式には合流式と分流式とがある。東京都など下水道整備に早くに着手した都市は、汚水と雨水を同一の管きよで処理する合流式を採用している。この合流式下水道は雨天時にきょう雑物を含む下水を、河川などの公共用水域に放流させるという構造的な課題を抱えており、生態系のみならず衛生面や景観面から社会問題化してきた。

このため、法制度上の規制を図るとともに、合流式下水道の具体的な改善策として、雨天時下水の越流量抑制のための滞水池や分流式下水道への改造、浮遊物の流出抑制装置の整備などが進められてきている。

本論文は、浮遊物の流出抑制装置として開発した水面制御装置の特性に着目し、渦流により浮遊物を遮集管に引込み、雨水吐き室からの流出を抑制する効果を定量化することを研究テーマとした。

主な研究目的は、以下の4点である。

- (1)渦流現象を活用した浮遊物の流出抑制装置を開発し、標準設計法を提案した。この装置の開発時の実験データと設置された実機のデータを整理し、以降の研究の基礎資料を作成する。
- (2)水面制御装置により生成される渦流の水理特性に着目し、設計段階における水面制御装置の効果をより簡便に見極める手法を提案する。
- (3)水面制御装置により生成される渦流のメカニズムは解明されていない。そこで、渦流の生成から消滅までのメカニズムを解明し、得られた知見により効果的な設計方法を提案する。
- (4)合流式下水道の改善策として各自治体が採用してきた機械式ろ過スクリーンなどの他のきょう雑物の削減装置は、その維持管理上の課題を抱えている。そこで、他のきょう雑物削減装置に水面制御装置を併設することを提案し、実現場で設置した事例からその効果を検証する。

本論文は全7章で構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景を整理するとともに、目的と論文構成を示している。

第2章「合流式下水道の課題と既往の取り組み」では、合流式を採用した経緯と合流式下水道の課題、その改善策を法制度面や施策面について国や東京都の取り組みをまとめ、水面制御装置の開発に至った背景について整理している。

第3章「水面制御装置の開発と標準設計法の提案」では、水面制御装置の開発時に実施した実験結果から制御板の設置方法として横式と縦式、ガイドウォールの組合せにより5種類のケースを標準設定した。筆者はこの実験結果を再整理し、縦型制御板とガイドウォールの組合せの効果が高いことを確認した。このケースを新たな設置方法として本研究の対象とした。また、水面制御装置を設置することで上流への水位上昇が危惧されるが、その影響は少ないことを確認したものの、設計段階でチェックする必要があることも記述した。さらに、標準的な設計方法の根拠と課題を整理することで、以降の研究の基礎資料とした。

第4章「効率的な設計手法の提案」では、渦の発生は「遮集管の管頂から水面までの水深」「遮集量」「制

御板の下端高さ」の3点が影響することに着目し、模型実験を行った。結果から、制御板下端の高さ別に限界捕捉水位（渦により遮集管に浮遊物を引込むことができる限界の水位）をグラフ化することで、設計した制御板により浮遊物を捕捉できるかについて、簡易に効果確認できる方法を導き出した。

第5章「渦流メカニズムによる設計法の提案」では、渦流により浮遊物が引込まれ、遮集管に吸込まれるメカニズムを解明するために渦流モデルを設定し、実験並びに現場での設置データより検証した。

結果、(1)生成される渦流の旋回流に浮遊物が流集される範囲（渦径）をレイノルズ数により評価できることを確認した。(2)渦流により浮遊物が引込まれる現象は、鉛直方向速度と浮遊物の浮上速度との関係で評価できることを確認した。(3)遮集管に浮遊物が吸込まれる引込み力（渦糸）と渦流が消滅する水位とに相関があり、ポンプによる吸込み渦と同様に評価することが可能であることを確認した。これらの結果を踏まえた新たな設計方法の提案を行った。

第6章「水面制御装置の新たな活用方策の提案」では、雨水吐き室に設置されている機械式ろ過スクリーンに水面制御装置を併設することを提案し、実測データを分析することで機械式ろ過スクリーンへの負荷軽減による機能改善や越流負荷の削減に効果があることを確認した。

また、英国においては既設のサイクロンスクリーンとの併設を実施し、その効果を検証した。結果、一定の条件下ではあるが効果発揮を確認した。

さらに、第4章で提案した簡易な設計評価指標は上記の2事例共に適用できることを確認した。その他、筆者がこれまで海外への水面制御装置の事業展開に関わってきた経験を踏まえ、海外の普及拡大について記述しているほか、下水道以外の事業に水面制御装置の機能を活用する方法を提案した。

あわせて、雨水吐き室などの管路施設内での調査や作業を実施する際は、連続して換気する必要がある。筆者らが開発した連続送風が可能な換気装置について、実験や流体解析による検証を紹介している。

第7章「結論」では、本研究結果の結論を述べたものである。

本研究の主目的である4点については以下のとおり結論を得た。

- (1)標準的な設計法として、制御板とガイドウォールの設置について提案した。しかし、設置する雨水吐き室の構造が異なることから、設計時の課題を明らかにし、設計段階で効果を見極める手法の必要性を整理した。
- (2)水面制御装置である制御板やガイドウォールの設計段階で、その効果を見極める「簡易な設計評価指標」を提案し、実務で利用ができることを確認した。
- (3)渦流により浮遊物が遮集管に引込まれる現象を、3段階に分けて検証した。まず、浮遊物が渦流に流集される範囲（渦径）はレイノルズ数により評価でき、「鉛直方向速度」>「浮遊物の浮上速度」の場合、浮遊物は引き込まれる。しかし、「鉛直方向速度」<「浮遊物の浮上速度」の場合、浮遊物は引き込まれない。また、遮集管に浮遊物が吸込まれる引込み力（渦糸）は、ポンプによる吸込み渦と同様に評価することが可能であることを確認した。
- (4)水面制御装置を他の夾雑物削減装置（国内の機械式ろ過スクリーン、英国のサイクロンスクリーン）と併設することを提案し、検証した。結果、負荷軽減による機能改善や越流負荷の削減に効果があることを確認した。

水面制御装置の設計段階で効果的な設置方法や効果の評価方法などを提案した。しかし、雨水吐き室の構造は個々に異なることから、様々な構造に提案した内容を検証する必要がある。また、下水道事業に関わらず他の事業においても、渦流のメカニズムを利活用した新たな装置の開発に取り組むことが期待される。

この成果は、生産工学、特に土木工学に寄与するものと評価できる。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令 和 3 年 3 月 4 日