

論文の内容の要旨

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

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渠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汚水混じりの下水を、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、合流式下水道の改善策の一つである雨水吐き室に浮遊物を流出抑制する装置などを整備している。

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研究テーマとした。

主な研究目的は、以下の4点である。

- (1) これまでの実験データや実機のデータを整理し、浮遊性夾雑物（浮遊物）の捕捉効果が高い装置を選定するとともに、その装置の標準設計法を提案する。
- (2) 渦流の水利特性である限界捕捉水位と遮集量などに着目し、当該の雨水吐き室に設計した段階で水面制御装置の効果をより簡便に見極める手法を提案し、検証する。
- (3) 水面制御装置の設置により渦流が生成されることを確認しているが、渦流の生成から消滅までのメカニズムについては解明していない。そこで、渦流の生成から消滅までのメカニズムを解明し、合理的な設計方法を提案する。
- (4) これまで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他の夾雑物削減装置は、その維持管理上の課題を抱えている。そこで、他の夾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組みをまとめた。また、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章は、水面制御装置はこれまで制御板（横式と縦式）とガイドウォールの組合せにより5種類のケースとして技術資料や設計を設定している。筆者は実験結果を再整理した結果、縦型制御板とガイドウォールの装置が遮集管への捕捉効果が高いことを確認した。また、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。この装置を本研究の対象装置とした。さらに、この装置の標準的な設計法を提案した。

第4章は、提案する標準設計法により雨水吐き室に設置した効果を見極めるために、雨天時に流入した夾雑物と堰を越流する夾雑物を回収するなどの調査を踏まえ、「ガイドウォールと縦型制御板」の装置は高い捕捉率があることを確認した。

また、筆者はこれまでの実験結果や実施事例などから、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3項目が大きく影響している。遮集管に浮遊物を捕捉できる限界の水位を表すグラフを作成するために実験を行った。このグラフを「簡易な設計評価指標」として提案し、標準設計の制御板により浮遊物を捕捉できるか、あるいは捕捉できないかを評価することが可能となった。さらに、水面制御装置を設置し、効果を発揮している1,300件の中から30カ所を抽出し、「簡易な設計評価指標」の妥当性を検証した結果、適用できることを確認し、実務での利用を可能とした。

第5章は、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る評価を試みた結果、レイノルズ数（Re）35,000～40,000程度が浮遊物の流集効果は高い結果が出た。しかし、採用した算出式はダクトなどの閉鎖空間を前提していることから、適用については更なる研究が必要とした。

(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、合理的な設計法として提案した。

第6章は、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の結論を得た。

(1) ガイドウォールと縦型制御板による水面制御装置は、浮遊物の遮集管への捕捉効果が高いことを確認し、標準的な設計法を提案した。

(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）と渦流が消滅する水位は、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法や効果の見極め法などを提案した。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。