

インフラメンテナンス実践研究論文の発表資料

下水道事業管路システムの適正化に向けた 分水人孔の正確な流量制御管理技術の研究

- 小田 収平 (株)和建設計事務所
- 太田 一行 (一財)電力中央研究所
- 小田 耕平 (株)和建設計事務所
- 荒尾 慎司 松江高専 名誉教授

合流式下水道方式の問題

1996年度 下水道新技術研究所年報 (2/2巻)

合流式下水道越流水(CSO) 対策の研究

1. 研究の背景と目的

環境基本法にうたわれた豊かな環境の恵沢と享受とそれを次世代に継承に引き継ぐうえで、下水道が果たす役割は今後ますます大きくなる。

比較的早くから下水道整備を実施した都市では、ほとんどが合流式により整備を開始しており、普及率の向上とともに、CSO(Combined Sewer Overflow＝合流式下水道からの越流水)対策は水域の環境を保全するうえで重要な課題である。

これらの都市中では、すでにCSO対策のための調査、計画がなされ、一部実施施設が稼働している所もあるが、合流区域のほとんどは市街化が進んだ地域であるため、用地上の制約も多く、より多くの汚濁負荷削減のための確実で経済的な分水施設や処理施設を建設することは困難な場合が多い。また、実際に稼働している施設についても、十分な評価がなされているとは言いがたい。

そこで本研究は、本機構の「固有研究」の一つとして、平成8年度より3ヵ年の計画で、今後のより効率的なCSO対策施設の計画、設計のため、計画上の負荷削減を確実に担保する視点から、資料の収集、現状の課題の抽出および今後必要と考えられる貯留施設、分水施設の既存の知見を整理し、課題解決の基礎的情報を収集するとともに解決の方向性を明らかにすることを目的として実施した。

本年報では、その初年度の成果として、CSO対策の

国内外の現状、既存施設の水利的数値解析・実験条件の整理及び現状の課題解決の方向性について報告する。

2. 研究体制

3. 研究内容

4. 研究成果

5. 今後の課題

この様な状況下で、今後取り組むべき課題としては、下記の項目が挙げられる。

- ① 計画進捗量の分水が正確に行われるような施設の建設
- ② 放流水域へ有機ゴミ等の雨天時越流を防止する施設の建設
- ③ 総合的水環境問題を考えたEPAのNMCMPプログラムについての調査・研究
- ④ 欧米のCSO対策施設の実態調査を行い、費用、改善効果等の整理
- ⑤ 我が国のCSO対策に関するプログラム等の作成
- ⑥ 水環境問題へのアプローチ等の方法論についての整理・研究

問題の位置付け → 合流式下水道越流水(CSO)対策は、水域環境保全上で重要な課題。



研究の成果 → 研究成果は得られずに“**今後の課題**”と位置付け、今後の研究に期待。



現在の解決策 → CSO問題が発生しない様な管路システムへの改善



合流式下水道緊急改善事業
(巨額な公共事業費を伴う?)

雨天時越流水(CSO)問題の現状



これからの水環境管理 ～施行令改正から20年～



国土交通省 水質部・国土保全局 下水道課長
松原 誠
Masaharu Matsubara

計画放流水質

改正後の施行令では導入した水処理方法に応じて放流水質基準が決定される仕組みでした。つまり、活性汚泥法であればBODの放流水質基準は30mg/Lとなりますが、高度数ろ過法であれば50mg/Lでよいというルールで、水処理方法が放流水の状況等に適合した適切な処理方法であるかどうか明確ではありませんでした。そこで改正施行令では、まず下水道管理者が放流水の状況等を踏まえ自ら計画放流水質を定め、これに適合する水処理方法を選択するとともに、自ら定めた計画放流水質を放流水質基準として適用するという仕組みが改められました。

自ら定めた基準を自ら遵守するという考え方は、下水道管理者が水環境管理の先頭に立つという気概を法上で表現したものと言えるでしょう。なお、計画放流水質の区分に適合する水処理方法については、代表

的なものを数例で規定するほか、これらと同程度に下水を処理することができる方法について通知により運用を規定しています。このあたりについては、新技術を導入する際に経費的な運用となっていることも含め、時代の変化に応じた見直しが必要になってくるものと感じています。

放流水質基準

改正施行令では、当時の放流水質の実態から判断して、BODの基準値が従前の20mg/Lから最も厳しい場合でも15mg/Lへと強化されました。また改正前には規定なかった窒素・リンにかかる放流水質基準を新たに定め、高度処理の位置づけを明確にしました。

これらの基準は計画放流水質（構造基準）に基づくものであることから、維持管理による部会反映されず過年とされています。一方で、近年では豊かな海の未来を目指して能動的な水質管理が各地で試行されており、季節によって目標とする放流水質を自動的に変更するような場合も出てきています。また、昨年取りまとめられた下水道政策研究会提言書に社会への貢献のあり方検討小委員会の報告書でも指摘されているように、エネルギー利用と良好な水質との両立なども考えていかなければなりません。

これらを踏まえ、水質汚濁防止法との関係性にも留意しつつ、より合理的な放流水質基準の設定の考え方を整理していくことが必要です。

合流式下水道改善対策

平成15年改正の直接的契機の一つが、合流式下水道からの雨天時越流水（CSO）の問題です。かねてから水質汚濁防止法に違反しているとの指摘がある一方で、下水道法上では雨水の影響の少ない日において水質測定することとなっており、越流水に対する法的規

制は全く設けられていませんでした。CSOの問題を公然と語ることがタブー視されていた時代です。そのようなかで某新聞がお台場オイルボールの問題を大きくとりあげたことから、事態が大きく動き出しました。

合流改善の目標として、汚濁負荷量は分流式下水道に定められ、放流水質は半減。きょう菌物汚濁防止法で定められ、施行令もこれらの目標を踏まえた内容で改正されました。特に分流込みを評価するために、他で例を見ない雨天時の放流水質基準が新設されましたが、改善策には時間を要することから、その適用は一般都市で10年後から、大都市で20年後からとなりました。いよいよ令和5年度末に30年目の期限を迎えるということで、今年はこの改正後の改善策の総括を行うとともに、今後の合流式下水道改善策についてどうあるべきか、検討を行うこととしています。

これからの水環境管理

人口減少や老朽化施設の増大、災害の頻発、気候変動などは、水環境管理にも大きな影響を及ぼします。水処理施設が大きなエネルギーを消費していること、人口減少により処理能力が余裕を生じるとともに流入汚濁負荷量の減少が見込まれること、下水中のリンは肥料資源として注目されていること、求められる水環境は多岐にわたるものであることなど、これからの水環境管理は多くの要素を踏まえた形で実施していく必要があります。もはや、単にきれいな水を放流すればよいという話ではありません。

令和の時代によろしい水環境管理とはどうあるべきか、国土交通省では皆様のご意見もいただきたいながら、新たな方向性を打ち出していきたいと考えています。今後とも皆様のご理解とご協力をよろしくお願い申し上げます。

合流式下水道改善対策

平成15年改正の直接的契機の一つが、合流式下水道からの雨天時越流水（CSO）の問題です。かねてから水質汚濁防止法に違反しているとの指摘がある一方で、下水道法上では雨水の影響の少ない日において水質測定することとなっており、越流水に対する法的規制は全く設けられていませんでした。CSOの問題を公然と語ることがタブー視されていた時代です。



現在でもCSO問題は未解決



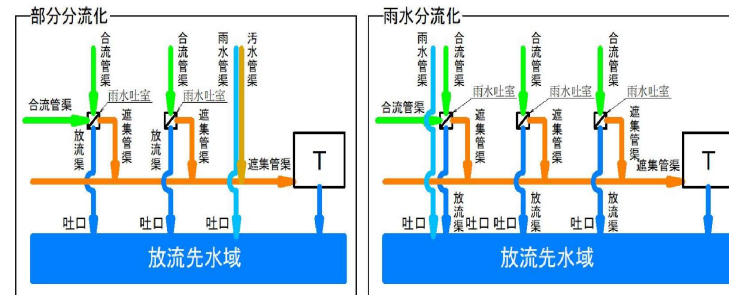
従って、図-3、図-4では今でもCSO問題は未解決に近いとも判断される？

現在の下水道事業での問題点

〈東京都での具体的な事例〉

東京23区の8割が合流式下水道で整備

- 東京23区では、明治時代、コレラなどの疫病が流行するとともに、低湿地帯などでの浸水被害が頻発していました。
- このことから、トイレの水洗化などによる衛生環境の改善と、雨水の速やかな排除を同時に対応し、早期に効果を発現するために合流式下水道を採用し、明治41年から整備を進めてきました。
- ※大阪市、名古屋市など全国191都市、ニューヨーク、ロンドンも合流式下水道
- 平成6年度末には普及概成100%を達成し、河川や東京湾などの水質改善や、浸水被害の低減に貢献してきました。



※ 流末処理場の施設能力は計画汚水流量の3倍まで対処する事と規定されている。

図4 合流式下水道改善事業での雨水を遮集管渠に入れない方策の管路システム概念図²⁾

問題点

合流管渠の下水流量でCSO対策が不可能な雨水吐室では計画通りに遮集管渠に3q以内の分水制御管理ができない。その結果、流末処理場では3q以上の過剰な設備機能が要求される...のではないかな？

解決策

分水人孔(雨水吐室)でのCSO問題を解決する事で対処。

問題点

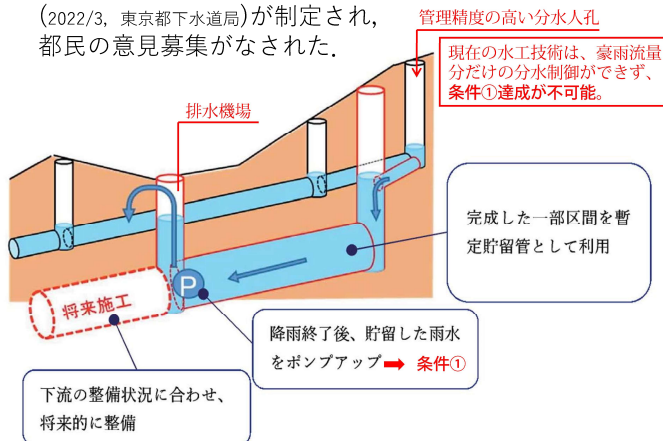
現状の下水道技術では正確な豪雨流量分だけの分水制御管理の水工技術が無い為、分水人孔に閉鎖ゲートを設け、豪雨時の概ね全流量を貯留管に流入させ、ポンプ排水で許容放流量以内を放流する必要がある。この為、膨大な規模の暫定貯留管規模の事業投資と揚程変動に吐出流量が追随する様な特殊ポンプの開発整備が伴い、膨大な事業投資の公共事業となる。

解決策

分水人孔で豪雨流量分を正確に制御管理し、従来事業で構築された貯留管で対処できる。

「下水道浸水対策計画2022」

(2022/3, 東京都下水道局)が制定され、都民の意見募集がなされた。



下水道事業の管路システム概要図

正確な流量分水管理の水工技術とは？

⇒ 分水人孔の調整槽を多く設ける

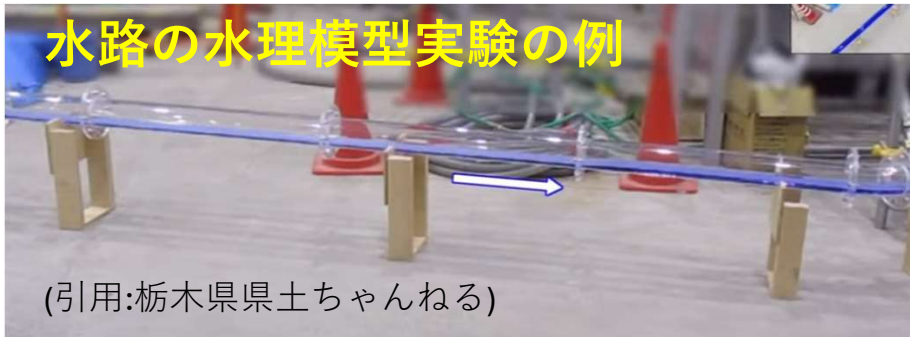
オリフィス孔の噴流エネルギーはオリフィス孔を複数にして対処できる

- 著者らは既往研究において、分水制御の管理精度を格段に高める技術を考案し、**公共用水域環境の保全対応を図る管路システム**を提案してきた。また、**豪雨時でも正確な自然分水で治水安全を図れる設計事例**を提示し、その水理現象を数値流体力学解析で立証してきた。

本研究の目的

- 一連の研究を総合的に再整理し、新たな取り組みとして流量制御の高精度化や異物混入対策のため、**数値流体解析(CFD)を通じて、設計法のマニュアル化に向けた要点を取り纏める。**

数値流体解析(CFD)の手法



- 水理模型実験では縮尺効果の影響を受けるため、複雑で細かい構造物の評価には制約がある.
- **最新のCFDによって、実スケールでの高精度な評価が可能**

◆ 解析ソルバ：

- 非混和二流体ソルバinterIsoFoam (OpenFOAM)
- 自由水面：**VOF法**
- 乱流： $k - \omega$ SST SASモデル
- 表面張力：**CSFモデル**
- 計算格子：非構造格子

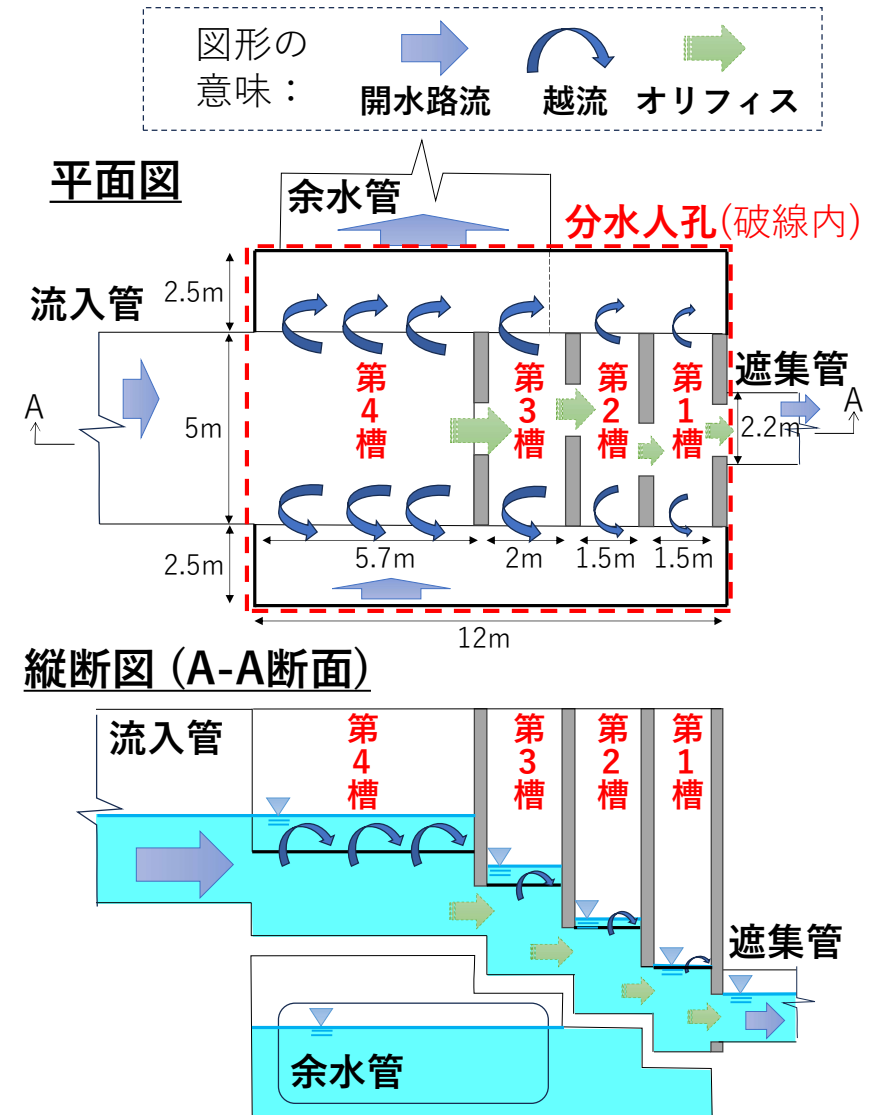
◆ 境界条件

- 流入側：流量
- 流出側：静水圧（分流するため、2つの流出境界の各々で設定）

精度分水人孔の検証と設計項目の精査

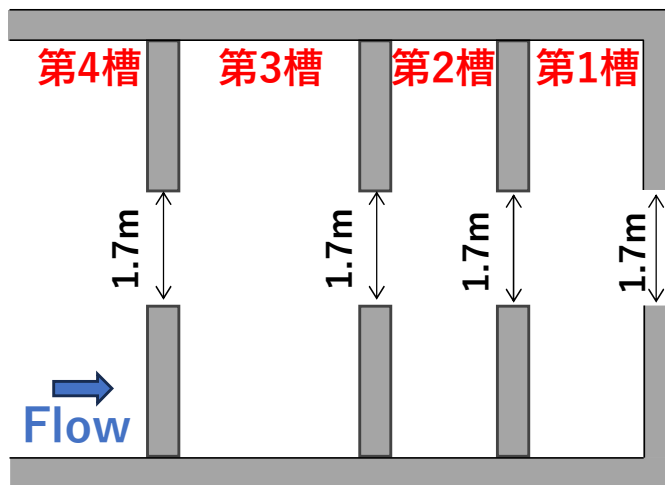
■ 解析対象

- 合流式下水道への社会実装を想定した水理設計（小田ら, 2021）．下流端から順次，越流量式とオリフィス流量式を適用し，必要となる越流堰・オリフィスの諸元を逆算的に算出する．
- 設備の形状・規模や豪雨波形は，「**分水施設設計の手引き(東京都)**」をもとに設定
- 本研究では，**オリフィス孔の影響と付属設備（スクリーン等）の影響**を解析による実施．

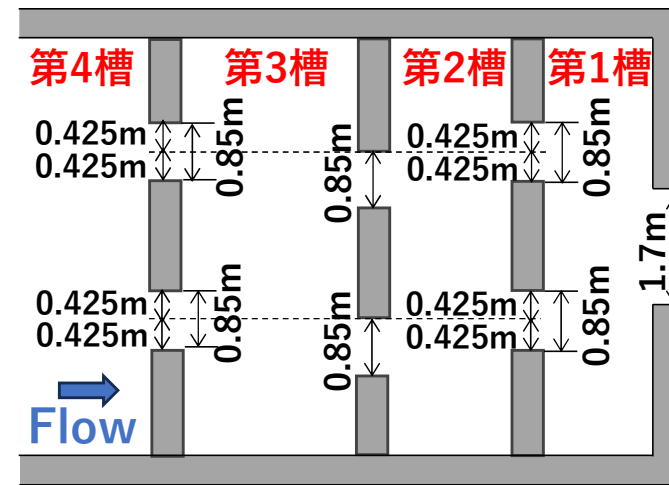


オリフィス孔の影響

- 各解析ケースにおけるオリフィス孔の配置
(オリフィス孔を切断する断面図)

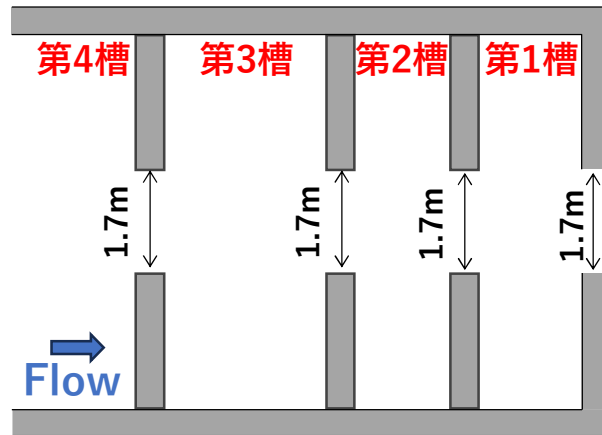


(a) 原形状
オリフィス孔1つ.
中央に揃えた配置.

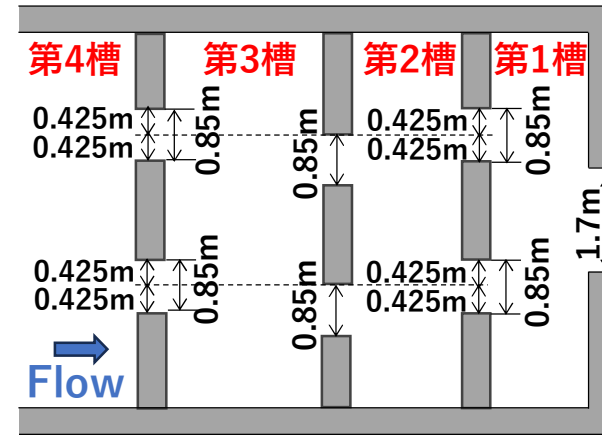


(b) 改善形状
オリフィス孔2つ.
横にずらした配置.

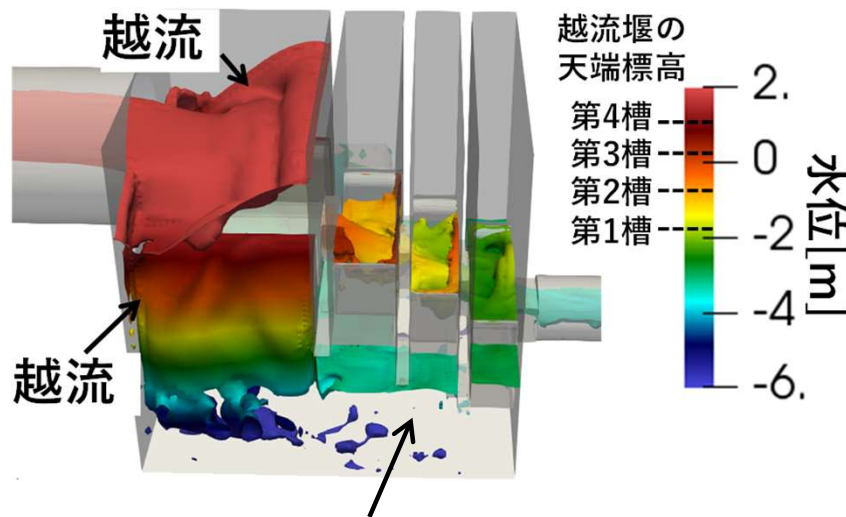
オリフィス孔の影響



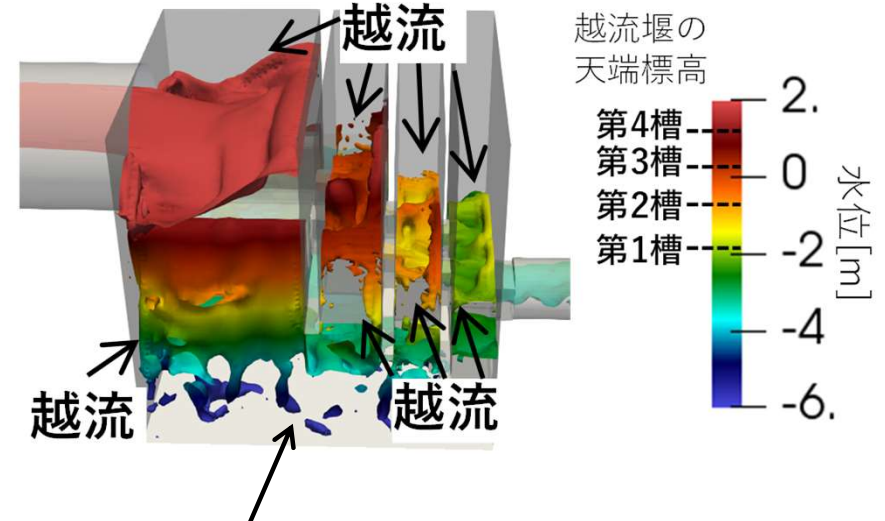
(a) 原形状



(b) 改善形状

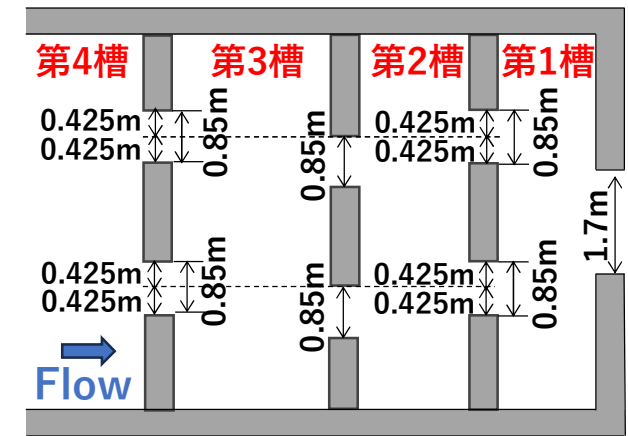


原形状ではオリフィスによる噴流が下流に連なる現象が発生し、設計で想定した越流が発生しない。

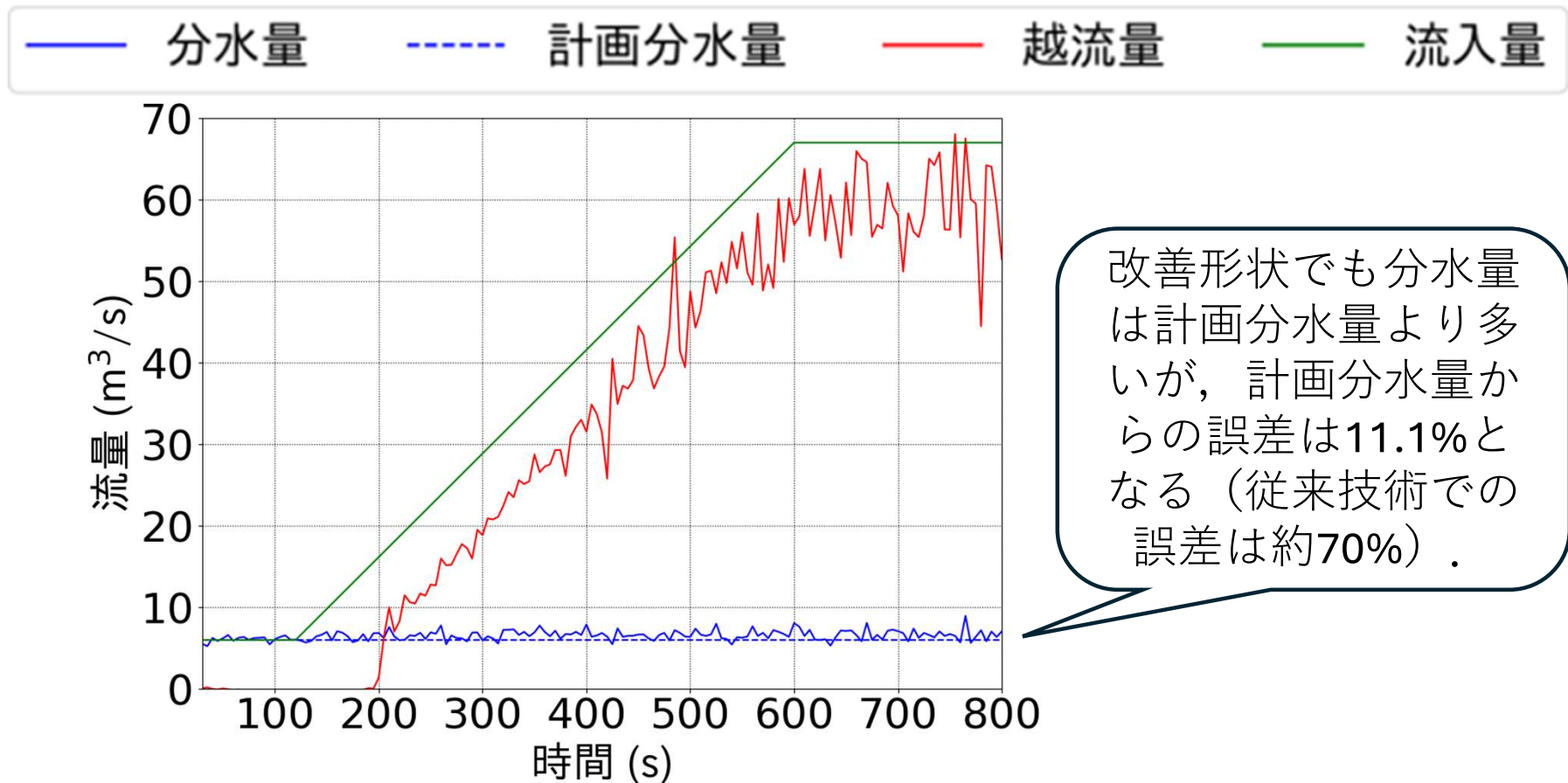


オリフィスを分割して、横断方向にずらすと噴流のエネルギーを分散でき、概ね設計通りの越流が発生。

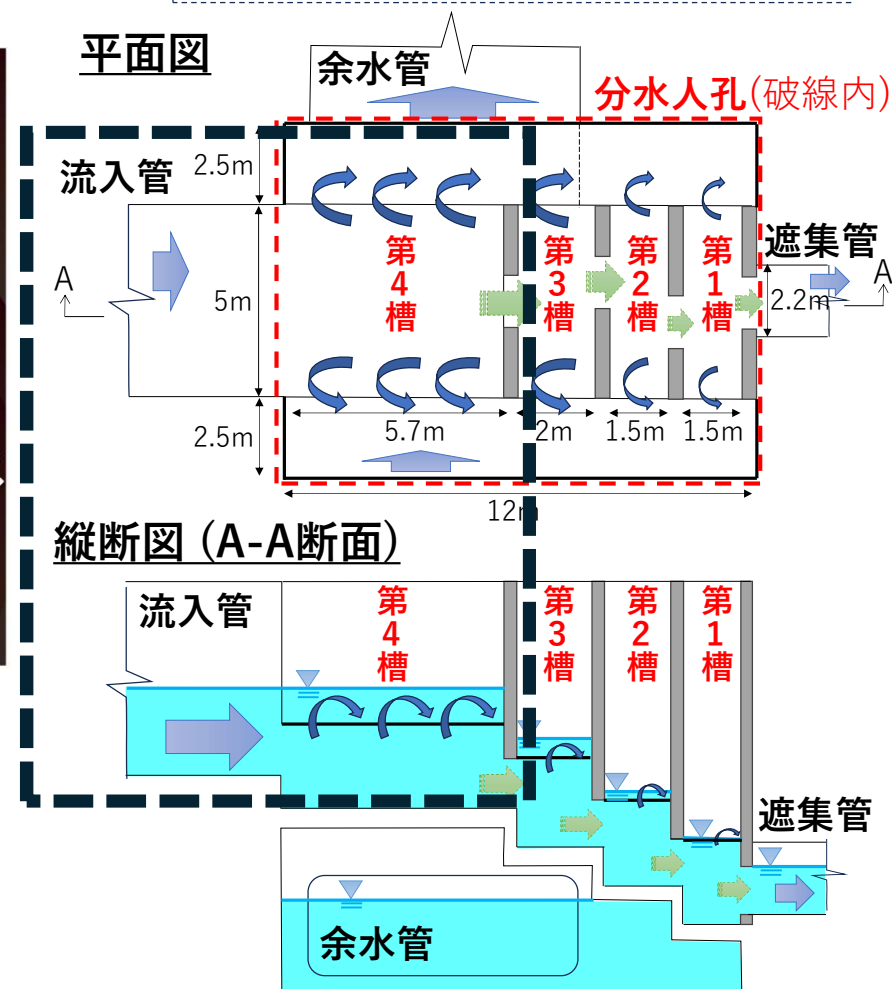
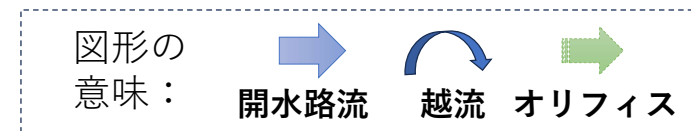
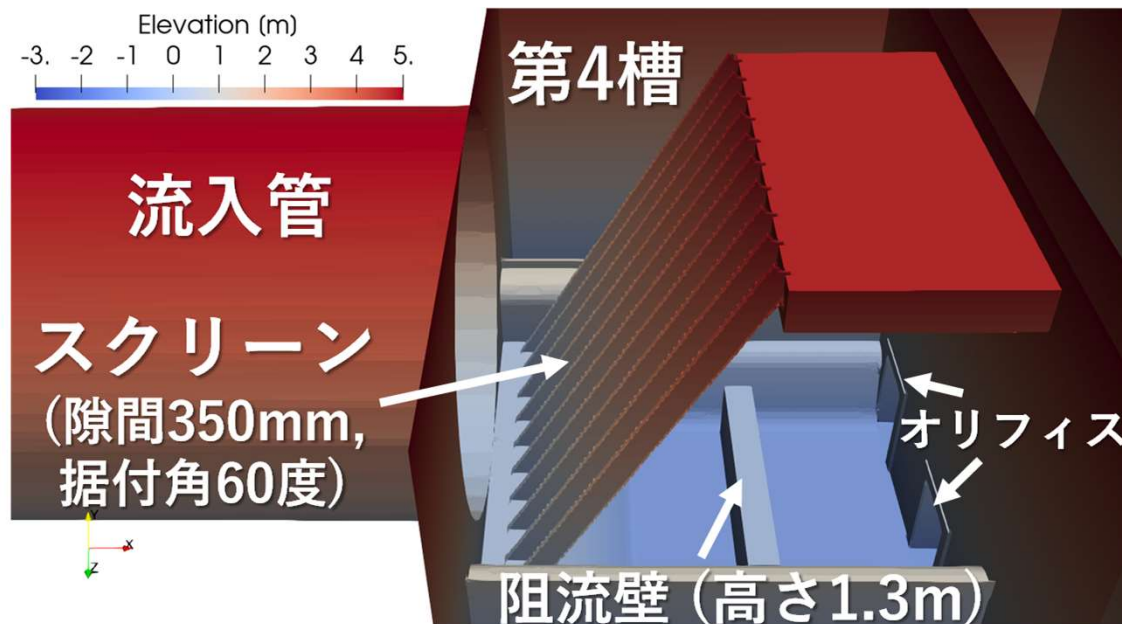
オリフィス孔の影響



(b) 改善形状

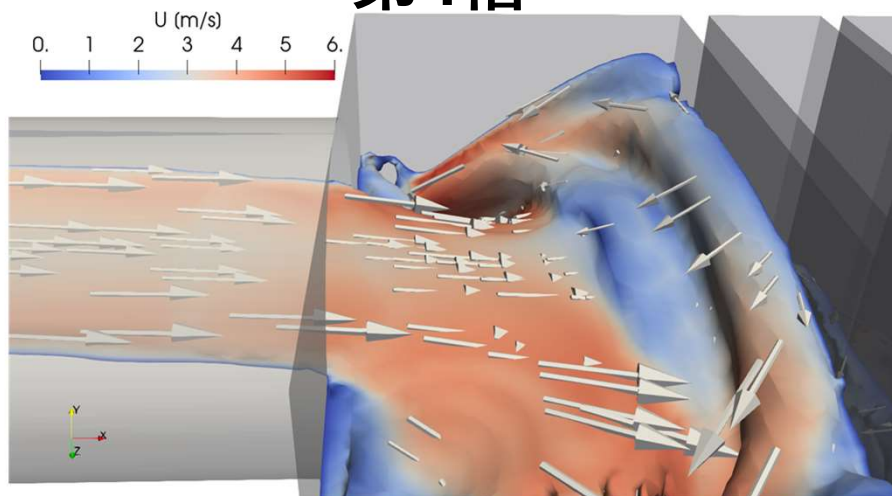


付属設備の影響

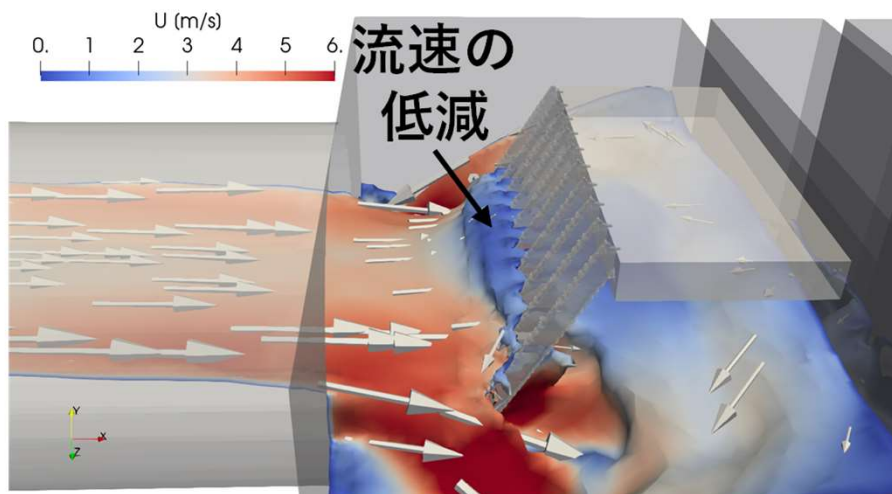


付属設備の影響

第4槽



(a) 付属設備無し



(b) 付属設備有り

分水誤差 Δ

$$\Delta = 100(Q_S - Q_{S,d})/Q_{S,d}$$

- Δ : 分水誤差 (百分率)
- Q_S : 分水量(第1槽から流下する量)[m³/s]
- $Q_{S,d}$: 計画分水量[m³/s]

	高精度分水人孔		従来の分水人孔
	付属設備なし	付属設備あり	
分水誤差 Δ	11.1 %	9.2 %	70.9 %

まとめ

下水道管路システムの課題解決のための新しい量的制御施設について、これまでの研究を再整理するとともに、数値流体解析(CFD)で設計法を検証した。得られた成果を以下にまとめる。

- ① 従来タイプの量的制御施設（分水人孔，雨水吐室）を新技術タイプに改築することで，流量分水制御精度が改善されて遮集量の増加を抑制し，**下水処理場での過剰な設備投資が不要になり，公共用水域側での管理のみで法的な環境管理目標を達成することが可能**となる。
- ② 新技術タイプの分水人孔は，許容放流量を超過する豪雨流量分を自然分水管理で既存の貯留管等に取り込むことで，**必要とされる豪雨調節容量を削減することが可能**となる。
- ③ CFDによって分水現象を水理模型実験と同等の精度で評価できる。**CFDでは水理模型実験での縮尺効果の影響を受けず，実スケールでの評価が可能**である。
- ④ **オリフィス孔の工夫や付属設備の追加によって，分水制御の更なる高精度化が得られる**知見を得た。

本技術は**下水道事業の低コスト化や維持管理の簡素化が図れる技術**であり，今後の社会実装が期待される。