

# 東京都下水道局技術調査年報

## -2008-

平成 20 年 11 月  
東京都下水道局

# 技術調査年報の発刊にあたって

今日の世界は、地球温暖化による気候変動や資源の枯渇などの地球規模の問題に直面しており、東京においても、温室効果ガス発生量の削減や局所的集中豪雨への対応、貴重な水資源の有効利用などが求められています。

これらの課題は、互いが複雑に影響を及ぼしていることから、これを解決するためにはブレークスルーできるような技術や発想が必要であり、基礎的な分野も含めた総合的かつ専門性の高い技術開発の重要性が一層高まっています。

これを実現するためには、産学公が各界の垣根を越えて、お互いの英知を尽くして新たな技術を開発・導入することが重要であり、産学公の緊密な連携を促進することが必要です。

一方、戦後の下水道事業を支えてきた団塊世代の大量退職などによる技術力の低下が懸念されており、民間も含めた共通の課題として、ノウハウ・ドゥハウの継承に向けた連携した対応などが求められています。

こうした困難な課題に確実に対応していくためには、技術が見える形で情報発信することが重要です。下水道局では今年度「技術開発推進計画 2008」を策定・発信し、戦略的な技術開発の展開や技術継承、産学公の連携の強化を目指しています。また、この計画に合わせて、砂町水再生センターに「下水道技術研究開発センター」を「産学公の連携」の拠点として完成させ、実際のフィールドを活用した民間・大学との共同研究や技術開発に関する議論の場などとして活用しております。

技術調査年報の発刊も、技術情報の見える形での発信策の一つとして位置付けており、これまでも約 30 年間にわたり局内の技術情報を発信し、当局の土木、設備、水質技術などの継承や職員の技術力向上に資する役割を果たしてきました。

本年報は、日常業務で生じた課題をはじめ、局事業の推進のために局内各部署で平成 19 年度に実施した技術開発・調査研究を取りまとめたもので、今日の下水道事業へのニーズに深く関わりを持つものとなっています。本年報を職員はもとより、技術開発推進のパートナーである民間企業、大学・研究機関、関係団体の方々の情報源として、また、国、地方公共団体の方々の業務の参考として、活用していただければ幸いです。

平成 20 年 11 月

下水道局長 今里 伸一郎

## 目 次

本書をご利用いただく前に

要旨集	1
-----	---

### 1 安全性の向上

#### (1)再構築技術

1 分水施設的设计手法について	33
-----------------	----

#### (2)浸水対策技術

1 流出解析モデルを活用した管きょ再構築の整備手法に関する調査	43
2 第二・十二社幹線水理模型実験について	55

#### (3)震災対策技術

1 浅川水再生センター水処理施設の耐震補強設計について	65
-----------------------------	----

#### (4)微量物質・病原性微生物等対策技術

1 P R T R制度を活用した水再生センターからの化学物質排出量の推計	77
--------------------------------------	----

### 2 快適性の向上

#### (1)合流改善技術

1 小菅水再生センター高速凝集沈殿装置性能評価調査	87
2 ポンプ所放流渠滞留水の浄化に関する共同研究	99

#### (2)高度処理技術

1 担体添加ステップA2O法の事後評価（中間報告）	113
2 東部汚泥処理プラントりん固定剤添加設備設置について	127
3 八王子水再生センターのステップA2O法について	137

#### (3)周辺環境対策技術

1 大腸菌群数低減への取り組み	149
-----------------	-----

### 3 地球温暖化対策

#### (1)温室効果ガス削減技術

1 芝浦水再生センターにおける微細気泡散気装置へ更新後の運転効果について	161
2 落合水再生センターにおける換気ファンの適正管理について	167

### 4 資源の有効利用

#### (1)処理水再利用技術

1 再生水処理技術の開発	175
(2)汚泥資源化技術	
1 粒度調整灰を利用した建設汚泥改良技術に関する共同研究	185

## 5 事業の効率化

### (1)維持管理技術

1 新たな管路内調査方式（ミラー方式及び展開図化）の導入について	191
2 高濃度硫化水素削減のための汚泥脱気装置の開発	201
3 シアンモニターの改良 ～環境検査職の経験を生かして～	209
4 I C P 質量分析法を用いた水銀測定の可能性について	213
5 F I S H法を用いた硝化細菌の検出	221
6 硝化活性の測定	227
7 亜硝酸存在下におけるMLDO測定について	233
8 芝浦水再生センターにおける全窒素流入負荷に関する一考察	239
9 施設停止を伴わない防波管の補修について	247
10 流入水量半減と反応槽通水停止に伴う水処理状況	251

## 6 国際論文

1 【WEF 英文】日本初の熱発電プラント用の汚泥を原料 とした炭化燃料製造	261
2 【WEF 英文】下水汚泥のガス化に関する研究	271
3 【IWA 英文】東京における再生水事業と新技術導入	279

Copyright©(2008) by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government

All rights reserved. No Parts of this report may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government.

The mention of trade names or commercial products in this report is for illustrative purposes and does not constitute endorsement of recommendation for use by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government.

この報告書に関する権利は、東京都下水道局にあります。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、東京都下水道局長の文書による承認が必要です。また、この報告書の中の商品名又は製品名は、事例として示したものであり、東京都下水道局が使用上の性能を確認したり、推奨したりするものではありません。

# 本書をご利用いただく前に

## ■目的

本書は、東京都下水道局で行った下水道技術の研究と開発の成果を共有し、将来へ技術を継承することを通じて、下水道技術の維持向上を図ることを目的としています。

- ① 局内の技術情報を網羅し、技術情報の共有による職員相互の技術力の維持向上と技術の継承及び技術的課題の糸口となること
- ② 下水道事業に関わる課題と課題解決への取組みの成果について、先駆的に情報発信を行ない、産学公の技術交流を深め、局の事業運営の効率化に寄与すること

## ■構成

本書は、平成19年度に局内各部所が実施した下水道技術に関する調査・研究についてまとめたものです。各成果は、平成20年7月に策定した「技術開発推進計画2008(東京都下水道局)」における5つの技術開発テーマ(安全性の向上、快適性の向上、地球温暖化対策、資源の有効利用、事業の効率化)に沿って分類しています。

・要旨集:第1章から6章の本文の概要を1頁程度にまとめたものです。

- ・第1章「安全性の向上」 : 5編
- ・第2章「快適性の向上」 : 6編
- ・第3章「地球温暖化対策」 : 2編
- ・第4章「資源の有効利用」 : 2編
- ・第5章「事業の効率化」 : 10編
- ・第6章「国際論文」 : 3編

## ■お知らせ

本書は、昭和52年9月の「技術調査報告書」を初版として、昭和54年度からは「技術調査年報」として毎年発行しており、局内および都庁内の各局、研究機関、大学、政令指定都市等に2005年版まで配布していましたが、2006年版からは東京都下水道局公式ホームページでの掲載を主体として利活用をはかることとし、各機関への冊子の配布を取りやめています。

下水道局技術調査年報の本文や過去の論文は、東京都下水道局公式ホームページ(<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/>)に掲載しています。

なお、都民情報ルーム(都庁第一本庁舎3階)、都立多摩図書館、都立中央図書館、都立日比谷図書館において本書を閲覧することができます。

## ○用語の使用

本文中の用語は、「下水道用語集 2000年版」((社)日本下水道協会)に準拠しています。ただし、以下の用語は、東京都下水道局で使用している用語としています。

- ・人孔(マンホール)
- ・ポンプ所(ポンプ場)
- ・第一沈殿池(最初沈殿池)
- ・第二沈殿池(最終沈殿池)

(本書に関するお問合せ先)

東京都新宿区西新宿2-8-1 東京都庁第二本庁舎7階中央  
東京都下水道局 計画調整部 技術開発課 電話 03-5320-6606

# 要 旨 集

番号	1-(1)-1	件名	分水施設の設計手法について	
内容	<p>今回提案する分水施設は、一定流量や流下能力超過分を分水させるもので、遮集分水量以上のものとする。</p> <p>当局では既設管渠から堰等により、新設管や貯留管等に分水させている。しかし、分水計算方法が確立されていないことや、計画分水量を取り込むには、堰長が必要であり、道路形態や地下埋設物状況等により、堰長が十分でないため、十分な計画分水量が確保されていない状況である。このため、水理模型実験を行い、分水施設の設計手法を検討した。</p> <p>施工実績の多い「横越流分水方式」と「直接分水方式」の2タイプで水理模型実験を行なった。その中で各水理公式の適用範囲を定め、水理模型実験で流した分水量と、水理公式で求めた分水量を検証し、水理公式の流量係数を見直した。また、対策工(デフレクターや垂れ壁)を設けることで、限られた空間の中で計画分水量を確保するための設計手法を確立した。以上の実験結果より、設計手法や各水理公式の適用範囲等を定め、設計者が判断できるようマニュアル(案)を作成した。</p>			
キーワード	分水施設、横越流方式、直接分水方式			
処理区名		位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	普及対策、再構築、浸水対策	
状態区分	設計	技術区分		
実施年度	平成18年度	全体期間	平成17年度～平成18年度	
担当部所	南部建設事務所 設計課 出川義彦			
出展等	平成19年度 設計・工事事例発表会 下水管路施設における大流量の分水構造の調査その2			
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	1-(2)-1	件名	流出解析モデルを活用した管きよ再構築の整備手法に関する調査	
内容	<p>本調査は、計画降雨1時間50mmの整備水準において、流出解析シミュレーションを活用した新たな設計手法の導入にあたり、既存の3種類の流出解析ソフトを用いてモデル設計を行い、下水道台帳情報システム（SEMI S）と流出解析ソフト間の効率的かつ的確なデータのやり取りの方法を検討するとともに、その各々の流出解析ソフトの特性を把握して設計マニュアルを作成した。</p> <p>1. SEMI Sと流出解析ソフト間の連携 SEMI Sデータの出力項目・形式を流出解析ソフトのモデル化に必要なデータ項目・形式に整理して、効率的な受渡方策及び改善案を提案した。</p> <p>2. 流出解析ソフトの特性整理 3種類の流出解析ソフトの入力データ及び入力値（標準値、諸元・パラメータ設定値）による出力結果への影響とシミュレーション解析結果の比較を行い、各流出解析ソフトの同等性を確認した。</p> <p>3. 設計マニュアルの作成 上記の検討結果を踏まえ、3種類の流出解析ソフトに対応可能な設計マニュアルを作成した。</p>			
キーワード	流出解析シミュレーション、流出解析ソフト、設計マニュアル			
処理区名		位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	浸水対策	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成19年度	全体期間	平成19年度	
担当部所	計画調整部 技術開発課 千葉 正孝			
出展等	流出解析モデルを活用した管きよ再構築の整備手法に関する調査報告書			
調査方法	委託調査			
関連情報	経営計画2007			

番号	1-(2)-2	件名	第二・十二社幹線水理模型実験について	
内容	<p>本調査は、現在、暫定貯留管として活用している第二・十二社幹線について、今後の本格稼動にあたり、特徴的な構造からくる様々な水理現象を把握し、改善策を立案することを目的に行ったものである。</p> <p>本幹線の特徴として連続する伏越し区間、140‰の急勾配などがある。このため、幹線の本格稼動時において空気連行、段波現象、サージング現象などが予想され、これら現象に伴う流下阻害による水位上昇、人孔蓋の飛散などが想定される。</p> <p>実験時にあたっては、幹線の供用ケース、河川の水位状況、降雨パターンなどの組み合わせにより全20ケースについて行った。</p> <p>実験結果から幹線へ流入する人孔部において空気連行による流下阻害から人孔内の水位上昇が確認されたため、増補管の設置や幹線の吹かし上げ部においての損失を軽減するためのデフレクターの設置などの提案を行い、幹線の安全かつ安定した幹線機能を確保するための改善策のとりまとめを行ったものである。</p>			
キーワード	吹かし上げ・段波現象・サージング現象			
処理区名	落合処理区	位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	浸水対策	
状態区分	設計	技術区分		
実施年度	平成19年度	全体期間	平成18年度～平成19年度	
担当部所	中部建設事務所 設計課 高橋 俊一			
出展等	平成19年度 第二回設計工事事例発表会			
	第二・十二社幹線における水理現象に関する調査検討業務			
調査方法	委託調査（模型実験）			
関連情報				

番号	1-(3)-1	件名	浅川水再生センター水処理施設の耐震補強設計について	
内容	<p>浅川水再生センターの水処理施設第 3-2 系列において、土木躯体の耐震補強設計を実施した。</p> <p>本設計において、管廊の底版は、せん断力不足で補強が必要な状況であるが、コンクリート増打ち工法を採用した場合、内空断面が著しく侵され、配管スペースが確保できないだけでなく、日常の巡回点検など維持管理面においても支障が生じるという問題に直面した。そのため、後施工プレート定着型せん断補強鉄筋 (Post-Head-bar) を用いた補強工法について検討を行った。</p> <p>この工法は、平成 17 年に『建設技術審査証明書』(財団法人 土木研究センター) を取得した新工法で、内空断面側に制約がある箇所におけるせん断補強に有効である。Post-Head-bar は、両端に矩形プレートと丸型プレートが摩擦圧接された特殊なせん断補強鉄筋である。両端のプレートを主筋や配力筋に掛けるのではなく、おおよそ中間位置を削孔して、後施工により配置し、グラウトを用いて既存コンクリートと固着させる。Post-Head-bar が負担するせん断力は、当初施工時に、同径の鉄筋をせん断補強筋として配筋した場合の 8 割として評価できる。</p>			
キーワード	せん断破壊先行モード、PHb、耐震診断、レベル 2 地震動、塑性ヒンジモデル			
処理区名	浅川処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	土木	施策区分	震災対策	
状態区分	設計	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 19 年度	全体期間		
担当部所	流域下水道本部 技術部 設計課 岡本亜紀子			
出展等	平成 19 年度 第 2 回設計工事事例発表会			
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	1-(4)-1	件名	P R T R制度を活用した水再生センターからの化学物質排出量の推計		
内容	<p>東京都下水道局の水再生センターでは、化学物質排出把握管理促進法に基づき、第一種指定化学物質の公共用水域への排出量の把握及び届出を行っている。しかし、下水道事業者が届出義務を負う30物質以外については、排出量が把握されておらず、下水道を介した各種化学物質の流れの実態像が明らかになっていない。</p> <p>そこで、P R T R制度等の活用により収集した化学物質情報や各種統計資料等を用いて、事業所や家庭、路面等から下水道へ流入する80物質について、水再生センターにおける流入量及び排出量の推計を試みた。また、当局の届出対象物質について、推計値と届出値の比較を行い、推計の精度を検証した。</p>				
キーワード	P R T R、化管法、第一種指定化学物質、排出量				
処理区名	23 区部	位置区分	処理場 水再生センター		
職種区分	水質	施策区分	周辺環境対策		
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり		
実施年度	平成 19 年度	全体期間			
担当部所	施設管理部環境管理課 環境保全係 高橋昌史				
出展等	局公開研修「下水道新技術」				
	水質技術研究発表会				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	2-(1)-1	件名	小菅水再生センター高速凝集沈殿装置性能評価調査	
内容	<p>平成 12 年雨の日に合流式下水道から公共用水域に放流されたオイルボールがお台場に漂着したことが社会的な問題として取り上げられた。これを契機として、下水道局では、「合流改善クイックプラン」を策定し、短期間に高い事業効果を得られる施策に取り組むことになった。しかし、伏せこしの改造や貯留池増設などの放流汚濁量の削減技術は、費用の高さや用地の確保が難しいといった問題があり、これらの課題を解決する新たな技術開発が求められていた。</p> <p>本高速凝集沈殿施設は、2 つの凝集剤とマイクロサンドを用いることにより、雨天時の下水を効率的に除去できる水処理システムである。</p> <p>敷地面積あたりの処理水量は簡易処理よりも多く、第一沈殿池の改造できるため建設費の抑制も可能になっている。</p> <p>技術開発課では、平成 13 年度から共同研究を実施し、大島ポンプ所パイロットプラントを用いた検討時の除去率は、SS91%、BOD76%と高いものであった。これらの結果を受けて実施への導入検討が行われ、放流水質の改善効果が高いと試算された小菅水再生センターへの導入が決定した。</p> <p>平成 17 年 3 月に稼動を開始してからは、初期トラブルもあったが、現在は安定した自動運転が可能になっている。</p> <p>今回行った設計時に想定していた 4 つの性能 (BOD 除去率、SS 除去率、処理水量、マイクロサンド回収率) についての事後評価をおこなったところ、いずれの機能ともに設計性能を満たすものであった。</p> <p>調査の結果より、本装置処理水の濃度は SS10mg/L、BOD18mg/L (平均値) とかなり低い濃度であった。全りんでは、高級処理水を下回る濃度まで除去されていた。</p> <p>本装置の稼動による放流先への汚濁負荷を試算したところ、簡易処理をした場合に比べて、年間で SS : 125 トン、BOD : 75 トンもの汚濁削減がなされていることを確認した。</p>			
キーワード				
処理区名	小菅	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	合流改善	
状態区分	事後評価	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 19 年度	全体期間	平成 17 年度～19 年度	
担当部所	計画調整部技術開発課			
出展等				
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	2-(1)-2	件名	ポンプ所放流渠滞留水の浄化に関する共同研究	
内容	<p>1 実験概要 合流改善の一つとして、雨水放流渠内の滞留水に高濃度酸素溶解水を循環供給することにより、滞留水の腐敗を防止し、放流先の環境改善を図ることを目的として実施した。</p> <p>2 実験場所 大島ポンプ所放流渠（大島ポンプ所から旧堅川吐口までの約 250m）</p> <p>3 実験内容 放流渠内にある雨水滞留水を実験装置に吸入し、溶解タンクで高濃度酸素空気を溶解させ、高濃度酸素溶解水として放流渠に返送・循環させることで、滞留水の水質悪化を抑制し、滞留水の放流による河川汚濁負荷の軽減を図る。</p> <p>4 実験結果 実験結果は、滞留水中の硫化水素の不検出、臭気改善、及び色度（外見）が改善され良好な結果が得られた。</p>			
キーワード	合流改善、硫化水素、臭気			
処理区名	砂町処理区	位置区分	ポンプ所	
職種区分	設備	施策区分	合流改善	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 17 年度、平成 18 年度	全体期間	18, 3, 31～19, 9, 28	
担当部所	東部第一管理事務所 ポンプ施設課 木場ポンプ所 原口孝一			
出展等				
調査方法	簡易提供型共同研究			
関連情報				

番号	2-(2)-1	件名	担体添加ステップA2O法の事後評価（中間報告）																																																																																																																																																																									
内容	<p>東京湾の水質改善や身近な水環境の向上のため、高度処理施設の導入、促進が求められている。しかし、高度処理法の主流であるA2O法の反応タンク滞留時間は、標準法の2倍程度が必要である。このため、既存水再生センターへのA2O法の導入は、センター全体としての下水処理能力の低下を招くことから、高度処理の導入を進めるには、省スペースな高度処理システムの開発が課題となっている。本技術は、通常16時間程度の滞留時間を必要とするA2O法に対して、流入水のステップ流入方式及び好気槽への硝化担体の投入により滞留時間を8時間程度に短縮するものである。</p> <p>平成11年度から技術開発に着手し、平成15年7月に三河島水再生センター藍染北系に導入された。稼動後、硝化担体が破損するなどの支障が生じているが、その他の下水処理性能について設計性能に対する事後評価を実施したので報告する。</p> <p><b>【評価結果】</b> 評価項目 ◎:全データで達成 ○:年平均値で達成 △:劣る ×:未達成</p> <table border="1" data-bbox="491 936 1259 1111"> <thead> <tr> <th rowspan="3">設計</th> <th colspan="2">処理能力(m3/日)</th> <th colspan="8">水質(mg/L)</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">冬季</th> <th rowspan="2">夏季</th> <th colspan="2">BOD</th> <th colspan="2">SS</th> <th colspan="2">全窒素</th> <th colspan="2">全りん</th> </tr> <tr> <th>流入水</th> <th>処理水</th> <th>流入水</th> <th>処理水</th> <th>流入水</th> <th>処理水</th> <th>流入水</th> <th>処理水</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>28,000</td> <td>35,000</td> <td>140</td> <td>10</td> <td>120</td> <td>10</td> <td>40</td> <td>10</td> <td>3.5</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>実績</td> <td>28,000</td> <td>35,000</td> <td>93</td> <td>3</td> <td>40</td> <td>4</td> <td>27</td> <td>6.2</td> <td>3.2</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>評価</td> <td colspan="2">○</td> <td colspan="2">◎</td> <td colspan="2">◎</td> <td colspan="2">○</td> <td colspan="2">○</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="491 1137 1259 1373"> <thead> <tr> <th rowspan="3">設計</th> <th rowspan="3">硝化速度(mg-N/L担体/h)</th> <th rowspan="3">担体損失率</th> <th colspan="6">コスト</th> </tr> <tr> <th colspan="3">イニシャル(億円)</th> <th colspan="3">ランニング(円/1000m3)</th> </tr> <tr> <th>本技術</th> <th>ステップA2O</th> <th></th> <th>本技術</th> <th>ステップA2O</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>100</td> <td>1%以下/年</td> <td>土木</td> <td>17.55</td> <td>26.33</td> <td>動力</td> <td>2,460</td> <td>940</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>機械</td> <td>12.92</td> <td>4.76</td> <td>薬品</td> <td>28.8</td> <td>14.9</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>電気</td> <td>8.0</td> <td>6.84</td> <td>請負</td> <td>2,152</td> <td>364</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>—</td> <td>—</td> <td>その他</td> <td>89.5</td> <td>33.8</td> </tr> <tr> <td>実績</td> <td>40~100</td> <td>20%以上/2年</td> <td>合計</td> <td>38.47</td> <td>37.93</td> <td></td> <td>4,730</td> <td>1,353</td> </tr> <tr> <td>評価</td> <td colspan="2">○</td> <td colspan="2">×</td> <td colspan="2">ほぼ同等</td> <td colspan="2">△</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="491 1400 1259 1529"> <thead> <tr> <th colspan="6">運転条件の検証項目</th> </tr> <tr> <th></th> <th colspan="2">MLSS濃度(mg/L)</th> <th>返送汚泥率(%)</th> <th>硝化液循環率(%)</th> <th>ステップ注入比</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>当初想定値</td> <td colspan="2">2400</td> <td>50</td> <td>100</td> <td>前段0.5/後段0.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">実績値</td> <td>冬場</td> <td>1300~1500</td> <td rowspan="2">50</td> <td rowspan="2">50</td> <td rowspan="2">前段0.7/後段0.3</td> </tr> <tr> <td>夏場</td> <td>1000~1200</td> </tr> </tbody> </table>									設計	処理能力(m3/日)		水質(mg/L)								冬季	夏季	BOD		SS		全窒素		全りん		流入水	処理水	流入水	処理水	流入水	処理水	流入水	処理水		28,000	35,000	140	10	120	10	40	10	3.5	1.0	実績	28,000	35,000	93	3	40	4	27	6.2	3.2	0.5	評価	○		◎		◎		○		○		設計	硝化速度(mg-N/L担体/h)	担体損失率	コスト						イニシャル(億円)			ランニング(円/1000m3)			本技術	ステップA2O		本技術	ステップA2O			100	1%以下/年	土木	17.55	26.33	動力	2,460	940				機械	12.92	4.76	薬品	28.8	14.9				電気	8.0	6.84	請負	2,152	364					—	—	その他	89.5	33.8	実績	40~100	20%以上/2年	合計	38.47	37.93		4,730	1,353	評価	○		×		ほぼ同等		△		運転条件の検証項目							MLSS濃度(mg/L)		返送汚泥率(%)	硝化液循環率(%)	ステップ注入比	当初想定値	2400		50	100	前段0.5/後段0.5	実績値	冬場	1300~1500	50	50	前段0.7/後段0.3	夏場	1000~1200
設計	処理能力(m3/日)		水質(mg/L)																																																																																																																																																																									
	冬季	夏季	BOD		SS		全窒素		全りん																																																																																																																																																																			
			流入水	処理水	流入水	処理水	流入水	処理水	流入水	処理水																																																																																																																																																																		
	28,000	35,000	140	10	120	10	40	10	3.5	1.0																																																																																																																																																																		
実績	28,000	35,000	93	3	40	4	27	6.2	3.2	0.5																																																																																																																																																																		
評価	○		◎		◎		○		○																																																																																																																																																																			
設計	硝化速度(mg-N/L担体/h)	担体損失率	コスト																																																																																																																																																																									
			イニシャル(億円)			ランニング(円/1000m3)																																																																																																																																																																						
			本技術	ステップA2O		本技術	ステップA2O																																																																																																																																																																					
	100	1%以下/年	土木	17.55	26.33	動力	2,460	940																																																																																																																																																																				
			機械	12.92	4.76	薬品	28.8	14.9																																																																																																																																																																				
			電気	8.0	6.84	請負	2,152	364																																																																																																																																																																				
				—	—	その他	89.5	33.8																																																																																																																																																																				
実績	40~100	20%以上/2年	合計	38.47	37.93		4,730	1,353																																																																																																																																																																				
評価	○		×		ほぼ同等		△																																																																																																																																																																					
運転条件の検証項目																																																																																																																																																																												
	MLSS濃度(mg/L)		返送汚泥率(%)	硝化液循環率(%)	ステップ注入比																																																																																																																																																																							
当初想定値	2400		50	100	前段0.5/後段0.5																																																																																																																																																																							
実績値	冬場	1300~1500	50	50	前段0.7/後段0.3																																																																																																																																																																							
	夏場	1000~1200																																																																																																																																																																										
キーワード	ステップ、担体、PEG、窒素、りん、DTA																																																																																																																																																																											
処理区名	北部第一下水道事務所	位置区分	処理場 水再生センター																																																																																																																																																																									
職種区分	水質	施策区分	高度処理、効率化																																																																																																																																																																									
状態区分	事後評価	技術区分																																																																																																																																																																										
実施年度	平成18~19年度	全体期間	平成18~20年度																																																																																																																																																																									
担当部所	担体添加ステップA2O導入PT(座長：三河島水再生センター長)																																																																																																																																																																											
出展等																																																																																																																																																																												
調査方法																																																																																																																																																																												
関連情報	技術調査年報に掲載予定																																																																																																																																																																											

番号	2-(2)-2			件名	東部汚泥処理プラントりん固定剤添加設備設置について		
内容	<p>東部汚泥処理プラントから発生する返流水は有機物・固形物・りん等の負荷を多く含むため、砂町水再生センターの放流水質に影響を及ぼしている。今後も汚泥の集約処理が進められる中、平成20年4月から「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」の暫定基準が撤廃されることにより、放流水質の規制が一層強化される。このような状況において、特にりんは規制値の遵守が困難になることが懸念されている。そこで、今回返流水中のりん対策として、りん固定化設備を設置した。</p> <p>1. りん固定剤</p> <p>1) 使用剤：液体塩化アルミニウム (LAC)</p> <p>2) 添加場所：東部汚泥処理プラント混合汚泥調整槽及び濃縮汚泥貯留槽</p> <p>2. 主要機器</p> <p>1) LAC 注入ポンプ×3台：ダイヤフラムポンプ (φ50×0.5~12.0L/min)</p> <p>2) LAC 貯留タンク×2基：FRP製 (20 m<sup>3</sup>)</p> <p>3) 希釈水ポンプ (混合汚泥調整槽用×2台)：横軸渦巻ポンプ (φ50×0.24 m<sup>3</sup>/min×20m) (濃縮汚泥貯留槽用×2台)：横軸渦巻ポンプ (φ50×0.17 m<sup>3</sup>/min×20m)</p> <p>4) 希釈水槽×1基：角形ボルト組立式水槽 (二槽式) (6.0 m<sup>3</sup>)</p>						
キーワード	東部汚泥処理プラント、汚泥、りん、LAC						
処理区名	砂町処理区	位置区分	処理場 水再生センター、汚泥				
職種区分	設備	施策区分					
状態区分	設計	技術区分	新規知見あり				
実施年度	平成18・19年度	全体期間	平成18・19年度				
担当部所	建設部 設備設計課 藤江正樹						
出展等	平成19年度設備研究発表会						
調査方法							
関連情報	経営計画2004						

番号	2-(2)-3	件名	八王子水再生センターのステップA2O法について	
内容	<p>ステップA2Oは、流入水を前段と後段に分けて流入させることにより、硝化液循環ポンプの動力をA2Oに比べて大幅に削減させることができ、かつ大きな窒素除去率を得ることができる。しかしそのためには無酸素槽で確実に脱窒させることが重要となる。</p> <p>八王子水再生センターの4-1系は、流域本部で最初のステップA2O法施設で平成19年4月より本格稼動した。</p> <p>本調査では流入水量、ステップ比、硝化液循環比等を変えて処理水の窒素除去率の変化等を調査した。当センターは流入水の窒素負荷が大きく、また施設はステップ比が5:5で設計されているため、目標水質に達しないことが多かったが、総合放流水では前年度より窒素を下げることであったので報告する。</p>			
キーワード	ステップA2O、後段ステップ比、PAC、重力濃縮汚泥投入			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	高度処理	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成19年度	全体期間	平成19年4月～平成20年1月	
担当部所	流域技術部多摩川上流水再生センター 永津雅庸			
出展等	平成19年度水質管理研修			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-(3)-1	件名	大腸菌群数低減への取り組み	
内容	<p>平成13年3月に多摩川中流域の環境基準がC類型からB類型指定になったことにより、大腸菌群数(5,000MPN/100mL)が新たに規制となった。流域6センターにおける多摩川への放流量は、河川水量の50%を占め、多摩川の水質に大きく寄与している。</p> <p>流域下水道本部は、平成18年度に放流水の大腸菌群数の管理目標値を100個/cm<sup>3</sup>以下と定めた。北多摩一号水再生センターでは、管理目標値を達成するためにPTを立ち上げ、塩素接触槽の機能調査と大腸菌群数の低減に向けた調査・検討を行った。</p> <p>調査の結果、次亜塩素酸ナトリウム注入前の処理水の大腸菌群数は、標準法と比べてA<sub>2</sub>O法が高いことが判明した。全系列で一律であった次亜塩素酸ナトリウムの注入率を系列毎に適正な注入率に変更したところ、放流水の大腸菌群数は、100個/cm<sup>3</sup>以下に抑えられるようになった。</p>			
キーワード	多摩川 環境基準 大腸菌群数 次亜塩素酸ナトリウム 注入率			
処理区名	北多摩一号処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	周辺環境対策、効率化	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成18年度	全体期間		
担当部所	流域下水道本部技術部 北多摩一号水再生センター 小林 未来			
出展等	平成19年度水質技術研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-(1)-1	件名	芝浦水再生センターにおける微細気泡散気装置へ更新後の運転効果について	
内容	<p>芝浦水再生センター東系反応槽は、平成 14 年度から一槽ずつ散気板から微細気泡散気装置へ改良して来たが、散気板と微細気泡が混在しているため、理論値として空気量の削減量は推定出来たが、実際の削減量は計測出来なかった。</p> <p>平成 19 年度 4 月から全て微細気泡に変わったのを機会に、平成 13 年 4 月～6 月と平成 19 年 4 月～6 月を比較し、その効果を検証した。</p> <p>調査項目は、以下のとおりである。</p> <p>(1) 東系反応槽における空気量について</p> <p>(2) 導入前、後の空気量及び電力量について</p> <p>(3) 処理水質状況（窒素処理）について</p> <p>(4) ケルダール窒素除去量を指標とした効率の比較について</p> <p>(5) 酸素移動(溶解)効率測定結果について（業者調査報告の抜粋）</p> <p>（反応槽の制御 AB 回路・風量一定、CD 回路・DO 制御（代表制御）方式）</p>			
キーワード	反応槽、微細気泡散気装置、メンブレン式			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査 研究	技術区分		
実施年度	平成 19 年度	全体期間	平成 19 年 4 月～10 月	
担当部所	中部下水道事務所 芝浦水再生センター 整備第二係			
出展等	平成 19 年度下水道設備技術研究発表会論文集			
調査方法	直営調査（業者調査報告の抜粋有り）			
関連情報				

番号	3-(1)-2	件名	落合水再生センターにおける換気ファンの適正管理について	
内容	<p>落合水再生センターでは、消費電力削減のため照明の消灯、送風機のDO制御等、多くの省エネ対策に取り組んでいる。また、センター内では多数の換気ファンが常時運転されているため、その消費電力削減を実現すれば、センター全体の電力削減に大きく貢献することができる。</p> <p>そこで、ファンの動力伝達用Vベルトの張力を適正管理することで省エネ化、ひいては、ファンの延命化を図ることが期待できると考えた。しかし、現在の張力管理では定量的な把握ができておらず、職員の経験や技量により状態が大きく左右されてしまう。このため、今後の職員数減少に伴う技術伝承の問題の面から考えても、低コストで高度な技量を必要としない新たな手法でVベルトの張力管理を行うことにより省電力や延命効果の検証を行った。</p>			
キーワード	換気ファンの動力伝達用Vベルトの張力管理、省電力、延命化			
処理区名	落合処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、効率化	
状態区分	維持管理	技術区分	創意工夫知見あり	
実施年度	平成18年7月～平成19年6月	全体期間	平成18年7月～平成19年6月	
担当部所	西部第一管理事務所落合水再生センター落合保全管理係 兼澤 信男			
出展等	平成19年度 下水道設備技術研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	4-(1)-1			件名	再生水処理技術の開発		
内容	<p>1 目的 高品質で安全な再生水を経済的に造水するための技術開発を目的とした。開発目標としては、以下の3点を設定した。①処理水質が「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」(2005年4月 国土交通省)に定められた親水用水基準を容易に達成できることとし、特に、濁度は1度以下、色度は3度程度を確保すること、②コストが53円/m<sup>3</sup>以下となること、③設置スペースが600m<sup>2</sup>以下となること。</p> <p>2 方法 芝浦水再生センターに、セラミック膜ろ過システムのパイロットプラントを設置し、同センター東系二次処理水を原水として、実証実験を進めた。本システムの処理フローは、①生物処理による亜硝酸酸化工程、②オゾンによる酸化工程、③PACによる凝集工程、④セラミック膜による膜ろ過工程である。実験方針としては、まず、小型セラミック膜系列にて各処理工程の運転条件の最適化を図り、次に、大型セラミック膜系列にて全システムによる長期連続運転を実証した。</p> <p>3 結果 パイロットプラントによる実証実験の結果、各処理工程における運転諸元を得た。また、長期連続運転の結果、処理水質は濁度&lt;0.1度、色度=0~3度など低値に安定し、当初の目標を達成した。一方、総コストを試算した結果は48.5円/m<sup>3</sup>、設置スペースを試算した結果は450m<sup>2</sup>となり、いずれも当初の開発目標をそれぞれ達成した。したがって、本システムは実用化に資する技術と評価する。</p>						
キーワード	再生水、膜ろ過、セラミック膜、オゾン、凝集剤						
処理区名				位置区分	水再生センター		
職種区分	水質			施策区分	再生水利用事業		
状態区分	調査 研究			技術区分	新規知見あり		
実施年度	平成18~20年度			全体期間	平成18年度~平成20年度		
担当部所	計画調整部技術開発課 代田 吉岳						
出展等							
調査方法	公募型共同研究						
関連情報							

番号	4-(2)-1	件名	粒度調整灰を利用した建設泥土改良技術に関する共同研究	
内容	<p>シールド工事から発生する建設泥土は、セメント系改良材により、改良土として覆土材などに利用されている。覆土材の受け入れ量の減少が見込まれることから、新たな受け入れ先の確保が課題となっている。また、受け入れ先の多くが「第3種処理土の中性域」を基準としているため、中性域を満足させる石膏系改良材を使用することが求められている。</p> <p>本研究は、石膏系改良材の一部を粒度調整灰に代替させた改良材の開発を行ったものである。</p>			
キーワード	粒度調整灰 建設泥土 石膏系 中性化 スーパーアッシュ			
処理区名		位置区分	汚泥	
職種区分	土木	施策区分	汚泥処分 汚泥資源化	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成19年度	全体期間	平成19年度～平成20年度	
担当部所	建設部設計調整課 菅澤			
出展等	第45回下水道研究発表会			
調査方法	ノウハウ+フィールド提供型共同研究			
関連情報				

番号	5-(1)-1			件名	新たな管路内調査方式（ミラー方式及び展開図化）の導入について		
内 容	<p>現行のアナログ式テレビカメラ調査は、検索時間や調査員の経験等に基づく劣化判断業務に課題があった。</p> <p>これに対応すべく、デジタル技術を活用したTV調査（ミラーカメラ方式+展開図システム）の導入に向け、平成16年度から本方式の開発者であるTGSに試行工事を委託し、技術的な水準の確保や費用面の検討を行ってきた。このたび実施体制が整ったので、平成19年度～21年度の3ヶ年で段階的移行し、平成22年度以降の管路内テレビカメラ調査は、すべてミラーカメラ方式とする。</p> <p>○ 効率的な管路内テレビカメラ調査を目指し、ミラー方式テレビカメラシステム、管路内面展開図システム、管路検査診断支援システムを開発した。</p> <p>1) ミラー方式テレビカメラシステムは管路診断の精度を向上させるため、直進するだけで管路の360°円周方向の高画質な画像を得ることが可能であり、画像データをデジタルビデオへ収録できる。</p> <p>2) 管路内面展開図化システムによりミラー方式テレビカメラで撮影した管路の内面展開図を作成することが可能となる。</p> <p>3) 管路検査診断支援システムは内面展開図を基に管路の異常を半自動的に診断することが可能となる。</p> <p>【ミラー方式テレビカメラ導入による効果】</p> <p>① 管路内面の展開図化画像と劣化データをPC画面上に瞬時に表示し、検索時間の大幅な短縮（従来の1/5～1/7）と劣化判断の簡素化</p> <p>② 損傷判定を機械化し、判定精度の向上や判定時間の短縮（従来の1/10）</p> <p>③ 側視が不要のため現場作業が従来の1/2の時間に短縮</p> <p>④ 展開図及び損傷箇所画像がSEMISに取り込めるため、画像検査が迅速になるとともに、過去データとの比較も容易になり、維持管理が効率化</p>						
キーワード	ミラーカメラ、展開図化						
処理区名		位置区分	管きよ				
職種区分	土木	施策区分	効率化				
状態区分	維持管理	技術区分	新規知見あり				
実施年度	平成13、14年度調査委託 平成16年度～18年度試行 平成19年度～21年度段階的移行	全体期間					
担当部所	施設管理部 管路管理課 技術調査担当 木藤 利男						
出 展 等	平成19年度 局公開研修「下水道新技術」						
	平成20年度 第45回下水道研究発表会（予定）						
調査方法	委託調査、請負						
関連情報	新クイックプラン・再構築（新技術の導入）						

番号	5-(1)-2	件名	高濃度硫化水素削減のための汚泥脱気装置の開発	
内容	<p>目的</p> <p>長距離輸送等により腐敗が進行した汚泥に気泡が付着することで濃縮性や脱水性が低下した汚泥から気泡を取り除くために開発された汚泥脱気装置を用いて、送泥汚泥中に生成した硫化水素を除去することを目的に、開発を行った。</p> <p>結果</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 汚泥脱気装置に空気曝気装置ならびに内部旋回流機構を付与することで、真空度が低い(-10kPa程度)条件下においても硫化水素除去率を90%以上に高めることができた。</li> <li>2. 今回開発した汚泥脱気装置で硫化水素を除去した後でも新たに硫化水素が生成してしまう条件(汚泥の腐敗があまり進行しておらず、硫化水素の生成要因である硫酸根が残留している場合)では、生成抑制のための鉄塩添加等の対策との併用が必要となる。脱気装置による汚泥の沈降性の改善といった副次効果も期待できるが、薬剤添加設備との二重投資となるため、処理コストが増嵩する。</li> <li>3. 大規模事業所への導入効果を試算したところ、南部スラッジプラント(汚泥処理量約1500 m<sup>3</sup>/h)の場合では、現状の最大機種(200 m<sup>3</sup>/h・台)でも8台の設置が必要となり、ポリ鉄添加と比較してコスト面および設置面積の点で優位性は見出せなかった。</li> </ol>			
キーワード	硫化水素、真空脱気、送泥汚泥			
処理区名		位置区分	汚泥、処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	臭気対策	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成17～19年度	全体期間	平成17年8月～19年3月	
担当部所	計画調整部 技術開発課			
出展等				
調査方法	ノウハウ+フィールド提供型共同研究			
関連情報				

番号	5-(1)-3	件名	シアンモニターの改良 ～環境検査職の経験を生かして～	
内容	<p>三河島水再生センターと尾久ポンプ所に設置されているシアンモニターは、シアン流入件数を大幅に低減し大きな成果を上げている。しかしその一方、もともと公共用水域を対象として開発された製品を下水に使用しているため、さまざまなトラブルが生じていたが、その都度、職員の創意工夫により対処してきた。今年度の機器更新にあたり、これまでの改善の取り組みを生かすことができたので、その概要を報告する。</p> <p>主な内容は以下のとおりである。</p> <p>①試料吸引口に塩ビのカバーをつけ、夾雑物の侵入を防いだ。  ②原水調整槽の表面に強い流れを作り、浮くゴミを越流させるようにした。  ③調整槽の中間層から検体を採取するようにし、さらに吸引部にフィルターをつけた。  ④逆洗用水道水を定期的に排水し、鉄さびの浸入を防いだ。  ⑤下水の冷却・攪拌によりシアン化水素を減少させることなく、硫化水素を除去した。  ⑥反応部の温度調節を恒温水槽で行なうようにし、測定値を安定させた。</p>			
キーワード	シアン、連続測定、改良、夾雑物、硫化水素			
処理区名	三河島	位置区分	ポンプ所 処理場 再生センター	
職種区分	水質	施策区分	危機管理、流入水質規制	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 19 年度	全体期間		
担当部所	施設管理部排水設備課 粕谷修司			
出展等				
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	5-(1)-4	件名	I C P 質量分析法を用いた水銀測定の可能性について	
内 容	<p>水質事故が発生した場合、被害を最小限に抑えるために迅速な対応を執る必要があり、その一環として有害物質濃度の把握が急務となる。しかし、水銀の公定法では、煩雑な操作が必要で迅速に分析結果を得ることが困難である。そこで、水銀測定に関して、短時間で分析可能な I C P 質量分析法を用いた測定の可能性について検討を行った。</p> <p>超純水への添加回収実験では、回収率及び変動係数などから定量下限値は <math>1.0 \mu\text{g/L}</math> と設定でき、下水排除基準である <math>5.0 \mu\text{g/L}</math> が測定可能であることがわかった。しかし、流入下水への添加回収実験では変動係数は良好だったが、回収率が 50~90%程度という結果であった。</p> <p>こうしたことから、迅速な水銀測定として標準添加による I C P 質量分析法で、<math>1.0 \sim 5.0 \mu\text{g/L}</math> まで対応が可能であると考えられる。</p>			
キーワード	I C P 質量分析法、水銀、水質事故			
処理区名		位置区分		
職種区分	水質	施策区分	危機管理 効率化	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度		全体期間	平成 1 7 ~ 1 8 年	
担当部所	施設管理部 環境管理課 伊藤 喜代志			
出 展 等	平成 1 9 年度 水質技術研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	5-(1)-5	件名	F I S H法を用いた硝化細菌の検出	
内 容	<p>下水処理において、硝化の進行を良好に維持するためには、硝化細菌（アンモニア酸化細菌及び亜硝酸酸化細菌）の存在状況を確認することが重要である。</p> <p>硝化細菌の定量法として、下水試験方法には培養法及び抗体法が記載されているが、培養法は試験に4週間以上かかること、抗体法は生菌と死菌を区別できないなどの欠点から、実施設の運転管理への適用例は少ない。</p> <p>今回、FISH(fluorescence in situ hybridization)法を用いた検査キット「Nitri-VIT」について評価を行った。FISH法は分子生物学的な分析法の一つで、短時間の操作で検体中の硝化細菌を直接観察できるなどの利点を有している。同キットでは操作を簡便にするため、菌数の定量は行わず検出状況を5段階評価する手法を採っている。</p> <p>同キットを用いて、複数の水再生センター活性汚泥について調査した結果、簡便かつ短時間の操作で硝化細菌の検出が可能であることが確認できた。また、検出状況は実施設における硝化状況とよく符合していた。</p>			
キーワード	硝化細菌、F I S H法、亜硝酸型硝化、窒素除去			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分		
状態区分	調査 研究	技術区分	直営調査	
実施年度	平成19年度	全体期間	平成18年度～平成19年度	
担当部所	施設管理部 環境管理課 村山 康樹			
出 展 等	平成19年度 下水道局水質技術研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	5-(1)-6	件名	硝化活性の測定	
内容	<p>硝化活性を推定するもうひとつの方法として、<b>Rr</b>（酸素利用速度）を利用するものがある。<b>Rr</b>の測定時に<b>ATU</b>（アリルチオ尿素）を添加し、<b>ATU</b>添加<b>Rr</b>と無添加<b>Rr</b>を測定することで、硝化細菌が消費した酸素から硝化活性を推定しようというものである。しかし、このままではアンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌の酸素消費を区別することができない。反応タンクの硝化が亜硝酸で止まってしまうような状態の時など、亜硝酸酸化細菌の活性のみを調べたいと思った場合でも、今のままではそれができない。</p> <p>今回、<b>Rr</b>の測定時において若干の工夫をすることで、それぞれの菌の活性を分けて測定できる可能性を見出すことができた。</p>			
キーワード	硝化速度、呼吸速度、アリルチオ尿素、亜硝酸菌			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分		
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成19年度	全体期間		
担当部所	芝浦水再生センター 水質管理係 相馬、太田、大江、石井			
出展等	平成19年度水質技術発表会			
調査方法	直営			
関連情報				

番号	5-(1)-7	件名	亜硝酸存在下における MLDO 測定について	
内容	<p>現在、東京都下水道局水再生センターの維持管理のための水質試験に、隔膜電極法を用いた MLDO(溶存酸素)の測定がある。この測定法は、隔膜が酸素を選択的に透過させるため、共存物質による妨害も少なく、測定試料の前処理や測定に関しても速やかに行うことが可能とされている。しかし、亜硝酸化が進んでいる反応槽の MLDO を隔膜電極法で測定する際、測定値が安定しないことがわかった。</p> <p>本調査では、隔膜電極法の測定妨害物質の特定を行い、それに対する解決策を講じた。これにより亜硝酸の有無に関わらず、MLDO の安定した測定が可能になった。</p>			
キーワード	DO、溶存酸素、隔膜電極法、亜硝酸、スルファミン酸、アミド硫酸			
処理区名	芝浦処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分		
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 19 年度	全体期間		
担当部所	中部下水道事務所 芝浦水再生センター 水質管理係 島田祐介、石井英俊、太田裕誌			
出展等	平成 19 年度 水質管理研修			
調査方法	直営			
関連情報				

番号	5-(1)-8	件名	芝浦水再生センターにおける全窒素流入負荷に関する一考察	
内容	<p>芝浦水再生センターの流入水全窒素濃度は、区部13センターの中で一番高い。この現象について、総務省統計局の統計人口データや各種文献を参考にして、芝浦の窒素負荷について考察を行った。</p> <p>その結果、芝浦の全窒素負荷量のうち、半分近くが通勤通学等により他の地域から流入してくる人々によるものであり、したがって他の処理区に比べてし尿の割合が高く、これが全窒素濃度を高くしている原因であるとの結論に至った。</p>			
キーワード	夜間人口、昼間人口、流入人口、生活排水、生活雑排水、し尿			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分		
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成19年度	全体期間		
担当部所	芝浦水再生センター 水質管理係 相馬、太田、濱本、石井			
出展等	平成19年度水質管理研修事例発表			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	5-(1)-9	件名	施設停止を伴わない防波管の補修について	
内容	<p>当センターでは、東陽系第一沈殿池流出渠の水位計が設置されている。同設備の水位計防波管を補修するには、当該系統の第一沈殿池を長時間停止する必要がある。そこで、流出渠の通水を停止させずに防波管の補修方法を考案し、実施した。</p> <p>設置当初、防波管は3本のサポート（SUS304製）でコンクリートの支柱に固定されていた。しかし、支柱の腐食により最下部のサポートのみで固定され、流出水により振動していた。このため施工時には、内羽と外羽を持ち、最上部には上羽が付属したSUS製のさや管を使用した。</p> <p>これは、内羽と外羽で既設管を固定することで既設管のガタつきを防止し、上羽を流出渠上部で固定することで、既設管をさや管ごと固定できる。これにより、施設の停止を伴わず、ごくわずかの施設能力低下だけで本工事を完了することができた。</p>			
キーワード	水位計、防波管、施設停止、補修、サポート、流出渠			
処理区名	砂町処理区	位置区分	処理場、水再生センター	
職種区分	設備	施策区分		
状態区分	工事	技術区分		
実施年度	平成18年度	全体期間	平成18年6月～平成19年6月	
担当部所	東部第一管理事務所 砂町水再生センター 整備第二係 片岡桂太郎			
出展等	平成19年度 下水道設備研究発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	5-(1)-10	件名	流入水量半減と反応槽通水停止に伴う水処理状況	
内容	<p>幹線工事に伴い3日間の流入水量半減という事態が発生したため、水量の減少に応じて、6槽ある反応タンク中2槽の通水を停止した。通水停止槽は、返送停止、硝化液循環停止、低風量曝気運転とした。結果的に、通水停止槽は好気槽、嫌気無酸素槽とも通水開始時の反応タンク末端りん酸性りん濃度の短時間上昇以外に問題は無かった。</p> <p>好気槽通水停止の間は低風量で曝気を行なったが、その風量が多いと通水開始時の反応タンク末端りん酸性りん濃度が高くなる可能性があることがわかった。</p> <p>当センターの場合、処理水CODは流入水色度の影響が強く現れることがわかった。</p>			
キーワード	通水停止、返送停止、硝化液循環停止、りん酸性りん、色度			
処理区名	新河岸処理区	位置区分	処理水 放流水、汚泥、処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分		
状態区分	維持管理	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成19年度	全体期間		
担当部所	西部第二管理事務所 施設課 浮間水質管理係 小林克巳			
出展等	平成19年度水質管理研修			
調査方法	直営調査			
関連情報				

## **6-1 MAKING FUEL CHARCOAL FROM SEWAGE SLUDGE FOR THERMAL POWER GENERATION PLANT - FIRST IN JAPAN**

Toru Oda  
Coordinating Supervisor, Planning Section  
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government  
Tooru\_Oda@member.metro.tokyo.jp  
2-8-1 Nishi-Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8001, Japan

### **ABSTRACT**

Sewerage Bureau of Tokyo Metropolitan Government has launched new project in which dewatered sludge is turned into fuel charcoal and sold for thermal power generation plant. This project scheme is implemented for the first time in Japan. This project is expected to strongly promote the utilization of sewage sludge and the reduction of GHG.

### **KEYWORDS**

Sludge utilization, carbonization, GHG reduction

## **6-2 STUDY ON SEWAGE SLUDGE GASIFICATION**

Hajime Takahashi  
River-Basin Sewage Headquarters  
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government  
1-7-26, Nishiki-cho, Tachikawa-shi,  
Tokyo 190-0022, Japan

### **ABSTRACT**

Aimed at creating new technology to reduce greenhouse gas emission, the Tokyo Bureau of Sewerage has developed a system generating electricity with a gas engine using biogas generated by pyrolytic gasification of sewage sludge in a fluidized-bed gasifier. A 15t/d demonstration facility was built based on a dehydrated sludge and demonstration tests were run for 3400 hours from 2005. As a result of the use of the present system as an alternative to the sewage sludge incineration system of the past it is possible to more than halve the greenhouse gas volume emitted from the sewage treatment plant. This holds promise of a very major emission reduction and energy saving effect.

### **KEYWORDS**

Sewage sludge; Biomass; Fluidized bed; Gasification; Energy saving; Greenhouse gas

## 6-3 Reclaimed Wastewater Supply Business in Tokyo and Introduction of New Technology

K. Yamada\*, O. Matsushima\* and K. Sone\*

\* Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, 2-8-1 Nishi-Shinjuku Shinjuku-ku, Tokyo 163-8001 Japan  
(E-mail: [kinji\\_yamada@member.metro.tokyo.jp](mailto:kinji_yamada@member.metro.tokyo.jp))

**Abstract** Tokyo Metropolitan Government (TMG) has managed “wastewater reuse” business to utilize limited water resources effectively. In this business, municipal sewer wastewater is highly treated and reused for various urban non-potable purposes. The area-wide recycling systems which supplies reclaimed wastewater for toilet-flushing use was began in 1984. Now, average amount of 8400m<sup>3</sup> is daily supplied to 129 facilities in five areas and two more districts will be added to service area. Moreover, reclaimed sewer wastewater is discharged into many urban rivers whose flow amount has been decreased along with rapid urbanization. Additionally secondary effluent or highly treated wastewater is used for washing, fire-fighting, road-spraying, recreational use in park, and so on. On the other hand, to meet users’ needs for quality of reclaimed water, we have developed a new wastewater reclamation system with “ozone-resistant membrane” which can produce reclaimed water of high quality in relatively low cost. We aim to expand “wastewater reuse” in the future by securing hygienic safety and reduction of the production cost.

**Keywords** area-wide recycling system; ozone resistant membrane; toilet flushing water; wastewater reuse

# 1. 安全性の向上

## (1) 再構築技術

- 1 分水施設の設計手法について

## (2) 浸水対策技術

- 1 流出解析モデルを活用した管きょ再構築の整備手法に関する調査
- 2 第二・十二社幹線水理模型実験について

## (3) 震災対策技術

- 1 浅川水再生センター水処理施設の耐震補強設計について

## (4) 微量物質・病原性微生物等対策技術

- 1 P R T R制度を活用した水再生センターからの化学物質排出量の推計

## 1-(1)-1 分水施設の設計手法について

南部建設事務所 設計課 設計調整係  
出川 義彦

### 1. はじめに

近年の集中豪雨の発生や都市化の進展による雨水流出量が増大し、浸水被害が度々発生している。そのため、当局では、既設管渠から堰等によりバイパス管や貯留管等に分水させ浸水被害の軽減に努めている。しかし、標準的な分水方法と分水計算方法が確立されていないことや、計画分水量を取り込むための必要な分水施設の規模(堰長等)が、道路形態や地下埋設物状況等により確保できないため、計画分水量が確保されない状況であった。このため、水理模型実験を行い、標準的な分水施設の設計手法を検討した。

なお、今回提案する分水施設は下流管路施設の流下能力超過分を分水させるもので、遮集分水量(遮集量の流入量に対する比率5~8%)以上の分水を対象にするものである。

遮集分水については分水人孔設計マニュアル(案)が既に手引き化されている。

### 2. 実験内容

今までの施工実績の多い横越流堰による分水(以下、「横越流堰方式」図1、図3参照)と既設の円形管に分岐管を側方から直接接続して分水する方式(以下、「直接分水方式」図2、図4参照)の2タイプを抽出し、水理模型実験を行った。その中で、各分水方式の計算方法を既存の水理公式から選定し、次いで式中に含まれる流量係数や損失係数などの物理定数を実験により設定し、実験結果と計算結果との対比から分水量の計算方法の妥当性と適用範囲について検証した。

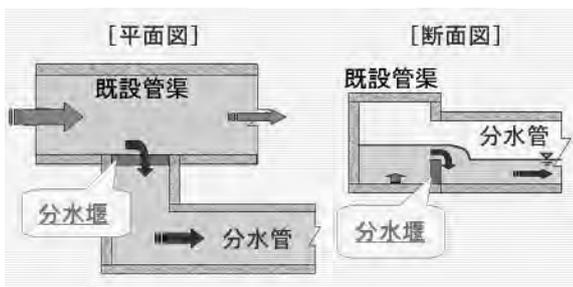


図1 横越流堰方式

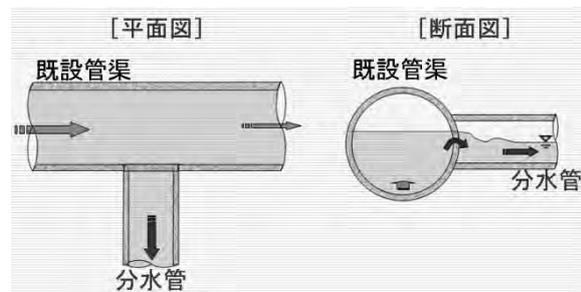


図2 直接分水方式

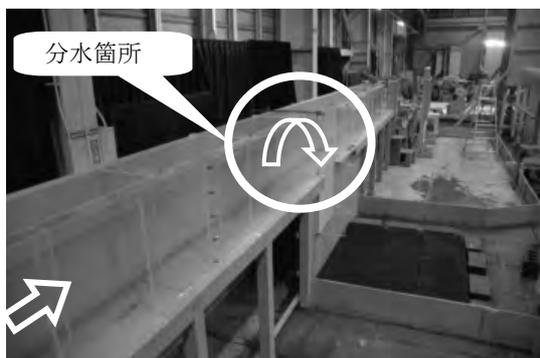


図3 横越流堰方式(模型)



図4 直接分水方式(模型)

表1 分水方式及び分水対策の分類

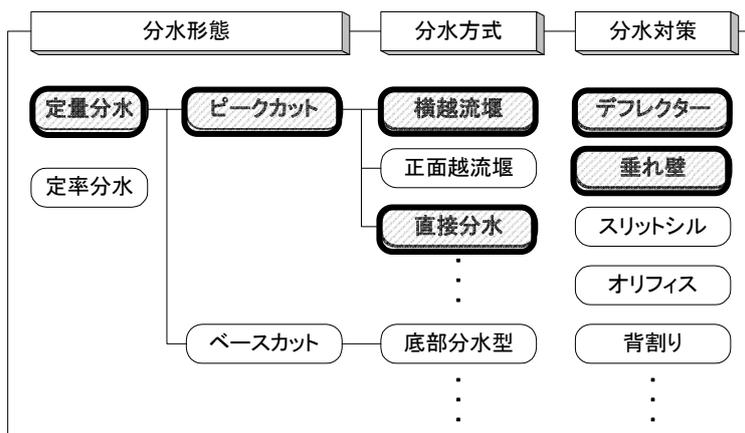


表2 水理実験の基本条件

分水方法	横越流堰方式	直接分水方式
分水形態	ピークカット	—
既設管渠断面	矩形断面	円形断面
既設管渠勾配	流れが安定した常流となる勾配（目安として管渠勾配1‰程度）	
既設管渠形状	直線区間、一様勾配区間、一様断面区間	
分水施設規模	堰長が水路幅の2倍程度	分水管径が本管の1/2程度

(1) 横越流堰方式の分水形態概念図

横越流堰による越流形態は、完全越流を対象とした。分水側の水位が高く、不完全越流、もぐり越流が想定される場合は、本設計手法の適用ができないことに留意が必要である。分水形態は、堰区間において安定した常流状態の確保できる分水を対象とした。（図5、図6参照）

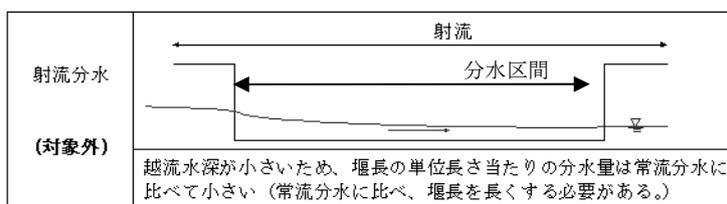


図5 斜流勾配管渠の場合

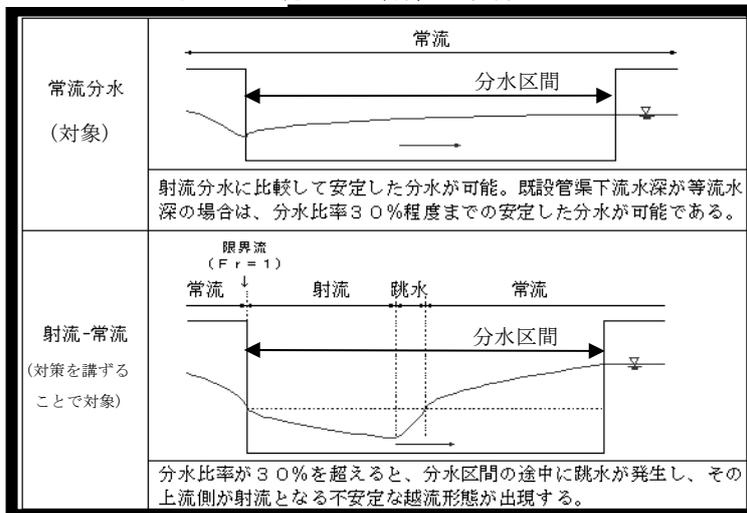


図6 常流勾配管渠の場合

※射流-常流については、分水対策を行うことにより対象範囲となる。

(2) 直接分水方式における流出形態の分類

直接分水方式による流出形態は、分水管側の水位により完全流出、もぐり流出、オリフィス流出を対象にし、それぞれの流出形態に応じた分水量を確認する。(図7参照) 分水形態は、横越流方式と同様に遮流に遷移する状況が起こりえるが、直接分水方式の場合は分水比率の適用上限を35%としているため、基本的に常流分水が確保されているものと考えられる。

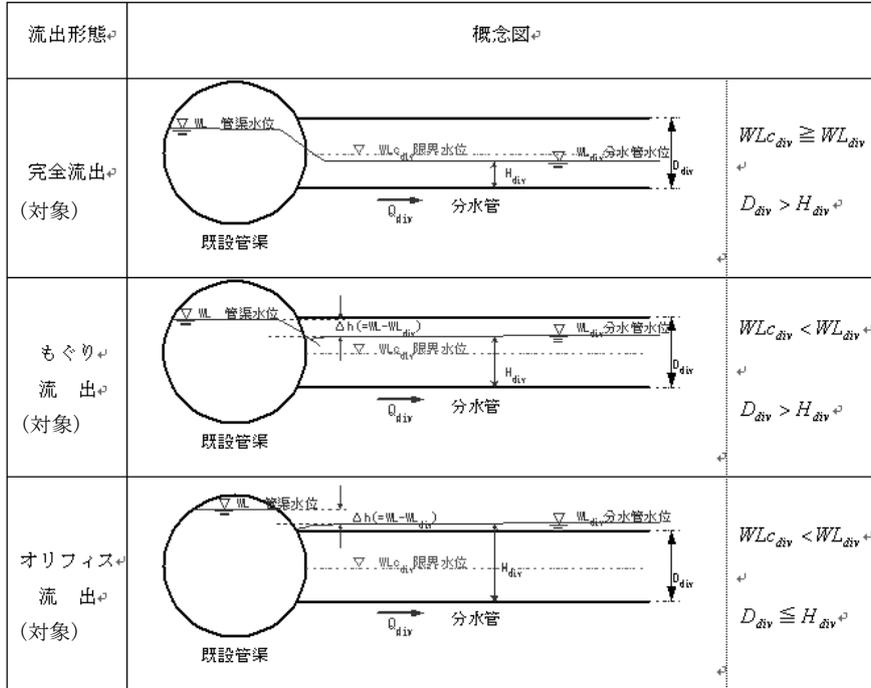


図7 流出形態の分類

また、既設管に対する分水管の接続角度による影響を検証する。(図8参照)

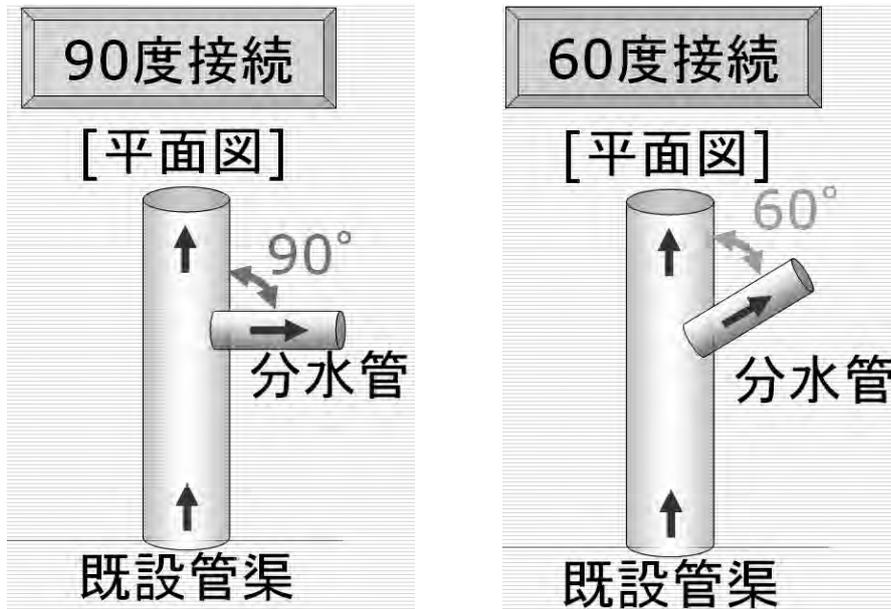


図8 分水管の接続角度

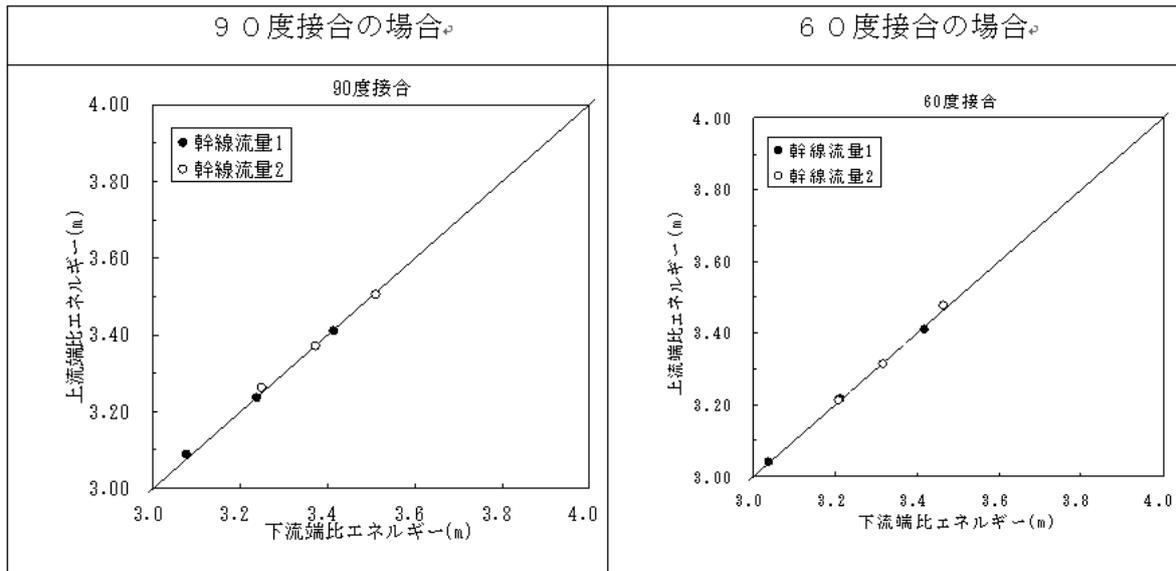


図9 分水区間上下流の比エネルギー

既設管の分水区間上下流の比エネルギーを計測し、既設管渠と分水管の接続角度による影響を確認するため、90°の場合と60°の場合の2ケースについて比較を行った。その結果、分水区間の比エネルギーはほぼ一定であり、接続角度による影響はほとんど見られなかった。よって、直接分水方式の設計方法に当たっては、接続角度の影響については考慮しないこととする。(図9参照)

### (3) 分水対策(デフレクター、垂れ壁)

本設計手法の基本条件の下では、分水比率が横越流堰方式の場合に30%程度、直接分水方式の場合に15%程度まで分水対策が不要であるが、これを超える分水量を確保するには、分水区間の下流側に分水対策(デフレクター、垂れ壁)を設置する必要がある。これにより、越流水深を大きくし、計画分水量の増量と、分水区間の流下状況を安定させ精度の高い分水を可能にする。また、横越流堰方式では分水対策を設けることで、分水堰の堰長を短くでき計画分水量を確保することができる。(図10参照)

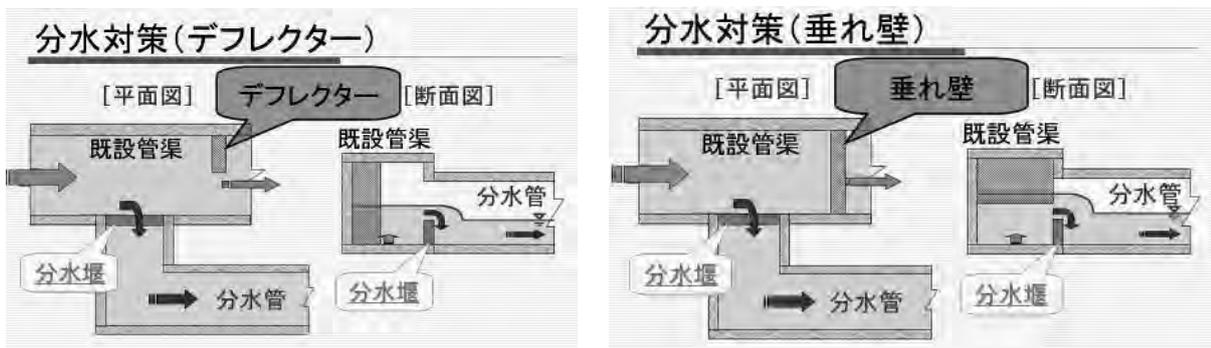


図10 分水対策(デフレクター、垂れ壁)

### 分水対策(デフレクター、垂れ壁)設置位置

分水対策の設置位置について実験を行い、どの位置が効率的かつ安定した流れになるか確認を行った。その結果、分水量への影響がほとんどない、分水区間の下流端から水路幅分1Bだけ離隔した位置に設置することとした。(図11、図12参照)

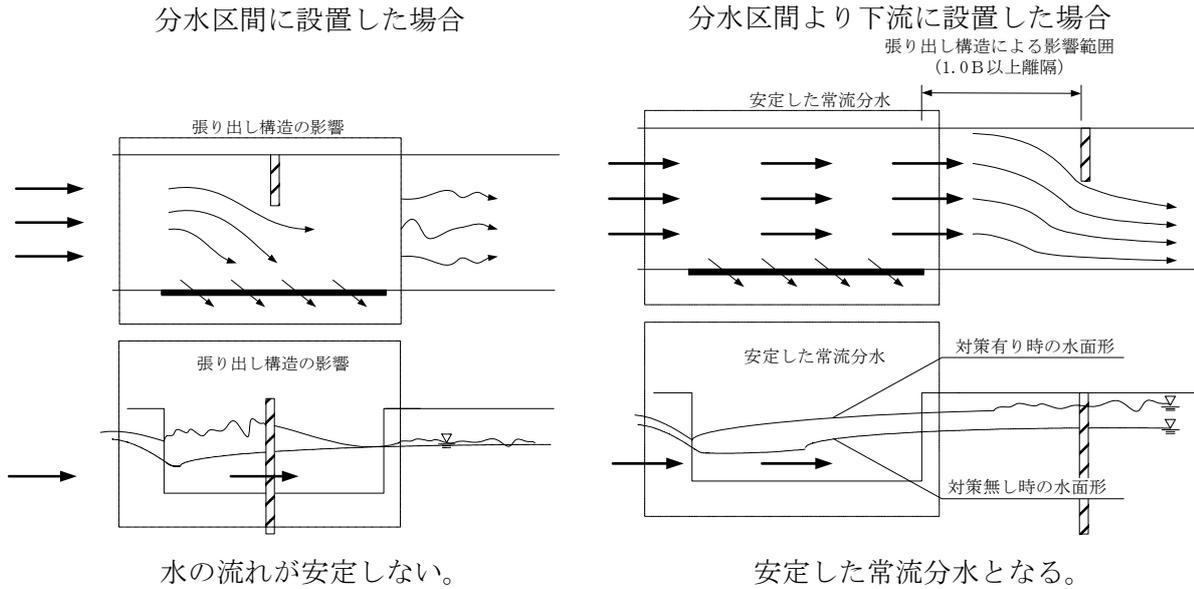


図 11 分水対策（デフレクター、垂れ壁）設置位置

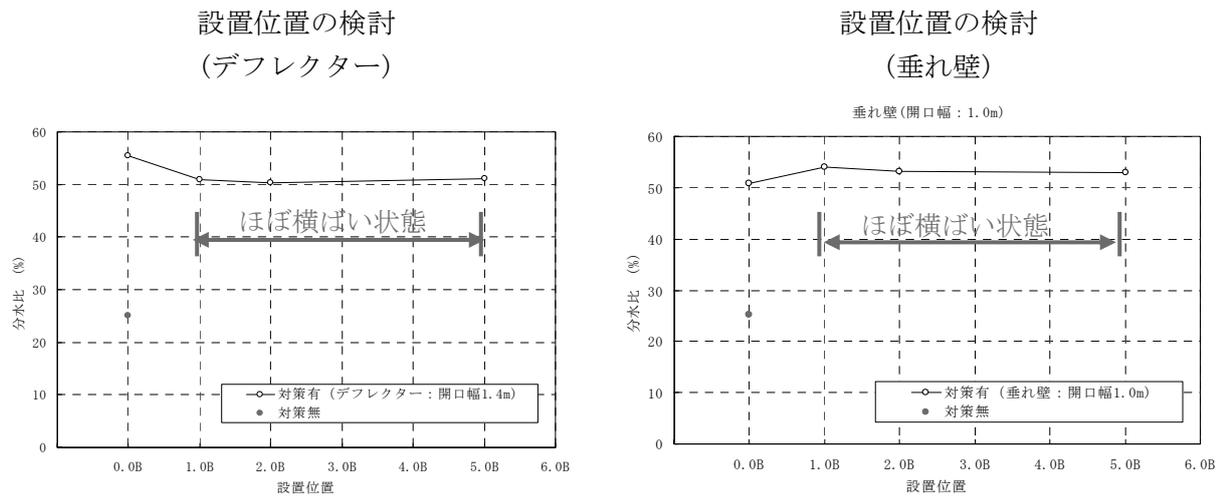


図 12 分水対策（デフレクター、垂れ壁）設置位置

既設の水路幅(1B)以上の離隔を確保すると、それ以上離隔を確保してもほとんど変わらない。  
 (図 1 2 参照)

### 3. 水理公式と実験結果

下水道施設で採用している横越流堰方式については、簡易式（管渠再構築設計の手引き）及び既存の式（分水人孔設計マニュアル(案)）がある。また、直接分水方式についても、オリフィス流入公式（分水人孔設計マニュアル(案)）があるが、どれも、本来、遮集分水時を対象としている。

本設計方法においてもこれらの公式を採用することと、実験により基本条件、適用範囲に合致した流量係数、損失係数等の物理定数を求め、水理模型実験の結果と水理公式で求めた分水量を対比して算定手法の妥当性の確認を行った。

(1) 横越流堰方式

簡易式と水理模型実験との比較(流量係数C補正後)

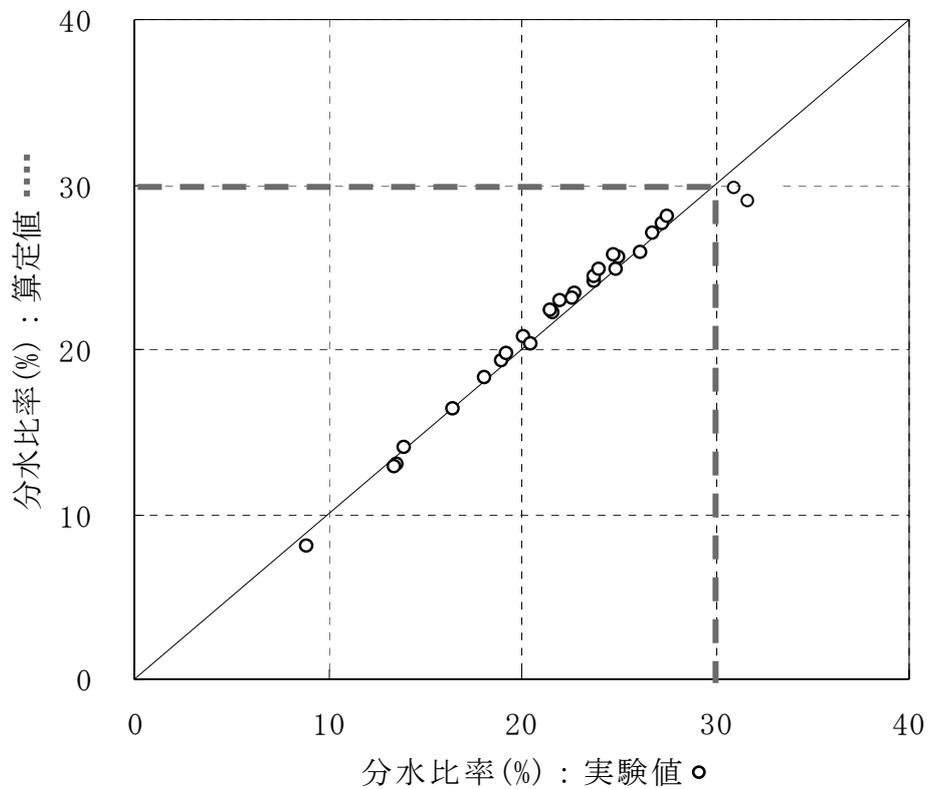
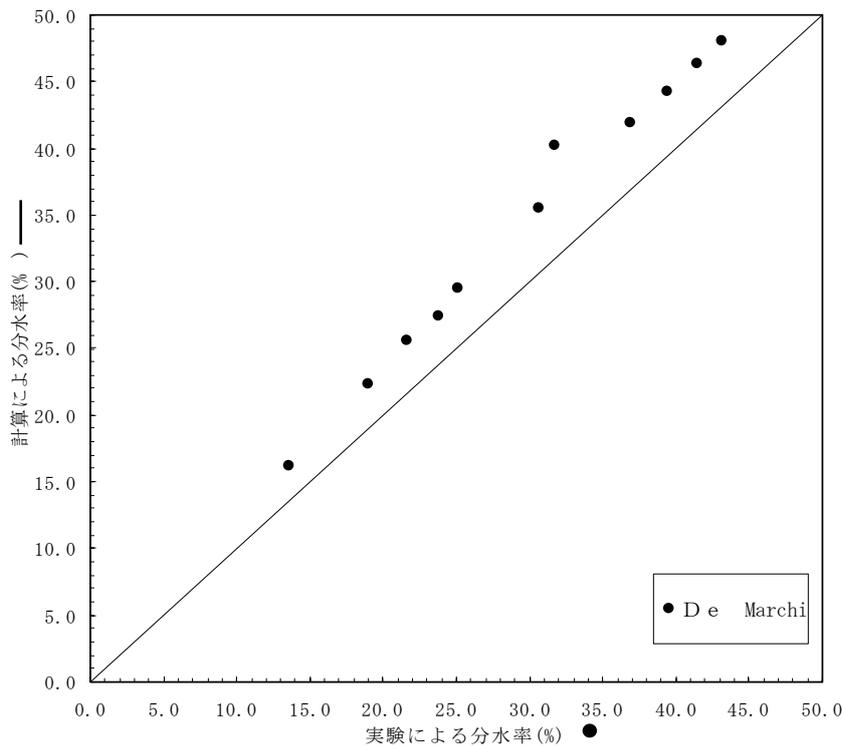


図13 簡易式と水理模型実験との比較(流出係数C補正後)

流量係数 C を実験より求めた値に補正することにより、計算式(算定値)で算出した値と、実験値が分水比率30%までほぼ一致した。このことから、流入量に対する分水比率が30%までは、流量係数Cを補正することで、簡易式で対応できることが確認できた。(図13参照)

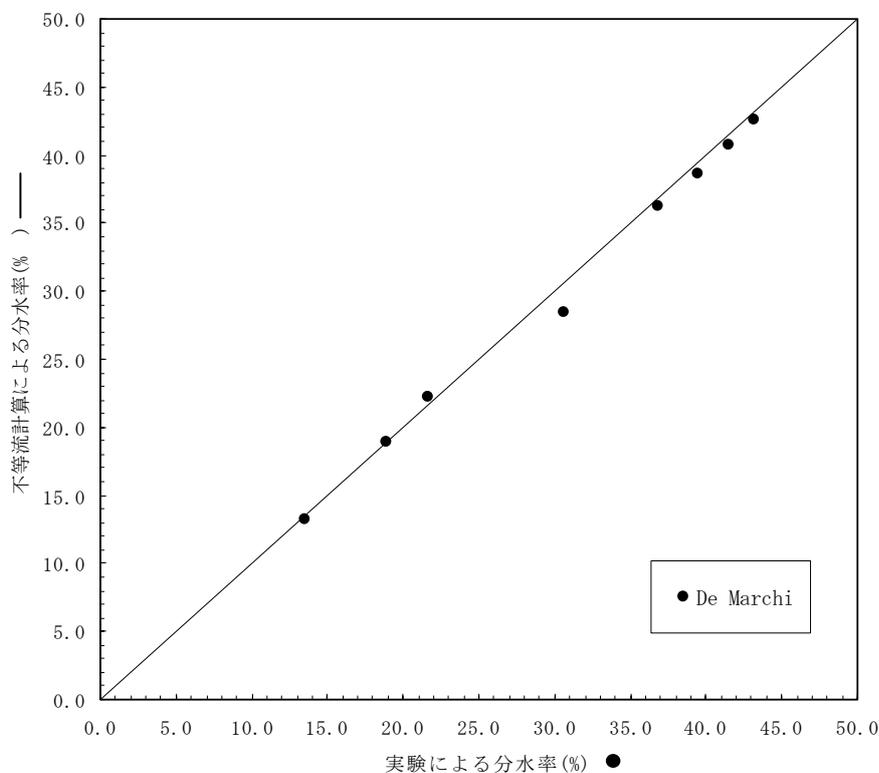
既存の式と水理模型実験との比較(流量係数  $C'$  補正前)



既存の式(流量係数  $C' = 1.84$ )  
で分水量を算出し、実験結果と  
対比したところ、分水量が1~2  
割程度多く見積もられていた。  
(図14参照)

図14 既存の式と水理模型実験との比較(流出係数  $C'$  補正前)

既存の式と水理模型実験との比較(流量係数  $C'$  補正後)



既存の式(流量係数  $C' = 1.35$ )  
を補正し、分水量を算出し、実  
験結果と対比したところ、分水  
量がほぼ一致した。このことか  
ら、流入量に対する分水比率が  
50%までは流量係数  $C'$  を補正  
することで、既存の式で対応で  
きることが確認できた。  
(図15参照)

図15 既存の式と水理模型実験との比較(流出係数  $C'$  補正後)

(2) 直接分水方式

分水比率が15%までは分水対策は不要であり、それ以上の分水量が必要な場合は分水対策を行うことにより分水比率35%まで適用できる。35%以上の場合は、分水対策箇所の上流において既設管が圧力状態に遷移することから、適用範囲外とした。(図16参照)

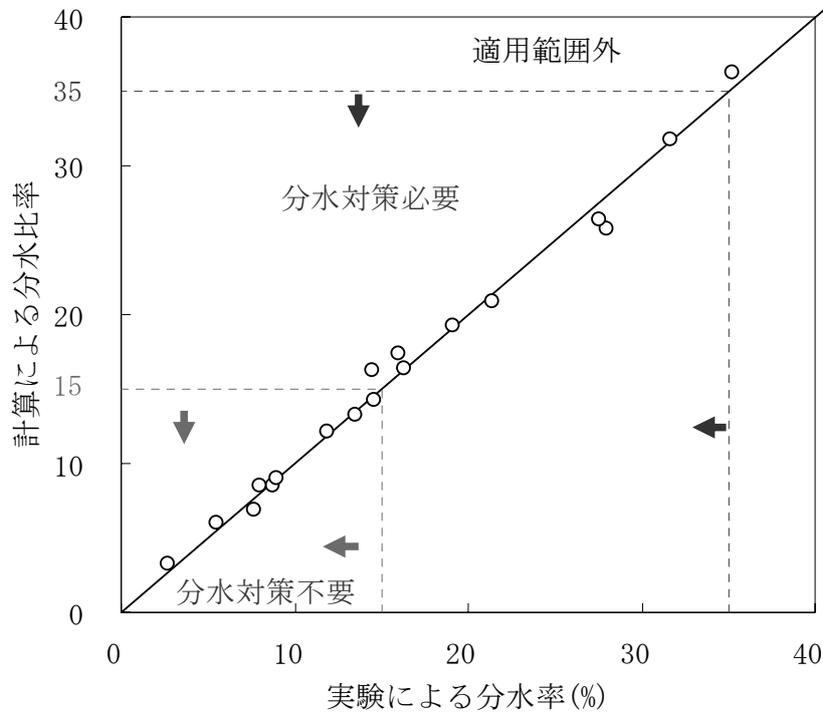


図16 直接分水方式適用範囲

4. 水理公式の基本条件及び適用範囲

○横越流堰方式の基本条件

既設管渠の形状

- 管渠断面 矩形断面（水路高は水路幅の2倍以下）
- 管渠勾配 流れが安定した常流となる勾配（管渠勾配1‰程度が目安）
- 管渠形状 直線区間、一様勾配区間、一様断面区間  
（流向変化部、勾配変化部、断面変化部による急変流の影響のない箇所に選定）

分水施設の諸元

- 横越流堰 堰長は水路幅の2倍以下  
堰高は水路幅の1/6以上

○横越流堰方式の適用範囲

- ・簡易式 流入量に対する分水量の比率30%まで適用  
（※流量係数は実験結果により提示）
- ・既存の式 対策工（デフレクターや垂れ壁）を設置し、流入量に対する分水量の比率30～50%まで適用  
（※流量係数は実験結果により提示）
- ・分水比率50%以上は水理模型実験等で検証が必要

●直接分水方式の基本条件

既設管渠の形状

管渠断面 円形断面

管渠勾配 流れが安定した常流となる勾配(管渠勾配1‰程度が目安)

管渠形状 直線区間、一様勾配区間、一様断面区間

(流向変化部、勾配変化部、断面変化部による急変流の影響のない箇所に選定)

分水施設の諸元

直接分水 分水管渠の径は、既設管渠径の1/2

●直接分水方式の適用範囲

- ・オリフィス流入公式

流入量に対する分水量の比率15%まで適用

対策工を設置し、流入量に対する分水量の比率15~35%まで適用

(※流量係数は実験結果により提示)

- ・分水比率35%以上は水理模型実験等で検証が必要

5. まとめ

今回は遮集分水以上の分水施設について、水理模型実験で検証し、横越流堰方式及び直接分水方式の設計手法を確立させることができた。また、実験結果や水理公式の適用範囲、計算方法等を整理し、設計者が判断しやすいようマニュアル案を作成した。

しかしながら、まだ、課題も多く、①分水対策(デフレクターや垂れ壁)の設置について、施工性や耐久性、維持管理性等の検討②分水位置や分水量の多いもの等の、今回定めた基本条件や適用範囲外の場合の判断方法等、実際設計を行うにあたりどのような対策を講じるか十分な検討が必要となる。

(イメージ図)

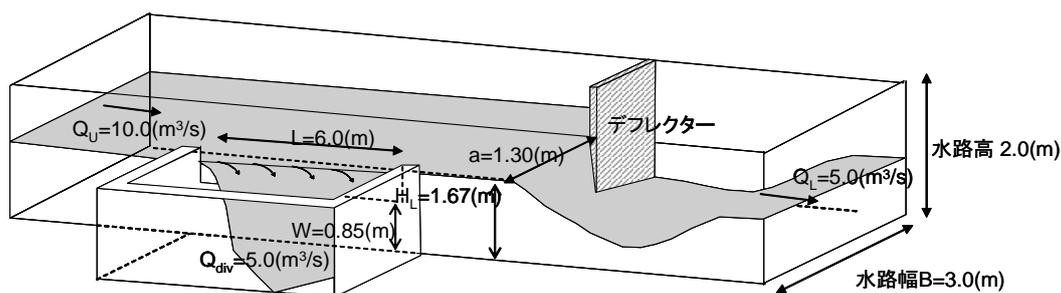


図17 横越流堰方式(デフレクター設置)

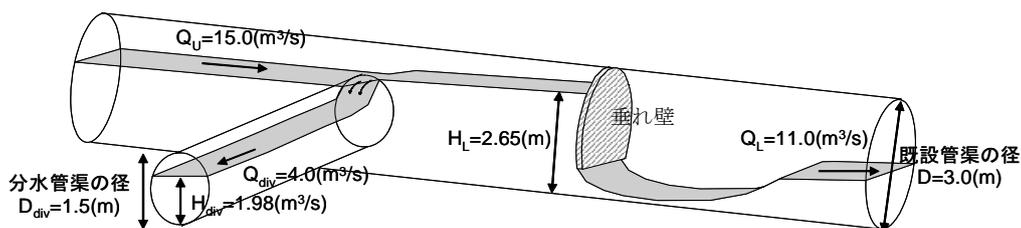


図18 直接分水方式(垂れ壁設置)

## 1-(2)-1 流出解析モデルを活用した

### 管きよ再構築の整備手法に関する調査

計画調整部 技術開発課；登坂 昭二  
千葉 正孝（基幹施設再構築事務所）

#### 1. はじめに

本調査は、計画降雨 1 時間 50 mm の整備水準において、流出解析モデルを活用した新たな設計手法の導入にあたり、既存の 3 種類の流出解析ソフト（InfoworksCS、MOUSE、XP-SWMM）を用いてモデル設計を行い、下水道台帳情報システム（SEMIS）と流出解析ソフト間の効率的かつ的確なデータのやり取りの方法を検討するとともに、その各々の流出解析ソフトの特性を把握して設計マニュアルを作成した。

#### 2. 調査内容

本調査の内容は、以下のとおりである。

- (1) SEMIS と流出解析モデル間の連携の検討
- (2) 流出解析モデルを用いたモデル設計
- (3) 設計マニュアルの作成

#### 3. SEMIS と流出解析モデル間の連携の検討

本検討は、流出解析ソフトの効率的なモデル化に当たり、SEMIS データ活用上の課題、今後の改善点などについて検討した。

##### 3. 1 データ項目の整理

流出解析ソフトのモデル化に当たり、必要なデータを表 1 に示す。このうち SEMIS からは、管きよ諸元や集水面積など、流量計算表に記載される基本的なデータを取得することができる。

##### 3. 2 課題の整理と改善案の検討

###### 3. 2. 1 課題と改善方針の整理

SEMIS データを活用してモデル化を行う際の課題と現状の対応状況とその問題点、改善方針を表 2 に整理した。

モデル化作業上の課題は表 2 の通りであるが、大別すると SEMIS 自体が巨大なデータベースであるため、必要なデータ抽出作業が煩雑である（表 2 中①②③）ことと、SEMIS に水理構造物データが網羅されておらず、別途資料を入手・参照する必要が生じる（表 2 中④）ことの 2 つであった。

いずれも現状では対応可能な課題ではあるが、煩雑な作業が生じることから、今後のモデル化作業において効率的に SEMIS データを活用するためには、改善案を検討することが望ましいと言える。

一方、SEMIS データ自体に起因する課題（データの誤りや欠損、不明等）について

は、今後のSEMISデータの精査・修正により改善可能であると思われる。

表1 モデル化に必要な入力項目

入力項目			SEMIS 単位系	備考	SEMIS からの抽出		
施設	人孔	人孔番号	大図面番号	—		○	
			小図面番号	—		○	
			人孔番号	—		○	
		座標	X	×100倍	平面図表示	○(図形情報)	
			Y	×100倍	平面図表示	○(図形情報)	
		人孔地盤高		cm		○	
		流出係数			処理小分区別	○	
		流入時間関連	地表面粗度				×
			流域勾配				×
			流入時間				×
	流域形状				×		
	管きよ	上流人孔番号 および 下流人孔番号	大図面番号	—		○	
			小図面番号	—		○	
			人孔番号	—		○	
		延長		cm		○	
		管底高	上流	mm		○	
			下流	mm		○	
		管種断面		—	IDでデータ化	○	
		大きさ	幅	cm		○	
			高さ	cm		○	
		管種材質(粗度係数)		—	IDでデータ化	○	
	損失				×		
	集水面積		×100倍(ha)		○		
	貯留施設	貯留容量			貯留管は管きよ扱い	×	
	堰	堰高				×	
		堰長				×	
		越流方式				×	
		越流係数				×	
	オリフィス	形状				×	
		断面積				×	
設置高				×			
流量係数				×			
ポンプ	排水能力				×		
	運転水位	起動			×		
		停止			×		
ゲート	ゲート高				×		
	ゲート幅				×		
	設置高				×		
地表面	二次元氾濫 の場合	地盤高			×		
		メッシュの大きさ			×		
	道路モデル の場合	地表面粗度			×		
		仮想水路形状			×		
	水路粗度係数			×			
与条件	吐口水位				×		
	汚水量			処理小分区別	○		
	区域外流入				×		
	降雨				×		

表 2 課題と改善方針の整理

課題内容		現状の対応方法	現状の対応方法の問題点	改善方針	
モデル化作業上の課題	①	管きょ網が正しく接合されていない場合があり、「上流追跡機能」で対象区域を網羅できない場合がある。	対象区域を包括する様に、SEMIS大番号を基にデータを抽出する。	SEMIS大番号単位でデータを選別するため、モデル化に、不要な区域のデータを取り除く必要がある。	SEMISデータを精査、修正し「上流追跡機能」が活用できるようにする。
	②	多くの属性データから、モデル化に必要な項目を抽出する必要がある。	データベースソフトやExcelなどの表計算ソフトを用いて、必要な項目のみ抽出する。	属性データには、モデル化に不要な項目が多く、作業が煩雑である。	モデル化に必要な項目のみ抽出するデータベースシステムを作成する。
	③	座標値のみ図形情報データに格納されており、属性データとは別ファイルから得る必要がある。	人孔番号を基に、図形情報データより座標値を抽出する。	図形情報データは、SEMIS小番号区画の1/16の図画ごとに細分化（個別ファイル）されており、区域が広域な場合、抽出作業が煩雑である。	モデル化に必要な項目のみ抽出するデータベースシステムを作成する。
	④	水理構造物データはSEMISデータに無いため、別途、人孔構造図などの資料収集、または現地調査が必要となる。また、構造図などを基にする場合、堰長や堰高などの数値が図示されていない場合がある。	別途、人孔構造図などの資料や現地調査結果を基に値を設定する。または、構造図からのスケールアップなどにより、値を設定する。	別途資料の入手、現地調査などができない場合、想定値となってしまう。また、構造図からのスケールアップなどにより、値を設定する場合、人により、読み取る値に差異が生じる可能性がある。	水理構造物に関するデータベースを作成する。

### 3. 2. 2 改善案

現在、SEMISは区部全域の下水道管きょ網を網羅した巨大なデータベースとして運用中であり、SEMIS自体に改良などの変更を加えることは困難である。そのため、SEMISデータを利用した新たなシステムを構築する手法を開発することが望ましいと考えられる。

まず、1つ目は、「モデル化に必要な項目のみを抽出するデータベースシステムの作成」である。SEMISデータには様々な属性データが含まれているが、モデル化に必要なデータのみを抽出（図形データからの座標値の抽出含む）するデータベースシステムを作成することによって、煩雑な抽出作業を解消し、モデル化作業の効率化を図る。

2つ目は、「水理構造物（堰、オリフィス、ポンプ、ゲート、貯留施設等）に関するデータベースシステムの作成」である。現行のSEMISデータには、モデル作成に必要な堰、オリフィス、ポンプ、ゲート、貯留施設等の水理構造物に関する諸元が含まれていない。このため、新たにこれらの水理構造物に関するデータベースシステムを作成し一元的にデータを管理することでモデル化に伴うデータ収集・整理作業を軽減し、モデル化作業の効率化を図る。

#### 4. 流出解析モデルを用いたモデル設計

ケーススタディ流域において流出解析モデルを用いて、モデル設計を行い、3種類の流出解析ソフトの入力データ及び入力値（標準値、諸元・パラメータ設定値）による出力結果への影響と、解析結果の比較を行い各流出解析ソフトの同等性を確認した。

モデル設計の検討フローを図1に示す。

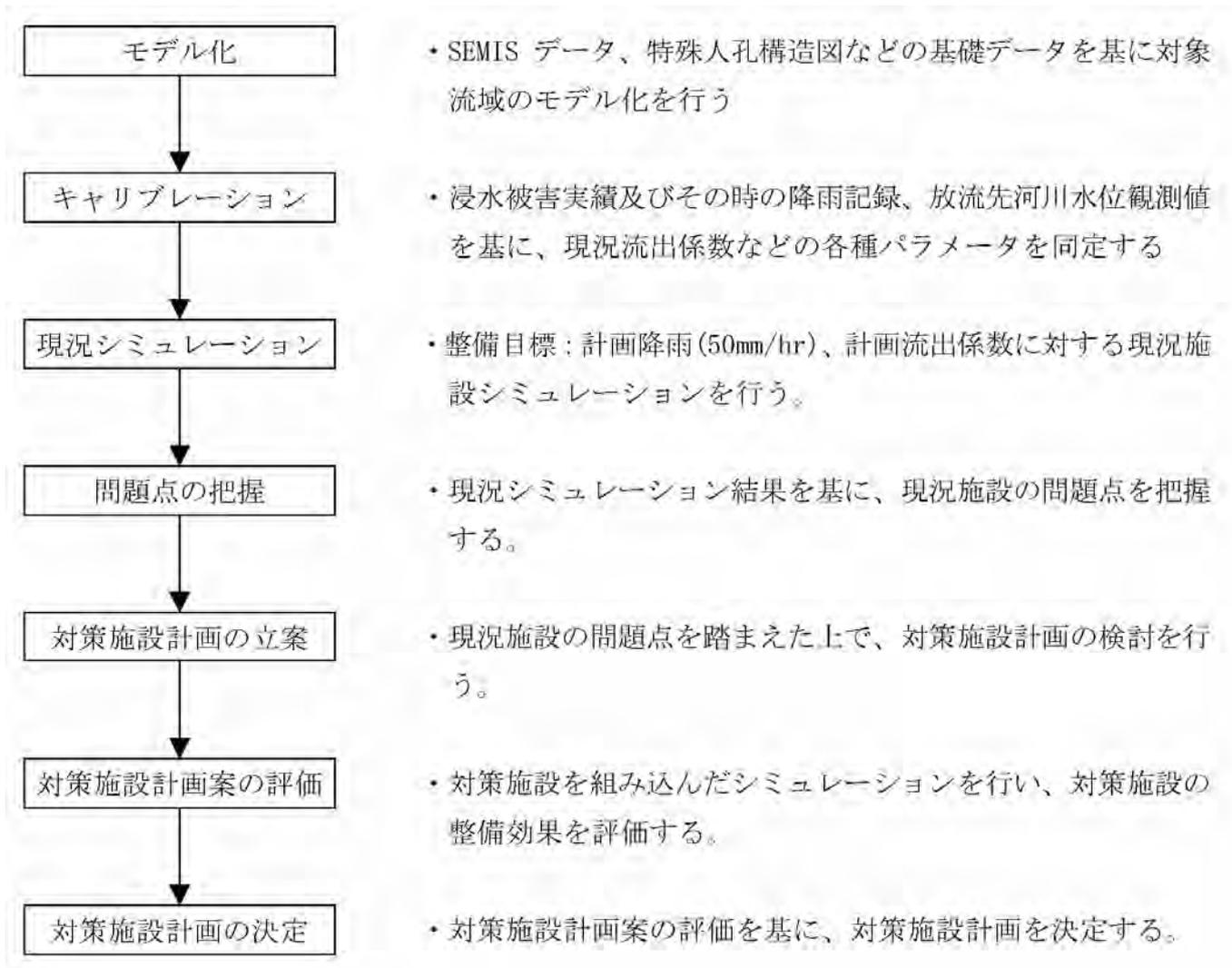


図1 モデル設計の検討フロー

##### 4. 1 ケーススタディ流域の概要

本検討で取り扱ったケーススタディ流域（図2参照）の概要は以下の通りである。

対象流域 : 麻布幹線流域上流域

対象面積 : 89.65ha

処理分区 : 芝浦処理区 一之橋処理分区

雨水流出係数 : 75%

単位汚水量 : 0.0022[m<sup>3</sup>/sec/ha]

※計画雨水流出係数と単位汚水量は、東京都公共下水道事業計画 設計基準書 平成9年6月 東京都下水道局」に基づく。

## 4. 2 モデル化

### 4. 2. 1 モデル化データ

SEMISデータ及び特殊人孔構造図を基に、対象流域のモデル化を行う。モデル化に当たり使用したデータは表3の通りである。

表3 モデル化データ項目

対象	モデル化データ	基となる資料	データ項目	備考
管きよ	上流側人孔名	SEMIS (管きよ属性)	・人孔大図面番号 ・人孔小図面番号 ・人孔番号	
	下流側人孔名		・下流人孔1大図面番号 ・下流人孔1小図面番号 ・下流人孔1人孔番号	
	上流側管底高		・上流側管底高	
	下流側管底高		・下流側管底高	
	断面幅		・管径幅	
	断面高さ		・管径高さ	
	延長		・延長	
	粗度係数		・管種材質	
	断面形状		・管種断面	
	更生後の断面幅		・更新管幅	更生管きよの場合のみ必要
	更生後の断面高さ		・更新管高さ	更生管きよの場合のみ必要
	更生後の上流側管底高		・更新管上流側管底高	更生管きよの場合のみ必要
	更生後の下流側管底高		・更新管下流側管底高	更生管きよの場合のみ必要
人孔	人孔名	SEMIS (人孔属性)	・人孔大図面番号 ・人孔小図面番号 ・人孔番号	
	座標	SEMIS (図形情報)	・人孔座標値	
	地盤高	SEMIS (人孔属性)	・地盤高	
	流入面積	SEMIS (管きよ属性)	・地先面積	
	流出係数	SEMIS (管きよ属性)	・幹線流域処理区・排水区	処理小分区別
	汚水量	SEMIS (管きよ属性)	・幹線流域処理区・排水区	処理小分区別
分水人孔	堰長	特殊人孔構造図	・堰長	構造図より読み取り
	堰高		・堰高	構造図より読み取り

また、流域内には3箇所の分水人孔が存在しており、特殊人孔構造図から堰長、堰高を読み取りモデル化を行った。

### 4. 2. 2 モデル化状況と解析精度の確認

3種類の流出解析ソフトの解析精度の確認結果を表4に示す。

50mm/hrの計画降雨時によるシミュレーションの結果、モデルへの「流入総雨水量」と「総流出量」(表4参照)や、麻布幹線の分水人孔上流および古川吐口での流出ハイドロはほぼ同等であり、いずれのソフトのモデル化も十分な解析精度が得られる結果となった。

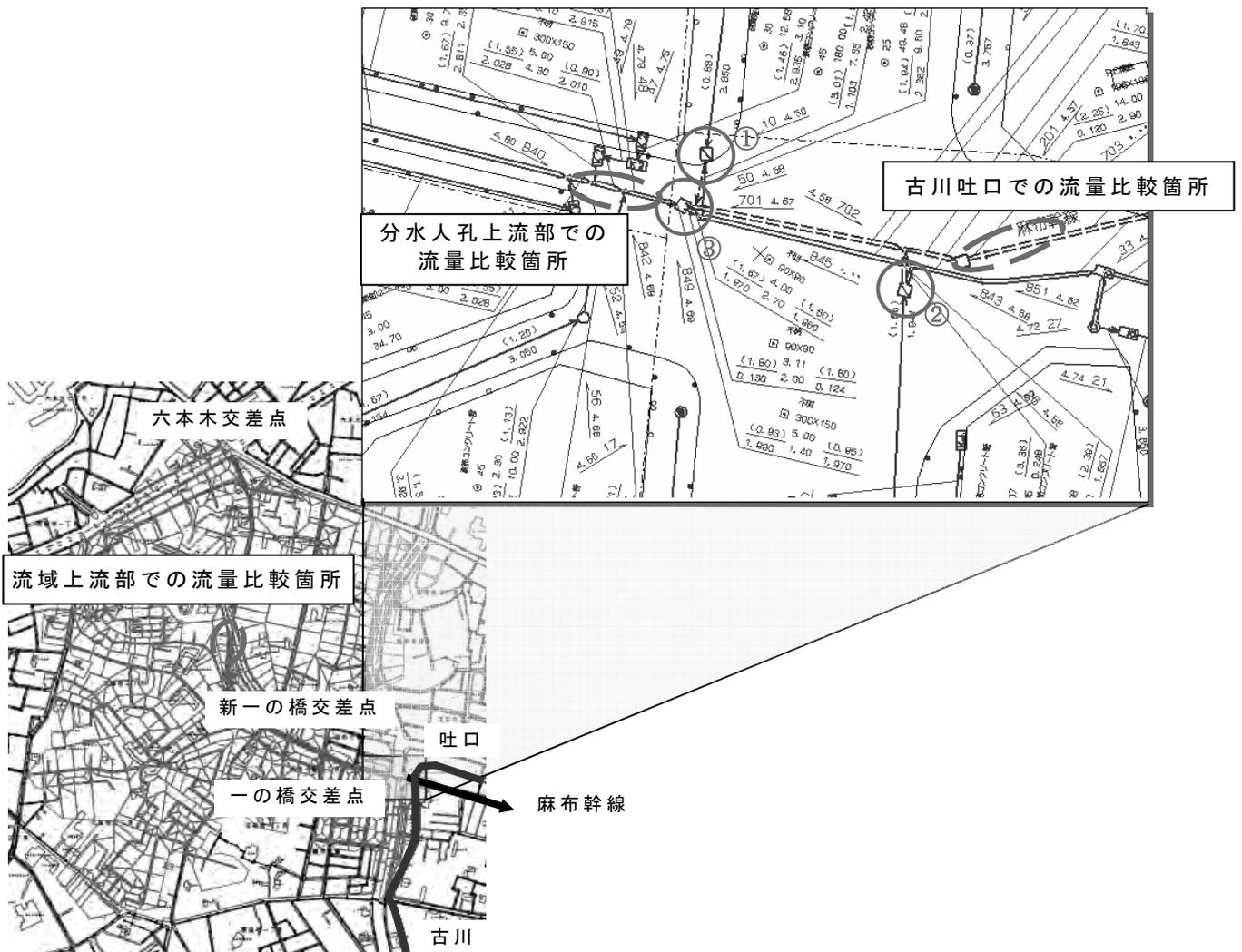


図2 ケーススタディ流域位置図

表4 解析精度の確認結果

ソフトウェア	InfoWorksCS	MOUSE	XP-SWMM
①流入総雨水量 [m <sup>3</sup> ]		45,834.2	
②総流出量 [m <sup>3</sup> ]	45,713.8	45,481.1	46,098.8
③解析精度 ③ = (②-①) / ①	-0.3%	-0.8%	+0.6%

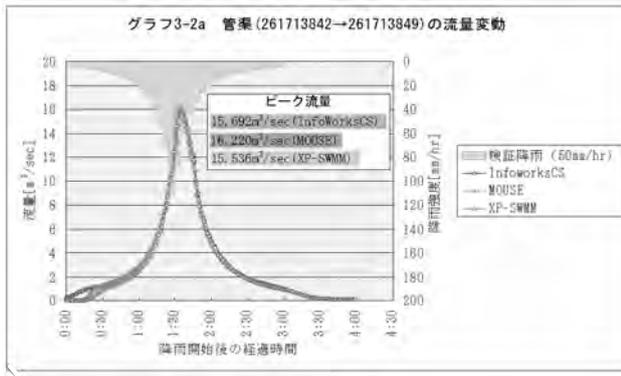


図3 分水人孔上流部での流出ハイドロ

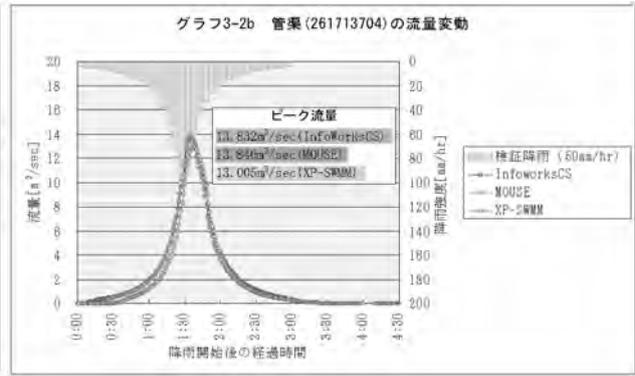


図4 古川吐口での流出ハイドロ

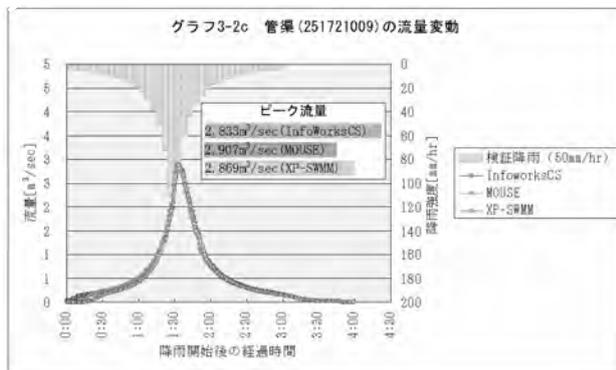


図5 流域上流部での流出ハイドロ

#### 4.3 キャリブレーション

浸水被害実績を基にキャリブレーションを行い、各種パラメータ値を調整した。流出係数を5%刻みで65~80%まで変化させた場合のキャリブレーション結果を図6、7に示す。

##### ①平成16年10月9日(台風22号)

浸水被害実績のある「一の橋交差点」付近の動水位が総じて高いが、流出係数75%未満では一之橋交差点の北側の「新一の橋交差点」付近での浸水が生じないことから、流出係数75%以上と推測される。

##### ②平成16年10月20日(台風23号)

いずれの流出係数においても浸水被害実績のある「一の橋交差点」付近の動水位は高く、ほぼ同様の浸水状況が見られる。浸水被害実績地区以外でも広範囲にわたり浸水する状況であるが、いずれも傾斜地であるため、溢れた雨水は道路を伝って、「一の橋交差点」付近に流れ込んだものと推測される。

一方、対象流域北部の「六本木通り」に目を向ければ、流出係数80%となると「六本木交差点」付近で浸水が生じている。当該地区は浸水被害実績が無く、傾斜地では無いため浸水域が移動したとは考えにくいことから、流出係数は80%未満であると考えられる。

①と②の2つの降雨によるキャリブレーションの結果、現況流出係数は計画値と同等の75%程度と判断された。



図6 平成16年10月9日(台風22号)におけるキャリブレーション結果(一の橋交差点付近)



図7 平成16年10月20日(台風23号)におけるキャリブレーション結果

## 5. 設計マニュアルの作成

従来下水道施設設計は、雨水流出量の算定を合理式、管きよの設計を等流計算で行うことを基本としてきた。しかしながら、集中豪雨や流出係数の増大に伴う浸水リスクの増大や、下流側の能力不足などの各種の制約条件などがある中で、従来の評価手法や設計手法が適用できないケースが増えてきた。

そこで、今後の管きよ再構築設計に流出解析モデルを活用することを目的として、職員のモデルに対する理解を深め、コンサルタント指導の着眼点を明示すると共に、将来的には職員自らがモデルを操作することが可能となる様、設計マニュアルを作成した。

### 5. 1 設計マニュアル

設計マニュアルは、再構築設計に流出解析モデルを活用する場合の流れに沿って、以下のセクションから構成されている。

- §1 総則
- §2 モデルの作成
- §3 キャリブレーション
- §4 シミュレーション条件
- §5 シミュレーション（現況施設の能力評価と問題点の抽出）
- §6 対策施設案の検討
- §7 成果品
- §8 設計事例
- §9 参考資料

### 5. 2 従来の設計手法からの変更点

#### 5. 2. 1 モデルデータの活用

流出解析モデルを活用した管きよ再構築設計の場合において、各段階（調査設計～実施設計～施工）に至る過程でのモデルデータ活用フロー（案）を図8に示す。

図8に示すフロー（案）では、モデルデータの一元管理と各段階での動水位の検証を行うことで、常時最新データでの動水位検証が行え、ミスや間違いを減らすことが可能となる。

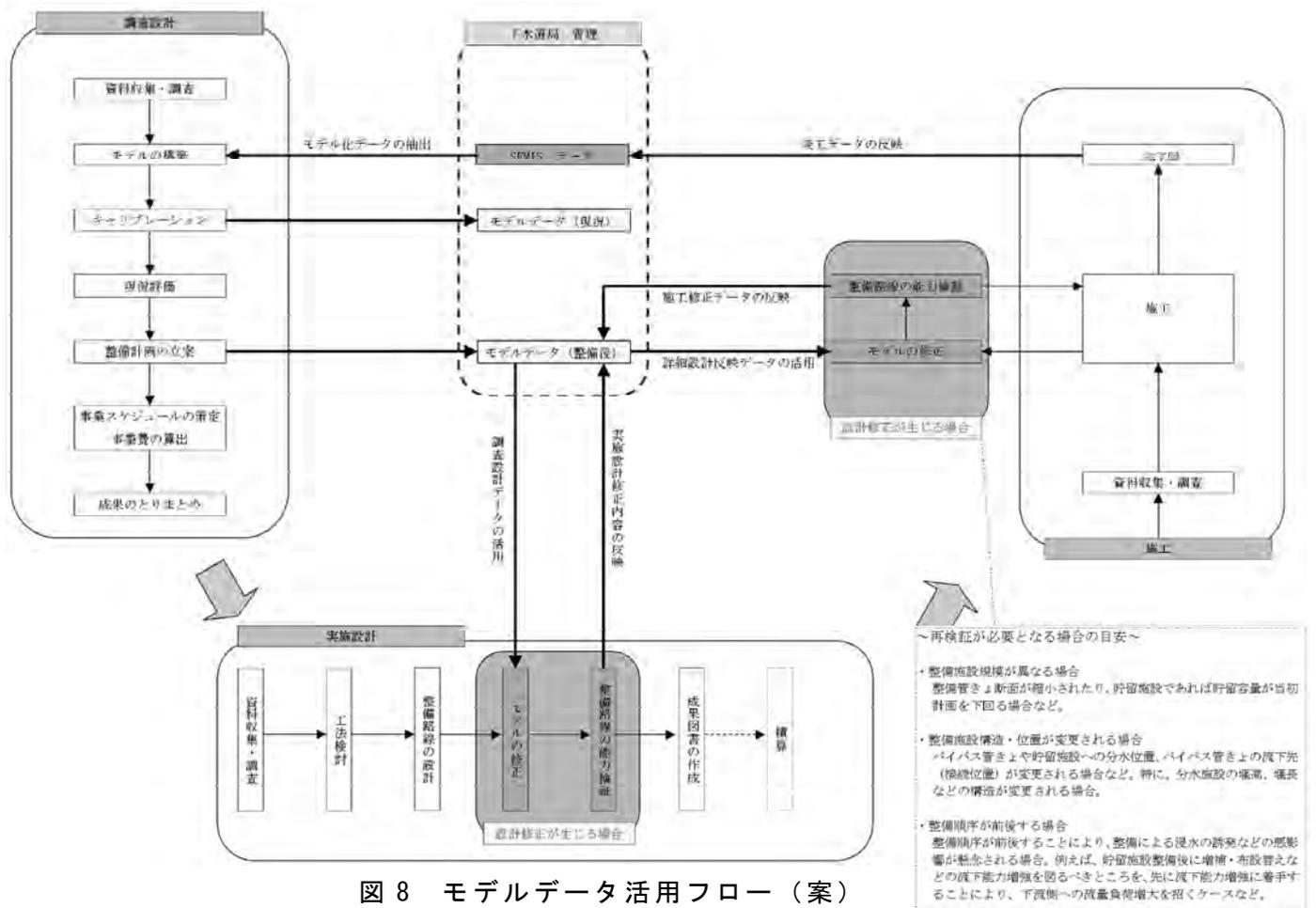


図 8 モデルデータ活用フロー（案）

### 5. 2. 2 整備水準

従来の「合理式+等流計算」では流域特性を反映した十分な水理評価が困難であるため、一律の整備を行ったにも関わらず、浸水常襲地区が残るなどの課題を抱えていた。この課題を解消するために、適切な動水位評価が可能な流出解析モデルによる評価指標を枝線に取り入れることとした。主要枝線、枝線の整備水準及び整備規模決定方法は、従来の「合理式+等流計算」から「流出解析モデル」(G.L-1.0m $\geq$ ピーク動水位)により決定することと変更した。以降に整備水準の概要を示す。

- (1) 目標降雨：50mm/hr
- (2) 流出係数：80%相当
- (3) 動水位：幹線（「合理式+等流計算」2割余裕）  
 主要枝線（「流出解析モデル」G.L-1.0m $\geq$ ピーク動水位）  
 枝線（「流出解析モデル」G.L-1.0m $\geq$ ピーク動水位）

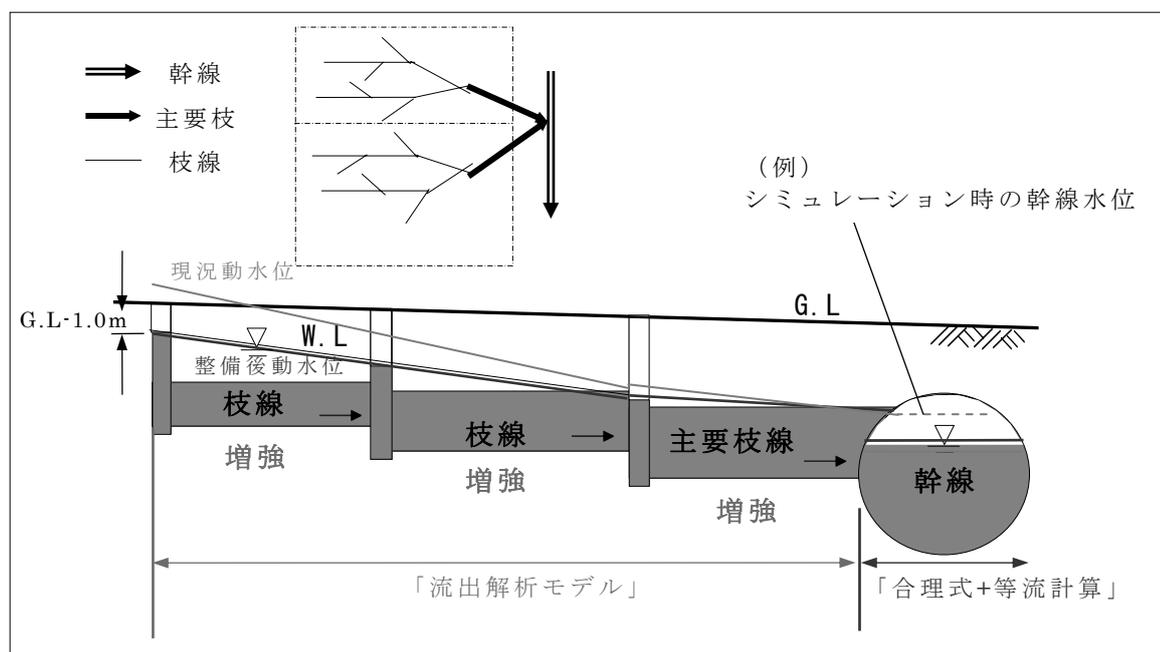
整備水準ならびに整備施設規模の決定とこれに関わる「合理式+等流計算」、「流出解析モデル」の役割は表5の通りである。

ただし、十分な余裕が取れない場合などは、現地状況に応じて、適正な整備目標動水位(G.Lとの差)を設定する。

表 5 施設毎の整備水準及び整備規模決定方法

整備対象	合理式+等流計算	流出解析モデル
幹線	・ 規模決定 (50mm/hr-80%で2割余裕)	・ 評価のみ (自由水面が確保されているか)
主要枝線	・ 初期断面の設定 ・ 概略の能力チェック	・ 規模決定 (ピーク動水位を G.L-1.0m 以下)
枝線	・ 初期断面の設定 ・ 概略の能力チェック	・ 規模決定 (ピーク動水位を G.L-1.0m 以下)

※特に主要枝線、枝線の整備規模の決定に当たっては、「合理式+等流計算」により初期断面を設定し、その後「流出解析モデル」により、必要十分な最適規模を求める。



※幹線が 50-80 整備済みで、枝線等を 50-80 整備する場合

図 9 整備イメージ

### 5. 3 流出解析ソフト操作マニュアル

3種類の流出解析ソフトの操作方法について、SEMISデータを用いたモデル化から対策施設のデータ入力、シミュレーション及びシミュレーション結果の表示までを解説した操作マニュアルを作成した。

操作マニュアルは、図 10 に示すとおり、流出解析ソフトの表示画面と解説によって構成されている。



- ・人孔の場合、Node アイコン 
  - ・管きよの場合、Link アイコン 
- をクリックし、Node または Link の入力モードに変更し、モデル画面内の任意の箇所でクリックして作成する。

図 10 操作マニュアル（例）

## 6. まとめ

本調査により、今後の管きよ再構築設計に流出解析モデルを活用するに当たり、以下の知見が得られた。

- ① モデル化に当たり SEMIS データが十分活用可能であることが確認できた。
- ② 3 種類の流出解析ソフトの同等性が確認できた。
- ③ 再構築設計に流出解析モデルを効率的に取り入れるための、設計マニュアル及び操作マニュアルの作成を行った。

今後は、流出解析モデルを用いた雨水の効果的な整備手法について検討していく所存である。

## 1-(2)-2 第二・十二社幹線水理模型実験について

中部建設事務所 設計課  
設計調整係 高橋 俊一

### 1. はじめに

今回実験対象となった第二・十二社幹線は、内径1500mm～3500mm、延長約4.9kmの浸水対策用の合流幹線である。既設十二社幹線を補完する幹線として昭和63年から整備を進めており、現在は、神田川への放流渠吐口及び既設十二社幹線からの切替工事を除き、工事は完了しており、暫定貯留管として供用している。また、第二・十二社幹線の下流部約2km区間は、2箇所の伏せ越しや急勾配といった構造を有する幹線である。

今回は、最下流部放流渠吐口に至るまでの延長約2km区間（SNo3～吐口まで・図-1参照）について模型を作成し、水理特性を把握するため、実験を行ったものである。

ここでは、模型上の最上流の人孔をSNo3人孔、新宿中央公園内の人孔をC人孔、途中の流入人孔をB人孔、最下流の分水人孔をA人孔と呼ぶ。

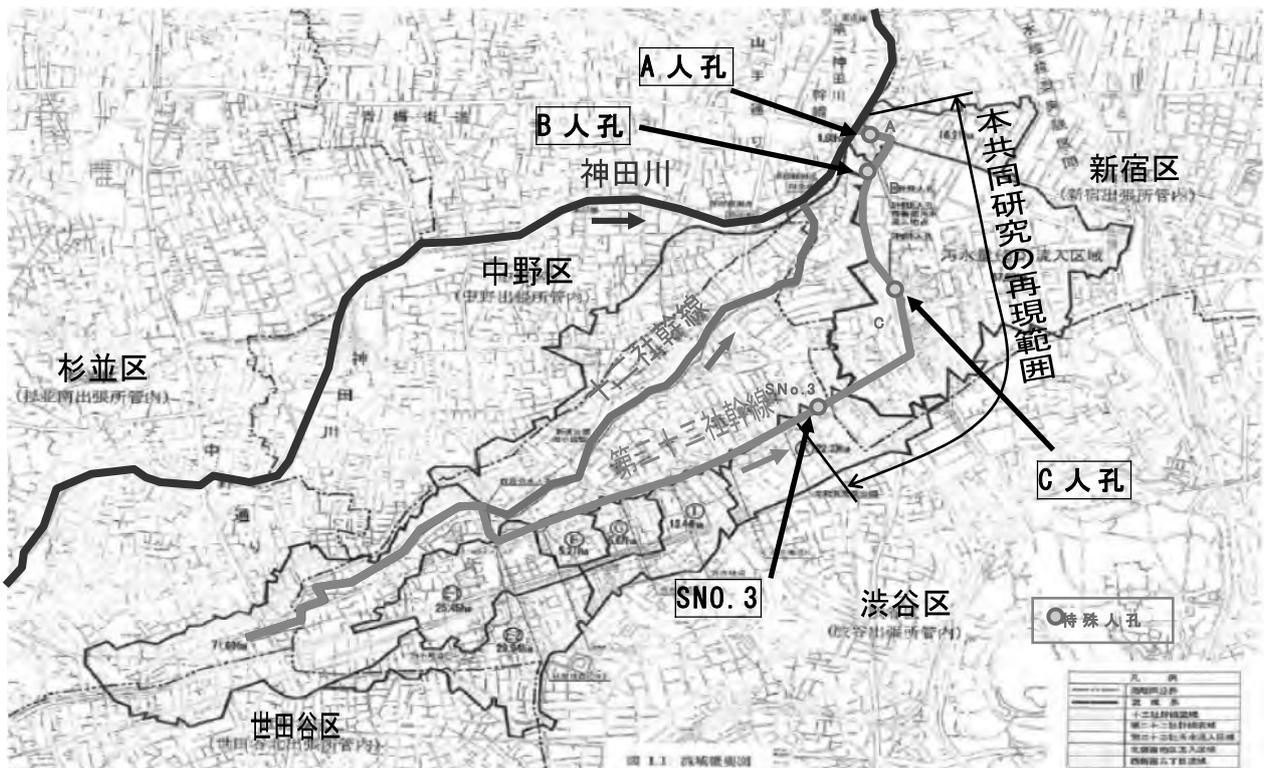


図-1 第二十二社幹線平面図

## 2. 第二・十二社幹線の特徴

本幹線の下流部 2 k m 区間は、首都高速道路計画、地下鉄・丸の内線を避けるため、2 箇所伏せ越し区間と 1 4 0 ‰ の急勾配といった構造を有する幹線である。(図 - 2 参照) 水の流れとしては、

- (1) S No 3 人孔から 1 4 0 ‰ の急勾配 (高低差約 3 3 m)
- (2) 約 7 5 0 m のレベル区間
- (3) C 人孔で吹き上がり (高低差約 2 6 m)
- (4) B 人孔で  $\phi 1350$ 、 $\phi 800$  が流入
- (5) A 人孔で 3 Q 汚水を遮集 (汚水は第二神田川幹線・雨水は放流渠) し、更に A 人孔には、別ルートで北新宿地区 (分流地区) の 3 Q 汚水も流入する。
- (6) A 人孔から神田川へ向かう放流渠には、北新宿地区 (分流地区) の雨水流入が 3 箇所ある。

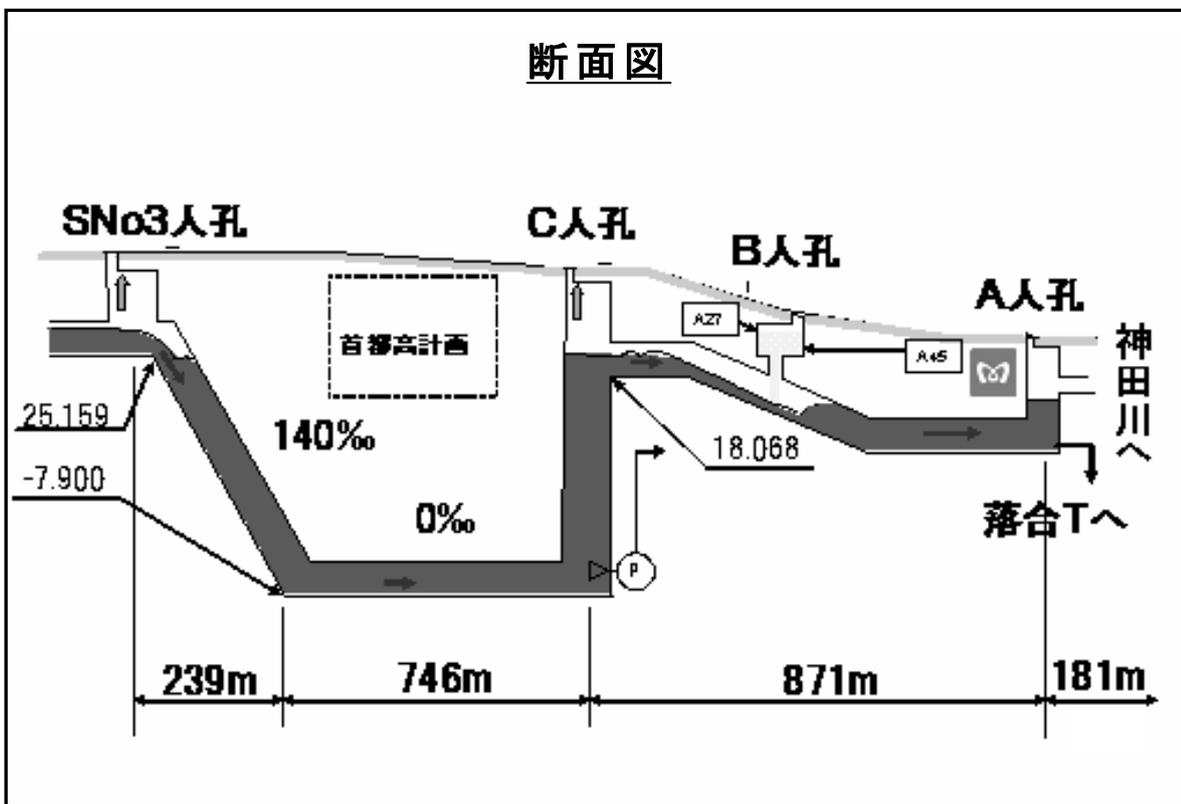


図 - 2 模型範囲断面図

### 3. 実験の背景と目的

#### 3. 1 背景

通常水理実験は、事業実施前に問題となる水理現象を予測するために実施することがほとんどであるが、本実験は事業実施後の実験となっている。

今回、実験に至った背景は、第一に「当初設計に比べて流入量が増加した」ことがあげられる。

第二十二社幹線は、昭和63年から現在まで、約20年にわたり整備が行われている幹線である。この間に、平成9年度の「多摩川・荒川等流域別下水道整備総合計画」(流総計画)による単位汚水量(十二社処理分区・第6小分区)の増加や流域の見直しによる流入量の増加があったため、当初設計に比べ全体流入量が増加した。

第二に、現場の既設埋設物の状況により、人孔形状が変わり幹線への取付方法が変更となったことがあげられる。

#### 3. 2 想定される課題

現時点で、「流入量の増加」や「構造変更」更に、元々の本幹線が持っている特殊な構造から本格稼動時において空気連行、段波現象、サージ現象などが予想され、これらの現象に伴う本幹線の課題として

(1) 流下阻害による水位上昇

(2) 空気噴出による人孔蓋の飛散

などが考えられる。

以上のことから、本幹線の構造から流入量の変更や構造変更などがあった場合、特殊な構造からくる複雑な水理挙動などを机上の検討では把握しきれないため、模型実験を実施することとなった。

#### 3. 3 目的

今回、幹線の縮小模型を作成し、定常流はもとより、降雨式に合わせた非定常流による通水にて実験を行うことにより実際に近い水理挙動や現象を把握し、安全かつ安定した幹線機能を確保するための改善策を取りまとめることを目的とした。

今回の報告は、実験結果から見えた課題の報告までとする。

#### 4. 実験概要

##### 4. 1 模型縮尺について

今回の模型再現区間は、S No 3 人孔から神田川の放流渠までの約 2 k m 区間を縮尺 1 / 1 5 . 9 で再現すると模型延長で約 1 2 6 m になった。

現地と模型の換算にあたっての相似則は、フルードの相似則を用いることとした。(換算値は表 - 1 参照)

表 - 1 現地と模型の縮率 (フルードの相似則)

物理量	次元	縮尺	模型 / 現地	現地の値	模型の値
長さ x	L	L <sub>r</sub>	1/15.9	2000m	125.8m
水深 h	L	L <sub>r</sub>	1/15.9	3.5m	0.22m
流速 v	LT <sup>-1</sup>	L <sub>r</sub> <sup>1/2</sup>	1/15.9 <sup>1/2</sup>	3.0m/s	0.75m/s
時間 t	T	L <sub>r</sub> <sup>1/2</sup>	1/15.9 <sup>1/2</sup>	60 秒	15.0 秒
流量 Q	L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>	L <sub>r</sub> <sup>5/2</sup>	1/15.9 <sup>5/2</sup>	27.194m <sup>3</sup> /s	27.0L/s
粗度係数 n	L <sup>-1/3</sup> T	L <sub>r</sub> <sup>1/6</sup>	1/15.9 <sup>1/6</sup>	0.013	0.0082

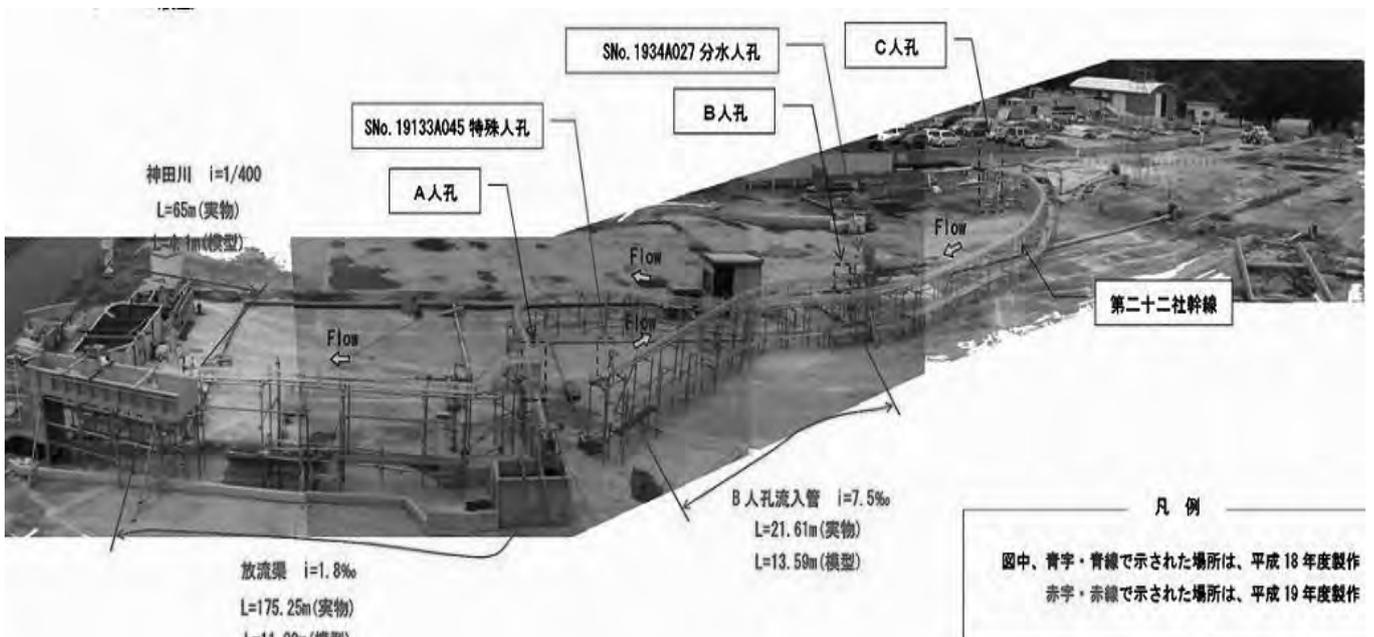


図 - 3 模型全景写真

まず、今回の実験の目的としては、流水の再現性及び空気連行現象の再現性を確保する必要があった。このため、水の流れの再現性を対象とする模型よりも大きな模型にする必要がある。

空気連行現象を扱った既往の検討結果等から、管路内の空気連行現象を再現するためには、模型縮尺 1 / 20 程度以上\*<sup>1</sup>、模型管径  $\phi$  0.2 m 程度以上\*<sup>2</sup> とする必要がある。また、その他に規格品のアクリルパイプの条件等を加味し、下表（表 - 2）により比較検討を行った結果、縮尺を 1 / 15.9 とした。

表 - 2 模型縮尺の検討

規模、水理量		実物値		模型縮尺、模型値				備考
			単位	1/10.3	1/15.9	1/20.6	単位	
①	管径 D	3500	mm	340	220	170	mm	SNo. 3~A人孔
②	管路延長 L	2027	m	196.9	127.4	98.5	m	SNo. 3~A人孔~神田川
③	人孔落差 h	26.0	m	2.52	1.63	1.26	m	C人孔
④	管路勾配 i	140	‰	140	140	140	‰	SNo. 3の下流区間
⑤	流量 Q	20.418	m <sup>3</sup> /s	60.05	20.23	10.62	L/s	C人孔上流（計画放流）
⑥	流速 V	2.12	m/s	0.66	0.53	0.47	m/s	満管時
	Re数	6.48E+06		1.96E+05	1.02E+05	6.94E+04		満管時
⑦	粗度係数 n (コンクリート管)	0.013		0.0088	0.0082	0.0079		模型で設定すべき値
	n (アクリル)			0.008~0.009	0.008~0.009	0.008~0.009		模型アクリル材の値
評価	a. 模型規模 (縮尺 $\geq$ 1/20程度)			適	適	適		空気の相似性の確保
	b. 模型規模 (管径 $\geq$ 0.2m程度)			適	適	やや小		空気の相似性の確保
	c. 流速規模 (Re数 $\geq$ 10 <sup>4</sup> 程度)			適	適	適		流れの相似性の確保
	d. 粗度係数 (n <sub>m</sub> =0.008~0.009程度)			適	適	やや小		粗度の相似性の確保
	e. 模型規模 (管路延長 $\leq$ 100m程度)			やや大	適	適		施設の制約・経済性
	f. 流量規模 (流量 $\leq$ 100L/s程度)			適	適	適		施設の制約・経済性
総合評価				△	○	×		

\* 1 「空気噴出を考慮した圧力流管路設計手法の調査研究」（財）下水道新技術推進機構

\* 2 “The motion of large bubbles in horizontal channels” 「水平水路（管路）における気泡の挙動」 by G. C. GARDNER and I. G. CROW

#### 4. 2 通水方法

実験時の通水方法としては、第二十二社幹線の各整備段階における供用ケースの流入量、降雨条件としては、50mm/hの降雨パターンとして前方・中央・後方の3パターン、降雨式は、当局で採用しているタルボット式に加え総降雨量の多いクリーブランド式も検討ケースに入れ、さらに河川水位なども検討ケースに加えることとした。

これら通水方法の検討条件をまとめると下表（表-3）による。

表-3 通水時の検討条件

	項目	条件	備考
1	整備段階	①暫定貯留時	現運用状況の検証（一部流入，神田川へ放流なし）
		②暫定放流時	一部流入，神田川へ放流時の検証
		③計画放流時	全地点流入，神田川へ放流時の検証
2	流入量	①計画 1.0Q	計画流入時の検証 ①-1 ピーク流量一定流入※ ①-2 ハイドロ流入 0.2Q→0.5Q→1.0Q→0.5Q→0.2Q※ <sup>2</sup>
		②超過 1.2Q	超過流入時の検証 ②-1 ピーク流量一定流入 ②-2 ハイドロ流入 0.2Q→0.6Q→1.2Q→0.6Q→0.2Q
3	幹線初期水位	①0%	幹線ドライ時から満管に至るまでの水理挙動把握
		②100%	安定流下時の流下能力，局部損失の把握
4	下流水位	①神田川 L. W. L.	幹線流下能力，動水位の検証
		②神田川 M. W. L.	
		③神田川 H. W. L.	
5	A 人孔オリフィス	①φ600mm	現運用状況の検証
6	第二神田川幹線	①計画 1.0Q	計画流入時の設定水位
		②超過 1.2Q	超過流入時の設定水位

表-3の検討ケースを組み合わせると全61ケースになるが、これらについて机上にて見当を行い類似するケースについては省略し、最終的に実験での通水ケースとしては、全20ケースに絞込みをした。（次頁、表-4参照）

表 - 4 実験ケース

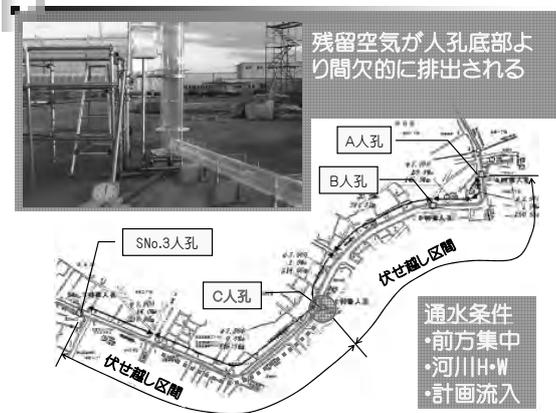
ケース	整備段階	降雨規模	降雨パターン	降雨式	神田川水位	第二神田川幹線水位	
1	暫定貯留	1.0Q	前方集中	クリーブランド	—	計画最高水位時 TP+8.742m (h=1.903m) 管径の約6割水深	
2			中央集中	クリーブランド	—		
3				ターボット	—		
4	暫定放流	1.0Q	前方集中	クリーブランド	H.W.L.		
5			中央集中	クリーブランド			
6				ターボット			
7			ピーク一定流入				
8	計画放流	1.0Q	前方集中	クリーブランド	H.W.L.		
9					M.W.L.		
10					L.W.L.		
11					H.W.L.		
12			M.W.L.				
13			L.W.L.				
14			H.W.L.				
15			ピーク一定流入		H.W.L.		
16					M.W.L.		
17					L.W.L.		
18		1.2Q	前方集中	クリーブランド	H.W.L.		超過流入時 1.2Q TP+9.080m (h=2.087m) 管径の約7割水深
19			中央集中				
20			ピーク一定流入				

※ 降雨規模 1.2Q は 1.0Q ハイドロの流入量を 1.2 倍にして与える

## 5. 実験事例の紹介

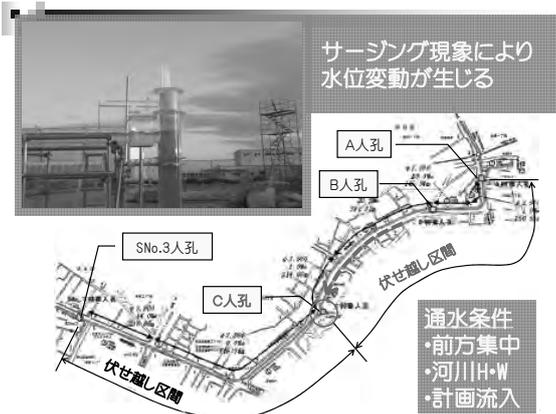
今回は、20ケース実施した実験ケースの中から現象が顕著な事例のうち5ケースについて報告する。

### 5. 1 空気排出現象（C人孔）



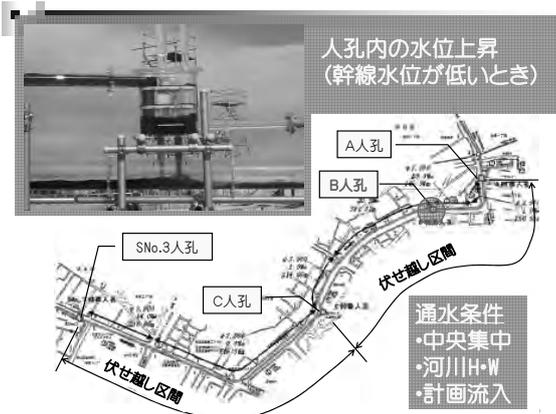
- (1) SNo. 3 人孔下流の急勾配区間で高速流が生じ、大量の空気を連行する
- (2) 幹線水平区間において満管時に空気塊が管頂部に滞留する
- (3) 満管後、滞留していた空気塊が水流により連行されC人孔から断続的に排出される

### 5. 2 サージング現象による水位変動（C人孔）



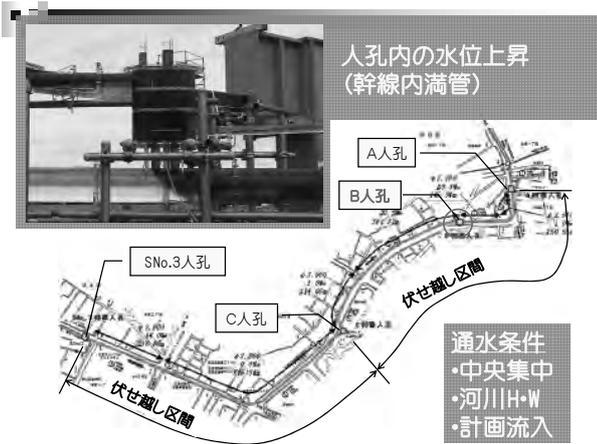
- (1) C人孔下流の幹線が満管になった直後にサージングによる周期的な水位変動が生じる
- (2) サージング現象によりC人孔換気口から水と空気が噴出される
- (3) 人孔蓋飛散の原因のひとつと考えられる

### 5. 3 B人孔の水位上昇（幹線水位が低い場合）



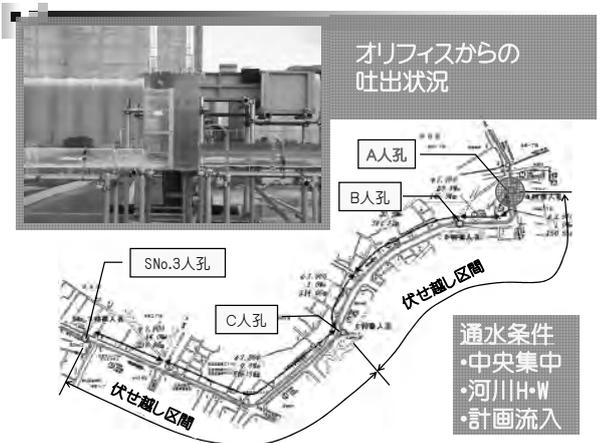
- (1) B人孔は、 $\phi 1350\text{mm}$ 、 $\phi 800\text{mm}$  の流入に対して流出管は、 $\phi 600\text{mm}$  2本が設置されている
- (2) 幹線側の水位が低い時でも枝線からの計画流入量に対して人孔内の水位が上昇している
- (3) 空気連行等による流下阻害が原因と思われる

#### 5. 4 B人孔の水位上昇（幹線水位が高い場合）



- (1) 幹線側の水位が高い場合（満管）には、模型上の地盤高さを越える
- (2) 幹線側の水位状況が大きく影響していることが判る

#### 5. 5 オリフィスからの吐出状況（A人孔）



- (1) A人孔は、第二神田川幹線へオリフィスによる分水機能を有している
- (2) 幹線満管時においてオリフィスから高速流で水が吐き出されている
- (3) 人孔内の洗掘が懸念される箇所である

### 6. 実験結果

最後に実験結果から見えた課題と推定される原因について表—5まとめる。

表—5

	課題	推定される原因
浸水の問題	A人孔及びB人孔の水位が地盤高を越える。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 伏越し構造から不安定な水理挙動による流下阻害</li> <li>・ B人孔構造上の空気巻き込みによる流下阻害</li> </ul>
排気の問題	A人孔及びC人孔から空気噴出	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 伏越し構造による残留空気の噴出</li> </ul>

以上が、これまでの模型実験から確認できた代表的な課題となる。現在、これらの課題に対する対策を立案し、模型上にて対策案の検証を行い、平成19年度内に完了する予定である。

# 1-(3)-1 浅川水再生センター水処理施設の耐震補強設計について

流域下水道本部 技術部 設計課 岡本亜紀子

## 1. はじめに

流域下水道は、8 処理区、7 つの水再生センターで構成され、多摩地区における良好な水環境の形成に寄与している。

浅川処理区は、日野市・八王子市の 2 市で構成され、普及面積は 3,426 ha、普及率は平成 18 年度末で 93%となっている (図-1)。

浅川水再生センターは、平成 4 年 11 月に稼動しており、現有処理能力は 104,800 m<sup>3</sup>/日 (分流式) である。現在、水処理施設第 1、2 系列は標準活性汚泥法、第 3-1 系列は A<sub>2</sub>O 法にて運転している (図-2)。

平成 19 年度に水処理施設第 3-2 系列 (A<sub>2</sub>O 法) の平成 20 年度末の稼動に向け、詳細検討を実施したところ、第 3 系列の土木躯体は平成 10 年度竣工で、現行の耐震基準に適合しておらず、部材によっては、レベル 1 地震動に対しても損傷の恐れがあることが判明した。そのため、水処理施設の設備工事に先立ち、第 3-2 系列の耐震補強工事を実施することになった。

今回は、本設計で採用した後施工プレート定着型せん断補強鉄筋 (Post-Head-bar) を用いた耐震補強工法について報告する。



図-1 浅川処理区概要図

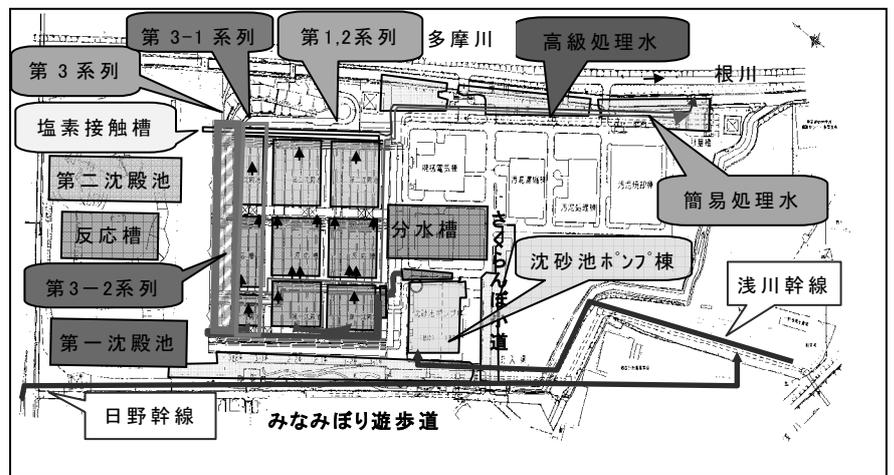


図-2 水処理施設概要図

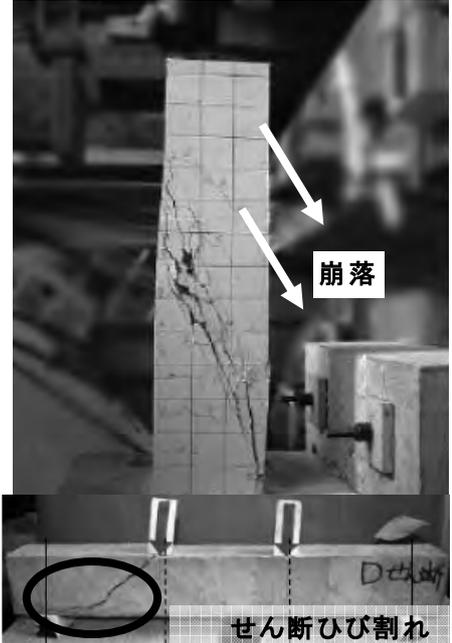
## 2. 耐震性能照査

### 2.1 下水道施設の耐震化

下水道施設は、都市生活を支える基幹施設であり、地震により被災した場合、都市生活、環境、利水など多大な影響が生じる。また、下水道施設の大半が地下構造物であるため、被災すると復旧工事に時間を要する。従って、大規模地震においても最低限の機能を確保できる様、施設の耐震対策を実施する事が望ましい。

下水道施設の主要部材である鉄筋コンクリートの破壊には、曲げ破壊とせん断破壊の2通りがあるが、せん断破壊は、鉄筋構造物としての強度が失われ、深刻なダメージを与える。また、耐震計算においてじん性を考慮する部材は、塑性ヒンジモデルを成立させるため、曲げ破壊を先行させる必要がある。従って、下水道処理施設においては、せん断破壊を回避する様に補強を行う事としている。(表-1)

表-1 破壊の種別と特徴<sup>1)</sup>

	曲げ破壊	せん断破壊
概要図		
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ じん性が保たれたまま壊れる</li> <li>・ 曲げひび割れやコンクリートの剥離が発生する</li> <li>・ 被災後の復旧が比較的容易といわれている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 部材が斜めにひび割れ、急激に破壊する</li> <li>・ 鉄筋コンクリートとしての強度が失われる</li> <li>・ 構造物に深刻なダメージを与え、人命にも関わる</li> <li>・ 被災後の復旧に困難を伴う</li> </ul>

## 2.2 耐震性能照査手法

耐震性能の照査に当っては、以下の様な条件、方法を設定した。<sup>2)</sup>

### ① 構造物分類

水処理施設第3系列は、上部が全て覆蓋化されており、水槽構造物の上部に建築構造物を併せもつ複合的な構造物に分類される。

### ② 解析方法

複合構造物の耐震設計においては、上部構造と下部構造を一体で解析し、上部構造については建築基準を、下部構造については土木構造物の基準を満足することとする。

### ③ 耐震計算法（土木構造）

土木構造物の地震時の挙動に応じて、震度法と応答変位法の選択を行うが、本設計（土木構造物）においては、構造物本体の慣性力が支配的と考え、震度法とする。（上部建築構造は耐震性能に問題なし）

### ④ 土木構造物の想定地震動及び耐震性能目標

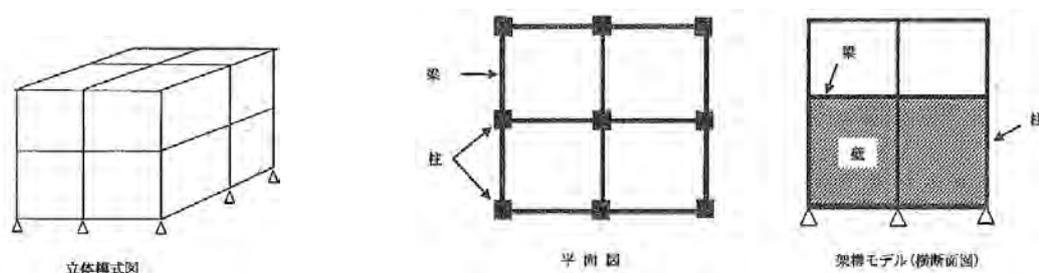
土木構造物の想定地震動及び耐震性能目標は、表-2の通りである。

**表-2 土木構造物の想定地震動及び耐震性能の目標**

	地震動概要	耐震性能目標
地震動 レベル 1	施設の供用期間内に1～2度発生する確率を有する地震動	地震動が作用しても、構造物が損傷を受けないものとする。 地震時において、構造物の挙動が弾性範囲に収まっている状態とし、鉄筋は降伏まで至らず、コンクリートの圧縮破壊に対しては十分に安全であることを条件とする。
地震動 レベル 2	施設の供用期間内に発生する確率は低いが大きな強度を有する地震動（阪神淡路大震災クラス）	構造物が損傷を受けたり、塑性変形が残留しても比較的早期に復旧を可能とする耐震性能。 変形が許容できる範囲内であり、被害が特定の性能。

### ⑤ 架構モデル

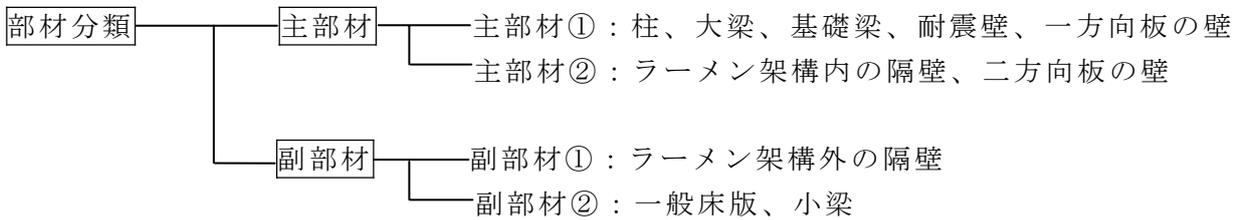
主筋・帯筋を配した方形断面の棒状部材で構成された骨組みによる架構構造形式（梁・柱式ラーメン）とする（図-3）



**図-3 架構モデル図（梁・柱ラーメン）**

### ⑥ 部材分類と性能

部材については、図-4 に示す様に主部材、副部材に分類し、各々耐震性能を表-3 の通り照査した。



**図-4 部材分類**

主部材①：レベル2地震動時においてひび割れや若干の傾斜などの残留変形は生じるが、崩壊までには至らない断面性能を求められ、崩壊メカニズムにおいて塑性ヒンジは許容するが破壊モードで“曲げ破壊先行”とすることが求められる部材

主部材②：レベル2地震動時においてひび割れや若干の傾斜など残留変形は生じるが、その部材自体は破壊に至らない断面性能を必要とするもので、構造物全体の崩壊には影響がなく、破壊の状況は“曲げ破壊先行”とすることを求めない部材

副部材①：レベル1地震動においては損傷を受けず、レベル2地震動において損傷は受けるが、短期的かつ容易に修復できる耐震性能を要求される部材

副部材②：架構とは別に設けられる床版、小梁あるいは主構造物に付属して設置される階段や簡易なピット類であり、常時荷重のみを考慮する部材

**表-3 主部材・副部材の分類と性能**

部 材		設計段階 (○：実施、－：省略)				
		設計	レベル1	レベル2		
			設計	照査	破壊モード判定	
主部材	構造物の骨組を構成する部材の内、レベル2で損傷するが構造物全体の崩壊を生じさせない部材。	主部材①	○	○	○	○
		主部材②	○	○	○	－
副部材	荷重の状況、施設の機能性、修復の容易性といった観点から、耐震設計上、主部材として扱う必要のない部材。	副部材①	○	○	－	－
		副部材②	○	－	－	－

⑦断面算定方法

常時及びレベル1地震動においては許容応力度法、レベル2地震動に対しては限界状態設計法による照査を行う。

⑧レベル2における照査項目 (図-5)

- a) 曲げモーメント・軸方向に対する安全性の照査  
地震力で発生する曲げモーメント<部材の曲げ耐力  
の状態が“OK”
- b) せん断力に対する安全性の照査  
地震力で発生するせん断力<部材のせん断耐力  
の状態が“OK”
- c) 破壊モードの判定

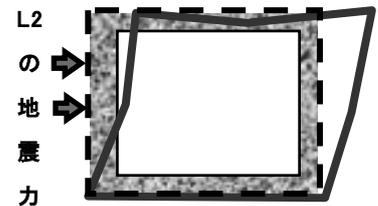


図-5 地震力作用時のイメージ図

『地震力で発生する曲げモーメント=部材の曲げ耐力』の状態において、  
発生するせん断力<部材のせん断耐力 ⇒ 『曲げ破壊先行モード』で“OK”  
発生するせん断力>部材のせん断耐力 ⇒ 『せん断破壊先行モード』で“NG”

⑨構造物特性係数 Cs

構造物特性係数 Cs とは、土木構造物の耐震計算方法で、じん性を考慮した限界状態設計法（弾性解析）を導入する際に用いる係数である。弾性解析はエネルギー一定則を導入したものであり、構造物が変形することで地震のエネルギーを吸収するというものである。つまり、地震力が構造物を変形させるのに仕事（力×変位置量）を行った場合、水平力（地震力）が低減されるということである。コンクリートが終局状態に達する点（終局変位/降伏変位）を10とした場合、その3割まで変位を許容する（許容塑性率）という考えから、本設計で用いる構造物特性係数 Cs=0.45 という数値が導かれる（図-6）。

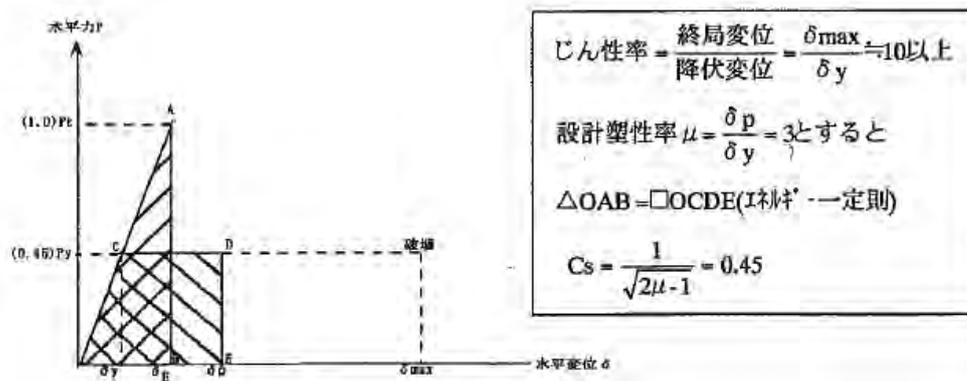


図-6 構造物特性係数のイメージ

## 2.3 耐震診断結果

施設を構成する主要な部材に対して、前項で示した曲げモーメント、せん断力、破壊モードについて照査を行った結果を表-4 及び図-7～9 に示す。

表-4 耐震診断結果（水処理施設第3系列）

		レベル 1	レベル 2
第一沈殿池	梁	×	×
	柱	○	×
	壁	○	×
	底版	○	×
反応槽	梁	×	×
	柱	○	×
	壁	○	×
	底版	×	×
第二沈殿池	梁	×	×
	柱	○	×
	壁	○	×
	底版	×	×

○：全箇所 OK ×：NG 箇所あり

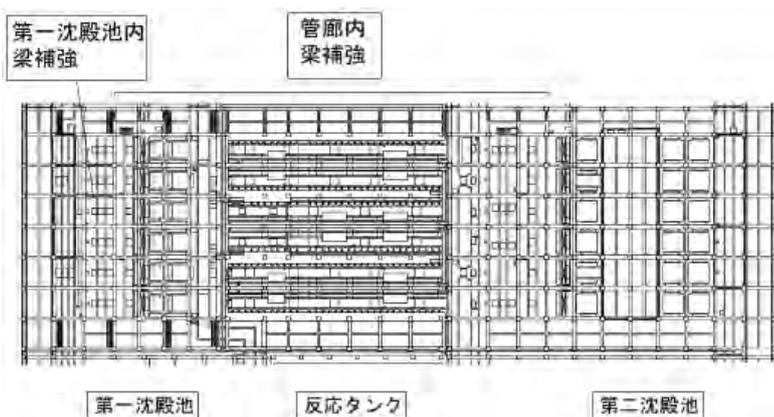


図-7 耐震補強箇所（1F）

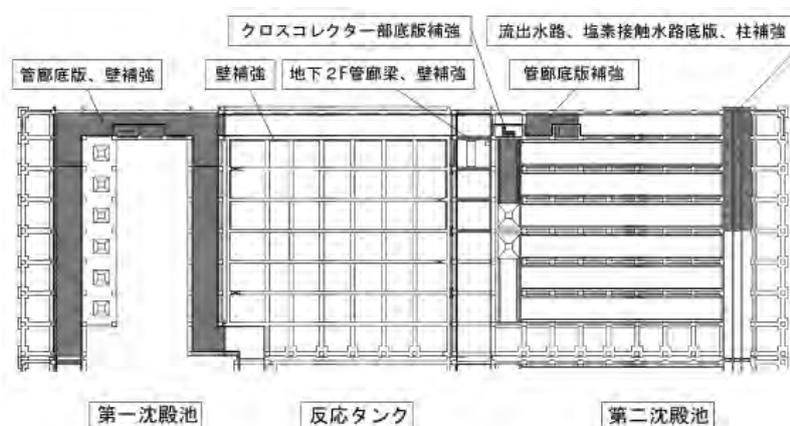


図-8 耐震補強箇所（B2F）



図-9 耐震補強箇所 (B3F)

### 3. 耐震補強工法の検討

#### 3.1 耐震補強工法の種類

土木構造物の耐震補強方法としては、図-10 の工法がある。

補強が必要な部位への適用性や施工環境、補強後の維持管理を考慮して、適正な工法の選定を行う。

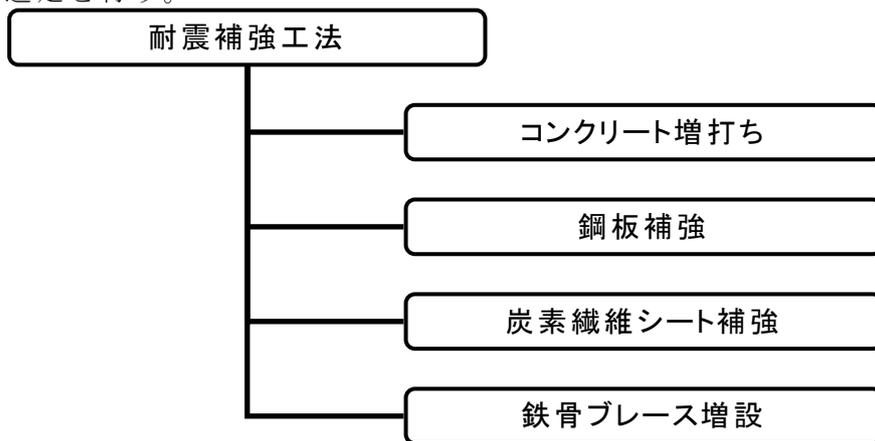


図-10 耐震補強工法

#### 3.2 耐震補強工法の選定

コンクリート増打ち工法は、特殊な資機材を必要とせず、経済性にも優れている。また、水処理施設の耐震補強工法としての施工実績も多いため、本設計においても大部分の部材でこの工法を採用した。

#### 3.3 コンクリート増打ち工法の問題点

地震力に対し、部材の耐力が不足している構造物に対しては、コンクリートを増打ちし、既存躯体と補強部材の一体で応力を負担する方法が有効である。しかし、補強後の部材厚が増し、内空側の断面積が減少するため、施設本来の機能が阻害されるという問題点が生じる (図-11)。

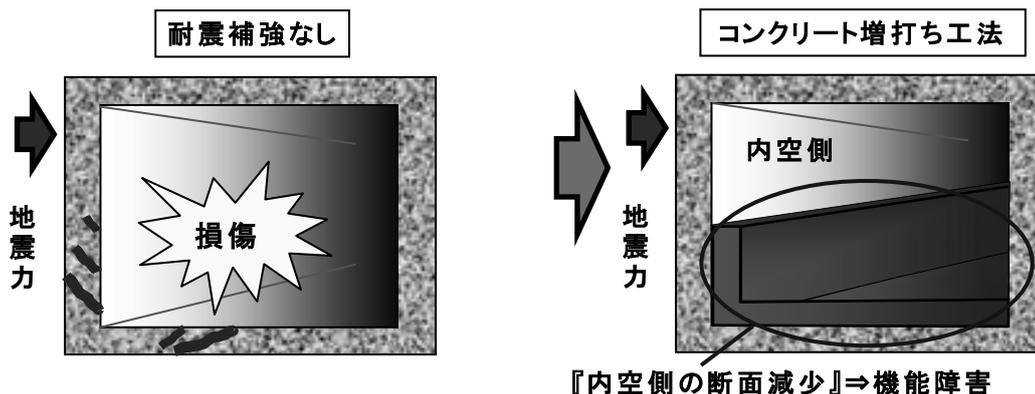


図-11 増打ち工法の問題点

### 3.4 地下 3F 管廊における耐震補強の課題

反応槽と第二沈殿池の間にある地下 3F の管廊では、梁と耐圧盤となっている底版がせん断破壊先行モードで“NG”となっており、せん断補強が必要な状況である。

しかし、管廊の階高は最も低い位置で 2.1m、梁下から空気管上面までが約 20cm しかない（図-12）。

コンクリート増打ち工法で底版補強を行う場合、50cm の増厚が必要であるという結果を得た。これにより、補強後の階高が約 1.6m と非常に低くなり、内空断面が著しく侵され、空気管の配管スペースが確保できなくなる。空気管は、水処理を行う上で不可欠な設備であり、耐震補強工事により、その機能を損なってしまったのでは意味が無い。また、日常の巡回点検など、維持管理面においても支障が生じる。



図-12 地下 3F 管廊部写真

### 3.5 Post-Head-bar を用いた耐震補強工法

#### ① 導入目的

前述の様に、機能確保の観点から内空断面側の増打ちができない部位に対する耐震補強方法として、後施工プレート定着型せん断補強鉄筋（以下 Post-Head-bar と記述する）を用いた補強工法について検討を行った。

この工法は、平成 17 年に『建設技術審査証明書』（財団法人 土木研究センター）を取得した新工法で、内空断面側に制約がある箇所におけるせん断補強に有効である（図-13）。

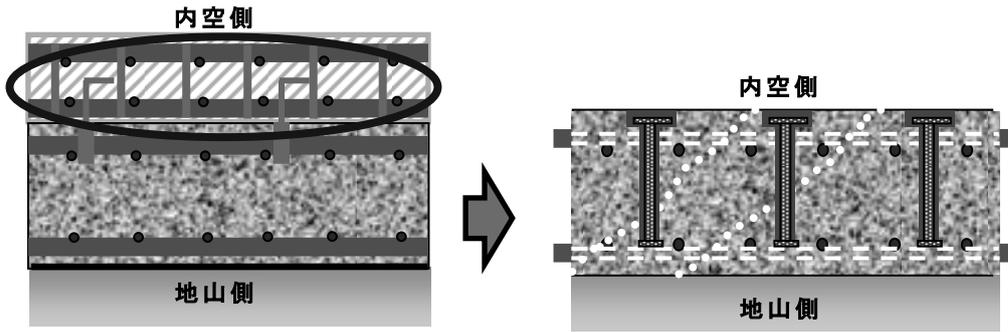


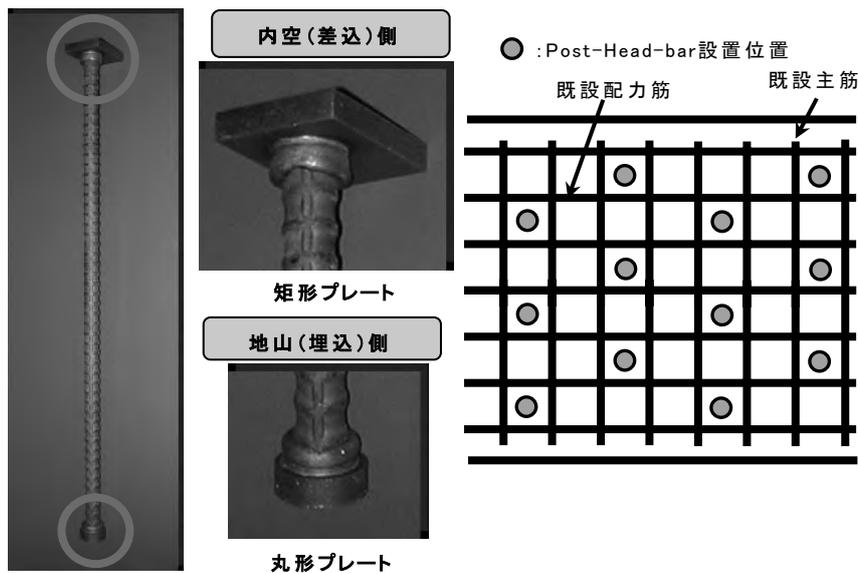
図-13 内空断面側に制約がある場合の耐震補強方法

②Post-Head-bar の構造<sup>3)</sup>

Post-Head-bar は、両端に矩形プレートと丸形プレートが摩擦圧接された特殊なせん断補強鉄筋である。両端のプレートを主筋や配力筋に掛けるのではなく、おおよそ中間位置を削孔して、後施工により配置し、グラウトを用いて既存コンクリートと固着させる（図-14）。

Post-Head-bar が負担されるせん断力は、当初施工時に、同径の鉄筋をせん断補強筋として配筋した場合の8割として評価できる。

図-14 Post-Head-bar 写真・配置図



③施工手順 (図-15)

上面側の既存鉄筋位置を探查



ドリルを用いて補強鉄筋挿入部を削孔



矩形プレート設置部を拡大削孔



削孔した孔内にグラウトを充填



Post-Head-bar の挿入、配置



拡大削孔部にモルタルを充填

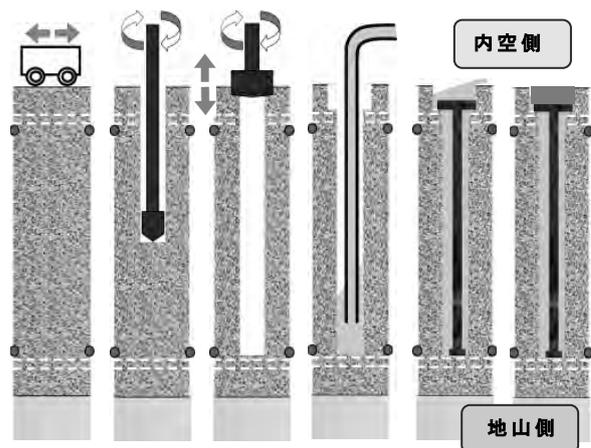


図-15 概略施工手順

④施工状況 図 16～19：技術資料より抜粋

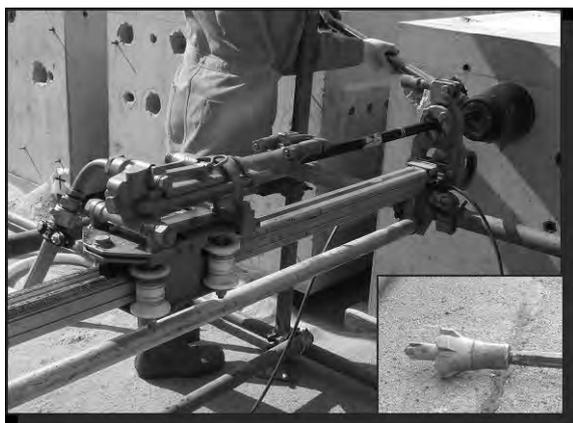


図-16 写真 (削孔工)



図-17 写真 (孔内清掃)

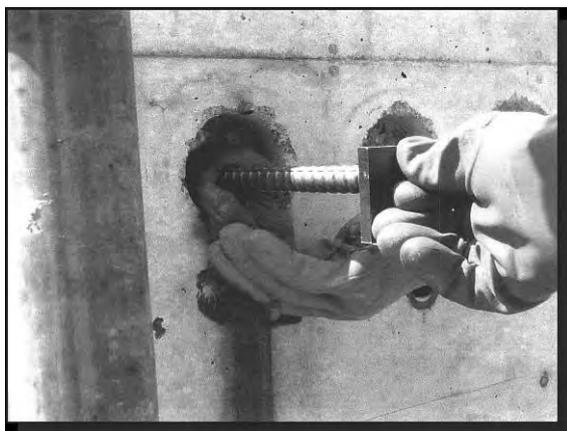


図-18 写真 (Post-Head-bar 挿入)



図-19 写真 (拡大削孔部の表面修復)

### 3.6 底版補強工法の検討結果

地下 3F 管廊部の底版補強工法の比較検討結果を表-5 に示す。

**表-5 底版補強工法の比較表**

	コンクリート増打ち工法		Post-Head-bar	
施工実績	多い	○	少ない	△
経済性	安価	○	RC の約 2.6 倍	△
機器移設	必要	×	不要	○
内空断面	大幅に縮小	×	影響なし	○
機能確保	問題あり	×	問題なし	○
維持管理	支障あり	×	支障なし	○
総合評価	×		○	

Post-Head-bar は新工法であり、全国的にみても施工実績はさほど多くない。また、経済性ではコンクリート増打ち工法を 1 とすると、Post-Head-bar はその 2.6 倍と劣っている。しかし、補強後の内空断面が確保でき、空気を収容するという管廊本来の機能を損なわずに耐震性能を向上できる。

また、第 3-2 系列は未稼働施設であり、プラント設備が設置されていない現段階が最も施工が容易で、施工コストも低く抑えることができる。

従って、地下 3F 管廊部の底版補強については Post-Head-bar を用いた耐震補強工法を採用する事とした。

## 4. おわりに

今後の予定は以下の通りである。

### 4.1 計画的な耐震化の推進

水処理施設第 3 系列の耐震補強を完成させるためには、構造上一体となっている第 3-1 系列の耐震補強を実施しなければならない。しかし、第 3-1 系列は現在稼働中の施設であるため、プラント設備更新時に今回と同様の耐震補強工事を実施していく予定である。

### 4.2 施工実態の把握

Post-Head-bar を用いた耐震補強工事は、当局において初事例になるため、本現場で施工時の実態（施工内容、結果、設計との整合性、課題等）を把握し、今後の設計・積算にフィードバックしていきたいと考えている。

## 参考文献

- 『鉄筋コンクリートの解析と設計』及びホームページ  
武蔵野工業大学 工学部 都市工学科 構造材料工学研究室 吉川弘道教授
- 『下水道施設耐震構造指針—処理場・ポンプ場施設編—』東京都下水道局（2003. 5）
- 建設技術審査証明報告書『Post-Head-bar』大成建設株式会社（2005. 12）

# 1-(4)-1 PRTR 制度を活用した水再生センターからの 化学物質排出量の推計

東京都下水道局 施設管理部 環境管理課 持田 哲宏  
源 素子  
高橋 昌史  
横田 義春

## 1. はじめに

東京都下水道局(以下、「当局」という。)区部の 13ヶ所の水再生センターは、「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律(以下、「PRTR」という。)」に基づき、第一種指定化学物質の公共用水域への排出量の把握及び届出を行っている。平成 18 年度におけるこれらの水再生センターから公共用水域への化学物質排出量は合計 390 t であり、東京都内の全事業所からの排出量 460 t の約 85% を占めていることから<sup>1)</sup>、公共用水域に対する下水道の影響は非常に大きいと言える。

しかし、この集計結果は、水再生センターからの排出量のうち、下水道事業者が届出義務を負う 30 物質についてのみであり、それ以外の物質については、下水道への流入が見込まれる物質も含めて、排出量はほとんど把握されていない。そこで、これまで排出量を把握していなかった化学物質について、推計による手法を用いて水再生センターからの化学物質排出量の把握を試みたので、その内容について報告する。

## 2. 推計の方法

本推計は、「下水道における化学物質排出量の把握と化学物質管理計画の策定等に関するガイドライン(案)」(以下、「ガイドライン」という。)<sup>2,3)</sup>に基づき、化学物質流入量と水再生センターにおける排出係数を用いて行った。

下水道への化学物質の流入源としては、図 1 に示すように、事業所や家庭、路面等が考えられる。本推計では、事業所につ

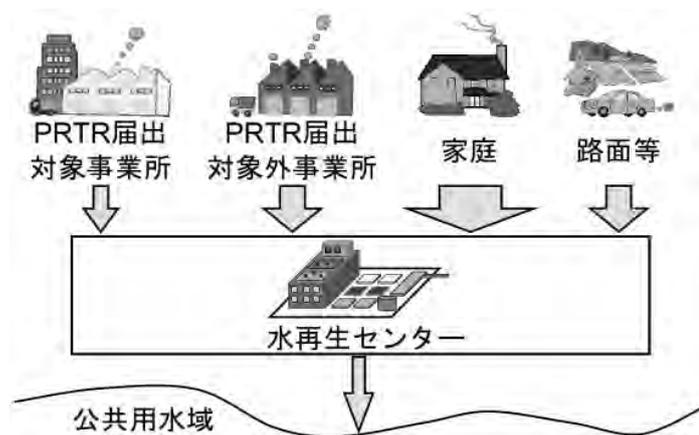


図 1 水再生センターにおける化学物質の流入と排出

いては、PRTR 届出対象事業所及び PRTR 届出対象外事業所(以下、「対象事業所」及び「対象外事業所」という。)に分けて流入量の把握を行った。流入量は、表 1 に示すように、PRTR 届出情報やガイドラインで示されている排出量原単位、排水濃度に関する知見を用いて流入源別に推計した。

公共用水域への排出量の算出は、表 2 に示すように、ガイドラインの排出係数を用いる方法により行った。排出係数とは、化学物質の流入に対する排出の割合を示す指標であり、

物質によっては大きな幅を有した値である。当局の届出 30 物質及び一部の届出外物質の排出係数は、下水処理場における調査結果をもとにガイドラインに整理されている。それ以外の物質については、ガイドラインに示されている化学物質の物性(ヘンリー定数、オクタノール/水分配係数)を用いる方法により排出係数を推定した。

表1 流入源別の流入量の推計方法

流入源別の流入量	推 計 方 法	推計に用いたデータ
対象事業所	PRTR届出情報	平成16年度PRTR届出情報
対象外事業所	排出量原単位((kg/年)/人)×従業者数(人)	排出量原単位：ガイドライン 従業者数：平成16年度工業統計調査 平成16年度商業統計調査 平成16年度事業所・企業統計調査 水質汚濁防止法届出情報
家庭	家庭排水濃度(mg/L)×下水量(L/(人・年)) ×処理区人口(人)×10 <sup>-6</sup>	家庭排水濃度：ガイドライン 下水量：300 L/(人・日)×365 日/年 処理区人口：計画人口
路面等	路面排水濃度(mg/L)×雨水流入量(m <sup>3</sup> /年)×10 <sup>-3</sup>	路面排水濃度：ガイドライン

表2 排出量の推計方法

排出量	推 計 方 法	推計に用いたデータ
公共用水域への排出量	各流入源からの流入量合計(kg/年)×排出係数	排出係数：ガイドライン、または推定

### 3. 推計の結果

#### 3.1 流入量及び排出量の推計の結果

第一種指定化学物質 354 物質のうち、「2. 推計の方法」により推計可能な届出 30 物質と届出外 50 物質の計 80 物質について、当局区部の水再生センター全体における流入量及び排出量の推計値を、金属類、VOC(揮発性有機化合物)類<sup>4)</sup>、界面活性剤、その他物質の 4 つに分類し、本文末の表 5 に示した。なお、排出係数について、調査結果の実測から算出したか、化学物質の物性から推定したかを示した。また、当局の届出物質については、流入水及び放流水の水質検査の測定値を用いて算出した平成 18 年度の届出値も示した。

#### 3.2 推計の精度検証

当局の届出物質について、排出量の推計値と届出値を比較し、推計の精度検証を行った。

金属類の推計値については、表 3 に示すように、届出 10 物質の排出量合計は届出値に近い値であった。また、物質別に比較すると、図 2 に示すように、排出量の多い Zn、Mn 等は届出値と概ね同レベルであった。一方、排出量の少ない Se、As 等の推計値は届出値より大きくなった。排出量の少ない物質は、測定値が分析の検出下限値を下回るため、届出

表3 排出量の推計の結果の概要(80物質)

分類			排出量(t/年)	
			推計値	届出値
金属類	届出	10物質	110 ~ 150	110
	届出外	9物質	38 ~ 48	
	合計	19物質	150 ~ 200	
VOC類	届出	11物質	0.13 ~ 0.39	0.57
	届出外	24物質	240 ~ 260	
	合計	35物質	240 ~ 260	
界面活性剤	届出	0物質	0 ~ 0	
	届出外	6物質	600 ~ 790	
	合計	6物質	600 ~ 790	
その他物質	届出	9物質	110 ~ 140	280
	届出外	11物質	14 ~ 15	
	合計	20物質	120 ~ 160	
全物質	届出	30物質	220 ~ 290	390
	届出外	50物質	890 ~ 1,100	
	合計	80物質	1,100 ~ 1,400	

値が少なく算出されているためであると考えられる。

VOC 類は排出量原単位及び排水濃度等の知見が限られており、表 3 及び図 3 に示すように、排出量が少なく推計された。

その他物質のうち、ふっ素及びほう素は、図 4 に示すように、推計値は届出値の半分程度であった。これらの物質の濃度は水道水源による変動があるが、東京都の水道水質と比較して、本推計で使用した排水濃度が低いこと等が原因と考えられる。このことから、排出量原単位及び排水濃度等の見直しが必要である。

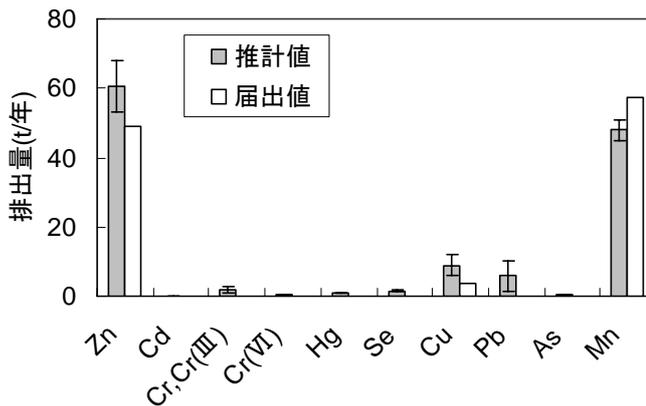


図 2 届出物質の排出量の比較  
金属類(届出 10 物質)

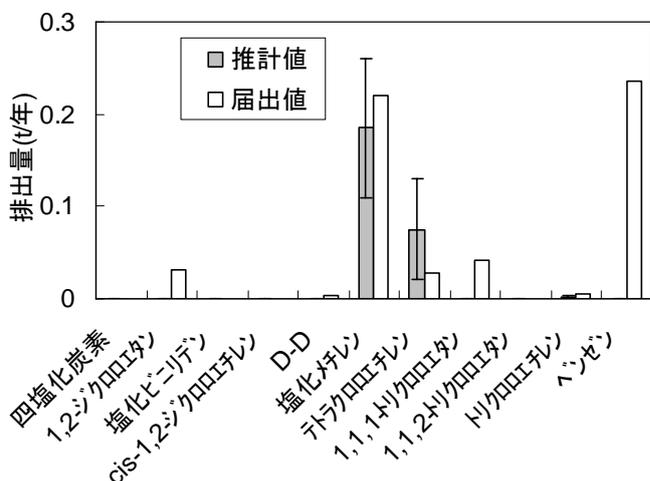


図 3 届出物質の排出量の比較  
VOC 類(届出 11 物質)

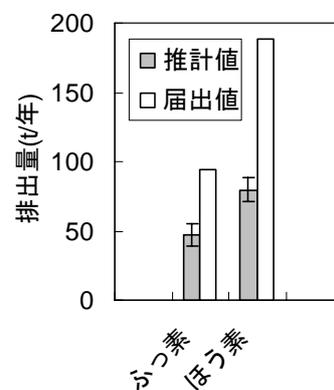


図 4 届出物質の排出量の比較  
その他物質(ふっ素、ほう素)

#### 4. 推計により得られた知見

##### 4.1 流入源別の化学物質流入量

本推計による化学物質流入量を流入源別に比較すると、図 5 に示すように、推計した全 80 物質については、家庭からの流入が 95% を占めており、事業所からの流入はわずかしかなかった。一方、VOC 類 35 物質の流入量は、60% 以上が事業所からの流入であった。また、界面活性剤 6 物質を除く 74 物質について流入源別に見ると、30% 近くが事業所からの流入であった。このように本推計

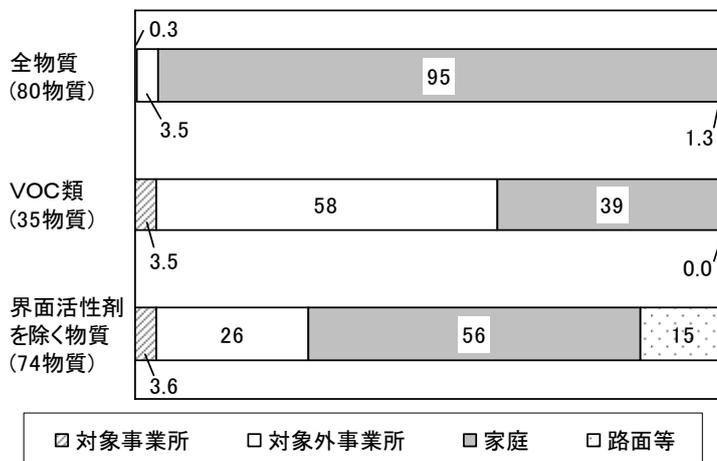


図 5 流入源別の化学物質流入量の推計割合 (%)

の結果を活用することにより、化学物質ごとに流入源の絞り込むことができるため、下水道への流入量及び公共用水域への排出量を削減するための検討資料として活用することができる。

#### 4.2 VOC 類の排出量の把握

表 3 に示すように、測定値を用いて把握していた VOC 類は 11 物質であり、その排出量は 0.57 t であった。一方、当局の届出外を含む VOC 類 35 物質の排出量は 240～260 t と推計され、推計した排出量全体の約 2 割を占めていた。このことにより、下水排除基準が定められた VOC 類については、公共用水域への排出量が少ないものの、それ以外の VOC 類については、比較的多く排出されている可能性がある。

ただし、届出外の VOC 類の多くは、活性汚泥処理における除去特性が明らかになっていないため、それぞれの物性を用いて排出係数を推定している。活性汚泥による生分解性がある物質については、排出係数が実態よりも大きめの値となっており、推計値は実際の排出量よりも多くなっている可能性がある。そのため、届出外物質のうち、公共用水域への影響が大きい物質については、実測により排出量の実態を検証する必要がある。

#### 4.3 界面活性剤の排出量の把握

界面活性剤は合成洗剤や化粧品、乳化剤等に用いられている。本推計で把握した界面活性剤 6 物質の排出量の推計値は合計 600～790 t であり、排出量全体の約 5 割を占めていた。それぞれの流入量及び排出量の推計値を表 4 に示した。これによると、直鎖アルキルベンゼンスルホン酸(LAS)の排出量は界面活性剤合計の 60～70% であった。

表4 排出量の推計の結果(界面活性剤6物質)

政令 番号	物質名	略称	流入量(t/年)	排出量(t/年)
			推計値	推計値
24	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸	LAS	6,200	370 ~ 560
166	N,N-ジメチルドデシルアミン=N-オキシド	AO	290	99
251	ビス(水素化牛脂)ジメチルアンモニウム=クロリド	DAC	66	66
307	ポリ(オキシエチレン)=アルキルエーテル	AE	5,800	58
308	ポリ(オキシエチレン)=オクチルフェニルエーテル	OPE	5.7	5.7
309	ポリ(オキシエチレン)=ノニルフェニルエーテル	NPE	140	1.4
合計			12,000	600 ~ 790

また、図 6 に示したように、界面活性剤の全国出荷量は、LAS が減少傾向にあり、その一方で、より毒性が低いとされるポリオキシエチレンアルキルエーテル(AE)が増加している<sup>5)</sup>。AE の排出係数は 0.01 であり、水再生センターで大部分が除去されているものの、公共用水域への排出量は、出荷量の増加とともに増加していることが予想される。そのため、本推計の手法による排出量の把握も見直しを行い、経年変化をとらえていく必要がある。

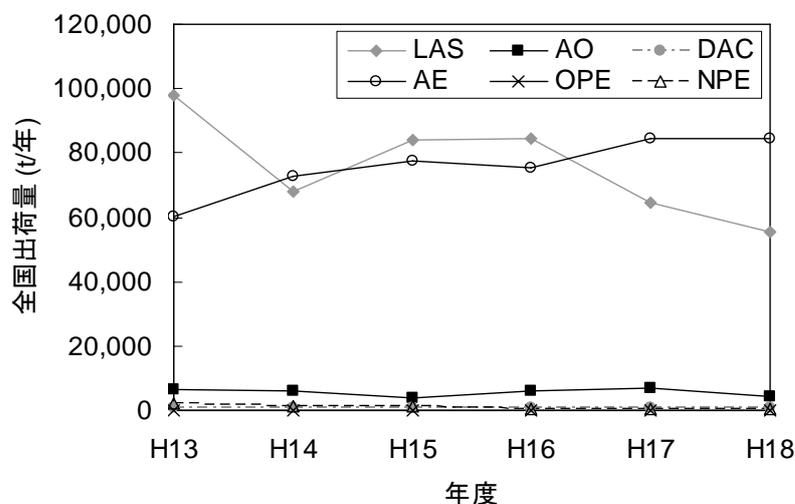


図 6 界面活性剤の全国出荷量の推移

## 5. まとめ

### 5.1 届出外物質の排出量の把握

第一種指定化学物質のうち 80 物質について、水再生センターから公共用水域への排出量を推計した。測定値を用いる方法で算出した 30 物質の排出量の届出値は 390 t (平成 18 年度)であったが、これまで未把握であったものを含む 80 物質の排出量の推計値は 1,100～1,400 t となった。

### 5.2 流入源別の化学物質流入量の把握

流入源別の排出量原単位及び排水濃度を用いることにより、水再生センターに流入する化学物質の流入源を絞り込むことができた。

### 5.3 推計の精度向上の必要性

推計による手法は、測定値を用いる方法と比較して、分析作業や費用の負担はない。しかし、排出量原単位及び排水濃度が実態に合っていない、活性汚泥による生分解性を反映していない等、現時点では推計に用いる知見が限られている物質もあった。

今後は、排出量原単位等に関する知見を蓄積するとともに、流入した化学物質の活性汚泥処理による除去特性を考慮した排出係数を設定し、推計の精度を向上させていくことが求められる。

## 6. 今後の展望

本推計の結果は、下水道へ流入する化学物質の実態の把握や公共用水域への排出量の削減に取り組むための基礎資料として活用可能である。また、化学物質の製造や使用、廃棄等の動向、有害性に関する新たな知見等を考慮することにより、より有意義な推計に発展していくことが期待される。

## 参考文献

- 1) 東京都環境局環境改善部有害化学物質対策課：平成 18 年度 PRTR データの概要について(東京都)－化学物質の排出量・移動量の届出集計結果(東京都分)－ 平成 20 年 2 月
- 2) 社団法人日本下水道協会：下水道における化学物質リスク管理の手引き(案) 平成 13 年 5 月
- 3) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水道における化学物質排出量の把握と化学物質管理計画の策定等に関するガイドライン(案) 平成 17 年 8 月
- 4) 環境省環境保健部環境安全課：VOC 成分に該当すると見込まれる第一種指定化学物質リスト 平成 14 年
- 5) 経済産業省製造産業局化学物質管理課・環境省環境保健部環境安全課：平成 13 年度 PRTR 届出外排出量の推計方法 平成 15 年 3 月  
平成 14 年度同資料 平成 16 年 3 月  
平成 15 年度同資料 平成 17 年 3 月  
平成 16 年度同資料 平成 18 年 2 月  
平成 17 年度同資料 平成 19 年 2 月  
平成 18 年度同資料 平成 20 年 2 月

表5 水再生センターにおける化学物質の流入量及び排出量(区部)

(kg/年(ダイオキシン類のみmg-TEQ/年))

分類	番号	化学物質	推 計 値						届 出 値				
			流入量	内 訳				排 出 量	排出係数		流入量	排出量	
				事 業 所		家 庭	路 面 等		調 査	推 定			
				対 象	対 象 外								
金 属 類	1	亜鉛	180,000	14	7,300	76,000	92,000	53,000 ~ 68,000	○		150,000	49,000	
	60	カドミウム	140	0	-	140	-	10 ~ 84	○		46	0	
	68	クロム, 三価クロム	5,400	170	1,500	1,200	2,600	710 ~ 2,600	○		5,100	230	
	69	六価クロム	590	130	470	-	-	450	○		0	0	
	175	水銀	1,800	0	-	930	850	900	○		25	0.1	
	178	セレン	2,900	0	-	2,900	-	1,200 ~ 1,800	○		180	47	
	207	銅	46,000	180	4,300	27,000	14,000	5,900 ~ 12,000	○		40,000	3,500	
	230	鉛	23,000	15	220	2,300	20,000	1,600 ~ 10,000	○		4,500	50	
	252	砒素	660	0	-	660	-	290 ~ 390	○		290	0	
	311	マンガン	81,000	31	730	40,000	40,000	45,000 ~ 51,000	○		110,000	57,000	
		(届出10物質小計)		340,000	540	15,000	150,000	170,000	110,000 ~ 150,000			310,000	110,000
	届 出 外	25	アンチモン	320	74	-	250	-	52 ~ 210	○			
		64	銀	2,000	300	-	1,700	-	98	○			
		99	五酸化バナジウム	1,300	0	-	1,300	-	290	○			
		100	コバルト	640	6.8	-	630	-	410	○			
		231	ニッケル	430	0.6	430	-	-	220 ~ 360	○			
		232	ニッケル化合物	19,000	1,500	11,000	4,600	990	9,300 ~ 16,000	○			
		243	バリウム	270,000	1,900	-	270,000	-	24,000	○			
		294	ベリリウム	33	0	-	33	-	33	○	○		
346	モリブデン	8,000	1,000	6,300	700	-	3,500 ~ 6,200	○					
	(届出外9物質小計)		300,000	4,800	18,000	280,000	990	38,000 ~ 48,000					
	(金属類合計)		640,000	5,300	33,000	430,000	170,000	150,000 ~ 200,000					
届 出	112	四塩化炭素	0	0	-	-	-	0	○		8.4	0	
	116	1,2-ジクロロエタン	0	0	-	-	-	0	○		2.7	32	
	117	塩化ビニリデン	0	0	-	-	-	0	○		0	0	
	118	cis-1,2-ジクロロエチレン	0	0	-	-	-	0	○		1,100	0	
	137	D-D	0	0	-	-	-	0	○		0	3.2	
	145	塩化メチレン	430	110	330	-	-	110 ~ 260	○		220	220	
	200	テトラクロロエチレン	250	1.6	250	-	-	20 ~ 130	○		550	28	
	209	1,1,1-トリクロロエタン	0	0	-	-	-	0	○		100	41	
	210	1,1,2-トリクロロエタン	0	0	-	-	-	0	○		0	0	
	211	トリクロロエチレン	6.4	6.4	-	-	-	0.2 ~ 3.6	○		440	5.1	
	299	ベンゼン	0	0	-	-	-	0	○		74	240	
		(届出11物質小計)		690	120	580	-	-	130 ~ 390			2,500	570
V O C 類	3	アクリル酸	270	0	270	-	-	270	○				
	12	アセトニトリル	5,600	14	5,600	-	-	5,600	○				
	15	アニリン	5,900	6.6	5,900	-	-	5,900	○				
	16	2-アミノエタノール	150,000	1,800	3,900	140,000	-	45,000	○				
	22	アリアルアルコール	10	10	-	-	-	10	○				
	42	エチレンオキシド	440	440	-	-	-	420	○				
	43	エチレングリコール	160,000	5,700	160,000	-	-	160,000	○				
	54	エビクロロヒドリン	130	0	130	-	-	0	○				
	61	ε-カプロラクタム	1.1	1.1	-	-	-	0.3	○				
	63	キシレン	980	150	830	-	-	49 ~ 180	○				
	67	クレゾール	2,400	0	2,400	-	-	2,400	○				
	91	塩化アリル	10	10	-	-	-	3.6	○				
	93	クロロベンゼン	17	17	-	-	-	9.7	○				
	95	クロロホルム	5,100	160	3,300	1,700	-	920 ~ 1,900	○				
	113	1,4-ジオキサン	9,900	10	9,900	-	-	9,900	○				
	172	N,N-ジメチルホルムアミド	5,100	2,900	2,200	-	-	0	○				
	177	スチレン	690	0	690	-	-	410	○				
	227	トルエン	4,300	220	4,100	-	-	87 ~ 390	○				
253	ヒドラジン	2,100	1,100	950	-	-	2,100	○					
259	ピリジン	5,200	5.0	5,200	-	-	5,200	○					
266	フェノール	1,700	89	1,600	-	-	1,700	○					
298	ベンズアルデヒド	6.4	6.4	-	-	-	6.3	○					
310	ホルムアルデヒド	5,100	0	5,100	-	-	1,400 ~ 15,000	○					
313	無水マレイン酸	650	0	650	-	-	650	○					
	(届出外24物質小計)		370,000	13,000	210,000	140,000	-	240,000 ~ 260,000					
	(VOC類合計)		370,000	13,000	210,000	140,000	-	240,000 ~ 260,000					

(kg/年(ダイオキシン類のみmg-TEQ/年))

分類	番号	化学物質	推計値						届出値				
			流入量	内訳			排出量	排出係数		流入量	排出量		
				事業所		家庭		路面等	調査			推定	
				対象	対象外								
界面活性剤	届出外	24	直鎖アルキルベンゼン スルホン酸	6,200,000	83	29,000	6,200,000	-	370,000 ~ 560,000	○			
		166	N,N-ジメチルドデシル アミン=N-オキシド	290,000	280	1,100	290,000	-	99,000	○			
		251	ビス(水素化牛脂)ジメチル アンモニウム=クロリド	66,000	0	300	66,000	-	66,000	○			
		307	ポリ(オキシエチレン)= アルキルエーテル	5,800,000	220	130,000	5,600,000	-	58,000	○			
		308	ポリ(オキシエチレン)= オクチルフェニルエーテル	5,700	0	140	5,600	-	5,700	○			
		309	ポリ(オキシエチレン)= ノニルフェニルエーテル	140,000	180	20,000	120,000	-	1,400	○			
			(界面活性剤合計)	13,000,000	760	180,000	12,000,000	-	600,000 ~ 790,000				
その他物質	届出	37	EPN	0	0	-	-	-	0	○		0	0
		90	シマジン	0	0	-	-	-	0	○		0	0
		108	無機シアン	770	13	750	-	-	510	○		0	0
		110	チオベンカルブ	0	0	-	-	-	0	○		0	0
		179	ダイオキシン類	1.9	0.13	1.8	-	-	非意図的生成物のため除外	○		1,800	53
		204	チウラム	0	0	-	-	-	0	○		0	0
		283	ふっ素	58,000	4,200	26,000	28,000	-	39,000 ~ 55,000	○		160,000	94,000
		304	ほう素	91,000	1,400	30,000	60,000	-	71,000 ~ 88,000	○		190,000	190,000
		306	PCB	0	0	-	-	-	0	○		0	0
			(届出9物質小計)	150,000	5,600	57,000	88,000	-	110,000 ~ 140,000			350,000	280,000
その他物質	届出外	9	アジピン酸 ビス(2-エチルヘキシル)	80	0	-	80	-	1.6	○			
		29	ビスフェノールA	890	0	-	380	520	27	○			
		47	エチレンジアミン四酢酸	9,400	9,400	-	-	-	9,900	○			
		181	チオ尿素	520	0	520	-	-	520	○			
		222	プロモホルム	1,300	0	-	1,300	-	1,100	○			
		242	ノニルフェノール	1,700	0	-	1,100	630	0	○			
		254	ヒドロキノン	14,000	9,500	4,800	-	-	2,600	○			
		270	フタル酸ジ-n-ブチル	86	86	-	-	-	0	○			
		272	フタル酸 ビス(2-エチルヘキシル)	12,000	0	-	11,000	960	120 ~ 710	○			
		345	メルカプト酢酸	2.3	2.3	-	-	-	2.3	○			
		350	ジクロロボス	25	25	-	-	-	25	○			
		(届出外11物質小計)	40,000	19,000	5,300	14,000	2,100	14,000 ~ 15,000					
		(その他物質合計)	190,000	25,000	62,000	100,000	2,100	120,000 ~ 160,000					
全物質	届出		(30物質合計)	490,000	6,300	73,000	240,000	170,000	220,000 ~ 290,000			660,000	390,000
	届出外		(50物質合計)	14,000,000	38,000	410,000	12,000,000	3,100	890,000 ~ 1,100,000				
			(全80物質合計)	14,000,000	44,000	490,000	13,000,000	170,000	1,100,000 ~ 1,400,000				

## 2. 快適性の向上

### (1) 合流改善技術

- 1 小菅水処理センター高速凝集沈殿装置性能評価調査
- 2 ポンプ所放流渠滞留水の浄化に関する共同研究

### (2) 高度処理技術

- 1 担体添加ステップA2O法の事後評価（中間報告）
- 2 東部汚泥処理プラントりん固定剤添加設備設置について
- 3 八王子水再生センターのステップA2O法について

### (3) 周辺環境対策技術

- 1 大腸菌群数低減への取り組み

## 2-(1)-1 小菅水再生センター—高速凝集沈殿装置性能評価調査

計画調整部 技術開発課  
河野里名

### 1 はじめに

平成13年、雨の日に合流式下水道から公共用水域に放流されたオイルボールがお台場に漂着したことが社会的な問題として取り上げられた。これを契機として、下水道局では、「合流改善クイックプラン」を策定し、雨水を一時的に貯めおく貯留池等の整備対策に取り組むことになったが、貯留池等の設置には多大な費用が必要なことや用地の少ない水再生センターでの整備が難しいこと等の課題があった。このため、合流改善事業を早期に進めるにはこれらの課題を解決できる新たな対策が求められていた。

こうした状況を受けて技術開発課では、平成13年度から降雨時に効率的に水処理ができる高速凝集沈殿設備（以下、本装置）の共同研究を民間企業と始めた。大島ポンプ所に設置したパイロットプラントでの除去率は、SS91%、BOD76%（平均値）とどちらも良好であった。さらに、省スペースでありながら大量の下水を処理できること、既存の第一沈殿池の改造で設置可能なため建設費の抑制が図れるなど、本装置の性能は局の合流改善事業を進める上で効果的であることが明確になった。このことから、当局は本装置を導入することによって放流水質改善効果大きいと試算された小菅水再生センター（以下、小菅）への導入を決定した。

本装置は平成15年7月の建設を始め、17年3月に稼動を開始した。初期トラブル等もあったが、平成18年度末には安定した自動運転が可能になっている。

そこで今回、設計時に想定していた機能が確保されているかの性能確認と、稼動後の運転や維持管理などから分かってきた本設備の利点と課題をまとめた。なお、この評価は現場を中心とした高速凝集沈殿設備評価PTにより行った。

### 2 技術概要

#### 2.1 設備概要

小菅導入装置の処理フローを図-1に示す。

本装置の処理工程は、スクリーン部、急速攪拌槽（無機凝集剤添加）、注入攪拌槽（マイクロサンド添加）フロック形成槽（高分子凝集剤添加）、傾斜板付き沈殿池、マイクロサンド関連設備（循環ポンプ、回収装置）薬品投入設備（無機凝集剤貯留槽、高分子凝集剤溶解槽、）その他の付随設備から構成される。

各構成の働きは以下のとおりである。

- ① 濁度計・・・ 原水の濁度を計測し、凝集剤添加率を制御する。
- ② スクリーン・・・ 原水中の大きな夾雑物を目巾Φ6mmのスクリーンで除去する。
- ③ 稼動堰・・・ 装置への流入水量を100m<sup>3</sup>/分になるよう堰高をコントロールする。
- ④ 急速攪拌槽・・・ 無機凝集剤（PAC）を添加して、浮遊しているSSを凝集させる。
- ⑤ 注入攪拌槽・・・ 沈降汚泥の核とするためにマイクロサンドを添加しする。

- ⑥ フロック形成槽・高分子凝集剤添加後、攪拌速度を弱めて、フロックの形成を促す。  
高分子凝集剤により流入 SS とサンドの結びつきが強まる。(図-2)
- ⑦ 沈殿池・・・生成した凝集汚泥を沈殿させる。傾斜板を設けたことで、効率的に泥を集められる。かき寄せた汚泥は循環ポンプで引き抜き、上澄みは処理水となる。
- ⑧ マイクロサンド関連設備
- ・回収装置 沈殿槽からの引抜き汚泥を排出汚泥とマイクロサンドに分離する装置。液体サイクロン方式を採用し、設定値(概ね  $100\mu\text{m}$ )の以上の粒径をマイクロサンド、それ以下を流入 SS 分とする。
  - ・供給装置 槽内のサンド量が適正量を下回らないようにする装置。フロック形成槽内汚泥濃度計の値が設定値を下回ると、供給装置内のサンド全量(600kg)が自動投入される。(小菅では現在自動投入機能は使用していない)
- ⑨ 薬品投入設備
- 無機凝集剤薬品タンク・・・容量  $12\text{m}^3$  無機凝集剤(PAC)を保管する。  
高分子凝集剤溶解タンク・・・有効容量  $12\text{m}^3$  粉体の凝集剤を溶解する。  
溶解した凝集剤は2週間程度しか保存ができないため、2週間に1回古い凝集剤の廃棄作業と新しい試薬の溶解作業を行う。
- ⑩ その他付随設備・各種ポンプ、攪拌器、沈砂回収装置など

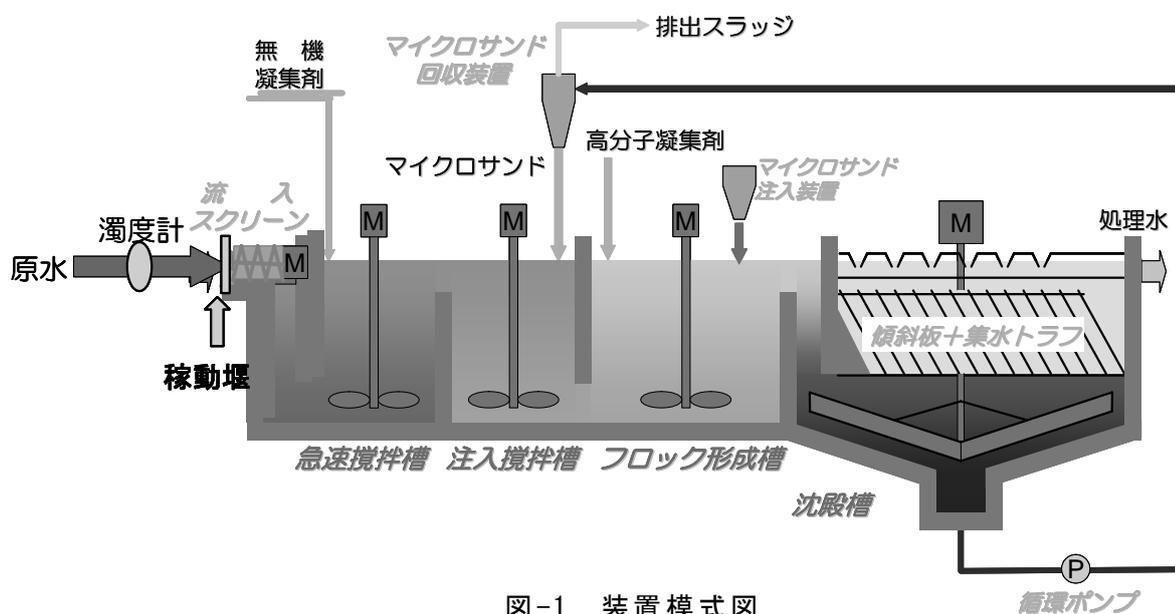


図-1 装置模式図

## 2.2 除去対象物質

本装置は SS、BOD の処理を主眼にしている。さらに、凝集剤に PAC を使用していることから、りんが副次的に処理される。

### 2.3 マイクロサンドの役割

マイクロサンドは石英 ( $\text{SiO}_2$ ) 分を 80% 以上と指定した白い砂で、比重が大きく沈みやすい性質を持つ。主要な銘柄には東北珪砂や山形珪砂があり、ガラスの原料や鋳物砂・水道水の濾過材などとして用いられている。

マイクロサンドは、図-2 のように汚泥凝集時の核となり、凝集汚泥の比重を増加させて沈降速度を高めることで、流入水中の SS 分を効果的かつ高速に除去する役割を担っている。

マイクロサンドは循環利用が可能なため、正常稼動時は損失分を投入すればよいが、分離装置の分岐粒径よりも小さなサンドは系外に排出されるため、図-3 に示すように分離装置分岐位置以下の粒径がほとんどない号数のマイクロサンドを装置に導入する。

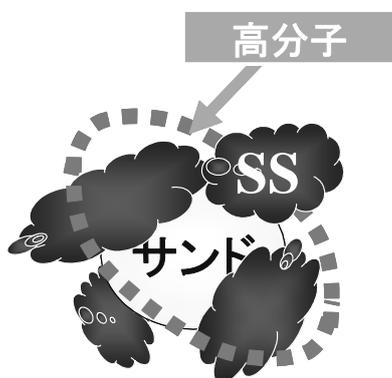


図-2 マイクロサンドの吸着イメージ

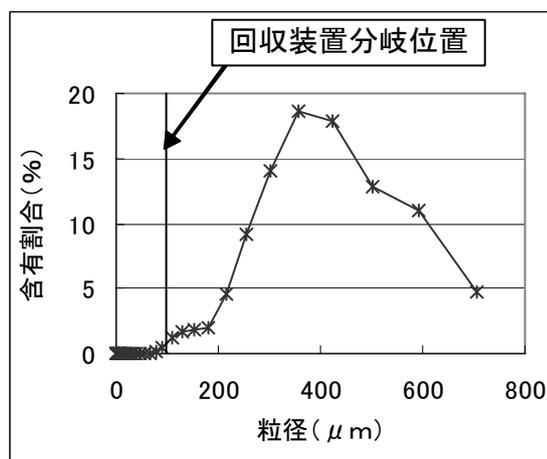


図-3 マイクロサンドの粒径分布

### 2.4 凝集剤

アクティで使用する凝集剤の性状を表-1 に示す。

無機凝集剤は、PAC10%溶液を原液のまま投入している。強アニオン系の高分子凝集剤は粉末を 0.2% 濃度に溶解してから添加する。

2つの凝集剤は装置の稼動と同時に自動添加され、さらに流入系に設置した濁度計で流入水質の変化を計測して制御することで、凝集剤使用量の削減を図っている。(凝集剤の添加濃度は表-5 参照)

表-1 本装置で使用する薬品について

	品名	性状(購入時)	投入濃度	添加方法
無機凝集剤	PAC	液体	10%	稼動時原液を自動注入
高分子凝集剤	ポリアクリルアミド	粉末 強アニオン系	0.2%	注入溶液は2週間に1度調製 稼動時の注入は自動

## 3 小菅水再生センターにおける合流改善施設の運用方法

小菅で合流改善施設として用いられている西系第一沈殿池は5～7号池の3池あり、1池がそれぞれ4水路に分かれ合計12水路ある。そのうち7号池の1水路に本装置が導入され、残りの11水路は雨水沈殿池として使用している。

降雨時は、はじめに雨水沈殿池への貯留が始まり、(図5左)、雨水沈殿池が満水になると雨水沈殿池からの簡易放流が始まり、それと同時に本装置が稼動する。(図5右)その後は雨水沈殿池と本装置の両方から放流が行われる。

本装置は稼動後堰高で常時100m<sup>3</sup>/分流入するように設定されており、残りが雨水沈殿池に送水される。なお、本装置の滞留時間は10分となっている。

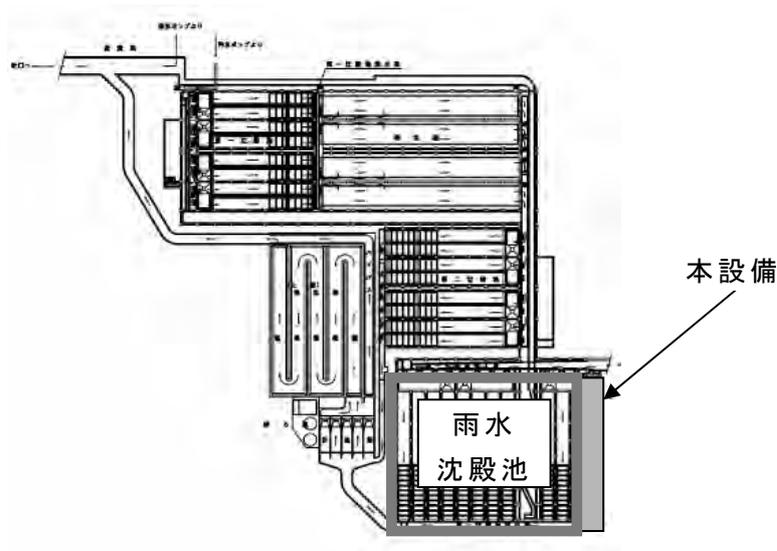


図-4 小菅西系水処理施設

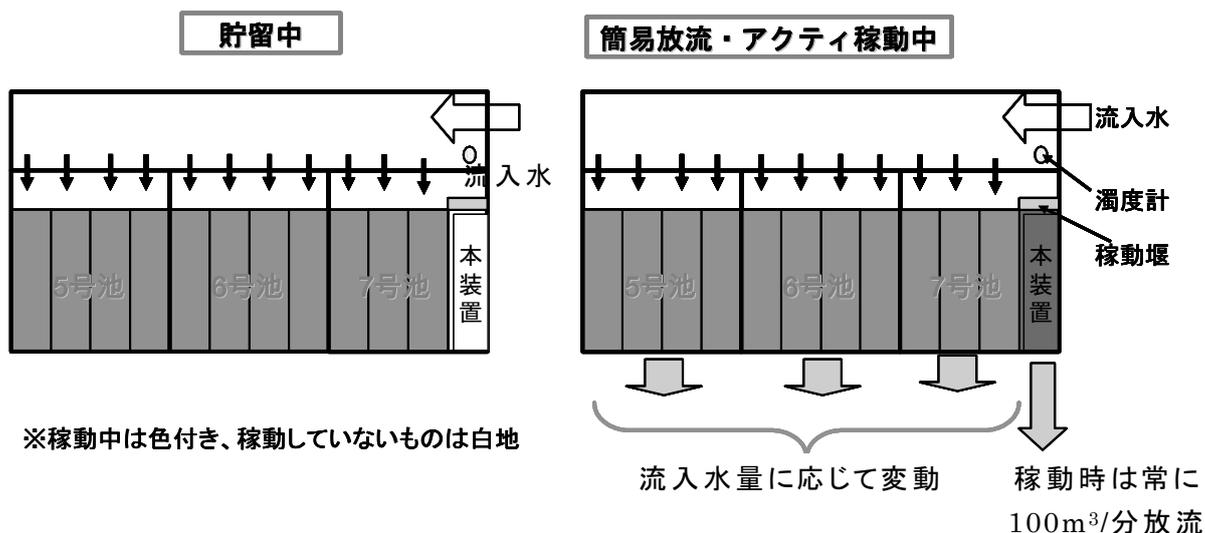


図-5 小菅合流改善施設

## 4 性能評価

### 4.1 性能評価項目と評価方法

性能評価は8項目について実施した。設計時の基準値がある4項目は、設計値を満たしているか否かを確認する。それ以外の評価は高級処理や簡易処理との比較により本装置の特性を評価した。

#### 4.1.1 設計性能に関する評価

設計書に記載されている本装置の性能は表-2の4項目である。

表-2 性能評価項目及び方法

項目	条件	確認方法
処理水量	100m <sup>3</sup> /分を常に満たす	日報にて確認
SS除去率	90%	流入・処理の分析を行い除去率を求める
BOD除去率	75%	流入・処理の分析を行い除去率を求める
サンド回収率	99.9%以上	排出泥にサンドが含まれないことを確認

##### (1) 処理水量

処理水量が100m<sup>3</sup>/分を満たしているかを稼働時の運転データである処理水量計測値から確認する。

##### (2) 除去率 (SS・BOD)

合流改善装置の性能評価は通常汚濁総量を用いている、今回もそれに準じて稼働時間全体のコンポジット試料を作成し、流入水・処理水それぞれの汚濁負荷量から除去率を求めた。

##### (3) マイクロサンドの回収率

マイクロサンドの回収率は、沈殿槽引き抜き汚泥と循環汚泥の砂量(g)を測定し、両者の差から求め、設計値と比較して評価した。

なお、砂分の分析は下水試験法に示された汚泥中の砂分の分析に準拠した。

#### 4.1.2 設計性能以外の評価

##### (1) 凝集剤の添加制御

設計値を満たす除去率を得るには、2つの凝集剤が設定値どおり注入されていることが重要になる。そこで、添加量を決める濁度計の精度確認を行った。

##### (2) 全りん除去率

PACの添加により副次的に処理される全りんの分析をSS・BODと同様の手法で行い、除去率等について評価した。

##### (3) 放流負荷量低減効果

本調査から得られた除去率から、本施設稼働による汚濁負荷低減効果を雨水沈殿池との比較により考察した。

##### (4) 省スペース性

本装置と簡易処理を行う雨水沈殿池の設置面積について、各降雨時の処理水量と除去汚

濁量を考慮した比較・検討を行った。

#### (5) ランニングコスト

本装置稼動による、水処理コスト(薬品費+電気代)から、項目別の費用比率を検討した。また、経常的に損失するサンドの補充費用を試算し、ランニングコストを試算した。

なお、小菅への導入は、既存施設の改造によることから、土木構造物を含めたイニシャルコストについて今回は評価をしていない。

## 4.2 性能評価結果

### 4.2.1 性能評価対象降雨状況

#### (1) 調査日の状況

水試料の調査は平成19年9月～12月にかけて4回の降雨で実施した。表-3に調査を行った日の降雨等の状況を示す。

表-3 調査日の状況

	調査日	降雨量 (mm)	最大強度 (mm)	降雨時間	無降雨 日数	本装置 稼働時間 (分)	本装置 処理水量 (m <sup>3</sup> )	雨水沈殿 池放流量 (m <sup>3</sup> )
RUN1	10月19日	12.5	9.0	4時間	11	155	15,000	28,000
RUN2	10月26日	12.5	2.5	5時間	7	151	14,800	19,700
RUN3	12月13日	8.0	2.5	7時間	31	156	15,400	10,800
RUN4	12月23日	17.0	3.0	13時間	9	497	49,800	39,500

今回の調査回ごとの特徴は以下のとおりである。

RUN1は強度の強い雨(夕立)

RUN2は弱い雨

RUN3は無降雨日数が1ヶ月と長い

RUN4は稼働時間が8時間と長い

流入水質(降雨強度、無降雨期間)と稼働時間は処理水質に与える影響が大きいと考えられ、今回4回の調査ではこの2つの変動要因を抑えている。

#### (2) 採取方法

試料は自動採水器で採水を行った。採水試料は3種類、流入水、処理水、西系雨水沈殿池放流水で、採水間隔は10分で最大240分採取可能である。稼働時間の長いRUN4は全ての試料を採取できなかったため、240分以降は240分の水質がその後も継続したとして計算を行っている。

### 4.2.2 設計性能に関する評価

#### (1) 処理水量

Run4の時の処理水量状況を図-6に示す。他のRunについても同様に稼働中は安定した処理水量になっており、10～12月における稼働時の平均処理水量は100m<sup>3</sup>/分で、設計値の

処理水量を満たしていた。

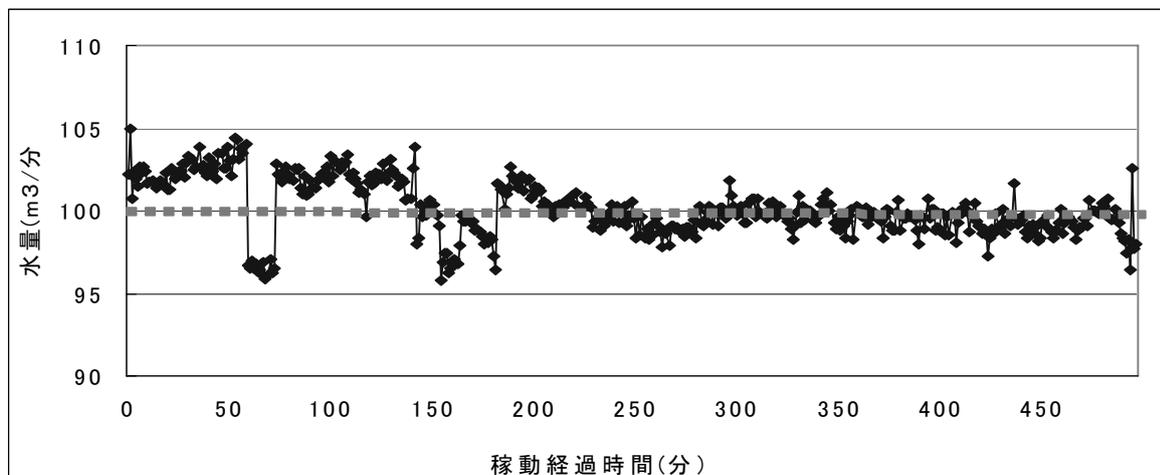


図-6 本装置稼動時の水量変化(点線は設定水量)

(2) 除去率 (SS・BOD)

1) SS 除去率

各 Run における SS 濃度は流入 100~180mg/L (平均 146mg/L) で、処理水は 4~17mg/L (平均 10mg/L) で、簡易処理水の水質としてはきわめて良好であった。除去率(負荷量換算)の平均は 95% となり、設計性能 90% を満たしていた。4 回の調査での除去率の範囲は 89~97% で降雨強度や無降雨日数による水質の変化の影響を受けずいずれも高い数値が得られた。このことから、本装置は SS の処理に適した性能を有すると評価できる。

表-4 SS 分析結果

回数	採水区分	濃度 (mg/L)	負荷量 (kg)	除去率
RUN1	流入水	180	2702	91%
	処理水	17	240	
RUN2	流入水	170	2508	96%
	処理水	7	99	
RUN3	流入水	100	1537	89%
	処理水	12	174	
RUN4	流入水	134	6672	97%
	処理水	4	184	
平均値 ※1	流入水	146	13418	95%
	処理水	10	695	

※1:汚濁負荷は4回の調査の合計

2) BOD 除去率

各 Run における BOD 濃度は流入 81~114mg/L (平均 98mg/L) で、処理水は 7~32mg/L (平均 18mg/L) で、負荷量換算の除去率は Run1、2 は 90% 以上であったが RUN3 は 68% と低くなっており、すべての降雨において安定した除去率とはなっていない。

表-5 BOD 分析結果

回数	採水区分	濃度 (mg/L)	負荷量 (kg)	除去率
RUN1	流入水	100	1501	91%
	処理水	10	141	
RUN2	流入水	81	1195	92%
	処理水	7	99	
RUN3	流入水	95	1460	68%
	処理水	32	463	
RUN4	流入水	114	5676	82%
	処理水	21	1015	
平均値 ※1	流入水	98	9832	83%
	処理水	18	1717	

※1:汚濁負荷は4回の調査の合計

RUN3におけるBOD除去率低下の要因として、溶存態BOD割合の違いが考えられた。今回の分析結果から溶存態の量をBOD/SS比率で推定しBOD除去率とBOD/SS比率の関係を求めた。結果を図-7に示す。溶存態の割合が高い（BOD/SS比率が低い）と考えられる流入水ほどBOD除去率が低く、流入水中の溶存態がBOD除去率に影響を与えていることが確認された。

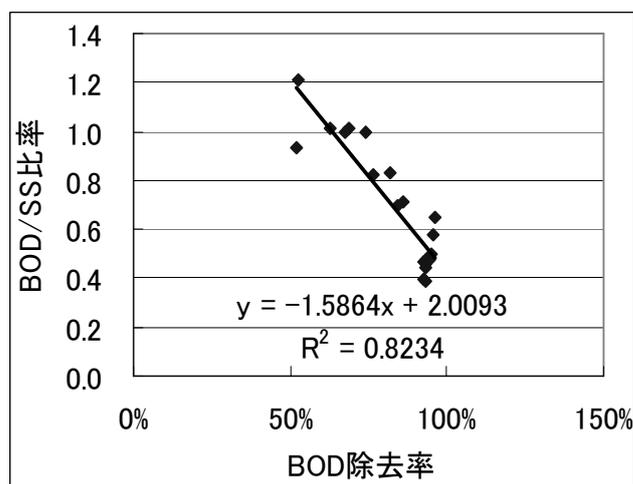


図-7 BOD/SS比率とBOD除去率の関係

### 3) サンド回収率

#### ・砂分の結果

引き抜き汚泥と系外排出汚泥の分析からサンド回収率を求めた。

沈殿槽引き抜き汚泥は試料1L中に2~13g（分析回数4回）の砂分が含まれたが、マイ

クロサンド分離機通過後の系外排出汚泥には 0.0009~0.0033g の砂分しか含まれなかった。砂分回収率は 99.96~99.99% で、いずれも設計値 99.9% 以上を満たしていた。

表-6 砂分分析結果

採取日	稼働開始からの経過時間(時間)	引き抜き汚泥砂分(g)	系外排出汚泥砂分(g)	砂分回収率(g)
9月5日	0	5.7	0.0011	99.98%
	2	12.9	0.0010	99.99%
12月13日	0	2.4	0.0009	99.96%
	2	7.6	0.0033	99.96%

・ 粒径分布

砂分の分離性能を確認するため、各成分の粒径分布を測定した。引抜き汚泥中の砂分は流入 SS 分による粒径 10~100 $\mu$  とマイクロサンドによる 400 $\mu$  m 前後の粒径が混在している。しかし、系外排出汚泥中にはマイクロサンドに該当する範囲の粒径はほとんどなく、分離装置が正常に稼働していることが確認された。

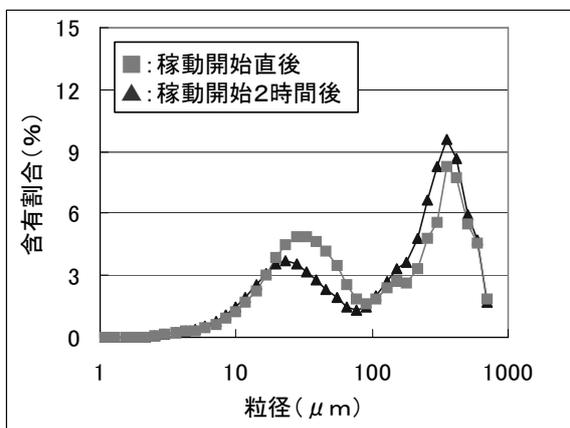


図-8 引き抜き汚泥の砂分

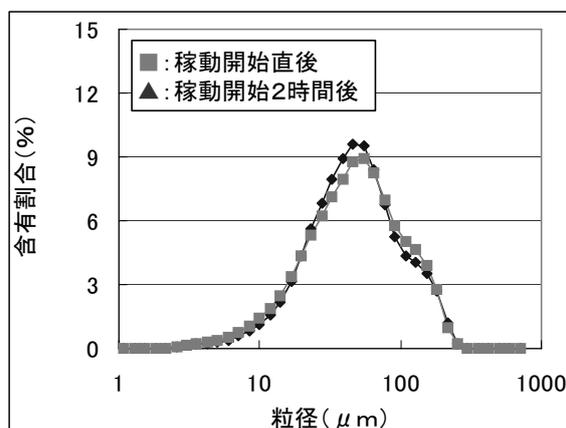


図-9 系外排出汚泥の砂分

4.2.3 設計性能以外の評価

(1) 凝集剤添加特性

1) 濁度計指示値

現場濁度計指示値と採取した試料の分析結果との比較より現場濁度計の精度を確認した。

図-10 に Run 1 における手分析による測定結果と現場設置計器の変化を示す。これより両者の度数はほとんど差がなく、現場濁度計は制御に十分な精度であったことがわかる。

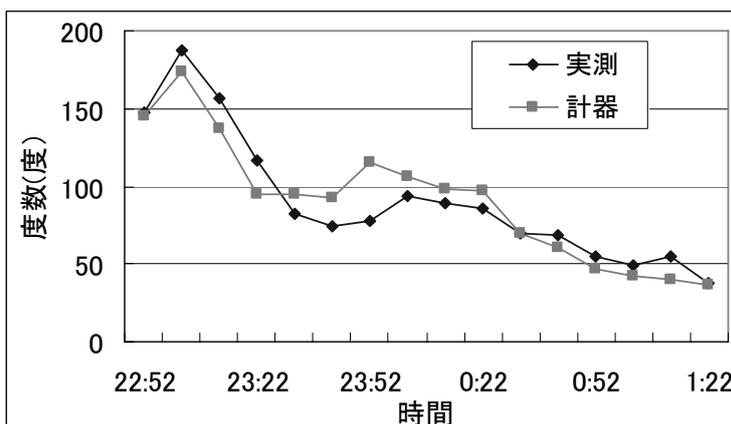


図-10 実測と計器値の濁度の変化

2) 凝集剤注入率と設定値

表-7に凝集剤の添加率とそれぞれの添加率に該当する調査時の濁度の割合(%)を示す。調査期間では500度以上の汚れの激しい水の流入はなかった。これは3、合流改善施設の運用方法のとおり小菅では汚れの激しい初期雨水は貯留に回るためと考えられる。

今回の調査での流入水の91%は濁度50~200度の範囲であった。ほとんどの流入水の濁度がこの範囲になるのは、この領域の濁度はSSに換算すると約30~520mg/Lで、対象範囲が広いためである。

表-7 流入濁度範囲

流入水濁度範囲	濁度の存在比 (%)	凝集剤注入率	
		無機凝集剤 (mg/L)	高分子凝集剤 (mg/L)
0~50	7	3	0.6
50~200	91	5	0.8
200~500	2	7.5	1.4
500以上	0	10	2

(2) 全りん除去率

本装置では、凝集剤にPACを使用しているため、SS性りんと溶解性りんの除去が行える。溶解性りんは通常の簡易処理ではほとんど除去されないの、りん除去特性は本装置の特徴といえる。

本調査での処理水的全りん濃度は平均0.2mg/Lで、晴天時の小菅の高級処理水濃度とほぼ同等の低い濃度であった。除去率も高く安定しており、全りんの除去効果の高さが改めて確認された。

表-8 全りん除去率

調査日	回数	濃度 (mg/L)	汚濁量 (kg)	除去率
10月19日	RUN1	2.6	39.0	92.8%
		0.2	2.8	
10月26日	RUN2	2.5	36.9	98.1%
		ND	0.7 ※	
12月19日	RUN3	2.5	38.4	92.5%
		0.2	2.9	
平均値		2.5	38.1	94%
		0.2	2.1	

※RUN2の処理水は定量下限値以下であったため、下限値の半分にあたる0.05を用いて汚濁量を計算

※RUN4は未測定

### (3) 放流負荷量の低減効果

本装置と雨水沈殿池の放流負荷量を比較した。処理水量は本装置の年間推定処理水量 210 万 m<sup>3</sup>/年（平成 18 年度 9 ヶ月間稼動実績からの年間推計値）とした。

公共用水域へ放流される SS 量は本装置 19 トンに対して雨水沈殿池放流水 144 トンで、本装置の除去効果の高さが明確になった。BOD、全りんにおいても放流負荷量は雨水沈殿池放流水よりも少なく、排出先の水質保全に大きく貢献されていることが証明された。

表-9 本装置と雨水沈殿池処理の年間負荷量の違い(トン/年)

	SS	BOD	全りん
本設備放流負荷量	19	27	0.2
雨水沈殿池放流負荷量	144	102	4.1
放流負荷低減量	125	75	3.9

### (4) 設置面積

本装置の設置面積は、処理装置本体は 350m<sup>2</sup>、薬品槽など付随施設を含めると 453m<sup>2</sup>で、付帯施設の面積が多くなっている。雨水沈殿池の敷地面積は 1438m<sup>2</sup>である。

それぞれの施設が敷地 1m<sup>2</sup>で処理できる水量は、本装置 20.0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>（装置本体）、雨水沈殿池 11.3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>で、本装置は同一設置面積の雨水沈殿池設備と比べて、2 倍近い水を処理することができる。

### (5) 処理コスト

#### 1) 薬品費及び電力費

本装置稼動時の処理コストを求めた。試算はコストに占める割合が高い薬品費と電気代から求めた。金額は Run 3 を除く 3 回の調査の平均である。

#### 高速凝集設備処理コスト（電気代及び薬品費用）

稼動時実質処理費用 2776 円/1000m<sup>3</sup>

内訳 電気代 209 円（総額に占める割合：7%）

無機凝集剤 1921 円（ ” : 69%）

高分子凝集剤 645 円（ ” : 23%）

#### (参考)

小菅高級処理電気代 1765 円/1000m<sup>3</sup>

小菅簡易処理電気代 24 円/1000m<sup>3</sup>

本装置を用いて 1000m<sup>3</sup>の処理を行った際の処理コストは 2776 円で、そのうち 70%が無

機凝集剤の費用であった。小菅の高級処理水電気代 1765 円と比べると本装置の金額は 1000 円高く、本装置の処理費用は非常に高いことがわかる。

## 2) マイクロサンド補充費用

マイクロサンド回収率は 99.97% であることから系外に流出するマイクロサンド量は 0.03% となる。年間処理水量 210 万 m<sup>3</sup>、槽内の循環サンド濃度を 3000mg/L として計算すると、下記のとおり処理水量 1000m<sup>3</sup>あたりの投入費用は 40 円で、薬品費とくらべるとマイクロサンドの補充費用は少ない。

### ・マイクロサンド損失分の補充（年間想定 350 時間稼動）

年間損失量 1890kg

投入費用 85,000 円

処理水量 1000m<sup>3</sup>あたりの投入費用 40 円

## 5 性能評価まとめ

高速凝集沈殿装置の性能調査をおこなった結果、以下のことが明確となった。

- ① 装置への処理水量 100m<sup>3</sup>/分は確保されていた。
- ② SS は流入濃度に影響を受けず目標除去率 90%の性能を有しており、本装置が SS の処理に適していることが証明された。
- ③ BOD は概ね目標除去率 75%を満たす処理は可能だが、溶存 BOD の割合が高い流入水では除去率が低下する傾向がある。
- ④ 流入濁度の変動は少なく、薬品注入率は概ね無機凝集剤 5mg/L、高分子凝集剤 0.8mg/L であった。
- ⑤ 全りんは常に除去率が高く、処理水のりん濃度は小菅の高級処理水とほぼ同等である。
- ⑥ 本装置の稼動による年間 SS 放流負荷量は 19kg で簡易放流 144kg と比べて明らかに少なく、本装置を用いることで公共用水域への放流負荷を大きく軽減できる。
- ⑦ サンド回収装置の回収率は 99.9%以上であり、回収装置の性能は良好であった。
- ⑧ 装置設置単位面積あたりの処理水量は、西系沈殿池放流水よりも本装置の方が高く、スケールメリットが証明された。
- ⑨ 本装置の処理費用（電気代＋薬品費）は平均 2776 円で、高級処理水以上の費用がかかっていた。

## 謝辞

本調査においては、高速凝集沈殿施設 PT メンバーをはじめ、多くの小菅水再生センターの皆様のご協力をいただきました。この場を借りてお礼を申し上げます。

## 2-(1)-2 ポンプ所放流渠滞留水の浄化に関する共同研究

東部第一管理事務所 ポンプ施設課  
原口孝一 末永十一

### 1. はじめに

大島ポンプ所は、墨田区立花の一部、江東区亀戸の雨水を吸揚し、旧中川に放流している。放流渠はポンプ所から旧中川吐口まで 1,430m と距離が長く、ポンプ所から旧吐け口部に至る伏せ越し部分に滞留する水量が  $3,000\text{m}^3$  と多量である。

このための雨水放流時、放流渠に滞留している腐敗した黒水が旧中川に流出し、地域住民からの臭気苦情等がよせられ改善が求められていた。

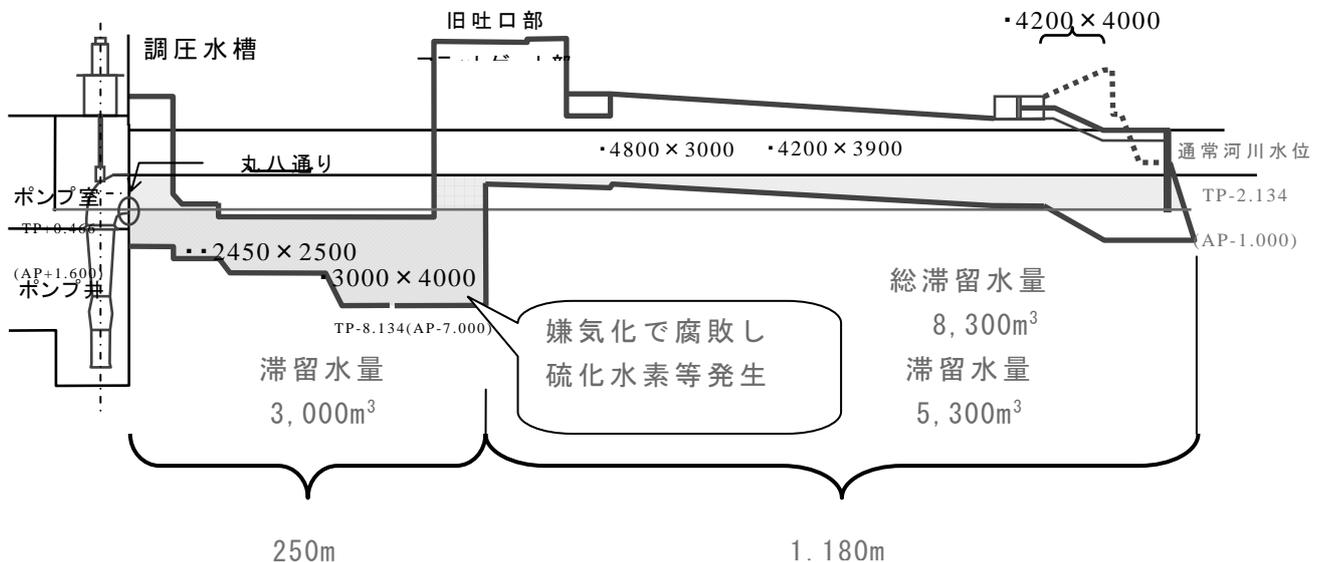


図1 大島ポンプ所放流渠断面図と滞留水量

### 2. 研究目的

合流式下水道において、ポンプ所放流渠に長期滞留する雨水放流水の腐敗防止や臭気拡散防止のために、臭気成分を空中に拡散する従来の曝気方式に変わり、滞留水の一部を使用して「高濃度酸素溶解水」を作り、 $3,000\text{m}^3$ の放流渠滞留水に返水・循環させることにより滞留水の腐敗を防止する水質浄化システムを開発する。

### 3. 研究内容

この研究は、簡易提供型共同研究として、横河電機株式会社と共同して、平成18年3月31日から平成19年9月23日まで、大島ポンプ所及び旧堅川吐口施設を使用して実施した。

#### 3.1 概要

実験は、図2のように「気体溶解装置」を調圧水槽の近くに設置し、調圧水槽から放流渠に「高濃度酸素溶解水」を供給し、滞留水水質の悪化を抑制する次の三つの効果があるか確認する。

- ① 硫化水素の発生を抑制できる
- ② 臭気が改善される
- ③ 色度（概観）が改善される

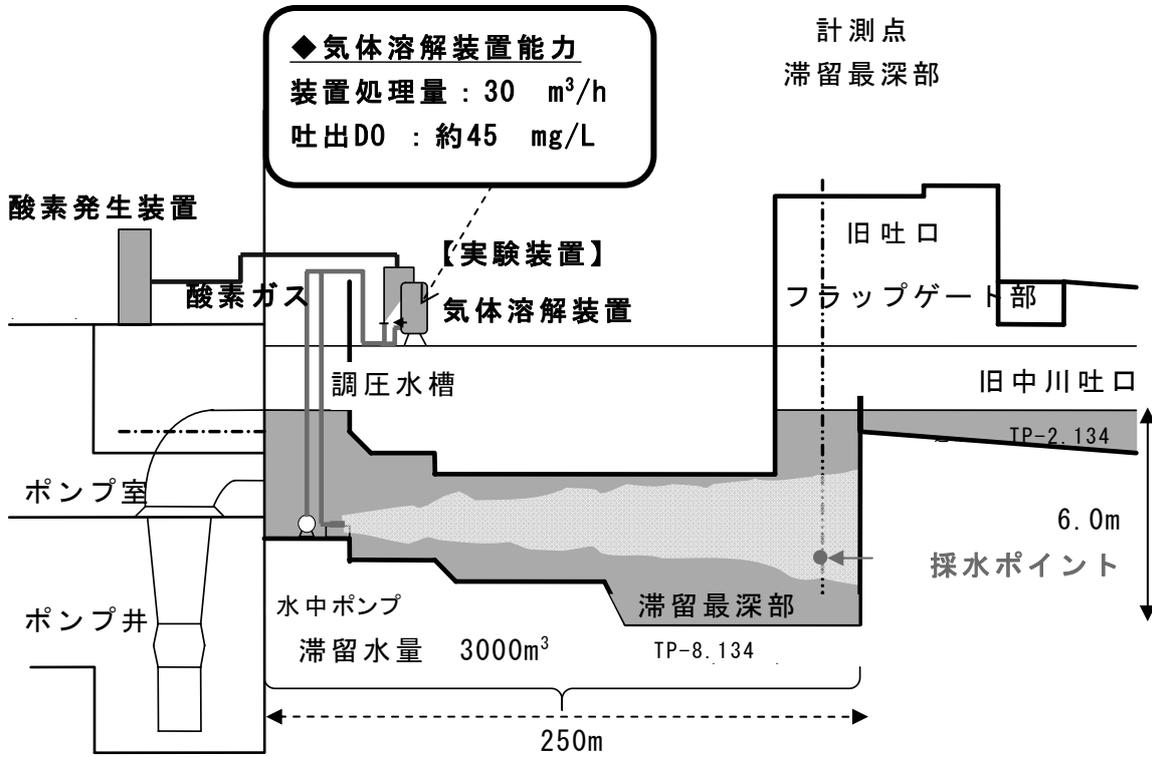


図2 実験概要図

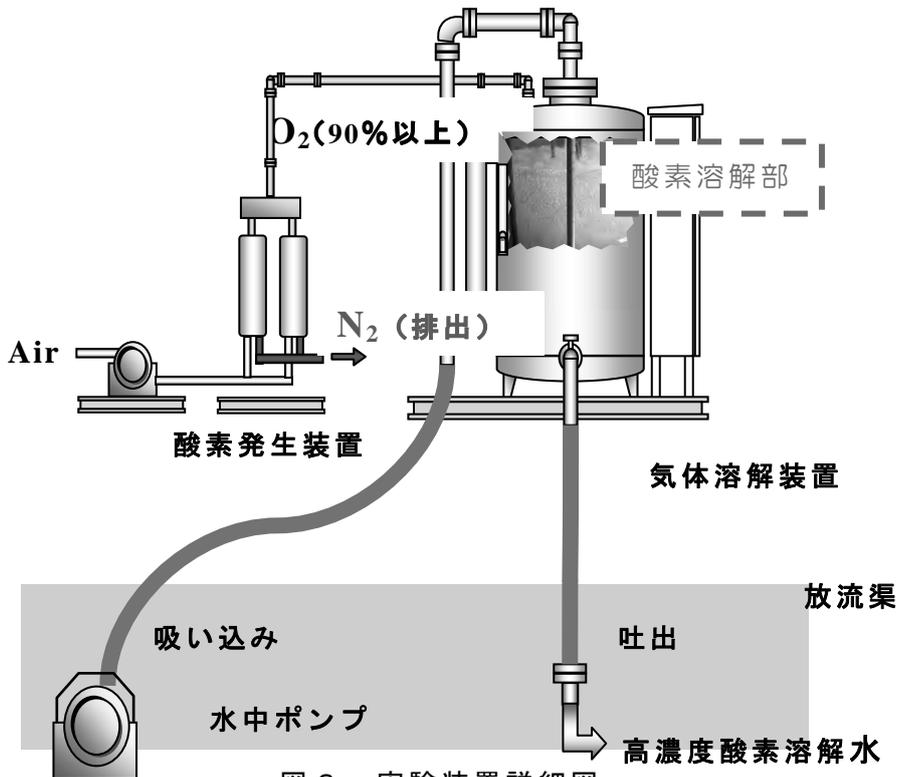


図3 実験装置詳細図

使用する装置は、地上部分に設置する気体溶解装置、酸素発生装置、コンプレッサ及び、放流渠内の滞留水を気体溶解装置へ圧送する水中ポンプで構成されている。送水された滞留水は、酸素発生装置で生成された90%以上の高濃度酸素ガスと混合・溶解し、高濃度酸素溶解水として放流渠へ返送し循環させる。

気体溶解装置の主な構成は、ポンプ、溶解タンク、制御盤で構成され溶解タンク内で高濃度酸素を混合・溶解し、高濃度酸素溶解水として吐出する。

水質改善実験の効果を確認するために、実験中の監視項目を、  
DO値：2mg/L以上（到達日数確認）

②ORP：プラス値を維持  
（「高濃度酸素溶解水」供給期間中）

とする。

その理由は、

①DO値2mg/L以上であれば、は嫌気状態を改善し、滞留水の腐敗を抑制できる。

②ORPは硫化水素の発生抑制の指標としており、プラス値を維持していれば硫化水素の発生はない。

ということである。

### 3. 2 実験結果

実験は、次の4回に分けて実施した。

第1回 平成18年10月6日～12月1日

第2回 平成18年12月27日～平成19年2月5日

第3回 平成19年2月14日～3月30日

第4回 平成19年4月5日～4月13日

各回の実験結果は、次に示す。

#### (1)第1回

1)実施期間：平成18年10月6日～12月1日

2)確認内容

①滞留水の腐敗確認

②腐敗後の高濃度酸素溶解水供給効果の確認

③高濃度酸素溶解水供給後の水質動向確認

3)スケジュール

①雨水ポンプ稼働：10月6日

②放流量：98,790m<sup>3</sup>

③運転状況



(連続)

4)結果

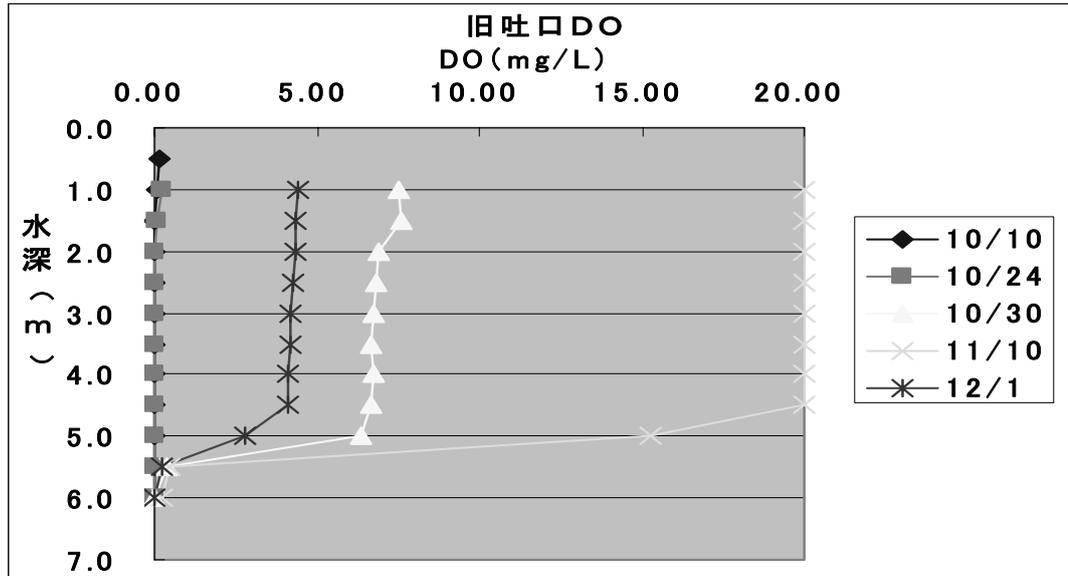


図4 第1回 DO測定値

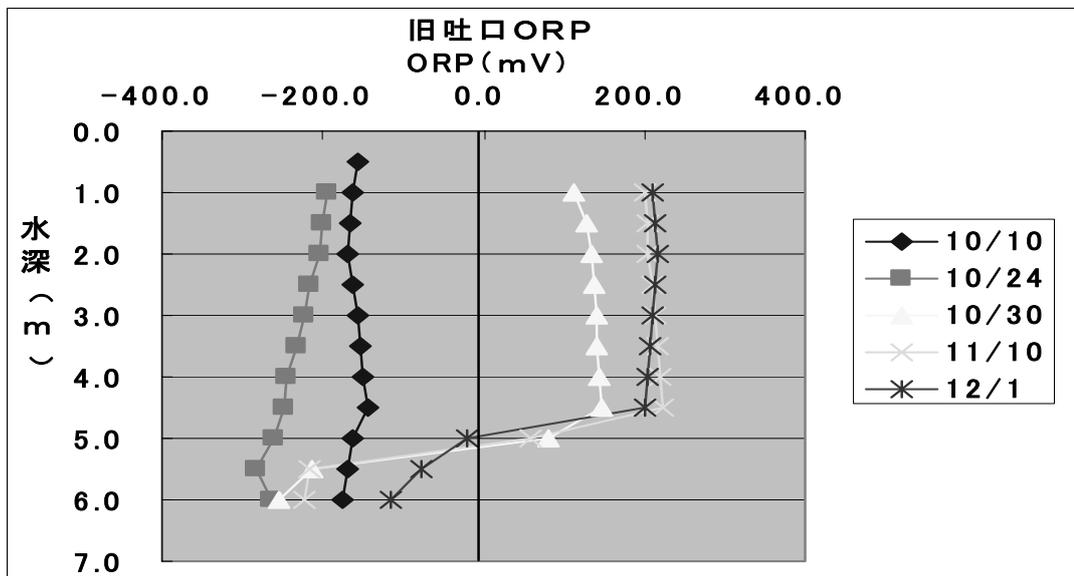


図5 第1回 ORP測定値

(2)第2回

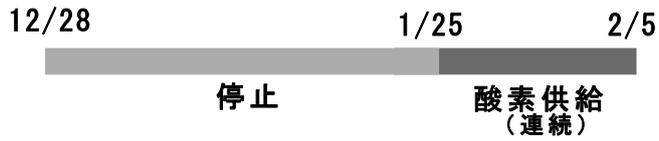
1)実施期間 平成18年12月27日～平成19年2月5日

2)確認内容

- ① 滞留水の腐敗確認
- ② 腐敗後の高濃度酸素溶解水供給効果の確認

3)スケジュール

- ①雨水ポンプ稼動 : 12月27日
- ②放流量 : 462,170m<sup>3</sup>
- ③運転状況



4)結果

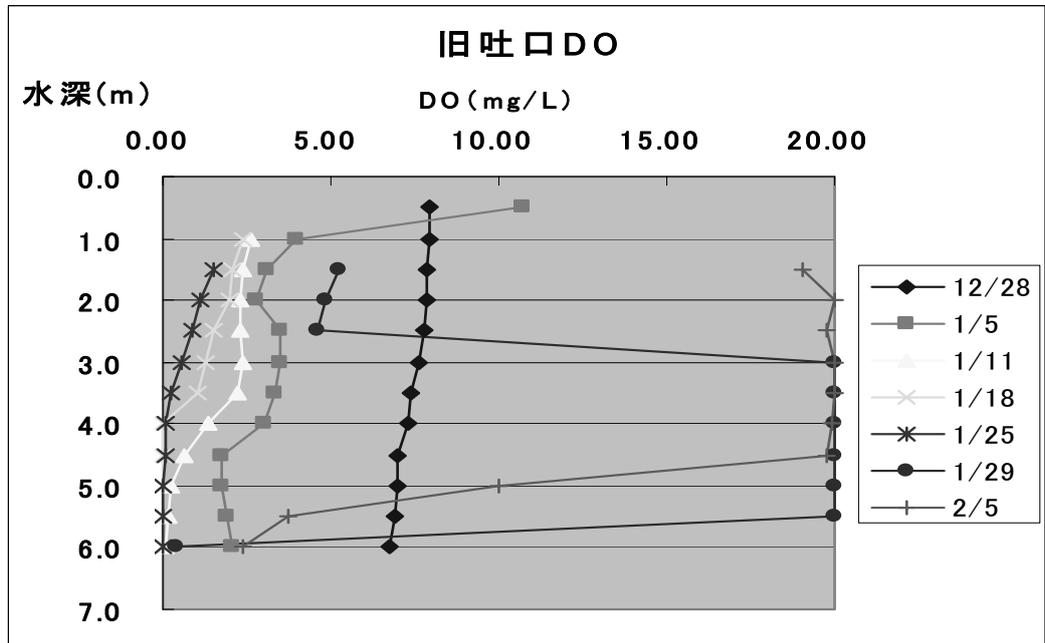


図6 第2回 DO測定値

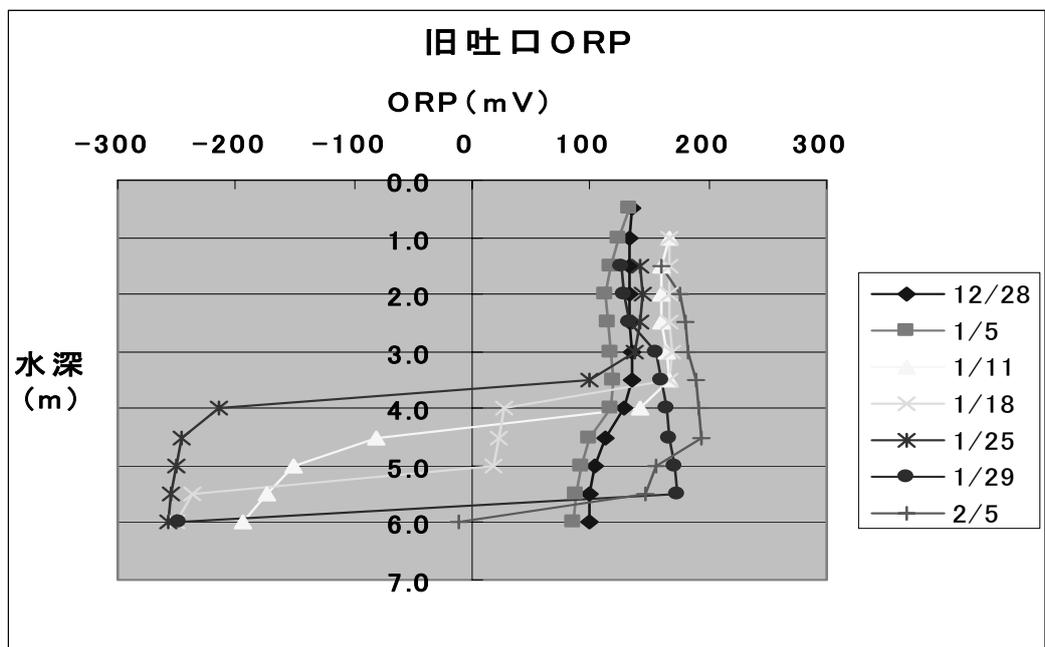


図7 第2回 ORP測定値

(3)第3回

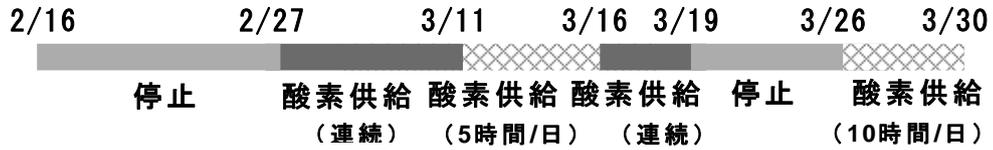
1)実施期間 平成19年2月14日～3月30日

2)確認内容

- ① 滞留水の腐敗確認
- ② 間欠運転による高濃度酸素溶解水供給効果の確認

3) スケジュール

- ① 雨水ポンプ稼動 : 2月14日
- ② 放流量 : 10,960m<sup>3</sup>
- ③ 運転状況



4) 結果

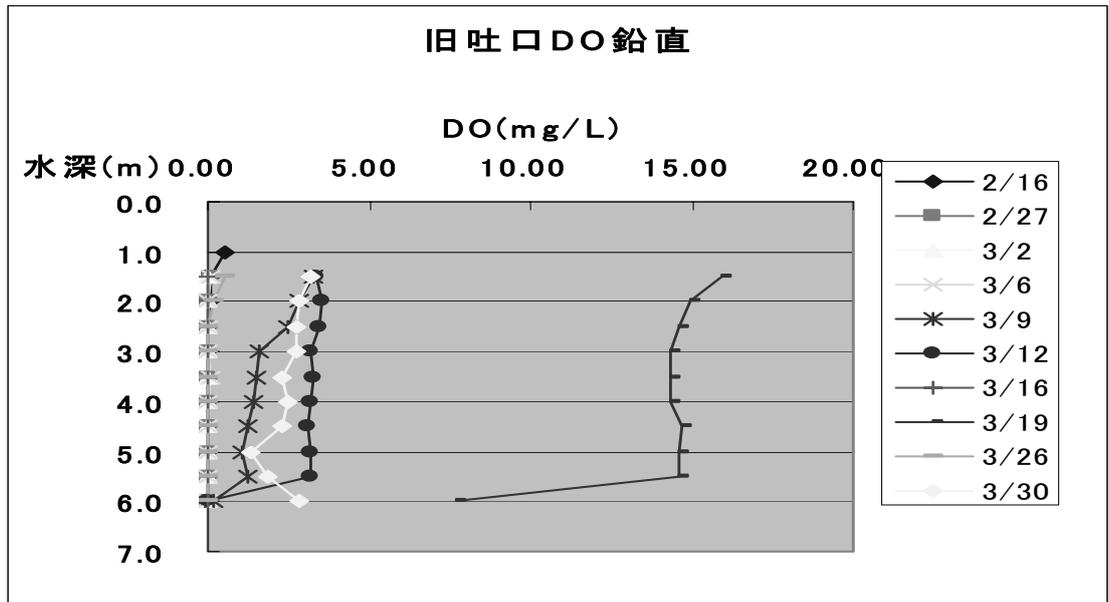


図8 第3回 DO測定値

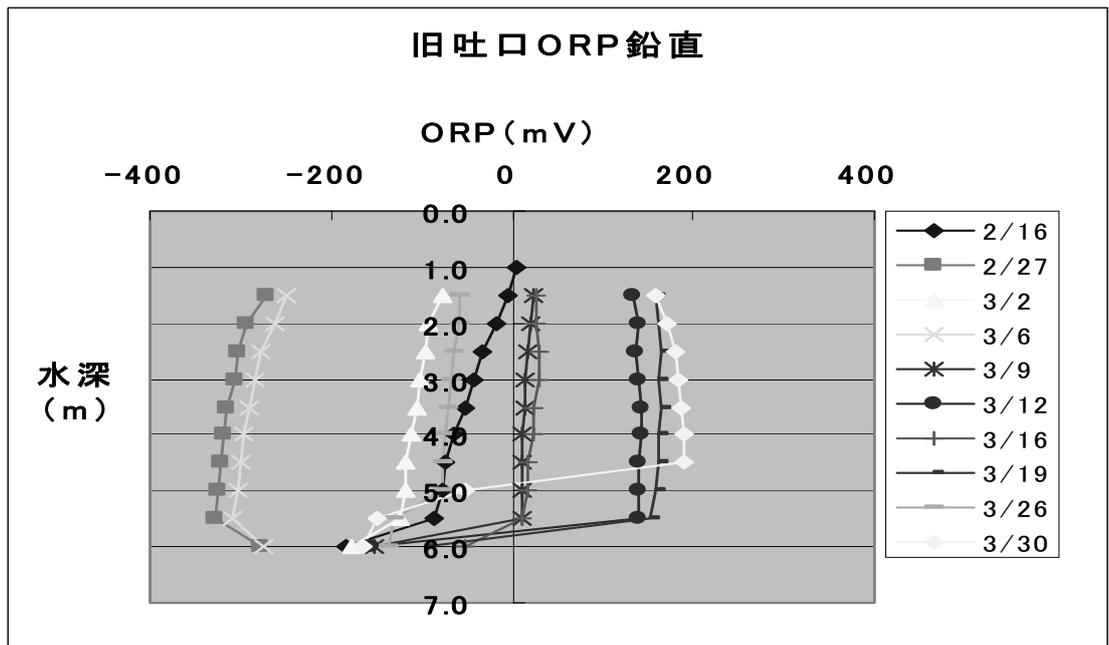


図9 第3回 ORP測定値

(4)第4回

1)実施期間 平成19年4月5日～4月13日

2)確認内容

① 間欠運転による高濃度酸素溶解水供給効果の確認

3)スケジュール

①雨水ポンプ稼動 : 4月4日

②放流量 : 32,150m<sup>3</sup>

③運転状況

4/6 4/13



酸素供給 (6時間/日)

4)結果

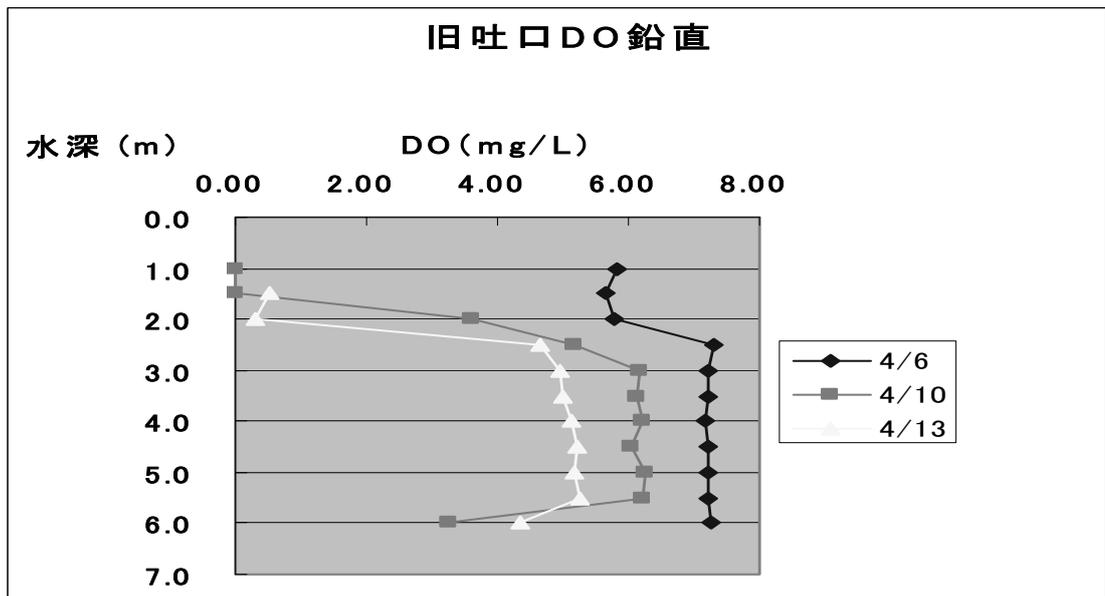


図10 第4回DO測定値

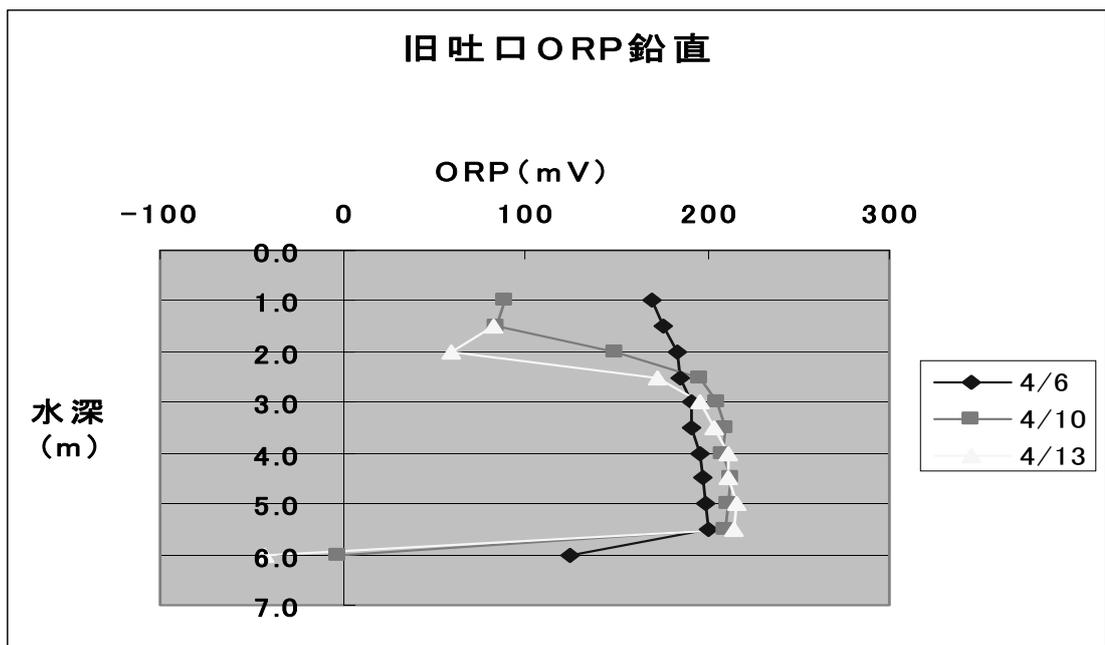


図11 第4回ORP測定値

### 3. 3 水質改善効果の確認

水質改善の効果は、BOD、臭気指数、硫化水素、メチルカプタン、及び、色度について確認した結果、それぞれ良好な結果が得られた。

#### (1)BOD

嫌気状態では増加、高濃度酸素溶解水供給後は確実に減少することが確認できた。

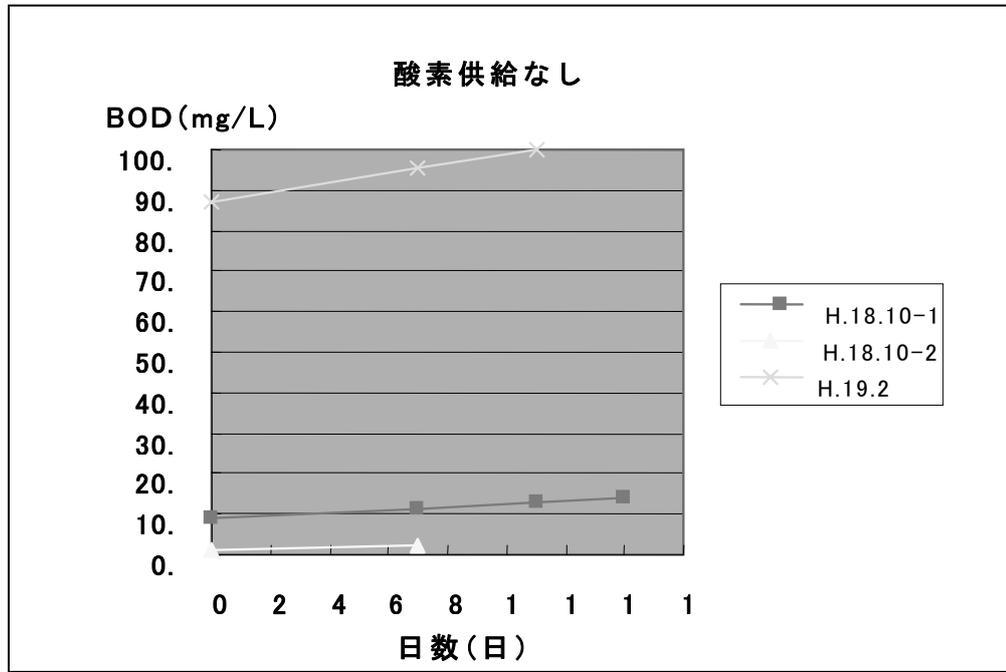


図 12 酸素無供給時の BOD 変化

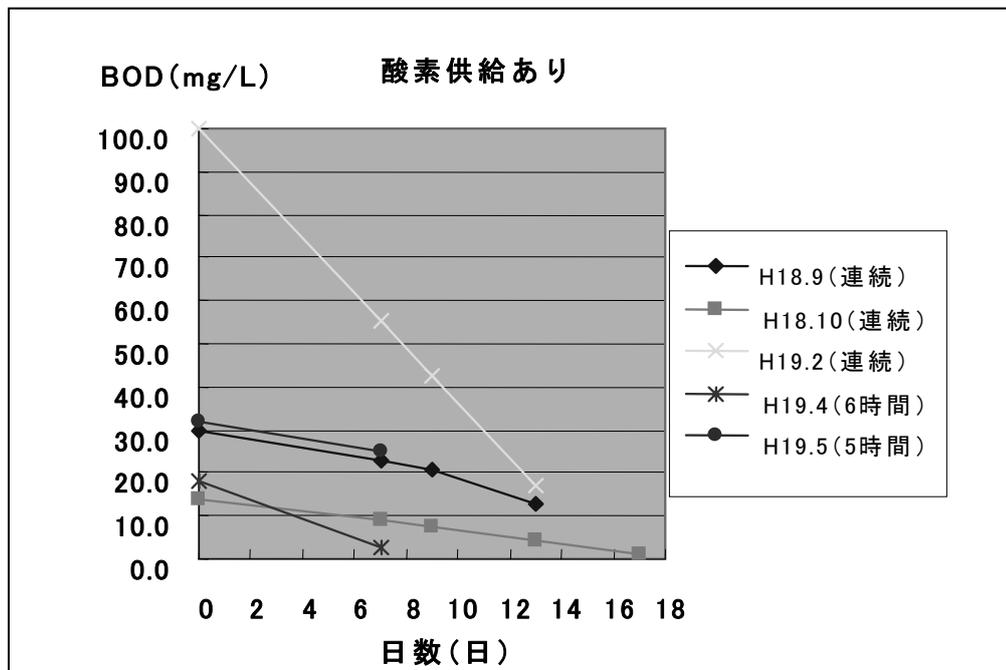


図 13 酸素供給時の BOD 変化

#### (2)臭気指数

臭気指数は、嫌気状態で増加、高濃度酸素溶解水供給後は確実に減少することが確認で

きた。

嫌気平成18年10月2日のデータは、高濃度酸素溶解水を停止してから1週間後のデータであるが、残存する溶存酸素により更に抑制されていることが確認できた。

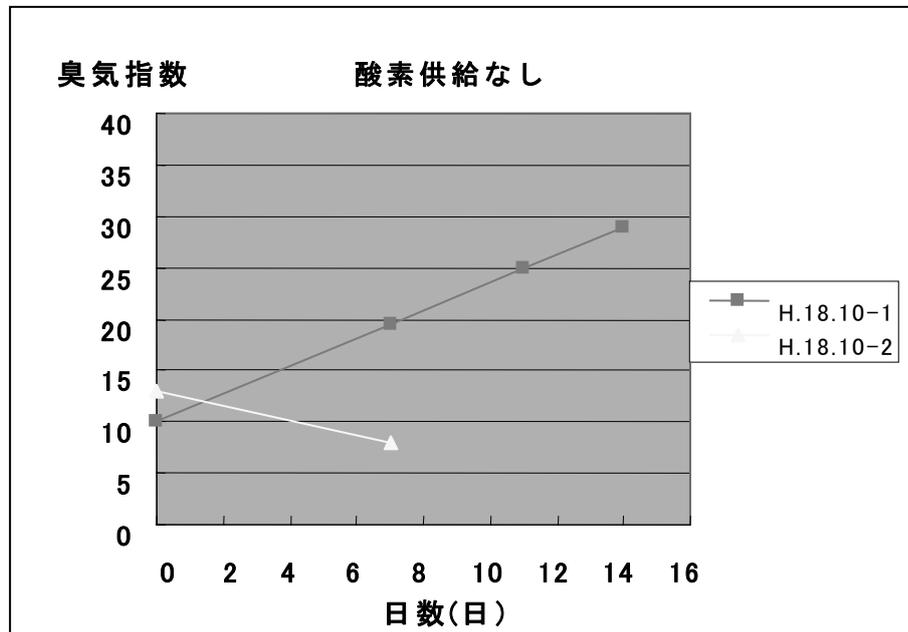


図 14 酸素無供給時の臭気指数変化

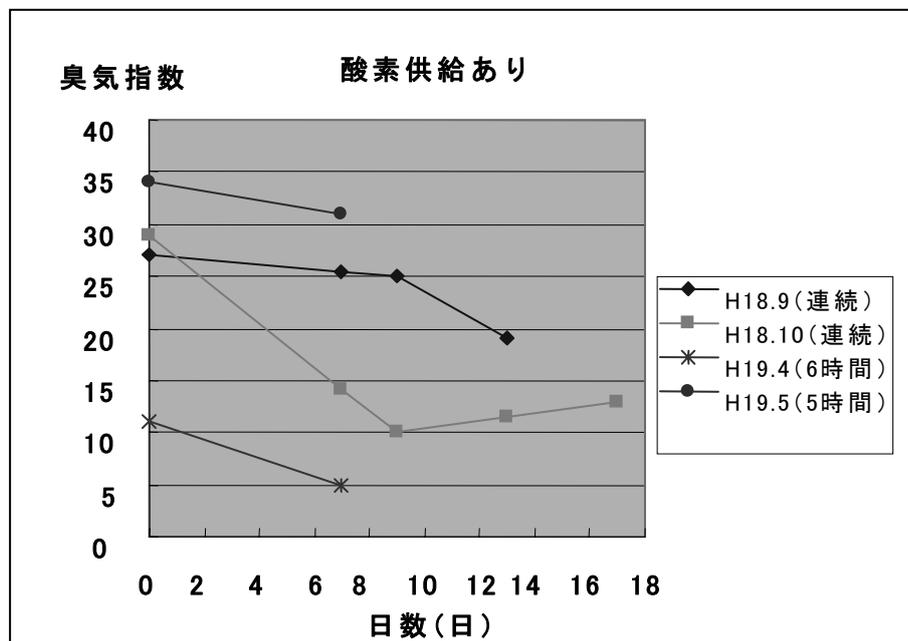


図 15 酸素供給時の臭気指数変化

### (3)硫化水素

嫌気状態では増加、高濃度酸素溶解水供給後は確実に減少することが確認できた。

平成19年5月のデータは、間欠運転の設定時間が不足していたため、増加傾向となった。

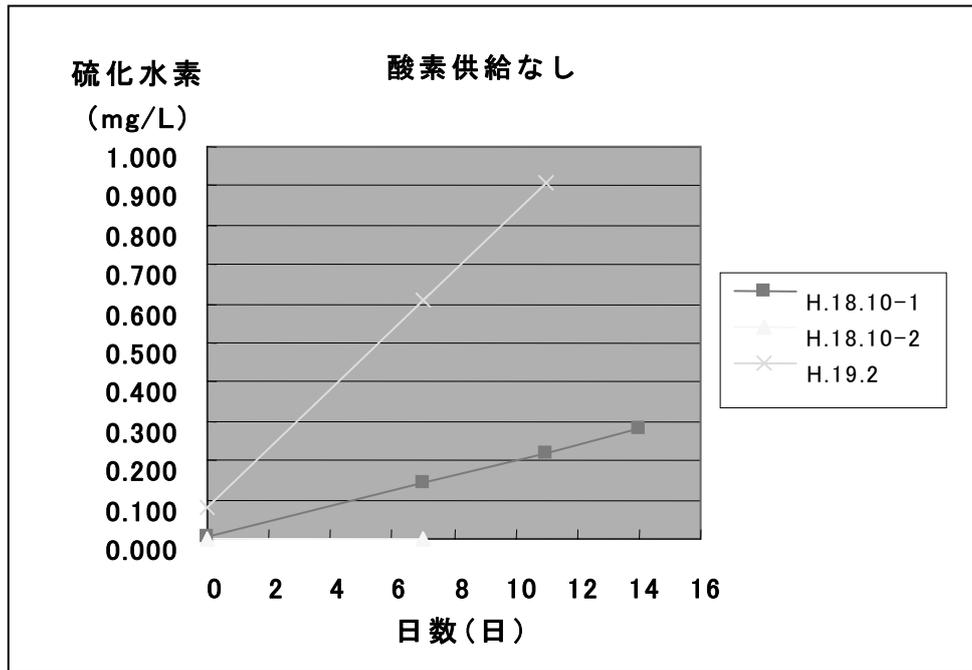


図 16 酸素無供給時の硫化水素濃度変化

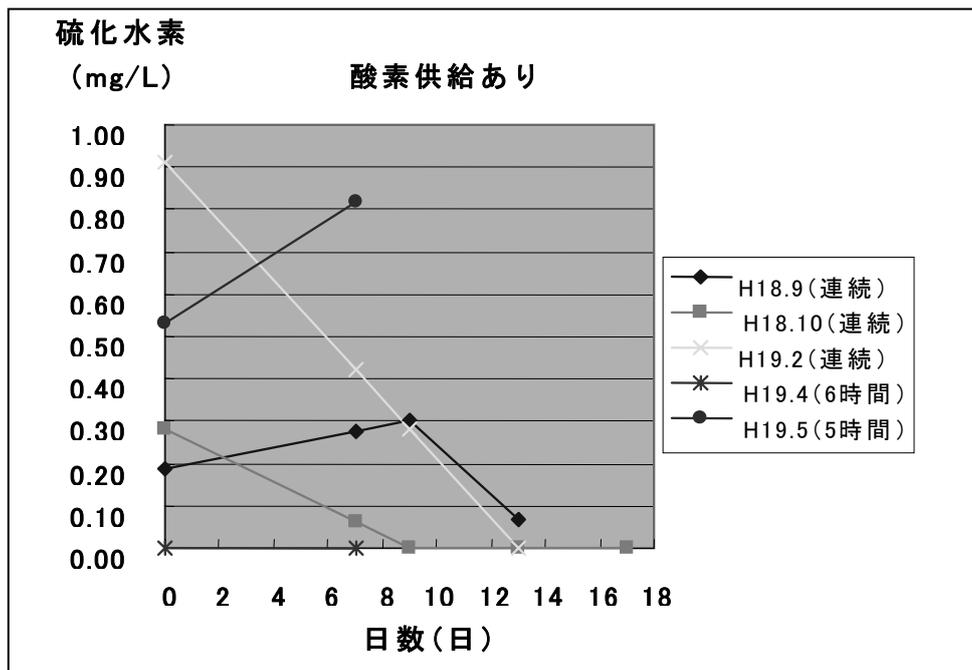


図 17 酸素供給時の硫化水素濃度変化

(4)メチルメルカプタン

嫌気状態では増加、高濃度酸素溶解水供給後は確実に減少することが確認できた。

嫌気平成18年10月2日のデータは、高濃度酸素溶解水を停止してから1週間後のデータであるが残存する溶存酸素により発生が抑制されることが確認できた。

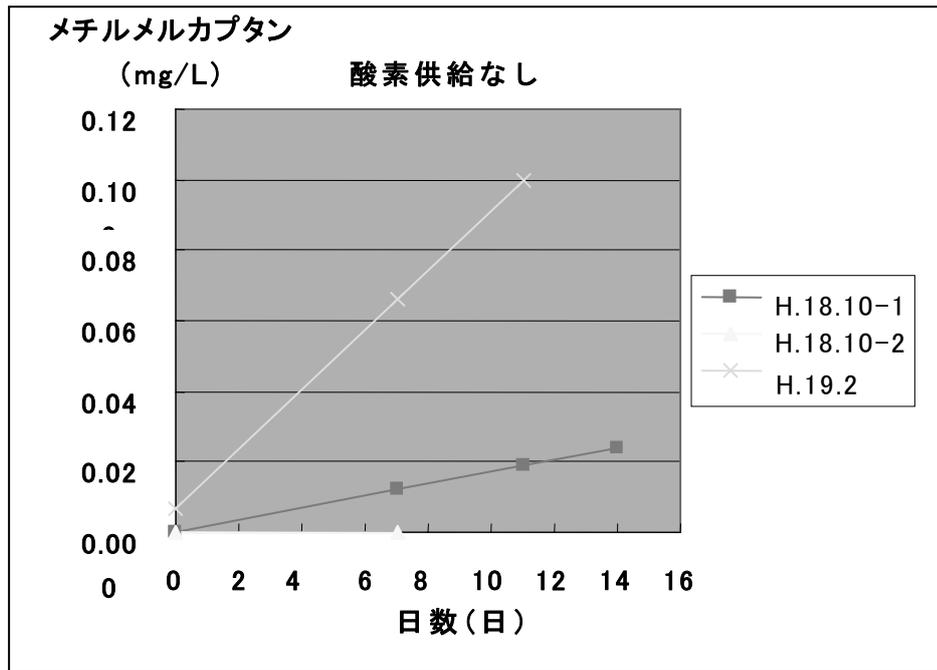


図 18 酸素無供給時のメチルカプタン濃度変化

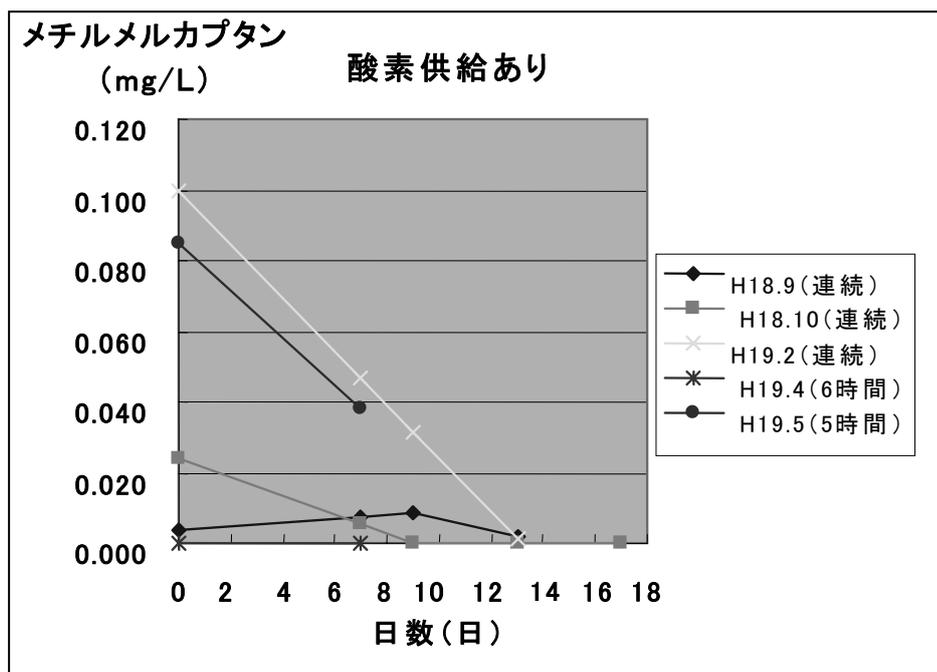


図 19 酸素供給時のメチルカプタン濃度変化

(5)色度

嫌気状態では褐色に変化しているが、高濃度酸素溶解水供給後は徐々に透明になることが確認できた。

色度（外見）が悪化するかどうかの判定は、試料をビーカーに取り、側面及び上面から見たときの色の目視状況で判断した。

1)第1回 平成18年10月6日～12月1日

酸素供給なし				酸素供給あり		
採水日時	10/6	10/10	10/16	10/24	10/30	11/2
酸素供給		無	無	無	有(3日目)	有(6日目)
採水場所						
旧吐口4.0m						
酸素供給あり			酸素供給なし			
採水日時	11/6	11/10	11/14	11/17	11/27	12/1
酸素供給	有(10日目)	有(14日目)	無	無	無	無
採水場所						
旧吐口4.0m						

図19 第1回の色の変化

2)第2回 平成19年 1月5日～2月5日

酸素供給なし				酸素供給あり	
採水日時	1/5	1/11	1/18	1/25	1/29
酸素供給	無	無	無	無	有
採水場所					
旧吐口4.0m					

図20 第2回の色の変化

#### 4. 建設費と維持管理費

##### 4.1 建設費

機器費は、設計条件として

- ・対象水量 : 3000m<sup>3</sup>
- ・設計 BOD : 87mg/L (本実験で得た初期滞留水の最大)
- ・改善目標日数 : 7日

装置概要

- ・吐出流量 : 30m<sup>3</sup>/h
- ・吐出DO : 45mg/L
- ・定格電力 : 27kW

と仮定すると、約3,500万円位であり、工事費は設置条件及び方法により大きく変動する。

##### 4.2 維持管理費

ランニングコスト(電気代)は、約75,000円/月(7日連続その後間欠運転)である。

#### 5. まとめ

4回の実験結果により、滞留直後の水質は放流量によって変わる事が認められた。また、大量放流後の雨水もそのまま滞留しておくで腐敗することが確認できた。

高濃度酸素溶解水を供給する実験では、調圧水槽から旧吐口部までの約250m先の区間に高濃度酸素溶解水が到達することが確認でき、伏せ越し部分のBOD値の改善、硫化水

素等悪臭成分発生抑制等、水質改善効果が認められた。

滞留水の色度も、そのまま滞留させておくと、徐々に変色（褐色～黒色）が進む、しかし、高濃度酸素溶解水を供給すると透明になることが認められた。

放流量によって生じるBODの違いから、高濃度酸素溶解水の供給時間も変動するが、水質分析計（DO計やORP計）を併用する事で自動制御が可能となる。

なお、実験効果の具体的事例として、実験期間中におけるポンプ所周辺、旧吐け口付近住民からの臭気苦情はなかった。

これらの事象により高濃度酸素溶解水を用いる水質改善システムは、合流式下水道における雨水ポンプ所の長大放流渠内滞留水の水質改善策として有効である。装置の構成面からも、騒音を生じる懸念のある設備は、屋内若しくは水中にあり、住宅に隣接する都市部のポンプ所でも容易に設置できるものとする。更に、滞留水内のDOが水面から拡散する事が少ないため、滞留水質を維持するための装置運転の間欠運転が可能となり、ランニングコストの抑制も期待できる。

なお、最近の雨水ポンプ所では、降雨後の沈砂回収（集砂、洗浄）の用水として沈砂池・ポンプ井に滞留した雨水を利用する例が多く認められ、沈砂池の構造上の制約から使用後の用水がポンプ井に戻る構造となっている。本装置は、雨水ポンプ井の滞留水の浄化にも有効な装置である。

## 2-(2)-1 担体添加ステップ A<sub>2</sub>O 法の事後評価（中間報告）

計画調整部技術開発課； 本間誠二  
； 河野里名

### 1. はじめに

当局では、窒素・りんに対する規制強化及び流域別下水道整備総合計画における目標数値（COD：12mg/L、全窒素：8mg/L、全りん：0.4mg/L）に対応するために、水再生センターの再構築にあわせた高度処理施設（A2O 法：嫌気・無酸素・好気法）の導入を進めている。A2O 法の導入を進めている。A2O 法は、有機汚濁に加えて、窒素・りんをひとつの反応槽で処理することができる優れた処理方式であるが半面、反応槽に嫌気槽、無酸素槽、好気槽の機能を持たせるために標準法の 2 倍程度の滞留時間（16 時間）を必要とする。このため、再構築にあたり、新たな用地取得が困難な既存の水再生センターに高度処理を導入するには、従来の A2O に代えて効率的でコンパクトな新しい高度処理法の開発が不可欠であった。特に敷地の余裕のほとんどない芝浦水再生センターを高度処理方式で再構築するには、標準法と同じ滞留時間（8 時間程度）で処理できる高度処理方式の開発がひとつの目標となっていた。

技術開発課では、従前より A2O の効率化に取り組んでいたが、平成 8～9 年度に実施した調査・研究により二段ステップ流入方式による効率的な窒素除去を開発した。さらに平成 10～13 年度にかけて二段ステップ流入方式を発展させて、従来の「嫌気-無酸素-好気法」を基本としてこれより短い反応タンク滞留時間で窒素・りん除去処理を可能とし、さらに窒素除去性能も向上させた「ステップ流入式嫌気-無酸素-好気法」を開発した。この高度処理方式は、硝化・脱窒を効率化したものであったが、従来の A2O と比較すると反応槽滞留時間を約 12 時間程度に短縮する技術である。

一方、硝化・脱窒を効率化する手法としては、ほぼ同じ時期に反応槽内に担体を添加する方式が開発されていた。しかし、この方式もりん除去を組み込んだ高度処理法とした場合は、やはり 12 時間程度の反応槽滞留時間が必要であった。両方式は、ともに硝化・脱窒を効率化するものであるが手法が異なることから両者を組み合わせることで更なる滞留時間の短縮を図り、標準法と同じ滞留時間 8 時間程度の高度処理方式が可能となることが期待された。そこで局内関係部所間の調整を図り、最終的に三河島水再生センター藍染北系に担体添加ステップ A2O 法による高度処理施設を実機として一系列、試験的に導入することとなった。

建設工事完了後、運転手法の確立や設計性能達成の適否、施設の特質を明らかにする目的で施設管理部、三河島水再生センターと WG を設置して事後評価に取り組んだが、機器類の初期故障以外にも担体の破損率が当初計画よりも大きいという予期せぬトラブルに見舞われ事後評価が遅れたが、担体の破損率に関する部分を除いた高度処理システムとしての評価は、平成 18 年度末までに終了した。現在も担体破損に関する調査を継続しているが、施設稼動から 4 年が経過し、これまで導入後の事後評価についての報告を行ってこなかったことから必ずしも本施設の状況が正確に伝わっていきなさいがある。今回、高度処理システムとしての事後評価結果について報告する。

## 2. これまでの経緯

### (1) ステップ流入式 A20 法の開発

技術開発課は、平成 8～9 年度「嫌気-無酸素-好気法に関連する効率的脱窒技術の開発」を実施し、二段ステップ流入方式による効率的な窒素除去方法を確立した。これを基に調査・研究を進め平成 10～13 年度にかけてパイロットプラント（24m<sup>3</sup>/日×3 系列）を用いて「生物学的窒素・りん同時除去の効率化技術の開発」「有機酸添加によるりん除去性能向上についての実証調査」を実施し、従来の「嫌気-無酸素-好気法」を基本としてこれより短い反応タンク滞留時間で窒素・りん除去性能の優れた「ステップ流入式嫌気-無酸素-好気法」を開発した。

- (2) 平成 11 年 10 月 担体関連メーカー等に対するヒヤリング調査
- (3) 平成 12 年 3 月 担体添加型高度処理方式の導入に関する検討を行い、担体添加法の技術開発経過についての技術的基本目標を定める。
- (4) 平成 12 年 5 月 三河島水再生センター高度処理計画を整理し、三河島水再生センター藍染北系処理施設への導入を検討
- (5) 平成 12 年 11 月 導入に向けての実証調査開始
  - 1) 担体添加法の深槽反応タンクへの適用調査（12 年度技術調査年報）  
内容：深槽対応担体添加法で必要となる機器類の検討（DTA、スクリーン等）
  - 2) 担体添加法の深槽反応タンクへの適用調査その 2（13 年技術調査年報）  
内容：担体の性能調査、硝化性能、脱窒性能
- (6) 平成 13 年 3 月 土木研究所の水深 1.0m 水槽を用いて DTA との組み合わせによる担体流動実験を実施。
- (7) 平成 13 年 9 月 担体添加ステップ A20 法高度処理検討 WG にて槽割の決定。好気槽に硝化担体を使用。
- (8) 平成 14 年 1 月 工事着手
- (9) 平成 15 年 6 月 投入担体の不都合による製造法の見直しを行う。
- (10) 平成 16 年 1 月 新規製造担体投入
- (11) 平成 16 年 5 月 施設稼働、あわせて事後評価のための調査開始
- (12) 平成 17 年 12 月 担体破損問題顕在化
- (13) 平成 18 年 3 月 担体破損率モニタリング開始（圧縮破壊強度、加速破壊試験等）
- (14) 平成 18 年 12 月 高度処理システムとしての事後評価終了、技術管理委員会に報告  
担体調査を継続
- (15) 平成 20 年 4 月 技術管理委員会に担体調査に関する中間報告  
PEG 担体に変えて実機に試験投入（9m<sup>3</sup>）した新担体の追跡調査を実施

### 3. 施設概要

#### 3. 1 導入場所

本施設は、三河島水再生センター藍染北系処理施設に導入されている。施設位置を図1に示す。

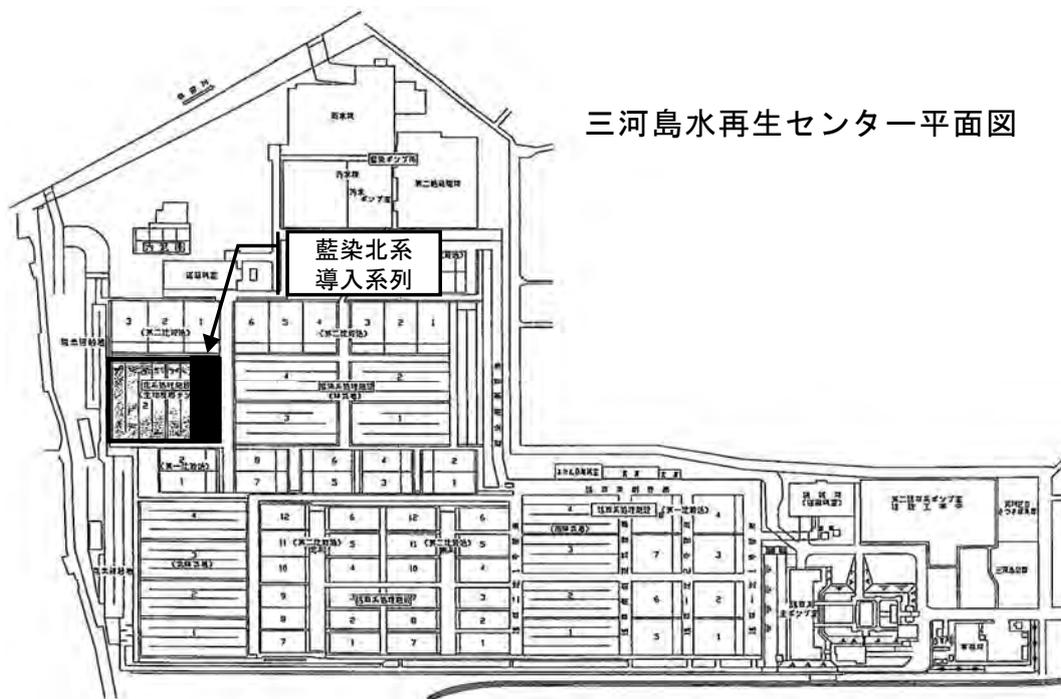


図1 施設導入箇所

#### 3. 2 処理能力

計画日平均水量 28,000 m<sup>3</sup>/日

計画日最大水量 35,000 m<sup>3</sup>/日

#### 3. 3 計画水質

表1に計画流入水質および処理水質を示す。

表1 計画水質

水質項目	計画流入水質	計画処理水質
BOD (mg/L)	140	10
SS (mg/L)	120	10
T-N (mg/L)	40	10
T-P (mg/L)	3.5	1.0

#### 3. 4 処理フロー

調査施設のフローは、図2のとおりである。

本フローの特徴は、嫌気槽に続く無酸素槽－好気槽が2段となっており、流入水を2段目の無酸素槽にステップ流入させる点、さらに、2つの好気槽に担体が投入している点に特徴がある。この操作により前段のMLSS濃度を高め処理時間の短縮を図るとともに、好気槽内に硝化菌を担持するための担体を投入することで、好気槽内に大量の硝化菌を保有しアンモニアの完全硝化に要する時間を短縮することで標準法反応タンク容量並みのスペースで高度処理を行うことができる。

本施設への流入水は、藍染系第一沈殿池流出後に、目巾2mmの回転式微細目スクリーンを通過したものである。このスクリーンは、好気槽の担体が流出することを防止するために設けられた曝気混合液と担体とを分離する2mm幅スクリーンの目詰まり防止を目的としている。また、反応槽末端には、脱気槽を設けている。これは、本施設の散気装置（DTA：ドラフトチューブ式散気装置）の特性上、好気槽で窒素ガスが水中に溶解し過飽和状態となり、本装置流出後に微細気泡化し、第二沈殿池での汚泥浮上を招くことを防止するためである。

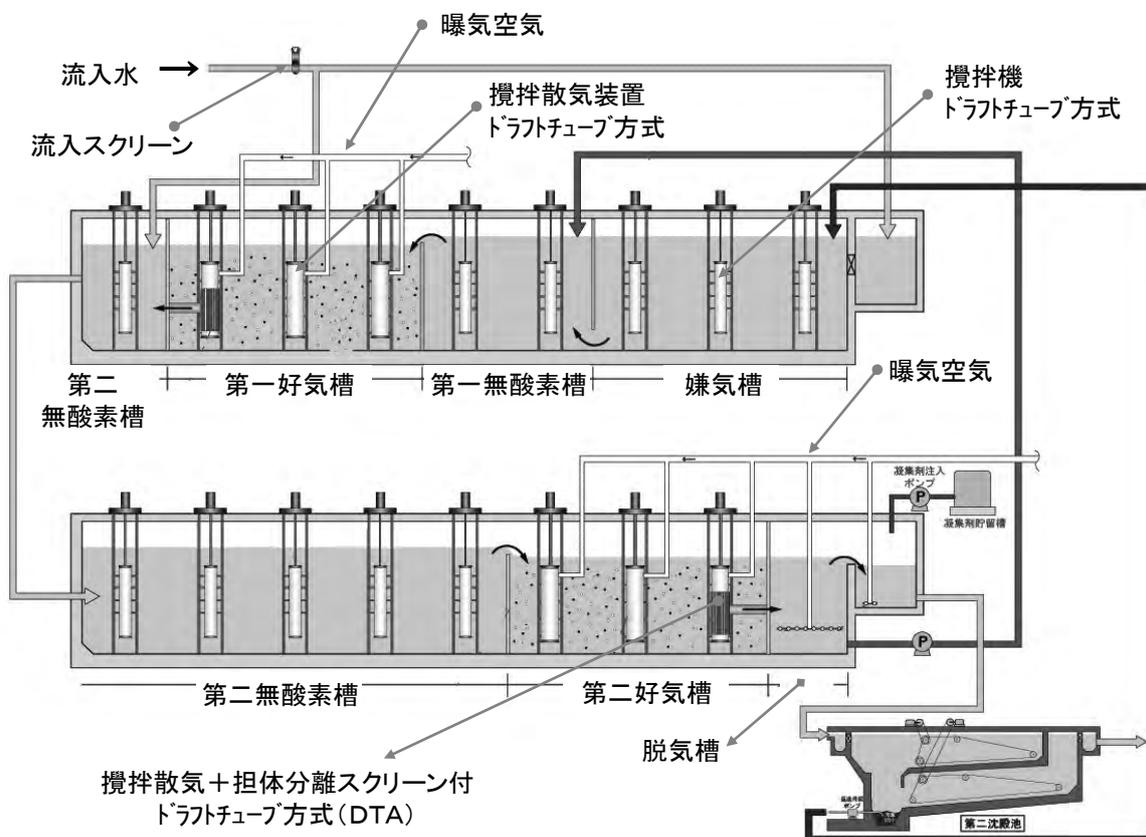


図2 担体添加ステップA2O法処理フロー

### 3. 5 施設の仕様

反応槽の仕様を表 2 に示す。

表 2 施設仕様

	嫌気槽	第一無酸素槽	第一好気槽	第二無酸素槽	第二好気槽	脱気槽
槽巾 (m)	9.9					
槽長 (m)	15	10	15	30	15	5
水深 (m)	12.6	12.6	12.4	12.3	12.1	11.9
槽容量 (m <sup>3</sup> )	1,578	1,052	1,551	3,060	1,500	500
隔壁による槽内分割	3分割	2分割	なし	6分割	なし	なし
散気方式	—	—	機械攪拌式 (ドラフトチューブ式)	—	機械攪拌式 (ドラフトチューブ式)	散気管式
攪拌方式	機械攪拌式 (ドラフトチューブ式)	機械攪拌式 (ドラフトチューブ式)	—	機械攪拌式 (ドラフトチューブ式)	—	—
担体添加率 (%)	—	—	12	—	12	—

### 3. 6 担体仕様

第一好気槽及び第二好気槽に投入した担体の仕様を表 3 に示す。稼動後の破損率が計画値を超えたことから現在調査を継続中であり、今後仕様を変える可能性もある。

表 3 担体仕様

名称	第一好気槽硝化担体	第二好気槽硝化担体
形式	微生物結合固定化担体	
基準寸法	4 mm	
比重	1.01 以下	
材質	合成有機高分子 (主成分：ポリエチレングリコール、ポリプロピレングリコール)	
数量	180m <sup>3</sup> -担体真容積	180m <sup>3</sup> -担体真容積
	見掛け容積530m <sup>3</sup>	

### 3. 7 機器の仕様

本施設を構成する機器の仕様を表 4～7 に示す。

表 4 流入スクリーン

名称	流入スクリーン
形式	回転式微細目スクリーン
スクリーン目幅	φ 2mm
処理水量	40m <sup>3</sup> /min
水路幅	1500mm
水路高	4600mm
計画水深	上流側3594mm(時間最大)
	下流側3444mm(時間最大)
電動機出力	3.7kW
メッシュパネル材質	ポリウレタン系合成樹脂(H18.12、SUS304に変更)
数量	1台

表 5 攪拌装置仕様

	嫌気槽 攪拌装置	第一無酸素槽 攪拌装置	第二無酸素槽 攪拌装置
形 式	機械攪拌式		
槽容量	約 526m <sup>3</sup>	約 526m <sup>3</sup>	約 510m <sup>3</sup>
電動機出力	3.7kW		
数 量	3 台	2 台	6 台

表 6 散気装置（DTA）仕様

名 称	第一好気槽 散気装置	第二好気槽 散気装置
形 式	機械攪拌式	
送気量	13Sm <sup>3</sup> /min	11Sm <sup>3</sup> /min
酸素移動量	87kgO <sub>2</sub> /h	75kgO <sub>2</sub> /h
酸素移動効率	45%以上	
槽容量／台	約 517m <sup>3</sup>	約 500m <sup>3</sup>
電動機出力	75kW	
数 量	3 台 (内 1 台スクリーン付)	3 台 (内 1 台スクリーン付)

表 7 脱気装置仕様

名 称	脱気槽脱気装置	流出水路脱気装置
形 式	散気管	
管 径	40mm	
管 長	500mm	
気孔径	4mm	
送気量	0.3m <sup>3</sup> /分・本	
数 量	64 本	12 本

#### 4. 評価項目および評価方法

事後評価した項目は、設計時に使用した処理能力、水質等に関する基本設計性能、及び設計時に想定した MLSS 濃度、硝化液循環率などの運転管理値について実施し、合わせて費用についても通常の A 2 O 法との比較を行った。事後評価項目とその評価基準、および評価方法を表 8 に示す。また、評価対象とする評価期間は、稼動から初期故障等の対応がほぼ終了し、担体の破損が顕在化していない 17 年度とする。但し、処理費用については、16 年度とする。

表 8 事後評価項目および評価方法等

評価項目		単位	評価基準値		測定頻度	評価方法
処理性能	処理水量	m <sup>3</sup> /日	日平均	28000	工業計器による連続値	処理水質を加味した実績値
			最大	35000		
	処理水質	mg/L	BOD	<10	1回/日×毎日(平日)	年平均値
			SS	<10		
			T-N	<10		
T-P			<1.0			
硝化速度	mg-N/L-担体/h		>100	1回/週	処理水質のT-Nを加味した年間実績値	
担体破損率	%/年		1>	5/1,12/1,3/3,3/17の4回測定	測定値年間累積値	
運転条件	MLSS濃度	mg/L		2400	1回/日×毎日(平日)	処理水質を加味した実績値
	返送汚泥率	%		50	1回/日×毎日(平日)	処理水質を加味した実績値
	硝化液循環率	%		100	1回/日×毎日(平日)	処理水質を加味した実績値
	ステップ流入比	-	前段	0.5	工業計器による連続値	処理水質を加味した実績値
後段			0.5			
コスト	費用	-	建設	-	-	新設を想定したステップA2O方式との比較による
		-	処理	-	16年度実績値による	本施設と既存A2O処理施設との原単位比較

## 5. 評価結果

### 5. 1 処理性能

図3は、平成17年度通年の処理水量である。\*1で示した6月から7月にかけての停止は、DTA(ドラフトチューブエアレータ)点検のための施設停止期間、また\*2で示した処理水量低下は、水量変動時の影響を確認するための調査期間である(以下の図において同じ)。

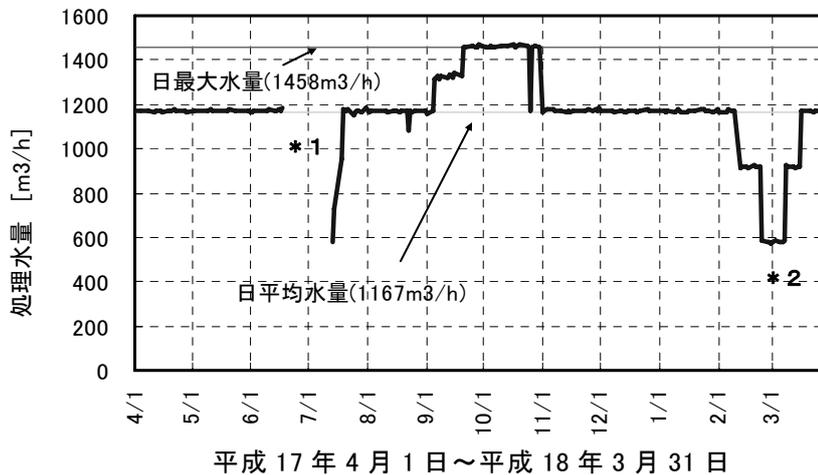


図 3 処理水量の経過

図 4、5 は、同時期の処理水質を示したものである。年平均値は、BOD=3.1mg/L、SS=3.6mg/L、全窒素=7.0mg/L、全りん=0.5mg/L であり、基準値を満たしている。また、計画日最大水量の負荷をかけた10月前後の期間をみても基準値を満たしている。このことから本施設は、処理水量・水質とも評価基準値を満足していると評価できる。

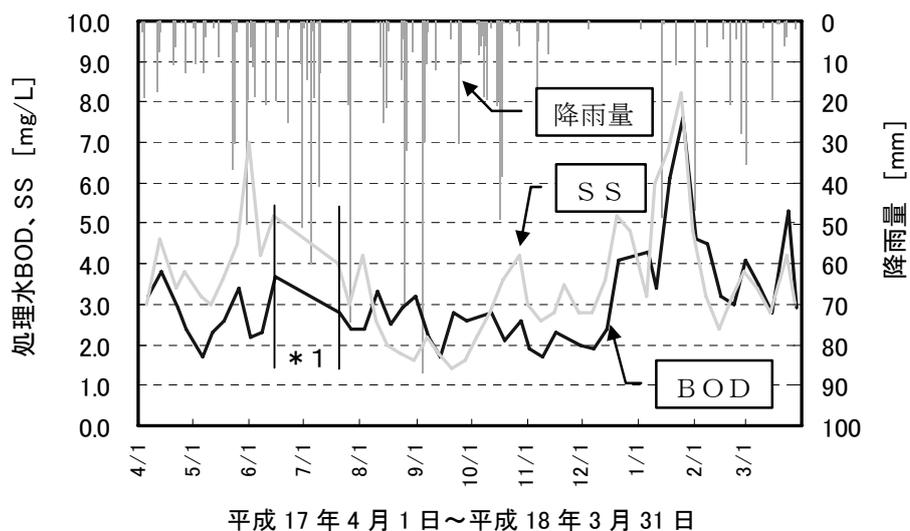


図4 処理水質1 (BOD、SS、降雨)

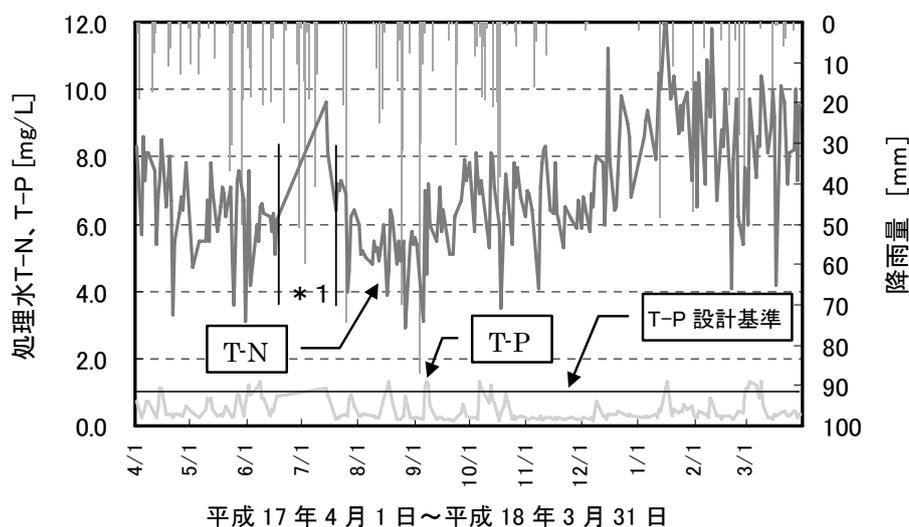


図5 処理水質2 (全窒素、全りん、降雨)

しかし、窒素、りんのデータを個別にみると日データでは共に基準値を超えるものがある。窒素は、12月はじめあたりから上昇し始め、1～2月中旬にかけて基準値である10mg/Lを超えているデータがある。この時期は、BOD、SSについても悪化しており、処理水質全体が不安定となっている。その要因は、次のとおりである

図6は、MLSS、SVI、透視度であるが、本施設の特徴として滞留時間を短縮するためMLSSを他の方式に比較して高めに設定(計画値:第一、第二好気槽平均2400mg/L)している。このため年間を通してSVIが高めである。通常の曝気混合液であれば第二沈殿池での固液分離が良好であれば透視度への影響は限定的であるが、本施設は、曝気をドラフトチューブエアレータで行っている関係から曝気空気は、反応槽の底部(水深:13m程度)まで吹き込まれる。空気の水への溶解は、圧力(この場合は、水压)に比例するため水深13mでは、空気中の窒素が水中に溶解する現象が現れる。窒素溶解した曝気液は、水深

の浅いところまで上昇すると水圧の低下に伴い溶解していた窒素が気体にもどり微細気泡を生ずる。微細気泡は、MLSS に付着するので汚泥の見かけ比重が下がり、汚泥を浮上濃縮したときと同様に水面に MLSS が浮上り固液分離不能となってしまふ。このため、本装置では、第二好気槽出口に MLSS と微細気泡を分離するための脱気槽を設けている。現状の施設は、この脱気槽の機能が不十分なため汚泥が浮きやすくなっている。

このように本施設は、施設の制限から汚泥がもともと浮きやすい特質に加えて処理時間短縮のために高 MLSS 運転が必要なことから SVI が高く推移するという二つの要件が重なり、第二沈殿池での固液分離が不十分となり透視度が恒常的に100cmを下回っている。春先の不安定な透視度を改善するため MLSS 濃度を段階的に下げる(1000~1500mg/L)ことで夏から秋にかけて透視度の安定をみたが、晩秋あたりから低 MLSS により水質が悪化し始め、MLSS を徐々に高めたものの MLSS 浮上に伴う第二沈殿池からの MLSS 流出によるセンター全体の総合放流水への影響が懸念されたことから MLSS 濃度を上げ切れずに濃度不足となったことが水質低下の原因である。この水質低下に伴い次項で述べる硝化担体の硝化速度も低下したため、処理水の窒素が基準値を超過したと考えられる。

今後同方式による新たな施設を計画する場合は、脱気槽を十分に確保するとともに、曝気方式等について新たな技術検討を加えることが重要といえる。

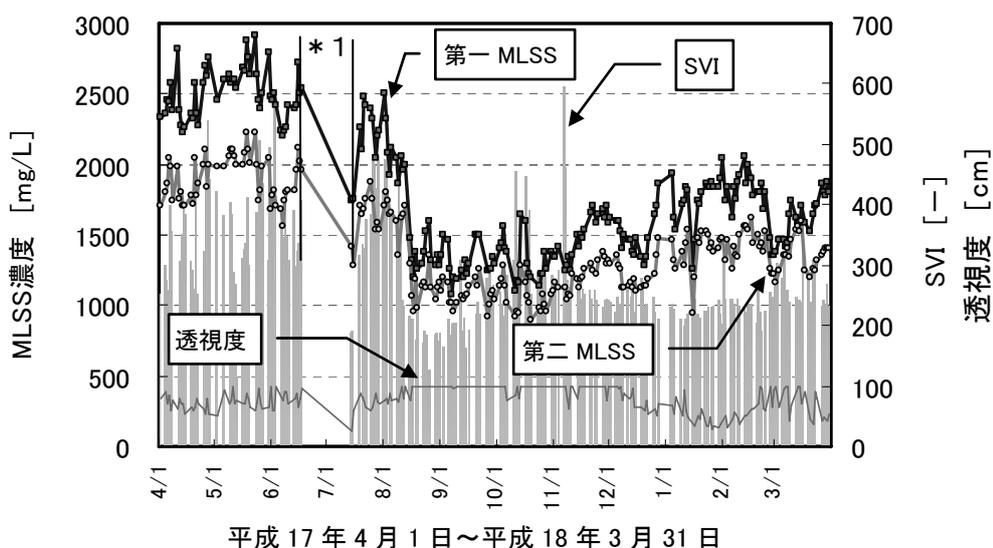


図6 運転条件推移等 (MLSS 濃度、SVI、透視度)

りんの悪化については、他の高度処理施設と同様に降雨による影響が顕著である。合流式下水道と高度処理の組合せにとって降雨の一時期にこのような現象が発生することは、現状の高度処理では不可避であるが PAC の添加により対応は、可能となっている。17年度の調査時は PAC 添加を実施していなために基準値を超えた事例があったが、H18 年度に PAC 添加を実施した雨天時(11/20 降雨量 30mm)調査では、図7に示すように十分に対応できている。本施設は、PAC 添加設備の設置は必須の条件ではあるが、それにより雨天時でも安定したりん処理が可能である。

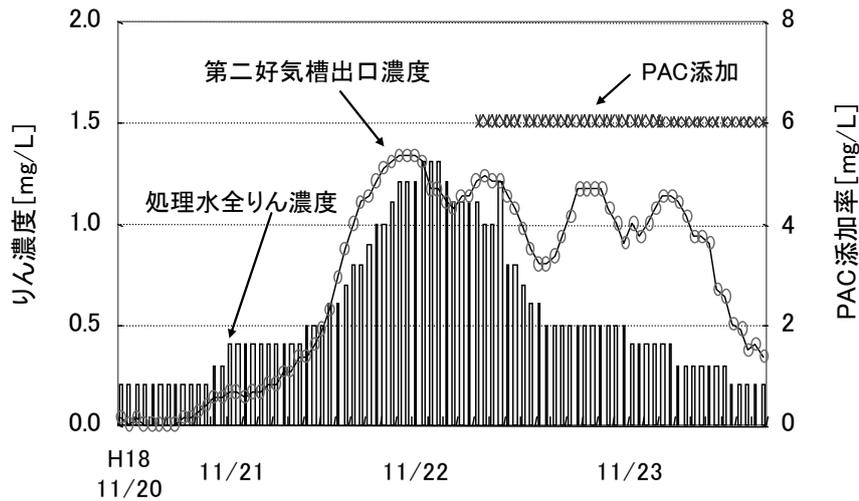


図7 PAC添加によるりん処理状況

### 5. 2 硝化速度、担体破損率

硝化担体は、本施設の最も特徴的な部分であり、担体の性能(硝化速度、耐久性)により本施設の成否が左右されるといえる。図8は、硝化速度を示したものであるが、春先は、80 mgN/L 担体/h 程度であったが、6月中旬から7月中旬にかけて実施した施設停止(DTAの点検)により大きく低下した。施設の再稼働後徐々に上昇し、9月後半からは基準値の100 mgN/L 担体/hr 程度に達し、その後は、低水温期となる12月から1月にかけても100 mgN/L 担体/hr を確保していた。その後1月中旬から低下を始め2月後半から3月初めにかけて大きく低下し、以後上昇する経過をたどった。硝化速度が低下し始める前の1月中旬に前述のとおり処理水質全体が悪化していた時期があることから反応槽内の処理状況の変化が硝化担体(結果的に硝化速度)に影響を与えている可能性がある。

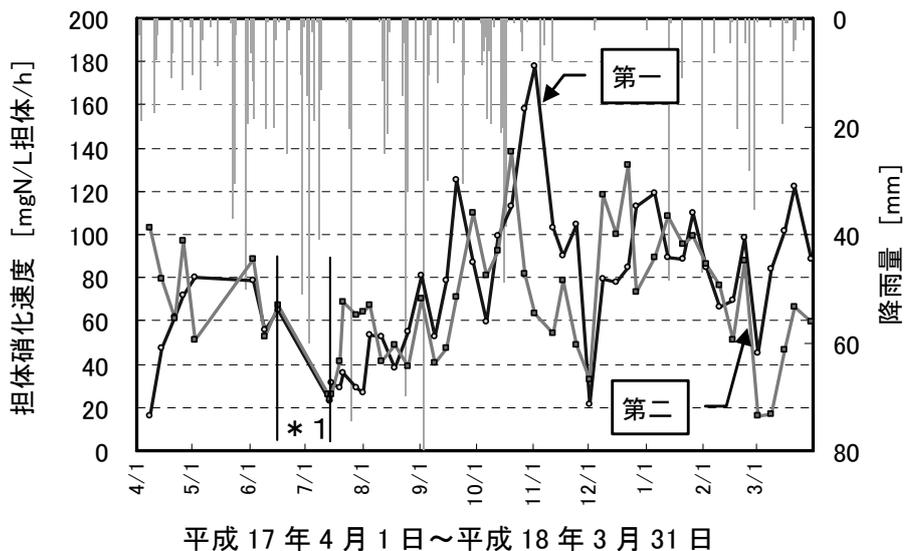


図8 硝化速度経過

また、この時期は、図9に示した硝化担体の損耗が顕著になりつつある時期であったことからそれによる影響も考えられるが現時点ではどのような要因が硝化速度に変化をもたらしているかは不明である。総合すると硝化速度は、必ずしも当初計画していた評価基準値を満たしているとはいえないが担体の損耗が顕著となった18年冬季を除いて処理水T-Nは、基準値を満たしていることから現状の硝化速度を今後の設計値に反映していくことが必要と考える。破損率については、設計時の想定を大幅に上回っており、現在、材質を含めて新担体についての調査を続けている。

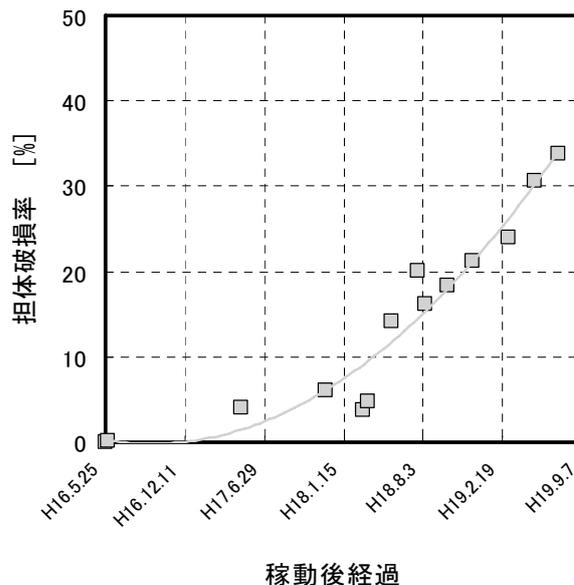


図9 担体破損経過

### 5. 3 運転条件

評価期間中の運転条件の推移を図10、11に示す。

#### (1) MLSS 濃度

設計値は、2400mg/Lであったが、前述のように本施設では、第二沈殿池での汚泥浮上、これに伴う透視度の低下が生じたため、水質への影響を及ぼさない範囲でMLSS濃度を1500mg/L程度まで下げていった。高水温期である夏季については処理水質を確保できていたが低水温期には、水質に若干の影響がでた。

#### (2) 汚泥返送率

設計値どおりの50%の返送率で運転を行い、所定の水質が得られた。

#### (3) 硝化液循環率

循環率の設計値は、100%(1167m<sup>3</sup>/日)であるが、脱気槽の容量(500m<sup>3</sup>)不足により第二沈殿池での固液分離が不十分であることから時として微細な汚泥の流出が見られた。このため脱気槽での滞留時間を確保するため循環率を100%から50%とした。窒素の除去率低下が懸念されたが年平均で約80%を確保しており、前述のとおり冬季に全窒素濃度に上昇があったが影響は、限定的であった。

#### (4) ステップ注入比

ステップ比の設計値は、前、後段0.5であった。しかし、脱気槽の容量不足を補うために循環率下げたことから、窒素除去率の低下が予測された。窒素除去率が最大になるように調節し、前段0.7、後段0.3のステップ比とすることで年平均約80%を確保した。

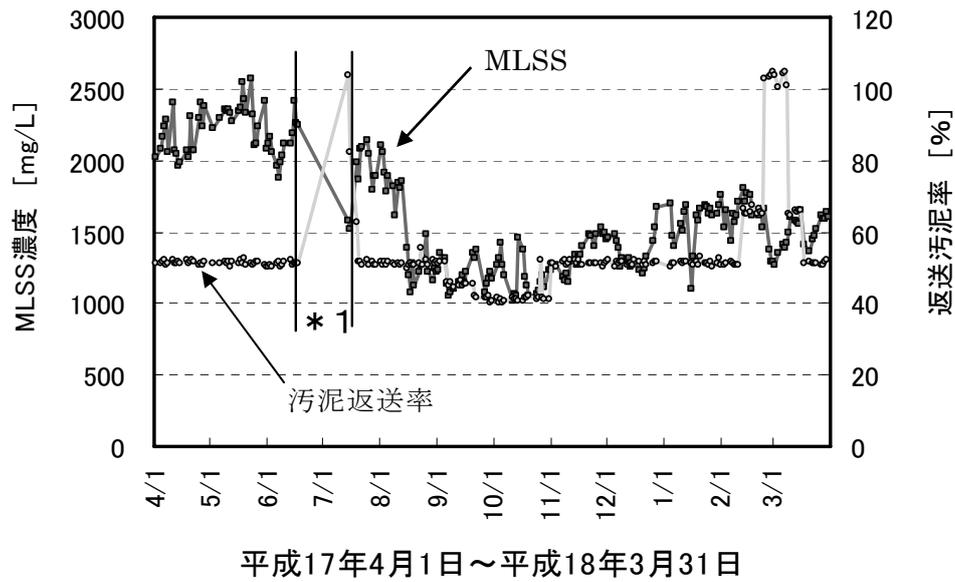


図 10 運転条件経過 1 (MLSS、返送汚泥率)

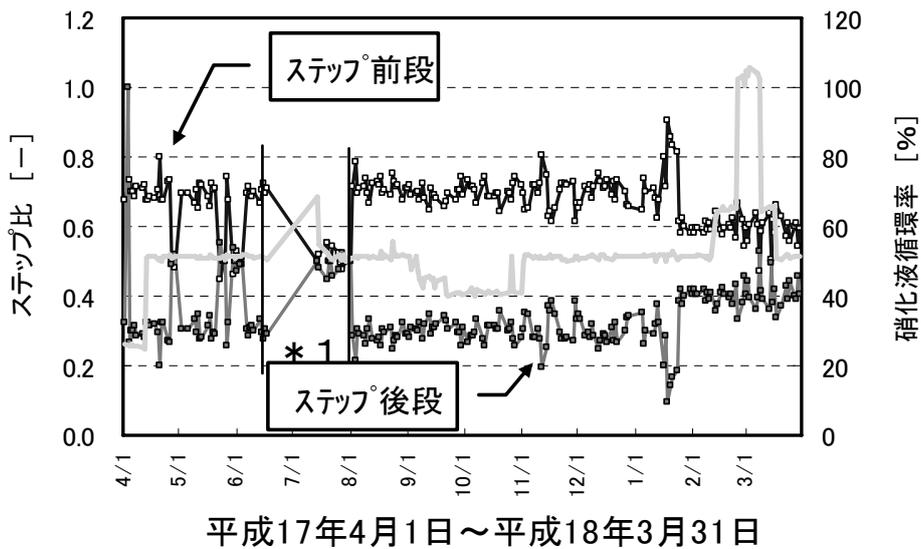


図 11 運転条件経過 2 (ステップ流入比、硝化液循環比)

## 5. 4 コスト

表 9 は、本法と他処理方式のコスト比較表である。建設費については、ステップ A 2 O 法と、運転経費については、A2O 法とコストを比較したものである。

### (1) 建設費

処理能力 2.8 万 m<sup>3</sup>/日規模の反応タンクを新設した場合の建設費は、ほぼ同等である。本法の反応タンク容積は、A 2 O のほぼ半分で済むことから土木費は、67%程度に抑えられるものの、担体を均一攪拌し、かつ高い溶解効率の散気装置として大型の D T A 等の機械設備を必要とすることから機械設備費は、2.7 倍となっている。また機械設備の大型化に伴い電気工事

費もA2Oの1.2倍程度となる。このため、土木費での低減効果が機械設備費、電気設備費と相殺されていることで同等という評価となった。

(2)ランニングコスト

D T A等の機械設備による動力費は、通常のA2O法の2.6倍であり、運転経費全体の80%以上を占めている。一方A20では、70%程度である。全体では通常のA20法の2.2倍程度である。本施設は、標準法並みの滞留時間で高度処理を行うことができるがその分、運転経費は高くなっている。

表9 コスト比較表

2.8万t/m3施設を新設した場合			17年度実績		
建設費(億円)			運転経費(円/1000m3)		
項目	本技術	ステップA2O	項目	本技術	A2O
土木費	17.55	26.33	動力費	2460	940
機械設備費	12.92	4.76	薬品費	28.8	14.9
電気設備費	8	6.84	メンテナンス費*1	364	364
	-	-	その他	89.5	33.8
合計	38.47	37.93	合計	2942.3	1352.7

\*1:本施設は、新設のためメンテナンス費が確定していないのでA2Oと同じとした。

6. まとめ

16年度に稼動した担体添加ステップ A2O 法の事後評価を実施したところ以下の結果となった。なお、本施設で始めて導入した硝化担体は、破損率が当初想定した値(1%/年)を大幅に上回ったことから、現在材質も含めて調査を継続している。

- (1) 処理水質を加味した水処理能力は、当初の設計値を満たしていた。
- (2) 処理水質は、年平均値の設計値を満たしていた。ただし、窒素については、脱気槽の容量不足という施設の要因などの影響により低水温期で一部設計値を超えることがあった。また、りんは、他の方式による高度処理と同様、降雨時に設計の1.0mg/Lを超えることがあったが、PACの添加により十分に対応できる。
- (3) 硝化速度は、設計値を必ずしも満たしていないが、窒素処理性能がほぼ設計値を満足していることから、本施設においては現在の硝化速度でも十分である。今後、設計に反映していくことが必要である。
- (4) 運転条件は、返送汚泥率のみ設計値のまま所定の水質が得られたが、MLSS、硝化液循環率、ステップ注入比は、脱気槽不足という施設の制約の中での最適値として MLSS 1500mg/L、循環率 50%、ステップ比前段 0.7、後段 0.3 となった。
- (5) 本施設のコストについて、新設を想定した建設費は、2.8万 t/日の規模で、ステップ A2O と同程度と見積もられた。また、運転経費を17年度実績から算定すると A2O と比較して 2.2 倍程度の高コストであった。

本施設は、当局に導入した一号機であり実証施設の要素が強い。事後評価を通して脱気槽の

容積と担体の強度など今後の設計に反映すべき幾つかの課題が明らかとなった。今後、調査を継続し、この新しい技術の完成度を高めていきたい。

最後に事後調査を進めるに当りご協力いただいた担体添加法導入 PT のメンバーの方々、ならびに三河島水再生センターの皆様に改めて感謝いたします。

**【参考文献】**

- (1) 三河島再生センター藍染北系処理施設特性調査委託報告書(H17～19.3)
- (2) ステップ流入式嫌気・無酸素・好気法設計マニュアル(案)(H14.3)

## 2-(2)-2 東部汚泥処理プラントりん固定剤添加設備設置について

建設部設備設計課機械設計第一係 藤江 正樹

### 1. はじめに

当局では、汚泥処理の集約化を進めているが、その汚泥集約処理施設のうちのひとつである東部汚泥処理プラントから発生する返流水は、有機物、固形物、りん等の負荷を多く含み、返流水を受け入れている砂町水再生センターの放流水質に影響を及ぼしている。

今後、更に汚泥の集約化が進められる一方、放流水に対する排出規制は、東京湾の富栄養化が一向に改善されないことを背景に強化されていく傾向にある。特に、窒素及びりんについては、平成 20 年 4 月より「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」（以下環境確保条例）の暫定基準が撤廃されることにより、規制が一層強化される。

このような状況を踏まえ、砂町水再生センターにおいては、新水処理施設（東陽Ⅲ系：A<sub>2</sub>O 法）の建設が進んでいる。この施設の稼働により、窒素については規制の遵守が見込まれているが、りんについては、なお規制の遵守が困難な状況が想定される。

そこで、今回、東部汚泥処理プラントから発生する返流水中のりん負荷を低減することを目的として、りん固定剤（凝集剤）添加設備を設置し対策を施したので、その内容について報告する。

なお、本設計において特に考慮した点は、①安定的に放流規制を遵守できる設備、②維持管理性を考慮した設備、③コストを考慮した設備を構築することである。

### 2. りん対策の必要性

#### 2. 1 条例規制値の強化

りんに対する最も厳しい規制値は平成 20 年 4 月から適用される環境確保条例の濃度規制値である（なお、総量規制値は砂町水再生センターの場合、りん負荷量の基準値が 1,704kg/日（H20 年度値）に対し、現状値約 750kg/日であり十分に余裕がある。）。そのため、濃度規制値について検討を進める。

表-1 に砂町水再生センターにおける放流水のりん濃度規制値（既施設の場合）を示す。また、図-1 に示すように、現在はりんの新規制値である 3.0mg/l を概ね満足している。しかし、今後更に汚泥集約化が進むと水処理施設では処理しきれなくなり、規制の遵守が困難な状況となる。

一方、条例の規制値は瞬時規制であり、如何なる瞬間においても規制を超過することは許されない。そのため、将来においても放流規制を遵守できるような手法を検討

表-1. りん濃度規制値(単位：(mg/l))

現 状	新規制値
4.5	3.0

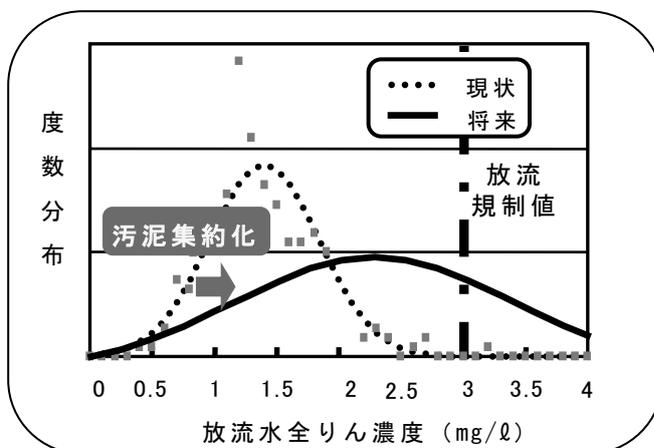


図-1 現状及び将来における放流水全りん濃度の度数分布

していく必要がある。

## 2. 2 返流水のりん対策の必要性について

東部汚泥処理プラントからの返流水を処理している砂町水再生センターにおける全体流入負荷に占める、返流水負荷の割合実績を図-2に示す。

返流水負荷は、COD及びSSについてはそれほど高くないものの、全りんについては全体負荷の半分以上を占めており、水処理にとって無視できない割合となっている。

なお、全りんには、非溶解性りん（固形物に含まれているりん）と、溶解性りん（水に溶解しているりん）があるが、このうち溶解性りんは、水処理施設において処理が困難であるため問題となっている。

全りに占める溶解性りんの割合を図-3に示す。溶解性りんの割合は3割程度となっており、砂町水再生センターへの返流水負荷の影響は深刻である。

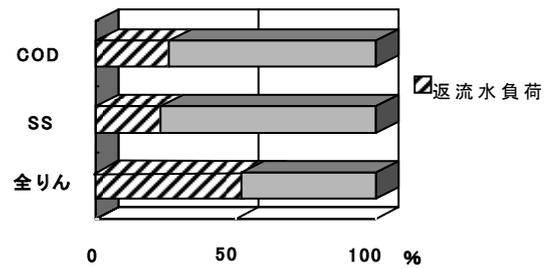


図-2 砂町水再生センターにおける返流水負荷/全体流入負荷

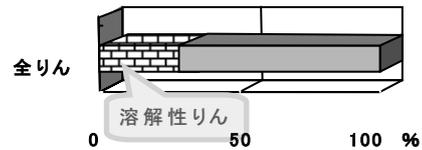


図-3 全りんに占める溶解性りんの割合

## 3. 返流水中のりん削減方法について

### 3. 1 削減対象とするりんについて

放流水中の非溶解性りんの濃度は比較的安定しており、0.4mg/l程度と小さい。よって、放流水の全りん濃度を2.5mg/lと仮定すると、放流水に含まれるりんの8割以上が溶解性りんとなる。なお、溶解性りんのほとんどは「りん酸性りん(P<sub>04</sub>-P)」である。そのため、今回の設計においては、りん酸性りん(P<sub>04</sub>-P)を削減対象とし設備の構築に取組んだ。

### 3. 2 返流水中のりん削減方法

返流水のりん削減方法として、りん負荷の変動にも柔軟に対応でき、確実な効果が期待できる汚泥へのりん固定剤添加による方法を採用した。

りん固定剤による汚泥処理工程におけるりん削減メカニズムについて説明する。りん固定剤添加前、添加後の状況について図-4に示す。

始めに、りん固定剤を添加しない場合である。濃縮脱水工程に投入される汚泥中のりんのうち、非溶解性りんは汚泥とともに焼却され焼却灰に、溶解性りんは濃縮・脱水分離液に溶解し、返流水に概ね移行する。

次にりん固定剤を添加した場合である。濃縮脱水工程前に添加されたりん固定剤により、汚泥中の溶解性りんは、りん固定剤中の金属イオンと反応・沈殿し、非溶解

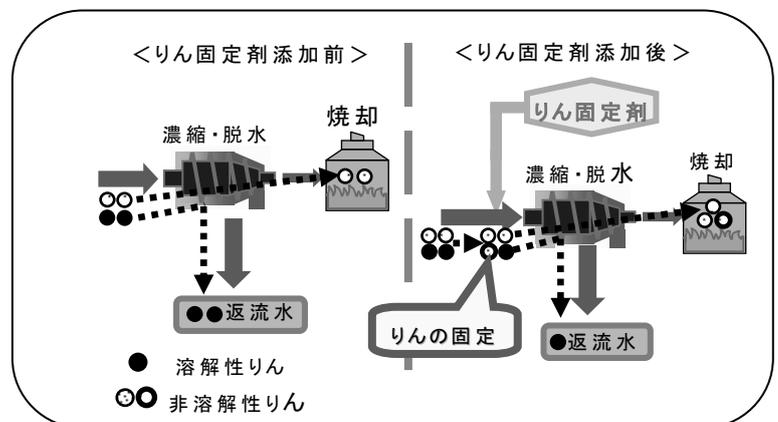


図-4 りん固定材添加によるりん削減メカニズム

性りんとなる（りんの固定化）。りん固定剤を添加した場合も、非溶解性りんは焼却灰に、溶解性りんは返流水に移行するが、りん固定効果に伴う溶解性りんの減少により、添加前と比べて返流水へ移行するりんの量は減少する。

このようにして、りん固定剤の添加により、返流水中のりん負荷を低減することができる。

### 3. 3 りん固定剤の選定

代表的な金属系凝集剤であるアルミ系（ポリ塩化アルミニウム、液体塩化アルミニウム）、鉄系（ポリ硫酸第二鉄）、石灰系（消石灰）について、りん固定剤としての適性を検討した。その結果、鉄系（ポリ硫酸第二鉄）、石灰系（消石灰）凝集剤は、時間の経過、PH 条件等により、一度固定したりんを再溶出するという特徴があるため、今回の用途では使用できないことがわかった<sup>1)4)</sup>。

そこで、残ったアルミ系凝集剤であるポリ塩化アルミニウム（PAC）及び液体塩化アルミニウム（LAC）について比較を試みたのが表-2 である。比較表からは汚泥中のりんを固定化するためには、液体塩化アルミニウム（LAC）の方が優れていることがわかる<sup>3)</sup>。

そのため、りん固定剤として、液体塩化アルミニウム（LAC）を選定した。

液体塩化アルミニウム（以下 LAC）の特徴を表-3 に示す。LAC は、PH が 1 以下（原液の場合）と非常に低いため、設備の材質等については考慮が必要である。一方、実質的な法令規制、取扱い資格等はなく、その点では維持管理性を考慮した薬品といえる<sup>2)</sup>。

なお、LAC は、当局においては、今回の設備において初めて採用する薬品である。

表-2 LAC と PAC との比較

	LAC	PAC	備考
りん固定効果	○	△	りん固定効果は LAC が PAC の 1.5 倍程度。(実証試験データによる)
汚泥凝集効果	△	○	
薬品費	○	△	価格は、LAC が PAC の 1/2 程度。
評価	りん固定効果が高く、薬品費が安い。凝集効果は PAC ほど期待できないため、水処理への添加には適さず、汚泥への添加に適している。	凝集効果が高いため、りんを含んだ汚泥を沈降分離させる必要がある水処理への添加に適している。	
総合判定	○	△	

表-3 LAC の主な性状

組成式	AlCl <sub>3</sub>
比重	約 1.25
pH	1 以下(原液の場合)
金属腐食性	大
色調など	透明ないし微黄色
JIS 規格	なし
法的規制	実質的な規制なし

## 4. リン固定剤の添加方法

### 4. 1 リン固定剤添加量

LAC 添加設備は砂町水再生センターの放流水中のりん濃度を水質規制値以下とするように設置するものである。したがって、東部汚泥処理プラントからの返流水に含まれる溶解性りん（りん酸性りん）を全て除去する必要はない。そのため、溶解性りんの削減量は現在の放流規制超過量に、今後受泥する予定の落合・中野及びみやぎの各水再生センターからの汚泥に含有するりん量を加えたものから、東陽Ⅲ系（A<sub>2</sub>O 法）施設稼動に伴うりん削減量を引いた値とした。

また、今回設計時の最大りん削減必要量は落合・中野・みやぎ汚泥の全量受泥時において約 860（kg/日）と想定し各設備容量を決定した（なお、LAC 中の A1 とりん酸性りんとの反応モル比は調査結果より 1:0.7 とし、LAC 中の A1 含有率を 5.0% とした<sup>3)4)</sup>。）。

### 4. 2 リン固定剤添加対象汚泥の選定

前項で述べたように、返流水中のりんを全て除去する必要はない。そのため、最も効果的にりんを削減できる添加対象汚泥を選定し固定剤を添加することとした。

東部汚泥処理プラントにて処理している各汚泥から、返流水へ流出するりんの割合を図-5 に示す<sup>1)4)</sup>。現状においては、約半分のりんが、濃縮段階の三河島水再生センターからの送泥汚泥から流出している。汚泥集約化による他センターからの追加送泥は三河島経由で行われる計画となっているため、その比率は今後さらに高まることが予想される。

そこで、LAC 添加対象汚泥として、りん含有量が多く、効果的にりんを固定できる三河島汚泥を選定した。

### 4. 3 リン固定剤添加点の検討

#### 4. 3. 1 汚泥処理フロー

東部汚泥処理プラント及び砂町水再生センターの汚泥処理フローを図-6 に示す。

なお、図-6 は簡略化のため、りん含有量の多い三河島からの送泥汚泥及び砂町余剰汚泥のみを抜粋している。

三河島より送泥されてきた汚泥は、東部汚泥処理プラントの調整槽及び砂町水再生センターの洗浄槽にて受泥される。そのうち調整槽にて受泥された汚泥は、そこで若干濃度調整され、さらに、遠心濃縮にかけられた後、濃縮汚泥貯留槽に送られる。一方、洗浄槽にて受泥された汚泥は、そこで重力濃縮され、遠心濃縮された砂町余剰汚泥と共に、こちらも濃縮汚泥貯留槽に送られる。濃縮汚泥貯留槽の汚泥は、さらに、遠心脱水にかけられ、最終的に焼却処理される。

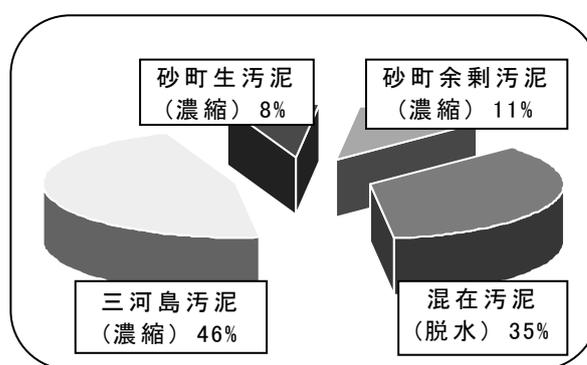


図-5 各汚泥処理段階から流出するりんの割合

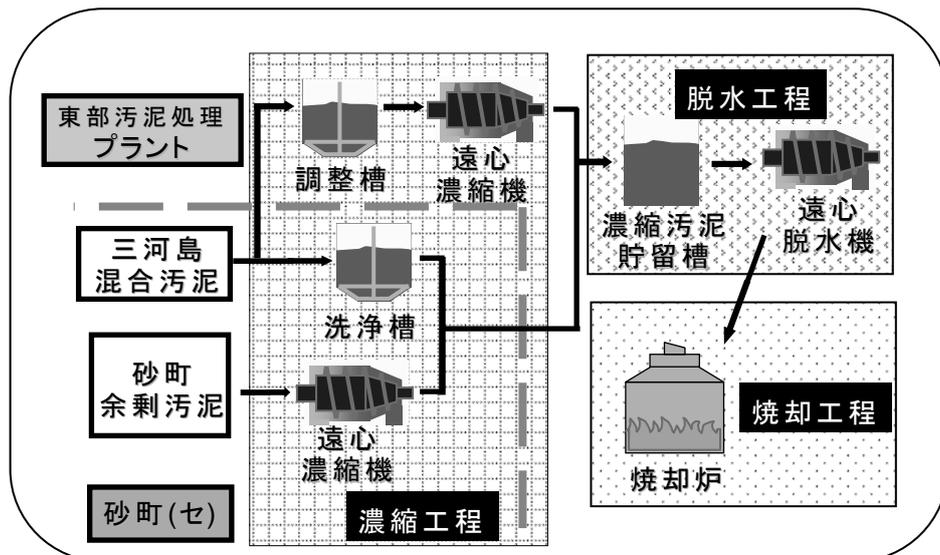


図-6 東部汚泥処理プラント及び砂町水再生センターの汚泥処理フロー

#### 4. 3. 2 当初計画

図-7 に砂町水再生センター及び東部汚泥処理プラントの平面図を示す。当初計画では、すべての三河島汚泥を対象に LAC を添加するという考えの下、三河島汚泥の受泥槽である調整槽及び洗浄槽を LAC の添加場所として検討していた。

しかし、両槽は離れているため、これら両槽を当初計画どおり LAC の添加場所とすることは、維持管理性、建設コスト等の点で不利である。

そこで、本設計においては、このような問題点を解消するため、東部汚泥処理プラント側のみに LAC を添加するという考えの下、まず、調整槽を LAC の添加場所に選定して検討を進めた。

その結果、LAC の添加場所を調整槽のみとした場合、次の影響により、削減できるりんの量が制限され、放流規制を満足するために必要な量のりんが削減できない場合があることが判明した。

##### (1) 調整槽に添加しているポリ硫酸第二鉄の影響

現在、消臭を目的として、調整槽にポリ硫酸第二鉄を添加しているが、その副次的な作用として、りんの固定作用がある。しかし、そのりん固定の効果は一時的なものであり、時間の経過により、りんを放出するという特徴がある<sup>1)4)</sup>。放出されたりんは、返流水に流出することから、結果としてポリ硫酸第二鉄の大量の添加は、LAC によるりんの削減を阻害することとなる(図-8)。

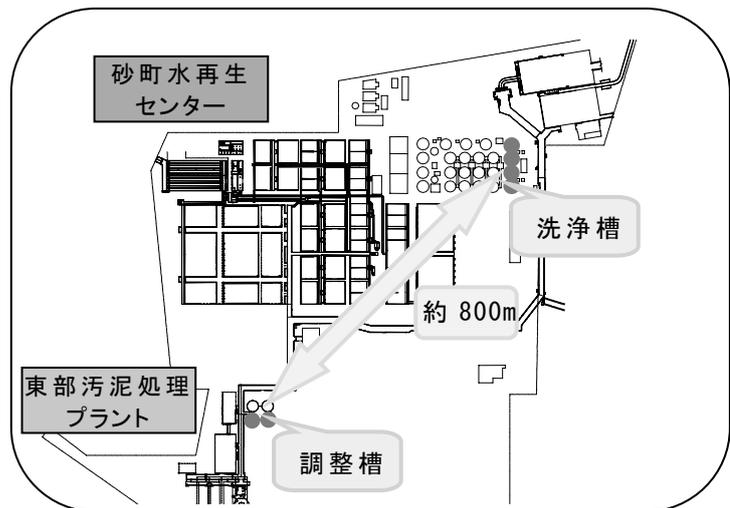


図-7 調整槽と洗浄槽の位置関係

(2) 東部汚泥処理プラントでの天候による処理フローの変更の影響

東部汚泥処理プラントでは、汚泥の安定処理を行う目的で、雨天時には、砂町水再生センターにある洗浄槽での三河島受泥量を増やし、調整槽での受泥量を減らしている。そのため、雨天時において調整槽に存在するりんの量は、晴天時の約 65%と極端に少なくなる。これにより、調整槽への LAC 添加のみでは、りんの削減量が不足する場合がある。

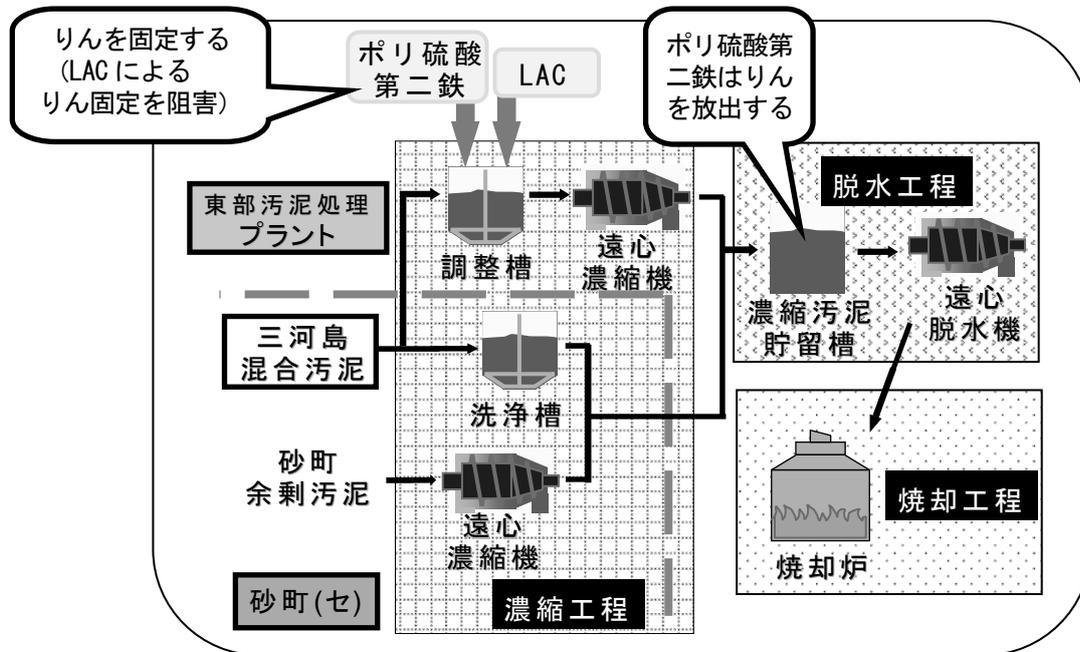


図-8 調整槽に添加されるポリ硫酸第二鉄のりん固定に関する挙動

4. 3. 3 追加検討

調整槽をりん固定剤の添加場所とするほか、前項の問題を解決するため、ポリ硫酸第二鉄によるりんの放出が概ね終了している工程であり、また、雨天時でのりんの含有量が多い砂町汚泥を受泥している濃縮汚泥貯留槽にも LAC を添加することを検討した。これにより、LAC 添加後の放流水全りん濃度の予測値は、すべての汚泥集約段階において目標値未満となり、安定的な放流規制の遵守が可能であるという結果になった(図-9)(水質目標値は、規制値から若干の余裕を見て、2.5mg/Lとした。)

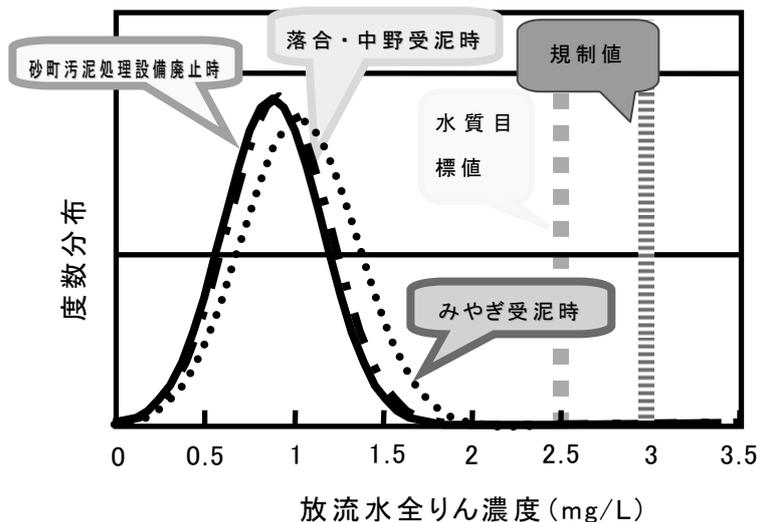


図-9 砂町水再生センターの放流水質予測 (調整槽及び濃縮汚泥貯留槽に LAC を添加した場合)

## 5. 主要設備概要

### 5. 1 主要設備概要

#### 5. 1. 1 返流水処理施設設置場所

主要機器の設置場所は LAC 添加場所である調整槽及び濃縮汚泥貯留槽に近接している東部汚泥処理プラント敷地内の調整槽付近とした(図-10)。

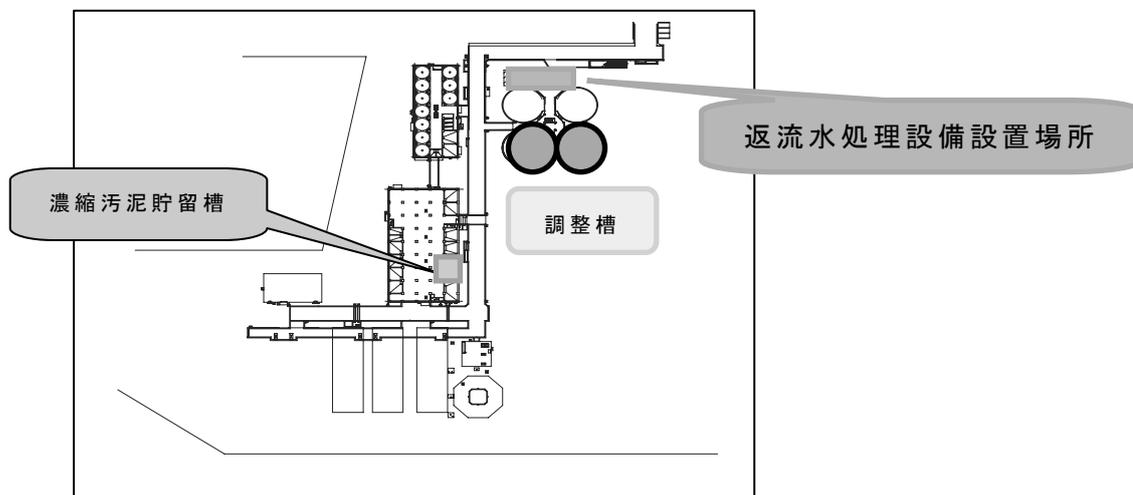


図-10 東部汚泥処理プラント平面図

#### 5. 1. 2 主要機器概要

今回設置する機器の概要を表-4 に示す。

主要機器は LAC 注入ポンプ及び LAC 貯留タンクその他、希釈水槽及び希釈水ポンプである。

貯留槽用と調整槽用で LAC 必要注入量は異なるが、今回選定した LAC 注入ポンプは吐出量制御が可能であり、両槽への注入量が同一仕様ポンプの制御範囲内で対応可能であるため共通の仕様とし、1 台を予備機として双方に対応できるようにした。

また、LAC と汚泥との混合性、りんとの反応性の向上を目的とし希釈水設備を設けた。希釈倍率は調査を行い 20 倍を採用し、希釈水ポンプ能力を決定した。なお、希釈水倍率を 20 倍に固定した場合、LAC 注入ポンプの吐出量制御により、希釈倍率も変動するが、今回選定したポンプの変動範囲であればりんの除去効果は変わらないため、希釈水ポンプは定量形とした。希釈水ポンプは LAC 必要注入量の違いを考慮し貯留槽用と調整槽用で仕様を分け、夫々予備機を設けた。

表-4 主要機器概要

機器名称	形式	数量	選定理由
LAC 注入ポンプ	ダイヤフラムポンプ φ 50×0.5~12.0L/min	3 台	1. 吐出量制御可能 2. 腐食に強い
LAC 貯留タンク	FRP 製、20 m <sup>3</sup>	2 基	1. 耐薬品性がある。 2. 実績がある。
希釈水ポンプ	横軸渦巻ポンプ φ 50×0.17 m <sup>3</sup> /min×20m(貯留槽用)	2 台	1. 信頼性が高く実績がある。
	φ 50×0.24 m <sup>3</sup> /min×20m(調整槽用)	2 台	
希釈水槽	角型ホルト組立式水槽 (二槽式) 6.0 m <sup>3</sup>	1 基	1. 信頼性が高く実績がある。

また、今回設置する主要機器の概略フローを図-11に示す。

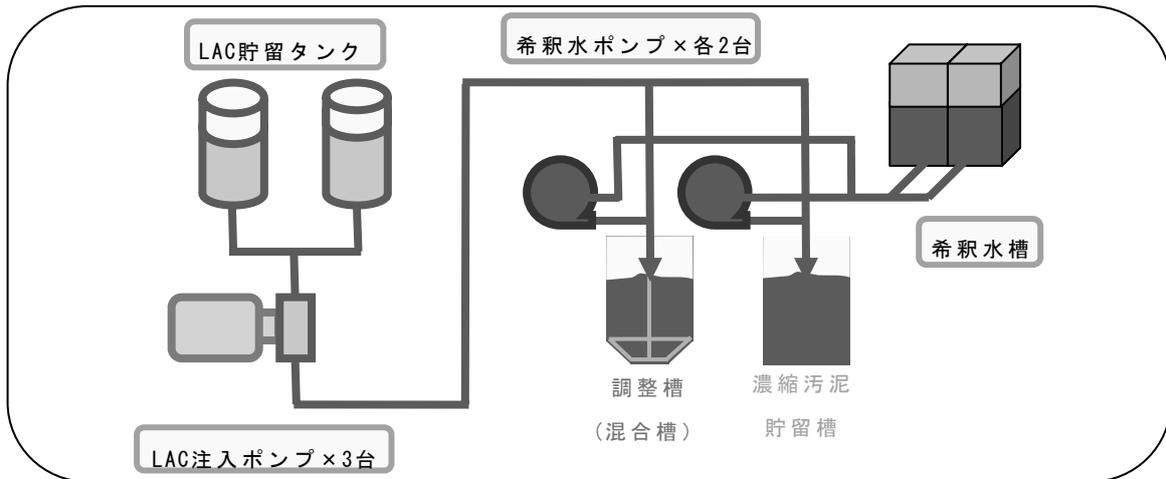


図-11 主要機器概略フロー図

### 5. 1. 3 LAC 接液部材質について

本設備は強酸性の LAC を取扱うため、LAC が接する部分に使用する材質については耐薬品性に優れたものを選定した。以下に LAC 接液部分の主な材質について記す。

- (1) LAC 注入ポンプ(ダイヤフラム、パッキン等)：テフロン、PVC 製
- (2) 配管：塩化ビニルライニング鋼管
- (3) 可とう管(可とう部分)：テフロン製
- (4) 弁類：テフロン製

### 5. 1. 4 主要機器の制御方法について

(1) LAC 注入ポンプは以下の自動制御方式が可能である。

注入量一定制御：LAC の注入量が一定になるように制御する。

注入量比例制御：汚泥量に比例した LAC 注入量になるように制御する。

実際に運用していく中でより効果的な制御方法を選択することが可能である。

(2) 希釈水ポンプは先に述べたように、定量形ポンプとした。LAC 注入ポンプと連動して運転を行う制御としている。

## 6. おわりに

本設計において特に考慮した点は、冒頭に述べたように

- ① 安定的に放流規制を遵守できる設備
- ② 維持管理性を考慮した設備
- ③ コストを考慮した設備を構築する

である。

以上のことをふまえて設計を行ない、①については現場の運用状況を把握し、LAC 添加場所の選定に活かすことにより実現することができ、②及び③については、りん固定剤の選定及びりん固定剤添加場所を東部汚泥処理プラントへ集約することにより向上を図ることができたと考えている。

また、LAC(液体塩化アルミニウム)は当局において初めて使用する薬品である。

本設備の実際の運用については、模索しながら対応していかなければならない部分も

多々あるため、予期し得ない問題も今後生じると思われるが、効果的な返流水対策が行えるよう引続き関係部署との連携を十分に図っていきたい。

#### 参考文献

- 1) 本間誠二：返流水の効率的処理によるりん除去手法の開発、東京都下水道局技術調査年報(2002)
- 2) 本間誠二：返流水の効率的処理によるりん除去手法の開発(その2)、東京都下水道局技術調査年報(2003)
- 3) 中東寛和、岡崎敏之、山下博史：汚泥処理工程への凝集剤添加による放流水りん濃度の低減、東京都下水道局技術調査年報(2005)

## 2-(2)-3 八王子水再生センターのステップA2O法について

多摩川上流水再生センター水質管理係

○永津雅庸 竹田裕一 大江学 鶴島康一 林継夫（現砂町）知久達也（現浅川）

### 1. はじめに

八王子水再生センターの4-1系は、東京都で最初のステップA2O法施設で、平成19年4月より本格稼動した。

ステップA2O法は、窒素・りん除去を目的とした高度処理法の一つで、特に窒素を効率よく除去できる方法である。

図1のように、流入水を複数に分けて後段の無酸素タンクに流入させることにより、前段好気タンクで硝化した窒素を次の無酸素タンクで循環ポンプなしで脱窒することができ、通常のA2O法に比べて硝化液循環ポンプの動力を大幅に削減させることができる。

しかしそのためには第一好気タンクで完全硝化し、第二無酸素タンクで確実に脱窒させることが重要となる。

当センターの流入水は、高濃度窒素を含有する事業所排水が流入しているために、窒素流入負荷が高く水処理が難しいところがあり、処理水のT-Nも高い状況にある。このため、窒素除去能力の高いステップA2O法導入は、その効果に対する期待が大きいことから、当センターでは、流入水量、ステップ流入比、硝化液循環比等の運転条件を変えて目標の窒素除去を得られるよう調査を行ってきた。

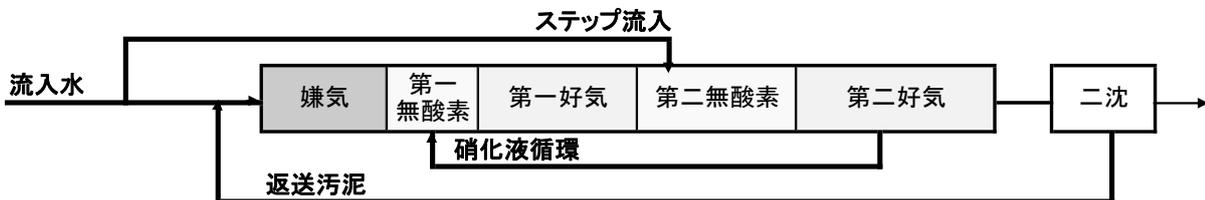


図1 ステップA2O法フロー

### 2. ステップA2O法の概要

ステップA2O法のフローは、図1に示すように嫌気・無酸素・好気・無酸素・好気と5つのゾーンから成り立っている。A2O法との違いは、後段に無酸素・好気タンクが追加されている点である。

当センターでは、図2のような3回路の迂回流になっており、嫌気および無酸素タンクの機械攪拌機は間欠運転可能なものが合計10台設置されている。また好気タンクの散気装置は微細気泡散気装置（メンブレンパネル式）である。

当センターの設計諸元を表1～3に示す。

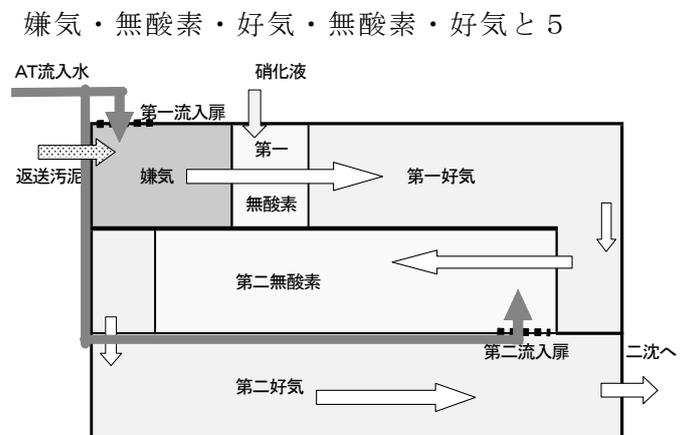


図2 ステップA2O法の施設

表-1 計画水量

日平均水量	16,500m <sup>3</sup> /d	(690m <sup>3</sup> /h)
日最大水量	21,000m <sup>3</sup> /d	(875m <sup>3</sup> /h)

実績最大水量	23,000m <sup>3</sup> /d
〃時間最大	1,300m <sup>3</sup> /h

表-2 反応槽容量

嫌気槽	720 m <sup>3</sup>	6%
第一無酸素槽	486 m <sup>3</sup>	4%
第一好気槽	3,222 m <sup>3</sup>	27%
第二無酸素槽	3,312 m <sup>3</sup>	27%
第二好気槽	4,410 m <sup>3</sup>	36%
合計	12,150 m <sup>3</sup>	100%

表-3 反応槽流入水質と処理目標水質  
設計値

水質項目	一沈流出水	二沈流出水
BOD(mg/l)	140	10
SS(mg/l)	120	15
T-N(mg/l)	35	10
T-P(mg/l)	4	0.5

実績(平成19年度)

BOD(mg/l)	140	3(放流水)
SS(mg/l)	43	2(放流水)
T-N(mg/l)	28	10
T-P(mg/l)	3.5	1.1

重力濃縮汚泥投入 10m<sup>3</sup>/d

ステップA2O法では、前段の流入分が完全硝化されていれば、第二無酸素タンクですべて脱窒するので、流入比が0.5ならそれだけで脱窒率50%になる。これは普通のA2O法では硝化液循環率100%に相当し、効率よく窒素除去できるのが特徴である。

理論的に整理した関係式は次のとおりである。「ステップ流入式嫌気-無酸素-好気法設計マニュアル(案)平成14年3月東京都下水道局計画調整部」より引用)

$$C_{NOX,eff} = \frac{a \times a2}{1 + Rr + Rn} C_{TN,in}$$

$C_{NOX,eff}$  : 処理水NOX-N濃度(mg/l)

$C_{TN,in}$  : 反応タンク流入T-N濃度(mg/l)

$a$  : 流入T-Nのうち硝化に関わるT-Nの比

$a2$  : 後段ステップ流入比

$Rr$  : 汚泥返送比

$Rn$  : 硝化液循環比

また、この式で表されるステップ流入比と窒素理論除去率の関係を図3に示す。この図によれば、前段へのステップ流入比を大きくするほど(=後段へのステップ流入比を小さくするほど)窒素理論除去率は高くなる。

一方りん除去についても前段へのステップ流入比を大きくするほど第一好気タンクで過剰摂取されるりんの割合が増えるため安定したりん除去が可能と考えられる。

しかし、前段へのステップ流入比を過剰に大きくすると、通常のA2O法に近づいて、前段の反応タンク内のMLSS濃度が下がったり、第二無酸素タンクでのBOD/N比が低下し、せっかく前段

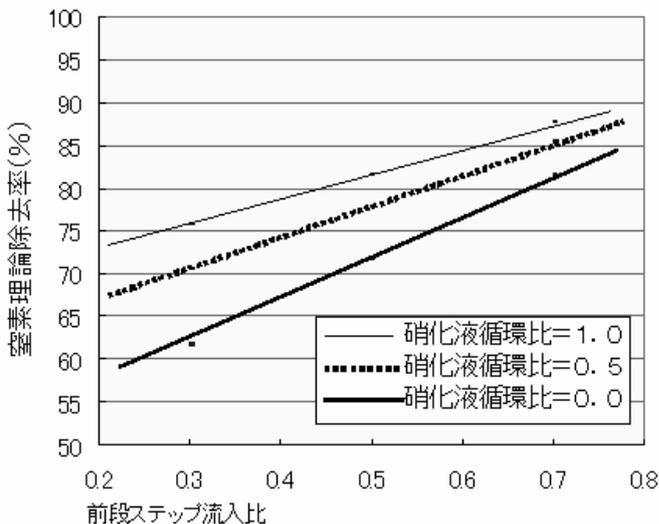


図3 窒素理論除去率

で硝化した硝酸性窒素の脱窒が不十分になることから、程よいステップ比の設定が重要になる。

### 3. 調査結果

当センターでは、平成19年4月から約1ヶ月間、工事施工業者による試運転を行った。設計では反応タンク流入水のSSを120mg/lとし、過去の運転実績値（平成17年度平均40mg/l）より大きく設定し、目標MLSSを2,500mg/lとしていた。そのため試運転では、目標MLSSに近づけるため余剰汚泥引抜量を極端に少なくして運転したが、結局1,600mg/l程度に留まった。この間の余剰汚泥引抜量は次のとおりであった。

- 4月8日まで余剰汚泥引抜量 0 m<sup>3</sup>/d
- 4月9日から15日まで 50 m<sup>3</sup>/d (SRT=30d)
- 4月16日から30日まで 平均76 m<sup>3</sup>/d (SRT=20d)

そこで、当センターでは、試運転終了後の平成19年5月中旬から、平成20年2月上旬まで約9ヶ月間本格的な調査を行った。表4にRUN1からRUN8の調査結果をまとめた。表4の日常試験と計器日平均値はそれぞれの調査期間内の平均値である。

#### 3. 1 後段ステップ比0.5での調査(5/14~6/21)

RUN1では、処理水量750m<sup>3</sup>/hで調査を行った結果、第二無酸素タンクで脱窒がほぼ完了していた。

#### 3. 2 後段ステップ比0.3での調査(6/22~10/9)

処理水量が850m<sup>3</sup>/h(RUN2)のとき、第二無酸素タンクでの脱窒は完了せず、硝酸性窒素が残留した。また、処理水のアンモニア性窒素は、処理水量が850m<sup>3</sup>/h(RUN2)までならほとんど完全硝化するが、1,000m<sup>3</sup>/h(RUN3)では少し残留した。そして、総りんは、水量負荷の大きいほうが低下した(RUN3)。

#### 3. 3 後段ステップ比0.4での調査(10/10~2/4)

RUN4以降は、第二無酸素タンクでの脱窒は後段ステップ比0.3と0.5の中間の数値であった。RUN4は汚泥投入なし、RUN5とRUN6では後者のほうが流入水CODが高かったため処理水も調査期間全体を通してもっとも良好だった。アンモニア性窒素の硝化は、RUN7調査時に一時的に処理水量1,200m<sup>3</sup>/hになったときも完全硝化した。また、RUN7とRUN8の調査期間中に流入水の窒素負荷が高くなり、放流水のりんが放流基準の3mg/l近くまで上昇したため、PACの大量注入でしのいだ。

表4 調査中の運転条件と水質(平成19年度)

RUN	後段ステップ流入比	調査期間	流入水量(m <sup>3</sup> /h)	返送率(%)	循環率(%)	重力濃縮汚泥投入	放流水温(°C)	第二好気MLSS(mg/l)	SRT(日)	24h試験			計器日平均		
										第2無酸素NO <sub>3</sub> -N(mg/l)	第2無酸素NO <sub>3</sub> -N(mg/l)	処理水NH <sub>4</sub> -N(mg/l)	処理水T-N(mg/l)	処理水T-P(mg/l)	
1	0.5	5/14-6/21	750	20	15	なし	23.9	1,488	8.7	1.3	0.3	0.1	9.8	1.2	
2	0.3	6/22-7/30	850			有	25.4	1,261	7.8	4.6	2.2	0.2	9.2	1.0	
3		7/31-10/9	1,000			有	26.5	1,259	6.9	1.9	2.3	0.4	9.6	0.9	
4	0.4	10/10-11/6	1,000			なし	24.9	1,168	6.9	3.9	1.1	0.2	11.4	1.4	
5		11/6-11/29	1,000			有	23.2	1,248	7.5		0.9	0.2	10.1	1.1	
6		11/30-12/28	1,000			有	21.3	1,653	8.4	3.5	0.7	0.1	9.4	0.5	
7		12/29-1/24	1,000			30	有	19.7	2,025	8.2	2.8	0.4	0.1	11.0	1.0
8		1/30-2/4	1,000			40	有	19.2	2,030	8.2		0.0	0.1	13.2	1.6

#### 3. 4 重力濃縮汚泥投入の効果

重力濃縮汚泥を投入することによって、処理水の窒素、りんはともに低下した。RUN 4 と RUN 5 は、汚泥投入以外は同じ運転条件で流入水質もほぼ同じであった。

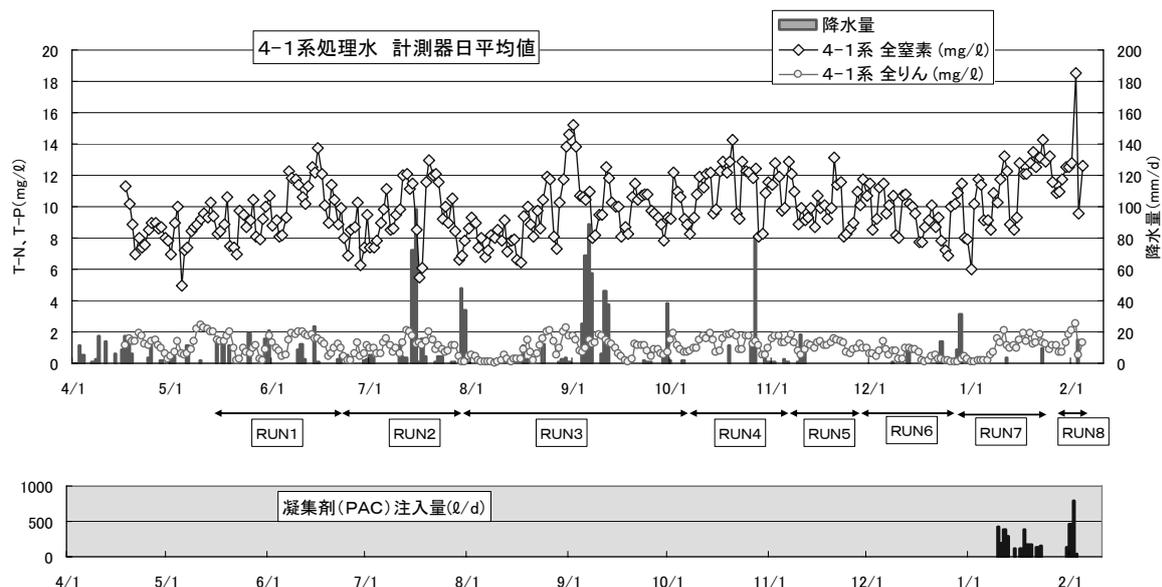


図4 4-1系ステップA2O法施設の処理水質トレンド（平成19年度）

#### 4. 考察

##### 4.1 処理水質について

調査の結果、運転条件は後段ステップ流入比 0.4 で処理水量を設計値 (690 m<sup>3</sup>/h) よりかなり多い 1,000 m<sup>3</sup>/h にしたとき最も良好な水質になった。調査中の処理水質は、表 3 の目標水質 (二沈流出水) と比べると、窒素はほぼ目標どおりだったが、りんについては越えており、有機物の不足を補うため重力濃縮汚泥を投入していてもこの値であった。

一沈流出水の BOD は設計値と同じで、りんはむしろ低いのにこういう結果になったのは、「ステップ流入式嫌気-無酸素-好気法設計マニュアル(案)」(以下「マニュアル(案)」と記す。) が区部での実験データを基に作成したものであり、八王子水再生センターの実情について考慮されていないためと考えられる。

ステップ A2O 法は、窒素・りん除去を目的とした高度処理法ではあるが、りん除去については、やや不安定な面がある。「マニュアル (案)」では、前段の流入比を大きくするほど安定したりん除去が可能になるとしており、また、りんが上昇したときは PAC の注入を行って対処するとされているが調査結果からもそれが裏付けられた。

##### 4.2 運転条件と水質

当センターの流入水は、高濃度窒素を含有する事業所排水の流入状況によって変動が大きいので、これが処理水にも大きな影響を与えているものと考えられる。このため、運転条件の変更による処理水質の変化が、流入水質の変動に飲み込まれてしまう状況にある。そこで通常の運転は、調査結果を踏まえて後段ステップ流入比 0.4、処理水量 1,000 m<sup>3</sup>/h をベースとして、処理水の T-P が 0.5mg/l 以下になったときだけ循環率 15% で硝化液循環を行い、1mg/l を超えたら循環停止している。

##### 4.3 設計条件と実際の運転の違い

###### 4.3.1 設計条件と現実の違い

当センターの流入水質は、表3のとおり設計値よりSSが大幅に低い。そこで4-1系の設計条件を「マニュアル(案)」の「Ⅲ. 設計計算例」に当てはめ、設計条件のSSだけを40mg/ℓにしてシミュレーションをした。その結果は表5の真ん中の列の数値で

表5 設計計算例を使ったシミュレーション

1 設計条件	4-1系設計値	SSだけ40としてシミュレーション	現在の運転条件でシミュレーション
反応タンク流入水BOD(mg/ℓ)	140	同左	同左
"  S-BOD(mg/ℓ)	93	同左	同左
"  SS(mg/ℓ)	120	40	43
"  T-N(mg/ℓ)	35	同左	30
"  NOx-N(mg/ℓ)	T-Nの75%	同左	同左
"  T-P(mg/ℓ)	4	同左	3.5
"  PO4-P(mg/ℓ)	1.7	同左	同左
A-SRT(16°C)	10.2	同左	8.3
反応タンク末端MLSS(mg/ℓ)	2,500(*1)	1,374	1,420
汚泥返送比	0.5	同左	0.2
返送汚泥濃度(mg/ℓ)	7,500	4,122	8,520
硝化液循環比	0.35	同左	0(*2)
前段ステップ流入比	0.5	同左	0.6
後段ステップ流入比	0.5	同左	0.4
(*1)4-1系設計値のMLSSは、SS(120mg/ℓ)由来のものが多いのでこのように大きい。 (*2)後段ステップ比0.4で、この流入水質(T-N=30mg/ℓ)だと、計算上硝化液循環は不要である。			
<b>2 容量計算</b>			
嫌気タンクMLSS	3,750	2,061	2,840
第一無酸素タンク・第一好気タンクMLSS	3,426	1,883	2,840
流入水量(m <sup>3</sup> /d)	16,463	同左	<b>21,000</b>
第一好気タンク滞留時間(h)	4.52	4.44	3.1
第二好気タンク滞留時間(h)	6.19	6.08	4.13
(1)第一好気タンク容量(m <sup>3</sup> )	3,101	3,046	2,713
(2)第二好気タンク容量(m <sup>3</sup> )	4,246	4,171	3,614
第一無酸素タンク滞留時間(h)	0.65	0.86	0
第二無酸素タンク滞留時間(h)	4.65	6.12	5.59
第一無酸素タンク容量(m <sup>3</sup> )	446	590	0
第二無酸素タンク容量(m <sup>3</sup> )	3,190	4,198(*3)	4891
嫌気タンク容量(m <sup>3</sup> )	686	686	875
生物反応タンク容量(m <sup>3</sup> )	11,669	12,691	12,093
冬期における生物タンク滞留時間(h)	17.0	18.5	13.8
(*3)4-1系のタンク容量は、活性度が低い見かけ上大きなMLSSを設定し、計算して出てきた容量なので、実際のMLSSで計算すると、このように大きな容量が必要になるが、現に脱窒はほぼ完了しているので実際の容量はもっと小さくてよいと考えられる。			

表5 つづき

3 必要空気量	4-1系 設計値	SSだけ40としてシ ミュレーション	現在の運転条件で シミュレーション
<b>3.1 有機物の酸化による酸素消費量</b>			
嫌気タンク、第一無酸素タンクに流入するNO <sub>x</sub> -N負荷量(kg/d)	101	同左	34
第一好気タンクにおける有機物の酸化による酸素消費量(kg/d)	469	同左	924
第二無酸素タンクに流入するNO <sub>x</sub> -N負荷量(kg/d)	216	同左	284
第二好気タンクにおける有機物の酸化による酸素消費量(kg/d)	271	同左	495
<b>3.2 硝化に必要な酸素量</b>			
第一好気タンクにおける硝化による酸素消費量(kg/d)	987	同左	1,296
第二好気タンクにおける硝化による酸素消費量(kg/d)	987	同左	864
<b>3.3 内生呼吸による酸素消費量</b>			
第一好気タンクにおける内生呼吸による酸素消費量(kg/d)	1,275	688	925
第二好気タンクにおける内生呼吸による酸素消費量(kg/d)	1,274	688	616
<b>3.4 溶存酸素濃度維持に必要な酸素供給量</b>			
第一好気タンクにおける溶存酸素濃度維持に必要な酸素供給量(kg/d)	33	同左	25
第二好気タンクにおける溶存酸素濃度維持に必要な酸素供給量(kg/d)	46	同左	38
<b>3.5 全必要酸素量</b>			
第一好気タンクにおける全必要酸素量(kg/d)	2,764	2,177	3,170
第二好気タンクにおける全必要酸素量(kg/d)	2,578	1,992	2,013
<b>3.6 清水換算必要酸素量</b>			
第一好気タンクにおける清水換算必要酸素量(kg/d)	4,133	3,255	4,740
第二好気タンクにおける清水換算必要酸素量(kg/d)	3,855	2,978	3,010
<b>3.7 必要空気量</b>			
第一好気タンクにおける必要空気量(m <sup>3</sup> /min)	53.9	42.4	61.8
第二好気タンクにおける必要空気量(m <sup>3</sup> /min)	50.3	38.8	39.2
最大送風量 65m <sup>3</sup> /min 最大送風量 50m <sup>3</sup> /min			
<b>5 処理水りん濃度</b>			
<b>5.1 冬期における処理水りん濃度</b>			
発生汚泥量(kg/d)	2,083	1,125	1,559
汚泥りん含有率	0.029	0.054	0.041
限界汚泥りん含有率: 0.04			
<b>5.2 凝集剤添加量</b>			
Al添加量[mg-Al/l]	3	同左	同左
PAC添加量[mL/m <sup>3</sup> ]	47.6	同左	同左

ある。(ただしMLSSは2,500mg/lをそのまま使うことは説明ができないので汚泥転換率から計算して1,374mg/lとした。)

また、当センターでは、実際の運転において設計値よりはるかに多くの水量が処理できている。その理由を明らかにするため、当センターの現状の流入水質と現在行っている運転条件でのシミュレーションも行った。表5の右列の数値である。A-SRTについては、補正係数 $\delta = 1.1$ としたので8.3日となった。硝化液循環は処理水のT-Pが0.5 mg/l以下になったときのみ15%で行っているが、実際の反応槽流入水T-N(30mg/l)で、かつ後段ステップ比0.4でシミュレーションすると、循環の必要がないことが分かった。また流入水量設定は、1,000 m<sup>3</sup>/hとしているが、早朝受水量の少ない時間帯があるので1日の処理水量は21,000 m<sup>3</sup>でシミュレーションした。

#### 4. 3. 2 容量計算

嫌気タンクの必要容量は、SSだけ40mg/lとしてシミュレーションしても設計値とほとんど変わらなかった。また、現在の運転条件でシミュレーションした場合は875 m<sup>3</sup>となって表2の実容積(720 m<sup>3</sup>)より大きくなったが、硝化液循環が不要であるため第一無酸素タンクを嫌気タンクとして使用できるので、計1,200 m<sup>3</sup>となり必要容量を満たす。

好気タンクについても、SSだけ40mg/lとしてシミュレーションした場合は設計値とほとんど変わらなかったが、現在の運転条件でシミュレーションした場合は、A-SRTを8.3日にしたことと、SSを43mg/lにしたことで滞留時間が短くなり、第一好気タンクは2,713 m<sup>3</sup>、第二好気タンクは3,614 m<sup>3</sup>と実容積より小さくなった。

無酸素タンクについては、SSだけ40mg/lとしてシミュレーションした場合、第一無酸素、第二無酸素とも必要容量が32%増加した。また、現在の運転条件でシミュレーションした場合は、前段ステップ比を0.5から0.6に増加したことと、MLSSが2500 mg/lから1,420 mg/lに減少したことで、滞留時間が4.65時間から5.59時間に増加し、それにつれて必要容量も計算上4,891 m<sup>3</sup>となり実容量(3,312 m<sup>3</sup>)よりかなり大きくなった。しかし実際の水処理においては、脱窒はほぼ完了している。

無酸素タンクの容量は、SSだけ40mg/lとしてシミュレーションしても4,198 m<sup>3</sup>と設計値より大幅に大きくなってしまふことから、設計根拠の見直しが望ましい。

#### 4. 3. 3 必要空気量

有機物の酸化に必要な酸素量は、処理水量が増加したこと、硝化液循環を行わないこと、汚泥返送比を低下したことで1.9倍になった。

硝化に必要な酸素量は、流入水のT-Nが35 mg/lから30 mg/lに低下したものの処理水量が大幅に増加したため、9%増加した。

内生呼吸に必要な酸素量は、MLSSが低下したため40%減少した。またDO維持に必要な酸素量は、水量が増加したため24%の減少に留まった。

これらをまとめると、第一好気タンクでは15%増加、第二好気タンクでは22%減少で、あわせて3%減少した。空気量に換算すると第一好気タンクは61.8m<sup>3</sup>/h、第二好気タンクでは39.2m<sup>3</sup>/hとなり、ともに最大送風量以下である。

#### 4. 3. 4 処理水りん濃度

4-1系設計値では、汚泥中のりん含有率を設計値の汚泥発生量とりん負荷からシミュレーションして0.029と算出し、限界汚泥りん含有率0.04以下であることを確認している。同様のシミュレーションをSSだけ40mg/lとして行くと、発生汚泥量が約半分(54%)に減少するため、りん含有率は0.054となる。また、現在の運転条件で行くと、

T-Pは設計値の88%だがMLSSは57%で大幅に低いため汚泥発生量が少なく、りん含有率が0.041となり、ともに限界含有率を超えてしまう。

しかし、平成19年度の汚泥中りん含有率を実測した結果は、0.02から0.03（平均0.026）であった。このことから、当センターの処理水りん濃度が4-1系設計値より高いのは、りんを吸収するのに必要な有機物が不足しているためと考えられる。

## 5. そのほかの運転上の問題

### 5. 1 ブローダウン

当センターでは微細気泡散気装置（メンブレンパネル式）使用のため、1日3回「ブローダウン」という目詰まり防止運転を行っているが、この作業中空気量が不安定になり、DO低下を招いて処理水のりんが上昇することがあった。処理水のT-Pは時間値で最大4mg/l付近まで上昇したことがあった。

このブローダウンの影響が、平成20年1月に行った24時間試験の測定結果からもはっきり読み取れる。図5の第一好気タンクのトレンドを見ると、ちょうどブローダウンが行われた時間帯（16時、22時、4時）に、硝化が不十分でアンモニア性窒素が残留している。ここに残ったアンモニア性窒素は次の第二無酸素タンクで脱窒されないため処理水のT-Nを高めてしまうことになる。

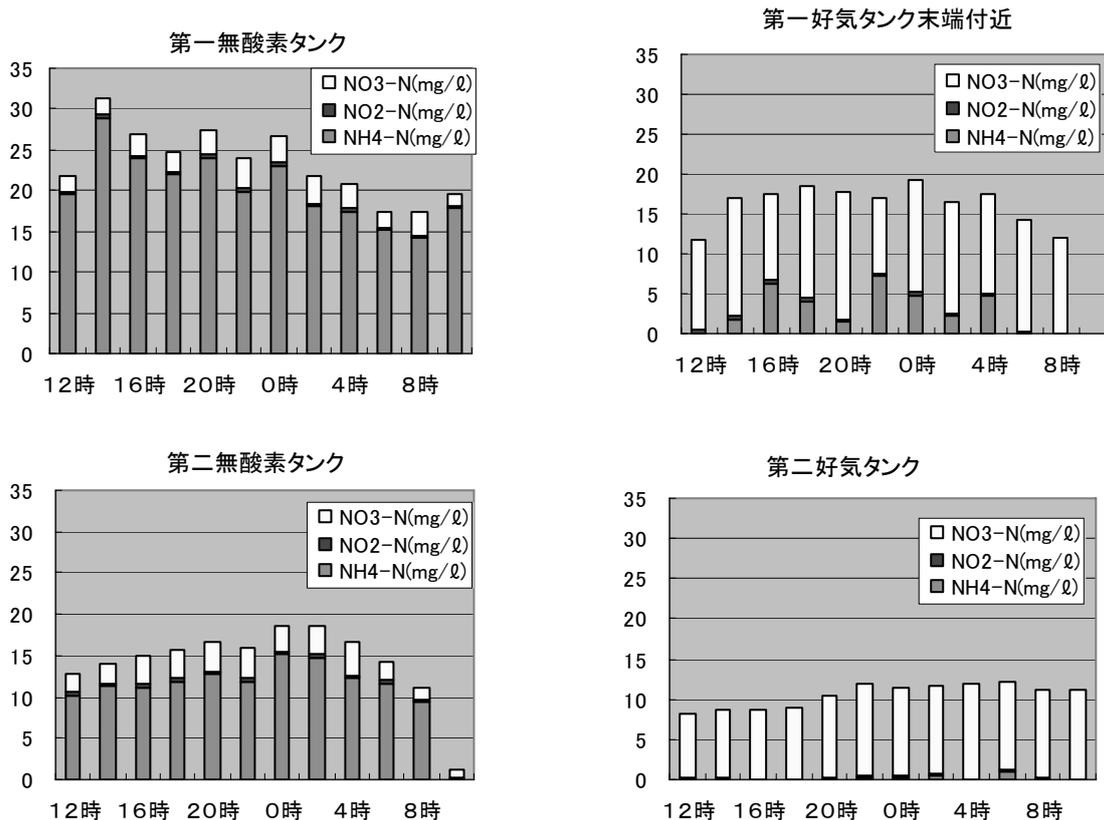


図5 4-1系24時間試験のトレンド (1/21~22)

今後、ブローダウンの回数を減らして、DO低下の改善とメンブレンの目詰まりとの兼ね合いを検討する必要があると考える。(平成20年3月以降、ブローダウンを1回に減らした結果、DO低下は改善された。目詰まりについては様子を見ているところであ

る。)

## 5. 2 高濃度窒素廃液の流入

当センターの流入水は、処理区域内にあるA社から排出される高濃度窒素廃液のため、A2O法およびステップA2O法系列でのりん処理がしばしば阻害される(図6)。

この図は、放流水のT-N、T-PとA社で使用したT-Nのトレンドを取ったものである。使用したものがすぐ排出されることではないので、あくまでも参考であるが使用量と放流水T-Nとは似た動きを示している。

A社から、1日に800~900kgのT-Nが排出されると、当センターの受水量が8万~9万m<sup>3</sup>/dだからそれだけでT-Nを10ppm押し上げてしまう。しかも成分が硝酸アンモニウムだからすべて溶解性の窒素である。

A社に対しては、廃水量が50m<sup>3</sup>/d未満ではあるが八王子市・流域本部施設管理課水質保全係との話し合いが行われ、現在はA社の協力により分散して毎日排出されるようになった。しかし以前は1週間分まとめて一度に排出されたことがあり、放流水のT-Nが自動計測器で30mg/l付近まで上昇した時間帯もあったが現在ではだいぶ平準化されている。

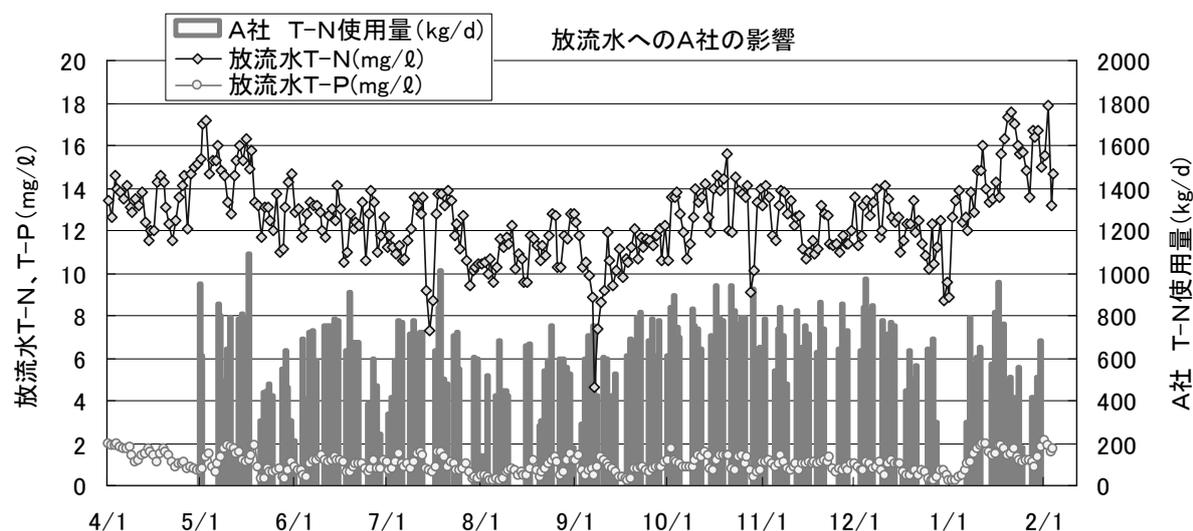


図6 高濃度窒素廃液の影響(平成19年度)

## 6. 今後の課題

これまで述べてきたように当センターの4-1系は、窒素についてはほぼ目標水質を得ることができたが、りんについては処理が不安定で対応に苦慮しているところである。

### 6. 1 これまでの対応

本施設は、りん上昇時の対応としてPAC注入するよう設計されているが、頻繁にりんが上昇すると、PACの使用量が多くなって活性汚泥への影響も懸念される。また、祝日にPACのタンクが空になったことが実際にあったが、補充ができないときにはT-Pの放流基準を超えてしまう恐れもある。

平成19年12月から、りんの上昇傾向が見られたので年末から硝化液循環を停止した。それでも平成20年1月と2月に高濃度窒素廃液の影響で放流水のT-N、T-Pが上昇し、自動計測器のT-P値が1時間だけではあったが3mg/l付近まで上昇するという危ない状況になった。このときは図4に示したように、PACの大量注入を行って何

とか放流基準を超えないよう抑えた。

## 6. 2 当面の対応

現在処理水のりんが上昇したときは、早めに硝化液循環を停止してPAC注入をできるだけ行わないようにしながら、りんの放流水質を維持している。しかし流入水の窒素が急に高くなって反応タンクに流入すると、脱窒のためにBODが消費されてりんの再吸収が阻害され、処理水のりんが急上昇することがある。現在は処理水のりんが急上昇して2.0mg/lを超えたらPACを注入しているが、このとき反応タンク出口に注入しても間に合わないことがある。

その対応として、平成20年度工事で反応タンク流入水のT-N・P計を設置する予定であり、設置されれば連続測定を行って早めの対応ができるようになる。今後もし流入水の窒素が上昇したときは、りん吐出し濃度の高い嫌気タンクあるいは無酸素タンクに、PAC注入を行うことで効率良くりんを反応させ、好気タンクで再吸収しなければならぬりんの負荷を減らすことができる。これによって活性汚泥への影響が懸念されるPACの使用量自体も減らすことができると考えられる。

## 6. 3 将来の対応

しかし、これでも活性汚泥に吸着するPACがなくなるわけではなく、長期間注入すれば悪影響が懸念される。将来的には二沈の上澄水にPACを注入し、りんを反応させ、たうで凝集沈殿処理を行う設備が必要と考える。あるいは第二無酸素タンクにメタノール等の脱窒促進剤を注入すれば、りんの再吸収改善が期待でき、PAC注入が不要になる可能性もある。

また今後の設計に当たっては、図7のように無酸素タンクと好気タンクが接する部分2室に、無酸素・好気どちらにも使えるよう送風できるタイプの攪拌機を設置することが望まれる。このようなフレキシブルな構造にしておけば、水質や水量変動、運転条件の変更にも容易に対応できると考えられる。

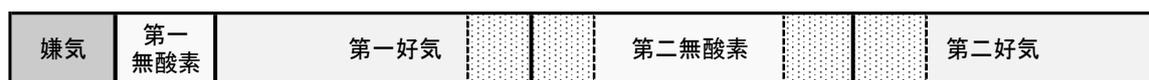


図7 送風型攪拌機の設置位置（網掛けのところ）

## 7. 要旨

ステップA2O法は、流入水を前段と後段に分けて流入させることにより、硝化液循環ポンプの動力をA2O法に比べて大幅に削減させることができ、かつ大きな窒素除去率を得ることができる。しかしそのためには無酸素タンクで確実に脱窒させることが重要となる。

八王子水再生センターの4-1系は、東京都で最初のステップA2O法施設で平成19年4月より本格稼動した。

本調査では流入水量、ステップ比、硝化液循環比等を変えて処理水の窒素除去率の変化等を調査した。当センターは流入水の窒素負荷が大きく、また施設はステップ比が0.5:0.5で設計されているため、目標水質に達しないことが多かったが、総合放流水では前年度より窒素を下げる事ができた。

さらに調査内容を精査した結果以下の知見が得られた。

- ① 4-1系設計値の目標MLSSは高すぎて実態に合わない。稼動当初の業者による

試運転期間中は、目標MLSSに近づけるため余剰引抜量を極端に減らした運転を行ったが、結局1,600 mg/lに留まった。

- ② 運転条件は、後段ステップ流入比0.4で処理水量1,000 m<sup>3</sup>/hにしたときもとても良好な水質が得られた。これを踏まえて通常の運転はこの条件をベースにしている。
- ③ 処理水量1,000 m<sup>3</sup>/hというのは、4-1系設計値の1.5倍近くの水量で、これほど増加しても良好な処理が行われる理由を明らかにするため、設計計算例に実際の運転条件を当てはめシミュレーションを試みた。その結果、計算上も処理可能なことが判明した。
- ④ 「ステップ流入式嫌気-無酸素-好気法設計マニュアル(案)」に流域の水再生センターの水質や実情を反映させたものを追加することを提案する。

#### 参考文献

- 1) 東京都下水道局計画調整部：ステップ流入式嫌気-無酸素-好気法設計マニュアル(案)

平成14年3月 東京都下水道局計画調整部

## 2-(3)-1 大腸菌群数低減への取り組み

流域下水道本部技術部 北多摩一号水再生センター 小林 未来

### 1. はじめに

流域下水道本部が所管する7つの水再生センターのうち、6水再生センター（図-1）は多摩川に放流している。現在、6水再生センターの下流に位置する多摩川原橋地点では、下水処理水が多摩川の河川水量の約5割を占める等、水環境の改善に対する流域下水道の役割は重要性を増している。

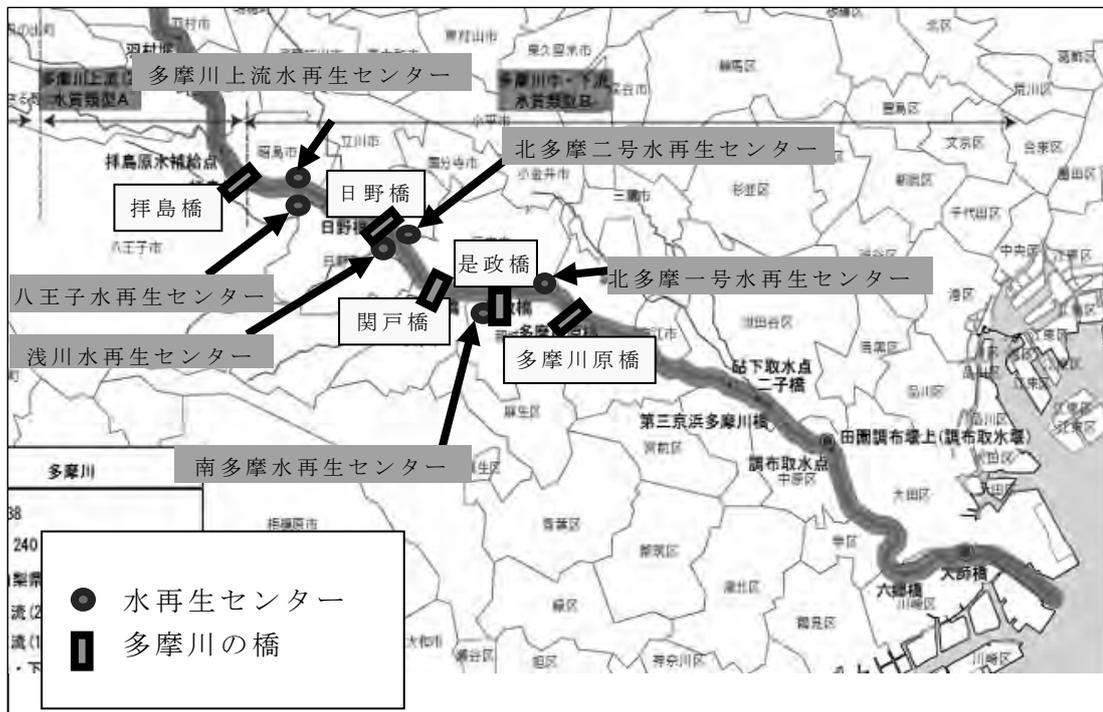


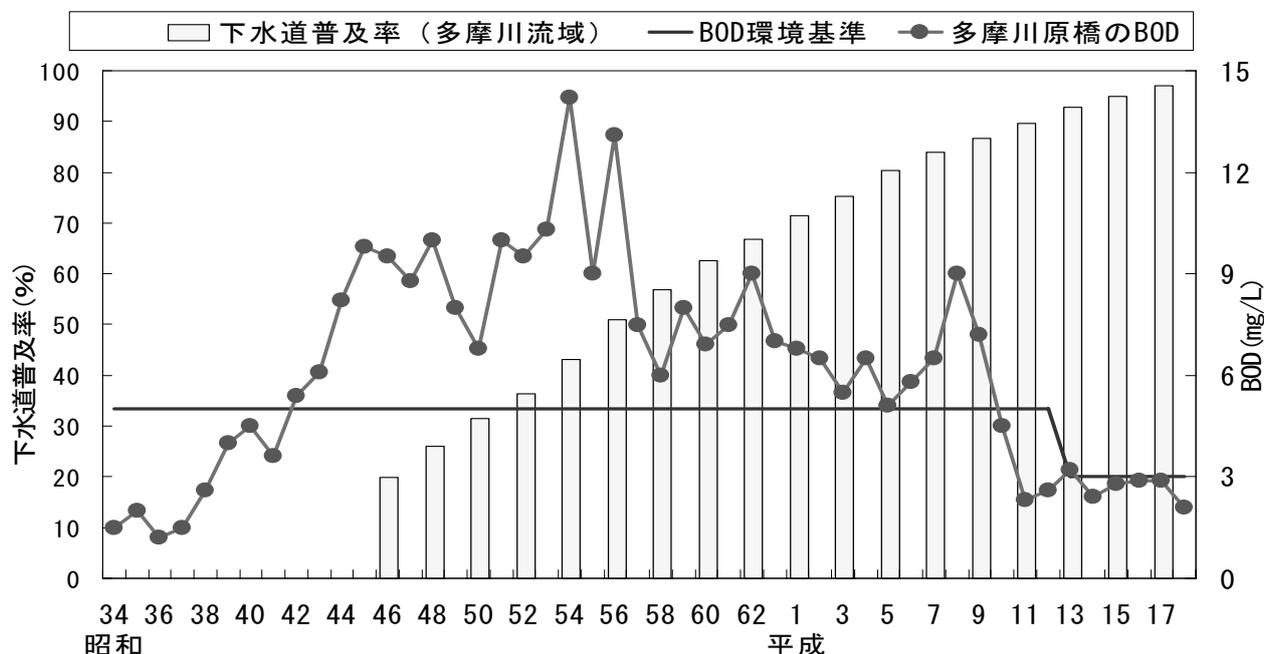
図-1 多摩川に放流している6水再生センター

図-2 に多摩川の流域の下水道普及率と多摩川の水質の経年変化を示すが、多摩川の水質は、高度経済成長期の昭和30年代後半から多摩川流域での工場や宅地化により、悪化が進み、昭和40年代以降には汚れの指標である生物化学的酸素要求量（BOD）の環境基準を超える状況が続いた。

そのため、昭和43年から多摩地域の流域下水道事業に着手し、昭和46年には南多摩水再生センターが運転を開始した。着手時の下水道普及率は20%であったが、下水道整備に伴い、昭和50年代後半に下水道普及率が50%を超えるようになると多摩川の水質は徐々に改善されてきた。さらに、平成10年ごろにはBODの環境基準を下回るようになり、平成13年3月に、多摩川中流域の環境基準がC類型からB類型に強化された（表-1の網掛け部を参照）。その結果、大腸菌群数が新たに環境基準の対象項目となった。

しかし、多摩川の大腸菌群数は環境基準（5,000MPN/100mL）を遵守できない状況が続くと、新聞報道などで指摘を受けて問題となっていた。

そこで、流域下水道本部では平成 18 年度における放流水の大腸菌群数の管理目標値を 100 個/cm<sup>3</sup> 以下（晴天時）と定めた。これにあわせて、北多摩一号水再生センターでは大腸菌群数低減 P T を立ち上げ、塩素接触槽の機能調査および大腸菌群数の低減について、調査・検討を行ったので報告する。



図－2 多摩川流域の下水道普及率と多摩川の水質の経年変化

表－1 河川の水質環境基準

類型	p H	生物化学的 酸素要求量 (BOD)	浮遊物質 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	6.5 以上 8.5 以下	1 mg/L	25 mg/L	7.5 mg/L 以上	50MPN/100mL
A	6.5 以上 8.5 以下	2 mg/L	25 mg/L	7.5 mg/L 以上	1,000MPN/100mL
<b>B</b>	<b>6.5 以上 8.5 以下</b>	<b>3 mg/L</b>	<b>25 mg/L</b>	<b>5 mg/L 以上</b>	<b>5,000MPN/100mL</b>
C	6.5 以上 8.5 以下	5 mg/L	50 mg/L	5 mg/L 以上	—
D	6.0 以上 8.5 以下	8 mg/L	100 mg/L	2.5 mg/L 以上	—
E	6.0 以上 8.5 以下	10 mg/L	ごみ等の浮遊が 認められない	2.5 mg/L 以上	—

大腸菌群数の単位について

大腸菌群数の測定は、平板培地法(個/cm<sup>3</sup>)や最確数法(MPN/100mL)があり、測定方法によって単位が違います。MPNとは、Most Probable Numberの略で最確数という意味で、コロニーの数を統計学的に表したものです。

下水道局では、平板培地法で測定しているの管理目標値の単位は個/cm<sup>3</sup>です。

## 2. 北多摩一号水再生センターの現状と対応

北多摩一号水再生センター平面図を図-3に示す。当センターは1～3系が標準活性汚泥法、4系がA<sub>2</sub>O法となっている。消毒設備は系列ごとに次亜塩素酸ナトリウム注入設備が設けられ、塩素接触槽を通ったあと全系列が合流し放流している。通日試験などで処理水の大腸菌群数を測定する時、消毒前の試料は各系列の次亜塩素酸ナトリウム注入前で採水し、処理水量比に応じて混合したものを試料とし、消毒後の試料は各系列が合流した後の総合放流水を試料としている。この場合、系列ごとには測定を行っていないため、適切に消毒されているかが把握できなかった。

そこで、各系列について消毒前・消毒後の大腸菌群数の実態調査を行った。その結果を表-2に示す。

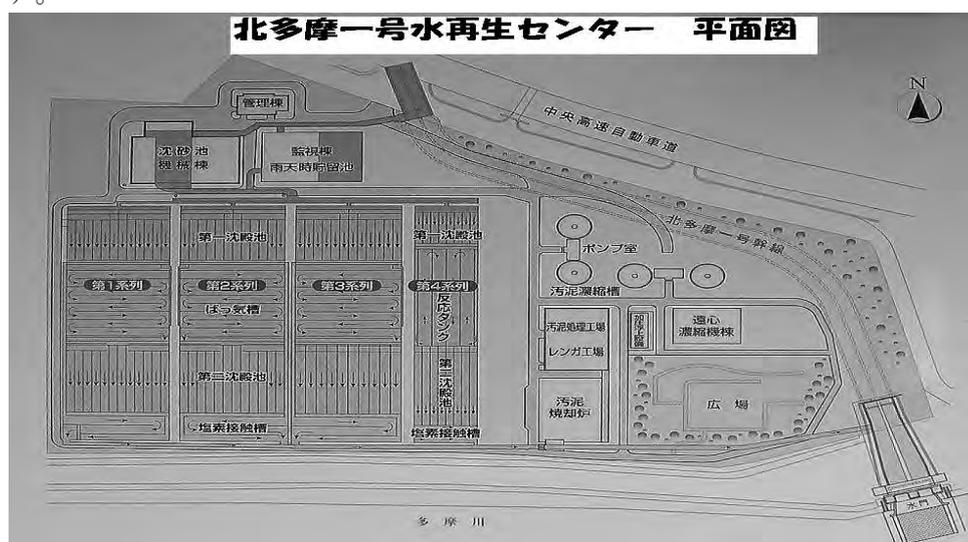


図-3 北多摩一号水再生センター平面図

表-2 系列別大腸菌群数調査(平成18年6月15日)

系列	次亜塩素酸 ナトリウム注入前 大腸菌群数(個/cm <sup>3</sup> )	次亜塩素酸 ナトリウム注入後 大腸菌群数(個/cm <sup>3</sup> )	設定注入率 (mg/L)
1系	360	220	0.9
2系	370	53	0.9
3系	200	28	0.9
4系	840	600	0.9

注) 4-2系は工事のため、4系の半分が停止していた

表-2 から、4 系は次亜塩素酸ナトリウムの接触が不十分なところで採水した可能性があるため、次亜塩素酸ナトリウム注入後の大腸菌群数が高かったと推測される。また、1 系の次亜塩素酸ナトリウム注入後の大腸菌群数が標準活性汚泥法の中では高いことから、次亜塩素酸ナトリウム注入量が不足している可能性が考えられる。

以上の結果から、全系列の次亜塩素酸ナトリウムの注入率設定を 0.9mg/L から 1.0mg/L に変更し、その効果を確認するために 2 回目の系列別大腸菌群数の実態調査を行った。その結果を表-3 に示す

表-3 系列別大腸菌群数調査(平成 18 年 8 月 21 日)

系列	次亜塩素酸ナトリウム 注入前 大腸菌群数 (個/cm <sup>3</sup> )	次亜塩素酸ナトリウム 注入後 大腸菌群数 (個/cm <sup>3</sup> )	残留塩素(mg/L)		設定注入率 (mg/L)
			全塩素	遊離塩素	
1 系	300	260	0.07	0.00	1.0
2 系	210	0	0.51	0.08	1.0
3 系	250	4	0.53	0.11	1.0
4 系	1100	100	0.10	0.06	1.0

注) 4-1 系は工事のため、4 系の半分が停止していた

表-3 から、4 系は次亜塩素酸ナトリウム注入後の大腸菌群数が管理目標値と同じであったが、確実に管理目標値以下にするためには、もう少し注入率を上げる必要があった。また、1 系は注入率を上げて、次亜塩素酸ナトリウム注入後の大腸菌群数が高く、前回の調査と比較しても、大腸菌群数の改善が見られなかった。そこで、1 系の次亜塩素酸ナトリウムの注入量を確認することにした。

確認方法は安全対策を十分にしてから、図-4 のように次亜塩素酸ナトリウムの注入配管から 1 分間バケツに受けて実際の注入量を求めた。実調査の際、次亜塩素酸ナトリウムの注入口が水中に潜っていたため、注入配管を水面から 5cm ほどのところで切断して注入量の確認調査を行った。また、現場の次亜塩素酸ナトリウムの流量計の値と 1 系の処理水量を記録し、実測の次亜塩素酸ナトリウムの注入率を計算した。その結果を表-4 に示す。

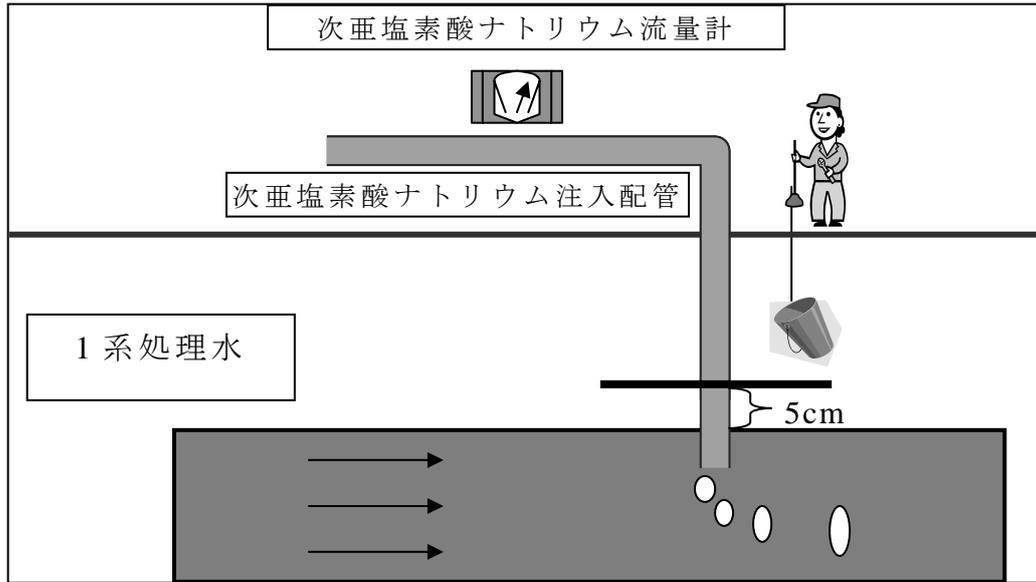


図-4 1系次亜塩素酸ナトリウム注入量の調査方法

表-4 1系次亜塩素酸ナトリウム注入量調査(平成18年8月30日)

次亜塩素酸ナトリウム注入量		次亜塩素酸ナトリウム注入率		処理水 流量計 (m <sup>3</sup> /日)	1系処理水 取水量 (m <sup>3</sup> /日)
流量計 (L/h)	実測値 (L/h)	設定値 (mg/L)	実測値 (mg/L)		
20	6.6	1.0	0.41	47,820	7,190

次亜塩素酸ナトリウムの有効塩素：14.16%

注) 1系の処理水量は、処理水の流量計より前で一部取水されているため、処理水流量計と取水量を合計した値が1系の処理水量となる。

なお、実測注入率の計算は以下のとおりである。

$$\text{注入率} = \text{注入量(L/h)} \times \text{次亜塩素酸ナトリウム濃度(\%)} \div 100 \div \text{処理水量(m}^3\text{/h)} (\times \text{比重})$$

注) 次亜塩素酸ナトリウムの比重(g/cm<sup>3</sup>)は省略する(通常1.1~1.2 g/cm<sup>3</sup>)

$$= 6.6(\text{L/h}) \times 14.16(\%) \div 100 \div (47,820(\text{m}^3\text{/日}) \div 24 + 7,190(\text{m}^3\text{/日}) \div 24)$$

$$= 0.408 \text{ g/m}^3 = 0.408 \text{ mg/L}$$

処理水の流量変動を考慮せずに日水量で計算したため、多少の誤差はあるものの、実測による次亜塩素酸ナトリウムの注入率は、設定注入率1.0mg/Lの半分以下の値であった。原因は、次亜塩素酸ナトリウムの流量計が正常に計測していないためと推測した。

調査結果から、1系の次亜塩素酸ナトリウムの注入率が実測値で1.0mg/Lになるように、注入率を1.0mg/Lから1.5mg/Lに変更した。4系のA<sub>2</sub>O法施設は標準活性汚泥法に比べて、大腸菌群数が高くなる傾向があることから、注入率を標準活性汚泥法より高く設定することにし、注入率を1.0mg/Lから1.1mg/Lに変更した。また、1系の次亜塩素酸ナトリウムの過注入が懸念されたため、監視室に放流水の残留塩素計の監視強化を依頼し、3回目の系列別大腸菌群数の実態調査を後日行った。また同時に、1・2系の次亜塩素酸ナトリウムの注入量調査もあわせて行った。その結果を表-5・6に示す。

表-5 系列別大腸菌群数調査(平成18年9月12日)

系列	次亜塩素酸ナトリウム 注入前 大腸菌群数 (個/cm <sup>3</sup> )	次亜塩素酸ナトリウム 注入後 大腸菌群数 (個/cm <sup>3</sup> )	残留塩素(mg/L)		設定注入率 (mg/L)
			全塩素	遊離塩素	
1系	1,100	62	0.45	0.01	1.5
2系	2,100	29	0.37	0.06	1.0
3系	960	12	0.39	0.12	1.0
4系	2,500	15	0.28	0.08	1.1

注) 4-1系は工事のため、4系の半分が停止中であった。

表-5から、今回の調査では次亜塩素酸ナトリウム注入前の大腸菌群数が全系列で高くなったが、全系列で次亜塩素酸ナトリウム注入後の大腸菌群数が管理目標値100個/cm<sup>3</sup>を下回っていることを確認できた。

表-6 1・2系次亜塩素酸ナトリウム注入量調査(平成18年9月12日)

系列	次亜塩素酸ナトリウム 注入量		次亜塩素酸ナトリウム 注入率		処理水 流量計 (m <sup>3</sup> /h)	1系処理水 取水量 (m <sup>3</sup> /h)
	流量計 (L/h)	実測値 (L/h)	設定値 (mg/L)	実測値 (mg/L)		
1系	28	15.6	1.5	0.9	2,226	240
2系	15	13.2	1.0	1.0	1,776	90

表-6の次亜塩素酸ナトリウム注入量調査は、全系列で実施する予定であったが、3・4系は次亜塩素酸ナトリウム注入設備の構造上(図-4参照)、サンプリングが不可能だったので1・2系のみ調査を行った。

また、1系の次亜塩素酸ナトリウムの流量計は、前回の調査と同様に実測と大きな差が見られた。一方、2系は流量計と実測の値がほぼ同じであり、注入率が設定値どおり注入されていることが確認できた。



図-4 3系次亜塩素酸ナトリウム注入設備（注入点）

これまで、系列別大腸菌群数調査を行ってきたが4系については工事のため、4-1系か4-2系のどちらか半分しか運転していない状態での大腸菌群数調査であった。そこで、工事終了後、4-1系及び4-2系の両方が運転している時に大腸菌群数調査を行った。その結果を表-7に示す。

表-7 4系大腸菌群数調査（平成18年11月1日）

系列	次亜塩素酸ナトリウム注入前 大腸菌群数（個/cm <sup>3</sup> ）	次亜塩素酸ナトリウム注入後 大腸菌群数（個/cm <sup>3</sup> ）	設定注入率 （mg/L）
4-1系	1,000	61	1.1
4-2系	1,100		

調査の結果、表-7より、4系の次亜塩素酸ナトリウム注入後の大腸菌群数は管理目標値100個/cm<sup>3</sup>を下回っていることが確認できた。

3系の次亜塩素酸ナトリウムの注入量調査は構造上の問題で調査できなかったが、平成18年11月に3系の次亜塩素酸ナトリウムの注入点付近で注入配管が破損する事故が起きた。そこで、注入配管設備の修理にあわせて、次亜塩素酸ナトリウムのサンプリング配管を設置し、調査を行った結果、次亜塩素酸ナトリウムの流量計の誤差が少ないことが確認できた。その結果を表-8に示す。

表－8 3系次亜塩素酸ナトリウム注入量調査（平成18年11月15日）

系列	次亜塩素酸ナトリウム 注入量		次亜塩素酸ナトリウム 注入率		処理水 流量計 (m <sup>3</sup> /h)	3系処理水 取水量 (m <sup>3</sup> /h)
	流量計 (L/h)	実測値 (L/h)	設定値 (mg/L)	実測値 (mg/L)		
3系	28.2	25.2	1.0	1.2	3,025	240

1月になり、放流水温が冬場の目安である20℃を下回ってきたため、低水温期における大腸菌群数調査を行った。その結果を表－9に示す。

調査の結果、全系列で管理目標値の100個/cm<sup>3</sup>を下回っていることが確認できた。

表－9 系列別大腸菌群数調査（平成19年1月19日）

系列	次亜塩素酸ナトリウム 注入前 大腸菌群数 (個/cm <sup>3</sup> )	次亜塩素酸ナトリウム 注入後 大腸菌群数 (個/cm <sup>3</sup> )	残留塩素(mg/L)		設定注入率 (mg/L)
			全塩素	遊離 塩素	
1系	270	7	0.40	0.04	1.5
2系	120	15	0.11	0.00	1.0
3系	110	6	0.21	0.00	1.0
4系	510	65	0.08	0.00	1.1

### 3. まとめと今後の対応

平成18年度は、放流水中の大腸菌群数低減に向けて、放流水の大腸菌群数の管理目標値を100個/cm<sup>3</sup>以下に設定し、系列別大腸菌群数の実態調査や次亜塩素酸ナトリウム注入量の調査・検討を行った。その結果、それまで全系列一律で設定していた次亜塩素酸ナトリウムの注入率(0.9mg/L)を以下のように変更することとした。

- (1) 1系：次亜塩素酸ナトリウムの流量計の誤差から、注入率を1.5mg/Lに変更。
- (2) 2・3系：1.0mg/Lに変更。
- (3) 4系：A<sub>2</sub>O法のため次亜塩素酸ナトリウムの注入前での大腸菌群数が標準活性汚泥法に比べて高くなっていることから1.1mg/Lに変更。

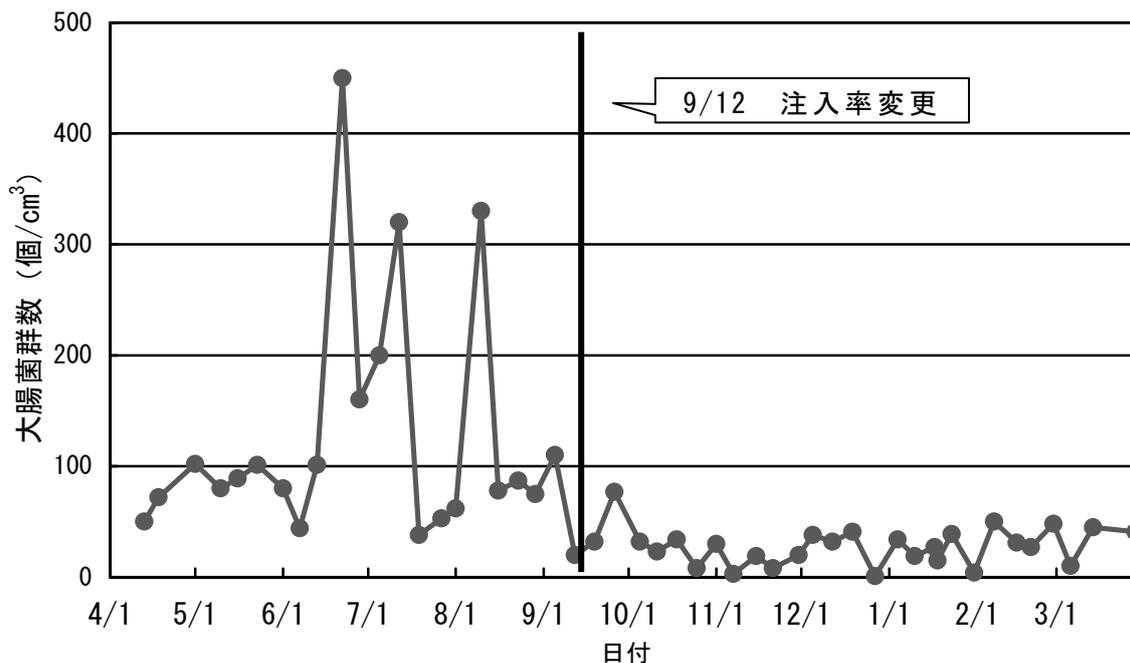


図-5 放流水の大腸菌群数の変化

注入率の変更前と変更後を比較した調査結果を図-5に示す。7・8月に放流水の大腸菌群数が300個/cm<sup>3</sup>を超える日があったが、次亜塩素酸ナトリウムの注入率を変更した平成18年9月12日以降は、管理目標値以下の達成率が100%となった（なお、4月から9月12日までの放流水の大腸菌群数が100個/cm<sup>3</sup>以下だった割合は57%）。

今回の調査で、水処理1系で次亜塩素酸ナトリウムの流量計が実際の流量よりも指示値が高めにしていたため、注入量が不足し大腸菌群数を十分に処理できていないことが分かった。この調査結果をもとに工業計器補修工事を行い、流量計を交換するなどセンター全体で速やかな対応に活かすことができた。

今後も河川の生態系への影響を考慮しながら最適な次亜塩素酸ナトリウム注入率の調査・検討を行い大腸菌群数の環境基準の遵守に向けた水質管理を進めていく。

## 3. 地球温暖化対策

### (1) 温室効果ガス削減技術

- 1 芝浦水再生センターにおける微細気泡散気装置へ更新後の運転効果について
- 2 落合水再生センターにおける換気ファンの適正管理について

### 3-(1)-1 芝浦水再生センターにおける

## 微細気泡散気装置へ更新後の運転効果について

中部管理事務所 芝浦水再生センター 明松 秀樹

#### 1. はじめに

東京における下水道事業は、衛生的で快適な生活環境・水環境の創出、安全な都市環境の創出など都市環境にとって重要な役割を担ってきた。しかし、その一方で、電力など大量のエネルギーを消費し、温室効果ガスも都内有数の排出者となっている。このため、下水道事業では効率的な事業運営や省資源・省エネルギーが強く求められている。

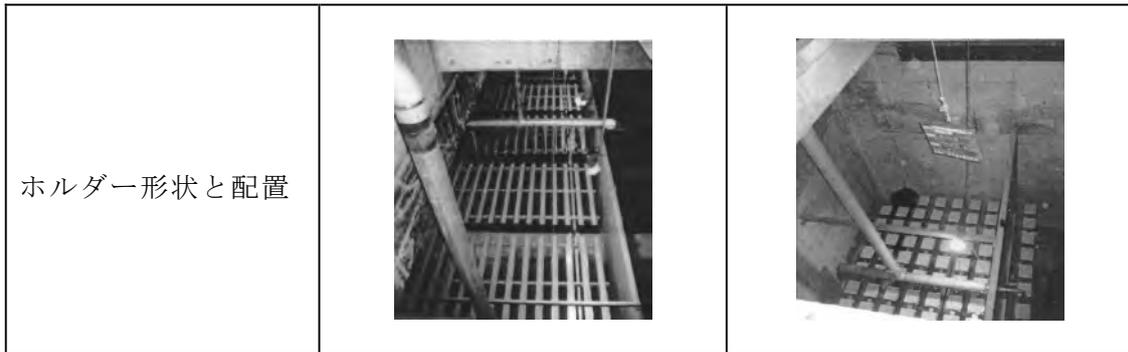
電力使用の多くを占めるのが水処理であり、送風機電力となっている。そこで反応槽における、より効率的な散気方式のシステムとして微細気泡散気装置の導入が順次行われている。

芝浦水再生センターでは平成 14 年度から順次、東系に 3 槽ある反応槽を散気板から微細気泡に切替えて来た。平成 18 年度に東系全槽の切替えが完了し、全て機械式攪拌機及び微細気泡散気装置となった。そこで、主目的である水処理水質の状況及び省電力効果がどうであるか、さらに流入水質の経年変動をも加味した原単位評価を 19 年度における運転データを基に比較検討を行ったので報告する。

#### 2. 微細気泡散気装置の概要

表 1 散気装置の比較

	微細気泡	散気板
施工年月日	平成 14・16・18 年度	昭和 62・63 年度
施工槽数	3 槽(1~3 号)	3 槽(1~3 号)
設計通気量	43m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	90L/分・枚(60m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)
最低風量	ゼロ(送気停止可能)	60L/分・枚
散気板寸法	T2.5 型： L2,508mm×W150mm T4.0 型： L4,008mm×W150mm	300mm×300mm×30t
散気板再生方法	ブローダウン	焼成
材質	膜：特殊ポリウレタン 固定枠、底板：SUS316 相当	セラミック ホルダー：SUS304
気孔径	約 200μm のスリット	400μm
数量	T2.5 型×416 枚 T4.0 型×2 枚	2414 枚
酸素移動効率(清水、散気水深 5m DO=0mg/L)	約 27%	約 16%



### 3. 調査概要

東系反応槽は、平成 14 年度から一槽ずつ散気板から微細気泡へ改良して来たが、散気板と微細気泡が混在しているため、理論値として空気量の削減量は推定出来たが、実際の削減量は計測出来なかった。今年度 4 月から全て微細気泡に変わったのを機会に、平成 13 年 4 月～6 月と平成 19 年 4 月～6 月を比較し、その効果を検証する。調査項目は、以下のとおりである。

- (1) 東系反応槽における空気量について
- (2) 導入前、後の空気量及び電力量について
- (3) 処理水質状況（窒素処理）について
- (4) ケルダール窒素除去量を指標とした効率の比較について
- (5) 酸素移動(溶解)効率測定結果について（業者調査報告の抜粋）

なお、反応槽の制御は、AB 回路が風量一定、CD 回路が DO 制御（代表制御）方式である。

### 4. 調査結果

#### 4.1 東系反応槽における空気量について

図 1 と図 2 のグラフは、13 年度と 19 年度の空気量を比較したものである。

グラフの通り 13 年度の散気板に比べて 19 年度の微細気泡の空気量は減少している。

空気倍率は、4 月は減少傾向が見られ、水質も良好であったが、5 月は 13 年度降雨量が 172mm（19 年 65mm）と多かったため、低く推移している。6 月の 13 年度降雨量も 148mm（19 年 65mm）と多かったが、加えて 19 年 5 月 29 日から硝化促進のために CD 回路の DO 制御設定を 3.5→4.0 へ変更したことで、1・3 号槽の CD 回路から過剰に空気量が多く出る結果となり、増加傾向となった。

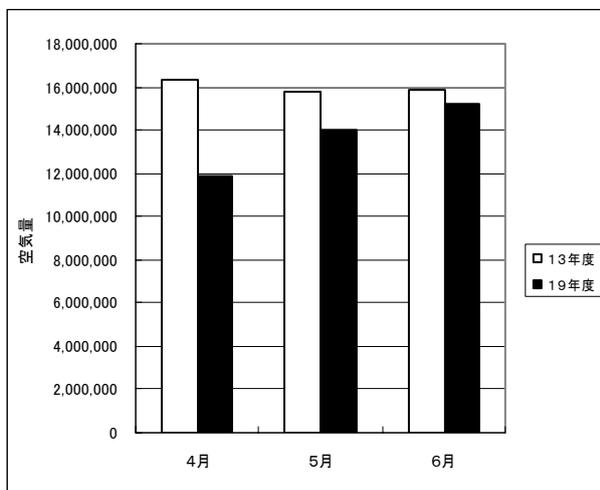


図 1 東系反応槽空気量

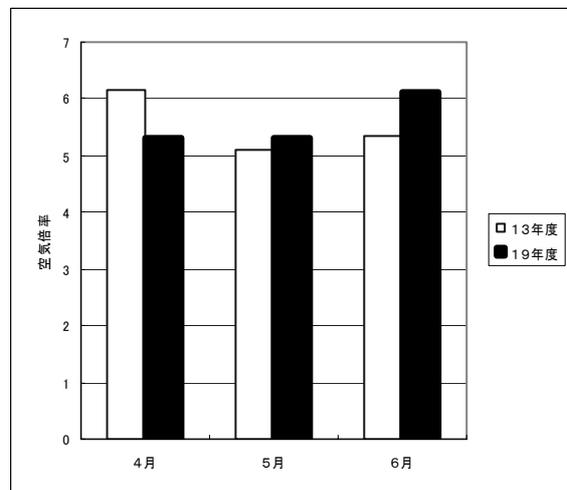


図 2 東系反応槽空気倍率

これは、2号槽が微細気泡導入後、半年位経ってから運転時の圧力損失が1・3号槽と比べて高く、風量調節弁の開度が全開近くになった。DO制御が2号槽を代表制御としているため、1・3号槽のCD回路より過剰に空気量が出てしまったことによる。またCD回路に空気量が多く(6,000m<sup>3</sup>/h以上)入りすぎると、制御にバラつきが出る現象が起きている。

#### 4.2 導入前、後の空気量及び電力量について

平成13年度と平成19年度を比較すると東系の空気量は約14%の減少が見られる。

また、総空気量に含まれる東系の割合は11.6%から9.62%まで低下している。

センター全体の送風機効率は、48.3m<sup>3</sup>/kwhから48.0m<sup>3</sup>/kwhと変化は見られない。

図3からも判るように効率は4月から6月についてはほとんど変化しておらず、空気量の減少は、送風機効率には影響しない範囲であることが判った。また、電力量削減の効果は、図4東系電力量比較(計算値)に示す。日平均では2,806kwh程度であった。

なお、温室効果ガスの排出量に換算(排出係数0.000368 t-CO<sub>2</sub>/kWh(東京電力))すると、日量1.03 t-CO<sub>2</sub>/kWhの削減となる。

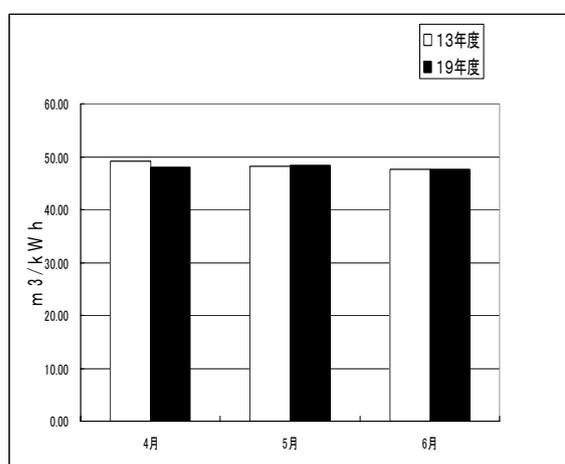


図3 送風機効率

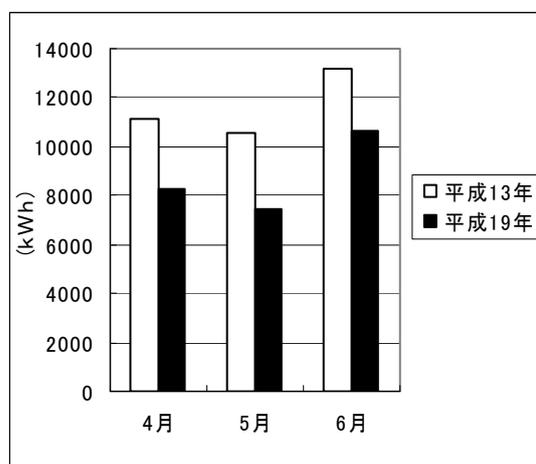


図4 東系電力量比較(計算値)

#### 4.3 処理水質状況(窒素処理)について

処理水質を平成13年度と平成19年度で比較すると図5のようになり(4~6月平均値)、平成19年度の方が、より硝化が進んでいる傾向がみられた。

なお、平成18年度に1年近く続いていた亜硝酸型硝化は、全槽で微細気泡散気装置が稼動した直後から急激に硝化が進行し、水質も安定した。これに伴い、反応槽内で大量に発生していた放線菌主体のスカムがなくなる現象もみられた。

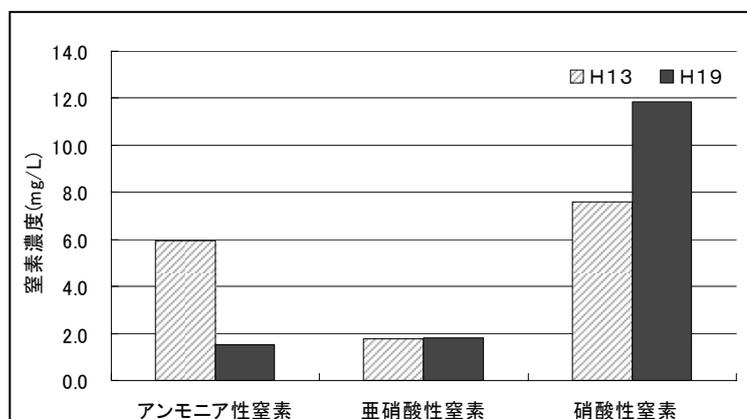


図5 処理水質比較(窒素処理)

#### 4.4 ケルダール窒素除去量を指標とした効率の比較について

微細気泡散気装置は散気板と比較して酸素移動（溶解）効率が高いことから、単位空気量当たりの処理効率も高くなっていることが予想された。しかし、処理水の水質や有機物等の除去率での比較は、処理水量や流入水質、水処理条件が比較年度で異なるため難しい。

そこで、除去率ではなく除去絶対量に着目した。なかでも有機体窒素とアンモニア性窒素の合計量であるケルダール窒素の除去量は、空気量と高い相関を示すことから、この単位除去量あたりの空気量を処理効率の指標として、比較した。

図6はその結果を示したグラフであるが、13年度や数年間の平均値と比較しても全槽更新後、処理効率が向上している傾向が確認された。しかし更新後3ヶ月しか経過していないことから、今後も監視を続けていく必要がある。尚、送風量と電力量は極めて高い相関があることから、電力使用効率の比較も同様と言える。

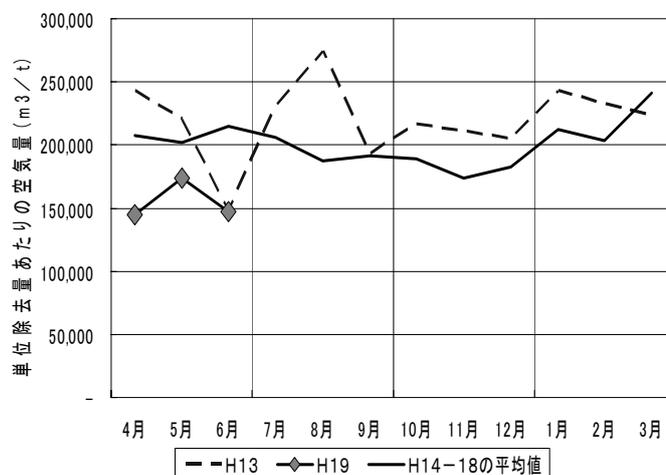


図6 ケルダール窒素の単位除去量あたりにおける空気量

#### 4.5 酸素移動（溶解）効率測定結果について

##### 4.5.1 平成17年度測定結果（業者調査報告の抜粋）

芝浦水再生センターにおいて、微細気泡設置の1号槽及び比較対照である散気板設置の3号槽の酸素移動（溶解）効率を測定した。

1号槽の酸素移動（溶解）効率測定結果を表2、3に示す。秋季（表2）は平均で20.82%、冬季（表3）は平均で24.63%であった。

表2 東系1号槽の酸素移動（溶解）効率  
平成17年8月31日

	汚水ベース ( $\eta_0$ ) %	清水換算 ( $\eta_1$ ) %	水深換算 ( $\eta_2$ ) %
1回目	13.9	16.7	20.7
2回目	14.0	16.8	20.9
平均	14.0	16.8	20.8

表3 東系1号槽の酸素移動（溶解）効率  
平成18年2月14日

	汚水ベース ( $\eta_0$ ) %	清水換算 ( $\eta_1$ ) %	水深換算 ( $\eta_2$ ) %
1回目	16.7	19.1	23.7
2回目	17.6	20.6	25.5
平均	17.2	19.9	24.6

##### 4.5.2 全測定結果（業者調査報告の抜粋）

設置初期（平成15年3月設置、稼働）からの酸素移動（溶解）効率の全測定結果を図7に示す。オフガス法で測定しているためばらつきが大きいですが、設計通気量である43m³/m²/hで23~27%程度である。また、対照槽である3号槽（散気板）の酸素移動（溶解）効率（図8）も同じくばらつきが大きいですが、設計値である16%程度の結果が得られている。

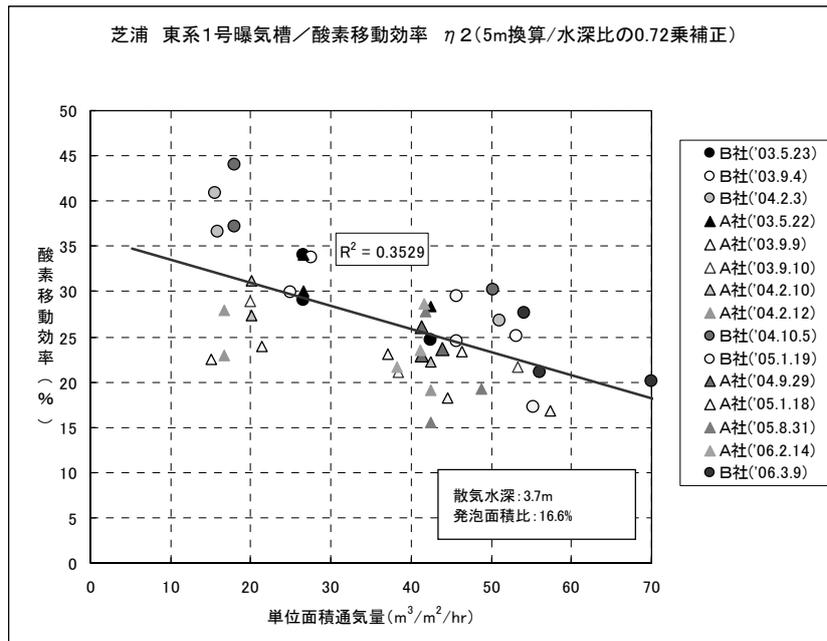


図7 東系1号槽酸素移動(溶解)効率測定結果(微細気泡)

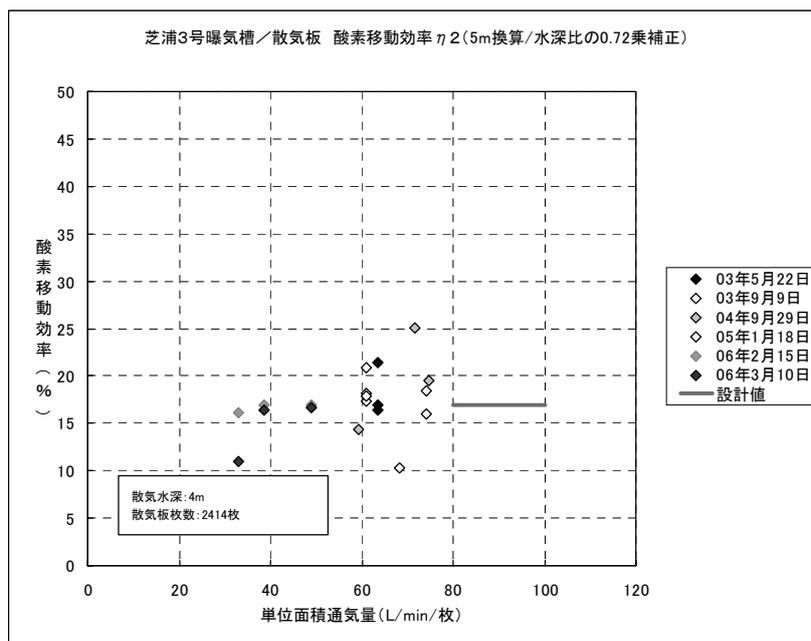


図8 東系3号槽酸素移動(溶解)効率測定結果(散気板)

## 5. 運転効果について

- (1) 微細気泡散気装置へ更新したことにより、東系の空気量は約14%の減少が見られた。
- (2) 平成18年度に約1年続いた亜硝酸型硝化は、全槽で微細気泡散気装置の稼動と共に硝化が進行し水質も安定した。同時に、反応槽内で大量発生した放線菌主体のスカムも減少した。
- (3) ケルダール窒素除去量は、送风量・電力量と非常に高い相関があるため、この指標により処理効率を比較し、全槽稼動後の処理効率が向上する傾向が確認された。(継続調査が必要)

## 6. 今後の課題

- (1) 東系送風量は、送風機の送風配管が共通のヘッダー管を使用して分離していないため、微細気泡の効果が明確に出ない。
- (2) 東系の各反応槽で微細気泡散気特性の違いがあるが、DO 制御が各槽個別制御になっていないため、送風量を調整出来ない。(2号槽微細気泡の運転圧損上昇原因調査中)
- (3) 実施設での経年劣化、ライフサイクルコストを加味した適正な更新の構築。

## 7. 終わりに

芝浦水再生センターでは、東系反応槽を微細気泡散気装置へ更新したが、全槽更新後3ヶ月しか経過していないため、より長期に検証を行い、データを蓄積する必要がある。本系深槽反応槽は、平成11年に散気板を改良しているため、まだ微細気泡への更新は当分先になる。

今後、微細気泡散気装置の導入効果を高めるために、送風機の分離化を含めたセンター全体での反応槽の取り合いを検討するとともに、微細気泡の適正な運転方法を検討し、再構築に反映させて行きたい。

### 微細気泡ワーキングメンバー

運転管理係	境田 広和	水質管理係主任	濱本 亜希
整備第二係次席	明松 秀樹	ポンプ所保全担当係長	柴田 康平
電気保安担当係長	小椋 春雄		

## 3-(1)-2 落合水再生センターにおける換気ファンの適正管理について

西部第一管理事務所 落合水再生センター  
兼澤 信男

### 1. はじめに

地球温暖化防止計画「アースプラン 2004」によると、下水道局は都内の電力消費量の1%を消費しており、都全体の事務事業活動に伴う温室効果ガス排出量の実に43%を占める、最大の温室効果ガス排出者である。同計画では、京都議定書の目標を達成するため、2009年度（平成21年度）を目標達成年度とし、1990年度（平成2年度）比で6%以上の温室効果ガス削減を行うとしている。その方法として当局では、微細気泡散気装置、省電力攪拌機の導入、小水力発電、NaS電池の設置等、数々の対策を講じている。しかしながら、これですべての取組みがなされているかということと必ずしもそうとはいえず、今後、さらに新たな方法を見出し省エネ化を推進していく必要がある。

そこで今回は身近な機器について、高度な技量を要さず、低コスト、簡便に現場で行うことのできる省エネルギー対策の考察、調査を行ったのでここに報告する。

### 2. 報告の概要

下水処理により発生する温室効果ガスの削減方法には、水処理工程で消費する電力量の削減、汚泥処理工程で発生する $\text{N}_2\text{O}$ の削減、維持管理の工夫等があげられる。落合水再生センターにおいては、水処理工程で消費する電力量の削減と維持管理の工夫の2点を中心に計画を立て実施している。主なものには、送風機改良（インレットベーン化）、砂ろ過洗浄周期の見直し等があげられる。今回は維持管理の工夫について、換気ファンVベルトの新たな管理方法を考察した。

駆動力伝達用Vベルトは、弱く張られている場合、すべりが発生し伝達効率が下がるとともに、発熱によりベルト、プーリの損傷を早めてしまう。逆に張力が強い場合もまた、軸受等に不要な負荷が掛かり寿命を早めるとともに、摩擦によるエネルギー損失の増大を招き効率も下がってしまう。そのため、Vベルトを適正張力に管理することは重要である。しかし、従来のVベルト張力管理方法では、職員個人の経験や技量により状態が大きく左右されしまう。そのため、個人の技量に頼らず、誰が行っても定量的に張力管理ができる手法を構築する必要があった。そのため、①まず換気ファンの仕様に応じた適正張力を簡便に求められるようにした。②また、より正確に張力測定を行うため、音波式ベルト張力計による張力測定を試みた。さらに、省エネ効果があるとされているノッチ入りVベルトの有用性についての検証も併せて行い、定量的な管理方法を確立した。

### 3. 調査目的

センター内で多く使用されている換気設備の消費電力を削減するため、換気ファンVベルトの適正管理方法を検証する。Vベルトの適正な張力管理を行うことで、軸受部の摩擦によるエネルギー損失の減少、軸受の長寿命化を図ることができる。現在まで、Vベルト張力はバネ式たわみ荷重計を用いて各人の感覚で行われており、定量的な値が把

握できていなかった。そこで今回、定量的な張力管理を実施し、従来の張力管理との比較を行うことで、消費電力削減に対する有効性を検証する。

#### 4. 張力管理方法

##### 4. 1 従来の管理方法

- (1) ベルトのスパン長  $L_s(\text{mm})$ を測定する。
- (2) たわみ量  $\sigma(\text{mm})$ を計算する。  
たわみ量はスパン長さ 100mm あたり 1.6mm である。
- (3) カタログ等より Vベルトの形、プーリサイズを基にたわみ荷重最小値、最大値を拾い出す。
- (4) スパン中央にバネ式たわみ荷重計を(2)で求めたたわみ量となるまで押し当てる。その時の荷重が(3)のたわみ荷重最大値、最小値の間になるようベルトの張り調整を行う。

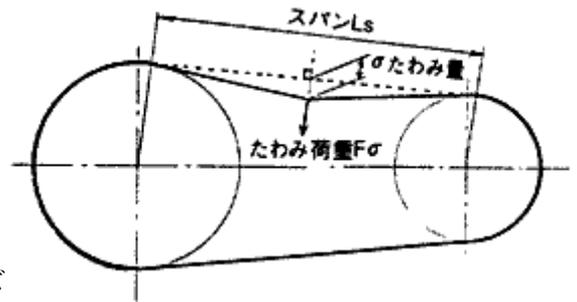


図-1 ベルト、プーリ関係図



図-2 バネ式たわみ張力計（左）従来方式による張力管理状況（右）

##### 4. 2 新たな管理方法

##### 4. 2. 1 適正張力の算出、データベース化

- (1) スパン長  $L_s(\text{mm})$ を求める。(実測可)

$$L_s = \sqrt{C^2 - \frac{(D_p - d_p)^2}{4}}$$

$C$ : 軸間距離、

$D_p$ : 大プーリピッチ径(mm)、 $d_p$ : 小プーリピッチ径(mm)

- (2) ベルト速度  $V(\text{m/s})$ を求める。

$$V = \pi \times \frac{d}{1000} \times \frac{n_d}{60}$$

$n_d$ : 電動機回転数( $\text{min}^{-1}$ )、 $d$ : 駆動プーリ径(mm)

- (3) 接触角  $\theta(^{\circ})$ 及び接触角補正係数  $K_{\theta}$ を表-1 より求める。
- (4) ベルト単位質量  $W(\text{kg/m})$ 、定数  $Y$  の値を表-2 より求める。
- (5) 適正ベルト初張力  $T_0(\text{N/本})$ を求める。

表-1 接触角補正係数

$\frac{D-d}{C}$	小プーリの接触角 $\theta(^{\circ})$	補正係数 ( $K_{\theta}$ )
0	180	1
0.1	174	0.99
0.2	169	0.97
0.3	163	0.96
0.4	157	0.94
0.5	151	0.93
0.6	145	0.91
0.7	139	0.89
0.8	133	0.87
0.9	127	0.85
1	120	0.82
1.1	113	0.79
1.2	106	0.77
1.3	99	0.74
1.4	91	0.7
1.5	83	0.66

(5) 適正ベルト初張力  $T_0$ (N/本)を求める。

$$T_0 = 0.9 \left\{ 500 \frac{(2.5 - K_\theta)}{K_\theta} \cdot \frac{P_d}{n_b V} + W \cdot V^2 \right\}$$

$P_d$ : 設計動力(kW)、 $n_b$  ベルト本数(本)

(6) 適正たわみ荷重  $F_\delta$  (N/本)を求める。

$$F_\delta = \frac{T_0 + Y}{16} \quad (\text{最小値}) \quad F_\delta = \frac{1.5T_0 + Y}{16} \quad (\text{最大値})$$

(7) 軸荷重  $F$ (N)を求める。

$$F = \left\{ 2n_b T_0 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right\} \times 1.5$$

(8) 駆動軸、従動軸の摩擦モーメント  $M_d$ 、 $M_s$ (N/mm)を求める。

$$M_d = \frac{\mu F d_d}{2} \quad (\text{駆動軸側}) \quad M_s = \frac{\mu F d_s}{2} \quad (\text{従動軸側})$$

$\mu$ : 軸受摩擦係数、 $d_d, d_s$ : 軸受内径(mm)

(9) 換気ファン軸受部でのエネルギー損失  $Q$ (kW)を求める。

$$Q = 0.105 \times 10^{-6} (M_d n_d + M_s n_s) \quad n_d, n_s: \text{駆動、従動軸回転数(rpm)}$$

(10) 以上を基に数式を Excel ファイルに入力し、張力管理表を作成する。センター内の換気ファンについて一度データを入力し、ファイリングしておけば、次回からはそれを現場に持ち込むことで計算することもなく張力測定を行うことができる。図-3に張力管理表 Excel ファイルを示す。

表-2 ベルト単位質

形	W(kg/m)	Y
M	0.05	9.8
A	0.12	14.7
B	0.2	19.6
C	0.35	29.4
D	0.65	58.8
E	1.02	108

	B	C	D	E
2	換気設備名称	1系前ばつき槽排風機	超低段脱臭ファン	3F機械棟配電盤室系統送風機
3	設計動力[kW]	2.64	14.3	15
4	駆動回転数[rpm]	1420	1450	1450
5	従動回転数[rpm]	1014	3235	395
6	駆動プーリ径[mm]	100	290	218
7	従動プーリ径[mm]	140	130	800
8	駆動軸径[mm]	50	50	50
9	従動軸径[mm]	50	50	50
10	軸間距離[mm]	570	840	1150
11	ベルト本数[本]	3	3	3
12	ベルト単位質量[kg/m]	0.12	0.12	0.35
13	スパン長[mm]	570	836	1113
14	(D-d)/G	0.07	0.19	0.506
15	接触角[rad]	3.04	2.95	2.64
16	接触角補正係数	0.99	0.97	0.93
17	ベルト速度[m/s]	7.44	22.02	16.55
18	適正初張力[N/本]	87.21	206.02	315.79
19	適正たわみ荷重[N/本]	6.37	13.8	21.57
20	たわみ荷重測定時たわみ量	9.1	13.4	17.8
21	軸荷重[N]	522.59	1230.45	1835.46
22	軸受摩擦係数	1.50E-03	1.50E-03	1.50E-03
23	駆動軸摩擦モーメント[N・mm]	19.6	46.1	68.8
24	従動軸摩擦モーメント[N・mm]	19.6	46.1	68.8
25	軸受部エネルギー損失[kW]	0.005008437	0.022698342	0.013334043
26				
27	測定時必要データ			

図-3 張力管理表 Excel ファイル

#### 4. 2. 2 音波式ベルト張力計による測定と調整

- (1) 音波式ベルト張力計にベルト単位質量、幅値及びスパン長をインプットする。
- (2) 張力計のマイク部分をスパン中央付近に近づけ、ベルトを指で弾き張力測定を行う。
- (3) 張力計に表示された値が前述の張力管理表で求めた適正張力になるべく近くなるよう、ベルトの張りを微調整する。



図-4 音波式ベルト張力計（左）新手法による張力管理状況（右）

### 5. 調査内容

#### 5. 1 調査方法

標準ベルトを用い、従来方式であるバネ式たわみ荷重計にて張力調整した場合と、音波式ベルト張力計の新方式で調整した場合での消費電力を計測する。さらに、ノッチ入りベルトを用い、新方式にて調整した場合の計測も行い、それぞれの比較を行う。

#### 5. 2 実機試験調査

落合水再生センター内には、大小あわせて 75 台の換気ファンが設置され、常時運転されている。その合計定格電力は 825kW におよぶ。

今回はその中の 2 台の換気ファンについて調査を行った。その仕様は表-3 に示す。

表-3 調査対象機仕様

換気ファン名称	1系前曝気槽排風機	超低段脱臭ファン
設計動力[kW]	2.64	14.3
駆動回転数[ $\text{min}^{-1}$ ]	1420	1450
駆動プーリ径[mm]	100	290
従動プーリ径[mm]	140	130
軸間距離[mm]	570	840
Vベルト仕様	A-56×3本	A-91×3本
適正初張力[N]	87	206
適正たわみ荷重[N/本]	6.4	13.8

### 6. 調査結果

#### 6. 1 新たな張力管理方法の有用性

従来のベルト張力管理方法では、カタログからたわみ荷重最小値、最大値を拾い出し、荷重計指示値がその最小値、最大値の間になるようベルトの張り調整をするが、2値の

間には 50%もの差があり範囲が広い(例:A形ベルト、小プーリ径 65mm の場合で、たわみ荷重最小値 8[N]、最大値 12[N])、張力調整範囲内であっても状態に大きな差が生じる。それに比べ、新たな張力管理方法では、ベルトの仕様より適正張力値をポイントで求めるため、誰が行っても同じ張りに管理することができる。

図-5 にベルト張力による消費電力の変化を示す。新たな張力管理方法では図の張力比 1 のライン (適正張力) に調整することができる。

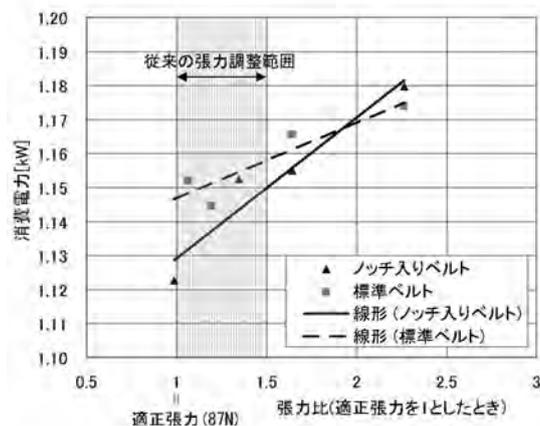


図-5 ベルト張力と消費電力の関係

## 6. 2 ノッチ入りVベルトの有用性

実機試験調査 (1系前曝気槽排風機) の結果としては、従来方式により、標準ベルトを用い張力調整した場合の平均消費電力が 1kW/h であったのに対し、新方式、ノッチ入りベルトで行った場合では、0.97kW/h となった。これにより今回の調査においては 3% の消費電力削減効果があったといえる。

## 7. 今後の課題

### (1) 管理表の整備

今回の調査では一部の換気ファンについてデータ整理し、Excel ファイルを作成したが、今後、センター内の換気ファン全数の仕様を調べ、管理表を完成させる。

### (2) センター全体への展開

今回は実証実験のため数台の換気ファンのみを対象に行ったが、今後、センター全体の換気ファンに範囲を拡大し省エネの推進を図る。また、大型ファンについての検証も行う。

### (3) ノッチ入りベルト使用方法の検討

ノッチ入りベルトは標準ベルトに比べ伝達力が大きいいため、ベルト本数を減らすことが可能とされている。そうした場合のプーリの釣合い等を検証し、より有効なノッチ入りベルトの使用方法を確立する。

## 8. おわりに

落合水再生センターでは換気ファンという身近な機器において、従来勘や経験で行われていた管理方法について考察し、新たな方法への転換を試みた。これは、省エネ効果としては微量なものではあるが、安価なコストにより各現場で取組み可能で、水平展開ができると考え取り組んだ。また、団塊世代職員の大量退職に伴い、技術の継承が課題とされているが、こうした手法もまた、技術の継承の一環であると考えられる。

結果については、データ量が不足し、検証が十分なされていないが、今後調査を継続していくことで、効果を実証することができるものとする。引き続き、有効な管理運営方法を模索し、現場の創意工夫の中からカーボンマイナスを推進していきたい。

## 4. 資源の有効利用

### (1) 処理水再利用技術

#### 1 再生水処理技術の開発

### (2) 汚泥資源化技術

#### 1 粒度調整灰を利用した建設汚泥改良技術に関する共同研究

## 4-(1)-1 再生水処理技術の開発

計画調整部 技術開発課；代田 吉岳  
高橋 淳司  
(現 北多摩二号水再生センター)

### 1. はじめに

再生水は、「10年後の東京」において、都市の貴重な水資源として様々な場面で都市環境の向上に活用することとしており、今後も引き続き、再生水利用事業を推進していくこととしている。

一方、クリプトスポリジウム、ノロウイルス等の水系感染症が社会問題化しており、再生水利用事業においても、衛生学的安全性の確保が課題となっている。このような状況の中で、国土交通省は平成17年4月「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」を策定している。

このような中、衛生学的な安全性の向上を図るため、芝浦水再生センターでは、先行してオゾン耐性膜ろ過システムを導入している。しかし、同システムで使用する高分子製精密ろ過膜が、当初の想定よりも早期に破断するなど、造水コストの上昇が懸念されている。

そこで、高品質で安全性が高い再生水を、低コストで造水するシステムの開発を目指した。

### 2. 開発目標

開発の目標として、以下のとおり設定した。

#### 2.1 良好な処理水質

「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」（平成17年4月 国土交通省都市・地域整備局下水道部及び国土技術政策総合研究所）に定められた親水用水基準を、容易に達成できる技術を開発することとし、特に、濁度は1度以下、色度は3度程度を目標とした。

表1 目標水質

	国基準（親水用水）	目標水質
大腸菌	不検出	不検出
濁度	2度以下	1度以下
色度	10度以下	3度程度
pH	5.8～8.6	5.8～8.6
外観	不快でないこと	不快でないこと
臭気	不快でないこと	不快でないこと

#### 2.2 低コスト

造水能力が3,000 m<sup>3</sup>/日の施設規模で、総コストが53円/m<sup>3</sup>\*1以下を目標とした。

#### 2.3 省設置スペース

同上施設規模で、設置スペースが600 m<sup>2</sup>\*2以下を目標とした。

\*1；既設の膜ろ過施設を開発した際のコスト試算額。

\*2；開発当初に再生水施設の設置を予定していた箇所の面積。

### 3. 方法

#### 3. 1 実験場所

芝浦水再生センター東処理施設内

#### 3. 2 実験期間

平成 18 年 8 月～平成 21 年 3 月

#### 3. 3 開発システム

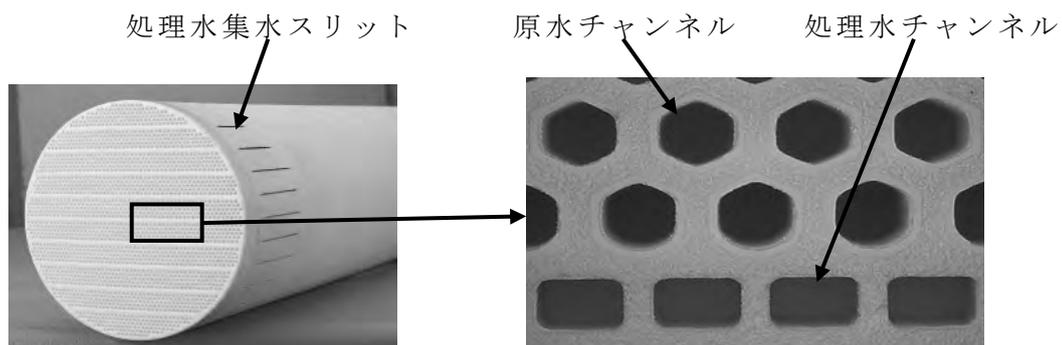
本開発では、高品質で安全性が高く、経済性に優れた再生水を造水するため、精密ろ過膜としてセラミック膜を選択した。

##### 3. 3. 1 セラミック膜

###### (1) 構造

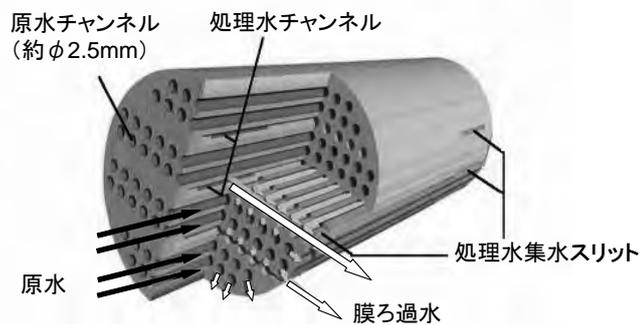
図 1 に、大型セラミック膜の構造等を示す。大型セラミック膜は二種類のチャンネルを有している。一つは原水チャンネル、もう一つは処理水チャンネルである。

水の流れとしては、原水がまず原水チャンネルに導入され、原水チャンネル壁面の精密ろ過膜を通過し、ろ過水は処理水チャンネルに流入し、処理水集水スリットに集められた後、セラミック膜の外部へ排出される。



1) セラミック膜の外観

2) チャンネルの構造



3) 水の流れ

図 1 大型セラミック膜の構造等

(2) 特徴

セラミック膜は、機械的強度が強く、化学的安定性が高い。そのため、耐用年数が長く、膜の交換に伴う費用及び設備停止期間を抑制できる。また、セラミック膜は洗浄工程において高圧力、高濃度薬剤に耐え得るため、洗浄工程に伴うろ過の停止時間が短縮できる。なお、使用済みのセラミック膜は無機材料として再生が可能である。

3. 3. 2 セラミック膜ろ過システム

セラミック膜ろ過システムは、(1) 生物処理工程、(2) オゾン接触工程、(3) 凝集工程、(4) 膜ろ過工程の4つの工程で構成する。図2にフロー図を示す。また、各工程の目的は、以下のとおりである。

(1) 生物処理

原水中に残存する亜硝酸を、生物学的に酸化する。このことによって、後段のオゾン接触工程におけるオゾン消費量が抑制できる。

(2) オゾン接触

オゾンガスの強い酸化力によって、脱臭・脱色、及び有機物を酸化分解する。また、バクテリアやウイルスなどの一部を不活化するため、消毒効果が期待できる。

(3) 凝集

凝集剤によって、原水中の微細固形物を粗大化する。このことで、後段の膜ろ過工程における膜閉塞が抑制できる。

(4) 膜ろ過

膜孔径 0.1 $\mu$ m のセラミック膜によって、精密ろ過を行い、微細固形物を分離除去する。このことで、濁度及び色度を低減するとともに、衛生学的な安全性が向上する。

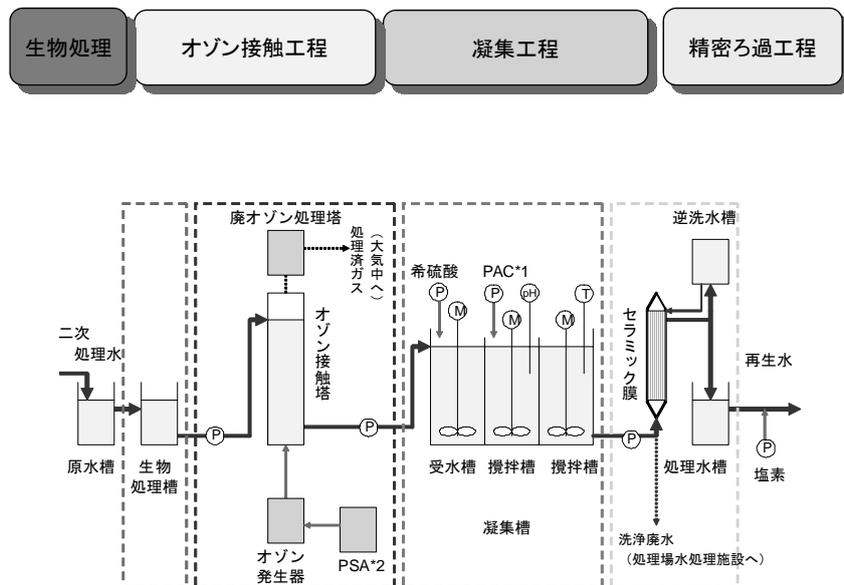


図2 セラミック膜ろ過システム フロー図

\*1 Poly Aluminum Chloride 凝集剤

\*2 Pressure Swing Adsorption 酸素濃縮装置

### 3. 3. 3 パイロットプラントの仕様

表 2 にパイロットプラントの仕様を、図 3 及び図 4 にパイロットプラントの写真を示す。

表 2 パイロットプラントの仕様

工程	設備	小型セラミック膜系列	大型セラミック膜系列
生物処理	反応槽	4m <sup>3</sup> 担体充填率 10vol%	
オゾン処理	接触塔	70L、水深 1.4m	340L、水深 2.8m
	オゾンナイザー	オゾン発生量 20g/hr 最大濃度 140g/Nm <sup>3</sup>	オゾン発生量 50g/hr 最大濃度 210g/Nm <sup>3</sup>
	PSA	発生量 4NL/MIN 酸素濃度 90%以上	発生量 6NL/MIN 酸素濃度 90%以上
凝集処理	pH 調整槽	5～25L	72～360L
	急速攪拌槽	5～25L	144～360L
	緩速攪拌槽	5～50L	144～720L
膜ろ過処理	セラミック膜	Φ 30×1000mm×3 本 膜面積 0.4m <sup>2</sup> ×3 本	Φ 180×1500mm×1 本 膜面積 24m <sup>2</sup> ×1 本



図 3 小型セラミック膜



図 4 大型セラミック膜

### 3. 4 原水

原水は、芝浦水再生センター東処理施設最終沈殿池の越流水（二次処理水）を用いた。

### 3. 5 調査内容

#### 3. 5. 1 各処理工程の運転パラメータの最適化

小型セラミック膜系列を用いて、各処理工程の運転パラメータを任意に変化させ、その処理状況等から効率的な運転パラメータを判断した。

#### 3. 5. 2 長期連続運転

実機と同様の仕様のセラミック膜を使用した大型セラミック膜系列を用いて、3. 5. 1 で明らかとした運転パラメータによる長期連続運転を実施し、処理水質及びシステムの安定性等を評価した。

#### 3. 5. 3 コスト試算

3. 5. 2 に基づいて、3,000 m<sup>3</sup>/日の施設規模の総コストを試算した。

#### 3. 5. 4 設置スペース試算

3. 5. 2 に基づいて、3,000 m<sup>3</sup>/日の施設規模の設置スペースを試算した。

#### 4. 結果・考察

##### 4.1 各工程の運転パラメータの最適化

###### 4.1.1 オゾン添加量

オゾン処理水の色度を指標として、オゾン添加量の最適値を評価した。

結果を図5に示す。なお、パイロットプラントでのオゾン溶解効率は実施設と比較して低いため、横軸にはオゾン添加量ではなく、オゾン消費量（オゾン添加量－排気オゾン量）を示した。図5では、オゾン消費量が0から10mg/Lまでの範囲において、オゾン消費量に反相関して色度が低下しているが、オゾン消費量10mg/L以上においては、更なる色度低下は見られなかった。したがって、オゾン消費量は10mg/Lが適切であると判断した。

###### 4.1.2 PAC添加量

PAC添加量を2mg/L及び3mg/Lに設定し、膜差圧を指標として、PAC添加量の最適値を評価した。

その結果を図6に示す。PACを2mg/Lで添加した期間では、膜差圧が大きく変動し、かつ上昇する傾向にあったが、3mg/Lでは膜差圧の変動幅が抑制し、上昇傾向は見られなかった。したがって、PAC添加量は3mg/Lが妥当と判断した。

#### 4.2 長期連続運転

##### 4.2.1 亜硝酸酸化状況

生物処理槽における亜硝酸酸化状況を、図7に示す。

処理水の亜硝酸性窒素は、運転開始から1ヶ月程度にかけて徐々に低下し、その後、概ね1mg/L程度以下に安定した。つまり、担体を馴化するために、約1ヶ月間を要した。また、担体の馴化後の亜硝酸除去速度は100mg<sup>N</sup>/L<sub>担体</sub>・hr程度であった。この結果から、原水の亜硝酸性窒素が8mg/L程度以下であれば、本設備によって完全硝化が可能であると試算できる。なお、本調査の後半で亜硝酸除去速度が低下しているが、この原因は、原水の亜硝酸濃度が低下したためである。

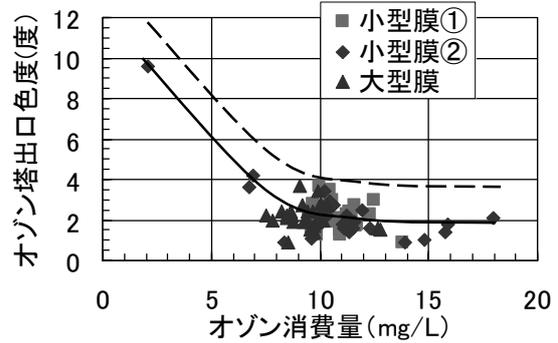


図5 オゾン添加量による脱色効果

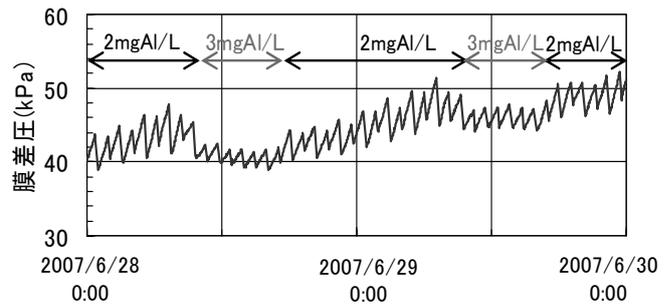


図6 PAC添加量による膜差圧の変動

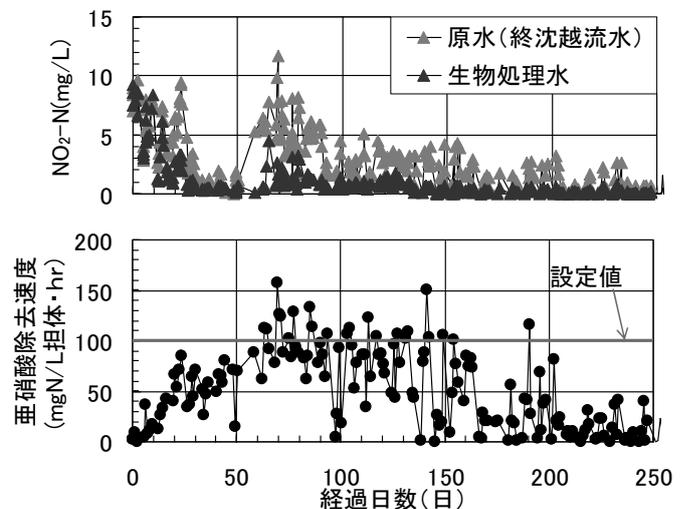


図7 亜硝酸酸化状況

#### 4. 2. 2 酸洗浄の効果

大型セラミック膜系列によるシステムの長期連続運転では、膜の洗浄方法として水逆洗及び次亜塩素酸ソーダによる洗浄を、それぞれ一定の時間間隔で行った。一方、これらの定期的な洗浄に関わらず、膜差圧が一定以上に上昇した場合、希硫酸による洗浄を実施することとした。

図8に、酸洗浄の実施時期、及び膜差圧の変動状況を示す。酸洗浄が必要となる時間間隔は、原水水質の影響を受けるため、必ずしも一定間隔とはならなかったが、概ね1ヶ月程度であった。また、膜差圧の変動に注目すると、ろ過の継続日数にしたがって膜差圧は徐々に上昇するが、酸洗浄を境界として一旦上昇した膜差圧が当初の値まで回復した。

これらのことは、オンラインでの長期連続運転を実証するものである。

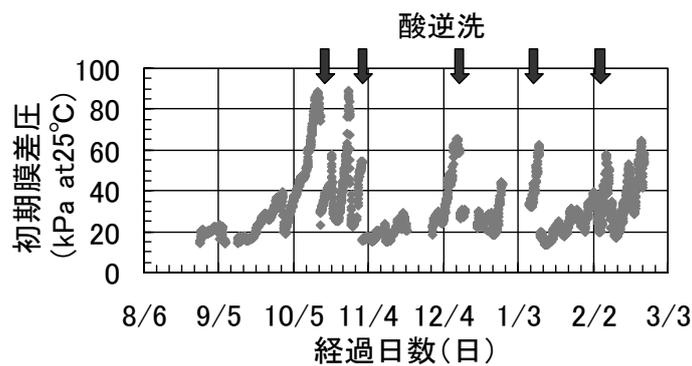


図8 酸洗浄の効果

#### 4. 2. 3 処理水質

大型セラミック膜系列による連続運転の結果として、各処理工程の水質を表3に示す。

表3 原水及び各工程の処理水質

	原水	生物 処理水	オゾン 処理水	膜ろ過 処理水	目標値	
SS	mg/L	0~5	0~4	—	< 1	
BOD	mg/L	—	2~4	—	2~3	
COD	mg/L	8~14	8~12	5~8	3~6	
T-N	mg/L	13~26	13~26	—	13~26	
NH <sub>4</sub> -N	mg/L	0~12	0~11	0~11	0~10	
NO <sub>2</sub> -N	mg/L	0~1.7	0~0.7	< 0.1	< 0.1	
T-P	mg/L	0.2~1.8	0.2~2.1	—	0~0.6	
濁度	度	1~4	2~3	0~1	< 0.1	< 1
色度	度	13~22	14~23	1~4	0~3	< 3
大腸菌		—	—	—	不検出	不検出
臭気		—	—	—	無臭	不快でない
外観		—	—	—	不快でない	不快でない
pH		6.2~7.0	—	—	5.8~7.0	5.8~8.6

表 3 から、各処理工程の効果を以下のとおり考察する。

(1) 生物処理水

生物酸化によって、亜硝酸性窒素が 0.7mg/L 以下まで低下した。一方、COD、SS、アンモニア性窒素等については、生物による酸化は認められなかった。

(2) オゾン処理水

オゾン処理によって、色度は 1~4mg/L となり、80%以上の除去率を示した。また、COD は 5~8 mg/L であり、40%程度の除去率であった。一方、アンモニア性窒素については、オゾンによる硝化反応は認められなかった。

(3) 膜ろ過処理水

精密膜ろ過によって、濁度が 0.1mg/L 以下まで低下した。また、濁度成分の除去にもなって、色度及び COD についてもさらに低下した。

処理水質の目標値は、濁度=1 度以下、色度=3 度程度、大腸菌=不検出、臭気及び外観=不快でないことであるが、調査期間中、膜ろ過処理水はそれらをすべて達成した。

#### 4. 2. 4 処理水質の安定性

膜ろ過処理水の安定性を評価するために、代表例として濁度及び色度の経日変化を図 9 に示す。連続運転の期間、原水の濁度は 1 度から 4 度の範囲で変動するなかで、処理水の濁度は、ほぼ 0 度に収束した。また、原水の色度は 13 度から 23 度の範囲で変動しているにも関わらず、処理水の色度は 3 度以下に安定した。なお、除去率は両者ともに概ね 100%であった。以上のとおり、膜ろ過処理水質は原水の水質変動に関わらず、非常に良好で安定していた。

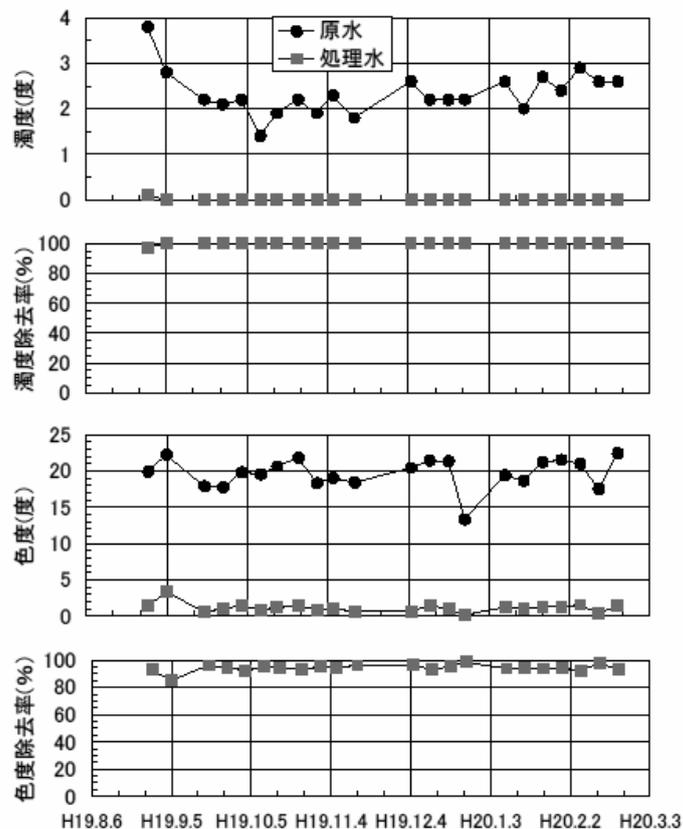


図 9 処理水質の経日変化

#### 4.3 コストの試算

パイロットプラントによる長期連続運転状況に基づいて、設計条件及び設備仕様を検討した。

##### 4.3.1 設計条件

(1) 処理水量

3,000m<sup>3</sup>/日

(2) 生物処理

担体充填率：10vol%、HRT：40分

(3) オゾン接触

オゾン注入量：10mg-O<sub>3</sub>/L、HRT：10分

(4) 凝集

凝集剤注入量：3mg-Al/L、HRT：2分

(5) 膜ろ過

膜ろ過流束：4m<sup>3</sup>/日、稼働率：90%

##### 4.3.2 主な設備仕様

(1) 生物処理設備 4m×3.5m×5mH 2槽

(2) オゾン発生器 1,250g/時 1台

(3) オゾン接触塔 1.5m×4m×4mH 1槽

(4) 凝集槽 1m×3m×2mH 1槽

(5) セラミック膜 φ180mm×1.5mH 36本

(6) 膜ろ過ユニット ラック、膜供給ポンプ、逆洗設備、薬品洗浄設備、ブローを含む

##### 4.3.3 総コスト

以下の算定根拠に従ってコストを試算した。結果を表4に示す。建設費は23.7円/m<sup>3</sup>、維持管理費は24.8円/m<sup>3</sup>、総コストは48.5円/m<sup>3</sup>となった。したがって、当初に設定した目標値=53円/m<sup>3</sup>を十分に達成できるものと判断できる。

表4 コスト試算

建設費（千円）	450,000
償却費（円/m <sup>3</sup> ）	23.7
維持管理費（円/m <sup>3</sup> ） （内訳）	24.8
1. 電気代	(6.39)
2. 薬品代	(2.81)
3. 膜交換費	(0.62)
4. 膜洗浄費	(0.03)
5. 点検補修費	(4.93)
6. 人件費・その他	(10.01)
総コスト（円/m <sup>3</sup> ）	48.5

算定根拠

(1) 建設費の内訳

生物処理設備、オゾン発生器、オゾン反応塔、凝集設備、膜ろ過設備、工事費、及び諸経費

(2) 償却費の算定

$$A = (B - C) \times P \frac{(P + 1)^n}{(P + 1)^n - 1}$$

A：償却費（円/年）、B：建設費（円）、C：残存価格＝建設費の1割（円）

P：利率 2.5（%）、n：耐用年数 20（年）

1m<sup>3</sup> 当たりの償却費＝A（円/年）÷365（日）÷1日処理水量（m<sup>3</sup>/日）

(3) 維持管理費

- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1) 電力費                    | 14 円/kwh                    |
| 2) 膜交換頻度                  | 10 年                        |
| 3) 膜薬品洗浄回数                | 4 回/年                       |
| 4) ポリ塩化アルミニウム（10% PAC）    | 40 円/kg                     |
| 5) 次亜塩素酸ナトリウム（有効塩素濃度 12%） | 70 円/kg                     |
| 6) 硫酸（96%）                | 25 円/kg                     |
| 7) 人件費                    | 専任者 1 名                     |
| 8) 点検補修費                  | 建設費のうち工事費・諸経費を除いた費用の 1.5%/年 |

4. 4 設置スペースの試算

3,000m<sup>3</sup>/日のセラミック膜ろ過システムの設備配置図を図10に示す。次に、図10を参考として設置スペースを試算すると、概算 450m<sup>2</sup>（28m×16m）となった。したがって、当初に設定した目標値 600 m<sup>2</sup>を、十分に達成できるものと判断できる。

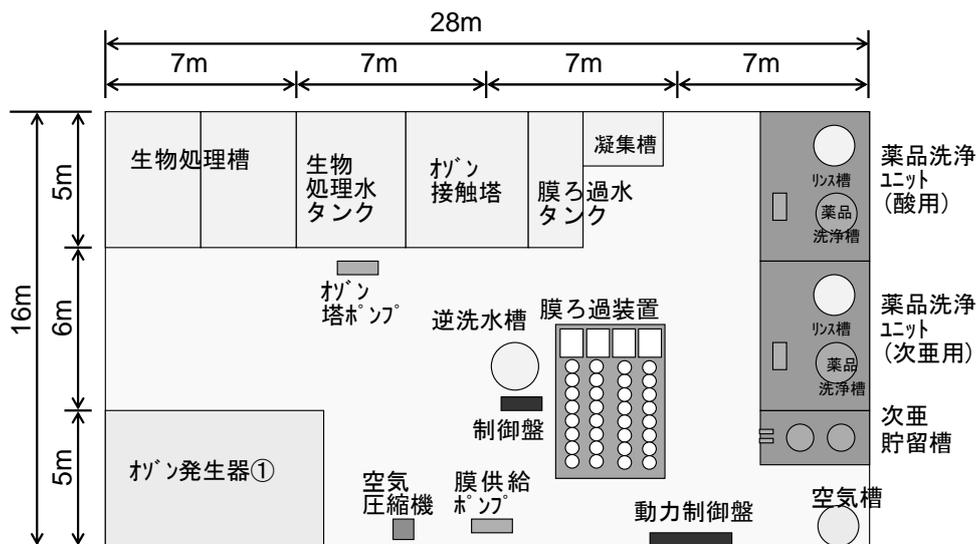


図 1 0 設備配置図

## 5 まとめ

下水処理水から再生水を造水する技術開発として、セラミック膜を用いたろ過システムの実証実験を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 各処理工程の最適な運転パラメータを把握した。
- (2) 長期連続運転によって、処理の安定性を実証した。
- (3) 処理水質は、国の親水用水基準同等以下であり、目標を達成した。
- (3) 総コストの試算結果は 48.5 円／ $\text{m}^3$ であり、目標値＝53 円／ $\text{m}^3$ 以下を達成した。
- (4) 設置スペースの試算結果は 450  $\text{m}^2$ であり、目標値＝600  $\text{m}^2$ 以下を達成した。

## 4-(2)-1 粒度調整灰を利用した建設泥土改良技術に関する

### 共同研究について

建設部設計調整課；菅澤 幹夫

#### 1. 概要

平成 20 年 7 月、洞爺湖サミットが開催される。その主要なテーマは「地球環境」である。東京都下水道局においても、経営計画 2007 に基づき、省エネルギーシステムへの転換や、リサイクルシステムの拡大に取り組んでいる。今回の共同研究（共同研究者：東京都下水道サービス（株）、東亜グラウト工業（株）、（株）富士機）は、汚泥焼却灰を原料として製造された土木用資材である粒度調整灰を、建設汚泥の改良材の一部として石こう系改良材に配合し、新たな改良材の開発を行ったものである。研究にあたっては、コーン指数、pH、土壤環境基準をキーワードに実施し、現場への導入に値する技術であることが確認できた。

#### 2. はじめに

##### （1）背景

東京 23 区の下水処理に伴い、年間 100 万トンの脱水汚泥が発生している。この脱水汚泥は、全量焼却し減量化しているが、それでもなお、年間 4 万 5 千トンの焼却灰が発生している。当局では、この焼却灰を資源として、セメント原料や軽量骨材原料に活用しており、平成 18 年度末での資源化率は 64%と向上を図ってきているが、36%は埋め立て処分を行っている。一方、東京都は新たな処分場の確保が困難なことから、現在、使用している埋め立て処分場の延命化が求められている。このような状況の中、より一層、汚泥焼却灰の資源化を図ることが重要であることから、汚泥焼却灰を原料とした粒度調整灰を土木用資材へ利用拡大することとした。

##### （2）粒度調整灰とは

粒度調整灰の主な利用用途は、ベントナイトの代替や鉄筋コンクリート管などコンクリート二次製品のコンクリート材料の細骨材として使用されている。脱水汚泥の焼却灰を粉砕処理により粒子を調整したもので、焼却灰の物理特性が改善され、土木用資材として活用可能となった。二酸化ケイ素、酸化アルミニウム等を主成分としており、微細な粒子で保水性を有している。

#### 3. 研究目標

現在、当局で施工している 23 区内のシールド工事から発生する建設泥土は、セメント系改良材により、第 4 種改良土（ $200 \text{ kN/m}^2$ ）として、ごみ処分場の覆土材として利用されている。建設泥土の資源化が求められる一方、今後、覆土材の受入量の減少が見込まれることから、新たな受入先の確保が課題となっている。受入先の多くは、「第 3 種処理土（ $400 \text{ kN/m}^2$ ）かつ中性域（pH 5.8～8.6）」である改良土を受入基準としている。中性域を満足するために、“石こう系改良材の一部を粒度調整灰に代替させた

改良材”（以下、粒度調整灰入り改良材とする。）を開発することとした。

研究目標は、受入基準を満足する改良土の品質を確保することから、表1のように設定した。

表 1 研究目標値

試験項目	目標値	試験方法
改良強度	第3種処理土 (400 kN/m <sup>2</sup> )	締固めた土のコーン指数試験
pH	中性域 (5.8~8.6)	土懸濁液のpH試験
溶出試験	土壤環境基準	環境庁告示第46号試験
時間経過による泥土の性状	再泥土化が見られないこと	目視、コーン指数試験

#### 4. 実験方法と結果

##### (1) 粒度調整灰の配合率

石こう系改良材に対する粒度調整灰の最適な配合量を算出するため、予備試験として室内試験を行った。建設泥土の粒度調整灰入り改良材による改良土の目標強度を『改良12時間後の強度は第3種処理土 (コーン指数 400 kN/m<sup>2</sup>以上)』とした。

目標強度の設定理由は、建設泥土を現場内で改良し、第3種処理土として再利用先で、埋戻し等を重機により施工が可能となるのを12時間後と想定した。

室内試験で使用した泥土は、砂分30% (含水比62.7%)、砂分50% (含水比47.7%)、砂分70% (含水比28.0%)の3種類を使用した。建設泥土1 m<sup>3</sup>当りの粒度調整灰入り改良材の添加量は、30kg/m<sup>3</sup>、60kg/m<sup>3</sup>、90kg/m<sup>3</sup>、の3タイプとし、この3タイプに各々粒度調整灰の配合率を0%、10%、20%、30%、40%の5タイプ配合した。すなわち、建設泥土3種類に対し、各々、改良材15種類 (=3×5) によって、配合試験 (改良) を行い、コーン指数を計測した。例えば、砂分30%の建設泥土について、計測値をグラフに表したものが図1であり、目標強度 400 kN/m<sup>2</sup>を満足する粒度調整灰入り改良材の添加量はグラフより、粒度調整灰の配合率が0%、10%、20%、30%、40%のとき、各々55kg、70kg、75kg、90kg、90kg以上となった。

次に、目標強度 400 kN/m<sup>2</sup>を満足するための各粒度調整灰入り改良材の1 m<sup>3</sup>当りの材料費を算出した。

その結果、改良材に対する粒度調整灰の配合率が20%のとき、経済的であることが試算により求められた。

##### (2) 改良機械による屋外実験

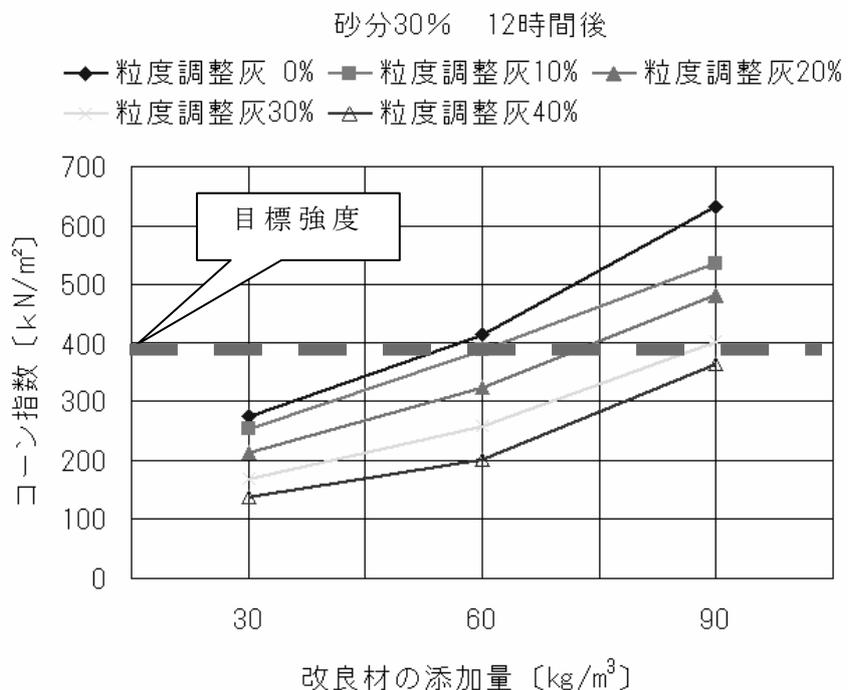


図 1 粒度調整灰配合割合別の添加量に対する発現強度

室内配合試験の結果に基づいた粒度調整灰入り改良材が、現場施工においても有効であるかを確認するため、実機により改良を行い、改良土の品質確認を行った。

目標強度は、室内試験と同様に、改良材は粒度調整灰入り改良材とし、目標強度は改良12時間後、第3種処理土（コーン指数  $400 \text{ kN/m}^2$  以上）とした。

使用した建設泥土は、泥土A（細粒分70%、含水比59%）、泥土B（細粒分29%、含水比46%）の2種類とし、実現場で発生した建設泥土を用いた。

粒度調整灰入り改良材の添加量は、泥土Aは  $90 \text{ kg/m}^3$ （うち粒度調整灰は20%）、泥土Bは  $55 \text{ kg/m}^3$ （うち粒度調整灰は20%）となった。

表 2 改良後の性状

泥土種類	泥土A		泥土B	
	90kg/m <sup>3</sup>		55kg/m <sup>3</sup>	
改良材添加量				
養生時間	3時間	12時間	3時間	12時間
コーン指数 [kN/m <sup>2</sup> ]	235	422	200	404
pH	7.27	7.28	7.67	7.47
溶出試験	全て基準値以下		全て基準値以下	

建設泥土改良機械に投入

した泥土は、2～3分で粒状化に呈した改良土となり、改良直後にダンプトラックで搬出できる状態であった。改良12時間後の改良土の性状及び、重金属類の溶出試験は表2、表3のとおりとなった。

改良強度は目標値である  $400 \text{ kN/m}^2$  を満足し、pHは中性域（pH5.8～8.6）の範囲であった。また、溶出試験の結果は、検体によりばらつきはあるものの全て基準値以下となった。

表 3 重金属類の溶出試験結果

溶出試験項目	基準値 (mg/L)	計量限界値	第3種処理土						
			泥土A			泥土B			
			No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	
アルキル水銀化合物	検出されないこと	0.0005	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
総水銀	0.0005	0.0005	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
カドミウム	0.01	0.001	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
鉛	0.01	0.001	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
六価クロム	0.05	0.01	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
ひ素	0.01	0.001	0.007	0.004	0.003	0.004	0.006	0.007	
セレン	0.01	0.001	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
シアン	検出されないこと	0.0005	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
フッ素	0.8	0.1	不検出	0.4	0.2	0.4	0.2	0.3	
ホウ素	1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	

### (3) 曝露試験

改良した建設泥土が自然状態で曝露したとき、改良土の状態が変化しないかを確認することを目的に実施した。降雨による再泥土を目視により観察及び、コーン指数試験を実施した。曝露期間（H19.12～H20.3）において再泥土化は見られなかった。また、改良強度は、表4のように、目標強度を確保したまま、時間経過に伴って、強度増加が確認できた。これは、粒度調整灰に含まれる二酸化ケイ素によるポズラン活性によるものと考えられる。

表 4 養生時間別発現強度

養生時間	コーン指数 [kN/m <sup>2</sup> ]			
	12時間	2週間	6週間	10週間
泥土A	422	448	480	523
泥土B	404	480	513	560

## 5. 考察

脱水汚泥の焼却灰を原料とした粒度調整灰が建設泥土改良材として有効であることが確認できた。このことは、埋め立て処分していた焼却灰が土木用資材として、再資源化できることから、環境負荷低減につながるものである。

また、埋め立て処分していた建設泥土についても、第3種処理土として土地造成などに活用できる（「東京都建設泥土リサイクル指針」による）ことから、処分場の延命化に寄与することができる。

## 6. 結論

(1) 目標とする改良強度  $400 \text{ k N/m}^2$  を満足するためには、建設泥土の性状により粒度調整入り改良材の添加量は変化（増減）させる必要があるが、改良材に占める粒度調整灰の配合率は20%まで可能である。

(2) そのときの改良土のpHは中性域であり、土壤環境基準を満足するものである。

(3) 時間経過に伴う改良土の再泥土化は生じないものである。

今回、新たに開発した粒度調整灰を用いた石こう系改良材の実用化については、改良土の受入先との受入条件の協議が整った段階で導入を図りたいと考えている。

## 5. 事業の効率化

### (1) 維持管理技術

- 1 新たな管路内調査方式（ミラー方式及び展開図化）の導入について
- 2 高濃度硫化水素削減のための汚泥脱気装置の開発
- 3 シアンモニターの改良 ～環境検査職の経験を生かして～
- 4 I C P 質量分析法を用いた水銀測定の可能性について
- 5 F I S H 法を用いた硝化細菌の検出
- 6 硝化活性の測定
- 7 亜硝酸存在下における M L D O 測定について
- 8 芝浦水再生センターにおける全窒素流入負荷に関する一考察
- 9 施設停止を伴わない防波管の補修について
- 10 流入水量半減と反応槽通水停止に伴う水処理状況

## 5-(1)-1 新たな管路内調査方式（ミラー方式及び展開図化）の導入について

施設管理部 管路管理課 木藤 利男

### 1. はじめに

管路内の状況は、今日のように情報機器が発達する前までは、維持管理を所管する部署の担当者が管路の日常点検・巡視、維持補修などを通して得られた情報を写真や管理図に集約する形で個別情報として管理されてきた。また、この時代の下水道事業は、普及率の拡大に重点を置き施設建設を進めてきたこともあり、今日ほど既設管路の状況把握は重要視されていなかった。

東京都下水道局は、1994年に普及率概成100%を達成した以後、管渠の再構築事業に本格的に取り組んできている。管渠の再構築を効果的に進めるためには、既設管渠の状況を十分に把握し事業計画を策定することが重要である。管路内調査は、こうした計画の策定のほか、設計、施工、維持管理の全ての分野で必要不可欠な基本的な情報である。このため東京都下水道局では管渠の再構築事業を進めるにあたって、管路内調査の重要性を改めて見直すとともに、特に人が直接入ることができない小口径管渠の調査に適用される「テレビカメラ調査」技術の向上とデータ分析手法の高度化に取り組んでいる。

### 2. 管路内調査の現状と課題

管路内調査の現状と課題を調査並びに情報管理の側面から要約すると以下の通りである。

#### (1) 調査面での現状と課題

- 1) 使用するビデオカメラの性能や機能のほか、オペレータの技量の差により調査結果にバラツキが生じやすい。
- 2) 従来のアナログ方式のカメラ調査では微妙な色合いや画像の解像度が低く、細かい損傷を見逃すケースがある。
- 3) 従来の調査では異常箇所を発見した場合、テレビカメラの走行を一時停止し詳細な観察を必要とし現場調査時間が長くなる。

#### (2) 情報管理面での現状と課題

- 1) 画像情報がビデオテープに収録されることから必要な情報を検索するのに長時間かかる。
- 2) 画像情報と文字情報が分離管理されることから調査結果の全体像が把握しづらい。

### 3. 管路内調査の効率化に向けた技術開発の取組

これらの課題解決のため2000年より新技術の開発に取り組み、新たな管路内調査の手法として「ミラー方式テレビカメラシステム」、「管渠内面展開図化システム」、「管渠検査診断支援システム」を開発した。

#### 3.1 ミラー方式テレビカメラシステム

従来方式ではテレビカメラのオペレータは損傷箇所を発見するとテレビカメラを一旦停止し、円周方向の詳細調査を行う必要があった。この調査方法では管渠の側面の画像が正確に撮影できないことから損傷度の判定をオペレータの経験に頼らざるを得ないなど、調査技術上の課題があった。図-1にこれまでのテレビカメラとミラー方式によるテレビカ

カメラの撮影範囲を図示する。

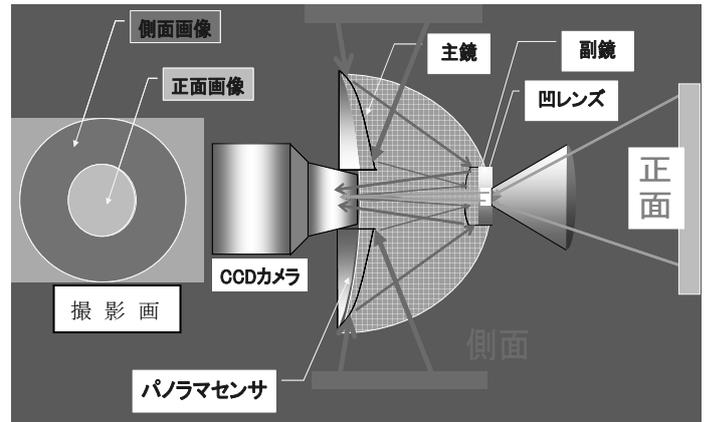
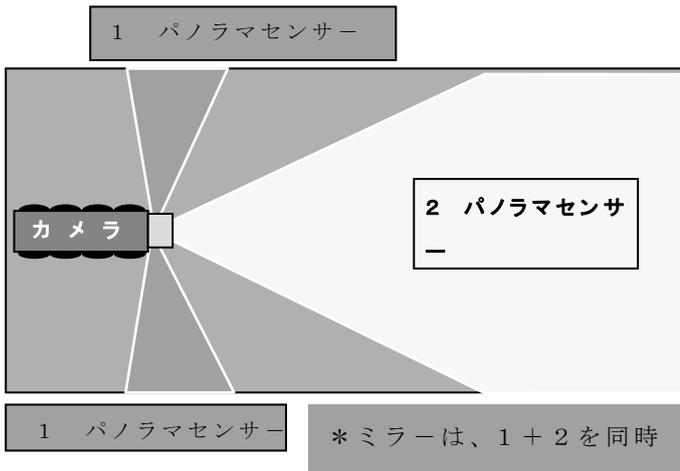


図-1 ミラー方式テレビカメラの撮影範囲

図-2 ミラー方式テレビカメラの断面図

ミラー方式テレビカメラの断面図（図-2）で原理を簡単に説明すると、テレビカメラは直進撮影のみで、管側面の正対画像を捉えるために、特殊なミラー（主鏡・副鏡）をカメラヘッドに装着している。

側面画像は、まず主鏡で捉え、次に、副鏡を経由してCCDカメラに取り込み、デジタル信号でテレビ画面に結像させる。

一方、自走運転に必要な前方画像は、副鏡に穴が明けられ、穴を経由してCCDカメラに取り込まれ、側面画像の内側に結像される。これが、ミラー方式テレビカメラの簡単な原理である。

ミラー方式テレビカメラ（図-3）は、一定の速度で直進するだけで管渠の360°円周方向の画像をより鮮明なデジタル画像情報として得ることができるとともに従来方式の調査時間を1/2に縮小するなど、作業の効率化を実現した新技術である。



図-3. ミラー方式テレビカメラ

（ 単 位 ： 分 ）

	アナログ作業時間 7路線 330m実施	ミラー作業時間 7路線 330m実施
準備	132	84
管渠内調査	214	62
片付け	83	59
計	429	205

表-1 ミラー方式テレビカメラと従来型カメラの現場調査時間の比較

### 3.2 管渠内面展開図化システム

管渠内面展開図化システムは、ミラー方式テレビカメラで撮影した管渠内面の撮影画像を図-4に示すようにデジタルの2-D画像に変換するもので、これにより、管路診断を効率化し、調査データの有効活用を図る。

また、デジタルデータは全てPC内のデータベースへ取り込まれ、図-5の展開図帳票が調査報告書として容易に検索、出力が可能であるとともに、帳票から表示しているスパンの動画や拡大写真に移行できる。

さらに、このシステムでは損傷位置の一覧表を作成可能である。従来方法では、アナログカメラにより調査を実施し、調査結果はビデオテープや報告書として保管されている。しかし、このデータベースシステムでは損傷箇所の検索時間を大幅に縮減するとともに、管渠の詳細な状態を効率的に把握し、管渠の補修や改良を行うことが可能である。

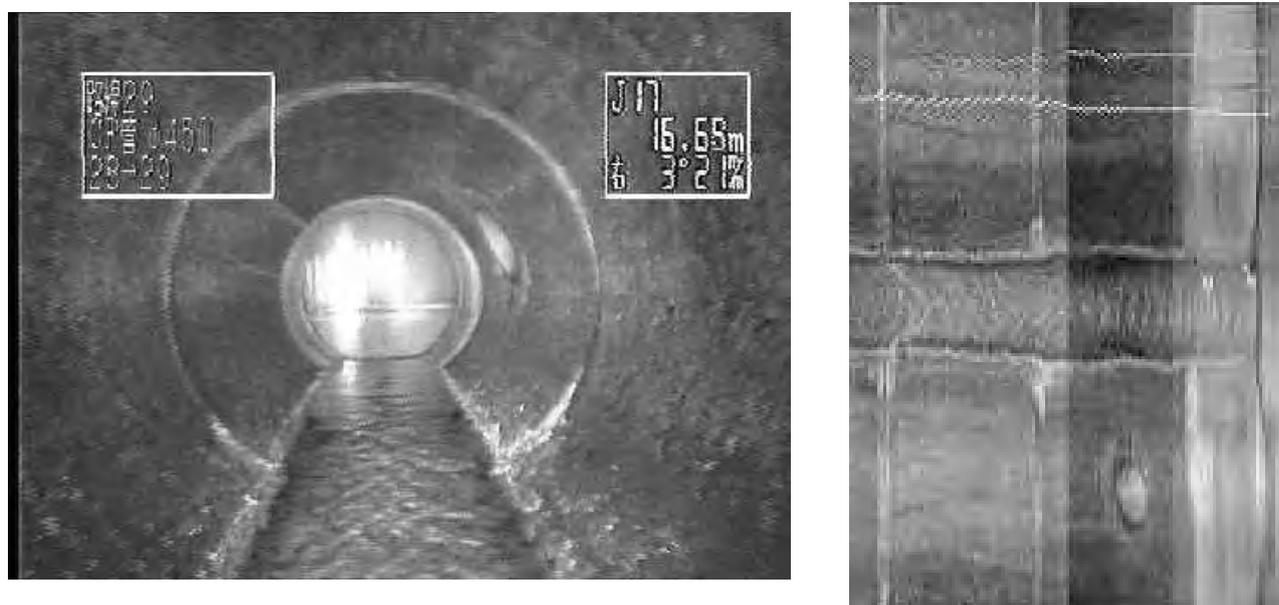


図-4 ビデオ映像と展開画像

## 展開図帳票



最大1スパンの管渠の  
展開画像

取付管接続箇所並びに  
損傷状況の文字情報

損傷箇所の状況写真

動画表示ダイアログ



最大1スパンの管渠内  
撮影画像を動画で再生

損傷箇所並びに取付管接  
続箇所の拡大写真を表示

## 管渠内面展開図化システム出力画面

### 1 展開図帳票

パソコン上の画面に「管渠展開図」、「損傷情報」、「損傷箇所写真」が表示される。  
この画面から「動画」、「展開図での動画」、「損傷箇所拡大写真」に移行できる。

### 2 動画

データの検索や展開図による管渠の全体表示のほかにこれまでのビデオ映像のように再生動画を見ることができる。

### 3 損傷箇所拡大写真

損傷文字情報をクリックすることで、当該損傷箇所の拡大写真を表示できる。

### 4 集計表、調査路線一覧

管渠の状況以外にも損傷箇所の集計表や、調査路線の一覧などを表示できる。

拡大写真表示ダイアログ

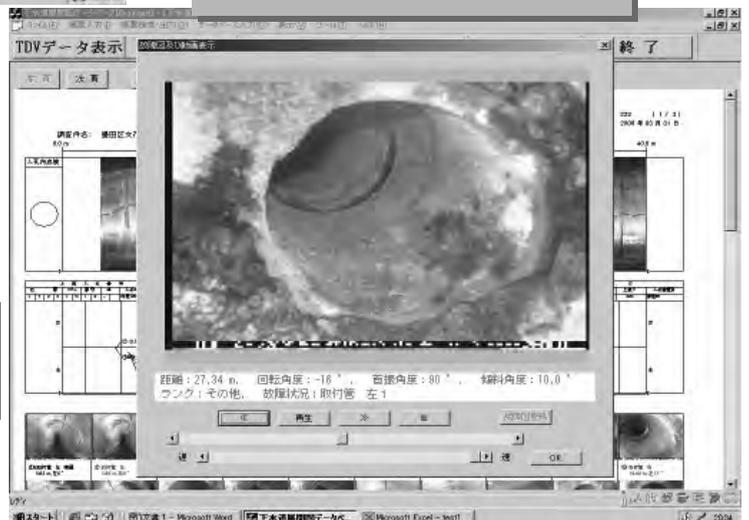


図-5 展開図帳票の一例

集 計 表

TDVデータ表示 帳票の検索 帳票の表示 帳票の印刷 調査集計表 終了

帳票表示ダイアログ

調査件名: 墨田区文花三丁目、四丁目付近 下水道管路内調査

帳票一覧表示

路線番号	調査位置	布設年度	改良工事	改良年度	区名	処理区	道路管理者	上流人孔番号	下流人孔番号	調査年度	管渠延長	線路延長	管種名称	断面形
10	上流調査	1967/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	30	17	2000/03/31	24.04	24.94	HP	円形
11	上流調査	1967/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	17	18	2000/03/31	24.6	25.95	HP	円形
36	下流調査	1967/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	27	12	2000/03/31	39.6	40.5	HP	円形
40	上流調査	1967/01/01	無	----/--/--	墨田区	三河島処理区	区道	5	6	2000/03/31	29.23	30.13	TP	円形
58	上流調査	1972/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	都道	35	34	2000/03/31	23.09	23.99	HP	円形
58	上流調査	1967/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	13	16	2000/03/31	23.48	24.83	TP	円形
81	上流調査	1967/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	30	4	2000/03/31	23.26	24.16	TP	円形
82	上流調査	1967/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	4	5	2000/03/31	20.07	21.07	TP	円形
83	上流調査	1967/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	5	6	2000/03/31	20.02	21.92	TP	円形
88	上流調査	1967/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	31	11	2000/03/31	15.32	16.22	TP	円形
90	上流調査	1972/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	12	13	2000/03/31	29.93	31.13	HP	円形
95	上流調査	1982/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	38	39	2000/03/31	27.35	28.25	HP	円形
112	上流調査	1966/01/01	無	----/--/--	墨田区	砂町処理区	区道	11	6	2000/03/31	1.56	26.46	HP	円形
118	上流調査		無		墨田区	砂町処理区	区道	6	24		14.5	15.7	HP	円形

帳票表示 閉じる

管路内調査で把握した損傷の集計表

図 - 5 展開図帳票の一例



### 3.3 管渠検査診断支援システム

「管渠検査診断支援システム」は、「ミラー方式テレビカメラシステム」で撮影し、取得したデジタル画像を「管渠内面展開図化システム」により展開図化した画像と一部デジタルビデオの直進画像を利用して管渠の損傷を半自動的に判定するソフトである。

2002年に開発した本システムでは、様々なアルゴリズムを用いて管渠の損傷箇所の特定を行っている。

表-2 にオペレータが現行のアナログ式テレビカメラにより現場でカメラを側視して管渠の損傷を把握する時間と、「管渠検査診断支援システム」による室内での損傷判定時間を示すが、概ね現行の管路内調査の10分の1程度の時間で損傷を判定できる。

ただし、診断結果に着目すると、現時点での「管渠検査診断支援システム」では、ピックアップしてくる損傷箇所数が実際の損傷箇所を越える場合があり、微妙な判定には、まだ人的な補正を必要とするなど解決すべき課題もある。

しかし、今後のデータの積上げから、適正なパラメータの設定や新たなアルゴリズムの付加により、表-2の診断時間に近い数値を得るため精度を高めて行きたいと考えている。

管径 (mm)	管渠延長 (m)	従来手法 診断時間(分：秒)	検査診断支援システム 診断時間(分：秒)
250	44.50	24:38	2:41
300	36.25	44:31	3:12
400	46.35	25:09	2:30
450	42.50	24:46	2:22
500	61.90	43:43	2:55
600	46.10	23:13	2:00
700	52.10	28:18	4:17

表-2 従来の手法と検査診断支援システムとの損傷判定時間の比較

## 4. システムの有効活用方法

「下水道管渠内面展開図化システム」は開発当初より試行的に管渠内テレビカメラ調査の一部で実施され、2002年には下水道台帳情報システム（SEMIS）とリンクし、2002～2007年の6ヵ年で、約130kmの管渠内調査結果が展開図帳票として台帳システムに入力済みである。

この結果、台帳情報システム内で管渠情報（管渠の属性[管種・管径等]）、管渠調査結果（管渠のたるみ・蛇行等）、管渠診断結果（判定基準）、展開図の各データベースを重ね合わせるにより、迅速かつ正確に管渠内情報を把握できるようになった。

下水道管渠の維持管理業務における有用性及び有効活用方法を以下に示す。

### 4.1 管渠内調査結果のデータベース化による必要情報検索の迅速化

従来、管渠内調査結果及び異常箇所画像は、紙ベースの調査報告書から異状箇所を探

し出し、該当する路線のビデオテープを端から早送りや再生することにより検索していた。

しかし、展開図データベースと下水道台帳情報システムをリンクさせることにより、地図上の路線を特定すれば、該当する路線の展開図帳票や管渠内動画を直ちに閲覧することが可能となる。

更に、従来の紙ベースの報告書に記載されている異常箇所集計表データは本システムにおいても出力可であり、集計表上の路線番号等から該当する箇所の展開図帳票や管渠内動画を直ちに出力・閲覧可能である。

このように、従来の手法ではビデオデータの検索や管渠施設台帳との照合に要していた多大な時間を大幅に縮減できる。



図-6 下水道台帳情報システム (SEMIS画面)

#### 4.2 損傷管渠の正確な把握とこれに基づく補修・改良及び再構築計画の策定

展開図データベースと下水道台帳情報システムとをリンクさせることにより、台帳上、地図上で損傷している路線を正確に把握することが可能となる。

これにより対象とするエリア全体からの総合的・相対的な評価が可能となり、異状箇所の補修や路線の改良計画、再構築計画の策定へ活用できる。

### 4.3 異状箇所の補修・改良工事履歴の更新

調査結果に基づき補修・改良工事を実施した場合、帳票データベースに工事履歴を反映させ、最新情報へ更新することができ、またこれらの情報は事務所内で共有することが可能である。この最新情報を将来的な補修・改良工事計画や再構築計画策定へ活用できる。

## 5. システムの課題と将来展望

本システムの課題は、管渠検査診断支援システムにおいて、顕著な損傷については概ね自動診断が可能であるが、微小な損傷についてはピックアップしてくる損傷箇所数が実際の損傷箇所を越える場合があり、まだ人的な補正を必要とする点である。

また、今後の展望としては、システムを実際に活用する職員の要望に応じ、より活用しやすいシステムへ改良していく予定である。

## 6. まとめ

新たな管路調査手法として「ミラー方式テレビカメラシステム」、「管路内面展開図化システム」、「管路検査診断支援システム」を開発した。

それらの技術的特徴は以下の通りである。

- (1)「ミラー方式テレビカメラシステム」は管路診断の精度を向上させるため、直進するだけで管路の360°円周方向の画像を得ることが可能となり、また管路内面の画像データをデジタルビデオテープへ収録できる。
- (2)「管路内面展開図化システム」によりミラー方式テレビカメラで撮影した管路の内面展開図を作成することが可能となる。
- (3)「管路検査診断支援システム」は内面展開図を基に管路の異状を半自動的に診断することが可能となる。

これらのシステムの導入効果は以下の通りである。

- 1)ミラー方式テレビカメラシステムでは、現場での1日当り施工量が現行アナログカメラの2倍となる。
- 2)管路内面展開図化システム及び管路検査診断支援システムにより管路内の現況を事務所内で診断することが可能となり、最終的に画像と診断結果はデータベース化することが可能となる。
- 3)展開図帳票より管路の全体像を一目で把握することができ、総合的な判断が可能となる。
- 4)管路検査診断支援システムにより管路内の異状部分の発見時間を短縮できる。
- 5)データベース化することにより管路情報の検索が非常に簡便化し、検索に要する時間は従来約1/6となる。さらにビデオテープと報告書の保存スペースを大幅に減少させることが可能である。
- 6)これらの新システムを用いても調査からデータベース化する一連の作業は、従来の手法と同程度のコストで実施できる。

さらに、下水道台帳情報システム(SEMIS)とリンクさせたことで、台帳情報システム内で管渠情報(管渠の属性【管種・管径】)、管渠調査結果(管渠のたるみ・蛇行等)、管渠診断結果(判定基準)、展開図の各データを重ねることにより、迅速かつ正確に管渠内情報を把握できるようになった。

管路内調査は、下水道の建設・維持管理に欠かすことのできない重要な基本データである。これらの3システムを有効活用することで、今後の下水道事業の効率化に大いに貢献できるものとする。

## 5-(1)-2 高濃度硫化水素削減のための汚泥脱気装置の開発

計画調整部 技術開発課  
廣繁 直治  
山下 博史  
(現経理部業務管理課)

### 1. 目的

東京都区部では、汚泥処理の効率化を図るために集約処理を進めている。

汚泥の集約処理の進展とともに、必然的に送泥距離・時間が増加することになるが、このことにより送泥管内では汚泥の腐敗が進行し、硫化水素 ( $H_2S$ ) 等のガスを含有するようになる。汚泥の腐敗によって生じたガスは、送泥管内では加圧されているため汚泥内に溶解しているが、受泥施設において大気圧に開放されると、流れ（滝落とし）や攪拌操作等によって容易に気化して周囲に揮散することになる。こうしたガスのうち特に  $H_2S$  は、コンクリート躯体や金属部材の腐食原因となるほか、作業環境を悪化させ、高濃度になると労働災害の原因ともなりうる危険な物質である。

本研究は、平成16年夏期に南部スラッジプラント機械濃縮棟の受泥槽上部から高濃度の  $H_2S$  (200ppm) が漏洩し、地下1階が立ち入り禁止になるという事態を受け、長距離送泥等により腐敗が進行して高濃度に  $H_2S$  を含有する輸送到着汚泥を対象にして、物理的手法によって汚泥から  $H_2S$  (gas) を分離・除去する技術を開発し、導入の可否を検討したものである。

### 2. 調査方法

#### 2.1 供試試料

当局の汚泥集約処理施設の一つである南部スラッジプラントに送泥されてきた汚泥（以下到着汚泥という。）を対象に、調査を行った。

#### 2.2 汚泥脱気装置

図-1に汚泥脱気装置の基本構造を示す。装置は汚泥脱気装置と給泥ポンプ、真空ポンプ、排泥ポンプの3つのポンプで構成されている。脱気装置の本体は円筒と円錐を組み合わせた形の密閉型タンクで、タンク内の上部中央に高速回転する分配機が配置されている。

汚泥は給泥ポンプにより連続的に脱気装置に供給される。脱気装置に導入された汚泥は、高速回転している分配機に衝突した後、遠心力によりさらにタンクの内壁に衝突し、内壁を薄膜状になってタンク下部へと移動していく。タンク内部は真空ポンプにより常に一定の真空度に保たれているため、汚泥中に含まれる  $H_2S$  (gas) は一連の物理的な作用により、短時間で効率良く脱気される。

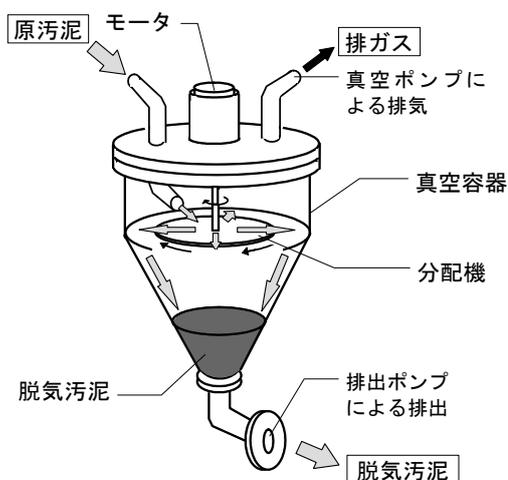


図-1 汚泥脱気装置の構造

本脱気装置は 0.4~200 m<sup>3</sup>/h の処理能力を持つ 8 機種が製品化されているが、本研究では 0.4 m<sup>3</sup>/h の処理能力を持つ機種を使用した。

### 2.3 H<sub>2</sub>S (gas) の測定方法

水溶液中における pH と H<sub>2</sub>S の形態との関係を図-2 に示す。

H<sub>2</sub>S は水溶液の pH に応じて H<sub>2</sub>S (aq)、HS<sup>-</sup>、S<sup>2-</sup> の 3 つの形態で存在する。これらの測定方法としては、ヨウ素滴定法やメチレンブルー吸光光度法による硫化物測定法や、イオン電極法や水酸化アルミニウム沈殿による溶存硫化物の測定法が知られている。

本研究では、対象汚泥中の硫化物等がガスとして発生する可能性、すなわち汚泥が有する H<sub>2</sub>S (gas) 発生能力を低減させることを目的としているため、前述した測定方法は実験結果の評価法としては必ずしも適当でない。このことから、さまざまな性状の汚泥が持つ潜在的な H<sub>2</sub>S (gas) 発生能力を測定するために、当局で考案・実施している曝気方式を簡便化した測定方法を用いることにした。測定方法の概要を図-3 に示す。

この方法は、密閉系において適量の汚泥を曝気することで、発生してくる H<sub>2</sub>S (gas) の濃度をガス検知管で測定するもので、汚泥の持つ H<sub>2</sub>S (gas) 発生能力を迅速かつ簡便に評価できる。

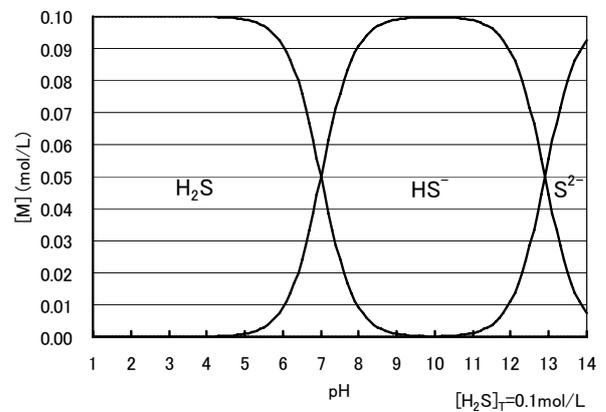


図 2 H<sub>2</sub>S の形態と pH の関係

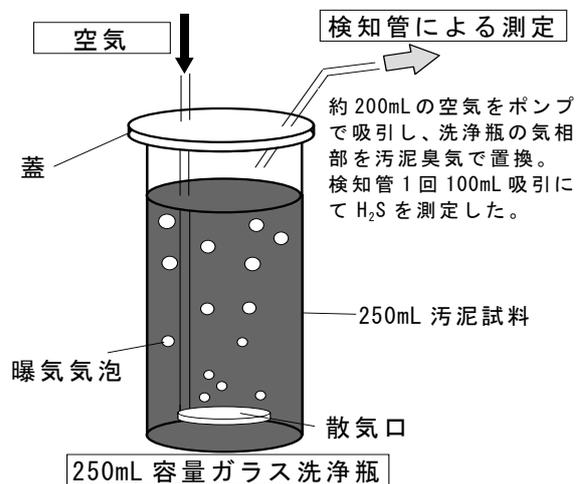


図-3 汚泥中の硫化水素の測定

## 3. 調査結果

### 3.1 H<sub>2</sub>S (gas) 発生能の変化

到着汚泥は H<sub>2</sub>S (gas) 発生能が高く、特に夏場の高温期に顕著になる。平成 18 年度の

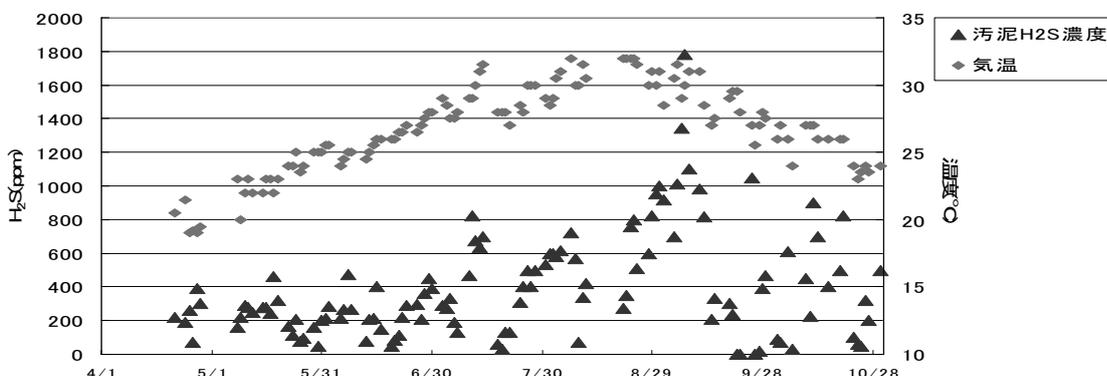


図-4 H<sub>2</sub>S 発生能と気温の推移

調査期間中（4月～10月）の到着汚泥のH<sub>2</sub>S（gas）発生能と気温の推移を、図－4に示す。降雨直後にH<sub>2</sub>S（gas）濃度が低下する傾向が顕著であることに加え、発生能の変化が大きいことがわかる。調査期間中のH<sub>2</sub>S（gas）発生能の平均濃度は約400ppmであった。

### 3.2 真空処理によるH<sub>2</sub>S（gas）除去効果の確認

真空処理の効果を確認する目的で、机上実験を行った。

1000mlのガラス製容器に250mlの南部スラッジプラント到着汚泥を封入し、気相部を真空ポンプで減圧した。処理後の汚泥について、前述の測定方法によりH<sub>2</sub>S（gas）を測定することで、真空処理の効果を確認した。結果を表－1に示す。

表－1 机上実験結果

真空処理条件	未処理	真空処理後	備考
－80kPa／分	300ppm	365ppm	発泡多い
－80kPa／分	300ppm	370ppm	発泡多い
－40kPa／分	305ppm	355ppm	

真空処理を行うことにより、気相中のH<sub>2</sub>S（gas）濃度が上昇することが確認できた。また、真空度が上がると汚泥から発生する気泡が増加して浮上濃縮のような状態になり、固液分離することが観察された。

### 3.3 汚泥脱気装置を用いた処理実験

#### 3.3.1 脱気処理条件の検討

汚泥脱気装置の操作因子としては、真空度（標準-67kPa）、回分処理における滞留時間（標準1分）、分配機の回転数（上限1650r.p.m）の3つがあるが、機器の持つ各因子の影響を確認した。

真空度については、-40、-67、-93kPaの3条件で効果を比較したところ、各条件間においてH<sub>2</sub>S（gas）除去効果と真空度に相関はなく、概ね90%以上の除去率を達成していることがわかった。

滞留時間は1.3.5分と変化させたところ、滞留時間が長いほどH<sub>2</sub>S（gas）除去効果は高かった。また、分配機回転数も高いほどH<sub>2</sub>S（gas）除去効果が高いことがわかった。

さらに滞留時間について、60分までの長時間滞留実験を行ったところ、10分経過後からH<sub>2</sub>S（gas）濃度が確認された。この理由として、硫酸還元菌によるH<sub>2</sub>Sの再生成等が考えられるが、滞留時間の長時間化は必ずしも脱気処理に好影響を及ぼさないことがわかった。再生成については後述する。

以上の結果から、脱気装置の運転条件を、真空度-67kPa、滞留時間1分、分配機回転数1650r.p.mとした。

この条件におけるH<sub>2</sub>S（gas）除去率はほぼ100%となり、本脱気装置の有効性が確認できた。

#### 3.3.2 連続処理への適用

回分処理の有効性が確認できたことから、連続処理への適用を検討した。

真空度を-93kPaに上げて処理を行ったものの、脱気後の汚泥中のH<sub>2</sub>S（gas）濃度は

処理前の数値とほとんど変化がなく、回分処理との間に大きな差があることが判明した。

従来の汚泥脱気装置について、真空度-93kPaで処理した時のH<sub>2</sub>S除去率の経時変化を図-5に示す。汚泥脱気装置の構造で連続処理を行なうとH<sub>2</sub>S除去率は低く、平均して20.1%であった。

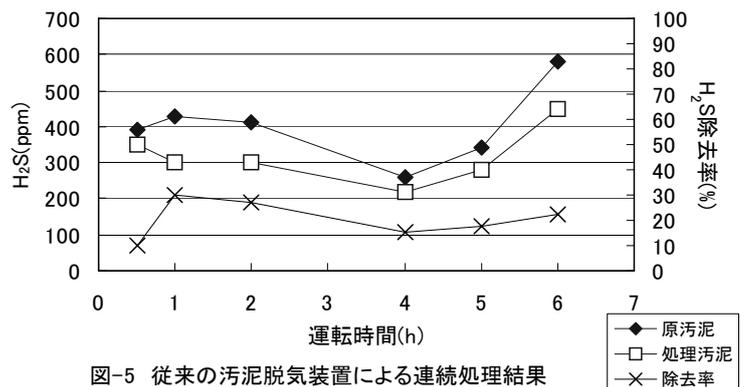


図-5 従来の汚泥脱気装置による連続処理結果

回分処理では、処理終了後大気圧に戻す段階で、汚泥1%に対して40%の空気が導入されるが、この際に汚泥中のH<sub>2</sub>S (gas)が放散された可能性がある。そこで、脱気処理の代わりに外部から空気を導入して装置下部から汚泥を曝気することで、H<sub>2</sub>S (gas)の除去効果の向上を図った(常圧空気曝気方式)。常圧空気曝気方式について、曝気風量とH<sub>2</sub>S除去率の関係を図-6に示す。

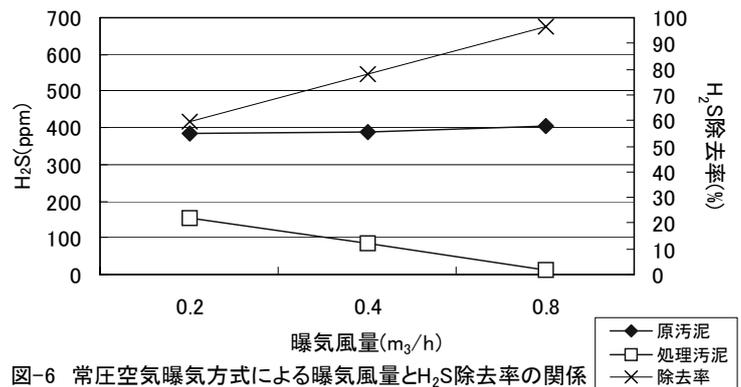


図-6 常圧空気曝気方式による曝気風量とH<sub>2</sub>S除去率の関係

汚泥処理量0.4m<sup>3</sup>/hに対して、曝気風量が1倍の0.4m<sup>3</sup>/hの時H<sub>2</sub>S除去率は78.2%、2倍の0.8m<sup>3</sup>/hの時96.5%に達した。

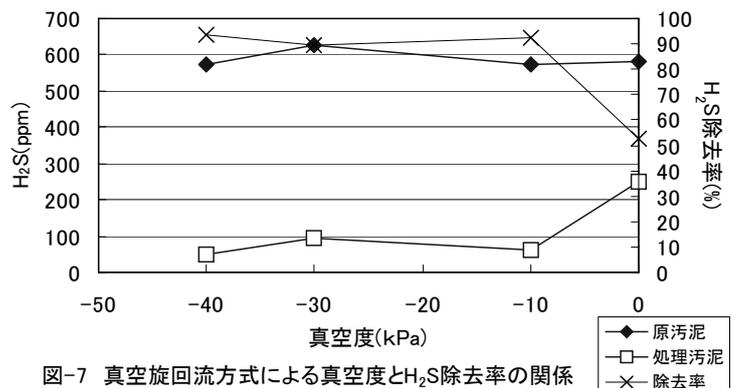


図-7 真空旋回流方式による真空度とH<sub>2</sub>S除去率の関係

この結果、処理ガス量は増えるものの、原汚泥中に含まれる広い濃度範囲のH<sub>2</sub>S (gas)に対して高い除去効果を発揮し、処理後の汚泥からのH<sub>2</sub>S (gas)発生を検出限界以下にまで抑制できることがわかった。

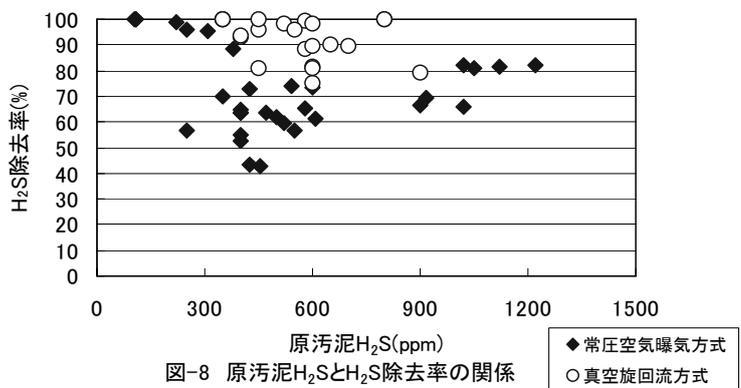


図-8 原汚泥H<sub>2</sub>SとH<sub>2</sub>S除去率の関係

常圧空気曝気方式では、汚泥脱気装置反応槽の改造が必要となるため、反応槽内の汚泥に物理的作用(旋回流)を与えて真空中での脱気を促進させることを目的に、分配機の下部に攪拌装置を付加した装置を考案し、処理を行った(真空旋回流攪拌方式)。真空下での旋回流攪拌方式について、真空度とH<sub>2</sub>S除去率の関係を図-7に示す。

真空旋回流方式の場合、真空度が-10kPaの低真空でもH<sub>2</sub>S除去率は92.2%に達した。常圧0kPaでの除去率は42.5%で、真空の影響が大きいことがわかったが、-10kPa

以上に強い真空にすることによるメリットはなく、 $-50\text{kPa}$ でも除去率は90.5%であった。

常圧空気曝気方式と真空旋回流方式について、原汚泥の $\text{H}_2\text{S}$ 濃度と $\text{H}_2\text{S}$ 除去率の関係を図-8に示す。

真空旋回流方式の方が常圧空気曝気方式よりも、原汚泥の $\text{H}_2\text{S}$ 濃度が $300\sim 900\text{ppm}$ の範囲において高い $\text{H}_2\text{S}$ 除去率を維持した。

それぞれの方式の概略図を図-5に、処理条件を表-2に示す。

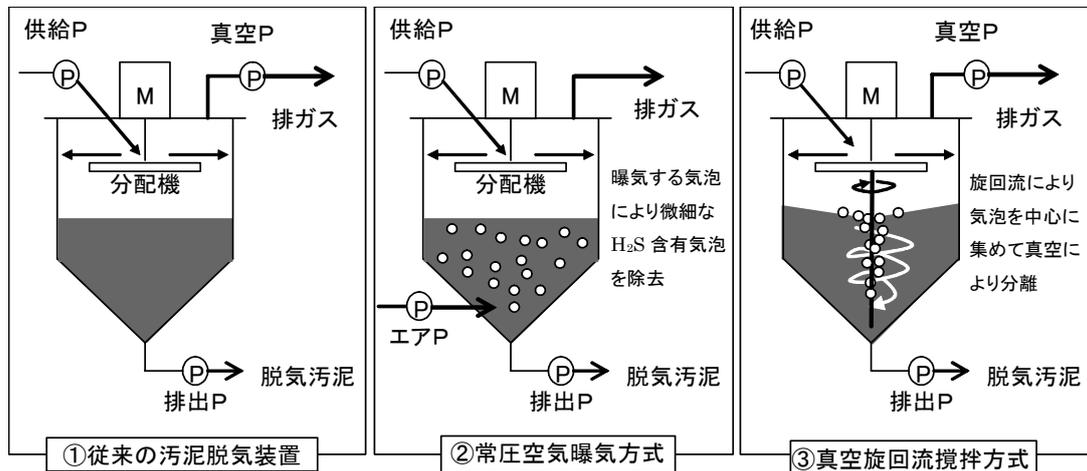


図-9 従来型の汚泥脱気装置と改良型汚泥脱気装置

表-2 各処理方式における処理条件

	①従来型の汚泥脱気装置	②常圧空気曝気方式	③真空旋回流方式
汚泥処理量( $\text{m}^3/\text{h}$ )	0.4	0.4	0.4
真空度(kPa)	-93	0(常圧)	0~-50
分配機回転数( $\text{min}^{-1}$ )	1650	1650	1500 <sup>※)</sup>
曝気空気量( $\text{m}^3/\text{h}$ )	0	0.2~0.8	0

※)分配機に接続した攪拌棒の振動が大きかったため、 $1500\text{min}^{-1}$ に回転数を抑えた。

こうした一連の改良により、従来の汚泥脱気装置の持つ気泡除去による汚泥の沈降性改善効果だけでなく、 $\text{H}_2\text{S}$ (gas)除去に特化した装置を開発することができた。

### 3.3.3 汚泥中の $\text{H}_2\text{S}$ (gas)の再生成

脱気処理によって、処理直後の汚泥中の $\text{H}_2\text{S}$ (gas)濃度は概ね検出限界以下に低減できた。しかし、汚泥中の $\text{H}_2\text{S}$ (gas)は、硫酸還元菌によって汚泥中に含まれている硫酸イオンの還元で生成することから、脱気処理によって汚泥中から一時的に $\text{H}_2\text{S}$ (gas)を除去しても、硫酸イオンと硫酸還元菌が共存していれば、 $\text{H}_2\text{S}$ (gas)が再び生成してしまうことが考えられる。今回の実験中にも、3.3.1で述べたように長時間の滞留実験において、 $\text{H}_2\text{S}$ (gas)の除去が済んだ汚泥から時間経過とともに $\text{H}_2\text{S}$ (gas)が生成して行くことが確認されている。

そこで、汚泥中の $\text{H}_2\text{S}$ (gas)の再生成を確認するため、未処理汚泥と脱気処理汚泥を密閉ビンで室温保存し、 $\text{H}_2\text{S}$ (gas)濃度を経時的に測定した結果を図-10に示す。双方の汚泥とも $\text{H}_2\text{S}$ (gas)発生能は時間の経過に伴い増加したが、未処理汚泥では採取直

後で 400ppm、6 時間経過後で 620ppm に達したが、脱気処理汚泥では 6 時間経過後でも 310ppm に留まった。

以上の結果から、脱気処理によって再生成による H<sub>2</sub>S (gas) 発生能を抑制できることがわかった。

### 3.3.4 再生成する H<sub>2</sub>S (gas) の抑制

脱気処理後に再生成する H<sub>2</sub>S (gas) を抑制する目的で、ポリ鉄の添加と脱気処理の併用について検討した。

ポリ鉄による単独処理と、ポリ鉄添加+脱気処理の併用処理を行った場合の、処理後 6 時間の H<sub>2</sub>S (gas) 濃度を図-11 に示す。

ポリ鉄単独処理では、500mg/l の添加で生成した H<sub>2</sub>S (gas) 濃度が 30ppm であったのに対し、併用処理では 100mg/l の添加で 30ppm となり、薬注量を 20% に低減できた。また、併用処理におけるポリ鉄添加量を 200mg/l とした場合には、6 時間後の検出濃度は 2ppm となった。

以上の結果から、ポリ鉄+脱気処理の併用により、再生成する H<sub>2</sub>S (gas) を効果的に抑制できることがわかった。

### 3.3.5 コストの検討

汚泥脱気装置（真空旋回流方式）およびポリ鉄添加の 2 つの処理方法について、コスト試算をおこなった。検討に用いた条件を表-3 に示す。

表-3 共通の検討条件

項目	設定条件
年間運転期間	150日(5ヶ月間:6月~10月)
汚泥処理量	1525 m <sup>3</sup> /h(南部スラッジプラント実績)
ポリ鉄添加量	500mg/l <sub>汚泥</sub>
ポリ鉄価格	25 円/kg
1kWh 電気代	10 円
電動機効率	80%

汚泥脱気装置の電動機出力を表-4 に、ポリ鉄添加装置の電動機出力を表-5 に示す。

表-4 汚泥脱気装置の電動機出力(1台あたり)

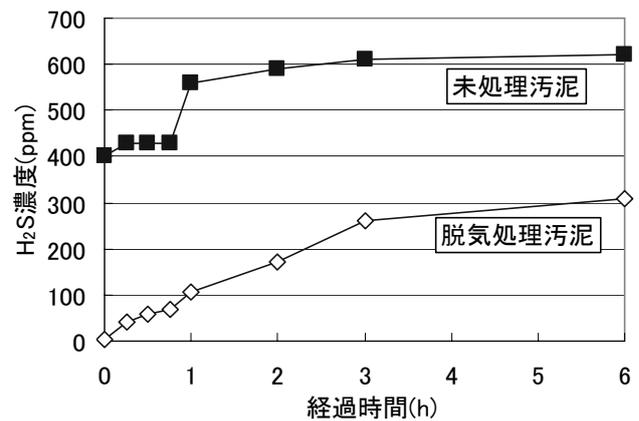


図 10 再生成した H<sub>2</sub>S 濃度の増加

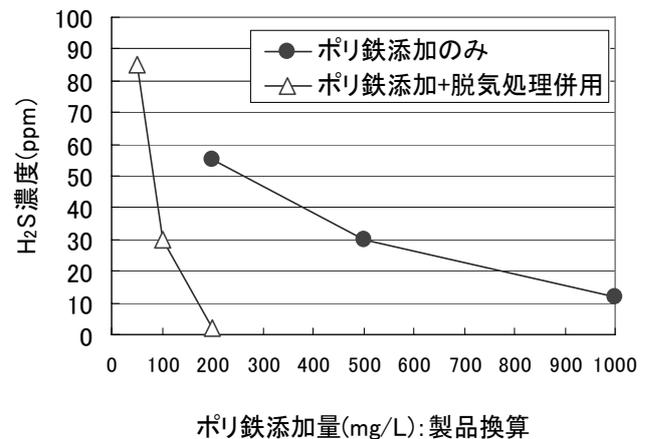


図 11 ポリ鉄添加と脱気処理の併用の効果

構成機器	電動機出力(定格)
分配機(兼攪拌装置)	11kw
真空ポンプ	15kw
供給ポンプ	15kw
排出ポンプ	18.5kw
破碎機	3.7kw
合計	63.2kw

表-5 ポリ鉄添加装置の電動機出力

構成機器	電動機出力(定格)
ポリ鉄注入ポンプ	0.75kw
ポリ鉄希釈装置	0.75kw
合計	1.5kw

試算したコストを表-6に示す。

表-6 コスト検討結果

	汚泥脱気装置	ポリ鉄添加
イニシャルコスト 機器費+建設費	1,200,000,000円*	92,710,000円
消費電カランニングコスト (150日/年)	14,561,280円	64,800円
薬品ランニングコスト (150日/年)	-	68,580,000円
消費電カランニングコスト (15年間)	218,419,200円	972,000円
薬品ランニングコスト (15年間)	-	1,028,700,000円
費用合計(15年間)	1,418,419,200円	1,122,382,000円

\*実績からの概算で算出した

今回のコスト試算について、ポリ鉄添加(注入率 500mg/日)による硫化水素対策に対するコストメリットを見出すことができなかった。

#### 4. まとめ

長距離送泥等により腐敗が進行した汚泥について、受泥側で生じる H<sub>2</sub>S (gas) を効率良く除去することを目的に、既存の汚泥脱気装置に改良を加えて実用化の可否を検討した。この結果、

1. 汚泥脱気装置に内部旋回流機構を付与することで、真空度が低い運転条件(-10

k Pa) においても、 $\text{H}_2\text{S}$  (gas) 除去率を 90% 以上に高めることができた。

2. 今回開発した汚泥脱気装置によって  $\text{H}_2\text{S}$  (gas) を除去した後でも、新たに  $\text{H}_2\text{S}$  (gas) が生成してしまう条件（汚泥の腐敗があまり進行しておらず、 $\text{H}_2\text{S}$  (gas) の生成要因である硫酸根が残留している場合）では、再生成を抑制するために鉄塩添加等の対策との併用が必要となる。汚泥脱気装置による汚泥の沈降性の改善も期待できるが、薬剤添加設備との二重投資となるため、処理コストが増加する。
3. 南部スラッジプラントへの導入を前提にコスト試算をしたところ、汚泥脱気装置の最大処理能力機（ $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ）でも 8 台の設置が必要となり、ポリ鉄添加と比較した場合には、コスト面および設備の設置面積の点での優位性は見出せなかった。

## 5-(1)-3 シアンモニターの改良 ～ 環境検査職の経験を生かして ～

北部第一管理事務所業務課、施設管理部排水設備課

八巻 健司（現東一）、山本 孝幸、橋本 俊一、木下 茂（現東一）、  
石井 健一（現環境局）、野中 時雄（現砂町）

### 1 はじめに

かつて、三河島処理場（当時）において、シアン流入による生物処理の機能低下等の事態が頻発していた（平成元年9月、藍染系流入下水 2mg/L ほか）。そのような経緯から、水再生センターの機能保全対応や事業場排水の監視強化を目的として、平成4年度より当処理区にシアンモニターを導入した結果、現在ではシアン流入件数が大幅に低減し大きな成果を挙げている。

その運用の過程ではさまざまなトラブルが生じ決して順調ではなかったものの、その都度、下水の特性等を熟知した環境検査職が知識や経験、業務に対する責任感で意欲的に対応し、改善してきた。そして、その積み重ねた経験が、今回の当該機器の更新に際して活かされることになった。

ここでは、下水を対象とした場合に既存製品での有害物質測定が困難である背景、及び今日まで当該機器に対する改善の取り組み事例を紹介する。

### 2 下水の水質を常時測定することの困難さ

#### 2. 1 下水道という厳しい環境での測定

下水道管きょ内を流れる下水の水質を測定するためには、次の三段階のプロセスで行われる。

- 1 下水を汲む。
- 2 ごみを取る。
- 3 測定する。

ここに示したプロセスは、下水の水質を測定するためには当然のことであり、あえて確認するまでもないことである。しかし、この常識的で簡単なことが、下水を測定対象とすると意外に難しい。測定不能のほとんどが「下水を汲む」「ごみを取る」プロセスが原因で起きていることからそのことがいえる。

#### 2. 2 汚れに弱い水質測定器

商品化されている多くの測定器は、河川や湖沼などの比較的きれいな環境水を対象としたものであり、スライムの発生など下水の特性に配慮されていない。そのため、商品化されている水質測定器で下水を連続測定すると、数時間の測定で測定不能となることが多い。

#### 2. 3 下水道での経験不足

このように、下水管きょを流れる下水を連続的に測定するには、下水の特性に配慮した測定システムが必要である。しかし、下水を対象とした研究フィールドを持たない測定器メーカーに、この技術を求めるのは難しい。

この技術は、下水道での長い経験がなければ養うことのできない技術である。

### 3 シアンモニターにおいて生じたトラブルの原因

当局では、シアンモニターを導入以降定期保守点検を実施してきたが、当該機器の不調による誤報が少なからず生じていた。

その原因は夾雑物、硫化水素などの測定妨害物質、管内水位変動等下水の特性が引き起こすものと推定された。

既存製品で下水を安定的に測定するためには、下水の特性に起因した測定阻害を極力除去する必要があった。

#### 4 シアンモニターの改善の取り組み事例

本稿では、担当した当局職員が、創意工夫のもと既存製品の改良に取り組んだ事例を紹介する。シアンモニターの基本フロー及び主な改良箇所を、図1に示す。

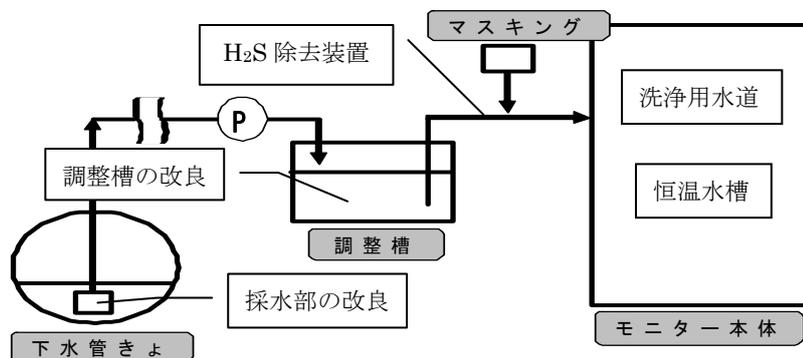


図1 シアンモニター基本フロー及び主な改良箇所

##### 4. 1 採水部の改良 (図2)

###### 4. 1. 1 試料採取の考え方

試料を確実に採取することを第一に考え、以下の点に留意した。

- ・ 管内水位の変動があっても、確実に採水ができること。
- ・ ゴミなどで吸引口が閉塞しないこと。
- ・ 管内に堆積している汚泥を吸い込まないこと。

###### 4. 1. 2 具体的な対応

- ・ 吸引口を塩ビ管でカバーした。
- ・ 管内水位が大きく変動しても採水できるように、ペットボトル (500ml) を浮子に使い、吸引口を常に水面下の一定位置(40cm)に保持した。
- ・ 塩ビ管内へのゴミの侵入を防止するため、下流側から下水が入るよう塩ビ管の下端を一部切欠するとともに、塩ビ管下流側にフィンを設け、一定方向を保持するようにした。

この結果、夾雑物や堆積汚泥の吸い込みによる吸引口の閉塞は改善し、安定した採水を確保することができた。

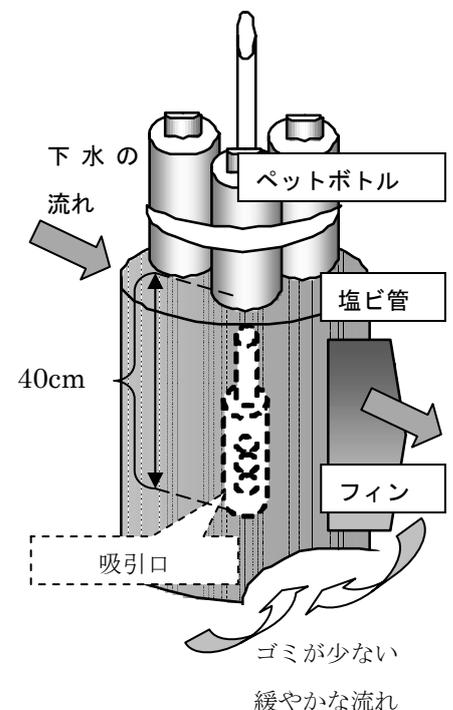


図2 採水部の改良

## 4. 2 調整槽の改良 (図3)

### 4. 2. 1 調整槽におけるゴミ除去の考え方

採水部の次の工程である調整槽では、測定の障害となっていた夾雑物の影響を極力低減することに留意した。

- ・ 浮くゴミは上澄みとともに越流させ、沈むゴミは沈殿させドレインとして排泥する。
- ・ 中間層から試料採取し、細かなゴミはろ過で除去する。

### 4. 2. 2 具体的な対応

- ・ 調整槽の表面 (上層) に大きな強い流れを作り、下水に含まれたゴミを上澄水の流れに乗せて排水する。流量は、越流せきの長さで調節する (全体量の 2/3 が越流する)
- ・ 調整槽の底部に堆積した汚泥は、定期的に電磁弁を開閉して底部から排泥し、調整槽内での下水の腐敗を防ぐ。
- ・ 調整槽の中間層からゴミが混入しないよう、測定検体を採取する部分を囲う。
- ・ 測定器へ吸引する直前で、下水に含まれた微細なゴミを、目の細かい網でろ過し除去する。

この結果、ゴミの吸い込みによる吸引チューブの閉塞及び本体への影響は大幅に改善された。

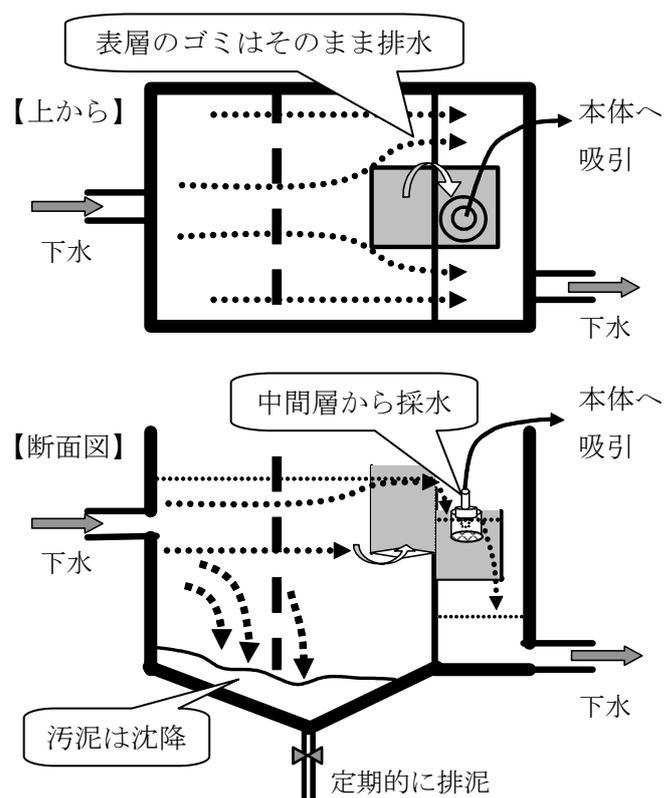


図3 調整槽の改良

## 4. 3 その他の改善点

### 4. 3. 1 洗浄用水道水の改善

モニター本体の逆洗用水道管が、離れた場所から配管されていた。このため、配管内の滞留により生じる水道水の汚れ (鉄サビ) がモニター本体内で閉塞を引き起こしていた。

- ・ 機器洗浄用水道水を定期的に排水 (5分/2時間毎) するよう改良した (図4)。

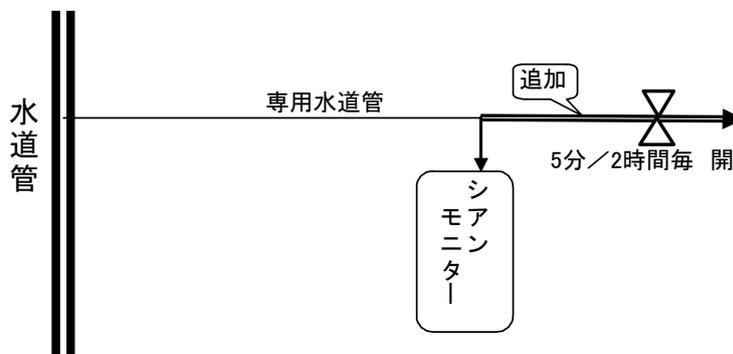


図4 洗浄用水道水の改良

この結果、水道水の汚れによる閉塞が改善され、逆洗が円滑に行われるようになった。

#### 4. 3. 2 硫化水素除去装置の追加（図5、6：メーカー提供データより）

硫化水素による測定阻害を防ぐため、マスキング剤（硫酸銅）を加えて硫化物を除去していたが、シアンも一定割合でマスキングされてしまうことから、マスキング法以外の新たな硫化水素除去対策が必要であった。そこで、硫化水素（ $-60.7^{\circ}\text{C}$ ）とシアン化水素（ $25.7^{\circ}\text{C}$ ：常温付近）の沸点の違いを利用し、下水を冷却・攪拌することにより硫化水素を選択的に除去する装置を追加設置した。このことによって、マスキング不足による誤報の発生が解消された。

図5は、中性域において温度を変化（ $40^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C}$ 、 $5^{\circ}\text{C}$ ）させ、シアン濃度の時間変化を測定した結果である。

温度が高いほどシアンの減少が速く、 $40^{\circ}\text{C}$ では1時間ほどでほぼなくなってしまったのに対し、 $5^{\circ}\text{C}$ では2時間後でも、1/2近くが残留していた。

図6は、 $10\text{mg/L}$  シアン及び  $10\text{mg/L}$  硫化物を含む溶液を低温（ $5^{\circ}\text{C}$ ）環境下に配し、 $1\text{L/min}$ の清浄空気中で曝気して気相中ガス濃度を測定した結果（酸性域）である。

$\text{H}_2\text{S}$ は短時間で除去され、HCNは長時間残存することが確認された（中性域での実験結果もほぼ同様の結果が得られた）。

#### 4. 3. 3 反応部に恒温水槽を使用

気相に比べて液相の方が温度変化が少ないことに着目し、一定温度である恒温水槽の中で反応させるよう改良したところ、指示値（特にベースライン）が安定して得られるようになった。

## 5 おわりに

シアンモニターはシアン流入件数の低減に大きく貢献しているが、同時に年間150回を超える機器不調による誤報が発生しており、対応が強く望まれていた。担当職員の経験に裏打ちされた創意工夫により、機器更新後は安定した稼動状況を確認し、大きなトラブルは生じていない。

ここで紹介した技術は地味ではあるが、下水水質の測定に有効であり、広く応用可能なものと考えている。

今後も、当該機器の運用にあたって、われわれ環境検査職のノウハウを活かしながら、より円滑な監視体制の構築を図っていく。

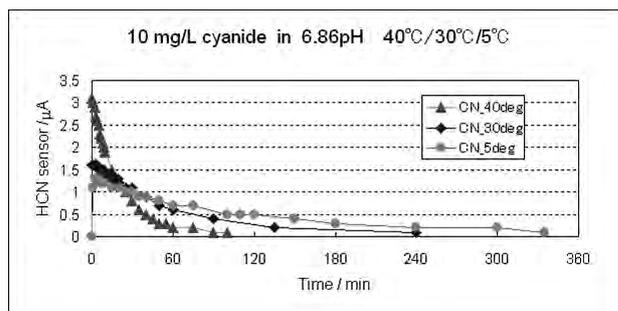


図5 各温度におけるシアン残存状態の経時変化

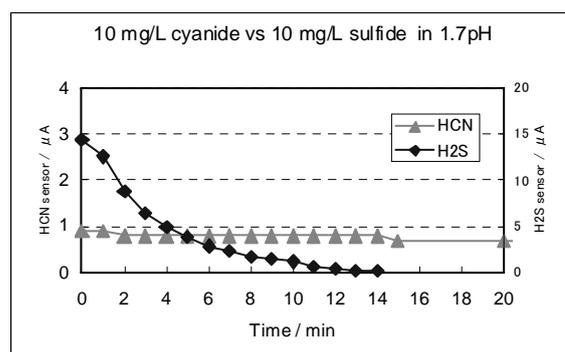


図6 低温( $5^{\circ}\text{C}$ )環境下におけるHCNと $\text{H}_2\text{S}$ の残存状態（酸性域）

## 5-(1)-4 ICP質量分析法を用いた水銀測定の可能性について

施設管理部環境管理課 伊藤喜代志

### 1. はじめに

当局では、下水道施設の維持及び公共用水域の環境保全等に資するため、1万箇所を超える届出事業場のうち、監視が必要となる事業場への立入検査を行い、排水指導を行っている。しかし、そのような状況の中でも、排水処理施設の不備や事故などにより、事業場から下水道に有害物質が流入することがある。

このような水質事故が発生した場合には、被害を最小限に抑えるために迅速な対応を執る必要があり、その一環として有害物質濃度の把握が急務となる。これまでも、環境管理課では水質事故発生時に緊急的に搬入された試料について、迅速に分析結果を得られるように、シアンやふっ素の自動分析装置の検討・導入<sup>1)</sup>及びICP質量分析法(以下、ICP-MSとする)を活用したヒ素やセレンなどの重金属類の一斉分析<sup>2)</sup>などの分析時間短縮化への取組を進めてきた。

今回、有害性が非常に高く、公定法では煩雑な操作が必要で迅速に分析結果を得ることが難しい水銀について、ICP-MSを活用した迅速な分析方法を検討したので、結果を報告する。

### 2. 検討内容及び結果

#### 2.1 分析方法の設定

##### 2.1.1 還元気化原子吸光光度法の概要

公定法による水銀分析のフローは図1のとおりであり、煩雑な操作を要するため、分析結果が得られるまで、全体で4時間程度かかる。

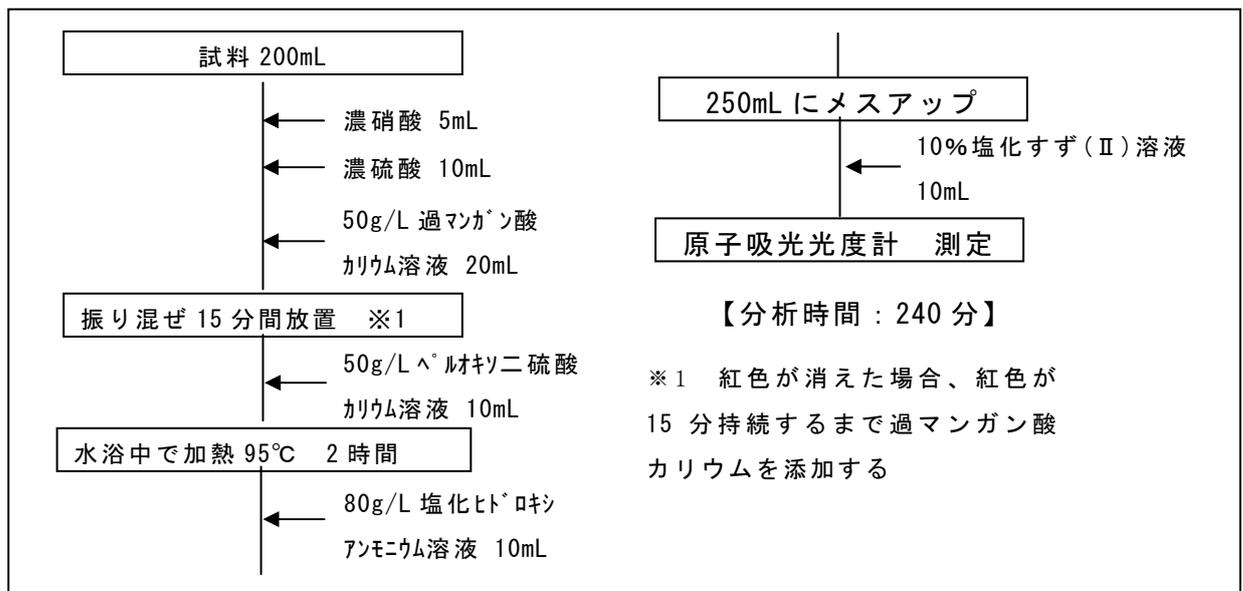


図1 還元気化原子吸光法分析フロー

## 2.1.2 ICP-MS分析条件の検討

水銀分析に関する公定法は、煩雑な操作を要するが、感度・精度は良いと言われている方法である。一方、今回、分析条件を検討したICP-MSはカドミウムや鉛などの重金属を対象としているため水銀分析には用いられないものの、図2に示したとおり、公定法と比べると操作工程が少なく、短時間で分析できる利点を持つ。そこで、水銀についても重金属と同様にICP-MSを利用して迅速な分析が行えるよう、(1) ICP-MSへの試料導入条件と(2) 試料の前処理条件、について検討を行った。

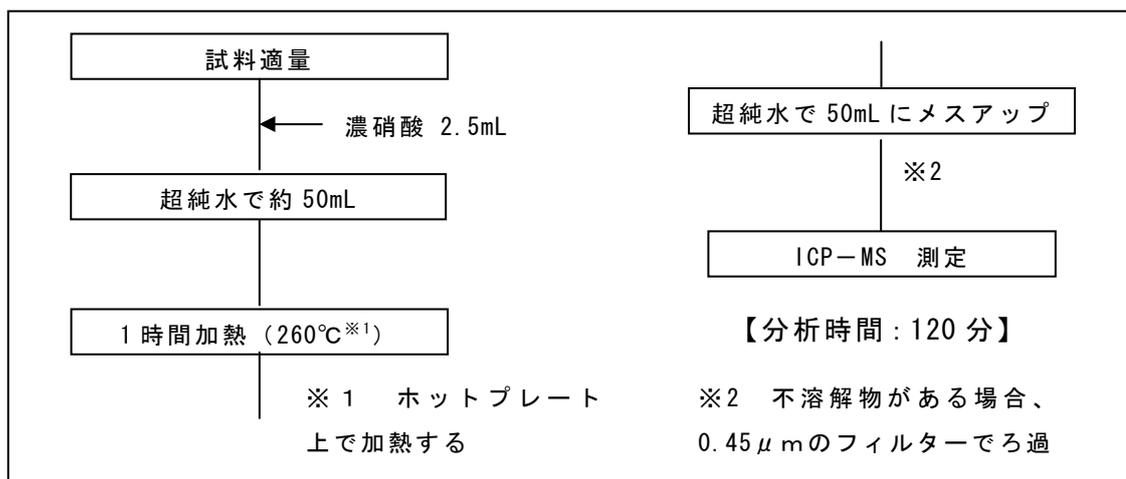


図2 ICP-MS法による重金属分析フロー

### (1) ICP-MSへの試料導入条件の検討

機器分析において自動連続測定を行う場合、分析機器に試料を導入したあとに試料がオートサンプラー中に残留しないよう、一定の洗浄時間を設けている。

水銀の場合、様々な物質に対して高い吸着性を持つといわれていることから、オートサンプラー内に水銀が残留することで、分析再現性の低下（メモリー効果）が生じる可能性が高い。そこで、水銀のICP-MSへのメモリー効果を軽減できるよう、オートサンプラーの洗浄時間について検討を行った。

#### 1) 方法

ICP-MSに付属されているオートサンプラーの洗浄時間を35秒（重金属分析の条件）、45秒、70秒の3段階に変化させた。下水排除基準の4倍相当である $20\mu\text{g/L}$ 溶液を測定後、ブランク（超純水）を測定した。この操作を5回繰り返して測定し、残存する水銀濃度を確認した。

#### 2) 結果

結果を図3に示す。洗浄時間35秒で、メモリーとして $4.5\mu\text{g/L}$ （添加濃度に対して約20%）、洗浄時間を45秒に延ばすとメモリーは $0.61\mu\text{g/L}$ （約3%）であった。これに対し、70秒では $0.24\mu\text{g/L}$ （約1%）となり、下水排除基準値（ $5\mu\text{g/L}$ ）の1/10以下まで低減できた。そこで、洗浄時間を70秒と設定することにした。

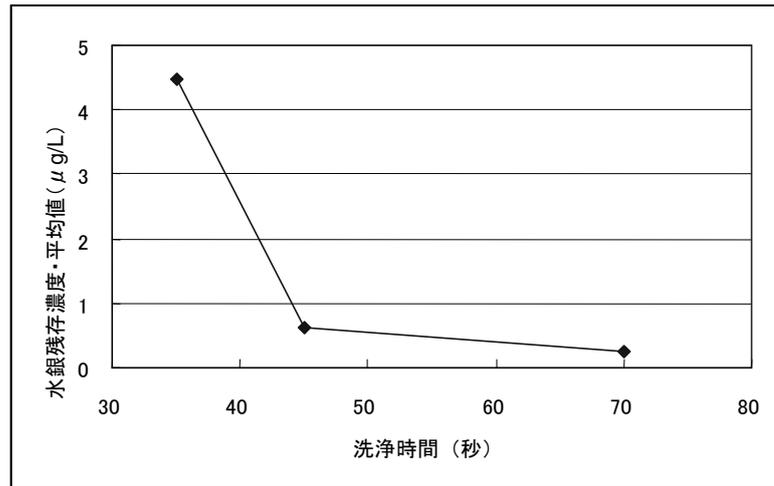


図3 オートサンプラー洗浄時間による水銀残留濃度の変化

(2) 試料の前処理条件の検討

ICP-MSで測定を行う場合、図2に示したとおり、試料を酸で加熱分解して水中に金属を溶解させる必要がある。ここでは、水銀分析時の加熱分解に使用する酸として、硝酸及び塩酸を用い、回収率及び変動係数の比較検討を行った。なお、加熱分解時の設定温度については、水銀が揮散しやすい金属であることを考慮して、重金属分析における設定温度である260℃よりも低い200℃に設定した。

1) 方法

超純水 50mL に水銀標準液を添加し、5.0 μg/L の溶液を調製した。この溶液に硝酸あるいは塩酸を 2.5mL 加えた。200℃で1時間加熱分解をした後、ICP-MSで5回繰り返し測定を行い、平均値をとった。

2) 結果

表1に試験結果を示す。硝酸を使用した場合、回収率は36%しか得られなかった。これに対し、塩酸の場合には、回収率101%と良好な結果が得られた。そこで、加熱処理に使用する酸としては、塩酸を用いることとした。

表1 酸の違いによる変動係数と回収率

	添加濃度 5.0(μg/L)		
	平均値(μg/L)	変動係数(%)	回収率(%)
硝酸	1.8	27	36
塩酸	5.0	3.1	101

(3) 分析条件の決定

以上の結果から、水銀については、測定条件を表2のとおりを設定した。また、分析フローについては図4のとおりとした。

表 2 ICP-MS測定条件

	重金属	水銀
加熱処理に使用する酸	硝酸	塩酸
ホットプレート設定温度	260℃	200℃
オートサンプラー洗浄時間	35 秒	70 秒

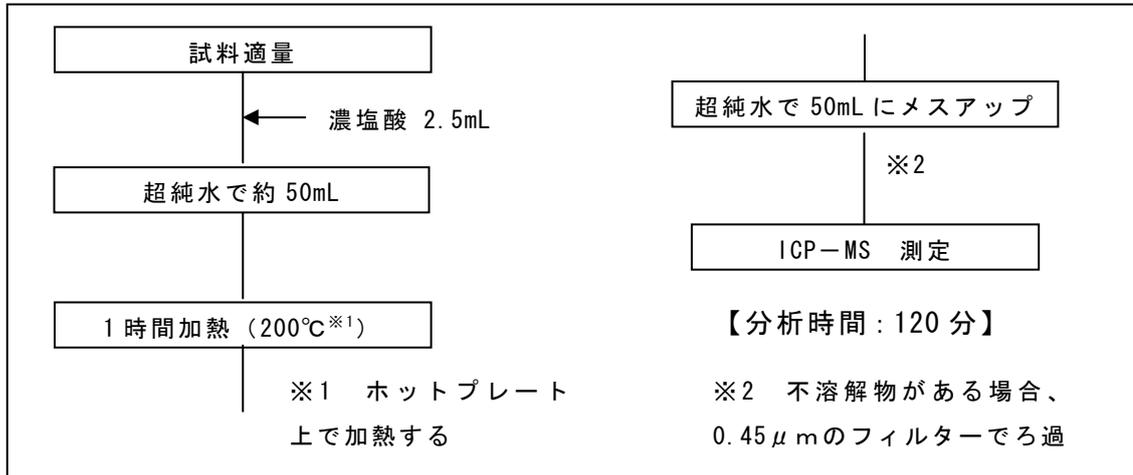


図 4 ICP-MSによる水銀分析フロー

## 2. 2 添加回収実験

### 2.2.1 超純水への添加回収実験

先に確立した分析条件で超純水の添加回収実験を行った。

#### 1)方法

超純水 50mL に水銀標準液を添加し、0.5、1.0、2.0、5.0 μg/L の溶液を調製した。これらの溶液に塩酸 2.5mL を加え、200℃のホットプレート上で加熱処理し、ICP-MS で 5 回繰り返し測定を行い、平均値をとった。

#### 2)結果

図 5 に結果を示す。回収率は、0.5 μg/L で 75%と低かったが、1.0~5.0 μg/L で 98~101%と良好な結果が得られた。また、各設定濃度における変動係数も 2%程度以下であり、ほとんどばらつきは見られなかった。平均値は、1.0 μg/L 以上の設定濃度に対して 0.99 倍であり、相関性も高いことが確認された。この結果から、ICP-MS による水銀分析の定量下限値は 1.0 μg/L と設定でき、下水排除基準値である 5.0 μg/L が測定可能であることがわかった。

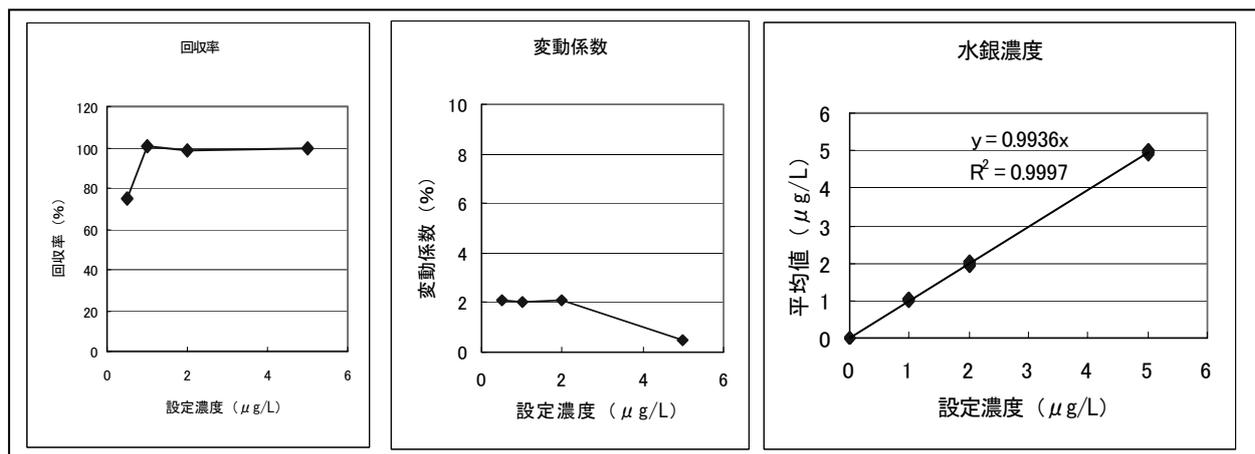


図5 超純水への添加実験結果

### 2.2.2 流入下水への添加回収実験

超純水への添加回収実験結果を踏まえて、水再生センター流入水（小菅、森ヶ崎、中野）へ水銀標準液を添加し、水銀の回収率の確認を行った。なお、実験に用いた流入水は、あらかじめ水銀が検出されないことを確認している。

#### 1) 方法

水再生センター流入水 50mL に水銀標準液を添加し、1.0、2.0、5.0 μg/L 溶液を調製した。これに塩酸 2.5mL を加え、200℃のホットプレート上で加熱処理し、ICP-MSで各濃度について5回繰り返し測定を行い、平均値をとった。

#### 2) 結果

結果を図6に示す。回収率は、小菅 58～68%、森ヶ崎 54～71%、中野 75～93% となった。これは、有機物質等の影響により測定時に妨害が起きているものと考えられる。この点については、更に調査する必要があると思われる。また、変動係数については、各試料ともに 10%程度と良好であった。しかし、小菅、森ヶ崎及び中野水再生センター流入下水は、平均値が設定値を下回る傾向にあり、それぞれ 0.66、0.69、0.91 倍となったが、いずれについても高い直線性と相関性を示していることから標準添加法により 1.0 μg/L 以上の水銀分析が可能であると考えられた。

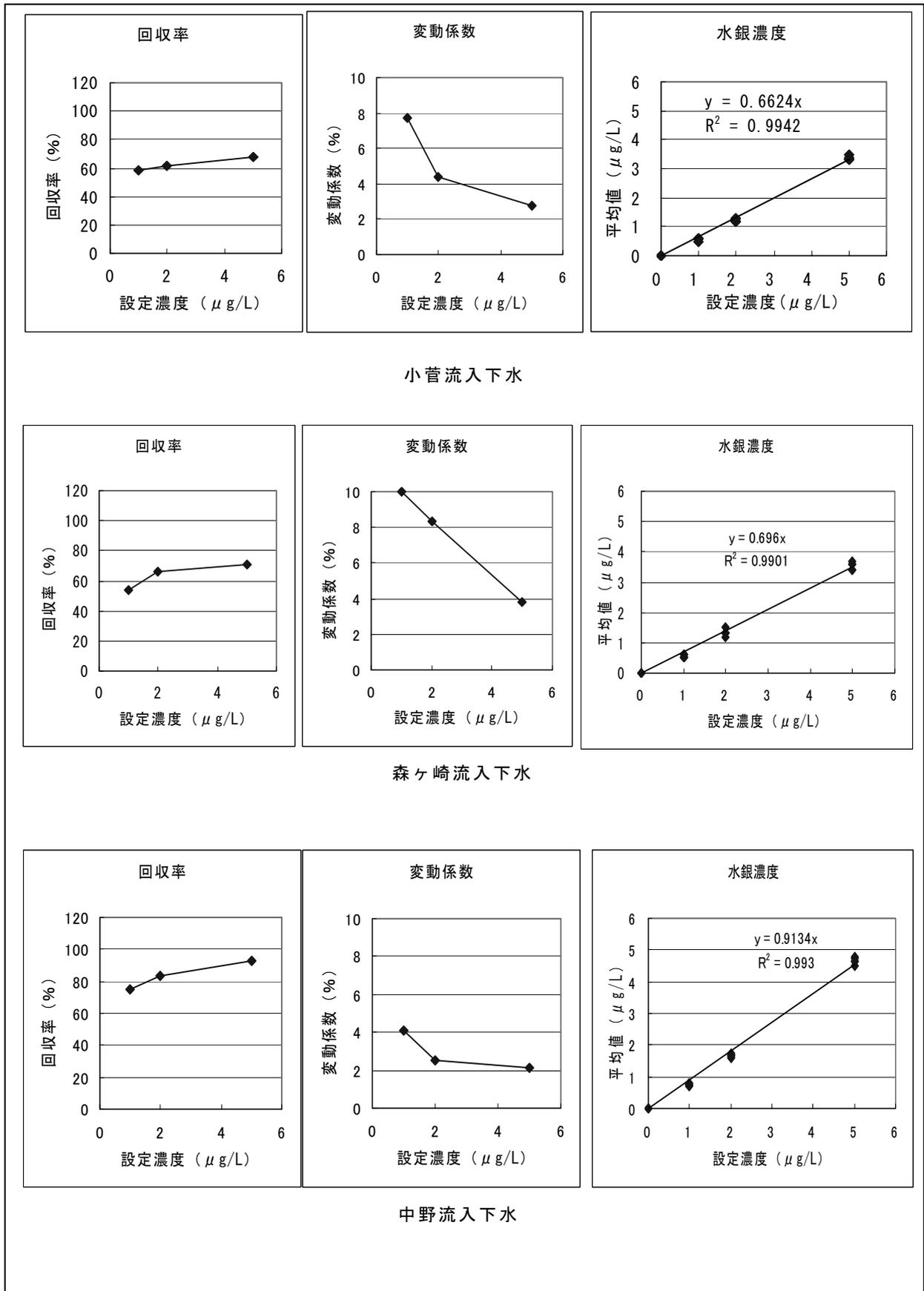


図 6 流入下水への添加回収実験

### 3. まとめ

ICP-MSを用いた水銀測定の可能性について検討を行ったところ、以下のことがわかった。

- ① ICP-MSによる重金属の分析手順を応用し、水銀測定の手法を確立した。本法での定量下限値は、 $1.0\mu\text{g/L}$ であった。
- ② 流入下水を用いた添加回収実験の結果、回収率は50～90%程度であるが、設定濃度と平均値との回帰式には高い直線性と相関性が認められることから、標準添加によるICP-MSで、 $1.0\sim 5.0\mu\text{g/L}$ まで対応が可能であると考えられる。回収率が変動する原因として有機物質等の影響が考えられるため、更に調査する必要がある。
- ③ 分析時間は、公定法では約240分を要するが、標準添加によるICP-MSにより半分の約120分に時間の短縮化が可能である。
- ④ 工場排水に対する適用可能性については、別途検討する必要がある。

#### 参考文献

(1) 相馬ら：ふっ素分析用オートアナライザーによる事業所排水分析業務の効率化、東京都下水道局技術調査年報2006、

<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/gijyutou/gn18/nenpou2006/4-2-5.pdf>

(2) 伊藤ら：ICP質量分析法によるひ素、セレン測定効率化、平成18年度 東京都下水道局水質技術研究発表会論文集、平成18年11月、p15～17

## 5-(1)-5 FISH法を用いた硝化細菌の検出

研究担当者；施設管理部 環境管理課 石田 宏一  
村山 康樹  
西田 実  
河野 里名  
田口 政男

### 1. はじめに

東京都下水道局では、放流先水域への環境負荷を軽減するため、水再生センターにおいて硝化促進運転の実施を進めているが、冬季の低水温期などには硝化が進行しにくく不安定な処理状況となる場合がある。このような状況は、亜硝酸性窒素の蓄積に伴う処理水質の悪化や、温室効果ガスである一酸化二窒素（ $N_2O$ ）の多量発生などにつながるため、その対策・防止が大きな課題となっている。

硝化は、アンモニア性窒素（ $NH_4-N$ ）が硝化細菌（アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌）の働きにより、亜硝酸性窒素（ $NO_2-N$ ）を経て硝酸性窒素（ $NO_3-N$ ）へと酸化される反応であり、安定した運転管理を行うためには、硝化細菌の存在量や活性などの挙動を把握することが重要である。硝化細菌の定量法として、下水試験方法には「培養による定量法」と「抗体法による定量法」の2つが記載されている<sup>1)</sup>。しかし、「培養による定量法」は、操作が煩雑な上に結果が得られるまでに1ヶ月以上を要するため、測定結果を実処理施設の運転管理に反映させることは困難である。また、迅速・簡便な測定法として開発された「抗体法による定量法」にも、生菌と死菌の区別ができず、最低検出数が高い（ $10^5 \sim 10^6$  cells/mL程度）などの欠点がある。

一方で近年、PCR法やFISH法などの分子生物学的手法を用いた環境微生物の検出、解析が広く行われるようになってきた。これらの方法では、目的微生物に特異的な遺伝子を識別するため、選択性の高い検出が可能である。しかし、その操作には分子生物学に対する専門的な技術や機器が要求されるため、下水処理の現場で利用することは難しかった。

今回、市販の硝化細菌検出キット「Nitri-VIT」（Vermicon社）を用いて、FISH法による硝化細菌の検出について検討を行った。本稿では、同キットによる硝化細菌の検出方法、及び低水温期の実処理施設における硝化細菌の存在状況について報告する。

### 2. 「Nitri-VIT」による硝化細菌の検出方法

#### 2. 1 FISH法による細菌検出の原理

FISH（**f**luorescence **i**n **s**itu **h**ybridization）法は、蛍光物質で標識した核酸の小断片（プローブ）を、組織や細胞内において標的とする遺伝物質（DNAやRNA）と特異的に結合（ハイブリダイズ）させ、蛍光顕微鏡で観察することで分布や量を検出する手法である。細菌を検出する場合、目的とする細菌に特徴的な遺伝子塩基配列に対応するプローブを用いることで、対象の細菌のみを選択的に検出することができる。また、核酸の抽出を行わず、試料をスライドガラスに固定した状態で検出できるため、活性汚泥の状態やフロック中での分布状況などに関連付けた解析が可能である。

## 2. 2 キットの構成、特徴

「Nitri-VIT」のキット内容は、点眼ビン入り試薬(A液、B<sub>2</sub>液、C<sub>2</sub>液、D<sub>1</sub>液、VIT液、Positive Control液、Negative Control液、Finisher液)、反応容器、3ウェル(穴)スライドグラスである。(図1)

本キットの主な特徴は以下のとおりである。

- 検出対象は、アンモニア酸化細菌3属(*Nitrospira* 属、*Nitrosomonas* 属、*Nitrosococcus* 属)と、亜硝酸酸化細菌2属(*Nitrobacter* 属、*Nitrospira* 属)。
- アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌を、一度の操作で区別して検出することが可能。(アンモニア酸化細菌は赤色、亜硝酸酸化細菌は緑色の蛍光で標識される)
- 乾燥器(ふらん器)と蛍光顕微鏡以外に、特別な機器を必要としない。
- 4時間程度と短時間の操作で結果を得られる。
- キットの価格は、1検体あたり6000円程度。
- 試薬の保存期限は、常温暗所で6ヶ月以上。

## 2. 3 操作手順

本キットの操作手順は、以下のとおりである。

### (1)試料の固定

スライド上の3箇所のウェル(“-”ウェル、“+”ウェル、“VIT”ウェル)に活性汚泥試料を10 $\mu$ Lずつ滴下し、46 $^{\circ}$ Cで乾燥させる。乾燥後、各ウェルにA液を一滴ずつ滴下し、46 $^{\circ}$ Cで乾燥させる。さらにB<sub>2</sub>液についても同様の操作を行う。

### (2)ハイブリダイゼーション

“-”ウェルに Negative Control (どの細菌も標識しない)、“+”ウェルに Positive Control 液(全ての真正細菌と結合、標識する)、“VIT”ウェルに VIT 液(アンモニア酸化細菌及び亜硝酸酸化細菌と結合、標識する)を、それぞれ1滴ずつ滴下する。その後、C<sub>2</sub>液を15滴滴下した反応容器にスライドを入れ、雰囲気中で46 $^{\circ}$ C 90分間静置し、ハイブリダイゼーションを行う。

### (3)未反応プローブの洗浄

洗浄液(D<sub>1</sub>液を蒸留水で10倍に希釈)にスライドを浸し、穏やかに攪拌した後46 $^{\circ}$ Cで15分間静置する。蒸留水ですすいだ後、暗所で乾燥させる。

### (4)検鏡

スライドに Finisher 液を滴下してカバーガラスをかけ、蛍光顕微鏡で観察を行う。“VIT”ウェルにおいて、アンモニア酸化細菌は G 励起光下で赤色、亜硝酸酸化細菌は B 励起光下で緑色の蛍光を発光する。“-”ウェルと“+”ウェルの染色状況と比較することで、試験操作が正常に行われた事を確認できる。

## 2. 4 細菌の存在量の評価方法

FISH 法による細菌の検出では、顕微鏡下での目視計数や画像解析などにより細菌数の定量を行うことが可能であるが、活性汚泥の様な夾雑物の多い試料の場合、厳密な定量を行うのは困難である。今回の調査では、1視野あたりの硝化細菌の検出状況を1点(非常に少ない)~5点(非常に多い)の5段階に分類し、ウェル全体(15~20視野程度)の平均点を求めることで、試料中の硝化細菌の存在量を評価する手法を採用した。



図1 硝化細菌検出キット「Nitri-VIT」

### 3. 実施設における調査

#### 3. 1 調査概要

平成19年2月～3月（低水温期）に、7水再生センター（9系列）の反応タンク末端で採取した活性汚泥混合液を試料として、「Nitri-VIT」による硝化細菌の検出を試みた。調査当日の各系列反応タンク末端の無機性窒素の存在割合は図2のとおりであり、硝化反応の進行状況から、下記の3グループに分類できる。

- (1) 硝化進行系列（NO<sub>3</sub>-N の割合が85%以上：①～③）
- (2) 亜硝酸化系列（NO<sub>2</sub>-N の割合が20%以上かつ4.0mg/L以上：④～⑥）
- (3) 硝化停止系列（NH<sub>4</sub>-N の割合が85%以上：⑦～⑨）

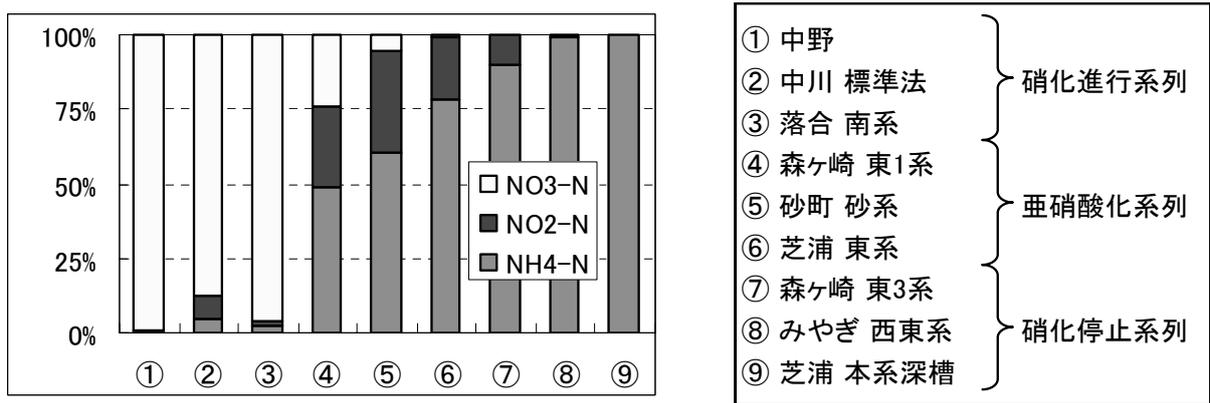


図2 各系列の硝化状況（反応タンク末端における無機性窒素の割合）

#### 3. 2 検出結果

##### 3. 2. 1 菌の分布状況

今回の調査では、OLYMPUS 落射式顕微鏡 BX51（蛍光フィルター：U-MWIB2 [B 励起]、U-MWG2 [G 励起]）及び BX60（蛍光フィルター：U-MNIBA [B 励起]、U-MWIG [G 励起]）を使用し、倍率200倍で観察を行った。各グループの代表的な検出状況を図3に示す。

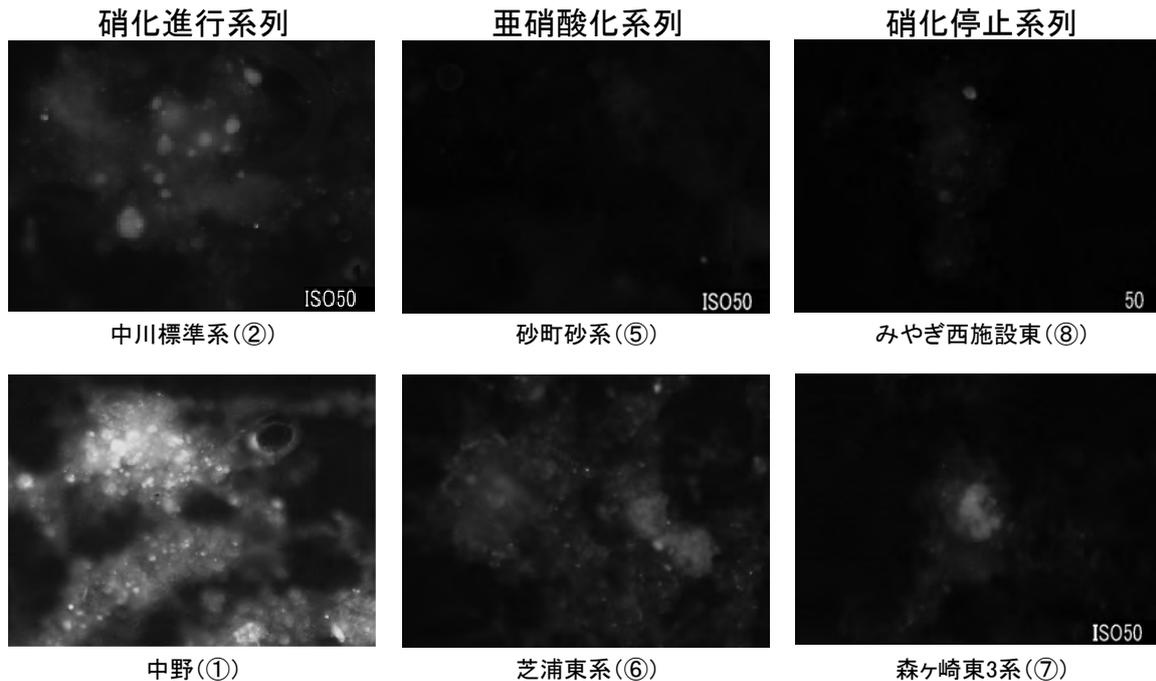


図3 アンモニア酸化細菌（上段）と亜硝酸酸化細菌（下段）の検出状況

ぼんやりと見える雲状の部分は活性汚泥であり、強く発光している丸い粒子が硝化細菌である。アンモニア酸化細菌は赤色に、亜硝酸酸化細菌は緑色に発光している。硝化進行系列(左列)では、多数のアンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌が検出されたのに対して、亜硝酸化系列(中列)と硝化停止系列(右列)では、アンモニア酸化細菌・亜硝酸酸化細菌ともにほとんど検出されなかった。

活性汚泥中での硝化細菌の分布状況は、複数の菌が集中して存在している場合や、広範囲に点在している場合など試料によって様々であったが、硝化進行系列では、安定した活性汚泥フロックが形成され、アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌が互いに近接して集積する傾向があった。一方、亜硝酸化系列と硝化停止系列では、活性汚泥フロックが小さく、硝化細菌も点在していることが多かった。

図4は、特に安定して完全硝化していた中野(図2参照)の検鏡例である。一つの大きなフロックの中に多数のアンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌が重なり合うように近接して存在していることが確認できる。

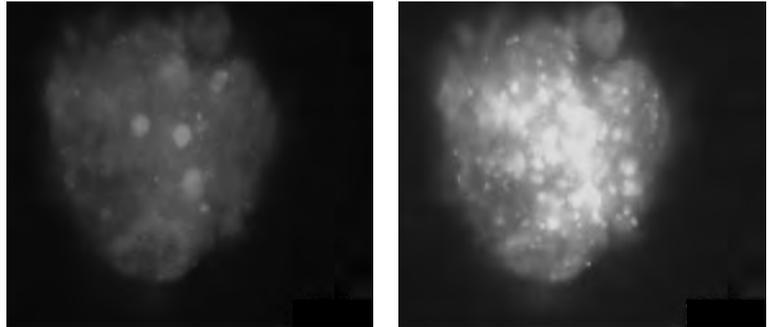


図4 硝化細菌の集積:同一視野におけるアンモニア酸化細菌(左)と亜硝酸酸化細菌(右)

このように、硝化細菌の活性汚泥中での分布状況や、アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌の位置関係などが観察できるのは、FISH法の大きな利点である。今後は、これらの点についても調査を行い、硝化反応の安定性との関係を検証していく予定である。

### 3. 2. 2 硝化細菌存在量の評価

各系列の硝化細菌の存在量について、2. 4で述べた方法で評価した結果を図5に示す。

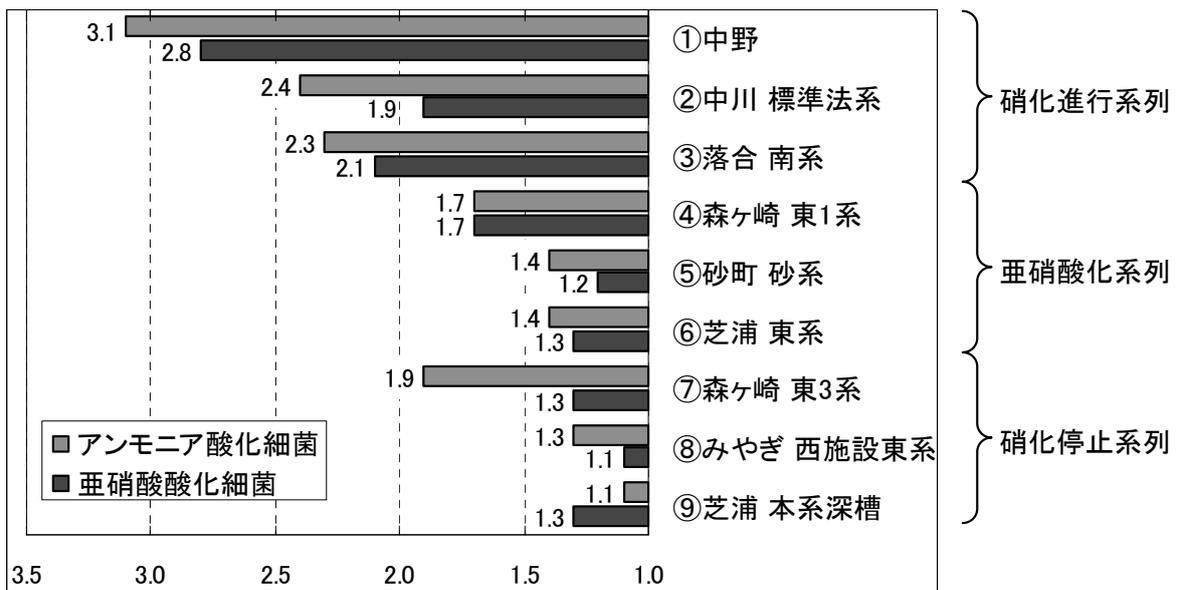


図5 各系列の硝化細菌存在量の評価結果

硝化進行系列（①～③）では、アンモニア酸化細菌が平均2.6点（2.3～3.1）、亜硝酸酸化細菌が平均2.3点（1.9～2.8）といずれも高い点数となり、多数の硝化細菌が存在していることが確認された。これに対して、亜硝酸化系列のうち、硝酸化が比較的進行（図2参照）していた森ヶ崎東1系（④）では、アンモニア酸化細菌・亜硝酸酸化細菌ともに1.7点と中程度の存在量であり、それ以外の亜硝酸化系列・硝化停止系列（⑤～⑨）では、アンモニア酸化細菌が平均1.4点（1.1～1.9）、亜硝酸酸化細菌が平均1.2点（1.1～1.3）と硝化細菌がほとんど検出されなかった。アンモニア酸化細菌・亜硝酸酸化細菌の評価点は、反応タンク末端におけるNO<sub>3</sub>-Nの存在割合との間でそれぞれ相関係数r=0.90程度と高い相関を示す一方で、NO<sub>2</sub>-Nの存在割合との相関は見られなかった。

なお、森ヶ崎東3系（⑦）では、アンモニア酸化細菌が1.9点、亜硝酸酸化細菌が1.3点と両者の存在量に大きな差が見られた。同系列は、反応タンク末端にNO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nがほとんど存在しないが反応槽前後での窒素除去率は高い系列であり、亜硝酸型の脱窒反応が活発に起きている可能性がある。亜硝酸酸化細菌がほとんど存在せずアンモニア酸化細菌のみが多く検出されたことは、この反応に関係していると考えられ今後の調査の中で検証していきたい。

#### 4. まとめと今後の課題

今回の調査の結果、以下のことが確認された。

- (1) FISH法によるキット「Nitri-VIT」により、簡便かつ迅速に硝化細菌を検出できる。
- (2) 同キットを用いることで、活性汚泥中の硝化細菌分布状況が視認できる。
- (3) 同キットによる硝化細菌の定量は困難だが、存在量を5段階評価する手法により菌数の大小は比較可能である。
- (4) 硝化反応の進行状況と硝化細菌の存在量との間には相関がある。

今後は、高水温期から低水温期にかけて、硝化細菌の存在量や分布状況を経時的に調査することで、硝化細菌の検出状況の変化や、机上試験による硝化反応速度との関係などについてデータを収集し、完全硝化の停滞や亜硝酸性窒素蓄積の事前把握など、同キットの有効な活用法を検討していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 下水試験方法 上巻 -1997年版-、日本下水道協会、平成9年8月25日、pp608-613

## 5-(1)-6 硝化活性の測定

中部管理事務所 芝浦水再生センター 水質管理係  
相馬英雄 石井英俊

### 1. はじめに

反応タンクの硝化活性を知ることは、窒素処理を行うために重要なことである。従来より、硝化活性を推定するものとして、硝化細菌数を計測する方法が知られている。しかし、測定に時間がかかる、菌数と実際の硝化の進行状況が一致しない例があるなど、いくつかの問題点も指摘されている。

硝化活性を推定するもうひとつの方法として、 $R_r$ （酸素利用速度）を利用するものがある。 $R_r$ の測定時にATU（アシルチオ尿素）を添加し、ATU添加 $R_r$ と無添加 $R_r$ を測定することで、硝化細菌が消費した酸素から硝化活性を推定しようというものである。しかし、このままではアンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌の酸素消費を区別することができない。反応タンクの硝化が亜硝酸で止まってしまうような状態の時など、亜硝酸酸化細菌の活性のみを調べたいと思った場合でも、今のままではそれができない。

今回、 $R_r$ の測定時において若干の工夫をすることで、それぞれの菌の活性を分けて測定できる可能性を見出すことができたので、ここに報告する。

### 2. 測定方法の概要

今回考案した $R_r$ 測定方法の概要を以下に示す。

- ① A回路中間地点から採水する
  - ② 採水した試料を3つに分ける
  - ③ 1本目はそのまま $R_r$ を測定する
  - ④ 2本目はATUを10mg/Lになるように添加し、 $R_r$ を測定する
  - ⑤ 3本目はATUと $NO_2-N$ 標準液をそれぞれ10mg/Lになるように添加し、 $R_r$ を測定する
- 硝化と $R_r$ の関係を図1に示す。なお、ここでは内生呼吸の酸素消費とBOD酸化の酸素消費の

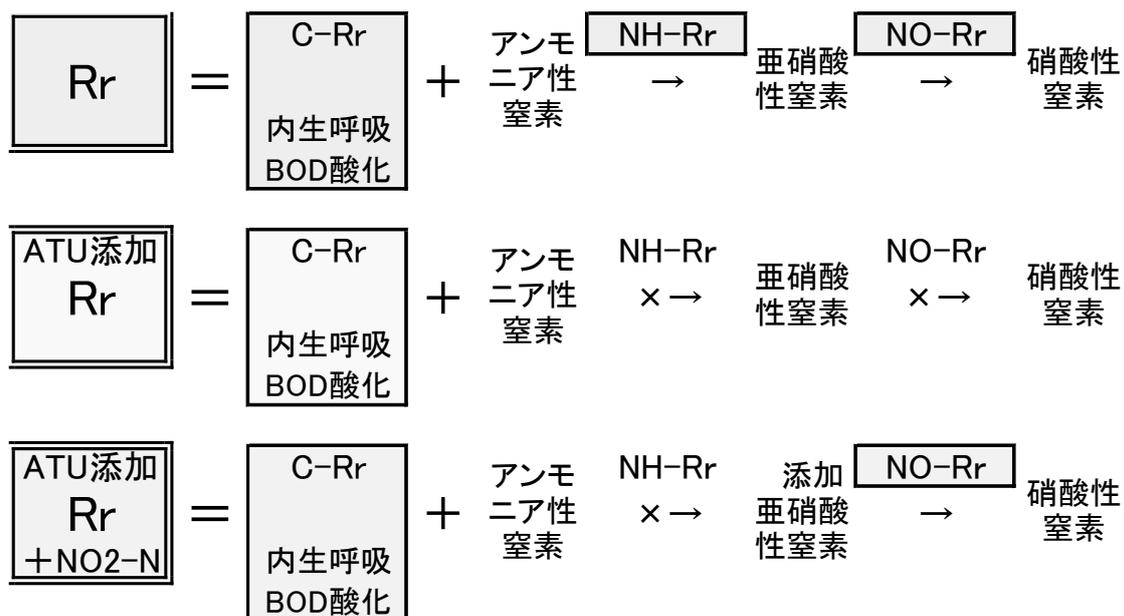


図1 硝化と $R_r$ の関係

合計を「C-Rr」、アンモニア酸化細菌の働きである  $\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N}$  の酸素消費を「NH-Rr」、亜硝酸酸化細菌の働きである  $\text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$  の酸素消費を「NO-Rr」と呼ぶことにする。

ATU 添加はアンモニア酸化細菌のみを阻害し、亜硝酸酸化細菌は阻害しないと考えている。もしそうであれば、ATU 添加時に  $\text{NO}_2\text{-N}$  を添加すると  $\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N}$  の反応は進まず、 $\text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$  の反応のみが進むはずである。すなわち、ATU 添加と  $\text{NO}_2\text{-N}$  添加を組み合わせることで、 $\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N}$  と  $\text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$  の酸素消費を別々に測定することができる。なお、今回の調査は亜硝酸が存在すると NO-Rr の測定に影響するため、採水はA回路中間地点で行った。

### 3. テーブルテスト

2に示した測定方法は、ATU 添加がアンモニア酸化細菌のみを阻害し、亜硝酸酸化細菌は阻害しないことを前提としている。そこで、実施設での調査を行う前に、テーブルテストで有効性を確認することにした。

#### 3.1. 方法

試料は芝浦水再生センター東系反応槽 A 回路混合液を用いた。5L ビーカーを5個用意し、それぞれに試料を5L 入れ、ボールフィルターでエアレーションを行い、スターラーでゆっくりと攪拌した。その際、ビーカーごとに条件を変えて、調査を実施した。条件は以下の通りである。

- ① 試薬無添加
- ②  $\text{NaNO}_2$  10mg/L 添加
- ③ ATU 10mg/L 添加
- ④  $\text{NaNO}_2$  10mg/L 添加 および ATU 10mg/L 添加
- ⑤  $\text{NaNO}_2$  20mg/L 添加 および ATU 10mg/L 添加

はじめの1時間は30分毎、その後は1時間毎に試料を採取し、直ちにろ過をした。ろ液について、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$  を、混合液について酸素利用速度 (Rr、ATU-Rr、 $\text{NO}_2$  添加 ATU-Rr) を測定した。なお、 $\text{NH}_4\text{-N}$  は電量滴定法、 $\text{NO}_2\text{-N}$  および  $\text{NO}_3\text{-N}$  は反射式吸光光度法で測定した。

#### 3.2. 結果

結果を図2～図4に示す。図2より ATU 添加したものは  $\text{NH}_4\text{-N}$  が減少しなかった。このことは、ATU 添加は  $\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N}$  の反応を阻害することを示している。図3より ATU と

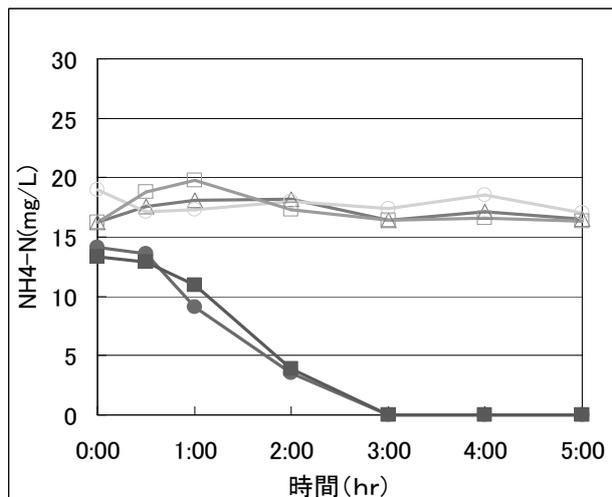


図2 アンモニア性窒素の時間変化

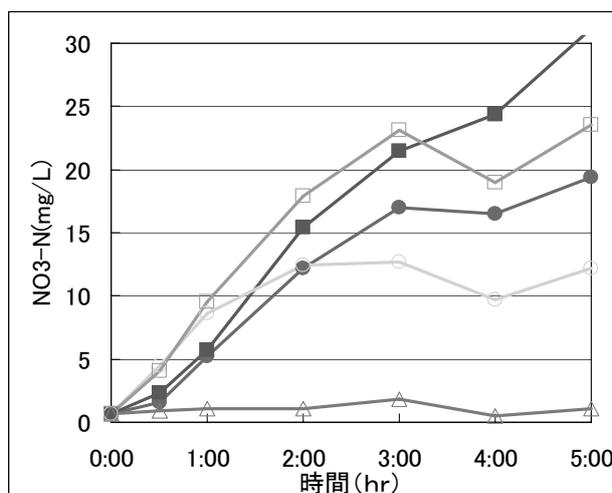


図3 硝酸性窒素の時間変化

NO<sub>2</sub>-N の両方を添加したものは NO<sub>3</sub>-N が増加した。このことは、ATU 添加は NH<sub>4</sub>-N → NO<sub>2</sub>-N の反応を阻害するが NO<sub>2</sub>-N → NO<sub>3</sub>-N の反応は阻害しないことを示している。また図 4 より、NO<sub>2</sub>-N はすべて最終的には 0 になった。添加した NO<sub>2</sub>-N は硝化反応を阻害することなく、すべて NO<sub>3</sub>-N に変化した。

### 3.3. NH<sub>4</sub>-N 減少速度および NO<sub>3</sub>-N 増加速度と R<sub>r</sub> の相関

NH<sub>4</sub>-N 減少速度と NH-R<sub>r</sub> の相関グラフを図 5 に、NO<sub>3</sub>-N 増加速度と NO-R<sub>r</sub> の相関グラフを図 6 にそれぞれ示す。両者には正の相関が見られ、相関係数も比較的良好であった。NH<sub>4</sub>-N → NO<sub>2</sub>-N における酸素消費はアンモニア酸化細菌によるもの、NO<sub>2</sub>-N → NO<sub>3</sub>-N における酸素消費は亜硝酸酸化細菌によるものであると考えられる。今回の結果は、NH-R<sub>r</sub> および NO-R<sub>r</sub> を測定することでアンモニア酸化細菌および亜硝酸酸化細菌の活性を推定することができることを示している。

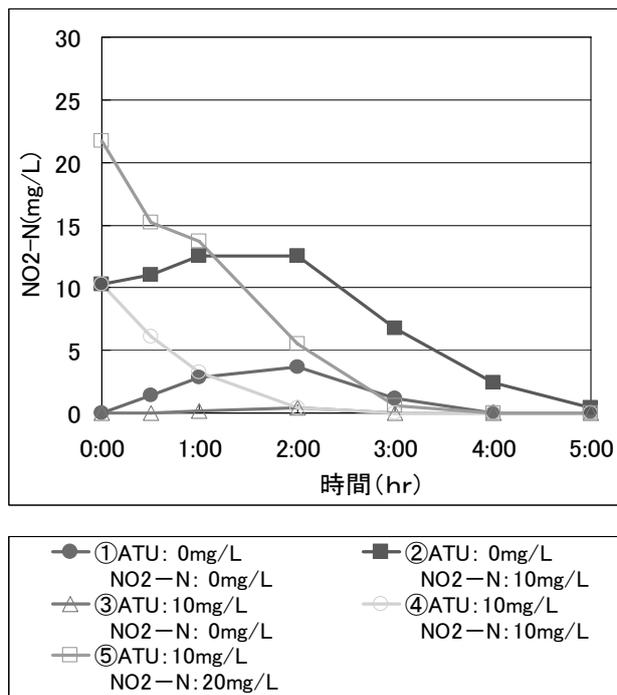


図 4 亜硝酸性窒素の時間変化

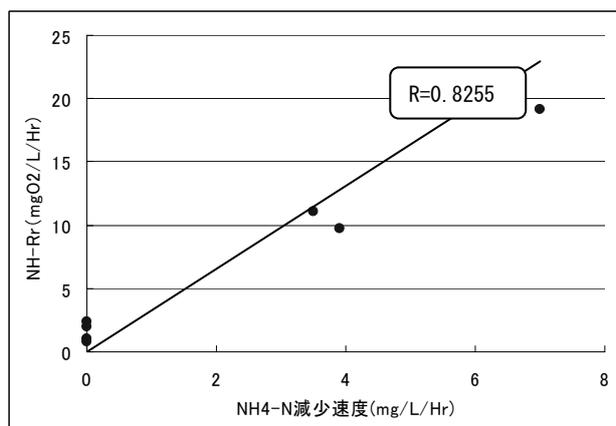


図 5 NH<sub>4</sub>-N 減少速度と NH-R<sub>r</sub> の相関グラフ

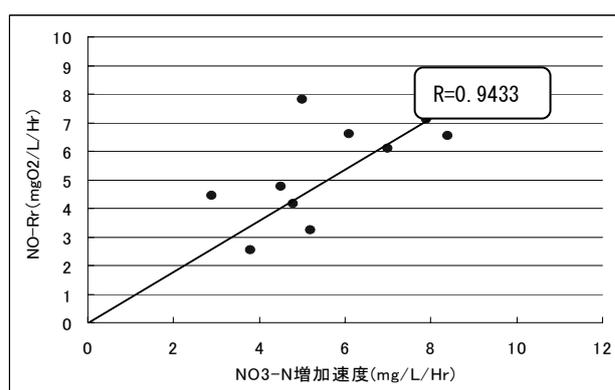


図 6 NO<sub>3</sub>-N 増加速度と NO-R<sub>r</sub> の相関グラフ

## 4. 実施における調査

テーブルテストにおいて NH-R<sub>r</sub> および NO-R<sub>r</sub> の有効性が確認できたことから、次は実施で同様の調査を行い、その有効性について検証した。

### 4.1. 方法

調査期間は平成 19 年 8 月 13 日～17 日の 5 日間、日常試験を利用して実施した。芝浦水再生センター本系深槽東、本系深槽西、東系のそれぞれの反応槽 A 回路から採水し、前述 2. の方法により C-R<sub>r</sub>、NH-R<sub>r</sub>、NO-R<sub>r</sub> を測定した。各系統ごとに比較するため、R<sub>r</sub> は酸素利用速度定数 (K<sub>r</sub>) に換算した。さらに、D 回路のろ液について NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N を測定し、採水時の硝化状況を把握した。なお、NH<sub>4</sub>-N は電極法、NO<sub>2</sub>-N および NO<sub>3</sub>-N は反射式吸光光度法で測定した。

## 4.2. 結果

D回路の窒素測定結果を図7、NH-KrおよびNO-Krの測定結果を図8～図9に示す。なお、結果は5日間の平均値である。

図7より、本系深槽東は亜硝酸が残りつつも硝酸まで硝化が進んでいる状態、本系深槽西は硝酸が少なく亜硝酸で止まっている状態、東系はほぼ完全硝化している状態であった。

図8から、各系統ともNH-Krは20前後あり、 $\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N}$ の反応は問題なく進んでいると考えられる。一方、図9から、系統ごとのNO-Krの値に違いが見られた。特に、本系深槽西のNO-Krは0になっており、 $\text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$ の反応が進んでいないと推測できる。実際、図7の結果では、本系深槽西は実施設においても硝化が亜硝酸で止まっていたことから、実施設の硝化状態とKrの測定結果が一致した結果となった。

## 4.3. Krから亜硝酸の蓄積を推定する

$\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N}$ や $\text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$ の酸素消費をMLSS 1g当たりの窒素量(mg-N/hr・g-MLSS)に換算し、その差を求めることによりNO<sub>2</sub>-Nの蓄積を推定することができるかについて検討した。各系統のNH-KrおよびNO-Krを窒素換算した結果を表1に示す。

NH-Krを窒素換算するという事は、MLSS 1gおよび1時間あたりにNH<sub>4</sub>-NからNO<sub>2</sub>-Nに変化した窒素量を求めることであり、それはすなわちNO<sub>2</sub>-N増加速度となる。同様に、NO-Krの窒素換算はNO<sub>3</sub>-N増加速度となる。この両者を差し引くことにより、どちらの速度が速いか、つまりNO<sub>2</sub>-Nが蓄積するかどうかを推測できる。表1より、東系は差し引き値がほぼ0であり、NH<sub>4</sub>-Nから酸化したNO<sub>2</sub>-Nは同じ速度でNO<sub>3</sub>-Nに酸化していることがわかる。本系深槽東と本系深槽西は4以上の値を示しており、NH<sub>4</sub>-N→NO<sub>2</sub>-Nの速度の方が速いためNO<sub>3</sub>-Nへの酸化が追いついていないことがわかる。実際、図7

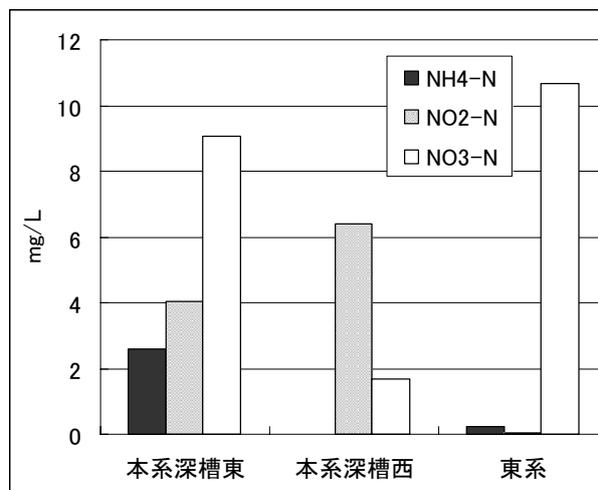


図7 各系統D回路の窒素測定結果

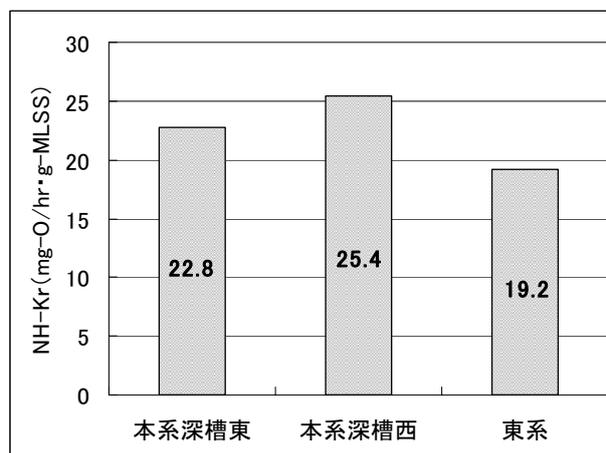


図8 各系統のNH-Kr

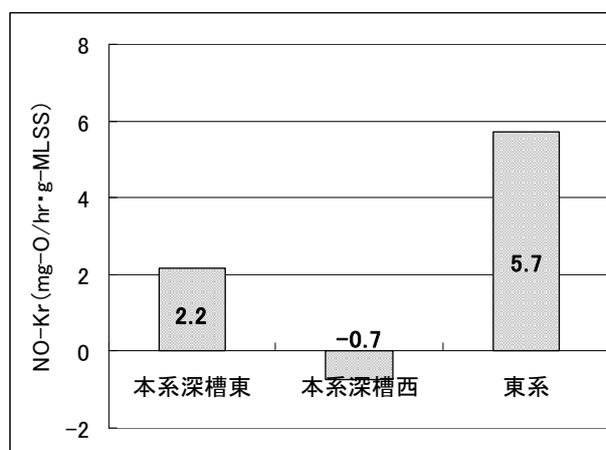


図9 各系統のNO-Kr

の結果を見ると、今回の推測と実施設の硝化状態がほぼ一致した結果となっている。

	① NH-Kr 窒素換算	② NO-Kr 窒素換算	差し引き ①-②
本系深槽東	6.7	1.9	4.8
本系深槽西	7.4	-0.7	8.1
東系	5.6	5.0	0.6

## 5. まとめ

Rr を利用した硝化活性の測定について検討した結果、以下のことがわかった。

- (1) Rr 測定時に ATU と NO<sub>2</sub>-N 標準液を添加することにより、アンモニア酸化と亜硝酸酸化を区別することができた。
- (2) NH-Kr および NO-Kr の値から、アンモニア酸化細菌および亜硝酸酸化細菌の活性を別々に推測できる可能性がある。
- (3) NH-Kr および NO-Kr を窒素換算し、両者の差を求めることで、実施設における亜硝酸の蓄積を推測できる可能性がある。

(単位) mg-N/hr・g-MLSS

## 5-(1)-7 亜硝酸存在下における MLDO 測定について

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 水質管理係  
島田祐介 石井英俊 太田裕誌

### 1. はじめに

現在、東京都下水道局水再生センター水質管理係が行っている水質試験に、隔膜電極法を用いた溶存酸素(以下、DO)の測定がある。この測定方法は、隔膜が酸素を選択的に透過させるため、共存物質による妨害も少なく、測定試料の前処理や測定に関しても速やかに行うことが可能であるため、広く用いられている。しかし、亜硝酸化が進んでいる反応槽のDOを隔膜電極法で測定する際、測定値が安定せず、値が低下し続ける。このことから、本調査では亜硝酸と阻害している物質の特定と、固定液の特性について検討し、解決策を講じたので報告する。

### 2. 目的

芝浦水再生センターの本系水処理施設の深槽西系反応槽において硝化が亜硝酸型硝化になっており、最終回路で亜硝酸が残るような不完全な水処理になっている。反応槽混合液中溶存酸素(以下、MLDO)の測定の際、通常は図1の実線のように測定を開始して20~30秒程で測定値が安定するが、亜硝酸が高濃度で存在している回路においては点線の様に時間毎に測定値が低下し、20分程経過しても安定しない。図1において測定した試料は、東系反応槽最終回路と深槽西系反応槽最終回路の反応槽混合液であり、表1に測定試料の窒素関係の濃度を記す。この現象は、DO測定する際の固定液が原因ではないかと考え、その対処法を求めるために調査を行った。

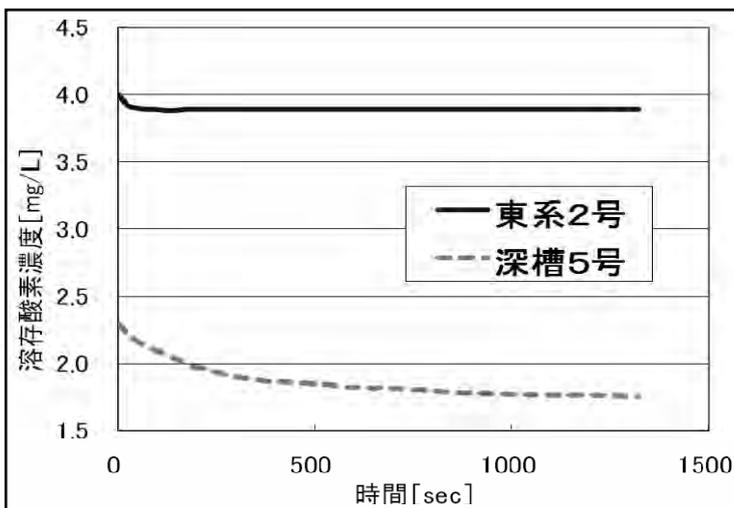


図1 MLDOを測定したときの時間変化

表1 図1の測定試料の窒素関係の濃度

	東系2号	深槽5号
NH <sub>4</sub> -N	0.0	17.8
NO <sub>2</sub> -N	0.0	4.0
NO <sub>3</sub> -N	8.2	0.2

※単位は[mg/L]

### 3. 調査結果

#### 3-1. 固定液中の原因物質の特定

固定液中の物質が原因であると考え、その原因物質を特定するための調査を行った。亜硝酸性窒素濃度を 10mg/L になるように亜硝酸ナトリウムを添加した水道水中に、DO 測定で用いている固定液中の各試薬（アミド硫酸、硫酸銅五水和物、酢酸、純水）をそれぞれ同濃度添加し、どの試薬が亜硝酸性窒素と反応しているか調査した。その結果を図 2 に記す。図 2 からアミド硫酸を添加したもののみの溶存酸素濃度が低下する結果になった。このことより、亜硝酸性窒素存在下で MLDO の測定を阻害している物質はアミド硫酸であることがわかった。

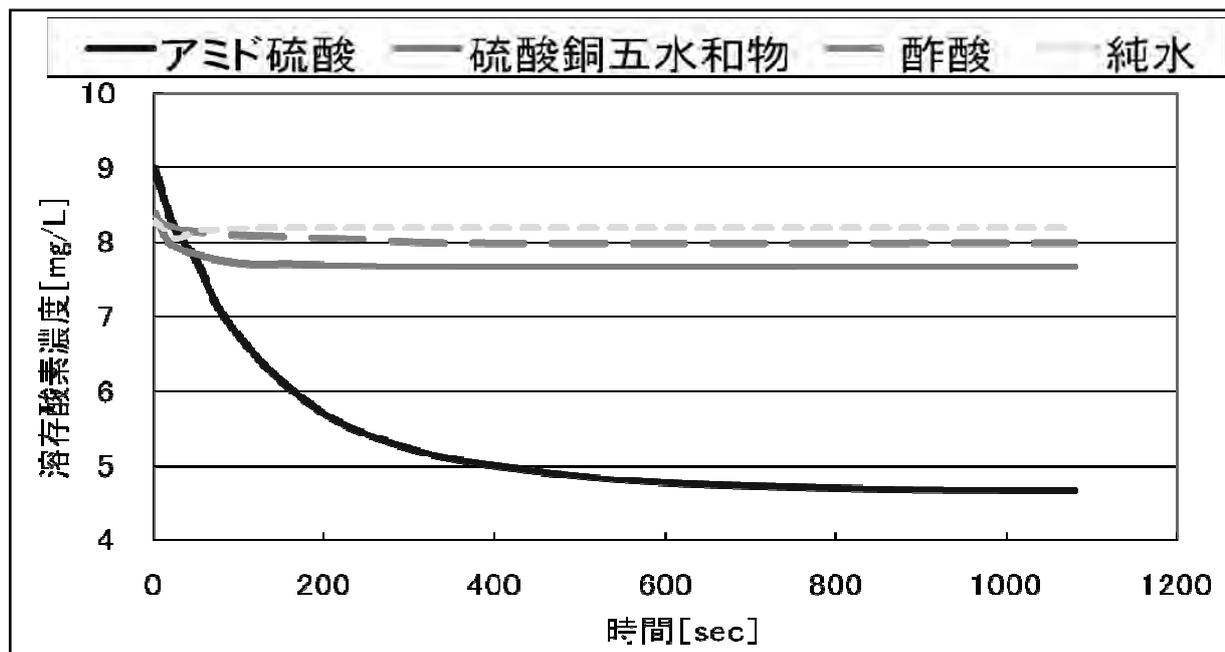


図 2 亜硝酸性窒素濃度 10mg/L 中における固定液中各試薬の時間変化

#### 3-2. 亜硝酸とアミド硫酸の関係

アミド硫酸と亜硝酸イオンは化学反応により、水と窒素が生成することは報告されている<sup>(1)</sup>。しかし、DO を消費することは文献から得られなかった。そこで亜硝酸イオンによる酸素消費を調査するために、固定液中のアミド硫酸と同濃度(32g/L)の水溶液中に亜硝酸ナトリウム水溶液を添加したときの溶存酸素濃度の減少量の関係調べた。結果を図 3 に記す。図に記したように、2mg/L~50mg/L において、亜硝酸性窒素濃度と減少した溶存酸素濃度は比例関係であった。50mg/L 以上では、水溶液中の溶存酸素飽和濃度よりも多く酸素が消費されるため、比例関係であるとは断定できなかった。

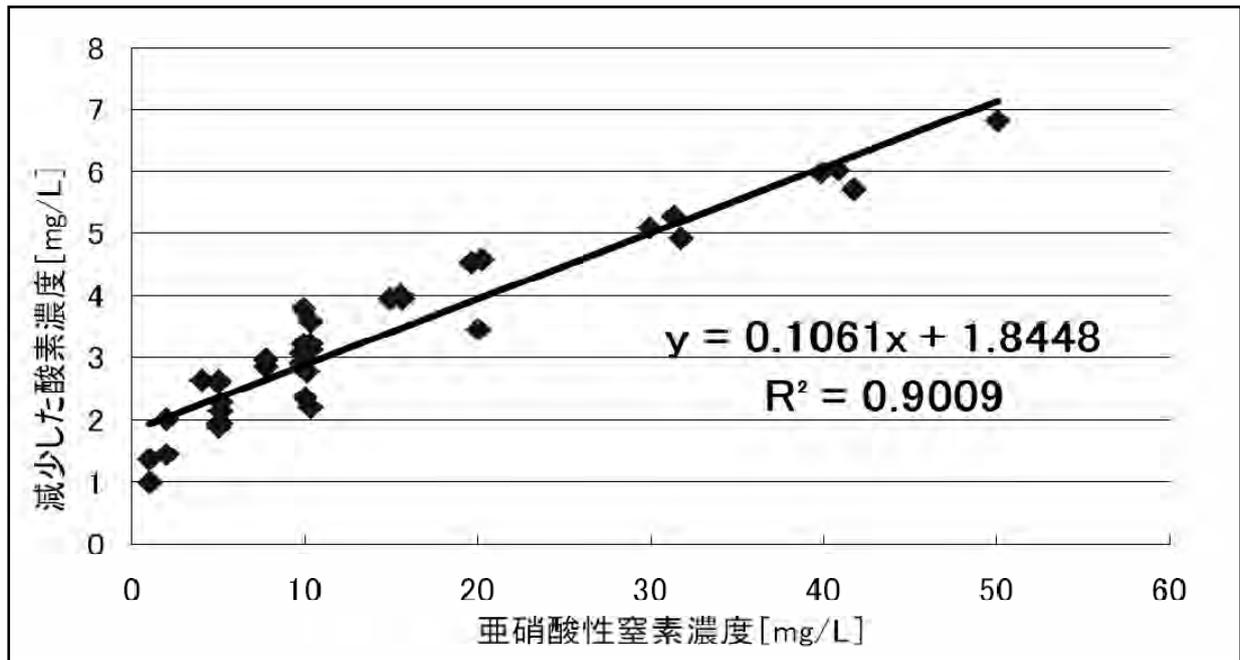


図3 亜硝酸性窒素濃度と減少した溶存酸素濃度の関係

### 3-3. 固定液の特性

固定液に使用している各試薬の殺菌能力の強さを調査した。アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素が殆ど存在していない良好な水処理が行われている回路の活性汚泥を15分以上曝気し、酸素飽和した試料に、各試薬を従来の固定液と同濃度になるようにそれぞれ添加し、その溶存酸素濃度の時間変化を調査した。その結果を図4に記す。また、それぞれの試薬の1時間当たりに減少した溶存酸素濃度を表2に記す。この結果から固定液に使用しているすべての試薬にほぼ同等の殺菌能力を有し、従来の固定液は三種の試薬の相乗効果により殺菌力を高めている。

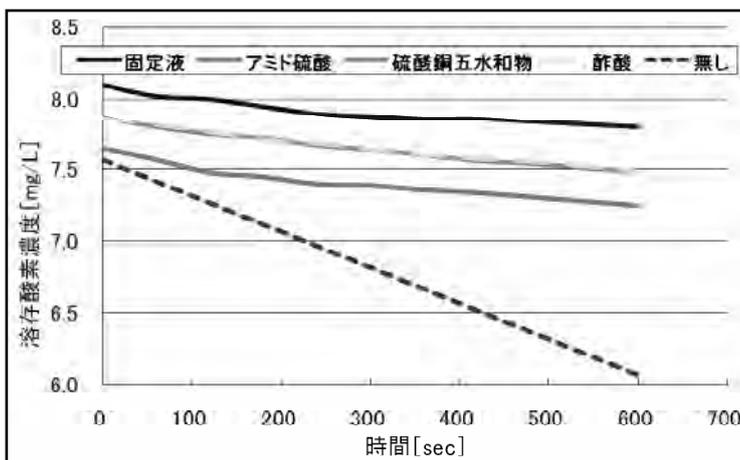


表2 各試薬の1時間当たりに減少した溶存酸素濃度

固定溶液	1時間当たりに減少した酸素濃度 [mg/L]
無し	9.008
従来の固定液	0.775
アミド硫酸のみ	1.500
硫酸銅のみ	1.729
酢酸のみ	1.593

図4 各試薬で添加した活性汚泥混合液中の溶存酸素の時間変化

### 3-4. アミド硫酸を除いた固定液の調整

亜硝酸存在中のDO測定阻害物質であるアミド硫酸を固定液で用いずに、酢酸と硫酸銅五水和物水溶液の濃度を変え、DO測定に十分な殺菌力を持つ固定液を決定するため調査を行った。酢酸と硫酸銅五水和物水溶液を様々な濃度で固定液を作成し、従来の固定液と比較した。またこの調査では比較値という値を用いて評価を行った。比較値は従来用いている固定液を添加したサンプルが1時間で減少した溶存酸素濃度に対する、今回調査する酢酸と硫酸銅五水和物水溶液の濃度を変えた固定液を添加したサンプルが1時間で減少した溶存酸素濃度とする。つまり、比較値が1に近いほど、調査したサンプルは固定液として優れていると言える。本実験で用いた測定試料は、良好な処理を行っている活性汚泥を15分以上曝気したものをを用いた。この結果は表3に記す。この結果から、硫酸銅五水和物を高濃度にしても殺菌力は顕著に変化しないことがわかる。一方、酢酸は高濃度にする毎に、殺菌力が増すことがわかる。つまり、酢酸と硫酸銅五水和物の混合液では、従来の濃度と比較して、酢酸溶液の濃度を3倍に、硫酸銅五水和物の濃度を同じにしたときの固定液が最も殺菌力があり、固定液として優れていることがわかった。

表3 酢酸と硫酸銅五水和物の濃度を変えたときの殺菌力の比較

アミド硫酸は0mL		硫酸銅溶液の注入倍率[mL]			
		0	1	2	3
酢酸溶液の注入倍率[mL]	0	11.601	2.265	2.135	2.300
	1	2.100	1.737	1.526	1.479
	2	1.822	1.563	1.542	-
	3	1.750	1.217	-	1.265

### 3-5. 新固定液の性能比較

3-4で最も殺菌力があつた酢酸と硫酸銅五水和物の混合比の固定液を用いて、従来用いている固定液と性能の比較を行った。この実験方法は、ポータブルDO計を用いてDO測定し続けている反応槽混合液を採水し、その採水したサンプルにそれぞれの固定液を添加して、試験室で測定した。結果を表4に記す。ポータブルDO計の表示値に近い測定値のマスの色を示した。このことより、新しく提案した固定液は亜硝酸性窒素濃度が高い場合だけでなく、亜硝酸性窒素濃度が低い場合でも十分な性能を有していることがわかった。

表4 従来の固定液と提案した固定液の性能比較

測定箇所	亜硝酸性窒素 [mg/L]	MLDO[mg/L]		
		ポータブルDO計	従来固定液	提案した固定液
浅槽2号	2.8	1.97~2.04	2.32	2.56
西系2号	3.6	3.34~3.42	3.21	3.21
深槽5号	4.5	2.54~2.56	2.76	2.50
東系2号	0.8	4.07~4.12	3.62	4.09
浅槽2号	1.9	1.68~1.75	1.99	2.12
深槽2号	2.1	2.96~3.15	2.71	3.17
深槽5号	4.6	2.70~2.83	2.40	2.94
浅槽2号	2.4	2.12~2.25	2.75	2.49
東系2号	1.3	2.87~3.02	3.15	3.07
東系2号	1.3	2.87~3.03	3.27	3.01

#### 4. まとめ

この調査から、下水試験法に記されている隔膜電極法による DO 測定方法では、亜硝酸性窒素濃度が高い反応槽混合液中の溶存酸素濃度は正確に測定できないことが判明した。今回の調査によって提案した固定液を用いると、亜硝酸の有無に関わらず測定が可能である。

今回の調査により提案した固定液の調整方法は、硫酸銅五水和物 50g を 500mL の純水に溶かし、酢酸を 75mL 加え、純水で 1L としたものである。この固定液を反応槽混合液 100mL に対し、1mL の割合で添加する。

#### 参考文献

- 1) 井上充、稲森悠平、アミド硫酸による工場排水中の亜硝酸性窒素の処理効果、第 21 巻、第 6 号、水環境学会誌、1998 年、353-359

## 5-(1)-8 芝浦水再生センターにおける全窒素流入負荷に関する一考察

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 水質管理係  
相馬英雄 島田祐介 石井英俊

### 1. はじめに

芝浦水再生センターの流入水全窒素濃度は、ここ数年、本系・東系ともに 40mg/L を超えており、区部 13 センターの中で一番高い値となっている（図 1）。平成 16 年度から既設下水処理場における窒素りの総量規制が導入され、経営管理会議では窒素除去率が目標として掲げられるなど、窒素処理を取り巻く環境は厳しいものとなっている。しかし、芝浦の処理施設は、東系は AO 法、本系は標準法であり、いずれも窒素処理を目的としたものではないのが現状である。現在、窒素濃度が高い下水を現有施設において処理するため、水質管理係はもとより、運転管理係や保全管理係を含めセンター全体で取り組んでいるところである。

これからの芝浦の窒素処理を考える上において、芝浦流入水の全窒素濃度が高い原因を解明することが重要と考えた。そこで、各種文献を参考にこの現象を考察したところ、昼間人口および流入人口から窒素負荷を推定できる可能性を見出すことができたので、ここに報告する。

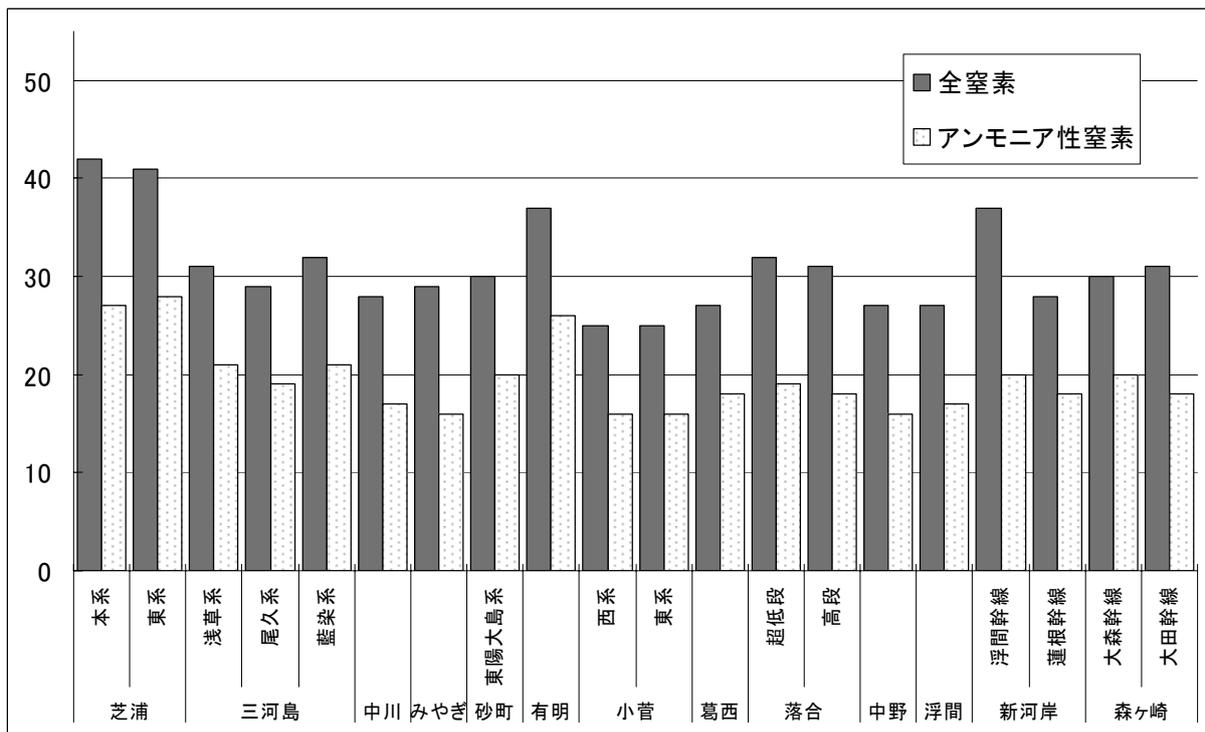


図 1 各センターにおける全窒素濃度の比較 (H17 年度 流入水)

### 2. 高窒素濃度についての検討結果

#### 2-1. 東京 23 区の人口分布

総務省統計局では人口統計のデータをホームページ上で公開している。総務省統計局が公開している東京 23 区の夜間人口、昼間人口、流入人口を表 1 に示す。普通、「人口」という言葉は夜間人口を指す。しかし、経済活動が活発な東京においては、昼間人口も考慮に入れて流入負荷を考える必要があると考える。表 1 から、東京 23 区の昼間人口と夜間人口には違いが見られた。特

に、都心3区（千代田区、中央区、港区）は他区に比べて、昼間人口が極端に多く、夜間人口が極端に少ない。これらの区は流入人口が多いことから、昼間は他の地域（他県および東京都内の他区市町村）からの流入により人口が大幅に増加していることがわかる。ちなみに、この都心3区で芝浦処理区の半分以上を占めている。

表1 東京23区の人口（平成17年度）

	夜間人口	昼間人口	流入人口		夜間人口	昼間人口	流入人口
千代田区	41,683	853,382	821,518	渋谷区	199,280	542,803	401,537
中央区	98,220	647,733	575,030	中野区	310,392	285,636	79,270
港区	185,732	908,940	762,132	杉並区	522,582	439,379	103,572
新宿区	303,808	770,094	550,027	豊島区	233,141	378,475	224,517
文京区	189,564	336,229	214,080	北区	330,345	307,317	90,984
台東区	163,528	303,522	183,853	荒川区	191,163	184,021	53,617
墨田区	231,092	262,514	106,174	板橋区	507,799	456,425	112,404
江東区	420,827	490,708	214,694	練馬区	643,687	530,628	83,285
品川区	344,888	505,034	272,164	足立区	622,500	539,309	91,666
目黒区	248,749	271,320	112,535	葛飾区	424,823	343,039	58,488
大田区	664,027	657,209	184,915	江戸川区	653,805	534,942	79,639
世田谷区	820,320	736,040	185,516				

## 2-2. 処理区別の人口分布

東京23区の人口分布を各処理区別に割り振ったものを表2に示す。なお、計画人口は東京都下水道局事業概要（平成19年度版）より引用した。また、各処理区別の統計人口については、総務省統計局の人口データを各処理区の面積比で計算したものである。一例を挙げると、江戸川区は大部分が葛西処理区に含まれるが、平井地区は砂町処理区に含まれる。平井地区の面積は江戸川区全体の面積の約10%であることから、江戸川区の各統計人口のうち、90%を葛西処理区に、10%を砂町処理区に、それぞれ振り分けて計算した。

表2によると、計画人口と夜間人口は、ほぼ同じであった。これは、事業概要に記載されている計画人口は、夜間人口を参考にして決められた可能性が高いことを示している。また、夜間人口と昼間人口の差については、10処理区のうち8処理区については、大きな差は見られなかった。しかし、芝浦処理区と三河島処理区については、夜間人口と昼間人口の間に違いが見られた。特に、芝浦処理区では、昼間人口は夜間人口の4倍以上も多い。つまり、芝浦処理区においては、計画人口の4倍以上の人数が昼間に存在し、その分の下水を処理していると考えられる。昼間人口と夜間人口の差は、通勤通学などによる流入人口であり、これらの人たちが下水道に与える負荷はし尿中心と考えるのが妥当である。

表2 各処理区における計画人口および統計人口

(単位:千人)

		計画人口	夜間人口	昼間人口	流入人口	昼間と流入の差
処理区名	芝浦	684	768	3,569	3,000	569
	三河島	811	777	1,202	676	526
	砂町	960	714	753	330	423
	小台	326	330	307	91	216
	落合	781	722	890	406	484
	森ヶ崎	2,109	2,078	2,170	755	1415
	小菅	264	232	260	33	227
	葛西	757	823	672	95	577
	新河岸	1,658	1,674	1,426	299	1127
	中川	743	623	539	92	447

※ 計画人口は東京と下水道局事業概要(平成19年度版)の数値を引用

※ 各統計人口は処理区の面積比で計算

### 2-3. 生活排水における全窒素の負荷量

「下水道施設計画・設計指針と解説」によると、生活排水における全窒素負荷は12g/人・日であり、その内訳は、し尿：9g/人・日、生活雑排水：3g/人・日としている。文献によっては若干違う数字(全窒素負荷11g/人・日など)を支持しているものもあるが、今回は設計指針の数字を使って、芝浦処理区における全窒素負荷量を試算した。

まず、芝浦処理区の流入人口における負荷量を考える。流入人口は他の地域から流入してくる人数であることから、負荷量の計算には「し尿：9g/人・日」を使用した。さらに、この「9g/人・日」は睡眠時間を除いた生活時間によるものであることから、睡眠時間を8時間とし、残り16時間に対する負荷量であると考えた。しかし、通勤や通学により流入してくる人々の活動時間は16時間より短いのが普通であることから、活動時間を8時間と考え、負荷量の計算には「 $9 \times (8/16) = 4.5$  g/人・日」を用いた。この負荷量を流入人口に掛けると、 $3,000$  千人  $\times 4.5$  g/人・日  $= 13.5$  t/日…①となる。

また、昼間人口から流入人口を引いた人数は、昼間夜間を問わず処理区に存在している人数である。この人たちは地域に常住している人たちであり、トイレ以外にも洗濯や風呂等に水を使用していると考えられる。したがって、負荷量の計算には「12g/人・日」を使用した。この負荷量を昼間人口から流入人口を引いた人数に掛けると、 $569$  千人  $\times 12$  g/人・日  $= 6.82$  t/日…②となる。

処理区における生活排水由来の窒素負荷量は上記①②の合計で求めることができ、 $13.5 + 6.82 = 20.3$  t/日となる。

### 2-4. 芝浦水再生センターにおける全窒素の負荷量

平成17年度水質試験年報によると、芝浦水再生センター流入水の全窒素負荷量は30t/日であった。

上記(3)で求めた生活排水からの負荷量と比較すると、芝浦水再生センターにおける全窒素負荷量 30 t/日のうち、生活排水由来の窒素負荷量(20.3 t/日)は 68%、流入人口由来の窒素負荷量(13.5 t/日)は 45%を占める結果となった。

## 2.5. 他の処理区における全窒素の負荷量

上記(3)および(4)と同様の計算を他の処理区においても行った。結果を表3に示す。生活排水由来の窒素負荷量の割合 (B/A) は他の処理区と大きな違いは見られなかったが、流入人口由来の窒素負荷量の割合 (C/A) は他の処理区に比べて高い結果となった。2 番目に高い三河島処理区 (23%) と比べても芝浦処理区 (45%) は倍の値であった。このことから、芝浦処理区は他の処理区と比較して流入人口由来の窒素負荷の割合が高く、これが窒素濃度を高くしている原因であると思われる。

表3 各処理区における窒素負荷量

(単位:t/日)

		全窒素負荷量 (A)	生活排水 窒素負荷量 (B)	生活排水 の割合 (B)／(A)	流入人口由来 生活排水 窒素負荷量 (C)	流入人口由来 生活排水 の割合 (C)／(A)
処理区名	芝浦	30.0	20.3	68%	13.5	45%
	三河島	13.0	9.4	72%	3.0	23%
	砂町	12.5	6.6	53%	1.5	12%
	小台	6.1	3.0	49%	0.4	7%
	落合	12.6	7.6	61%	1.8	15%
	森ヶ崎	34.0	20.4	60%	3.4	10%
	小菅	4.3	2.9	67%	0.1	3%
	葛西	8.6	7.4	85%	0.4	5%
	新河岸	17.4	14.9	85%	1.3	8%
	中川	5.0	5.8	116%	0.4	8%

※ 砂町処理区は砂町水再生センターと有明水再生センターの値の合計で計算

落合処理区は落合水再生センターと中野水再生センターの値の合計で計算

新河岸処理区は新河岸水再生センターと浮間水再生センターの値の合計で計算

## 2-6. 検討結果のまとめと考察

以上の結果、芝浦水再生センターにおける全窒素負荷量のうち、実に半分近くが通勤や通学により他の地域から流入してくる人々によるものであり、したがって他の処理区に比べてし尿の割合が高く、これが全窒素濃度、とりわけアンモニア性窒素濃度を高くしている原因であると考えた。

このような流入人口の増加が最近の窒素濃度の上昇に結びついていると考えるならば、その大きな要因は都心部を中心に進められている大規模な再開発・高層化であるとするのが当然であろう。このような都市構造の変化が、下水流入水質に大きな影響を及ぼすことがあることがわかった。

### 3. アンモニア性窒素濃度の上昇とその影響について

芝浦水再生センターにおける窒素濃度、特にアンモニア性窒素濃度の上昇の原因を推定することができたので、濃度上昇の予測、その影響について検討を行った。

#### 3-1. アンモニア性窒素濃度の上昇とその予測

図2、3に本系、東系流入水のアンモニア性窒素の経年変化を示す。両者とも平成13年頃から明らかの上昇傾向を示している。移動平均を用いて上昇率を求めたところ、本系では約0.8mg/L/年、東系では1.0mg/L/年となった。

各再開発地区をみるとまだ開発は継続しており、この傾向はしばらくは続くとみられる。もち

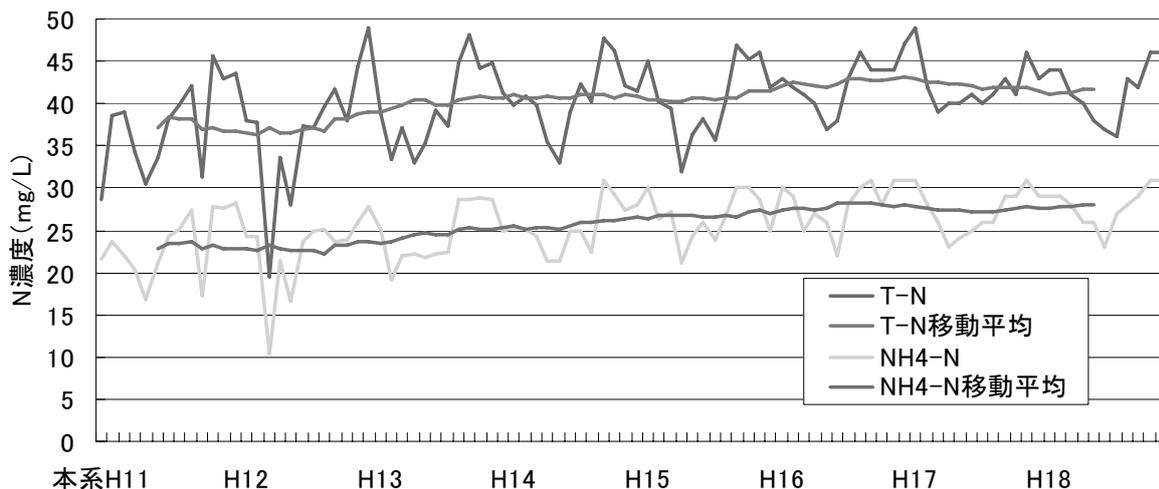


図2 T-NとNH4-Nの経年変化(本系 流入水)

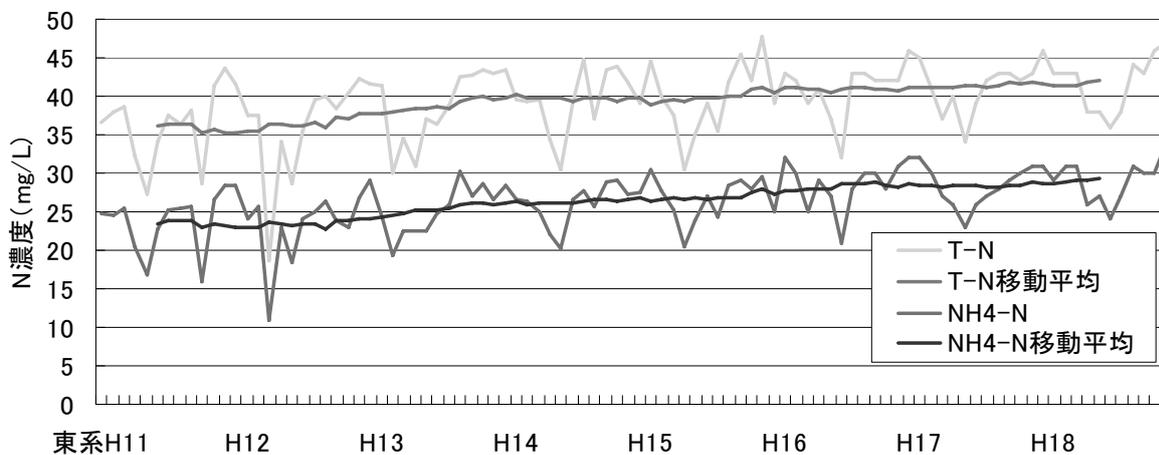


図3 T-NとNH4-Nの経年変化(東系 流入水)

ろん景気動向に左右されることではあるが、都心4区での再開発・オフィスの高層化は治まる様子は無く、窒素濃度上昇は最低でも3年程度は続くであろう。

図2、3で特に冬季の濃度は移動平均線を大きく越えていることがわかる。冬季の濃度上昇は、活性汚泥の能力が低下する時期にあたり、その影響は大きなものとなる。今後もこの傾向が大きくなるならば深刻さは増大する。日間変動、季節変動を示すものとして、図4に平成19年7月、図5に平成20年1月の流入水のアンモニア性窒素の時間変動のデータを示した。図中、芝浦ポンプ所、低段幹線が深夜から朝にかけて高くなっているが、これは水量の均等化を図るために貯留を行っているためである。本系(高段)流入水に比べ、東系流入水のほうが時間変動が大きい

が、幹線が短く天王洲、品川、大崎などの集約商業施設が集中しているためであろう。

### 3-2. アンモニア性窒素濃度上昇の影響

芝浦水再生センターの全窒素放流基準値は 30mg/L となっている。流入アンモニア性窒素濃度が夏季でも 30mg/L を超えること、冬季では日平均値でも 30mg/L を超え、さらに今後は最大値が 50mg/L に達することが考えられる。アンモニア性窒素は溶解性であるため、これを除去するには硝化・脱窒を行わなければならない。現状でも一年を通して硝化促進運転を行っているが、冬季を中心になかなか困難な状況である。以下に現状での問題点を挙げる。

- ① アンモニア性窒素濃度と水量のピークが重なっており負荷変動が大きい。これに対し本系では水位の深い芝浦幹線、低段幹線では貯留を行い平準化に勤めているが十分ではない。水位の浅い東系では貯留はできない。
- ② アンモニアのみならず有機物負荷も高いので、必要空気量は増加している。そのため単位水量あたりの電力量は増加傾向にある。送風機再構築により東系メムブレン散気装置に独立した送風機が設置されるが、その分の既設送風機が撤去される予定であり、空気供給能力は増加しない。
- ③ 再構築工事による旧二沈の停止で処理能力が減少し、冬季の高負荷時に他系列の負荷が高まる。
- ④ AO 法施設の設置が進められているが、りん対応であるため窒素除去には効果が小さい。このため十分な硝化を行ったとしても、窒素除去量の大幅な増加は見込めない。
- ⑤ このような状況の中で硝化処理は不安定で、冬季、また負荷の集中する深槽反応槽では夏季でも亜硝酸型硝化になりやすい。透視度、COD、りん処理の低下を招くこともある。亜硝酸型硝化に対応するための余剰汚泥転送管が一部設置されているが、現状では不十分である。

このような問題を抱える中、早期に再構築工事を進行させ A2O 施設の完成が待たれるが、実施までにはまだ時間がかかる。それまでの間、冬季を中心に放流基準値遵守のための対応手法を検討中である。

## 4. まとめ

通常は 100%普及した地域での下水の水質は安定していると考えられるが、都市構造が大きく変化した場合には芝浦ほどの規模の処理区でもその流入水質に顕著な変化を生じることがわかった。同様な窒素（特にアンモニア性窒素）の高い状況は、有明水再生センターでも処理区内での大イベント開催時に見られることが知られているが、規模の大きな処理場で日常的に起こっているのである。

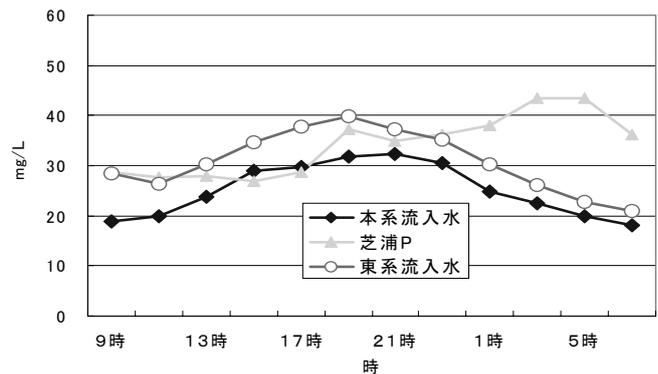


図4 流入水 NH4-Nの時間変化 H19.7

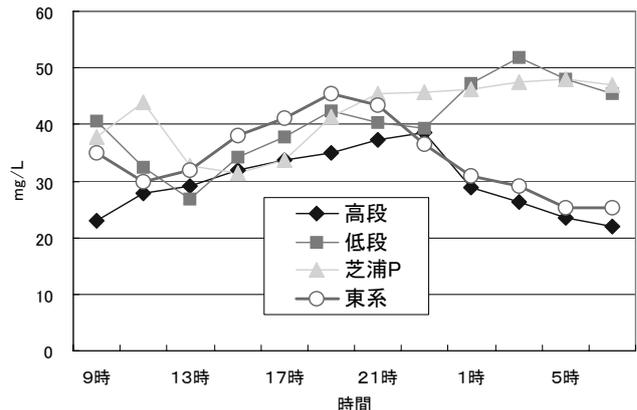


図5 流入水 NH4-Nの時間変化 H20.1

このように窒素が高濃度に流入する処理施設では、標準法のままでは安定した処理が難しいのが現状である。現在、深槽反応槽の AO 化工事が進められているが、今回の結果を参考にして、今後の再構築を含めた施設の更新時には、昼間人口における窒素負荷分も含めた汚濁負荷も考慮する必要があると考える。

## 5-(1)-9 施設停止を伴わない防波管の補修について

東部第一管理事務所 砂町水再生センター 片岡 桂太郎

### 1. はじめに

水再生センターでは、設備の老朽化に対する補修改良工事や新規設備の建設工事において、施設停止が多数行われる。これらの施設停止による環境への影響を考えると、「施設停止の小規模化・短時間化」が重要になる。

砂町水再生センターでは、東陽系第一沈殿池流出渠の水位計において、同設備の防波管（以下防波管という）の補修を、流出渠の通水を停止させずに行ったので報告をする。

砂町水再生センターの水処理施設は東陽系と砂系に分かれており、東陽系は 400,000m<sup>3</sup>/日、砂系は 138,000m<sup>3</sup>/日の処理能力を有している。東陽系水処理施設は I 系と II 系に分かれており、各々 200,000m<sup>3</sup>/日の処理能力を保持している。

第一沈殿池流出渠の水位計防波管を補修するには、当該系統の第一沈殿池を長時間停止する必要がある。しかし、第一沈殿池停止期間中の処理能力の低下及び処理水質の悪化への対応が問題となる。そこで、流出渠の通水を停止させずに防波管の補修方法を考案し、実施した。

### 2. 防波管の状況

図 1 に防波管の模式図を示す。設置当初、防波管は 3 本のサポート（SUS304 製）でコンクリートの支柱に固定されていたが、支柱の腐食により上と真ん中のサポートが外れ、下のサポートひとつだけでその場に固定されており、流出水により振動していた。

このような状況となった原因としては、支柱が第一沈殿池 3 号池からの流出水が滝落としになっている部分にあり、流出水から発生した腐食性ガスが支柱を腐食させ、支柱に取り付けられたサポートが脱落したものと考えられる。

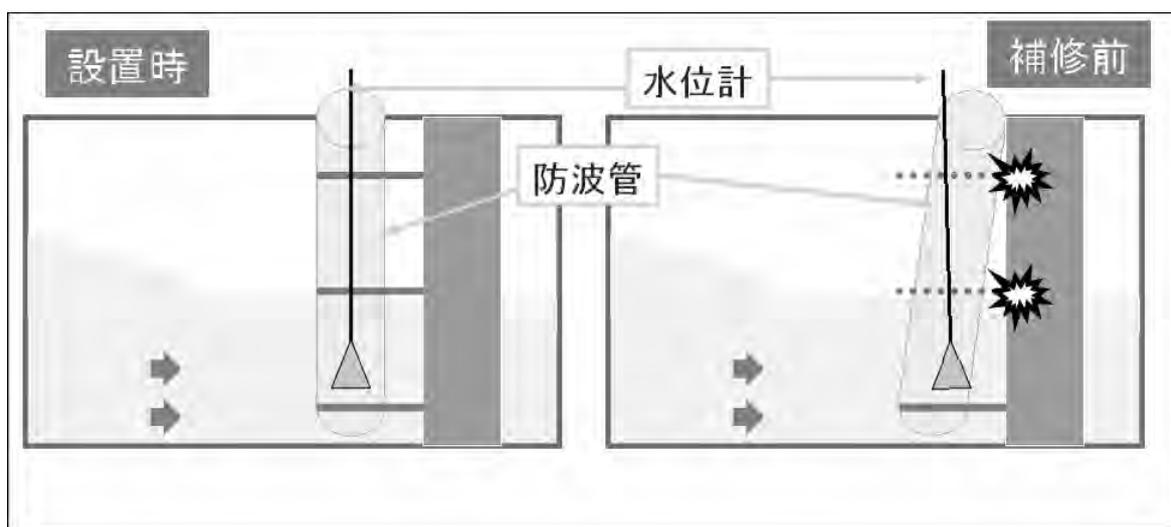


図 1 水位計と防波管

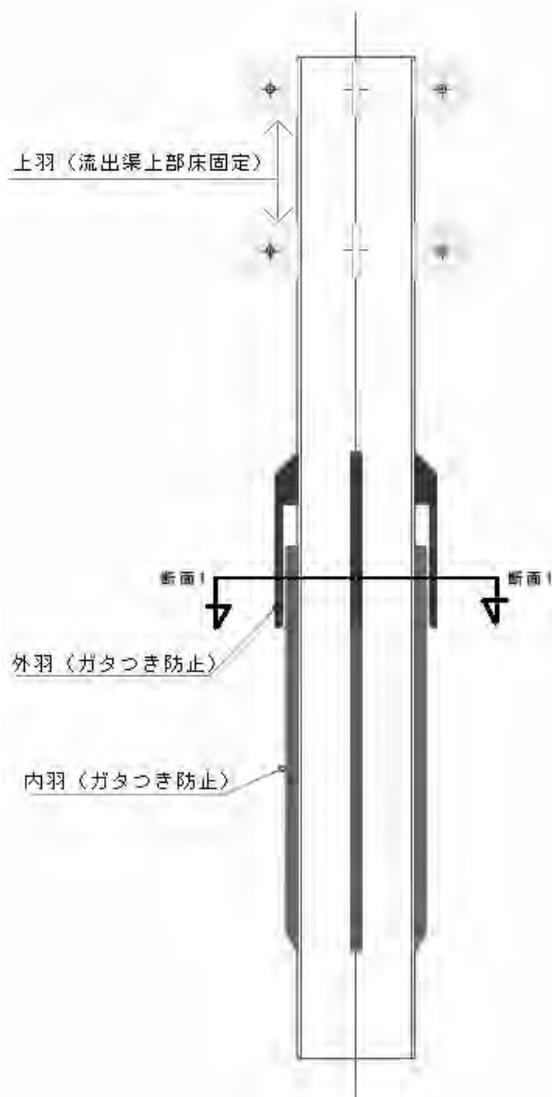
### 3. 従来法とその問題点

一般にこのような水路内に設置された設備を補修する時は、水路の通水を停止し、内部に人間が入って補修をする必要がある。しかし、本事例において、この方法には以下の問題点がある。

- (1) 流出渠はⅠ系とⅡ系の4池ずつで共通であり、角落としては存在しない。そのため、当該システムを全停止しなければ施工が不可能であり、処理能力 400,000m<sup>3</sup>/日のうち半分の 200,000m<sup>3</sup>/日の水処理能力が停止してしまう。
- (2) 流出渠内部での腐食性ガスの発生による支柱腐食が原因であるため、従来法と同様の補修方法を採用した場合、再度同様の事態が発生する恐れがある。

### 4. 新手法の考案

上記のとおり、防波管の補修のために流出渠の通水を停止するのは非常に困難である。そこで、流出渠の通水を停止させずに安全に補修を行うため、以下の考え方に基づいて新方式を模索した。



(1) 流出渠の内部に人が入らなくても補修が可能

流出渠を停止しないで施工するため、中に人が入って作業を行うのは困難である。そこで、流出渠内部に人が立ち入らなくても補修が可能な方法を考案する。

(2) 流出渠の内部で発生する腐食性ガスの影響を受けない

設置時と同様の方式で補修しても、流出渠内部でガスが発生するのを防ぐことはできないため、再度支柱に腐食が起これりサポートが落下する恐れがある。そのため、流出渠内部で発生するガスにも影響を受けない方法を考案する。

砂町水再生センターでは、これら条件を満たす施工方法として、流出渠の上部からさや管を挿入し、固定する方法を考案した。

図2にさや管の側面図を示す。さや管はφ200、SUS製の管である。また、ガタつき防止用に4枚の内羽と4枚の外羽、流出渠上部の固定用として4枚の上羽が付属している。

図2 本手法で作成したさや管の側面図

図3は施工時における図2の断面1を見た断面図である。施工時は、内羽と外羽で既設管を固定することで既設管のガタつきを防止する。そして、上羽を流出渠上部で固定することで、既設管をさや管ごと固定できる。これを用いて、流出渠を停止させることなく防波管の補修を行うことにした。

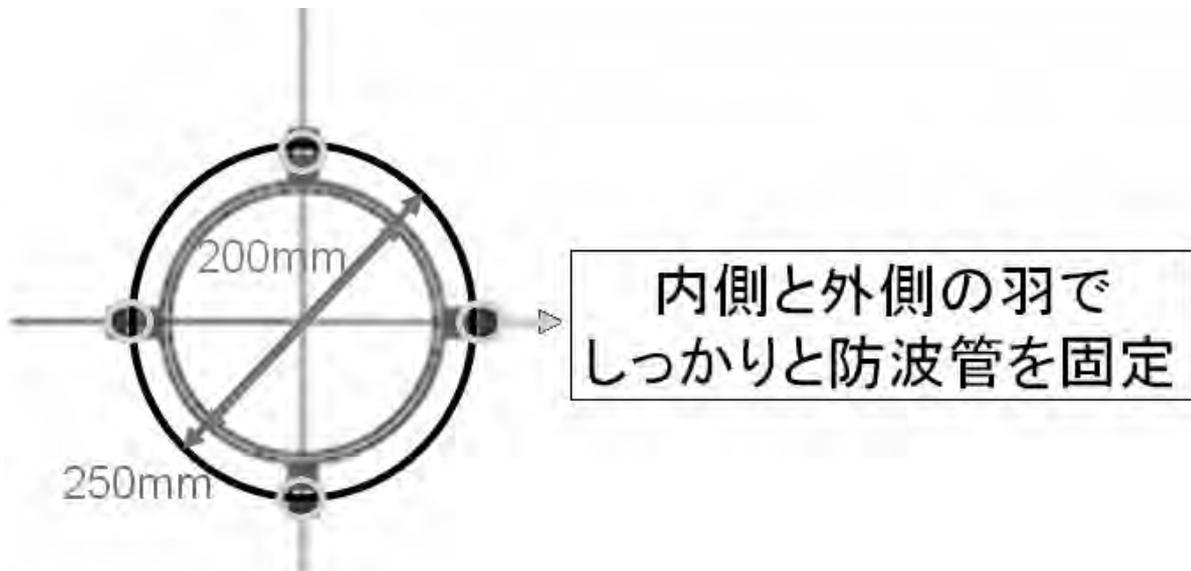


図3 さや管と既設管の断面図

#### 5. 施工について

上記の手法を用いて補修をするためには、既設管の振動を抑える必要がある。しかし、前述のとおり既設管は第一沈殿池の3号池からの滝落とし部分にあるため、流出水によって振動している。そこで、当該号池の流入扉開度を調整して、滝落とし部分の流量を減らし、既設管の振動を抑えて施工することとした。図4に示すとおり、3号池の4水路のうち、既設管に最も近い3-1と3-2水路の止水扉を全閉にして、3-3と3-4水路の止水扉を半分だけ閉じるだけで、振動が弱まり、施工可能となった。

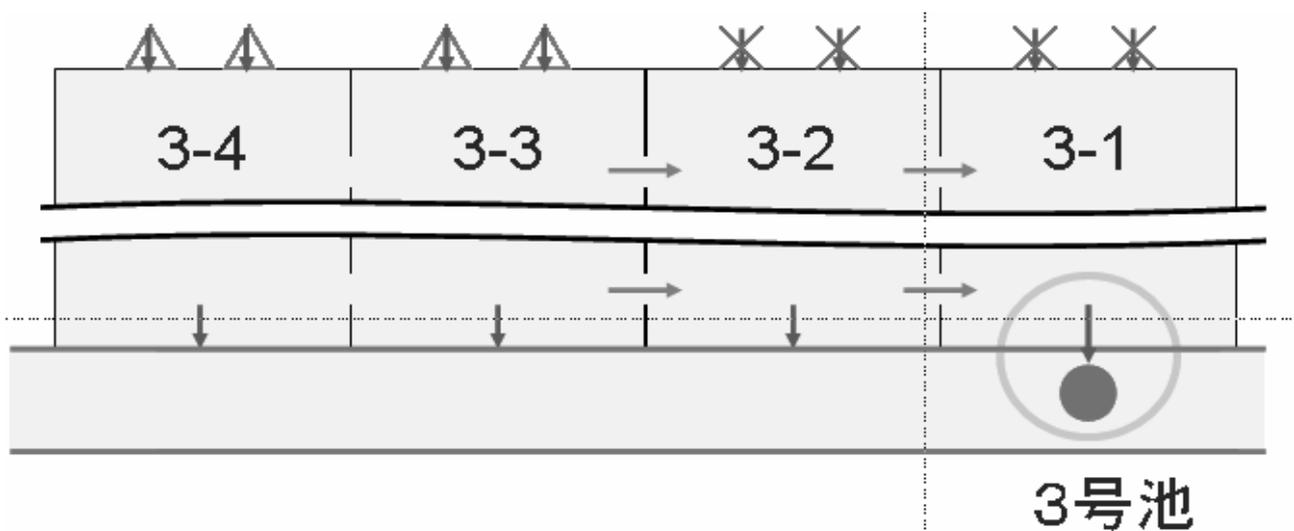


図4 施工時の止水扉の状況

以下、図5から図8において施工時の写真を示す。



図5 施工用材料



図6 施工時の写真



図7 完成後外形写真



図8 完成後内部写真

## 6. おわりに

本論文では、東陽系第一沈殿池の流出渠において、流出渠の通水の停止を伴わない防波管の補修事例を紹介した。本工事手法は「施設停止の小規模化・短時間化」を目的としていたが、実際には施設の停止を伴わず、ごくわずかの施設能力低下だけで実施できた。また、補修後の経過は良好である。

本手法の適用が期待される場所としては、流量の少ない場所であれば施設を停止せずに施工できるため、分水槽などの施設を停止できない場所、水処理に大きな影響を与える場所などが考えられる。

また、流出渠内部に人間が立ち入らなくても補修が可能のため、転落・酸欠などのリスクはない。さらに、床上の設置スペースは面積60cm平方程度であり、高さも60cm程度で足りるため、場所もとらず安全に施工できる。

本工事手法のように、「安全性を確保した上で環境に負荷をかけない工事手法」がこれからの環境行政としての下水道局の業務として重要であると考えられる。

今後、本設備における問題が発生した場合は、それらを解決しながらこの手法のノウハウを蓄積し、「安全性を確保した上で環境に負荷をかけない工事手法」のさらなる追求を行っていきたい。

## 5-(1)-10 流入水量半減と反応槽通水停止に伴う水処理状況

西部第二下水道事務所施設課浮間水質管理係  
(浮間水再生センター)

○小林 克巳  
樋口 和也

### 1. はじめに

平成 19 年度、管内の板橋幹線人孔部の補修工事に関連し、3日間、板橋幹線の汚水を石神井中幹線を通じ、みやぎ水再生センターへ切り回す作業を行った。この切り回しに伴い浮間水再生センターへの流入水量が半減するとともに、家庭汚水の多い板橋幹線からの流入がなくなり事業所排水の割合が増加するため、水処理への影響が懸念された。

以下、このような状況の変化を踏まえた3日間の水再生センター（嫌気無酸素好気法）における運転対応と水処理の状況について報告する。

### 2. センターの現況と水量減による影響予測

#### 2.1 現況

当センターの反応槽の概要図を図-1に示す。

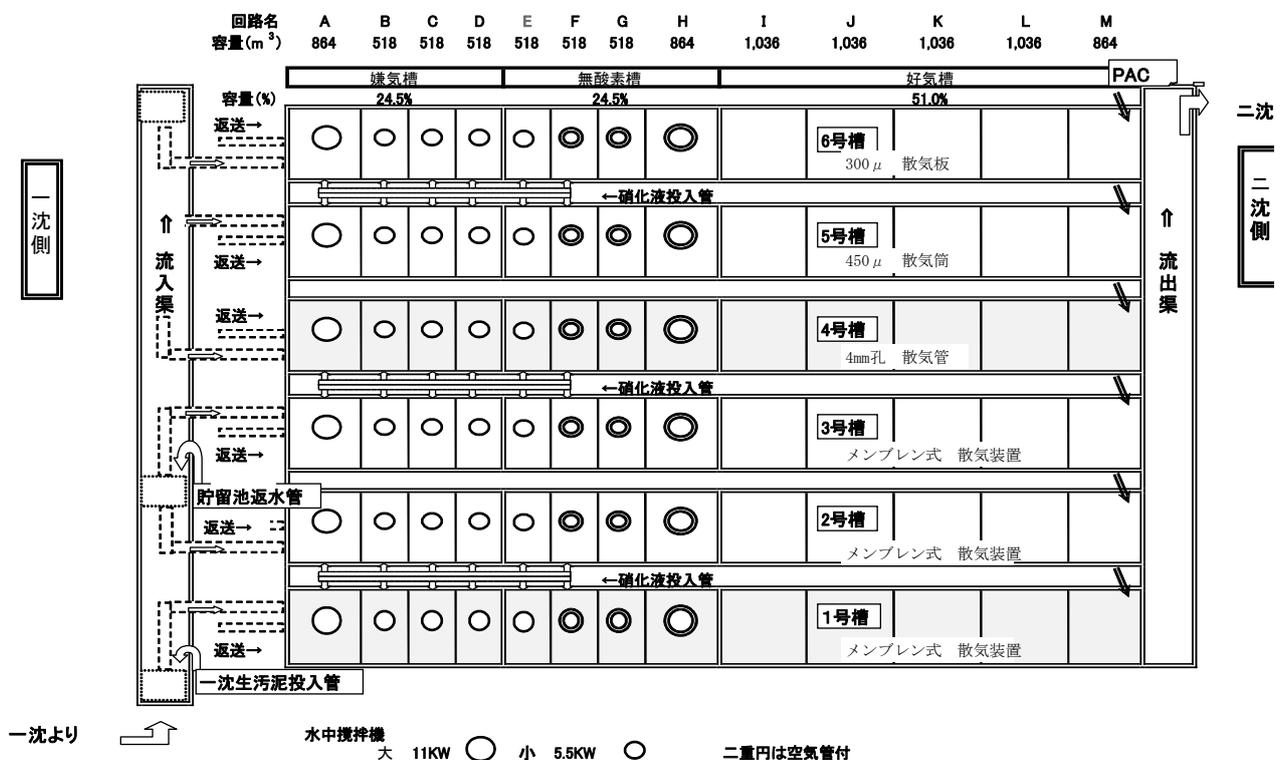


図-1 反応槽概要図

処理能力は 100,000m<sup>3</sup>/日である。反応槽は 6 槽あり全槽嫌気好気無酸素法（A2O 法）である。また、図-1 に示したように 1~3 号メムブレ式、4 号散気管、5 号散気筒、6 号散気板のように散気装置が混在している。

## 2.2 影響予測

A2O 法であることからもともと滞留時間が長く、流入水量の半減に対して無対策では、滞留時間の一層の増加を招き、低負荷による影響とあいまって MLSS の解体による固液分離の悪化や窒素・りん処理への影響や再立ち上げしたときの MLSS の定常状態への回復に時間がかかることが予測された。通常時、水量半減時の比較を表-1 に示す。水質データは日常試験の結果を使用している。通常時の期間は水量半減直前の 12/10~12/17 とした。

表-1 通常時と水量半減時の比較

項目	単位	通常時	水量半減時		
反応槽流入水量	m <sup>3</sup> /日	67,400	35,800		
硝化液循環率	%	48	46		
水利的 滞留時間	一沈	時間	3.3	6.2	
	反 応 槽	嫌気槽	時間	3.8	4.7
		無酸素槽	時間	2.8	3.5
		好気槽	時間	5.7	7.0
		合計	時間	12.3	15.2
	二沈	時間	11.0	20.8	
	全体	時間	26.6	42.2	
流入水質	COD	mg/ℓ	61	73	
	全窒素	mg/ℓ	2.4	2.5	
	全りん	mg/ℓ	2.6	2.8	
負荷	COD/MLSS	g/(Kg・日)	34	22	
	N/MLSS	g/(Kg・日)	1.3	0.8	
	P/MLSS	g/(Kg・日)	1.4	0.7	

水処理への影響を考えると沈殿池関係は、滞留時間が長くなっても水処理への直接的な影響が小さいと判断し、対応は、主に反応槽で行うこととした。以下に水量半減に対応する運転内容及び結果を記載する。

## 3. 運転方法

### 3.1 水量半減時

水量が減少した状態で、反応槽 6 槽全槽運転した場合は、循環ポンプの能力を最低にしても各槽の硝化液循環率は大幅上昇してしまうことになり、安定的な循環率が確保できず、窒素除去が不安定になる。また循環率が高過ぎる場合にはりん除去にも悪影響が予想され

る。また流入基質の半減や事業所排水が主体であることを考えると脱窒に必要な有機分の確保も難しいことや、反応槽での滞留時間が過剰となることによる MLSS の自己酸化が促進され水質への影響が想定されることなどを考慮して、反応槽を 2 槽停止とした。停止したのは、返送汚泥の流入バランスのとりにやすいこと、送風停止による散気装置の目詰まりなどを考慮して、送風停止に比較的耐えられる 1 号（メンブレン式）、4 号（散気管式）の 2 槽とした。

沈殿下水の流入を停止する二つの槽については、流入停止中の活性汚泥の自己酸化、腐敗による活性汚泥へのダメージにより再立ち上げ時の回復の遅れやりん・窒素・COD など水質への影響を考慮して送風の全面停止は行わず、1 号槽の送風量は通常時の約 40% の最低風量（ $1,000\text{m}^3/\text{時}$ ）で連続曝気、4 号槽は 1 時間の曝気に 7 時間の曝気停止で 3 回/日の間欠曝気（通常時送風量の約 10%  $3,000\text{m}^3/\text{時}$ ）とした。さらに、1・4 号槽は返送汚泥と硝化液循環は停止とした。第二沈殿池は汚泥浮上や通水時の汚泥バランスをとることが煩雑になることから全池運転とした。

嫌気槽・無酸素槽の水中攪拌機は通常のまま、1 号槽は連続攪拌、4 号槽は間欠攪拌としている。ただし 4 号槽の水中攪拌機は、立ち上げ時の条件を 1 号槽と同じにするため 21 日 10 時から連続攪拌とした。

通水運転槽（2・3・5・6 号槽）の処理条件は通常通り送風は DO 制御：設定値  $3.5\text{mg}/\ell$ 、返送率、循環率：それぞれ 50% によって運転を行った。処理水量は返送汚泥ポンプ能力の最低流量から計算して、返送率が 50% を超えないようにするためには 4 槽分の  $1,200\text{m}^3/\text{時}$  以上必要になる。なお、水量確保の事前準備として  $4,800\text{m}^3$  を貯留池に貯留した（18 日 9 時から 13 時）。

水量半減時の各反応槽の運転方法を表 2 に示す。

表 2 流入水量半減時の各反応槽運転方法

反応槽	通水状態	通常比 水量	曝気方式	曝気状態	通常比 送風量	返送汚泥 硝化液循環
1号槽	通水停止	0%	微細気泡	低風量連続	40%	停止
2号槽	通水	75%	微細気泡			
3号槽	通水	75%	微細気泡			
4号槽	通水停止	0%	散気管	1hr/8hrの間欠	10%	停止
5号槽	通水	75%	散気筒			
6号槽	通水	75%	散気板			

### 3.2 水量回復時の再立ち上げ

停止槽は、あらかじめ午前 9 時から水質安定化のため曝気を開始した（1 号槽は風量  $1,800\text{m}^3/\text{時}$  で、4 号槽は DO 制御  $3.5\text{mg}/\ell$  で設定）。停止槽の 1・4 号には午前 11 時から

りの水質基準値超過の可能性を考慮して反応槽末端でPACを注入した。(注入量 10ℓ/時/槽)

停止槽は工事終了時刻の午後1時に合わせて、処理水量を300m<sup>3</sup>/時に制限して立ち上げた。返送率と循環率はともに50%とした。この時点で、1号槽の送風量は4号槽と同じDO制御に移行。PAC注入(10ℓ/時/槽)は継続し、反応槽りん状況を見て22日の午後1時に停止した。

### 3.3 水量回復後連休中の運転方法

水量回復は金曜日であり、その後は三連休に入るため連休中の運転対応方法を検討し以下のように実施した。

反応槽は、1・4号槽を除き、通常の運転を行った。1・4号槽は処理水量を300m<sup>3</sup>/時に制限、返送率、循環率をそれぞれ50%、送風量は3.5mg/ℓのDO制御、水中攪拌機は連続運転とした。この運転は他の槽の運転条件にかかわらず固定とした。

## 4. 水処理状況等

### 4.1 工事期間中の流入水量

水量半減期前後の水量、雨量を図-2に示す。

板橋幹線の工事は、18~21日の3日間であるが、グラフを見ると17日午後あたりから徐々に低下し始めている。また、この時期に降雨の影響がなかったことから19日には、通常時の約1/2まで水量が低下しているのがわかる

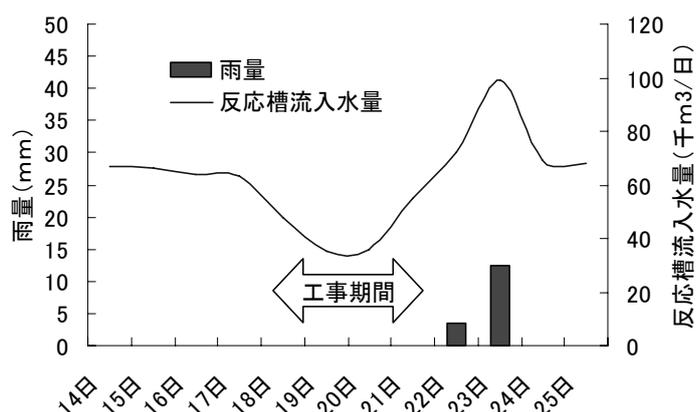


図-2 雨量と水量

### 4.2 水量半減時

#### 4.2.1 好気槽の状況

##### (1) 1号槽のりん

1号槽メンブレン式は通常時の約40%の風量である最低風量で曝気を続けたが、活性汚泥の沈降が起き風量低下8時間経過後MLSSは400mg/ℓ台で一定となった(図-3参照)。

水質の変化を表-3に示す。好気槽のりん酸性りんは通水停止直後は0mg/ℓであったが、徐々に上昇し21日の通水直前に最大0.9mg/ℓのりん

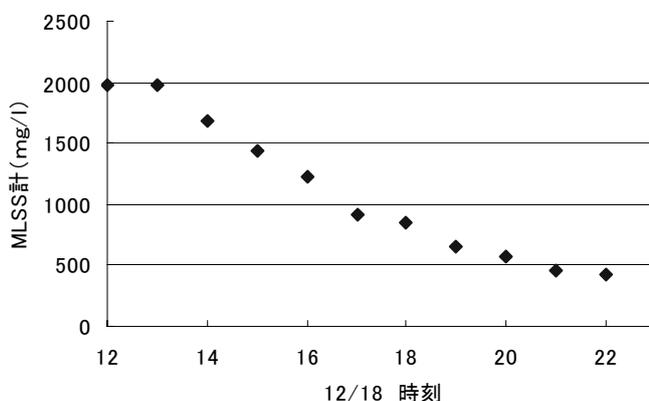


図-3 低風量曝気によるMLSSの沈降

ん酸性りんが検出された。汚泥中のりんが溶出したものと推測される。りん溶出の原因は、①活性汚泥を長時間曝気するとりん溶出が起きること②沈降汚泥が嫌気状態となり、りん溶出(=PHA 取得)を起すことかのいずれかと考えられる。

表-3 通水停止好気槽の水質変化

		日	19		20			21			25	
		時刻	10:00	14:00	10:00	14:10	14:40	8:00	10:00	14:00	15:30	10:00
1号	低風量連続曝気	P04-P	0		0.3	0.4		0.9	2	1.5	0.9	0
		N03-N	8.4		7.2	6.8			7.5	7		8.4
4号	間欠曝気	P04-P	<b>0.0</b>	0.8	<b>0.1</b>	1.2	0.4		0.2	0.1		0
		N03-N	<b>3.2</b>	2.3	<b>2.0</b>	0.7	1.1			1.6		7

\*太字:曝気停止中の値

①の事象を確認するため12/21、8時に曝気中の1号槽好気槽より採取した活性汚泥で室内実験を行なった。活性汚泥をフラスコで2.5時間空曝気したところ、りん酸性りんが曝気開始時の0.9mg/lから1.4mg/lに上昇した。

このことから①の事象は起きていたことが推測される。①の事象が起きる理由は、はっきりしてないが、活性汚泥中に共存する固形有機物がりん除去に寄与していることが知られており<sup>1)</sup>、長時間の曝気によりこの汚泥中有機物が消耗することと関係していると考えられる。一方、21日に曝気風量が通常程度に戻るとMLSS濃度も回復し底泥の巻き上げが起きた。1時間後に反応タンク末端で最大2mg/lのりん酸性りんが検出され、その後徐々に低下した。このことから②の反応も起きていないと2mg/lまで上昇したりん酸性りんの低下は説明できないと考える。どちらにしても結果的には、反応槽への下水流入を停止しても、今回のような反応槽での汚泥堆積を防ぐ最低限の操作(好気槽:低風量連続曝気または間欠曝気、嫌気無酸素槽:水中攪拌機連続運転)を行えばMLSSのりん除去機能を保つことができることが明らかとなった。

#### (2) 4号槽のりん

4号槽散気管式では間欠曝気を行っていることから、曝気送風量はメンブレン式の半分以下となった。1号槽と同様に間欠曝気開始時はりん酸性りんが一時的に上昇するが、曝気中に低下し、曝気停止中の反応槽上澄水りん酸性りんは0.1mg/l以下となっていた。(表-3参照)、1号槽の回復時の挙動と比較すると、反応槽への流入を停止する場合、りん除去能力の低下をより少なくするには、MLSSの流動が起こりづらい低送風量連続曝気よりも送風量が少なく槽内の攪拌が一定時間ごとに確保できる間欠のほうが結果は良好であった。間欠曝気の間隔とりん除去性能の関係を詳細に調査すれば、省エネ的な運転につながる可能性があるかも知れない。

#### (3) 1・4号槽の窒素

曝気過多になることを想定してアンモニア性窒素の残存は無いと予測し測定をしていないが、水量回復後の全窒素と硝酸性窒素の差は通常時と同程度であり、アンモニア性窒素がほとんど残存・生成してないものと推定した。そこで、窒素濃度については硝酸性窒素

で評価することとした。硝酸性窒素は通水停止時から徐々に低下しメンブレン式より曝気風量の少ない散気管式の減少が顕著であった。これは、曝気停止時に硝酸性窒素の脱窒現象が起きる事により減少したものと推定される。(表-3参照)

#### 4.2.2 嫌気槽

通水停止中の水質の変化を表-4に示す。りん酸性りん、アンモニア性窒素、濁度(濁度は5Aろ液を測定)とも通水停止後から徐々に

低下しており、嫌気状態においても水質の低下はみられなかった。別の機会に簡易放流水の滞留水が放置日数経過とともに透明感が向上する事例があるが、りん酸等が低下する現象はこの事例と共通する点があり、自浄作用の一種とみられる。

表-4 通水停止嫌気槽の水質変化

日	19	20		21
時刻	10:00	10:00	14:10	10:00
PO4-P	12.7	11.8	11.2	8.9
NH4-N	11.1	9.4	8.8	7.6
濁度	11.8	10.5	10.9	7.2

#### 4.2.3 活性汚泥の水処理能力確認

通水停止中の1号槽嫌気槽、好気槽それぞれの沈降濃縮活性汚泥40mlに反応タンク流入水80mlを加え、3時間振とう曝気<sup>2)</sup>後にそれぞれの処理水を測定した室内実験の結果を表-5に示す。

なお、12/19・12/20の嫌気槽、好気槽4通りの検体のMLSSは1,400~1,700 mg/lであった。

表-5 通水停止槽汚泥の処理性

		NO2-N	NO3-N	PO4-P	S-COD
12/19	嫌気槽	1.7	10.6	0.0	17
	好気槽	1.6	10.2	0.0	17
12/20	嫌気槽	1.7	9.3	0.0	***
	好気槽	1.0	11.1	0.0	***

処理水硝酸性窒素は10 mg/l程度であり硝化能力に問題は無いと考えられる。また、処理水にはりん酸性りんは検出されずりん処理の能力にも問題はない、処理水CODは当時の実施処理水CODとほぼ同じである。以上のことから活性汚泥の処理能力の低下はみられなかったものと推測する。

#### 4.3 停止1・4号槽の通水復旧

3日間の通水停止では、表-3の21日のりん酸性りんの挙動から通水時に反応槽好気槽でりん濃度の一時的上昇がみられたが大きな影響はなかった。また、表-2から風量が1号槽低風量連続曝気より少なかった4号槽間欠曝気の方が、水量回復時のりん酸性りん・硝酸性窒素濃度は低くなっている。通水停止嫌気槽に関して記述した嫌気槽及び処理能力確認データから無曝気を長時間継続してもその後の水処理への影響があるとは考えられない。逆に、好気槽活性汚泥のみをフラスコで空曝気したところりん酸性りん濃度が上昇したことから、必要以上の曝気は逆効果とみられる。このことから、好気槽では散気装置の目詰まりを最小限とする風量で曝気を行なうのが長期間通水停止時に有効と考える。

また、今回は通水停止槽では、返送汚泥・硝化液循環も停止したが、返送汚泥・硝化液は硝酸の供給源となる。無酸素状態で硝酸の結合性酸素はりん蓄積菌の一部や従属栄養細菌には曝気とほぼ同じ酸素供給効果があると考えられている<sup>3)</sup>。曝気を抑制するほど影響が少ないという今回の結果から、反応槽を長期間通水停止させる場合は硝化液循環も停止

させるのがよいと考える。今回は稼働している反応槽があり第二沈殿池は全池通水だったが、同様の理由で通水停止反応槽へは汚泥返送も停止した方がよいと考える。

#### 4.4 通水槽の水質状況

図-4, 5の色度・流入CODは反応槽流入水の日常試験値と全窒素(T-N) 全りん(T-P)は工業計器日平均値である。色度は5Cろ液の測定値である。反応槽流入水の変化を図-4に示す。水量減少期間は家庭下水の割合が低下したと考えられるが、図-4から水量減少期に反応槽流入水で上昇した項目は色度であり、色度ほどではないがCODも上昇している、変動が少なかった項目は全窒素、全りんである。

処理水の変化を図-5に示す。水量回復時にPACを1号4号反応槽末端で投入したため処理水全りんの評価が適正に行なえないことにより表示していない。なお、6号槽工業計器測定値を見ると反応槽出口側のりん酸性りんは図-5の期間(12/10~12/28)は0 mg/lであった。水量減少に伴い測定値が上昇したのはCODと色度であることがわかった。これらのことから、処理水CODと色度には反応槽流入水色度の影響が現れやすいことが見られる。また、図-6に色度とCODの関係を示す。COD50 mg/l以上が反応槽流入水であり、COD20 mg/l以下が処理水である。反応槽流入水は色度とCODの相関性が低い、処理水では相関性が高いことがわかる。反応槽流入水は成分が複雑で難分解性成分もあれば、易分解性成分もある。一方、活性汚泥処理後の処理水は流入水に比べれば組成は難分解性成分が主成分と考えられることから、処理水CODと色度は難分解性成分と関連していることが推測される。なお、一部の事業所排水からは色度の高い難分解性成分が当センタ

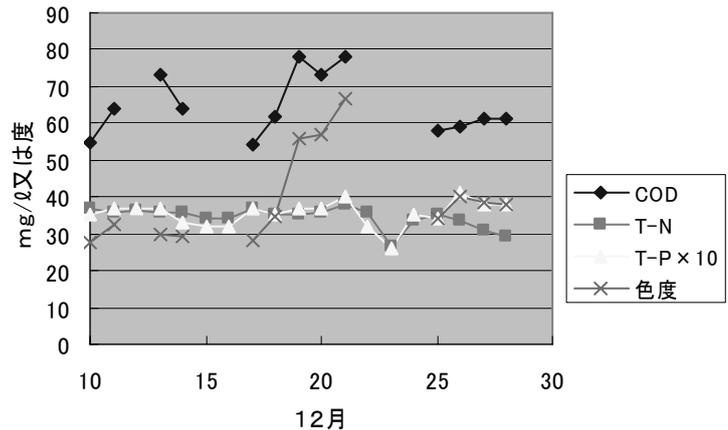


図-4 反応槽流入水の変化

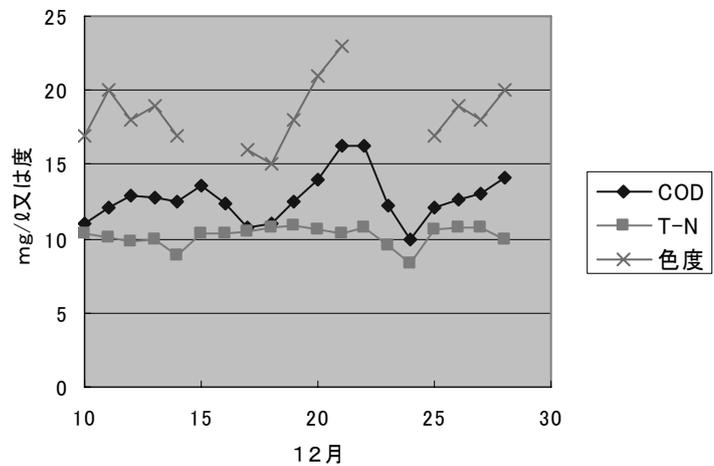


図-5 処理水の変化

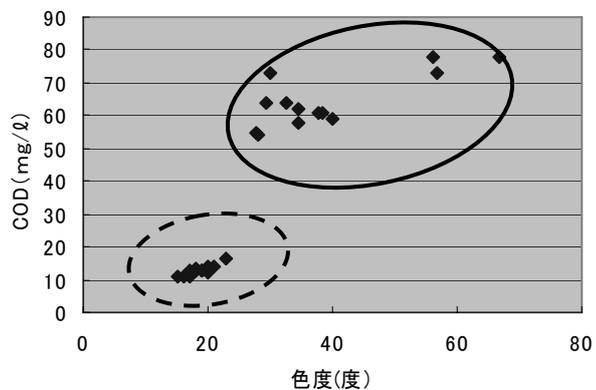


図-6 12/10~12/28の反応槽流入水・処理水

一に流入していることがわかっており、一連の色度と COD の挙動はこの事実と整合性がある。

## 5. まとめ

幹線工事に伴い 3 日間の流入水量半減という事態が発生したため、水量半減による施設への影響を低減するための対応運転を行った。6 槽ある反応タンク中 2 槽の通水を停止することとし、通水停止槽は、返送停止、硝化液循環停止、低風量曝気又は間欠曝気運転とした。その結果以下のように水量半減の影響を抑えることができるとともに送風量や連続曝気等の必要性当に関する幾つかの知見が得られた。

- 1) 通水停止槽は好気槽、嫌気無酸素槽とも水量復旧時の反応タンク末端りん酸性りん濃度の短時間上昇以外に問題は無かった。
- 2) 水量減少期に事業所排水の比率が増加したと考えられる。通水槽では処理水 COD の上昇が観測されたが、窒素・りん濃度には変動が見られなかった。
- 3) 長期間通水停止中の好気槽では散気装置の目詰まりを最小限にする風量で曝気を行なうのが有効と考えられる。
- 4) 当センターの場合、処理水 COD・色度には流入水色度の影響が現れやすく、難分解性成分と関連していると考えられる。

今回の幹線切り回し作業による水量半減への対応は、緊急に行われたために準備期間がないなかで、浮間水再生センター各係の綿密な連携により処理施設及び水処理水質への影響を最小限に出来たことで、水処理管理は各係の連携が重要であることが再認識された。

## 参考文献

- 1) 東京都下水道局技術調査年報 2004 P129～135
- 2) 平成 14 年度水質管理研修 P25～28
- 3) 味埜 俊：活性汚泥モデル

## 6. 国際論文

- 1 **MAKING FUEL CHARCOAL FROM SEWAGE SLUDGE  
FOR THERMAL POWER GENERATION PLANT – FIRST IN JAPAN**  
(日本初の熱発電プラント用の汚泥を原料とした炭化燃料製造)
- 2 **STUDY ON SEWAGE SLUDGE GASIFICATION**  
(下水汚泥のガス化に関する研究)
- 3 **Reclaimed Wastewater Supply Business in Tokyo and  
Introduction of New Technology**  
(東京における再生水事業と新技術導入)

## **6-1 MAKING FUEL CHARCOAL FROM SEWAGE SLUDGE FOR THERMAL POWER GENERATION PLANT - FIRST IN JAPAN**

Toru Oda  
Coordinating Supervisor, Planning Section  
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government  
Tooru\_Oda@member.metro.tokyo.jp  
2-8-1 Nishi-Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8001, Japan

### **ABSTRACT**

Sewerage Bureau of Tokyo Metropolitan Government has launched new project in which dewatered sludge is turned into fuel charcoal and sold for thermal power generation plant. This project scheme is implemented for the first time in Japan. This project is expected to strongly promote the utilization of sewage sludge and the reduction of GHG.

### **KEYWORDS**

Sludge utilization, carbonization, GHG reduction

### **INTRODUCTION**

Sewerage Bureau of Tokyo has promoted utilization of sewage sludge in order to contribute to realizing recycling-oriented society. In Tokyo, whole dewatered sludge is incinerated and ash is disposed of by ocean dumping or provided as raw materials to cement factory and so on. To enhance the contribution to environmental preservation, we has launched new project in which dewatered sludge is turned into carbonized material and sold as fuel for thermal power generation plant. This project scheme is implemented for the first time in Japan.

### **BACKGROUNDS**

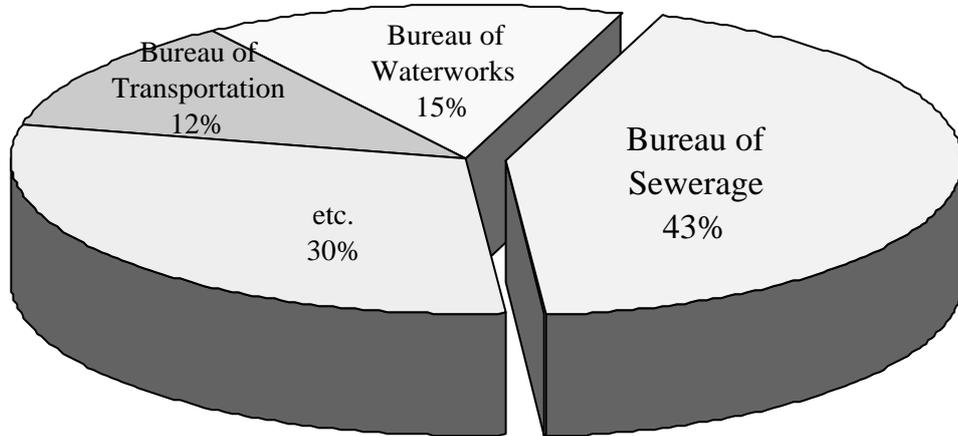
#### Reduction of Greenhouse gases (GHG) emission

Sewerage Bureau of Tokyo is emitting 43% of GHG attributed to Tokyo Metropolitan Government's activities. So Sewerage Bureau is greatly responsible for preventing global warming (Figure 1). Especially, GHG from sludge incineration occupies large portion, which should be mitigated (Figure 2).

Until now, Sewerage Bureau has utilized thermal content of wastewater or made effort to reduce energy consumption. In September 2004, Sewerage Bureau formulated "Earth Plan 2004" in order to carry out countermeasures against global warming willingly and actively. In this Plan, emission amount of GHG shall be reduced to 94% of 1990's emission amount by fiscal 2009 (Figure 3).

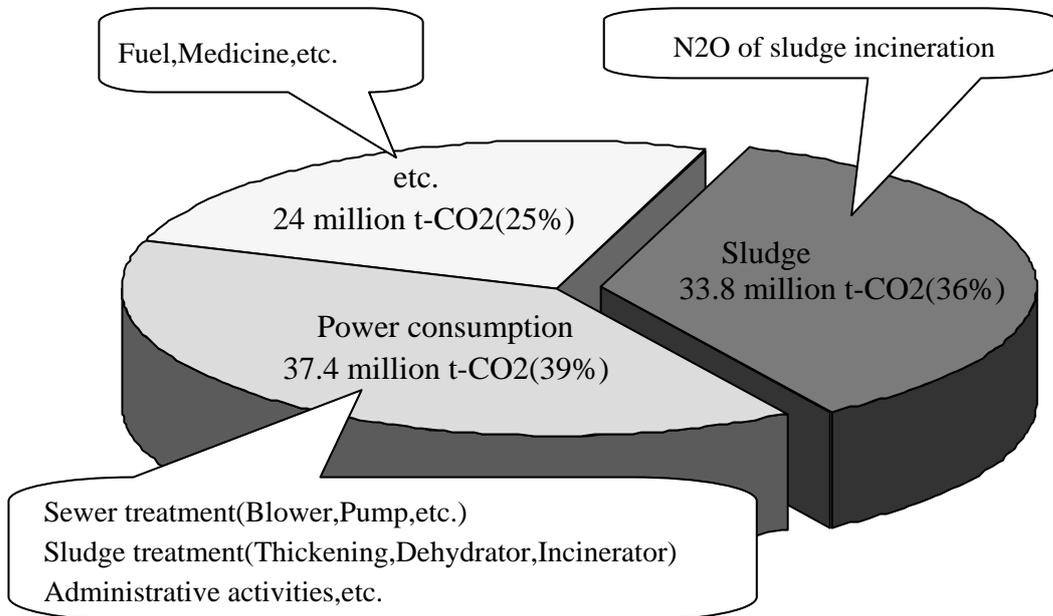
Sludge carbonization project is a quite effective project and bears 20% in total GHG emission reduction in the Plan.

**Figure 1 - Ratio of GHG attributed to Tokyo Metropolitan Government's activities**



GHG emission 220 million t-CO<sub>2</sub>  
(fiscal 2005 )

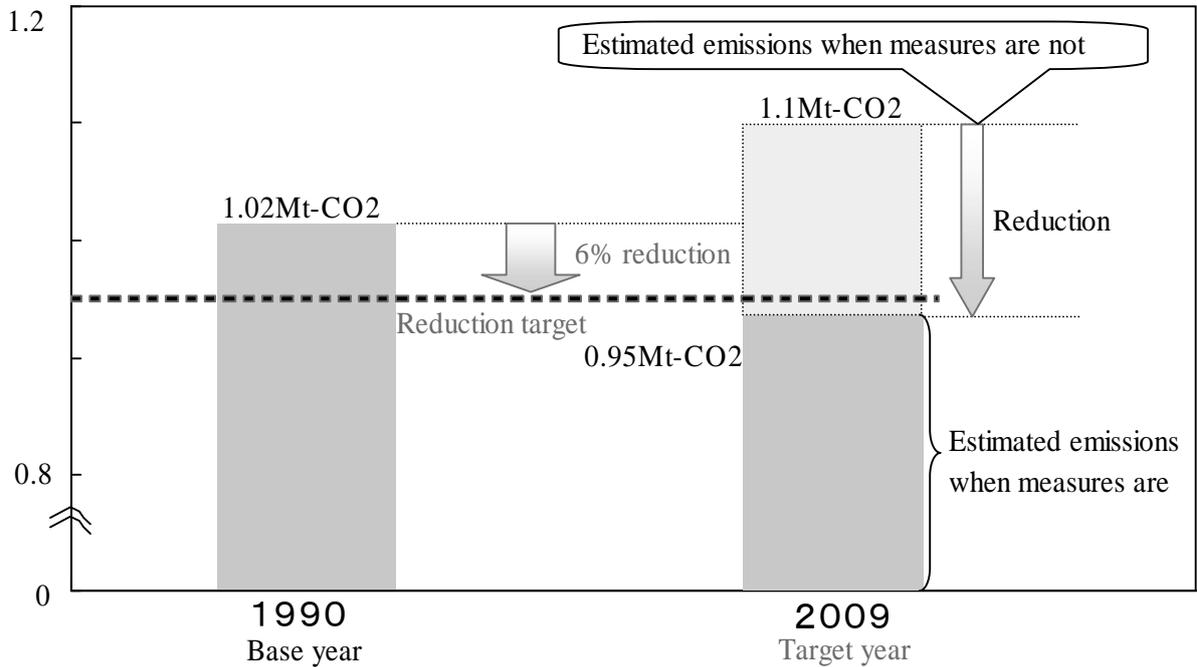
**Figure 2 - GHG emission by Sewerage Bureau of Tokyo**



GHG emission 95.2 million t-CO<sub>2</sub>  
(fiscal 2005 )

**Figure 3 - GHG reduction target of “Earth Plan 2004”**

(Mt-CO<sub>2</sub>)

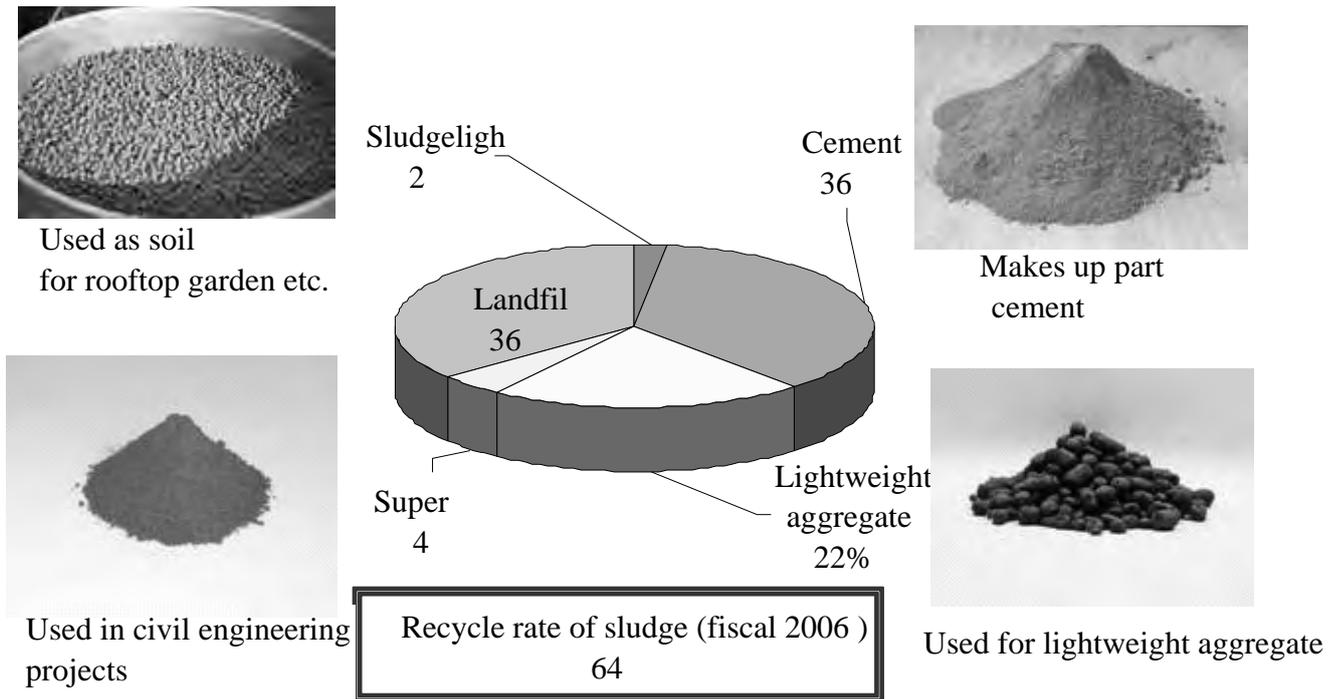


Utilization of Sewage Sludge

In Tokyo, some 2,700 tons of dewatered sludge is generated daily and whole dewatered sludge is incinerated to reduce its volume.

In fiscal 2006, 64% of sewage sludge is utilized. But this figure is still insufficient. At present, some 20,000 tons of ash is dumped at dumping site in Tokyo Bay. To save the dumping site, it is necessary to utilize whole quantity of sewage sludge (Figure 4).

**Figure 4 - Ways of Sludge Utilization**



**SEWAGE SLUDGE CARBONIZATION PROJECT**

Adoption of carbonization process

Carbonization process was adopted for following reasons.

● Small quantity of N<sub>2</sub>O generation

As carbonization process proceeds without oxygen, N<sub>2</sub>O is scarcely generated. In addition, carbonized material is biomass fuel which is so-called carbon neutral fuel. This contributes to reducing CO<sub>2</sub> emissions at power generation plant which uses this carbonized material.

● Efficient utilization of thermal content of sludge

Carbonized material has more than 8.4 MJ/kg calorific value which is half of coal's. So it can be burned with coal at thermal power generation plant. Mixing ratio is around 1% of coal.

● Easy handling

Through carbonization, dewatered sludge is reduced its volume to 1/12 and its offensive odor is deprived of which enable easy handling of the product (Figure 5).

**Figure 5 - Fuel made by sludge carbonization (Granules with 3-10mm diameter)**

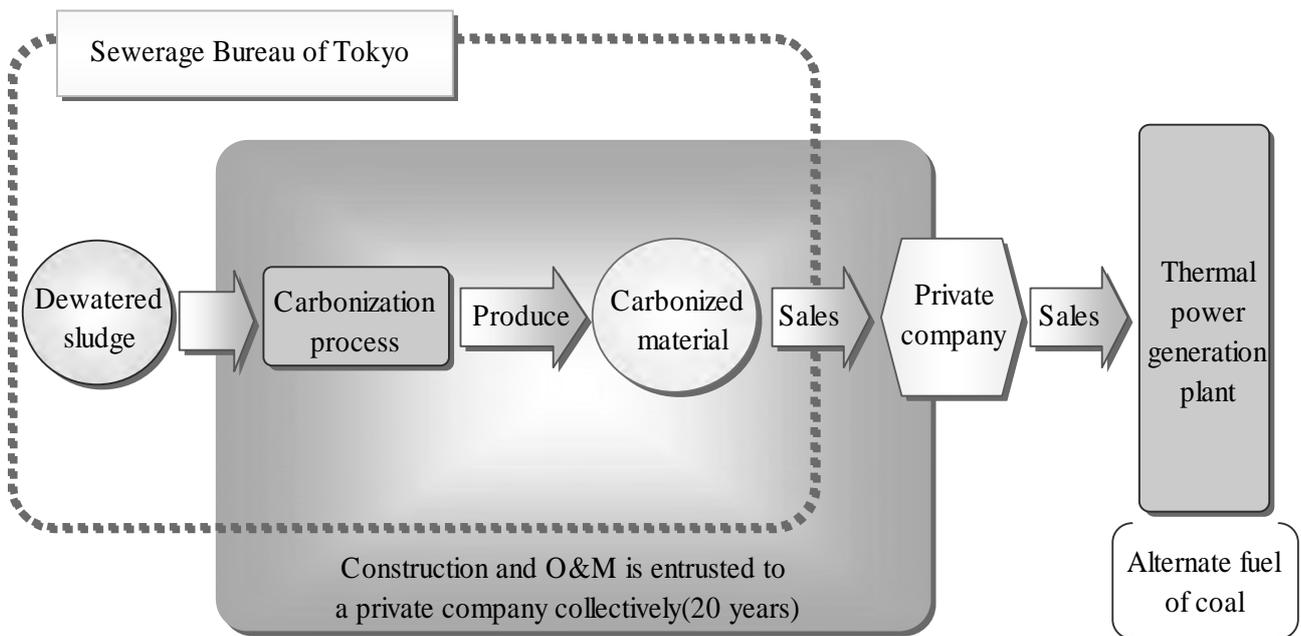


Project scheme

In the project, carbonized material made by carbonization furnace is utilized at thermal power generation plant as fuel. One of characteristic points of this project is that design, construction, O&M and carbonized material dealing is entrusted to a private company collectively. Carbonized material is to be accepted by the power generation plant for 20 years under the contract.

Operation will start in the latter half of fiscal 2007 and will continue for as long as 20 years till March 2027 (Figure 6).

**Figure 6 - Project scheme**



Although, carbonized material has been made from sewage sludge previously, carbonized material is firstly sold to power generation plant as fuel for long period in this project.

### Project cost

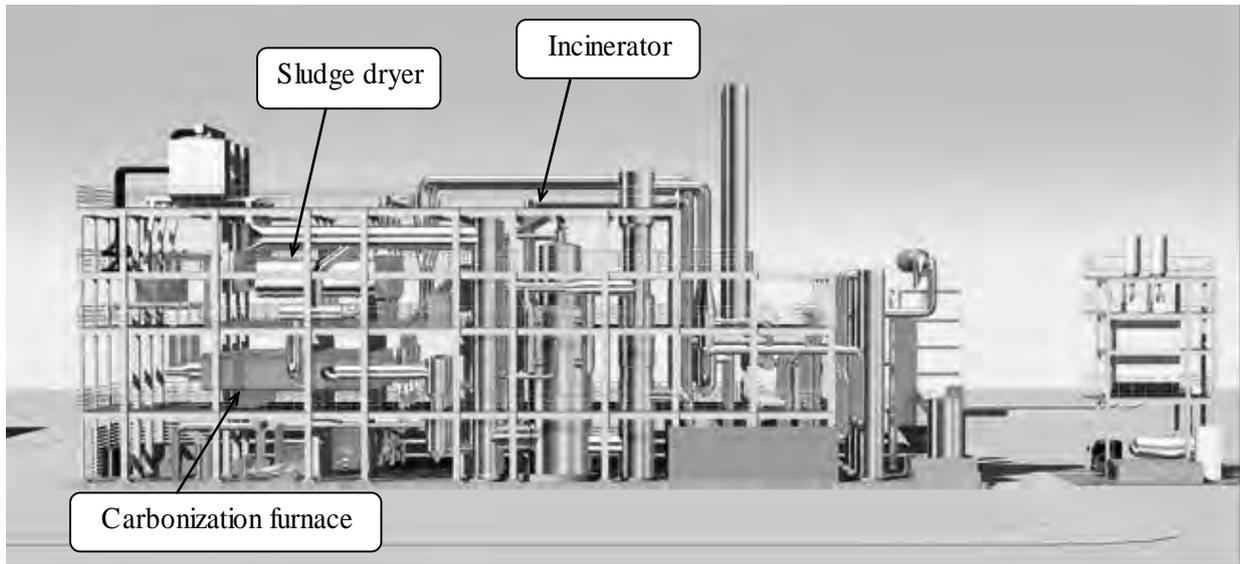
Construction cost for carbonization facilities which can treat 300 tons of dewatered sludge daily, is around 5 billion yen (around 42 million dollar). O&M cost is around 5,000 yen (around 42 dollar) per each ton of dewatered sludge. These costs can compete with usual incineration-dumping procedure.

## **SLUDGE CARBONIZATION TECHNOLOGY**

### Carbonization process

Firstly, dewatered sludge is dried in sludge dryer to reduce its water content to around 25%. Then dried sludge is supplied to carbonization furnace in which sludge is heated at high temperature with shutting off the air for about 1 hour to produce carbonized material. By adding sludge drying process, carbonization furnace can be compact and efficient compare with direct carbonization of dewatered sludge(Figures 7 - 10 ).

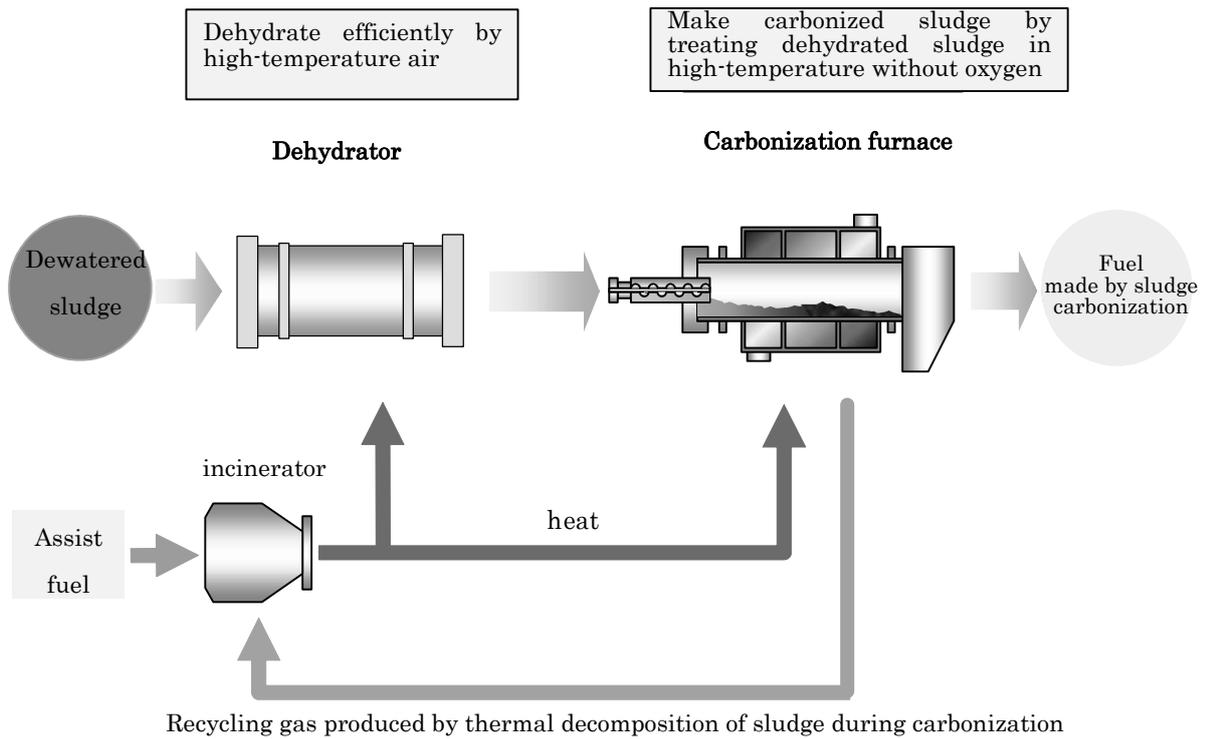
**Figure 7 - Carbonization Facility**



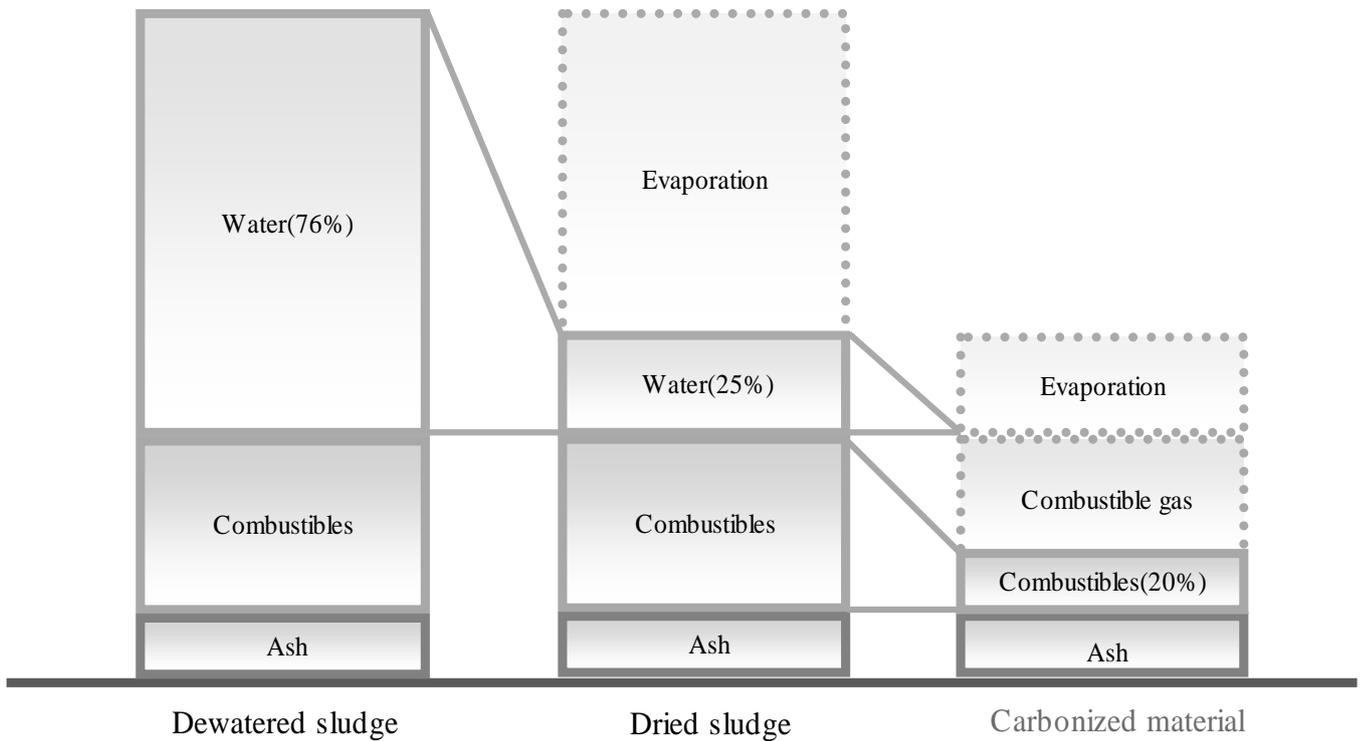
**Figure 8 - Carbonization Facility under construction**



**Figure 9 - Schematic Diagram of sludge carbonization process**



**Figure 10 - Sludge contents changes through carbonization process**



Plant Capacity

Carbonization plant is composed of 3 units of dryer-carbonization furnace system which ensures continuous operation of the plant during examination or repair of the equipments. As each unit can treat 100 tons of dewatered sludge daily, plant capacity is as large as 300 tons per day for dewatered sludge.

Principle Equipment

- Sludge dryer with paddle stirrer efficiently recovers exhausted heat from carbonization furnace and prevents odor generation.
- Outer heating rotary kiln type carbonization furnace has simple construction and widely used as medium to large furnace. Heat resistant alloy and sealing mechanism enable carbonization under low oxygen atmosphere and high temperature which ensure stable carbonizes material.

Improvement energy efficiency

Combustible gas generated by thermal decomposition of sludge during carbonization is utilized as heat source for drying and carbonization which improves energy efficiency of the system.

## EXPECTED EFFECTS OF THE PROJECT

Following effects are expected;

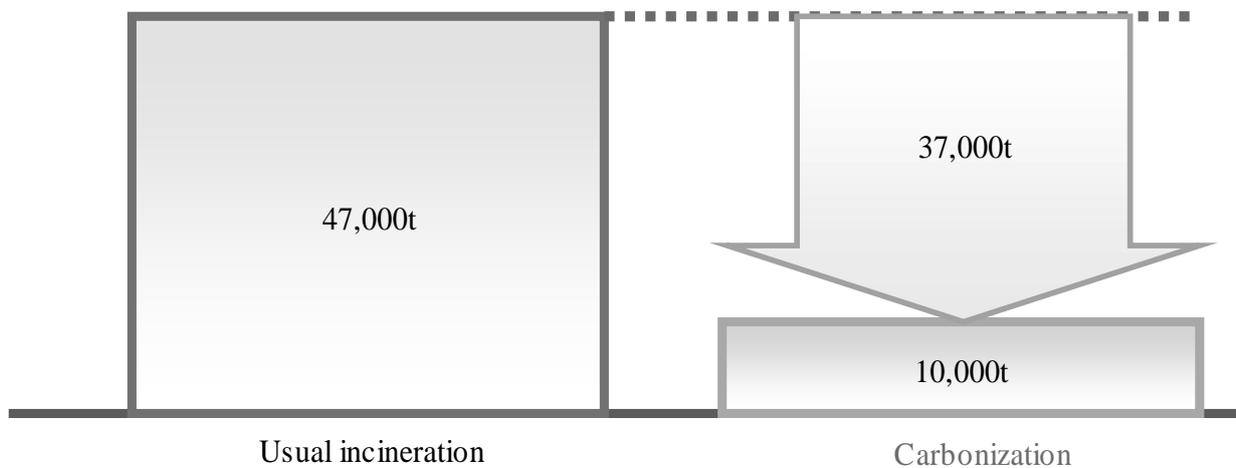
- Greatly reduces GHG emission

37,000 tons of CO<sub>2</sub> equivalents will be reduced. It is equal to that of 103km<sup>2</sup> forest absorption. (Figure 11).

- Strongly promotes utilization of sewage sludge

Carbonized sludge will amount to 9% of sludge generated in Tokyo.

**Figure 11 - GHG reduction by carbonization**



## CONCLUSION

In sludge carbonization project which makes most use of private sector's know-how and ensures project effects during 20 years, utilization of sludge is greatly promoted and GHG emission is largely reduced with the same cost of incineration-dumping procedure.

At present, carbonization facilities are under construction toward starting up the operation. Sewerage Bureau plans to examine plant performances after operation started in order to introduce carbonization facilities to other site which contributes to preservation of global environment.

## 6-2 STUDY ON SEWAGE SLUDGE GASIFICATION

Hajime Takahashi  
River-Basin Sewage Headquarters  
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government  
1-7-26, Nishiki-cho, Tachikawa-shi,  
Tokyo 190-0022, Japan

### ABSTRACT

Aimed at creating new technology to reduce greenhouse gas emission, the Tokyo Bureau of Sewerage has developed a system generating electricity with a gas engine using biogas generated by pyrolytic gasification of sewage sludge in a fluidized-bed gasifier. A 15t/d demonstration facility was built based on a dehydrated sludge and demonstration tests were run for 3400 hours from 2005. As a result of the use of the present system as an alternative to the sewage sludge incineration system of the past it is possible to more than halve the greenhouse gas volume emitted from the sewage treatment plant. This holds promise of a very major emission reduction and energy saving effect.

### KEYWORDS

Sewage sludge; Biomass; Fluidized bed; Gasification; Energy saving; Greenhouse gas

### 1. INTRODUCTION

In recent years there has been growing interest in the problems of the global environment, especially in the issue of global warming. This has led to intensive research and development of a large variety of energy saving technologies. In Japan, too, the sewage service is a large energy consumer sector. With the further diffusion of the public sewage system and the expansion of advanced treatment, it is predicted that amount of sludge generated, electric power and energy consumption and the greenhouse gas emission levels will increase. To meet these challenges the Tokyo Bureau of Sewerage is engaged in the development and introduction of new technologies and as a planned commitment it has drawn up a global warming prevention program and is aggressively promoting GHG emission reduction measures.

The purpose of this study was to develop a new technology. Attention has been focused on the organic parts of the sewage sludge that has been treated by incineration until the present, and the new technology is designed to convert the energy inherent in the sewage sludge that has remained unused in the incineration process up to now to a usable energy. The use of this technology opens up a promising prospect of a major effect in terms of resource and energy.

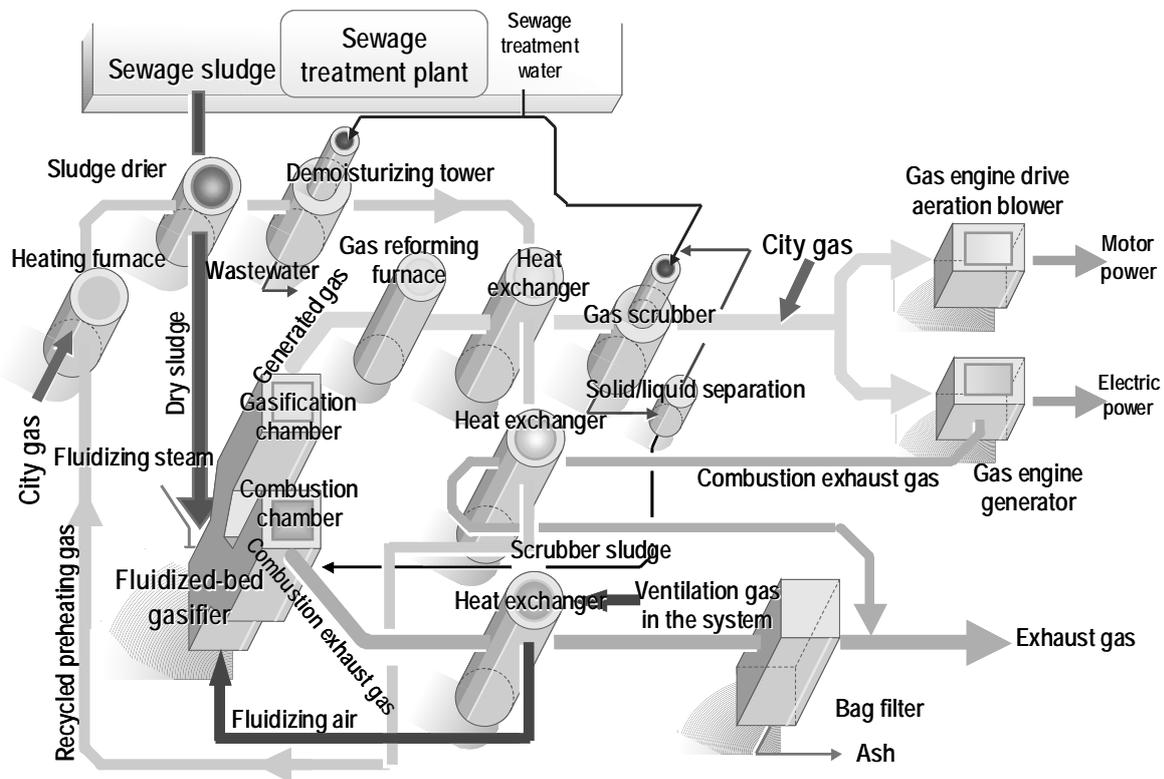
### 2. ENERGY SAVING SYSTEM FOR SEWAGE SLUDGE INCINERATION

Fig. 1 shows the sewage sludge incineration energy saving system. The sewage sludge is dried to a moisture content of 20% in the drier and sent to the gasification chamber of the fluidized-bed gasifier. The fluidized-bed gasifier used in the present system is an internally circulating fluidized-bed gasifier. The dry sludge that has been sent to the gasification chamber is pyrolyzed at a temperature of 650°C - 750°C and reformed with air to a combustible gas (biogas) containing mainly H<sub>2</sub>, CO, and CH<sub>4</sub> in a downstream gas reforming

furnace at 800 - 900°C. The reformed biogas exchanges heat with the recycled preheating gas for drying the sewage sludge and then washed in a gas scrubber. After this, it is converted to motor power or electric energy by an engine for driving an aeration blower and an engine for generating electric power. The solids, unused carbon, and condensation water removed in the scrubber is fed to the combustion chamber of the fluidized-bed gasifier and submitted to combustion treatment for stabilization. After heat exchange with the fluidizing air and dust removal, the combustion exhaust gas from the combustion chamber of the fluidized-bed gasifier is discharged into the atmosphere.

After the recycled preheating gas for sludge drying has been used for sludge drying it is demoinsturized in a demoinsturizing tower and decontaminated. After preheating with the above biogas and the gas engine exhaust gas it is heated in the heating furnace to 400°C and used again for sludge drying. High efficiency thus achieved as the waste heat in the respective locations is recovered using recycled preheating gas and used as a heat source for sludge drying.

**Fig. 1 - Sewage sludge gasification and incineration energy system**

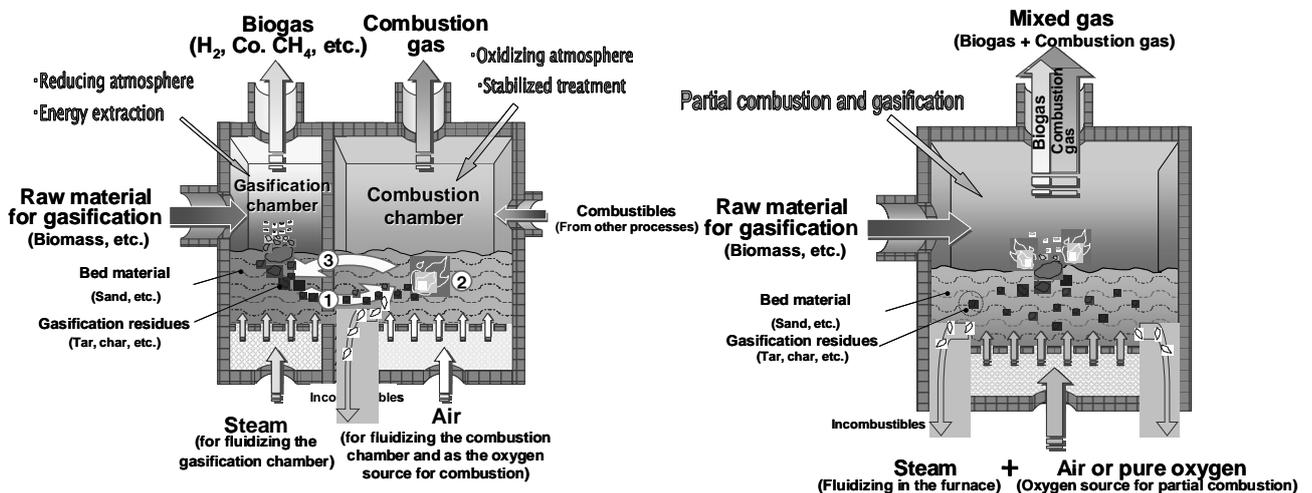


### 3. INTERNALLY CIRCULATING FLUIDIZED-BED GASIFIER

Fig. 2 is a general overview of the internally circulating fluidized-bed gasifier used in the present system. For comparison, it is shown with an overview of the commonly used fluidized-bed gasifier. While the common gasifier is supplied with the raw materials, steam, and the oxygen source such as air in a single space for pyrolytic gasification and partial combustion the present gasifier has a structure that separates the interior between the gasification chamber and the combustion chamber. It is characterized in that pyrolytic

gasification and partial combustions take place in different spaces. The gasification chamber is fluidized with steam, and the dry sludge supplied to the gasification chamber is pyrolyzed under a steam atmosphere and decomposed to biogas whose components are hydrogen, carbon oxides and hydrocarbons such as methane, as well as pyrolysis residues such as char, tar and ash. The pyrolysis residues pass through the aperture at the bottom of the gasification chamber together with the fluidizing bed material and are sent to the combustion chamber (Arrow 1 in Fig. 2). The combustion chamber is fluidized with air and the pyrolysis residues sent from the gasification chamber are completely combusted (Arrow 2 in Fig. 2). The temperature of the combustion is maintained at 800 - 850°C with the heat of combustion. The fluidizing bed material heated in the combustion chamber is returned to the gasification chamber (Arrow 3 in Fig. 2) to supply the heat of reaction required for pyrolysis in the gasification chamber. As a result, the raw materials are not partially-combusted in the gasification chamber and their temperature can be maintained at 650 - 750°C. In the commonly used gasifier, the combustion exhaust gas after partial combustion mixes with the generated biogas. Since in the present gasifier, however, the space in which the biogas is generated and the space in which the combustion takes place are separated from each other, the bios gas is not diluted with combustion exhaust gas so that a combustible gas with a relatively high calorific value is obtained. The pyrolysis residues that are difficult to gasify such as char and tar are selectively combusted and this heat is used as the heat source for pyrolysis so that carbon losses are low. Furthermore, as the residues are discharged after complete combustion in the combustion chamber, the ash that is ultimately discharged even though it is gasifier is discharged in the same manner as the incineration ash, which is discharged from the incinerator before. It is characterized in that it has almost no non-combusted components.

**Fig. 2 - Internally circulating fluidized bed gasifier (left) and Commonly used fluidized bed gasifier (right)**



## 4. STUDY RESULTS

### 4.1 Operating results

An experimental facility (Fig. 3) with a treatment capacity of 15t/d (based on dehydrated sludge) was erected and operated for a test time of 3,400 hours starting from September 2005. The demonstration tests were conducted with a treatment volume of 1,750 ton of sewage sludge. The tests were concluded in July 2006.

### 4.2 Biogas properties

Table 1 shows the composition of the main components in the biogas and the calorific value. Figure 4 shows the time-related changes in the biogas flowrate and the concentration of the main components. Both the flowrate and the composition are stable with variations of +/- a few %. It has been demonstrated that it can be adequately used as a gas engine fuel. The biogas obtained from the pyrolytic gasification of sewage sludge contains, at a concentration of a few thousand ppm, hydrogen cyanide stemming from the nitrogen components in the sewage sludge. In the present system, these components are captured in the scrubbing fluid by wet treatment in the gas refining process and separated out from the biogas. The solution after scrubbing is supplied to the combustion chamber of the fluidized-bed gasifier and the treatment in the process is completed by combustion treatment. It can therefore be concluded that the process has no impact on the environment.

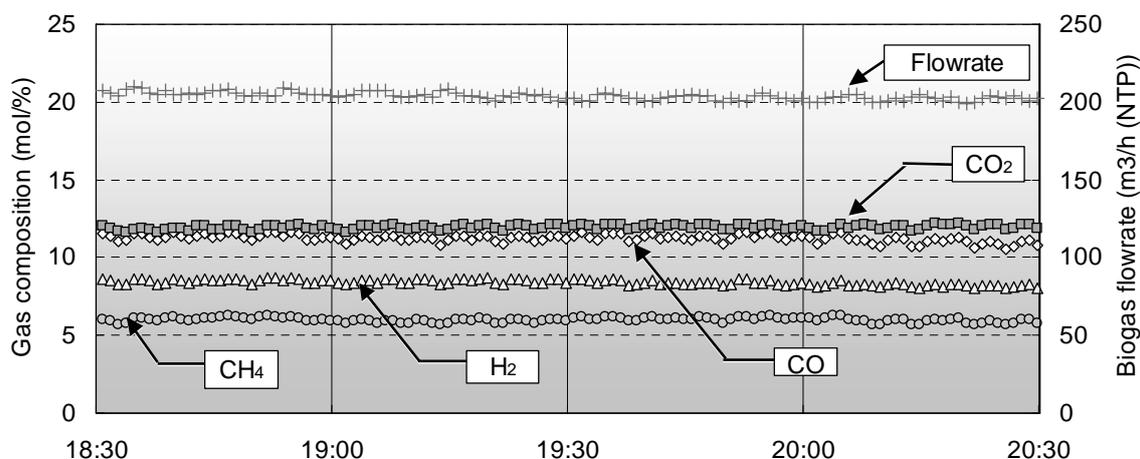
Fig. 3 - External view of demonstration plant



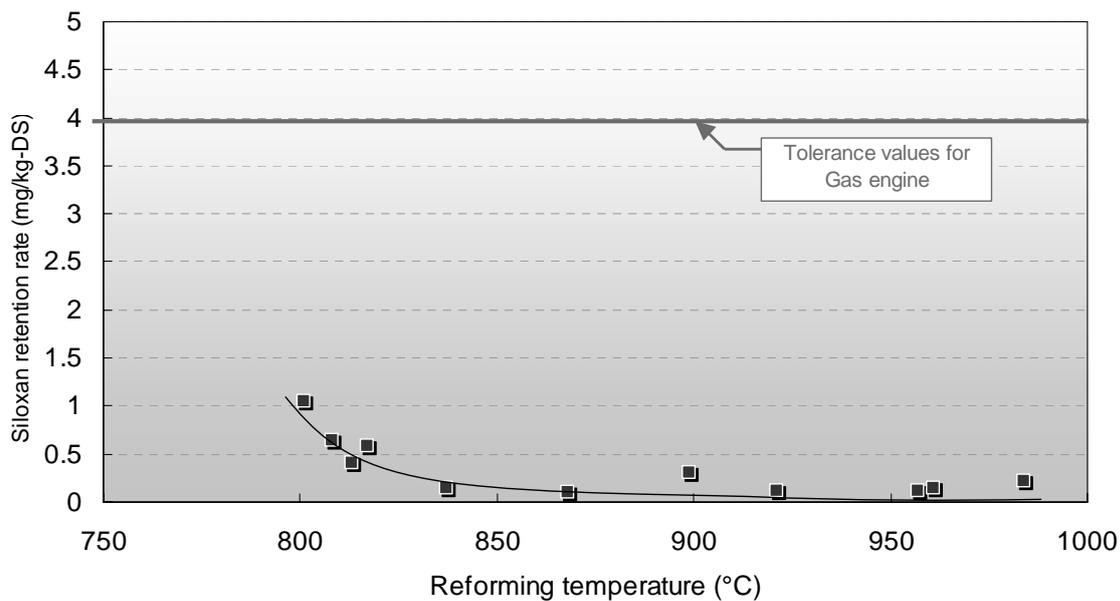
Table 1 - Typical composition of biogas

Flowrate	m3/h(NTP)	200~250
H2	vol%	7~10
CO	vol%	9~13
CO2	vol%	10~12
CH4	vol%	4.0~9.0
C2H4	vol%	0.5~1.0
C2H6	vol%	0.02~0.08
C3H6	vol%	0.02~0.05
C3H8	vol%	0.1~0.2
H2O	vol%	1~1.5
N2	vol%	50~60
LHV	MJ/m3(NTP)	5.0~7.0

Fig. 4 - Time-related change in biogas flowrate and concentration of main components



**Fig. 5 - Siloxan retention rate in biogas per unit dry raw material feed amount**



During power generation using the sewage sludge digestion gas, the siloxan contained in the digestion gas is known to cause problems in the power generating process. With regard to the siloxan that is contained in the biogas generated in the present system, Fig. 5 shows the siloxan retention rate in relation to the gas reforming temperature and the dry material feed amount. The siloxan yield rate depends on the temperature of the reforming furnace: The higher this temperature is the more this rate tends to decrease. The tolerance values for siloxan given by the gas engine manufacturers is around 4mg/kg-DS when converted to the values in this graph. In the present tests they were around 1/3 – 1/4 of this in a gas reforming temperature range of 800°C or higher. It can therefore be assumed that the biogas can be fed to the gas engine without needing to install a siloxan removal system.

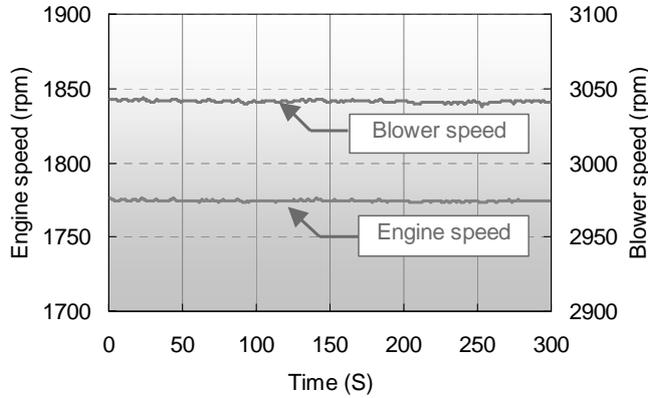
#### **4.3 Gas engine drive blower**

Fig. 6 shows the time-related changes of the engine speed of the gas engine drive blower and of the blower speed while the biogas is fed. It was possible to confirm that both the engine and the blower speeds were stable and that operation was possible. Also were the load change following behavior, the responsiveness in start, stop and restart and the possibility of control at the level at which it can actually be used as an aeration blower.

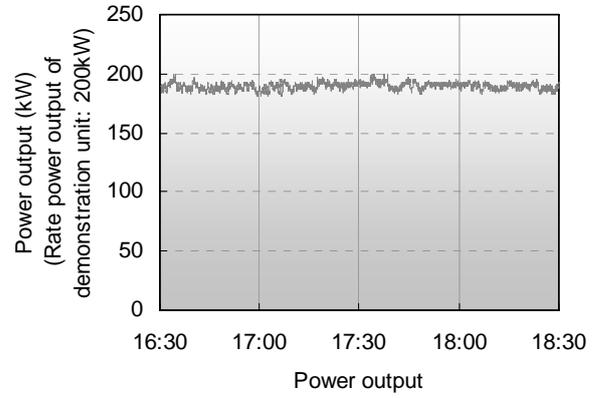
#### **4.4. Gas engine generator**

The time-related changes in the gas engine's power output when the gas engine generator is operated with biogas are in a figure. Control was possible as the power output of the gas engine generator remained virtually constant. Fig. 7 shows the average changes over 24 hours of the gas engine generator's power output for 10 days, the power generating efficiency, the calorific value of the biogas/city gas mixing rate and the mixed biogas/city gas (mixed gas). Steady continuous operation has been achieved, and on conditions that the biogas/city gas mixing ratio was 50 - 55% on conversion to calorific value, the generating efficiency was around 31 - 33%. It has thus been demonstrated that biogas can be adequately used as a gas engine fuel.

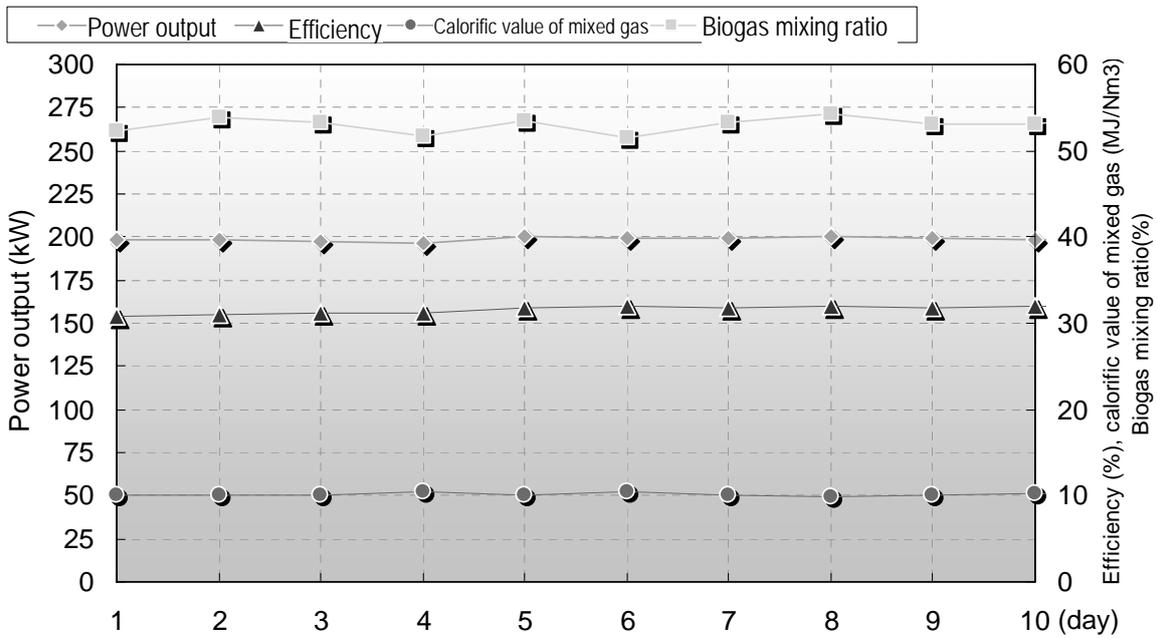
**Fig. 6 - Time-related changes of gas engine drive blower speed**



**Fig. 7 - Time-related changes of gas engine generator output**



**Fig. 8 - Continuous operation of gas engine**

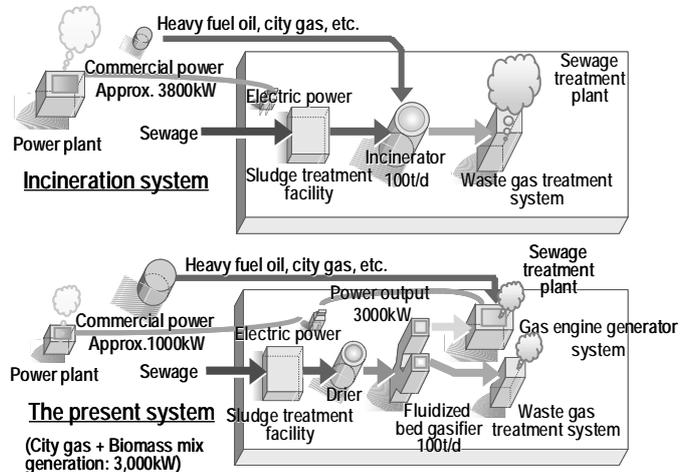


## 5. PURCHASED PRIMARY ENERGY CONSUMPTION AND GHG REDUCTION EFFECT

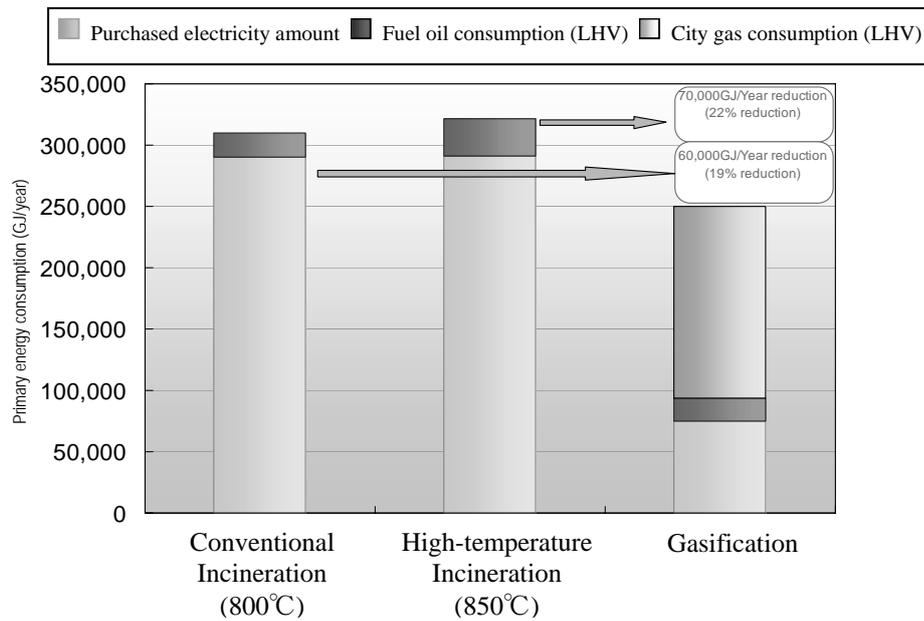
Based on the results of the experiments, the effect arising from the introduction of the present system in a sewage treatment plant has been calculated. The calculation conditions are based on the case that the power generated with the present system is 3,000kW using a mixed biogas/city gas, with the purchased electricity amount being roughly 3,800kW and the sewage treatment plant having a dehydrated sludge output on a scale of 100t/d (see Fig. 9). As a result, as shown in Figs. 10 and 11, comparison with the previous combustion treatment shows a roughly 60,000GJ/year reduction (19% reduction against the conventional system) effect

for the purchased energy amount of the sewage treatment plant. Moreover, the calculation results have evidenced a roughly 17,000t-CO<sub>2</sub>/year reduction (55% reduction against the conventional system) of GHG emissions. The fact that the GHG reduction effect is greater than the energy reduction effect is due to the suppression of N<sub>2</sub>O formation, a substance that has a global warming coefficient 310 times that of CO<sub>2</sub>. In recent years, high-temperature incineration has been used for sludge incineration treatment in order to reduce N<sub>2</sub>O emission. With the present system, however, the gasification chamber in which the raw material is heat-treated initially, is almost anoxic and since N<sub>2</sub>O formation is suppressed to the extreme it is possible to achieve a GHG reduction effect of approximately 4,600t-CO<sub>2</sub>/year (equivalent to a 25% reduction) also in comparison with high-temperature incineration. The energy that is inherent in the sewage sludge has until now been converted to heat and has been lost unused from the sewage treatment plant. It is fair to assert that this system makes a substantial contribution to the protection of the global environment by converting this energy to an energy form capable of being utilized.

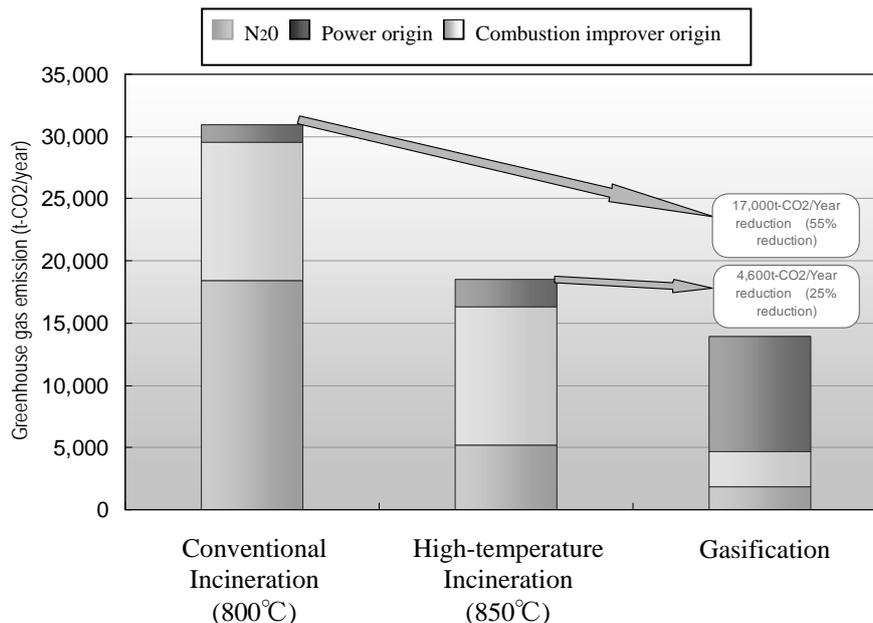
**Fig. 9 - Conditions for Calculation of Usage Benefits**



**Fig. 10 - Comparison of primary energy consumption**



**Fig. 11 - Comparison of GHG emission levels**



## 6. CONCLUSION

It has been confirmed that as a result of the effective use of the unused energy that used to be released into the atmosphere as heat from the sewage sludge incineration until the present, a roughly 19% reduction of purchased primary energy can be achieved as a reduction on maintenance and operation costs, and a roughly 55% reduction in GHG emissions as a measure to prevent global warming. The Tokyo Bureau of Sewerage is intent of developing this system for practical use in an endeavor to reduce greenhouse gas emissions. Furthermore, research will be undertaken for further advances in energy saving and a greater reduction in greenhouse gas emissions by utilizing a mixture of woody biomass such as wood chips and sewage sludge.

## 6-3 Reclaimed Wastewater Supply Business in Tokyo and Introduction of New Technology

K. Yamada\*, O. Matsushima\* and K. Sone\*

\* Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, 2-8-1 Nishi-Shinjuku Shinjuku-ku, Tokyo 163-8001 Japan  
(E-mail: [kinji\\_yamada@member.metro.tokyo.jp](mailto:kinji_yamada@member.metro.tokyo.jp))

**Abstract** Tokyo Metropolitan Government (TMG) has managed “wastewater reuse” business to utilize limited water resources effectively. In this business, municipal sewer wastewater is highly treated and reused for various urban non-potable purposes. The area-wide recycling systems which supplies reclaimed wastewater for toilet-flushing use was began in 1984. Now, average amount of 8400m<sup>3</sup> is daily supplied to 129 facilities in five areas and two more districts will be added to service area. Moreover, reclaimed sewer wastewater is discharged into many urban rivers whose flow amount has been decreased along with rapid urbanization. Additionally secondary effluent or highly treated wastewater is used for washing, fire-fighting, road-spraying, recreational use in park, and so on. On the other hand, to meet users’ needs for quality of reclaimed water, we have developed a new wastewater reclamation system with “ozone-resistant membrane” which can produce reclaimed water of high quality in relatively low cost. We aim to expand “wastewater reuse” in the future by securing hygienic safety and reduction of the production cost.

**Keywords** area-wide recycling system; ozone resistant membrane; toilet flushing water; wastewater reuse

### INTRODUCTION

Tokyo, the capital of Japan, is one of the largest cities in the world, with a population of approximately 12.5 million and a population density of 5700 persons/km<sup>2</sup>. As for the geography, Tokyo is located in the middle of Japan and belongs to humid subtropical climate with four seasons. The rain falls long and often severely during rainy season and typhoon season, and the average annual rainfall is over 1500mm. However, because of the high population density, the available water resource per capita is only 900m<sup>3</sup>/year. This value is one-third of the average in Japan.

### Water Recycle Master Plan, Tokyo

This situation leads to more water resource development, the demand of rainwater harvesting, and wastewater reuse. To manage sustainable water recycle system in urban area, Tokyo Metropolitan government (TMG) drew up “Water Recycle Master Plan” in 1999. “Secure stable water supply” and “maintain healthy and comfortable water environment” are main targets of the plan, and sewerage treatment effluent is considered as a valuable water resource because of its stability in quality and quantity. In Tokyo, municipal sewerage service covers almost covers whole area. Coverage area is 2187km<sup>2</sup> and 5.5 million m<sup>3</sup> of wastewater is treated in a day.

### WASTEWATER REUSE IN TOKYO

History of wastewater reuse in Tokyo is long and reclaimed wastewater is now used for various purposes (see Table1). Quality standard of reclaimed wastewater set by TMG is shown in Table2. The proportion of wastewater reuse has reached approximately 9% in 2006.

**Table1.** Major Events in Wastewater Reuse in Tokyo

Year	Description
1951	Reclaimed wastewater of Mikawashima Wastewater treatment plant (WTP) was experimentally delivered to a paper mill. (and operated in full-scale since 1955.)
1964	Reclaimed wastewater of Mikawashima WTP was supplied to industrial waterworks plant as raw water.
1984	Reclaimed wastewater of Tamagawa-Johryu WTP was discharged into a dried up channels, “Nobidome-Yohsui”. (to Tamagawa-Johsui in 1986, Senkawa-Johsui in 1989) Ochiai WTP also started to discharge into three urban rivers (Shibuyahawa and Furukawa River, Nomikawa River and Megurogawa River) in 1995.
	Model business of area-wide water recycling system was started in Shinjuku area. Reclaimed wastewater of Ochiai WTP was delivered to high-rise buildings for toilet-flushing use. (afterward, started at Ariake WTP in 1996, at Shibaura WTP in 1997)
1987	A park was opened next to Ochiai WTP. Reclaimed wastewater is supplied to an artificial stream in the park.
1989	Reclaimed wastewater of Morigasaki WTP was supplied to incineration plant for industrial uses.
2003	Road-spraying used reclaimed water was experimentally started at Shiodome. (and at Kasumigaseki since 2007)
2004	Operation of ozonation-MF system with “ozone-resistant membrane” was started at Shibaura WTP.

**Table2.** Quality Standard of Reclaimed Wastewater Reuse (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2005)

	Toilet flushing	Spraying	Landscape irrigation	Recreational use
<i>E.coli</i>	Not detected	Not detected	-	Not detected
Total Coliform (CFU/100mL)	-	-	1,000 or below	-
Turbidity (mg-kaolin/L)	2 or below	2 or below	2 or below	2 or below
pH	5.8 - 8.6	5.8 - 8.6	5.8 - 8.6	5.8 - 8.6
Appearance	Not unpleasant	Not unpleasant	Not unpleasant	Not unpleasant
Color (Color Unit)	-	-	40 or below	10 or below
Odor	Not unpleasant	Not unpleasant	Not unpleasant	Not unpleasant
Chlorine Residual (mg/L)	Free:0.1 or over or Total:0.4 or over	Free:0.1 or over or Total:0.4 or over	-	Free:0.1 or over or Total:0.4 or over

### Uses in Wastewater Treatment Plants

In wastewater treatment plants, a part of secondary effluent is treated by rapid sand-filtration systems and used for various purposes such as scrubber water, washing of facilities, and cooling water. This type of wastewater reuse is introduced into all wastewater treatment plants in Tokyo and accounts for 80% of whole reclaimed wastewater use.

### Industrial Uses

In 1951, a rapid filtration system was constructed in Mikawashima Wastewater Treatment Plant. This system daily treated 15000 m<sup>3</sup> of wastewater, and reclaimed water was supplied to a neighbor paper mill as industrial water. This is the first example of waste water reuse by TMG. Afterwards, secondary effluent of the plant was used as raw water of industrial waterworks, too.

### Environmental Uses

Many urban rivers in Tokyo were reclaimed along with rapid urbanization since high-growth period. Additionally, increase of impervious ground surface using asphalt or concrete causes a decrease in the flow amount of remaining rivers. In this situation, reclaimed wastewater has become to be thought as attractive water resources in urban area for stream flow augmentation.

In 1984, tertiary treated wastewater of Tamagawa-Johryu Wastewater Treatment Plant treated by rapid sand-filtration system began to be discharged to a dried up channels. Ozonation process was added in 1991, to improve the water quality. Ochiai Wastewater Treatment Plant also discharged tertiary treated wastewater by rapid sand-filtration system to urban rivers. Daily average amount of reclaimed wastewater used for this purpose was approximately 110000m<sup>3</sup> in 2005.



**Figure1.** Change of Urban River Appearance: Megurogawa-River before (left) and after (right) the start of reclaimed water discharge

### Toilet-Flushing Uses (Area-Wide Water Recycling System)

TMG, is now promoting the reuse of wastewater for toilet-flushing by area-wide water recycling system. In this system, the secondary effluent of municipal sewer system was treated by tertiary or advanced process and reclaimed water was supplied to buildings for toilet-flushing use.

In 1984, a model business of area-wide water recycling system was started, which supplied reclaimed wastewater to commercial buildings in Shinjuku for toilet-flushing use (Maeda *et al.*, 1996). This project is the first milestone of area-wide water recycling system in Japan. Now, 4000 m<sup>3</sup> of secondary effluent is treated by rapid sand-filtration system in Ochiai Wastewater Treatment Plant, and supplied to 28 high-rise buildings.

This type of area-wide recycling system is continuously introduced into bayside redeveloped area. In 2006, approximately 3 million m<sup>3</sup> of reclaimed water (daily average amount was 8400m<sup>3</sup>) was produced at three wastewater treatment plant and supplied to 129 buildings in five areas. And, two

areas will be added into supply plan. To promote this type of water reuse further, TMG asks owners of buildings to install dual pipe systems when they construct large buildings having a certain scale.

### Other Urban Uses

Some wastewater treatment plants supply reclaimed wastewater to artificial streams or ponds in parks adjacent to plants. To ensure hygienic safety in recreational use that occur human exposure, reclaimed wastewater is treated by reverse osmosis membrane (RO) system to remove pathogens. Secondary effluent of wastewater treatment plants is also delivered to various facilities, for instance, incineration plants of domestic waste, a railway company, and tanks for fire-fighting use. Recently, the reclaimed wastewater is used for road-spraying to alleviate heat island phenomenon in the urban area.



(a)



(b)

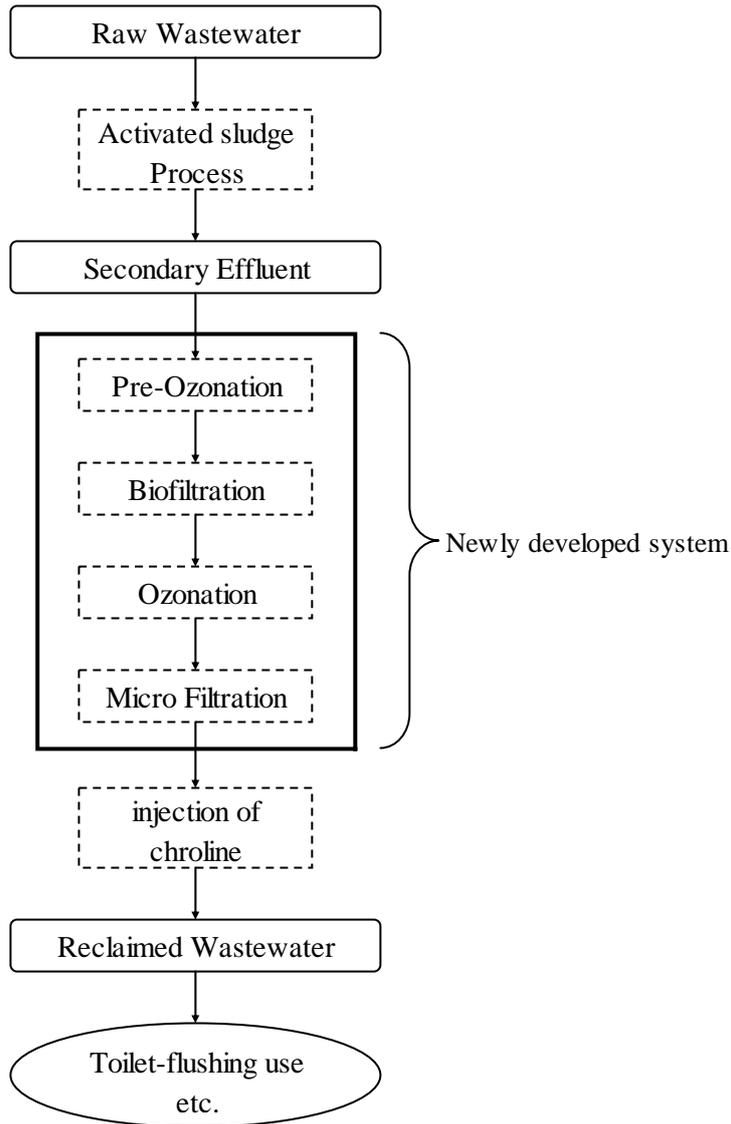


(c)

**Figure2.** Various Usage of Reclaimed Wastewater: (a) Discharge into artificial stream in park (b) Washing of railroad vehicles (c) Road-spraying to alleviate a heat island phenomenon

### NEW WASTEWATER RECLAMATION SYSTEM IN TOKYO

As previously stated, TMG runs three area-wide water recycling systems. One of them is centered on Shibaura Wastewater Treatment Plant, which is one of the oldest wastewater treatment plants in Japan. Tertiary treated wastewater by rapid sand-filtration system was supplied at first, but opinions from users requested more pleasantness in use of reclaimed water, especially improvement of color and odor. To meet this need, we have developed a new wastewater reclamation system with “ozone-resistant membrane” (Ishida, 2004). A schematic description of the system is given in Figure3.



**Figure3.** Scheme of the newly developed system with ozone-resistant membrane

**Principle of Treatment**

This system is composed of 4 processes: (1) Pre-Ozonation (low rate injection of ozone), (2) Biofiltration, (3) Ozonation, and (4) Micro filtration (MF). To combine Ozonation and MF process, membrane made of PVDF (polyvinylidene difluoride), which has ozone-tolerance, is used.

Organic matters are degraded in Pre-Ozonation process and reduced with ammonia in Biofiltration process. This contributes to reduce total amount of ozone injected through the system. In Ozonation process, unpleasant odor and color are reduced. Microbes and bacteria are disinfected by ozonation and removed with other turbidity in MF process.

Existence of residual ozone prevents membrane fouling and enables high rate water flux (5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day) in MF process, which are useful for reduction of maintenance cost. Estimated total cost of the new system is almost the same as "rapid sand filtration - ozonation" system.

**Operation Result of Real Plant**

A real plant of this system with treatment capacity of 4300m<sup>3</sup>/day has been operated since April 2004. Till now, the plant has run well without major troubles for more than two years, and quality of reclaimed water keeps high. As a result, users' complaints about color and odor were disappeared.

**Table3.** Annual average of reclaimed water quality in 2005

	Secondary Effluent	after Biofiltration	After MF process	Criteria for toilet-flushing
<i>E. coli</i> (count/100mL)	-	-	ND	ND
Turbidity (mg-kaolin/L)	3.0	1.5	0.0	<2.0
pH	6.2~7.4	6.2~7.5	6.0~7.6	5.8~8.6
Appearance	Light yellow	-	Clear	Not unpleasant
Color (unit)	15	16	0.3	<10
Odor	Sewage odor	-	Not unpleasant	Not unpleasant
Residual Chlorine (mg/L)	-	-	-*	Free: >0.1, Total: >0.4

\* NaClO (sodium hypochlorite) solution is injected to reclaimed water before supplied.

## CONCLUSION

We believe that wastewater reuse contributes the achievement of “recycling society” which can reduce environmental burden. But, the reuse rate of wastewater has remained only 9% as previously stated. To manage the reclaimed wastewater supply business successfully, we have positively expanded the usage of reclaimed water to various urban uses. The other hand, we have developed new technologies, such as “ozone-resistant membrane”, to reduce the production cost and improve the quality of service. Now, securing of hygienic safety is strongly needed. We try to examine the behavior of pathogens in the reclaimed wastewater such as virus.

## References

- K. Ishida (2004) *Seibutsumakuroka, Ozon, Ozontaiseimaku kara naru Saiseisui Seizou Shisutemu no Kaihatsu, Dohnyu (Development and Introduction of Wastewater Reclamation System Composed of Biofiltration, Ozonation and Micro Filtration by Ozone-Resistant Membrane )*, *Journal of Japan Sewage Works Association*, **41**(499), 31-36.
- M. Maeda, K. Nakada, K. Kawamoto and M. Ikeda (1996). Area-Wide Use of Reclaimed Water in Tokyo, Japan. *Water Science and Technology*, **33**(10-11), 51-57.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2005) *Gesuisyorisui no Sairiyō Suishitu Kijun tou Manyuaru (Manual of Quality Standards for Sewage Treatment Effluent)*  
<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040422/05.pdf> (accessed 22 June 2007)

平成20年11月発行

技術調査年報  
2 0 0 8

平成20年度  
規格表第5類  
登録第87号

編集・発行 東京都下水道局 計画調整部 技術開発課  
所在地 東京都新宿区西新宿二丁目8番1号  
電話 (5320) 6606 (内) 51-781  
印刷 東海電子印刷株式会社