

# 東京都下水道局技術調査年報

## -2011-

平成 23 年 12 月  
東京都下水道局

## 技術調査年報の発刊にあたって



東日本大震災により被災された皆さまに謹んでお見舞い申し上げるとともに、一日も早い復旧を心よりお祈り申し上げます。

今回の震災においては、東北地方の太平洋沿岸部を中心に壊滅的な被害をもたらし、快適で安心と思われていた現代生活の基盤の脆さが露呈しました。

被災時においても下水道が担うべき機能を十分発揮させるためには、斬新な発想や新しい技術を集結して技術開発を進め、事業への活用を図ることで震災に強い下水道を構築していく必要があります。

今回の震災を踏まえ、都では本年5月に「都政運営の新たな戦略」をとりまとめました。この中では、東京が21世紀に真に相応しい成熟した都市への歩を進めるためには、従来の取組を着実に推進するだけでなく、大震災から得た教訓を活かして、これまでの防災対策を全面的に見直し、高度な防災都市を創造するとしています。

これらを踏まえ下水道局では、防災都市づくりの視点から、施設の耐震化・耐水化、液状化対策をより一層推進するとともに、新たな取組として水再生センター間のネットワーク化の検討を行い、バックアップ機能の強化を図っていきます。また、電力の確保や多様化に向け、非常用発電設備の増強などの取組も着実に進めていきます。

技術調査年報は、日常業務で生じた課題をはじめ、局事業の推進のために各部署で実施した調査や研究、将来を見据えた技術開発などの内容を取りまとめたものであり、今日の下水道事業に求められている課題や、技術開発ニーズに深く関わりを持つものとなっています。

当局の強みは、さまざまな現場を持っていることであり、その数だけ課題がありますが、その都度、創意工夫により優れた方法を編み出し対応してきました。今後とも、これまで培ってきた技術やノウハウを幅広く国内外に発信してまいります。

本調査年報を職員はもとより、当局のパートナーである民間企業や大学・研究機関、自治体、国、関係団体の方々にも技術開発ニーズなどの情報発信ツールとして活用していただければ幸いです。

平成23年12月

下水道局長 松田 二郎



# 目 次

本書をご利用いただく前に

要旨集	1
-----	---

## 1 安全性・快適性の向上

### (1) 再構築技術

1 特殊推進工法（静的破碎推進方式）の施工について	31
2 東陽幹線その6工事における地中障害物撤去について	37
3 既設立坑内におけるニューマチックケーソンの施工について	47

### (2) 浸水対策技術

1 中野区弥生町一丁目付近枝線工事 地中接続時における降雨対策	57
2 第二妙正寺川幹線からの放流による河川流況への影響検証	69

### (3) 震災対策技術

1 既設支管を活用した取付管の耐震化について	75
------------------------	----

## 2 水環境向上、環境負荷低減

### (1) 合流式下水道の改善技術

1 合流改善対策用雨水貯留施設の建設について ～野川処理区下流部雨水貯留池～	87
---	----

### (2) 地球温暖化対策技術

1 芝浦水再生センターにおける小型個別送風機の導入について	99
2 中野水再生センター反応槽攪拌機の運転縮減による電力量の削減について	107
3 反応槽から排出される一酸化二窒素の排出量調査の結果	111

### (3) 水処理技術

1 窒素低減対策の一手法～雨天時貯留池の晴天時活用について～	123
2 高負荷運転による水質改善および省エネルギー効果について	129
3 芝浦水再生センターにおける硝化促進運転維持のための対応策について	135
4 雨天時流入SSの水処理及び汚泥処理への影響について	141
5 再構築に伴う処理能力減少を見据えた処理水質確保のための取組み	149

### (4) 汚泥処理技術

1 清瀬水再生センターにおける圧入式スクリープレス脱水機の 初期運転結果について	153
---	-----

(5) 資源の有効利用技術

- 1 汚泥硝化ガス発生量増量に向けた取組み・・・・・・・・・・・・・・・・ 159

**3 維持管理向上、事業効率化**

(1) 維持管理向上、効率化などの技術

- 1 再生水残留オゾンによる腐食調査・・・・・・・・・・・・・・・・ 169
- 2 『防音ハウス』と『ヘリウム混合ガスシステム』を用いた  
大深度ニューマチックケーソンの施工・・・・・・・・・・・・・・・・ 179
- 3 芝浦水再生センターの上部利用及び再構築事例について・・・・・・・・ 187
- 4 シールドマシンを移動回転させるエアークャスター工法・・・・・・・・ 195
- 5 鮫洲ポンプ所雨水貯留池～勝島ポンプ所間連絡管の  
模型実験による流況調査について・・・・・・・・・・・・・・・・ 205
- 6 事業場排水に関する規制及び指導手法の強化と効率化に  
向けた新たな取組みについて・・・・・・・・・・・・・・・・ 213

**4 国際論文【第 83 回 W E F 年次総会発表論文 英文】**

- 1 Effects of Sewage Disposal Conditions on Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) Generation  
(下水道処理条件が一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) の生成に与える影響)・・・・・・・・ 219
- 2 Improvement of Reliability to the Network Composed of Optical fibers inside  
Sewerage Pipe  
(下水道管渠内光ファイバーを利用したネットワークの信頼性向上について)・・ 229
- 3 Network of sewage treatment plants using connection pipe and its efforts  
(下水処理施設のネットワーク化とその効果について)・・・・・・・・ 239

Copyright©(2010) 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 22 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・計画・工事についてまとめたものです。各成果は、平成 23 年 1 月に策定した「技術開発推進計画 2010（東京都下水道局）」における 3 つの技術開発テーマ（安全・安心の向上を図る技術、良好な水環境と環境負荷の低減を図る技術、維持管理の向上・事業の効率化などを図る技術）に沿って分類しています。

- ・要旨集：第 1 章から 4 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・快適性の向上」・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6 編
- ・第 2 章：「水環境向上、環境負荷低減」・・・・・・・・・・・・・・・・ 11 編
- ・第 3 章：「維持管理向上、事業効率化」・・・・・・・・・・・・・・・・ 6 編
- ・第 4 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

## <参考資料>

### ・特許などの件数（産業財産権の件数）

職員が着想したアイデア、民間企業などとの共同研究や工事請負契約などから生まれた発明について、特許庁へ出願を行い、多数の産業財産権を取得しています。下表は、平成22年度末で当局が所有している産業財産権の分野別の件数です。

技術開発の成果は、特許件数という数字にも表れています。

産業財産権 登録件数一覧（平成23年3月末時点）（単位：件）

部門	分野	特許	実用新案	意匠	商標	計
管きよ技術	管きよ	27	0	6	3	36
	雨水対策	3	0	0	0	3
<b>管きよ技術計</b>		<b>30</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>39</b>
維持管理	維持管理	21	0	0	0	21
	設備	20	1	0	0	21
	計測	10	0	0	2	12
	環境	4	0	1	0	5
<b>維持管理計</b>		<b>55</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>59</b>
水処理技術	水処理技術	46	0	0	0	46
<b>水処理技術計</b>		<b>46</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>46</b>
汚泥処理技術	汚泥処理技術	23	0	0	0	23
<b>汚泥処理技術計</b>		<b>23</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>23</b>
有効利用	光ファイバー	1	0	2	0	3
	汚泥の資源化	14	0	0	4	18
	熱利用	1	0	0	0	1
<b>有効利用計</b>		<b>16</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>22</b>
<b>合計</b>		<b>170</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>189</b>

平成22年度末において、上表以外で出願中のものが32件あり、登録済のものと合わせると、産業財産権の件数は、221件になります。

# 要 旨 集



番号	1-(1)-1	件名	特殊推進工法（静的破碎推進方式）の施工について	
内容	<p>本工事において、地中で既設管を破碎しながら新設管を築造できる特殊推進工法（静的破碎推進方式）を採用した。</p> <p>本工事で課題となったのは、道路幅員が狭い上に基礎のない万年塀によって挟まれている路線であった。その万年塀は老朽化しており、当該路線を開削工法で施工した場合、万年塀が転倒する可能性があったことから対応策の検討を行った。本来は万年塀に転倒防止対策を施して開削工法で施工するが、所有者の許可が下りなかったため、開削工法による施工は困難であった。今回の事例は、開削工法による施工が困難かつ既設管径よりも増径が必要ということが課題であったため、それらを解決するために特殊推進工法（静的破碎推進方式）を検討した。</p> <p>本工法を採用するためには、他企業埋設管との離隔が確保できること、仮排水が可能であること、加えて破碎された管の地中存置について道路管理者の了解が必要であった。今回の事例ではこれらの条件を満足することができたため、本工法の採用が有効であった。</p>			
キーワード	特殊推進工法、静的破碎推進方式、開削工法が困難			
処理区名	三河島処理区	位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	再構築	
状態区分	工事	技術区分		
実施年度	平成 21 年度	全体期間	平成 20 年度～平成 22 年度	
担当部所	北部第一下水道事務所 建設課 工事第二係 上神田 健太			
出展等	平成 22 年度設計工事事例発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(1)-2	件名	東陽幹線その6工事における地中障害物撤去について	
内容	<p>1. 工事概要</p> <p>東陽幹線その6工事において、泥濃式推進工法（内径 1,350mm L=110.10m 土被り 8.78m）を施工中、地中障害物に接触し推進機が停止したが、ビット付き鋼管推進機を用いた全閉型鋼管推進工法（ブロックボーリング工法）により、安全に地中障害物を撤去できたので報告する。</p> <p>地中障害物の上部には既設横川幹線があり、地中障害物の引抜き及び地盤改良が困難な箇所となっていたが、本工法により、刃口での人力作業を行わず地盤改良なしで、安全に地中障害物の撤去を完了した。</p> <p>2. 工事場所 墨田区吾妻橋三丁目付近</p> <p>3. 工事内容</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・工法：全閉型鋼管推進工法（ブロックボーリング工法） 鋼管推進延長 20m 鋼管径 2,000mm</li> <li>・地質：砂混じりシルト（N値=1~2）</li> <li>・地中障害物：I型鋼 8箇所</li> </ul>			
キーワード	泥濃式推進工法、地中障害物、全閉型鋼管推進工法（ブロックボーリング工法）、メタルクラウン、キングストッパー			
処理区名	砂町処理区	位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	再構築	
状態区分	工事	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成22年度	全体期間		
担当部所	基幹施設再構築事務所 工事第一課 五十嵐拓也			
出展等	平成22年度 第1回設計・工事事例発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(1)-3	件名	既設立坑内におけるニューマチックケーソンの施工について	
内容	<p>本工事は、足立区千住大川町、千住柳町、千住寿町、千住中居町、千住龍田町、千住桜木一丁目付近の既設管きよの更新に併せて雨水排水能力の増強を図るため、再構築工事を施行したものである。</p> <p>足立区道直下の既設発進立坑（SMW 連続壁）9.0m×8.2m 内に外径φ6.5m×深さ H=42.58m の大深度立坑（到達）を施工するに当たり、地上占用を最小限に抑えるため路下式ニューマチックケーソン工法による施工を採用した。</p> <p>しかし、路下での狭小な既設立坑内において更に路面下 GL-45.3m に狭小断面（底面積 S=34.2m<sup>2</sup>）の大深度立坑を施工するに当たり、いくつかの課題が懸念された。</p> <p>狭小断面による沈下荷重不足、艤装設備の選定、硬質地盤（底盤改良体）の掘削を考慮した掘削設備の選定等の課題を克服し、的確な対策を採ることで無事に立坑沈設を完了させることができた。</p>			
キーワード	既設発進立坑、狭小断面、路下式ニューマチックケーソン工法			
処理区名	砂町処理区	位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	再構築	
状態区分	工事	技術区分		
実施年度	平成 2 1 年度	全体期間	平成 2 1 年度～平成 2 2 年度	
担当部所	基幹施設再構築事務所 工事第一課 青野 雅士			
出展等				
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	1-(2)-1	件名	中野区弥生町一丁目付近枝線工事 地中接続時における降雨対策	
内容	<p><b>1 課題</b></p> <p>① 中野区弥生町一丁目付近枝線(浸水対策用主要枝線)の下流部接続箇所が、供用中の和田弥生幹線である。</p> <p>② このため『一滴ルール』に対応した安全対策を立案する必要がある。</p> <p>③ この接続箇所付近には、人孔を設置することができず、和田弥生幹線内からの避難が困難な状況にある。</p> <p><b>2 目的</b></p> <p>① 和田弥生幹線内の施工環境と管渠情報の把握</p> <p>② 和田弥生幹線の過去の貯留実績による最適な施工時期の特定</p> <p>③ 和田弥生幹線内への雨水浸入を確実に遮断できる対策の立案</p> <p><b>3 検討概要と結果</b></p> <p>① 接続箇所から地上までの避難ルート、時間等の確認を行った。 → 避難には早くとも1時間程度を要することを確認した。</p> <p>② 和田弥生幹線の過去3年間の貯留実績と降雨状況の確認を行った。 → 降雨量、貯留量とも11月から3月までが比較的少なかったため、施工時期としてはこの期間に合わせて全体施工計画を立案した。ただし、近年の強い降雨は時期を問わず発生する状況があることも合わせて確認した。</p> <p>③ 雨水の浸入を確実に遮断できる対策として止水壁を設置することとし、以下のケースを検討した。</p> <p>(ケース1) 和田弥生幹線内への止水壁設置(1箇所)</p> <p>(ケース2) 各分水人孔への止水壁設置(38箇所)</p> <p>(ケース3) 流入幹線部及び枝線部への止水壁設置(5箇所)</p> <p>※ 堀ノ内枝線、南台幹線、南台西幹線、中野本町幹線、中野本町枝線</p> <p>→ 安全性、施工リスク、工事費、施工期間等の検討結果、流入幹線部及び枝線部へ止水壁を設置する(ケース3)に決定した。</p>			
キーワード	和田弥生幹線 連絡管、地中接続、安全対策			
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	危機管理	
状態区分	設計	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成23年度	全体期間	平成23年度	
担当部所	西部第一下水道事務所 建設課 設計係 望月 信爾			
出展等	平成22年度 第1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-(2)-2			件名	第二妙正寺川幹線からの放流による河川流況への影響検証			
内 容	<p>1 概要 第二妙正寺川幹線は平成21年度時点で暫定貯留管として運用されており、吐口築造後には妙正寺川へ自然放流する計画である。放流先となる妙正寺川は都市河川特有の狭隘な河川であり、本幹線からの放流により、河川流況を乱すことが懸念された。このため、吐口築造に当たり、予め水理模型実験を行い放流の影響を検証した。</p> <p>2 水理的課題 第二妙正寺川幹線の吐口付近は、妙正寺川の断面変化点や神田川分水路の合流点がある複雑な流況となる区間であり、本幹線からの放流角度90度での放流によって、以下の三点の河川への影響が懸念された。 (1) 局所的な水位上昇 (2) 放流による水衝作用 (3) 高田馬場分水路の偏流</p> <p>3 実験結果 水理模型実験を行い、上記三点の影響について河川の水理的挙動を確認した。 (1) 局所的な水位上昇 (河川高水位の場合) 幹線からの放流ありの状態でも水位は最大5.574mであった。河川計画高水位6.0mに対して約50cmの余裕があるため溢水等の問題は生じなかった。また、妙正寺川上流に対しては、斜路区間を射流となって流下するため水位上昇や背水の影響は見られなかった。 (2) 放流による水衝作用 (河川低水位の場合) ○分水路中間壁への影響について 放流ありの場合でも水位は約2.8mであった。河川計画高水位までは余裕があり、河川計画高水位の水圧を基準に設計されているとすると影響は小さいといえる。 ○河床への影響について 放流ありの場合でも流速は中間壁付近で6.5m/sであった。流速の大きい急勾配斜路の表面が摩耗・損傷していないことを考えると、河床洗掘への影響も小さいといえる。 (3) 高田馬場分水路の偏流 (河川高水位の場合) 放流ありの場合、分水路左岸側の流量は全体の51.2%であった。放流なしの場合は51.0%であり、0.2%の偏流が生じたことになるが、当初想定したような著しい偏りは生じないことが確認された。 いずれの点においても大きな影響は確認されなかった。</p>							
キーワード	第二妙正寺川 放流 模型実験							
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	調査 研究	技術区分	新規知見あり					
実施年度	平成21年度	全体期間	平成21年度					
担当部所	基幹施設再構築事務所 設計課 名取 尚宏							
出 展 等	第47回下水道研究発表会							
調査方法	委託調査							
関連情報								

番号	1-(3)-1	件名	既設支管を活用した取付管の耐震化について	
内容	<p>下水道局では、平成 27 年度完了を目標として、避難所等からの汚水を受ける本管と人孔の接合部及び取付管の耐震化を行っているところである。</p> <p>そのうち、取付管の耐震化にあたっては、地震による本管やますの挙動が取付管に及ぼす影響を極力小さくするため、本管の直近及びます直近に柔軟性のある継手を用いることとしている。また、過去の地震において、取付管自体の挙動が取付管の曲がり部に影響を及ぼし、その曲がり部が破損した実績を踏まえ、取付管の曲がり部においても柔軟性のある継手を用いることとしている。</p> <p>北二管内の足立区では、避難所から汚水を受ける取付管の多くは塩ビ管となっており、本管に塩ビ製支管が設置されている。また、特に中川処理区は、分流地区であり、本管が深く埋設されている。塩ビ製支管が本管に強固に取り付いていること及び取付位置が深いことから、自在曲管への取替が非常に困難である。今回、北部第二下水道事務所における技術の創意・工夫の一環として、既設塩ビ支管を活用する検討を行った。</p>			
キーワード	既設塩化ビニル製取付管の耐震化			
処理区名	中川処理区	位置区分	ます 取付管	
職種区分	土木	施策区分	震災対策	
状態区分	工事	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 22 年度	全体期間		
担当部所	北部第二下水道事務所 建設課 大橋誠一			
出展等	かわせみ			
調査方法				
関連情報				

番号	2-(1)-1	件名	合流改善対策用雨水貯留施設の建設について ～野川処理区下流部雨水貯留池～	
内容	<p>野川処理区の合流式下水道緊急改善計画に基づき、野川処理区下流部の野川橋吐口に20,000m<sup>3</sup>の貯留施設を整備する設計を実施した。</p> <p>本設計を進める上で、貯留の検討、施工方法の検討及び建築基準法に基づく手続きを実施した。</p> <p>貯留方式の選定については、事業費や維持管理面を検討し、貯留池方式を採用した。また、貯留池への雨水の取水と返水を一つの管で兼用する取返水管システムを採用し合理化を図った。</p> <p>施工方法の検討では、貯留池工事と取返水管工事を同時施工するために、山留め支保工に大火打ちを採用すると共に掘削手順を工夫し、発進立坑のスペースを確保しながら施工を実施した。</p> <p>建築基準法の手続きでは、本施設が流域下水道の施設であるため、用途地域の区分上、建築基準法第48条第3項の手続きを実施しなければいけなかった。このため、周辺住民の意見を聴取する公聴会を経て建築審査会で認定を受けて施工を行うことになった。</p>			
キーワード	合流改善 雨水貯留池 取返水			
処理区名	野川処理区	位置区分	処理水 放流水	
職種区分	土木	施策区分	合流改善	
状態区分	設計	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成22年度	全体期間	平成22年度～平成25年度	
担当部所	流域下水道本部 技術部 設計課 土木設計係 三木 英			
出展等	平成22年度 第1回設計工事事例発表会			
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	2-(2)-1			件名	芝浦水再生センターにおける小型個別送風機の導入について		
内容	<p>芝浦水再生センターは、本系、西系、東系の3つの水処理系列へ集約した大型送風機にてばっ気空気を送風していた。そのため、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本系、西系、東系に同じ送風圧力で送風するシステムとなっていることから、東系の高効率散気装置に合わせた高い送風圧力運転により、本系と西系では、ロスが発生。</li> <li>・日変動が約3倍となる受水量への対応は、大型の送風機ではきめ細かな送風量の制御ができない等の、送風量追従性が問題。</li> </ul> <p>という問題があった。</p> <p>このため、次の2点を目的に、H22年4月、東系に小型個別送風機を導入し、送風システムの本系・西系と東系を分離することにした。</p> <p>①本系・西系での送風圧力を50→47kPaに下げ、(既設送風機)電力削減  ②東系では受水量への送風量の追従化等により、(東系送風機)電力削減</p> <p>本研究発表では上記①、②について今年度と昨年度との比較等により検証した。なお、電力削減は送風機電力原単位=送風機電力量(kWh)÷ばっ気空気量(千Nm<sup>3</sup>)を指標として検証した。</p> <p>調査の結果</p> <p>①本系・西系(既設)送風機では</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原単位は実績で4%、実験運転で2%の減少 (実験運転時の原単位は、19.14から18.73へ約2%の減少)</li> </ul> <p>②東系送風機では</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・受水量への追従性の向上</li> <li>・原単位は実績で6%、実験運転で10%の減少 (実験運転時の原単位は、21.0から18.9へ約10%の減少)</li> </ul> <p>が確認されたので報告する。</p>						
キーワード	小型 個別 送風機 大型 送風システム						
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	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	新規知見あり				
実施年度	平成22年度	全体期間	平成22年度				
担当部所	中部下水道事務所 芝浦水再生センター 鈴木 不二夫						
出展等	平成22年度 下水道設備研究発表会						
調査方法	直営調査						
関連情報							

番号	2-(2)-2	件名	中野水再生センター反応槽攪拌機の運転縮減による電力量の削減について	
内容	<p>下水道局では「アースプラン 2010」により、2020 年度までに温室効果ガス排出量の 25% 以上の削減(2000 年度比)を目指している。この達成に寄与するため、処理水質を維持しつつ電力使用量を削減する方策を検討する必要がある。</p> <p>中野水再生センターの水処理は A0 法である。反応槽前段部には、攪拌機が 4 台設置され、りんの吐き出しと脱窒を行っている。この反応槽入口において、流入水と返送汚泥が落下流入することに着目し、落下流入している槽では、流入時の攪拌効果があるため、攪拌機の運転を抑制できるのではないかと考えた。そこで、攪拌機の運転台数を変化させ、処理過程について処理水質の比較検討を行い、最適な運転方法を検証した。</p> <p>本件は、窒素・りんの除去を悪化させずに、反応槽攪拌機の運転縮減によって電力使用量を削減した取り組みについて報告する。</p>			
キーワード	温室効果ガス 攪拌機 反応槽 電力 嫌気槽			
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	水質	施策区分	温室効果ガス削減対策、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 22 年度	全体期間	平成 22 年度	
担当部所	西部第一下水道事務所 落合水再生センター 宅間 大吉			
出展等	平成 22 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	2-(2)-3	件名	反応槽から排出される一酸化二窒素の排出量調査の結果	
内容	<p>水処理施設からの一酸化二窒素（以下、<math>N_2O</math>）ガスの排出量は、変動が大きく、その実態も不明な部分が多い。<math>A_2O</math>法施設について、処理状況と<math>N_2O</math>ガス発生量との関係を確認した結果、大気への排出量は、好気槽内での亜硝酸性窒素および硝酸性窒素の増加とともに急激に増大することが分かった。逆に、硝酸性窒素の生成量が一定レベル以下では、<math>N_2O</math>ガスの排出量が極端に低くなることから、反応槽への負荷量を平準化させることで、<math>N_2O</math>ガス排出抑制を試みた。その効果について説明する。</p>			
キーワード	$N_2O$ 、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、 $N_2O$ ガス排出抑制運転			
処理区名	北多摩二号処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	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22年度	全体期間	平成22年度	
担当部所	流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター 葛西孝司、松下勝一			
出展等	平成22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	2-(3)-1	件名	窒素低減対策の一手法 ～雨天時貯留池の晴天時活用について～	
内容	<p>芝浦水再生センターでは放流水の全窒素濃度が、基準の 30mg/L に近づきつつあり、今後もこの傾向は続くと想定される。その原因として流入水質が区部平均 30mg/L に比べ、1.5 倍程高い全窒素濃度が考えられる。また、都心を抱えて、昼間人口は多いが夜間人口は激減するために昼夜間の流入下水量の差が大きく、昼のピーク時間帯の流入水量が大きくなることにより、反応槽で滞留時間が不足して安定した窒素処理が出来ない。</p> <p>窒素濃度低減対策として従来、幹線貯留による昼夜間水量の平準化・高散気効率の散気装置の導入・硝化促進運転を行ってきたが更なる対策として既設雨天時貯留池（容量 1.6 万 m<sup>3</sup>）を昼夜間水量の平準化に活用した。</p> <p>雨天貯留池の晴天時活用方法は晴天時、流入下水水量が増加する昼間ピーク時間帯の流入下水の一部を貯留し、受水量が少ない夜間帯に返水・処理することで実施した。その結果、窒素濃度の低減が可能であることが分かった。貯留池の運用や他への影響など、運転管理上の大きな問題がなかったことを確認したので報告する。</p>			
キーワード	窒素低減対策、ピークカット、水量の平準化、貯留池			
処理区名	芝浦	位置区分	水再生センター	
職種区分	設備、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 22 年度	全体期間	平成 22 年度	
担当部所	芝浦水再生センター運転管理係			
出展等	平成 22 年度 下水道設備研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報	なし			

番号	2-(3)-2	件名	高負荷運転による水質改善および省エネルギー効果について	
内容	<p>21年度に実施した制限曝気 A20 法の調査の結果から、BOD 容積負荷が高度処理の指標として有効であることが判明した。また、従来に比べて、処理水量を増大させ、BOD 容積負荷として 0.23kg/m<sup>3</sup>/日程度以上の負荷で運転することによって、単位処理水量あたりの余剰汚泥発生量が増大して、窒素およびりん除去が改善されることが判明した。</p> <p>この結果を踏まえて、反応槽の一部を休止して、稼働中の系列への負荷を高めることで、放流水質の改善と曝気空気量の削減を行った。その効果について報告する。</p>			
キーワード	BOD 容積負荷、余剰汚泥、窒素除去、りん除去、省エネルギー			
処理区名	北多摩二号処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	高度処理、温室効果ガス削減対策、エネルギー 熱利用	
状態区分	調査 研究	技術区分		
実施年度	平成 22 年度	全体期間	平成 22 年度	
担当部所	流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター 葛西孝司、須川伊津代、渡瀬誠司、松下勝一			
出展等	平成 22 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	2-(3)-3	件名	芝浦水再生センターにおける硝化促進運転維持のための対応策について		
内容	<p>東系では、21年度冬季に散気装置の不調や反応槽の工事による停止があり、硝化状況が非常に悪化した。当該系列の流入水は、他系統への振り分けができないなど設備面での制約により、放流水中全窒素濃度が条例基準値に迫る日もあった。散気状況や反応槽が復旧すると硝化が速やかに回復したことから、反応時間と空気量の確保が非常に重要であることが確認できた。</p> <p>西系では22年度春季から、送風量やMLSSの削減が硝化に及ぼす影響について調査した。DO制御に比べて、流入水量の比率制御では、硝化が不安定になることがあった。また、不完全な硝化は硝化停止につながりやすく、回復時には完全硝化時よりも多くの空気量を要求することが分かった。</p>				
キーワード	硝化、窒素除去、空気量削減				
処理区名	芝浦	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	—		
実施年度	平成22年度	全体期間	平成21～22年度		
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				
出展等	平成22年 水質技術研究発表会				
調査方法	直営調査				
関連情報	なし				

番号	2-(3)-4	件名	雨天時流入 SS の水処理及び汚泥処理への影響について	
内容	<p>合流式下水道の越流水改善措置としてポンプ所等が遮集化され、砂町水再生センターにおいて東陽・大島幹線からの受水量が増加した。東陽・大島幹線は地下鉄等の影響により伏せ越し構造が3か所存在しており、晴天時に堆積した大量のSSが雨天時に一気に押し流されセンターに流入してくる。そのため、センターの水処理、汚泥処理に深刻な問題を引き起こしている。本調査の目的は、雨天時の流入SS量を定量し、水処理、汚泥処理に及ぼす影響を評価することである。</p> <p>雨天時の流入SS量は、降水量と無降雨期間に強く依存し最大で705 DStに達し、晴天日と比較して20.1倍増加した。また雨天時、センター処理可能量を超過する大量のSSが流入することで、汚泥処理返水が悪化し水処理への影響が示唆された。そしてセンター内で汚泥循環が発生し、脱水ケーキ含水率の悪化が生じた。</p>			
キーワード	合流改善、東陽・大島幹線、伏せ越し構造、SS、汚泥循環			
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	水質	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22年度	全体期間	平成21年～平成22年	
担当部所	東部第一下水道事務所 砂町水再生センター 水質管理係			
出展等	水質技術研究発表会 (2010年)			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-(3)-5	件名	再構築に伴う処理能力減少を見据えた処理水質確保のための取組み	
内容	<p>みやぎ水再生センター西処理施設は、再構築が計画されており、平成 25 年度より着工の予定である。</p> <p>西処理施設東側の再構築工事期間中は、水処理能力が 35 万m<sup>3</sup>/日から 24.2 万m<sup>3</sup>/日に減少する。この期間中にも良好な処理水質を確保できるよう事前調査に取り組んでいる。今回は、その中間報告である。</p> <p>水処理能力が減少した際の硝化促進可能な流入水量を試算すると、高水温期では約 20.0 万m<sup>3</sup>/日、低水温期では約 15.8 万m<sup>3</sup>/日と算出された。低水温期の硝化促進可能水量は、再構築時の日平均流入水量（16.6 万m<sup>3</sup>/日）に満たない量であり、通年での硝化促進運転は困難であると考えられる。</p> <p>再構築工事期間中に安定した窒素・りん処理を確保するためには、標準法・A0 法・ステップ流入などの対応が可能な東処理施設の有効活用が必要である。そこで、東処理施設の運転条件について調査、検討した。</p> <p>1 ライザー管開度の調整による硝化の効率化 ライザー管開度（%）を以下の条件で設定すると処理に有用であると推定された。</p> <p>1、2 号槽：A 前-0 A 後-25 B、C、D-100 3 号槽：A 前-0 A 後-37.5 B-100 C、D-37.5 4 号槽：A 前-0 A 後-37.5 B-100 C、D-37.5</p> <p>2 ステップ化が窒素処理に与える影響調査 りん及び溶解性 COD については、処理水質の変化は見られなかった。アンモニア性窒素については、ステップ流入による増加分がそのまま処理水質を上昇させた。また、硝化速度の変化はなかった。</p>			
キーワード	ライザー管 ステップ化 窒素・りん処理			
処理区名	小台処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	再構築	
状態区分	調査、研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 20～21 年度	全体期間	平成 20～21 年度	
担当部所	北部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 水質管理係			
出展等	平成 22 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	2-(4)-1	件名	清瀬水再生センターにおける圧入式スクリープレス脱水機の初期運転結果について	
内容	<p>地球温暖化ガスの排出削減が叫ばれている中で、汚泥処理においても、省エネルギーで低含水率ケーキが得られる脱水機が求められている。</p> <p>清瀬水再生センターでは、濃縮工程で凝集剤を注入する造粒濃縮が導入されており、脱水工程においても凝集剤の効果が発揮されている。そのため、遠心脱水機と比較して圧入式脱水機が有利であると判断され、当局として初めて高効率型圧入式スクリープレス脱水機を導入した。</p> <p>本脱水機は、老朽化した2台のベルトプレス脱水機の更新機器として導入されたものであり、本稿では設備の概要と初期の運転結果について報告する。</p>			
キーワード	圧入式スクリープレス脱水機、造粒濃縮、省エネルギー			
処理区名	清瀬処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	設備	施策区分	再構築、温室効果ガス削減対策	
状態区分		技術区分		
実施年度	平成21年度	全体期間		
担当部所	流域下水道本部技術部工事課設備工事係 菱沼 義典、工藤 浩一			
出展等	下水道設備研究発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	2-(5)-1	件名	汚泥消化ガス発生量増量に向けた取組み	
内容	<p>森ヶ崎水再生センターでは、汚泥の処理過程で発生する消化ガス（バイオマスエネルギー）を燃料として、常用発電施設で発電している。この発電施設は、処理水・消化ガスをセンターから提供し、ガスエンジンの排熱・消化ガス及び灯油焚き温水器の熱源を消化槽加温用温水として消化槽に供給する仕組みになっている。ところが、夏場の一部を除いて灯油焚き温水器の運転が多く、大量の灯油を使用するため、維持管理コストの増加・CO<sub>2</sub>削減効果減少の問題が発生している。そこで、南部スラッジプラント（以下、南プラ）での新2号炉建設にあたり、廃熱温水を処理水と熱交換し、発電設備に熱供給することで、灯油焚き温水器の運転削減を図った。</p> <p>今回の取組みは、南プラからの熱供給を最大限有効活用することで消化ガス温水器の運転を抑制し、消化ガス温水器で使用する消化ガスをガスエンジンに供給することで、発電量の増量を図ることを目標に、施設保全課と合同で改善案を提案したので報告する。</p>			
キーワード	バイオマスエネルギー、消化ガス、発電、温室効果ガス			
処理区名	森ヶ崎処理区	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、エネルギー熱利用、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 21 年度	全体期間	平成 21 年度～平成 22 年度	
担当部所	森ヶ崎水再生センター 運転調整担当 中村 正紀、スラッジ管理係 渡邊 正人			
出展等	平成 22 年度 下水道設備研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-(1)-1	件名	再生水残留オゾンによる腐食調査	
内容	<p>東京都下水道局は安全で高品質な再生水製造を目的に 2004 年にオゾン耐性膜再生水製造システムを芝浦水再生センターに建設した。二次処理水を原水として生物膜ろ過、オゾン処理及びオゾン耐性膜ろ過を組み合わせた新しい再生水処理システムであり、製造された再生水は品川、汐留、大崎等の再開発ビルへの供給水やヒートアイランド対策の打ち水に使用されている。</p> <p>東京都下水道サービス（株）芝浦再生水事業所は、本システムの維持管理を稼働開始より受託し、稼働から 6 年が経過した現在、再生水残留オゾンによるケーブルの損傷、金属腐食等の問題が発生している。腐食の発生状況と原因について調査と対策を進めた結果、一定の腐食対策の成果が得られたので報告する。調査内容は次のとおりである。</p> <p>(1) 再生水残留オゾンによる腐食状況と原因分析  (2) 溶存オゾン濃度制御値と再生水残留オゾン濃度の関係  (3) 再生水残留オゾンによる劣化状況確認試験</p>			
キーワード	再生水、オゾン耐性膜、オゾン腐食対策			
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	設備	施策区分	オゾン腐食対策、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 2 1 年度	全体期間	平成 1 7 年度～平成 2 1 年度	
担当部所	T G S 施設管理部 芝浦再生水事業所			
出展等	平成 2 2 年度 下水道設備研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-(1)-2	件名	『防音ハウス』と『ヘリウム混合ガスシステム』を用いた 大深度ニューマチックケーソンの施工	
内容	<p>本工事は、第二溜池幹線(内径 8.0m)及び勝どき幹線(内径 3.5m)をシールド工事で施工するための発進立坑をニューマチックケーソン工法で構築するものである。</p> <p>施工の際に発生した課題『限られた作業空間での施工』及び『高気圧対策が必要な大深度での施工』に対し、現場で工夫した。</p> <p>防音ハウス内での限られた作業空間であったため、作業内容を昼と夜で区分し、昼間作業は資材搬入を頻繁に行う躯体構築とし、夜間作業は防音ハウス内のみで出来るケーソン構築とした。</p> <p>高気圧対策は、体内の窒素量・酸素量を多くさせないために、地下水位 40.0mからはヘリウム混合ガスシステムを採用し、安全に施工することが出来た。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工事概要 ニューマチックケーソン立坑 1 基 外径 23.6m×19.7m 矩形立坑 掘削深度 52.3m</li> <li>・ 立坑位置 中央区勝どき 5 丁目</li> <li>・ 防音ハウス 外径 54.4m×59.5m 高さ 15.2～20.2m</li> </ul>			
キーワード	ニューマチックケーソン、ヘリウム混合ガス、大深度、防音ハウス			
処理区名	芝浦処理区	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	工事	技術区分		
実施年度	平成 21～22 年度	全体期間	平成 21～22 年度	
担当部所	基幹施設再構築事務所	工事第三課	工事第一係	中島 亮
出展等				
調査方法				
関連情報				

番号	3-(1)-3	件名	芝浦水再生センターの上部利用及び再構築事例について	
内容	<p>昭和6年に稼働した芝浦水再生センターは、老朽化に伴い大規模な更新時期を迎えており、段階的な再構築事業を計画している。</p> <p>一方で、都の「品川駅・田町駅周辺まちづくりガイドライン」では、本センターが位置する港区港南地域では、環境モデル都市形成の中核的な役割を担う拠点として位置づけられ、環境に配慮した土地利用を図るとしている。</p> <p>このため、東京都では、平成19年度から約15年間に渡る第一期再構築事業として、雨天時貯留池を建設すると同時に、貯留池上部に業務商業ビルを合築することで上部空間を有効利用し、当該地域周辺開発と整合を図る取組を実施する。さらに、既存の水処理施設上部を地区計画上の公共空地として人工地盤を築造し、大規模緑化空間を創出する計画を予定している。</p>			
キーワード	立体都市計画、再構築、地区計画、上部利用			
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	土木	施策区分	再構築	
状態区分	設計	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成22年度	全体期間		
担当部所	建設部 土木設計課 田淵 真也			
出展等	第47回下水道研究発表会講演集（平成22年度）P.537～P.539			
調査方法				
関連情報				

番号	3-(1)-4	件名	シールドマシンを移動回転させるエアークャスター工法	
内容	<p>本工事は、練馬区中村・豊玉地区の浸水被害の軽減を図ることを目的に、雨水貯留管を整備する工事である。</p> <p>本工事の立坑の形状に制約があるため、シールドマシンを立坑内で移動・回転させる必要がある。工法を性能、施工性、経済性の観点から検討した結果、圧縮空気を利用して、重量物を360度どの方向にも移動が可能であるエアークャスター工法を採用した。</p> <p>準備に5日間、移動回転に1日間と短期間に確実な施工ができ、安全面においてもクレーンによる吊作業と比較して危険性を低減できる優れた工法であるといえる。</p>			
キーワード	シールド工法、エアークャスター			
処理区名	新河岸処理区	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	工事	技術区分		
実施年度	平成20年度	全体期間	平成19年度～平成21年度	
担当部所	基幹施設再構築事務所	工事第二課	工事第二係	船倉 崇弘
出展等				
調査方法				
関連情報				

番号	3-(1)-5	件名	鮫洲ポンプ所雨水貯留池～勝島ポンプ所間連絡管の模型実験による 流況調査について	
内容	<p>本施設は、鮫洲ポンプ所と浜川ポンプ所流域の浸水対策、合流改善対策並びに閉鎖性水域である勝島運河の水質改善を目的とし、平成 23 年度の一部完成を目指して建設中である。施設構成は主に、鮫洲ポンプ所雨水貯留池、勝島ポンプ所、両者を結ぶ伏越構造の連絡管（◎7, 200mm、4 分割構造）でなる。連絡管が伏越構造であることから、貯留から放流に至る流況と施設への影響について、縮尺約 1/15～1/20 の大規模模型を用いて検証することとなった。</p> <p>報告する実験概要は、鮫洲ポンプ所で揚水された雨水が鮫洲ポンプ所雨水貯留池（鮫洲系）に流入し、貯留池満水後に伏せ越し構造の連絡管放流渠を通して勝島ポンプ所放流渠から京浜運河へ放流するまでの流下状況である。</p> <p>実験結果は、連絡管が伏越し構造であるために、放流時に発生する損失が想定以上であるため、雨水貯留池水位が想定より高くなることが検証された。伏越し構造の様な特殊な構造の場合には、机上の水理計算では想定できない事象が発生することが懸念される。このため、模型実験等で実際に検証することが大切であると、改めて認識できた結果となった。</p>			
キーワード	模型実験、伏越し構造、雨水貯留池、浸水対策			
処理区名	森ヶ崎処理区	位置区分	ポンプ所	
職種区分	土木	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 22 年度	全体期間	平成 22 年度～平成 23 年度	
担当部所	建設部 土木設計課 飯嶋 一幸			
出展等	平成 22 年度設計・工事事例発表会（第二回）			
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	3-(1)-6	件名	事業場排水に関する規制及び指導手法の強化と効率化に向けた新たな取り組みについて		
内容	<p>現在、水質規制が抱える課題は、以下の二点があげられる。</p> <p>① 違反を繰り返す事業場が依然として存在している</p> <p>② 個別監視の重点化を優先的に実施するで、立入検査回数が少なくなり、現状の把握が不十分である事業場が存在している</p> <p>課題の解決に向けては、平成 21 年度より新たな取り組みを開始した。違反を繰り返す事業場に対しては、その逋減を果たすため、これまで以上に有効性の高い水質規制手法の確立を目指しており、検討を行うフィールドとして新たに設定した重点モデル地区にて行った。検討期間としては、3 年を予定している。次に、立入検査回数の少ない事業場については、広域監視により、経営計画 2010 の計画期間 3 カ年をかけて監視を実施することにより、立入検査を補完していくこととした。</p>				
キーワード	効率化、事業場排水、重点モデル地区、水質規制手法、広域監視				
処理区名		位置区分			
職種区分	水質	施策区分	流入水質規制		
状態区分		技術区分			
実施年度	平成 22 年度	全体期間	平成 22 年～24 年度		
担当部所	施設管理部 排水設備課 技術指導係				
出展等	平成 22 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	4-1	<b>Effects of Sewage Disposal Conditions on Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) Generation</b> <b>下水道処理条件が一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) の生成に与える影響</b>	
		件名	
内容	<p>下水処理に伴い反応タンク等からは、N<sub>2</sub>O が発生している。しかし、処理方式、運転条件等の違いが N<sub>2</sub>O の発生にどのように関係しているのかは、十分に解明されていない。</p> <p>我々は、水処理実験プラント（標準法、A2O 法、ステップ A2O 法の 3 系列が同じ流入水の条件下で並列運転される）を用いて処理方式や運転条件の違いが N<sub>2</sub>O の発生に与える影響を調査している。これまでに次の知見が得られている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各処理方式の標準的な運転条件下での発生量は、標準法（硝化促進型）&gt;ステップ A2O 法&gt;A2O 法であった。</li> <li>N<sub>2</sub>O の生成が多い槽は、3 系列とも第二沈殿池と好気槽であった。特に顕著な生成が標準法の反応タンク前段部で見られた。</li> <li>嫌気槽、無酸素槽での N<sub>2</sub>O の生成は、好気槽と比べると相対的に小さく、発生全体への寄与は小さいと推測された。</li> <li>嫌気槽、無酸素槽において N<sub>2</sub>O の減少する現象が一部に見られ、N<sub>2</sub>O が脱窒していることを示唆していた。</li> <li>N<sub>2</sub>O は、硝化、脱窒いずれの処理過程でも生成していることから、反応タンクから実際に発生する N<sub>2</sub>O がどの過程で生成したものであるのかは明確にできていない。</li> </ul>		
キーワード	一酸化二窒素 (N <sub>2</sub> O)、水処理実験プラント、下水処理		
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	処理水資料
状態区分	調査研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 22 年度	全体期間	平成 21 ~ 22 年度
担当部所	計画調整部技術開発課 塩見 浩、河野里名、本間誠二		
出展等	第 83 回 W E F 年次総会ポスター発表論文(2010)		
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	4-2	<b>Improvement of Reliability to the Network Composed of Optical fibers inside Sewerage Pipe</b> <b>下水道管渠内光ファイバーを利用したネットワークの信頼性向上について</b>
内容	<p>東京都下水道局では施設間を下水道管きょ内に敷設した光ファイバーで結び、統括的な運転管理と情報の一元化を図る光ファイバー通信網を構築している。</p> <p>稼働からネットワーク規模は年々拡大し、現在では事業運営の中核として一刻の停止も許されない状況となっている。</p> <p>下水道管きょに光ファイバーを敷設するにあたって、施設へ入る管きょが複数存在しない場合は、同一の管きょに光ファイバーケーブルを2条敷設し、ネットワークを構成することになる。この構成では、伝送のラインが両系同時に断線する可能性があり、信頼性を担保できない。</p> <p>上述のような同一管渠多重敷設箇所において、断線時に通信事業者回線へ迂回するネットワークとし、信頼性の向上を実現した。下水道光ファイバー通信網を通信事業者回線で部分的に補完するネットワーク構築について報告する。</p>	
キーワード	下水道管渠内光ファイバーネットワーク、ネットワークの信頼性、断線時のバックアップ	
処理区名		位置区分
職種区分		施策区分
状態区分	維持管理	技術区分
実施年度		全体期間 平成 18 年度～
担当部所	施設管理部 施設管理課 渡辺洋史	
出展等		
調査方法		
関連情報		

番号	4-3	件名	Network of sewage treatment plants using connection pipe and its efforts		
			下水処理施設のネットワーク化とその効果について		
内容	<p>現在、東京都の流域下水道では、多摩川を挟んで両岸に位置する二つの水再生センターを結ぶ連絡管を設置しネットワーク化することにより、各水再生センターの汚水や汚泥等を相互に融通するシステムの構築を進めている。このシステムにより、施設の大型化・共有化による建設・更新コストの削減、維持管理の効率化、地震等の災害時の処理機能低下に対する補完機能、処理水質の安定化などの多大な効果が期待される。</p> <p>このシステムの概要及びその効果について、最初に建設を行った多摩川上流水再生センターと八王子水再生センター間の連絡管を中心に報告する。</p>				
キーワード	連絡管、バックアップ機能、コスト削減				
処理区名	流域各処理区	位置区分	処理場 水再生センター		
職種区分	土木、設備	施策区分	震災対策、効率化、再構築		
状態区分	計画	技術区分			
実施年度	平成 22 年度	全体期間	平成 15 年～27 年度		
担当部所	流域下水道本部技術部計画課 佐藤 研三				
出展等	平成 22 年 10 月 W E F において発表				
調査方法					
関連情報					

# 1. 安全性・快適性の向上

## (1) 再構築技術

- 1 特殊推進工法（静的破碎推進方式）の施工について
- 2 東陽幹線その6工事における地中障害物撤去について
- 3 既設立坑内におけるニューマチックケーソンの施工について

## (2) 浸水対策技術

- 1 中野区弥生町一丁目付近枝線工事 地中接続時における降雨対策
- 2 第二妙正寺川幹線からの放流による河川流況への影響検証

## (3) 震災対策技術

- 1 既設支管を活用した取付管の耐震化について



## 1-(1)-1 特殊推進工法（静的破碎推進方式）の施工について

北部第一下水道事務所 建設課工事第二係 上神田 健太

### 1. はじめに

今回、音無川幹線再構築その5工事において、東京都下水道局発注の工事としては2例目となる特殊推進工法（静的破碎推進方式）を採用した工事を行ったため、その事例を報告するものである。

### 2. 工事概要

工事件名 音無川幹線再構築その5工事

工事場所 荒川区南千住一、五丁目、東日暮里一丁目

工事目的 本工事は、音無川幹線の再構築に伴いその周辺の面整備を行うものであり、既設管渠の更新に併せて雨水排除能力の増強を図るものである。

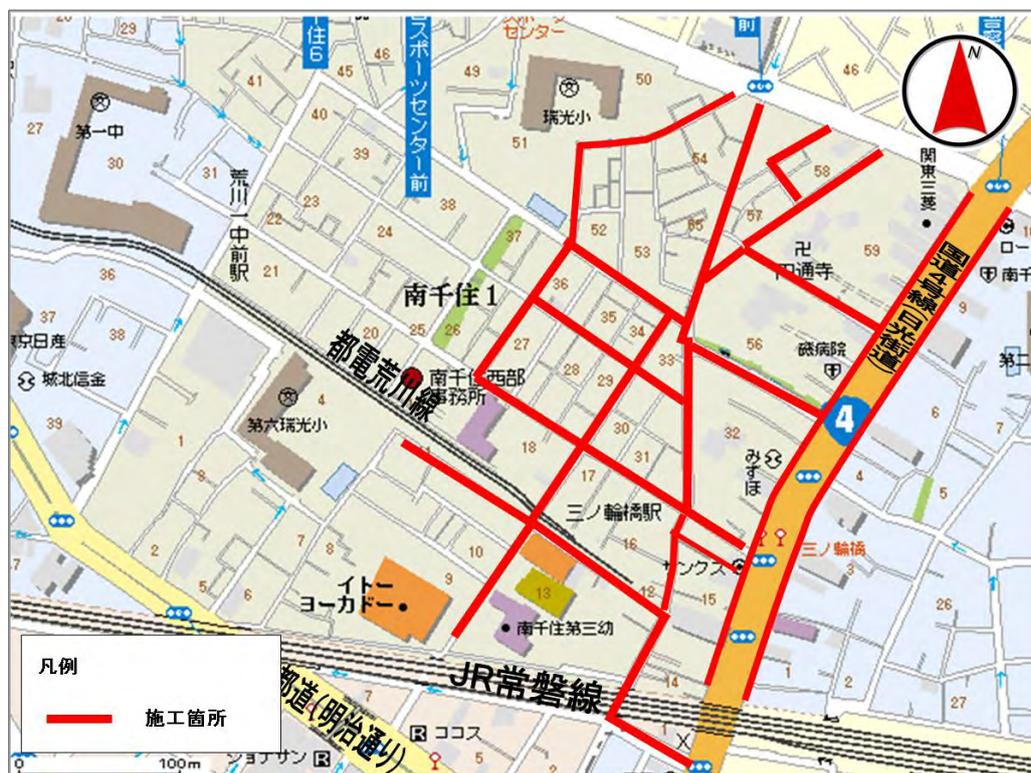


図1 施工場所案内図

### 3. 本工事における課題

本工事で課題となった RD50、49、48 路線（以下「対象路線」という。）は、道路幅員が 1.8～2.6 m と狭い上に道路の両側には墓地があり、基礎のない万年塀によって囲まれていた（図 2, 3）。対象路線の付近には工事を行う以前から倒壊している万年塀（図 4）もあり、対象路線を開削工法（掘削幅 1.15～1.25、掘削深 1.8～1.9m）で施工した場合、万年塀が転倒する可能性があったことから対応策の検討を行った。

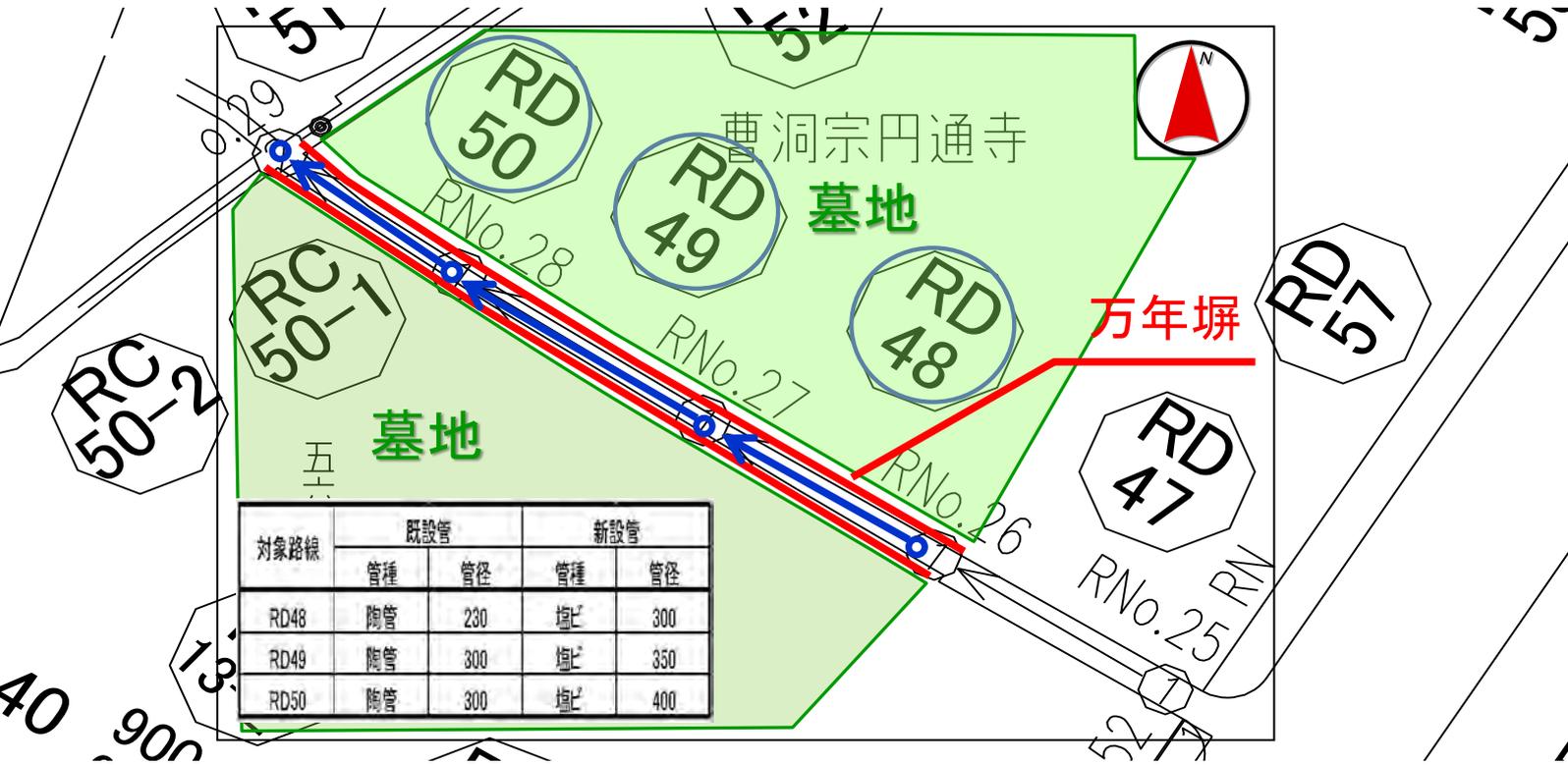


図 2 平面図



図 3 現況写真



図 4 付近にある万年塀の状況

## 4. 施工方法の検討

### 4.1 開削工法

万年塀の一時撤去もしくは万年塀に転倒防止仮設材を設置することで、開削工法による施工が可能であると考えた。そこで、まず万年塀の所有者に万年塀を一時撤去する工法をお願いしたが、その際の振動で墓石が動く等の影響が考えられたことから了解を得ることができなかった。

このため、次に転倒防止仮設材を設置する工法

(図5)をお願いした。当該現場は、道路の両側に万年塀があり、そのすぐ背面に墓地が立地している。仮設材を設置する際、道路側に設置すると仮設材自体が工事の支障となり、開削による施工ができないため、民地側に仮設材を設置する案を提案した。しかし、この工法では墓石の隙間を縫うように仮設材を設置するため、参拝者の支障となるとの理由から、何度もお願いに伺ったものの所有者の了解が得られなかった。

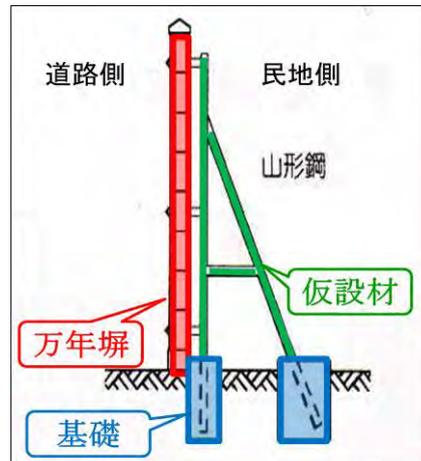


図5 転倒防止仮設材施工図

### 4.2 内面被覆工法（系統変更）

内面被覆工法で施工するためには、既設管径以下で流量を確保しなければならない。そのため、対象路線の上流であるRD47路線を系統変更(図6、図7)し、流量を減少させる方法を検討した。

検討の結果、流量率1.0が確保できず流量計算により、流量確保のためには現設計の管径が必要であることが確認されたため、内面被覆工法による施工は断念した。

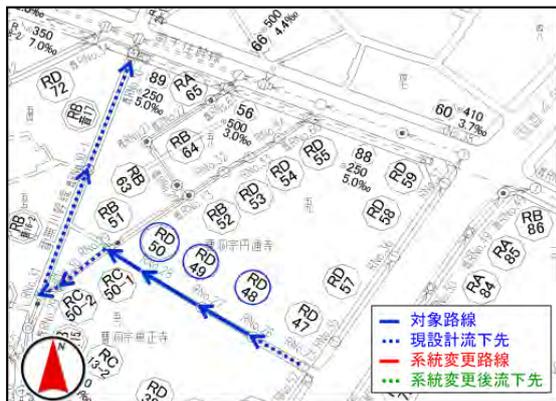


図6 現況図

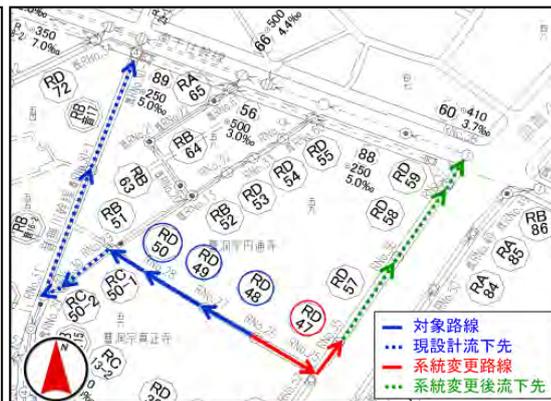


図7 系統変更検討図

### 4.3 特殊推進工法（静的破碎推進方式）

4.1、4.2から、開削工法による施工が困難であり、既設管径よりも増径が必要であることが課題として残ったことから、それらを解決するために特殊推進工法を検討した。今回は万年塀への影響と施工にかかる費用を考慮して、特殊推進工法の中でも静的破碎推進方式を検討した。検討の結果、施工可能と判断できたため本工法を採用した。以下、採用に至るまでの検討事項を記述する。

## 5. 本工法採用に当たっての検討事項

### 5.1 施工概要

特殊推進工法（静的破碎推進方式）の全体概要としては、発進立坑と到達立坑を築造し、発進立坑から押込装置を使用して新管をまず押込み、その後、到達立坑からチェーン引込用装置を使用してエキスパンディットを牽引し、新設管を築造する工法である。（図8）

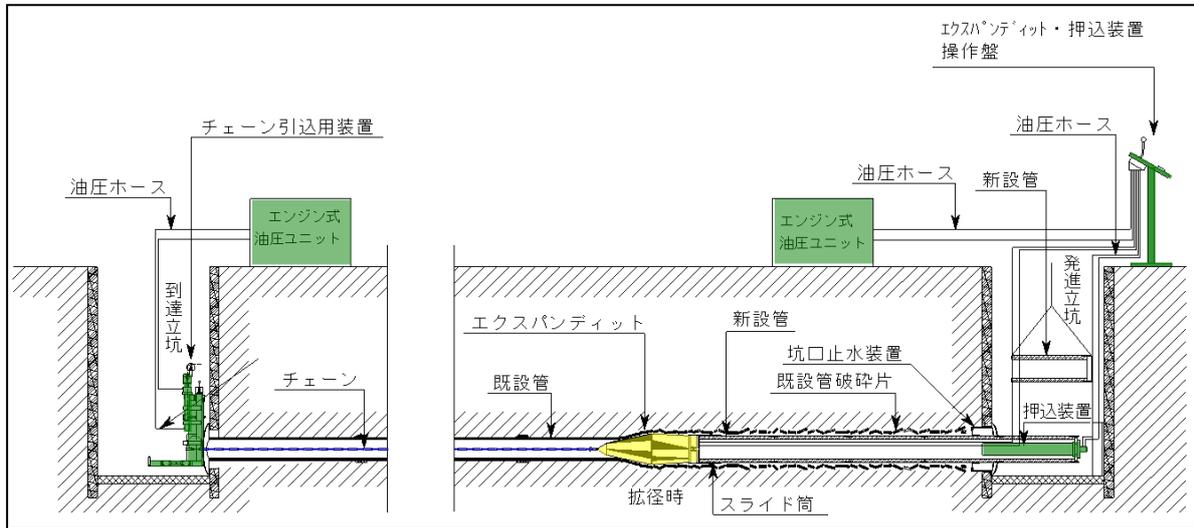


図8 特殊推進工法（静的破碎推進方式）の全体概要

#### 5.1.1 エクスパンディット

エキスパンディットは、縮径した状態で既設管に挿入し、油圧によって既設管を拡径破碎することができる。拡径破碎した隙間に牽引機でエキスパンディットを引き込み、また拡径破碎するという動作を繰り返して既設管を破碎し進んでいく。（図9、図10）破碎された既設管の状況は図11のようになっている。



図9 エクスパンディット縮径時

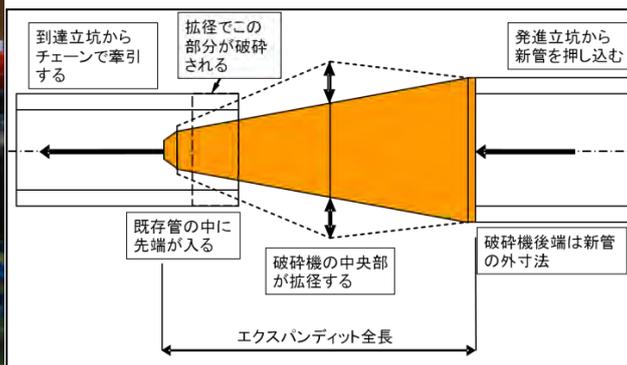


図10 エクスパンディットの破碎機構



図 11 ヒューム管破碎状況（試験時）

### 5.1.2 チェーン引込用装置及び押込装置

押込装置（図 12）は、発進立坑に設置されるもので、これから押し込む新管の中に配置（図 13）され、立坑内に設置された反力板から反力を取って新管を押し込む装置である。牽引機（図 14）は到達立坑に設置されるもので、押し込み速度に合わせてチェーンを通じてエキスパンディットを既設管内に引込む装置である。



図 12 押込装置写真

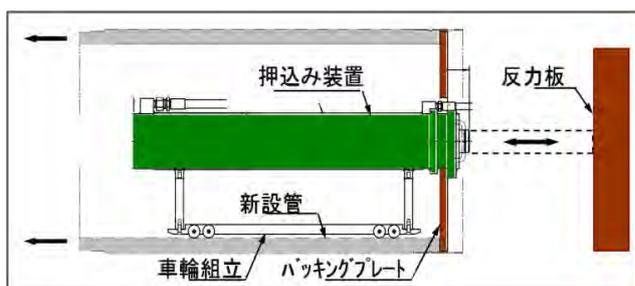


図 13 押込装置概要



図 14 チェーン引込用装置写真

## 5.2 施工上の問題点

### 5.2.1 他企業埋設管との離隔

他企業埋設管が近接している場合、エキスパンディットの拡張時に埋設管を損傷する可能性がある。このため、事前に他企業埋設管との離隔を確認する必要がある。試験掘り調査の結果最小で 52 cm であり、協会基準値の離隔 40 cm を十分に確保できることが確認できた。

### 5.2.2 仮排水の方法

今回の施工条件では15日程度の仮排水が必要であった。ポンプアップによる地上排水は歩行者や自転車の通行上支障となるため地中配管での仮排水を検討した。図15、図16のように取付管を一時撤去し、既設より浅い位置（掘削深80cm）に同径の仮排水管を設置することを検討した。この方法であれば、掘削深が80cmと浅いため亀裂や傾き等の万年塀への影響が少なく施工が可能と判断した。

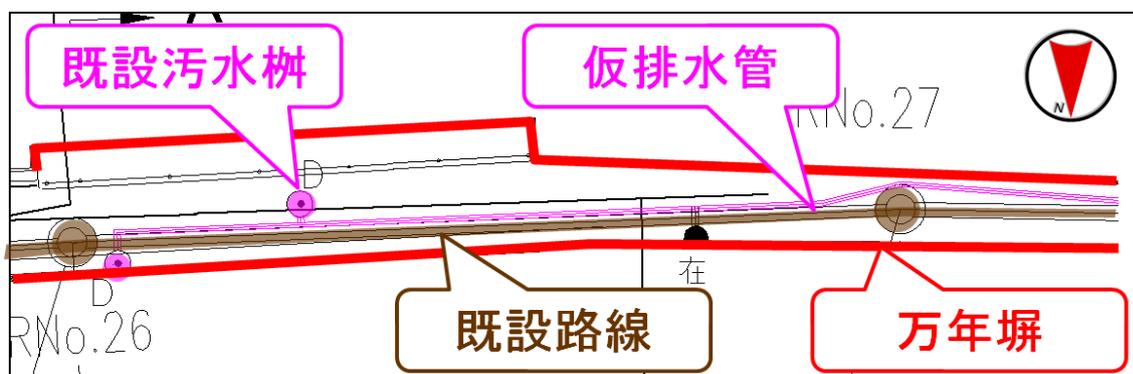


図15 仮排水状況平面図

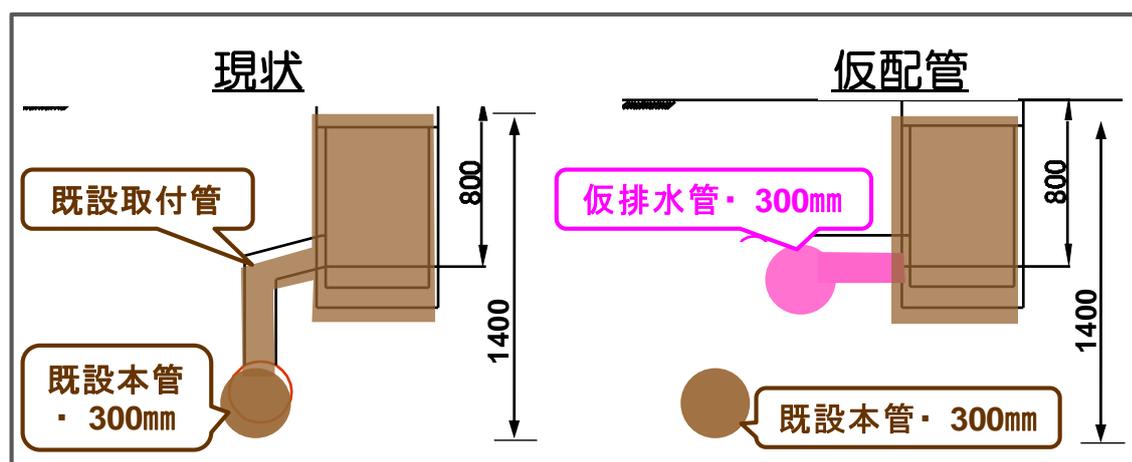


図16 仮排水状況断面図

### 5.2.3 破碎された管の処理

対象路線はいずれも陶管であり、通常その破片は産業廃棄物として処理しなければならない。しかし、本工法は破碎された管を地中に残す工法であるため、道路管理者に了解を得る必要があった。道路管理者との協議の結果、陶管はレキ程度の大きさに破碎されるため、地中の間隙も小さく、沈下等の原地盤への影響は少ないという見解から了解が得られた。

## 6. 本工法の評価

都市部においては開削工法での施工が困難な箇所が多く、非開削での管更生工法が有効な現場が多数あると考えられる。しかし、本工法を採用するためには、他企業埋設管との離隔が確保できること、仮排水が可能であること、加えて破碎された管の地中存置について道路管理者の了解が必要である。今回の現場は、開削工法が困難で、かつ増径が必要という特殊な現場条件であり、これらに加えて前記の条件についても満足することができたことから、本工法の採用が有効かつ可能であった。

## 1-(1)-2 東陽幹線その6工事における地中障害物撤去について

基幹施設再構築事務所 工事第一課 五十嵐拓也

### 1. はじめに

東陽幹線は、砂町処理区に位置し、業平橋、三之橋、木場、横川幹線の能力を補完し、墨田区、江東区を含む流域の雨天時の下水を砂町水再生センターに送水する幹線（しゃ集幹線）であり、公共用水域の水質改善を目的として計画された幹線である。

東陽幹線その6工事は、東陽幹線の最終工事であり、起点である業平橋ポンプ所までの幹線工事及び既設横川幹線等からの取入れを行うものである。（図1）



図1 系統図

### 2. 工事概要

工事件名	東陽幹線その6工事
工事場所	墨田区吾妻橋三丁目、東駒形四丁目、業平一丁目
工事内容	鉄筋コンクリート 内径 800～1,200 mm 17.70m " (泥濃式推進工法) 内径 1,100～1,350 mm 347.05m 人孔 4 か所

### 3. 現場の特殊性

内径 1350mm の泥濃式推進工（延長 110.10m 土被り 8.78m）は、交通量が非常に多い浅草通りでの施工である。

施工エリア付近には、建設中の東京スカイツリーが存在し、関連工事を含めて多数の工事が施工中である。

推進ルート上部には、既設横川幹線等が離隔 2.30m で横断している。

#### 4. 推進機の掘進停止

##### (1) 推進機の停止位置

内径 1350mm の泥濃式推進工（推進機外径 1600mm）において、発進坑口より 90m 地点を掘進中、推進機が地中障害物に接触し浅草通りの中央付近で停止した。（図 2，3）



図 2 停止位置図

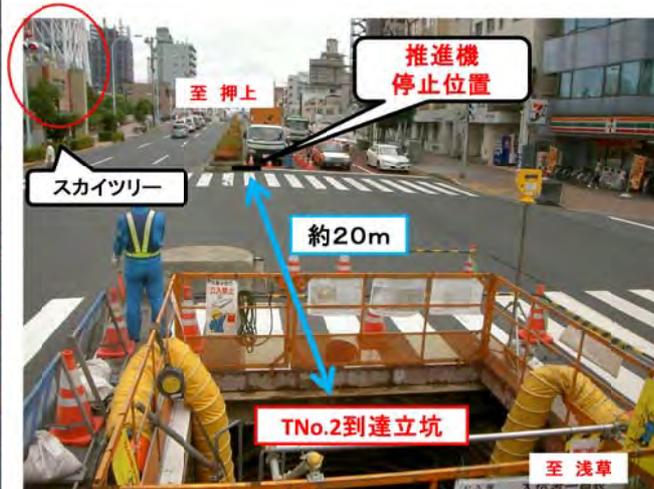


図 3 上部状況

##### (2) 地中障害物について

推進機が地中障害物に接触したことを受けて、推進ルート上に他の地中障害物の有無を確認するため、「ボーリング調査」と「磁気探査」により調査を行った結果、I型鋼と想定される地中障害物が、推進機に接触した分も含めて 8箇所確認された。（図 4）

この地中障害物は、磁気反応で確認されたため長さが判別できず、完了図においても記載されていないため所有者も特定できなかったが、道路管理者及び各企業と協議を行い、地中障害物の切断・撤去の了解を得た。

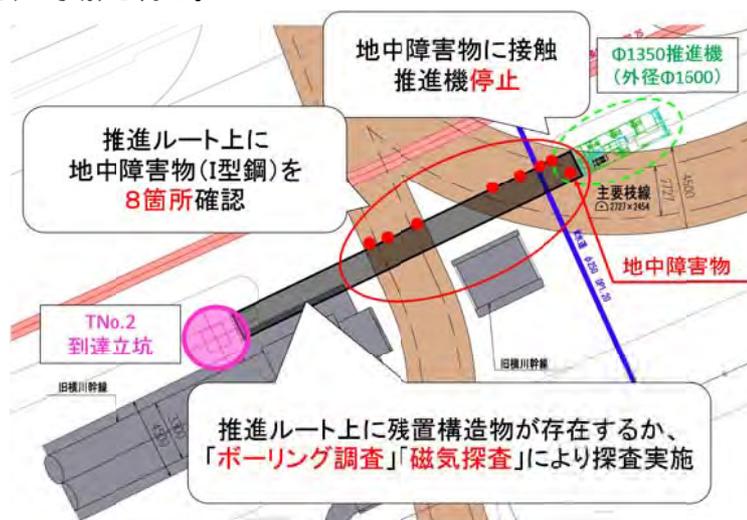


図 4 地中障害物埋設状況（平面図）

## 5. 地中障害物撤去

### (1) 地中障害物撤去の問題点

8箇所と数多く広範囲に存在している。(図5)

施工場所が交通量の多い浅草通り下であり、付近で東京スカイツリーが建設中ということから、開削を伴う撤去が困難である。

既設横川幹線等が上部にあり、地中障害物の引抜き・地盤改良範囲の確保が困難である。

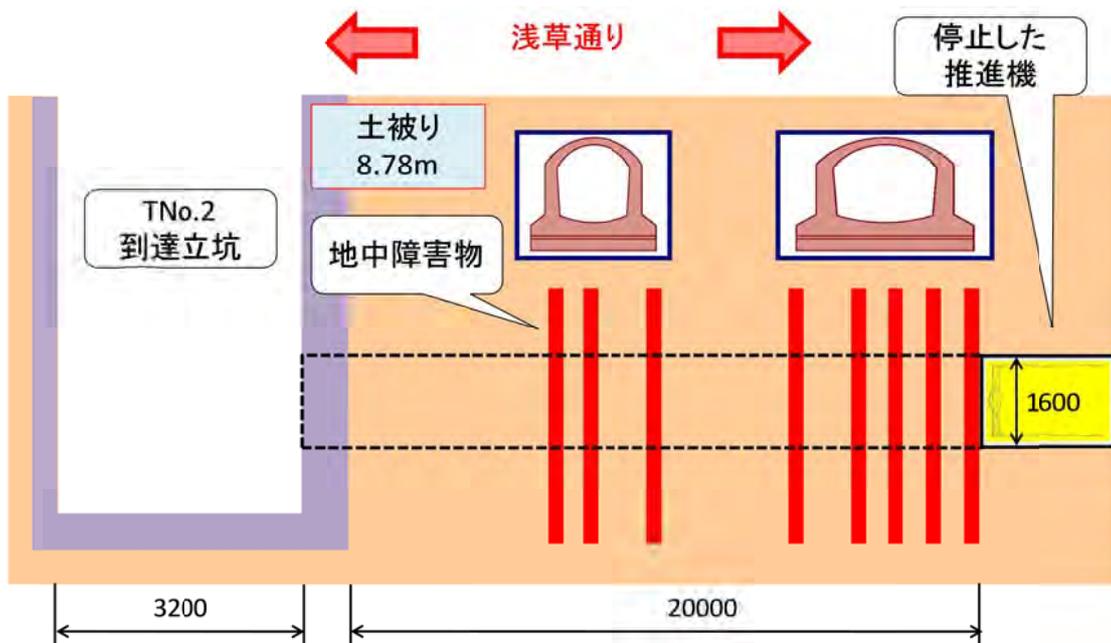


図5 地中障害物埋設状況(縦断面図)

### (2) 撤去方法の検討

地中障害物撤去の問題点を検討した結果、到達立坑から推進機の迎え掘りを行うことにし、以下の撤去方法で比較検討を行った。(表1)

刃口推進(補助工法 薬液注入)

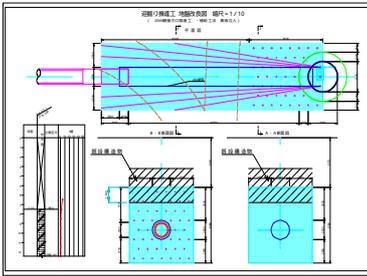
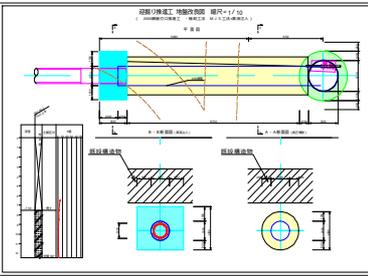
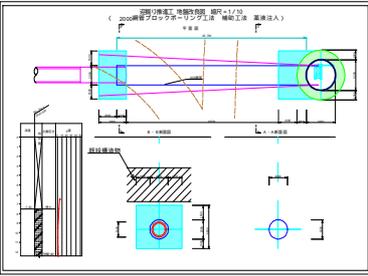
刃口推進(補助工法 MJS工法)

ブロックボーリング工法

刃口推進では、既設幹線等が支障となり、必要な地盤改良範囲が確保できず、また、到達立坑の形状が小さいため、機材を設置するためには、立坑改造を行う必要があることから不採用とした。

ブロックボーリング工法は、到達するまで刃口での作業が無いため、地盤改良は、発進と到達部のみに限定できる利点があった。当現場の施工環境に適していたことから、今回はブロックボーリング工法を採用した。

表1 撤去方法比較表

工 法	刃口推進 (補助工法 薬液注入)	刃口推進 (補助工法 MJS工法)	ブロックボーリング工法
概要図			
評 価	●既設幹線が支障となり、改良範囲が確保できない。	●到達立坑より地盤改良を行うには立坑の改造が必要になる。	●到達まで刃口での作業が無く、地盤改良は発進と到達部だけで良い。
日 数	60日	120日	55日
金 額	¥55,000,000	¥104,000,000	¥50,000,000
判 定	X	X	O

## 6. ブロックボーリング工法

### (1)工法の概要について

ブロックボーリング工法は、鋼管の先端に「メタルクラウン」を取り付けて全開とし、鋼管内に土砂を取り込みながら地中障害物の切断を行う。

また、鋼管の最後尾に、取り込んだ土砂の噴出をブロックする機能を有す「キングストッパー」を取り付けて全閉とし、鋼管を回転させて推進していくボーリング工法である。

この工法は、鋼管上部の地盤を崩さず推進できるため、沈下の恐れがなく安全性があり、地中障害物を推進力だけでなく回転力により切断するので、地中障害物周りの地盤改良を必要とせず経済的である。さらに、推進及び排土作業は、鋼管の回転によるだけで泥水を使用しないため、環境面においても優れている。

### (2)鋼管について

推進機の迎え掘りに使用する鋼管の径は、推進機の外径が 1600mm なので、水平誤差などを考慮し 2000mm とした。(図 6)

鋼管長は、到達立坑の径(内径 3200mm)を考慮し 1000mm とした。

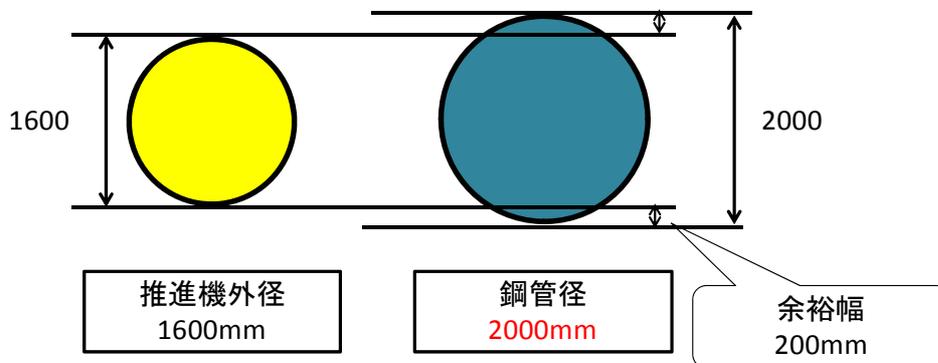


図6 使用鋼管径

### (3)メタルクラウンについて

鋼管の先端に厚さ 25mm で取り付けられたメタルクラウンは、工業ダイヤを用いているため、鉄系の障害物に適応力があり、鋼管の回転により地中障害物を切断する。(図7)

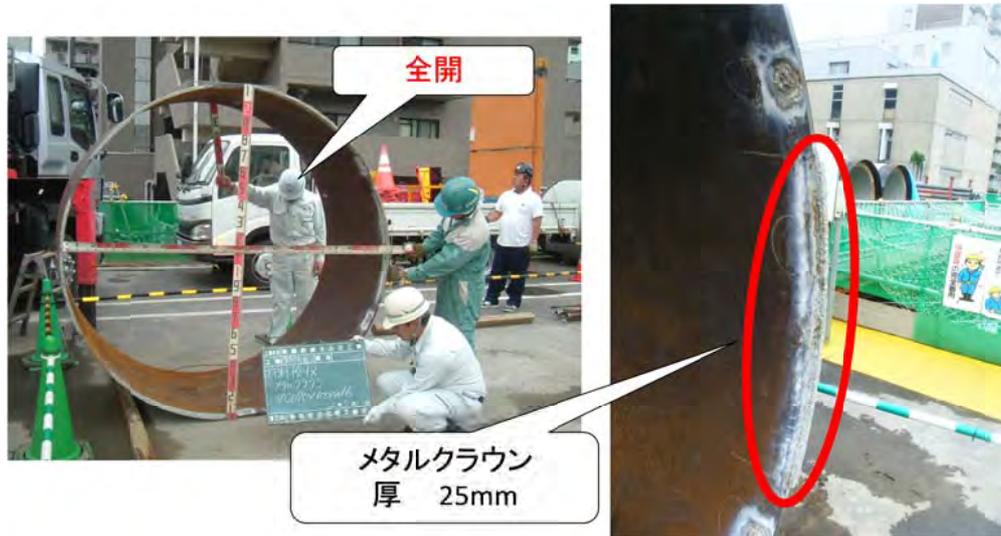


図7 メタルクラウン

### (4)キングストッパーについて

キングストッパーは、鋼管内に停止させるための「油圧ジャッキ」と土砂の噴出を防ぐための「二重パッキン」で構成される全閉型の可動式シールド機である。(図8)

発進坑口の鋼管内に設置され、「挿入される鋼管の推進力」と「取り込んだ土砂の内圧」とのバランスを取り、鋼管到達まで坑口に停止しながら、土砂の噴出をブロックし続ける。

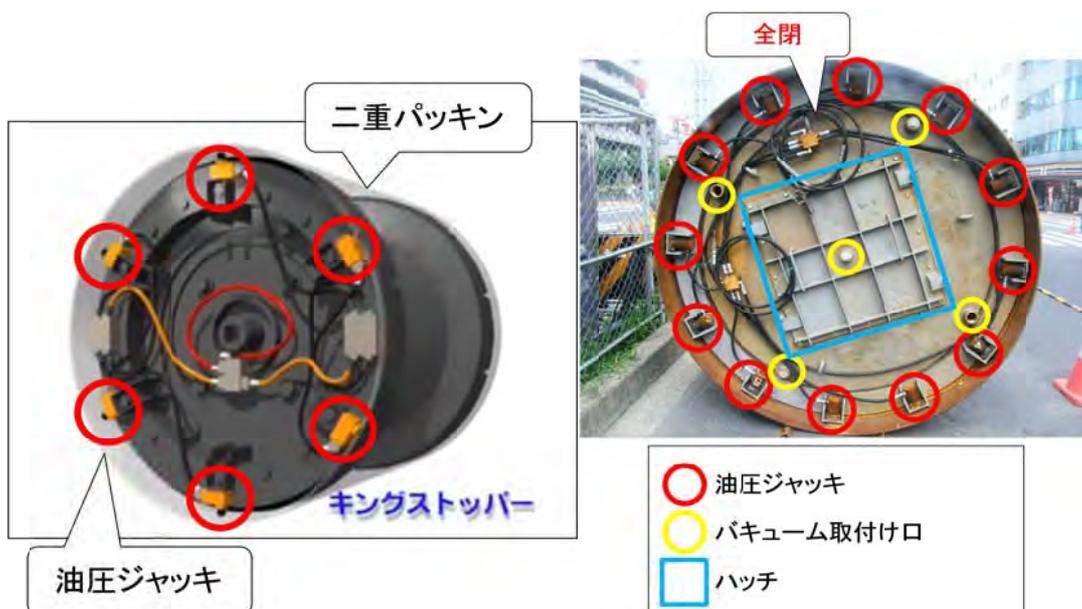


図8 キングストッパー

## 7. 地中障害物撤去の流れ

ブロックボーリング工法を用いて、到達立坑から推進機の迎え掘りを行う。

### (1)地盤改良

迎え掘りを行う前に、発進部である到達立坑の前面及び到達部である推進機周辺において、薬液注入による地盤改良を行い、止水処置をする。(図9)

### (2)キングストッパー設置

先端にメタルクラウンを取り付けた最初の鋼管を立坑内に設置する。その後、鏡切りを行い鋼管を挿入し、鋼管の最後尾にキングストッパーを設置する。このキングストッパーにより、鋼管内に取り込んだ土砂の噴出を防ぐ。(図9)

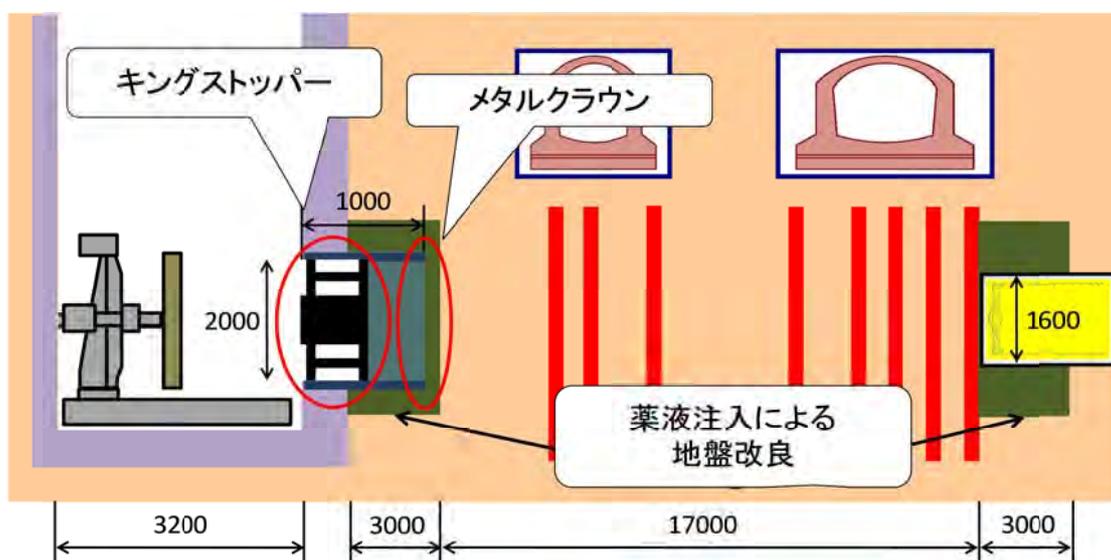


図9 地盤改良、キングストッパー設置図

### (3)鋼管推進

次の鋼管を立坑内に設置し、最初の鋼管との継ぎ目を溶接する。

その後、鋼管を推進させる際、キングストッパーは同じ位置のまま鋼管だけを挿入させるため、キングストッパーを固定していた油圧ジャッキを少し弱め、「挿入される鋼管の推進力」と、その逆方向の力である「土砂の内圧」とでバランスを取りながら鋼管だけを挿入させる。

鋼管の挿入完了後は、キングストッパーの油圧ジャッキを元に戻し、再び土砂の噴出を防ぐ。

このキングストッパーの調節を繰り返しながら、鋼管を推進させていく。(図10)

### (4)地中障害物切断

鋼管推進途中にある地中障害物は、鋼管の先端に取り付けたメタルクラウンにより切断し、地中障害物をくり抜いていく。(図10)

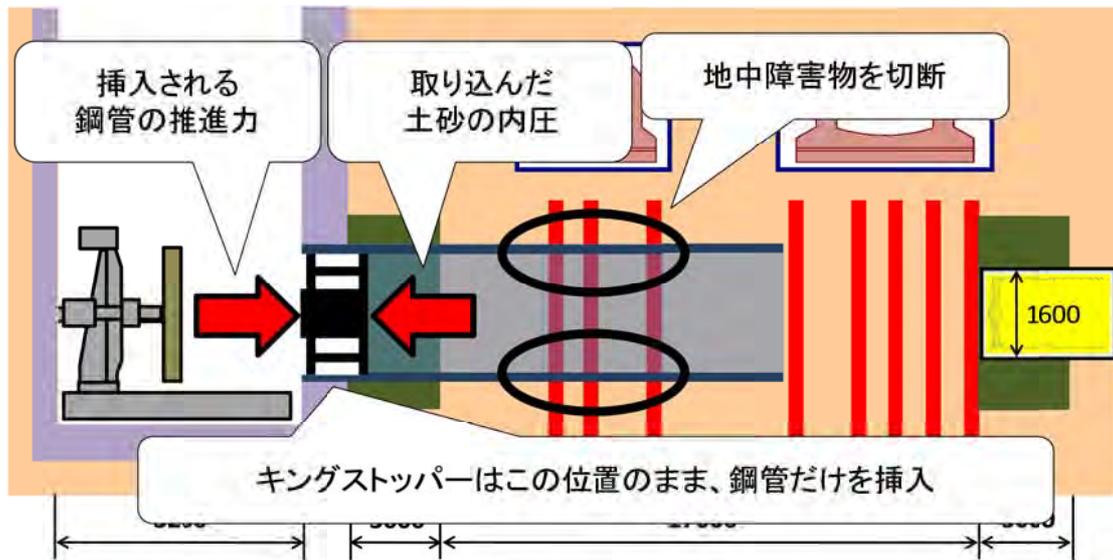


図 1 0 鋼管推進、地中障害物切断図

#### (5) 排土・地中障害物回収

鋼管を推進機に 1m ラップさせて到達させた後、鋼管内に取り込んだ土砂をバキュームを用いて排土する。

切断した地中障害物は、キングストッパーのハッチから中に入り撤去する。この作業に際し、土砂の崩壊が懸念されるため、キングストッパーを移動させながら撤去作業を行う。(図 1 1)

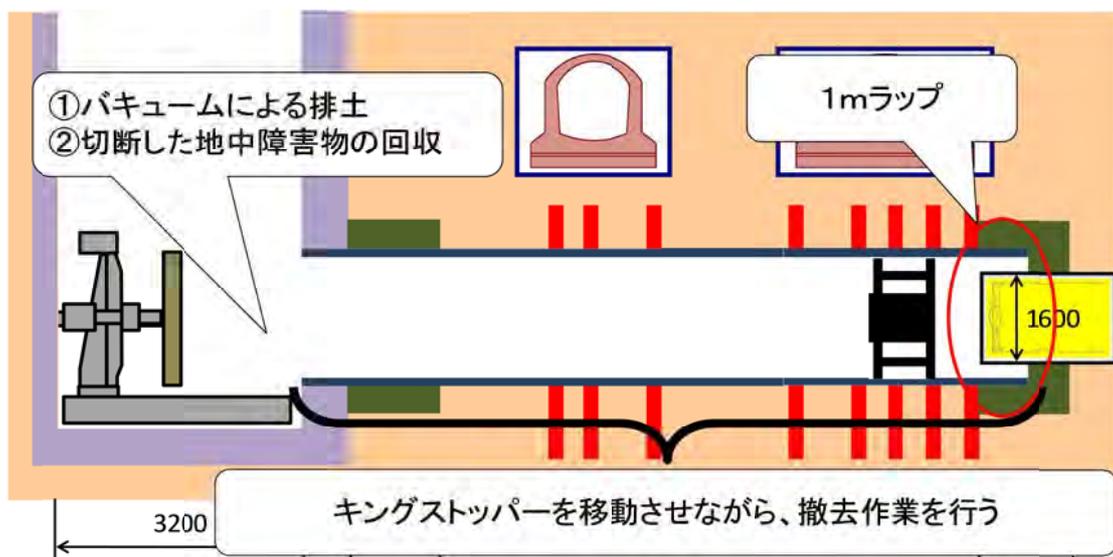


図 1 1 排土・地中障害物回収図

**(6)流動化処理土充填**

鋼管内の排土・地中障害物回収作業完了後、鋼管内を流動化処理土で充填する。  
その後、推進機を再発進させて完了となる。(図12)

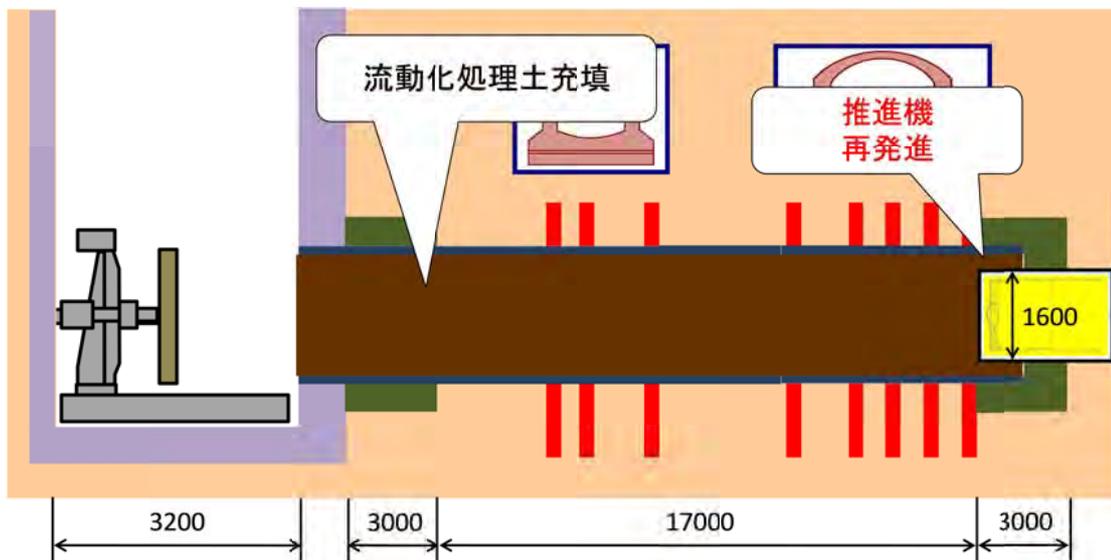


図12 流動化処理土充填図

**8. 施工結果**

地中障害物の撤去について、ブロックボーリング工法を採用したことで、刃口での人力作業を行わず、地中障害物周りの地盤改良無しで、安全に地中障害物8本を切断・撤去することができ、推進機を再発進させることができた。

実施工程として、鋼管発進から到達まで28日間で行い、その内地中障害物8本を切断するのに9日間要した。(表2)

表2 実施工程表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42								
準備工	■																																																	
鑿切工						■																																												
鋼管推進工																																																		
障害物切断工																																																		
鋼管推進機搬出																																																		
排土工																																																		
障害物撤去工																																																		
流動化処理土充填																																																		

### (1) 撤去された地中障害物

撤去された地中障害物の切り口を確認した結果、鋼管の曲線と一致していたことから、切断の精度が高いと判断できた。(図13)



図13 地中障害物撤去片

### (2) 鋼管到達状況

鋼管を推進機まで到達させた後、鋼管内から推進機的位置確認を行った結果、鋼管推進の精度も良好であった。(図14)

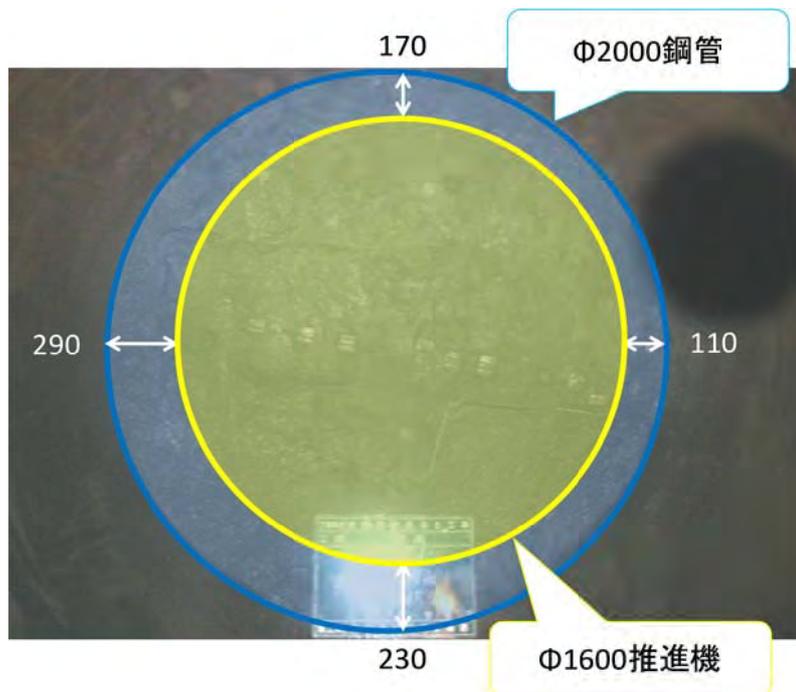


図14 鋼管到達状況図

## 9. 考察

ブロックボーリング工法は、交通量が多く開削が困難な箇所や河川の伏せ越し等で地盤改良が困難な箇所での施工に適した工法である。

最後に、今後の採用に当たっての留意点を挙げる。

### (1)土質条件

今回は砂質土での施工であったが、礫質土ではメタルクラウンが損傷してしまうため、施工不可である。

### (2)軌道修正

鋼管を順次推進させていくため、推進途中での軌道修正は困難である。そのため、鋼管と鋼管とを精度良く溶接する高度な技術と経験が必要となる。

### (3)適用延長

使用する鋼管径が大きいほど溶接長も長くなり、誤差も生じやすくなる。前述したように、推進途中での軌道修正は困難であることから、鋼管径が大きいほど適用延長は短くなる。

今回の条件下で使用した内径 2000mm の鋼管では、推進延長は 20m 程度が限界であったと考えられる。

今回の工事事例は、特殊な施工環境下における地中障害物撤去に取り組んだものである。この取り組みが、類似工事において新たな視点として寄与できれば幸いである。

# 1-(1)-3 既設立坑内におけるニューマチックケーソンの施工について

基幹施設再構築事務所 工事第一課 青野雅士

## 1. 工事目的

本工事は、足立区千住大川町、千住柳町、千住寿町、千住中居町、千住龍田町、千住桜木一丁目付近の既設管きよの更新に併せて雨水排水能力の増強を図るため、再構築工事(管きよの新設)を施行するものである。(図1)



図1 系統図

## 2. 工事概要

- (1) 工事件名: 足立区千住龍田町、千住中居町付近再構築その5工事
- (2) 工事場所: 足立区千住桜木1丁目 11 番地
- (3) 工事内容: 特殊人孔築造工(ニューマチックケーソン工法) 1基  
円形管(空伏) ◎2,800mm 0.65m
- (4) 工期 : 平成 21 年8月 13 日～平成 23 年 3 月 31 日

## 3. 現場の特殊性

- (1) 本地域は、砂町処理区の最北部に位置しており、荒川と隅田川に囲まれた江東デルタ地帯と呼ばれる平坦な低地である。用途地域としては、主として商業地域で、北千住を中心に商店街が発達し、周辺の住宅地域は、屈曲した網の目状の道路となっている。
- (2) 本工事箇所は、足立区千住桜木一丁目に位置しており、平成 18 年～平成 19 年にかけて施工したシールド工事の発進立坑内での人孔築造工(ニューマチックケーソン工法)である。
- (3) 発進立坑付近には、東京電力(株)上野支社足立営業センターと東京電力社宅が近接して

おり、工事車両が通行する道路は一車線対面通行であるが非常に交通量が多く、商店街・住宅が密集する地区で歩行者も多い。また、付近には小中学校があり通学路となっている。そのため工事施行中は第三者と一般車両に配慮すると共に、騒音・振動に対して細心の注意を払う必要があった。(図2)

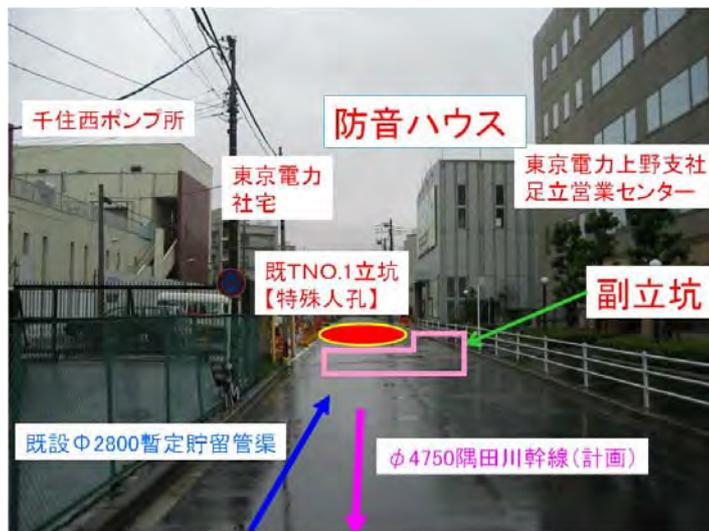


図2 上部状況

(4)この地域の下水道管は、昭和40年代に布設され、都市化の進展に伴い、現在の下水道管では突発的な大雨を処理できず能力不足となっている。このため、千住地区より既設雨水貯留管(2800mm)に取水された雨水を流入し、将来接続予定の隅田川幹線(4750mm)へ流出させるための特殊人孔を築造し、雨水排水能力の増強を図るための工事である。(図3)

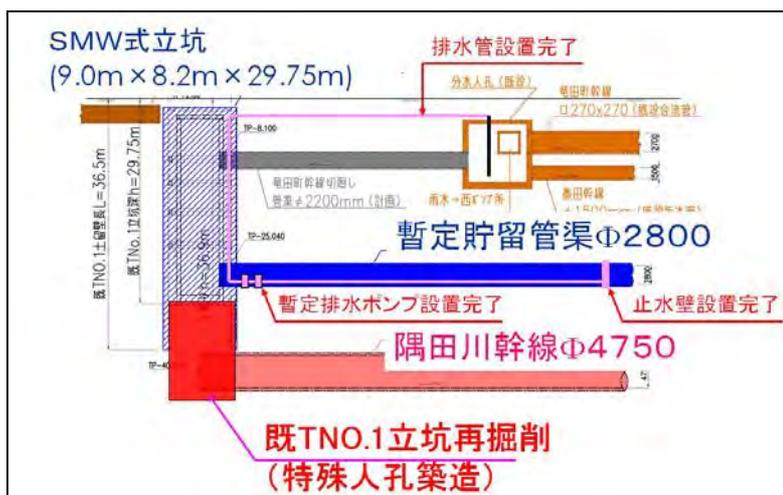


図3 計画断面図

#### 4. 路下式施工に伴う課題と対策

##### 4.1 地上占用を最小限に抑えた路下式ニューマチックケーソンの施工について

足立区道直下の既設発進立坑（SMW 連続壁）9.0m×8.2m 内に外径 6.5m×深さ H=42.58m の大深度立坑（到達）を施工するに当たり、地上占用を最小限に抑えるため路下式ニューマチックケーソン工法による施工を採用した。

しかし、路下での狭小な既設立坑内において、更に路面下 GL-45.3m に狭小断面（底面積 S=34.2m<sup>2</sup>）の大深度立坑を施工するに当たり、以下の課題が懸念された。（図4）

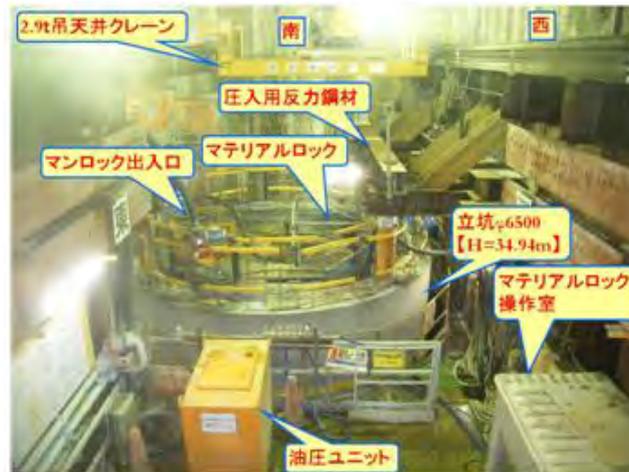


図4 路下式ニューマチックケーソン前景

##### 4.2 課題と対策

###### 4.2.1 路下式施工による沈下荷重の不足

狭小断面による沈下荷重不足が考えられる。通常ニューマチックケーソンでは、圧入時に躯体荷重と水荷重を加える。しかし、今回の工事では施工範囲が狭小なため、コンクリートの厚みを大きくすることや、ロットをさらに加えて自重を重くすることはできない。そこで対策として、水荷重とさらにアンカー（8本）を反力とした圧入ジャッキ（1500kN×4本）による圧入荷重の併用を行った。

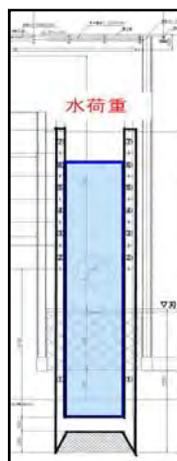


図5 ケーソンへの水荷重載荷状況図

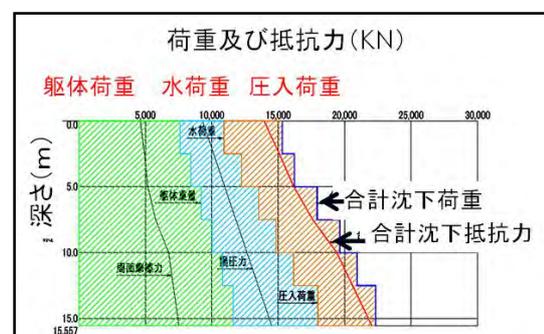


図6 沈下関係図

ケーソンへの水荷重載荷状況図を図5, 6に示す。沈下荷重として躯体重量だけでは合計沈下抵抗力を超えず、荷重不足であることがわかる。このため不足荷重を水荷重と圧入荷重で補う。これにより、合計沈下荷重が合計沈下抵抗力を超えることができる。水荷重は最大で約6,400kN、圧入荷重は最大で4,800kNとなり合計約11,200kNの不足荷重を補っている。

また、図7で示すように、土留壁に圧入用反力鋼材を設置し、さらにそこから圧入ジャッキを設置させ、躯体を圧入した。

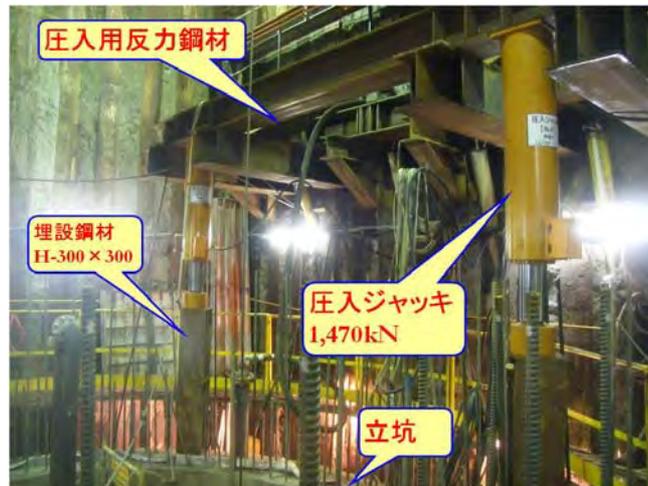


図7 圧入ジャッキ設置状況

圧入荷重の反力としてアンカー8本を既設土留壁より施工した。アンカー1本当当たりの設計荷重は735kNで、5,880kNの圧入荷重全てを8本の除去式アンカーで受け持っている。また、東側の除去式アンカーは既設貯留管があるため、角度を与え地中に55m打設した。(図8, 9)

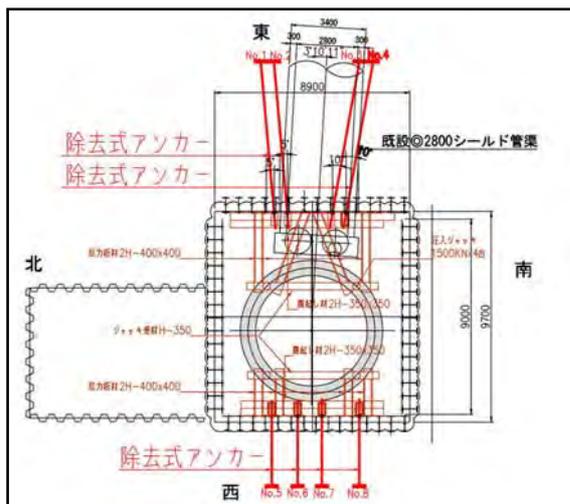


図8 アンカー打設状況断面図



図9 アンカー打設完了全景

#### 4.2.2 狭小条件下での艤装設備の選定

立坑の内径が 5.1m と狭小な現場では、一般的に使用されている艤装設備では搬入させることが出来ず、条件を満足させることが出来ない。そこで、今回の工事ではマンロックとマテリアルロックを一体構造とした路下式ロックを採用した。この路下式ロックは、本工事のような狭小な条件(小断面等)を前提に開発されたものであり、過去に多数の実績がある。図 10 に艤装設備の設置状況を示す。

路下式ロックは作業室スラブ直上に設置され、掘削土砂搬出用のマテリアルシャフト、右側が人が出入りするためのマンシャフトとなっている。この路下式ロックは、内径が 5 m の立坑に入るもので、マンロックとマテリアルロックを別々にした場合の最小掘削面積よりも約 50% の省面積となっている。

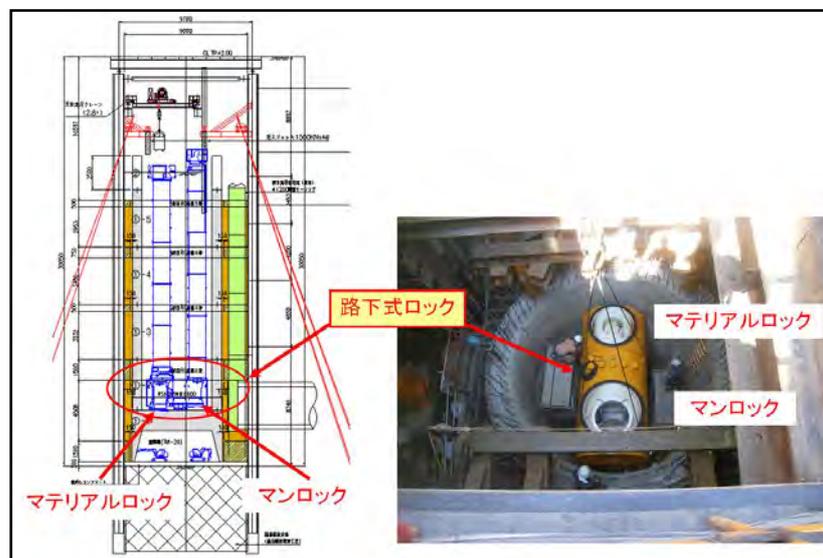


図 10 艤装設備設置状況

#### 4.2.3 既設底盤改良体掘進後の既設立坑内の冠水

今回の現場では施工基面が、地下水位よりも 8.5m 下に設けられている。そのため、掘削作業を進めるとケーソンと土留壁の間から地下水が上昇し立坑が冠水する恐れがある。

そこで、施工基面に止水装置(エントランスパッキン)を図 11 のように設置した。シールド機で使うパッキンを立坑用に向きを変えて鉛直方向として使用している。ケーソン施工基面との最大水頭差  $H=8.5\text{m}$  あるため、 $0.085\text{Mpa}$  の水圧をパッキンにて抑え立坑内への冠水を防止した。



図 1 1 止水装置設置状況

#### 4.2.4 狭小断面及び硬質地盤(底盤改良体)の掘削を考慮した掘削設備の選定

ケーソンを沈下するにあたり、掘削方法の選定が重要な課題となる。表 1 にケーソン沈下長の土質構成図を示す。この中で、TP - 28.05m ~ TP - 34.05m の 6.3m 分の土質は、既設発進立坑工事の際に行われた底版改良体で構成されている。底版改良体の上部、下部で一軸圧縮試験を行うと、それぞれ 5.1N/mm<sup>2</sup>, 18.6N/mm<sup>2</sup> と設計強度で想定されていた 3.0 N/mm<sup>2</sup> を大きく上回る非常に堅固な改良体であった。

表 1 ケーソン沈下長の土質構成図

深度(TP)-27.75	層厚(m)	土質	強度試験箇所	強度試験(N/mm <sup>2</sup> )
-28.05	0.3	基礎CON		
	6.3	底版改良体	TP-29	5.1
-34.05			TP-33	18.6
-37.05	3.19	砂礫		
-43.307	5.77	粘土 (シルト)	TP-42	0.73

今回の施工場所のように、非常に狭小な断面で、底版改良体による硬質地盤の掘削を考慮した函内掘削機は、硬質地盤の掘削時におけるメンテナンス性を考慮し小型で遠隔無線操作式の掘削機を採用した。積込用にバケットを装着した掘削機 1 台、破碎用にブレーカーを装着した掘削機 1 台の計 2 台を配置することで硬質な地盤の掘削を行った。



詰込用(バケット装着)      破碎用(ブレーカー装着)

図 1 2  函内掘削機

また、通常函内の天井に機械を付けて天井走行式の掘削機を使用することが一般的であるが、天井走行式は今回のような狭小断面では入ることができない。さらに、電気系等のメンテナンスが非常に複雑でその修理に時間を要する。そのため、今回のような小型の掘削機で、一般的な作業員が故障の修理を行うことができるようにこのような比較的単純な機械を使用した。

次に、表 2 に有人・無人掘削歩掛表を示す。掘削深度が増すごとに、作業気圧が上昇し、それに対する有人掘削での作業時間が減少する。今回の工事では、作業気圧 0.18Mpa に達すると、有人での作業時間は 3.5 時間で掘削量は 19.5m<sup>3</sup> となるのに対し、無人掘削で 7 時間作業を行うと、掘削量は 27.3m<sup>3</sup> となる。そのため、0.18Mpa を超える深度に達した時点 (TP-30m) で遠隔無線操作式による無人掘削を行った。(最終掘削深 TP-43.3m)

表 2  有人・無人掘削歩掛表

作業圧力(Mpa)	有人掘削		無人掘削	
	作業時間(hr)	掘削量(m <sup>3</sup> )	作業時間(hr)	掘削量(m <sup>3</sup> )
0素掘り	7.0	39.0	7.0	27.3
0を超え~0.09	6.7	37.3		
0.09~0.13	5.3	29.5		
0.13~0.18	4.7	28.0		
0.18~0.21	3.5	19.5		
0.21~0.25	3.1	17.3		
0.25~0.29	2.6	14.5		
0.29~0.33	2.2	12.3		
0.33~0.35	1.8	10.0		
0.35~0.37	1.6	8.9		
0.37~0.39	1.5	8.4		

#### 4.2.5 砂礫層での漏気による酸欠空气の発生

漏気は、基本的に地下水圧以上の気圧の圧縮空気（オーバープレッシャー）を送れば土質に関係なく発生する。底版改良体や粘土層・土丹層など透水係数の低い土質では、工事場所より遠方へ漏出することは殆どなく、漏気が発生したとしてもケーソン廻りより発生する程度であるが、砂礫層・玉石混じり砂礫層・砂層のような透水係数の高い土質で漏気が発生した場合は、工事場所から透水係数の高い土質を通じて遠方へ酸欠空气として漏出することがある。

そこで、図 1 3 に示すように、刃口金物外周に 8 箇所の薬液注入口を設け、注入口より溶液系の 2 液硬化型薬液を刃口外周から 1 m 程度を注入範囲として注入し、外部への漏気を防止した。

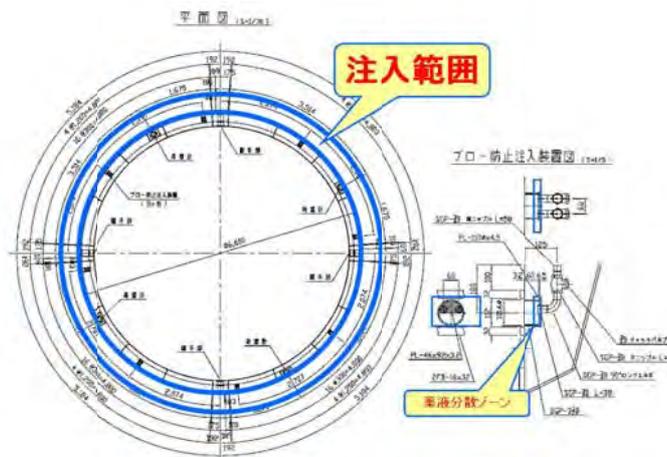


図 1 3 漏気防止注入工

また、砂礫層の掘削方法として、圧入荷重により刃先を先行沈設後に盤下げ掘削を行い、常時刃先を地下水に浸水させ漏気を防止した。

ケーソン圧入沈設前の状況では、地下水位は、刃先と平衡している。続いてケーソンを圧入沈設して砂礫層に 30cm 程度刃先を食い込ませる。この時の地下水位は刃先 + 30cm 程度となる。圧入沈設後、盤下げ掘削を行うと共に圧力調整をして刃先まで地下水位を調整する。ケーソンの刃先を、つねに地下水位に浸水するように掘削作業を進めることで外部への漏気を防止することができる。（図 1 4）

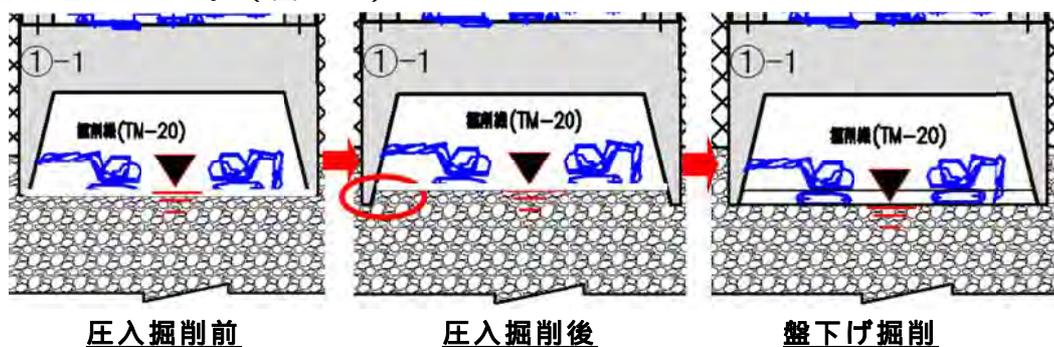


図 1 4 砂礫層での掘削方法

## 5. 課題に対する対策の効果

以上のような対策により、漏気、冠水させることなく所定の深さまで高精度で沈設を完了させることができた。また、狭小条件下で高気圧障害患者を出すことなく、無事故で工事を終えることができた。

また、ケーソンの圧入に際し水平方向、垂直方向の施工誤差は、基準高が規格値 $\pm 100\text{mm}$ に対して、実測値は $-9\text{mm}$ の誤差、傾斜量は規格値 $1/100(66\text{mm})$ に対して、 $1/1650(4\text{mm})$ の誤差で収まっている。

## 6. 今後の展望

地上占用を最小限に抑えることで、交通渋滞緩和など周辺への環境に配慮した路下式ニューマチックケーソン工法による特殊人孔の施工方法は、非常に有効的な施工方法であると考えられる。今回対策として講じたアンカーを反力とした圧入荷重、地下水を抑止するための止水装置、狭小断面での艀装設備（路下式ロック）等、類似工事において新たな視点として寄与できれば幸いである。



# 1-(2)-1 中野区弥生町一丁目付近枝線工事 地中接続時における降雨対策

西部第一下水道事務所 建設課 設計係 望月 信爾

## 1. はじめに

平成20年8月5日、東京都雑司が谷幹線において、管渠内作業中の5名の作業員が急激な増水によって流され死亡するという痛ましい事故が発生した。これを受けて『一滴ルール』すなわち、一滴でも雨が降ったら工事中止という新しい安全対策が必要となった。

一方、近年、ヒートアイランド現象等の影響で、50mm/hを超えるような集中豪雨が突発的に、局地的に発生している。局地的であるため、ある場所で豪雨になっても直ぐ隣の町では降らないこともある。この現象は積乱雲の一つの豪雨の範囲が数km四方で、その発生から消滅までが1時間程度と非常に短い。このため、積乱雲発達のピンポイント予測が難しく、予測精度の向上が喫緊の課題となっている。

当該中野区弥生町一丁目付近枝線工事では、和田弥生幹線内で、凍結及び開口補強施工時に坑内作業が発生する。この待避時間は、最低1~2時間程度が必要である。

そのため、ゲリラ豪雨の降雨予測は1時間程度とすれば、急激な増水により、待避不能な状況に陥る可能性が高い施工環境にある。

こうした状況から、人命第一に考え、施工時に和田弥生幹線内への雨水浸入を確実に遮断することが重要である。以下の3つを目的とし、調査検討~実施設計を行った。

- ① 和田弥生幹線内の施工環境と管渠情報の把握
- ② 和田弥生幹線貯留実績による最適な施工時期の特定
- ③ 和田弥生幹線内に雨水浸入を確実に遮断出来る対策工の立案

## 2. 和田弥生幹線内の施工環境と管渠情報の把握

### (1) 和田弥生幹線流域状況と施設概要の把握

和田弥生幹線流域図及び縦断概要図を図1、図2に、施設概要一覧を表1に示す。

表 1. 和田弥生幹線施設概要一覧

流域面積	約 573ha		集水管	南台幹線	内径 2,400mm 約 730m	
計画降雨強度	50mm/hr			南台西幹線	内径 2,000mm 約 920m	
流出係数	80%			中野本町幹線	内径 3,000mm 約 730m	
貯留量	和田弥生幹線	約 120,000		約 150,000	中野本町枝線	内径 2,400mm 約 800m
	集水管	約 30,000			弥生町幹線	内径 3,000mm 約 190m
和田弥生幹線	内径 8,500mm 約 2,200m			堀ノ内枝線	内径 1,350~2,400mm 約 1300mm	

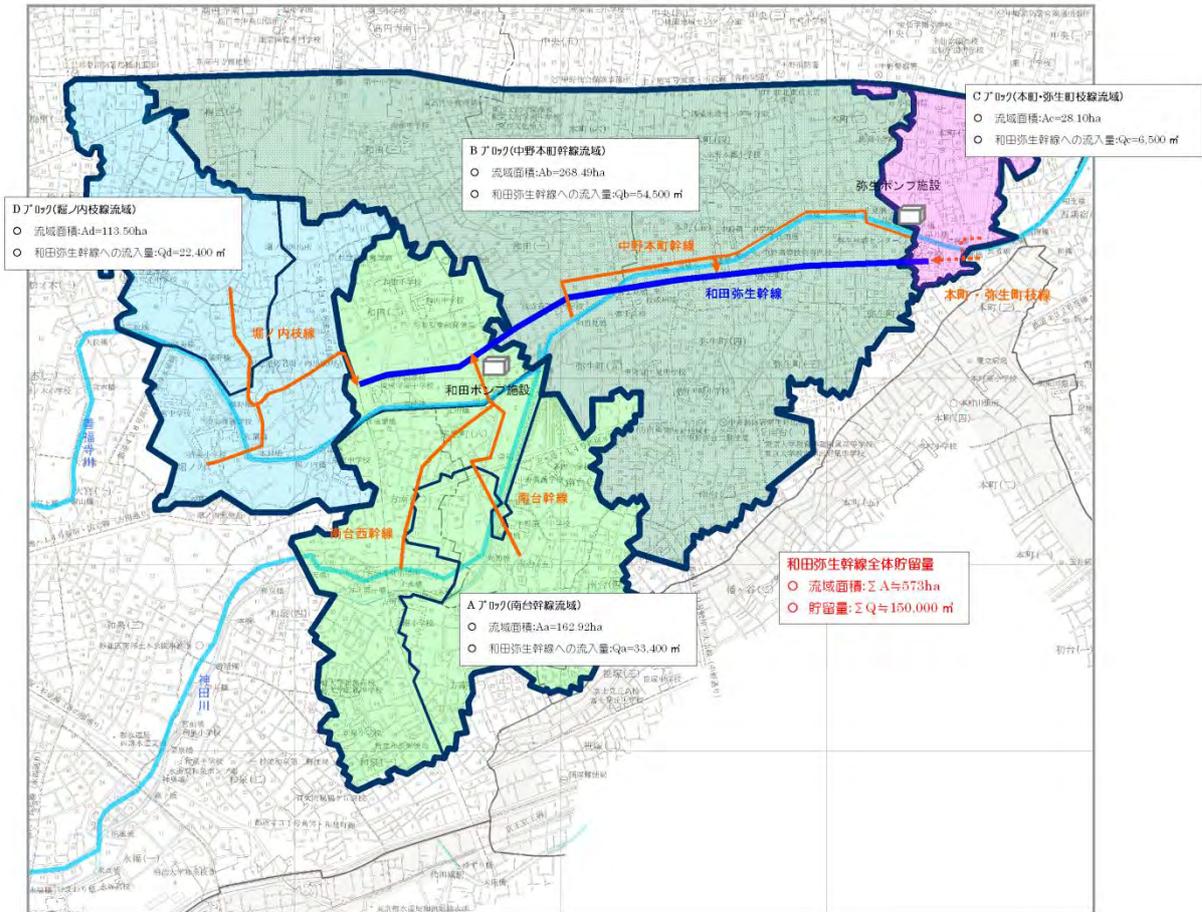


図 1. 和田弥生幹線流域図

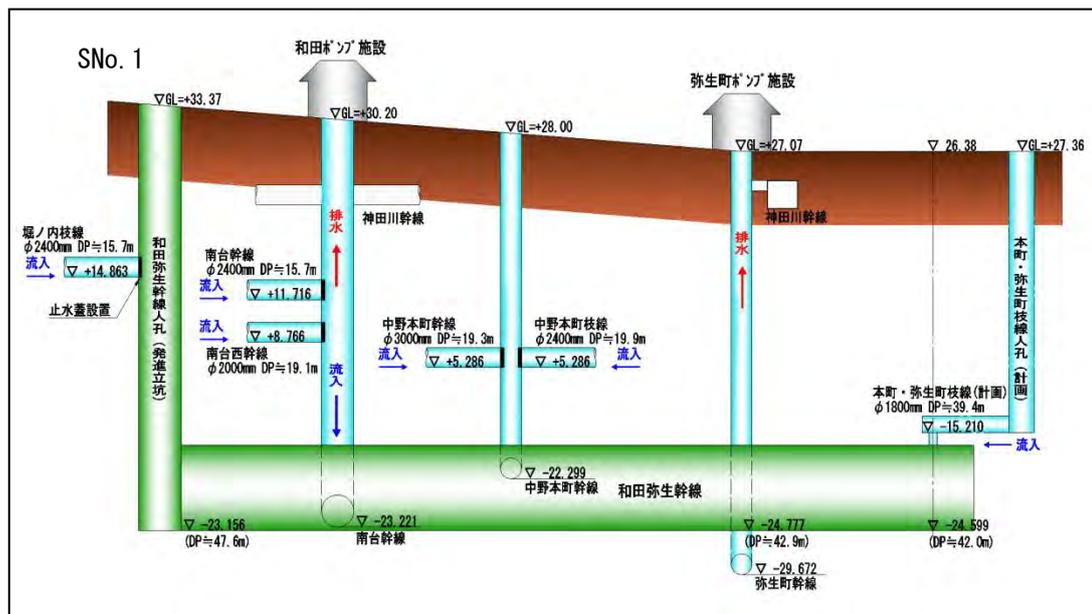


図 2. 和田弥生幹線縦断概要図

## (2) 和田弥生幹線内施工環境等の把握

### 1) 資機材搬入口及び搬入方法

和田弥生幹線内への資機材の搬入は、SNo.1、和田ポンプ施設及び弥生ポンプ施設等が考えられる。しかし、和田ポンプ施設以外は資機材搬入スペースが確保出来ず、地中接続施工場所まで、約2.0km(図3参照)を自走式台車で資機材を運搬する。また、待避ルートについても同様な理由から、和田ポンプ施設となる。

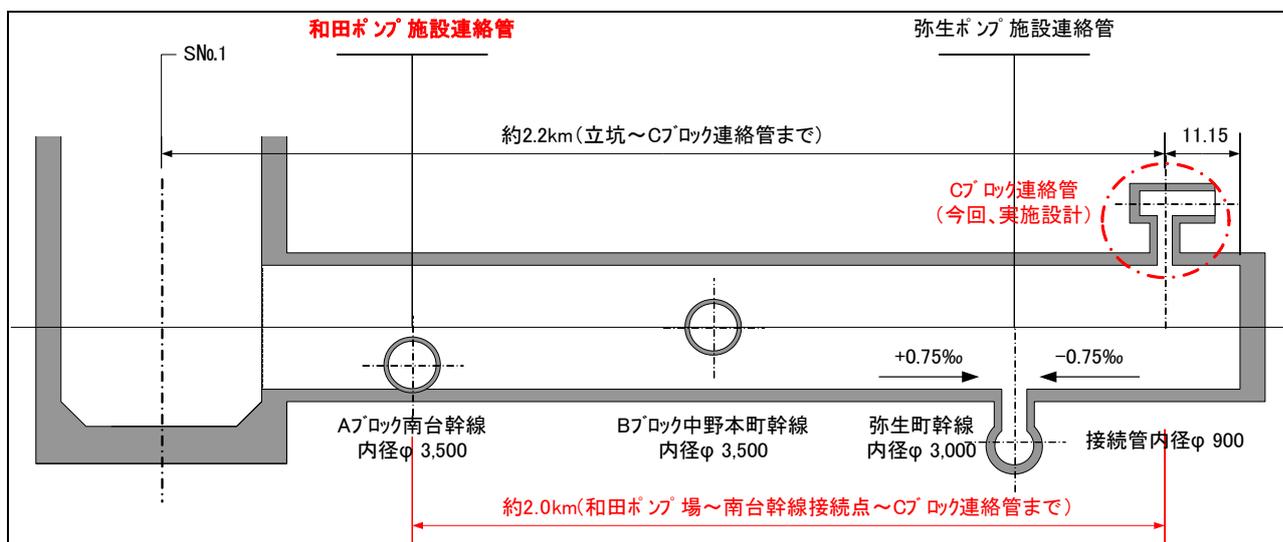


図 3. 和田弥生幹線への資機材搬入（和田ポンプ施設連絡管）距離概要図

### 2) 和田弥生幹線内作業工程

和田弥生幹線内作業工程は、図4の通り。図より、幹線内作業期間は2分割作業となり、一次坑内作業≒54日（清掃工～防熱まで）、ブランク期間≒80日、二次坑内作業≒37日（凍結撤去～二次覆工復旧まで）、合計171日間となる。

したがって、約6ヶ月弱となるため、湯水期施工で実施する。

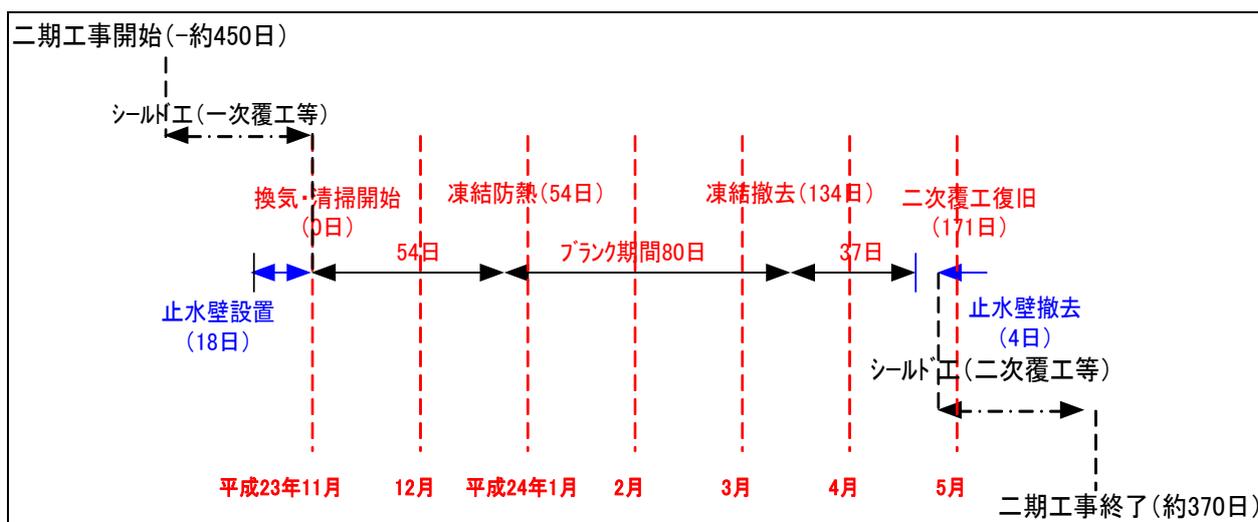


図 4. 和田弥生幹線内作業工程

### 3. 和田弥生幹線貯留実績による最適な施工時期の特定

#### (1) 地中接続作業安全対策

##### 1) 地中接続作業時期の設定

和田弥生幹線貯留実績(過去3年分)を基に、月別降雨回数と最大貯留量を示したグラフ(図5参照)を作成した。図より、降雨回数は、11月～3月までの5ヶ月が少なく、最大貯留量も少ないことが分かる。したがって、渇水期施工期間として、この5ヶ月間を中心に工程を設定する。

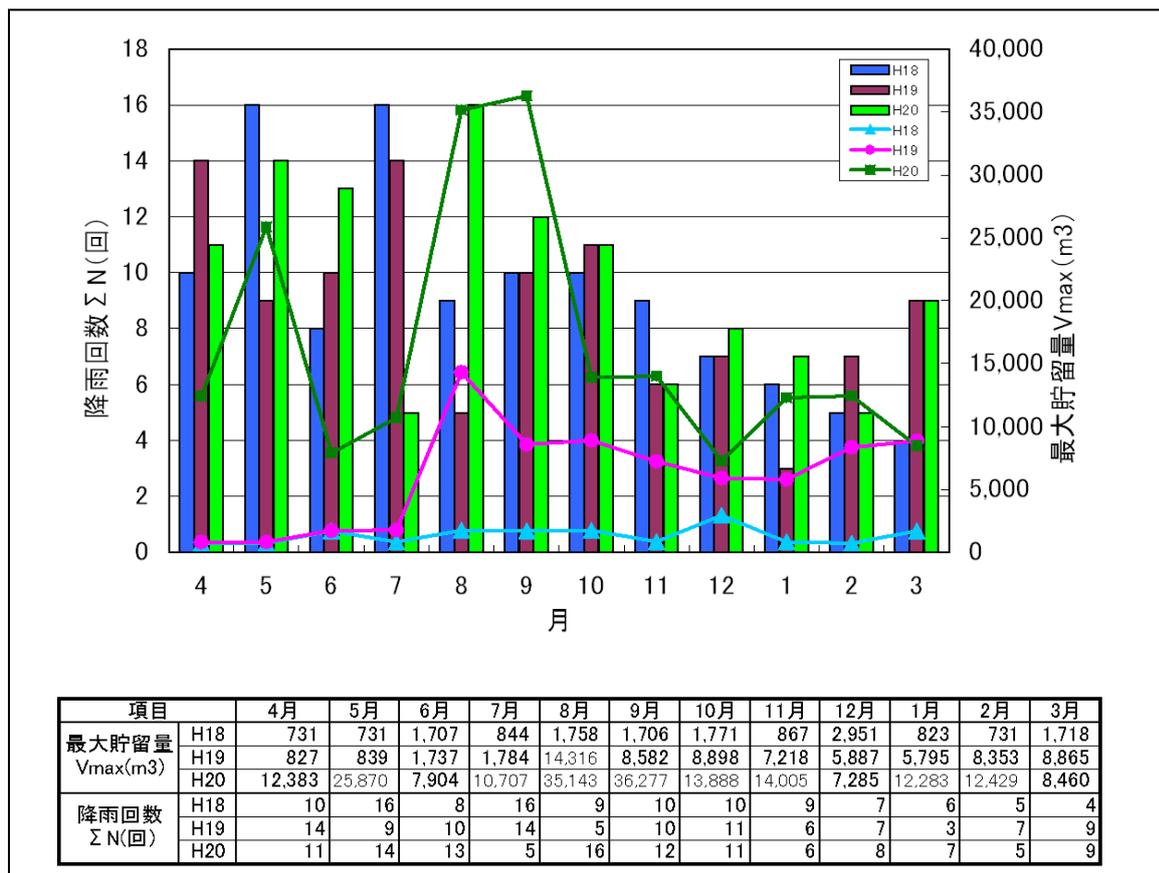


図 5. 和田弥生幹線流域月別降雨回数と幹線の月別最大貯留量

##### 2) 渇水期施工に限定した最適シナリオの提案

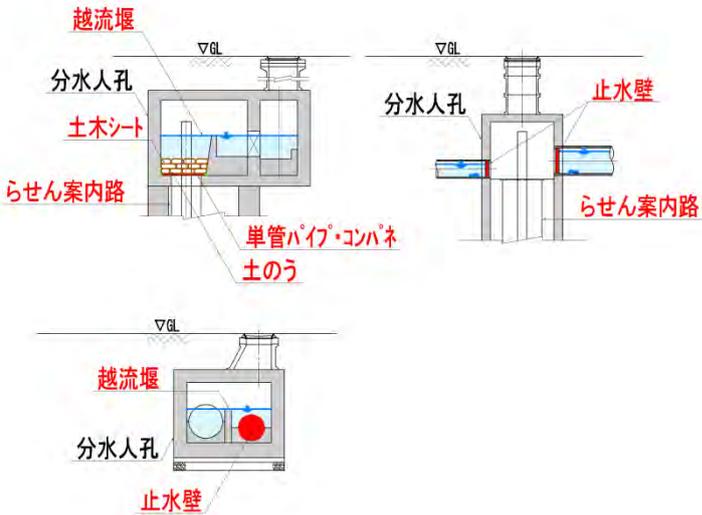
和田弥生幹線内の作業工程を渇水期施工期間(11月～3月までの5ヶ月間)から判断した場合、地中接続作業が約6ヶ月弱のため、渇水期を1ヶ月ほど超過するが、“和田弥生幹線内への雨水浸入を確実に遮断(止水対策工の実施)するものとして、単年度施工とする。

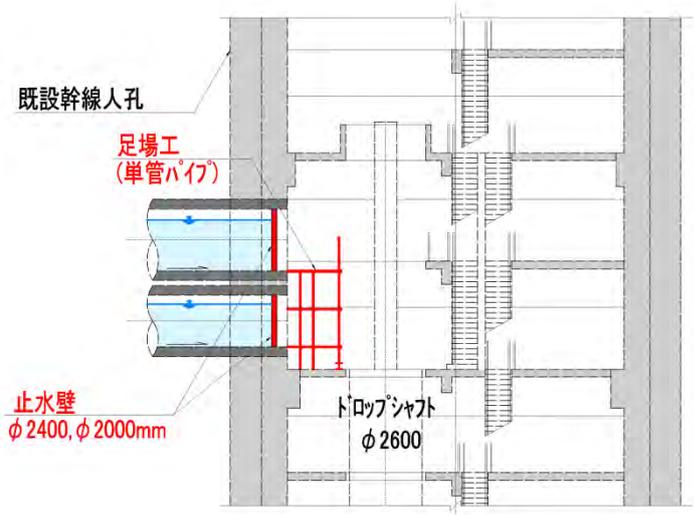
### 4. 和田弥生幹線内に雨水浸入を確実に遮断出来る対策工の立案

和田弥生幹線内及び施工箇所への雨水浸入を確実に遮断するための安全対策工について検討し、最終的に表2のとおり3ケースに絞り最終検討を行った。

表 2. 安全対策工の比較

対象工名称	Case 1. 和田弥生幹線内への止水壁設置	
概要図		
地中接合工の安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 幹線内に貯留水が浸入した場合の待避ルートがない。</li> <li>○ 排水期間（満杯の場合、晴天時 48 時間排水）は施工場所に待機することとなる。</li> <li>○ 止水壁設置のための安全対策が必要となる。</li> </ul>	×
施工リスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 送排気管が損傷した場合、施工場所が酸欠となる。</li> <li>○ 施工規模が大きく施工手間がかかる。</li> </ul>	×
貯留機能の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 和田弥生幹線のほとんどの空間が貯留出来るため、流域への影響は最も小さい。</li> </ul>	◎
非常時の損失額額（超過降雨を対象）	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ バッテリー立乗台車 4 台等、約 400 万円の損失となる。</li> </ul>	○
将来利用（維持管理等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 仮設構造となるため、将来利用は出来ない。</li> </ul>	△
工事費（直工）	約 4, 0 0 0 万円（直工）	○
施工期間（供用日）	約 290 日（設置 66 日、本設 171 日、撤去 52 日）	△
判定	×	

対 象 工 名 称	Case 2. 分水人孔取水口改造	
概 要 図	 <p style="text-align: right;">※. 分水人孔 38 箇所に設置する。</p>	
地中接合工の安全性	○ 和田ポンプ場を含め、待避ルートが確保出来るため、安全性は高い。	◎
施 工 リ ス ク	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 個々（約 38 箇所）の施工場所で、路上交通に支障を与え、交通に対する施工リスクが生じる。</li> <li>○ 1 箇所当りの施工期間は短いですが、施工箇所数が多いため、施工手間がかかる。</li> </ul>	△
貯留機能の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 分水人孔上流部の管内貯留のみとなるため、最も貯留能力はない。</li> <li>○ 分水人孔上流域の浸水予測が必要となる。</li> </ul>	△
非常時の損失額額 （超過降雨を対象）	○ 浸水による損失額が莫大となる可能性がある。	△
将来利用（維持管理等）	○ 鋼製・FRP 蓋については、将来利用が可能である。	○
工 事 費 （ 直 工 ）	約 1, 0 0 0 万円（直工）	◎
施工期間（供用日）	約 190 日（設置 11 日、本設 171 日、撤去 4 日）	○
判 定	×	

対 象 工 名 称	Case 3. 流入幹線内への止水壁設置	
概 要 図	 <p style="text-align: right;">※. 流入幹線 5 箇所を設置する。</p>	
地中接合工の安全性	○ 和田ポンプ場を含め、待避ルートが確保出来るため、安全性は高い	◎
施 工 リ ス ク	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 施工規模は、Case 1 と比べて小さい。</li> <li>○ 路上交通への影響がないため、Case 2 よりも施工性が良い。</li> <li>○ 流入幹線 1 箇所当りの施工期間は約 3 日であるため、短期間での施工が可能である。</li> </ul>	◎
貯留機能の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 流入幹線から上流部の管内貯留量のみとなるため、Case 1 よりも貯留能力は小さい。</li> <li>○ 渇水期の過去 3 年の和田弥生幹線貯留実績程度 (I ≤ 50mm/h) の降雨であれば、特に問題は発生しない。</li> </ul>	○
非常時の損失額額 (超過降雨を対象)	○ 止水壁排水口のバタフライ弁で流量調整することにより、浸水発現を緩和出来るため、損失額は小さい。	○
将来利用 (維持管理等)	○ 本設構造とすることで、将来利用が可能である。	○
工 事 費 ( 直 工 )	約 8, 0 0 0 万円 (直工)	△
施 工 期 間 ( 供 用 日 )	約 200 日 (設置 18 日、本設 171 日、撤去 4 日)	○
判 定	○	

検討の結果、人命優先、貯留機能等も考慮した結果 Case.3 に決定した。

## 5. 対策施設の設計

### (1) 取付位置の検討

止水壁取付け位置『管口部』の問題点を表2に示す。表より、『管口部』の設置は困難かつ、不経済となるため、『流入管部』を選定する。

表 3. 止水壁取付け位置『管口部』の問題点比較

	和田湧生幹線 SNo.1	和田幹線施設	中野本町幹線 SNo.10
止水壁規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 流入管φ2,400mm に対し、約6,000mmと2倍以上の規模となる。</li> <li>○ 躯体壁面がフラットのため、他の人孔と比べて、坑口コンクリートは少ない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 流入管φ2,000及びφ2,400mmに対し、縦一体型約B6,000×H9,000mmと2倍以上の規模となる。</li> <li>○ 躯体壁面が曲面のため、面取りのための坑口コンクリートが必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 流入管φ3,000mm に対し、約6,500mmと2倍以上の規模となる。</li> <li>○ 同左</li> </ul>
躯体コンクリートの撤去	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 3辺固定中床版を一部撤去が必要。</li> <li>○ 主筋方向の鉄筋を切断する必要があるため、人孔下面より、約35mの支保工を設置する必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 開口補強のための加筋にアカ打設。</li> <li>○ 加筋は、開口補強支点のため、アカ打設は望ましくない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 同左</li> <li>○ 同左</li> </ul>
トポグラフィへの影響	○ トポグラフィへの影響はない。	○ トポグラフィが障害となる。	○ 同左
概算工事費(直工)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 止水壁工事費 2,000万円</li> <li>○ 付帯工事費 500万円</li> <li>○ 合計 2,500万円</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 止水壁工事費 4,000万円</li> <li>○ 付帯工事費 100万円</li> <li>○ 合計 4,100万円</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 止水壁工事費 2,500万円</li> <li>○ 付帯工事費 400万円</li> <li>○ 合計 2,900万円</li> </ul>
判定	×	×	×

※：概算工事費の判定は、『流入管部』に止水壁を設置した場合、約900～1,300万円となることを基本に判断。

### (2) 止水壁固定方法の検討

『流入管部』における止水壁固定方法の比較を表3に示す。表より、Case1. 『鋼製セグメントに直接固定』を選定する。

表 4. 止水壁固定方法の比較

	Case1. 『鋼製セグメントに直接固定』	Case2. 『二次覆工コンクリートにアカ打で固定』	Case3. 『RCセグメント二次覆工Coにアカ打で方法』
概要図			
荷重に対する安全性	○ ホルトで剛結合となっているため、荷重伝達の信頼性は高い。	○ 二次覆工Coは、クラック・漏水のため、荷重により剥離、ブレイク破壊する可能性が高い。	○ 同左
セグメントに対する安全性	○ セグメントはセグメントが荷重を受ける部材のため、完成後、荷重をかけても特に問題ない。	○ 特に問題なし。	○ 同左
施工性	○ セグメントにホルトを設置するため、施工手間がかかる。	○ アカ打設のみのため、施工は容易。	○ 同左
判定	○	×	×

### (3) 設計荷重等の設定

『仮壁設置の手引き』での設計荷重は、「①自重 (図 6 参照)」、「②静水圧」、「③動水圧」を考慮するものとし、①及び③は設置条件に応じて考慮する荷重で、②は常時考慮する。また、静水圧と動水圧は、同時に作用しないものと考え、大きい値を採用する。

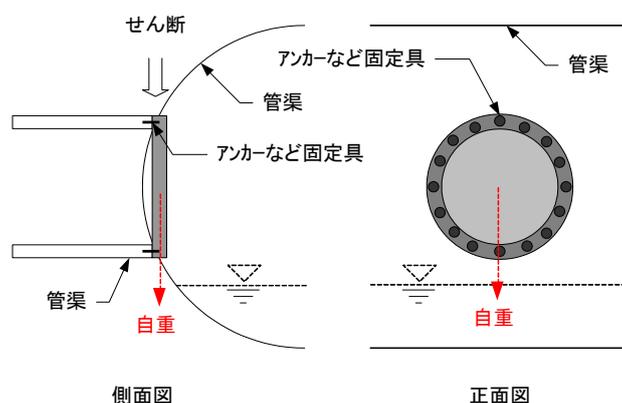


図 6. 自重を考慮する場合

今回の施工条件から、設計荷重を考えた場合、止水壁設置場所が流入管内部であることから、①の荷重は無視、②と③については、値が大きい (危険側) である②を採用することになる。

「②静水圧」の設定は、仮壁設置の手引きに準じ、各ブロック内の最大地盤高を採用する。

止水壁設置後、和田弥生幹線を供用させるため、止水壁ハッチを開放する。これは、図 7 に示すように断面収縮による圧力流れとなる。そのため、圧力管における水撃圧をこの安全率として考える。

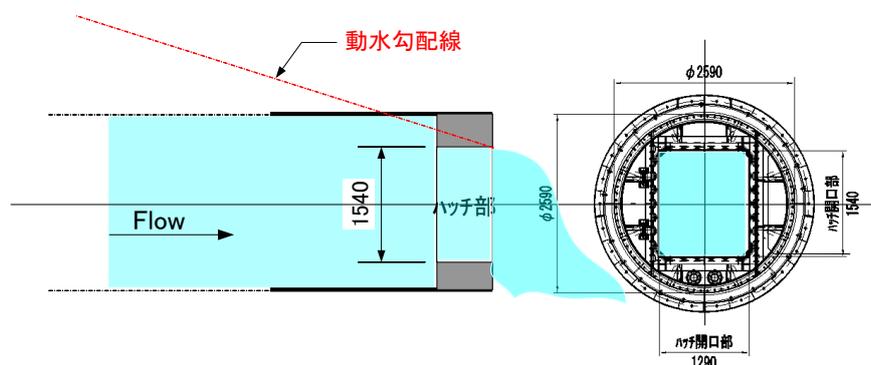


図 7. ハッチ開放時の圧力流れ

水撃圧とは、圧力管のバルブ開閉操作で開閉速度が減速や加速されるとこれに応じた圧力の変化が空気中の音波の様な圧力波となって水と管路の弾性に応じて一定の速度で管内を伝播して行く。管路中の任意点における圧力の変化は、この圧力波の到達によって起こる。この圧力波を水撃圧として、一般に静水圧  $3.5\text{kgf/cm}^2$  以下の場合、静水圧と同値で、 $3.5\text{kgf/cm}^2$  を超える場合、静水圧の 40% または、 $3.5\text{kgf/cm}^2$  の内、大きい方の値と考える。圧力管の埋設設計は、この水撃圧を考慮し、『設計内圧=静水圧+水撃圧』で設定している。

また、止水壁に作用する荷重は短期荷重であるため、一般に許容応力度を 50% の割増が考慮出来るが、水位の高い供用管であること、規模が大きく万が一の際の被害が非常に大きくなること等から、長期荷重とし、割増は考慮しない。

したがって、止水壁設計荷重及び許容応力度の割増は、次の条件とした。

- ① 静水圧は、各ブロック内の最大地盤高と流入管底高の差 (>動水圧)
- ② 水撃圧は、静水圧の 40% または  $3.5\text{kg/cm}^2$  の内、大きい方の値
- ③ 設計内圧=静水圧+水撃圧
- ④ 長期荷重とし、許容応力度の割増は行わない。

#### (4) 止水壁構造

前述の設置条件、荷重条件等を考慮した結果、最終的な止水壁の構造は、図 8 のとおり決定した。この構造図は、代表例として、堀ノ内主要枝線部に設置する内径 2400 mm のものであるが、他の 4 箇所も基本的に同じ条件で設計を行っている。

地中接続時には、この止水壁が設置された状況下での施工となる。

また、地中接合完了後には、図 9 のように管渠内径部分のみ撤去し、枠の部分は、そのまま残置し、二次覆工部分は蓋をして工事を完了させることになっている。

これは、和田弥生幹線の維持管理や補修時に幹線内の作業が発生するため、その際には再び設置することを考慮したものである。撤去した部分については、各人孔内の空きスペースに保管するものとした。

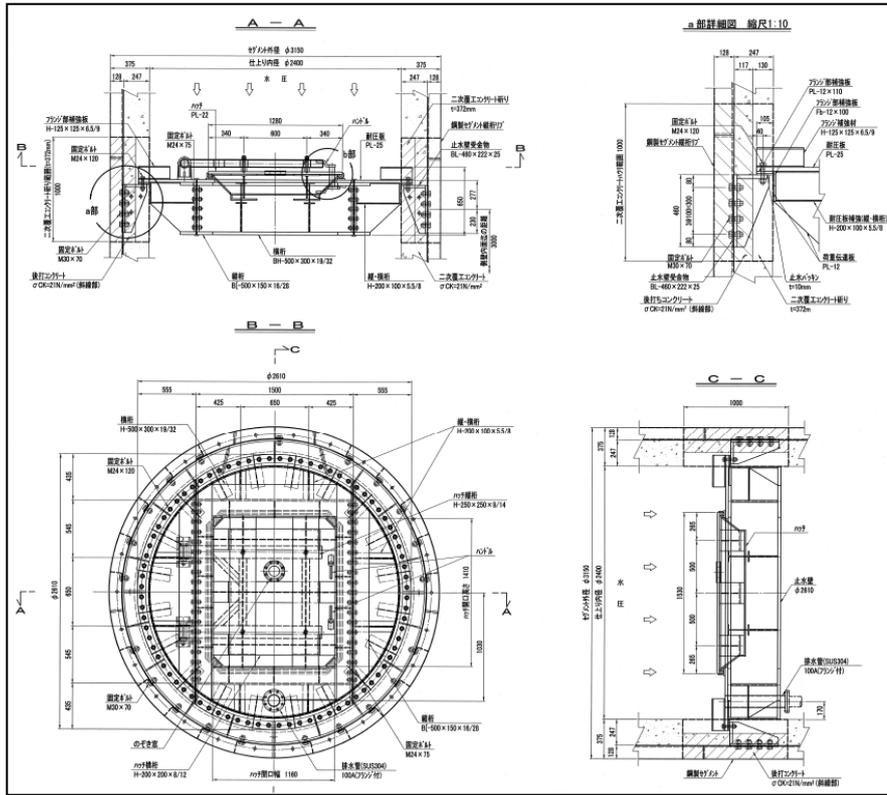


図8 止水壁構造図（幹線接続作業時）

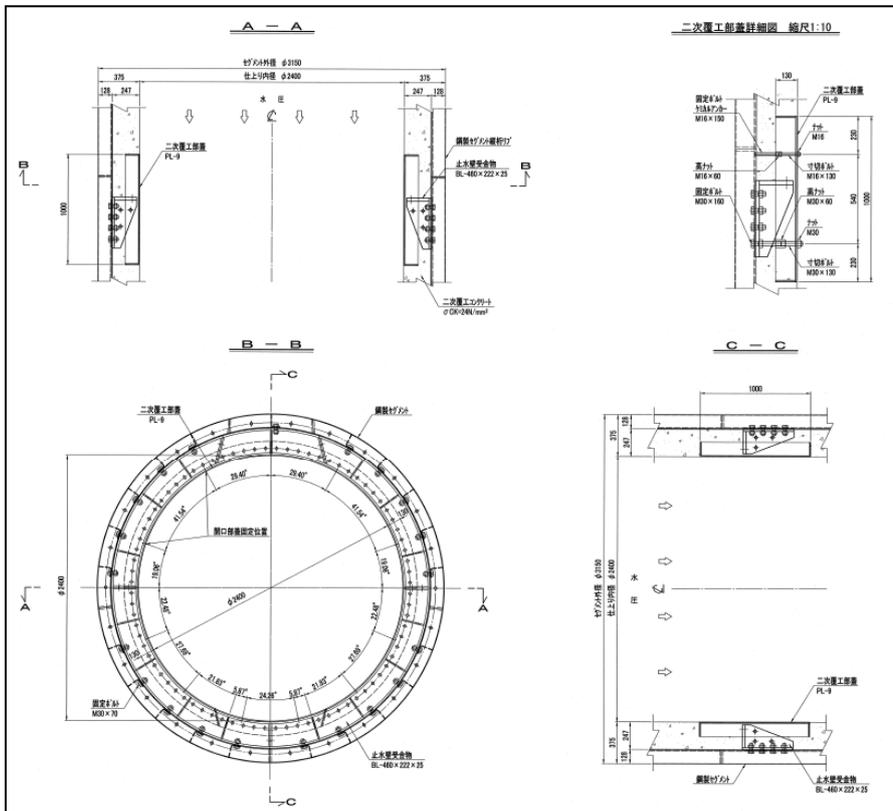


図9 止水壁構造図（接続完了後）

## 6. 今後の取り組み

この止水壁については、『中野区弥生町一丁目付近枝線工事』の中に組み込まれ、既に発注（平成 22 年度準早発）されており、現時点では、施工担当部署において最終確認（構造や搬入計画等）を行っている。

そして、止水壁の設置自体は、平成 23 年度の渇水期に行う予定になっており、今回の検討成果が、止水壁の施工時や、幹線との接続時に効果を発揮できることを願うものである。

## 1-(2)-2 第二妙正寺川幹線からの放流による 河川流況への影響検証

基幹施設再構築事務所 設計課 名取 尚宏

### 1. はじめに

第二妙正寺川幹線は、主に練馬区、中野区、新宿区の浸水被害軽減を目的に整備された内径 2,600 mm の幹線であり、雨水は妙正寺川に自然放流される計画である。現在、本幹線は、最下流の吐口部を除く全ての施設が完成しており、貯留管として活用されている。将来、吐口築造後には流下幹線として運用する計画となっている。

放流先となる妙正寺川は都市河川特有の狭隘な河川であり、本幹線からの放流により、河川流況を乱すことが懸念された。河川の流れを考慮すると、幹線から 60 度の角度で放流することが望ましい。しかし、既設人孔から 60 度の角度で放流した場合、放流先が暗渠内となるため、放流先が限定され、維持管理上支障をきたすこととなる。このため、90 度の角度で放流することを検討しているが、局所的な水位上昇や護岸への水衝作用、高田馬場分水路の偏流という問題が想定され、90 度での放流が河川流況に与える影響を検証する必要性が生じた。このため、吐口築造に当たり、予め水理模型実験を行い放流の影響を検証した。

### 2. 第二妙正寺川幹線の計画概要

#### 2. 1 第二妙正寺川幹線

第二妙正寺川幹線の平面図を図 1 に示す。本幹線は内径 2,600 mm、練馬区江古田から新宿区下落合に至る全長約 4 km の幹線である。現在、新目白通り上の人孔まで完成しており、吐口区間約 10m を今後施工予定である。吐口築造後には、水量約 15 m<sup>3</sup>/s を妙正寺川へ放流する計画である。



図 1 第二妙正寺川幹線平面図

#### 2. 2 放流先の状況

第二妙正寺川幹線の放流先は妙正寺川であり、吐口位置は、以下の点を考慮し、高田馬場分水路上流端付近に計画した。

- (1) 放流の影響が少ない、河川断面が大きい位置
- (2) 周辺施工環境

吐口部付近の河川状況を写真 1 に、模式図を図 2 に示す。吐口上流側では神田川分水路（以下、「派川」という。）が妙正寺川へ合流する地点がある。派川の合流点より上流の妙正寺川河床は急勾配の斜



写真 1 吐口部付近の河川状況

路となっている。この斜路は、標

準勾配 1/300 に対して 1/10 と急勾配であり、約 50m 続いている。吐口下流側は高田馬場分水路が位置し、分水路は二連の暗渠構造である。

河川断面は吐口付近で幅 13.8m × 高 9.6m、高田馬場分水路は幅 6.6m × 高 6.6m × 2 連であるのに対し、第二妙正寺川幹線の吐口は幅 2.1m × 高 2.1m を計画している。

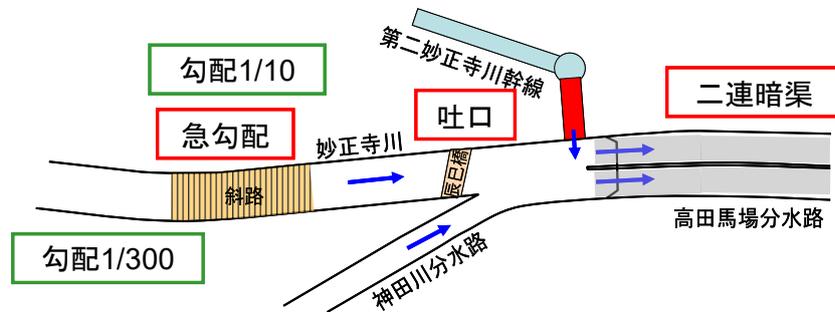


図2 吐口部付近模式図

### 3. 水理上想定される主な課題

前述の通り、本幹線の吐口付近は、河川断面の変化点や合流点がある複雑な流況となる区間であり、本幹線からの放流により、以下の3点の河川への影響が想定される。(図3参照)

#### (1) 局所的な水位上昇

幹線からの放流が直角方向に行われるため、局所的な水位上昇が想定され、河川上流への背水影響に起因する溢水が懸念される。

#### (2) 護岸への水衝作用

川幅約 14m と短いため、本幹線からの放流による対岸及び高田馬場分水路中間壁への衝撃作用が懸念される。また、河床洗掘の恐れがある。

#### (3) 高田馬場分水路の偏流

河川流下方向に対し、幹線から直角方向に放流することにより、左岸側分水路の流下が阻害され、分水路の偏流が予想される。

こうした水理的課題について、具体的な流況を確認し、安全性の検証を行うため、水理模型実験を行った。

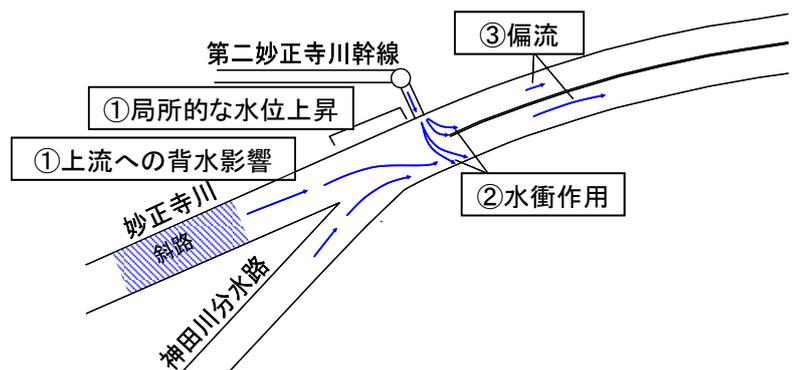


図3 吐口部付近水理的課題

### 4. 水理模型実験による検証

#### 4. 1 模型の概要

水理模型は、幹線模型や対象流量から、フルードの相似律に従って、縮尺を 1/13 とする無歪み模型



写真2 模型全体

を採用した。なお、妙正寺川上流は斜路における射流特性を再現するため、斜路の上流端から上流に川幅の3倍程度を再現し、派川の上流は合流部から上流に川幅の6倍程度を再現した。一方、下流側については、水路幅の5倍（片側では10倍）を再現した。模型構造は、流況観測を考慮し、河道の兩岸及び高田馬場分水路の中間壁を透明アクリルとし、予備実験で模型上の水位と実際の水位が一致することを確認した。（写真2）

#### 4. 2 条件及び測定項目

実験では、まず放流がない場合の河川流況を把握し、次に第二妙正寺川幹線から放流する状態を検証する。

河川及び幹線放流の流量は、予め実施したシミュレーション結果の最大値を採用し、危険側の現象を再現

するため、流量一定の状態とした。また、先に挙げた水理的課題は、放流先の水位条件により左右されるため、妙正寺川流量は高水位と低水位の2ケースとした。ここで、高水位とは計画降雨50mm/hrのときの河川のピーク流量のことで197.8m<sup>3</sup>/s、低水位とは晴天時の河川流量のことで3.4m<sup>3</sup>/sとなる。流量条件を表1に示す。

測定項目としては、局所的な水位上昇に対しては水位縦断及び流況、護岸への水衝作用に対しては中間壁沿いの水深分布、流速及び流況、高田馬場分水路の偏流に対しては、左右分水路の流量を計測した。

表1 流量条件

	妙正寺川	第二妙正寺川幹線	
		放流なし	放流あり
流量 (m <sup>3</sup> /s)	197.8 (高水位) 3.4 (低水位)	0	14.9

### 5. 水理模型実験結果とその考察

#### 5. 1 局所的な水位上昇

河川高水位における第二妙正寺川幹線からの放流有無による妙正寺川水位縦断を図4に示す。

幹線からの放流の影響により、吐口の上下流の水位が上昇するが、最も水位が高くなる分水路端部では、放流なしの状態では水深5.405mに対し、放流ありの状態では水深が5.574mと約20cmの上昇が確認された。河川計画高水位は水深6.0mであり、放流ありの水深に対しても約50cmの余裕があるため、溢水等の問題は生じないことが確認できた。

また、妙正寺川上流に対しては、斜路区間を射流となって流下するため、水位上昇や背水の影響は見られなかった。

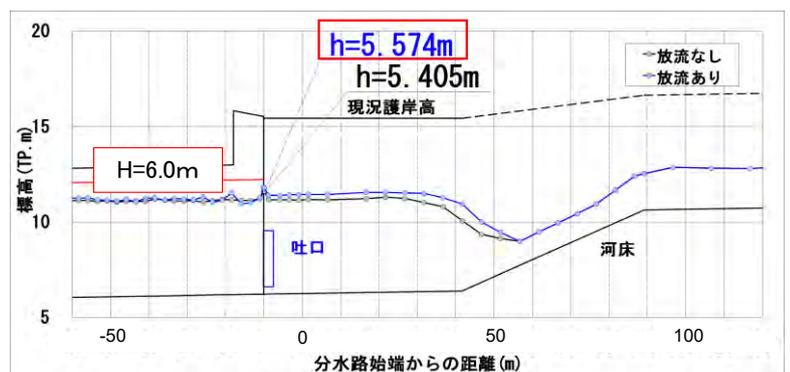


図4 妙正寺川水位縦断図

#### 5. 2 護岸への水衝作用

##### 5. 2. 1 分水路中間壁への影響

河川低水位のケースが放流による護岸への影響が顕著であった。河川低水位におけ

る第二妙正寺川幹線からの放流有無による吐口部付近妙正寺川水位横断を図5に、放流ありの際の写真写真3に示す。放流なしの場合、分水路仕切壁端部の水位が最も高く、水位は約50cmであった。放流ありの場合、水位は約2.8mであったが、河川計画高水位までは余裕があった。中間壁が河川計画高水位の水圧を基準に設計されているとすると、影響は小さいといえる。

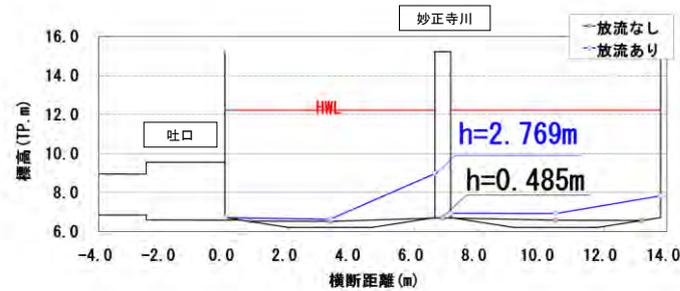


図5 吐口部付近横断面図



写真3 吐口周辺流況写真

### 5. 2. 2 河床への影響

同じく河川低水位のケースが放流による護岸への影響が顕著であった。放流ありの場合、分水路内の流速は、中間壁付近で最大6.5m/sであった。流速の大きい急勾配斜路の表面が摩耗・損傷していないことを考えると、河床洗掘への影響も小さいといえる。(図6)

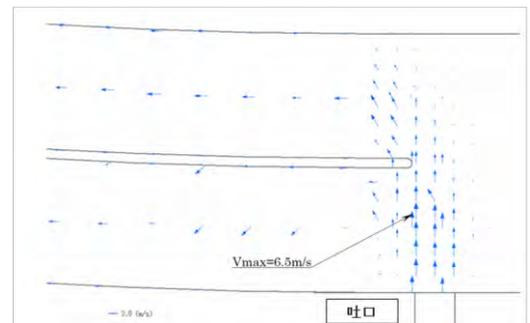


図6 吐口周辺流速ベクトル分布図

### 5. 3 高田馬場分水路の偏流

第二妙正寺川幹線合流点の直近下流に存在する高田馬場分水路(二連暗渠)の流量配分について、幹線からの放流有無別の結果を表2に示す。放流がない状態でも分水路左岸側(第二妙正寺川幹線流入側)の流量は全体の51.0%を占めており、右岸側より左岸側の流量が若干多いことが確認された。これは、妙正寺川上流の斜路から流速の速くなった水が分水路左岸側へまっすぐに流入することに起因するものである。

放流ありの場合では、分水路左岸側流量は全体の51.2%を占めている。これは、放流ありの状態は放流なしの状態に比べ0.2%の偏流が生じたことを示すものである。この要因は放流水の大部分は左岸側に流れるが、その分上流からの河川流量は、右岸側の水路に流れて、元のバランスに近くなるためと考えられる。流量が元のバランスに近くなるため、当初想定したような著しい偏りは生じないことが確認された。

表2 流量配分一覧表

単位 : m <sup>3</sup> /s	高田馬場分水路流量	
	左岸側	右岸側
放流なし	101 (51.0)	97 (49.0)
放流あり (14.9 m <sup>3</sup> /s)	109 (51.2)	104 (48.8)

※カッコ内の値は全体量に対する割合を示す。

## 6. 放流角度による影響

ここで参考に、放流角度を  $60^\circ$  とした場合の実験結果を示す。 $60^\circ$  放流案(1)は既設人孔からの放流角度を妙正寺川に対して  $60^\circ$  にとった案であり、放流先は暗渠内となる。また、 $60^\circ$  放流案(2)は  $90^\circ$  放流案の吐口位置はそのままに、吐口から施工済の管渠に向かって  $60^\circ$  の角度で管渠を伸ばした案である。各案の模式図を図7に示す。

実験結果をまとめたものが表3である。いずれの評価項目においても数値の変動はあるものの、その差はごくわずかであり、放流角度  $90^\circ$  での放流が河川流況に特に大きな影響を与えないことが確認された。

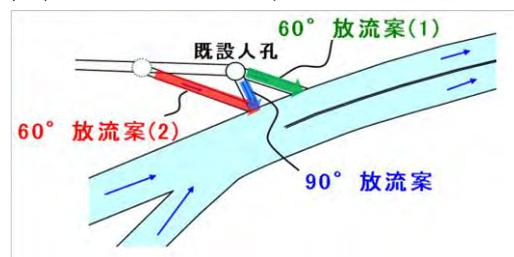


図7 放流案概要図

表3 放流角度別測定値

	5.1	5.2.1	5.2.2	5.3
	水位上昇 (m)	中間壁沿い 水深(m)	中間壁沿い 速度(m/s)	左岸側 流量比
90度放流案	5.574	2.769	6.5	51.2
60度放流案 (1)	5.613 (+0.039)	2.712 (-0.057)	7.2 (+0.7)	52.8 (+1.6)
60度放流案 (2)	5.574 (0)	2.535 (-0.234)	7.0 (+0.5)	50.7 (-0.5)

※カッコ内の値は90度案との差異を示す。

## 7. おわりに

今回、河川断面の変化点や合流点がある河川流況が複雑な位置に、下水道幹線からの放流角度  $90^\circ$  による放流を行うことから、水理模型実験を行い水理的挙動の把握を行った。水理模型実験により、机上の水理検討だけでは確認できなかった河川の安全性の検証を行うことができた。今後は、本実験結果を踏まえた上で、適切な事業実施に向けて、吐口詳細構造の策定を実施していく。



## 1-(3)-1 既設支管を活用した取付管の耐震化について

北部第二下水道事務所 建設課 大橋 誠一

### 1. はじめに

下水道局では、平成27年度完了を目標として、避難所等からの汚水を受ける本管と人孔の接合部及び取付管の耐震化を行っているところである。

そのうち、取付管の耐震化にあたっては、地震による本管やますの挙動が取付管に及ぼす影響を極力小さくするため、本管の直近及びます直近に柔軟性のある継手を用いることとしている。また、過去の地震において、取付管自体の挙動が取付管の曲がり部に影響を及ぼし、その曲がり部が破損した実績を踏まえ、取付管の曲がり部においても柔軟性のある継手を用いることとしている。

北二管内の足立区では、避難所から汚水を受ける取付管の多くは塩ビ管となっており、本管に塩ビ製支管が設置されている。また、特に中川処理区は、分流地区であり、本管が深く埋設されている。塩ビ製支管が本管に強固に取り付いていること及び取付位置が深いことから、自在曲管への取替が非常に困難である。今回、北部第二下水道事務所における技術の創意・工夫の一環として、既設塩ビ支管を活用する検討を行ったので報告する。

### 2. 取付管耐震化の概要

取付管の耐震化にあたっては、地震による本管やますの挙動が取付管に及ぼす影響を極力小さくするため、部材を全て塩ビ製とし、本管直近に自在支管を、ます直近及び取付管の曲がり部に自在曲管を用いることとしている(図1)。また、既設取付管が塩ビ製で、自在支管や自在曲管が用いられていない場合であっても、すべて取替えることとしている。

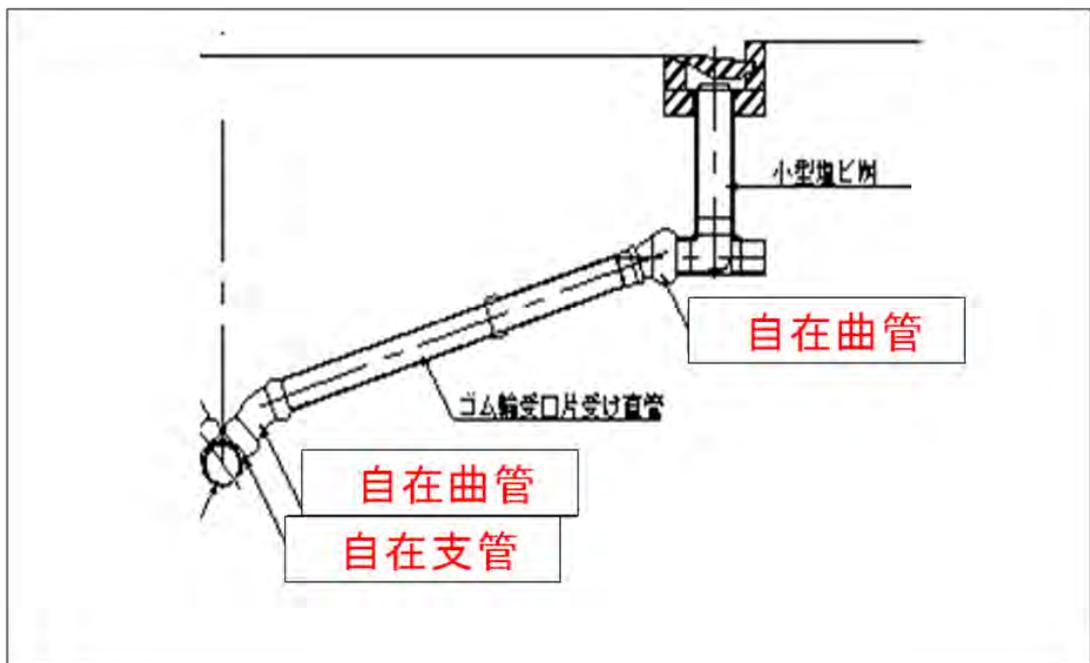


図1 汚水樹・取付管標準布設図

### 3. 足立区における耐震化の課題

#### 3. 1 足立区における耐震化の特徴

足立区の耐震化実績として、平成 21 年度末時点で、耐震化完了は約 30%にとどまり、他区に比べ非常に遅れている。

足立区は、図 2 に示すように、昭和 60 年以降に管きよが布設された箇所が多い。また、これらの箇所は分流地区であり、その取付管の約 6 割が塩ビ管である。足立区の分流地区における取付管取替工事にあたっては、汚水本管が深く埋設されており、地下水位も高いため、施工困難箇所が多々ある。また、取付管を耐震化する上で、強固に取り付けられている塩ビ製支管の取り外しが困難であることが問題となっていた。

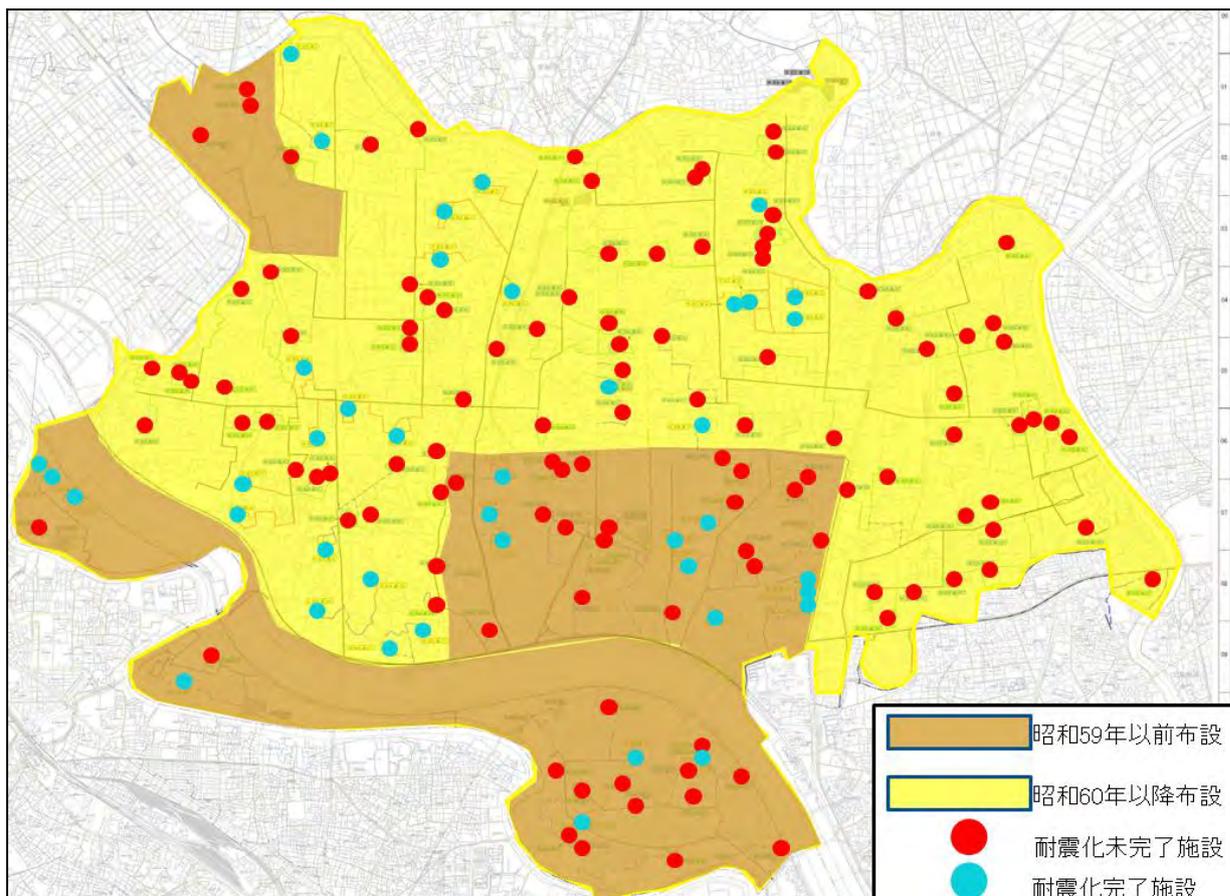


図 2 足立区耐震化進捗図

#### 3. 2 既設塩ビ製支管取り外しの検証

北部第二下水道事務所では、既設支管が塩ビ製である場合、どのくらい支管取替が困難であるか、地上における試験施工により、検証した。

##### 3. 2. 1 試験施工概要

試験施工は、写真 1 に示すように、本管が鉄筋コンクリート管、取付管が塩ビ管の試験体を作製し、実施した。また、これらの接着剤の養生期間は 2 日間とした。

写真 2、3 に示すように、ベビーサンダーで基盤の目に切れ目を入れ、電動ドリルにより接着剤を丁寧にはつり、支管を取り外した。試験施工開始から完了までにかかった時間は約 30 分である。



写真1 着工前



写真2 ベビーサンダーによる既設支管分割状況



写真3 電動ドリルによる接着剤はつり状況

### 3. 2. 2 試験施工結果

既設支管を取り外した後の本管の状況を写真4に示す。



写真4 施工後の本管管口状況

本試験施工は、地上での施工であり、作業帯は広く、ドライな環境で行ったため、非常に作業環境は良好であった。しかしながら、この取り外し作業を丁寧に行ったにも関わらず、塩ビ支管が本管に強固に取り付いていたため、本管の開口は大きくなり、破損は避けられなかった。

実際の施工にあたっては、本管は地上から深い位置にあり、地下水位も高いため、作業スペースは狭く、水場での作業となる。そのため、実際の施工における既設支管の取り外しは非常に困難である。

### 3. 3 足立区における取付管耐震化の課題

足立区内のこれまでに耐震化工事を施工した箇所において、取付管が塩ビ製である場合、塩ビ製支管が本管に強固に取り付いているため、支管の取替が困難な箇所が多くあった。

足立区の実験管耐震化にあたっては、未完了の施設が多く残っているため、今後、塩ビ製支管の取替が困難である箇所が多くなる懸念される。

## 4. 対策工法の提案

### 4. 1 対策工法の提案

取付管耐震化にあたって、塩ビ製支管が本管に強固に取り付いているため取替が困難である箇所において、以下に示す5つの案を提案する。

- (1) 既設支管の付け根から切り取る案
- (2) 既設支管に直に片受け自在曲管を取付ける案
- (3) 既設支管に受口継手及び片受け自在曲管を取付ける案
- (4) 既設支管に両受け自在曲管を取付ける案
- (5) 既設取付管を閉塞し、新規に設置する案

#### (1) 既設支管の付け根から切り取る案

##### ・施工概要

既設支管を鞍の一部を残すように切り取り、そこに1サイズ鞍の大きな自在支管を取付け、取付管を立ち上げていく工法である(図3)。ここで、1サイズ鞍の大きな支管を使用するのは、既設支管の鞍の一部が残っているため、同じサイズの支管では取り付けられないためである。

##### ・長所

本管の直近に自在部分を設けることができる。

##### ・短所

接着剤を厚く塗る必要があり、本管と支管の密着性が確保できない。

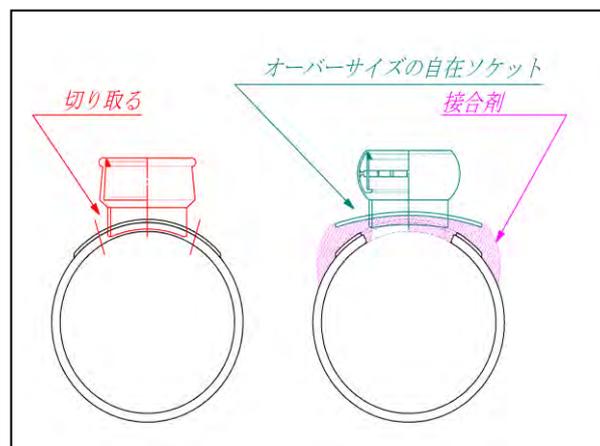


図3 (1)案

## (2) 既設支管に直に片受け自在曲管を取付ける案

### ・施工概要

既設支管に取付いている直管を抜き取り、新品のゴム輪を既設支管に設置し、既設支管に  $0^\circ$  の片受け自在曲管を差し込み、取付管を立ち上げていく工法である(図4)。ここで、既設支管と  $0^\circ$  片受け自在曲管が自在支管の役割を担う。

### ・長所

本管の直近に自在部分を設けることが出来る。

### ・短所

既設直管の抜き取りが困難である。

既設支管のゴム輪の規格は、メーカーによって違う。(メーカー数はおよそ 15 社)

既設支管がどのメーカーのものか実際に掘らないとわからない。

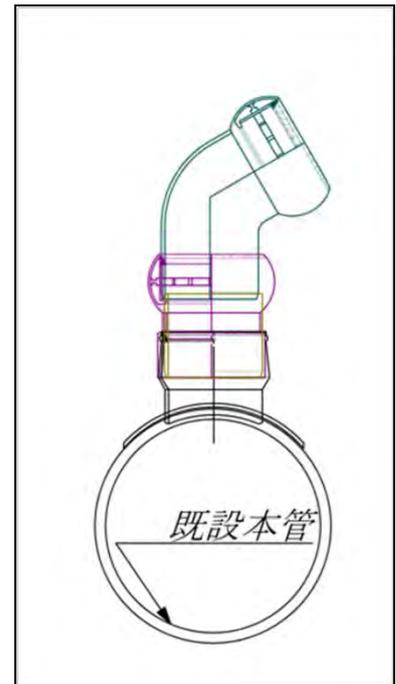


図4 (2)案

## (3) 既設支管に受口継手及び片受け自在曲管を取付ける案

### ・施工概要

既設支管に取付いている直管を 8 cm ほど残して切り取る。そこに継手である受口カラーを設置し、 $0^\circ$  自在曲管を差し込み、取付管を立ち上げていく工法である(図5)。ここで、既設支管から  $0^\circ$  自在曲管までが自在支管の役割を担う。

### ・長所

既設直管をカットし、既製品の部材を組み立てるため、施工性は非常に良い。

### ・短所

本管から自在部までの離隔が大きくなり ((1)案、(2)案に比べ 40 cm ほど大きくなる)、本管が浅く、汚水柵が深い場合には、施工が制限される可能性がある。

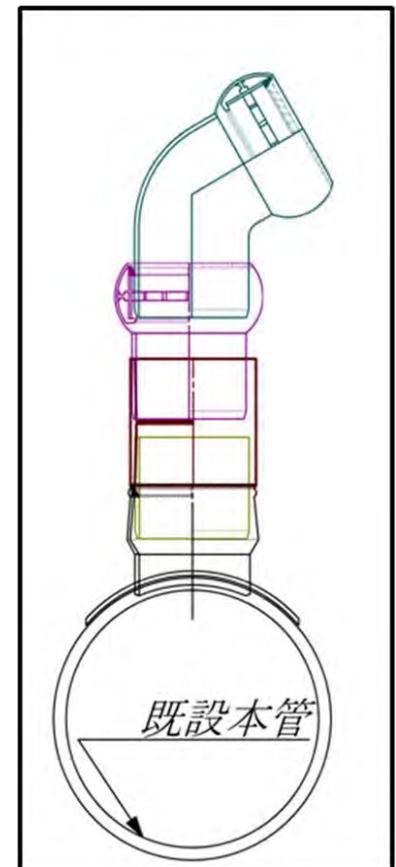


図5 (3)案

(4) 既設支管に両受け自在曲管を取付ける案

・施工概要

既設支管に取付いている直管を8cmほど残してカットする。そこに、0° 両受け自在曲管を取り付けて、取付管を立ち上げていく工法である(図6)。ここで、既設支管及び0° 両受け自在曲管が自在支管の役割を担う。また、この案は上述(3)において、より自在部を本管に近づけたものである。

・長所

既設直管をカットし、既製品の部材を組み立てるため、施工性は非常に良い。

・短所

本管から自在部までの離隔が(1)案、(2)案に比べ25cmほど大きくなるが、(3)案よりも15cmほど自在部を本管へ近づけることができる。

(5) 既設取付管を閉塞し、新規に設置する案

・施工概要

既設取付管を閉塞し、その付近に新規に取付管を設置する工法である(写真5)。

・長所

本管の直近に自在部分を設けることができる。

・短所

本管の開口部が増えるため、本管の脆弱化が懸念される。  
掘削幅が増えるなど施工手間が増える。

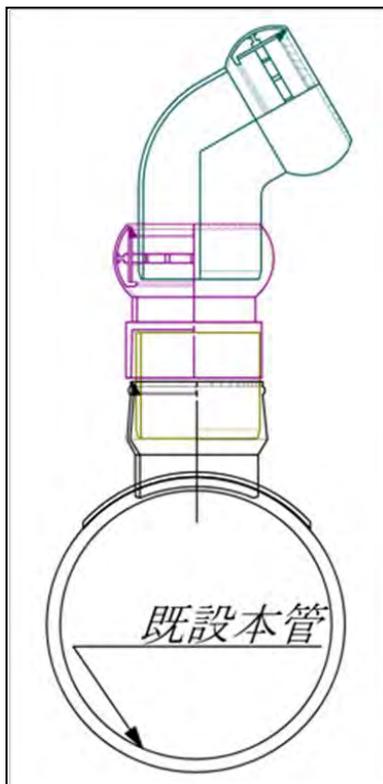


図6 (4)案

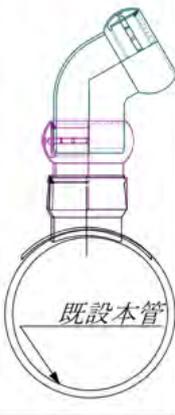
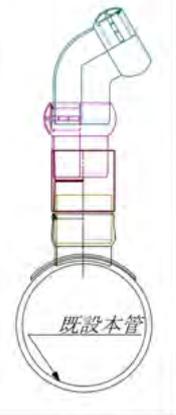
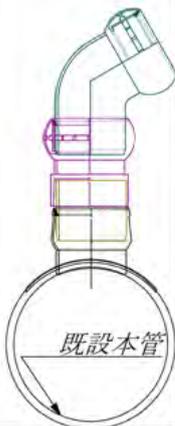


写真5 (5)案

#### 4. 2 対策工法の比較

提案した5案について、材料の信頼具合（品質）、施工の困難度合い(施工性)、本管への影響度合い(本管の影響)の観点で比較した。下表1に比較結果を示す。

表1 工法比較表

	1	2	3	4	5
					
品質	×	○	○	○	○
施工性	△	△	○	◎	△
本管の影響	△	○	○	○	△
総合判定	×	△	○	◎	△

判定について

- ・(1)案においては、本管と支管の密着性が確保できず、材料の信頼性に欠けるため、判定を×とした。
- ・(2)案においては、既設直管の抜き取りの困難さやゴム輪交換の困難さがあるため施工性に難があるとし、判定を△とした。
- ・(3)(4)案においては、材料の信頼性も確保でき、本管への影響も小さく、施工も既設直管をカットするだけであるため施工性もよく、判定を○以上とした。その中で、(3)案に比べ、(4)案では、自在部を本管により近づけることが出来き、埋設深さによる施工の制限も受けにくいいため、これらの案に差をつけ、(3)を○に、(4)を◎とした。
- ・(5)案においては、施工手間が増えること、本管の脆弱化が懸念されることから、判定を△とした。

北部第二下水道事務所では、取付管の耐震化にあたって、既設塩ビ製支管の取替が困難な場合、(4)案を採用することとする。

今回提案した、取付管の布設図を図7に示す。本管直近に既設支管と自在曲管を用いることで、本管直近の自在部とし、曲がり部やます直近に標準どおり自在部を設けることで、ほぼ標準布設と同様の形で取付管を布設することが出来る。

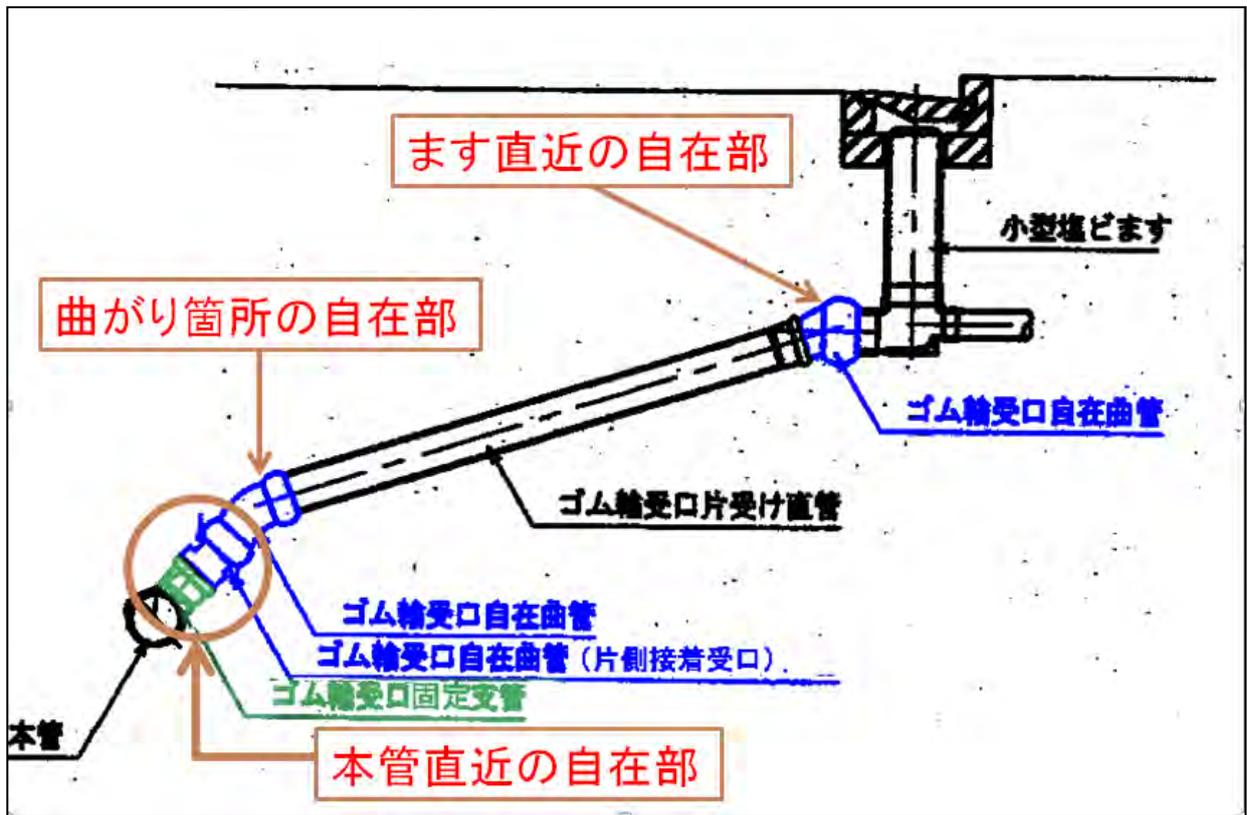


図7 提案布設図

5. おわりに

今後、足立区の分流地区における耐震化工事にあたっては、既設塩ビ製取付管の支管の取替が困難な箇所が多く存在することが懸念される。今回、この取替が困難な取付管について、既設支管を活用した布設方法を提案した。本提案工法は、施工性に優れている上、標準布設と同様に本管の直近に自在部を設けることが可能である。

北部第二下水道事務所では、既設塩ビ支管の取り外しが困難な場合、施工承諾により、本提案工法にて施工し、足立区内の取付管の耐震化を効率的に実施していく。



## 2. 水環境向上、環境負荷低減

- (1) 合流式下水道の改善技術
  - 1 合流改善対策用雨水貯留施設の建設について  
～野川処理区下流部雨水貯留池～
  
- (2) 地球温暖化対策技術
  - 1 芝浦水再生センターにおける小型個別送風機の導入について
  - 2 中野水再生センター反応槽攪拌機の運転縮減による電力量の削減について
  - 3 反応槽から排出される一酸化二窒素の排出量調査の結果
  
- (3) 水処理技術
  - 1 窒素低減対策の一手法  
～雨天時貯留池の晴天時活用について～
  - 2 高負荷運転による水質改善および省エネルギー効果について
  - 3 芝浦水再生センターにおける硝化促進運転維持のための対応策について
  - 4 雨天時流入SSの水処理及び汚泥処理への影響について
  - 5 再構築に伴う処理能力減少を見据えた処理水質確保のための取組み
  
- (4) 汚泥処理技術
  - 1 清瀬水再生センターにおける圧入式スクリーンプレス脱水機の初期運転結果について
  
- (5) 資源の有効利用技術
  - 1 汚泥硝化ガス発生量増量に向けた取組み



## 2-(1)-1 合流改善対策用雨水貯留施設の建設について

### ～野川処理区下流部雨水貯留池～

流域下水道本部 技術部 設計課 三木 英

#### 1. 事業の概要

##### 1.1 野川処理区の概要

野川処理区（図1）は、全6市（狛江市、調布市、三鷹市、府中市、武蔵野市、小金井市）で構成されており、流域面積4,491haのうち3,753haが合流区域となっている。

多摩地域には8つの処理区と7箇所の水再生センターがあるが、現在、野川処理区には水再生センターが無く、処理区から発生する汚水は、野川第一幹線から成城排水調整所を経由し、森ヶ崎水再生センターへ送られ、処理されている。

野川処理区には、野川第一幹線、野川第二幹線の2本の流域幹線があり、幹線には3箇所の吐口（相曾浦橋、大沢橋、野川橋）を有している。

##### 1.2 野川橋付近の現状

野川橋吐口（野川第一幹線）は、野川の左岸に位置し、雨天時には汚水混じりの雨水が野川に放流されている。（図2）

野川橋を越えた下流部に既設オリフィス人孔があり、流量制限（最大2.8 m<sup>3</sup>/s）を行っている。これにより、雨天時に、野川第一幹線の水位が上昇し、野川橋吐口で越流が生じる構造になっている。（図3）

したがって、合流改善対策を施し、野川への環境負荷をできるだけ低減することが喫緊の課題となっている。

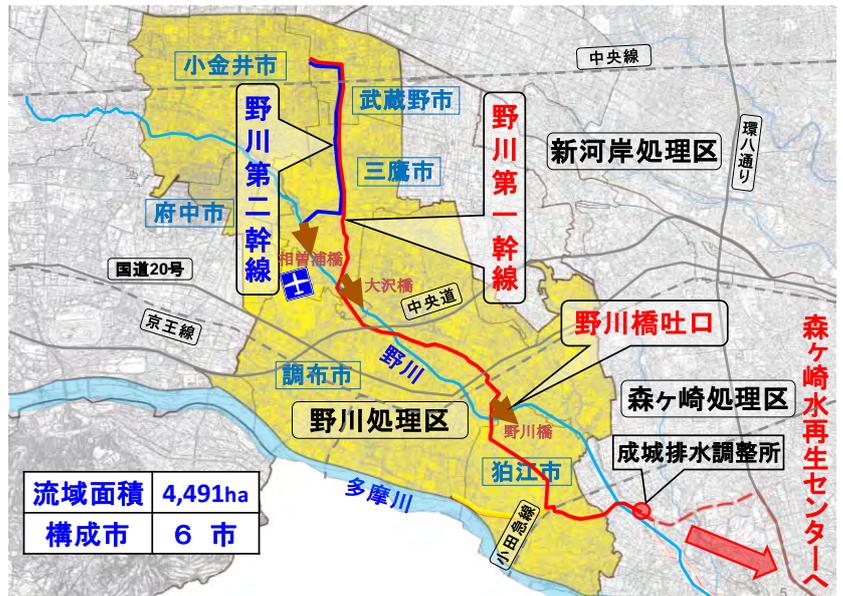


図1 野川処理区の概要



図2 野川橋付近の状況

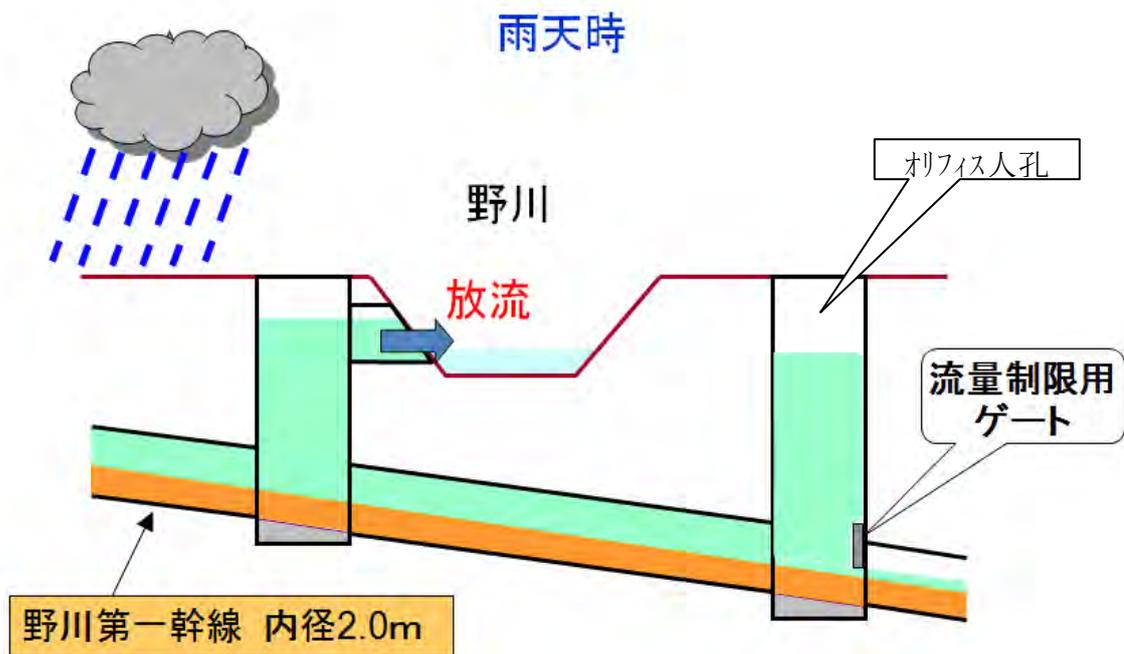


図 3 雨天時の野川橋付近の現況の水の流れ

### 1.3 合流改善目標

合流式下水道緊急改善計画で掲げている 3 項目の目標を表 1 に示す。

流域下水道における対策としては、「①汚濁負荷量の削減」、「②公衆衛生上の安全確保」を目標として行う。

表 1 合流改善目標

項目	内容		備考
① 汚濁負荷量の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処理区から排出する年間 BOD 総汚濁負荷量を<u>分流式下水道並以下</u>とする。</li> <li>・雨天時放流水の平均水質を <u>BOD40mg/L 以下</u>とする。</li> </ul>		流域下水道で実施
② 公衆衛生上の安全確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全ての吐口からの未処理水の放流回数を<u>半減</u>する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・相曽浦橋吐口 : 53 回/年 → 26 回/年以下</li> <li>・大沢橋吐口 : 56 回/年 → 28 回/年以下</li> <li>・野川橋吐口 : 64 回/年 → 32 回/年以下</li> </ul>	
③ きょう雑物の削減	<ul style="list-style-type: none"> <li>・きょう雑物の流出を最小限度のものとするように、<u>スクリーンの設置その他の措置</u>を講ずる。</li> </ul>		市で実施

\*表 1 は、「下水道法施行令」及び「効率的な合流下水道緊急改善計画策定の手引（案）平成 20 年 3 月 国土交通省都市・地域整備局下水道部」を基に目標を設定している。

## 1.4 合流改善対策

処理区全体での合流改善目標達成のため、関連6市と流域下水道本部で協議し、役割分担を行うこととした。

関連6市では、流域幹線への流入量抑制のために浸透施設の整備（浸透ます24基/ha及び浸透トレンチ35m/ha）や、夾雑物の流出防止のために「スクリーン等の設置」を行うこととした。

また、流域下水道本部では3つある流域幹線の吐口付近に、合わせて41,000m<sup>3</sup>の貯留施設を整備する計画とし、そのうち野川橋吐口では、20,000m<sup>3</sup>の貯留施設を整備するものとした。（図4）

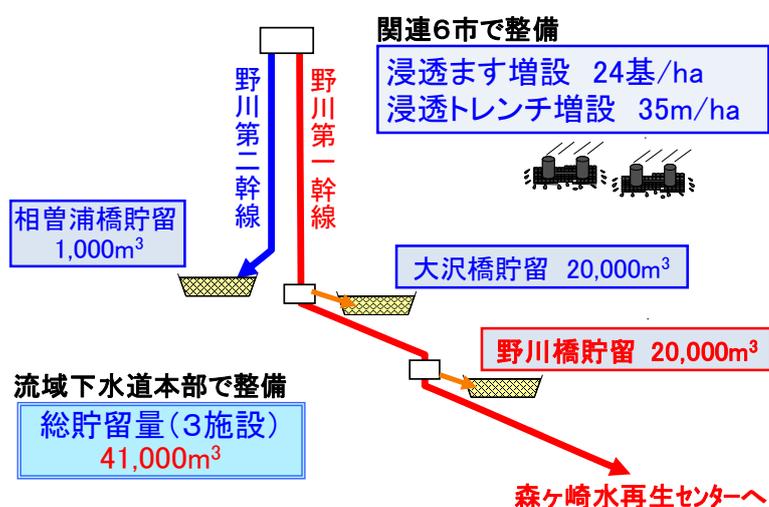


図4 合流改善対策の概念図

以上の対策を関連6市と流域下水道本部が協力して実施することで、合流改善の目標達成を図るものである。

## 2. 設計時の検討内容

野川橋吐口での目標達成のため検討した内容のうち、主な項目は以下のとおりである。

- (1) 貯留方式の検討 …… 総事業費と維持管理面での比較
- (2) 取返水管の検討 …… 取水と返水管の兼用によるスペースの有効活用と工事費の削減
- (3) 仮設壁の工法選定 …… 建物が近接する条件での施工
- (4) 発進立坑の検討 …… 作業スペースや工期が限られる中での効率的な施工

### 2.1 貯留方式の検討

貯留方式は、貯留池と貯留管をそれぞれ3案、計6案を立案し、比較を行った。（図5）

- (1) 貯留池案① …… 旧調布市立大町小学校跡地
- (2) 貯留池案② …… 旧狛江市立第七小学校跡地
- (3) 貯留池案③ …… 狛江市前原公園
- (4) 貯留管案① …… 狛江市和泉本町四丁目（駐車場）～狛江市岩戸北一丁目（畑）
- (5) 貯留管案② …… 狛江市西野川三丁目（公園）～狛江市岩戸北一丁目（市役所）
- (6) 貯留管案③ …… 狛江市西野川三丁目（公園）～狛江市岩戸北一丁目（畑）

これらについて、総事業費、維持管理性、用地取得の可否、施工環境を検討した結果、現在使用されていない旧狛江市立第七小学校の跡地に建設する「貯留池案②」を採用した。

貯留池の規模は、近隣住宅に対する施工時の影響及び維持管理を考慮すると、貯留池深さを最小限に留める必要があることから、縦73m、横28m、深さ24mで計画することとした。

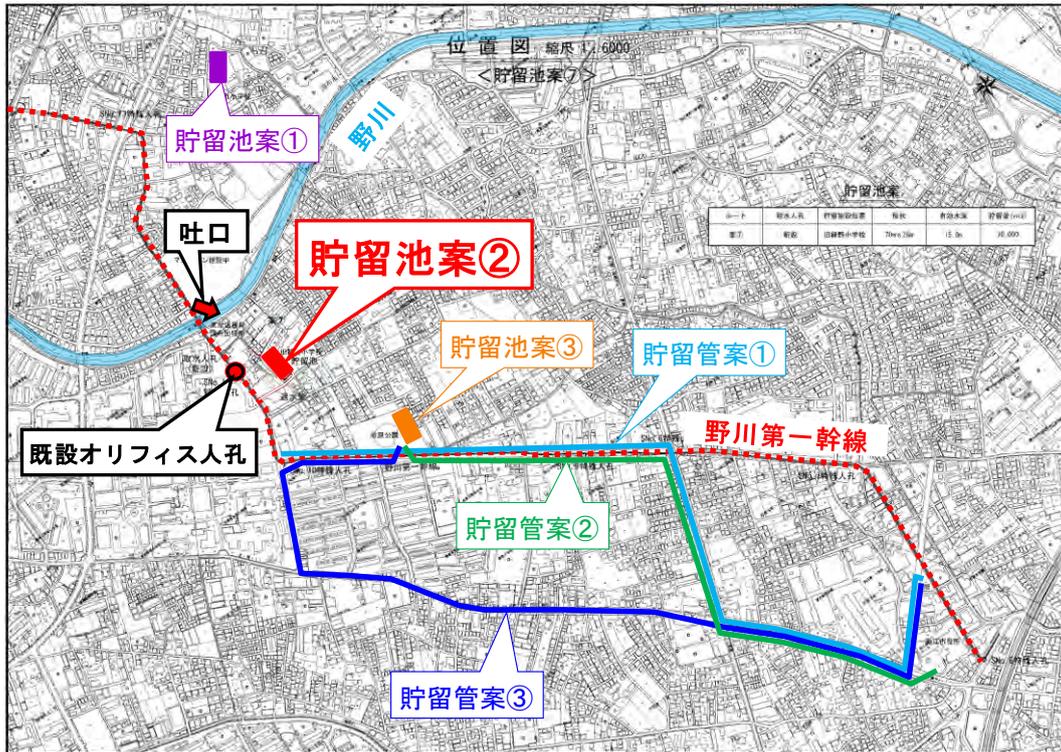


図5 貯留方式の検討

## 2.2 取返水管の検討

野川下流雨水貯留施設の取水・返水流量は、図7のとおりになる。

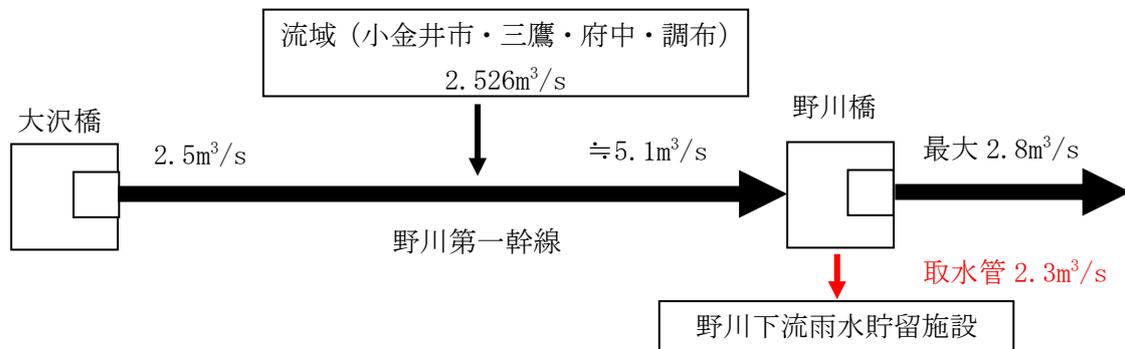


図6 野川第一幹線流量配分 (取水時・雨天時)

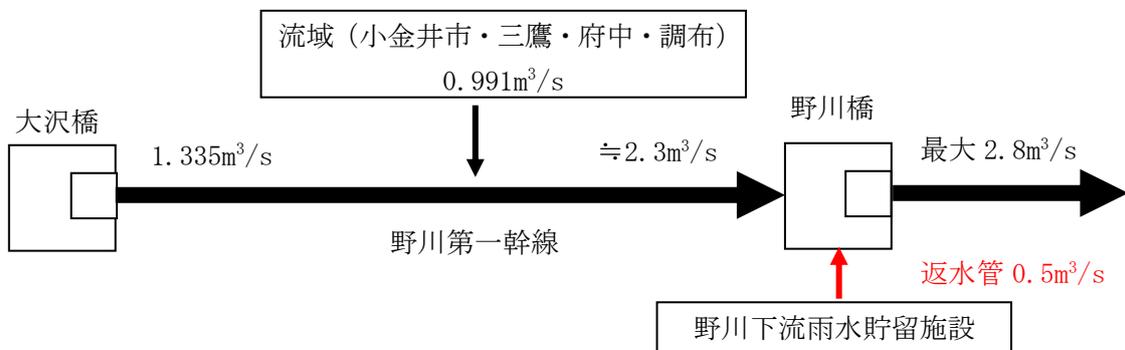


図7 野川第一幹線流量配分 (返水時・晴天時)

上記を踏まえて取水と返水方法の検討した内容は以下のとおりである。

当初、幹線からの取水及び返水は、別ルートで計画していたが、次のような課題があった。

(1) 当初計画での課題 (図 8)

- 1) 貯留池上部を維持管理用地として使用することになり、有効活用できるスペースが限られてしまう。
- 2) 返水を既設人孔の下流に接続することになるが、既設オリフィス人孔で流量を制限しているため、返水量(最大  $2.8\text{m}^3/\text{s}$ ) の制御が難しい。
- 3) 狹隘で埋設物が輻輳している市道(野川第一幹線布設道路)に管理用人孔を設置しなければならない。

そこで、取水と返水と同じ管きよで行う変更案を立案した。

期待できる効果は、次のとおりである。

(2) 変更案における効果 (図 9)

- 1) 建物の規模が縮小でき、貯留池上部を有効活用できる範囲が広くなるとともに工事費も削減できる。
- 2) 既設人孔の上流側に返水することで、返水量(最大  $2.8\text{m}^3/\text{s}$ ) の制御が容易になる。
- 3) 既設の埋設物が支障とならないように、既設オリフィス人孔に直接取返水管を接続することで市道埋設物の仮移設が不要となった。

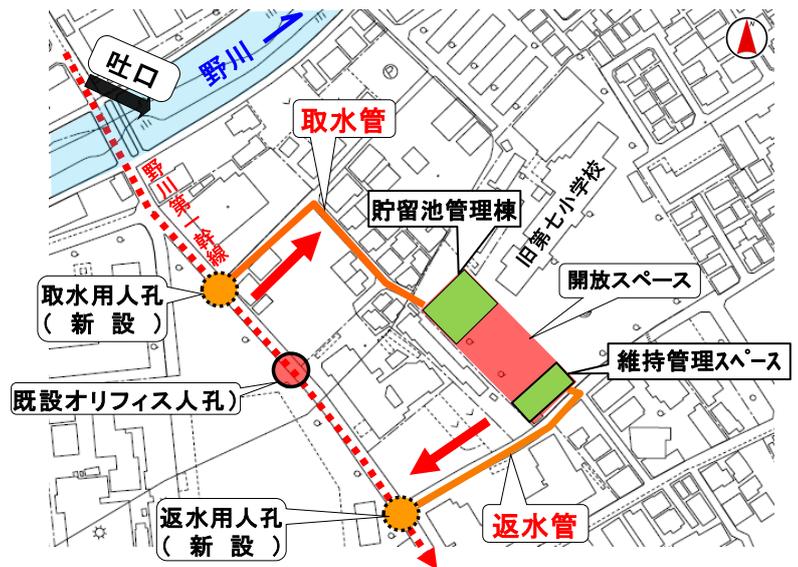


図 8 取水・返水方法 (当初案)

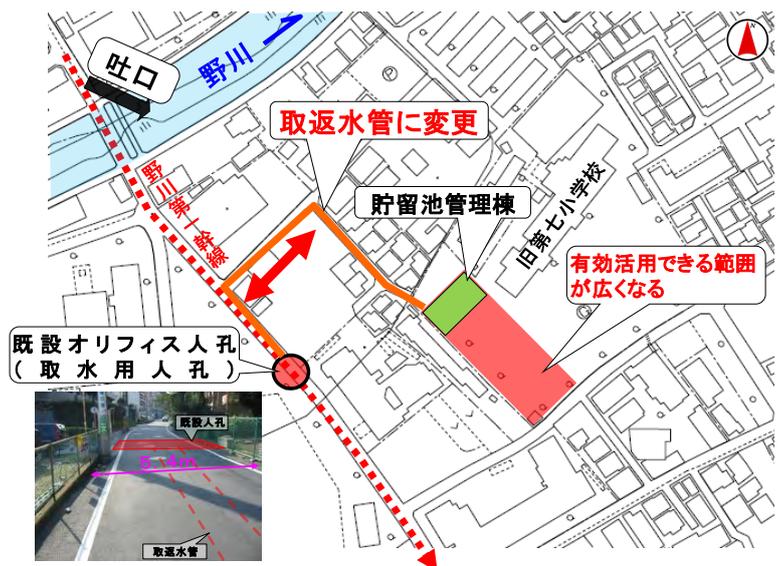


図 9 取水・返水方法 (変更案)

(3) 取返水の仕組み

雨天時、汚水混じりの雨水は、野川第一幹線の水位が上昇すると、水頭差により取返水管を経由して貯留池に集水される。

降雨終了後、貯留された貯留水の一部は、取返水管を経由し自然流下により野川第一幹線へ戻される。また、残りの貯留水は、ポンプにより、野川第一幹線へ排水される。

なお、取返水管は、池内から自然排水できるようにするため、貯留池に接続する高さを極力低くし、貯留池から野川第一幹線に向かって勾配を付け、ポンプによる返水量が極力少なくなるようにしている。(図 10、11)

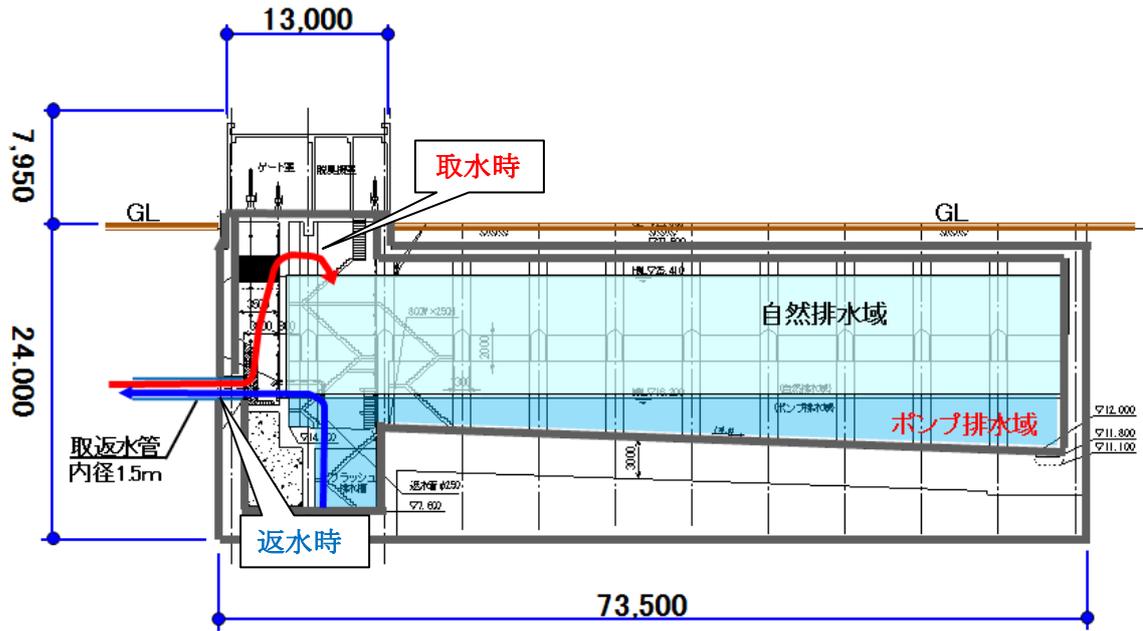


図 10 取返水の仕組み

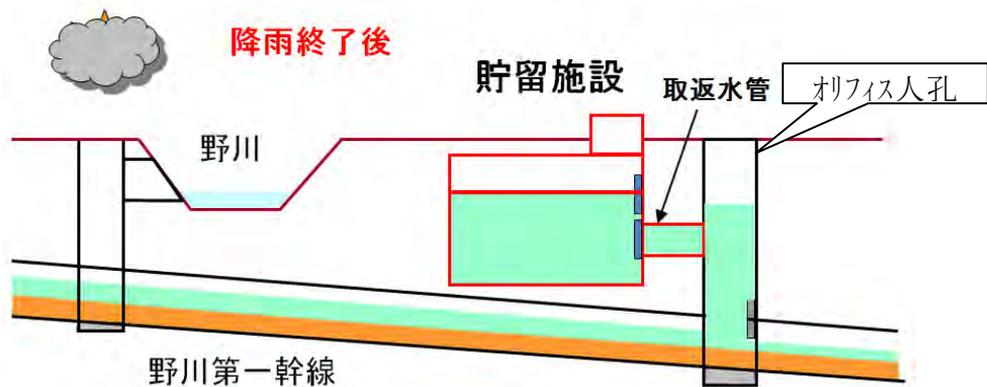


図 11 降雨終了時の野川橋付近の合流改善対策後の水の流れ

### 3. 山留め壁の工法選定

山留め壁の工法選定にあたり、施工規模深さ約24mの貯留池を建設するための各種工法がある中で、経済性及び工期を考慮した結果、等厚式及び柱列式のソイルセメント地中連続壁工法を候補として選定し、両工法にて最終比較を行った。

現場の土質の特徴は次のとおりであった。

- (1) 径250mm程度の礫が含まれる層がある。

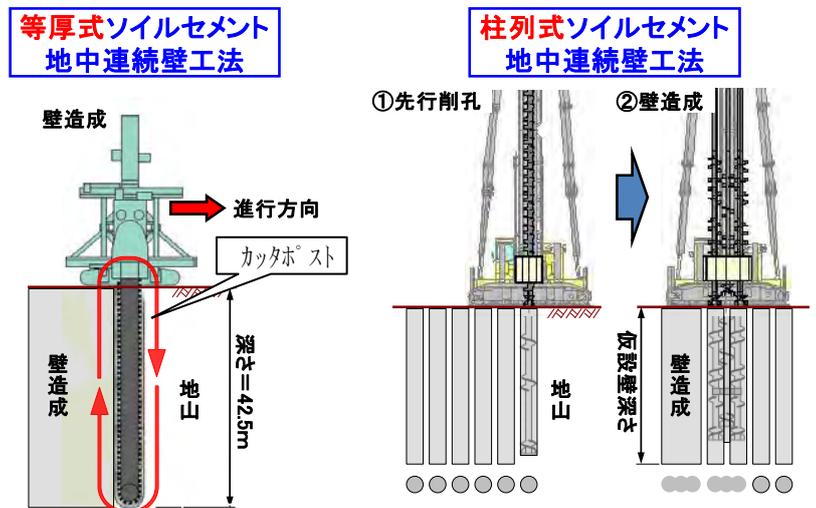


図 12 山留め壁の工法選定

(2) 全体的にN値が100を超える層が連続した硬質な地盤である。

硬質地盤での施工の場合、先行削孔が必要な柱列式と比べ、先行削孔が不要な等厚式は、工期の短縮ができ、工事費が安くなるというメリットがあった。

また隣接する建物が近い中、防音壁を設置したうえでの施工が条件となり、高い施工精度が求められた。

等厚式の施工機械の高さは、施工高が約10mであり、柱列式の場合の約30mと比較し高さが低く、騒音も軽減できると共に隣接マンションに与える圧迫感が少ない。

さらに、施工中に地中内にカタポストが入る構造から、機械の転倒の可能性が低く第三者災害が生じにくくなる利点もある。

以上から、本工法が本現場に適した工法であると判断した。

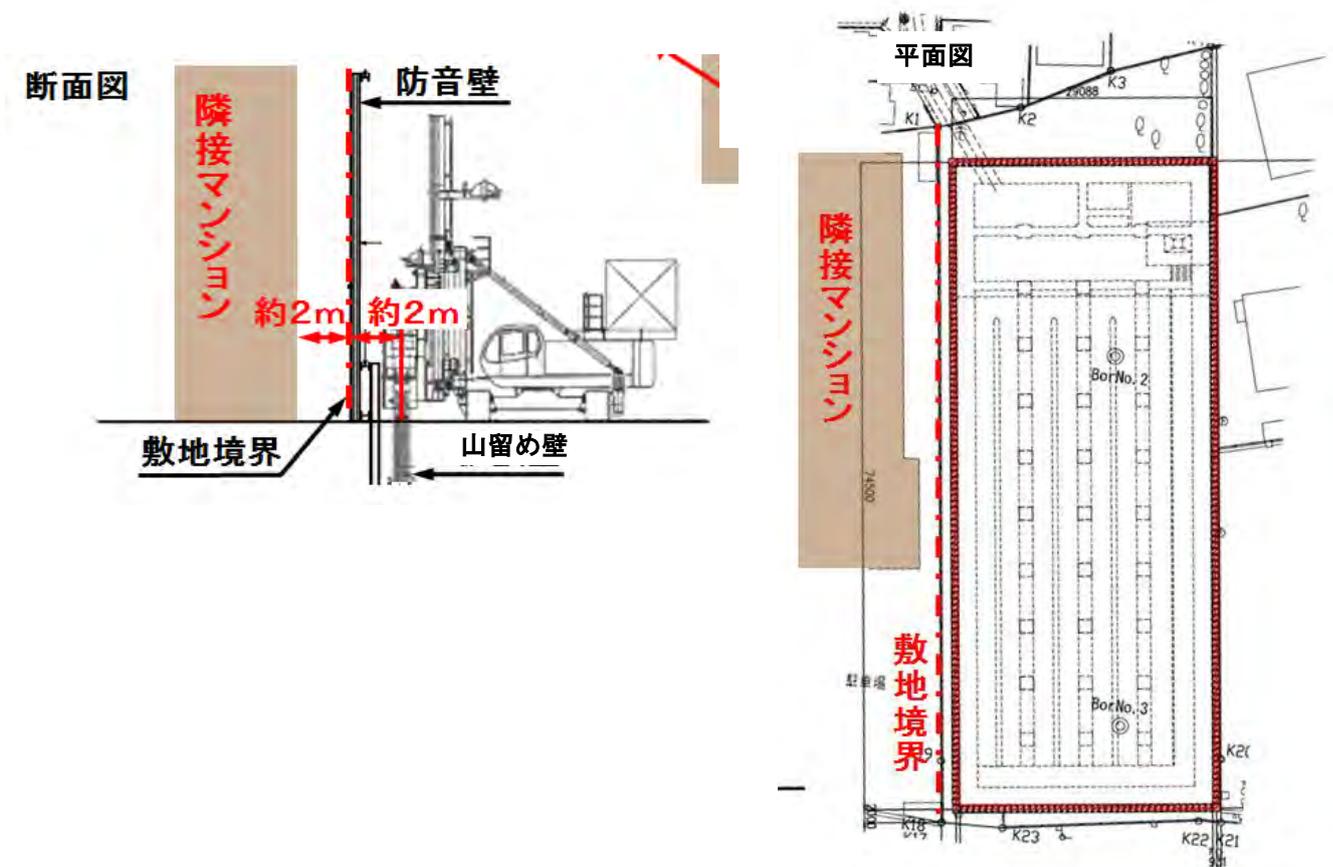


図 13 施工状況図

#### 4. 発進立坑の検討

敷地内には、取返水管の施工時に必要となる発進立坑の十分なスペースがなく、貯留池からの発進が不可欠であった。

一方で、合流改善施設の早期完成を目指していたため、貯留地工事と返水管工事の同時施工を検討しなければいけなかった。(図 14)

当初予定では、山留め支保工を多重切梁で計画していた。(図 15)

その場合、発進ヤードを確保するために、取返水管の作業床より下は、取返水管工事が完了するまで掘削が出来ず、全体工程が長くなるという課題があった。

そこで、山留め支保工を切梁と大火打で構成し、切梁の量を減らし取返水管の作業スペースを確保することにした。

また、貯留池の掘削手順を段階的に実施すると共に、2次掘削完了時の床付け面と3次掘削完了時の床付け面に適切なのり面を形成することで、取返水管の掘進作業を進めながら、貯留池工事を同時進行で行うことができるように工夫した。(図 16)

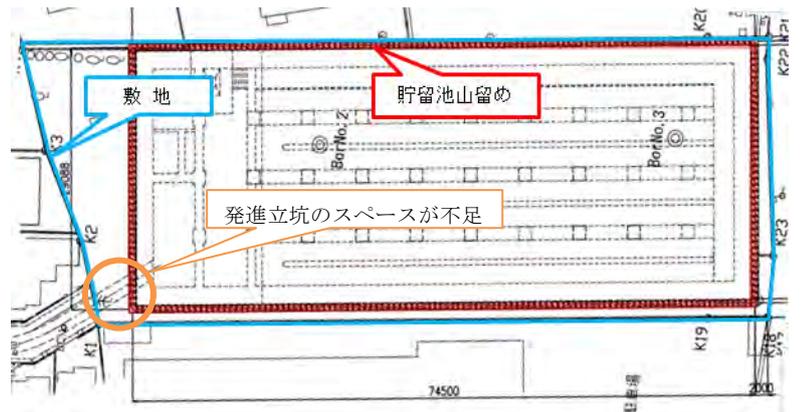


図 14 敷地内の状況

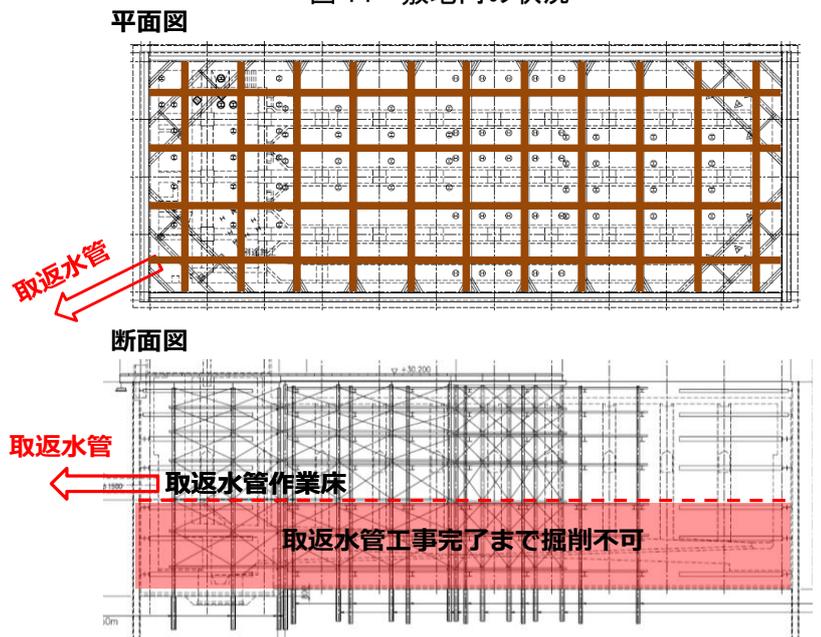


図 15 発進立坑と山留め支保（当初案）

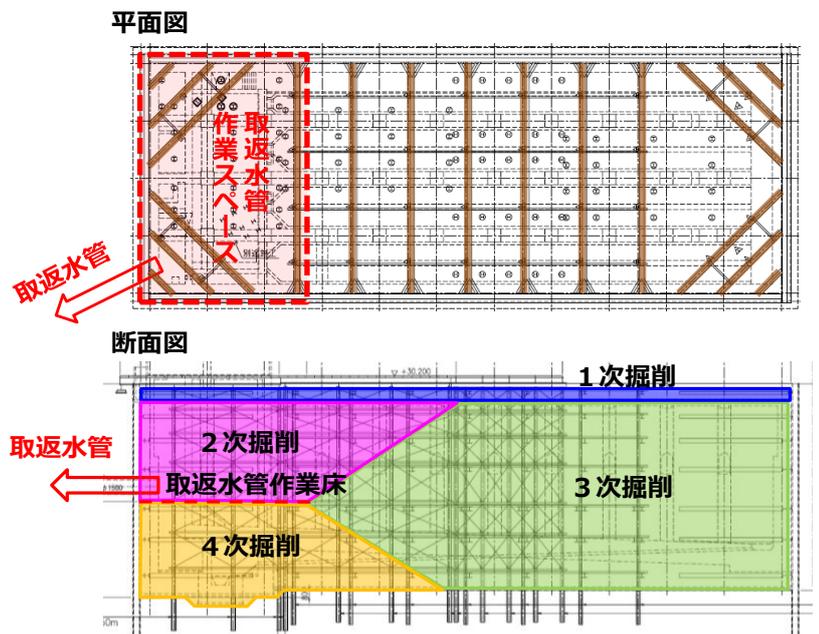


図 16 発進立坑と山留め支保（変更案）

## 5. 設計時における手続き等

### 5.1 基本設計から工事着手までの手続き

本施設は貯留池用地の買収を伴うため、基本設計時に計画説明会を行うことからスタートし、その後、実施設計時には設計説明会を行った。

また、本施設は狛江市のまちづくり条例に該当したため、手続き上必要となる条例に基づく説明会を行うほか、これに加え、建築許可申請に関連し、周辺の住民の意見を聴取する公聴会を開催した。(図 17)

なお、工事の着手に先立ち工事説明会も実施し、設計の各段階で計 5 回の説明会を行うことで、周辺住民の方々との合意形成を十分に図ることとした。

### 5.2 建築許可申請について

建築基準法に基づく協議について、流域下水道本部特有の事例について以下に示す。

貯留池建設地の用途地域は、第一種中高層住居専用地域となっている。(図 18)

第一種中高層住居専用地域では、建築基準法第 48 条第 3 項に該当し、別表第二号 (は) 項に掲げる建築物以外は建築してはならないという規定がある。

「別表第二号 (は) に掲げる建築物」の中に、政令で定める公益上必要な建築物とある。ここでいう政令 (建築基準法施行令第 130 条5の4) では、公益上必要な建築物を規定しており、下水道法第 2 条第 3 項に規定する公共下水道のように供する施設となっている。

なお、下水道法第 2 条では公共下水道と流域下水道について、明確に区分されている。つまり、流域下水道は、政令で定める公共下水道ではないため、公益上必要な建築物には該当しないという位置づけになってしまう。よって当該箇所の用途地域では、建築できない施設と規定されてしまう。

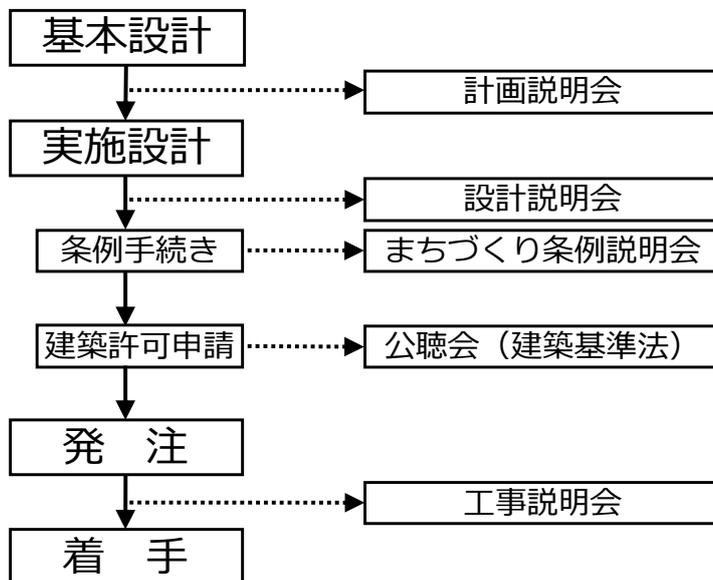


図 17 設計時における手続き



	第一種低層住居専用地域
	第一種中高層住居専用地域
	近隣商業地域
	準工業地域

図 18 貯留池周辺の用途地域

このため、建築基準法第48条第3項のただし書きにある、特定行政庁が公益上やむを得ないと認めて許可を得ることが必要となった。

許可の申請に先立ち、特定行政庁である建築指導事務所との事前協議を行い、建築審査会で許可となる目途がたった段階で、許可申請を行うこととした。

建築審査会の結果により不許可となると、再申請が極めて困難になることから、事前協議では特に慎重に審査が行われた。

申請書の提出後、当該用途地域における目的外の建築物を建設することについて、公開により周辺住民の方々の意見を聴取する場となる公聴会が開催された。

公聴会を経て建築審査会で認定を受けるため、建築指導事務所の要請で、施設を作る理由や重要性、当該場所ですべてではない理由をまとめ、建築審査会で公益上やむを得ない施設と認定されるよう準備を行った。

建築審査会では、公益上やむを得ない施設と認定され、約2週間後に許可となった。(図19)

今回は、同じ下水道施設でも公共下水道の施設は建設でき、流域下水道の施設は建設できないという条件下における特殊な事例である。

## 6. 現在の状況と今後の予定

一期工事では、平成21年度に山留め壁施工に着手し、完了している。現在、二期工事として掘削・山留の施工に着手しているところである。また、取返水管の工事でも平成22年度にシールドマシンの製作を行い、現在、掘進中であり、平成23年度中には到達見込みである。

三期工事では、貯留池躯体、管理棟及び場内整備の建設を行うが、今年度の現場着手に向けて、作業を進めており、平成25年度の完成を目指している。(図20、21)

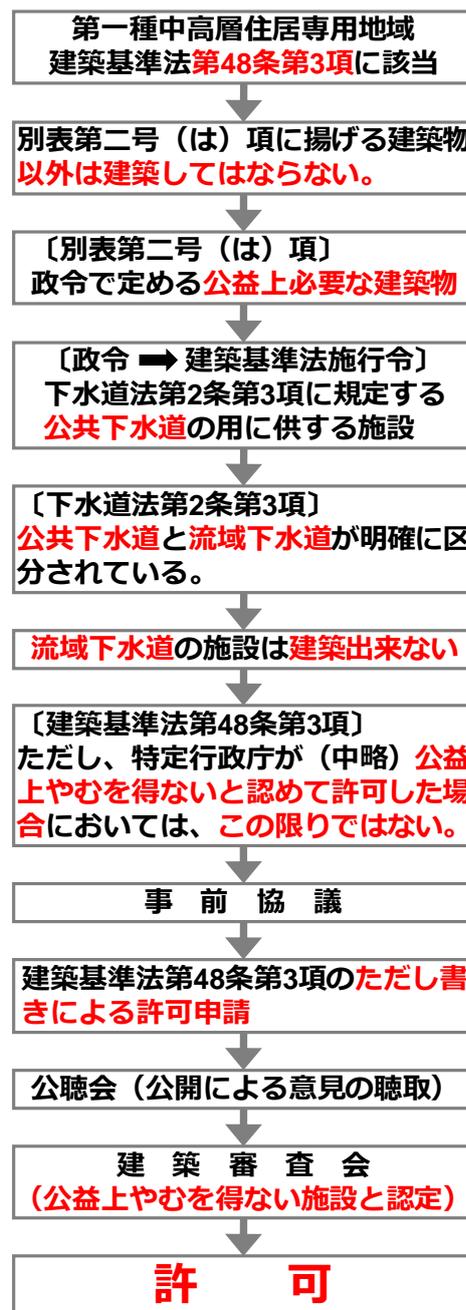


図19 建築基準法に基づく手続き

	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度
一期工事 (仮設壁)		→			
二期工事 (掘削・山留)			→		
三期工事 (躯体・建築・場内整備)				→	
取返水管工事		→			

図20 全体スケジュール



図 21 貯留池の完成予想図

(参考) 対象法令

1) (用途地域等) 建築基準法第 48 条第 3 項

第一種中高層住居専用地域内においては、別表第二(は)項に掲げる建築物以外の建築物は、建築してはならない。ただし、特定行政庁が第一種中高層住居専用地域における良好な住居の環境を害するおそれがないと認め、又は公益上やむを得ないと認めて許可した場合においては、この限りでない。

2) 別表第二(は)項 7

公益上必要な建築物で政令で定めるもの

3) (第一種中高層住居専用地域内に建築することができる公益上必要な建築物)

建築基準法施工令第 130 条の 5 の 4 第 2 項

第 130 条の 4 第 5 号イからハまでの一に掲げる施設である建築物で国土交通大臣が指定するもの

4) (第一種低層住居専用地域内に建築することができる公益上必要な建築物)

建築基準法施工令第 130 条の 4 第 5 号へ

下水道法第 2 条第三号に規定する公共下水道の用に供する施設

5) 下水道法第 2 条第三号

公共下水道 主として市街地における下水を排除し、又は処理するために地方公共団体が管理する下水道で、終末処理場を有するもの又は流域下水道に接続するものであり、かつ汚水を排除すべき排水施設の相当部分が暗渠である構造のものをいう。

6) 下水道法第 2 条第四号

流域下水道 次のいずれかに該当する下水道をいう。

イ 専ら地方公共団体が管理する下水道により排除される下水を受けて、これを排除し、及び処理するために地方公共団体が管理する下水道で、二以上の市町村の区域における下水を排除するものであり、かつ、終末処理場を有するもの

ロ 公共下水道(終末処理場を有するものに限る。)により排除される雨水のみを受けて、これを河川その他の公共の水域又は海域に放流するために地方公共団体が管理する下水道で、二以上の市町村の区域における雨水排除するものであり、かつ、当該雨水の流量を調節するための施設を有するもの





## 2. ばっ気システムの再構築

### 2. 1 従来型のばっ気システム

当センターには、本系、西系、東系の3つの水処理系列があり、集約した大型送風機にて3つの水処理系列へ送風していた（図-1の「現状」参照）。そのため、以下の問題があった。

- (1) 高効率型散気装置（酸素溶解効率の高い微細気泡散気装置）と従来型散気装置が混在しているため、高効率型に合わせた高い送風圧力を設定しなければならず、ロスが発生していた。
- (2) 一日の内で、単位時間当たりの汚水流入量は最大と最小で約3倍の開きがあり、大型の送風機では水量変動へのきめ細やかな風量制御ができなかった。
- (3) また、既存の送風機では、高効率型散気装置を最適な深さに設置できる送風圧が確保できず、同散気装置の最大効果を活用できなかった。

### 2. 2 新しいばっ気システム（図-1の「第一段階」参照）

本年4月、ばっ気システムの再構築の第一段階として東系に小型個別送風機が導入された。これにより次のことが期待できる。

- (1) 高効率型散気装置の東系と従来型散気装置の本系+西系を分離したことで、本系+西系送風機の吐出空気圧力を50kPaから適正圧力47kPaに下げることによるロスの低減。
- (2) 東系の各反応槽の直近に小型個別送風機を設置したことで、水量変動へのきめ細やかな風量制御ができることによる、送風機電力のロスの低減。

### 2. 3 新旧送風機の仕様

ここで既設送風機と今回導入された小型個別送風機の仕様を表-1に示す。

表-1 送風機の仕様

	既設送風機			小型個別送風機
	1, 2号	3号	4, 5号	1~4号(1台予備)
型式	横軸ターボ型(2段)		多段ターボ型 (インレットベーン付)	単段ターボ型 (同左)
口径(mm)	1,000×900	1,000×1,000	1,000×1,000	350×300
風量(m <sup>3</sup> /min)	950	1,400	1,200	165
圧力(kPa)	55	55	54	70
出力(kW)	1,250	1,800	1,500	230
備考	「小」とする	「大」とする	「中」とする	VVVF制御

## 3. 調査内容及び結果

### 3. 1 本系+西系送風機使用電力の変化

#### 3. 1. 1 調査内容

東系の小型個別送風機の導入により東系を分離した既設送風機（＝本系+西系送風機）について、下記の項目を調査した。

- (1) 吐出空気圧力50kPaと47kPaでの送風機電力原単位変化

\*送風機電力原単位＝送風機電力量(kWh)÷ばっ気空気量(千Nm<sup>3</sup>)

本論の「原単位」は同義とする

(2)送風機電力原単位の前年同期比較

(3)送風機電力量の前年同期比較

### 3. 1. 2 調査結果

(1)吐出空気圧力 50kPa と 47kPa の送風機電力原単位変化

送風空気量を一定にして 50kPa から 47kPa に下げた実験では、原単位は 19.14 から 18.73 へ約 2.1% 下がった (表-2 参照)。短時間の実験運転の結果ではあるが、原単位の約 2% の低減があった。

参考までに、50kPa から 47kPa に下げた時の送風機断熱空気動力 (\*) の低減量を試算してみる。

\*断熱空気動力とは散気装置に必要な空気量を必要な圧力まで圧縮する際に必要な最小限の理論的動力を指す

断熱空気動力 L (kW) は以下の式で表すことができる。

$$L \text{ (kW)} = P1 \times (Q1/60) \times \{ \kappa / (\kappa - 1) \} \times [ (P2/P1) ** \{ (\kappa - 1) / \kappa \} - 1 ]$$

P1 : 吸込み空気圧力 (=100 kPa abs)      Q1 : 吸込み空気量 (m<sup>3</sup>/min)

P2 : 吐出空気圧力 (kPa abs)      κ : 断熱指数 (空気=1.4)

\*「\*\*」はべき乗。空気圧力の単位は絶対圧力のため吐出空気圧力等は大気圧約 100kPa を加算

ここで、表-2 とほぼ同じ条件

$$Q1 = 187,600 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$P1 = 100 \text{ (kPa abs)}, P2 = 150 \text{ 及び } 147 \text{ (kPa abs)}$$

を代入して 50kPa と 47kPa の断熱空気動力を試算した

(表-3 参照)。

その結果、吐出空気圧力 50kPa と 47kPa では断熱空気動力に約 5 ポイントの差がある。ただし、これは、あくまで理論値であり実際には送風機の運転効率等も関与するため、実験による電力削減の約 2 ポイントとの差が出たものと思われる。

(2)送風機電力原単位の前年同期比較

今年と H 2 1 年の 4 ~ 6 月の運転データから、晴天日の原単位 (日平均) を比較した (表-4、図-2 参照)。なお、晴天日を対象としたのは降雨等の影響を排除するためである。

1) 4 月の原単位

4 月の原単位は H 2 1 年よりやや高かった。その理由は、東系の分離に伴いばっ気空気量の減少はあったが、次の (3) で述べる様に、送風機運転台数自体は 3 台で H 2 1 年と変わらなかったため、ばっ気空気量の減少幅に比べ、送風機電力量の減少幅は小さかったことによるものと思われる。

2) 5 月の原単位

5 月の原単位も H 2 1 年とほぼ同じであるが、4 月よりは下がった。これは、4 月下旬に吐出空気圧力を 47kPa に下げたことと、大送風機 3 号の運用を停止し中及び小送風機のみ運用にしたためと思われる。

表-2 吐出空気圧力と原単位

吐出空気圧力	単位時間の送風機電力量	単位時間の送風空気量	原単位
50kPa	3,590 kWh	187,600 Nm <sup>3</sup>	19.14
47kPa	3,500 kWh	186,850 Nm <sup>3</sup>	18.73

注) この時の送風機は 1, 4, 5 号の 3 台とし、水質への影響を避けるため、各吐出圧力 2 時間ずつの運転とした。

表-3 断熱空気動力

吐出空気圧力 P2 (kPa abs)	断熱空気動力	
	L (kW)	対 150kPa abs
150	2,240	100%
147	2,122	94.7%

### 3) 6月の原単位

6月の原単位は5月よりさらに下がり、H21年6月より0.4ポイント下がった。これは、6月の降雨量が少なく流入下水中の窒素濃度、COD等が上昇したため、ばっ気空気量は大幅に増加したが、送風機運転台数は変わらなかったため、電力の増加が少なかったことによるものと思われる。

表-4 本系+西系 送風機電力原単位

月	H21			H22		
	日平均ばっ気 空気量(Nm <sup>3</sup> )	日平均送風機 電力量(kWh)	原単位	日平均ばっ気 空気量(Nm <sup>3</sup> )	日平均送風機 電力量(kWh)	原単位
4月	4,396,210	89,593	20.4	4,031,499	83,213	20.6
5月	4,406,451	87,726	19.9	3,820,151	76,329	20.0
6月	4,651,620	93,751	20.2	4,313,165	85,501	19.8

注) H21には東系の分も含まれる。

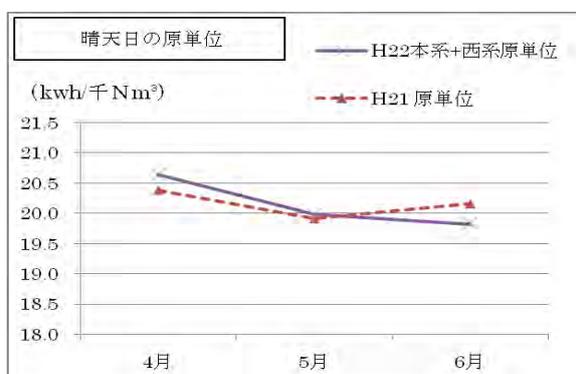


図-3 本系+西系 原単位の前年同期比較

表-5 本系+西系 送風機電力量 (kWh)

	H21	H22	
	送風機電力量	送風機電力量	前年度比
4月	2,369,073	2,475,360	104.5%
5月	2,315,943	2,486,900	107.4%
6月	2,388,720	2,464,230	103.2%

注) H21年は送風機が集約されていたため、電力量は送風機の合計電力量を、本系+西系と東系のそれぞれのばっ気空気量に基づき比例按分したものである。

### (3) 送風機電力量の前年同期比較

次に、今年とH21年の4～6月の運転データから送風機電力量を比較した。(表-5参照) その結果、今年4月～6月の送風機電力量は、各月ともH21年を上回った。

電力量の増加要因は、窒素対策としての硝化促進運転のため、ばっ気空気量を増加したことである。例えば各反応槽D回路のH21年DO設定値は2.5～3.5mg/L程度であったが、今年では3.5～4.0mg/Lと設定を上げ空気量を多くしていた。

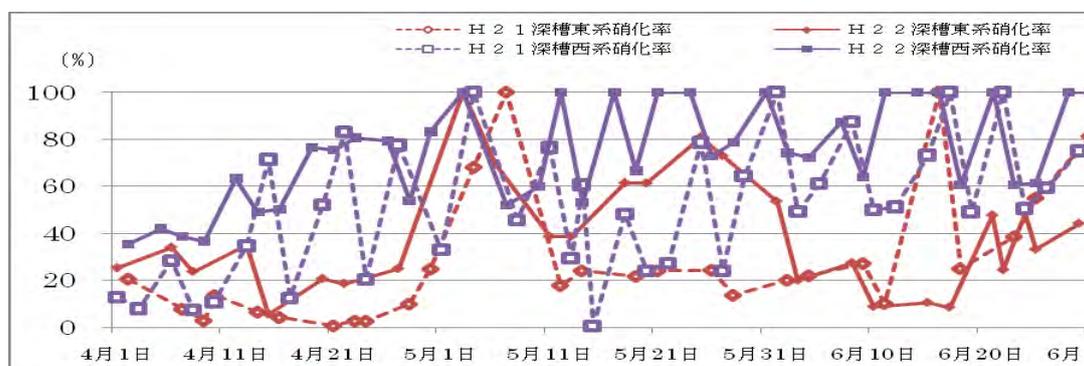


図-3 深槽反応槽東西の硝化率状況

また、図-3は、本系の代表槽として深槽反応槽の東西の硝化状況グラフであるが、今年の硝化状況（実線）が前年度（破線）より改善されているのがわかる。（ただし、今年6月の深槽東系は放線菌対策として硝化率を下げたため、グラフがH21年6月より下になっている）

また、送風機電力量の減少傾向が顕著に表れない理由の一つに、送風機の運転台数が減少しなかった事が挙げられる。

図-4に、5月の晴天日からランダムに抽出した4日間の時間毎の平均ばっ気空気量を、表-6に、中・小送風機の組合せによる定格送風量を示す。グラフから晴天日においては中2台での送風機運転では風量不足であり、最低でも中1+小2の3台運転が必要であることがわかる。これは東系送風系統が分離される以前のH21年度晴天日の送風機運転台数と同じである。結果として、東系送風系統の分離により、送風機運転台数は大・中・小の組み合わせから、中と小の組み合わせになったが、本系+西系送風機の運転台数の削減までには至っていなかった。



図-4 本系+西系ばっ気空気量と送風機定格送風量

表-6 送風機定格送風量

運転組合せ	送風量 (m³/h)
中2+小1	201,000
中1+小2	186,000
中2	144,000

### 3. 1. 3 調査結果のまとめ

本系+西系送風機についての調査結果は以下のとおりである。

- (1) 実験運転では、本系+西系送風機は吐出空気圧力の50→47kPa変更により2%程度の原単位の削減ができた。
- (2) 本系+西系送風機の運転台数はH21年と変わらなかったため、4～6月の原単位は平均するとH21年とほぼ同じであり明確な削減効果は出なかった。
- (3) 送風機電力量は硝化促進運転によるばっ気空気量増量が原因でH21年より増加し、削減効果は不明であった。

### 3. 2 東系送風機

#### 3. 2. 1 東系の調査内容

東系送風機については、下記の項目を調査した。

- (1) 小型個別送風機の受水量への送風量追従性
- (2) 送風機電力原単位の前年同期比較
- (3) 送風機電力量の前年同期比較

### 3. 2. 2 調査結果及び考察

#### (1) 小型個別送風機の受水量への追従性

今年とH21年の東系ばっ気空気量（≒送風量）の受水量への追従性を比較検討した。

東系の受水量とばっ気空気量について、今年の6、7月の晴天日からランダムに6日間抽出し、その時間変化を図-6に示す（6日間の平均値）。同様に、H21年の6、7月の晴天日のものを図-5に示す。図-6のH22年のグラフからは、6時頃の水量減少に対応して9時頃空気量が大きく減少しており、また、全体としても3時間程度の時間遅れはあるものの受水量の変化にばっ気空気量が追従しているのが見てとれる。一方、図-5のH21年のグラフでは受水量の変化に対し、ばっ気空気量変化が少なく追従性があまり良くない。これは、H21は大型送風機が本系+西系も抱えているため東系への追従性が良くなかったものと思われる。

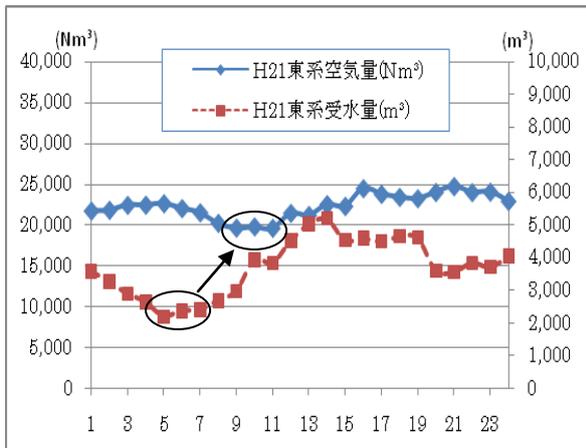


図-5 H21東系晴天日の受水量とばっ気空気量の日変化

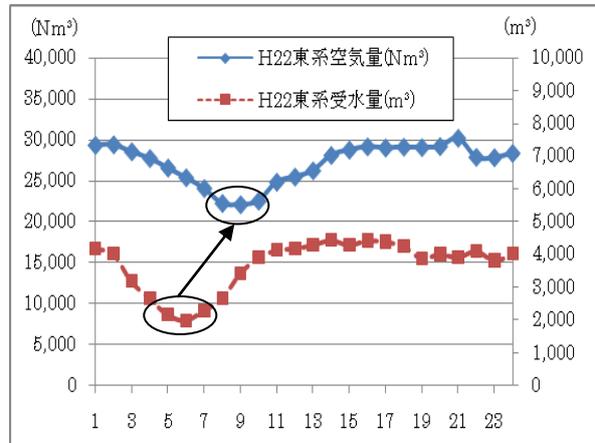


図-6 H22東系晴天日の受水量とばっ気空気量の日変化

#### (2) 送風機電力原単位の前年同期比較

原単位の前年同期比較を運転実績と実験運転のデータから行った。

##### 1) 運転実績での比較

運転実績のデータから、今年及びH21年の4月～6月の原単位を比較した（図-7参照）。今年の原単位は、各月ともH21年を下回り、平均すると19.1でH21年の平均20.1より5%ほど下がった。

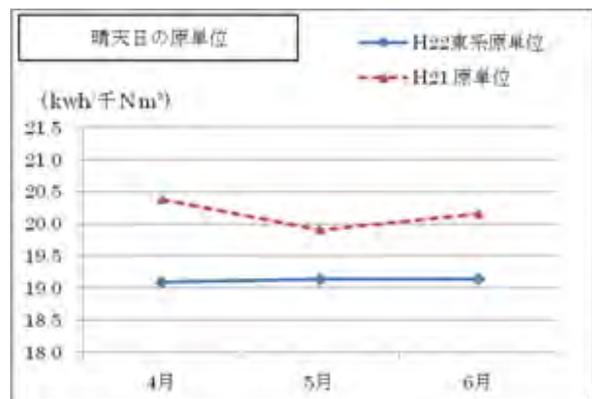


図-7 東系 運転実績原単位の前年同期比較

##### 2) 実験運転での比較

まず、H21年7月の晴天日で14時～16時の2時間、ばっ気空気量が安定した日を抽出して原単位を算出。次に、今年7月の晴天日の14時～16時にH21年のばっ気空気量にあわせた実験運転を行い、原単位を算出した（表-7参照）。

実験の結果、今年の原単位平均はH21年より約10%低下した。

これは、H21年実績での原単位平均が20.1だったことから考えると実験で比較対象としたH21年のデータが、従来のばっ気システムでも原単位の比較的高い部分であったため、原単位の低下が約10%と1)の運転実績の原単位低下に比べ大きくなったと考えられる。

(3)送風機電力量の前年同期比較

運転データから今年とH21年の4月～6月の送風機電力量を比較した(表-8参照)。その結果、今年は各月ともH21年を上回る結果となった。これは、本系+西系と同様、窒素対策としての硝化促進運転によるばっ気空気の増加が原因と思われる。(表-9参照)

表-8 東系送風機電力量(kWh)

	H21	H22	
	送風機電力量	送風機電力量	
4月	304,527	331,260	前年度比
5月	298,627	330,840	108.8%
6月	299,230	353,670	110.8%

表-7 東系 実験運転原単位の前年同期比

		ばっ気 空気量 (Nm <sup>3</sup> )	送風機 電力量 (kWh)	原単位	平均 原単位
		H21	①	22,190	470
②	18,960		388	20.5	
③	24,895		530	21.3	
④	23,675		494	20.9	
H22	①	25,015	475	19.0	18.9
	②	22,045	416	18.9	

表-9 東系ばっ気空気量(Nm<sup>3</sup>)

	H21	H22	
	ばっ気空気量	ばっ気空気量	前年度比
4月	14,987,730	17,309,770	115.5%
5月	14,952,470	17,257,140	115.4%
6月	14,744,890	18,476,880	125.3%

3. 2. 3 東系の調査結果のまとめ

東系の小型個別送風機についての調査結果は以下のとおりである。

- (1)東系の小型個別送風機による送風量の受水量への追従性はH21年より向上している。
- (2)東系送風機の原単位はH21年より運転実績で約5%、実験で約10%、低下した。
- (3)送風機電力量は、H21年に対し原単位の低下があったにも拘らず、硝化促進運転によるばっ気空気量増量のためH21年より増加した。

4 まとめ

- (1)本系+西系 送風機の吐出空気圧力の47kPaへの引き下げ効果について

本系+西系 送風機の吐出空気圧力を適正圧力47kPaに下げたことにより、2%程度の送風機電力量削減が期待できるが、現状では硝化促進運転を行っているため送風機電力総量に対する削減効果は表れなかった。

- (2)東系小型個別送風機の追従性と電力削減について

東系小型個別送風機によるばっ気システムでは、ばっ気空気量は従来より受水量への追従性が良く、また、送風機電力原単位は運転実績で従来より約5%低下した。

一方、対前年同期比での送風機電力量は、窒素対策として硝化促進運転を行っているため削減効果が表れなかった。

## 5 おわりに

本年4月に小型個別送風機が導入されたが、短期的な検証では、当センターの流入下水中の窒素濃度が高いため標準法より多量のばっ気空気を必要とする硝化促進運転を実施していること、ばっ気システム省エネ化の第一段階の一つである高効率型散気装置の設置水深の変更（3.7m→5.5m）が未実施であることもあり、送風機電力量の削減効果は出ていなかった。だが、送風システムを分離したことにより、東系の水質はかなり安定し、再生水原水としても良好な水質を維持できている。処理水質を含め、年間を通じた総合的な検証は今後としたい。

## 2-(2)-2 中野水再生センター反応槽攪拌機の運転縮減 による電力量の削減について

西部第一下水道事務所 落合水再生センター 宅間大吉

### 1. はじめに

東京都は、世界で最も環境負荷の少ない先進的な環境都市の実現を目指し、2007年に「カーボンマイナス東京10年プロジェクト」(2020年までに2000年度比で25%の温室効果ガスの削減を目標)を策定した。また、この目標の達成に向け、環境確保条例で2010年4月から大規模事業者に対してCO<sub>2</sub>削減を義務化した。下水道局においても、「アースプラン2010」を策定し、削減義務を遵守するとともに上記目標の達成を目指している。落合水再生センターでは、省エネルギーへの対策が講じられる中、電力使用量の削減について検討する必要があるがあった。そこで、電力使用量削減の一環として中野水再生センター反応槽の機械式攪拌機に着目し、この運転方法を変えた時の処理水質と電力量を調査した。その結果、流入水と返送汚泥が流入する回路及び嫌気槽末端の回路の攪拌機を停止して他の2回路を間欠運転にしても、処理水質を損なうことなく電力使用量の削減が出来た事例について報告する。

### 2. 中野水処理施設の概要と運転実績

図1に示すとおり、1つの反応槽と1つの第二沈殿池で1ユニットとなっている。返送汚泥は合流したのち、反応槽に返送される。送風機はDO制御(H回路4.0mg/L)で運転し、MLSSは各反応槽同一の目標で管理している。反応槽はAO法が可能な施設で、攪拌機は嫌気槽に各槽4台設置されている。攪拌機運転方法はこれまで晴天時は1槽につき2台の間欠運転、雨天時は4台連続運転をしていた。調査は、攪拌機運転方法を変えた反応槽2槽を対象に、期間は平成22年4~8月とした。期間中の平均流入水質を表1に、運転実績を表2に示す。

表1 反応槽流入水質

COD (mg/L)	42
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	15.6
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	1.1

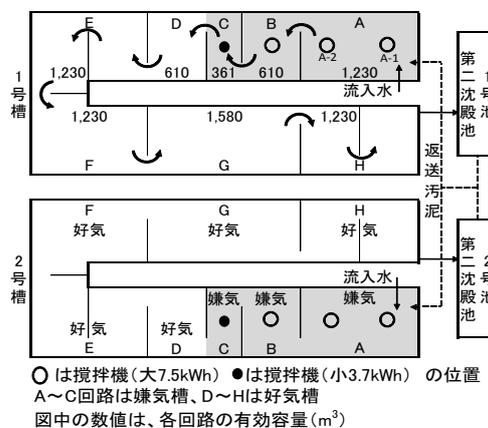


図1 生物反応槽フロー（AO法）

表2 運転実績

	1号槽	2号槽
平均流入水量 (m <sup>3</sup> /h)	600	610
最大流入水量 (m <sup>3</sup> /h)	1,760	1,810
滞留時間合計 (h)	13.5	13.2
嫌気槽滞留時間 (h)	3.7	3.6
好気槽滞留時間 (h)	9.8	9.6
返送汚泥率 (%)	35.0	34.4
MLSS (mg/L)	1,270	1,240

調査期間中の攪拌機の運転方法をそれぞれ Run1、Run2、Run3 とし表 3 に示した。間欠運転パターンは図 2 のとおりである。運転条件の変更に伴う電力量について月別に算出を行った。期間中は、反応槽流入水、反応槽活性汚泥ろ液、第二沈殿池上澄水を採取し、りん及び形態別窒素の測定を行った。また、攪拌機の間欠運転に伴い、嫌気槽の汚泥攪拌状況を把握するために垂直方向の MLSS を測定した。MLSS は汚泥濃度計（セントラル科学株式会社製 ML-52 型）を用いた。

表 3 攪拌機運転状況

期間	1号槽				2号槽			
	1号	2号	3号	4号	1号	2号	3号	4号
4/1~4/20	○	○	○	○	○	○	○	○
Run1 4/21~6/6	○	○	○	○	×	○	○	×
Run2 6/7~7/27	×	△	△	×	×	○	○	×
Run3 7/28~8/31	×	△	△	×	×	△	△	×

表中の記号はそれぞれ、○は連続運転、×は停止、△は間欠運転を示す

#### 4. 調査結果と考察

##### 4.1 攪拌機の運転状況と嫌気槽水質

攪拌機の運転条件が窒素・りん除去に与える影響を嫌気槽のりん濃度と形態別窒素濃度の違いで評価した。両槽の嫌気槽りん濃度の状況を図 3 に示す。嫌気槽りん濃度は降雨の影響により濃度が低下し、その後上昇するという傾向であり、両槽に差はほとんどみられなかった。Run1・Run2 において、攪拌機の運転方法による両槽の嫌気槽りん濃度に違いは認められなかった。

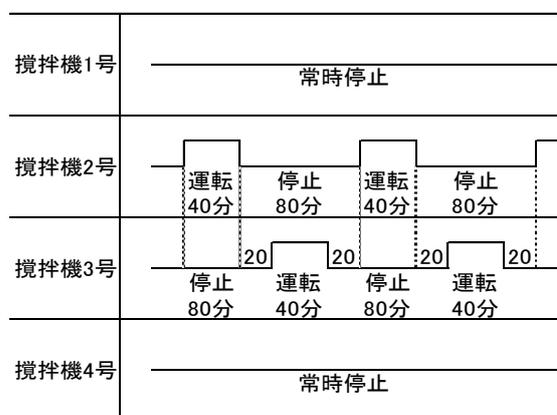


図 2 攪拌機間欠運転パターン

図 4 には Run1 における反応槽内の各回路の形態別窒素濃度を示した。両槽とも流入したアンモニアは好気槽で完全硝化し、返送汚泥中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  は嫌気槽流入時に脱窒されて A-2 回路では  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度・ $\text{NO}_2\text{-N}$  濃度はほとんど検出されなかった。Run1 において、攪拌機の運転方法による両槽の嫌気槽における  $\text{NO}_3\text{-N}$  の脱窒状況についても違いは認められなかった。

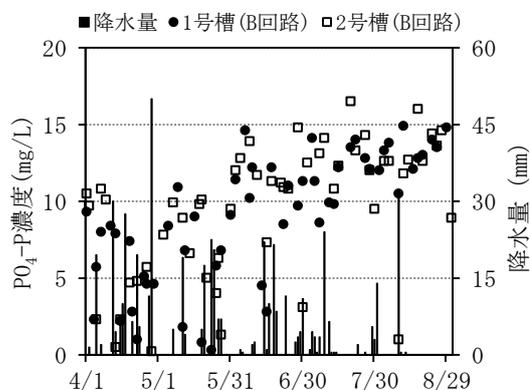


図 3 嫌気槽りん濃度の推移

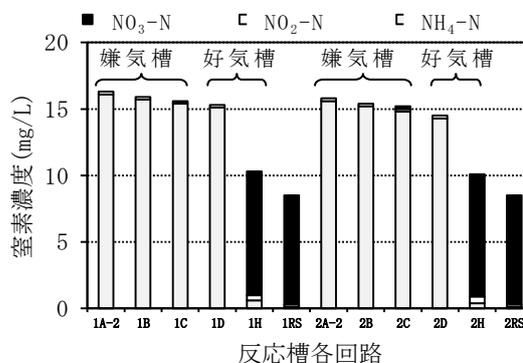


図 4 形態別窒素の推移 (Run1)

## 4.2 間欠運転時の汚泥攪拌状況について

Run3（攪拌機1・4号常時停止、攪拌機2・3号間欠運転）の嫌気槽内汚泥の攪拌状況を把握するため、MLSSの垂直濃度分布を測定した。その結果を表4に示す。この攪拌機の運転方法では、A-2回路とB回路共に運転40分、停止80分となっている。MLSS濃度測定結果からA-1回路は攪拌機を常時停止しているが、返送汚泥の落下と流入水の流入時の勢いにより、完全に汚泥が沈殿する状態にはなっていない。また、A-2回路・B回路共に攪拌機の起動から5分後には槽内が均一になっているが、時間経過とともに若干濃度が上がっていく傾向であった。これは、直前の槽が均一な汚泥濃度となっていないために、その影響を受けて濃度が安定するためまでに時間がかかるものと考えられる。C回路は、A-1回路同様に攪拌機を常時停止しているが、汚泥が完全に沈殿する状態にはなっていない。これは、好気槽（D回路）から戻り水がある影響である。

表4 嫌気槽の汚泥攪拌状況（反応槽2号）

時刻	A-1回路			攪拌機	A-2回路			攪拌機	B回路			攪拌機	C回路		
	上層	中層	下層		上層	中層	下層		上層	中層	下層		上層	中層	下層
11:47	100	600	2,000	停止	300	650	1,600	停止	650	600	600	常時停止	0	200	1,250
11:52	100	600	1,750												
11:57	300	500	950												
12:02	250	850	1,950												
12:07	300	750	1,950												
12:12															
12:17															
12:22															
12:27															
12:32															
12:37															
12:42															
12:47															
12:52															
12:57															
13:02															
13:07															
13:12															
13:17															
13:22															
13:27															
13:32															
13:37															
13:42															
13:47															

## 4.3 処理水質

調査期間中の流入水および第二沈殿池  $PO_4$ -P 濃度の推移を図5に示す。りん除去については Run1・Run2 において攪拌機の運転方法による両槽の処理水質に違いはなかった。期間を通して降雨の影響を受けている時以外はおおむね良好であった。

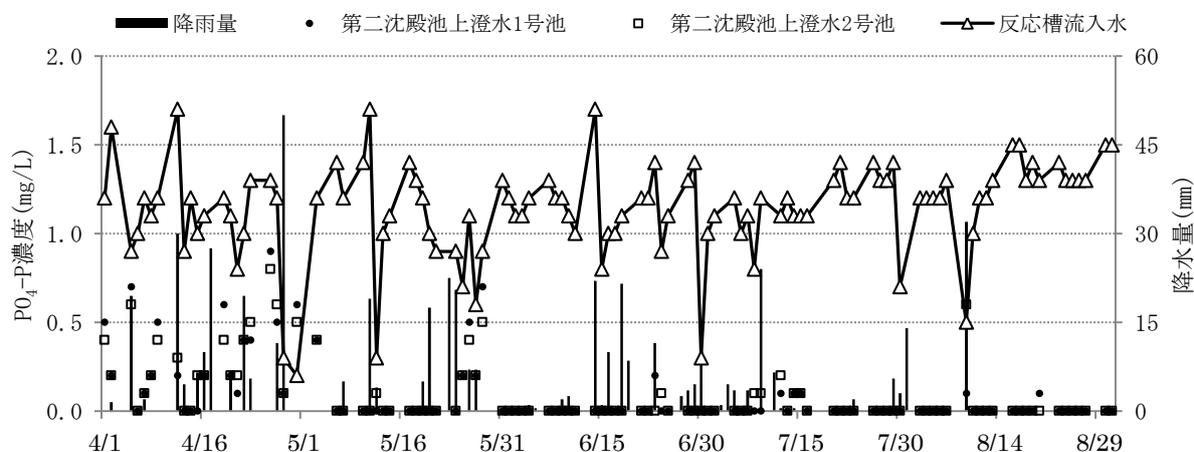


図5 反応槽流入水および第二沈殿池上澄水  $PO_4$ -P 濃度の推移

#### 4.4 嫌気槽りん濃度がりん除去に与える影響

調査期間中の  $PO_4$ -P 除去濃度（反応槽流入水－第二沈殿池上澄水）と嫌気槽りん濃度（B 回路）の関係を図 6 に示す。また、図中に線形近似をを表した。調査期間中の反応槽流入水  $PO_4$ -P 濃度は平均 1.1mg/L であるので、第二沈殿池上澄水の目標  $PO_4$ -P 水質を 0.1mg/L とすると、目標達成に必要な  $PO_4$ -P 除去濃度は 1.0mg/L となる。図 6 から  $PO_4$ -P 除去濃度 1.0mg/L を維持するのに必要な嫌気槽りん濃度は約 10mg/L と読み取れる。したがって、嫌気槽りん濃度が 10mg/L あれば目標  $PO_4$ -P 水質を維持できると考えられる。実際、図 3 のように降雨後以外は必要嫌気槽りん濃度が確保されているので、第二沈殿池上澄水質は 0.1mg/L をほぼ維持している。

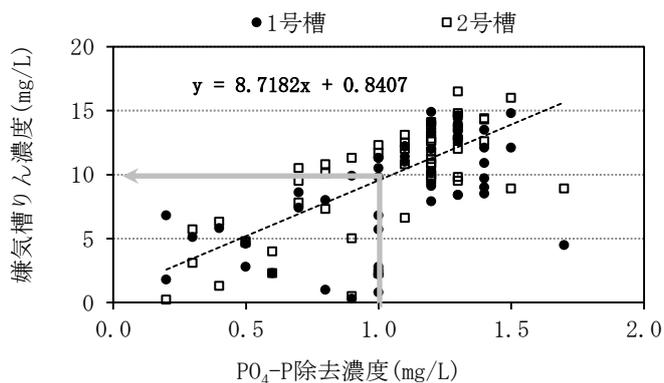


図 6 嫌気槽りん濃度・ $PO_4$ -P 除去濃度の関係相関

#### 4.4 反応槽攪拌機の運転時間削減効果

表5には、反応槽攪拌機の月別の電力使用量・電力料金・温室効果ガス排出量を示した。21年度の攪拌機の運転条件（晴天時は1槽につき2台ずつ間欠運転、雨天時は全台連続運転）では、電力料金は年間約320万円かかっていた。攪拌機2台の間欠運転（Run3）を9月以降来年3月まで継続した場合では、22年度の電力料金は約170万円となり昨年に比べ約150万円の経費削減となる。電力使用量削減に伴い、年間約60tの $CO_2$ 排出量の低減が可能となる見込みである。

表5 攪拌機の月別電力使用量・温室効果ガス排出量

	電力使用量 (kWh)	電力料金 (円)	温室効果 ガス排出量 (kg $CO_2$ )
4月	35,800	358,000	13,711
5月	33,604	336,040	12,870
6月	20,904	209,040	8,006
7月	17,160	171,600	6,572
8月	7,440	74,400	2,850
9月～翌年3月(7カ月分)	50,880	508,800	19,487
平成22年度合計(予測)	165,788	1,657,880	63,497①
平成21年度合計	318,864	3,188,640	122,125②
温室効果ガス排出量削減量(②-①)			58,628

※温室効果ガス排出量算出式：電力使用量(kWh) × 0.383

#### 5 まとめ

本調査では、攪拌機を間欠運転にしても脱窒とりんの吐き出しは確実に行われ、槽内で汚泥の滞堆は発生しなかった。また、攪拌機の運転方法による処理水質の違いは無かった。攪拌機の運転時間の短縮で電力使用量を大幅に削減でき、温室効果ガス排出量の削減につなげることが出来た。今後は、低水温期においても安定した処理水質を維持できるか調査を継続していく。

## 2-(2)-3 反応槽から排出される一酸化二窒素の 排出量調査の結果

流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター 葛西孝司  
松下勝一

### 1. はじめに

平成 22 年 2 月に策定されたアースプラン 2010 では、水処理からの一酸化二窒素(以下、 $N_2O$ ) 排出抑制技術の研究・開発を掲げている。水処理施設からの  $N_2O$  の発生については、硝化と脱窒に起因するといわれているが、その詳細については明らかになっていない。

このことを踏まえて、当センターにおける 4 系  $A_2O$  法(以下、4 系)の反応槽からの  $N_2O$  排出量の実態調査を行い、その結果から排出抑制策を検討した。

### 2. 調査方法

4 系施設反応槽の脱臭は、嫌気槽から好気槽までの全てが最終的に 1 つに集められ、活性炭吸着槽設備に送られる。脱臭ファンによる吸引量は、常に一定であることから、脱臭ファンの手前で採取したガスの『 $N_2O$  濃度の変化』と『 $N_2O$  の排出量の変化』は一致する。

また、嫌気槽、無酸素槽、好気槽それぞれの上部の排ガスを脱臭用配管から採取することで、各地点での  $N_2O$  濃度を知ることができる。ただし、反応槽内の上部は完全には仕切られていないため、厳密には、採取場所周辺の濃度ということになる。

$N_2O$  の発生には、硝化と脱窒それぞれの反応が関与していることから、排ガス分析用試料採取とともに、反応槽から活性汚泥混合液を採取、アンモニア性窒素(以下、 $NH_4-N$ )、亜硝酸性窒素(以下、 $NO_2-N$ )、硝酸性窒素(以下、 $NO_3-N$ )を測定することで、硝化の状況を確認した。

なお、分析方法は以下のとおり。

$N_2O$  : 「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き」((社)日本下水道協会「温室効果ガス測定方法の例」)に基づくガスクロマトグラフ(ECD)法

$NH_4-N$  : (社)日本下水道協会 下水試験方法 1997 年版(以下、下水試験方法) 第 2 編 第 2 章 第 25 節 2. インドフェノール青吸光光度法

$NO_2-N$  : 下水試験方法 第 2 編 第 2 章 第 26 節 1. N-(1-ナフチル)エチレンジアミン吸光光度法

$NO_3-N$  : 下水試験方法 第 2 編 第 2 章 第 27 節 付 1 紫外外部吸収を用いた下水処理場処理水中の亜硝酸性窒素・硝酸性窒素の簡易試験法

### 3. 反応槽内での N<sub>2</sub>O の発生場所

4系反応槽上部の排ガスの N<sub>2</sub>O の分布を図 1 に示す。

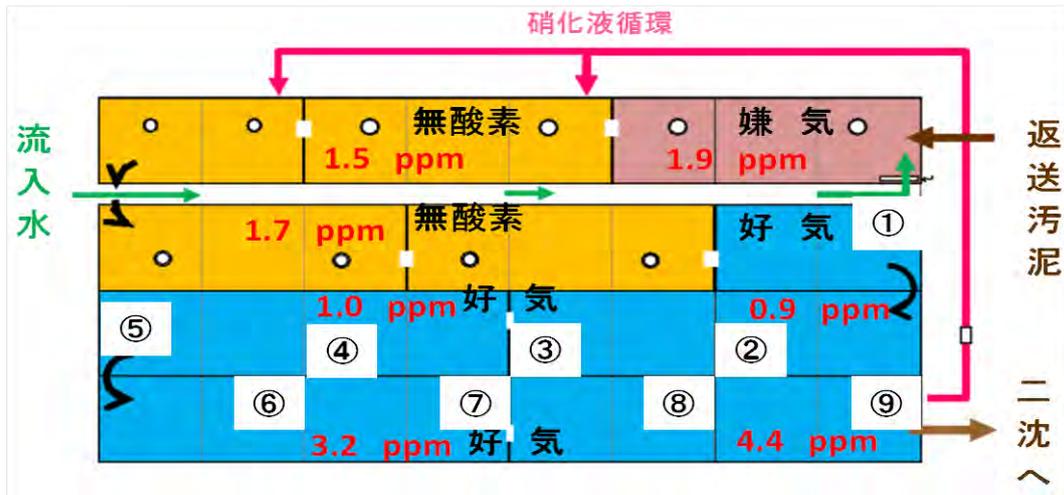


図 1 反応槽上部の N<sub>2</sub>O ガスの分布 (3月3日 13:00~14:30)

排ガス中の N<sub>2</sub>O 濃度は、嫌気槽から好気槽前半部まで 2ppm 弱であったが、好気槽後半部でやや高くなっている。また、好気槽の前半は、他の場所に比べて低めであった。このことは、N<sub>2</sub>O 排出量の抑制に重要なことと考えられる。詳細については、後に述べる。各槽上部の脱臭施設への吸引量は好気槽側が多いことから（脱臭配管の断面積では、好気槽が嫌気槽と無酸素槽の約 3 倍）、4系での N<sub>2</sub>O 発生源の主要部分は、好気槽後半部で、硝化に伴う発生量が多いといえる。

### 4. 反応槽内の NO<sub>2</sub>-N と N<sub>2</sub>O の関係

処理水に NO<sub>2</sub>-N が残留するようになると N<sub>2</sub>O の発生が増えるといわれている。まずは、好気槽内での NO<sub>2</sub>-N の分布を調べた。好気槽内の NO<sub>2</sub>-N は、窒素 (NH<sub>4</sub>-N) の負荷によって異なる。その様子を図 2 に示す。

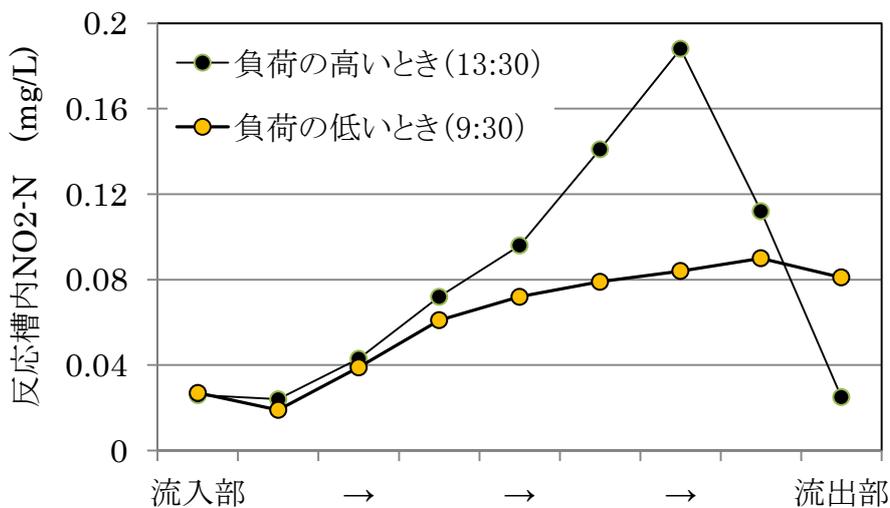


図 2 好気槽内での NO<sub>2</sub>-N の変化

好気槽の流入部の  $\text{NO}_2\text{-N}$  は低く、下流に進むに従い上昇するが、出口付近では、また低下する。好気槽中央付近での  $\text{NO}_2\text{-N}$  の増加は、負荷の低いときと高いときで異なり、負荷が高い時間帯では、 $\text{NO}_2\text{-N}$  が高くなる傾向がみられる。

また、同じ時間帯でも  $\text{NO}_2\text{-N}$  は周期的に変動することがある。図3に平成22年1月～23年2月までの4系処理水の  $\text{NO}_2\text{-N}$  の推移を示す（日常試験における測定値）。当センターの4系処理水の  $\text{NO}_2\text{-N}$  は、調査を開始した22年2月頃には比較的高い日が多かったが、その後は、やや低下している。その原因については後に述べる。

排ガスの  $\text{N}_2\text{O}$  が検出された日について、反応槽内の  $\text{NO}_2\text{-N}$  と排ガス中の  $\text{N}_2\text{O}$  の関係を図4に示す。

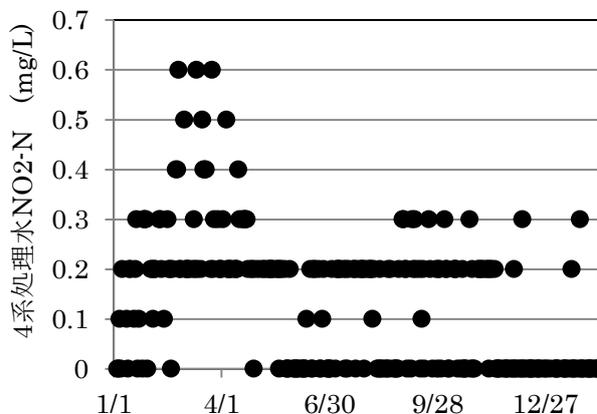


図3 4系処理水  $\text{NO}_2\text{-N}$  の推移

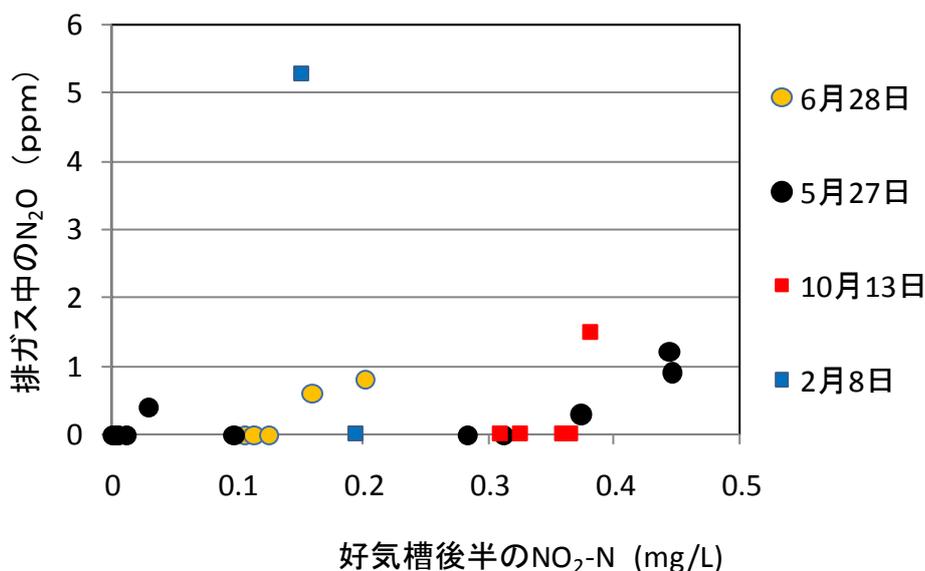


図4 反応槽内  $\text{NO}_2\text{-N}$  濃度と排ガス中の  $\text{N}_2\text{O}$  の関係

同一の測定日では、反応槽内の  $\text{NO}_2\text{-N}$  が高くなるほど、 $\text{N}_2\text{O}$  濃度も高くなる傾向がみられる。しかし、2月8日のように例外もみられる。通常、 $\text{NO}_2\text{-N}$  の高い時間帯は  $\text{NO}_3\text{-N}$  も高くなっているが、2月8日の2つのデータ（■）は、逆転していた。このため、 $\text{N}_2\text{O}$  が高くなっている時間帯では  $\text{NO}_3\text{-N}$  生成量が高く、この影響によって  $\text{N}_2\text{O}$  の発生量が多かったと考えられる。

$\text{NO}_3\text{-N}$  と  $\text{N}_2\text{O}$  の相関については、21年度の調査の際にも確認された。流入水の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の濃度は、昼間の時間帯に変動が大きくなることから『好気槽出口の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度』を『その時間帯の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の生成量』の指標とすることは不適當と考えられる。そこで、好気槽を9等分に分割してその後半（4～9区画）の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の合計量を指標として使用する。好気槽後半の  $\text{NO}_3\text{-N}$  合計量と  $\text{N}_2\text{O}$  排出量の関係を図5に示す。

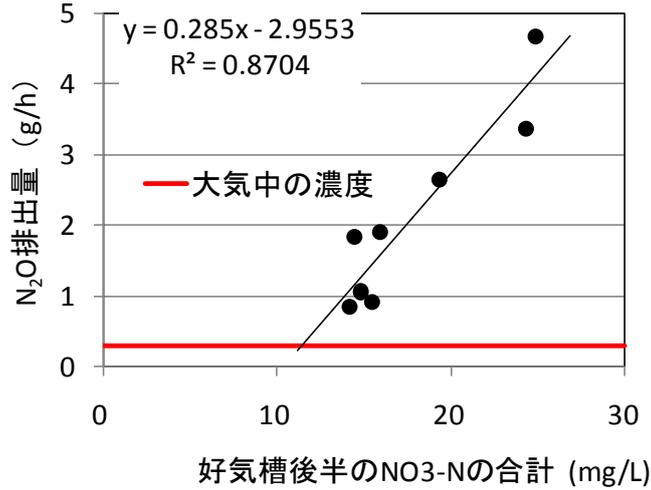


図 5 NO<sub>3</sub>-N 生成量と N<sub>2</sub>O ガス排出量との関係

両者には、正の相関が認められ、NO<sub>3</sub>-N 生成量が多くなるほど N<sub>2</sub>O 排出量が多くなる事が分かる。注目すべき点として、好気槽後半部での NO<sub>3</sub>-N 合計量が、12mg/L 程度で N<sub>2</sub>O の排出量がほぼゼロになることである。すなわち、NO<sub>3</sub>-N の生成量を制御することで、N<sub>2</sub>O 排出量の削減が可能と考えられる。逆に、条件によっては、大幅に増大する危険性もあるといえる。

NO<sub>2</sub>-N の影響についてさらに詳しく調べるため、A<sub>2</sub>O 施設が 2 系列ある浅川水再生センターに調査・協力を依頼した。浅川の A<sub>2</sub>O 施設は、3-1 系と 3-2 系に分かれ、両系列ともに反応槽の構造は同じで処理水量もほぼ同じ状態であるが、3-2 系側の処理水の NO<sub>2</sub>-N がやや高い状態であった。(3-2 系の空気量が少なかったことが原因と思われる。) 好気槽内の形態別窒素濃度の測定は、それぞれの好気槽を 8 等分にして行った。NO<sub>2</sub>-N の低い系列 (3-1 系) の好気槽内の形態別窒素の分布と N<sub>2</sub>O 排出量を図 6 に、NO<sub>2</sub>-N が比較的高い 3-2 系の状況を図 7 に示す。

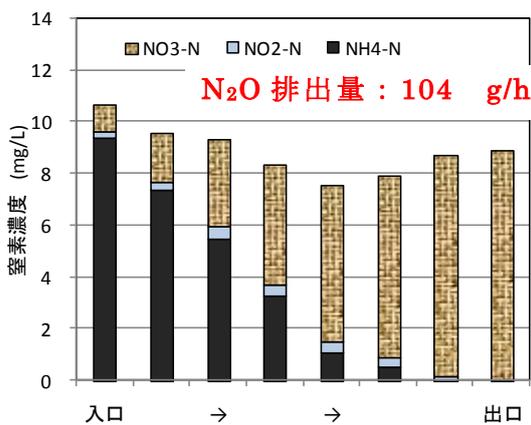


図 6 硝化の状態と N<sub>2</sub>O 排出量  
(NO<sub>2</sub>-N が低い状態)

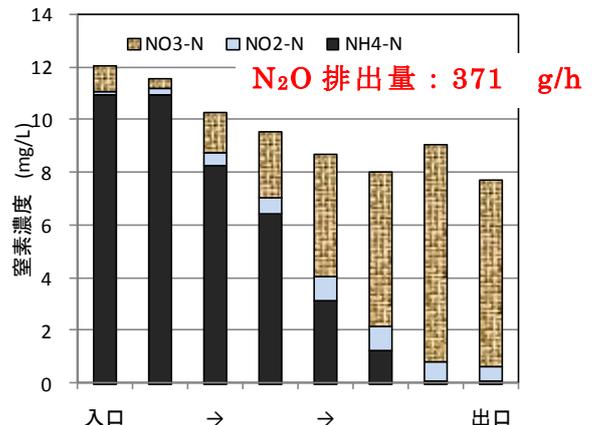


図 7 硝化の状態と N<sub>2</sub>O 排出量  
(NO<sub>2</sub>-N が高い状態)

図 6 では、好気槽内での NO<sub>2</sub>-N の最大値が 0.5mg/L で、図 7 では、1mg/L であっ

た。両者の N<sub>2</sub>O 排出量には 3.6 倍の差がある。データ数が少ないため、定量的な評価はまだできないが、反応槽内で NO<sub>2</sub>-N の濃度が一定レベルを超えると N<sub>2</sub>O 排出量が急増する可能性が示唆された。

### 5. 水温と N<sub>2</sub>O の関係

調査期間中の N<sub>2</sub>O 測定結果を表 1 にまとめた。

表 1 N<sub>2</sub>O 測定結果一覧

測定日	2/18	2/25	3/3	3/18	5/27	6/28	6/29	7/7	10/6	日平均	10/13	日平均	1/5	日平均	1/12	日平均	2/1	日平均	2/8	日平均
水温	18.6℃	19.7℃	19.6℃	19.6℃	20.9℃	24.7℃	24.8℃	25.2℃	24.9℃		24.2℃		19.6℃		19℃		19℃		19.5℃	
8:30	0.9				0.4															
9:30	1.1				<0.2			<0.2												
10:30	0.8				<0.2	<0.2	<0.2													
11:30	1.8	7.33			<0.2			<0.2												
12:30	1.9				<0.2	<0.2	<0.2													
13:30	2.6		1.24		<0.2			<0.2							<0.2					
14:30	3.4			8.47	<0.2	<0.2	<0.2						<0.2	<0.2	<0.2		<0.2		<0.2	
15:30	4.7				0.3			<0.2			<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		<0.2		<0.2	
16:30					0.9	0.8	<0.2				<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		<0.2		5.3	
17:30					1.2			<0.2	<0.2		<0.2						<0.2			
18:30					<0.2	0.6	<0.2		<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		2.1		<0.2		1.3
19:30									<0.2		<0.2									
20:30									<0.2		<0.2									
翌日 8:30									<0.2		<0.2									
9:30															<0.2					
10:30									<0.2											
11:30															<0.2					

表 1 から、水温の低い季節に N<sub>2</sub>O が検出されやすいことが分かる。この結果を図 3 に重ね合わせたのが図 8 である。

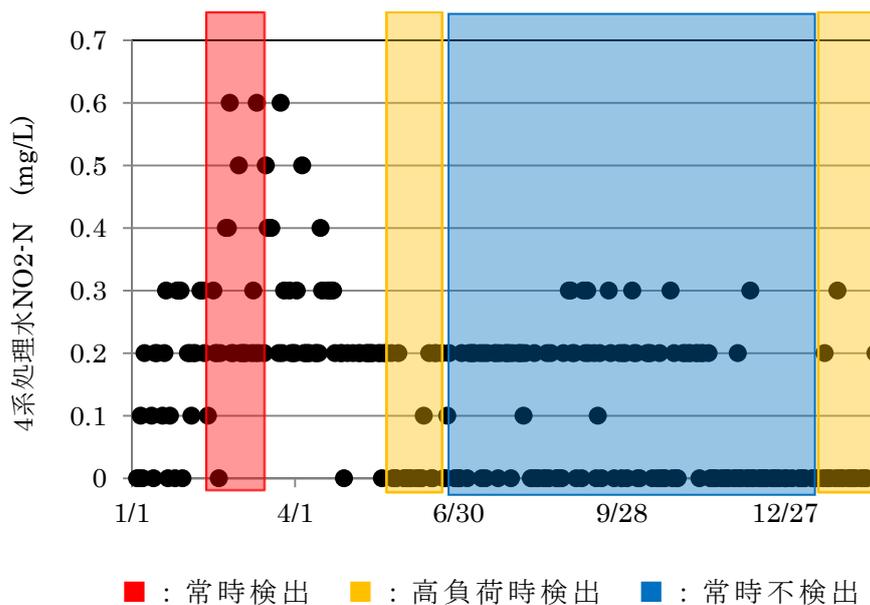


図 8 処理水 NO<sub>2</sub>-N と反応槽での N<sub>2</sub>O 検出状況

処理水の NO<sub>2</sub>-N が 0.5mg/L 前後のときは、全ての時間帯で N<sub>2</sub>O が検出されるが、NO<sub>2</sub>-N が 0.3mg/L 程度以下になると N<sub>2</sub>O の発生量が減少する傾向がみられる。

## 6. N<sub>2</sub>O 発生メカニズム

### 6. 1 硝化反応と N<sub>2</sub>O の発生

好気槽内での NO<sub>2</sub>-N の挙動を知るため、回分試験での硝化反応時の NO<sub>2</sub>-N および NO<sub>3</sub>-N（以下、NO<sub>x</sub>-N で表す）の挙動を図 9 に示す。

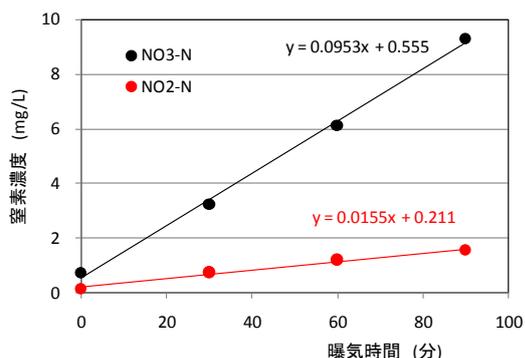


図 9 硝化反応時の NO<sub>x</sub>-N の挙動

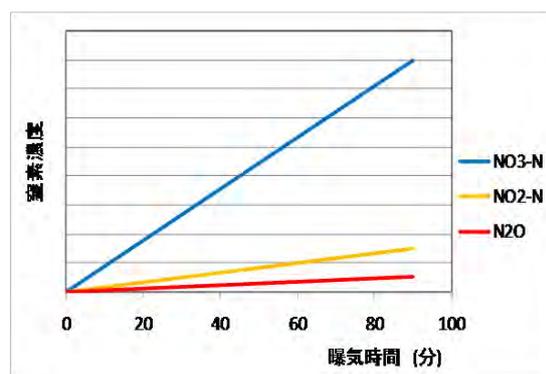


図 10 硝化反応時の形態別窒素の挙動  
(イメージ)

図 9 から、硝化の進行とともに、NO<sub>2</sub>-N および NO<sub>3</sub>-N が増加することが分かる。また、両者の増加速度は一定であり、NO<sub>2</sub>-N は、0.0155mg/L/分の速度で活性汚泥混合液に蓄積していく。ここで、硝化の過程で生成する N<sub>2</sub>O も同様に増加すると仮定すると、図 10 のように、曝気時間とともに N<sub>2</sub>O も増加していくことになる。すなわち、NO<sub>2</sub>-N および NO<sub>3</sub>-N 増加とともに N<sub>2</sub>O が排出されることになる。なお、図 9 は、活性汚泥混合液を採取して曝気していることから、硝化に必要な酸素が十分に存在する状態での反応である。図 1 において、DO が低い好気槽の前半部分の N<sub>2</sub>O の発生が少ないことから、実施設においては酸素濃度が低いため、NO<sub>3</sub>-N の増加に対して、N<sub>2</sub>O の生成は抑制されていると考えられる。逆に、負荷量が高い状態では、曝気空気量が増大して、DO が高くなりがちである。表 1 で示したように、負荷の高い水を処理している夕方頃 N<sub>2</sub>O 濃度が上昇するのはこのためと考えられる。

### 6. 2 NO<sub>2</sub>-N と N<sub>2</sub>O の発生

これまでの調査結果から、反応槽内において NO<sub>2</sub>-N 濃度が高くなると、N<sub>2</sub>O の発生も増加する傾向が確認された。このため、混合液中の NO<sub>2</sub>-N が N<sub>2</sub>O 発生に及ぼす影響を次のような実験によって確認した。

嫌気槽出口、無酸素槽出口、好気槽出口の活性汚泥混合液を採取し、それぞれ曝気する。曝気開始 15 分後から 35 分後までの 20 分間に、混合液から排出されるガス中の N<sub>2</sub>O の平均濃度を測定した。また、これとは別に、好気槽出口から採取した混合液については、NO<sub>2</sub>-N が 6mg/L 程度になるよう NO<sub>2</sub>-N の標準液を添加した後に、同様の操作を行い N<sub>2</sub>O 濃度を測定した。実験結果を図 11 に示す。図 11 では、NO<sub>2</sub>-N および NO<sub>3</sub>-N については、N<sub>2</sub>O 測定試料採取時間帯での増加量をプロットしている。

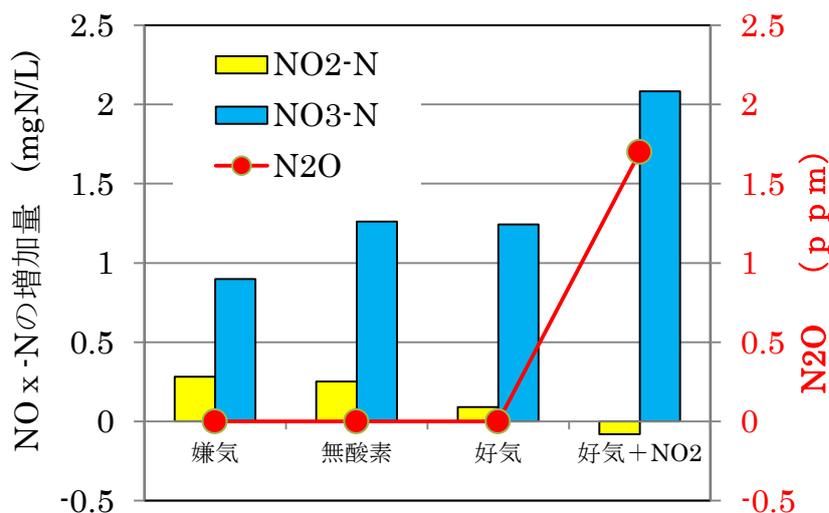


図 11 反応槽各地点から採取した混合液を曝気したときの形態別窒素の挙動  
各地点において採取した試料を曝気すると、NO<sub>2</sub>-NおよびNO<sub>3</sub>-Nは増加しており、特に、好気槽出口の混合液に NO<sub>2</sub>-N を添加したものでは NO<sub>3</sub>-N の増加が著しい。しかし、NO<sub>2</sub>-N では、好気槽出口の混合液に NO<sub>2</sub>-N を添加したものでは減少しており、NO<sub>2</sub>-N から NO<sub>3</sub>-N の酸化が活発になっていることが分かる。これに対して、N<sub>2</sub>O 濃度は、好気槽出口の混合液に NO<sub>2</sub>-N を添加したものの以外では、検出されなかった。硝化に伴う N<sub>2</sub>O の発生については、図 12 に示すように NO<sub>2</sub>-N が NO<sub>3</sub>-N に変化する過程で生成されるといわれている。

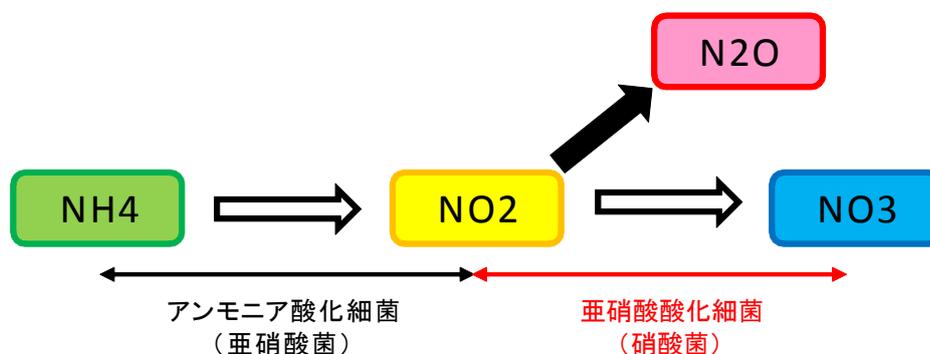


図 12 硝化反応と N<sub>2</sub>O の発生

図 11 から、混合液中に NO<sub>2</sub>-N が豊富に存在するとき、N<sub>2</sub>O が発生しやすいといえる。通常、好気槽内での NO<sub>2</sub>-N は比較的低いため、亜硝酸酸化細菌（硝酸菌）の活動は、NO<sub>2</sub>-N 濃度によって制約を受けていると考えられるが、NO<sub>2</sub>-N が一定レベル以上の状態では、亜硝酸酸化細菌の活動が活発になるため、N<sub>2</sub>O の発生量が増えると考えられる。

## 7. N<sub>2</sub>O の排出を抑制する運転方法

### 7. 1 高負荷運転による全窒素除去率の向上

これまでの実態調査から、N<sub>2</sub>O の排出抑制策として、好気槽内での NO<sub>3</sub>-N および NO<sub>2</sub>-N を低くすることが重要と思われる。まず、NO<sub>x</sub>-N を低減する方法として、BOD

容積負荷を高めた運転（高負荷運転）によって、硝化にかかわる窒素量を低くすることが挙げられる。BOD 容積負荷が高くなるほど余剰汚泥によって除去される窒素の割合が上昇する。すなわち、反応槽に流入した窒素のうち、硝化に関与する窒素を減少させることができる。これに加えて、処理水に  $\text{NH}_4\text{-N}$  を少し残すことによって、好気槽内での脱窒の割合が上昇し、反応槽内の  $\text{NO}_x\text{-N}$  を低下させることができる。

## 7. 2 好気槽内での曝気空気量の調節

曝気空気量の管理を徹底した実施設では、好気槽の前半部分において溶存酸素の低い状態が維持されているため、硝化と脱窒が同時に進行していると考えられる。その様子を図 13 に示す。

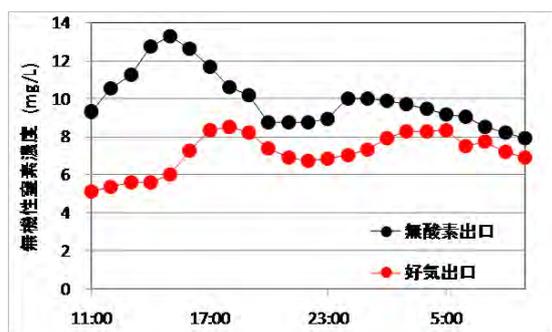


図 13 無機性窒素の推移

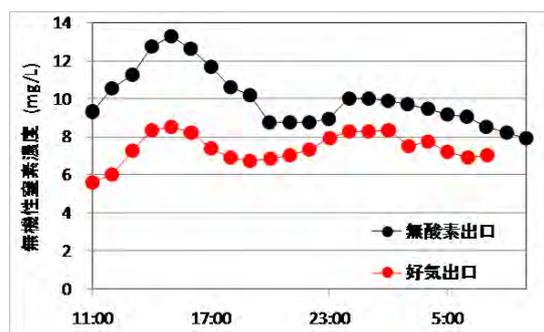


図 14 好気槽内での脱窒状況

図 13 から、無酸素槽出口と好気槽出口では、好気槽出口の方が窒素濃度は低くなっている。滞留時間を考慮してピーク時間を合わせたものが図 14 である。全ての時間帯で好気槽内において脱窒していることが分かる。また、窒素濃度の高い時間帯（負荷の高い時間帯）で両者の差が大きく脱窒量も多いことが分かる。

図 1 で、好気槽の前半部分では、 $\text{N}_2\text{O}$  の発生が少ないことが示されている。好気槽内での脱窒反応は、この部分で発生していると考えられることから、負荷量に応じて、曝気空気量を適正に行うことで、 $\text{T-N}$  除去率の向上とともに  $\text{N}_2\text{O}$  の発生も抑制されることが考えられる。ただし、多くの施設で導入されている  $\text{DO}$  制御では、負荷の低い時間帯でも一定の  $\text{DO}$  が維持されるため、過剰な空気によって好気槽内での脱窒が阻害される可能性がある。一方、アンモニア制御では、 $\text{DO}$  にかかわらず  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度によって曝気空気量が制御されることから原理的に  $\text{N}_2\text{O}$  発生の抑制効果がある程度望めると考えられる。

## 7. 3 ピークカット運転

多くのセンターでは、午前 9～12 時頃、流入水量が増大するとともに  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度も上昇する。このピークをカットして、 $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度が低下する時間帯に返水して処理することで、処理水の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の上昇が抑制できると考えられる。ピークカットの原理を図 15 に示す。

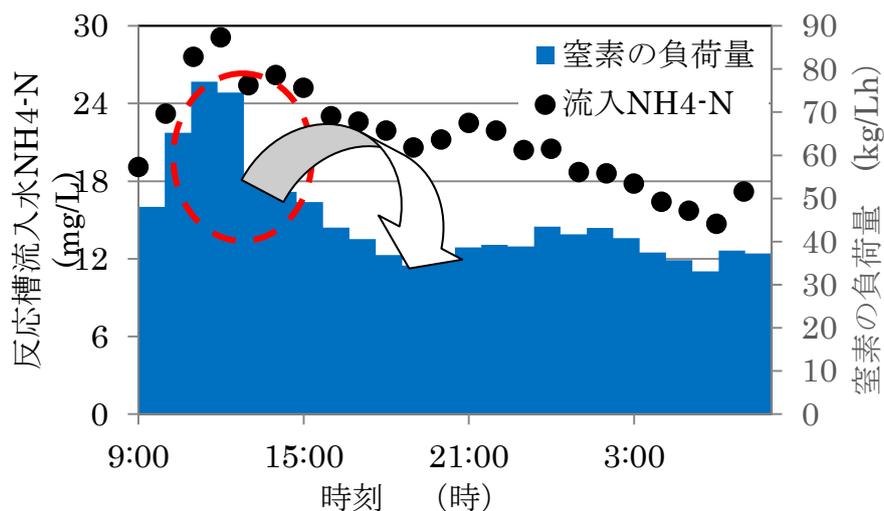


図 15 ピークカット運転の方法

反応槽の  $\text{NH}_4\text{-N}$  は、12 時頃ピークになる。通常の運転では、この時間帯の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の負荷は、低い時間帯の 2 倍程度になるため、この時間帯の水が好気槽後半に達する夕方頃  $\text{NO}_2\text{-N}$  および  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度が上昇し、 $\text{N}_2\text{O}$  の発生量も多くなる（表 1 参照）。図 15 に示したように、窒素負荷のピークをカットすることで、 $\text{NO}_2\text{-N}$  の上昇を抑え、 $\text{N}_2\text{O}$  の発生量も減少すると考えられる。本調査では、10 月、1 月、2 月の 3 回、『ピークカット運転を行ったとき』と『通常の運転時』の  $\text{N}_2\text{O}$  発生量を比較した。表 1 に示した  $\text{N}_2\text{O}$  測定結果の一覧の中で、この部分について抜粋したものを、次の表 2 に示す。

表 2 ピークカット運転と通常運転での  $\text{N}_2\text{O}$  の比較

測定日	10/6	日平均	10/13	日平均	1/5	日平均	1/12	日平均	2/1	日平均	2/8	日平均
水温	24.9℃		24.2℃		19.6℃		19℃		19℃		19.5℃	
8:30												
9:30												
10:30												
11:30												
12:30												
13:30							<0.2					
14:30					<0.2		<0.2		<0.2		<0.2	
15:30			<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2	
16:30			<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		5.3	
17:30	<0.2		<0.2						<0.2			
18:30	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		2.1		<0.2		1.3
19:30	<0.2											
20:30	<0.2											
翌日 8:30	<0.2											
9:30							<0.2					
10:30	<0.2											
11:30							<0.2					

ピークカット運転実施

表 2 からピークカット運転を行ったときには、全てのデータで  $\text{N}_2\text{O}$  が検出されていない。一方、通常運転では、水温が比較的高かった 10 月には、検出されなかったが、1 月と 2 月はともに  $\text{N}_2\text{O}$  が検出されており、ピークカット運転によって、 $\text{N}_2\text{O}$  発生が抑制できたといえる。

#### 7. 4 遠心濃縮分離機による SS 回収率の向上

図 8 に示したように、平成 21 年 2 月から 4 月頃まで処理水の  $\text{NO}_2\text{-N}$  がやや高い状態が続いた。この原因として、遠心濃縮分離液の SS 濃度の上昇が考えられる。遠心濃縮機の運転状況と反応槽流入水の N-BOD の関係を図 16 に示す。

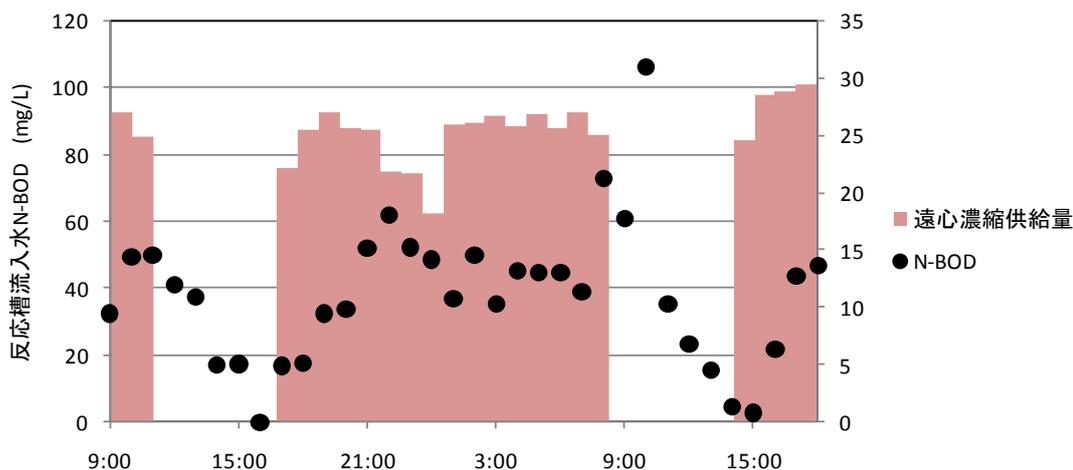


図 16 遠心濃縮機の運転状況と反応槽流入水 N-BOD の関係 (平成 22 年 2 月調査)

処理水の  $\text{NO}_2\text{-N}$  が高かった平成 22 年 2 月に遠心濃縮機を間欠運転し、その間の反応槽流入水の N-BOD を測定したのが、図 16 である。遠心濃縮機を停止すると (遠心濃縮供給量がゼロの時間帯)、N-BOD が低下していく。運転を再開すると、また上昇する周期が確認できる。すなわち、遠心濃縮分離液に含まれる SS (活性汚泥) が水処理に返流水として流入し、反応槽に硝化細菌を植種していると考えられる。ここで問題になるのは、硝化細菌の活性試験の結果から、反応槽に流入している硝化細菌のほとんどがアンモニア酸化細菌 (亜硝酸菌) であることである。硝化細菌は、水温の低下によってその活性が著しく低下することが知られている。このため、反応槽へのアンモニア酸化細菌の流入が一定レベルを超えると、活性汚泥中のアンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌のバランスが崩れて、 $\text{NO}_2\text{-N}$  の蓄積が著しくなると考えられる。平成 22 年 1 月～4 月頃まで反応槽流入水の N-BOD が高くなっており、この頃  $\text{NO}_2\text{-N}$  が蓄積しやすい状態であったと思われる。

平成 22 年度からは、遠心濃縮機のダム堰の高さを汚泥性状の変化に合わせて、変更していることから反応槽へのアンモニア酸化細菌の植種量が減少して、反応槽および処理水の  $\text{NO}_2\text{-N}$  が低下したと考えられる。結果として、 $\text{N}_2\text{O}$  の発生量も 21 年度よりも減少したと考えられる (図 17 参照)。

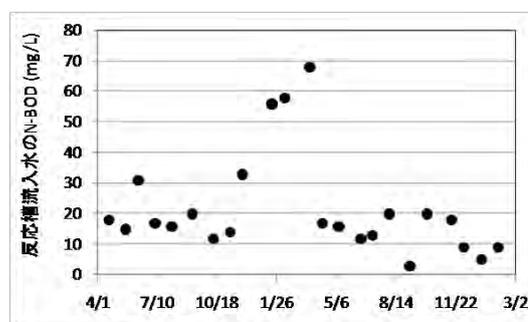


図 17 反応槽流入水の N-BOD の推移

## 8. 処理方式の選定

処理方式別の  $\text{NO}_2\text{-N}$  の蓄積性を比較するため次の実験を行った。嫌気槽出口および無酸素槽出口においてそれぞれ活性汚泥混合液を採取して、硝化速度を測定した結果を図 18 に示す。

嫌気槽出口で採取した混合液の方が、無酸素槽で採取したものより  $\text{NO}_2\text{-N}$  の蓄積量が大きかった。すなわち、AO 法が  $\text{A}_2\text{O}$  法よりも好気槽内で  $\text{NO}_2\text{-N}$  が蓄積しやすいと考えられる。その要因として、混合液に含まれる硝化細菌の活性の差が考えられる。そこで、反応槽をほぼ均等に分割して、各地点における上澄液について、 $\text{NO}_2\text{-N}$  の蓄積性を調べた。図 19 に結果を示す。 $\text{NO}_2\text{-N}$  の蓄積性は、平成 21 年度に報告した『硝化細菌の活性試験方法』<sup>1)</sup> により行った。図 19 で、嫌気槽で採取した上澄水の  $\text{NO}_2\text{-N}$  の蓄積性が最も高く、好気槽の出口付近が最も低くなっている。図 17 で、無酸素槽では、上流側で低く、無酸素槽出口付近で高くなる傾向がある。すなわち、ORP の低下に伴い  $\text{NO}_2\text{-N}$  の蓄積性が増える。これは、亜硝酸菌（アンモニア酸化細菌）が嫌気状態では、より活動しやすい環境を求めて活性汚泥粒子から離れ浮遊し始めるためと考えられる。結果として、図 18 の嫌気槽で採取した混合液のように曝気開始から亜硝酸菌の活性が高く、 $\text{NO}_2\text{-N}$  が蓄積しやすくなるのではないかとと思われる。これらの結果から、活性汚泥が嫌気状態になりにくい処理方式が  $\text{NO}_2\text{-N}$  の蓄積性が低く、 $\text{N}_2\text{O}$  排出量も少なくなる傾向があると考えられる。具体的には、循環式硝化脱窒法 <  $\text{A}_2\text{O}$  法 < AO 法（疑似 AO 法）で、この順番は、処理水 T-N が低くなる順番とも合致する。ただし、本実験では各処理方式での生物叢の変化が反映されていないため、実施における詳細な調査を待って結論を出すべきである。

## 9. まとめ

反応槽からの  $\text{N}_2\text{O}$  の発生を調査したところ、得られた結果は次のとおりである。

- 硝化に伴う  $\text{N}_2\text{O}$  の発生が多い（比較的負荷の高い運転のときで、負荷が低下すると脱窒に伴う発生が増える可能性がある）。
- 好気槽前半部分での  $\text{N}_2\text{O}$  の発生が少ない（このエリアでは、酸素が欠乏する状態で、硝化と脱窒が同時に進行していると考えられる）。
- $\text{NO}_2\text{-N}$  が一定レベル以上になると  $\text{N}_2\text{O}$  の発生量が増加する。
- 水温が低くなると  $\text{N}_2\text{O}$  が発生しやすい。

これをもとに  $\text{N}_2\text{O}$  排出量を抑制する運転方法としては、以下のものが考えられる。

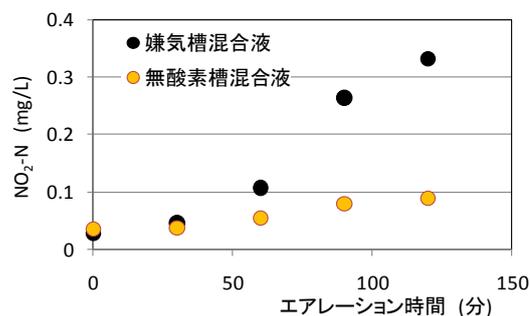


図 18  $\text{NO}_2\text{-N}$  の蓄積性の違い

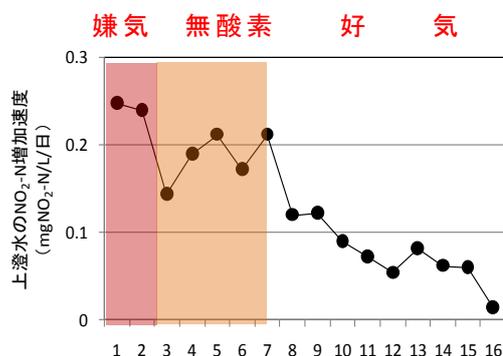


図 19 反応槽の採取場所と  $\text{NO}_2\text{-N}$  の蓄積性

1. 比較的負荷の高い運転を行う。
2. 硝化に必要な最低限度の空気量に調整する（アンモニア制御が有利）。
3. 窒素負荷量のピークカット運転を行う。
4. 反応槽へのアンモニア酸化細菌の植種量を少なくするため、遠心濃縮機の SS 回収率を向上させる。

#### 参考文献

- 1) 葛西孝司：硝化細菌活性試験方法と亜硝酸蓄積型硝化の調査例、平成 21 年度水質管理研修事例研究発表論文集（東京都内部資料）

## 2-(3)-1 窒素低減対策の一手法 ～雨天時貯留池の晴天時活用について～

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 運転管理係 入江 千尋

### 1 背景

芝浦処理区は、千代田・中央・港・新宿・渋谷という都心区を抱え、昼間人口が多いという地域特性がある。近年は、処理区内での商業施設の開発に伴い、昼間の来街者の増加も著しい。このため、流入下水量は昼間に多く夜間は少なくなるので、昼夜間の変動幅が大きい（図-1）。

また、芝浦水再生センター（以下「当センター」とする。）の流入下水には、昼間人口の影響で大量のアンモニアが含まれており、その全窒素濃度は、区部水再生センター平均 30mg/L 程度に比べて 1.5 倍ほど高い（図-2）。

一方、当センターには、1 日の流入下水量の変動を平準化できる施設（貯留池）や、窒素を効率よく除去できる A<sub>2</sub>O 施設がないことから、安定した窒素除去運転が困難な状況である。

これまでは、窒素対策として流入幹線内で貯留を行い、昼間の水処理負荷の軽減を図ってきた。さらに、窒素除去に効果がある硝化促進運転や東系処理施設への微細気泡散気装置の導入などを行ってきたが、依然として放流水中の全窒素濃度は高水準で漸増傾向にある。図-3 は、冬期における放流水全窒素濃度の経年変化と将来予測であり、規制基準（30mg/L: 都民の健康と安全を確保する環境に関する条例）の遵守が危ぶまれる状況にあることが分かる。

昼夜間水量の平準化を図るためのピークカット貯留池（図-1 より容量 5 万 m<sup>3</sup> 程度）が整備されると、窒素対策として大きな効果が期待できるが、建設には長い期間を要する。

そこで、当面の対策の一つとして、合流改善用の既設雨天時貯留池（容量約 1.6 万 m<sup>3</sup>）の活用を検討した。これは、晴天時、流入下水量が増加する昼間の時間帯（以下「ピ

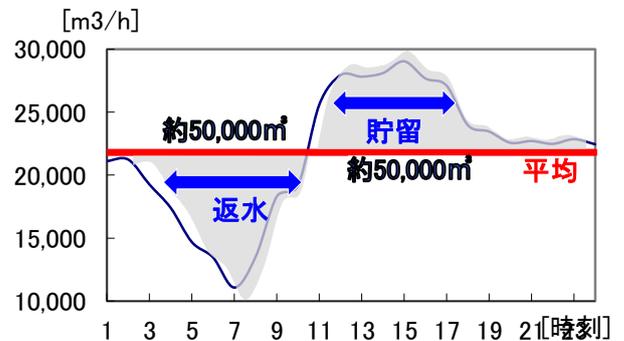


図-1 流入下水量の変動  
(本系・西系合計 H21.2 晴天日平均)

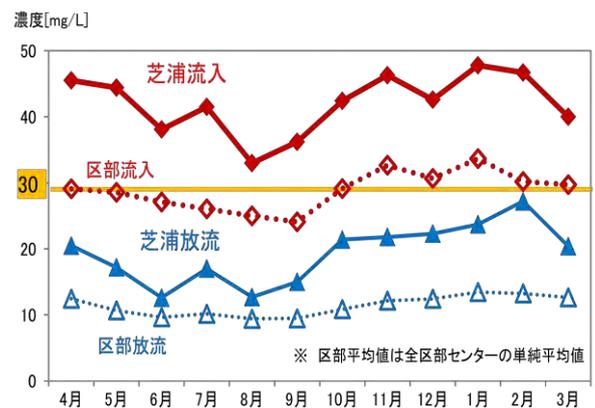


図-2 流入水全窒素濃度 (H20 年度)

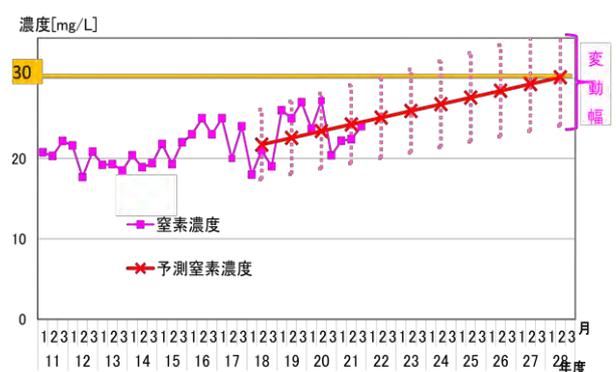


図-3 放流水全窒素濃度経年変化 (1～3 月)

ーク時間帯」とする。)の流入下水を雨天時貯留池に一時貯留し、夜間に返水して処理を行うものである。

## 2 本系深槽反応槽の流入量平準化

当センターの反応槽には、本系深槽・本系浅槽・西系・東系の4系列がある。東系を除く3系列については、第一沈殿池入口及び反応槽入口の導水渠を介して流入水が分配されている(図-4)。なお、本系深槽反応槽の処理能力は、全体の約半分を占めている。

本系浅槽反応槽及び西系反応槽は、流入量がほぼ一定になるように流入扉を調整している。したがって、昼夜間水量の変動は、本系深槽反応槽の流入量に大きく影響する(図-5)。

その結果、本系深槽反応槽は滞留時間が不足し、冬期に硝化が進まないなど水質悪化の原因となっている。

そこで、今回の取組では、雨天時貯留池の活用で本系深槽反応槽の流入量をどの程度平準化でき、どれだけ窒素低減に寄与できるか検証し、その有効性を確認した。

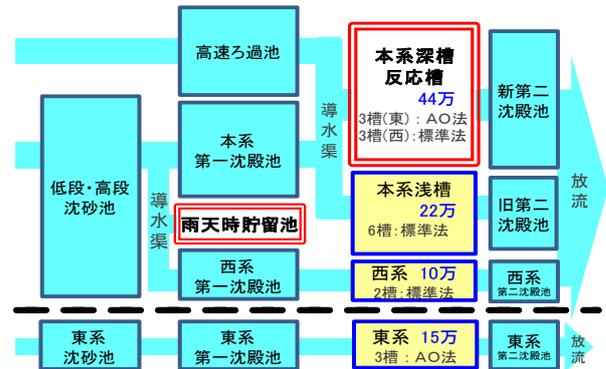


図-4 反応槽別フロー  
(数字は処理能力 [m³/日])

## 3 窒素低減効果の見込み

一般的な硝化促進条件の一つに、十分な好気部汚泥滞留時間の確保がある。

標準活性汚泥法・嫌気好気活性汚泥法(AO法)の滞留時間(HRT)は、6~8時間必要であり、最初の数時間は有機分の分解が主で、硝化のほとんどは後半の時間帯に集中している。

しかし、放流水全窒素濃度が高くなる冬期の晴天日、ピーク時間帯(平成21年2月、11~17時)において、本系深槽反応槽の滞留時間(※1)は約4時間しかなく、硝化促進のための時間が不足している。

(※1 滞留時間[h]=反応槽有効容量[m³]/反応槽流出流量[m³/h]として求めた。以下同様。)

### 3.1 貯留による反応槽滞留時間の延長

まず、雨天時貯留池への貯留による反応槽滞留時間の延長効果を試算した。

雨天時貯留池の有効容量は、16,260m³である。ピーク時間帯は平均して5時間とする。1時間当たりのピークカット量は、

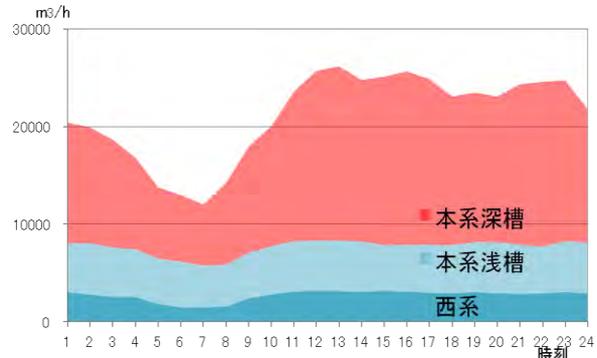


図-5 晴天時反応槽別処理水量 (H21.2)

表-1 本系深槽反応槽流入量(1槽当たり)と滞留時間

貯留なし		貯留あり		差[h] 延長時間
流量[m³/h]	時間[h]	流量[m³/h]	時間[h]	
2800	6.0	2260	7.5	1.4
3000	5.6	2460	6.9	1.2
3500	4.8	2960	5.7	0.9
4000	4.2	3460	4.9	0.7
4200	4.0	3660	4.6	0.6

Ave. 1.0 [h]

$$16,260[\text{m}^3] \div 5[\text{h}] = 3,250[\text{m}^3/\text{h}]$$

本系深槽反応槽は全 6 槽あるので、1 槽当たりの流入減少量は、

$$3,250[\text{m}^3/\text{h}] \div 6[\text{槽}] = 540[\text{m}^3/\text{h}]$$

本系深槽反応槽の有効容量は、1 槽当たり 16,890m<sup>3</sup>である。表-1 より、貯留開始に伴い、同反応槽の流入量が 1 槽当たり 540m<sup>3</sup>/h 減少すると、滞留時間は平均して 1 時間延長できることが見込める。

### 3.2 滞留時間の延長による窒素低減効果

#### (1) 計算上の窒素低減効果

本系深槽反応槽の滞留時間を 1 時間延長させた場合の窒素低減効果を試算した。

冬期の活性汚泥硝化速度を水質試験の実績値より 0.002mgN/mg<sub>ss</sub>・h と仮定し、MLSS 濃度を運転管理指標の 1,600mg/L とする。

反応槽出口での硝化量は、

$$1[\text{h}] \times 0.002[\text{mgN}/\text{mg}_{\text{ss}} \cdot \text{h}] \times 1,600[\text{mg}_{\text{ss}}/\text{L}] = 3.2[\text{mgN}/\text{L}]$$

現状より 3.2mg/L の硝化促進が期待できる。

返送汚泥率として一般値である 40% を適用すると、返送汚泥分は全て脱窒可能であり、

$$3.2[\text{mgN}/\text{L}] \times 0.4 = 1.28[\text{mgN}/\text{L}]$$

よって、計算上、約 1.3mg/L の窒素を低減できることになる。

#### (2) 実績データによる窒素低減効果

図-6 は、本系深槽反応槽の滞留時間と放流水全窒素濃度の相関を示している。実績データから、滞留時間を 1 時間延長させることで約 1.4mg/L の窒素低減効果を見込むことができ、(1)の試算結果とほぼ一致する。

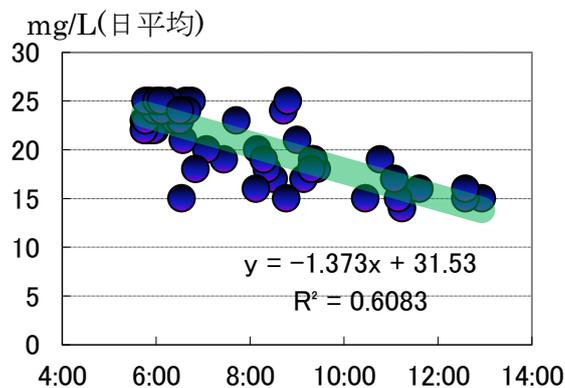


図-6 反応槽滞留時間と放流水全窒素濃度  
本系深槽反応槽滞留時間(日平均)  
H21年12月~H22年2月上旬  
(雨天の影響を除く)

図-6 反応槽滞留時間と放流水全窒素濃度

## 4 雨天時貯留池への晴天時貯留実験

雨天時貯留池は、汚濁負荷の大きい降雨初期の下水を貯留する合流改善施設として、平成 16 年度に第一沈殿池 2 池を転用して稼動した。流入扉は 2 池共通の 4 門、排水扉は各池 1 門 (計 2 門) あり、脱臭設備が第一沈殿池と共通で接続されている。

今回、雨天時貯留池への晴天時貯留を実験的に行い、本系深槽反応槽の流入量平準化の度合を検証した。

貯留実験は、平成 22 年 1 月、2 月、5 月に計 5 日間実施した (本系深槽反応槽は、平成 22 年 1 月、2 月は工事により 6 槽中 5 槽稼動、平成 22 年 5 月は全槽稼動。)

実験条件は、次のとおりである。

- (1) 受水量に降雨や降雪の影響がない晴天日に実施
- (2) ピーク時間帯 (午前 11 時~午後 6 時頃) に実施
- (3) 監視員による操作は貯留池流入扉の開閉のみ
- (4) 揚水はポンプ井水位一定制御

### 4.1 貯留池への流入量調整

3.1 節、第 1 式より、ピーク時間帯の約 5 時間で貯留を行うためには、3,300m<sup>3</sup>/h 程

度で貯留池へ流入させることが目標となる。

流入扉を4門同時操作では、1門当たりの可動範囲が狭くなり、流入量の微調整が難しかった。そこで、流入扉3門を全閉とし1門のみ使用し、流入量の微調整を行いながら、目標流量で貯留させることとした。

#### 4.2 本系深槽反応槽の流入量平準化

貯留池の流入扉開度を調整することにより、実際に本系深槽反応槽の流入量を平準化することができるか検証した。

##### (1) 流入扉開度を調整しない場合

まず、貯留池流入扉開度を一定にして貯留した(図-7(1))。ポンプ井水位一定制御による揚水量の変動により、反応槽流入量は大きく変動したが、ピーク流量を平均3,000m<sup>3</sup>/h程度抑制することができた。

##### (2) 流入扉開度を調整する場合

次に、揚水量変動の影響を抑え、本系深槽反応槽の流入量をより平準化させるため、操作員2名で反応槽流入量と揚水動向を注視しながら、分単位で貯留池流入扉の開度調整を行った(図-7(2))。その結果、ピーク流量を平均5,500m<sup>3</sup>/h程度抑制することができた。

ただし、この運用には、貯留池流入扉の頻繁な開閉による劣化対策や、監視員の操作が繁雑になるなどの課題があり、貯留池流入量の自動制御化等の対策が必要である。

#### 4.3 他系列反応槽への影響

雨天時貯留池へ貯留することによって、導水渠を共有する本系浅槽反応槽及び西系反応槽の流入量に影響が生じないか検証した。

##### (1) 本系浅槽反応槽の流入量

本系浅槽反応槽の流入扉は、反応槽導水渠水位により自動開度調整している。

そのため、貯留による流入量の変動は、ほとんど認められず、おおむね一定であった。

##### (2) 西系反応槽の流入量

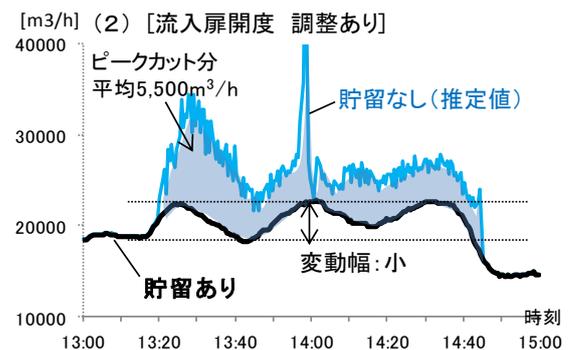
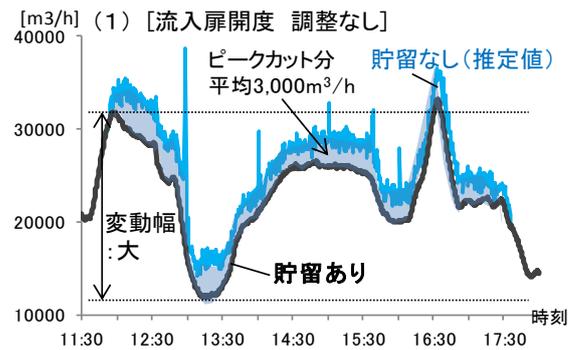
流入下水量の変動の大半は、西系第一沈殿池手前の本系第一沈殿池への流れ込みで吸収されるため、西系反応槽の流入扉は、一定開度で固定している。

貯留池流入量が、当初試算していた3,300m<sup>3</sup>/hに対し、一時的に7,000m<sup>3</sup>/h程度になると西系反応槽の流入量は減少したが、それ以下の場合には、ほとんど影響は認められなかった。

### 5 運用上の課題

#### 5.1 夜間返水時間の確保

雨天時貯留池からの返水流量は、返水路の構造上、最大で約2,100m<sup>3</sup>/hであり、満水時には8時間かかる。夜間の少水量時間帯は8時間なので、返水完了は可能である。特に受水量が少なくなるのは、そのうち約5時間であるため、返水を3時間短縮できれば



※ 貯留なし(推定値)は、貯留池貯留量の変化率から貯留流量を求め、実際の本系深槽反応槽流入量に加算して求めた。

更なる水量の平準化が可能となり時間的余裕もできるが、これには返水設備の改良が必要である（図-8）。

## 5.2 雨天時貯留池の洗浄実施

晴天時貯留は、窒素濃度が上昇する週明けから週末にかけて、数日間連続して行うことが想定される。返水後すぐに貯留を行う場合は、貯留池内部全体に水が流れ込むことで、洗浄と同様の効果が見込める。しかし、スカムが滞留する可能性はあるため、適切なタイミングで貯留池の洗浄を実施する必要がある。

現状 8 時間かかる返水の完了から、流入下水水量が増加し再び貯留を開始するまでの時間は、1～2 時間である。貯留池の自動洗浄には 12 時間を要するため、毎日連続して貯留を行う場合、自動洗浄工程を組み込むことはできない。

一方、土休日については、受水量が少なく硝化時間を確保できるため、晴天時貯留の必要性は低くなる（図-9）。したがって、週末に自動洗浄を実施することで、貯留池内部の洗浄の課題は解決できると考えられる。

## 5.3 雨天時貯留池本来の運用に対する影響

過去の雨天時貯留池への流入日数は、平均して雨期に月 5 日、乾期に月 4 日程度であった（図-10）。

雨天時は、流入下水の窒素濃度が低下し窒素対策の必要性が低くなるため、合流改善施設として本来の雨天時貯留を優先させることができる。

## 6 考察

実験結果から、ピーク時間帯 5 時間に雨天時貯留池を活用し、3,300m<sup>3</sup>/h 程度の晴天時貯留を実施しても、運転管理上の大きな問題はないことを確認した。例えば、窒素濃度が高まる月～金曜日に、12 時～17 時まで貯留、その後 1 時～9 時まで返水を繰り返す、土・日曜日に洗浄するといった運用パターンが考えられる。当面の窒素対策として、冬期の流入窒素濃度が上昇する晴天日などに雨天時貯留池を緊急的に活用することは、十分に可能である。

雨天時貯留池の晴天時活用を行うことで放流水全窒素濃度の低減が見込め、その効果は実績データより約 1.4mg/L と試算される。ただし、実際の効果については、ある程度の期間連続して実験を行い、水質データと照合しなければ検証できない。晴天時貯留の効果を裏付けるため、これからも水質管理係等と協力して調査を継続していく。

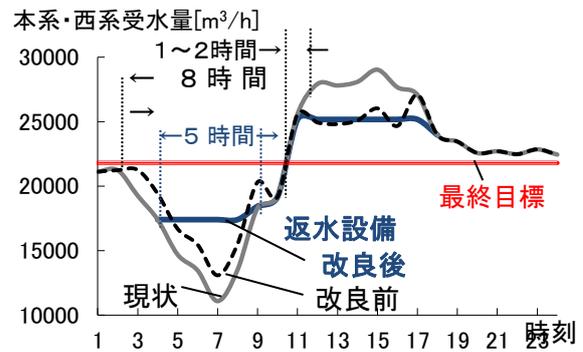


図-8 貯留池活用による平準化概念図

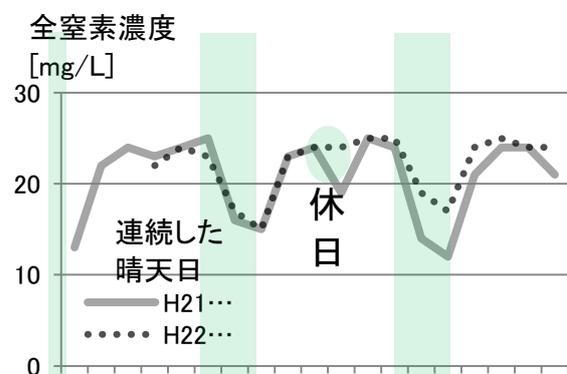


図-9 放流水全窒素濃度（日平均）の週変化

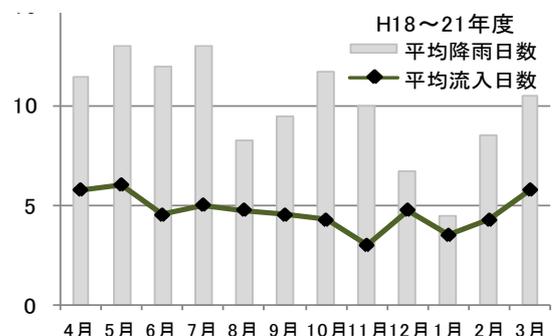


図-10 雨天時貯留池流入実績と降雨日数

また、通年で窒素低減効果を得るために、反応槽流入量に応じた雨天時貯留池流入量の自動制御化や返水ポンプを設置するといった返水方法の改善についても検討を続けていきたい。

## 7 参考文献

- (1) 芝浦水再生センターにおける亜硝酸型硝化の発生原因に関する検討（H21、芝浦水再生センター 水質管理係 山本央、太田裕誌、吉野喜春、長健太、竹尾義久、大江修平、石井英俊）
- (2) ちょっと教えて！高度処理（施設管理部 環境管理課 イントラネット）
- (3) 水質試験の基礎知識と水質管理（H6、社団法人日本下水道事業団）
- (4) 下水道維持管理指針 ポンプ所・処理場施設編－2003年版－（H15、社団法人日本下水道協会）

## 2-(3)-2 高負荷運転による水質改善および省エネルギー効果について

流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター 葛西孝司  
須川伊津代、渡瀬誠司、松下勝一

### 1. はじめに

21年度の制限曝気 A<sub>2</sub>O 法の調査<sup>1)</sup>の過程で、反応槽の BOD 容積負荷量が全窒素（以下、T-N）および全りん（以下、T-P）の除去に対して大きな影響を与えることが判明した。この結果をもとに、生物学的窒素りん同時除去法の効果的な運転方法について確立するとともにその効果を実際に検証した。

### 2. BOD 容積負荷と余剰汚泥発生量の関係

まず、余剰汚泥の発生量が T-N、T-P の除去性能に影響を与えていることが分かったので、最初に余剰汚泥発生量について記述する。水処理施設の設計では、余剰汚泥発生量は、流入水の SS および溶解性 BOD などから計算するようになっている。『下水道施設計画・設計指針と解説』に記述されている余剰汚泥発生量の計算式を式 1 に示す。

$$\text{余剰汚泥発生量 (kg/日)} = \text{流入水量 (m}^3/\text{日)} \times \{ a \times \text{溶解性 BOD (mg/L)} + b \times \text{SS (mg/L)} \} - c \times \text{MLSS (mg/L)} \times \text{好気槽容積 (m}^3) \quad \text{式 1}$$

ここで、a：溶解性 BOD の汚泥転換率 (0.4~0.6 g MLSS/gs-BOD)

b：SS に対する汚泥転換率 (0.9~1 : g MLSS/g SS)

c：汚泥の自己分解による減少係数 (0.03~0.05 : 1/日)

式 1 は、汚泥の発生源を流入水の溶解性 BOD および SS で、汚泥の減少量を自己分解する割合で表現している。水処理の原理から、様々な処理方式に当てはまる式であるが、一方で、a, b, c の係数が余剰汚泥発生量に大きく影響してくる。

これに対して、21年度の調査では、余剰汚泥発生量は、BOD 容積負荷量に左右されることが分かった。制限曝気 A<sub>2</sub>O 法および A<sub>2</sub>O 法について、BOD 容積負荷量に対する反応槽 1m<sup>3</sup> あたりの余剰汚泥発生量の関係を図 1 に示す。

制限曝気 A<sub>2</sub>O 法および A<sub>2</sub>O 法の共通の近似線から、ATU-BOD 容積負荷が約 0.08kg/m<sup>3</sup>/日以下では余剰汚泥が発生せず、それ以上の負荷では直線的に増大することが分かる。A<sub>2</sub>O 法施設の設計では、BOD 容積負荷は、おおよそ 0.2kg/m<sup>3</sup>/日程度になる。これに対して、1.5 倍程度の 0.3 kg/m<sup>3</sup>/日での運転では、余剰汚泥発生量は、約 1.9 倍となり、結果的に、単位処理水量あたりの余剰汚泥発生量が 3 割ほど多くなることを示している。すなわち、処理水量を増大させ、ATU-BOD 容積負荷を上げることで、処理水量当たりの余剰汚泥発生量が増大することになり、見方を変えると、こ

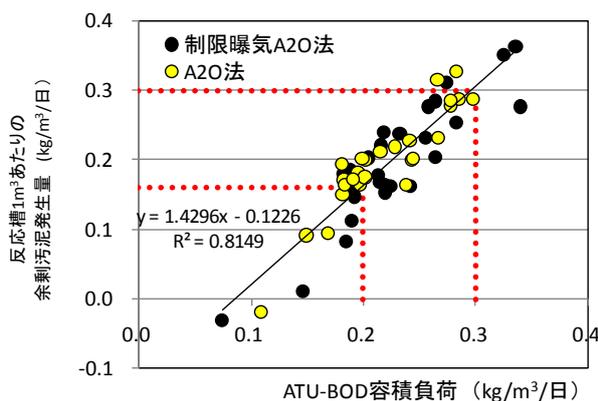


図 1 BOD 容積負荷量と余剰汚泥発生量

の余剰汚泥発生量の増大によって T-N 除去率および T-P 除去率の向上が期待できる。

### 3. BOD 容積負荷とりん除去の関係

活性汚泥に吸収されたりんは、余剰汚泥として系外に排除されることから、余剰汚泥発生量が多くなるほど、りん除去には有利といえる。余剰汚泥の発生量は、ATU-BOD 容積負荷と相関が高いことから、りん除去との関係について、図 2 で確認する。制限曝気 A<sub>2</sub>O 法と A<sub>2</sub>O 法ともに、一つの近似線付近に点が集まっており、両者には、りん除去の性能に大きな差がないといえる。また、図 2 の近似線を用いて、ATU-BOD 容積負荷から T-P の除去量を予測することができる。これを図示したのが図 3 である。りん除去量の近似線（実線）は、図 2 から得られた ATU-BOD 容積負荷に対する反応槽 1m<sup>3</sup> 当たりの T-P 除去量の近似線を示している。りんの流入量（破線）は反応槽流入水の ATU-BOD を 100mg/L、T-P を 3.5mg/L と仮定して、ATU-BOD 容積負荷を 0～0.4kg/m<sup>3</sup>/日にまで変化させたとき

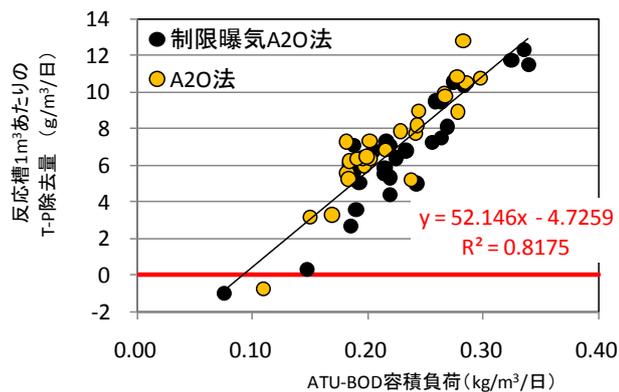


図 2 BOD 容積負荷量と反応槽 1m<sup>3</sup> 当たりの T-P 除去量

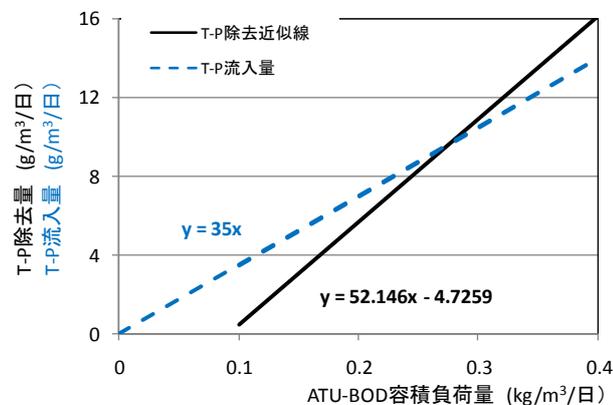


図 3 BOD 容積負荷量と反応槽 1m<sup>3</sup> 当たりのりん除去

の反応槽 1m<sup>3</sup> 当たりの T-P 流入量との関係を示している。りん除去量の近似線（実線）は原点を通過せず、りんの流入量（破線）よりも傾きが大きいため、両者の交点ができる（図 3 では、ATU-BOD 容積負荷量で 0.28kg/m<sup>3</sup>/日）。BOD 容積負荷がこれ以上の条件では、『りん除去量』 ≥ 『りんの流入量』となるため、りん除去が安定すると考えられる。なお、図 2 の近似線は、降雨時等のデータが含まれているため、降雨の影響のないときでは、T-P 除去量はやや上昇する。原理的には、処理水量を増大させ、BOD 容積負荷の高い運転を行うことで、りん除去が安定すると考えられる。

### 4. BOD 容積負荷と窒素除去の関係

窒素について、BOD 容積負荷量と余剰汚泥による T-N 除去率の関係を図 4 に示す。

ATU-BOD 容積負荷が高くなるほど余剰汚泥による窒素の除去率が上昇する傾向がみられ、窒素除去に対しても有利になることが分かる。

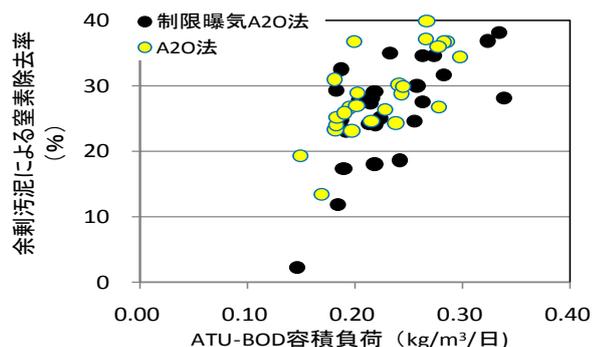


図 4 BOD 容積負荷と窒素除去率

## 5. 高負荷運転への変更

これまで述べてきたように、従来の A<sub>2</sub>O 法に比べて、処理水量を増大させ、高負荷で運転することで余剰汚泥の発生量は増大し、処理水の T-P、T-N とともに改善できると考えられる。また、この効果は、活性汚泥処理全般に共通し、標準法にも当てはまると考えられる。そこで、21 年 12 月から使用する反応槽をこれまでの 3 系列から 2 系列分に縮小して、各反応槽への負荷量を増大させた運転方法に切り替えた。具体的な変更内容を図 5 に示す。

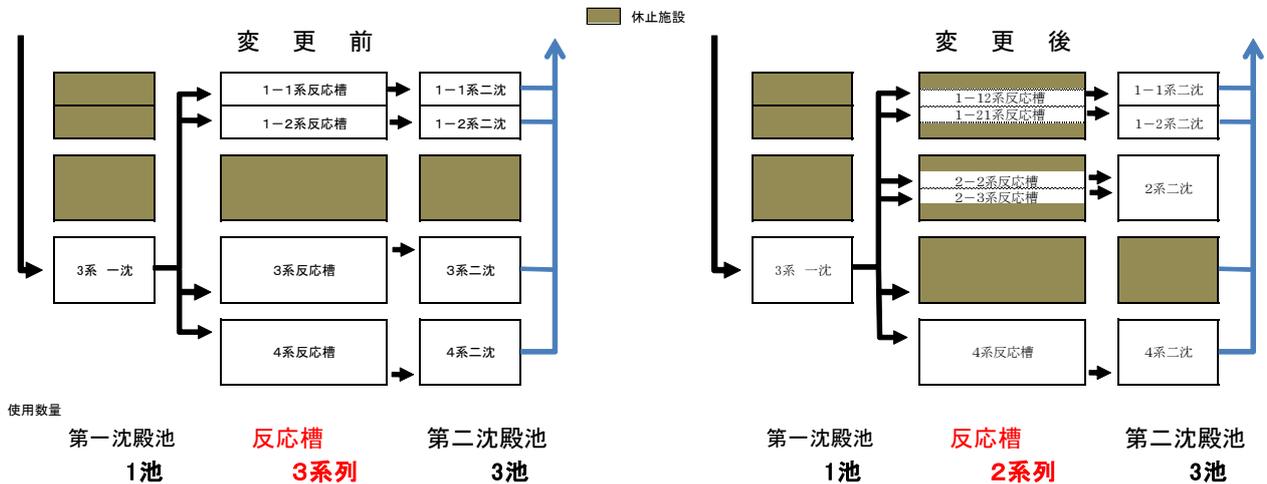


図 5 高負荷運転への切り替え

各系列への処理水量を増大させると二沈での汚泥の越流が懸念される。これまで使用していた 3 系反応槽は、4 回路の押し出し流れ構造であるため、反応槽内の一部を切り離して停止することはできないが、1 系および 2 系の反応槽は、4 つの水路にそれぞれ分かれているため、1 水路ずつ個別に運転することができる。このため、4 つある水路の中央 2 水路分のみを使用して、使用する二沈の数は変更せずに反応槽の容積を 2 / 3 に縮小する運転に切り替えた。この運転変更によって、反応槽の BOD 容積負荷は、5 割増大させることができ、かつ、反応槽に対する二沈容積が 2 倍になるため、高い MLSS での運転が可能となった。

## 6. 水質改善効果

水質改善効果を確認するため、公共用水域への排出負荷量を年度ごとに比較する。T-P について図 6 に、T-N について図 7 に示す。

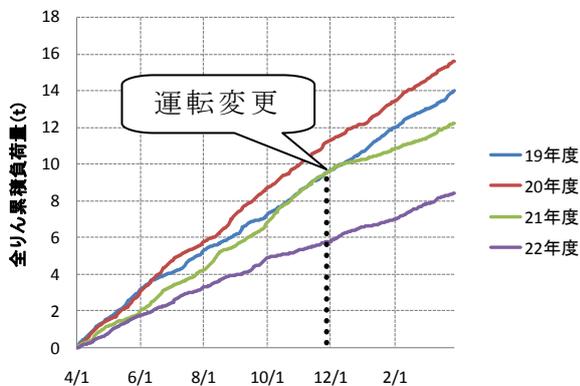


図 6 年度別 T-P 累積負荷量（排出量）

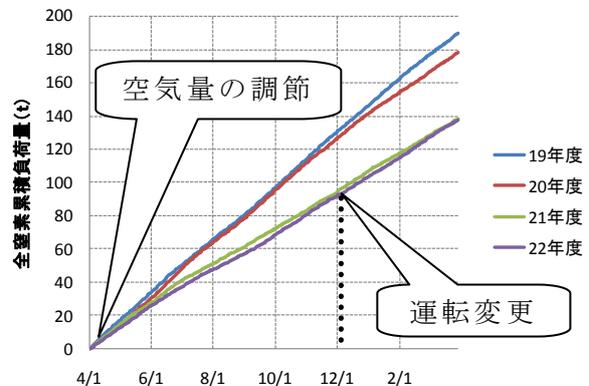


図 7 年度別 T-P 累積負荷量（排出量）

放流水質は、降雨などの影響で変動が大きいですが、負荷量の累積値を用いることで比較が容易になる。T-P の負荷量（排出量）では、平成 21 年 12 月の運転変更後、下がり始め、21 年度末には、20 年度と比べて 2 割低下した。負荷量の低下は 22 年度も継続しており、22 年度末時点では、20 年度に比べて 4 割 6 分減、21 年度に比べて 3 割減となり、T-P 負荷量の削減が確認できる。一方、T-N については、平成 21 年 4 月に行った空気量の調節による効果が大きかった。それまで、ほぼゼロであった処理水のアンモニア性窒素を、0.5～1mg/L 程度になるように曝気空気量を調節した。その結果、反応槽および二沈での脱窒量が増大したと考えられる。21 年度の負荷量は前年比で、22%減であった。22 年度は、21 年度とほぼ同じ値であり、T-N 負荷量削減の効果は継続している。

## 7. 省エネルギー効果

省エネ効果について比較するため、5 年間の日平均値について、受水量 1m<sup>3</sup>あたりの送風機電力を図 8 に、濃縮と脱水（以下、污泥処理）にかかる消費電力を図 9 に示す。

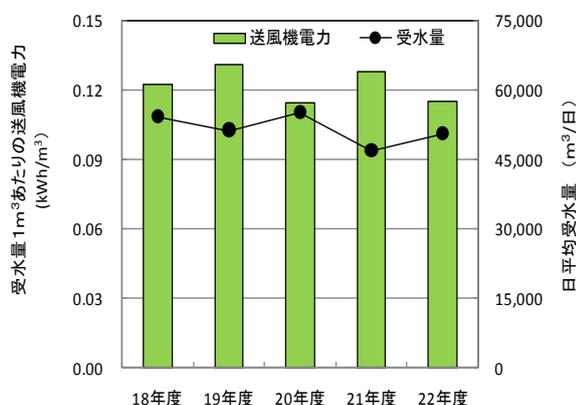


図 8 送風機電力の比較

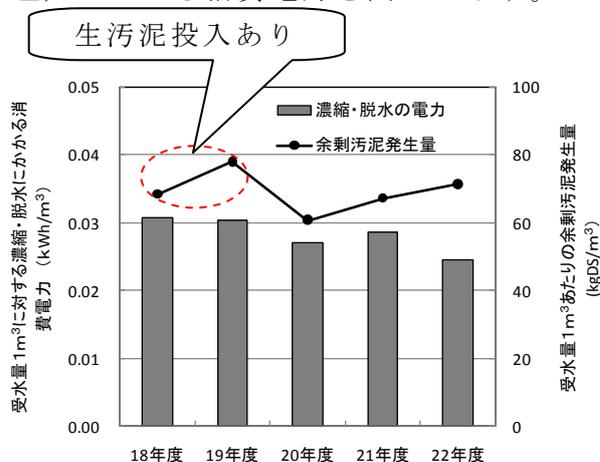


図 9 污泥処理にかかる消費電力の比較

高負荷運転への切り替えは平成 21 年 12 月であるため、21 年度のデータは約 4 ヶ月間高負荷運転をおこなった結果である。

受水量 1m<sup>3</sup>あたりの送風機電力は、受水量が極端に多かった 20 年度に低かった。完全に高負荷運転に切り替えた 22 年度は比較的降雨が少なかったが、20 年度と同程度であり、省エネ効果もあるように思われる。高負荷運転では、系列あたりの曝気空気量が増大する。散気板の特性として、通気量が増すほど酸素移動効率が低下することから、負荷量が高すぎると、送風機電力の削減効果が小さくなると考えられる。当センターでは、各系列ともに設計水量の 2 倍近い量を処理しているため、散気板の使用範囲の上限付近で運転する時間帯が少なくない。このため、送風機電力の削減効果が比較的少なかったと考えられる。今回は、BOD 容積負荷を 5 割増大させたが、停止する反応槽を調節することで、さらに、省エネ効果が生まれる可能性がある。

污泥処理では、A<sub>2</sub>O 法施設への生污泥投入を行っていた 18 年度および 19 年度のデータを除き、22 年度の余剰汚泥発生量（固形物）は 20 年度と比較して 2 割近く多く、高負荷による余剰汚泥発生量（固形物）の増大が確認できる。その一方で、污泥の濃縮・脱水にかかる電力は下がる傾向であった。22 年度は、返送汚泥量の調節により、余剰汚泥濃度を高くして、遠心濃縮機の運転時間の短縮を行っている。これが污泥処理にかかる消費電力

の低下につながっており、運転方法の工夫によって、余剰汚泥発生量（固形物）の増大による影響は吸収できるといえる。

## 8. まとめ

使用する反応槽の縮小化によって、T-N および T-P の除去率が向上することがわかった。特に、りんについては、公共用水域への負荷量を大幅に削減できた。一方、省エネ効果では、送風機電力の削減はわずかであったが、使用する反応槽の調節によって、さらに改善できる可能性がある。

## 参考文献

1) 葛西孝司他：制限曝気 A<sub>2</sub>O 法による水質改善効果および処理コストの比較、東京都下水道局技術調査年報 2010



## 2-(3)-3 芝浦水再生センターにおける硝化促進運転維持 のための対応策について

芝浦水再生センター 水質管理係  
森川拓未、安野隆雄、小峯純夫、  
大江修平、石井英俊、長健太、  
太田裕誌

### 1 背景と目的

芝浦水再生センター（以下「芝セ」）は、平成 23 年に開設 80 周年を迎えた歴史あるセンターであり、施設の老朽化が進んでいる。また、敷地内への上部利用ビル建設を含め、再構築計画が進行している。

芝セの抱える重要な課題のひとつが、窒素の処理である。都心部の再開発により処理区域内に超高層マンションや商業施設の建設が活発で人口が流入していること、それに伴って芝セの流入下水中の全窒素濃度が区部センターの平均値（約 30 mg/l）と比較して 1.5 倍ほど高くなっていること、流入下水量の時間変動が 4 倍前後とかなり大きいこと、施設が窒素除去を目的とした高度処理に対応していないことなどから、放流水中の全窒素濃度は高い。流入水の窒素濃度は上昇傾向にあり、水質汚濁防止法による放流基準値（30 mg/l）に迫っている。再構築工事による高度処理施設が完成するまでは 10 年以上を要するため、現時点で窒素処理を改善するためには、現有施設を最大限に有効活用しなければならない。

芝セには現在 5 つの処理系統が存在する。そのうち東系では 21 年度冬季に、散気装置の不調や反応槽の工事による停止があり、それまで良好だった硝化が非常に悪化した。設備面での制約により有効な解決策が実施できず、硝化状況が改善するまで 4 ヶ月以上を要した。一方、同じく年間を通じて硝化が良好な西系では 22 年度の春季から、送風量削減調査のため、送風量制御や余剰汚泥引抜き量を様々に変更したところ、硝化の停止や亜硝酸蓄積型硝化などの影響を確認できた。

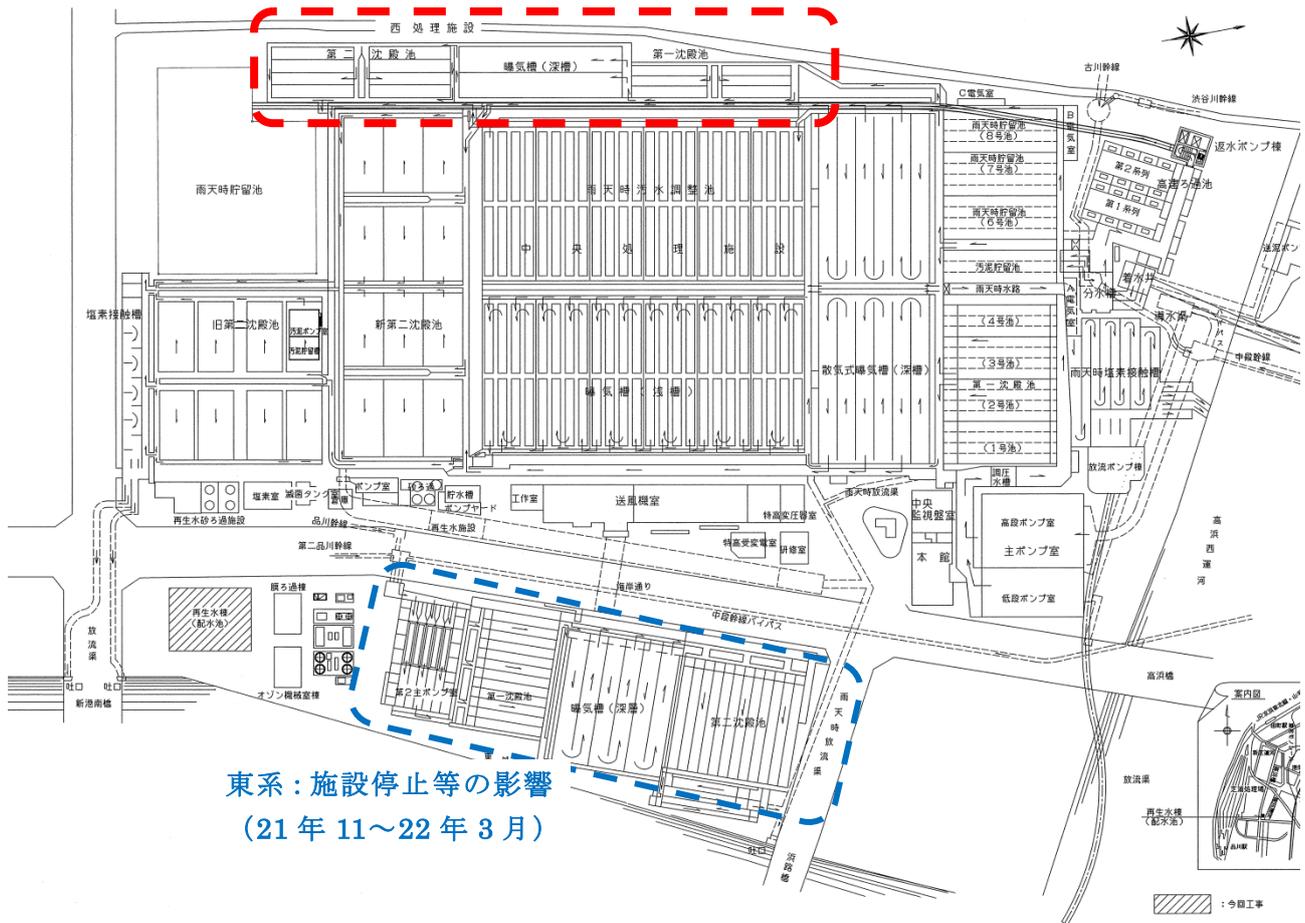
本報告は、東系と西系での水質状況と運転状況を分析し、実施設での硝化悪化要因とその現実的な対応策について考察したものである。

### 2 センター処理施設の概要

芝セの処理施設と調査を実施した系列の配置を図 1 に示す。水処理施設は、本系と東系の大きく 2 つに分かれる。汚泥処理施設はなく、発生した汚泥は、南部汚泥処理プラントに送っているため、汚泥処理返流水の影響を受けることはない。

本系は、さらに、浅槽、深槽東系、深槽西系および西系に分かれる。各系列について、平成 20～22 年度の運転状況を表 1 にまとめた。

西系：空気量削減調査（22年5～8月）



東系：施設停止等の影響  
(21年11～22年3月)

図1 芝浦水再生センター一般平面図と調査系列

表1 各系列の運転状況（平成20～22年度）

	浅槽			深槽東系			深槽西系		
	H20	H21	H22	H20	H21	H22	H20	H21	H22
処理水量 (m <sup>3</sup> /日)	126,060	121,580	116,930	140,890	154,260	173,770	186,020	177,170	152,420
滞留時間 (時)	9.5	9.9	10.3	8.1	7.1	7.0	6.5	6.9	6.9
送風倍率 (水量) (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> ・日)	8.8	9.2	10.1	7.5	5.9	6.1	7.5	7.5	7.9
BOD・SS負荷 (kg/kg・日)	0.32	0.30	0.31	0.33	0.30	0.37	0.42	0.33	0.36
返送汚泥率 (%)	38.6	49.3	41.1	52.2	50.6	43.9	42.6	43.5	48.9
平均MLSS (mg/L)	1,180	1,140	1,120	1,360	1,560	1,390	1,320	1,500	1,430
SRT (日)	6.3	4.9	5.2	5.0	5.3	4.5	3.7	4.3	4.3
	西系			東系					
	H20	H21	H22	H20	H21	H22			
処理水量 (m <sup>3</sup> /日)	69,500	68,280	58,910	95,170	90,990	95,750			
滞留時間 (時)	7.8	7.9	9.2	9.9	10.0	9.9			
送風倍率 (水量) (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> ・日)	7.2	7.5	8.7	4.6	5.5	6.1			
BOD・SS負荷 (kg/kg・日)	0.34	0.26	0.30	0.29	0.26	0.21			
返送汚泥率 (%)	41.6	42.6	49.3	54.8	56.4	57.3			
平均MLSS (mg/L)	1,350	1,520	1,240	1,260	1,330	1,260			
SRT (日)	5.2	5.7	6.2	7.5	6.6	6.4			

### 3 東系の運転状況

東系は、日平均処理水量 90,990 m<sup>3</sup>/日（平成 21 年度平均値）、反応槽有効容量 13,100 m<sup>3</sup>×3 槽、散気装置には高効率のメンブレン式を採用し、反応槽の前段 4 分の 1 が攪拌機による嫌気槽となっている AO 法の処理施設である。

#### 3-1 平成 21 年度冬季の処理状況悪化について

平成 21 年度冬季の運転状況を図 2 に、水質状況を図 3 に示す。

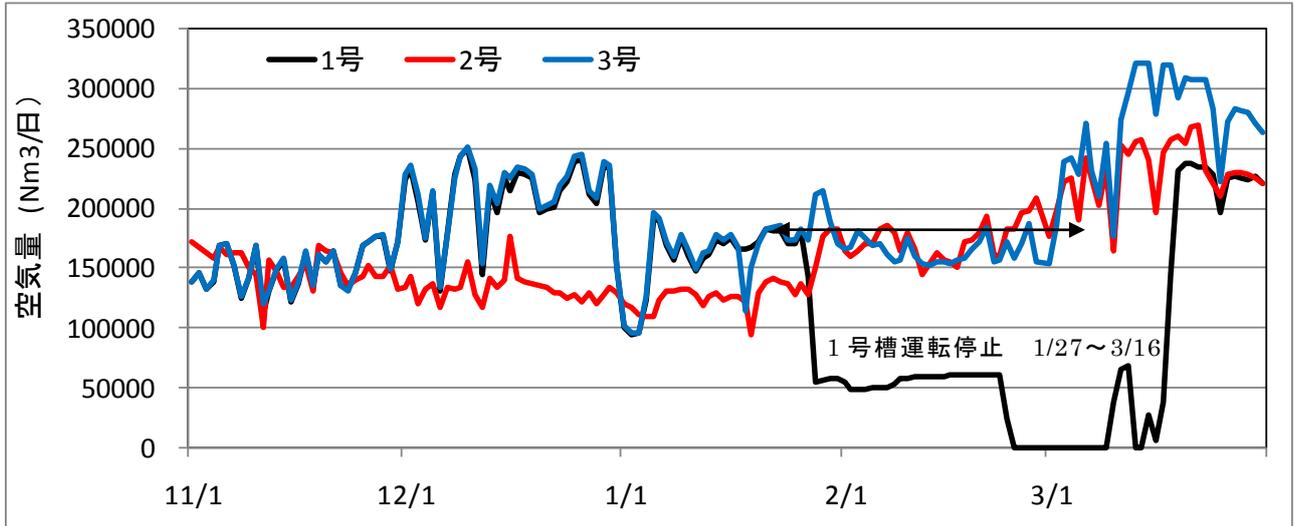


図 2 東系反応槽の槽別送風量

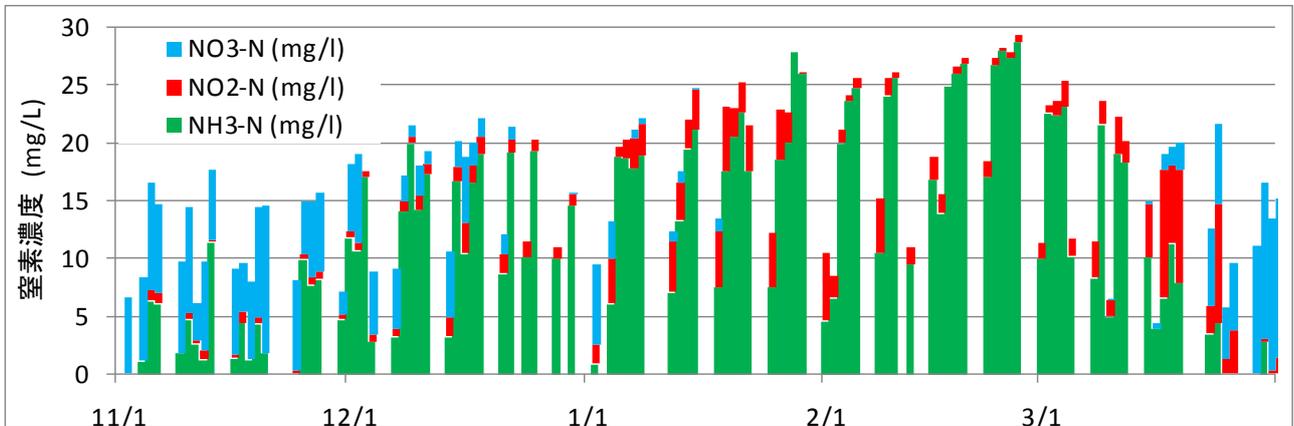


図 3 東系反応槽 2 号槽出口の窒素状況（10 時採水）

11 月下旬から 2 号槽の送風量が 1・3 号槽に比べて低下した（図 2）。原因は明確ではないが、この送風量低下により、2 号槽での硝化がかなり悪化し、窒素のほとんどがアンモニア性窒素で占められるようになった（図 3）。

東系では、1 月 27 日から 3 月 16 日まで、1 号槽が流入渠の腐食防止工事のため停止した。反応槽数が 3 分の 2 に減少したこともあり、2 月の放流水の全窒素濃度はさらに上昇した。

#### 3-2 対応と経過

2 月から、送風量を上昇させるなどの対策を試みたが、特に効果は見られなかった。3 月 2 日から D 回路末端の DO 制御値を 7.5 とし、送風量を最大にした。また 3 月 4～7・9～10・16

日にそれぞれ雨量が 30 mm を超える強い雨がいった。3 月 16 日に 1 号槽の運転が再開したころから硝酸が生成されるようになり、その後 2 週間ほどでほぼ完全硝化に回復した。

### 3-3 考察

12 月に入ったところで 3 槽の合計送風量としてはむしろ増加している。これは、11 月下旬から 2 号槽の窒素処理が不調となり、硝化が停止し、結果として返送汚泥中アンモニア濃度が上昇したことで、反応槽への負荷が増大したためだと考える。

硝化状況が 3 月後半に改善した要因としては、数回の降雨によってアンモニアの流入負荷が減少したこともあるが、1 号槽の運転再開によって反応時間と空気量が十分に確保できるようになったことが最も大きいと考える。

冬季は流入水量が減少するので、施設停止による影響も小さいため、施設の停止を伴う工事は冬季に行われることが多い。しかし、水温低下により微生物の活性が低下する冬季は、水温が高い夏季よりも処理水質が悪化しやすい。今回の結果から、施設停止を伴う工事を冬期に行う場合はセンターの特徴や状況に応じて行うべきであると考えます。

## 4 西系の運転状況

西系は、日平均処理水量 58,910 m<sup>3</sup>/日（平成 22 年度平均値）、反応槽有効容量 11,260 m<sup>3</sup>×2 槽、標準法の処理施設である。

### 4-1 送風量削減調査について

空気量の削減と硝化との関連を調査するため、平成 22 年の 5～8 月にかけて、西系施設を対象に送風量や MLSS を減少させる運転を行った。調査期間中の水質状況を図 4 に、運転状況を図 5 に示す。また、運転条件を表 2 にまとめた。

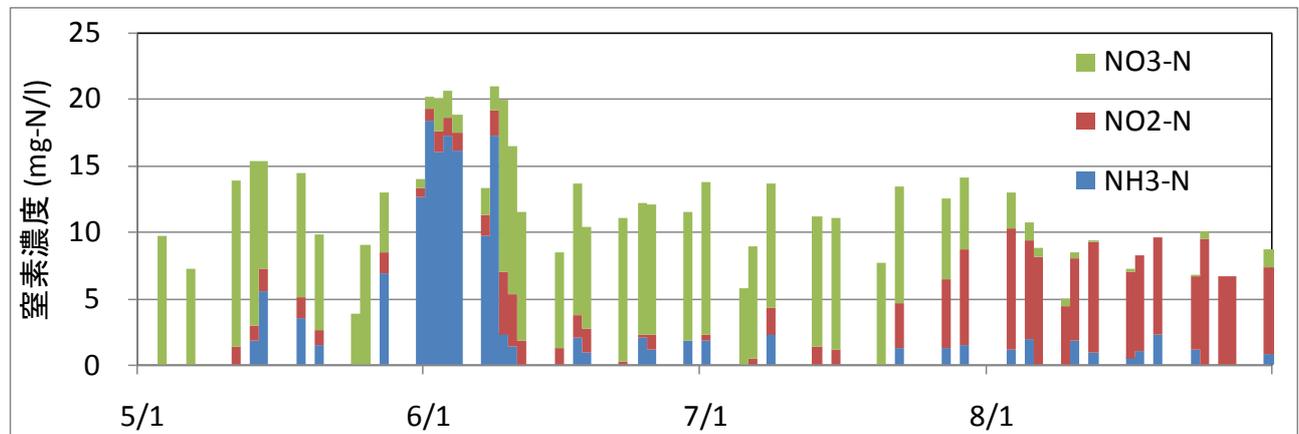


図 4 西系反応槽 2 号槽出口の窒素状況（10 時採水）

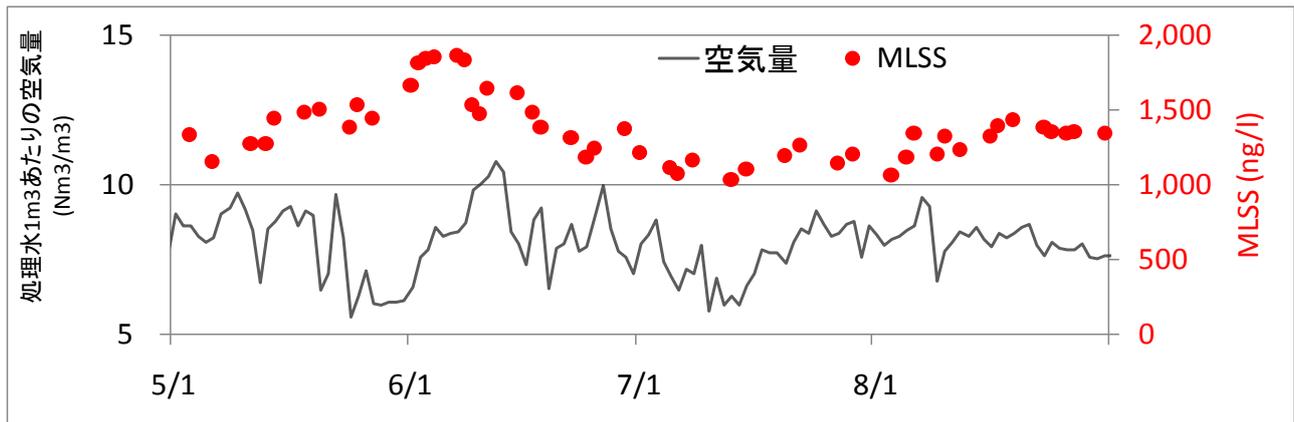


図5 西系反応槽の処理水 1m<sup>3</sup> 当たりの空気量と MLSS の推移  
 空気量は日平均値、MLSS は 10 時採水での実測値

#### 4-2 空気量削減について

はじめに反応槽の DO 制御値（反応槽最終回路での DO）を低下させたが、送風量に特段の変化は見られなかった。これは、硝化が十分に進行している西系は反応槽出口付近での微生物の空気消費量が必要最小限で維持されているため、反応槽中盤に比べて少ない空気量で DO が上昇しやすくなっており、DO 制御値を多少変化させても送風量への影響は少ない、と解釈できる。

次に処理水 1m<sup>3</sup> 当たりの空気量を 6 倍に変更したところ、DO 制御に比べて、空気量がおおよそ 3 割減少する一方で硝化が著しく悪化した。硝化を回復させるために比率を上げたが効果はみられず、DO による制御に戻したところ（表 1: 6 月 4 日から DO 制御）数日で回復した。処理水 1m<sup>3</sup> 当たりの空気量が 7.5 倍のときには、一日の空気量としては DO 制御の場合と大差ないにもかかわらず硝化が進まなかったのは、負荷の時間変動に対して、負荷が高い時間帯には比率制御では空気量が不足して硝化菌が十分な活性を発揮できなかったことが原因であると考ええる。また、DO 制御に戻した後約 1 週間は完全硝化時に比べて送風量が多くなっている。これは、硝化の進行が完全でないために返送汚泥中に硝酸が少なくアンモニアが多く残ることが原因だと考える。つまり完全硝化は、反応槽に流入するアンモニアを減らすとともに、嫌気槽で硝酸性窒素を脱窒するのに必要な BOD を消費することで、反応槽への負荷と必要空気量を抑えることができると考える。同様の傾向は、平成 20 年度冬季の東系や平成 21 年度冬季の西系における硝化回復期にも見られた。

表 2 西系反応槽の運転条件変更履歴

送風量制御			余剰汚泥引抜き量	
～5/12	最終回路 DO	3.5 mg/l	～5/9	1,650 m <sup>3</sup> /日
5/13	最終回路 DO	2.5 mg/l	5/10	1,500 m <sup>3</sup> /日
5/26	倍率（水量比）	6 倍	6/15	1,800 m <sup>3</sup> /日
6/1	倍率（水量比）	7 倍	6/25	1,950 m <sup>3</sup> /日
6/3	倍率（水量比）	7.5 倍	7/21	2,160 m <sup>3</sup> /日
6/4	最終回路 DO	3.5 mg/l	8/3	1,680 m <sup>3</sup> /日
			8/12	1,200 m <sup>3</sup> /日

#### 4-3 MLSSを低下させたとき

低 MLSS にすることで活性汚泥の内生呼吸による酸素消費が抑えられ、送風量が削減できるとされている。このため、MLSS を低下させた処理を試みた（表 2：6 月 15 日から余剰汚泥引抜き量増加）。当初は特に影響は見られなかったが、7 月末ごろから硝化が悪化し始め、8 月中旬には亜硝酸蓄積型の硝化になった。余剰汚泥引抜き量を減らし、送風量も増やしたが、8 月末まで回復には至っていない。亜硝酸酸化細菌の保持に必要な SRT が確保できなくなったことが亜硝酸化の原因だと考えられる。

#### 5 まとめ

東系での硝化悪化の主な原因は、2 号槽の散気装置の不調と 1 号槽の工事による停止で反応槽の HRT が短縮されたことが原因と考えられる。両者とも対応に難しい部分があるが、低水温期における施設停止期間をできる限り短縮するよう、工事実施時期等の調整を行うことにしている。

西系での調査では、空気量の削減を目的に、MLSS の低下と空気量の制御方式の変更（DO 制御から水量比による制御に変更）を試みたところ、亜硝酸が蓄積するようになり処理が悪化した。また、硝化が停止した状態から、再度、硝化を回復させるには、その間、通常よりも多くの送風量が必要であった。

## 2-(3)-4 雨天時流入 SS の水処理及び汚泥処理への影響について

東部第一下水道事務所 砂町水再生センター 水質管理係  
熊田 翔史、佐々木 啓行、篠崎 真弓、半沢 修

### 1. はじめに

砂町水再生センター（以下センター）には、砂系、東陽Ⅰ系、東陽Ⅱ系、東陽Ⅲ系の水処理施設と東部スラッジプラント、砂町汚泥処理工場の汚泥処理施設が存在する。汚泥処理施設はセンター発生汚泥だけではなく、中野、落合、三河島、みやぎの各水再生センターの発生汚泥（以下三河島受泥）、及び有明水再生センターの発生汚泥も集約的に処理している。

センター処理区域は合流式下水道である。合流式下水道における河川等への越流水改善措置として平成 10 年度に大島、木場の両ポンプ所が遮集化され、雨天時における東陽・大島幹線からの受水量が増加した<sup>1)</sup>。東陽・大島幹線は水道本管、都営地下鉄新宿線及び東京メトロ東西線を伏せ越し構造で横断しており、その全長はそれぞれ 450 m、325 m、137 m である（図 1）。伏せ越し部に-25～-35 ‰の逆勾配箇所が存在するため、晴天時に流入下水の固形分（以下 SS）が少しずつ堆積し、その堆積 SS 量は降雨後初期で 43 DSt/日 と推定されている<sup>2)</sup>。晴天日が 1 週間程度継続すると、伏せ越し部に大量の SS が堆積する。これが、降雨による流入下水量の増加、流速の上昇によって一気に押し出されセンターに流入する。その結果、雨天時の流入 SS 量がセンターで可能な処理量を大幅に上回り、大きな問題となっている。例えば、平成 14 年に第一沈殿池で沈殿汚泥の引き抜き障害、いわゆる砂没が頻発した<sup>3)</sup>。そのため、現在まで雨天時貯留池の増設による降雨初期流入水の貯留、雨天時の第一沈殿池沈殿汚泥の連続引き抜き、引き抜き汚泥ポンプ前段に希釈水注入ルート開設などの砂没対策を講じてきた。しかし、現在も雨天時の大量流入 SS によって、センター内で汚泥循環を引き起こし水処理や汚泥処理に深刻な影響を及ぼしている。

センター水質管理係は、平成 11 年度から 19 年度まで東陽・大島幹線の雨天時流入 SS 調査を継続的に進めてきた。これまでの調査より、以下の結果が得られている。(1) 雨天時のセンター流入 SS 量は、降雨量や無降雨期間と関連し幹線内堆積量に依存する。(2) 雨天時の流入 SS 濃度が高濃度（500 mg/L 以上）になる時間帯は、降雨開始から数時間後に始まる傾向が強く、その時間は 2～4 時間継続する。(3) 雨天時の受水量が 50 万 m<sup>3</sup>/日を超えると流入 SS 量が急増し、時間当たりの受水量が 3 万 m<sup>3</sup>/時 以上になると流入 SS 濃度が高くなる。そして、雨天時のセンター流入 SS 量増大の主因は、東陽・大島幹線の伏せ越し構造にあることが明らかにされている<sup>2)3)4)5)</sup>。

本調査は過去の調査を継続し再確認を行うことに加えて、これまで未解析であった大量の流入 SS がセンターの水処理、汚泥処理に与える影響について詳細に分析した。継続調査の理由は、雨天時の大量流入 SS がセンターの大きな課題であるためである。

本調査で雨天時の流入 SS 量を測定した結果、現在も大量の SS がセンターに流入していた。そして、砂町汚泥処理工場の重力濃縮槽越流水の水質や東部スラッジプラントの脱水

汚泥量、脱水ケーキ含水率などを測定し、雨天時の流入 SS がセンターの水処理、汚泥処理に及ぼす影響について考察した。

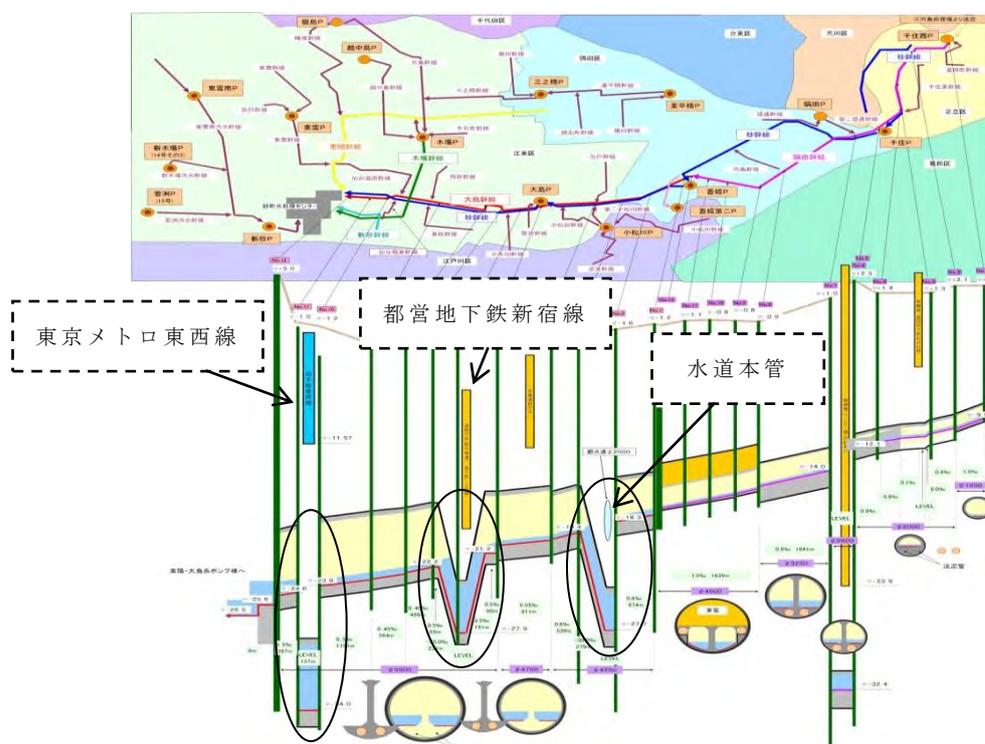


図 1 大島幹線の伏せ越し構造

## 2. 調査方法

### 2. 1 流入 SS 量

平成 22 年 2 月から 9 月まで、降雨日に自動採水器を用いて 1 時間間隔で砂系第一沈殿池流入水を採水し、ろ紙法で SS 濃度を測定した。そしてセンター受水量から流入 SS の DS 量を算出した。

### 2. 2 水処理への影響

平成 22 年 4 月から 6 月の砂町汚泥処理工場の重力濃縮槽越流水（以下、返水）をろ紙法で SS 濃度、過マンガン酸カリウム法で COD 濃度を測定し、雨天時の流入 SS 量が水処理へ及ぼす影響について解析した。

### 2. 3 汚泥処理への影響

雨天時の流入 SS 量と遠心脱水汚泥量、脱水ケーキ含水率の関係を解析した。遠心脱水汚泥量、及び脱水ケーキ含水率はそれぞれ東部スラッジプラントの汚泥処理月報より引用した。東部スラッジプラントでは、遠心脱水機にカチオンの高分子凝集剤を添加し、濃縮汚泥の脱水を行っている。また、脱水ケーキ含水率は赤外線水分計で測定した。

## 3. 結果及び考察

### 3. 1 流入 SS 量

平成 22 年 2 月から 9 月まで、雨天時流入 SS 調査を計 16 回実施した。対照として晴天時に同調査を 1 回（5 月 17 日）行った。その結果を表 1 に示す。

表 1 雨天時流入 SS 調査結果の一覧

No	調査日	調査時間	降雨総量	降雨強度	無降雨期間*2	流入 SS 量	備考
		[時間]	[mm]	[mm/時]	[日]	[DSt]	
0	5.17-18	24	0	0	5	35	晴天時調査
1	2.26	8	3	1.5	10	122	
2	3.4-5	11	9	3	3	118	
3	3.9-10	13	25.5	6	1	286	
4	3.21	12	7	5	4	41.8	
5	3.24	12	16	2.5	2	181	
6	4.5	15	10	2	10	116	
7	4.12-13	18	21	3.5	6	194	
8	4.20-21	16	6.5	2.5	2	89.8	
9	4.27-28	22	32	10.5	4	371	
10	5.7-8	16	5	2	8	58	
11	5.19-20	24	20	3	6	214	
12	6.14-15	24	14	2.5	17	390	
13	6.16	13	14	6.5	1	318	
14	6.18-19	24	23.5	9	1	85	
15	7.9-10	24	20	12	1	243	
16	9.8-9	24	86.5	42.5	29	705	

\*1 降雨総量、流入 SS 量はそれぞれ調査時間の総量である。

\*2 総降水量 5mm 以下を無降雨日とした。無降雨期間は調査前日までの無降雨日継続日数。

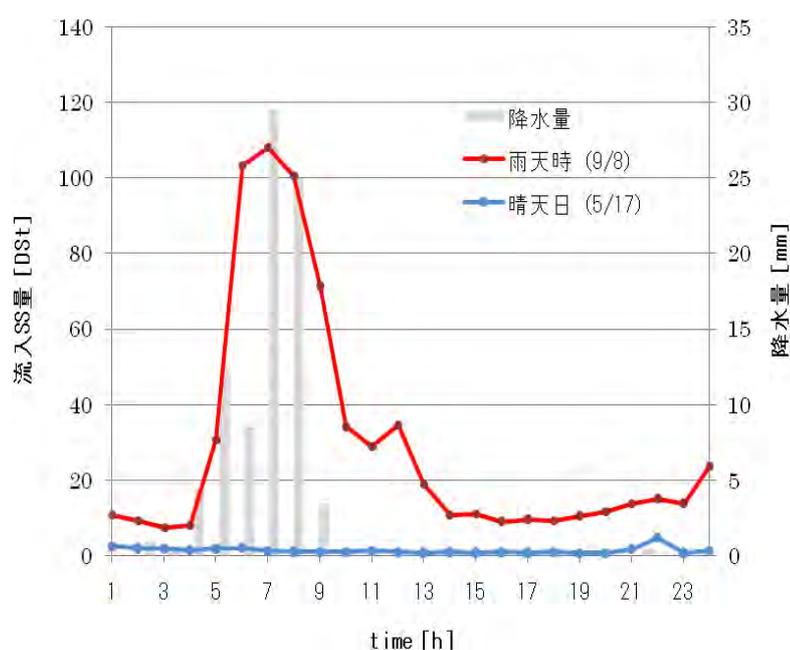


図 2 晴天時と雨天時の流入 SS 量の比較

本調査の雨天時流入 SS 量の最大値は、9月8日の705 DStであった。最大となった理由は、総雨量 86.5 mm、無降雨期間 29 日とそれぞれ調査期間中の最大、最長であったためであると考えられる。

晴天日(5/17)、雨天日(9/8)の流入 SS 量の経時変化を図 2 に示した。晴天日の流入 SS 量はほとんど変化しないが、雨天日の流入 SS 量は明らかに降雨開始 2~3 時間で急増した。時間あたりの流入 SS 量の最大値は、降雨開始直後

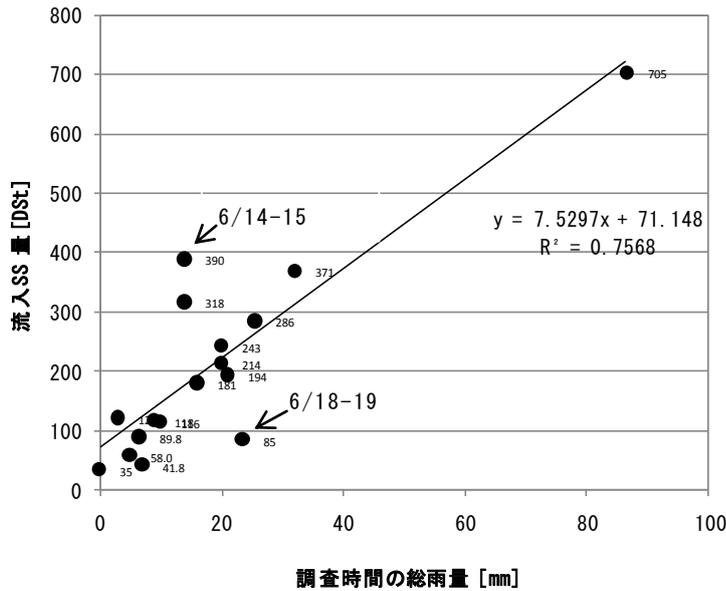


図3 調査時間の総雨量と流入SS量の関係

度の雨量が観測されているにもかかわらず、流入SS量にいくつかばらつきが存在した。この原因として、無降雨期間の影響が考えられる。6月18日は、総雨量23.5mmとある程度まとまった降雨があるにもかかわらず、流入SS量は85 DStと降雨5mm以上の雨天時として最小値であった。これは、6月18日の無降雨期間が1日と短く、かつ6月14～16日の3日間にかけて約35mmに及ぶ連続降雨の影響が考えられる(図4)。つまり、6月18日は幹線内に堆積していたSSが前日までにほとんど流出し、幹線内堆積SS量が少量になっていたと考えられる。一方、6月14日は流入SS量が390 DStであり、図3の近似直線から大きく外れていた。これは、6月14日の無降雨期間が17日と非常に長く、幹線内に大量のSSが堆積していたためであると考えられる(図4)。従って、流入SS量は総雨量と無降雨

の10倍以上であった。また、流入SS量が50 DSt/時以上の高流入SS時間帯は4時間続いた。そして、晴天日の総流入SS量35 DStに対し、雨天日のSS量は705 DStに達した。従って、雨天日の流入SS量は晴天日と比較して最大で20.1倍増加したことになる。このように降雨の影響により極めて大量のSSがセンターに流入していることがわかる。

次に、各調査日の総雨量と流入SS量の関係を図3に示した。総雨量が増加するにしたがって、流入SS量は直線的に上昇した。しかしながら、総雨量20mm前後の同程度

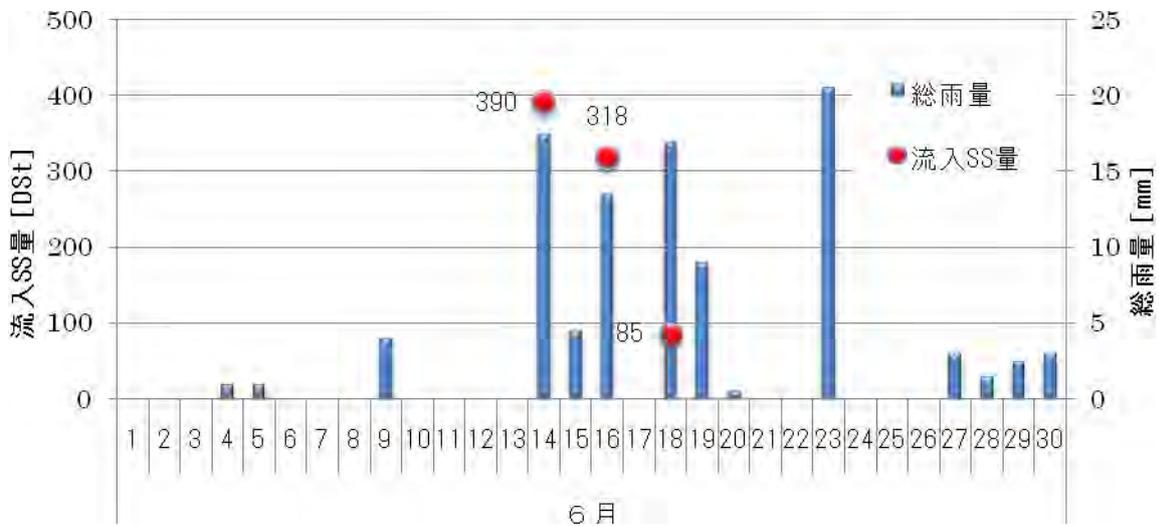


図4 6月の総雨量と流入SS量

期間の両方に強く影響されることが示唆された。以上の結果より、降雨と流入 SS 量の関係は、既報の結果と同様であることが再確認できた。

### 3. 2 水処理への影響

雨天時の大量の流入 SS が、センターの水処理に及ぼす影響について述べる。図 5 に流入 SS 量と返水 SS 濃度、COD 濃度の関係を図示した。流入 SS 量が 200 DSt を超えると（4 月 27 日、5 月 20 日、6 月 14 日、6 月 16 日）、その後返水 SS 濃度が顕著に上昇した。同様に COD 濃度も増加した。特に、6 月 14 日、16 日の流入 SS 量は 300 DSt 以上になり、同月 16 日の返水 SS 濃度は約 5,000 mg/L まで極めて高く上昇した。その後も返水の SS 濃度が、高い水準で数日間継続した。これは大量の流入 SS により、第一沈殿池の沈殿汚泥を濃縮している重力濃縮槽の能力が超過したためであると考えられる。つまり、流入 SS 量が 200 DSt 以上になると重力濃縮槽の固形物負荷量が 100 kg/m<sup>2</sup>・日 以上となるため、濃縮汚泥の一部が返水に越流し返水水質が悪化したと考えられる。なお、6 月 9 日～11 日にかけて返水 SS 濃度が上昇しているが、これは東部スラッジプラントの焼却炉全停止の影響である。上記の結果から、流入 SS 量が 200 DSt 以上になると返水 SS 濃度が急激に上昇することが明らかになった。

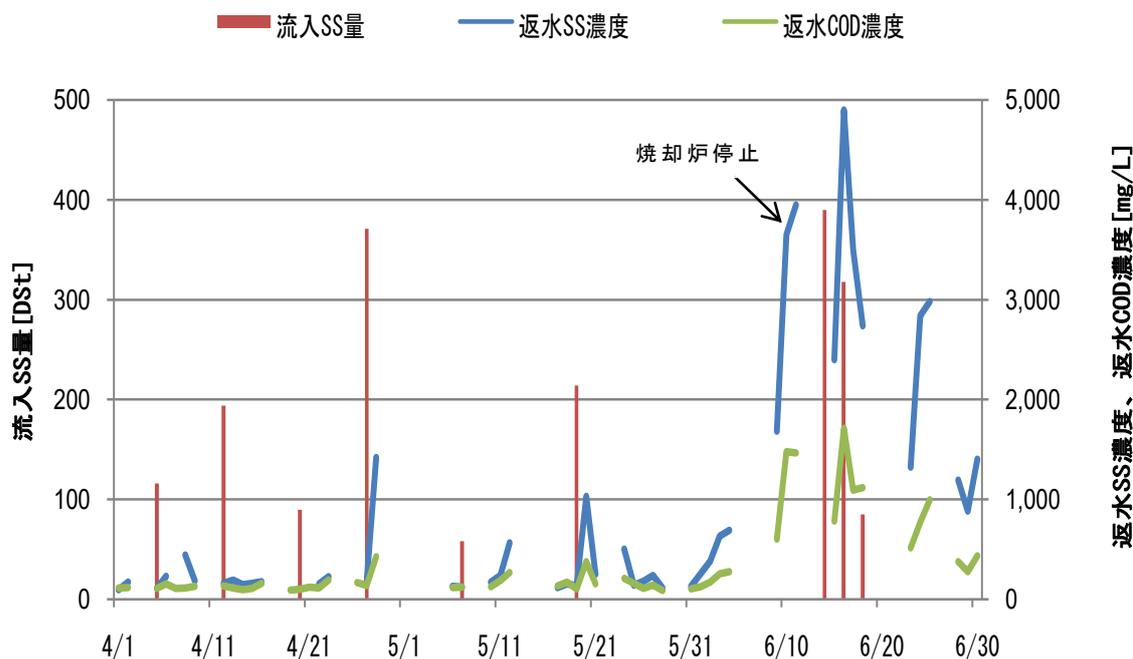


図 5 流入 SS 量と返水 SS 濃度、COD 濃度の経日変化

### 3. 3 汚泥処理への影響

#### 3. 3. 1 脱水汚泥量

雨天時の流入 SS が、汚泥処理に及ぼす影響について述べる。図 6 は、流入 SS 量と脱水汚泥量、降雨量の経日変化である（4 月から 6 月の脱水汚泥量の平均値は 172 DSt）。降

雨後の脱水汚泥量は増加傾向にあった。ただ、4月14日～16日、同月20～23日などの連続降雨期はその増加が緩やかになっていた。なお、6月9日に脱水汚泥量が急激に減少しているが、既に述べたように東部スラッジプラントの焼却炉全停止の影響である。流入SS量が200 DSt以上になると、いずれも流入SS量が脱水汚泥量を上回っており、明らかにSSを処理しきれしていないことがわかる。従って、雨天時の大量の流入SSは、センター内で汚泥循環を引き起こしていることが示唆された。この結果から、雨天時における重力濃縮槽や遠心脱水機などの設備能力に限界があると思われる。今後20 mm以上の降雨が予想されるときは大量の流入SSがあることを前提に、脱水ケーキ貯留槽に余裕を持たせておくなどの対策が必要である。

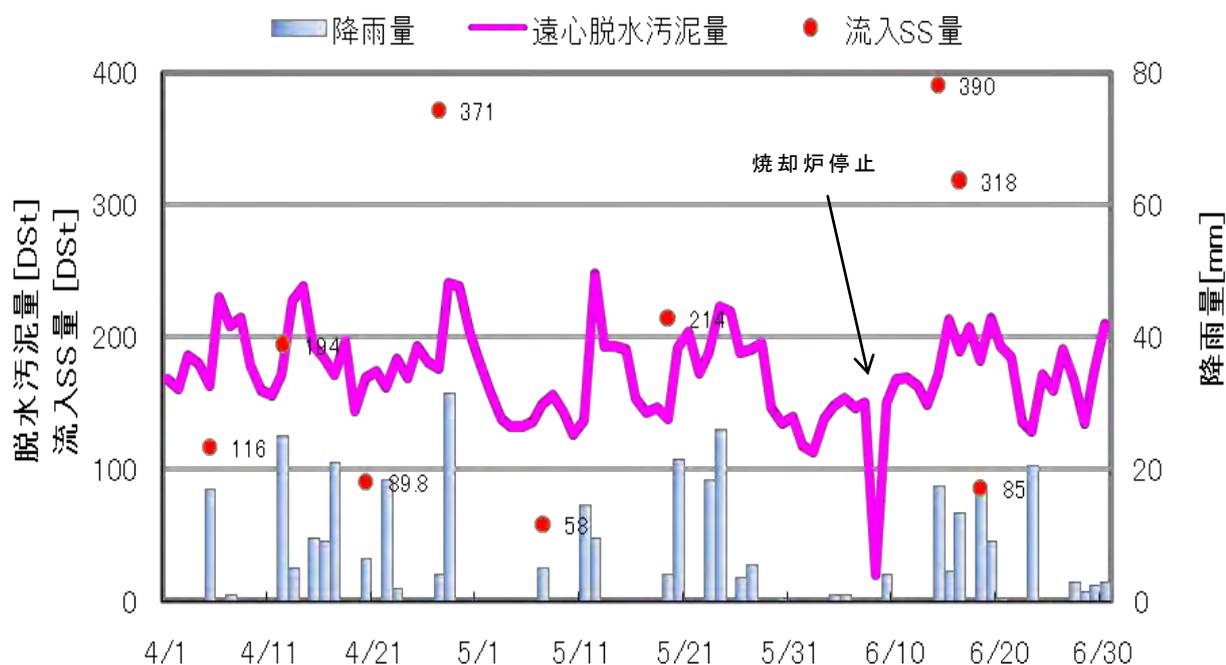


図 6 流入 SS 量と脱水汚泥量、降雨量の経日変化

### 3. 3. 2 脱水汚泥の含水率

平成 22 年 4 月～6 月の脱水ケーキ含水率と降雨量の関係を図 7 に図示した。同期間の脱水ケーキ含水率の平均値は、75.8%である。脱水ケーキ含水率は、降雨直後 73～74%程度まで急激に低下した。これは、雨天時の流入 SS 中の砂分が、晴天時より多いためであると考えられる。しかし、無降雨期間が長くなると脱水ケーキ含水率は着実に上昇する傾向にあった。例えば、5 月下旬から 6 月上旬にかけて無降雨日（5 mm 以下の降雨日）が 14 日間継続していた。この期間の脱水ケーキ含水率は、平成 22 年度 4 月～6 月期の最大値である 77.5%まで上昇した。脱水ケーキ含水率上昇の原因は、センター内で循環している汚泥の腐敗により、汚泥の脱水に重要と言われている粗繊維分の減少にあると考えられる。

平成 21 年から 23 年にセンター水質管理係で測定した遠心脱水機投入汚泥の粗繊維分のデータより、遠心脱水投入汚泥の粗繊維分が 10 %以下になると脱水ケーキ含水率が著しく悪化し、80 %を容易に超過した (data not shown)。東部スラッジプラントでは、遠心脱水機の高分子凝集剤としてカチオンのポリアクリルアミド系を使用している。高分子凝集

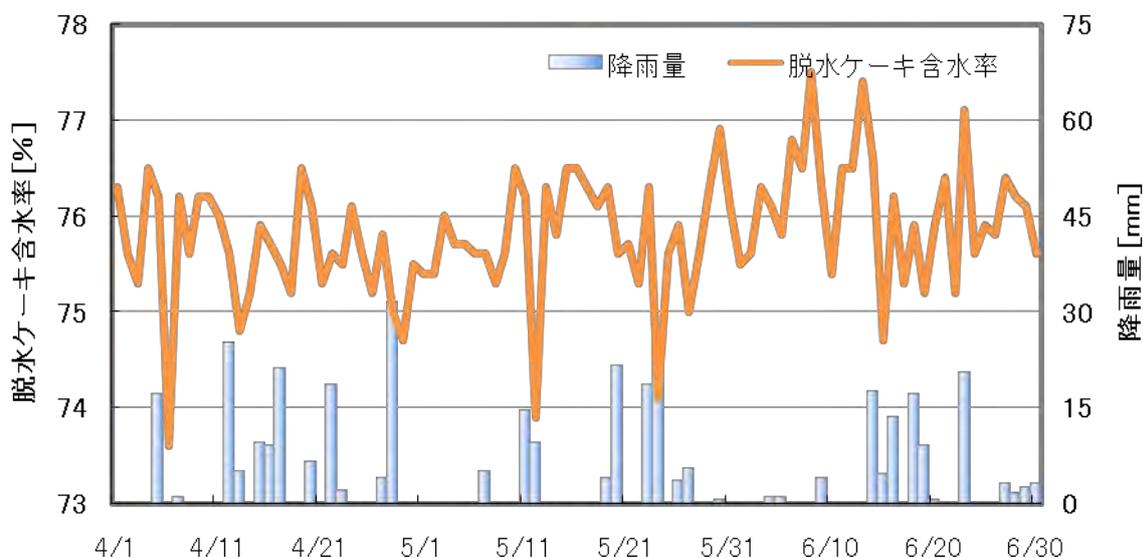


図 7 脱水ケーキ含水率と降雨量の関係

剤による架橋構造の形成や電気的中和作用によって、濃縮汚泥中の粗繊維分や SS 分などを凝集し、脱水している。このため、遠心脱水機投入汚泥の粗繊維分は、汚泥の脱水性に関して重要なファクターの一つであると考えられる。

以上の結果より、雨天時の大量の流入 SS は降雨量や無降雨期間に強く依存しており、これまでに報告された結果の検証をすることができた。また、水処理、汚泥処理の影響として、汚泥処理返水の急激な悪化やセンター内の汚泥循環の可能性が示された。さらに、無降雨期間の長期化により、脱水ケーキ含水率に悪影響を及ぼすことが示唆された。

#### 4 今後の課題

##### 4.1 雨天時流入 SS 量の予測と運転対応

平成 11 年度からの調査と本調査により、無降雨期間の影響を考慮しなければならないが、降水量と流入 SS 量の関係は明らかになった。降水量が 20 mm 以上と予想される場合、連続降雨期以外であれば、流入 SS 量は 200 DSt を上回ると予測できる。従って、降雨前にかじめ適切な対策をとる必要がある。例えば、本調査のデータを基にして効果的な雨天時貯留池の活用などが挙げられる。雨天日の流入 SS 量は降雨開始 2~3 時間で急増し、高負荷時間は 3~4 時間継続したことから、この時間帯に雨天時貯留池を使用することが有効である。その結果、大量の流入 SS 量を分散させる効果がある。

##### 4.2 幹線フラッシング効果の検証

東陽・大島幹線の伏せ越し部に堆積した大量の SS を除去する方法の 1 つとして、幹線のフラッシングがある。幹線のフラッシングとはあらかじめ幹線を高水位にし、その後大型ポンプなどを使用して瞬時に幹線滞留下水を揚水する方法である。このとき同時に、伏せ越しに堆積した SS もセンターに流入すると予測される。幹線のフラッシングにより降雨前に幹線に堆積した SS を除去できるため、雨天時に大量の SS がセンターに流入することを

未然に防ぐことが可能である。そのため、汚泥の腐敗も抑制することができる。従って、幹線のフラッシングは、センター内の汚泥循環の軽減、返水の水質悪化の低減、脱水ケーキの含水率向上などに寄与すると考えられる。また、定期的にフラッシングを実施することでSS流入の平準化を行うことが可能である。なお、幹線を高水位にするため所管事務所の管路施設課等と事前調整や流入水の適切な配分などは当然必要である。

#### 4. 3 脱水ケーキ含水率の向上

脱水ケーキ含水率が上昇すると、水分多過のため全体の汚泥処理DS量が減少する。さらに、凝集剤使用量の増加や都市ガスの補助燃料の増大など非常に多くのコストがかかる。ゆえに、遠心脱水機投入汚泥の濃度や粗繊維分を十分に把握し、脱水ケーキ含水率が悪化する前に対策を講じなければならない。

#### 5. まとめ

本調査より以下のことが分かった。

- (1) 本調査により、過去に報告された内容について詳細に検証ができた。
- (2) 雨天時流入SSにより、汚泥処理返水が悪化する可能性が示された。
- (3) 雨天時流入SSにより、センター内で汚泥循環が示唆された。

#### 6. 参考文献

- 1) 東京都下水道局砂町水再生センター水質管理年報
- 2) 山本ら：遮集幹線における雨天時流入水調査、東京都下水道局技術調査年報（2000年）
- 3) 石井ら：東陽・大島遮集幹線のSSの流入特性について、東京都下水道局技術調査年報（2003年）
- 4) 石井ら：降雨履歴と流入SSについて、東京都下水道局技術調査年報（2001年）
- 5) 吉田ら：東陽・大島幹線からの雨天時SS流入負荷の現状、東京都下水道局技術調査年報（2007年）
- 6) 東京都下水道局砂町水再生センター東部スラッジプラント年報

以上

## 2-(3)-5 再構築に伴う処理能力減少を見据えた処理水質確保のための取組み

北部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 水質管理係  
○松本大吾、宮岡武志、渡邊三雄、宮島裕子、伊藤喜代志

### はじめに

昭和 37 年 4 月に稼働したみやぎ水再生センターの西処理施設は、施設の老朽化や耐震性能不足等の理由から、再構築が計画されており、平成 25 年度に着手される予定である。計画では東側を先行して行い、次いで西側を行うこととなっている。また、これに併せて汚泥処理施設の停止、撤去が予定されている（図 1）。

西処理施設東側の再構築中に、処理能力が 35.0 万 m<sup>3</sup>/日から 24.2m<sup>3</sup>/日に減少するが、その前提として、幹線の切り替えが実施されることとなっており、当センターへの流入水量は現在の 28.0 万 m<sup>3</sup>/日（日最大実績）から 22.6 万 m<sup>3</sup>/日へと順次、減少すると見込まれている。

当センターでは、再構築に伴う処理能力の減少が処理水質へ与える影響を極力少なくし、良好な処理水質を確保できるよう、事前調査に取り組んでいるところである。本稿では、その取り組みの中間報告をする。

### 1. 再構築の概要

#### 1.1 流入水量

再構築に伴い処理能力が減少することから、新河岸処理区から小台処理区に域外流入している谷端川上幹線（40,500m<sup>3</sup>/日）と石神井川上幹線（6,500m<sup>3</sup>/日）を、平成 24 年度当初に浮間水再生センターに切り替えることが予定されており、これによって、当センターの流入水量（日最大）23.3 万 m<sup>3</sup>/日に減少すると予測されている（表 1）。なお、この時の日平均水量は 16.6 万 m<sup>3</sup>/日（日最大化率 1.4）になると見込まれている。

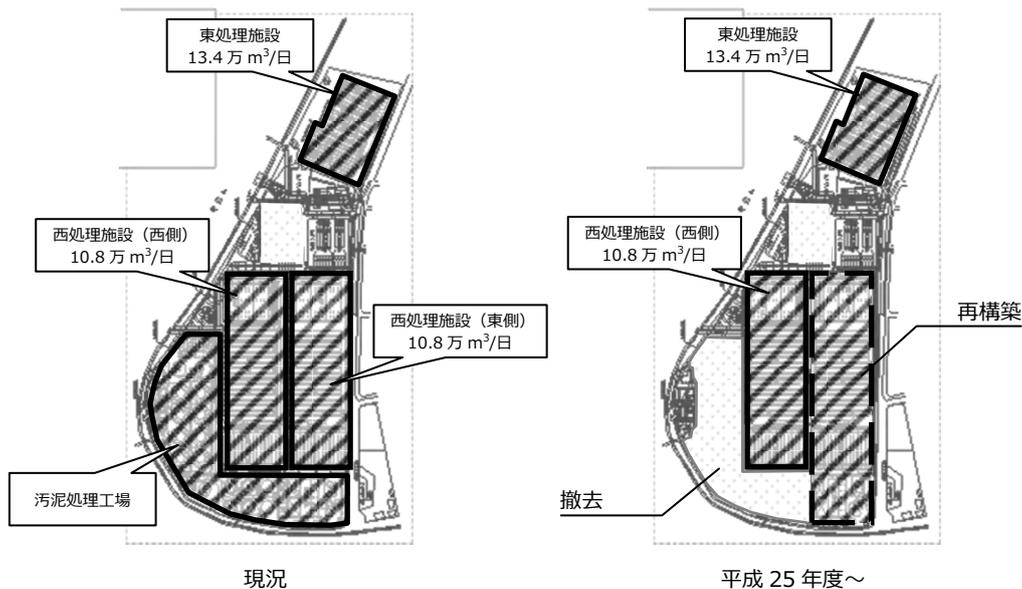


図1. 施設再構築期間中の施設の概要

平成 25 年度より汚泥処理工場の撤去と西処理施設の再構築を開始。図中の数値は各施設の処理能力。

表1. みやぎ水再生センターの処理能力と流入水量

年度	平成 23 年度まで	平成 24 年度*	平成 25 年度以降
施設処理能力 (m <sup>3</sup> /日)	350,000	350,000	242,000
日最大汚水量† (m <sup>3</sup> /日)	280,000	233,000	233,000

\* 谷端川上幹線(40,500m<sup>3</sup>/日)と石神井川上幹線(6,500m<sup>3</sup>/日)を浮間水再生センターへ切替。

† 平成 23 年度は実績値、平成 24 年度以降は予測値。

## 1.2 再構築に関わる経過

再構築に併せて汚泥処理施設が停止するため、平成 25 年度以降は、当センターで処理していた汚泥の全量を、三河島水再生センター経由で東部スラッジプラントに送り処理する予定である。

なお、当センターに送られて処理していた落合・中野汚泥については平成 20 年 4 月 8 日から、当センターの東処理施設余剰汚泥については平成 21 年度から、三河島水再生センターへの送泥を開始している。また、汚泥処理量の低減に伴い、汚泥処理工場の施設の縮小が可能となったため、消化槽については、平成 20 年 7 月に全槽を停止した。

## 2. 再構築に向けてのこれまでの取り組み

### 2.1. 硝化促進をした場合の可能処理水量の試算

再構築工事着手により施設処理能力が現行の 35.0 万 m<sup>3</sup>/日から 24.2 万 m<sup>3</sup>/日に減少した際、硝化促進運転が可能な流入水量を、「下水道施設計画・施設指針と解説」（日本下水道協会）を参考に推定した結果、高水温期では西・東両施設の日平均値合計で約 20.0 万 m<sup>3</sup>/日（西；9.9 万 m<sup>3</sup>/日、東；10.1 m<sup>3</sup>/日）を、また低水温期（反応槽流入水温 17℃）には約 15.8 万 m<sup>3</sup>/日（西；6.9 万 m<sup>3</sup>/日、東；8.9 m<sup>3</sup>/日）と算出された。低水温期の硝化促進可能水量は、再構築後の日平均流入水量（16.6 万 m<sup>3</sup>/日）に満たない量であり、現状の運転方案では、通年での硝化促進運転は困難であると考えられた。

このことから、再構築期間中の東処理施設での処理水量の増加や、幹線切替による水量の減少が想定量に満たなかった場合の更なる流入水量の増加に対して、安定した窒素およびリンの処理を確保する方策の検討が必要である。当センターではその方策として、東処理施設の AO 法での運転や、ステップ運転を実施するなどの対応が可能であるが、これまで詳細な運転条件についての調査が実施されていない。そのため、これらの運転条件について調査、検討を行うこととした。

### 2.2. ライザー管開度の調整による硝化の効率化

当センターの東処理施設は、A 回路を全て嫌気槽とする AO 法での運転が施設、設備的には可能である。再構築の際の流入量増加へ向けた AO 法の運転条件の精査を試みることとし、様々な反応槽への空気供給パターンを変化させ、主に窒素処理にどのような影響があるかを調査した。

本調査は、平成 20 年 6 月から平成 21 年 8 月にかけての日常試験及び通日試験（調査実施は 12 回）において行い、これらの結果から各空気供給パターンの処理特性を検討した。なお、予備調査として反応槽各回路の処理状況を調査したところ、従来の空気供給パターン（表 2）では、反応槽上流側回路（A 回路後段、B 回路）の溶存酸素量が低く、NH<sub>4</sub>-N の酸化も進んでいなかった。そのため本調査では、ライザー管の開度調整を行い、A 回路後段、B 回路への空気供給量を増やす一方で C、D 回路の空気量を抑えることで、NH<sub>4</sub>-N の酸化と PO<sub>4</sub>-P の取り込みを早めることを目的として実施した。

調査の結果、表2に示した RUN 3 では、窒素、りん処理の進みが早く、安定した水質を確保できる一方、空気量を要した。また、A回路全てを嫌気とした RUN 4 は、調査期間が高水温期であったため好気槽滞留時間が短いにも拘らず、窒素、りんの処理性が RUN 3 と同等以上で安定した処理が行えた上、空気量が抑えられた (図2)。

これらのことから、高水温期には RUN 4 のパターンが、また、処理性の低下する冬季低水温期や、高負荷流入に対する対処方法には RUN 3 のパターンが有用であると考えられた。東施設の処理水量を増す必要が生じる再構築期間中についても、この RUN 3 のパターンが有用であると推定された。

表2. ライザー管の開度調整履歴

RUN <sup>†</sup>	ライザー管開度 (%)														
	1、2号槽*					3号槽					4号槽				
	A前	A後	B	C	D	A前	A後	B	C	D	A前	A後	B	C	D
1	0	25	100	100	100	0	25	100	100	100	0	25	100	100	100
2			同上			0	25	100	50	50	0	25	100	50	50
3			同上			0	37.5	100	37.5	37.5	0	37.5	100	37.5	37.5
4			同上			0	37.5	100	37.5	37.5	0	0	100	37.5	37.5

† 実施期間: RUN 1 ~ 平成 20 年 8 月 24 日  
 RUN 2 平成 20 年 8 月 25 日 ~ 平成 20 年 9 月 28 日  
 RUN 3 平成 20 年 9 月 29 日 ~ 平成 21 年 5 月 27 日  
 RUN 4 平成 21 年 5 月 28 日 ~ 平成 21 年 9 月 14 日

\* 1,2号槽を対象槽とした。

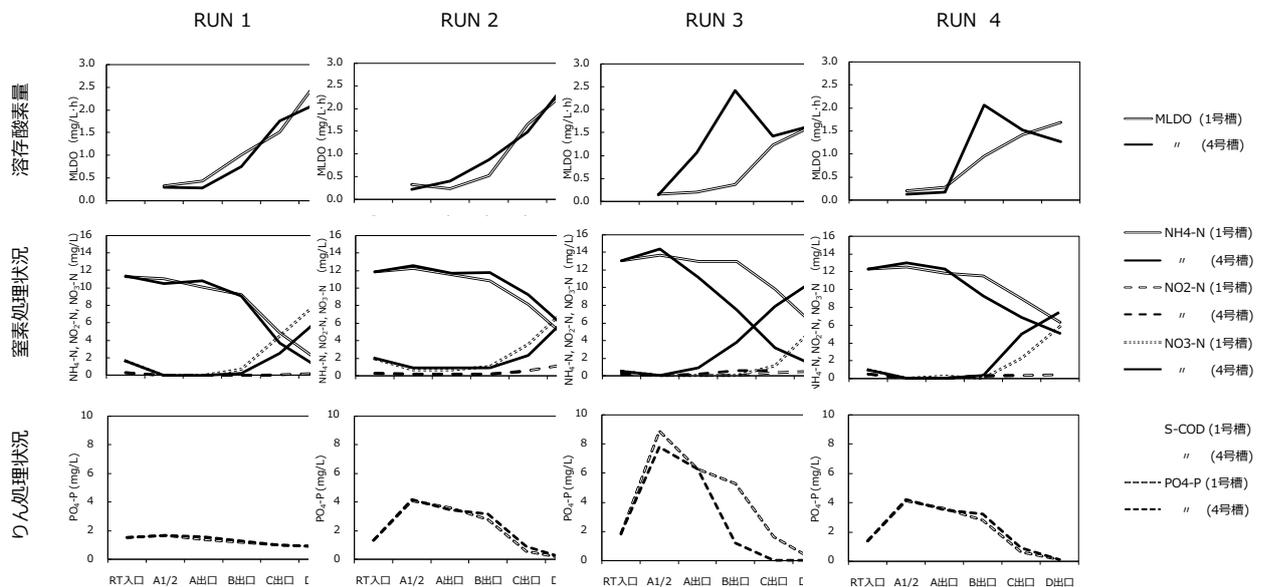


図2. ライザー管の開度調整を行った実験槽各回路の水質変化

4号槽(—)を実験槽とし、1号槽(---)を対象槽として行った。RUN 1 は通常の運転パターン。A1/2 は A 回路の中央。

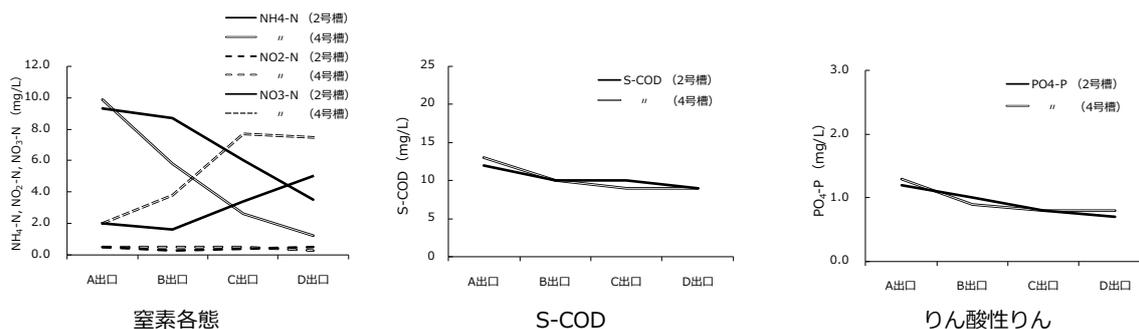


図3. ステップ化させた実験槽各回路の水質変化

2号槽(—)を実験槽とし4号槽(---)を対象槽として行った。平成21年11月10時(通日試験時)のデータ。

### 2.3. ステップ化が窒素処理に与える影響調査

東処理施設には、ステップ水路が設けられており、A,B,C,D回路に生下水を導入することが出来る。そこで、幹線切替による水量減が想定に満たなかった場合に東施設をステップ化することを想定し、りん、窒素の濃度を通年で安定して基準値以下に保つことを目指して、ステップ化による影響を調査した。

東施設反応槽(嫌気好気法全4槽)の実験槽(2号槽)をB回路から生下水を流入させるステップ処理に変更し、ステップ比を変えながら、アンモニア性窒素、りん等の処理性能を調査した(対照槽:4号槽)。

その結果、ステップ化による処理水質への影響は、りん、溶解性CODでは確認されなかったが、アンモニア性窒素の処理については、ステップ流入によるアンモニア性窒素負荷量の増加分がそのまま処理水質に反映されることが確認された(図3)。またその一方で、ステップ運転による硝化速度への影響はないことが確認出来た。

なお、西・東処理施設への分配堰が固定堰であり、処理水量の調整が出来なかったため、水量増加時の影響については把握出来ていない。

### 3. 今後の取り組み

平成22年4月から、分水槽可動堰の運用が開始され、東処理施設の水量負荷を変えることが出来るようになった。今後は、水量負荷を上げた状態での調査等、更に詳細を詰めて再構築着手による処理水質減に着実に対処し、良好な処理水質を確保していきたいと考えている。また、雨天時における簡易処理能力調査についても把握していきたい。

## 2-(4)-1 清瀬水再生センターにおける 圧入式スクリープレス脱水機の初期運転結果について

流域下水道本部技術部工事課 菱沼 義典

### 1 はじめに

地球温暖化ガスの排出削減が叫ばれている中で、汚泥処理においても、省エネルギーで低含水率ケーキの得られる脱水機が求められている。

清瀬水再生センターでは濃縮工程で凝集剤を注入する造粒濃縮が導入されており、脱水工程においても凝集剤の効果が発揮されている。そのため、遠心脱水機と比較して圧入式脱水機が有利であると判断され、当局として初めて高効率型圧入式スクリープレス脱水機を導入した。

本脱水機は、老朽化した2台のベルトプレス脱水機の更新機器として導入されたものであり、本稿では設備の概要と初期の運転結果について報告する。

### 2 設備概要

#### 2.1 システムフロー

システム全体のフローを図-1に示す。

清瀬水再生センターでは、第一沈降池で沈降した汚泥を重力濃縮した重力濃縮汚泥と、造粒濃縮設備から供給される造粒濃縮汚泥の2種類の汚泥を切り替えて脱水処理している。重力濃縮汚泥の場合は、カチオン系高分子凝集剤1液調質によって脱水処理を行い、造粒濃縮汚泥の場合は、造粒濃縮設備で塩化第二鉄と高分子凝集剤を注入(2液調質)して、脱水処理を行っている。

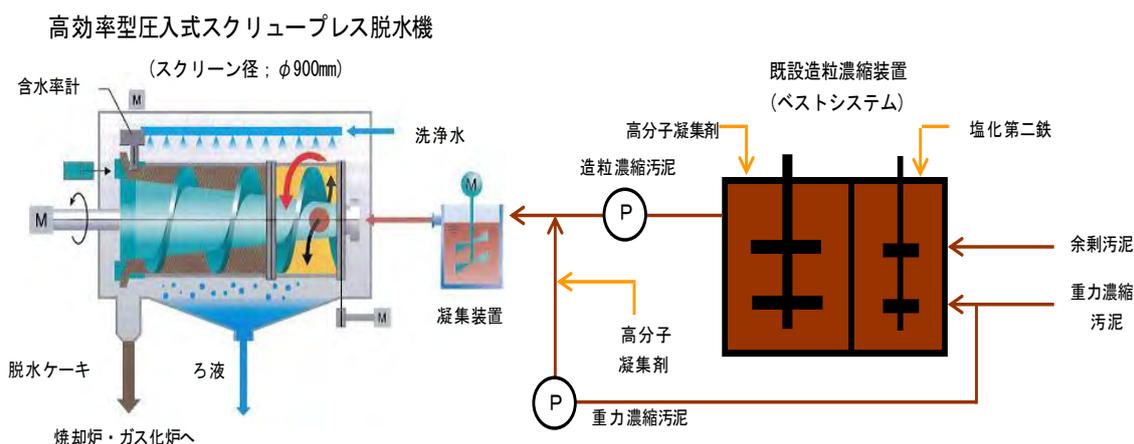


図-1 システムフロー

#### 2.2 高効率型圧入式スクリープレス脱水機の概要

高効率型圧入式スクリープレス脱水機(表-1、図-2)は、ろ過体である金属製薄板から成るドラム形スクリーンの内部でスクリーを回転させ、ろ室の容積変化とスク

リュー羽根による圧搾力で濃縮、ろ過、圧搾を行っている。本脱水機では、さらに入口部の濃縮スクリーンをスクリューと逆方向に回転させることにより濃縮部でのろ液排出量を増大させ、後段のろ過・圧搾部の汚泥充満率が高まることによって高い脱水性能が得られる構造になっている。

主な特徴としては、①低速回転のため騒音、振動がほとんどない、②消費電力が小さい、③消耗品の交換頻度が少ない、といった点が挙げられる。

表-1 汚泥脱水機仕様

名称	汚泥脱水機 7号		
形式	高効率型圧入式スクリュープレス脱水機 (含水率計付属)		
スクリーン径	φ 900mm		
電動機出力	総合	12.15kW	
	脱水時	6.65kW 注)脱水時は、外筒スクリーン後段部は回転させないため、脱水時出力から除外している。	
	洗浄時	9.95kW 注)洗浄時は、凝集装置は停止しているため、洗浄時出力から除外している。	
投入汚泥	種別	重力濃縮汚泥	造粒濃縮汚泥
	汚泥濃度	約 2.5~3.5%	約 1.5~2.5%
凝集剤	種別	カチオン系高分子凝集剤	塩化第二鉄+高分子凝集剤 (造粒濃縮設備にて注入)
	注入率	0.5%以下 (目標値: 0.4%)	塩化第二鉄 10%程度、 高分子凝集剤 0.4%程度
固形物処理量	780kg-DS/h 以上		
ケーキ含水率	75~76 程度		
固形物回収率	95%以上		



図-2 高効率型圧入式スクリュープレス脱水機

## 2.3 自動制御方法

### 2.3.1 重力濃縮汚泥の場合

圧入圧力一定制御、汚泥流量一定制御、ケーキ含水率一定制御を組み合わせる自動運転を行っている。各制御の内容は次のとおりである。

#### (1) 圧入圧力一定制御

汚泥供給ポンプの吐出量を自動制御し、圧入圧力が一定になるように制御するものである。

#### (2) 汚泥流量一定制御

汚泥供給ポンプの吐出量を固定とせず、圧入圧力一定制御に、汚泥流量が目標値となるようにスクリー回転数を自動制御する機能を追加したものである。

#### (3) ケーキ含水率一定制御

ケーキ排出部に設けたマイクロ波含水率計およびスクリー駆動機のトルク値をフィードバックすることにより高分子凝集剤の注入率を自動制御するものである。

制御の優先順位は圧入圧力一定制御を最優先とし、汚泥流量一定制御、ケーキ含水率一定制御の順に優先を付けて制御を行っている。

具体的には、目標圧力となるよう汚泥供給ポンプの吐出量を調整し、目標汚泥流量となるようスクリー回転数を増減させる。そして、流量値が目標流量範囲にあればケーキ含水率が安定するよう高分子凝集剤の注入率を制御している。

### 2.3.2 造粒濃縮汚泥の場合

圧入圧力一定制御により自動運転を行っている。

造粒濃縮設備より一定流量（回転数一定）で供給される造粒濃縮汚泥に対し、濃度変動等が生じた場合でも安定した処理ができるよう、スクリーの回転数および濃縮スクリーンを自動制御し、圧入圧力を一定に保つ運転を行っている。

## 3 運転結果（試運転結果）

### 3.1 重力濃縮汚泥の場合

運転結果を図-3、4に示す。

- (1) 図-3に示した性能確認試験結果において、試験結果の平均値（3時間の平均値）を設計条件（表-1 汚泥脱水機仕様参照）と比較すると凝集剤注入率は0.24%低下、処理量は3%増し、ケーキ含水率は1.3%低下、固形物回収率は3.2%増しの結果が得られ、全ての項目を満足することが確認された。やや処理量とケーキ含水率が変動しているが、これは汚泥濃度および汚泥流量の若干の変動が要因である。汚泥濃度変動幅は0.1%程度、汚泥流量は目標値に対して0.5 m<sup>3</sup>/h程度の変動幅であった。
- (2) 図-4に示した高分子凝集剤注入率変化試験結果において、凝集剤注入率を0.33%とすることで、ケーキ含水率を69.7%に低減できることが確認された。

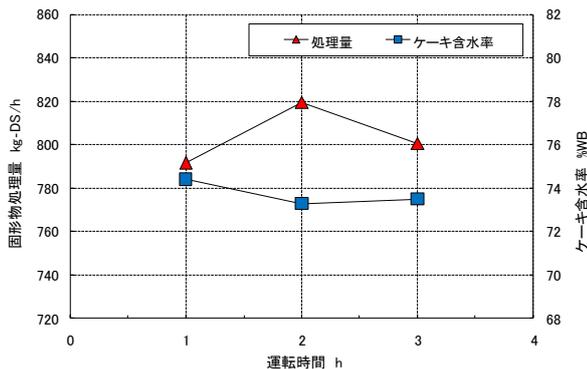


図-3 性能確認試験結果

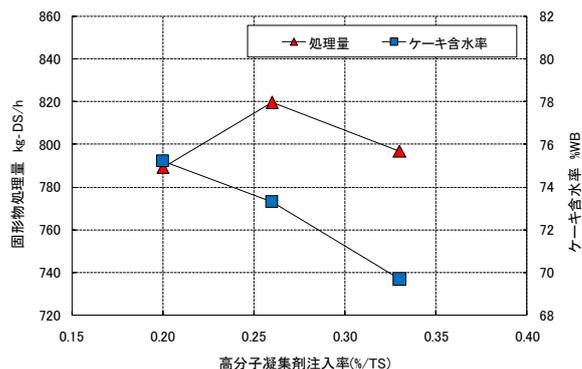


図-4 高分子凝集剤注入率変化試験結果

### 3.2 造粒濃縮汚泥の場合

運転結果を図-5、6に示す。

図-5に示した性能確認試験結果において、試験結果の平均値（3時間の平均値）を設計条件（表-1 汚泥脱水機仕様参照）と比較すると処理量は11%増し、ケーキ含水率は同等、固形物回収率は1.1%増しの結果が得られ、全ての項目を満足することが確認された。

わずかな処理量の変動が確認されたが、これは汚泥濃度が変動したため圧力制御がかかり汚泥供給量に変化したためである。変動幅としては、汚泥濃度は0.05%程度、汚泥流量は0.5 m<sup>3</sup>/h程度であった。

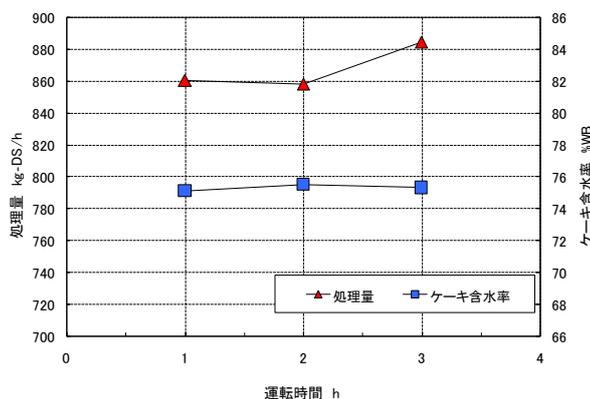


図-5 性能確認試験結果

図-6に示した長時間連続安定確認試験結果（28時間運転）において、下記の知見が得られた。なお、本試験は設備の運転管理上、造粒濃縮設備1台運転によるものである。

- (1) 造粒濃縮設備に投入された余剰汚泥濃度および重力濃縮汚泥濃度の変動に伴い、造粒濃縮汚泥濃度は1.38%~1.44%の間で変動した。
- (2) 処理量は、造粒濃縮汚泥濃度および供給汚泥量の変動（変動幅0.5 m<sup>3</sup>/h程度）により、若干の変動が確認された。なお、処理量の平均値は528kg-DS/hであった。
- (3) ケーキ含水率は、造粒濃縮汚泥濃度および供給汚泥量の変動により、73.1%~77.9%の間で変動した。なお、自動制御が追従していることが確認された。ケーキ含水率の平均値は75.7%であり、造粒濃縮汚泥濃度が高くなればケーキ含水率は低下し、濃度が低下すればケーキ含水率は上昇した。
- (4) 固形物処理量は造粒濃縮の能力に制御されているが、ケーキ含水率と同様に造粒濃縮汚泥濃度および供給汚泥量に伴い変動したが、自動制御により、固形物回収率の平

均値は 97.3%であり、変動幅は 3%程度であった。

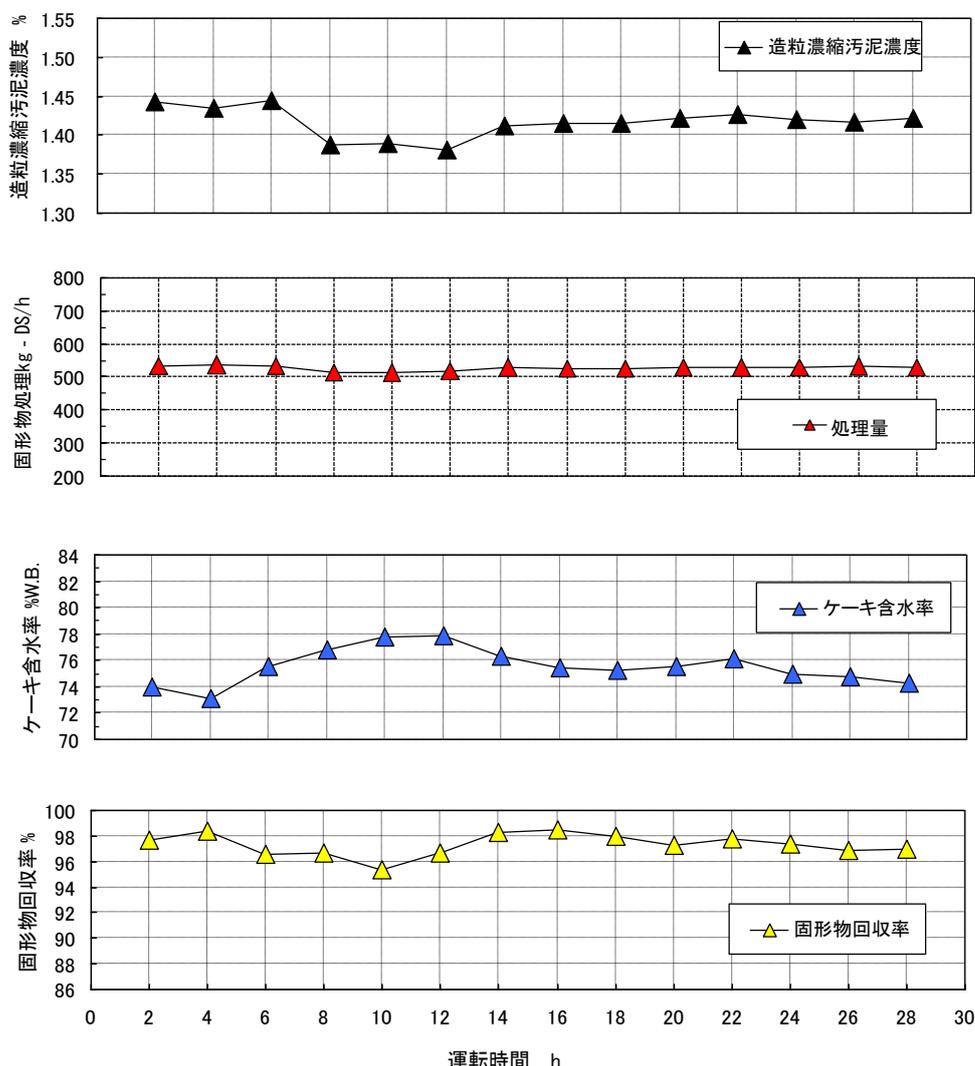


図-6 長時間連続安定確認試験結果

#### 4 おわりに

清瀬水再生センターに導入した高効率型圧入式スクリープレス脱水機は、重力濃縮汚泥、造粒濃縮汚泥の双方で所定の処理性能を達成した。重力濃縮汚泥の場合は、凝集剤注入率を 0.33%とすることにより、ケーキ含水率を 69.7%まで低減できることが確認された。また造粒濃縮汚泥の場合は、設計条件（表-1 汚泥脱水機仕様参照）と比較して処理量は 11%増し、ケーキ含水率は 75.3%と満足する結果が得られた。

従来、造粒濃縮設備との組み合わせでは、ベルトプレス脱水機が標準であったが、今回の導入によって高効率型圧入式スクリープレス脱水機でも対応可能であることが確認できた。

今後は、使用電力量をはじめ通年の運転結果や故障率、部品消耗品の交換頻度等コスト面の検証を行うと同時に、造粒濃縮設備や焼却設備も含め、トータル的に汚泥処理システム全体の省エネ化が図れるよう最適なシステムの構築に向けた検討を進める必要がある。



## 2-(5)-1 汚泥消化ガス発生量増量に向けた取組み

森ヶ崎水再生センター 渡邊 正人

### 1. はじめに

森ヶ崎水再生センター（以下、センター）では、平成16年4月に下水道事業では国内初のPFI事業として消化ガス発電施設（以下、発電施設）が稼働した。この常用発電事業は、厳しい財政状況の中、電力料金のコスト削減を図るとともに、地球温暖化対策としてCO<sub>2</sub>の削減に貢献するなど、局の重要事業に位置付けられている。

本発電施設は、図1のとおりバイオマスエネルギーである消化ガスを燃料とした、ガスエンジンによる常用発電施設で、ガスエンジンの冷却水（処理水）・燃料である消化ガスをセンターから提供し、ガスエンジンの排ガスを利用した温水器・消化ガス及び灯油焚き温水器により温水を生産して、消化槽加温用熱源とするコージェネレーションシステムとなっている。熱源である温水器の運転は、夏場の一部を除いて灯油焚き温水器の運転が多く、大量の灯油を使用するため、維持管理コストの増加・CO<sub>2</sub>削減量の減少問題が発生している。

そこで、南部スラッジプラント（以下、南プラ）での新2号炉建設にあたり、廃熱温水を処理水と熱交換し、発電施設に温水を供給することで、灯油焚き温水器の運転削減を図った。さらに、南プラからの温水供給を有効活用することで灯油焚き温水器の運転を最小限に抑え、消化ガス温水器の運転を最大限抑制し、消化ガス温水器で使用する消化ガスをガスエンジンに供給することで、発電量の増量を図った。これらの取組により、CO<sub>2</sub>を削減させることを目標に、施設管理部施設保全課と合同で改善案を提案したので報告する。

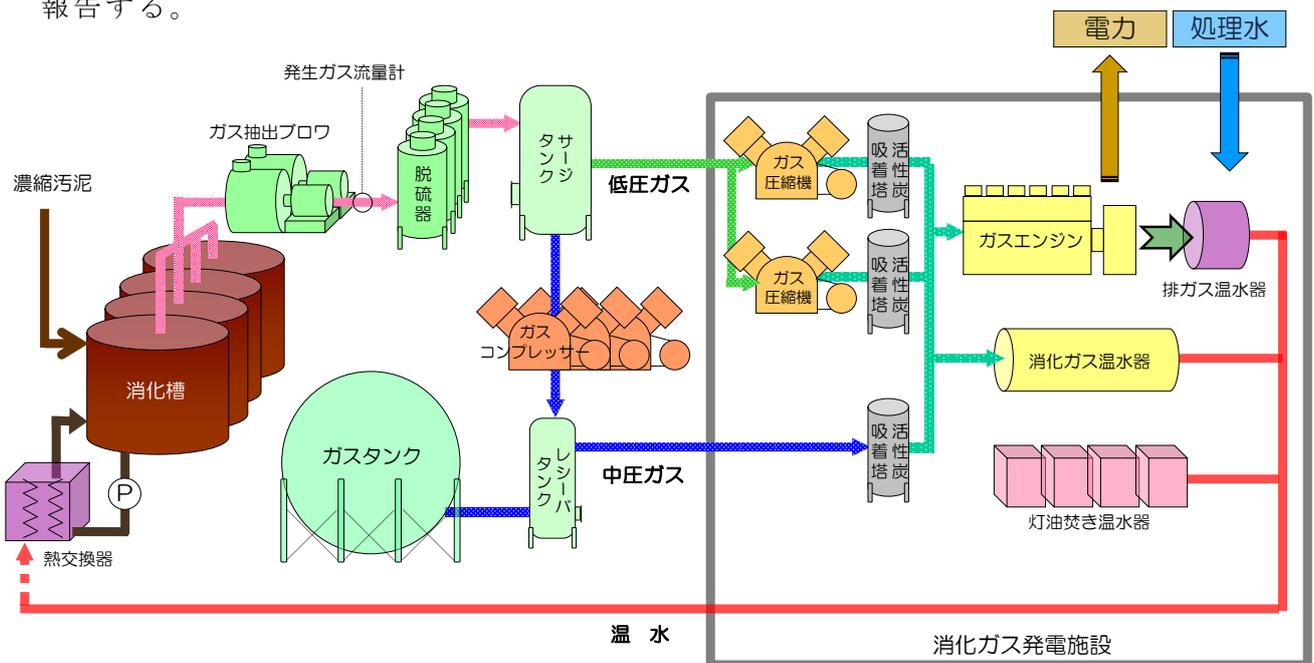


図1 発電システムの概要

## 2. 運転方法の改善等による取組み

### 2. 1 取組内容

ガスエンジンの発電量増量については、発電施設において稼働時の平成 16 年度当初から発電電力量と消化ガス発生量を問題視しており、表 1 に示す幾つかの取組を行ってきた。

表 1 取組内容

	取組	内 容
H 1 6	運転方法の変更	発生ガス流量変動に対して低圧⇒中圧主体の運転に切替え
	ガスタンク圧力による手動運転	発生ガス流量による自動運転⇒ガスタンク圧力による手動運転に切替え
	ガス設備の制御変更	余剰燃焼装置・ガスコンプレッサーの運転制御の見直し
H 1 7	発生ガス量増量への取組	重力濃縮槽に脱水ろ液を投入して、汚泥の沈降性を促進
	ガスコンプレッサーの増設	中圧主体の運転に対してガスコンプレッサーの予備機を追加
H 1 9	余剰燃焼圧力の変更	余剰燃焼装置の圧力設定の見直し
	低圧ガス圧縮機の制御変更	低圧ガス圧縮機の運転制御の見直し

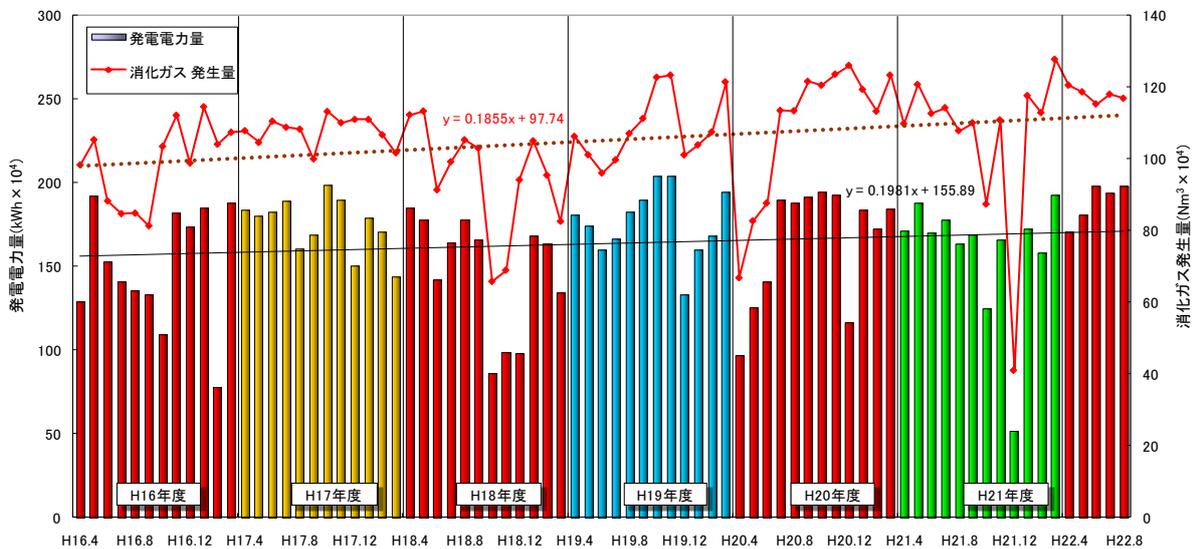


図 2 発電電力量と消化ガス発生量の比較

- (1) 平成 16 年度稼働当初は、低圧ガスラインを主体とした発生ガス流量による自動運転を行ったが、ガス流量の日常的な変動に対して自動運転での安定的な発電が困難となった。そこで、中圧ガスラインを主体とし、ガスタンク圧力変動による手動運転に切替え、ガス流量の日常的な変動に影響しない運転方法とした。
- (2) 平成 17 年度は、9 月にはガスコンプレッサーの増設工事が行われた。
- (3) 平成 18 年度は、6 月に温水要求熱量が低下したためガスエンジン⇒ガスタービンに

運転を切替え、安定運転の確保が実施された。10月～12月・3月は、消化槽加温用温水配管破損により消化槽・発電施設が長期間停止した。

- (4) 平成 19 年度は、12 月の発電施設の定期点検・局保守点検・ガスコンプレッサー故障等により長期間ガス発生量に影響した。
- (5) 平成 20 年度は、4 月に消化槽のフォーミング現象※によりガス配管内部まで消化汚泥が流出したため消化槽が停止して、6 月までの長期間ガス発生量が減少した。12 月は、発電施設の定期点検・局再構築工事・故障等により 1 か月間ガス発生量に影響した。
- (6) 平成 21 年度は、南プラからの熱供給工事により、10 月・12 月の期間に発電施設の長期停止が実施され、併せて消化槽が全停止した。

このように、年度毎に故障やトラブル、工事に伴う施設停止があり、一概にその年度の取組みに対して評価はできないが、全体を通して図 2 に示すとおり消化ガス発生量及び発電量は増加した。

※フォーミング：異常な泡立ち（汚泥の過剰投入・メタン菌の異常繁殖・pH 値異常等による発泡現象）

## 2. 2 CO<sub>2</sub>削減効果

2.1 の取組により、表 2・図 3 に示すとおり灯油使用量が年々減少し、計画値（CO<sub>2</sub>削減量：6,411t-CO<sub>2</sub>）に近い 90%以上の CO<sub>2</sub>削減を図ることができた。

計画時の CO<sub>2</sub>削減量に対して各年度を比較すると、平成 16 年度は発電機の初期トラブル等で発電電力量が少なく CO<sub>2</sub>削減量は 55.1%となった。また、平成 16～18 年度は、灯油炊き温水器の運転頻度が多く、灯油使用の影響により CO<sub>2</sub>削減量が減少した。その後は、平成 18 年度の温水配管トラブルにより発電施設が長期間停止した年度を除いて、発電電力量が増加したことで着実に CO<sub>2</sub>削減が図れた。

表 2 CO<sub>2</sub>削減効果

	計画	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22
発電電力量(千kWh)	—	17,977	20,964	17,613	21,178	19,767	19,060	21,890
灯油使用量(kL)	—	1,438	1,363	1,076	906	748	623	165
CO <sub>2</sub> 削減量(t-CO <sub>2</sub> )	6,411	3,360	4,698	4,105	5,902	5,750	5,789	8,019
CO <sub>2</sub> 削減率(対計画値%)	—	52.4%	73.3%	64.0%	92.1%	89.7%	90.3%	125.1%

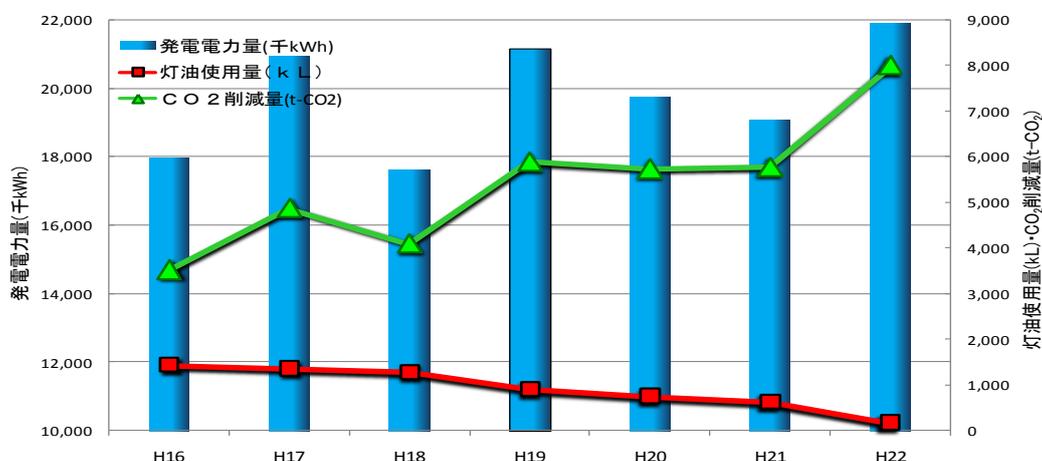


図 3 発電電力量及び灯油使用量と CO<sub>2</sub>削減量

### 3. 焼却炉からの高温排ガスを利用した取組み

消化槽加温用熱源である温水器の運転において、灯油焚き温水器の運転頻度が多く、かつ灯油の高騰により、CO<sub>2</sub>削減量が著しく減少してきた。そこで、新たな熱源として南プラ新2号炉建設にあたり、焼却炉からの高温排ガスを利用した熱供給設備が平成21年10月に稼動した。

常用発電事業では、この新たな熱源を有効活用することで、灯油焚き温水器の運転を最小限に抑制し、灯油によるCO<sub>2</sub>削減量の減少を防ぐ運転方法を構築した。また、消化ガス温水器の運転を最大限抑制し、発電量を増量する取組について施設管理部施設保全課・センター・発電事業者と合同で検討した。

#### 3. 1 取組内容

##### 3. 1. 1 南プラ熱供給設備

南プラ新2号炉の洗煙排水と白煙防止器排気により、2次処理水を10℃⇒87℃に昇温して、センターまで温水配管で送水し、廃熱熱交換器で消化槽加温用温水を供給する。

図4に熱供給設備の概要を示す。

この南プラからの熱供給は、発電施設での新たな熱源として有効活用出来る可能性があり、その活用方法を明確にすることで、今後の常用発電事業に多大なる貢献が期待できる施設となっている。

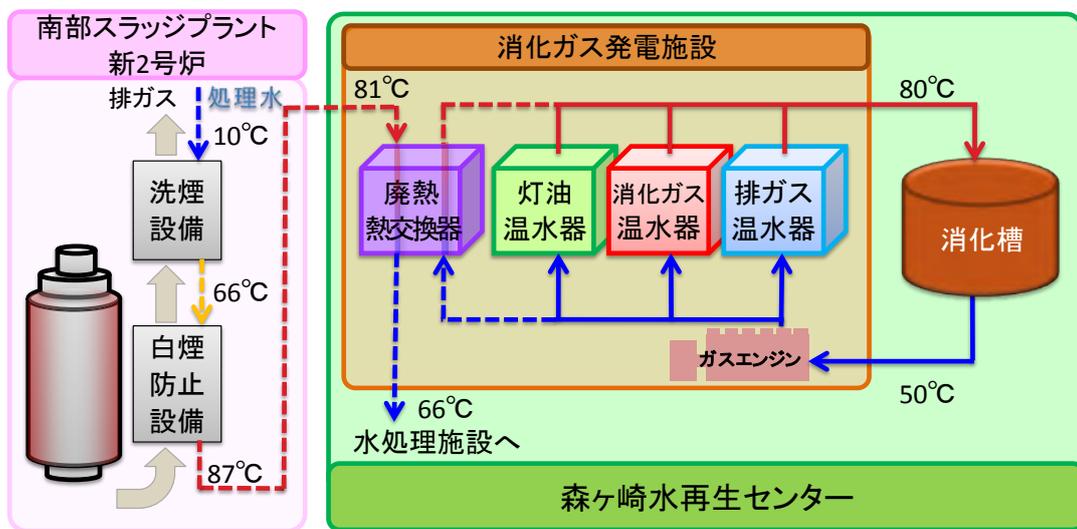


図4 南プラ熱供給設備の概要

#### 3. 2 灯油使用量削減

##### 3. 2. 1 コンセプトの整理

熱供給設備の取組を検討するため、常用発電事業のコンセプトを整理した。

センターから供給する消化ガスは、全量消化ガス発電施設で有効利用すること、かつ安定した熱源を前提に、次の制御を実施する。

- (1) 消化ガスは、第一にガスエンジンに供給して、発電による電力供給と排ガスによる温水供給を最優先とする。

- (2) センターからの要求熱量に対して、ガスエンジンの排ガス温水器で不足する熱量は、消化ガス温水器で熱供給して、ガスエンジンと併せて消化ガスを全量有効利用する。
- (3) 上記熱量でも、熱量が不足する場合は、南プラからの温水供給を活用する。
- (4) さらに熱量が不足する場合は、灯油温水器を運転して熱供給する。

### 3. 2. 2 灯油使用量の削減効果

3.2.1 のコンセプトにより、灯油温水器の運転を減少させることで、灯油の使用量を削減することができた。図 5 から、灯油温水器の使用割合が減少し、その代替としての廃熱熱交換器の使用割合が増加し、CO<sub>2</sub>削減のための効果をあげていることが分かる。

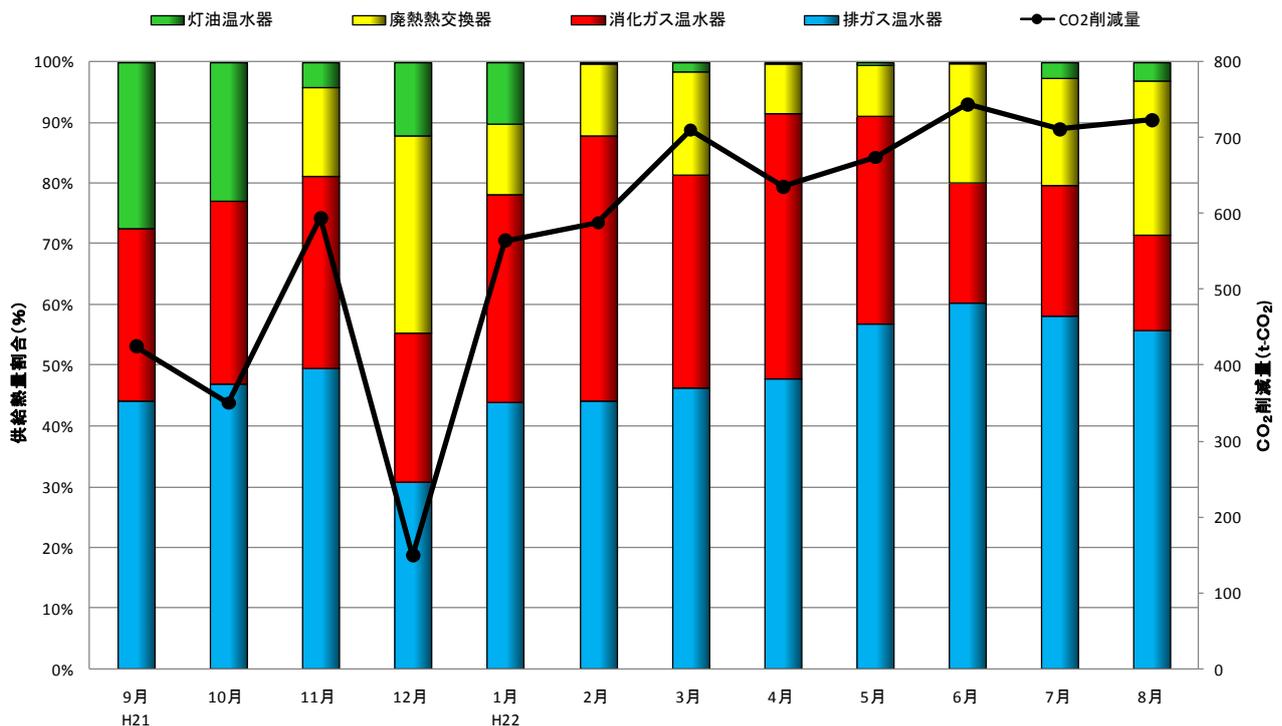


図 5 稼働日平均の供給熱量割合と CO<sub>2</sub>削減量 (H21・22)

## 4. 発電量増量の取組み

常用発電事業における課題として、発電量の増量が不可欠であり、これまでも運転方法の変更や燃料である消化ガス発生量の増量に取り組んできた。今回稼働した廃熱熱交換器は余裕があるため、さらに稼働率を上げることが可能である。廃熱熱交換器の稼働率を上げる代わりに消化ガス温水器の稼働率を下げることで、消化ガスの余剰分を発電に使用して発電量の増量を図ることを検討した。

### 4. 1 取組内容

#### 4. 1. 1 運転実績の整理

過去の運転実績は、帳票データを活用することで分析ができる。特にグラフ化することでデータが可視化でき傾向がつかみ易い。今回は、供給熱量と発電量を基に図 6 のモデル化を次の手順で行った。

- (1) ガスエンジンの運転が比較的安定していた、平成 19 年 1 月～12 月の供給熱量と電力量のグラフ化 【①】
- (2) ガスエンジンが 24 時間連続運転していた 232 日のデータだけを抽出 【②】
- (3) 供給熱量の大きい順番に整理 【③】
- (4) 灯油温水器を南プラ温水供給熱量 (4,200MJ/h) に置換え 【④】
- (5) 時間あたりの平均値を用いて再整理 【⑤】

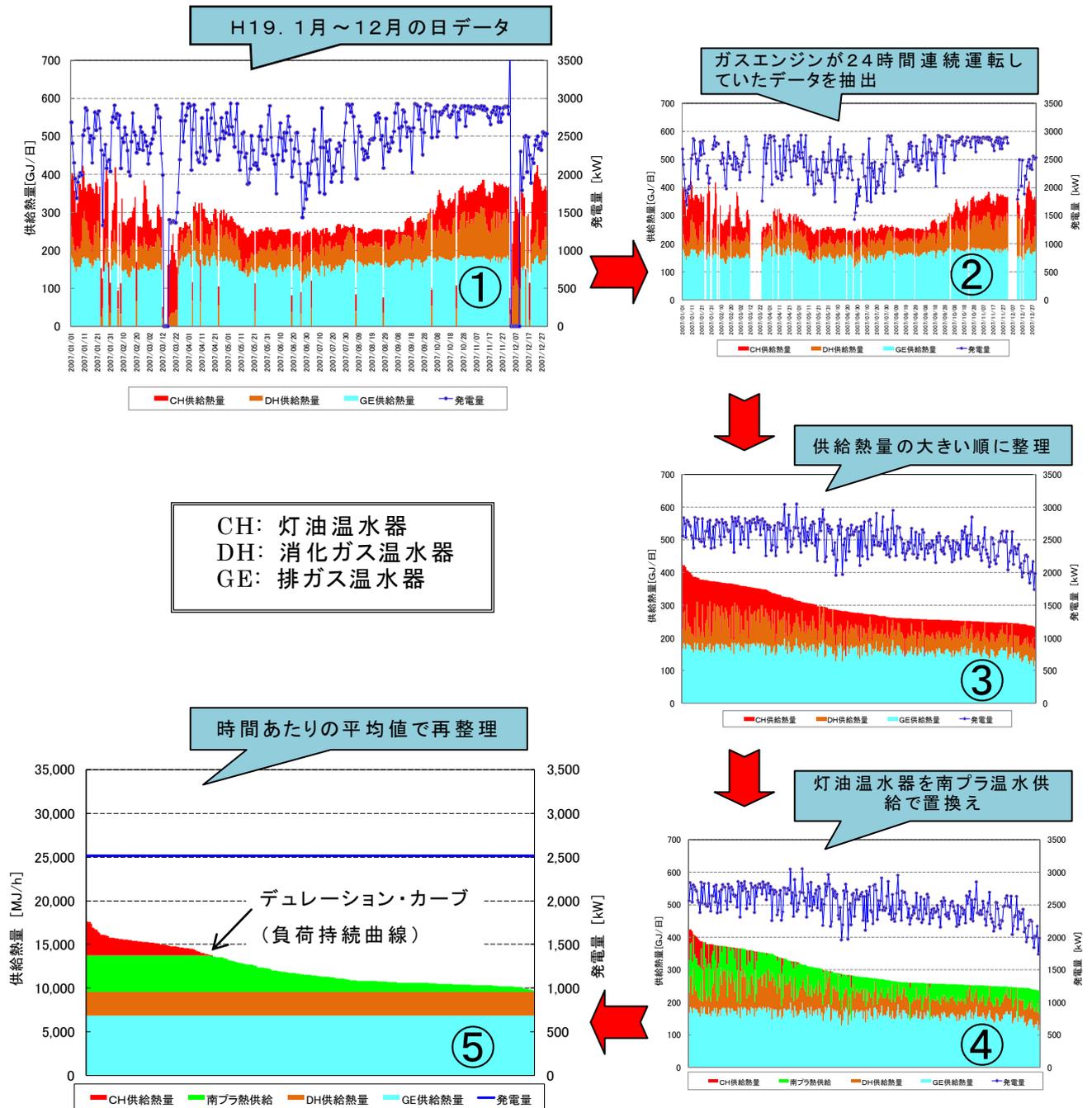


図 6 運転データ実績のモデル化

#### 4. 1. 2 南プラ熱供給の有効活用

モデル化した運転データを基に発電電力を最大限にする取組を図7に示すようにシミュレーションした。

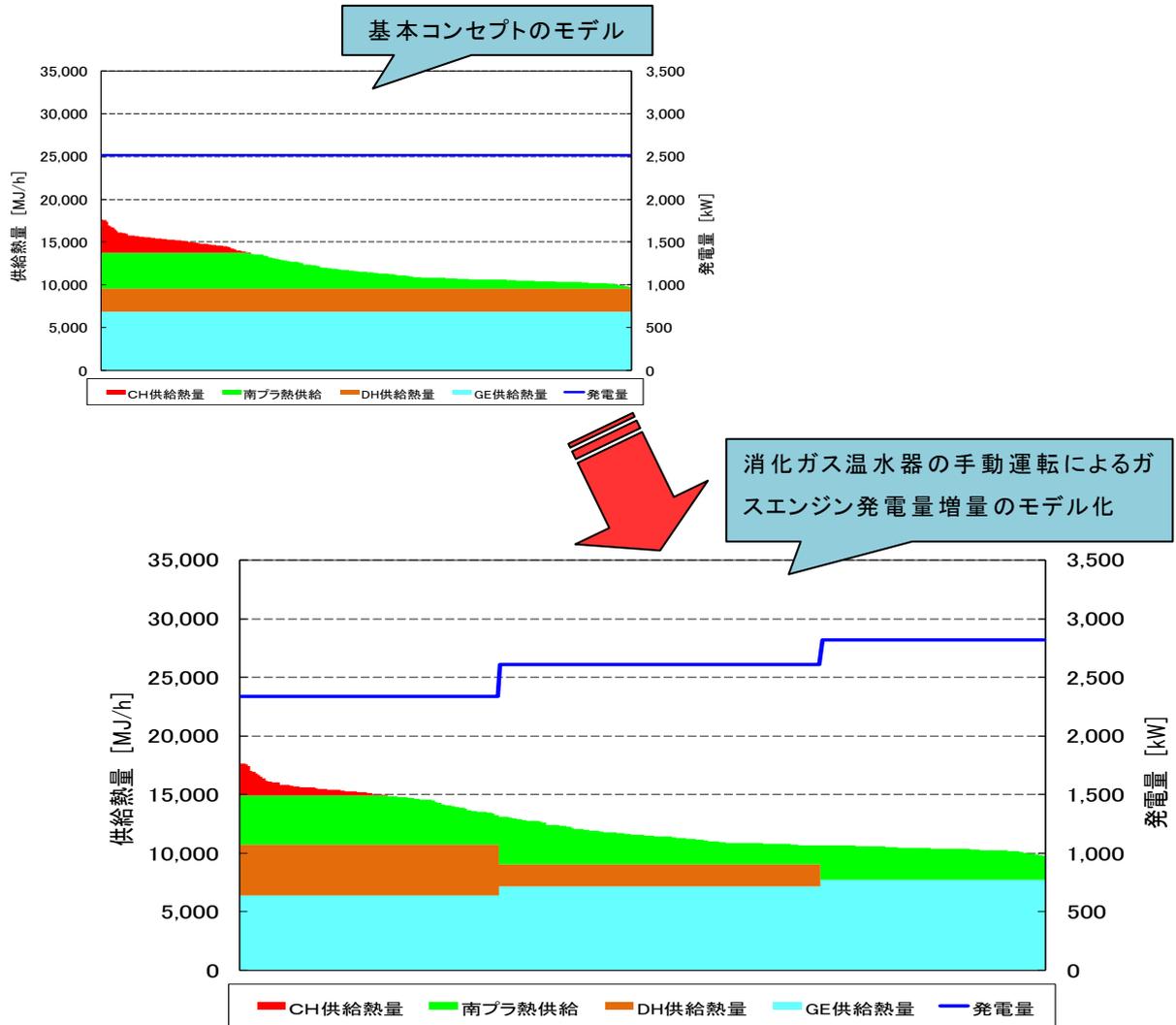


図7 消化ガス温水器の運転調整による発電量増量

このモデルの特徴は、基本コンセプトのモデル化から、消化ガス温水器の運転方法を手動運転とすることで、次の様な効果が期待できる。

- (1) 夏時期などの要求熱量が低い場合は、消化ガス温水器を停止させ、ガスエンジンに消化ガスを全量供給することで発電量が増量できる。
- (2) 春秋時期は、要求熱量に対して消化ガス温水器を調整運転することで、消化ガスの余剰分をガスエンジンに供給でき、消化ガス余剰分の発電量が増量できる。
- (3) 冬時期には消化ガス温水器を最大運転として灯油温水器の運転を最小限にすることができ、灯油使用量の抑制が図れる。

これらのプランを発電事業者の協力により実施することで、南プラ温水供給を最大限に活用でき、さらに、ガスエンジンによる発電量の増量が可能となる。

## 4. 2 取組の成果

平成 21 年 10 月から南プラ熱供給設備が稼働して発電施設に 80℃以上の温水が供給されたが、稼働当初は温水供給熱量制御の調整が上手く行かず、灯油温水器の運転が頻発した。その後、熱量制御のプログラム変更により徐々に、灯油温水器の使用割合を減らすことできた。

また、平成 22 年 5 月 31 日より消化ガス温水器の最小運転 (Min 100Nm<sup>3</sup>/h) を開始した。これにより、温水器に供給している消化ガスをガスエンジン側に振り替えることができ、発電量増が可能となった。さらに 7 月 20 日からは、消化ガス温水器を停止して、図 8 に示すようにガスエンジンに全量消化ガスを供給できる状況となった。

今回、発電量増量の取組により、常用発電事業の当初計画値を上回る CO<sub>2</sub> 削減を図ることができた。

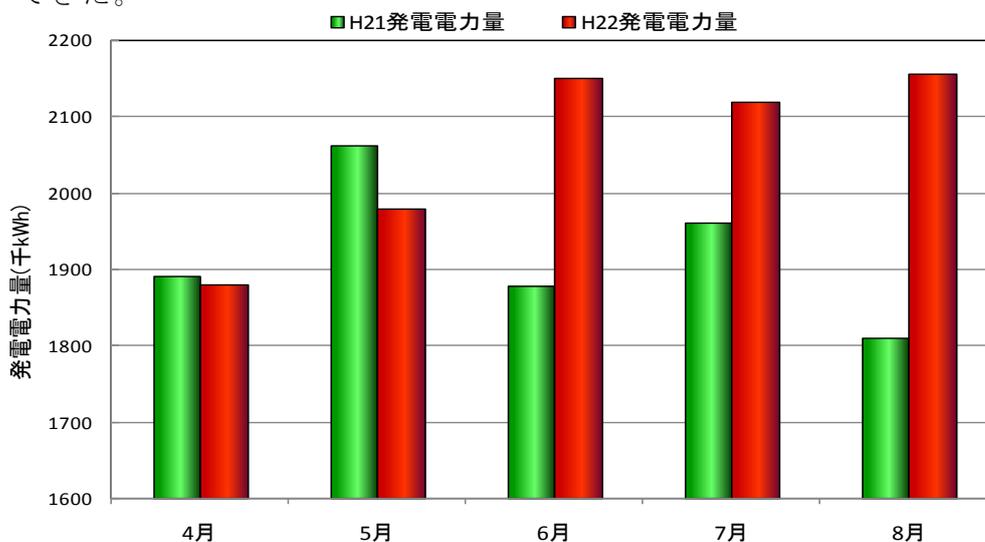


図 8 4 月～8 月期の発電電力量 (H21・22)

## 5. まとめ

消化ガス発電は、ガス発生量に発電量が影響する。このことは、年間を通して出来るだけ多くのガスを安定供給できるかがカギとなる。しかし、消化槽の維持管理は受入れる汚泥の性状や温度・天候により発生するガス量が左右される。また、日々の取組結果がガス量に反映されるまで日数が掛かり、維持管理が難しい。今回、システム全体で発電量増量に取組んできたが、肝要は日々の維持管理の継続である。

常用発電事業は、平成 22 年度で 7 年目を迎えた。今後もセンター・発電事業者の維持管理を継続し、安定した電力供給を図る所存である。

また、平成 22 年度からは、消化ガス配管ラインの調査を予定しており、供給ガス系統の見直しを行うことで、消化ガス発生量増量を検討しており、更なる発電量増量の取組と分析を行っていく。

## 参考文献等

1) 図表におけるデータ・数値は、センター及び発電事業者の帳票による。

### 3. 維持管理向上、事業効率化

- (1) 維持管理向上技術
  - 1 再生水残留オゾンによる腐食調査
  
- (2) 周辺環境対策技術
  - 1 『防音ハウス』と『ヘリウム混合ガスシステム』を用いた大深度ニューマチックケーソンの施工
  - 2 芝浦水再生センターの上部利用及び再構築事例について
  
- (3) 事業の効率化技術
  - 1 シールドマシンを移動回転させるエアーキャスター工法
  - 2 鮫洲ポンプ所雨水貯留池～勝島ポンプ所間連絡管の模型実験による流況調査について
  - 3 事業場排水に関する規制及び指導手法の強化と効率化に向けた新たな取組みについて



### 3-(1)-1 再生水残留オゾンによる腐食調査

T G S 施設管理部施設管理課 斎藤 孝一

#### 1. はじめに

東京都下水道局は安全で高品質な再生水製造を目的に 2004 年にオゾン耐性膜再生水製造システムを芝浦水再生センターに建設した。二次処理水を原水として生物膜ろ過、オゾン処理及びオゾン耐性膜ろ過を組み合わせた新しい再生水処理システムであり、製造された再生水は品川、汐留、大崎等の再開発ビルへの供給水やヒートアイランド対策の打ち水に使用されている。

東京都下水道サービス（株）芝浦再生水事業所は、本システムの維持管理を稼動開始より受託し、稼動から 6 年が経過した現在、安定的供給と計画通りの高品質の再生水が得られている。一方、再生水残留オゾンによるケーブルの損傷、金属腐食等の問題も発生している。現在、腐食の発生状況と原因について調査と対策を進めており、一定の腐食対策の成果が得られたので以下に報告する。

#### 2. システム概要と再生水残留オゾンについて

本システムはプレオゾン処理工程、生物膜ろ過工程、オゾン処理工程及び膜ろ過工程から構成されている。システムの特徴は、オゾンの強力な酸化力により有機物を分解し、適正な溶存オゾン在原水中に残留させることにより、オゾン耐性膜の目詰まりを抑制し、安定的な運転を継続している。

オゾン処理設備は大きく分けて「オゾン発生器」「酸素供給機」「原料空気コンプレッサ」「排オゾン処理装置」で構成されており、オゾンの強力な酸化作用により、臭気成分や色度成分を処理できるだけでなく、殺菌作用により細菌類を大きく低減できる。オゾン反応槽へ注入されたオゾンガスは水中に溶解し、有機物などと反応することでオゾンは消費されるが、オゾン消費物質である有機分等がオゾンにより酸化され減少するとオゾンは反応分解できなくなり溶存オゾンとして残留する。

この残留した溶存オゾン濃度を一定制御（フィードバック制御）することによりオゾンの過不足を防止し、オゾン耐性膜の安定的な運転を継続しているが、溶存オゾンが全量消費されることはなく、耐性膜ろ過水の中にオゾンが残留する。システム概要図及び関係設備仕様を図 1 及び表 1 に示す。

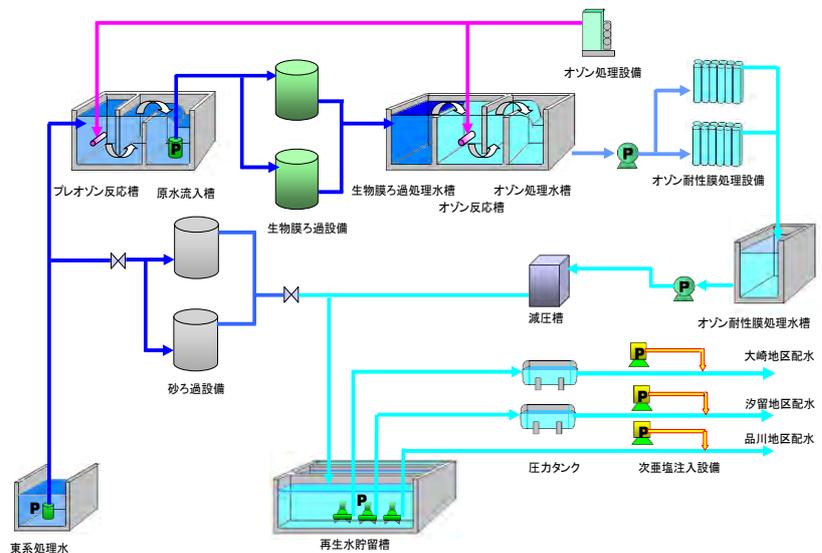


図 1 システム概要図

表1 オゾン設備とオゾン耐性膜設備の仕様

種 別	項 目	仕 様・形 式
オゾン設備	形 状	無声放電式
	オゾン発生量	2.6kg/時
	オゾン発生濃度	210g/Nm <sup>3</sup> 以下
	オゾンガス流量	12.4 Nm <sup>3</sup> /時
	吐 出 圧 力	0.12Mpa
	放 電 電 力	26kW
	数 量	2 台
オゾン耐性膜設備	形 状	中空糸形
	公 称 孔 径	0.1 μ m
	分 離 機 構	精密膜ろ過 (MF 膜)
	ろ 過 方 式	外圧ろ過方式
	処 理 水 量	2,550m <sup>3</sup> /日
	膜 面 積	672m <sup>2</sup> /ユニット
	膜 本 数	28 本/ユニット
	材 質	高結晶 PVDF 膜
数 量	2 ユニット	

### 3. 調査概要

#### 3. 1 調査内容

本システムは稼動から6年が経過する中で再生水残留オゾンによる、ケーブル損傷、ハウジング溶接部腐食等の問題が平成18年から発生している。これらの原因調査を行うとともに、再生水残留オゾンによる劣化状況確認試験を行い、ケーブルや金属に与える影響について調査した。

#### 3. 2 調査項目

##### (1) 再生水残留オゾンによる腐食状況と原因分析

再生水生産工程において、ケーブル損傷やハウジング溶接部腐食等の問題が発生しており、これらの現状調査と発生原因の分析を行った。

##### (2) 溶存オゾン濃度制御値と再生水残留オゾン濃度の関係

オゾン耐性膜の安定的な運転を継続するため、溶存オゾン濃度一定制御（フィードバック制御）を行っているが、溶存オゾン濃度制御値によって残留オゾン濃度が大きく変化するため、濃度制御値と残留オゾン濃度の関係調査を行った。

##### (3) 再生水残留オゾンによる劣化状況確認試験

プラスチックケースにソケット、ユニオン、ホースを取り付けた簡単な実験設備を作成し、再生水残留オゾンによる劣化状況確認試験を実施した。

### 4. 調査結果

#### 4. 1 再生水残留オゾンによる腐食状況と原因分析

オゾン耐性膜の目詰まりを抑制し安定的な運転を継続するため、膜の表面に1.0mg/L濃

度のオゾンが溶存させているが、溶存オゾンが全量消費されることはなく、再生水（耐性膜ろ過水）中にオゾンが残留する。

この残留オゾンの影響により、①配水ポンプ動力ケーブルの亀裂、②オゾン耐性膜ハウジング溶接部腐食等の問題が発生したものと推察できることから、これらの現状調査と発生原因の分析を行った。

#### 4. 1. 1 配水ポンプ動力ケーブルの亀裂について

再生水貯留槽に設置されている配水ポンプ 12 台のうち 5 台の動力ケーブルに亀裂が入っていた。表 2 は、各系統別配水ポンプ動力ケーブル損傷状況をまとめたものである。表 2 から、品川系 2 台、大崎系 2 台、汐留系 1 台の配水ポンプ動力ケーブル被覆に垂直方向の亀裂が発生している。

また、亀裂が発生している配水ポンプ 5 台のうち、4 台は平成 9 年度に設置されたもので、残りの 1 台は平成 15 年度に設置された配水ポンプであった。

劣化の状況が、酸化等による経年劣化の場合は、ケーブル表面にランダムに無定形のひび割れ（亀裂）を生じるが、オゾンによる劣化の場合は、応力（ひずみ）がかかった方向の垂直方向に亀裂が発生することから、亀裂の原因はオゾンによるものと断定できる。

ケーブルの亀裂が発見されたのは、平成 18 年 6 月の点検時であったが、それ以前に亀裂が発生していた可能性が高い。亀裂の発生は目に見えない個所で発生しており、現象が発生してから発見することが多く、オゾンクラック（亀裂）の発見が遅れる原因となった。

オゾン耐性膜処理設備が稼働したのは平成 16 年 4 月であることから、約 2 年間の残留オゾン暴露によりオゾンクラックが発生したものと推測される。

オゾンクラックの発生は、すべて再生水に接触しない個所で発生しており、再生水中（液相部）では発生していなかった。湿度が高い場合は、オゾン吸収量や表面の劣化は高くなり、湿度の高い状態でオゾン濃度が高くなれば、オゾンクラックの発生する可能性が高くなる。

表 2 配水ポンプ動力ケーブル損傷状況

名 称		ケーブル仕様	設置年度	損傷状況
品川系配水ポンプ	1号	2PNCT 5.5mm <sup>2</sup> ×4C	平成15年	亀裂なし
	2号	2PNCT 5.5mm <sup>2</sup> ×4C	平成16年	亀裂なし
	3号	2PNCT 5.5mm <sup>2</sup> ×4C	平成 9年	10cmの亀裂が縦方向に4か所有り
	4号	2PNCT 5.5mm <sup>2</sup> ×4C	平成 9年	細かい亀裂が、縦方向に無数有り
大崎系配水ポンプ	1号	2PNCT 5.5mm <sup>2</sup> ×4C	平成15年	亀裂なし
	2号	2PNCT 5.5mm <sup>2</sup> ×4C	平成16年	亀裂なし
	3号	2PNCT 5.5mm <sup>2</sup> ×4C	平成 9年	細かい亀裂が、縦方向に無数有り
	4号	2PNCT 5.5mm <sup>2</sup> ×4C	平成 9年	30cmの亀裂が縦方向に1か所有り
汐留系配水ポンプ	1号	2PNCT 38mm <sup>2</sup> ×4C	平成15年	亀裂なし
	2号	2PNCT 38mm <sup>2</sup> ×4C	平成15年	ケーブルを切断するような亀裂2か所有り
	3号	2PNCT 38mm <sup>2</sup> ×4C	平成15年	亀裂なし
	4号	2PNCT 38mm <sup>2</sup> ×4C	平成16年	亀裂なし

図 2 は、汐留系 2 号の配水ポンプ動力ケーブルの亀裂状況である。亀裂は、2 か所あり垂直方向やや斜めにケーブル被覆を切断するように発生していた。

図 3 は、大崎系 4 号の配水ポンプ動力ケーブルの亀裂状況である。垂直方向に長さ 30cm ほどの亀裂が発生しており、他に小さい亀裂がいくつもあり、全体的に劣化が進んでいた。

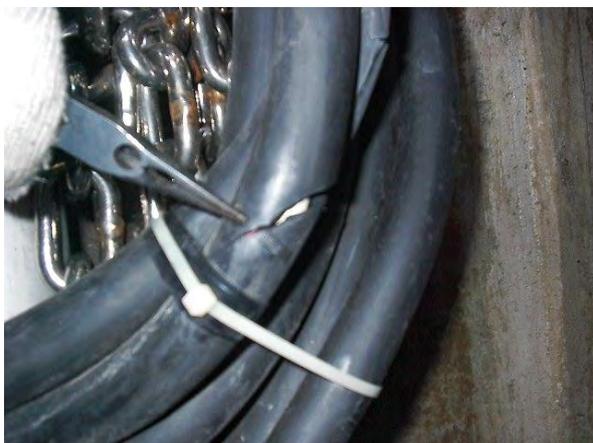


図 2 汐留系 2 号配水ポンプケーブル



図 3 大崎系 4 号配水ポンプケーブル

(1) オゾンクラック発生の原因

オゾンクラックの発生原因は、再生水中の残留オゾンが再生水貯留槽気相部に放散したオゾンガスにより配水ポンプの動力ケーブルを劣化（硬化）させ、ケーブルに何らかの応力が加わり亀裂が入ったものと推定される。調査の結果、オゾンクラック（亀裂）の発生要因として次の 3 つの原因が考えられる。

- 1) 図 4 から、再生水受水管が貯留槽水中部に没していないため、残留オゾン水が貯留槽に流入する時に滝落としとなり、貯留槽の水面をたたき残留オゾンが気相部へ拡散した。拡散したオゾンは FRP 覆蓋部に滞留し、動力ケーブルを暴露した。
- 2) 常に新しい再生水を供給ビルに送水する目的から、オゾン耐性膜ろ過水をできるだけ配水ポンプの近くに流入させたため、オゾンガスの自己分解促進が図れないまま FRP 覆蓋部に滞留した。
- 3) 配水ポンプの動力ケーブルを丸く束ねて結束バンドで何か所も固定したため、常にケーブルに応力が加わった状態になっていた。

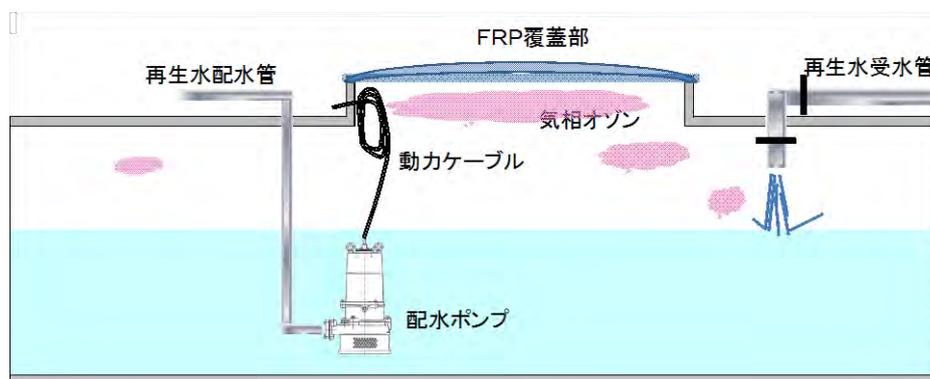


図 4 再生水受水・配水イメージ図

(2) オゾンクラック保護対策

オゾンクラック（亀裂）の発生は、目に見えない個所で発生しており、現象が発生してから発見することが多いことから次のような対策を講じた。

#### 1) 熱収縮チューブによる動力ケーブルの保護

ポンプ動力ケーブル（2PNCT：クロロプレンゴム系）を熱収縮チューブ（EPDM：エチレンプロピレンゴム系）により保護し、オゾンガスとポンプ専用ケーブルが直接接触しないように処置した。（図5）



図5 熱収縮チューブによる保護

#### 2) 貯留槽再生水受入れ場所の変更と残留オゾンの自己分解促進

再生水受水管の送水を2号槽から配水ポンプ、FRP 覆蓋が設置されていない1号槽に変更し、FRP 覆蓋個所に、オゾンが滞留しないようにし、再生水中の残留オゾンが再生水気相部にオゾンガスとして拡散した後オゾンガスの自己分解促進を図った。

### 4. 1. 2 オゾン耐性膜ハウジング溶接部腐食

オゾン耐性膜ハウジング56本のうち12本の溶接部ピンホールより漏水が発生した。漏水の原因は「スキマ腐食によりピンホールが発生し漏水した」と推定される。

漏水が発生した溶接部は完全溶け込み溶接ができる突き合わせ溶接であり、スキマ腐食の発生しにくい場所であるが、オゾンの影響により、腐食が進行したものと推測される。

図6は、オゾン耐性膜ハウジング2-2番のオゾン処理水入口部の腐食状況である。入口部円周上にピンホールがいくつか発生しており、圧力が変動した時にピンホールから水がにじみ出てくるのが、はっきりとわかる。



図6 ハウジング2-2番のオゾン処理水入口部

#### (1) ハウジング溶接部スキマ腐食の発生原因

芝浦水再生センターの二次処理水は、周辺環境が他水再生センター条件と異なり、電気伝導率が高く塩化物イオンが残留するといった特異的な水質特性で、現在でも塩化物イオンが400mg/Lを超えることがある。（表3）

過去に有明水再生センターにおいても再生水配管として使用しているステンレス管

にピンホールが生じ漏水する事故が発生したため、局の技術開発課で、再生水中の塩化物イオン濃度とオゾン濃度によるステンレス鋼の腐食の影響について調査を実施した。

表3 平成21年度 水再生センター別処理水の塩化物イオン濃度

水再生センター	塩化物イオン濃度 (mg/L)	水再生センター	塩化物イオン濃度 (mg/L)
芝浦 (本系)	380	小菅 (西系)	77
(東系)	210	(東系)	84
中川	64	落合	51
みやぎ (西系)	61	中野	43
(東系)	68	浮間	61
砂町	260	新河岸	58
有明	150	森ヶ崎 (西系)	77
葛西	110	(東系)	69

区部水再生センターにおける流入水質処理水質 (24時間試験平均値) より (抜粋)

調査報告の中で、塩化物濃度が 200mg/L を越える処理水に塩素処理やオゾン処理を施した場合、SUS系の鋼材を配管類に適用できないと判断している。

今回、発生したハウジング溶接部スキマ腐食は、これと、まったく同じ条件下で発生しており、溶存オゾンと塩化物イオンの共存する水では、長期にわたって、溶接部におけるスキマ腐食の発生の可能性が考えられる。

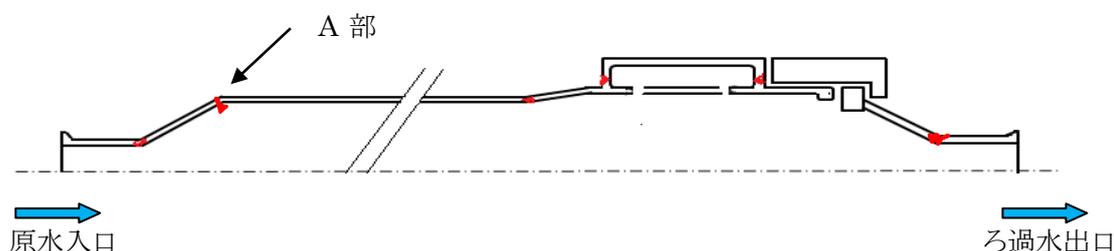


図7 オゾン耐性膜ハウジング構造図

図7からハウジングには溶接部が全部で6か所あるが、腐食によるピンホールが発生しているところは、なぜかA矢印か所だけであった。

## (2) 腐食対策

塩化物イオンが高いといった特異的な水質特性があり、ハウジングの材質 SCS16 から SUS316L に変更したが、2年経過し腐食によるピンホールが発見された。

対策として、溶存オゾン濃度制御値を30%低く抑えオゾンの暴露量を低減している。また、図8に示すようにハウジングをFRPに、材質変更し経過を見ているが、2年経過した現在、腐食による漏水等の問題は、まったく発生していない。



図8 FRPハウジング

#### 4. 2 溶存オゾン濃度制御値と再生水残留オゾン濃度の関係

今回発生した配水ポンプ動力ケーブルの亀裂は、再生水中の残留オゾンが、再生水貯留槽気相部に放散したオゾンガス暴露により発生したものと判明した。そこで、どのくらいのオゾン曝露量により発生したのか、溶存オゾン濃度制御値と再生水残留オゾン濃度の関係調査を行った。

図 9 は、9 月 8 日～11 日の溶存オゾン濃度制御値を 2.0～3.2mg/L に変化させ各工程の再生水平均残留オゾン濃度をグラフにしたものである。

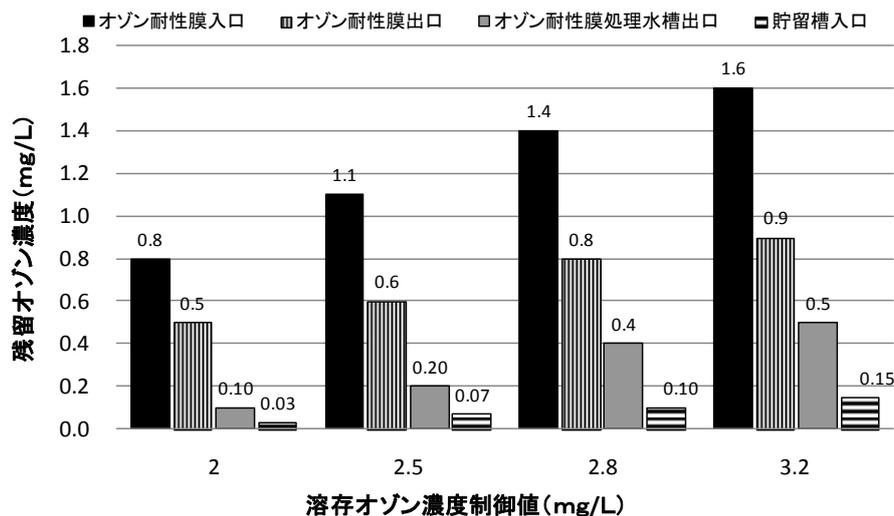


図 9 溶存オゾン濃度設定値と残留オゾン濃度変化

グラフから、オゾン耐性膜入口の残留オゾン濃度を 100% とすると、膜の出口で 55%、オゾン耐性膜処理水槽出口で 20%、貯留槽入口で 10% の残留オゾン濃度があることがわかる。また、溶存オゾン濃度制御値に比例して、各工程の出入口の残留オゾン濃度が高くなっているのが顕著に表れている。制御値 2.0mg/L で貯留槽入口残留オゾン濃度は 0.03 mg/L であるが、制御値 3.2mg/L では 0.15mg/L と約 5 倍高くなっている。

原水水質により、残留オゾン濃度は大きく変化するが、溶存オゾン濃度制御値を低く抑えることで、残留オゾン濃度が大きく低下することがわかる。また、貯留槽の覆蓋点検口を開け、オゾン検知器で測定した結果、制御値 2.5mg/L までは測定値 0.1ppm 以下であったが、制御値 2.8mg/L では 0.35 ppm、制御値 3.2 mg/L では 0.96 ppm が測定された。

平成 16 年度の本システム稼動時は、このシステムの導入時に行った実験データを基に運転指標を定め、溶存オゾン濃度制御値を 3.0～3.2 mg/L として運転を行ってきた。現在では、オゾン耐性膜の運転ノウハウが蓄積され、水質悪化時、豪雨等において膜の差圧上昇時の対応が、的確に出来るようになり、溶存オゾン濃度制御値を段階的に下げ、2.0mg/L で運転管理を行っている。

図 10 は、オゾン耐性膜入口の溶存オゾン濃度の変化を年度別に表したものである。年度別溶存オゾン濃度の変化から、ケーブルのオゾンクラック（亀裂）が発生した原因の 1 つとして、平成 16、17 年度の残留オゾン濃度が高かったためと推測できる。

以上のことから、どのくらいのオゾン曝露量によりケーブルに亀裂が発生したのか概略的に知るために、接触オゾンガス量を求めた。

貯留槽入口の平均残留オゾン濃度を 0.12mg/L と仮定すると、水温 20℃ で平衡する気相

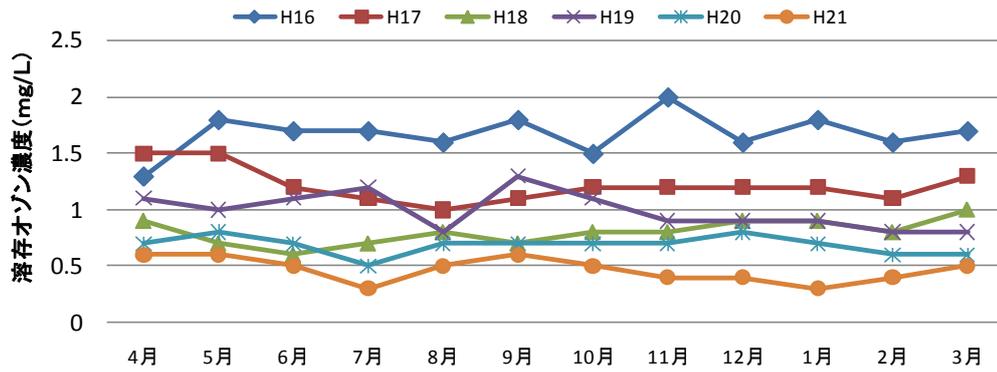


図10 年度別溶存オゾン濃度の経月変化

中のオゾン濃度は以下のとおりである。

$$0.12\text{mg/L} \div 0.29 = 0.41\text{g-O}_3/\text{m}^3$$

ここで、水中のオゾン濃度 (mg/L) と平衡する気相中のオゾン濃度 (mg/L) は、以下の式から求められる。(オゾン処理設備の基本設計指針より)

$$C_g = C_a \div K$$

$C_a$  : 平衡状態での液中オゾン濃度 (mg/L)

$C_g$  : 気中オゾン濃度 (g-O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>)

$K$  : 気液分配係数

$P_0$  : 気相圧力 (1atm)

$t$  : 水温 (20°C)

$$K = P_0 \times 0.604 \times (1 + t/273) \div (1 + 0.063 \times t) \\ = 0.29$$

貯留槽に流入する1日の平均オゾン耐性膜処理水量は 3,600m<sup>3</sup>とし、残留オゾンの30%がガス化したものと仮定すると、1日あたりの発生ガス量は

$$3,600\text{m}^3/\text{日} \times 0.41\text{g-O}_3/\text{m}^3 \times 0.3 = 443\text{g-O}_3/\text{日}$$

となる。したがって、ケーブルに亀裂が発生するまでの期間を2年間とすると、オゾンガス暴露量は約 323kg-O<sub>3</sub>と考えられる。

$$443\text{g-O}_3/\text{日} \times 365 \text{日} \times 2 \text{年} = 323,390\text{g-O}_3/2 \text{年} = 323\text{kg-O}_3/2 \text{年}$$

#### 4. 3 再生水残留オゾンによる劣化状況確認試験

オゾン耐性膜処理水槽出口についているサンプリング口から残留オゾン水がプラスチックケース内に滞留するように簡単な実験装置 (図11) を作成し、金属類、パッキン類、ケーブル類の15品目の再生水残留オゾンによる劣化状況確認試験を実施した。(図12)



図11 劣化状況確認試験装置



図12 劣化確認試験材料

負荷試験条件は平均で pH7.06、水温 22.8℃、オゾン濃度 0.1 mg/L、流入オゾン水量約 0.3L/分で暴露期間は平成 18 年 12 月から 3 年間実施した。劣化状況確認試験の結果は、表 4 のとおりである。

表 4 劣化状況確認試験結果

品 目	目 視 状 況
ゴムパッキン	表面がザラザラになり、劣化が進んでいた。弾力性がない
コンクリート目地ゴムパッキン	劣化が激しく、ふくれが発生、手で引っ張ると簡単に切れてしまう
グラントパッキン	ほとんど変化は認められない
テフロンパッキン	テフロン部分はまったく変化が認められない
600V ビニール絶縁ビニール キャップタイヤケーブル	被覆はほとんど変化なし、曲げると硬く硬化が進んでいる。折り曲げを何回も繰り返したが、変化なし
600V ゴム絶縁クロロプレーンゴム キャップタイヤケーブル	被覆がザラザラで劣化していた。曲げると硬く硬化が進んでおり、折り曲げを何回も繰り返しているうちに亀裂が入った。
VVF ケーブル	被覆はほとんど変化なし、曲げると硬く硬化が進んでいる
亜鉛めっきパイプ	液中部は、赤さび発生、気中部は、表面に薄く赤さびが発生
メッキ金具	液中部は、赤さび発生、気中部は、表面に薄く赤さびが発生
樹脂塗装金具	液中、気中部ともカット部に赤さびの発生が認められるが、塗装面は微小な赤錆が発生している。腐食の変化はほとんどない。
六角ボルト鉄／クロメート	液中部は、赤さび発生、気中部は、表面に微小な赤さびが発生
六角ボルト鉄／ユニクローム	液中部は、赤さび発生、気中部は、表面に微小な赤さびが発生
六角ボルト鉄／SUS304	液中部、気中部ともまったく変化が認められない
エルボー	液中部は、赤さび発生、気中部は、表面に微小な赤さびが発生
銅板	液中部より気中部の方が腐食が大きく表面が酸化して緑色になっている。(図 13)

劣化状況確認試験の結果は、劣化試験に使用された 15 品目の中で、パッキン、ケーブル等ゴムを使用した製品は、初期に保持していた弾力性が時間の経過に伴って低下（硬化）し、明らかに劣化したことが断定できた。

しかし、すでに述べたような、ケーブルのオゾンクラック（亀裂）の発生は再現できなかったが、ゴムキャップタイヤケーブルは繰り返し折り曲げる等の応力を加えたところ亀裂が生じた。

金属類については、SUS304 を除いて液相部では、腐食が激しく、原形をとどめないほど劣化が進行したのものもあったが、気相部ではほとんどの金属が表面に薄く赤錆が発生する程度であった。

再生水等で使用している金属類の腐食状況と比較すると、今回の試験金属の方が腐食の進行が早いように見えるが、オゾンの暴露により進行したともものと、はっきりと断定できなかった。



図 13 銅板の劣化状況

今回の劣化状況確認試験結果から、残留オゾン濃度が 0.1mg/L 程度の低濃度であってもパッキン類、ケーブル類の材質は耐オゾン性のある製品を選定することが好ましいと考えられる。

## 5. 考察

残留オゾンにより発生した配水ポンプ動力ケーブルの亀裂、オゾン耐性膜ハウジング溶接部腐食等の原因と対策について、次のような知見を得た。

### (1) 配水ポンプ動力ケーブルの亀裂の原因

亀裂の発生原因は、再生水貯留槽の構造上に問題があり、FRP 覆蓋内に再生水中の残留オゾンが滞留し、動力ケーブルを劣化（硬化）させたところに、応力が加わり亀裂が入ったと考えられる。

### (2) オゾン耐性膜ハウジング溶接部腐食の原因

芝浦水再生センターの二次処理水は、電気伝導率が高く塩化物イオンが残留する特異的な水質特性で、現在でも塩化物イオンが 400mg/L を超えることがある。この塩化物イオンと残留オゾンが長期に渡って共存することによって、ハウジング溶接部にスキマ腐食が発生した可能性が高い。

### (3) ケーブルに亀裂が発生するオゾン暴露量

どのくらいのオゾン暴露量によりケーブルに亀裂が発生したのか概略的に知るため、接触オゾンガス量を求めた。残留オゾンの 30% がガス化し暴露期間を 2 年間とすると、オゾンガス暴露量の推定値は約 323kg-O<sub>3</sub> と試算された。

### (4) 対策

配水ポンプ動力ケーブルの亀裂については、熱収縮チューブによりケーブルを保護し、オゾンガスとケーブルが直接接触しないように処置した。

また、貯留槽再生水受入れ場所を変更し残留オゾンの自己分解促進を図った。オゾン耐性膜ハウジング溶接部腐食については、溶存オゾン制御値を 30% 低く抑えた。現在、ハウジングを FRP で試作試験中である。

## 6. まとめ

今回の調査結果から、再生水に残留オゾンが 0.15mg/L 以上含まれている場合、気相中のオゾンが貯留槽の一部分に滞留しない構造とし、動力ケーブルは熱収縮チューブにより、保護する必要がある。

また、残留オゾンと塩化物イオンの共存する水では、SUS316L においても、溶接部におけるスキマ腐食の発生の可能性が高いと考えられる。

劣化状況確認試験結果から、残留オゾン濃度が 0.1 mg/L 程度の低濃度であっても、パッキン類、ケーブル類の材質は耐オゾン性のある製品を選定することが好ましい。

### 3-(1)-2 『防音ハウス』と『ヘリウム混合ガスシステム』を用いた 大深度ニューマチックケーソンの施工

基幹施設再構築事務所 工事第三課  
工事第一係 中島 亮

#### 1. はじめに

第二溜池幹線他1幹線立坑設置工事の施工の際に発生した課題『限られた作業空間での施工』及び『高気圧対策が必要な大深度での施工』に対し、現場で工夫したことについて報告する。

#### 2. 工事概要

施工場所は、中央区勝どき五丁目で築地市場の対岸に位置している。立坑は、千代田区・港区の一部の地区の雨水を放流する第二溜池幹線、銀座・築地地区の雨水を取込む勝どき幹線の発進立坑となる。その後立坑は、勝どきポンプ所となり、勝どき・月島地区の雨水を取込む月島雨水幹線が接続する計画となっている。

(図 1)

本工事は、第二溜池幹線(内径 8.0m)及び勝どき幹線(内径 3.5m)をシールド工事で施工するための発進立坑をニューマチックケーソン工法で構築するものである。工事規模は、外径 23.6m × 19.7m の矩形立坑で、掘削深度は 52.3m である。(図 2、図 3)



図 1 施工案内図

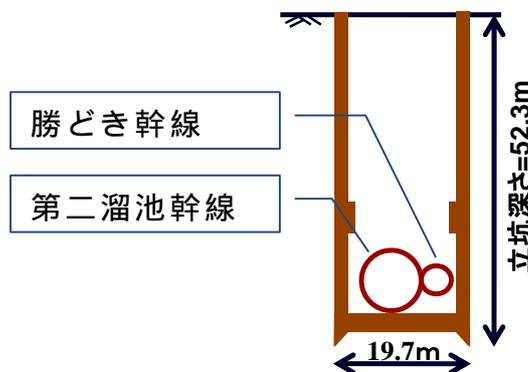


図 2 立坑断面図

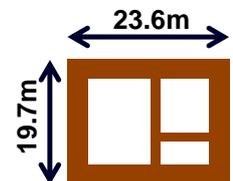


図 3 立坑平面図

### 3 . 施工上の課題

#### (1)限られた作業空間での施工

本現場は、三方をマンションに囲まれているため、騒音・振動を極力抑制する必要があった。(図4)この対策として、ケーソン掘削を作業空間の限られた防音ハウス内での施工とした。(図5)このことにより、以下の2点の課題が生じた。なお、防音ハウスの大きさは、幅 54.4m、長さ 59.5m、高さ 15.2～20.2mとした。

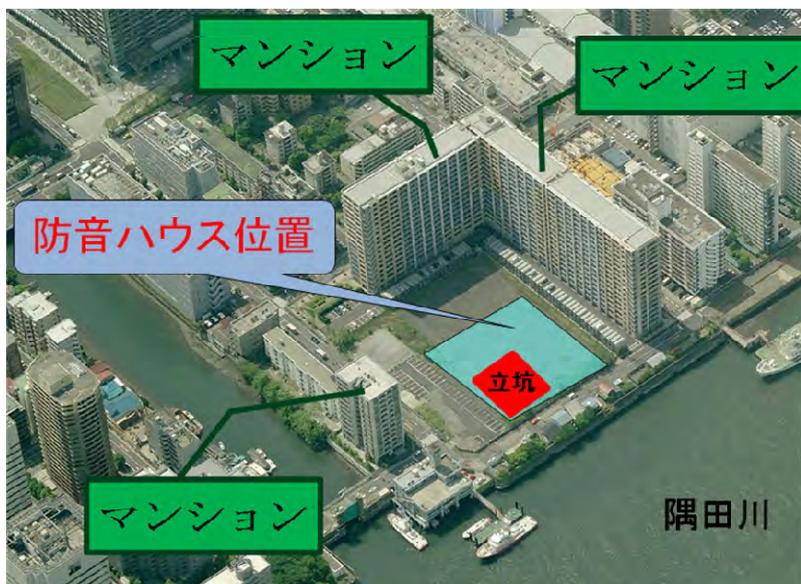


図 4 施工環境



図 5 防音ハウス管制後

## 1) 課題① 躯体構築とケーソン掘削の同時施工が困難

空間制限がない現場の場合、躯体構築のための鉄筋組みや足場の組立ては、大型クレーンを何台も用いてケーソン内に運び込むことが可能である。

また、掘削土を搬出する排土キャリアは自立式で設置が可能のため、クレーン作業の支障とならないように設置することで、躯体構築とケーソン掘削が同時に出来る。

しかし、今回は、防音ハウス内での施工で、躯体構築で使用するクレーンを天井クレーンとし、同じく排土キャリアも天井に設置した。(図6)

この結果、天井クレーンと排土キャリアの動線が重なるため、天井クレーンを使用する躯体構築と排土キャリアを使用するケーソン掘削との同時作業が困難となった。(図7)これが限られた作業空間内施工における1つめの課題である。

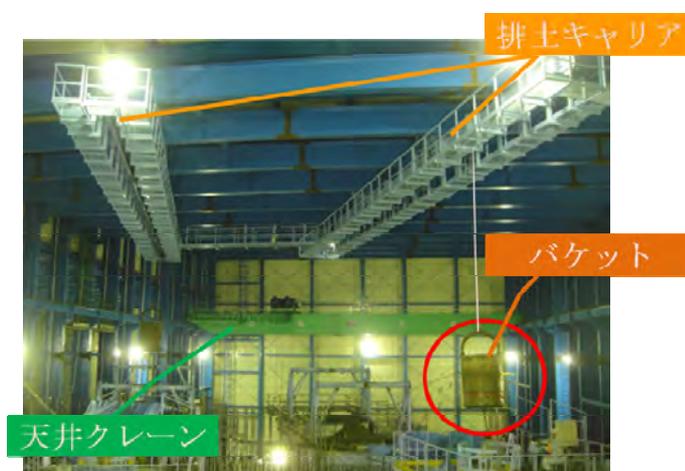


図6 防音ハウス内の排土キャリアと天井クレーン設置状況

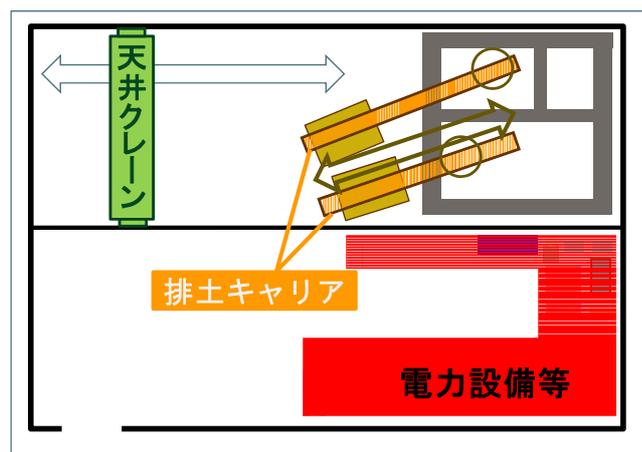


図7 防音ハウス内の排土キャリアと天井クレーンの動線

## 2) 課題②天井クレーンで吊り上げ可能な部材長は最大が9.5m

第二溜池幹線と勝どき幹線のシールド発進坑口はSEW工法を採用しており、最長FFU部材は11.89mだった。(図8)また、掘削深度と防音ハウス高さを考慮すると天井クレーンは70mの巻上げ可能でなくてはならず、クレーンはホイストの大きさが2.53mと大きいドイツ製の天井クレーンを設置した。

この結果、外形20.2mと限られた防音ハウスの中で排土キャリアと天井クレーンを設置する必要があったため、天井クレーンで吊り上げ可能な最大部材長は9.5mとなった。これが限られた作業空間内施工での2つめの課題である。(図9)

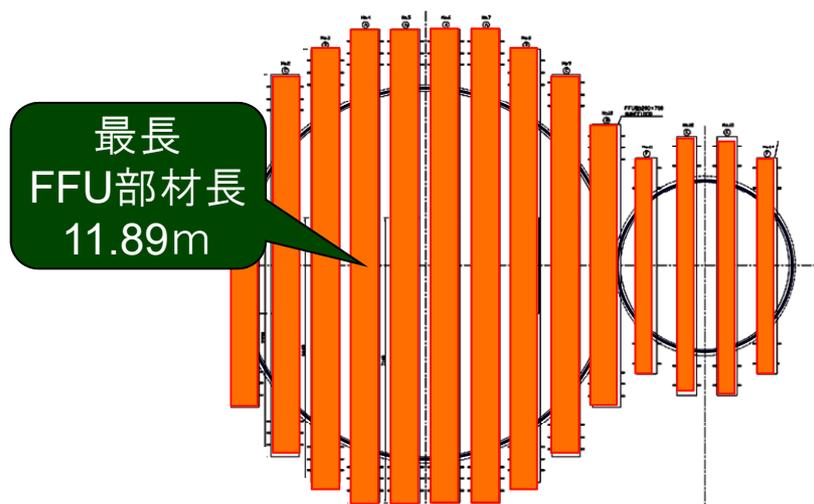


図8 発進坑口 (FFU部材)



図9 防音ハウス内の天井クレーン

## (2)高気圧下での施工

本ケーソンの最終掘削深度52.3mでは作業気圧は0.46MPaとなる。このような高気圧下では、大気圧下とは異なり、体内の酸素量・窒素量が通常より多くなることによる酸素中毒・窒素酔いなどの高気圧障害が懸念される。(図10)高気圧障害とは、窒素の気泡が血中を流れ、血小板が固まり、結果として、無菌性骨壊死、骨肉腫、四肢に痛みがでるベンズなどの症状が発生する。このため、高気圧下での作業においては、高気圧障害対策が必要となった。

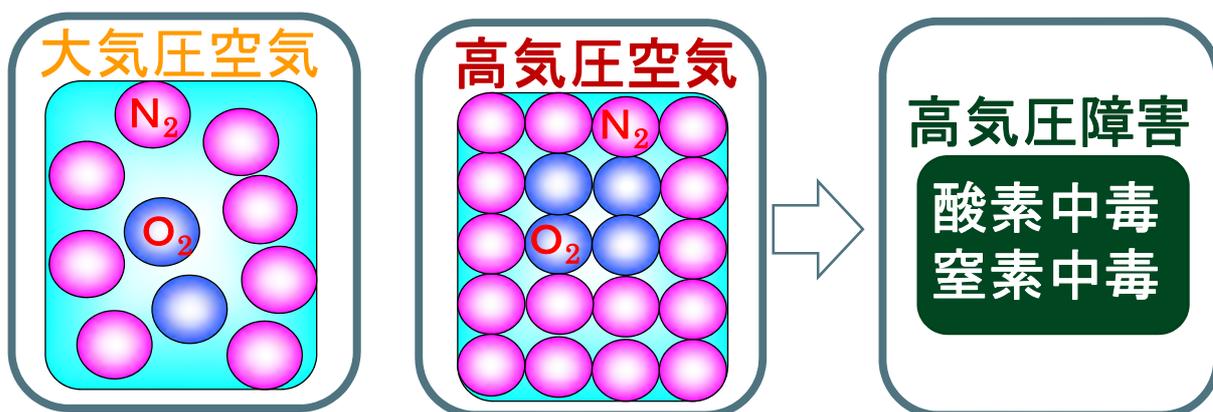


図10 高気圧下での血中状態

## 4. 現場での工夫

### (1)限られた作業空間内施工に対する工夫

#### 1)作業内容を昼と夜で区分

『ケーソン掘削と躯体構築の同時施工が困難』という課題に対し、施工工程上、昼夜の連続施工が必須となるため、施工サイクルを昼と夜とで区分した。

昼間作業は資材搬入を頻繁に行う躯体構築とし、夜間作業は防音ハウス内のみで出来るにケーソン掘削とした。

しかし、夜間掘削による掘削土の夜間運搬は不可能なため、一日の掘削度量150~160m<sup>3</sup>を夜間は土砂ホッパー内に仮置きする必要がある。そこで、通常は排土キャリア1基に対し、土砂ホッパー1基を設置するところを今回は二基連結し設置した。この組を2組設置することで、これまでの約2倍の180m<sup>3</sup>を土砂ホッパー内に仮置きすることが出来るようになった。(図11)これにより、昼間を躯体構築、夜間をケーソン掘削とすることを可能にした。

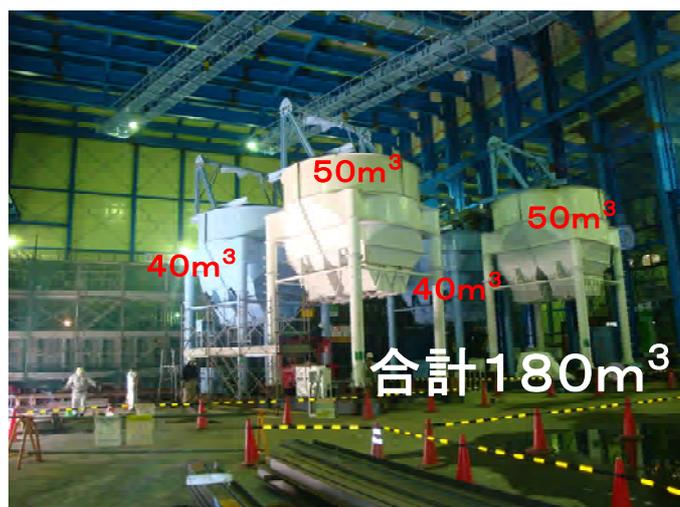


図11 二連式の土砂ホッパー

## 2) 部材を2分割

第二溜池幹線、勝どき幹線の発進坑口はS E W工法を採用していたが使用するF F U部材の最長は11.89mであったため、F F U部材を2分割した。2分割したF F U部材は、噛み合わせ部を2.4mとした最長7.145mで、これにより、天井クレーンでケーソン内への運搬が可能となった。(図12)

分割したF F U部材の接合部は、櫛の歯状とし、分割された部材の上下を接合した。なお、接合のボルトは第二溜池幹線のシールドの刃を損傷させないように、プラスチック製とした。(図13)

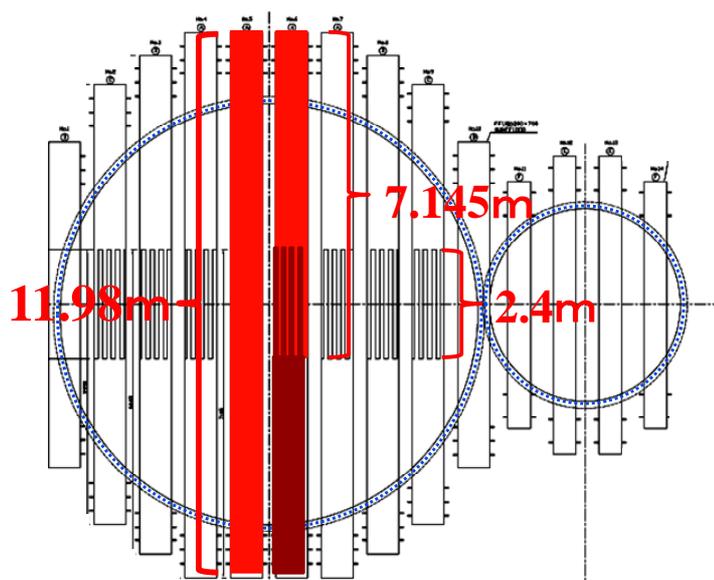


図12 F F U部材の分割施工



図13 S E W部材の分割施工状況

## (2)ヘリウム混合ガスシステムの採用

高気圧下での、高気圧対策として、本工事では、地下水位20.0mまでを有人掘削、地下水位20.1m以下を無人掘削とし、さらに地下水位40.0mから掘削作業以外の保守点検、修理、掘削設備解体等が入坑せざる負えない際は、ヘリウム混合ガスシステムを併用した。(図14)

高気圧障害は、体内の窒素量・酸素量が多くなりすぎることが原因なので、窒素量・酸素量を多くさせないことが対策の一つとなる。そのため、ヘリウム混合ガスシステムは、高気圧下で窒素量・酸素量が多くなりすぎないように、ヘリウムで置換することで、窒素量・酸素量と気圧を保ち、障害の発生を防止する方法である。(図15)

本施工では、窒素43%、酸素24%、ヘリウム33%の混合ガスを採用した。この割合は、酸素、窒素、ヘリウムの順に決定した。この割合は、まず酸素中毒にならずかつ酸欠にならない酸素量で酸素の割合が初めに決まる。次に窒素中毒にならない割合で窒素の割合を決め、最後に残りをヘリウムで満たすようにして割合を決定した。

この結果、高気圧下から大気圧への減圧時間の短縮が可能となり、作業員の高気圧障害も発生することもなく、安全に施工することが出来た。

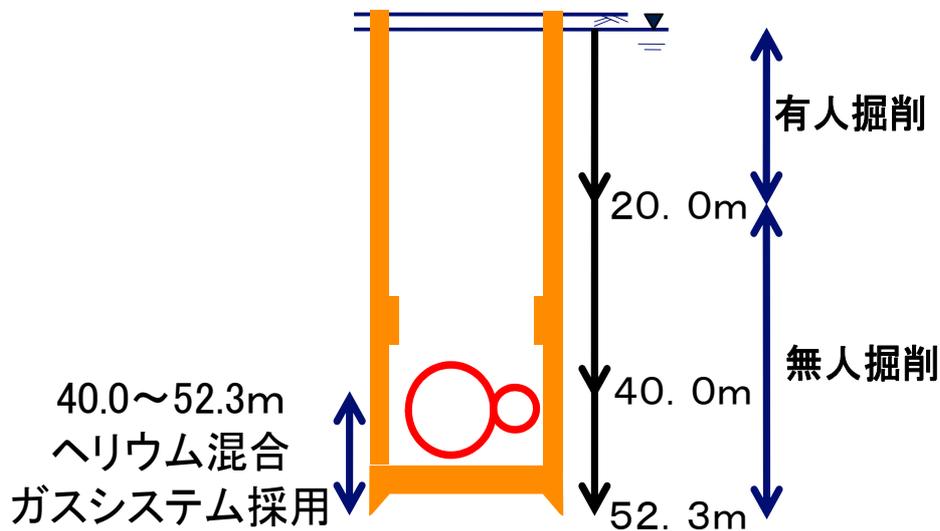


図14 ヘリウム混合ガスシステムの採用範囲

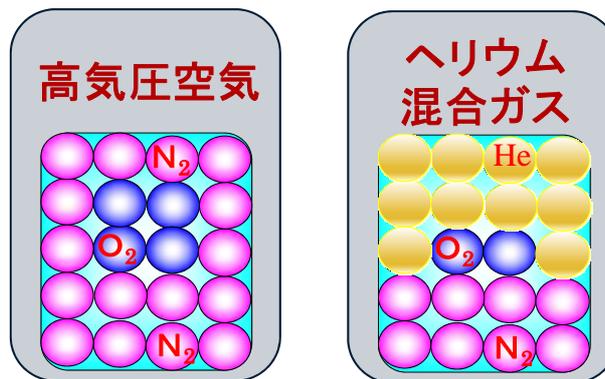


図15 ヘリウムの置換イメージ

## 5. まとめ

本工事では、『限られた作業空間での施工』での課題に対して、『作業内容を区分』し、『部材を2分割』する工夫をした。また、『高気圧対策が必要な大深度での施工』での課題に対しては、『ヘリウム混合ガスシステムを採用』する工夫を行った。

課題に対し、それぞれ工夫することで、限られた作業空間内で、大深度の高気圧対策が求められたが、安全に施工することが出来た。

本事例が、今後の都市土木における課題でもある周辺環境対策と大深度工事への参考になれば幸いである。

### 3-(1)-3 芝浦水再生センターの上部利用及び再構築事例について

建設部 土木設計課 田淵 真也

#### 1. はじめに

昭和6年に稼働した芝浦水再生センター（以下「センター」という。）は、老朽化に伴い大規模な更新時期を迎えており、段階的な再構築事業を計画している。

一方で、都の「品川駅・田町駅周辺まちづくりガイドライン」では、本センターが位置する港区港南地域（以下「センター地区」という。）では、環境モデル都市形成の中核的な役割を担う拠点として位置づけられ、環境に配慮した土地利用を図るとしている。

このため、東京都下水道局では、平成19年度から約15年間に渡る第一期再構築事業として、雨天時貯留池を建設すると同時に、貯留池上部に業務商業ビルを合築することで上部空間を有効利用し、当該地域周辺開発と整合を図る取組を実施している。さらに、既存の水処理施設上部を地区計画上の公共空地として人工地盤を築造し、大規模緑化空間を創出する計画を予定している。

本センターで実施する上記の事例について以下に報告を行う。

#### 2. センターの再構築事業計画と位置づけ

芝浦水再生センターは、港区の全部、千代田区、中央区、新宿区、渋谷区の大部分、文京区、豊島区、品川区、目黒区、世田谷区の一部から流集する汚水を処理し、東京湾に放流する施設であり、処理面積は、東京都区部の約12%に相当する64k㎡にあたる。センターの処理区域内は、官庁や民間企業の事務所が集中しているため、昼夜の人口の差が大きく、大きな繁華街を数多く抱える典型的な都市型下水道施設であり、区部下水道の根幹となる施設である。さらに、センターは老朽化による施設の更新にあわせて、同時に雨天時放流水質の改善のため合流改善施設の整備が求められている。

このような中で、限りのある敷地内で施設更新を段階的に進めていくため、第一期再構築事業として、旧第二沈殿池を解体し雨天時調整池76,000m<sup>3</sup>を整備し、その後、既存の雨天時汚水調整池45,000m<sup>3</sup>を解体し、曝気槽及び第二沈殿池を建設する計画である（図-1）。

一方で、センターの位置する港区港南地区は、東海道新幹線の品川駅開業に続き、羽田空港の国際化、リニア新幹線の発着駅構想等、重要な交通結節点としての役割が高まっており、今後も相当規模の開発が見込まれている。

都の「品川駅・田町駅周辺まちづくりガイドライン」では、本センター地区は、環境モデル都市形成の中核的な役割を担う拠点として位置づけられ、下水道施設の再構築にあわせた空間利用、環境と景観の向上としての公園機能の拡充、東京湾から吹き込む風の通り道となる「風の道の確保」、水と緑のネットワークの創出等が求められている（図-2）。

センター地区は、都市計画法上の地区計画（土地利用計画）を指定しており、センター南側及び北側を「業務商業機能エリア」、南側から中央にかけて「緑のエリア」として位置付けている。

上記背景の中で、下水道事業としての再構築事業と周辺都市開発の整合を図るため、雨天時貯

留池の整備にあわせて上部に合築で高さ 153mの業務商業ビルを築造する。さらに、既存の水処理施設上部に地区計画上の公共空地として人工地盤を整備し、大規模緑化空間を創出する計画である。

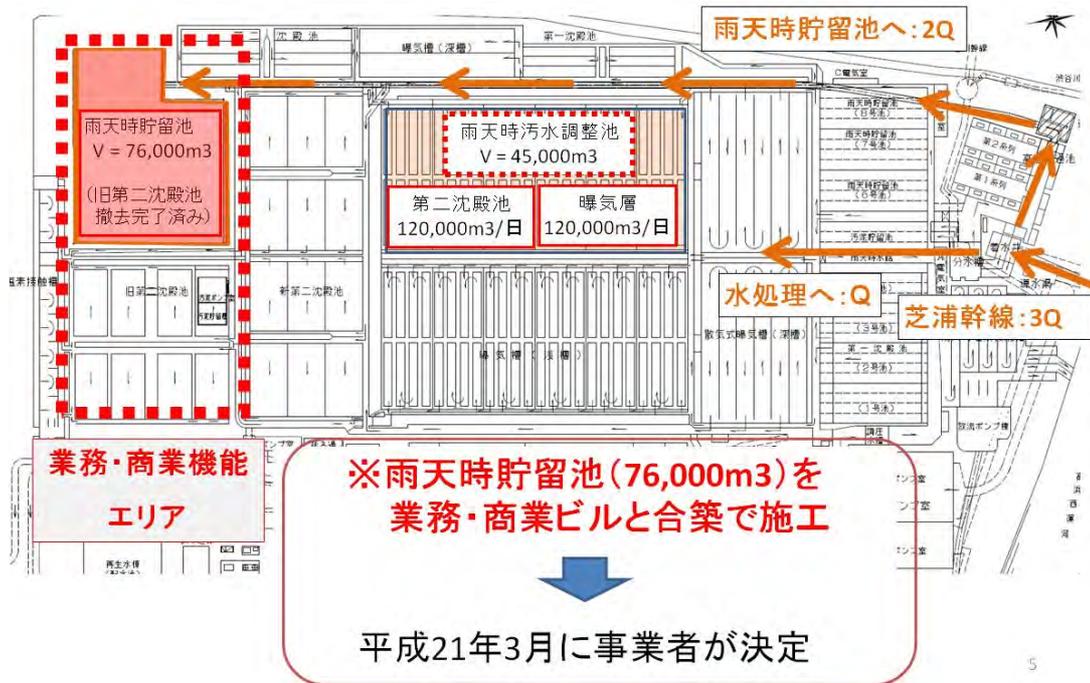


図-1 第一期再構築事業計画



図-2 地区計画（土地利用計画）

### 3. 事業への取組

#### (1) 上部ビル事業者との事業分担

本事業は、雨天時貯留池及び合築ビルを設計、施工をする上部ビル事業者（グループ）を総合評価一般競争入札により決定している（図-3）。

ビル建設の条件として、東京都の環境確保条例に基づく建築物環境計画書の評価基準や再生水、下水熱などの資源やエネルギーの利活用等最高クラスの環境への配慮を義務づけている。

さらに、公共空地として一般開放する人工地盤については、風の道の確保や、地域や環境面に貢献できる利用方法の提案を求めており、現在その整備方法等について検討を進めている。

なお、東京都と事業者の管理区分は表-1のとおりである。上部ビルの下部に建設する雨天時貯留池については、事業者による設計・施工となるが、管理者となる東京都下水道局と下水道施設としての機能性や維持管理等を満足する設計となるよう協議を行った。特に、高さ約160mの高層ビルの荷重を直接載荷させる貯留池の構造形式、上部が業務商業ビルになることから必要となる下水道施設特有の臭気対策、高層ビル建築に伴う都条例による環境アセスメントへの対応等について、上部ビル事業者と東京都が共同して検討を行った。

なお、人工地盤の設計概要と工事スケジュールは、図-4、図-5のとおりである。

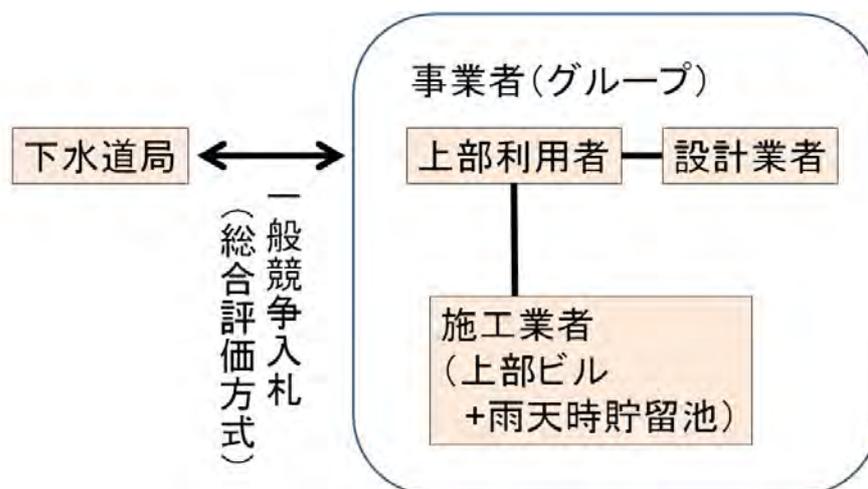


図-3 事業スキーム

	設計	施工	維持管理（所有）
上部ビル+ 雨天時貯留池			ビル： 貯留池：
新第二沈殿池 人工地盤			人工地盤下部： 上部利用：
雨天時汚水調整池人 工地盤			人工地盤下部： 上部利用：

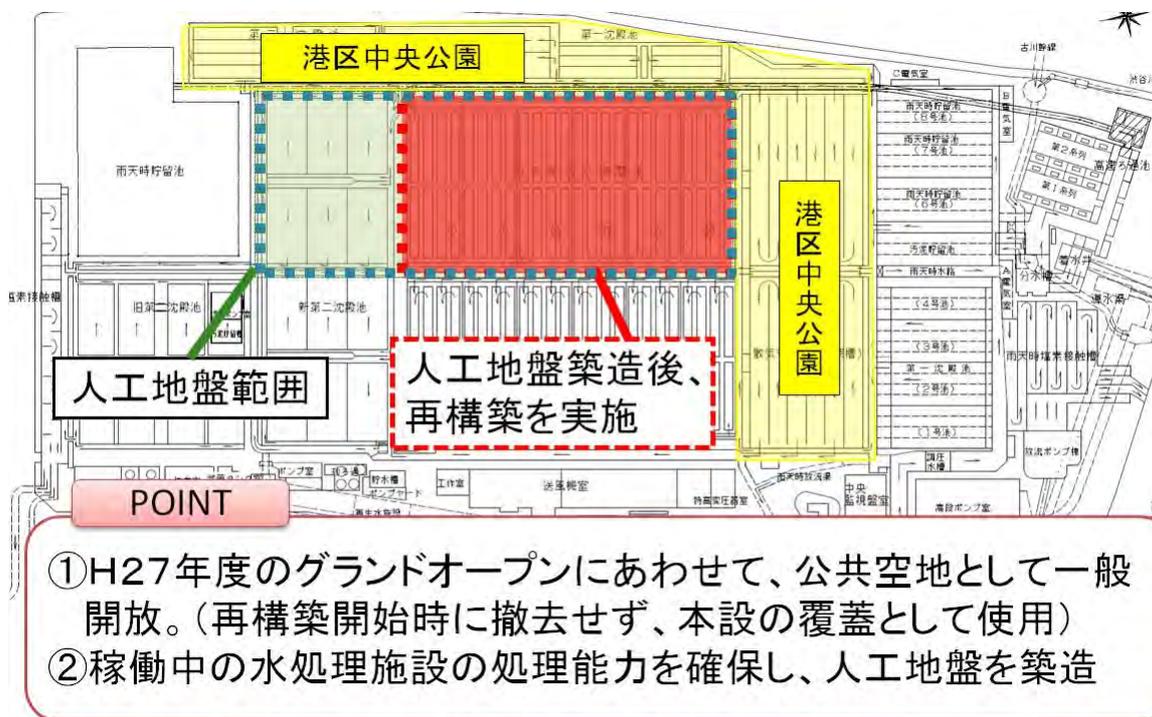


図-4 人工地盤の設計概要

	H23	H24	H25	H26	H27	H28
上部ビル						
雨天時貯留池						
人工地盤						
下部施設再構築 (二沈・曝気層)						

事業者施工  
 当局施工  
 人工地盤築造後

★グランドオープン

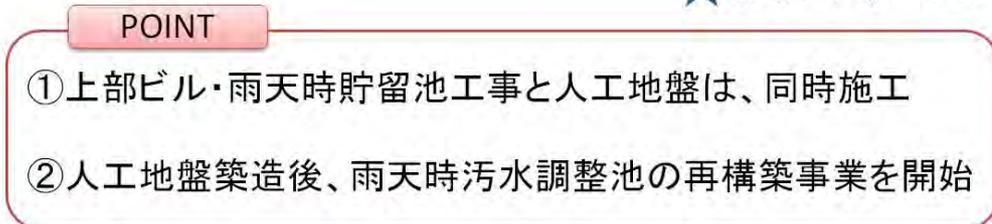


図-5 工事スケジュール

(2)法制度の活用

本事業を実施するために、各種都市計画に係る法制度を活用している。

合築ビル建設の条件を満たすために、都市施設である既存下水道施設上部に全国で初めて立体都市計画制度を適用することで、人工地盤上を建築敷地とみなし、建築基準法との整合を図っている(図-6)。

また、センター地区のまちづくりを着実に推進するために地区計画を指定し、計画的に下水道施設の再構築を実施していくために、上部利用事業を都市計画に位置付けている。

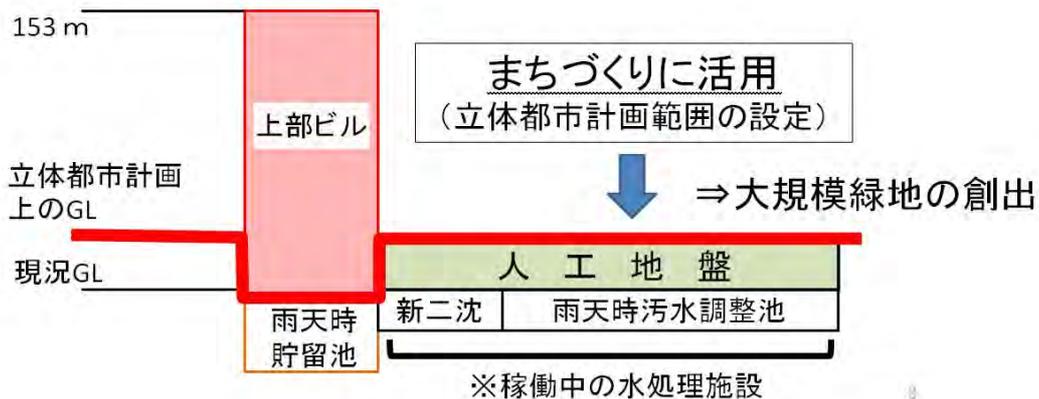


図-6 立体都市計画制度の適用

4. 再構築に配慮した人工地盤の設計について

(1) 新第二沈殿池人工地盤

新第二沈殿池は、センター再構築計画の中で約 30 年後に解体、築造をする計画となっている。このため、新第二沈殿池に築造する人工地盤は、既存躯体への影響を低減することが求められる。新第二沈殿池人工地盤については、様々な構造案について検討を行ったが(図-7)人工地盤の荷重を既存躯体に直接載荷した場合には、新第二沈殿池の耐力がもたず、全面的な補強が必要になってくることから、大スパン鉄骨トラス構造を採用した。支点となる箇所には部分的に補強杭、梁を増設し、人工地盤築造時にセンターの水処理機能の低下を可能な限り抑制した構造としている。

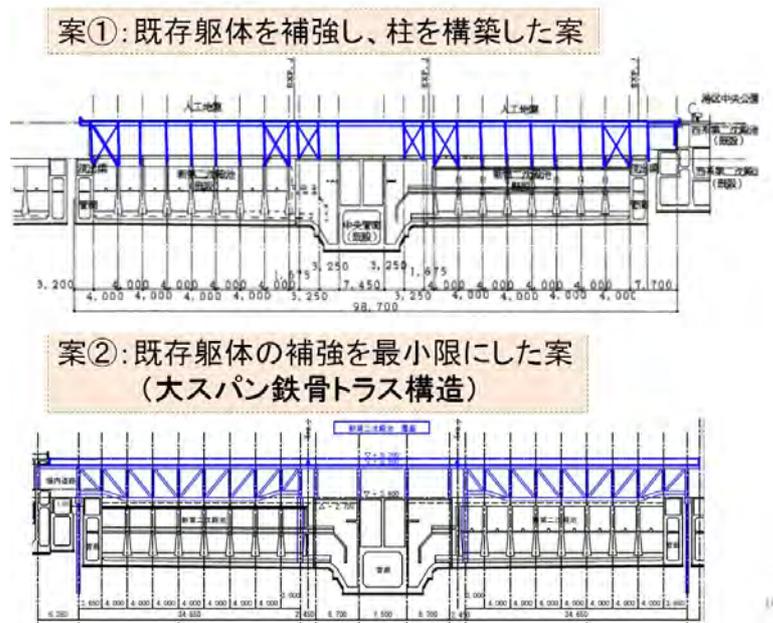


図-7 新第二沈殿池人工地盤の構造形式の検討

(2) 雨天時汚水調整池人工地盤

雨天時汚水調整池は、第一期再構築事業において、既存躯体を解体し、曝気槽及び第二沈殿池を建設予定である。様々な構造案について検討を行った結果（表-2）人工地盤の先行築造を行い将来水処理施設に配慮すると同時に、可能な限り PCa 化を行い、省資源化することで、工期短縮と経済性を追求する構造を予定している。

第一段階として、将来の水処理施設の池割り、柱間隔、底版位置等の配置計画を検討し、人工地盤を支持する杭の位置を決定している。なお、人工地盤を支持する杭は構真柱として築造し、上部に PCa 柱、PCa 梁、PCa 床版を設置するなど、柱、梁、床を一体構造とし、上部に緑化を配置後、人工地盤を共用開始する。その後、雨天時汚水調整池を解体し、順次再構築施設を築造する。

表-2 雨天時汚水調整池人工地盤の構造形式の検討

	仮設	本設
	純仮設	人工地盤先行築造 (PCaコンクリート造)
一般開放の可否	可能。 (仮設であるが、耐震性能あり)	可能 (ビル完成と同時期)
建設廃材の有無	全て建設廃材	無し
維持管理性	再構築工事時に全て撤去	維持管理費用が安い
総合評価	×	○

## 5. おわりに

本事業は、芝浦水再生センターの数十年単位の再構築段階整備の一貫としての事業である。単なる下水道施設の更新ではなく、ビル事業者と協同し、再生水、下水熱の利用と併せて、環境モデルビルを建設することや、人工地盤を整備して、大規模緑化空間を創出するなど、下水道事業が環境に配慮した都市形成に寄与する大きな事業である。

合築ビル事業者からは、センター地区のまちづくりについて、風の道の確保や水辺空間の配置等、様々な提案がなされた。今回の事業は、都市部水再生センターにおける下水道の再構築事業に合わせて、下水道事業と事業者とが一体となり、環境モデル都市形成の構築に向けた取組である。(図-8)

この取組は、今後、下水道事業の新たな取組として、他の下水道事業や自治体へ波及していくと期待している。

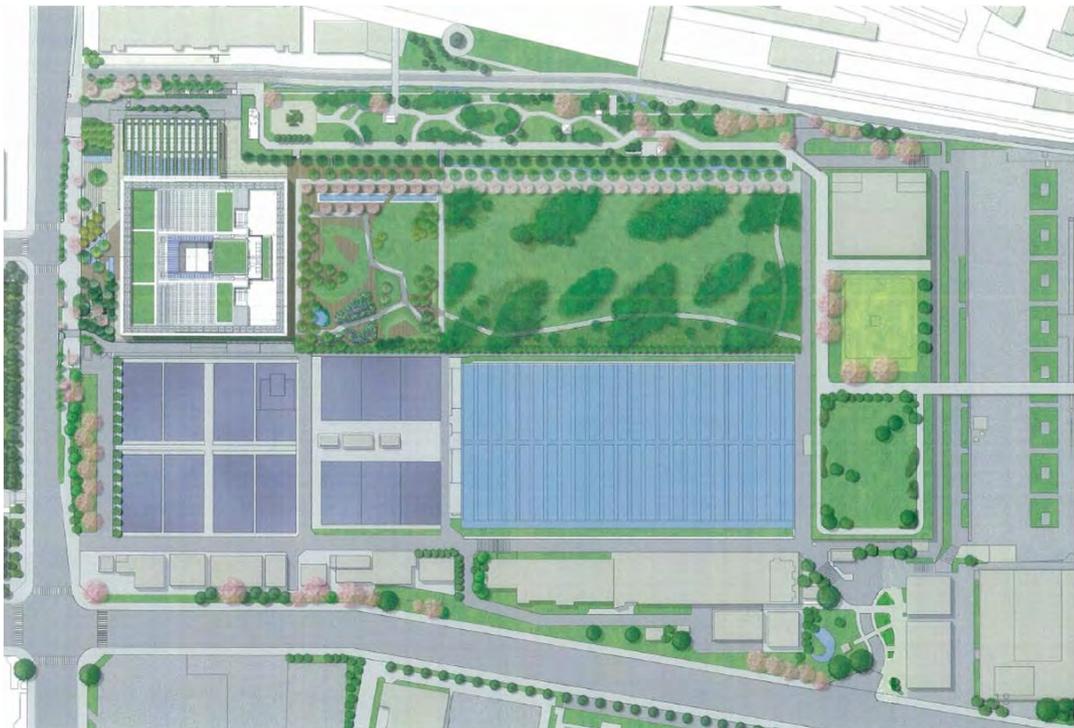


図-8 完成予想図



### 3-(1)-4 シールドマシンを移動回転させるエアークャスター工法

基幹施設再構築事務所 工事第二課 工事第二係 船倉崇弘

#### 1. 概要

##### 1.1 工事概要

練馬区中村一丁目、豊玉中一丁目付近枝線工事は、練馬区中村・豊玉地区の浸水被害の軽減を図ることを目的に、雨水貯留管を整備する工事である。練馬区中村一丁目の寺院(南蔵院)を発進立坑として、豊中通りに泥土圧シールド工法で内径4,000mm、延長1,627.45mの雨水貯留管を築造するものである。この完成により、雨天時は、20,000m<sup>3</sup>の雨水を貯留し、晴天時には都市整備局用地にある到達人孔の排水設備を用いて中新井幹線へ雨水を排水する。(図1)



図1 案内図

##### 1.2 発進立坑内におけるシールドマシンの移動回転について

本工事の立坑は、豊中通りの道路の真下にある発進立坑(本立坑)、南蔵院の敷地内にある投入立坑(副立坑)、それらをつなぐ横引立坑の三つに分かれている。

豊中通り真下の発進立坑はNTT5条6段、水道500の移設困難な埋設管があるため、シールドマシンが投入できない環境である。(図2)そのため、投入立坑からマシンを投入する計画となっている。

また、横引き立坑の両側に桜の木があり、南蔵院から桜の木は残してほしいとの要望があったため、横引き立坑の幅は6,000mmで築造した。その結果、シールドマシンを事前に進行方向へ組立てて発進立坑へ移動できれば回転する必要はないが、横引き立坑の幅が6,000mmであるのに対して、シールド

マシンの全長が6,825mmのため、横引き立坑を通すことができない。(図3)

よって、本工事の立坑の形状から考えて、投入立坑でシールドマシンの投入、組立を行い、シールドマシンを発進立坑まで直線移動させ、発進立坑内でシールドマシンを進行方向へ回転させる必要があった。(図4)

そのため、シールドマシンの移動と回転方法の比較、検討を行った。

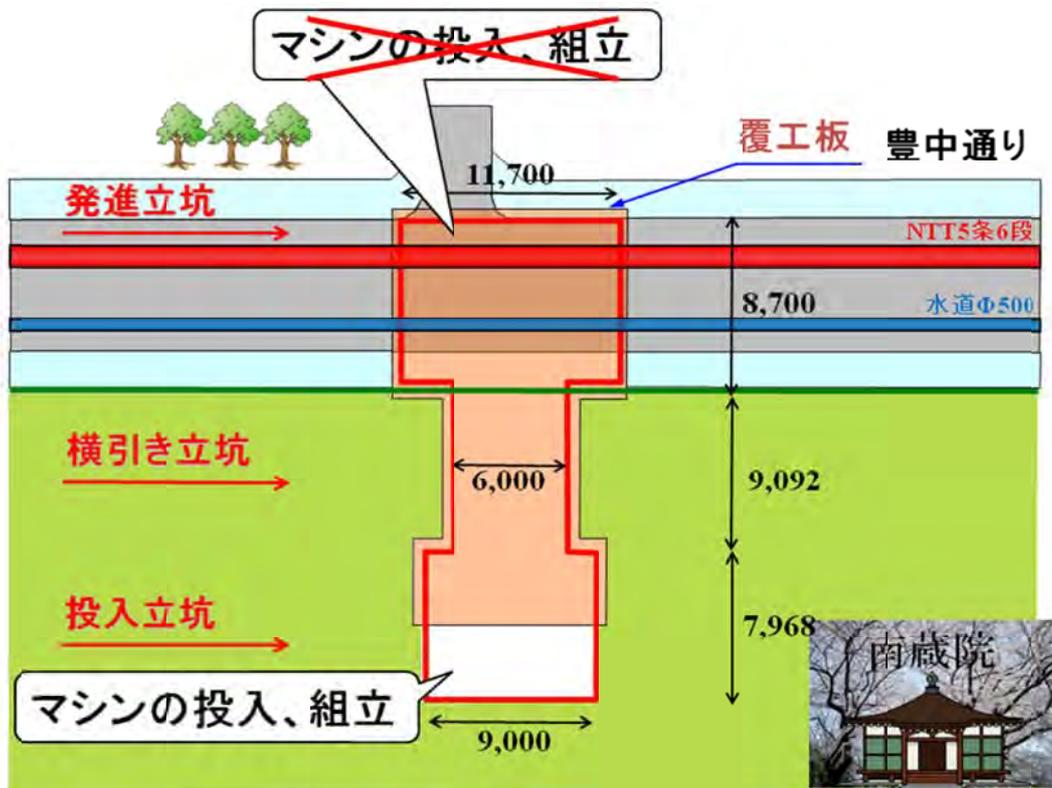


図2 発進立坑平面図

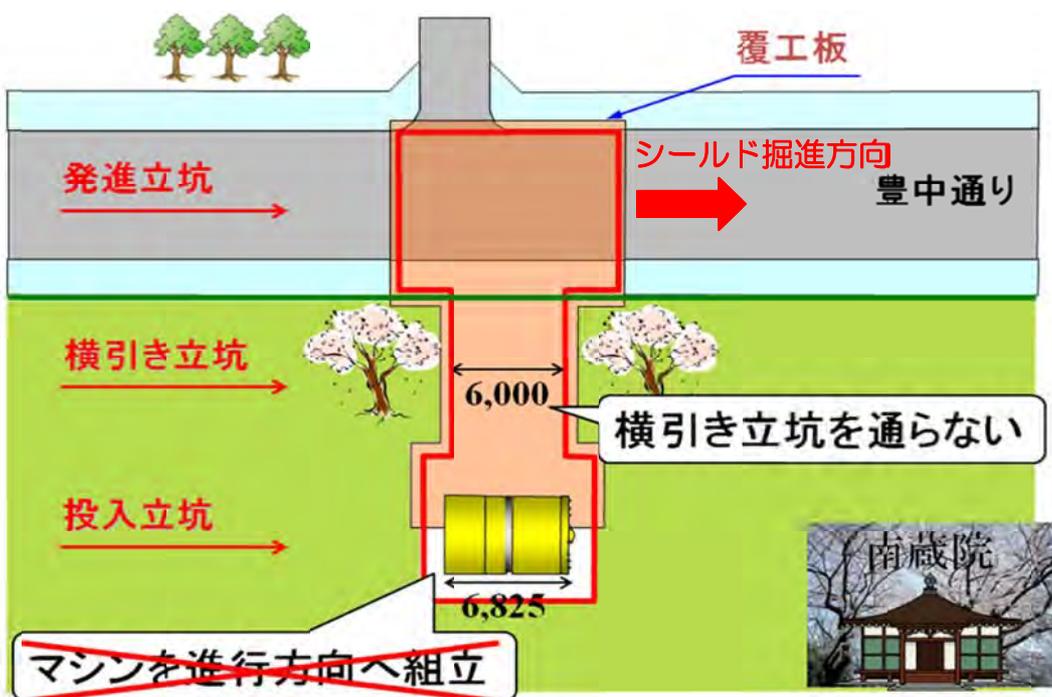


図3 発進立坑平面図

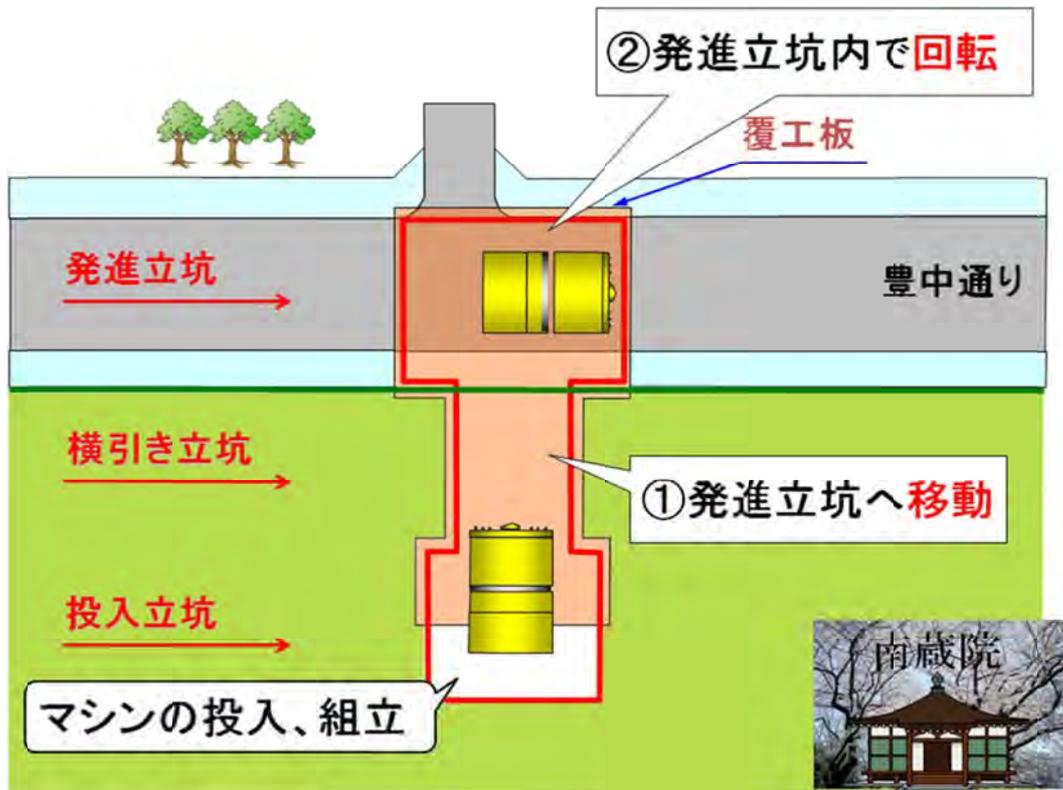


図4 発進立坑平面図

## 2. 本工法の採用理由

### 2.1 工法検討

シールドマシンの移動と回転方法として、ローラーを使用したチルトタンクと圧縮空気を利用したエアークャスターの2つの案を性能、施工性、経済性の3つの観点から比較・検討した。

性能を比較すると、移動性能はどちらの工法も取扱いが容易であるという評価であるが、回転性能は、チルトタンクの場合、ターンテーブル等を使用して回転しなければならないのに対して、エアークャスターは360度自在に回転が可能である。

次に施工性を比較すると、牽引力はチルトタンクの場合、移動させる重量の5%程度の牽引力が必要であるのに対して、エアークャスターは重量の1%程度で移動が可能である。工期もエアークャスターは準備で5日間、移動回転で1日間とチルトタンクの半分の工期で済ませることができる。

経済性を比較すると、チルトタンクはガイドレールの設置や回転時にターンテーブルを使用する等、設備に費用がかかる難点がある。

よって、本工事のシールドマシンの移動にはエアークャスター工法を採用した。(表1)

### 2.2 エアークャスターの特徴

エアークャスターの特徴は以下に示す通りである。

- ・超重量物の移動が可能である。(エアークャスター1台当たり54.43t)
- ・360度どの方向にも移動が可能である。
- ・接地圧が小さいため、床面に与える影響が少ない。
- ・水平牽引力が小さいため、安全性に優れている。
- ・移動のための設備が大掛かりとならない
- ・短い工期で施工できる。

表1 工法検討

工 法			
性 能	移動性能	シンプルな構造で 取扱が容易 ○	移動方向が自在なため、 容易 ○
	回転性能	ターンテーブル等の 併用が必要 △	360度自在に回転が可能 ○
施工性	牽引力	重量の5%程度の牽引力 が必要 △	重量の1%程度の牽引力で 十分移動可能 ○
	基礎コンクリートに 与える影響	接地圧が大きい △	接地圧が小さい ○
	仮設備	ガイドレールの設置が必要 △	滑走面にシートの 敷設が必要 ○
	工期	2日(準備10日間)	1日(準備5日間)
経済性		×	△
総合評価		△	○

### 3. 施工手順

#### 3.1 エアーキャスターの構造

エアーキャスターは図5のような構造となっており、圧縮空気を送り込むキャスターバッグと、エアーキャスターを支えている支持パッドから構成されている。圧縮空気を送り込む注入口は1箇所である。

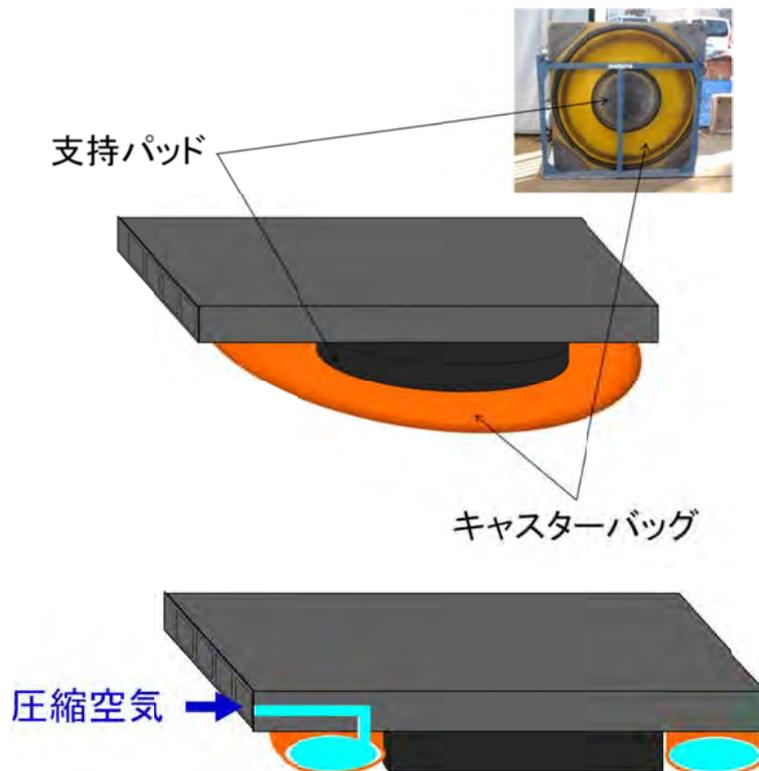


図5 エアーキャスターの構造

### 3.2 エアーキャスターの原理

以下にエアーキャスターの原理を示す。

キャスターバッグに圧縮空気を送る。(図6)

キャスターバッグが膨張し、支持パッドが浮き上がる。(図7)

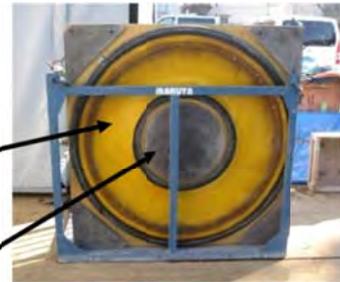
収まりきらない空気がキャスターバッグから漏れ、支持パッドの下を通り、最終的に空気は床面とキャスターバッグの隙間から均等に逃げる。(図8)

床面とキャスターバッグの隙間から逃げる空気で摩擦抵抗を軽減し、物体を浮かした状態で移動する。(図9)

## STEP 1

キャスターバッグ

支持パッド



圧縮空気

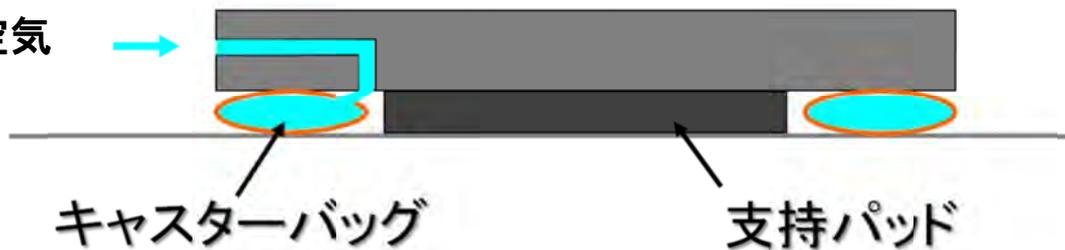


図6 エアーキャスターの原理

## STEP 2

圧縮空気



図7 エアーキャスターの原理

## STEP 3

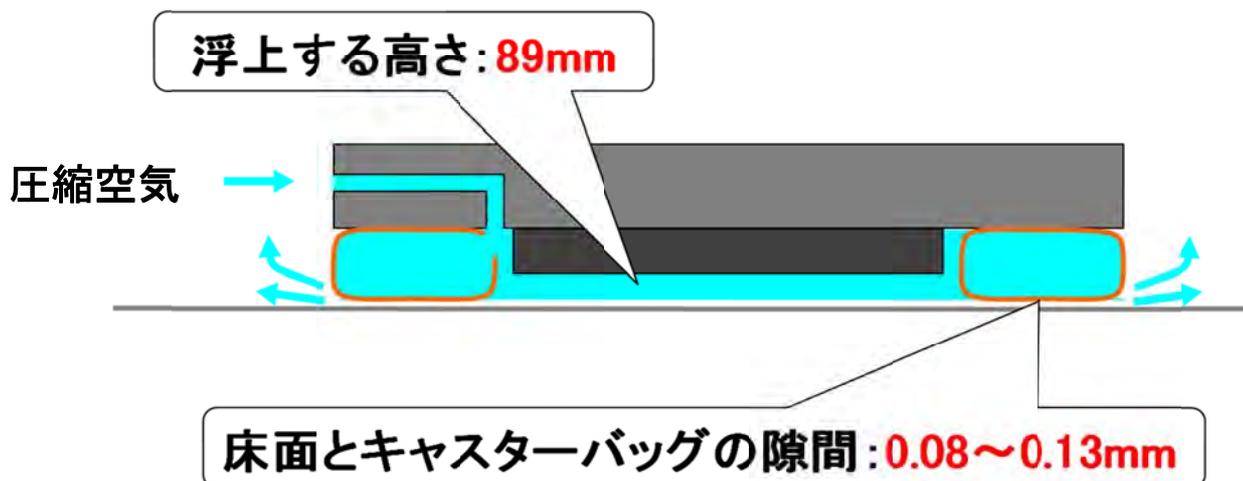


図8 エアークラスターの原理

## STEP 4

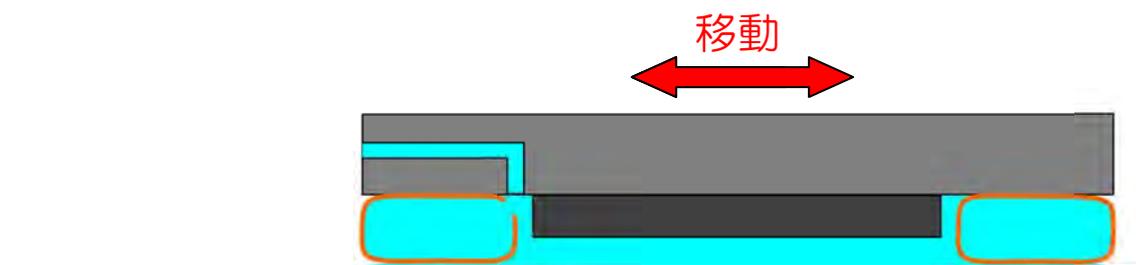
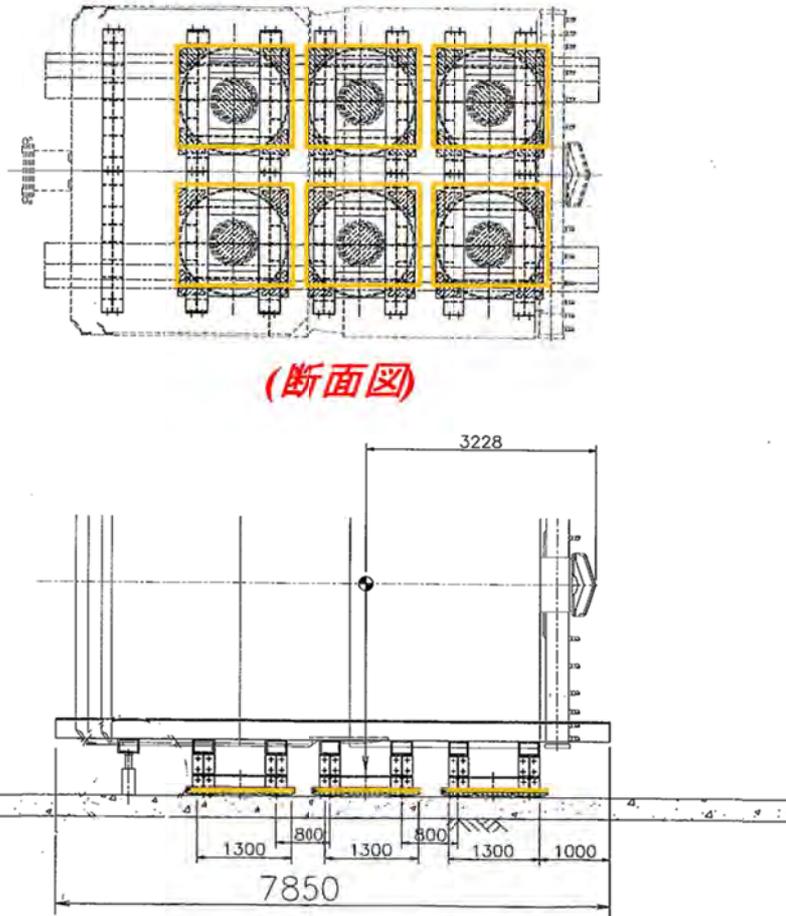


図9 エアークラスターの原理

### 3.3 エアークラスターの配置

本工事の泥土圧式シールドマシン（外径 4630mm×機長 6825mm×重量 130t）を移動回転させるためにエアークラスターを6枚使用した。（図10）130tの重量を持ち上げ、移動させるために最低限3枚のエアークラスターが必要だが、安全を考慮し、6枚を設定した。

### エアークャスター配置図(平面図)



(断面図)

図 1 0 エアークャスター配置図

### 3.4 PEシート

エアークャスターの摩擦抵抗を軽減するために、滑走面にポリエチレン製の厚さ 1.6mm のシートを敷設した。(図 1 1)



図 1 1 PEシート敷設状況

### 3.5 エアーキャスターの設備

エアーキャスターを浮上、移動させるためには、コンプレッサー2台、空気量調整バルブ、ウインチ、滑車が必要である。コンプレッサー2台で圧縮空気を送り、空気量調整バルブで6枚のエアーキャスターに均等に空気を送りこめるように空気量を調整した。シールドマシンの移動にはウインチを使用し、上下の角度をつける場合は滑車を使用した。(図12)

コンプレッサー(100PS)2台



空気量調整バルブ



ウインチ



滑車

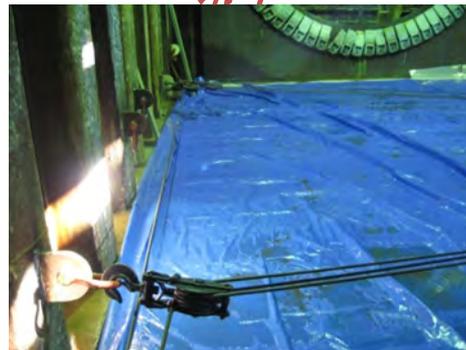


図12 エアーキャスターの設備

### 3.6 シールドマシンの移動状況

図13はシールドマシンの移動・回転手順を示している。ポリエチレン製のシートを敷設しており、摩擦抵抗が少ないため、揺動の危険性が考えられるので、ワイヤーにより揺動防止を図りながら慎重に牽引を行った。

図14は実際にシールドマシンを現場で移動・回転させた時の状況写真である。

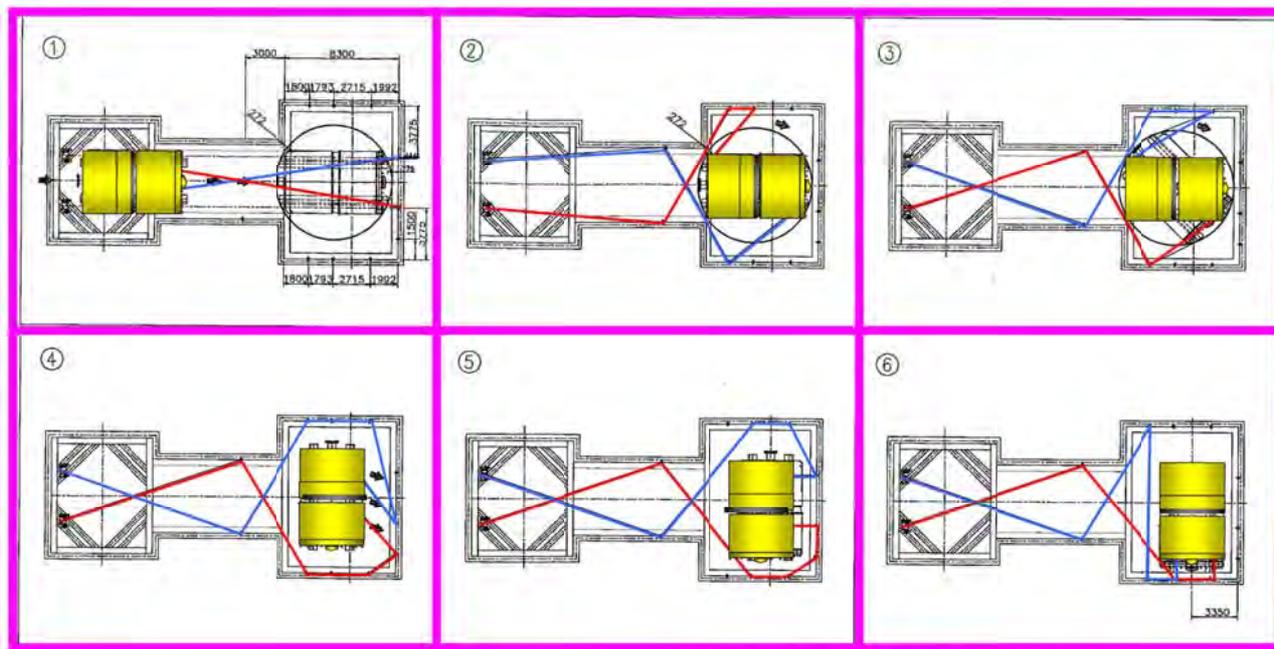


図 1 3 シールドマシンの移動・回転手順



図 1 4 シールドマシンの移動状況

#### 4. まとめ

本工事において、シールドマシンの移動・回転に要した施工日数は、準備・段取りに 5 日間、移動・回転に 1 日間と短期間に安全かつ確実な施工を行うことができた。

エアーキャスター工法は、クレーンの配置が不可能な状況の下で重量物を搬送させる場合等には、有効で、確実な方法と言える。安全面においてもクレーンによる吊作業と比較して、重大災害に及ぶ危険性を低減できる工法といえることから、限られた空間の中で重量物を移動・回転させる場合などに優れた工法といえる。



### 3-(1)-5 鮫洲ポンプ所雨水貯留池～勝島ポンプ所間 連絡管の模型実験による流況調査について

建設部 土木設計課 飯嶋 一幸

#### 1 はじめに

区部の下水道は、都市化の急速な進展によりトイレの水洗化などの生活環境の改善と雨水排除を早急かつ効率的に進める必要があったため、区部の約8割の区域において合流式下水道で整備されている。

合流式下水道は、生活環境改善と雨水排除の両方を同一工事で達成できる一方で、汚水と雨水を一本の下水道管に収容するため、大雨が降ると、雨水で希釈された汚水の一部やごみが川や海に放流される。

そこで、降雨初期の特に汚れた下水を貯留する施設（貯留池等）の整備を行っている。

また、川や海に雨水を放流しているポンプ所の一部では、運河などの閉鎖性水域に吐口を設置し放流している。閉鎖性水域は、水域内の水が循環しづらいため、雨天時での放流時に、雨水で希釈された汚水の一部やごみにより、運河の水質の悪化が懸念される。このため、吐口の位置を閉鎖性水域から変更するなどの対策を実施している。

鮫洲ポンプ所雨水貯留池及び勝島ポンプ所は、鮫洲ポンプ所と浜川ポンプ所流域の浸水対策、合流改善対策並びに閉鎖性水域である勝島運河の水質改善を目的とし、平成23年度の一部完成を目指して建設中である。

本施設は、放流先の閉鎖性水域である勝島運河の水質を改善するため、①降雨初期の下水を鮫洲ポンプ所雨水貯留池に貯留する、②吐口の位置を勝島運河から京浜運河に変更する二つの対策を実施している。本施設の主な特徴として、吐口位置の変更に伴い、鮫洲ポンプ所雨水貯留池と勝島ポンプ所側の吐口を結ぶため、勝島運河下を伏越し※で連絡管を設置していることである。この伏せ越し構造は、当初想定していた設計水位通りに水が流れないなどの状況が懸念される。このため、施設の稼働開始前に、貯留から放流に至る流況と施設への影響について、縮尺約1/15～1/20の大規模模型を用いて検証することとなった。その実験結果（途中経過）を報告する。

※下水道管が河川や地下鉄など地下埋設物を横切る場合、下水道管を地下埋設物より低くし、上・下流管の水位差によって下水を流下させる下水道管の構造のことをいう。

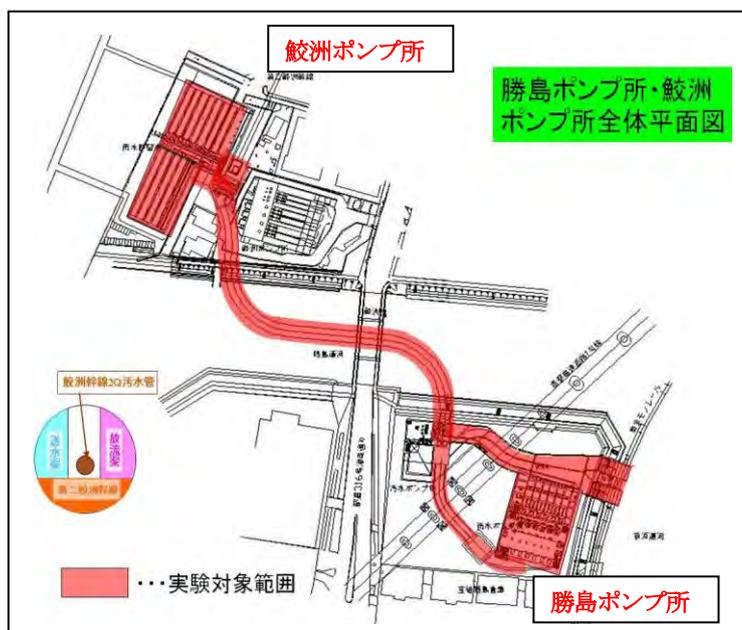


図1 鮫洲ポンプ所・勝島ポンプ所全体平面図

## 2 施設等概要

本実験に絡む施設の概要を以下に記す。

施設場所：

鮫洲ポンプ所 品川区東大井一丁目 13 番 14 号

勝島ポンプ所 品川区勝島一丁目 4 番地内



図 2 鮫洲ポンプ所・勝島ポンプ所案内図

< 模型実験対象施設等概要 >

### ○連絡管

- ・連絡管送水渠及び放流渠  $\square 2,550 \times 4,750$   $I=0 \sim 2.7\%$   
 $L=284.27\text{m}$
- ・第二鮫洲幹線  
 連絡管接続前  $\phi 3,250\text{mm}$   
 連絡管内  $\square 7,200 \times 1,850\text{mm}$

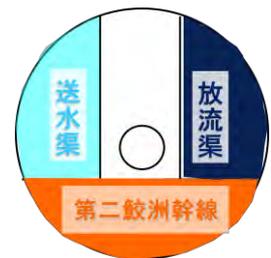


図 3 連絡管断面図

### ○雨水貯留池

- ・鮫洲ポンプ所貯留池 勝島系  $\square 54,000 \times 30,000\text{mm}$   $H=9,000\text{mm}$   
 貯留量  $20,100 \text{ m}^3$
- 鮫洲系  $\square 54,000 \times 54,000\text{mm}$   $H=9,000\text{mm}$   
 貯留量  $21,000 \text{ m}^3$

### ○放流渠

- ・勝島ポンプ所放流渠  
 上流部  $\square 5,970 \times 5,000\text{mm} \times 2$  連  
 中流部  $\square 12,027 \times 7,400\text{mm}$   
 $\square 10,659 \times 7,400\text{mm}$   
 下流部  $\square 10,350 \times 6,050\text{mm} \times 2$  連

○模型縮尺 連絡管延長方向 1/15 その他 1/19.8

○放流する京浜運河の潮位条件 H. W. L. (T. P+0.966m)、H. H. W. L. (T. P+2.966m)

### 3 実験概要

本実験で検証する内容は、主として以下の3パターンである。今回は、途中経過として、①に関する実験結果について報告する。①の流れ及び伏越し構造の概要は、図4、図5の通りである。

- ① 鮫洲ポンプ所で揚水された雨水が鮫洲ポンプ所雨水貯留池（鮫洲系）に流入し、貯留池満水後に伏せ越し構造の連絡管放流渠を通して勝島ポンプ所放流渠から京浜運河へ放流するまでの流下状況と貯留池頂版に作用する空気圧を確認する。
- ② 勝島ポンプ所で揚水された雨水が伏越し構造の連絡管送水渠を通して、鮫洲ポンプ所雨水貯留池（勝島系）に流入し、貯留池満水後に勝島ポンプ所放流渠から京浜運河へ放流するまでの流下状況と貯留池頂版に作用する空気圧を確認する。
- ③ 鮫洲ポンプ所～勝島ポンプ所間の第二鮫洲幹線の断面変化に伴う流下状況の確認。

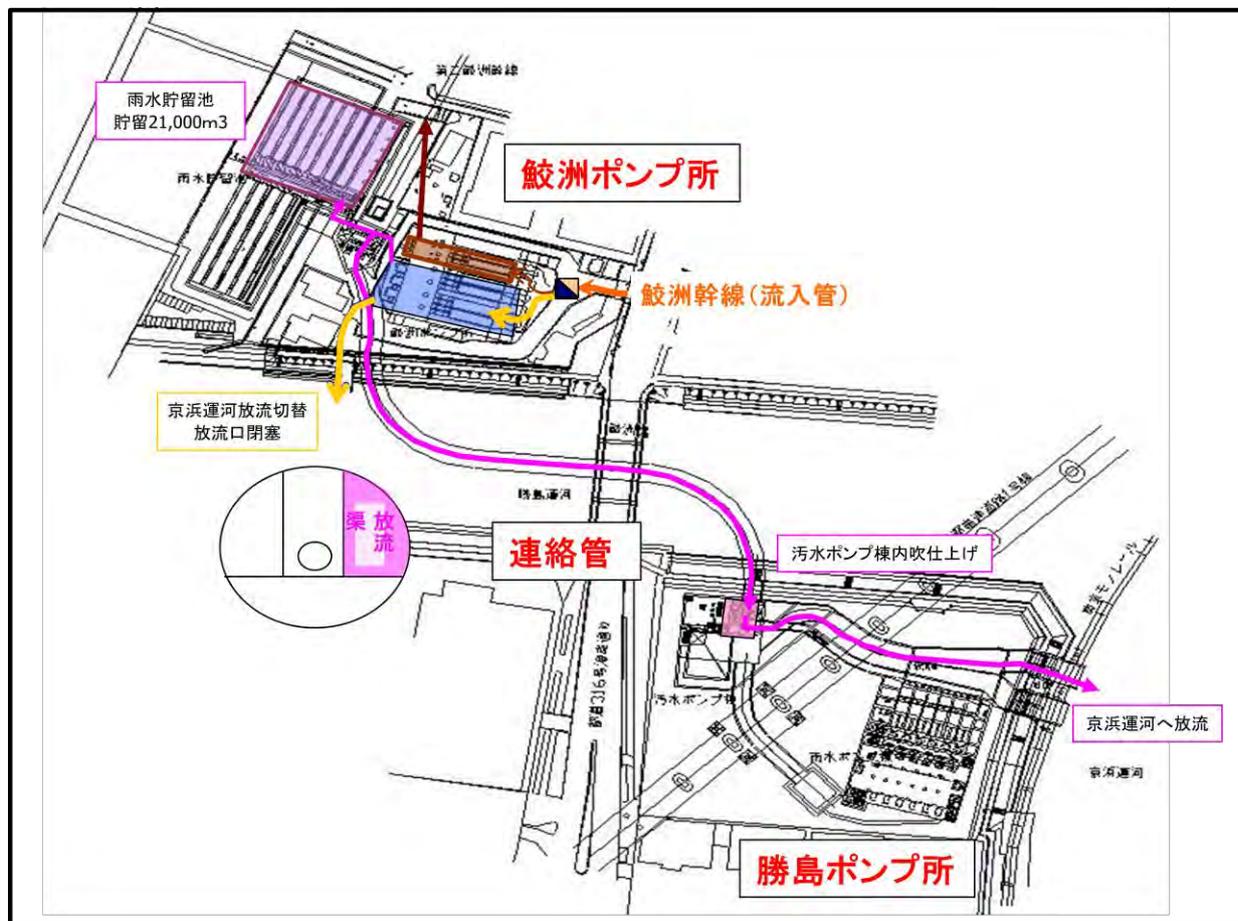


図4 報告する②の流れの概要図

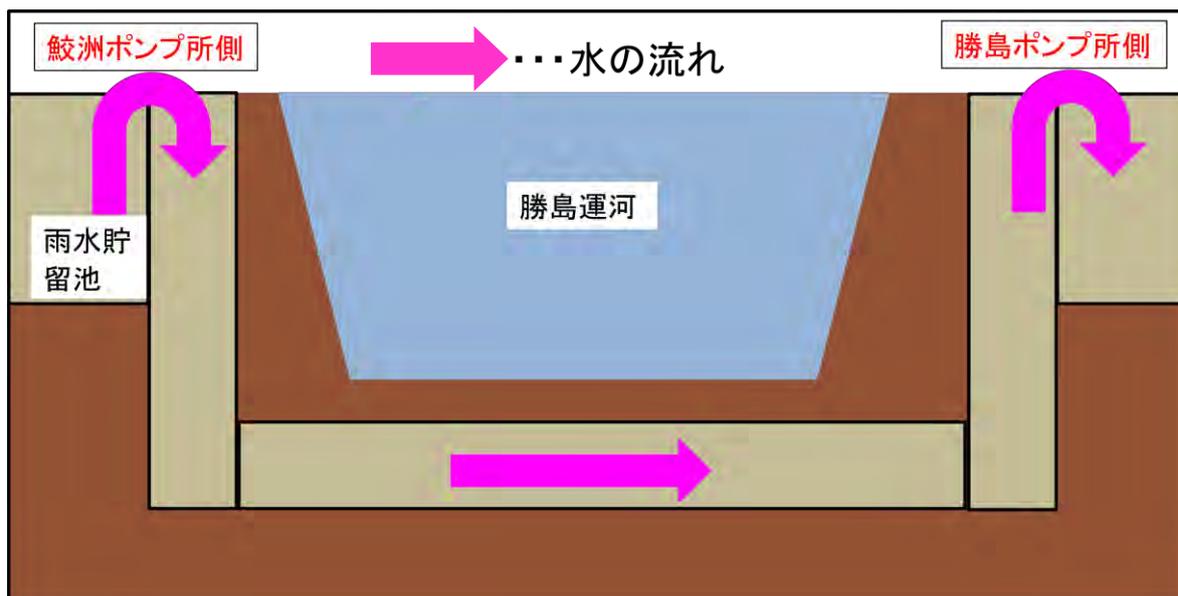


図5 伏越し管渠のイメージ図

#### 4 模型紹介

模型材質は、透明アクリル製及び木製を併用して使用した。今回重要となる連絡管は、透明アクリル管を加工して作成している。透明アクリル製は、目視で容易に流況を確認できる利点がある反面、加工が非常に難しい。そのため、細部を精密に再現するポンプ所躯体の様な施設については、木製（図6～8）を採用した。

流入にあたっては、給水施設として、流量調節が可能なポンプを設置した。これは、実際のポンプ所のポンプ台数が4台（1台予備）あり、ポンプ台数を変動させて運転管理することも考慮するためである。

水位計等の測定装置は、貯留池や調圧水槽（ポンプ揚水後吐き出される部分の開水槽）、連絡管等、適宜模型に設置した。その場合には、水漏れ等が生じないように、充分注意を払った。

作成した模型の全容については、以下の写真の通りである。



図6 模型全景写真



図 7 連絡管模型写真



図 8 雨水貯留池模型写真

## 5 実験概要

流況等を確認するための、実験ケース及び内容は以下の通りである。

### ○定常実験

最大流量（ポンプ 3 台運転）での水位の確認を行う。

流量⇒15.943m<sup>3</sup>/s で水位が安定するまで、継続的に実験を行う。

### ○非定常実験

ゲリラ豪雨等、急激な雨天により、ポンプ所に大量の雨水が流れてきたときなどを想定するなど、実際のポンプ所の運転方法を考慮する。このため、通常運転時（ポンプの台数を段階的に稼働する）、緊急運転時（ポンプを複数台数一気に稼働する）の流量を変化させた場合の水位変化を把握する。（図 9）

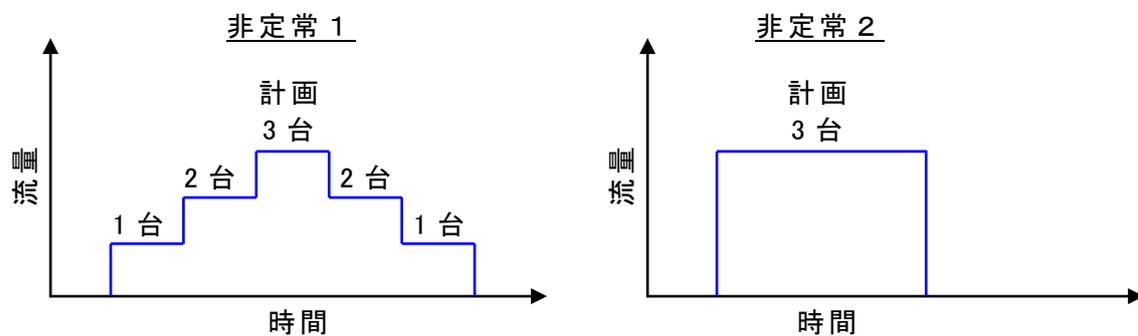


図 9 非定常実験の流量変化の一例

また、放流先である京浜運河の水位の高さへの影響も考慮し、放流先水位を H.W.L. (T.P+0.966m)、H.H.W.L. (T.P+2.966m) の 2 種類に分けて、実験を行った。

## 6 実験結果

### ○ 定常実験

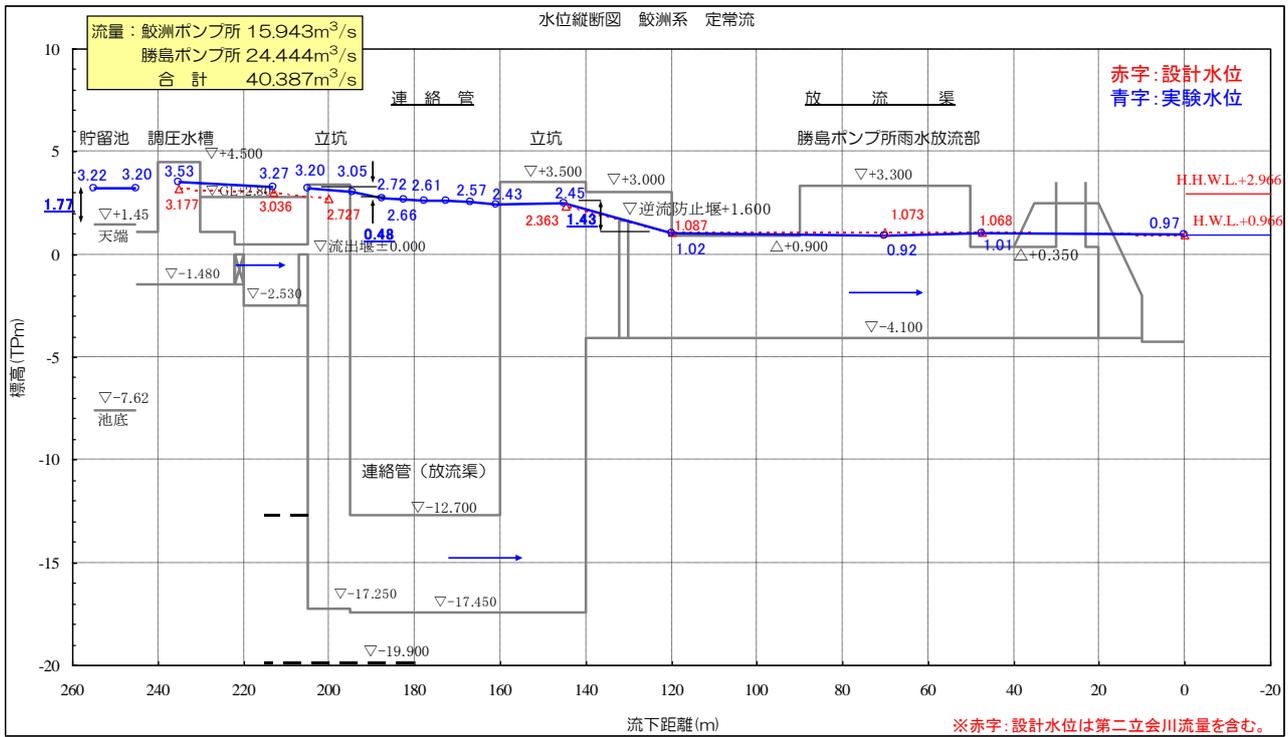


図 10 H. W. L. 時の定常実験結果

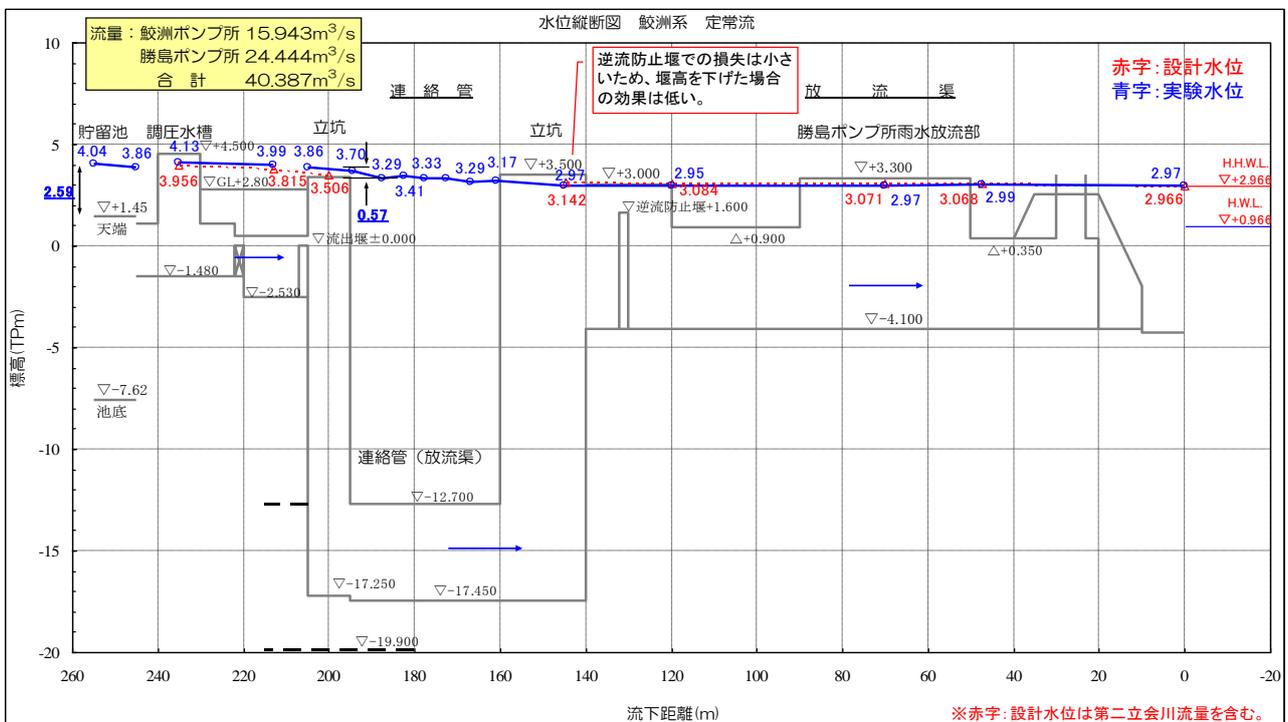


図 11 H. H. W. L. 時の定常実験結果

図 10、図 11 が結果を表わしたグラフである。この結果から、勝島ポンプ所側の放流渠水位は、設計水位とほぼ同じであることが分かる。ただ、流入部に近い調圧水槽や連絡管

入口部では、実験水位の方が高いことが確認された。これは、伏越し管という特有の構造により、円滑に放流渠側に水が流れないことが影響していると考えられる。だが、定常実験では、本躯体の高さ以上に水があふれるなどの想定外の状況は起きないことが確認出来た。

○非定常実験

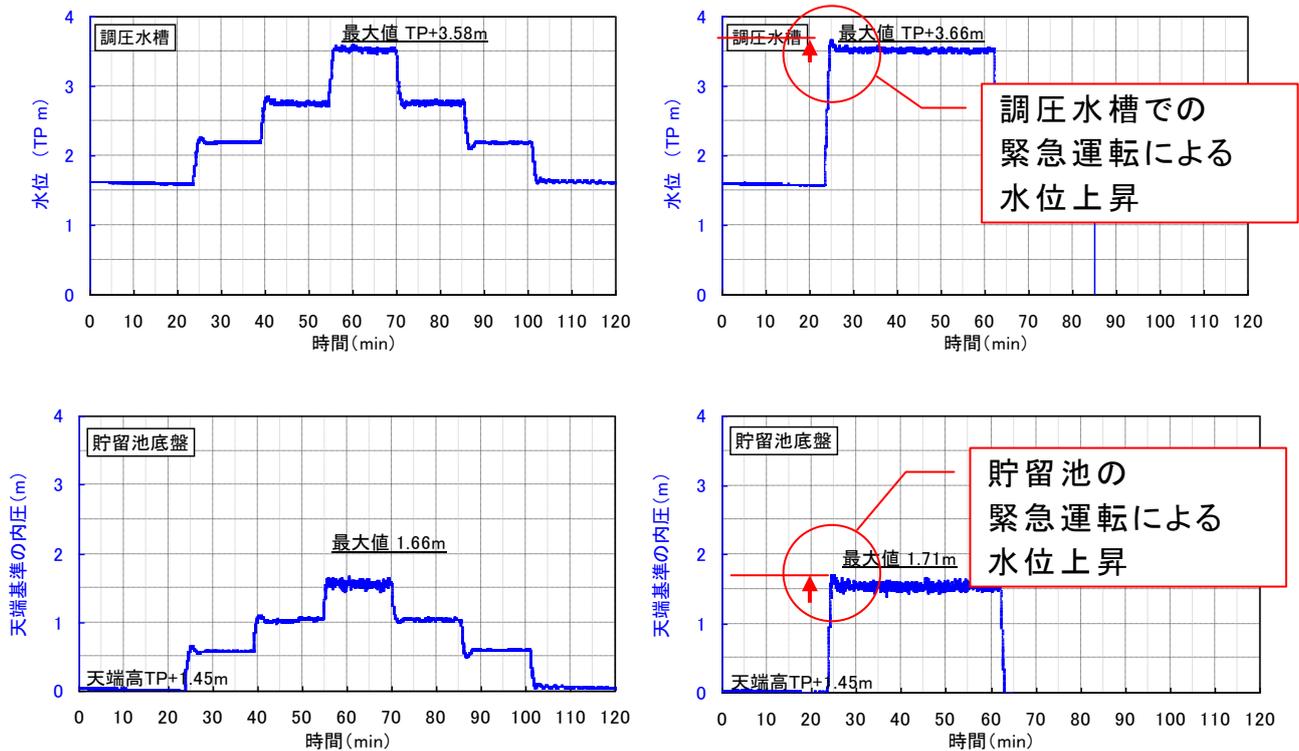


図 12 H. W. L. 時の調圧水槽水位及び貯留池の内水位の変化  
(左：通常運転 (1→2→3→2→1 台運転)、右：緊急運転 (0→3→0 台運転))

H. W. L. 時の実験結果は図 12 の通りである。水位はポンプの運転台数が変わると共に、上昇・下降しているが、水位等の大幅な変化はみられなかった。

次に、H. H. W. L. の実験結果であるが、ポンプの運転台数が変化すると共に、急激な水位上昇がみられることが分かった。通常運転時の水位上昇は、調圧水槽の躯体高 (T. P +4.50 m) 及び貯留池の構造上想定している内水位 (T. P +2.55m) を満足しているため、問題無い。しかし緊急運転時では、調圧水槽部で T. P +4.75m、貯留池の内水位は T. P +3.28 m となり、現在の躯体で想定している以上の事象が起きることが確認出来た。(図 13)

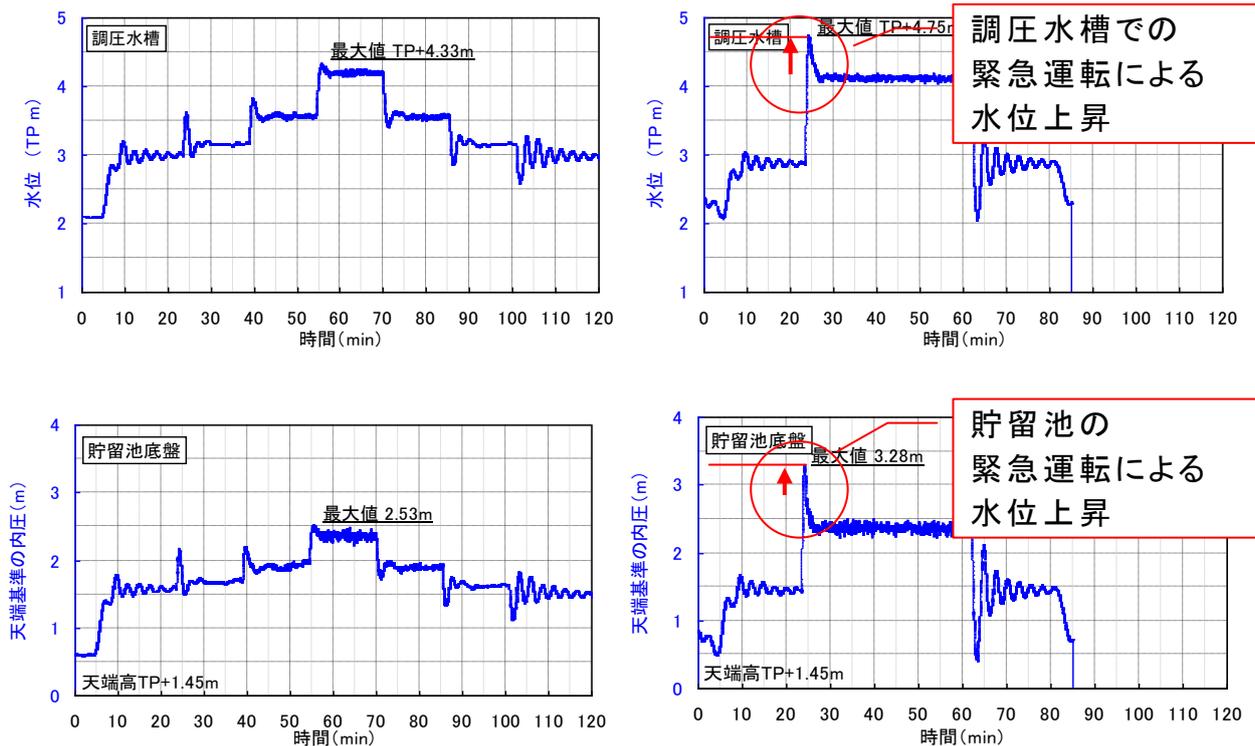


図 13 H. H. W. L. 時の調圧水槽水位及び貯留池の内水位の変化  
(左：通常運転 (1→2→3→2→1 台運転)、右：緊急運転 (0→3→0 台運転))

このため構造計算の見直しを実施し、再検証を行うこととなった。  
その結果は以下の通りである。

- ① 調圧水槽は、水槽の高さを水位が上がらないところまで嵩上げする。
- ② 貯留池は、構造計算を再度やり直し構造上問題ないことを確認した。  
これにより、供用開始前に、問題点を把握し改善につなげることができた。

## 7 実験経過・今後の方針

実験結果は、連絡管が伏越し構造であるために、放流時に発生する損失が想定以上であるため、雨水貯留池等の水位が想定より高くなることが検証された。伏越し構造の様な特殊な構造の場合には、机上の水理計算では想定できない事象が発生することが懸念される。このため、模型実験等で実際に検証することが大切であると、改めて認識できた結果となった。若手技術者への技術継承が叫ばれる中、本稿が複雑な構造の水理事象を扱う施設に対して、警鐘する資料となれば幸いである。

### 3-(1)-6 事業場排水に関する規制及び指導手法の強化と効率化 に向けた新たな取組みについて

施設管理部 排水設備課 塩見 浩  
長井 信諭

#### 1. はじめに

平成 21 年度に水質環境基準が見直され、東京湾をはじめとする水辺環境の改善に関心が高まっている。下水道局でも、水再生センター放流水質向上に向けて、今まで以上に事業場指導や監視強化を行っているが、依然として下水排除基準を超過する事業場の割合は高く、改善に向けた取組みが求められている。

ここでは、持続可能な事業場指導をしていくための水質規制手法と平成 22 年度から開始した新たな取組みについて紹介する。

#### 2. 水質規制における現状

##### 2. 1 届出事業場

届出事業場は、事業場の取り扱う化学物質、排水量、業種等により重点指導事業場、一般指導事業場、確認対象事業場に区分しており、立入検査計画回数についてランク分けをしている。重点指導事業場については最も積極的に立入検査を行っている。

平成 21 年度末の東京都区部の届出事業場数は、9,666 件あり、このうち、重点指導事業場が 1,129 件、一般指導事業場が 1,547 件、確認対象事業場が 6,990 件である（図 1）。

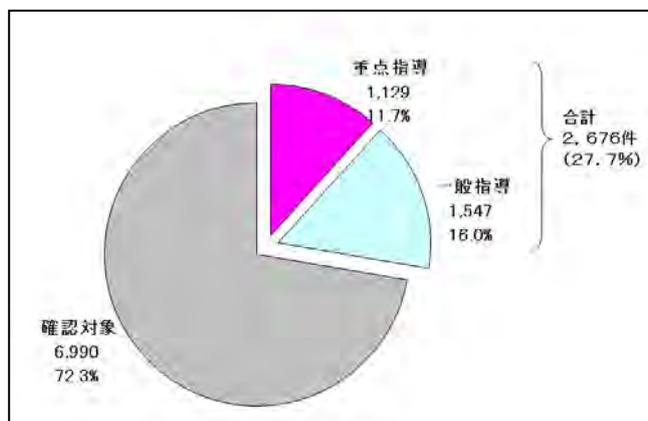


図 1 平成 21 年度末における

##### 2. 2 現在取り組んでいる代表的な水質規制手法

個別監視の重点化と水質規制業務の効率化に取り組んでいる。

##### 2. 2. 1 より効果的な立入検査の観点からの個別監視事業場の重点化

指導の重点化を図るために、平成 18 年度から 20 年度にかけては有害物質未使用事業場について、一般指導事業場から確認対象事業場への区分の見直しを行い、平成 21 年度においては、より効率的な事業場指導を実施するため、1 日の排水量が 100 m<sup>3</sup>を超える事業場を、重点指導事業場から一般指導事業場へ変更するなどの区分の見直しを行った。

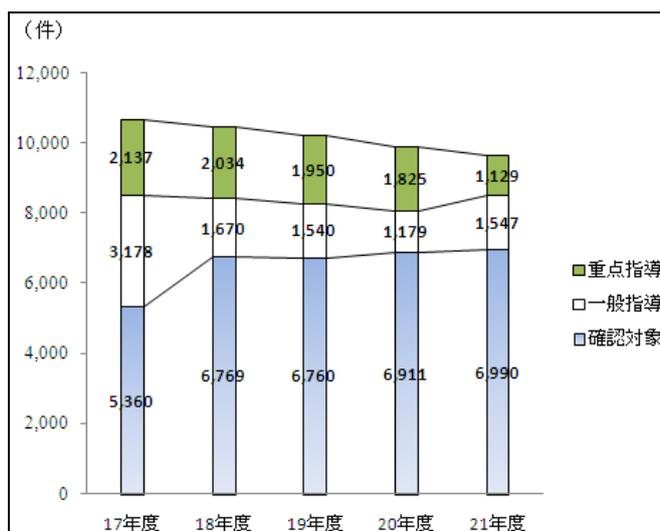


図 2 各区分に属する事業場数の推移

各区分に属する事業場数の推移を図2に示す。

平成21年度の立入検査実績数は、5,357回であり、そのうち下水道に与える影響が大きいと考えられる、有害物質使用事業場、酸性排水を排出するおそれのある事業場、大規模厨房のある事業場及び違反を繰り返す事業場に対し重点的に指導を行った。

### 2.2.2 水質規制業務の効率化の観点からの取組

平成21年度より立入指導先確認調査委託を開始した。これは、当局直営の立入検査業務の一部について、東京都の監理団体（東京都下水道サービス株式会社）が補完・代行するものである。本委託内容は、専門性を有する委託先職員が、事業場の公共ますの状況を確認し、採水するとともに現場にて簡易分析を行い、その結果を当該事業場に通知する。また、事業場に下水排除基準の周知及び届出内容の変更の有無の

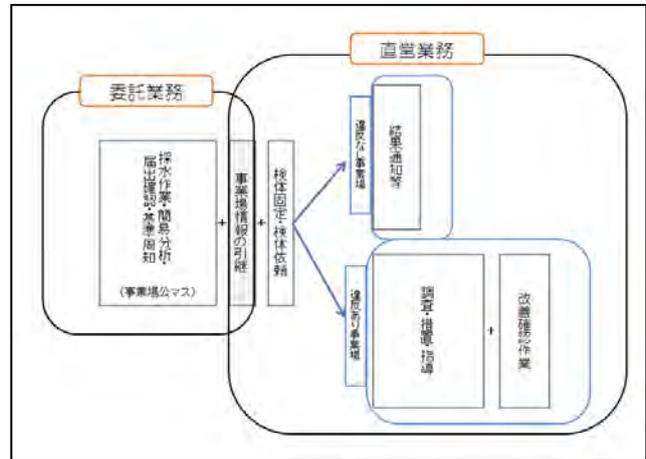


図3 立入指導先確認調査委託

確認を行う。事業場で採水した検体は、委託先職員が所管の下水道事務所に搬入し、当局職員に引き継ぐものである（図3）。

報告徴収制度は、年に一回、水質の分析結果、排水処理に係る産業廃棄物の処理状況などの報告を受け、取組状況を確認することで立入検査に代えるもので、平成20年度からISO14001取得事業場を対象として開始した。対象事業場は、過去の立入検査の結果が良好であり、継続的に自主的な環境管理が適切に行われると認められる環境マネジメントシステム運用事業場とした。平成22年度はISO14001に加え、エコアクション21の認証を取得している事業場も対象に実施している。

## 3. 新たな取組の開始

### 3.1 水質規制の課題及びその対応方針

上記の取組により、持続可能な事業場指導をしていくにあたり、現在直面する課題が二つある。

第一に、違反を繰り返す事業場の存在である。こうした事業場を改善していくには、事業場が安定的な排水処理を行うように規制や指導をしていく必要があり、そのための具体策が求められる。

第二に、現在、個別監視の重点化により、立入検査回数の少ない確認対象事業場数が届出事業場の約7割に上っている。そのため、確認対象事業場の立入検査を補完する方策を考案する必要がある。

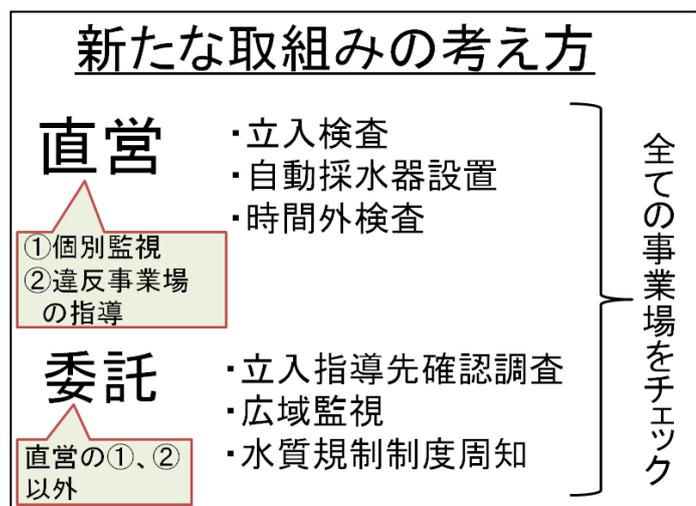


図4 新たな取組みの考え方

上記の課題に対応していくため、違反を繰り返す事業場に対しては、これまで取り組んできた手法を一步進んだ形で活用し、さらなる個別監視の重点化や、規制及び指導手法の効果検証を行うことで、これらの手法を確立する。立入検査回数の少ない確認対象事業場に対しては、広域監視の対象とし、概括的な水質監視を充実させていく。こうしたことにより、届出事業場全てを網羅した監視体制を構築する（図4）。

### 3. 2 違反を繰り返す事業場への取組み

#### 3. 2. 1 重点指導モデル地区の設定による規制及び指導の強化

事業場指導の重点化に加え、一步進んだ取組として、平成22年度から、違反を繰り返す事業場が集中する複数エリアを重点指導モデル地区に設定し、重点指導モデル地区内における違反を繰り返す事業場（以下、モデル地区内重点事業場）への立入検査を重点的に行っている。また、人孔等を監視点とした水質監視、自動採水器の活用など多様な水質規制手法を用いて指導、監視を行っている。

以上の取組により今年度からの3カ年で、モデル地区内重点事業場の改善を図る（図5）。

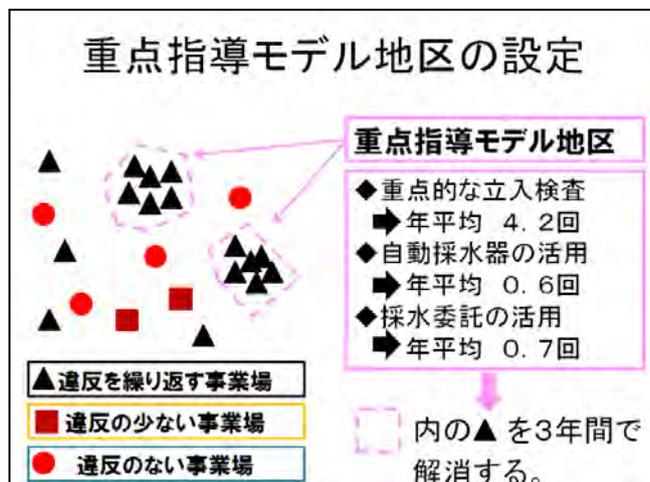


図5 重点指導モデル地区の設定

#### 3. 2. 2 重点指導モデル地区における水質規制検討会を活用した規制・指導手法の検証及び効果的な手法の共有化

重点指導モデル地区における水質規制検討会（以下、検討会）を設置し、次のような作業を行っている。

規制手法に関しては、モデル地区内重点事業場における重点的な立入検査及び時間外検査や自動採水器等の活用など多様な水質規制手法の実施状況や水質検査結果から、効果検証を進めている。

事業場における違反の改善指導においては、現行の数値化された指標（立入回数、採水率、違反率など）では、指導の進捗状況や改善の効果が見えにくい状況となっている。そこで、進捗状況や改善効果を「指導達成確認票」を作成することで「見える化」し、今後、モデル地区内重点事業場の現況を用いて、内容を精査して、わかりやすいものに改良しながら、水平展開を図っていく。

また、モデル地区内重点事業場が改善するための指導手法を検討するにあたり、現在使用している事業場指導調書では内容全てを一つの時系列順に記載していく様式となっているため、過去にどのような違反項目及び原因があったのかということや、個々の違反原因についての対処の経緯や状況等が一目でわかりにくいという問題があった。そこで、対象事業場の違反項目を列挙するほか、個々の違反原因別に指導経過を時系列で記載し、これら違反項目や指導内容・結果が時系列ごとに一覧形式となる共通フォーマットを作成して、個々の違反項目や原因について具体的対策を検討し易い形式とした。そして、指導手法について検討会で得られた有用な意見を集約し、今後の指導に反映させている。

以上の取組みについては、PDCA の視点から検証を行い、その結果、より効果的な規制・指導手法については、全下水道事務所で共有化を図り、違反を繰り返す事業場全体の規制・指導に反映させていく（図6）。

### 3. 3 確認対象事業場への広域監視を活用した水質監視及び水質規制制度の周知徹底に向けた取組

広域監視は、従来、事業場排水が集中する地区において効率的に水質監視を行う手法として、実施してきた。人孔等を監視点とし、採水による水質測定や自動採水器等による継続的な水質監視を行い、監視点の上流事業場の排水を概括的にチェックし、異常が検知された場合、上流事業場への規制を強化するものである。

メリットは、少ない労力で広範囲の水質を監視でき、立入検査時には認められなかった異常排水や、不法投棄の発見にもつながることである。また、事業場に対する抑止効果にもなる。その反面、エリア内の総排水量が多いと異常排水が希釈され、発見率が低下することや、異常排水が発見できても必ずしも原因事業場等が特定できるとは限らないこともある。

平成 20～21 年度の広域監視は、個別監視の重点化により立入対象から外れた事業場について実施したものであったが、平成 22 年度からは、個別監視の重点化による立入検査を補完するために、確認対象事業場全てを広域監視の対象事業場とし実施している。

広域監視の調査結果において下水排除基準不適合を発見した場合については、原因を調査し対応をしている。下水排除基準不適合項目が有害物質及び pH の酸性側での場合は、事業場排水によるものと判断し、広域監視の再調査を実施するとともに、下水道事務所は遡及調査を行う。一方、下水排除基準不適合項目が pH のアルカリ性の場合は、一般家庭からの排出等も考えられるため、アルカリ排水を排出するおそれのある上流事業場を予測し、調査地点を上流側にシフトさせる等の広域監視の再調査を実施し、そこで再度アルカリ性で基準不適合となった場合のみ、下水道事務所は遡及調査を行うこととした。

平成 22 年度の上半期の広域監視では、下水排除基準不適合項目は 2 件（テトラクロロエチレン、pH）について上流調査を実施した。

その他、水質規制制度の周知徹底は、確認対象事業場に対して、届出制度や水質管理責任者制度についてのリーフレットを郵送して周知を行い、事業者の水環境に関する意識の向上を図るとともに、事業場の現況についてアンケートを実施するなど、効率的に事業場の届出指導及び現況把握を進めている。

## 4. まとめ

当局が直面する課題について、以上のような効果的・効率的視点に立った取組により、水質規制業務のさらなる充実を図り、最小の経費で最良のサービスの提供を目指していく。そのためには今後も、個々の施策全てについて、絶えず検証、見直しを行い、施策の適切な選択や新たな施策の立案を図っていく。

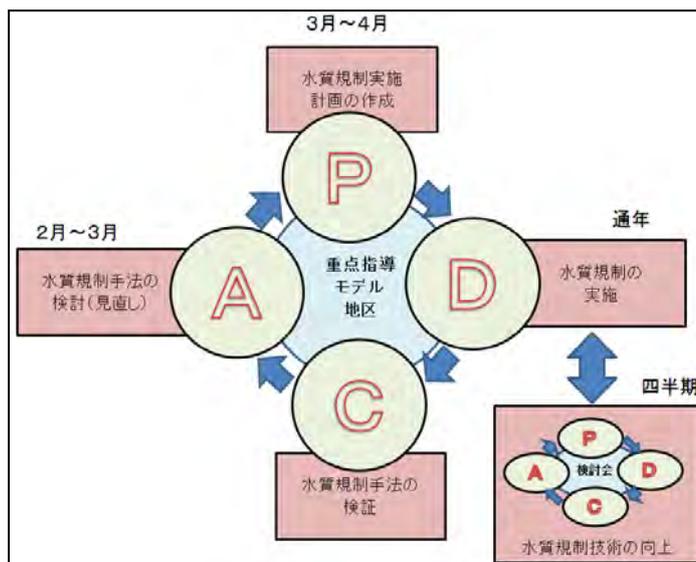


図6 PDCA サイクル

## 4. 国際論文

### 【第 83 回 W E F 年次総会発表論文英文】

- 1 **Effects of Sewage Disposal Conditions on Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) Generation**  
下水処理条件が一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) の生成に与える影響
- 2 **Improvement of Reliability to the Network Composed of Optical fibers inside Sewerage Pipe**  
下水道管渠内光ファイバーを利用したネットワークの信頼性向上について
- 3 **Network of sewage treatment plants using connection pipe and its efforts**  
下水処理施設のネットワーク化とその効果について



## **4-1 Effects of Sewage Disposal Conditions on Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) Generation**

**Hiroshi Shiomi\*, Rina Kono, Seiji Honma**

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

Hiroshi\_Shiomi@member.metro.tokyo.jp

### **ABSTRACT**

The Bureau of Sewerage is developing technology for reducing the generation of N<sub>2</sub>O during wastewater treatment to counteract greenhouse gas emissions.

Although it is known that the reaction tanks and other tanks working in wastewater treatment generate N<sub>2</sub>O, it has not been known yet what effect, if any, different processing methods, operating conditions and other factors have on the generation of N<sub>2</sub>O.

We have conducted a survey at an experimental wastewater treatment plant on what differences in processing methods, operating conditions and other factors have on the generation of N<sub>2</sub>O, we report our findings here on the dissolution of N<sub>2</sub>O in an anaerobic environment, the relationship between N<sub>2</sub>O generation and nitrite nitrogen concentration, and N<sub>2</sub>O generation at the second sedimentation tank.

**KEYWORDS: Nitrous Oxide, Experimental plant, Wastewater treatment**

### **INTRODUCTION**

The increase in global warming is suspected to severely impact our global environment. It has become a global issue that is feared to cause extraordinary weather, a rise in sea level, floods and draughts and other phenomena that will affect our daily lives. The major cause is the vast emissions of greenhouse gases (GHG). Thus, serious efforts on a global scale are now required to reduce GHG emissions.

The sewerage industry is an energy-intensive industry (mainly electricity energy) and the resulting consumption of energy causes CO<sub>2</sub> emissions. Wastewater treatment and sludge incineration also generate other GHGs such as nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and methane (CH<sub>4</sub>). While the Bureau has so far implemented GHG countermeasures by reducing electricity consumption and lowering the amount of N<sub>2</sub>O generated by sludge incineration, however, no efforts have been made to suppress the generation and emission of N<sub>2</sub>O from reaction tanks working in wastewater

treatment. This background prompted us to start the necessary development and as an initial step in the development of technology to suppress emission of N<sub>2</sub>O generated in reaction tanks, we conducted a survey on the impact that different processing methods and processing conditions have on the generation and emission of N<sub>2</sub>O. This survey will report some interesting findings gleaned in the process of this work.

## **METHODOLOGY**

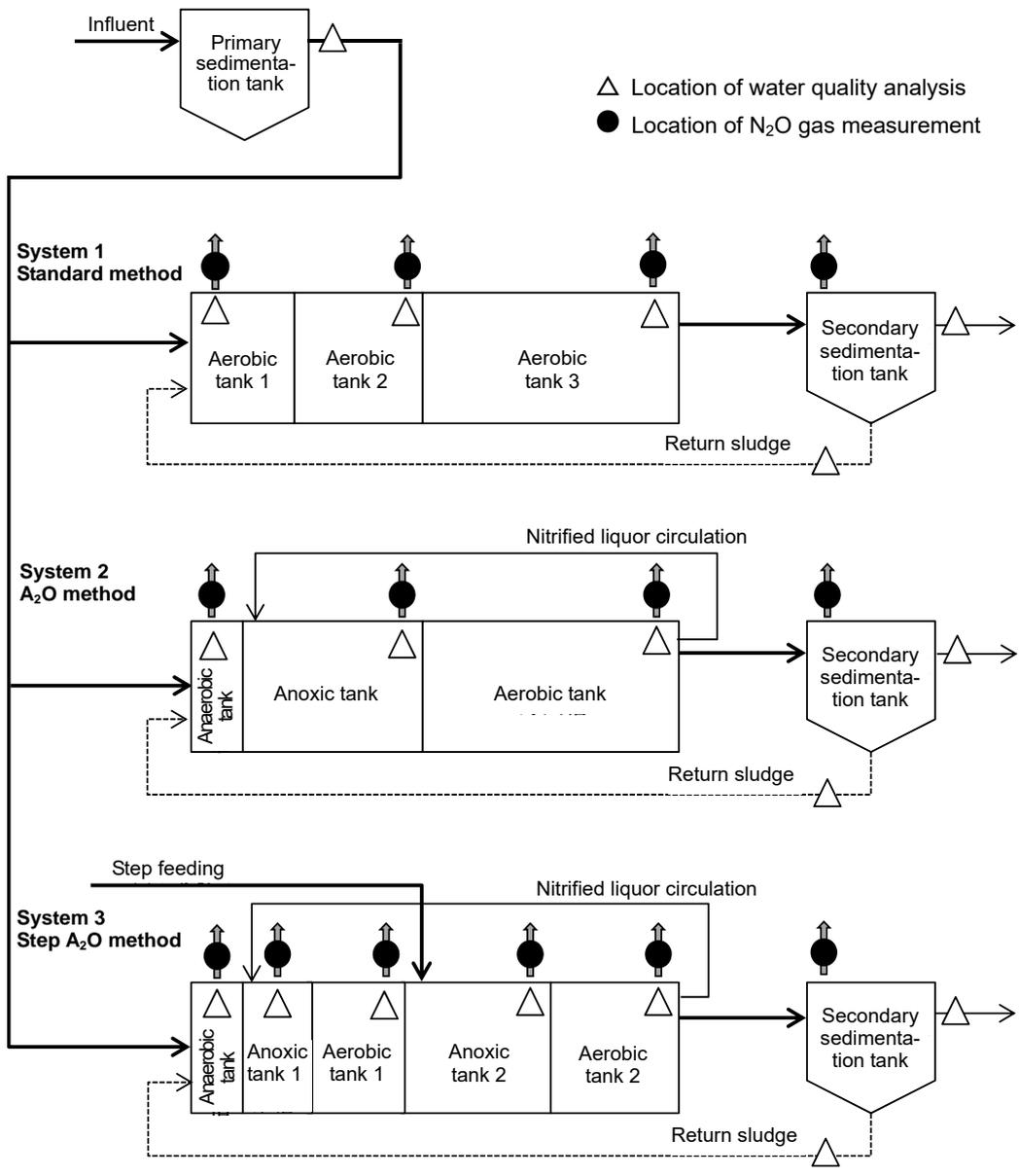
### **1 Outline of Plant Used in Survey**

This survey conducted a series of tests using different processing methods and operating conditions at the water treatment plant shown in Figure 1 to measure water quality and N<sub>2</sub>O (emitted gas and dissolved gas) to make clear the relationship between them.

We used wastewater influent at the Sunamachi Water Reclamation Center (collects water in the east area of Tokyo). The wastewater influent passes through the primary sedimentation tank before distributed to the reaction tanks. There are three reaction tank systems with a capacity of 14 m<sup>3</sup> (1 m (w) × 7 m (H) × 2 m (D)) each. Each reaction tank uses a different processing method: the standard method (referred to as system 1 below), the A<sup>2</sup>/O method (referred to as system 2 below) and the step A<sup>2</sup>/O method (referred to as system 3 below). After reaction tank processing, the wastewater from each reaction tank is transferred to a separate secondary sedimentation tank where solids are separated from the treated water. The supernatant water is transferred to a processing tank.

Each reaction tank is divided into anaerobic, anoxic and aerobic tanks with partitions. The anaerobic and anoxic tanks use an agitator to maintain the homogeneity of the activated sludge. The aerobic tanks use membrane aerators. Blowers and other devices are inverter controlled to allow any suitable setting. Dissolved oxygen meters, oxidation reduction potential meters, ammonia analyzers and water temperature monitors are used to measure water quality.

Table 1 lists standard processing conditions for each system.



**Figure 1 . Schematic Diagram of Experimental Water Processing Plant**

**Table 1 . Standard Operating Values for Experimental Water Processing Plant**

			System 1 Standard method	System 2 A <sup>2</sup> /O method	System 3 Step A <sup>2</sup> /O method
Influent volume		m <sup>3</sup> /hr	2.0	1.0	0.6
Step water volume		m <sup>3</sup> /hr	---	---	0.6
Nitrified liquor circulation rate		%	---	100	42.6
Retention period	Anaerobic tank	hr	---	1.0	0.8
	Primary anoxic tank	hr	---	3.0	0.6
	Primary aerobic tank	hr	7.0	10.0	3.1
	Secondary anoxic tank	hr	---	---	3.0
	Secondary aerobic tank	hr	---	---	4.2

## 2 Survey Method

### 2.1 Establishing Survey Conditions

The survey started in August 2009 and ended March 2010 and involved a total of 6 runs. The conditions of each run were set to vary the retention time, nitrogen load and other factors, which are thought to affect N<sub>2</sub>O generation. Table 2 indicates the run conditions. The experimental plant was operated according to the following conditions for each run: Run 1 used the standard values of the experimental plant. In Run 2 and 3, influent volumes were changed to vary retention time. In Run 5, nitrogen load per MLSS were varied. In Run 6, return flow from sludge processing was added to change the nitrogen load in the influent. Run 4 was conducted during the survey while unexpected nitrification conditions were encountered.

**Table 2 . Operating Conditions for Each Run**

	Varying conditions, etc.	System 1 Standard method	System 2 A <sup>2</sup> /O method	System 3 Step A <sup>2</sup> /O method
RUN1	Rated load	Standard processing		
RUN2	Water volume load	Standard processing	Influent volume 50%	Influent volume 150%
RUN3		Standard processing	Influent volume 150%	Influent volume 50%
RUN4	Processing conditions	State of nitrite processing	Standard processing	State of non-nitrification treatment
RUN5	Nitrogen load	Comparing before and after MLSS operation*		---
RUN6		Blending returned water		

\* Measurements made in standard state, new measurements made after halving MLSS and

comparison

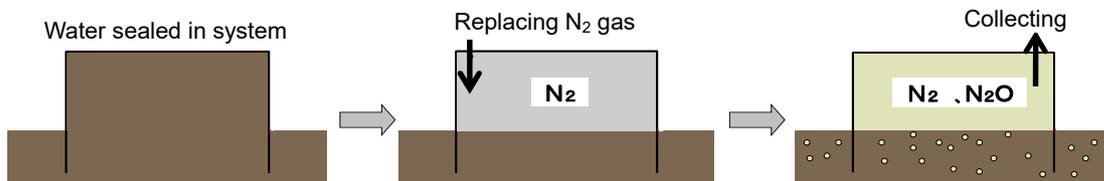
Except for Run 4, the conditions for each run had been set with 1 to 3 week break-in period. N<sub>2</sub>O generation and emission were tested after stable operation had been verified.

## 2.2 Measurement Items

Samples collected at the locations of water quality analysis and N<sub>2</sub>O gas measurement indicated in Figure 1 were measured as shown in Table 3. N<sub>2</sub>O gas emitted from the reaction tank was temporarily stored using the procedure indicated in Figure 2 and measured by a Gasetm DX-4000 meter manufactured by Gasetm. Dissolved N<sub>2</sub>O was measured using the headspace method.

**Table 3 . List of Measurement Items**

Measurements	Measurement items
Influent	BOD, NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, N <sub>2</sub> O (Dissolved gas)
Reaction tank	NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, N <sub>2</sub> O (Dissolved gas, emission volume)
Secondary sedimentation tank	
Return sludge	NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, N <sub>2</sub> O (Dissolved gas)



**Figure 2 . Method for Collecting N<sub>2</sub>O Gas from Reaction Tank**

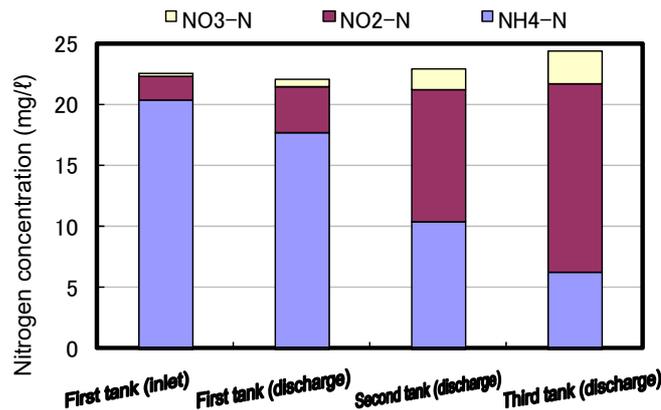
## RESULTS & DISCUSSION

While the survey obtained plenty of information from each Run result, the focus of this survey was to determine the details of the relationship between nitrogen processing and N<sub>2</sub>O generation.

### 1.1 Conditions that Cause Generation and Emission of Large Amounts of N<sub>2</sub>O

Figure 3 shows nitrogen concentration in each tank for Run 4, system 1 (standard method) performed when pockets of high concentration of nitrite nitrogen was detected in a reaction tank. Since no NO<sub>x</sub> (nitrite nitrogen, nitrate nitrogen) was detected in the influent, ammonia found at

the inlet of the first tank was started to nitrified nitrification had already started in the first tank. In the third tank, most of the ammonia had been nitrified. While only small amounts of nitrate nitrogen were found, there were large amounts of nitrite nitrogen. This indicates a low nitrite oxidizing bacteria activity leading to inadequate oxidation of ammonia causing accumulation of nitrite nitrogen.



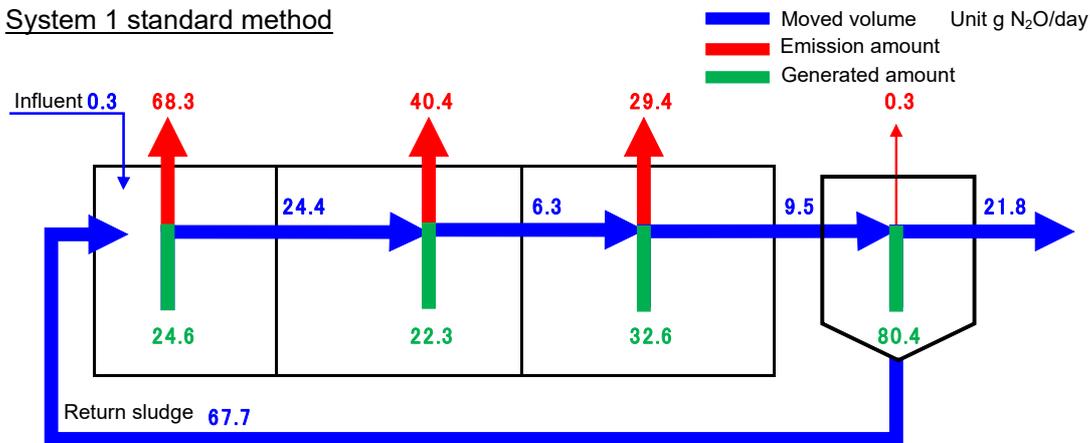
**Figure 3 . Varying Nitrite Concentration in Each Tank (Run 4, System 1 Standard Method)**

Figure 4 is an N<sub>2</sub>O balance diagram. Here movement amount indicates the amount calculated from measurement values of dissolved N<sub>2</sub>O concentration while emission amount is a value calculated from measurements of N<sub>2</sub>O in the gas. The generated amount was calculated using the following equation.

$$\text{Amount of generated N}_2\text{O} = (\text{N}_2\text{O discharge volume} + \text{N}_2\text{O emission}) - \text{N}_2\text{O influent volume}$$

The amount brought in by wastewater influent was 0.3g N<sub>2</sub>O/day, balance-wise a minuscule amount when compared to the amount generated in the reaction tank. In the first tank of the reaction tanks, 20g N<sub>2</sub>O was generated per day and a roughly equivalent amount was generated in subsequent tanks. The secondary sedimentation tank generated the largest measured amount of 80g of N<sub>2</sub>O per day. The first tank had the highest N<sub>2</sub>O emissions. Water involving nitrous acid passed through the secondary sedimentation tank and the sludge was then returned to the first reaction tank. It was assumed that the all out denitrification in this tank caused gas generation and emission. Total generated amount was 140g N<sub>2</sub>O/day, which converted into an emission coefficient of 2.88g N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>, an excessively high value. This was thought to be caused by processing conditions that accumulate nitrite nitrogen.

### System 1 standard method



**Figure 4 . N<sub>2</sub>O Balance Diagram (Run 4, System 1 Standard Method)**

### 1.2 Conditions for Dissolving N<sub>2</sub>O

Figure 5 shows the NO<sub>x</sub> concentration for Run 3. System 2 the A<sup>2</sup>/O method where the influent load was 1.5 times more. The influent of ammonia was for the most part nitrified to nitrate nitrogen in the aerobic tank and almost no nitrite nitrogen was detected. The generated nitrate nitrogen was transferred with the return sludge to the anaerobic tank or with circulating nitrified liquor into the anoxic tank. The low level of NO<sub>x</sub> concentration in the end of the anaerobic and anoxic tanks showed that it had been completely denitrified. From these results, it can be assumed that processing conditions in System 2, A<sup>2</sup>/O method during Run 3 approximated the ideal processing conditions of A<sup>2</sup>/O method. Figure 6 shows an N<sub>2</sub>O balance diagram for the process. The N<sub>2</sub>O that the wastewater influent brought in was as little as 0.05g N<sub>2</sub>O/day. The amount generated in the anaerobic tank and the anoxic tank became a negative value. This indicated that the amount eliminated through dissolving was larger than the generated amount. The all-out denitrification of NO<sub>x</sub> in the anoxic and anaerobic tanks also eliminated the N<sub>2</sub>O along with the NO<sub>x</sub>. This is thought to be the reason why the amount of dissolved nitrogen exceeded the generated amount. The aerobic and the secondary sedimentation tank generated N<sub>2</sub>O only in small amounts. Most N<sub>2</sub>O emissions emanated from the aerobic tank, and the total amount of 1.56g N<sub>2</sub>O/day produced an emission coefficient of 0.043g N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>, a low value.

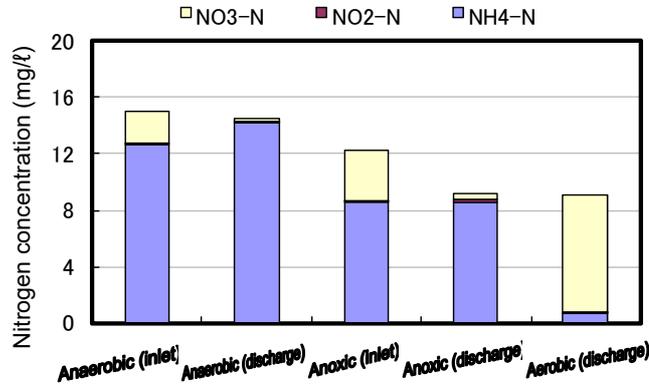


Figure 5 . Variations in Nitrogen Concentration in Each Tank

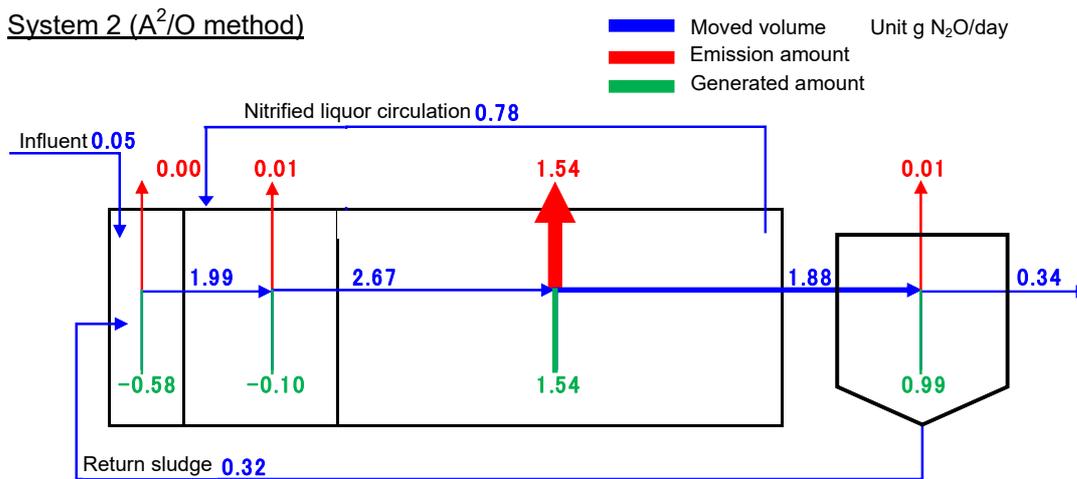


Figure 6 . N<sub>2</sub>O Balance Diagram (Run 2, System A<sup>2</sup>/O Method)

## CONCLUSIONS

As a step in the development of technology to control N<sub>2</sub>O emissions generated during wastewater treatment, the behavior survey on N<sub>2</sub>O generation and emission has made the followings clear.

- (1) Most of N<sub>2</sub>O generated during treatment of wastewater is generated during nitrification in the aerobic tank and during denitrification in the secondary sedimentation tank.
- (2) The amounts of N<sub>2</sub>O generated in the anaerobic tank and the anoxic tank were calculated

negative values. In an anaerobic environment, it is believed that N<sub>2</sub>O is also reduced through denitrification.

- (3) The concentration of nitrite nitrogen significantly influences the generation and emission of N<sub>2</sub>O. This survey indicated that this was the main factor with the greatest on N<sub>2</sub>O emission.
- (4) A comparison of processing methods indicated that treatment by the standard method tends to generate and emit large amounts of N<sub>2</sub>O, which is believed to depend on whether or not N<sub>2</sub>O is reduced and eliminated.

This survey on the behavior of N<sub>2</sub>O generation and emission during water treatment has provided valuable results on N<sub>2</sub>O emission and reduction. The results gleaned in this survey will be applied to develop concrete control technologies of N<sub>2</sub>O generation and emission for the future.



## 4-2 Improvement of Reliability to the Network Composed of Optical fibers inside Sewerage Pipe

Junichi Maeda<sup>1</sup>, Hirofumi Watanabe<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

\*To whom correspondence should be addressed. Email:

[Hirofumi\\_1.Watanabe@member.metro.tokyo.jp](mailto:Hirofumi_1.Watanabe@member.metro.tokyo.jp).

### ABSTRACT

The sewer system in Tokyo covers 100 % of the 23-wards area and Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government entered its maintenance management era. We have been integrating operations of pumping stations and water reclamation plants by a remote-control system, so security and reliability of our facilities and back ground systems became a matter of great importance.

We lay optical fiber cable inside trunk sewers and it is used as information infrastructure for telecommunication of remote control and our office management (internet, e-mail and so on). In this thesis, we introduce how we use our optical fiber network infrastructure which is constructed in trunk sewers and demonstrate our measures to raise its long-lasting reliability constantly including backup for disconnection fault.

**KEYWORDS:** network composed of optical fibers inside sewerage pipe, reliability of network, backup for disconnection fault

### INTRODUCTION

#### Sewerage Maintenance of Tokyo

The sewerage in the Tokyo section began with the construction of “Kanda drainage” in 1884. We had spread our enterprise since 1958, and the sewer system in Tokyo covered 100% of the 23-wards area in 1995. There are 13 water reclamation plants and 84 pumping stations in the Tokyo area at the end of March in 2010. Now we maintain the public sewerage for 57,839 hectares of 23 wards, and about 82% of the sewer system in the Tokyo area is composed of the combined sewer system.

Also, after the spread of sewer system up to 100%, we increased the number of the pumping

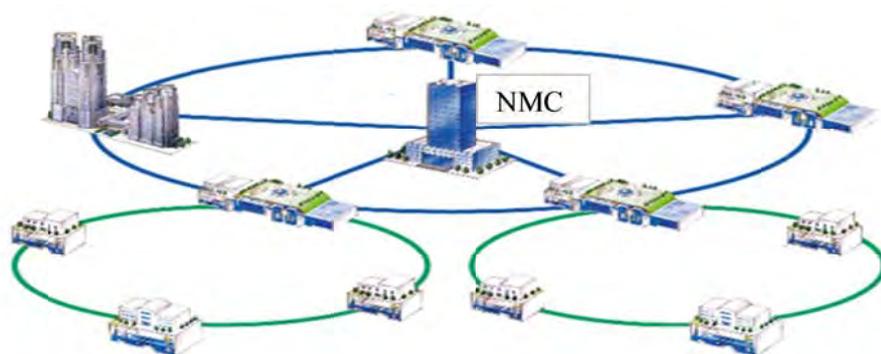
stations and the facilities to improve the combined sewer system. Therefore, the amount of maintenance and management task has increased. On the other hand, we should improve the environment of workplace and working system because of staff's aging and the difficulty in securing manpower. Moreover, it will become important to process information adequately and promptly to the efficient management of the sewerage enterprise. Therefore, we attempted to advance the construction of the optical fiber network in trunk sewers for further efficient management. And we use it to unify the information which is used for office management and for the remote-control system. We construct the optical fiber cable inside trunk sewers and use it as the telecommunication network which communicates between the sewerage facilities. The plan to improve the operation and maintenance through the use of fiber network is called SOFTPLAN (Sewer Optical Fiber Teleway Network PLAN).

### **Outline of SOFTPLAN**

SOFTPLAN introduces the latest information technology to our facilities which work as one of the public institutions in the metropolis. Uniformly managing our facilities such as pumping stations, water reclamation plants and management offices by constructing a highly reliable network, we can proceed with our enterprise smoothly. By constructing inside trunk sewers, we can construct strong network resistant to thunder and earthquakes.

Actually, 164 offices and plants will be connected by optical fiber cables which are up to 1200km in length in total. Fig1 shows network topology of SOFTPLAN.

We started laying optical fiber cables inside trunk sewers to measure water level in 1986 and up to now, the length of optical fiber cable reached 781 km, connecting 130 facilities and it is used for telecommunication for remote-control and gathering and distributing information for facility operation. The optical fiber cable which we use contains 24 glass fibers. The SOFTPLAN network divides optical fiber cable roughly into "remote-control system network" and "Information network", the latter of which is divided into "OA system network" and "FA system network."



**Figure 1. Network topology of SOFTPLAN**

#### -Information Network

The network system which makes our office management more efficient is defined as “OA system network.” It is used for the Internet, E-mail and so on. On the other hand, the network which supports the operation and the management of our facilities is defined as “FA system network.” Information necessary to the management of the sewerage facilities: the water level information, the flowing quantity information, real-time information about Tokyo areas of precipitation, and so on.

#### -Remote-control System Network

We maintain 13 water reclamation plants, 84 pumping stations, 2 sludge plants, and 15,700km sewer culvert. We have been integrating operations of pumping stations and water reclamation plants by remote-control system. As a result, 69 pumping stations and 2 water reclamation plants are remote-controlled now. Integrating operations of pumping stations and water reclamation plants leads to more effective management. However, since torrential rain happens frequently in recent years, we need more prompt and more adequate operation. Therefore, it is necessary to secure the reliability of entire network including the optical fiber cable and data link control equipment because we must drain rainwater properly. For this reason, we duplicate data link control equipment and make the topology of the network looped.

#### -Operation and Maintenance of SOFTPLAN Network

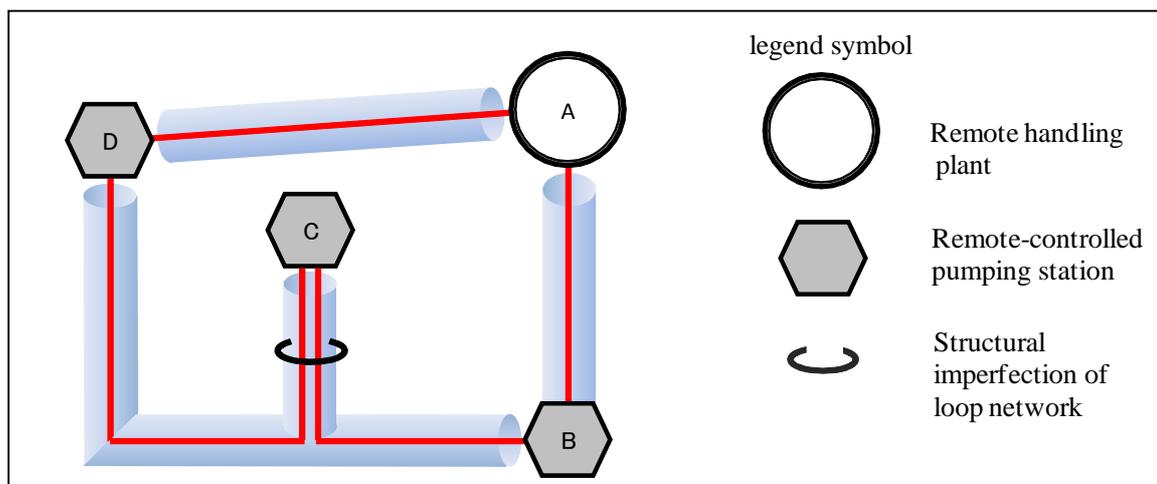
The SOFTPLAN network requires high reliability because it is used for the remote-control system and information network. For finding troubles immediately, we monitor SOFTPLAN by using an observational system for optical fibers and an observational system for network 24/7 at network management center (NMC) (Figure 1). The observational system for optical fibers uses 2 glass fibers to detect disconnection fault. When the shape of measured waves is overlapped with the initial shape of waves every hour, if there is a change more than the constant value, it is regarded as “Disorder”, but if not, “Positive”. The observational system for network manages the status of systems including layer 3 switching by Simple Network Management Protocol. It is a UDP-based network protocol and used mostly in network management systems to monitor network-attached devices for conditions that warrant administrative attention.

### **CAUSES OF LOWERING NETWORK RELIABILITY**

We have accumulated a great deal of knowledge of network composed of optical fibers inside trunk sewers because we have operated and maintained SOFTPLAN for more than 20 years. Recently we have recognized some problems which they lower reliability of the network. We show problems below.

### Structural Imperfection of Loop Network

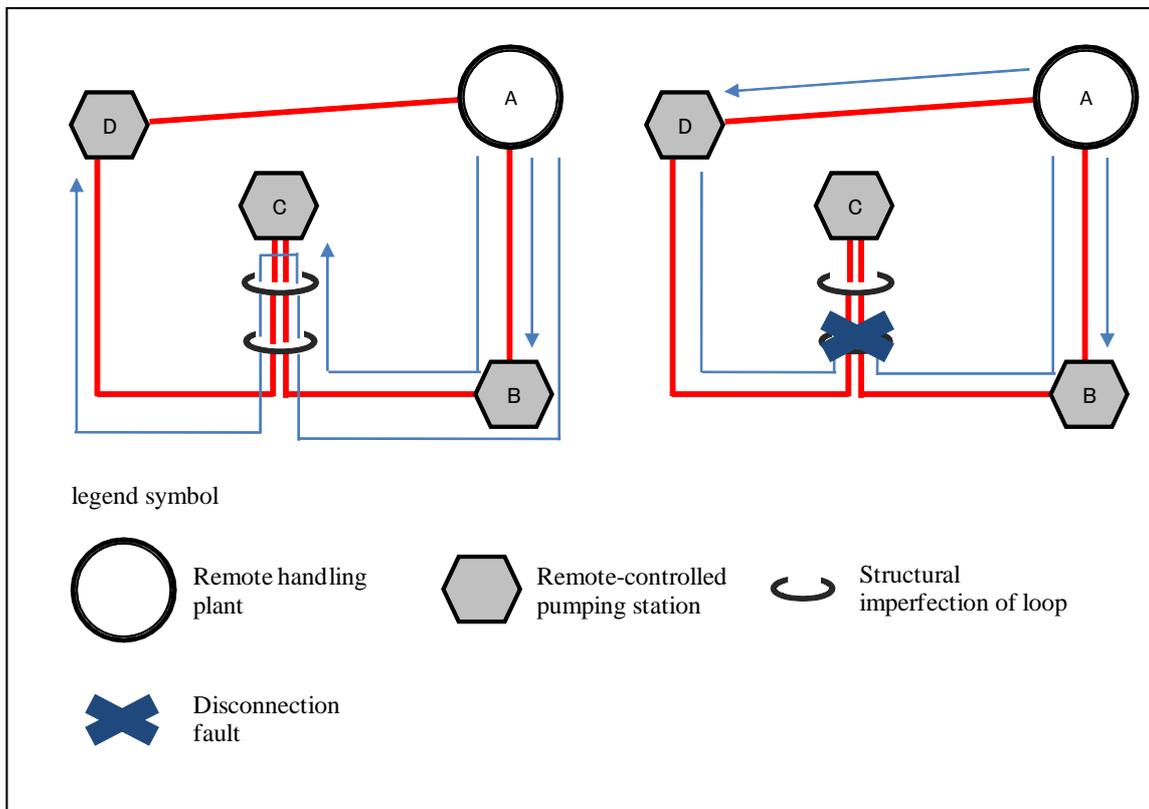
Ordinarily, the topology of transmission line is looped. However, in certain circumstances of setting up trunk sewer, we cannot avoid setting up more than one part of the loop in one trunk sewer (Figure2). We term this case “structural imperfection of loop network”. On the spot, there is possibility that more than one optical fiber cable will cut off at the same time owing to works of construction or inflow. In case of optical fiber cables used for remote-control system, it has risk with which we cannot remote-control a pumping station.



**Figure 2. Network including structural imperfection of loop network**

In Fig3, pumping stations (B, C, D) are remote-controlled by the remote handling plant (A). In case of one optical fiber cable cuts off, we can remote-control the remote-controlled pumping stations by backup line. For example, if the optical fiber cable between A-B cuts off, we can remote-control the remote-controlled pumping stations by backup line (A-D-C-B). However, in case of the spot of structural imperfection of loop network cut off, there is some possibility that we cannot use the either of the transmission lines at the same time by works of construction or inflow. As a result, we cannot remote-control a remote-controlled pumping station (C). For this reason, if lots of optical fiber cables are laid in the same pipe, it will be high-risk.

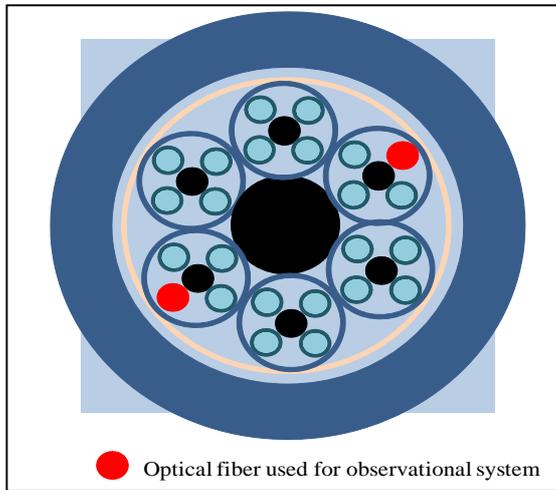
In certain circumstances of setting up trunk sewer, we cannot avoid setting up more than one part of the loop in one trunk sewer. Thus, it is almost certain that structural imperfection of loop network exists as weak spots in the network composed of optical fiber cables inside trunk sewer. A structural imperfection of loop network has the possibility that active and backup transmission lines may cut off at once.



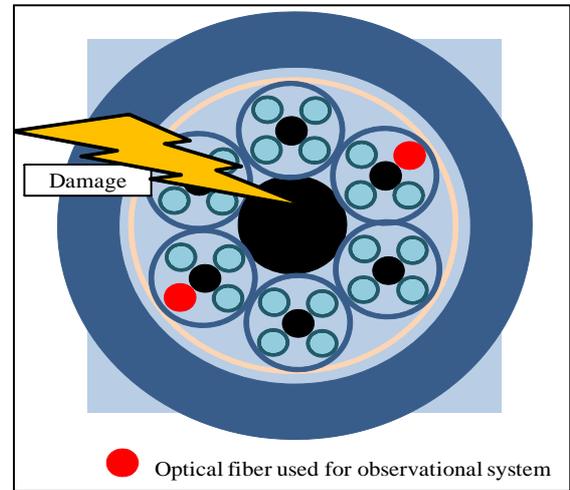
**Figure 3. Remote-control system network including structural imperfection of loop network**

### **Difficulty in Detecting Partial Disconnection Fault**

So far, we have described our operation and maintenance of the SOFTPLAN network. Through these activities, we have encountered problems with detecting partial disconnection faults in the optical fiber cable. The optical fiber cable which we use ordinarily contains 24 glass fibers, and our observational system for an optical fiber uses 2 glass fibers to detect disconnection fault (Figure 4). Disconnection faults are detected by checking the 2 glass fibers that are connected to observational system. If the 2 glass fibers connected to the observational system are damaged, an alert will be sent. If any of the remaining 22 fibers are damaged (Figure 5), then no alert will be sent. In the latter case, we cannot recognize disconnection fault with the observational system which we currently use. We term the latter case “partial disconnection fault.” A system connected through those damaged glass fibers may not work properly, but in some cases, we cannot detect this type of disconnection fault.



**Figure 4. Cross-section view of optical fiber cable**



**Figure 5. Cross-section view of optical fiber cable(Partial disconnection fault)**

Table 1 shows the types of disconnection faults from 2005-2008. The number of partial disconnection faults is larger than that of entire disconnection faults. Therefore, to improve this situation, it is important to make transition to a system which can detect partial disconnection faults.

**Table1. Kind of disconnection fault (number of cases)**

Kind of disconnection fault	2005	2006	2007	2008
Partial disconnection fault	1	1	0	3
Entire disconnection fault	1	1	1	0

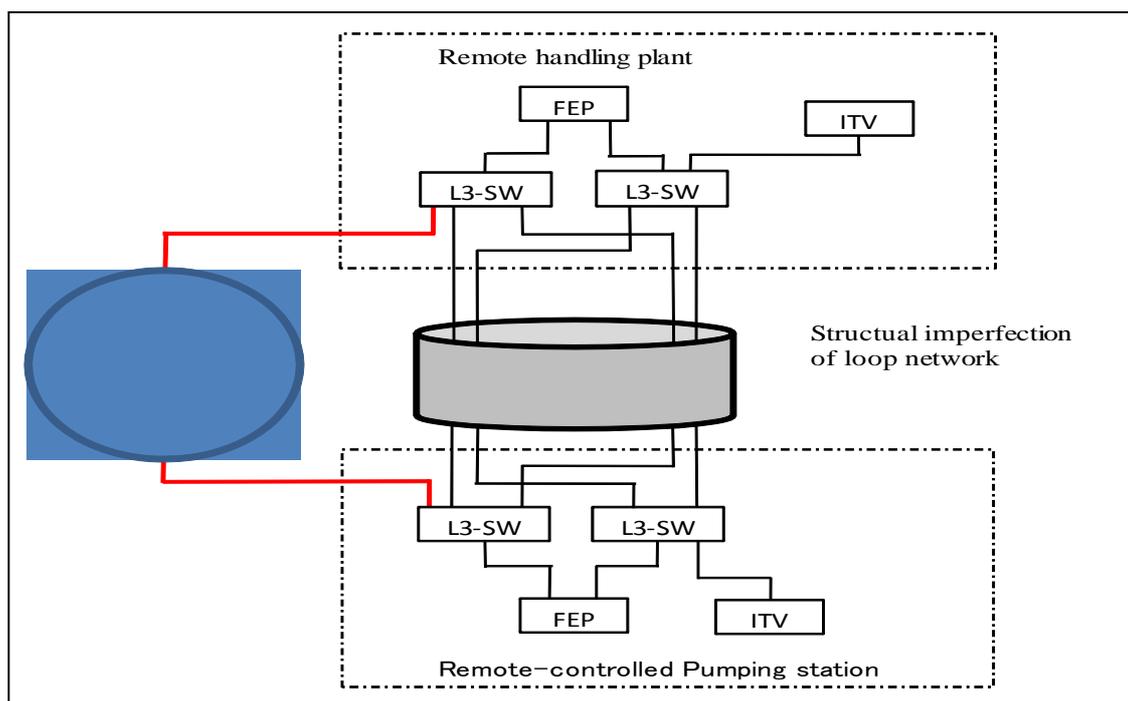
## METHODOLOGY

To improve reliability requires enhancement of composition of network, strengthening on the maintenance and management are needed. We show our measures below.

### Method of Solving Structural Imperfection of Loop Network

By constructing inside trunk sewer, we can construct strong network resistant to thunder, earthquakes and windstorms. However, in certain circumstances of setting up trunk sewer, we cannot avoid structural imperfection of loop network. It is almost impossible to avoid structural imperfection of loop network. A structural imperfection of loop network has the possibility that

active and backup transmission lines cut off at once, and therefore, it lowers the network reliability. When one optical fiber cable cuts off, we can find out where failure occurs with the observational system for optical fiber. However, it is expected that it may take a long time to complete recovery work because the location of recovery work is inside trunk sewer. Therefore, as for optical fiber cables which are used for remote-control, we definitely need to avert any accident because in case that we cannot remote-control pumping stations, that will cause flooding. If we cannot control our facility for a long time, it can be a menace to our duty. To prevent this type of the worst scenario, we use telecommunications carrier's lines as adjunctive lines for the emergency that both of the transmission lines cut off at once. We will show the composition in which signals can go through in a roundabout route (Figure 6). We use telecommunications carrier's lines only as adjunctive lines for the remote-control line. We target only control signals because our purpose is to avoid the risk that we cannot remote-control pumping stations. We do not target the other signals including remote ITV cameras for plant management, although, in the ordinary situation, ITV cameras, which transmit large volumes of data are indispensable. We can use telecommunications carrier's lines at a low price if it is used for control signals only.

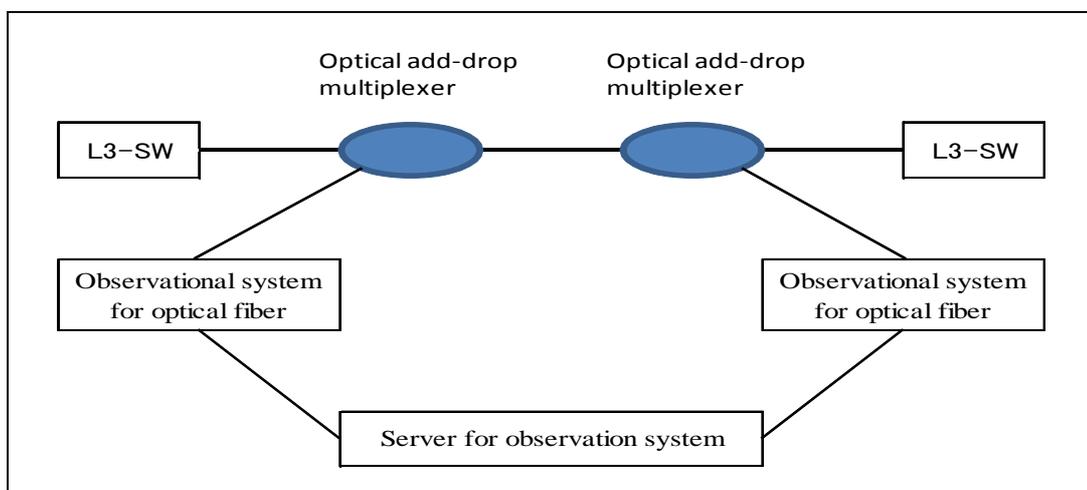


**figure 6. Composition which the signals can go through a roundabout route**

### **Method of Detection of Partial Disconnection Fault**

We have described that our observational system cannot detect partial disconnection fault. Thus, when partial disconnection fault occurs, it is difficult and takes a long time to find the cause of

disconnection fault. For this reason, we are planning to switch the current observational system to new one, which uses WDM (Wave Division Multiplexing). WDM is a technology which multiplexes multiple optical carrier signals on a single optical fiber by using different wavelengths of laser light to carry different signals. If we use WDM, we can detect partial disconnection fault, because we can use the active line to detect disconnection. By using WDM, we can strengthen the maintenance and management. And as a result, we can improve reliability of the network. We show the composition of observational system for optical fibers which uses WDM (Figure 7).



**Figure 7. Observational system using WDM**

## CONCLUSION

-The problem caused by network composed of optical fibers inside trunk sewer is that whether loop network can be built depends on the location of our facilities and trunk sewer. Therefore, it may be difficult to build a network without loop-imperfection.

However, we can compensate for loop-imperfection by using telecommunication carrier's lines and we can avoid the risk of isolation of the remote controlled stations.

-As to wide area network such as SOFTPLAN, Network reliability depends on the quality of its maintenance. The introduction of WDM will enable the quality of maintenance to improve.

On the other hand, its cost will get higher as we increase the number of WDM. And the amount of information will get larger. Therefore, installing WDM requires circumspection.

Now that the use of fiber network is expanded, we measure the water level of trunk sewer by using optical water level gauge. Fiber network gets more cost-effective as we use more number of the glass fibers, but at the same time we need to care about its reliability. We should take

necessary measures about its reliability and efficiency, considering its characteristic condition like inside trunk sewer.

We should protect living conditions and the environment to make urban life more comfortable. To provide people in Tokyo with comfortable urban life, we keep on preparing not only sewerage and storage pipes but also the fiber network which makes our facilities more effective and cost-effective.

## **REFERENCES**

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (July 1992) Master Plan of Second generation sewerage

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (March 2001) Plan for sewerage 2001



### 4-3 Network of sewage treatment plants using connection pipe and its efforts

Yuuji Nakatsubo<sup>1</sup>, Shigeki Chiba<sup>1</sup>, Hiroshi Baba<sup>1</sup>, Kenzo Sato<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Planning Section, Engineering Department, Regional Sewerage Office, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government.

#### ABSTRACT

Tokyo Metropolitan Government (TMG) is now the constructing the network system by using connection pipes which connect the sewage treatment plants (we call “water reclamation center”). By using this system, wastewater, sludge, etc are sent each other, and shared the capacity of treatment each other. This network system is expected to profit various effects, such as saving construction and renewal cost by sharing and enlarging the capacity of the facilities, improvement of the efficiency of operation and maintenance facilities, backup function in case of disaster, and the stabilization of wastewater treatment. It reports on the outline and the effects of connection pipe which is operating now.

**KEYWORDS:** Network, Connection Pipe, Sharing of Sewerage Treatment Function

#### INTRODUCTION

Tama area, situated in the west of Tokyo, is about 116,000ha. Excluding the mountainous district, about 49,000ha is regional sewerage planned area. At the end of 2008 fiscal year, percentage of sewered population is 98%. Most of the regional sewerage planned area is located in Tama-river basin.

Fig.1 shows the location of water reclamation centers in Tama-river basin. There are six water reclamation centers, all of which located on the both sides of Tama-river, and 3 pairs of water reclamation centers are faced each other. So it is possible to network these faced centers by constructing connection pipe under the river.

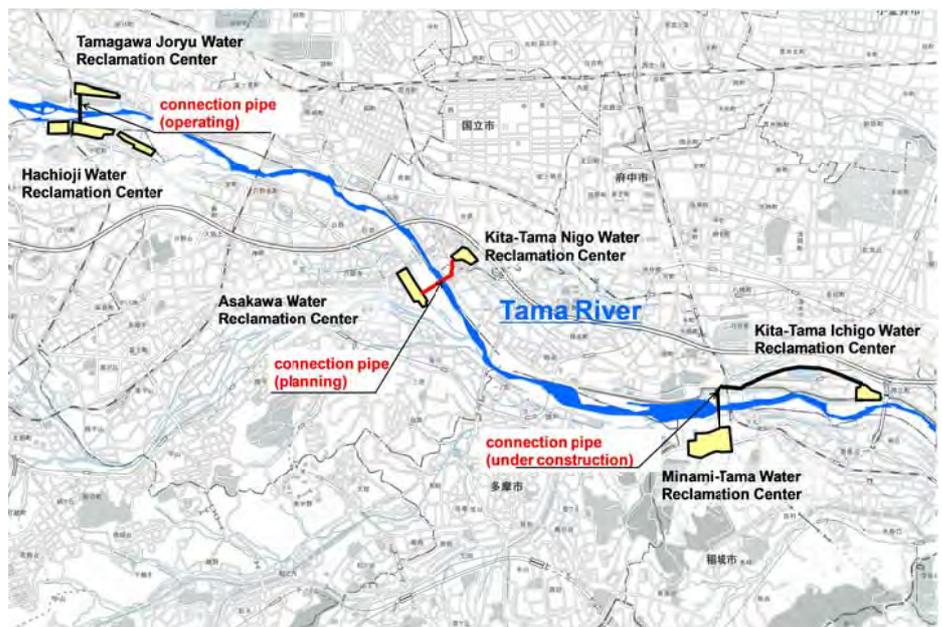


Fig.1 Location of water reclamation centers in Tama-river basin

Six water reclamation centers started one by one. The first was Minami-Tama in 1971, the latest were Asakawa and Hachioji in 1996. All of these centers have passed about 15 to 40 years since constructed, so a number of facilities need to be renovated. Moreover, in order to improve the water quality and prevent from global warming, advanced wastewater treatment such as A2O method and reducing greenhouse gases and improving energy efficiency such as high temperature incineration, carbonization, and sludge gasification needs to be implemented along with the renewal of facilities. To advance these measures with limited financial resource, it is necessary to maximize the capability of existing treatment facilities and reduce the construction and maintenance cost.

The amount of treated water discharged from six water reclamation center is about half of stream water in Tama-river. In proportion to increasing sewerred population, water quality of Tama-river has improved so well that more than a million of sweet fish runs up Tama-river. Tama-river is previous water-shed area, and 20 millions of people visit in a year. So if the function of water reclamation plant is stopped by disaster such as earthquake, not only the life of people but also the water environment are seriously damaged.

To prepare such a situation, the TMG advances the construction of network system using connection pipe so as to reduce construction, renovation and maintenance cost and make a backup in case of disaster.

## CONSTRUCTION OF CONNECTION PIPE AND ITS EFFORTS

### The purpose of connection pipe

The purposes of construction connection pipe are as follows:

1. Saving construction and renewal cost by sharing and enlargement facilities

Using connection pipe, water reclamation centers can send wastewater and sludge each other. So, these centers can share the facilities of wastewater treatment and sludge treatment during renovation and inspection of facilities. As a result, the cost of construction and renovation these preparatory sharing facilities can be saved. Moreover, the cost of sludge facilities such as sludge incinerators can be saved because sharing sludge incinerators between centers enable the scale of each incinerator to

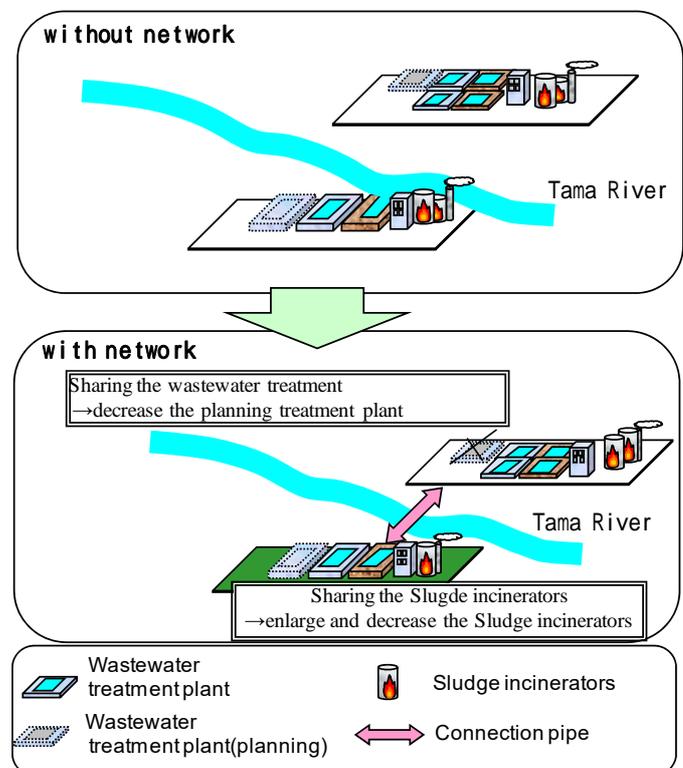


Fig.2 Image of sharing facilities with network

enlarge and the number of incinerator to decrease. Fig.2 shows the image of sharing facilities with network.

2. Increase efficiency of operation and maintenance facilities and stabilization of effluent quality

Sending wastewater and sludge to each other, it is expected that water reclamation centers can be operated and maintained more efficiently, such as:

- (1) Reduction of fuel cost by sending sludge each other and increasing load factor of incinerator.
  - (2) Reduction of energy cost by sending wastewater each other and operating blower efficiently.
  - (3) Reduction of labor cost by concentrating supervisory control of two wastewater treatment plants.
- Also, even if the inflow volume or quality was changed rapidly, stable wastewater treatment can be done by sending inflow to the other.

3. Backups in case of disaster such as earthquakes

It is said that the probability that the earthquake of the M7 class will occur in South Kanto which area includes tama area within 30 years in the future is expected to be about 70%.

Even if the capacity of water reclamation centers decreases by disaster such as earthquake, the other one can back up by using connection pipe.

**Construction of connection pipe**

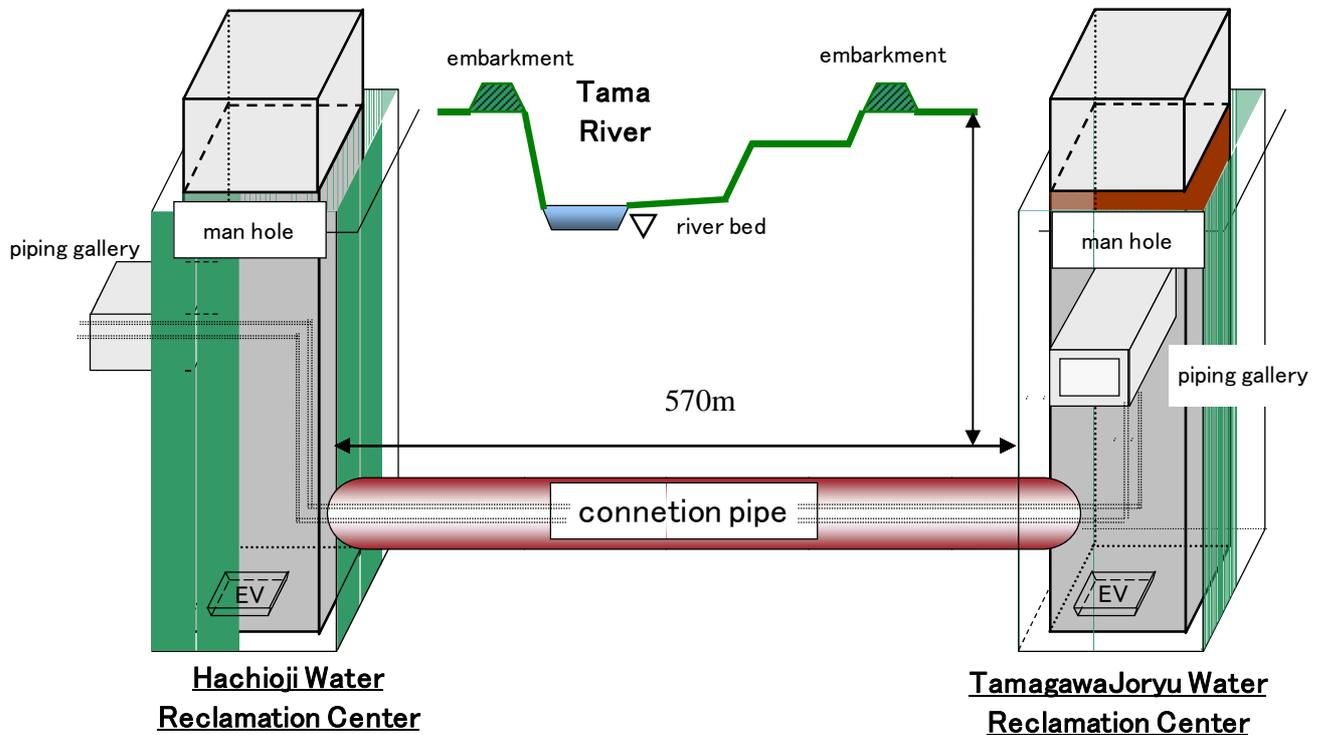
The first connection pipe between Tamagawa Joryu and Hachioji Water Reclamation Center was constructed from 2003 to 2005.

Table.1 shows the outline of these water reclamation centers. The operation of Tamagawa Joryu started in 1978, so many facilities are older than depreciation period, and have to be renovated one by one. On the other hand, the operation of Hachioji started in 1996, so facilities are younger than depreciation period.

**Table.1 The outline of Water Reclamation Centers**

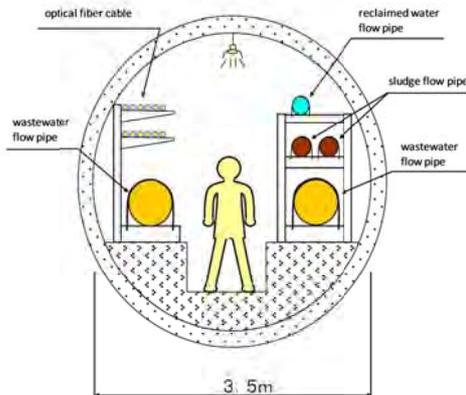
Name of Center	Tamagawa Joryu	Hachioji
Planned Area(ha)	9,349	8,533
Planned Population	439,200	446,800
Treatment Capacity(m <sup>3</sup> /day)	248,200	160,400
Operation Started	1978	1996
The number of Wastewater treatment trains	2 trains: activated sludge process 2 trains: A2O process	2 trains: activated sludge process 2 trains: A2O process
Sludge Incinerations (sludge cake/day)	2incinerations:100 t 1incineration:150t	1incineration:100t 1incineration:50t

Fig.3 shows the profile of connection pipe. Considering the construction cost and maintenance, the tunnel structure under the riverbed of Tama-river was adopted. The length of the connection pipe is about 570m, and the depth from the ground to the invert elevation of connection pipe is about 20m. The diameter inside the connection pipe is 3,500mm, and the width of 1.2m was secured for people to walk through the connection pipe.



**Fig.3 The profile of connection pipe**

Fig.4 and Photo.1 show the inside of the connection pipe. Wastewater pipes, sludge pipes, reclaimed water pipe, et al are inside the connection pipe in order to send wastewater and sludge between the water reclamation centers. Using optical fibers which are also inside the pipe, concentrating supervisory control of two water reclamation centers can be possible.



**Fig.4 Sectional view of the connection pipe**



**Photo.1 Inside of the connection pipe**

Table.2 shows the specification inside the connection pipe. There are two wastewater flow pipes, the diameters of which are 500mm. The sending capacity of wastewater pipe is equal to the largest train of water treatment of two water reclamation centers. That is because in case the capacity of water treatment system decreased during renewal and maintenance, water reclamation center can send wastewater to the other center and supply the shortage. Wastewater was sent from discharge well to discharge well of the other center using pump, or to receiving well with gravity flow. Fig 5 shows the system of sending wastewater using connection pipe.

There are two sludge flow pipes, the diameters of which are 200mm. The capacity of sludge pipe is equal to the largest incinerator of two centers because of the same reason as wastewater pipe.

Using respective sludge pipes, raw sludge and excess sludge can be sent separately from one center to another.

Elevators are established with both vertical shafts of connection pipe allowing for carrying materials and daily maintenance.

The method of tunnel construction was muddy water shield, and The TMG tried to reduce construction cost and period by using secondary lining Abbreviation method and wide segment et.al. Total construction cost of connection pipe is 3.2 billion yen, and construction period is about 2years 2months.

### Efforts of connection pipe

The efforts of connection pipe between Tamagawa Joryu and Hachioji Water Reclamation Center are as follows.

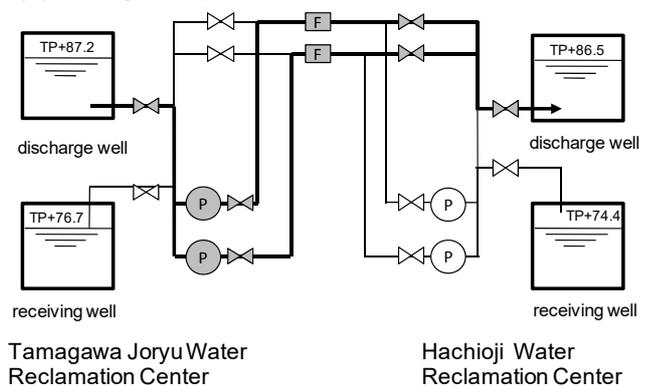
#### (1) Saving construction and renewal cost by sharing and enlargement facilities

Most of sludge incinerators in Tamagawa Joryu Water Reclamation Centers have passed more than 10 years since constructed, so the TMG advances the renewal of sludge incinerators

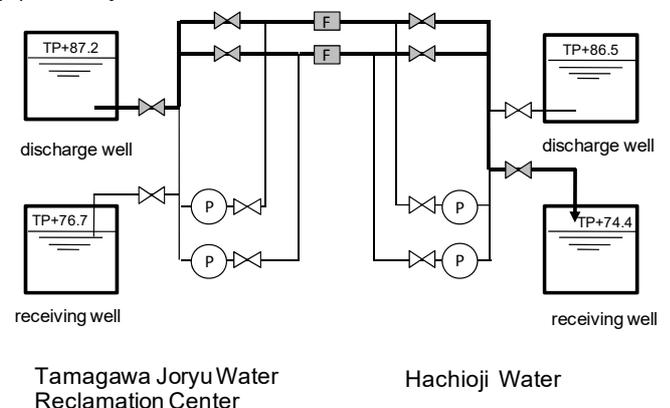
**Table.2 The specification inside the connection pipe**

Name of facilities	Scale of facilities
Wastewater flow pipe	φ500×2
Sludge flow pipe	φ200×2
Reclaimed water pipe	φ200×1
Passage for management	W1,200×H2,200
Others: Optical fiber, Electric cables et.al	

#### (1) Using Pump



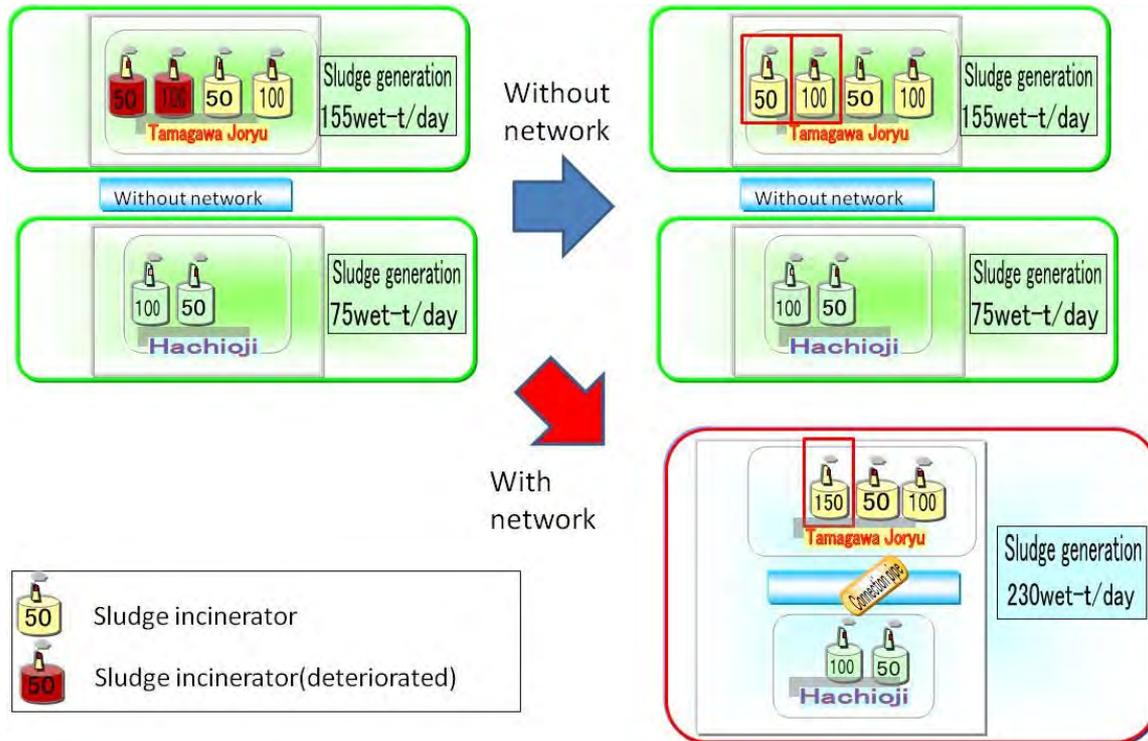
#### (2) Gravity Flow



**Fig.5 System of sending wastewater using connection pipe**

premeditatedly and efficiently.

In 2005, 150t (sludge cake/ day) sludge incinerator was reconstructed instead of 50t and 100t old sludge incinerator, by sending sludge from Tamagawa Joryu to Hachioji Water Reclamation Center. Cost reduction of enlargement sludge incinerator is about 1.3billion yen. Fig.6 shows the reconstruction of enlargement sludge incinerator with network.



**Fig.6 Reconstruction of enlargement sludge incinerator with network**

There are five sludge incinerators in Tamagawa Joryu and Hachioji water reclamation center. It is expected that reconstruction of sludge incinerator cost reduced in the same way. The result of cost-effectiveness calculation is that cost reduction of reconstruction enlargement sludge incinerator is about as 1.3 times high as construction cost of connection pipe.

Moreover, two cycles of sludge incinerator cost-reduction effectiveness is expected. The connection pipe itself is civil structure, so effective working life is more than 50 years. On the other hand, effective working life of sludge incinerator is about 20 to 25 years.

(2) Improvement of the efficiency of operation and maintenance works

The result of experimental operation is that sending wastewater and sludge to another center each other can reduce the fuel and energy cost. But it is difficult to estimate cost reduction throughout the year because of various inflow rate and inflow pattern of wastewater. It is necessary to investigate how to reduce the fuel and energy cost using connection pipe continuously.

On the other hand, reduction of entrust labor cost by concentrating supervisory control exists. The reduction cost is scores of million yen in a year.

Moreover, two water reclamation centers can operate wastewater treatment and sludge treatment more stability while the treatment capacity is decreasing because of inspection and maintenance. Generally, sludge incinerator received periodic inspection and repair within one or two month every year. Sometimes sludge cake has to be moved with truck because of the lack of incinerator capacity. But after constructing network, land transportation of sludge, which sometimes leaks odor, is eliminated.

(3) Backup function such as earthquakes at disaster

We are happy not to use backup system of connection pipe at disaster from now, but no one knows when the earthquake occurs. the earthquake-proof measures to the sewerage structures is advanced, but it takes many years to complete the measures because there are many structures in the water reclamation center most of which cannot stop the function. By using connection pipe, even if the treatment capacity of one water reclamation center decreased in case of serious earthquake, it is possible to maintain treatment capacity by sending wastewater to the other center.

## **CONCLUSIONS**

Constructing the connection pipe between the water reclamation centers so as to send the wastewater, sludge, at el to each other, the TMG can reduce the cost of construction and renewal facilities and build more strong sewerage system in the disaster.

The second connection pipe between the Kitatamaichigo and Minamitama water reclamation center is under construction, and the third connection pipe between Kitatamanigo and Asakawa is under planning.

After three connection pipes will be constructed, and the entire water reclamation center in the Tama-river basin is connected with another one, it is expected that this network system contributes to the protection of safety and comfortable life and more effectiveness sewerage works.



平成23年12月発行

技術調査年報  
2 0 1 1

平成23年度  
印刷物規格表第5類  
登録第80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 株式会社 ミック

