

**東京都下水道局**

**技術調査年報**

**-2024-**

**Vol.48**

**Annual Report on Technical Research & Development  
Bureau of Sewerage , Tokyo Metropolitan Government**

**令和 8 年 2 月**

**東京都下水道局**

# 目次

本書について ..... 1  
 <参考資料> 特許などの取得状況（産業財産権の件数） ..... 2

要旨集 ..... 3

論文集 ..... 38

No.	タイトル	担当部署	氏名	要旨	論文
<b>1 安全性・快適性の向上</b>					
<b>1-1 浸水対策技術</b>					
1	1-1-1 水理模型実験による呑川増強幹線の水理的課題の把握と対策検討について	第二基幹施設再構築事務所 設計課	岡本 遼太	3	38
2	1-1-2 水理模型実験と流出解析シミュレーションを活用した量分水人孔の分水量最適化検討について	第一基幹施設再構築事務所 設計課	大森 一樹	4	43
<b>1-2 再構築技術</b>					
3	1-2-1 電気設備再構築工事の施工に関する工夫	流域下水道本部 技術部 工事課	荻野 涼太	5	51
4	1-2-2 下水道処理施設の再構築等に係る建築基準法の手続を円滑に進めるための支援	建設部 土木設計課	金子 卓司	6	57
5	1-2-3 吾嬬ポンプ所における各設備工事の施工事例	第一基幹施設再構築事務所 設備工事課	小林 洋平	7	62
<b>1-3 その他</b>					
6	1-3-1 工事監督補助業務におけるタブレット端末導入	東京都下水道サービス株式会社 管路部施工管理第一課 中部施工管理事務所	大下 晏歌	8	69
7	1-3-2 固結した火山灰等除去技術及び能登半島支援の中長期派遣	計画調整部 技術開発課	高山 章大	9	76
<b>2 水環境向上、環境負荷低減</b>					
<b>2-1 水処理技術</b>					
8	2-1-1 葛西水再生センターリチウムイオン電池導入効果の検証	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター	瀬野 知将	10	82
9	2-1-2 葛西水再生センターにおける砂ろ過設備の運用の最適化	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター	藤田 柊生	11	88
10	2-1-3 反応槽の負荷量調節による送風機電力の削減	西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 現 流域下水道本部施設管理課 現 北多摩二号水再生センター 現 東京都下水道サービス株式会社	宮崎 麻衣 杉浦 雅也 葛西 孝司 太田 裕誌 多田 琴音	12	92
11	2-1-4 下水試験方法の混合特性試験を用いた反応槽の逆流の定量化と脱窒調査への応用	西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 水質管理担当	小林 克巳 坂元 忠明 江原 和宏	13	102
12	2-1-5 芝浦水再生センター東系における窒素除去率向上に関する取り組み	中部下水道事務所 芝浦水再生センター 現 施設管理部環境管理課 現 施設管理部環境管理課	横田 智之 小林 政行 中川 遼太郎 小山 祐樹 高橋 由香里 関根 健司	14	110
13	2-1-6 浅川水再生センターにおけるアルミニウム含有鉄剤の注入調査	流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター 現多摩川上流水再生センター	引地 いづみ 河野 里名	15	115
<b>2-2 汚泥処理技術</b>					
14	2-2-1 放線菌発泡スカム対策を目的とした消泡剤の性能比較	中部下水道事務所 芝浦水再生センター 現 施設管理部環境管理課 現 施設管理部環境管理課 現 森ヶ崎水再生センター 現 水道局	高橋 由香里 横田 智之 中川 遼太郎 小山 祐樹 森田 健史 生井 智仁	16	121

No.	タイトル	担当部署	氏名	要旨	論文
15	2-2-2 佃島ポンプ所急傾斜コンベヤ沈砂捕集の効率化	東京都下水道サービス株式会社 施設部 東部第一センター 東部第一ポンプ所保全事業所	青柳 詠人	17	125
16	2-2-3 気相パージ式アンモニア性窒素濃度計の開発	計画調整部 技術開発 現 施設管理部 環境管理課 現 水道局 現 産業労働局 荏原実業株式会社 現 荏原実業テクノロジーズ株式会社	古澤 和樹 亀井 葉子 青木 陽平 金井 正博 大平 美智男	18	130
17	2-2-4 嫌気・同時硝化脱窒処理の送風量の適正化に関する調査	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター 現 水道局 現 計画調整部計画課 現 東部第一下水道事砂町 水再生センター	佐々木 拓郎 塩見 浩 蓮佛 詩織 富田 雅昭 松本 博夫	19	135
18	2-2-5 ライザーバルブの開度調節による処理水窒素濃度の低減	西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 現 流域下水道本部施設管理課 現 北多摩二号水再生センター 現 東京都下水道サービス株式会社	宮崎 麻衣 杉浦 雅也 葛西 孝司 太田 裕誌 多田 琴音	20	141
<b>2-3 地球温暖化対策技術</b>					
19	2-3-1 硝化に必要なばっ気電力の削減と下水道資源の活用に向けたアンモニアストリッピング技術の適用可能性について	森ヶ崎水再生センター 現 中部下水道事務所 芝浦水再生センター	松園 健吾	21	147
20	2-3-2 焼却炉運転効率向上についての効果検証	西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター	土屋 良文	22	154
21	2-3-3 エネルギー供給型（カーボンマイナス）焼却炉の開発	計画調整部 技術開発課 技術開発担当	豊田 見徳	23	160
<b>3 維持管理向上、事業効率化他</b>					
<b>3-1 維持管理向上技術</b>					
22	3-1-1 圧送管設計マニュアルの改訂	建設部 設計調整課	横田 渉	24	164
23	3-1-2 再生水供給管の漏水対応について	西部第一下水道事務所 お客さまサービス課	高瀬 樹	25	169
24	3-1-3 清水谷特殊人孔の止水対策について	中部下水道事務所 お客さまサービス課	川口 晃二	26	174
25	3-1-4 主要道路上で大規模掘削を伴う人孔及び導水管の設置について	東部第一下水道事務所 建設課工事担当	藤並 雄誠	27	182
26	3-1-5 画像化技術の活用に関する検討	東京都下水道サービス株式会社 施設部 水質課	梶原 大聖 児玉 弓枝	28	188
27	3-1-6 360°カメラを活用した施設配置確認ツール	東京都下水道サービス株式会社 施設部 保全課	秋本 成雄	29	196
28	3-1-7 「ポンプ所・水再生センター設備点検標準」の改定に関する取組	施設管理部 施設保全課	坂倉 季彦	30	202
<b>3-2 事業効率化、その他</b>					
29	3-2-1 「粒度調整灰を添加した耐硫酸に優れるコンクリート」を使用した人孔改良工事について	西部第二下水道事務所 施設課 連名者 大成建設㈱	大寺 諒 武元 貴裕 長嶋 洗佑	31	210
30	3-2-2 能登半島地震の支援報告とその後の対応	計画調整部 計画課	渡辺 栄祐	32	219
31	3-2-3 能登半島地震を受けた石川県下水道対策本部における支援調整隊の活動について	計画調整部 事業調整課	長谷川 直之	33	227
32	3-2-4 多摩地域下水道事業における都と市町村の連携	流域下水道本部 技術部計画課	松嶋 健汰	34	232
33	3-2-5 近隣住民への影響の低減対策及び山留残置に関する協議について	第二基幹施設再構築事務所 工事第二課	佐光 俊樹	35	237
34	3-2-6 複雑な現場状況に対応した支障物撤去型推進工法への変更について	北部下水道事務所 建設課	古畑 陽平	36	241
35	3-2-7 ポンプゲートの健全性を診断する装置の導入について	建設部 設備設計課	野村 周平	37	248

Copyright©(2021) 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.

本書に関する権利は、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、本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。

# 本書について

## ◆本書の目的

本書は、東京都の下水道技術に関する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、技術力の維持向上を図ることを目的として発行しています。

具体的には以下を目指して作成、発行するものです。

- ①東京都の下水道技術に関する技術情報を網羅し、共有することによって、東京都ひいては下水道界全体の技術力の維持向上と技術の継承及び技術的課題の解決の糸口となること
- ②東京都の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、東京都の事業運営の効率化に寄与すること

## ◆本書の構成

本書は、下水道技術に関する調査・研究・計画・設計・工事について概ね過去一年以内に局内外で発表、実施した成果をとりまとめたものです。各論文は、令和3年3月に策定した「経営計画2021（東京都下水道局）」の経営方針に沿った3つの技術テーマ別（安全性・快適性の向上を図る技術、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）に分類して掲載しています。

## ◆本書の沿革・閲覧場所

本書は、昭和52年（1977年）9月の「技術調査報告書」を初版として、昭和54年度（1979年）からは「技術調査年報」として毎年発行しており、2022年版は46刊目にあたります。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図ることとし、各機関への冊子の配布を取りやめていましたが、2017年版から都庁内、研究機関、大学、政令指定都市等にCD-ROMとして再配布することといたしました。

技術調査年報の論文は、東京都下水道局公式ホームページにも掲載しています。  
(<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/business/technology-statistics/gn/index.html>)

## ◆本文中の用語

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）
- ・水再生センター（下水処理場）
- ・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28階  
東京都下水道局 計画調整部 技術開発課 電話 03-5618-6434

＜参考資料＞ 特許などの取得状況（産業財産権の件数）

東京都下水道局では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。

下表は当局が所有している産業財産権の分野別の登録件数を示したもので、令和5年度末現在の登録件数は合計45件にのびます。

下表以外で出願中の産業財産権が令和5年度末現在5件あり、登録済のものと合わせると、当局所有の産業財産権の件数は50件になります。

産業財産権 登録件数一覧（令和6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	4	0	0	0	4
	雨水対策	0	0	0	0	0
<b>管きよ技術計</b>		<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
維持管理	維持管理	1	0	0	0	1
	設備	8	0	0	0	8
	計測	5	0	0	2	7
	環境	5	0	0	0	5
<b>維持管理計</b>		<b>19</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>21</b>
水処理技術	水処理技術	8	0	0	0	8
<b>水処理技術計</b>		<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>
汚泥処理技術	汚泥処理技術	10	0	0	0	10
<b>汚泥処理技術計</b>		<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>
有効利用	光ファイバー	1	0	0	0	1
	汚泥の資源化	0	0	0	1	1
	熱利用	0	0	0	0	0
<b>有効利用計</b>		<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>合計</b>		<b>42</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>45</b>

番号	1-1-1	表題	水理模型実験による呑川増強幹線の水理的課題の把握と対策検討について	
内容	<p>呑川増強幹線（以下、増強幹線という）は、既設呑川幹線（以下、既設幹線という）流域における浸水対策事業として、75mm/h 降雨に対応するため整備が進められている管径φ2400～3250mm、延長約4.5kmの雨水幹線である。増強幹線は、既設幹線の流下能力を補うため12箇所で分水し、分水部や立坑部で高落差処理を行ったのち、既設幹線の最下流部へふかし上げで放流する複雑な長大伏越し構造となっている。このため、空気連行が要因となり人孔から水と空気の噴出が発生するといった様々な水理上の課題が懸念されることから、水理模型実験により水理的課題を把握するとともに対策検討を実施した。</p> <p>増強幹線全体を対象として水理模型実験を行った。なお、分水部については模型縮尺の関係から抽出模型実験を別途実施した。全体実験にあたっては、75mm/h の計画降雨を条件とした流出解析シミュレーション結果をもとに、各分水部に時間変化に応じた流入量を与えた際に水理的課題を生じない施設を目標として検討した。</p> <p>当初案の施設形状で実験したところ、分水部の斜坑管からの水と空気の噴出や、立坑内における不安定な水面変動、立坑部からの溢水等の水理的課題を確認した。</p> <p>水理模型実験にて確認した上記の水理的課題を受けて、斜坑管の増径、斜坑管内の排気管設置、立坑部への集気管及び排気管の設置、立坑内中床版のレイアウト変更、放流渠の拡幅等の対策案を立案した。これらの対策案を組み合わせることで実験を実施したところ、水と空気の噴出や不安定な水面変動、溢水等の水理的課題が解消し、75mm/h の計画降雨を通水することが可能となった。</p>			
キーワード	呑川幹線、水理模型実験、			
処理区名	森ヶ崎処理区	位置区分	呑川幹線	
職種区分	土木	施策区分	浸水対策	
状態区分		新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和6年度	
担当部署	第二基幹施設再構築事務所 設計課			
発表履歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	1-1-2		表題	水理模型実験と流出解析シミュレーションを活用した量分水人孔の分水量最適化検討について	
内 容	<p>千川幹線流域は千川幹線、第二千川幹線及び千川増強幹線の間でくり返し量分水を行う複雑な構造となっている。本流域では、断面縮小を伴う千川幹線の再構築、ならびに流域の幹線上の浸水対策を行うため、分水人孔の新設又は改造により流量の調整を行う計画がある。しかし、設計した人孔構造で、流出解析シミュレーションにより設定したとおりの水量で実際に分水されるか懸念があったため、水理模型実験を行い、分水量を確認することにした。水理模型は各人孔と前後の管きょを必要分だけ再現した抽出模型とした。実験の結果、シミュレーションと実験で分水特性に差異があることが判明した。</p> <p>実験では、流出解析モデルで再現できていない人孔内の急拡部、急縮部における水位変動や、管底の段差部の下流で射流発生に伴う水位低下が確認された。分水構造が横越流構造または直接分水構造であるため、分水元の流路の水位や流速の差異が分水量に影響した。</p> <p>また、人孔内での渦流の発生による流下阻害での分水量減少も確認された。</p> <p>本業務では分水特性の計画値と実験値の差異の解消を目指し、人孔構造案の修正と実験を繰り返し行い、ほとんどの人孔で堰高調整等により差異が解消された構造を提案できた。一部の人孔では構造の修正で計画値との差異を解消できなかった。1箇所の変化が幹線全体で複雑に連動するため、目標達成の確認には幹線全体の流況を確認する必要があるが、抽出模型のため、実験で確認することが出来ない。そこで、流出解析モデルのパラメータ調整を行い、実験の分水特性をシミュレーションで再現した（モデルへのフィードバック）。修正モデルでシミュレーションを行ったところ、幹線の一部で目標水位を超過したため、解析結果の流況を見極めて人孔を選定し、再度構造を修正して実験を行った。実験で得られた分水特性を再びモデルにフィードバックし、シミュレーションにより流況を確認した。構造案の修正、実験、モデルへのフィードバック、シミュレーションのサイクルを繰り返し行い、最終的に事業目標を達成する最適な構造案を提案することができた。</p>				
キーワード	千川幹線、水理模型実験、流出解析シミュレーション				
処理区名	三河島処理区	位置区分	千川幹線		
職種区分	土木	施策区分	浸水対策		
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和6年度		
担当部署	第一基幹施設再構築事務所 設計課				
発表履歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	1-2-1		表題	電気設備再構築工事の施工に関する創意工夫	
内 容	<p>電気設備再構築工事では、他工事との工程調整による作業時間の制約や、稼働中施設の設備を停止することによる運転管理への影響など、様々な問題が発生する。ここでは、電気設備再構築工事のうち、電気棟の新設時における問題に対応すべく、創意工夫によって作業の効率化を図った事例を報告する。新設した電気棟のEPS（電気配管区画）は、各階に床が無い吹き抜け構造であるため、ケーブルラックの取付やケーブル敷設作業時には、高い仮設足場を設ける必要があった。今回、ケーブルラックの支持金物に作業用の床と昇降用梯子の機能を付加したものを採用することで、以後の電気工事で仮設足場を組むことなく、ケーブルラックの取付作業やケーブル敷設が行えるようになった。また、維持管理の面でも、点検床としての役割を果たすものとなった。</p> <p>電気棟の床面仕上げモルタルには、速硬性かつ自己平滑性(セルフレベリング)を有するセメント系レベリング材を採用した。製品の自己平滑性により、通常モルタル打設時のような金ゴテ仕上げ作業が不要となり、速硬性とも併せて作業時間を短縮することができた。また、金ゴテ仕上げの跡が残ることもなく、床仕上げが良好な出来栄となった。</p> <p>今回、補助継電器盤の機能増設については、現地で作業を行う必要があったが、増設するリレー回路を予め製作工場部品盤に取り付け、ユニット化した盤内キットを作成することで、現地での作業を取付作業のみとすることができた。その結果、稼働施設における設備停止時間を最小限に抑えることができた。</p>				
キーワード	効率化、電気設備、再構築、設備停止				
処理区名	—	位置区分	—		
職種区分	設備		施策区分	再構築	
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度		全体期間	令和6年度	
担当部署	計画調整部 設備設計課				
発表履歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	1-2-2		表題	下水道処理施設の再構築等に係る建築基準法の手続を円滑に進めるための支援	
内 容	<p>建築工事が完了した際、建築基準法に基づく完了検査を受ける必要がある。完了検査とは、同法への適合を検査するもので、適合が認められた場合、検査済証が交付され、施設の使用が可能となる。下水道処理施設の営繕業務では設計と工事を別々の部署が所管しており、完了検査の手続及び受検は工事部署が担当している。下水道施設は、一般の建築物と性質が異なり、下水道施設の維持管理知識と建築の専門知識が必要であり、検査時の質疑に対しての説明が難しい。また、検査時期が施設稼働間際になる場合、検査時の質疑に対して迅速かつ的確に、書類の作成や手直しを進めなくてはならないため、建築に精通している職員が、設計部署と工事部署と連携し対応することが重要となる。検査前に、変更の有無及び計画変更等の手続状況を確認した。事前検査では、是正対応に時間を要するものについて重点を置いた。また、現地の状況を把握した上で、計画通知の内容と現場に相違がある場合、変更計画通知又は軽微な変更届の書類作成が必要となるため、事前に特定行政庁と協議の上、適切に対応した。センターやポンプ所等の施設工事中における現場での課題、計画通知等の審査協議及び変更手続の処理等、日頃から設計部署と工事部署で情報共有し、課題を後回しにしないよう業務を進めた。</p>				
キーワード	再構築、建築基準法、変更計画				
処理区名	—	位置区分	—		
職種区分	建築		施策区分	再構築	
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度		全体期間	令和6年度	
担当部署	計画調整部 土木設計課				
発 表	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
履 歴	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	1-2-3		表題	吾孀ポンプ所における各設備工事の施工事例	
内 容	<p>昭和16年に創設された吾孀ポンプ所は墨田区八広地区の雨水排除能力増強とあわせて老朽化対策を実施するため、平成19年度から施設及び設備の再構築を実施し、令和6年4月に稼働した。吾孀ポンプ所の再構築にあたり、平成元年に稼働した吾孀第二ポンプ所を活用することで既存施設の全面更新が実施され、旧中川の水質改善に向けた合流改善の対策として、雨水ポンプの後段に雨水貯留池（下水道施行令対応施設）も新たに整備された。設備工事は約18か月間の現場施工で工事を完了させたが、下水道施行令対応のため令和5年度の完成目標を厳守する必要があったことなど、様々な制約や条件がある中での施工となった。本稿ではこの際の工夫や対策を施工事例として報告する。</p> <p>(1) 複数工事の同時施工について</p> <p>設備工事が現場に着手した令和4年10月から、令和5年度末までの期間では、延べ11工事が場内で施工を行った。場内は狭隘であり、搬出入ゲートも限られていたため、施工エリアや搬出入経路で複数工事が競合する恐れがあった。これを回避するため、場内を細かく工区分けしたマップを作成し、これを基に、週に一度の定例会議にて日割りでの搬出入調整や施工エリア調整を行った。また、のちに現場入りする工事の工程や工法等を事前に確認し、これにあわせて施工フローを見直す等、主要な工程そのものを大きく変更することなどで競合を回避した。吾孀ポンプ所は民家に囲まれており、周辺道路も狭隘であった。設備工事による雨水ポンプなどの大型機器の搬入や、屋外での斫り作業により住民の生活への影響が懸念された。このため、地域町会と施工内容や騒音対策、搬出入経路や制限速度等の協定を結び、これを遵守した。また、工事のお知らせを近隣住民等に適時ポスティングすることで、作業音の発生や、工事車両の通行など、工事への理解と協力を得られるように努めた。受変電工事においては、設置した需要設備（特高受変電設備 22Kv）の使用前安全管理審査を受審する必要があり、受審の遅れや手戻りを避ける必要があった。このため、工事計画書の審査機関への事前提出や、使用前自主検査などを綿密にスケジュールリングし、各検査項目を適切に実施したことで、予定通りに審査を終えることができた。</p>				
キーワード	創意工夫、吾孀ポンプ所、下水道施行令				
処理区名	砂町処理区	位置区分	吾孀ポンプ所		
職種区分	設備	施策区分	再構築		
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和6年度		
担当部署	第一基幹施設再構築事務所 設備工事課				
発 表 履 歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	1-3-1		表題	工事監督補助業務におけるタブレット端末導入	
内 容	<p>TGS 管路部施工管理課では、下水道管きょ工事における監督業務の豊富な経験とノウハウを活かし、管きょ再構築事業の一部を工事監督補助業務として下水道局から受託している。弊社では、業務の効率化・高度化を図るため積極的に ICT の導入を進めており、その一環として令和 4 年度に工事監督補助業務にタブレット端末を導入した。</p> <p>その結果、現場における定型書類作成やクラウド上に保存した図面等の確認、ネットワークカメラによる遠隔臨場等を行う事により、報告書作成の省力化や移動時における資料持ち運びの負担軽減等の業務改善効果を得ることが出来た。</p> <p>また、ICT に苦手意識を持つ社員へのタブレット端末の活用促進を目的として、「職場研修の実施」「マニュアルの作成」「事務所でサポートをできる社員の育成」「事務所間の知識の共有」等、課内全体のタブレット端末活用を浸透させる取組を展開した。</p> <p>今後も継続して、タブレット端末の利用範囲拡大の検討や操作に関する社員の習熟度向上を図っていく。</p>				
キーワード	タブレット端末、業務の効率化・高度化				
処理区名		位置区分	管きょ、ます 取付管		
職種区分	土木	施策区分	再構築、効率化		
状態区分	工事	新規性			
実施年度	令和 4 年度	全体期間			
担当部署	東京都下水道サービス株式会社管路部施工管理第一課				
発 表	局内	令和 6 年度設計・工事事例発表会			
履 歴	局外	第 60 回下水道研究発表会			
調査方法	直営調査				
関連情報	経営戦略アクションプラン 2021（東京都下水道サービス株式会社）				

番号	1-3-2	表題	固結した火山灰等を下水道管から除去する技術及び能登半島支援の中長期派遣を終えて	
内容	<p>これまで、当局では火山灰や土砂により閉塞した下水道管の復旧技術の確立を目的に、火山灰等の撤去や搬出技術の試行試験を行ってきた。今回、結果を得られたので報告する。また、能登半島地震における中長期派遣を終え、現地の応急復旧活動について報告する。火山灰等の撤去搬出について、既存技術の改良・転用、洗浄水を使用しない、又は使用量が少ないこと及び火山灰等が固結した状態に対応できる技術を、施設別に選定した。</p> <p>①本管については、既設人孔取付部耐震化工法を選定した。機器にオーガを装着し、管内に挿入して回転、土砂がほぐれ、搬出される様子を確認した。</p> <p>②取付管については、超高速回転クリーナー工法を選定した。機器先端でドリルとチェーンが回転して、管内の土砂をほぐし、機器がスムーズに進むことを確認した。</p> <p>③人孔については、水中スクラッチャー工法を選定した。スクラッチャーのバケットで人孔内の土砂をすくい上げ撤去することが可能であり、足掛金物を避けつつ施工出来ることを確認した。</p>			
キーワード	降灰対策、灰除去、能登半島地震			
処理区名	—	位置区分	—	
職種区分	土木	施策区分	震災復旧、降灰対策	
状態区分		新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和6年度	
担当部署	計画調整部 技術開発課 技術開発担当			
発表履歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-1-1		表題	葛西水再生センターリチウムイオン電池導入効果の検証	
内 容	<p>東京都が推進するHTT（電力をHへらす・Tつくる・Tためる）の「電力をためる」の取組の一環として、令和5年3月から葛西水再生センターにリチウムイオン電池設備を導入した。</p> <p>当センターのリチウムイオン電池設備は2,000kWhの容量と1,000kWの最大出力を有し、電力ひっ迫時のデマンドレスポンスなどの対応に活用されている。また高い電池効率を生かし、昼夜の電気料金の違いを利用した運用についても年間を通して試みた。</p> <p>当該設備の運用を開始してから1年以上が経過し、電池性能などの特性を把握するために運用による効果について調査をしたので、報告する。</p>				
キーワード	リチウムイオン電池、デマンドレスポンス、電池効率、電気料金				
処理区名	葛西処理区	位置区分	水再生センター		
職種区分	設備	施策区分	効率化		
状態区分	調査	新規性	あり		
実施年度	令和5年度	全体期間	令和5年度		
担当部署	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター 設備管理担当				
発 表	局内	令和6年下水道設備研究発表会			
履 歴	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	2-1-2		表題	葛西水再生センターにおける砂ろ過設備の運用の最適化 ～切電(きるでん)PTの取組～		
内 容	<p>1 取組経緯</p> <p>葛西水再生センターでは、独自の取組として「切電 PT」を立ち上げ、消費電力量と温室効果ガスの削減に取り組んでいる。</p> <p>リスク分析から、砂ろ過設備洗浄運転の効率化を提案し実運用してきたが、池ごとの洗浄周期にばらつきがあり異常等が発生した。</p> <p>これまでの維持管理を見直すとともに、より最適な運用（異常・故障リスクを低減しつつ節電効果を得る）を目指し、更なる検証を行った。</p> <p>2 取組内容</p> <p>(1) 洗浄周期ごとのデータ収集。また、過去データとの比較。</p> <p>(2) 洗浄周期ごとのリスク（故障の種類と頻度）の確認。</p> <p>3 取組結果</p> <p>洗浄周期ごと（毎週、隔週）に調圧水槽水位、処理水量、ろ過水濁度のデータを収集し、ろ材の目詰まり傾向や故障頻度を比較検討した結果、「ろ抗モード+週1回手動洗浄」の運用を行うことで異常・故障を発生させることなく、消費電力量をひと月当たり6,848kWh削減することができた。</p>					
キーワード	切電 PT、砂ろ過設備、洗浄運転、ろ抗モード					
処理区名	葛西処理区	位置区分	水再生センター			
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、効率化			
状態区分	調査 研究、維持管理	新規性				
実施年度	令和5年度	全体期間	令和4年度～令和6年度			
担当部署	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター 設備管理担当					
発表履歴	局内	令和6年度 下水道設備研究発表会				
	局外					
調査方法	直営調査					
関連情報						

番号	2-1-3	表題	反応タンクの負荷量調節等による送風機電力の削減	
内容	<p>新河岸水再生センター（以下、当センター）では、反応タンクの再構築工事が進められている。これまでに、北系反応タンクは再構築工事が完了し、反応タンク 12 槽に対して送風機は 6 槽ずつ 2 系統に分れている。つづいて、南系反応タンク側で順次、再構築工事が進められている。並行して南系用の送風機も再構築が行われており、1 系統だった送風機が新旧の 2 系統に分かれた。このため、再構築工事中は送風機の能力と反応タンク要求風量がアンバランスになり、送風機の非効率な運転がしばらく続くことになる。</p> <p>本稿では、反応タンクの再構築工事の進捗と送風機の効率性を考慮して、各反応タンクへの負荷量を調節することで送風機電力を削減する取組について報告する。</p>			
キーワード	送風機電力、処理水量、省エネルギー、放風			
処理区名	新河岸処理区	位置区分	水再生センター	
職種区分	環境検査	施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査 研究	新規性	新規知見あり	
実施年度	令和 6 年度	全体期間	令和 6 年度	
担当部署	西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 水質管理担当			
発表履歴	局内	令和 6 年度水質技術研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-1-4		表題	下水試験方法の混合特性試験を用いた反応槽の逆流の定量化と脱窒調査への応用	
内 容	<p>隔壁がある反応槽において流れ方のモデル（以下、本モデル）を作成した<sup>1)</sup>ものの、逆流や解析手法について水質管理分野ではなじみがなく、知見の広まりを欠いた。そこで簡明である下水試験方法の反応槽混合特性試験をベースに逆流の定量化に取り組んだ。</p> <p>まず、本モデルの演算値と実測値の比較から妥当性を確認した。次いで、反応槽の逆流を定量化した「逆流指標」を考案した。解析の結果、下水試験方法の槽列数Nと「逆流指標」は単純な式で近似できることが分かった。これにより反応槽の逆流の程度をNから把握することが可能となった。この結果を利用し、脱窒を逆流の観点から検証した結果、N2.5以下では逆流が急増する傾向があり、新たな高度処理である無隔壁槽のNは小さいため、逆流による脱窒が大きい可能性があることが分かった。</p> <p>1) 技術調査年報 2022</p>				
キーワード	逆流 反応槽混合特性試験 槽列数 N 脱窒 逆流指標				
処理区名			位置区分	水再生センター	
職種区分	環境検査		施策区分	高度処理 効率化	
状態区分	調査 研究		新規性	新規知見あり	
実施年度	令和6年度		全体期間	令和元年度～令和6年度	
担当部署	西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター				
発 表	局内	令和6年度 水質技術研究発表会			
履 歴	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	2-1-5		表題	芝浦水再生センター東系における窒素除去率向上に関する取り組み		
内 容	<p>芝浦水再生センターでは、コロナ禍の終焉に伴い、流入負荷がコロナ禍以前に戻りつつあり、今後さらなる流入負荷上昇が予想されている。当センター東系では、同時硝化脱窒処理であるものの、処理水量に対して返送汚泥ポンプが過少であり、昨年度冬季には全窒素濃度 28mg/L まで上昇する等、窒素処理において厳しい運転状況となっている。</p> <p>そこで、新たにステップ流入を活用したところ、窒素除去率の向上が確認できた。同時硝化脱窒法でのステップ流入を効果的に活用するため、ステップ比や風量設定値を変更し、窒素除去率との関係を調査した。それらの結果をもとに実際に運用を行い、昨年度冬季の窒素除去率と比較を行った。</p>					
キーワード	窒素除去率向上、ステップ流入、風量設定					
処理区名	芝浦処理区	位置区分	水再生センター			
職種区分	環境検査		施策区分	維持管理向上		
状態区分	調査 研究		新規性			
実施年度	令和 6 年度		全体期間	令和 5 年度～令和 7 年度		
担当部署	中部下水道事務所芝浦水再生センター水質管理担当					
発 表	局内	令和 6 年度 水質技術研究発表会				
履 歴	局外	令和 7 年度 第 62 回下水道研究発表会				
調査方法	直営調査					
関連情報						

番号	2-1-6		表題	浅川水再生センターにおけるアルミニウム含有鉄剤の注入調査	
内 容	<p>浅川水再生センターの焼却炉では、焼却灰中のりんが溶融した物質（以下、りん溶融物）により煙道閉塞が発生し、焼却炉の安定稼働に支障が生じている。</p> <p>りん溶融物の発生を抑制するため、ポリ硫酸第二鉄（以下、ポリ鉄）を添加しているものの、りん溶融物が原因と考えられる煙道閉塞兆候が度々発生し、りん溶融を完全には防止できていない状況にある。</p> <p>そこで、2023年9月からポリ鉄に代えて、アルミニウム含有鉄剤の添加を開始したところ、焼却炉の不調が改善され、安定運用を継続できたので、その取り組みと調査結果を報告する。</p>				
キーワード	浅川 焼却炉 煙道閉塞 ポリ鉄 ポリ鉄 A1				
処理区名	浅川処理区	位置区分	汚泥		
職種区分	環境検査	施策区分	汚泥処分 汚泥資源化		
状態区分	調査 研究	新規性	あり		
実施年度	令和 5～6 年度	全体期間	令和 5～6 年度		
担当部署	流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター				
発 表	局内	2024年度水質技術研究発表会			
履 歴	局外	2025年度下水道研究発表会			
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	2-2-1	表題	放線菌発泡スカム対策を目的とした消泡剤の性能比較	
内容	<p>芝浦水再生センターでは、反応槽において放線菌による発泡が例年発生し、過去には発泡スカムが覆蓋を持ち上げて反応槽外に流出したこともあり、維持管理面の課題となっている。コロナ禍においては流入負荷の減少により一時的に発泡が収束していたが、コロナ禍の終焉に伴って発泡が再発するようになった。そのため、消泡剤を投入して発泡スカムを消泡することとした。</p> <p>7種類の消泡剤について事前にテーブル試験を行った結果、エーテル系やエステル系等の消泡剤が消泡性能として優れていることがわかった。また、いずれの消泡剤も活性汚泥に対する顕著な毒性は見られなかったものの、酸素溶解効率が低下する特性があることがわかった。</p>			
キーワード	消泡剤、放線菌、エーテル系、酸素溶解効率			
処理区名	芝浦処理区	位置区分	水再生センター	
職種区分	環境検査	施策区分	維持管理向上	
状態区分	調査 研究	新規性		
実施年度	令和5年度	全体期間	令和4年度～令和5年度	
担当部署	中部下水道事務所芝浦水再生センター水質管理担当			
発表履歴	局内	令和5年度 水質技術研究発表会		
	局外	令和6年度 第61回下水道研究発表会		
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-2-2		表題	佃島ポンプ所急傾斜コンベヤ沈砂補修の効率化	
内 容	<p>佃島ポンプ所の沈砂コンベヤ（急傾斜コンベヤ）は降雨後、一連の揚砂作業が終了後、コンベヤ下部ドレンパンに大量の沈砂が堆積し、その都度人員を動員して、沈砂の除去作業を行っている。近年は、降雨が激甚化の傾向にあり、流入する沈砂の効率的排除が急務となっている。</p> <p>沈砂が堆積する原因は、本来ホッパに投入されるはずの沈砂が付着したままコンベヤに残り、ドレンパン部分に落下し堆積していたためであった。</p> <p>本調査では、圧縮空気と洗浄水を用いてコンベヤベルトに付着した沈砂を除去し、コンベヤ下部ドレンパンへの沈砂堆積の防止を試みた。</p> <p>圧縮空気を用いた沈砂の除去は、コンプレッサーの容量不足により期待した効果を得られなかったが、洗浄水を用いた場合は水量調整及び運転シーケンスの変更により十分な効果が得られ、ドレンパン下部の沈砂堆積を防止することができた。</p> <p>これによって、維持管理の効率化と臭気発生の防止に役立つ結果が得られた。</p>				
キーワード	急傾斜コンベヤ 沈砂堆積の防止				
処理区名	砂町処理区	位置区分	ポンプ所		
職種区分	設備	施策区分	維持管理向上、効率化		
状態区分	調査 研究	新規性			
実施年度	令和 5 年度	全体期間	令和 3 年度から令和 5 年度		
担当部署	東京都下水道サービス株式会社施設部東部第一センター東部第一ポンプ所保全事業所				
発 表	局内	令和 6 年度下水道設備研究発表会			
履 歴	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	2-2-3	表題	気相パージ式アンモニア性窒素濃度計の開発	
内容	<p>昨今、アンモニア性窒素濃度計の測定値を元に送風量を制御する技術が普及している中で、良好な処理水質の維持と、過不足ない送風の両立を目指すには、正確な値を安定的に測定することが重要となる。一方で、これまでのイオン電極法は、汚れや妨害成分の影響等で測定値が不安定になるケースが見られることがあり、今回、反応槽流入水を測定する技術として、アルカリ性にした水相のアンモニアを気相にパージして、気相のアンモニア濃度を紫外線吸光度により測定する方法を開発した。実証実験により、測定値の正確性、安定性の確認、月1回程度の保守点検作業で運用できることを確認したので、この技術の有効性や、その結果について報告する。</p>			
キーワード	気相、パージ、紫外線吸光度、アンモニア性窒素、濃度計			
処理区名		位置区分	水再生センター、処理水 放流水	
職種区分	環境検査	施策区分	高度処理、維持管理向上	
状態区分	調査 研究、維持管理	新規性	新規知見あり	
実施年度	令和4年度	全体期間	令和4から5年度	
担当部署	計画調整部技術開発課			
発表履歴	局内	令和6年度水質技術研究発表会		
	局外	令和6年度第61回下水道研究発表会		
調査方法	簡易提供型共同研究			
関連情報				

番号	2-2-4		表題	嫌気・同時硝化脱窒処理の送風量の適正化に関する調査		
内 容	<p>葛西水再生センターでは、嫌気・同時硝化脱窒処理施設を平成 28 年度から運用しており、運転条件が処理水質や必要送風量に及ぼす影響を調査している。</p> <p>この調査の中で、強雨時に反応槽流入水に含まれる窒素濃度が反応槽前段における NO<sub>x</sub>-N 設定値より低くなると、流入水中の窒素全てを硝化しても NO<sub>x</sub>-N 濃度が目標値に達しないため、送風量が過大となる現象がみられていた。</p> <p>従来、このような場合は DO 制御に切り替えることで送風量の課題を回避していたが、令和 5 年度の調査においては、嫌気・同時硝化脱窒処理を維持したまま反応槽前段 NO<sub>x</sub>-N 設定値を引き下げることで送風量課題を回避できるかを試み、以下の知見が得られた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 降雨時における運転で、DO 制御への移行に代えて NO<sub>x</sub>-N 設定値変更を行った場合でも風量削減の効果が得られた。風量削減効果は NO<sub>x</sub>-N 設定値変更のほうが高かった。</li> <li>・ 強雨時に、NO<sub>x</sub>-N の設定値を変更しても、変更後の設定値を NO<sub>x</sub>-N 濃度が下回って送風量が過大となる場合があった。降雨時の設定値をさらに下げることが有効とみられる。</li> <li>・ NO<sub>x</sub>-N 設定値を切り替える指標として前段 NH<sub>4</sub>-N 計指示値を使用することは妥当とみられる。</li> </ul>					
キーワード	嫌気・同時硝化脱窒処理					
処理区名	葛西処理区	位置区分	処理場 水再生センター			
職種区分	環境検査	施策区分	高度処理 温室効果ガス削減			
状態区分	調査 研究	新規性				
実施年度	令和 5 年度	全体期間				
担当部署	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター 水質管理担当					
発表履歴	局内	令和 6 年度 水質技術研究発表会				
	局外					
調査方法	直営調査					
関連情報	経営計画 2021					

番号	2-2-5		表題	ライザーバルブの開度調節による処理水窒素濃度の低減	
内 容	<p>新河岸水再生センター(以下、「当センター」という。)では、反応タンク流入水のBOD、SS濃度が低いため、他の施設に比べて窒素除去率が低い。空気量の調節などによって窒素除去率の向上を目指したが、当センターの反応タンクは、有効水深7.0mに対して散気水深5.6mで、散気設備の下層部分が小さいため、好気タンク内ではほとんど脱窒しなかった。</p> <p>そこで、ライザーバルブの一部を閉めることで脱窒ゾーンを形成させ、窒素除去率の向上を進めた。当初、生成した硝酸が速やかに脱窒するよう、バルブを閉める位置は脱窒速度が比較的高い反応タンク上流部に設定した。この結果、処理水窒素濃度が少し下がった。</p> <p>更に脱窒を促進させるため、今度はライザーバルブを連続して閉めたところ、好気タンク内での脱窒可能ゾーンが拡張でき、窒素除去率の向上を図ることができた。この方法は窒素濃度が高い標準タンク(浅槽)での実施が推奨される。</p>				
キーワード	窒素除去、好気タンク内脱窒、省エネルギー、脱窒可能ゾーン				
処理区名	新河岸処理区	位置区分	水再生センター		
職種区分	環境検査	施策区分	高度処理		
状態区分	調査 研究	新規性	新規知見あり		
実施年度	令和6年度	全体期間	令和3~6年度		
担当部署	西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 水質管理担当				
発 表	局内	令和6年度水質技術研究発表会			
履 歴	局外	第62回下水道研究発表会			
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	2-3-1	表題	硝化に必要なばっ気電力の削減と下水道資源の活用に向けたアンモニアストリッピング技術の適用可能性について	
内容	<p>当局は、脱炭素化に向けた取組の加速・強化を図るため、令和5年に「アースプラン2023」を策定した。本計画にて温室効果ガスの削減と下水道資源の最大限の活用とを挙げており、先進技術の一層の導入推進や、より革新的な技術の開発・導入が必要不可欠となっている。このような背景から、他分野で利用されている技術について検討することとした。</p> <p>その技術の一つに、従前より工場排水処理等で利用されてきた「アンモニアストリッピング法」がある。この方法は、高濃度のアンモニアが含まれている排水をpH調整によりアルカリ性にし、アンモニアをガス化させた後に冷却することでアンモニアを排水から取り出す技術であるが、ガス化に当たって加温のためのエネルギーを多く要するため、大量の下水を処理し、大量のエネルギーを必要とする下水処理分野では、あまり採用されていなかった。</p> <p>しかし、アンモニアストリッピング法の下水処理分野適用への課題が解決された場合、反応槽におけるばっ気電力の削減や回収したアンモニア及び改質後の水素の資源利用が期待できる。</p> <p>そこで、「アンモニアストリッピング法」を試験運用しているイギリスの「ハウドン下水処理場」を現場視察し、実態を把握するとともに、この技術を森ヶ崎水再生センターに導入した場合の考察を行ったので報告する。</p>			
キーワード	アースプラン 温室効果ガスの削減 下水道資源の活用 アンモニア 水素			
処理区名	森ヶ崎処理区	位置区分	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	
状態区分	調査 研究	新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和4年度～令和5年度	
担当部署	森ヶ崎水再生センター 南部スラッジプラント設備整備担当			
発表履歴	局内	令和6年度 下水道設備研究発表会 令和5年度 水質技術研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報	アースプラン2023			

番号	2-3-2	表題	焼却炉運転効率向上についての効果検証	
内容	<p>東京都下水道局は、2030年カーボンハーフ実現に向けて、地球温暖化対策とエネルギー対策とを一体的に推進し、脱炭素化に向けた取組の更なる加速・強化を図るため、令和5年3月に「アースプラン2023」を策定した。本計画では、汚泥処理施設間で汚泥量を最適に配分し、焼却炉の運転基数を減らし、電力使用量や燃料使用量を削減することにより、温室効果ガス排出量を削減するとしている。</p> <p>今回、令和5年度に実施したみやぎ水再生センター汚泥焼却設備補修工事に伴う全量送泥期間において、新河岸水再生センターでの焼却炉運転効率向上に関する効果検証を行ったので、報告する。</p>			
キーワード	カーボンハーフ 温室効果ガス削減 汚泥相互融通 運転効率向上			
処理区名	新河岸処理区	位置区分	水再生センター	
職種区分	設備	施策区分	効率化	
状態区分	維持管理	新規性		
実施年度	令和5年度	全体期間		
担当部署	部第二下水道事務所 新河岸水再生センター スラッジ管理担当			
発表履歴	局内	下水道設備研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-3-3	表題	エネルギー供給型（カーボンマイナス）焼却炉の開発	
内容	<p>エネルギー供給型（カーボンマイナス）焼却炉は、東京都下水道局で設定した開発条件により、開発技術の導入を前提とした共同研究者を公募した。本共同研究で実用化が評価された技術は、当局が発注する焼却炉の建設工事での採用が可能となる。</p> <p>新たに技術開発した焼却炉は、脱水汚泥の含水率を一層低下させる超低含水率型脱水機に対応しており、焼却炉で使用する電力以上に焼却廃熱を活用した発電をして汚泥処理施設や水処理施設にも電力を供給できる焼却炉となっている。</p> <p>また、焼却炉から発生する温室効果ガス排出量を廃熱発電による温室効果ガス削減量が上回ることによってカーボンマイナスの達成が可能となる。令和5年12月に局技術管理委員会において本技術が実用化技術として承認されたので、報告する。</p>			
キーワード	カーボンマイナス、焼却炉、超低含水率型脱水機、廃熱発電			
処理区名		位置区分	水再生センター	
職種区分	設備	施策区分	効率化	
状態区分	建設	新規性		
実施年度	令和5年度	全体期間		
担当部署	計画調整部 技術開発課 技術開発担当			
発表履歴	局内	下水道設備研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-1-1		表題	圧送管設計マニュアルの改訂	
内 容	<p>当局の圧送管は、送泥管、再生水管を始め、一部の汚水・雨水管きよにも用いられており、これまでに約360kmを整備してきた。設計の手引である「圧送管設計マニュアル」は、平成22年6月の改訂から13年以上が経過し、その間、腐食対策や耐震性の確保、維持管理を考慮した敷設方式、汚水・雨水圧送管の設計手法など多数の課題が生じていた。このため、課題に対する対応を検討・整理し、マニュアルに反映させるとともに、図や表を多用することにより、わかりやすい実務に即したマニュアルとなるよう改訂を行ったため、報告する。近年の技術革新を踏まえ、防食性、耐震性、施工性に優れた以下の管材を「管材選定フロー」に位置付けた。ダクタイル鋳鉄管は、S形、NS形の選定に加え、新たに耐震性と長寿命化に優れたGX形を追加した。また、ポリエチレン管は、腐食に強く、施工が容易という利点があることから新たな管材としてフローに追加した。追加にあたっては、安全性や耐久性に考慮した使用条件を別途策定し、選定への道筋をつけた。送泥管の整備は、汚泥処理処分基本計画を基に、維持管理を考慮した管廊内配管方式を標準としている。一方、管廊内の付帯設備やその維持管理区分が明確に定められていないという課題があった。このため、流域下水道での整備事例やメーカー、維持管理部署へのヒアリングを踏まえ、付帯設備の配置例を検討し、維持管理・引継区分を整理した。</p> <p>汚水・雨水圧送管の設計は、これまでマニュアルに記載がなく、送泥管の設計手法を準用していた。一方で、老朽化に伴い、代替ルートなどの整備が求められており、設計手法を早期に確立する必要性が生じていた。このため、汚水・雨水圧送管の設計に不可欠な管内流速の考え方や縦断線形上の留意点を整理し、2系統化などによるネットワーク化の検討も新たに記載した。</p>				
キーワード	圧送管、マニュアル、新素材、設計、維持管理				
処理区名	—	位置区分	—		
職種区分	設備		施策区分	再構築	
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度		全体期間	令和6年度	
担当部署	建設部 設計調整課				
発表履歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	3-1-2		表題	再生水供給管の漏水対応について	
内 容	<p>西新宿エリアの再生水は昭和 58 年度から供給開始し、約 40 年以上経過している。令和 5 年 8 月 31 日 8 時 45 分頃、新宿区西新宿 2-1-1 の都道歩道部にて、供給管（φ150mm ダクタイル鋳鉄管 T 型 昭和 58 年布設）曲管継手部の損傷により、漏水が発生した。道路管理者が歩道部での落ち込み及びび湿りを確認したため、当初、水道局が現地にて、水質の測定を実施し、上水の漏水ではないとの結果となった。当局にて漏水箇所を掘削した結果、再生水管の曲管継手部からの漏水が確認された。応急処置を施したが、漏水が継続することから、本復旧までの断水及び上水への切替を供給先と調整し、土嚢等を用いた埋め戻しによる仮復旧にて交通開放した。後日、配管材料の手配が整い、再生水管の布設替及び充水作業を行い、本復旧を完了した。</p> <p>漏水箇所以外にも腐食箇所が散見されたため、管体・土壌調査を委託した。調査の結果、土壌においては、硫黄等の含有率及び ANSI 評価点は低く、腐食性は強くなかった。管体においては、製品品質に問題はなかったが、管外面には全面的に腐食が生じており、最大腐食深さは 3.0～3.8mm であった。腐食性の弱い一般の砂中に管が埋設された場合の腐食速度（0.050mm/年程度（腐食しろ 2.0mm）が耐用年数 40 年で腐食する速度）と比較すると、約 1.5～1.9 倍の速さであった。以上のことから、腐食原因は一般土壌腐食によるものと推定された。また、腐食原因は一般土壌腐食のほかにも、管体に付着した粘土と周囲の砂との酸素濃淡（通気差）により電位差が生じて腐食が進行するマクロセル腐食も原因のひとつと推察される。西新宿エリアの再生水管は供用年数が 40 年以上であり、腐食による漏水のリスクを鑑みると計画的な更新及び補修が必要とされるが、対象となる管路延長は長く、更新・補修に時間を要することから、それまでの間にも同様の事象が起きることが懸念される。そのため、圧送管維持管理の対応事例として、対応状況を整理し、共有することで突発事故発生時の迅速かつ的確な対応に活用したい</p>				
キーワード	圧送管、再生水管、漏水、維持管理				
処理区名	芝浦処理区	位置区分	再生水供給管		
職種区分	土木	施策区分	維持管理		
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和 5 年度	全体期間	令和 6 年度		
担当部署	西部第一下水道事務所 お客さまサービス課				
発 表 履 歴	局内	令和 6 年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	3-1-3		表題	清水谷特殊人孔の止水対策について	
内 容	<p>東京都千代田区紀尾井町の清水谷公園内に築造した人孔（以下「清水谷人孔」という。）は、第二溜池幹線最上流部にあたり千代田区紀尾井町付近の浸水被害を軽減することを目的として建設された暫定貯留施設である。人孔躯体の直径は約 16m、深さ約 53mで平成 13 年の完成以来 20 年以上に渡って貯留機能を果たしている。しかし、壁面には経年劣化によるひび割れ等から漏水が生じ、電気設備のあるドライエリアまで湿潤環境となったことに起因し、ポンプ設備や電気設備の故障が繰り返し生じていた。そのため、ポンプ設備の補修に先立って、令和 5 年度に清水谷人孔躯体の止水工事を行った。</p> <p>補修方法は、地下構造物の躯体のクラックや打ち継ぎ目等からの漏水を止めるための高圧注入工法にて施工した。当該現場は人孔内のため作業スペースが狭いことやクラックや打ち継ぎ目からの漏水に対抗する必要があることから、比較的注入設備が簡易であり温度変化や地震等によるクラック等の変位に材料が繰り返し追従できる本工法を選定した。施工方法は、まずクラックに対して斜めに所定深度まで削孔し注入口を設置する。設置した注入口から止水材を注入し、止水効果確認後、取り付けた注入口を撤去するという方法である。止水材には、クラックに対して変形追随性があるアスファルト乳剤を取り入れた。工事完了後、現地状況を調査したところ、現在も止水効果が良好であることを確認できている。</p>				
キーワード	暫定貯留施設、特殊人孔、止水対策、アスファルト乳剤				
処理区名	芝浦処理区	位置区分	特殊人孔		
職種区分	土木	施策区分	浸水対策		
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和 5 年度	全体期間	令和 6 年度		
担当部署	中部下水道事務所 お客さまサービス課				
発 表 履 歴	局内	令和 6 年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法					
関連情報					

番号	3-1-4		表題	主要道路上での大規模掘削を伴う人孔及び導水管の設置について	
内 容	<p>本工事の対象地区である江東区北砂2, 3丁目の下水は西砂幹線から砂幹線を経由し砂町水再生センターへ流下している。本工事では、平成29年度に北砂五丁目、南砂一丁目付近に敷設した主要枝線を介して南砂幹線流域へ切替を行うことを目的として、明治通り上で取水人孔（特殊人孔2箇所）及び新設枝線（推進工）を整備したものである。</p> <p>取水人孔築造のための地盤改良工の施工に際し、埋設企業者と事前協議を実施したところ、防護措置を求められた。また、施工方法について検討した結果、交通量の多い明治通りでの作業となるため、周辺地盤に対する防護措置の必要が生じた。</p> <p>取水人孔の1つが都知事占用対象物件であったため、上記により路面覆工板の範囲等の仮設計画に変更が生じたため、協議が必要となった。交通量の多い道路ではあるが、同一の場所での夜間作業を一年近くにわたり施工したため、周辺住民への配慮が必要であった。地盤改良範囲を囲む形で軽量鋼矢板を打設し、近接する埋設管及び周辺地盤の防護を行った。交通量の多い明治通り上での施工のため、車両通行を確保可能な作業帯を計画し建設局との協議を行った。作業中に開口部へ防音シートをかぶせるなど騒音対策を実施した。また、覆工板の擦り付けを斜めにするこで車両侵入時の振動の低減を図った。</p>				
キーワード	大規模掘削、導水管、推進工、地盤改良、安全管理				
処理区名	砂町処理区	位置区分	人孔		
職種区分	土木	施策区分	老朽化対策		
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和6年度		
担当部署	東部第一下水道事務所 建設課 工事担当				
発 表 履 歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	3-1-5	表題	画像化技術の活用に関する検討～三河島水再生センター第二沈殿池内の可視化と水処理運転への応用～	
内容	<p>三河島水再生センターの浅草系第二沈殿池（以下、二沈という）では、汚泥浮上に伴う処理水質への影響が懸念されている。二沈からの汚泥浮上は、水深が浅い構造等が原因の一つに推定されるものの不明な点が多い。そこで、画像化技術（以下、画像センサーという）を活用した第二沈殿池の汚泥堆積状況の可視化及び汚泥浮上の原因把握に関する調査を行った。</p> <p>調査の結果、以下のことが分かった。</p> <p>(1) 二沈内を多点測定（24点）し、池全体（1池）の汚泥堆積状況を可視化することができた。上流、中流、下流域毎で堆積状況に大きな差がみられなかったことから、3点程度の測定を行えば池全体（1池）の状況把握が可能と考えられる。</p> <p>(2) かき寄せ形式の違い（フライト式、レシプロ式）によって、汚泥堆積量や上澄水の濁質状況に差異があることが確認された。</p> <p>(3) 水質分析及び画像測定の結果、汚泥堆積量の多い池では底部において汚泥の脱窒が生じており、汚泥浮上の一因になっていると推測された。</p> <p>(4) 得られた画像データを基に流入扉開度を調整することで、汚泥の沈降性が向上し、適切な水処理運転に寄与できる可能性が示唆された。</p>			
キーワード	第二沈殿池、汚泥浮上、汚泥堆積、画像センサー、可視化			
処理区名	三河島処理区	位置区分	水再生センター	
職種区分	環境検査	施策区分	維持管理向上	
状態区分	調査 研究	新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和4年度～令和5年度	
担当部署	東京都下水道サービス株式会社 施設部 水質課			
発表履歴	局内	令和6年度 下水道設備研究発表会		
	局外	令和7年度(第62回) 下水道研究発表会		
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-1-6		表題	360° カメラを活用した施設配置確認ツール	
内 容	<p>水再生センターでは、運転管理・保全管理の日常業務を行っている。日常業務では、点検や工事に伴う設備の停止や切り替え措置、そして設備故障が発生した際の復旧対応を行っている。水再生センター内でこれらの対応を安全に行うには、現場の状況を事前に把握した上で綿密な作業計画を作成することが必要不可欠である。</p> <p>作業計画を検討する際には、対象となる施設、設備の図面確認に加えて、実際に広大な水再生センター内を歩いて調査する必要がある。</p> <p>しかし、落合処理区にある中野水再生センターの運転管理は、落合水再生センターから遠隔で行っている。このため、中野水再生センターで点検や工事により設備の停止・切替えを行う場合には、落合水再生センターから直線距離にして 3km 程度を往復することになり、業務の負担となっていた。</p> <p>そこで、執務室に居ながら現場調査ができるように、360° カメラを用いた施設配置確認ツールを作製し中野水再生センターへ移動する回数を減らし、時間的な負担を少なくした。</p>				
キーワード	水再生センター、運転管理、保全管理、作業計画、施設配置確認ツール				
処理区名	落合処理区	位置区分	水再生センター		
職種区分	設備	施策区分	効率化		
状態区分	維持管理	新規性			
実施年度	令和 4 年度	全体期間			
担当部署	東京都下水道サービス株式会社 施設部 保全課 設備技術担当				
発 表 履 歴	局内	令和 6 年度 センター・ポンプ所管理業務委託技術成果報告会 令和 6 年度 下水道設備研究発表会			
	局外	令和 6 年度 都庁 DX アワード 2024 下水道設備 No. 143 P48 2024 年 7 月 発行：一般社団法人東京下水道設備協会			
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	3-1-7	表題	「ポンプ所・水再生センター設備点検標準」の改定に関する取組	
内容	<p>東京都下水道局が策定している「ポンプ所・水再生センター設備点検標準」は、下水道設備の点検項目、点検内容や標準的な定期点検周期を定めている。</p> <p>しかし、従来の点検標準（平成 17 年 3 月）には、平成 17 年の点検標準策定以降に新たに導入された機器に関する点検内容等がない、定期点検周期の決定方法に明確な基準がない、などの課題があった。</p> <p>そこで今回、これらの課題の解決に向けて、東京都下水道局が運用している下水道設備保全管理システムのデータベース（通称エスキューブプラス）を活用した点検標準の改定に関する取組を行ったので、報告する。</p>			
キーワード	下水道設備 下水道設備保全管理システム 点検標準の改定			
処理区名		位置区分	ポンプ所 水再生センター	
職種区分	設備	施策区分	維持管理向上 効率化	
状態区分	維持管理	新規性		
実施年度	令和 4 年度	全体期間		
担当部署	施設管理部 施設保全課 保全指導担当			
発表履歴	局内	令和 6 年度下水道設備研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報	経営計画 2021			

番号	3-2-1	表題	「粒度調整灰を添加した耐硫酸に優れるコンクリート」を使用した人孔改良工事について	
内容	<p>本工事箇所は、新河岸水再生センター汚泥処理施設における排水系統の人孔で、高落差のため恒常的に高濃度の硫化水素ガスが発生しやすく、過去にこれが起因したと思われる大きな陥没事故が発生した箇所である。このような過酷な腐食環境に対処する新技術として令和2年度局技術管理委員会にて承認された「粒度調整灰を添加した耐硫酸に優れるコンクリート」（以下、「耐硫酸コンクリート」という。）を本工事にて採用したので報告する。耐硫酸コンクリートは、当局、東京都下水道サービス株式会社、宇部興産株式会社及び大成建設株式会社にて共同開発した現場打ちコンクリートである。配合には、資源の有効利用の観点からセメント重量比5%（開発での研究結果から採用）の粒度調整灰を添加し、腐食環境Ⅰ類・Ⅱ類に実施・適用可能かつ、一般的な防食技術の標準耐用年数10年をさらに延長する方法（Ⅰ類環境下で腐食速度Max1mm/年→被り厚さ≤耐用年数となる→メンテナンスフリー）を明示した実用化技術である。</p> <p>耐硫酸コンクリートは配合が特殊なため、現時点で製造可能なプラントは1箇所であることから、数か月前より予約する必要がある上、本工事箇所まで距離があった。このため、事前にプラント-現場間の想定ルートを事前に走行し、所定時間内に打設可能かシミュレーションを実施した。また、予定した打設日に間に合うよう、工程管理を適宜実施し、少雨でも施工可能にするため、雨除けテントや導水設備を設置するなど考える対策を行った上、施工した。耐硫酸コンクリートを現場打ち施工するためプラントから本工事箇所まで運搬する必要から高流動コンクリートとなるが、粒度調整灰を配合しているため通常のコンクリートと比較し、凝結開始までが遅く、高粘性度でもあることから、仕上げタイミングを事前に確認する必要があった。このため、模型を作製し、現場における凝結過程の事前確認を行った上、施工した。</p>			
キーワード	粒度調整灰、耐硫酸性モルタル、再構築、メンテナンスフリー			
処理区名	新河岸処理区	位置区分	水再生センター	
職種区分	土木	施策区分	老朽化対策	
状態区分		新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和6年度	
担当部署	西部第二下水道事務所 施設課			
発表履歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-2-2		表題	能登半島地震の支援報告とその後の対応	
内 容	<p>令和 6 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震では、石川県で観測史上初めて震度 7 を観測するなど激しい揺れが生じ、特に輪島市などの能登地域 6 市町では地盤崩壊や液状化に見舞われ、下水道施設にも甚大な被害が発生した。ここでは、東京都及び全国の政令指定都市（以下、大都市）による能登半島での支援活動と、その後の対応について報告する。</p> <p>大規模地震等が発生し、被災した自治体単独での対応が困難な場合に備え、下水道事業者間で「下水道事業における災害時支援に関するルール（通称：全国ルール）」を締結しており、全国を 6 ブロックに分け、ブロック内で相互支援を行う体制を整えている。</p> <p>今回の能登半島地震では、中部ブロック内の相互支援に加え、中部ブロックから大都市へ応援要請があったため、東京都が窓口となり大都市職員が連携して復旧支援を行った。</p> <p>大都市間で調整を行い、東京都下水道局は水道局と一体となり輪島市を支援することとなった。当局は 1 月 8 日に先遣隊を輪島市へ派遣し 0 次調査を行い、4 月 14 日に二次調査を完了した。さらに、4 月 1 日から中長期の支援職員を輪島市へ派遣し、応急復旧や災害査定など、現在も継続して支援を行っている。</p>				
キーワード	能登半島地震、全国ルール				
処理区名	—	位置区分	—		
職種区分	土木	施策区分	震災復旧		
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和 5 年度		全体期間	令和 6 年度	
担当部署	計画調整部 計画課 基本計画担当				
発表履歴	局内	令和 6 年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	3-2-3	表題	能登半島地震を受けた石川県下水道対策本部における支援調整隊の活動について	
内容	<p>令和6年1月1日に発生した能登半島地震により、石川県内の下水道施設は大きな被害を受けた。これを受け、石川県内の広域支援を行うため、大都市である東京都は下水道事業者間で締結している「全国ルール」に基づき、被災自治体の下水道管路の復旧に向けて調査を行う支援隊、支援計画の立案を実施する支援調整隊に参画することとなった。</p> <p>ここでは、石川県に設置された下水道対策本部での支援調整隊の活動内容について報告する。</p>			
キーワード	能登半島地震、全国ルール			
処理区名	—	位置区分	—	
職種区分	土木	施策区分	震災復旧	
状態区分		新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和6年度	
担当部署	計画調整部 事業調整課			
発表履歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-2-4		表題	多摩地域の下水道事業における都と市町村の連携した取組について	
内 容	<p>多摩地域では、市町村が管理する公共下水道と都が管理する流域下水道が一体となつて機能している。市町村では下水道職員が年々減少している中、下水道施設の老朽化が進んでいる等、様々な課題を抱えている。こうした課題に対し、危機管理の強化や維持管理等のノウハウや技術力を維持していくため、都と市町村が連携した取組について報告する。当局では、令和5年度に創設した新たな補助制度により、市町村への財政支援を行っている。この制度を活用し、市町村の強靱化対策を強化、加速させるため、強靱化計画策定に向けた勉強会を開催し、技術支援に取り組んでいる。令和5年度は、浸水対策や地震対策等に関する勉強会を開催し、市町村の取組を後押しした。</p> <p>都及び市町村では、災害等に備え、下水道事業関係者間の相互支援体制を整備するとともに、民間事業者等との災害時復旧支援体制及び災害査定に係る技術支援体制を整備している。この体制に基づき、大規模災害が発生した場合に下水道施設の復旧活動を迅速かつ円滑に実施できるよう、情報連絡訓練を定期的に行い、情報連絡の習熟を図るとともに、訓練での課題を市町村と共有し改善を図った。当局では、市町村が管理する下水道施設の老朽化が進んでいることを踏まえ、民間事業者を招いた管きょ更生工法に関する講習会を開催し、工法の解説に加え、デモ施工による実演を実施することで工法特性等に関する理解の促進を図った。また、災害復旧の知見を身につけるため、民間事業者を招いた災害対策に関する講習会を開催し、災害復旧の手順や他都市への支援事例、耐震化工法等の解説等を解説することで地震対策効果や施工手順に関する理解の促進を図った。</p>				
キーワード	市町村との連携、補助制度、災害復旧支援体制、情報訓練				
処理区名	多摩地域	位置区分	—		
職種区分	土木	施策区分	老朽化対策		
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和6年度		
担当部署	流域下水道本部 技術部 計画課				
発 表	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
履 歴	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	3-2-5		表題	近隣住民への影響の低減対策及び山留残置に関する協議について	
内 容	<p>本工事は中野区の補助第26号線（中野通り）の拡幅工事に伴い、道路管理者との協定工事として、老朽化した桃園橋の撤去と同時に幹線の再構築を行うものである。今回は当該工事を進めていく上で課題となった地元対応事例を報告する。</p> <p>桃園川を暗渠化して整備された桃園川幹線は、築造から50年以上が経過し再構築が必要であった。また、中野通りとの交差部は老朽化した桃園橋が残され、桃園川幹線はその橋台を幹線の側壁として利用している構造であった。中野通りの拡幅にあたり、桃園橋の撤去と同時にボックスカルバート（5.0m×4.2m L=18m）を布設し、桃園川幹線の再構築を行う。ボックスカルバートの布設及び橋台撤去にあたり、交通量が多いことなどから、夜間施工となったが、昼間は交通開放するため路面覆工を設置した。しかし、通常の形式で路面覆工を設置した場合、路面と民地に70cmの高低差ができてしまい、沿道との出入りに支障が生じることが判明した。これら課題への対応策として、受け桁の構造を見直した特殊桁を採用し、覆工板を桁高さ内に取り込むことで高さを35cmに抑えることができた。また、掘削にあたりN値50を超える砂礫地盤に土留めを行うため、オーガ掘削を併用して13mの山留杭を打設し、土留め周辺部はセメントミルクによる根固めによって地盤と一体化させており、山留の引き抜きが困難であった。このため、引き抜きに伴う路面覆工の再設置による地元住民への負荷の増大や街路事業への工程に影響が出ること等を理由に協議を行った。その結果、即日復旧可能な軽量鋼矢板建て込み工法で標準的な上限である2.5mまで上部撤去することで了承を得ることができた。</p>				
キーワード	道路拡幅工事、道路管理者協議、幹線再構築、住民対応				
処理区名	—	位置区分	桃園川幹線		
職種区分	土木	施策区分	再構築		
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和6年度		
担当部署	第二基幹施設再構築事務所 工事第二課				
発表履歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	3-2-6		表題	複雑な現場状況に対応した支障物撤去型推進工法への変更について	
内 容	<p>本工事は、補助 94 号線（都道不忍通り）道路拡幅事業に先立ち、主要枝線の新設を施工するものである。本現場は、東京メトロ仮設物、事業用地等の特異性を考慮しなければならない複雑な現場環境下での施工である。新設管は、当初の計画では、泥濃式推進工法による施工であったが、発進立坑築造時に不明な残置コンクリートが出現し、路線上にも同様な支障物が危惧されるため、事前に入念な埋設物調査を重ね、施工方法を検討した結果、支障物撤去型推進工法へ変更した。本件は、支障物撤去型推進工法を用い、複雑な現場状況に対応した経緯と解決策について報告する。</p> <p>埋設物調査（試験掘、鉛直磁気探査）の結果、他企業施設に付随すると思われる H 形鋼が干渉することが懸念された。また、当該箇所が都道部交差点であり開削による支障物撤去が困難な状況だった。埋設物調査により支障物が干渉する可能性がある点、道路台帳等に載っていない不明な支障物が出てきた点、開削が困難な背景を踏まえ、現場状況に即した施工方法の検討を行った。また、本案件は補助 94 号線道路拡幅事業の工期制約を受けることから、さらなる不測の事態に備え、支障物撤去型推進工法に変更し、施工することにした。埋設物調査を実施して、なお支障物が障害になる可能性が高い現場にて、道路拡幅事業による工期制約のもと、不測の事態を考慮した検討を行い、道路管理者等との協議及び手続きを並行し進めた結果、懸案していた推進路線は、無事完了することができた。</p>				
キーワード	泥濃式推進工法、支障物、埋設物調査				
処理区名	—	位置区分	—		
職種区分	土木	施策区分	道路改良		
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和 5 年度	全体期間	令和 6 年度		
担当部署	北部下水道事務所 建設課				
発 表 履 歴	局内	令和 6 年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法					
関連情報					

番号	3-2-7		表題	ポンプゲートの健全性を診断する装置の導入について	
内 容	<p>ポンプゲートは、河川と水路の間に設置する、ポンプとゲートが一体化した設備である。通常時はゲートを開けて自然流下で雨水を排水し、河川水位が上がった際はゲートを閉めて逆流を防止しつつ、ポンプで雨水を強制的に排水し、内水被害を防ぐ役割を持つ。</p> <p>既存の水路に、大規模な改造を伴わずに設置できる点から局地的集中豪雨対策として採用されている。今回、多摩川排水樋門ポンプゲートのポンプ更新にあわせて、従来は困難であったポンプの健全性の診断が可能となる診断装置を導入したため、報告する。</p> <p>ポンプゲートのポンプは、晴天時には水がないため、実負荷での動作確認は困難であった。さらに、既設ポンプは無水状態で運転すると焼付き故障するリスクが高いため、無負荷でも動作確認はできなかった。これらの理由から、緊急時に使用する設備ではあるが、緊急時以外には運転ができず、健全性の確認が難しいという課題があった。</p> <p>3. 課題に対する対策</p> <p>対策として、3つの機能を追加している。</p> <p>①ポンプ部品に、焼付きに強い材料を使用し、気中運転可能な仕様とした。</p> <p>②ポンプに温度センサ等を組み込み、気中運転データを取得できる診断装置を設置。</p> <p>③診断装置により取得した気中運転データをクラウドサーバで分析し、ポンプの健全性の診断を可能とした。</p> <p>また、導入にあたっては、インターネットを利用するため、情報セキュリティの課題があったが、診断装置をクラウドサーバに直接接続せず、携帯可能な情報端末を経由しデータを匿名化して転送することで対策した。</p>				
キーワード	ポンプゲート、浸水対策、DX化				
処理区名	—	位置区分	—		
職種区分	設備	施策区分	浸水対策、DX化		
状態区分			新規性	新規知見あり	
実施年度	令和5年度	全体期間	令和6年度		
担当部署	計画調整部 設備設計課				
発 表 履 歴	局内	令和6年度設計・工事事例発表会（カワセミ）			
	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報					

# 1-1-1 水理模型実験による呑川増強幹線の水理的課題の把握と 対策検討について

第二基幹施設再構築事務所 設計課 岡本 遼太

## 1. 事業概要

呑川増強幹線（以下、本増強幹線という。）は、「経営計画 2021<sup>1)</sup>」において浸水対策を強化する地区とされている目黒区及び世田谷区の対象地区において、既設呑川幹線（以下、既設幹線という。）の雨水排除能力を増強するため整備を進めている雨水幹線である。

既設幹線流域ではたびたび浸水被害が発生しており、特に平成 25 年 7 月の集中豪雨では断続的に 60 mm/h を超える激しい雨に襲われ、床上・床下合わせて 100 棟以上の甚大な浸水被害が発生した<sup>2)</sup>。このため平成 25 年 12 月に策定された「豪雨対策下水道緊急プラン<sup>3)</sup>」において、当地区に 75mm/h 降雨に対応する新たな下水道施設を整備することとなり、本増強幹線の整備に着手した。

図 1 及び図 2 に示す通り、本増強幹線は、既設幹線の流下能力を補うため 12 箇所で分水し、集めた水を既設幹線の最下流部へ放流する構造となっている。幹線延長は約 4.5km であり、中間立坑の上流部は推進工法により管径  $\phi 2400$  mm、延長約 0.7km の管きよを整備し、下流部はシールド工法により管径  $\phi 3250$  mm、延長約 3.8km の管きよを整備している。

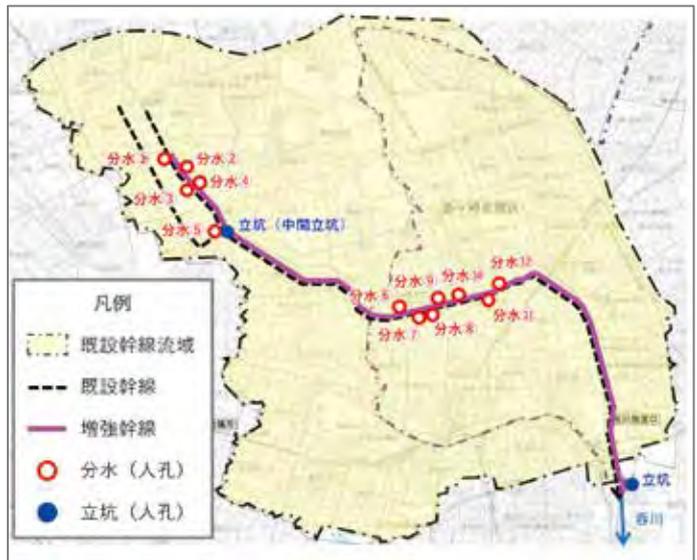


図 1 本増強幹線の位置

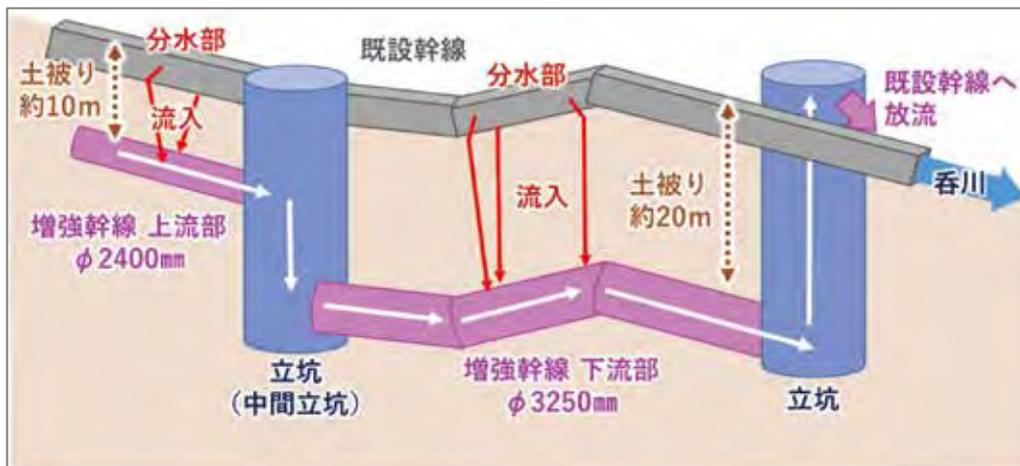


図 2 本増強幹線の断面模式図

## 2. 水理模型実験の目的及び形状

### 2.1 水理模型実験の目的

下水道管きよは、設計指針やマニュアルに基づいて設計している。しかし、管きよ構造が複雑な場合、管きよ内の水と空気が想定し難い挙動を示すことから、机上検討のみではその特性を把握することが難しいため、水理模型実験を実施している。また、分水部が高流速の場合やフルード数が1を超える射流領域の場合にも、机上計算による推定が難しいため、必要に応じて実験を行っている。

本増強幹線は12箇所で分水し、流入部や立坑部で高落差処理を行ったのち、既設幹線の最下流部へふかし上げで放流するという複雑な長大伏越し構造であり、空気連行を要因とした人孔からの水と空気の噴出といった様々な水理上の課題が懸念される。また分水部には、流速が $5\text{m}^3/\text{s}$ を超える高流速箇所や射流領域の箇所がある。このため、本増強幹線は水理模型実験により水理的課題とその挙動を把握し、適切な対策案を検討する必要がある。

### 2.2 水理模型の形状

本実験では、各分水の分水抽出模型と、幹線全体模型を作成し実験を実施する。

#### 2.2.1 分水抽出模型の形状

分水抽出模型実験は、既設幹線に計画流量を流した際の分水量が、設計流量を満足するかを確認する実験である。分水抽出模型は12箇所の分水部ごとに、越流堰を含む分水部と既設幹線の前後区間を再現した模型を製作した。実験の精度を確保するため、模型上の越流水深が3cm以上となるよう、分水ごとに縮尺を検討し $1/17.8\sim 1/6.8$ の模型を製作した。

#### 2.2.2 幹線全体模型の形状

幹線全体模型は、増強幹線、立坑、流入部及び放流部の既設幹線を再現した模型である。幹線全体模型は流量計及び電動バルブにより流入の計画ハイドロを再現するため、分水抽出模型と別個の模型としている。実験の精度を確保するため、主要区間の模型管径が20cm以上となるよう、断面方向の縮尺を $1/16.25$ と設定した。また、模型に使用するアクリル管の粗度係数がコンクリートと異なることから、動水位を合わせる必要があるため、流下方向の縮尺を $1/22.9$ と設定した。模型延長は197mあり、実験場の敷地内に収めるため、水理的な影響の小さい一部の湾曲部については曲率を保ちつつ左右の向きを反転させている(図3)。



図3 幹線全体模型の空中写真

### 3. 分水抽出模型実験

当初案の分水抽出模型に計画流量を与えて実験したところ、12箇所のうち1箇所の分水部は計画分水量を満足したものの、11箇所の分水部で分水量が計画分水量を下回った（図4）。その要因としては、分水施設内で既設幹線が射流になり水位が低下し、越流水深が小さくなることで分水量が減少したことが考えられる。

このため、計画分水量を下回った11施設について、越流水深を確保するため堰高を下げた実験を行った。実験の結果、4箇所の分水部は計画分水量を満足した。一方で7箇所の分水部は引き続き分水量が計画分水量を下回った。

この課題を解決するため、既設幹線の流速を抑えて既設幹線水位を上げることで更に分水量が増加すると考え、既設幹線の下流側に垂れ壁を設置する対策を実施した（図5）。適切な高さの垂れ壁を設置したことで、残る7箇所の分水部についても計画分水量を満足することができた。



図4 原案の分水実験状況



図5 対策後の分水実験状況

### 4. 幹線全体模型実験

#### 4.1 実験条件

幹線全体模型実験では、本増強幹線の運用状況に合わせて、上流部の貯留管運用、幹線全体の貯留管運用、幹線全体の将来流下運用の3状態をそれぞれ再現して実験を行った。

実験で目指す施設目標として、暫定貯留時は50 mm/h-80%の計画ハイドロにて噴出等を生じない施設とし、将来流下時は75 mm/h-80%の計画ハイドロ（図6）を流下可能かつ75 mm/h-80%のピーク一定で噴出等を生じない施設とした。なお、ピーク一定とは、計画ハイドロの最大流入量を連続的に与える条件である。本稿では3状態の運用状況のうち、主な水理的課題が発生した幹線全体の将来流下運用の結果について述べる。

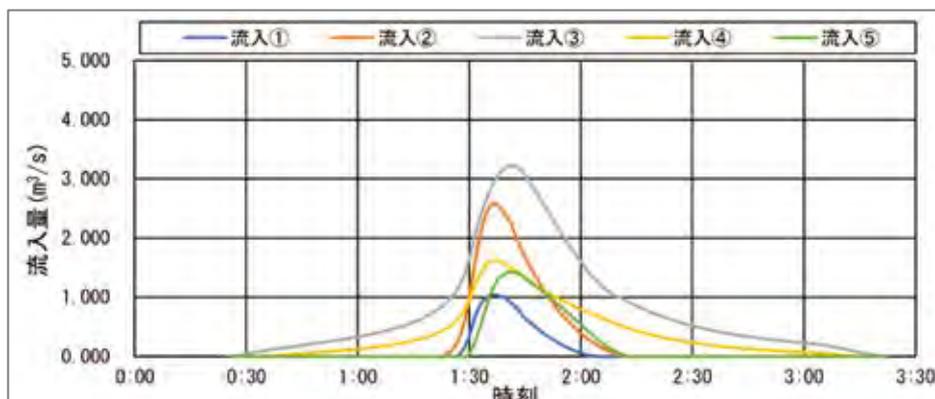


図6 75 mm/h-80%の計画ハイドロ（分水①～⑤の流入量）

## 4.2 実験で確認した水理的課題と対策案

当初案の模型形状で実験を行ったところ、さまざまな水理的課題が確認されたため、その対策を検討した。検討した対策案の中から、流入部の斜坑管からの水と空気の噴出と、立坑内における不安定な水面変動について課題の内容と対策案を紹介する。

### 4.2.1 流入部の斜坑管からの水と空気の噴出

12 箇所の流入部のうち 10 箇所の流入部は、らせん案内路式落差工等の標準的な高落差処理構造の人孔を採用している。一方で、分水⑧、⑪の 2 箇所は現場条件から斜坑管による接続を採用している。実験を実施したところ、図 7 に示すように斜坑管を採用する 2 箇所で水と空気の噴出を確認した。原因として、斜坑管は水と空気の流れが分離されていないため、図 8 に示すように流入時に水とともに空気を吸い込んでしまい、本管で被圧された空気が行き場をなくして、水とともに噴出すると考えられる。



図 7 斜坑管からの噴出状況

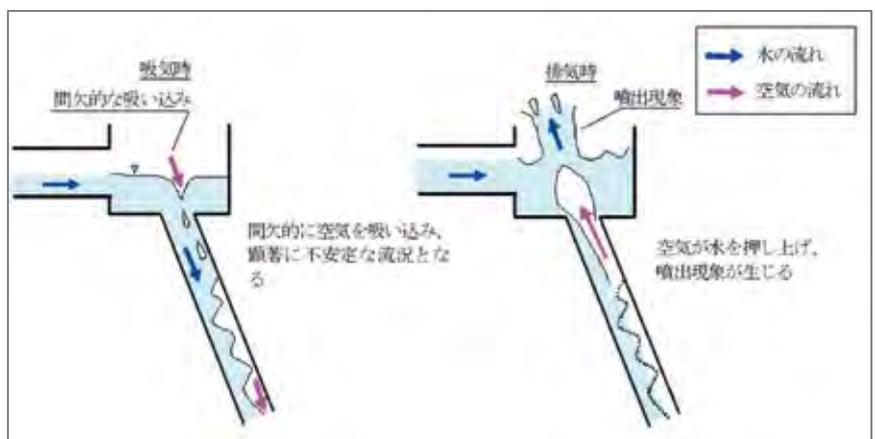


図 8 噴出のメカニズム

このため対策案として、水と空気の流れを分離するための排気施設を斜坑管内に設けることとした(図 9)。この対策案は広島市下水道局の斜坑管排気施設の先行事例を参考としており、流入する水の流れと排気の流れが輻輳しないよう、斜坑管の上部で分離する構造とした。また、噴出の勢いを抑えるための床板を設置した。

水理模型を対策案へ変更し再度実験したところ、75 mm/h-80%の計画ハイドロ及び 75 mm/h-80%のピーク一定の両条件において、水と空気の噴出が発生しないことを確認した。これにより斜坑管排気施設の有効性を確認することができた。

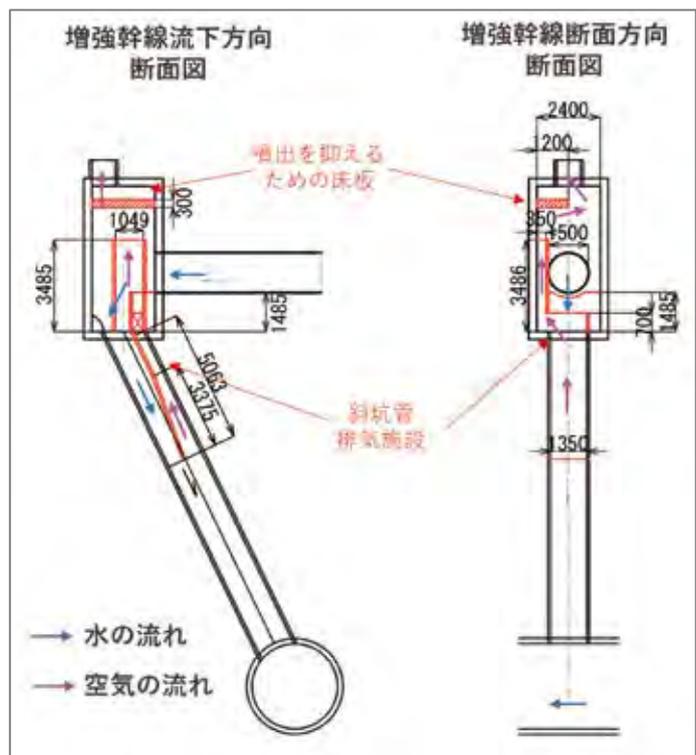


図 9 斜坑管排気施設

#### 4.2.2 立坑内における不安定な水面変動

当初案の模型形状で実験を実施したところ、空気の排気に伴って中間立坑内部の流況が大きく乱れる事象が発生した（図 10）。本増強幹線下流部が満管に近づくと、本増強幹線内部で被圧された空気が立坑内で開放されることで水の噴出が発生し、激しい水面変動が起きる。この水面変動が中床版で区切られた区画ごとに繰り返し発生するため、不安定な流況となっている。こうした事象は中床版を傷める可能性があるだけでなく、振動や騒音の原因ともなり得る。

このため対策案として集気管の設置を検討した。具体的には、本増強幹線下流部の天井部に集気管を設置し、各中床版を貫通して集気管を立ち上げる構造とすることで、本増強幹線下流部の空気をスムーズに排気する形状とした（図 11）。

水理模型を対策案へ変更し再度実験したところ、流況の乱れが発生しないことを確認した。これにより水面変動を抑制することができ、集気管の有効性を確認することができた。

#### 5. まとめ

水理模型実験により、複雑な長大伏せ越し構造である本増強幹線の挙動を確認し、適切な対策案を立案することができた。このように、水理模型実験は、机上では再現することが難しい水と空気の流れを確認することができる点が非常に有効であり、設計された施設の安全性を検証する重要な手段である。

本成果をもとに、実施設計において各対策案の実現性や施工性を確認し、早期かつ安全な浸水対策の実現を図りたい。

#### ・参考文献

- 1) 東京都下水道局：東京都下水道事業 経営計画 2021、令和 3 年 3 月
- 2) 東京都建設局河川部：平成 25 年における水害記録、平成 27 年 3 月
- 3) 東京都下水道局：豪雨対策下水道緊急プラン、平成 25 年 12 月



図 10 中間立坑の流況

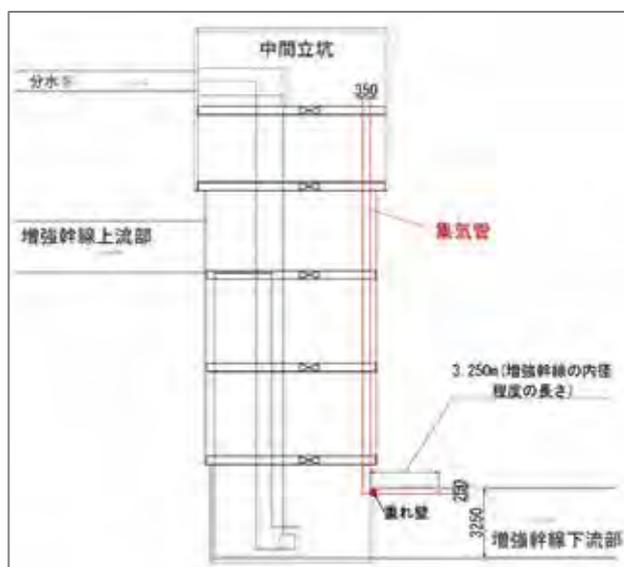


図 11 中間立坑集気管

## 1-1-2 水理模型実験と流出解析シミュレーションを活用した 量分水人孔の分水量最適化検討について

第一基幹施設再構築事務所設計課 大森 一樹

### 1. 概要

下水道管渠における分水施設の設計にあたり、抽出模型を用いた水理模型実験により分水特性を確認し、施設構造の検討を行った。また、模型実験結果の分水特性を再現する分水施設を流出解析モデル上に設定することにより、既存モデルよりも分水特性の信頼性を高めたモデルを用いたシミュレーションを行い、流況の確認、対策の検討を行った。

### 2. 業務の背景

文京区内の都道千川通りの一部区間では、千川幹線が布設されている道路中心付近が沿道地盤に比べて盛り上がり、沿道宅地に雨水が流れ込みやすいことが課題となっている。課題解決のため道路の切下げが求められているが、千川幹線の頂版が沿道地盤よりも高い位置にあるため、道路切下げに先行して千川幹線の頂版を切下げの必要がある（図1）。頂版の切下げにより千川幹線は大幅な断面縮小となり、豪雨時に水位が上昇し浸水するリスクが高まる恐れがあるため、検証および対策の検討が必要であった。

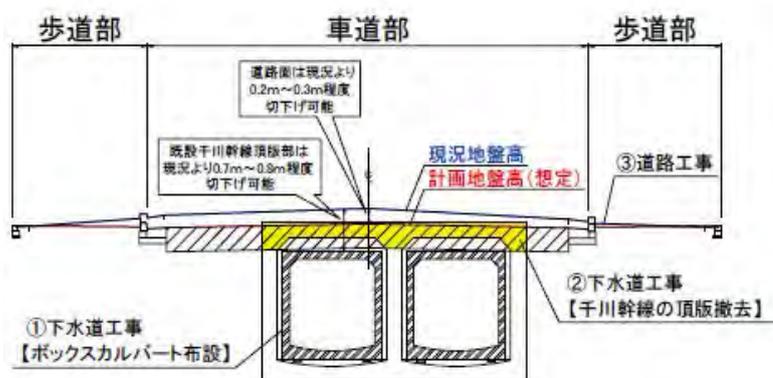


図1 千川通り道路切下げ計画断面

流出解析シミュレーションを用いた検証の結果、現状のまま対象の断面縮小を行った場合、計画降雨時の水位が地表面付近まで上昇することが明らかとなった。浸水リスクを抑えるためには断面縮小区間を流れる千川幹線の流量を減らす必要がある。

流出解析シミュレーションを用いた検証の結果、現状のまま対象の断面縮小を行った場合、計画降雨時の水位が地表面付近まで上昇することが明らかとなった。浸水リスクを抑えるためには断面縮小区間を流れる千川幹線の流量を減らす必要がある。

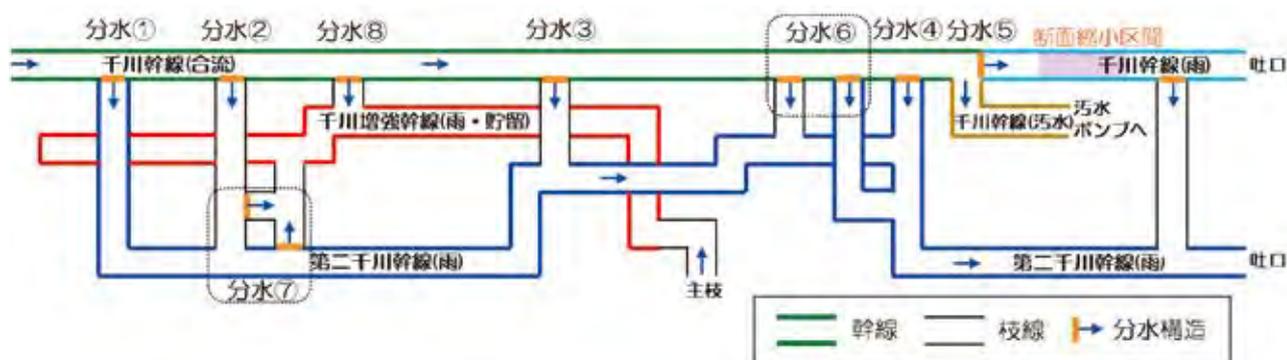


図2 千川幹線流域幹線フロー図

千川幹線流域は並走する3つの幹線（千川幹線、第二千川幹線、千川増強幹線）が複数箇所て接続され、分水構造によって各幹線の流量が調整される複雑な構造となっている（図2）。この分水構造を見直すことで、千川幹線の断面縮小部を流れる流量を調整する計画が提案され、流出解析シミュレーションを用いて各分水箇所の分水構造の検討、設計が行われた。しかし、分水構造の中には複雑な構造のものもあり、設計された分水構造でシミュレーションどおりの水量が実際に分水されるか懸念があったため、水理模型実験を行い、分水量を確認することにした。

### 3. 水理模型実験

#### 3.1 実験概要

今回の検証では分水構造における流入量と分水量の関係を表す分水特性について、シミュレーションと模型実験の間で一致するかどうかを確認する。対象となる分水構造は断面縮小区間より上流域にある8箇所である。

実験は、各分水構造における流入量がピーク流量及び中間流量（3流量程度）となる時の分水量と、分水が始まる時の流入量を計測し、データを曲線近似して分水特性を得る。

#### 3.2 模型縮尺について

模型の縮尺について、「河川水理模型実験の手引き」（土木研究所）によると、「重要区間の水深は3cm以上となるように」とされている。これ以下の水深では水の粘性の影響が大きくなり、実験精度が確保できなくなる懸念がある。

今回は分水堰などの越流部を重要区間とし、中間流量のうち最少の流量時に越流水深3cmを確保する。分水特性の曲線近似に必要な実験データを確保するため、最少の中間流量からピーク流量時までの越流水深に3cmの幅を持たせる想定とするため、ピーク流量時には6cmの越流水深が必要となる。さらに、実験で想定よりも分水量が少なく越流水深が低くなる可能性を考慮

し、ピーク流量時の越流水深は8cmを想定するものとした（図3）。

シミュレーションでの分水量から、ピーク流量時に模型での越流水深が8cmとなるような縮尺を分水箇所ごとに計算したのが表1である。縮尺は最大で3分の1であるが、千川幹線全体を3分の1の模型で制作するのは費用や実験場所等の面から現実的でない。そこで今回は分水人孔と接続する管渠を必要分だけ再現した抽出模型を分水人孔ごとに8基作

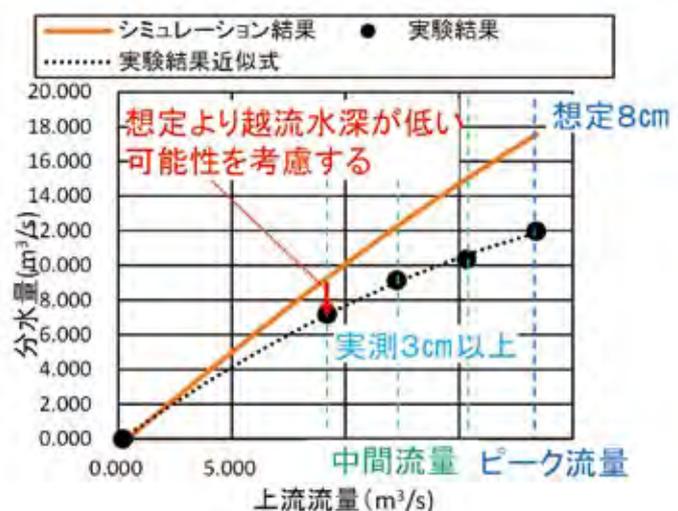


図3 越流水深の設定と分水特性の関係

表1 各分水箇所で越流水深8cmとなる模型縮

箇所	模型縮尺	箇所	模型縮尺
分水①	1/7	分水⑤	1/8.38
分水②	1/11.75	分水⑥	1/3.13
分水③	1/15	分水⑦	1/5.5
分水④	1/10.38	分水⑧	1/3

成し、模型ごとに異なる縮尺を設定することとした。

なお、分水③と分水⑥については抽出模型にしても大きすぎて、ピーク流量時に実験施設の最大放流量を超える流量が必要になってしまうため、越流水深の条件を緩和し、流下量の上限となる縮尺を改めて設定した。

### 3.3 実験結果

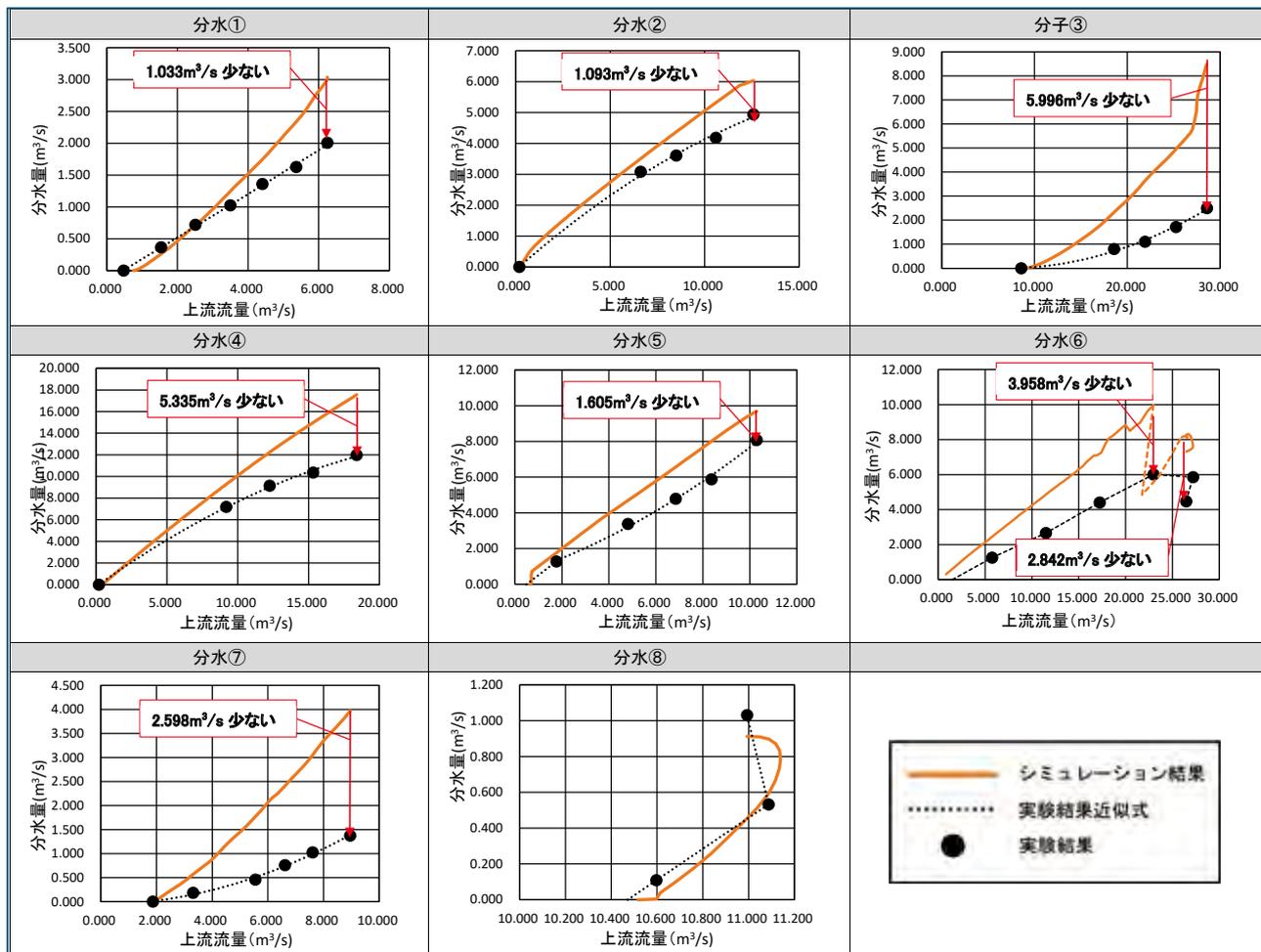


図4 原案実験とシミュレーションの分水特性比較

シミュレーションと実験の分水特性の比較を図4に示す。ほとんどシミュレーションどおりに分水ができたのは分水⑧だけで、他の人孔ではシミュレーションと模型実験の分水特性に差異が生じていた。

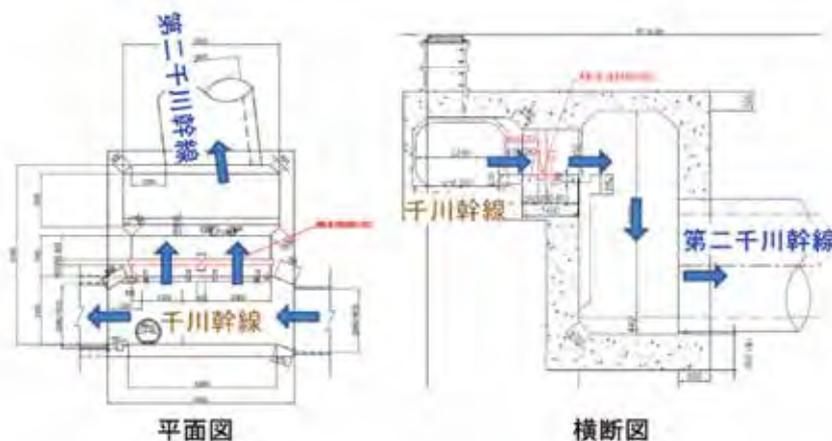


図5 分水①原案構造図

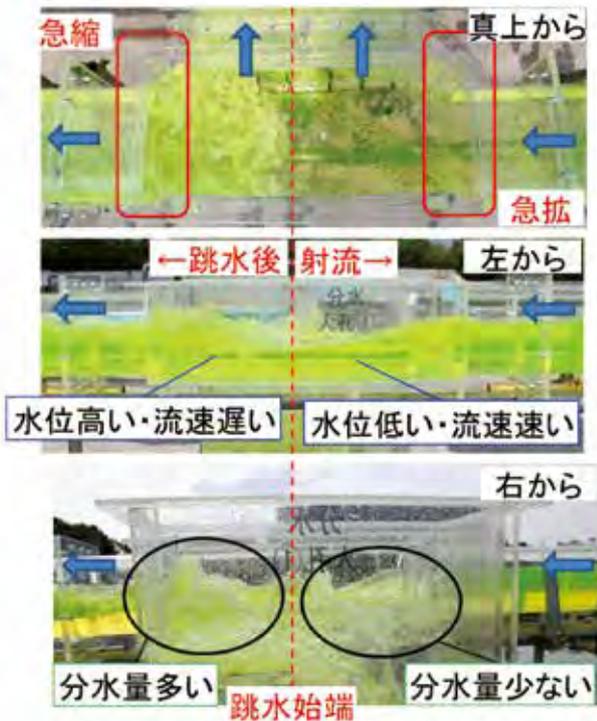


図6 分水①原案構造実験

分水量については、分水堰の上流側では千川幹線の水位が低く分水量が少なく、分水堰の下流側では跳水により水位が高いため分水量が多い。

シミュレーションでは分水人孔内での射流や跳水といった現象は再現されず、一定の水位で流下し効率よく分水されるが、模型実験は分水の効率が悪く、ピーク時の分水量が約1m<sup>3</sup>少ない結果となった(図7)。

分水①以外にもシミュレーションで再現されない水理現象によって効率的な分水が行えず実験での分水量が少なくなる箇所が多くみられた。

### 3.4 分水構造の改良

本業務ではシミュレーションと実験で分水特性に差異が生じている分水構造について、その差異を解消するため分水構造の改良を試みた。ただし、現場環境から地上からの掘削を伴う工事を行うことは困難であるため、堰高調整や角落し、垂れ壁の設置といった人孔内部で工事が行える範囲で改良を検討するものとした。

先述の分水①の改良検討では、分水堰をこれ以上下げることができないため、千川幹線に垂れ壁を設置することで水位を上昇させ分水量を増やす方針とした。垂れ壁下部の開口高さは3種類作成して実験を行い、データを直線近似して目的の分水量になる開口高さを割り出した。

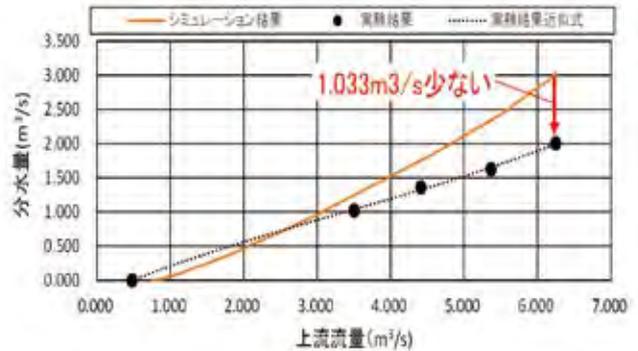


図7 分水①原案実験分水特性

ここで代表して分水①の実験の様子を示す。図6は分水①にピーク流量が流下した時の様子である。分水①は前後の管渠に比べて流路幅が少し広がっている特徴がある。分水①への流入箇所で流路が急拡し、水位が下がり射流となっている。一方で分水①の出口で流路が急縮するため、分水①の中央付近から水位が上昇する跳水が生じている。

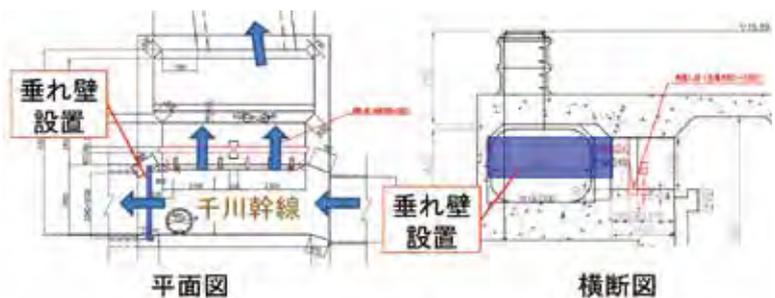


図8 分水①改良案構造図

図9はシミュレーションと改良後施設の実験の分水特性を比較したもので、中間流量も含めてほとんど一致している。図10に示す実験の様子を見ると、下流側に設置した垂れ壁の影響で水位が上昇しており、跳水始端が上流に移動したため射流区間は短くなっている。結果的に分水量が増大し、目的の分水量が達成された。また人孔内での水位は上昇しているもの、跳水始端より上流の水面形は垂れ壁設置前と同じであることから、上流管渠の水位には影響を与えておらず、計画降雨では垂れ壁設置が浸水リスクの上昇には繋がっていないことが分かる。

分水①と同様に他の分水構造でも改良を行い、多くの分水箇所でも目的の分水量が達成された。しかし、分水⑥では改良を行ってもシミュレーションよりも分水量が少なく、目的の分水量を達成できなかった。また、分水③ではピーク流量時の分水量はシミュレーションと一致するが、中間流量については乖離のある構造となった。

分水④ではシミュレーションにおいて潜り越流が発生することが判明している。潜り越流が発生すると、分水量は流入量だけでなく分水先の第二千川幹線の水位にも左右される(図11)。実験では流入量をピーク流量に固定し、第二千川幹線側の水位を変えて潜り越流を再現した実験を行った。

分水④では当初、分水量が最大となる完全越流領域での分水特性をシミュレーションと一致させるため、垂れ壁の設置を検討した。完全越流領域では垂れ壁による分水人孔の上流管渠への水位上昇の影響は見られなかったが、潜り越流領域においては水位が上昇し、千川幹線で水位がGL-1mを上回る状況となったため、垂れ壁の設置を取りやめた。これにより分水④も目的の分水量を達成できなかった。

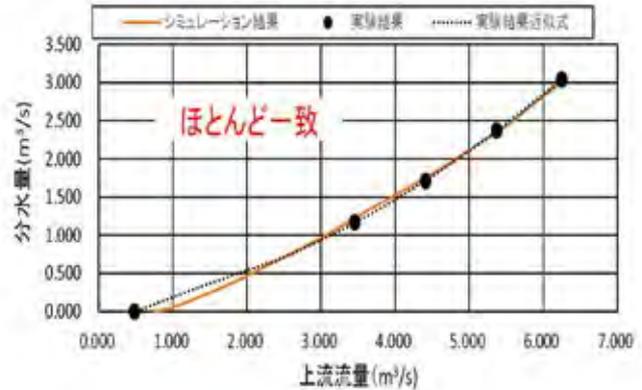


図9 分水①改良案実験分水特性

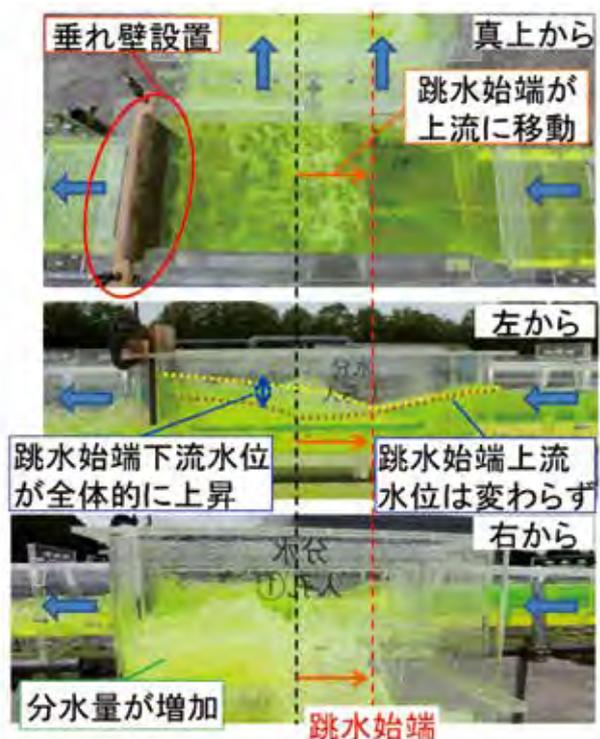


図10 分水①改良案実験

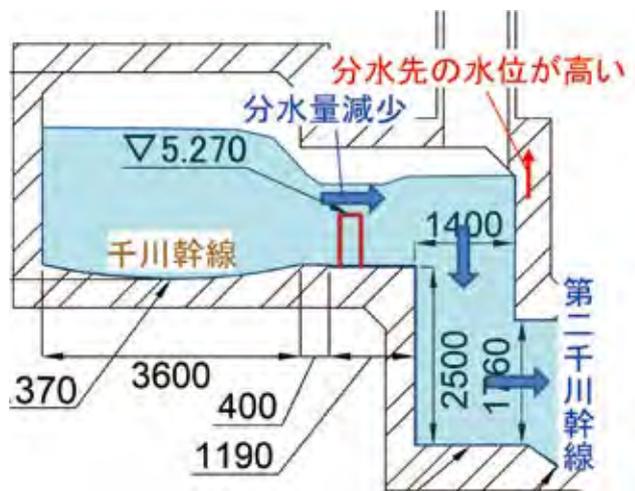


図11 分水④潜り越流発生イメージ

## 4. 解析モデルへのフィードバック

### 4.1 模型実験後の課題

本業務の当初の狙いでは、水理模型実験による分水構造の改良によりシミュレーションの分水特性を再現可能な構造が提案でき、幹線全体の流況をシミュレーションどおりにすることができるはずであった。しかし、一部の箇所ではシミュレーションの分水特性を再現できる構造が提案できなかった。本流域では1箇所の分水特性が変わると、下流の分水箇所の流量条件や、上流管渠の水位に影響するなど、幹線全体の流況に連動した変化をもたらすと考えられ、幹線全体の流況を推定することは困難である。幹線の全体模型であれば実験により幹線全体の流況を確認できるが、前述のとおり現実的ではない。

一方で流出解析シミュレーションは幹線全体の流況を机上で確認することができ、分水特性を司るパラメーターを調整することで分水特性をある程度変化させることができる。そこで本業務では、模型実験で得た分水特性データをシミュレーションで再現できるように流出解析モデルの分水構造のパラメーターを調整し、シミュレーションで幹線全体の流況を確認し、事業目標の達成状況の確認や対策方針の検討を行うことにした。

### 4.2 パラメーター調整

流出解析モデルの分水構造における分水特性を司るパラメーターである越流堰や角落しの流量係数について、実験データの分水特性の再現度の高い設定が出るまで調整とシミュレーション実施を反復試行することで、最適な係数の設定を選定する。図12の分水箇所ではA～Eの5ケースの係数の設定でシミュレーションを実施し、実験データの分水特性の再現度の高いケースEの設定を採用した。ケースCも再現度が高いが、どちらかというとも実験データよりも分水量が少なめに出る設定を採用した。これは、シミュレーションの分水量が少なめにしておくことが千川幹線の治水安全性の検証あたっては安全側の考えとなるからである。

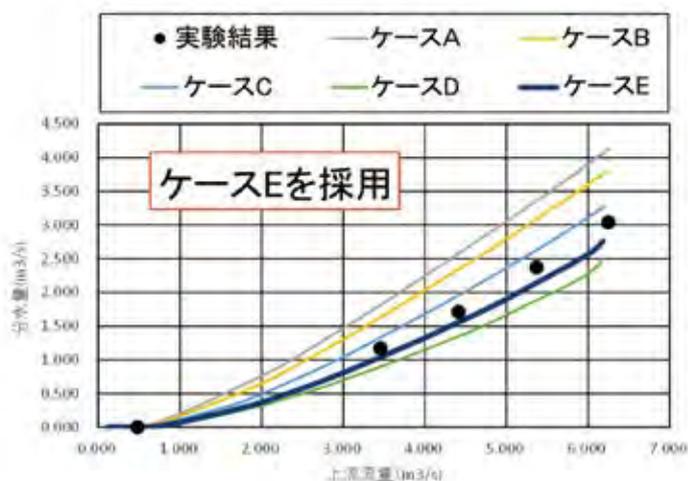


図12 パラメーター調整の一例

## 5. シミュレーションによる確認と再改良

図13は3章の改良検討で採用した分水構造の実験データを反映したシミュレーション結果における千川幹線の最高水位縦断図であり、中流域で水位がGL-0.181mまで上昇し、浸水リスクが高い状態であることがわかる。千川幹線から水位に余裕のある他の幹線の分水量を増やす必要があるが、分水④、⑥は3章で既に分水量が増やせないことが判明している。また、分水②、⑧は千川幹線と他の幹線を繋ぐ連絡管の流下能力に余裕が無いため分水量の増加は見込めない。分水①は垂れ壁下部開口を低くし、分水量を増やせる可能性はあるが、同時に上流管渠の水位が上昇する懸念がある。

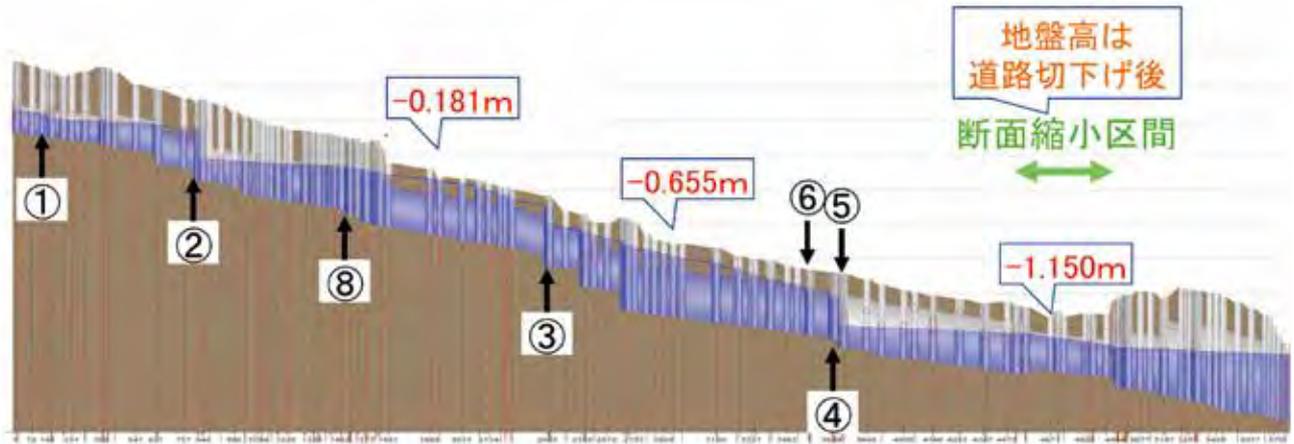


図 13 改良構造シミュレーション千川幹線水位縦断面図

分水③は分水堰の堰高を低くすることができ、上流管渠の水位を上昇させることなく分水量を増やすことが期待できるため、分水③を再改良することにした。何度か実験を行い、堰高を低くするだけでなく、上流管渠が水位上昇しない範囲で垂れ壁下部開口を低くすることも取り入れ、分水量が大きく増加する構造が提案できた(図 14)。

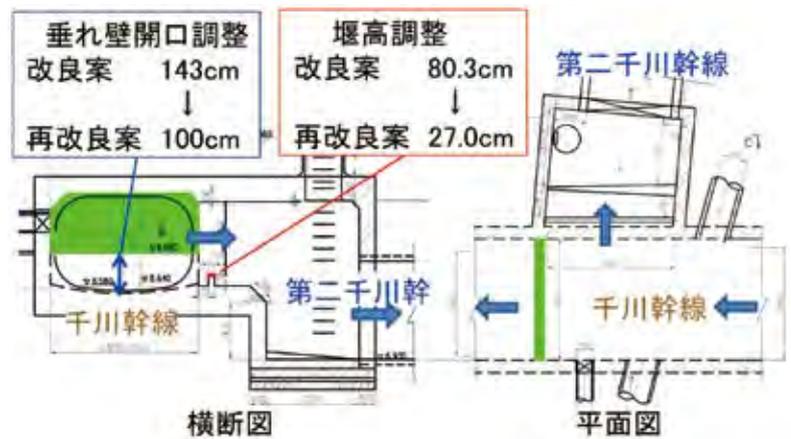


図 14 分水③再改良構造検討

図 15 は分水③再改良の実験データを反映したシミュレーションである。千川幹線の水位は最高でも GL-0.730m に抑えられ、再改良前より治水安全性が格段に向上していることがわかる。

このように実験データを反映した流出解析モデルを用いてシミュレーションを行うことで、幹線全体の流況を確認し、有効な対策を提案することができた。

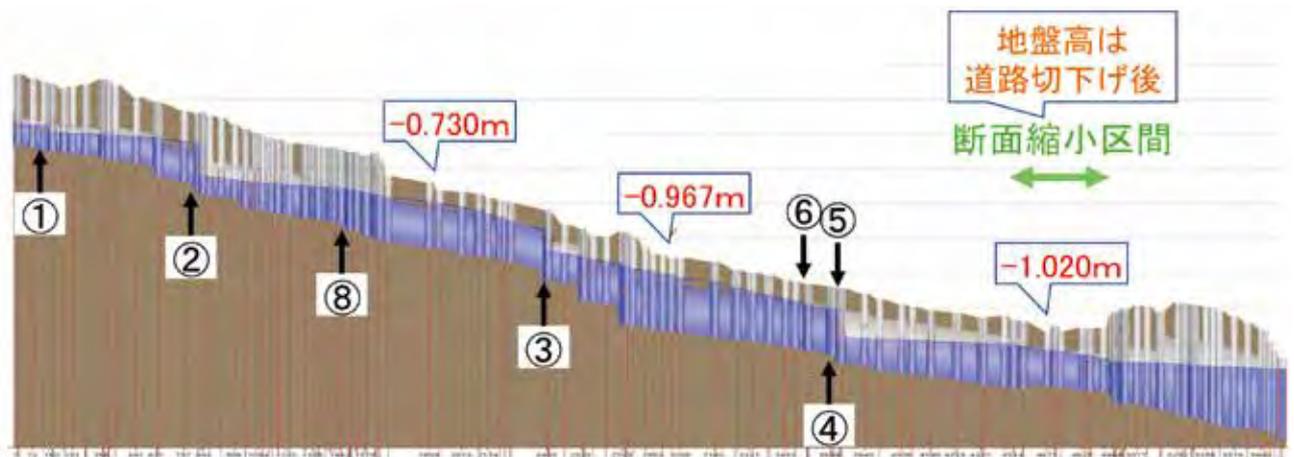


図 15 再改良構造シミュレーション千川幹線水位縦断面図

## 6. まとめ

本業務では水理模型実験を行うことで、シミュレーションで再現できない水理現象により分水施設の分水量がシミュレーションよりも低下することを確認し、分水施設の改良検討を行った。その上で抽出模型の実験結果を流出解析モデルにフィードバックすること

ことで、実験結果の分水特性をシミュレーションで再現し、流域全体の流況を確認した。模型実験、解析モデルへのフィードバック、シミュレーションでの確認、対策施設の再検討のサイクルにより、目的を達成する分水を行う分水施設構造を提案した。



図 16 分水構造検討サイクル概念図

### ・参考文献

河川水理模型実験の手引き（土木研究所 平成元年 10 月）

## 1-2-1 電気設備再構築工事の施工に関する工夫

流域下水道本部 技術部 工事課 荻野 涼太

### 1. はじめに

電気設備再構築工事では、他工事との工程調整による作業時間の制約や、稼働中施設の設備を停止することによる運転管理への影響など、様々な問題が発生する。

本論文では、電気設備再構築工事における様々な問題に対応すべく、創意工夫によって作業の効率化を図った事例、および運用後の保守・点検等を考慮した事例を報告するものである。

### 2. 背景

#### 2.1 立川市単独処理区の流域下水道への編入事業

今回紹介する事例の施工範囲である北多摩二号水再生センターは、立川市、国分寺市、国立市の汚水を処理する下水処理場であり、東京都が管理している施設である。また、立川市単独処理区である錦町下水処理区の汚水を処理する錦町下水処理場は、立川市、国立市の汚水を処理する下水処理場であり、立川市が管理している施設である。錦町下水処理区は、①施設が老朽化しており維持補修コストが高い②耐震性が確保できていない③敷地が狭小で高度処理が困難である④小規模で水処理コストが高い等、様々な課題を抱えていた。前述の問題を解決し、多摩川水環境の向上と下水道事業運営の効率化を図るため、令和6年3月から錦町下水処理区は流域下水道へ編入することとなり、経営計画2021にも謳われている事業として流域下水道本部一丸となって進めてきた。

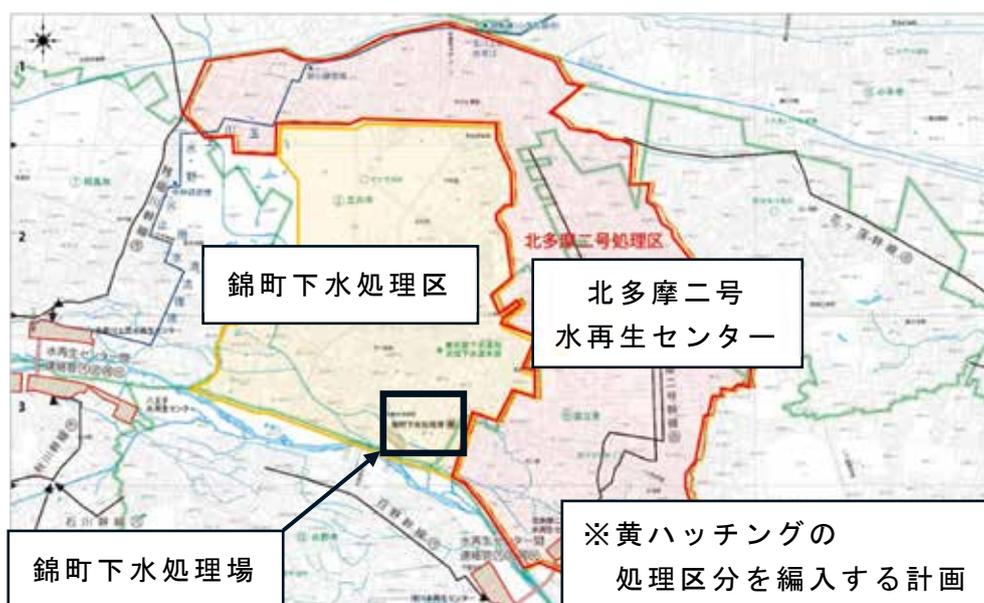


図-1 北多摩二号水再生センターおよび錦町下水処理場

## 2.2. 本工事の状況～北多摩二号水再生センター汚泥処理電気設備再構築その3工事～

今回工事は、別途施工の土木工事及び機械再構築工事に伴い、電気設備工事を実施したものであり、前述した立川市単独処理区編入事業に関連した工事の1つである。

錦町下水処理区編入事業により、北多摩二号水再生センターの下水処理量が増加するため、施設の拡張および稼働施設の再構築を関連工事で行った。

着工当時、当該センターには複数の工事業者が入場し、非常に現場が錯綜した状態であった。また別途工事との調整により新電気棟への乗り込みが約44日間遅れてしまったうえに、錦町下水処理区から北多摩二号水再生センターへの全量切り替え時期が経営計画2021により定められていたため、令和6年3月までに施工及び試運転を完了させる必要があった。

本論文では、錦町処理区編入事業という時間的制約が存在する中で、施工時間を短縮するための工夫及び、今後の将来工事や点検を見据えた創意工夫を報告する。

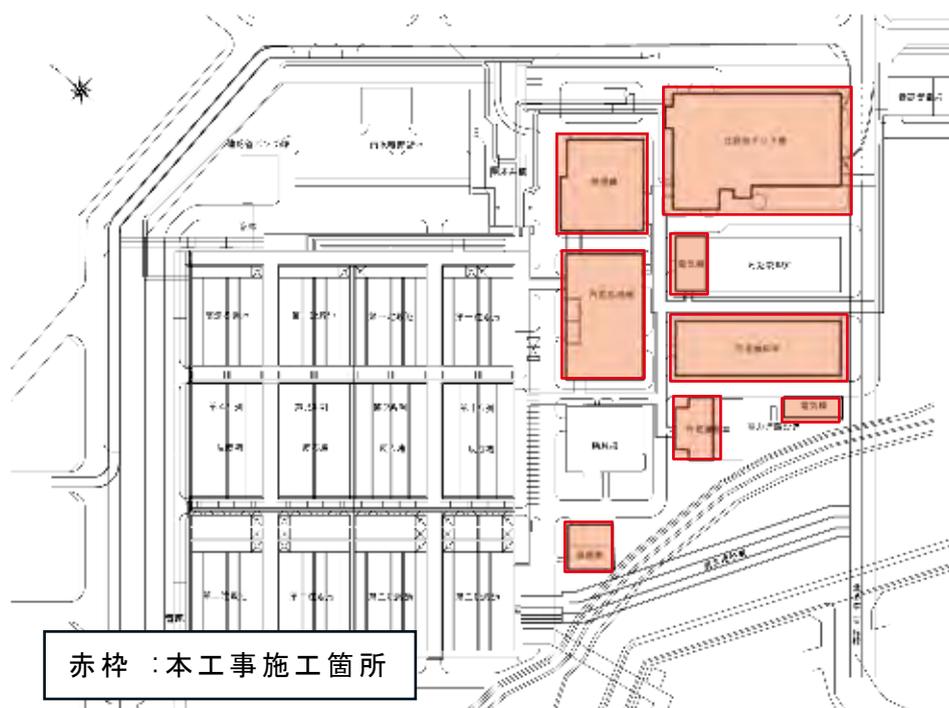


図-2 本工事施工箇所

## 3. 創意工夫

### 3.1. 機能増設作業の効率化

本工事では補助継電器盤の機能増設作業を現地で行う必要があった。しかし、増設作業時には稼働施設を全て停止しなければならないため、設備運転に長時間影響を及ぼしてしまう。そこで、予め増設するリレー回路を工場で作製したうえで部品盤に取り付け、一体化した盤内ユニットを制作し、試験・調整したものを現地に搬入するという方法を採用した。(図-3 参照)

前述の方法により、現地での作業をユニット取付および継電器盤への結線作業のみとすることが出来るため、稼働施設における設備停止時間を最小限に抑えられることが可能と

なった。(図-4 参照)

その結果、想定作業時間が4日間に対して、実作業時間を2日間に抑えることが出来た。



図-3 増設ユニット作成



図-4 機能増設作業

### 3.2. 電気棟床モルタル仕上げの短縮化

本工事では、別途土木工事にて施工した新汚泥焼却3号電気棟(以降、新電気棟とする)の床面仕上げ作業を行っている。通常のもルタル材料で施工した場合、準備や養生期間を含めて約19日間かかってしまう。そのため、この施工時間を短縮するために、本工事では新材料である自己平滑性材料(以降セルフレベリング材とする)を採用した。

セルフレベリング材には以下の特徴がある。

(1) 速硬性・速乾性

養生期間(表-1 参照)については、施工後2時間で軽歩行、24時間後には軽作業が可能。

(2) 自己平滑性

高い流動性があり、躯体に直接流すことで平滑に仕上がる。

表-1 セルフレベリング材養生期間

項目	20℃以上	10～20℃	5～10℃	5℃以下
軽歩行作業	2時間	4時間	6時間	施工不相当
張物施工	6時間	12時間	18時間	施工不相当
塗り床施工	24時間		48時間	施工不相当
素地使用	72時間			施工不相当

セルフレベリング材は、①タンクローリーで施工場所付近まで運搬し、ホースにて施工範囲に流し込むことで打設することが出来る。(図-5 参照)②前述の高い流動性により、躯体に直接流すことで平滑に仕上がるため、モルタル打設時に行う金ゴテ仕上げが不要であり、施工完了時にはムラなくきれいに仕上がる。(図-6 参照)

その結果、想定でモルタル準備・打設に9日間、硬化養生に10日間、計19日間かかる施工が、セルフレベリング材を採用することで、セルフレベリング材打設に2日間、硬化

養生に 2 日間の計 4 日間で施工を終了することが出来た。



図-5 セルフレベリング材打設状況



図-6 セルフレベリング材仕上がり写真

### 3.3. 作業足場の工夫

新電気棟の EPS（電気配管区画）は、1 階から 4 階まで床のない吹き抜け構造となっていた。

工事でケーブルを敷設する際は、作業用の仮設足場を設置する必要があるため、今後の再構築・改良・補修工事及び保守点検においても、その都度、仮設足場を設置することになり、施工時間の長期化や工事費がかかる恐れがある。

そこで本工事では、今回工事だけでなく、将来工事を見据えてケーブルラック支持物に作業足場機能を追加した材料を採用した。（図-7, 図-8 参照）



図-7 ケーブルラック支持物



図-8 実際の作業風景

最初に今回工事でケーブルラック支持物作業足場を据付けることで、今回工事だけでなく、将来工事及び保守点検等に活かすことができる。

### 3.4 将来拡張を鑑みた盤配列へ変更

今回工事では新電気棟にコントロールセンタの設置作業があった。

当初設計では搬入口を基準として盤を配置することになっていたが、コントロールセンタは将来工事で負荷が増えた場合、既設盤の機能増設または新盤据付を行う可能性がある。そのため、現状の盤配列だと壁際にデッドスペース(図-9 青四角部分)が発生し、将来の盤拡張および電気室内の作業スペースを有効活用できないと判断した。これを踏まえて本工事では、盤配列を図面右側の階段横の壁を基準として盤配列を変更した。(図-9 参照)

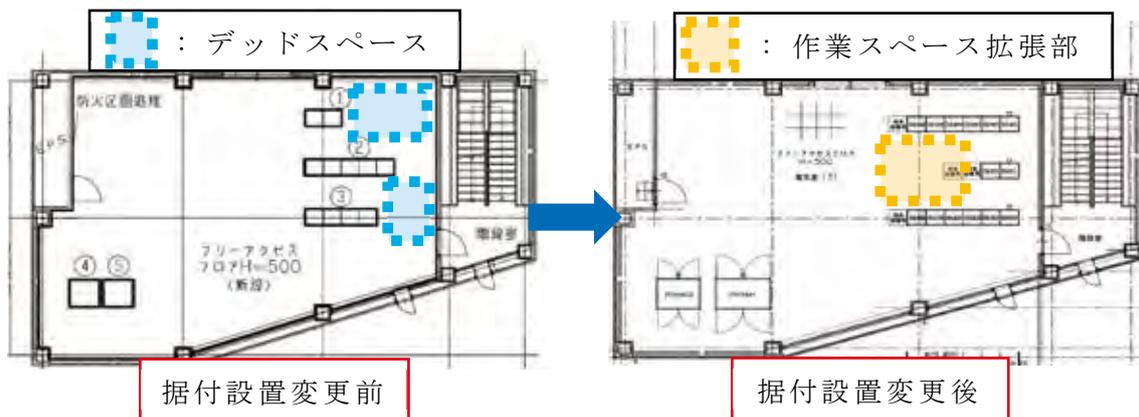


図-9 盤配列変更前と変更後

図-9のように盤配列を変更することで、将来増加する可能性のあるコントロールセンタの負荷拡張性及び作業スペースの拡張を実現した。

### 3.5 機器操作面の視認性向上

当初の新電気棟照明器具の配置は、図-10の赤丸の場所に配置する予定であった。赤丸に配置した場合、電気室全体の照度が確保できなくなり、部屋全体が暗くなることで保守・点検作業性に支障が生じる。さらに今後の照明器具等の交換作業で配電盤が邪魔になってしまう恐れがある。

以上を踏まえて、照明器具の配置を図の青丸の位置に変更した。(図-10参照)

この配置は、照明の光がちょうど手元操作盤の操作位置に当たるよう工夫されている。照明設置位置の変更に伴って、事前に盤配置図を作成し、受注者間で変更に関する協議を速やかに行うことで、工事が手戻りすることなく照明器具の配置変更を実現することができた。今回工事のように、時間的制約がある中でも機器の操作面に合わせて照明器具を配置することで、保守点検及び改良・補修工事における機器の視認性向上に貢献することが出来た。

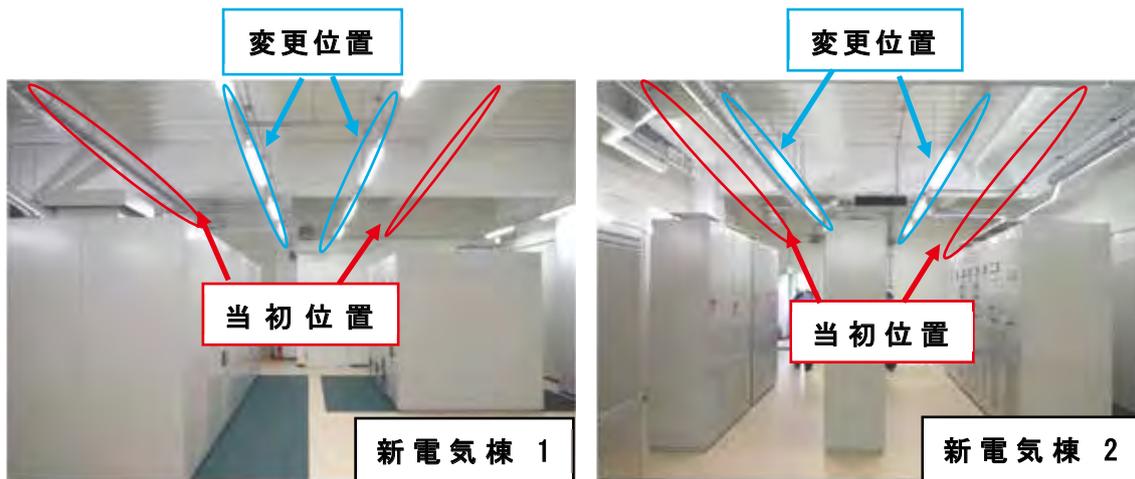


図-10 新電気棟の照明配置(変更済)

### 3.6 保守点検を考慮した据付位置調整

関連機械工事において脱水機を3台新設しており、その関係で、脱水機汚泥流量計および脱水機薬品供給流量計の変換器を電気工事で新設している。当初、変換器は屋外に設置する予定であったが、屋外に設置した場合、近年の豪雨や猛暑などの異常気象の関係で変換器が誤動作する恐れがあった。以上を踏まえて、流量計変換器の据付位置を屋内に移設(図-11 参照)した。実際に移動させた後の写真が図-12である。

変換器の据付位置を屋内に移設することによって、猛暑や豪雨などの異常気象時でも当該変換器の保守・点検が行えるため、計測機器の保守性向上に貢献できたと考えられる。

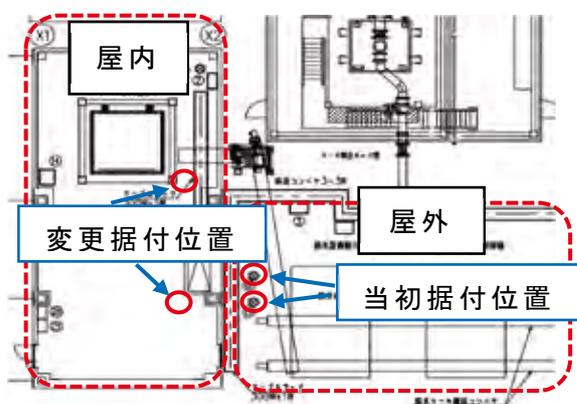


図-11 据付位置変更図



図-12 実際の写真(据付変更後)

## 4 おわりに

今回工事は立川市単独処理区編入事業という特殊な状況下での施工であり、作業時間に制約がある中、創意工夫や新材料の導入などを活用することで、無事に工期内に工事を完了し、ひいては、錦町下水処理区の流域下水道への編入を無事に達成することが出来た。

本論文で述べた創意工夫は、施工時間の短縮だけでなく、維持管理性の向上や良好な品質の確保にも資するものとなった。本事例が今後の同様な工事の参考になれば幸いである。

## 1-2-2 下水道処理施設の再構築等に係る建築基準法の手続を

### 円滑に進めるための支援

担当者 建設部 土木設計課 金子 卓司

#### 1. はじめに

建築工事が完了した際、建築基準法に基づく完了検査を受ける必要がある。完了検査とは建築基準法への適合を検査するもので、適合が認められた場合は検査済証が交付され、施設の使用が可能となるため、完了検査を円滑に進めることは重要である。

下水道処理施設は、一般の建築物と比べると、プラント設備を配置するために規模や性質の異なる室が複雑に配置されている。建築基準法の適用や施設整備の工程も特有であり、施設整備については、地下躯体の構築後に建築工事が行われ、その後にプラント設備の設置が行われる。また、下水道処理施設のうち建築基準法が適用される範囲の整備について、設計は建築職が関与するのに対し、工事は土木職主体で行い、更に後に続くプラント整備は設備職主体で行う体制面の事情も含め、完了検査の受検対応を難しくさせており、円滑な業務遂行には相互連携、相互理解が不可欠である。

本稿は、完了検査の円滑化を目指し、実際の施設整備において、設計部署の建築職が工事やプラント設備を担当する他職種の職員と連携して実施した取組、また、建築特有の法手続を中心とした知識・スキルを他職種に展開することで組織力向上を目指した OJT の取組を報告するものである。

#### 2. 下水道処理施設の特有性について

下水道処理施設は、一般の建築物と比較すると施設の構成、建築基準法の適用、工事の進め方などが特有である。施設の構成は、地下部分に水処理施設や貯留池を配置し、地上部分に電気室や事務室などを配置する複合構造物となることが多く、地上部分は建築基準法が適用されるが、地下部分は適用範囲が施設ごとに異なり、適用範囲について建築主事との協議が難航する（図 1）。

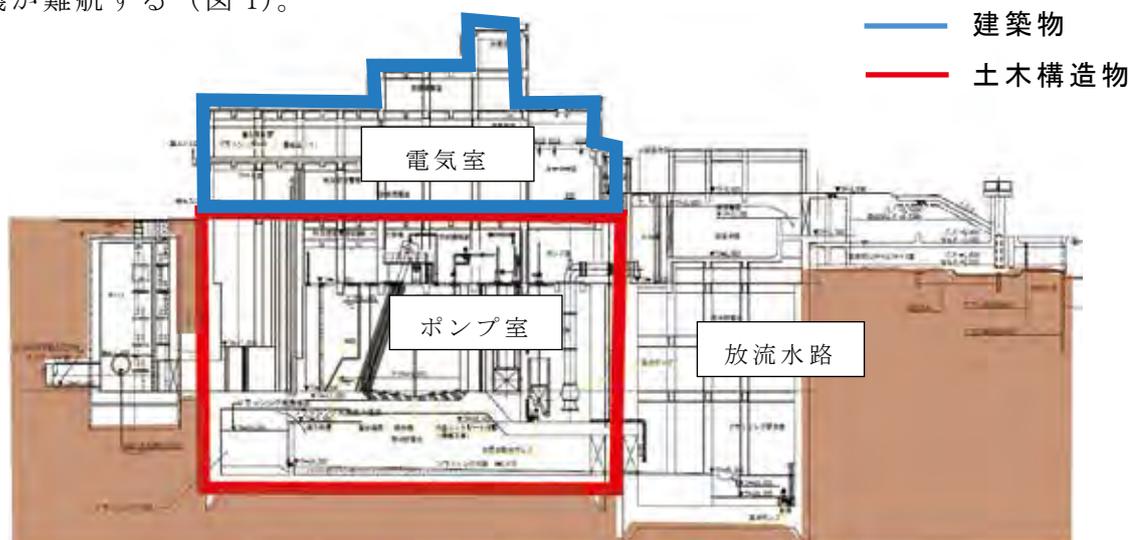


図 1 建築基準法の適用範囲例（王子第二ポンプ所）

また、工事の進め方についても、一般の建築物の場合は建築工事の完了時に完了検査を受検するが、下水道処理施設の場合は、建築工事完了後、年単位のプラント設備工事を経て完了検査を受検する（図2）。このため、完了検査時に工事監理者や施工者等の建築工事の関係者による十分な体制が確保できず、完了検査の受検対応が困難になる。

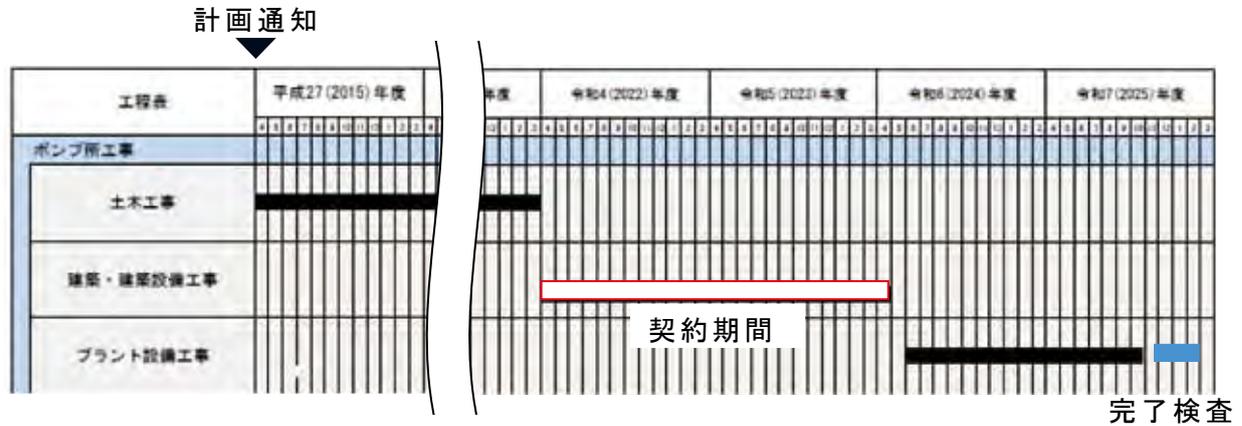


図2 ポンプ棟工事工程例

### 3. 具体的な取組

#### 3.1 みやぎ水再生センター雨水ポンプ棟における完了検査の対応事例

##### 3.1.1 完了検査に向けた準備の必要性及び注意点

みやぎ水再生センター雨水ポンプ棟における建築基準法の適用範囲は地上部分であり、建築工事完了後にプラント設備工事を経て完了検査を受検した。また、建築基準法の手続は表1のとおりで、平成23年の確認済証の交付から完了検査までに2回の計画変更及び3回の軽微な変更が行われ、変更に係る手続は複雑であった。

このような背景から、本施設においては完了検査に向けた入念な準備が必要と考え、設計部署の建築職を中心に事前確認を実施した。事前確認は完了検査と同等の方法で行うことが望ましいが、限られた人材及び時間を考慮し、特に是正に時間を要する箇所を重点的に確認した。例えば是正に時間を要する箇所として排煙設備（窓）があるが、これは大きさに不備があるとアルミサッシの再製作が必要となり、躯体改造が伴う場合もあることが理由である。一方、常時閉鎖式防火設備の閉鎖不備などは簡単な調整で済むものが多いため、こういった項目は含めなかった。

なお、事前確認は、計画通知の図書と現地の整合確認を基本としつつ、計画内容自体の法令適合も意識しながら実施した。

表1 建築基準法の手続一覧

計画通知	平成23年5月9日	確認済証交付
初回の軽微変更	平成28年9月6日	届済
第2回軽微変更	平成30年9月19日	届済
第3回軽微変更	平成31年3月12日	届済
第1回計画変更通知	令和1年8月1日	確認済証交付
第2回計画変更通知	令和3年12月27日	確認済証交付

### 3.1.2 完了検査に向けた確認項目

今回の事前確認の項目については以下のとおりである。

#### (1) 排煙設備

排煙設備は法令に規定された大きさや位置に適合していない場合があるため、排煙口の面積及び手動開放装置の床面からの高さなどを確認した。また、排煙口と手動開放装置を連結するワイヤーに不具合がある場合、当該装置を操作しても排煙口が開かない事例が多いことを踏まえ、作動確認も実施した（写真1）。

#### (2) 区画貫通処理

区画貫通処理は、プラント設備工事において実施することが多く、工事監理者による監理が実施されていないため、貫通部分における処理状況を確認し、大臣認定を受けた工法であれば、認定どおりに施工されているかについても確認した（写真2）。



写真1 排煙設備



写真2 区画貫通処理

#### (3) 防火防煙ダンパー等

建築基準法においては防火区画の種別が複数あり、当該種別に応じて区画貫通部に要求されるダンパーの性能が異なり、設置箇所も多いため、適切なダンパーが設置されているかの確認が必要となる。

##### 1) 防火防煙ダンパー

東京都建築安全条例第8条に規定される避難経路の防火区画を貫通する箇所では、煙感知器と連動したダンパーの設置が必要であり、該当箇所については防火防煙ダンパーの設置を確認した（写真3）。

##### 2) 逆流防止ダンパー

複数の箇所に接続された換気設備のダクトにおいて、火災時に送風機が停止した際の煙の逆流を防ぐ必要があるため、逆流防止ダンパーを設置する必要があるため、該当箇所において、設置されているのを確認した。（写真4）。



写真3 防火防煙ダンパー



写真4 逆流防止ダンパー

### 3.1.3 事前確認の結果

事前確認において4か所の防火防煙ダンパーへの種別変更及び9か所の逆流防止ダンパー設置が必要と判明したため、早急に改善することで完了検査までに間に合わせ、検査において指摘も無く受検することができた。

## 3.2 建築研修

完了検査など建築基準法に規定される手続の円滑化を目指し、基本的な知識・スキルを、建築物の設計、施工及び維持管理を担当する他職種を含めた職員に展開することで組織力向上を図るためOJT研修を実施した。

研修の内容は、以下のとおりである（写真5）。

- (1) 建築法令の基礎
- (2) 建築に関する申請及び確認の実務
- (3) 計画通知に関わる申請書類の保管

令和2年度から令和6年度まで延べ391名の職員が聴講しており、この研修を通じて、計画通知や完了検査に関する注意点などの必要な知識を取得し、過去の事例を学ぶことで、今後同様の問題が発生しないように職員の意識を高めている。研修を毎年継続することにより、施設整備を担当する全職種の職員が、建築基準法に規定された手続を強く意識して、これを遺漏なく実施しながら業務を進めている。



写真5 研修の様子

## 4. まとめ

下水道処理施設のうち建築基準法の適用がある部分の工事に係る完了検査において、設計部署と工事部署が相互に連携するとともに、設計部署の建築職が適切な時期に、是正が難しい項目に特化して関与することで、検査の円滑な実施に寄与することができた。一方で、今回の事例に比べ是正により多くの時間を要することもあり得るため、今後は、建築工事の完了前等、より早い段階から事前確認を実施するなどの対応が求められる（図3）。



図3 事前検査時期について

また、建築基準法の様々な手続について、建築物の設計、施工及び維持管理を担当する職員に対して、建築基準法の知識の定着を図り、適正に対応できるよう、研修内容の更なる充実を図っていく必要がある。

今後も、こうした取組を継続するとともに、新たな課題にも対応しながら下水道処理施設の施設整備を進めてきたい。

## 1-2-3 吾孀ポンプ所における各設備工事の施工事例

第一基幹施設再構築事務所 設備工事課 小林 洋平

### 1. はじめに

#### 1.1 本稿の概要

昭和 16 年に創設された吾孀ポンプ所は、墨田区八広地区の雨水排除能力増強とあわせて老朽化対策を実施するため、平成 19 年度から施設及び設備の再構築を実施し、令和 6 年 4 月に稼働した。

吾孀ポンプ所の再構築にあたり、平成元年に稼働した吾孀第二ポンプ所を活用することで既存施設の全面更新が実施され、旧中川の水質改善に向けた合流改善の対策として、雨水ポンプの後段に雨水貯留池（下水道施行令対応施設）も新たに整備された。

設備工事は、令和 4 年 10 月から令和 6 年 3 月までの、約 18 か月間の現場施工で工事を完了させたが、下水道施行令対応のため令和 5 年度の完成目標を厳守する必要があったことなど、様々な制約や条件がある中での施工となった。本稿ではこの際の工夫や対策を施工事例として報告する。



図 1 吾孀ポンプ所位置図



図 2 新旧吾孀ポンプ所

#### 1.2 ポンプ所内の雨水と汚水の流れ

現在の吾孀ポンプ所における雨水と汚水の流入経路を図 3 に示す。流入雨水は沈砂池を通過後、雨水ポンプにて揚水される。揚水後の雨水は、初めに雨水貯留池へ流入する。この貯留池が満水になると、雨水は吐出水槽内に設置された堰から放流渠側へ越流し、旧中川へ放流される。この中で、雨水ポンプの後段に設置されている雨水貯留池が下水道施行令対応施設であり、令和 6 年 4 月からの運用開始が求められた。

汚水は、今回の設備工事にて新設した送水ポンプで砂町水再生センターへ圧送される。

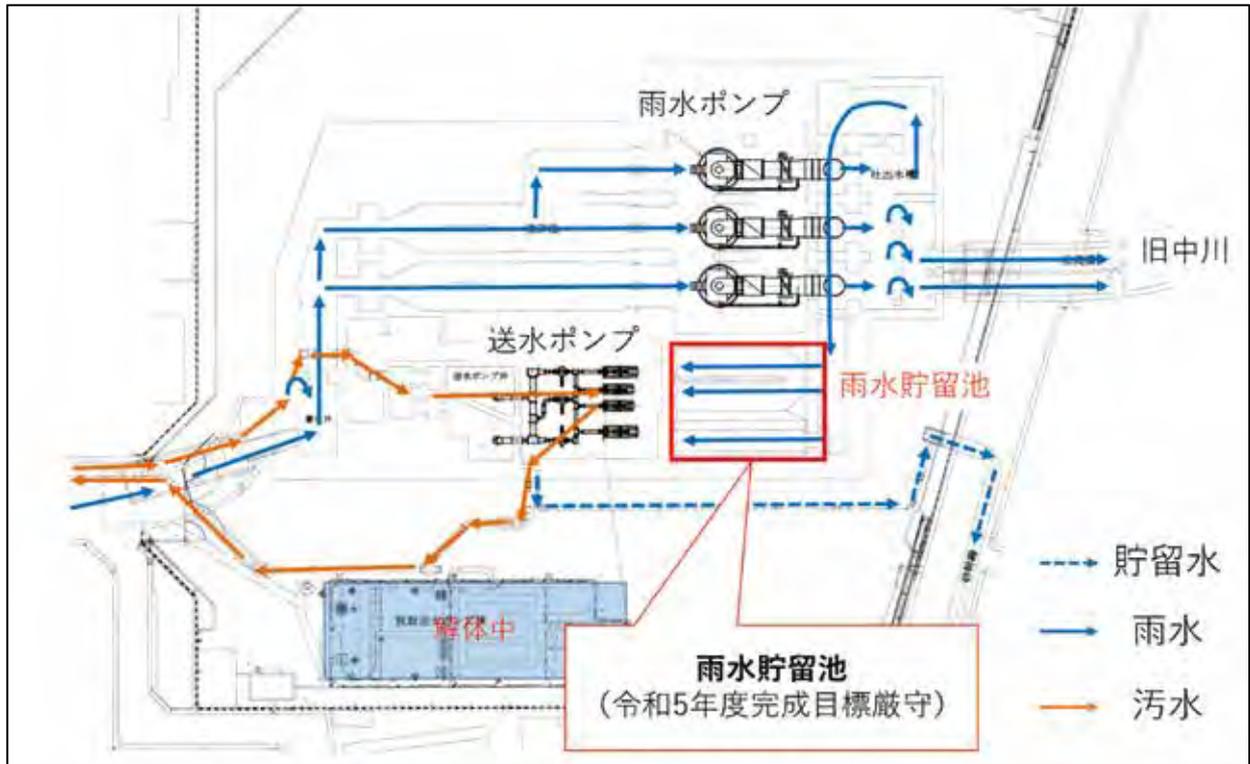


図3 新吾嬭ポンプ所内の雨水及び汚水の流れ

### 1.3 設備工事の概要

今回の吾嬭ポンプ所の設備工事では、ポンプ所内を施工現場として、以下の4件の設備工事が施工された。

- ・ 吾嬭ポンプ所ポンプ設備工事（雨水ポンプ、送水ポンプ（汚水）等）  
受注者：株式会社電業社機械製作所
- ・ 吾嬭ポンプ所沈砂池機械設備工事（自動スクリーン、脱臭設備等）  
受注者：住友重機械エンバイロメント株式会社
- ・ 吾嬭ポンプ所電気設備工事（ポンプ所設備電源、監視制御装置等）  
受注者：シンフォニアテクノロジー株式会社
- ・ 吾嬭ポンプ所受変電設備工事（特高受変電設備、配電盤設備等）  
受注者：株式会社明電舎

施工にあたり、設備工事間のほか、関連する施設工事との工程調整などを円滑に行うため、上記4件の受注者が中心となり、関連工事の受注者を集めた設備工事協力会を設置し、協力体制を構築した。協力会では各工事が個別に対応すると煩雑になるような、関連施設工事との工程調整、近隣住民の方々に対する定期的な工程説明、工事仮設物の一元管理などを行った。

図4に概略工程表を示す。設備工事は令和4年10月に現場着手し、令和6年3月末に工事完了となった。このほか関連施設工事や管路工事等の施工が令和5年3月まで行われ、こののち、令和5年8月からは光ファイバー工事や、新たな施設工事が現場着手するなど、輻輳する工事が非常に多い現場であった。



図 4 吾孺ポンプ所における設備工事の概略工程表

## 2. 工事の課題と対策

### 2.1 複数工事の同時施工について

設備工事の現場施工期間である令和4年10月から令和6年3月の間、光ファイバー工事などの短期的な工事を含め、延べ11件の工事が場内で施工された。ポンプ所の場内通路の幅員は、多くが幅10メートル未満であり、非常に狭隘な環境であった。また、搬出入ゲートや建屋への搬入口も限られていたため、施工エリアや搬出入口及び搬出入経路で複数の工事が競合する恐れがあった。この課題に対して、主に3つの対策を実践した。

一つ目の対策として、場内を細かく工区分けし色で識別できるようにしたエリアマップを作成し、搬出入の調整を簡易化した(図5)。エリアマップでは、ポンプ所建物周囲の通路等を「東1」や「西2」などと細かく分けし、方角に応じて色分けした。また、ポンプ所敷地への搬出入ゲートや搬出入口にも名称を割り振った。吾孺ポンプ所で作業を行うすべての工事がこの名称を統一して使用することで、搬入や資材運搬などで作業するエリアが視覚的かつ口頭で容易に伝えられるようになり、搬出入調整などを簡易化することが可能となった。

エリアマップで区分けしたエリア名称及び色分けは、ポンプ所場内各工事との工程表上での競合確認と調整にも活用した(図6)。工程表上で支障を確認する手順は次の通りである。初めに、工程表を作成する際に、搬出入作業等がある場合は、作業エリア調整欄にマップのエリア名称を記入し、対象エリアの色で着色する。次に、同じ日に他工事の搬入作業等があるか確認する。仮に同じ色の他工事作業があった場合、他工事の詳細位置の確認及び調整を要することが把握できる。別の色が記載されている場合は、作業場所の輻輳がないことが確認できるが、自分の施工エリアにアクセスできるか確認を要することが把握できる。このように活用することで、現場では作業エリアの輻輳の回避や、搬出入エリアの細かい調整などを行うことができた。

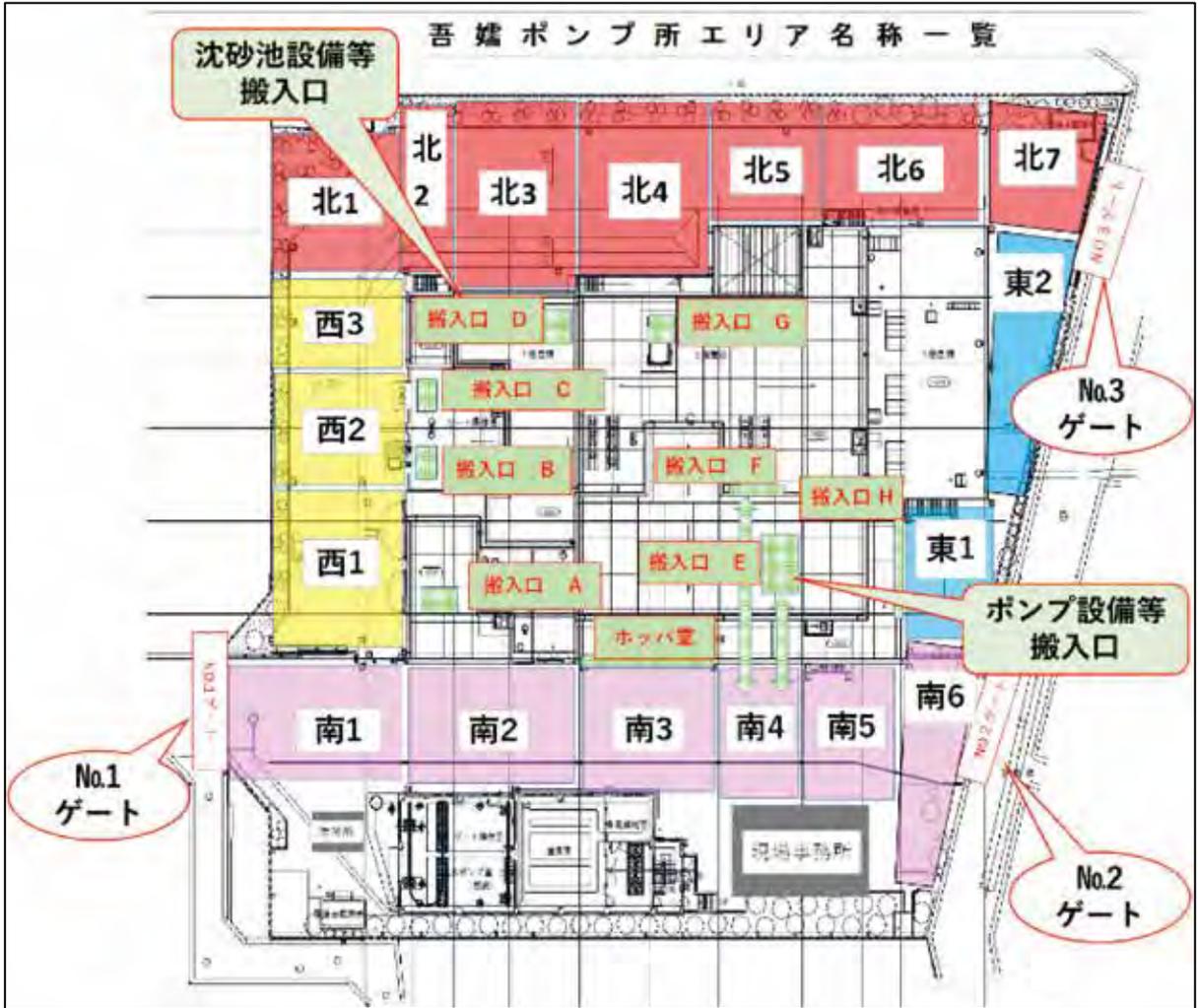


図 5 エリアマップ

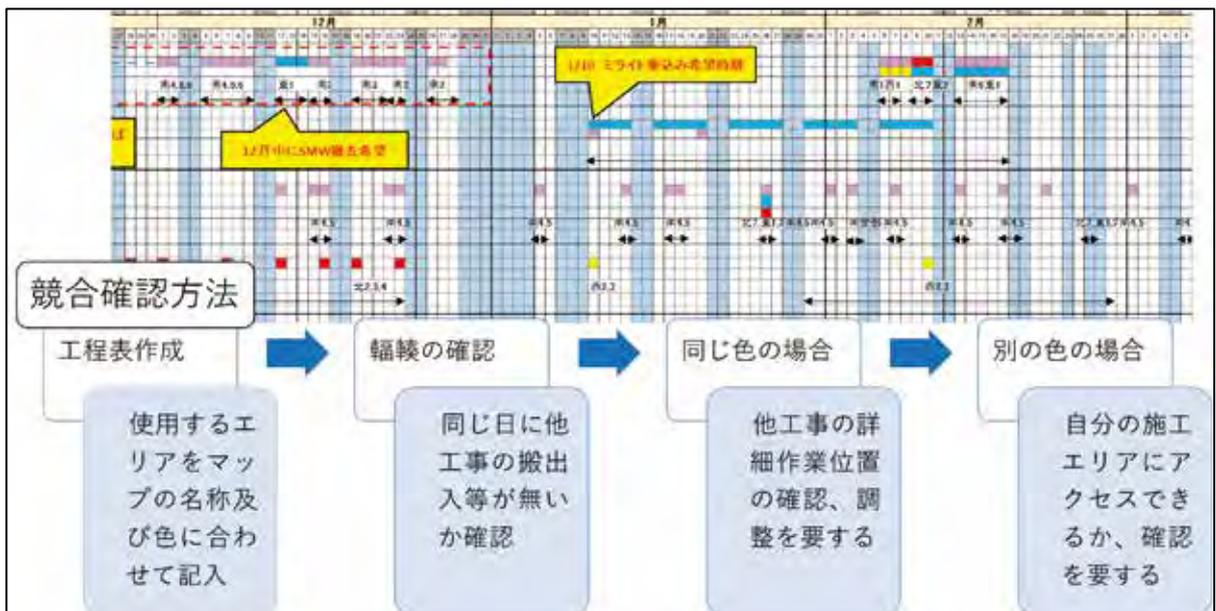


図 6 作業エリア調整工程表

二つ目の対策として、各工事間のクリティカルパスを明確化し、工事進捗の都度工程を見直すことで、工程や作業員、仮設物などの施工リソースの調整を実施した。

一例として、沈砂池機械室での施工は、沈砂池設備工事による機器据付と電気設備工事による作業を同時に行っていく計画であったが、現場を確認したところ、沈砂池機械室は非常に狭隘であるため、電気設備工事との同時施工が不可能であることが判明した。当初、沈砂池設備工事は油圧機械室と沈砂池機械室の複数箇所での同時施工の予定であったが、この課題への対策として工程を見直し、沈砂池機械室のみの作業に集中させる方針に転換した。この結果、沈砂池機器の据付期間を当初より圧縮することができ、早期に電気設備工事に引き渡すことができた。

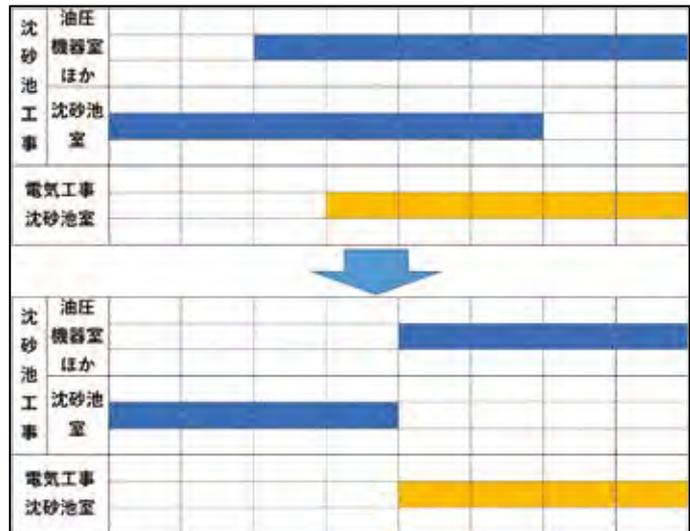


図7 作業エリア調整工程表

三つ目の対策として、将来的に現場入する工事の工程や工法を事前に確認し、設備工事間で工程を調整した。今回、設備工事の施工期間に、場内での開削工事を含む施設工事が現場入する予定であったため、輻輳による工程への影響が大きいと予想された。このため、図8に示すような工程表を用いて、施設工事の作業時期及びエリアを事前に確認し調整を行った。具体的には、設備工事と施設工事の施工内容と予定時期

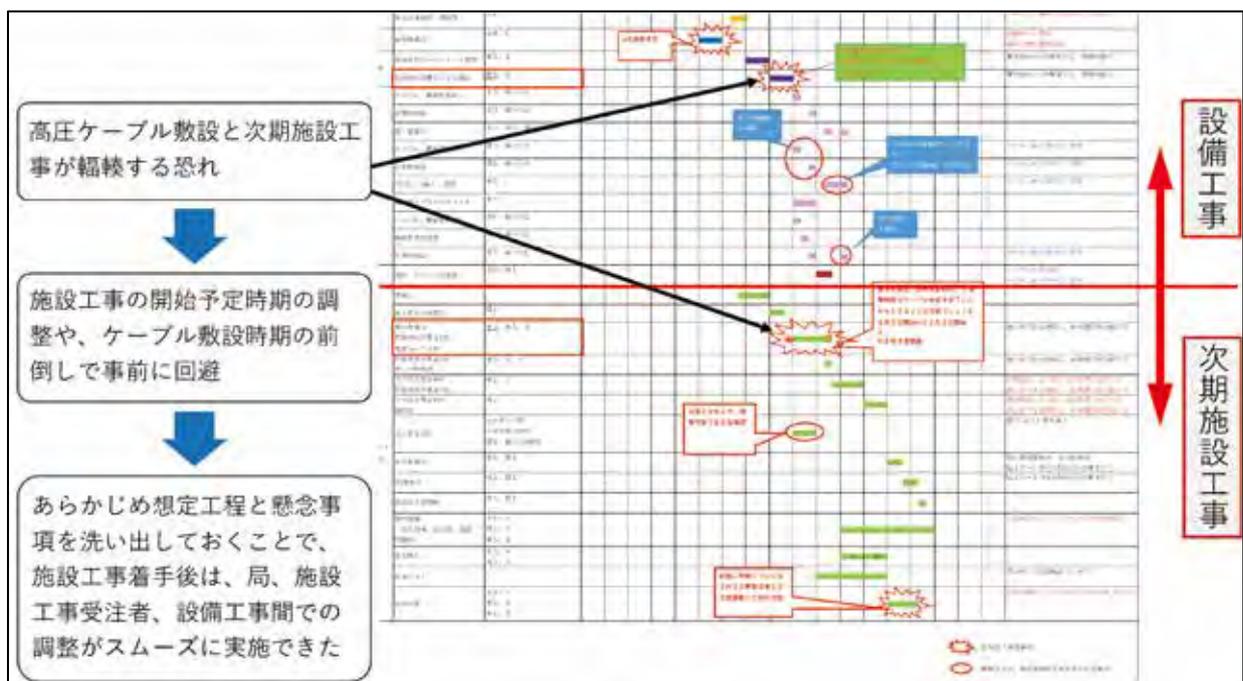


図8 将来工事との作業エリア調整工程表

を洗い出し、エリアマップを活用した工程表にて輻輳の確認を行った。この結果、設備工事のケーブル敷設作業と施設工事の開削作業が将来的に競合することが予想されたため、ケーブル敷設時期を前倒しすることで、作業の競合を事前に回避した。また、あらかじめ想定工程と懸念事項の洗い出しをしたことで、施設工事が工事着手したのちは、施設工事受注者を含めた調整作業を、早急かつスムーズに進めることができた。

## 2.2 ポンプ所近隣の方々への対応について

吾嬭ポンプ所は民家に囲まれており、周辺道路も狭隘であった。このため、設備工事による雨水ポンプなどの大型機器の搬入や、コンクリート打設などでの複数車両の出入りによる振動や地域の交通への圧迫、また、屋外での研り作業での騒音など、ポンプ所近隣の住民生活への影響が懸念された。

このため、工事着手前に地域町会へ工事内容に関する説明会を実施し、施工内容や騒音対策、搬出入経路や制限速度等に関する協定を結び、これを遵守した。また、工事のお知らせを近隣住民等に適時ポスティングすることで、作業音の発生や、工事車両の通行など、工事への理解と協力を得られるように努めた。ポスティングした工事のお知らせには、搬出入時の交通対策や防音措置、作業時間などの情報を記載し、ポンプ所近隣の計177世帯へ配布した。



図9 ポスティングした工事のお知らせ

## 2.3 安全管理審査について

受変電設備工事においては、設置した電気設備（特高受変電設備22Kv）が技術基準に適合しているかを確認する使用前安全管理審査を受審する必要があった。この審査は、これまでは経済産業省が直接審査を行っていたが、令和5年3月から民間審査機関が審査を実施することとなった。そのため、審査機関の選定及び審査手続きが必要と

なるなど、今までの審査手続きと違いが生じることから、万が一の手続きミスなどにより、審査に手戻りや遅れが生じてしまうと、電気設備が使用できないことで、設備工事の試運転調整が遅れるなど、全体工程への影響が懸念された。このため、審査機関への工事計画書の事前提出や、使用前自主検査時期などを綿密にスケジュールリングする必要があった。設備工事では、令和6年1月から試運転調整作業を行う必要があったため、ここから逆算して審査の受審手続きを行った。(図10)。まず、令和5年6月に審査機関の選定を実施した。次に、令和5年8月～9月に使用前自主検査を実施したのち、選定した審査機関へ安全管理審査の申請を行った。その後、12/1に民間審査機関から審査終了書が届き、12/19に経済産業省より審査の結果通知が届く流れとなった。このようにして、無事に試運転調整に間に合わせる事ができた。

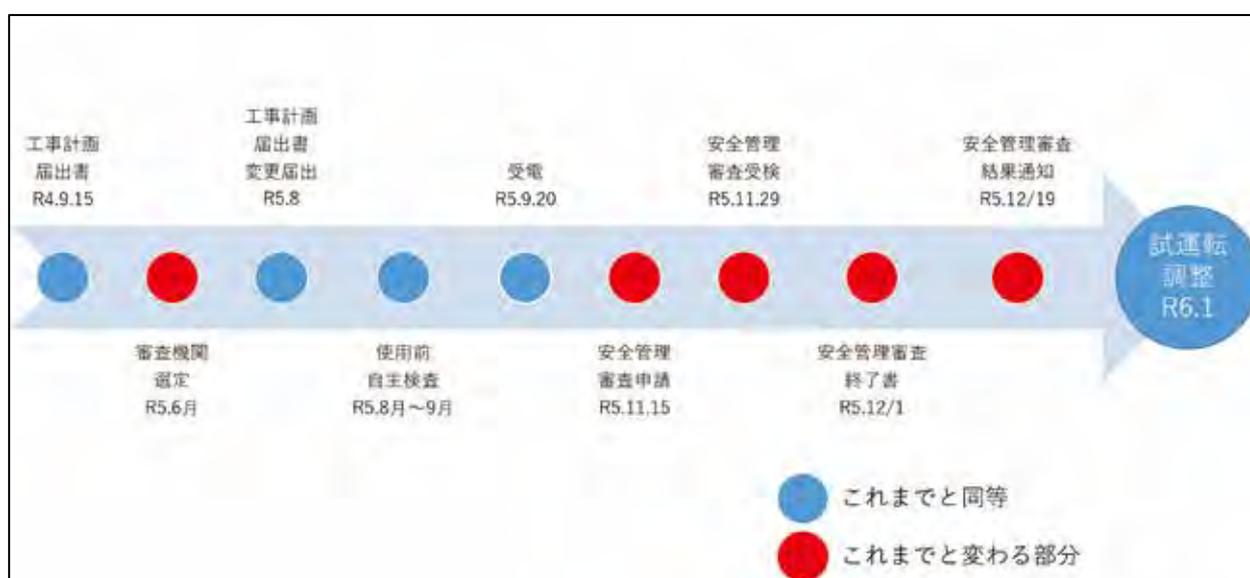


図 10 安全管理審査受審スケジュール

### 3. まとめ

吾嬭ポンプ所の設備工事を行うにあたっては、多数の工事による作業エリアの競合や、ポンプ所近隣の方々への配慮等、多くの課題があった。これらの課題に対し、施工エリアの調整を簡易化するためのエリアマップの作成や、ポンプ所近隣に対するポスティング、安全管理審査の綿密なスケジュールリングなどの工夫を行ったことで、目標としていた令和6年4月に各設備を運用開始させることができた。

本工事の施工にあたり、多大なご協力をくださった関係者の皆様に対して、この場をお借りして御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 東京都下水道局 東京都下水道事業 経営計画 2021
- 2) 東京都下水道局東部第一管理事務所ポンプ施設課吾嬭ポンプ所 吾嬭ポンプ所 66年間の既設設備を閉じるに当たって (再構築に向けて)

## 1-3-1 工事監督補助業務へのタブレット端末の導入

東京都下水道サービス株式会社 管路部施工管理第一課中部施工管理事務所 大下 晏歌

### 1. はじめに

東京都下水道サービス株式会社管路部施工管理課では、東京都の政策連携団体として下水道事業を補完・代行し、下水道局との一体的な事業運営により、安定的な下水道サービス提供とその質の向上に取り組んでいる。これまでの下水道管きょ工事における監督業務の豊富な経験とノウハウを活かし、管きょ再構築事業の一部を工事監督補助業務として局から受託し、効率的で確実な執行に貢献している。

弊社では、現在様々な業務の効率化・高度化を図るため下水道サービスへのICTの導入を進めており、その一環として令和4年度に工事監督補助業務にタブレット端末を導入した。導入後2年が経過し、その効果や課題が明確になったので報告する。

### 2. 検証の概要

タブレット端末を概ね2人に1台の割合で、操作性に優れたiPadAir 30台と社内のネットワークを通じ共有フォルダにアクセス可能なSurfaceGo2 10台の計40台を配備した。配備した端末には、「①定型書類の作成や現場でのメモ機能を有するデジタル野帳アプリ」、「②容量の大きいデータを現場で確認するための共有サーバやクラウド」及び「③ネットワークカメラによるリモート会議が可能なアプリ」の3つの機能と共に、「④PC等デバイスとしての基本的機能」であるインターネット接続や書類の閲覧・作成ができるアプリをインストールした(表1参照)。

表1 インストールしたアプリ等

	アプリケーション等	用途
①	デジタル野帳	夜間日誌等の定型書類作成 現場でのメモ機能
②	Cloud	現場での技術資料等の確認
③	Web会議	ネットワークカメラ によるリモート会議
④	情報検索 書類閲覧・作成	PC等デバイス での基本的機能

検証は、使用期間令和4年4月から令和5年3月までの1年間、工事監督補助業務を担当する5事務所の計67名を対象として、使用場面、効果等についてアンケート形式により実施した。

### 3. 検証結果および考察

タブレット端末の使用場面及び効果について全67名に対し、効率化を図ることができた業務について複数回答可能として意見を集約した。そして、図1に示す通り、アンケートの結果において、現場で効果を発揮するという意見が多数得られた。これらの現場で効果を発揮すると回答のあった6つの業務のうち、タブレット端末特有の機能を有効に活用

「効率化を図ることができた」と回答された業務



図1 アンケート結果(回答数)

している「定型書類作成」、「現場踏査」、「技術資料確認」、「遠隔臨場」及び「記録」の5つの業務について詳細に説明する。

#### 4. 工事監督補助業務においてタブレット端末を用いた定型業務

##### 4.1 基本的機能による分類

前述した現場での5つの業務に関し、基本的機能別に分類すると、「定型書類作成」、「現場踏査」及び「記録」はデジタル野帳アプリにより現場で直接資料に入力する機能を用い、軽量で操作性に優れる iPad を主に使用する。「技術資料確認」は、社内のネットワークを通じ共有フォルダにアクセス可能な SurfaceGo2 を使用する。「遠隔臨場」は、ネットワークカメラによるリモート会議機能を活用し、こちらも軽量で操作性に優れることから主に iPad を使用する(表2参照)。

表2 基本的機能による分類

業務	基本的機能	使用機種
(1) 定型書類作成	デジタル野帳アプリを用いた現場で直接入力する機能	iPad Air
(2) 現場踏査		
(3) 記録		
(4) 技術資料確認	共有サーバ上の資料閲覧	SurfaceGo2
(5) 遠隔臨場	ネットワークカメラによるリモート会議	iPad Air

##### 4.2 定型業務の詳細

###### (1) 定型書類作成

これまで現場から事務所へ帰社した後で作成していた定型書類(報告書、写真帳等)を、現場で直接入力して作成することで、書類作成の負担軽減を図った。現場での作業性を考慮し、従来からの定型書類のフォーマットに対し、入力機能をプルダウン選択とすることで、現場での作業を簡素化した。また、使用頻度・回数が増加し、機器操作の習熟が進むことにより、夜間勤務日誌(図

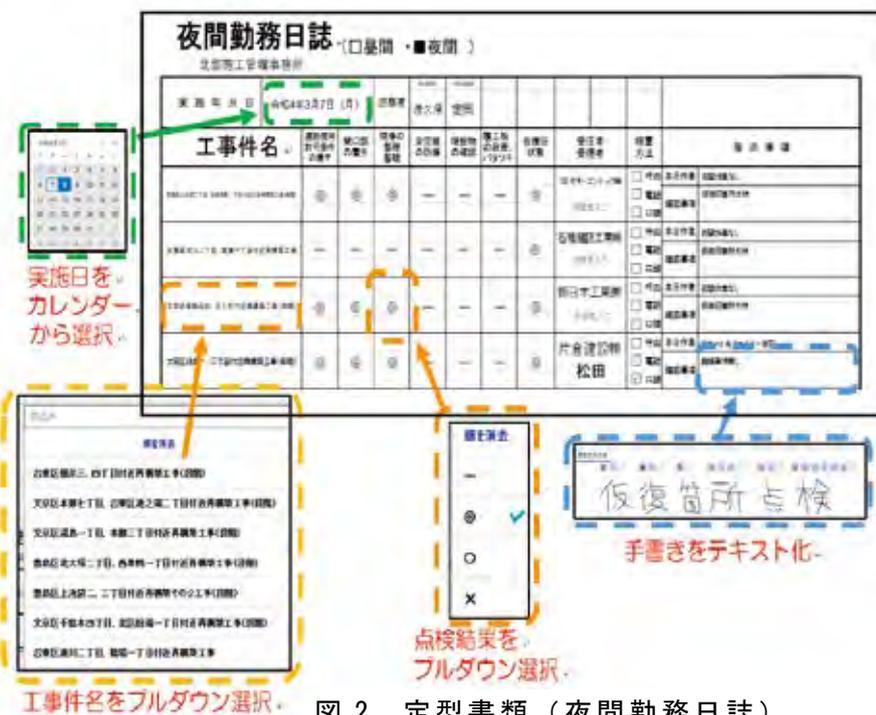


図2 定型書類(夜間勤務日誌)

2)は、夜間勤務実施者の全員が現場で作成するようになり、この結果、日誌作成にかかる時間は、導入前45分に対し、導入後は18分と60%の時間を削減することができた。

###### (2) 現場踏査

現場踏査を行う際に、タッチペンを用いて図面上に文字の記入や写真の添付を行うことで、現場で気になったことをリアルタイムで記録していくことができる。

この機能により、設計図上に「現場踏査時の問題点や写真」・「道路管理者別の色分

け」・「工法別色分け」・「掘削抑制箇所の表示」など、様々な用途による※レイヤーを作成することができ、現場踏査時の目的に応じて必要なレイヤー同士のみを重ね合わせて表示し、現場作業の効率化を図ることが可能となる。(図3参照)

※レイヤー：画像ごとの階層のこと

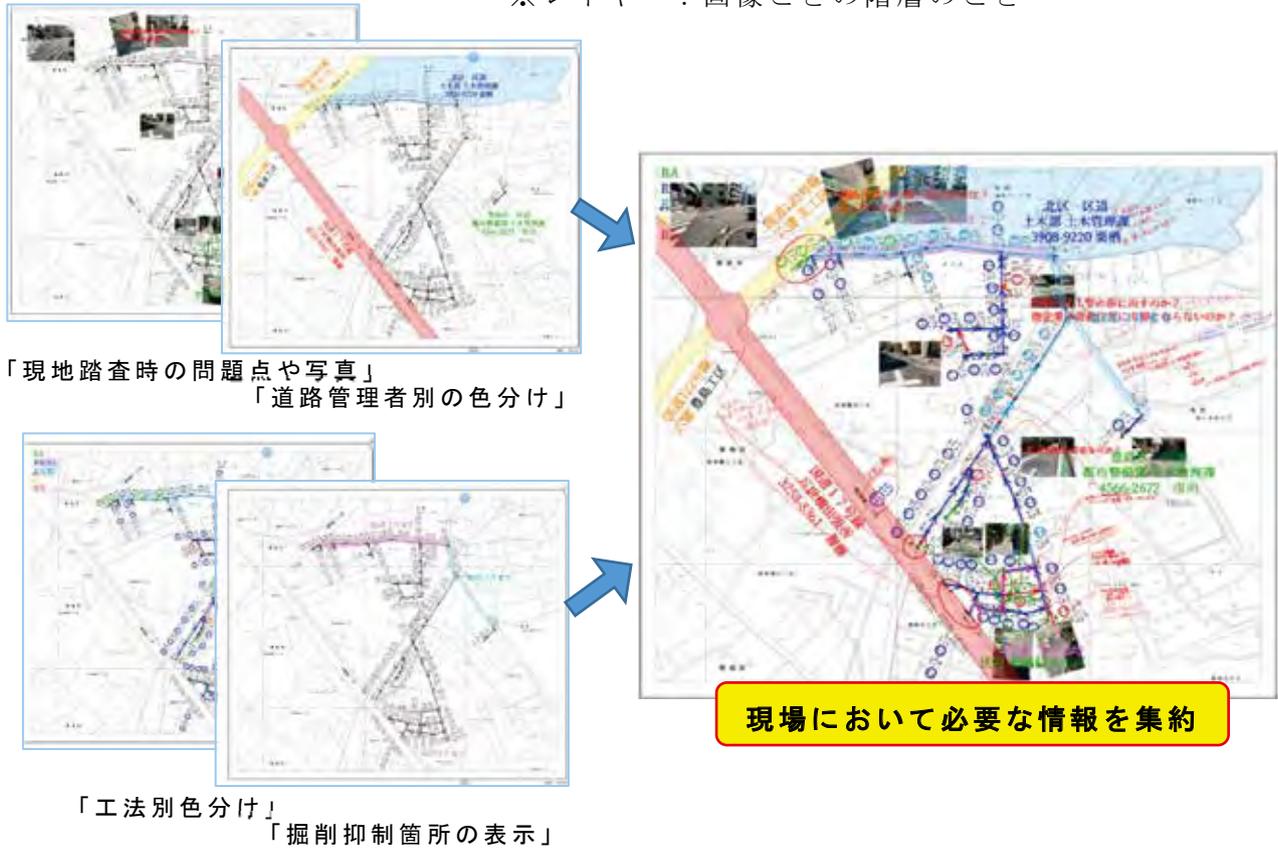


図3 図面へのメモ・写真記載機能

### (3) 記録

現場で関係者(道路管理者や受注者)と協議を行う際、タブレット端末を用いてその場で記録を行い、協議事項を明確化して共有する。具体的には、関係者(道路管理者や受注者)との現地立会い時に、撮影した写真に確認事項や指摘事項を記載して(写真1)、その場で協議事項を明確にし、関係者で共通認識を持ち、両者の思い違いが無いようにすることで、調整を円滑に行う事が可能となる。



写真1 現場立会時の記録の様子

#### (4) 技術資料確認

従来は施工計画書など現場に必ず携帯しなければならない資料が相当量あったが、現在では、タブレット端末(SurfaceGo2)から、サーバ内に保存されているこれらの資料を確認できる。また、同様に標準仕様書や手引き・マニュアルなど、いざという時に参考となる技術資料の確認も可能である。これにより、立会いや検査など多方面での活用ができたという意見が多く得られており、資料の持ち運びの負担が軽減し、不明点に関し、現場で根拠を確認でき業務の質が向上した。(図4参照)

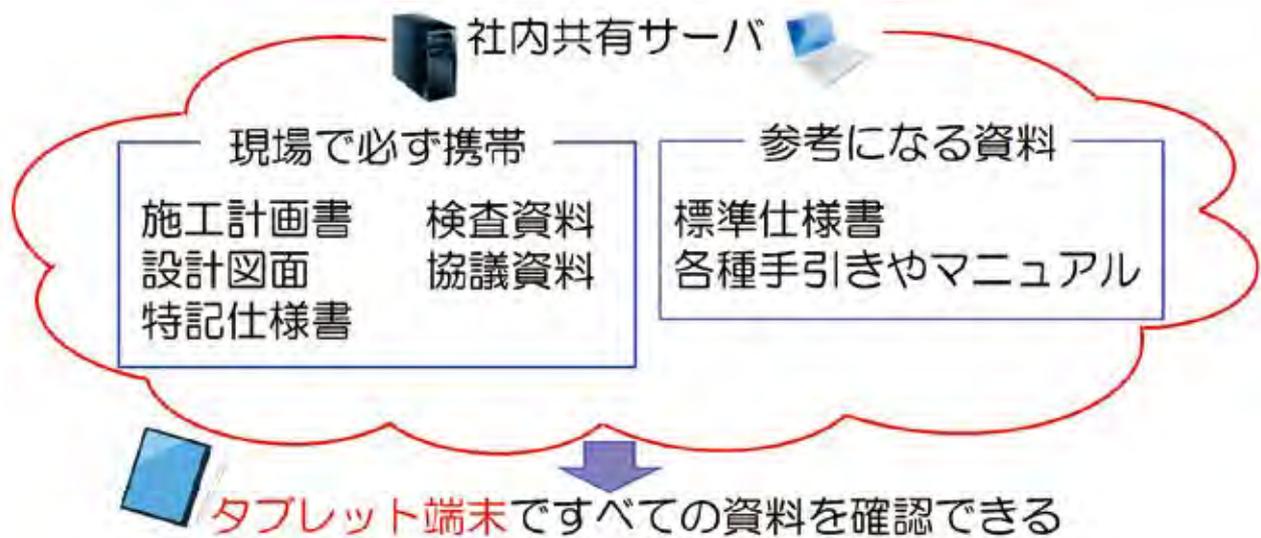


図4 共有サーバ活用のイメージ

#### (5) 遠隔臨場

Web会議システムを用いた遠隔臨場には、「研修・技術支援」「トラブル発生時の情報共有」2つの活用方法がある。

##### 1) 研修・技術支援

現場経験の浅い社員に、ベテラン社員の視点を継承する手段として、これまで同行による手法があったが、現場条件や日程調整のため、1回に参加可能な対象者が限られるなど課題があった。そこで、タブレット端末とWeb会議システムを活用した遠隔臨場による若手社員研修に取り組んだ(写真2)。現場状況をベテ



写真2 現場臨場及び育成状況

ラン社員がタブレット端末で撮影し、事務所等で若手社員が視聴を行い、質疑に加えベテラン社員による解説を行うことで理解度が向上し研修効果を高めることとなった。この取り組みでは、移動時間の削減と共に、複数の事務所から研修参加が可能になるなど、技術継承の機会を増加させることとなり、フレキシブルで効率的な開催が可能となった。実施する中で、相互の音声の聞き取りにヘッドセットを追加し円滑なコミュニケーションの改善も進めた。

## 2) トラブル発生時の対応

事故や災害等のトラブル発生時において、軽装備で担当者が現場に行き、タブレット端末と Web 会議システムを活用することで、TGS と下水道局へリアルタイムに現場状況を共有することができる。これにより、現場と事務所の意思疎通がスムーズとなり、迅速な複数の部署への情報共有と現場への指示により、的確なトラブルへの対応が可能となった(図 5 参照)。



図 5 トラブル発生時の情報共有

## 5. タブレット端末活用促進の課題と対応

### 5.1 課題

実施したアンケートの結果から年代別使用者数の割合をみると、40 代以下が 100%使用していたのに対し、50 代以上の未使用者が多く存在することが判明した。未使用の理由としては、操作方法が分からない、使用に時間を要するなどの意見が挙げられた。この結果より、年齢が上がるにつれてタブレット端末の活用など新しいことへの挑戦へ苦手意識を抱いていることが推察される(図 6 参照)。

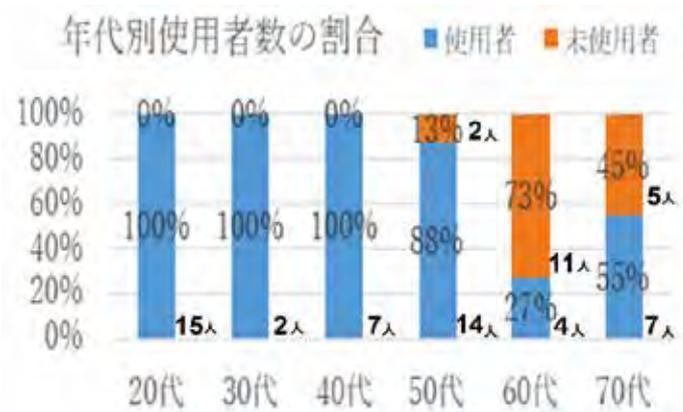


図 6 年代別使用者数の割合

そこで、活用促進を行うにあたり、サポート体制を構築し、課内全体に活用浸透を図ることが課題となった。

### 5.2 対応

タブレット端末活用促進を目的とし、各施工管理事務所(5 事務所) から若手社員を中心に 2~3 名のメンバーからなるワークショップを設置した(図 7)。各事務所から選定されたメンバーが定期的集まり、ワークショップ内で議論して作成した資料・情報等を各事務所にフィードバックし、タブレット活用を促進させていく。以下、ワークショップで実施した取り組みを記載する。

#### (1) 各事務所における研修の実施

ワークショップの活動において、タブレット端末活用促進の意義、施工管理業務にお

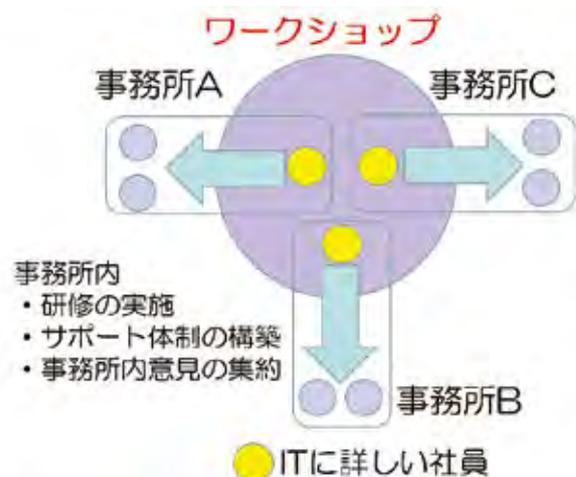


図 7 ワークショップのイメージ

る活用例の紹介、情報セキュリティルール等の内容を盛り込んだ研修資料を作成し、ワークショップメンバーがそれぞれの事務所で研修講師となって研修を実施している(写真 3)。当該研修は、人事異動を考慮し年 1 回実施している。



中部施工管理



北部施工管理

写真 3 研修開催の様子

## (2) マニュアルの作成

前述した「定型書類の作成」「現場踏査」「記録」「技術資料確認」及び「遠隔臨場」の 5 つの業務の作業手順を詳細に示したマニュアルを整備した。

作成に当たっては、ベテラン社員が取り掛かりやすいということに配慮し、全ての手順を省略することなく明確に記載し、操作性を考慮して 1 画面に複数操作を集約して編集を行った(図 8 参照)。

また、共有サーバ内に電子で保存することに加え、現場での使用を考慮し、携帯しやすい A 5 縮刷版を作成し、ベテラン社員全員に配布した。

本冊子の中には、情報セキュリティトラブル発生も考慮し、緊急連絡フローの綴込みも行っている。

## (3) サポート体制の構築と情報共有

当初は、IT レベルが、社員、事務所ごとにバラつき、ヘルプデスクのような専門的な相談機関が存在しない、というような状況にあった。そこで、ワークショップを活用することで各事務所に IT に詳しい社員を育成し、育

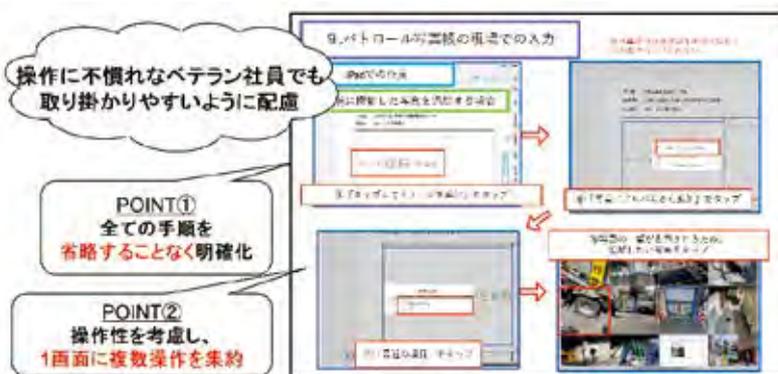


図 8 マニュアル作成時の工夫

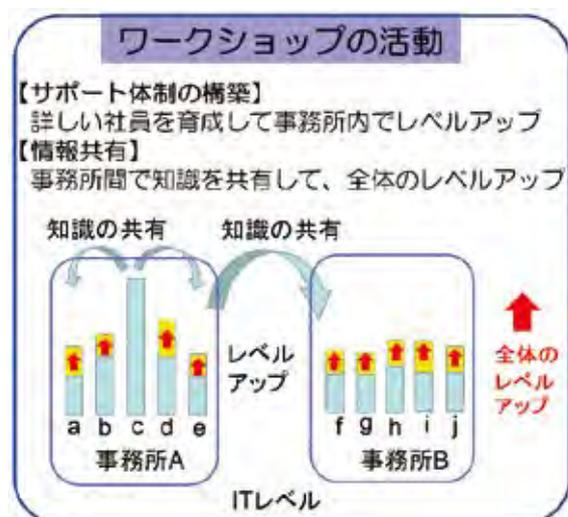


図 9 サポート体制の構築と情報共有のイメージ

成した社員が各々の事務所内でサポートを行い、各事務所がレベルアップすること、また、事務所間の有効な活用事例等を共有し、事務所の枠を超え全体のレベルアップを図る取組を行っている。

## 6. おわりに

### 6.1 業務改善効果のまとめ

タブレット端末導入による業務改善効果として以下4つが挙げられる。

- ①現場で定型書類を作成することにより、書類の作成時間が短縮した。習熟度があがることでさらに時間短縮することも可能である。
- ②現場で写真や図面にメモを残すことができ、現場作業を効率化することができた。また、関係機関との円滑な調整・認識の共有が可能となり、信頼関係の構築に寄与した。
- ③共有サーバ等の資料を活用することにより、資料の持ち運びの手間が軽減すると共に、現場で不明点の根拠等をその場で受注者と確認することで、知識の習得がしやすくなった。
- ④遠隔臨場により、若手社員の職場内研修で効果を上げるとともに、現場と事務所で事故状況の共有等を速やかに図ることが可能となった。

### 6.2 今後の展開

ベテラン社員の退職や技術系社員の人材確保が困難になる中、積極的にICTを活用し、業務運営の充実を図るため、タブレット端末の活用を促進し、管路部施工管理課においては工事監督補助業務を行う社員に1人に1台タブレット端末を配備する。そして、現場で利用可能な更なる定型業務(資料作成・情報共有等)の拡大の検討や社員のタブレット端末習熟度の向上及び利用促進に向けた一層の社内サポート体制の構築を進め、タブレット端末の活用を促進し、業務の効率化を図っていく。

## 1-3-2 固結した火山灰等を下水道管から除去する技術 及び能登半島支援の中長期派遣を終えて

計画調整部 技術開発課 氏名 高山 章大

### 1. 背景

令和2(2020)年度に内閣府中央防災会議において、富士山の宝永噴火(宝永4(1707)年)と同規模の噴火を想定した、降灰のシミュレーション結果(図1)が公表された。そこでは、都内において2~10cm程度の降灰が予想されている。また上下水道等への被害想定では、下水道において、「1mm前後の降灰後に降雨があると、灰が下水道管内へ流入し管路が閉塞するおそれ」、水道については、「原水の水質悪化により、給水制限や断水のおそれ」が指摘されている<sup>1)</sup>。これらより、降灰により都内の下水道管が閉塞する可能性がありながらも、給水制限や断水により、高圧洗浄を用いた閉塞の解消が困難となるおそれがある。

なお、都の「TOKYO 強靱化プロジェクト」においても、東京に迫る危機の一つとして、火山噴火が挙げられている<sup>2)</sup>。

また、平成23年に発生した東北地方太平洋沖地震では、都区部の湾岸地域において液状化現象が発生し、土砂が下水道管内に流入して詰まり、時間の経過とともに水締め効果により固結した。(写真1)このため、高圧洗浄による土砂の撤去を行ったが、これに多くの時間を要した<sup>3)</sup>。

そこで、火山灰や土砂により閉塞した管きよの復旧技術を確立を目的に技術選定のための試行を行った。

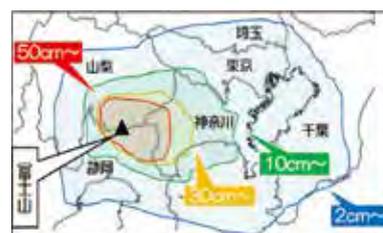


図1 宝永噴火と同規模の噴火を想定した降灰予測



写真1 人孔内における土砂の固結状況

### 2. 管きよ復旧技術の候補選定

管きよ復旧技術には、求められる条件が3点挙げられる。

#### 2.1 管きよ復旧技術に求められる条件①

管きよ復旧技術に求められる条件の一つ目は、水を使用しないまたは使用量が少ないことである。火山噴火や震災時には、浄水場における降灰による原水の水質悪化やろ過池の機能低下、停電による給水制限や断水の可能性が指摘されている。

昭和53(1978)年に発生した有珠山の噴火の際には、約1cmの降灰があった近隣の浄水場で、火山灰がろ過用の砂に付着して目詰まり状態となり、ろ過ができなくなった。この結果、給水地の全戸への給水が停止している。

## 2.2 管きよ復旧技術に求められる条件②

管きよ復旧技術に求められる条件の二つ目は、硬く固結した火山灰や土砂を施設から撤去搬出が可能であることである。土砂や火山灰は下水道管内で水を含んだ後、水締め効果により、硬く締まる。特に火山灰の場合、粒子が角ばっており、粒子同士の摩擦が大きく、また細粒分が多いことから密に詰まり、硬く固結することが分かっている。(図 2～3)

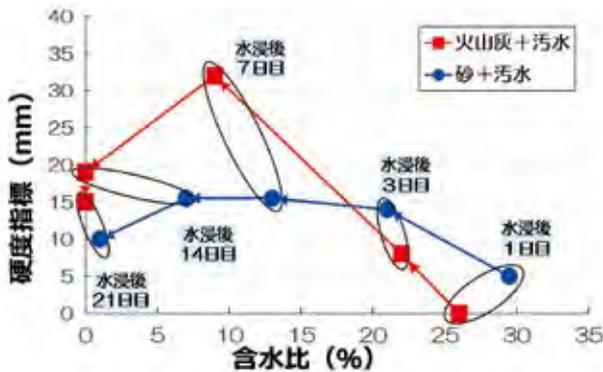


図 2 火山灰と豊浦標準砂の含水比と硬度指標の推移

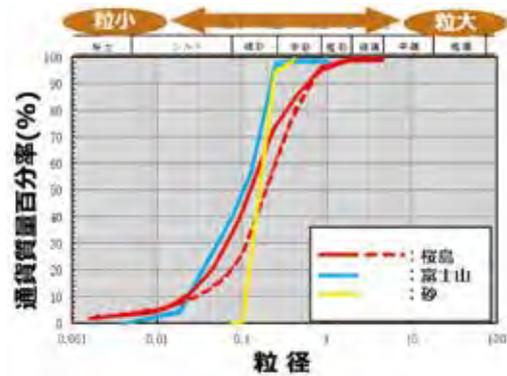


図 3 火山灰（富士山<sup>4)</sup>、桜島）と豊浦標準砂の粒度分布

## 2.3 管きよ復旧技術に求められる条件③

管きよ復旧技術に求められる条件の三つ目は、既存技術を転用・改良した技術である。地震・噴火の頻度を考えると高頻度での使用は想定できないが、発災時には迅速に対応する必要がある。このため、平常時は別の形で運用し、必要な時のみ火山灰等の対策に使用出来るよう、既存技術を転用出来ることとした。

## 2.4 管きよ復旧技術の選定結果

これらの求められる条件を踏まえ、管きよ施設別に管きよ復旧技術を選定した。

### 2.4.1 本管に適用する技術

本管に適用する技術として、以下の2工法を選定した。(図 4)

工法名	一重さや管ボーリング工法	既設人孔取付部耐震化工法
施工イメージ		

図 4 本管に適用する技術

- ・既設人孔取付部耐震化工法  
機器にオーガを接続し、回転させながら管内を推進し、内部の火山灰等を排出する。
- ・一重さや管ボーリング工法  
オーガを回転させながら管内へ推進させ、内部に堆積した火山灰等を排出する。

### 2.4.2 取付管に適用する技術

取付管への適用技術は、図5の工法を選定した。

- ・超高速回転クリーナー工法  
機器先端で回転するドリルとチェーンにより固結した火山灰等ほぐし、吸引ホースにより管外へ排出する。通常は、排水管や下水道管内の油脂や木の根等の除去に用いられている。



図5 取付管に適用する技術

### 2.4.3 人孔に適用する技術 (図6)

人孔への適用技術は、図6の工法を選定した。

- ・水中スクラッチャー工法  
アーム先端のバケットで人孔内の火山灰を排出する。通常は伏越人孔の清掃に用いられる。



図6 人孔に適用する技術

## 3. 試行の実施

選定したそれぞれの管きょ復旧技術については、工法を実規模施設にて試行した。

### 3.1 試行施設

試行にあたっては、地上に本管、取付管、人孔それぞれの模擬施設(写真2~4)を設置し、それぞれの内部に液状化土砂を模した川砂を充填後、本管と取付管では水締め、人孔では転圧棒による突き固めを行った。なお、取付管の試験には、桜島の火山灰も併せて充填し、試行を行った。



写真2 模擬本管



写真3 模擬取付管



写真4 模擬人孔

### 3.2 試行結果

管きょ復旧技術の候補の試行結果を図7~9に示す。

	一重さや管ボーリング工法	既設人孔取付部耐震化工法
利点	・土中を推進する工法であることから、安定した施工が可能	・施工機器のパーツの交換が行いやすく、汎用性が高い
欠点	・インパートの研りが必要 ・施工速度が小さい (管きょL=10mで約2時間)	・インパートの研りが必要 ・施工速度が小さい (管きょL=10mで約6時間) ・機器本体が不安定になる

図7 試行結果 (本管)

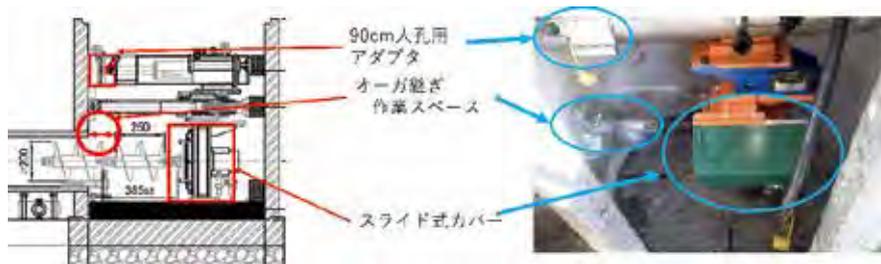


図 8 既存技術の改良（既設人孔取付部耐震化工法）

超高速回転クリーナー工法		水中スクラッチャー工法	
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機器先端で回転するドリルとチェーンが、固結した火山灰等を円滑にほぐすことができ、推進性が良い（取付管L=2.0mで約0.5時間）</li> </ul>  <p>—機器先端のドリルとチェーン</p>	利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バケットを垂直に人孔へ降ろすことができ、足掛金物などを損傷しづらい。</li> <li>・バケット先端を確認しながら施工が可能</li> <li>・火山灰等を車内へ直接積込むことが可能</li> </ul>  <p>—コントローラー —バケット —人孔</p>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管内での推進性が良いことから、ほぐした火山灰等に機器先端が埋もれ、動かしくくなる。</li> </ul>  <p>—施工中の様子</p>	欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人孔深にかかわらず、ブームを上空へ大きく伸ばすため、架空線に注意が必要</li> <li>・施工機器が少ない（都内に5台）</li> </ul>

図 9 試行結果（取付管）

図 10 試行結果（人孔）

本管では、既設人孔取付部耐震化工法について、施工中の機器がオーガを回転させるトルクを受け不安定になる等の欠点が見られたものの、施工機器のパーツ交換が容易であり、汎用性が高いという利点が見られた。（図 7）また、内径 90cm（1号人孔）では作業スペースの欠如によりオーガの継ぎ作業が困難となるが、これについては上部シャフトに取付ける 90cm 人孔用アダプタを製作することで作業スペースを確保出来た。併せて、オーガを覆うスライド式カバーを製作することで、作業の安全性を向上させることができた。（図 8）これらの改良結果を踏まえ、本管の復旧技術として既設人孔取付部耐震化工法を選定した。

取付管では、超高速回転クリーナー工法が、機器の推進性が良いことが確認できた。一方、曲がり部分では、機器を押し込むことが出来なくなることで、施工中に機器がほぐした火山灰などに埋もれてしまう状況が確認されたが、少量の水（2 リットル）を流し込むことで解消できた。これらを踏まえ、取付管の復旧技術として選定した。（図 8）

人孔では、水中スクラッチャー工法で、足掛金物などを損傷しづらいことや、人孔内の様子を確認しながらの施工が可能など利点の確認された。これらの利点を踏まえ、水中スクラッチャー工法を人孔の復旧技術として選定した。（図 9）

#### 4 今後の取組

「下水道局業務継続計画」、いわゆる「下水道局 BCP」は、大規模災害時に下水道施設等が被災した場合でも、下水道の機能を維持、回復することを目的とした計画であり、現行の BCP では大規模災害として、震災と風水害を想定している。火山噴火時の対策として、この下水道局 BCP に火山噴火時の対応について、追加の記述を行うことが必要である。

今後は、当研究で得られた内容を元に、発災時に備えた実現場への導入を見据え、下水道局災害対策マニュアル（BCP）の改訂を行うよう、総務部等の関係部署と連携を図ると共に、具体的な配備計画等について検討を行っていく。

## 5 能登半島支援の中長期派遣を終えて

筆者は、R6.4.1 から R6.10.7 までの約半年間、輪島市役所上下水道局において、復旧支援に従事した。その応急復旧活動内容についても報告する。

東京都下水道局の調査では下水道管の被災率が 50%以上であり、東日本大震災の 3～5%程度と比較しても、下水道施設に甚大な被害が生じていた。被災内容として、人孔の浮上や本管の脱却等による下水道管のたるみや流下機能の低下が生じていた。なお、この被災率には汚水ます・取付管の被災は含まれておらず、被災地では、取付管の破損により宅内からの排水不可や汚水ますからの溢水が、市内各所で頻発している状況であった。



写真 5 輪島市内の管路被災状

このため、取付管の破損や支管の脱却により、排水出来ない宅地については、100Vの浄化槽用小型排水ポンプで対応した。

このポンプの寸法は、公共汚水ますに設置が可能であり、家庭用コンセントから電源をとることが可能である。

本体上部に水位感知センサーがあり、汚水ます内の水位が上がると通電により、ポンプが起動する仕組みとなっており、水位が下がれば自動停止する仕組みになっている。

一般家庭から出る汚物やトイレットペーパーなどは、ポンプ内で砕かれ、ホースから排出され、排水ホースは一般家庭で使用される洗濯機用のもので代用可能である

また、軽量のため直営で設置が可能であり、付近に排水先があれば、重機で掘削せずに暫定的な排水機能の確保が可能である。設置後は自動で排水できるため、このポンプを用いた仮設排水は、輪島市内で 40 か所ほど導入した。

人孔については、液状化による影響で浮上してしまった人孔が市内に約 80 基あり、車両や歩行者の通行など、道路機能に支障となっていた。このため、道路管理者から浮上人孔の早期解消を求められていた。



写真 6 100V 小型ポンプと設置状況

これについては、躯体を直壁部分まで掘削し露出させた後、地上からの浮上高さ分、直壁をエンジンカッターで切断した。その後切断面に、止水のためのブチルゴムを接着し、斜壁を戻す方法を採用した。ダルマ落としのようなこの方法は、施工者の習熟度にもよるが、1か所につき約2時間程度で施工が可能である。

2班の施工体制で1日4カ所切り下げを行った結果、令和6年6月末頃には輪島市内に点在していた浮上人孔を解消することが出来た。

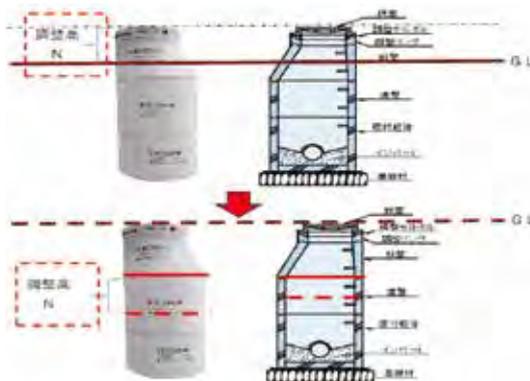


図 11 浮上人孔の切下げ手順

## 6 輪島市における復旧支援の今後

輪島市上下水道局では、上記の応急復旧と併行して、国土交通省による災害査定を進めていた。災害査定は令和6年12月末に汚水および雨水共に全て完了し、今後は本格的な復旧工事へ移行していく。設計や対外調整および応急復旧・本復旧工事の監督業務などで東京都下水道局による職員派遣は続く見込みである。輪島市および被災地の復旧支援で培った経験を水平展開し、首都直下地震などの大規模な自然災害に備えていく。

### 参考文献

- 1) 大規模噴火時の広域降灰対策について-首都圏における降灰の影響と対策-～富士山噴火をモデルケースに～（報告）、内閣府、令和2（2020）年
- 2) TOKYO 強靱化プロジェクト～「100年先も安心」を目指して～, 東京都, 令和4(2022)年
- 3) 小段 辰彦：東北地方太平洋沖地震に伴う江東区新木場地区（管路施設）の液状化対策について、平成23年度設計・工事事例発表会、P.3
- 4) 江戸市内に降下し保存されていた富士宝永噴火初日の火山灰、火山第47巻、日本火山学会、平成14（2002）年

## 2-1-1 葛西水再生センターリチウムイオン電池導入効果の検証

東部第二下水道事務所 葛西水再生センター 氏名 瀬野 知将

### 1. はじめに

東京都が推進する HTT（電力を H へらす・T つくる・T ためる）の「電力をためる」の取組の一環として蓄電池設備の導入が進められており、東京都下水道局（以下「当局」という。）においても、令和 5 年 2 月から葛西水再生センター（以下「当センター」という。）にリチウムイオン電池設備（図 1）を導入した。蓄電池設備は、電力需要の少ない夜間などに貯めた電力を必要の際に放出することでピークシフトが可能である。



図 1 リチウムイオン電池の外観

当局では揚水や水処理の過程で大量の電力を消費しており、大きな社会的責任を負っている。そのため、電力ひっ迫時には電力会社から要請された時間帯に設備機器の運転抑制と蓄電池の放電によって消費電力を抑える、デマンドレスポンス（以下「DR」という。）の取組を行っている。この取組は、社会の電気需給バランスの安定化を目的としているが、契約電力や揚水及び水処理での使用量に応じた多額の電気料金の一部削減も図ることができる。

それ以外にも蓄電池設備を利用した電気料金削減の取組として、単価の比較的安い夜間電力で充電し、昼間に放電する運用を行っている。当局で広く普及しているナトリウム硫黄電池（以下「NaS 電池」という。）では、燃料費の高騰などの影響による電気料金単価の変化に伴って、前述の運用での採算性が低下したことにより、当センターでは、NaS 電池を夏季、冬季や DR 発動時などの運用としている。一方、リチウムイオン電池は、一般的に高効率であり、NaS 電池同様に電気料金を削減できる可能性があるため、電気料金削減を見込んでの有効活用を試みている。

当センターでリチウムイオン電池設備の運用を開始してから 1 年以上が経過した。それに伴い電池性能や運用上の特性を把握するため、リチウムイオン電池設備の運用による効果について調査した。

## 2. 設備概要及び実際の運用

リチウムイオン電池は、陽極にリチウムイオンを含む複合金属酸化物、陰極に炭素、電解質に有機溶媒電解液を使用した二次電池である。一般的なものでセル電圧が3.7V程度と大きくエネルギー密度が高いことや、充放電効率が95%程度で非常に高いという特徴がある。また、動作温度がほぼ常温であり、保温には高温のヒーターなどを必要としない。主な用途としては、PCやスマートフォンなどの小型端末、電気自動車、産業用ロボットなどがあるが、このほかにも幅広い分野で使用されている。

当センターのリチウムイオン電池設備は、高い充放電効率を活かし、ピーク時間帯の受電電力の抑制や補助的な非常用電源としての用途が期待されている。この蓄電池設備は、非常用発電設備の再構築で空室となった、管理棟1階の旧ディーゼル発電機室を再利用する形で設置した。蓄電池は1個のセルを最小単位とし、14個のセルを直列接続したものをモジュールと呼び、そのモジュールをさらに14個直列接続したものをバンクと呼ぶ。このバンクを並列接続で4つ格納した盤が10面あり、これら合計7,840個のセルによって構成されている(図2)。蓄電池設備は蓄電池本体の他に、パワーコンディショナ(交直変換器)、変圧器から構成される。当センター内の交流6,700V特別高圧電気設備に接続して充放電し、変圧と交直変換を経て蓄電池電圧は直流727Vとなる。蓄電池の能力は充電容量が2,000kWh、最大出力が1,000kWであり、満充電状態において最大出力で放電できる時間は最大2時間となる。当センターのリチウムイオン電池設備は太陽光発電設備からの充電も可能な仕様となっている。

当センターのリチウムイオン電池は、令和5年3月から運用を開始し、運用スケジュールを以下のように設定した(図3)。充電容量は、過充電及び過放電による電池の故障や劣化を防ぐために、電池容量の17%から97%までの80%(放電量1,600kWh相当)の範囲で運用した。運用日は、休祝日や電力会社の定める特例日(ゴールデンウィーク及び年末年始)を除いた月曜日から土曜日までの平日とした。運用時間は、突発的なDRへの対応を考慮して20時から

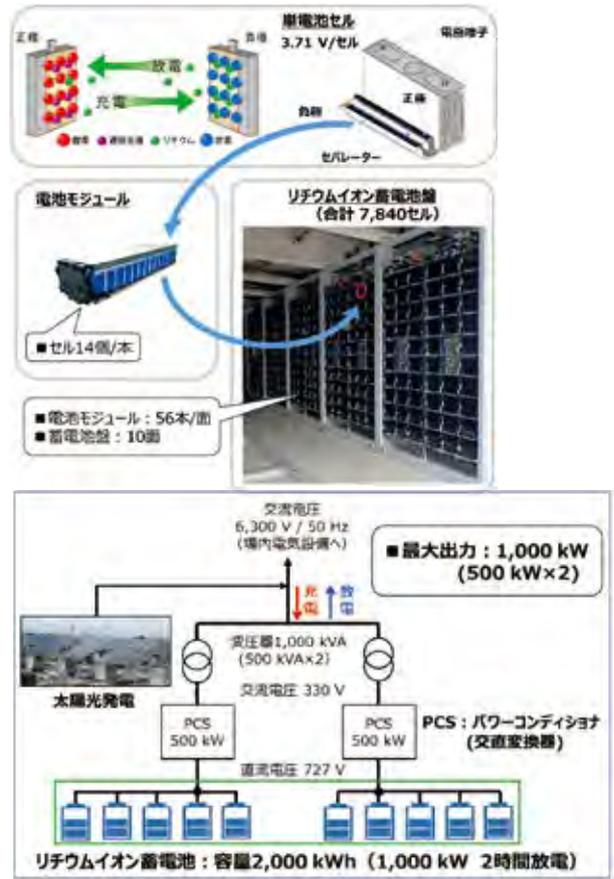


図2 リチウムイオン電池設備の構成

このバンクを並列接続で4つ格納した盤が10面あり、これら合計7,840個のセルによって構成されている(図2)。蓄電池設備は蓄電池本体の他に、パワーコンディショナ(交直変換器)、変圧器から構成される。当センター内の交流6,700V特別高圧電気設備に接続して充放電し、変圧と交直変換を経て蓄電池電圧は直流727Vとなる。蓄電池の能力は充電容量が2,000kWh、最大出力が1,000kWであり、満充電状態において最大出力で放電できる時間は最大2時間となる。当センターのリチウムイオン電池設備は太陽光発電設備からの充電も可能な仕様となっている。

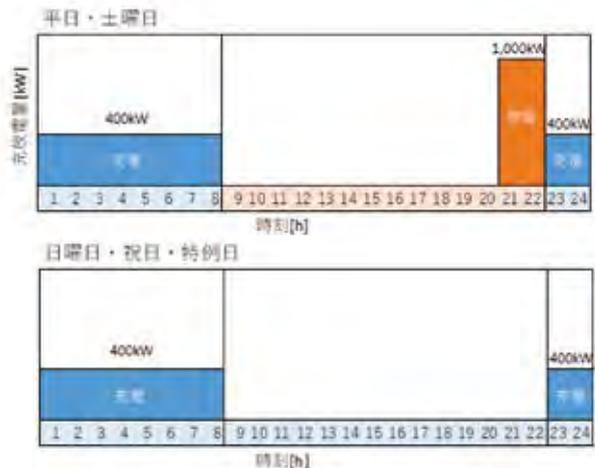


図3 基本運用スケジュール

22 時の昼間料金時間帯の最後に放電し、22 時から翌 8 時の夜間料金時間帯に充電することとした。

### 3. 調査方法

調査期間は令和 5 年度の 1 年間（令和 5 年 4 月 1 日～令和 6 年 3 月 31 日）とし、計算に使用する各電気料金単価（使用電力量 1kWh 当たりの単価）は電力会社の請求票の値を使用した。

使用した電気料金単価は表 1 のとおりである。平日の 0 時～8 時と 22 時～24 時及び休祝日の全日を対象とする夜間料金単価は、18.61 円で年間を通して一定である。夏季のピーク時間（13 時～16 時）を除く平日の 8 時～22 時を対象とする昼間料金単価は夏季が 23.08 円で、その他季は 21.93 円である。ピーク時間料金単価は今回蓄電池の充放電時間に該当しないため使用しない。燃料費等調整単価は過去 3 か月の燃料価格によって毎月決定され、電力使用量 1kWh 単位で増額または減額される。蓄電池の充電量、放電量及び盤内空調などの補機電力量の 1 時間ごとの電力量[kWh]は、時間積算データを使用した。

表 1 内の昼夜料金単価比は、昼間料金単価と夜間料金単価の両方に燃料費等調整単価を加え、夜間料金単価側を昼間料金単価側で割った数値と定義する。

表 1 電気料金単価一覧

時間帯別使用量 1kWh あたり単価

料金単価 [円/kWh]	昼間	ピーク (13~16時)	夜間
夏季	23.08	23.68	18.61
その他季	21.93	-	18.61

月別燃料費等調整単価

	燃料費等調整単価 [円/kWh]	昼夜料金単価比 [-]
23/04	4.26	0.87
23/05	2.38	0.86
23/06	0.09	0.85
23/07	-1.68	0.79
23/08	-2.89	0.78
23/09	-3.25	0.77
23/10	-3.4	0.82
23/11	-3.07	0.82
23/12	-3.17	0.82
24/01	-2.83	0.83
24/02	-2.79	0.83
24/03	-2.83	0.83

### 3.1 評価内容及び計算方法

#### 3.1.1 電池効率[%]

電池効率は全体の放電量を全体の充電量で割って求める。蓄電池は充放電時のエネルギー損失などにより、放電量は充電量よりも少なくなり両者が一致することはない。この値が 100%に近いほど損失が少ないため電池効率が良く、逆に 100%を大きく下回ると損失が多く電池効率は悪くなる。そのため、昼夜の料金単価の違いを利用し電気料金削減をする運用において、電池効率は重要な数値となる。

電池効率は月ごとに計算し、開始時と終了時の電池残量が一致するように、月の開始時刻を充電が完了する各月 1 日の午前 8 時と設定した。電池効率は、季節や短期間での充放電の繰り返しによる影響を確認するため、月ごとに計算した。

#### 3.1.2 電気料金削減額[円]

今回の運用では、料金単価の高い昼間時間に蓄電池から放電し、料金単価の安い夜間に充電することで電気料金を削減した。そのため計算式は式 1 のとおりである。電気料金削減額については月ごとに計算した。式 1 から、燃料費等調整単価が増加すると、単価の増加分と充放電によるエネルギー損失との積だけ削減額は減少し、運用の採算性が悪くなるのが分かる。

式 1：電気料金削減額[円]

$$= \text{放電量} \times (\text{昼単価} + \text{燃単価}) - \text{充電量} \times (\text{夜単価} + \text{燃単価})$$

昼単価：昼間料金単価[円/kWh]、燃単価：燃料費等調整単価[円/kWh]、

夜単価：夜間料金単価[円/kWh]

## 4 結果及び分析

### 4.1 補機電力量

まずリチウムイオン電池の補機電力量について得られた結果を以下に示す。

年間の補機電力量は 12,750kWh（1日当たり 35kWh）で、令和 5 年度の当センターにおける年間受電量の約 0.02%に相当する。リチウムイオン電池の運用における年間充電量と比較すると 2.4%と、運用に与える影響は小さい。

月別補機電力量は図 4 のとおりとなった。グラフから夏季の使用量がほかの時期に比べて多いことが分かる。これは盤内温度を約 20℃に維持するために空調の使用電力量が増えたものと考えられる。

屋外（NaS 電池）、屋内（リチウムイオン電池）と設置条件が異なるが、参考までに、当センターで運用している NaS 電池の年間補機電力量は約 140 万 kWh であり、リチウムイオン電池の 109 倍の電力を使用している。同等の蓄電池出力（表 2）に換算して比較しても 32 倍となるため、NaS 電池では保温用ヒーターなどの補機に必要な電力が大きいことが分かる。

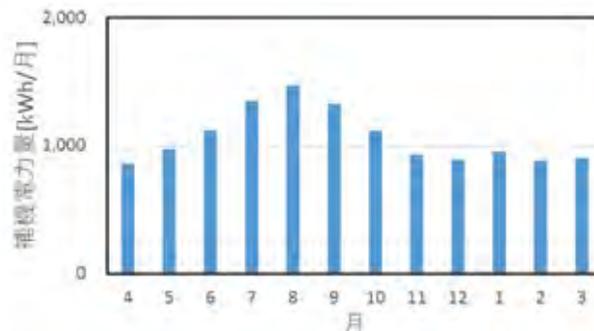


図 4 月別補器電力量

表 2 葛西水再生センター蓄電池設備概要

	容量 [kWh]	最大出力 [kW]	設置年度
NaS電池 1号	9,600	1,600	令和4年
4号	12,960	1,800	平成27年
NaS電池 計	22,560	3,400	
リチウムイオン電池	2,000	1,000	令和4年

### 4.2 電池効率

次に蓄電池の電池効率について図 5 に示す。

リチウムイオン電池の年間効率は 88.1%で、月間での効率の最大月は 4 月の 88.6%、最小月は 5 月の 87.3%と季節差はなく年間を通してほぼ一定である。この結果から、蓄電池の充放電の繰り返しによる電池効率の推移は 1 年間という短期間では確認できない。

参考までに、NaS 電池の電池効率は、一定のデータ量を集めるために 5 日以上運用した月のみを抜粋したところ 77.8%となり、リチウムイオン電池の方が約 10%程度高効率という結果が得られた。このことからリチウムイオン電池の運用に伴う使用電力量は、NaS 電池よりも少ないと言える。なお、NaS 電池の電池効率においても季節差は

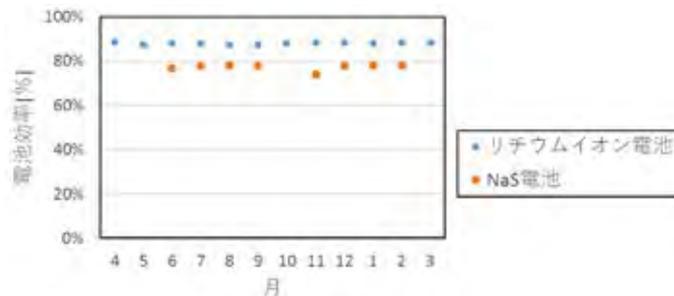


図 5 月別蓄電池効率

ほぼなく、運用日数の多い月に関しては安定した効率を示している。

### 4.3 運用による電気料金削減

蓄電池運用に伴う月別電気料金削減額の結果について図 6 に示す。

リチウムイオン電池の運用によって年間約 61 万円の電気料金を削減できた。月別の削減額を比較すると 8 月が約 94,000 円と最も高く、5 月の削減額が約 9,000 円と最も低い。グラフの結果から、夏季の昼間料金単価が適用される 7~9 月の削減額が大きく、燃料費等調整単価が増額となった 4~6 月の削減額が小さいことが読み取れる。

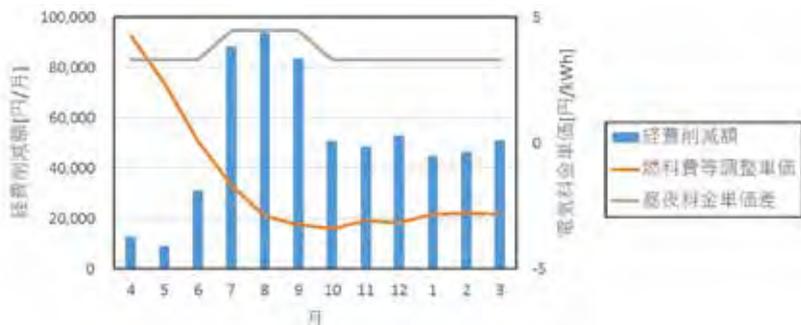


図 6 月別電気料金削減額

よって、これら 2 つの料金単価の変化の影響が大きいことが分かる。燃料費等調整単価の最も高い 4 月よりも 5 月の削減額が低くなったのは蓄電池効率の計算結果のわずかな差異などによるものと考えられる。

蓄電池運用における電気料金削減額の主要因を調べるために回帰分析を行った(図 7)。

グラフの横軸を表 1 にも示した昼夜料金単価比として縦軸の電気料金削減額の変化を調べたところ、図内に示した線形式と決定係数  $R^2$  が得られた。(決定係数  $R^2$  はデータと線形式との当てはまりのよさの程度を表す指標で、この値が 1 に近いほど当てはまりが良く、0 に近いほど当てはまりが悪いことを示す。)得られた  $R^2$  の値が 0.96 と 1 に近いことから、データと線形式の当てはまりが良く、横軸の昼夜料金単価の比と縦軸の電気料金削減額の間には線形式のような相関関係があると分かる。よって、電気料金削減額を決定している主要因は昼夜料金単価比だと言える。

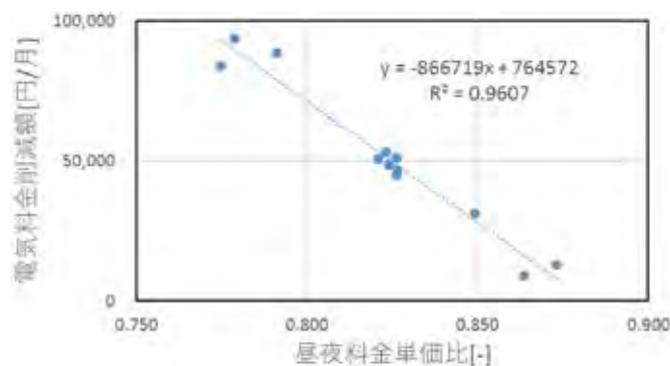


図 7 回帰分析結果

線形式が高い相関が得られた理由の一つに、安定した蓄電池の運用により効率が年間を通してほぼ一定となり、電気料金削減額への影響が小さくなったことがあると考えられる。

なお、その他の影響要因としては、電池効率の計算結果のわずかな差異のほかに月間の運用日数による差などが影響していると考えられる。

また、線形式から得られた損益分岐点は昼夜料金単価比 0.882 となり、これは電池効率 88.1% とほぼ一致する。これは、式 1 の左辺に 0 を代入した場合においても、同様の結果を得ることができる。燃料費等調整単価の損益分岐点は夏季の場合は 14.17 円/kWh となり、その他季では 5.74 円/kWh となった。

## 5 まとめ

当センターで昼夜電力料金の違いを利用したリチウムイオン電池設備の運用した結果、DR 契約に伴う減額を除いても年間約 61 万円の電気料金削減効果があることが分かった。この削減額は昼夜料金単価比によって変動し、燃料費の変動や電気料金単価そのものの増減の影響を受けるため、採算性が悪くなることが予想される月には運用を変えるなどの対応が必要になる。

また、リチウムイオン電池設備の電池効率は 88.1%と高効率で、補機電力量は 1 日辺り 35kWh と小さいことが確認できた。この結果からリチウムイオン電池は少ない電力使用量で運用することができ、電気料金削減効果が高いことが確認できた。ただし、NaS 電池と比較した場合、リチウムイオン電池は一般的に単位体積と関係するエネルギー密度が不利であること、長期運用性に係る kWh 単価が高く設置に多くの面積を必要とするなどから、現場の状況に応じた総合的・長期的な視点からの評価が必要である。

## 6 おわりに

今後の展望として、充放電の繰り返しによる電池の劣化などの長期的な評価を継続して行い、燃料費の変動などによる影響を踏まえて他の活用方法を考えている。本来の目的である電力需給ひっ迫対策への活用のほかにも、契約電力の削減としても運用できるため、可能な限り有効活用をしていきたい。

### ・参考文献

(1)リチウムイオン電池用 PCS 明電時報 2012 No.3 Vol.336

[https://www.meidensha.co.jp/rd/rd\\_01/rd\\_01\\_02/rd\\_01\\_02\\_14/rd\\_01\\_02\\_14\\_01/pdf/article-201203-0017.pdf](https://www.meidensha.co.jp/rd/rd_01/rd_01_02/rd_01_02_14/rd_01_02_14_01/pdf/article-201203-0017.pdf)

## 2-1-2 葛西水再生センターにおける砂ろ過設備の運用の最適化

### ～切電(きるでん)PTの取組～

東部第二下水道事務所 葛西水再生センター 氏名 藤田 佟生

#### 1. はじめに

東京都下水道局は、令和5年3月に策定した下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン2023」に基づき、地球温暖化対策とエネルギー対策とを一体的に推進している。

葛西水再生センター（以下「当センター」という。）では、H T T（電力をHへらす・Tつくる・Tためる）の取組の一環としてリチウムイオン電池設備やNaS電池設備、再生可能エネルギーの有効活用として太陽光発電設備を導入している。一方、葛西水再生センターにおける使用電力量は、令和5年度において約6,500万kWh/年（水処理施設65%、污泥処理施設35%）となっていたが、節電要請や電気料金の高騰、下水道料金収入の減少等により、これまで以上に使用電力量の削減及び経費の縮減が求められていた。このため、当センター独自の取組として更なる節電を目標に「kill the lights」というスローガンを込めて「切電(きるでん)PT」を立ち上げ、使用電力量と温室効果ガス排出量との削減に向けた設備の運転効率化等の節電効果の検証を行っている。今回、「切電PT」における砂ろ過設備に係る取組を行ったので報告する。

#### 2. 砂ろ過設備について

当センターには、北系と南系水処理施設とがあり、砂ろ過設備は北系水処理施設に設置されている。砂ろ過設備は、図-1のとおり調圧水槽からの処理水を砂ろ過池の下部から上部へ流す上向流式で全8池あり、北系から取水した二次処理水を日平均約16,000m<sup>3</sup>/日（最大50,000m<sup>3</sup>/日）ろ過して、水処理及び污泥処理施設へ供給している。

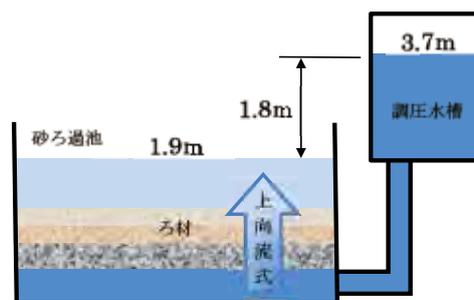


図-1 砂ろ過設備

また、砂ろ過池のろ材の目詰まりを防ぐために定期的な洗浄を行っており、その洗浄モードは、「タイマモード」と「ろ抗モード」の2種類がある。「タイマモード」は時刻設定による洗浄であり、「ろ抗モード」はろ材の目詰まり傾向を示す差圧（水頭差）をろ抗と表現し、砂ろ過池の水位1.9mに対して調圧水槽の水位が3.7m、水位差が1.8mとなった場合に自動洗浄するものである。

### 3. 取組内容

#### 3.1 更なる節電に向けて

当センターでは、原水である二次処理水のSS（浮遊物質）が年間を通して低く、濁度は原水が0.7から1.1mg/L、ろ過水が0.3から0.5mg/Lとなっている。また、砂ろ過設備の平均稼働率が最大処理量の30%程度であり、余裕を持った運転ができていたため、砂ろ過池のろ抗が上昇しても、当センターで必要なる過水量を確保できる。

そのため、従来は「タイマモード」にて砂ろ過池の洗浄運転を毎日行っていたが、「ろ抗モード」へ切り替えることで、目詰まり傾向となる適切な時期に洗浄を行うようにし、砂ろ過池の洗浄回数を減少させる節電が可能であることを確認することとした。切替え後の影響を配慮して、一部切替（第1ステップ）、全部切替（第2ステップ）と、段階的に検証を行った。

##### 3.1.1 第1ステップ

砂ろ過池の洗浄について、奇数号池を対象に「タイマモード」運用から「ろ抗モード」への運用に切り替え、洗浄状況（2022年10月から12月まで）について確認を行った。この結果、表-1のとおり、奇数号池（朱書き）と偶数号池を比較すると洗浄回数大幅に減少できた。しかし、長期間洗浄しないため弁類の固着等による故障発生リスクが大きくなることが予想された。一方、節電可能な電力量は、1月当たり約6,500kWh程度が見込まれ、節電に効果があることを確認した。

表-1 洗浄回数

号池	10月	11月	12月
1号池	18	0	0
2号池	31	30	11
3号池	18	1	1
4号池	31	30	11
5号池	12	2	2
6号池	31	30	11
7号池	17	2	2
8号池	31	30	12

##### 3.1.2 第2ステップ

2023年1月から12月まで、残りの偶数号池を加えた全池「ろ抗モード」による運用の検証及びデータ収集を行い、節電効果と維持管理性への影響を確認することとした。この中で、第1ステップにて懸念された弁類の固着等の故障発生リスクについては、月1回の手動による洗浄運転を実施することで年間を通して故障発生の有無を確認するとともに、「タイマモード」で運用をしていた過去4年間（2019年から2022年）とのデータを比較し、次のとおり節電効果を検証した。

(1) 手動による洗浄運転を実施する場合（2023年1月から6月まで）

図-2のとおり、「ろ抗モード」運用前の「タイマモード」と比較すると洗浄回数は1池当たり月平均30回から2回となった。また、使用電力量は月平均23,584kWhとなり、砂ろ過設備全体の使用電力量の23%に当たる7,094kWhの電力を削減することができた。

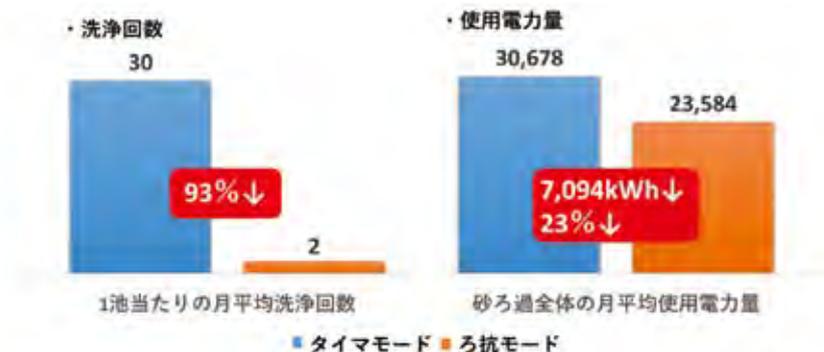


図-2 電力削減効果（手動洗浄運転を実施した場合）

(2) 手動による洗浄運転を実施しない場合（2023年7月から12月まで）

図-3のとおり、「手動による洗浄運転を実施する場合（2023年1月から6月まで）」と「手動による洗浄運転を実施しない場合（2023年7月から12月まで）」とを比較すると、7月以降の洗浄回数は1池当たり月平均2回から1回となった。一方、電力削減量は252kWh増加し、「タイマモード」での運用と比較すると7,346kWhの電力を削減することができた。



図-3 手動洗浄運転の有無による洗浄回数と電力削減量（砂ろ過全体）

### 3.2 維持管理性への影響について

砂ろ過池の洗浄は、洗浄回数が少なければ少ないほど電力削減量が多く見込まれるが、弁類の固着による故障発生リスクは高まってしまう。

表-2のとおり、「ろ抗モード」での手動による洗浄運転を実施しない場合、池ごとの洗浄回数にかなりのばらつきが見られ、半年間洗浄していない池もあった。また、検証終了後、2024年1月の洗浄運転時に、2号池と4号池で空気抜弁（図-4）の固着による故障が発生したことから、手動による洗浄運転は必須であることを確認した。

表-2 洗浄回数（手動による洗浄運転を実施しない場合）

号池 \ 月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備考
1号池	0	0	0	0	0	0	
2号池	0	0	0	0	0	0	2024年1月故障発生
3号池	0	0	0	0	0	2	
4号池	0	0	0	2	0	0	2024年1月故障発生
5号池	1	0	1	0	0	1	
6号池	2	1	2	2	1	2	
7号池	2	2	2	2	2	3	
8号池	2	2	3	3	4	4	

2024年2月以降は、手動による洗浄運転を月例作業として実施していたが、2024年5月に再び2号池で空気抜弁固着による故障が発生したため、月1回の手動による洗浄運転でも不十分であると考えた。また、砂ろ過設備の運用方法の違いによる砂ろ過水の濁度の比較について表-3に示すが、生産される砂ろ過水の濁度には大差のないことが確認できている。

現在は、2024年6月から手動洗浄作業サイクルを週1回（月4回）の週例作業に見直しを図り運用している。



図-4 故障発生箇所

表-3 砂ろ過水濁度の比較 (mg/l)

	砂ろ過水		原水	備考
	洗浄あり	洗浄なし		
タイマモード	0.3~0.5	0.4~0.6	0.7~1.1	
ろ抗モード①	0.3~0.7	0.4~0.6	0.7~1.4	月1回手動洗浄
ろ抗モード②	0.2~0.5	0.4~0.6	0.7~1.2	週1回手動洗浄

#### 4. 最適な運用に向けた対応

検証結果のまとめを表-4に示す。

故障発生リスクなどの維持管理性への影響を踏まえると手動による洗浄は必須であることから、「ろ抗モード+週1回手動洗浄」で運用を行うことが、故障リスクが少なく電力削減効果も高い運用になるものとする。

表-4 検証結果まとめ

洗浄モード	手動洗浄の周期	データ収集期間	洗浄回数 (1池当たり)	使用電力量	削減電力量	故障リスク
タイマ	—	2019年～2022年	30回	30,678kWh	—	低い
ろ抗	—	2023年 7月～12月	1回	23,332kWh	7,346kWh	非常に高い
ろ抗	月1回	2023年 1月～6月	2回	23,584kWh	7,094kWh	高い
ろ抗	週1回	2024年 6月～	5回	23,850kWh	6,828kWh	検証中

また、手動による洗浄運転は実施忘れや設定ミスなどを起こす可能性があることから、洗浄忘れがないように月例・週例作業に組み込むこととし、設定ミスや操作ミスがないように洗浄運転のマニュアルを作成した。

#### 5. おわりに

この運用で現在までにトラブルなく節電を実現することができている。

切電は、設備や運転へのリスクと効果とを比較して検討するために丁寧な検証が必要になる。これからも、東京都下水道事業「経営計画 2021」で掲げた経営方針の一つである「最小の経費で最良のサービスを安定的に提供します」の下、更なる効率化を目指して検討と検証を続けて電力削減に努めていく。

#### ・参考文献

田口さくら. (2023). 令和5年度 下水道設備研究発表会論文集. (pp. 43-48)

## 2-1-3 反応タンクの負荷量調節等による送風機電力の削減

西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 宮崎 麻衣  
(現 流域下水道本部施設管理課) 杉浦 雅也  
(現 北多摩二号水再生センター) 葛西 孝司  
(現 東京都下水道サービス株式会社) 太田 裕誌  
(現 東京都下水道サービス株式会社) 多田 琴音

### 1. はじめに

新河岸水再生センター（以下、当センター）では、反応タンクが南系と北系に分かれ、順次、再構築工事が進められている。これまでに、北系は工事が完了し、反応タンク 12 槽に対して送風機は 6 槽ずつの 2 系統に分れている。現在は、南系の反応タンクで工事が進行中で、これと並行して南系用の送風機も再構築が行われており、1 系統だった送風機が新旧の 2 系統に分かれた。このため、南系の再構築工事中は送風機の能力と反応タンク側の要求風量がアンバランスになり、送風機の非効率な運転がしばらく続いている。

本稿では、反応タンクの再構築工事の進捗と送風機の効率性を考慮して、各反応タンクへの負荷量を調節することで送風機電力を削減する取組について報告する。

### 2. 取組開始前の送風機系統

当センターは合流式下水道で、水処理施設は南系と北系に分れている。南北の水量の分配は分水槽に設置されている固定堰によって、南系：北系は、おおよそ 45：55 に分水されている。このため、南系と北系の水量比の変更は困難である。当センターの平面図（反応タンク配置図）を図 1 に示す。

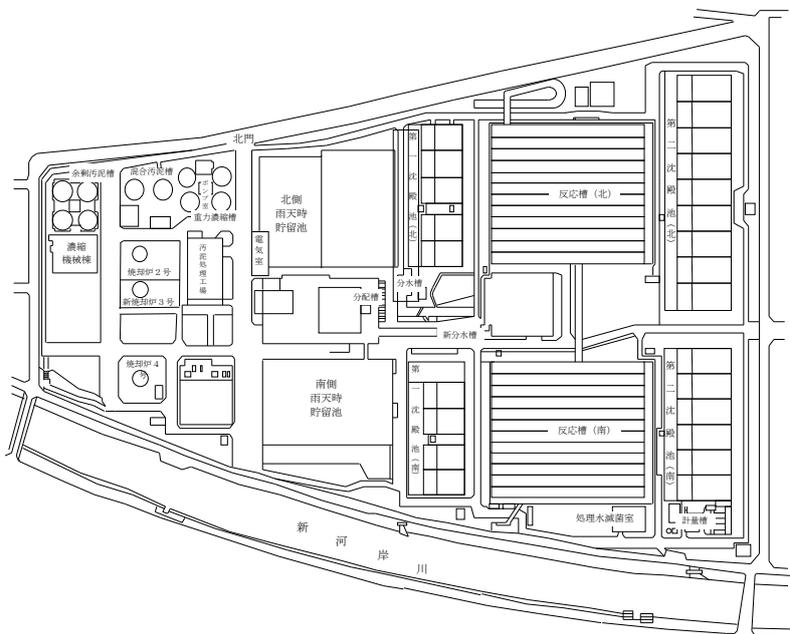


図 1 当センター反応タンク配置図

南系反応タンクの再構築開始前の時点の送風の系統と反応タンクの間をを図 2 に示す。

反応タンク（8,430 m<sup>3</sup>/槽）が南北に各 12 槽ある。すでに再構築工事が完了し 2 系統化された北系では、北系 1 が 210 kW の送風機 5 台で反応タンク 13～18 号に、北系 2 が 270 kW の送風機 5 台で反応タンク 19～24 号に送風しており、いずれも各反応タンク 1,000～4,000 Nm<sup>3</sup>/h 程度の風量で運転している。再構築前の南系では通常、700

kW の送風機 2 台運転で、負荷の高い時間帯に 700 kW の 1 台と 1500 kW の 1 台で 1～12 号に送風していた。

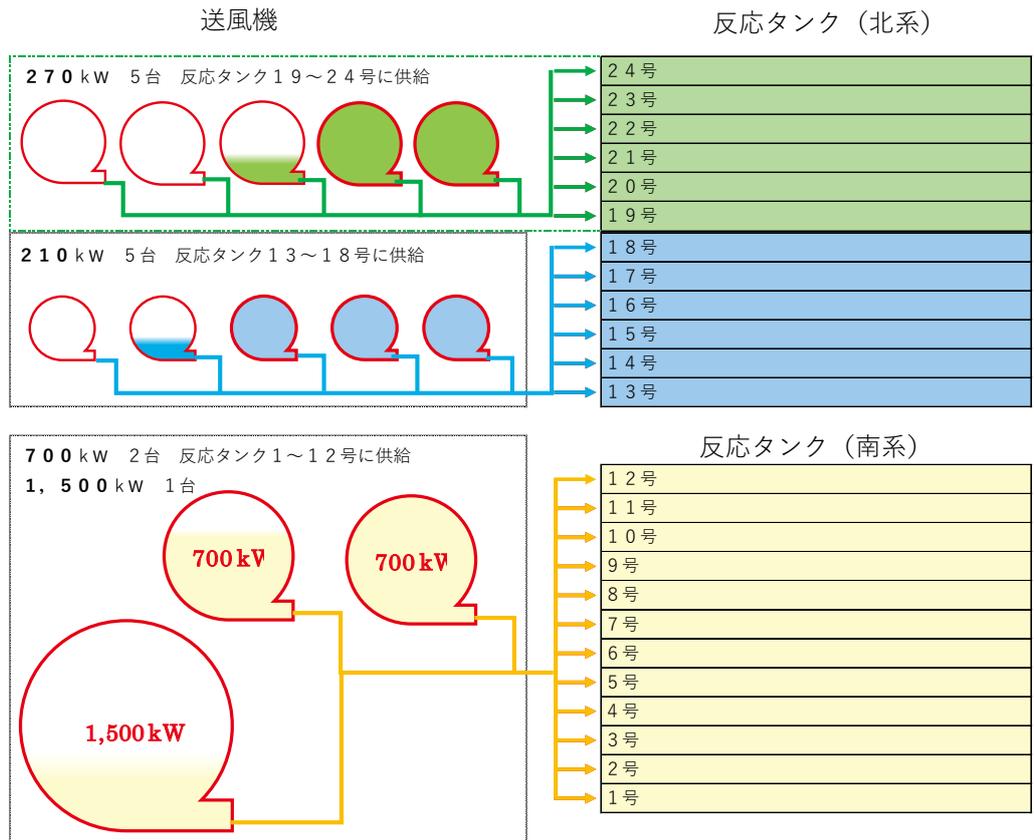


図2 送風機と反応タンクの系統図（～R4年12月南系再構築前）

### 3. 送風機の性能

北系送風機の吸込み風量と電流の関係は図3のとおりである。電圧が一定であるため、消費電力は電流値に比例する。送風機1号の場合は、吸込み風量が6,000 Nm<sup>3</sup>/hでは電流値は313 A、4,000 Nm<sup>3</sup>/hでは266 Aである。同じ12,000 Nm<sup>3</sup>/hの送風量でも送風機を2台運転した場合に必要な電流は627 Aであるが、3台運転の場合は798 Aとなる。

つまり、反応タンクへの送風量が同じ場合は送風機の運転台数が多くなるほど使用電力が増大する。このため、送風機の運転台数を最適化して必要最小限とすることが、送風機電力の削減に向けた省エネ対策として重要となる。

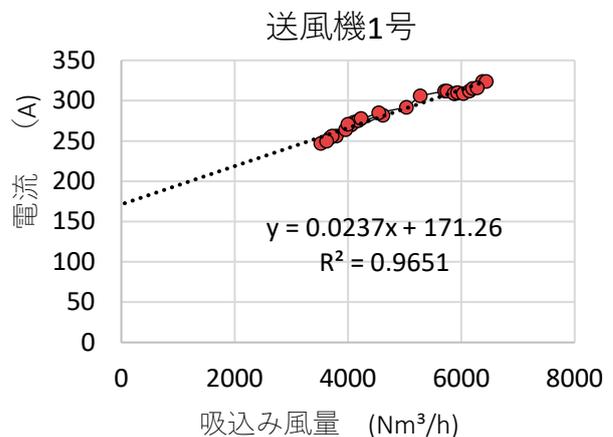


図3 送風機吸込み風量と電流

### 4. 各反応タンクの処理水量の測定

個々の反応タンクの処理水量を把握することは水質管理にとって重要であるが、当センターには反応タンク個々に流量計が設置されていないため、個別の流入水量、返送汚泥量が不明である。水量が多い反応タンクほど風量も多くなるため、各反応タンクの水量は風量をもとにある程度推測することができる。しかし、タンクごとに散気設備の数などが異

なるため、実際の流入量と乖離している懸念があった。そこで、反応タンクからの越流水位を測定することで反応タンクごとの処理水量の把握を試みた。

測定方法としては、レーザー距離計を用いて、反応タンクの覆蓋から水面までの距離を個別に計測した（図 4）。通常時の水面までの距離と、流入扉と返送汚泥投入扉を閉めて越流が止まった時の水面までの距離を計測してその差  $h$  から、次の式で越流量  $Q$  を計算した。

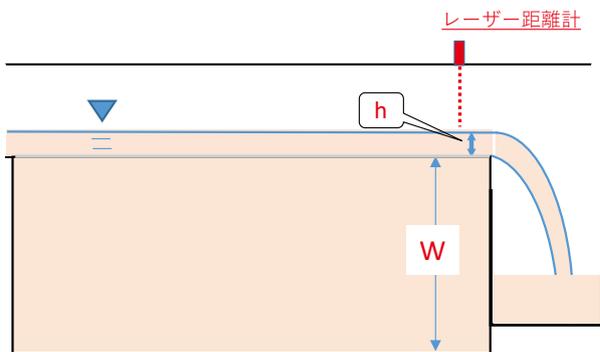


図 4 レーザー距離計による測定状況

$$Q = C \times B \times h^{\frac{3}{2}}$$

※  $W = 7.6 \text{ m} > 1 \text{ m}$  のため、

$$C = 1.785 + \left( \frac{0.00295}{h} + 0.237 \times \frac{h}{W} \right) \times (0.55W + 0.45)$$



$Q$  : 越流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$C$  : 流量係数 ( $\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{S}$ )

$B$  : 堰の幅 (m)

$h$  : 越流水深 (m)

$W$  : 水路底部から堰線までの高さ (m)

図 5 反応タンクの水量測定方法

なお、エアレーションによる泡が計測の妨げとなるため、毎日 1 槽ずつ順番に行われるブローダウンの時間帯に実施した。

## 5. 南系反応タンク再構築工事と送風系統の変遷

### 5.1 反応タンク 10 号と 12 号の運転（南系送風機が 2 系統に分離）

令和 4 年 12 月に反応タンク 10 号と 12 号の再構築工事が完了し、南系の送風機が 2 台新設された。これらは旧系統と散気水深が異なるため、系統間で相互融通ができない。新設された送風機 1 台の能力は  $4,000 \sim 11,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  であり、供給先は反応タンク 10 号と 12 号の 2 槽であるため、1 槽あたりの最低風量は  $2,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  となる（再構築工事が完了した北系の 1 槽あたりの最低風量は  $1,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ）。通常の処理水量では低負荷時に過剰な送風となり、りん除去と脱窒に悪影響を及ぼすため、処理可能な最大水量での運転を行うことで 10 号と 12 号への過剰な送風を抑制した（放流水質優先運転）。ただし、雨天時には DO の上昇が著しいため、DO 上昇時には平日の日中に限り現場にて放風量を調節し、過剰な送風の抑制に努めた。

一方、旧系統では10号と12号の稼働により負荷量が低下し、常時、放風が必要な状態となった。工事に伴い、使用していない前ばっ気タンクの放風用のラインが新設されたが、現場にてバルブの開度を調節する必要があり、放風量のこまめな変更は困難である。そのため、旧系統から送風している反応タンクのうち、流入扉と返送汚泥投入扉の両方を閉めることが可能な2号と8号の処理を停止し、流入水を張った状態で放風用として運用した(図6)。放風にはそれぞれの風量制御を使用して必要量を中央監視にて変更できる。

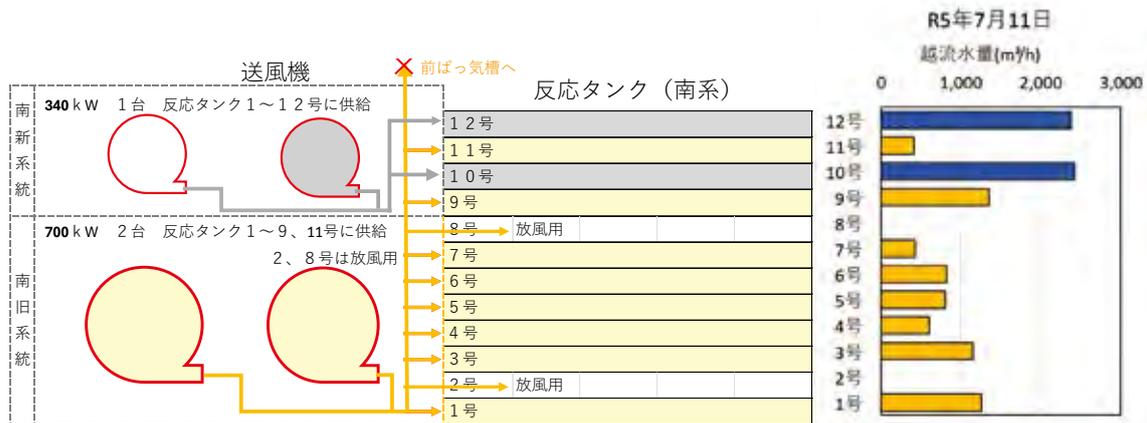


図6 南系反応タンクの模式図と越流水量 (R4年12月～R5年12月)

なお、3号と5号以外の流入扉と返送汚泥投入扉は固着などで水量調整が困難である。

南系の送風機が新旧の2系統に分れたことによってどちらの系統でも反応タンクの要求空気量が減少して送風機の能力が過大となり送風機電力は増大した(新系統 5,000 kWh/日増、旧系統 1,000 kWh/日減で 4,000 kWh/日程度: 図7)。このときの旧系統と新系統のそれぞれの反応タンク合計の越流量の比は 59:41 であった。



図7 センター全体の送風機電力

## 5.2 反応タンク8号と9号の停止

令和5年12月に反応タンク8号と9号の再構築工事の開始によって、旧系統で運用していた9号と放風用の8号の停止に伴い、9号で処理していた下水を他の反応タンクに振り分ける必要があった。しかし、高負荷時には風量が不足するタンクがみられたので、10号、12号を含めて、南系反応タンク全体で9号の分を分配させた。

新系統側は負荷量増大に対応するため、送風圧力を64 → 67 kPaに上げるとともに、10号と12号への風量の最大値を上げた。一方、旧系統側は流入扉開度の微調節で対応した。9号で処理していた分の一部を10と12号に振ったため、旧系統の負荷量が少し低下して放風量がさらに増大した。8号停止に伴う放風先の減少については、2号に加えて、未使用の前ばっ気タンクを使用(放風量約 4,000 Nm<sup>3</sup>/h で固定)することで必要な放風量を確保した。

このとき、旧系統と新系統のそれぞれの反応タンク合計の越流量の比は 56 : 44 であった。(図 8)。



図 8 南系反応タンクの模式図と越流量 (R5 年 12 月～R6 年 9 月)

### 5.3 反応タンク 8 号、9 号運転再開 (令和 6 年 9 月)

令和 6 年 9 月に反応タンク 8 号と 9 号の再構築工事が完了し、新系統では 8～10、12 号への送風となった。新系統では負荷量の増加に伴い放風が不要となった一方、旧系統では 8 号と 9 号の通水によって、負荷量はさらに低下して放風量がさらに増大した。このとき、旧系統と新系統のそれぞれの反応タンク合計の越流量の比は 36:64 であった (図 9)。

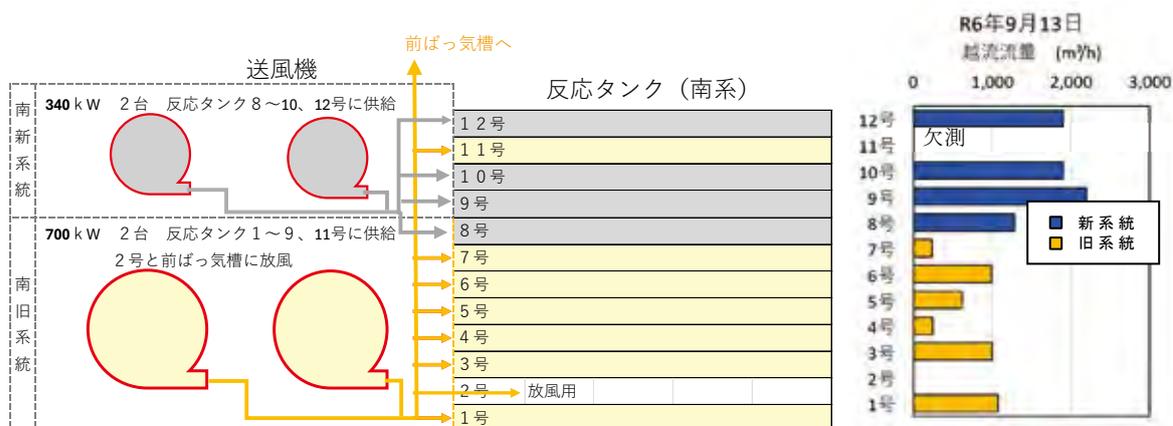


図 9 南系反応タンクの模式図と越流量 (R6 年 9 月)

### 6. 南系旧系統の送風機 1 台停止 (省エネ優先運転)

旧系統側の処理水量の割合が 1/3 程度まで低下し放風量がさらに増加したため、700 kWh の送風機 1 台を停止して常時 700 kWh の送風機 1 台での運転が可能か検討した。

令和 6 年 8 月から 9 月上旬までの 1、3～7 および 11 号の合計の風量の推移を図 10 に示す。8、9 号への通水を開始した 8 月 26 日以降、要求する風量が減少した。

旧系統における空気要求量を減らすには、反応タンクの停止が効果的である。しかし、5.1 で記載の通り、南系では返送汚泥投入扉の多くが固着しており、反応タンクの停止が難しい。

一方、旧系統の反応タンクでは負荷を抑えるため流入扉の開度を絞った結果、新系統と比較して水量負荷の変動が小さく、MLSS 濃度 (図 11) や空気量がほぼ一定の状態となっ

た。

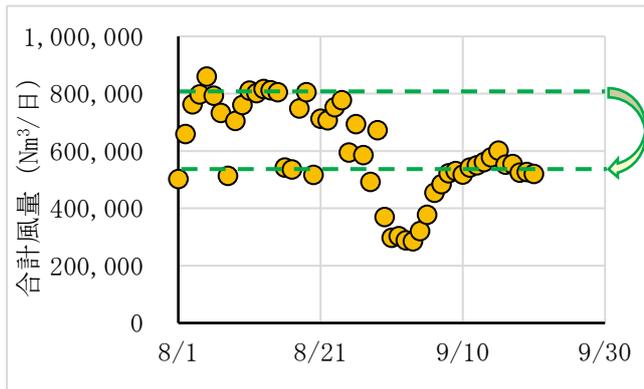


図 10 1、3～7、11号の合計風量の推移

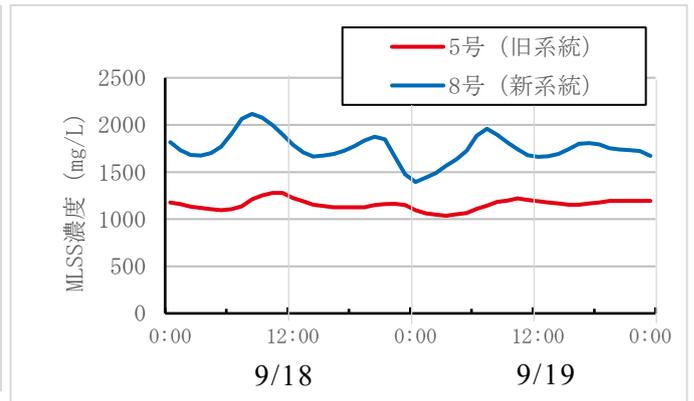


図 11 MLSS 濃度の時間変動

旧システムの 700 kWh の送風機 1 台の供給可能風量は 24,000 Nm<sup>3</sup>/h 程度であることから、常時 1 台運転とするために、9 月以降の晴天日における風量の実績から 24,000 Nm<sup>3</sup>/h を各槽に割り振った（表 1）。この値を各槽の最大風量の設定値とし、それ以上の空気を要求しないよう設定したうえで、700 kWh の送風機を 1 台停止した。以降、南系の旧システムについては、処理状況を確認しながら、各反応タンクの流入扉の開度を微調節することとし、調節した結果、旧システムと新システムのそれぞれの反応タンク合計の越流量の比は 34:66 となった（図 12）。

なお、返送汚泥投入扉が固着している 4、6、7、11 号では NH<sub>4</sub>-N が高めであるが、水量が比較的少ないため総合放流水への影響は小さい。

表 1 旧システムの反応タンクにおける風量の最大値と最小

	9月9日		9月10日		9月11日		9月12日		平均		上限 設定値
	最大	最小									
1号	4,850	3,000	4,700	2,850	4,700	2,600	4,900	3,000	4,788	2,863	4,000
3号	4,700	2,400	4,050	2,300	3,850	2,300	4,250	2,350	4,213	2,338	4,000
4号	3,400	3,150	3,350	2,550	3,400	2,400	3,450	3,050	3,400	2,788	3,000
5号	3,850	3,000	3,650	3,050	3,900	3,050	4,200	2,900	3,900	3,000	4,000
6号	3,000	2,450	2,800	2,350	3,050	2,350	3,500	2,350	3,088	2,375	3,000
7号	3,900	3,550	3,750	3,450	3,950	3,550	4,050	3,650	3,913	3,550	4,000
11号	2,600	1,550	2,100	2,000	2,500	1,950	2,350	2,000	2,388	1,875	2,000
合計	26,300	19,100	24,400	18,550	25,350	18,200	26,700	19,300	25,688	18,788	24,000

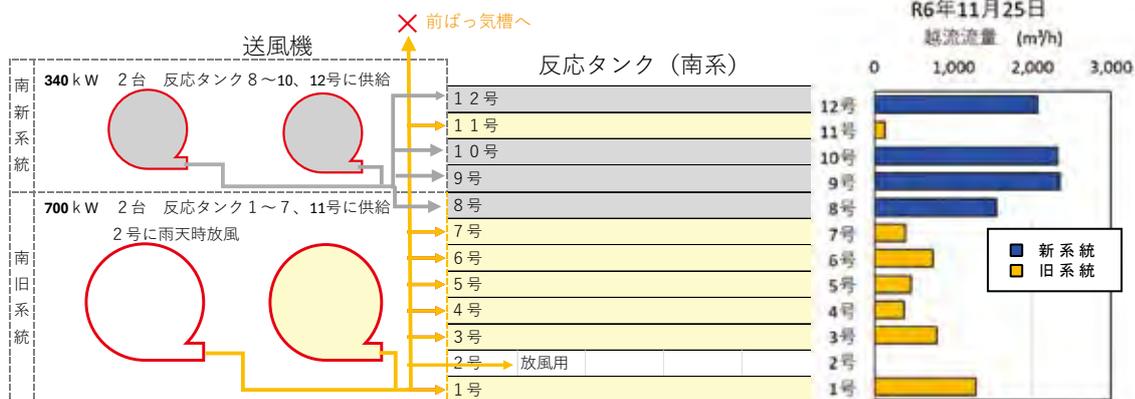


図 12 南系反応タンクの模式図と越流量（R6 年 9 月～）

## 7. 北系反応タンクでの取組（省エネ対策）

令和6年8月にはそれまで手動によって切り替えていた北系送風機の運転台数を自動化した。自動化により、送風機の運転の幅が縮小されることから、省エネ化を目的に送風機の台数制御の最適な設定値を検討した。

空気本管の圧力で台数制御している施設もあるが、北系では送風機の吸込み風量の合計によって制御される。夏季の設定例を表2に示す。例えば、送風機1～5号で吸込み風量の合計が9,600 Nm<sup>3</sup>/hを超えると3台目が起動し、逆に8,600 Nm<sup>3</sup>/hを下回ると1台停止して2台運転となる。

空気（気体）は、温度によって膨張・収縮するため、送風機の能力は気温の影響を受ける。これを考慮して、気温による個々の送風機の能力を調べた。送風機運転台数の自動化を開始するまでは、反応タンク側の要求風量の増大によって圧力が低下すると1台追加していた。そのため、空气管圧力が設定値よりも下がったときが当該送風機のそのときの最大吸込み風量とみなせる。その時の気温と吸込み風量を記録して両者の相関を送風機ごとに確認した。その例を図13と図14に示す。

表2 北系送風機運転台数の制御パターン（夏季）

	北系1		北系2	
	送風機1～5号		送風機6～10号	
	運転風量 (Nm <sup>3</sup> /h)	停止風量 (Nm <sup>3</sup> /h)	運転風量 (Nm <sup>3</sup> /h)	停止風量 (Nm <sup>3</sup> /h)
2台目	4,800	4,400	8,000	7,500
3台目	9,600	8,600	16,000	12,400
4台目	14,400	12,000	24,000	15,000

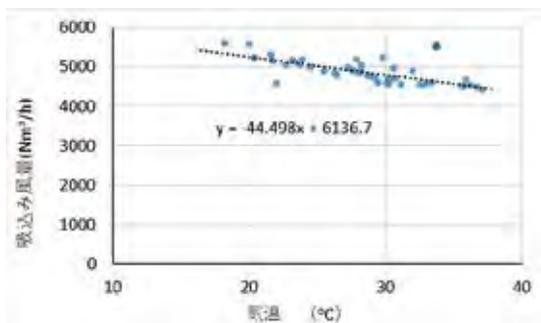


図13 気温と吸込み風量の最大値（4号）

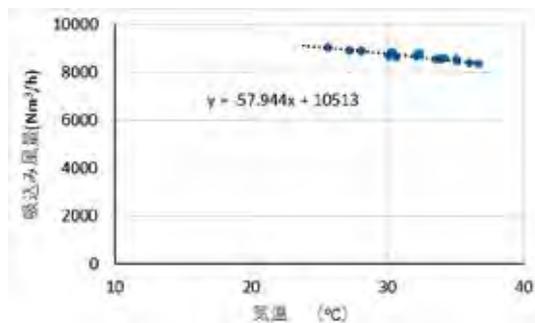


図14 気温と吸込み風量の最大値（9号）

ここで、例として、送風機6～10号における吸込み風量最大値と気温との近似式から算出した気温10～40℃までの吸込み風量の最大値を表3に示す。

5台の送風機の起動と停止の順番は、サイクルで行われるので時々で変わるので、これを考慮して吸込み風量が最も少ない号機の組み合わせを下の3列に示した。具体的には、『2台目』起動の欄は

表3 送風機別吸込み風量の最大値の気温および運転台数追加最小値（6～10号）（Nm<sup>3</sup>/h）

	気温（℃）						
	10	15	20	25	30	35	40
6号	9,189	8,887	8,586	8,284	7,982	7,680	7,379
7号	9,335	9,050	8,764	8,479	8,193	7,907	7,622
8号	9,370	9,070	8,771	8,472	8,173	7,874	7,575
9号	9,934	9,644	9,354	9,064	8,775	8,485	8,195
10号	9,849	9,485	9,122	8,758	8,394	8,031	7,667
2台目	9,189	8,887	8,586	8,284	7,982	7,680	7,379
3台目	18,524	17,937	17,350	16,756	16,155	15,554	14,954
4台目	27,894	27,008	26,121	25,235	24,348	23,462	22,575
		低温期		中温期		高温期	

最も吸込み風量の少ない6号の値を、『3台目』起動は次に少ない7号または8号との合計量を、『4台目』起動は3番目に小さい8号を加えた6～8号の合計を示している。これらの値が各気温で制御可能な最大値と設定した。

つづいて、1年間の午前10時の気温の変動を図15にて確認する。また、午前10時の気温で、低温期、中温期、高温期に分けると表4になる。

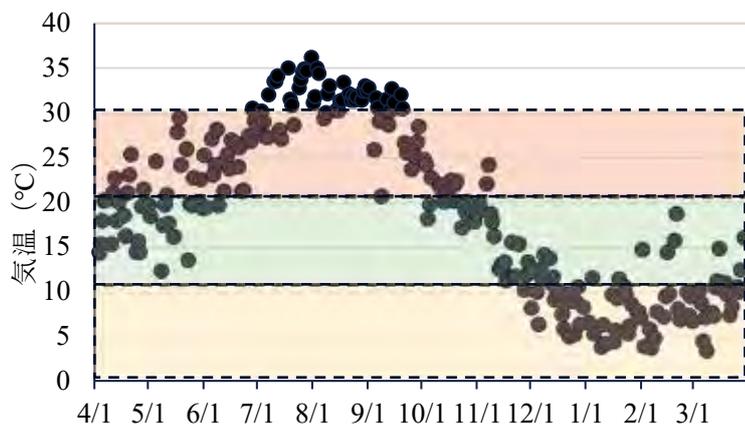


図15 気温の推移（午前10時：令和5年度）

表4 各温度帯に相当する期間

高温期 (25°C～)	6～9月
中温期 (15～25°C)	4～5月 10～11月
低温期 (～15°C)	12～翌3月

なお、送風機ごとの気温に対する最小風量については、トレンドデータからは圧力の上昇が明確に読み取れないことからデータ収集ができなかった。過去のデータ（R4年11月25日）では送風機1号の吸込み風量の範囲が6,400～3,500 Nm<sup>3</sup>/h、送風機8号（R4年11月22日）で、9,300～3,700 Nm<sup>3</sup>/hが記録されており、最小の風量は、送風機1～5号で吸込み量の最大値の55%、送風機6～10号で40%であった。これらを考慮して、停止風量の値を定める。このとき、停止風量の設定が大きくなるほど省エネ効果が高くなるが、送風機の起動・停止の頻度が多くなる。

それぞれの期間で気温の変化を考慮して『運転風量』、『停止風量』を切り替えることで、送風機の最適な運転台数に切り替えることができる。設定値の例を表5に示す。

以上の取組によって、送風機の運転台数を最適化することが可能となった。3章で記載の通り、送風機電力の削減が可能となり、省エネ効果を高めることが期待できる。

<注意>

各系統で反応タンク6槽分の風量を賄っている。反応タンクの最低風量の設定値はすべて、1,000 Nm<sup>3</sup>/hであるため、各系統6槽運

表5 季節ごとの送風機運転台数設定値の例

(×1,000Nm<sup>3</sup>/h)

1～5号

	高温期 (25°C～) 6～9月		中温期 (15～25°C) 4～5月、10～11月		低温期 (～15°C) 12～翌3月	
	運転風量	停止風量	運転風量	停止風量	運転風量	停止風量
2台目	4.5	2.9	4.9	3.2	5.2	3.4
3台目	9.3	<b>6.2</b>	10.0	6.5	10.6	6.9
4台目	13.9	9.0	15.0	9.8	16.1	10.4

□：13～18号反応槽が2槽以上停止しているときに作動

6～10号

	高温期 (25°C～) 6～9月		中温期 (15～25°C) 4～5月、10～11月		低温期 (～15°C) 12～翌3月	
	運転風量	停止風量	運転風量	停止風量	運転風量	停止風量
2台目	7.5	<b>7.0</b>	8.0	<b>7.0</b>	8.6	<b>7.5</b>
3台目	15.3	10.1	16.5	10.8	17.6	11.6
4台目	23.1	15.2	25.0	16.4	26.8	17.5

赤字：雨天時対応のため高めに設定

転中は要求風量の最低値は 6,000 Nm<sup>3</sup>/h を下回らないことになる。このため、赤字部分は雨天時に送風機の運転台数が最小となるよう高めに設定している。

なお、1～5 号の □ 部分は反応タンクの工事で 2 槽以上の停止を想定して設定している。また、1 日のうちで 5～10℃程度気温の変化があることを考慮しても概ねこの区分で支障ないと思われる。

## 8. これまでの取組の評価

### 8.1 送風機電力

今回の取組で南系旧系統の 700 kWh の送風機 1 台を停止したことにより、雨天時以外は反応タンク 2 号や前ばっ気タンクの放風が不要となった。送風機を停止した9月中旬以降、センター全体の送風機電力は、降雨の影響がみられない日には 1 日当たり 9,000 kWh 程度減少（旧系統 14,000 kWh/日減、新系統 5,000 kWh/日増）し、全体の約 15% 削減となった（図 16）。



図 16 センター全体の送風機電力（R6.4.1～R6.11.30）

### 8.2 放流水質

負荷の高い新系統（8～10・12 号）では、他の槽に比べて NO<sub>3</sub>-N が高めである。これは、ばっ気空気量が多く脱窒ゾーンが小さくなっているためと考えられる。また、旧系統の一部のタンクでは、高負荷時に NH<sub>4</sub>-N や PO<sub>4</sub>-P の残留が著しくなることがあるが、処理水に占める割合が小さいため放流水への影響は小さく、旧系統の送風機を 1 台運転としてから、これまでと同様に、日常試験および通日試験での放流水 NH<sub>4</sub>-N と PO<sub>4</sub>-P は概ね 2 mg/L 以下で推移しており、放流水質には影響はみられない（図 17、図 18）。

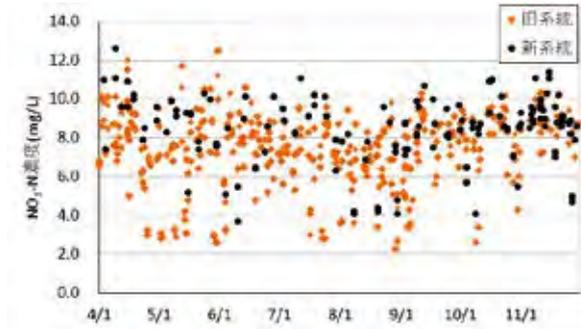


図 17 反応タンク出口の NO<sub>3</sub>-N 濃度

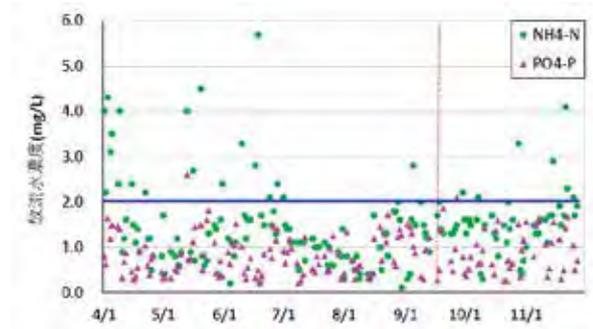


図 18 R6 年度の NH<sub>4</sub>-N と PO<sub>4</sub>-P

## 9. まとめと今後の予定

反応タンクの再構築工事の進捗と送風機の効率性を考慮して送風機電力の削減を試みた。様々な制約を踏まえたうえでの取組であったが、各反応タンクへの負荷量を調節した結果、送風機電力を 15% 程度削減することができた。

今後も順次南系反応タンクの再構築工事が計画されている。ただし、以降の反応タンクの再構築工事の前に流入扉の更新が予定されており、新系統の反応タンクを順次停止する必要があるため、その際には、旧系統の送風機の追加運転が必要となる見込みである。

引き続き工事の進捗と送風機の効率性を考慮しながら各反応タンクへの負荷量を調節することで、良好な放流水質の維持と送風機電力の削減との両立を図っていく予定である。

## 2-1-4 下水試験方法の混合特性試験を用いた反応槽の逆流の定量化と脱窒調査への応用

西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 水質管理担当 小林 克巳  
坂元 忠明  
江原 和宏

### 1 はじめに

反応槽の処理効率と密接な関係性がある混合特性を把握することは、水処理に影響を及ぼす短絡流など偏流の大きさの評価につながることから、水処理状況を詳細に把握する方法となる。

これらの解析には、混合特性を近似・単純化したモデルが用いられており、下水試験方法では「反応タンク混合特性試験」<sup>2)</sup> (以下「混合特性試験」という。) において「槽列モデル」が採用されている (図1)。さらに、「槽列モデル」の発展形である「逆混合モデル」により、短絡流の解析に留まらず周囲との置換性が低い水域である滞留域の解析が可能となった<sup>4)</sup>。

窒素処理に関しては、反応槽内で逆流の事象が脱窒反応に寄与することについて、これらの混合特性を壁がある反応槽でも簡単に算出できる解析モデル (以下「本モデル」という。) を作成した<sup>1)</sup>。

ただし、これらの逆流と脱窒反応を関連付けした解析手法は、水質管理分野ではまだなじみが少ないため、今後、これらのモデルを広く活用していく上では、現場での活用が容易となる新たな手法の考案が必要であると考えられた。

そこで身近に使用されている下水試験方法をベースに、逆流の定量化により脱窒の大きさを評価する手法を検討するとともに、その判断を容易にする「逆流指標」を考案した。

本報告では、逆流と脱窒反応の定量化に関するこれまでの取組について報告する。

### 2 本モデルの特徴

混合特性を解析する従来の方法は、槽列モデルを用いて「等容積の混合槽を直列に結合させて全体の反応槽の混合特性に近似させる」などの手段により論理式で算出する方法であるが、今回の調査で使用した本モデルでは、エクセル (Excel) とその四則演算だけで構成されていることが大きな特長である。これにより、簡単なマニュアルを用いることで、PC 端末上でモデルを容易に作成、計算することが可能となる。さらに、本モデルはこれまでの過年度調査<sup>3)</sup> で構築した visual basic を使用したモデルと同程度の試算結果が得られる精度である<sup>4)</sup>。水質管理分野では今までは簡単に表現できなかった反応槽の上下流方向の流れを本モデルでは再現できるため、用途が広いことも特長の一つである。

なお、本モデルの考え方の基礎事項を文末の補足資料に示したので参照されたい。

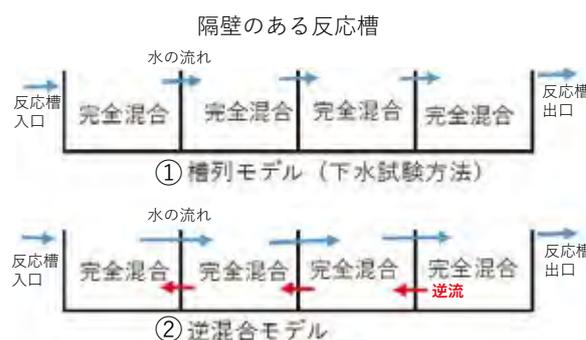


図1 隔壁のある反応槽の混合モデルと水の流れ (概念図)

### 3 従来の解析モデルと本モデルの精度

#### 3.1 過年度調査の結果

過年度の委託調査<sup>3)</sup>において、水再生センターで反応槽入口にトレーサーを加え各回路のトレーサー濃度実測値とこの実験をシミュレーションした逆混合モデルの演算値を比較、整合性検証を行い、実測値の近似度が最も高いモデルを逆混合の解析用に選定した。この実測データと本モデルによる演算値も同様に比較し、整合性検証を実施した。

#### 3.2 過年度調査結果と本モデルとの結果比較

過年度調査では、実測値は「各測定点トレーサー濃度/槽平均トレーサー濃度」(Ci) を用い、演算値(Xi) と同じ無次元にして用いた。整合性の指標は最小二乗法と同じ考え方の偏差平方和  $\sum (Ci - Xi)^2/n$  を用い、この値が小さいほどモデルと実測値の近似度が高いことになる。このことから、過年度調査で最小値となった偏差平方和と同条件を本モデルにおける演算に使用した。

その結果、ABCD 回路出口 4 測定点、各出口測定数合計 n=72 (ABC 回路各 16 回、D 回路 24 回) での偏差平方和は委託調査 0.091、本モデル 0.102 であり、本モデルの実測値近似度は過年度調査の逆混合モデルと同水準であることが確認された。参考のため本モデル演算値と実測値の関係を 2 測定点で示したグラフを図 2 に示す。調査槽は無隔壁槽で上流から出口に向けて測定点の呼称が ABCD となるが、モデル上では 7 区画で上流から出口に向けての演算点の呼称が No1~No7 であり、図 2 の実測 No2 は実機上では A 出口、実測 No7 は D 出口に相当する。

なお、図 2 では 7 区画モデルが使用されたが、今回の解析では隔壁と区画を重ねるため 8 区画モデルを使用した。

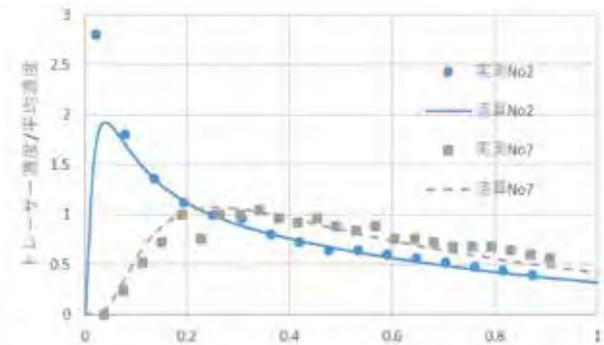


図 2 本モデルでの演算値と実測値<sup>1)</sup>

### 4 本調査の検討内容

#### 4.1 本調査における反応槽のモデル上の設定

本モデル上の反応槽の流れ方は、無隔壁と隔壁 3 枚 (4 区画の蛇行流と同じ) の 2 種類 (図 3) とし、さらに、演算では表 1 に示すように隔壁内での混合性の度合いも変えた (隔壁内混合性 n<sup>1)</sup> と隔壁の効果 q<sup>1)</sup> の条件の組み合わせを変更) 計 7 種類について設定した。

なお、解析で使用した反応槽の逆流に関する指標については「4.2 下水試験方法混合特性試験の N」で述べる。

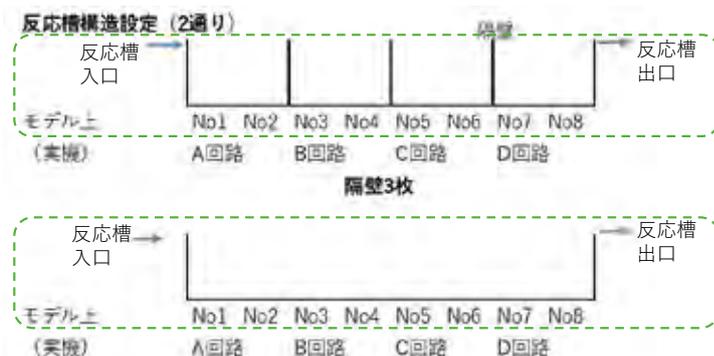


図 3 本モデルで使用した 2 種類の反応槽構造 (隔壁の有・無)

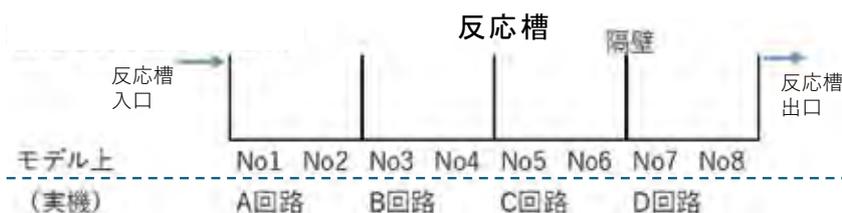
表 1 演算に使用した 7 種類の設定条件

反応槽構造	モデル流れ方設定値		
	混合性	隔壁内混合性 n	隔壁の効果 q
無隔壁	↑ 高混合 ↓ 低混合	1.02	1
		1.1	1
		1.5	1
		2	1
隔壁3枚	↑ 高混合 ↓ 低混合	1.02	0.02
		1.1	0.02
		1.5	0.02

## 4.2 下水試験方法混合特性試験のN

混合の程度を示すNを測定する実験手法（補足資料参照）を本モデル上でも表現し、Nを演算により求めた（図4 ①の下水試験方法混合特性試験）。反応槽は上流から下流への通常の流下方向以外にその途中で短絡流があり、短絡流が多いと  $t_{max}$  は短時間で検出される。上流から下流への短絡流があれば水量収支から下流から上流への逆流が存在することになるため（図5）、短絡流が多いほど逆流が多くなることが分かる。この結果、短絡流の大きさを示すNと逆流とは関連性があることになる。

【反応槽概略図】モデル上の番号と各回路の位置関係



### ① 下水試験方法混合特性試験

トレーサー投入量	1	0	0	0	0	0	0	0
測定地点								No8
測定内容	トレーサー投入後に測定地点でピークになるまでの時間( $t_{max}$ )からNを求める							
組み合わせ	単一							

### ② 今回の手法（逆流指標）

トレーサー投入量	0	0	0	0	0	0	0	1	略称
	0	0	0	0	1	1	2	2	No8
測定地点	No1	No2							A回路
	No1	No2	No3	No4					AB回路
測定内容	各測定点トレーサー合計の最大値÷投入トレーサー量								
組み合わせ	2×2=4通り								

図4 モデル上の各種設定

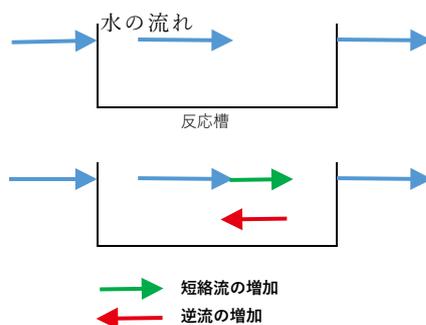


図5 短絡流と逆流のイメージ

### 4.3 逆流指標

#### 4.3.1 逆流指標の定義

反応槽の下流側にトレーサーを加え上流側で測定するとトレーサーの遡上による反応槽の逆流が観察できる<sup>4)</sup>。そこで硝化ゾーンにある硝酸が脱窒ゾーンに逆流する割合は逆流状況を反映すると考えた。本モデル上で硝化ゾーンにトレーサーを投入し、脱窒ゾーンに逆流したトレーサー量/投入トレーサー量を細分した時間ごとに演算した。

演算結果の最大値は逆流状況を反映すると考え、これを「逆流指標」と定義した。具体例を次で示す。演算はエクセル上の四則演算だけで構成され単純である<sup>1)</sup>。

#### 4.3.2 逆流指標の設定

実機水質測定から脱窒ゾーンは8区画ある本モデルのNo1~4とみなし、No1,2(以下A回路)又はNo1~4(以下AB回路)と演算上設定した。硝化に伴う硝酸生成をトレーサー投入で置き換えてみた。硝化ゾーンも水質測定からNo5~8とみなし、No5~8又はNo8で演算上設定し、No5~8でのトレーサー投入比は実機硝化を想定しNo5~8を1:1:2:2で設定した。硝化と脱窒どちらにもあたらない区画はセンターにより硝化脱窒ゾーンが異なる場合への対応を想定した。あらましを図4に示す。緑の網掛けはトレーサー投入部のイメージで青の網掛けはトレーサー測定部である。

## 5 結果と考察

### 5.1 Nと逆流指標の関係

#### 5.1.1 反応槽のモデル上の設定

本モデル上の反応槽の流れ方は、「4.1 本調査における反応槽のモデル上の設定」で説明したように無隔壁と隔壁3枚(4区画の蛇行流と同じ)の2種類(図3)とし、さらに、隔壁内での混合性の度合いも変えた計7種類について設定し、演算を行った。

表2 流れ方及びトレーサー条件とN, 逆流指標の関係

反応槽構造	モデル流れ方設定値			N	逆流指標				
	混合性	隔壁内混合性n	隔壁の効果q	No1	No8		No5~No8		
				No8	AB	A	AB	A	
無隔壁	高混合 ↑	1.02	1	1.08	0.43	0.21	0.44	0.22	
		1.1	1	1.31	0.27	0.12	0.31	0.14	
	低混合	1.5	1	2.12	0.06	0.02	0.10	0.03	
		2	1	2.85	0.02	0.00	0.05	0.01	
隔壁3枚	高混合 ↑	1.02	0.02	1.98	0.08	0.03	0.11	0.03	
		1.1	0.02	3.15	0.01	0.00	0.02	0.00	
	低混合	1.5	0.02	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	

下水試験方法の槽列モデル N=4の近似(参考)

1.02	0	4.02
------	---	------

緑網掛け: トレーサー投入地点

青網掛け: トレーサー測定地点

### 5.1.2 演算結果

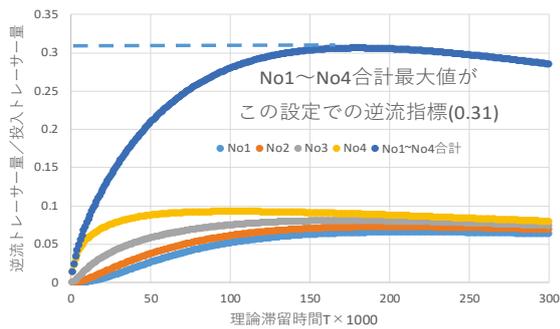


図6 逆流指標演算例

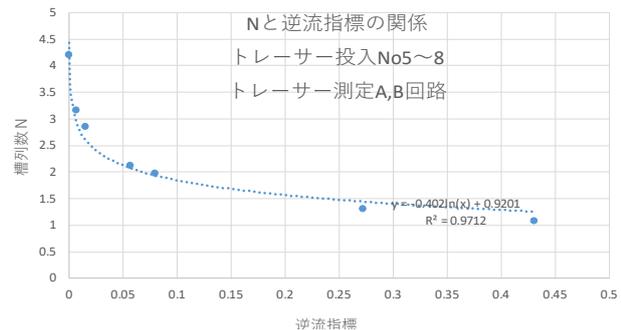


図7 Nと逆流指標の関係

表1の設定で演算し  $t_{max}$  から求めた  $N$  と「逆流指標」の関係を表2 ( $n, q$  については参考文献<sup>1)</sup> 参照) にまとめた。一例として表2の黄色の網掛け部分の「逆流指標」の演算を図6に示す。表2からNo5~8、No8の投入パターンに依らず、A、AB回路で結果が二分されることがわかる。例えば、トレーサー測定AB回路で比較するとトレーサー投入No8とNo5~8によらず「逆流指標」はほぼ同じである。このように「逆流指標」は硝化ゾーン設定によらず脱窒ゾーンA、AB回路設定で決まる傾向が分かった。実機の硝化ゾーンに近いと思われるNo5~8トレーサー投入型で  $N$  と「逆流指標」の関係を示す(図7)。隔壁の有無によらず関係式上に乗り、寄与率も高いことから、 $N = -0.402 \ln(\text{逆流指標}) + 0.9201$  の相関式の精度は高い。相関式は各種試行したが対数相関が最大寄与率であり、対数の性質は  $N$  無限大で逆流がない状況にも整合する。以上から下水試験方法混合特性試験  $N$  からは直接読めなかった逆流情報が、今回の手法により定量化が可能となったと考えられる。実機の硝化や脱窒域に近いと思われる図7の相関式を、 $N$  から求める逆流指標の計算式として今後使用する。

### 5.1.3 Nの特性と逆流の関係

水質管理の水処理に関する式は慣例的に線形又は分数式でほとんど表されるが、 $N$  低下に伴い逆流が急増する特性がこの慣例外となるのが今回の調査で判明した(図7)。このため、線形を前提として  $N$  の評価を行うことは精度の低下を招く恐れがある。なお、逆流に関する事象すべてが「逆流指標」と高相関となるわけではない。例えば理論滞留時間  $T$  より短い時間でのトレーサー濃度も逆流に関連しそうだが、4.1で示した7種類の設定で逆流指標と  $0.3T$  でのトレーサー濃度の関係は図8のように極値がありデータもばらつく。図7のような単調減少型との相違は明確である。

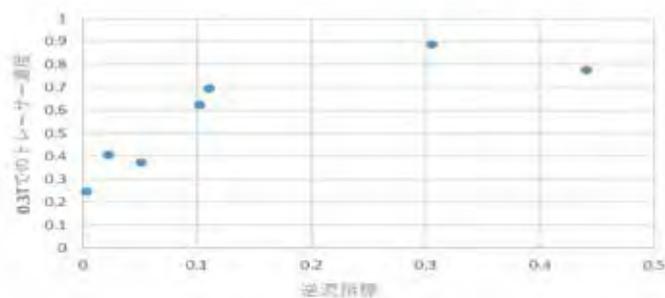


図8 逆流指標の無相関例

表3 調査委託の  $N$  実測値に基づく

調査回	無隔壁(標準法)			3枚(AO法)		
	窒素除去率	$N$	逆流指標	窒素除去率	$N$	逆流指標
第1回,第2回	0.41	1.65	0.16	0.30	3.39	0.00
第3回,第4回	0.51	2.06	0.06	0.32	2.82	0.01
第5回,第6回	0.51	1.76	0.12	0.05	3.00	0.01
平均	0.48	1.82	0.12	0.22	3.07	0.01

※水量不特定や降雨影響がある調査回が含まれる

## 5.2 過年度調査の実測データによる検証

委託調査<sup>3)</sup>での結果（N 実測値）と今回の試算結果（逆流指標）を示す（表 3）。この調査は 8H 毎×3 回コンポ値での評価で、窒素除去率は反応槽出入口窒素濃度により算出した。結果として無隔壁（標準法）での N は低く、「逆流指標」も高かった。一方、隔壁がある A0 法の N は 2.5 を超えており「逆流指標」も低かった。脱窒反応には諸要因が関係するが、表 3 から高逆流と低逆流では窒素除去率に差が認められ、逆流も脱窒反応の大きな要因であることが定量的に示唆された。

なお、低い N では短絡流が多い以外に混合性の低い滞留域が多く存在するとされ<sup>2)</sup> 水処理効率に悪影響を及ぼす可能性があるが、一方で滞留域での反応速度が増加する報告<sup>4)</sup> も出されている。このことを「逆流指標」により説明すると表 4 のようになる。低い N では短絡流が多いものの、図 7 の相関式の通り「逆流指標」は急増する。「逆流指標」が高いときの窒素除去率は比較的高いことが表 3 からわかっているため、まとめると低い N での処理水質は良好といえる。

Nによる考え方			逆流指標及び実測による評価			
N	短絡流	水処理効率	逆流指標	脱窒率	処理水質	滞留域
小	多い	低い	急増	大	良好	多い
大	少ない	高い	0に近い	小	良好	少ない

滞留域は流体力学では「淀み」

表 4 逆流指標と水処理の関係

## 6 まとめ

・本モデルはエクセルの四則演算だけで構成され、簡単なマニュアルによりモデルを容易に作成でき、visual basic によった委託調査モデルに匹敵する精度があることが分かった。水質管理分野ではいままで簡単に表現できなかった反応槽の上下流方向の流れを再現できるため、用途が広い。

・今回の検証により、N から反応槽での逆流の程度を示す「逆流指標」を実験データの相関式で求めることができ、多くのデータ蓄積がある N からの逆流の定量化が可能となった。新規調査をする場合でも N を求める手法は簡明であり、下水試験方法に詳述されている。

$$N = -0.4021 \ln(\text{逆流指標}) + 0.9021 \text{ の関係から}$$

$$\text{逆流指標} = e^{(0.9021 - N) / 0.402}$$

として N から簡単に求められる。

・水質管理の水処理に関する式は慣例的に線形又は分数式でほとんど表されるが、N 低下に伴い逆流が急増する特性がこの慣例外であった。

・新たな高度処理として注目される無隔壁槽だがトレーサー実験のピークが短時間側にあるため測定時間が短く、無隔壁槽でのトレーサー調査とその解析に本手法は向いている。また N2.5 以下では逆流が急増する性質があり、本報告のように過去の N 測定を再利用すれば新たな知見が得られる可能性がある。

・今回はシミュレーション上での条件比較により有用な知見が得られ、シミュレーションの有効性が分かる事例の一つとなった。

## 7 おわりに

以前はNの測定を時おり目にした。しかしNと水質の関係がはっきりせず、徐々に廃れて技術継承の危機が感じられた。今回の解析からNと逆流の関係が分かり、逆流は脱窒反応に関係している可能性があることから、現場職員がNと水質の関連性に目を向ける一石となる。N再評価により技術継承の面でも貢献できれば幸いである。

本モデルの応用例としては、制限曝気区画への下流区画からの逆流調査が考えられる。さらに本モデルは設備系でも適用が可能である。反応槽下流には豊富なD0、硝酸が含まれるが、逆流が少ない場合、このD0等は再利用されることなく流出するため、送風効率が低下する可能性がある。このような調査にも本モデルは応用できると考えられる。

### 参考文献

- 1) 小林克巳ほか編『2-2-4 反応槽の流れ方の簡易な手法による可視化と反応槽混合特性試験の簡易化有効化』東京都下水道局技術調査年報-2022- Vol.46 p.110 (2022)
- 2) 日本下水道協会編『下水試験方法-2012年版-』p.697 (2012)
- 3) 増田七彩 第12回 IWA ビジネスフォーラム (東京都下水道局環境管理課 平成30年度好気槽内脱窒要因調査委託)
- 4) 小林克巳ほか編『2-1-4 改良逆混合モデルを用いた反応槽の滞留域存在予想と滞留による脱窒の高速化について』東京都下水道局技術調査年報-2020- Vol.44 p.87 (2020)

### <補足資料>

混合特性試験から本モデルまで

混合特性試験は過去に多くの測定事例がある。

#### ・混合特性試験にある槽列モデル

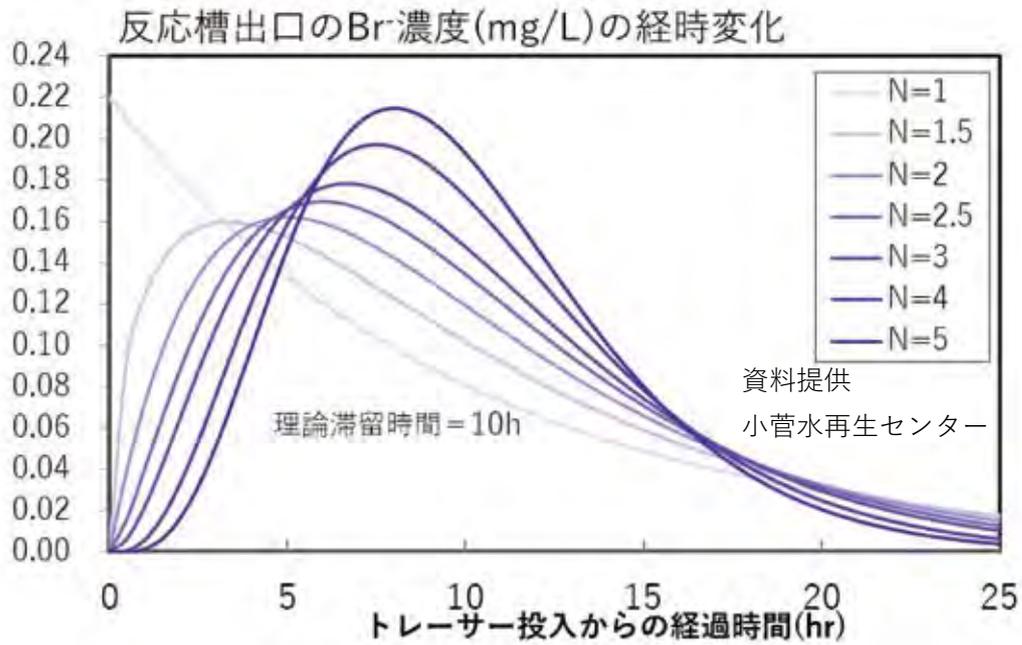
洗濯機を想定した槽(完全混合槽)を考える。槽の連結数(槽列数N)が多いと入口にトレーサーを加えた場合、出口でピークとなる時間は遅く、Nが少ないと出口でピークとなる時間は早い。この考え方を槽列モデルという(参考図1)。

#### ・Nを求める方法と意味

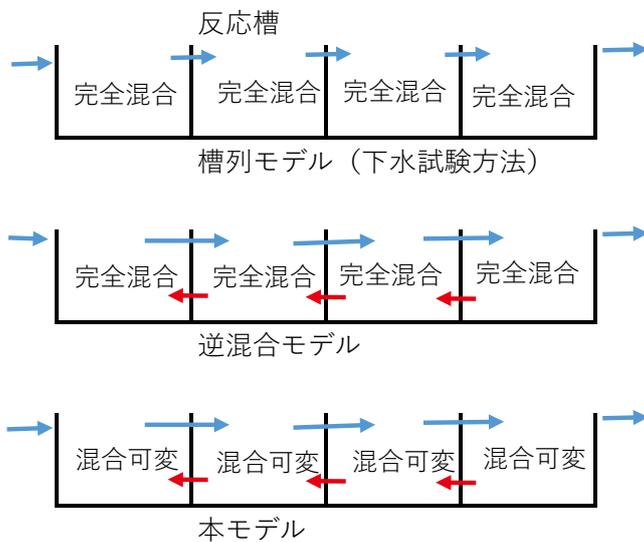
混合特性試験では反応槽入口にトレーサーを加え、出口のトレーサー濃度のピークになる時間( $t_{max}$ )を実測で求める。 $t_{max}$ は反応槽での理論滞留時間Tを用いて $N=T/(T-t_{max})$ に置き替えて使用される。Nは1以上となり、 $t_{max}$ が小さいとNも小さくなる。Nが大きいと短絡流が少ないという判断となる。

#### ・槽列モデル、逆混合モデル、本モデルの関係

3つのモデルの関係を参考図2に示す。槽列モデルに逆流を加えた逆混合モデルがある。この逆混合モデルをベースに隔壁を加えてシミュレーションした本モデルを解析に使用した。参考図2の完全混合は4つ設定した各区画内でN=1である。N=1とは $t_{max}=0$ であり、入口→出口の到達がただちに始まり、すべてが短絡流を意味する。混合可変は区画内のNを可変できるイメージである。今回、本モデルでは隔壁3枚モデルと無隔壁モデルを解析に使用したがモデル上の隔壁枚数設定は簡単に変えることができる。



参考図1 Nとトレーサー流出パターン



	逆流	区画内混合	実機近似
槽列モデル	×	完全混合	低い
逆混合モデル	取り込み	完全混合	↓
本モデル	取り込み	混合可変	高い

参考図2 各モデルの関係

## 2-1-5 芝浦水再生センター東系における

### 窒素除去率向上に関する取り組み

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 横田 智之  
 (現 施設管理部環境管理課)  
 小林 政行、中川 遼太郎、小山 祐樹  
 高橋 由香里、関根 健司  
 (現 施設管理部環境管理課)

#### 1. はじめに

芝浦水再生センター(以下、当センター)は、人口の集中する都心部を処理区に抱えており、区部の水再生センターの中でも窒素流入負荷が高い。コロナ禍による外出自粛等により流入負荷は、一時的に低減したが、コロナ禍の終焉とともに以前の流入負荷へと戻りつつある(図1)。今後、処理区内の都市開発に伴う人口増加により、さらに流入負荷が高まることも想定される。

こうした状況の中、2023年度の冬、当センター東系において放流水最大全窒素濃度が28mg/Lまで上昇した。そこで、窒素除去率の向上を目的として、新たに反応槽流入水を好気槽の中間回路からステップ流入させることを試みた。ステップ流入活用による窒素除去効果と、活用時の最適送風設定値について検証した結果を報告する。

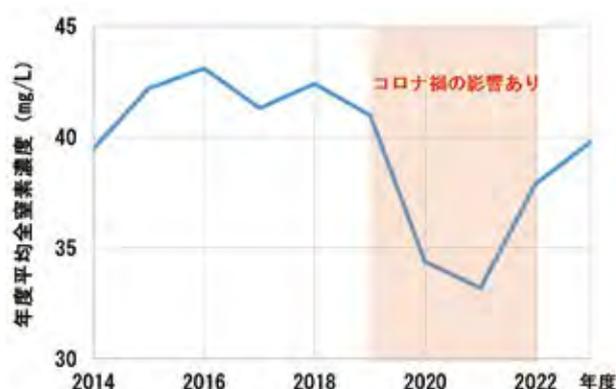


図1 東系反応槽流入水全窒素濃度推移

#### 2. 調査概要

東系反応槽の平面図を図2に示す。処理方式は、好気槽の前半部をNO<sub>3</sub>計、後半部をNH<sub>4</sub>計で風量制御する「擬似嫌気・同時硝化脱窒法」<sup>1)</sup>となっている。この制御により、処理において必要最低限の送風量で運転でき、また、図3に示すように好気部の散気装置下部に

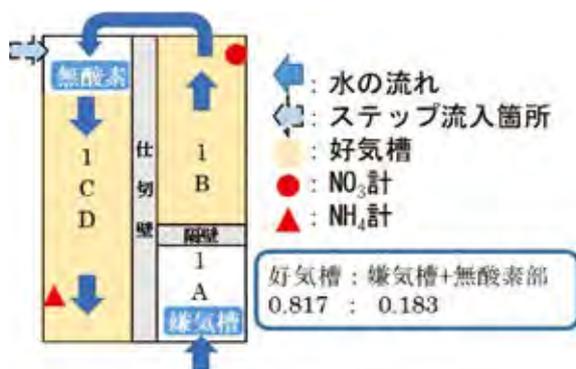


図2 反応槽平面図

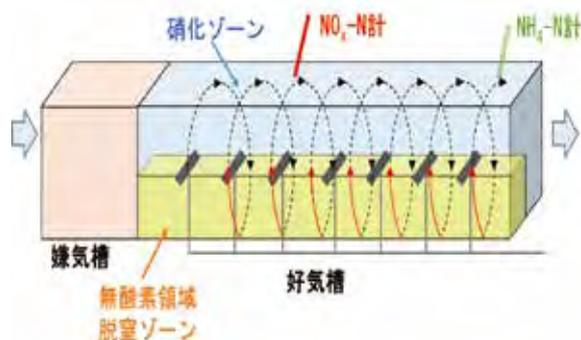


図3 嫌気・同時硝化脱窒法の概要図

無酸素領域を形成することで、好気槽内で脱窒を進めることができる。このことから窒素処理において無酸素槽を必要としない。

本調査は、C 回路のステップ流入扉を利用して行った。ステップ流入の効果を高めるため、ステップ流入させる C 回路流入部の散気装置を 2 箇所分微曝気とし、無酸素領域の形成を促した。

### 3. ステップ流入実施による窒素除去効果

ステップ流入による窒素除去効果を確認するため、低水温期（水温 21℃程度）に、調査槽については、流入水量に対してステップ流入水量を 3 割程度（ステップ流入比 30%）、対象槽については、ステップ流入無しで運用し、処理水質を比較した。

調査期間中の運転条件（晴天日平均値）を表 1 に、反応槽末端における三態窒素濃度合計値の経時変化を図 4 にそれぞれ示す。調査の結果、ステップ流入実施による窒素除去効果は平均で 3.9 mg/L であった。また、ステップ流入実施により送風量の減少が確認でき、特に AB 回路での送風量減少が顕著だった。

表 1 窒素除去効果確認期間中の運転条件  
（水温 21℃程度）

	ステップ 流入有り	ステップ 流入無し
処理水量※ (m <sup>3</sup> /日)	25,200	
AB回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	47,700	73,700
送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	145,700	156,300
送風倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	5.78	6.20
MLSS (mg/L)	1,610	1,620
送風設定値 (mg/L)	同条件	
AB回路 NO <sub>3</sub> / CD回路 NH <sub>4</sub>	6.0 / 2.5	

※流量計が各回路に設置されていないため参考値

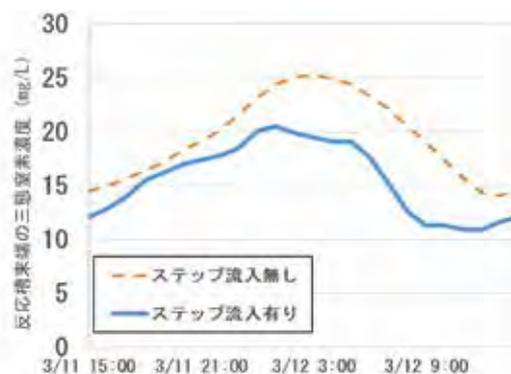


図 4 窒素除去効果確認期間中の窒素濃度比較（水温 21℃程度）

高水温期（水温 27℃程度）についても同様に、ステップ流入による窒素除去効果を比較した。調査期間中の運転条件（晴天日平均値）を表 2 に、反応槽末端における三態窒素濃度合計値の経時変化を図 5 にそれぞれ示す。調査の結果、ステップ流入実施による窒素除去効果は平均で 3.4 mg/L であった。また、ステップ流入実施による送風量の減少も同様に

表 2 窒素除去効果確認期間中の運転条件  
（水温 27℃程度）

	ステップ 流入有り	ステップ 流入無し
処理水量※ (m <sup>3</sup> /日)	25,400	
AB回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	52,800	62,800
送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	140,500	148,400
送風倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	5.54	5.85
MLSS (mg/L)	1,440	1,450
送風設定値 (mg/L)	同条件	
AB回路 NO <sub>3</sub> / CD回路 NH <sub>4</sub>	6.0/2.0	

※流量計が各回路に設置されていないため参考値

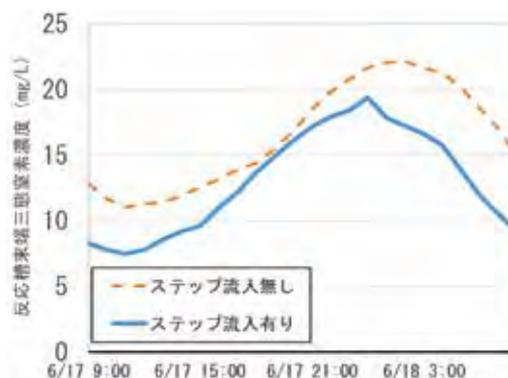


図 5 窒素除去効果確認期間中の窒素濃度比較（水温 27℃程度）

確認できた。

次に、ステップ流入実施による窒素除去効果を詳細に把握するため、ステップ流入部前後を含む流れ方向での脱窒量を算出した（図 6）。ステップ流入比、返送汚泥量、流入水量を基に、流入水、B 回路末端、C 回路流入部付近、D 回路末端で到達時間を考慮して採水し、水質を比較した（表 3）。区間毎の脱窒量は、各地点の三態窒素濃度と処理水量から窒素負荷量（kg/h）を算出し、前後の窒素負荷量の差で算出した（なお、汚泥への窒素の取り込み量も含まれるが同等とみなす）。

ステップ流入部での脱窒量は、ステップ流入比 30%で 5.3 kg/h、ステップ流入無しで 4.4 kg/h であり、ステップ流入実施による差は濃度にして 0.4 mg/L 程度であった。ステップ流入によって無酸素部脱窒の促進が確認できたものの、前述した窒素除去効果 3~4 mg/L 程の差は確認できなかった。このことから、擬似嫌気・同時硝化脱窒法におけるステップ流入実施による窒素除去効果は、ステップ流入部での脱窒の促進と、AB 回路の MLSS 濃度・滞留時間増加による内生脱窒の促進の 2 つが合わさったものであることが示唆された。また、表 3 に示す三態窒素濃度を比較すると、ステップ流入比 30%では B 回路末端での NO<sub>3</sub>-N 濃度（以下、NO<sub>3</sub>濃度という。）は変わらないものの、NH<sub>4</sub>-N 濃度（以下、NH<sub>4</sub>濃度という。）が大幅に低くなっている。ステップ流入が加わった C 回路流入部では NH<sub>4</sub>濃度の差は 1.0 mg/L 程度となっている。このことから、実施で確認された AB 回路送風量の削減（表 1）は、ステップ流入による AB 回路処理水量低下によるものであり、その分 CD 回路での風量増加が少ないのは、AB 回路の MLSS 増加により低風量下で同時硝化脱窒が効率的に起き、ステップ流入後も NH<sub>4</sub>濃度がステップ流入無しと同程度になるまで窒素処理が進んでいたためである。

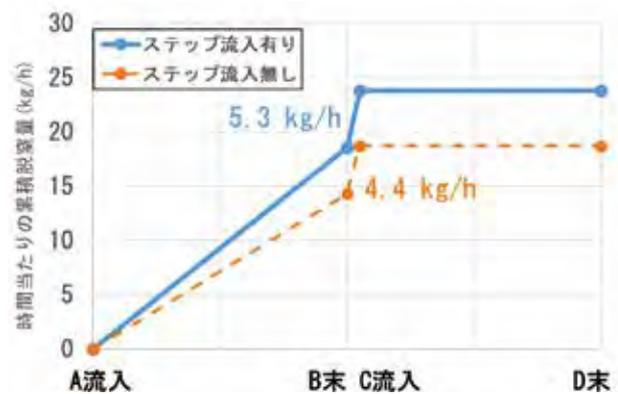


図 6 流れ方向での脱窒量推移の比較

表 3 流れ方向での三態窒素濃度の比較

ステップ流入	有り		無し		有り		無し	
	流入水	B回路末端	C回路流入	D回路末端	流入水	B回路末端	C回路流入	D回路末端
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	28.8	4.2	10.1	7.9	6.7	1.5	0.7	
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.2	
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	0	5.4	5	3	6.5	9.3	12.6	
三態窒素濃度 (mg/L)	28.8	9.9	15.5	11.2	13.5	11.2	13.5	

#### 4. 最適運転条件調査

##### 4.1 最適ステップ比

ステップ流入が窒素除去に効果的であることが分かったため、2024年10月11日~16日の期間でステップ流入比30%と20%について比較調査を行った。結果を図7、表4にそれぞれ示す。窒素除去効果はステップ流入比30%の方が良好であり、ステップ流入比20%との差は平均で1.0 mg/Lであった。送風量を比較すると、ステップ流入比30%の方がAB回路送風量由来の送風量は多かった。ただし、窒素除去量1.0 mg/Lは全体量に対して、平均11%の削減となるのに対し、送風量の増加3,000 m<sup>3</sup>N/日は全体量に対して、平均2%の増加にすぎない。よって、送風量増加は極微量であるといえるため、ステップ流入比30%が最適であると結論付けた。

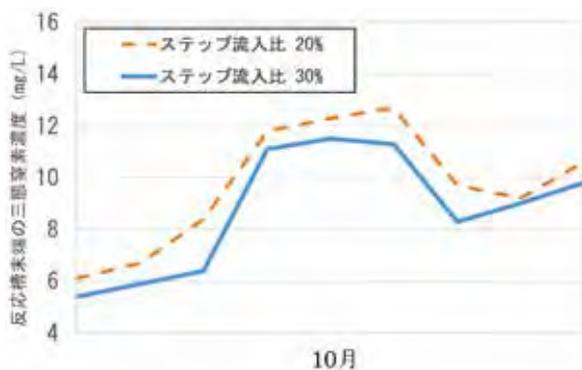


図7 ステップ流入比調査時での三態窒素濃度比較

表4 ステップ流入比調査時の運転条件 (晴天日平均値)

	ステップ流入比30%	ステップ流入比20%
処理水量※ (m <sup>3</sup> /日)	27,800	
AB回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	50,800	46,800
送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	127,700	124,600
送風倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	4.58	4.47
MLSS (mg/L)	1,660	1,710
送風設定値 (mg/L)	同条件	
AB回路 NO <sub>3</sub> / CD回路 NH <sub>4</sub>	6.0 / 2.0	

※流量計が各回路に設置されていないため参考値

#### 4.2 前半回路の最適送風設定値

実施設での流れ方向の脱窒量推移から、ステップ流入による内生脱窒の脱窒量促進が示唆された(図6)。特にAB回路での内生脱窒による寄与が大きいと考えられたため、2024年7月24日～8月6日の期間、ステップ流入比30%におけるAB回路の送風量設定値(NO<sub>3</sub> 3.0 mg/L, 6.0 mg/L, 9.0 mg/L)について調査を行った。結果を図8、表4に示す。

設定値6.0 mg/Lが他設定値と比較して常に三態窒素濃度が低く、調査期間中の送風量日平均値も少ないことから、AB回路の風量設定値はNO<sub>3</sub> 6.0 mg/Lが最適であった。また、設定値6.0 mg/Lに対する設定値3.0, 9.0 mg/Lの三態窒素濃度差は同程度であり、平均して1.2 mg/Lであった。

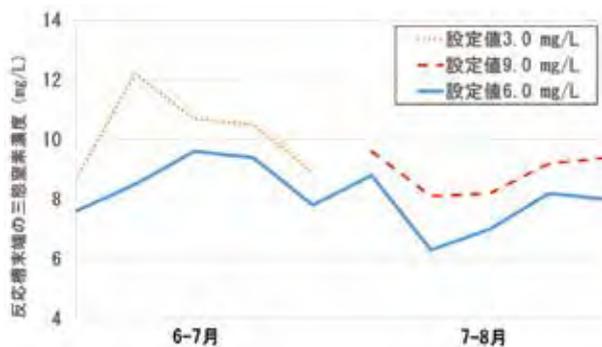


図8 AB回路送風設定値調査時での三態窒素濃度比較

表4 AB回路送風設定値調査時の運転条件 (晴天日平均値)  
(左:NO<sub>3</sub> 3.0, 6.0、右:NO<sub>3</sub> 6.0, 9.0)

	NO <sub>3</sub> 設定値 3.0 mg/L	NO <sub>3</sub> 設定値 6.0 mg/L		NO <sub>3</sub> 設定値 6.0 mg/L	NO <sub>3</sub> 設定値 9.0 mg/L
処理水量※ (m <sup>3</sup> /日)	33,500		処理水量※ (m <sup>3</sup> /日)	30,600	
AB回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	48,500	73,600	AB回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	69,800	80,000
CD回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	132,400	99,500	CD回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	89,800	90,600
送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	180,900	173,100	送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	159,700	170,700
送風倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	5.40	5.16	送風倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	5.22	5.57
MLSS (mg/L)	1,470	1,520	MLSS (mg/L)	1,630	1,580
CD回路 NH <sub>4</sub>	2.0		CD回路 NH <sub>4</sub> -H	2.0	

※流量計が各回路に設置されていないため参考値

#### 4. まとめ

擬似嫌気・同時硝化脱窒法である東系において、ステップ流入による窒素除去効果の検証を行った。

ステップ流入実施により、送風量を低減させながら窒素を平均 3~4 mg/L 除去できた。その効果は、ステップ流入箇所の無酸素部に加え、AB 回路の内生脱窒にまで及ぶことが示唆された。

ステップ流入比は大きい程窒素除去効果が上がるものの、20%以上では窒素除去効果に伴う送風量の増加が確認できた。しかし、窒素除去量と比較すると送風量増加の割合は極微量であるため、ステップ流入比 0-30%の範囲では、ステップ流入比 30%が最適だと結論付けた。AB 回路設定値については、前後半送風量バランスの良かった送風量設定値  $\text{NO}_3$  6.0 mg/L が最適であった。

#### ・参考文献

1) 葛西孝司ら、2015、好気槽内の脱窒を利用した新たな高度処理技術（同時硝化脱窒処理）の開発、日本下水道協会誌、Vol.52、NO.635、p114-122

## 2-1-6 浅川水再生センターにおけるアルミニウム含有鉄剤の

### 注入調査

流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター  
引地 いづみ(現多摩川上流水再生センター) ○河野 里名

#### 1 はじめに

浅川水再生センター（以下、浅川）の焼却炉では、焼却灰中のりんが溶融した物質（以下、りん溶融物）により煙道閉塞が発生し、焼却炉の安定稼働に支障が生じている。

りん溶融物の発生を抑制するため、ポリ硫酸第二鉄（以下、ポリ鉄）を添加しているものの、りん溶融物が原因と考えられる煙道閉塞兆候が度々見られ、りん溶融を完全には防止できていない状況にある。

そこで、2023年9月からポリ鉄に代えて、アルミニウム含有鉄剤（以下、ポリ鉄A1）の添加を開始したところ、焼却炉の不調が改善され、安定運用を継続できたので、その取り組みと調査結果を報告する。

#### 2 浅川焼却炉の特徴と課題

##### 2.1 浅川焼却炉の概要

浅川は日野市の大部分と八王子市の一部の下水を処理する分流式の水再生センターである。浅川では、センター内の水処理で発生した汚泥の処理も行っており、脱水ケーキ発生量は年平均67t/日である。

焼却炉は、ターボ炉の1号炉（定格60t/日）と流動炉の2号炉（定格100t/日）を所有している。1号炉は表1に示す通り、電力使用量や都市ガス消費率は低く、運用コストが抑えられるものの、焼却量が脱水ケーキ発生量を下回り、焼却できない滞留汚泥が発生する。2号炉は運用コストが高いものの、焼却量が多く1号炉運用時の滞留汚泥の処理を進めることができる。そのため、浅川では1号炉と2号炉について概ね2～3か月ごとの交互運転を行っている。

表1 浅川焼却炉の概要

	炉の種類	運用時焼却量 (t/日)	電力使用量 (kWh)	都市ガス消費率 (Nm <sup>3</sup> /t)
1号炉	ターボ炉	60	4,700	7
2号炉	流動炉	70～85	10,300	19

##### 2.2 浅川焼却炉と煙道閉塞

浅川では、焼却炉1号炉・2号炉ともに煙道閉塞が課題となっている。

煙道閉塞は、焼却炉出口から集塵機までの煙道に堆積した焼却灰により、排ガスの流れが滞る現象である。堆積物が煙道を塞いでしまうと焼却炉は緊急停止する。煙道閉塞には、高温の炉内でりん溶融が起これば粘着性のある焼却灰が煙道に固着・堆積する場合（図1）と、密度の大きい焼却灰が空気の流れが遅い箇所では堆積する場合の2形態がある。

浅川焼却炉でのりん溶融による煙道閉塞の兆候には、余裕率（閉塞抑制指標値）が1を下回

ること、灰発生率が低下すること、粒径の大きな珪砂（図2）が排出されることの3点があり、この3つの事象が継続するときにはりん溶融による煙道閉塞が起きている可能性が高い。



図1 浅川1号炉煙道閉塞  
(2021年4月)



図2 粒径が増大した珪砂  
(正常な粒径は0.5 mm)

余裕率とは、焼却灰中のりんとりんの溶融を防止する金属類のモル比率で、以下の式1で表される。余裕率1以上はりんよりも溶融を防止することができる金属量が多く、りん溶融が起りにくいとされている。

$$\text{余裕率} = \left\{ \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{M}(\text{Fe}_2\text{O}_3)} \cdot 2, \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{M}(\text{Al}_2\text{O}_3)} \cdot 2, \frac{\text{CaO}}{\text{M}(\text{CaO})} \cdot \frac{2}{3}, \frac{\text{MgO}}{\text{M}(\text{MgO})} \cdot \frac{2}{3} \right\} / \left\{ \frac{\text{P}_2\text{O}_5}{\text{M}(\text{P}_2\text{O}_5)} \cdot 3 \right\} \quad (\text{式1})$$

### 3 煙道閉塞防止のための添加剤

#### 3.1 添加剤によるりん溶融防止対策

汚泥中のりんの多くは、センター流入下水中の鉄やアルミニウムなどの金属類と結合し、融点の高い化合物を形成することで高温でも安定した状態にある。しかし、分流式のセンターは、鉄等の金属類の流入量が少ないため、汚泥中のりんがナトリウムやカリウムと結合して融点の低い化合物となる割合が高くなり、850℃以上の高温の炉内でりん溶融を起こす。

そこで、浅川では2019年度から分水槽でのポリ鉄添加を開始し、金属量を補うことで融点の低い化合物の生成を抑えている。さらに、焼却炉温度設定の見直し、煙道での堆積を防止するエアブラスターの設置など煙道閉塞防止に向けた対策を講じた結果、煙道閉塞による緊急停止は2022年度以降起きていない。

しかし、煙道閉塞が原因と考えられる焼却炉内の圧力変動や差圧の管理目標値超過は依然として続いており、焼却量の削減や珪砂の交換頻度を高めるなど、緊急停止を回避する対応が必要になっている。

#### 3.2 浅川でのりん溶融防止対策の課題と求められる対策

こうしたこれまでの対策と経験から、未解決の煙道閉塞兆候の原因が1号炉と2号炉では異なり、その解決方法も異なると考えられた。

1号炉では、自然運転等でフリーボード（以下、FB）温度が上がる時に煙道閉塞を起こすことから、高温の焼却炉で生成するりん溶融物が原因と考えられ、より高温で安定な化合物を生成する添加剤への変更が必要と考えられた。

一方、2号炉では、炉出口の煙道に焼却灰が堆積して煙道閉塞傾向になる。これは、ポリ鉄

添加によって焼却灰の密度が大きくなった重い灰が堆積することが原因と考えられる。そのため、添加しても焼却灰の密度が上昇しにくい添加剤が必要と考えられた。

### 3.3 添加剤の選定と調査評価方法

新しい添加剤の選定にあたっては、添加によって焼却灰が高温安定かつ密度が小さくなること、単価がポリ鉄と大きく変わらないこと、入手が容易であることなどを考慮し、条件に最も近い添加剤として「ポリ鉄 A1」を選定した。

ポリ鉄 A1 は鉄とアルミニウムを含む強酸性の液体で、りん溶融を防止する金属のモル数はポリ鉄が 2.0mol/kg、ポリ鉄 A1 は 1.8mol/kg でポリ鉄 A1 低くなっているものの、アルミニウム添加で生成する焼却灰はポリ鉄添加の灰に比べて、高融点で密度が小さいと考えられる。

表 2 添加剤の金属量（検査証明書抜粋）

	成分割合		モル数 (mol/kg)
	全鉄 (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	
ポリ鉄	11.3	-	2.0
ポリ鉄A1	5.7	4.0	1.8

ポリ鉄 A1 添加の有効性を確認するために、ポリ鉄添加時との比較調査を以下の 3 点について行った。また、調査期間の添加剤の種類を表 3 に示す。

- ① 焼却灰の高温安定性と 1 号炉運用状況の変化
- ② 焼却灰の密度軽減効果と 2 号炉運用状況の変化
- ③ 薬剤添加量の違いと薬品費

表 3 添加剤の種類と添加量

2022年度		2023年度											2024年度										
2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月		
ポリ鉄							ポリ鉄A1				ポリ鉄	ポリ鉄A1											

## 4 結果

### 4.1 焼却灰の高温安定性の変化と 1 号炉運用状況

#### 4.1.1 電気炉を用いた溶融状況

ポリ鉄添加とポリ鉄 A1 添加の焼却灰について高温焼却時の性状の変化を調べた。

りん溶融を起こしていない 2 号炉の焼却灰を磁皿に満たし、試験室の電気炉で 10 分加熱して、りん溶融状況を確認した。

試料の採取日は、ポリ鉄添加は 2023 年 7 月 18 日、ポリ鉄 A1 添加は 2024 年 7 月 26 日であり、余裕率はいずれも 1.05 である。電気炉の燃焼温度は 875℃ と 890℃ とした。875℃ は炉内で最も高温である FB 中部の日平均温度、890℃ は 1 号炉を約 2 か月間運用した際の炉内最高温度をそれぞれ想定している。

図 3 に燃焼後の焼却灰の様子を示す。燃焼温度 875℃ の場合は、ポリ鉄添加の試料には多くの塊が見られたが、どれもピンセットでつかむことができないほど柔らかい性状だった。ポリ鉄 A1 添加の試料には、変化が見られず粉末状だった。このことから、炉内温度 875℃ では、ポリ鉄の場合は焼却炉の空気の流れにより塊が崩れる性状であり、ポリ鉄 A1 は性状に変化のない

ことから、どちらもりん溶融を防止できていると考えられた。

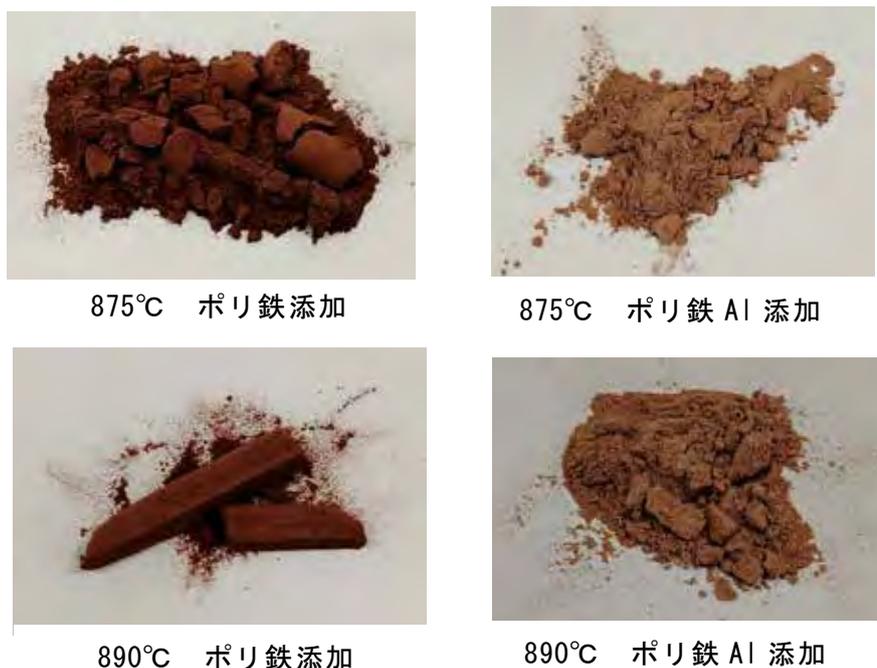


図3 電気炉における焼却灰のりん溶融実験

焼却温度 890°C の場合は、ポリ鉄添加の試料では、容器と同じ形の赤みがある硬い固体になったが、ポリ鉄 Al 添加の試料では、多くは粉末状だった。このことから、焼却炉運転時に何らかの要因で炉内温度が 890°C になった場合、ポリ鉄ではりん溶融が発生するがポリ鉄 Al はりん溶融を起こさず、安定した焼却炉の運用が可能であると考えられた。

#### 4.1.2 1号炉運用状況の変化

焼却炉で煙道閉塞が起きると閉塞箇所の前後で通常とは異なる圧力差が生じる。1号炉は煙道閉塞の早期把握のため、炉出口・流動空気予熱器・ろ過式集塵機の3か所の圧力差を求めて閉塞基準値を設定している（表4）。

1号炉は、自燃運転時に煙道閉塞傾向になることが多い。そこで、ポリ鉄とポリ鉄 Al の自燃運転時の状況を調べた（表5）。

ポリ鉄添加時は、2時間以上の自燃運転だった4回とも3つの判断基準のいずれかが超過していたことから、ポリ鉄添加は自燃運転となると、毎回煙道閉塞傾向になり、運用が不安定になると言える

一方、ポリ鉄 Al 添加では、自燃運転回数は11回あったが、圧力差が判断基準を超過したことはなかった。これは、ポリ鉄 Al 添加の焼却灰が高温でも溶融しないため、自燃運転でも運用が安定していたためと考えられた。

表4 1号炉煙道閉塞判断基準値

表5 自燃運転時の閉塞基準超過

差圧計算式	閉塞基準値
炉出口圧力－予熱器圧力	3 kPa以上
予熱器圧力－集塵機圧力	4 kPa以上
炉出口圧力－集塵機圧力	6 kPa以上

	自燃回数	閉塞基準 超過回数
ポリ鉄	4	4
ポリ鉄A1	11	0

## 4.2 焼却灰の密度軽減効果と2号炉の運用状況

### 4.2.1 2号炉焼却灰の密度測定

浅川2号炉の焼却灰の密度を簡易法（測定容器にふるいを用いて焼却灰を均一に入れて測定）で測定した。

測定試料は余裕率が1.02～1.08の適正範囲内にあるものをそれぞれ10検体とした。ポリ鉄の結果を図4、ポリ鉄A1の結果を図5に示す。

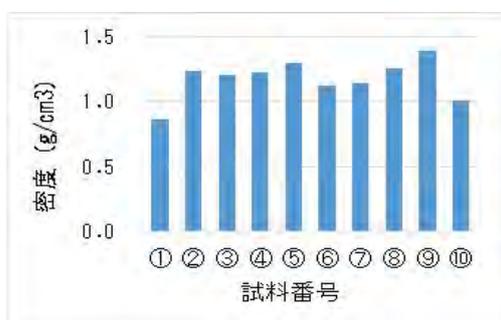


図4 ポリ鉄添加時の焼却灰密度

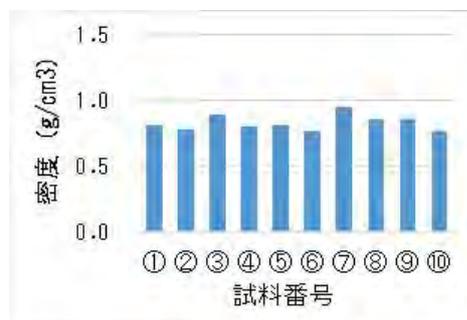


図5 ポリ鉄A1添加時の焼却灰密度

ポリ鉄添加の焼却灰の密度は平均で1.2g/cm<sup>3</sup>、ポリ鉄A1添加の焼却灰は0.8g/cm<sup>3</sup>だった。ポリ鉄A1添加の焼却灰はポリ鉄添加よりも密度が30%小さく、ポリ鉄A1添加の焼却灰は軽く、煙道に堆積しにくいと考えられた。

### 4.2.2 2号炉煙道での焼却灰堆積量の変化

2号炉煙道での焼却灰堆積状況の変化を確認した。

2号炉は焼却灰が堆積する炉出口の煙道部分に窓が設置され、煙道の8～9割ほどを焼却灰が塞ぐと焼却灰の堆積を目視できる構造になっている。ポリ鉄添加時は運用開始後しばらくして堆積が確認され、その後も常に目視可能な状況にあったが、ポリ鉄A1添加時は合計220日間の運用で堆積は一度も確認されていない。

2号炉は、ポリ鉄A1添加に伴う堆積灰の減少によって、焼却炉内圧力の変動が収まり、運用が安定するようになった。

## 4.3 薬剤添加量の違いと薬品費

ポリ鉄添加とポリ鉄 A1 添加について添加量（表 6）と薬品費を比較した。

ポリ鉄は 2023 年 2～8 月、ポリ鉄 A1 は 2024 年 2～8 月のいずれも 7 か月間の添加量の平均値で、この期間の余裕率はいずれも 1.03 だった。

添加量は、ポリ鉄の 2,100kg/日に対して、ポリ鉄 A1 は 2,400kg/日で、ポリ鉄 A1 の添加量が 1 日 300kg（14%）多かった。

年間の薬品費はポリ鉄添加で 2,670 万円/年、ポリ鉄 A1 添加で 3,050 万円/年と試算され、ポリ鉄 A1 添加は年間 380 万円薬品費が増加していた。

表 6 ポリ鉄とポリ鉄 AL の添加

	添加量 (kg/日)	余裕率
ポリ鉄	2,100	1.03
ポリ鉄A1	2,400	1.03

## 5 まとめ

りん溶融防止薬剤をポリ鉄からポリ鉄 A1 に変更したことで、以下のことが確認された。

### ①焼却灰の高温安定性と 1 号炉運用状況の変化

- ・ポリ鉄 A1 添加の焼却灰は 890℃でりん溶融を起こさず、高温での安定性が確認された。
- ・1 号炉はポリ鉄 A1 添加によって自燃運転時も運用が安定し、煙道閉塞傾向が改善した。

### ②焼却灰の密度軽減効果と 2 号炉運用状況の変化

- ・ポリ鉄 A1 添加灰の密度は、ポリ鉄添加灰より 30%小さかった。
- ・ポリ鉄 A1 添加灰は、2 号炉煙道で堆積しにくく、2 号炉は運用が安定した。

### ③薬剤添加量と薬品費

- ・ポリ鉄 A1 の添加量はポリ鉄よりも多く、1 日の使用量は 14%増加した。
- ・ポリ鉄 A1 添加による薬品費は年間 380 万円増加すると試算された。

## 6 今後の方針

- ・1 号炉・2 号炉ともにポリ鉄添加よりもポリ鉄 A1 添加の方が焼却炉を安定的に運用できる結果が得られたため、浅川ではポリ鉄 A1 添加を継続することとする。
- ・ポリ鉄 A1 添加のりん溶融防止効果を活かし、焼却炉の炉内温度を高めて N<sub>2</sub>O 排出量削減の取り組みを進めていく。

## <参考文献>

「アルミニウム含有鉄剤の注入による焼却炉の煙道閉塞防止効果の検証」

流域下水道本部 河内 奨 日鉄鉱業株式会社 長島 悠真、近藤 伸哉、糠谷 禎治  
2021 年度東京都下水道局技術調査年報

## 2-2-1 放線菌発泡スカム対策を目的とした消泡剤の性能比較

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 高橋 由香里  
(現 施設管理部環境管理課)  
横田 智之 (現 施設管理部環境管理課)  
中川 遼太郎、小山 祐樹  
森田 健史 (現 森ヶ崎水再生センター)  
生井 智仁 (現 水道局)

### 1. はじめに

芝浦水再生センターでは、反応槽において放線菌による発泡が例年発生し、過去には発泡スカムが覆蓋を持ち上げて反応槽外に流出したこともあり、維持管理面の課題となっている(図1)。コロナ禍においては流入負荷の減少により一時的に発泡が収束していたが、コロナ禍の終焉に伴って発泡が再発するようになり、改めて対応を迫られた。そこで、反応槽に投入する消泡剤を選定するため、生物由来の発泡に効果があるとされるエーテル系A~D、エステル系E、エーテル+エステル系Fの消泡剤(以下、エーテル系等)と、汎用性が高いとされるシリコン系Gの全7種類の消泡剤を用意し、消泡性能や水処理に及ぼす影響を検証するテーブル試験を行った。さらに、試験結果をもとに選定した消泡剤を実際に反応槽に投入し、その効果を検証した。得られた知見について報告する。



図1 反応槽からあふれた発泡スカム

### 2. 消泡性能試験

消泡性能を定量的に評価するため、当初、消泡剤を添加した活性汚泥の水面上に発泡スカムを追加し、攪拌により消泡剤を拡散させ、消泡されるまでの時間を測定する方法を検討した。しかし、消泡の判断が困難であるとともに、攪拌による物理的消泡の影響を取り除くことができなかった。

そこで、発泡スカムを混合した活性汚泥に消泡剤を添加し、曝気により生成した発泡量で評価する方法を採用した。具体的には、活性汚泥と発泡スカムを一定の比率で混合した試料について、200 mLメスシリンダーに100 mL分取後、消泡剤を添加して1.5 L/分で曝気し、一定の発泡容量(以下、評価基準)に到達するまでの所要時間(以下、抑泡時間)を比較した(図2)。消泡剤の添加率は4条件(1、3、4、5 mg/L)とし、繰り返し回数2~3回の平

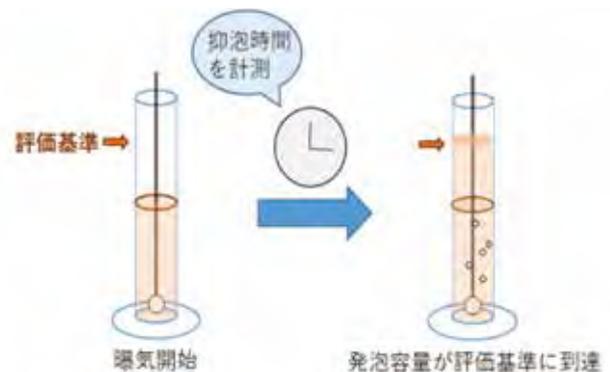


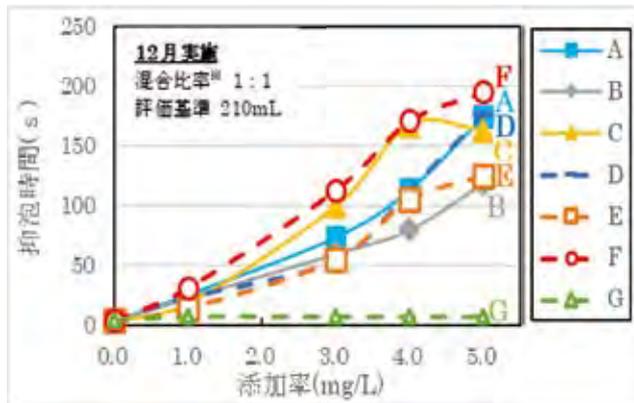
図2 消泡性能試験

均値で評価した。活性汚泥と発泡スカムの混合比、評価基準、添加率等の試験条件は、消泡剤の性能差が明確にみられるよう、試験を実施する毎に事前の確認試験を行い設定した。

消泡性能試験の様子（曝気開始 10 秒後）を図 3、消泡性能試験（12 月及び 2 月実施）の結果の一例を図 4、5 に示す。シリコン系 G は無添加の場合と同様に、曝気直後に発泡容量が評価基準に到達していることが伺える。この傾向は実施した全ての消泡性能試験において確認されたため、シリコン系 G の放線菌由来の発泡スカムに対する消泡性能は著しく低いことがわかった。シリコン系はエーテル系等と比べて疎水性が高く、消泡剤が気泡を覆う泡膜中に浸透しにくいと考えられる。一方、エーテル系等はいずれも顕著な消泡効果があった。

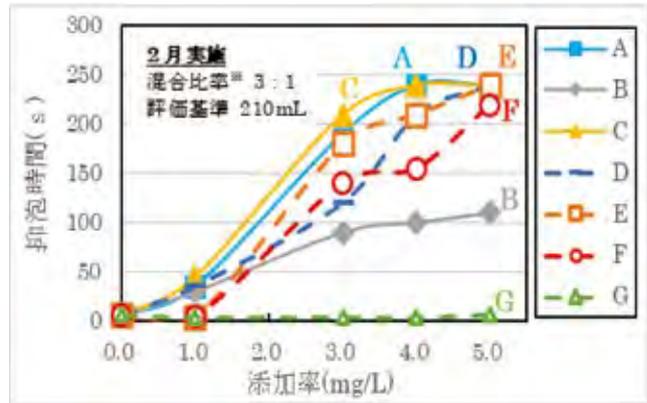


図 3 消泡性能試験の様子



※活性汚泥と発泡スカムの混合比率（活性汚泥：発泡スカム）

図 4 消泡性能の比較（12 月実施）



※活性汚泥と発泡スカムの混合比率（活性汚泥：発泡スカム）

図 5 消泡性能の比較（2 月実施）

### 3. 水処理に及ぼす影響

#### 3.1 消泡剤の特性等

消泡剤添加率 5 mg/L 相当の BOD、COD 及び単位 MLSS 当りの酸素利用速度 Kr の測定結果を表 1 に示す。BOD 及び COD は十分に小さく、Kr についても無添加の活性汚泥の測定値 25.2 mg/(gSS・h) と比較して顕著な差は見られなかった。したがって、消泡剤が放流水質に及ぼす影響は小さいことがわかった。ただし、Kr の測定の際、消泡剤を添加した後に曝気を行うと、Kr の測定値自体に影響は見られなかったが、DO 濃度上昇に必要な曝気時間が長くなる現象が見られた。

表 1 消泡剤の特性一覧

消泡剤	A	B	C	D	E	F	G
分類	エーテル系				エステル系	エーテル+エステル系	シリコン系
比重	0.99	約0.99	0.99	0.99	0.998	約0.99	約1.0
BOD (mg/L)	0.03	0.13	0.17	0.01	0.95	0.75	0.21
COD (mg/L)	0.95	0.97	0.94	0.92	0.99	0.96	0.12
Kr (mg/(gSS・h))	24.5	24.5	25.2	23.2	24.5	23.9	24.5

### 3.2 酸素溶解効率

Kr 測定の際に見られた曝気時間が長くなる現象について、酸素溶解効率の低下に起因すると考え、非定常法による総括酸素移動容量係数  $KLa$  を測定することとした。下水処理水 1 L に添加率 2 mg/L となるように消泡剤を添加した後、0.2 L/分の条件で曝気し、DO 濃度の経時変化を調べた。

$\ln(Cs-C)$  ( $Cs$ : 飽和 DO 濃度、 $C$ : 時間  $t$  における DO 濃度) の経時変化と、この近似直線の傾きから算出した  $KLa$  を図 6 に示す。 $KLa$  は消泡剤の添加により 2 割から 4 割の減少がみられ、消泡剤により酸素溶解効率が低下することがわかった。したがって、DO 制御の反応槽においては、消泡剤の投入により一時的に送風量が増加することが示唆された。酸素溶解効率が低下するメカニズムとしては、消泡剤添加によって引き起こされた気泡の合一による気泡界面積の減少等が報告されている<sup>1)</sup>。

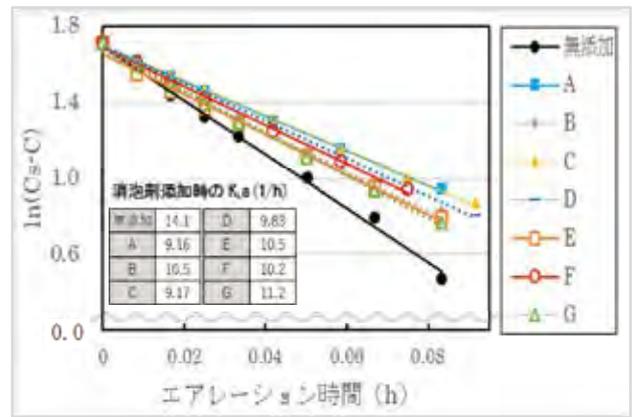


図 6  $\ln(Cs-C)$  の経時変化

### 3.3 活性汚泥への毒性

消泡剤自体が活性汚泥に対して毒性を有するのか検証するため、消泡剤と十分に接触させた活性汚泥について硝化速度を測定した。添加率 5 mg/L となるように消泡剤を添加した活性汚泥 1 L を 18 時間攪拌し、静置後、消泡剤による酸素溶解効率の低下の影響を排除するため、上澄み水を消泡剤を含まない反応槽流入水に置換して硝化速度を測定した。

$NOx-N$  の経時変化と単位 MLSS 当りの硝化速度を図 7 に示す。無添加と消泡剤を添加した条件で単位 MLSS 当りの硝化速度に違いは見られず、消泡剤が活性汚泥に与える毒性は小さいことがわかった。

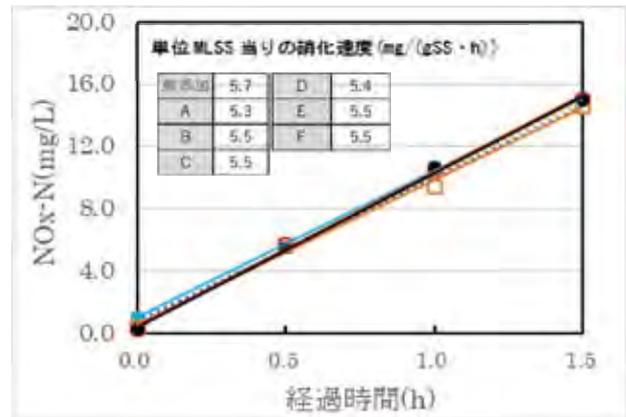


図 7  $NOx-N$  の経時変化

## 4. 実施設での効果検証

テーブル試験の結果を踏まえ、水面全面が発泡スカムで覆われた反応槽系列 (表 2) に対し、エーテル系等のうち、エーテル系 A を槽容積当り 0.36mg/L の添加率で複数箇所に分散投入した。その結果、一時的な送風量の増加はあったものの (図 8)、短時間で完全に発泡スカムを消失することができた (図 9)。

表 2 処理状況 (令和 4 年度平均)

処理方式 (槽数)	擬似AO法 (2)
処理水量 (m <sup>3</sup> /日)	50,030
HRT (h)	10.8
BOD容積負荷 (kg/(m <sup>3</sup> · 日))	0.31

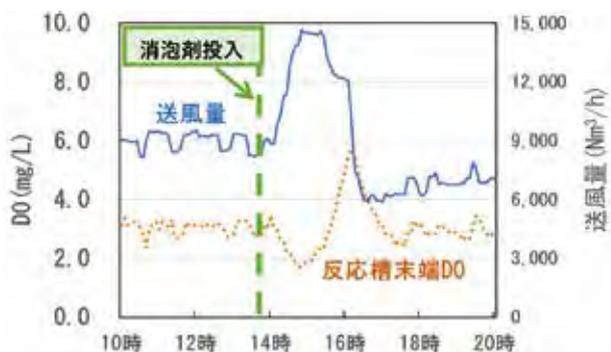


図8 消泡剤投入による送風量の変化

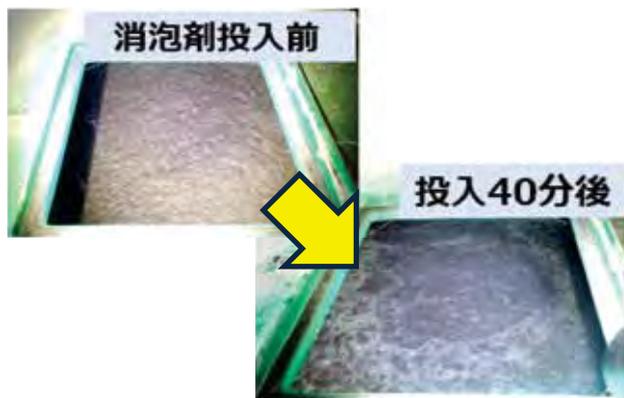


図9 消泡剤投入による発泡スカム消失

## 5. まとめ

全7種類の消泡剤について、消泡性能や水処理に及ぼす影響を検証するテーブル試験を行った。また、試験結果をもとに選定した消泡剤を実際に反応槽に投入し、その効果を検証した。得られた成果は以下のとおりである。

- ・放線菌由来の発泡スカムに対して、エーテル系等の消泡剤が有効である。
- ・消泡剤の添加により一時的に酸素溶解効率が低下し、DO制御の反応槽においては送風量が増加する。
- ・消泡剤が活性汚泥に与える毒性は小さい。
- ・エーテル系の消泡剤を反応槽へ投入した結果、短時間で完全に発泡スカムを消失することができた。

## 参考文献

- 1) 小野寺正幸ら：「微生物の好気培養に及ぼす消泡剤の影響について」、新潟工科大学、研究紀要、第1号、1996年

## 2-2-2 佃島ポンプ所急傾斜コンベヤ沈砂捕集の効率化

東京都下水道サービス株式会社 施設部 東部第一センター  
東部第一ポンプ所保全事業所 青柳 詠人

### 1. はじめに

佃島ポンプ所は、昭和44年4月に運転を開始したポンプ所で、中央区佃、月島地区の雨水を吸揚し、晴海運河へ放流している。また、降雨後に雨水沈砂池に滞留した雨水が腐敗することによる臭気の発生や、腐敗した滞留水が降雨時に公共用水域へ流出することを防止するため、低圧集砂式の揚砂設備が設置され、滞留水や沈砂の排除が行われている。

今回は、揚砂設備を構成する沈砂コンベヤに発生している問題に対する対応策を実施し、沈砂除去作業の効率化と臭気発生の防止に一定の成果が得られたのでこれを報告する。

### 2. 揚砂設備の構成及び問題点

佃島ポンプ所の揚砂設備の機器構成は図1のとおりである。

沈砂池で滞留した沈砂を①揚砂機(水中ポンプ)により吸い上げ、②沈砂分離機にて雨水と沈砂とに分離する。その後、沈砂は②沈砂分離機から③沈砂コンベヤへと乗り継ぎ④沈砂ホップに貯留される。

これらの機器については一連の揚砂作業が終了した後、維持管理のための点検・清掃作業を実施している。しかし、沈砂コンベヤ下部のドレンパン部分に大量の沈砂が堆積し、臭気が発生するため、その都度多くの人員を動員して、除去作業を行っている。

また、この作業は、雨期において月に1・2回、乾期において3か月に1回行う必要があるとともに、近年は、大雨や短時間豪雨の発生頻度が増加傾向にあり、堆積する沈砂の効率的な排除が急務となっている。

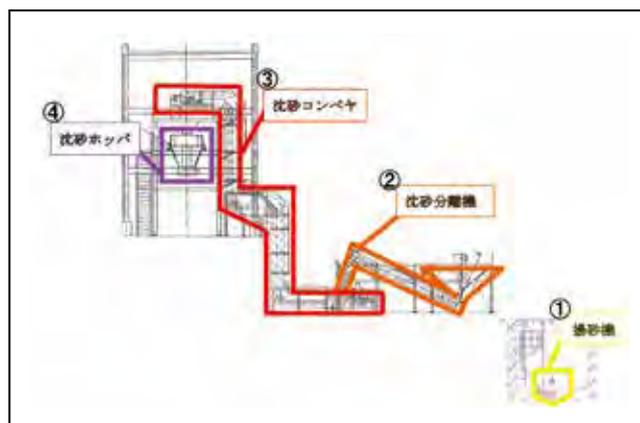


図1 揚砂設備の機器構成

### 3. 沈砂堆積の原因

沈砂コンベヤの仕様を表1に示す。

ベルトはバケット状になっており、ここに沈砂を溜めて沈砂ホップに搬送する。ベルトはホップ上部で反転し、沈砂がホップに投入される構造となっている(図2)。

表 1 沈砂コンベヤの仕様

形式	コルゲートサイドベルト式急傾斜コンベヤ
ベルト幅	750mm
機長	11m
揚程	13m
傾斜角度	90°
搬送能力	7m <sup>3</sup> /時
製造年度	1999年

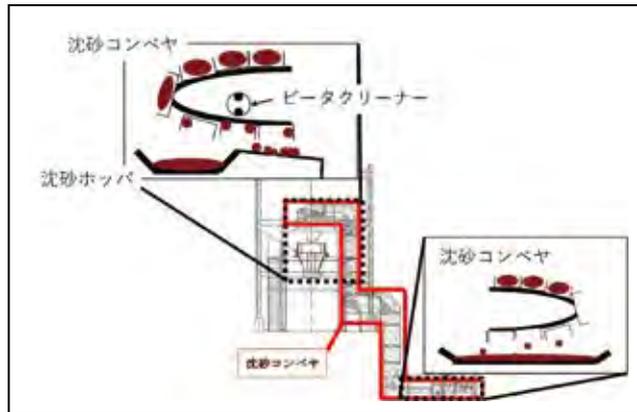


図 2 沈砂搬送フロー図

しかし、現場調査をしたところ、沈砂コンベヤのバケット部の沈砂が全て沈砂ホッパに投入されずに一部バケットに付着したままとなり、ベルトに残留していた。

ベルトに残留した沈砂はその後、ビータクリーナーの振動によりドレンパンに落とされドレンパン部分に堆積していた(図 3)。



図 3 搬送工程後のベルト及びドレンパンの状況

#### 4. 対策

##### 4.1 圧縮空気によるベルト洗浄

まず、図 4 に示すように沈砂ホッパ上部にある点検口より圧縮空気の噴射ノズル(図 4 の枠線部)を取り付けた。0.7MPa 程度の圧縮空気をベルトに噴射することにより沈砂コンベ

ヤに付着した沈砂を除去し、沈砂ホッパに投入することとした。

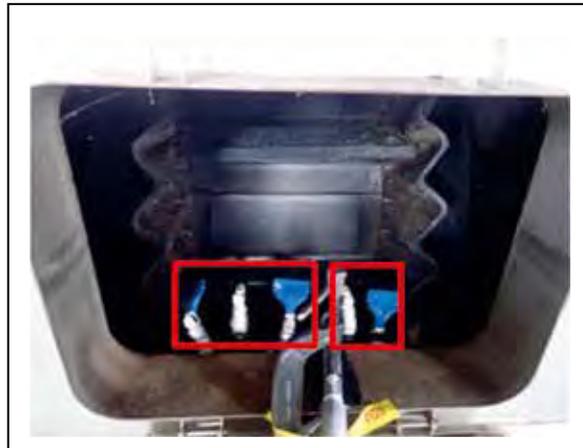


図4 設置した圧縮空気配管

その結果、揚砂連動運転直後は一定の効果が見られたものの、検討に使用した空気圧縮機の容量が小さかったため圧縮空気の量が不足し、十分な洗浄効果を得ることはできなかった。

#### 4.2 既設洗浄ノズルを活用したベルト洗浄

次に沈砂コンベヤ上部に設置してある既設洗浄ノズル（図5）の噴射量及び噴射時間の調整を実施した。



図5 沈砂コンベヤ上部洗浄ノズル

##### (1) 噴射量の調整

この洗浄ノズルは、揚砂連動運転時に水を噴射して沈砂コンベヤのベルトを洗浄するために設置したものである。しかし、揚砂連動運転時に沈砂コンベヤと同時に運転している滞留水循環用ストレーナにしさが閉塞しやすく、その閉塞防止用として洗浄水を大量に使用していたため、沈砂コンベヤ側の洗浄ノズルに十分な水量が供給できず、コンベヤの洗浄ができていなかった。そこで、滞留水循環用ストレーナが閉塞を起こさない程度にまでストレーナ側の洗浄水の使用量を絞ることとした。数か月に渡り、連動運転時の滞留水循

環用ストレーナ側と沈砂コンベヤ側それぞれの必要洗浄水量を比較し、前述の調整を行った結果、沈砂コンベヤ側の洗浄ノズルから水が噴射されることを確認できた。

## (2) 噴射モードの変更

既設洗浄ノズルの運転シーケンスを確認したところ、間欠運転(2分運転、4分休止)と連続運転のモードがあり、現状、間欠運転が選択されていた。

間欠運転のメリットとしては、使用する洗浄水量を節約することができるが、4分間の休止中にコンベヤに沈砂が大量に堆積してしまい、完全に洗浄することができなかった。このことから、運転モードを連続運転に切り替えて運転したところ、期待していた沈砂コンベヤの洗浄が行えることを確認した(図6)。



図6 洗浄ノズル調整後の沈砂コンベヤ洗浄中の状況

これらの調整をした後、実際の降雨後の揚砂連動運転時に沈砂コンベヤ下部のドレンパンを観察したところ、沈砂の堆積が大幅に減少していることを確認できた(図7, 8)。



図7 洗浄ノズル調整前の状況



図8 洗浄ノズル調整後の状況

## 5. まとめ

今回、圧縮空気によるベルト洗浄、既設洗浄ノズルを活用したベルト洗浄の2つの検討、効果の検証を行った。

圧縮空気によるベルト洗浄は空気圧縮機の容量が足りなかったため、十分な洗浄効果を得られなかった。

既設洗浄ノズルについては、洗浄水量が確保できるかが課題であった。そのため、滞留水循環用ストレーナの洗浄水量に影響のない範囲で水量の調整を何度も試行し沈砂コンベヤ上部既設洗浄ノズルの洗浄水量を確保した。また、洗浄ノズルの運転シーケンスを連続運転へ切り替えるよう見直した。このことにより、実際の運転時にはベルトに付着していた沈砂が洗浄水とともに沈砂ホッパに投入される様子が確認できた。

その結果、従来3か月に1度2時間程度かけて行っていた清掃作業を検証後は実施する必要がなくなり、沈砂コンベヤ周辺の臭気を軽減することができた。

また、今回の検証は実機での検証時期が乾季であったことから、比較的強度の弱い降雨によって沈砂池に水が流入した際に行われるポンプ井排水後の揚砂連動運転であったため、沈砂コンベヤで搬送される沈砂の総量が少ないものであった。この洗浄ノズルの運用を今後も継続することによって、沈砂量が多い中で沈砂コンベヤが運転した際にも効果を発揮可能であるか、検証を重ねていく。

## 2-2-3 気相パージ式アンモニア性窒素濃度計の開発

計画調整部 技術開発課 古澤 和樹  
(現 施設管理部 環境管理課)  
亀井 葉子  
(現 水道局)  
青木 陽平  
(現 産業労働局)  
荏原実業株式会社 金井 正博  
大平 美智男  
(現 荏原実業テクノロジーズ株式会社)

### 1. アンモニア性窒素濃度計の開発

水処理施設のアンモニア計は、主に施設内の濃度測定により送風量を制御するために設置されている。主なものは反応槽後段に設置するアンモニア制御によるものである。リアルタイム硝化脱窒制御 (RNDC : Real-time Nitrification Denitrification Control) 技術では、活性汚泥モデル演算による送風量制御を行うが、主に反応槽流入水のアンモニア計の測定値を元に必要空気量を算出し、フィードフォワード制御を行っている<sup>1)</sup>。この制御を適正に行うためには、正確な値を安定して測定することが重要であるが、現在主流のイオン電極式の測定器においては汚れや妨害成分の影響で、測定値が不安定となるケースがある。今後需要が見込まれる反応槽流入水の測定には、従来の測定器はセンサーが直接汚水に触れるため、メンテナンスの回数が増加することが想定される。そこで、測定部が直接汚水に触れずに連続測定することが可能な気相パージ式のアンモニア性窒素濃度計を荏原実業株式会社と共同で開発した。具体的には、下水試料中のアンモニア性窒素について、アンモニアを水相から気相に置換して平衡状態とし、気相のアンモニアガスの濃度を紫外線吸光度から算出するものである。今回、実際に試作機を水再生センターに設置し、反応槽への流入水を連続測定して JIS 法との分析結果の比較、維持管理性やコスト等について調査した。

### 2. 測定原理

#### 2.1 気相パージ

一般に希薄ガスの気相中と液相中の濃度との間には、「ヘンリーの法則」に基づく関係が成り立ち、本濃度計はこの法則を活用している。図 1 に示すように、試料水 (流入水) は連続で試料容器に流入させ、同時に装置内で気相を循環させる。気相と液相間でアンモニア濃度が平衡状態となるため、試料のアンモニア濃度に応じて気相のアンモニア濃度も変化する。平衡状態となった気相のアンモニアガスを紫外吸光光度法により測定し、溶存アンモニア濃度を算出する。また、気相のアンモニアガスと水相のアンモニアの濃度の比は水温に依るので、水温で補正を行う。なお、平衡状態で測定することから試料水流量や試料ガス流量を設定せずに測定することができる。

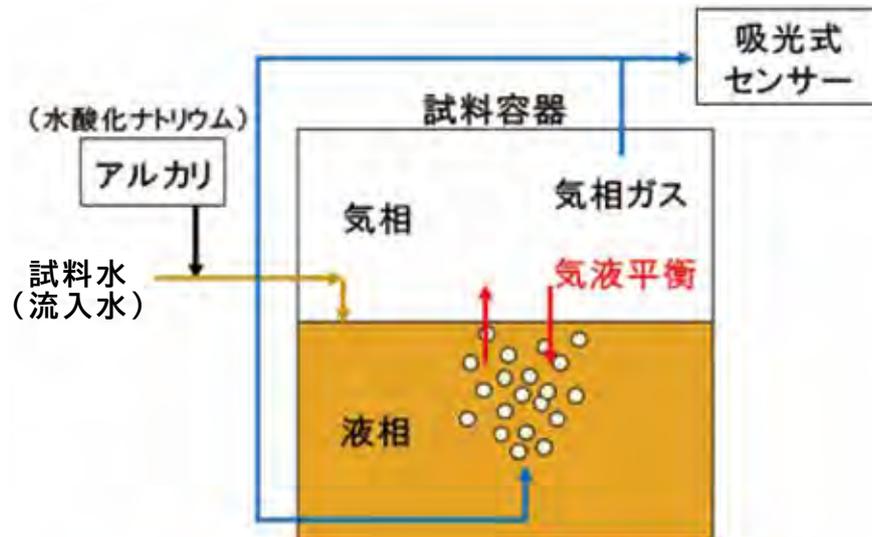


図 1 測定原理（気相の循環）

## 2.2 アンモニアセンサー部

アンモニアセンサー部は紫外線吸収式のアンモニア計で、図 2 に示すように、検出部内に試料ガスを供給し、アンモニアによる紫外線の吸収量を検知してアンモニア濃度を測定する。光源に重水素ランプ（発光波長 185～400nm）を使用し、光路長 T 内のアンモニアに吸収される光量が「ランバート・ベールの法則」に依ること、また、ガス濃度の測定は温度と圧力との関係により、次式のようにアンモニア濃度を求めることができる。

$$C = \frac{A}{\alpha T} \times \log\left(\frac{I_0}{I_x}\right) \times \frac{273 + t}{273} \times \frac{P_0}{P + P_0}$$

C : アンモニア濃度	T : 光路長(セル長)	t : ガス温度
A : 定数	$I_0$ : 紫外線入射光量	$P_0$ : 大気圧
$\alpha$ : アンモニアの吸収係数	$I_x$ : 紫外線透過光量	P : ガス圧力

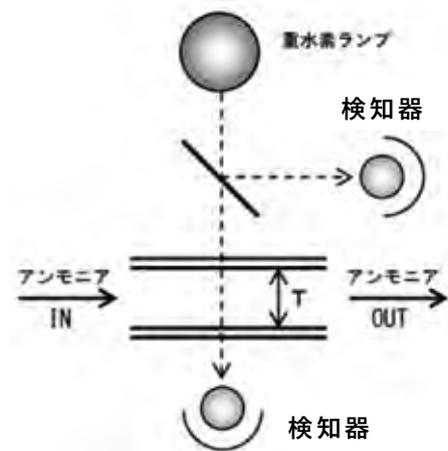


図 2 測定原理（吸光式センサー）

## 3. 開発目標の設定

濃度計の開発目標は、以下のとおり設定した。

- ① JIS 法により測定したアンモニア性窒素濃度の値との相関係数 R が 0.9 以上
- ② 既存技術と同程度のメンテナンス回数（16 回/年程度）で機能維持可能
- ③ 設置、維持管理コストの合計が従来品（イオン電極式）と同等程度以下

#### 4. 実証試験内容と結果

令和4年5月～令和5年4月の期間において、試作機の製作、設置を行い、開発目標に対する評価を行った。調査は、東京都の多摩地域にある浅川水再生センター（分流式）水処理施設 2-2 系反応槽の流入水を対象に測定できる箇所として、最初沈殿池と反応槽の間の導水渠上部に測定器を設置（図3）して、採水蓋から管を通して採水できるようにした。試料のフローは図4に示す。



図3 測定器外観

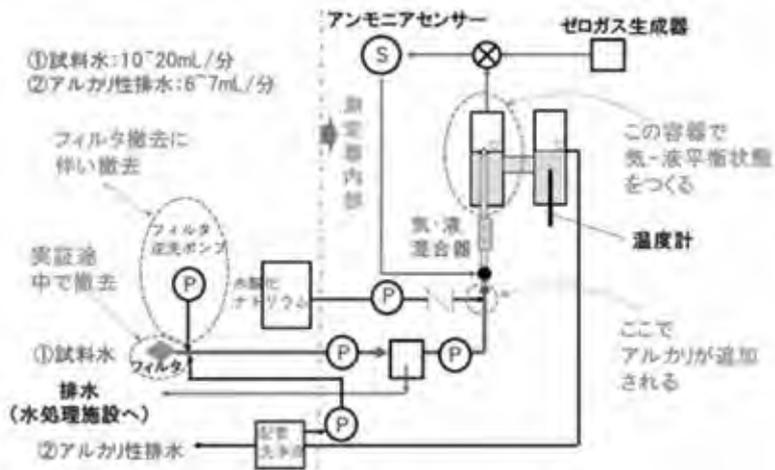


図4 測定フロー図

##### 4.1 JIS法による測定値との相関について

JIS法（手分析）との相関については、令和4年8月～令和5年3月までの間に27回採水し、計器値とJIS法の測定値を比較した。手分析法は、JIS K 0102 42.1、42.3、前処理（蒸留法）中和滴定法で行い、計器値は、採取時刻の読み取り値を採用した。採水は作業時間

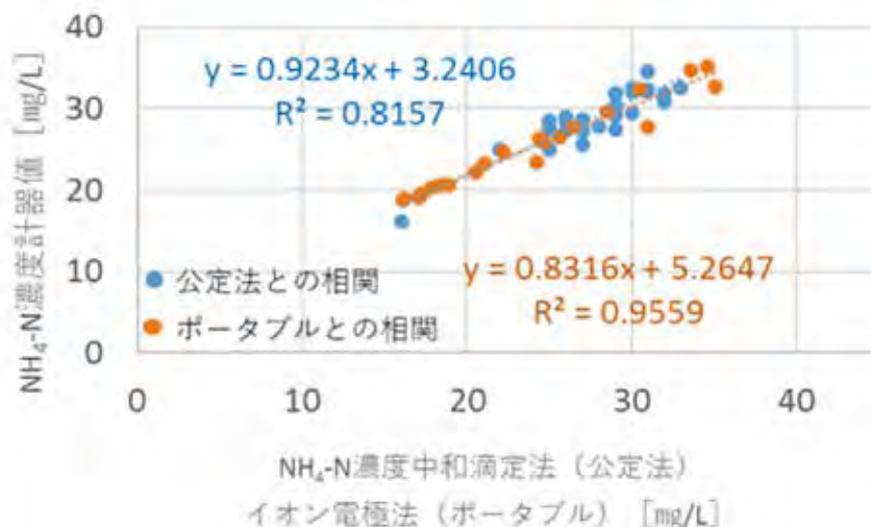


図5 試作した計器値とJIS法分析値との比較

帯（10：00～15：00）に行い、濃度範囲が16～35mg/Lの間の相関係数は、0.9以上あることを確認できた。なお、配管等の詰まり対策で、令和4年11月に採水ポンプの変更やフィ

ルタの撤去を行っており、それ以降のデータで整理しても、相関係数は 0.9 以上であることを確認できた（図 5）。一方で、アンモニア性窒素濃度 25 mg/L 以下の低濃度領域のデータが十分とれなかったため、低濃度領域の相関については改めて検証が必要であると考えられた。

## 4.2 メンテナンス回数について

### 4.2.1 装置内の配管、容器等の洗浄について

サンプル流入側の配管（φ 4mm（内径 2mm）PFA 製チューブ）・容器（φ 26mm×高さ 50mm）については、1 週間程度の短期間で配管内にスケールが蓄積するため、メンテナンス頻度低減のための自動洗浄機構が必要となる。当初計画では次亜塩素酸ナトリウムで自動洗浄することとしていたが、貯留タンクが必要になるなど設備の負担が増えるため、可能な限り薬品の使用を避ける方向で検討し、水酸化ナトリウムを添加してアルカリ性となっている排水を、1 日に 30 分ほど洗浄剤として配管の洗浄に使用することとした。令和 4 年 11 月以降開始し、実証試験が終了する令和 5 年 3 月まで配管の交換は必要なかった。

### 4.2.2 サンプルング配管先端の採取口フィルタの洗浄（逆洗による自動洗浄の効果確認）について

当初は、先端フィルタを取り付けてフィルタの逆洗を定期的に行い維持管理することを検討していたが、先端フィルタの逆洗条件（洗浄時間、運転間隔）や、フィルタのメッシュサイズを変えても、連続測定中にサンプルング流量の低下が発生し、測定値の欠測が観察された。対策として、先端フィルタを使用しないフローに変更し、サンプルングポンプをチューブ方式から汚れに強いインペラ方式に変更した。フロー変更以降、令和 4 年 11 月～令和 5 年 3 月の間（約 4 ヶ月間）で流量低下により濃度測定値の欠測は発生しなかった。

メンテナンスの内容と頻度については、表 1 に示す。

表 1 メンテナンス内容・頻度

メンテナンス内容	頻度
試料水ポンプの流量確認	1回/月
サンプルング容器部の汚れ確認（洗浄）	1回/月
ポンプ類の動作確認	1回/月
配管類の汚れ確認（洗浄、交換）	1回/月
水酸化ナトリウム溶液の補充	1回/月
標準液による校正	2回/年
ポンプ類、D2ランプ等消耗品交換	1~4回/年

### 4.2.3 定期校正の必要性の確認について

定期校正の必要性の調査は、標準液 30mg/L を測定器で測定し、標準液濃度との差を確認した。評価期間は実証試験現場に設置前の事前評価（令和 4 年 5 月～6 月）および現場設置の間（令和 4 年 8 月～12 月）の約 7 ヶ月の間で 7 回確認し、3%フルスケール（50mg/L）以内（29.9 mg/L～31.2 mg/L）に収まっていた。長期間感度が安定していることが確認できたため、定期校正は年 2 回程度で十分であると考えられた。

#### 4.3 従来技術（イオン電極式）とのコスト比較

従来技術とのコスト比較を表2に示す。イニシャルコスト（設置工事費含む）は従来品と比較して高価ではあるが、主に消耗品の交換費・作業費となるランニングコストが安価になると試算された。耐用年数として設定する10年間のコスト比較は530万円安価になると試算された。概ね4年間の使用で従来品のコストを下回ることが見込まれた。

表2 従来技術とのコスト比較

	今回開発技術 紫外線吸収法(サンプリング式) 荏原実業(自社開発品)	既存の技術 イオン電極式(投げ込み式) 荏原実業
イニシャルコスト (設置工事費含む)	700万円	430万円
ランニングコスト (部品・薬品)	80万円/年	120万円/年 電極交換1回/3か月を想定
ランニングコスト (作業)	120万円/年 保守点検1回/月	160万円/年 保守点検1~2回/月
合計(10年間)	2,700万円	3,230万円

#### 5. 本共同研究におけるまとめと今後の予定

反応槽流入水のアンモニア性窒素濃度から送風量をフィードフォワードで制御するためのアンモニア計について、センサー部が汚れにくい気相パージ式とアンモニアガスの測定に精度が高い紫外線吸収式の実証機を製作し、反応槽流入水で実証試験を行った。測定値のJIS法との相関係数Rが0.9以上、メンテナンス回数が従来技術と同等以下（1回/月程度）、従来技術とのイニシャル+ランニングコスト比較で同等程度以下という目標を設定し、全てを達成できた。測定値のJIS法との相関については本共同研究により分流式下水道においては実証できたが、濃度変動の大きい合流式では改めて実証して相関を確認する必要があると考えたため、今後、合流式下水道においても実証を行っていく。

##### ・参考文献

- 1) 西谷内光春ら：活性汚泥モデルを用いたリアルタイム硝化制御による送風制御技術の開発，第53回下水道研究発表会講演集，日本下水道協会、2016、pp.869-871

## 2-2-4 嫌気・同時硝化脱窒処理の送風量の適正化に関する調査

東部第二下水道事務所 葛西水再生センター

佐々木 拓郎

(現 水道局)

塩見 浩

(現 計画調整部計画課)

蓮佛 詩織

(現 東部第一下水道事砂町水再生センター)

富田 雅昭

松本 博夫

### 1. はじめに

#### 1.1 緒言

葛西水再生センターでは平成 28 年度に北系反応槽 1 号、2 号で嫌気・同時硝化脱窒処理が稼働した。平成 29 年度までの調査で高い窒素除去率を得られた運転条件「前段  $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度 6mg/L、後段  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度 2mg/L」で運転している。

「前段  $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度 6mg/L」と設定した場合、降雨時に流入水アンモニア性窒素濃度が好気槽前段  $\text{NO}_x\text{-N}$  の設定値を下回ると前段の硝化・脱窒がどのような状況であっても  $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度が設定値に達せず、制御上では風量不足と判断され最大風量で運転する結果、送風量が過剰になる問題がある。

対策として降雨時に後段の DO 計のみで制御する DO 制御に切り替えていたが、 $\text{NO}_x\text{-N}$  の設定値を下げることで同時硝化脱窒制御を維持しつつ送風量を削減できるか調査したので報告する。

#### 1.2 嫌気・同時硝化脱窒処理の概要

図 1-1 に同時硝化脱窒の概念図を示す。旋回流型の反応槽では散気板上面では溶存酸素濃度が高く、アンモニア性窒素の硝化が進行する。その後、有機物の酸化、アンモニア性窒素の硝化で溶存酸素を消費しつつ旋回流によって攪拌されるため、反応槽の下部では溶存酸素濃度が下がり、硝酸性窒素の脱窒が進行する。

嫌気・同時硝化脱窒処理では好気槽前段は  $\text{NO}_x$  計、後段は  $\text{NH}_4$  計を指標として最

適な風量を維持することで一つの好気槽内で硝化と脱窒が同時に進行する。攪拌機や硝化液循環ポンプを使用しないため、高度処理よりも消費電力が少ない特徴がある。

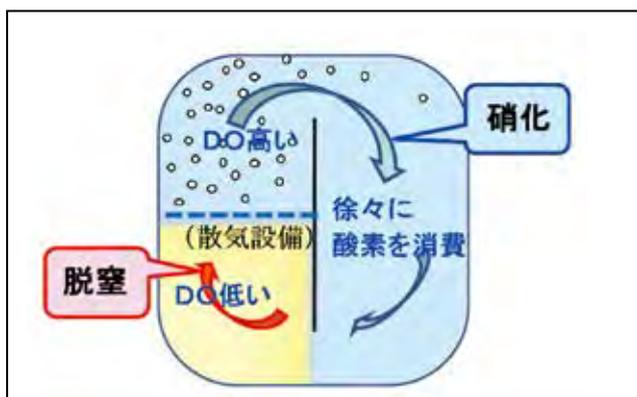


図 1 嫌気・同時硝化脱窒概念図

### 2 調査概要

前段に設置された  $\text{NH}_4$  計の指示値が  $\text{NH}_4\text{-N}$  として 8mg/L 以下になった時に、反応槽 1 号

2号のうち一方でNO<sub>x</sub>-N設定値を手動で変更した。もう一方は対照槽とし、水質、送風量の変化を確認した。設定条件は表1のとおりである。条件変更は平日日中しかできないため、休日にかかる等で変更から設定を戻すまでの日数が長くなる場合があった。

表1 設定条件

	実施日	1号槽設定	2号槽設定
第1回	6/2~5	NO <sub>x</sub> 2.0mg/L	NO <sub>x</sub> 6.0mg/L
第2回	9/4~5	NO <sub>x</sub> 6.0mg/L	NO <sub>x</sub> 2.0mg/L
第3回	9/8~11	NO <sub>x</sub> 2.0mg/L	DO制御 1.2mg/L
第4回	10/9~12	NO <sub>x</sub> 1.0mg/L	DO制御 1.2mg/L

\*DO制御の設定値1.2mg/Lは、標準法施設の設定に準じた。

\*同時硝化脱窒時の後段NH<sub>4</sub>設定値はすべて2mg/L

### 3. 結果

#### 3.1 第1回調査：前段NO<sub>x</sub>-N設定1号：2mg/L。2号：6mg/L

葛西水再生センター降雨量：2~3日合計189mm

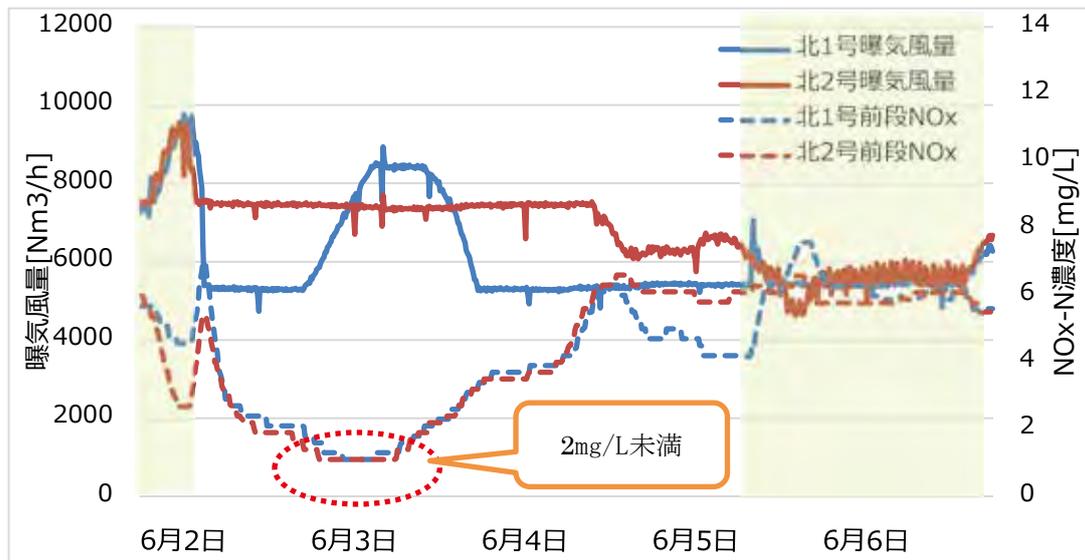


図2 第1回調査結果

設定変更後（図2 白背景部。以下同じ。）北1号の曝気風量は北2号に比べ約3割減少し（ほぼ最低風量）、全て前段曝気風量の減少によるものであった。

強雨のため想定以上に流入水が薄まり、NO<sub>x</sub>-Nが2mg/Lを下回った時間帯は風量が増大した。調査期間中、後段NH<sub>4</sub>計の指示値は通常の範囲内で、設定値変更の悪影響は見られなかった。

NO<sub>x</sub>-N設定変更が風量削減に有効とみられた一方で、2mg/L設定では効果が不十分な場合もあることが示された。

#### 3.2 第2回調査：前段NO<sub>x</sub>-N設定1号：6mg/L。2号：2mg/L

葛西水再生センター降雨量：4~5日合計27mm

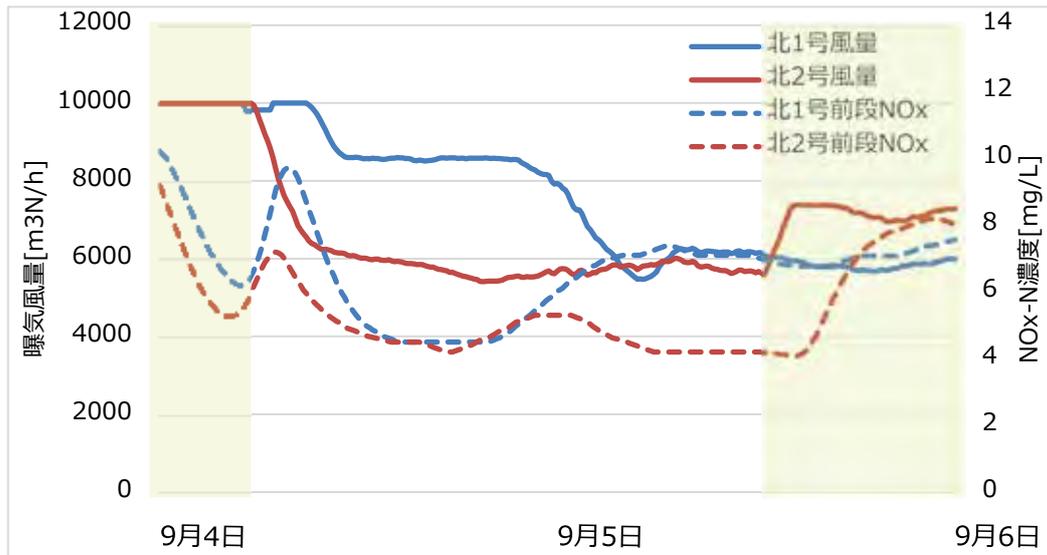


図 3 第 2 回調査結果

制御値変更後、流入水が希薄な期間では北 2 号の曝気風量は北 1 号に比べ約 3 割減少（ほぼ最低風量）し、そのほとんどが前段曝気風量であった。3.1 で北 1 号の制御値を変更した際と同様の挙動で、槽による差がないことが確認できた。後段 NH<sub>4</sub> 計の指示値は通常の範囲内だった。

3.3 第 3 回調査：1 号は前段 NO<sub>x</sub>-N 設定値 2 mg/L、2 号は DO 制御 1.2 mg/L  
葛西水再生センター降雨量：8～9 日合計 90 mm。10～11 日は降雨無し

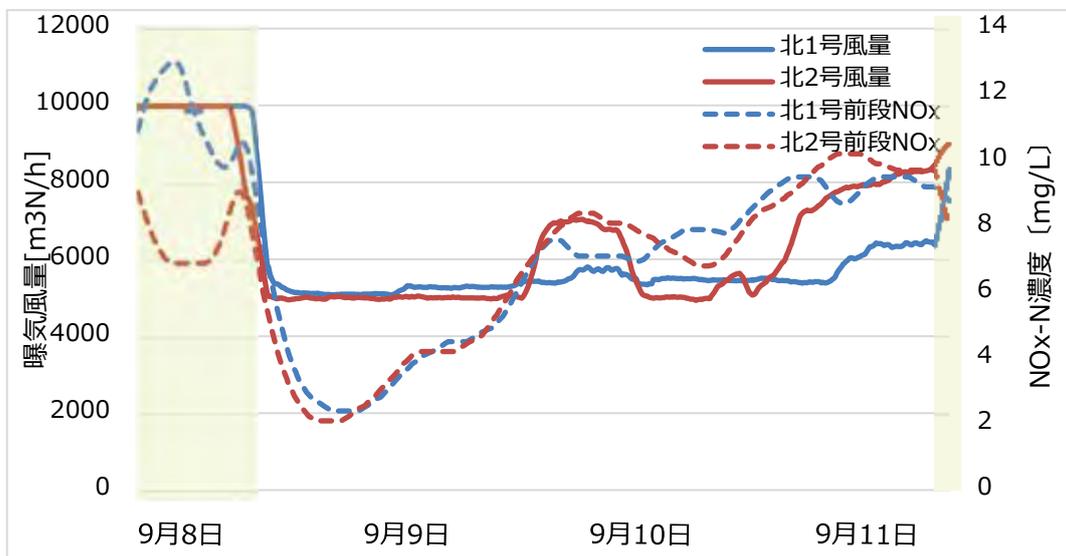


図 4 第 3 回調査結果

制御値変更後、流入水が希薄であった 9 日夕方までは北 1, 2 号槽ともに概ね同じ風量（ほぼ最低風量）となった。9 日夜～10 日未明及び 10 日夜～11 日にかけては北 2 号の風量が北 1 号に比べて増加していた。このことから、降雨の影響を抜けて流入水基質濃度が上昇している期間においては、DO 1.2mg/L 維持に要する空気量の方が、同時硝化脱窒制御（NO<sub>x</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 各 2mg/L）維持に必要な空気量よりも多いことが示唆された。後段 NH<sub>4</sub> 計の指示値は通常の範囲内だった。

### 3.4 第4回調査：1号は前段NOx-N設定値1mg/L、2号はDO制御1.2mg/L

葛西水再生センター降雨量：8～11日合計64mm。12日は降雨無し

第1回調査で風量の増大が発生したことを受けてNOx-N設定値を1mg/Lまで下げた。降雨の影響が解消し、流入窒素濃度が上昇する段階で硝化不足となる可能性があるため、処理水質もこれまでより詳細に確認した。

#### 3.4.1 送風量

目標値を変更後、北1,2号槽ともに曝気風量が減少した。3.3と同様に降雨の影響が解消する段階ではNOx-N設定値を変更した1号が、DO制御の2号より少ない送風量だった。

NOx-Nが2mg/L未満になることはなかった。

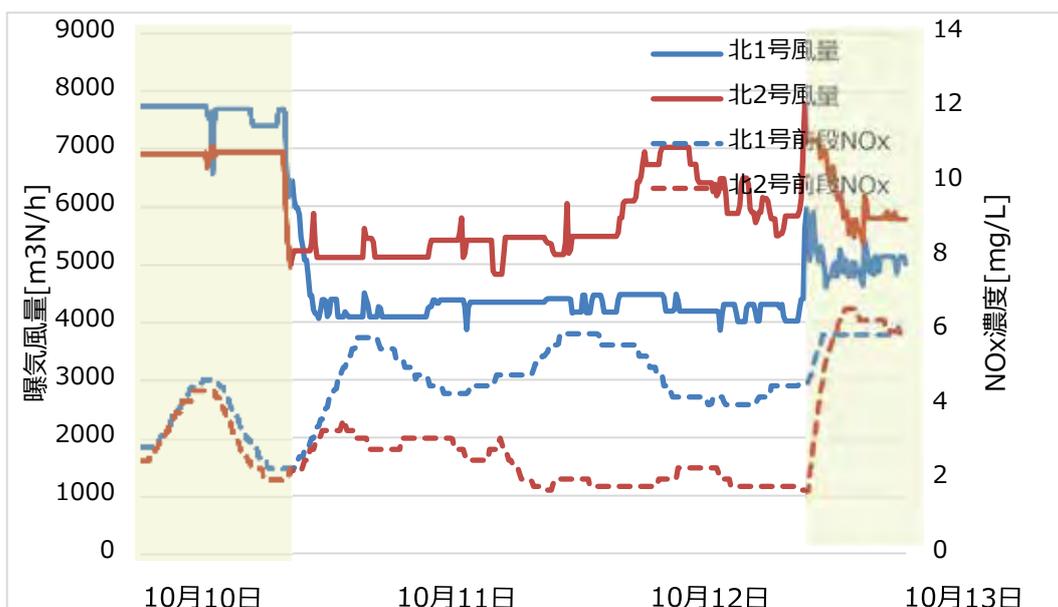


図5 第4回調査結果(風量関係)

#### 3.4.2 処理水質

図6に示すように目標値を変更した期間中及び直後において、北1号槽最終回路のNH<sub>4</sub>-N濃度は後段NH<sub>4</sub>-Nの設定値2.0mg/Lを大きく超えることはなかった。12日の日常試験では第一沈殿池出口のNH<sub>4</sub>-Nは12mg/L程度まで回復しており、適切なタイミングで目標値変更を行えば、硝化不足によるアンモニアの残存は発生しないと考えられる。

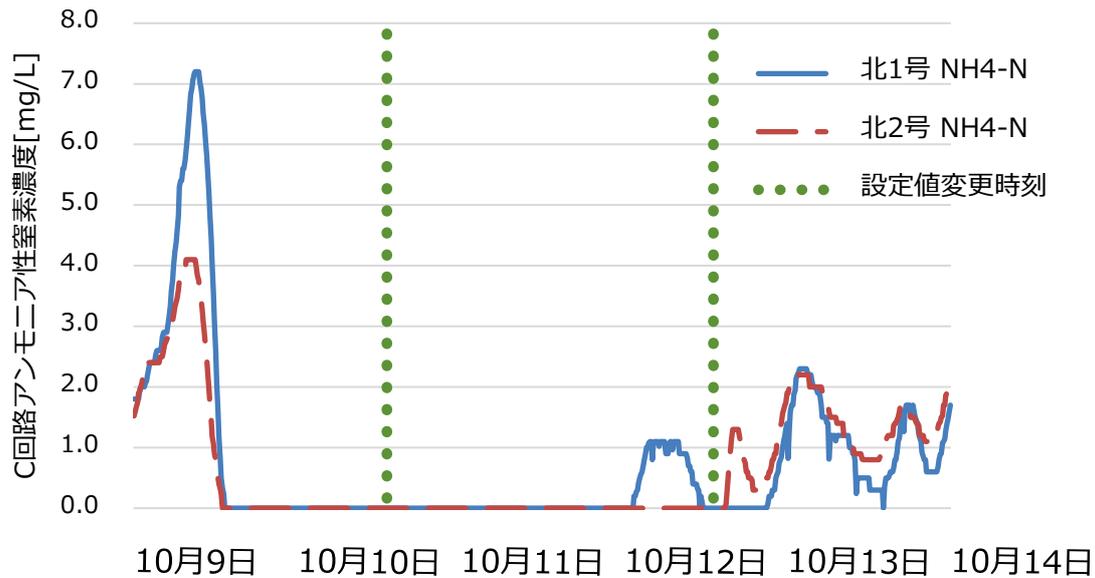


図 6 第 4 回調査結果(最終回路 NH<sub>4</sub>-N)

#### 4 考察

##### 4.1 NO<sub>x</sub>-N 設定値

令和 5 年度の日報データ一年分 (1 時間ごとの値) から前段 NH<sub>4</sub>-N 及び NO<sub>x</sub>-N の指示値を調査した。

表 2 令和 5 年度の運転状況抜粋

	1 号	2 号
前段 NH <sub>4</sub> -N 最低値 (mg/L)	0.4	0.5
NO <sub>x</sub> -N 最低値 (mg/L)	0.6	0.3
前段 NH <sub>4</sub> -N が 8mg/L 未満の時間数	410	535
前段 NH <sub>4</sub> -N が 8mg/L 未満かつ NO <sub>x</sub> -N が 2mg/L 未満の時間数	16	63
前段 NH <sub>4</sub> -N が 8mg/L 未満かつ NO <sub>x</sub> -N が 1mg/L 未満の時間数	0	1
NO <sub>x</sub> -N 測定総数 (n) <sup>3)</sup>	8464	8722

\*計器のメンテナンスや反応槽自体の工事停止があり、1 号と 2 号の測定総数は一致しない。

前段 NH<sub>4</sub> 計指示値が 8mg/L 未満の時間のうち、NO<sub>x</sub>-N 設定値 2mg/L では不十分となるのは 1 号で 4%、2 号で 12%に相当する。この比率は NO<sub>x</sub>-N 設定値を 1mg/L まで下げれば、ほぼゼロとなる。このことから 1mg/L に設定する方が、NO<sub>x</sub>-N が設定値を下回ることは減ると思われる。

##### 4.2 切り替え指標

原理的には NO<sub>x</sub>-N 設定値の変更または DO 制御への変更は、NO<sub>x</sub> 計の位置における溶解性窒素濃度が設定値より低くならないようにすることが望ましい。しかし現実には NO<sub>x</sub> 計の位置に NH<sub>4</sub> 計はないので、前段 NH<sub>4</sub> 計指示値を切り替え指標としている。これが適切かを検証した。

令和 5 年度の日常試験データにおける NO<sub>x</sub> 計付近の無機態窒素 (アンモニア性+亜硝酸性+硝酸性の合計) 手分析値のうち前段 NH<sub>4</sub> 計指示値 10mg/L 以下の時について、好気槽入り

口 NH<sub>4</sub> 計指示値との関係を調べたところ、図 7 のように相関があった。

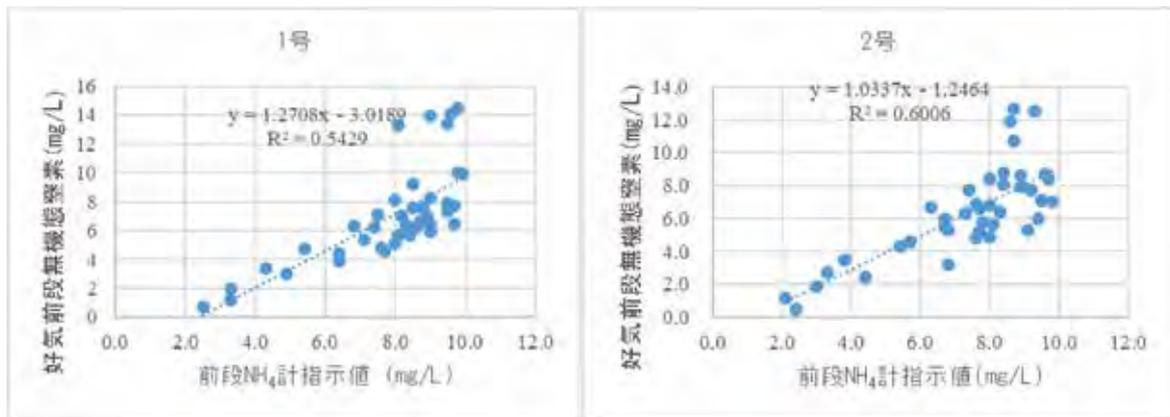


図 7 前段 NH<sub>4</sub>-N 計器値と無機態窒素の相関

8mg/L で切り替えという値は、NO<sub>x</sub> 計指示値 6mg/L に脱窒分を考慮して定めたものだが、相関式からも無機態窒素 6mg/L に対応する前段 NH<sub>4</sub> 計指示値はおよそ 7mg/L であり、おおむね妥当な値であると考えられる。

## 5 まとめ

- ・ 降雨時における運転は、DO 制御への移行より NO<sub>x</sub>-N 設定値変更の方が高い送风量削減効果を得られた。
- ・ 強雨時における流入水窒素濃度の低下は当初の想定を超えていた。NO<sub>x</sub>-N の設定値を 2mg/L よりも下げれば、送风量の過剰をさらに削減できるとみられる。
- ・ NO<sub>x</sub>-N 設定値を切り替える指標として前段 NH<sub>4</sub> 計指示値を使用することは妥当とみられる。

## 2-2-5 ライザーバルブの開度調節による処理水窒素濃度の低減

西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 宮崎 麻衣  
(現 流域下水道本部施設管理課) 杉浦 雅也  
(現 北多摩二号水再生センター) 葛西 孝司  
(現 東京都下水道サービス株式会社) 太田 裕誌  
(現 東京都下水道サービス株式会社) 多田 琴音

### 1. はじめに

新河岸水再生センター（以下、「当センター」という。）では、流入水質や反応タンクの形状などにより窒素除去率が低い傾向となっている。今回、反応タンクにおけるライザーバルブの開度調節により、好気タンク内での脱窒を促進させ、処理水の窒素濃度を低減したので、その取組みについて報告する。

### 2. 施設の概要

当センターは合流式下水道で、汚泥処理施設が併設されている。流入水には硝酸等を含む事業場排水が混入していて、最初沈殿池を通過するころにはほとんどが脱窒している。ただ、これにより反応タンク流入水の有機酸等が失われ、りん及び窒素の除去率が低めである。当センターの水処理施設の配置を図1に示す。

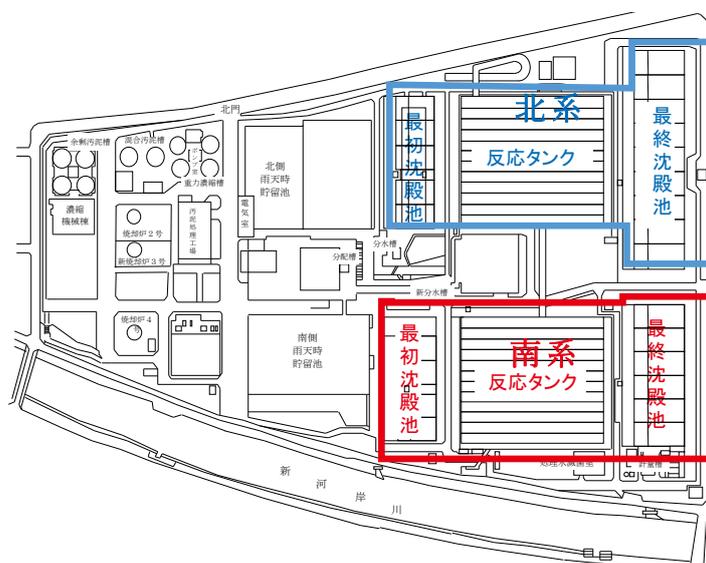


図1 水処理施設の平面図

当センターの水処理施設は北系と南系に分かれ、反応タンクの数と同じであるが、最初沈殿池、最終沈殿池の数が異なり、アンバランスな状況となっている。

令和5年度の運転実績を表1に、反応タンクの形状を表2にまとめた。

表 1 令和 5 年度の運転実績（年度平均）

運転実績	単位	値	水質項目	反応タンク入水	反応水
1 R	(%)	5.1	DO	7.1	6.1
総窒素濃度の削減率 (mg/L)		5.8	TC	4.1	7.1
ECR削減率 (mg/L)		3.9	SS	2.3	2.1
上澄り率 (%)		7.3	h	25.8	17.1
汚濁除去率 (%)		77.1	MLSS	17.7	17.1
平均DO (mg/L)		1.500	+	2.3	2.8
SRP (%)		8.7	PO4-P	1.3	1.1

表 2 反応タンクの形状

長さ	140m
幅	8.6m
有効水深	7.0m
有効容量	8,430m <sup>3</sup>
散気設備：メンブレンパイプ式	
散気水深	南系（1～7号、11号） <b>未更新</b> 3.85m
	南系（8～10、12号） <b>更新済み</b> 5.6m
	北系（13～24号） <b>更新済み</b> 5.6m

処理方式は、更新工事が完了した 8～24 号（11 号を除く）は、粗大気泡でかくはんする疑似嫌気好気活性汚泥法で、工事未完了の 1～7 号と 11 号は標準活性汚泥法で制限ばっ気とした疑似嫌気好気活性汚泥法である。

更新工事後は、有効水深 7.0m に対し、散気水深 5.6m で、散気設備（図の破線部）以深が 1.4m である（図 2）。このため、散気設備の下部に形成される脱窒可能ゾーン<sup>1)</sup>が一般的な深槽式反応タンク（有効水深 10m）に比べて小さくなっている。深槽式の場合、好気タンク全体における脱窒可能ゾーンの割合は約 22% だが、散気水深 5.6m の当センターでは 10%程度である。

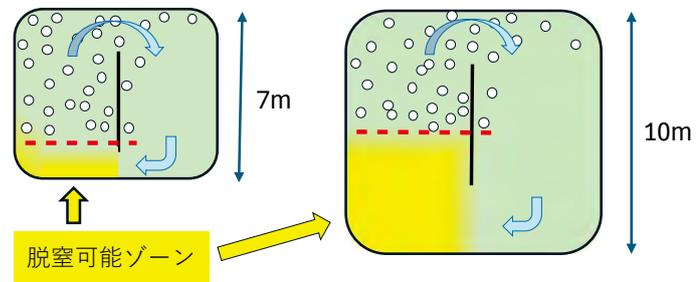


図 2 反応タンク断面の比較

### 3. ライザーバルブの開度調節

#### 3.1 全てのライザーバルブを全開とした場合<sup>2)</sup>（令和 3 年 4 月から令和 4 年 1 月まで）

処理水窒素濃度の低減のため、最初に風量の調節による脱窒を試みた。好気タンクの全てのライザーバルブを全開とし、NH<sub>4</sub>-N が 1mg/L 程度となるように DO 設定値を調節した。図 3 に反応タンクを流入から流出の方向に見た模式図及び各回路の窒素濃度の一例を示す。NH<sub>4</sub>-N の低下に伴い、ほぼ同量の NO<sub>3</sub>-N が生成され、ほとんど脱窒していなかった。前述したとおり散気設備の下部の脱窒可能ゾーンが小さいためと考えられる。

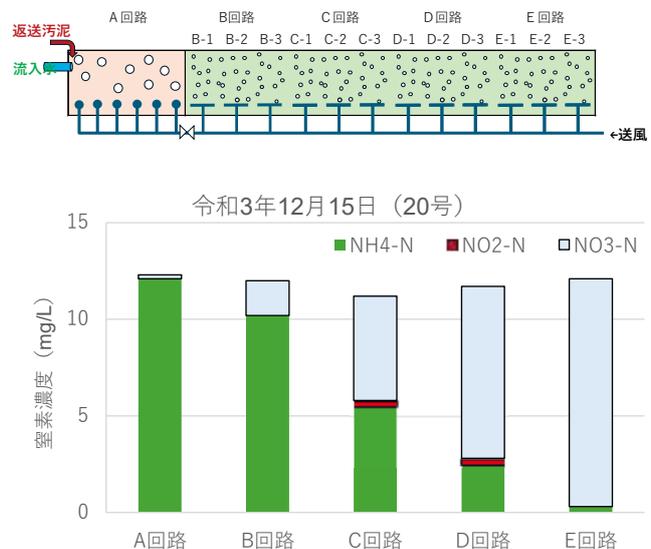


図 3 ライザーバルブ全開時の状況（一例）

### 3.2 ライザーバルブの一部を閉める場合<sup>3)</sup> (令和4年1月から令和5年4月まで)

次に、図4のとおりライザーバルブの一部を閉め、閉めたバルブ付近に脱窒可能ゾーンを形成することで、窒素除去率の向上を図った。バルブを閉める位置は好気タンクの上流側で、生成した $\text{NO}_3\text{-N}$ が速やかに脱窒するようにエアレーションを間引いた。

結果は、A回路からD回路にかけて、窒素濃度の低下が確認された。これは、硝化によって $\text{NH}_4\text{-N}$ から $\text{NO}_3\text{-N}$ ができ、脱窒可能ゾーンで速やかに脱窒されたためと考えられる。しかし、脱窒量より硝化量が上回っていたためB回路から徐々に $\text{NO}_3\text{-N}$ が上昇していた。処理水の窒素濃度は少し低下したものの、脱窒可能ゾーンが分散され、その領域も小さかったためか、効果は限定的であった。そこで、最適な位置を確認するためライザーバルブを閉める位置を少しずつ変えてみたが、処理水窒素濃度に大きな変化は見られなかった。

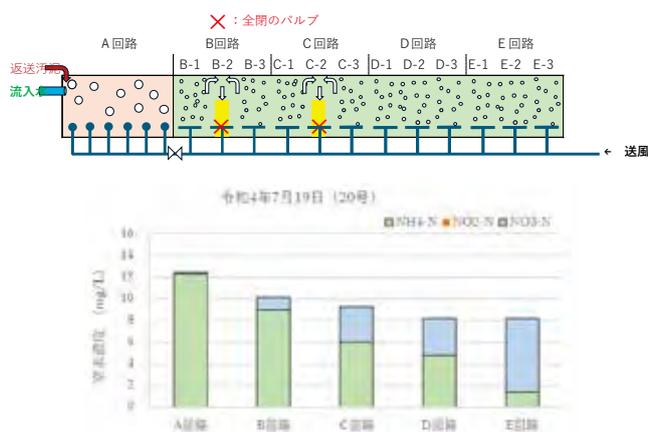


図4 ライザーバルブの一部を間引いた時

### 3.3 ライザーバルブを連続して閉める場合 (令和5年4月から)

脱窒の効果を更に高めるため、反応タンク中央付近のライザーバルブ3本を連続して閉め、調査を行った(図5)。

ライザーバルブを連続して閉める方法により、まとまった空間を脱窒可能ゾーンとすることで、その結果、A回路からC回路にかけての窒素濃度の低下が3.2よりも向上した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少に対して $\text{NO}_3\text{-N}$ の増加がほとんど見られず、硝化量と脱窒量が概ね同量となった。以上のことから、適切な場所において脱窒可能ゾーンを大きく形成できれば、より効果的に窒素が除去されることが分かった。

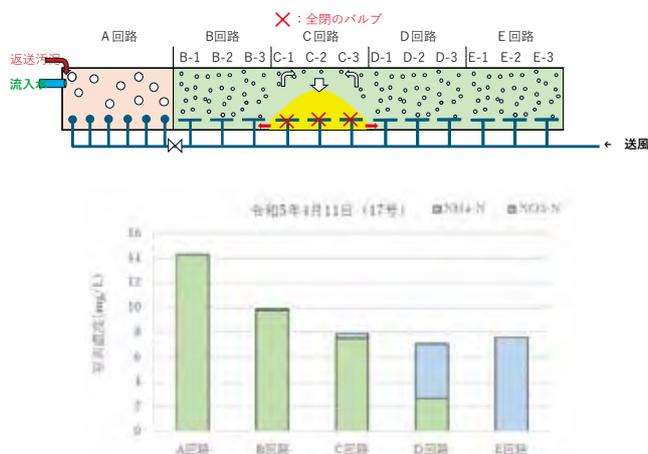


図5 ライザーバルブを連続して閉鎖した時

### 3.4 好気タンクに隔壁がある場合の事例

これまで見てきた反応タンクは、嫌気タンクと好気タンクを仕切る隔壁が1枚の構造だった。これに対して、反応タンク19号から24号には各回路を仕切る隔壁が設置されており、5区画に分かれている。これまでの結果を踏まえ、回路ごとに隔壁がある反応タンクについて、比較的窒素除去率が高い嫌気好気無酸素好気(AOAO)法での処理を試みた。

当初、C回路での脱窒を試みたが、B回路出口の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が $2\text{mg/L}$ 程度以下と低く、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が高かったため、脱窒量は少なめであった。このことから、D回路での脱窒に切り替

えた。この場合、C回路でのNO<sub>3</sub>-Nが逆に高くなりすぎ、C回路出口までにBODを多く消費したため、BとC回路でライザーバルブを1か所ずつ全閉としてB、C回路の好気処理を少し抑えることとした（図6）。

結果は、3.3同様、前半のA回路からC回路にかけては速く脱窒したが、後半は失速し、ほぼ一定となった。これは、後半にかけてBODが低下し、脱窒に必要な有機物がなかったためだと考えられる。それでも、反応タンク出口での窒素濃度は、隔壁がないタンクに比べて少し低めであった。



図6 隔壁が設置されている場合（AOAO法）

#### 4. 脱窒可能ゾーンの最適位置の検討

##### 4.1 ライザーバルブを4本連続で閉めた場合

南系の更新前の反応タンクでは、流入部から流出部までにライザーバルブが28か所設置されている。脱窒可能ゾーンの最適な位置と本数を検討するため、隔壁がなく、個々のライザーバルブ付近で採水可能な、更新前の反応タンク5号について窒素の詳細な挙動を調べた（図7）。流入側寄りのライザーバルブ番号2から4までと番号6を全閉とし、疑似嫌気ゾーンとした。また、中盤の番号15から18までの4本を連続して閉め、脱窒可能ゾーンとした。

その結果、疑似嫌気タンクを出て以降、脱窒が進行し、ライザーバルブ番号18の辺りで速度が頭打ちとなった。また、NO<sub>3</sub>-Nはライザーバルブ番号11以降でほぼ一定の状態が続き、19番以降で増えていた。

以上を踏まえ、反応タンク内の硝化・脱窒ゾーンのイメージを図8に示す。前半は、BODが比較的高く、硝酸があれば脱窒する（脱窒可能ゾーン）。一方、後半は、BODが少なく、硝化は進みやすいが、バルブを閉めてもほとんど脱窒しない（硝化ゾーン）。このため、脱窒可能ゾーンと硝化ゾーンの境界部分が好気タンク内での脱窒の限界点と考えられる。この動きは各地点での脱窒速度の変化と同様の状況である。ライザーバルブを閉めた範囲は、上流と

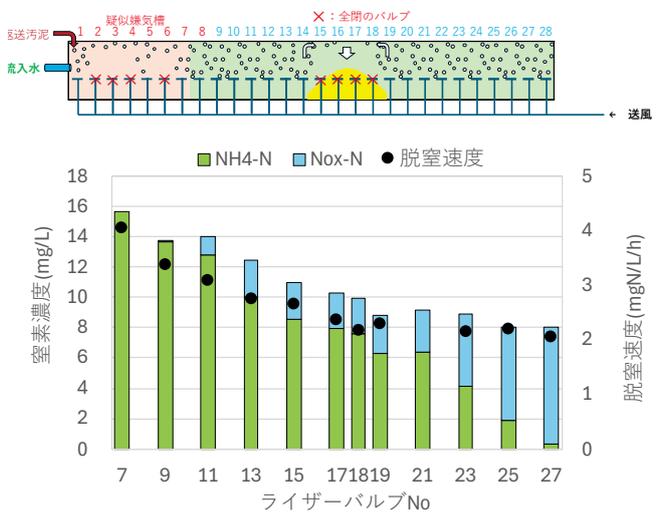


図7 ライザーバルブ番号15-18を閉めた場合

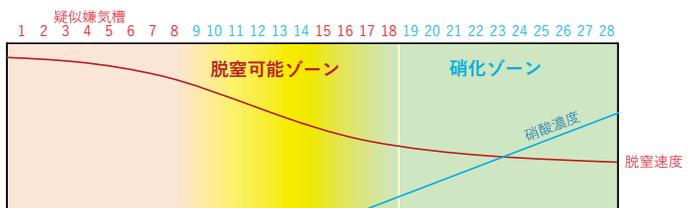


図8 反応タンク内の硝化・脱窒のイメージ

下流双方からエアリフト循環により混合されるため、脱窒が進行しやすいと考えられる。従って、効果的に脱窒を進めるには、境界付近のライザーバルブを連続して閉めることが有効と考えられる。

#### 4.2 ライザーバルブを7本連続で閉めた場合

令和6年9月に南系反応タンク8号及び9号の更新工事が完了し、運用を再開した。南系反応タンク1つ当たりの負荷が低下したため、硝化に余裕が生じた。そこで、脱窒の範囲及び限界点を詳しく調べるため、反応タンク5号のライザーバルブを7本連続で閉めた(図9)。

その結果、ライザーバルブ番号13から17までは脱窒を確認できたが、番号18以降は窒素濃度があまり変化していなかった。ライザーバルブ5本分まで(好気タンク全体の1/4程度の本数)で脱窒に必要なBODが分解されてしまい、閉めるライザーバルブの数をこれ以上増やしても効果がないと言える。確認後は、硝化を安定化させるため、ライザーバルブ番号18以降は全開とし、硝化ゾーンを拡張させた。

なお、更新前の反応タンクの中には、エアレーションによるかくはん強度が下がる雨天の最低風量(2,000Nm<sup>3</sup>/h)時に底部にわずかに汚泥が堆積している状況が確認されたが、風量の増加とともに解消された。一方、更新後の反応タンクでは、全てのタンクで最低風量(1,000Nm<sup>3</sup>/h)時にも汚泥の堆積はなかった。これは散気設備より下層の深さの差によるものと考えられる。更新前の反応タンクの散気設備以深が3.15mであるのに対して、更新後であると1.4mである。底部に近い位置でのエアレーションによって生じる水流が底部の混合液を巻き込み、汚泥の堆積を防止していると考えられる。すなわち、本法は標準タンク(浅槽)への適用が可能であるが、深槽式反応タンクでは汚泥の堆積が懸念される。深槽式反応タンクでは、風量等の調節によって散気設備下部において脱窒が可能であるため、使い分けが可能である。

以上のことから、好気タンクの中盤から少し上流で、好気タンク全体の1/4程度のライザーバルブを閉めることで、効果的に脱窒と硝化とを促進する運転が期待できる。即ち、有効水深が浅い反応タンクにおいて、適切な位置のライザーバルブを連続して閉めることで、窒素除去率の向上に加えて、脱窒の効果による風量の削減が期待できる。

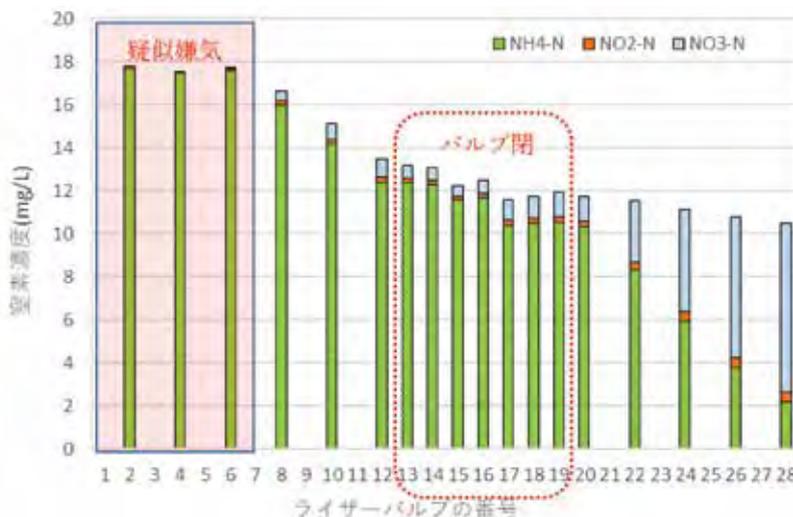


図9 ライザーバルブ番号13から19を閉めた場合の反応タンク内窒素処理状況(令和6年11月25日)

## 5. 窒素除去の経過

本取組期間中の窒素除去率を図 11 に示す。値の振れ幅は 30%ほどあるが、徐々に除去率が改善される傾向が見られた。また、参考として累積窒素負荷量及び累積りん負荷量の年度別の傾向について、図 12 と図 13 に示す。放流水の窒素及びりん負荷量が年々減少していることから、本取組が窒素除去に寄与しながら、りん除去に悪影響を与えていないことが読み取れ、期間全体を通じ、水質改善が図られていることが分かった。



図 11 ライザーバルブ開度調節実施期間中の窒素除去率

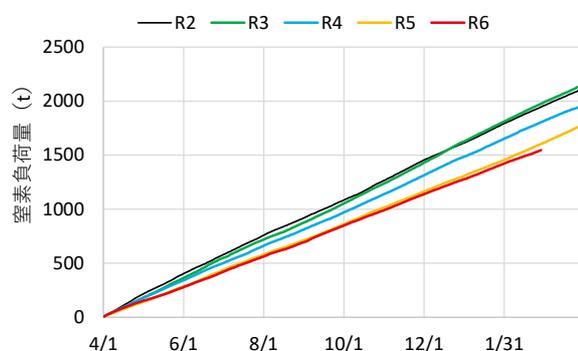


図 12 窒素負荷量の年度間比較

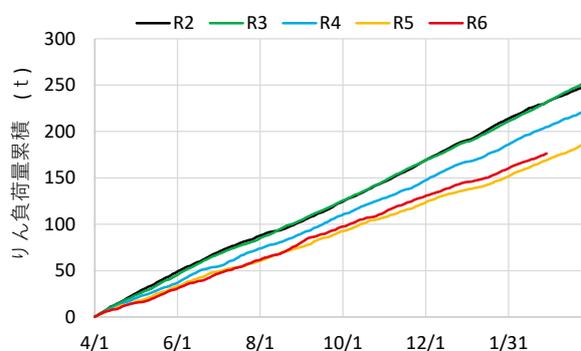


図 13 りん負荷量の年度間比較

窒素の負荷量は、令和 2 年度に比べて、令和 4 年度で 7%、令和 5 年度以降で 16%低下しており、水質改善が進んできたことを確認できた。

## 6. まとめ

ライザーバルブの開度調節により、以下の知見が得られた。

当センターの反応タンクにおいて、中盤のライザーバルブを連続して閉めることで脱窒が促進され、窒素除去率を改善することができた。また、ライザーバルブを連続して閉める本数は、好気タンク全体の 1/4 程度が最適であることが分かった。

## 参考文献

- 1) 葛西孝司、曾根啓一、鈴木重浩、高橋宏幸、黒住光浩、坂根良平「好気タンク内の脱窒を利用した新たな高度処理技術（同時硝化脱窒処理）の開発」下水道協会誌 Vol.52 No.635
- 2) 増田ほか 「2-2-6 低負荷施設における水質改善への取り組み」 東京都下水道局技術調査年報 2021
- 3) 杉浦ほか 「2-2-5 低負荷施設における水質改善への取組（その 2）」 東京都下水道局技術調査年報 2022

## 2-3-1 硝化に必要なばっ気電力の削減と下水道資源の活用に向けたアンモニアストリッピング技術の適用可能性について

森ヶ崎水再生センター 松園 健吾  
(現 中部下水道事務所 芝浦水再生センター)

### 1. はじめに

東京都下水道局（以下「当局」という。）は、2030年カーボンハーフ実現に向けて、地球温暖化対策とエネルギー対策とを一体的に推進し、脱炭素化に向けた取組の加速・強化を図るため、令和5年3月に「アースプラン 2023」を策定した。本計画の2050年ゼロエミッション実現に向けたビジョンの中で、温室効果ガスの削減と下水道資源の最大限の活用<sup>1)</sup>を挙げているが、既存技術や先進技術の導入だけでは達成が困難であることから、先進技術の一層の導入推進や、より革新的な技術の開発・導入が必要不可欠となっている。このような背景から、他分野で利用されている技術について再度スポットを当て、ゼロエミッションの実現に近づけるよう、新たに温室効果ガス削減へのメニューに加えられないかを検討することとした。

その技術の一つに、従前より工場排水処理等で利用されてきた「アンモニアストリッピング法」がある。この方法は、高濃度のアンモニアが含まれている排水をpH調整によりアルカリ性にし、アンモニアをガス化させた後に冷却することでアンモニアを排水から取り出す技術であるが、ガス化に当たって加温のためのエネルギーを多く要するため、大量の下水を処理し、大量のエネルギーを必要とする下水処理分野では、あまり採用されていなかった。

しかし、アンモニアストリッピング法の下水処理分野適用への課題が解決された場合、反応槽におけるばっ気電力の削減や回収したアンモニアの資源利用が期待できる。

そこで、「アンモニアストリッピング法」を試験運用しているイギリスの「ハウドン下水処理場」を現場視察し、実態を把握するとともに、この技術を森ヶ崎水再生センターに導入した場合の考察を行ったので報告する。

### 2. 下水道局の現状と課題

#### 2.1 反応槽におけるばっ気電力と温室効果ガス排出量の実態

2050年までに世界のCO<sub>2</sub>排出量実質ゼロに貢献する「ゼロエミッション東京」の実現は、エネルギーや資源の大消費地である東京の責務であり、2030年までの今後10年間が未来に向けた重要なマイルストーンとなる。そのため、「気候非常事態を超えて行動を加速する宣言」に基づき、2030年までに温室効果ガスを50%削減する目標を実現する具体的な取組を推進することが都にとって急務である。

図1に示すとおり、下水道局における温室効果ガス総排出量のうち、水処理工程での電力使用による温室効果ガス排出量(①)は全

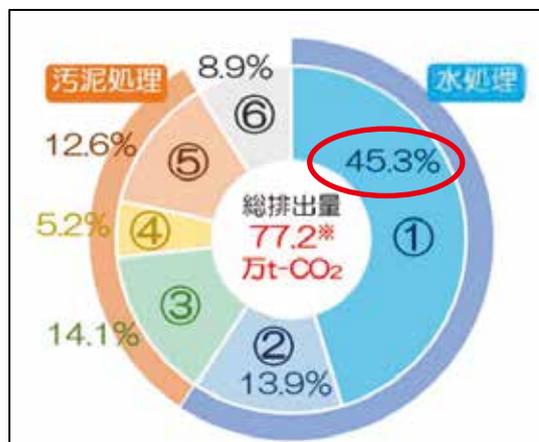


図1 当局の温室効果ガス排出量の内訳 1)  
(令和3年度実績)

体の 45.3%を占めており、主にポンプの揚水や反応槽におけるばっ気電力として使用されている。したがって、反応槽におけるばっ気電力の削減が急務となっている。

## 2.2 下水中のアンモニアの未活用

産業界におけるアンモニアの利用用途としては、尿素や硫酸アンモニウム等としての肥料利用や化学繊維の原料、廃棄物焼却処理工程で発生する窒素酸化物の脱硝剤に利用されるなど、多岐に渡っている。また、水素社会の実現に向けた取組を推進する上で、アンモニアはエネルギーキャリアとして直接利用することが可能であり、電力分野ではアンモニアを燃料とした石炭との混焼発電及びアンモニアのみでの専焼発電、非電力分野ではエネルギー密度の高さから国際輸送等長距離を移動する船舶分野等での活用が想定されている。このように、持続可能な資源利用推進の一環として、国内で下水中のアンモニアの有効活用方法について検討可能性がある。参考までに、全国の処理場で発生する消化汚泥の年間発生量に対するアンモニア回収可能量は 12,590 (t/年) 以上<sup>2)</sup>とされている。

一方、図 2 のように水処理工程の反応槽において、アンモニアは好気槽で硝化菌の働きにより硝酸へ化学変化させ、無酸素槽で脱窒菌により窒素ガス化して大気放出しており、下水由来のアンモニアは一般的に資源として有効利用されていないのが現状である。

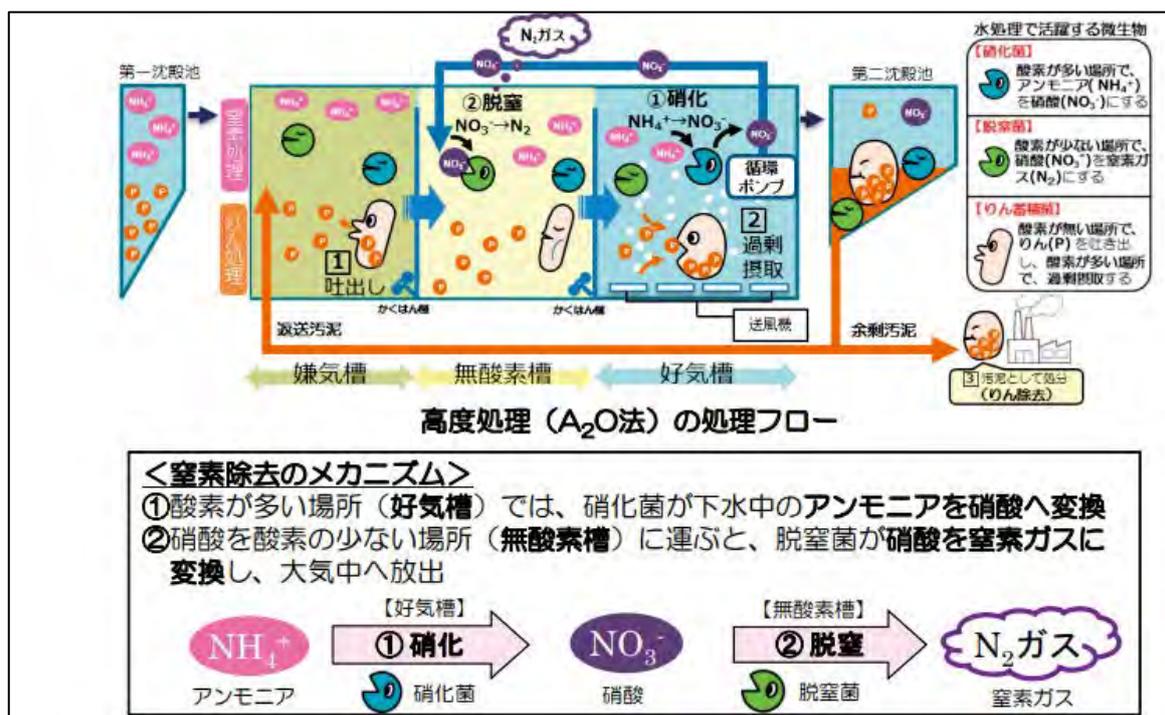


図 2 反応槽における高度処理のフロー<sup>3)</sup>

## 3. 調査内容

### 3.1 アンモニアストリッピング法

アンモニアストリッピング法とは、水処理方法の一つであり、高濃度のアンモニア性窒素が含まれる液中に蒸気を吹き込んで水中のアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)と水酸化物イオン(OH<sup>-</sup>)を反応させ、アンモニアガスを回収する手法である。

図 3 にアンモニアストリッピング装置の概要を示す。

仕組みとしては、初めにアンモニア性窒素を含有している排水をストリッピング塔の上

部から下部へ流し込み、それに対して高温蒸気をストリッピング塔の下部から上部へ流し込むことで、排水と蒸気とが接触して液中のアンモニア性窒素はアンモニアとして気化し、蒸気側の中に混ざる。そして、蒸気に含まれるアンモニアは、後段で冷却することでアンモニア水として回収している。本手法における化学反応式は以下のとおりである。

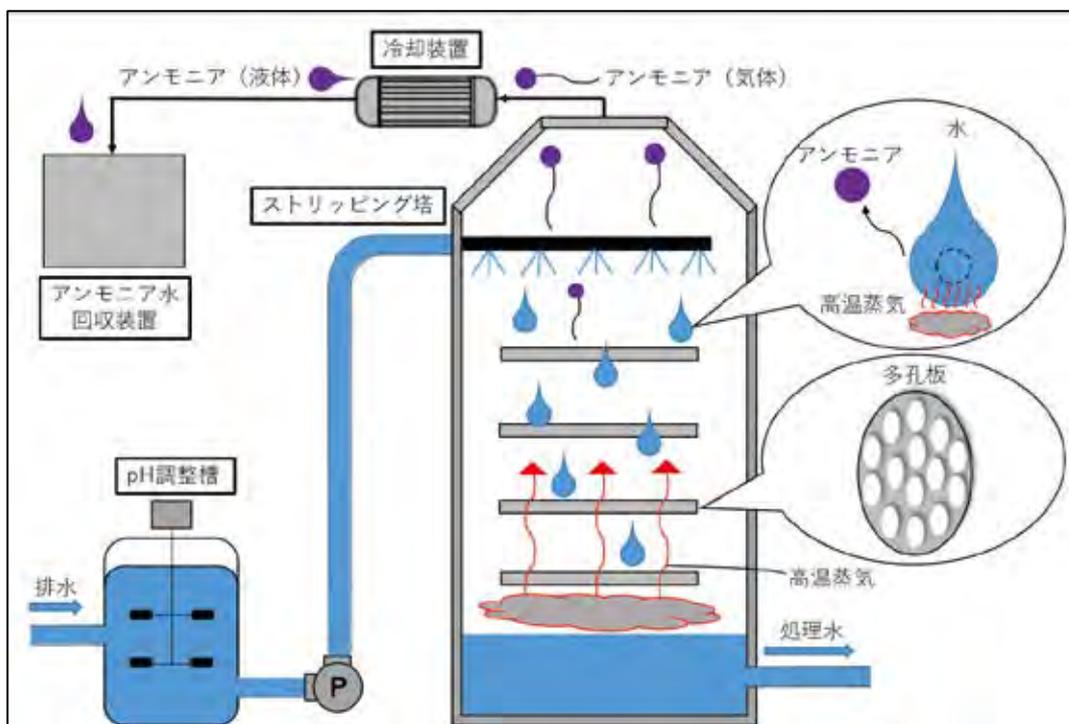
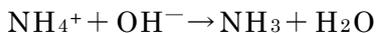


図3 アンモニーストリッピング装置の概要

### 3.2 森ヶ崎水再生センターにおける水処理の状況

森ヶ崎水再生センターでは、東施設内にある污泥処理工場と南部スラッジプラントとにおいて污泥処理を、東施設にて污泥処理工場からの返水と南部スラッジプラントからの返水などを流入下水と合わせて水処理を行っている。

図4のように南部スラッジプラントでは、污泥処理工程における濃縮及び脱水により生じる分離液は污泥処理返水として水処理工程

に戻しており、この污泥処理返水には、流入下水よりも高濃度のSSやリン、アンモニア性窒素などを含んでいる。そのため、放流水質基準の確実な遵守に向けて、水処理工程では多くのばっ気電力を消費している。

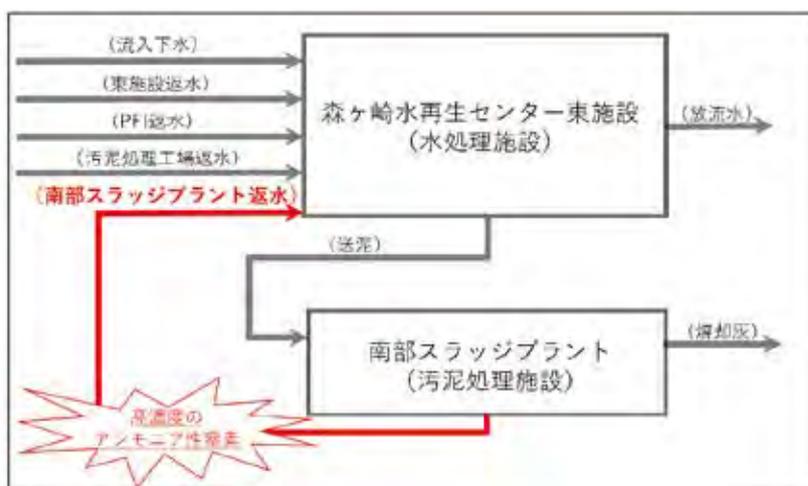


図4 森ヶ崎水再生センターにおける下水処理フロー図 (污泥処理返水周り)

このことから、アンモニアストリッピング法を汚泥処理返水に適用した場合、森ヶ崎水再生センター東施設への返水中のアンモニア性窒素の大部分を除去することで、反応槽における硝化に必要なばっ気電力を削減することができると考えられる。

### 3.3 ハウドン下水処理場（イギリス ニューカッスルアポンタイン市）

イギリスの下水処理場にて試験運用されているアンモニアストリッピング設備や回収したアンモニアの活用方法を調査するために現地視察を行った。

調査は、令和5年8月26日～9月3日の9日間、イギリスのニューカッスルアポンタイン市にあるハウドン下水処理場で行った。

ハウドン下水処理場は、イギリス東海岸のエディンバラとテムズ川の間位置し、日量229,000m<sup>3</sup>の排水を処理している。図5にハウドン下水処理場の汚泥処理フロー図を示す。

本処理場では汚泥処理も行っており、処理場内で発生した汚泥だけでなく、近隣の下水処理場から輸送される汚泥も合わせて処理する集約処理施設である。集約された汚泥の消化効率向上とメタンガス発生促進のために水蒸気を用いて温度と圧力をかけて汚泥を溶かす可溶化装置を設置している。また、溶解した汚泥は、消化槽の保護と消化槽内の適正温度を保つために冷却装置を通して消化槽にて投入された汚泥から発生したガスを使い、熱電併給システムで発電等を行っている。

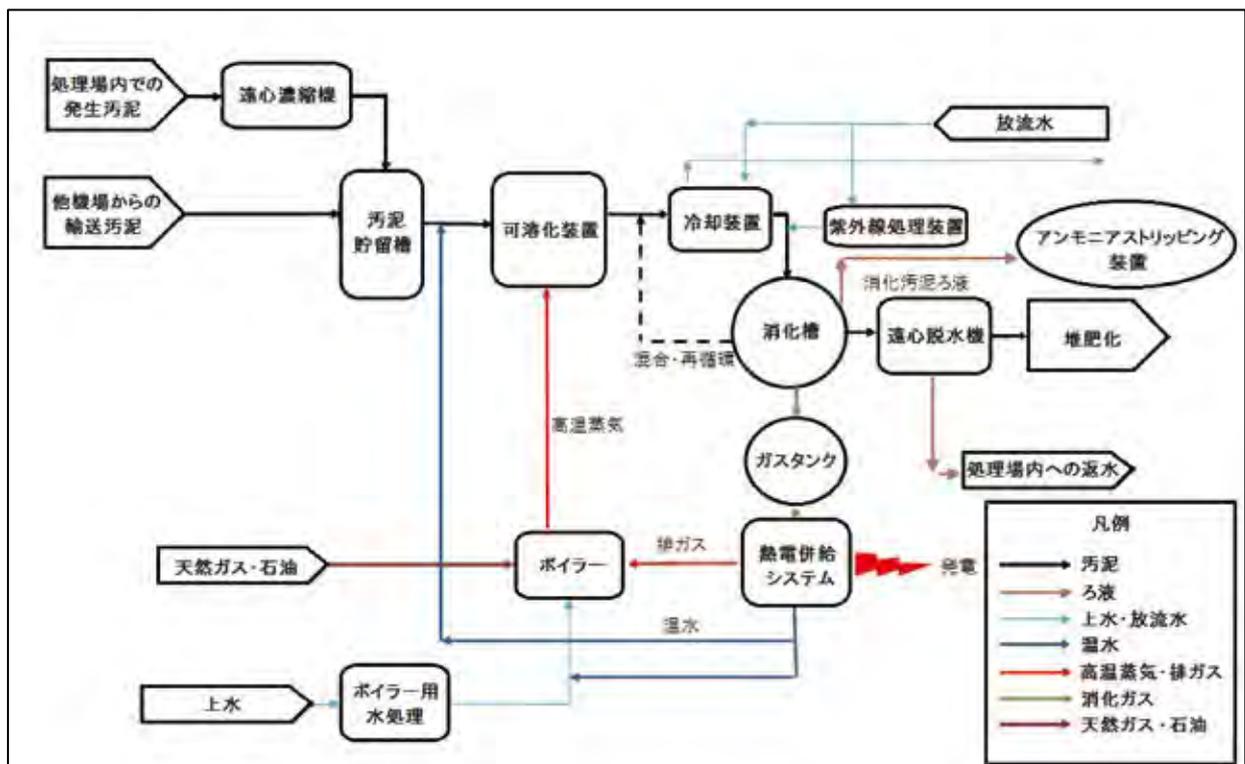


図5 ハウドン下水処理場の汚泥処理フロー図

## 4. 調査結果

### 4.1 ハウドン下水処理場におけるアンモニアストリッピング法の活用

ハウドン下水処理場では、アンモニア濃度の高い消化汚泥ろ液からアンモニアストリッピングを行っていた。また、現地のアンモニアストリッピング装置を設置及び研究している技術者によると、「ストリッピングに使用する高温蒸気を作るためのヒーターに使用す

る電力が多いことが課題であり、より高濃度のアンモニアを含む排水を対象にストリッピングしなければ採算が合わない。」とのことであった。そのため、今後は高温蒸気を製造するための熱源を電力消費が伴うヒーターから処理場内に設置されているガスエンジンの廃熱利用へ変更することや、試験設備から他機場にて設置実績のある巨大装置に換装し、より大規模にアンモニア製造を行うことを検討しているとのことであった。図 6 にハウドン下水処理場の全体写真とアンモニアストリッピング装置を示す。



図 6 ハウドン下水処理場の全体写真（左）とアンモニアストリッピング装置（右）

#### 4.2 森ヶ崎水再生センターにおけるアンモニアストリッピング法の適用の可能性

実際に、アンモニアストリッピング法を南部スラッジプラントの返水に適用した場合、森ヶ崎水再生センター東施設に戻る返水中のアンモニア性窒素の大部分を除去することで、硝化に係るばっ気電力がどの程度削減できるのか、また回収できるアンモニアの量がどの程度になるかを試算した。

令和 5 年度の森ヶ崎水再生センターの水質管理年報の水質、水量<sup>4)</sup>から、「下水道施設計画・設計指針と解説」<sup>5)</sup>に記載されている式を用いて必要酸素量を試算した。必要酸素量の内訳を図 7 に示す。図 7 の通り、必要酸素量の内訳は、有機物の酸化に必要な酸素量 (DB)、窒素処理に必要な酸素量 (DN)、内生呼吸に必要な酸素量 (DE) 及び溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量 (DO) にて構成されており、DN は必要酸素量全体の 45% であった。

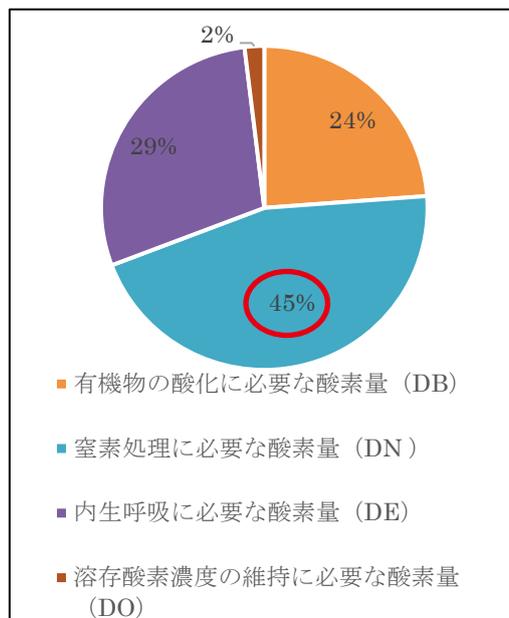


図 7 必要酸素量の内訳

また、図 8 に示すとおり、東施設に流入する全アンモニア性窒素のうち、南部スラッジプラントの返水中に含まれるアンモニア性窒素が占める割合は 20% であった。(南部スラッジプラント返水中のアンモニア性窒素量 ÷ 東施設に流入する全アンモニア性窒素量 × 100 = 4.313(t-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/日) ÷ 21.095(t-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/日) × 100 ≒ 20%)

参考として、国土技術政策総合研究所の論文「下水道由来のアンモニアのエネルギー利用システムに関する研究(2019)」<sup>2)</sup>に記載されているアンモニアストリッピング法に

よるアンモニア性窒素回収率 87.8(%)を使用すると、南部スラッジプラントの返水のアンモニア性窒素の除去により、東施設のばっ気電力が約 9%削減できる可能性があるとして試算できた。

さらに、1日当たりの回収可能なアンモニア量は 3.787 (t/日)と試算できた。

(南部スラッジプラント返水中のアンモニア性窒素濃度×南部スラッジプラント返水流量×アンモニア性窒素回収率 = 44.3(mg/L = g/m<sup>3</sup>) × 97,360(m<sup>3</sup>/日) × 87.8(%)=3,786,856(g/日)≒ 3.787 (t/日))

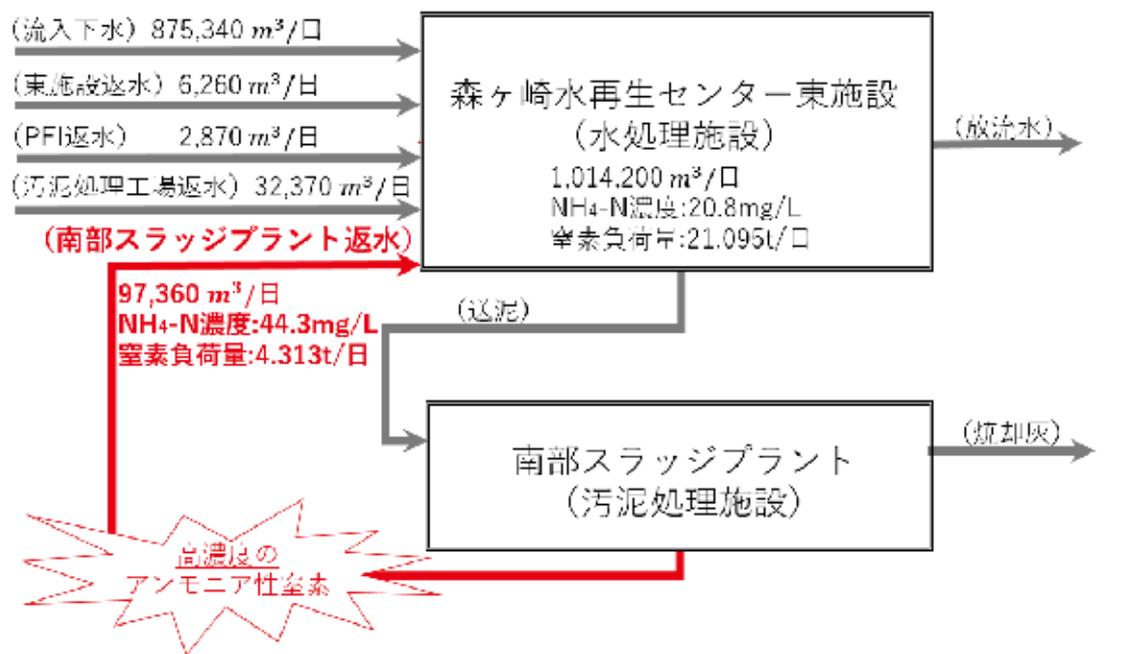


図 8 汚泥処理返水周りの水量、アンモニア性窒素濃度及び窒素負荷量 (令和 5 年度実績)

#### 4.3 回収したアンモニアの活用方法

ハウドン下水処理場では、現地で回収したアンモニア水(質量パーセント濃度約 20%)の具体的な活用方法として、発電のための燃料や肥料の精製、水素への改質などを検討していた。

森ヶ崎水再生センターにおいても、回収したアンモニアの活用方法として以下の 3 点が考えられる。

- (1) 汚泥焼却炉に付属するバイナリー発電機に使用される作動媒体への補充
- (2) 空調機で使用される冷媒への補充
- (3) 燃料や肥料の精製や水素への改質(ハウドン下水処理場と同様)

これらの活用方法に当たっての課題は、発電機及び空調機設備導入の可否、工場における受け入れの可否(濃度や純度など)の確認及び受け入れ可能な工場の選定等がある。また、受け入れ先の条件に合わせてアンモニア濃縮設備の設置や液体アンモニア製造のための蒸留水確保等、多くの課題解決が必要となる。

東京都下水道局では、図 9 のようにアースプラン 2023 において、下水道資源の活用イメージとしてアンモニア回収及び利用についても想定しており、アンモニアストリッ

ピングを活用することで新たに温室効果ガス削減へのメニューの一つになると考えられる。

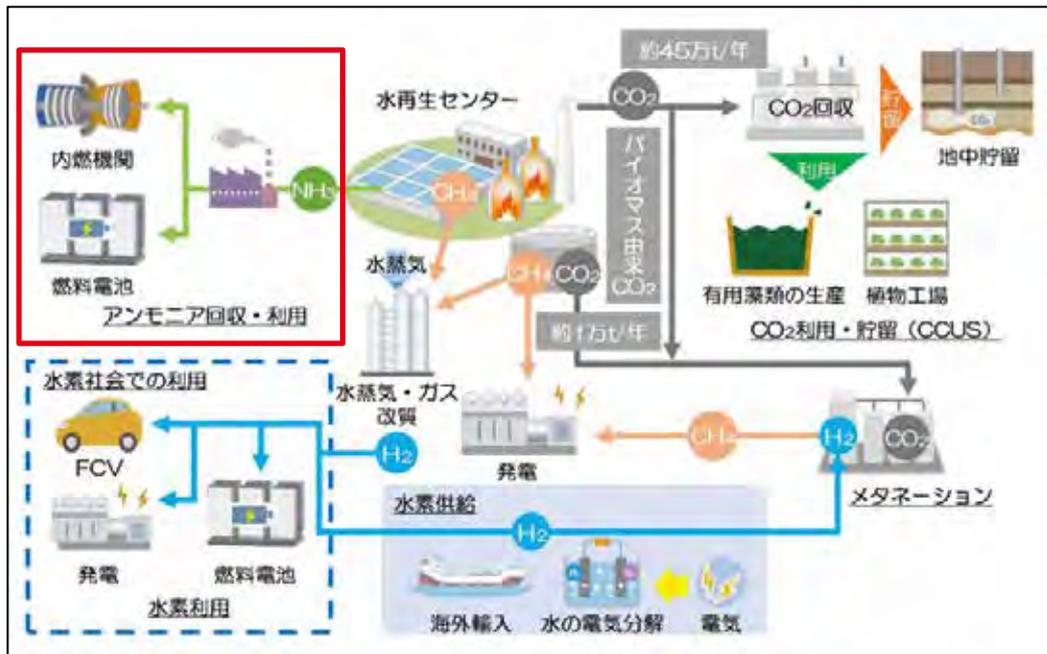


図 9 下水道資源の活用イメージ

## 5. まとめと考察

水処理工程において、反応槽ではばっ気に多くの電力を使用しており、ゼロエミッションの実現に向けては、このばっ気電力の削減が急務である。さらには下水中に含まれるアンモニア性窒素は、アンモニア資源として有効活用されていない。

現時点では、ガス化に当たって加温のための大量のエネルギーを要する課題があるが、低コストでのアンモニアの気化技術や高純度のアンモニア抽出技術の開発、回収したアンモニアの安定的な供給先が確保できれば、下水処理へのアンモニアストリッピング法の導入により、硝化に必要なばっ気電力の削減が期待でき、回収したアンモニアは燃料や肥料の精製や水素への改質などへの有効活用を見込むことができる。

今後、ゼロエミッションの実現に向け、革新的な技術メニューの一つとして「アンモニアストリッピング法の導入」について、引き続き検討していく。

### ・参考文献

- 1) 東京都下水道局. (2023). アースプラン 2023 (pp. 36, 74).
- 2) 山下洋正, 矢本貴俊, 松橋学. (2019). 下水道由来のアンモニアのエネルギー利用システムに関する研究 (pp. 73-75). 国土技術政策総合研究所.
- 3) 東京都下水道局. (2021). 東京都下水道事業 経営計画 2021 (p. 57).
- 4) 東京都下水道局. (2024). 令和 5 年度森ヶ崎水再生センター水質管理年報.
- 5) 公益社団法人日本下水道協会. (2019). 下水道施設計画・設計指針と解説 後編-2019 年版- (pp. 293-295).

## 2-3-2 焼却炉運転効率向上についての効果検証

西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 氏名 土屋 良文

### 1. はじめに

東京都下水道局（以下「当局」という。）は、2030年カーボンハーフ実現に向けて、地球温暖化対策とエネルギー対策とを一体的に推進し、脱炭素化に向けた取組の更なる加速・強化を図るため、令和5年3月に「アースプラン2023」を策定した<sup>1)</sup>。本計画では、汚泥処理工程・方法の効率化を図るため、汚泥処理施設間で汚泥量を最適に配分し、焼却炉の運転基数を減らし、電力使用量や燃料使用量を削減することにより、温室効果ガス排出量を削減している（図1）。

本稿では、令和5年度に実施したみやぎ水再生センター汚泥焼却設備補修工事に伴う全量送泥（以下「全量送泥」という。）期間における新河岸水再生センター（以下「当センター」という。）での焼却炉運転効率向上について効果検証を行ったので、報告する。

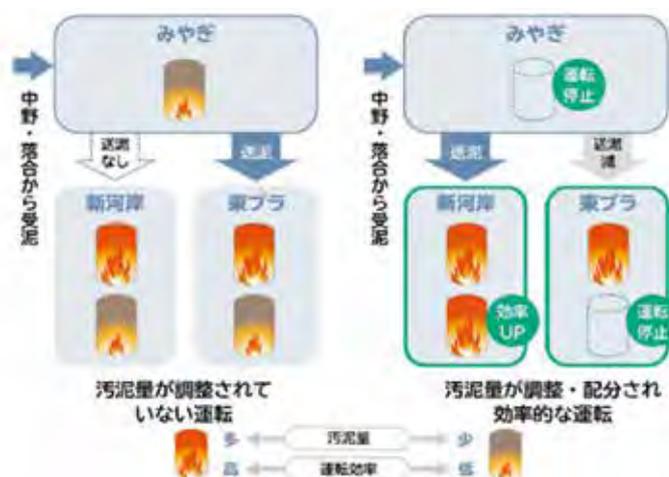


図1 汚泥量の調整・配分による効率化のイメージ（アースプラン2023内の図を基に作成）

### 2. 概要

#### 2.1 概要

区部の送泥ネットワークを図2に示す。当局では、汚泥処理の信頼性強化の取組として、相互送泥施設の整備を進めている。図に示すとおり、みやぎ・新河岸間における相互送泥施設の整備は完了している。

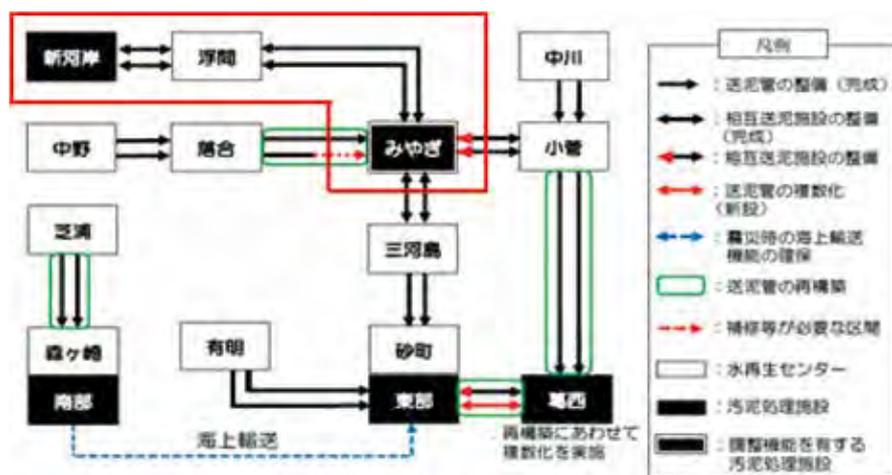


図2 区部の送泥ネットワーク（東京都下水道事業 経営計画2021<sup>2)</sup>）

## 2.2 新河岸水再生センターにおける汚泥焼却状況

当センターの汚泥焼却状況を表1に示す。

エネルギー自立型の新4号炉をメイン炉とし、省エネルギー型の新3号炉を調整炉とする運用が基本となっている。表1に示すとおり、晴天時における焼却量は330t/日であるのに対し、自立可能焼却量は375t/日であるため、新3号炉自立に必要な汚泥量は45t/日不足する。この間汚泥投入は停止するが、炉内温度を保つために都市ガスによる燃焼が必要な保温待機状態となり、多くの都市ガスを使用している。

表1 汚泥焼却状況

名称	仕様	定格焼却能力 (t/日)	晴天時焼却量 (t/日)	焼却量 (t/日)
2号炉	高温燃焼焼却炉	200	<b>330</b>	145～200
新3号炉	省エネルギー型焼却炉	250		<b>150</b> *1～250 (定格60%以上で自立*2)
新4号炉	エネルギー自立型焼却炉	250		<b>225</b> *1～250 (定格90%以上で自立*2)
合計(2炉運用時焼却能力)		450～500		<b>375</b> *1～500 (自立可能焼却量)

※1 自立可能な最低焼却量

※2 焼却炉の自立

新3号炉：保温待機状態にならず、過給機(ターボ)による使用電力の削減ができて  
いる状態

新4号炉：焼却炉の運転に必要な電力を自給できている状態

## 3. 全量送泥期間中における効果検証

### 3.1 全量送泥

全量送泥期間中におけるみやぎ水再生センター(以下「みやぎ」という。)からの受泥状況は表2のとおりである。

みやぎからの受泥に対して、当センターでは汚泥の全量を機械濃縮(ベルト濃縮機)で処理した。通常時は3～4台運転のところ5～6台運転となり、降雨状況により、機械濃縮を行っている余剰汚泥の引抜量を制限することで調整を行った。

表2 受泥状況

受泥量 (m <sup>3</sup> /h)	受泥濃度 (%)	ベルト濃縮機運転台数
320	0.3程度	5～6台(通常時:3～4台)

全量送泥期間：令和5年8月15日～10月17日

### 3.2 全量送泥期間中における汚泥処理状況

全量送泥期間中における焼却量と受泥量との関係を図3に示す。

全量送泥期間中は焼却能力が大きくかつ省エネ効果の大きい新3・新4号炉で運用した。

全量送泥期間中の最大焼却量は 499t/日となり、2 炉運転で対応可能であった。しかし、豪雨により汚泥発生量が大きく増加した場合は、3 炉運転も必要となることが分かった。

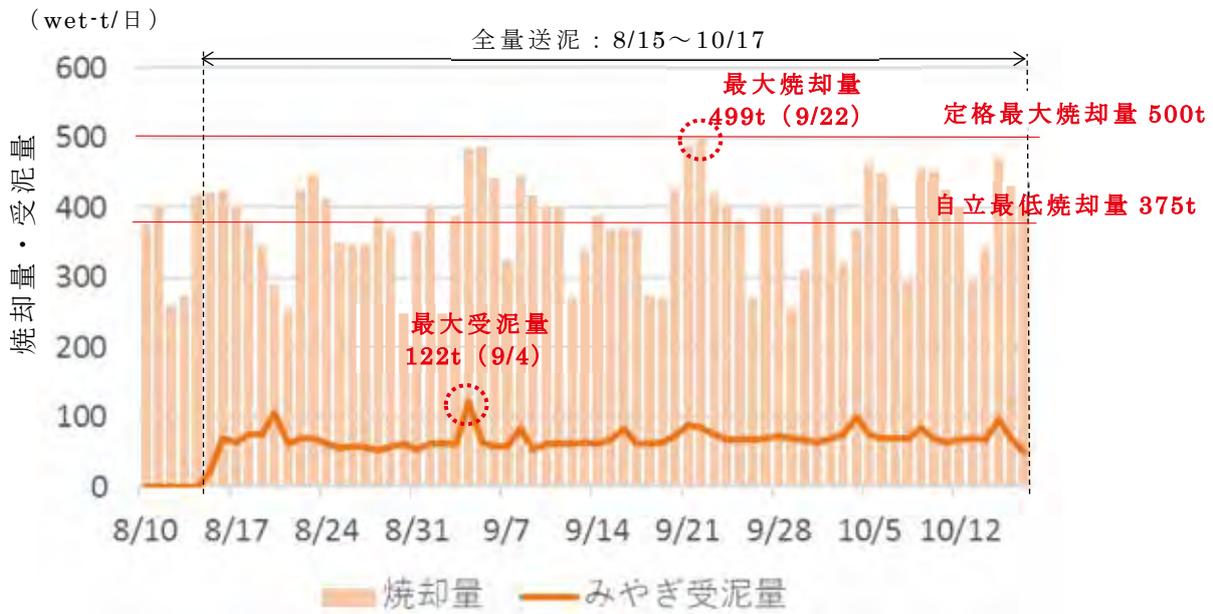


図 3 全量送泥期間中における焼却量と受泥量

### 3.3 効果検証

#### 3.3.1 新 3 号炉効果検証

新 3 号炉の焼却量と焼却電力量、焼却量と都市ガス使用量・一酸化二窒素（以下「N<sub>2</sub>O」）という。）排出量の関係を図 4、5 に示す。

新 4 号炉の定格運転を優先としたため、自立可能な最低焼却量を下回り、保温待機状態となる日が発生している。しかし、図 4、5 からは全量送泥により自立可能な 150t/日を上回る日が大幅に増加しているのを見て取れ、新 3 号炉自立運転に大きく貢献している。

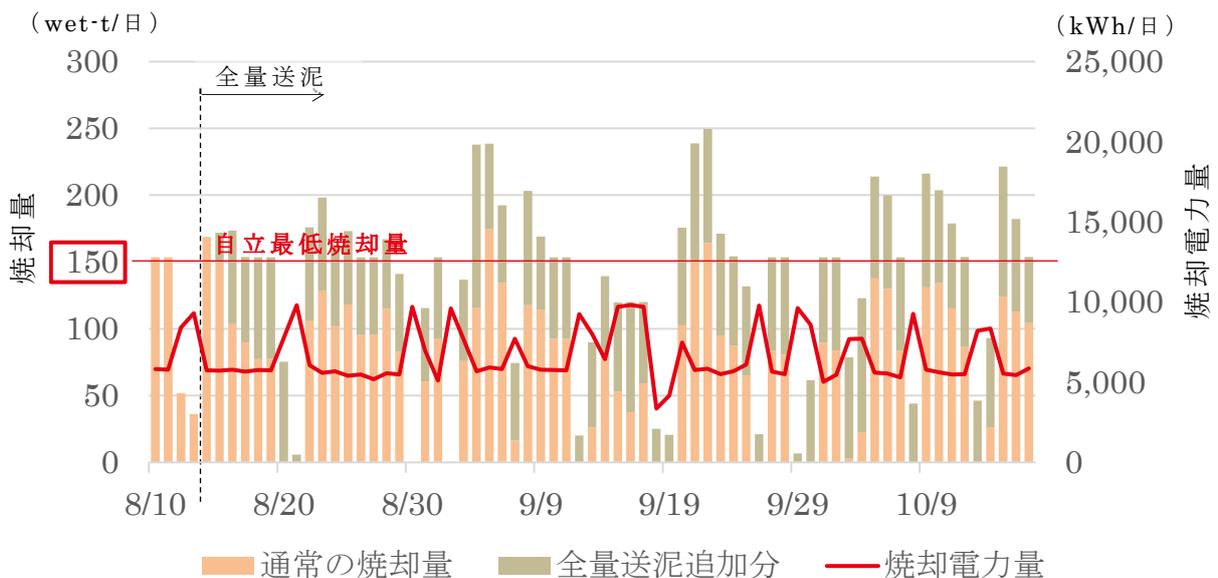


図 4 新 3 号炉焼却量と焼却電力量

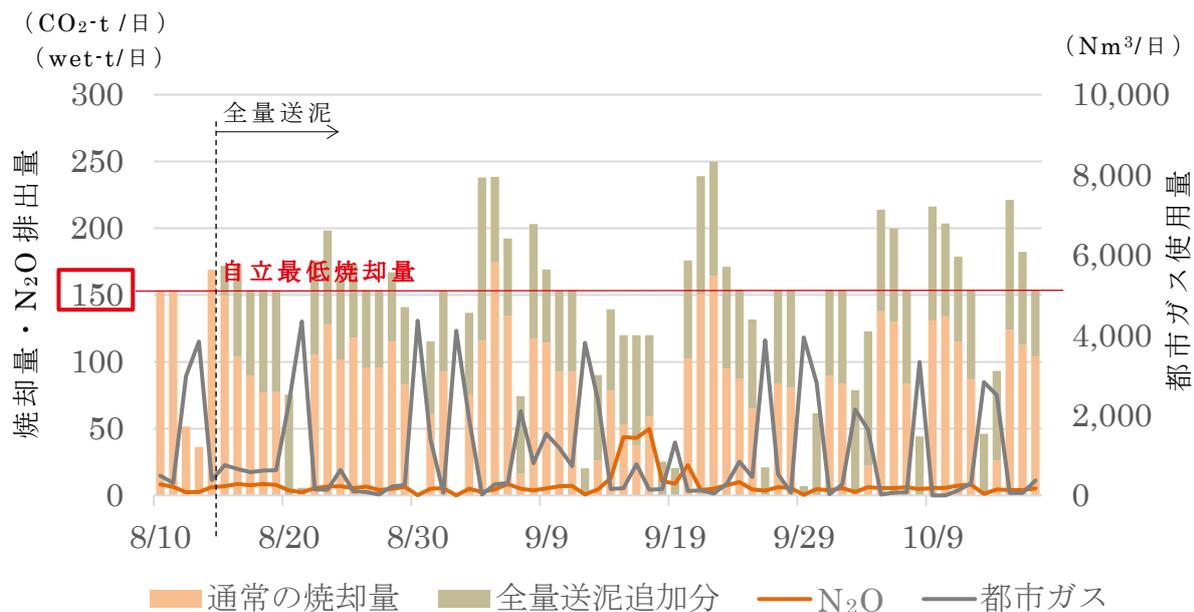


図 5 新 3 号炉焼却量と都市ガス使用量・N<sub>2</sub>O 排出量

### 3.3.2 新 4 号炉効果検証

新 4 号炉の焼却量と発電電力量・焼却電力量、焼却量と都市ガス使用量・N<sub>2</sub>O 排出量の関係を図 6、7 に示す。ほぼ全期間定格運転を実施しており、電力使用量ゼロの自立運転に加えて都市ガス使用量ゼロの自燃、フリーボード部の温度 900℃前後の高温焼却による低 N<sub>2</sub>O 運転の維持が実現できている。

なお、8 月の発電電力量は作動媒体凝縮器内の水管汚れに伴う熱効率低下により、発電効率が大幅に低下し、焼却電力量が増加した。9/1～4 の期間で発電機を停止し凝縮器清掃を実施したことで発電電力量が回復している。

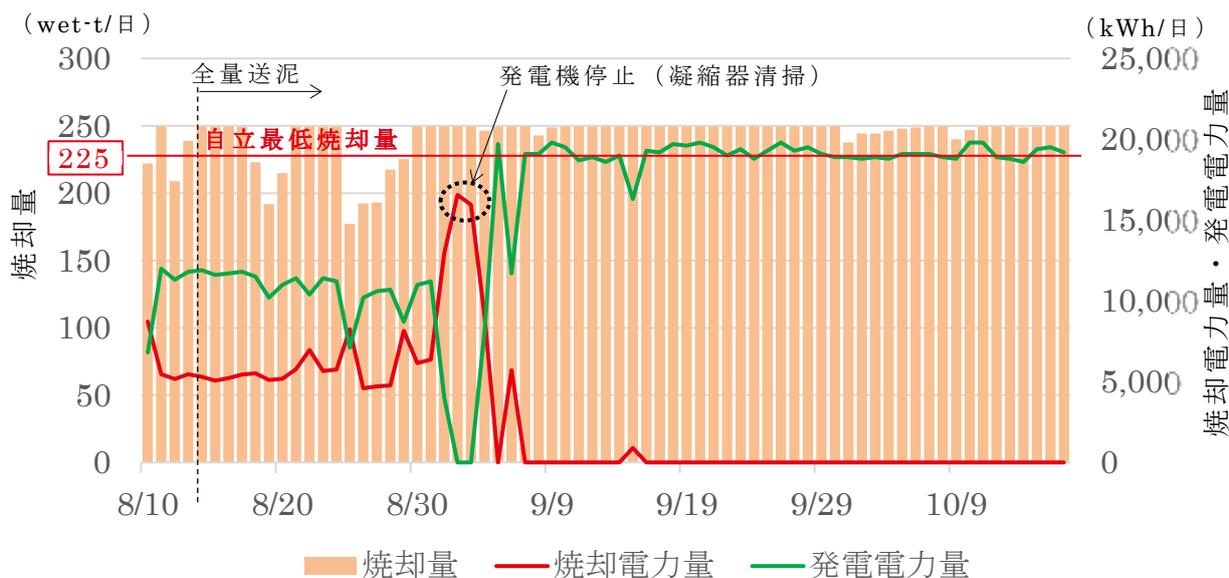


図 6 新 4 号炉焼却量と発電電力量・使用電力量

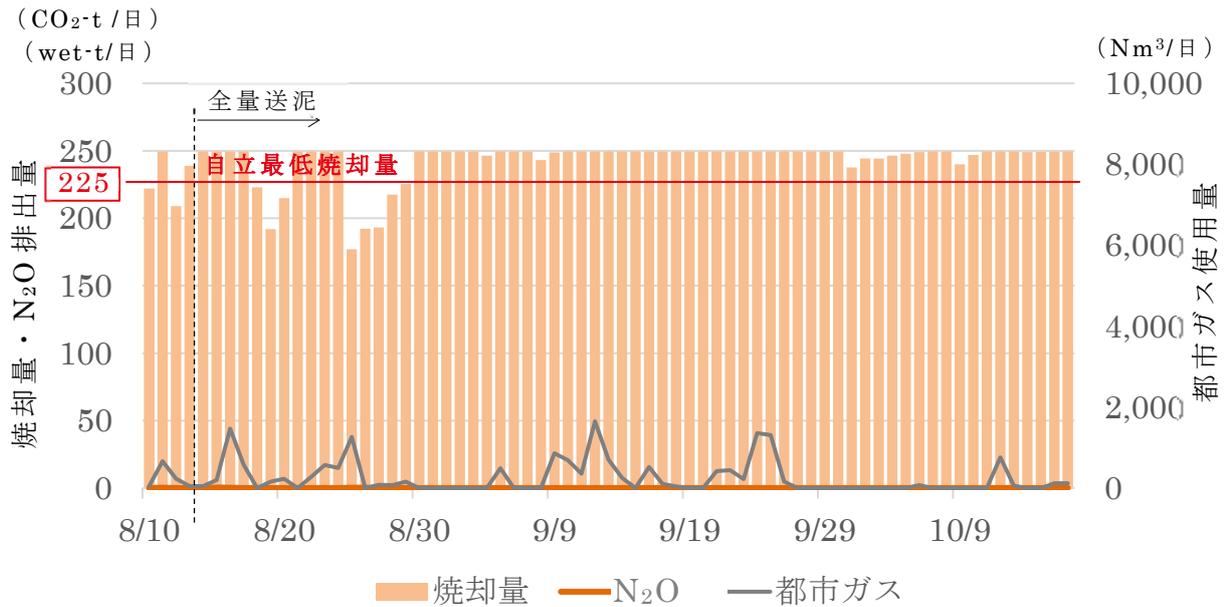


図 7 新 4 号炉焼却量と都市ガス使用量・N<sub>2</sub>O 排出量

#### 4. 課題と対応

##### 4.1 新 3 号炉の効率化

自立可能な最低焼却量を更に減らすことができれば、新 3 号炉の保温待機時間が減少し、より効率的な運転が可能となる。最低焼却量での運転状況を調査した結果、燃烧空気量減少時の細かな風量制御ができていないことが判明した。燃烧空気量は余剰空気弁で制御されるが、配管径が大きく、最低負荷時でもほぼ全閉近くで制御されていた。小口径化することで低負荷でもより細かい制御が可能となるが、余剰空気弁は緊急排気の役割も兼ねており、適切なサイズ選定が求められる。

緊急排気に要する時間と低負荷時における応答性を両立する配管径を検討した結果、口径 200mm とするのが最適となり、令和 5 年 10 月に口径を変更した (図 8)。これに伴う効果は現在検証中である。

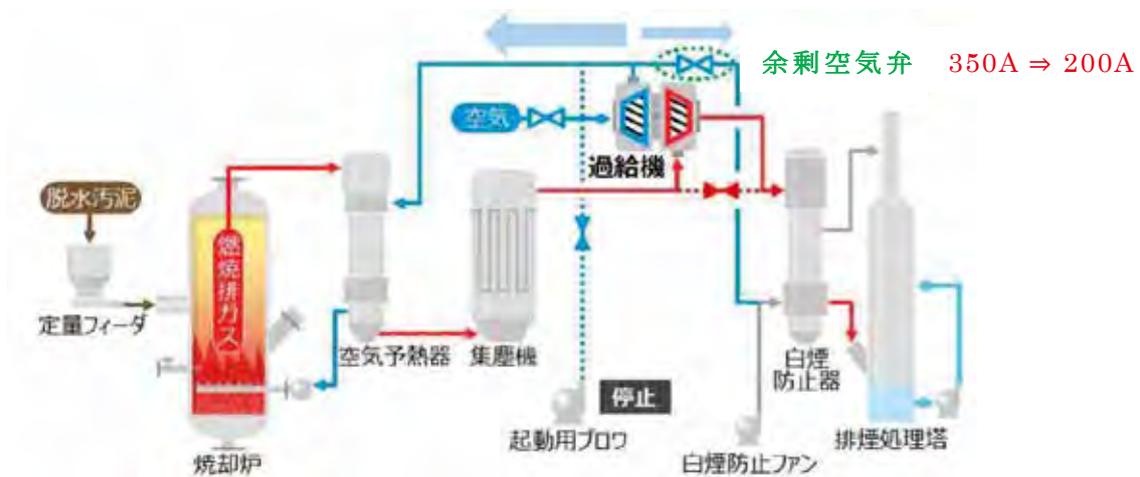


図 8 新 3 号炉フロー図

## 4.2 新4号炉発電機の定格運転

全量送泥期間中に新4号炉の定格運転はほぼ実施できたが、8月の発電量は4割ほど低下しており自立運転不可であった。発電に要する作動媒体の冷却には二次処理水を使用しているが、これに含まれる夾雑物が凝縮器水管に付着することで、熱効率が低下しているのが原因である。凝縮器清掃後、発電量が回復し自立運転可能となったが、60日～80日間隔での清掃が必要であり、維持管理上大きな負担となっている。

長期間の自立運転継続に向けて、夾雑物の除去装置設置や清掃方法の工夫など対応策を検討中である。

## 4.3 設備能力不足への対応

全量送泥期間中、降雨時は機械濃縮機が全台稼働することが頻繁にあった。また、豪雨時には焼却炉3機運転となる場合も想定される。これらのことから、当センターでの工事等による設備停止期間中は、今回述べたような効率的な運用が困難となることが考えられる。

今後、現有する設備能力を精査し、必要な対応を検討していく。

## 5. まとめ

今回の検証により、汚泥相互融通による焼却炉の運転効率の向上は、電力使用量や燃料使用量の削減、温室効果ガス排出量削減に有効であることが確認できた。一方で、今回の全量送泥期間中は降雨の影響が小さく、また、大きなトラブルもなく対応することができたが、設備能力に余裕のない状態での運用であった。

今後、安定的に汚泥処理施設間での汚泥相互融通を実施するには、各施設における課題を整理し、対応を行っていくことが重要である。今後も実施される全量送泥や送泥試験の機会を通じ、問題点を洗い出していきたい。

### ・参考文献

- 1) 東京都下水道局. (2023). アースプラン 2023.
- 2) 東京都下水道局. (2021). 東京都下水道事業 経営計画 2021. (p.46)

## 2-3-3 エネルギー供給型（カーボンマイナス）焼却炉の開発

計画調整部 技術開発課 技術開発担当 氏名 豊田 晃徳

### 1. はじめに

東京都下水道局（以下「当局」という。）は、日常生活や都市活動で発生する汚水を処理して河川や海に放流するとともに、道路や住宅に降った雨水を速やかに排除するなど、安全で快適な生活環境の確保や良好な水環境の形成に必要な役割を担っている。一方で、全国の下水处理量の約1割という膨大な量の下水を処理することから、都内における電力使用量の約1%に当たる電力を消費するなど、電力や燃料など大量のエネルギーを必要とし多くの温室効果ガスを排出している。当局が排出する温室効果ガスのうち、汚泥処理工程に由来するものは約3割を占めており、そのうち焼却工程に伴うものが大部分である。

これまで当局では、エネルギー自立型焼却炉（以下「自立型焼却炉」という。）や省エネルギー型焼却炉（以下「省エネ型焼却炉」という。）等環境に配慮した焼却炉を開発・導入してきたが、より一層の環境負荷の低減を達成するために高性能の焼却炉の技術開発を進めている。

令和4年度に「開発技術の導入を前提とした共同研究」として公募をしたところ、焼却炉メーカー6社から応募があり共同研究を実施した。共同研究の結果、焼却炉から発生する温室効果ガスの排出量を廃熱発電による温室効果ガス削減量が上回ることでカーボンマイナスを達成することが可能なエネルギー供給型（カーボンマイナス）焼却炉（以下「供給型焼却炉」という。）が、令和5年12月に局技術管理委員会において実用化技術として認定されたので報告する。

表-1 脱水汚泥の性状

種別		混合汚泥
含水率(%)		72
可燃分(%-DS <sup>*1</sup> )		82
灰分(%-DS)		18
高位発熱量(kJ/kg-DS)		18,600
組成比率(%-VTS <sup>*2</sup> )	炭素	51.5
	水素	7.8
	窒素	6.0
	酸素	33.6
	硫黄	1.0
	塩素	0.1

※1：乾燥固形物（dry solids）の略称。

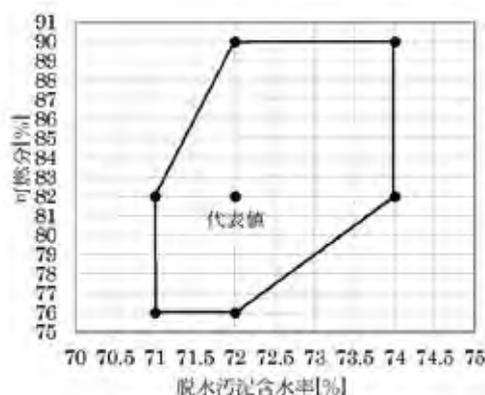


図-1 脱水汚泥含水率の性状範囲

### 2 共同研究開発条件及び開発目標

各焼却炉メーカーとの共同研究に当たり、**当局で設定した焼却炉の開発に必要な開発条件として、表-1 に示す代表的な性状の脱水汚泥を焼却炉へ投入する想定をした。**また、図-1 に示すように脱水汚泥含水率の性状範囲を6点想定し、季節変動等による汚泥

性状の変化を想定した。これらの条件下において、表-2に示す6つの開発目標を設定し、温室効果ガス排出量の削減や発電能力等の性能を定め共同研究を実施した。

なお、共同研究は提出された技術的検討資料（熱収支による机上計算やシミュレーション）を基に、詳細なヒアリングを実施することで進めた。

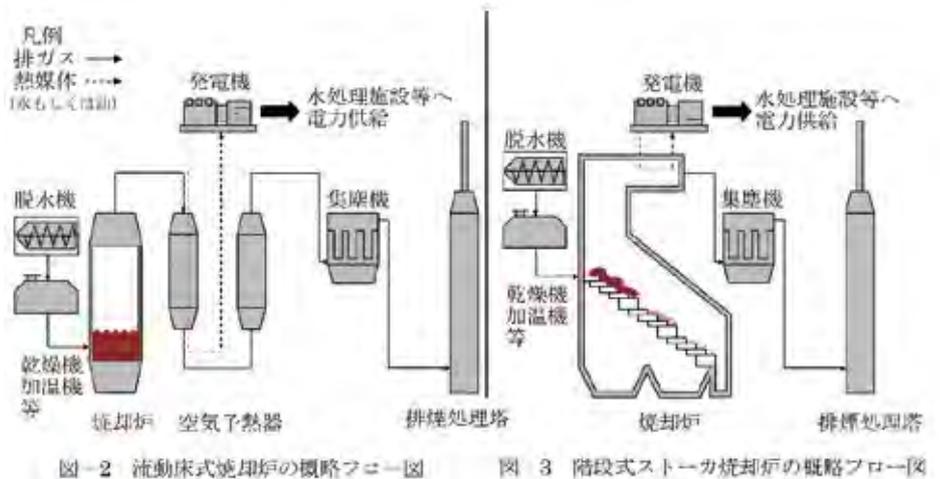


表-2 当局で設定した開発目標

開発目標
(1)焼却炉から発生する温室効果ガス排出量を廃熱発電による温室効果ガス削減量が上回る
(2)一酸化二窒素（以下 N <sub>2</sub> O という。）の排出量は、0.2kg-N <sub>2</sub> O/t-DS 以下とする
(3)発電電力量から使用電力量を引いた余剰電力量が年平均で 1 時間当たり 850kWh 以上
(4)発電単価は自立型焼却炉と比べて著しく高価とにならないこと
(5)補助燃料は必要としない (焼却炉立上げ・立下げ・保温時及び脱水汚泥含水率が 74%を超える時を除く。)
(6)廃熱回収率は 40% 以上とする

### 3 機器構成

焼却炉メーカーによって構成は異なるが、流動床式焼却炉と階段式ストロカ焼却炉の概略フローを図-2 及び図-3 に示す。

各社とも高性能な脱水機で脱水汚泥の含水率を 71~74% まで低下させた脱水汚泥に対応可能なことは共通しているが、廃熱により脱水汚泥の含水率をより一層低下させる乾燥機や、汚泥を加温することで燃焼効率が向上する加温機を採用するなどの工夫があった。また、炉内の燃焼温度を一層高温化（約 900℃ 以上）し、排ガス中に含まれる N<sub>2</sub>O を低濃度にまで分解することで温室効果ガス排出量の削減を図った。

なお、廃熱発電機は蒸気タービン発電機とバイナリー発電機（熱媒体と作動媒体を用いる方式）の 2 種類の提案があった。

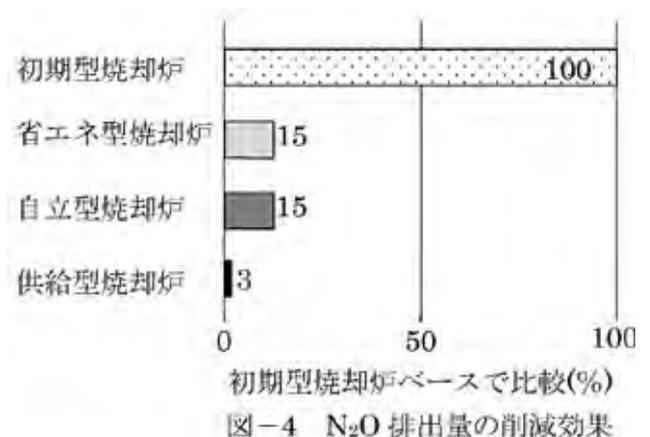
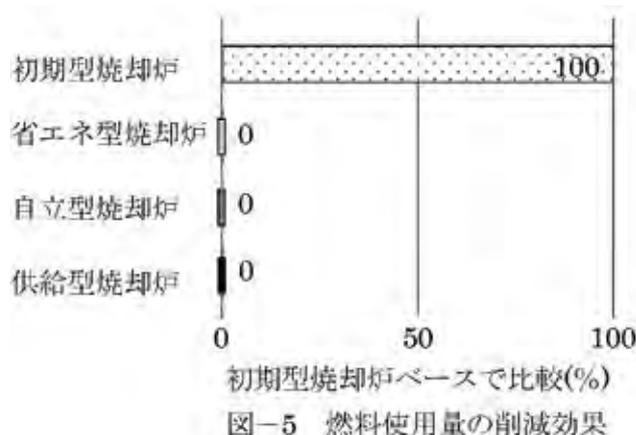


図-4 N<sub>2</sub>O 排出量の削減効果

#### 4 過去に導入した焼却炉と新たに開発した供給炉との導入効果の比較

当局では、技術開発以前に設置された焼却炉（以下「初期型焼却炉」という。）から技術的な知見を蓄積し、環境に配慮した焼却炉の技術開発を行ってきた。燃焼温度 850℃以上を確保しつつ、ターボ等を活用して消費電力を減らすことができる省エネ型焼却炉、燃焼温度 850℃以上を確保しながら焼却炉の運転に必要な電力やエネルギーを自給できる自立型焼却炉を導入してきた。これらのような過去に技術開発を行ってきた各型式の焼却炉と今回新たに開発した供給型焼却炉とを比較して、期待できる効果について示す。



#### 4.1 N<sub>2</sub>O 排出量の削減効果

焼却炉の型式ごとの N<sub>2</sub>O 排出量の削減効果について図-4 に示す。

初期型焼却炉を基準に比較した場合、省エネ型焼却炉及び自立型焼却炉では燃焼温度 850℃を採用したことによって、N<sub>2</sub>O が低濃度にまで分解されることで N<sub>2</sub>O 排出量の大幅な削減が可能となった。これにより、省エネ型焼却炉及び自立型焼却炉では N<sub>2</sub>O 排出量の 85%削減を見込んでいる。供給型焼却炉は他の型式の焼却炉よりも燃焼温度のより一層の高温化を図ることで、初期型焼却炉比で N<sub>2</sub>O 排出量 97%の削減を見込んでいる。しかし、燃焼温度が高温化することによって汚泥中に含まれるりんが溶融し、炉頂部の煙道に析出することで煙道閉塞が生じる懸念がある。そこで、既存の焼却炉の対策方法でもある、薬品注入やエアブローなどの煙道閉塞対策の充実化を図った。

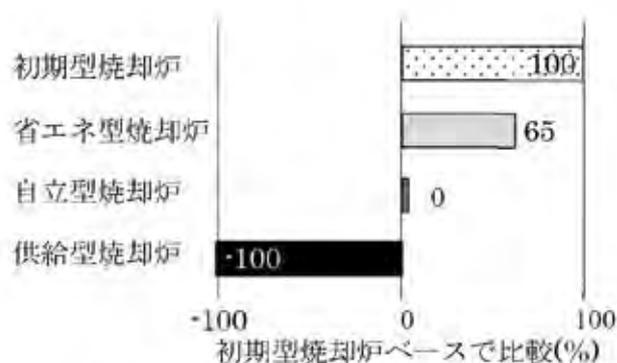


図-6 電力使用量の削減効果

#### 4.2 燃料使用量の削減効果

焼却炉の型式ごとの燃料使用量の削減効果について図-5に示す。

N<sub>2</sub>O排出量を削減するには燃焼温度を高温化しN<sub>2</sub>Oを低濃度まで分解することが有効であるが、必要なエネルギーが増加するためN<sub>2</sub>O排出量と燃料使用量とは相反する関係にある。省エネ型焼却炉、自立型焼却炉及び供給型焼却炉は、廃熱回収を積極的に行うことで、焼却炉の立上げ、立下げ及び保温時以外は自然運転が可能となるように設計されており、発電機やターボ等によって焼却炉の運転に必要なエネルギーを自給自足することが可能である。補助燃料が不要となることで、燃料使用量0%を見込んでいる。

### 4.3 電力使用量の削減効果

焼却炉の型式ごとの電力使用量の削減効果について図-6に示す。

省エネ型焼却炉はターボ等を活用して消費電力を削減することで電力使用量35%削減を見込んでいる。自立型焼却炉は廃熱発電機を活用して焼却炉の運転に必要な電力を自給自足し、電力使用量0%を見込んでいる。一方の供給型焼却炉は、燃焼温度を自立型焼却炉よりも一層高温化しつつ自燃運転することや、高効率のバイナリー発電機を採用することによって、焼却炉で消費する電力以上に発電し、水処理施設や汚泥処理施設へ電力供給が可能であるため電力使用量マイナス100%を見込んでいる。

## 5 まとめ

供給型焼却炉の導入により、以下の効果が期待できる。

- (1) N<sub>2</sub>O 排出量初期型比 97%削減
- (2) 燃料使用量ゼロ
- (3) 焼却炉で使用する電力以上に発電し、焼却炉以外の水処理施設へ電力供給によりCO<sub>2</sub>削減量が排出量を上回り、カーボンマイナスを実現

## 6 カーボンマイナスへの今後の取組

当局の温室効果ガス排出量削減状況を図-7に示す。

温室効果ガス排出量は2000年度を基準として比較した場合、2021年度実績では20%減の72.8万t-CO<sub>2</sub>にまで削減している状況にある。関係各所と協力し、今回新たに開発した「供給型焼却炉」を導入していくとともに、再生可能エネルギーの活用及び水処理工程と汚泥処理工程の効率化などの取組を積み重ねていくことで、温室効果ガス排出量を2030年度までに50%減の45.9万t-CO<sub>2</sub>にまで削減することとしている<sup>1)</sup>。

今後、カーボンマイナスに向けて、環境に配慮した焼却炉が想定どおりの性能を発揮しているか検証を行い、汚泥焼却技術をより一層向上させ、環境負荷のより少ない焼却技術の開発に引き続き取り組んでいく。

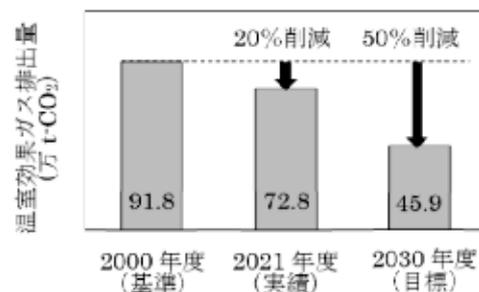


図-7 当局の温室効果ガスの削減状況<sup>1)</sup>

### 参考文献

- 1) 東京都下水道局. (2023). アースプラン 2023 (pp. 65).

## 3-1-1 圧送管設計マニュアルの改訂

建設部 設計調整課 横田 渉

### 1. はじめに

当局の圧送管は、送泥管、再生水管を始め、一部の汚水・雨水管きよにも用いられており、これまでに約 360 kmを整備してきた。

設計の手引である「圧送管設計マニュアル」は、平成 22 年 6 月の改訂から 13 年以上が経過し、その間、東日本大震災などを踏まえた耐震性の確保、腐食対策、維持管理を考慮した敷設方式、汚水・雨水圧送管の設計手法など多数の課題が生じていた。

これらに対応するため、計画調整部、施設管理部及び建設部のメンバーで構成した設計調整課を事務局とする「圧送管設計マニュアル改訂ワーキンググループ」にて検討・整理し、図や表を多用した、実務に即したマニュアル(図 1)に改訂したので、報告する。



図 1 圧送管設計  
マニュアル

### 2. 圧送管の種類

当局の圧送管は、前項で示したとおり、送泥管や再生水管、汚水・雨水圧送管の 3 つに大別される。それぞれの特徴は下記のとおりである。

#### 2. 1 送泥管

下水処理過程で発生した汚泥を効率的に集約し減容化処理するため、ポンプ設備により汚泥処理施設に圧送するための管きよである。東京 23 区の 13 箇所の処理場で発生する汚泥は、送泥管ネットワーク(図 2)により、5 箇所の汚泥処理施設に集約され、焼却処理している。

#### 2. 2 再生水管

通常の下水处理に加えて高度な処理を行った処理水を供給する管きよである。芝浦・落合・有明水再生センターで造水され、西新宿など 7 地区(約 200 施設)に供給している。

#### 2. 3 汚水・雨水圧送管

下水は自然流下が主であるが、低地部や港湾地区の一部では、ポンプ設備による圧送方式を採用している。これまでに、約 25 幹線、約 50 キロを整備してきた。



図 2 東京 23 区の送泥管ネットワーク

### 3. 改訂方針

旧マニュアルは、平成 10 年に発行した初版をベースとしており、図や表、出典なども現状の設計とは乖離がみられていた。また、ダクタイル鋳鉄管の採用を前提とした解説が中心となっていたため、近年の技術革新等を鑑み、「新しい管材の採用」「送泥管の敷設方式」「汚水・雨水圧送管の設計手法」の 3 点を改定の大きな方向性とした。

### 3. 1 新しい管材の採用

#### (1) 管材選定フローの改定

現場条件を踏まえた管材を適切に選定できるように、管材選定フローの見直しを行った。(図3)

旧マニュアルでは、圧送管の主たる管材であるダクタイル鋳鉄管について、継手仕様が多数あり、「どの仕様」を選定すればよいのか不明瞭となっていた。このため、口径ごとの選定項目を設けることで、選定基準の明確化を図った。

また、これまではK形、S形、NS形の採用を前提としていたが、新たに耐震性や防食性、長寿命化に優れた、GX形を採用できるようにした。

#### (2) ポリエチレン管

ポリエチレン管は、腐食に強く、金属系の管に比べて軽量であり、人力での運搬が容易というメリットがある。図4の現場では、狭隘な道路下で既設管との離隔が10cm程度という状況下でも、大型重機などを用いることなく、施工することができた。

しかし、日本下水道協会の規格や指針でも、従前より使用が認められているが、現状は、ガス管が主であり、下水道圧送管としての導入がなかなか進んでいない。

従って、下水という流体の特性を踏まえ、安全性や耐久性を担保しつつ、採用への道筋をつけるため、下記の5つの使用条件を設けることとした。

#### 【ポリエチレン管の使用条件（概略）】

- ・流体及び周辺温度 40℃以下、かつ最大設計水圧 0.74MPa（静水圧＋水撃圧）以下。
- ・損傷を受ける恐れがない箇所。
- ・屋外の露出管路ではないこと。ただし、紫外線対策を施した場合は、可能とする。
- ・公道下埋設の場合、呼び径 300 mm以下
- ・汚染地盤での埋設管路でない。

一例として、ポリエチレン管は、管厚の10%以上に傷が入ると亀裂破壊を起こす恐れがあることが報告されている。よって、「損傷を受ける恐れがない箇所」と条件を付し、他企業埋設物が輻輳している場所など、管の防護処置を行えない場合は使用できないものとした。

よって、今回作成した新たな「管材選定フロー」を用いることで、これまで以上に現場条件に応じた、適切な管材を選定することが可能となった。

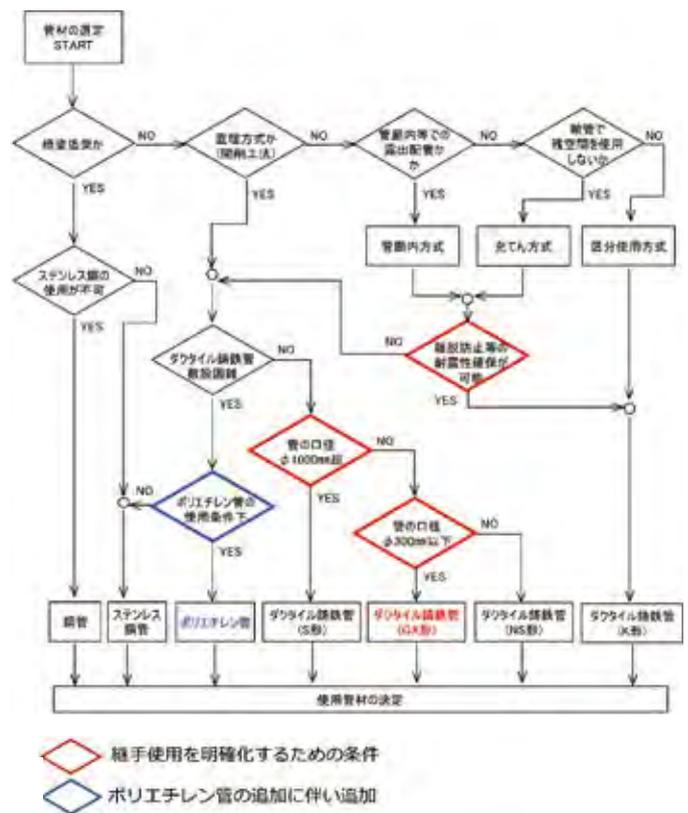


図3 管材選定フロー



図4 施工状況

### 3. 2 送泥管の敷設方式

送泥管の整備は、令和4年度に改定した「汚泥処理処分基本計画」を基に、維持管理を考慮した管廊内配管方式を標準としている。しかし、区部においては整備事例が乏しく、管廊内配管方式を選定する上での判断基準や設備仕様が明確となっていなかった。本方式の概要を以下に示す。

#### (1) 管廊内配管方式

シールド工法等により築造した維持管理性に優れた専用の管廊内に圧送管などを露出配管する方式を指す。本方式のメリットとデメリットは下記のとおりであり、施工環境、建設・維持管理コストを総合的に評価したうえで、整備方式を決定する必要がある。

##### 【メリット】

- ・管廊内に露出配管となるため、送泥管自体の維持管理に優れる。
- ・管廊内で送泥管の敷設替えが可能となり、将来的な再構築に要する費用を縮減できる。

##### 【デメリット】

- ・配管や維持管理スペースを確保するため、管廊は大断面となる。
- ・河川横断や地中埋設物を避ける必要性から、大深度施工となり、工期が長期化する。

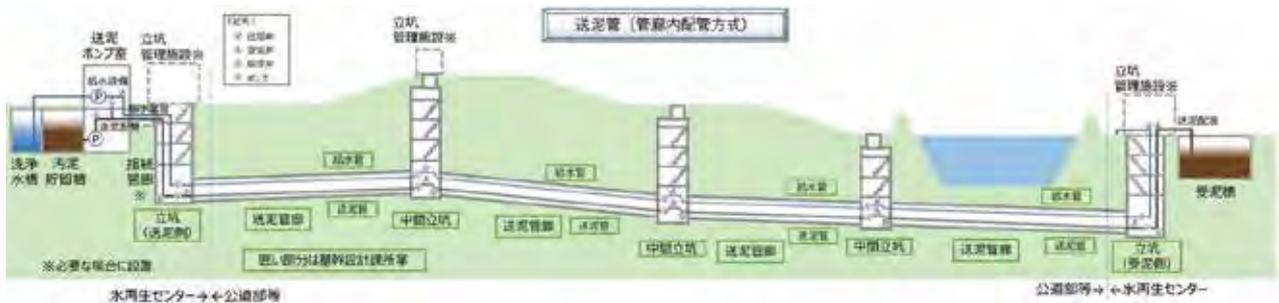


図5 管廊内配管方式の概念図

#### (2) 管廊内の標準的な設備仕様

区部では本格的な管廊内配管方式による送泥管の整備事例がないことから、多摩地区での先行事例である、流域下水道でのセンター間連絡管を基に設備仕様の検討を行った。また、メーカー、維持管理部署へのヒアリングを踏まえて付帯設備の配置例などを整理した。

付帯設備の仕様について、図6に示す。管廊内には、保守点検時などに入坑して維持管理を行うことから、換気設備、清掃用給水設備、排水設備、照明・動力設備、資機材搬入設備や必要に応じて耐水扉（河川横断箇所など）等の設置を基本とした。

また、清掃用散水栓や電力供給コンセントは50m間隔を基本とするなど、他設備についても、設置基準を明確化した。



### 3. 3 汚水・雨水圧送管の設計手法

汚水・雨水圧送管の設計は、これまでのマニュアルに記載がなく、送泥管の設計手法を準用していた。一方、既設管の老朽化に伴い、代替ルートなどの整備が既に事業化されている状況を鑑みると、設計手法を早期に確立する必要が生じていた。

#### (1) 管内流速

送水管は、標準的耐用年数が長い反面、腐食環境下になる場合があり、維持管理上のリスクが大きいため、流速から定めた口径を適切に設定する必要がある。これまでは、送泥管を準用し1m/sを標準としていたが、今回の改定においては、下水道設計指針を踏まえ、最小流速は汚水0.6m/s、雨水0.8m/sとし、最大流速は管内壁面や内面塗装等に損傷が起これないように3.0m/s程度に設定した。

あわせて、設計流速を決める際の目安として、「経済流速」という考え方を活用することとした。具体的には、口径を小さくすれば管関係費（建設及び維持管理経費）は少なくてすむが、通水抵抗が増加するため、動水勾配が急となり、ポンプ揚程が高くなる。従って、ポンプ設備費と運転費を要する。逆に、口径を大きくできれば、ポンプ関係費は少なくなるが、管関係費が増加する。これらの相関関係を示した、図-7、表-1を活用することで、設計流速の目安を簡便に把握することが可能となった。

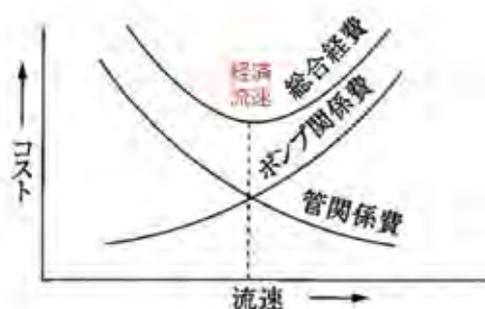


図7 経済性の概念図

表-1 ポンプ圧送式の平均流速の目安

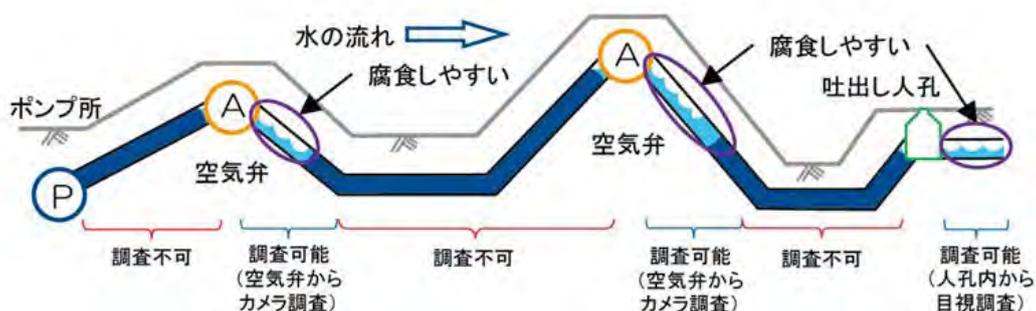
口径 (mm)	平均流速 (m/s)
75 ~ 150	0.7 ~ 1.0
200 ~ 400	0.9 ~ 1.6
450 ~ 800	1.2 ~ 1.8
900 ~ 1,500	1.3 ~ 2.0
1,600 ~ 3,000	1.4 ~ 2.5

#### (2) 縦断検討上の留意点

送水管の内面は、圧送すると嫌気化が進行し、硫酸塩還元細菌や堆積汚泥中の硫酸塩から硫化水素が生成されやすい。管路内に気相があれば、生成された硫化水素は液相から気相に放散され、気相の内壁の結露水中で好気性の硫黄酸化細菌群等により酸化することで、硫酸となり、モルタルライニングや鉄を腐食させる。

特に、図8に示すように、空気弁下流の下り勾配部などでは、管内に空気が入りやすく、管内面の腐食が起こりやすい。

従って、このような区間がなるべく生じないように、縦断線形を十分に検討することをマニュアルに位置づけた。



#### 4. 最後に

今回のマニュアル改定にあたっては、これまでの設計・施工事例を踏まえ、課題に対する対応策と圧送管設計の基本的な考え方を中心に整理することに努めた。従って、新たな技術や創意工夫を阻害するものではない。あくまでも、各現場の課題に対応する際の一助として、本マニュアルを活用し、圧送管設計業務の充実に役立てて頂ければ幸いである。

最後に、本稿の作成にあたり、当時の設計調整課設備調査担当：星野課長代理には、貴重なご助言などを賜りました。ここに感謝の意を表します。

#### ・参考文献

圧送管設計マニュアル 令和5年2月 東京都下水道局建設部

### 3-1-2 再生水供給管の漏水対応について

西部第一下水道事務所 お客様サービス課 高瀬 樹

#### 1. はじめに

西新宿・中野坂上地区への再生水の供給は落合水再生センターから新宿副都心水リサイクルセンターに送水し、水リサイクルセンターから各供給先に配水している（図1）。

西新宿地区の再生水は昭和58年度から供給を開始し、40年以上経過している。

供給施設の件数は西新宿地区29件、中野坂上地区4件の合計33件である。

令和5年8月31日、新宿区西新宿付近の都道歩道部にて、供給管（φ150mm、ダクタイル鋳鉄管T型、昭和58年布設）の曲管継手部の損傷により、漏水が発生した。

本件は、事故状況、再生水管の損傷状況と復旧経過、管体・土壌調査の結果、今後の対応について記述したものである。



図1 再生水供給図

#### 2. 事故状況

令和5年8月31日9時頃、路面の湿りを確認した道路管理者より下水道局、水道局の3者での現場確認の依頼があった。3者立会いの下、水道局による水質確認の結果、残留塩素の反応がなかったため、湿りの原因は上水管の漏水によるものではないことを確認した。下水道局の再生水供給管からの漏水が疑われるため、下水道メンテナンス協同組合に依頼し、緊急の掘削を開始した。掘削と水中ポンプによる排水作業にて再生水供給管の曲管継手部が損傷したことによる漏水であることを確認した（図2）。



図2 損傷状況（新宿区西新宿）

漏水の報告並びに供給管の断水について、本局を通じて供給先との調整を始めた。

供給管の断水について了承を得られたため、供給先に再生水から上水への切替え作業を依頼した。

施工業者にて供給管仕切弁（V075）の動作確認を実施した結果、固着が著しく、操作できなかった。次に、付近の配水管仕切弁（V074, V076）の動作確認を実施したが、供給管同様に固着が著しく、操作できなかった（図 3）。

動作確認で使用した下水道局所有の開栓器では力量が不足していたため、固着を解消することはできなかったことから、固着の解消に必要となる四つ手の開栓器と単管パイプを水道局から借用した。

借用した資機材にて供給管仕切弁（V075）の開栓作業を実施した結果、固着が解消したため、漏水箇所を断水させた（図 4）。

漏水箇所に応急処置を施し、止水状況を確認したが、微量の漏水が継続する状況であった。材料の手配が困難であったため、当日に配管の取替は実施できないと判断し、断水を継続した状態で開削部の埋め戻し及び交通開放した。



図 3 動作確認した仕切弁



図 4 開栓器（左）施工業者所有（右）水道局

### 3. 復旧状況

#### 3.1 漏水箇所復旧

材料の手配、関係官公庁への手続きが整い、フロー図の通り、復旧作業を行った（図 5）。

9月7日に昼間に供給先の配管状況、排水経路を確認した（図 6）。

漏水箇所からの濁水がメータ及び下流側の設備に入り、つまりが発生することを防止するため、メータ上流側にある仕切弁の回転数を確認しながら閉栓した。

同日の夜間に配管の布設替作業を実施した。既設管を撤去し、GX型ダクタイル鋳鉄管に外面腐食対策としてポリエチレンスリーブを被覆して布設した。充水確認のため、布設替範囲の高い位置に水道の給水分岐に使用するサドル分水栓を設置した（図 7）。



図 5 復旧フロー



図 6 供給先配管

充水作業は濁りの防止、管内にある空気の確実な排気のため、供給管仕切弁（V075）を0.5回転開栓し、徐々に充水する。

サドル分水栓の頂部への水の到達後、キャップを閉栓し、供給管仕切弁を全開の状態、布設替箇所からの漏水の有無を確認した。漏水がないことを確認後、次回操作時の誤操作を防止するため、V075を閉まる方向に1回転戻した。

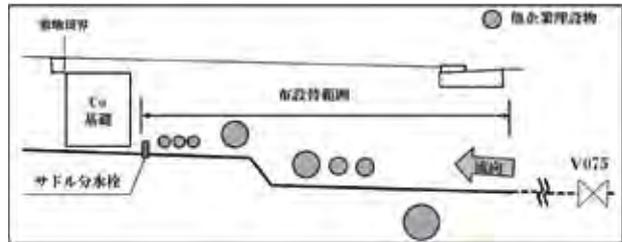


図7 配管図

### 3.2 供給先復旧

9月11日に供給先のメータを取り外し、上流側の排水作業を行った。事前にメータの指針値を読針してから、メータを取り外した。上流側の仕切弁の先に排水栓を及びホース設置する。仕切弁開栓時は管内の流速が急激に上昇し、鉄さびなどが浮遊させないように注意して上流側の仕切弁をゆっくりと開栓し、排水作業を開始する。



図8 水質確認（左：排水前、右：排水後）

排水作業中に採水し、目視にて濁りの状況を確認する（図8）。濁りの解消後、上流側の仕切弁を閉栓し、メータの向きに注意して、取り付ける。メータ取り付け後、上流側の仕切弁を全開にする。

供給再開後、メータ指針値を読針し、隔測器と指針値が一致していることを確認する。

突発事故対応であったため、供給先にて再生水から切り替えて使用した上水の推計使用量について、上水と再生水との単価の差額を補償した。

## 4. 管体・土壌調査の結果

### 4.1 調査内容

漏水原因を調査するため、布設替の際に撤去した管体と近くの土壌について、調査委託を発注した。

調査項目及び内容は表1にある通り実施した。調査検体数は土壌及び管体ともに3検体とした。土壌は漏水箇所とその上流、下流の3か所で採取し、管体は漏水箇所の管体を採取した（図9）。

表1 調査項目・内容

調査項目	調査内容
①土壌分析	土壌・土壌抽出水の分析、土壌の腐食性評価
②物性試験	引張・伸び、硬さ試験
③管体腐食調査	搬入時の外観調査、管外面腐食調査



図9 採取した管体

## 4.2 調査結果

土壌分析の結果、硫黄等の含有率及び ANSI 評価点は低く、土壌の腐食性は強くないとの結果である。また、物性試験の結果、製造当時の規格を満足し、製品品質に問題はないとの結果であった。

管体腐食調査の結果、使用配管材料は非耐震継手管（T形継手）、両受けの異形管（規格にない特殊製品）を使用していることが判明した。また、管体の外面には全面にわたって腐食生成物と土壌が固着している状態であった。そのため、管外面には全面的に腐食が生じており、最大腐食深さは 3.8mm、最大腐食速度は 0.097mm/年であった。腐食性の弱い一般の砂中に管が埋設された場合の速度[0.050mm/年程度（腐食しろ 2.0mm が耐用年数 40 年で腐食する速度）]と比較すると、今回調査した管の最大腐食速度は約 2 倍の速さであった。

腐食の進行が早いことから、一般土壌腐食以外にも原因があると推察された。

腐食は大きく 2 つに分けられ、「電食」とそれが関与しない「自然腐食」とに分けられる（図 10）。「自然腐食」は埋設環境の電気化学的条件の不均一によって、管路自体が自然に電池を形成する場合で、マイクロセル腐食とマクロセル腐食がある。一般にダクトイル管外面に生じる腐食の要因は、そのほとんどが「自然腐食」であり、土壌によるマイクロセル腐食が主体となる。

今回の現場のように発生土の場合は混合土壌になりやすく、「通気性の良い砂（酸素の供給が多い）」と「通気性の悪い粘土（酸素の供給が少ない）」の混在から通気差により、粘土と接する部分の腐食が進行する（図 11）。これを酸素濃淡（通気差）によるマクロセル腐食という。

今回漏水のあった管体には粘土が付着していたことから、周囲の砂との酸素濃淡（通気差）によるマクロセル腐食が腐食の進行を早めた原因のひとつとして推定された。



図 10 腐食分類

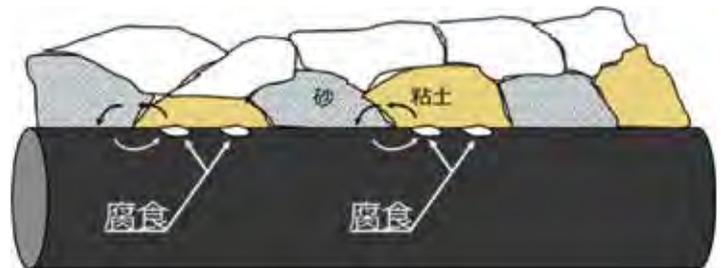


図 11 酸素濃淡（通気差）

## 4.3 漏水原因

上記の調査結果より、管の損傷（離脱）による漏水の原因は、一般土壌腐食とマクロセル腐食により、通常よりも腐食の進行が早いこと、伸縮、可撓、離脱防止機能等の耐震性能を有していない非耐震継手管及び両受けの異形管（規格にない特殊製品）を使用していたことによるものと推定された。

## 5. 今後の対応

西新宿エリアの再生水管は供用年数が40年以上であり、腐食による漏水のリスクを鑑みると計画的な更新及び補修が必要とされるが、対象となる管路延長は長く、更新・補修に時間を要することから、それまでの間にも同様の事象が起きることが懸念される。そのため、事故対応の課題と対応状況を表2の通り、整理した。

これらの情報を共有することで突発事故発生時の迅速かつ的確な対応に活用されたい。

表2 課題、対応状況

課題	対応状況
① 資機材の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>・四つ手回栓器を本局にて購入 ⇒再生水を管理する事務所に配布</li> <li>・応急資機材（マホータイ等）を本局にて購入 ⇒下水道メンテに配布予定</li> </ul>
② 連絡体制及び断水検討の認識強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・供給先との調整は本局が行うため、本局への連絡は漏水が疑われた段階で入れることを再確認</li> <li>・漏水による陥没を防ぐため、断水方法の検討・整理</li> </ul>
③ 施設の計画的な維持管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・固着箇所を踏まえた保守点検の結果を基に補修計画の策定</li> <li>・経理部再生水担当からメータ交換リストを受領 ⇒メータ交換時に使用する供給管の仕切弁を確認・補修</li> </ul>

### 3-1-3 清水谷特殊人孔の止水対策について

中部下水道事務所 お客様サービス課 川口 晃二

#### 1. 清水谷特殊人孔の概要

##### 1.1 清水谷特殊人孔について

今回止水対策を行った人孔は、東京都千代田区紀尾井町の清水谷公園内にあり、第二溜池幹線の最上流部に位置する特殊人孔（以下「清水谷人孔」という。）である（図 1.1）。

第二溜池幹線は、千代田区紀尾井町付近の浸水対応や閉鎖性水域である皇居内濠の水質改善を目的として建設され、平成 13 年に旧汐留ポンプ所より上流部が完成した。清水谷人孔は、第二溜池幹線全線完成時、暫定貯留施設として使用するため、貯留水を排水する設備が設置された。

現在の第二溜池幹線は、図 1.2 のように最上流に清水谷人孔が位置して、最下流の中央区勝どき五丁目にふかし上げ人孔が設置されている。



図 1.1 清水谷人孔の位置図

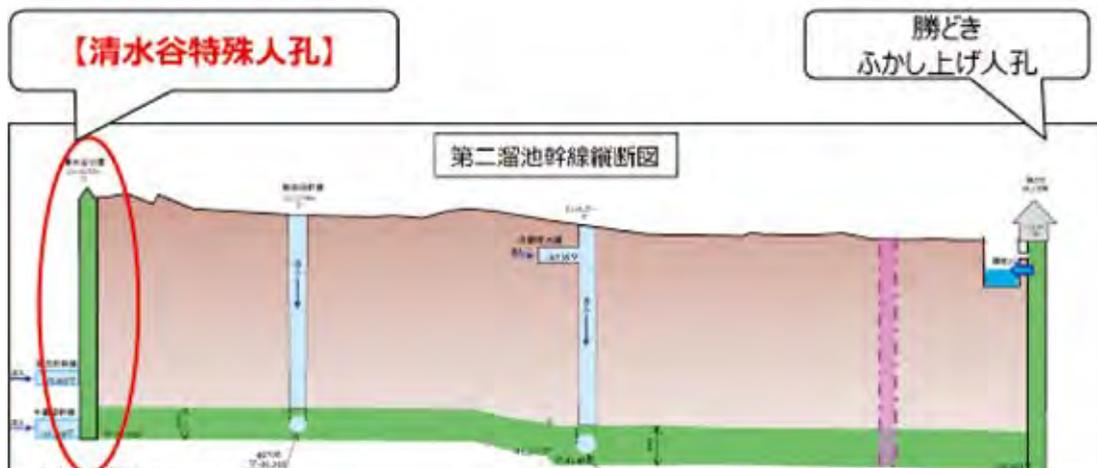


図 1.2 第二溜池幹線縦断面図

## 1.2 清水谷人孔の構造

清水谷人孔は、直径約 16m、深さ約 53m で最大フロア高が約 20m となる大規模特殊人孔である。清水谷人孔の平面図を図 1.3 に断面図を図 1.4 に示す。清水谷人孔は、地下 1 階から地下 6 階までの構造であり地下 1 階は換気機械室、地下 2 階は電気室となっており、地下 5、6 階はウェットエリアがドライエリアと壁を隔てて設置されている。地下 6 階は排水ポンプ室となっており、そこに設置されている排水ポンプでウェットエリアに溜まった貯留水を既設管に排水している。

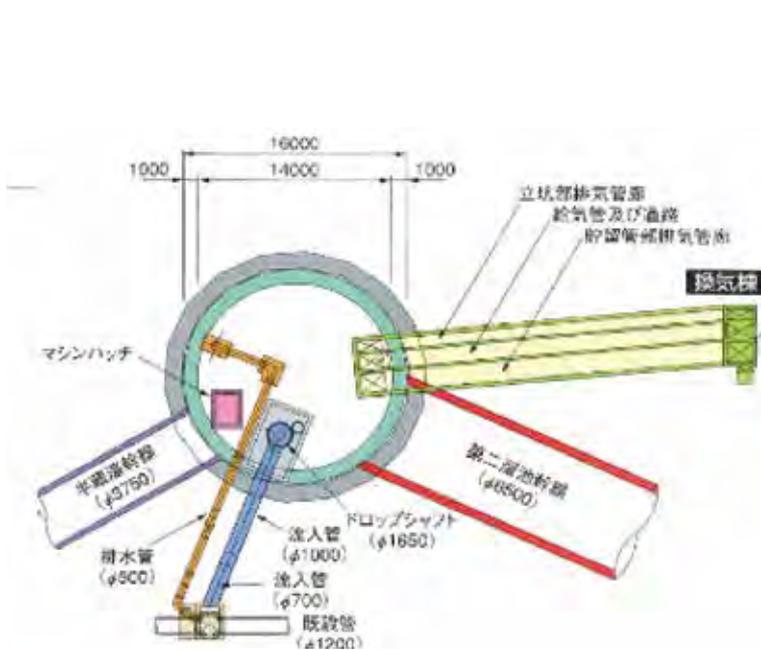


図 1.3 人孔平面図

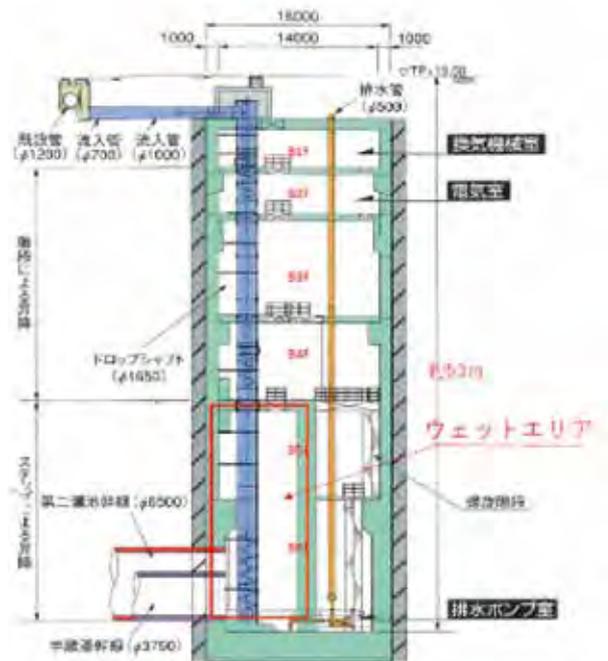


図 1.4 人孔断面図

## 2. 補修前の状況と補修の目的

### 2.1 補修前の清水谷人孔の状況

補修前の清水谷人孔は、壁面には経年によるひび割れに伴う漏水が多数確認されており（図 2.1）、電気設備のあるドライエリアが湿潤環境となり、さび等の影響により電気設備やポンプ設備が故障を繰り返し発生していた。地下 3 階以深の階は漏水の影響により床に水が溜まった状態であり（図 2.2）、地下 5、6 階は上階からの漏水により雨が降っているような状態となっていた。それにより、地下 6 階に設置されている排水ポンプ 3 台が全て故障し正常な運転ができず、必要



図 2.1 漏水状況写真

な排水機能が確保されていない状態であったため、早急に補修を行う必要があった。



図 2.2 漏水状況

## 2.2 これまでの補修の経緯

清水谷人孔は、これまでも漏水等の影響による対策を講じてきた。令和2年度には管廊から地下2階まで止水工事を行い、令和3年度には地下3階から地下6階までをドローン等を用いて補修前の事前調査を行った。

令和2年度の止水工事は、STTG工法でひび割れ部からの漏水の止水を行った。令和3年度の調査はドローン等のDXを用いて人孔内の調査を行い、その調査結果をもとに令和5年度に今回報告する地下3階から地下6階まで止水工事を発注した。

## 2.3 ドローン等を活用した調査について

補修工事に先立って漏水箇所の特定や原因となっているひび割れ等の計測を行うが、地下3階から地下6階まではフロア高が高く最高約20mであり、大規模な仮設足場の設置が必要となり、工期やコスト面を考慮し、ドローン等による調査を採用した。人孔構造、人孔内の環境及び補修工事の設計に必要な精度の情報取得や調査の安全性を考慮し、以下の条件を満たすドローンを選定し、図2.3に示す機体を活用することとした。

- ① Φ600 mmの入孔口から施設内へ安全に入ることができるサイズ・重量であること
- ② 暗所でも躯体状況の撮影が可能な照明とひび割れ幅1 mm以上を確認できるカメラを搭載できること
- ③ GPSを使用せずに調査が可能な機体であること
- ④ 施設の損傷を防止するため、プロペラの周囲をガードできる仕様の機体であること



図 2.3 ドローンの外観

## 2.4 調査結果

ドローンを用いて行った調査の結果を図 2.4、2.5 に示す。図 2.4 は、ドローンに搭載したカメラで撮影した画像を展開画像として接合したもので、図 2.5 はその展開画像を解析ソフトを用いて損傷を抽出したものである。

調査の結果、画像からひび割れや漏水等の損傷を確認することができ、それを解析することによってひび割れの幅や延長も確認することができた。この調査でドローン等の調査に加えて目視調査も行い結果を比較したが、ひび割れや漏水等の損傷を目視調査とほぼ同等の精度で確認することができ詳細な情報を収集することができた。

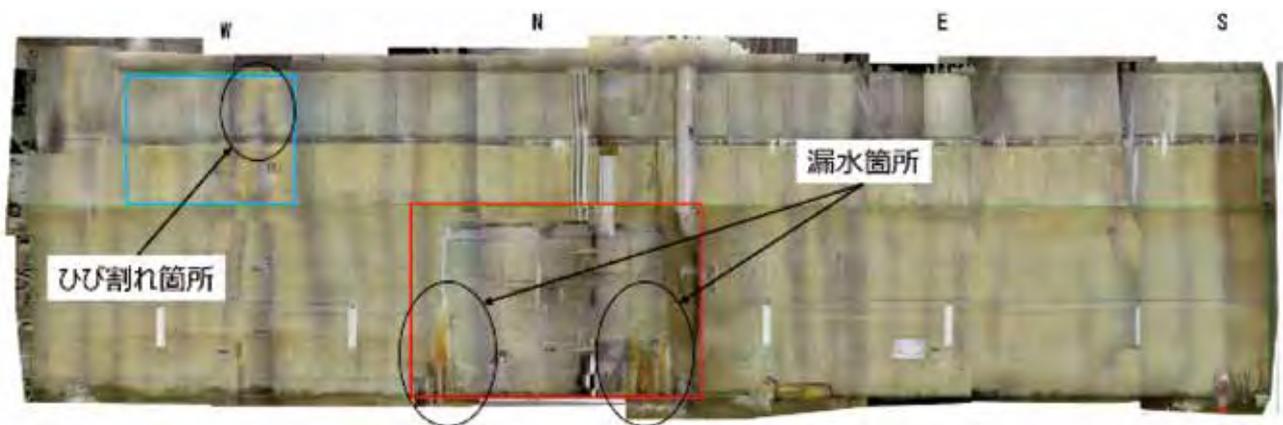


図 2.4 ドローンによる画像展開図



図 2.5 ドローンによる損傷展開図

## 3. 補修内容

### 3.1 工事概要

今回行った工事の概要について簡単に以下で説明する。

工事件名 千代田区紀尾井町付近特殊人孔補修工事  
工事場所 東京都千代田区紀尾井町  
工期 令和 5 年 10 月 20 日から令和 6 年 2 月 28 日  
工事概要 止水対策高圧注入工法 約 280m

### 3.2 対策工法の選定について

ひび割れ部の対策工法は、ひび割れの幅が 0.1 mm～0.65 mm であることから注入工法を主体に検討し、漏水防止を目的に無機系注入材注入工法、アクリル系注入材注入工法、ウレタン樹脂系注入工法、裏面注入止水工法を主に比較検討を行った。表 3.1 に工法比較表を示す。工法比較の結果、アクリル系注入材注入工法の特殊ポリマー樹脂注入工法を選定した。

工法を選定するにあたって、主に 3 点を条件にした。1 点目は、人孔内は様々な設備等が設置されており作業スペースが限られていたため、注入設備が比較的小規模であることを条件にした。本工法は、注入ポンプ 1 台に加えて攪拌工具等で施工できるため注入設備が小規模であり適していた。2 点目は、ひび割れ等の変位に材料が追従可能であることを条件にした。地震や温度変化等によってひび割れに変位が生じて、それに繰り返し伸縮して止水効果を発揮するものを選定した。本工法で使用する材料は、硬化後弾塑性体となりクラックに対して変形追従性があり、長期的に止水効果を期待できるものがある。3 点目は、人孔内の至る所で漏水していたため、漏水等に伴うひび割れに対応可能であることを条件とした。以上の条件を主に比較し工法を決定した。本工法は、建築の地下構造物や下水処理場などの地下構造物の躯体コンクリートに発生するクラックや打ち継ぎ目等からの漏水を止める工法であり、大深度人孔である当該現場に適している。

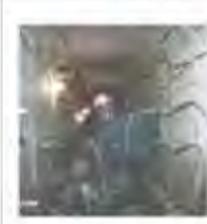
工法名称	無機系注入材注入工法	アクリル系注入材注入工法		ウレタン樹脂系注入工法	裏面注入止水工法
工法名	ハイスタップ止水工法	特殊ポリマー樹脂注入工法	2液混合型アクリル樹脂注入工法	純水粒ウレタン止水工法	フォーラーセラミック系特殊エマルジョン系止水工法
材料名	ハイスタップ、ハイスタップZ	アルファートゾルG	パンデアレキシン	TAP工法	ビトグラウトHG
工法概要	ひび割れに専用しての圧力を調整し注入可能にして、注入完成させる。漏水があっても施工可能で、躯体を一体化させる。コンクリートと面材の密着が確実で、長期的な耐久性が期待できる。	ひび割れに専用して注入完成させる。1度で浸透性に優れ、特に打継ぎ目、目地材の初期硬化の止水効果。高圧高粘り度の止水効果。止水層の硬化面材の補修などに対応できる。	ひび割れに専用して注入完成させる。2液混合型によりゲルタイムの調整が可能である。コンクリート構造物の開口充填補修、構造物境界面止水効果。振動影響による水漏れなどに対応できる。	ひび割れに専用して注入完成させる。1度で浸透性に優れ、特に打継ぎ目、目地材の初期硬化の止水効果。高圧高粘り度の止水効果。止水層の硬化面材の補修などに対応できる。	貫通人孔を明け、背面にアクリル系特殊エマルジョン樹脂を注入し、背の層を形成すると共にコンクリート中のひび割れ等のみならず封鎖し漏水を止める。
硬化後の状態	コンクリートと面材の硬化体	ゴム状の硬化体	ゼリー状の硬化体 (軟化係数スポンジ状)	ゴム粒の硬化体 (軟化係数スポンジ状)	ゼリー状の硬化体
注入圧力	高圧(手動ポンプでの注入)	高圧と低圧で注入可能	高圧と低圧で注入可能	高圧と低圧で注入可能	高圧と低圧で注入可能
注入設備	注入ポンプ(手動)等	注入ポンプ(手動)攪拌工具等	注入ポンプ等	注入ポンプ等	注入ポンプ(手動)攪拌工具等
伸縮性	伸縮性無	縮退し伸縮性有	縮退し伸縮性有	伸縮性有	若干伸縮性有
耐久性	長期的に安定	中期的に安定	長期的に安定	長期にアルカリに劣化に強い	中期的に安定
施工速度	30分程度で5m、3時間〜1日で硬化	数時間〜1日で硬化	10秒〜1分程度で硬化	1分〜3分で硬化	半日〜2日で硬化
特徴	30分〜1日程度の硬化で、内側の層にひび割れ(0.5mm)まで浸透注入可能。伸縮性に優れひび割れでの長期止水・補修が可能である。数層の注入、面材の密着も必要がなく漏水防止も生じない。工法、熟練技術が必要となる。	硬化物がゴム状で、高粘性・高圧注入可能である。目地材の初期硬化も期待でき、振動も受けやすいひび割れ。目地材の補修も可能。比較的注入設備も簡易である。	硬化剤によりゲルタイムが調整でき、漏水のあるひび割れなどで強固による止水が可能。硬化後もゼリー状である。地盤振動のある場所での施工が可能。2液のポンプによるノズル交換での作業の速い。注入設備は比較的安価である。	水が硬化剤として反応し、約1.5〜2.0倍に膨張して止水効果が得られる。高粘性の止水が可能である。アルカリ性の環境に長時間浸漬するとしても硬化し損傷しない。長期的な止水効果が期待できる。	硬化剤は、十分な防水性を有し、体積の減少はほとんどなく、若干の膨張にも対応できる。水性材料のため、高圧高粘り剤を注入し、比較的注入設備も簡易である。
概算単価(円/m)	25,000円/m程度	40,000円/m程度	50,000円/m程度	30,000円/m程度	150,000円/m程度
概要写真					
本構造物損傷回避性	・漏水、岩盤を流すに伴うひび割れ	・道路を反水に伴うひび割れ、打撃等	・漏水、岩盤を流すに伴うひび割れ、打撃等	・道路を反水に伴うひび割れ、打撃等	・道路を反水に伴うひび割れ、打撃等

表 3.1 補修工法の比較表

### 3.3 仮設工について

人孔内は、フロア高が高く仮設の足場を設置しないと天井や壁面を十分に補修できない状態であったため、補修に先立ってまず仮設の足場を設置した。足場材は、円形の躯体や設備が複雑な場所に対応できる手すり先行型緊結足場を使用した。一般的に用いられる手すり先行型枠組足場では、部材が門型となっており複雑な構造に対応して足場を設置することが困難であるため緊結足場を採用した。緊結足場は、支柱材とつなぎ材を組み合わせ足場を組み立てるため構造が複雑な場所でも柔軟に対応して足場を設置することができる。加えて部材がすべて棒状となっており軽量でコンパクトに梱包もできるため、大深度人孔でも持ち運びやすいという点でも優れていた。

### 3.4 止水工について

止水工は、まず人孔躯体の構造や漏水箇所状況・規模等を確認し注入方法を決定した。注入方法には、背面注入と削孔注入があり、背面注入は広範囲の躯体の劣化等により漏水経路の確定が困難である場合、躯体背面までドリルで貫通削孔し躯体背面に止水材を注入する工法である。削孔注入はひび割れや打継部等からの漏水に対してドリルでひび割れ等を躯体背面寄りまで貫通するように削孔し、そこから止水材を躯体背面やひび割れに注入する方法である。当該現場はひび割れ部から漏水していることが確認できたので削孔注入で止水工を行った。

注入方法が決定すると、施工個所のひび割れや削孔位置をマーキングし施工範囲や注入量等を決定した。マーキング状況の写真を図 3.1 に示す。マーキングを行った箇所に図 3.2 に示すように、 $\phi 10\sim 13\text{mm}$ のドリルビットを用いて所定の深度まで注入孔の削孔を行う。削孔完了後、内部の切削粉を除去し、注入孔に注入プラグ等の注入口を取り付け、止水材の注入を行った。注入状況を図 3.3 に示す。注入は、施工範囲の下部または端部から順を追って行い、圧力ゲージにより最初は低圧で注入し、隣接する注入孔やひび割れへの注入

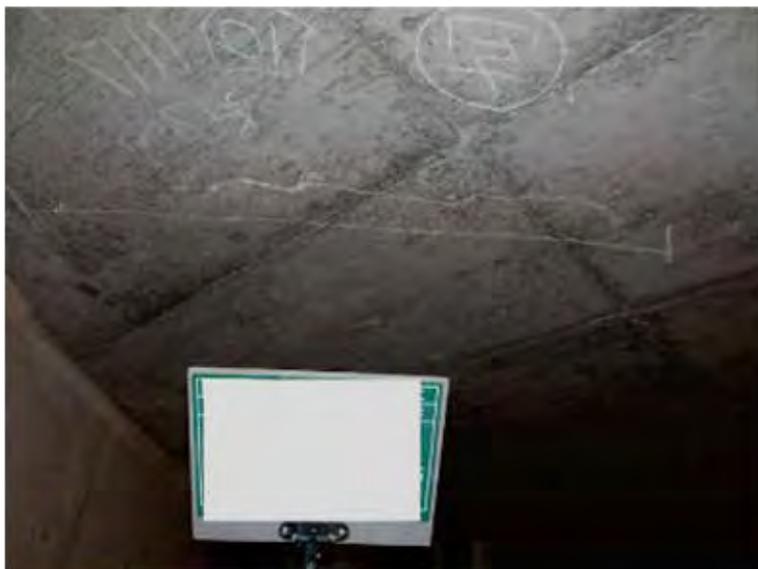


図 3.1 マーキング状況



図 3.2 削孔状況

材の廻り具合を確認しながら調整する。注入しても漏水が止まらない場合は、その原因を調査し部分的に再度注入を行ったり、別途削孔してそこから止水材を注入する。止水材は、ひび割れの変位に対して材料が繰り返し追随できる、石油系のアスファルト乳剤と硬化剤を攪拌したものを使用した。攪拌状況を図 3.4 に示す。攪拌時間は約 3 分で、硬化時間が 5 分から 20 分であることを確認し材料をポンプで注入する。止水効果確認後、取り付けした注入口を撤去し注入孔をポリマーセメントモルタル等で充填補修し、構築躯体表面を平坦に仕上げて補修完了となる。

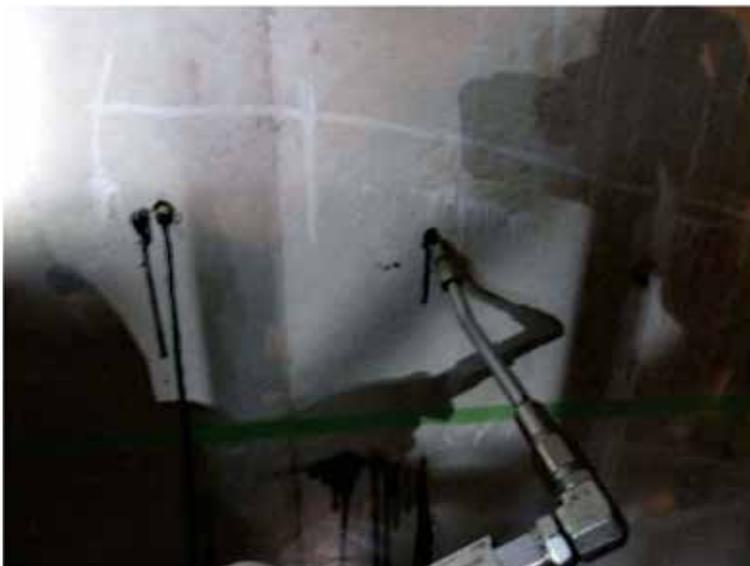


図 3.3 注入状況



図 3.4 材料攪拌状況

### 3.5 施工後の状況

施工後の状況を図 3.6 に示す。図は地下 3 階の施工後の写真であるが、止水後は人孔内の漏水がほぼ止まり壁面も床も水が溜まってなくきれいな状態となったことが確認できた。図は止水工事完了から約半年間経過したものであることから、今回の補修が大深度人孔における止水対策として有効であると考えられる。



図 3.5 施工後の状況

・参考文献

東京都下水道局第二基幹施設再構築事務所（平成 29 年 3 月） 第二溜池幹線建設記録誌

### 3-1-4 主要道路上での大規模掘削を伴う

#### 人孔及び導水管の設置について

担当者 東部第一下水道事務所建設課工事担当 藤並 雄誠

#### 1. 工事概要

江東区北砂2、3丁目の下水は、本工事施工前は西砂幹線から砂幹線を経由し砂町水再生センターへ流下していた（図1黒い矢印のルート）。本工事は、再構築に伴い平成29年度に北砂五丁目、南砂一丁目付近に敷設した主要枝線（Φ1500mm）を介して南砂幹線流域へ切替を行うことを目的として、明治通り上で特殊人孔及び新設枝線（推進工）を整備したものである。整備箇所の詳細図は図2に示すとおりである。



図1 案内図



図2 詳細図

#### 1.1 特殊人孔について

二つの特殊人孔（RSNo.1、RSNo.2）は、ともに既設管に対して割り込みで設置した。構造については図3、4に示すとおりである。

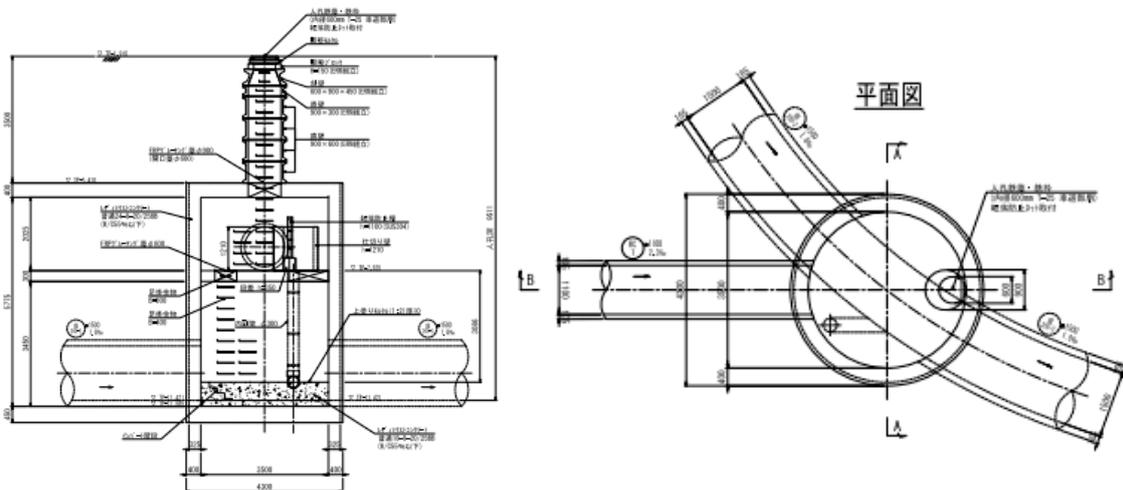


図3 RSNo.1（平面図、断面図）

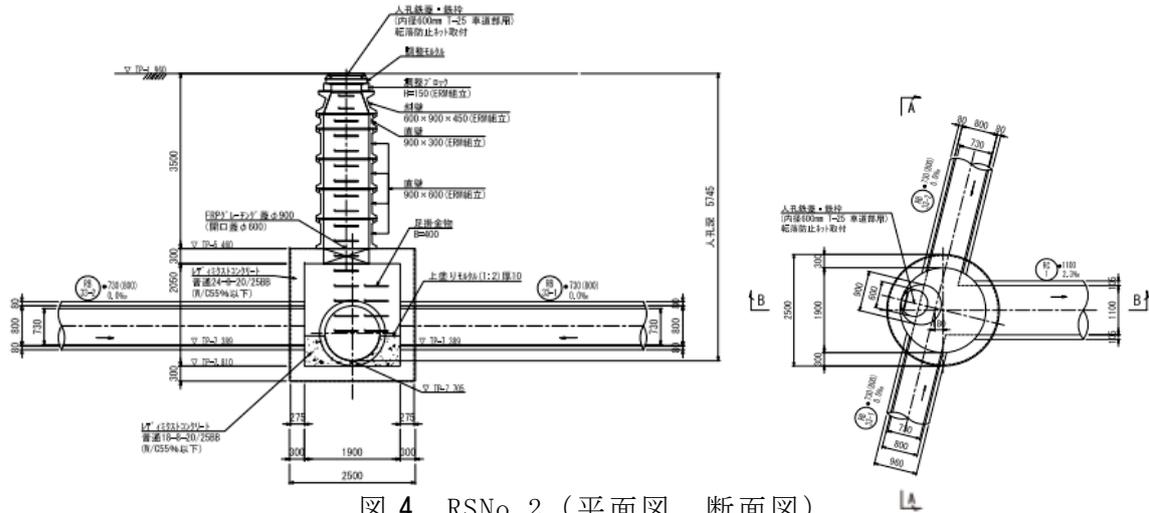


図 4 RSNo. 2 (平面図、断面図)

それぞれの特殊人孔を築造する際の立坑はライナープレートによって施工を行った。写真 1 に RSNo. 2 築造のための立坑掘削の様子を示す。

### 1.2 推進工及び地盤改良について

二つの特殊人孔を接続する新設枝線は刃口推進工法により施工を行った。接続位置は図 5 に示すとおりである。また、図 5 において斜線を引いている箇所は、立坑工及び推進工に対する補助工法として実施した地盤改良の範囲を示す。地盤改良工は、SUPERJET 工法を採用した。



写真 1 RSNo. 2 立坑掘削中の様子

### 1.3 施工環境について

特殊人孔の築造をおこなった都道明治通りは、片側二車線の四車線道路であり、大型車両を含めて交通量が多い道路である。また、道路の両側には、マンションなどの集合住宅や飲食店、病院などさまざまな建物が並ぶ施工環境であった。

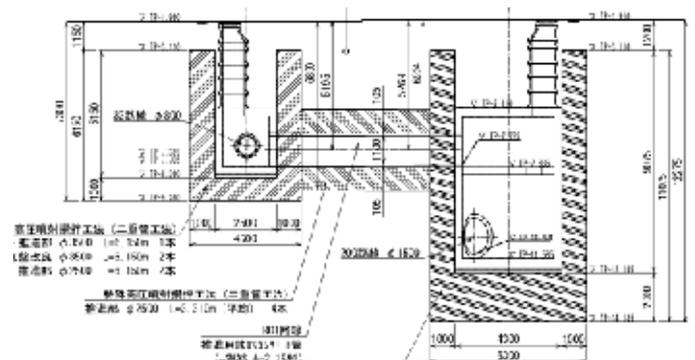


図 5 地盤改良工範囲

## 2 施工上課題となった点について

### 2.1 都道上での施工に関する安全対策について

写真2に示すとおり二つの特殊人孔の築造は、明治通り上での中央でおこなうことから、施工は夜間で行い日中は路面覆工を設置して交通開放する必要があった。そのため、次の点に注意して施工計画を検討した。



写真2 施工環境

#### 2.1.1 周辺地山の洗堀

特殊人孔を築造するための補助工法である地盤改良工の施工イメージを図6に示す。地盤改良工は、高圧で噴射した固化材と圧縮空気によって地盤を切削破壊し、現地盤を置き換えて改良体を形成する。その際に地上に排出される排泥スライムを排泥ピットに貯めておき、改良ロッドを回収後にバックホウ等により処理する。

この排泥スライムが地上へ排出される際に、路面覆工受桁下の地盤や周辺地山を洗堀する可能性や噴射した固化材が地山に拡散し路面覆工外側の地盤を洗堀する可能性が懸念された。このことは、路面覆工や周辺道路の沈下を引き起こす原因となるため対策が必要であった。

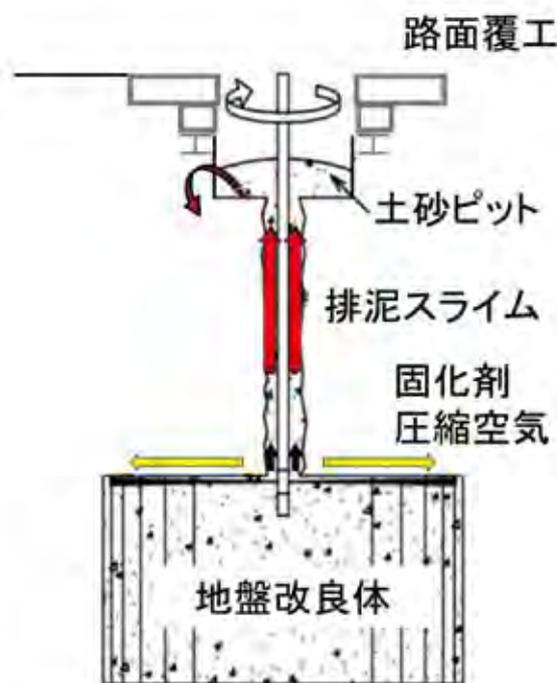


図6 地盤改良工のイメージ

#### 2.1.2 他企業埋設物の損傷

図7に特殊人孔と他企業埋設物との位置関係を示す。立坑周辺にはΦ700mm、Φ800mmの水道管、東電線3条4段、3条2段、RC1の上部を横断する位置にガス管Φ200mmが敷設されている。

地盤改良は高圧噴射により地盤を切削するため、これらの近接する他企業埋設管を損傷しないように施工する必要があった。

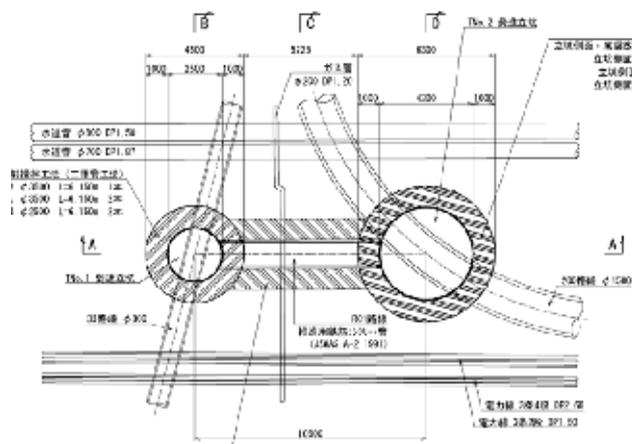


図7 他企業埋設物位置図

## 2.2 近隣からの苦情対策について

1.3において、記述したとおり施工箇所周辺は集合住宅が立ち並んでおり、交通量が多い施工環境である。このような環境の中で、夜間は工事の施工を行い、日中は路

面覆工で交通開放するという状態が長期にわたることが予定されていたため、近隣住民に対して、騒音や振動に対して十分に配慮する必要があった。

### 3 施工上課題となった点に対する取組について

#### 3.1 都道上での施工に関する安全対策について

都道上で地盤改良工を施工するにあたり、排泥スライムや高圧噴射した固化材などが周辺地盤や他企業埋設管へ影響を与えないように施工することを目的として、次のことを実施した。

##### 3.1.1 防護板の設置

地盤や埋設管へ影響しないように防護板を設置することで、地盤改良の影響範囲から路面覆工や周辺地山の縁切りを行った。

図8に立坑施工時の仮設図を示す。長さ2.5mの軽量鋼矢板Ⅲ型を赤い線で示す位置に防護板を打設した。平面図からわかるとおり、軽量鋼矢板は二つの立坑の周り全周を囲むように配置し、周辺地山との縁切りを行い、内部を土砂ピットとして活用した。

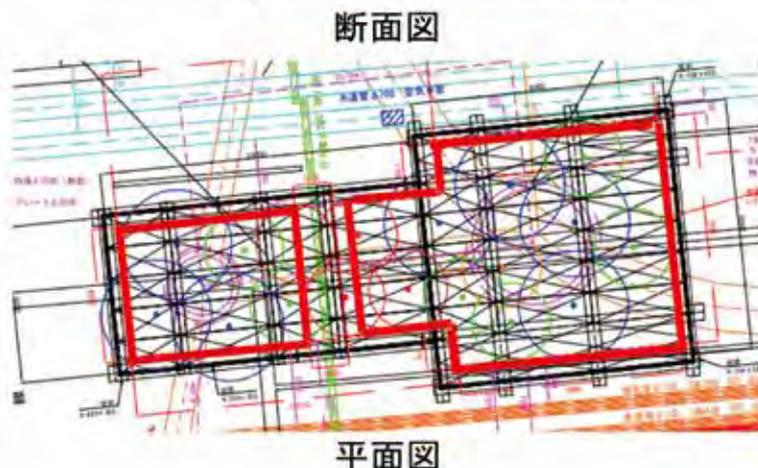
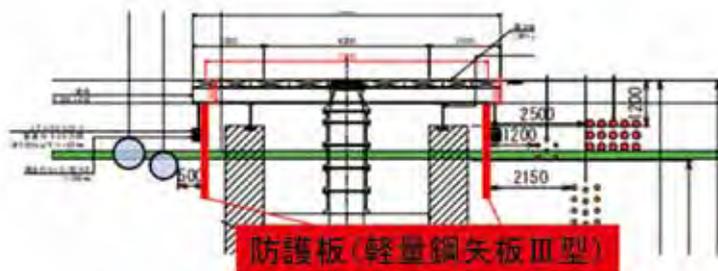


図8 防護板設置箇所図

##### 3.1.2 羽付ケーシングパイプの使用

地盤改良工では噴射した固化材が現地盤から改良体へ置換される際に、排泥スライムが土砂ピットへ排出されてくる。通常の施工管理では改良範囲より外側に固化材などが拡散することを防ぐため、排泥スライムが土砂ピットへ適切に排出されていることを確認する。

本工事においては、写真3に示すような羽付のケーシングパイプを使用し、改良ロッドを建て込むためのガイドホールを削孔した。これにより、ガイドホールの径を少しだけ大きくすることで、排泥スライムが地上へ排出しやすくなるようにした。



写真3 羽付ケーシングパイプ

### 3.2 近隣からの苦情対策について

同一箇所では夜間作業が続くことから近隣住民の負担軽減のために次のことを実施した。

#### 3.2.1 騒音振動対策

騒音に対する対策として、写真4に示すように立坑周囲に防音シートを設置することで、騒音低減を図った。また、施工中は騒音計を携帯し作業日ごとに計測することで計画で定めた基準値を超過していないことを確認しながら施工を進めた。

振動に対する対策として、写真5に示すとおり路面覆工に対して斜めの擦り付け舗装を実施した。これにより、車両がスムーズに路面覆工を通過できるように工夫した。

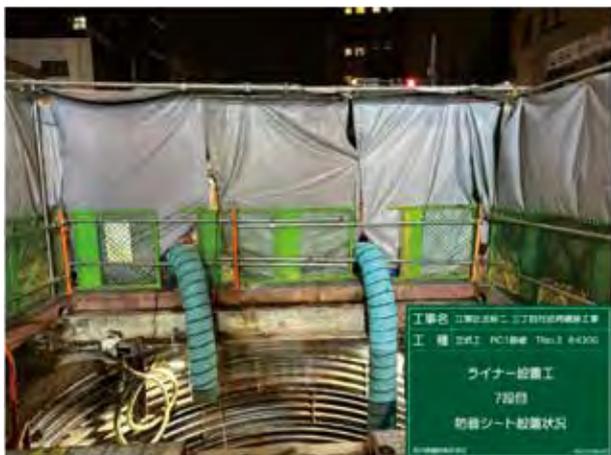


写真4 防音シート設置状況



写真5 擦り付け舗装

#### 3.2.2 工期短縮

工期短縮を図る取り組みを二つ実施した。

一つ目は、路面覆工の基礎を鋼材基礎としたことである。設計どおりのコンクリート基礎で施工した場合、基礎を打設してから養生期間が7日間必要であった。そのため、写真6に示すようにコンクリートを打設する代わりに鋼材で基礎を作ることによって養生期間をなくすことができた。

二つ目は、特殊人孔築造に使用するセメントを普通ポルトランドセメントから早強ポルトランドセメントへ変更したことである。表1に養生期間の比較を示している。特殊人孔の築造を実施した2月だと、普通ポルトランドセメントでは9日間、早強ポルトランドセメントにすると5日間に、養生期間を短縮することができる。RSNo.1は躯体を二回に分けて、RSNo.2は4回に分けて打設したため、普通ポルトランドセメントであれば養生期間だけで54日間必要であったが、早強ポルトランドセメントとすることで養生期間を30日間とすることができた。これらの取り組みにより、約一か月の工期短縮につなげた。



写真6 路面覆工基礎

表1 養生期間比較

日平均気温	普通ポルトランドセメント	早強ポルトランドセメント
15℃以上	5日	3日
10℃以上	7日	4日
5℃以上	9日	5日

#### 4 まとめ

本工事は、交通量の多い主要道路上で大規模な掘削を伴う工事であり、安全管理や近隣住民へ配慮した施工方法を計画する必要があった。紹介した取り組みを実施することで、大きなトラブルや事故を起こすことなく工事を竣工することができた。

今後、今回の取り組み事例が類似する施工環境の中で施工する際の参考となれば幸いである。

### 3-1-5 画像化技術の活用に関する検討～三河島水再生センター

#### 第二沈殿池内の可視化と水処理運転への応用～

東京都下水道サービス株式会社 施設部 水質課

梶原 大聖

児玉 弓枝

#### 1. はじめに

三河島水再生センターの浅草系第二沈殿池（以下「二沈」という。）では、処理水質への悪影響を与える汚泥浮上が発生することがある。二沈での汚泥浮上は、水深の浅い構造に伴う沈降不良が原因の一つに考えられるものの、水面の目視確認だけでは把握できず、不明点も未だ多く原因解明が求められている。

従来から、二沈の汚泥堆積状況を把握する方法には、MLSS計や汚泥界面計が用いられてきた。しかし、これらは一回にピンポイントでの測定しかできないため、二沈全体を把握するには多くの作業時間と労力を費やすことが課題であった。

そこで、処理水質の更なる安定化を目的に、簡易かつ広範囲の測定が可能な画像化技術（以下「画像センサー」という。）を活用した二沈の汚泥堆積状況の可視化及び水処理運転への応用を検討した。本稿では、その取組内容について報告する。

#### 2. 使用機器及び測定方法

画像センサーは、センサー下部から超音波を発信し、反射した音波強度を受信することで沈殿池内の状態監視が可能なポータブル型の測定機器（図1、表1）である。画像センサーは最大10mの深さまで計測が可能であり、センサーを水面近くに投入し水底まで測定できることから、汚泥かき寄せ機のフライトやチェーンなど駆動機器に接触する恐れがなく、1地点当たり5分程度で測定できるなどのメリットがある。



図1 画像センサー（外観）

表1 画像センサー 概要

機器名	槽内監視センサー クリソニック K-ST10TypeC	
メーカー	栗田工業株式会社	
計測原理	超音波式(400kHz)	
用途	汚泥界面の計測、沈殿槽の状態監視	
計測範囲	最大深さ10m	
センサー設定位置	深さ	水面から10～15cmの位置に沈める
	壁からの距離	水深3mでは60cm以上、5mでは1m以上離す

測定例を図 2 に示す。

本体の画面は縦軸に水深、横軸に経過時間が表示され、画像の色相は反射強度が強い場合（堆積汚泥や躯体等）は赤色を、反射強度が弱くなるに従い、黄色、緑色、水色、青色の順に変化し、上澄水のように透明度が高い場合などには反射強度がほとんどないため黒色を示す。

なお、画像センサーは、センサー直下から数十 cm は測定できない不感帯の範囲となり、赤色に表示される。測定画像は、画面左から右方向に時系列順に表示され、気泡や汚泥などが浮上する場合は右斜め上方向へ、汚泥などが沈降する場合は右斜め下方向へ軌跡が描かれ、測定画像から汚泥堆積状況や汚泥浮上の有無を把握することが可能である。

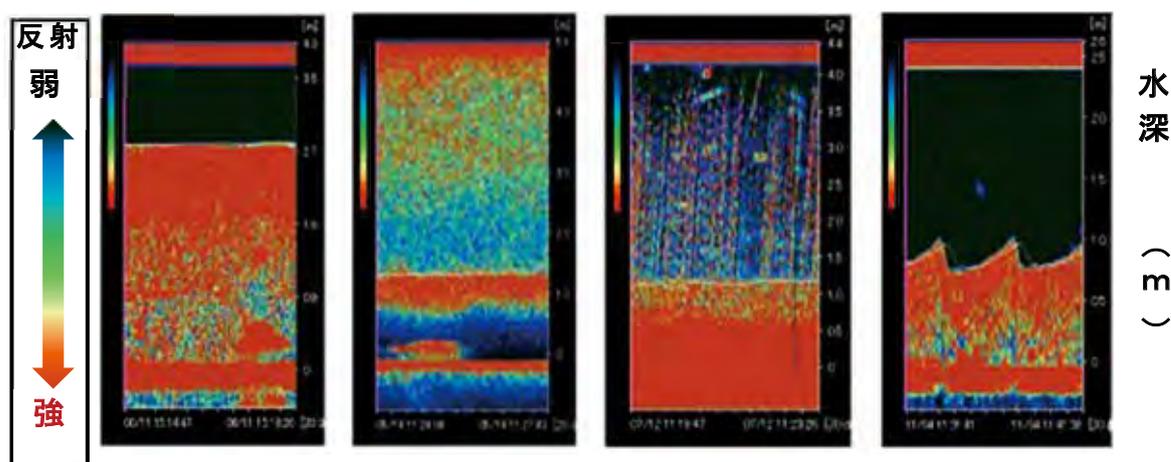


図 2 画像センサーの測定例（メーカー出典より抜粋）

本調査では、センサーを水面下 20cm 付近に沈めて測定したが、超音波が円錐状に拡散し、躯体壁面の反射を汚泥界面と誤認識する恐れがあった。このため、自作した専用治具（棒）を使用してセンサーと躯体壁面との距離を 60cm 以上離れた状態で測定を行った（図 3）。

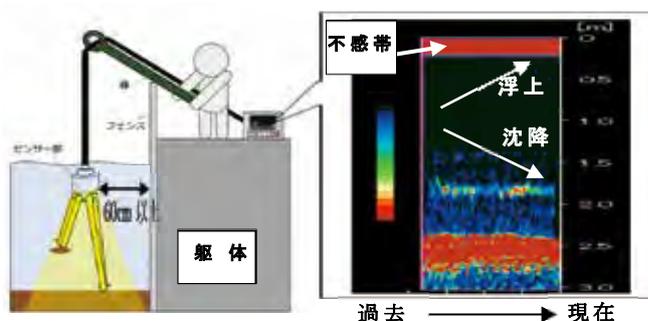


図 3 画像センサー測定方法

### 3. 調査内容

今回調査した二沈は、南（以下「浅草南」という。）12 池、北（以下「浅草北」という。）12 池の全 24 池で、1 池が 4 つに分岐している。調査内容は以下のとおりである。

#### 3.1 画像センサーの有効性及び校正方法の検討【R5 年 6 月～R6 年 1 月】

画像センサーの有効性を確認するため、浅草北（10-4 号池中流域）において、画像センサー及びポータブル MLSS 計を使用し、同時に測定して比較を行った。

次に、画像センサーの校正方法について検討を行った。画像センサーは、機器が劣化した場合は性能が低下し、測定結果に影響を及ぼす可能性があることから、正常に機能しているかを把握するため、超音波の強度調整用器具（図 7 左図に示す）を作成・使用した校正方法を検討した。具体的には、ロープの水深 1m・2m となる位置に超音波を発射するプラ

スチック製ボトル（以下「プラボトル」という。）を固定し、先端部におもりを取り付けた調整器具をセンサーの近傍に沈め、その器具をセンサーで測定することで、劣化判断及び超音波の送受信調整の可否について調査した。

### 3.2 二沈全体（1池）の汚泥堆積状況の可視化【R5年10月～11月】

画像センサーは、MLSS計に比べて広範囲な測定が可能であるが、水深約3mの場合で計測範囲が直径0.65m程度であり、二沈全体の把握には多地点での測定を行う必要がある。このため、浅草南の6-4号池（長さ36.5m、幅3.85m、深さ3m）において、画像センサーを長手方向に24点（1m間隔）、短手方向に6点（0.5m間隔）測定し、二沈全体（1池）の汚泥堆積状況の可視化について調査を行った。

### 3.3 二沈（全池）の汚泥堆積状況の把握【R4年11月～R5年12月】

二沈の処理方法は、浅草南が、フライト板（高さ18cm）で汚泥をかき寄せるチェーンフライト方式、一方、浅草北は、くさび形スクレーパ（高さ5cm）が流れ方向に対して、前後に動きながら汚泥をかき寄せるレシプロ方式（図4）である。今回、汚泥かき寄せ方式の違いや池ごとの汚泥堆積量の偏りの有無を把握するため、二沈（全池）で画像センサーによる測定を行った。

なお、測定は、各●-4号池下流部（流入扉から4/5付近）で行った（図5）。



図4 レシプロ式

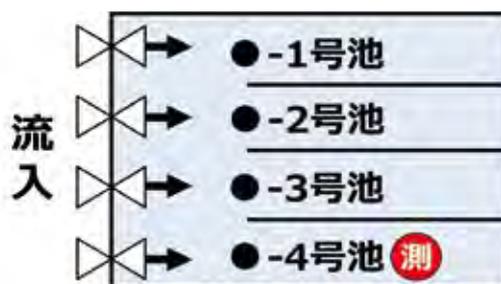


図5 測定地点

### 3.4 水質分析による汚泥浮上の原因把握【R5年7月】

調査は、画像センサーを用いて上澄水の懸濁が多い池を把握したのち、汚泥浮上の原因把握を目的に、二沈（浅草北9-4号池 上流・中流・下流）の水質分析を行った。試料採取は、各地点で鉛直方向に水面、中間（水深1.5m）、底面（上流を除く。）の3か所で採水（北原式採水器使用）し、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素を分析した。分析は、アンモニア性窒素が電量滴定法（AT-2000型）で、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素はジアゾ化反応を用いた吸光光度法（RQフレックス）により実施した。

### 3.5 水処理運転への応用検討（流入扉開度調整による挙動確認）【R5年12月～R6年1月】

浅草南12-4号池では、汚泥浮上が短期間に頻発することがあった。そこで、汚泥浮上が見られなかった12-1号池との汚泥堆積量の比較を行った結果、流入水量の偏りが要因の一つと考えられた。このため、運転変更時（流入扉の開度調整など）に画像センサーを活用し、池内の汚泥の挙動を把握することで、水処理運転への応用可能性について検討を行った。

#### 4. 結果及び考察

##### 4.1 画像センサーの有効性確認及び校正方法の検討

画像センサー及びポータブル MLSS 計の測定結果を図 6 に示す。

測定画像から、表層（不感帯を除く。）～水深 0.5m 付近は赤みを帯び、汚泥が浮遊する様子が確認できた。また、水深 2.2～2.7m は黄～緑色を示し、汚泥が沈降している状況を、水深 2.7～2.9m（底面）は赤色を示し、汚泥が堆積している状況を観測することができた。

また、ポータブル MLSS 計による測定では、色相が変化した水深 0.5、2.4、2.7m 付近で色相の傾向と同様に汚泥濃度の増加が確認された。

このことから、画像センサーは、汚泥の堆積状況、上澄水の濁り具合の変化、汚泥濃度の変動などを捉えることができるものと判断した。

次に、画像センサーの校正方法の検討結果を図 7 に示す。

図 7 より、水深 1m と 2m とでは赤色を示し、画像センサーがプラボトル及び水深を正しく認識できることが分かった。このことから、調整器具を用いて、センサーの劣化判断や画像を同条件で表示できるよう超音波強度及び発・受信のバランス調整を定期的に行い、劣化等による測定結果のズレを補正することで、測定の信頼性を高め画像センサーの有効性を担保できるものと考えられる。

##### 4.2 二沈全体（1池）の汚泥堆積状況の可視化

画像センサーによる二沈（浅草南 6-4 号池）、長手方向の測定結果を図 8 に示す。測定画像より、上流から中流にかけて汚泥が徐々に沈降する様子を、中流から下流では汚泥が堆積し、上澄水も清澄な状態が確認できた。一方、最下流付近では若干の汚泥浮上が観測できたことから、二沈全体（1池）の汚泥堆積や汚泥浮上などの可視化が可能と考えられる。

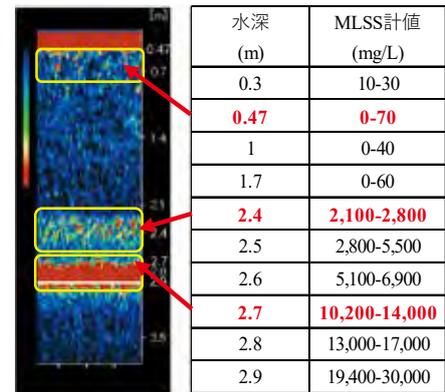


図 6 画像センサー、MLSS 計の比較

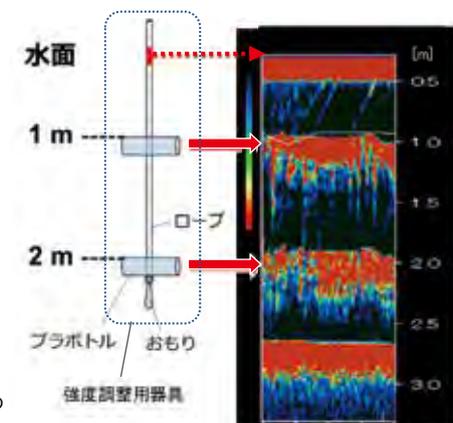


図 7 画像センサーの校正方法の検討結果

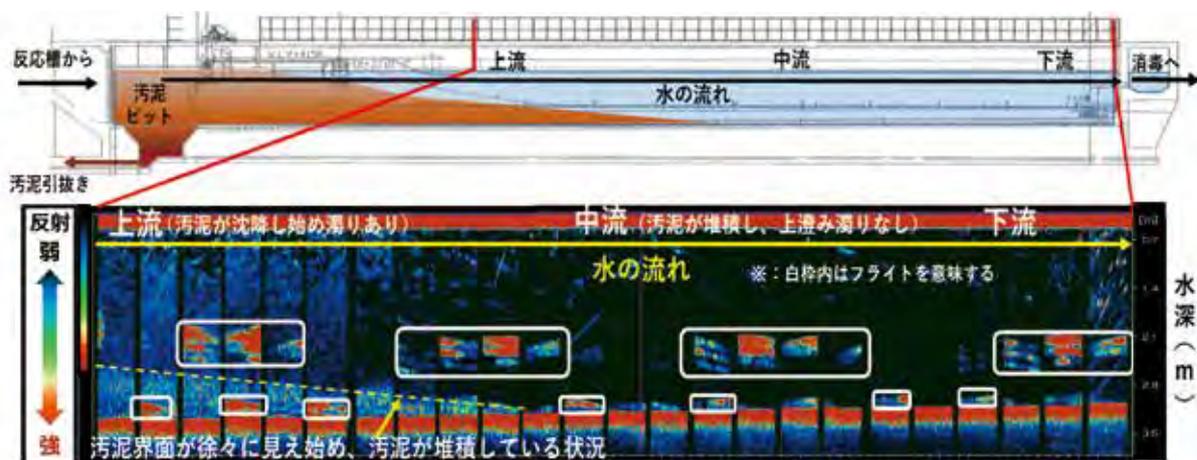


図 8 二沈断面図（上図）及び長手（縦）方向の汚泥堆積状況（下図：鉛直分布）

なお、長手方向の測定では、図 8 に示すとおり、数 m ごとでは大きな変化は見られないため、数か所（上流、中流、下流）程度の測定で二沈全体（1 池）の状況把握が可能と考えた。

次に、短手方向の測定結果を図 9 に示す。測定画像では、どの地点も活性汚泥が一様に分布しており、堆積状況に大きな変化は見られず、当初懸念していた壁面近くの汚泥量の偏り（停滞）は見られなかった。

以上のことから、作業時間や労力を考慮した場合、縦方向（長手）の上流・中流・下流部で横方向（短手）の中央付近で測定を行えば、二沈全体（1 池）の汚泥堆積状況などをおおむね把握することが可能と考えられる。

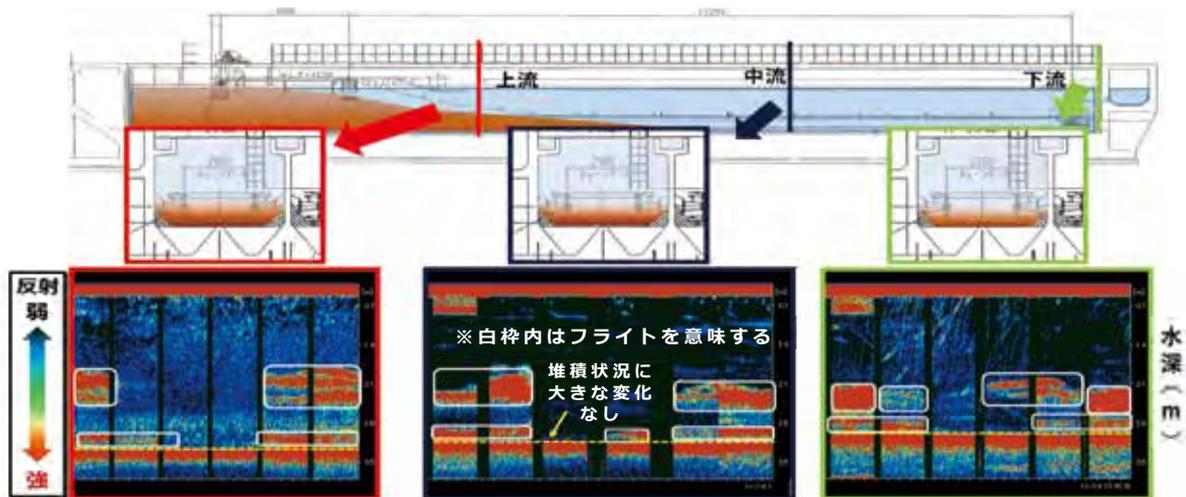


図 9 二沈断面図（上図）及び短手（横）方向の汚泥堆積状況（下図：鉛直分布）

#### 4.3 二沈（全池）の汚泥堆積状況の把握

二沈（全池）の測定画像の結果を図 10 に示す。

調査は 2 回（2 日）行った。浅草南は、水深 2.3～2.8m に上・下段のフライト板（図中、白枠内）が、浅草北では、スクレーパによる汚泥界面の凸凹が確認された。汚泥堆積量や汚泥浮上は、池ごとに異なっており、汚泥かき寄せ方式による差異も顕著に見られた。

浅草南では、1～9 号池の水深 1.5m 以深は黒色を示し、底面（水深 3m）の汚泥堆積量がほとんどなく、水面付近は汚泥浮上によりやや懸濁がみられるものの、フライト板により汚泥を適正にかき寄せられていると考えられる。しかし、浅草南 11、12 号池は水深 2.5m 付近において汚泥界面がみられ、汚泥が堆積する途中であり、11 号池の上澄水部分は青色を呈し、汚泥浮上により懸濁している状況が確認された。

一方、浅草北では、4、5、7 号池で汚泥堆積量が多く池ごとに偏りがみられ、調査日にかかわらず汚泥量が多い傾向を示した。また、上澄水は多くの池で青～赤色を示し、汚泥が全面に浮上している池も多々見られたが、調査日により異なる状況を示した。

このように、画像センサーは二沈（全池）の汚泥堆積状況や上澄水の濁り具合及び処理方式による処理状況の違いを把握することが可能と考えられる。

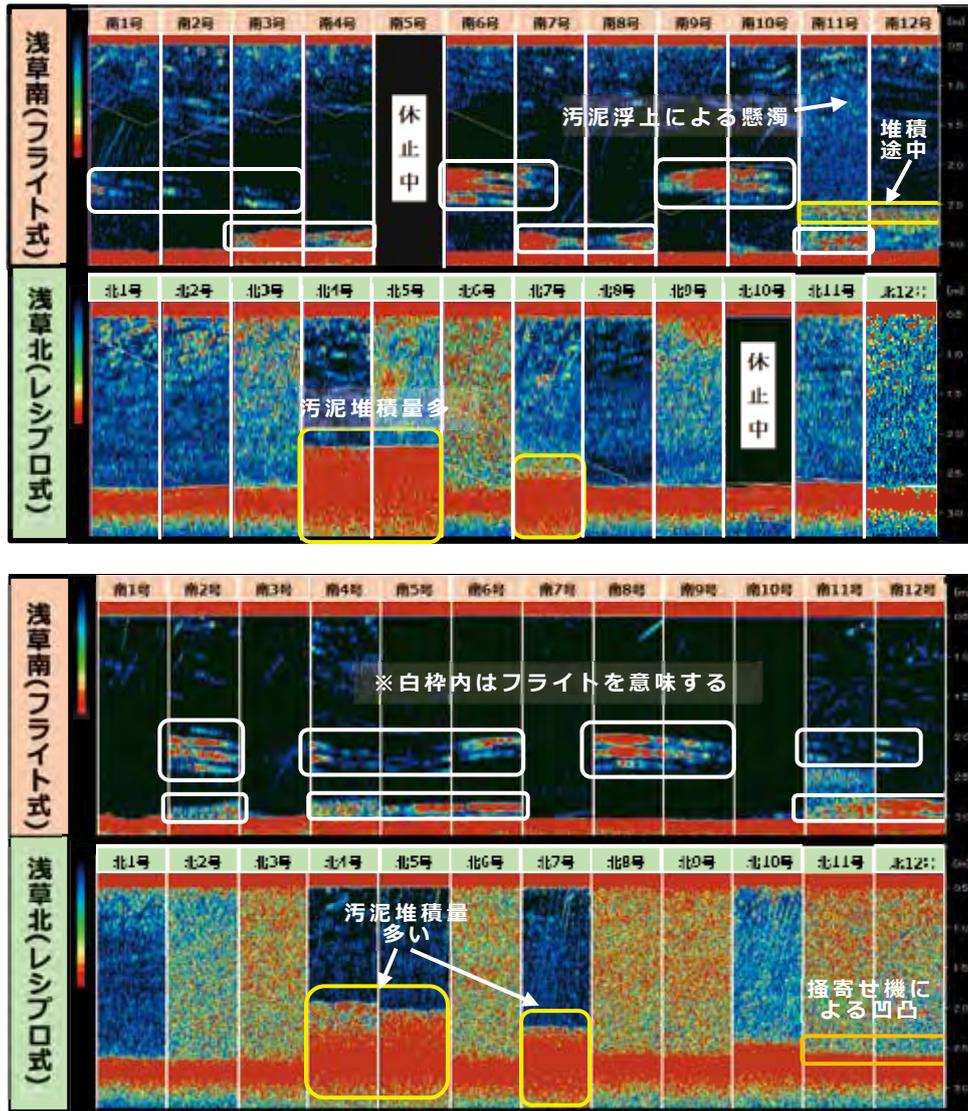


図 10 画像センサーによる二沈の全池測定結果（上図 R5 年 5 月、下図 R5 年 7 月）

#### 4.4 水質分析による汚泥浮上の原因把握

浅草北において、上澄水の懸濁が多い浅草北 9-4 号池を対象に水質分析を行った。汚泥堆積状況、採水地点及び二沈の水面状況を図 11、12 に、水質分析結果を表 2 に示す。

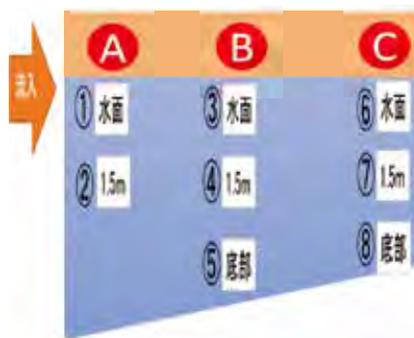
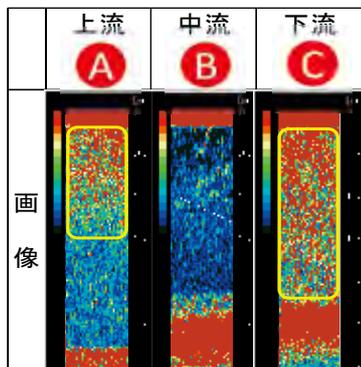


図 11 汚泥堆積状況（左図）及び採水地点（右図）

図 12 二沈（下流側）水面状況

表 2 水質分析結果

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	参考 (日常試験) 浅草北 処理水
	A 上流		B 中流			C 下流			
	水面	1.5m <sup>※1)</sup>	水面	1.5m <sup>※1)</sup>	底部	水面	1.5m <sup>※1)</sup>	底部	
アンモニア性窒素(mg/L)	2.5	2.7	2.9	2.7	3.8	2.6	2.8	3.9	2.5
亜硝酸性窒素(mg/L)	2.8	2.8	2.9	2.9	0.0	2.7	2.6	0.5	2.6
硝酸性窒素(mg/L)	2.9	3.8	2.9	3.2	0.0	2.5	2.7	0.0	3.6

※1) 水面から 1.5m 地点で採水した。

画像センサーによる測定では、黄色枠で示したとおり、上流 (A) の水面～水深 1.5m 付近及び下流 (C) の水面～水深 2.5m において懸濁しており、下流側の水面は、浮上した汚泥が薄層状に滞留 (浮遊) していた。

水質分析の結果、水面及び水深 1.5m の硝酸性窒素は、下流 (C) に向かうほど減少する傾向を示し、浅草北処理水 (参考) に比べて下流 (C) で 1.0mg/L 程度低くなった。また、底部では、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素がほとんど不検出となった一方、アンモニア性窒素は浅草北処理水 (参考) に比べて 1.3mg/L 程度上昇した。

以上のことから、浅草北では、底部に堆積した汚泥が無酸素若しくは嫌気状態となり、処理水の亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素が脱窒し、窒素ガスとともに汚泥が浮上したものと推定される。

しかし、本調査は限られた条件から推定していることから、今後は様々な条件で同様の調査を重ねることで、汚泥浮上の原因がより明確になると考えられる。

#### 4.5 水処理運転への応用検討 (流入扉開度調整による挙動確認)

浅草南 12-4 号池では、汚泥浮上が短期間に多く発生したことから、汚泥浮上のない 12-1 号池と比較するため、画像センサーを用いて両池の汚泥堆積状況を調査した (図 13)。

その結果、12-1 号池 (流入扉開度 25%) は底面に汚泥堆積がほとんど確認されない一方、12-4 号池 (流入扉開度 15%) では汚泥堆積量が多く、両者に偏りが見られた。

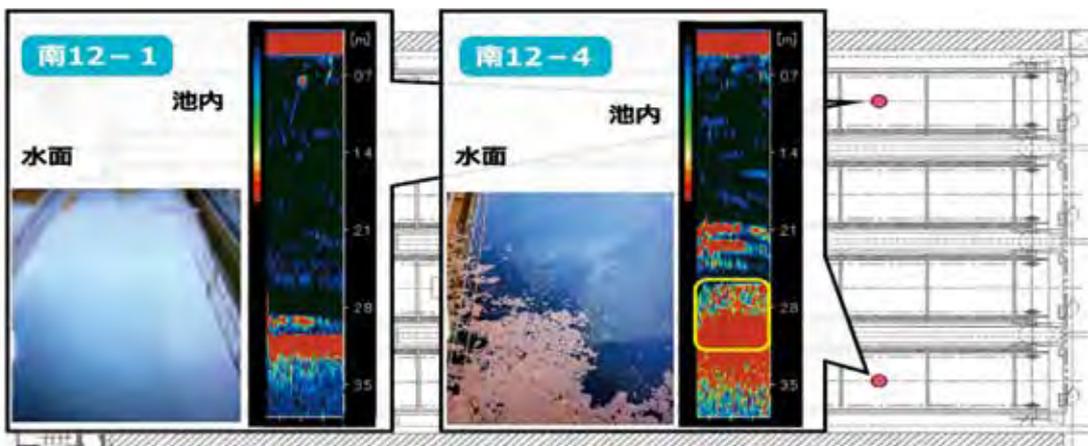


図 13 浅草南 12 号池の水面及び汚泥堆積状況

12-4 号池では、流入水量が多いことによる汚泥量の増加に加え、水面積負荷の増大に伴う沈降性悪化により汚泥浮上が発生した可能性が考えられたため、画像センサーを活用して流入扉の開度調整による汚泥堆積状況の変動を確認した (図 14)。

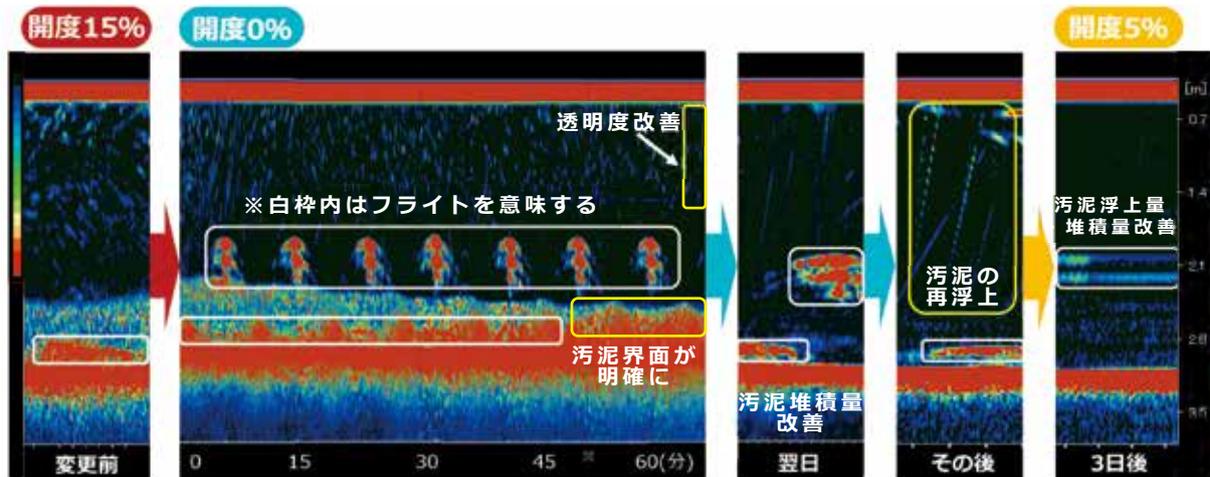


図 14 流入扉開度変更による汚泥堆積状況（浅草南 12-4 号池）

12-4 号池について、流入扉開度を 15%から 0%に変更した結果、沈降不良が見られた汚泥が徐々に沈殿し、35～40 分後には堆積汚泥量が増加、50 分後に汚泥界面が明確化、60 分後に上澄水の透明度の改善が見られた。翌日には一旦汚泥堆積量は減少したが、その後、汚泥浮上が再び発生した。理由としては、滞留時間が長くなり脱窒が進むことで窒素ガスとともに汚泥が浮上した可能性が考えられた。そこで、流入扉開度を 0%から 5%まで上げたところ、汚泥堆積量と汚泥浮上量ともに改善傾向が確認できた。

一方、流入扉の開度調整直後や開度を大きくした際に、越流堰壁面付近のみ、数十センチ程度の汚泥塊の浮上が度々確認された。底部の測定画像には変化がなかったことから、流速の急激な変化により越流堰の下部や壁面に付着していた汚泥が剥れるなど、別の原因で汚泥浮上が発生したのではないかと推測される。

以上のことから、画像センサーは、水処理の運転変更時（流入扉開度調整）など、汚泥の処理状況及び良好な上澄水を得るための条件把握に応用することができると考えられる。

## 5. まとめ

本調査より、以下の知見が得られた。

- ・画像センサーは、汚泥の堆積や上澄水の懸濁状況を捉えることができる。
- ・画像センサーは、3ヶ所程度（上流、中流、下流）の測定で、従来法に比べて短時間かつ少ない作業労力で二沈全体（1池）の可視化が可能である。
- ・汚泥かき寄せ方式によって、汚泥堆積量や上澄水の懸濁状況に違いがある。
- ・水質分析及び画像測定による測定結果から、汚泥浮上の一因として、沈殿池底部での脱窒現象が考えられる。
- ・流入扉開度調整により、汚泥堆積量や上澄水の懸濁状況に大きな違いが表れる。
- ・画像センサーは、汚泥の沈降分離及び良好な上澄水を得るための運転条件の把握に利用できると考えられる。

今後は、長期連続測定による経時変化や運転変更時（レシプロの速度調整など）の処理状況の把握に画像センサーを活用し、汚泥浮上の原因究明及び処理水質の更なる安定化に役立てたい。

## 3-1-6 360°カメラを活用した施設配置確認ツール

東京都下水道サービス株式会社 施設部 保全課 秋本 成雄

### 1. はじめに

東京都下水道サービス株式会社（以下「TGS」という。）は、東京都下水道局（以下、「下水道局」という。）の事業を補完・代行する政策連携団体として、下水道局との一体的な事業運営により、お客さまに下水道サービスを安定的に提供している。

また、下水道局の「東京都下水道事業 経営計画 2021（令和3年3月東京都下水道局）」には新たな運営手法である包括委託が記載されており<sup>1)</sup>、TGSは、令和4年度から落合水再生センター（中野水再生センター含む）施設管理業務の包括委託を5年契約で受託した。包括委託は、一定の性能を発揮できるものであれば、施設の運転方法の詳細について受託者に裁量を与えられる「性能発注」、また、維持管理のノウハウの構築や安定的な業務遂行が可能な「複数年契約」を基本的な要素とし、複数の業務や施設を包括的に維持管理するものである。そして、本委託の履行にあたり、TGSでは人材育成や維持管理技術の高度化を計画的に推進し、その成果を下水道局へ還元することを目指し取り組んでいる。

本稿では、デジタル技術を活用して業務の負担を軽減する取り組みを行ったため、その内容について報告する。

### 2. 経緯と課題

#### 2.1 経緯

水再生センターでは、運転管理・保全管理の日常業務を行っている。その日常業務では、点検や工事に伴う設備の停止や切り替え措置、そして設備故障が発生した際の復旧対応を行っている。水再生センター内でこれらの対応を安全に行うには、現場の状況を事前に把握した上で綿密な作業計画を作成することが必要不可欠である。

作業計画を検討する際には、対象となる施設、設備の図面確認に加えて、実際に広大な水再生センター内を歩いて調査する必要がある。

一方、落合処理区にある中野水再生センターの運転管理は、落合水再生センターから遠隔で行っている。このため、中野水再生センターで点検や工事により設備の停止・切替えを行う場合には、落合水再生センターから直線距離にして3km程度を往復することになる（図1）。



図1 落合水再生センターと中野水再生センター

#### 2.2 課題

作業計画の作成に際しての主な課題は、以下のとおりであった。

- (1) 必要な図面を探し出すのに時間が掛かる。
- (2) 図面や写真で施設の配置や周辺の状況を確認するが、細部に至るまでの把握が難しく、また、他者と認識が合っていないことがある。
- (3) 計画作成のための調査では複数回現場へ行くこともあり、中野水再生センターまでの移動時間が大きな負担となる。

### 3. 取組内容

取組については、その効果が早期に発揮されることが重要である。そのため、外部へ委託を行うことなく、直営で実施できる手法を検討した。

具体的には、360° カメラの画像を用いた中野水再生センターの施設配置確認ツール(以下「施設配置確認ツール」という。)を作製した。

施設配置確認ツールは、VR 画面を表示するものである。以降、ツール・取組効果の詳細について述べる。

#### 3.1 コンセプト・ツールの概要

施設配置確認ツールのコンセプトは、高度な技術・技能が不要で、施設の配置に変更が生じたとしても、誰もが施設配置確認ツール内の情報を更新できることとした。そのため、作製に際しては、以下の4つの条件を設けた。

- (1) 高価なシステムを使わないこと
- (2) 安価であること
- (3) 市販品で自作可能なこと
- (4) 誰でも直感的に操作できること

これらの条件により、施設配置確認ツールの運用を組織で継続できるように考慮した。

施設配置確認ツールでは、360° カメラで撮影した画像を、編集ソフト上で平面図データにマッピング・リンクさせることで、VR 画面を作成・表示することができる。

#### 3.2 使用機材

作製に使用した機材について紹介する(図2)。

##### (1) 360° カメラ

主な機能は次の4つ。

- 1) 360° パノラマ写真を撮影可能
- 2) 市販の三脚に接続可能
- 3) 撮影はスマートフォンのアプリにより遠隔で操作可能
- 4) 撮影した写真は microSD カードで PC へ



図2 カメラ外観

##### (2) 編集ソフト

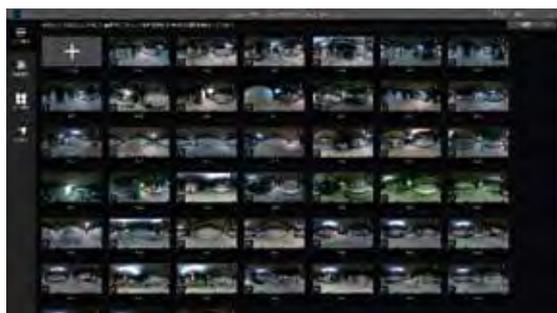


図3 パノラマ写真取込み画面

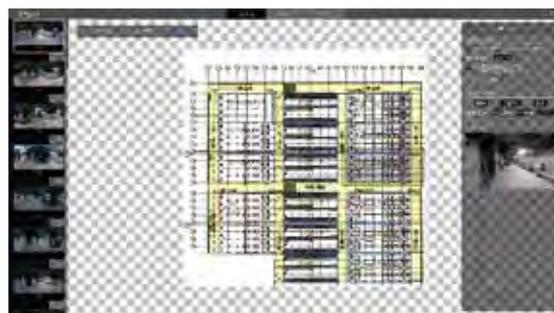


図4 撮影ポイント作成画面

- 1) 360° カメラで撮影したパノラマ写真ファイルと、施設内の各平面図 (\*.jpg \*.png \*.bmp \*.jpeg) とを編集ソフトに取り込む (図 3、図 4)。
- 2) 作製したデータは、パソコン及びモバイル端末で操作・閲覧が可能。

### 3.3 作製方法

施設配置確認ツールの作製は、以下の方法で行った。

- (1) 印刷した水再生センター内の各平面図にあらかじめ撮影する箇所をマーキング (図 5)
- (2) 図面を確認しながら撮影する者と指示に従いカメラを移動する者との 2 人 1 組で撮影 (図 6)

(広範囲の施設内を約 1,000 箇所撮影)

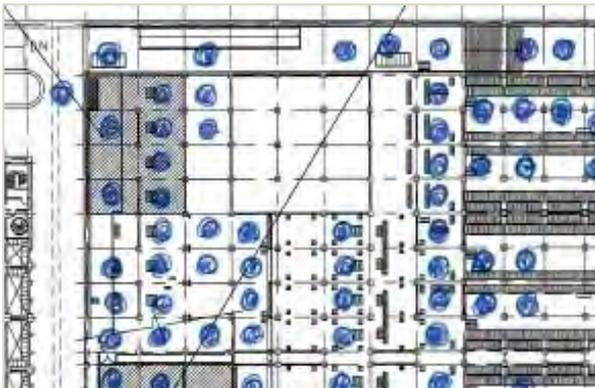


図 5 マッピングした平面図



図 6 水再生センターでの撮影作業

- (3) 撮影した写真及び水再生センター内施設の各平面図を編集ソフトに取り込む
- (4) 平面図にパノラマ写真をドラッグ&ドロップし撮影ポイントを自動生成 (図 7、図 8)



図 7 編集ソフトに平面図を取込み

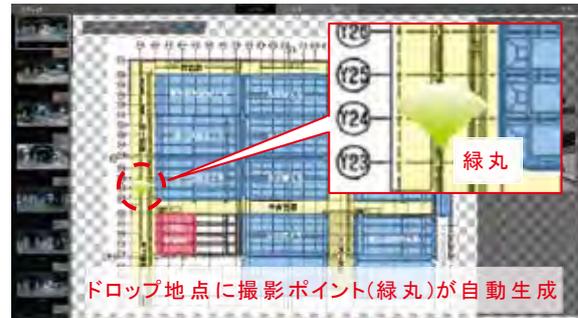


図 8 撮影ポイントを自動生成

(5) 生成された撮影ポイント間のリンクを設定 (図 9)



図 9 撮影ポイントのリンク設定

### 3.4 施設配置確認ツールの操作概要

施設配置確認ツールの操作方法について説明する。

- (1) 矢印をクリックすると、その方向に移動。また、画像の拡大・縮小も可能 (図 10)。
- (2) 画面左下にある図面上の扇は、現在の位置と見ている方向を表す (図 10)。



図 10 360° カメラを活用した施設配置確認ツール

(3) 図面の拡大表示が可能 (図 11)。

(4) 2階フロアや電気室といったエリア移動 (図 11 の赤点線囲い部) が 1 ボタンで可能。

(5) 撮影ポイント (緑丸) をクリックすることでその場へ移動 (図 11)。



図 11 図面の拡大表示画面

### 3.5 情報の更新

施設配置確認ツール作成後、工事等により情報の更新を行う場合の手順について説明する。

- (1) 機器が更新された場合は、対象の機器が映っている全ての写真を更新後の写真に差し替える（図 12）。



図 12 対象の機器が映っている写真の差替え

- (2) 平面図の更新が生じた場合は、対象の平面図を更新後の平面図に差し替える（図 13、14）。



図 13 平面図の差替え前

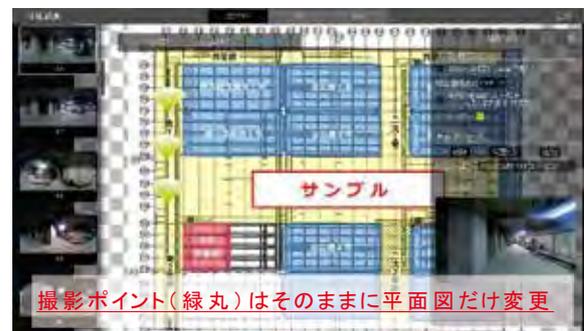


図 14 平面図の差替え後

## 4. 取組効果

施設配置確認ツールを作製したことによる効果は、以下のとおりである。

- (1) 対象設備の設置場所が大まかに分かれば、画面操作によりまるで歩いているかのように設備の配置を画像で確認できるようになった。これにより、事前に確認すべき図面等の数が減り、資料を探す時間を短くすることができた。
- (2) 機器の設置状況を視覚的・立体的に確認できるようになった。加えて、複数人で操作画面を見ることで、認識の共有が容易かつ確実となった。
- (3) 落合水再生センターの執務室に居ながら現場調査が可能となった。これにより、現場調査のために中野水再生センターへ移動する回数が減り、時間的負担が少なくなった。

## 5. まとめ

作業計画の作成に際しての課題の解決は、施設配置確認ツールを用いることで達成できた。

### ・参考文献

- 1) 東京都下水道局：東京都下水道事業 経営計画 2021、(2021)、(pp. 118-119)
- 2) 中村 正樹：水処理施設の包括的民間委託における取組、下水道設備(2024.7 No.143)、(2024)、(pp. 46-48)、一般社団法人東京下水道設備協会

### 3-1-7 ポンプ所・水再生センター設備点検標準の改定に関する取組

担当者 施設管理部 施設保全課 坂倉 季彦

#### 1. はじめに

東京都下水道局（以下「当局」という。）が策定している「ポンプ所・水再生センター設備点検標準」<sup>1)</sup>（以下「点検標準」という。）は、下水道設備の点検項目、点検内容や標準的な定期点検周期を定めている。

従来の点検標準（平成17年3月）は、機器ごとの重要度や策定当時の維持管理の状況を踏まえて点検内容及び点検周期を決定していたが、近年新たに導入した一部機器の点検内容等が記載されておらず、現在の点検作業の実態にそぐわなくなっていた。

そこで、当局が運用している下水道設備保全管理システム（通称エスキューブプラス。以下「S<sup>3+</sup>」という。）<sup>2)3)</sup>に登録されている機器台帳を基に、点検標準に記載がない機器を対象に、新たに点検内容等を作成した。あわせて、これまでの点検標準では主要な点検項目のみであったところを、現場作業実態に即して機器の各部位ごとに点検項目・点検方法を定めるように整理した。さらには点検周期について、基準設定の考え方を明確化するとともに S<sup>3+</sup>に登録されている「故障情報」を分析し、脆弱部位の有無の分析結果も加味することで、適切な周期となるように見直した。

本稿では、S<sup>3+</sup>のデータベースを活用した点検標準の改定に関する取組について、報告する。

#### 2. 点検標準を取り巻く状況と課題

##### 2.1 点検標準を取り巻く状況 各種指針類と点検結果の整理・記録

下水道設備の保全管理業務に適用する指針、基準、要領、規定等の体系及び名称は図1に示すとおりである。

	名 称	最新版	決定部署
設備保全基準 (業務の基準)	下水道設備保全管理指針	平成28年4月	施設管理部
	ポンプ所・水再生センター設備保全基準	令和4年4月	施設管理部
要領、規定等 (具体的な手順)	ポンプ所・水再生センター設備点検標準（今回改定）	平成17年3月 ⇒令和5年10月	施設管理部 施設保全課
	ポンプ所・水再生センター保全管理業務様式	令和4年4月	施設管理部 施設保全課
	機器故障等記録報告書記載要領	令和4年4月	施設管理部 施設保全課

図1 下水道設備の保全管理業務に適用する主な基準類

点検標準は「下水道設備保安全管理指針」及び「ポンプ所・水再生センター設備保全基準」に基づき、水再生センター等に設置されている下水道設備の点検項目、点検内容や標準的な定期点検周期を定めている。

なお、本稿では、「点検内容等」とは、機器名称、機器分類、点検箇所、点検項目、点検方法、点検周期、重要度レベルを総称して指し示すこととする。

一方、設備の点検結果は当局が運用している S<sup>3+</sup>に記録しており、点検結果、故障報告、機器台帳及び工事情報と併せてデータベース化し、一元管理している（図 2）。

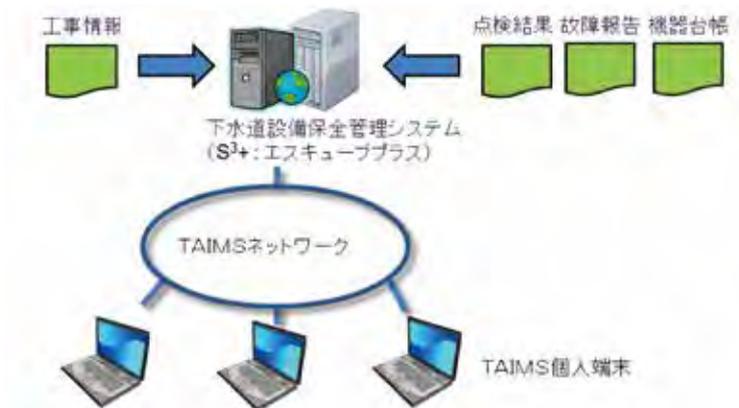


図 2 S<sup>3+</sup>構成図

また S<sup>3+</sup>では、図 3 に示すような「設備区分」、「設備名称」、「機能名称」、「基準機器名称」という管理構造を用いて機器を分類しており、さらに図 4 に示すように機器を構成している部位の名称についても標準化している。点検結果は、S<sup>3+</sup>に登録された機器ごとに整理し、この中で各部位ごとに評価した機能維持度の情報を蓄積している。

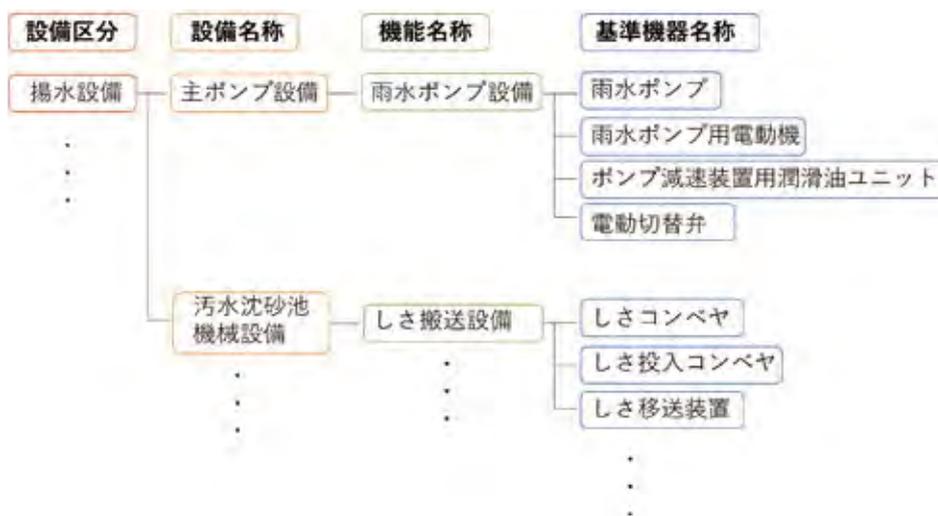


図 3 機器分類の例

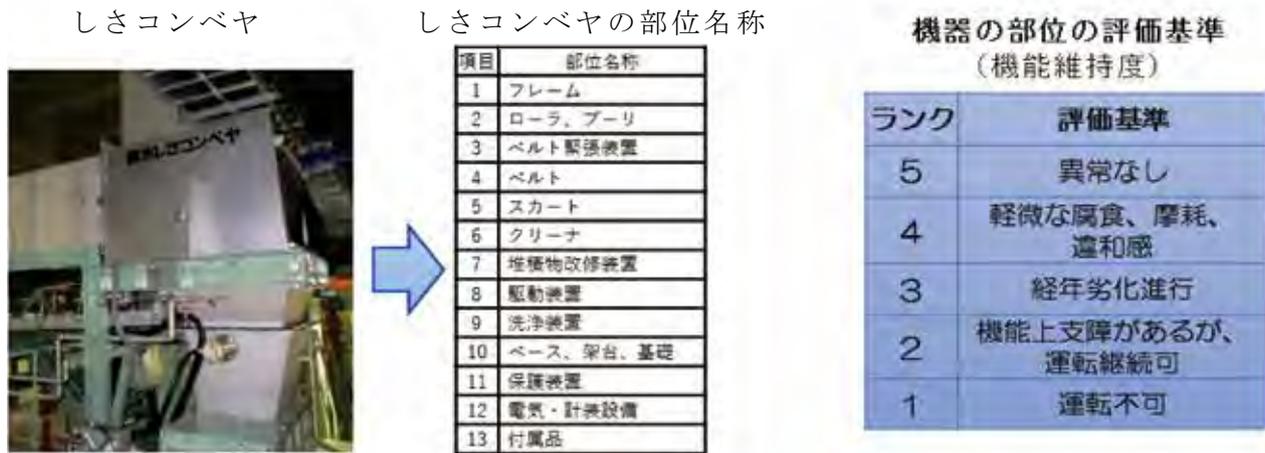


図4 機器の部位名称標準化と部位評価（しきコンベヤの例）

## 2.2 点検標準に関する課題

従前の点検標準は、平成17年3月に策定されたものであり、現場の機器の一部においては適用が困難な場合があることを確認した。

具体的には、以下の2点が挙げられる。

### (1) 点検内容及び点検対象機器に関する課題

実際の点検は、S<sup>3+</sup>の機器台帳に登録されている機器に対して行っているが、平成17年の点検標準策定後に新たに導入された種類の機器に対して、点検内容等が定められていなかった。また、従前から点検してきた一部機器に対して、点検標準とS<sup>3+</sup>とで点検内容等の整合が取れていなかった。

### (2) 定期点検周期に関する課題

従来の点検標準は、当時の維持管理状況を踏まえて定期点検周期を決定していた。しかし、点検標準における定期点検周期の決定方法に明確な基準がないため、新たに導入した機器への点検周期の設定や既存の機器の点検周期の見直しを行うことが困難であった。

以上の課題を解決するため、点検標準の改定に関する取組を進めることとした。

## 3. 点検標準の改定に関する検討

### (1) 点検対象機器及び点検項目の見直し

点検内容等を定めるにあたり、S<sup>3+</sup>を準用した。具体的には、S<sup>3+</sup>の管理構造（図3参照）を用いた機器分類に着目し、点検標準に記載する各機器もこの管理構造を用いて分類することで、各機器に対して点検内容等を定めた。

これにより、S<sup>3+</sup>の機器台帳を基に、これまでの点検標準になかった機器（高速ろ過設備一式等）に関する点検内容等を新たに追加した（図5）。

次に、全ての機器に関して、点検標準で定めている各機器の点検箇所とS<sup>3+</sup>に登録された機器の各部位とが対応するように点検内容等を再度整理した（図6）。整理にあたり、機器の各部位に対する点検項目及び点検方法は、S<sup>3+</sup>を準用することに加え、各機器の取扱説明書を参照し、情報の選別と整理を行った上で、点検内容に追記し

た。これにより、S3+との整合を図ると共に点検標準の充実を図った。



図5 点検内容の追加例 (高速ろ過設備一式)

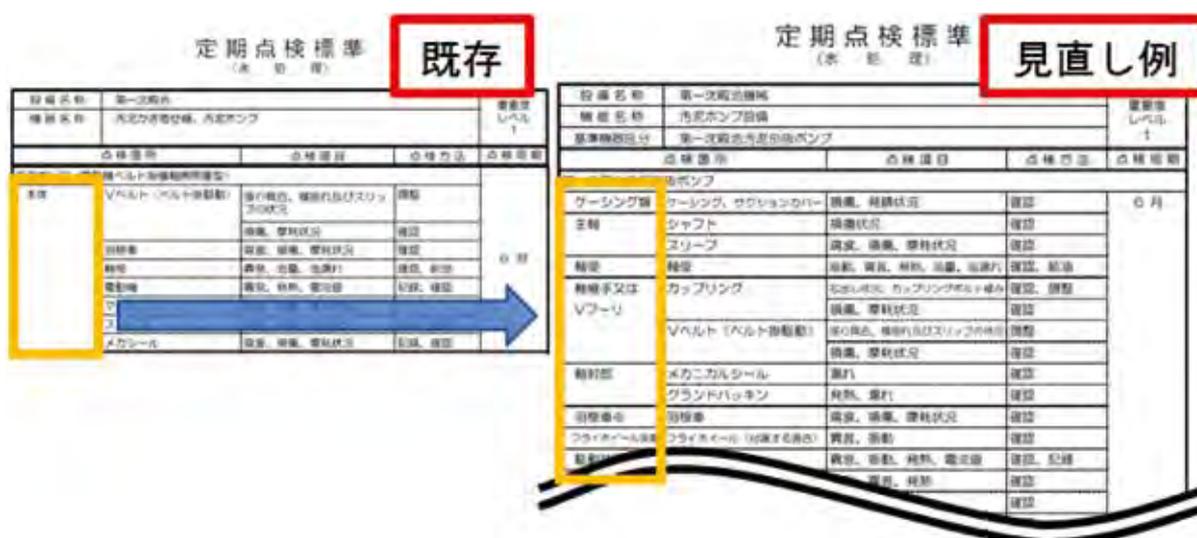


図6 点検内容見直し例 (第一沈殿池汚泥引抜ポンプの場合)

(2) 故障情報分析による定期点検周期の適正化

定期点検周期の基準を定めるにあたり、多様な要素 (「法令点検」「主要13設備」「重要度」「設備の健全度」「故障情報」「設置年数」) を考慮して点検周期を決定することを検討した。しかし、要素が多すぎると複雑化してしまうため、要素を取捨選択し、シンプルで効率的な手法を検討した。

そこで、定期点検周期については、「重要度」と「故障情報」を用いて、その基準設定の明確化を図った。

重要度とは、故障による処理能力への影響度を示すものであり、「ポンプ所・水再生センター設備保全基準」において、次の3段階に分類している (表1)。

表 1 重要度の分類と機器の具体例

重要度	説明	機器の例
レベル 1	故障により処理能力が著しく低下するもの	汚水ポンプ 等
レベル 2	故障により処理能力がある程度低下するもの	しきコンベヤ 等
レベル 3	故障による処理能力への影響がないもの	給排気設備 等

「下水道維持管理指針」（公益社団法人日本下水道協会）や維持管理実績等に基づき、重要度レベル 1 の機器は定期点検周期 6 か月、重要度レベル 3 の機器は 24 か月と設定、重要度レベル 2 の機器は脆弱部位を有するか否かで 6 か月又は 12 か月に設定することとした。

また、故障情報については、S<sup>3+</sup>に蓄積された全機場の故障記録を活用し、傾向を分析した。具体的には「機器」単位で故障件数が多いものを抽出する。次に、機器を構成している「部位」単位の故障件数に着目し、故障の発生が多い「脆弱部位」を有するか否かという点を評価項目とした（表 2）。

表 2 「機器」を構成する「部位」と故障件数の例

機器	部位	故障件数	脆弱部位の有無
しき投入コンベヤ	フレーム	0	有
	ローラ、プーリ	19	
	ベルト緊張装置	2	
	⋮	⋮	
スカム除去装置	パイプスキマ本体	9	有
	駆動装置	12	
	電気・計装設備	8	
	⋮	⋮	

次に、本評価で用いた故障情報の分析手法について述べる。

初めに、S<sup>3+</sup>が保有する全機場の全機器の故障情報を出し、故障件数の多い機器の抽出を行った。次に機器ごとのパレート分析\*を行い、故障の起きやすい部位の特定を行った（図 7）。これにより、「脆弱部位」を特定した。例えば、しき投入コンベヤでは、全体の故障の約 6 割がローラ・プーリの故障であったため、脆弱部位を要する機器として評価した。

※ パレート分析：「全体の結果の大部分を生み出す少数の要素」を特定し、優先的に取り組むべき課題を見つけ出す手法。

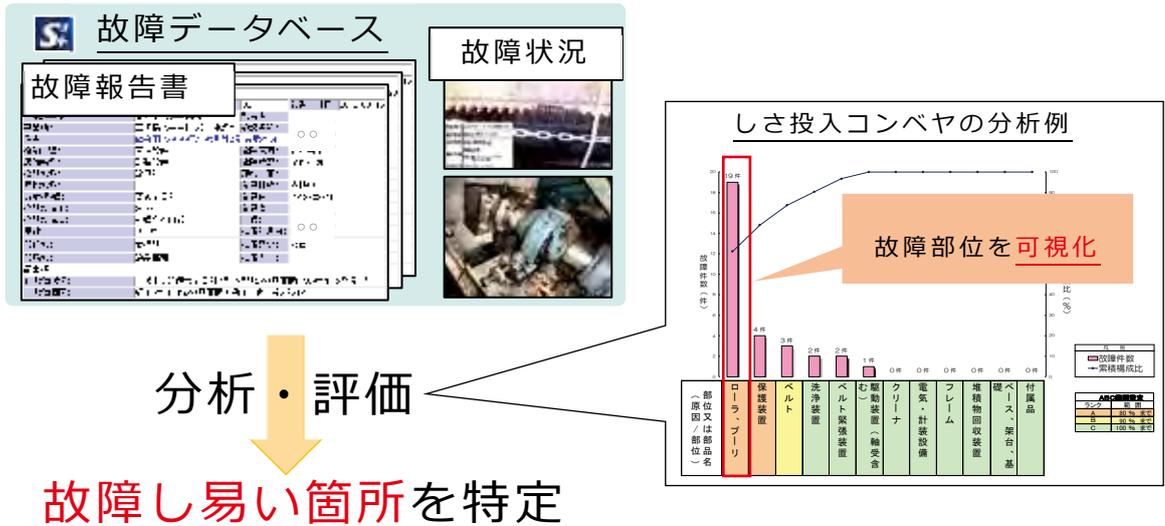


図7 S<sup>3</sup>+データを活用した故障分析イメージ

以上の考え方を整理して点検周期決定のためのフローチャートを取りまとめた(図8)。

各機器の点検周期は、当該フローチャートに基づき見直すものとした。

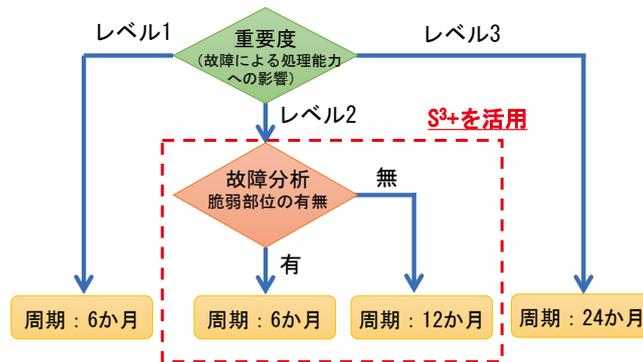


図8 点検周期決定フロー (概略)

#### 4. 結果

##### (1) 点検対象機器及び点検項目の見直し結果

「3(1) 点検対象機器及び点検項目の見直し」により、点検標準で点検内容等を定めている機器は、194種類から385種類となった。内訳としては、新たに導入されて追加した機器は14種類、点検標準とS<sup>3</sup>+の整合を図ったことにより追加した機器が177種類である。後者は、以下の2つの内容に分けられる。

##### ア S<sup>3</sup>+の管理構造に合わせた整理

ある同じ種類の機器の点検内容等を、関係する機能名称ごとに区別し直した。一例として、雨水ポンプ用と排水ポンプ用とで重要度の違いから電動弁の点検

周期が変わるため、それぞれを区別したものが挙げられる。

#### イ 機器の形式に合わせた整理

ある同じ基準機器名称の機器の点検内容等を形式ごとに区別し直した。一例として、ジェットポンプ式と水中ポンプ式の揚砂機をそれぞれ区別したものが挙げられる。

### (2) 定期点検周期の見直し結果

「3(2) 故障情報分析による定期点検周期の適正化」のとおり点検標準の点検周期を見直した結果、機器種別全体の約 27%に当たる 104 種類において点検周期が延伸された。一方で約 1%に当たる 3 種類（第一沈殿池スカム除去装置、第二沈殿池スカム除去装置、送泥ポンプ）は、点検周期が短縮された。（図 9）

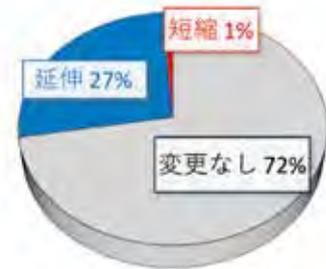


図 9 点検周期の変更状況

次に、定期点検周期の変更が、現場での 1 年間当たりの定期点検回数にどの程度の影響を与えるかを評価するために、S<sup>3+</sup>に登録されている機器台数を基に、2 機場を対象として新旧の定期点検周期に基づく定期点検回数を比較した。

その結果、A 水再生センターでは定期点検回数が 18%減、B 水再生センターでは 15%減となることが確認できた（図 10）。



図 10 点検標準改定前後の定期点検回数比較

## 5. まとめ

### (1) 点検内容及び点検対象機器について

- ・ S<sup>3+</sup>の機器台帳を基に、点検標準に記載がない機器を対象に、新たに点検内容等を作成した。また、機器の各部位ごとに点検項目・点検方法を定めるように点検標準を整理した。
- ・ 点検標準と S<sup>3+</sup>との整合を図れたと共に、点検標準で点検内容等を定めている機器を、194 種類から 385 種類に増加させた。

## (2) 定期点検周期について

- ・点検周期について、基準設定の考え方を明確化した。
- ・S<sup>3+</sup>に登録されている「故障情報」を分析し、脆弱部位の有無の分析結果も加味することで、適切な周期となるように見直した。その結果、機器種別全体の約27%において点検周期を延伸した。一方で約1%に当たる3種類は、点検周期を短縮した。

## 6. おわりに

本稿では、S<sup>3+</sup>の各種データを活用した、点検対象機器や点検項目の見直し、点検周期の適正化に関する取組について報告した。

今後は、点検標準の改定により点検周期を変更した機器を中心に、故障件数や故障内容を分析し、改定の妥当性について検証を行う。

## 参考文献

- 1) 東京都下水道局施設管理部. (2023). ポンプ所・水再生センター設備点検標準(令和5年10月)
- 2) 前川克重. (2017). 下水道設備保全管理システムの導入～計画的な保全管理の実現～. 公益社団法人 日本下水道協会 下水道協会誌. Vol.54 No.655. p.16-18
- 3) 川田秀孝. (2021). 下水道設備保全管理システムの活用と導入状況. 一般社団法人 東京下水道設備協会 下水道設備. No.137. p.27-29

### 3-2-1 「粒度調整灰を添加した耐硫酸性に優れるコンクリート」

#### を使用した人孔改良工事について

西部第二下水道事務所 施設課 氏名 大寺 諒  
武元 貴裕  
連名者 大成建設(株) 氏名 長嶋 洸佑

#### 1. はじめに

##### 1.1. 新河岸水再生センターの施設概要

新河岸処理区（10,474ha）は、練馬・板橋・杉並区の大部分と新宿、豊島、北、中野区の一部を抱える処理区であり、区部全体の面積の約18%を占めている。新河岸水再生センター（以下、「当センター」という。）の処理区域を図1に示す。新河岸処理区より発生する下水を浮間水再生センターと共同で処理した後、新河岸川に放流しているが、処理水の一部を砂ろ過し、当センター内の機械の洗浄・冷却、トイレ用水及び緑地への散水に使用するなど有効利用を図っている。

水処理の過程で発生した汚泥は、浮間水再生センターから圧送された汚泥とともに、全量を当センター内で焼却処理している施設である。

##### 1.2. 工事までの経緯

「粒度調整灰を添加した耐硫酸性に優れるコンクリート（以下、「耐硫酸コンクリート」という。）を使用した人孔改良工事」（以下、「本工事」という。）は、当センター内の一部人孔が長年の使用により劣化していたため、改良を行ったものである。既設 SNo.3 特殊人孔（以下、「既設 SNo.3 人孔」という。）は、当センターの汚泥処理過程で生じる下水が流入する排水系統の最下流に位置し、恒常的に高濃度の硫化水素ガスが発生することから、著しい腐食環境下にある。このため、これを起因とした大規模な陥没事故が過去に2回発生している。

##### 1.2.1 過去の陥没事故

既設 SNo.3 人孔付近では、平成29年度、令和元年度の2回にわたり大規模な陥没事故が発生している。図2に管渠の破損箇所を示す。

平成29年5月22日に幅3m×高さ3m×深さ2mの陥没事故が発生した。調査の結果、既設 No.4 円形人孔（以下、「既設 No.4 人孔」という。）と既設 SNo.3 人孔に接続する管渠φ900(HP)が腐食により破損し、管渠内に土砂が流入したことが原因であることが判明した。



図1 新河岸処理区



図2 管渠破損箇所図

このため、管渠内部に管渠φ600（FRPM管）を挿入・固定する緊急工事を実施した。

約2年後の令和元年9月25日に同様の箇所にて幅5m×高さ5m×深さ5mの空洞が確認された。調査の結果、既設SNo.3人孔と練馬幹線に接続する管渠φ1500（HP）が腐食により破損し、管渠内に土砂が流入したことが原因であることが判明した。このため、SPR-SE工法によりφ890の更生管を設置する緊急工事を実施した。

両陥没事故とも管渠の腐食によって破損し、管渠内に土砂が流入したことが原因であった。管渠の腐食は、以下の現場環境が主な要因と考えられた。

1点目は、流入する下水である。本工事現場に流入する下水は、濃縮槽や混合汚泥貯留槽などの脱水過程で生じる、硫化水素ガスが発生しやすい脱水分離液に加え、焼却炉より生じる50℃超の洗煙排水が既設No.4人孔及び既設No.3人孔内で合流するため、嫌気性環境下において一般に30～35℃で最も盛んに増殖する硫酸塩還元細菌（嫌気性従属栄養細菌）によって、下水中の硫黄化合物が硫化水素に変化しやすい環境<sup>1)</sup>にあるとした。

2点目は、人孔内の高落差である。既設No.4人孔から既設SNo.3人孔（以下、「既設当該人孔」という。）に流入する際、約7.5mの高落差（副管なし）となるため、下水の流動が激しく乱れ、攪拌されることにより下水中（液相部）で生成した硫化水素が空气中（気相部）に拡散され、高濃度の硫化水素ガスが発生し、コンクリートの劣化が進行しやすい環境であるとした。

これらの現場環境より、当該箇所は著しい腐食環境であることから、破損した管渠に加え、将来的に既設当該人孔の破損も懸念された。写真1に既設No.4人孔、写真2に既設SNo.3人孔内部の写真を示す。このようなことから、令和2年度から抜本的な人孔改良の検討に入った。

### 1.2.2 焼却炉排水の予備系統の整備

前述1.2の通り、既設SNo.3人孔は汚泥処理過程で生じる下水が流入する排水系統の最下流に位置する。当センター汚泥処理系統管網図を図3に示す。既設人孔の北、西及び南側より、各系統からの下水が集水された後、練馬幹線に流入している。

特に西側より流入する焼却炉（全炉）からの排水は、平常時で約0.4m<sup>3</sup>/sと流量が多く、硫化水素濃度も高いため、既設当該人孔施工時は、焼却炉（全炉）の全停止が必要とされたが、施設の運用上、長期間の施設停止は不可能であった。また、前述の1.2.1より既設当該人



写真1 既設No.4人孔



写真2 既設SNo.3人孔



図3 汚泥処理系統管網図

孔を含めた、コンクリート構造物の腐食が著しい要因に、脱水分離液と洗煙排水が合流することとした。

以上の点を踏まえ、本工事に先立ち、令和2、3年度に、焼却炉排水の予備系統の整備（2系統化）を実施した。予備系統は、焼却炉排水が流入する経路で既設No.4人孔の1つ手前にある既設人孔と練馬幹線の既設人孔間を結ぶ管渠φ700を鋼製さや管推進工法（ベビーモール工法）にて布設した。なお、両既設人孔間を結ぶ管渠布設のため、鋼製ケーシング立坑を2箇所構築の上、人孔を新設した。

### 1.2.3 本工事の設計委託

本工事の設計委託により、既設当該人孔内の硫化水素ガス濃度を測定した結果、年間平均硫化水素ガス濃度が50ppm以上、腐食速度で概ね7mm/年以上の腐食環境I類に該当すると判明した。図4に既設当該人孔内の温度及び硫化水素濃度を示す。本工事において新たに設ける2つの人孔（以下、「新人孔」という。）躯体の設計に際し、防食D種に適用可能な塗布型ライニング工法及びシートライニング工法等の採用を検討した。

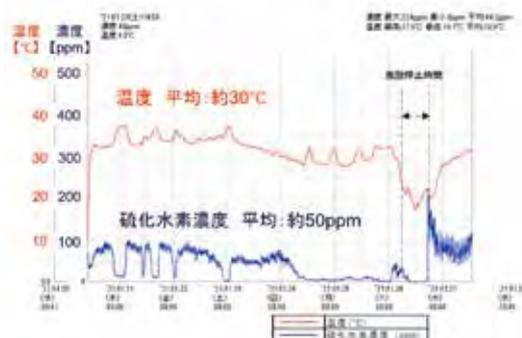


図4 人孔内の温度と硫化水素濃度

しかし、防食被覆工法は標準耐用年数（10年）経過後に状況に応じて防食の更新工事を行う必要があるが、本工事現場は流入水を止めるための設備停止を長時間及び連続しての停止が困難な場所に位置することから、防食被覆更新時にコンクリート示方書に規定されている養生時間を確保できないといった施工管理基準を満たせず、維持管理に問題が生じる。

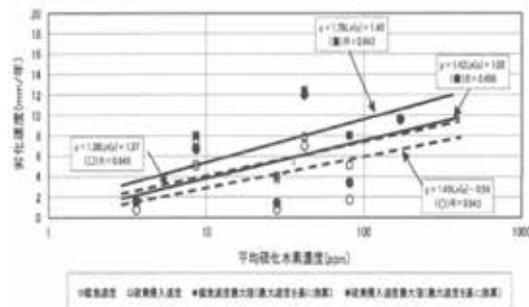


図5 平均硫化水素濃度と劣化速度

このため、防食被覆工法以外に人孔躯体の材料が耐硫酸性に優れ、長期的な腐食対策効果が期待

できる材料を検討した結果、当局の技術管理委員会にて承認されている、「耐硫酸コンクリート」を候補とした。なお、この検討にあたっては、本工事現場の供用条件、腐食環境及びD種防食材としての品質規格より、妥当性を検証（出典：JS防食マニュアル<sup>2)</sup>）した。

$$y_d = 0.0145 \times r_{cd} \times \alpha_{sd} \times \alpha_{md} \times t \quad (1)$$

$$\alpha_{sd} = 1.42 \ln(X) + 1.05 \quad (2)$$

$y_d$  : 防食被膜層の設計厚さ (mm)

$r_{cd}$  : 安全係数 (1.265)

$\alpha_{sd}$  : 設計対象物の劣化速度 (mm/年、(2)式、図5 平均硫化水素濃度と劣化速度)

$\ln(X)$  : 平均硫化水素濃度 (50ppm)

$\alpha_{md}$  : 耐硫酸コンクリートの劣化速度 (mm/日、耐硫酸コンクリートを5%硫酸水溶液に112日浸せきした場合の硫酸浸透深さ(3.5mm)を112日で除した値)

$t$  : 供用日数 (日)

既設当該人孔の年平均硫化水素濃度は、50ppm、設計対象物の劣化速度 ( $\alpha_{sd}$ ) は式(2)より 6.6051mm/年、耐硫酸コンクリートの劣化速度 ( $\alpha_{md}$ ) は前述より 0.03125mm/年、供用日数は 18250 日 (50 年) とし、試算を行った。

試算結果から、通常のコンクリートの場合、式(2)より 330mm の腐食深さが予測されるが、耐硫酸コンクリートを使用した場合は、式(1)より 69mm となるため、約 1/5 にまで腐食深さを低減できることがわかった。また、新人孔の鉄筋最小被り (主筋) は 100mm としたため、供用年数 50 年経過後も鉄筋まで腐食が進行しないと期待でき、設計上は既往の防食技術の標準耐用年数である 10 年を大幅に延長し、50 年間の長期の間、メンテナンスフリーが可能であるという評価に至った。

以上の結果より、新人孔躯体の材料は、現場の腐食環境や現行の腐食対策技術を考慮し、耐硫酸コンクリートを採用する方針とした。

## 2. 耐硫酸コンクリートについて

耐硫酸コンクリートは、当局、東京都下水道サービス株式会社、宇部興産株式会社及び大成建設株式会社にて共同開発し、令和 3 年 2 月に当局の技術管理委員会にて承認を得ている現場打ちコンクリートである。図 6 に本技術で期待する性能を示す。

配合には、資源の有効利用の観点からセメント重量比 5% (開発での研究結果から採用) の粒度調整灰を添加し、腐食環境 I 類・II 類に実施・適用可能かつ、一般的な防食技術の標準耐用年数 10 年をさらに延長する方法 (I 類環境下で腐食速度 Max1mm/年 (硫酸浸透深さ試験結果より) →被り厚さ ≤ 耐用年数となる →メンテナンスフリー) を明示した上、D 種防食材としての品質規格及び品質評価試験法を明示した実用化技術である。

### 2.1 材料の特徴

本工事で使用した耐硫酸コンクリートの使用材料を表 1 に、配合を表 2 に示す。石灰石骨材を使用の上、特殊混和材として耐硫酸性付与材を使用することにより耐硫酸性を高めたことに特徴がある。耐硫酸性付与材を添加すると流動性が高くなり、減水効果が発生することから、混和材として石灰石微粉末及び特殊混和材の流動調整材を添加し、材料分離抵抗性及び流動性を制御している。これに加え、ひび割れ防止の観点から膨張材を使用しかつ、資源化の観点よりセメント重量比

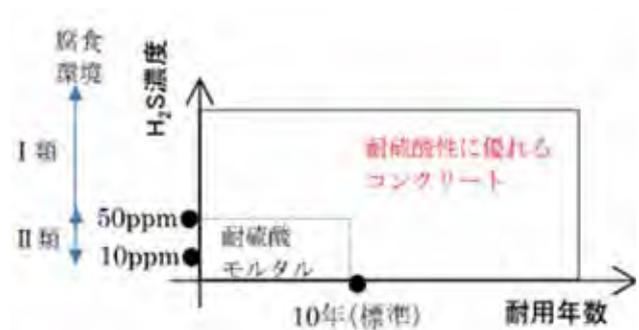


図 6 本技術で期待する性能

表 1 使用材料

材料	記号	種類
練混ぜ水	W	水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント
細骨材	S	石灰石砕砂
粗骨材	G	石灰石砕石
混和材	LP	石灰石微粉末
	EX	膨張材
	SA	粒度調整灰
特殊混和材	A	耐硫酸性付与材
	B	専用流動調整材
混和剤	AE	AE 剤

表 2 耐硫酸コンクリートの配合

W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								添加量 (kg)
	W	C	LP	S	G	A	EX	SA	
51.7	160	295	350	861	632	9.6	15	16	調整

5%の粒度調整灰を添加したのが耐硫酸コンクリートの材料である。

呼び強度は、土木工事では一般的なレベルである 24 を標準とし、また施工においては、締固めを行わずに型枠の隅々まで充填可能な自己充填性を有する高流動コンクリートである。

## 2.2 耐硫酸性のメカニズム<sup>3)</sup>

### 2.2.1 耐硫酸性付与材の効果について

本材料で使用した耐硫酸性付与材の効果の概略図を図 7 に示す。通常のコンクリートは硫酸と接触するとペーストが溶解し、腐食生成物として表面にパテ状の脆弱なせっこう層が生成される。その後、ペーストの溶解と脆弱化により骨材が脱落し、表面が後退する。耐硫酸コンクリートにおいても硫酸が接触した際にせっこう層が生成されるが、耐硫酸性付与材の効果により、生成したせっこう層が曝露面と平行に成長して隙間なく表面を覆い、緻密なバリア層を形成するため、劣化速度を大幅に低減することができる。また、一度形成したせっこう層は、天災等の事由により剥落しても、新たなコンクリート面に硫酸が接触すると再びせっこうのバリア層を形成する。この繰り返しにより腐食の速度を低く抑えながら耐硫酸性を発揮し続けることが可能となっている。

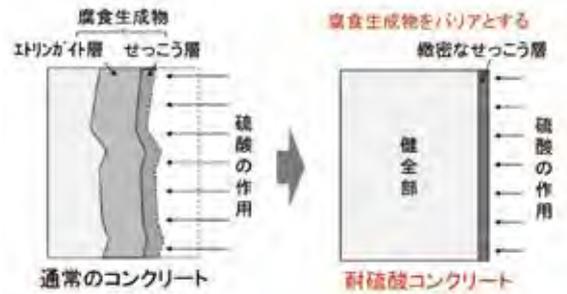


図 7 耐硫酸性のメカニズム

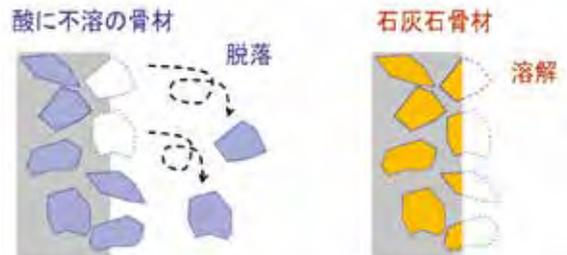


図 8 石灰石骨材の効果

### 2.2.2 石灰石骨材 (CaCO<sub>3</sub>) の効果について

石灰石骨材を使用するとより高い耐硫酸性を発揮する。石灰石骨材の効果の概略図を図 8 に示す。酸に不溶な石灰石以外を骨材として通常使用した場合、骨材周囲のペーストが劣化すると骨材が脱落し、骨材の粒径分だけ急激に劣化深さが大きくなるのに対し、石灰石骨材の場合には、周囲のペーストと同じ速度で緩やかに溶解するため、脱落による急激な欠損が生じない。また、石灰石と硫酸との反応による局所的な酸の中和効果も耐硫酸性の向上に寄与していると考えられている。

## 3. 工事概要

本工事の概略図を図 9 に示す。本工事は、立坑構築前に、側圧軽減及び地下水の流入を防止することを目的とし、高圧噴射攪拌工法 (CJG 工法及び V-JET 工法) にて地盤改良工を実施した。その後、既設 No. 4 人孔を撤去し、練馬幹線に接続する管渠 1036-2 路線に SNo. 10 特殊人孔、既設 SNo. 3 人孔に接続する管渠 1045-2 路線に SNo. 11 特殊人孔を新設し、この人孔間を結ぶ管渠 φ 800 を鋼製さや管推進工法 (ベビーモール工法) にて布設した。また、腐食が著しい既設 SNo. 3 人孔は、北側より流入する管渠 1036 路線の流路を確保するため、SNo. 3 人孔内に FRPM 管を布設した後、流動化処理土を充填し、人孔としての機能を廃止した。

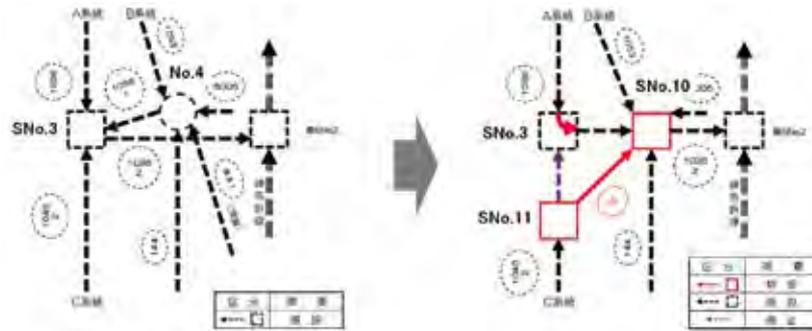


図 9 工事の概略図

#### 4. 施工上の留意点及び対策

耐硫酸コンクリートは、公共工事における新設構造物での実績がなく、施工に際し様々な課題が見受けられた。このため、コンクリートの品質及び防食材としての要求性能を満たすため、後述の通り、対策を講じた。

##### 4.1 施工管理

特殊コンクリートである耐硫酸コンクリートは、開発から携わっていたプラント 1 社（関東宇部コンクリート工業株式会社 大井工場）でしか製造ができない状況であった。プラントから本工事現場まで距離があったため、プラントからの運搬ルートについて、首都高速道路の時間帯・曜日別の混雑状況調査、車両を走行させての運搬時間の実測及び交通事故等により首都高が通行止めになった場合を想定し、一般道での運搬時間の実測を事前に行った。実測の結果を元に、耐硫酸コンクリートの可使時間である「練り混ぜ開始から 3 時間以内<sup>4)</sup>」に打込みが完了するよう計画した。

耐硫酸コンクリートの施工に際し、プラントの予約は 2 ヶ月前に確定させる必要があるとあり、打設スケジュールを容易に変更することができないことから、打設当日は、少雨でも施工を可能にするため、雨養生や立坑内の導水設備を計画した。雨養生の様子を写真 3 に示す。

耐硫酸コンクリートはその特性上、高流動コンクリートとしての扱いが必要であった。高流動コンクリートは自己充填性があるため、打設時のバイブレータ等による締固めは原則不要である一方、材料の粘性が高いため、打設中に巻き込んだエントラップドエアはコンクリート中から抜けにくく、そのまま気泡として残りやすいという性質がある。このため、耐久性に影響する鉄筋かぶり部のコンクリートにおいては、突き棒や木槌を用い、エントラップドエアの除去を行った。突き棒を使用したコンクリートの打設状況を写真 4 に示す。

支保工計画・打設計画においても、打設中にこのような作業が必要となる場面を想定し、作業時の作業員の体勢などを考慮して計画した。



写真 3 雨養生の様子



写真 4 コンクリート打設状況

型枠については、高流動コンクリートであるため、打設中は常に液体として側圧がかかるという条件で計算を行った。SNo. 10 特殊人孔の打設割を図 10 に示す。SNo. 10 特殊人孔は躯体内径 1800mm、高さ 4440mm であるため、壁と頂版部のコンクリートを一度に打設しようとすると支保工が複雑になり、内側からの作業が困難となる。そのため、壁の打設を 2 回に分ける計画とし、打設中の作業員が支保工内を動けるようスペースを確保した。また、打設計画では、型枠面の表面気泡除去を全面で行うために、気泡除去作業のペースに合わせてコンクリート打上げ速度の調整を行う計画とした。打設割については、既設管周りの開口補強筋、壁鉄筋の継手長、推進部の位置を考慮し、これらに干渉しない位置に打継面を設定した。

打継面となる部分には、打継目処理剤としてコンクリート打設後に凝結遅延剤を散布し、コンクリート硬化後には脆弱層であるレイタンスの除去作業を行うことで、打継面の品質を確保した。凝結遅延剤を写真 5 に、散布状況を写真 6 に示す。

高流動コンクリートの特性として、バケットなどによる運搬等の微振動を与えると材料分離が生じやすいという特性があったため、打設にはコンクリートポンプ車による圧送を計画した。図 11 にコンクリートの打設計画を示す。高流動コンクリートの圧送時には、通常コンクリートの 2~4 倍程度の管内圧力損失が発生することから、スクイズ式に比べ最大吐出圧力の大きなピストン式のコンクリートポンプ車を選定し、打設中の管内閉塞を防止した。

自由落下高さについて、通常コンクリートは 1.5m 以内となっているが、高流動コンクリートの自由落下高さは 5m まで<sup>5)</sup>とされている。しかし、落下高さが大きくなると、型枠に想定以上の衝撃荷重がかかり、飛散したコンクリートがせき板に付着し、色むらや剥離の原因となる。また、高流動コンクリートの充填性は、コンクリートの自重による流動を前提としているため、落下による広がりや巻き込みの可能性が高い。前述のとおり、材料粘性の高い高流動コンクリートは、打設中に巻き込んだエントラップドエアがコンクリート

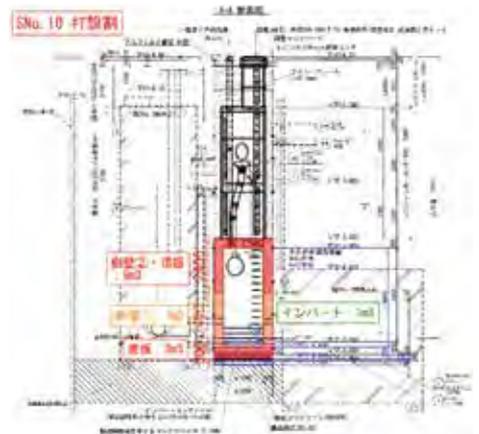


図 10 SNo. 10 人孔の打設割



写真 5 凝結遅延剤



写真 6 凝結遅延剤散布状況

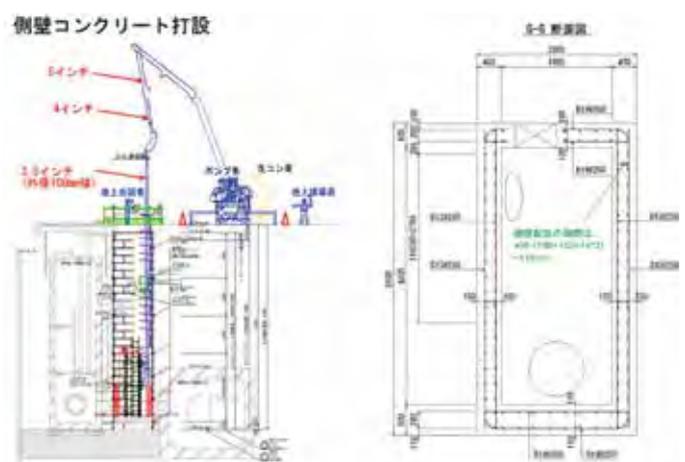


図 11 コンクリート打設計画

中から抜けにくく、そのまま気泡として残りやすい性質があるため、自重による流動によって型枠内を充填するよう、コンクリートの自由落下高さを小さくする計画とした。具体的には、特殊人孔の側壁配筋の隙間は118mmであったため、コンクリートポンプ車のフレキシブルホースの先端を最小径である3.5インチとし、側壁鉄筋の間にフレキシブルホース筒先を入れ込むことで自由落下高さを1.5m以内とすることを可能とした。

#### 4.2 品質管理

高流動コンクリートの大きな特徴として、ブリーディング水が少ないという点がある。この特徴により、仕上げがしにくいことに加え、表面が乾燥しやすく、初期の収縮ひび割れが生じやすいことから、コンクリート表面からの水分蒸発を防ぎ、散水養生ができるようになるまでの繋ぎの養生を行う目的で、被膜養生剤を使用した。被膜養生剤を**写真7**に、散布状況を**写真8**に示す。これにより、コンクリート表面の乾燥に起因する打設直後のプラスチック収縮ひび割れを防止することができ、作業員の仕上げのしやすさも向上し、施工性を高めることにも繋がった。

コンクリートの仕上げについては、耐硫酸コンクリートを現場打ちした実績が無いため、模型を作製し、データを取りながら施工計画に反映した。模型の作製状況を**写真9**に示す。試験練り時に測定した経時変化より、耐硫酸コンクリートは粒度調整灰を配合しているため、通常のコンクリートと比較し、凝結開始後の硬化速度は同等であるが凝結開始は遅い傾向があるため、現場打ち躯体では仕上げのタイミングを逸することがないように、現場と同条件にて試験施工をし、凝結開始のタイミングを把握した。特に、インバートコンクリートは5%の勾配を確保する必要があったため、同サイズの模型を2回作製し、試験施工を行った。

特殊人孔内の耐硫酸性を均一に確保するため、耐硫酸コンクリート現場打ち部の弱点部となる、Pコン処理材やスペーサーなどを補強する必要があった。Pコン処理材は、耐硫酸性に優れた樹脂系目地材、スペーサーは、躯体と同じ耐硫酸コンクリートを使用し、全て現場作製した上、施工した。

以上の施工管理及び品質管理を実施した結果、所定の寸法及び外観等の検査基準を満足する躯体を構築することができた。

#### 5. まとめ

耐硫酸コンクリートは、公共工事における新設構造物での使用実績は本工事が初めてであったため、施工に際し、様々な課題が見受けられたが、その都度、受注者とともに対策



写真7 被膜養生材



写真8 被膜養生材散布状況



写真9 現場模型作製状況

を講じ、無事に本工事現場の新人孔の完成を迎えることができた。

重要なインフラである下水道施設の老朽化が進行している現状において、施設のメンテナンスフリーと長寿命化を可能とする耐硫酸コンクリートは、下水道事業の課題である人手不足や財源不足といった負担を軽減できると考えられる。今後、本工事現場での経過データや同様な施設での施工実績を蓄積し、性能や施工性等の知見を多く得ることにより、施設のメンテナンスフリーを実現できるコンクリート技術として普及が期待される。

・参考文献

- 1) コンクリート改修技術マニュアル（センター・ポンプ所編）
- 2) 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル, 令和5年3月
- 3) 下水道施設のメンテナンスフリーを目指した耐硫酸コンクリートの開発と展開, 2022  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsceim/1/1/1\\_180/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsceim/1/1/1_180/_pdf)
- 4) 下水道施設に用いる耐硫酸コンクリートの開発, 大成建設技術センター報, 2006  
[https://www.taisei.co.jp/giken/report/01\\_2006\\_39/paper/A039\\_023.pdf](https://www.taisei.co.jp/giken/report/01_2006_39/paper/A039_023.pdf)
- 5) 高流動コンクリート配合設計・施工指針, 土木学会, 2012

## 3-2-2 能登半島地震の支援報告とその後の対応

担当者 計画調整部 計画課 渡辺 栄祐

### 1. はじめに

令和6年1月1日に発生した能登半島地震では、石川県で観測史上初めて震度7を観測する等激しい揺れが生じ、能登地域では地盤崩壊や液状化に見舞われた<sup>1)</sup>。上下水道施設は甚大な被害を受け、広範囲で断水や下水道管内の滞水が発生し、能登半島地域特有の限られた交通手段が被災したことや悪天候による作業時間の制約等が重なり、復旧に長い期間を要した。

下水道施設の応急復旧においては、上下水道一体となった復旧活動が国土交通省より強く求められ、当局は東京都水道局と一体となり輪島市の復旧に当たった。このように、下水道の支援隊が水道の復旧と密に連携しながら上下水道一体で復旧に当たったことは、これまでの支援では見られなかった新しい取り組みであった。

本稿では、能登半島地震に伴う下水道施設の被害状況や災害時の下水道支援に関する法令やルール、東京都及び全国の20政令指定都市（以下、大都市）による能登半島地震での支援活動等について報告する。

### 2. 能登半島地震に伴う下水道施設の被害状況

下水道施設の被害の特徴として、管路の被害が甚大であったことが挙げられる。国土交通省の調査<sup>2)</sup>によると、管路の被災率は石川県全体で5.9%であり、最も被災率の高かった珠洲市で69.0%であった。熊本地震の管路の被災率は熊本県全体で2.7%、最も被災率の高かった熊本県益城町で13.3%であり、過去の地震と比較しても高い被災率となったことがわかる。

管路の具体的な被災パターンは、たるみ・蛇行の箇所数が最も多く、液状化等による地盤の変動による被害が顕著であった。また、マンホール浮上により管路の破損やたわみが発生するとともに、交通障害が発生した。

下水処理場の被害においては、輪島市浄化センター、輪島市門前水質管理センター、珠洲市浄化センター、能登町水質浄化センターの4箇所において一時的に処理機能が低下したが、速やかに応急対応を行い、必要な処理機能を確保した。その他の下水処理場とポンプ場においては、未耐震部分の被災、導水渠やフランジ部分の破断や沈殿池の掻き寄せ機の不具合が発生したものの、必要な処理機能は確保されていた。

### 3. 災害時の下水道支援に関するルール

下水道事業における災害時支援の根拠となるルールとして、「下水道災害時における大都市間の連絡・連携体制に関するルール」（以下、大都市ルール）と「下水道事業における災害時支援に関するルール」（以下、全国ルール）の2つのルールがある。ここでは、この2つのルールについて述べる。

### 3.1 大都市ルール

大都市において災害が発生した際、大都市間で相互に救援協力するため、「21 大都市災害時相互応援に関する協定（以下、大都市協定）」を締結している。さらに、大都市下水道に関する災害対策の重大性に鑑み、大都市は、大都市協定に基づく下水道事業の支援を円滑かつ迅速に実施するために、相互支援の基礎として、大都市ルールを定めている。

大都市ルールの円滑な運営を図るために、「災害時支援大都市連絡会議（以下、大都市連絡会議）」を設置している。大都市連絡会議では大都市ルールによる情報連絡の訓練に関すること、災害査定業務の相互支援に関すること、災害対策に関する情報交換等を実施している。

大都市ルールは震度 6 弱以上の地震時に適用され、震度 5 強以下の地震時またはその他の災害が発生した場合は、被災した大都市からの要請があった場合に適用される。大都市ルールの主な内容としては、人的及び緊急資機材の支援を行い、緊急調査から一次調査、二次調査、応急復旧を対象に支援を実施する。

大都市ルールの情報連絡体制を図 1 に示す。大都市間の連携の取りまとめとして、情報連絡総括都市を設置する。情報連絡総括都市の役割は、被災都市から被害状況等を収集し、他都市に情報共有するとともに、支援都市の割振りを判断する。

情報連絡総括都市は被災エリアにより、東京都か大阪市、札幌市が担うことになる。北海道・東北、中部、近畿エリアの大都市が被災した場合は、東京都が情報連絡総括都市となり、関東、中国・四国、九州エリアの大都市が被災した場合は、大阪市が情報連絡総括都市となる。また、南海トラフ地震等の大規模な地震により、東京都と大阪市が同時被災した場合は、札幌市が情報連絡総括都市となる。



図 1. 大都市ルールの連絡体制

### 3.2 全国ルール

東日本大震災のような大規模な災害が発生し、下水道施設が被災した際、被災した自治体単独では対応が困難な場合や複数の都道府県に跨る広域被災の場合に備えて、都道府県を超える広域的な下水道事業関係者の支援体制を整えることを目的として、全国ルールが定められている。全国ルールは、下水道施設が被災した際、円滑かつ迅速な対応がとれるよう、表1のとおり全国を6ブロックに分けて災害時支援ブロック連絡会議（以下、ブロック会議）を設置している。また、各ブロックにブロック連絡会議幹事（以下、幹事県）を置いており、ブロック会議の運営や、発災時におけるブロック会議構成員への情報伝達を担っている。

全国ルールの適用条件は大都市ルールと同様である。全国ルールの主な内容としては、市町村が被災した場合に被災した自治体の所属するブロック内（以下、被災ブロック内）で相互支援を行う。被災ブロック内で対応が困難である場合には、他のブロックや大都市により広域的な支援が行われる。

全国ルールの情報連絡体制を図2に示す。都道府県は、震度6弱以上の地震が発生した場合等、全国ルールを適用する事態が管内において生じた場合に、下水道対策本部（以下、対策本部）を設置する。対策本部は国土交通省と総合調整を行い、対策本部の業務を円滑に実施するために、対策本部内に国土交通省の職員を隊長とする支援調整隊を設置することができる。

被災した市町村は、災害により下水道施設が被災したときは、その状況を対策本部に報告し、支援が必要な場合は、支援要請を行うものとする。幹事県は、ブロック内の都道府県と調整し、都道府県は所管する他の市町村と支援可能か調整する。まず、被災ブロック内での相互支援を行うが、被災ブロック内での対応が困難な場合、他ブロックや大都市に支援要請を行う。

表 1. 災害支援ブロック連絡会議の構成都道府県

ブロック	構成県
北海道・東北	北海道、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県
関東	茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都（流域）、神奈川県、山梨県
中部	新潟県、富山県、石川県、長野県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県
近畿	福井県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県
中国 四国	鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県
九州	福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県

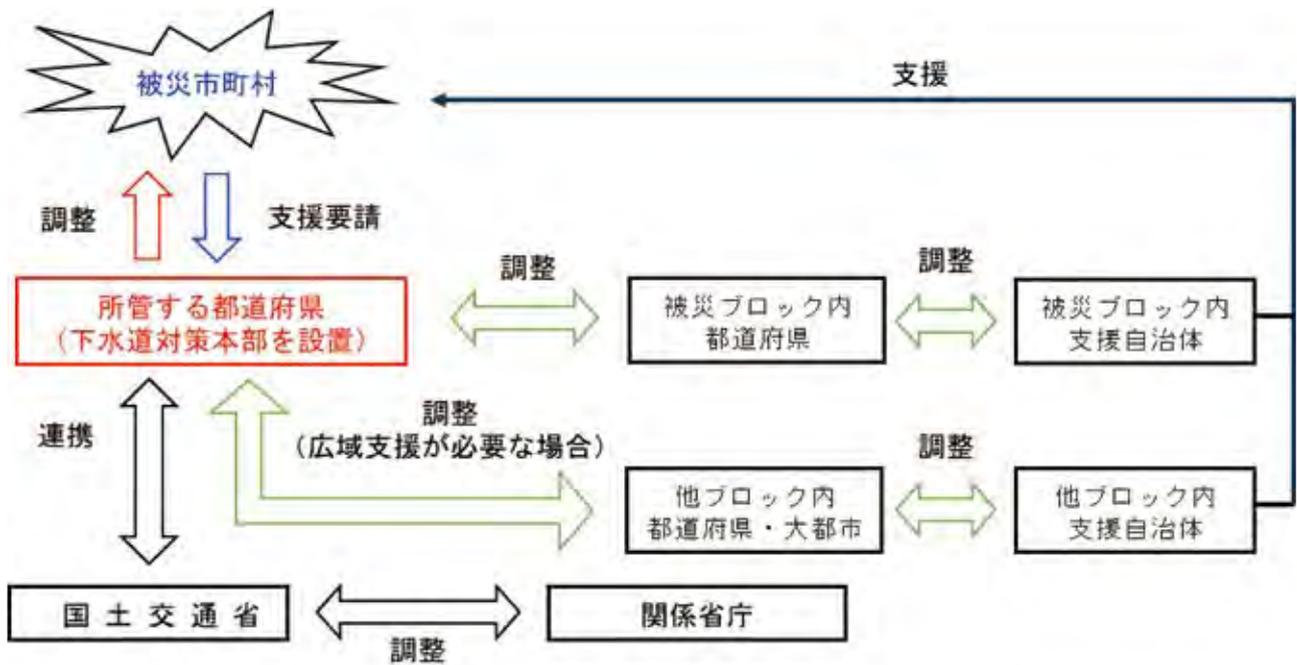


図 2. 全国ルールの連絡体制

### 3.3 大都市ルールと全国ルールの適用の優先順位

大都市ルールと全国ルールの適用の優先順位については、被災自治体の規模によって決まる。大都市が被災した場合は、大都市ルールが優先され、大都市以外の市町村が被災した場合は、全国ルールに基づいて支援が行われる。

東京都においては、区部が被災した場合は大都市ルールが優先して適用され、多摩部（流域）が被災した場合は全国ルールが優先して適用される。

### 3.4 能登半島地震における支援ルールの適用

能登半島地震では石川県金沢市、輪島市等の大都市以外の市町村から支援要請が発出されたため、全国ルールの枠組みで支援が行われた。なお、大都市である新潟市も被災したが、新潟市は支援要請を発出せずに自都市で災害対応を行ったため、大都市ルールの適用はなかった。

能登半島地震で設置された下水道支援体制を図3に示す。石川県内の市町被災自治体から石川県に支援要請が発出され、石川県は対策本部を設置した。対策本部の主な業務として、資機材の調達や被災自治体との連絡調整を行った。

また、今回は広域的な支援が必要となったため、対策本部は国土交通省と調整し、支援調整隊を設置した。支援調整隊は、支援計画の立案、支援隊との調整等を担った。なお、当局は大都市窓口として支援調整隊に職員を派遣し、大都市との連絡調整を行った。

全国ブロックの構成自治体および大都市は、対策本部、支援調整隊と連絡調整をとり、能登地域を中心とした被災自治体に支援隊を派遣し、支援を行った。

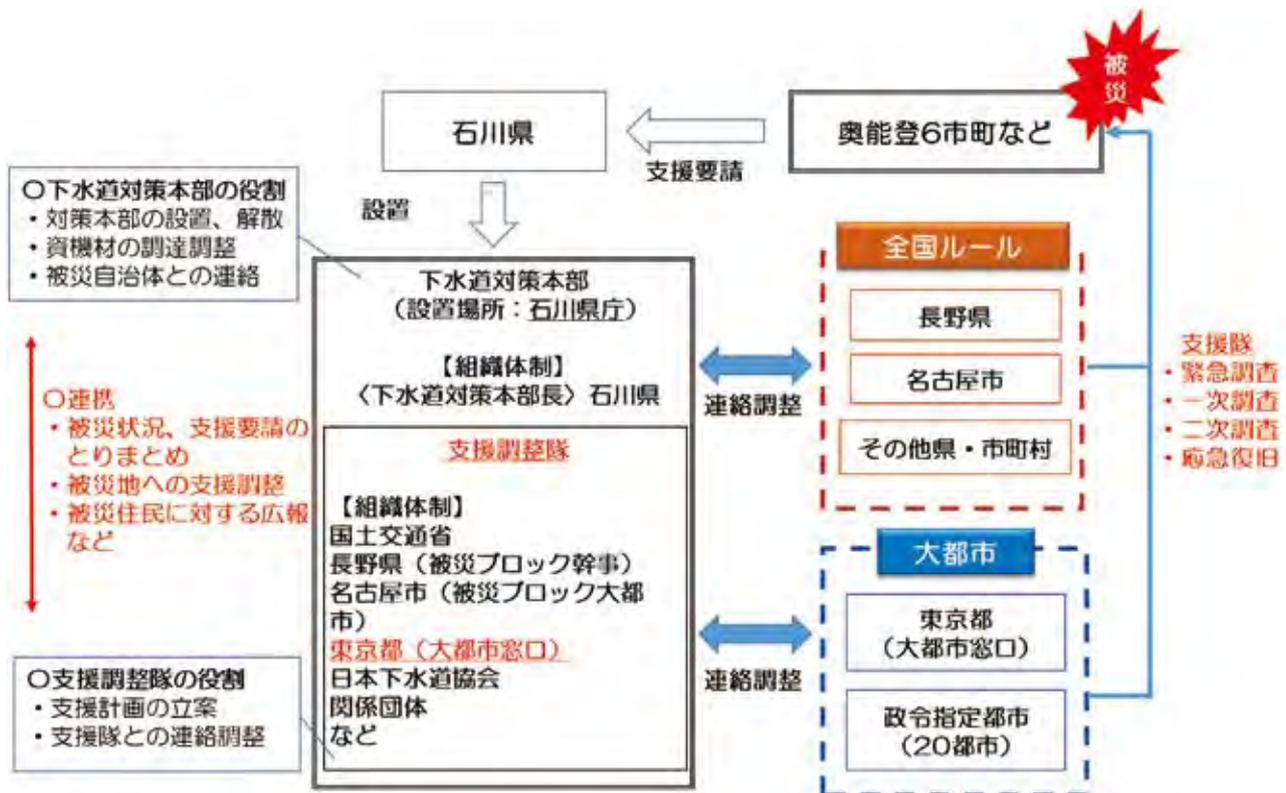


図 3. 能登半島地震における下水道支援体制

#### 4. 大都市の支援とその後の対応

##### 4.1 大都市の支援内容

##### 4.1.1 大都市が支援に至る経緯

能登半島地震により、石川県内において下水道施設に甚大な被害が発生し、広域的な支援が必要であると対策本部が判断したため、災害対策基本法第 67 条、68 条、並びに全国ルールに基づき、対策本部から大都市に対して支援要請が発出された。この支援要請を受け、当局が大都市の情報連絡総括都市となり、全国の 20 政令指定都市と情報連絡をとり、石川県内の被災自治体への支援隊の派遣を調整した。

現地支援総括都市の割振りを図 4 に示す。現地支援総括都市は、現地において他都市から派遣された支援隊をまとめる役割を担う。当局は輪島市において現地支援総括都市を担当した。また、被災自治体を支援した大都市の割振りを表 2 に示す。

以上の通り、全国ルールに基づいて 21 大都市は石川県内において支援を行うこととなった。

表 2. 奥能登 6 市町の支援都市の割振り



被災自治体	支援自治体 (大都市)
七尾市	名古屋市
輪島市	東京都(TGS含む)・さいたま市・千葉市・仙台市・岡山市・川崎市・札幌市・横浜市・広島市・堺市・大阪市
珠洲市	浜松市・静岡市・名古屋市・福岡市・相模原市
志賀町	横浜市・川崎市
六水町	神戸市・堺市
能登町	大阪市・京都市・堺市・北九州市・熊本市

図 4. 現地支援総括都市の割振り(1月8日時点)

#### 4.1.2 災害復旧支援の内容

災害復旧支援の内容を図 5 に示す。まず、地上から被害状況を目視で確認し、二次被害となる原因を発見する緊急調査を行う。次に、マンホール蓋を開け、二次調査の必要性を判断する一次調査を行う。二次調査の必要箇所については、テレビカメラ調査を行い、災害査定に必要な資料を収集する。また、必要に応じて、溢水箇所の解消や陥没の仮復旧等の応急復旧を行う。災害復旧支援の主な内容としては以上となる。



図 5. 災害復旧支援のフロー

## 4.2 上下水道一体の復旧

能登半島地震では、上下水道施設に甚大な被害が発生したため、広範囲で断水や下水道管内の滞水が発生した。そこで、避難者が一刻も早く上下水道を使用できるように、下水道の応急復旧を迅速に行う必要があった。

これまでの二次調査は、災害査定を念頭に、一次調査が終了した箇所から順次二次調査箇所を選定していた。一方で、能登半島地震の対応においては上下水道施設の被害が甚大であり、上下水道一体となった復旧を行うために、管路内の閉塞物の除去作業や仮配管の配置等の応急復旧対応を災害復旧工事に向けた調査より優先することとした。そのため、二次調査の実施箇所選定にあたっては、水道復旧との連携を踏まえ、水道の断水解消にあわせ下水道の応急復旧が必要な箇所を選定した。

以上の取り組みにより、水道の復旧に遅れることなく下水道復旧を実施することができた。

## 4.3 東京都下水道局の支援内容

当局は1月8日より輪島市の下水道の緊急調査にあたる先遣隊を派遣し、1月9日より支援調整隊に職員を派遣した。1月11日に支援隊を輪島市に派遣し、さいたま市と合同で一次調査を開始した。

現地では、地震による道路の通行止めや規制の影響に加え、輪島市近隣の宿泊場所の確保が難しかったこともあり、中能登町にある宿泊施設から輪島市までの移動に片道3時間以上を要した。このため、現地での調査の時間が限られたほか、雪の中での作業等、厳しい環境下での支援活動となった。

1月下旬には二次調査に着手するとともに、水道の復旧に合わせて避難所等の拠点施設において優先エリアを設定し、重点的に下水道の復旧を実施し、上下水道一体の復旧にあたった。また、東京都下水道サービス株式会社（以下、TGS）や下水道メンテナンス協同組合（以下、メンテ組合）からの協力を得て、支援活動のスピードアップを図ることで、3月上旬には輪島市の公共下水道管路172kmのうち、立入困難地域を除くすべての下水道管路163kmが通水可能となった。

その後、4月14日に下水道管路延長97kmに及ぶ二次調査、応急復旧の完了に伴い、4月15日に輪島市に完了報告を行った。

本支援にあたっては、1月から4月にかけて、当局にて述べ232名の職員、TGSにて述べ78名の社員が従事し、メンテ組合からは延べ約350名の社員が協力し、官民一体となった下水道支援を行った。

## 4.4 その後の対応

石川県より、今後の復旧、復興事業を円滑に推進していくための技術職員の派遣について、地方自治法第252条に基づき中長期の派遣依頼が大都市に発出された。当局は4月1日より下水道施設の災害査定および本復旧支援のため、輪島市に職員1名を派遣している。

## 5. おわりに

首都直下地震は今後30年以内に70%の確率で発生する可能性がある<sup>3)</sup>。首都直下地震による下水道の被害について、都内の管路平均被害率は最大4.3%となり、復旧が完了するまでに約21日かかると想定されている<sup>4)</sup>。また、政府の地震調査委員会は南海トラフの巨大

地震が今後 30 年以内に起きる確率について、令和 7 年 1 月 1 日時点で改めて計算し、これまでの「70%から 80%」を「80%程度」に引き上げた<sup>5)</sup>。巨大地震はいつ起きてもおかしくない状況である。

迫りくる巨大地震に対して備えるために、能登半島地震の災害支援の経験を活かし、支援体制・受援体制を強化することが必要である。そこで、当局は大都市連絡会議において、災害時の円滑な支援・受援の実現に向けて 20 政令指定都市と議論を行っている。

第一に、能登半島地震では、支援先周辺で宿泊施設を確保することが困難であった。そのため、大都市連絡会議において、「支援者の宿泊施設の確保」について現行ルールにおける課題を抽出し、課題解決に向けた議論を行っている。例えば、受援時に支援都市が民間宿泊施設の確保に難航した場合に備え、自都市の宿泊可能な下水処理場、ポンプ場について整理することで、下水道施設の防災拠点としての活用に向けて検討している。

第二に、能登半島地震では、応急復旧の施工業者の確保が困難であった。そこで、大都市連絡会議において、「能登半島地震における応急復旧事例」として、応急復旧の参考事例を整理し、大都市ルールへの記載を検討している。また、施工業者の確保について、今までに例の無い取り組みとして、被災自治体の地元業者の手配が困難であったため、支援都市に拠点を置く建設業団体を派遣し応急復旧を実施した。本事例を参考資料としてまとめ、大都市間で共有することで、今後の災害時における大都市間の相互支援で応急復旧を迅速に実施することができる。

大都市連絡会議で検証した内容については、大都市ルールに反映するとともに、全国ルールの改正に向け、ブロック会議へ提言を行う。さらに、能登半島地震の支援で苦労した点や工夫した点の今回の知見を整理し、局内で情報共有し、研修で活用することで、支援活動の伝承を行っていく。

以上のように能登半島地震の経験を踏まえ、今後発生する災害に対して強靱な災害時の支援体制・受援体制を構築していく。

## 参考文献

- 1) 内閣府：令和 6 年能登半島地震による被害状況等について、令和 6 年 1 月 2 日、  
URL：<https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/index.html>
- 2) 国土交通省：上下水道地震対策検討委員会最終とりまとめ、令和 6 年 9 月 30 日、  
URL：[https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13\\_hh\\_000594.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000594.html)
- 3) 地震調査委員会：今までに公表した活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧、令和 4 年 1 月 13 日、URL：<https://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran.htm>
- 4) 東京都防災会議：首都直下地震等による東京の被害想定報告書、令和 4 年 5 月 25 日、3-46 ページ
- 5) 地震調査委員会：長期評価による地震発生確率値の更新について、令和 7 年 1 月 15 日、  
URL：[https://www.jishin.go.jp/evaluation/long\\_term\\_evaluation/chousa\\_25jan\\_kakuritsu\\_index/](https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/chousa_25jan_kakuritsu_index/)

### 3-2-3 能登半島地震を受けた石川県下水道対策本部における

#### 支援調整隊の活動について

計画調整部 事業調整課 長谷川 直之

#### 1. はじめに

令和6年1月1日に発生した能登半島地震により、石川県内の下水道施設は大きな被害を受けた。これを受け、石川県内の広域支援を行うため、大都市である東京都は全国の下水道関係者間で締結している「全国ルール」に基づき、被災自治体の下水道管路の復旧に向けて調査を行う支援隊、支援計画の立案を実施する支援調整隊に参画した。

ここでは、石川県に設置された下水道対策本部での支援調整隊の活動内容について報告する。

#### 2. 能登半島地震の概要

能登半島地震はマグニチュード 7.6 という極めて大規模な地震であった。下水道施設への被害について、石川県全体の管路被災率は 5.9%となっているが、特に奥能登 6 市町の被災率は、平成 28 年に発生した熊本地震での益城町（ましきまち）と比べても特に高いものであった。（表 1）

今回の地震の特徴としては、広域で被害が発生したのに加え、能登半島の地理的特性から特に奥能登への交通アクセスが困難で現場への移動に時間を要し、調査・復旧作業の十分な時間確保ができなかったことが挙げられる。また今回、上下水道一体となった早期復旧が初めて求められた点についても、特徴として挙げられる。

表 1 能登半島地震における自治体毎の被害規模

自治体	下水道管路全延長(km)	被災延長(km)	被災率(%)
石川県	6,334	372.0	5.9
奥能登6市町			
七尾市	231.1	64.7	28.0
輪島市	171.6	44.2	25.8
珠洲市	104.3	72.0	69.0
志賀町	148.2	9.2	6.2
穴水町	39.0	23.2	59.5
能登町	78.5	19.9	25.4
【参考】熊本地震H28.4.16 震度7			
熊本県益城町	166.4	22.2	13.3

#### 3. 能登半島地震における

##### 下水道支援体制

能登半島地震発生に対し、東京都が支援に参画することとなった経緯を説明する。

今回、東京都は下水道災害時における「全国ルール」に基づき石川県及び石川県内自治体を支援することとなった。（図 1）全国ルールに基づいた発災後の流れとしては、まず、下水道施設に被害が確認された石川県 16 市町から県に支援要請が行われた。次に、石川県がこの要請を受け下水道

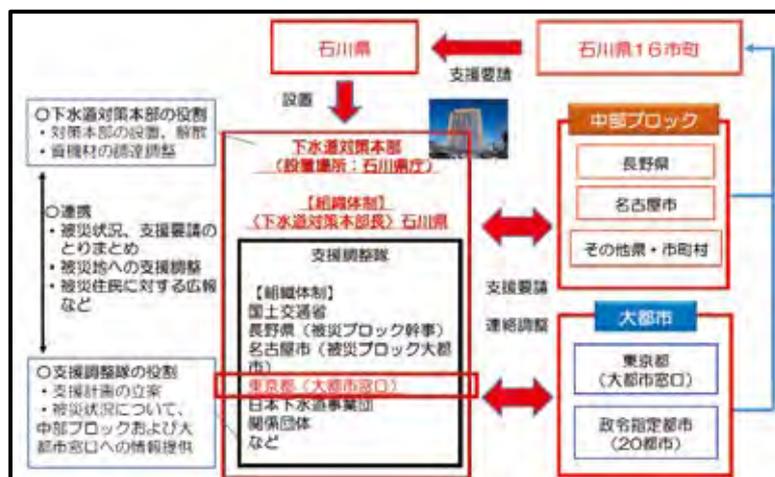


図 1 能登半島地震における下水道支援体制

対策本部を設置するとともに、下水道対策本部の業務を円滑かつ迅速に実施するため、下水道対策本部内に支援調整隊が設置された。

中部地方で震災が発生した場合の現地支援は、中部地方の自治体で構成される中部ブロックだけで実施するところである。しかし、本震災においては広域支援が必要だと判断されたことから、「全国ルール」に基づき現地支援に大都市（全国 20 の政令指定都市と東京都）が参加するとともに、大都市窓口である東京都は支援調整隊に参加することとなった。

#### 4. 支援調整隊の体制と役割

支援調整隊は 1 月 5 日に発足し、石川県庁内に設置され国交省を筆頭に約 15 名体制で活動を開始した。（図 2）

支援調整隊の役割は、被災状況及び支援要請の取りまとめを行い、状況を踏まえて調査・復旧の優先順位を決定し各支援自治体・団体へ指示を行うことであった。

支援調整隊内の役割分担は、国土交通省が支援調整隊の隊長として、隊全体の取りまとめ国交省本省・石川県に対する窓口役を担った。一方で、自治体で参画した長野県（中部ブロック連絡会幹事）、名古屋市（被災ブロック内大都市）、東京都の役割は、各被災自治体からの管路施設に関する支援要請取りまとめ、被害状況の把握、調査・復旧の優先順位決定や進捗管理であった。

自治体間の分担は、支援調整隊で石川県内を 3 エリアに分け（図 3）、名古屋市と東京都が奥能登エリアの支援調整を行い、奥能登エリアの現地支援に参加した主な自治体は、東京都、横浜市、浜松市、名古屋市、大阪市、神戸市などである。長野県は中能登・金沢近郊エリアを中心とした支援調整を行い、現地支援に参加した主な自治体は、中部ブロック自治体（新潟県、長野県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県）、千葉市、岡山市、熊本市などである。

また、自治体が管路施設の支援を行ったのに対し、日本下水道事業団は処理場やポンプ場といった施設の支援を担当した。さらに、日本下水道協会・日本下水道新技術機構が支援調整隊の運営サポートを行った。また、日本下水道管路管理業協会は実際の管路調査会社の調整を行っており、東京都を含めた自治体はこの下水道管路管理業協会と協議する局面が多くあった。

東京都の支援調整隊での活動は 1 月 9 日から 3 月 29 日までの約 3 か月間行われ、支援調整隊に 1 陣あたり 2 名、最終的には第 13 陣まで延べ 26 人の職員を派遣した。



図 2 支援調整隊の構成について

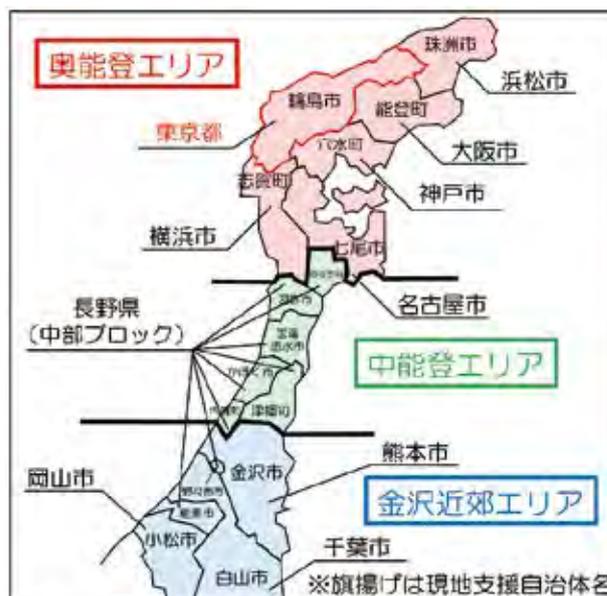


図 3 管路施設 支援調整エリア

## 5. 支援調整隊の活動

### 5-1. 災害復旧の流れ

支援調整隊の活動を説明する前段として、災害復旧全体の流れを示す。発災から災害査定までの大まかな流れは(図4)に示したような流れとなる。

東京都が支援調整隊としての活動は一次調査から二次調査までの期間であった。支援調整隊として行った進捗管理や支援班の調整について以下に示す。



図4 災害復旧の流れ

### 5-2. 支援調整隊の主な活動内容

支援調整を進めるにあたり、奥能登被災地へのアクセスが困難であること、宿泊施設の確保に苦慮したことなどから、奥能登地域での調査進捗率を上げるのは非常に困難であった。これに対し、支援調整隊では自治体毎の調査進捗管理や、それを受けた調査班の割り当て調整を行うことなどでその向上を図った。

具体的な調整内容としては、比較的、被災率が低かった金沢近郊での調査進捗を踏まえ、進捗が進みにくく被災率も高い中能登・奥能登での調査班数を段階的に増やし、進捗率を上げる調整を行った。この調査班の差配が、東京都が支援調整隊において行った活動の中で、特に重要なものであった。

また、震災当時は積雪シーズンであり、スタッドレスタイヤを確保できないことにより調査に入ることでできない調査班も一定数存在した。そこで、タイヤメーカーからスタッドレスタイヤを無償提供してもらえよう、調整する等の取り組みも行った。

### 5-3. 能登半島地震特有の課題への支援調整隊の対応

前述したよう、能登半島地震特有の課題は、一点目に、能登地方へのアクセスが困難であったことである。一例として、東京都支援隊は、宿泊場所から現場までの移動に片道2～3時間を要した。二点目は上下水道一体の復旧が求められたことである。

これらを解決するため、支援調整隊では課題解決に向け、個別の対応を実施した。

#### 5-3-1. 調査効率向上に向けた宿泊拠点の確保

第一に、調査効率向上に向けた調整である。能登地方への調査班のアクセスは困難であり、被災自治体内に宿泊拠点を確保することは困難を極めた。まず、支援調整隊では営業している宿泊施設12件に対して空室状況の照会を行った。しかし、他の支援業務等で既に利用されている等の理由で、空室を確保することが不可能であった。

そこで、営業を中止している宿泊施設を含めた調査を行った。その結果、営業を中止していたホテル「こうしゅうえん」を使用できる可能性が出てきた。しかし、ここで問題となったのが、「こうしゅうえん」の風呂が使用不能であったことである。

この問題については、日本下水道管路管理業協会が中心となって対応を行い、東日本大震災でも実績のある仮設風呂を用意するとともに、ボイラー車、給水車、発電機を現地に配置した。これにより、こうしゅうえんを調査班向けの宿泊施設として整備することができた。(図5) 結果として、調査班の移動時間削減に寄与した。



図5 ホテル「こうしゅうえん」仮設風呂設置状況

### 5-3-2. 上下水道一体となった復旧に関する調整

第二に、水道復旧に合わせた流下能力確保に向けた調整である。これまでの二次調査の優先順位は、災害査定に向けた調査を優先させ、応急復旧は必要に応じて対応というのが慣例となっていた。

しかし、今回の震災においては、下水道が水道の給水開始に遅れることなく、上下水道一体で機能確保することが求められたため、水道の復旧状況や被災自治体のニーズを把握した上で、詳細調査よりも下水道管路内の閉塞物の除去や仮配管の設置等の応急復旧を優先して実施することとなった。(図6)

支援調整隊では、この方針を受けた二次調査の方針を検討する中で、どのように応急復旧対応を行うべきかという調整が必要となった。これにあたっては大きく二つの考えがあった。一つ目は、水道と一体となった復旧を進めるにあたり、迅速に流下能力を確保するため、二次調査よりも応急復旧作業を最優先させるという考えであった。また、二つ目の考え方は、災害査定に向け二次調査を遅れさせないようにするという考え方であった。

二次調査は、高圧洗浄車とテレカメ車の編成で行い、洗浄作業後にテレカメ調査を行う作業の流れとなるが、流下能力確保のため応急復旧作業を最優先させると、高圧洗浄車のみを下水道管路内の閉塞物の除去に優先して使用するため、テレカメ車や調査の人手も余らせてしまうこととなり、二次調査全体の工程が遅れてしまう懸念があった。

この二つの考え方の間でバランスを取るため、支援調整隊では、まず一次調査の結果分

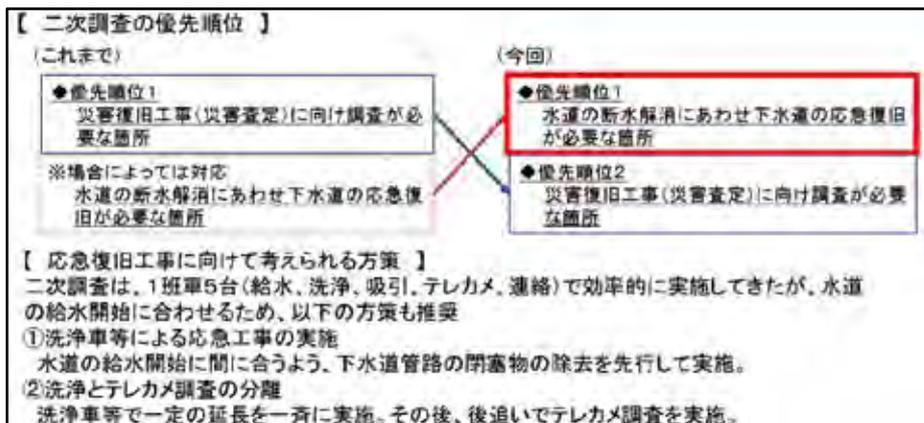


図6 能登地震における二次調査の優先順位について

析を行った。一次調査の結果について人孔における滞水の有無を確認し、通水作業が必要な管きょ総延長を算出した。次に、各被災自治体の上水道復旧計画を収集した上で下水道の被災状況と照らし合わせ、一日当たりどの程度の通水作業を行う必要があるのか算出した。その上で、毎日どの程度の通水作業が出来るのか、また、二次調査班のうち、どの程度の班を洗浄作業のみ行う通水班に振り分ける必要があるのか検証した。

この検証結果に基づき、二次調査班のうち一部を通水班に振り分けるという結論が得られた。例えば、輪島市では調査班 10 班が作業を行う際、1 班を通水班とするような振り分けを実施し、上水道の復旧状況を見ながら、通水作業を計画的に行った。こういった取組により、上下水道一体となった復旧を推し進めた。

## 6. 支援調整隊としての活動を振り返って

支援調整隊は各都市、関連団体の混成チームであるのに加え、(図 7) 水道の復旧に合わせた下水道の復旧が求められたことから、様々な組織との調整が必要であった。このため、東京都下水道局の対策本部や現地支援隊と連携しながら業務ノウハウを蓄積させていくと共に、時間と共に変化する各機関(国、石川県、輪島市)の役割や関係性について業務を進めながら状況に対応し、調査や応急対応を遅滞なく行えるよう差配した。



図 7 活動の様子

## 7. まとめ

今回の支援活動の特徴として、能登の災害復旧は広域的に対応する必要があり、かつ、宿泊場所の確保に苦慮したということが挙げられる。また、上下水道一体となった復旧が本格的に行われ、一定の成果があった反面、課題も見えてきた。今後の災害において、地元の要望にも合わせ上下水道一体となり早期復旧を行うための体制を構築する必要がある。災害発生時にこれまで編成されてきた調査班に加え、流下能力確保を専門とした通水班、破損した管きょを復旧させる土木工事班といった班を、支援要請があった段階で一定数用意して現場投入すべきだと考える。また、これを踏まえた全国ルールの改定も、今後は必要になってくると思われる。

また、今回の活動を通じて感じたのは、まず、支援調整を行う上で、汎用性の高い端末や、プリンター等の周辺機器の整備を事前に行っておくべきという事である。

最後に、直接目に触れることは少ない支援調整隊の活動が、災害復旧において重要な役割を担っていることがわかった。大規模災害の発生時には、大都市が相互に支援協力し、被災状況の調査、応急復旧、災害査定までを円滑かつ迅速に遂行できるよう、今後も各都市間において、日常的な意思疎通を図っていきたい。

### ・参考文献

- 1) 国土交通省：上下水道地震対策検討委員会最終とりまとめ、令和 6 年 9 月 30 日、  
URL: [https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13\\_hh\\_000594.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000594.html)

### 3-2-4 多摩地域の下水道事業における都と

#### 市町村の連携した取組について

流域下水道本部技術部計画課 松嶋 健汰

#### 1. はじめに

多摩地域の下水道は、市町村が管理する公共下水道と東京都が管理する流域下水道が一体となって機能している。流域下水道は、市町村の行政区域にとらわれず、広域的に下水を処理するという役割を担っている。東京都では、昭和44年に流域下水道事業を開始し、現在では公共下水道普及率が99%に達している。

一方で、市町村では下水道職員が年々減少している中、下水道施設の老朽化が進んでいる等、様々な課題を抱えている。

下水道局では、こうした課題に対して、市町村と連携し、危機管理の強化や維持管理等のノウハウや技術力を維持していく取組を実施しており、その事例について報告する。



図1 多摩地域の下水道計画区域<sup>1)</sup>

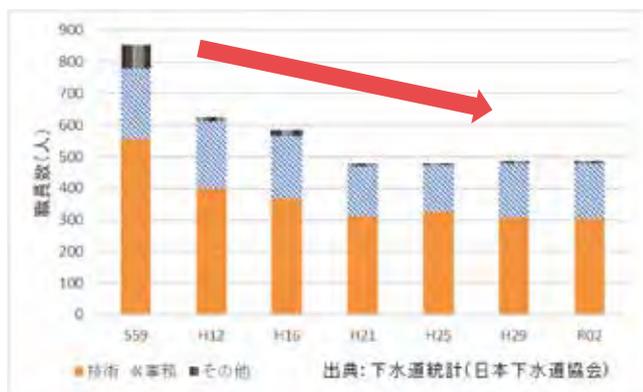


図2 多摩地域 30 市町村の下水道職員数

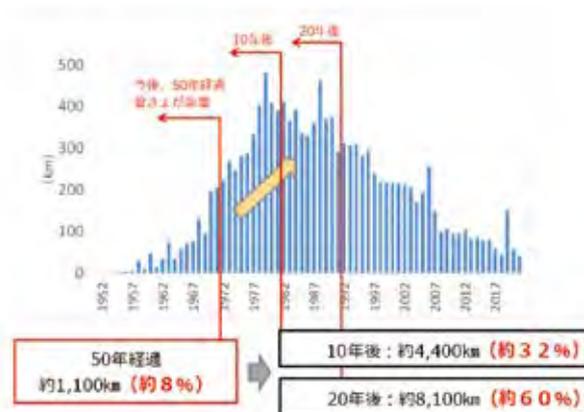


図3 多摩地域 30 市町村の下水道管きよの年度別布設延長

出典：市町村による管きよ延長に関する調査結果を集計（令和3年度末時点）

## 2. 都と市町村の連携した取組について（市町村下水道情報交換会）

下水道局では、東京都及び市町村の下水道事業の推進に向けて連携強化していくことを目的として、平成24年10月から市町村下水道情報交換会（以下、「情報交換会」という。）を定期的に開催しており、課題解決支援や危機管理体制の構築、維持管理等のノウハウに係る情報共有、市町村職員の人材育成支援を行っている。



図4 情報交換会のイメージ<sup>1)</sup>

なお、情報交換会については、「東京都の汚水処理に関する広域化・共同化計画（令和4年12月）」のメニューにも位置付け、継続的に取組を推進している。

令和5年度に実施した情報交換会の主な取組について次項に示す。

### 2-1. 市町村下水道強靱化に向けた技術支援

下水道局では、市町村が管理する公共下水道の浸水、地震対策のレベルアップ、スピードアップを図るため、令和5年4月から市町村が負担する工事費等の2分の1を補助する新たな補助制度（以下、「強靱化補助制度」という。）を創設し、市町村への財政支援を行っている。

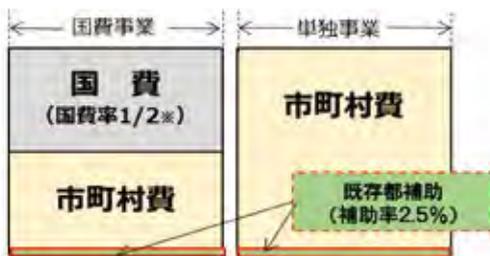


図5 既存の補助制度



図6 新たな補助制度

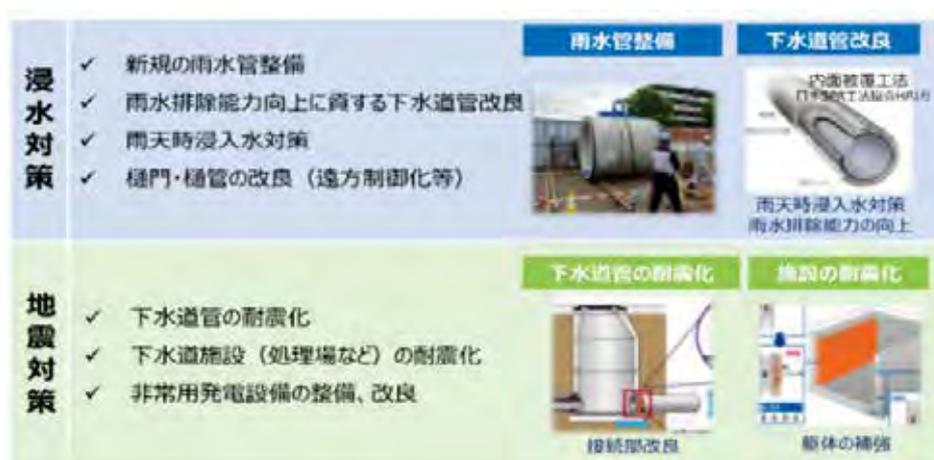


図7 強靱化補助制度の対象事業

この制度を活用し、市町村の強靱化対策を強化、加速させるため、市町村の強靱化計画策定に向けた勉強会を開催し、技術支援に取り組んでいる。

このうち、市町村における浸水対策では、雨水管整備率が約3割に留まる中、多発する浸水被害や気候変動による降雨量の増加を踏まえた対策を推進していく必要がある。このため、各市町村による雨水管理総合計画の策定や浸水対策の計画的な推進を目的として勉強会を実施した。勉強会では、雨水管理総合計画策定までの流れをはじめ、浸水シミュレーションにおける条件設定や計画策定に先行して取り組んでいる市町村の計画策定委託の情報等を共有し、市町村の取組を後押しした。



写真1 勉強会（浸水対策）

また、市町村における地震対策では、27市町が下水道総合地震対策計画を策定し、そのうち17市町において計画に位置付けた避難所や災害拠点病院等から排水を受ける下水道管の耐震化等の対策が完了しているものの、大規模災害に備え、下水道管の耐震化をスピードアップする必要がある。このため、各市町村が地震対策を推進していくことを目的として勉強会を実施した。勉強会では、令和6年能登半島地震での被害状況や被災地支援の概要等の最新情報を共有するとともに、都市機能を支える下水道施設の地震対策の重要性や国費補助制度の説明、下水道総合地震対策計画の見直しフローを例示する等、市町村の取組を後押しした。

## 2-2. 災害等に備えた危機管理体制の構築

東京都及び市町村では、地震等により、下水道施設が被災し、被災市町村単独では対応が困難な場合に備え、東京都内の下水道事業者間の相互支援体制「東京都下水道ルール」を整備している。また、民間事業者等との協定締結により、災害時復旧支援体制及び災害査定に係る技術支援体制も整備している。これらの体制は、いずれも流域下水道本部が市町村への支援調整を担うことで、広域的な危機管理体制を構築している。



写真2 情報連絡訓練

この体制に基づき、大規模災害が発生した場合に下水道施設の復旧活動を迅速かつ円滑に実施できるよう、情報連絡訓練を定期的に行っている。訓練では、地震発生日時や震度、下水道施設を含む被害状況を設定し、市町村による支援要請や流域下水道本部による支援調整等、実践的な情報連絡を行うことにより、情報連絡の習熟を図った。また、訓練で確認された連絡上の課題について、振り返りを実施し、改善内容について市町村と共有を図った。

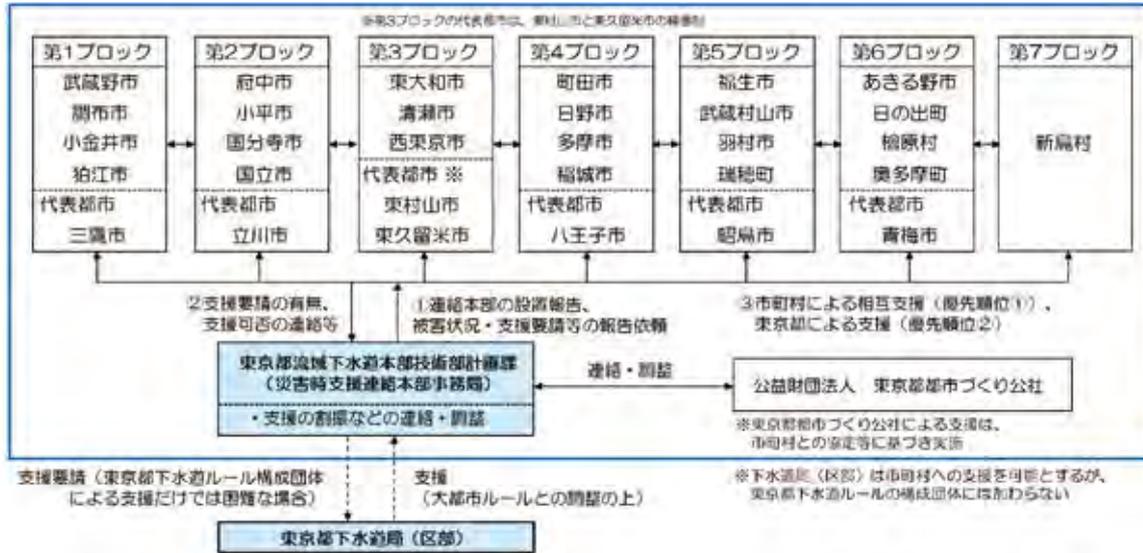


図 8 東京都下水道ルール

### 2-3. 講習会等による人材育成

市町村の管理する公共下水道において、布設後 50 年を経過する管きよの割合は 20 年後には約 60% を占め、老朽化が進んでいくことから、管きよ老朽化対策工法の一つである管きよ更生工法について、民間事業者を招き、講習会を開催している。講習会では、工法の解説に加え、デモ施工による実演を行った。デモ施工では、製管工法と反転・形成工法の 2 つの工法を紹介し、一連の施工手順について解説を行うとともに、市町村職員の疑問に対して個別に回答することで、工法の特長等に関する理解の促進を図った。

また、大規模災害の発生に備え、災害復旧の知見を身につけるために、災害対策に関する講習会を実施している。講習会では、災害復旧の手順や点検調査方法、査定設計上の留意点等について、他都市への支援事例も交えて詳しく解説した。併せて、民間事業者を招き、既設人孔耐震化工法や更生管人孔接続部耐震化工法、非開削人孔浮上抑制工法の 3 工法について工法概要を解説し、人孔模型を活用しながら地震対策効果や施工手順に関する理解の促進を図った。



写真 3 管きよ更生工法講習会



写真 4 災害対策講習会

### 3. おわりに

下水道局では、市町村が抱える課題に対して、都と市町村が連携した取組である情報交換会を継続的に開催し、課題解決支援や危機管理体制の構築、維持管理等のノウハウに係

る情報共有、市町村職員の人材育成支援を実施し、市町村との連携強化を図ってきた。

今後も、このような取組を推進することで、多摩地域全体の安定的な下水道事業の運営につなげていく。

・参考文献

- 1) 東京都下水道局：事業概要 令和6年度版

### 3-2-5 近隣住民への影響の低減対策及び山留残置に関する 協議について

第二基幹施設再構築事務所 工事第二課 佐光 俊樹

#### 1. はじめに

中野区の補助第26号線（中野通り）は拡幅工事を順次進めてきている。中野区中央五丁目付近は「桃園橋」として橋梁の構造となっていたが、拡幅工事及び老朽化対策のため撤去が計画されていた。一方、桃園橋は当局の桃園川幹線の一部となっており、整備から50年以上が経過している蓋掛け幹線であるため、再構築が必要であった（図1）。

本工事は老朽化した桃園橋の撤去と同時に幹線の再構築を行う協定工事を当局が実施したものである。今回は本工事を進めていく上で課題となった周辺への影響低減策を報告する。

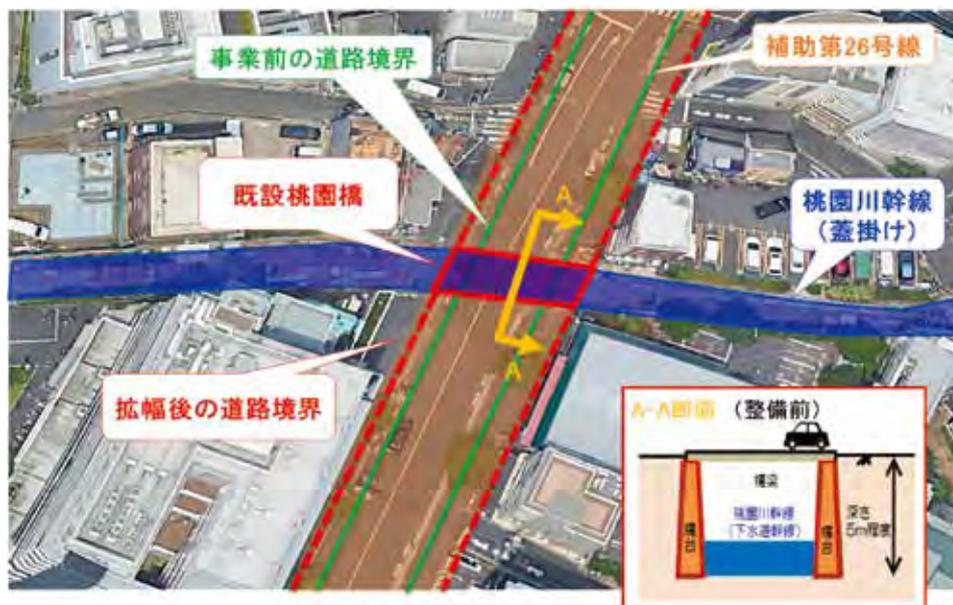


図1 位置図

#### 2. 工事内容

桃園川を暗渠化して整備された桃園川幹線は、桃園橋の橋台を幹線の側壁として利用している構造であった。中野通りの拡幅にあたり、桃園橋の撤去と同時にボックスカルバート（5m×4.2m L=18m）を布設し、桃園川幹線の再構築を行う計画であった。（図2）

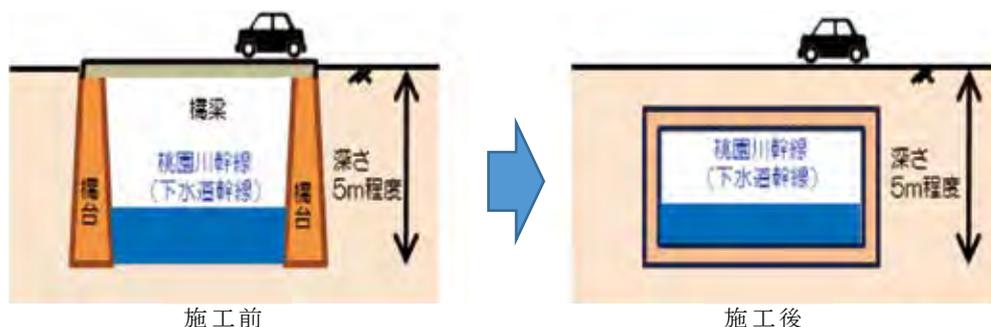


図2 工事イメージ

工事では初めに橋の外側を囲う位置に山留を設置し、開削で橋台を露出させた。その際、中野通りは通行止めができなかったため路面覆工を設置し、夜間の作業時は片側交互通行の規制を行い、作業時以外は交通開放した。

橋台及び底盤の水路部はワイヤーソーなどを用いながら小分けにし、撤去及び搬出を行った。その後、地上からクレーンを使用して路下へボックスカルバートを吊り下ろし、レールを用いてボックスカルバートを横引きすることで布設を行った(図3)。

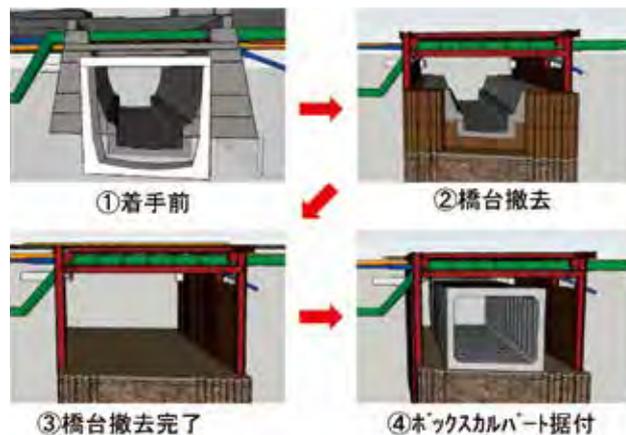


図3 施工ステップ

本工事は令和2年7月16日に着手し、令和6年12月20日に工事完了した。

### 3 路面覆工の工夫

#### 3.1 課題

ボックスカルバートの布設及び橋台撤去には前述の通り交通量の多い現道を掘削する必要があった。交通管理者や路線バスと協議した結果、日中は交通開放が条件となり、路面覆工が必要となった。しかし、通常の形式で路面覆工を設置した場合、路面と民地に700mmの高低差ができてしまい、沿道家屋の出入りに支障が生じることが判明した。このことから高低差を低減するための路面覆工方法の検討が必要となった。

#### 3.2 対策

当初設計では一般的に用いられるH形鋼を使用するため、既設道路路面から覆工受桁と覆工板の高さを合わせた700mmの高低差が生じることとなる。この対策として覆工受桁をH形鋼よりも強い強度をもつ特殊桁(BH形鋼)を採用し、覆工受桁の高さ内で覆工板を取り込む構造を検討した(図4)。

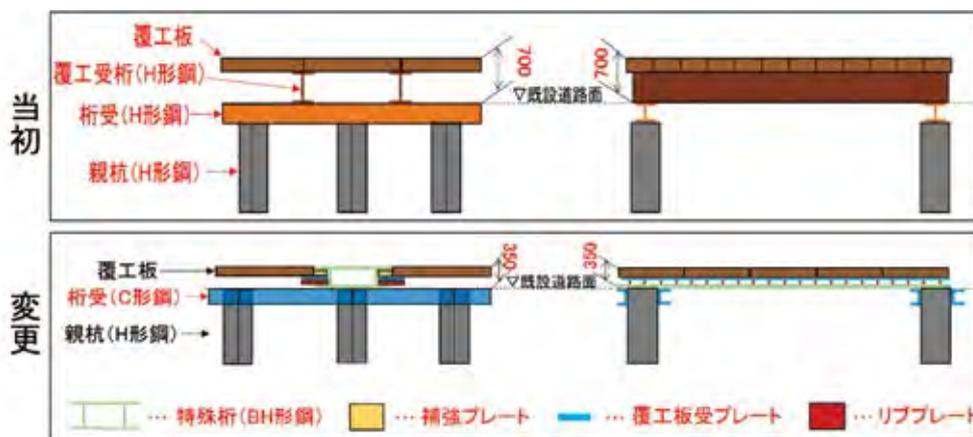


図4 路面覆工比較

具体的には桁受の上に特殊桁(BH形鋼)による覆工受桁を設置し、その高さ内でリブプレート、覆工板受プレート、補強プレートを設置し、最後に覆工板を載せる構造とした。覆工板が覆工受桁の高さ内に取込まれるため、路面覆工高が抑えられる構造となった(図5)。

本対策案の特殊桁（BH形鋼）は受注者で構造計算を行い、この現場独自に製作した特殊製品を用いた。この特殊構造を採用することで、高低差を当初の半分の350mmに低減することができ、民地の出入りに支障が生じないようにすることができた。

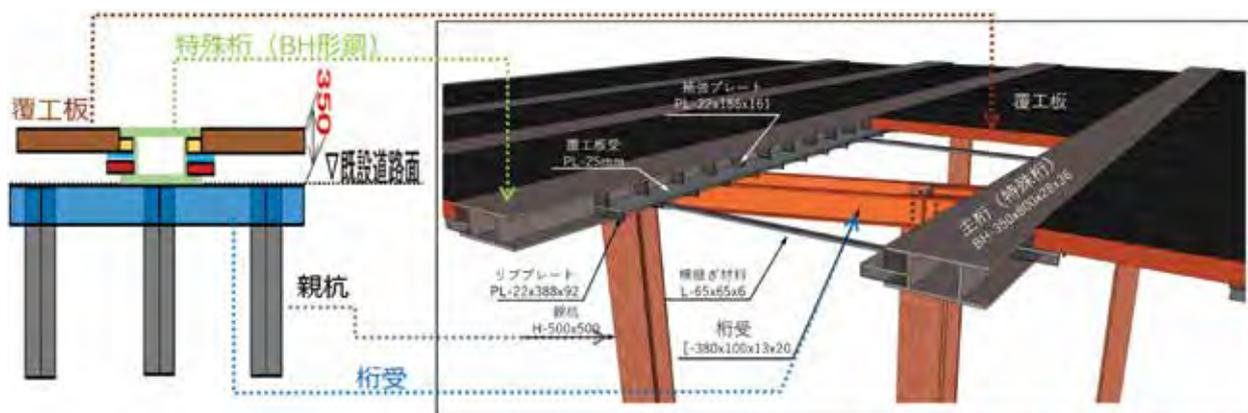


図5 路面覆工詳細

#### 4 山留残置に関する協議

##### 4.1 協議経緯

橋台の撤去及びボックスカルバートの布設を行うにあたり、約7mの開削を行うため山留を設置した。地下埋設物がある範囲は親杭横矢板、それ以外の箇所は鋼矢板による山留を設置した。本現場の土質はN値50を超える砂礫地盤であったため、山留はオーガ掘削を併用して13mの親杭及び鋼矢板を打設した。また、山留の周辺部はセメントミルクによる根固めによって地盤と一体化させたが、周辺に家屋が近接していることもあり、山留の引き抜きが困難な状況であった。(図6)

道路管理者と協議したところ、撤去範囲の原則としているGLから3.5mまでの撤去を提示された。この範囲の山留撤去を行った場合、施工に多大な時間を要し、街路拡幅事業に遅れが生じることや、早期の事業完了を望む周辺住民の負担が大きくなることが問題であった。

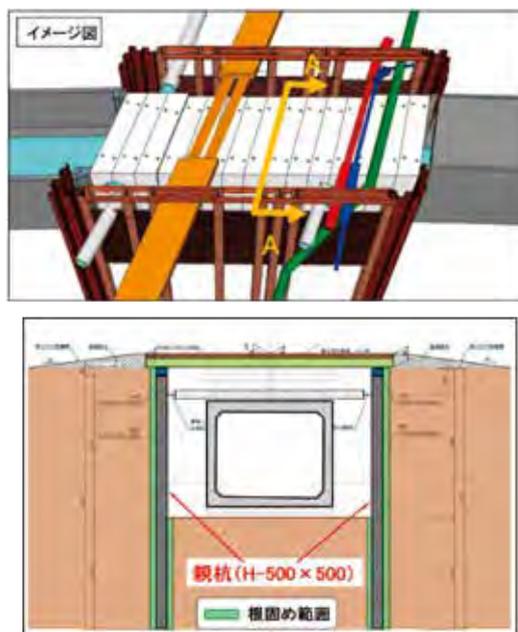


図6 山留詳細図

##### 4.2 対応策の検討と撤去範囲の再協議

前述の問題への対応のため、提示されたGLから3.5mまで撤去する場合と、周辺住民や街路事業への影響を極力抑えることを目的とした軽量鋼矢板建込工法で撤去する場合の比較検討を実施した。

###### (1) GLから3.5m撤去する対応（ケース1）

日中は交通開放しなければならないという条件では1日の作業時間内で掘削、山留3.5m分撤去、道路の仮復旧まで完了させることが困難であった。そのため、新たな路面覆工の設置が必要となり、騒音、振動による地元住民への負担が大きくなることが想定された。また、山留撤去のための掘削は、本現場ではライナープレートと路面覆工を併用する工法が最適な工法であったが、その作業に140日程度要することから、街路事業の工程に遅れが生じることが想定された(図7)。



図7 ケース1イメージ

#### (2) 周辺住民や街路事業への影響を考慮した対応(ケース2)

軽量鋼矢板建込工法で施工する案を検討した。この場合、1日の作業時間内でGLから2.5mまで撤去可能であり、路面覆工が不要となる。また、施工日数も約20日程度で実施可能となる(図8)。



図8 ケース2イメージ

上記の工法比較を道路管理者に提示し、協議を重ねたことで、GLから2.5mの撤去(ケース2)で了承を得ることができた。

### 5. まとめ

本工事は街路整備の工程による制約と、地先住民への配慮が必要な案件であったが、設計段階では想定できなかった事象に対し、当局と受注者で協力しながら知恵を出し合い、柔軟な対応と調整を行うことで工事を無事竣工することができた(図9)。

本事例が、他の現場等での課題への対応に役に立つことができれば幸いである。



図9 ボックスカルバート設置状況

## 3-2-6 複雑な現場状況に対応した支障物撤去型推進工法への変更について

北部下水道事務所 建設課 古畑 陽平

### 1. 全体概要

#### 1.1 補助 94 号線道路拡幅事業の概要

補助 94 号線道路拡幅事業は都道不忍通りにおける道路拡幅事業であり、第六建設事務所が管轄している。この道路拡幅事業に併せて各企業の浅層埋設を解消するために、既設矩形渠の上部撤去、それに先立つ主要枝線の布設を北部下水道事務所にて行う。

また、既に北側では H25 に主要枝線(図 1 上の青色)の布設、H28 に既設矩形渠上部撤去(図 1 上の緑色)が完了している。



図 1 補助 94 号線道路拡幅事業全体図

#### 1.2 工事概要

本工事は、補助 94 号線(都道不忍通り)道路拡幅事業に先立ち新たに主要枝線を整備するものである。(図 1 上の黄色)

文京区が管轄している、ふれあい館前に両発進立坑を設置し、上下流合わせて約 400m の下水道管を拡幅される歩道部に泥濃式推進工法にて布設する工事である。

また、今回の内容である支障物撤去型推進工法に変更した路線は(図 2 上の緑)で記載している下流側の路線であり、令和 6 年 10 月に人孔まで到達し施工が完了している。



図 2 工事概要図

### 1.3 施工環境

工事箇所は、中高層ビルとメトロの残置物及び旧千駄木幹線と民地に挟まれた歩道部であり、限られたスペースに推進管を布設する必要があった。また、当該歩道部は事業用地であるため、旧民地箇所も施工範囲にかかることから予測できない残置物がある可能性が高かった。



図3 メトロの残置物及び旧千駄木幹線(赤)



図4 中高層ビル(赤)

## 2. 想定支障物概要

本工事の当初設計では、路線上の支障物がないことを前提としてツーウェイ工法を採用していた。ツーウェイ工法は既設の人孔に直接到達可能であり、到達後も推進機を分解して回収できる工法である一方、支障物がある際には施工することが出来ない。そのため、支障物がある場合には【支障物の撤去】または【支障物に対応出来る推進工法】で、施工する必要がある。

本現場では、推進工に先立ち両発進立坑を築造した際に、(図6)の通り予期しない支障物が見つかったことを背景として、推進路線上の支障物有無について再度確認を行った結果想定される支障物が浮上したため報告する。

### 2.1 発進立坑築造時に予期しない残置物が発覚

推進工に先立ち、両発進立坑を文京区が管轄しているふれあい館前に築造したが、この立坑を築造する際に(図6)のような巨大な残置コンクリートが発見された。区役所や道路管理者に確認しても把握していないため、設計段階で事前に当該残置物を想定するのは困難であった。当該残置物は、想定になるが恐らくふれあい館を築造する際に使用したクレーンの基礎コンクリートと思われる。



図 5 現場状況図



図 6 発進立坑築造時に予期しない残置物

## 2.2 想定支障物

不明な残置コンクリートが発覚したことをきっかけに、再度他企業協議等を入念に行い懸念点が無いかを確認した。言問通り（都道）と不忍通り（都道）の交差点に、NTT マンホールが埋設されているのは、当初より把握していたが、規模が大きいため築造時に使用した仮設構造物が残置されている可能性があるのではないかと想定した。仮に、支障物があり推進機が衝突した場合、不忍通り（都道）と言問通り（都道）の交差点であることから交通機関に多大な影響を与えてしまうことになる。

そのため、追加で試掘を行い想定支障物の有無の確認を行った。



図 7 想定支障物位置図

### 3 支障物の調査

前項に記載の通り、言問通り（都道）と不忍通り（都道）の交差点に、NTT マンホール築造時の残置物があるのではないかと推測のもと、推進線形路線上かつ NTT マンホール近辺（図 8）を調査範囲とした。

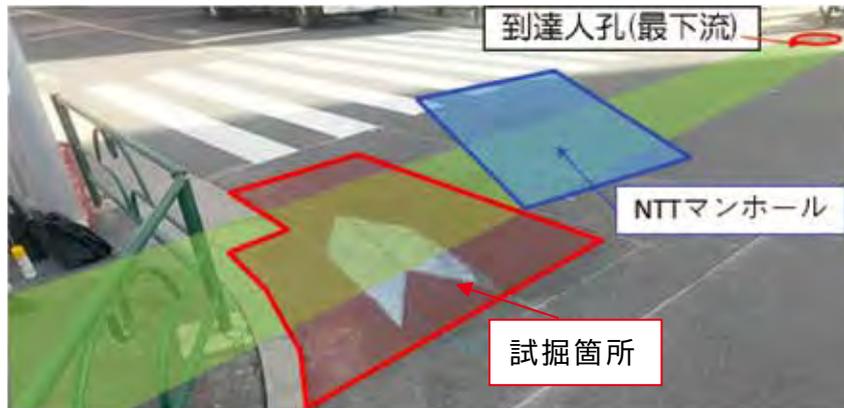


図 8 試掘箇所

#### 3.1 試掘

（図 8）において、想定通りに NTT マンホール築造時に残置されたと思われる H 鋼が確認された（図 9）。今回は、GL-2m 程度までの試掘であることから H 鋼の最深部が不明のため、推進線形への干渉が懸念された。また、仮に支障物が推進線形上にあった場合、施工が止まってしまうため、事前に支障物を撤去する必要がある。しかし、当該箇所は不忍通り（都道）と言問通り（都道）の交差点であることから、作業帯の設置が困難であり支障物を開削により撤去することが現実的でないため、推進線形への影響の有無について確認する調査を行った。



図 9 試掘時に H 鋼を確認

### 3.2 調査方法

試掘で見つかったH鋼が、推進線形上に影響するかを確認するため、調査を実施した。調査方法としては、ウォーターホールズ工法による鉛直磁気探査を採用した。今回の調査方法を選定した主な理由としては、調査対象箇所が不忍通り（都道）と言問通り（都道）の交差点であることから埋設物が輻輳しており、その中で埋設物を損傷させずに調査を行うためである。ウォーターホールズ工法は、ウォータージェットにて掘削し、地上から目視確認もできるため構造物や埋設管への損傷の可能性を少なくして施工ができる工法である。

### 3.3 調査状況

埋設企業者を集い現地立会のもとマーキングを行い、施工を行ったが（図10）のように埋設管が露出することがあった。しかしウォーターホールズ工法にて掘削を行っているため、埋設管に損傷も無く、施工ができた。最終的には、ウォーターホールズ工法にて約GL-10mまでの掘削を行い、鉛直磁気探査の調査も完了した。



図10 ウォーターホールズ工法掘削時に埋設管が露出

### 3.3 調査結果

（図11）右側の波形図が支障物に近い箇所での鉛直磁気探査の結果である。波形の代わり目が金属物の有無の境界となるが、H鋼の最下端部と思われる箇所については反応①と赤丸で囲んだ箇所の通り、波形の変化が顕著に見られた。（図12）のように、推進の線形と重ね合わせると、支障物の想定最下端部がGL-5.6mで、マシン外殻の土被りがGL-6.2mなので、机上では約0.6mの離隔があり当たらないことが想定されるが非常に近接する結果となった。

また、（図11）の反応②と青丸で囲んだ箇所にも若干の反応もあるため、H鋼以外の支障物の可能性もあり、確実に支障物に当たらないと断定するのは困難であった。



図 11 鉛直磁気探査の波形

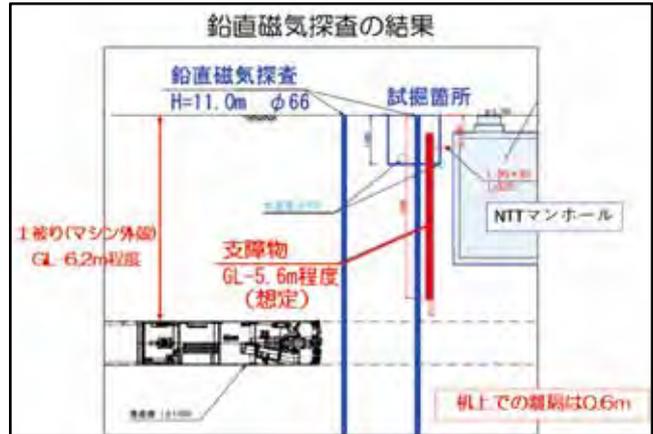


図 12 鉛直磁気探査の結果

#### 4. 支障物撤去型推進工法への変更

##### 4.1 推進機の工法選定

調査の結果を踏まえて、当初設計で採用したツーウェイ工法では支障物を撤去することができないため、支障物撤去型推進工法への変更を検討した。支障物撤去型推進工法の選定にあたり、Do-jet 工法とミリングモール工法の 2 種類を比較し、道路拡幅事業への影響を最小限に抑えるため、本現場ではより短期間で施工が可能なミリングモール工法を採用した。



図 13 ミリングモール工法の推進機面盤

## 4.2 支障物の切削

ミリングモール工法にて推進を發進し、実際に金属支障物にぶつかったため、低速（0.1mm/分）で切削を行った。金属支障物の破碎距離は418mmであるが、カッターヘッドの長さ分（470mm）も切削する際に低速で行う必要があるため、合計した888mmを低速推進で行い、破碎期間は28日間かかった。（図14）に記載しているのは、破碎した金属破片を採取している状況であり、マシン内部にて円形の磁石を排泥された土砂に入れ、水で洗うと切削された金属物を確認することができた。



図14 破碎した金属破片採取

## 5 道路管理者との協議及び手続き

支障物撤去型推進工法に至るまでには、支障物の有無についての検討、道路管理者に道路占用手続き、施工承諾等の事務処理、協議などに多くの時間を要した。また、下流側の到達人孔が都知事占有対象物件であるが、検討に時間がかかったことから都知事占有の延伸が認められず、再申請となり約7カ月の時間を要した。加えて、地盤改良、流動化処理土使用に関する手続きや他企業との協議など、変更をするにも対外的な部分で多くの調整を行い、時間を要した。

## 6 まとめ

都心部は特に地下埋設物の輻輳や多くの古い工作物が残置されているリスクも懸念されることから、事前埋設物調査では確認できない支障物が障害になるケースが少なくない。道路拡幅事業としての工期に制約がある中で、不測の事態に対し短期間で最善の検討を行い、道路管理者等との協議及び手続きを進めることは困難であるが、常に危機管理を怠らなずに対処することで最終的には施工を完了することができた。

本報告が、今後の類似事例における参考となれば幸いである。

### 3-2-7 ポンプゲートの健全性を診断する装置の導入について

建設部 設備設計課 野村 周平

#### 1. はじめに

ポンプゲートは、河川と水路との間に設置する、ポンプとゲートを一体化させた設備である。ポンプゲートの一般的な構成<sup>1</sup>を図1に示す。ポンプゲート本体は、モータと逆止弁を内蔵したポンプがゲートの扉体部分に埋め込まれた形状をしており、その前段にはポンプを異物から保護するための除じん設備（スクリーン）が設置されている。また、ポンプゲートの操作・制御を行うための電気設備及びその土木基礎も設置される。

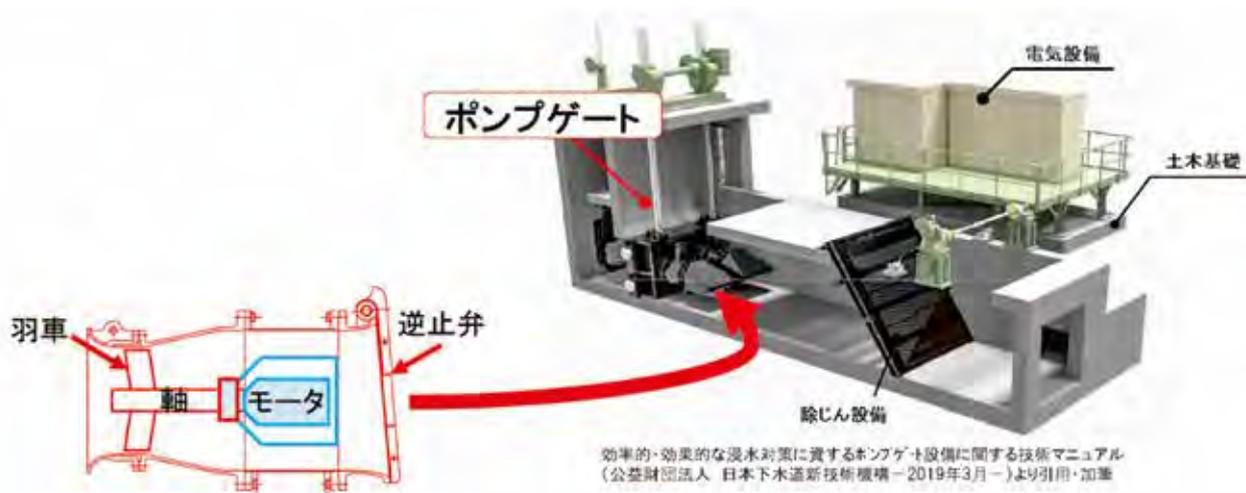


図1 ポンプゲート 構成図<sup>1</sup>

ポンプゲートの運用イメージを図2に示す。通常時はゲートを開けて自然流下で水路内の雨水を排水するのに対し、豪雨により放流先の河川水位が高くなった際は、ゲートを閉めて河川の水が水路内に逆流することを防ぐと同時に、ポンプで水路内の雨水を強制的に河川へ排水することで、内水氾濫を防止する。

本稿では、多摩川排水樋門のポンプゲートのポンプ更新にあわせて、従来は困難であったポンプゲートの健全性の診断を可能とする診断装置を導入したため、報告する。

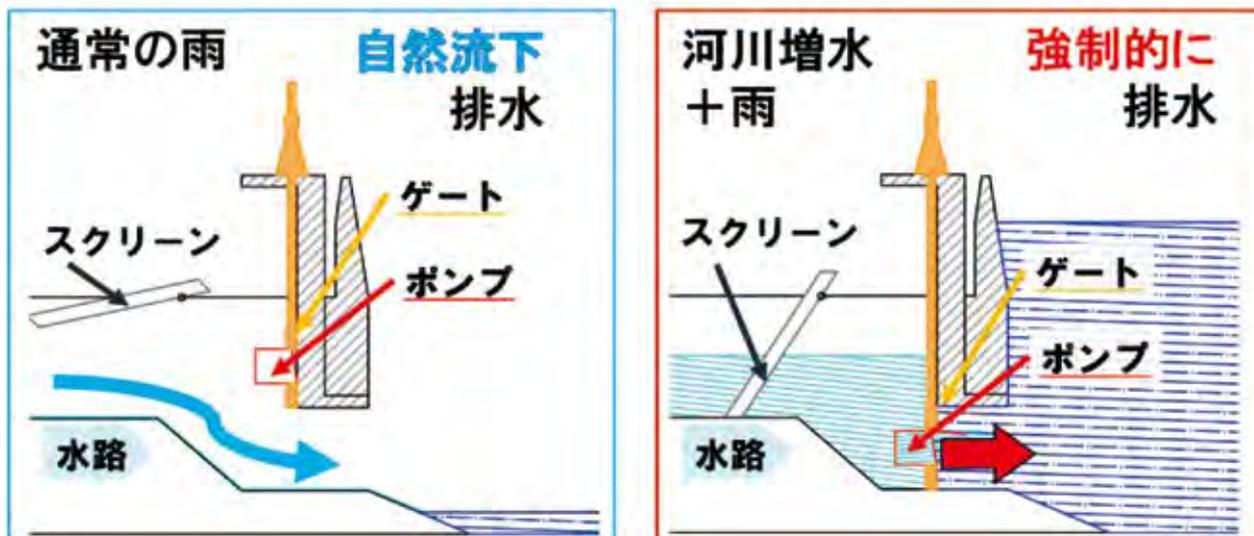


図2 ポンプゲート動作 模式図

## 2. 多摩川排水樋門機械設備更新工事の概要

今回更新したポンプゲートは、上沼部雨水幹線から多摩川へ接続する設備として、多摩川排水樋門の一つである上沼部排水樋門に設置されたものである。上沼部排水樋門に設置されているポンプゲートの外観及び模式図を図3、図4に示す。このポンプゲートは、平成17年度に堤内地に設置したもので、数年おきの大きな台風時にポンプによる排水を行い、内水氾濫を防いでいた。しかし、令和元年の台風19号を受けて、多摩川の水位がポンプゲートの排水能力を上回るレベルまで上昇したことから、図5に示す範囲で浸水被害が発生した<sup>2</sup>。この状況を受け、ポンプゲートの排水能力の増強が求められたため、本工事でポンプ部分のみを更新し、排水能力を増強することとなった。

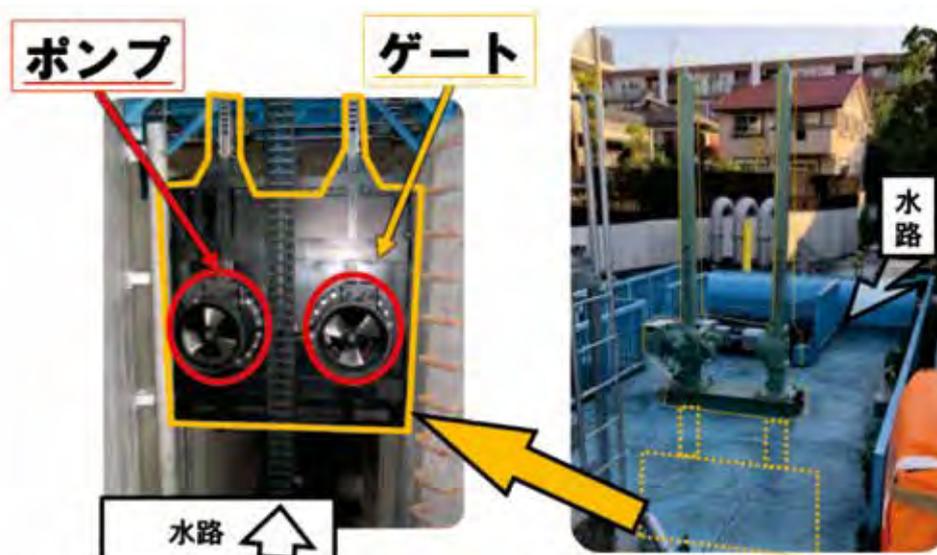


図3 上沼部排水扉門ポンプゲートの外観

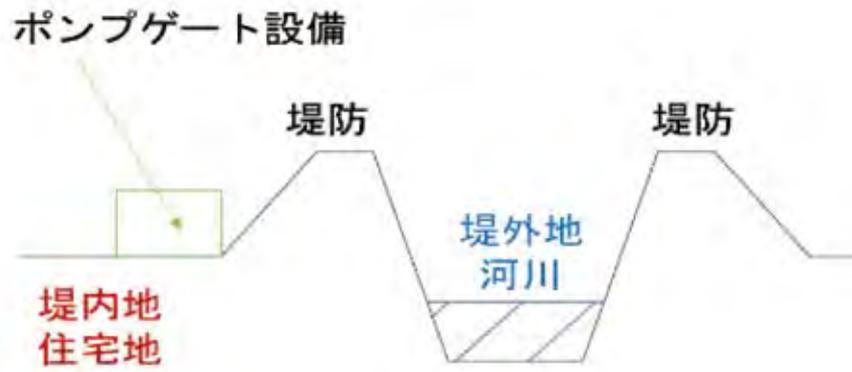


図4 上沼部排水樋門 模式図

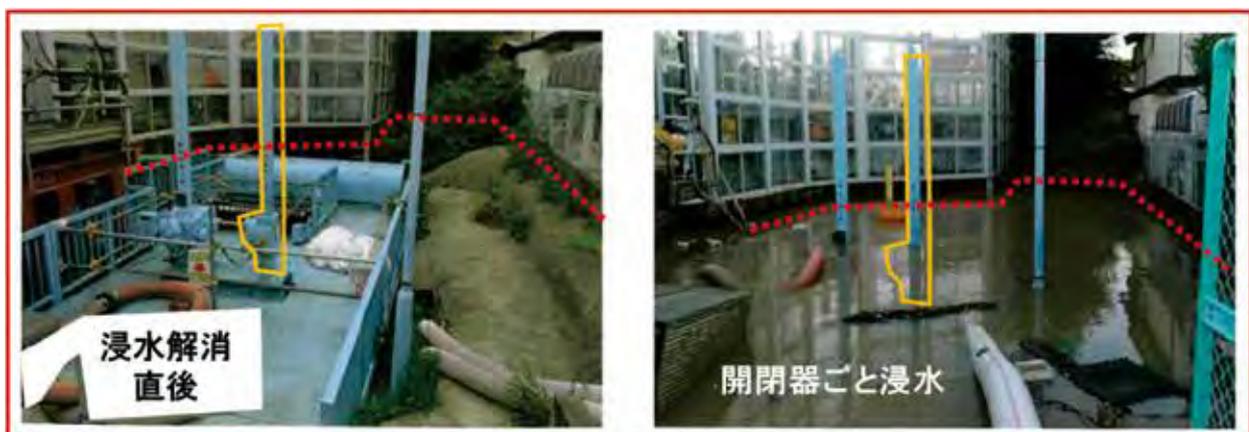


図5 令和元年台風19号に伴う浸水状況<sup>2</sup>

### 3. ポンプゲートの健全性確保における課題

ポンプゲートは、緊急時に確実に運転することが求められる設備であることから、日常点検で健全性を確認しておくことが重要である。通常、ポンプの日常点検では、ポンプを試運転して各部の温度や電流値等のデータを測定し、異常な値の有無を確認する。

しかし、ポンプゲートの日常点検には、以下の2つの課題がある。

第一に、実負荷（水を汲み上げる運転）での試運転ができない。ポンプゲートの特徴として、平常時は河川の水位が低く、水路内に水がないため、水を汲み上げることができない。

第二に、無負荷運転（水を汲み上げない、空状態での運転）を行うとポンプが故障するリスクがある。ポンプを運転し、羽根を回す軸が回転すると、軸と固定部との間に摩擦熱が発生する。ポンプは、自身が汲み上げた水により摩擦部を冷却する構造となっているため、水路内に水がない状態で運転した場合、摩擦部が焼き付いてポンプが故障する。この2つの課題から、健全性を確認するための試運転ができないだけでなく、試運転をするとポンプが故障するリスクがあり、従来は目視点検のみを行っていた。

### 4. 課題に対する解決策

前述した課題を解決するため、ポンプの健全性の診断が可能となる診断装置を導入した。具体的には、ポンプゲート設備に以下の3つの機能を追加することで、普段、水路内に水がない状態でも、試運転による健全性の確認が可能となった。

1つ目は、無負荷運転が可能なポンプの導入である。図6に示すように、回転する軸と固定部との接触部にあたるメカニカルシールという部品を、熱に強いセラミック製のものに変えることで、汲み上げた水により冷却しなくても、10分間程度ならば焼付きを起こさずに運転可能となった。これにより、短い時間であるが、水路内に水のない状態でもポンプの試運転ができるようになった。しかし、それでも運転できる時間は短く、人力で、刻々と変化する複数のデータを記録するには不十分である。

そこで2つ目として、ポンプの運転データを自動で記録できるセンサを導入した。センサをポンプに組み込むことで、短時間の試運転でも、図7に示すような形でポンプの温度、振動、電流等の複数のデータを自動で記録できる。これにより、人力でデータを読み取る

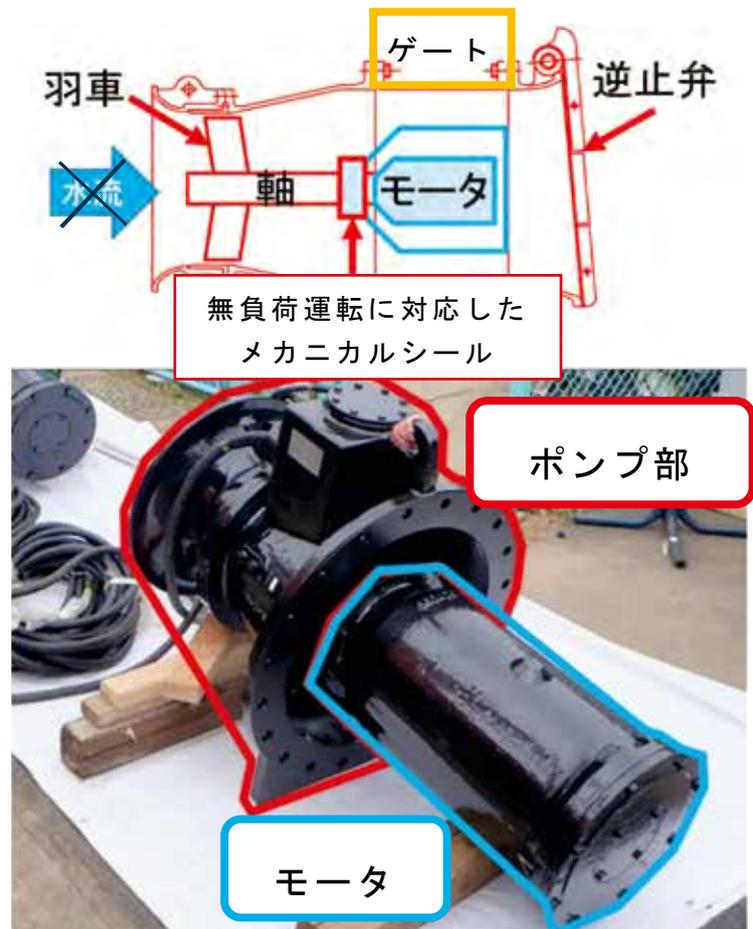


図6 無負荷運転が可能なポンプ

必要がなくなり、短時間の試運転でも十分なデータを取得できるようになった。

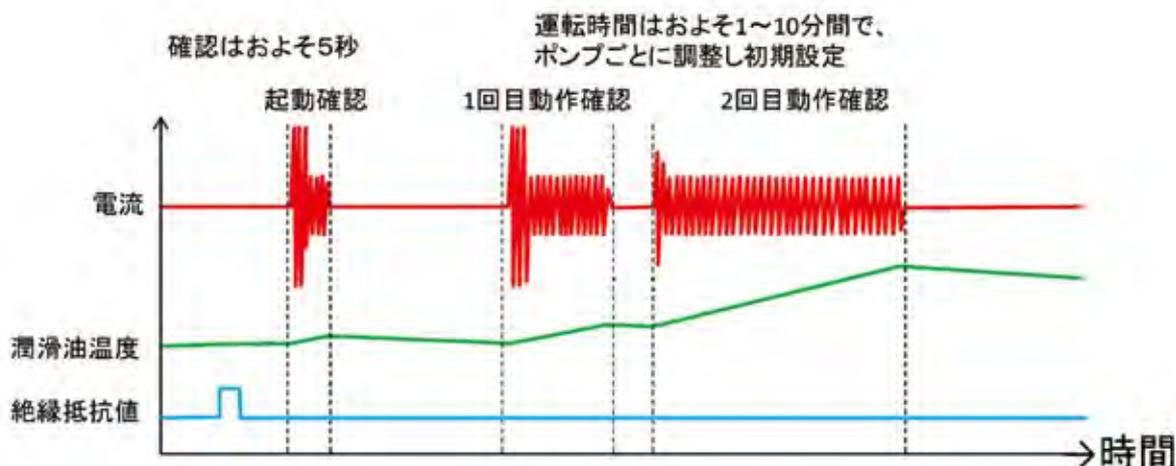


図7 取得する各種データと条件

3つ目は、取得した運転データを解析し、ポンプの劣化状況や故障の予兆を診断する診断装置の導入である。診断装置は、図8に示すようにデータをクラウドサーバに送信すると、インターネット上で解析を行い、

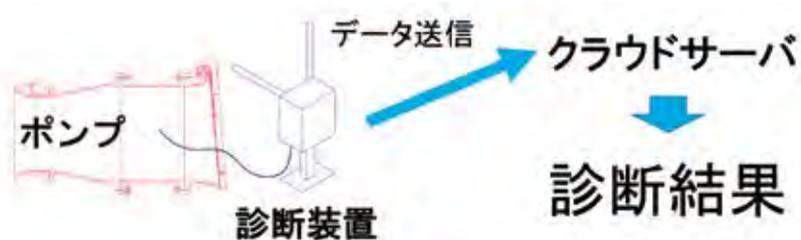


図8 診断装置 模式図

その診断結果を確認できるものである。送信した運転データを設置当初のデータと比較することで、図9に示すように、5項目（潤滑油、摺動トルク、アンバランス、羽根干渉、絶縁低下）について、3段階（正常（A判定）、要経過観察（B判定）、要整備（C判定））で解析結果を確認できる。

この診断結果を参考に、B又はC判定となった該当部分に対して重点的な点検や補修を行うことで、故障を未然に防ぐことができる。

これらの対策により、従来は困難であったポンプゲートの健全性確保が実現できるようになった。

	正常 = A判定	要経過観察 = B判定	要整備 = C判定
① 潤滑油	潤滑油量は正常と推定されます。	潤滑油量がやや減少していると推定されます。直ちに運転に支障がでる可能性は低いです。今後の減少傾向を注視してください。	潤滑油量が減少していると推定されます。運正量の潤滑油を補給してください。急激に減少している場合はメカニカルシールの状態確認が必要です。
② 摺動トルク	摺動トルクは正常と推定されます。	摺動部、メカニカルシール、ベアリングなど摺動部の抵抗がやや増加していると推定されます。潤滑油、アンバランスと合わせて経過を観察してください。	摺動抵抗が増加していると推定されます。まずは摺動部に異物が詰まっているかを確認し、問題ない場合は分解してメカニカルシール、ベアリングの状態確認が必要です。
③ アンバランス	ローターの釣り合いは正常範囲と推定されます。	アンバランスがやや大きい状態と推定されます。振動、騒音に注視して経過を観察してください。	アンバランスが大きい状態と推定されます。振動・騒音が大きくなり、締結部のゆるみや部品の疲労にもつながります。羽根裏、ローターの状態を確認してください。
④ 羽根干渉	羽根先端での異物の干渉は無いと推定されます。	軽微ながら羽根先端で異物がライニングと干渉しながら進んでいる状態が疑われます。振動、騒音と電流値に注視して経過を観察してください。	羽根先端で異物がライニングと干渉しながら進んでいる状態が疑われます。まずは異物がないか確認してください。
⑤ 絶縁低下	絶縁抵抗値は正常範囲です。	絶縁抵抗値がやや低下しています。経過を観察してください。	絶縁抵抗値が運転可能な範囲を下回っています。

図 9 診断結果の例

### 5. 導入にあたって工夫した点

診断装置の導

入にあたっては、更なる課題があった。診断装置でデータを分析するためには、外部インターネット上のクラウドサーバにデータを送る必要があるが、セキュリティ上の観点から、その送信経路に工夫を要した。本来、この分析システムは、センサにより記録したデータを直接クラウドサーバに送信し、解析結果をインターネット



図 10 検討により不可となった送信経路

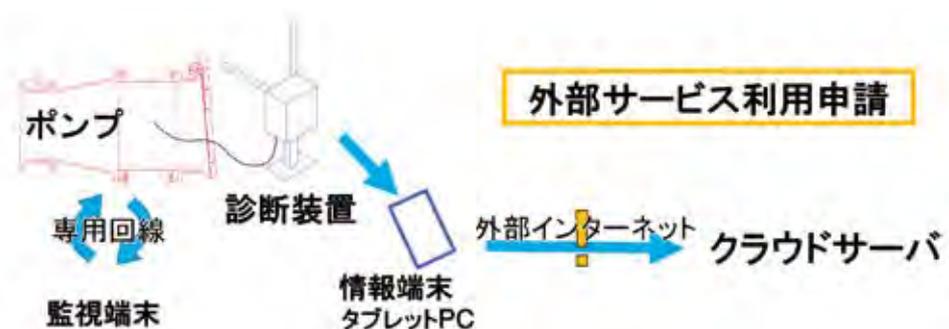


図 11 採用した送信経路

上で閲覧できるものであった。しかし、このデータの送信経路と、インターネット上の外部サービス利用に対して、東京都サイバーセキュリティポリシーにより制限がかけられている。具体的に不可となった送信経路を図 10 に示す。まず、診断装置を直接外部インターネットに接続することは、外部から診断装置に不正アクセスされるリスクがあるため、不可となった。また、データを診断装置から Wi-Fi 接続で当局の PC に送り、局内ネットワークを通じてクラウドサーバに送信することは、診断装置にウイルス等を仕込まれた場合に、局 PC のセキュリティに穴ができるため不可となった。なお、ポンプゲートを遠方か

ら監視操作するために専用回線を使用しているが、外部インターネットとは独立しているので、目的のクラウドサーバに接続できず、データを送ることはできなかった。

解決策として、図 11 に示すとおり、データを一度、専用端末として用意した情報端末（図 12）に保存し、外部インターネット経由でサーバに送信する方法を採用した。この方法を採用した理由は、以下の 3 つである。

- ①外部インターネットや局内ネットワークから診断装置が完全に独立しているため、診断装置に不正アクセスされるリスクが無い。
- ②局 PC を経由しないため、局 PC のセキュリティが確保される。
- ③専用の情報端末にデータは残さず、さらにログイン ID とパスワードを設定することで、情報端末からのデータ流出を防止できる。

なお、送信するデータは数字の羅列であり、単体では意味が分からない秘匿性の高いデータであるため、万が一にも重要な情報は流出しない。

この方法で、セキュリティの問題をクリアすることができた。

ただし、情報端末を外部インターネットに接続し解析結果を閲覧するためには、外部サービス利用申請を行う必要がある。

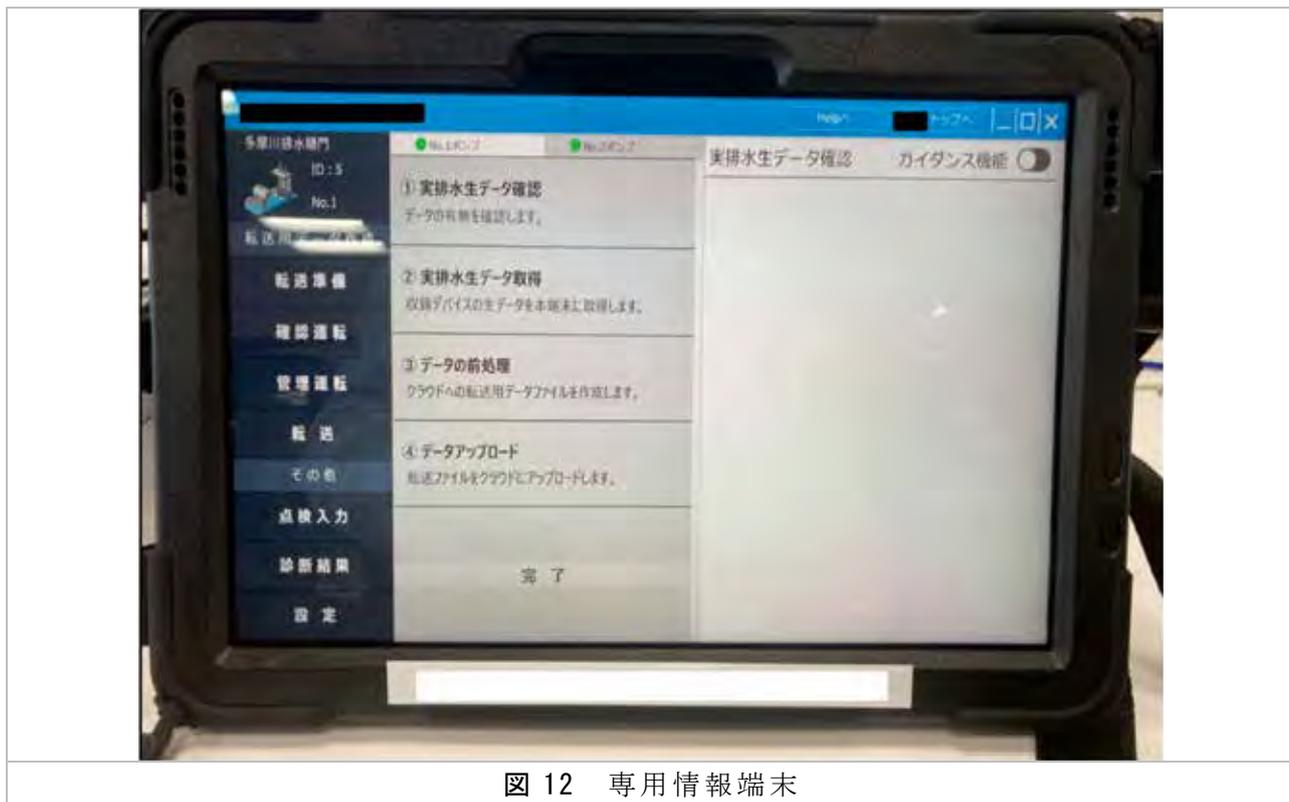


図 12 専用情報端末

## 6. おわりに

ポンプゲートの健全性確認は、台風などの豪雨災害への対応の事前準備として重要である。

本診断装置の導入によって、従来は困難であったポンプゲートの健全性確認に加え、診断に基づいた予防保全を実施することも可能となり、緊急時に使用する設備の信頼性の向上及び危機管理対応の強化を実現できた。

今後も重要設備の安定稼働と確実な予防保全の実施を目指し、さらなる新技術の導入を図っていく。

・参考文献

1.効率的・効果的な浸水対策に資するポンプゲート設備に関する技術マニュアル  
(公益財団法人 日本下水道新技術機構－2019年3月－)

2.大田区「令和元年台風19号における田園調布地区内水解析検討について」  
[https://www.city.ota.tokyo.jp/seikatsu/chiiki/bousai/suigai/2019t19\\_den-en-chofu\\_kensyo-kekka.html](https://www.city.ota.tokyo.jp/seikatsu/chiiki/bousai/suigai/2019t19_den-en-chofu_kensyo-kekka.html)