

東京都下水道局

技術調査年報

-2023-

Vol.47

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

令和 7 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	2
要旨集	3
論文集	31

No.	タイトル	担当部署	氏名	要旨	論文
1 安全性・快適性の向上					
1-1 浸水対策技術					
1	1-1-1 断面欠損が大きい立坑のシールド到達方法について	南部下水道事務所 建設課	山口 昌祐	3	31
2	1-1-2 バス試験走行により、駅前ロータリーを発進立坑用地として活用した枝線の設計事例	第二基幹施設再構築事務所 設計課	今村 凌太	4	36
1-2 再構築技術					
3	1-2-1 日本最長の超長距離下水道シールド施工について～千代田幹線整備事業～	第二基幹施設再構築事務所 工事第二課	水田 周作	5	40
1-3 その他					
4	1-3-1 働中の放流渠における耐震補強工事の仮設計画について～止水困難な高級処理水放流渠吐口のドライ化～	建設部 土木設計課	中村 颯一郎	6	44
2 水環境向上、環境負荷低減					
2-1 合流式下水道の改善					
5	2-1-1 水理模型を用いた合流改善貯留管の空気噴出事象の再現について	第二基幹施設再構築事務所 設計課	吉原 慧	7	50
2-2 水処理技術					
6	2-2-1 第二沈殿池での脱窒浮上抑制及び水質改善への取組	北部下水道事務所 三河島水再生センター 水質管理担当	榎本 賢介 松本 博夫 工藤 菜々子 久保 聡 渡邊 聖央	8	54
7	2-2-2 りん酸計増設等による PAC 注入管理の改善について	東部第一下水道事務所 砂町水再生センター	足立 悠介	9	61
8	2-2-3 LAC 注入設備の運用に関する検討およびセンターりん処理の現況	西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター	佐波 勇希 伊藤 正宏	10	66
9	2-2-4 浜町ポンプ所流入渠マイクロ波式水位計検知異常調査・対策について	東京都下水道サービス株式会社	堀之内 正博 宮崎 栄治 岸 潤	11	76
10	2-2-5 酸素移動効率からみた散気装置の劣化状況の推測	東京都下水道サービス株式会社 施設部 水質課 東京都下水道局 西部第二下水道事務所	田中 歩 小池 範明 石井 享 前保 竜一 町田 真由美 笹原 貴志 小峯 純夫	12	80
11	2-2-6 制限ばっ気による窒素低減の取組	東部第二下水道事務所 中川水再生センター	井上 文恵 腰塚 昭春 山本 孝幸 勅使川原 秀和	13	84

No.	タイトル	担当部署	氏名	要旨	論文
2-3 汚泥処理技術					
12	2-3-1 エネルギー自立型汚泥焼却炉の導入について	建設部 設備設計課	寺原 洋希	14	92
13	2-3-2 浅槽反応タンク散気設備更新工事に伴う対応について	中部下水道事務所 芝浦水再生センター 水質管理担当	多田 琴音 中川 遼太郎 小山 祐樹 高橋 由香里 横田 智之 森田 健史 生井 智仁	15	99
14	2-3-3 後楽ポンプ所熱供給施設における騒音・振動対策について	北部下水道事務所 ポンプ施設課	緒方 美咲	16	104
15	2-3-4 森ヶ崎水再生センター第一沈殿池返水扉動作不良に伴う汚泥ポンプを利用した排水について	森ヶ崎水再生センター 設備管理担当	橘 彩 令和5年度設備管 理担当逆洗運転調 査グループ一同	17	109
16	2-3-5 遠心脱水機二段薬注による難脱水汚泥処理の改善	担当者 東京都下水道サービス㈱ 連盟者 巴工業㈱ ㈱エス・エヌ・エフ	倉持 豪洋 岸上 隆行 食野 悠 バトニエ ヴァンサン	18	114
2-4 地球温暖化対策技術					
17	2-4-1 省エネルギー化のための ASM 風量制御技術の導入検討	流域下水道本部 技術部 設計課	小林 孝行 岸本 長	19	119
18	2-4-2 DO 計を用いた可変圧力制御による送風電力量削減効果等の検証	中部下水道事務所 芝浦水再生センター	安田 将太 水谷 英樹	20	125
2-5 その他					
19	2-5-1 焼却炉内焼結物の成分と生成のメカニズムに関する一考察	東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課	小橋 潤 島田 誠一 曾根 啓一	21	131
3 維持管理向上、事業効率化他					
3-1 維持管理向上技術					
20	3-1-1 送泥管における腐食危険箇所の推定とリスク評価への活用案	東京都下水道サービス株式会社 管路部 管路調整課	植平 健一郎	22	135
21	3-1-2 汚水ポンプ井のスラム堆積防止対策について	施設部 西部第一センター	鈴木 洋介 熊谷 伊織	23	139
22	3-1-3 焼却炉におけるブロウ設備を活用した煙道閉塞の対策について	京都下水道サービス株式会社	門倉 悠 小堀 和男	24	147
3-2 事業効率化、その他					
23	3-2-1 東京都多摩地域における都と市町村の連携した取組～効率的な雨天時浸入水調査～	流域下水道本部 技術部 計画課	逸見 将志	25	150
24	3-2-2 乞田幹線における豪雨時の対応事例について	流域下水道本部 技術部 施設管理課	高橋 杏美	26	154
25	3-2-3 クリンカ及び煙道閉塞物の生成要因と薬剤添加による灰の性状変化に関する考察	東京都下水道サービス㈱ 施設部 水質課	塩谷 聡 佐伯 朋哉 八木澤 和真	27	160
26	3-2-4 建設局事業と連携した、新設主要枝線の設計について	北部下水道事務所 再構築推進課	千葉 琴絵	28	165
27	3-2-5 ニューマチックケーソン工法における躯体の傾斜の修正について～芝浦水再生センター導水渠立坑設置工事～	第二基幹施設再構築事務所 工事第一課	遠藤 大雅	29	171
28	3-2-6 生物活性を利用した迅速測定法による硝化能力の実態調査	東京都下水道サービス株式会社 施設部 水質課 東京都下水道局 東部第二下水道事務所	梶原 大聖 八島 卓寛 樋口 和也 勅使川原 秀和	30	178

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件にのびります。

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
管きよ技術計		4	0	0	0	4
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
維持管理計		19	0	0	2	21
水処理技術	水処理技術	8	0	0	0	8
水処理技術計		8	0	0	0	10
汚泥処理技術	汚泥処理技術	10	0	0	0	10
汚泥処理技術計		10	0	0	0	12
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
有効利用計		1	0	0	1	2
合計		42	0	0	3	45

番号	1-1-1		表題 断面欠損が大きい立坑のシールド到達方法について	
内 容	<p>大田区上池台地区は、「豪雨対策下水道緊急プラン 75 ミリ対策地区」に位置づけられており、本事業は主要枝線φ2600mm・延長約1500mを整備している。</p> <p>当初、直径4mの立坑側の直前でシールド機を停止させ、立坑から推進機でシールド機の面板を開口したのち、接続するものであったが、構造的な懸案があった。検討を行った結果、シールド機を直径4mの円形ライナープレートに約3mの開口を設け、直接到達させることとした。</p> <p>円形ライナープレートの補強リングを3段欠損させてしまうことから、開口補強を設置する必要があった。しかし、通常の開口補強にすると特殊人孔構造を大きく変更するものであったため、取り外し可能なものとした。検討の結果、シールド機の到達前と到達後で段取り替えすることとした。</p> <p>シールド機到達前はH鋼による鋼製支保を設置した。そして、シールド機到達した後、立坑の補強リングとシールド機外殻を溶接し、H鋼の鋼製支保を取り外した。</p> <p>今回、開口率が約8割の大きい施工であったが、シールド機到達を安全に行うことができたので、報告する。</p>			
キーワード	75 ミリ対策地区 主要枝線 シールド シールド機到達			
処理区名	森ヶ崎処理区	位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	浸水対策	
状態区分	工事	新規性		
実施年度	令和4年度	全体期間	平成28年度～令和5年度	
担当部署	南部下水道事務所 建設課 建設工事担当			
発 表 履 歴	局内	令和5年度 設計・工事事例発表会		
	局外			
調査方法				
関連情報				

番号	1-1-2	表題	バス試験走行により、駅前ロータリーを発進立坑用地として活用した枝線の設計事例	
内容	<p>下水道局では、早期に浸水被害を軽減するため浸水の危険性が高い地区を重点化して施設整備を進めている。重点地区の一つである杉並区阿佐谷地区では、駅前ロータリー内のバス停を移設し、発進立坑を築造する必要があった。ロータリーには3つのバス停があり、時間最大30台を超える路線バスが運行する非常に交通量が多い場所となっている。このため、バス事業者立会いの下、処理場内に実寸大でロータリーを再現し、試験走行を行うことでバスが安全に通行できる線形や通行幅等を確認した。</p> <p>本稿では、ロータリー内に立坑を築造する設計内容について、試験走行を踏まえた対応策を実現可能としたバス事業者との調整を中心に報告する。</p>			
キーワード	浸水被害 駅前ロータリー 発進立坑 試験走行			
処理区名	新河岸処理区	位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	浸水対策	
状態区分	設計	新規性		
実施年度	令和4年度	全体期間	令和元年度～令和4年度	
担当部署	第二基幹施設再構築事務所 設計課 設計担当第二			
発表履歴	局内	令和4年度 設計・工事事例発表会		
	局外	令和5年度 第60回下水道研究発表会		
調査方法				
関連情報				

番号	1-2-1	表題	日本最長の超長距離下水道シールド施工について ～千代田幹線整備事業～	
内容	<p>東京の区部下水道は、現在約 16,100km にも及ぶ膨大な管きよを管理している。その多くは老朽化が進み、東京都下水道局では再構築事業を推進しているところである。飯田橋幹線、中段幹線、低段幹線等の汚水幹線は大正時代に整備され老朽化が著しい一方で、常に流下量が多く高水位状態であり、再構築工事に先立つ調査も困難な状況にある。そのため、新たな代替幹線を整備し下水の流れを切り替えることで、既設幹線の水位を低下させ、再構築工事を推進することが必要である。その代替幹線の一つが現在整備中の千代田幹線である。</p> <p>また、千代田幹線は合流式下水道の改善の役割も担っている。外濠および日本橋川の水質改善のため、外堀通り等で貯留施設整備を進めており、完了時に千代田幹線と接続することにより、雨天時において公共水域へ放流される汚濁負荷量を削減することが可能となる。</p> <p>千代田幹線工事は、1 スパンの施工延長が下水道シールドとしては日本最長となる約 8.7km、最大土被り約 60m の超長距離、大深度での施工であった。本工事を安全かつ速やかに進めるため、様々な対策を講じたので報告する。</p>			
キーワード	千代田幹線 シールド工法 大深度 長距離			
処理区名	芝浦処理区	位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	再構築	
状態区分	工事	新規性		
実施年度		全体期間	平成 30 年度～令和 5 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			
	局外	令和 5 年度 第 60 回下水道研究発表会		
調査方法				
関連情報				

番号	1-3-1	表題	稼働中の放流渠における耐震補強工事の仮設計画について ～止水困難な高級処理水放流渠吐口のドライ化～	
内容	<p>下水道局では経営計画 2021 に基づき、震災対策事業を推進しており、水再生センターの放流渠も耐震化対象施設である。一方で下水道処理施設は 24 時間 365 日稼働し続ける必要があり、今回耐震補強工事を行う新河岸水再生センター処理水放流渠も、晴天時、雨天時間問わず、高級処理水を絶え間なく新河岸川へ放流する施設である。加えて、対象施設は簡易放流渠としての機能も兼ね備えていることから、雨天時に簡易処理水を放流している。このため、水路内は常に処理水が流れており、水量が不定期に増減する環境下にある。このような環境下において、水路内で耐震補強工事を行うためには、処理水が放流渠に流入しないよう放流渠を締め切り、水路内に残った残留水を排水ポンプ等で排除する作業（以下、ドライ化という。）を行い、作業環境を整える必要がある。しかしながら、施設機能を停止することができない環境下でのドライ化は困難であり、施設機能を十分理解した上での入念な検討が必要となる。本事例でドライ化に成功した仮設計画について、課題と対応、実施する上で得た知見等を報告する。</p>			
キーワード	耐震補強、放流渠、水路内、ドライ化、仮設計画			
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	震災対策	
状態区分	設計	新規性		
実施年度	令和 4 年度	全体期間	令和 3 年度～令和 5 年度	
担当部署	建設部 土木設計課 設計担当・第二			
発表履歴	局内	令和 4 年度 設計・工事事例発表会		
	局外			
調査方法				
関連情報				

番号	2-1-1	表題	水理模型を用いた合流改善貯留管の空気噴出事象の再現について	
内容	<p>善福寺川（上流）合流改善貯留管は、降雨初期の特に汚れた雨水を貯留し、関連する水域の水質改善を図るもので、管径 2,400mm、延長 3.4 km、貯留量約 15,000m³ の長大貯留管である。</p> <p>本貯留管は令和 3 年より供用を開始したが、同年 9 月の台風による豪雨時に空気噴出事象が発生し、対策が必要となった。このため、本貯留管を模した水理模型実験により空気噴出事象を再現し、管きょ内における水と空気の挙動による水理的問題点を把握することとした。本稿では、この水理模型実験の結果について報告を行う。</p>			
キーワード	合流改善 貯留管 空気噴出現象 水理模型実験			
処理区名	新河岸処理区	位置区分	管きょ	
職種区分	土木	施策区分	合流改善	
状態区分	調査 研究	新規性		
実施年度	令和 4 年度	全体期間	令和 4 年度	
担当部署	第二基幹施設再構築事務所 設計課 事業調査担当			
発表履歴	局内			
	局外	令和 5 年度 第 60 回下水道研究発表会		
調査方法				
関連情報				

番号	2-2-1		表題	第二沈殿池での脱窒浮上抑制及び水質改善への取組		
内 容	<p>三河島水再生センターでは、りん除去を主な目的とした（擬似）嫌気 - 好気活性汚泥法を採用している。水処理系列によって、一部の反応槽では亜硝酸化が進行しやすい傾向があり、また、第二沈殿池（以下「二沈」という。）では脱窒による汚泥浮上が起こりやすく一年を通した硝化促進運転が難しい。</p> <p>そこで、年間を通して良好かつ安定的な窒素処理を行うため、硝化促進運転と二沈での汚泥浮上抑制を両立させる運用方法を検討し、令和 5 年度中に当センターで発生した問題に対し下記の対策を実施し、その影響を調査した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ライザー管バルブを調整し、反応槽での槽内脱窒の促進による窒素処理の改善 ・施設停止の影響を考慮した適切な二沈滞留時間の確保による汚泥浮上の抑制 <p>調査の結果、一定の効果が見受けられたこととあわせ、汚泥浮上に関するその他の要因の推測など様々な知見を得ることができたため、こうした令和 5 年度における取組の状況について報告する。</p>					
キーワード	脱窒浮上 槽内脱窒 送風量調整 二沈滞留時間 透視度					
処理区名			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 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 5 年度		
担当部署	北部下水道事務所 三河島水再生センター 水質管理担当					
発 表	局内	令和 5 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	2-2-2		表題	りん酸計増設等による PAC 注入管理の改善について	
内 容	<p>砂町水再生センターでは、汚泥処理返流水由来のりん負荷が非常に高くなっており、水処理へ流入するりん負荷量の半分以上を汚泥処理返流水が占めている。水処理系列の中でも、主に汚泥処理返流水が流入している東陽I、II系水処理施設は、特にりん処理が不安定になりやすい傾向があり、一時的に放流水のりん濃度が法令基準値近くまで上昇する場合があるため、反応槽に設置しているりん酸計の値をもとにポリ塩化アルミニウム(以下、PAC)の注入を行っている。</p> <p>しかし、これまでは東陽I、II系にりん酸計が2台しか設置されていなかったため、各槽のりん酸性りん濃度に応じたPACの適切な注入管理ができず、槽によって無駄な注入や注入不足が生じていた。また、特にりん処理が不安定になった際には、PACが長期間連続で注入され東陽I、II系のPAC貯留量が不足する事態も発生していた。</p> <p>そこで、りん酸計の増設に向けた調査を行い、工事要望を行った結果、令和4年10月に増設が実現したため、その効果を検証した。また、東陽I、II系のPAC貯留量の不足についても、東陽III系のPAC貯留槽からの転送配管を設置することで対応したため、あわせて報告する。</p>				
キーワード	ポリ塩化アルミニウム(PAC) りん酸計 汚泥処理返流水 りん処理				
処理区名	砂町処理区	位置区分	処理場 水再生センター		
職種区分	環境検査	施策区分	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	令和元～5年度		
担当部署	東部第一下水道事務所 砂町水再生センター 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				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	2-2-3		表題 LAC 注入設備の運用に関する検討およびセンターりん処理の現況
内 容	<p>みやぎ水再生センターでは、令和 2 年度の焼却炉更新に伴い、脱水設備をベルトプレス脱水機から遠心脱水機に変更した。設備の更新により運用が変化し、汚泥処理量が増加したことで、返流水のりん負荷が高まった。その対策として、令和 3 年 11 月から、遠心脱水機に投入する濃縮汚泥が通過する分配槽に、LAC（液体塩化アルミニウム）を注入する運転を開始した。</p> <p>また、令和 4 年度以降、新しい焼却炉の効率的な運用を目指し、汚泥処理量をさらに増加させる試みを行った。落合受泥の引抜量を増量し、加圧浮上濃縮槽の運転台数を 2 槽から 3 槽にすることで実施した。</p> <p>新設した LAC 注入設備による返流水のりん負荷量の削減効果は確認できたが、センター全体のりん処理に及ぼす定量的な効果の把握のためには、今後も継続して検証する必要がある。</p> <p>LAC を注入することによって想定された、pH 低下によるりんの再溶出や、汚泥の生物活性低下を引き起こすアルミニウムの水処理系内への移行は、通常使用している LAC 注入量では見られなかった。</p> <p>加圧 3 槽運転は、焼却炉の自燃に必要なケーキ量の確保が可能になり焼却炉の効率的な運用に寄与する一方で、1 か月以上継続したケースでは、活性汚泥中のりん含有率が増加した後に、放流水の全りん濃度が上昇した。</p>		
キーワード	LAC 返流水 りん負荷 再溶出 アルミニウム 焼却炉		
処理区名	小台処理区	位置区分	水再生センター 処理水 放流水 汚泥
職種区分	環境検査	施策区分	高度処理 温室効果ガス削減対策
状態区分	調査 研究	新規性	
実施年度	令和 5 年度	全体期間	令和元年度～令和 5 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 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		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	2-2-4	表題	浜町ポンプ所流入渠マイクロ波式水位計検知異常調査・対策について	
内容	<p>下水道施設の安定運営において、運転監視に使用する計測設備は、下水処理のプロセスの状態管理及び自動制御に必要不可欠な設備である。このため、予防保全の観点から、定期的に点検・調整を行い、計測の安定性・信頼性を確保することが重要である。</p> <p>東京都下水道局浜町ポンプ所では、流入渠の水位計測に投込式水位計及びマイクロ波式水位計を使用している。水位変動の把握は、運転管理に重要な要素となることから、測定原理の異なる機種を併用することで、故障時のバックアップ機能として、水位計測の信頼性・継続性を維持している。</p> <p>しかし、令和4年頃から水位計測における「流入渠水位偏差大」の故障が多発するようになり、現場状況を調査したところ、マイクロ波式水位計の水位検知に異常が発生していることが分かった。</p> <p>本稿では、マイクロ波式水位計における水位検知異常の原因調査及び対策について報告する。</p>			
キーワード	計測設備 マイクロ波式水位計 水位偏差大 検知異常			
処理区名	芝浦処理区	位置区分	ポンプ所	
職種区分	設備	施策区分	維持管理向上	
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 中部北部センター 中部ポンプ所保全事業所			
発表履歴	局内	令和5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	2-2-5			表題	酸素移動効率からみた散気装置の劣化状況の推測		
内 容	<p>浮間水再生センターのメンブレンパネル式散気装置の一部は、設置から15年以上経過し、経年劣化（剥離等）がみられる。一方、散気装置の劣化度を定期的に評価するには、多くの労力を有するなどの課題が多い。</p> <p>そこで、必要空気量の算出式及び水質・運転データを基に酸素移動効率を算定する手法で、簡易に散気装置劣化状況の推測が可能か調査を行った。</p> <p>その結果、算定した酸素移動効率（10回平均値）は、設置後18年を経過した従来型メンブレンの反応槽では、設置当初より大幅に低下していた。</p> <p>一方、低圧損型メンブレンの反応槽では、10年経過しても大きな低下は見られなかった。また、推定した酸素移動効率の低下率は、散気板、従来型メンブレン、低圧損型メンブレンの順に小さくなる傾向を示したことから、低圧損型メンブレンは他の散気装置に比べ経年劣化が小さいことが推測された。</p> <p>以上の結果から、本調査で用いた手法は、散気装置の劣化状況を定期的に把握する支援ツールとして有効であり、散気設備更新時期の目安を知る上で活用可能であることが示唆された。</p>						
キーワード	酸素移動効率、メンブレンパネル、散気装置						
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 維持管理向上、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4年度		全体期間	令和4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						
	局外	令和5年度 下水道研究発表会					
調査方法	直営調査						
関連情報							

番号	2-2-6		表題	制限ばっ気による窒素低減の取組	
内 容	<p>下水道局では、水再生センターにおける水質改善と省エネルギーの両立を実現するため、『放流水の全窒素濃度』と『送風電力量原単位』の目標値を定めた二軸管理図による評価を行い、水処理運転の最適化に努めている。</p> <p>放流水の全窒素濃度のさらなる低減に向けて、中川水再生センターにおける3つの処理方式（A₂O法、A0法、標準法）の中で、窒素濃度が最も高いA0法と、処理水量の割合が高い標準法に着目し、好気槽の送風を一部制限して脱窒を促進させる調査を実施した。調査の結果、送風量を増やすことなく窒素低減の効果が得られた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・A0法反応槽では、C回路の送風を制限することで窒素低減の効果が見られた。制限ばっ気をしたC回路のDO値は低下しており、無酸素状態となることで脱窒が進行したと推測される。 ・標準法反応槽でも、C回路の送風を制限することで窒素濃度を約20%低下させることができたが、標準法ではA0法と異なり回路間に隔壁がなく、送風を制限したC回路のDO値は対照槽と差が見られなかった。トレーサー試験をした結果、調査槽では対照槽に比べて反応槽の混合・逆流が進み、窒素濃度の低減につながったと推測される。 				
キーワード	A0法 標準活性汚泥法 制限ばっ気 窒素濃度				
処理区名	中川処理区	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		
実施年度			全体期間	令和2年度～令和5年度	
担当部署	東部第二下水道事務所 中川水再生センター 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	第61回下水道研究発表会			
調査方法	直営調査				
関連情報	経営計画 2021				

番号	2-3-1		表題	エネルギー自立型汚泥焼却炉の導入について	
内 容	<p>当局では、「経営計画 2021」及び「アースプラン 2023」に基づき、温室効果ガス排出量の削減と再生可能エネルギー活用の拡大に取り組み、2030 年カーボンハーフ実現を目指している。その取組の一つとして、エネルギー自立型汚泥焼却炉の導入を進めている。本稿では、エネルギー自立型汚泥焼却炉の発注から施工後の経過について報告する。</p> <p>1. エネルギー自立型汚泥焼却炉の発注について</p> <p>新河岸水再生センター汚泥焼却設備再構築その 2 工事の発注に当たり、エネルギー自立型汚泥焼却炉を当局で初めて導入することになった。当局の技術管理委員会の実用化評価を得たエネルギー自立型汚泥焼却炉の型式は 5 種類であった。各社に技術照会を依頼し、経済性、維持管理性、配置計画等を比較検討した結果、条件を満たしトータルコストも大きく変わらない 4 種類の型式を併記する形で発注を行った。</p> <p>2. 導入した焼却炉について</p> <p>本工事は、「最適燃焼制御付気泡流動炉（250t 炉）」を導入した。この型式は、流動空気量の最適な制御を行うことで、N₂O の削減を図るとともに、超低含水率型脱水機との組み合わせで原則補助燃料を使用しないものである。また、廃熱を利用して、バイナリー発電を行い、汚泥焼却炉で使用する電力を自給することで CO₂ の削減を図るものである。</p> <p>3. 今後について</p> <p>エネルギー自立型焼却炉の試運転時に判明した課題及び対策を紹介する。</p>				
キーワード	再生可能エネルギー 廃熱利用 バイナリー発電 温室効果ガス削減 電力				
処理区名	新河岸処理区	位置区分	水再生センター 汚泥		
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	設計 工事	新規性			
実施年度	令和 4 年度	全体期間	平成 28 年度～令和 5 年度		
担当部署	建設部 設備設計課 機械設計担当・第二				
発表履歴	局内	令和 5 年度 下水道設備研究発表会			
	局外				
調査方法					
関連情報	経営計画 2021 アースプラン 2023				

番号	2-3-2	表題	浅槽反応タンク散気設備更新工事に伴う対応について	
内容	<p>芝浦水再生センターの処理能力の約 2 割を占める浅槽系列は、散気設備が劣化しているため、令和 5 年度より 6 槽ある反応タンクの散気設備を年度毎に 1 槽ずつ更新している。当系列では、1 槽排水した場合、老朽化にともない隣接する槽からの水圧により仕切り壁が倒壊する恐れがあることから、排水せずに潜水士が水中施工で工事を行うこととしている。</p> <p>令和 5 年度の浅槽 1 号槽の工事において、反応タンク内の活性汚泥を置換する際に発生した課題に対する対応及び更新後に実施した性能調査の結果について報告する。</p>			
キーワード	散気設備更新、水中施工、性能調査、老朽化			
処理区名	芝浦処理区	位置区分	水再生センター、処理水、汚泥	
職種区分	環境検査	施策区分	再構築、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		
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 水質技術報告会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-3-3	表題	後楽ポンプ所熱供給施設における騒音・振動対策について	
内 容	<p>東京都下水道局後楽ポンプ所は、雨水ポンプ所としての機能に加え、汚水幹線から引き入れた未処理の下水を熱源として、周辺地域に冷暖房の熱エネルギーを供給する熱供給施設を有している。</p> <p>一方で、本ポンプ所はオフィスビルとの合築で、上層階が店舗や事務所として利用されており、ポンプ所の運転管理を行う中で、熱供給施設における設備運転時の振動による騒音が、地上階の事務所へ伝搬していたことが確認された。</p> <p>今回、騒音・振動の発生・伝搬状況を調査し、設備の振動対策を実施した結果、事務所において騒音の低減効果が得られたため、その対策内容と効果について報告する。</p>			
キーワード	オフィスビル合築 熱供給施設 騒音・振動			
処理区名	三河島	位置区分	ポンプ所	
職種区分	設備	施策区分	騒音振動対策	
状態区分	維持管理	新規性	新規知見あり	
実施年度	令和3年度	全体期間	平成31年度～令和3年度	
担当部署	北都下水道事務所 ポンプ施設課 ポンプ所設備整備担当			
発 表	局内	令和4年度下水道設備研究発表会		
履 歴	局外	令和5年度 第60回下水道研究発表会		
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	2-3-4	表題	森ヶ崎水再生センター第一沈殿池返水扉動作不良に伴う汚泥ポンプを利用した排水について		
内容	<p>森ヶ崎水再生センターは、日本最大の処理能力を有する処理場であり、施設は運河を隔てて東西二つに分かれている。当センターは、施設の運転管理業務等を局職員が行い、設備の保全管理業務を東京都下水道サービス(株)に委託することで運営している。令和5年2月のTGS定期点検において、西処理施設第一沈殿池2系8号池の返水扉8号が動作不良であることが確認され、池を排水して内部調査を行うこととなった。しかしながら、8号池には返水扉が今回動作不良となったものしか設置されておらず、内部調査を行うためには返水扉を使用する方法以外で当該池の排水作業を行う必要があった。いくつかの手法を検討した結果、汚泥ポンプを使用して8号池の水を他の池に移送させる逆洗運転を行うこととした。この逆洗運転について有用性が認められたため報告する。</p>				
キーワード	逆洗運転 排水作業 汚泥ポンプ 沈殿池 運転管理				
処理区名	森ヶ崎処理区	位置区分	処理場 水再生センター		
職種区分	設備	施策区分	維持管理向上		
状態区分	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5年度		
担当部署	森ヶ崎水再生センター 設備管理担当				
発表履歴	局内	令和5年度 第43回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	2-3-5	表題	遠心脱水機二段薬注による難脱水汚泥処理の改善	
内容	<p>南部スラッジプラントの汚泥は土日や長期連休明けに難脱水になり、含水率が上昇する傾向があるため、まず含水率の低減化を目的とした汚泥投入配管内で薬液との攪拌能力を有する改善を行った。しかし、含水率の低減化は確認できたが、ろ液のSS濃度が上昇する傾向が見られた。</p> <p>次に、難脱水汚泥の含水率とろ液のSS濃度低減化を目的とした机上試験を行う中、薬液注入を二段階に分けて行うことで共に低減できることが確認できたので、この内容を基に、実機での二段薬注調査を実施した結果、効果が確認できたので報告する。</p>			
キーワード	遠心脱水機 薬注 難脱水汚泥 含水率 SS濃度			
処理区名	森ヶ崎	位置区分	汚泥	
職種区分	設備	施策区分	汚泥処分 汚泥資源化	
状態区分	調査 研究	新規性		
実施年度	令和3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 南部森ヶ崎センター 南部スラッジ事業所			
発表履歴	局内	令和4年度 センター・ポンプ所管理業務委託 技術成果報告会		
	局外	令和5年度 第60回 下水道研究発表会		
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-4-1	表題	省エネルギー化のための ASM 風量制御技術の導入検討	
内容	<p>当局では、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、2030 年のカーボンハーフの実現に向けて、省エネルギー設備の導入拡大や再生可能エネルギーの利用拡大などを推進している。</p> <p>当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 CO₂ 排出量は全体の約 45.3% を占め、工程の省エネルギー化が課題である。水処理工程での電力は、主に反応槽への送風で使用されるため、送風量を削減することが重要である。このため、省エネルギーと処理水質の向上を両立する新たな送風量制御技術の開発を推進している。2020 年には民間企業との共同研究により、活性汚泥モデル演算式 (ASM: Activated Sludge Model) を用いた風量制御技術を開発した。この ASM 風量制御技術とは、反応槽内の下水処理について、流入量や水質をもとに既存の理論式を用いたシミュレーションを行うことで、リアルタイムに送風量を制御する技術のことである。なお、本技術の実機場への導入は全国で初めてである。今回は、ASM 風量制御を導入するにあたって効率的な回路数と風量演算周期を検討したので、報告する。</p>			
キーワード	省エネルギー、処理水質の向上、ASM 風量制御技術、シミュレーション、実機場への導入			
処理区名	南多摩処理区	位置区分	水再生センター	
職種区分	設備	施策区分	再構築、高度処理、温室効果ガス削減対策	
状態区分	設計	新規性	新規知見あり	
実施年度	令和 4 年 4 月から (継続中)	全体期間	令和 4 年 4 月から (継続中)	
担当部署	流域下水道本部 技術部 設計課 電気設計担当			
発表履歴	局内	令和 5 年度 下水道設備研究発表会 令和 4 年度 設計・工事事例発表会 (カワセミ)		
	局外	令和 5 年度 第 60 回下水道研究発表会		
調査方法	直営調査			
関連情報	経営計画 2021			

番号	2-4-2	表題	D0 計を用いた可変圧力制御による送風電力量削減効果等の検証	
内容	<p>東京都下水道局では、新たな地球温暖化防止計画の指針となる「アースプラン 2023」を策定し、温室効果ガス排出量を抑制する新技術の開発や導入等の取組を強化している。</p> <p>芝浦水再生センターでは、センター内電力使用量の約 4 割を送風機が占めており、削減が求められている。</p> <p>そこで、送風機から反応槽までの空気本管に着目した新たな省エネ技術である「可変圧力制御」について、実施設で検証を行い、一定の電力削減効果が得られたため、その結果について報告する。</p>			
キーワード	D0 計 可変圧力制御 温室効果ガス 電力 省エネルギー			
処理区名	芝浦処理区	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	
状態区分	調査 研究	新規性	新規知見あり	
実施年度	令和 3 年度	全体期間	令和 2 年度～令和 3 年度	
担当部署	中部下水道事務所 芝浦水再生センター 設備管理担当、設備整備担当			
発表履歴	局内	令和 5 年度 下水道設備研究発表会		
	局外	第 60 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	2-5-1	表題	焼却炉内焼結物の成分と生成のメカニズムに関する一考察	
内容	東京都下水道サービス（株）は、東京都下水道局の汚泥処理の包括委託業務を行っているが、近年、高度処理の導入など汚泥中のりん含有率の上昇に伴い、クリンカの発生や煙道閉塞といったトラブルが発生している。令和3年1月には、23区内の一箇所の焼却設備から同時に色や形状が異なるクリンカや閉塞物等の焼結物が発生し、焼却炉が停止した。本調査では、その際に発生した焼結物について、成分分析、SEM-EPMAによるバインダー成分の解析及び膠着度試験を行い、生成メカニズムについて考察した。			
キーワード	汚泥処理、焼却炉、クリンカ、閉塞物、りん含有率			
処理区名		位置区分	水再生センター 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	新規知見あり	
実施年度	令和3年度	全体期間		
担当部署	東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 設備技術開発担当			
発表履歴	局内			
	局外	第60回 下水道研究発表会 講演集 N-10-4-2 p 1123~1125 (令和5年)		
調査方法				
関連情報				

番号	3-1-1	表題	送泥管における腐食危険箇所の推定とリスク評価への活用案	
内容	<p>東京 23 区では、約 6,000 万 m³/年もの汚泥が発生する。この汚泥を輸送する送泥管の延長は 200km を超えており、一部区間は、法定耐用年数を超過し、老朽化・硫酸腐食が進行している。ひとたび漏泥事故が発生した場合、甚大な影響が生じる恐れがあることから、送泥管の危機管理手法の確立が求められている。</p> <p>そこで当社では、送泥管に関する情報を収集・整理し、机上スクリーニングにより腐食危険推定箇所（気相部：動水勾配線より上部）を抽出した台帳図整備を進めている。本稿では、実際に事故履歴を有する下水処理場間の送泥管において、気相部の比較検証（当初設計と現況）を行うとともに、リスク評価に向けた一例を報告する。</p>			
キーワード	送泥管 台帳図 腐食危険推定箇所 リスク評価			
処理区名		位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	腐食対策 防食対策	
状態区分	維持管理	新規性		
実施年度	令和 5 年度	全体期間	令和 5 年度	
担当部署	東京都下水道サービス株式会社 管路部 管路調整課			
発表履歴	局内	令和 5 年度 設計・工事事例発表会		
	局外	令和 5 年度 第 60 回下水道研究発表会		
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	3-1-2		表題	汚水ポンプ井のスカム堆積防止対策について	
内 容	<p>中野水再生センターの汚水ポンプ井は、流入部と汚水ポンプの吸い込み口が対角線を結んだような位置関係にあり、流れが緩やかになる部分にスカムが厚く堆積して固まっている。スカム対策として、ポンプ井攪拌機、スプレーノズルが設置されているものの、効果的に働いていない。</p> <p>そこで、これらの機器の設置状況を調査し、攪拌機の設置高さの変更や、スプレーノズルの変更や向き調整等により一定の効果が確認できたのでこれを報告する。</p>				
キーワード	スカム体積防止対策				
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	臭気対策、維持管理向上		
状態区分	維持管理	新規性			
実施年度	令和3年度	全体期間			
担当部署	施設部西部第一センター中野保全事業所 鈴木洋介				
発表履歴	局内	令和4年度技術成果報告会			
	局外	令和5年度下水道展			
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	3-1-3	表題	焼却炉におけるブロワ設備を活用した煙道閉塞の対策について	
内容	<p>当事業所では、2015年4月より新3号炉(加圧炉)が稼働しているが、りん等による影響を受け、煙道で灰詰まりが発生する。これらの灰詰まりは自然に解消することなく、状況の悪化により、焼却炉の停止に繋がってしまう。そのため、煙道閉塞抑制を目的に、ブロワのみを運転し、煙道に付着した灰を払う運転(灰払い運転)を実施している。本調査では、灰払い運転の効果検証及び、その効果的な実施方法を検討する。</p>			
キーワード	煙道閉塞 りん			
処理区名	新河岸処理区	位置区分	汚泥	
職種区分	設備	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2年度～令和3年度	全体期間	令和2年度～令和3年度	
担当部署	東京都下水道サービス株式会社 施設部 西部第二センター 新河岸スラッジ事業所			
発表履歴	局内	令和4年度 下水道設備発表研究会		
	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				

番号	3-2-1	表題	東京都多摩地域における都と市町村の連携した取組 ～効率的な雨天時浸入水調査～	
内容	<p>雨天時浸入水対策にあたっては、広大な流域から発生源対策を行うべきブロックを段階的に絞り込むことが不可欠であるが、浸入水量の多いブロックの絞り込み調査の方法が定まっていないことが課題であった。そこで、流域下水道管理者である都は、流域関連公共下水道管理者である市町村が行う調査方法について、技術的事項をまとめた「手引き」を作成した。流量計測やデータ分析の実施手法を本手引きで定めることにより、計測から優先対策ブロックの選定までの作業を効率的に行うことが可能となった。</p>			
キーワード	雨天時浸入水 絞り込み調査 流量計測 手引き			
処理区名		位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	危機管理	
状態区分	調査 研究、計画	新規性		
実施年度	令和4年度	全体期間	令和4年度	
担当部署	流域下水道本部 技術部 計画課			
発表履歴	局内			
	局外	令和5年度 第60回下水道研究発表会		
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	3-2-2		表題	乞田幹線における豪雨時の対応事例について	
内容	<p>乞田幹線は分流式の汚水幹線である。令和3年8月に多摩市で線状降水帯が発生し、雨天時侵入水が継続流入したことにより多摩市永山橋付近の人孔周囲で道路舗装が隆起し、溢水する被害が発生した。このため、人孔上部を既存のGLVから空気圧開放装置に改良した。同時に、浸水被害等を軽減させるため、マンホールアンテナの水位情報を活用し、多摩市と連携した初動体制を構築したので報告する。</p> <p>多摩市における被害箇所は伏越構造の上流側人孔である。降雨強度20mm/h程度の雨が長時間継続したことで、急激に管路内の空気圧と水位が上昇し、人孔周辺の舗装隆起と溢水被害が発生した。また、流域本部による状況把握や応急対応に使用する資材運搬等に時間を要することも明らかとなった。このことにより、管路内空気圧の急激な上昇に対応可能な既存のGLVに代わる人孔蓋及び短時間での溢水対策用資材の準備、対応方法等を検討する必要が生じた。</p> <p>(1) GLVから空気圧開放装置への改良</p> <p>人孔蓋の構造をGLVから空気圧開放装置に改良することで、圧力開放面積を4.7倍に拡大し、幹線内の圧力を低下させて舗装隆起を防止した。</p> <p>(2) 多摩市と連携した初動対応体制の構築</p> <p>多摩市と多機能型マンホール蓋の水位情報を共有し、参集条件を設定した。また、多摩市が所有している現場付近の資材置場を活用し、止水板等の資材を共有することにより溢水の恐れがある際の初動体制を強化した。</p> <p>令和5年6月の台風2号到来時は、局所的集中豪雨による舗装隆起は発生しなかった。また、溢水被害はあったが、多機能型マンホール蓋の水位情報を共有したことで、迅速な現場対応を可能とした。多摩市による事前の資材配置や初動体制を強化したことにより、浸水被害等を軽減することができた。今後も、多摩市と連携し、雨天時侵入水対策に取り組み、安定的な下水道機能の確保を目指す。</p>				
キーワード	乞田幹線、浸水対策、伏越人孔、豪雨対策				
処理区名	南多摩処理区	位置区分	管きよ		
職種区分	土木	施策区分			
状態区分			新規性		
実施年度			全体期間		
担当部署	流域下水道本部 技術部 施設管理課				
発表履歴	局内				
発表履歴	局外	令和5年度 第60回下水道研究発表会			
調査方法					
関連情報					

番号	3-2-3	表題	クリンカ及び煙道閉塞物の生成要因と薬剤添加による灰の性状変化に関する考察	
内容	<p>近年、東京都では水処理の高度処理化による汚泥中のりん含有率上昇が起因とされる、汚泥焼却炉の煙道(焼却炉～空気予熱器間)が閉塞する事案が発生している。一方、合流式下水道では、降雨後に土砂由来の高融点物質(アルミニウムやケイ素など)が流入するため、焼却灰の融点が増し、煙道が閉塞するリスクを低下させていることが確認されている。</p> <p>そこで、本調査では、窯業で用いられるゼーゲル式に着想を得て、薬剤(アルミニウム、ケイ素)の添加による焼却灰の性状変化、X線回折装置を用いたクリンカ、煙道閉塞物、焼却灰の構造解析により、クリンカ及び煙道閉塞物の生成抑制効果について評価を行った。</p> <p>その結果、脱水ケーキを600℃で灰化した試料にアルミニウム、ケイ素を添加した実験では、面積収縮率及び圧壊強度の数値に改善傾向がみられ、煙道閉塞物等の生成抑制の効果が確認された。また、アルミニウム添加した灰化後の脱水汚泥には、クリンカや煙道閉塞物に高頻度で確認されたりん酸鉄アルカリ(土類)金属[NaCaFe(PO₄)など]の消失がみられた。一方、高融点物質のAlPO₄及び閉塞危険性の低い焼却灰に高頻度で確認されたCa₉Fe(PO₄)₇が生成する傾向を示し、煙道閉塞等に対する抑制効果が示唆された。</p>			
キーワード	クリンカ、煙道閉塞物、りん酸アルミニウム、りん酸鉄アルカリ(土類)金属			
処理区名	砂町処理区	位置区分	汚泥	
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4年度	全体期間	令和4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			
	局外	令和5年度 下水道研究発表会		
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-2-4		表題	建設局事業と連携した、新設主要枝線の設計について	
内 容	<p>防災性向上を目的とした特定整備路線（建設局・補助線街路第 90 号線）の事業計画区間において、流域切替及び既設主要枝線の流下能力不足解消を図る新設主要枝線の設計を行った。道路整備事業用地の厳しい借用期限遵守のために、設計条件の大幅な見直し及び再検討による工期短縮事例を報告する。</p> <p>本件は、藍染川幹線に流入する荒川区荒川二、七丁目付近の流域を西日暮里幹線に切り替えるとともに、既設主要枝線の流下能力不足解消を図る主要枝線を新設するものである。当初建設局との協議により、道路整備を開始するまでの間に、未買収用地を避けた線形で布設を行うという条件で事業用地借用の承諾を得た。未買収用地を考慮した線形で設計を行ったところ、急曲線施工が避けられず工期が長くなることから、借用期間の条件を満たさなかった。</p> <p>その後、用地取得状況を踏まえ現状を再確認したところ、大幅に買収が進み、設計と条件が変わっていた。この変化を踏まえ再検討した結果、急曲線施工が必要無くなること等から、工期の短縮や工事費の大幅な削減を図れることが確認できた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・用地取得状況を踏まえ、急曲線部（R=35 等）を無くしたことにより、半管及び高額な外殻鋼管付きコンクリート管での施工が不要となった。これに伴い、推進工の施工日数短縮及び推進管材料費の大幅な削減できた。 ・工程を考慮し再検討の結果、本管勾配を大きくすることで、管径を縮小した。 ・本管の縮径及び線形の変更に伴い、人孔構造の全面的な見直しにより規模を縮小した。その結果、都知事占用協議対象外となり、協議期間を削減できた。 <p>本案件は、道路整備事業を行っている現場における主要枝線の新設工事であることから、施工期間の制約や周辺環境の大幅な変化等、特有の課題があった。当初設計条件では用地借用期限内での施工が不可能であったが、周辺環境の変化に伴い与条件が変わり、主要枝線の線形、人孔形状及び推進管種等を全面的に見直した結果、工期短縮及び工事費の削減が可能となり、無事起工できた。</p>				
キーワード	藍染川幹線、建設局、特定整備路線、道路整備事業、				
処理区名	三河島処理区	位置区分	管きょ		
職種区分	土木	施策区分	再構築		
状態区分			新規性		
実施年度			全体期間		
担当部署	北部下水道事務所 再構築推進課				
発 表	局内				
履 歴	局外	令和 5 年度 第 60 回下水道研究発表会			
調査方法					
関連情報					

番号	3-2-5		表題	ニューマチックケーソン工法における躯体傾斜の修正について ～芝浦水再生センター導水渠立坑設置工事～		
内 容	<p>芝浦水再生センター導水渠立坑設置工事は、芝浦水再生センター主ポンプ棟の再構築に伴い、既存の水処理施設及び新たに整備される千代田幹線と新主ポンプ棟を結ぶ中間施設として導水渠立坑を設置するものである。</p> <p>立坑形状は、20.5m×25.2m、構築高 65.4m (G.L. -64.9m) であり、ニューマチックケーソン工法により昼夜間施工にて築造を行った。今回は施工中に発生した躯体の傾斜について、原因究明及び修正にあたって講じた安全対策について報告する。</p> <p>全 14 ロットのうち 3 ロット目築造中の作業時間外にケーソンの自然沈下が発生し、最大 1278 mm の傾斜が発生した。これを受け、さらなる過沈下・傾斜の進行を抑制するため、応急的な対策（サンドル設置による沈下抵抗力の補強）を行うとともに、原因調査のためケーソンの 4 隅でボーリング調査を実施した。調査の結果、ケーソン刃先の原地盤は、外力により一度乱されると圧縮応力が急激に低下する、非常に鋭敏性の高い粘性土であることが判明した。これを受け、ケーソンの刃先地盤反力確保を目的として、高圧噴射攪拌工法による地盤改良を行うこととした。</p> <p>傾斜修正の開始にあたり、掘削作業は特に慎重を要するため、予め掘削範囲や順序を平面・断面的に示した掘削ステップ図の作成やサンドル交換タイミングを明確化するとともに、極力無人掘削機による遠隔施工とすることで安全かつ確実に傾斜修正を行った。また、掘削量や傾斜残量などを受注者と常に情報を共有しながら進捗管理を行い、無事に傾斜修正を行うことができた。</p> <p>本工事では、トラブルの発生に対して発注者と受注者が一丸となつて的確な応急対応、迅速な対策を立案し、安全対策・施工管理を確実に実行しながら、無事に工事を竣工し次期工事に引き渡すことができた。また、都心部において稼働中の水再生センター内で大規模・大深度の下水道施設を構築するには、厳しい周辺環境や多くの制約を踏まえた入念な事前調査と安全かつ確実に施工するための計画立案、そして新たな課題やトラブルが生じた際の臨機応変な対応力が必要不可欠であると考え</p>					
キーワード	ニューマチックケーソン、高圧噴射攪拌工法、					
処理区名		位置区分	管きよ			
職種区分	土木	施策区分	再構築			
状態区分	工事	新規性				
実施年度			全体期間			
担当部署	第二基幹施設再構築事務所 工事第一課					
発 表	局内					
履 歴	局外	令和 5 年度(第 60 回) 下水道研究発表会				
調査方法						
関連情報						

番号	3-2-6		表題	生物活性を利用した迅速測定法による硝化能力の実態調査	
内 容	<p>下水処理における硝化反応は、窒素処理において重要なプロセスの一つである。一方、硝化能力の評価手法は、下水試験法に定める硝化速度試験や硝化細菌の計測等があるが、多くの時間と労力を要し、日々の維持管理に活用するには課題が多い。</p> <p>そこで、活性汚泥の硝化能力を迅速に把握することを目的に、酸素利用速度（Rr）試験を一部工夫した手法（以下、本手法という）を考案した結果、以下の知見が得られた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本手法は、アンモニア減少速度（下水試験方法準拠）と相関が高く、硝化能力を短時間（10分程度）で測定でき、日常的に硝化能力を把握することが可能となった。 ・阻害物質による硝化能力への影響を確認し、有害物質流入及びpH異常時による硝化能力低下の影響（許容濃度）を把握するためのツールに活用できることが推測された。 ・汚泥転送の影響などにより、A-SRTでの硝化管理が難しい場合においても、硝化能力を把握することができた。特に、工事に伴う施設停止時や水温が低下する冬季等には、本手法の有効性が示唆された。 ・硝化が良好なセンターにおいても、MLSS等を削減した効率的な運転を支援するツールとなる可能性がある。 				
キーワード	酸素利用速度（Rr）、アンモニア減少速度、活性阻害物質、窒素処理				
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	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4年度		全体期間	令和3年度～令和4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	局内				
履 歴	局外	令和5年度(第60回)下水道研究発表会			
調査方法	直営調査				
関連情報					

1-1-1 断面欠損が大きい立坑のシールド機到達方法について

南部下水道事務所 建設課 氏名 山口 昌祐

1. はじめに

大田区上池台地区では、平成 25 年 7 月に時間 50 ミリを超える集中豪雨により、63 件の床上浸水被害があった。これを受けて、当局では、「豪雨対策下水道緊急プラン」¹⁾を策定し、一定規模以上の床上浸水が集中して発生した地域において、既存幹線の下に新たな幹線を整備するなど、時間 75 ミリの降雨に対応できる施設整備を進めている。本流域のうち、浸水被害のあった低地部について、主要枝線φ2600、約1500mを先行整備し、約 20ha を自然排水区からポンプ排水区へ切り替えるとともに流下抑制を図るための流下型貯留管として運用することで時間 75 ミリ対策の先行整備を進める。なお、長期対策としては、約 270ha の増強幹線を整備する計画である。

本稿では、この主要枝線の先行整備において外径 3.14m のシールド機を直径 4.0m の円形ライナープレート立坑に到達させる際に生じた課題と対応策について、報告する。

2. シールド機の到達方法

2.1 当初計画のシールド機到達方法

シールド機を到達させる立坑は、浸水被害が発生した低地部から効率的に降雨を取り込むため、幅員 5.88m の非常に狭隘な道路に直径 4.0m の円形立坑を築造する必要が生じた。外径 3.14m のシールド機を直接到達させるために必要な標準立坑径は 4.6m であるが、地盤改良が民地を侵してしまうため、直径 4.0m の立坑とした。

シールド機到達方法については、**図 3** に示す通りシールド機を直前で停止させて、立坑内から口径の異なる管きよを推進工法で接合させることを計画していた。しかし、シールド機の面板を開口させて、異なる口径の管きよを接合させた際に、シールド管きよの構造に問題がある懸念が発生した。



図 1 大田区上池台地区の位置

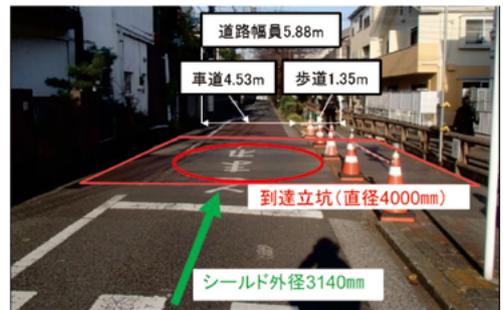


図 2 到達部の道路状況

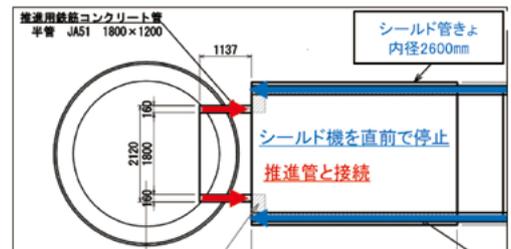


図 3 当初計画での到達方法

2.2 シールド機の直接到達

今回、シールド機到達方法について見直しを行った結果、外径 3.14m のシールド機を直径 4.0m の円形ライナープレート立坑に直接到達させることとした。しかし、立坑の約半周を欠損させることに加えて、立坑の補強リングを 3 段欠損させることから、安全性の検討を綿密に行った。

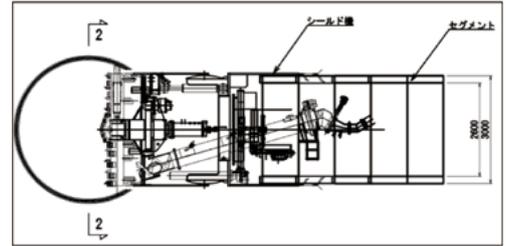


図 4 シールド機の直接到達

3. 断面欠損が大きい立坑への到達

3.1 仮設計算の検討

円形ライナープレート立坑の仮設構造計算²⁾では、ライナープレートに加え、補強リングが 9 段必要な結果となった。この最下段の補強リングを 3 段欠損させた際に、立坑に作用している外力によって、立坑が崩壊する可能性があるため、土質条件を整理したうえで、立坑の補強を検討する必要がある。

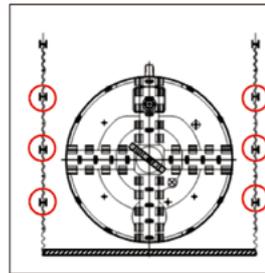


図 5 補強リングの欠損



図 6 補強リングの欠損(写真)

「下水道仮設設計マニュアル(改訂版)」²⁾では、シールド工法の発進・到達防護に関し、土質条件に応じて仮設計算を行うことが定められている。現状地盤が粘性土の場合、到達防護において地山が円弧すべりするかどうかが確認することになっている。本現場の土質条件は泥岩層(粘性土)であり、円弧すべりの計算を行った結果、安全率は 6.49 で十分に安全であることを確認した。

立坑の開口率(立坑直径に対する開口の割合)は、一般的に 2 割程度であるのに対し、今回の事例は、立坑の直径 4.0m に対して開口率(立坑直径 4.0m に対するシールド外径 3.14m の割合)が約 8 割であることから、安全に到達させるための検討を行った。

3.2 坑口コンクリートの検討

開口率 8 割の開口部の補強として、標準として用いられる坑口コンクリートの設置を検討した。

図 7 及び図 8 に示す通り、このやり方では立坑の半分に坑口コンクリートを設置する必要があった。その結果、特殊人孔に必要な施設(らせん案内路)⁴⁾が築造できなくなってしまうため、坑口コンクリートは本工事では適用不可能と判断した。



図 7 標準的な坑口コンクリート(例)⁵⁾

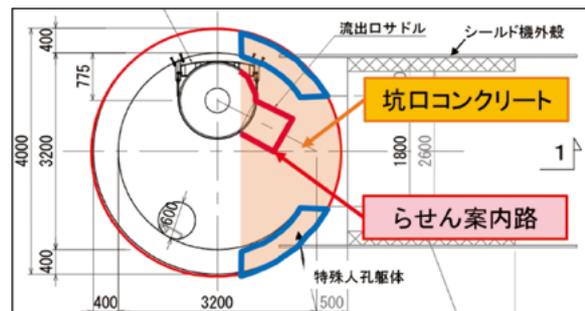


図 8 特殊人孔と坑口コンクリートの取り合い

3.3 坑口コンクリートに代わる取り外し可能な開口補強の検討

開口部の補強として、特殊人孔を築造するために取り外し可能な鋼製支保による開口補強を検討した。取り外し可能な開口補強は、段取り替え可能なものとし、シールド機到達前とシールド機到達後で、立坑の開口補強を異なる方法とした。具体的には、**図 9** に示す通り、鏡切り前に鋼材で取り外し可能な開口補強の設置を行い、シールド機到達後にシールド機外殻とライナープレート立坑の補強リングを溶接して立坑の強度を保持させた後、取り外し可能な開口補強を撤去することとした。

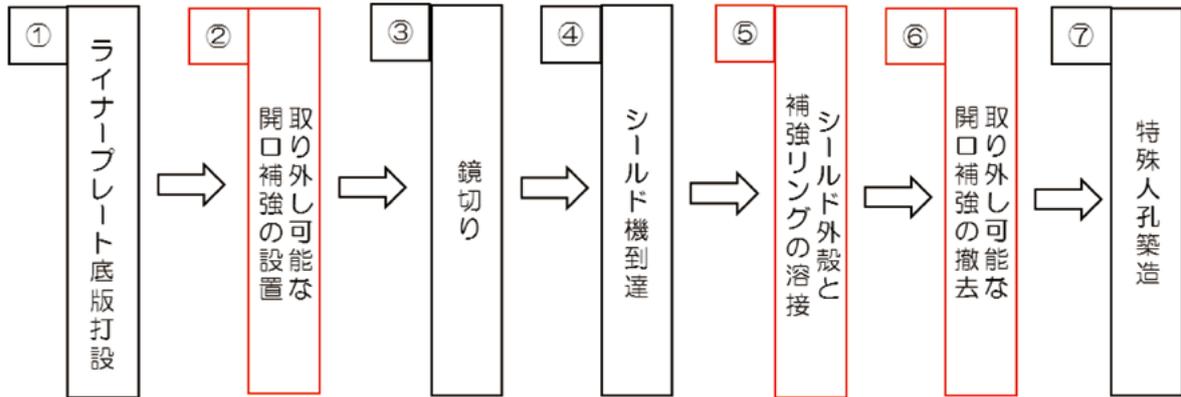


図 9 取り外し可能な開口補強の施工ステップ

取り外し可能な開口補強の鋼材はH鋼とした。シールド機到達は、シールド機外殻とライナープレートの補強リングを溶接する施工ステップを考慮すると、シールド機は立坑の内部まで到達させる必要があった。そのため、取り外し可能な開口補強の鋼製支保は**図 10** から**図 14** に示す通り、シールド機到達の支障にならないように設置した。

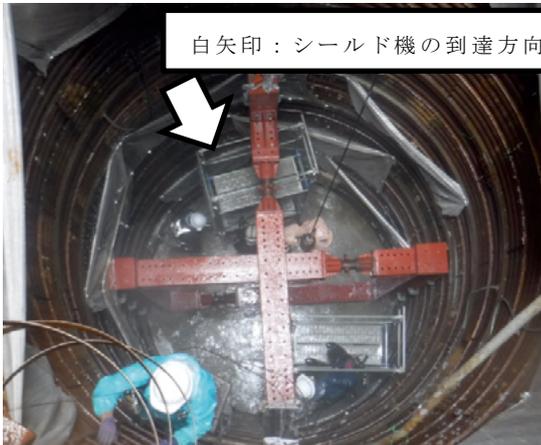


図 10 取り外し可能な開口補強（遠景）

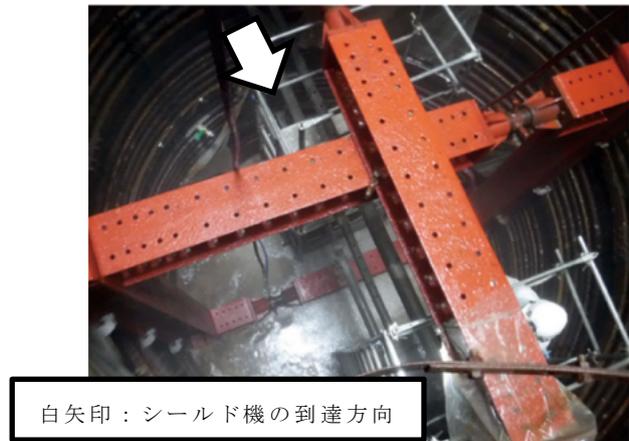


図 11 取り外し可能な開口補強（近景）

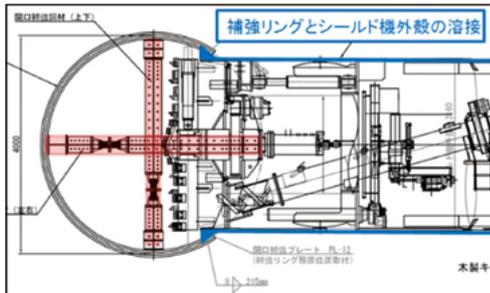


図 12 開口補強の鋼製支保の配置

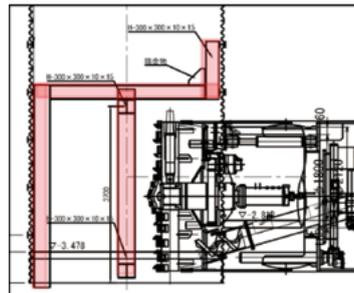


図 13 縦断面図

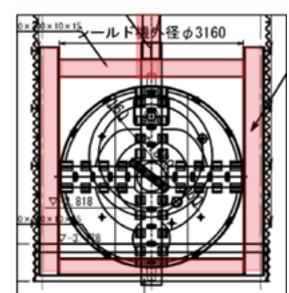


図 14 立面図

3.4 変位計測

取り外し可能な開口補強に対して、立坑に作用する外力を等分布荷重としてフレーム解析を行った。フレーム解析の結果、応力に問題はなかったが、最大変位量が 24 mmであったため、実際に変位するかどうかについて、現地で変位計測を行うこととした。

変位量を計測した結果、最大変位量は 3 mmであり、安全に施工を行うことができた。

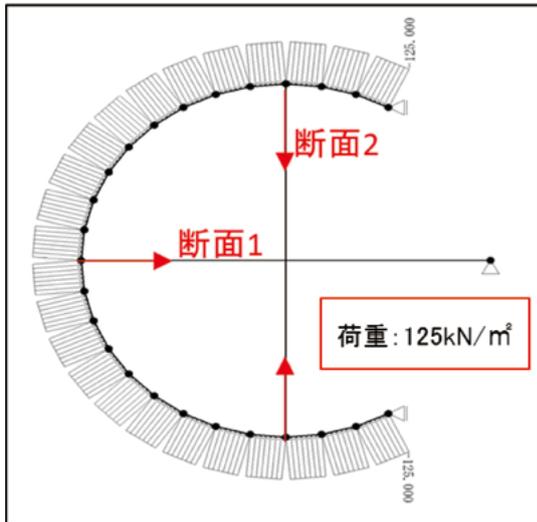


図 15 立坑に作用する等分布荷重図

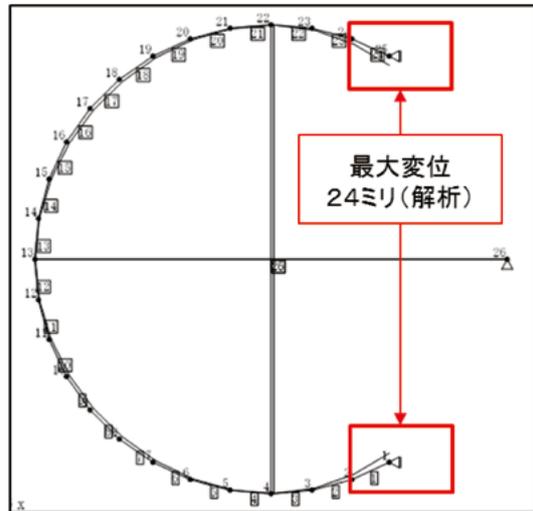


図 16 フレーム解析による立坑変位量図

3.5 シールド機外殻と補強リングの溶接

シールド機到達後、立坑の強度を保持するため、シールド機外殻とライナープレート立坑の補強リングを溶接した。強度を保持するために必要な溶接長は、道路橋示方書（Ⅱ鋼橋・鋼部材編）⁶）を準拠して算出した。

シールド機外殻とライナープレートの補強リングの溶接が完了した後、開口補強に用いた鋼製支保を撤去した。

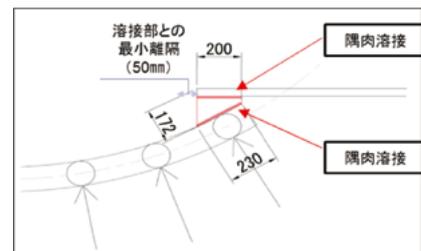


図 17 隅肉溶接図



図 18 溶接状況



図 19 鋼製支保撤去



図 20 シールド機撤去状況

3.6 特殊人孔の構造変更

シールド機撤去後、ライナープレート立坑の補強リングとシールド機外殻の溶接部によって、片側 250 mm 程度縮小してしまうため、特殊人孔内径が 3200 mm から 2700 mm となる

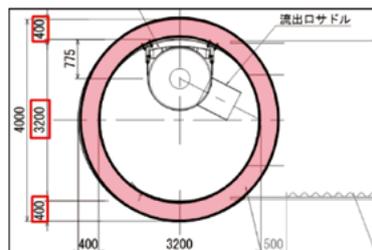


図 21 当初特殊人孔平面図

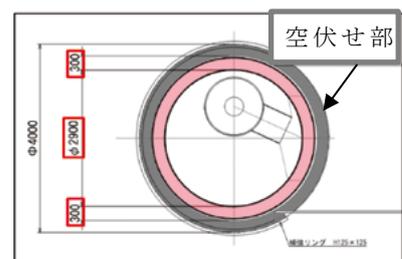
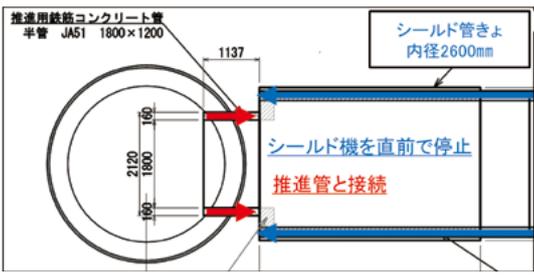
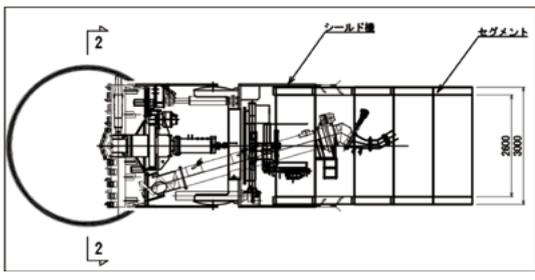


図 22 変更特殊人孔平面図

が、配筋計画を見直して構造計算を検討⁷⁾した結果、特殊人孔の壁厚 400 mm から 300 mm に変更可能であることが判明し、特殊人孔内径を 2900 mm まで広げることで内空を確保し、維持管理しやすい施設を築造することができた。また、溶接部は空伏せ部とした。

4. おわりに

本工事では、泥岩層に対して土質条件の検討の後、複雑な施工手順における課題の抽出と対応を適切に行い、安全に配慮した検討を進めていくことができた。立坑の開口率が 8 割といった特例的な対応ではあったが、同様の事例が生じた際には本稿の知見が参考になれば幸いである。

	当初計画	変更計画
概要図		
概要	シールド機を立坑の直前で停止させる	シールド機を立坑に直接到達させる
口径等	シールド 内径2600mm(外径3140mm) 推進 内径1800mm(外径2120mm)	シールド 内径2600mm(外径3140mm)
到達方法	シールド 直前停止	シールド 立坑内到達
発進方法	推進 立坑内発進	推進 —
欠損する補強リング	2段	3段
開口率	53%	79%
施工上の課題	・異なる口径の管きよの接合を接合させた際に、シールド管きよの構造に問題がある懸念。	・立坑の開口率が約8割であるが、立坑の開口補強を工夫することで直接到達可能。
評価	△	○

・参考文献

- 1) 東京都下水道局 豪雨対策下水道緊急プラン 2013/2
- 2) コルゲート・ライナー技術協会 ライナープレート設計・施工マニュアル 2000/4
- 3) 東京都下水道局建設部 下水道仮設設計マニュアル 改訂版 2009/3
- 4) 令和元年度 東京都下水道局 設計・施工事例発表会（カワセミ） 水理模型実験を用いた浸水対策主要枝線の検討 2020/3
- 5) 西松建設株式会社 技報第44号 シールド発進到達坑口の本体兼用計画及び施工 2021
- 6) 公益社団法人 日本道路協会 道路橋示方書・同解説Ⅱ 鋼橋・鋼部材編 2017/11
- 7) 東京都下水道局 特殊人孔構造計算の手引き 2004/6

1-1-2 バス試験走行により、駅前ロータリーを 発進立坑用地として活用した枝線の設計事例

第二基幹施設再構築事務所 設計課 今村 凌太

1. はじめに

下水道局では、早期に浸水被害を軽減するため浸水の危険性が高い地区を重点化して施設整備を進めている¹⁾。重点地区の一つである杉並区阿佐谷地区は、発進立坑を整備するために駅前ロータリー内のバス停を移設する必要があった。ロータリーには3つのバス停があり、1時間あたり最大で30台を超える路線バスが運行している非常に交通量が多い場所となっている。このため、バス事業者立会いの下、水再生センター内に実寸大でロータリーを再現し、試験走行を行うことでバスが安全に通行できるバス停配置や通行幅等を確認した。本稿では、ロータリー内に立坑を築造する設計内容について、試験走行を踏まえた対応策を実現可能としたバス事業者との調整を中心に報告する。

2. 工事概要

浸水対策のため新たに増強する第二桃園川幹線へ接続するため、阿佐谷主要枝線を設計した。阿佐谷主要枝線は、計画路線の沿道に公共用地や空地がないことから、ロータリー内に発進立坑を設置することとした。発進立坑からは南北の各到達立坑に向けた2路線（A、B）と第二桃園川幹線へ接続させる路線（C）の計3路線を推進工法により整備する。

北側、南側それぞれの到達立坑から取水した雨水は発進立坑を経由し、第二桃園川幹線へ流入させる。この阿佐谷主要枝線の整備により、阿佐ヶ谷駅周辺や既設桃園川幹線流域で発生している浸水被害を解消することができる。



図1 事業概要図

3. 現場状況

図2に示すとおり、阿佐ヶ谷駅北口にはロータリー内の3箇所と、都道（中杉通り）沿いの1箇所の計4箇所のバス停があり、多くの路線バスが発着している。また、ロータリー西側には商店街、北側には商業施設があることから商用車の利用も多く、その他タクシーや一般車両の利用も含め、非常に交通量が多い場所となっている。このようなロータリー内に発進立坑を整備するためには、工事期間中においてもロータリー内の交通機能を常時、確保する必要がある。

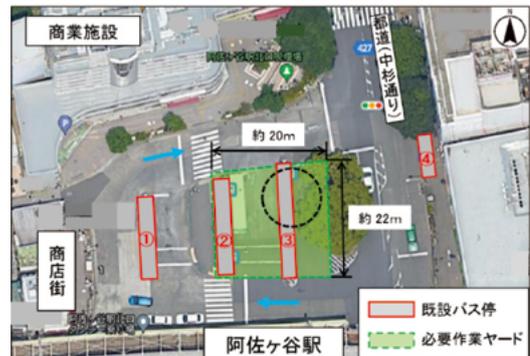


図2 阿佐ヶ谷駅北口周辺状況²⁾

今回、阿佐谷主要枝線の整備に必要な作業ヤードは 440 m²程度であり、ロータリー内に整備すると既設バス停②と③が支障となることからバス停移設が必要となる。

4. バス事業者との協議

(1) 移設するバス停の検討

バス停移設は、利用者の負担が増えるだけでなく、事業者の収益に影響を及ぼすことから、移設先の仮設バス停の配置には、十分な検討が必要である。このため、下水道工事による影響が極力小さくなるよう、各バス停の運行状況を確認し、ロータリー外へ移設させるバス停を検討した。

表 1 のとおり 1 日の運行本数はバス停①が 88 台、②が 181 台、③が 118 台であり、①<③<②の順で運行本数が多い。

バスの運行状況を踏まえ、バス事業者と協議を実施した結果、運行本数の多いバス停②と③は優先的にロータリー内へ配置させることとし、ロータリー外へ移設するバス停①についても可能な限り駅に近い場所となるよう検討した。

表 1 バスの運行状況表

時刻	2021.3~	2021.3~	2021.3~	2020.11~	合計
	①バス停	②バス停	③バス停	④バス停	
6:00~6:59	3	3	4	1	11
7:00~7:59	6	14	8	4	32
8:00~8:59	5	15	10	4	34
9:00~9:59	6	13	9	3	31
10:00~10:59	4	12	7	2	25
11:00~11:59	5	11	5	-	21
12:00~12:59	4	11	4	-	19
13:00~13:59	7	10	5	-	22
14:00~14:59	5	10	4	-	19
15:00~15:59	4	11	7	-	22
16:00~16:59	5	12	8	-	25
17:00~17:59	5	10	9	-	24
18:00~18:59	6	10	11	-	27
19:00~19:59	5	10	10	-	25
20:00~20:59	4	12	7	-	23
21:00~21:59	3	9	6	-	18
22:00~22:59	3	8	3	-	14
23:00~23:59	-	-	1	-	1
合計	80	181	118	14	393
最大(台/時間)	7	15	11	4	34
最大時間の平均(分/1台)	8.6	4	5.5	15	-

(2) 仮設バス停の配置検討

バス停②と③を既存の交通島（バス利用者の待機場所）と同等の大きさでロータリー内に配置させると、バスが安全に通行できる通行幅を確保することができない。このため、バス停②と③の両方をロータリー内に配置するためには交通島を既存よりも小さくする必要がある。しかし、交通島を小さくすることで乗車待ちの人と降車する人が同時に利用する際に、交通島から人が溢れるような危険な状況が生じることが予想される。

この状況を解消するため、バス停①②③の降車場を阿佐ヶ谷駅の正面にまとめ、各交通島には乗車待ちの人のみの利用とすることで、工事期間中の交通島の大きさを既設よりも小さくすることとした。

また、バス降車場の設置にあたり、ロータリー内の車両通行幅が狭くなるため、駅前歩道部の管理者である杉並区と鉄道会社に協議を実施し、1m程度の切下げを行うこととした。

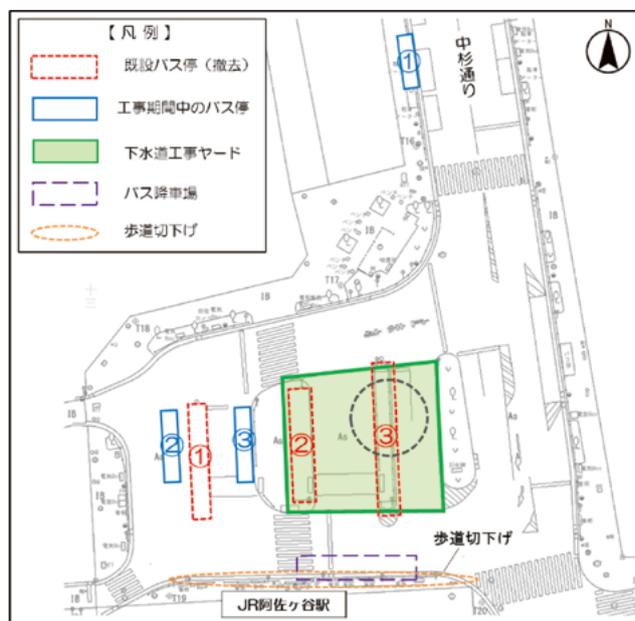


図 3 工事期間中のロータリー形状

(3) 試験走行の実施

バス事業者より、バス停移設案についてバスの旋回が可能か確認したいと要望があった。このため、令和3年11月に砂町水再生センター内の水処理施設建設予定地に阿佐ヶ谷駅北口バスロータリーを実寸大で再現し、実際の関東バス車両を使用して試験走行を実施した。試験走行はバス事業者立会いの下、バス会社が懸念する状況下に対してバスが安全に通行できる交通島配置や通行幅等が確保されているか確認した。通行不可の場合、通行幅を拡幅する等、その場で調整を行い、ロータリー形状を決定した。



写真1 試験走行状況

(4) 試験走行結果を踏まえたバス停配置

試験走行の実施結果は表2のとおりである。

当初のバス停配置案(図4)では、仮設バス停③と作業ヤード間をW=6.0m、仮設バス停②と③間をW=6.3m、歩道と仮設バス停②間をW=6.0mとしていた。

試験走行の結果、バス通行が困難であるため作業ヤードを1.5mセットバックし、仮設バス停③と作業ヤード間をW=7.2mとし、入車の際バスと仮設バス停③が干渉しないよう③バス停位置は北側へ0.5m移動した。また、仮設バス停②と③間をW=7.3m、歩道と仮設バス停②間をW=5.0mとし、一般車両等が駐車すると通行が困難であるため、路面標示を行うこととした。(図5)

また、試験走行を踏まえたバス停配置について、警察実査による交通安全の確認やタクシー会社への協議、ロータリー周辺の商店街や商業施設へ個別説明する等、利用者に対して十分な配慮を行った。

表2 試験走行結果

対象箇所	対象部道路幅	
	当初	試験走行後
歩道⇔バス停②間	6.0m	5.0m
バス停③⇔作業ヤード間	6.0m	7.2m
バス停②⇔バス停③間	6.3m	7.3m

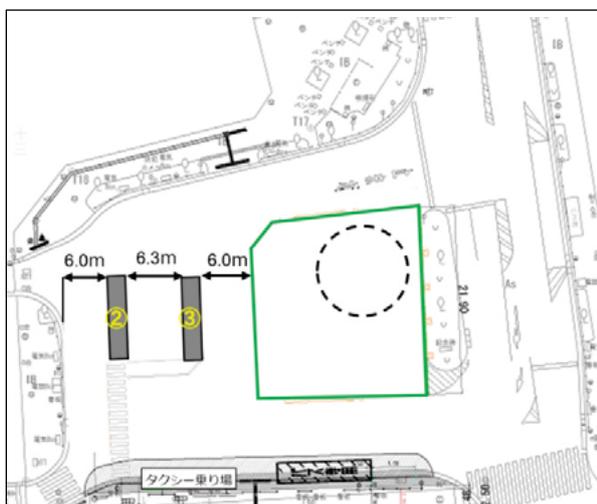


図4 当初バス停配置案

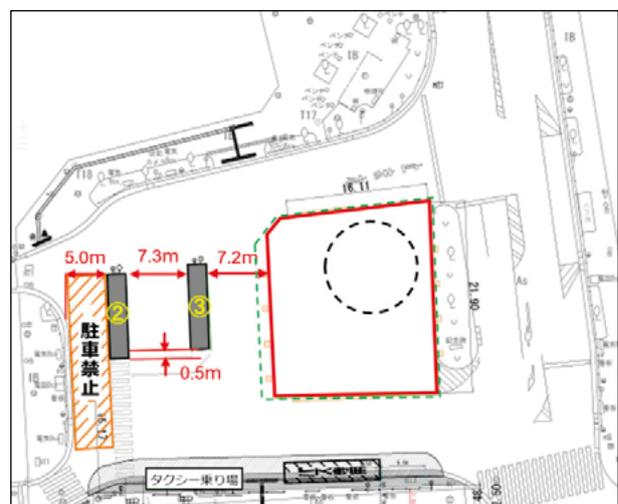


図5 試験走行を踏まえたバス停配置

5. まとめ

本事業において、阿佐ヶ谷駅北口ロータリー内に発進立坑を整備するためにはバス停移設が必要であり、移設にあたってはバス事業者の協力が不可欠であった。今回、バス停移設に対するバス事業者の不安や懸念事項に対し、最大限配慮するため試験走行を行う等、綿密な調整を行った。軌跡等による机上の説明だけでなく、実際にバス事業者が試験走行に立会ったことで、工事期間中の安全なバス運行への安心に繋がり、本事業に対する理解を得ることができた。

今後も都市部における下水道事業では、都市化の進展などから、類似した施工状況が生じる可能性があるが、本稿が課題解決のための参考事例となれば幸いである。

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) Google, Google マップ, <https://www.google.co.jp/maps>

1-2-1 日本最長の超長距離下水道シールド施工について

～千代田幹線整備事業～

第二基幹施設再構築事務所 工事第二課 水田 周作

1. はじめに

東京の区部下水道は、現在約 16,100km にも及ぶ膨大な管きよを管理している。その多くは老朽化が進み、東京都下水道局では再構築事業を推進しているところである。飯田橋幹線、中段幹線、低段幹線等の汚水幹線は大正時代に整備され老朽化が著しい一方で、常に流量が多く高水位状態であり、再構築工事に先立つ調査も困難な状況にある。そのため、新たな代替幹線を整備し下水の流れを切り替えることで、既設幹線の水位を低下させ、再構築工事を推進することが必要である。その代替幹線の一つが現在整備中の千代田幹線である。

また、千代田幹線は合流式下水道の改善の役割も担っている。外濠および日本橋川の水質改善のため、外堀通り等で貯留施設整備を進めており、完了時に千代田幹線と接続することにより、雨天時において公共水域へ放流される汚濁負荷量を削減することが可能となる。

千代田幹線工事は、1 スパンの施工延長が下水道シールドとしては日本最長となる約 8.7km、最大土被り約 60m の超長距離、大深度での施工であった。本工事を安全かつ速やかに進めるため、様々な対策を講じたので報告する。

2. 千代田幹線工事の概要

千代田幹線は、千代田区飯田橋に設置した発進立坑を起点とし、低段幹線、飯田橋幹線、中段幹線、高段幹線などからの取水を行い、港区港南にある芝浦水再生センターへ流下させることを目的としている。

工事概要は以下の通りである。

・工事場所

東京都千代田区飯田橋 3 丁目地内～港区港南 1 丁目地内

・シールド諸元

- 1) 工法：泥水式シールド工法
- 2) 管径：φ4900mm（仕上がり内径）
- 3) セグメント：二次覆工一体型（外径 5500mm）
- 4) 土かぶり：48.0～59.0m
- 5) 延長：8.7km
- 6) トンネル勾配：0.5‰下り
- 7) 最少曲率半径：R50m
- 8) 曲線区間：R50～1,000m（R250m 以下 23 箇所）

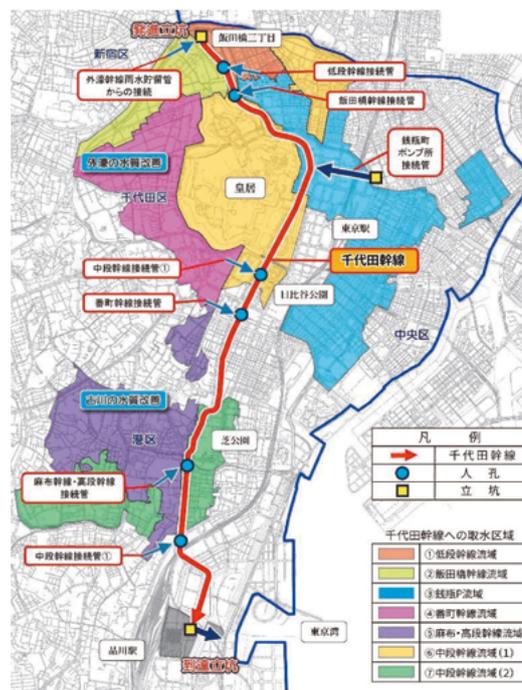


図 1 平面図

3. 施工上の課題

本工事を進める上で、長距離施工であることと狭隘な発進基地ヤードであることの2点が大きな課題であった。長距離施工では、シールド機の耐久性向上などはもちろんのことであるが、特に日々の掘進サイクルを効率化し、長期間同作業が連続することによるヒューマンエラーを防ぐことが必要であった。また、本工事の発進基地ヤードの敷地面積は920㎡と泥水式シールド工法で施工するには非常に狭く、省面積化、安全管理への特段の配慮が不可欠であった。加えて、立坑の一部が道路下にあり、開口部が狭いため、セグメントの投入等揚重作業には工夫が必要であった。

4. 課題への対策

・坑内自動運行（図2）

本工事では、坑内の資機材運搬に電気消費量が少ないデジタルサーボ式バッテリー蓄電車を採用した。これにより片番1台あたり8.7kmを3往復することが可能となり、蓄電池の交換作業回数を削減、効率化を図った。また、運搬距離が長くなることで運転手の集中力低下による操作ミスや運行速度超過のリスクが高くなるため、運転手なしの自動で運行管理を行い、安全性の向上と省力化を図った。自動運行管理では、セグメント資機材を積んだ蓄電車は、坑口でのボタン操作により切羽の後続台車後方まで自動で走行し、停止する。中間に2箇所設けた離合部で必ずすれ違い、直線区間と急曲線区間でそれぞれ設定した制限速度を守り走行する。中央監視室からの遠隔管理もでき、安全で確実な資機材運搬が可能となった。

・切羽部作業環境の向上

掘進は昼夜2交代制の片番約8時間の作業で進めた。切羽までの移動に最大約1時間を要するため、作業中は一度も坑口には戻ることなく、休憩等も作業場でとらざるを得なかった。そのため、シー



図2 坑内自動運行状況



図3 トイレ台車



図5 発進基地防音ハウス平面図

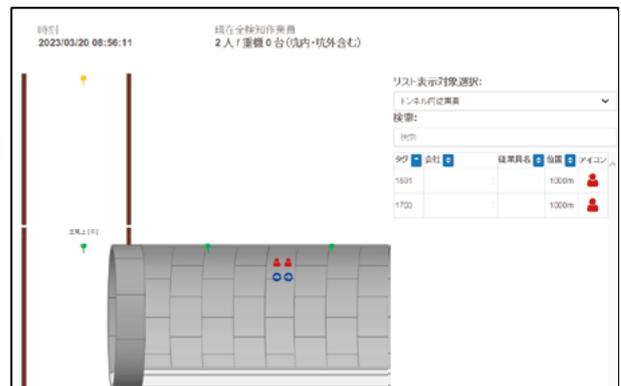


図4 入坑者管理システム

ルド機後続台車にはエアコンや冷蔵庫を完備した休憩室やバイオトイレ（図 3）を備え、作業員の作業環境向上に努めた。また、坑内は Wi-Fi 通信設備を整え、切羽部でも簡易的な PC 作業等ができるようにした。

・ Wi-Fi を用いた入坑者管理システム（図 4）

長距離トンネル内では多数の作業員が作業に従事するため、本工事では Wi-Fi 通信を使った入坑管理システムを導入し、入坑状況を中央管理室で一括把握できるようにしただけでなく、各人の位置も確認できるようにしたことでより安全な入坑者管理を実施した。

・ 防音ハウスの 3 階構造（図 5）

本工事では、防音ハウスを 3 階構造としたことで 2,200 m²の延床面積を確保した。1 階には土砂搬出設備、2 階には泥水処理設備とセグメントストックヤード、3 階には中央管理室と作業員の休憩所を配置し、限られたスペースを無駄なく使用することで、施工上必要な設備を備えながら作業員の作業環境の十分な整備を図った。

・ 吊り荷安全警告システム

立坑への資機材投入時は、押しボタンによる警報発報が一般的であるが、本工事では立坑開口部に設けたレーザーバリアにより、吊り荷運搬時に自動的に警報を発するようにし、ボタンの押し忘れといったヒューマンエラーを防いだ。併せてクレーンフックに取り付けた作業員へ警告を行うフックコールによる二重の対策を講じ、吊り荷下の確実な人払いを徹底した。

・ 荷振れ防止対策（図 6）

前述の通り、本工事では立坑開口部が狭く、かつ大深度であるため、楊重作業時の荷振れ防止が欠かせない。そこで、立坑にガイドレールを設置し、セグメント投入時には専用の把持・投入装置（セグメントグラブ）を使用することで、荷振れさせずに確実かつ短時間で定位に下ろすことができた。



図 6 セグメントグラブとガイドレール

5. 終わりに

本工事では、8.7km という超長距離、大深度でのシールド施工において、様々な制約条件がある中で、施工環境を踏まえ、最大限安全性の確保と高効率化を図り、重大なトラブル等なく到達を残すのみとなった。

施工にあたっては、関係官庁だけでなく、他業種の工事関係者、学生、一般都民など様々な立場の人へ向けて、現場視察やオンラインでの現場見学ツアー（図 7）を実施し、工事の情報発信、意見交換を積極的に行ってきた。



図 7 オンライン現場見学ツアー

都市化が進み、十分な施工環境が整えられないケースがより一層増えてくることが想定される。その中で、シールドの施工延長は技術の進歩と共に長距離化すると考える。作業の機械化は急速に進んでいるが、最後は現場で作業に従事する人の手でシールド工事が成

り立っていることは変わらない。作業員にとっては作業環境が過酷，危険になっていく一方で，その環境の改善，安全管理は公共工事を確実に推進していくうえで必要不可欠である。

本工事の施工事例が今後の長距離シールド施工を安全かつ効率的に進める一助となれば幸いである。

1-3-1 稼働中の放流渠における耐震補強工事の仮設計画について

～止水困難な高級処理水放流渠吐口のドライ化～

建設部 土木設計課 中村 颯一郎
 (現 流域下水道本部 技術部 工事課)

1. 概要

下水道局では経営計画 2021 に基づき、震災対策事業を推進しており、水再生センターの放流渠も耐震化対象施設である。

対象施設である新河岸水再生センター（処理能力 670,000m³/日）は板橋区に位置し、浮間幹線・練馬幹線・蓮根幹線から流入した下水を水処理施設で処理し、放流渠より新河岸川へ放流する施設である（図 1、図 2）。

下水道処理施設は 24 時間 365 日稼働し続ける必要があり、今回耐震補強工事を行う処理水放流渠も、晴天時、雨天時間問わず、高級処理水を絶え間なく新河岸川へ放流する施設である。加えて、対象施設は簡易放流渠としての機能も兼ね備えていることから、雨天時に簡易処理水を放流している。このため、水路内は常に処理水が流れており、水量が不定期に増減する環境下にある。このような環境下において、水路内で耐震補強工事を行うためには、処理水が放流渠に流入しないよう放流渠を締め切り、水路内に残った残留水を排水ポンプ等で排除する作業（以下、ドライ化という。）を行い、作業環境を整える必要がある。しかしながら、施設機能を停止することができない環境下でのドライ化は困難であり、施設機能を十分理解した上での入念な検討が必要となる。本事例でドライ化に成功した仮設計画について、課題と対応、実施する上で得た知見等を次項に報告する。

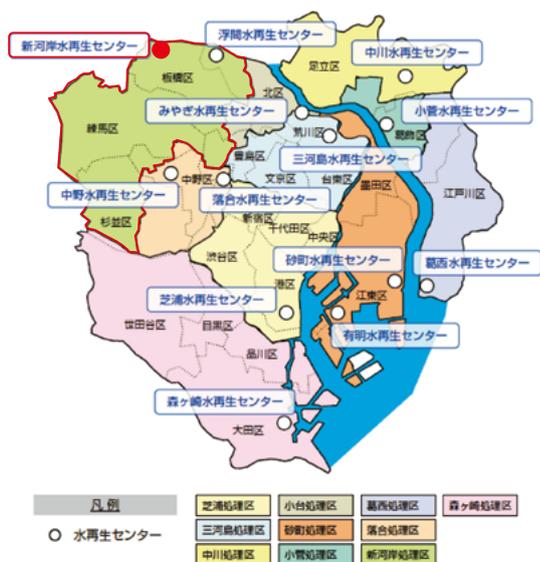


図 1 水再生センターの配置と処理区

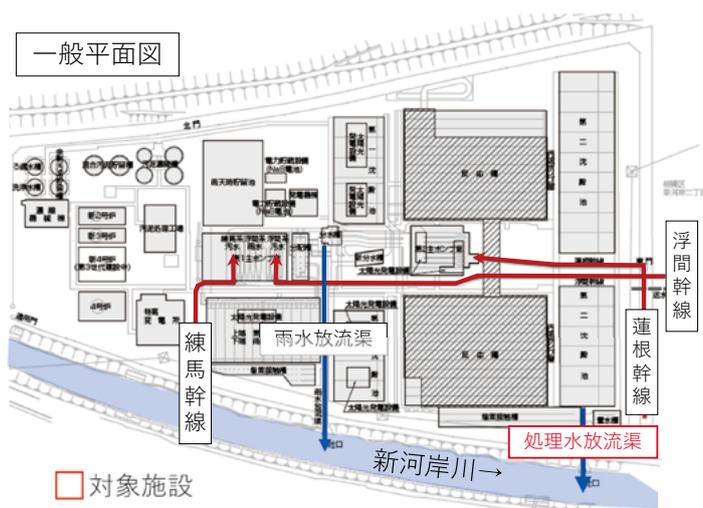


図 2 対象施設位置

2. 課題と対応

2.1 対象施設の特徴

対象施設は、延長 44.72m、3,300 mm×2,400 mm、2 連の RC 造ボックスカルバートである。レベル 1 地震動、レベル 2 地震動に対する耐震性能を確保するため、Ⅱ類構造物として応答変位法による耐震性能診断・補強方法の検討を実施した。診断・補強方法検討の結果、コンクリート増し打ち工法、あと施工せん断補強鉄筋工法による耐震補強工事が必要となった。耐震補強工事は、水路内側から底版、側壁にコンクリートを打設、あと施工せん断補強鉄筋を施工する補強内容であり、水路内作業を実施するにあたり、ドライ化が必要となる。

これまでの下水道局の実績において、水再生センター・ポンプ所の放流渠ドライ化の実績は複数存在するが、本施設の特徴と他事例（雨水放流渠）の特徴を図 3 に示す。

本施設は常時稼働している施設であるため、晴天時でも水路内での作業は困難である。また、吐口部の形状が複雑であり、既存可動堰・フラップゲート等が使用できないため、本施設特有の河川締切方法の検討が必要となる。

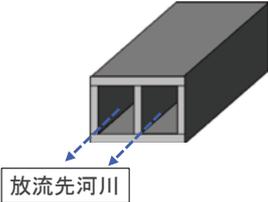
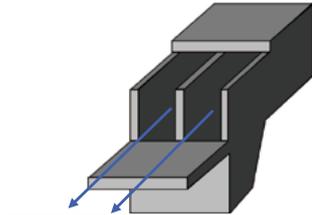
【他事例】 Aポンプ所 雨水放流渠	【本施設】 水再生センター 処理水放流渠
 <p data-bbox="683 909 810 943">放流先河川</p>	 <p data-bbox="1066 931 1177 965">新河岸川</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・雨天時に稼働する施設 ⇒晴天時は、水路内作業がしやすい ・吐口部の形状が単純 ⇒ゲートや鋼製壁で河川水締切可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・常時稼働している施設 ⇒安全な作業方法の検討が必要 ・吐口部の形状が複雑 ⇒河川水締切方法の検討が必要

図 3 本施設と他事例の比較

2.2 水処理機能の確保

新河岸水再生センターの処理水放流渠は本施設のみであり、代替施設が存在しない。また、前述の通り、高級処理水を 24 時間 365 日、簡易処理水を雨天時に週 1 回程度、放流している施設である。このため、ドライ化期間中は放流機能を確保し続けなければならない。

作業計画の検討にあたり、直近 5 年間の運転日報（平成 29 年度～令和 3 年度）^{*1}より、放流量の特徴を確認した。

まず、片側 1 水路をドライ化し、水路断面積が半減した状態で、本来の水処理機能を確保可能か検証した。後述する河川締め切り方法の工夫を反映させた上で水理計算を行い、平成 29 年 10 月 23 日（台風 21 号接近時）に記録した時間最大放流量約 76,000m³/h（日最大値から換算）においても、放流機能を十分確保できることが確認できた。

次に、施工時期の検討を実施した。平成 29 年度の実績放流量を図 4 に示す。6 月～10 月を出水期、11 月～翌 5 月を非出水期と設定し、時期による放流水の特徴を確認した。非出水期の最大放流量は 1,000,000m³/日、出水期の最大放流量は 1,400,000m³/日、簡易放流施設稼働率は、非出水期に約 10%、出水期に約 30%である。このことから、出水期は放流量が多いことに加え、降雨・台風等により放流量が不定期に増加（簡易放流を実施）するリスクが高いことが確認できた。

以上を踏まえた維持管理部署との協議、後述する河川管理上の制約から、本工事の施工時期を非出水期に限定し、片側 1 水路ずつ（2 期）に工事を分割する計画とした。

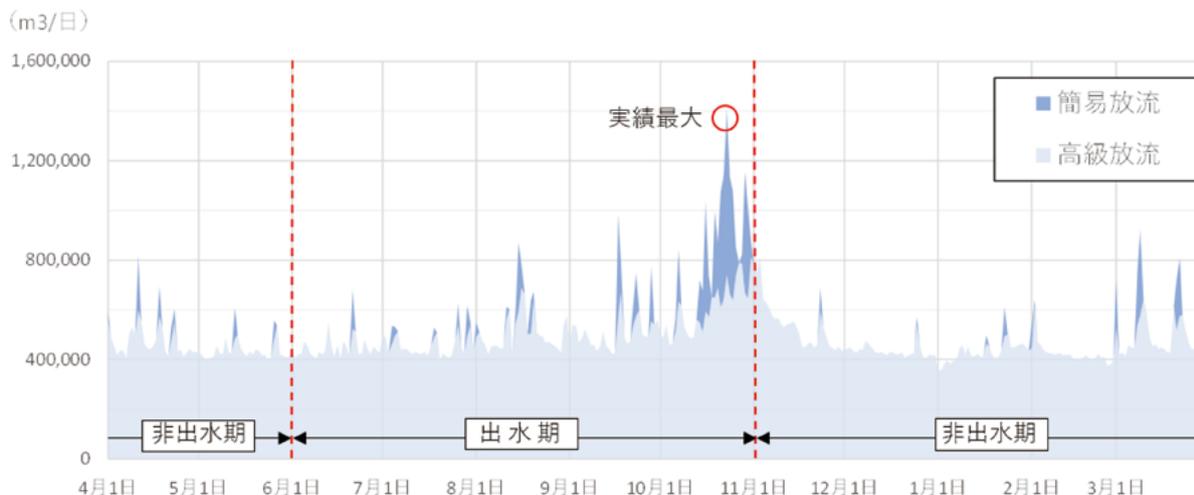


図 4 平成 29 年度 放流量実績※¹

2.3 潜水作業時の安全性確保

施工中の水処理機能を確保した上で、具体的な仮設計画の検討を実施した。検討の結果、放流渠上流側（センター側）の既設角落し受枠を活用して角落しを設置、下流側（河川側）に耐候性大型土のうを設置して対象施設をドライ化する計画とした（図 5）。

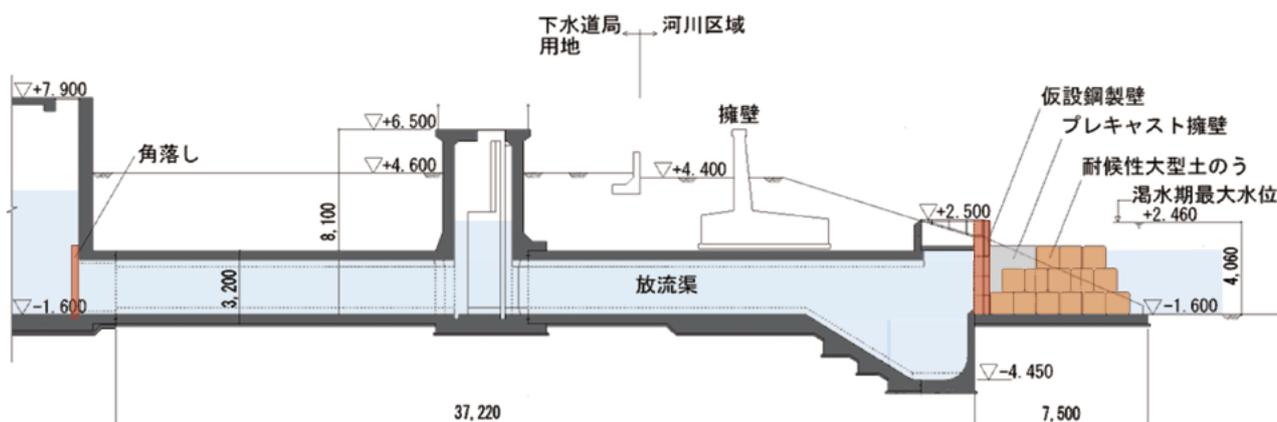


図 5 締め切り計画

しかしながら、昭和 48 年に整備した対象施設の既設角落し受枠は、経年劣化による変形や支障物のため、水路上部（地上）からの作業だけでは角落しの設置が困難な状況であった。このため、潜水士による支障物撤去、角落し設置作業を実施する計画とした。

流速の速い環境下では、潜水士が施工箇所に留まることができず、安全な作業が困難となる。潜水形式により作業可能な流速は異なるが、本件では、フーカー形式の採用を想定し作業可能流速を 1 ノット（約 0.5m/s）以下とした。しかしながら、計算上の水路内流速は最大 1.502m/s となる。加えて、施設上流側の現場確認を行い、現況の流速では潜水作業は困難と判断した（図 6）。

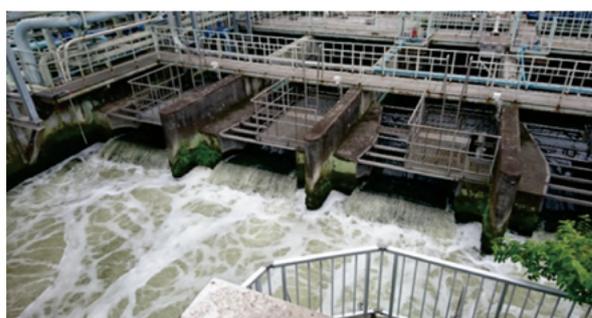


図 6 作業箇所上流側の様子

このため、施設内の処理水の流を一時的に停止することを目的とした水処理の一時停止方法を検討した。晴天時、幹線からセンターへ流入する下水は、ポンプ施設、分配槽、第一沈殿池、反応槽、第二沈殿池、塩素接触槽等を経て処理水放流渠より放流している。

放流渠の施設停止を実施する場合、センター内、ほぼ全ての施設に対して、運転調整または全停止が必要となる。本件では、流入幹線・貯留池等を活用して流入下水を貯留し、既設ゲートを閉めて、一時的に水の流れを停止する運転調整を実施した。(図7)

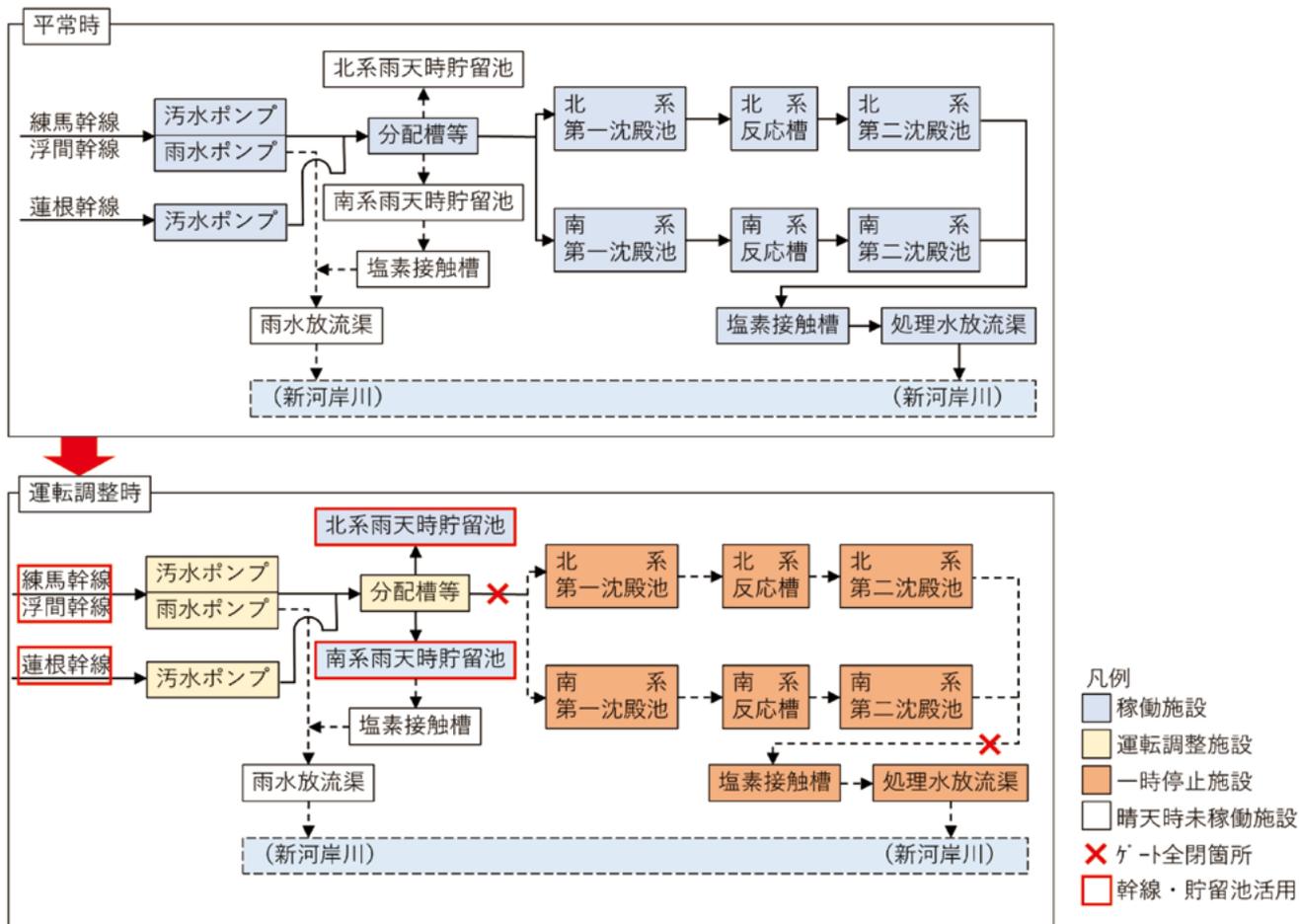


図7 施設の運転調整

運転調整にあたり、検討項目は多岐に渡る。主ポンプ室のポンプ運転台数を減らしてセンター内に流入する下水を減らし、貯留池の容量と流入水量から施設停止可能な時間を見極める必要がある。加えて、分水槽等でゲート操作を行い、流入先を貯留池へ切り替える作業、第一沈殿池・反応槽・第二沈殿池等のほぼすべての水処理施設を一時停止する作業、汚泥処理設備を一部停止する作業が必要であり、水処理への影響を評価しつつ入念な作業計画を立案することが必要となる。

令和3年11月から令和4年5月に実施した1期工事では、維持管理部署・工事部署の全面的な協力の下、このような厳しい条件の中で、前日の夜から準備を行い、20人近くの局職員が作業に関わる非常に大がかりな作業を経て、放流水の流れを3時間程度停止することを実現した。

2.4 河川締切方法の検討

下流側（河川側）の仮設計画は耐候性大型土のう、鋼製壁、L型擁壁を用いて河川締切を実施する計画とした（図5）。

吐口形状が単純な矩形の場合や既設可動堰が活用できる場合、仮設計画は比較的単純である。前者は最下流部に鋼製壁を設置し、後者は可動堰を閉めることで河川締切が可能となる。

一方、本施設は計画河床（T.P. -4.45m）に合わせて放流渠最下流部の底版高が低く整備され、吐口部分は現状の河川水位に合わせて整備されている。また、最下流部は頂版がない形状となっており、施設形状が複雑になっている。さらに、河川締切に活用できる既設可動堰等も存在しない施設であり、本施設特有の仮設計画を検討する必要があった。

また、河川区域内の作業に係る次のような制約もあった。本件は、新河岸川から50t吊のクレーン船を用いて、放流渠の吐口部分に耐候性大型土のうを積上げる設計とした（図8）。河川区域内作業の検討に伴い、作業時期の制限、耐候性土のうの積上げ段数の上限、河積阻害率の上限等の制約があった。河川管理者との協議を経て、作業時期は非出水期に限定、耐候性大型土のうの積上げ段数は3段^{*2}、河積阻害率は5%以内を目安^{*3}として仮設計画を立案した（図10）。なお、仮設鋼製壁の締め切り高さは、既往の観測データを集計し、過去5年間の非出水期最大河川水位に設定した。

一方、「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアルのとおり、耐候性大型土のうを積上げると、稼働中の放流渠の流れを阻害する課題と耐候性大型土のうが放流水の流体力の影響を直接受け不安定となる課題が生じた。断面阻害を解消しない場合、前述の水処理機能が確保できないことが判明した。このため、本設計では、2水路間にL型擁壁を配置する工夫を行い、耐候性大型土のうへの流体力の影響を低減しつつ、断面阻害を解消し安定性・水処理機能の確保を実現した仮締切計画とした（図9）。



図8 河川作業状況（令和3年11月）

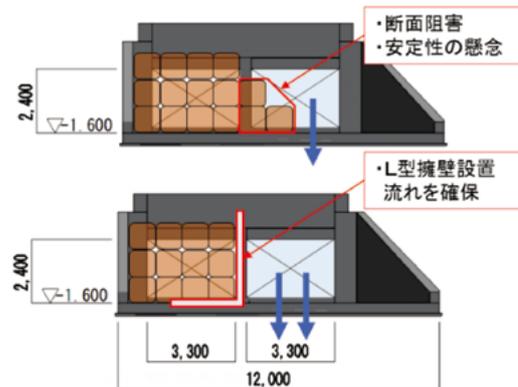


図9 断面阻害に対する工夫

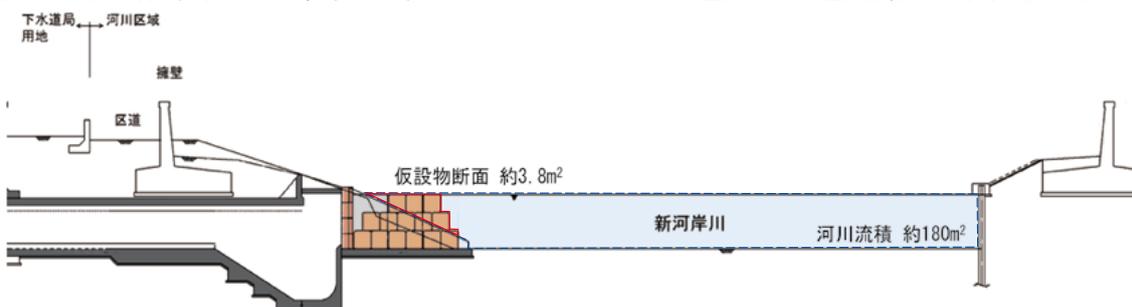


図10 河積阻害率と土のう積上げ段数

2.5 施工エリアの浸水

令和4年度上半期に完了した1期工事で発生した課題と対応を紹介する。1期工事では、非出水期5年間実績の最大河川水位を締切高さに設定し、工事期間中は基本的に十分な締切高さを確保できていた(図11)。しかしながら、令和3年12月に想定していた高さを上回る河川水位が観測され、河川水が耐候性大型土のう、仮設鋼製壁を越流し、施工エリアに浸入する事象が発生した(図12)。この際、再び施工エリアをドライ化するために、施工業者協力の下、追加でポンプ排水を実施する等の手間が生じている。

このことについて、工事部署と当課にて対策検討を実施した。対象施設から1.5km程度上流側にある笹目橋にて常時河川水位が計測されている。東京都防災マップにて公開されている当該地点における河川水位の観測値^{*4}に基づき2期工事の河川締切高さの変更等の対策を講じた。

結果として、令和4年11月に着手した2期工事は、同様の事象は発生せず、工事が完了した。



図11 河川締切(令和4年4月)

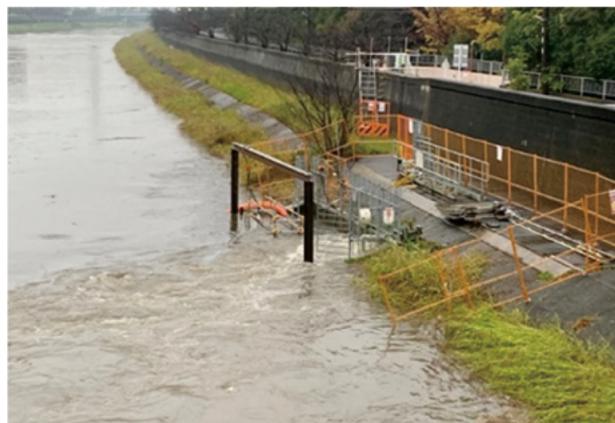


図12 河川締切(令和3年12月)

3. まとめ

今回報告した内容は、根拠基準や実績データに基づく検討・判断が重要となる。

今後も、本事例と類似した設計・工事を実施する機会が多いことが予想される。対象となる水再生センターや放流先河川ごとに運用・状況は千差万別であるが、本稿が放流渠ドライ化の検討の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 「運転管理日報」
(平成29年度～令和3年度 西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター)
- 2) 「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル[改訂版]
(平成29年10月 (一財)土木研究センター)
- 3) 「改定 解説・河川管理施設等構造令」 (平成14年9月 (社団法人)日本河川協会)
- 4) 「東京都防災マップ」
<https://map.bosai.metro.tokyo.lg.jp/?p=observation%2Friver®ionCd=130001>
(東京都総務局総合防災部防災管理課)

2-1-1 水理模型を用いた合流改善貯留管の空気噴出事象の再現について

第二基幹施設再構築事務所 設計課 吉原 慧

1. はじめに

下水道局では、水が滞留しやすい河川区間等において、合流式下水道の改善（以下、「合流改善」とする。）を行う貯留施設整備を進めている。合流改善貯留施設は、降雨初期の特に汚れた雨水を取水し、貯留することで、河川などへ放流される汚濁負荷量を削減し、良好な水環境を創出する。

合流改善貯留施設の設計に際しては、貯留水に押し出された空気が適切に排気されるよう、施設規模に応じた排気施設の検討を行う必要がある。しかし、貯留施設内の水と空気の挙動は、流出解析シミュレーション等の机上検討による把握が困難なため、設計時の想定と異なる空気噴出が発生する可能性がある。

本稿はその一例である、令和3年9月に発生した「善福寺川流域貯留管」における空気噴出事象について、水理模型による再現実験の結果を報告し、発生要因の考察を行うものである。

2. 善福寺川流域貯留管の概要

「善福寺川流域貯留管」は、善福寺川流域（東京都杉並区・練馬区）の合流改善を目的とした貯留管である。貯留管内径 2.4m、延長約 3.4km、流域面積約 370ha であり、全 19 箇所の取水施設から約 15,000 m³ の貯留を行う計画である。

令和3年6月より、合流改善効果を早期に発現させるため、先行整備された貯留管と5箇所の取水施設（図1）を暫定的に供用し、取水及び貯留を行っていた。

貯留管内の排気に関しては、原則的に、中間人孔へ整備された高さ約4mの排気施設（写真1）によってなされていた。

3. 空気噴出時の状況

令和3年9月18日、台風14号の降雨により、貯留管最下流部に位置する置田橋付近の取水施設（以下、「置田橋取水施設」とする。）から、貯留した雨水と共に貯留管内の空気が噴出する事象が発生した。事象発生直前とみられる午前5時台の降雨強度は26mm/h（原寺分橋観測所）と比較的小さく、降雨条件以外の要因



図1 善福寺川流域貯留管案内図
(令和3年9月時点)



写真1 中間人孔排気施設
(杉並区立関根文化公園)

が強く影響した可能性が考えられる。

4. 実験条件

空気噴出事象を再現するため、本管の全延長と5箇所の取水施設（取水構造及び導水構造含む）の水理模型を製作した。模型縮尺は、管内の動水勾配を再現するため、横断方向1/12, 流下方向1/15.3の歪み模型とし、フルードの相似律に従って検討を行った。なお、実験場の空間的制限等の理由から、実験結果に影響を与えない程度に、湾曲部の増減を行っている。



写真2 水理模型全体写真（縮尺は実物換算値）

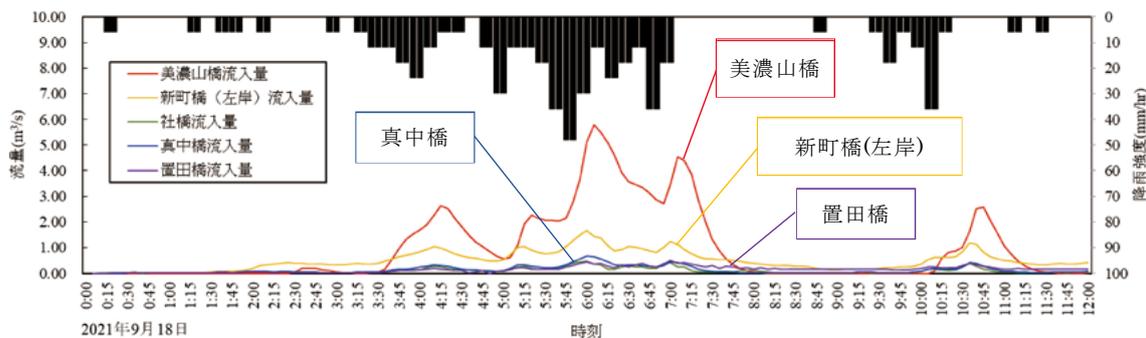


図2 実績降雨ハイトグラフと各取水人孔への流入量

水理模型へ与える非定常流入量は、事象発生時（令和3年9月18日）の降雨に基づく流出解析結果により設定を行った。実績降雨強度及び5箇所の取水施設への流入量の時間変動を図2に示す。

流出解析により求めた流入量を水理模型へ与え、各人孔における水と空気の挙動および圧力変動を記録し、噴出事象の発生有無の確認を行った。

5. 実験結果

実験の結果、空気噴出が確認された。実験時の置田橋取水施設付近における水と空気の挙動を写真3に示す。

貯留管取水時は、斜坑管による取水に伴い、貯留管内への空気連行が確認された。貯留管が満水となった後も取水が継続した結果、貯留管内水位が急激に上昇し、管内に閉塞された空気塊が上流側から押し出され、激しく噴出する様子が確認された。

実験中の始端、中間、終端人孔及び置田橋取水人孔の底部における圧力（標高換算値、以下、「圧力標高」とする。）の変動を図3に示す。始端、中間、終端人孔底部の圧力標高は、貯留管が満水となった後、約5分間で10m程度と急激に上昇し、併せて置田橋取水人孔の圧力標高も約2分間で3m程度上昇した。

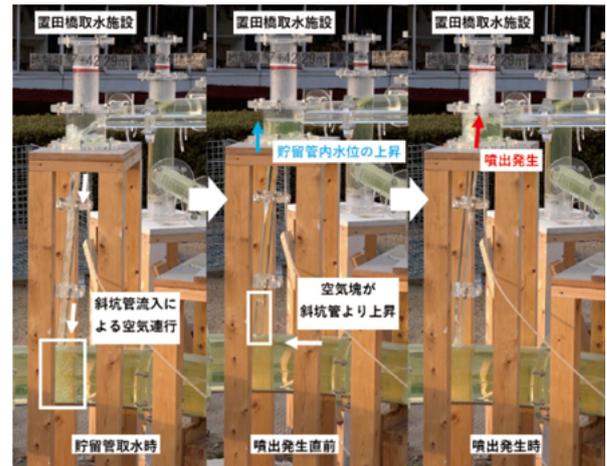


写真3 置田橋取水施設における空気噴出

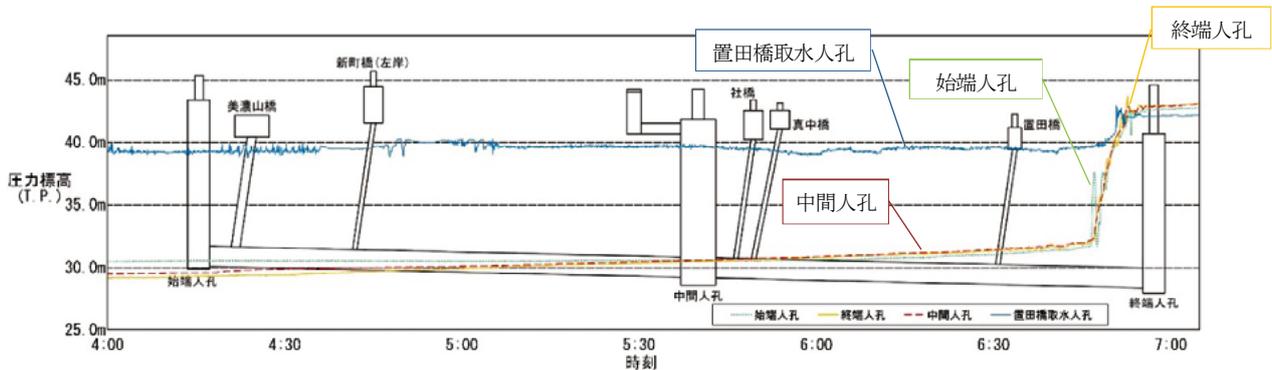


図3 貯留管縦断位置と各取水人孔底部における圧力変動

6. 噴出発生要因の考察

水理模型実験の結果より考察される、噴出事象の発生機序を図4に示す。斜坑管取水により連行された空気は、貯留管内水位が低い段階においては、中間人孔排気施設より排気される（図4・貯留前期）。しかし、貯留管内水位が上昇し、中間人孔の管口が閉塞されることで排気が抑制され、連行空気も管頂部に閉塞、被圧される（写真4、図4・貯留中期）。連行空気の閉塞は、真中橋と置田橋の取水施設間、約900mという比較的長区間で発生するため、大量の被圧空気塊が生じると考えられる。貯留管が満水となった後も取水が継続し、貯留管内水位が急激に上昇すると、貯留管内の圧力も急激に上昇し、大量の被圧空気塊は置田橋取水施設へ押し出され、噴出する（図4・貯留管満水後）。



写真4 中間人孔の閉塞と空気塊の滞留

上記発生機序を仮定すると、供用予定の 19 箇所の取水施設の内 5 箇所のみを暫定供用したことにより、置田橋取水施設に排気が集中し、噴出が発生した可能性が示唆される。

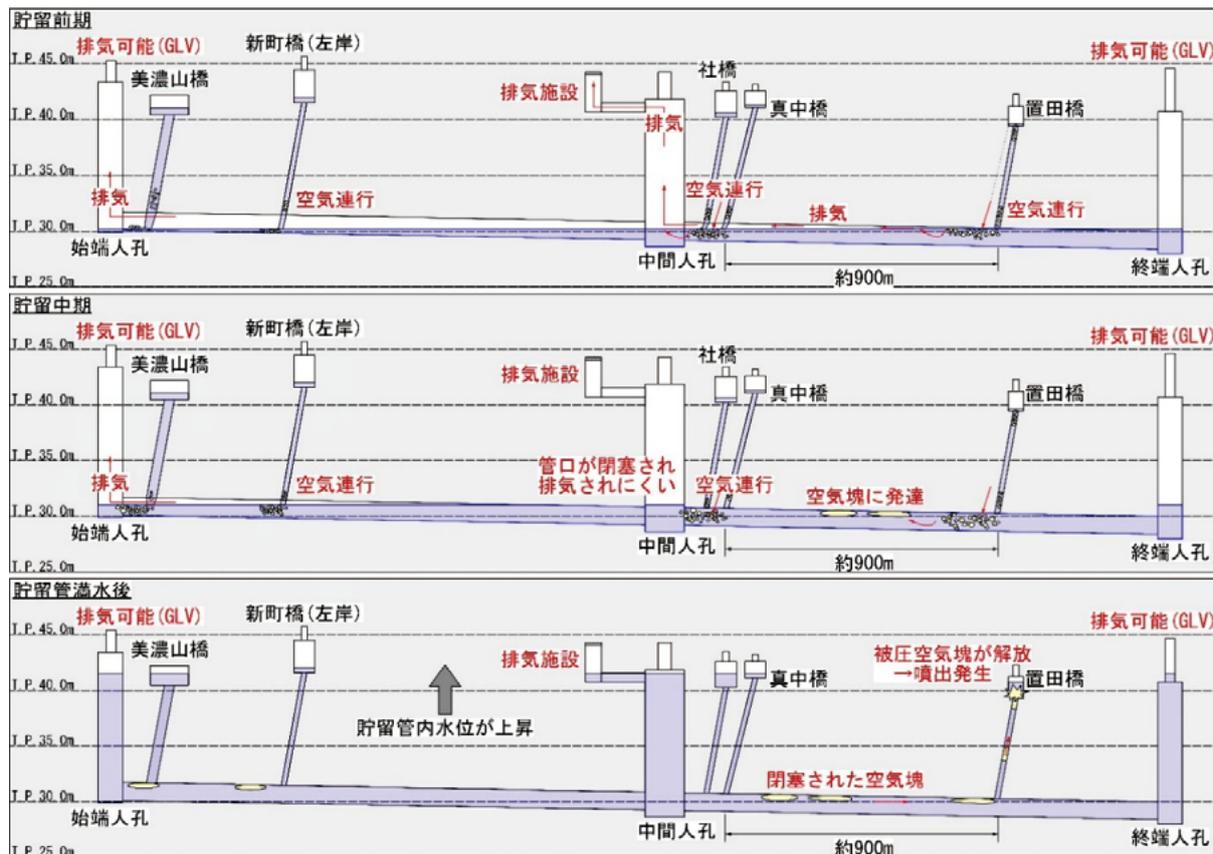


図 4 空気噴出の発生機序

7. おわりに

水理模型実験により噴出事象発生時の状況を再現した結果、空気塊が真中橋と置田橋の取水施設間に閉塞され、置田橋取水施設より噴出する様子が確認された。

本事例のように貯留施設の段階的な整備・供用を行う場合は、各供用段階の貯留施設における水と空気の挙動について、水理模型実験等により、実現象を把握することが重要と考えられる。

2-2-1 第二沈殿池での脱窒浮上抑制及び水質改善への取組

北部下水道事務所 三河島水再生センター 水質管理担当 榎本 賢介
 松本 博夫 (現 葛西水再生センター 水質管理担当)
 真島 徳男 (現 みやぎ水再生センター 水質管理担当)
 工藤 菜々子 久保 聡
 渡邊 聖央 (現 環境管理課 水質検査担当)

1 はじめに

三河島水再生センター（以下「当センター」という。）では、現在、図1に示す浅草系南、浅草系北、藍染系、藍染東系の4つの水処理系列で処理している。

4つの水処理系列では、りん除去を主な目的とした（擬似）嫌気-好気活性汚泥法で処理をしており、表1に記載の通り窒素処理を主眼とした高度処理施設は備えていない。また、硝化を進めると第二沈殿池（以下「二沈」という。）で脱窒による汚泥浮上が起こりやすいため窒素処理の難易度が高いセンターである。二沈の概要については表2の通りである。

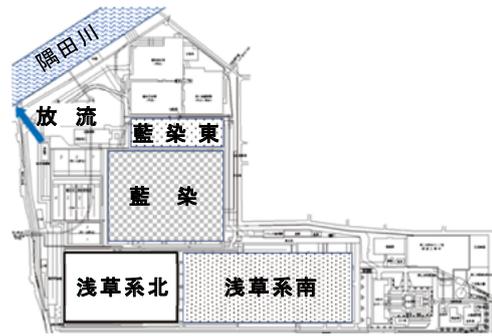


図1 三河島水再生センター平面図

従来はこれらの問題に対応するため、状況に応じて硝化抑制運転することにより脱窒に起因する汚泥浮上を抑制するといった対応を行っていたが、この方針では今まで以上の水質改善は難しい。

令和5年度は一年を通じた硝化促進運転が可能か、硝化促進に伴い発生する二沈での汚泥浮上を抑制できないか運用方法を再検討した。また、合わせて改善の障害となったいくつかの問題への対応について報告する。

表1 当センターの反応槽概要

	浅草系南	浅草系北	藍染系	藍染東系
処理方式	AO法	AO法	擬似AO法	擬似AO法
槽数	4	4	4	2
寸法	75×6.3×5.3×4回路(1,2,3号) 75×6.3×4.3×4回路(4号)	75×6.3×4.3×4回路	74×7.4×4.2×4回路	15.5×11×10×4回路
散気水深	4m	4m	3.9m	4m
散気方式	片側旋回流 4号のみ(全面)混合拡散	(全面)混合拡散	(全面)混合拡散	旋回流
処理能力	200,000 ³ /日	170,000 ³ /日	190,000 ³ /日	70,000 ³ /日
滞留時間	4.6時間	4.6時間	4.6時間	4.6時間

表2 当センターの二沈概要

	浅草系南	浅草系北	藍染系	藍染東系
池数	12池	12池	6池	2池
寸法	36.5×15.4×3.1=1,740	36.5×15.4×3.1=1,740(1,3,4,6号) 34.5×16.8×3.1=1,800(7,9号) 36.5×15.4×2.7=1,320(2,5号) 34.5×16.8×2.7=1,360(8,10~12号)	39.8×23.2×3.6=3,320	上段45.0×15.0×3.4=2,295 下段43.0×15.0×3.2=2,064
有効容量	20,880 ³	19,640 ³	19,920 ³	8,720 ³
返送汚泥ポンプ	φ300mm 10 ³ /min 4台 φ350mm 15 ³ /min 4台	φ300mm 10 ³ /min 4台 φ350mm 15 ³ /min 4台	φ350mm 20 ³ /min 4台	φ250mm 6.5 ³ /min 3台
余剰汚泥ポンプ	φ200mm 2.4 ³ /min 4台	φ200mm 2.0 ³ /min 4台	φ200mm 2.5 ³ /min	φ150×125mm 1.2 ³ /min 2台
仕様	リンクベルト式	リンクベルト式	リンクベルト式	リンクベルト式 (二階層式水平流長方形池)
処理能力	1池4水路 3時間滞留 170,000 ³ /d	1池4水路 3時間滞留 159,000 ³ /d	1池4水路 3時間滞留 160,000 ³ /d	1池3水路 3時間滞留 70,000 ³ /d

2 当センターの令和5年度上半期の対策状況

2.1 令和5年度に発生した主な問題

2.1.1 浅草系北二沈脱窒浮上への対応

浅草系北の二沈は以前から脱窒浮上しやすかったため、令和4年まで緩やかな硝化抑制運転を継続し、二沈に流入する亜硝酸イオンや硝酸イオンを減らすことで汚泥浮上の対策をしてきた。

硝化促進運転を行う場合、二沈に亜硝酸イオンや硝酸イオンが流入することにより池内で脱窒反応が起こり、汚泥浮上の原因になることがある。そこで反応槽内で脱窒を促すことで処理水に含まれる窒素を削減するとともに、二沈に流入する亜硝酸イオンや硝酸イオンの削減が進み、脱窒浮上を抑制できるのではないかと考え、試験的に散気版とつながるライザー管のバルブ調整を実施することとした。

反応槽最終回路のライザー管バルブを図2の通りの開閉状況にし、経過を観察した。その際、散気板が閉塞する可能性を踏まえ、閉めるバルブは全閉でなく10%開けておくことにした。

ライザー管バルブ調整は浅草系北反応槽1~4号全てで4月26日から継続して実施した。

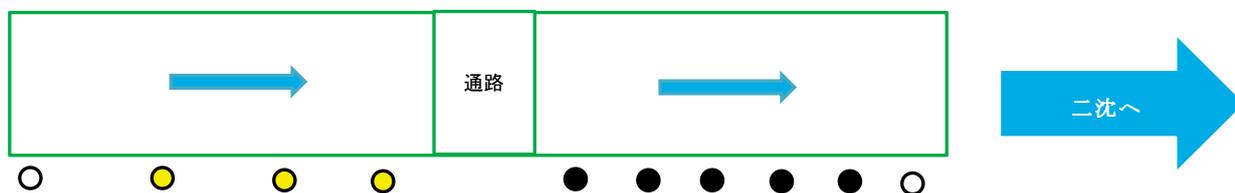


図2 浅草系北反応槽D回路ライザー管バルブ開閉状況

※○開、●常時閉、●硝化状況に応じて閉

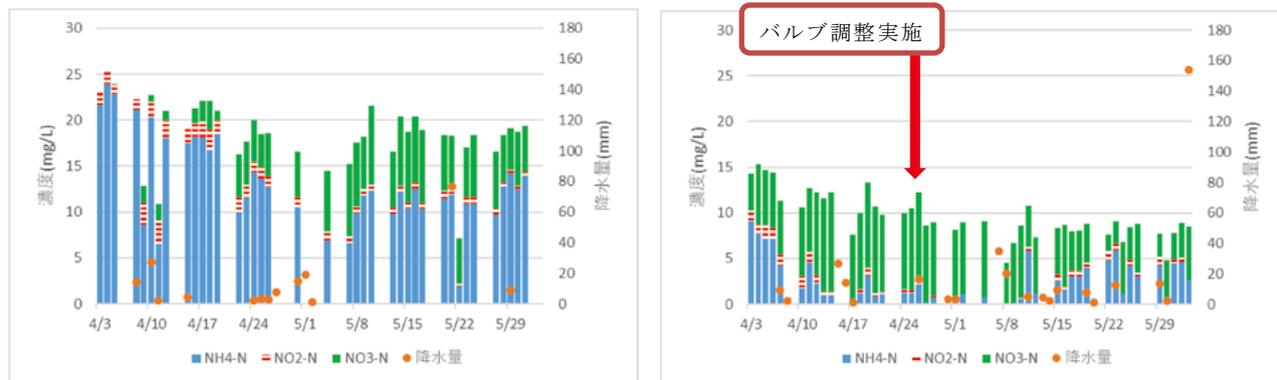


図3 令和元年浅草系北処理水の三態窒素と降水量 図4 令和5年浅草系北処理水の三態窒素と降水量

図3、図4にコロナ禍の影響を受けていない令和元年度と令和5年度の4~5月における浅草系北処理水三態窒素の変動及び降水量について示す。

令和5年度のバルブ調整を行う前までの三態窒素濃度は日平均11.9mg/L(令和5年4月3日~4月26日までのデータ平均)であったが、バルブ調整実施以降は日平均8.1mg/L(令和5年4月27日~6月3日までのデータ平均)と32%の減少が確認された。なお、令和元年度の同時期の三態窒素量は令和元年4月3日~4月26日までの日平均値19.9mg/L、令和元年4月27日~6月3日までの日平均値17.6mg/Lと12%の減少しか見られないため三態窒素の減少は季節変動によるものではなくバルブ調整を行ったことによるものと推察された。

バルブの調整を行ったことで反応槽に入る空気量が減少したためアンモニア性窒素濃度はバルブの調整前より上昇したが、三態窒素については大幅に減少したためその後は硝化状況に応じてライザー管バルブの開閉位置を変えて継続することにした。

バルブ調整後は浅草系北二沈での脱窒浮上が抑制され、その効果は透視度にも現れた。

バルブ調整以前の透視度(4月3日～26日)は平均：70(中央値：70)であったが、バルブ調整後の透視度(4月27日～6月30日)は平均：84(中央値：85)となった(図5)。

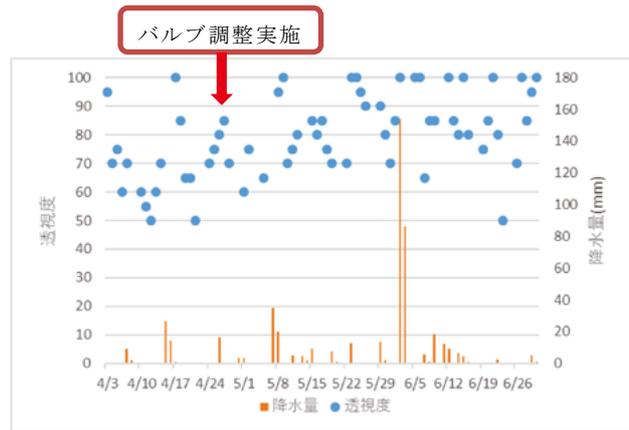


図5 浅草系北二沈の透視度の変動と降水量

2.1.2 浅草系南二沈脱窒浮上への対応

5月中旬より浅草系南二沈での汚泥浮上が確認されたことから浅草系南二沈でも脱窒浮上対策を実施した。浅草系北反応槽で実施したライザー管バルブ調整の結果が良好だったため、5月26日から浅草系南反応槽1～4号槽の各D回路で図6の通りライザー管バルブ調整を実施した。

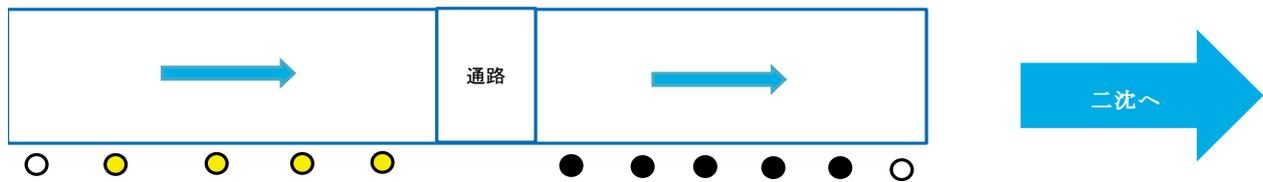


図6. 浅草系南反応槽D回路ライザー管バルブ開閉状況
※○開、●閉、●状況に応じて開閉

図7、図8に浅草系南のライザー管バルブ調整前後の三態窒素の変動と降水量について示す。

浅草系南反応槽はバルブ調整実施後、一週間程度風量調節がうまくいかず、アンモニア性窒素の残存が続いたが徐々に改善に向かった。

令和5年度のバルブ調整を行う前までの三態窒素量は日平均9.6mg/L(令和5年5月1日～6月4日までのデータ平均)であったが、バルブ調整実施以降は日平均9.5mg/L(令和5年6月5日～6月30日までのデータ平均)と1.5%の減少が確認された。なお、令和元年度の同時期の三態窒素量は令和元年5月1日～6月4日までの日平均値14.7mg/L、令和元年6月5日～6月30日までの日平均値12.2mg/Lと17%の減少が見られるためバルブ調整実施による三態窒素の減少は確認できなかった。

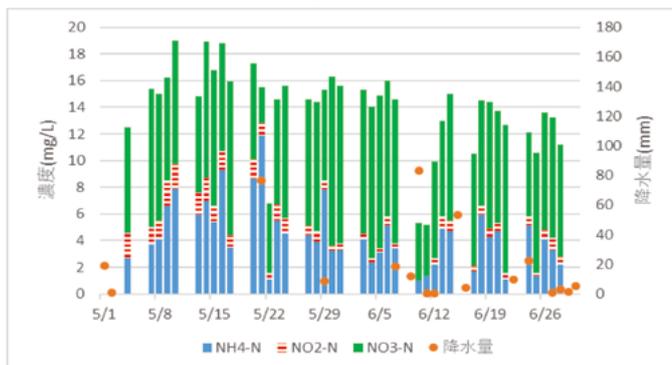


図7 令和元年浅草系南処理水の三態窒素と降水量

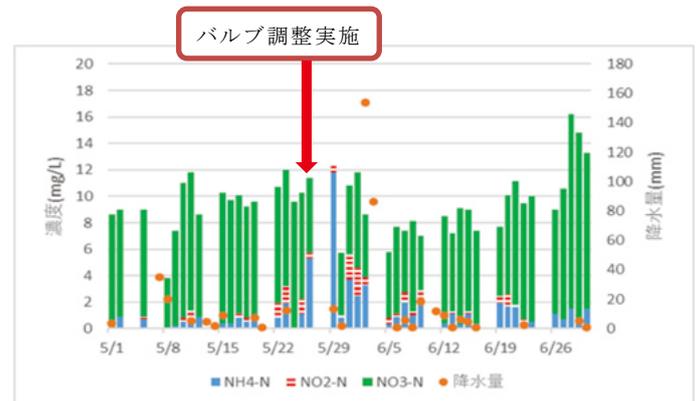


図8 令和5年浅草系南処理水の三態窒素と降水量

バルブ調整後は浅草系南二沈での三態窒素濃度に大きな変化は見られなかったものの、透視度は改善した。

バルブ調整以前の透視度(5月1日～26日)は平均：84(中央値：80)であったが、バルブ調整後の透視度(5月27日～7月28日)は平均：93(中央値：100)となった(図9)。

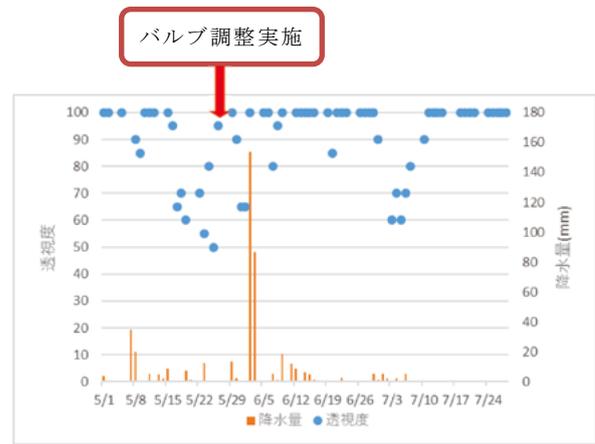


図9 浅草系南二沈の透視度の変動と降水量

2.1.3 浅草系北反応槽改良工事と機器不調への対応

6月26日には浅草系北反応槽3号が散気設備改良工事のため停止した。反応槽3号の停止後に排水を実施した際、浅草系北反応槽でMLSS濃度が最低で700mg/L程度まで低下した。

当初の予定では反応槽3号の槽内から沈砂池前の管路に排水することで反応槽3号を空にする予定であった。しかし排水が進まなかったため調査したところ、稼働中の反応槽から二沈に向かう水路から工事中の反応槽3号に活性汚泥が逆流していることが原因と判明した。

逆流を抑えるためには反応槽と水路の間に止水板を入れる必要があるが、反応槽の水位が低下しないと止水板を入れることができない(工事中の反応槽をある程度排水するまで活性汚泥の流出を止められない)。そのため、余剰汚泥の引き抜き停止と藍染東系からの余剰汚泥転送を実施することで浅草系北反応槽のMLSS濃度を維持できるようにして対応した。

排水は7月7日に終了したが、MLSS濃度が700mg/L程度まで低下したため、浅草系北反応槽のMLSS増加のため、余剰汚泥の引き抜き停止と藍染系東からの余剰汚泥転送を継続した。

7月10日には各槽ともにMLSSが2,000mg/L程度まで回復したので余剰汚泥の引き抜きを再開したが、今度は余剰汚泥引き抜き量の設定値を上げてても実際の引き抜き量が一定量から増加しないことが確認された。そのため、7月1日時点で余剰汚泥引き抜き量の設定値2,400m³/日、汚泥返送率の設定値90%で運転していたものを8月3日に余剰汚泥引き抜き量の設定値2,400m³/日、汚泥返送率の設定値40～50%に変更し、余剰汚泥濃度を高めて限られた余剰汚泥量でできるだけ多くの固形分を引き抜くことで対応した(図10)。



図10 浅草系北余剰汚泥の変動

余剰汚泥引き抜きの問題のため7月中旬から8月上旬にかけては浅草系北反応槽のMLSS濃度の制御が困難となり、2000mg/Lを超えることもあった。MLSS濃度の上昇に伴い浅草系北反応槽で亜硝酸性窒素の濃度が上がったため、D回路ライザー管バルブの開閉による脱窒浮上対策はいったん停止した。

8月中旬以降はMLSS濃度も1500mg/L程度を維持できるようになったが、汚泥浮上が再度見られるようになった。

3 下半期に入ってから状況及び対策

前述の汚泥浮上対策を行ったことで浅草系南二沈では脱窒浮上が抑制され、良好な水質を維持できるようになった。一方で浅草系北二沈では再度汚泥浮上が見られたため、更なる対応策について検討することとなった。

浅草系北二沈で汚泥浮上が見られた理由として脱窒浮上以外の原因を検討した。反応槽停止に伴い浅草系北の処理水量は減少したが二沈の稼働池数は同一であるため、二沈の滞留時間が過大となっているのではないかと考えられた。

水中に蓄積された汚泥が長時間槽内で停滞すると広範囲で無酸素状態が常態化して汚泥が浮上し、さらに悪化すると汚泥が腐敗する恐れがある。そのため二沈での滞留時間を短くすることで汚泥の浮上が多少でも抑制できるのではないかと考えた。

一般的に二沈の滞留時間は3～4時間程度とされているが、8月時点での二沈滞留時間は5.4時間もあった。そのため二沈の状況を観察しながら1池ずつ停止することで二沈での滞留時間を抑えた。

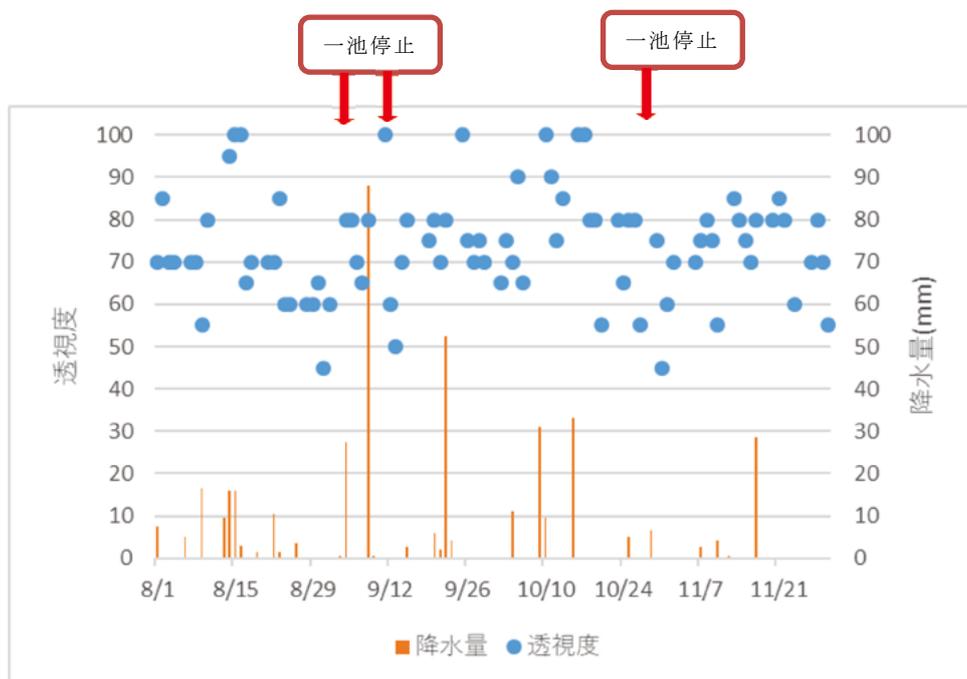


図11 浅草系北二沈の透視度の変動と降水量

8月の浅草系北二沈の透視度は月平均：72（中央値：70）と非常に悪化していた。

そこで9月5日、13日に二沈を一池ずつ停止したところ二沈滞留時間は5.0時間になり、9月14日～10月13日の透視度が平均：78（中央値：75）まで回復した。10月中旬から再度透視度が悪化したため、10月27日にさらに一池を停止した（二沈滞留時間は4.5時間）。その結果、透視度の改善は見られたものの透視度は依然として80程度にとどまった（図11）。

4 取組の効果

汚泥浮上の抑制と窒素処理の改善を目標とした令和5年度の取組が放流水質にどのような効果をもたらしたかを把握するため、コロナ禍前の令和元年度（4～11月）から令和5年度までの4～11月の水質状況の比較を表3に示す。

表3 4～11月の水質状況

		コロナ禍の影響あり					
		令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度	4年間の減少率 (%)
処理水透視度中央値 (日常試験値)	浅草系南	100	100	100	100	100	
	浅草系北	90	100	100	80	75	
	放流水	85	100	100	100	90	
三態窒素濃度日平均値(mg/L) (日常試験値)	浅草系南	13	9.6	9.3	9.7	9.8	25%
	浅草系北	14.4	11.8	10	11	9.4	35%
	放流水	13.6	10.1	9.3	10	9.8	28%
アンモニア性窒素日平均値 (mg/L) (日常試験値)	浅草系南	4.1	1.5	2.3	1.7	0.9	78%
	浅草系北	7	6.5	3.7	4.1	2.2	69%
	放流水	6.1	3.4	2.3	2.3	1.5	75%
流入水BOD負荷量(t/日) (4～11月平均値)		77	68	64	62	71	8%
累計雨量(mm)		1355.5	1116.5	1410	1071	917	32%

令和5年度は令和元年度より降雨が少ない一方で、流入負荷量が同程度あるにもかかわらず放流水透視度、三態窒素（放流水）、アンモニア性窒素（放流水）は令和元年度より改善している。

また、浅草系南北処理水どちらも令和元年度に比べて三態窒素及びアンモニア性窒素が減少しているため、二沈での脱窒浮上を抑えつつ反応槽内で硝化脱窒反応を促進するといった当初の目標をある程度達成できたといえる。

特に浅草系南ではバルブ調整直後は三態窒素濃度に大きな変動が見られなかったものの、4月～11月にかけてのデータを見ると良好な透視度を維持しつつ令和元年度よりも大幅な三態窒素濃度低下を実現している。

一方で浅草系北は令和元年度に比べ三態窒素濃度こそ低下しているものの透視度は悪化しており、更なる汚泥浮上対策が必要であることが分かった。

5 まとめと今後

令和5年度は硝化促進運転を継続したまま二沈での汚泥浮上抑制を目指す取組を実行してきた。硝化促進運転は工事やトラブルの影響を受けた時期の浅草系北以外ではおおむね順調で窒素処理は一步前進したと考える。

汚泥浮上抑制については、浅草系南二沈では一定の成果が得られたものの浅草系北二沈では十分とは言えない。表3からもわかる通り、三態窒素濃度は浅草系南、浅草系北ともに同程度であるにもかかわらず透視度に大きな違いが生じている。この原因として、二沈での脱窒浮上や滞留時間の問題以外にもポンプ所からの送水量の変動や二沈の構造的な問題、季節変化に伴う硝化不良など様々な要因が考えられる。硝化促進と汚泥浮上のトレードオフから脱却するためには、更なる工夫が必要である。

そのため、今後の対策として以下の点について調査予定である。

- 処理水量の時間変動及び各反応槽の硝化状況と二沈透視度の関係性についての把握
- 各系列の汚泥が堆積しやすい箇所の把握

2-2-2 リン酸計増設等による PAC 注入管理の改善について

東部第一下水道事務所 砂町水再生センター 足立 悠介

1. はじめに

砂町水再生センター（以下「砂セ」という。）内にある東部スラッジプラント（以下「東プラ」という。）では、砂セで発生した汚泥（約 32,000 m³/日）に加えて、三河島、落合、中野、みやぎ、有明の各水再生センターから汚泥（約 27,000 m³/日）を受け入れている。このため、砂セでは、東プラからの汚泥処理返流水由来のりん負荷が非常に高くなっており、砂セの水処理へ流入するりん負荷量の半分以上を汚泥処理返流水が占めている。砂セの水処理系列の中でも、主に汚泥処理返流水が流入している東陽Ⅰ、Ⅱ系水処理施設は特にりん処理が不安定になりやすい傾向があり、一時的に放流水のりん濃度が法令基準値近くまで上昇する場合があるため、反応槽に設置しているりん酸計の値をもとにポリ塩化アルミニウム（以下「PAC」という。）の注入を行っている。

しかし、これまでは東陽Ⅰ、Ⅱ系においてりん酸計が 2 台しか設置されていなかったため、各槽のりん酸性りん濃度に応じた PAC の適切な注入管理ができず、槽によって無駄な注入や注入不足が生じていた。また、特にりんが不安定になった際には、PAC が長期間連続で注入され東陽Ⅰ、Ⅱ系の PAC 貯留量が不足する事態も発生していた。

そこで、りん酸計の増設に向けた調査結果をもとに、工事要望を行ったところ、令和 4 年 10 月に増設が実現したため、今回その効果の検証を行った。また、PAC 貯留量不足への対策として、東陽Ⅲ系の PAC 貯留槽からの転送配管を設置し、一定の効果が得られたため合わせて報告する。

2. リン酸計増設について

2.1 リン酸計の設置状況と課題

東陽Ⅰ、Ⅱ系反応槽におけるりん酸計の設置状況（増設前）を図 1 に示す。令和 4 年 10 月以前については、東陽Ⅰ、Ⅱ系反応槽 16 槽のうち代表槽である 3-1 号槽及び 6-2 号槽のみ、りん酸計が設置されていた。しかし、図 2 に示す東陽Ⅰ、Ⅱ系各槽のりん酸性りん濃度の推移（令和 3～令和 4 年度）からもわかるように、同じ系列内であってもりん酸濃度に大きな差が生じる場合がある。各槽の PAC 注入制御はりん酸計により行っているため、代表槽のみ高い場合は PAC 注入に無駄が生じ、逆に代表槽以外が高い場合は適切な PAC 注入ができないという問題が生じていた。

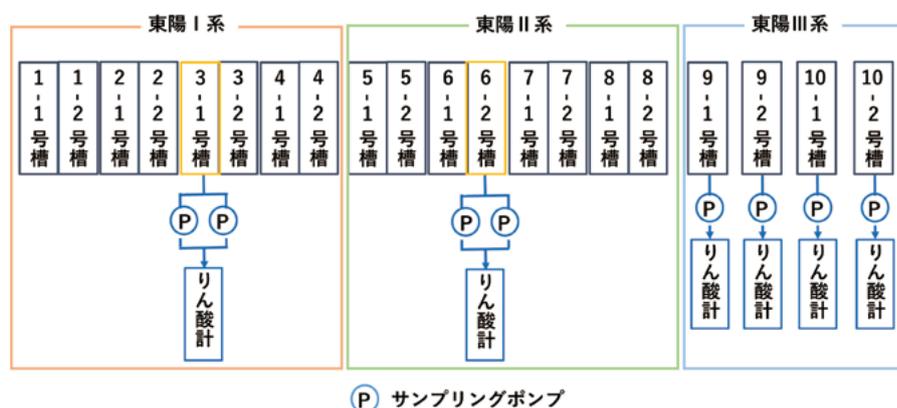


図 1 東陽Ⅰ、Ⅱ系反応槽におけるりん酸計の設置状況（増設前）

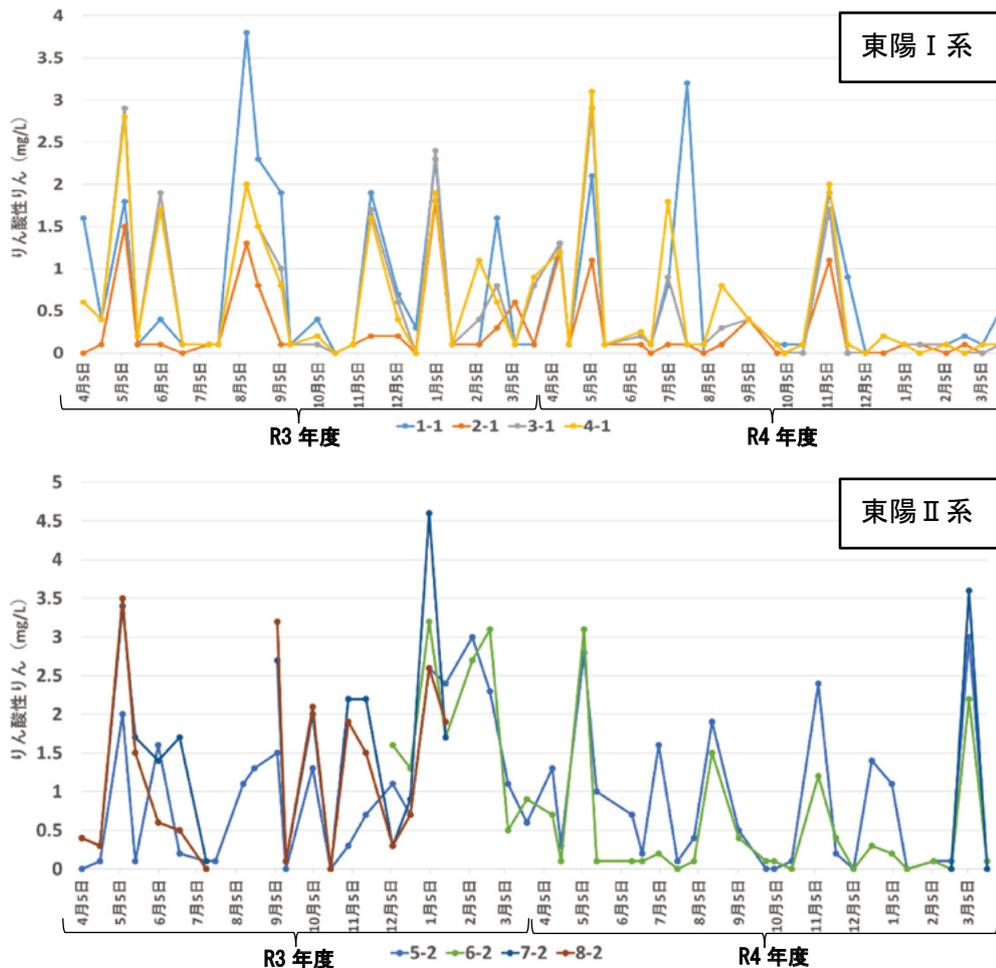


図2 東陽 I、II系各槽のりん酸性りん濃度推移 (R3~R4)

2.2 りん酸計増設に向けた検討

上記のような課題を解決するためにりん酸計増設に向けた検討を行った。各槽の水質の把握を優先した理想的なりん酸計の増設案としては、図3のように東陽系の各槽にりん酸計を設置する案が考えられた。しかし、りん酸計の導入コストが高いこと(約2,000万円/台以上)や台数が大幅に増えることによる運用コストの増加等もあり、この案は現実的ではないと考えられた。

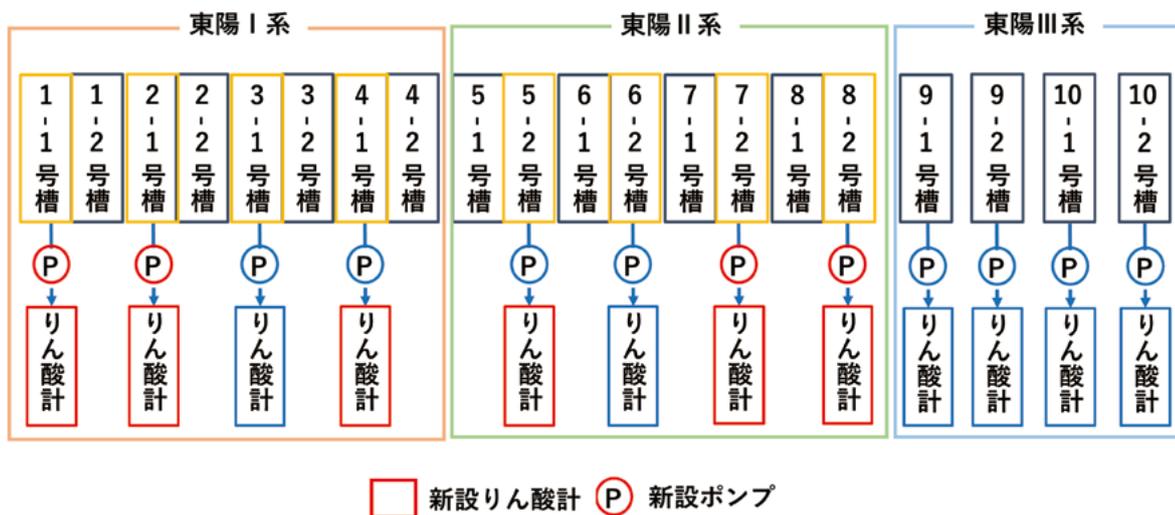


図3 東陽系水処理施設におけるりん酸計の増設案 1

そこで、図4のように採水箇所を1時間ごとに交互に変えることで、1台のりん酸計で2槽測定する方法を取ることにした。この方法であれば、連続測定ではなくなるものの、りん酸計を8槽に増設する案に比べ台数を半分以下に減らすことが可能となり、大幅にコストを削減することができる。

なお、PACの注入方法については、交互に測定している槽のどちらかが設定値を超えた場合、4槽にそれぞれ1 L/min 注入する制御とした（例えば、1-1号槽が設定値を超えた場合、1-1、1-2、2-1、2-2号槽にそれぞれ1 L/min ずつ注入）。

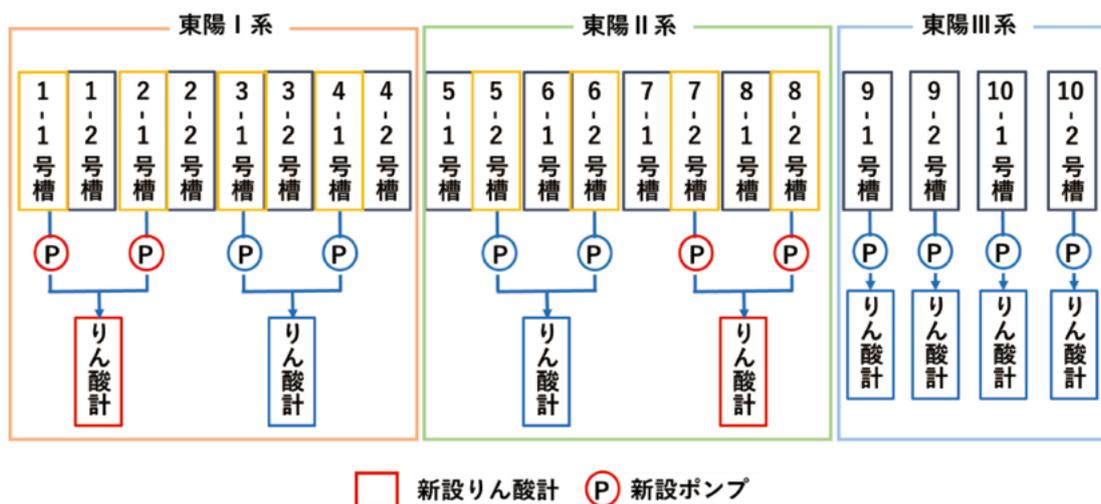


図4 東陽系水処理施設におけるりん酸計の増設案 2

2.3 りん酸計増設による効果

次に、りん酸計増設の効果を検証した。りん酸計増設の効果として第一に考えられるのがPAC注入量の削減である。図5にりん酸計増設以降（令和4年10月～）と過去3か年平均（令和1～令和3年度）のPAC注入量を比較した結果を示す。令和5年2月については、設備故障による余剰汚泥の引抜制限により、汚泥が流出したことが原因でPAC注入量が非常に多くなっているが、それ以外の月については、概ねりん酸計増設後のほうがPAC注入量は少なくなっていることが分かった。比較期間のPAC使用量の合計（2月の結果を除く）は、過去3か年平均 約363,000 Lに対し、りん酸計増設後 約189,000 Lであった。ただし、PAC注入量はその時のりん処理の状況によって大きく左右されるため、今後も注入量の変化を継続して検証していく必要がある。

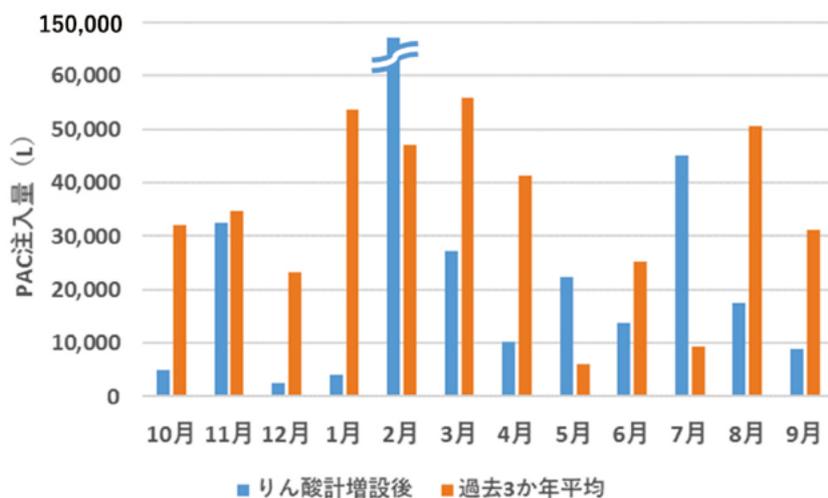


図5 PAC注入量の比較（りん酸計増設後、過去3か年平均（R1～R3年度））

次に、代表槽（3-1号槽、6-2号槽）のみ PAC 注入開始のりん酸性りんの設定濃度（2.5mg/L）を超え、それ以外の槽については設定濃度を超えていない事例を調べた。図6に東陽I系における一例を示す。仮に、増設以前のように測定が代表槽のみだとすると、PAC 注入の設定濃度 2.5mg/L を超えている期間は東陽 I 系全槽に PAC が注入され、過剰に PAC が消費されてしまうが、りん酸計増設により代表槽以外への注入を制御することができる。このような事例が令和 5 年 4 月から 9 月までの期間にどの程度あったか調べ、代表槽が設定値を超えた際に、各系列全槽に 1 時間 PAC が注入されると仮定した場合、りん酸計増設によって PAC 注入量をどの程度削減できたか推測を行った。その結果、今年度（4 月～9 月）は、少なくとも東陽 I 系で約 10,000 L、東陽 II 系で約 7,000 L の PAC が削減できていることが分かった。

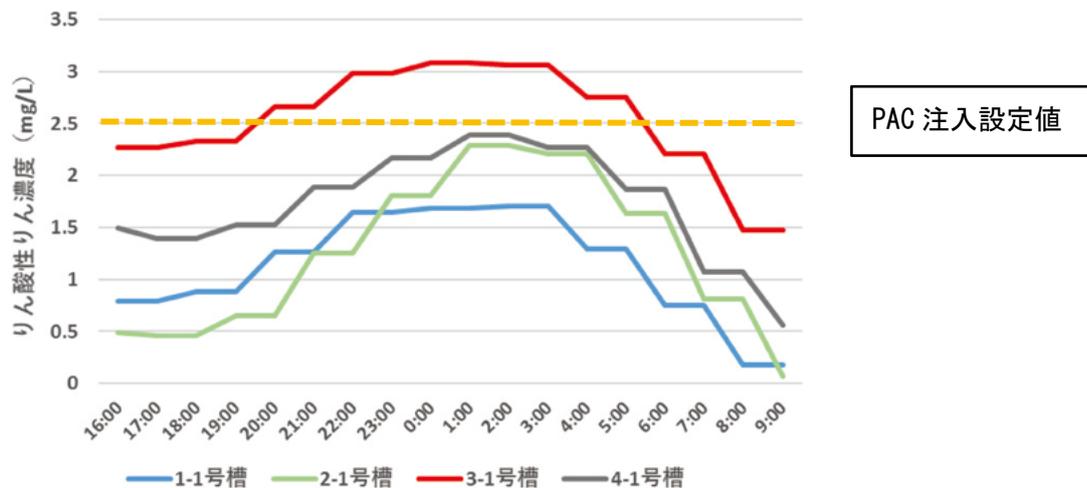


図6 代表槽のみりん酸計測定値が高い事例（東陽 I 系）

3. PAC 貯留量不足への対策について

図7に東陽系における PAC の注入配管図（整備前）を、図8に各水処理系統における年間 PAC 使用量（過去3か年平均（令和2～令和4年度））を示す。東陽 I、II 系貯留槽は、東陽 III 系貯留槽に比べて小さく、りん処理が特に不安定になった際には、PAC 貯留量が枯渇する事態が発生していた。逆に、図8からわかるように東陽 III 系は PAC 使用量に対して貯留槽が大きいことや注入先が固定の槽であることにより、貯留槽内の PAC の入れ替わりが少ない。そのため、図9に示す各処理系統の貯留槽内の PAC 性状比較からもわかるように、PAC の劣化による白濁や配管の閉塞が発生し、定期的な洗浄作業等が必要であった。

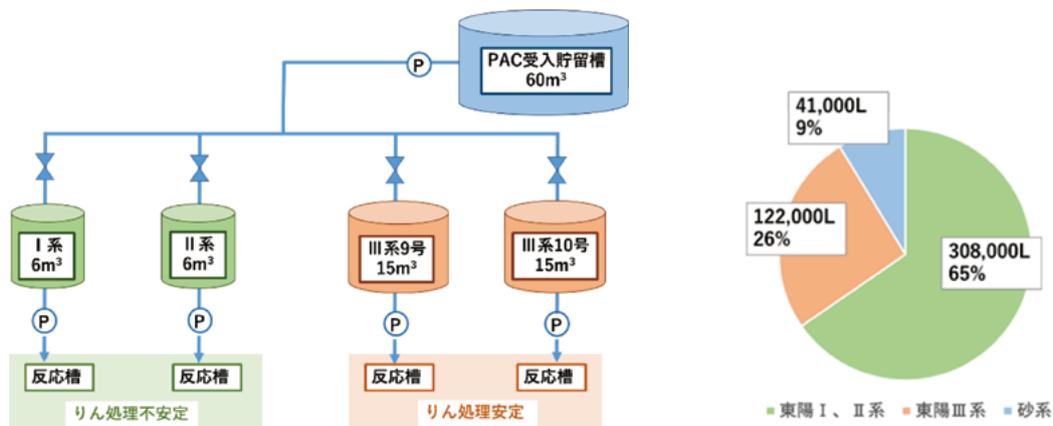
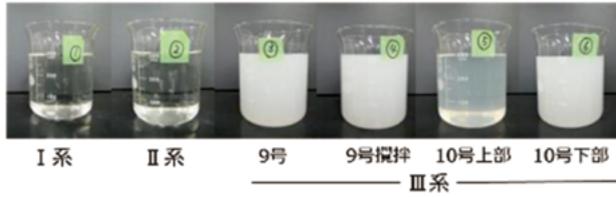


図7 東陽系における PAC 注入配管図（整備前） 図8 各水処理系統における年間 PAC 使用量（過去3か年平均（R2～4年度））



	I系	II系	9号	9号攪拌	10号上部	10号下部
濁度(度)	1.5	3.2	628	583	37	1061

図9 各処理系統の貯留槽内のPAC性状比較

そこで、図10のように転送配管を設置し、既存のポンプを活用することでバルブ操作だけで東陽III系貯留槽のPACを東陽I、II系貯留槽へ転送できるように施設変更を行った。これにより、PAC枯渇時には東陽III系貯留分を活用することが可能となり、ポンプの新規設置や大きな運用方法の変更をすることなく、東陽I、II系のPAC貯留量不足への対応力を向上させることができた。各PAC貯留槽満杯時における東陽I系（又は東陽II系）全体への連続注入可能日数は、転送配管整備前は6.3日であったが、整備後は8.9日に伸びた。さらに、定期的に東陽III系貯留槽内のPACを東陽I、II系へ転送させることで、PAC劣化、配管閉塞の防止も可能となった。

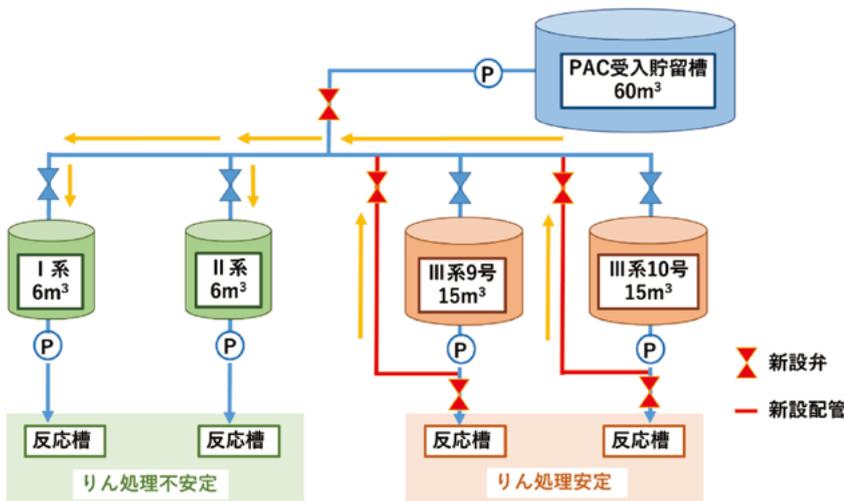


図10 東陽系におけるPAC注入配管図（整備後）

4. まとめ

- ・りん酸計の増設を要望し、コスト等を勘案したりん酸計増設を実現することができた。
- ・りん酸計増設以降、東陽I、II系におけるPAC注入量は過去3か年平均（令和1～令和3年度）と比較して減少していることがわかった。
- ・りん酸計増設により、りん酸性りん濃度が低い槽への過剰なPAC注入を防ぐことができ、令和5年4～9月の期間において、PACを東陽I系で約10,000L、東陽II系で約7,000L削減できていることが推測された。
- ・東陽III系貯留槽から東陽I、II系貯留槽への転送配管を設置することで、東陽I、II系のPAC貯留量不足への対応力向上と東陽III系のPAC劣化、配管閉塞の防止が可能となった。

2-2-3 LAC 注入設備の運用に関する検討およびセンターりん処 理の現況

西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 佐波 勇希
伊藤 正宏
(現 施設管理部環境管理課)

1 はじめに

みやぎ水再生センター（以下「当センター」という。）では、令和 2 年度の焼却炉更新に伴い、脱水設備をベルトプレス脱水機から遠心脱水機に変更した。設備の更新により運用が変化したため、汚泥処理量が増加し返流水のりん負荷が高まった。その対策として、令和 3 年 11 月から、遠心脱水機に投入する汚泥が通過する分配槽へ LAC（液体塩化アルミニウム）を注入する運転を開始した。

また、令和 4 年度以降、新しい焼却炉の効率的な運用を目指し、汚泥処理量をさらに増加させる試みを行った。落合受泥のセンター引抜量を増量し、加圧浮上濃縮槽の運転台数を 2 槽から 3 槽にすることで実施した。この変更により返流水のりん負荷量はさらに増加した。

本報告では、焼却炉更新以降の当センターのりん処理状況、返流水りん負荷の LAC による削減効果の調査結果及び LAC 注入設備の運用方法を検討した結果について報告する。

2 みやぎ水再生センターの施設概要

2.1 汚泥処理施設について

当センターの汚泥処理施設および LAC 注入設備の概要について説明する。

当センターに関連する送泥ネットワークについて図 1 に示す。当センターは、落合、浮間、三河島、小菅の各センターと送泥管がつながっているが、通常時の送泥は、図の赤い矢印の経路を使用している。落合水再生センターから受泥し、一部を受泥槽からセンター内に引き抜いた上で、東系の余剰汚泥を加えて三河島水再生センター経由で東部スラッジプラント（以下「東プラ」という。）に送泥している。また、受泥槽で引き抜いた汚泥、当センターで発生した一沈引抜汚泥及び西系の余剰汚泥は、センター内で処理している。なお、図の薄橙色のセンターには、汚泥処理施設が存在する。

つづいて、センター内の汚泥処理施設について図 2 に示す。汚泥の濃縮は、重力濃縮槽（以下「重力」という。）と加圧浮上濃縮槽（以下「加圧」という。）で行っている。一沈引抜汚泥は重力で処理し、受泥槽引抜汚泥と西系余剰汚泥は加圧で処理している。濃縮汚

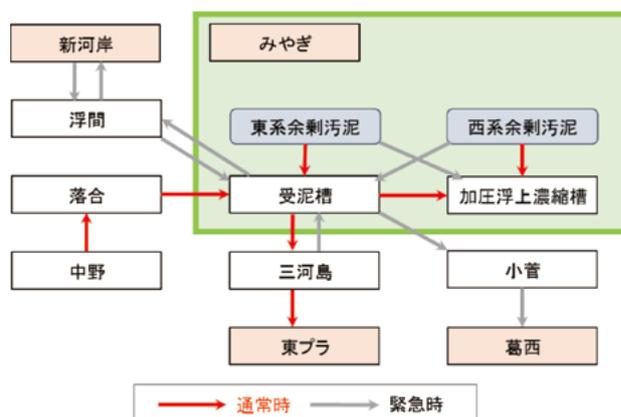


図 1 当センターに関連する送泥ネットワーク

泥は、調整槽、分配槽、汚泥貯留槽を経由して、遠心脱水機（以下「遠心」という。）に投入され脱水ケーキとなったのち、1号炉で焼却される。

LAC 注入設備は、分配槽に注入されるよう設置された。のちほど 6.2 節でふれる机上実験の結果から、遠心の前後どちらかに注入すると効率よくりんが削減できると想定されたが、施設特性上、遠心の後ろには設置できなかつたため、遠心の前に設置した。分配槽は容積が 3 m³ と小さいため、濃縮汚泥を投入する際に、十分に LAC と汚泥が混合されると想定された。濃縮汚泥は、分配槽を間欠的に通過するため、汚泥の通過中のみ希釈水と LAC が注入される。LAC の注入制御方式として、注入率制御と流量制御の設定があるが、現在は安定的な注入のため流量制御を使用している。

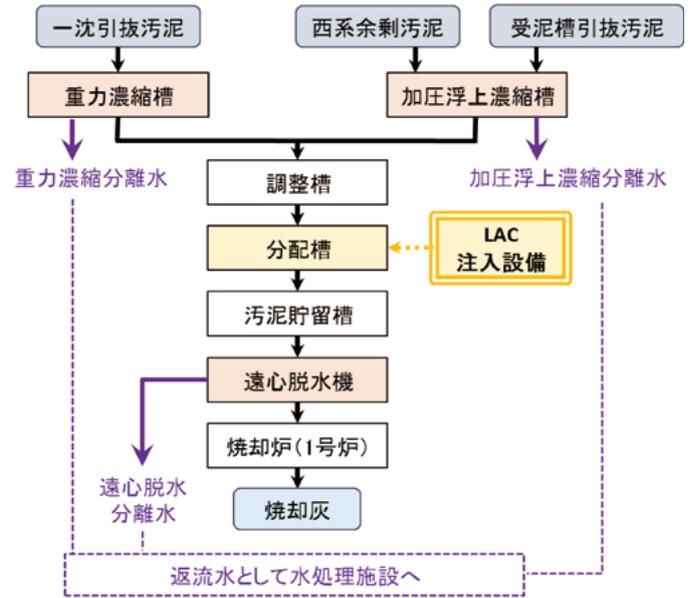


図 2 当センターの汚泥処理施設

図 2 当センターの汚泥処理施設

2.2 水処理施設について

当センターの流入水は、主に、高段沈砂池に流入する石神井川下幹線と、低段沈砂池に流入する飛鳥山幹線の 2 系統である。汚泥処理工場の返流水は、洗煙排水を除き高段沈砂池に流入する。当センター既報¹⁾や日常試験の水質から、高段沈砂池への流入水は、概ね西系 3、東系に 7 の比率で流入することがわかっている。つまり、東系では返流水の負荷を西系の 2 倍程度受けるといえる。処理方式は、西系は標準法の浅槽反応槽、東系は AO 法の深槽反応槽である。流入負荷と処理方式の関係から、東系は西系に比べてりん含有率が上がりやすい傾向にある。

2.3 みやぎ水再生センターのりん処理における PAC と LAC の特徴

当センターでは、りん処理に使用する薬品として、PAC と LAC を使用している。2 薬品は、ともにアルミニウム（以下「Al」という。）の添加によってりんを難溶性かつ高融点の塩として固形化するのはたらきを有している。本節では、この当センターの処理における 2 薬品の役割の違いを説明する。

当センターの模式的なりんの流れについて、図 3 に示した。2 薬品は、ともに放流水のりんを削減する役割を果たすが、一連の処理の中で固形化したりんを移行させる場所が異なっている。

PAC は、反応槽と第二沈殿池の間で注入され、りんを放流水から汚泥へと移行させる役割を果たす。一方、LAC は、返流水中のりんを焼却灰に移行させる役割をもつ。2 薬品のりん処理に対するはたらきとしては、PAC は一時的なりん濃度の上昇を抑制することであり、LAC は系内で循環するりんの量を減らし系外にりんを移行させることで、水処理系の流入負荷量を連続的に減少させることである。また、循環するりんの量の抑制という観点では、りんの系外への排出先が焼却灰と放流水の 2 か所しか存在しないことは、汚泥処理を有するセンターにとって水処理が困難となる一因である。

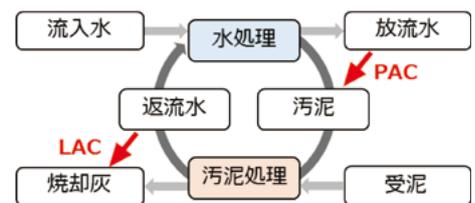


図 3 当センターのりんフロー概要及び PAC、LAC の役割

3 みやぎ水再生センターにおけるりん処理状況

3.1 りん処理状況の概況

焼却炉更新後のりん処理状況として、東西一沈出口及び放流水のりん濃度、東西反応槽の活性汚泥りん含有率、返流水のりん負荷量などについてまとめた。返流水については、脱水機の更新前後では洗浄水量等が異なり、休止前の4号炉と稼働後の新1号炉では洗煙排水量も異なるため、濃度でなく負荷量で確認した。

東西一沈出口のりん酸性りん濃度及び放流水の全りん濃度の経年変化について、**図4**に示した。一沈出口のりん酸性りん濃度の変化は、西系に比べて東系の方がやや大きいことがわかる。これは、第2章で説明した通り、返流水の影響を東系の方が西系より大きく受けることが原因と考えられる。また、放流水の全りん濃度は、東系の方が西系よりも高い傾向があり、これは一沈出口のりん酸性りん濃度の影響を受けているためと考えられる。

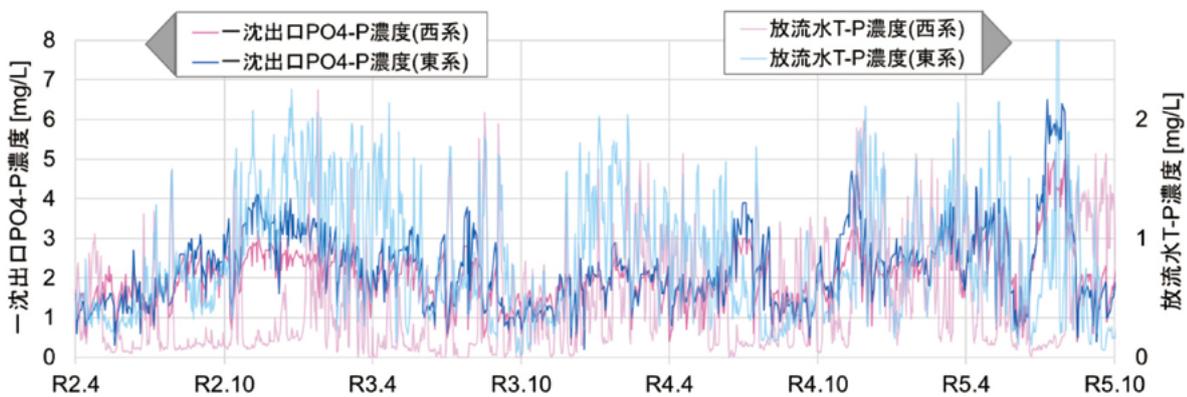


図4 東西一沈出口のりん酸性りん濃度および放流水の全りん濃度の経年変化

つづいて、東西のりん含有率と返流水のりん負荷量の経年変化について、**図5**に示した。東西のりん含有率と、返流水のりん負荷量はおよそ同じ時期に上下していることがわかる。これは、どちらも系内で循環するりんの量と相関があることが原因と考えられる。つまり、りん含有率が上昇すれば、加圧や遠心の分離水のりん濃度が上昇し、返流水のりん負荷量が増えることによってりん含有率が上昇しやすくなる悪循環や、すべて逆にはたらく好循環などが発生してきた結果、このような水質変動につながっている。

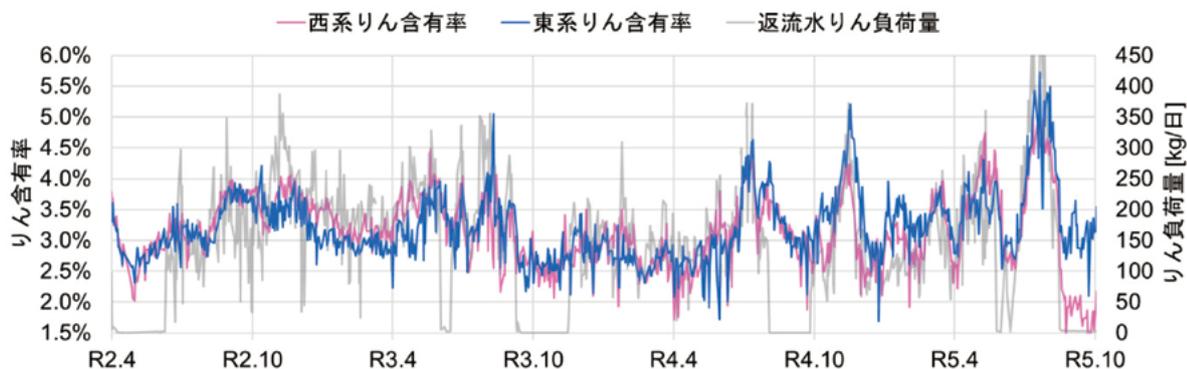


図5 返流水のりん負荷量と東西のりん含有率の経年変化

4 加圧浮上濃縮槽の3槽運転について

4.1 加圧浮上濃縮槽3槽運転による焼却炉の効率的な運用と返流水負荷量の増大

加圧では、1槽あたり2,600 m³/日程度の汚泥を処理できる。

安定して加圧3槽運転が続いた令和5年4月は脱水ケーキ量が191 t/日であった。加圧2槽運転をしていた令和4年4月が152 t/日であったことから、加圧3槽運転によってケーキ量を前年同月比で27%増量することができた。

なお、TGSスラッジ事業所の報告²⁾では、投入量7.0 t/h（日量換算168 t/日）以上かつ含水率78.0%以下であれば焼却炉の安定的な自燃が達成できるとある。自燃状態が維持できれば燃焼時の都市ガス利用がなくなり、温室効果ガスの削減につながるため、望ましいことは明らかである。

脱水ケーキ生産量と自燃に必要なケーキ量を比較すると、加圧2槽運転であれば自燃が難しいところ、加圧3槽運転の脱水ケーキ量であれば安定的に自燃が達成可能になる。これが、加圧3槽運転の大きなメリットである。

一方、加圧3槽運転では、処理工場からの返流水も増加する。晴天日の平均的な平日の場合、返流水の流量は、加圧2槽運転では約11,200 m³/日、加圧3槽運転では約13,500 m³/日であり、21%増加していた。りん酸性りんの濃度が同じであっても負荷量が2割変化するというを示しており、水量増加は水処理系にかかる負荷量増大に大きく影響する。

このように、加圧3槽運転は、焼却炉の効率的な運用の一助となる一方で、水処理系への負荷は増大するため、水処理の安定した運用のためには汚泥処理の運用状況をふまえ、安定した水質との両立をさせなければならない。

4.2 加圧浮上濃縮槽3槽運転の実績

前節のような課題が想定される中で、令和4年9月以降、加圧3槽運転を試行し、水質状況について調査した。3槽運転は、令和4年10月中旬～12月上旬、令和5年2月中旬～3月中旬、4月上旬～5月下旬、6月下旬～8月上旬にかけて実施した。この間、LACの注入量は、10 L/hから120 L/hの設定であった。加圧の運転状況と、東西の活性汚泥中のりん含有率についてまとめたグラフを図6に示す。なお、ここでは加圧3槽運転の定義として加圧投入汚泥5,500 m³/日以上とし、1日のうち短時間でも3槽運転をした場合には3槽運転として示している。

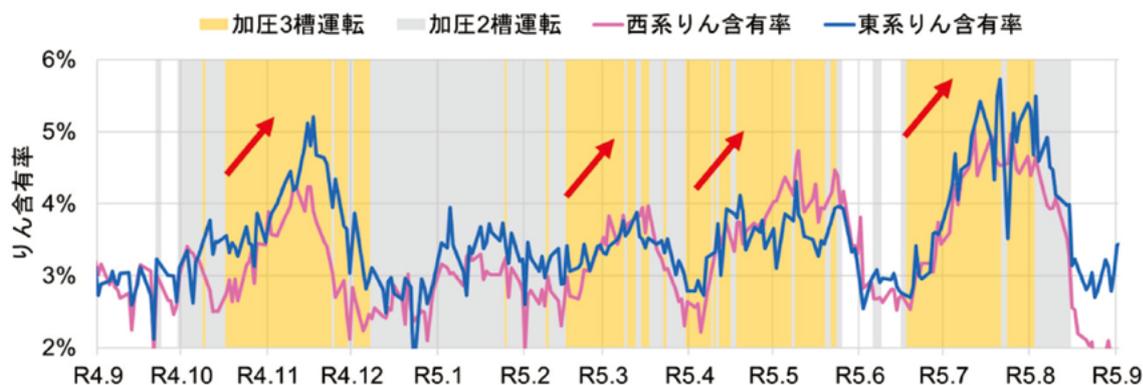


図6 加圧の運転槽数と東西の活性汚泥りん含有率の関係

いずれの機会においても、加圧3槽運転の開始時には東西のりん含有率が上昇した。加圧3槽運転開始から1か月程度経過するとりん含有率の上昇傾向が鈍化する一方で、放流

水の全りん濃度が上昇する場合があった。一例として、令和4年10月15日から12月10日までの期間における、東系におけるりん含有率と放流水の全りん濃度について、図7に示す。11月中旬を境にして、りん含有率の上昇が止まった一方、放流水の全りん濃度が高くなったことが明らかに読み取れる。

また、令和5年7月には、約1か月間に渡り無降雨期間が継続し、東系のりん含有率が最大で5.7%に達した。返流水のりん負荷量も、通常時は150 kg/日程度の日がほとんどであるのに対して、約550 kg/日まで上昇した。

試行の結果を鑑みるに、加圧3槽運転を現状の運転方法で長期間にわたって継続するのは、りん負荷の観点からは難しい。りん処理の安定的な運用を行うには、LAC注入量の増量や放流水質の調整によってりん含有率を低く維持するほか、3槽運転を連続ではなく断続的に行うなど、更なる工夫が必要である。

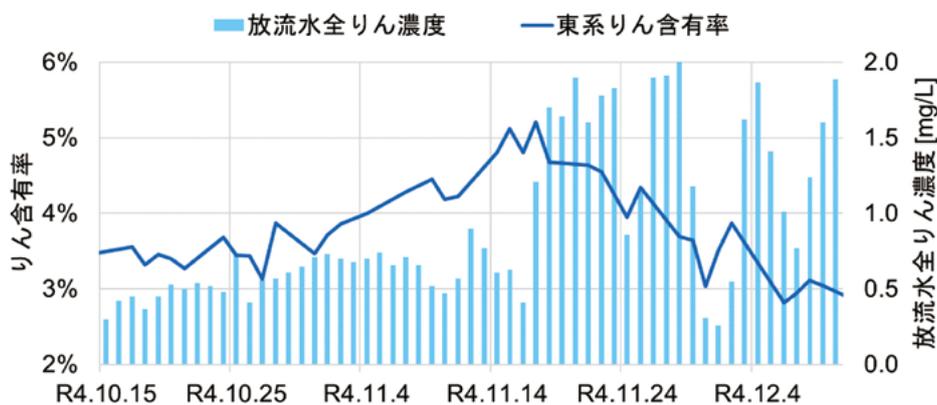


図7 加圧3槽運転中の放流水全りん濃度とりん含有率の関係

5 LACの化学的性質が水処理に与える影響についての検証

5.1 濃縮汚泥のpHについて

LACによってりんを塩として固形化する場合、pH4を下回るとりんが再溶出する事例が報告されている³⁾。一方で、LACのpHは製品規格では2.2~3.0であり、汚泥に多量に注入すれば汚泥のpHが低下することが想定された。そこで、LAC注入時に濃縮汚泥のpHがどのように変化するか調査した。

LAC注入直後の汚泥貯留槽に投入される汚泥について、間欠運転の1周期分について採泥しpHを測定した。LACの注入設定量を、60, 100, 120 L/hに変更して3回実施し、結果を図8にまとめた。なお、各回の汚泥投入継続時間が異なったため、図の横軸は時間を規格化して表示し、投入が継続している時間を示す箇所には緑色の背景をつけた。

汚泥が投入されている間は、いずれの設定量であってもpH4を上回っていることが確認できた。なお、汚泥の通過後は、配管内を希釈水で洗浄するため、一時的にLACと希釈水が通過することでpH4を下回った。また、LAC注入量によるpHの明確な違いは見られなかった。

つづいて、LAC注入率と遠心投入汚泥のpHの関係について、汚泥試験の結果を用いて算出を試みた。LAC注入量と遠心投入汚泥の水溫から重回帰分析を行ったところ、pHは水溫にのみ依存するという結果であった。これは、前述の結果と整合している。そこで、

水温と pH の関係性について LAC 注入設備の導入前後でそれぞれまとめ、図 9 に示した。LAC 導入前に比べ導入後では、傾きが小さくなったことがわかる。

以上の結果から、LAC 注入は遠心投入汚泥の pH に対して影響を与えているものの、pH 低下と LAC 注入量の関係に定量性は確認できず、りん処理に問題を及ぼすことはないといえる。

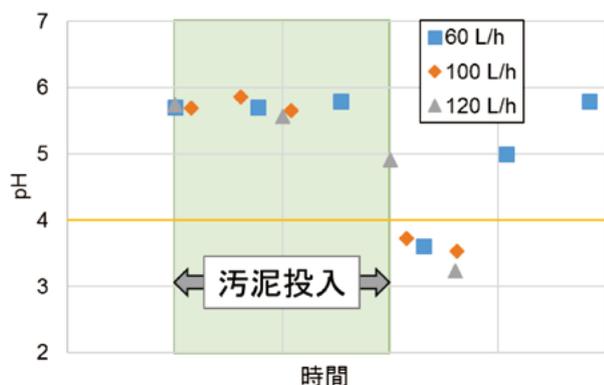


図 8 LAC 注入時に貯留槽に投入される汚泥 pH の変化

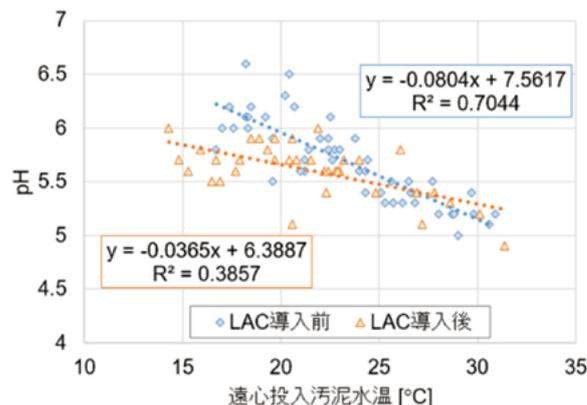


図 9 遠心投入汚泥の水温と pH の関係

5.2 水処理・汚泥処理施設におけるアルミニウムの残留性について

LAC のりん処理に寄与する主成分は Al である。活性汚泥中に高濃度の Al が存在する場合、生物活性に悪影響を与えると報告されている⁴⁾。一方で、当センターにおいて、LAC により注入した Al のうち返流水として水処理施設に戻っている割合が不明であった。

この調査のため、水処理施設、汚泥処理施設において採水、採泥し、Al 濃度の分析を行った。分析手法には ICP-OES を用い、すべて硝酸で 1 時間 150 °C で分解する前処理を行うことで、液体試料として分析した。汚泥処理施設と水処理施設についての分析結果を表 1 及び表 2 に示す。なお、調査は LAC 注入量 100 L/h で実施した。

表 1 汚泥処理施設における Al 濃度

(単位: mg/L)

	調整槽引抜汚泥 (LAC注入前)	遠心投入汚泥 (LAC注入後)	遠心分離水	LAC
調査①	-	110	<25 (参考:<5)	-
調査②	70	100	<5	71,000

表 2 水処理施設における Al 濃度

(単位: mg/L)

	石神井川下幹線 流入水	返流水	東系 反応槽混合液	西系 反応槽混合液
調査①	<25 (参考:<5)	-	<25 (参考:8)	-
調査②	-	<5	<25 (参考:9)	<25 (参考:3)

遠心分離水（汚泥処理施設）及び返流水（水処理施設）では、測定下限の 5 mg/L 未満という結果であった。この結果から、当センターにおいては、ほぼすべての Al が脱水ケーキに移行しているといえる。注入した LAC は、りんの固形化や、汚泥の凝集にほぼすべて使用されていることがわかった。

また、下水からの流入も測定下限値以下であった。このような条件にもかかわらず、反応槽混合液において測定下限値以下の参考値ではあるものの 3~9 mg/L という値を示しているのは、LAC 由来ではなく水処理系への PAC 注入による影響と考えられる。

さらに、LAC の Al 濃度測定値と貯留槽投入汚泥の注入率を用いて計算すると、LAC 注入によって濃縮汚泥中の Al 濃度は 29 mg/L 増加すると算出された。調査②において、LAC 注入前の調整槽引抜汚泥と注入後の遠心投入汚泥の濃度差が 30 mg/L であるので、測定結果は、計算値と高い整合性を示している。

6 LAC による返流水りん負荷の削減効果について

6.1 LAC とりん酸性りんの化学量論的反応について

本節では、LAC に含有されている Al がりん酸性りと化学量論的に反応をした場合について考察する。実際の反応や水中における各物質の様態などは複雑であるが、りんを固形化するとき起きる現象は、単純化すれば Al イオンとりん酸イオンが反応すると考えることができる。このとき、Al イオンとりん酸イオンは、ともに 3 価のイオンであるため物質間で 1 対 1 の反応をする。

実施設においては、異なる比率で処理されることが想定され、その反応比率について、本報告では、添加した Al の物質量を不溶化したりんの物質間で割った数字で表し、以降「モル比」と表現する。化学量論的に反応した場合のモル比は 1 であり、モル比の数字が大きくなるほど、LAC の注入効率が悪くなることを意味する。

つづいて、化学量論的な比率に基づいて処理がされた場合の、LAC の 1 L あたりのりん処理量について算出する。LAC 納入時の試験成績表によれば、わずかにばらつきはあるが、おおむね比重が 1.30、含有する Al の酸化アルミニウム (Al₂O₃) としての重量パーセントが 10.7%とのものである。各原子の原子量を O が 16、Al が 27、P が 31 とすると、LAC 中の Al は、73.6 g/L つまり 2.73 mol/L である。よって、不溶化するりん酸性りんは、84.6 [g-P / L-LAC]と計算される。

6.2 机上実験による注入箇所別の LAC とりんの反応モル比の検討

最適な位置に LAC 注入設備を設置するため、令和元年度に、当センターの汚泥を使用した机上実験により LAC とりん酸性りんのモル比を調査した。結果を表 3 に示す。また、東プラにおいて過去に同様の調査を行っており、参考として表 4 に示した⁵⁾。当センターにおいては、脱水機投入汚泥と脱水機分離水に注入すると想定した場合、モル比が 1.2 と最も低くなることが分かった。脱水機の投入前後に LAC を注入することで、効率よくりん

表 3 当センターにおける、LAC とりん酸性りんのモル比 (机上実験)

試料	モル比 (Al/P)
落合受泥	2.0
加圧分離水	1.4
脱水機投入汚泥	1.2
脱水機分離水	1.2
返流水	1.8

表 4 東プラにおける、LAC とりん酸性りんのモル比 (机上実験)

試料	モル比 (Al/P)
汚泥分配槽投入汚泥	1.3~1.5
濃縮汚泥	1.2~1.4
遠心脱水分離液	1.0~1.2

と Al が反応するという結果は、東プラの机上実験ともおおむね近い傾向であるといえる。

当センターでは、施設特性上、脱水機分離水に LAC を注入する設備を設置できなかったため、2.1 節で示した通り、脱水機投入汚泥に注入できる位置に設置した。以上の経緯から、当センター施設における LAC によるりん処理のモル比は、机上の実験結果によれば、1.2 であるといえる。

6.3 実施設の水質からみる LAC 注入量と返流水のりん負荷量の関係

つづいて、実施設におけるモル比について調査した。まず、LAC の注入量と返流水のりん負荷量の関係をプロットし図 10 に示した。返流水のりん負荷量と LAC の注入量の関係について直線で近似すると、相関係数は低いものの、傾きが 0.0985 で右上がりになっていることがわかる。これは、高い返流水りん負荷量になればなるほど、増加を抑えるために LAC 注入量を上げる運転変更を行ってきたことを示している。実施設の水質から LAC とりん負荷量の関係性や LAC によるりん負荷削減効果を確認するには、詳細な検討が必要である。

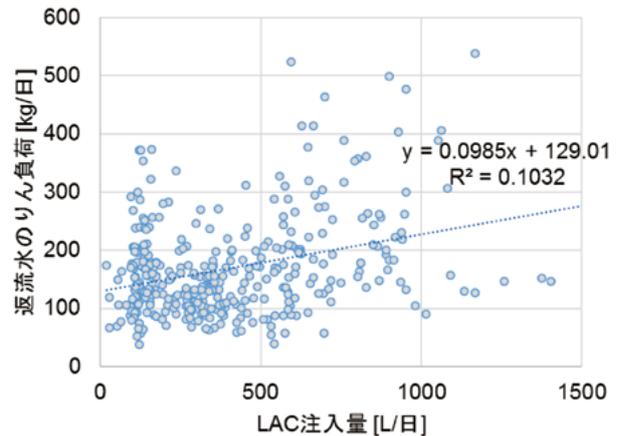


図 10 LAC の注入量と返流水のりん負荷

6.4 遠心脱水機分離水と加圧浮上槽分離水のりん負荷比較による返流水負荷削減効果の試算

返流水のりん負荷の発生源のうち、大きな割合を占めるのは加圧と遠心の分離水である。LAC 注入は、加圧と遠心の間の工程で行われるため、LAC の直接的な効果が現れるのは 2 つの分離水のうち遠心のみである。実際に、加圧分離水のりんについては LAC について考慮する必要はなく、図 11 に示す通りセンターで処理している西系余剰汚泥のりん含有率との相関がみられた。

遠心分離水については、LAC 注入の効果が定量的に現れていた。遠心分離水のりん負荷量を加圧分離水のりん負荷量で割ったものをりん負荷量の遠心比率として、LAC 注入率との相関を図 12 にまとめた。りん含有率など LAC 以外の条件は、加圧分離水と遠心分離水で概ね同じである。LAC 注入無しでのりん負荷量の遠心比率は、平均すると 2.5 であった。この比率には、LAC 注入率を増加するにつれて小さくなる傾向があることが確認できた。

この 2 つの近似直線から、LAC の定量的な効果を計算することができる。図 12 の近似式の傾きから、LAC によって遠心分離水中のりん負荷を比率 1 だけ減らすためには、0.41 L/m³ 増加させる必要があるといえる。

ここで、西系のりん含有率を 3.5%、加圧 2 槽運転の場合における LAC によるりん削減量を考える。加圧分離水量を 4,200 m³ とすると、加圧分離水のりん負荷量は 57 kg となる。汚泥貯留槽投入汚泥量を 1,600 m³ とすると、0.41 L/m³ に相当するのは、656 L となる。よって、この手法から求めた LAC によるりん削減量は、87 [g-P / L-LAC] であったと算出できる。また、添加した Al と不溶化したりんのモル比で表現すれば約 1.0 となり、ほ

ば 6.1 節で示した化学量論的な比率で反応しているといえる。ただし、本節では、りん含有率を 3.5%と仮定して計算したが、りん含有率は幅を持って値が変動する項目である。実施設におけるモル比の値については、継続して検証していく必要がある。

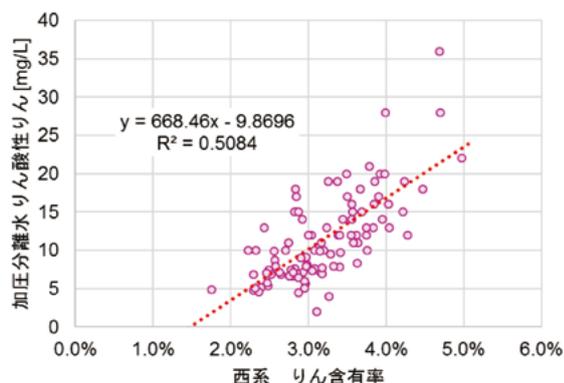


図 11 加圧分離水のりん酸性りと西系
余剰汚泥りん含有率の関係

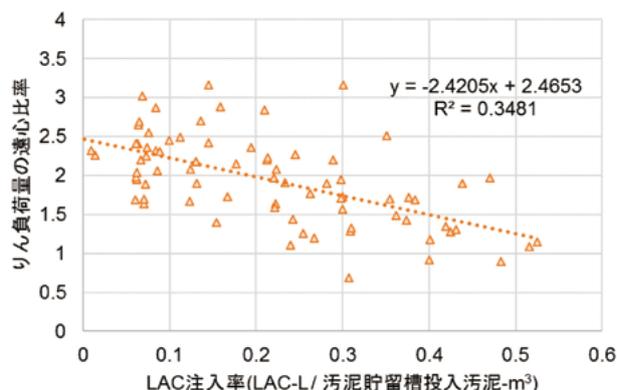


図 12 りん負荷量の遠心比率（遠心／加
圧）と LAC 注入率の関係

6.5 LAC による返流水りん負荷の削減効果のまとめ

本章では、当センターにおける LAC とりん酸性りんのモル比を求めようと努めてきた。実施設における正確な値を算出することはできていないが、机上実験の結果などから、モル比は 1.2 程度であると考えるのが、現時点では妥当である。その結果から計算すると、LAC によるりん削減量は約 70[g-P / L-LAC]となる。ただし、この値は、汚泥処理系内での LAC による直接的なりん削減効果についてのものである。

LAC 注入量が、センター全体のりん処理に及ぼす効果を推定するには、水処理系内におけるりん削減効果に関する検証が不足している。同じ流入状況で、同じ量の LAC を注入していても、放流水のりん濃度が低ければ系内のりんは増加していく。一方、放流水のりん濃度が高ければ系内のりんは減少していく。このようにセンター全体のりん処理は、水処理系内のりんの状況とも密接な関係があるため、水質データからセンター全体の LAC の効果を分析する場合には、汚泥処理系内だけでなく、水処理系も含めたセンター全体のりん循環量や、放流水のりん濃度などの影響も考慮する必要がある。このことから、LAC の使用量を増減させた場合、放流水質や汚泥中のりん含有率などがどのように変化するかといったことを、本章の議論のみで推測するのは難しいと考えられる。

7 LAC 注入指針について

令和 4 年度末に、それまでの水質データに基づき LAC 注入指針を作成した。指針では、水質指標をもとに、放流水のりん濃度のリスクレベルを 3 段階（「通常」、「管理目標超過のおそれ」、「排水基準超過のおそれ」）に区分し、レベルに応じて LAC 注入量を増減させる。水質指標として、返流水のりん濃度と負荷量、一沈出口りん濃度、活性汚泥りん含有率を採用した。このうち、返流水のりん負荷量を見ると、150 kg/日と 300 kg/日とを境目として LAC 注入を強化している。

この指針に従って LAC 注入したところ、加圧 2 槽運転時には、放流水中に微量のりん濃度が検出される条件では、「通常」または「管理目標超過のおそれ」のどちらかに該当することがほとんどであった。指針に沿った LAC の注入が、安定的なりん処理に寄与したと

いえる。

加圧 3 槽運転時は、指針通りの注入量では、りん含有率と返流水のりん負荷量が上昇する場合が多かった。一方で、放流水のりん濃度が上昇した際には、りん含有率や返流水の負荷量の上昇が抑えられた。加圧 3 槽運転を安定して継続するためには、4 章で記載した通り、LAC だけでなく複合的な対策をとるような指針に変更する必要があると考える。

8 まとめ

- ・ LAC 注入設備の新設によって、返流水のりん負荷量の削減効果は確認できたが、LAC 注入の水処理への定量的な効果の把握に関しては、今後も継続して検証する必要がある。
- ・ 通常注入している 120 L/h 以下の LAC 注入量の範囲では、汚泥投入中に pH が 4 を下回ることはなく、りんの再溶出は発生しないと考えられる。
- ・ LAC によって注入された Al は、返流水にはほとんど含まれておらず、Al 濃度増加による活性汚泥への悪影響は少ないと考えられる。
- ・ 加圧 3 槽運転は、自燃に必要なケーキ量の確保が可能になり焼却炉の効率的な運用に寄与する一方で、1 か月以上継続したケースでは返流水のりん負荷増大を招き、活性汚泥中のりん含有率が増加した。
- ・ 令和 4 年度に策定した指針は、加圧 2 槽運転時にはよく適応している。しかし、加圧 3 槽運転時にはりん負荷量の増加に LAC のみで対応することが難しいため、注入設定をより詳細に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 中村 浩一郎ほか：「汚泥処理キーステーション化に向けた窒素とりん処理の両立に向けた取組～臭化ナトリウムをトレーサー物質とした混合特性及び流動調査～」 水質技術研究発表会 2019
- 2) 東京都下水道サービス株式会社 みやぎスラッジ事務所：「省エネルギー型焼却炉の効率的な運転方法の構築」 令和 3 年度処理技術等成果報告書 2022
- 3) 石井 裕樹ほか：「返流水等における凝集剤りん除去性能の比較」 水質技術研究発表会 2020
- 4) 柴田 美幸：「LAC(塩化アルミニウム)を用いたりん除去の基礎実験---曝気槽混合液への添加 ---」 水質管理研修 2002
- 5) 杉本 太郎ほか：「LAC 注入による汚泥処理返流水のりん負荷低減について」 技術調査年報 2020

2-2-4 浜町ポンプ所流入渠マイクロ波式水位計検知異常調査・ 対策について

東京都下水道サービス株式会社 堀之内 正博
宮崎 栄治
岸 潤

1. はじめに

東京都下水道サービス株式会社施設部中部北部センター中部ポンプ所保全事業所は、平成 29 年度に新規事業所として東京都中央区新富にある桜橋ポンプ所に開所し、東京都下水道局より、千代田区・中央区にある銭瓶町ポンプ所ほか 5 か所のポンプ所施設の保全管理業務を受託している。受託範囲となる浜町ポンプ所（以下、「当ポンプ所」という）は、中央区日本橋浜町に位置し、平成元年の稼働以来 35 年が経過する中、周辺地域においては、再開発事業の進展に伴って複合施設等が開業し人口も増加している。近年、このような流域環境の変化に起因すると思われる設備異常が発生するようになった。

本稿では、当ポンプ所の流入渠水位の計測に使用しているマイクロ波式水位計で頻発した検知異常における調査・対策について報告する。

2. 概要

当ポンプ所は、千代田区・中央区を流域に持ち、汚水ポンプ 4 台、雨水ポンプ 4 台を設置し、汚水を芝浦水再生センターに送水し、雨水は隅田川に放流している。ポンプ所の流入渠の水位計測には、投込式水位計とマイクロ波式水位計を使用している。測定原理の異なる機種を併用することで、故障時のバックアップ機能として、水位監視の継続性を維持している（図 1）。

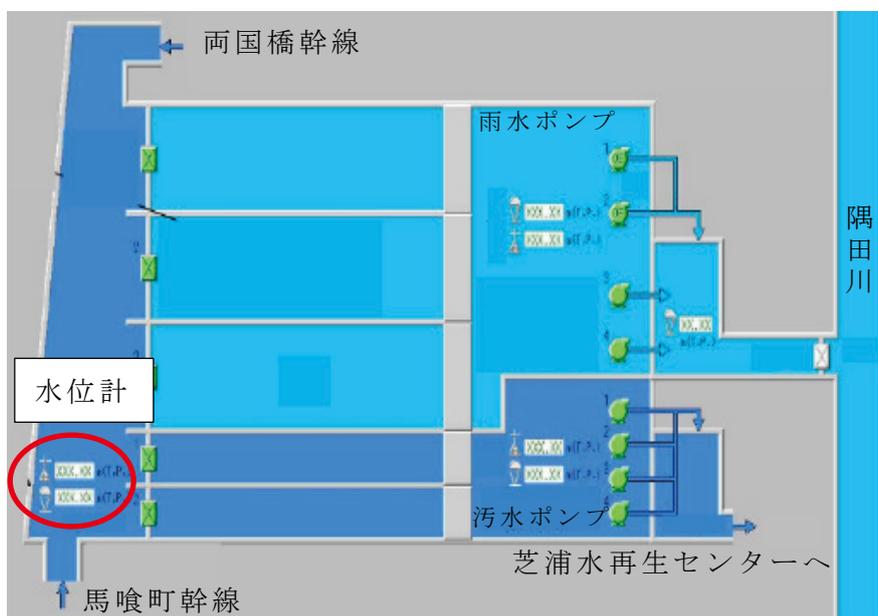


図 1 浜町ポンプ所の施設平面図

3. 不具合の発生状況

マイクロ波式水位計は平成 22 年度設置後、3 年ごとに保守点検を行ってきており、これまで不具合は発生してこなかった。令和 4 年頃から、流入渠の「水位偏差大※」による故障が頻発し、調査の結果、マイクロ波式水位計の検知異常によるものであることが判明した。

故障発生時は、投込式水位計の指示値が -19.0m (T.P.) に対し、マイクロ波式水位計は

−6.0m (T.P.) であり、13m の水位差であった。マイクロ波式水位計は外観に異常はなく、センサ部に水滴が付着していたため、清掃後、故障復帰した (図 2)。

故障記録を確認したところ、令和 4 年 1 月頃から高水位が頻繁に発生しており、4 月と 5 月は 400 回/月を超え、7 月から 11 月は発生なく、12 月に再度、故障が発生している状況であった (図 3)。

※「水位偏差大」とは、投込式水位計及びマイクロ波式水位計の偏差 (PV 値) が、3m を超え且つ確認タイマ 10 秒経過後に故障を発報する。



図 2 センサ部水滴付着時の状況

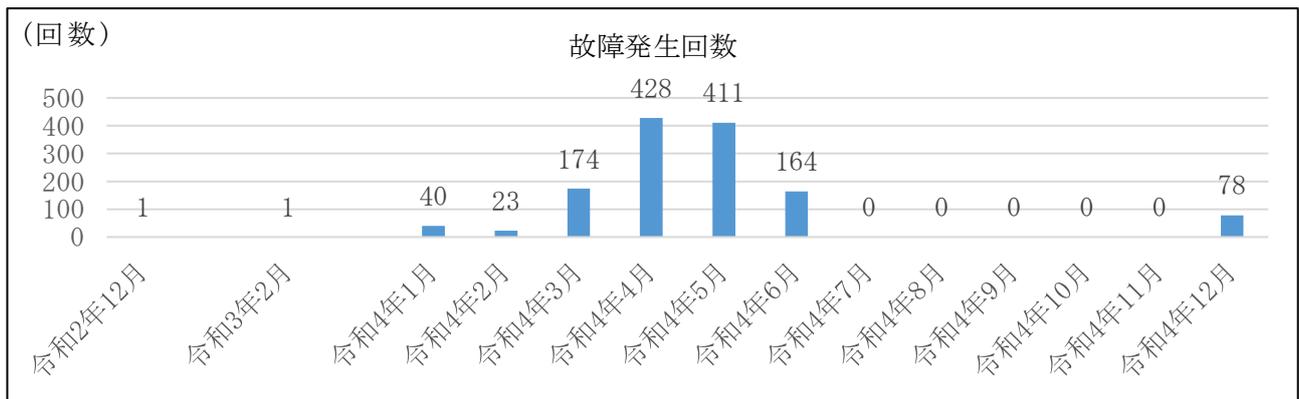


図 3 「水位偏差大」の故障発生回数

4. 調査内容

原因調査を次の 3 項目について実施した。

4.1 周辺環境の変化に伴う送水状況等の調査

情報管理端末から過去の帳票データを収集分析する。

4.2 流入渠内の環境調査

水位計の設置場所に温湿度計を設置して、測定データを収集する。

4.3 故障発生時の再現調査

同機種 of マイクロ波式水位計を用意し、室内で再現性の調査を実施する。密閉空間の上部にマイクロ波式水位計を設置し、下部から水蒸気を発生させて、センサ部に水滴を付着させる。また、変換器等を用いた計装回路を自主製作し、指示値を確認する (図 4)。

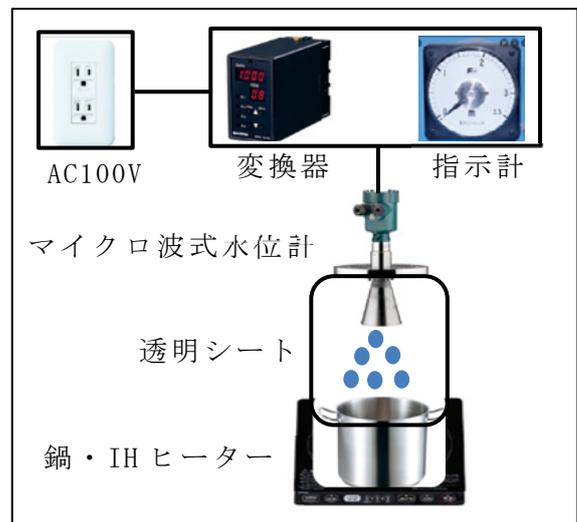


図 4 再現調査のイメージ

5. 結果及び考察

5.1 送水量及び気温

平成 25 年度から令和 4 年度までの 10 年間の帳票データを分析した結果、送水量は年間 800 万 m³ 程度で推移しており、気温とともに大きな変化は見られなかった。よって、これは「水位偏差大」の原因ではなかった (図 5)。

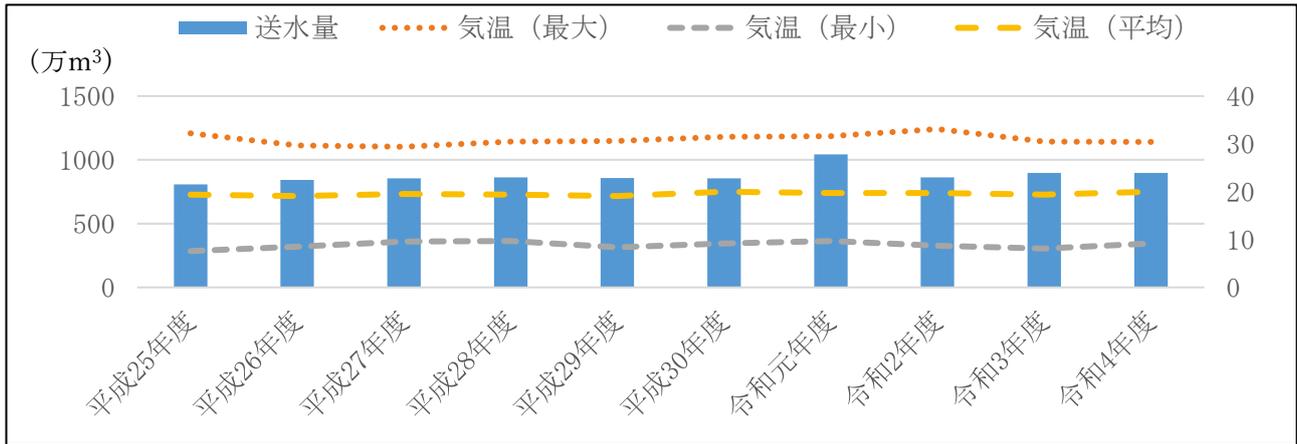


図5 過去10年の送水量及び気温

5.2 流入渠内の状況

流入渠内は、冬季になると夏季よりも気温差が大きく、結露が発生しやすい環境であることが分かった。よって、以前からマイクロ波式水位計のセンサ部に水分が付着しており、この時期になって検知異常を誘発する状況に至ったと推測する（表1, 2）。

表1 流入渠内の温度差（夏季）

夏季：令和4年8月17日から10月5日			
	最大値	最小値	差
気温（℃） （流入渠内）	30.4	26.5	3.9
水温（℃） （流入渠内）	30.1	22.6	7.5
湿度（%） （流入渠内）	99	82	17

表2 流入渠内の温度差（冬季）

冬季：令和4年12月12日から12月22日			
	最大値	最小値	差
気温（℃） （流入渠内）	25.1	13.8	11.3
水温（℃） （流入渠内）	24.2	11.6	12.6
湿度（%） （流入渠内）	83	62	21

5.3 再現調査の結果

マイクロ波式水位計のセンサ部に水滴が付着している状態を作り、検出器内部のエコーカーブ（電波の波形）を確認したところ、-5.0m（T.P.）付近で設定したしきい値（有効無効の境界線）を超えていることが分かった（図6）。これは、水滴が付着したことでセンサ部付近に乱反射が発生し、しきい値を超えた計測値を有効値と認識したため、投込式水位計の計測値との水位差により故障（水位偏差大）が発生していた。

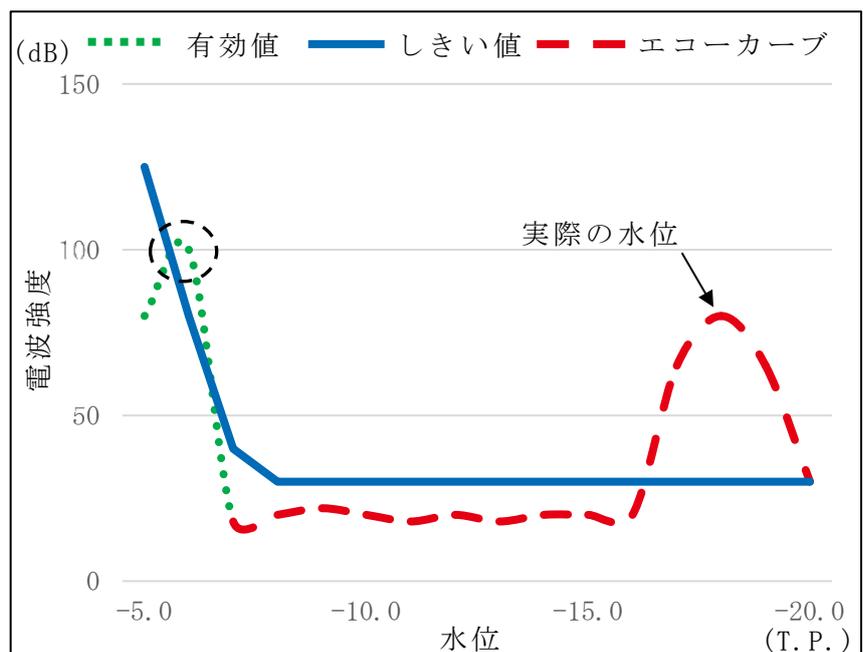


図6 水滴付着時のエコーカーブ

対策として、水位計調整用ソフトウェア内にあるノイズ調整機能を使って、しきい値を上げる設定変更を行った結果、実際の水位を有効値と認識することが可能となった（図7）。

6. おわりに

下水道施設の安定運営において、計測設備は下水処理プロセスの状態監視及び自動制御に欠かせない設備であり、予防保全の観点から、定期的に点検調整を行い、計測の安定性・信頼性を確保することが重要である。

今後は、冬場の点検時にパラメータの調整を行うとともに、更新に際しては水滴が付着しにくい構造の選定を要望するなど、故障の低減に取り組むことで、維持管理の継続性を確保していく。

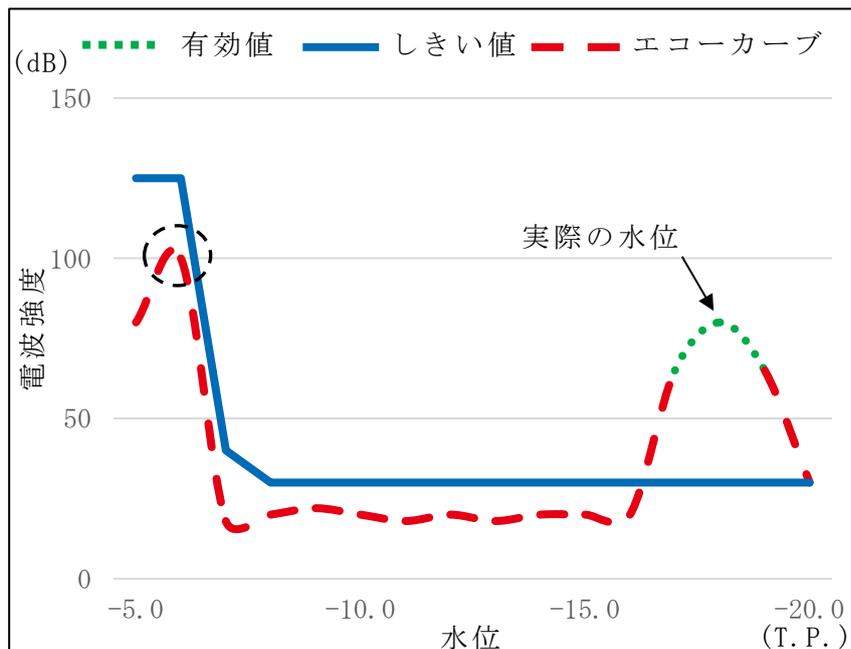


図7 しきい値の設定変更

2-2-5 酸素移動効率からみた散気装置の劣化状況の推測

東京都下水道サービス(株) 施設部 水質課 ○田中歩・小池範明・石井享
 東京都下水道局 西部第二下水道事務所 前保竜一・町田真由美・笹原貴志・小峯純夫

1. はじめに

東京都下水道局では地球温暖化防止計画「アースプラン 2023」を策定し、温室効果ガス排出量の削減に取り組んでいる。特に、水処理工程での使用電力では、反応槽への送風電力が約4割を占めることから、電力使用量の削減を目的に、設備更新に合わせて微細気泡散気装置の導入を進めている。

一方、散気装置は、経年劣化により徐々に酸素移動効率が低下し、処理水質の低下や曝気送風量の増大による電力使用量の増加が見込まれることから、定期的に酸素移動効率を確認し、効率的な運転管理に反映することが望まれる。しかし、反応槽の酸素供給能力を評価する手法として多点測定法やガス収支法があるが、測定が煩雑であり定期的に把握するには負担となる場合がある。

そこで、「下水道施設計画・設計指針と解説」(以下、設計指針)¹⁾に記載されている必要空気量の算出式から、反応槽の酸素移動効率を算定することで、散気装置の劣化状況の推測が可能か調査を行い、一定の知見が得られたので報告する。

2. 酸素移動効率の算定方法

今回、酸素移動効率の算定は、設計指針に記載されている必要空気量(G_S)の算出式(式1)を一部変更することで求めた

(式2)。具体的には、表1に示す水質分析結果及び運転データ等から酸素供給量

(SOR)を求め、必要空気量(G_S)には実際の曝気風量を使用して逆算することにより酸素移動効率を算定した。

なお、酸素移動効率の算定に用いる係数(α 値等)は一律(範囲のある係数は中央値を採用)として算定した。

本手法の特徴として、必要空気量(G_S)に実際の曝気風量を用いることで、従来法を用いなくても現状の散気装置の酸素移動効率を推測できること、また、本手法の算定に必要な水質分析項目は、法定試験及び施設管理のための水質試験で行う分析の範囲内であることから、比較的簡易に酸素移動効率が算定できることが挙げられる。

表1 水質分析項目と運転データ

水質分析項目	分析試料		分析項目
	反応槽流入水		
放流水			BOD、T-N、NO _x
反応槽	無酸素槽	NO _x	
	好気槽	水温、DO(3地点)、MLSS、MLVSS、T-N、無機態窒素	
運転データ	反応槽流入水、返送汚泥量、硝化液循環量、曝気風量		

$$G_S = \frac{SOR}{E_A \times \rho \times O_W} \times 100 \times \frac{273 + T_2}{273} \quad (\text{式 1})$$

$$E_A = \frac{SOR}{G_S \times \rho \times O_W} \times 100 \times \frac{273 + T_2}{273} \quad (\text{式 2})$$

- E_A : 酸素移動効率
- G_S : 必要空気量 (=曝気風量)
- SOR : 酸素供給量
- ρ : 空気密度 (=1.293)
- O_W : 空気中酸素含有重量 (=0.232)
- T_2 : 混合液の水温

3. 調査概要

(1) 酸素移動効率（反応槽毎）の確認調査

調査は、浮間水再生センターの反応槽を対象（表 2）とし、令和 4 年 7～12 月にかけて、計 10 回実施した。散気装置の異なる反応槽毎に水質分析（表 1）を行い、運転データ等から（式 2）を用いて酸素移動効率を算定し、反応槽内の目視点検と合わせて本手法の有効性の確認及び散気装置の劣化状況の推測を行った。

表 2 調査対象（反応槽）の概要

対象槽	散気装置	設置年	E_A 参考値	散気水深	処理方式
1、2、3号	従来型メンブレンパネル	平成16年	28%	4.3m	A ₂ O法
6号	散気板	平成12～31年	14～15%	4.5m	
	低圧損型メンブレンパネル	平成31年	26%		
9号	低圧損型メンブレンパネル	平成24年	30%以上	5.5m	

(2) 酸素移動効率の経年変化の推定

各反応槽の酸素移動効率の推移を調べ、散気装置の劣化状況の推測が可能か把握するため調査を行った。調査対象は反応槽（3、6、9号）とし、平成 16 年以降の酸素移動効率の推移を確認した（9号槽は設置された平成 24 年以降）。本調査では、過去の水質分析結果及び運転データ（表 1）を基に、酸素移動効率を月 1 回の頻度で算定した。なお、過去データの無い水質項目は、相関のある他の項目から代用して酸素移動効率を算定した（欠損した BOD は、COD 値から換算して代用等）。

4. 調査結果および考察

(1) 酸素移動効率（反応槽毎）の確認調査

酸素移動効率の結果を表 3、図 1 に示す。酸素移動効率（平均値）は、反応槽（1～3号）では 15% 前後と参考値（メーカー設計値）である 28% を大きく下回っていたが、反応槽（6、9号）は、参考値と同等の 30% 前後を示し、設置年の違いにより大きな差がみられた。また、設備劣化等がない場合、酸素移動効率は大きく変動しないとして測定値を評価すると、変動係数が全ての反応槽で 10% 以下と低く、安定した結果を得ることができたといえる。

表 3 酸素移動効率（各槽、計 10 回）

反応槽	1号	2号	3号	6号	9号
平均値(%)	14.4	14.6	15.2	29.0	30.3
変動係数(%)	8.2	8.2	7.4	9.4	8.7

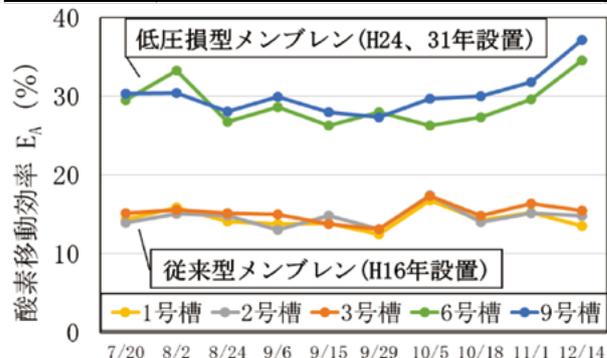


図 1 酸素移動効率（R4 年 7～12 月）

同時に実施した目視点検では、反応槽（1～3号）の水面に大きな波立ちが見られ、6号槽と明らかに様子が異なることから、酸素移動効率の差が大きい場合、目視でも確認できることがわかった（図 2）。

反応槽（1～3号）の散気装置は、設置から 15 年以上経過しており、上記結果と合わせるとメンブレンパネルの劣化（目詰まり、破損等）が考えられた。

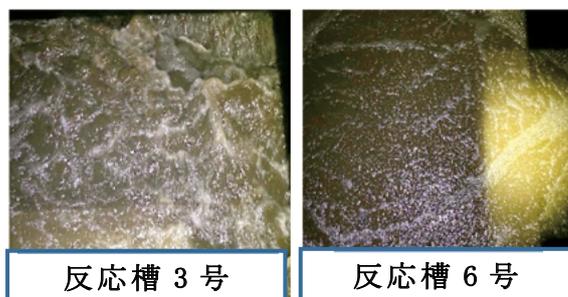


図 2 反応槽の目視点検（水面状況）

以上より、本手法は、散気装置の劣化状況を推測する手段として有効であり、今後の活用が期待される。

(2) 酸素移動効率の経年変化の推定

反応槽（3、6、9号）の酸素移動効率の推移を図3に示す。

反応槽（3、6号）は、酸素移動効率が全体的に低下傾向を示し、散気装置の経年劣化（目詰まり、破損等）が徐々に進行しているものと推測される。なお、6号の散気装置は、平成31年に散気板から低圧損型メンブレンパネルに更新しており、酸素移動効率が更新前（20%程度）に比べ、更新後（30%程度）に大幅に上昇し、更新前後の違いを把握することができた。

一方、反応槽（9号）の酸素移動効率は、多少変動はあるものの設置当初の30%程度を維持しており、散気装置の劣化は進行していないと判断した。

本結果は、一部、過去データの無い水質項目について、相関のある他の項目から代用して算定しており、酸素移動効率の扱いは注意が必要であるが、散気装置の経年変化による劣化状況の傾向を把握するには有効と考えられる。

次に、図3の近似式から算定した各反応槽の酸素移動効率の推定値及び減少率を表4に示す。

酸素移動効率の減少率（10年後）は、散気板（6号）、従来型メンブレン（3号）、低圧損型メンブレン（9号）の順に小さくなる傾向を示した。

特に、低圧損型メンブレン（9号）の減少率（10年後）は、4.5%に留まっており、他の散気装置に比べ、劣化していなかった。

このことから、本結果は、あくまで推定値であるものの、定期的な散気装置の劣化状況の把握により、酸素移動効率の高い反応槽への水量分配による送風量削減等や劣化状況把握の支援ツールとしての活用が考えられる。

5. まとめ及び今後の取組み

散気装置の異なる反応槽の酸素移動効率を調査した結果、以下の知見が得られた。

- ・本手法により算定した酸素移動効率は、設置年の違いにより明確な差がみられ、メーカー設計値を大きく下回った反応槽は、水面が大きく波立ち、目視点検の状況と傾向が一致した。
- ・調査期間における酸素移動効率の変動係数は、10%以下と比較的安定した測定が可能であった。
- ・酸素移動効率の減少率（推定値）は、散気板（6号）、従来型メンブレン（3号）、低

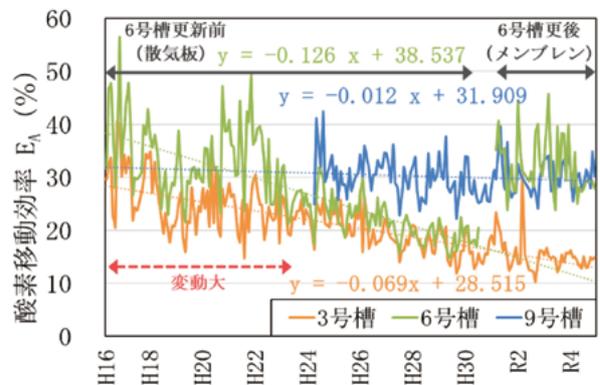


図3 酸素移動効率の推移

表4 酸素移動効率の推定値

反応槽	3号	6号 ^{※1}	9号	
	従来型メンブレン	散気板	低圧損型メンブレン	
稼働期間	H16年～現在	H12年～H31年	H24年～現在	
E _A (%)	設置当初 ^{※2}	28.5	38.5	31.9
	5年後	24.4	30.9	31.2
	10年後	20.2	23.4	30.5
10年後の減少率	29.1%	39.3%	4.5%	

※1 6号槽は更新前（散気板）の値

※2 6号槽は平成16年時点の酸素移動効率

圧損型メンブレン（9号）の順に小さくなる傾向を示した。特に、低圧損型メンブレン（9号）の減少率（設置10年後）は、4.5%にとどまり、他の散気装置に比べ、劣化していなかった。

以上のことから、本手法により定期的（各試験に合わせて月一程度等）に酸素移動効率を算定することで、急な破損による性能低下の把握に活用可能と考えられた。

今後の取組みとして、①精度を維持しながら更に簡易で迅速に算定（設定値の簡略化等）できる手法の検討、②散気装置の更新時に併せて調査を行い、本手法の有効性を更に高め、劣化状況把握の支援ツールや効率的な水処理管理（水量配分調整、電力削減）等に活用していきたい。

参考文献

- 1) 日本下水道協会, 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2019年版, 293-296 377-381

2-2-6 制限ばっ気による窒素低減の取組

東部第二下水道事務所中川水再生センター 井上 文恵 腰塚 昭春 山本 孝幸
勅使川原 秀和（現 東京下水道サービス株式会社）

1 はじめに

下水道局では、水再生センターにおける水質改善と省エネルギーの両立を実現するため、『放流水の全窒素濃度』と『送風電力量原単位』の目標値を定めた二軸管理図による評価を行い、水処理運転の最適化に努めている。

今回は、放流水の全窒素濃度のさらなる低減に向けて、中川水再生センター（以下、「当センター」）における3つの処理方式（A₂O法、AO法、標準法）の中で、窒素濃度が最も高いAO法と、処理水量の割合が高い標準法に着目し、好気槽の送風を一部制限して脱窒を促進させる調査を実施した。調査の結果、送風量を増やすことなく窒素低減の効果が得られたため、結果を報告する。

2 施設の概要

当センターの概要を表1に示す。第一沈殿池は共通であり、反応槽への流入水質は各処理方式で違いはない。反応槽は深槽・直線構造であり、A₂O法、AO法は回路間に隔壁を有するが、標準法には隔壁がない。また、標準法では、りん処理のためA回路の送風を停止し嫌気部としている。

第二沈殿池はA₂O法、AO法、標準法と処理方式で分かれており、それぞれ返送汚泥が引き抜かれる。なお、処理方式が異なっても反応槽・第二沈殿池は、基本的に同じ形状である。

表1 当センターの施設概要

		A ₂ O法	AO法	標準法
反応槽	容量 (m ³)	14,900	14,900	59,600
	形状	槽数 (-)	2	2
二沈	容量 (m ³)	6,180	6,180	24,720
	形状	池数 (-)	1	1
R4年度 運転 実績*	処理水量 (m ³ /日)	20,110	20,920	149,250
	A-HRT (時)	7.1	10.9	9.6
	BOD容量負荷 (kg/m ³ ・日)	0.17	0.17	0.25
	MLSS (mg/L)	1,330	1,440	1,160
	返送汚泥率 (%)	44.6	53.9	38.3
	送風倍率 (m ³ N/m ³)	2.9	4.2	3.7
	A-SRT (日)	6.1	8.0	6.5

*稼働実績を踏まえた年平均値である。

3 AO法における制限ばっ気調査

3.1 反応槽最終回路の水質調査

当センターのAO法は、通年で硝化が進行していることから、好気槽内での脱窒を進めるために、まず、2槽ある反応槽のうち1-7号を調査槽とし、C回路の送風弁（2か所）を全開から寸開（汚泥が沈降せず目視で気泡が確認できる程度）へ変更して制限ばっ気とした。加えて、好気

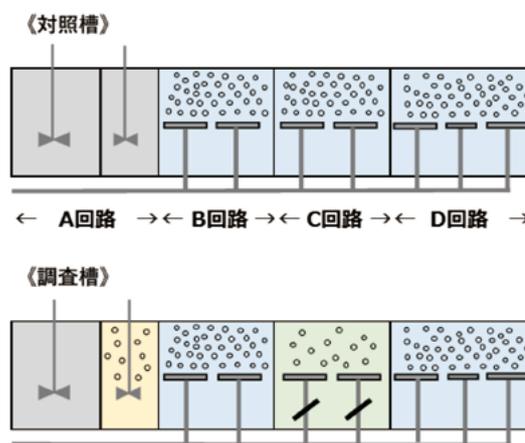


図1 AO法反応槽の調査模式図

部が不足することに備え、嫌気部である A 回路後段の水中攪拌機から送風を行った。なお、攪拌機自体は間欠運転である。図 1 に調査槽と対照槽の模式図を示す。

調査槽と対照槽の水質を比較するため、最終回路で 2 時間ごと 24 時間採水した。結果を表 2、図 2 に示す（調査日：令和 2 年 6 月 10 日～11 日）。

無機態窒素濃度（各時間の水量と濃度から負荷量を算出し、全水量で割り戻した平均値）は、調査槽が 7.6mg/L、対照槽が 7.9mg/L であり、調査槽が低かった。対照槽に対する調査槽の削減率は約 4%であった。

続いて、反応槽の条件を入れ替えて（調査槽：1-8 号）同様の調査を行った（調査日：令和 2 年 7 月 6 日～7 日）。結果を表 3、図 3 に示す。無機態窒素濃度は調査槽が 6.2mg/L、対照槽が 7.1mg/L であり、調査槽の方が低く、削減率は約 13%であった。

反応槽ごとの特性があること（1-7 号の方が流入水量は多く送風量が少ない傾向）や降雨の影響を受けた（2 回目の調査）ことにより、削減率に差はあるが、いずれも調査槽の方が無機態窒素濃度は低く、C 回路の送風を制限することで脱窒が進んだと推測された。

表 2 A0 法調査の運転条件（調査槽：1-7 号） 表 3 A0 法調査の運転条件（調査槽：1-8 号）

	調査槽 1-7 号	対照槽 1-8 号
処理水量 (m ³ /日)	10,210	9,140
送風量 (m ³ N/日)	46,621	49,084
送風倍率 (m ³ N/m ³)	4.57	5.37
MLSS (mg/L)	1,200	1,220
無機態窒素 (mg/L)	7.6	7.9
NH ₄ -N (mg/L)	1.9	0.9
DO 設定値 (mg/L)	0.8	0.8
平均送風倍率※	4.36	5.32

	対照槽 1-7 号	調査槽 1-8 号
処理水量 (m ³ /日)	20,930	19,790
送風量 (m ³ N/日)	44,350	44,070
送風倍率 (m ³ N/m ³)	2.12	2.23
MLSS (mg/L)	1,160	1,180
無機態窒素 (mg/L)	7.1	6.2
NH ₄ -N (mg/L)	0.9	1.0
DO 設定値 (mg/L)	0.8	0.8
平均送風倍率※	4.41	4.76

※降雨の影響のない直近 1 週間における送風倍率

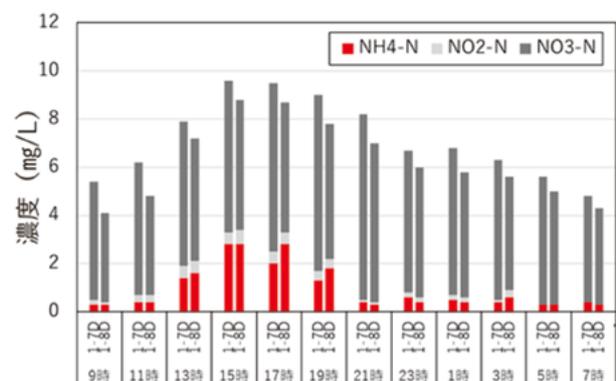
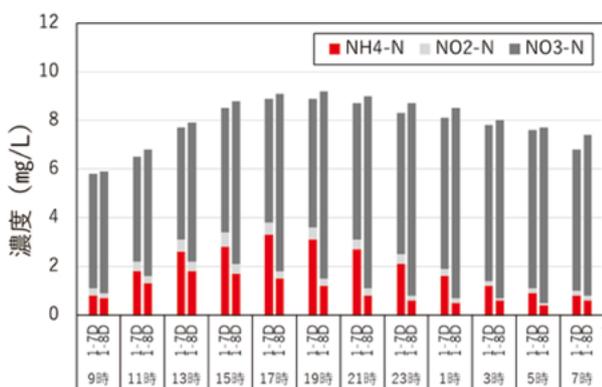


図 2 A0 法調査の窒素濃度（調査槽：1-7 号） 図 3 A0 法調査の窒素濃度（調査槽：1-8 号）

3.2 C 回路の DO 調査

C 回路の送風を制限した影響を確認するために、C 回路（出口側）の採水口にて深さ方向の DO を測定した。結果を表 4 に示す。送風を制限した調査槽（1-8 号）の DO は、全ての地点で対照槽よりも低い値であった。送風を制限することで C 回路内が無酸素状態となり、脱窒が進みやすくなったと推測された。

3.3 制限ばっ気の効果検証

3.1 と 3.2 の調査結果を踏まえ A0 法反応槽（全 2 槽）では、脱窒促進のため C 回路の送風を制限した運転を継続的に実施することとした。前述の調査時には A 回路後段で送風を行ったが、調査槽と対照槽で A 回路後段の水質に大きな違いが見られなかったことや、攪拌機からの送風は粗大な気泡であり送風効率が悪いと考えられたため、C 回路の制限ばっ気のみ実施することとした。

令和 2 年度から令和 4 年度における 11 月から翌 1 月末までの期間の A0 法処理水の全窒素濃度の推移を図 4 に示す。

令和 2 年度は通常運用（制限ばっ気なし）、令和 3 年度は 12 月 14 日まで制限ばっ気を実施し、その後は通常運用、令和 4 年度は制限ばっ気を継続実施している。

C 回路の制限ばっ気を継続した令和 4 年度は、処理が悪化しやすい年末年始でも全窒素濃度を 7mg/L 程度と従来に比べ低い濃度で維持することができた。

次に、施設停止や工事等の影響が比較的少ない 12 月（ひと月分）における過去 5 年分の水処理状況と水質データを表 5 にまとめた。処理水質は、降雨量や流入水量・水質など様々な影響を受けており、単純に制限ばっ気の効果だけを示すものではないが、C 回路の制限ばっ気を実施した令和 4 年度的全窒素濃度は 6.2mg/L であり、通常運用の令和 2 年度の 9.5mg/L と比べて全窒素濃度を約 35% 削減することができた。

表 5 A0 法反応槽の 12 月の処理状況の推移（R1 は施設停止）

	H29	H30	R2	R3	R4
降雨量 (mm)	14.5	42.0	10.0	114.0	49.0
一沈流出水 水温 (°C)	20.6	21.3	21.7	20.5	20.7
処理水量 (m ³ /日)	19,150	21,200	16,830	26,960	22,110
送風量 (m ³ N/日)	82,120	89,890	86,570	102,870	97,370
送風倍率 (m ³ N/m ³)	4.29	4.24	5.14	3.82	4.40
一沈出口 COD (mg/L)	50	50	55	42	49
MLSS (mg/L)	1,440	1,410	1,240	1,390	1,390
処理水 T-N (mg/L)	8.8	8.1	9.5	7.9	6.2
処理水 T-P (mg/L)	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
C 回路の制限ばっ気	無し	無し	無し	半月実施	実施

4 標準法での制限ばっ気（C 回路）調査

4.1 反応槽最終回路の水質調査

表 4 A0 法 C 回路出口の DO 値 (mg/L)

	対照槽 1-7 号	調査槽 1-8 号
水深 1 m	0.5	0.2
3 m	0.4	0.1 未満
5 m	0.2	0.1 未満
7 m	0.1	0.1 未満
9 m	0.2	0.1 未満

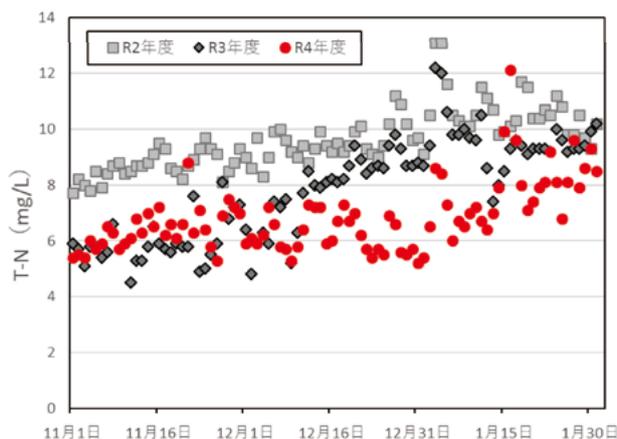


図 4 A0 法の 3 か年の全窒素濃度の比較

当センターの標準法は、隔壁がない直線構造の反応槽であり、従来、りん処理のために反応槽前段部（A回路）の送風弁を全閉にし、疑似嫌気部として運用している。

今回、A0法反応槽でのC回路制限ばつ気が窒素濃度の低減に効果があったため、標準法反応槽でも同様の効果が得られるか調査した。調査槽は、A回路の送風弁（3か所）全閉に加え、さらにC回路の送風弁（2か所）を寸開（A0法と同様に汚泥が沈まず気泡が確認できる程度）にした。図6に調査槽と対照槽の模式図を示す。

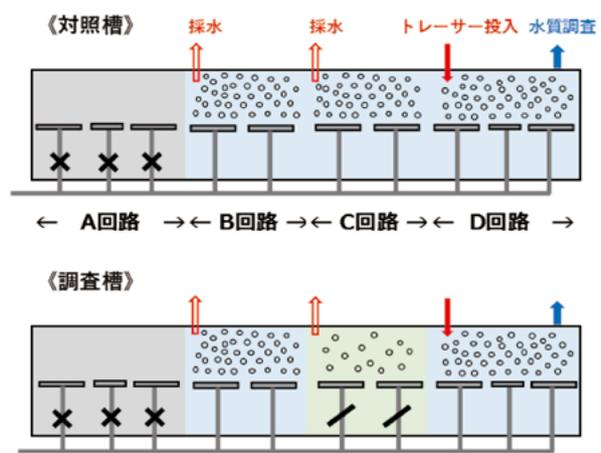


図6 標準法反応槽の調査模式図

今回の調査では、調査槽と対照槽で、送風量が概ね同等となるようDO設定値を調整した。なお、返送汚泥は、第二沈殿池4池分が混合されるため、調査槽と対照槽では同質の返送汚泥が投入されている。

まず、2-7号を調査槽とし（対照槽：2-5号）両槽における最終回路で2時間ごと24時間採水した（調査日：令和5年2月1日～2日）。結果を表6、図7に示す。調査槽の無機態窒素濃度は6.7mg/Lであり、対照槽の7.3mg/Lより低い結果となった（一部データ欠測のため当該の2回分を除いた平均値である）。対照槽に対する調査槽の削減率は約8%であった。

続いて、反応槽の条件を入れ替えて（調査槽：2-5号）同様の調査を行った（調査日：令和5年3月2日～3日）。結果を表7、図8に示す。無機態窒素濃度は調査槽が6.0mg/L、対照槽が7.5mg/Lと、調査槽の方が低い結果となり、削減率は約20%であった。

流入水量や送風量、MLSSなど、他の水処理条件に大きな差がない中、調査槽の方が無機態窒素濃度は低い結果となった。

表6 標準法調査の運転条件（調査槽：2-7号）表7 標準法調査の運転条件（調査槽：2-5号）

	対照槽 2-5号	調査槽 2-7号
処理水量 (m ³ /日)	15,340	15,414
送風量 (m ³ N/日)	81,079	81,396
送風倍率 (m ³ N/m ³)	5.29	5.28
MLSS (mg/L)	1,450	1,360
無機態窒素 (mg/L)	7.3	6.7
NH ₄ -N (mg/L)	1.2	1.8
DO設定値 (mg/L)	1.2	1.8
平均送風倍率※	5.71	5.69

	調査槽 2-5号	対照槽 2-7号
処理水量 (m ³ /日)	14,791	14,592
送風量 (m ³ N/日)	88,304	85,426
送風倍率 (m ³ N/m ³)	5.97	5.85
MLSS (mg/L)	1,490	1,390
無機態窒素 (mg/L)	6.0	7.5
NH ₄ -N (mg/L)	1.5	1.2
DO設定値 (mg/L)	1.8	1.2
平均送風倍率※	5.83	5.73

※降雨のない直近1週間における送風倍率

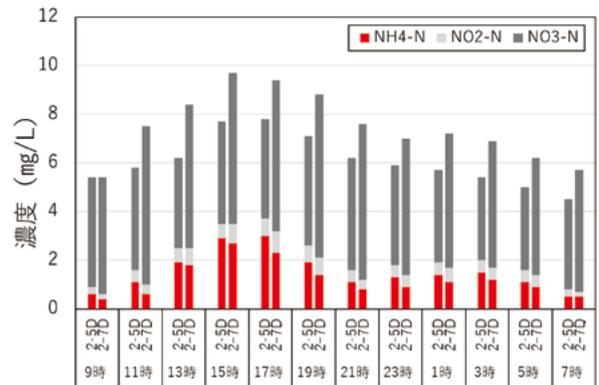
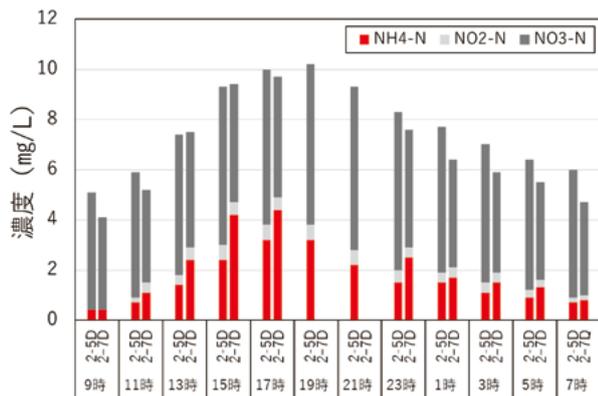


図7 標準法調査の窒素濃度（調査槽：2-7号） 図8 標準法調査の窒素濃度（調査槽：2-5号）

4.2 C回路のD0調査

C回路での制限ばっ気の影響を確認するために、C回路における深さ方向のD0を測定した。調査箇所はC回路の前方（入口側）と後方（出口側）の2か所とし、時間を変えて3回測定した。結果を表8に示す。調査槽と対照槽でD0実測値に明確な違いは見られなかった。

D0の実測は、限られた採水口での測定であるため、反応槽の状態を確実に捉えることができていない可能性はあるが、標準法の反応槽はA0法と異なり、回路間に隔壁がなく、C回路の送風を制限しても他の回路と容易に混合することから、調査槽と対照槽でD0値に差が見られなかったのではないかと考えられる。

表8 標準法C回路のD0値（mg/L）

	対照槽 2-5号 (前方)	調査槽 2-7号 (前方)	対照槽 2-5号 (後方)	調査槽 2-7号 (後方)
水深 3m (8時)	0.5	0.8	0.4	0.4
7m (8時)	0.8	0.7	0.7	0.6
水深 3m (11時)	0.6	0.4	0.6	0.8
7m (11時)	0.6	0.4	0.9	0.6
水深 3m (14時)	0.5	0.5	0.9	0.5
7m (14時)	0.4	0.7	0.8	0.5

4.3 条件変更時の水質の変化

図9に、令和5年4月から7月までの日常試験における標準法反応槽（2-5号と2-7号）の無機態窒素濃度と送風倍率の推移を示す。当初2-5号を調査槽としていたが、6月8日に反応槽の条件を入れ替えて、2-7号を調査槽へ、2-5号を従来のA回路のみ制限ばっ気へ変更した。この条件変更の日を境に、翌日の日常試験の結果で、調査槽にした2-7号の無機態窒素濃度が低下した。

調査期間中、調査槽と対照槽とで送風倍率は同等であり、改めて、A回路に加えC回路も制限ばっ気にすることで窒素濃度低減の効果があることを確認した。

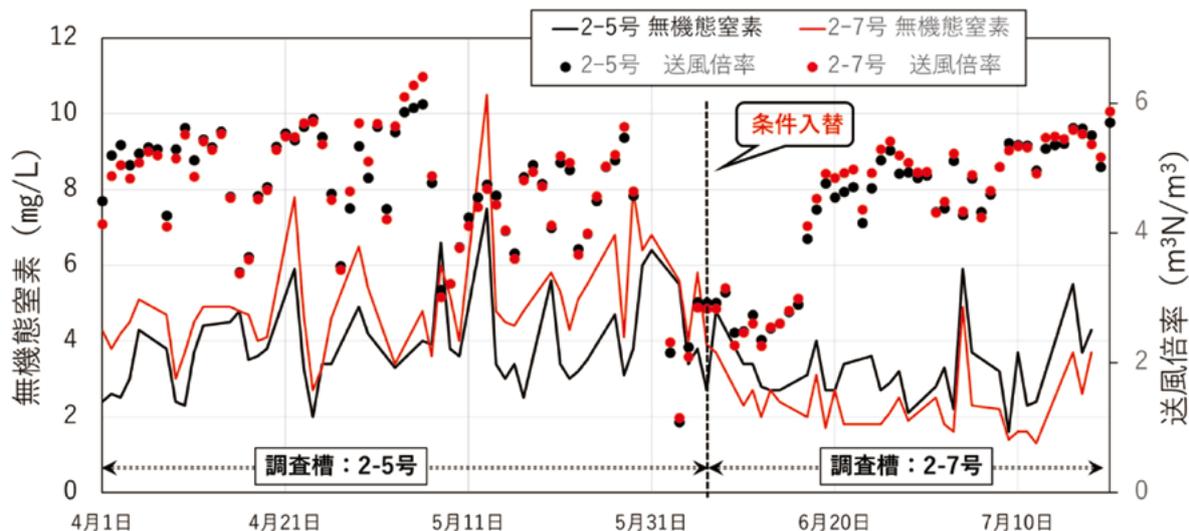


図9 日常試験時の標準法反応槽の水質と送風倍率

4.4 トレーサー試験と水質結果

標準法反応槽では、他の処理方式に比べ窒素・りんともに良好な水質が得られており、その要因を掴むためにこれまで様々な調査が実施されてきた。隔壁がない直線構造という特徴から、従来の水質測定に加え槽内の混合特性についても調査しており、A回路の制限ばっ気によって反応槽後方からの混合・逆流があり、脱窒促進につながっていると考えられている。

今回は、過去の調査結果等を踏まえ、反応槽の途中にトレーサー物質を投入し、上流側で採水（2か所）することで、調査槽と対照槽の違いを探ることとした（図6参照）。

調査方法としては、調査槽と対照槽の両槽のD回路入口（以下、「D入」）の採水口に、トレーサー物質（臭化物イオン濃度が平均0.8mg/Lとなる量の臭化ナトリウム溶液）を午前10時に投入し、反応槽上流側であるC回路入口（以下、「C入」とB回路入口（以下、「B入」）の採水口にて、自動採水器を用いて5分間隔で2時間採水を行った。採水は水深1mとし、流入水量は両槽において一定量とした。

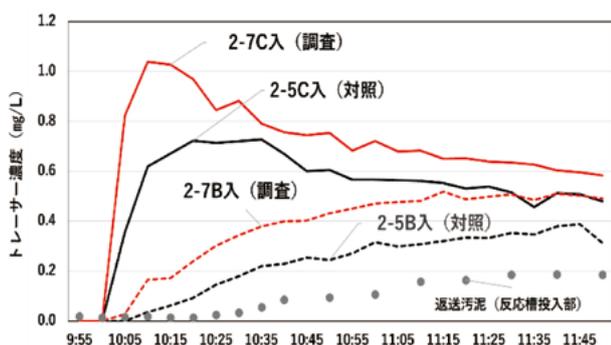


図10 トレーサー結果①（調査槽：2-7号）

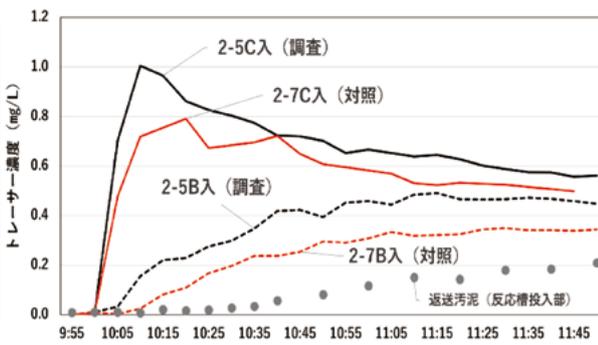


図11 トレーサー結果②（調査槽：2-5

図10に1回目のトレーサー試験（調査槽：2-7号、調査日：令和5年5月25日）の結果を、図11に条件を入れ替えた2回目のトレーサー試験（調査槽：2-5号、調査日：令和5年6月28日）の結果を示す。いずれも調査槽の方がC入、B入でトレーサー濃度が高く、ピーク時間も早かった。調査槽では、C入においてトレーサー投入後、10分程度で約1.0mg/Lと最大となり、その後徐々に低下した。D入に投入したトレーサー物質は、二沈から引き

抜かれた返送汚泥により反応槽入口からも流入すると考えられるが、返送汚泥（反応槽への投入箇所）では、トレーサー投入後、約 30 分間は検出されていないことから、少なくとも B 入の初期（10 時 30 分頃まで）に検出されたトレーサー物質は返送汚泥由来ではなく、D 入に投入したトレーサーが混合・拡散されたものと考えられる。また、トレーサー試験と同時に測定した B 入の水質結果を図 12、13 に示す。

B 入でも、調査槽の方が無機態窒素濃度は低く、C 回路の送風を制限することで、上流側の B 入の水質にも影響を及ぼしていることがわかった。

当センターの標準法反応槽は、隔壁のない直線構造であるため、蛇行している反応槽や隔壁のある反応槽よりも混合状態が強いと考えられるが、従来の A 回路のみ制限ばっ気に加えて C 回路の送風を制限することで槽全体の混合・逆流が進み、窒素濃度が低減したと推測された。

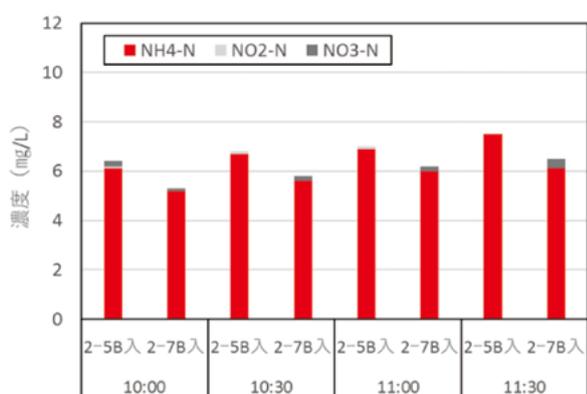


図 12 B 入口の水質①（調査槽：2-7 号）

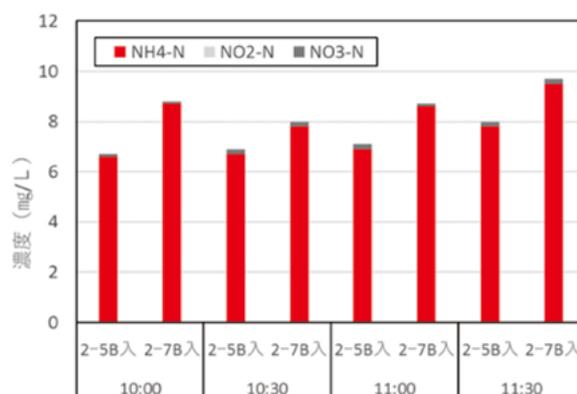


図 13 B 入口の水質②（調査槽：2-5 号）

5 まとめ

- ・ A0 法反応槽では、C 回路の送風を制限することで窒素低減の効果が見られた。制限ばっ気をした C 回路の DO 値は低下しており、無酸素状態となることで脱窒が進行したと推測される。
- ・ 施設停止等の影響が少ない 12 月（ひと月分）の全窒素濃度は、制限ばっ気を実施した令和 4 年度が 6.2mg/L であり、取組なしの令和 2 年度の 9.5mg/L と比べ、約 35% 削減することができた。
- ・ 標準法反応槽でも C 回路の送風を制限することで窒素濃度を約 20% 低下させることができたが、送風を制限した C 回路の DO 値は対照槽と差が見られなかった。
- ・ 標準法反応槽は隔壁がない直線構造であるため、反応槽後方からの混合・逆流がみられるが、トレーサー試験の結果、C 回路の送風を制限した調査槽では、反応槽内の混合・逆流が対照槽より促進されることがわかった。槽全体の混合が進み、窒素濃度の低減につながったと推測される。

6 今後の予定

放流水の窒素濃度のさらなる低減に向けて、今回調査した結果を元に制限ばっ気を継続運用した際の管理上の要点や課題を整理する。加えて、標準法反応槽における槽内の混合・逆流状況と処理水質との関係について解明していく。

・参考文献

施設管理部環境管理課：令和元年度 好気槽内脱窒要因解明調査委託 報告書

2-3-1 エネルギー自立型焼却炉の導入について

建設部 設備設計課 寺原 洋希

1. はじめに

下水道局では、「経営計画 2021」及び「アースプラン 2023」に基づき、温室効果ガス排出量の削減と再生可能エネルギー活用の拡大に取り組み、2030年カーボンハーフ実現を目指している。この目標達成に向けた取組の中で、エネルギー自立型焼却システムの導入を進めている。

エネルギー自立型焼却システムとは、燃料を必要としない領域まで汚泥含水率を低下させる「超低含水率型汚泥脱水機」と、廃熱を利用する発電機によって、外部からの電力及び都市ガスの供給を受けることなく運転を継続させることが可能な「エネルギー自立型焼却炉」を組み合わせたものである。本稿では、これまでに建設部設備設計課で設計を行ったエネルギー自立型焼却炉の発注から施工後の経過について報告する。

2. 当局における汚泥焼却炉の変遷について

2.1 焼却炉導入の流れ

汚泥焼却炉は、水処理の過程で発生する汚泥の減容化及び安定化を目的としている。温室効果ガスを削減する焼却炉の開発は、図1に示す通り、一酸化二窒素（ N_2O ）の発生抑制を目的とした高温燃焼焼却炉から始まり、高温焼却を維持しつつ燃料及び使用電力を削減する省エネルギー型焼却炉に移行した。現在では、省エネルギー型焼却炉と、焼却廃熱を利用した発電システムにより自ら使用する電力量を創出するエネルギー自立型焼却炉を、設置する機場の条件に合わせ、それぞれの特徴に応じて導入を進めている。2.2～2.4にて、世代ごとの焼却システムについて記載する。

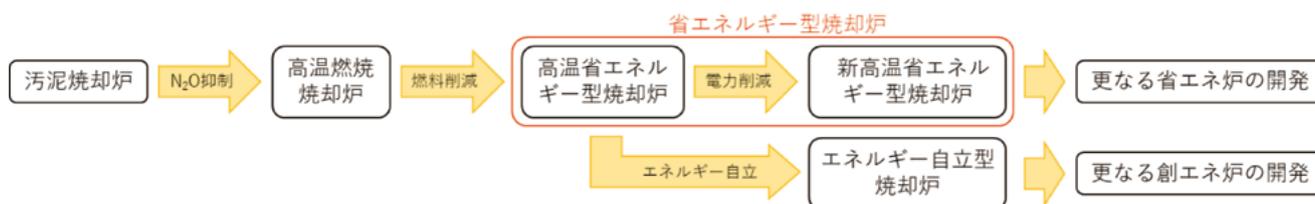


図1 焼却炉開発・導入の流れ

2.2 高温燃焼焼却炉

高温燃焼焼却炉は、投入する汚泥の含水率を76%程度としており、焼却温度を従来の約800℃から約850℃まで上昇させ、 N_2O 削減を目指した焼却炉である。本焼却炉は、高温焼却により約70%の N_2O の発生抑制が図れるものの、燃料（都市ガス等）及び電力の使用量が增大するという問題があった。

2.3 省エネルギー型焼却炉

省エネルギー型焼却炉は、高温燃焼焼却炉に対し、燃焼温度を850℃以上に高温化し、ターボ等の導入及び低含水率型脱水機（汚泥含水率74%程度）と組み合わせることにより、

温室効果ガスを大幅に削減できる焼却炉である（高温省エネルギー型焼却炉）。

さらに、新高温省エネルギー型焼却炉は、超低含水率型脱水機（汚泥含水率 74%以下）との組み合わせにより、高温燃焼焼却炉と比較して N₂O を 65%、電力を 60%削減し、燃料使用量をゼロとすることが可能となる。型式として、ストーカ炉、ターボ型流動炉、タービン多層型流動炉等がある。図 2 に、省エネルギー型焼却炉の概念図を示す。

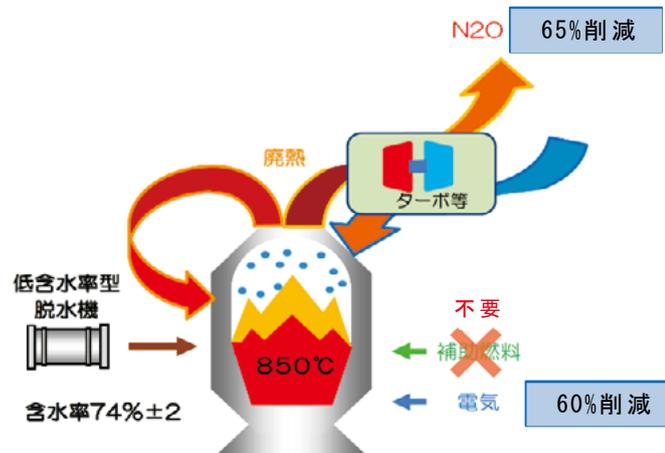


図 2 省エネルギー型焼却炉概念図

2.4 エネルギー自立型焼却炉

エネルギー自立型焼却炉は、廃熱を利用した発電により電力を自給することで、燃料及び電力を必要としない焼却炉のことをいう。本焼却炉に汚泥を供給する脱水機は超低含水率型である。

図 3 に、エネルギー自立型焼却炉の概念図を示す。省エネルギー型焼却炉は、運転において外部からの電力供給を必要としたが、エネルギー自立型焼却炉では、焼却炉の廃熱を利用して発電を行うことで、外部から電力供給を受けることなく焼却炉の運転が可能となる。本焼却炉の型式として、ストーカ炉、ターボ型流動炉、タービン多層型流動炉等が局内の技術管理委員会において実用化評価を得ている。なお、エネルギー自立型焼却炉は、焼却能力が 150 t/日以上で、規定量の汚泥を安定的に供給可能な焼却炉に導入していくことを予定している。

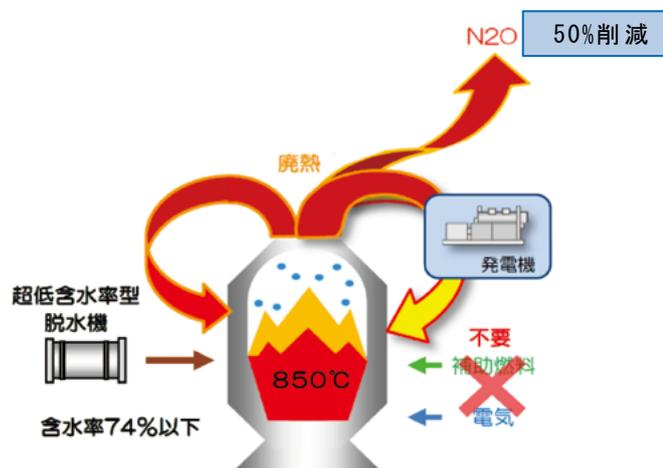


図 3 エネルギー自立型焼却炉概念図

3. エネルギー自立型焼却炉の設計について

新河岸水再生センター汚泥焼却設備再構築その2工事では、当局で初めてのエネルギー自立型焼却炉の導入を目的に設計を行った。本工事で、既設3号炉の跡地にエネルギー自立型焼却炉である新4号炉を設置した（図4）。

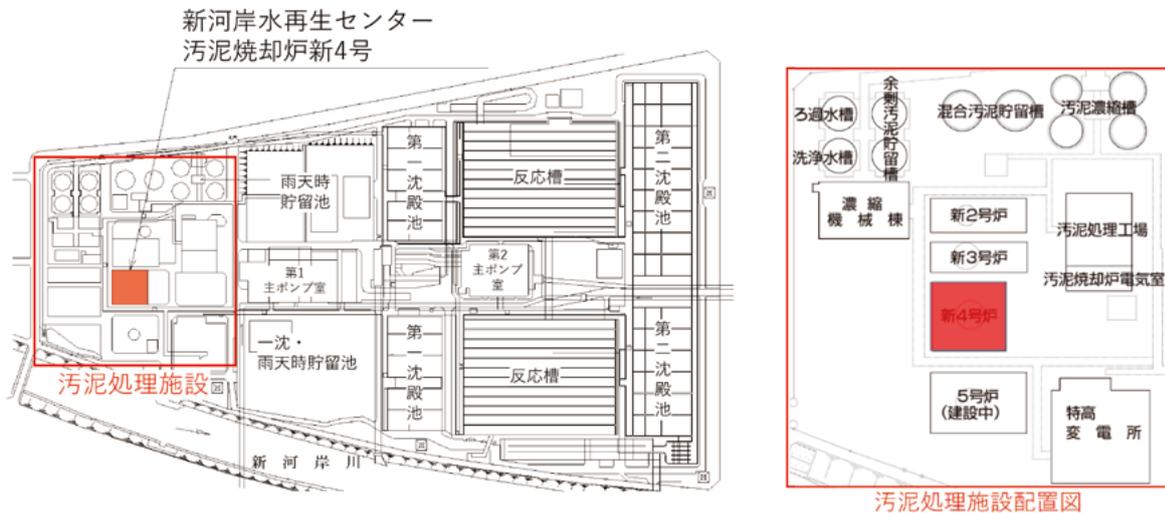


図4 新河岸水再生センター汚泥焼却炉新4号位置図

設計時の基本計画であるアースプラン2014では、環境に配慮した焼却炉として、省エネルギー型焼却炉、エネルギー自立型焼却炉の2種類を今後導入していくとしている。また、焼却炉の運用として、焼却炉定格能力の汚泥を安定的に投入し運転する定格炉と、汚泥量の変化に伴い投入量や投入間隔を調整して運転する調整炉の2種類がある（表1）。さらに、エネルギー自立型焼却炉は、150 t/日～300 t/日の定格炉として運用を行う。省エネルギー型焼却炉は、60 t/日～150 t/日未満の定格炉もしくは調整炉として運用を行う。そのため、今回の焼却炉は、250 t/日の定格炉として運用を行うため、エネルギー自立型焼却炉を採用した。

表1 焼却炉の導入方針

運転方法	定格炉	調整炉
焼却能力		
60t/日～150t/日未満	省エネルギー型	省エネルギー型
150t/日～300t/日	エネルギー自立型	省エネルギー型

設備の機器配置は、限られたスペース内で効果的に行う必要がある。さらに、エネルギー自立型焼却システムでは焼却方法や発電方式がメーカーにより異なるため、平成28年度の設計時に技術管理委員会の実用化評価を得ていた各社に技術照会を行い、経済性、維持管理性、配置計画等に関して比較検討した。その結果、3号炉の撤去後のスペースに設置可能であること、また、初期投資額及び運用額を含めた総コストに大きな差が見られず共同研究の条件を満たしていることから、ストーカ炉、ターボ型流動炉、最適燃焼制御付気泡流動炉、タービン多層型流動炉の4種類を併記して発注を行うこととした。

4. 導入した焼却炉について

本工事では、「最適燃焼制御付気泡流動炉（250t炉）」を導入した。この形式は、焼却炉の砂層温度、フリーボード温度、酸素（O₂）濃度を同時に監視し、流動空気量の最適な制御を行うことで、高温領域を安定的に形成し、N₂Oの削減を図るとともに、超低含水率型脱水機との組み合わせにより、原則燃料を使用しないものである（図5）。また、焼却炉の廃熱を利用して、バイナリー発電により、焼却炉で使用する電力を自給して二酸化炭素（CO₂）の削減を図るものである。

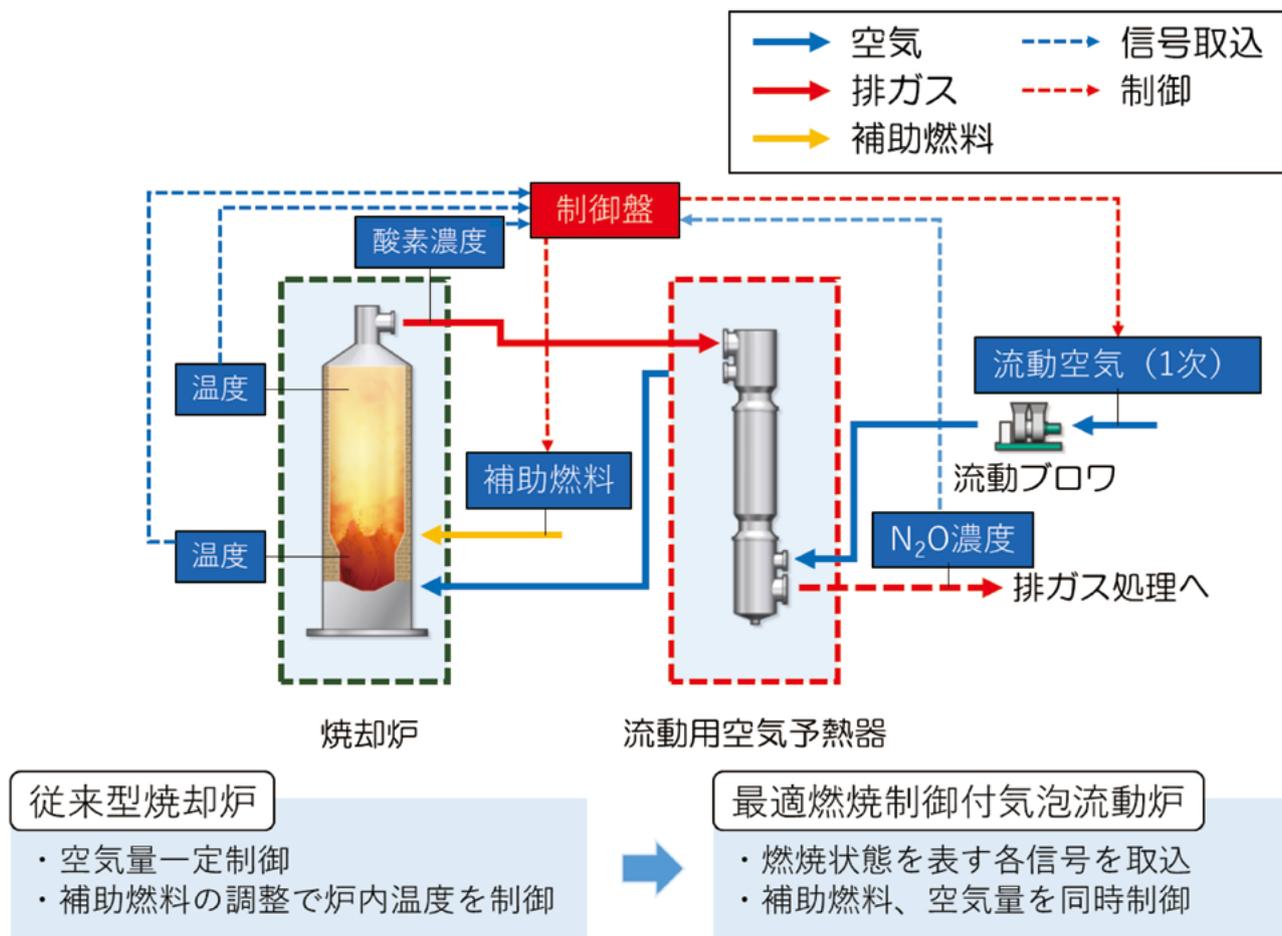


図5 最適燃焼制御付気泡流動炉の概念図

なお、バイナリー発電とは、従来の蒸気発電と異なり、熱媒体と作動媒体の、2種類の媒体を用いる方式である（図6）。焼却炉の廃熱を用いて熱媒ヒーターで熱媒体（熱媒油）を加熱し、蒸発器で沸点の低い作動媒体を沸騰させ、タービンを回して発電する方式で、従来よりも低温の熱源で安定的に高出力の発電を行える。

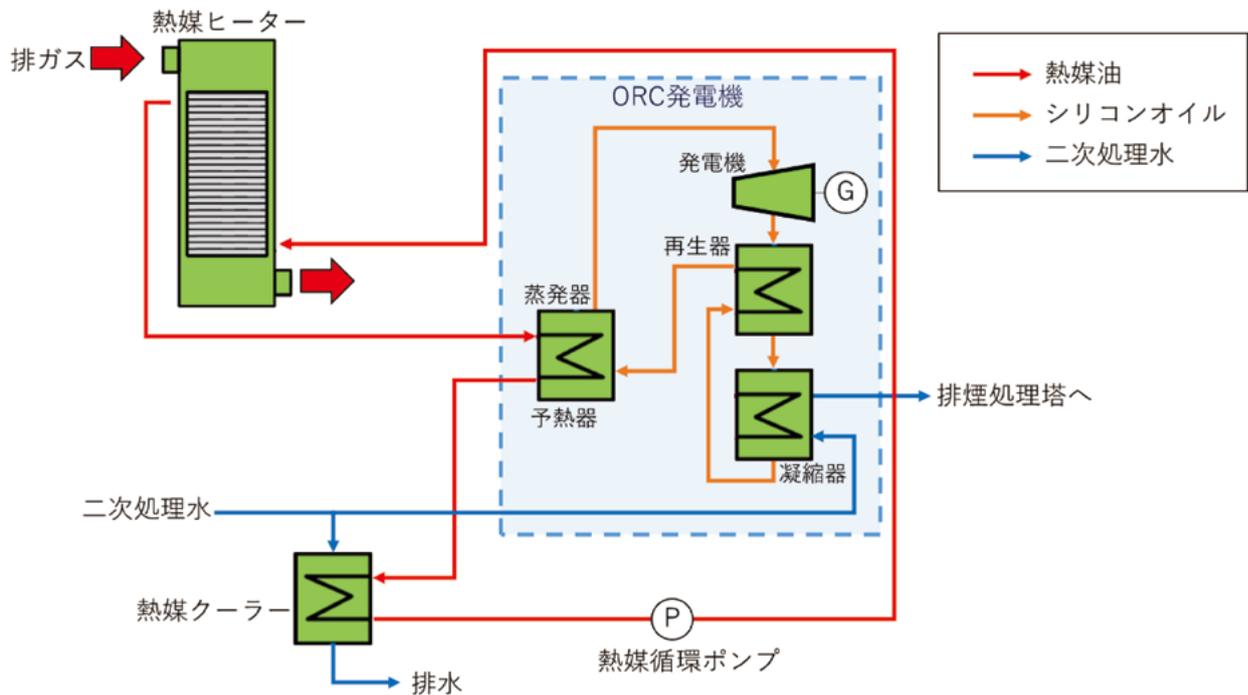


図 6 バイナリー発電フロー

本工事では、作動媒体にシリコンオイルを用いる、ORC (Organic Rankin Cycle) 発電機を導入した（図 7）。シリコンオイルは蒸気と異なり粘度が高く、タービンを低速で回転させることができるため、機械的な疲労も少なく、効率も蒸気より高いという特徴がある。



図 7 ORC 発電機

5. 今後の課題について

本工事は令和 5 年 3 月に完了したが、試運転時に不具合が発生したため、次に不具合内容と原因、対策内容を示す。

- (1) 空気予熱器及び熱媒ヒーターの伝熱管に灰が堆積し、熱交換がうまく行われなかった。灰が堆積した原因としては、灰に含まれるサブミクロン粒子（ $1\mu\text{m}$ 以下の微細粒

子) がファンデルワールス力により、伝熱管に付着したためと考えられる。

そこで、熱媒ヒーターには圧縮空気で灰を吹き飛ばす装置（スートブロワ）を設置し、空気予熱器にはけい砂投入装置を設置して灰の堆積を防ぐ対策を行った。（図 8）

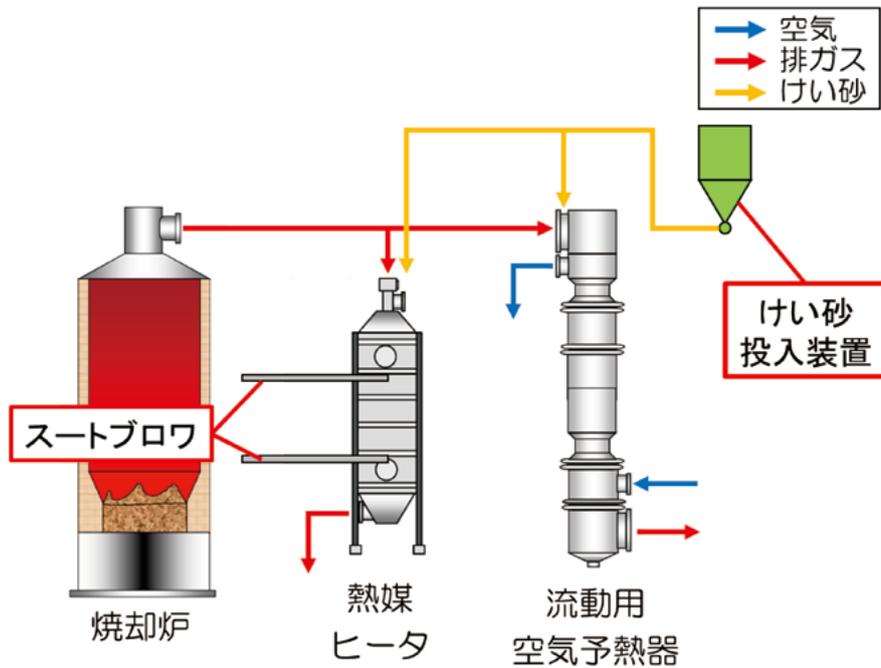


図 8 焼却灰堆積への対策

(2) 熱媒クーラー（プレート式熱交換器）は、焼却炉と発電機との間で熱を媒介する熱媒油を冷却するもので、プレート内に熱媒油と冷却水を通し、熱交換を行うものである（図 9）。その熱媒クーラーのプレートが腐食し、亀裂が生じた（図 10）。

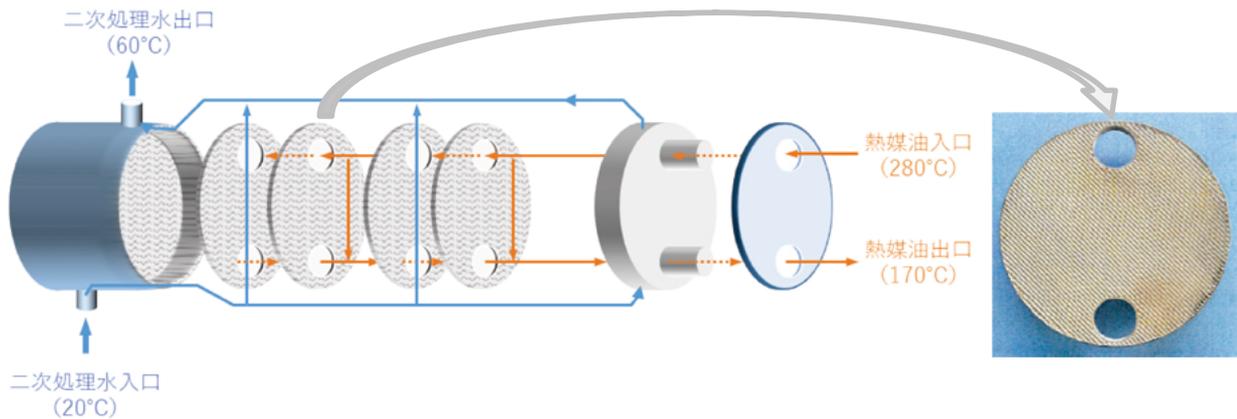


図 9 熱媒クーラー構造図

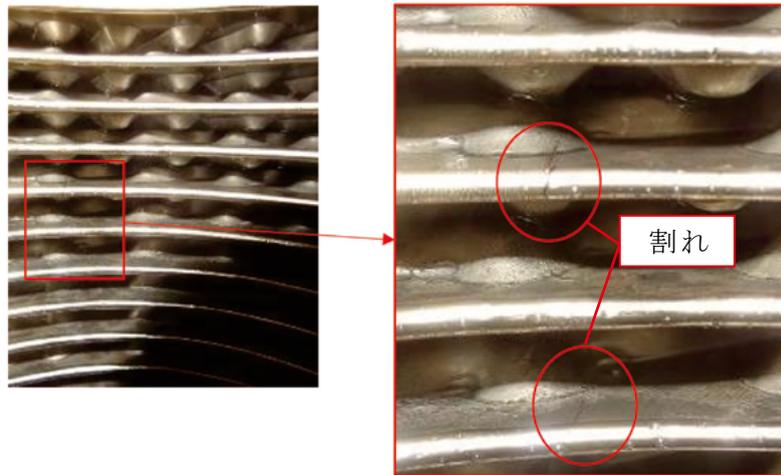


図 10 熱媒クーラープレート状況

亀裂が生じた原因は、隙間腐食等によるものと考えられる。隙間腐食等による熱媒油の漏えい対策として、次の対策を行った。

- (1)クーラーの方式をプレート式から、シェル&チューブ式に変更する。
- (2)熱媒油を、上水を介して二次処理水で間接的に冷却することで、万が一熱媒クーラーが破損した場合にも熱媒油が外部へ漏洩するのを防ぐ。
- (3)油検知器を設置する。

これらの不具合は、N₂O 削減のための高温焼却と、エネルギー自立のための発電機において発生したものであり、今後、エネルギー自立型焼却炉を導入していくにあたり、設計段階で対策を考慮する必要がある。

6. おわりに

本稿では、下水道局がエネルギー使用量削減の一環として取り組んでいる、エネルギー自立型焼却炉の導入について報告した。今後も設備の再構築において、今回判明した課題への対策を盛り込んだ設計を行っていく。

参考文献

- 1)経営計画 2021、東京都下水道局
- 2)アースプラン 2023、東京都下水道局

2-3-2 浅槽反応タンク散気設備更新工事に伴う対応について

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 水質管理担当
 多田 琴音 (現 施設管理部環境管理課)
 中川 遼太郎、小山 祐樹、高橋 由香里、横田 智之
 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は83万 m³/日の処理能力(令和4年度実績543,330 m³/日)があり、図1に示すように5系列の反応タンクから構成されている。このうち浅槽反応タンクは、6槽からなる設計処理水量15万 m³/日の標準活性汚泥法の系列であるが、散気設備が更新の時期を迎えており、令和5年度より年度毎に1槽ずつ更新する予定としている。更新に当たっては、1槽排水した場合、老朽化にともない隣接する槽からの水圧により仕切り壁が倒壊する恐れがあることから、排水せずに潜水士が水中施工で工事を行う。

更新初年度の今年度の浅槽1号槽の工事において、反応タンク内の活性汚泥を置換する際に様々な課題が発生した。これらの課題に対する対応と、更新後に実施した性能調査の結果について報告する。

2 施設概要

浅槽反応タンクの平面図を図2、断面図を図3、仕様を表1に示す。槽内は隔壁がないが、A~D各回路は槽仕切壁で分けられている。散気水深が浅いことから、更新後の酸素移動効率 η_1 (清水基準、DO 0 mg/L)の設計値は16%である。



図1 センター平面図と反応タンク系列

表1 反応タンク仕様 (1槽当たり)

処理方式	標準活性汚泥法	
処理能力	25,000 m ³ /日	
槽容積	8,790 m ³	
有効水深	4.1 m	
散気水深	3.6 m	
散気方式	片側旋回流	
散気装置	(更新前)	(更新後)
	セルポール散気筒	メンブレンパイプ式 超微細気泡散気装置

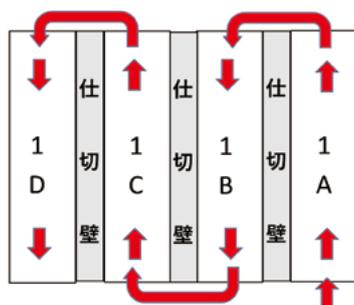


図2 反応タンク平面図

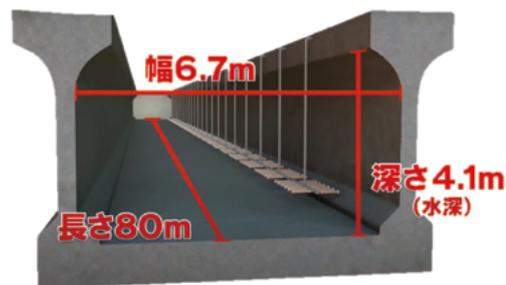


図3 反応タンク断面図 (1回路分)

3 水中施工置換方法の検討（課題①）

本工事では潜水土が水中施工を行うため、反応タンク内を SS 濃度の低い水に置換する必要がある。当初、最低風量で曝気しながら約 1,000 m³/日の雑用水を供給して置換する予定であったが、押し出し流れを仮定すると流れ方向の流速が約 0.04 cm/秒となり、最低風量で確保される底部流速 10 cm/秒より小さいため、旋回流に負けて活性汚泥の置換が進まない可能性があった。そこで、水量に制約がある雑用水に代わり、制約がない反応タンク流入水で一斉に置換し、SS 濃度を下げる方針とした。ただし、工事後の立上げ時に未処理水が反応タンクから流出することが想定されたため、反応タンク流入水のみを曝気して NH₄-N を処理できるか、テーブル実験にて確認を行った。

3.1 方法

浅槽反応タンク流入水 2 L を 18 日間曝気し、無機性窒素の変化を測定した。浅槽反応タンク流入水は、余剰汚泥の初沈戻しに由来する硝化細菌が混入している可能性があるため、同様に初沈戻しの影響を受ける東系最初沈殿池 1 号流出水と影響を受けない 3 号流出水についても曝気し、流入下水中の硝化細菌の硝化能力についても調べた。

結果無機性窒素濃度の推移を図 4~6 に示す。いずれの試料も、NH₄-N 濃度の減少と同時に NO₂-N が生成し、NO₂-N 濃度がピークに達した後に NO₃-N の生成が始まった。18 日後には全ての試料で完全硝化となり、流入下水のみでも硝化能力があることが確認できた。図 5 と図 6 を比較すると、NO₂-N 濃度がピークに達するまでの日数はあまり変わらないのに対し、その後完全硝化となるまでの日数が初沈戻しの影響がある試料の方が短く、初沈戻しによる亜硝酸酸化細菌の循環を確認できた。また、いずれの試料についても、曝気後 SS 濃度は曝気前（40mg/L 程度）と同等か低く、流入水曝気でも SS 濃度及び NH₄-N 濃度が低い水を得られることがわかった。

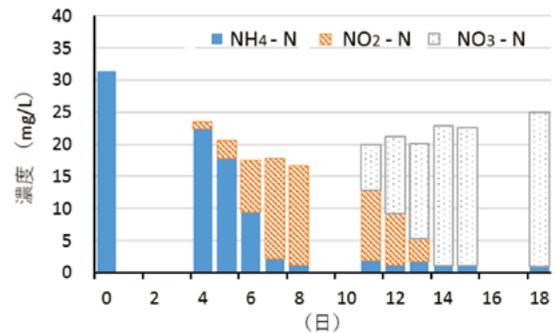


図 4 浅槽反応タンク流入水の無機性窒素濃度の推移（初沈戻し有り）

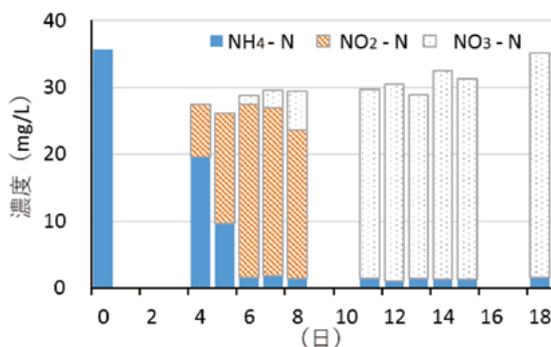


図 5 東系初沈 1 号流出水の無機性窒素濃度の推移（初沈戻し有り）

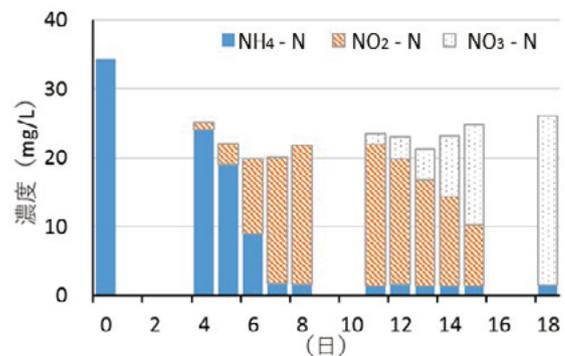


図 6 東系初沈 3 号流出水の無機性窒素濃度の推移（初沈戻し無し）

4 漏水調査（課題②）

4.1 経緯と方法

3.2に基づき、令和5年4月10日に反応タンク流入水への置換作業を実施したが、翌日以降、徐々にMLSS濃度が上昇し、数日後には置換前と同様な状態に戻っていた。また、反応タンク流出水量（以下、流出水量）がゼロとならなかったことから、隣接する2号槽（図7）から活性汚泥が流入している可能性が疑われた。そこで、1-2号槽間について漏水調査を行うとともに、来年度以降の工事を見据え全槽間の漏水調査を行った。

漏水調査は、停止中の1号槽に加えて2～5号槽を1槽ずつ停止（流入扉全閉、返送汚泥停止、最低風量曝気）して停止した反応タンクからの流出水量を把握する調査を主体とし、補足として臭化ナトリウムによるトレーサー調査を行った。

4.2 結果

一例として、1・2号槽停止時の流出水量の推移を図8、1・4号槽停止時の流出水量の推移を図9に示す。1・4号槽停止時には4号槽の流出水量がほぼゼロとなり、3-4号槽間及び4-5号槽間の漏水がないことが確認できた。一方、1・2号槽停止時には2号槽の流出水量が検出され、2-3号槽間に漏水があることが確認できた。停止した反応タンクからの流出水量を図10にまとめる。この結果から、1-2号槽間、2-3号槽間に漏水があることがわかり、補足のトレーサー試験からも同様の結果が示された（図11）。

その後、工事に遅れをきたさないよう雑用水で置換する方針に再度変更し、古い散気装置の撤去を進める一方で設置業者による潜水調査が実施された。潜水調査の結果、西側の各槽を跨ぐ壁と1-2号槽の仕切壁の間に隙間が生じていることが判明したため（図12）、エポキシ樹脂系接着剤で補修し、新規の散気装置を設置完了した。なお、2-3号槽間の亀裂については、来年度の工事に対応する予定である。

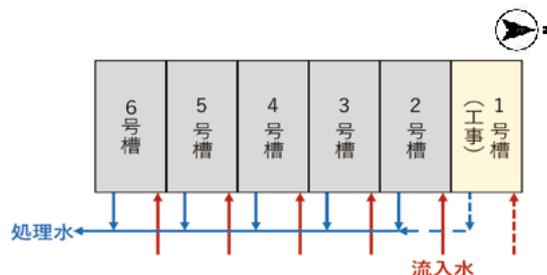


図7 浅槽反応タンクの模式図
(点線は停止中)

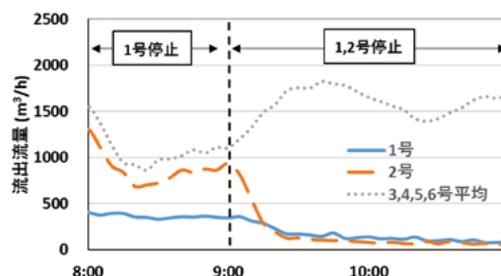


図8 1・2号槽停止時の流出水量

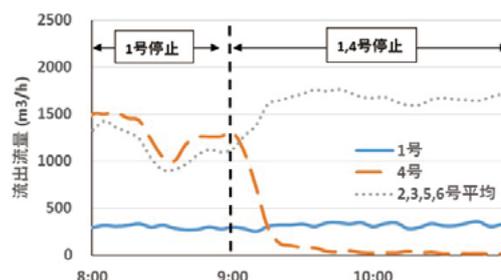


図9 1・4号槽停止時の流出水量

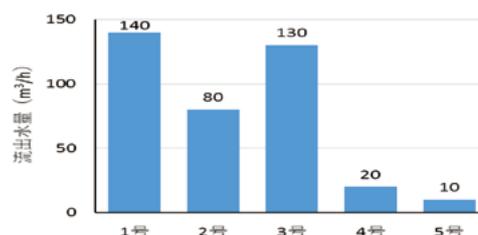


図10 停止槽からの流出水量

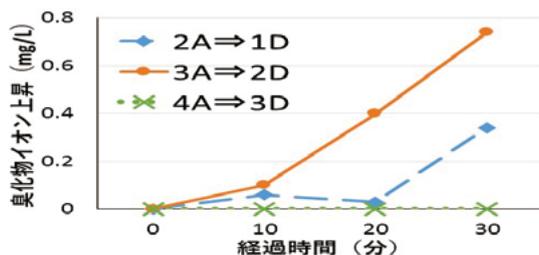


図11 トレーサー調査結果

※「2A⇒1D」は、2Aにトレーサーを投入した際の1Dの検出状況を表す

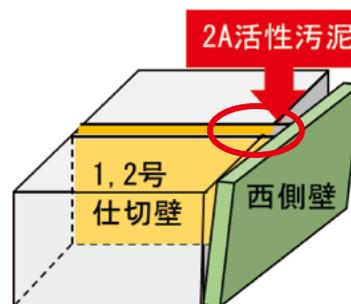


図12 漏水状況

5 更新後の性能調査

1号槽の散気性能を確認するため、ステップ流入無し及び制限曝気無しの条件の下、各回路の水質測定及び酸素移動効率 η_0 (汚水基準、DO 0 mg/L) の簡易測定¹⁾を行い、更新前の3号槽と比較した。また、りん処理性能を把握するため、3号槽のA回路上流部(A回路全体の約5分の1)を通常運用である制限曝気とし、制限曝気無しの1号槽と比較した。

5.1 散気性能

η_0 は、二酸化炭素濃度をゼロと仮定し、有害ガス検知器により測定した反応タンク排ガス中の酸素濃度の値から式1により実酸素移動効率 η_e を算出した後、別途測定した β 値(清水に対する汚水の飽和 DO 濃度の比)を用いて式2により算出した。酸素移動効率 η_1 (清水基準、DO 0 mg/L) は、一般的な α 値(清水に対する汚水の総括酸素移動容量係数の比)である 0.83 を用いて式3により試算した。なお、排ガス試料採取の際、排ガス濃度を安定させるため、手製の排ガス捕集装置(図13)を使用した。



図13 排ガス捕集装置等

$$\eta_e = \frac{Z_0 - Z}{Z_0 \times (1 - \delta \times Z)} \times 100, \delta = 1 - \varepsilon, \varepsilon = \frac{Z_{CO_2} \times (1 - Z_0)}{Z_0 - Z - Z_{CO_2} \times Z_0} \dots \text{式1}$$

$$\eta_0 = \frac{1.024^{20-t} \times \beta \times C_S(20)}{\beta \times C_S - C_L} \times \eta_e \dots \text{式2}$$

$$\eta_1 = \eta_0 \times \frac{1}{\alpha} \times \frac{1}{\beta} \dots \text{式3}$$

Z:排ガス中の O₂ のモル分率, Z₀:供給空気中の O₂ のモル分率, Z_{CO₂}:排ガス中の CO₂ のモル分率
t:水温(°C), C_S: t°Cにおける清水の飽和 DO 濃度(mg/L), C_L:反応タンク内混合液の DO 濃度(mg/L)

調査期間中の運転データを表2、 η_0 の測定結果を図14に示す。1号槽の送風倍率は3号槽の3分の1程度、1号槽の η_0 は全回路で3号槽を上回っており、散気性能の向上が確認できた。また、1号槽D回路の η_1 の試算値は23%となり、設計値16%を満たしていた。

表2 運転データ(散気性能)

号数	1号槽	3号槽
流入水量 (m ³ /h)	830	570
返送汚泥量 (m ³ /h)	450	440
送风量 (Nm ³ /h)	AB回路	1,990
	CD回路	2,470
送風倍率 (Nm ³ /m ³)	5.4	15.7
MLSS (mg/L)	1,870	1,800

1号槽および3号槽の処理状況をそれぞれ図15、図16に示す。1号槽の窒素処理は、A・B回路の送風量が少なかったためB及びC回路の処理が3号槽より遅れていたが、D回路ではほぼ完全硝化しており良好であった。

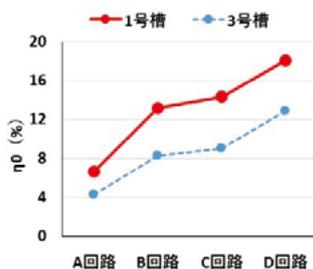


図14 η_0 測定結果

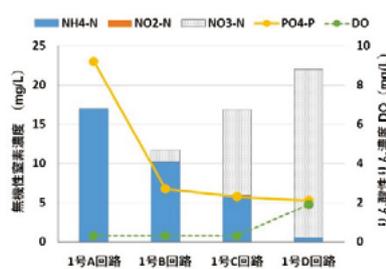


図15 1号槽の処理状況

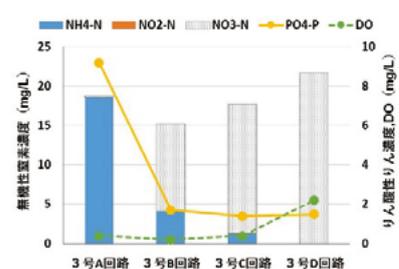


図16 3号槽の処理状況

5.2 りん処理性能

調査期間中の運転データを表 3、A 回路上流部の PO₄-P 濃度の推移を図 17、D 回路末端の PO₄-P 濃度の推移を図 18 に示す。制限曝気無しの 1 号槽は、制限曝気有りの 3 号槽と比べて A 回路上流部での PO₄-P の吐出しが少なく、D 回路末端の PO₄-P 濃度が高くなっていた。今後は 1 号槽も制限曝気とし、りん処理性能の向上を図っていく。

表 3 運転データ(りん処理性能)

号数	1号槽	3号槽
流入水量 (m ³ /h)	760	570
返送汚泥量 (m ³ /h)	440	440
送風量 (Nm ³ /h)	AB回路	1,900
	CD回路	2,560
送風倍率 (Nm ³ /m ³)	5.9	16.8
MLSS (mg/L)	1,870	1,780

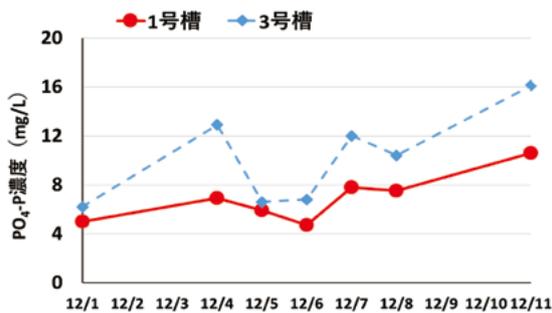


図 17 A 回路上流部の PO₄-P 濃度の推移

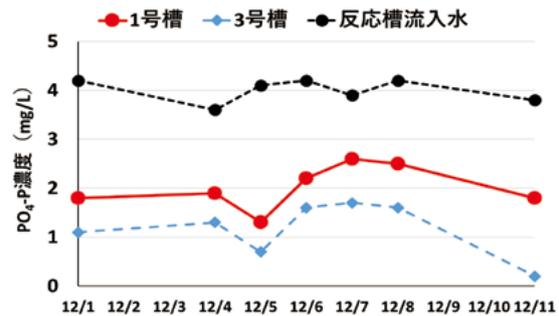


図 18 D 回路末端の PO₄-P 濃度の推移

6 まとめ

浅槽 1 号槽散気設備更新工事における対応を実施する中で、以下の成果が得られた。

- ・反応タンク内の活性汚泥を置換する方法として、反応タンク流入水で一斉に置換した後、曝気する方法が適用可能であることがわかり、工事において一部検証した。
- ・反応タンク停止時の流出水量及びトレーサー調査から躯体の漏水箇所を特定した。
- ・有害ガス検知器により η_0 の簡易測定を行い、 η_1 が設計値 16% 以上であることを確認した。
- ・更新後の制限曝気なしの条件のままでは、制限曝気で運用している他槽と比較してりん処理性能が劣っていた。

今後は 1 号槽も制限曝気としてりん処理性能の向上を図るとともに、散気効率の良い 1 号槽の水量を増やし、エネルギー削減と水質向上の両立を目指していく。

<参考文献>

- 1) 西海ほか「散気板更新後の西系反応タンク処理性能について」, 令和 4 年度水質技術研究発表会

2-3-3 後楽ポンプ所熱供給施設における騒音・振動対策について

北部下水道事務所 ポンプ施設課 氏名 緒方 美咲

1. はじめに

東京都下水道局後楽ポンプ所（以下「本ポンプ所」という。）は、雨水ポンプ所としての機能に加え、汚水幹線から引き入れた未処理の下水を熱源として、周辺地域に冷暖房の熱エネルギーを供給する熱供給施設を有している。

一方で、本ポンプ所はオフィスビルとの合築で、上層階が店舗や事務所として利用されており、ポンプ所の運転管理を行う中で、熱供給施設における設備運転時の振動による騒音が地上階の事務所において確認されたことから、騒音・振動について、原因を特定し、必要な対策を講じた。

本稿では、3か年にわたって実施した騒音・振動対策とその効果について報告する。

2. 概要

2.1 ポンプ所概要

本ポンプ所は、昭和61年に地上2階地下5階建て鉄筋コンクリート造の雨水ポンプ所として建設した。東京都文京区に位置し、近隣にはオフィスビルやレジャー施設が立地する地域にある（図1）。

平成6年、本ポンプ所の地下階に、周辺地域に地域冷暖房を供給するための熱供給施設（地冷プラント）が建設され、平成12年には地上19階建てのオフィスビルとの合築となった。



図1 後楽ポンプ所の熱供給地域

2.2 熱供給システム

本ポンプ所の熱供給施設は、大気と比べて夏に冷たく冬に温かいという下水の特性を活かして、熱エネルギーを冷水・温水の形で空調機の熱源として供給している（表1、図2）。

表1 主要設備一覧

機器名	台数	仕様
ヒートポンプ	3	冷凍容量350RT×1台、1,300RT×2台 加熱容量5,367MJ/h、16,704MJ/h、16,909 MJ/h
インバーターターボ冷凍機	2	冷凍容量 1,000 RT
空気熱源チラー	2	冷凍容量 460.5 RT 加熱容量 5,832 MJ/h
下水熱交換機	2	冷房時 41,860 MJ/h 暖房時 32,232 MJ/h

熱供給システムは、①水道橋幹線から下水を引き入れ沈砂池を通過させ、②熱源水取水ポンプから熱源水ストレーナを介し来雑物を除去した後、③熱交換器において熱交換を行う。④熱交換により、夏は冷やされ、冬は温められた熱源水（清水）がヒートポンプ熱源として使用され、冷媒ガスの蒸発・圧縮により冷水・温水が製造される。⑤冷水・温水が地域導管を通り、周辺地域の需要家まで届けられる。⑥熱交換に使用された下水は再び水道橋幹線に戻され、一部は第二低段幹線に流下する。

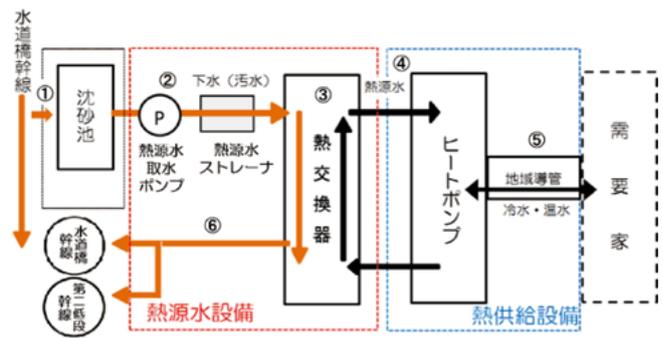


図2 後楽ポンプ所熱供給システム図

3. 騒音の原因

騒音は、合築ビル地上2階の事務室において確認された。

当該事務室の直下の地下1階には、熱源水取水ポンプとその付帯設備である熱源水ストレーナが設置されている（図3、図4、表2）。管理区分は異なるが、事務室と熱源水設備の直線距離は約13.5mと近いこと、振動が伝わりやすい位置関係にあった。

周波数分析の結果、地上2階の事務室で観測した騒音と、地下1階に設置している設備の騒音の周波数成分が一致していることが判明した。このことから、これらの設備運転時の振動が騒音の原因と仮説を立てた。

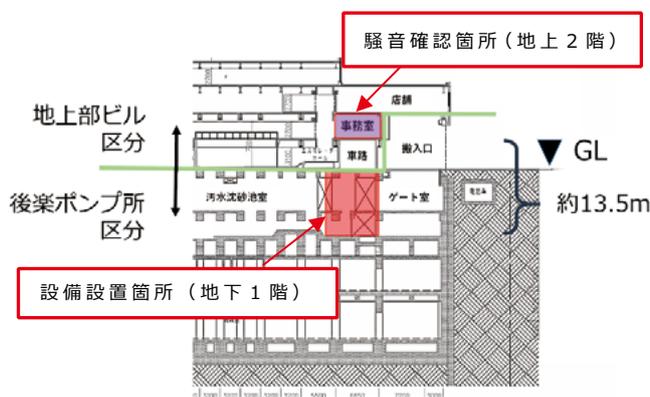


図3 後楽ポンプ所断面図



図4 熱源水取水ポンプ・熱源水ストレーナ

表2 設備諸元表

機器名	台数	仕様
熱源水取水ポンプ	4	着脱式水中渦巻斜流ポンプ(可変速・インバータ制御) 1,980 m ³ /h×3台、720 m ³ /h×1台
熱源水ストレーナ	6	横型オートストレーナ、ブラシ回転式 900 m ³ /h

4. 設備の振動対策

地下1階に設置している設備について、騒音の原因となる振動の低減対策を以下のとおり実施した。

4.1 熱源水取水ポンプの改良

第一に、一部のポンプ羽根車の枚数を、3枚から4枚に変更した（図5）。

ポンプの羽根車の枚数を増やすことにより羽根1枚当たりの送水圧力が小さくなり、振動を小さくすることができると考えた。

羽根車の枚数を増やすことで、摩擦損失の増加や通過粒径が小さくなるなどの影響も生じることから、性能を確認し、最適な枚数を4枚とした。

第二に、ポンプのケーシング舌部（渦巻状ケーシング舌部の入口）にスキュー（斜めカット）を施した（図6）。

ポンプの羽根車から押し出された流体は、ケーシング舌部の形状により複雑な流動となり、圧力変動が発生し、その圧力変動による脈動が振動の原因となる。

このため、舌部にスキューを施すことにより、羽根車から流出した流れの舌部衝突による圧力変動を小さくし、脈動による振動の抑制につなげた。今回は、メーカーの知見を借り、振動の抑制に効果があり、ポンプ性能に影響の少ない形状に加工した。



図5 羽根車枚数の変更



図6 ケーシング舌部の加工

4.2 熱源水ストレーナの改良

第一に、ストレーナ洗浄水の排水先を熱源水取水ポンプから離れた位置となるよう配管ルートを変更した（図7）。

熱源水ストレーナ洗浄水が熱源水取水ポンプ吸込口の直近に排水されており、洗浄水に含まれている来雑物が熱源水取水ポンプに取り込まれてしまうことで、振動が起きていることを確認した。

このため、ストレーナ洗浄水の排水先を変更することで、来雑物の取込防止を図り、振動を低減させた。

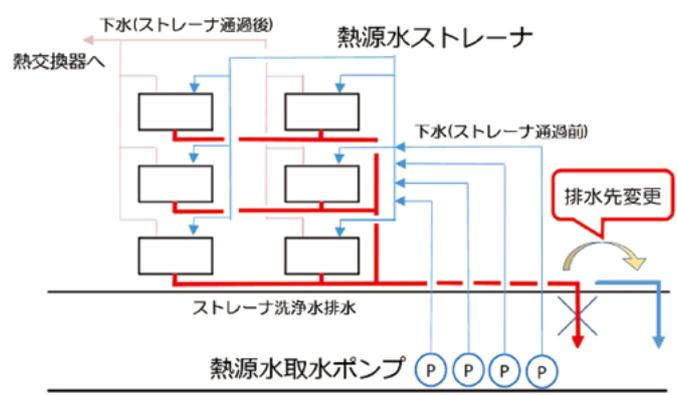


図7 ストレーナ洗浄水排水先の変更

第二に、ストレーナ洗浄水排水管の支持材（全 38 か所）に防振材（スプリング防振ユニット）を設置した（図 8）。

熱源水ストレーナの洗浄水排水運転時に、排水管内での流体振動により配管が振動し、建物躯体を經由して伝搬振動が起きていた。

このため、配管支持材と床面間に防振材を設置し、伝搬振動の低減を実現した。



図 8 防振材の設置

4.3 運用条件の変更

熱源水取水ポンプを複数台同時運転する際、羽根車枚数や振動数の同じポンプを組み合わせると振動の増幅が起きる可能性があるため、羽根車枚数と振動数の異なるポンプを組み合わせさせて運転することとした。

また、熱源水ストレーナが複数台同時に洗浄運転を行うことで、ストレーナ本体の振動と洗浄水排水の振動が重なって振動増幅する可能性があるため、洗浄工程が複数台とならないよう運用を変更して振動増幅の防止を図った。

5. 効果

各種対策完了後、地上 2 階の事務室において騒音測定を行い、対策前の測定結果と比較して効果を確認した。

効果の検証は、「建築物の遮音性能基準と設計指針（第二版）」¹⁾に基づいて行った。目標値は、事務室の「遮音性能上標準的である」騒音等級「N-40」とした（騒音等級とは、建物の遮音性能を評価するため、人間の体感する音に対して周波数と騒音レベルから定められた水準）。

図 9 は、振動の大きかった熱源水取水ポンプ 3 号の運転時における対策前後の周波数分析結果である。

対策前は 90.0Hz の周波数帯域において騒音レベルが最大となっていたが、対策後には 60.0Hz において最大となった。対策前後において、騒音レベルの最大値に大きな変化はないが、周波数帯域が変化したことにより騒音等級曲線が「N-35」を下回る結果となり、目標値である騒音等級「N-40」を達成することができた。地下 1 階に設置している設備の振動対策を行うことにより、地上 2 階の事務室は、事務室の「遮音性能上標準的である」等級まで、騒音を低減できた。

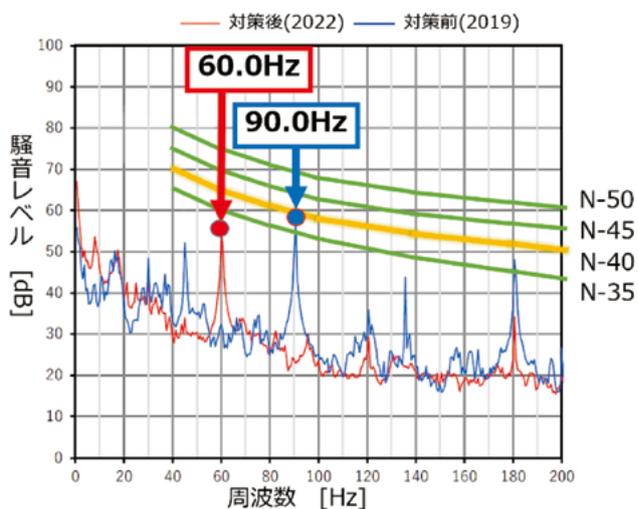


図 9 騒音レベルの対策前後の比較

6. 結論

今回、オフィスビルと合築した熱供給施設において、騒音・振動の発生状況を調査し、振動発生源や伝搬経路などの原因を特定することができた。

騒音・振動対策として、熱源水取水ポンプの改良（羽根車枚数の変更及びケーシング舌部の加工）、熱源水ストレーナの改良（洗浄水排水先の変更、防振材の設置）及び運用条件の変更を行った。

各種対策を講じたことにより、周波数帯域の変化が認められ、事務室の「遮音性能上標準的である」等級を満たすなど、効果が確認できた。

実施結果から得られた知見を活かし、今後も騒音・振動対策を継続するとともに、より効果的な方法を検討していく。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築物の遮音性能基準と設計指針（第二版）、技報堂出版、1997年12月

2-3-4 森ヶ崎水再生センター第一沈殿池返水扉動作不良に伴う 汚泥ポンプを利用した排水について

森ヶ崎水再生センター 設備管理担当 橋 彩
令和5年度設備管理担当逆洗運転調査グループ一同

1. はじめに

森ヶ崎水再生センター（以下「当センター」という。）は、日本最大の処理能力を有する処理場であり、施設は運河を隔てて東西二つに分かれている。当センターは、施設の運転管理業務等を局職員が行い、設備の保全管理業務を東京都下水道サービス(株)（以下「TGS」という。）に委託することで運営している。令和5年2月のTGS定期点検において、図1に示す西処理施設第一沈殿池2系8号池（以下「8号池」という。）の返水扉8号が動作不良であることが確認され、池を排水して内部調査を行うこととなった。しかしながら、8号池には返水扉が今回動作不良となったものしか設置されておらず、内部調査を行うためには返水扉を使用する方法以外で当該池の排水作業を行う必要があった。いくつかの手法を検討した結果、汚泥ポンプを使用して8号池の水を他の池に移送させる逆洗運転を行うこととした。この逆洗運転について有用性が認められたため報告する。

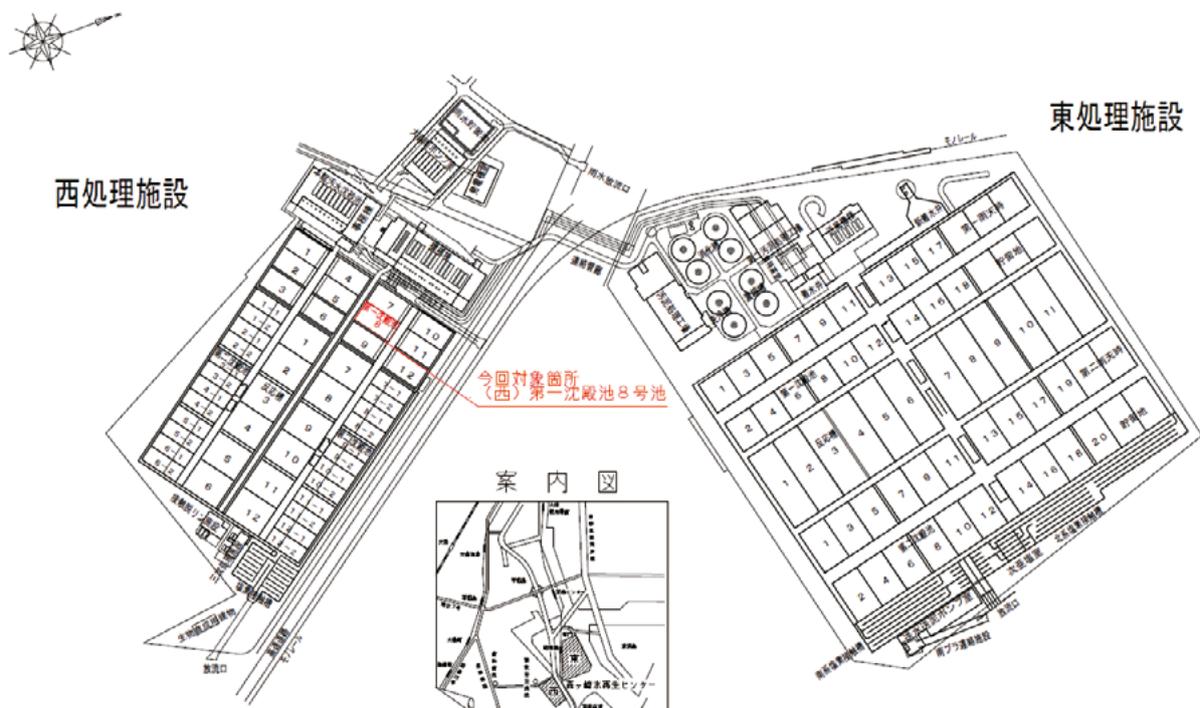


図1 森ヶ崎水再生センター平面図

2. 取組内容

2.1 排水方法の検討経緯

今回の調査では、返水扉を使用せずに 8 号池の滞留水量 4,350m³を排水する方法として、表 1 に示すように 3 つの手法を検討した。

案 1 として、水中ポンプを使用して池内の水を排水する手法である。設備管理担当で保有している水中ポンプ 2 台の吐出し量は合計 0.22m³/min である。そのため 2 台の水中ポンプを連続稼働しても約 14 日間必要となることがわかった。この手法は水処理への影響はないものの、作業に時間を要することから不採用とした。

案 2 として、通常汚泥処理工場に汚泥を送る汚泥ポンプを使用して、8 号池の水を汚泥処理工場に送水する手法である。この手法の所要時間は 1~2 日間程度であり、案 1 と比較して時間はかからないものの、汚泥だけではなく大量の水を送ることとなり、汚泥処理に影響を与えることから不採用とした。

案 3 として、汚泥ポンプ及び逆洗用バイパス弁を使用して逆洗運転を行い、8 号池の水を第一沈殿池の他の池に移送させる手法である。この手法は当センターで作業実績の履歴がなく、ベテラン職員の微かな記憶を頼りに図面や現場を確認し、逆洗運転の作業方法を確立した。実施できれば所要時間も 1~2 日間程度である上、水処理及び汚泥処理にも影響を与えずに排水作業を行えることから採用とした。

今回実施した逆洗運転とは、汚泥吸込管が異物により閉塞し、流量が出ない場合に汚泥引抜きポンプで異物を除去する手法である。

表 1 排水方法の検討案

	案 1	案 2	案 3
	水中ポンプの使用	汚泥ポンプの使用	逆洗運転
作業内容	池内に水中ポンプを設置し、流入渠に排水する	汚泥ポンプを使用し、水を汚泥処理工場に送水する。	汚泥ポンプを使用し、逆洗運転を行い他の池に水を移送させる。
所要時間	× (10 日間程度)	○ (1~2 日間程度)	○ (1~2 日間程度)
水処理と汚泥処理への影響	無	有 (汚泥処理に影響あり)	無
評価	× (不採用)	× (不採用)	○ (採用)

2.2 逆洗運転

通常の運転において、図 2 に示すとおり第一沈殿池の汚泥は吸泥弁を経由し、汚泥ポンプで汚泥処理工場に送られる。しかし、今回検討した逆洗運転は、各手動バルブを開閉することにより他の池に水を移送させる逆洗ルートを作ることで、返水扉を使用せずに池の排水を可能とするものである。

例として、図 3 に示すとおり 8 号池から西施設第一沈殿池 11 号池へのルート図を示す。汚泥ポンプ 2-1 号を使用して、逆洗運転を行う場合、流入扉 8-1~8-4 を全閉とし、⑤手動バルブを閉め、②汚泥ポンプ 2-2 及び③汚泥ポンプ 2-3 手前にある⑥・⑦手動バルブを閉め、④逆洗用バイパス弁を開ける。その後 2 系 1 沈汚泥ポンプ配電盤にて①汚泥ポンプ 2-1 号吐出弁を全閉→全開、⑧吸泥弁 8 及び⑨吸泥弁 11 号を全閉→全開とし、①汚泥ポンプ 2-1 号を運転することで 8 号池の水を 11 号池に移送させる。

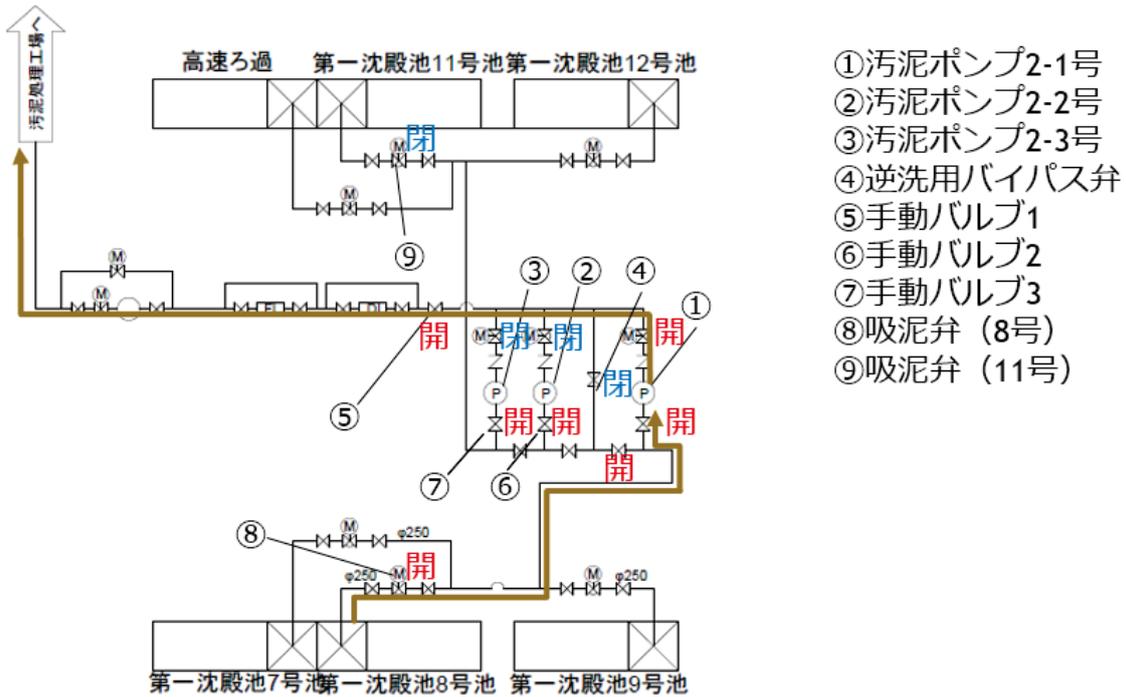


図2 通常の送泥ルート（第一沈殿池→汚泥ポンプ→汚泥処理工場）の一例

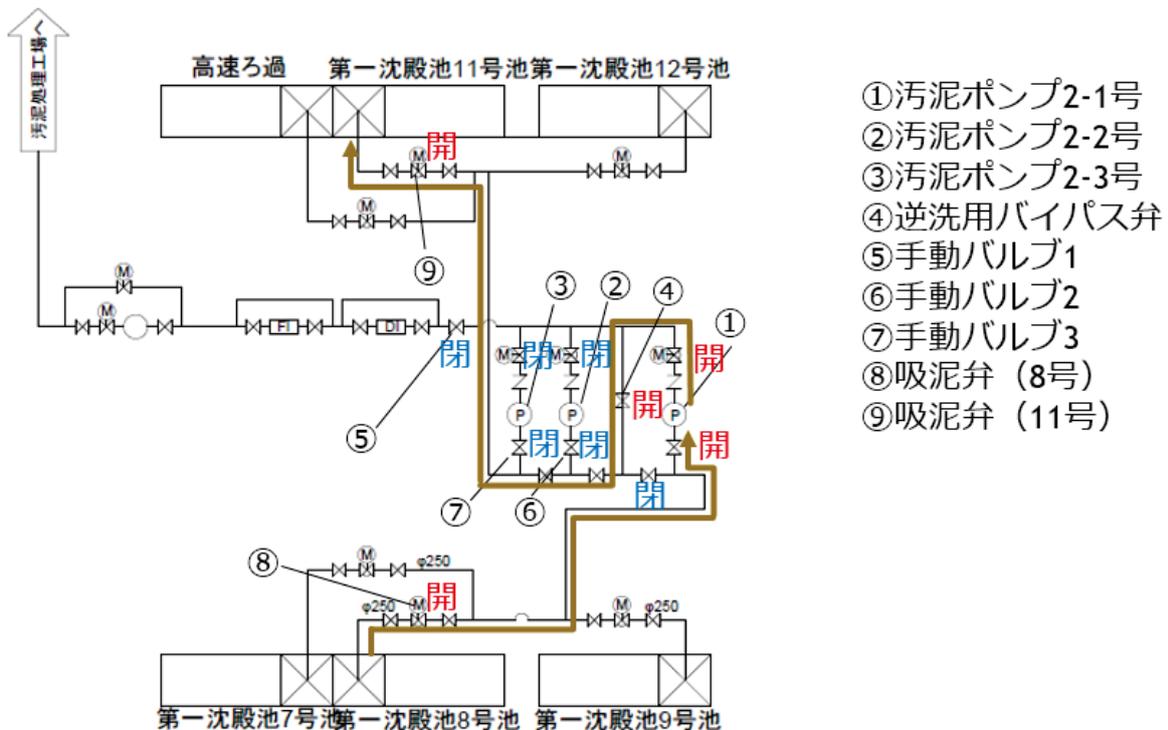


図3 逆洗運転時のルート

（第一沈殿池8号池→汚泥ポンプ2-1号→第一沈殿池11号池）

ここで、各機器の状況を確認したところ、図4に示す通常運転では使用しない逆洗バイパス弁が固着していることを確認した。パイプレンチ及び単管を用いたものの逆洗用バイパス弁は全く動かなかったため、TGSに弁の固着解消を依頼した。TGSにて潤滑油等を弁の軸に塗布することにより多少弁が動くようになったため、図5に示すように設備管理担当にて再度パイプレンチ及び単管を使用し作業を試みたところ、逆洗用バイパス弁を開けることができた。

逆洗用バイパス弁の固着を解消できたため、逆洗運転にて8号池の水を第一沈殿池の11号池へ移送させたところ、9時間程度で完了することができた。



図4 逆洗バイパス弁

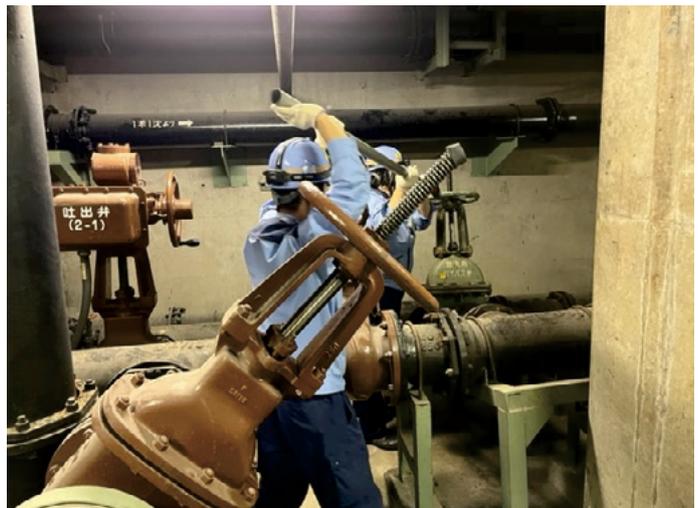


図5 逆洗バイパス弁開操作作業中の様子

2.3 返水扉8号動作不良の調査

逆洗運転にて当該池の排水を行うことができたため、TGSにて8号池の内部調査を行った。その結果、図6に示すように返水扉の中間軸が折損しピットに落下していることを確認した。この中間軸を汚泥かき寄せ機のフライトやチェーンに接触する前に回収できたため、返水扉以外に損傷は見られなかった。追跡調査にて、図7に示す返水扉8号のハンドル及びスピンドルは平成17年に更新されていたものの、中間軸から下部、扉体は昭和46年製（設置当初）と考えられ、中間軸（SS材）の折損原因は硫化水素ガスによる著しい腐食の進行であり、これにより破断に至ったことで動作不良が生じたことが判明した。そのため中間軸を新規製作し、TGSにて交換作業を行い返水扉の修繕を行った。

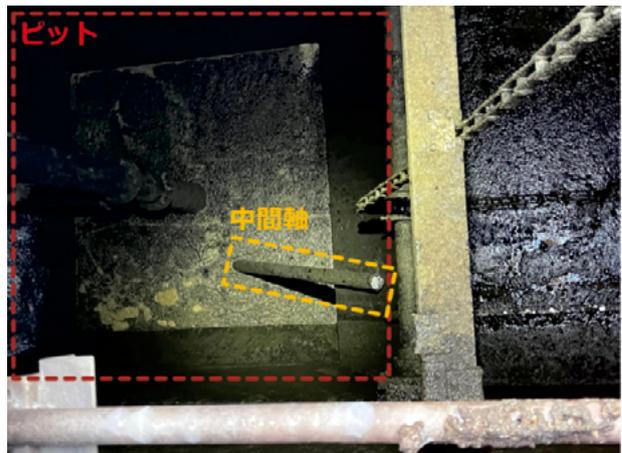


図6 逆洗後の8号池ピット内

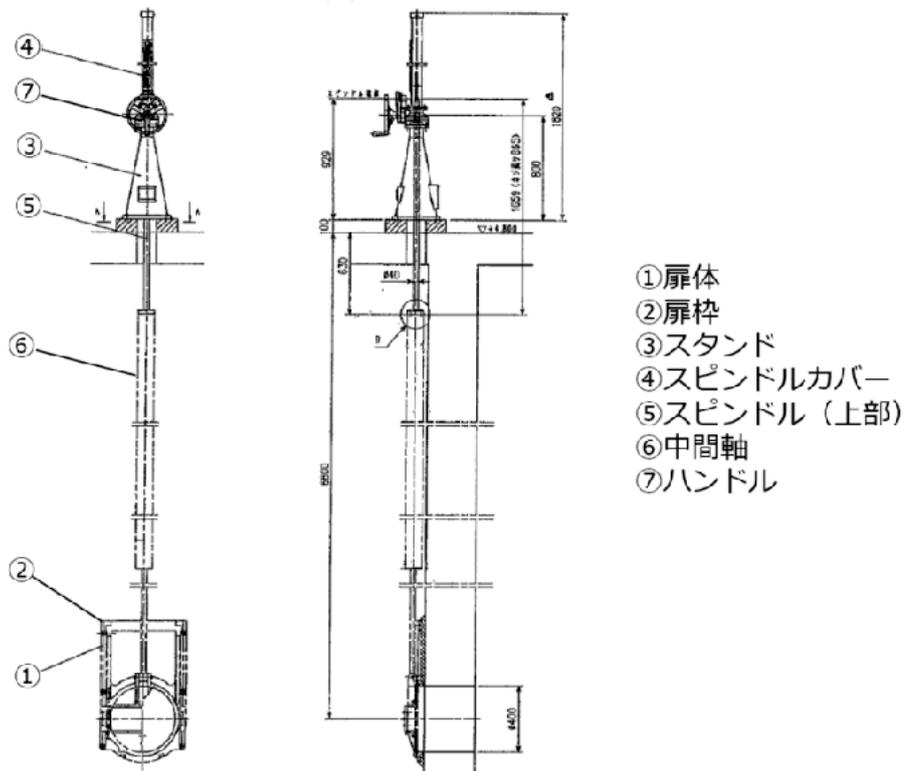


図 7 返水扉

3. 事例紹介

今回の事象で逆洗運転の実績ができたことにより、他の作業等でも逆洗運転を実施できるようになった。その事例として、次の 2 つを紹介する。

一つ目の事例として、西施設第一沈殿池 3 号池吸泥弁の閉塞が発生したため、逆洗運転を行い、詰まりを解消することができた。

二つ目の事例として、工事のために西施設第一沈殿池 12 号池のピット部分の水抜きが必要となったことから、逆洗運転を行いピット部分の水抜き作業を実施した。このように、吸泥弁の閉塞や返水扉の故障時だけでなく、沈殿池の水抜きにも逆洗運転は有効な手法であると確認できた。

4. まとめ

- ・逆洗運転にて 8 号池の水を第一沈殿池の他号池へ移送させることにより、水処理や汚泥処理に影響を与えず、短時間で排水することが可能となった。
- ・汚泥ポンプを使用したことでピット内の水も排水することができた。
- ・返水扉の動作不良については、中間軸が昭和 46 年製（設置当初）から更新されていないと考えられ、硫化水素ガスで腐食の進行が著しく破断に至ったことが原因であった。そのため、TGS の修繕で中間軸を新規製作し交換作業を行った。
- ・逆洗運転に必要な逆洗用バイパス弁は長年使用されておらず固着していたため、定期的な開閉操作などの維持管理を行う必要がある。

今後も様々な事象において本来の使用目的に拘らず、発想を転換し、設備を有効に利用することで、業務の効率化に努めたい。

2-3-5 遠心脱水機二段薬注による難脱水汚泥処理の改善

担当者 東京都下水道サービス(株) 倉持 豪洋
連盟者 巴工業(株) 岸上 隆行
食野 悠
(株)エス・エヌ・エフ バトニエ ヴァンサン

1. はじめに

東京都下水道局南部スラッジプラントでは、通常時（平日）と難脱水汚泥時（長期連休や週明け等）の脱水ケーキ含水率（以下、「含水率」という。）を比較すると、難脱水汚泥時の含水率が 1.0%から 2.0%程度上昇する傾向があり課題となっていた。このため前回の調査では、「遠心脱水機における難脱水性汚泥処理の薬液注入位置変更による改善」と題し、含水率の低減化を目的とした、薬液注入位置の変更（汚泥と薬液の接触時間延長。）と強い攪拌力による、含水率の低減化への取組を行った。その結果、含水率の低減化は図れたが、ろ液 SS 濃度が上昇する傾向を示した。

そこで、今回の調査では含水率、ろ液 SS 濃度の低減化を目的とし机上試験を行う中で、薬液注入を二段階（以下「二段薬注」という。）に分けて行うことで共に低減化が図れることが判明した。

本調査では、机上試験で得られた結果を基に、実機にて机上試験の再現を行い、難脱水汚泥の含水率、ろ液 SS 濃度ともに低減化を図れることが判明したので成果を報告する。

2. 概要

2.1 遠心脱水機の概要

南部スラッジプラントに設置されている遠心脱水機（以下「脱水機」という。）の薬液注入配管系統図を図 1 に示す。脱水機の薬液注入方式は、①汚泥供給口から直接ドラム内に供給される機内薬液注入方式（以下「機内薬注」という。）と、②汚泥供給配管内に薬液を注入するライン注入方式（以下「ライン薬注」という。）がある。

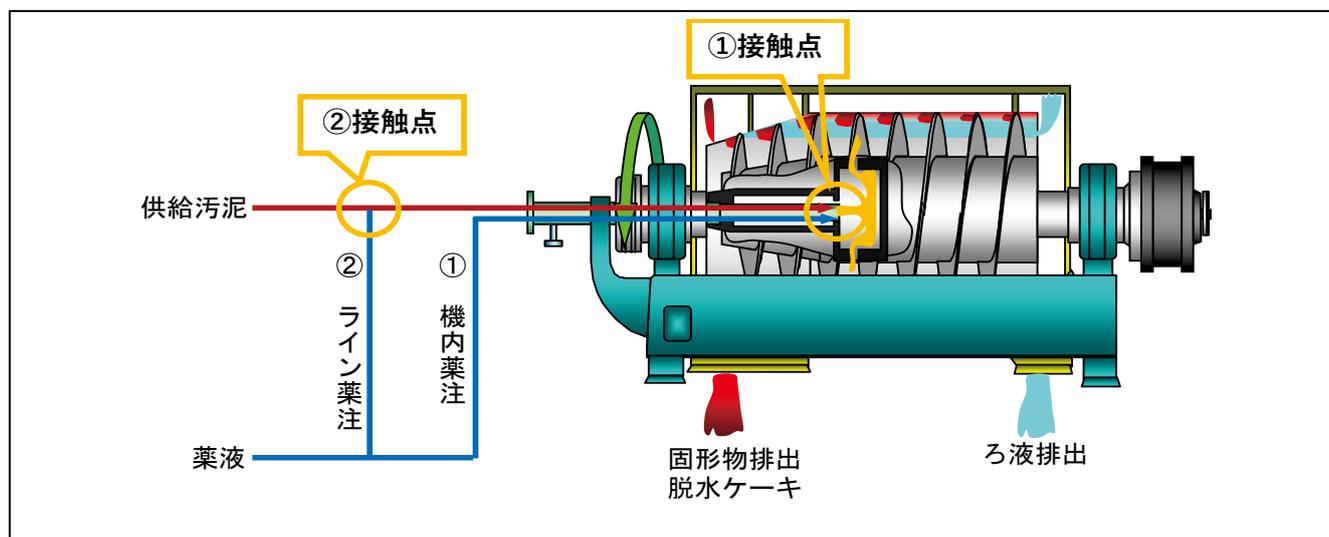


図 1 薬液注入配管系統図

2.2 難脱水性汚泥処理の薬液注入位置変更による改善の概要

含水率の低減化を図るため、図2に示すとおり薬液注入配管を改修し、3～6秒の接触時間の確保と、配管内にラインミキサを設置して攪拌能力を有する構造とした。図2のバルブAを使用し、攪拌能力を有する配管に薬液を注入する方法に変更したところ、含水率の低減化が図れたが、ろ液SS濃度が上昇する傾向を示した。

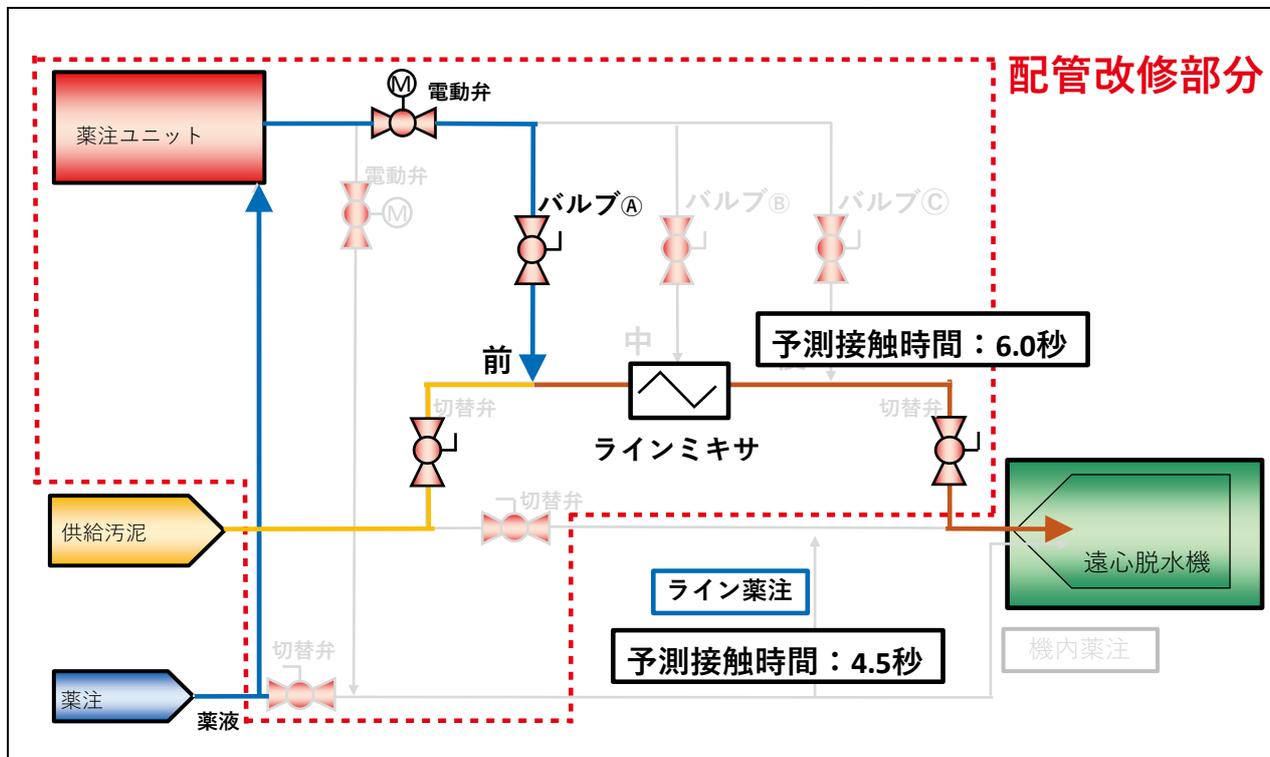


図2 薬液注入配管系統図（配管改修後）

2.3 机上試験の概要

ろ液SS濃度が上昇する要因を検討したところ、配管内で凝集剤により生成されたフロックが、脱水機内部で崩壊することで、ろ液にSSとして排出されているのではないかと推察し、崩壊したフロックを再凝集させることができれば、脱水ケーキとして回収できるのではと推定し、机上検討を行った。その中で、含水率、ろ液SS濃度、共に低減効果の期待できる同じ薬液を使用する二段薬注を調査した。二段薬注の薬品添加比率（1段目の薬液量：2段目の薬液量）の選定をするため、1段目に薬液を添加し10秒間攪拌（800rpm）後、2段目に薬液を1～3秒添加させる方法で行った。薬品添加比率は、「10：0」の試験を行い、基準値とし、「2：8」「5：5」「8：2」の3条件で行った。結果を図3、図4に示す。

薬品添加比率が「8：2」の場合、含水率、ろ液ともに低減効果があることが確認できた。このことにより、二段薬注は1段目に薬液を多く注入し、2段目は薬液を少なくすることで効果が得られると仮定し、実機での調査を行うこととした。

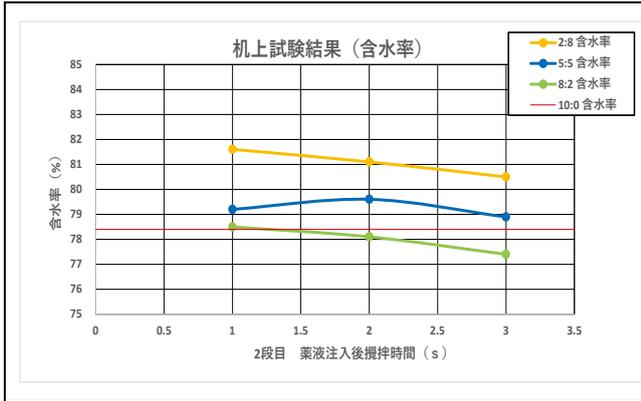


図3 二段薬注机上試験結果 (含水率)

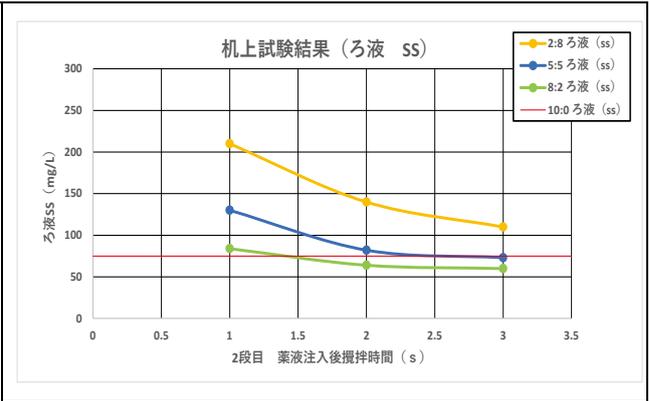


図4 二段薬注机上試験結果 (ろ液)

3. 調査内容・結果

3.1 調査内容

実機での調査は、難脱水性汚泥処理の薬液注入位置変更で改修を行った脱水機（以下、「薬注ユニット付脱水機」という。）と既存の脱水機（以下、「既存脱水機」という。）を2台使用し、供給汚泥の汚泥成分や脱水機制御方法等を最小限とするため、同時刻、同制御で調査を行った。また、調査は、難脱水性汚泥時（長期連休や週明け等）とした。薬注ユニット付脱水機を二段薬注として使用し、図5の配管を活用し、電動弁を使用することで机上試験の再現を行った。比較対象の既存脱水機についてはライン薬注とし、比較・調査することとした。

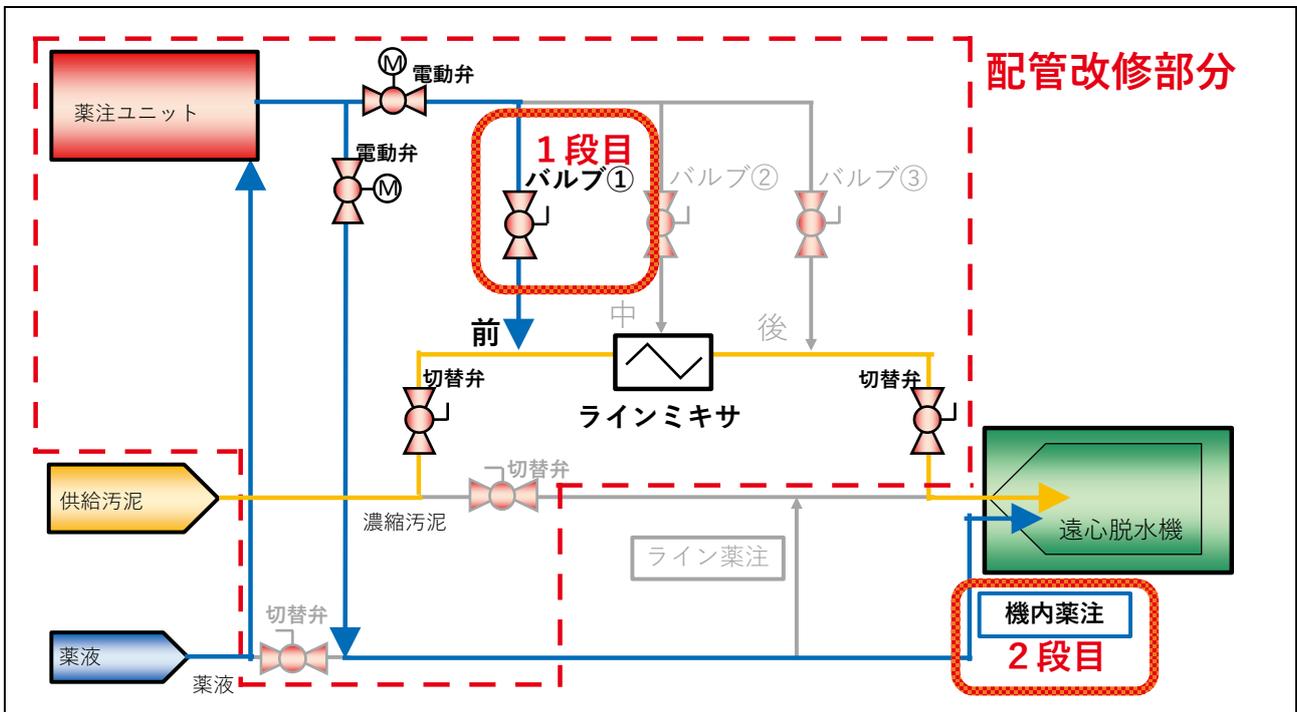


図5 薬液注入配管系統図 (配管改修後)

机上試験の結果より、1段目に薬液を多く注入し、2段目は薬液を少なくすることで、含水率、ろ液SS濃度、共に低減効果が確認されているため、実機での1段目と2段目の薬品添加比率を、「7:3」、「8:2」、「9:1」に変化させ試験を行った。調査内容を表1に示す。

表1 薬液注入条件

	薬注ユニット付脱水機	既存脱水機
試験-1	二段薬注 薬品添加比率「7:3」	ライン薬注
試験-2	二段薬注 薬品添加比率「8:2」	ライン薬注
試験-3	二段薬注 薬品添加比率「9:1」	ライン薬注

3.2 調査結果

薬注ユニット付脱水機と既存脱水機にて試験を行った結果を表2に示す。

表2 試験結果

	測定項目	平均の差分 (※)	試験数	試験数のうち効果が 確認できた回数
試験-1 (7:3)	含水率 (%)	-0.31	9	5 (55.6%)
	ろ液SS濃度 (mg/L)	35.56	9	7 (77.8%)
試験-2 (8:2)	含水率 (%)	1.17	23	21 (91.3%)
	ろ液SS濃度 (mg/L)	12.70	23	14 (60.9%)
試験-3 (9:1)	含水率 (%)	0.12	15	7 (46.7%)
	ろ液SS濃度 (mg/L)	14.40	15	9 (60.0%)

(※ 既存脱水機の結果-薬注ユニット付脱水機の結果=差分)

表2の試験結果より、1段目に薬液を多く注入し、2段目は薬液を少なくする二段薬注を行うことで、含水率とろ液SS濃度の低減化が図れた。特に、試験-2の薬品添加比率「8:2」においては、含水率が平均の差分で1.17%低減された。ろ液SS濃度も平均の差分で12.70mg/L低減しており、他の試験に比べ最も、含水率、ろ液SS濃度の低減化が図れていることがわかる。さらに、効果が確認できた回数においても、含水率は90%以上、ろ液SS濃度は60%以上と低減効果が高いといえる。

4. まとめ

本調査の結果、難脱水汚泥時（長期連休や週明け等）は、1段目に薬液を多く注入し、2段目は薬液を少なくする二段薬注を行うことで、含水率、ろ液SS濃度共に低減することが机上試験、実機試験により確認することができた。その中でも、薬品添加比率が「8:2」が最適であることが判明した。しかし本調査は、難脱水汚泥時のみの調査であること、試験数においても少ない中の調査結果であることから、引続き調査を継続し、試験結果の信頼性を高めていく必要がある。

さらに、本調査の中で、流入する汚泥性状や季節の違いより効果の有無が推察されるため、今後は、供給汚泥の汚泥性状を分析しながら二段薬注の調査を行うことで、難脱水汚泥処理の改善方法を検証していく必要がある。

参考文献

- 1) 田中和博：2022. 遠心脱水機における難脱水性汚泥処理の薬液注入位置変更による改善. 第59回下水道研究発表会. N-10-3-1

2-4-1 省エネルギー化のためのASM風量制御技術の導入検討

流域下水道本部 技術部 設計課 小林 孝行
 流域下水道本部 技術部 設計課 岸本 長
 (現 施設管理部施設保全課)

1 はじめに

当局では、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、2030年のカーボンハーフの実現に向けて、省エネルギー設備の導入拡大や再生可能エネルギーの利用拡大などを推進している¹⁾。

当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CO₂排出量は全体の約45.3%を占め、工程の省エネルギー化が課題である(図1)。水処理工程での電力は、主に反応槽への送風で使用されるため、送風量を削減することが重要である。このため、省エネルギーと処理水質の向上を両立する新たな送風量制御技術の開発を推進している。2020年には民間企業との共同研究により、活性汚泥モデル演算式(ASM: Activated Sludge Model)を用いた風量制御技術を開発した。このASM風量制御技術とは、反応槽内の下水処理について、流入量や水質をもとに既存の理論式を用いたシミュレーションを行うことで、リアルタイムに送風量を制御する技術のことである。なお、本技術の実機場への導入は全国で初めてである。今回は、ASM風量制御を導入するにあたって効率的な回路数と風量演算周期を検討したので、報告する。

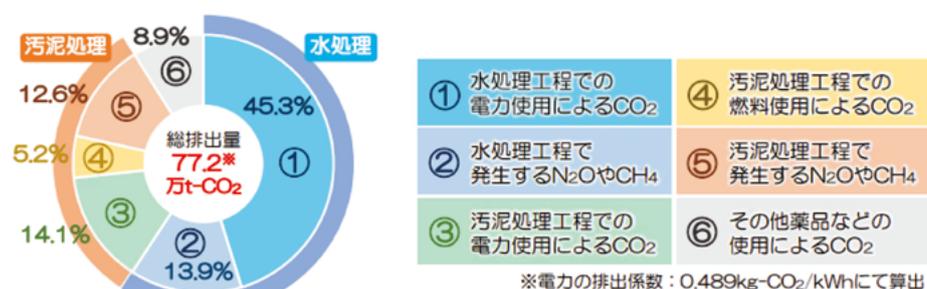


図1 下水道局の温室効果ガス排出量の内訳(2021年度実績)¹⁾

2 ASM風量制御の概要

従来の反応槽への送風量制御として、溶存酸素濃度(DO:Dissolved Oxygen)制御がある。DO制御(図2上部)では、主に反応槽末端に設置したDO計でフィードバック制御を行うため、流入下水の負荷変動に対して遅れを生じる制御方式である。そのため、風量調節の負荷変動への追従が難しく、高負荷時の空気不足を考慮したDO設定値となることから、高負荷時以外は水処理に必要な空気量(以下「要求風量」という。)以上の送風となる。また、風量制御は送風管に設置する風量調節

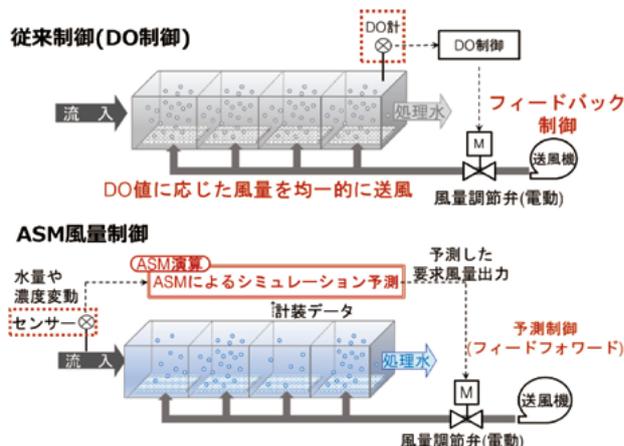


図2 DO制御とASM風量制御の比較²⁾

弁で行うが、弁の開閉動作が送風圧力に影響するため、風量制御の応答性の低下やハンチングの一因となっている。

一方、今回導入するASM風量制御（図2下部）では、活性汚泥モデル演算式により反応槽入口の流入量や水質データから反応槽内の状況を解析し、予測した要求風量になるように、予測制御（フィードフォワード）を行う。これにより、反応槽入口で計測した流入負荷の変動に応じて、リアルタイムに送風量を調整することが可能となるため、風量が最適化され、DO制御よりも風量削減効果が期待できる。また、反応槽内を区画（回路）分けし、回路別にASM風量制御を実施すると、より風量削減効果が向上する。

ASM風量制御のシステムの概要を図3に示す³⁾。ASM風量制御は①～④の要素技術で構成され、これらの要素技術を大別すると、次の2つの技術で構成される。

(1)リアルタイム硝化脱窒制御の要素技術(①)⁴⁾

ASM風量演算装置において、反応槽に流入する水量、水質データ(アンモニア濃度、水温、MLSS(活性汚泥浮遊物質濃度)、DO等)を取り込み、ASMシミュレーションモデルで要求風量を解析する。解析は複数の送風パターンについてシミュレーションを行い、目標の水質(反応槽末端アンモニア濃度)を達成しつつも、送風量が最小となる要求風量の送風パターンを決定する。

(2)新たな反応槽風量制御システムの要素技術(②～④)⁵⁾

ASM風量演算装置で決定した回路毎の送風パターンに応じた風量制御を実現する技術である。弁開度予測制御では、要求風量の変更や送風圧力の変動により生じる影響を一次元流体解析することで、適正な弁開度を予測演算し、風量調節弁を制御する。これにより、複数の風量調節弁が設置される場合や要求風量の頻繁な変更がある場合も、風量制御の追従性が向上し、過剰送風を抑制できる。

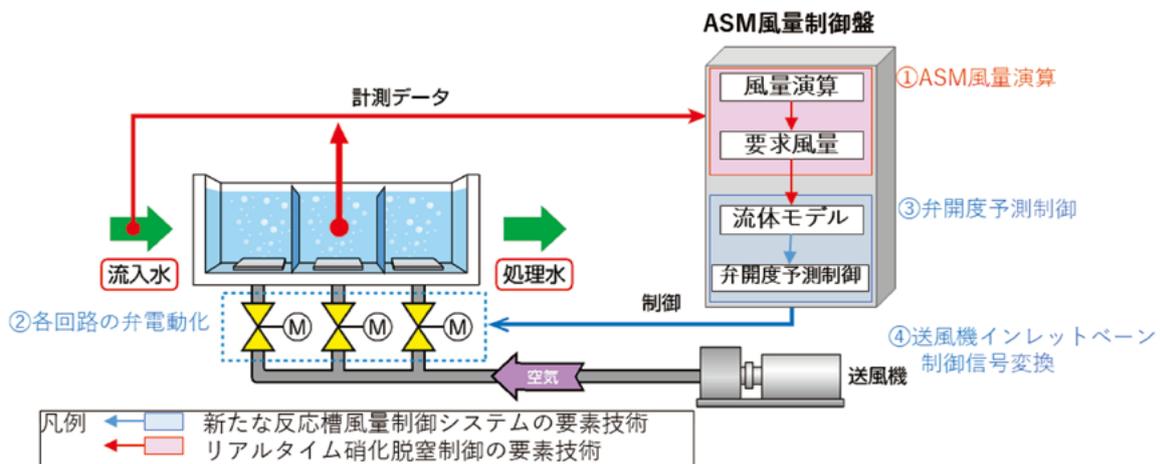


図3 ASM風量制御のシステム概要図

3 ASM風量制御の実機場への導入検討

今回、南多摩水再生センター（以下「当センター」という。）の水処理施設（水処理4系）の再構築に併せて、ASM風量制御の導入検討を行った^{3,6)}。

3.1 南多摩水再生センターの水処理4系の施設概要

当センターは、東京都稲城市に位置し、多摩市・稲城市の大部分、八王子市・町田市・日野市の一部を処理区域とする分流式の下水処理場である。水処理は1～6系まであり、このうち3～6系が稼働している。本技術の導入対象となる水処理4系の再構築前後の施設概要を表1に示す。

表1 施設概要

項目	再構築前(既設)	再構築後
処理方式	標準法	疑似嫌気好気法
処理能力	26,625m ³ /日×2系列(4-1系,4-2系)	
水路の構造	蛇行型(三水路)	
主な制御方式	DO制御	ASM風量制御
散気水深	4.7m	5.7m

3.2 ASMシミュレーションモデル

導入検討にあたり、当センター水処理4系の反応槽流入水の水質調査を行い、より実機場に近いASMシミュレーションモデルを構築し、ASM風量制御の対象となる反応槽数を検討した。

検討にあたり、4-1系反応槽の躯体構造をもとにASMシミュレーションモデルを設定した(図4)。

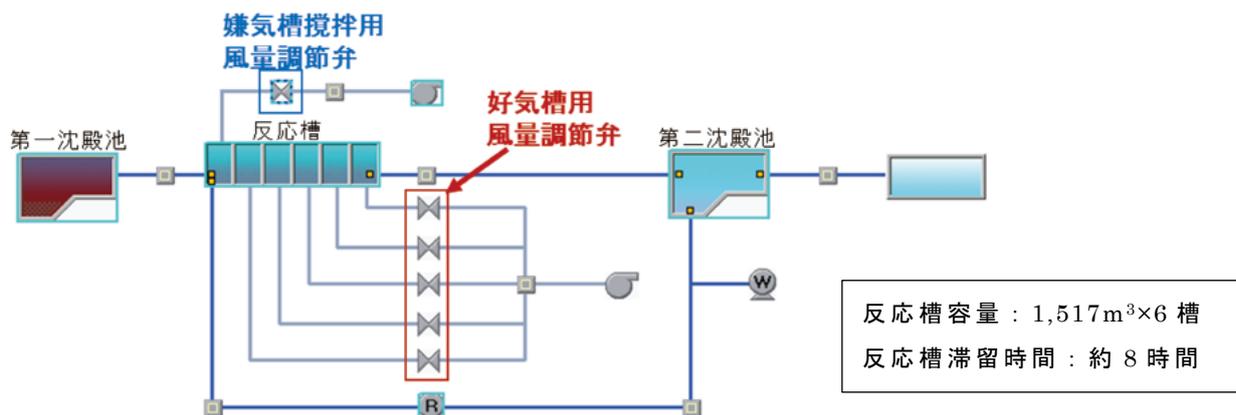


図4 ASMシミュレーションモデルの概要図

処理方式は疑似嫌気好気法であるため、水理モデルは空気かく拌の嫌気槽1槽を持つ完全混合6槽列モデルとした。モデルのパラメータ調整には、採水調査で得た日平均値(手分析値)を用いた。手分析値とパラメータ調整後のシミュレーション結果(アンモニア性窒素NH₄-N濃度、硝酸性窒素NO₃-N濃度)の比較を図5に示す。図中のNH₄-N、NO₃-Nは手分析値、SNH₄、SNO₃はシミュレーション値を示す。図5から、アンモニア性窒素濃度、硝酸性窒素濃度ともに流入から6槽まで、採水分析結果とシミュレーション結果が近似していることが確認できた。次に、経時変化による、モデルの再現性を確認した。時変動シミュレーションの結果と手分析値の結果の比

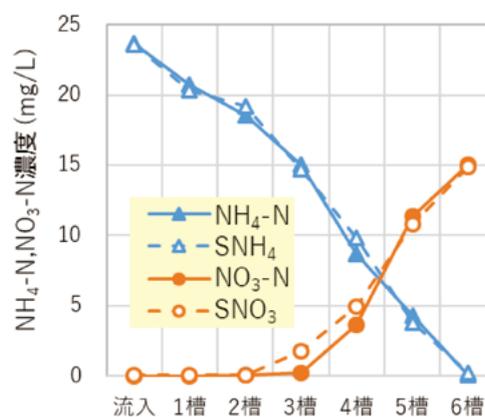


図5 パラメータ調整結果

較について、6槽目の結果を図6に示す。手分析値または計器値を青線、シミュレーション結果を赤線で示す。数値及び変動の特徴が近似していることから、今回構築したモデルの妥当性を確認した。

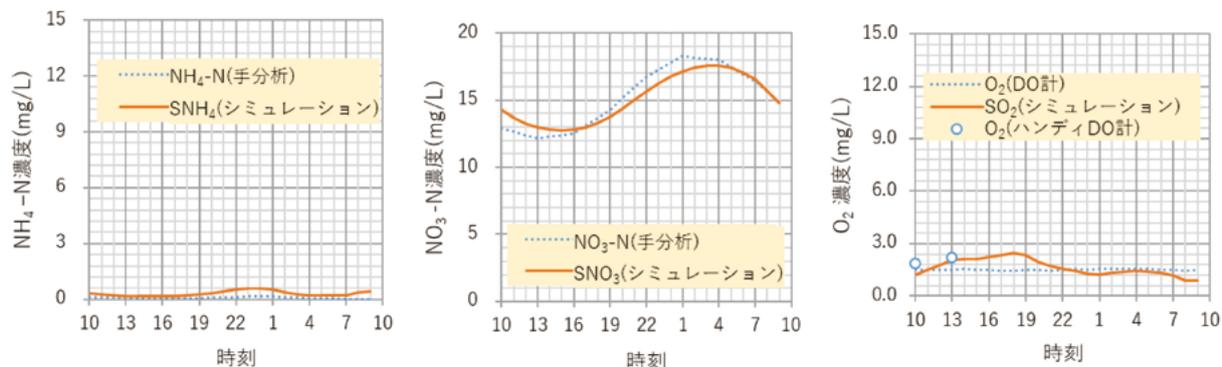


図6 経時変化によるモデルの再現性確認結果(6槽目)
(左: NH₄-N濃度、中: NO₃-N濃度、右 DO 値)

3.3 反応槽回路数の検討

ASM 風量制御で効果的な回路別送風を行うため、構築した ASM シミュレーションモデルを用いて反応槽の回路数を検討した。検討では、回路数を増やすことで、風量の最適化が進むので風量削減効果は向上する。その一方で設備数が増加することから、反応槽の回路数を図7のように1回路から4回路に分割した場合の4パターンモデルを作成した。DO 制御と ASM 風量制御をそれぞれ実施した場合のシミュレーション結果から、風量削減効果を比較し、効率的な回路数を確認した。

シミュレーションの結果を表2に示す。

まず、風量削減率については、回路数を増やすと、風量削減効果は向上する結果となった。3回路までは回路数が増えるごとに、約1%pt以上の上昇が確認できたが、3回路から4回路にした場合の上昇幅は、0.1%ptの上昇に留まった。このことから、3回路で風量削減効果は高止まりとなることが分かった。さらに、設備数の増加により、維持管理の負担や、設備投資が増加することを考慮すると、3回路が最も効率的と言える。

次に、アンモニア性窒素濃度については、いずれの回路分割パターンにおいても差異が無く、風量を削減しても同等の処理水質となった。

また、3回路以上とした場合は、低負荷時に2回路目の風量を絞ることで、無酸素槽を疑似的に形成できることから、疑似嫌気好気法であるものの、脱窒効果も期待できる。

以上の結果から、最も効率的な3回路を採用することとした。

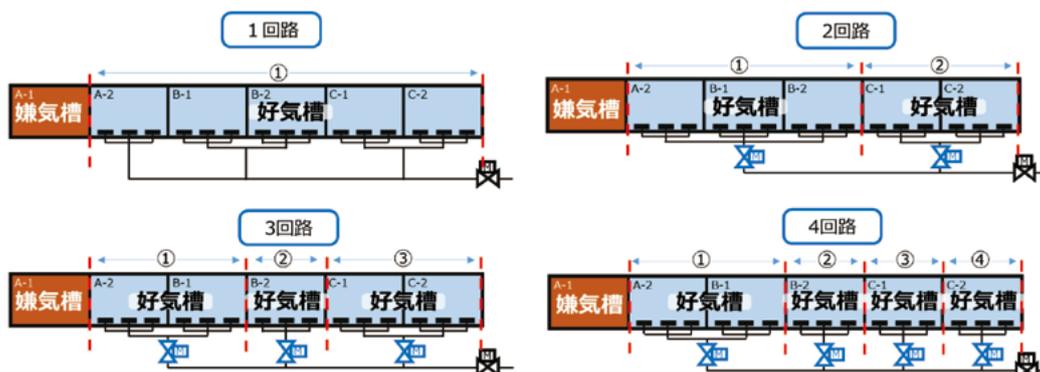


図7 回路分割パターン

表 2 シミュレーション結果

回路数	DO 制御 (比較対象)	1 回路	2 回路	3 回路	4 回路
風量削減率(DO 制御比)	—	5.4%	7.6%	8.5%	8.6%
好気槽(4 槽目) NH ₄ -N(mg/L)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

4 ASM 風量制御の導入効果

次に、ASM 風量制御を当センター水処理 4 系に導入した場合の消費電力削減効果を試算した。送風機電力量と送風量の関係は、令和 2 年度の送風機電力量を基にした。

また、今回の試算では散気装置の深層化や送風機の更新により得られる風量や電力削減効果は除外し、ASM 風量制御の効果のみとした。

試算結果を表 3 に示す。ASM 風量制御の導入により、送風機使用電力量で 7.1% の削減効果が確認できた。また、温室効果ガスの削減効果については表 4 の結果となり、年間 181t-CO₂/year の削減効果が確認できた。

表 3 ASM 風量制御による電力削減効果

省エネ効果	DO 制御	ASM 制御	削減量	削減率
年間送風機電力量 (MWh/year)	5,199	4,829	370	7.1%

表 4 温室効果ガス削減効果

年間 CO ₂ 削減量 (t -CO ₂ /year)	181
電気事業者別排出係数： 0.489 t -CO ₂ /千 kWh(固定係数)	

5 風量演算周期と風量削減効果の関係

下水の流入量や流入濃度は一日を通して常に変動しているため、この変動に対してきめ細やかに風量の最適化を行うことができれば、風量削減効果が高くなると考えられる。

そこで、導入検討時の更なる工夫として、ASM 風量制御の開発時に用いられていた風量演算間隔(60 分間)を 30 分、15 分と短周期にすることで、得られる風量削減効果をシミュレーションにより確認した。

シミュレーションは、風量演算周期を 60 分、30 分、15 分の 3 パターンで実施した。そのうち、風量削減効果の比較が容易な 60 分と 15 分のシミュレーション結果を図 8 に示す。参考に、反応槽への流入負荷と送風量増減の関係性が分かりやすいように、嫌気槽の滞留時間である 2.5 時間程度位相を遅らせた流入アンモニア性窒素負荷のトレンドも併記した。送風量は実運用に合わせ上限を 4,500Nm³/h、下限を 2,000 Nm³/h に設定した。

演算周期 60 分と比較して 15 分では応答性が改善したことで高負荷時間帯における細かい負荷変動に対しても風量調整が可能となり、超過風量が大きく減少した。また、DO 制御と比較した場合の 1 時間当たりの送風量の削減量の平均値を表 5 に示す。演算周期を 15 分とすることで、風量削減効果が 1.8%pt 増加し、削減効果が 1.2 倍程度向上した。

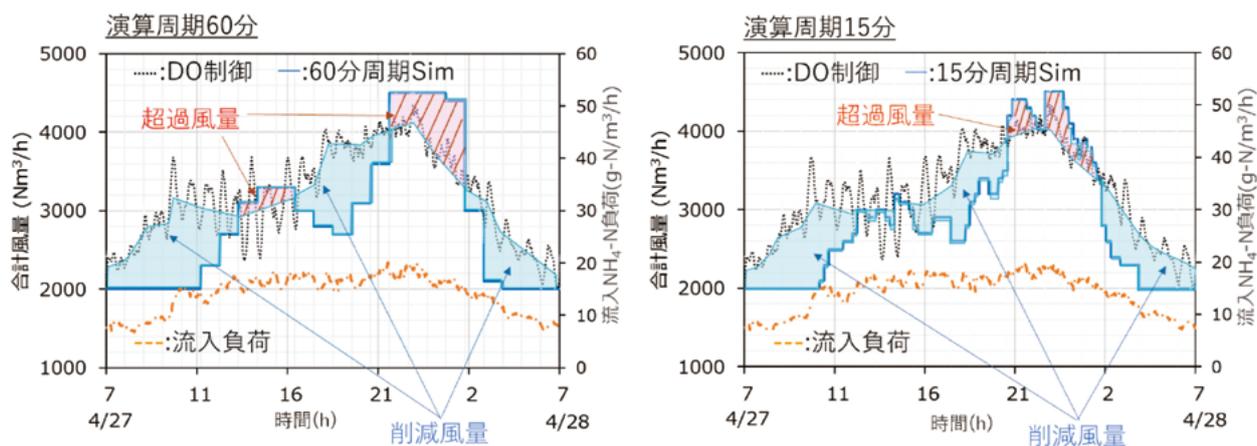


図 8 演算間隔の細分化によるシミュレーション結果

表 5 演算周期による時間あたり風量削減効果

演算周期(分)	60	30	15
1時間あたり削減量(Nm ³ /h)	268	315	326
削減率(%)	8.5	10.0	10.3

6 おわりに

2023年の秋頃から当センター水処理4系において、ASM風量制御の導入工事が始まる予定である。本稿では、導入にあたって効率的な回路数を検討し、回路数を多くすれば風量削減効果は上昇するものの、今回は3回路数以上になると高止まりし、3回路とすることが最も高効率であることが分かった。さらに、風量演算周期を15分程度まで短くすることで風量削減効果が1.2倍程度まで向上した。検討した回路数や演算周期とすることで、より省エネルギー効果が期待できる。最後に、本稿の内容が、カーボンハーフの実現に向けた一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 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」、東京都下水道局、<https://www.gesui.metro.tokyo.lg.jp/about/e2/earth-plan2023/index.html>
- 2) 宮原盛雄 et al. : 下水処理における水質改善・CO2削減に貢献するASM風量制御、令和4年度電気学会産業応用部門大会シンポジウム
- 3) 岩崎浩和 et al. : 水処理工程における省エネ化のためのデジタル技術を活用したASM風量制御技術の導入検討、令和4年度設計・工事事例発表会(カワセミ)
- 4) 宮岡武志 et al. : 水質改善と省エネルギーの両立を目的としたリアルタイム硝化脱窒制御技術の開発、下水道協会誌、Vol.58、No.700、pp.94-102、2021
- 5) 岸本長 et al. : 新たな反応槽風量制御システムの開発、下水道協会誌、Vol.57、No.692、pp.64-72、2020
- 6) 岸本長 et al. : 省エネルギー化のためのASM風量制御技術の導入検討、第60回下水道研究発表会講演集、pp.517-519

2-4-2 D0 計を用いた可変圧力制御による

送風電力量削減効果等の検証

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 安田 将太
水谷 英樹
(現 東京都下水道サービス株式会社)

1. はじめに

東京都下水道局（以下「当局」という。）では、新たな地球温暖化防止計画の指針となる「アースプラン2023」を策定し、温室効果ガス排出量を抑制する新技術の開発や導入等の取組を強化している。

芝浦水再生センター（以下「当センター」という。）では、図-1 に示すとおりセンター内電力量の約4割を送風機が占めており、削減が求められている。

そこで、送風機から反応槽までの空気本管に着目した新たな省エネ技術である「可変圧力制御」（以下「本制御」という。）について、実施設で検証を行い、一定の電力量削減効果が得られたため、その結果について報告する。

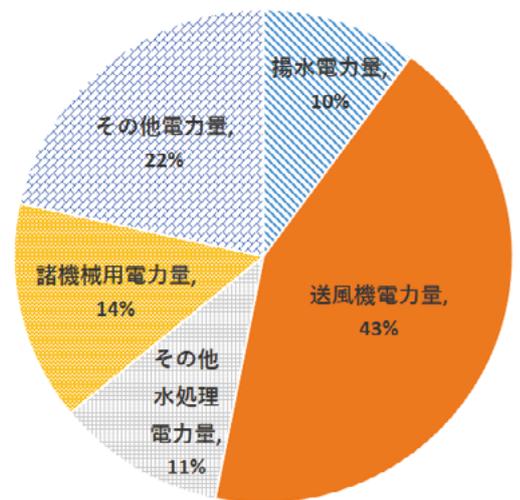


図-1 芝浦水再生センター電力量実績（2021年度）

2. 送風機の可変圧力制御について

従来の圧力一定制御は、送風母管内の吐出圧力設定値（以下「設定値」という。）を一定とするのに対し、本制御は、反応槽のD0値を基に必要風量を求め、それを用いて設定値をリアルタイムに算出することで、負荷の変動に応じて適時圧力を可変させる制御技術である。図-2 に示す送風機送気圧の式において、反応槽負荷が小さいときには要求風量が少なく圧力損失 H_p が小さくなるため、送風機の吐出圧力を低く設定できる。

また、送風機消費電力は、図-3 に示す概念イメージ式のとおり、吐出圧力の2乗に比例する。このことから、図-4 に示すとおり、吐出圧力を低く設定できる本制御ではエネルギーロスが削減され、省エネルギー効果が期待できる。

$$P_Y = h + H_C + H_p + H_M + H_A + \alpha$$

P_Y : 送気圧 (kPa)

h : 水頭圧 (kPa)

H_C : 空気ろ過機の通過抵抗 (kPa)

H_p : 送気管の圧力損失 (kPa)

H_M : 風量測定装置の通過抵抗 (kPa)

H_A : エアレーション装置の通過抵抗 (kPa)

α : 余裕 (kPa)

図-2 送風機送気圧の式

$$\text{送風機消費電力 (kW)} = \frac{\text{送風量 (m}^3\text{)} \times (\text{吐出圧力 (kPa)})^2}{\text{送風機効率 (\%)}}$$

図-3 送風機消費電力の概念イメージ式

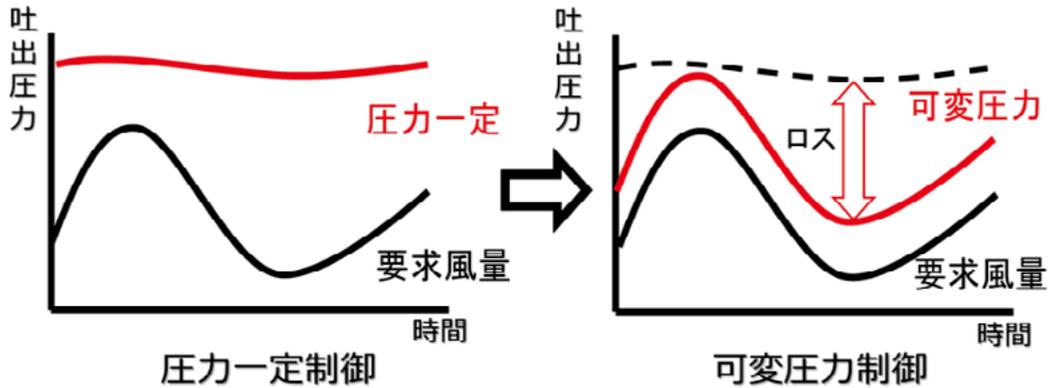


図-4 本制御の実施によるエネルギーロス削減の概念図

3. 実証内容

本実証は、簡易型共同研究で行った。

また、本共同研究の概要を以下に示す。研究期間は、2021年2月～2022年2月の13か月である。

3.1 対象施設概要

本共同研究では、本系・西系水処理施設（以下「本系・西系」という。）及び東系水処理施設（以下「東系」という。）を対象として実証を行った。その諸元を表-1に示す。本系・西系及び東系においては反応槽の数や送風機の型式が異なることから、この2系列を対象とした。

表-1 本系・西系及び東系の施設諸元

施設名称	曝気方式/機種	数量
本系・西系 (合計 68 万 m ³ /日)	旋回流式深槽・浅槽反応槽 (本系)	12 槽
	旋回流式深槽反応槽 (西系)	2 槽
	送風機 (多段形)	5 台
東系 (合計 15 万 m ³ /日)	旋回流式深槽反応槽	3 槽
	磁気浮上式送風機 (単段形)	4 台

3.2 D0計を用いた本制御システムの構成

本制御のシステム構成を図-5に示す。圧力一定制御のシステム構成に、赤い破線部に示した本制御装置を追加するだけで、本制御を実現することができる。必要風量の演算には既設 D0 計を用いることから、既存施設を有効活用する観点で取扱いのし易いシステムとなっている。

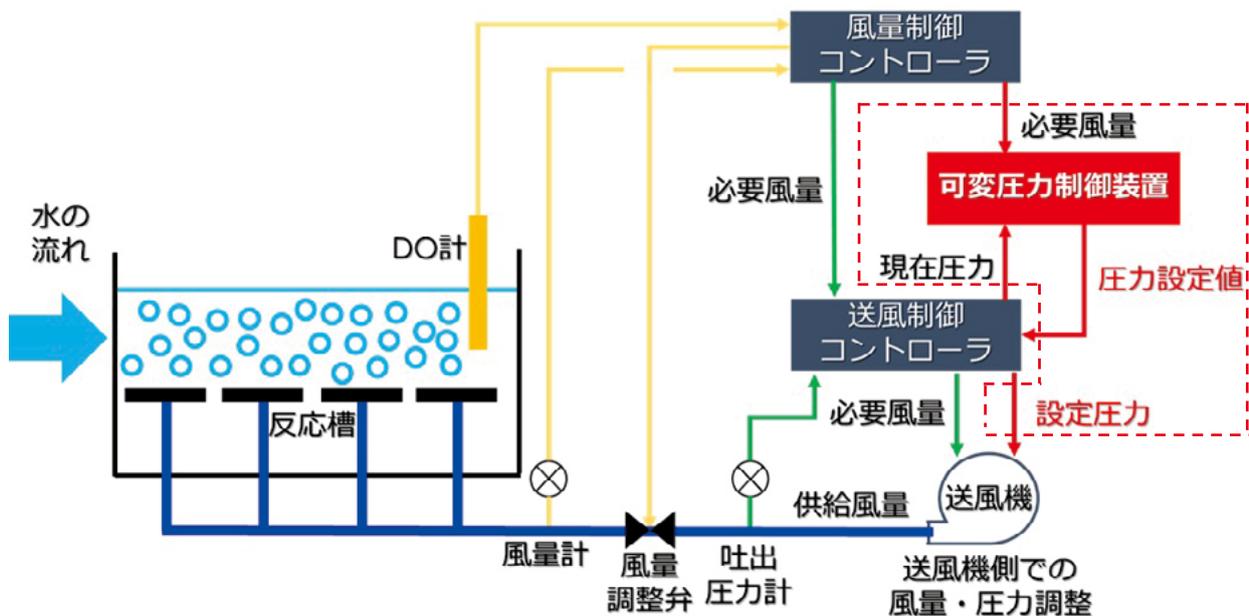


図-5 本制御のシステム構成

3.3 評価項目と目標設定

送風機設備における制御の運用を、圧力一定制御と本制御で交互に切替え、評価を行った。主な評価項目と目標値を表-2に示す。評価項目として次の3点を設定した。

表-2 評価項目と目標値

評価項目	目標値	
	本系・西系	東系
送風機電力量	2.0%以上削減	5.0%以上削減
制御の追従性	風量	偏差 5.0%以内*
	圧力	偏差 1.0%以内*
建設費のコスト回収	10年以内	

*設定風量・圧力と供給風量・圧力の標準偏差

(1) 送風機電力量の削減効果

目標値は、過去のデータから削減率をシミュレーションした結果に基づき、系列ごとに設定した。シミュレーションに使用したデータは、送風機電力量、送風機吐出圧力、送風機風量、送風本管圧力、本系・西系風量、東系風量、各反応槽の空気調節弁開度である。

なお、系列ごとに電力量削減効果の目標値が異なる理由として、圧力一定制御での運用圧力の設定値の違いが挙げられる。

(2) 制御の追従性

目標値は、圧力一定制御と本制御が同等になるよう設定した。

(3) 建設費のコスト回収

電力削減量をもとに、建設費のコスト回収期間について評価した。建設費の内訳は、中央監視室の監視制御設備整備費（プラント監視画面等の変更）、本系・西系又は東系水処理の監視制御設備整備費（信号授受の構築）、圧力演算制御装置の設置費（圧力演算機能の構築）、工事費・一般管理費相当額である。ハード品は、圧力演算制御装置の本体が該当する。

なお、目標値については、耐用年数を考慮し10年以内と設定した。

4. 実証結果

4.1 本系・西系の実証結果（実証期間：2021年9月、2021年12月～2022年1月）

本実証期間中の運転実績を図-6に示す。当センターでは、送風機省エネ運用の取組として、吐出圧力を設計圧力52kPaから段階的に下げていき、現在46kPaにて運転している。このことから圧力一定制御時は46kPa一定で、本制御時には必要風量に応じて設定値が変動する運用として評価した。圧力一定制御による運用時には、46kPa付近で制御されているのに対し、本制御では概ね44～46kPa付近で変動しており、低い圧力での運転傾向が確認された。それぞれの運転期間毎の送風機電力原単位の平均値は、圧力一定制御では0.0200kWh/Nm³であったのに対し、本制御では0.0195kWh/Nm³となり、2.4%程度の原単位削減効果を確認することができた。

なお、制御の追従性について、設定値と供給値の差における標準偏差が、風量は3.9%、圧力は0.47%と、双方において目標値を満足する結果であることが確認された。

また、本実証期間中の放流水質を表-3に示す。本実証期間中の処理水質については、双方の制御において同等であることが確認された。

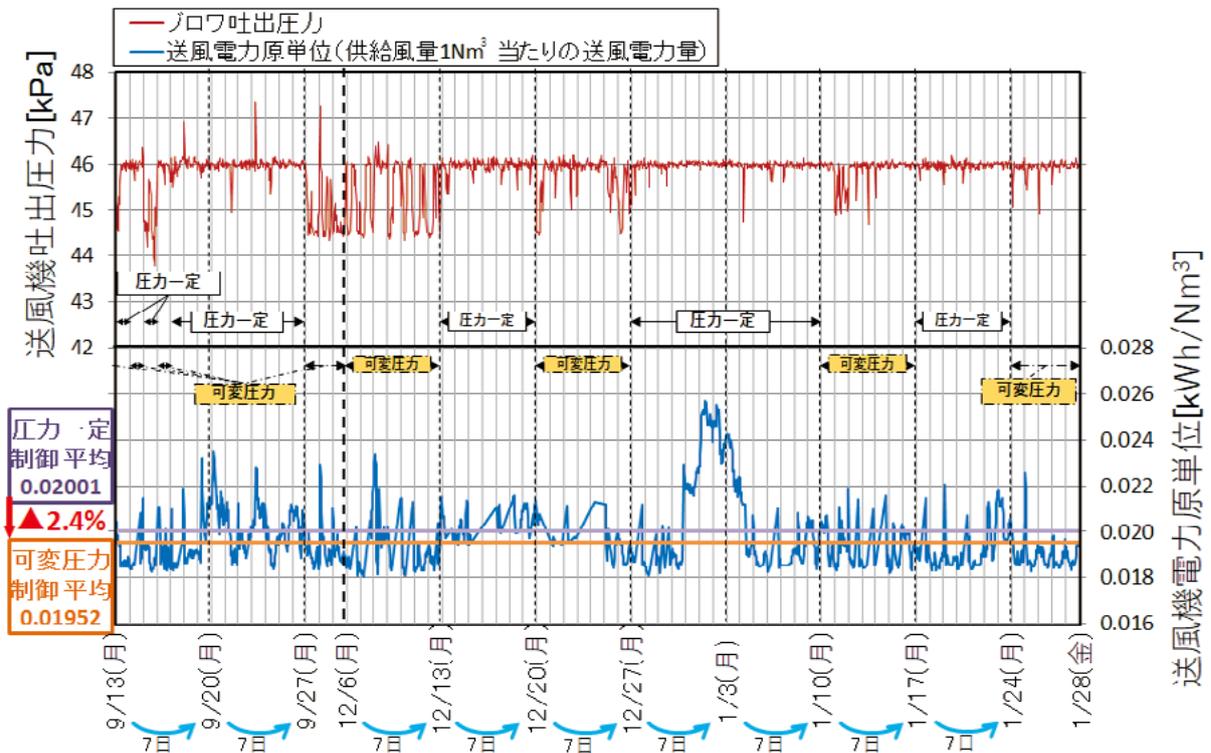


図-6 本系・西系の吐出圧力（上）と送風機電力原単位（下）

表-3 実証期間中の本系・西系放流水質

吐出圧力制御		放流水 T-N[mg/L]	放流水 COD[mg/L]	放流水 T-P[mg/L]
本系・西系 平均 (最小、最大)	圧力一定制御	14 (7.4～24)	10 (7.9～21)	0.6 (0.0～2.0)
	本制御	14 (7.4～21)	10 (6.2～18)	0.9 (0.0～2.4)

4.2 東系の実証結果（実証期間：2021年2月～4月）

本実証期間中の運転実績を図-7に示す。圧力一定制御時には吐出圧力を65kPa一定とし、本制御時には必要風量に応じて設定値が変動する運用として評価した。圧力一定制御による運用時には、65kPa付近で制御されているのに対し、本制御では概ね59～62kPa付近で変動しており、本系・西系と同様に低い圧力での運転傾向が確認された。運転期間毎の送風機電力原単位の平均値は、圧力一定制御では0.0264kWh/Nm³であったのに対し、本制御では0.0236kWh/Nm³となり、10.5%程度の原単位削減効果を確認することができた。

なお、制御の追従性について設定値と供給値の差における標準偏差が、風量は2.0%、圧力は0.21%と、双方において目標値を満足する結果であることが確認された。

また、本実証期間中の放流水質を表-4に示す。本実証期間中の処理水質については、双方の制御において同等であることが確認された。

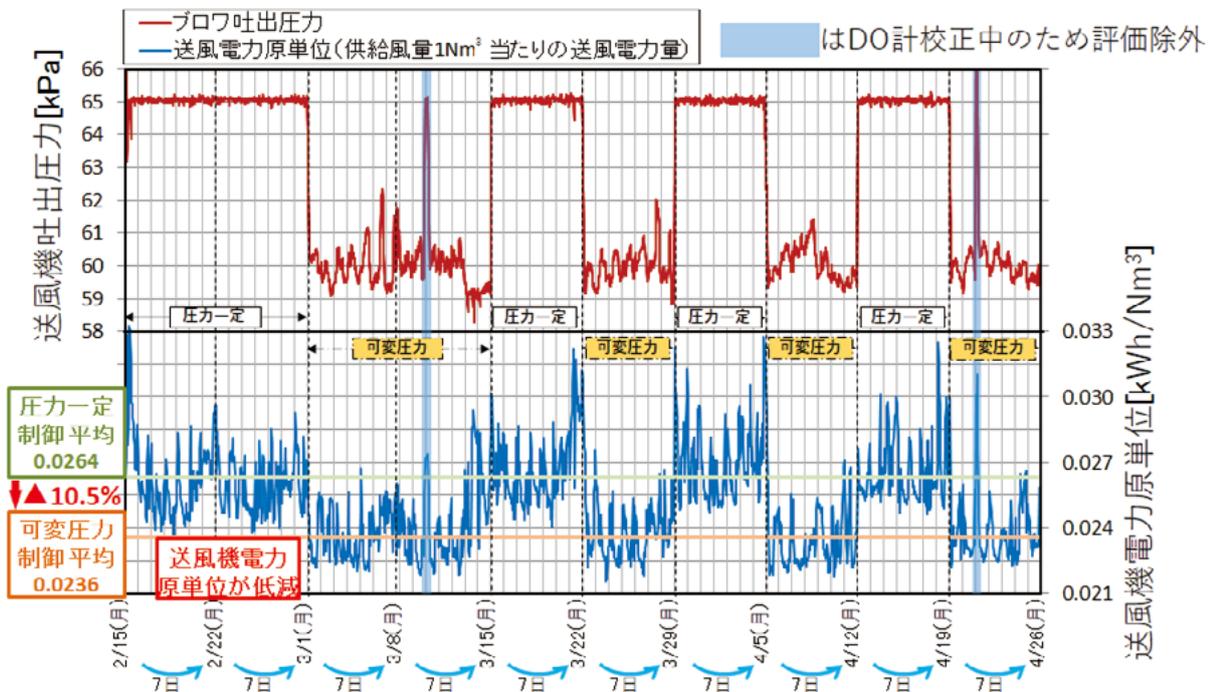


図-7 東系の吐出圧力（上）と送風機電力原単位（下）

表-4 実証期間中の東系放流水質

吐出圧力制御		放流水 T-N[mg/L]	放流水 COD[mg/L]	放流水 T-P[mg/L]
東系 平均 (最小、最大)	圧力一定制御	13 (3.7～23)	9.5 (5.3～12)	0.3 (0.0～2.1)
	可変圧力制御	13 (4.2～23)	9.8 (5.5～12)	0.3 (0.0～1.9)

5. 年間での送風機電力量削減効果

前項の実証結果を踏まえ、年間での送風機電力量削減効果を運転実績に基づきシミュレーションを行った。その結果を表-5に示す。

本系・西系では年間の送風機電力量削減効果が2.25%、東系では10.5%であり、今回行った実証結果と同程度の効果が試算された。

表-5 年間での送風機電力量削減

対象施設	対象年度	圧力一定制御 [kWh/Nm ³]	本制御 [kWh/Nm ³]	電力量削減効果 [%]
本系・西系	2021～2022年度	0.0199	0.0194	2.25
東系	2021年度	0.0270	0.0242	10.5

6. 年間でのCO₂排出削減量評価結果

本系・西系と東系のCO₂排出量削減効果を表-6に示す。

本系・西系のCO₂排出量は年間320t削減（削減率2.25%）、東系のCO₂排出量は年間220t削減（削減率10.5%）されるとの結果を得た。

表-6 年間でのCO₂排出量削減効果

対象施設	制御方法	電力量 [千 kWh/年]	温室効果ガス [t-CO ₂ /年]**	削減率 [%]
本系・西系	運用圧力46kPa一定	28,780	14,070	—
	本制御	28,130	13,750	2.25
東系	運用圧力65kPa一定	4,240	2,070	—
	本制御	3,790	1,850	10.5

**CO₂排出係数0.489t/千kWhを使用

7. 建設費のコスト回収結果

建設費のコスト回収結果を図-8に示す。電力料金単価が14円/kWhの場合、本系・西系では建設費を5.6年で回収でき、目標値の10年以内を満足する結果を得た。

本制御整備費用	47,630千円（監視制御・工事費含む）	} ▲8,590千円/年
維持管理費用	440千円/年	
電力料金	▲9,030千円/年	
回収年数	= 47,630千円 ÷ 8,590千円/年 = 5.6年	

図-8 建設費のコスト回収結果

8. まとめ

以上より、全ての評価項目において共同研究の目標を達成することができた。

DO計を用いた風量制御に本制御を適用することで、更なる省エネルギーを実現できる可能性がある。ただし、機場によって送風機や反応槽の構成等が異なるため、適用に当たっては、エネルギー削減量を含め費用対効果を考慮する必要がある。

2-5-1 焼却炉内焼結物の成分と生成のメカニズムに関する一考察

東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 小橋 潤
(現 東京都水道局 水質センター 企画調査課)
島田 誠一
(現 東京都下水道サービス株式会社 施設部 水質課)
曽根 啓一
(現 東京都下水道サービス株式会社 下水道技術研究室)

1. はじめに

東京都内の水再生センターでは近年、汚泥焼却工程において焼却炉内でのクリンカ発生による流動不良及び煙道や空気予熱器付近で焼却灰が付着し設備が閉塞するトラブルが頻発している。閉塞の原因については、今までの調査から焼却灰中のりん濃度が経年的に上昇している中で、焼却時に融点の低いりん化合物が生成され熔融し、これが煙道付近で冷えて固形化し付着することを解明し、その対策として焼却前の汚泥にポリ鉄を添加することが有効であることを報告¹⁾している。

東京都下水道サービス株式会社は、東京都水道局の汚泥処理の包括委託業務を行っているが、近年、高度処理の導入など汚泥中のりん含有率の上昇に伴い、クリンカの発生や煙道閉塞といったトラブルが発生している。令和3年1月には、23区内の一箇所の焼却設備から同時に色や形状が異なるクリンカや閉塞物等の焼結物が発生し、焼却炉が停止した。本調査では、その際に発生した焼結物について、成分分析、SEM-EPMAによるバインダー成分の解析及び膠着度試験を行い、生成メカニズムについて考察した。

2. 調査方法

本調査の分析対象試料として、焼却炉（令和3年1月採取）の閉塞事象が生じた際に採取したクリンカ2検体（赤色、灰色）、閉塞物2検体（赤色、白色）及び使用していた経年珪砂1検体の計5検体を選定した。また、調査方法としては以下の3項目である。

2.1 成分分析調査

選定した5検体及び珪砂の新砂1検体に対して、JISR5202に準拠し、9成分(SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SO_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5)の分析を行った。また、成分値を用いてそれぞれの試料の閉塞抑制指標値を算出した。この閉塞抑制指標値とは、焼却炉煙道閉塞の危険性を示す数値であり、焼却灰中の金属類とりんとの比率から算出される。この指標値が1以下になると閉塞等の危険性があるとされる。

2.2 SEM-EPMAによるバインダー成分調査

各焼結物の形状を作るためには何らかのバインダーが必要であると考えられた。そこで選定した5検体について、SEM-EPMA（走査電子顕微鏡-電子プローブマイクロアナライザ）により、焼結物中のSi等の核となる粒子と、その周囲を覆うバインダーを解析した。SEM-EPMA解析にはJXA-8200（日本電子（株）製）を用いた。加速電圧は15kV、倍率は1,000倍、観察像は反射電子像、測定元素は、Si, Al, Ca, Mg, Fe, P, K, Na, Sとした。

2.3 膠着度試験

選定した5検体の焼結温度を推定するために、膠着度試験を行った。この膠着度試験と

は、金属圧粉体の耐摩耗性及び先端安定性の定量的な評価に用いられるラトラ試験を応用し、焼結態の固さを定量化するための指標である「膠着度」を求める試験である。前処理した試料*をラトラ試験機にセットし、所定の回転数で回転させ、試料の減少重量を測定し、その差が少ないものほど膠着度が高いとされる。膠着度は次の式で算出できる。膠着度が 0.2 以上で付着しやすくなり、0.4 以上で軟らかい塊となり、0.8 以上で固い焼結物を形成する。

$$\text{膠着度} = \text{ラトラ試験後の重量} / \text{ラトラ試験前の重量}$$

*一度微粉碎した 5 検体（クリンカ・閉塞物・経年珪砂）を電気炉で 800℃～1,200℃で焼結したものの。

3. 調査結果

表-1 成分分析結果

3.1 成分分析調査結果

成分分析結果を表-1 に示す。閉塞抑制指標値は、白色閉塞物のみ、0.89 と 1 を下回ったが、その他の試料はいずれも 1 を超えていた。クリンカについて比較すると、灰色クリンカは、 P_2O_5 が多く含まれており、赤色クリンカに比べて指標値が低いものの、両クリンカの組成に大きな差異は見られなかった。閉塞物について比較すると、赤色閉塞物は SiO_2 及び SO_3 が多く存在したが、白色閉塞物は P_2O_5 が多く存在し、両閉塞物の組成に差が見られた。経年珪砂は新砂と比べて、 SiO_2 が大きく減少し、全体的に他の成分が増加しており、特に P_2O_5 が大幅に増加した。また、経年珪砂は、赤色クリンカ・灰色クリンカと同程度の組成であるため、クリンカは経年珪砂が主体となり形成された可能性がある。

		クリンカ		閉塞物		珪砂	
		赤色	灰色	赤色	白色	経年珪砂	新砂
含有率 (%)	SiO_2	29.8	25.6	25.2	18.3	26.1	95.2
	Al_2O_3	11.0	10.2	10.3	8.6	10.2	1.5
	CaO	9.3	9.0	9.5	8.0	9.0	0.4
	MgO	4.9	4.9	4.8	6.7	4.9	0.0
	Na_2O	1.4	1.5	1.8	2.2	1.5	0.1
	K_2O	2.5	3.0	2.8	4.4	3.1	0.8
	Fe_2O_3	11.2	10.8	9.0	9.9	10.8	0.2
	SO_3	0.2	0.0	6.3	0.0	0.1	<0.01
	P_2O_5	27.8	31.9	26.8	39.7	31.5	0.1
	閉塞抑制指標	1.40	1.16	1.34	0.89	1.18	-

3.2 SEM-EPMA によるバインダー成分調査結果

SEM-EPMA によるバインダー成分調査結果を表-2 に示す。3.1 で行った試料全体の成分分析結果と比較すると、赤色クリンカ及び灰色クリンカは、バインダー部分の Al_2O_3 及び P_2O_5 が増加し、閉塞抑制指標値は 1 を下回った。一方、赤色閉塞物は、バインダー部分の Al_2O_3 及び CaO が増加し、 P_2O_5 に大きな変化はなかった。白色閉塞物は、バインダー部分の CaO 及び P_2O_5 が増加した。経年珪砂は、バインダー部分の CaO が大きく増加した。以上よりクリンカ及び閉塞物ともにバインダー部分の主元素はりんであることがわかったが、バインダー成分の化合物の特定には至らなかった。

表-2 SEM-EPMA 定性分析結果との成分比較

		クリンカ				閉塞物				珪砂	
		赤色		灰色		赤色		白色		経年珪砂	
		試料全体	バインダー								
含有率 (%)	SiO_2	29.8	26.6	25.6	29.0	25.2	28.1	18.3	4.8	26.1	32.3
	Al_2O_3	11.0	16.0	10.2	12.3	10.3	14.6	8.6	9.7	10.2	8.0
	Fe_2O_3	11.2	4.7	10.8	6.4	9.0	7.0	9.9	11.7	10.8	8.1
	CaO	9.3	9.4	9.0	8.7	9.5	14.1	8.0	14.1	9.0	17.6
	MgO	4.9	1.8	4.9	2.1	4.8	5.1	6.7	5.8	4.9	2.4
	Na_2O	1.4	0.6	1.5	1.6	1.8	0.4	2.2	2.9	1.5	0.9
	K_2O	2.5	1.5	3.0	0.9	2.8	2.1	4.4	2.9	3.1	0.8
	P_2O_5	27.8	39.5	31.9	37.5	26.8	28.6	39.7	46.0	31.5	29.9
	閉塞抑制指標	1.40	0.92	1.16	0.87	1.34	1.56	0.89	0.93	1.18	1.21

た。

3.3 膠着度試験結果

膠着度試験の結果を表-3に示す。白色閉塞物は850℃～900℃、赤色閉塞物及び灰色クリンカは900℃～950℃、赤色クリンカは950℃～1,000℃で焼結していた。閉塞物、クリンカともに色の違いによって焼結温度が異なっていた。また、経年珪砂は赤色閉塞物と似た膠着度の傾向を示した。

表-3 膠着度試験結果

		クリンカ		閉塞物		珪砂
		赤色	灰色	赤色	白色	経年珪砂
膠着度 (-)	焼結なし	0.82	0.99	0.88	0.63	-
	800℃焼結	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	850℃焼結	-	-	<0.01	<0.01	-
	900℃焼結	<0.01	<0.01	<0.01	0.80	<0.01
	950℃焼結	0.20	0.95	0.71	1.00	0.60
	1,000℃焼結	0.81	0.99	0.98	-	0.91
	1,100℃焼結	0.99	1.00	-	-	1.00
	1,200℃焼結	1.00	1.00	-	-	1.00

膠着度が0.8以上

4. 結果と考察

4.1 膠着度及び成分分析の関係

図-1のクリンカと経年珪砂の膠着度試験結果から、経年珪砂の膠着度は、赤色クリンカと灰色クリンカの膠着度の中間にある。また成分分析結果より、赤色クリンカ、灰色クリンカ及び経年珪砂は同程度の成分組成である。さらに、いずれの3試料も膠着度上昇温度が900℃以上であることから、クリンカは、経年珪砂が炉内の高温部分（炉内のガスガン付近）で熔融し焼結したものであると考えられる。

また、図-2の閉塞物の膠着度試験結果から、白色閉塞物は、赤色閉塞物や図-1中の赤色及び灰色クリンカよりも低い温度（850℃）で膠着度が上昇している。また、成分分析結果より、赤色閉塞物と比較して白色閉塞物はP₂O₅の割合が高い。以上のことから、焼却灰中のP₂O₅成分比率が高まると現状の焼却温度（850℃）でも、白色に焼結する可能性がある。

4.2 色と焼結物の関係

赤色クリンカ、灰色クリンカ及び経年珪砂を1,200℃まで焼結させたとき、元色に関わらず灰色になった様子を確認した（一例として図-3に、赤色クリンカの焼結時の色変化を示した）。クリンカの色は、成分組

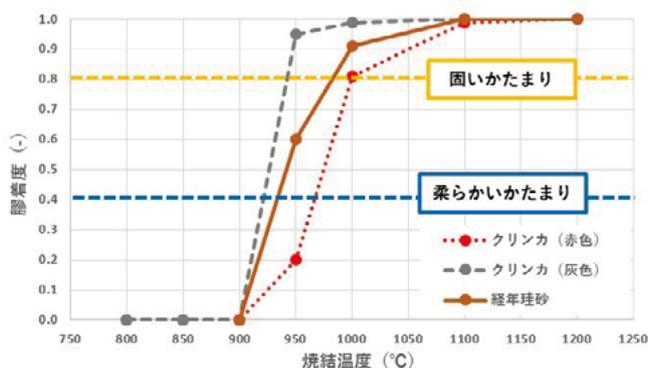


図-1 クリンカ・経年珪砂の膠着度比較

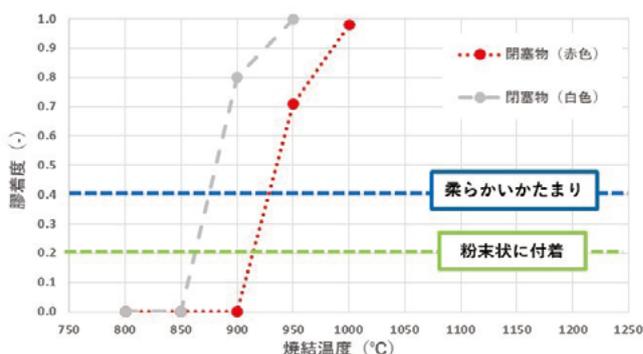


図-2 閉塞物の膠着度比較

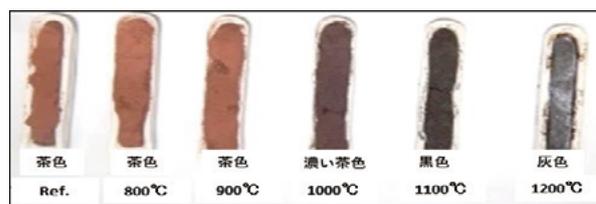


図-3 赤色クリンカ焼結時の色変化の一例

成のみからではなく、熱履歴（試料が受けた温度変化の履歴）の違いからも変化し得ると考えられる。つまり、焼却灰と珪砂の混合物は、炉内の最も温度の高いガスガン付近でより高温に曝されることで金属成分が溶融して、灰色（メタリックな色合い）まで変化することを示唆している。一方で閉塞物の色の違いは、成分組成の違いにより生じると考えられる。つまり白色閉塞物は、赤色閉塞物に比べると、りん濃度が高いため、色の違いが生じたと考えられる。

4.3 焼結物の生成メカニズム

本調査により、クリンカの生成メカニズムについては、900℃以上の温度帯（焼却炉内のガスガン付近）で、焼却灰と経年珪砂が溶融し焼結すること。さらに、クリンカの色は、熱履歴の違いからも変化する可能性があることがわかった。一方、閉塞物の生成メカニズムについては、焼却灰中のりん濃度が高まると 850℃付近の温度帯でも、焼却灰が溶融し煙道内で焼結することがわかった。また、閉塞物の色の決定要因は、焼却灰中の成分比によるものであり、焼却灰中のりん濃度が高まると閉塞物の色がより白色になる可能性がある。

参考文献

1) 黒住光浩、冠城敏之、中田友三、塚原純哉：下水汚泥焼却炉の閉塞危険性評価方法及び閉塞防止方法、Vol. 53、No. 647、下水道協会誌、2016、PP. 88-97

3-1-1 送泥管における腐食危険箇所の推定と

リスク評価への活用案

東京都下水道サービス株式会社 管路部 管路調整課 植平 健一郎
(現 計画調整部 事業調整課)

1 背景・目的

東京 23 区における 13 箇所の下水処理場で発生する汚泥は、送泥管のネットワークにより、5 箇所の汚泥処理施設に集約され、その量は年間約 6,000 万 m³ に及ぶ (図 1)。この汚泥を輸送する送泥管の延長は 200km を超えており、一部区間は、老朽化・硫酸腐食が進行している。ひとたび漏泥事故が発生した場合、甚大な影響が生じる恐れがあるが、送泥管の危機管理手法の確立に至っていない現状がある。そこで、東京都下水道サービス株式会社では、送泥管に関する情報を収集・整理し、机上スクリーニングにより腐食危険推定箇所 (気相部：動水勾配線より上部) を抽出した台帳図整備を進めている。本稿では、送泥管に関する維持管理・危機管理を見据えた管理台帳図の整備及びリスク評価の一例を報告する。

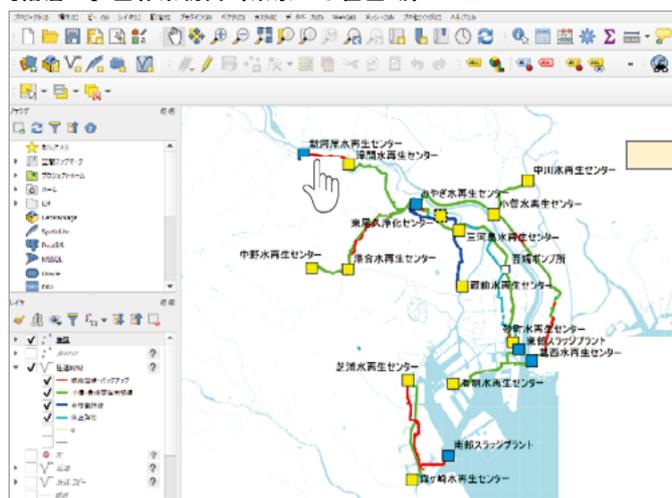


図 1 東京 23 区の送泥管ネットワーク

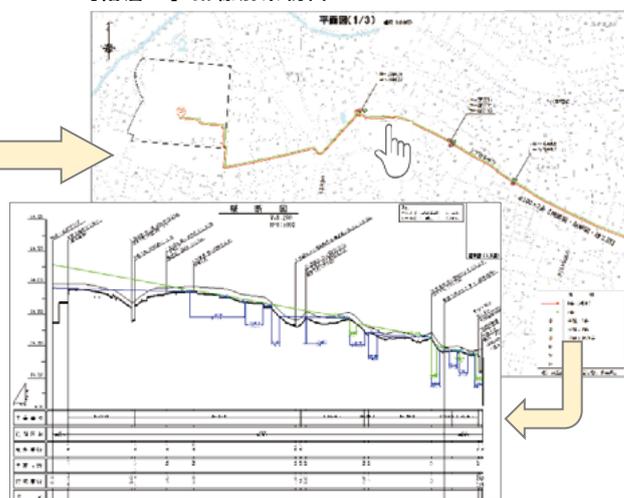
2 送泥管の管理台帳図

管理台帳図は、無料 GIS ソフト (QGIS) により構築し、工事完了図や点検結果等の電子データを取り込み、PC 端末上における操作・確認を可能としたものである (図 2)。

【階層 1】全体系統図 (東京 23 区全域)



【階層 2】路線別系統図



【階層 3】各種図面 (縦断面図・平面図等)

図 2 送泥管の管理台帳図 (イメージ)

東京都下水道局が所管する送泥管については、危機管理が重要となっている点を踏まえ、管理台帳図の一つの機能として、腐食危険推定箇所に関する縦断図やリスクの評価情報を取り込み、閲覧を可能にした。具体的には、東京 23 区全域の表示（階層 1）から各下水道施設や管路を端末上で選択することで、閲覧者が必要とする情報を参照できる仕様としている。この管理台帳図の整備により、送泥管に関する危機管理の容易な手法に繋がると考える。

3 机上スクリーニングに伴う条件設定

机上スクリーニングにあたっては、腐食危険推定箇所に関する精度等を検証するため、実際に漏泥事故が発生した路線を対象とした。

(1) 机上スクリーニングの対象路線

図 3 は、東京都内の A 下水処理場から B 下水処理場間の送泥管において発生した漏泥事故について、発生箇所等を模式的に示したものである。当該の送泥管（図 4）は、布設から 27 年経過したダクタイル鋳鉄管（φ200mm）であり、地上に引き上げた際、損傷箇所の前後に亀裂が生じたことから、一定の区間において腐食が進行し、管の強度が低下していたと考えられる。管の内部においては、管底部は、モルタルライニングが残存し、概ね健全な状態であったが、管頂部は、腐食が進行しており、管厚 1mm 以下の箇所が存在していた。このため、管内下部は液相部であったが、管内上部は気相部となっていたことから、硫酸腐食によって事故発生に至ったと推察でき、本路線を比較・検証の対象として設定した。

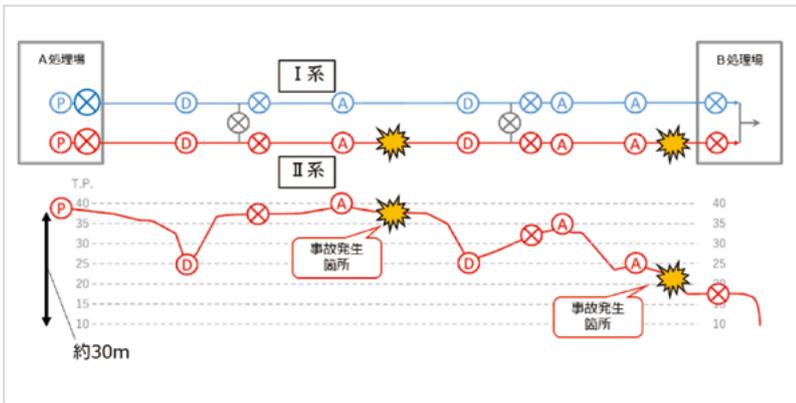


図 3 漏泥事故のイメージ図（平面図・縦断図）



図 4 送泥管の状況写真

(2) 机上スクリーニングの手法

机上スクリーニングは、「下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術導入ガイドライン（案）」（国土交通省 国土技術政策総合研究所）の手法に準じて実施した。図 5 に示すように、動水勾配線より高い気相部に当たる区間を抽出するものである。

表 1 は、事故が発生した路線における送泥量について、下水処理場の運転日報等に基づき、1 年間の実績値を表したものである。机上スクリーニングに適用する送泥量（A 下水処理場の送泥ポンプ吐出量）は、ケース 1 を設計当初の計画値、ケース 2 を現況値とした。なお、事故発生日の前日までにおける直近の送泥量は、年間平均値と比較して、差異はないことから、ケース 2 は年間平均送泥量を採用することとした。

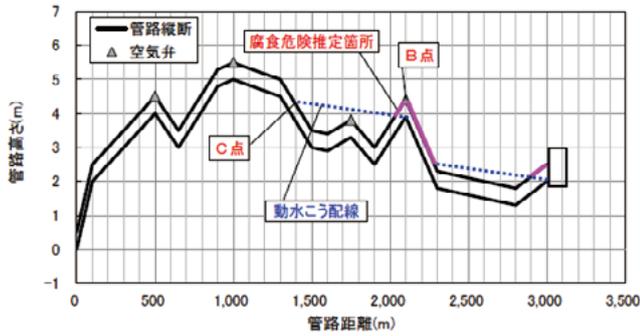


図5 机上スクリーニング概念図
(腐食危険箇所の推定)

出典：「下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術導入ガイドライン(案) 国土交通省 国土技術政策総合研究所」

表1 A処理場及びB処理場間の送泥量



4 机上スクリーニング結果及びリスク評価への活用案

図6は、対象路線の縦断図に、ケース1（設計当初の計画値）及びケース2（現況値）に基づく、動水勾配線を重ね合わせたものである。この結果から、動水勾配線より上部の腐食危険推定箇所（気相部）と実際の漏泥事故発生箇所が一致することを確認した。また、ケース1及びケース2の比較検証によって、表2に示すように、リスクを4段階に評価・分類し、各対策方針案を例示した。特に、最も高いリスクを抱える箇所は、「リスクA」とし、現況が気相部に該当する区間と定義した。さらに、リスクAのうち、事故発生箇所を含む区間を「リスクAⅠ」、それ以外の区間を「リスクAⅡ」として細分類化し、対策の緊急性に重み付けを行った。例えば、リスクAⅠに該当する区間は、施設更新等の実施、リスクAⅡに該当する区間は、早急な点検調査の実施・施設更新等の実施が望ましい。「リスクB」又は「リスクC」についても、早急又は計画的な点検調査等を進めていく必要があるとした。

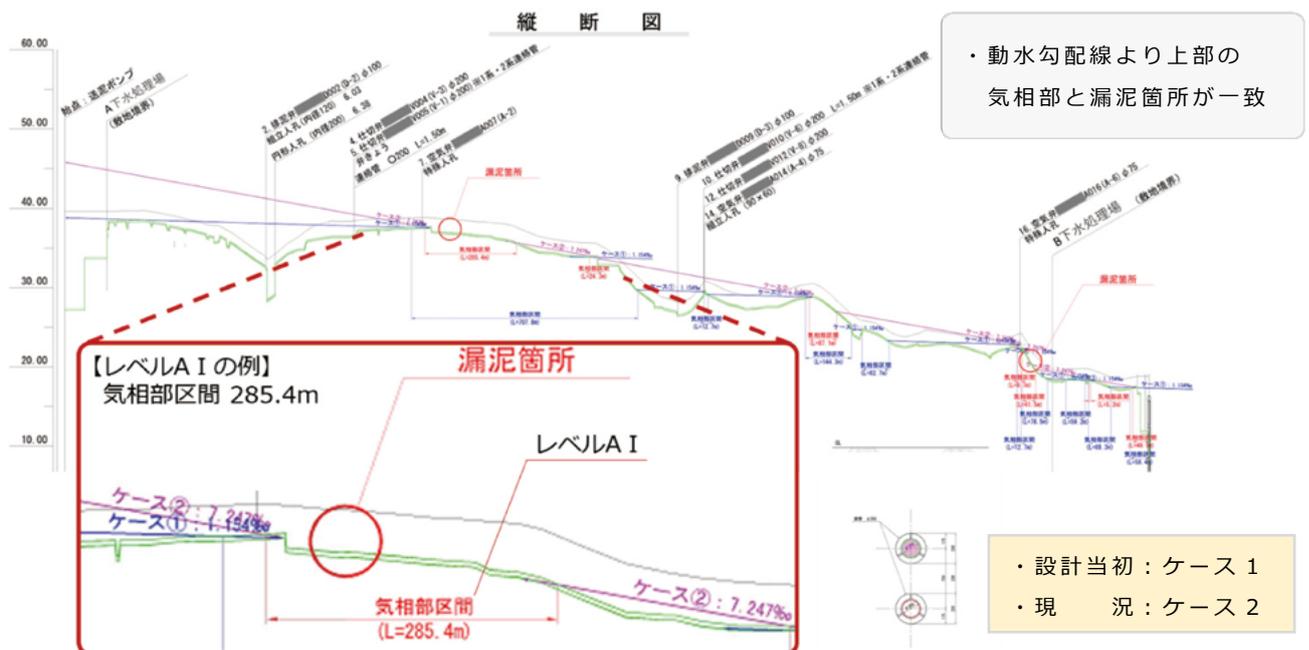


図6 机上スクリーニング結果

5 おわりに

今回は、現状と机上スクリーニングの結果に基づき、腐食危険推定箇所を精度を比較し、送泥管のリスクに応じた対策方針案として整理を行い、管理台帳図に反映させた。これらは、送泥管における効果的・効率的な維持管理や更新計画に活用することが可能である。今後も範囲を広げた検証を進め、発生対応型から予防保全型の維持管理・危機管理手法の確立に繋げていきたい。

表 2 リスクに対する対策方針案の整理

リスク(評価)	リスクの定義(分類)		対策方針案
A	A I	【現況：気相部】かつ【漏泥実績あり】	施設更新等が望ましい
	A II	【現況：気相部】	早急な点検調査・施設更新等が望ましい
B	【設計当初：気相部】かつ【現況：液相部】		早急な点検調査等の実施が望ましい
C	【設計当初：液相部】かつ【現況：液相部】		計画的な点検調査等の実施が望ましい

※ 設計当初：ケース 1 現況：ケース 2

- ・机上スクリーニングにより、リスクを 4 段階に評価・分類
- ・各リスクに応じた維持管理・危機管理手法の確立に寄与

参考文献

- 1) 「下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術導入ガイドライン(案)」(国土交通省 国土技術政策総合研究所, 2018 年 2 月)
- 2) 「経営戦略アクションプラン 2021」(東京都下水道サービス(株), 2021 年 3 月)

3-1-2 汚水ポンプ井のスカム堆積防止対策について

施設部 西部第一センター 氏名 鈴木 洋介
(現 施設部南部森ヶ崎センター)
熊谷 伊織

1. はじめに

中野水再生センターは晴天時計画処理量約 60,000 m³/日、処理能力 100,000 m³/日で、23区13か所の水再生センターのうち12番目の大きさである。処理した水は妙正寺川に放流している。

中野水再生センターでは、汚水ポンプ等は合計7台設置予定だが、現在は渦巻ポンプが3台設置されており、小型の2台中1台が常時稼働している。また、沈砂池は合計6池設置予定だが、現在は2池にしき及び沈砂処理設備が設置されており、1週間毎に池を切り替えて1池を運用している。

2. 調査概要

水処理施設では沈砂池からの流入水を汚水ポンプで揚水する際、揚水量の変動などによる不均衡を調節するためにポンプ井という貯水槽が設けられている。

中野水再生センターの汚水ポンプ井は、1号から4号池は角落しで止水しており、運用している5号池、6号池からの流入部と汚水ポンプの吸い込み口の位置は、長方形の対角線を結んだような位置関係にある(図-1)。

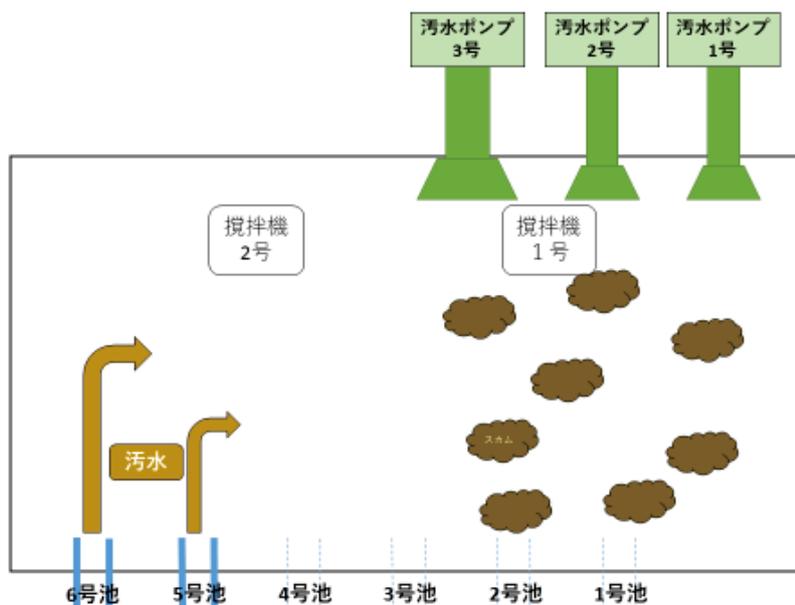


図-1 汚水ポンプ井平面図



写真-1 スカム堆積状況

そのため、流入水は汚水ポンプ井での滞留時間が長くなり、流れが緩やかになる部分にスカムが厚く堆積して固まっているのが現状であり（写真-1）、ポンプ井水位計の誤差の拡大、悪臭・コバエの発生、攪拌機の点検時にはスカムを崩す作業が発生している。一般的に、汚水の攪拌やスカムの堆積・腐敗を防止する目的で汚水ポンプ井攪拌機（水中攪拌機）が2台設置されているものの、攪拌する力は汚水ポンプ井全体に行き渡っていない。また汚水ポンプ井上部にはスプレーノズルが設置されている。スプレー水をスカム堆積箇所に噴射し水面のスカムを破壊・沈降させ、スプレーの水圧により流速を作りスカムの堆積を防止する目的で設置されているものの、効果的に働いていない。そこで、これらの機器の設置状況を調査し、スカムが堆積しない対策を検討した。

3. 調査方法

3.1 ポンプ井スカム攪拌機の高さ調整

中野水再生センターの汚水ポンプ井の2台のスカム攪拌機の攪拌能力がポンプ井全体に行き渡っていない原因として、攪拌機と水面との距離があり、水面のスカムを吸い込まないほど深く設置されていることだと考えた。このことから、通常水位でスカムを吸い込み、攪拌できるベストな高さを調査した。表-1、表-2 及び図-3 は攪拌機の

表-1 攪拌機の仕様

形式	WSR-507N/607N
ドラフトチューブ吐出口	250A
通気量	500 ℓ /分
電動機	乾式水中形誘導電動機 水中定格 連続 絶縁E種
	0.75kW × 4P
電源	200V/400V
	50Hz/60Hz

表-2 各種名称

No.	名称
1	中空軸モータ
2	スクリュー
3	ドラフトチューブ
4	通気ホース
5	ケーブル
6	吊り上げ用チェーン
7	昇降架台
8	ガイドパイプ

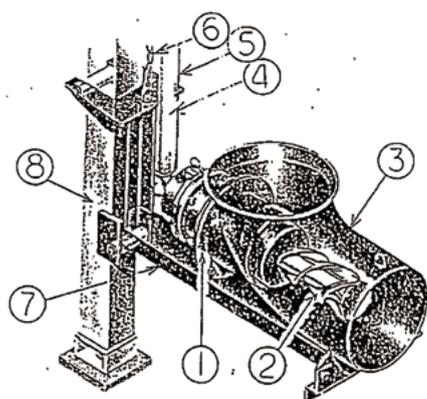


図-2 汚水ポンプ井攪拌機

攪拌機の概要としては、中空軸モータ、スクリュー、ドラフトチューブ、通気ホースから構成されている。スクリューが回転するとドラフトチューブ内に水流が発生し、その吐出流で汚水を攪拌する。また、水面からドラフトチューブまでの水流が発生す

ることによりスカムを吸い込み、破碎する。同時にスクリー先端に生じる負圧を利用して通気ホースから空気を自吸し、微細気泡にして水中に溶解させる。

水面と攪拌機との距離を計測し、水面からの距離を変えてスカムの堆積状況を確認した。距離を変更しての攪拌機の高さの調整は表-3のとおりである。計測方法は、チェーンブロックで攪拌機を引き上げる際、開口部と同じ高さのチェーンの部分に結束バンドで印をつけ、印の位置からコンベックスにより距離を測定し、開口部から水面までの距離を差し引いた距離で調整を行った(写真-2)。水位(TPm)は変動するため、水位を計測し、また、スカムの厚さを5cmと仮定して水面からケーシングまでの高さを-5cmとして実高さとした。通常状態と水面より1m下の高さは2回計測を行い、スカムの堆積状況を確認した。

表-3 攪拌機の高さ調整

水面～ケーシングまでの高さ	水位 (TPm) 現場表示	水面～ケーシングまでの実高さ
1 通常状態	18.42m	水面より1.79m下
2 水面と同じ	18.42m	水面より0.05m上
3 水面より1m下	18.42m	水面より0.95m下
4 水面より0.5m下	18.40m	水面より0.43m下
5 水面より0.3m下	18.40m	水面より0.23m下
6 水面より0.2m下	18.40m	水面より0.13m下
7 水面より0.15m下	18.38m	水面より0.06m下
8 水面より0.2m下	18.38m	水面より0.16m下
9 水面より1m下	18.36m	水面より0.94m下
10 水面より1.79m下	18.36m	水面より1.73m下



写真-2 距離の測定方法

3.2 ポンプ井スプレーノズル

中野水再生センターのポンプ井スプレーノズルは下の図-3のように配置されている。スプレー水は二次処理水を使用している。各ノズルの設置状況の確認と向きを調整を行い、スカムの堆積状況を確認した。

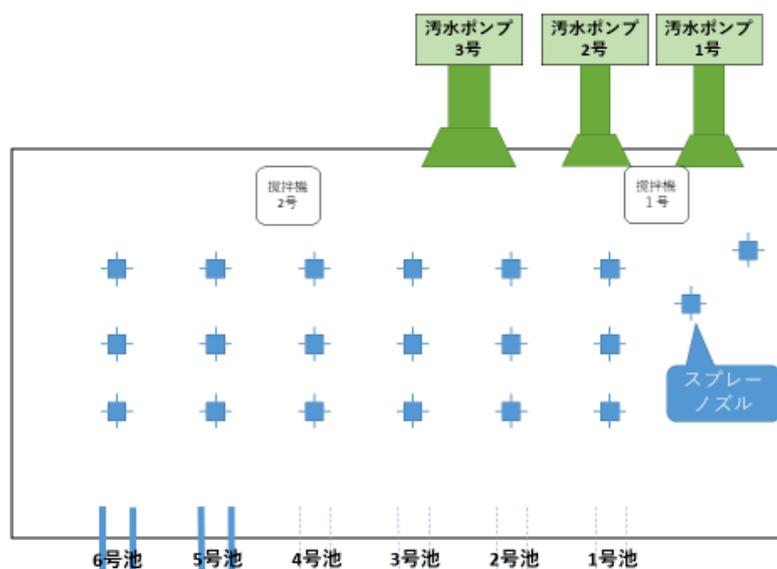


図-3 汚水ポンプ井スプレー弁

3.2.1 スプレーノズルの設置状況確認

向きを調整しスカムの堆積状況を確認する前段階として、各ノズルの設置状況の確認を行った。スプレー配管を取り外しノズルの形状を確認した結果、写真-3のような形状をしており、扇状にスプレー水が放射される加工がされていた。配管をポンプ井の外に出した状態でスプレー水の放射の確認を行ったが、配管の先端に砂が詰まっておりスプレー水が放射されていないことがわかった。この詰まりが原因でスプレーノズルが効果的に機能していなかった。配管の詰まりを解消するためノズルを外し配管に水を流して砂を除去、及びノズルの清掃を行い、ノズルを取り付けて再度スプレー水を放射した結果、写真-4のように扇状に水が放射されることを確認した。



写真-3 スプレーノズルの形状



写真-4 配管清掃後

3.2.2 スプレーノズルの向きの調整

次にノズルの向きの調整について、調整前の向きを確認した結果、各ノズルの向きは図-4のように設置されていた。また、⑥にはノズルが設置されていなかった。

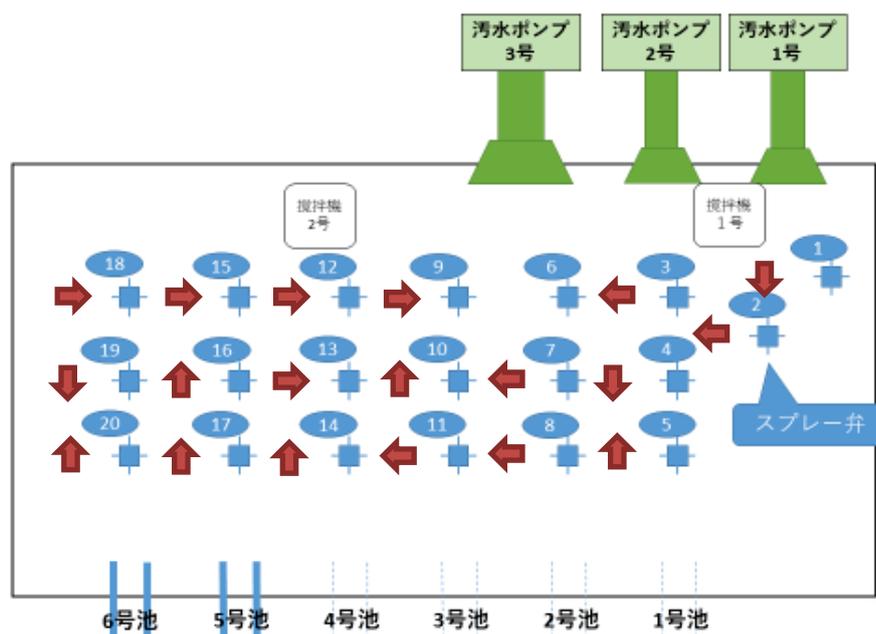


図-4 スプレーノズルの向き

図-4 を見るとノズルの向きに統一性がなく、汚水の流れの逆を向いているノズルもあることがわかった。そのため、水面の流れを作れていない。より水面に流れを作りスカムを堆積しないようにするため、以下の図-5 のように向きを変更した。

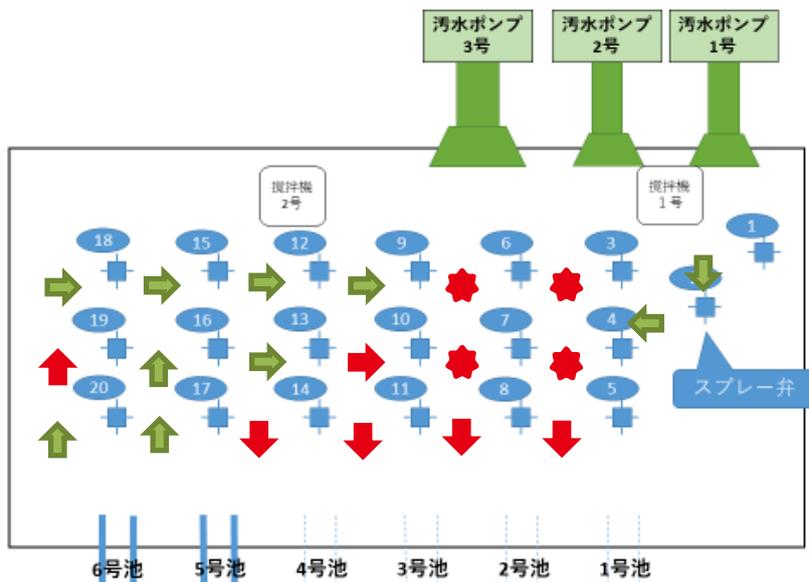


図-5 スプレーノズルの向き

上図のように向きを変更することによって、下の図-6 のような水面の流れが作られ、スカムが汚水ポンプ付近に流れてポンプに吸い込まれるイメージである。また、③・④・⑥・⑦のノズルの種類をスプレー水が真下に放射状に放出されるものに変更した（写真-5）。また、⑤・⑧・⑪・⑭のノズルだけを運用していない流入部にノズルを向けることにより、スプレー水の水圧により壁面に堆積するスカムを崩せるのではないかと考えた。



写真-5 変更したノズル

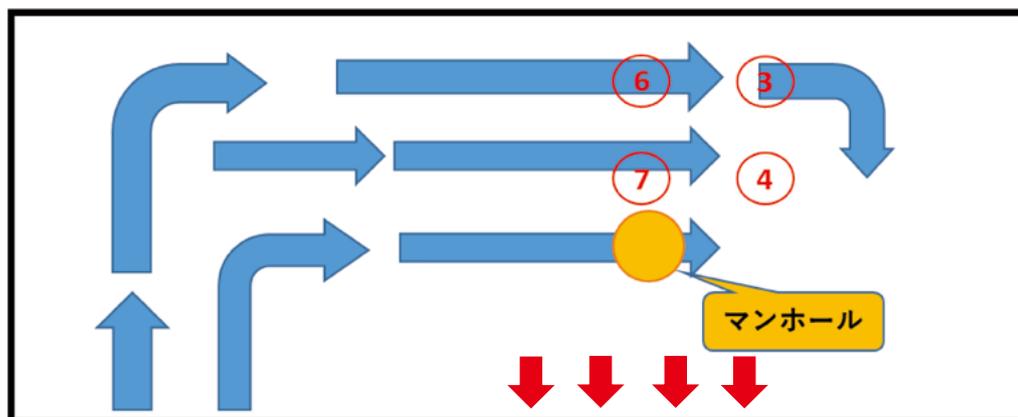


図-6 水流のイメージ図

4. 調査結果

4.1 攪拌機の高さ調整でのスカムの堆積状況

汚水ポンプ井スカム攪拌機の高さ調整でのスカム堆積状況の結果が下の表-4である。結果は2台とも同様のものとなった。

表-4 攪拌機の高さ調整での結果

水面～ケーシングまでの高さ	水位 (TPm) 現場表示	水面～ケーシングま での実高さ	スカム・水面攪拌状況	泡の状況	ケーシングの吸い込み 状況	その他
1 通常状態	18.42m	水面より1.79m下	スカム動かず	確認できず	スカムで確認できず	電流1.8A
2 水面と同じ	18.42m	水面より0.05m上	スカム動かず	確認できず	スカムで確認できず	電流1.8A
3 水面より1m下	18.42m	水面より0.95m下	スカム動かず	確認できず	スカムで確認できず	電流1.8A
4 水面より0.5m下	18.40m	水面より0.43m下	攪拌あり (攪拌力小)	泡あり (粒が小さく少ない)	スカムで確認できず	電流1.8A
5 水面より0.3m下	18.40m	水面より0.23m下	攪拌あり (攪拌力中)	泡あり (粒が小さく少ない)	スカムで確認できず	電流1.8A
6 水面より0.2m下	18.40m	水面より0.13m下	攪拌あり (攪拌力大)	泡あり (粒が大きく多い)	渦あり、スカム吸込	電流1.8A
7 水面より0.15m下	18.38m	水面より0.06m下	攪拌あり (攪拌力大)	泡あり (粒が大きく多い)	渦あり、空気も吸込	電流1.8A
8 水面より0.2m下	18.38m	水面より0.16m下	攪拌あり (攪拌力大)	泡あり (粒が大きく多い)	渦あり、スカム吸込	電流1.8A
9 水面より1m下	18.36m	水面より0.94m下	攪拌あり (攪拌力小)	泡あり (粒が小さく少ない)	確認できず	電流1.8A
10 水面より1.79m下	18.36m	水面より1.73m下	水面動かず	確認できず	確認できず	電流1.8A



写真-6 攪拌機の高さが通常状態



写真-7 攪拌機の高さが 0.16m

結果から、攪拌機の位置が通常状態と水面と同じ（スカムだけを攪拌）高さの場合は、2回の計測ともスカム及び水面の攪拌は確認できなかった（写真-6）。水面より1m下の高さの場合、1回目は攪拌が確認できなかったが2回目はわずかではあるが攪拌が確認できた。一方で、実高さが水面より0.06m下の高さから0.43m下の高さの範囲ではスカムを著しく吸い込んでおり（写真-7）、スカム及び水面の攪拌は確認できた。攪拌機の高さが一番水面に近い0.06mの高さではスカムと一緒に空気も吸い込んでいたため効率が悪く、今回の調査での効果的にスカムを攪拌できる攪拌機の高さは、0.13mと0.16mの高さであった。これより、スカム攪拌機の高さは0.13mと0.16mの高さに設定するのが好ましいことがわかった。攪拌能力としては、攪拌機の半径約3mの範囲は攪拌できているがポンプ井全体には行き渡っておらず、運用していない1号から4号池の角落しの壁面にはスカムが堆積したままであった。

4.2 スプレーノズルの向き調整でのスカムの堆積状況

スカムの堆積状況について、表-5ように9か所で点検調査を行った。

点検調査場所	スプレーノズルの調整・交換前	備考
角落し1号池	スカムの堆積あり	スプレー水は、角落し側の梁に当たっている。
角落し2号池	スカムの堆積あり	スプレー水は、角落し側の梁に当たっている。
角落し3号池	スカムの堆積あり	スプレー水は、角落し側の梁に当たっている。
角落し4号池	スプレー水の流れによりスカムの堆積無し	スプレー水は、角落し側の梁に当たっている。
角落し5号池	スカムの堆積無し	沈砂池からの流入による。
角落し6号池	スカムの堆積無し	5号地同様、沈砂池からの流入による。
マンホール	スプレー水が当たるところはスカムの堆積がないが、それ以外のところはスカムの堆積あり	スプレーノズルの向きを調整したところ改善した。
攪拌機1号開口部	スカムの堆積なし	
攪拌機2号開口部	スカムの堆積なし	

表-5 スプレーノズルの調整・交換前のスカム堆積状況

結果から、1号から4号池の角落しに向けたノズルからのスプレー水が柱間の梁に当たっていて、スカムが堆積している水面まで達していないことが分かった。改善策として、ノズルの先端が水面に近づくように配管を長くして再度確認を行った。梁の下面は、ポンプ井上部の床面から1,700mmあり、調整前の床面からノズルまでの長さは1,250mmであるため、配管を350mm延ばせば梁には水は当たらない。結果として、より水面にノズルを近づけるため500mm配管を長くした。長さを変更したノズルは②・⑤・⑧・⑨・⑪・⑭・⑮の計7本である。右の写真-8のようにスプレー水が梁に当たらないことを確認し、スカムの



写真-8 長さ変更後のノズル

堆積状況を確認した。

以下の表-6が結果である。

点検調査場所	スプレーノズルの調整・交換後	備考
角落し1号池	スカムが手前に堆積しているが水面がかすかに見えた。	ポンプ井水位は、18.1TPmであった。スカムは細かく、水で洗われた状態であった。
角落し2号池	スカムが手前に若干堆積しているが水面が見えていた。	ポンプ井水位は、18.1TPmであった。スカムは細かく、水で洗われた状態であった。
角落し3号池	スカムが手前に堆積しているが水面が良く見えていた。	スカムは細かく、水で洗われた状態であった。
角落し4号池	スカムの堆積はなかった	ポンプ井水位は、18.1TPmであった。スカムは細かく、水で洗われた状態であった。

表-6 ノズル変更後のスカム堆積状況

スカムの堆積がなかった5号池・6号池の角落しの部分と攪拌機開口部、マンホール省略する。表から、各池の角落しのスカムの堆積はわずかであるが解消された。1号池の角落しは、角落し壁面から約50cmの幅でスカムの堆積が確認されたものの、水面が見え、スプレー水からの水流も確認できた(写真-9)。

スカムの状態は細かく、スプレー水によって洗われた状態であった。2号池・3号池の角落しについては、1号池と比べてスカムの堆積は少なく水面の見える範囲も多かった。各号池とも水面の見える範囲は多くなったが、端の方のスカムは除去しきれなかった。点検業務などで2週間ほど経過観察を行ったが、ノズル交換当初と比べても中央部のスカムの堆積はほとんど見られなかった。



写真-9 1号池の角落しからの堆積状況

5. まとめと課題

今回、中野水再生センターのスカム堆積防止について調査・検討を行った。汚水ポンプ井の攪拌機2台の高さ調節、ポンプ井上部のスプレーノズルの詰まりの解消と各ノズルの向き調整を行い、大部分のスカムの堆積は改善できた。これにより、攪拌機点検時のスカム崩し作業は軽減でき、ポンプ井水位計の制度の誤差も解消された。

また今回の調査から、スカム堆積による臭気発生の防止やコバエ発生防止などの環境改善につながると考えられる。しかし、ポンプ井の壁面にはスカムがまだ残っているのが現状である。そのため中野水再生センターの沈砂池では定期的に低水位運転を実施している。今回調査した内容と定期的な低水位運転を組み合わせれば、壁面に残ったスカムの堆積防止に繋がるのではないかと考えられる。

以上の結果をもとに、より効率的なスカム堆積防止について引き続き検討していきたい

3-1-3 焼却炉におけるブロワ設備を活用した

煙道閉塞の対策について

東京都下水道サービス株式会社 門倉悠 小堀和男

1. はじめに

近年、東京都の下水処理では、窒素・りん除去を目的とした高度処理化が進められている。一方で、りんを多く含む汚泥の焼却灰は融点が低く、焼却炉内の燃焼温度によっては溶融し、煙道内や空気予熱器に付着・堆積することが問題視されている。新河岸水再生センターでは、過去に灰付着による煙道閉塞で過給式流動焼却炉（以下、「新3号炉」という。（図-1））が運転継続不能となり、復旧に多大な時間を要した事例もある。

これを防止するため、起動ブロワ設備を活用し煙道内に付着した灰を払い出す方法（以下、「灰払い運転」という。）について考案し検証した結果、灰付着による煙道閉塞の対策として効果を得られることが確認できたため報告する。

2. 調査内容

(1) 灰払い運転について

灰払い運転とは、焼却炉に脱水ケーキを投入しない状態で起動ブロワのみを運転し、通常焼却時より排ガスの流速を速めて通風することで煙道に付着した灰を剥離させる方法を指す。また、この灰払い運転を行う際、炉内温度が低い方がより煙道閉塞に対して効果が高いと考えた。本調査では、灰払い運転方法としてガス燃料を使用し炉内温度を焼却再開に必要な780℃程度に維持しながら行う「保温灰払い運転」、ガス燃料を使用せず炉内温度を200℃程度まで低下させる「冷却灰払い運転」の2種類の灰払い運転を考案し、それぞれについて効果を検証した。

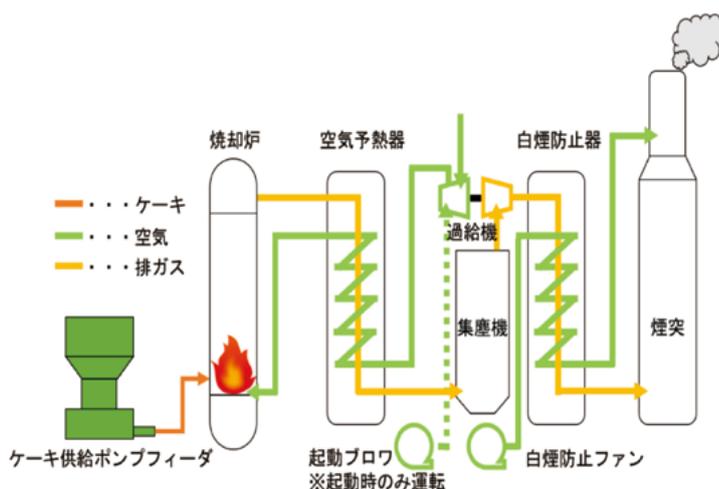


図-1 新3号炉設備フロー

表-1 灰払い運転実施期間

方式	保温灰払い運転	冷却灰払い運転
実施期間	2022/01/05 22:00 ~ 01/06 01:00	2021/12/22 05:00 ~ 12/24 14:00
ガス燃料の使用	有り	無し
炉内温度	約 780℃ (脱水ケーキ投入可能温度)	目標 200℃ (メーカー推奨値)

※新3号炉：過給式流動焼却炉（250WS-t/日）にて実施

(2) 検証

各灰払い運転は表-1 に示す実施期間に行った。煙道閉塞は雨量が少なく相対的に汚泥のりん割合が上昇するに発生しやすく、本調査においても後述する指標から冬季煙道閉塞の兆候を察知し実施した。

効果の検証は、表-2 に示す各指標をサンプリング周期 5 分に設定したトレンドグラフから収集し行った。

表-2 検証指標

項目	算出方法、単位	説明
炉出口圧損	炉内圧力 － 空気予熱器出口排ガス圧力 [kPa]	<ul style="list-style-type: none"> ・ 炉出口及び空気予熱器の閉塞状況を判断する ・ 上昇により閉塞の予兆を察知、下降により閉塞解消を判断する指標 ・ 通常 0.8～1.2kPa 程度
灰発生率	灰発生量 (1 時間当たりの灰ホップ重量増加量) ÷ ケーキ投入量 [t/h] × 100 [%]	<ul style="list-style-type: none"> ・ 灰の発生量がケーキ投入量に対して適正か判断する ・ 汚泥性状の影響を受けるが、灰付着の可能性を示す指標として採用 ・ 通常 2.0%程度
灰ホップ重量	計測値 (既設重量計) [t]	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 時間の変化量から灰発生量を求める ・ 灰払い運転前後の増加量を確認する
ケーキ投入量	計測値 (既設流量計) [t/h]	・ 0t/h ⇒ 灰払い運転中
流動空気量	計測値 (既設流量計) [kNm ³ /h]	・ 参考のため
炉内温度	計測値 (既設熱電対) [°C]	・ 参考のため

3. 結果・考察

(1) 保温灰払い運転

保温灰払い運転は灰発生率の減少傾向を確認後実施した。

表-3 より、炉出口圧損は灰払い運転の前後でほとんど変化がなかった。これは、灰払い前の差圧自体が通常値の範囲内であったためと推察される。しかし、灰払い運転前後で灰ホップ重量は 630 kg 増加しており、炉内若しくは煙道内の焼却灰の払出しに一定の効果があつたことがわかる。灰払い運転後の灰発生率の低下は、灰払い運転によって炉内の焼却灰が減少したためと考えられる。なお、炉内温度は灰払い運転中、最低でも 773 °C であり、保温灰払い運転終了後も炉内温度を高く維持しているため、すぐに通常の汚泥焼却運転を再開することができた。

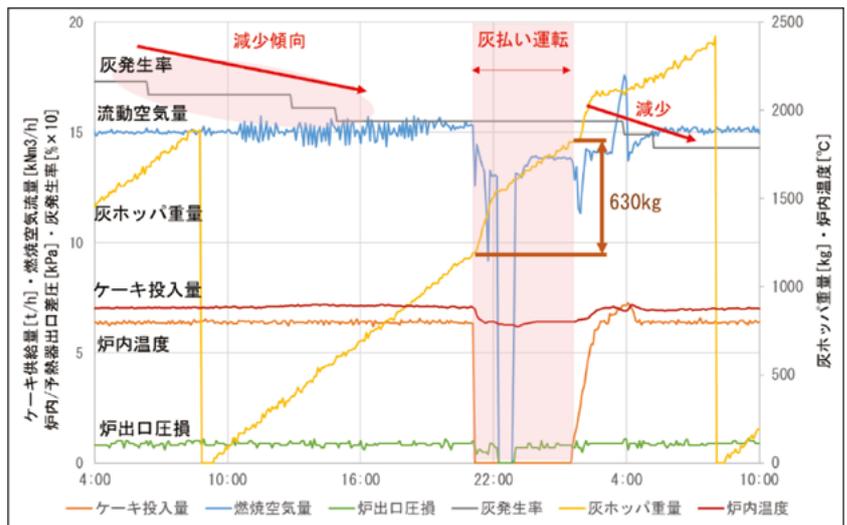


図-2 保温灰払い運転トレンドグラフ

表-3 保温灰払い運転結果

項目	通常値	灰払い前 ⁽¹⁾	灰払い後 ⁽²⁾	変化量
炉出口圧損 [kPa]	0.8～1.2	0.88	0.87	-0.01
灰発生率 [%]	2.0 以上	1.55	1.47	-0.08
灰発生量 [kg]	—	1190	1820	630
炉内温度 ⁽³⁾ [°C]	—	883	773	-110

- (1) 灰払い前 1 時間平均
- (2) 灰払い終了 3 時間後 (投入量安定後) の 1 時間平均
- (3) 灰払い後の数値は実施中の最低温度

(2) 冷却灰払い運転

冷却灰払い運転は炉出口圧損の上昇を確認後、汚泥焼却を停止し開始した。

表-4 より、炉出口圧損は灰払い前に対して大きく改善し、通常値の範囲内まで回復した。灰払い運転中の灰発生量は 990kg となり、内訳は、冷却中に 700kg、昇温中に 290kg と、冷却中の灰発生量の方が多結果となった。このことから、冷却灰払い運転は、炉内温度の低下時に、炉出口の閉塞を解消し、煙道に堆積した焼却灰を払い出す効果があると推察される。

しかし、通常の汚泥焼却運転状態復帰まで 57.5 時間程度を要し、長時間にわたり汚泥焼却を停止させなくてはならないことに加え、急激な温度変化が設備にダメージを与えることも予想できるため、炉出口圧損の値が通常値の範囲を逸脱するなど煙道閉塞が進行している場合に限り実施することが好ましい。

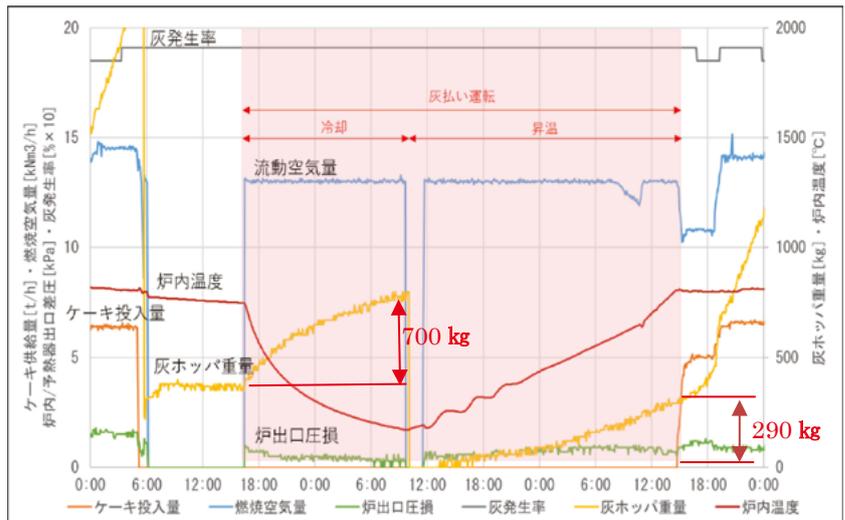


図-3 冷却灰払い運転トレンドグラフ

表-4 冷却灰払い運転結果

調査内容	通常値	灰払い前	灰払い後	変化量
炉出口圧損 [kPa]	0.8~1.2	1.50	1.11	-0.39
灰発生率 [%]	2.0 以上	1.91	1.85	-0.06
灰発生量 [kg]※	—	—	—	990
炉内温度 [°C]	—	806	170	636

※途中で灰搬出があったため瞬時値は記載なし

4. まとめ

本調査により、以下のことがわかった。

- ・保温灰払い運転・冷却灰払い運転ともに、炉内の灰を減らすことができ、煙道閉塞予防の効果が期待できる。
- ・冷却灰払い運転は、煙道内に堆積した灰を払い出すことができ、煙道閉塞の初期対応として保温灰払い運転より有効であった。
- ・灰発生率と炉出口圧損はどちらも煙道閉塞を示す指標と考えたが、必ずしも同様に変化しなかった。今後も継続してデータを収集し、両値を組み合わせた閉塞状況分析、灰払い運転方法の効果検証に活用し、より効果的に煙道閉塞を解消できる灰払い運転のタイミングや条件、保温・冷却灰払い運転の使い分けを追求することが重要である。

3-2-1 東京都多摩地域における都と市町村の連携した取組

～効率的な雨天時浸入水調査～

流域下水道本部 技術部 計画課 逸見 将志
(現 流域下水道本部 技術部 施設管理課)

1. はじめに

(1) 多摩地域における雨天時浸入水による被害

東京都の多摩地域の下水道は、都が管理する流域下水道と市町村が管理する公下水道が一体となって機能しており、その約8割が分流式下水道を採用している。近年、台風などの豪雨時において、汚水管に雨水が浸入する雨天時浸入水により、流域下水道の水再生センターの水処理機能に支障が生じるとともに、マンホールからの溢水被害等が発生し、大きな問題となっている。

(2) 都と市町村のこれまでの取組

雨天時浸入水対策は、管きよの老朽化対策や誤接続解消などの発生源対策が基本となる。一方、流域下水道の各処理区は範囲が広大なため、効率的に発生源対策を行うためには、雨天時浸入水量が多いブロックを選定するための「絞り込み調査（スクリーニング調査）」を行うことが不可欠である。

このため、東京都下水道局流域下水道本部（以下、「都流域下水道本部」という）はバッテリーとアンテナを内蔵した「多機能型マンホール蓋」を流域下水道幹線に設置し、水位を計測することで、概ね市町村単位の大ブロックの雨天時浸入水量を把握し、市町村に情報提供を行ってきた。また、市町村はその結果を基に絞り込み調査に向けた検討を進めている。

(3) 「雨天時浸入水絞り込み調査の手引き」の作成

市町村が行う絞り込み調査では、多機能型マンホール蓋の上流域に計測箇所を設け、各測点の晴天時と雨天時の流量を比較することにより雨天時浸入水量を把握し、雨天時浸入水の影響の大きいブロックを絞り込むこととなる。広大なエリアの調査を効率的・効果的に行うためには、計測箇所の選定や結果の分析が重要であるが、市町村にはこれまで絞り込み調査の実績が少なく、十分なノウハウが蓄積されていなかった。

そこで、都流域下水道本部では、市町村が効率的・効果的に絞り込み調査を実施できるよう、絞り込み調査に係る技術的事項をまとめた「多摩地域における雨天時浸入水絞り込み調査の手引き」（以下、「手引き」という。）を作成し、市町村と共有した。

2. 手引きの概要

2-1. 対象・構成

手引きは、市町村が公共下水道において実施する流量計又は水位計を用いた絞り込み調査を対象としている。手引きは、絞り込み調査を行う際に重要なポイントとなる、「①調

査の目的や流れを分かりやすくすること」、「②調査・分析手法を明確化・標準化すること」、「③優先的に対策を行うべきブロックの選定方法を確立すること」を目的とした。

具体的には、国の「雨天時浸入水対策ガイドライン（案）」を踏まえ、雨天時浸入水対策全体の中での絞り込み調査の位置づけを明らかにし、調査の手順や留意点、優先対策ブロックを選定するまでの検討方法を整理した（図1）。

手引きの構成は、市町村が実施する調査の流れを想定し、「調査計画の作成」、「調査の実施」、「調査結果の整理」、「調査結果の分析」の各作業に対応する章構成とし、実施手順等を具体的に記載した。

なお、手引きは、これまでに多摩地域において都流域下水道本部が実施した流量調査や一部の市が先行的に実施した絞り込み調査の実績を踏まえて作成しており、そこで得られた調査の留意点や効果的な分析方法等の知見を各作業に活用することが可能である。

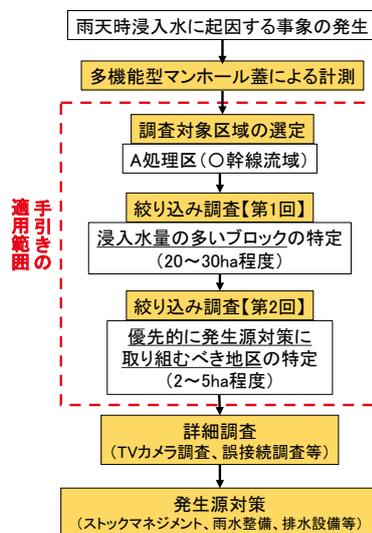


図1 雨天時浸入水対策の流れと手引きの適用

2-2. 調査の目的や流れの見える化

雨天時浸入水は下水道施設や宅地内など様々な箇所から流入する可能性があり、発生源が広範囲に及ぶ。

このため、調査範囲を市町村単位の広いエリアから、浸入水量の多いブロックに段階的に絞り込んでいくことが有効となる。このため、調査の目的や流れを明確にするとともに、ブロック分け（計測箇所選定）の考え方を明示した。

まず、多機能型マンホール蓋により雨天時浸入水量が多く計測された処理区や、溢水被害などの事象が発生したエリア等を優先的に絞り込み調査を行う区域と定めた。

次に、上記区域において発生源対策が可能な面積までブロックを絞り込むことを目的とし、調査の流れを定めた。国ガイドラインを参考に、標準的には1回目の調査は各計測箇所の面積が20～30ha程度となるよう選定することとした。2回目の調査は、詳細調査（TVカメラ調査等）や発生源対策（管きよ更生等）が可能となる3～5ha程度のブロックを選定することとした。

具体的な流量等の計測箇所は、上記で選定した各ブロックの流末とした。さらに、各小分区や対象区域全体の雨天時浸入水量を把握するため、公共下水道幹線や流域下水道幹線への接続点においても計測を行うこととした（図2）。

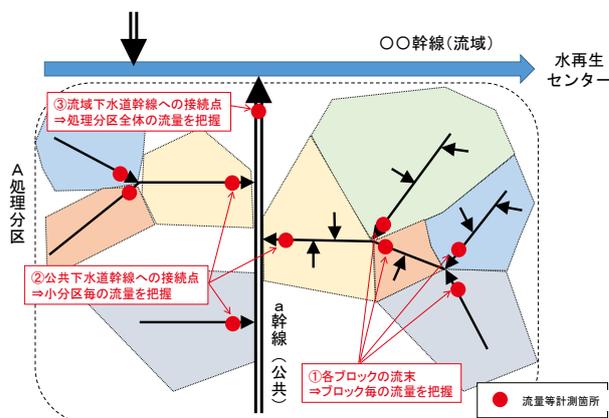


図2 計測箇所選定の考え方

2-3. 調査・分析方法の明確化・標準化

(1) 調査方法

調査期間は、降雨期間や降雨強度の異なる複数の降雨を対象に分析をできるように、6～10月の3ヶ月間程度とした。また、雨天時浸入水量（流量）を把握するための方法として、「①流量計（水位・流速計）による流量計測」又は「②水位計による計測水位からの流量換算」の2ケースを示し、水位と流速を直接把握できる①を基本とした。なお、②は対象区域の面積が大きいため計測箇所が多数となり、多くの調査費用が必要となる場合等に用いることとし、計測水位から流量をマンシング式により簡易的に換算する方法を明記した。

ただし、管きょ内の下流からの背水の影響や、会合により流れが乱されることにより、計測水位に誤差が生じる可能性があるため、水位計の設置箇所選定やデータ分析の際の留意事項とした。

さらに、これまでの市の調査実績を踏まえ、直接浸入水が疑われる場合などにおいては、暗視カメラにより水位変化を視覚的に把握することが有効な調査方法であるとした。

(2) 分析方法

雨天時浸入水量は、降雨期間の雨天時流量から晴天時流量を差し引くことで算出することとした（図3）。

調査実績の少ない市町村が分析作業を行うことを想定し、各ブロックの雨天時浸入水による影響を容易に比較できるように、「総流量」、「ピーク流量」、「晴天時比率」等の複数の評価項目を定め、流域面積等の諸元とともに一覧表により各ブロックを比較する整理方法を標準化した。さらに、上記作業を円滑に行えるよう、資料編として標準的な分析シート等を掲載している。



図3 雨天時浸入水量及び評価項目の算定方法

2-4. 優先対策エリアの選定方法の確立

発生源対策やさらなる絞り込み調査等を行うべき優先対策ブロックは、上記評価項目のうち雨天時浸入水量の「総流量」により選定することを基本とした。これは、総流量の大きいブロックが対象区域全体への影響が大きく雨天時浸入水量の削減効果が高いことと、降雨後の雨天時浸入水についても評価が可能なことによる。

一方、各ブロックの流域面積が異なる場合、総流量の大小のみで比較できないため、各ブロックの総流量と流域面積の関係をグラフ化し、優先順位を定めることとした（図4）。

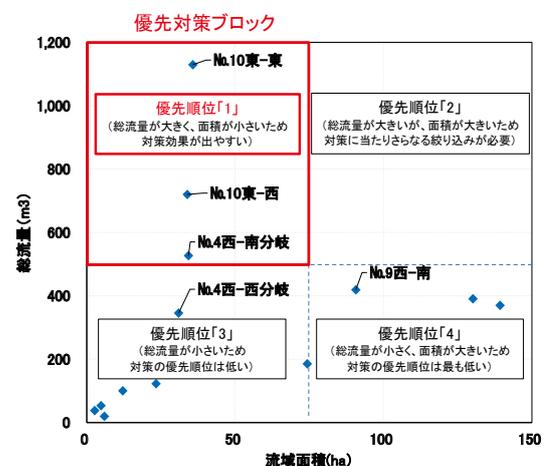


図4 総流量及び面積による優先対策ブロック選定

総流量が大きく面積が小さいブロックについて、最も雨天時浸入水の影響が大きいかつ対策効果の大きな優先対策ブロックとした。一方、総流量が大きいものの、面積が大きいブロックについてはさらなる絞り込み調査を行うこととした。

上記結果は、模式図により区域全体の状況を整理することとした（図5）。なお、優先対策ブロックにおける発生源対策にあたっては、上記の総流量に基づく評価に加え、土地利用、地下水位、既設管の状況（経過年数、陶管が多く残る地域など）等を別途基礎調査により把握した上で、総合的に判断することとした。

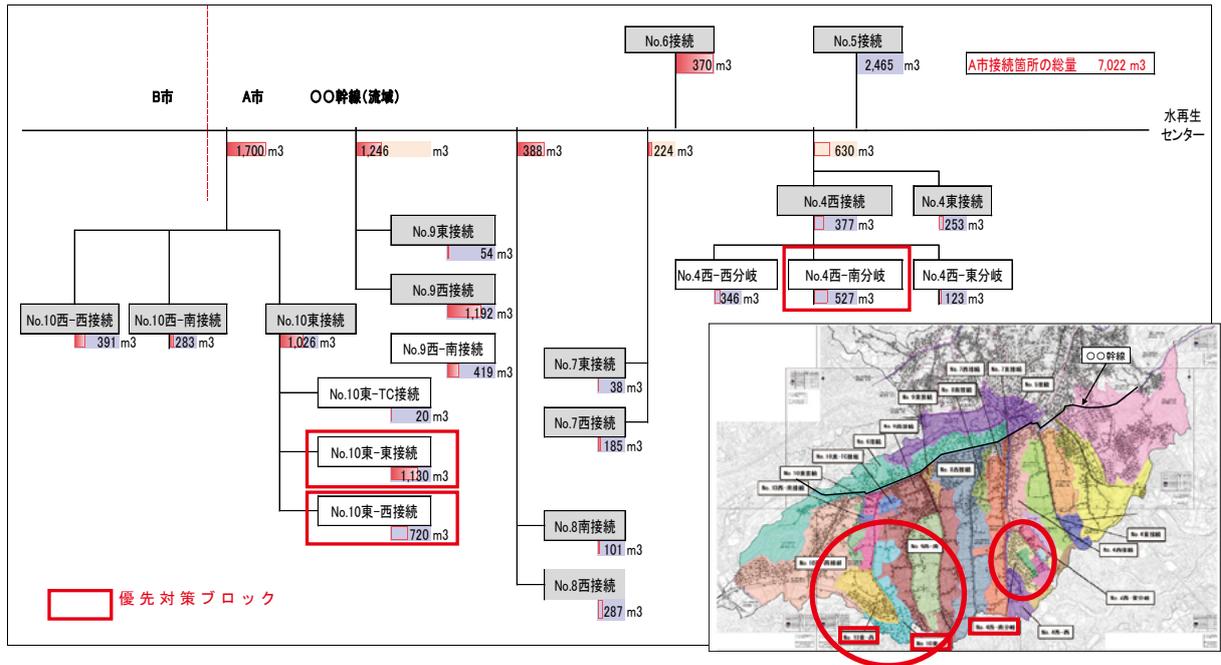


図5 絞り込み結果の模式図

3. おわりに

多摩地域の市町村が「雨天時浸入水絞り込み調査の手引き」を活用することで、効率的・効果的な発生源の絞り込み調査が促進された。

3-2-2 乞田幹線における豪雨時の対応事例について

流域下水道本部 技術部 施設管理課 高橋 杏美

1. 概要

令和3年8月に多摩市で線状降水帯が発生し、雨天時浸入水が継続流入したことにより多摩市永山橋付近の人孔周囲で道路舗装が隆起し、溢水する被害が発生した。このため、人孔上部を既存のGLV型から空気圧開放装置に改良した。同時に、浸水被害等を軽減させるため、マンホールアンテナの水位情報を活用し、多摩市と連携した初動体制を構築したので報告する。

2. 流域下水道について

下水道局の幹線管理事業について東京都の区部では、特別区法に基づき枝線と幹線等を管理している。一方で、東京都の多摩地域では、市町村が枝線を管理しており、2つ以上の市町村をまたがる幹線を流域下水道として管理している。流域下水道の幹線管理事業では、これらを管理する東京都と幹線周辺にある公共下水道を管理する市町村が連携しながら成り立っている（図1）。



図1 多摩地域と区部の幹線管理事業

多摩地域には30の市町村があり、流域下水道では現在8つの処理区で構成されている。このうち5つの処理区では分流式下水道であり、残り3つの処理区では合流式下水道になっている（図2）。多摩地域の分流式下水道区域において、雨水管に流れるはずの雨が污水管に流入してしまう雨天時浸入水が課題のひとつとなっている。

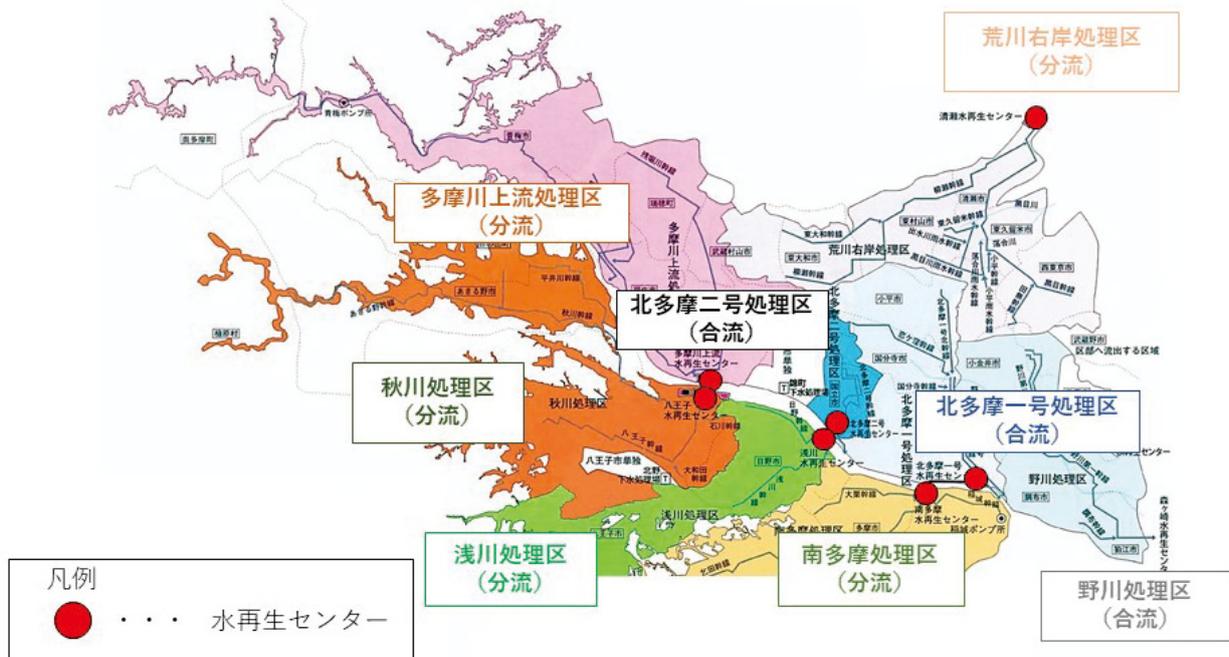


図2 流域下水道幹線の位置図

3. 雨天時浸入水について

雨天時浸入水とは、分流式下水道の汚水管に豪雨時に屋外流しからの直接浸入、雨どいの誤接続、老朽化した下水道管のひび割れからの地下水流入等により、浸入した雨水のことである¹⁾。元々は、分流式下水道では雨水管と汚水管を別々に設置しており、雨水管には雨水が流れ、汚水管には汚水が流れるため、そもそも汚水管には雨水は流入しない（図3）。下水道施設の処理能力を超えた水量の流入により、多摩地域の分流式下水道区域でも雨天時浸入水による浸水被害が発生してしまう可能性がある。

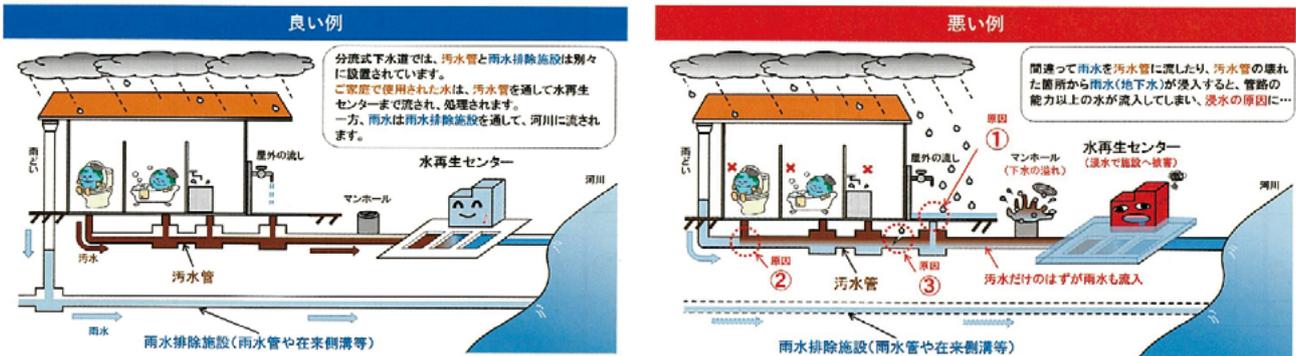


図3 雨天時浸入水の要因

4. 令和3年時の状況

4.1. 乞田幹線

令和3年時に、分流式下水道である南多摩処理区の乞田幹線で雨天時浸入水による浸水被害が発生した。乞田幹線は、延長12.64kmある幹線であり、八王子市と多摩市の汚水を南多摩水再生センターに送水する幹線となっている（図4）。



図4 乞田幹線

浸水被害があった場所は多摩市永山橋付近である。SNo.5、SNo.7、SNo.8の人孔で溢水被害が発生し、SNo.6の人孔では道路の舗装が隆起する被害が発生した（図5）。それに伴い、現場周辺に下水が飛散する被害が生じた。

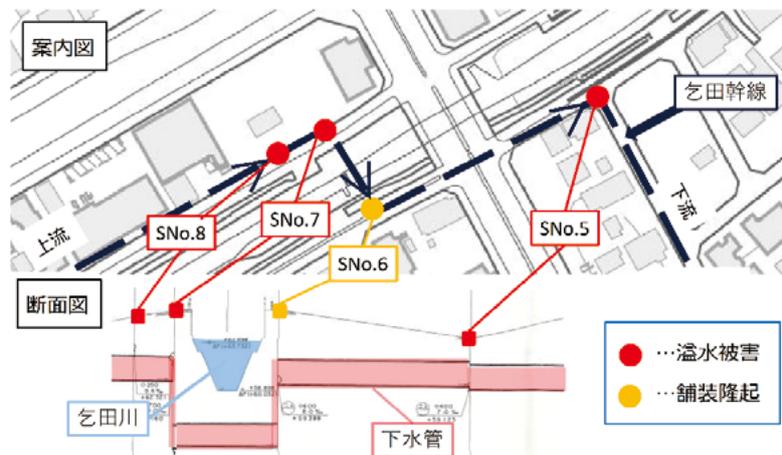


図5 被害発生箇所

4.2. 令和3年8月15日の現場状況

令和3年8月15日に突如、線状降水帯による豪雨が発生した。その影響により、被害場所付近では降雨強度 20mm/h 程度の雨が長時間にわたり降り続けた。

乞田幹線は分流式下水道の汚水幹線であるため、大量の雨が流入し、人孔から溢水被害が発生した（写真1）。また、管路内の空気圧と水位が急激に上昇することによって、人孔周辺の舗装隆起が発生した（写真2）。それにより、人孔周辺では道路の舗装にひびが入ってしまい、道路の通行止めが生じるほどの被害であった。対策として、管路内空気圧の急激な上昇に対応可能な既存の GLV 型に代わる人孔蓋及び短時間での溢水対策用資材の準備、対応方法等を検討する必要があった。



写真1 溢水被害



写真2 舗装隆起

5. 対応策について

5.1. GLV型から空気圧開放装置へ改良

幹線内の圧力を低下させることを目的とし、人孔蓋の構造を GLV 型から空気圧開放装置へ改良した。改良したことによって圧力開放面積を 4.7 倍に拡大し、幹線内の圧力を低下させ舗装隆起を防止した（図6）。

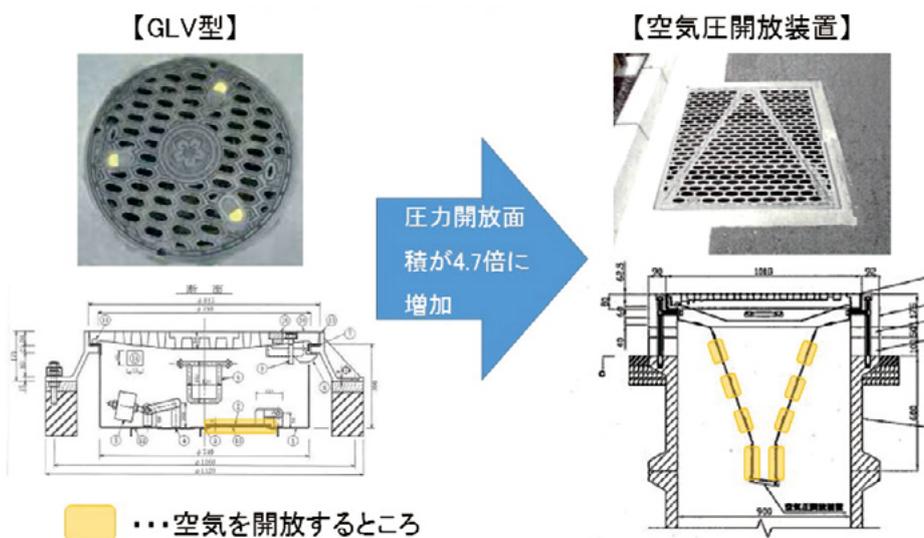


図6 GLV型から空気圧開放装置へ改良

5.2. 多摩市と連携した初動対応体制の構築

令和3年時の被害では台風など事前に予期・対策を行えるものではなく、突発的な線状降水帯が原因であった。管理が広範囲であること、枝線等は市町村が管理することから流域下水道では、このような突発的な対応が困難であり、事故発生場所である多摩市役所と協議し体制を構築した。

5.2.1. 役割分担表

豪雨発生時の対応体制は表に示す(表1)。このように役割分担を明確にし、迅速に対応できるようにした。

表1 役割分担表

	東京都流域下水道本部	多摩市
①情報共有	流域下水道本部、多摩市の両者で情報共有 (現地状況、職員の参集について速やかに相互の情報共有を図る)	
②職員参集	職員参集を実施	職員参集を実施
③準備	職員は流域本部へ集合し、そろう次第 現地へ出勤。(最低1名は事務所持機)	・道路占用許可、道路使用許可の申請 ・交通誘導員及び作業員の手配
④現場対応 (降雨時)	・土のう、保安施設の設置に係る協力 ・職員による現場確認	・土のう、保安施設の設置 ・職員による現場確認
⑤現場対応 (降雨終了時)	・土のう、保安施設の撤去に係る協力 ・職員による現場確認	・土のう、保安施設の撤去 ・職員による現場確認
⑥人孔溢水時	・職員による現場立会い ・路面清掃の実施	
⑦事後対応	費用負担の調整	
⑧その他	・交通誘導員及び作業員の手配は先行して多摩市が行うが、手配がつかない場合は両者で協議する。 ・木作業で使用する土のう、保安施設は下水道局で事前に用意する。(置き場は現場近隣の多摩市施設)	

5.2.2. 資材置場

迅速な現場対応を行うために多摩市が所有している現場付近の資材置場を活用した(図7)。

1つ目の資材置場は、愛宕防災倉庫である。愛宕防災倉庫では土のうやカラーコーンを保管している。

2つ目は、東京都多摩市桜ヶ丘2丁目付近とした。この資材置場では建物内に簡易止水板を保管している。資材置場を2箇所に分けているのは、簡易止水板は高価なものであり、盗難防止のために建物内で保管するためである。

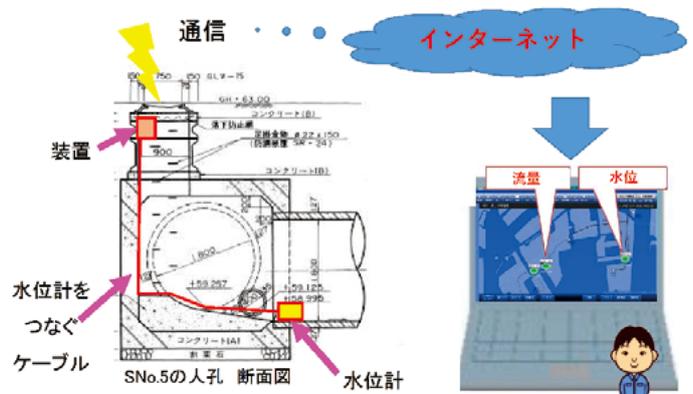


図7 資材置場

5.2.3. 多機能型マンホール蓋の活用

速やかな初動対応を行っていくためにも、SNo.5の人孔にある多機能型マンホール蓋を活用している。人孔内の水位を測ることができ、速やかな初動対応体制につなげている。

多機能型マンホール蓋は、測定した水位データをマンホール蓋から公衆回線を通じて通信を行い、事務所でリアルタイムに状況把握することができる(図8)。



人孔内の水位をリアルタイムに把握が可能

図8 多機能型マンホール蓋の模式図

6. 令和5年時の状況

6.1. 令和5年6月2日、3日の現場状況

令和5年6月2日、3日に台風2号による豪雨が発生した。この時にも、令和3年時と同様に降雨強度 20mm/h 程度の雨が降り続けた。多機能型マンホール蓋の水位情報のデータでは、台風2号による豪雨によって大量の雨が降り、管きょ内の水位も上昇していることがわかる（図9）。

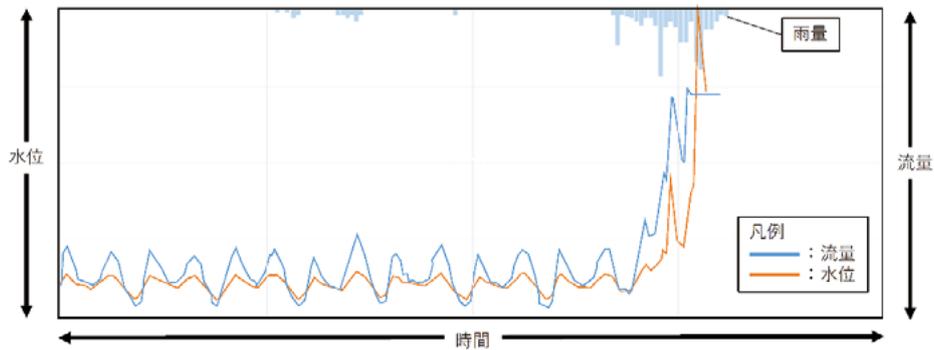


図9 多機能型マンホール蓋の水位データのイメージ

6.2. 対応

溢水被害が発生したものの（写真3）、あらかじめ構築した多摩市と連携した体制により、円滑な初動対応で簡易止水板を設置した（写真4）。浸水被害が発生しやすい場所の周辺には住宅街等もあり、地域住民の方に浸水被害を及ぼさないために、乞田幹線の永山橋付近の人孔周辺に簡易止水板を設置した。速やかな初動対応を行うことができたため、浸水被害の拡大を防ぐことができた。

令和3年時に SNo.6 の人孔で道路の舗装が隆起してしまっていたが、令和5年6月では溢水被害が発生したものの、同様な被害は発生しなかった。



写真3 溢水状況



写真4 簡易止水板の設置

7. まとめ

流域下水道における浸水被害等を軽減していくためには市町村と連携し、早急に現場対応できる体制を構築することが重要である。流域下水道本部では、雨天時浸入水対策は長年取り組んでいる課題の一つであり、今後も市町村と連携、協力し、安定した下水道機能の確保に取り組んでいく。

・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

3-2-3 クリンカ及び煙道閉塞物の生成要因と

薬剤添加による灰の性状変化に関する考察

東京都下水道サービス(株) 施設部 水質課 塩谷 聡
(現 東京都下水道サービス(株) 国際事業支援室)
佐伯 朋哉
八木澤 和真

1. はじめに

近年、下水汚泥焼却炉の煙道(焼却炉～空気予熱器間)で閉塞する事案が発生している。その要因として、東京都では水処理の高度処理化により汚泥中のりん含有率が上昇し、焼却灰が低融点化して熔融すること等により、煙道が閉塞する危険性が高まると報告¹⁾している。

そこで、本調査では、薬剤の添加による焼却灰の性状変化、及び X 線回折装置(以下、XRD)による構造解析の視点から、クリンカ及び煙道閉塞物の生成及び抑制効果について考察したので報告する。

2. 経緯及び目的

2.1 閉塞抑制指標値とゼーゲル式

焼却灰の熔融メカニズムについては、様々な調査がなされており、焼却灰の組成による影響が大きいと考えられている。東京都では、閉塞の危険性を判断する指標として「閉塞抑制指標値」〔以下、「指標値」(※1)〕が提案されており、指標値が1以下の場合に「閉塞の危険性あり」と判断している。

$$\text{※1 閉塞抑制指標値} = \left\{ \frac{Fe_2O_3}{M(Fe_2O_3)} \cdot 2 + \frac{Al_2O_3}{M(Al_2O_3)} \cdot 2 + \frac{CaO}{M(CaO)} \cdot \frac{2}{3} + \frac{MgO}{M(MgO)} \cdot \frac{2}{3} \right\} / \left\{ \frac{P_2O_5}{M(P_2O_5)} \cdot 2 \right\}$$

M_i [g/mol]: 化合物 i の分子量

また、合流式下水道において、降雨後は晴天時に比べ、焼却灰の指標値及び融点が増加することが分かっている²⁾。これは降雨に伴い、汚泥中の無機分が増加するため、流入した土砂由来の高融点物質であるアルミニウムやケイ素等を多く含有することに起因する影響と考えられている。

一方、窯業では高融点のアルミナ(Al_2O_3 中性酸化物)、ケイ素(SiO_2 酸性酸化物)を低融点で融解させるため、木灰、石灰等(塩基性酸化物)を添加し釉薬を調合している。その際に、ゼーゲル式(※2)を用いて木灰、石灰等の添加量を決定している³⁾。

$$\text{※2 ゼーゲル式: } \left. \begin{matrix} aR_0 \\ bR_2O \end{matrix} \right\} x Al_2O_3 \quad y SiO_2$$

a, b, x, y の係数はモル比を示し、 R_0, R_2O は塩基成分(K_2O, Na_2O)を表す。 $a + b = 1$ になるように式全体を除する。

2.2 指標値とゼーゲル値の関係について

都内水再生センターの煙道閉塞が無かった焼却灰と閉塞に至った焼却灰の成分分析を行った。調査期間は、平成30年4月～令和元年3月である。図1は、指標値とゼーゲル式から求めたゼーゲル値の関係を示したものである。閉塞に至った灰は、比較的ゼーゲル値が低い領域に多く存在している。これより、アルミニウム及びケイ素が焼却灰の融点の上昇等に関係し、両物質の添加による煙道閉塞の生成抑制効果(以下、抑制効果)が期待できた。そこで、両物質の添加、加熱実験を行い、抑制効果について検証した。

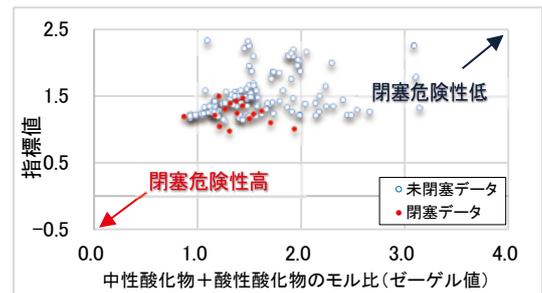


図1 指標値及びゼーゲル値の関係

3. 実験概要

煙道閉塞物を電子顕微鏡で観察すると部分的に溶解していることが確認できる(図2)。この時、溶解した閉塞物は、強度が増し、収縮が起きること(見かけ比重の増加)がこれまでの調査で分かっている(表1)。また、焼却炉内閉塞物の脆弱化(見かけ比重と強度の低下)が剥離性の改善に繋がったという報告もある⁴⁾。

そこで本実験では、加熱による試料の収縮の割合を示す面積収縮率(図3)と、加熱後の試料の圧壊強度(図4)の計測を実施し、煙道閉塞物等の生成抑制効果について評価を行った。以後は試料の収縮及び強度の低減効果を「抑制効果」と定義し、調査を行った。

各試料に対する添加、加熱実験の内容を以下に示す。

- 実験試料 : 灰化脱水汚泥(脱水汚泥を600℃で強熱したもの)
- 添加薬剤 : ①乾燥させたPAC(Al_2O_3 として90.5%含有)
②粉砕したケイ砂(SiO_2 として89.7%含有)
- 添加割合 : 無添加、5wt%、10wt%、20wt%、30wt%
- 試料データ : 試料1 指標値0.96、ゼーゲル値0.79
試料2 指標値0.99、ゼーゲル値0.88
試料3 指標値1.26、ゼーゲル値0.99

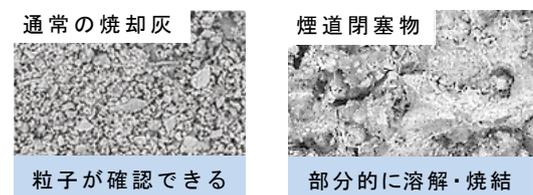


図2 顕微鏡観察(1000倍)

表1 加熱実験結果

加熱温度(℃)	850	875	900	950
面積収縮率(%)	0	2.03	21.6	48.4
圧壊強度(N/mm ²)	0.13	0.81	15	計測不能
粒子の溶解	なし	微量の溶解あり	部分的に溶解	ほぼ全体が溶解

※実際に煙道に閉塞した塊を粉砕して試験を実施

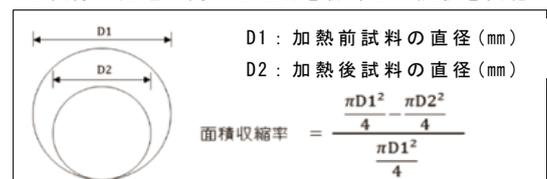


図3 面積収縮率の算出方法

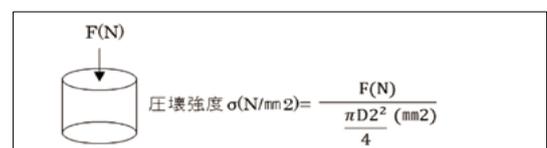


図4 圧壊強度の算出方

試料に各物質を添加して、外径φ5mmの白金製容器に充填し、900℃で1時間加熱後、面積収縮率を算出した。なお、東京都における焼却炉の設定温度は850℃であるが、比較実験のため、900℃を加熱温度とし、加熱した試料が完全に崩壊する荷重F(N)及び強度σ(N/mm²)をフォースゲージ(IMADA DST-500N)にて計測した。

4. 実験結果

試料に①乾燥させた PAC(Al_2O_3 として 90.5%含有)、②粉砕したケイ砂(SiO_2 として 89.7%含有)を添加後、添加率ごとの面積収縮率、圧壊強度を計測し、無添加の計測値を 100%として相対評価を行った。

4.1 アルミニウム添加による抑制効果

アルミニウム添加試料の面積収縮率、圧壊強度は共に無添加試料に比べ、低下した(図 5)。添加率 5wt%では、面積収縮率が無添加時の絶対値に比べ 13~17%低下し、圧壊強度は最大で無添加時の約 60%まで低下した。添加率 30wt%では、いずれの試料においても粉体に近く、面積収縮率、圧壊強度は小さかった。

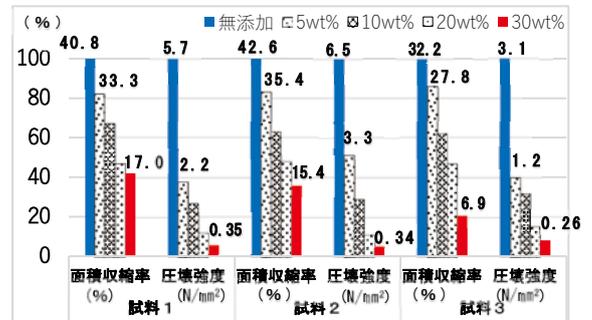


図 5 面積収縮率と圧壊強度(Al 添加)

4.2 ケイ素添加による抑制効果

ケイ素添加による試料の面積収縮率、圧壊強度は、アルミニウム添加と同様ともに低下した(図 6)。一方、添加率毎の抑制効果は 5wt%の場合、面積収縮率の低下が無添加時の絶対値に比べて、6.5~12%程度、圧壊強度の低下も最大 36%に留まりアルミニウムと比較し抑制効果はやや低い結果となった。

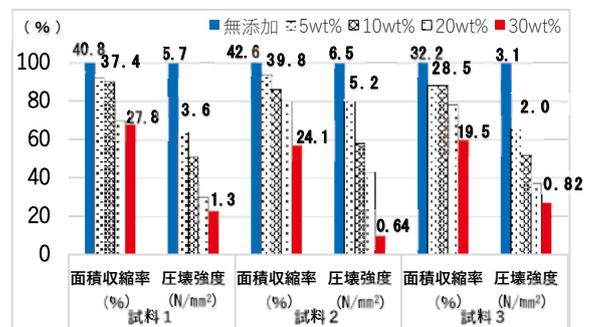


図 6 面積収縮率と圧壊強度(Si 添加)

以上のことから、汚泥へのアルミニウムとケイ素の添加は、煙道閉塞の生成抑制対策として一定の効果があることが見出された。しかし、実施設での添加運用を想定した場合、珪砂については一度粉砕し、かつ汚泥中で十分に攪拌混合するために新たな付帯設備が必要となることから、実用面において課題が残る。そこで、薬剤添加に既存設備を活用でき、ハンドリングが比較的容易なアルミニウム系薬剤である PAC を添加剤とした調査を実施することとした。

5. アルミニウム添加による灰性状の変化について

5.1 PAC 添加、加熱による灰性状の変化

アルミニウム添加による灰の性状変化を把握するため、脱水汚泥 200mL(指標値 0.97 ゼーゲル値 0.70)に対して、PAC を 1~4mmol 添加し、焼却温度である 850℃に加熱した際の生成物質について、XRD でデータ解析した(図 7)。

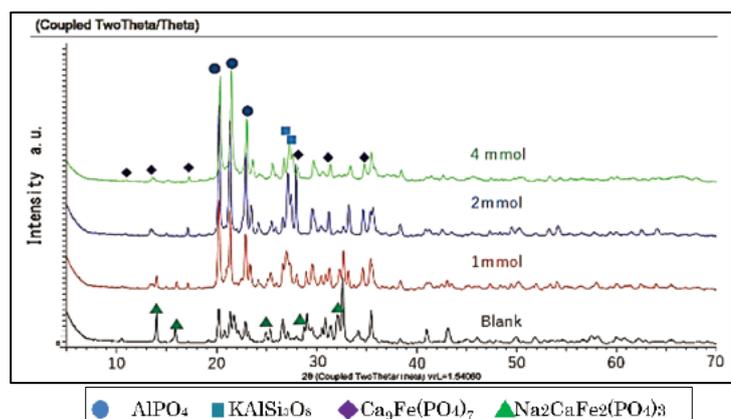


図 7 PAC 添加後の XRD データ

無添加の状態ではりん酸鉄アルカリ(土類)金属である $\text{NaCaFe}(\text{PO}_4)$ が検出されていたが、PACの添加により AlPO_4 以外に $\text{Ca}_9\text{Fe}(\text{PO}_4)_7$ が発現し、 $\text{NaCaFe}(\text{PO}_4)$ のピークが消失したことから、PAC添加による灰性状の変化が確認された。

5.2 煙道閉塞物等のXRD解析結果

令和元年から令和4年にかけて都内の下水汚泥焼却炉で生成した①クリンカ、②煙道閉塞物、③閉塞危険性が低いと判定された焼却灰(指標値1.5以上)について、XRDにより解析したデータを集計した。全ての試料には、高融点物質である AlPO_4 や SiO_2 以外にりん酸鉄アルカリ(土類)金属が共通して検出された(図8)。

②煙道閉塞物の全試料(N=15)には、りんと鉄やアルカリ金属類が混合した $\text{KCa}_9\text{Fe}(\text{PO}_4)_7$ 、 $\text{KFe}(\text{P}_2\text{O}_7)$ 等のりん酸鉄アルカリ(土類)金属が確認された(表2)。一方、③閉塞危険性が低い焼却灰の試料の9割(N=50中45該当)に、 $\text{Ca}_9\text{Fe}(\text{PO}_4)_7$ が存在することを確認した。

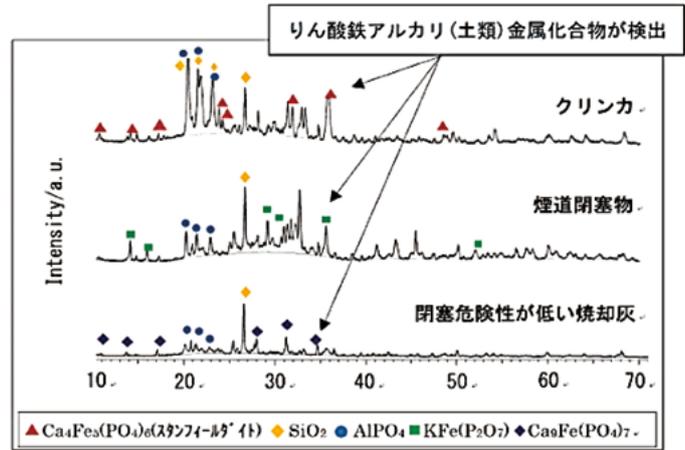


図8 XRDによる解析結果

表2 煙道閉塞物及び焼却灰の構造式

■煙道閉塞物から確認された物質

化合物	構造式
りん酸鉄カリウムカルシウム	$\text{KCa}_9\text{Fe}(\text{PO}_4)_7$
りん酸鉄カリウム	$\text{KFe}(\text{P}_2\text{O}_7)$
りん酸鉄ナトリウムカルシウム	$\text{Na}_2\text{Ca}_{0.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$

■閉塞危険性が低いと判定された焼却灰から確認された物質

りん酸鉄カルシウム	$\text{Ca}_9\text{Fe}(\text{PO}_4)_7$
-----------	---------------------------------------

6. 考察及び今後の取組み

実験及び調査により、得られた知見は以下のとおりである。

- ・アルミニウム、ケイ素ともに煙道閉塞物等の生成抑制の効果を確認できた。特に、アルミニウム系薬剤を添加5wt%した場合、圧壊強度が無添加時に比べ、最大60%以上低下し、効果が最も大きくなった。
- ・アルミニウム添加により、 $\text{NaCaFe}(\text{PO}_4)$ が消失し、 $\text{Ca}_9\text{Fe}(\text{PO}_4)_7$ が生成する傾向を示した。また、高融点物質の AlPO_4 も生成され、抑制効果のある可能性が示唆された。
- ・クリンカ、煙道閉塞物、焼却灰には、りん酸鉄アルカリ(土類)金属が共通して含まれ、閉塞危険性が低い焼却灰には $\text{Ca}_9\text{Fe}(\text{PO}_4)_7$ が含まれる傾向を示し、アルミニウムを添加した場合と同じ物質が存在することを確認した。
- ・りん酸鉄アルカリ金属は、煙道閉塞の発生に何等かの形で関与していると予想できるものの、これらの物質が煙道閉塞物等の発生メカニズムにどのような影響を及ぼすかまで解明するには至らなかった。
- ・今後の取組みとして、アルミニウムの添加による抑制効果と合わせ、焼却灰における組成割合や熱的性質、汚泥中の物質との化学反応等を含めた生成要因を解明するため、引き続き調査を進めていきたい。

参考文献

- 1) 黒住光浩ほか「下水汚泥焼却炉の閉塞危険性評価方法及び閉塞防止方法」下水道協会誌 No647 2016.9
- 2) 小泉僚平ほか「示差熱分析及び成分分析から見た焼却炉閉塞についての一考察」第57回下水道研究発表会
- 3) 高嶋廣夫「陶磁器釉の科学」内田老鶴圃
- 4) 森祥紀ほか「石炭ボイラのクリンカ脆弱化薬剤の検討」中部電力(株)技術開発ニュース 2014年3月(150号)

2.2 工事概要

今回工事は、西日暮里幹線に流域を切り替えるために、主要枝線の新設と取水人孔を設置するものである。主要枝線は、□ 1100mm～1500mm、延長約 650mを泥濃式推進工法で布設し、立坑は、両発進立坑となる TNo. 3、到達立坑の TNo. 2 及び TNo. 5、割込人孔を設置するための TNo. 1 及び TNo. 4 の 5 箇所を行う。(図 3)

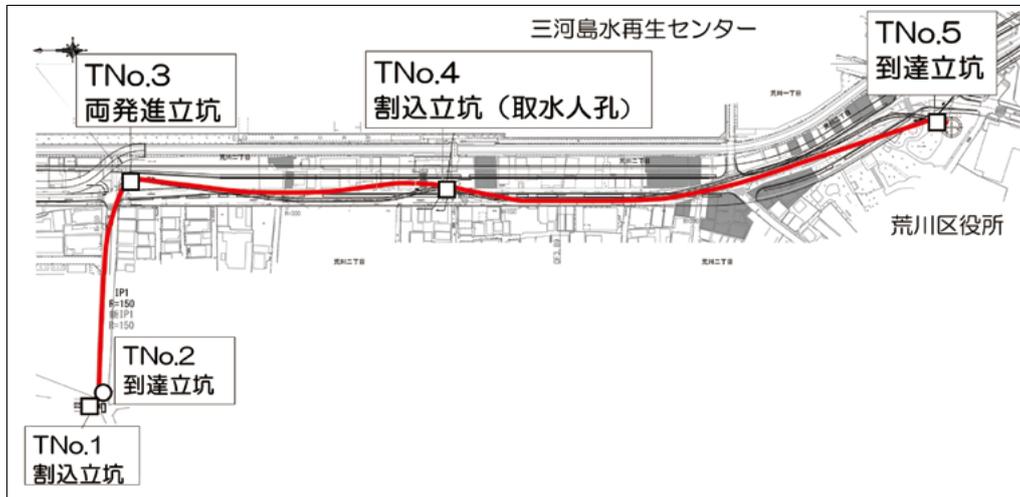


図 3 工事概要

3. 当初の設計

3.1 道路整備事業との調整について

東京都は、木密地域の整備・改善に向け、市街地の延焼遮断や避難路、緊急車両の通行路となる特定整備路線の整備を行っている。新設主要枝線の布設予定地には、特定整備路線である補助第 90 号線の計画があり、平成 27 年度に事業認可されてから、建設局が長期にわたり事業を進めてきた。このため、工事实施に当たっては、道路整備事業と調整を行う必要があり、協議の結果、事業着手の支障とならない時期までに下水道工事を完了させる条件で工事着手の理解が得られた。また、工事の事業用地提供についても、着手前の令和 6 年 6 月までに返還する条件で、借用が許可された。

3.2 線形の検討

道路管理者である建設局との設計協議を開始した平成 30 年度段階では、道路事業用地は未買収の場所が多く残っていた。建設局からは、用地買収の影響で下水道工事の着手が遅れることが無いよう、未買収用地を避けた線形で計画することを要望された。この条件を満足するため、主要枝線は、図 4 のような曲率半径 $R=35\text{m}$ の急曲線を含む線形とした。



図 4 平成 30 年度時点の用地買収状況・線形案

4. 工期短縮に向けた再検討

4.1 工程の遅延（～令和 3 年度）

令和 2 年度時点では、全体工期を約 21 か月と想定しており、令和 4 年 2 月に起工することで、令和 5 年度末に工事が完了し、期限までに用地を返却できると考えていた。（図 5）しかし、道路管理者である建設事務所との協議が難航し、令和 3 年度中の起工が行えなかった。令和 3 年度中旬時点では、建設事務所との協議はほぼ完了していたが、本工事は、建設局の道路管理部との占用協議（都知事占用協議）対象となっており、ようやく協議が始まった状況であった。工程を再精査したところ、協議期間を 15 か月と想定した場合、返還期限を約 9.5 か月超過することが明らかとなった。

道路整備事業開始までに当局工事を完了することが出来ない工程では、工事起工が認められないため、工程を大幅に見直す必要があった。

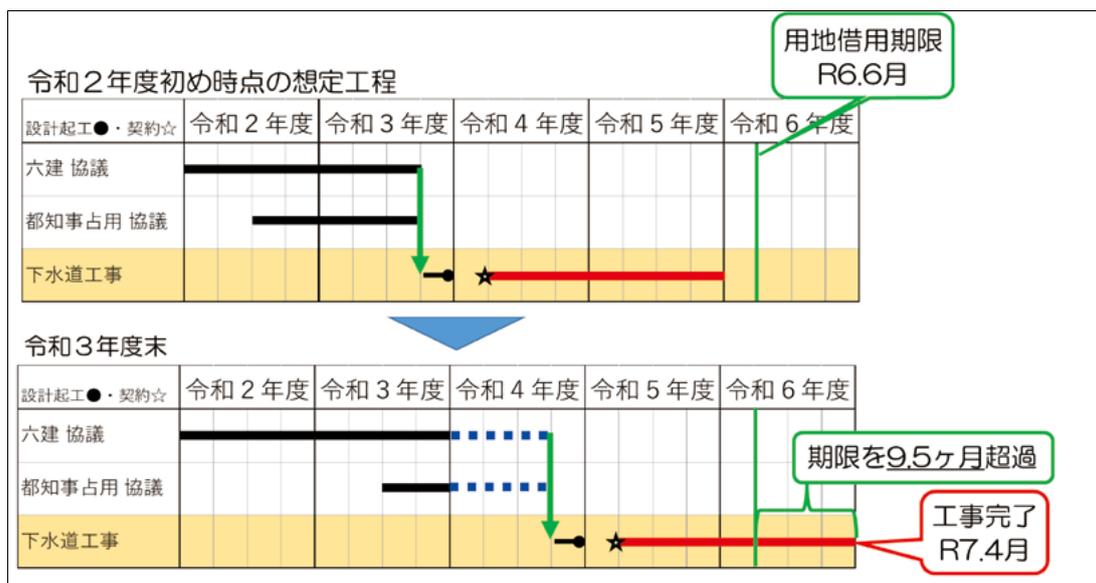


図 5 工程の精査

4.2 推進工の工期短縮の検討（令和4年度）

最初に、工事の中で最も工程が長い推進工事の期間を短縮する方法について検討を行った。工事規模の割に期間が長くなっているのは、急曲線があることが影響している。曲線部分は、標準管より長さが短い半管や1/3管等を使用するが、推進管の投入回数が増えることで日進量が落ちる。また、推進工法は、路線上に曲線箇所があるとそこを通過する全ての管材が曲線対応のものになる。当初計画の線形は、発進立坑側に寄ったTNo.4の位置に急曲線箇所があるため、標準管を使用できるのは、発進立坑からTNo.4付近までであり、途中から半管、その先は全て1/3管（図6）となる。結果として、1/3管が全体の半分以上を占め、平均的な日進量が非常に低いものとなっていた。

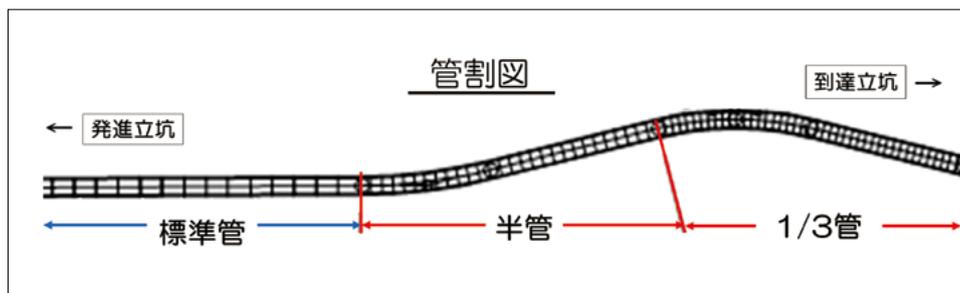


図6 管割図

曲線部分が多い原因は、未買収用地を避けることによるものであり、令和4年度時点では、大幅に買収が進んでいたことから、線形の見直しにより、曲線部分の解消次第で工期が短縮できる可能性があった。

建設事務所から用地買収状況入手し、これをもとに線形を見直したところ、最大R=35mだった曲線部分が150mまで緩和できることがわかった（図7）。この程度の曲線であれば、全て標準管で施工することが可能であり、日進量は1日当たり平均4.9mから8.5mまで増加する。以上の検討により、推進工の施工日数を8.5か月から5か月へと約3.5か月短縮できる見込みとなった。

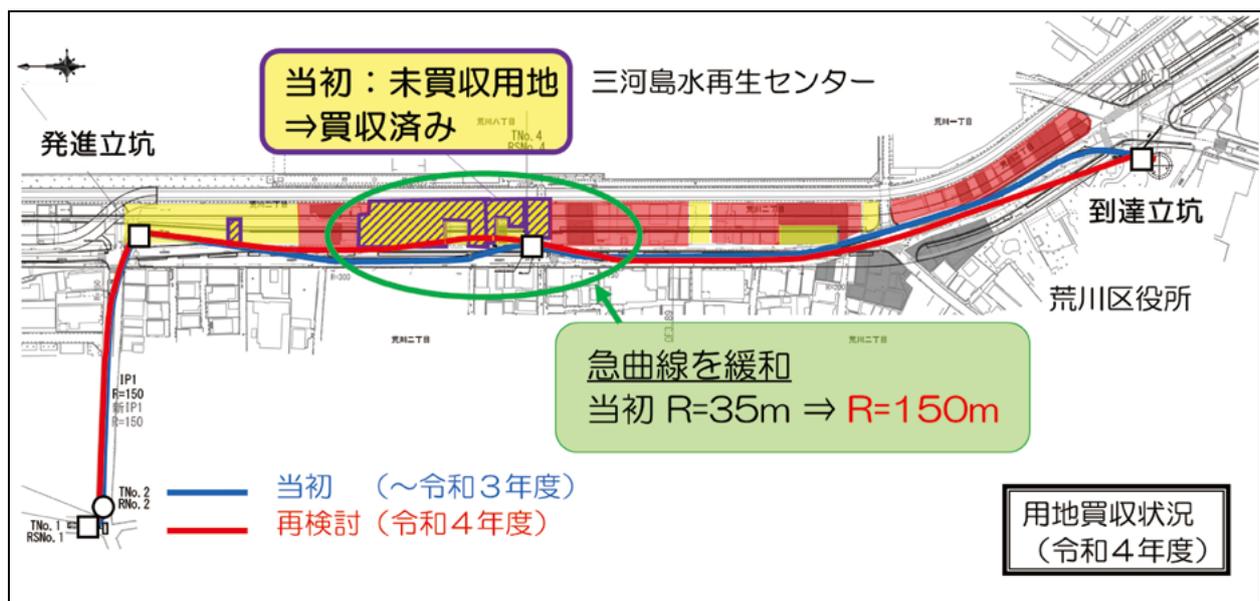


図7 令和4年度時点の用地買収状況・線形案

4.3 特殊人孔形状の見直し

次に、都知事占用協議に要する期間に相当する短縮が必要であることから、様々な検討を行ったが、工事工程の工夫だけでは不可能という結論となった。さらに、協議期間の短縮について検討したが、管理者との協議については、想定できない部分が多々あり、短縮どころか想定より長い期間となる可能性もあった。

今回工事は、外径 3000 mm 以上の人孔を都道上に築造するため都知事占用協議の対象となったが、規模を縮小できれば建設事務所との協議の範囲で対応できる可能性がある。このため、特殊人孔の形状の見直しを行うこととした。

当初設計は、都知事占用協議対象となる外径 3200mm と 3600mm の 2 つの人孔を設置する計画である。(図 8) 人孔形状については、機能や内空確保等の理由ではなく、接続する管きよの大きさから決定されている。そこで、接続管きよの縮径について検討を行った。RSNo. 4 は、管径 1800mm の推進管を標準勾配 1.6‰ で接続することとしていたが、許容できる流速の範囲の縮径により、管径 1500mm、勾配 3.8‰ と設定し、流速は 2.5m/s で許容範囲となった。本検討により人孔径を外径 2900mm まで小さくすることが出来た。(図 9、図 10) RSNo. 3 は同様の検討により、同じく外径 2900mm とした。以上の見直しの結果、工事内の両築造物は、建設事務所協議の範囲内で対応可能となった。

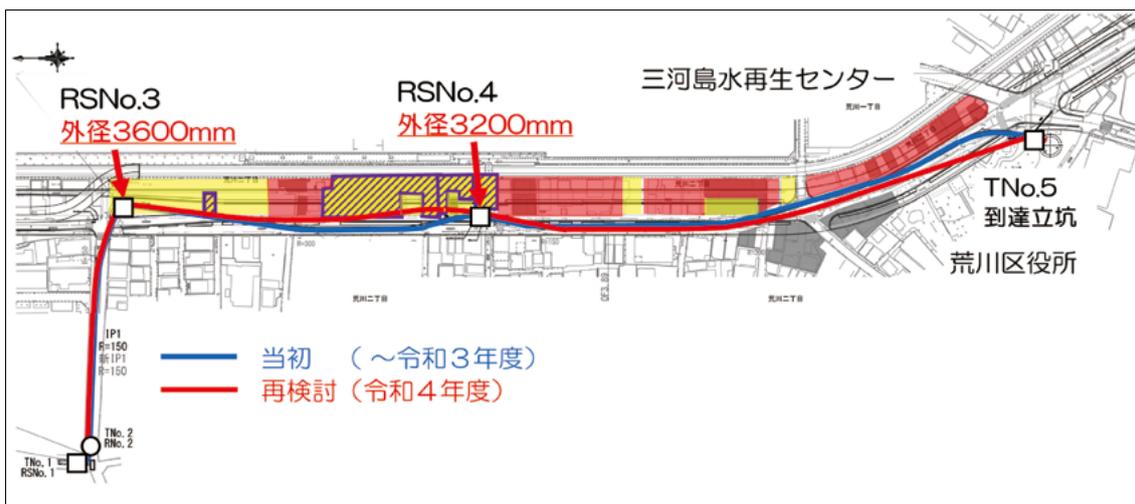


図 8 特殊人孔の形状

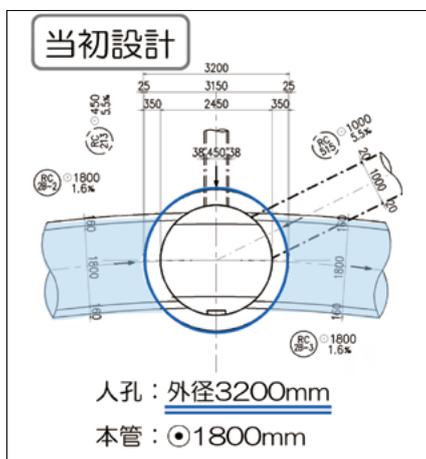


図 9 RSN0.4 (当初設計)

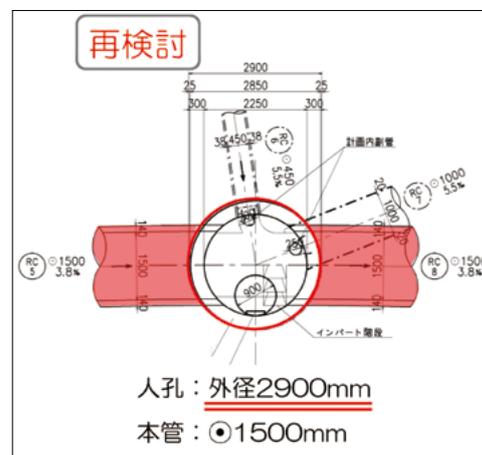


図 10 RSN0.4 (再検討)

5. まとめ

5.1 工程の見直し

今回、工期の返還期限を守るため、以下の2つの対応を行った。

1点目は、推進工の線形の見直しにより急曲線部を解消して、日進量を増加させることで、工期を3.5か月短縮させた。

2点目は、接続する本管の縮径により築造する特殊人孔の形状を縮小し、都知事占用協議の対象外となることで、協議に必要な6か月の期間を削減し、発注時期の遅延を防ぐことが出来た。

これらの結果、建設局から求められた条件である事業用地の返還期限までに施工完了する工程が可能となった。

5.2 工事費の縮減

工程確保を目的に行った対応であったが、管材の変更や本管の管径の縮小・築造物の縮小等を行ったことで、副次的に工事費の削減にもつながった。

特に、推進管を合成鋼管製の高価な1/3管や半管から標準管に変えたことで、材料費が約3.4億円減少し、施工内容の見直しに伴う実施設計費用約1,000万円を考慮しても、工事費を約5億円削減することが出来た。

6. おわりに

本工事は、上記検討の結果を反映させ、令和4年9月に工事を起工し、現在は、返還期限に向け工事を進めている。今後も工事完了に向け、工事担当部署である建設課と協力し、円滑な施工を進めるよう着実に取り組んでいく。

通常、推進工事やシールド工事に必要な工事用地の確保には、苦勞することが多く、本件は、道路整備事業の進捗に合わせて調整・連携を図りながら、用地確保を行い下水道事業を進めている事例である。

今回は、工程確保のため、事業用地の状況を確認し、管路の線形や管径・築造物の形状の見直し等、検討・工夫を行うことで、工事を起工することができた。

今後も、これまで局に蓄積されてきた知識やノウハウを活用し、課題に対して技術力を持って対応していきたい。

3-2-5 ニューマチックケーソン工法における躯体の傾斜の修正

について～芝浦水再生センター導水渠立坑設置工事～

第二基幹施設再構築事務所 工事第一課 遠藤 大雅

1. 本工事について

1.1 工事概要

芝浦水再生センター導水渠立坑設置工事は、芝浦水再生センターの再構築にあたり立坑を設置する工事であり、令和5年1月27日に完了した。将来接続される水路は千代田幹線、新主ポンプ棟への導水渠2本（導水渠B、導水渠F）及びセンター内の既存水路である。立坑の形状は幅20.5m×長さ25.2m×深さ65.4m（GL-64.9m）であり、工事はニューマチックケーソン工法によって施工された。

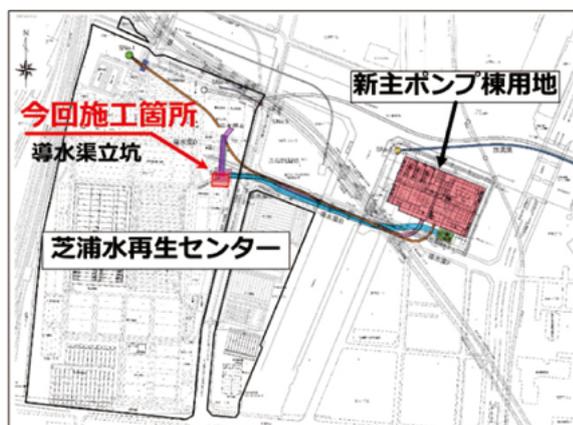


図1 案内図



図2 接続予定水路

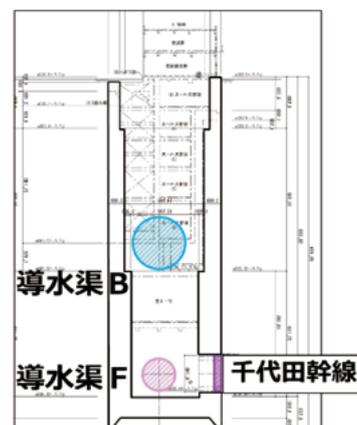


図3 断面図

1.2 ニューマチックケーソン工法について

ニューマチックケーソン工法(Pneumatic caisson method)の「Pneumatic」は「空気の」という意味で、「caisson」は「函(はこ)」を意味している。函(躯体)の最下部の作業室と称する密閉された部屋に高圧の空気を送り、地下水の浸入を防ぎ地上と同じような状態で掘削を行い函(躯体)を沈設する工法である*1。地上で1、2ロットを構築し1、2ロットの沈下掘削後、3ロットの築造を行う。この沈下掘削と築造を繰り返しながら施工する。このため、沈下掘削にあたっては、沈下力と沈下抵抗力（地耐力や周面摩擦力等）とのバランスをとることが重要となる。

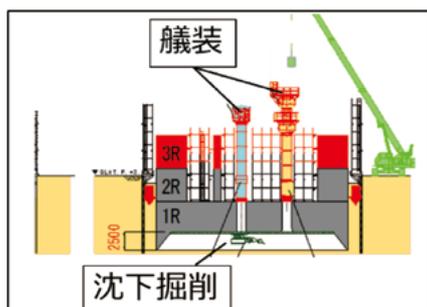


図4 施工概要図



図5 現場写真

2. トラブル概要

2.1 トラブル発生時の状況

トラブルが発生したのは作業を行っていない土曜日の早朝である。3 ロット目のコンクリート打設が完了し、沈下掘削を進めていたところ、ケーソンの自然沈下が発生した。

施工計画書では、掘削沈下中の施工管理基準値として傾斜量を 500 mmと定めていたが、この自然沈下に伴い、B地点とD地点（図6参照）で最大 1278 mmの傾斜が発生した。

また、トラブル発生時点でケーソン刃先が位置していたのは、中層混合改良地盤と現地盤の層境であった。この中層混合改良は、ケーソンの初期構築時、具体的には1、2ロット構築時の地耐力確保を目的として実施したものである。



図6 躯体傾斜の様子

(※図中のA、B、C、Dの4点は他図と対応)

2.2 応急処置

4点のうちD点が前述の改良体箇所（図7 ピンク色のハッチング箇所）を突き抜けていたことから、更なる過沈下を防ぐため、サンドル設置等の応急措置を実施した。

このサンドルは木製で、函内の天井と掘残しラインとの間でクッションの役割を果たしており、躯体の沈下とともにサンドル自体がつぶれていくことで、過沈下を防ぐことができる。

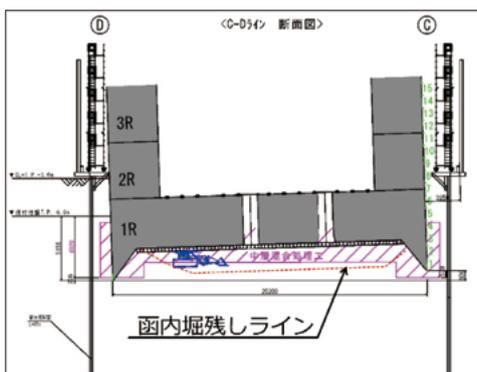


図7 改良体範囲



図8 サンドル設置状況

3. トラブルの発生原因

3.1 原因究明のための調査

本工事の施工にあたっては、設計時点でボーリング調査（図9 SNo.2地点）、着手時点で受注者による土質調査（同図 No.1地点）を実施しており、調査結果を基に施工計画を立案していた。しかしながら、No.1の調査当時は、従前工事が施工中であり、ケーソン南側での調査が実施できていなかった。今回の傾斜発生を受け、ケーソンの4隅（同図 A、B、C、D点）で追加土質調査を実施することとした。

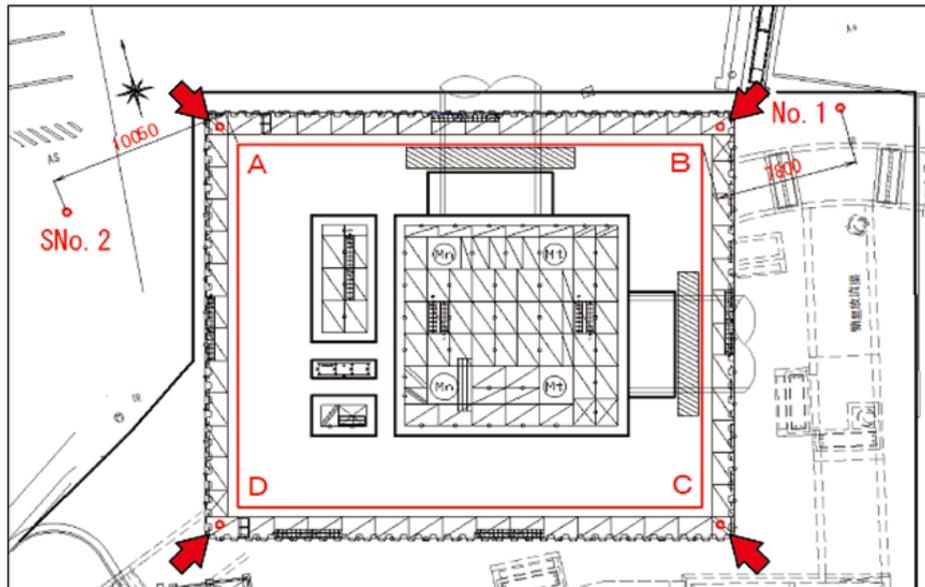


図9 土質調査箇所図

3.2 原因の分析

3.2.1 調査の結果

追加土質調査の結果、下記①から④の4点が判明した。

- ①層境深さは地点により差異あり
- ②N値が10以上となる層の深さに差異あり
- ③N値50以上の深度が南北で1m差異あり
- ④刃先付近のシルト層は鋭敏比が非常に高い

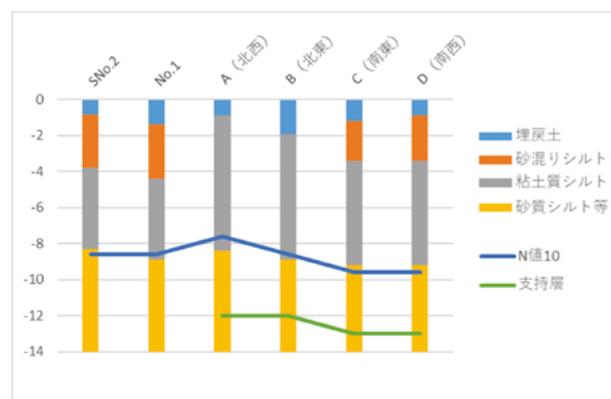


図10 土壌調査結果

3.2.2 ケーソン沈下に与えた影響

今回の傾斜発生においては、前述の調査結果の中でも④による影響が特に大きいと考えられた。

通常、粘性土やシルトの鋭敏比は 2 から 4 程度だが、今回採取した試料は、20 から 26 であった。ケーソン刃先付近の土砂は常にケーソン内側に強制的に移動されることから、この範囲の土砂は、移動に伴い乱された状態となっていたと考えられる。土砂が乱されたことに伴い、鋭敏比の高いこの地盤の強度は急激に低下し、今回の傾斜が発生した。

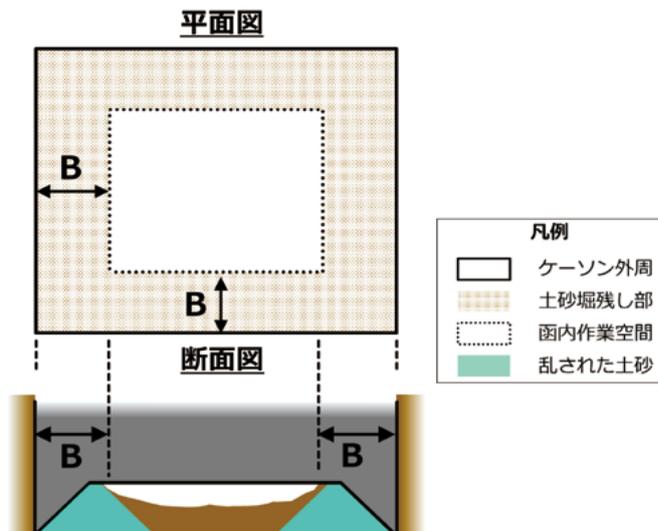


図 11 ケーソン刃先によって乱された土砂

このように、今回の傾斜は、事前のボーリング調査結果だけでは評価できない地盤の乱れに起因して発生したと判断した。

4. 対策の実施

4.1 地盤改良

掘削沈下による傾斜修正を行うにあたり、地耐力を確保するため、高圧噴射攪拌工法による地盤改良を実施した。改良強度は最低保証強度の $1\text{MN}/\text{m}^2$ 、粘着力は $300\text{kN}/\text{m}^2$ とした。

また、改良高さについては A、B 地点側を 6.8m とした。C、D 地点側は支持地盤の深さが A、B 地点側よりも 1m 深かったため、1m 深い 7.8m の改良高さとした。

なお、この際の改良範囲は、下記①から③の 3 つの条件により決定しており、安全率及び開口率については「大型ケーソン設計マニュアル」に準拠した。

- ① 3 ロット掘削沈下時の安全率 : 1
- ② 4 ロット打設時安全率 : 1.5
- ③ 掘削沈下中の開口率 : 50% を確保

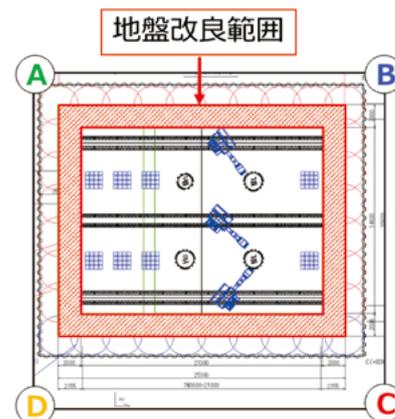


図 12 地盤改良範囲

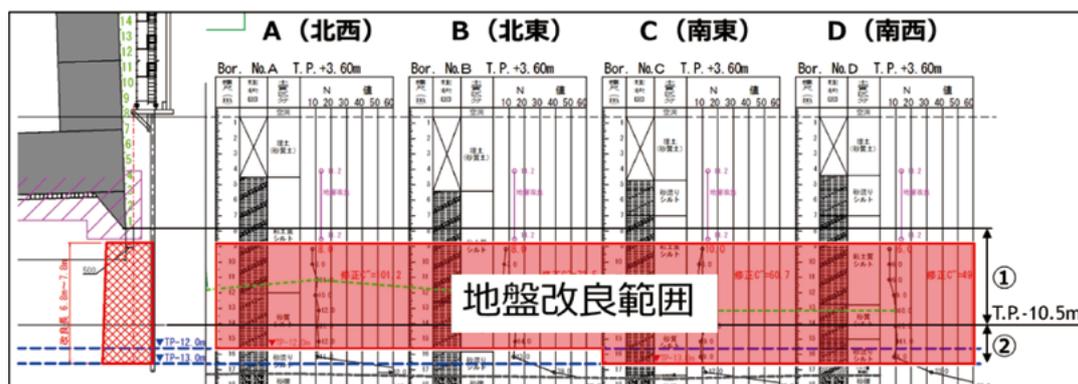


図 13 地盤改良範囲（断面）

4.2 掘削による傾斜修正

傾斜修正に向けた沈下掘削の実施に当たり、予期せぬ急沈の防止対策として、予め掘削範囲や手順を定めた掘削ステップ図(全6ステップ)を作成したうえで、作業を実施した。

4.2.1 掘削ステップ

(1) ステップ1 土砂搬出空間の確保

土砂の搬出空間を確保するために、マテリアルロック周辺を掘削した。なお、掘削は最低限のみとした。

(2) ステップ2 サンドルの交換

サンドル周辺の掘削及びサンドルの交換を実施した。この時点では、堀残し部(刃先周辺部分)の掘削は行わなかった。堀残し部の掘削は沈下につながるためである。

サンドルの交換は人力で施工する必要があるため、交換のタイミングを明確化することで、作業員の安全対策についても十分留意した。

(3) ステップ3

土砂搬出空間の確保(本掘削用)

中心部の掘削を実施した。これは、ステップ4以降の本掘削用の土砂搬出空間を確保するための掘削である。

(4) ステップ4

傾斜修正に向けた掘削①

傾斜修正に向けた掘削を開始した。B、C地点側の堀残し部を掘削し、最も高いB地点を沈下させていった。

なお、傾斜修正掘削の開始までに、施工済みの地盤改良について、所定の強度が発現していることを確認した。

(5) ステップ5 傾斜修正に向けた掘削②

A、D地点側の中心部を掘削した。また、掘削の前後で作業空間確保のためにサンドルを撤去、再設置した。

(6) ステップ6 傾斜修正に向けた掘削③

A、D地点側の堀残し部を掘削し、B地点を中心位置として、躯体を均一に沈下させていった。

ステップ6以降は、高止まりしている側の堀残し部を掘削しながら傾斜修正を行った。

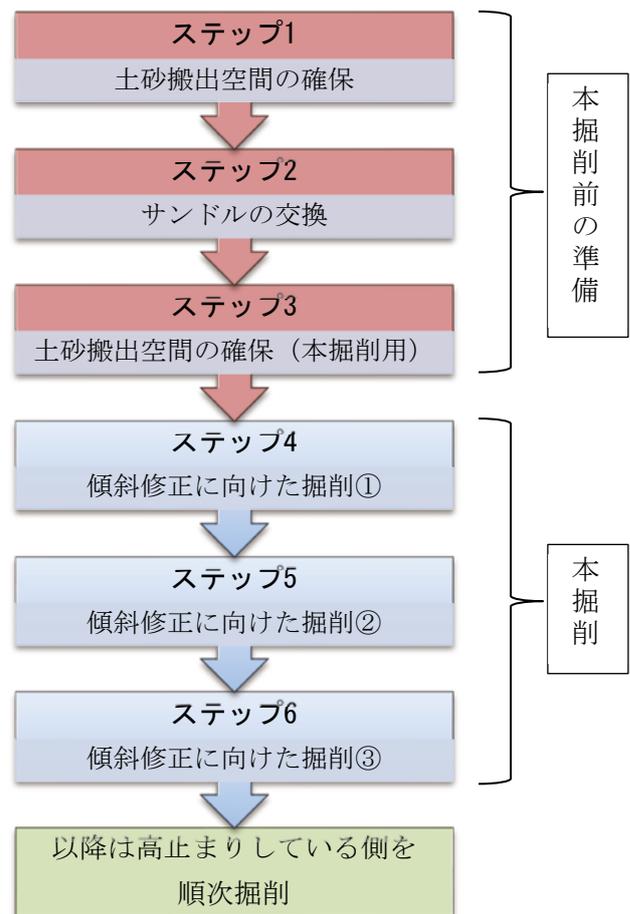


図14 掘削ステップ フロー図

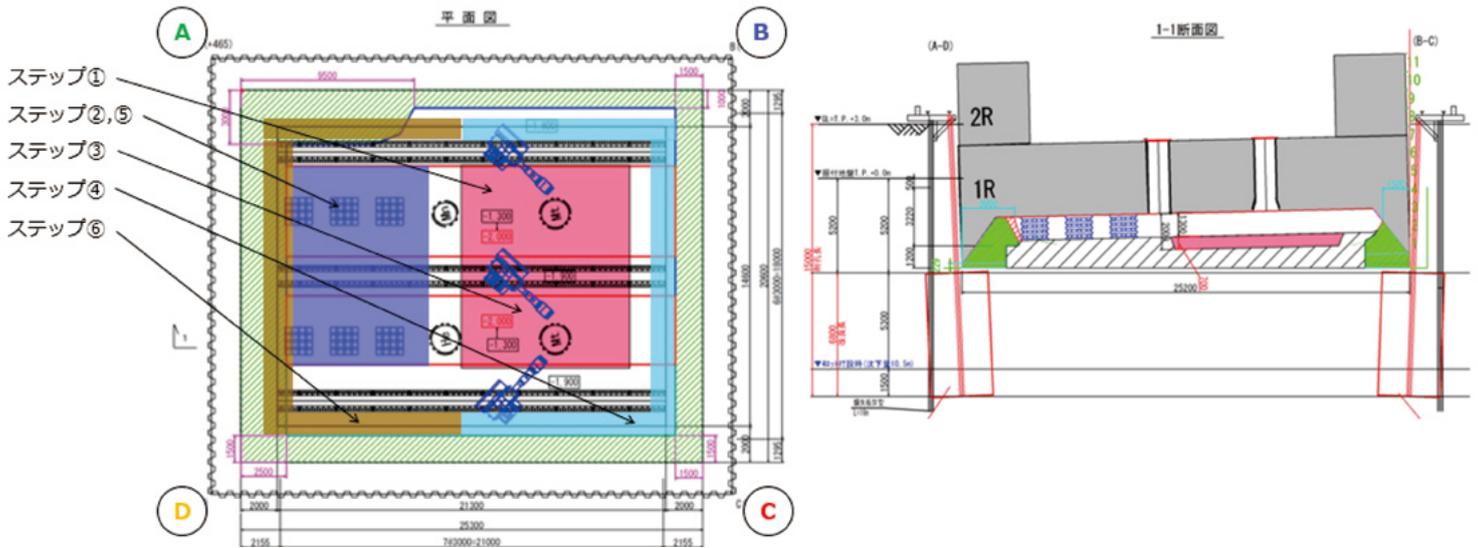


図 15 掘削範囲

4.2.2 刃先の推移

施工にあたっては、日々、受注者から傾斜残量や翌日の作業内容について逐一報告を受け、傾斜修正完了までの施工状況を密に共有しながら施工を行った。

図 16 に示すとおり、傾斜修正開始前(施工ステップ④の実施前)である令和 2 年 12 月 7 日以前は、各刃先深度が動いておらず、施工ステップ①から③における沈下のコントロールが成功していることが分かる。

2 月 11 日時点で刃先の相対変位がほぼ 0 となり、傾斜修正が完了した。

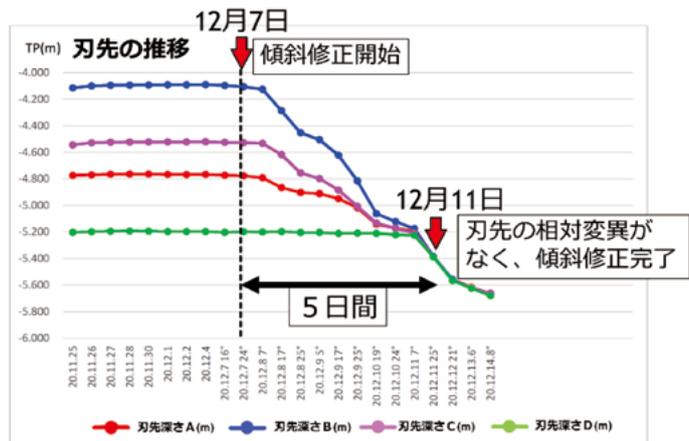


図 16 刃先の推移

5 おわりに

今回のトラブルを乗り越えられたのは、事象の発生時点から受発注者間の相互連携を高め情報共有化を密に図るとともに、応急対応、調査、対策検討等の実施に必要な意思決定を迅速かつ的確に進める、といった信頼関係を築き協力態勢を強化したことが一番の要因であると言える。

今回の経験を通じて利害関係者とのコンプライアンス遵守を意識しながらも、常日頃から受注者とのコミュニケーション（電話でもメールでも対面でも）をしっかりと交わし、互いのできることや長所、短所を補いながら、より良いものを作り上げていく、という目的を共有することが、トラブル対応に限らずより良い成果・工事目的の達成には必要不可欠であると感じた。

今回のトラブル発生から安全施工方法確立までの一連の検討内容が、今後の同種工法の

発展の一助となれば幸いである。

・参考文献

※1 日本圧気技術協会 HP <http://www.pneumatic.gr.jp/pneumaticmethod/summary/>

3-2-6 生物活性を活用した迅速測定法による硝化能力の実態調査

東京都下水道サービス株式会社 施設部 水質課

梶原 大聖

八島 卓寛

東京都下水道局 東部第二下水道事務所

樋口 和也

勅使川原 秀和

(現 東京都下水道サービス株式会社 施設部 水質課)

1. 背景及び目的

活性汚泥法における硝化工程は、窒素処理において重要なプロセスの一つである。硝化細菌の活性（以下、硝化能力とする）を把握する手法には、下水試験方法に定める硝化細菌数の計測や硝化速度試験があるが、測定に多くの時間や労力を要し、日々の維持管理に活用するには課題が多い。また、一般的にはA-SRT（好氣的固形物滞留時間）と水温から硝化に必要な日数を把握できるものの、硝化が良好な反応槽の余剰汚泥を他の反応槽に転送する運転（以下、汚泥転送という）を行っている場合、A-SRTの算出が困難となり、A-SRT等を硝化管理の指標とすることが難しい。

そこで、これら解決のため、これまでの酸素利用速度（Rr）試験を一部工夫した方法を考案し、硝化能力の迅速測定が可能か調査を行った。本調査では、「測定法の有効性確認調査」、「阻害物質による硝化能力への影響確認調査」、「実施における硝化能力の実態調査」を行い、一定の知見が得られたので報告する。

2. 硝化能力の測定手法について

硝化能力の測定手法の概要を図1に示す。この方法は、従来から行われているRrとATU-Rr（硝化反応阻害の酸素利用速度）の差から硝化反応酸素利用速度（N-Rrと定義）を求める方法¹⁾を利用したもので、反応槽末端の活性汚泥にアンモニア等を添加して、反応槽と同じ水温に維持しながら酸素利用速度を測定する手法である。

本手法では、以下の方法で硝化能力を算出した。

(1) 図1に示す測定手法より、Rr及びATU-Rrを測定し、硝化反応に伴い消費されるN-Rrを算出

(2) N-Rr及びMLSS濃度から、活性汚泥1g当たりのN-Kr (mg O/g-ss・h)を算出

(3) 理論上、NH₄-N 1gをNO₂-Nに酸化するのに必要な酸素量は3.43gであり、

次の式より硝化能力を算出『硝化能力 (mg N/g-ss・h) = N-Kr (mg O/g-ss・h) / 3.43』

本手法は、従来の硝化細菌数の計測（4～30時間）や硝化速度試験（1～4時間）に比べ、短時間（10分程度）で測定可能なため、日常的に硝化能力を把握できる等の大きな利点がある。

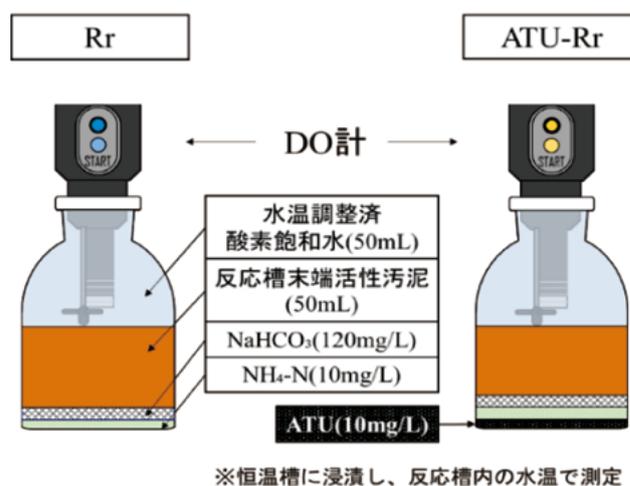


図1 測定手法

3. 調査概要

3.1 測定法の有効性確認調査

本手法と下水試験方法に準拠した硝化速度試験法（アンモニア減少速度）の測定結果を比較し、本手法の有効性を確認した。

3.2 阻害物質による硝化能力への影響確認調査

本手法を用いて水質事故（有害物質流入、pH異常）を想定し、硝化能力について調査を行った。

3.3 実施設における硝化能力の実態調査

反応槽の工事影響がある水再生センター（Aセンター）と送風量を抑制した運転を行う水再生センター（Bセンター）において、調査槽と対照槽に分け、それぞれ反応槽末端の硝化能力を測定し、水温及び処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ の推移と合わせて比較を行った。

4. 結果および考察

4.1 測定法の有効性確認調査

本手法（硝化能力）と下水試験方法に準拠した硝化速度試験法（アンモニア減少速度）の比較結果を図2に示す。図2より、両者には、強い相関（ $R^2=0.93$ ）がみられ、近似式の傾きも1に近いことから、本手法の硝化能力がアンモニア減少速度の代替法として有効と考えられた。

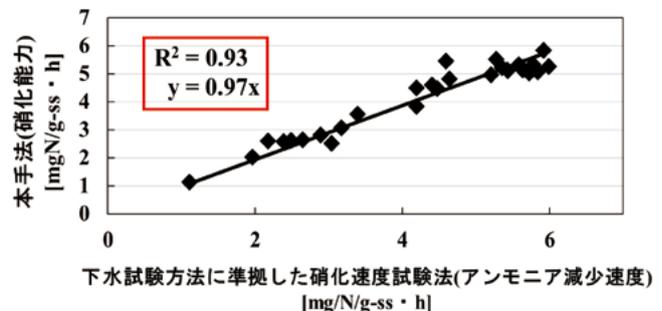


図2 硝化能力とアンモニア減少速度の比較

4.2 阻害物質による硝化能力への影響確認調査

阻害物質の添加による硝化能力及び変化率を図3に示す。阻害物質として、有害物質には六価クロムを、pH異常には塩酸・水酸化ナトリウムを添加して調査した。

硝化能力は、六価クロム（5mg/L）添加の場合、無添加に比べ25%低下した。また、pHを変化させた条件下では、pH5以下またはpH11以上で硝化能力は80~97%減少し、pHの影響を大きく受ける結果となった。過去の調査においても、活性汚泥に対する六価クロムの阻害率は、pHに比べ低いことが報告²⁾されており、本手法でも同様の結果が得られた。

以上より、有害物質流入及びpH異常時による硝化能力の低下影響（許容濃度）を把握するためのツールに活用できることが推測された。現在、様々な阻害物質の流入を検知するための手法は数少なく、本手法で連続的に計測（工業計器化等）することが出来れば、阻害物質流入時の早期対応が図れる可能性がある。

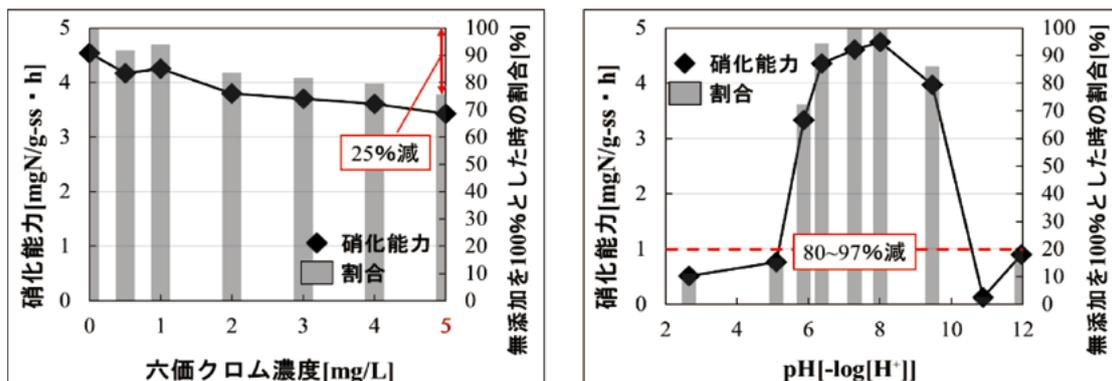


図3 阻害物質の添加による硝化能力及び変化率

4.3 実設備における硝化能力の実態調査

A、Bセンターの調査槽・対照槽の概要を表1に、それぞれの硝化能力と調査槽における処理水のNH₄-N、水温の推移を図4に示す。また、調査槽の調査結果、考察および運転の活用等を表2に示す。

表1 A、Bセンターの調査槽・対照槽の概要

水再生センター		調査理由	処理方式	処理実績	汚泥転送	調査期間
A	調査槽	反応槽工事に伴う調査 (対照槽は通常運用)	AO法	13万m ³ /日	有：処理悪化時	R3年8月～
	対照槽		AO法	4万m ³ /日	無	R4年1月
B	調査槽	一部送風量抑制した調査 (対照槽は通常運用)	疑似AO法*	14万m ³ /日	無	R4年7月～
	対照槽		疑似AO法*	14万m ³ /日	無	R5年1月

*疑似AO法：構造は標準法だが反応槽前段において制限曝気した反応槽

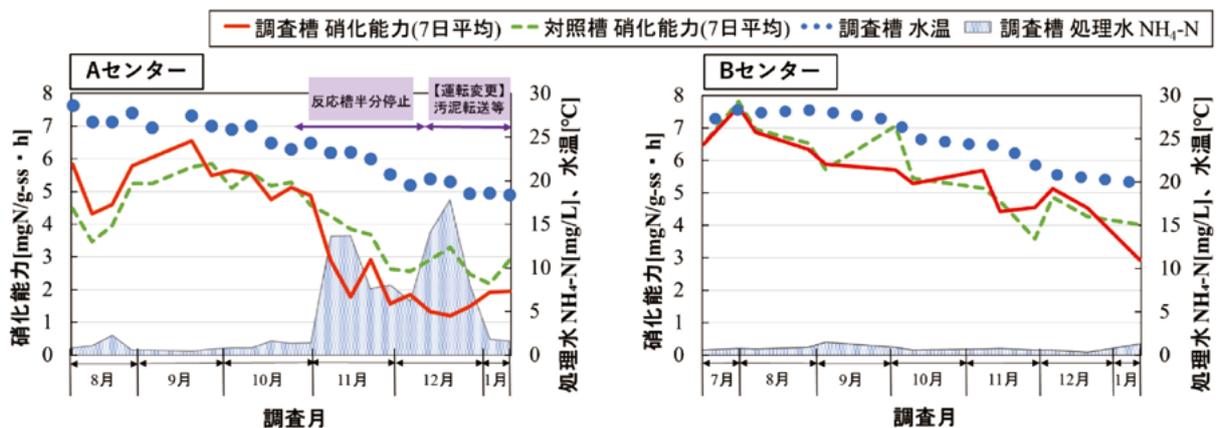


図4 A、Bセンター調査槽・対照槽の硝化能力、処理水NH₄-N、水温の推移

表2 A、Bセンター調査槽の結果、考察および運転への活用等について

対象センター	結果、考察および運転への活用等	
Aセンター (図4左) 調査槽	結果、 考察	<ul style="list-style-type: none"> ・11～12月は硝化能力が対照槽より著しく低下し、NH₄-Nが残存した。 ・要因として、11～12月は反応槽工事の影響に伴い、反応槽当たりの流入負荷量及びHRTの変動等により運転制御が難しく、良好な水処理を維持することが困難となったためと考えられた。
	運転への 活用等	<ul style="list-style-type: none"> ・硝化能力やNH₄-Nの残存結果などから、12月中旬に運転変更（汚泥転送等）を行った。これにより、硝化能力は回復傾向を示すことがわかった。
Bセンター (図4右) 調査槽	結果、 考察	<ul style="list-style-type: none"> ・硝化能力は、水温変動に大きく依存しており、対照槽と同様な傾向であった。 ・水温が低下する冬季においても、硝化能力は維持され、NH₄-Nの残存は見られず、硝化は良好であった。
	運転への 活用等	<ul style="list-style-type: none"> ・送風量を抑制しているにも関わらず、硝化能力は対照槽と同等であったことから、更なる送風量削減やMLSS削減した運転に貢献できるものと考えられた。

5. まとめ

生物活性を活用した硝化能力測定の実験により、以下のことが分かった。

- (1) 本手法と下水試験方法に準拠した硝化速度試験法（アンモニア減少速度）には強い相関がみられ、本手法の有効性が確認できた。また、本手法は、従来の1～4時間に比べて短時間（10分程度）で測定が可能であり、日常的に硝化能力を把握することが可能となった。
- (2) 阻害物質による硝化能力への影響を確認し、有害物質流入及びpH異常時による硝化能力低下の影響（許容濃度）を把握するツールに活用できることが推測された。今後、本手法で連続的に計測（工業計器化等）することで、阻害物質流入時の早期対応が図れる可能性がある。
- (3) 汚泥転送によりA-SRTによる硝化管理が難しい場合においても、硝化能力を把握することができた。特に、工事に伴う施設停止時や水温が低下する冬季等には、計算が難しい硝化能力を管理するために有効であることが示唆された。
- (4) 硝化が良好なセンターにおいても、MLSS等を削減した効率的な運転を支援するツールとなれる可能性がある。

参考文献

- 1) 島田祐介、石井英俊、相馬英雄：呼吸速度(R_r)を用いた硝化活性の測定、下水道研究発表会講演集、46巻、日本下水道協会、2009、868-870
- 2) 代田吉岳、橋本旬也、内多美穂子：有害物質が下水処理に及ぼす影響－活性汚泥、硝化細菌への影響調査－、下水道研究発表会講演集、48巻、日本下水道協会、2011、229-231