

東京都下水道局  
技術調査年報

—2021—

Vol.45

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

令和 4 年 3 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              | 37 |

| No.                   | タイトル                                                | 担当部署                    | 氏名     | 要旨 | 論文  |
|-----------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|--------|----|-----|
| <b>1 安全性・快適性の向上</b>   |                                                     |                         |        |    |     |
| <b>1-1 浸水対策技術</b>     |                                                     |                         |        |    |     |
| 1                     | 1-1-1 流出解析シミュレーションによる豪雨災害に対する下水道施設整備の効果検証           | 計画調整部<br>計画課            | 加藤 千晶  | 3  | 37  |
| 2                     | 1-1-2 渋谷駅周辺大規模再開発と連動した官民連携による雨水貯留施設の整備              | 計画調整部<br>事業調整課          | 海老塚 裕明 | 4  | 41  |
| 3                     | 1-1-3 多機能型マンホール蓋を活用した雨天時浸入水対策                       | 流域下水道本部 技術部<br>計画課      | 山下 紀史  | 5  | 45  |
| <b>1-2 再構築技術</b>      |                                                     |                         |        |    |     |
| 4                     | 1-2-1 工事期間の制約下における铸铁管部の再構築工事について（大手町幹線再構築工事）        | 中部下水道事務所<br>再構築推進課      | 安田 治人  | 6  | 48  |
| 5                     | 1-2-2 狭小基地から発進し供用中人孔に到達するデュアルシールドの施工について            | 北部下水道事務所<br>建設課         | 中原 拓哉  | 7  | 54  |
| 6                     | 1-2-3 汚水幹線圧力解放部における幹線再構築事例について                      | 南部下水道事務所<br>建設課         | 筏 紀晶   | 8  | 59  |
| 7                     | 1-2-4 南部汚泥処理プラント汚泥焼却設備3号炉撤去工事の施工事例【ダイオキシン類を含む機器の撤去】 | 第二基幹施設再構築事務所<br>設備工事課   | 丸山 善之  | 9  | 63  |
| <b>1-3 その他</b>        |                                                     |                         |        |    |     |
| 8                     | 1-3-1 大規模噴火時の下水道管内における火山灰の挙動に関する基礎調査について            | 計画調整部<br>技術開発課          | 市川 吉洋  | 11 | 67  |
| 9                     | 1-3-2 京成電鉄押上線連続立体交差事業に伴う下水道管きょ改良工事について              | 東部第二下水道事務所<br>施設課       | 山崎 慧   | 12 | 74  |
| <b>2 水環境向上、環境負荷低減</b> |                                                     |                         |        |    |     |
| <b>2-1 合流式下水道の改善</b>  |                                                     |                         |        |    |     |
| 10                    | 2-1-1 地下鉄都営新宿線駅舎下における支障杭切断・除去の施工実績                  | 第一基幹施設再構築事務所<br>工事第一課   | 大和田 章文 | 13 | 80  |
| 11                    | 2-1-2 ケーソンの地中連結工事について～王子第二ポンプ所建設その4工事～              | 第一基幹施設再構築事務所<br>工事第二課   | 榊平 知弥  | 14 | 88  |
| 12                    | 2-1-3 大規模、大深度取水人孔設計における留意事項等について                    | 第二基幹施設再構築事務所<br>設計課     | 上出 祥司  | 15 | 93  |
| <b>2-2 水処理技術</b>      |                                                     |                         |        |    |     |
| 13                    | 2-2-1 生物反応槽における必要空気量の設計に係る補正係数 $\alpha$ 値の測定方法について  | 施設管理部<br>環境管理課          | 亀井 葉子  | 16 | 99  |
| 14                    | 2-2-2 下水中の新型コロナウイルスRNAの検出及び感染性に関する調査                | 施設管理部<br>環境管理課          | 石井 裕樹  | 17 | 106 |
| 15                    | 2-2-3 砂系反応槽における窒素処理能力について                           | 東部第一下水道事務所<br>砂町水再生センター | 相馬 英雄  | 18 | 113 |

| No.                    |       | タイトル                                   | 担当部署                        | 氏名     | 要旨 | 論文  |
|------------------------|-------|----------------------------------------|-----------------------------|--------|----|-----|
| 16                     | 2-2-4 | りんによる処理機能への影響と安定運用に向けた葛西水再生センターの取組     | 東部第二下水道事務所<br>葛西水再生センター     | 阿部 翔真  | 19 | 120 |
| 17                     | 2-2-5 | 中野水再生センター反応槽の最適な運用方法の検討                | 西部第一下水道事務所<br>落合水再生センター     | 松下 勝一  | 20 | 127 |
| 18                     | 2-2-6 | 低負荷施設における水質改善への取り組み                    | 西部第二下水道事務所<br>新河岸水再生センター    | 田中 英樹  | 21 | 133 |
| <b>2-3 汚泥処理技術</b>      |       |                                        |                             |        |    |     |
| 19                     | 2-3-1 | ポリマー注入量制御システムの開発と評価について                | 計画調整部<br>技術開発課              | 豊嶋 喜貴  | 22 | 142 |
| 20                     | 2-3-2 | 下水汚泥の焼却時に生成される焼結物の構造と人工知能を用いた煙道閉塞の抑制方法 | 計画調整部<br>技術開発課              | 岸本 長   | 23 | 148 |
| 21                     | 2-3-3 | ポリ鉄添加によるガス化炉の安定運用について                  | 流域下水道本部 技術部<br>北多摩一号水再生センター | 河野 里名  | 24 | 152 |
| 22                     | 2-3-4 | 導水式無閉塞水流発生装置（A S）のスカム堆積抑制効果について（その2）   | 東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課    | 兼子 清隆  | 25 | 162 |
| <b>2-4 地球温暖化対策技術</b>   |       |                                        |                             |        |    |     |
| 23                     | 2-4-1 | 東京都における下水熱利用拡大に向けた新たな取組について            | 計画調整部<br>計画課                | 土屋 あゆみ | 26 | 167 |
| <b>2-5 その他</b>         |       |                                        |                             |        |    |     |
| 24                     | 2-5-1 | 汚水流入渠における高濃度の硫化水素発生への対応について            | 第二基幹施設再構築事務所<br>工事第一課       | 大坪 千穂  | 27 | 171 |
| 25                     | 2-5-2 | 中川建設発生土改良プラント32年間の歩みと環境への負荷軽減効果について    | 東京都下水道サービス株式会社 管路部 土木技術課    | 岡田 吉人  | 28 | 179 |
| <b>3 維持管理向上、事業効率化他</b> |       |                                        |                             |        |    |     |
| <b>3-1 維持管理向上技術</b>    |       |                                        |                             |        |    |     |
| 26                     | 3-1-1 | 第一沈殿池汚泥かき寄せ機の更新計画策定に向けた劣化状況分析          | 施設管理部<br>施設保全課              | 中山 由生  | 29 | 183 |
| 27                     | 3-1-2 | 都心部の腐食環境下にある長大伏越し幹線管渠の計画的な防食・清掃        | 中部下水道事務所<br>お客さまサービス課       | 木村 聡志  | 30 | 187 |
| 28                     | 3-1-3 | 下水道管きょ内に発生する侵入石の実態調査と効率的な維持管理について      | 東京都下水道サービス株式会社<br>管路部 管路第三課 | 松平 晃典  | 31 | 191 |
| <b>3-2 事業効率化、その他</b>   |       |                                        |                             |        |    |     |
| 29                     | 3-2-1 | 八王子市単独処理区の流域下水道への編入事業                  | 流域下水道本部 技術部<br>計画課          | 後藤 裕之  | 32 | 194 |
| 30                     | 3-2-2 | 水質規制における工事業者への届出指導と法令周知について            | 西部第一下水道事務所<br>お客さまサービス課     | 松村 日菜子 | 33 | 198 |
| 31                     | 3-2-3 | 大口径管きょ調査用UAVの開発と実用化に向けた検証              | 東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課    | 元吉 浩之  | 34 | 203 |
| 32                     | 3-2-4 | 工事情報・進捗等の総合管理を行う工事監督補助台帳システムの開発        | 東京都下水道サービス株式会社 管路部 施工管理第一課  | 芝原 亮太  | 35 | 209 |
| 33                     | 3-2-5 | AR技術を活用した効果的な人材育成                      | 東京都下水道サービス株式会社 管路部 施工管理第二課  | 中島 亮   | 36 | 213 |

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。

- 1 安全性・快適性の向上・・・・・・・・・・ 9編
- 2 水環境向上、環境負荷低減・・・・・・・・ 16編
- 3 維持管理向上、事業効率化他・・・・・・・・ 8編
- 計 33編

## ◆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、2021年版は45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 03-5320-6606

## ＜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３年度末現在の登録件数は合計 62 件にのびります。

下表以外で出願中の産業財産権が令和３年度末現在 7 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 69 件になります。

産業財産権 登録件数一覧（令和４年３月末時点）（単位：件）

| 部門      | 分野     | 特許 | 実用新案 | 意匠 | 商標 | 計  |
|---------|--------|----|------|----|----|----|
| 管きょ技術   | 管きょ    | 10 | 1    | 0  | 0  | 11 |
|         | 雨水対策   | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  |
| 管きょ技術計  |        | 10 | 1    | 0  | 0  | 11 |
| 維持管理    | 維持管理   | 1  | 0    | 0  | 0  | 1  |
|         | 設備     | 10 | 0    | 0  | 0  | 10 |
|         | 計測     | 7  | 0    | 0  | 2  | 9  |
|         | 環境     | 5  | 0    | 0  | 0  | 5  |
| 維持管理計   |        | 23 | 0    | 0  | 2  | 25 |
| 水処理技術   | 水処理技術  | 11 | 0    | 0  | 0  | 11 |
| 水処理技術計  |        | 11 | 0    | 0  | 0  | 11 |
| 汚泥処理技術  | 汚泥処理技術 | 14 | 0    | 0  | 0  | 14 |
| 汚泥処理技術計 |        | 14 | 0    | 0  | 0  | 14 |
| 有効利用    | 光ファイバー | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  |
|         | 汚泥の資源化 | 0  | 0    | 0  | 1  | 1  |
|         | 熱利用    | 0  | 0    | 0  | 0  | 0  |
| 有効利用計   |        | 0  | 0    | 0  | 1  | 1  |
| 合計      |        | 58 | 1    | 0  | 3  | 62 |

| 番号    | 1-1-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 表題             | 流出解析シミュレーションによる豪雨災害に対する下水道施設整備の効果検証 |                                                                               |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 内 容   | <p>東京都における豪雨対策は、東京都豪雨対策基本方針に基づき、過去の浸水被害や降雨特性などを踏まえて重点エリアを定め、河川・下水道の整備や雨水の流出を抑制する流域対策等を進めている。</p> <p>東京都下水道局では、東京 23 区全域で時間 50 ミリ降雨に対応することを基本とし、大規模地下街や甚大な被害が発生している地区については、1 時間 75 ミリ降雨に対応する等、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など 54 地区を重点化し、幹線や貯留施設の整備を進めており、これまでに 48 地区に着手し、このうち 25 地区で整備が完了するなど対策を着実に推進している。</p> <p>しかしながら、気候変動の影響による豪雨災害リスクの増加が指摘される中、1 時間 50 ミリを超える降雨が増加傾向にあり、豪雨対策のさらなる強化が求めている。</p> <p>本稿では、近年の豪雨災害の発生状況を踏まえた下水道施設整備の効果について流出解析シミュレーションを用いて検証したので報告する。</p> |                |                                     |                                                                               |
| キーワード | 東京都豪雨対策基本方針、浸水対策、流出解析シミュレーション、効果検証                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |                                     |                                                                               |
| 処理区名  | －                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                | 位置区分                                | 管きょ                                                                           |
| 職種区分  | 土木                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                | 施策区分                                | 浸水対策、再構築                                                                      |
| 状態区分  | 調査 研究                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                | 新規性                                 | 想定最大規模降雨を条件とした流出解析シミュレーションを実施した結果、再構築を計画的に実施した場合は豪雨災害に対するリスクを大きく低減させる検証結果を得た。 |
| 実施年度  | 令和 3 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                | 全体期間                                | －                                                                             |
| 担当部署  | 計画調整部計画課基本計画担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |                                     |                                                                               |
| 発 表   | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | －              |                                     |                                                                               |
| 履 歴   | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 第 58 回下水道研究発表会 |                                     |                                                                               |
| 調査方法  | 直営調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                |                                     |                                                                               |
| 関連情報  | －                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                |                                     |                                                                               |

| 番号   | 1-1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 表題                      | 渋谷駅周辺大規模再開発と連動した官民連携による雨水貯留施設の整備 |                 |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 内 容  | <p>近年、東京都内においてはゲリラ豪雨などに増加傾向にあり、浸水被害への対策が急務となっている。渋谷駅東口地区は、地下街対策地区として、1 時間 75 ミリ降雨時にも地下街への雨水の侵入を防止する施設整備を推進する計画となっていたが、ビルが密集する市街地であることから雨水貯留施設の整備が困難であった。そこで、民間の再開発と連携して施設整備を行った。</p> <p>渋谷駅周辺は 100 年に一度といわれる駅周辺大規模再開発が進行中であり、渋谷駅東口地区においても渋谷駅街区土地区画整理事業（以下、区画整理事業）が計画されていた。区画整理事業では渋谷駅東口に地下広場を整備することとなっており、関係機関との調整の結果、本事業では雨水貯留施設を合わせて整備することが可能になった。</p> <p>施設整備においては、区画整理事業範囲内の雨水貯留施設及び取水管・取水人孔は区画整理事業者が区画整理事業のその他の工事と一体的に施工し、範囲外の取水管・取水人孔は当局で施工する役割を分担した。また施設供用後の維持管理は当局とした。</p> <p>上記の官民連携により、2020 年 8 月より雨水貯留施設を供用開始している。官民連携により施設整備の課題を解消したことと、区画整理事業者が施工する地下広場整備他の工事との仮設物の共有や工程調整など、一体的な施工により早期の供用開始が実現した。</p> <p>また、整備後も、地域のエリアマネジメント協議会と協働し、整備効果の PR 等を行っている。</p> <p>開発の機会を捉え、官民連携により施設整備を行う本事業の手法は、今後も引続き有効であると考えられる。</p> |                         |                                  |                 |
|      | キーワード                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 官民連携 浸水対策 再開発 豪雨 雨水貯留施設 |                                  |                 |
|      | 処理区名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 芝浦処理区                   | 位置区分                             | 管きょ             |
|      | 職種区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 土木                      | 施策区分                             | 浸水対策            |
|      | 状態区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 計画、工事                   | 新規性                              |                 |
|      | 実施年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 平成 22 年～令和 2 年度         | 全体期間                             | 平成 22 年～令和 2 年度 |
| 担当部署 | 計画調整部事業調整課                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |                                  |                 |
| 発 表  | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                         |                                  |                 |
| 履 歴  | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 令和 3 年度 第 58 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         | 1-1-3                                                                                                                                                                                                                                                  | 表題             | 多機能型マンホール蓋を活用した雨天時浸入水対策 |  |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|--|
| 内 容        | 流域下水道本部が所管する汚水幹線では、過去に雨天時浸入水による溢水被害が発生しており、原因箇所の特定制及び対策が必要とされてきたが、流域面積が広大であり、原因特定に時間を要するとともに対策の定量的な効果が見えにくいという課題があった。<br>今回、リアルタイムかつ継続的な水位観測が可能となる「多機能型マンホール蓋」を設置し、晴天時と雨天時の測定結果を比較・分析したところ、測定箇所毎に傾向の違いを確認することができた。この結果を公共下水道管理者と共有することで雨天時浸入水対策の促進を図る。 |                |                         |  |
| キーワード      | 雨天時浸入水 浸水被害 リアルタイム 多機能型マンホール蓋 雨天時浸入水対策                                                                                                                                                                                                                 |                |                         |  |
| 処理区名       |                                                                                                                                                                                                                                                        | 位置区分           | 管きょ                     |  |
| 職種区分       | 土木                                                                                                                                                                                                                                                     | 施策区分           | 浸水対策                    |  |
| 状態区分       | 調査 研究                                                                                                                                                                                                                                                  | 新規性            | 新規知見あり                  |  |
| 実施年度       | 令和 2 年度                                                                                                                                                                                                                                                | 全体期間           | 令和 2 年度～令和 3 年度         |  |
| 担当部署       | 流域下水道本部技術部計画課事業調査担当                                                                                                                                                                                                                                    |                |                         |  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                     |                |                         |  |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                     | 第 58 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         | 1-2-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 表題               | 工事期間の制約下における鋳鉄管部の再構築工事について<br>(大手町幹線再構築工事) |     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|-----|
| 内 容        | <p>大手町幹線は、布設から50年以上経過しており、一部の圧送区間において劣化が原因による汚水の漏水事故が複数回発生している。そのため、早急な対策が必要である。</p> <p>本工事区間である鋳鉄管部（圧送管部φ1600, L=42m）における内面被覆工法による再構築工事を設計した際の課題と解決策を報告する。</p> <p>銭瓶町ポンプ所は再開発により移転が令和4年4月に予定され、新ポンプ所と既設幹線を接続させる工事が行われている。再開発の工程に影響を及ぼさないよう配慮すると本工事は令和3年4月から令和3年9月までに限られ、時間的な制約が生じた。大手町幹線の直上には街路樹や地下埋設物が輻輳しており、開削による布設替えでは制約期間内で施工できない。非開削の更生工法も検討したが、通常の複合管（製管工法）では既設管が鋳鉄管のため、安全性の評価ができない。そのため、プロファイルによる更生管だけで自立強度を確保する自立管（製管工法）であるSPR-SE工法を採用した。</p> <p>施工に際しては、汚水圧送停止と伏越し部の滞留汚水排水を行うため、大手町幹線の汚水を銭瓶幹線へ切替えた。また、大手町幹線流下先では中段幹線の逆流を防ぐため仮設の角落しを設置して、施工環境を構築し、安全かつ円滑に施工できた。</p> |                  |                                            |     |
| キーワード      | 大手町幹線、内面被覆工法、工事期間の制約、施工環境                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                  |                                            |     |
| 処理区名       | 芝浦処理区                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | 位置区分                                       | 管きょ |
| 職種区分       | 土木                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                  | 施策区分                                       | 再構築 |
| 状態区分       | 設計、工事                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | 新規性                                        |     |
| 実施年度       | 令和3年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | 全体期間                                       |     |
| 担当部署       | 中部下水道事務所 再構築推進課 設計担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                  |                                            |     |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 令和3年度 設計・工事事例発表会 |                                            |     |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                  |                                            |     |
| 調査方法       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                  |                                            |     |
| 関連情報       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                  |                                            |     |

| 番号    | 1-2-2 | 表題                                                                                                                                                                                                                                 | 狭小基地から発進し供用中人孔に到達するデュアルシールドの施工について |                  |  |
|-------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------|--|
| 内 容   |       | 「台東区松が谷二丁目主要枝線」は、下水道管の老朽化対策、対象流域の雨水排除能力の向上を目的とする再構築事業を推進するために布設するものである。本主要枝線は、2 地点で急曲線の施工が必要な線形であるとともに、狭小な発進基地用地での施工や、到達部の供用中既設人孔内での安全な施工が課題となった。<br>上記を安全かつ適正に施工するため副立坑の設置、磁気探査計画と精密な掘削管理、仮壁の設置など、各施工段階で様々な対策を行ったので、これを報告するものである。 |                                    |                  |  |
| キーワード |       | 主要枝線 狭小基地 供用中人孔到達                                                                                                                                                                                                                  |                                    |                  |  |
| 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  |       | 工事                                                                                                                                                                                                                                 | 新規性                                |                  |  |
| 実施年度  |       | 平成 30 年度～令和 3 年度                                                                                                                                                                                                                   | 全体期間                               | 平成 30 年度～令和 3 年度 |  |
| 担当部署  |       | 北部下水道事務所 建設課 工事担当                                                                                                                                                                                                                  |                                    |                  |  |
| 発 表   |       | 局内                                                                                                                                                                                                                                 | 令和 3 年度 設計・工事事例発表会                 |                  |  |
| 履 歴   |       | 局外                                                                                                                                                                                                                                 | トンネルと地下（2021 年 7 月号）               |                  |  |
| 調査方法  |       | 委託調査                                                                                                                                                                                                                               |                                    |                  |  |
| 関連情報  |       |                                                                                                                                                                                                                                    |                                    |                  |  |

| 番号         | 1-2-3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 表題                                     | 汚水幹線圧力解放部における幹線再構築事例について |     |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|-----|
| 内 容        | <p>京浜島汚水幹線は、城南島ポンプ所、東海ポンプ所が吸揚する分流式汚水を自然流下で八潮ポンプ所に流下させる污水管であり、幹線再構築事業の対象路線に位置づけられている。東海ポンプ所からの圧送管（東海汚水幹線）の圧力解放部の付近は、腐食が進行し鉄筋が露出している状態であり、早急な対策が必要となっていた。そこで、京浜島汚水幹線再構築工事では特に損傷の激しい区間（70.20m）に対して内面被覆工法（製管工法）を実施した。</p> <p>施工路線は流入する汚水を切り回す管きょが存在しておらず、城南島ポンプ所及び東海ポンプ所から圧送される汚水を受け入れながら施工をする必要があり、(1)施工時におけるポンプ所の確実な運転停止、(2)施工時間の制限、(3)施工時の安全対策の 3 点の課題を抱える工事であった。</p> <p>それぞれの課題について、(1)確実にポンプを停止するための綿密な事前協議と施工時における連絡体制の確立、(2)ポンプ所運転調整による施工時間の確保と時間制約への対応、(3)雨天時や水量増加、硫化水素への対策による作業員の安全確保を実施した。多くの方々の尽力を得ることで、本工事を工期内に無事故で完了することが出来た。</p> |                                        |                          |     |
|            | キーワード                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 幹線再構築、内面被覆工法（製管工法）、圧力解放部、ポンプ所運転調整、安全対策 |                          |     |
|            | 処理区名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 森ヶ崎処理区                                 | 位置区分                     | 管きょ |
|            | 職種区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 土木                                     | 施策区分                     | 再構築 |
| 状態区分       | 工事                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 新規性                                    | 創意工夫により既存技術から新しい知見を得た場合  |     |
| 実施年度       | 令和 2 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 全体期間                                   | 令和 2 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<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 令和 3 年度設計・工事事例発表会（カワセミ）                |                          |     |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |                          |     |
| 調査方法       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                        |                          |     |
| 関連情報       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                        |                          |     |



| 番号                                                               | 1-2-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 表題                                           | 南部汚泥処理プラント汚泥焼却設備3号炉撤去工事の施工事例<br>【ダイオキシン類を含む機器の撤去】 |  |                                    |                                              |                                    |                                   |        |  |  |                                                                  |  |        |  |                                    |  |  |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|--|------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------|--|--|------------------------------------------------------------------|--|--------|--|------------------------------------|--|--|
| 内 容                                                              | <p>1. はじめに</p> <p>ダイオキシン類とは、非意図的に生成される毒性（発がん性、神経毒性等）が強い物質である。また、難分解性で環境に放出されると土壌や水環境中に長期間残留し、食物連鎖を通して生体に影響を及ぼす。汚泥焼却炉では、燃焼後の冷却の過程でダイオキシン類が生成される。このため、汚泥焼却設備の撤去にあたっては、撤去前にダイオキシン類の濃度測定が必要であり、撤去時にはダイオキシン類を含む粉じんが出ないように、撤去物の周囲を囲う養生を施す必要がある。今回は、それらの施工事例を報告する。</p> <p>2. ダイオキシン類を含む機器撤去の留意点</p> <p>撤去にあたり、厚労省の【廃棄物焼却施設内作業におけるダイオキシン類暴露防止対策要綱】に基づき、撤去対象のダイオキシン類濃度から作業エリアの管理区域と着用すべき保護具レベルの決定を行う必要がある。管理区域は第一から第三管理区域（第三が基準が高い）、保護具はレベル1から3（レベル3が基準が高い）と定められている。また、管理区域によって撤去</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                              |                                                   |  |                                    |                                              |                                    |                                   |        |  |  |                                                                  |  |        |  |                                    |  |  |
|                                                                  | <p>表1 管理区域決定のマトリックス</p> <table border="1"> <tr> <th></th><th>第1評価値&lt;<br/>2.5pg-TEQ/m<sup>3</sup></th><th>第2評価値≤<br/>2.5pg-TEQ/m<sup>3</sup><br/>≤第1評価値</th><th>2.5pg-TEQ/m<sup>3</sup><br/>&lt;第2評価値</th></tr> <tr> <th>B測定値&lt;<br/>2.5pg-TEQ/m<sup>3</sup></th><td>第1管理区域</td><td></td><td></td></tr> <tr> <th>2.5pg-TEQ/m<sup>3</sup>≤<br/>B測定値≤<br/>3.75pg-TEQ/m<sup>3</sup></th><td></td><td>第2管理区域</td><td></td></tr> <tr> <th>3.75pg-TEQ/m<sup>3</sup><br/>&lt;B測定値</th><td></td><td></td><td>第3管理区域</td></tr> </table> <p>（解体）方法が制限される。</p> <p>3. 施工手順（内容）</p> <p>①事前調査：施工前に機器や周囲のダイオキシン類濃度測定を行い、管理区域、保護具レベル、撤去方法を決定する。</p> <p>②シート養生（囲い）：ダイオキシン類を含む撤去物の周囲は全面シート等を用いて囲い、囲った養生内を負圧として、ダイオキシン類を含む粉じんの漏れを防止した。さらに、同養生内にセキュリティルームとして、作業員の保護具に付着した粉じんを除去するエアシャワーや、保護具を脱衣するスペースを設けた。</p> <p>図1 シート養生（囲い）の状況</p> <p>③機器の撤去：ダイオキシン類を含む機器は、機器内部のダイオキシンを含む付着物を洗浄してから撤去に入る。撤去については、バックハウ（鉄骨カッター、シャベル）を用いて行った。安全に施工できているか状況を逐次確認するため、ウェブカメラを設置した。</p> <p>4. まとめ</p> <p>ダイオキシンに関わる施工は、事前の届出、測定検査、施工のための養生、施工中の対応が他工事とは異なる点が多く、監督員として非常に勉強になった。</p> |                                              |                                                   |  | 第1評価値<<br>2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup> | 第2評価値≤<br>2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup><br>≤第1評価値 | 2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup><br><第2評価値 | B測定値<<br>2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup> | 第1管理区域 |  |  | 2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup> ≤<br>B測定値≤<br>3.75pg-TEQ/m <sup>3</sup> |  | 第2管理区域 |  | 3.75pg-TEQ/m <sup>3</sup><br><B測定値 |  |  |
|                                                                  | 第1評価値<<br>2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 第2評価値≤<br>2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup><br>≤第1評価値 | 2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup><br><第2評価値                |  |                                    |                                              |                                    |                                   |        |  |  |                                                                  |  |        |  |                                    |  |  |
| B測定値<<br>2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup>                                | 第1管理区域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |                                                   |  |                                    |                                              |                                    |                                   |        |  |  |                                                                  |  |        |  |                                    |  |  |
| 2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup> ≤<br>B測定値≤<br>3.75pg-TEQ/m <sup>3</sup> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 第2管理区域                                       |                                                   |  |                                    |                                              |                                    |                                   |        |  |  |                                                                  |  |        |  |                                    |  |  |
| 3.75pg-TEQ/m <sup>3</sup><br><B測定値                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                              | 第3管理区域                                            |  |                                    |                                              |                                    |                                   |        |  |  |                                                                  |  |        |  |                                    |  |  |
| キーワード                                                            | 施設再構築、ダイオキシン類、汚泥焼却施設、安全対策                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                              |                                                   |  |                                    |                                              |                                    |                                   |        |  |  |                                                                  |  |        |  |                                    |  |  |



|            |                    |                       |      |         |
|------------|--------------------|-----------------------|------|---------|
| 処理区名       | 森ヶ崎処理区             |                       | 位置区分 | 水再生センター |
| 職種区分       | 設備                 |                       | 施策区分 | 再構築     |
| 状態区分       | 工事                 |                       | 新規性  |         |
| 実施年度       | 令和２年度              |                       | 全体期間 |         |
| 担当部署       | 第二基幹施設再構築事務所　設備工事課 |                       |      |         |
| 発　表<br>履　歴 | 局内                 | 令和３年度設計・工事事例発表会（カワセミ） |      |         |
|            | 局外                 |                       |      |         |
| 調査方法       |                    |                       |      |         |
| 関連情報       |                    |                       |      |         |

| 番号    | 1-3-1 | 表題                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 大規模噴火時の下水道管内における火山灰の挙動に関する基礎調査について |        |
|-------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------|
| 内 容   |       | <p>平成 30（2018）年度に「大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキング（内閣府）」が発足し、富士山噴火の際には東京都内にも降灰被害が発生するとの想定がされた。この場合、降雨等により火山灰が下水道管内に流入し、管路が閉塞するおそれがあり、突き崩すのが困難となる可能性がある。</p> <p>また、東京都区部の約 8 割が合流式下水道で整備されており、管路が閉塞した場合、トイレや台所、お風呂等が使用できなくなる公衆衛生の悪化に加え、降雨時に雨水の行き先がなく、浸水被害が発生するおそれがある。</p> <p>しかし、下水道管内での火山灰の挙動に関しては既往研究がなく、下水道管内に侵入した火山灰の除去方法についての知見が得られない状況にある。</p> <p>そこで、火山灰による閉塞を解消する手段を検討し、火山灰の性状や火山灰が下水道管内に侵入した際の挙動に関する調査を行った。</p> |                                    |        |
| キーワード |       | 富士山、火山灰、管路閉塞、除去方法、挙動調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                    |        |
| 処理区名  |       | 位置区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ます 取付管、管きょ                         |        |
| 職種区分  |       | 土木                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 施策区分                               | 危機管理   |
| 状態区分  |       | 調査 研究                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 新規性                                | 新規知見あり |
| 実施年度  |       | 令和元年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 全体期間                               |        |
| 担当部署  |       | 計画調整部技術開発課企画調整担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                    |        |
| 発 表   |       | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 令和 3 年度 設計・工事事例発表会                 |        |
| 履 歴   |       | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 令和 4 年度 第 59 回下水道研究発表会             |        |
| 調査方法  |       | 委託調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                    |        |
| 関連情報  |       | 技術開発推進計画 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                    |        |

| 番号         | 1-3-2                                                                                                              | 表題           | 京成電鉄押上線連続立体交差事業に伴う下水道管きょ改良工事について |     |  |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------|-----|--|
| 内 容        | 平成 15 年 2 月から、東京都、葛飾区、京成電鉄が連携し、京成電鉄押上線の四ツ木駅から青砥駅までの延長約 2.6 km（事業区間約 2.2 km）の区間について、交通渋滞の解消等を目的とした連続立体交差事業が進められている。 |              |                                  |     |  |
|            | この事業に伴い、京成押上線立石駅付近の鉄道運営上重要となる施設が近接しており、線路と平行に布設された既設下水道管の撤去工事での安全な施工が課題となった。                                       |              |                                  |     |  |
|            | 上記を安全かつ適正に施工するため、関連企業である京成電鉄との鉄道施設に対する変状計測、列車見張り員の配置など近接施工協議を行ったので、これを報告する。                                        |              |                                  |     |  |
| キーワード      | 京成電鉄、連続立体交差事業、近接施工協議                                                                                               |              |                                  |     |  |
| 処理区名       | 小菅処理区                                                                                                              |              | 位置区分                             | 管きょ |  |
| 職種区分       | 土木                                                                                                                 |              | 施策区分                             | 改良  |  |
| 状態区分       | 工事                                                                                                                 |              | 新規性                              |     |  |
| 実施年度       | 令和 2 年度～令和 3 年度                                                                                                    |              | 全体期間                             |     |  |
| 担当部署       | 東部第二下水道事務所 施設課 建設工事担当                                                                                              |              |                                  |     |  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                 | 令和 3 年度 カワセミ |                                  |     |  |
|            | 局外                                                                                                                 |              |                                  |     |  |
| 調査方法       | 委託調査                                                                                                               |              |                                  |     |  |
| 関連情報       |                                                                                                                    |              |                                  |     |  |

| 番号         | 2-1-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 表題                                     | 地下鉄都営新宿線駅舎下における支障杭切断・除去の施工実績 |     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|-----|
| 内 容        | <p>東大島幹線及び南大島幹線は、江東区の一部及び江戸川区の一部の雨水を収容する雨水幹線であり、小松川第二ポンプ所～大島ポンプ所間約 2.0km を泥土圧式シールドで施工するものである。</p> <p>本工事では、シールド掘削断面内に残置支障物（PIP 杭）が干渉すると想定されていた。</p> <p>また、支障杭の上部には、供用中の既設構造物である都営新宿線大島駅等が存在することから、地上からの支障物撤去は困難なため、シールド機内から支障物の撤去が可能な D0-Jet 工法が適用された。D0-Jet 工法において、PIP 杭のようなモルタルに覆われた鋼製支障物を切断した実績はこれまでに無かったが、4 年の月日を経て、全ての支障杭切断・除去を完了した。</p> <p>本稿では、支障杭切断・除去に至るまでの計画及び実績について報告する。</p> |                                        |                              |     |
|            | キーワード                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | シールドトンネル、D0-Jet 工法、支障物切断・除去、近接施工、PIP 杭 |                              |     |
|            | 処理区名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 砂町処理区                                  | 位置区分                         | 管きょ |
| 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       | 平成 29 年度～令和 3 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 全体期間                                   | 平成 29 年度～令和 3 年度             |     |
| 担当部署       | 第一基幹施設再構築事務所 工事第一課                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                        |                              |     |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 令和 3 年度 設計・工事事例発表会                     |                              |     |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                        |                              |     |
| 調査方法       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |                              |     |
| 関連情報       | 経営計画 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                        |                              |     |

| 番号         | 2-1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 表題                                   | ケーソンの地中連結工事について<br>～王子第二ポンプ所建設その４工事～ |           |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| 内 容        | <p>当局では、北区東十条、王子、豊島及び堀船地区の一部流域の雨水を隅田川へ放流するとともに、合流式下水道改善施設として雨水貯留池を併設し、初期汚濁負荷量の削減を行うことを目的とした王子第二ポンプ所を建設中である。</p> <p>本工事では、大深度大型ニューマチックケーソンを２函体沈設した継続工事として、その各函を地中連結させる工事を行った。</p> <p>ケーソン連結部の築造にあたり、本ポンプ所と同等の規模や深度での施工事例は極めて少なく、安全かつ高品質の施工を実現するため、ケーソン連結部の止水方法、狹隘空間での施工手順、石神井川護岸への影響など、技術的課題への対策が重要であった。</p> <p>このことから、「王子第二ポンプ所の大型ケーソンにおける地中連結に対する施工検討委員会」を設置し、技術的課題に対する検討を行った。</p> <p>本稿では、ケーソンの地中連結工事における技術的課題の検討結果及び施工状況について報告する。</p> |                                      |                                      |           |
|            | キーワード                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ニューマチックケーソン、地中連結、ケーソン連結、止水方法、施工検討委員会 |                                      |           |
|            | 処理区名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 小台処理区                                | 位置区分                                 | ポンプ所      |
|            | 職種区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 土木                                   | 施策区分                                 | 浸水対策、合流改善 |
|            | 状態区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 工事                                   | 新規性                                  |           |
| 実施年度       | 令和３年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 全体期間                                 | 平成３０年度～令和３年度                         |           |
| 担当部署       | 第一基幹施設再構築事務所 工事第二課 工事担当・第二                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                      |                                      |           |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 令和３年度 設計・工事事例発表会                     |                                      |           |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |                                      |           |
| 調査方法       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                      |                                      |           |
| 関連情報       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                      |                                      |           |

| 番号         | 2-1-3 | 表題                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 大規模、大深度取水人孔設計における留意事項等について |      |                |
|------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------|----------------|
| 内 容        |       | <p>第二基幹施設再構築事務所が所管する都心エリアでは地下鉄や共同溝、インフラ施設などにより地下利用が高度化しているため、新規に敷設する大規模下水道管は大深度化せざるをえず、土被り 40m を超える管も珍しくない。そして、このような管に既設管から下水を取り込むための取水人孔の築造が非常に難しく、事業を推進する上での課題になっている。</p> <p>本稿では、大深度での地中接続工法が課題となった千代田幹線取水人孔、および硫化水素濃度が高いため鋼管さや管工法を用いた八重洲幹線切替人孔の設計事例について紹介し、計画設計上のポイント、留意事項について報告するものである。</p> |                            |      |                |
| キーワード      |       | 千代田幹線、大深度、取水人孔、接続工法、八重洲幹線、切替人孔、硫化水素、鋼管さや管工法                                                                                                                                                                                                                                                      |                            |      |                |
| 処理区名       |       | 芝浦処理区                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                            | 位置区分 | 管きょ            |
| 職種区分       |       | 土木                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                            | 施策区分 | 再構築            |
| 状態区分       |       | 設計                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                            | 新規性  |                |
| 実施年度       |       | 令和元年度                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                            | 全体期間 | 平成 26 年度～令和元年度 |
| 担当部署       |       | 第二基幹施設再構築事務所 設計課 設計担当第一                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |      |                |
| 発 表<br>履 歴 |       | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                            |      |                |
|            |       | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 令和 3 年度 第 58 回下水道研究発表会     |      |                |
| 調査方法       |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                            |      |                |
| 関連情報       |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                            |      |                |

| 番号    | 2-2-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 表題                     | 生物反応槽における必要空気量の設計に係る補正係数 $\alpha$ 値の測定方法について |  |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------|--|
| 内 容   | <p>反応槽の必要空気量を設計するに当たっては、反応槽中での必要酸素量を清水状態での値に補正する必要がある。この補正に用いる係数として、総括酸素移動容量係数の補正係数<math>\alpha</math>（以下「<math>\alpha</math>値」という。）等があるが、これまで当局ではこれらの値について十分に検証したことがなかった。</p> <p>今回、<math>\alpha</math>値等の測定方法について検討したところ、反応槽上澄水の溶存酸素の除去時には亜硫酸ナトリウムの代替として不活性ガスのパージを用いるべきであるなどの知見が得られた。また、得られた知見を踏まえ、小規模な机上試験方法を用いて区部水再生センターの<math>\alpha</math>値を測定したところ、センター間に顕著な差はなく、設計値を若干上回る程度であった。この結果から、現状使用している設計値は妥当であると考えられる。</p> |                        |                                              |  |
| キーワード | $\alpha$ 値、施設設計、下水試験方法、必要空気量                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |                                              |  |
| 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                   | 再構築                                          |  |
| 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  | 施設管理部環境管理課水質調査担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                        |                                              |  |
| 発 表   | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 令和 3 年度 水質技術研究発表会      |                                              |  |
| 履 歴   | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 令和 4 年度 第 59 回下水道研究発表会 |                                              |  |
| 調査方法  | 直営調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                        |                                              |  |
| 関連情報  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                        |                                              |  |



| 番号         | 2-2-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 表題                                              | 下水中の新型コロナウイルス RNA の検出及び感染性に関する調査 |                          |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 内 容        | 下水から新型コロナウイルスの RNA を検出した事例は数多く報告されているが、その感染性に関する調査はほとんど報告されていない。そのため、東京都では、感染拡大の第 2 波である 2020 年 6 月末から 8 月末にかけて、処理区域内において感染者が多いと推定される 2 か所の水再生センターで流入下水及び放流水を採取し、新型コロナウイルスに関してリアルタイム RT-PCR 法による RNA の存在の有無及びウイルス培養試験による感染性の有無の調査を行った。その結果、一部の流入下水から新型コロナウイルス RNA が検出されたものの、その濃度は定量下限値未満で著しく低かった。また、ウイルス培養試験の結果、新型コロナウイルス特有の細胞変性効果は観察されず、感染性は失われていることが推察された。さらに、新型コロナウイルス RNA の検出状況と処理区域内における新規感染者数を比較したところ、10 万人あたりの新規感染者数が 4 人を超えている際に流入下水において新型コロナウイルス RNA が概ね検出されていた。 |                                                 |                                  |                          |
| キーワード      | 新型コロナウイルス、RNA、リアルタイム RT-PCR 法、感染性、ウイルス培養試験                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                 |                                  |                          |
| 処理区名       | 芝浦処理区、落合処理区                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                 | 位置区分                             | 水再生センター、処理水 放流水          |
| 職種区分       | 環境検査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                 | 施策区分                             | 微量物質・病原性微生物等対策技術<br>危機管理 |
| 状態区分       | 調査 研究                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                 | 新規性                              |                          |
| 実施年度       | 令和 2 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                 | 全体期間                             |                          |
| 担当部署       | 施設管理部 環境管理課 水質調査担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                 |                                  |                          |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                 |                                  |                          |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 下水道協会誌学術論文 2021 年 7 月号 P119～P125、第 58 回下水道研究発表会 |                                  |                          |
| 調査方法       | 委託調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                 |                                  |                          |
| 関連情報       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                 |                                  |                          |

|            |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                     |                 |  |
|------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|--|
| 番号         | 2-2-3                | 表題                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 砂系反応槽における窒素処理能力について |                 |  |
| 内 容        |                      | <p>砂町水再生センターにおいて、砂系は反応槽が浅槽であり、東陽系に比べて窒素除去率が低いことが課題となっている。</p> <p>砂系反応槽では窒素除去率を向上させるため、以前からライザー弁閉止による脱窒促進を行うなどの対策を実施している。今回詳しくその効果を確認するため、すべてのライザー弁の箇所ごとにDO測定を行い、DOと窒素濃度の関係を調査したところ、次の知見が得られた。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・砂系反応槽各回路において、ライザー弁閉止箇所でDOが低下していることを確認した。</li><li>・ライザー弁閉止箇所では反応槽内の窒素濃度が減少しており、対策の効果を確認することができた。</li><li>・砂系において、水量増による窒素処理能力の低下は一時的に見られたものの、しばらくすると元の水準に戻ることを確認した。</li></ul> |                     |                 |  |
| キーワード      |                      | 浅槽 窒素除去率、ライザー弁、DO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                     |                 |  |
| 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                |                 |  |
| 状態区分       | 調査 研究                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 新規性                 |                 |  |
| 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       | 東部第一下水道事務所 砂町水再生センター |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                     |                 |  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                   | 令和 3 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               | りんによる処理機能への影響と安定運用に向けた<br>葛西水再生センターの取組 |                      |
| 内 容   | <p>近年、下水汚泥焼却炉では、焼却灰に含まれるりんが原因の１つと考えられる煙道閉塞が発生しており、焼却炉の予定外の停止や処理能力低下が問題となっている。</p> <p>煙道閉塞の危険性は焼却灰における金属類とりんの含有率によって変動し、りんの含有率が多くなるほど煙道閉塞の危険性が大きく、同時に焼却灰の色が白くなる事が過去の調査で判明している。</p> <p>葛西水再生センターでは、焼却処理前の段階における閉塞傾向把握を目的として、焼却処理する汚泥全体とりんを多く含む余剰汚泥の比率に着目し、比率が大きくなるほど焼却灰の色が白く煙道閉塞の危険性が大きくなる傾向を明らかにした。</p> <p>この傾向をもとに、汚泥処理部門と水処理部門とで情報共有を行い、一沈及び余剰汚泥の引抜量、汚泥焼却量等を連携して管理した。具体的には、余剰比率が大きくなることを防ぐため、幹線底に堆積した汚泥を引込む汚水幹線の「フラッシング運転」を実施することによって、煙道閉塞の危険性を低下させた。また、日々の焼却灰の色をまとめた「灰色通信」を作成し、汚泥処理施設に関連した他機場へ情報発信を行った。</p> <p>これらの取組により、焼却灰の色が赤褐色で安定し、煙道閉塞対策として一定の効果を得ることが出来たので報告する。</p> |                  |                                        |                      |
| キーワード | 煙道閉塞 りん 焼却灰の色 余剰比率                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  |                                        |                      |
| 処理区名  | 葛西処理区                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                  | 位置区分                                   | 汚泥 水再生センター           |
| 職種区分  | 設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  | 施策区分                                   | 汚泥処分 汚泥資源化<br>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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                  | 全体期間                                   |                      |
| 担当部署  | 東部第二下水道事務所 葛西水再生センター スラッジ管理担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                  |                                        |                      |
| 発 表   | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 令和３年度 下水道設備研究発表会 |                                        |                      |
| 履 歴   | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  |                                        |                      |
| 調査方法  | 直営調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  |                                        |                      |
| 関連情報  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                  |                                        |                      |

| 番号         | 2-2-5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 表題                            | 中野水再生センター反応槽の最適な運用方法の検討 |             |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------|
| 内 容        | <p>中野水再生センターは 2017 年度以降、水処理施設の増設部が準高度処理施設（疑似 A0 法）として順次稼働し、処理能力が 4.6 万 m<sup>3</sup>/日から 10 万 m<sup>3</sup>/日となった。水処理施設の増設後も運転管理の工夫や施設改良等により、放流水全窒素の更なる低減を図りながら、送風電力量原単位の削減との両立に取り組んできた。</p> <p>今回、施設の特性に合わせた反応槽の最適な運用方法を検討するため、2020 年度に送風機運転台数の削減、2021 年度に増設部反応槽における窒素低減（ステップ流入の活用と高返送率運転）に取り組んだ。</p> <p>その結果、2020 年度の送風機電力量原単位は前年度比で約 10%の削減、2021 年度の放流水全窒素は減少傾向である。</p> <p>本報告では、その取り組み内容と効果について紹介する。</p> |                               |                         |             |
|            | キーワード                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 水量配分調整、二段 DO 制御、ステップ流入、高返送率運転 |                         |             |
|            | 処理区名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 落合処理区                         | 位置区分                    | 処理場 水再生センター |
|            | 職種区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 環境検査                          | 施策区分                    |             |
|            | 状態区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 調査                            | 新規性                     |             |
| 実施年度       | 2021 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 全体期間                          | 2020 年度～2021 年度         |             |
| 担当部署       | 西部第一下水道事務所 落合水再生センター 水質管理担当 中野水質管理担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               |                         |             |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2021 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       | 2010 年度水質技術研究発表会、2018 年度水質技術研究発表会                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                         |             |

| 番号         | 2-2-6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 表題              | 低負荷施設における水質改善への取り組み |                 |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| 内 容        | 新河岸水再生センターでは、水質改善と省エネルギーの両立のため反応タンクの再構築により段階的高度処理（疑似嫌気好気活性汚泥法）を導入している。これまでに北系反応タンクの整備を終え、令和３年度から南系反応タンクに着手している。しかしながら、当センターでは流入水の BOD が比較的低いため、窒素とりんの除去率が他のセンターに比べて低い。また、流入水に硝酸性窒素がしばしば検出され、りんの除去には厳しい状況である。このため、放流水の窒素とりん濃度の低減を目的に、DO 設定値の変更・MLSS 濃度の上昇・反応タンクへの負荷量の増大などを試み効果を検証した。<br>本報は、低負荷施設での水質改善への取り組み状況についてまとめたものである。 |                 |                     |                 |
| キーワード      | 低負荷、硝酸性窒素、窒素除去、りん除去                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                 |                     |                 |
| 処理区名       | 新河岸処理区                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 | 位置区分                | 水再生センター         |
| 職種区分       | 環境検査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 | 施策区分                | 高度処理、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３年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                 | 全体期間                | 令和３年度～令和４年度     |
| 担当部署       | 西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                 |                     |                 |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 令和３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         | 2-3-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 表題                                              | ポリマー注入量制御システムの開発と評価について |        |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|--------|
| 内 容        | <p>汚泥脱水工程では高分子凝集剤（以下、ポリマー）を汚泥に添加して脱水処理を行っている。従来、ポリマーの注入は、運転員が脱水汚泥ケーキ含水率等を確認し適宜調整している。しかしポリマーを適時適切に注入することは難しく、個人差の解消や汚泥性状の変動に追従した調整が求められている。</p> <p>本技術は、汚泥性状等を把握できる計測器を用いて、ポリマーの適正な注入量を自動制御するものである。既報「ポリマー注入量制御システムの開発」では、良好な制御性など本システムの有効性について報告した。今回はコストや維持管理性も含めて以下の項目について検証を行い、概ね目標を達成した。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・汚泥性状の著しい変化にも追従可能であること</li><li>・脱水ケーキ含水率が従来運転の場合と同等以下であること</li><li>・機器の維持管理が月 1 回程度と容易であること</li><li>・10 年間のコスト削減効果が、システムの総コストを上回ること</li><li>・当局に導入されている全ての脱水機形式に適用可能であること</li></ul> |                                                 |                         |        |
|            | キーワード                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 汚泥性状、脱水処理、ポリマー、コスト、含水率                          |                         |        |
|            | 処理区名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                 | 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       | 平成 28 年度～平成 30 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 全体期間                                            | 平成 28 年度～平成 30 年度       |        |
| 担当部署       | 計画調整部 技術開発課 汚泥処理技術担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                 |                         |        |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 令和 3 年度 下水道設備研究発表会                              |                         |        |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 第 54 回下水道研究発表会                                  |                         |        |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 第 55 回下水道研究発表会（英語セッション）<br>第 11 回国際水協会（IWA）世界会議 |                         |        |
| 調査方法       | 公募型（技術連携型）共同研究                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                 |                         |        |
| 関連情報       | 経営計画 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                 |                         |        |

| 番号         | 2-3-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 表題             | 下水汚泥の焼却時に生成される焼結物の構造と人工知能を用いた煙道閉塞の抑制方法 |  |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------|--|
| 内 容        | <p>下水汚泥焼却炉では、焼却時に炉内で硅砂と投入汚泥などが焼結し、クリンカを生じることがある。このようなクリンカが多く発生すると硅砂の流動を妨げる原因となる。また、近年では、排ガスダクトや空気予熱器上部に焼却灰が固着し煙道を閉塞させる閉塞物が生じる事象が発生している。これらクリンカや閉塞物といった焼結物は、汚泥焼却炉の運転に支障を来すため運用上の課題となっている。</p> <p>東京都下水道局では、これら焼結物の発生原因を調査するため、表面分析と膠着度分析によりクリンカ及び閉塞物の構造と焼結温度を明らかにした。また、熱力学的平衡状態シミュレーションを用いて炉内中の物質が燃焼中に生じる変化を確認した。得られた知見について報告するとともに、これまでに当局で開発した人工知能を用いて焼却灰の画像から閉塞危険性を判断する閉塞抑制方法について紹介する。</p> |                |                                        |  |
| キーワード      | 焼却炉、焼結物、焼結温度、人工知能、閉塞抑制                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |                                        |  |
| 処理区名       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 位置区分           | 水再生センター、汚泥                             |  |
| 職種区分       | 設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 施策区分           | 汚泥処分 汚泥資源化、維持管理向上、高度情報化技術              |  |
| 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 全体期間           | 令和 2 年度                                |  |
| 担当部署       | 流域下水道本部 技術部 設計課 課務担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                |                                        |  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 第 58 回下水道研究発表会 |                                        |  |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |                                        |  |
| 調査方法       | 委託調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                |                                        |  |
| 関連情報       | 技術開発推進計画 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |                                        |  |

| 番号         | 2-3-3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 表題              | ポリ鉄添加によるガス化炉の安定運用について |                 |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| 内 容        | <p>南多摩水再生センター（以下、「南多摩」という。）では、水処理において発生した汚泥をセンター内にある汚泥処理施設で脱水・焼却している。南多摩の焼却炉は、年間を通した自然運転に取り組み、汚泥焼却の補助燃料費を大幅に削減してきた。</p> <p>しかし、2017 年度に稼働を開始したガス化炉方式の焼却炉（以下、「ガス化炉」という。）である 2 号炉は、稼働当初は脱水ケーキの含水率が高かったために自然運転が継続できなかった。また、りん溶融による煙道閉塞によって焼却炉が緊急停止することも問題だった。</p> <p>そこで、含水率の改善とりん溶融防止に効果のあるポリ硫酸第二鉄（以下、「ポリ鉄」という。）の添加を開始したところ、2 号炉は安定稼働ができるようになった。</p> <p>一方で、ポリ鉄添加以降、熱回収炉内部には、ポリ鉄がりんと未反応の状態で焼却炉に投入された際に生成する酸化鉄を含む焼却灰が堆積するようになった。同じ堆積物は煙道周辺にも確認されたことから、酸化鉄による煙道閉塞が起こる可能性が生じた。</p> <p>そこで、過去の運用実績や水質分析結果を参考に、ポリ鉄添加及び余裕率管理の検討を行い、ガス化炉に適した運用方法を見出すことにした。</p> |                 |                       |                 |
|            | キーワード 汚泥処理 ポリ鉄 余裕率 ガス化炉                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                 |                       |                 |
|            | 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 環境検査            | 施策区分                  | 温室効果ガス削減対策 汚泥処分 |
|            | 状態区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 調査・研究           | 新規性                   |                 |
| 実施年度       | 平成 30 年度～令和 3 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 全体期間            | 平成 29 年度～令和 3 年度      |                 |
| 担当部署       | 流域下水道本部技術部 北多摩一号水再生センター                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                 |                       |                 |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 令和 3 年度 水質技術発表会 |                       |                 |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                 |                       |                 |
| 調査方法       | 直営調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                 |                       |                 |
| 関連情報       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                 |                       |                 |



| 番号         | 2-3-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 表題                                         | 導水式無閉塞水流発生装置（ＡＳ）のスカム堆積抑制効果について（その２） |      |             |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|------|-------------|
| 内 容        | <p>当社は、最初沈殿池及び導水渠でスカムを堆積させない課題に対して、点検口に容易に設置可能な小型の「導水式無閉塞水流発生装置」（以下「ＡＳ：アクアストリーマー」という）を開発し実用化している。</p> <p>ＡＳシステムは、最初沈殿池の汚水をポンプから取水して「水流発生部」へ圧送し、水流発生部のノズルより噴射させることで水流発生部周囲の水を引き込む「導水効果」を発揮させて大量の水を下流側へ流し込むことにより、吐出口先端から約 9m 前方でスカムを流動させることを性能要件としたものである。</p> <p>今回は、令和元年度に最初沈殿池 2 号で行った検証報告に引き続き、最初沈殿池導水渠及び 2 号クロス水路に設置されたＡＳを数種類の運転パターンにより水流を発生させた際のスカム堆積抑制効果について検証した。</p> <p>その結果、導水渠及び沈殿池 2 号クロス水路ともに、スカム発生状況に応じたＡＳの運転設定を適宜行うことにより、消費電力節減と良好なスカム堆積抑制効果が両立できることを確認した。</p> |                                            |                                     |      |             |
|            | キーワード                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ＡＳ：アクアストリーマー、スカム堆積抑制効果、水流発生、最初沈殿池導水渠、クロス水路 |                                     |      |             |
|            | 処理区名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 砂町処理区                                      |                                     | 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 調査 研究                                      |                                     | 新規性  | 新規知見あり      |
| 実施年度       | 令和 2 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                            |                                     |      |             |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                            |                                     |      |             |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 令和 3 年度 第 58 回 下水道研究発表会                    |                                     |      |             |
| 調査方法       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                            |                                     |      |             |
| 関連情報       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                            |                                     |      |             |

| 番号   | 2-4-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 表題             | 東京都における下水熱利用拡大に向けた新たな取組について |                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------|
| 内 容  | <p>下水道事業では、下水や汚泥を処理する過程で電気や燃料を大量に必要とし、多くの温室効果ガスを排出する。東京都下水道局の温室効果ガス排出量は都庁全体の排出量の約 35%を占めるなど、地球温暖化防止に対する大きな責務を負っている。</p> <p>そのため当局では、下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン」を策定し、2030 年度までに温室効果ガス排出量を 2000 年度比 30%以上削減することを目標に掲げ、その達成に向け設備の省エネルギー化や再生可能エネルギーの利用拡大など、様々な削減策を実施している。</p> <p>その対策の一つとして、当局では、再生可能エネルギーに位置付けられている下水熱の利用に積極的に取り組んでいる。現在まで、民間事業者等と連携して地域における下水熱の利用を推進し、その結果、都内における下水熱利用事例は 5 件にのぼる。しかし、全国での下水熱利用事例は 32 件に留まっており、下水熱利用を推進していくためには、更なる拡大に向けた取組が必要とされている。</p> <p>本稿では、これまでの当局における下水熱利用の取組と、更なる拡大に向け下水道管からの熱利用を促進するための取組について報告する。</p> |                |                             |                     |
|      | キーワード 下水道資源、資源有効利用、下水熱、再生可能エネルギー                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |                             |                     |
|      | 処理区名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | -              | 位置区分                        | 管きょ、水再生センター、処理水 放流水 |
|      | 職種区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 設備             | 施策区分                        | エネルギー 熱利用           |
|      | 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 | 計画調整部計画課企画担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |                             |                     |
| 発 表  | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | -              |                             |                     |
| 履 歴  | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 第 58 回下水道研究発表会 |                             |                     |
| 調査方法 | 直営調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |                             |                     |
| 関連情報 | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                             |                     |

| 番号         | 2-5-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 表題                             | 汚水流入渠における高濃度の硫化水素発生への対応について |               |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------|
| 内 容        | <p>当局では、大手町二丁目常盤橋地区第一種市街地再開発事業として銭瓶町ポンプ所の再構築を実施しているが、これに伴い八重洲幹線を流れる汚水を第二低段幹線へ切り替えることとした。このとき、し砂が未処理のまま流末の芝浦ポンプ所へ流入してしまうことから、除じん設備を芝浦ポンプ所内の芝浦幹線汚水流入渠内に新設することとした。</p> <p>除じん設備の設置に先立ち、汚水流入渠直上階において開口設置工事を行っていたところ、最大 150ppm の高濃度硫化水素が流入渠内から断続的に発生していることがわかった。そこで、施工箇所において硫化水素濃度の調査を実施した結果、原因の特定には至らなかったが、雨天時には最大 625ppm 超まで急激に濃度が上昇し、晴天時には 50ppm～100ppm の範囲で緩やかに濃度が上昇することが確認できた。</p> <p>この調査結果を踏まえ、上流域において硫化水素濃度を低減する薬剤の投入場所や投入量について実験及び検討を行った。その結果、施工箇所における硫化水素の発生濃度を 0ppm まで抑えることができたため、その取組内容について報告する。</p> |                                |                             |               |
| キーワード      | 汚水流入渠 高濃度硫化水素 薬剤投入 硫化水素発生濃度抑制                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                |                             |               |
| 処理区名       | 芝浦処理区                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                | 位置区分                        | ポンプ所          |
| 職種区分       | 土木                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                | 施策区分                        | 再構築、危機管理、臭気対策 |
| 状態区分       | 調査 研究、計画、工事                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                | 新規性                         |               |
| 実施年度       | 令和 2 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                | 全体期間                        | 令和元年度～令和 2 年度 |
| 担当部署       | 第二基幹施設再構築事務所 工事第一課 技術調査担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                |                             |               |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 令和 3 年度職場研修「令和 3 年度設計・工事事例発表会」 |                             |               |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 第 5 9 回下水道研究発表会                |                             |               |
| 調査方法       | 直営調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                |                             |               |
| 関連情報       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                             |               |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |                                       |                  |  |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------|--|
| 番号         | 2-5-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 表題                     | 中川建設発生土改良プラント 32 年間の歩みと環境への負荷軽減効果について |                  |  |
| 内 容        | <p>下水道普及促進を効率的に進め、埋立処分等されていた建設発生土のリサイクルを図るため、昭和 63 年 7 月に中川建設発生土改良プラントが東京都下水道局により建設された。</p> <p>本プラントでは、東京都 23 区内の下水道工事から発生する建設発生土を原料土とし、下水道工事埋戻し用の改良土を製造する事業を実施しており、周辺地域住民や足立区職員等で構成する地元協議会からの要望にも緻密に対応しながら、着実に「土のリサイクル」事業に貢献してきたところである。</p> <p>施設の老朽化に伴うリニューアル工事を機に、稼働から令和元年度末までの 32 年間の歴史と生産実績等、並びに環境への負荷軽減の効果等について報告する。</p> |                        |                                       |                  |  |
| キーワード      | 建設発生土 改良土 土のリサイクル 環境負荷軽減                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                        |                                       |                  |  |
| 処理区名       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        | 位置区分                                  |                  |  |
| 職種区分       | 土木                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                        | 施策区分                                  | 効率化、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 2 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                        | 全体期間                                  | 昭和 63 年度～令和 2 年度 |  |
| 担当部署       | 管路部 土木技術課 土木技術管理担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                        |                                       |                  |  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                        |                                       |                  |  |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 令和 3 年度 第 58 回下水道研究発表会 |                                       |                  |  |
| 調査方法       | 委託調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                        |                                       |                  |  |
| 関連情報       | <p>経営計画 2021 p106</p> <p>中川プラントは老朽化に伴う再構築工事のため、令和 3 年度から休止中</p>                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |                                       |                  |  |

| 番号         | 3-1-1                                                                                                                                                   | 表題                              | 第一沈殿池汚泥かき寄せ機の更新計画策定に向けた劣化状況分析 |  |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|
| 内 容        | 当局では、高度経済成長期以降の流入下水量の増加に対応するために建設した施設の老朽化が進行している。こうした状況を踏まえ、効率的かつ計画的に設備の補修、改良や再構築を推進していくため、更新の目安として標準的耐用年数より長い経済的耐用年数を設定した「設備再構築基本計画」を策定し、定期的に改定を行っている。 |                                 |                               |  |
|            | 本稿では、第一沈殿池汚泥かき寄せ機の劣化状況調査の蓄積データを分析、考察し、現在 20 年としている経済的耐用年数について、更なる延長が可能か評価を行った。                                                                          |                                 |                               |  |
|            | 調査分析対象は、東京 23 区内において、平成 27 年度から令和元年度までの 5 か年の間の工事から抽出した 19 件の第一沈殿池の駆動チェーン、主務チェーン、駆動スプロケット、主務スプロケット、シュー、レールの 6 種とした。                                     |                                 |                               |  |
|            | これらの主に摩耗率について経過年数との関係を調査した結果、25 年経過時点までは各部位摩耗は許容値を満足していた。このことから、汚泥かき寄せ機の経済的耐用年数を 20 年から 25 年に延長することが可能と判断し、報告するものである。                                   |                                 |                               |  |
|            | キーワード                                                                                                                                                   | 標準耐用年数、経済的耐用年数、第一沈殿池、劣化状況調査、散布図 |                               |  |
| 処理区名       |                                                                                                                                                         | 位置区分                            | 水再生センター                       |  |
| 職種区分       | 設備                                                                                                                                                      | 施策区分                            | 再構築、維持管理向上、効率化                |  |
| 状態区分       | 調査 研究、計画                                                                                                                                                | 新規性                             | 新規知見あり                        |  |
| 実施年度       | 令和 2 年度                                                                                                                                                 | 全体期間                            | 令和 2 ～ 3 年度                   |  |
| 担当部署       | 施設管理部 施設保全課 調査担当                                                                                                                                        |                                 |                               |  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                      |                                 |                               |  |
|            | 局外                                                                                                                                                      | 第 58 回下水道研究発表会                  |                               |  |
| 調査方法       | 直営調査、委託調査                                                                                                                                               |                                 |                               |  |
| 関連情報       | 設備再構築基本計画                                                                                                                                               |                                 |                               |  |

| 番号    | 3-1-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 表題              | 都心部の腐食環境下にある長大伏越し幹線管渠の計画的な防食・清掃 |                  |  |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|--|
| 内 容   | <p>第二低段幹線は、都心部を縦断する幹線管渠で、上流のポンプ所より 5 万 m<sup>3</sup>/日の汚水が流入している。設置後 20 年が経過したところだが、長大伏越し（管径 2.8m、土被り 23.6m、延長約 750m）の区間では、高濃度の硫化水素や可燃性ガスが発生し、上・下流人孔の腐食が顕著になってきた。このため、同区間の防食及び清掃を計画的に進めている。</p> <p>本稿では、その概要と取組状況を報告する。具体的には、発生ガスの対策、吊り足場の設置、乾季に限定した施工などを考慮し、複数年での分割施工を計画した。これまでに 7 年かけて、上・下流人孔の角落し新設と、腐食した人孔の断面修復・防食を行った。</p> <p>今後、伏越し区間の清掃・調査を進める。</p> |                 |                                 |                  |  |
| キーワード | 硫化水素、人孔腐食、長大伏越し、伏越し区間の清掃・調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                 |                                 |                  |  |
| 処理区名  | 芝浦処理区                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                 | 位置区分                            | 管きょ              |  |
| 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  | 平成 27 年度～令和 4 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                 | 全体期間                            | 平成 27 年度～令和 4 年度 |  |
| 担当部署  | 中部下水道事務所 お客さまサービス課 管路施設担当                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                 |                                 |                  |  |
| 発 表   | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                 |                                 |                  |  |
| 履 歴   | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 第 58 回 下水道研究発表会 |                                 |                  |  |
| 調査方法  | 直営調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                 |                                 |                  |  |
| 関連情報  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                 |                                 |                  |  |

| 番号    | 3-1-3 | 表題                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 下水道管きょ内に発生する侵入石の実態調査と効率的な維持管理について |      |           |  |
|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------|-----------|--|
| 内 容   |       | <p>東京 23 区の荒川以東に位置する東部 3 区の下水道管きょにおいて発生し、管きょの閉塞を引き起こす恐れのある侵入石について、発生箇所に対する傾向を把握するとともに、成長した侵入石に対して短時間での除去を可能とするために、活用可能な既存機器を比較することで、効率的な維持管理方法について検討した。</p> <p>東部 3 区の過去 3 年分の管路内調査工、清掃工報告書の施工写真による目視判定にて侵入石発生箇所及び発生しやすい管種を分析した。発生箇所については取付管支管口が発生件数全体の 78%、本管ジョイント部が同 15%であった。また、管種については鉄筋コンクリート管が、発生件数割合が高いこと、支管部や本管ジョイント部からの地下水浸入が多く見られることから、侵入石が付着しやすい管種であると判断された。</p> <p>侵入石除去が可能な既存技術を調査したところ、本管についてはチェーン回転ノズル清掃による方法、取付管については穿孔ロボット清掃による方法が、比較的操作が容易であることから、効率的な除去が可能で維持管理のコスト縮減を進めることができるものと考えられる。</p> |                                   |      |           |  |
| キーワード |       | 侵入石    つまり    除去                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                   |      |           |  |
| 処理区名  |       | 中川、小菅、葛西処理区                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                   | 位置区分 | ます取付管、管きょ |  |
| 職種区分  |       | 土木                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                   | 施策区分 | 維持管理向上    |  |
| 状態区分  |       | 維持管理                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                   | 新規性  | 新規知見あり    |  |
| 実施年度  |       | 令和 2 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                   | 全体期間 | －         |  |
| 担当部署  |       | 東京都下水道サービス管路部管路第三課                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                   |      |           |  |
| 発 表   |       | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | －                                 |      |           |  |
| 履 歴   |       | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 第 58 回下水道研究発表会（令和 3 年 8 月 18 日）   |      |           |  |
| 調査方法  |       | 委託調査                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                   |      |           |  |
| 関連情報  |       | －                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                   |      |           |  |

| 番号         | 3-2-1               | 表題                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 八王子市単独処理区の流域下水道への編入事業 |                  |
|------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------|
| 内 容        |                     | <p>東京都の多摩地域の一部では、市街化が早期に進んだ地域を中心に、流域下水道が事業化される以前から市が単独で公共下水道を整備している。</p> <p>このうち、八王子市の北野下水処理場は、供用開始から約 50 年が経過し、施設の更新、高度処理、耐震性の向上への対応が課題となっていた。</p> <p>これらの課題を解決するため、下水道事業の広域化・共同化の一環として、八王子市の単独処理区を流域下水道へ編入する事業を進めてきた。</p> <p>今回、都と市が連携して施設整備を行い、段階的な編入を行いながら事業を完了することができた。編入事業により、良好な水環境の創出、建設・維持管理コストの削減、危機管理能力の強化を図ることができる。</p> <p>本事業の取り組みについて報告する。</p> |                       |                  |
| キーワード      |                     | 編入、水環境、建設・維持管理コストの削減、危機管理                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                       |                  |
| 処理区名       | 秋川処理区               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 位置区分                  | 水再生センター          |
| 職種区分       | 土木                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 施策区分                  | 効率化、危機管理         |
| 状態区分       | 計画                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 新規性                   |                  |
| 実施年度       | 令和 2 年度             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 全体期間                  | 平成 13 年度～令和 2 年度 |
| 担当部署       | 流域下水道本部技術部計画課施設計画担当 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                       |                  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                       |                  |
|            | 局外                  | 令和 3 年度 第 58 回下水道研究発表会、下水道協会誌 R3. 12 号                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                       |                  |
| 調査方法       |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                       |                  |
| 関連情報       |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                       |                  |



|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                       |                             |             |  |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------|--|
| 番号         | 3-2-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 表題                    | 水質規制における工事業者への届出指導と法令周知について |             |  |
| 内 容        | <p>西部第一下水道事務所では近年、コンクリート成分の影響でアルカリ性となった排水を中和する除害施設の新設等、工事現場からの届出が増加している。しかし、届出の期限が守られていない事案や届出の書類不備、除害施設の不適切な維持管理による違反がみられ、届出指導や法令周知が課題であった。</p> <p>このような状況を改善するため、令和元年度より届出リーフレットや届出書記入例を作成し、当局ホームページへ掲載するなどの取組みを通して、工事業者へ届出指導や法令周知をすすめてきた。さらに、令和３年度は建設団体が主催する講習会で講演を行い、周知の機会を増やすことができた。その報告について述べる。</p> |                       |                             |             |  |
| キーワード      | 工事現場 届出指導 法令周知 除害施設 維持管理                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |                             |             |  |
| 処理区名       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                       | 位置区分                        | 処理水 放流水     |  |
| 職種区分       | 環境検査                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                       | 施策区分                        | 流入水質規制      |  |
| 状態区分       | 調査 研究                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                       | 新規性                         |             |  |
| 実施年度       | 令和元年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                       | 全体期間                        | 令和元年度～令和３年度 |  |
| 担当部署       | 西部第一下水道事務所 お客さまサービス課 水質規制担当                                                                                                                                                                                                                                                                               |                       |                             |             |  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 令和３年度東京都下水道局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         | 3-2-3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 表題                      | 大口径管きょ調査用 UAV の開発と実用化に向けた検証 |            |  |
| 内 容        | <p>当社は、管きょ内が高水位、高流速、硫化水素の発生により、人による入孔が困難な場所が多く、調査が出来ないなど作業効率が低くなっている。</p> <p>その中で調査を実施できる解決策の一つとして UAV（ドローン）があり、大口径管きょの調査用として実用化に向け、検証したので報告する。</p> <p>開発目標は大口径管きょの 5mm 幅のクラックの確認、設計指針と解説に示す人孔間最長距離 200mの安定飛行及び入孔せず地上から遠隔操作できることである。</p> <p>今回の検証目的は狭隘空間における飛行の安定性と 5mm 幅クラックを調査確認できる飛行速度の確認で、試験に用いる UAV の概要は直径 500mm、総重量約 2.5 kgで壁面方向と天井面方向に離隔を計測する距離センサーと離隔を一定に維持する 2 点測位制御を装備し、撮影は 2100 万画素の汎用カメラで対応するものである。</p> <p>実験は供用中の矩形渠と円形管にて行い、飛行状況はほぼ管中心を飛行することができ、飛行速度 1.0m/S と設定した場合 5mm クラックを十分確認することができた。</p> <p>今後は管きょ内における UAV（ドローン）の飛行の課題をさらに明確化させ、運用時の対応に生かすとともに、早期の実用化に向け、UAV（ドローン）の開発と検証を進めていく。</p> |                         |                             |            |  |
| キーワード      | ドローン 大口径管きょ 調査 高水位 高流速 硫化水素                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                         |                             |            |  |
| 処理区名       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                         | 位置区分                        | 管きょ        |  |
| 職種区分       | 土木                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                         | 施策区分                        | 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 2 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                         |                             |            |  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                         |                             |            |  |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 令和 3 年度 第 58 回 下水道研究発表会 |                             |            |  |
| 調査方法       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                         |                             |            |  |
| 関連情報       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                         |                             |            |  |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                  |                                 |              |  |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------|--------------|--|
| 番号         | 3-2-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 表題               | 工事情報・進捗等の総合管理を行う工事監督補助台帳システムの開発 |              |  |
| 内 容        | <p>TGS では下水道管きょ工事における監督業務の豊富な経験とノウハウを活かし、工事監督業務の一部を担うことで、再構築事業の効率的で確実な執行に貢献している。しかし、現在、工事情報が個人毎に管理されており、担当者不在時における、他社員による工事情報の収集に時間を要していることや、他企業協議内容等の属人化、経験の浅い社員が工事変更業務に苦慮している状況である。</p> <p>このため、情報の一元管理を行うことと、経験の浅い社員向けの業務支援システムの構築を目的として、工事監督補助台帳システムの開発を行った。</p> <p>工事監督補助台帳システムは、4つのデータベースで構成されており、工事の情報・進捗等の総合管理を行うとともに、RPAにより定型書類作成を自動化した取り組みについて報告する。</p> |                  |                                 |              |  |
| キーワード      | 工事監督補助 施工管理 システム RPA データベース                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                  |                                 |              |  |
| 処理区名       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                  | 位置区分                            | ます 取付管、管きょ   |  |
| 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       | 令和3年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                  | 全体期間                            | 平成30年度～令和3年度 |  |
| 担当部署       | 東京都下水道サービス(株)管路部施工管理第一課                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                  |                                 |              |  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 令和3年度 設計・工事事例発表会 |                                 |              |  |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                  |                                 |              |  |
| 調査方法       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                  |                                 |              |  |
| 関連情報       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                  |                                 |              |  |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                        |                    |  |  |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|--|--|
| 番号         | 3-2-5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 表題                     | AR 技術を活用した効果的な人材育成 |  |  |
| 内 容        | TGS は、都の政策連携団体として下水道事業を補完・代行し、下水道局との一体的な事業運営により、安定的な下水道サービス提供とその質の向上に取り組んでおり、将来にわたって安定的な事業運営体制を確保するためにも「人材の確保育成」が不可欠である。しかしながら、現場経験から培った技術を有する社員が退職する中、その技術を若手社員へいかに継承するかが課題であった。専門的な技術や知識を伝える際、文字や画像による講義だけでは、リアリティに欠けるなど伝わりづらい面もあった。現在、文部科学省においても学びを支える先端技術としてAR 技術などの活用を推進しており、現場を拡張表示することでイメージが湧きやすく速やかな技術習得に繋がると期待されている。本稿では、このAR 技術を活用した効果的な人材育成について報告する。 |                        |                    |  |  |
| キーワード      | 人材育成 AR 技術 先端技術 研修                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                        |                    |  |  |
| 処理区名       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 位置区分                   | ます 取付管、管きょ         |  |  |
| 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       | 令和 3 年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 全体期間                   | 平成 3 0 年度～令和 4 年度  |  |  |
| 担当部署       | 東京都下水道サービス(株)管路部施工管理第二課                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                        |                    |  |  |
| 発 表<br>履 歴 | 局内                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                        |                    |  |  |
|            | 局外                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 令和 3 年度 第 58 回下水道研究発表会 |                    |  |  |
| 調査方法       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                        |                    |  |  |
| 関連情報       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                        |                    |  |  |

## 1-1-1 流出解析シミュレーションによる

### 豪雨災害に対する下水道施設整備の効果検証

東京都下水道局計画調整部計画課 奥田 千郎・北原 淳・○加藤 千昌

#### 1 東京下水道のこれまでの取組

東京都における豪雨対策は、東京都豪雨対策基本方針に基づき、過去の浸水被害や降雨特性などを踏まえて重点エリアを定め、河川・下水道の整備や雨水の流出を抑制する流域対策等を進めている。

東京都下水道局では、東京 23 区全域で時間 50 ミリ降雨に対応することを基本とし、大規模地下街や甚大な被害が発生している地区については、1 時間 75 ミリ降雨に対応する等、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など 54 地区を重点化し、幹線や貯留施設の整備を進めており、これまでに 48 地区に着手し、このうち 25 地区で整備が完了するなど対策を着実に推進している。

しかしながら、気候変動の影響による豪雨災害リスクの増加が指摘される中、1 時間 50 ミリを超える降雨が増加傾向にあり、豪雨対策のさらなる強化が求めている。

本稿では、近年の豪雨災害の発生状況を踏まえた下水道施設整備の効果について流出解析シミュレーションを用いて検証したので報告する。

#### 2 豪雨災害リスクの低減検討

##### (1) 浸水危険度の分析方法

近年の 1 時間 50 ミリを超えるような集中豪雨や大型化する台風などの豪雨に対応するためには、浸水実績だけでは、雨の偏在性に大きく左右されることから、甚大な被害が想定される地区を予測した対策を講じていくことが必要である。

そこで、東京 23 区を対象にシミュレーションを実施し、甚大な浸水被害が想定される地区の検証を行った。シミュレーションとは雨量の時間変化に応じた管内の流れを表現し、下水道管から地上に溢れた雨水が地形に沿って流れる状況や浸水深さをメッシュ状の区画単位で表示するものである（図 1）。

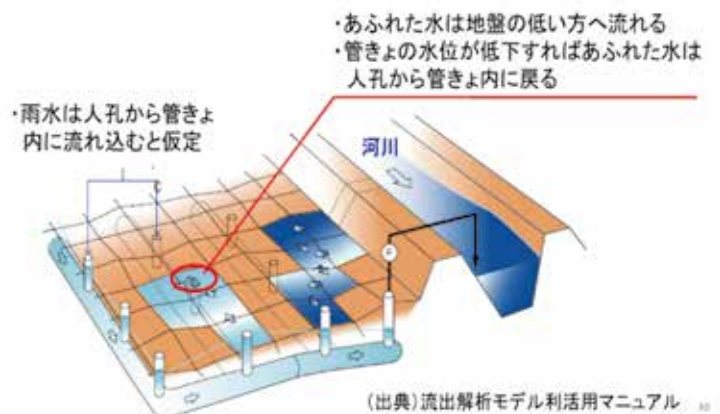


図 1 シミュレーションのイメージ

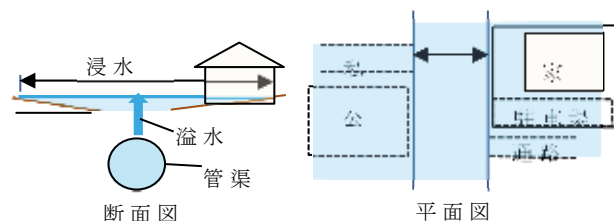


図 2 氾濫解析のイメージ

##### (2) シミュレーションのモデル化

シミュレーションは InfoWorks の改良版により河川と下水道施設を一体で

モデル化し、下水道から溢れた雨水は、地表面に広がり、公園、私道、家屋のスペース等に雨水が平面的に広がるように解析している（図 2）。

シミュレーションはメッシュサイズを 10m×10m とし、地盤高データは国土地理院の航空レーザー測量の結果を使用した（表 1）。また、東京 23 区を 7 つの河川流域に分割し

（図 3）、河川流域ごとに下水道管きょ、雨水調整池の貯留容量、ポンプ施設の能力、分水人孔の堰長・堰高等の下水道施設の情報をモデル化した。また、河川施設についても河道断面、雨水調節池の貯留容量、排水機場の能力等をモデル化した。

検証降雨は、1 時間 75 ミリ降雨とし、下水道施設による浸水対策として計画または実施中の施設をモデル化した上で、浸水被害の発生状況をシミュレーションにより検証した。また、東海豪雨規模（1 時間 114 ミリ、総雨量 589 ミリ）から想定最大規模降雨（1 時間 153 ミリ、総雨量 690 ミリ）に降雨条件を変更したケースについても検証を行った。

### （3）シミュレーションの結果及び考察

シミュレーションの結果、1 時間 50 ミリ降雨に対応する施設整備が進むと、1 時間 75 ミリ降雨に対しても浸水面積が大幅に減少する傾向が見られた。事例として 1 時間 50 ミリ降雨に対応する施設整備を進めている阿佐ヶ谷駅周辺でのシミュレーション結果を紹介する。

表 1 シミュレーションの主な条件

|         |                          |
|---------|--------------------------|
| 対象降雨    | 1時間75ミリ                  |
| 解析モデル   | 河川、下水道一体型モデル<br>＋氾濫解析モデル |
| メッシュサイズ | 10m×10m                  |
| 地盤高     | 国土地理院の<br>航空レーザー測量結果     |

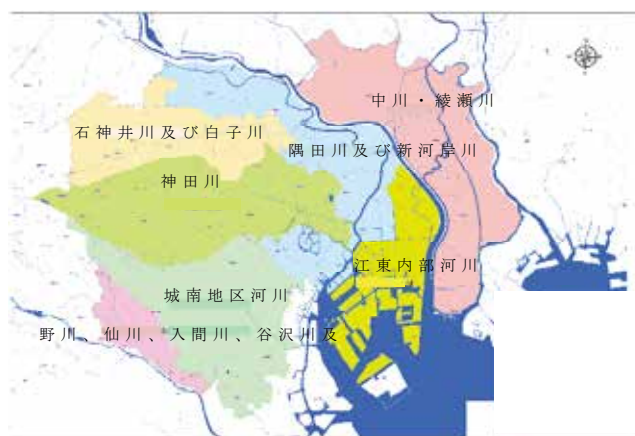


図 3 検討対象河川流域



図4は、1時間75ミリ降雨シミュレーションによる阿佐ヶ谷駅周辺の下水道施設の能力検証を行った結果である。現在整備を進めている1時間50ミリ降雨に対応する施設が整備される前と比較すると、施設が整備されることで1時間75ミリ降雨に対しても浸水面積が大幅に減少する結果となった。

下水道管の設計は合理式により、最も強いピーク時の雨量に対応する断面（管の大きさや勾配等）を決めて設計しており、ピーク降雨時以外は断面に余裕がある。シミュレーションでは、この断面の余裕や地形的特性も含めて、下水道管の能力を最大限評価することができるため、設計規模以上の降雨に対しても浸水面積が減少するものと考えられる。

また、水防法の改正により、東海豪雨規模（1時間114ミリ、総雨量589ミリ）から想定最大規模降雨（1時間153ミリ、総雨量690ミリ）に降雨条件を変更したシミュレーション結果を比較すると、下水道施設を整備した箇所では、対象降雨の規模が上がっているにもかかわらず浸水面積が大幅に減少した（図5）。

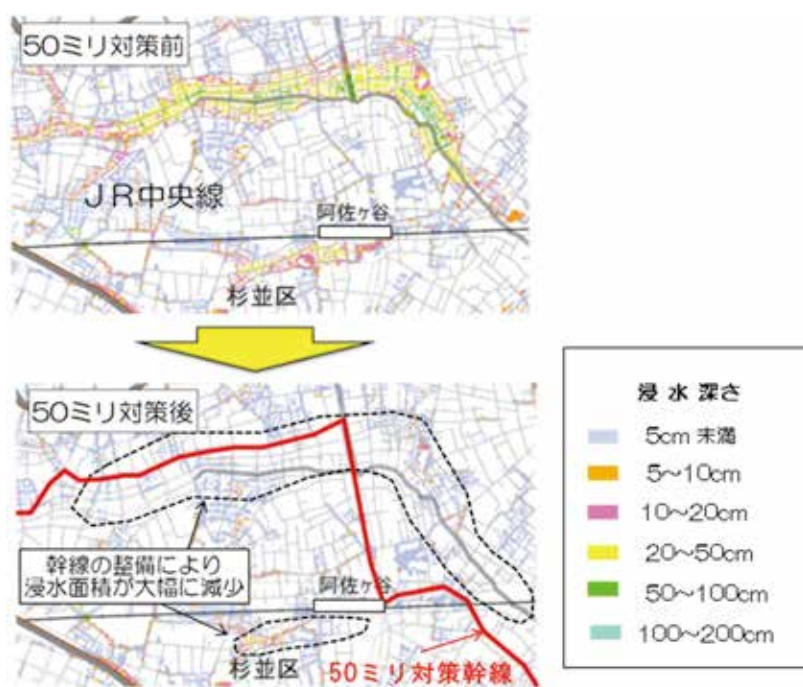


図4 阿佐ヶ谷駅周辺のシミュレーション結果

このように、シミュレーションでは下水道施設を計画的に整備していくことで、豪雨災害に対するリスクを大きく低減することができる結果となった。

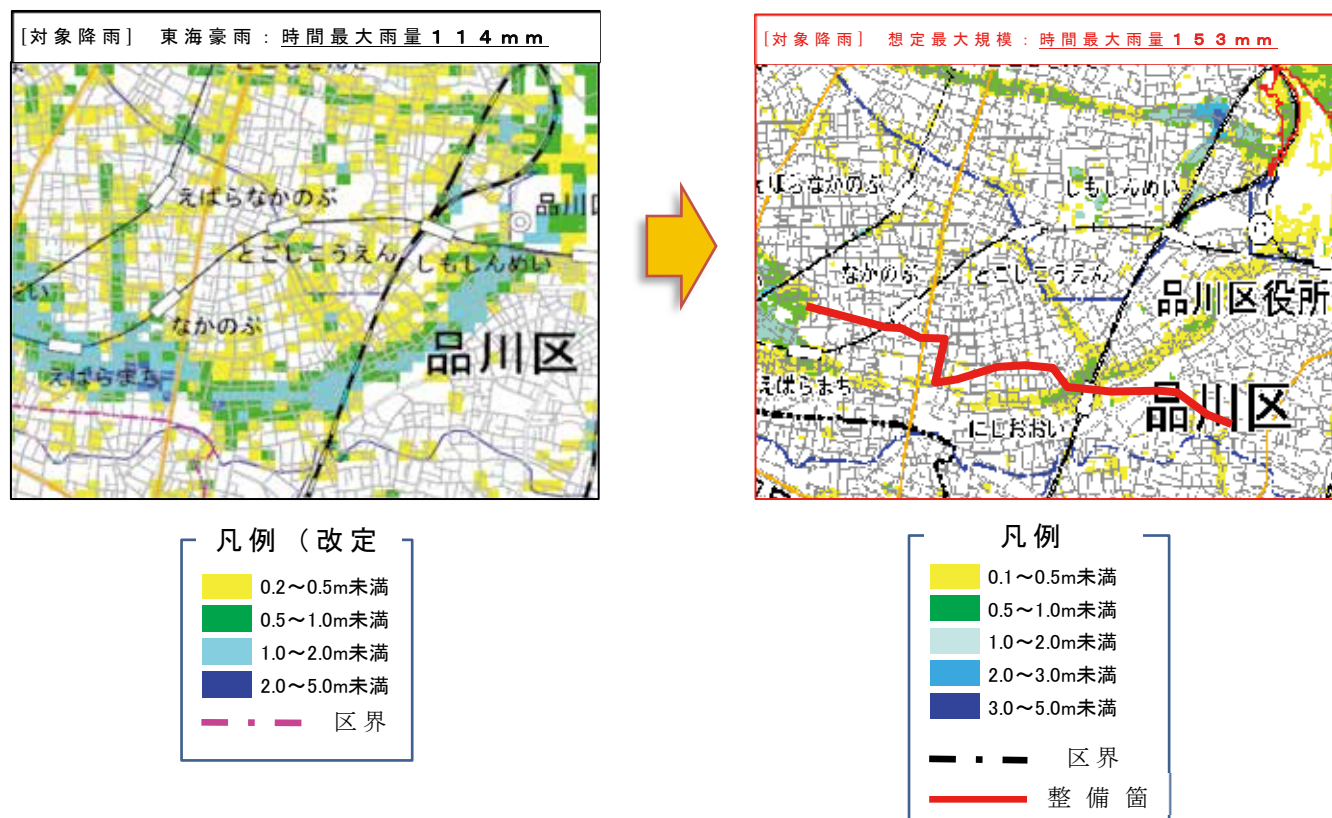


図5 想定最大規模降雨によるシミュレーション結果

### 3 おわりに

本検討結果より、頻発する豪雨災害から、治水安全度を高めるためには、下水道整備をより一層推進していく必要がある。そのため、当局が作成している経営計画 2021 にて、本検討にて浸水が広範囲で発生している地区について、近年の浸水被害の発生状況等を踏まえ、早期に対策を進めるべき優先順位の高い地区を3地区選定した。当該地区については、早期に事業着手できるよう鋭意検討を進めているところである。

本検討で得られたシミュレーション結果を踏まえ、下水道による浸水対策をより一層推進していく。



## 1-1-2 渋谷駅周辺大規模再開発と連動した官民連携による

### 雨水貯留施設の整備

計画調整部 事業調整課 海老塚 裕明  
海老原 雄紀

#### 1. はじめに

近年、東京都内では、ゲリラ豪雨や台風の大型化などによる豪雨が増加傾向にある（図 1）。また、都市化の進展による下水道への雨水流入量の増加に伴い、浸水対策が急務となっている。

東京都下水道局では浸水対策を主要施策の一つとして掲げ、1 時間 50 ミリ降雨への対応を基本として

いるが、甚大な浸水被害が発生している地区等を対策強化地区とし、整備水準をレベルアップすることとしている。特に浸水被害の影響が大きい大規模地下街の整備水準を 1 時間 75 ミリ降雨とし、地下街への雨水侵入を防止するための施設整備を推進している。

本稿では、地下街対策地区全 9 地区のうちの一つである渋谷駅東口地区において、民間主体の渋谷駅周辺大規模再開発と連動して浸水対策施設（雨水貯留施設）の整備を行った事例を取りあげる。

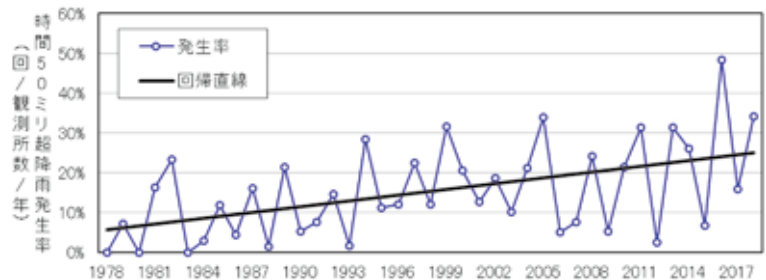


図 1 都内の 1 時間 50 ミリを超える豪雨発生率の推移

#### 2. 渋谷駅東口地区の特徴と浸水対策の課題

渋谷駅周辺はすり鉢状の谷地形となっており、渋谷駅はすり鉢の底に位置しているため、降雨時に雨水が貯まりやすく、平成 11 年には地下街への浸水被害も発生している（図 2）。

このため、当局では、平成 11 年度に策定した「雨水整備クイックプラン」に基づき、西口地区において、平成 18 年に雨水貯留管（貯留量 4,000m<sup>3</sup>）を整備完了した。

東口地区においては、「東京都豪雨対策基本方針（H19 策定、H26 改定）」において、雨水貯留施設を整備することを定めた。しかしながら、東口地区は、全国でも有数の巨大ターミナル駅である渋谷駅を中心として、ビルが密集する市街地であり、また地下構造物が輻輳していることから、新たに大規模な下水道施設を整備することが困難であった。下水道局単独の事業として施設整備を行う場合は、多大な年月や費用を要すると想定されていた。



図 2 平成 11 年の渋谷駅地下街の浸水被害

### 3. 駅周辺大規模再開発と連動した雨水貯留施設の整備

令和3年度現在、渋谷駅周辺では100年に一度といわれる駅周辺大規模再開発が進行中である（図3）。同再開発は、共同ビル開発事業と都市基盤整備事業に大別される。

共同ビル開発事業は、開業済みの(1)渋谷駅街区（渋谷スクランブルスクエア第Ⅰ期東棟）、(2)渋谷駅南街区（渋谷ストリーム）、(3)道玄坂一丁目駅前地区（渋谷フクラス）、(5)渋谷ヒカリエのほか、整備中の(4)桜丘口地区の計5街区で進められている。

また、都市基盤整備事業は、東京メトロ銀座線やJR埼京線のホーム移設を目玉とした鉄道改良事業、国道246号に地下通路とデッキを整備する国道直轄事業、地下広場や地上駅前広場の整備を行う渋谷駅街区土地区画整理事業（以下、区画整理事業）が進行している。

当局は、雨水貯留施設の整備に係る課題を解消し、当地区の浸水対策を早期に進めるため、この都市基盤整備事業と連携することとした。具体的には、渋谷区が事務局となり、学識経験者や行政などで渋谷の将来像について議論が行われた「渋谷駅中心地区まちづくり調整部会」等に下水道事業者として参画し、官民連携による整備を進めた。「渋谷駅中心地区まちづくりガイドライン2007」（渋谷区：平成19年9月策定）等のまちづくり計画に浸水対策のための施設整備が位置づけられ、渋谷の安全性を高め魅力を向上させる施設として、渋谷駅周辺再開発で整備される地下広場のさらに地下に雨水貯留施設を整備することとなった（図4）。地下広場は、区画整理事業で整備されるものであるため、雨水貯留施設の整備も、同事業で行うことにより、効率的な施工及び工期短縮が可能となった。



図3 渋谷駅周辺の再開発計画概要図

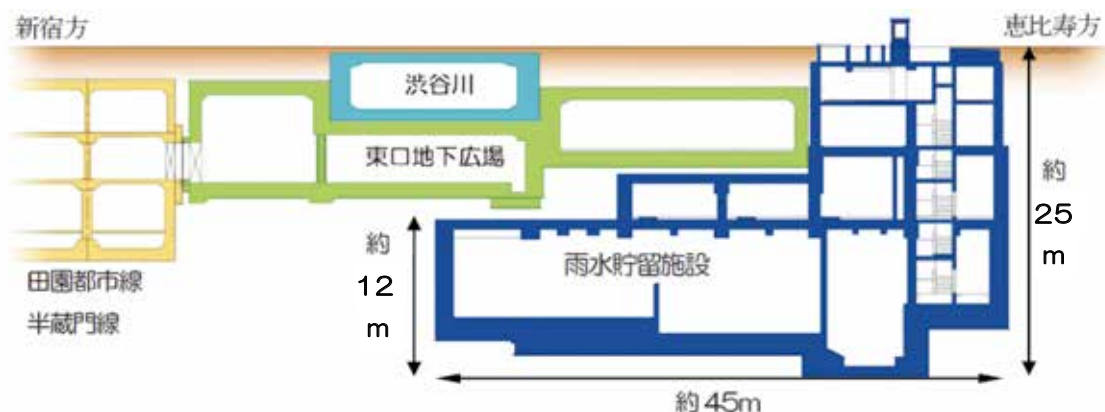


図4 雨水貯留施設断面図（A－A断面）

#### 4. 官民の役割分担

本事業で整備した施設は雨水貯留施設と取水管・取水人孔からなる。雨水貯留施設は区画整理事業の施行区域内に、取水管・取水人孔は施行区域内外にまたがり存在する（図5）。

区画整理事業施行者等と協議の結果、同事業区域内の施設は区画整理事業施行者が下水道法第16条の承認工事として整備し、区域外の施設は下水道局で整備することとなった。

なお、整備費用の分担は、区域内は土地区画整理法第2条第二項に基づき、同事業の施行に係る土地の利用の促進のため必要な工作物として同事業の地権者負担、区域外は当局負担とした。

また、維持管理の分担は、取水する雨水が事業区域内外にまたがるエリア全体であることに加え、地下街は不特定多数が利用する公共性の高い空間であることを考慮し、当局が事業区域内外の施設を合わせて維持管理することとした。

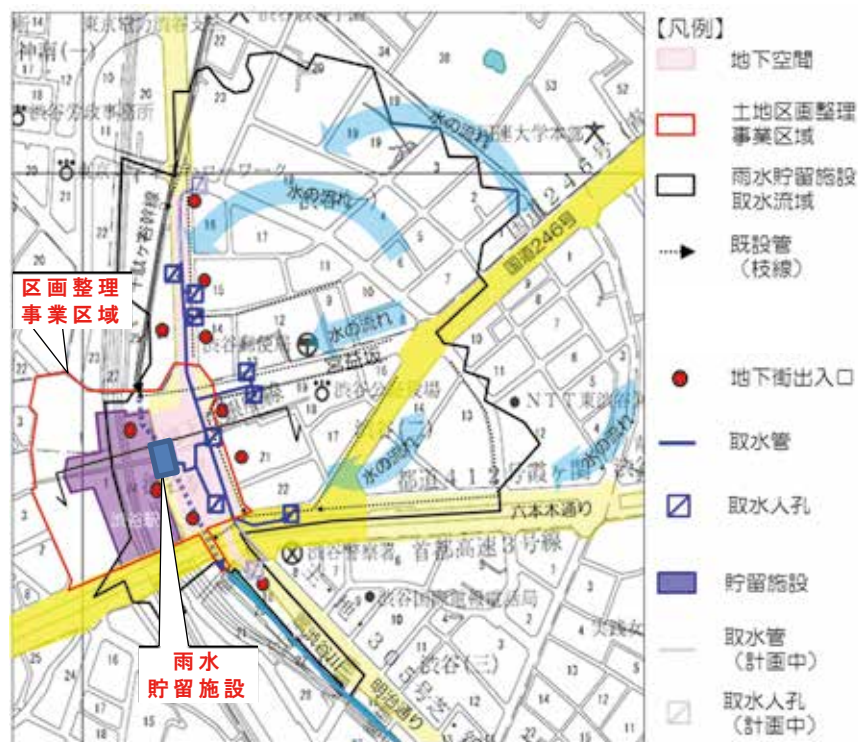


図5 取水管・取水人孔等の位置図

#### 5. 官民連携の成果

##### 5.1 早期の施設整備

平成22年に区画整理事業が開始、平成24年から雨水貯留施設関連の仮設工事に着手、地下広場に係る他工事と合わせて工事が進められ、令和元年に雨水貯留施設が竣工した（図6）。一部の取水管、取水人孔は整備中であるが、同年8月に雨水貯留施設の供用を開始した。

100年に一度の再開発により多数の工事が輻輳している状況で供用開始までこぎつけることができたのは、官民連携により施設整備の課題を解消したことと、区画整理事業者が施工する地下広場整備他の工事との仮設物の共有や工程調整など、一体的な施工により、早期の供用開始が実現した。



図6 雨水貯留施設内部



## 5.2 雨水貯留施設の整備効果に係る広報

雨水貯留施設の供用開始後も、下水道局と渋谷駅エリアマネジメント協議会が協働し、雨水貯留施設の整備効果を広報する取組として、渋谷駅地下のエレベーターや地下広場に、雨水貯留施設を紹介するポスターや大型ボードを掲示した（図7、8）。

この掲示により、雨水貯留施設が地域の安全性を高め、街の魅力を高めていることをわかりやすい形で発信することができた。

このような地域と協働した広報は、まちづくりに携わる関係機関と浸水対策の重要性を共有し、整備段階から継続して連携し続けているからこそ、実現したものであると考えられる。



図7 エレベーターでのポスター展示



図8 地下広場での大型ボードの掲示

## 6. おわりに

都市機能を確保し、都民の安全安心な暮らしを実現するために、浸水対策のさらなる推進が求められている。

浸水対策としては、雨水貯留施設や貯留管などの整備が不可欠であるが、都内ではビルや住宅が密集し占用する公道には埋設物が輻輳しており、施工環境は非常に厳しい現状である。

本事業は、都市機能が集積する渋谷の中心地において、規模の大きな雨水貯留施設整備を民間再開発と連携し実現させた初めての取組みである。今後も民間事業者等の開発の機会を早期に捉えて連携することにより、取組みを加速、強化していくために本事業手法は、非常に有効であると考えられる。

### 1-1-3 多機能型マンホール蓋を活用した雨天時浸入水対策

流域下水道本部技術部計画課 山下 紀史

#### (1) 雨天時浸入水について

流域下水道を整備した多摩地域の約 8 割は分流式下水道で整備されているが、雨天時に雨水が浸入する雨天時浸入水による浸水被害が多数発生している。多摩地域全域で 24 時間降雨量が 300 mm を超えた令和元年東日本台風の際には流域下水道の汚水幹線からの溢水により、浸水や道路冠水が発生した（写真 1）。

雨天時浸入水の原因は、宅内の雨水排水設備の汚水管への誤接続、公園などの屋外流しからの大量の雨水の流入、老朽化した管渠やますの破損など多岐にわたると推察される。このため、原因の特定や対策については、公共下水道管の維持管理や排水設備の指導等を担う市町村の取組が不可欠である。

しかし、雨天時浸入水は、汚水管への雨水浸入が想定される区域が広大となることから、原因の特定に時間がかかる。また、対策の定量的な効果が見えにくいという課題がある。



写真 1 流域下水道幹線からの溢水状況

これまで、都は市町村への雨天時浸入水対策の技術支援として、公共下水道への雨天時浸入水量が多い地区の絞り込み調査を行ってきたが、定期的なデータ回収及び機器のバッテリー交換など現地作業に要する人件費等が必要であるため、費用の面から長期間のデータを収集できないといった課題があった。

今回、上記の被害を背景に「多機能型マンホール蓋（以下、多機能蓋）」を設置し、連続して水位観測することで、浸入箇所の絞り込み調査を行った。

#### (2) 多機能蓋について

多機能蓋は、東京都下水道サービス㈱、㈱明電舎、日之出水道機器㈱の共同研究により開発され、下水道局の簡易提供型共同研究において、性能検証し、平成 28 年に実用化技術とされた。マンホール蓋に通信装置（LTE）やバッテリーを内蔵しており（写真 2）、水位計などの計測器と接続することで下水道管内の水位等のデータをリアルタイムで測定することが可能である（図 1）。測定データの一つとして国土交通省が提供するレーダー雨量情報（XRAIN）を反映しており、雨量と水位を同時に可視化することで、降雨による下水管への流入量の影響を確認できる。

また、硫化水素を測定する計器と接続することで管渠内の硫化水素発生状況なども確認することができる。

測定データはクラウドサーバー内に保存され、インターネットを通じて、いつでも・どこでも確認することが可能である。

蓋の表面に通信電波が発信しやすいようポリカーボネイト製の板と蓋本体の格納部にアンテナが設置されている。公道上の使用を踏まえた強度、耐久性、耐水性を有しており、既存のマンホール蓋と置き換えるだけで設置が可能であり、別途、電線、引込線工事や通

信ケーブル工事は不要であるという利点がある。



写真 2 多機能型マンホール蓋



図 1 多機能型マンホール蓋の概要

### (3) 多機能蓋の目的と活用効果について

流域下水道本部では令和 2 年度から多機能蓋の設置を開始し、令和 3 年度までに 37 の人孔に設置した。設置箇所は雨天時浸入水の発生源を絞り込むことを目的に市町村境を選定した（図 2）。

多機能蓋により継続的に幹線内の水位を観測することで従来の調査に比べ、多くのデータが得られ、下水道管内の水位変化を詳細に把握することが可能になるとともに、雨天時浸入水対策の効果検証にも活用できる。

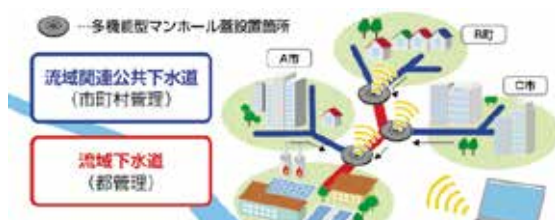


図 2 多機能蓋設置箇所

### (4) 雨天時浸入水の調査事例

一定期間の晴天時と雨天時の流入量を比較分析したところ、晴天時と雨天時で流入量の差が大きい箇所があることが確認できた（図 3）。この結果から流入量差の大きい箇所の排水区域では雨天時浸入水が多いと判断できる。

このように雨天時浸入水の割合が高い地域を特定し、今後、効果的な対策を行うことが可能となる。

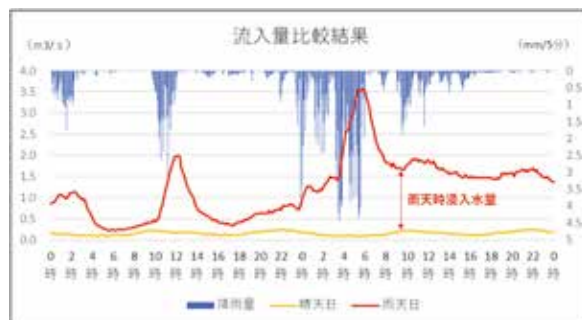


図 3 流入量の差が大きい箇所

また、雨天時浸入水が多いと判断される箇所において、降雨量と流入量の関係を確認したところ、降雨終了後すぐに流入量が減少する箇所と降雨終了後もしばらく流入量が減少しない箇所があることが判明した（図 4、5）。前者の場合、降雨量が流入量に反映されるまでの時間差が小さく、降雨量に比例して流入量が増減していることから、誤接続や屋外流しなどから雨水が直接污水管に流入している直接浸入水による影響が大きい可能性がある。一方で後者の場合は降雨量が流入量に反映されるまでの時間差が大きくなること、降雨終了後も流入が続くことから、地下水位の上昇等による管渠の破損部から流入する間接浸入水による影響が大きい可能性がある。

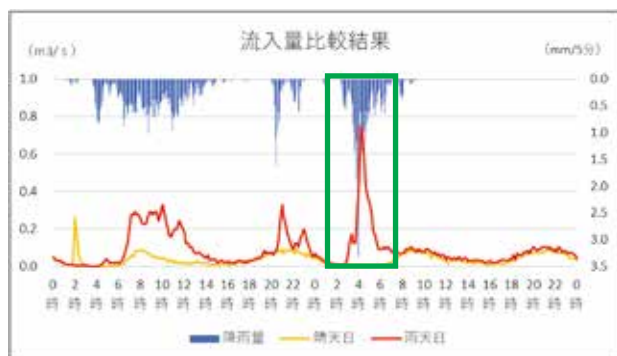


図 4 直接浸入水の影響が大きい箇所

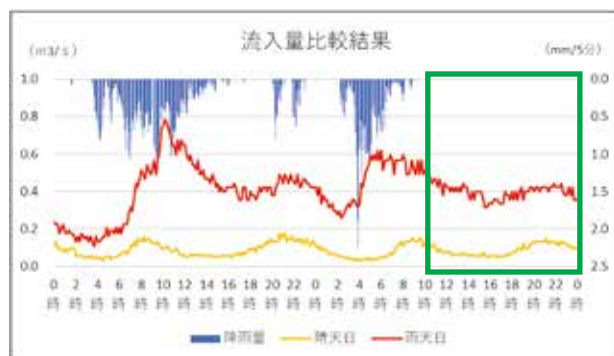


図 5 間接浸入水の影響が大きい箇所

#### (5) 今後の取組について

流域下水道本部では引き続き、測定データを蓄積し、雨天時浸入水の発生源箇所の絞り込みを進めていく。

さらに、調査結果を市町村と共有するなど技術支援を図り、雨天時浸入水の流入量や特性に応じた調査、対策を進めていく。



## 1-2-1 工事期間の制約下における鋳鉄管部の再構築工事について

### (大手町幹線再構築工事)

中部下水道事務所 再構築推進課 安田 治人

#### 1. はじめに

大手町幹線は、布設から 50 年以上経過しており、一部の圧送区間において劣化が原因による汚水の漏水事故が複数回発生していることから、早急な対策が必要である。

ここでは、大手町幹線の鋳鉄管部（圧送管部  $\phi 1600$ ,  $L=42\text{m}$ ）における内面被覆工法による再構築工事を設計した際の課題と解決策を報告する。

#### 2. 大手町幹線再構築工事について

##### 2.1 大手町幹線の概要

案内図（図 1）は千代田区大手町二丁目付近の地図であり、大手町幹線全体の位置を示している。

大手町幹線は、銭瓶町ポンプ所と中段幹線とつなぐ径 1.6m、延長約 700m の幹線であり、銭瓶町ポンプ所から送水される汚水を中段幹線へと流下させている。



図 1 大手町幹線の案内図

銭瓶町ポンプ所から約 40m は鋳鉄管、そこから中段幹線との接続部までの約 660m はコンクリート管で構成されており、人孔は中間に 1 箇所、中段幹線との接続部に 1 箇所の計 2 箇所のみである。国道 1 号上では、伏越し区間も存在する。

銭瓶町ポンプ所は、大手町二丁目常盤橋地区第一種市街地再開発による新ポンプ所移転を令和 4 年 4 月に控えており、そのため、新ポンプ所から既設管までの区間は常盤橋再開発にて、鋳鉄管が新設されている。

今回工事区間は図 1 にて、赤色で示している鋳鉄管部の径 1.6m、延長 42m の区間である。

##### 2.2 大手町幹線の現状

図 2 は大手町幹線にて行われた補修履歴とその位置を示している。

劣化が原因となり、④の箇所では写真のとおり、幹線からの漏水が確認されている。また⑤の箇所では写真のとおりエアリー漏れ（泡）が確認されている。

現状の対策として、銭瓶町ポンプ所では大手町幹線と銭瓶幹線の 2 つの幹線へ送水できるところ、各幹線ともに最大ポンプ 2 台での運転を控え、各ポンプ 1 台での運転として、管路へ圧力をかけないようにしている。

しかし、抜本的な対策を講じないと、道路陥没を引き起こし第三者へ被害をおよぼす可能性がある。





図 2 大手町幹線の維持補修履歴

### 2.3 大手町幹線再構築の施工状況と今回工事の施工範囲

大手町幹線は図3の緑線部分の225mを平成30年から令和元年にかけて再構築実施済みである。施工に必要な出入口として人孔を新設し、製管工法にて、鉄筋コンクリート管部を更生している。

今回は未施工部分のうち、铸铁管部を施工する。残りの区間は現在他企業の工事と施工場所が重なっているため、関係各所と調整しつつ施工時期を調整していく。



図 3 大手町幹線の施工状況

## 3. 設計上の課題について

### 3.1 時間的制約

前提条件として、銭瓶町ポンプ所は大手町幹線と銭瓶幹線の2つの幹線へ圧送が可能なポンプ所である。

現在、銭瓶町ポンプ所は常盤橋再開発により移転が令和4年4月に予定され、新ポンプ所と既設幹線を接続させる工事が行われており、施工する側の幹線への汚水圧送を止め、もう一方の施工しない幹線のみでの汚水圧送で対応している。

また新ポンプ所と銭瓶幹線を接続させる作業に際しては、手順上、現銭瓶町ポンプ所と銭瓶幹線との接続を断ち、銭瓶幹線へ圧送できなくなってしまうことから、この接続作業は銭瓶幹線が使用できなくなる期間を短くするため、再開発工程の工期末となる令和3年10月から開始となっている。

上記の状況を踏まえ、常盤橋再開発の工程に影響が出ないように配慮すると当方の工事は令和3年4月から令和3年9月までに限られることとなり、時間的な制約が生じた。

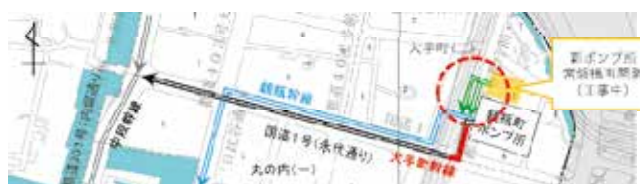


図 4 大手町幹線と銭瓶幹線

表 1 再開発の施工程序と時間的制約

| 工程                                  | 令和2年度 |   |   | 令和3年度 |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   | 令和4年度 |             |           |
|-------------------------------------|-------|---|---|-------|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|-------|-------------|-----------|
|                                     | 1     | 2 | 3 | 4     | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4月    |             |           |
| D線新築工事                              |       |   |   |       |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |       | ★ポンプ所<br>閉鎖 |           |
| 汚水流出管工事<br>(大手町幹線新設)<br>(銭座幹線新設、切替) |       |   |   |       |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |       | 7月<br>解除    | 10月<br>解除 |
| 人孔・管継ぎ工事                            |       |   |   |       |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |       |             |           |

### 3.2 工法選定の条件

図5のとおり、大手町幹線の直上には街路樹の高木が植えられており、またA-A断面図のとおり、大手町幹線は歩道に位置しており、地下埋設物が輻輳している。そのため、開削による布設替えには高木の移植、地下埋設物の移設が必須となり、制約時間内で施工できないため、採用不可とした。

よって、非開削工法にて検討を進めていくこととしたが、大手町幹線自体がほぼ直角に曲がり、既設管が鋳鉄管（φ1600）であるという特殊な現場条件をクリアする工法選定が必要となった。

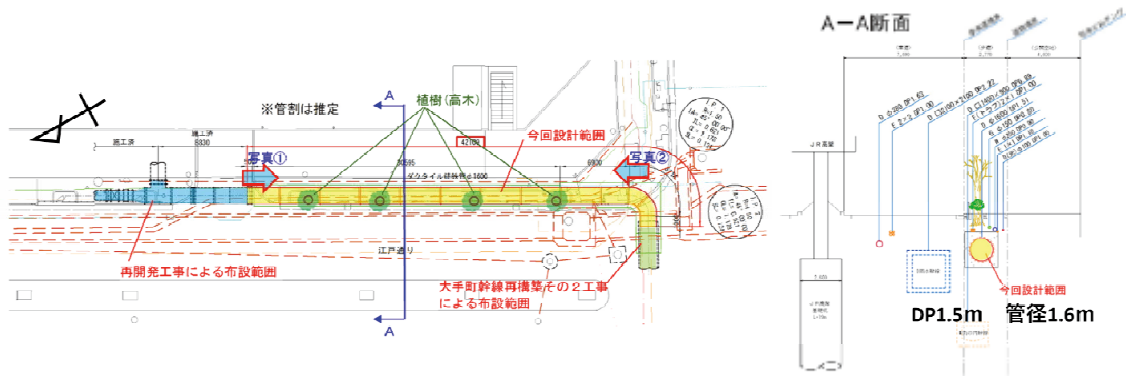


図 5 再開発の施工程序と時間的制約

### 3.3 施工環境

大手町幹線は、人孔が2箇所しかなく、施工区間までの間に伏越し部も存在する。そのため、人孔を搬入口として利用する場合は伏越し部の滞留汚水の排水が必要である。

人孔にて搬入搬出を行う場合、国道1号（永代通り）上に作業帯を設置するため、他企業が行っている工事と競合してしまう。

また中段幹線とも落差がなく接続しているため、中段幹線からの逆流も懸念される。

これらの制約、特性を十分に踏まえ、実現に向け設計を行った。



図 6 施工環境

## 4. 解決策

### 4.1 自立管（製管工法）の採用

先述のとおり、開削工法が採用不可であるため、非開削の更生工法を考えた場合、既設管が鋳鉄管であるため、複合管（製管工法）では安全性の評価ができない。更に、曲線箇所があり、反転・形成工法でも品質が確保できないことから製管工法のうち、通常の SPR 工法とは異なり、プロファイルによる更生管だけで自立強度を確保する自立管（製管工法）

の SPR-SE 工法（図 7）を採用することとした。  
 プロファイルをスチール部材にて補強し、自立強度を確保  
 できることから、既設の管種（鋳鉄管）を問わず施工できる。  
 なお、曲線部では、通常の SPR 工法と同様に製管が途  
 切れるため、一般的な幹線再構築での対応と同じく FRP 仕  
 上げとした。

SPR-SE 工法のための工期を算出した結果、図 8 のとおり  
 実日数 14 日程度あれば施工完了でき、施工できる環境を整  
 えられれば、時間的な制約もクリアできると判明した。

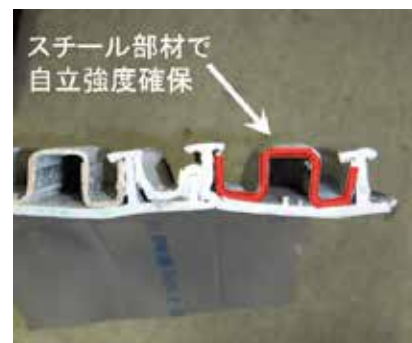


図 7 SPR-SE 工法

表 2 工法選定表

| 既設管諸元 | ダクタイル鋳鉄管 $\phi 1600\text{mm}$ 、 $L=42\text{m}$ 、土被り $1.2\sim 1.5\text{m}$ 、屈曲 $\times 1$ 箇所 ( $R=1.5$ ) |                                     |                                                                    |                                                                                                |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工 法   | 開削工法                                                                                                    | さや管工法                               | 反転・形成工法                                                            | 製管工法                                                                                           |
| 工法概要  | 掘削し管を入れ替える。                                                                                             | 既設管内に二次製品管を挿入する。<br>周囲間隙には充填材を注入する。 | 熱、光等で硬化する材料を既設管内<br>に加圧密着～硬化させ管を構築す<br>る。                          | 硬質塩化ビニル管の串状材料をスパ<br>イラル状に嵌合し管を構築する。                                                            |
| 評 価   | 常盤橋再開発との競合による制約か<br>ら、必要期間を確保できないため採<br>用不可。                                                            | 屈曲部の対応不可。<br>別途さや管投入口が必要。           | 管径適用範囲 ( $\phi 200\sim 800$ ) 外。<br>屈曲部の対応不可。（更生材にしわ<br>が生じ品質確保不可） | 既設管（ダクタイル鋳鉄管）との複<br>合管評価ができず通常の SPR 工法は<br>採用不可。<br>自立管の SPR-SE 工法は採用可。<br>屈曲部は FRP 仕上げにより対応可。 |
|       | X                                                                                                       | X                                   | X                                                                  | ○                                                                                              |



図 8 概略工程表（SPR-SE 工法のみ）

## 4.2 幹線内の環境整備

SPR-SE 工法の施工に際しては、施工区間の起点側と終点側に搬入口が必要となる。起  
 点側では、銭瓶町ポンプ所からの出入りが出来、さらに施工区間に近い人孔を活用するこ  
 ととし、この区間を行き来できるような幹線内の環境整備が必要となる。そのためには、  
 まず銭瓶ポンプ所から大手町幹線への污水圧送を停止し、中段幹線からの逆流を防ぎ、幹  
 線途中にある伏越し部にたまった污水を排水する必要がある。

環境整備のため、まず銭瓶ポンプ所の運転切り替えについて、調整を行った。

月々の下水処理業務に関わる運転の切替えであることから、その調整には慎重を期し、ポンプ運転の切替え自体の調整を行うことももちろんのこと、切替前には関連 4 課合同（お客さまサービス課、ポンプ施設課、建設課、再構築推進課）での会議を開催し、切替日の調整、切替日当日の体制を相互に確認する等、施工の直前まで主体となって調整を図った。

加えて、逆流に対し中段幹線との接続部に仮設の角落しの設置、伏越し部の潜水土による調査から污水排水を見込み、人孔から施工箇所まで安全に到達できるよう計画した。



図 9 環境整備



図 10 潜水土による調査

#### 4.3 競合工事との調整

4.2 で説明した SPR-SE 工法が施工できる幹線内の環境整備を行うためには、大手町幹線の人孔の蓋を開けての作業が必要となる。しかし、国道 1 号（永代通り）上で作業帯を張るため、他工事と競合してしまう。

そのため、本区間で主要な工事との競合作業帯を張れるよう調整し、かつ交通管理者にも事前協議を行って、競合がある中でも、制約時間内で十分に施工できるよう努めた。

過年度に大手町幹線の施工を行った際に、競合作業帯を張っていた事例を踏まえ、調整を行っていった。

競合工事の進捗状況や周辺の交通状況を確認したうえで、相手方へ当方工事の目的、必要性をよく説明し、主要な工事、交通管理者双方から競合作業帯での作業について了承を得ることができた。

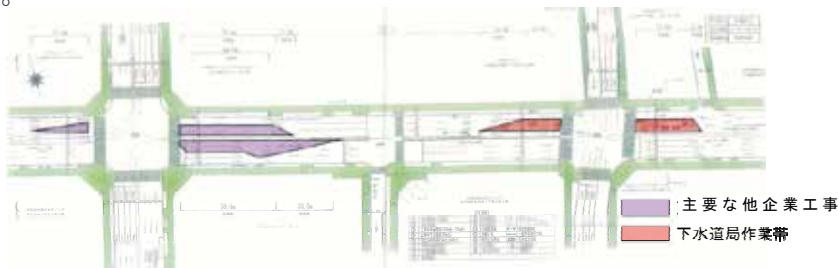


図 11 競合作業帯



## 5. おわりに

課題解決が多い案件であったが、事前の準備・調整に尽力して施工に臨み、円滑に無事故で工事を完了することができた。

時間的な制約がある中での設計であったため、下水道工事の工法への幅広い知識、スムーズな施工開始を後押しする事前調整の大切さを改めて学ぶことができた事例であった。



図 12 施工後の大手町幹線

## 1-2-2 狭小基地から発進し供用中人孔に到達する

### デュアルシールドの施工について

北部下水道事務所 建設課 中原 拓哉

#### 1. はじめに

「台東区松が谷二丁目主要枝線」は、下水道管の老朽化対策とともに、対象流域の雨水排除能力の向上を目的とする再構築事業を推進するために布設するものである。本主要枝線は、2 地点で急曲線の施工が必要な線形であるとともに、狭小な発進基地用地での施工や、到達部の供用中の既設人孔内での安全な施工が課題となった。

本件では、このような課題の具体的内容や、それらに対する対策として採用した工法、施工上の工夫などについて報告する。

#### 2. 工事概要

本工事は、台東区東上野六丁目、松が谷一、二丁目付近の既設管きよの更新のための主要枝線を整備するもので、工法は、特殊推進工法（シールド切替型推進工法・泥濃式）を採用し、管径は2000mm、延長は481.95mで、台東区立松葉公園に発進基地を設け、台東幹線の既設人孔に到達させるものである。



図1 現場案内図

#### 3. 施工上の課題について

##### 3.1 狭小スペースにおける発進基地の設置

当初設計では公園内を面積155m<sup>2</sup>占有する計画であった。しかし、施工計画の検討の過程で、設備の配置などを考慮すると、資機材の仮置場はほとんど確保できないことが判明した。また、特殊推進掘進施工中、泥土搬出の大型バキューム車は道路作業帯を常時設置し、配置する計画であったが、著しい騒音を伴うことから、近隣の小学校の授業や、周辺住民への生活、交通への影響が懸念された。

また、当該箇所は埋設物が輻輳し、中には東電地中送電2条2段や水道管φ250mm等があり、立坑直上に高圧線や光ケーブル等、迂回切り回しのできない架空線があり、クレーン作業が煩雑となる状況であった。

### 3.2 既設東電人孔との近接施工

当工事路線に東京電力人孔（躯体幅 2.4×長 6.6m×高 3.55m）があり、直下を 1D 未満の鉛直離隔約 2300mm でシールドが通過する計画であった。

東京電力との協議の際、この人孔躯体施工時に仮設された土留矢板が残置されている可能性があり、施工前に残置の有無を調査する事を要請された。

協議時に得た資料から、掘削断面内に約 1m、路線上で約 8m にわたり支障となる恐れがあった。

東電人孔直下を鉛直離隔 1D 未満で通過し、かつ R = 10m の急曲線の BC1 付近に東電人孔が位置するため直下通過部のほとんどが曲線施工の余掘り区間になり、地上構造物へ影響を及ぼすリスクが高まる。

このような条件の下、掘進時の支障の有無を事前に確認するとともに、東電人孔の変状を抑制するため、掘進管理を慎重かつ適切に行う必要があった。

### 3.3 既設供用人孔へのシールド到達

シールド機が到達する B2F フロアは既設管  $\phi 2000\text{mm}$  より常時下水の流入があり、また B1F より  $\phi 1500\text{mm}$  のドロップシャフト外筒が貫通しており、 $\phi 2800\text{mm}$  の開口があるため、施工スペースが狭小で、困難な施工が課せられる場所であった。

また、「一滴ルール」適用箇所であったため、降雨の際に下水が流入した場合は、それに伴い、施工中断・中止や、清掃、排水等の作業が必要になり、工程遅延、清掃作業費等の増大の懸念があった。

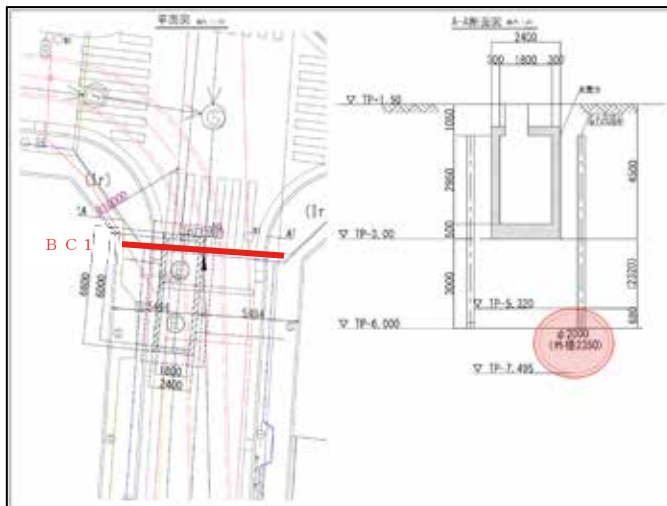


図 2 既設東電人孔近接状況図

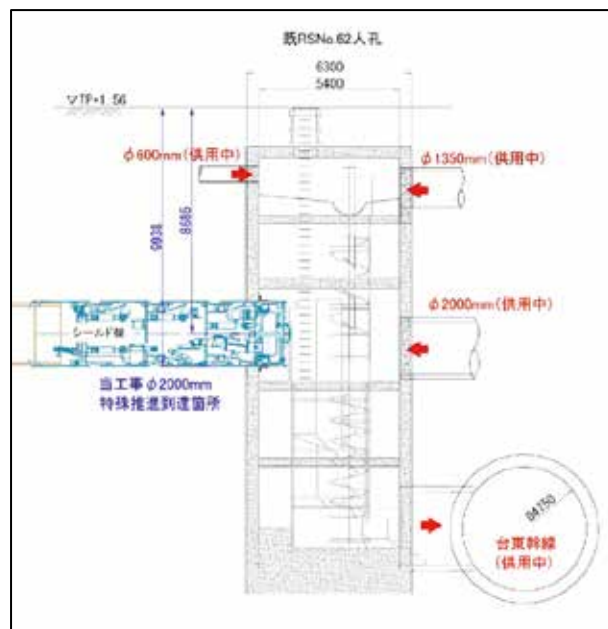


図 3 台東幹線既設人孔図

## 4. 施工上の対策について

### 4.1 副立坑の設置と綿密な搬出入計画

周辺住民の生活や交通への影響を回避するため、副立坑に設置する設備の配置を見直した。発進立坑を設けるにあたり、試験掘により埋設物の状況を把握し、シールド機の投入計画、鋼矢板打設等の仮設施工計画、および重機配置を綿密に検討した。

さらに、発進基地内の一部を 2F 構造とすることで、資機材のストックヤードと各開口部、および車両入場スペースを同時に確保することができた。



これらにより、セグメントは最大で16リング仮置きすることができ、資機材搬出入車両は1～2台/日とすることができた。その結果、防音建屋内での荷受・荷卸しができ、かつ夜間の工事車両出入りを完全に無くすることができた。また、副立坑内に貯泥ピットを設けることにより、大型バキューム車を路上に常設作業帯を設けて駐車することなく施工ができたことで、周辺環境への負担も低減できた。

また、シールドマシンの搬出入を円滑に行うため、各企業者と施工隔離や防護措置等の協議を行い、既存の水道管φ250mmを立坑外側に切り回すとともに、高圧線をはじめとする全ての架空線の腕金を延長し、立坑内で吊防護を行う東電2条2段とほぼ同じ位置まで移設することにより、クレーン動線を確保することができた。

#### 4.2 磁気探査計画と精密な掘削管理

残置の可能性がある鋼矢板の延長を試掘等により確認するのは施工環境上現実的ではないため、磁気探査によって、その有無を確認することとした。

磁気探査は、複数箇所にて測定し、支障物が残置されている可能性のあるシールド掘進範囲について確認した。

対象となる範囲を確実に探査できるように、表層部の試掘を行い、その結果とシールド路線との位置関係、および探査位置の配置を正確に測量し、決定した。

調査の結果、シールド掘削断面には残置物が無いことが確認され、当初設計の線形通り



図4 発進基地平面図

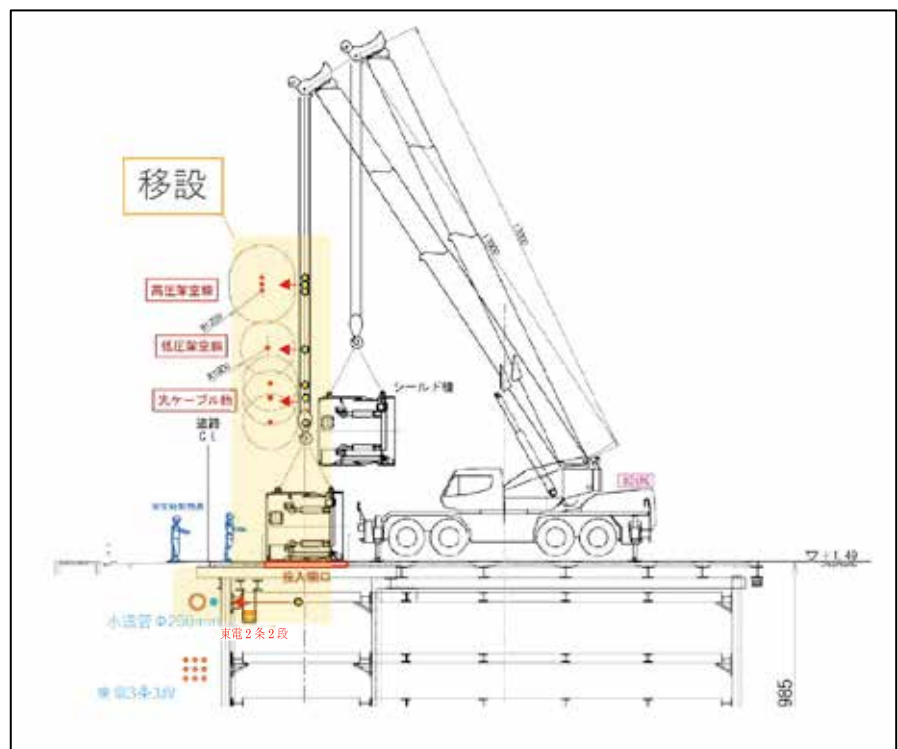


図5 搬出入計画図

に問題なく施工できた。

曲線施工の余掘りによる地山の崩壊に伴う構造物への影響を最小限とするため、坑内測量頻度を直線部においては1回/10m程度であるのに対し、1回/1m程度に増やし、曲線線形の精度確保の確認を行った。

この結果、東電人孔および路面の変状はなく、線形を維持することができた。また、シールド通過前後に行った人孔内調査においても、人孔内壁面のクラックや漏水状況等の状態変化は見られなかった。

#### 4.3 仮壁計画と安全管理

到達人孔内での狭小スペースにおいて、シールド機到達、シールド機解体、および仮壁設置の作業を円滑に行うため、 $\phi 2800\text{mm}$  ドロップシャフト開口を塞ぐ形で仮設ステージを設け、手摺を設置し開口部養生をすると同時に、到達側と反対に位置する供用されている $\phi 2000\text{mm}$ の既設管側への立入禁止柵とした。仮設ステージ床面にはエキスパンドメタルを使用し、人孔内の流入が増水しても流れを極力妨げることに、流入水によりステージが抵抗を受け損壊、流出しない様な構造とした。



図6 発進立坑側からの仮壁設置状況

さらに、既設人孔にシールド機が到達したのち到達部(シールド機解体残置端部)に仮壁を設置した。仮壁の構造は仮壁下端から地表面まで湛水しても耐え得る強度とし、人が出入りできるハッチと、既設人孔側の確認や、排水に利用できるよう、バルブを2箇所設けた。仮壁を設置したことにより、施工中の管内への流入がなくなり、一滴ルールの対象外とすることができ、雨天による工程遅延のリスクを下げることができた。また、シールド機解体中に確認された、坑内、発進立坑部、発進基地内、路上での下水臭を防ぐことができた。

#### 5. おわりに

デュアルシールドは、令和2年11月末に既設人孔に無事到達した。その後、防音建屋の解体、マンホール築造・立坑復旧工を実施し、公園及び道路を復旧し令和3年2月末に工事を完了した。

東京のように都市化が進んでいる都市において、発進、到達立坑の設置や面積に制約を受け、かつ線形に急曲線が含まれる下水道管を布設するような場合は、発進、到達側の施工方法の工夫とともに、それに



図7 シールド到達状況

対応する工法を採用することが必須である。今後も大中口径の管きょの整備にあたっては、設計及び施工における創意工夫が求められるものと考えられる。



### 1-2-3 汚水幹線圧力解放部における幹線再構築事例について

南部下水道事務所 建設課  
建設工事担当 筏 紀晶

#### 1. はじめに

京浜島汚水幹線は、城南島ポンプ所、東海ポンプ所から流入する分流式汚水を自然流下で八潮ポンプ所へ流下させる汚水幹線(図 1)であり、幹線再構築事業の対象路線に位置づけられている。特に東海ポンプ所からの圧送管(東海汚水幹線)の圧力解放部の付近は、著しく腐食しており、早急な対策が必要であった。工事にあたっては各ポンプ所の運転調整が必要であったことから、ポンプ所の管理部署と協議を行い、協力を得て本幹線の再構築工事を実施したので、その内容について報告する。



図 1 現地案内図

#### 2. 京浜島汚水幹線再構築工事の概要

本工事の対象となる京浜島汚水幹線は分流地区の汚水幹線であり、東海ポンプ所及び城南島ポンプ所から圧送される汚水を受けて自然流下により八潮ポンプ所へ送水する内径 1,200 mm の鉄筋コンクリート管である。本工事の施工箇所は圧送管(東海汚水幹線)の圧力解放部の下流部であるが、腐食が進行し鉄筋が露出している状態であり、早急な対策が必要となっていた(図 2)。

そのため、京浜島汚水幹線再構築工事では特に損傷の激しい 70.20m に対して内面被覆工法(製管工法)を実施した。工期は令和 2 年 11 月 2 日から令和 3 年 3 月 11 日までの 85 日間であった。現地は都道の歩道部に位置し、施工路線の間にはトラックターミナルへの入り口があることから大型車両が頻繁に通行している。



図 2 管きょの劣化状況

### 3. 施工時の課題の整理

京浜島污水幹線は流入する污水を切り回せる管きょが存在しないことから、城南島ポンプ所及び東海ポンプ所から圧送される污水を受け入れながら工事を実施することとなる。また、両ポンプ所の流入量は計画流量よりも小さく、間欠運転を行っている。そのため、工事の施工にあたり、以下の課題を解決する必要があった。

#### (1) 施工時におけるポンプ所の運転停止

本工事では内径 800 mm 以上の製管工法を実施することから、作業員が管内へ入り作業を行う。そのため、作業員の安全を確保することが重要である。作業実施時に污水ポンプを運転すると、管内の水位や水量、硫化水素濃度が急激に増加し、作業員の安全を脅かしかねない要因となる。

現在、当局では幹線内作業に対する安全対策として、作業時は被遠隔制御ポンプ所においても手元操作盤にて運転禁止措置を確実に実施することを原則としている。施工箇所は東海污水幹線の圧力解放部の直下流に位置するため、流速が特に大きい污水が流入する(図 3)。さらに、東海污水幹線はポンプ運転停止時においても污水が管内に滞留していることから、ポンプ運転から 1 分以内に圧力解放部から排水される。そのため、ポンプ運転開始後に作業員が避難することは不可能であった。加えて、吐出し口付近では污水内に溶存する硫化水素が気層へ放出されやすい環境である(図 4)。そのため、施工時にはポンプを確実に停止することが求められた。

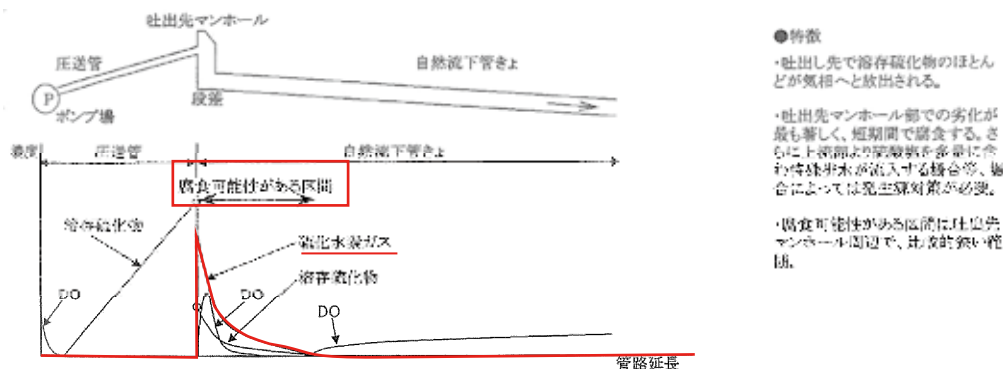
#### (2) 施工時間の制限

城南島ポンプ所、東海ポンプ所に流入する污水は各ポンプ所内の沈砂池に滞留し、水位が上昇するとポンプにより排水しているため長時間の停止は困難である。

2 施設はいずれも埋立地内の污水を送水するための施設であるため昼間の污水流入量が夜間よりも多い。現地計測の結果、昼間のポンプ運転停止時間は両ポンプ所と共に 1～2 時間、夜間のポンプ運転停止時間は東海ポンプ所で約 4 時間、城南島ポンプ所で約 6 時間であった。



図 3 圧力解放部からの流入状況



(圧送開放部に落差がある場合の硫化水素ガス拡散範囲のイメージ)

図 4 硫化水素ガス拡散範囲のイメージ

### (3) 施工時の安全対策

施工箇所は汚水幹線の内部であり、流量がない状態であっても硫化水素が発生しやすい環境であることから、下水道管内の硫化水素濃度を上昇させないための対策が求められた。

また、設計段階での事前調査において、分流式の汚水管であるが雨天時に汚水流入量が増加する傾向が見られた。そのため、雨天時にはポンプ所に流入する汚水量が急増し、ポンプを稼働させる可能性があった。さらに、万が一ポンプが運転した状況に備えて、迅速に退避できる体制を整える必要があった。

## 4. 課題への対応策

上記の課題を解決し施工を行うため、現地における流量・流速等の事前調査により作業環境を確認した上で、ポンプ所の運転管理を行っている森ヶ崎水再生センターに設計の早い段階から協力を依頼するとともに、施工時の安全対策について綿密な協議を行った。併せて工法協会へヒアリングを実施し、厳しい条件下での施工の可能性についても確認した。

### (1) 確実にポンプを停止するための綿密な事前協議と施工時における連絡体制の確立

ポンプ停止が必要な2施設において確実な停止措置を実施するため、森ヶ崎水再生センターとの協議の結果、ポンプ所内にポンプ停止者と作業確認者の計2名の局職員を配置することとなった(図5)。

局職員は森ヶ崎水再生センターの職員を中心に配置し、不足した作業確認者は南部下水道事務所建設課職員を始め、本局工務課職員に協力を頂くことで人数を確保した。ポンプ操作に不慣れな職員が確認者として参加するため、事前に森ヶ崎水再生センターにて作業手順書と停止作業映像を作成頂き、作業内容を容易に把握できるようにした。

また、施工時にはポンプ所2施設の停止や運転に合わせて、施工業者の入孔や出孔を速やかに指示する必要があった。複数の関係者間での連絡が行われるため、伝達ミスによるトラブルを防止する必要があった。そこでポンプ連絡責任者として課長代理級以上の職員を配置し、各所からの情報を一元的に管理する体制とした。

さらに、作業に参加する職員及び施工業者には事前に作業時の連絡スケジュールを配布し、予定されている停止時間と発生する連絡の内容を全員で共有し、停止作業の手順を明確にした(図6)。

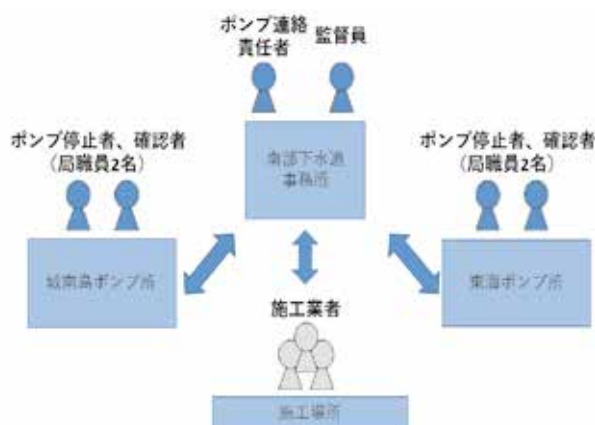


図5 施工時の連絡体制

【本工事】 京浜島汚水幹線再構築工事・作業スケジュール  
(1月12日～2月18日・月～木の3時19日限・深夜間)

| 時間                | 作業内容(予定)                                        | 城南島ポンプ所<br>運転状況 | 東海ポンプ所<br>運転状況 | 連絡事項                                            |
|-------------------|-------------------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------------------|
| 10:05             | 18:00にポンプ運転状況の確認<br>作業実施予定の連絡を行う。               | 運転中             | 運転中            | 南部下水道事務所建設課 作業実施予定<br>ポンプ運転状況 電話スクリン<br>森ヶ崎センター |
| 22:00             | ポンプ運転状況の確認<br>作業実施(中止)について連絡<br>ポンプ自動運転・停止要否の要請 | 運転中             | 運転中            | 南部下水道事務所建設課 作業実施連絡<br>ポンプ運転状況 電話スクリン<br>森ヶ崎センター |
| 22:30             | 城南島ポンプ手動運転                                      | 手動運転            | 運転中            |                                                 |
| 23:35             | 東海ポンプ手動運転                                       | 運転中             | 手動運転           |                                                 |
| 0:00              | 作業停止<br>備忘・管内ガス濃度確認<br>ポンプ運転停止の要請               | 運転一時停止          | 運転一時停止         | 南部下水道事務所建設課 運転停止連絡<br>電話スクリン<br>森ヶ崎センター         |
| 0:10              | 水位低下・管内ガス濃度確認<br>安全に入孔できることを確認<br>入孔前に連絡        | 停止中             | 停止中            | 南部下水道事務所建設課 入孔連絡<br>電話スクリン<br>森ヶ崎センター           |
| 0:10<br>～<br>4:30 | 入孔・管更生・出孔<br>※風量があれば早急に連絡する。                    | 停止中             | 停止中            | 管内作業(4時間20分)                                    |
| 4:10              | 作業状況の経過報告<br>「作業は18時で4時30分に出口予定で<br>ず」          | 停止中             | 停止中            | 南部下水道事務所建設課 作業状況の連絡<br>電話スクリン<br>森ヶ崎センター        |
| 4:30              | 作業終了連絡 片付け                                      | 停止一時運転一時運転      | 運転一時運転         | 南部下水道事務所建設課 作業終了連絡<br>電話スクリン<br>森ヶ崎センター         |

図6 作業時の連絡スケジュール(深夜間)



## (2) ポンプ所運転調整による施工時間の確保と時間制約への対応

ポンプ所の停止可能な時間の中で施工する必要があるとともに、夜間にポンプを停止するために多くの職員や受注者を配置する影響が大きいことから、工事期間についても可能な限り短縮することが求められた。そこで事前に工法協会へヒアリングを行い、4 時間を施工時間とする制限の中でも施工が可能な全体工程とした。

工事契約後も引き続き受注者、維持管理部署と綿密な工程調整を行い、前処理工など作業の中断が可能な作業は昼間に実施し、製管工や裏込め注入工など一連で必要な作業は 4 時間以内に完了するように内容を分けて夜間に実施することとした。

## (3) 雨天時や水量増加、硫化水素への対策による作業員の安全確保

雨天時の作業を避けるため、施工中においても対象区内において雨が一滴でも降れば施工を中止する一滴ルールを適用すると共に、作業日前日に天気を確認して施工の実施を判断した。晴天時においても急激な流入量増加が発生した場合に対応するため各ポンプ所にて施工時に常時水位監視を行い、水位が異常上昇した場合にはすぐさまポンプ連絡責任者を通じて避難を指示できる体制とした。受注者も急遽発生しうる避難指示に対応するために、避難訓練を実施し退避時間 5 分以内を遵守する施工体制を確保した(図 7)。

また、ポンプが停止されてから汚水流量や硫化水素濃度が安全な水準となるまでに時間を要するため、ポンプ停止後に送風と硫化水素濃度測定を行い、安全が確保されたことを確認した上で入孔することとした。作業中には水位と硫化水素濃度を常時計測し、異常上昇が見られた場合には出孔することとした。

## 5. まとめ

分流式の污水ポンプ所 2 施設からの流入がある幹線(鉄筋コンクリート管、内径 1,200mm)において製管工法による再構築工事を実施した。施工にあたり想定される課題に対して対策を講じ、施工時の安全管理と工程調整を受注者とともに徹底した。

ポンプの運転停止に協力していただいた多くの方々の尽力を得ることで、本工事を工期内に無事故で完了することが出来た(図 8)。

施工にあたりご協力を頂きました森ヶ崎水再生センターの皆様、工務課の皆様、工法協会並びに受注者の皆様へ心より感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 下水道管路施設腐食対策の手引き(案)、  
日本下水道協会、2002 年 5 月



図 7 避難訓練の様子



図 8 施工後の幹線内写真



## 1-2-4 南部汚泥処理プラント汚泥焼却設備 3 号炉撤去工事の施工事例

### 【ダイオキシン類を含む機器の撤去】

第二基幹施設再構築事務所 設備工事課 丸山 善之

#### 1 はじめに

南部汚泥処理プラントは汚泥焼却炉が 6 基設置されており、現在新 1～3 号炉(3 台)の再構築が完了し、今後 4 台目の再構築として新 4 号炉を建設する予定である。この新 4 号炉は、「経営計画 2021」のエネルギー・地球温暖化対策における環境に配慮したエネルギー自立型焼却炉に当たる。南部汚泥処理プラント汚泥焼却設備 3 号炉(旧)の撤去工事後の跡地に、この新 4 号炉を建設する。

焼却炉の撤去工事では、機器内部に残留していることが多いダイオキシン類に最大限の留意を払う必要がある。このダイオキシン類は、非意図的に生成される毒性(発がん性、神経毒性等)が強い性質を持ち、難分解性で環境に放出されると土壌や水環境中に長期間残留し、食物連鎖を通して生体に影響を及ぼす恐れがある。汚泥焼却炉では、燃焼後の燃焼ガスが冷却される(500℃から300℃)ことによりダイオキシン類が生成される。このため、汚泥焼却設備の撤去に当たっては、撤去前にダイオキシン類の濃度測定を行い、撤去時にはダイオキシン類を含む粉じんが漏れないよう、撤去物の周囲を囲うなどの養生を十分に行う必要がある。さらに、撤去前、撤去時に作業を行う者は、ダイオキシン類から身を守るため、定められた防護服やマスクなどの保護具を着用する義務がある。今回は、それらの施工事例を報告する。

#### 2 ダイオキシン類を含む機器撤去の留意点

撤去工事に当たり、厚生労働省が定める「廃棄物焼却施設内作業におけるダイオキシン類暴露防止対策要綱」に基づき、撤去対象機器のダイオキシン類濃度を測定し、その濃度から作業エリアの管理区域と着用すべき保護具レベルの決定を行う必要がある。この管理区域は第1から第3管理区域(第3が一番レベルが高い(表1))、保護具はレベル1からレベル(レベル3が一番レベルが高い(表2))と定められる。

また、管理区域から解体方法を決定する必要もある。具体例としては、撤去時の養生

|                                                                  | 第1評価値<<br>2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup> | 第2評価値≤<br>2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup><br>≤第1評価値 | 2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup><br><第2評価値 |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| B測定値<<br>2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup>                                | 第1管理区域                             |                                              |                                    |
| 2.5pg-TEQ/m <sup>3</sup> ≤<br>B測定値≤<br>3.75pg-TEQ/m <sup>3</sup> |                                    | 第2管理区域                                       |                                    |
| 3.75pg-TEQ/m <sup>3</sup><br><B測定値                               |                                    |                                              | 第3管理区域                             |

表1 管理区域決定のマトリクス

|                                 | 第1管理区域       | 第2管理区域       | 第3管理区域       |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| d<3000pg-TEQ/g                  | レベル1<br>の保護具 |              |              |
| 3000pg-TEQ/g≤<br>d≤4500pg-TEQ/g |              | レベル2<br>の保護具 |              |
| 4500pg-TEQ/g<d                  |              |              | レベル3<br>の保護具 |

表2 保護具決定のマトリクス

\* TEQ：毒性等量 (Toxicity Equivalency Quantity の略)

として、ダイオキシン類の飛散を防ぐため、撤去物の周囲をシート等で全面を囲い、集塵機を設置し、図1のように負圧として、ダイオキシン類の粉じんの集塵を行うことなどが挙げられる。その他、作業員の保護具に付着した粉じんを落とし、安全に脱衣するため、クリーンルーム等を設置する必要もある。

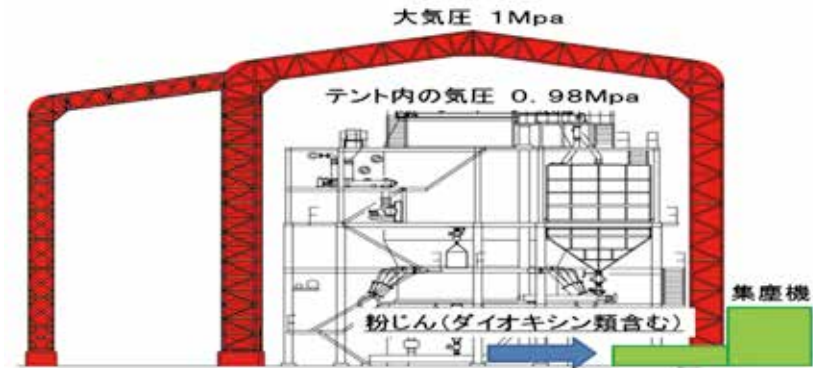


図1 撤去物に対する養生(断面図)

### 3 施工手順（内容）

#### ①事前調査

調査においての保護具は、ダイオキシン類の濃度が不明であるため、レベル3の一番レベルの高い保護具を使用して機器や周囲のダイオキシン類濃度測定を行った。その結果、管理区域、保護具ともに一番レベルの低い第一管理区域、レベル1の保護具で施工できるという測定結果であった。

また、解体方法については管理区域に伴い、重機を用いた解体方法(表3)を選択した。

| 解体作業管理区域 | 選択できる解体方法                                                                                                                  |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第1管理区域   | ア 手作業による解体<br>イ 油圧式圧砕、剪断による工法<br>ウ 機械的研削による方法<br>エ 機械的衝撃による工法<br>オ 膨張圧力、孔の拡大による工法<br>カ 粉じんやガス体を飛散させない工法<br>キ 溶断（保護具はレベル3要） |
| 第2管理区域   | 上記ア)～カ)に掲げる方法                                                                                                              |
| 第3管理区域   | 上記ア)及びイ)                                                                                                                   |

表3 管理区域による解体方法

## ② 先行撤去

図2に示した機器上部の箇所について先行撤去を行っていく。先行撤去を行うのは、図1に示した撤去機器全面に行う養生の規模を縮小させるためである。撤去手順としては、図3のように局所ごとにシート養生を施し、集塵機、クリーンルームを設置する。その後、機器の分解を行い、ラフタークレーンを用いて撤去をしていく。先行撤去については、ダイオキシン類の粉じんの飛散を防ぐため、機器は壊さず、分解できる範囲で分解し、分解した機器の端部にはシート等の養生を施し、撤去、運搬を行った。

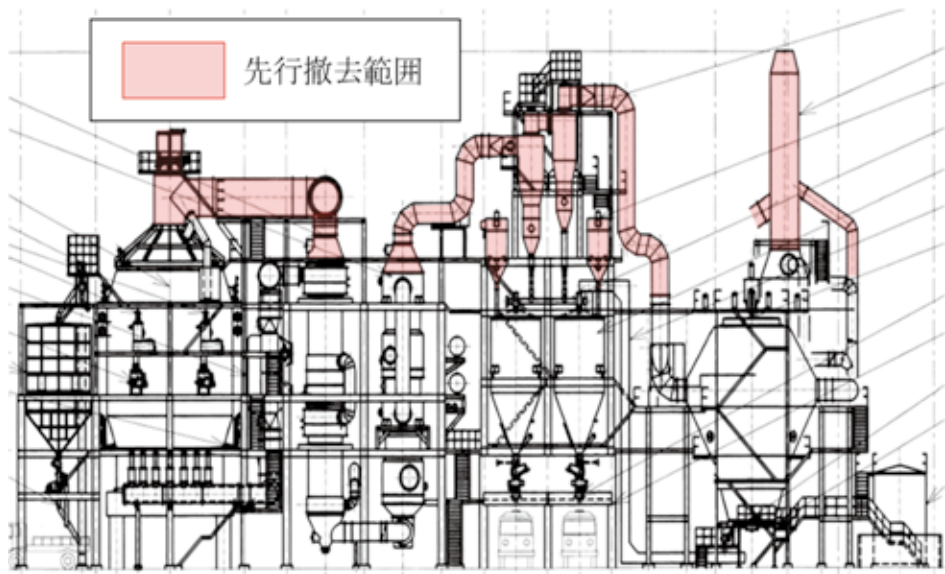


図2 先行撤去範囲（断面図）

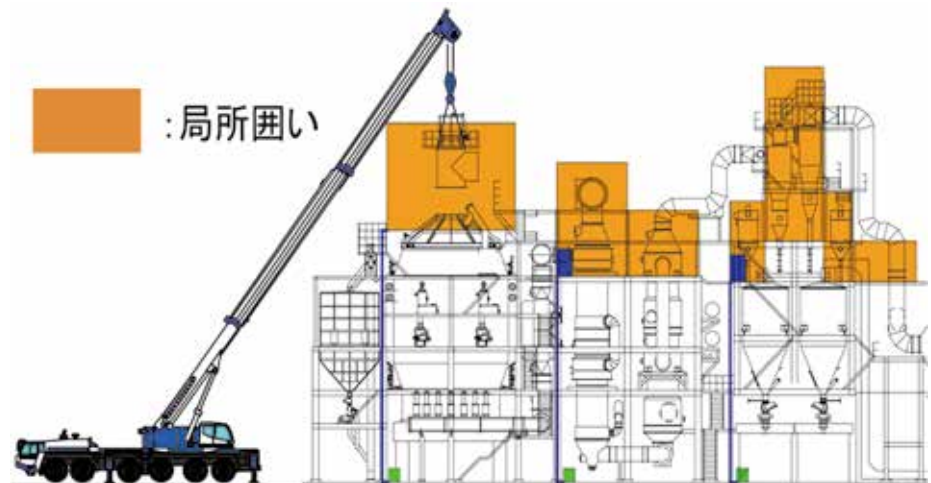


図3 先行撤去の状況（断面図）

## ③ 本体撤去

機器本体の撤去は、周囲全面に養生を施す。高さ20m級の非常に大規模な養生で、設置手順としては、柱、屋根の骨組みを地上で地組し、順次ラフタークレーンにて設置をしていく（図4）。規模が大きいため、120tのラフタークレーンを用いて設置した。この規模は、風等の影響を受けやすいことから、事前の天気予報、当日の状況には十分に留意して作業を行った。ま



図4 テント(屋根部)設置状況



た、屋根へのテントの取付けは、作業効率を上げるため、骨組みを骨組みを地組する際に同時に行った。

養生の設置後、機器内部のダイオキシン類を除去するため、洗浄を行った。高圧洗浄機を用いて洗浄（図5）していくが、洗浄で出た排水には重金属類などが含まれている可能性があるため、そのまま下水に流すことができない。このため、重金属類含有調査で基準値以下を確認した後に、産業廃棄物として廃棄を行った。

機器の洗浄終了後に、撤去を行った。重機を用いて部分的に機器上部から鉄骨カッターで切れ目を入れ、徐々に撤去した。

撤去状況の確認方法の一つとして、遠隔で確認できるよう、ウェブカメラを現場に2か所設置した。ウェブカメラの設置により、現場事務所や受注者本社の安全担当が施工状況を逐次確認できることはもとより、緊急時に速やかに現場の確認ができることが最大のメリットであった（図6）。



図5 機器洗浄状況



図6 機器撤去状況（ウェブカメラ）

#### 4 まとめ

今回、撤去工事特有の養生として、全面にシートを設置し、養生シートの中を負圧にして施工した。このため、施工中、施工後とダイオキシン類濃度の測定を行ったが、周囲の濃度に変化がなく、周辺環境に影響を与えることなく施工を終えることができた。

本体撤去時においては、ウェブカメラを設置したことにより、逐次工事の状況が確認でき、安全な施工に留意が図れた。

今回のダイオキシンに関わる施工は、事前の官公庁への届出が多い点、撤去の前に測定を行う点、撤去物を囲って中を負圧にする養生や保護具を着用して作業する点など、他工事と異なる点が多く非常に勉強になった。

最後に、工事施工を進める中、受注者、並びに関係部署と調整を図り、施工方法を十分に検討したことで、無災害、工期を遵守し工事を終えることができた。今後新4号炉の建設においても、維持管理部署など関係各所と調整を図りながら工事を進めて行く所存である。

## 1-3-1 大規模噴火時の下水道管内における火山灰の挙動に

### 関する基礎調査について

計画調整部 技術開発課 市川□吉洋  
鈴木□秀典  
萩原□徹

#### 1. □背景

□平成30（2018）年度に内閣府中央防災会議において、「大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキング」が発足し、富士山噴火の際には東京都内にも降灰被害が発生するとの想定が報告された。

□宝永4（1707）年11月に発生した宝永大噴火では（図1）、江戸にも最大で5cmの降灰があったと記録されており、この報告によると同規模の噴火を想定した場合、図2に示す通り、都内では2cm～10cmの降灰が予測されている。降灰が0.5cm～1cm以上になると、道路や鉄道などの交通網や上水道、人体への影響が、顕著に現れる傾向になる。中でも、下水道管では、1mm前後の降灰後に、降雨により灰が下水道管内に流入し、管路が閉塞するおそれがあり<sup>1)</sup>、灰の成分と水との化学反応により固結するため、突き崩すのが困難となる可能性もある。

□また、東京都区部の約8割が合流式下水道で整備されており、管路が閉塞した場合、トイレや台所、お風呂等が使用できなくなる公衆衛生の悪化に加え、降雨時に雨水の行き先がなく、浸水被害が発生するおそれがある。

□しかし、下水道管内での火山灰の挙動に関しては既往研究がなく、下水道管内に侵入した火山灰の除去方法についての知見が得られない状況にある。

□そこで、火山灰による閉塞を解消する手段の検討を行う必要があり、火山灰の性状や降灰時の下水施設に与える影響や、火山灰が下水道管内に侵入した際の挙動に関する化学的・力学的な調査を行った。



図1 宝永大噴火でできた火口

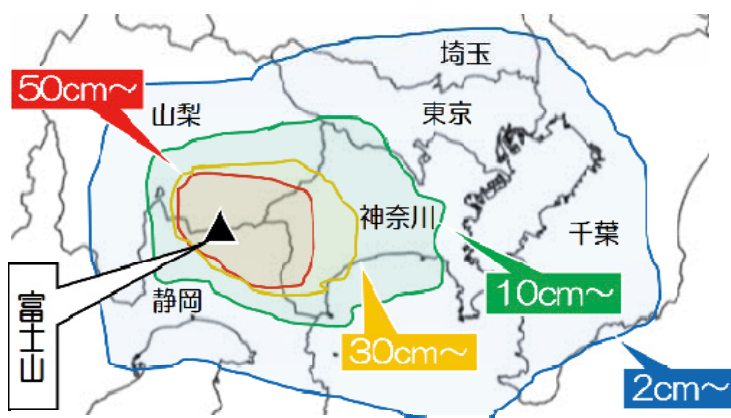


図2 内閣府による降灰予測

## 2. □検討計画

### 2.1 □事前の情報整理

#### 2.1.1 □火山灰の性状に関する文献調査

□火山灰の性状および下水道管内に与える影響等について、文献を収集整理し、火山灰に対する基礎資料の整理を行った。その結果、火山の噴火履歴や噴火による被害状況などをまとめた資料、火山灰の性状、火山灰の到達予測、ハザードマップ、降灰時の交通への影響などに関する資料を収集することができた<sup>2)、3)</sup>。

□一方、下水道管内に与える影響に関しては、下水道管内に火山灰が流入し閉塞した事例はあったが、その時の被災の程度や除去方法等の文献は収集できなかった。

#### 2.1.2 □地震時の液状化による下水道管への砂の流入に関する調査

□火山灰と類似の状況として、地震時の液状化による下水道管への砂の流入について、事例を調査した。

□平成23(2011)年3月に発生した東北地方太平洋沖地震において、東京都江東区や千葉県浦安市でも液状化により土砂が下水道管内に侵入して堆積し、流下機能の阻害が発生した(図3)。

□また、下水道管内に堆積した土砂は、時間の経過とともに固まり、高圧洗浄車による除去が困難であった(図4)。下水道管内にノズルを入れ、高圧洗浄や吸引による堆積土砂の除去に当たったが、土砂が硬く、除去に多くの時間を費やすことになった。

□このことから、火山灰については、雨水や路面洗浄水等とともに、ます等から下水道管内に侵入した場合、土砂以上に除去困難になる可能性があると考えられる。



図3 □人孔の堆積土砂



図4 □高圧洗浄車

#### 2.1.3 □桜島の火山灰について

##### □(1) 鹿児島市での現地調査

□□文献調査において、火山に関する「富士山」以外の論文等では、近年繰返し噴火が発生している「有珠山」、「浅間山」、「阿蘇山」、「霧島山」、「桜島」に関するものが多く、その中で、鹿児島県の桜島は、市街地に降灰をもたらしていることから、最適な調査対象である考え、鹿児島市にて現地調査を行うこととした。

□□鹿児島市役所にご協力をいただき、ヒアリング、鹿児島市内の下水道関連施設および桜島での現地調査を行った。



□ (2) 調査結果

□ □ 鹿児島市では、想定される降灰量が0.1mm～1mm/回と少ないことや(図5)、分流式下水道を採用していることから、污水管に火山灰が流入することは基本的にないとのことであった。

また、噴火の頻度が高いことから降灰後の道路清掃は直ちに行われ、市民にも火山灰を下水道に流すことなく回収する意識が浸透している。民地内に火山灰が堆積した場合、市民は市から配布される克灰袋に宅地内の降灰を入れて指定置場に出し(図6)、灰は市が廃棄物として適切に処分している(図7)。

□ □ 道路に堆積した火山灰は、路面清掃車によって吸引し、除去していることから(図8)、雨水管への灰の侵入はほとんど無く、平成25(2013)年に大規模な噴火の際にも、下水道施設への被害は無かったとのことであった。



図5 □ 噴煙の状況（鹿児島市）



図6 □ 噴煙の状況（鹿児島市）



図7 □ 灰の集積状況



図8 □ 清掃車（灰を吸引）

## 2.2 □ 火山灰の土質分析

□ 富士山噴火時には都内での降灰量が2cm～10cmと鹿児島市に比べて多いことや、合流式下水道を多く採用していることから、雨水ますから下水道管内に灰が侵入することが考えられ閉塞が想定される。

□ そのため、降灰が下水道管に与える影響を予測するための試験を行うこととした。

□試験に先立ち、一定量の入手が可能な桜島の火山灰を用い、富士山火山灰との特性の比較を行った。その後、管内で灰と汚水が混合した場合の特性の変化を確認する試験を行った。

## 2.3 □ 富士山と桜島との火山灰の比較

□富士山と桜島との火山灰の性状や相違点を把握するため、まず、富士山火山灰の性状について論文等の収集整理を行った。次に、桜島の火山灰の粒度試験及び成分分析を行った。

### 2.3.1 □ 粒度分布

□鹿児島市で収集した火山灰と、宝永大噴火の噴火初日に江戸で採取された火山灰（以降、富士山）、平成20（2008）年に桜島島内を含む鹿児島市内で採取した火山灰（以降、桜島（2008年））を分析した文献<sup>4）、5）</sup>との比較を行った結果、粒度分布に関しては、富士山の粒度分布と同じような形状の曲線であるが、富士山よりも少し粗い粒径を含む同じような粒度分布であった（図9）。

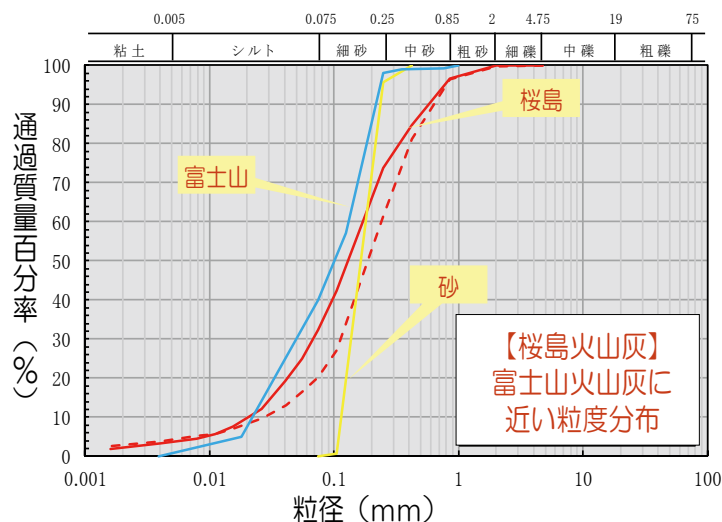


図9 灰の粒度分布

### 2.3.2 □ 化学組成

□火山灰の化学組成を分析した結果、 $\text{SiO}_2\text{--CaO}$ 、 $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}$  の灰の成分比較より、化学組成は、富士山や桜島（2008年）の一例の範囲内にあることが確認できた（図10、図11、図12）。

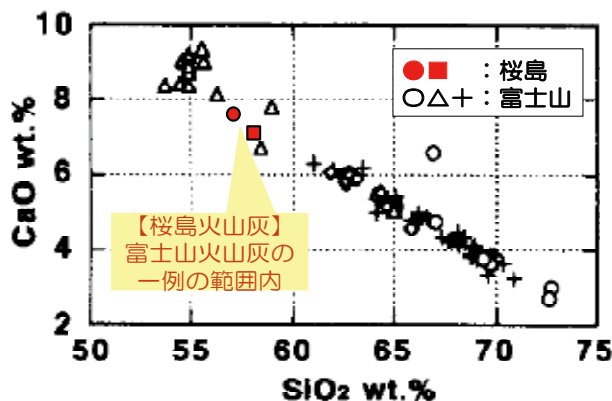


図10 灰の成分比較（ $\text{SiO}_2\text{--CaO}$ ）

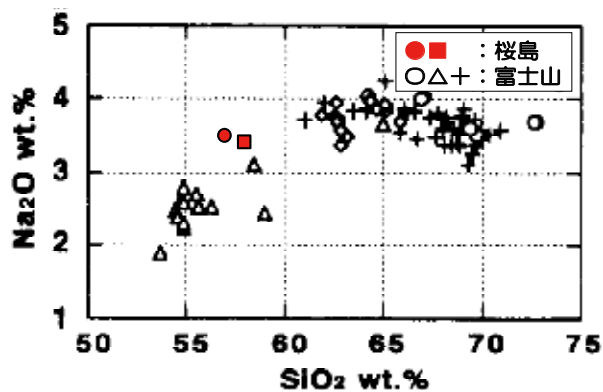


図11 灰の成分比較（ $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O}$ ）

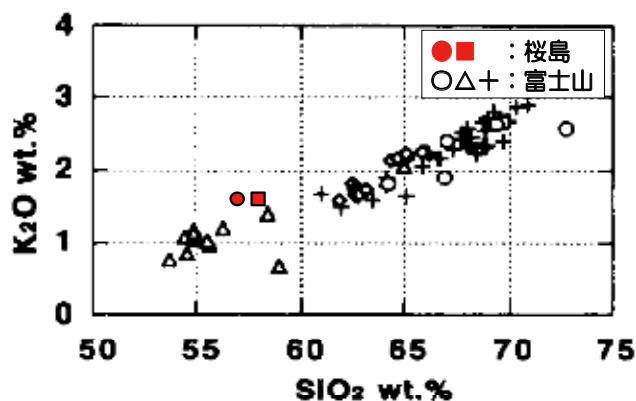


図12 灰の成分比較（ $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}$ ）

### 3. □試験方法

□今回の試験は粒度分布が近いことや、採取した桜島の灰の主成分が一例の範囲内に含まれることから、桜島で採取した火山灰を用いて、汚水と混合した火山灰の硬度試験や流水状況試験を行った。これにより、火山灰の特性を把握することで、火山灰が下水道管内に入った際の硬さや挙動の予測をした。

#### 3.1□硬度試験

□火山灰が汚水と混合した時の含水比に対する硬度を確認するため、図13に示す通り、硬度試験を行った。

試験の概要は以下のとおりである。

- (1)0.18m<sup>2</sup>程度の容器を2個用意し、一方に火山灰、もう一方に砂（豊浦標準砂）を、それぞれ高さ9cmまで入れる。
- (2)容器に汚水を水浸させ、それぞれを湿潤状態にした後に排水する。
- (3)(2)を1セットとし、全部で4セットを用意する。4セットをそのまま放置し、1日後には1つ目のセット、3日後には2つ目のセットというように、7日後、21日後に、土壤硬度計を用いて土の硬度を5点計測する。

□□□また、含水比試験も同時に行う。

#### 3.2□流水状況試験

□次に、硬くなった火山灰等の表面を水がどのように流れるか、図14に示す通り、流水状況試験を行った。

□(1)硬度試験及び含水比試験終了後、試験体の表面に水を流し、水が流下する状況を動画□□で撮影した。流す水の量および時間はあらかじめ確認しておき、すべての容器に同量□□を流した。

□(2)傾斜台の傾きは30度とし、水の流れ方の違いなど、表面の状況を確認した。

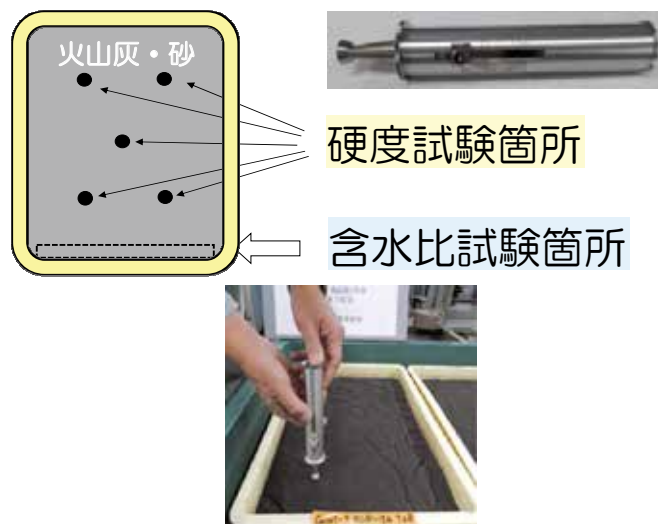


図 13 硬度試験の様子

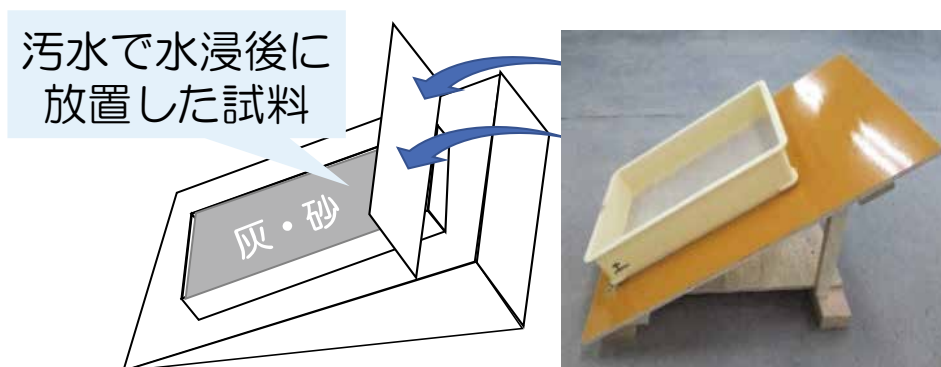


図 14 流水状況試験の様子

#### 4. □試験結果および考察

##### 4.1 □試験結果

##### 4.1.1 □硬度試験

□火山灰及び砂は汚水と混合した後、硬度が高くなり、7日目では、火山灰の硬度が砂に比べて高くなった(図15)。

□また、火山灰が水道水と混合した時の硬度の確認も行った。7日目では、汚水ほどではないが、火山灰の硬度が高くなった。

□よって、下水道管内へ大量の火山灰が侵入した場合、砂よりも硬く締まり、高圧洗浄では除去が困難になる可能性があることから、除去技術を検討する必要があると考えた。

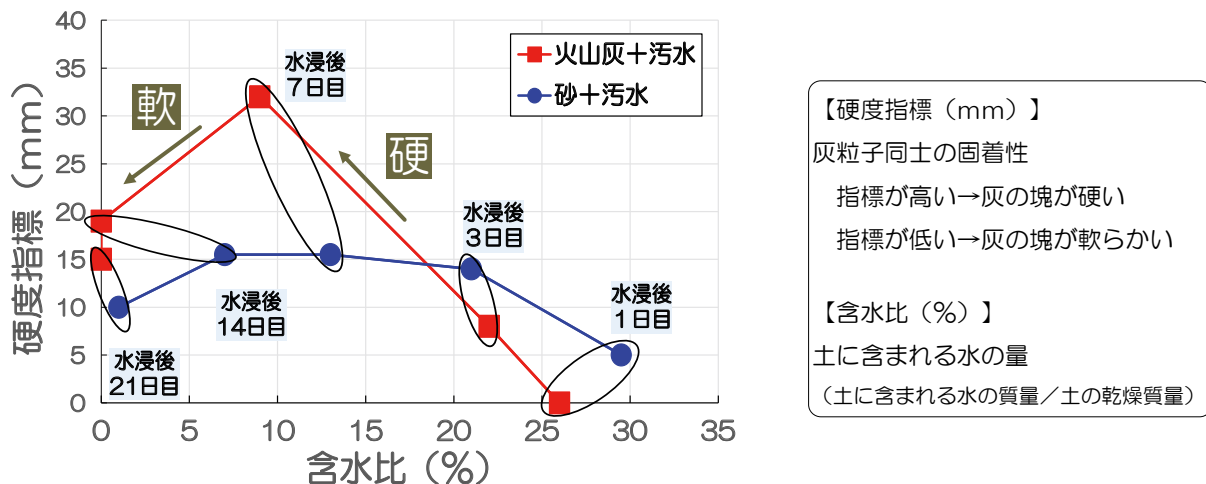


図 15 硬度試験の結果

##### 4.1.2 □流水状況試験

□硬度が高くなる7日目では、砂は流水が浸透する様子が見られたが、火山灰は灰の表面を水が流れた。いずれも侵食されにくい様子であった(図16)。

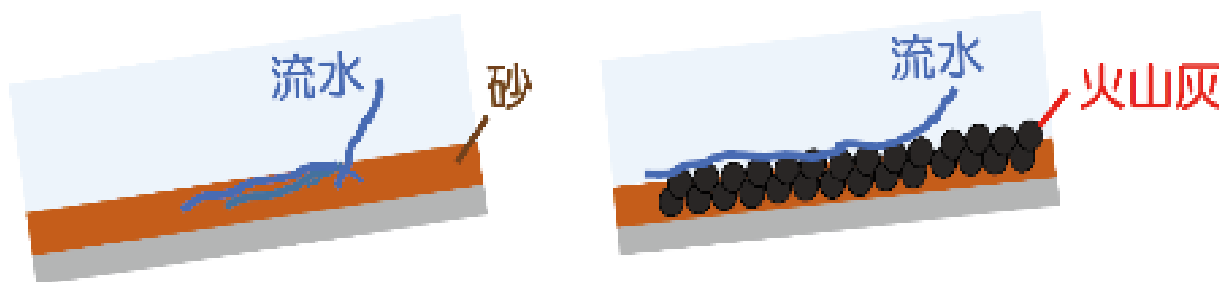


図 16 流水状況試験の結果

##### 4.2 □考察

□今回の硬度試験や流水状況試験により、下水道管内へ大量の火山灰が侵入した場合、砂よりも硬く締まり、雨水や洗浄水等では表面を流れるだけで、除去が困難な可能性が高い結果となった。

□このことから、下水道管内で固結した土砂や火山灰を速やかに除去できる技術の検討が求められる。

## 5. □今後の課題

### 5.1 □ハード対策

□ハード面からの対策として、下水道管内に流入した火山灰の除去技術について、高圧洗浄に加え、効果のあると思われる技術の検討を進めていく。

こちらについては、令和3（2021）年9月に策定した「技術開発推進計画2021」の1テーマとして、「震災時等の管路施設内の流入土砂や火山灰を除去する技術」について設定している<sup>6)</sup>。

### 5.2 □ソフト対策

□ハード対策の除去技術の検討に加えて、下水道管内へ火山灰を入れないためのソフト対策も重要である。例えば、道路管理者との連携により、道路上の火山灰は路面清掃車が回収する仕組みづくりを行ったり、区との連携により民地の火山灰の集積場の整備を行ったりすることが挙げられる。また、道路上のますなどから下水道管内へ火山灰を入れないように都民や関係者へ啓発も必要となる。

□さらに、下水道管内へ火山灰が侵入した場合の対策として、下水道局では、速やかな緊急配備態勢の構築や清掃作業等の被災後の準備を進めていくことも必要である。

## 参考文献

- 1) 内閣府：大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ、平成 30（2018）年
- 2) 富士山ハザードマップ検討委員会 内閣府：富士山火山防災マップ、平成 16（2004）年
- 3) 気象庁：降灰の影響及び対策、平成 24（2012）年
- 4) 日本火山学会：江戸市内に降下し保存されていた富士宝永噴火初日の火山灰、火山第47巻、平成14（2002）年
- 5) 日本火山学会：火山灰から見た2008年の桜島昭和火口の再活動過程、火山第55巻、平成22（2010）年
- 6) 技術開発推進計画2021、東京都下水道局計画調整部技術開発課、令和3（2021）年



## 1-3-2 京成電鉄押上線連続立体交差事業に伴う

### 下水道管きょ改良工事について

東部第二下水道事務所 施設課 山崎 慧  
(現 東京都下水道サービス(株)技術部 設計技術管理課)

#### 1. はじめに

##### 1.1 京成電鉄押上線連続立体交差事業について

京成電鉄押上線連続立体交差事業とは、京成電鉄押上線の四ツ木駅から青砥駅までの延長約2.6km(事業区間約2.2km)の区間について、交通渋滞の解消等を目的とし、線路の高架化や側道整備等を実施するものである(図1・写真1参照)。平成15年2月より、東京都、葛飾区、京成電鉄が連携し事業を進めている。



図1 事業区間



写真1 京成立石駅前踏切

##### 1.2 当局工事との関係

連続立体交差事業に伴い、現在の線路の北側に仮線路と高架化線路が新設される予定であるが、新設予定位置に当局の下水道管が布設されていることから、支障となる下水道管について、本工事にて撤去を実施する(図2参照)。



図2 線路と下水道管の位置関係



### 1.3 施工環境

今回工事にて撤去を行う下水道管は、線路と平行に布設されており、線路、駅舎、踏切等の鉄道施設との近接箇所が多数存在した。このことから、本工事の着手に当たっては、京成電鉄との近接施工協議が必要であった（写真2参照）。



写真2 踏切近接

## 2. 工事着手に当たっての課題について

### 2.1 期日までの準備作業完了

近接施工協議の必要性については、設計時点で把握していたが、設計時の事前打合せでは、京成電鉄から施工時での協議を要請された。

本工事の準備期間は40日（約2か月）であり、この間に近接施工協議を完了させ工事に着手する必要があったが、京成電鉄側の承認手続きに約1か月要するため、協議期間は実質約1か月であった（図3参照）。

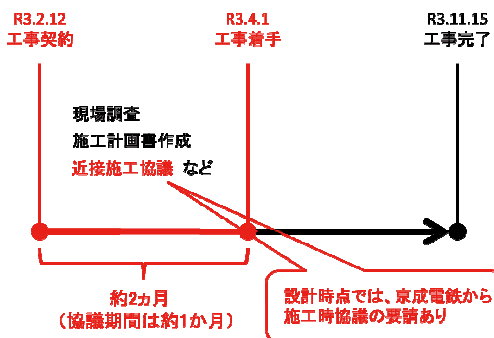


図3 準備期間について

### 2.2 重要施設の近接箇所への対応

鉄道施設の近接箇所のうち、踏切付近については、遮断機や障害検知器といった鉄道運営上重要となる施設が近接しており、施工時には、鉄道運営に影響の無いよう対策を講じる必要があった（写真3参照）。



写真3 重要施設近接

### 3. 京成電鉄との協議を踏まえた対応について

#### 3.1 迅速かつ円滑な近接施工協議

現地調査の結果、当局工事の他に埋設管撤去工事を実施している企業が存在することが判明した。他企業埋設管は、下水道管と同様の線形で布設されていることから、近接施工協議時の影響断面の選定方法や変状計測の実施方法について、他企業協議で用いた資料を活用することにより、協議回数を短縮するよう工夫を行った（図4・5参照）。

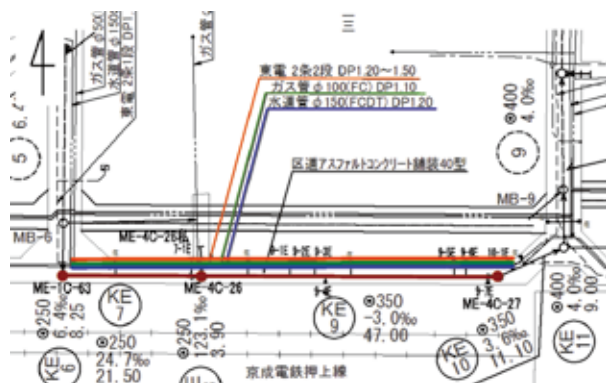
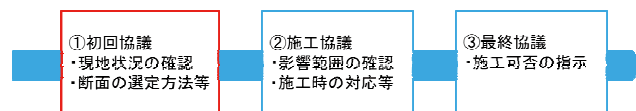


図4 他企業埋設管布設状況

#### 通常の流れ



#### 今回協議の流れ



図5 近接施工協議の流れ

#### 3.2 鉄道施設に対する変状計測の実施について

変状計測とは、構造物と近接して工事を行う際、構造物への影響の有無について、計測機器を用いて計測することである。

##### 3.2.1 変状計測実施箇所の決定方法<sup>1)</sup>

本工事では、多数の鉄道施設との近接となるが、変状計測を実施する必要があるか否かについては、次の手順に倣って決定した。

- (1) 施工箇所について、任意の掘削断面を選定
- (2) 掘削深と影響角から、影響範囲を決定（影響角は45°）
- (3) 影響範囲内に鉄道施設が存在する場合、変状計測を実施（図6参照）

##### 3.2.2 協議結果

協議の結果、本工事では次のとおり変状計測を実施することとなった。

- (1) 施工前、施工中、施工後の変状計測を実施
- (2) 路線ごとにいくつか測点を設け、測点の付近を施工する際は変状計測を実施
- (3) 水平変位、鉛直変位を計測

### 3.2.3 計測管理値について<sup>2)</sup>

変状計測の管理値については、表 1 のとおりとした。各管理値が観測された場合は、速やかに予め決められた措置を講じることとなった。

| 管理値名称 | 値(mm) | 備考                  |
|-------|-------|---------------------|
| 一次管理値 | ±6    | 計測強化を要する値           |
| 警戒値   | ±10   | 作業を中止し、担当部署の点検を要する値 |
| 変状限界値 | ±16   | 作業を中止し、安全対策を講じる値    |

表 1 変状計測管理値

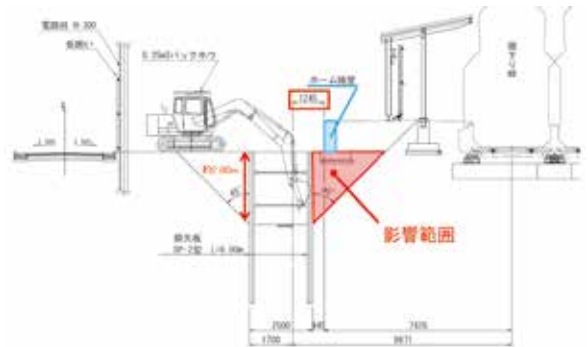


図 6 影響範囲の決定

### 3.3 列車見張り員の配置について

列車見張り員とは、鉄道軌道内付近で工事等を実施する場合に配置する保安要員である。鉄道車両の接近を見張り、工事関係者の安全を確保する役割を担う。

また、任命には、鉄道会社から交付される列車見張り員許可証が必要となる。

#### 3.3.1 列車見張り員の配置条件

本工事においては、線路中心より 5.0m の範囲内で施工を実施する場合に列車見張り員を配置することとした（図 7 参照）。

#### 3.3.2 協議結果

本工事においては、次のとおり列車見張り員を配置することとなった。

- (1) 軌道内近接路線の施工時には、必ず列車見張り員を配置
- (2) 列車接近、通過時には作業を一時中断し、通過後、列車見張り員の合図を確認し作業を再開
- (3) 有事の際には、速やかに関係部署へ連絡

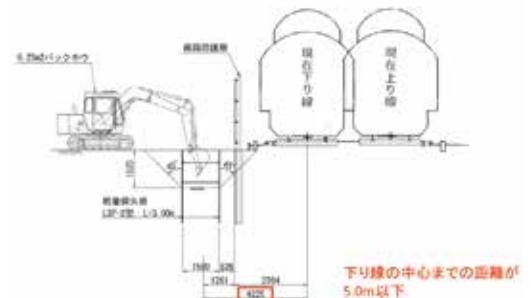


図 7 軌道内近接条件

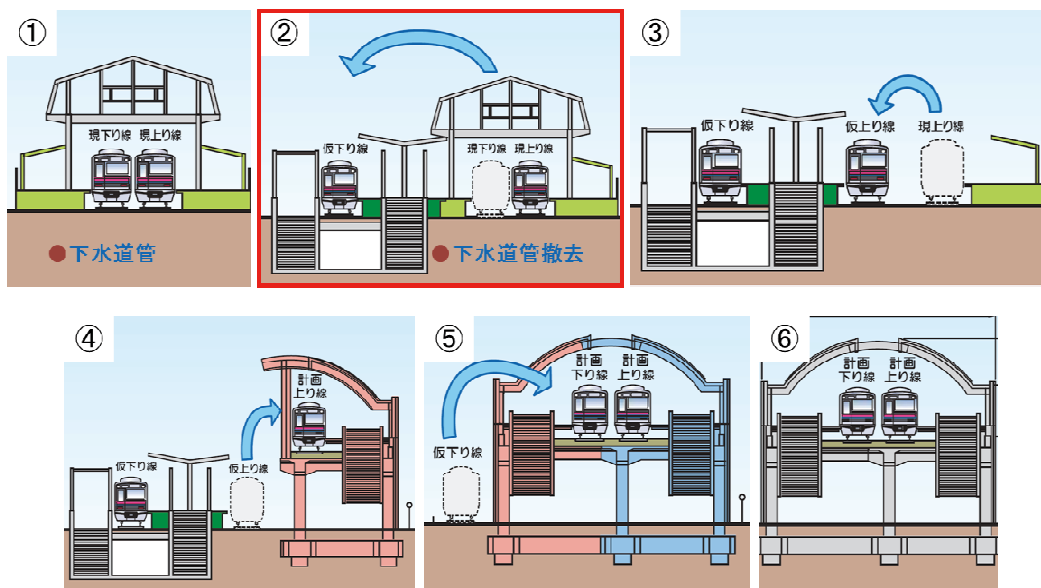
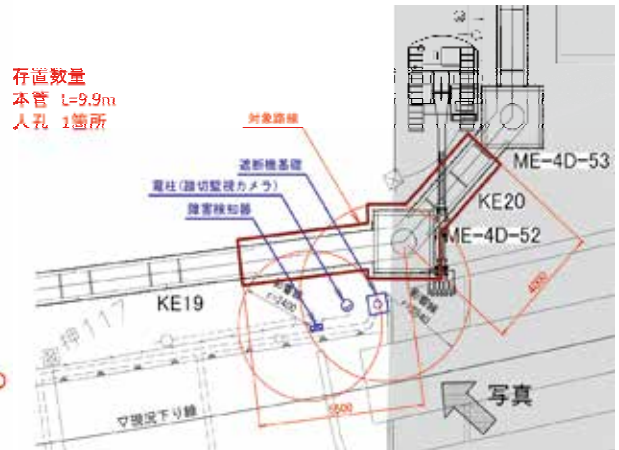
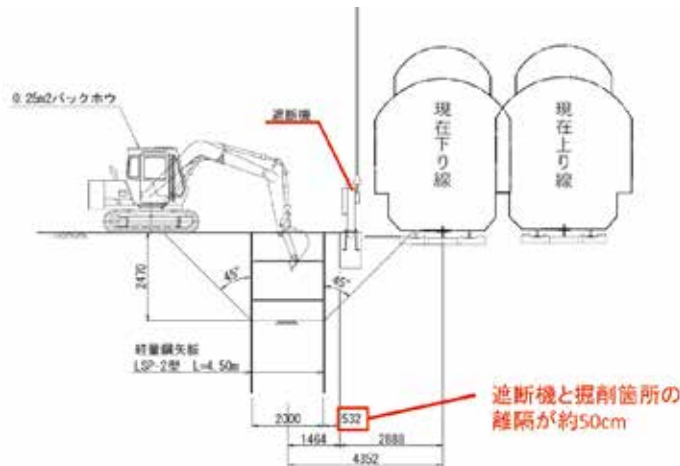
### 3.4 一部路線の存置について

鉄道重要施設の近接箇所は、鉄道運営に影響の無いよう対策を施す必要があるが、構造物との離隔が十分でなく、影響をゼロにすることは不可能であるため、対象路線の一部存置を提案した。存置路線の影響範囲決定方法は、変状計測の決定方法と同様とした（図 8・9 参照）。

なお、存置路線については、陥没対策のため、流動化処理土充填とした。

### 3.4.1 存置路線の施工時期について

存置した下水道管は、高架化線路設置時に支障となることから、将来的には再度撤去する必要があるが、重要施設への影響を考慮せずとも施工可能な仮線路切替時に施工することとした（切替に伴い現在線路が廃線となるため）。（図10参照）



## 4 まとめ

- (1) 事業に伴う工事については、工事の着手時期について、事業主体、関連企業と事前協議が必要である。
- (2) 着手までにどのような手続きが必要か、手続きにどの程度時間を要するかを考慮する。
- (3) 設計時点での現地調査を綿密に行い、施工環境及び問題点を十分に把握しておくことが大切である。
- (4) 本工事においては、協議短縮のための工夫と協議内容の遵守を行うことで、円滑かつ安全に施工を実施することができた。

(参考文献)

- 1) 東日本旅客鉄道㈱「近接工事設計施工マニュアル」
- 2) 日本建築学会「建築基礎構造設計指針」



## 2-1-1 地下鉄都営新宿線駅舎下における支障杭切断・除去の施工実績

第一基幹施設再構築事務所 工事第一課 大和田 章文

### 1. はじめに

「東大島幹線及び南大島幹線」は、江東区の一部及び江戸川区の一部の雨水を収容する雨水幹線であり、小松川第二ポンプ所～大島ポンプ所間約2.0kmを泥土圧式シールドで施工する(図-1参照)。

本工事の特徴は、供用中の既設構造物直下をシールド掘進する際、DO-Jet工法を用いてシールド機内から、影響防止策として地盤改良を施工することと、残置支障杭を切断・除去することである。このDO-Jet工法を用いることにより、地上からの施工は必要なく、地下(シールド機)から地盤改良、支障物の切断・除去が可能となる。今回は、これらのうち支障物の切断・除去の実施について報告する。

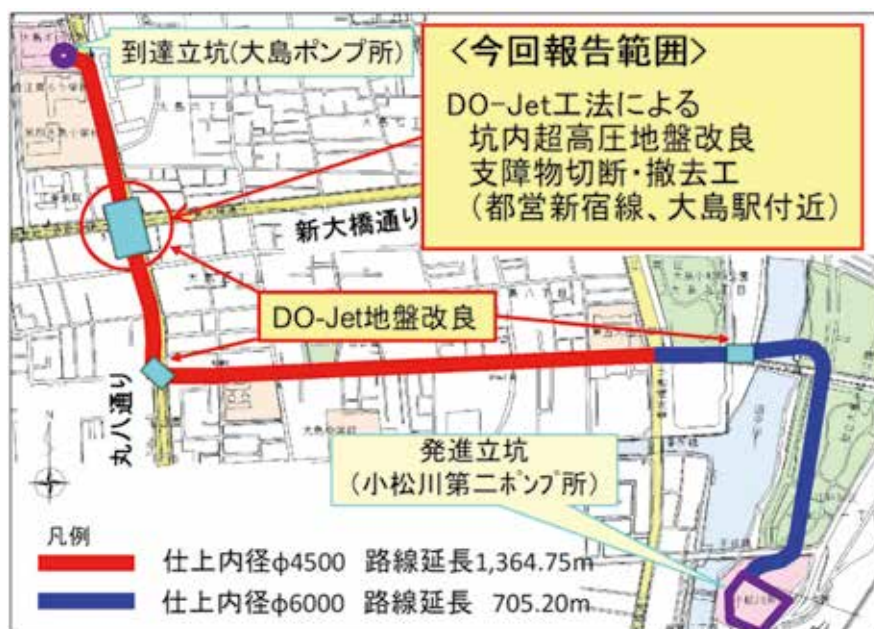


図-1 全体平面図 (DO-Jet 工法施工位置)

### 2. 工事概要

#### 2.1 全体工事概要

工事件名：東大島幹線及び南大島幹線その2工事、その3工事、その4工事

受注者：鹿島建設(株)

工事場所：江戸川区小松川一丁目～江東区大島六丁目

主な工事内容：特殊泥土圧式シールド工法(親子シールド)

親機外径φ7100mm、仕上り内径φ6000mm L=705.2m

子機外径φ5340mm 仕上り内径φ4500mm L=1364.75m

坑内超高压地盤改良(DO-Jet地盤改良)、支障物切断・除去工  
(DO-Jet切断)

到達立坑(圧入オープンケーソン)掘削外径φ13.1m、刃先先端深度  
37.6m 1箇所

## 2.2 施工概要・施工条件

本シールド掘進土層は、下部有楽町層粘性土（Y1c2）であり、N値1～5、最大粘着力 $C=100\text{kN/m}^2$ 、鋭敏比が高く、間隙水圧は $220\text{kN/m}^2$ 程度の粘性土である。図-2にD0-Jet施工箇所周辺の状況と支障杭想定位位置図を示す。以下、干渉する支障物の概要について説明する。

本工事ではシールド掘削断面内に合計60本の残置支障物（PIP杭 $\phi 450\text{mm}$ 48本、PIP杭 $\phi 600\text{mm}$ 12本）が干渉すると想定されていた。また、支障杭の上部には供用中の既設構造物（都営新宿線大島駅、共同溝、既設大島幹線）が存在することから、地上からの支障物撤去は困難なため、シールド機内から支障物の撤去が可能なD0-Jet工法が適用された。

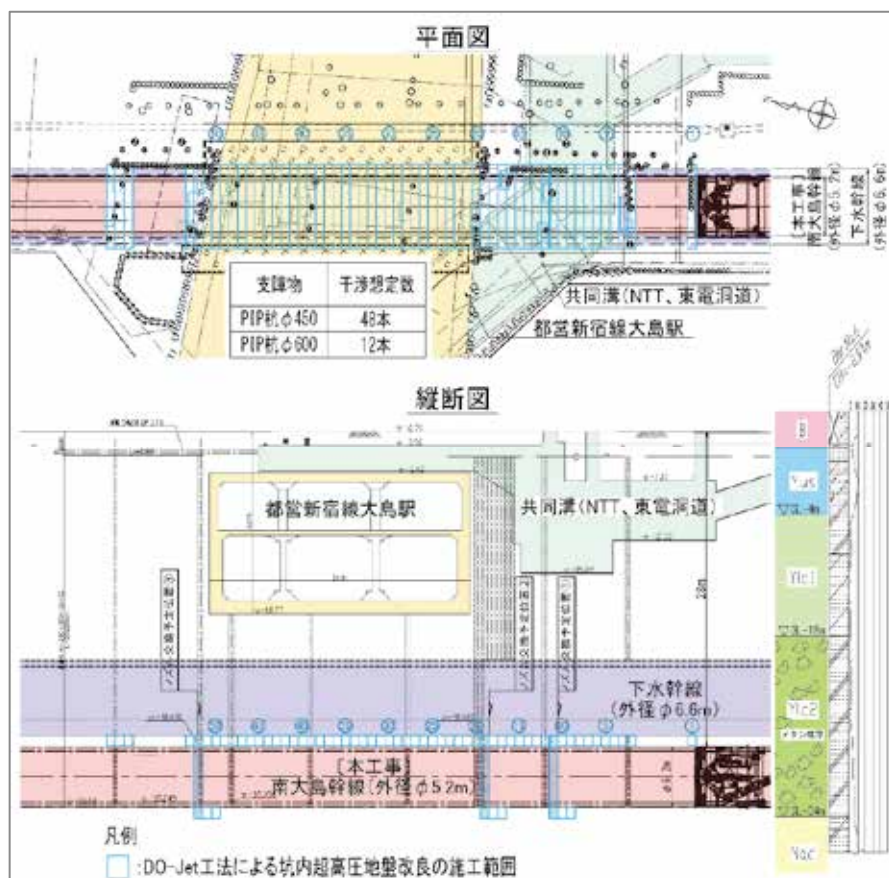


図-2 支障杭想定位位置図

## 3. D0-Jet 工法概要

### 3.1 D0-Jet 工法について

D0-Jet工法とは、シールド機に超高压ジェットシステムを装備して「坑内超高压地盤改良」と「障害物の切断・除去工」を行う工法である。写真-1に、本工事のシールド機における、D0-Jet噴射テスト状況を示す。

障害物の切断・除去工は、ケイ酸ナトリウム水と研磨材・硬化剤等を混合噴射することで、シールド機前方の残置支障物の切断を行う。なお、都営新宿線大島駅と共同溝通過時は、図-2に示すように、地上および既設構造物への影響抑制のため、支障杭の有無に関係なく1スパン800mmの地盤改良体を連続して築造する。



写真-1 D0-Jet 噴射テスト状況

### 3.2 D0-Jet工法による支障物切断・除去の施工計画

シールド掘進中に支障物に接触し、切断・除去するまでのD0-Jet工法の施工フローを図-3に示す。また、D0-Jet工法による支障物切断工の主要作業（図-3の囲い部）に関して、以下に施工計画を記す。

#### （1）支障物の接触検知<STEP1>

支障物に接触し、カッタートルク上限値に達した場合、掘進を停止して前方探査に移行する。支障物と接触した場合、カッタービットの脱落が懸念されるため、カッタートルクの上限値を設定し、設定値を超えた場合は掘進を停止することとしている。

なお、上限値は最内周のビット（センターからの距離600mm）に許容荷重が作用する時のトルク「53kN・m」を使用し次式で管理する事とした。

「トルク上限値」＝「トルク基準値」＋53kN・m

※「トルク基準値」は、支障物がない通常掘進の状態でのカッタートルク値

#### （2）前方探査（切断・改良計画）<STEP2>

D0-Jet工法では支障物直前で超高圧ジェット水を噴射し、その反射音を前方探査システムにて解析を行って支障物の位置、大きさを特定する（図-4参照）。

なお、D0-Jet工法技術資料では前方探査にて検知可能な支障物との離隔は300mm程度とされている。

前方探査結果の一例を図-5に示す。図中の青い波形が前方探査による反射音の分布であり、対象物の材質により強弱で表現される。図-5の場合、支障物の位置（大きさ・幅）を赤枠の範囲内と想定した。

次に、前方探査結果を基に支障物の切断計画を策定する。切断計画では、シールド機面板に搭載された16個の切断ノズルのうち切断に使用するノズルを詳細に計画する。

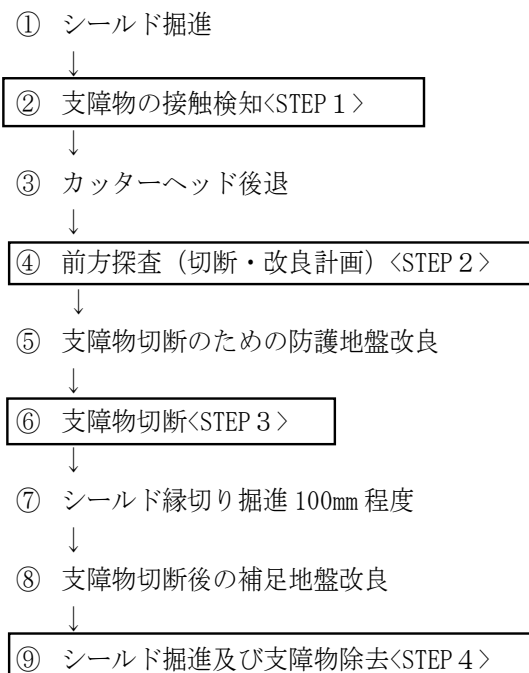


図-3 切断施工フロー

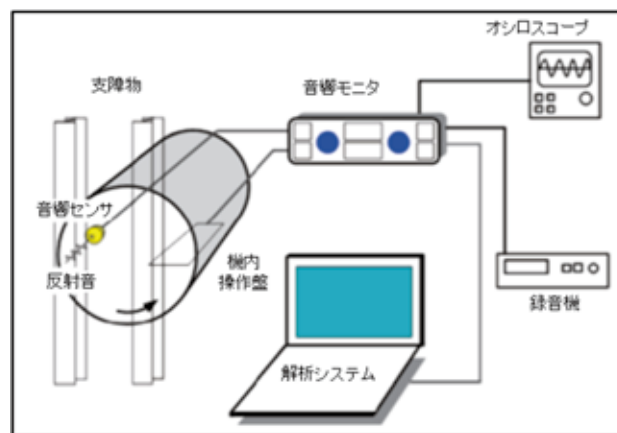


図-4 D0-Jet工法における前方探査システム

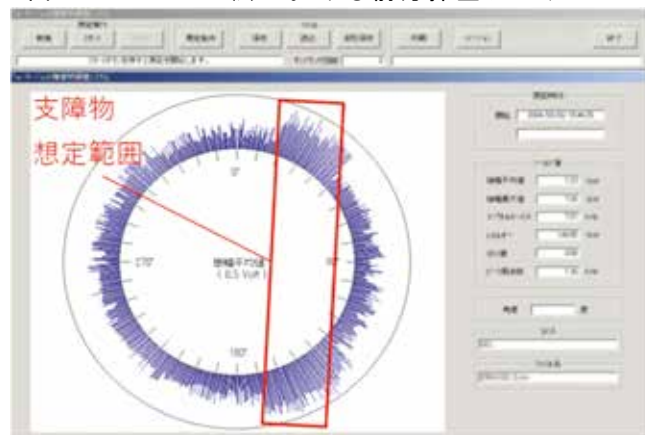


図-5 前方探査解析結果



### (3) 支障物切断<STEP3>

本工事の対象支障物は、PIP 杭である  
(図-2 参照)。

DO-Jet 工法にてH形鋼や鋼矢板といった鋼材単体の切断実績はあるが、PIP 杭のようにモルタルに覆われた鋼製支障物を切断した実績は無く、本工事が初めての施工となる。

PIP杭切断時の概要図を図-6に示し、切断時の超高圧噴射方法及び使用材料を図-7に示す。

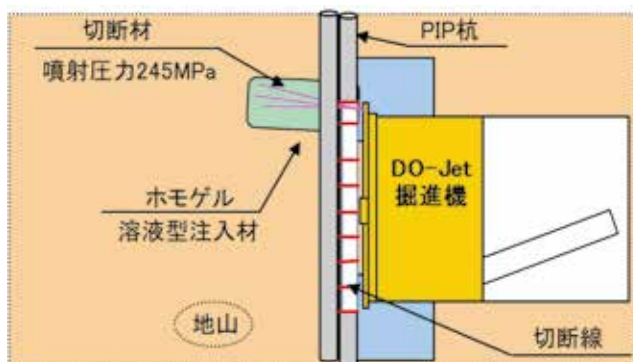


図-6 切断概要図

切断ノズルは、図-7 のように 2 液 (2 ライン) を混合ショットさせて超高圧で噴射する。

各ラインの噴射量及び使用目的を表-1に示す。

PIP杭切断の前例が無いため、H形鋼や鋼矢板の切断方法と同様に、網目状（切断片の大きさが400mm～550mm程度）に支障物を切断する計画とした。前方探査に基づいた支障物切断計画を図-8に示す（なお、シールド機の通過に備えて支障物は50mm以上のオーバーカットを行う）。また、技術資料によれば、「鋼材切断能力は、噴射ノズルを5mm/分のスピードで動かした場合、奥行き300mm先まで鋼材を切断可能」とされている。つまりPIP杭φ

600（芯材H-400）は1回の噴射切断では完全に切断できない。そこで、1度切断した後には前進（300mm程度掘進）し、もう一度切断を行う計画とした（図-9参照）。

図-10に示すとおり、シールド機にはカッターフェイスに固定タイプと移動可能タイプの2種類の支障物切断ノズ

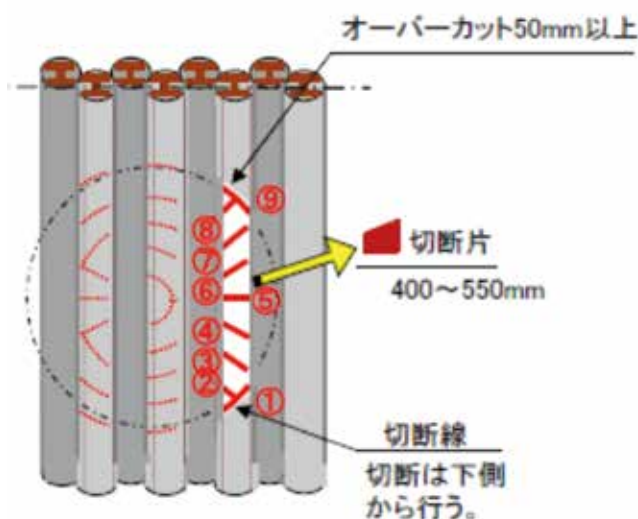


図-8 支障物切断順序イメージ図

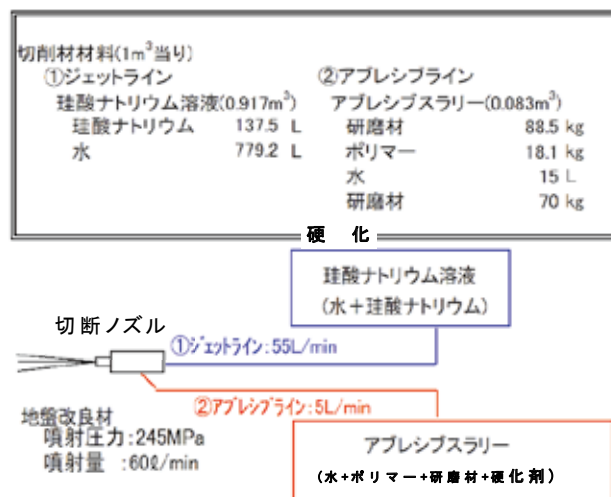


図-7 切断時の超高圧噴射方法及び使用材料

表-1 各ラインの噴射量及び使用目的

| ライン名称    | 溶液噴射量                        | 使用目的                           |
|----------|------------------------------|--------------------------------|
| ジェットライン  | 珪酸ナトリウム溶液<br>55L/分           | 土中でホモゲル化することで、地山の崩落を一時的に保護する目的 |
| アブレシブライン | アブレシブスラリー<br>(研磨材溶液)<br>5L/分 | 研磨材（ガーネット）により、支障物の切削性能を向上させる目的 |

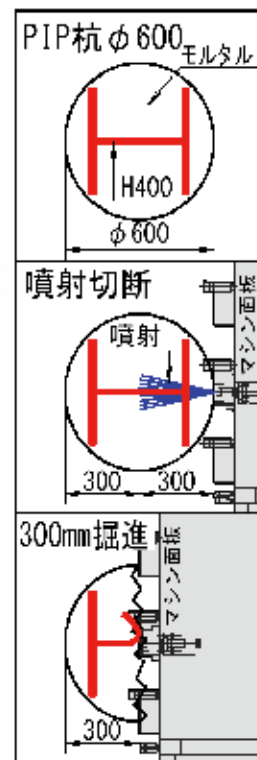


図-9 切断イメージ

ルを装備しており、固定ノズルは、噴射しながらカッター回転することで円周方向に切断する（図-8の①、⑨切断線）。移動ノズルは、伸縮ジャッキによりノズルを移動させ、放射方向に切断する（図-8の②～⑧切断線）。

基本的な切断順序は、切断片が下へ落ちても影響が無い様、下端から順に切断を行うよう計画した。

#### （4）シールド掘進及び支障物除去<STEP4>

図-11 に示すとおり、切断された支障物は掘進に伴い土砂と一緒にチャンバー内に取り込まれる。そこからスクリーコンベアを通り、圧送ポンプまで排出される。

しかし、切断された支障物の大きさ・形状によっては、スクリーコンベア内で支障物による閉塞が生じることが懸念された。

そこで、スクリーコンベア内に支障物が入り、リボンスクリュー先端部で閉塞した場合を想定し、取り出し蓋（600×600）を配備した。スライド機構付きのリボンスクリューを600mmスライドして、スクリーコンベア先端のゲートを閉め、チャンバー内土砂の流出を防いだ上、取り出し蓋を開け、支障物を排出する計画である。

また、支障物によりスクリーコンベアの途中で閉塞した場合も想定し、4箇所に注入口付の蓋（300×500）を配備した。



|          |     |           |     |
|----------|-----|-----------|-----|
| 地盤改良用ノズル | 15個 | 支障物切断用ノズル | 16個 |
| ●移動可能タイプ | 3個  | ●移動可能タイプ  | 9個  |
| ●固定タイプ   | 12個 | ●固定タイプ    | 7個  |
| ノズル装備数量  |     | 合計31個     |     |

図-10 シールド機面板に装備したノズル配置

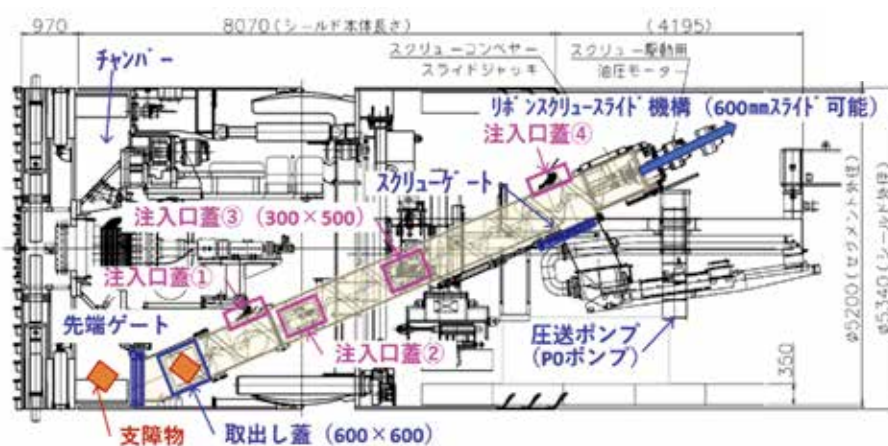


図-11 シールド機 支障物取り出し機構



#### 4. 支障物切断計画

最初に出現した支障物において、切断施工後の掘進で、カッタートルクが許容値オーバー(1,605kN-m)となり掘進不能となった。その後、切断計画を見直して無事切断・除去を完了したので一連の施工実績について説明する。

前方探査の結果、図-12に示す範囲に支障物が存在することが想定されたが、支障物の種類(材質)、シールド機との離隔、支障物の傾斜等の詳細については明確な判断ができなかった。

設計図より、PIP杭φ600が壁状に配置されていると想定し、従来通り網の目状に切断片が420mm程度になる様、図-13に示すとおり切断を実施した。

切断完了後、掘進を進めるもカッタートルクが上限値を超えたことにより継続掘進は不能と判断した。

(上限管理値は、直前までの通常カッタートルクが1,552kN-m程度のため、 $1,552+53\text{kN-m}=1,605\text{kN-m}$ と設定)

現場では、切断実績がないPIP杭が対象であったため、モルタルに拘束されたH形鋼の切断抵抗が増大することでカッタートルクが上昇したものと判断した。そこで、切断片を細かくすることによるカッタートルク低減効果を期待し、図-13のとおり切断計画の見直しを行った。

見直した切断計画に基づいて支障物を細断した結果、カッタートルク上限値に達することなくシールド掘進(支障物除去)する事ができた。

PIP杭φ600の場合、1回の切断では完全に切断できない(奥行き300mm程度の切断能力)ため、施工計画に基づいて300mm掘進後に2回目の切断を実施することで、支障物切断除去し、掘進可能となる事が判明した。そのため、これ以降のPIP杭の切断方法は、従来(鋼材単体を切断する計画)と比較すると、細かく切断する事で、カッター回転による作用力(カッタートルク)を低減させる計画とした。

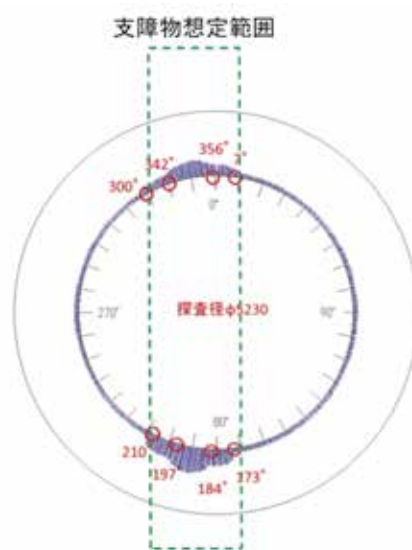


図-12 前方探査結果

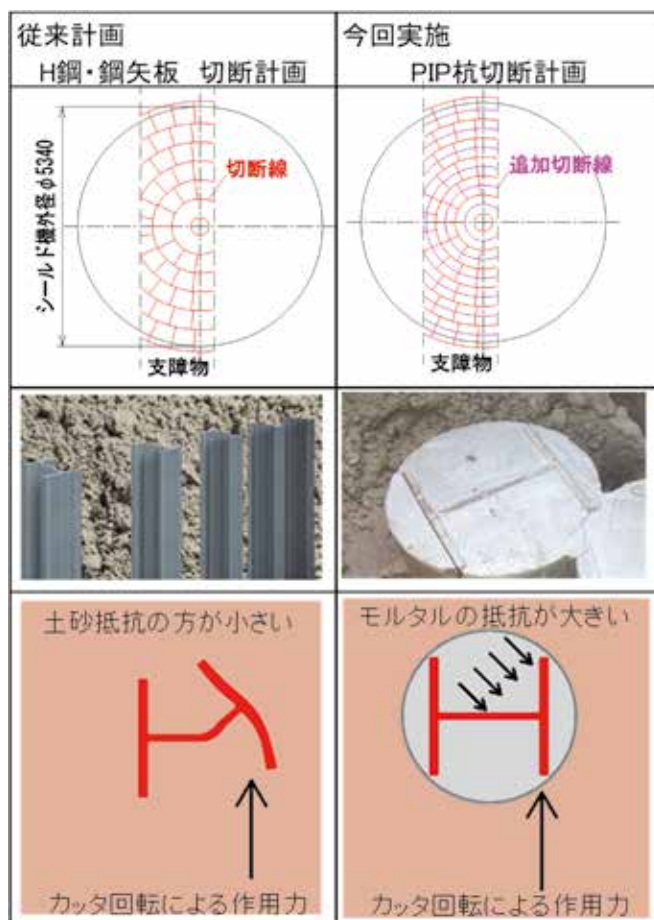


図-13 壁状支障物の見直し切断実績

## 5. 施工実績

### 5.1 D0-Jet 工法による支障物切断・除去実績

2017年6月24日にD0-Jet施工を開始し、2021年6月24日現在に至るまでの施工実績（支障物切断・除去実績）を図-14に示す。

また、D0-Jet施工範囲での施工日数（実績）を表-2に示す。

図-14に示した73m区間のD0-Jet施工範囲を1462日（暦日換算49ヵ月）かけて施工した。

表-2 D0-Jet 施工日数まとめ

| 工種                  | 数量     | 稼働日数(2方/日) | 歩掛        | 備考                |
|---------------------|--------|------------|-----------|-------------------|
| D0-Jet工             |        |            |           |                   |
| 前方探査工               | 22 回   | 40 日       | 1.8 日/回   |                   |
| 地盤改良工               | 1358 本 | 407 日      | 3.3 本/日   |                   |
| 切断工                 | 426 m  | 263 日      | 1.621 m/日 |                   |
| ノズル交換工              | 3 回    | 124 日      | 41 日/回    |                   |
|                     |        | 913 日      |           |                   |
| 本掘進                 | 73 m   | 79 日       | -         | 改良区間<br>17.8°0.8m |
| 休工日ほか               |        | 549 日      |           |                   |
| 2017.6.24～2021.6.24 |        | 1,462 日    |           |                   |

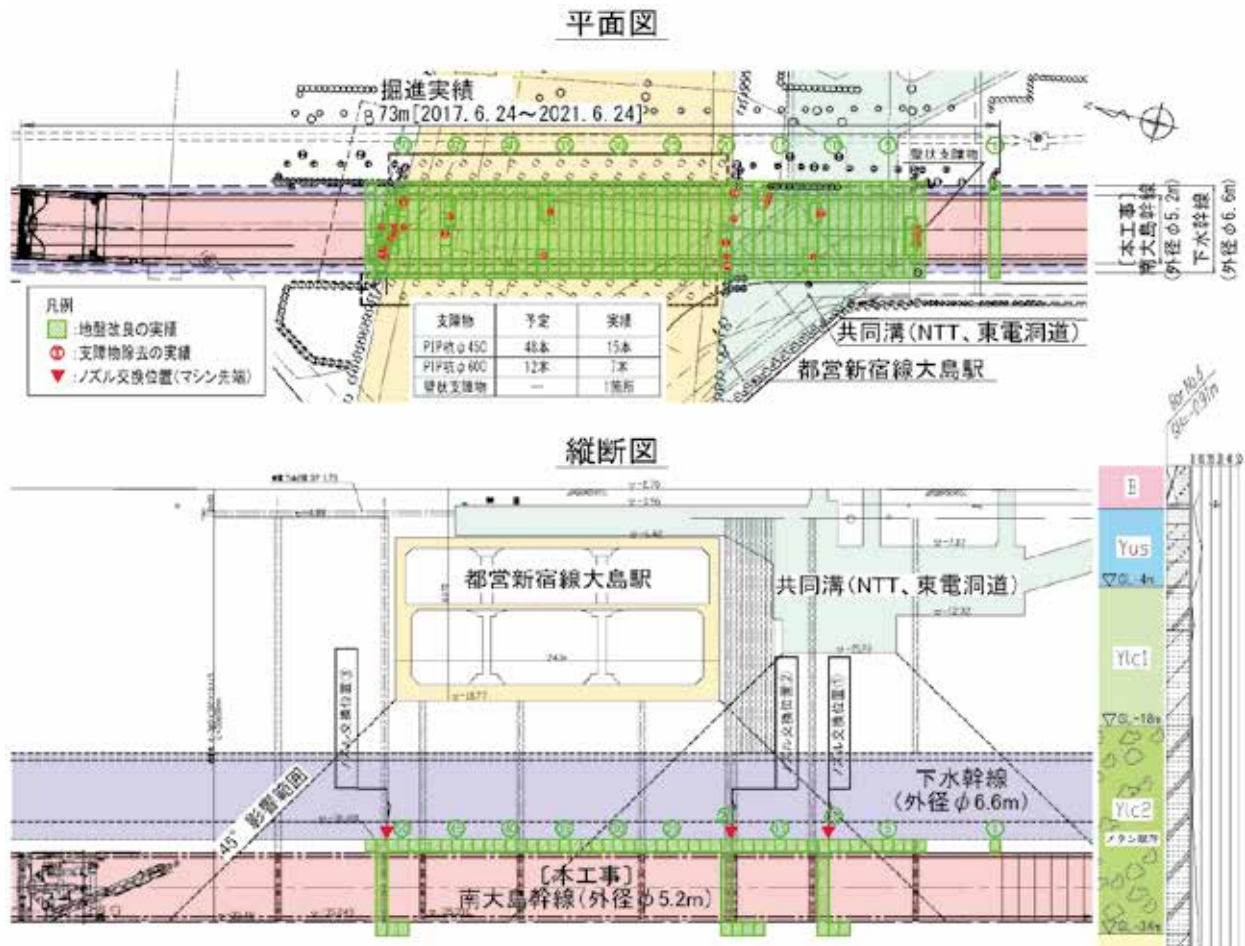


図-14 D0-Jet施工（支障物）実績図

## 5.2 PIP杭支障物の切断時間実績

一例として、PIP杭φ600(芯材H-400, 切断線長2回合計39,329mm、切断線数61本)を切断した計画(実績)を図-15に示す。

この切断工に要した日数は「25日」、

「切断長1.573m/日」であった。

また、これまでの支障物累計切断延長と支障物切断に要した施工日数の集計を表-3に示す。これより、支障物切断工の歩掛り実績は「切断長1.621m/日」となる。

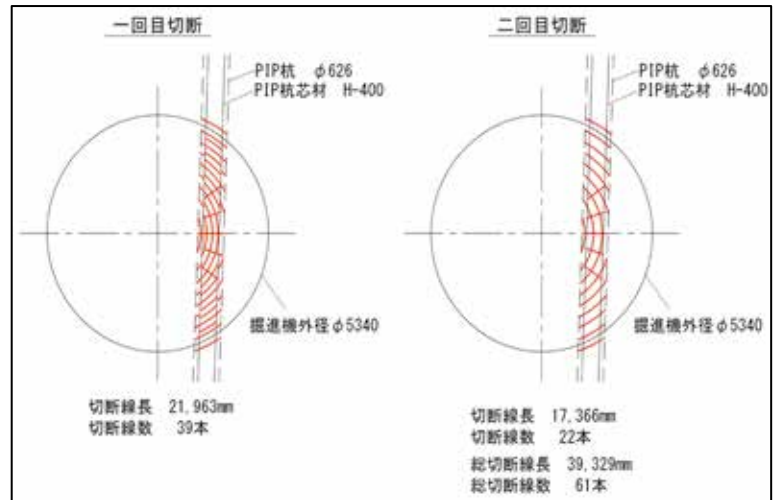


図-15 切断計画図

## 5.3 地上及び近接構造物への影響

近接構造物への影響を監視するため、都営新宿線大島駅構内には自動計測システム(沈下計)で常時計測すると共に、ホーム階の水準測量を月に1回行った。また、共同溝(東電・N T T 洞道)についても自動計測システム(傾斜計・沈下計)で常時計測を行った。計測結果については、全て許容値内で完了した。

表-3 切断種類と切断延長(2017.6~2021.6)

| 支障物       | 数量  | 切断延長<br>(m) | 施工日数<br>(日) | 歩掛<br>(m/日) |
|-----------|-----|-------------|-------------|-------------|
| PIP φ 400 | 15本 | 426.341     | 263         | 1.621       |
| PIP φ 600 | 7本  |             |             |             |
| 壁状支障物     | 1カ所 |             |             |             |

## 6. おわりに

都市部における下水道基幹施設の整備は、地下埋設物が輻輳するなど限られた地下空間での施工となることが多く、また、住民の方々の騒音・振動等に対する意識も高く、周辺環境に対しても十分な配慮が求められている。本工事では、D0-Jet 工法を採用することで、地上からの作業(支障物撤去、地盤改良、ボーリング等)が無くなり、沿道住民への騒音・振動影響や交通影響を抑制することができた。



## 2-1-2 ケーソンの地中連結工事について

### ～王子第二ポンプ所建設その 4 工事～

第一基幹施設再構築事務所 工事第二課 梶平 知弥  
西川 勝久

#### 1 はじめに

##### 1.1 事業概要

王子第二ポンプ所は、東京都北区堀船地域に位置し、既設の王子ポンプ所を補完する施設として建設中である。本ポンプ所完成時には、北区東十条、王子、豊島及び堀船地区の一部流域の雨水を隅田川へ放流するとともに、合流式下水道改善施設として雨水貯留池を併設しており、初期汚濁負荷量の削減を行うことも目的としている。

図 1 に王子ポンプ所流域図、図 2 に王子ポンプ所・王子第二ポンプ所流域図を示す。



図 1 王子ポンプ所流域図  
(現状)



図 2 王子・王子第二ポンプ所流域図  
(計画)

##### 1.2 工事概要

本工事は、大深度かつ大型のニューマチックケーソンを 2 函体沈設した継続工事として、離隔約 2m のケーソン連結部の築造を行うものである。

図 3 に施工中の写真、図 4 に王子第二ポンプ所の平面図、図 5 に断面図を示す。

ケーソン連結部の築造にあたり、本ポンプ所と同等の規模や深度での施工事例は極めて少なく、安全かつ高品質の施工を実現するため、ケーソン連結部の止水方法、狭隘空間での施工手順、石神井川護岸や首都高速道路橋脚への影響など、技術的課題への対策が重要であった。

このことから、第一基幹施設再構築事務所長を委員長とした「王子第二ポンプ所の大型ケーソンにおける地中連結に対する施工検討委員会」(以下「施工検討委員会」という)を設置し、安全かつ高品質の施工を実現するため、技術的課題に対する検討を行った。



図 3 施工状況 (全景)



図 4 平面図

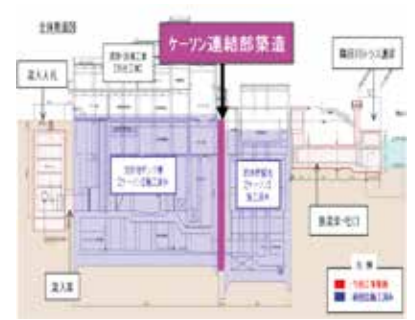


図 5 断面図

## 2 ケーソン連結部の築造に伴う技術的課題

ケーソン連結部の築造に伴う技術的課題を以下に示す。

### 2.1 ケーソン沈設に伴う地盤の緩み等による未改良範囲からの出水

ニューマチックケーソン工法は、地上で築造した構造物を掘削により順次地中に沈設していくものであるが、その沈設に伴う周辺地盤の引き込みや緩み等が懸念された。

このため、側部・底部の止水性を確保するためには、正確な土質条件を把握する必要があったため、ケーソン沈設後に追加のボーリング調査を実施した（図 6 参照）。

追加ボーリング結果より、沈設による大きな土層変状等は確認されなかったが、N 値分布図より地盤の緩み等が発生したことが判明した（図 7 参照）。



図 6 ボーリング箇所図

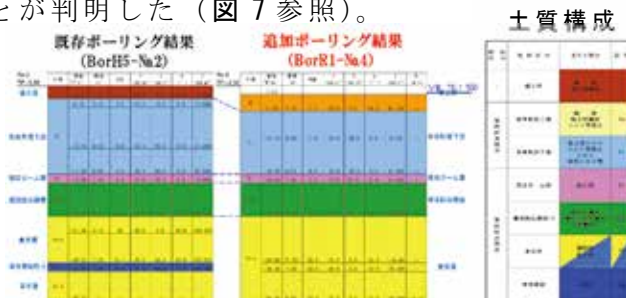


図 7 ボーリングデータ（地質想定図）

また、ケーソンの沈設状況について調査した結果、1号ケーソンと2号ケーソンの最大離隔は、設計 2,000 mm に対し北側刃口部で 2,195 mm と 195 mm 大きく、南側刃口では 1,971 mm と 29 mm 小さいことから、当初設計における 1,000 mm のラップ長は、多くの箇所では確保できないことが判明した（図 8, 図 9 参照）。

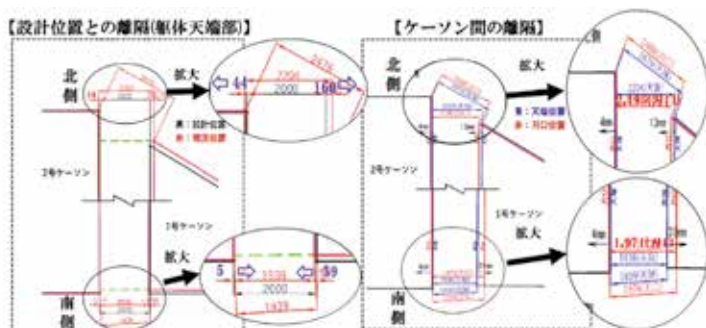


図 8 ケーソン平面位置調査結果

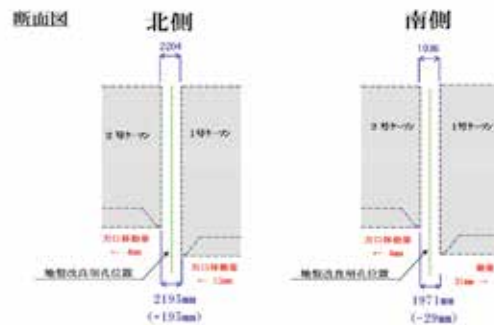


図 9 ケーソン間鉛直精度調査結果

この平面及び深度方向のズレにより、底部の地盤改良とケーソンとのラップ長が確保できず、大深度の高圧水下であることから、連結部の掘削時における地下水の出水が懸念された。

このため、底部の地盤改良とケーソンとのラップ長を確保する改良径及び配置間隔について再検討を行った（図 10, 図 11 参照）。



図 10 ケーソン平面位のズレ

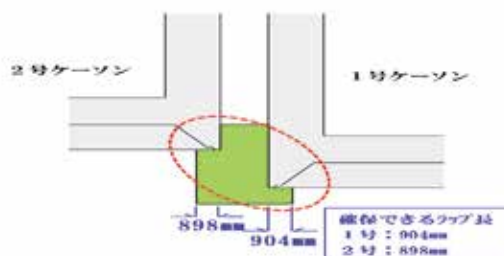


図 11 ケーソン間の鉛直精度のズレ



## 2.2 側部改良体施工に伴う石神井川護岸への影響及び品質低下

ケーソン躯体と石神井川護岸の現況位置を調査した結果、側部の地盤改良工範囲が、石神井川護岸及びその杭基礎と近接していることが判明した。その他の箇所においても地盤改良とのクリアランスが 200 mm 以下であったため、当初設計の側部地盤改良径  $\phi 5.5\text{m}$  の施工では、石神井川護岸への影響が懸念された。

また、当初設計の改良径  $\phi 5.5\text{m}$ 、改良長 36.85 m の改良体では、1 本あたりの施工日数が 3 日もかかることから、改良体の水平打継による品質低下も懸念された（図 12 参照）。

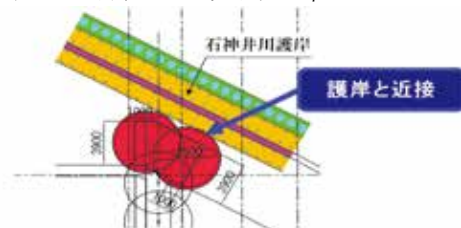


図 12 石神井川護岸との近接状況

## 2.3 ケーソン連結部の掘削に伴う微小変位発生による地下水の出水

ケーソン連結部の掘削に伴い地盤改良体とケーソン刃口部に微小変位が発生し、その微小変位の隙間から地下水の出水が懸念された。

このため、2 次元 FEM 解析による掘削時のケーソン躯体変位量を算出した結果、既設ケーソン上部では最大 3.23 mm、下部では最大 0.50 mm 変位することを確認した（図 13 参照）。

この躯体変位量に基づき、地盤改良体部に発生する可能性がある微小変位量について解析を行った結果、1 号ケーソン側では最大 0.05 mm、最小 0.01 mm、2 号ケーソン側では最大 0.44 mm、最小 0.39 mm の微小変位が発生することが判明した（図 14 参照）。

これらの微小変位が発生した場合、大深度の高水圧下では、地盤改良体とケーソン躯体間からの出水の原因となる恐れがある。

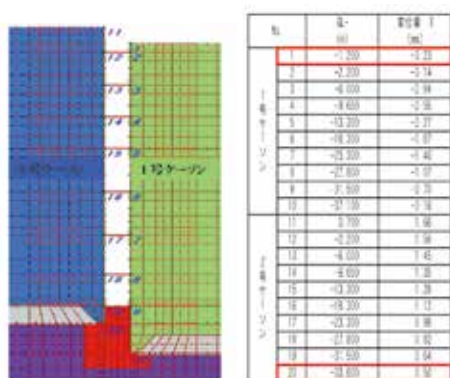


図 13 掘削時のケーソン躯体変位量

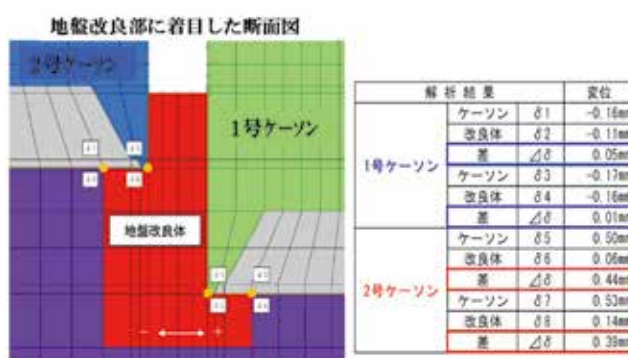


図 14 地盤改良体部の微小変位量

## 3 技術的課題への対策

前述の技術的課題に対する対策を以下に示す。

### 3.1 ケーソン沈設に伴う地盤の緩み等による未改良範囲からの出水対策

底部の地盤改良とケーソンとのラップ長を確保する改良径及び配置間隔について再検討の結果、当初設計の直径  $\phi 5.5\text{m}$  の全円形、配置間隔 3.75m の施工を、直径  $\phi 5.5\text{m}$  の全円形、配置間隔を 4.00m と広くした。その上で各間の中央部に扇型の改良体を造成することで  $L = 1.50\text{m}$  のラップ長を確保するとともに、配置間隔の密集を避けることで、コラムインコラムの発生を防止した。

また、底部改良体の端部を半円形とすることで、側部改良体への噴射を避け、側部改良体に対するコラムインコラムも防止した（図 15 参照）。

### 3.2 側部改良体施工に伴う石神井川護岸への影響防止及び品質低下対策

側部の改良体の改良径及び配置間隔について再検討した結果、石神井川護岸への影響防止として、改良径をφ5.5mからφ3.6mに縮径することで、噴射圧力等による影響を抑えた。

また、改良径を縮径することで、1本あたりの施工日数も1日以内に完了することから、改良体の水平打継も発生せず、品質上も優れた施工が可能である。

なお、側部改良体施工に伴う吐出の流線を石神井川護岸側へ噴射しないよう、近接箇所は半円形の形状とし、側部改良体端部へ補助的な薬液注入工を施工した（図 16 参照）。

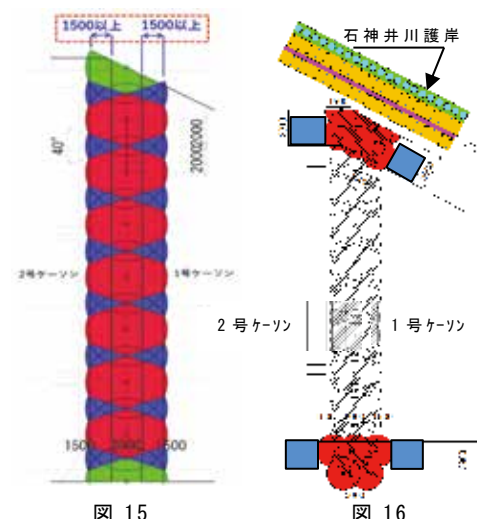


図 15

図 16

底部地盤改良平面図 側部地盤改良平面図

### 3.3 ケーソン連結部の掘削に伴う微小変位発生による地下水の出水対策

ケーソン連結部の掘削に伴う微小変位発生による地下水の出水対策として、底部改良体の側部に薬液注入を行った。

また、薬液注入の施工は、ケーソン連結間の底部改良体を損傷させないため、各ケーソン内の底版上からボーリングマシンによる注入を行った。

なお、薬液注入の配置等は、ラップ長 3.0m、注入深さ 3.0mとし、1号ケーソン側で 87 箇所、2号ケーソン側で 96 箇所施工した（図 17、図 18 参照）。

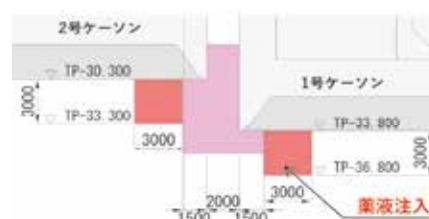


図 17 底部薬液注入断面図

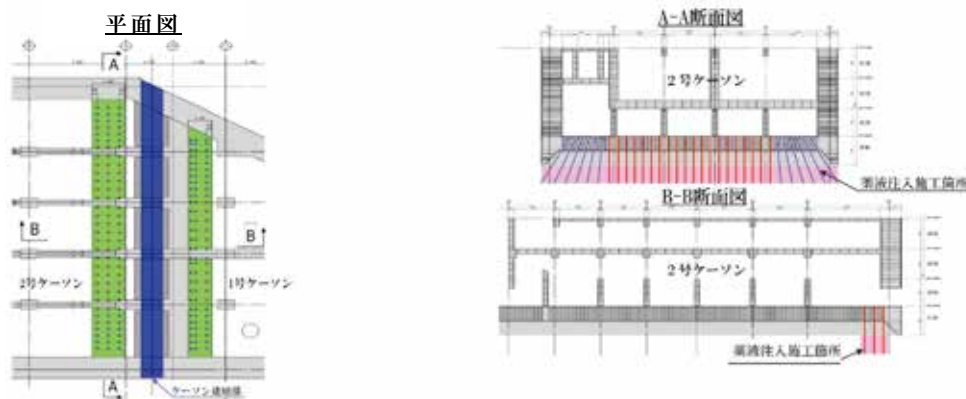


図 18 底部薬液注入位置図

## 4 ケーソン連結部の施工

ケーソン連結部の掘削中に地下水が出水した場合、大深度の高圧水下で止水することは極めて困難であるため、緊急的対策としてケーソン連結部へ注水し、周辺地盤の安定を図る対応策を事前に準備した。注水する水を確保するため、事前に河川管理者と協議を行い、石神井川からの注水について許可を得るとともに、緊急注水用ポンプを配備した。

また、ケーソン連結部の掘削後に躯体築造を実施するが、躯体完成には長期の施工期間を要するため、改良体の劣化等による出水も懸念された。このため、下部躯体より順次築造する当初の計画から側壁躯体を先行して築造する施工順序に変更することで出水リスクを最小限に抑えた（図 19,20,21 参照）。



図 19 掘削状況（上部から） 図 20 掘削状況（側部） 図 21 掘削状況（底盤部）

なお、掘削作業から側壁躯体構築完了までの期間は、ケーソン間の離隔、地盤高、地下水位等を日々測定し、施工状況をリアルタイムかつ綿密に管理した。

また、掘削に伴うケーソン躯体の変位や護岸への影響についても、測量による計測管理を行った（図 22,図 23 参照）。

その結果、ケーソン躯体の変位量や微小変位等についても許容変位量内の施工を行うことができ、懸念された地下水の出水も無く、無事、ケーソン連結部の築造を完成することができた。

図 22 ケーソン連結部掘削作業日報



図 23 ケーソン間の離隔 測定状況

## 5 おわりに

本工事は、施工検討委員会の検討結果を踏まえ、ケーソン連結部の施工に関することや万が一の事故や施工トラブル、その予兆が確認された場合の技術的課題を入念に確認しながら施工を進めた結果、懸念された地下水の出水も無く、無事、ケーソン連結部の築造を完成することができた。

このような、大深度の高圧水下による施工条件では、工事の難易度も高く事故や施工トラブルの発生確率も高くなり、その技術的課題に対しては、高度な対応力や技術力が求められていることから、東京都下水道局の今後の事業推進にあたって、本工事の事例が参考の一つとなれば幸いである。

## 2-1-3 大規模、大深度取水人孔設計における

### 留意事項等について

第二基幹施設再構築事務所 設計課 上出 祥司  
藤田 啓史  
奥野 雅史  
(現 中部下水道事務所再構築推進課)

#### 1. はじめに

東京都区部の下水道は平成6年度に100%普及概成しており、現在では維持管理をしつつ老朽管きよを更新していく段階に入っている。しかし、都市化進展に伴う雨水流入量増加や局地的豪雨の増加による浸水被害発生に対応するため、雨水排除能力を増強する必要があるほか、水位の高い幹線の再構築では水の流れを切り替えるために代替幹線が必要となる。さらに、合流式下水道の改善なども進める必要があり、老朽下水道管の更新と並んで、既存下水道管を補う増補管や貯留管など、新設大規模下水道管の建設事業が多く進められている。

第二基幹施設再構築事務所が所管する都心エリアでは地下鉄や共同溝、インフラ施設などにより地下利用が高度化しているため、新規に敷設する大規模下水道管は大深度化せざるをえず、土被り40mを超える管も珍しくない。そして、このような管に既設管から下水を取り込むための取水人孔の築造が非常に難しく、事業を推進する上での課題になっている。

本発表では、当事務所における大規模取水人孔の2つの設計事例について紹介し、計画設計上のポイント、留意事項について報告するものである。

#### 2. 【事例1】千代田幹線及び九段下取水人孔の概要

千代田幹線（現在施工中）は、水位が高く再構築が困難な既設幹線の下水の流れを切り替え、また、外濠に流れ込む降雨初期の特に汚れた下水を取り込み、水質改善に寄与することを目的とした代替幹線である。

管径はφ4900mm、ルートは千代田区飯田橋から港区港南の芝浦水再生センターまでの、都心部を通過する約8.7kmで、中間立坑用地の確保が困難なため超長距離シールドにて一貫掘進する。また、地下鉄や当局施設（第二溜池幹線φ8000mm、土被り40m）を避けるため、最大土被り59mと大深度の縦断線形となっている。

当幹線には既設の6幹線から取水する計画で、このうち既設飯田橋幹線を接続する九段下取水人孔は設計取水量0.831m<sup>3</sup>/s、落差49mの取水人孔である。

設置場所は交通量の多い幹線道路上に位置しているうえに、地下鉄をはじめ多数の地下埋設物（電気、通信、ガス、水道、下水道）が輻輳しているなど、制約条件が非常に厳しく、これらを克服して人孔を構築しなければならない。



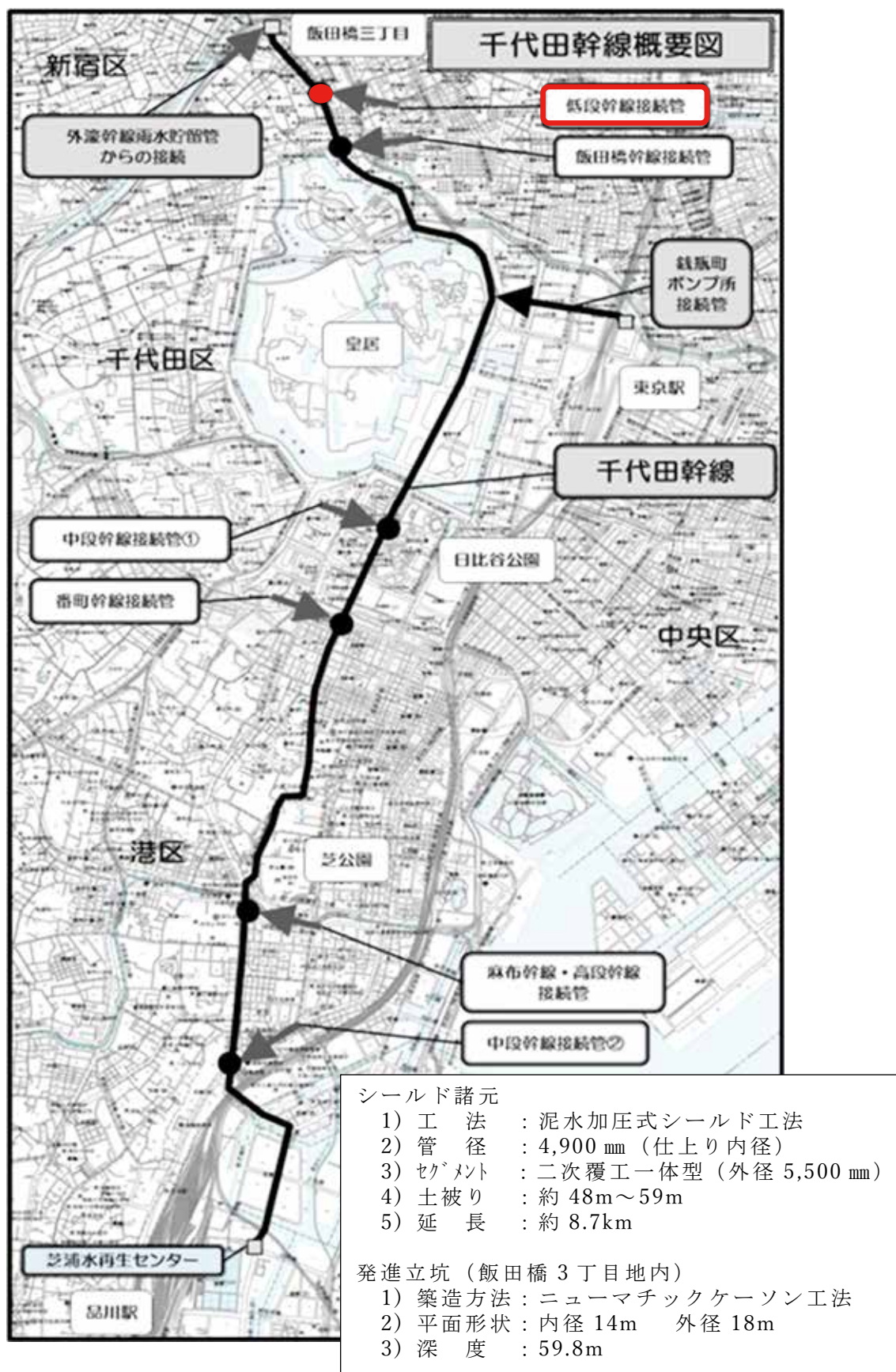


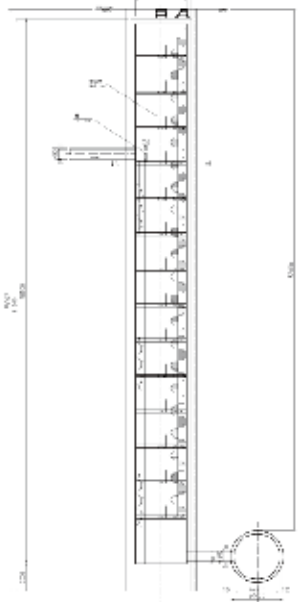
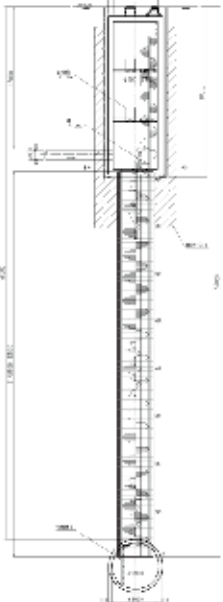
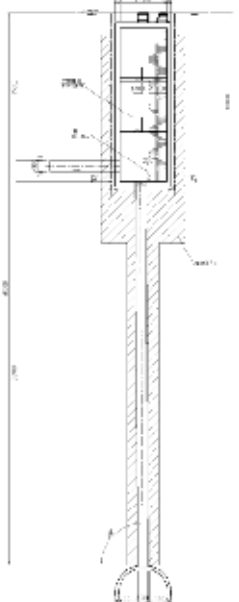
図 1 千代田幹線概要図



## 2.1 接続工法の検討

九段下取水人孔の構築において最も危険性の高い作業は、大深度高水圧下（0.5Mpa）での幹線接続作業である。人孔の設計にあたっては接続作業の安全性確保を最優先事項として、接続工法である推進工法、上向きシールド工法、鋼管さや管工法について比較検討を行った。

表 1 九段下取水人孔接続工法比較表

|      | 推進工法による水平接続                                                                                        | 上向きシールド                                                                                 | 鋼管さや管による垂直接続                                                                         |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 概要図  |                  |       |  |
| 概要   | 路下式アーバンリングにて立坑を構築し、水平推進により接続する。硬質地盤のため立坑掘削時に大深度の先行削孔が必要。高水圧のため機械式推進工法は適用不可。凍結工法による全面改良のうえ刃口推進にて接続。 | 千代田幹線内から上向きにシールドを発進させ、高落差部を構築する。開削工事は小規模となる。プラントや資機材の投入は千代田幹線の発進基地に集約されるので路上交通への影響は少ない。 | 幹線上部に構築した立坑から鋼管さや管工により幹線に接続する。作業ヤードは小さくなる。掘削深度が深く、硬質地盤であるため、既存技術の適用が困難。技術開発が必要。      |
| 施工性  | アーバンリングの施工機を路下に収めるため大規模な開削が必要。△                                                                    | 到達立坑はライナープレートや鋼矢板で築造可能。○                                                                | 立坑規模が小さく施工性が良い。○                                                                     |
| 安全性  | 凍結工法は土質を選ばず改良できるため確実性が高く安全である。実績多い。○                                                               | 密閉式のシールド工法のため安全性が高い。○                                                                   | 既存技術では適用困難。×                                                                         |
| 維持管理 | 人員昇降、資機材搬入のスペースが確保できる。○                                                                            | 人員昇降は可能だが資機材搬入スペースの確保が難しい。△                                                             | 垂直接続管は昇降不可で著しく維持管理性に劣る。×                                                             |

## 2.2 比較検討の結果

凍結工法による全面改良を用いた刃口推進工法は3案中最も施工規模が大きく施工性では不利であるが、実績が多く最も安全確実に施工できる。また、千代田幹線は長大・大深度なうえに人孔が少ないため、維持管理や将来の改築等に備えて人員、資機材の進入動線を確保する必要があることから、推進工法による水平接続が最も有利である。

## 2. 〔事例 2〕八重洲幹線切替人孔の概要

八重洲幹線が流入する銭瓶町ポンプ所は再開発に伴う移転のため、新旧ポンプ所で流入管を切り替える必要がある。しかし、現況では流量が多く新設流入管の接続作業が困難なため、八重洲幹線（矩形 3000×2400 mm）と第二低段幹線（φ 2800 mm）を接続して水の流れを切り替え、水位を下げる必要がある。計画取水量は 7.597m<sup>3</sup>/s、落差は 7m である。

本工事における最大の危険要素は硫化水素である。切替人孔の構築にあたって、第二低段幹線に接続管開口部を削孔する必要があるが、セグメントが補強されていないため、管内からの補強作業が必要となる。しかし、直近人孔では最大 1132ppm の硫化水素が測定されており、管内へ立ち入るのは危険な状態であった。また、1km を超える長大スパンのため換気も難しい。そこで、第二低段幹線に立ち入らずに切り替え人孔を構築することとして工法の検討を行った。



図 2 八重洲幹線切替概要図

### 3.1 接続方法の検討

まず、シールド内の補強をせずに接続可能な接続管の検討を行う。シールド管の場合、既設管外径に対して開口径が 20% 以下であれば断面欠損による強度低下が許容範囲となる。第二低段幹線の外径 φ 3550 mm から開口径は最大 φ 710 mm、使用可能な管は最大 φ 600 mm（外径 φ 630 mm）である。設計流量を流すためには 5 本必要であるが、エア抜き兼非常用 1 本を加えた 6 本の φ 600 mm を幹線に接続することとした。接続工法としては、最も安全で確実に施工可能な鋼管さや管工法を採用した。各接続管の離隔については、シールド管の接続管に対して影響範囲（応力伝達範囲）は 3D 以内に収まるため、施工誤差と削孔余掘りを考慮した 1500 mm の離隔を取るよう配置した。

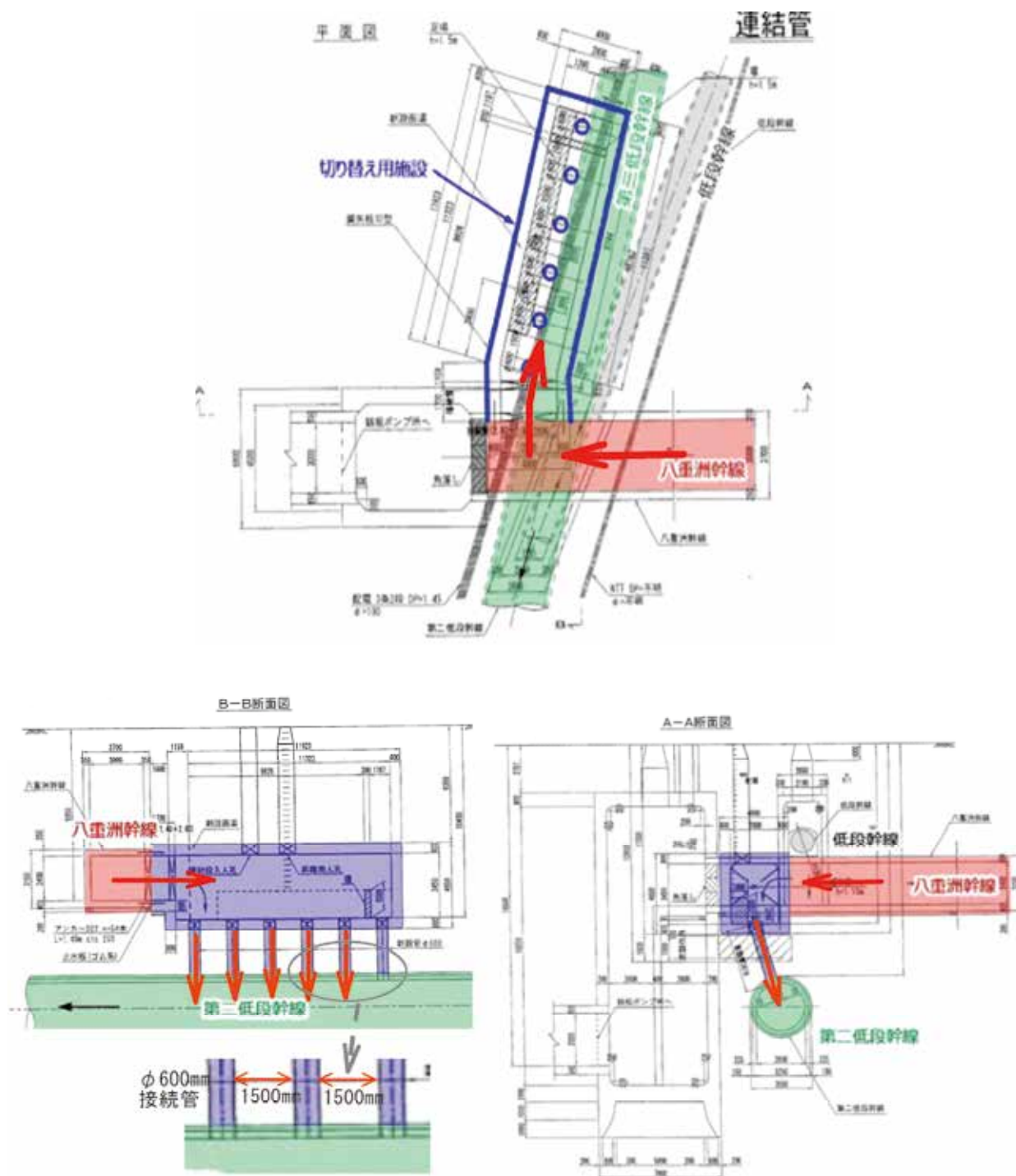


図3 八重洲幹線切替人孔構造図

### 3.2 水理実験による構造照査

計画した切り替え人孔の取水構造が変則的であり、適切な導水・取水機能を確保しているか検証するために水理模型実験を行った。水衝により流況の乱れが確認されたため、導流壁の構造を修正した結果、計画流量に対して想定どおりの流下能力が確保されていることを確認した。

## 4. 設計上の留意事項・ポイント

大規模取水人孔の設計において最も重視すべきポイントは、作業の危険性が最大となる工程を安全・確実に施工するための施設配置、工法選択である。事例 1 では、土被り 50m の大深度高水压下における幹線接続の検討を紹介した。接続作業は非常に作業の危険性が高いため、工法の選定にあたっては安全性の確保を最優先に、最も実績が豊富で確実と思われる凍結工法と刃口推進との組み合わせを採用した。事例 2 では、高濃度の硫化水素による危険性を回避するため、接続幹線内に入らずに取水人孔を築造できるように変則的な形状を選択することとなった。水理的な確実性を担保するため模型実験により確認を行っている。

また、いずれの事例も高水压や硫化水素に対する安全性確保のため構造、施工規模が大型化したが、過密な道路交通、輻輳する地下埋設物などの悪条件下において施工スペースを確保しなければならないため、交通、道路、各企業管理者との協議を重ねる必要があり、施工ステップごとの綿密な施工計画の立案・確定までに約 1 年を要した。

大規模取水人孔の設計に当たっては、紹介事例のように厳しい現場条件に遭遇し検討が行き詰まることが多々ある。大深度ゆえ安全性、確実性の確保が高度に要求されるため、新技術など積極的に検討する一方で既存の技術を組み合わせて解決を図ることが設計の妙である。今後もより困難な設計が増えていくと考えられ、数値流体解析（CFD）や 3D モデリングによる CIM 手法を取り入れるなどして、これまで以上に柔軟な発想を引き出し、厳しい現場条件を克服していくことが求められている。

## 2-2-1 生物反応槽における必要空気量の設計に係る

### 補正係数 $\alpha$ 値の測定方法について

施設管理部 環境管理課 亀井 葉子  
石井 裕樹  
土屋 葉月  
村山 康樹  
山本 央  
兼安 智也  
森田 健史

#### 1. はじめに

反応槽の設計においては、処理水量や流入水質、放流水質等から計算した必要酸素量がエアレーションにより供給されるように必要空気量を設定する。このとき、エアレーション装置の性能は一気圧で溶存酸素が存在しない清水状態における酸素移動効率で評価されているため、反応槽中での必要酸素量を清水状態での値に補正する必要がある。この補正に用いる係数として、総括酸素移動容量係数（以下「 $K_La$ 」という。）の補正係数  $\alpha$ （以下「 $\alpha$  値」という。）、飽和酸素濃度の補正係数  $\beta$ （以下「 $\beta$  値」という。）がある。

今回、小規模な机上試験を用いた  $\alpha$  値等の測定方法について検討し、いくつかの知見が得られたので、区部の水再生センター（以下「センター」という。）の  $\alpha$  値の測定結果と合わせて報告する。

#### 2. $\alpha$ 値と $\beta$ 値

「下水道施設計画・設計指針と解説（2019年版）」（以下「設計指針」という。）では、必要空気量の設計に当たって、まず式（1）により必要酸素量を酸素供給量に換算し、酸素供給量とエアレーション装置の酸素移動効率（ $E_A$ ）から必要空気量を求めるとされている。式（1）中、 $\alpha$  値は清水での  $K_La$  に対する反応槽混合液での  $K_La$  の比であり、 $\beta$  値は清水での飽和酸素濃度に対する反応槽混合液での飽和酸素濃度の比である。一般に反応槽混合液中では清水中と比較して酸素溶解速度が遅いとされ、設計指針では標準活性汚泥法や循環式硝化脱窒法、嫌気無酸素好気法等の高負荷型法の場合の  $\alpha$  値として 0.83、 $\beta$  値として 0.95 が示されており、当局でもこの値を用いて反応槽の設計を行っている。

$$\text{酸素供給量} = \frac{\text{必要酸素量} \cdot C_{S1} \cdot \gamma}{1.024^{(T_1 - T_2)} \cdot \alpha (\beta \cdot C_{S2} \cdot \gamma - C_0)} \times \frac{101.3}{P} \quad \cdots \text{式（1）}$$

酸素供給量： $T_1$ ℃における清水状態での酸素供給量（kgO<sub>2</sub>/d）

必要酸素量： $T_2$ ℃における1日当たりの酸素移動速度（kgO<sub>2</sub>/d）



$T_1$  : エアレーション装置性能の前提となる清水温度 (°C)  
 $T_2$  : 反応槽混合液の水温 (°C)  
 $C_{S1}$  : 清水  $T_1$ °Cでの飽和酸素濃度 (mg/L)  
 $C_{S2}$  : 清水  $T_2$ °Cでの飽和酸素濃度 (mg/L)  
 $C_0$  : 反応槽混合液の溶存酸素濃度 (mg/L)  
 $\alpha$  :  $K_La$  の補正係数  
 $\beta$  : 飽和酸素濃度の補正係数  
 $\gamma$  : 散気水深による飽和酸素濃度の補正係数  
 $P$  : 大気圧

### 3. $K_La$ の測定原理

「下水試験方法 (2012 年版)」(以下「下水試験法」)には、 $K_La$  の測定法として、酸素消費がない場合に適用できる非定常法と、稼働している反応槽で試験を行う定常法が挙げられており、定常法には反応槽内の溶解酸素濃度と酸素利用速度の関係より求める多点測定法と反応槽周りの酸素及び二酸化炭素の収支により求めるガス収支法の二つがある。 $\alpha$  値は清水と試料水 (反応槽混合液等) の  $K_La$  の比であり、清水と試料水の両方を同じ条件で測る必要があるため、本検討では非定常法を採用することとした。

非定常法による  $K_La$  の測定原理は次のとおりである。酸素溶解速度は、試料水等の溶存酸素 (以下「D0」という。) 濃度を  $C$ 、飽和酸素濃度を  $C_S$ 、酸素利用速度を  $r_r$ 、時間を  $t$  とすると式 (2) で表される。ここで、酸素消費がない場合  $r_r=0$  であり、式 (2) を積分すると式 (3) になる。式 (3) から、一定風量でエアレーション中の  $C$  を時間ごとに測定した後エアレーションを継続して  $C_S$  を把握すれば、 $t$  と  $\ln(C_S-C)$  の近似直線の傾きから  $K_La$  を求めることができる。 $K_La$  は水温  $T$ (°C) に依存するため、経験式 (4) を用いて 20°C における値に換算する。

$$\frac{dC}{dt} = K_La(C_S - C) - r_r \quad \dots \dots \dots \text{式 (2)}$$

$$\ln(C_S - C) = -K_La \cdot t + \text{const.} \quad \dots \dots \text{式 (3)}$$

$$K_La_{(20)} = K_La_{(T)} \cdot 1.024^{(20-T)} \quad \dots \dots \text{式 (4)}$$

清水中での  $K_La$  と試料水中での  $K_La$  を同一条件下で測定し、その比を算出することで  $\alpha$  値を求めることができる。また、試料水の  $C_S$  と清水の  $C_S$  の比が  $\beta$  値となる。

### 4. $K_La$ の測定方法の検討

下水試験法では  $K_La$  の非定常法の試験操作について次のように記載されている。

- ① 反応タンクに清水等を満たし、エアレーションしながら、亜硫酸ナトリウムを溶解し、溶存酸素濃度を 0mg/L にする。
- ② 引続きエアレーションして、溶存酸素濃度を上昇させる。このとき、各時間における  $(C_S - C)$  の対数と時間  $t$  との関係を図示すると直線が得られ、この直線の傾きが  $-K_La$  となる。

しかし、机上試験により  $\alpha$  値の測定を行おうとすると検討すべき事項がいくつか浮上した。例えば、D0 の除去について、下水試験法では亜硫酸ナトリウムを用いるとされている

が具体的な添加量は示されていない。また、エアレーション時の空気量についても具体的な記載がない。これらの点について事前に検討し、最適な条件を検討することとした。

事前検討では、清水として水道水を、試料水として中野水再生センター好気槽中流部の反応槽混合液をフィルターバッグ（ろ紙 5A 相当）でろ過したものを用いた。なお、フィルターバッグでろ過した試料水では酸素消費がほぼ 0 となることをあらかじめ確認している。また、水量、容器形状、ガラスボールフィルターや攪拌子の種類、スターラーの回転速度などは清水と試料水で揃えるようにした。

#### 4.1 D0 除去方法

亜硫酸ナトリウムの必要量として、添加後 30 分以内に安定して D0 を 1mg/L 以下に低減できる量を検討した。また、海外等では窒素ガス等の不活性ガスのパージにより D0 を除去している例<sup>1),2)</sup>もあることから、不活性ガスパージによる D0 除去についても検討し、比較することとした。

##### 4.1.1 亜硫酸ナトリウム添加

まず、下水試験法の記述に従い、亜硫酸ナトリウムのみを添加する場合の必要量について確認したところ、反応式から求められる理論量（D0 1mg に対し 8mg）では清水、試料水ともに D0 が十分に除去されず、D0 を 1mg/L まで低下させるには、清水では 150mg/L（理論量の約 2 倍）、試料水では 250mg/L（理論量の約 8 倍）の添加が必要であった。

次に、文献<sup>3)</sup>を参考に、亜硫酸ナトリウムとともに触媒としてコバルトを添加する場合について検討した。はじめに、塩化コバルト（Ⅱ）を 0.05mg/L となるように添加したところ、D0 の低下が速まる傾向が見られたものの、D0 を 1mg/L 以下にするのに要する亜硫酸ナトリウムの添加量は変わらなかった。そこで、塩化コバルトの添加量を 1mg/L とすると、清水では 100mg/L（理論量の約 1.5 倍）、試料水では 150mg/L（理論量の約 5 倍）の亜硫酸ナトリウム添加で安定して D0 を 1mg/L 以下まで低減することができた。

これらの結果から、亜硫酸ナトリウムによる D0 除去では、塩化コバルト 1mg/L を添加した上で、清水では 100mg/L、試料水では 150mg/L の添加が必要と判断した。以下、この方法を「亜硫酸 Na 添加法」という。

##### 4.1.2 不活性ガスパージ

不活性ガスパージによる D0 除去について、アルゴン（Ar）ガス及び窒素（N<sub>2</sub>）ガスを用いて検討した。その結果、いずれのガスにおいても 1L/min の流量で約 10 分間パージすることで、清水及び試料水の D0 を 1mg/L 以下まで低減できることが確認できた。今回検討した条件では、Ar ガスの方が N<sub>2</sub> ガスよりも速やかに D0 を除去できる傾向が見られたことから、これ以降の検討では Ar ガスを用いることとした。以下、この方法を「Ar ガスパージ法」という。

##### 4.1.3 亜硫酸 Na 添加法と Ar ガスパージ法の比較

2L の清水及び試料水について、亜硫酸 Na 添加法又は Ar ガスパージ法を用いて D0 除去を行った後、0.5L/min でエアレーションし、D0 の挙動を比較した。D0 の推移を図 1 に示す。

清水（亜硫酸 Na 添加法）では、D0 の立ち上がりに若干の遅れが見られたが、これは余剰の亜硫酸ナトリウムが消費されるのに要した時間と考えられる。10 分間のエアレーションにより、清水（亜硫酸 Na 添加法）、清水（Ar ガスパージ法）、試料水（Ar ガスパージ法）では D0 が 7mg/L 程度まで上昇したのに対し、試料水（亜硫酸 Na 添加法）では D0 が 6mg/L

程度までしか上がらなかった。また、エアレーションを停止して静置すると、試料水（亜硫酸 Na 添加法）でのみ D0 の減少がみられた。これらのことから、試料水（亜硫酸 Na 添加法）では、エアレーション中も酸素消費があり、D0 の上昇に負の影響が生じていたと考えられる。

非定常法は酸素消費がない場合に適用できる方法であり、「酸素消費がある場合測定値が低くなることがある」と下水試験法の注にも記載がある。実際、エアレーション停止後、エアレーションを強めて  $C_s$  を計測し、 $\alpha$  値等を算出したところ、亜硫酸 Na 添加法で求めた  $K_L a$  は Ar ガスパージ法と比べてかなり小さい値となった。その結果、 $\alpha$  値も低く算出された。

この結果から、非定常法により  $\alpha$  値を求める際の D0 除去方法には不活性ガスによるパージを用いることが適当と判断した。

#### 4.2 エアレーション時の空気量

エアレーション時の空気量が高すぎる場合には水面からの空気供給の影響<sup>4)</sup>が、低すぎる場合には攪拌力が弱く、D0 が均一になりにくい等の課題が想定されることから、適切な空気量について検討した。今回の検討では、3L ビーカーに清水又は試料水を 2L 入れ、Ar ガスを用いて D0 を除去した後、空気量 0.3L/min、0.5L/min、2.0L/min 及び 4.0L/min の各条件でエアレーションを行い、 $K_L a$ 、 $\alpha$  値及び  $\beta$  値を測定した。各空気量における  $\ln(C_s - C)$  の経時変化を図 2 に、測定結果を表 2 に示す。いずれの空気量においてもプロットは良好な直線となったが、2.0L/min 及び 4.0L/min の空気量では実験系の水面が大きく波打っている状況が目視されたことから、これ以降の測定については空気量を 0.5L/min とした。

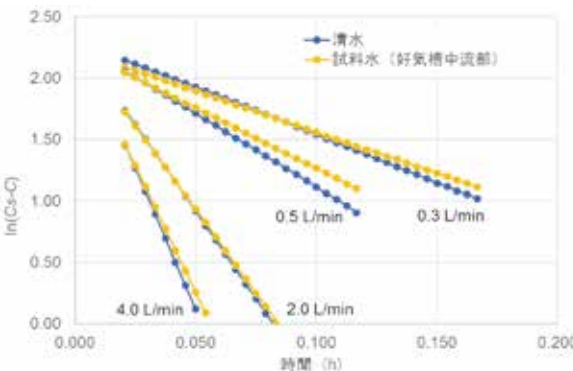


図 2 各空気量の  $\ln(C_s - C)$  の経時変化

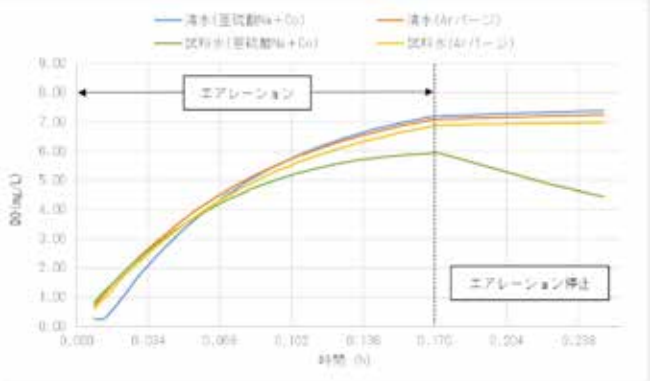


図 1 エアレーション時、エアレーション停止時の D0 の挙動

表 1 各 D0 除去方法の  $\alpha$  値等測定結果

| D0除去方法  | $K_L a_{(20)}$ |      | $\alpha$ 値 | $\beta$ 値 |
|---------|----------------|------|------------|-----------|
|         | 清水             | 試料水  |            |           |
| 亜硫酸Na添加 | 13.0           | 8.4  | 0.65       | 0.96      |
| Arガスパージ | 11.3           | 11.1 | 0.98       | 0.94      |

表 2 各空気量の  $\alpha$  値等測定結果

| 空気量      | $K_L a_{(20)}$ |      | $\alpha$ 値 | $\beta$ 値 |
|----------|----------------|------|------------|-----------|
|          | 清水             | 試料水  |            |           |
| 0.3L/min | 9.2            | 7.5  | 0.82       | 0.96      |
| 0.5L/min | 14.1           | 11.1 | 0.78       |           |
| 2.0L/min | 33.3           | 30.6 | 0.92       |           |
| 4.0L/min | 53.9           | 46.8 | 0.87       |           |

### 4.3 その他

検討中、D0 計のセンサーやガラスボールフィルターの設置位置の小さな相違も  $K_La$  に影響することが確認されたので、**図 3** のような器具を用意して D0 計、ガラスボールフィルターの設置位置を固定し、統一した状態で測定が行えるようにした。

また、採水した水道水や試料水を直ちに測定に供すると、エアレーションに伴い水温が変化することが見受けられた。測定中に水温変化があると飽和酸素濃度  $C_s$  が変化してしまうので、試料水等は測定前に室温に静置し、十分室温に近づけた後測定を行うこととした。

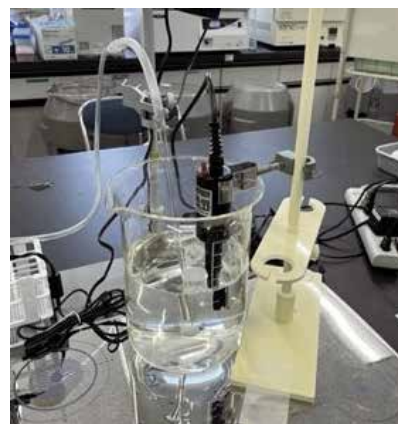


図 3 測定に使用した器具

## 5. 測定方法

4 章での検討を基に決定した机上試験による  $K_La$  の測定方法を以下に示す。

- ・ 試料水は、活性汚泥等による D0 消費を防ぐため、フィルターバッグ（ろ紙 5A 相当）によりろ過したろ液を用いる。
- ・ 清水には、水道水を用いる。
- ・ 清水及び試料水等は測定中に水温変化に伴って飽和酸素濃度（ $C_s$ ）が変化しないよう、十分室温に近づけた後、測定に供する。
- ・ 3L ビーカーに試料水等を 2L 入れ、ガラスボールフィルター（JIS R3503-1994 細孔記号 1：細孔径 100～120  $\mu\text{m}$ ）と隔膜電極式 D0 計を**図 4**のように設置する。D0 計やガラスボールフィルターの設置位置を適切に固定し、統一した状態で測定する。
- ・ Ar ガスのパージにより、D0 を 1.0mg/L 以下まで低減する。
- ・ 引き続き、スターラーで穏やかに攪拌しながらエアポンプで 0.5L/min の風量でエアレーションし、D0 濃度の経時変化を 15 秒間隔で 3～10 分程度測定する。
- ・ その後エアレーションを強め、D0 変化がなくなった値を記録し、 $C_s$ とする。

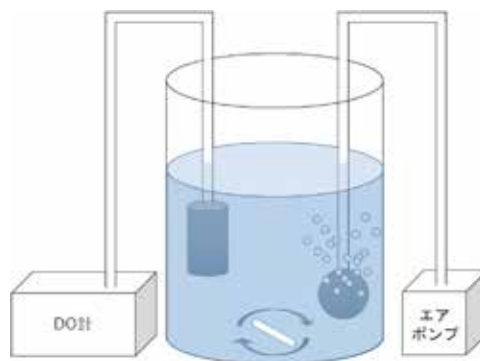


図 4 測定装置

## 6. 実施設での測定

区部の 13 センターの各 1 系列（森ヶ崎水再生センターは 2 系列）において反応槽流入水と反応槽混合液（好気槽の上流部、中流部、下流部の 3 か所）を採取し、 $\alpha$  値等の測定を行った。各センターの反応槽混合液の採取場所を表 3 に、測定結果を図 5 に示す。

表 3 各センターの反応槽混合液の採取場所

| センター | 系列名      | 採取場所  |       |     |
|------|----------|-------|-------|-----|
|      |          | 上流    | 中流    | 下流  |
| 芝浦   | 深槽東2号    | B回路   | C回路   | D回路 |
| 三河島  | 浅草南系3号   | B回路   | C回路   | D回路 |
| 砂町   | 東陽1系3-1号 | B回路   | C回路   | E回路 |
| 有明   | 3号       | 兼用槽   | 好気1   | 好気2 |
| 中川   | 2系7号     | A回路   | B回路   | D回路 |
| 小菅   | 西系4号     | B回路   | C回路   | D回路 |
| 葛西   | 北系7号     | B回路前半 | B回路後半 | C回路 |

| センター | 系列名   | 採取場所 |     |     |
|------|-------|------|-----|-----|
|      |       | 上流   | 中流  | 下流  |
| 落合   | 北系1号  | A回路  | B回路 | D回路 |
| 中野   | 5号    | B回路  | D回路 | F回路 |
| みやぎ  | 1号    | A回路  | B回路 | D回路 |
| 新河岸  | 北系14号 | B回路  | C回路 | E回路 |
| 浮間   | 北系4号  | I回路  | K回路 | M回路 |
| 森ヶ崎  | 西系9号  | B回路  | D回路 | F回路 |
|      | 東系3号  | B回路  | C回路 | D回路 |

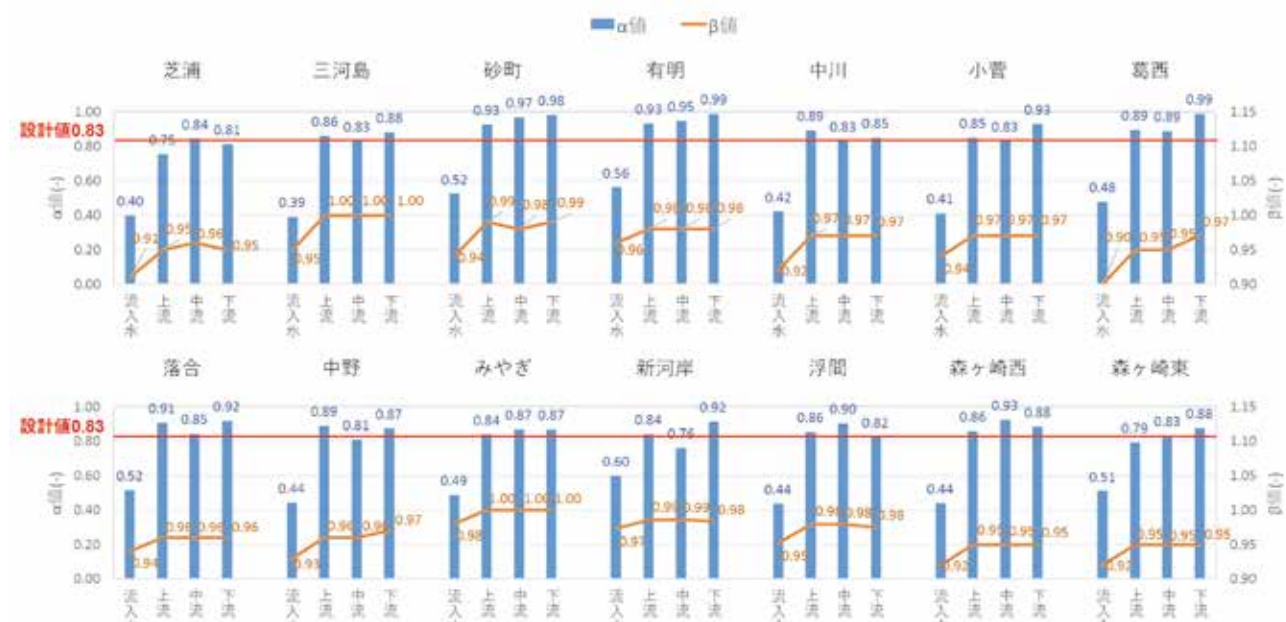


図 5 区部センターにおける  $\alpha$  値及び  $\beta$  値測定結果

$\alpha$  値は反応槽流入水で 0.39～0.60、反応槽混合液で 0.75～0.99 であり、センター間で顕著な差は見られなかった。また、同一センターの値を比較すると、反応槽流入水から反応槽上流部にかけて  $\alpha$  値が大幅に増加していたが、反応槽内での変化は少なく、14 系列 42 地点の平均値が 0.87（標準偏差 0.06）と設計指針の掲載値 0.83 を若干上回っている程度であった。

$\beta$  値は反応槽流入水で 0.90～0.98、反応槽混合液で 0.95～1.00 であり、 $\alpha$  値同様、センター間で顕著な差は見られなかった。また、反応槽内での変化も少なく、14 系列 42 地点の平均値が 0.97（標準偏差 0.02）と設計指針の掲載値 0.95 を若干上回っている程度であった。

設計においては、 $\alpha$  値や  $\beta$  値を低く設定するほど必要空気量が多くなる、つまり安全側の設計となるため、設計指針の掲載値は妥当であることが確認できた。



## 7. まとめ

調査に先立って、非定常法を用いた机上試験による  $K_La$  の測定条件を検討した結果、次のような知見が得られた。

- ・ 亜硫酸ナトリウムによる D0 除去を行う場合、触媒として塩化コバルトを 1mg/L 程度添加することで必要な亜硫酸ナトリウムの量を低減することができる。
- ・ 亜硫酸ナトリウムによる D0 除去は、清水においては問題ないが、反応槽混合液の上澄水を試料とした場合には酸素消費が生じ、 $K_La$  の測定に負の影響が見られた。その結果、 $\alpha$  値が本来より低く算出される。
- ・ 亜硫酸ナトリウム添加の代替として、不活性ガスでのパージによる D0 除去を検討したところ、Ar ガス、 $N_2$  ガスのいずれも D0 を十分低減することができ、 $K_La$  の測定に用いることが可能であった。
- ・ 特に小規模な実験系では、エアレーション時の空気量が高すぎる場合には水面からの空気供給の影響が懸念されるため、空気量の設定に留意する必要がある。
- ・ D0 計、ガラスボールフィルターの設置位置の小さな相違も  $K_La$  に影響するため、器具を用いて固定するなど設置位置を統一する。
- ・ 測定中の水温変化がないよう、試料水等は十分に室温に近づけてから測定を行う。

これらの知見を基に改良した測定条件（Ar ガスによるパージ、空気量 0.5 L/min）を用い、区部の 13 センターにおいて反応槽流入水及び反応槽内混合液の  $\alpha$  値等を測定した。結果は次のとおりである。

- ・ センター間で、反応槽内混合液の  $\alpha$  値及び  $\beta$  値に顕著な差は見られなかった。
- ・ 反応槽流入水から反応槽上流部にかけて  $\alpha$  値が大幅に増加するが、反応槽内での変化は少なかった。
- ・ 反応槽内混合液の  $\alpha$  値及び  $\beta$  値は、必要空気量の設計に現状使用している値（ $\alpha$  値 = 0.83、 $\beta$  値 = 0.95）を若干上回っている程度であり、この設計値は妥当であると考えられる。

## 参考文献

- 1) Michael K. Stenstrom: Theory to Practice: Oxygen Transfer and the New ASCE Standard、WEFTEC.06、p.4838-4852
- 2) 平山公明：表面ばっ気における総括酸素移動容量係数の算出方法に関する一考察、山梨大学工学部研究報告 29、1978、p.106-111
- 3) 社団法人土木学会：衛生工学実験指導書（プロセス編）、1977、p.44
- 4) United States Environmental Protection Agency: Development of Standard Procedures for Evaluating Oxygen Transfer Devices、1983、p.121-123

## 2-2-2 下水中の新型コロナウイルス RNA の検出

### 及び感染性に関する調査

施設管理部 環境管理課 石井 裕樹  
檜原 慎久  
森田 健史

#### 1. はじめに

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の主な感染経路は飛沫感染や接触感染であるが、感染者の糞便中においても新型コロナウイルス(SARS-CoV-2: 図 1)が排出されることから、下水を介したヒトへの暴露の可能性が懸念されている。世界保健機関(WHO)によると、これまで下水を介して感染した事例は報告されていないが<sup>1)</sup>、下水から新型コロナウイルスのRNAを検出した事例は数多く報告されており、海外ではオーストラリア、アメリカ、オランダ、フランス等、国内では山梨県、石川県、富山県、横浜市の下水処理場における報告事例がある。これらの報告は、感染流行状況の把握や感染流行予測への活用を目指したものが多く、下水中の新型コロナウイルスの感染性について検証した事例は国内ではまだなく、海外でも少ない。そのため、下水の安全性について、流入下水に触れる可能性のある下水道作業従事者の方々や放流先の都民の方々の懸念が払拭されていない状況にある。

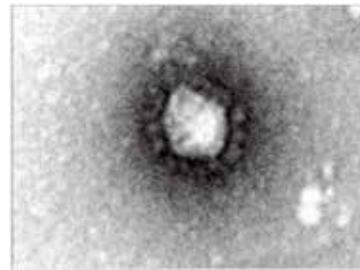


図 1 新型コロナウイルス写真  
(東京都健康安全研究センターHP より)

そこで、東京都では、感染拡大の第2波である2020年6月末から8月末にかけて、処理区域内において感染者が多いと推定される2か所の水再生センターで流入下水及び放流水を採取し、新型コロナウイルスに関してリアルタイム RT-PCR 法による RNA の存在の有無の調査及びウイルス培養試験による感染性の有無の調査を行った。さらに、新型コロナウイルス RNA の検出状況と処理区域内における新規感染者数を比較したのでそれぞれ報告する。

なお、リアルタイム RT-PCR 法とは、RNA 分子から逆転写反応により生成された DNA 分子を対象として実施するリアルタイム PCR 法のことである。また、リアルタイム PCR 法とは PCR 反応産物を PCR 反応のサイクルごとに測定することで、試料中の鋳型 DNA の濃度を定量する手法である。

## 2. 調査方法

### 2.1 対象施設

調査は、合流式下水道であり、かつ処理区域内の感染者が多いと推定される芝浦水再生センター及び落合水再生センターで行った（図 2）。

芝浦水再生センターの処理区面積は約 6,400 ha で、処理区域は千代田区、中央区、港区、新宿区、渋谷区の大部分と品川区等の一部であり、オフィスビルの立ち並ぶ都心の市街地の中に位置している。処理能力は 83 万  $\text{m}^3$ /日、令和元年度の処理実績は約 62 万  $\text{m}^3$ /日で、標準活性汚泥法による処理の後、塩素消毒を行い、東京湾に放流している。処理水の一部をオゾン処理及び膜処理後に周辺地区へ再生水として供給するとともに、施設内には立体都市計画制度を利用して建築された大型複合ビル「品川シーゾンテラス」がある等、良好な都市環境の創出に貢献している。

一方、落合水再生センターの処理区面積は約 3,500 ha で、処理区域は中野区、新宿区、杉並区等の一部であり、新宿副都心に近い住宅地の中に位置している。処理能力は 45 万  $\text{m}^3$ /日、令和元年度の処理実績は約 32 万  $\text{m}^3$ /日で、標準活性汚泥法と砂ろ過法による高度処理の後、塩素消毒を行い、神田川に放流している。処理水の一部を再生水として西新宿及び中野坂上地区に供給するとともに、水の流れがほとんどなくなった城南三河川（渋谷川・古川、目黒川、呑川）に送水し、清流を復活させる事業にも取り組んでいる。なお、処理区域内には落合水再生センターの処理能力を補完するため中野水再生センターが稼働しており、中野区、杉並区の一部を処理区域としている。

### 2.2 試料採取

感染拡大の第 2 波である 2020 年 6 月末から 8 月末にかけて、芝浦水再生センター及び落合水再生センターの流入下水及び放流水を採取した（図 3）。採取頻度は、流入下水について週 1 回、放流水について 2 週に 1 回とし、降雨の影響を受けていない平日の午前 10 時に採取した。試料量は約 400 ml であり、放流水については、採取後すみやかにチオ硫酸ナトリウムを添加し残留塩素を除去した。試料は  $-18^{\circ}\text{C}$  以下で凍結保存した後、東京都健康安全研究センターに運搬し、検査・試験を行った。検査・試験フローを図 4 に示す。



図 2 水再生センター位置

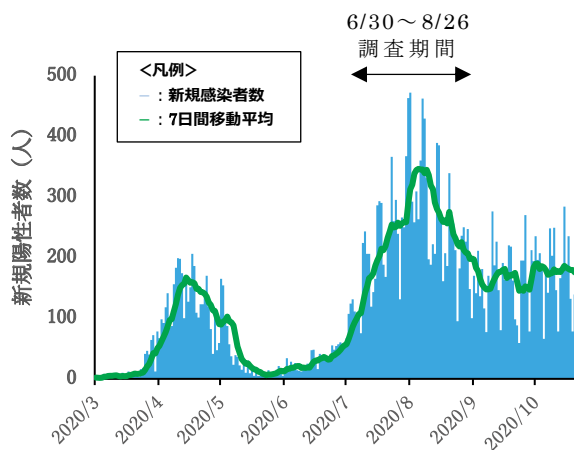


図3 東京都 COVID-19 新規感染者数推移

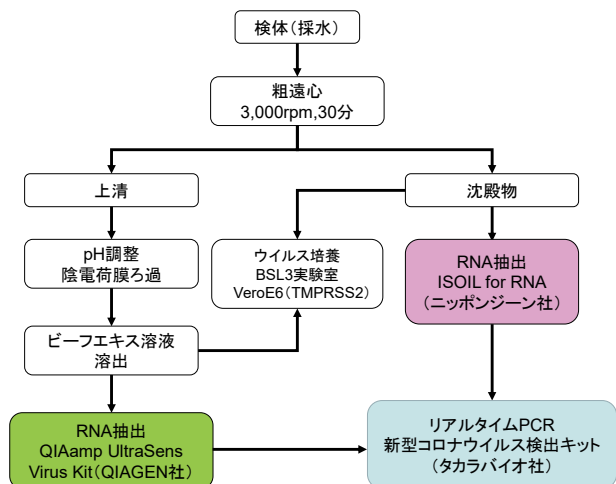


図4 検査・試験フロー

### 2.3 ウイルス濃縮及び RNA 抽出

下水中の新型コロナウイルス RNA 濃度は臨床検体と比較して低濃度であるため、濃縮操作が必須となる。一般的なウイルスの濃縮操作として、陰電荷膜法、ポリエチレングリコール沈殿法、限外ろ過膜法等が知られているが、本調査では操作の容易性から陰電荷膜法を採用した。

手順は、まず、試料 400 ml を 3,000rpm で 30 分遠心分離し、沈殿物を分離した。上清の濃縮は、孔径 1  $\mu\text{m}$  のグラスファイバーでろ過した 200 ml の試料に  $\text{MgCl}_2$  を最終濃度が 0.05M となるように添加し、0.5N の塩酸により pH を 3.5 に調整した後、孔径 0.45  $\mu\text{m}$  の陰電荷膜（アドバンテック東洋社 A045A047A）2 枚でろ過した。陰電荷膜は、裁断後、3% のビーフェキス溶液 4 ml を加え、ウイルスを誘出回収する作業を 2 回行った。2 回の誘出液は、3,000rpm で 15 分遠心分離した後、0.22  $\mu\text{m}$  シリンジフィルターでろ過し、ウイルス濃縮液とした。このウイルス濃縮液 1 ml から QIAamp UltraSens Virus Kit (QIAGEN 社) により RNA を抽出し、抽出液 60  $\mu\text{l}$  を得た。

また、通常のウイルス検査では沈殿物を検査対象としないが、流入下水において沈殿物から新型コロナウイルス RNA が検出されやすいという報告があることから<sup>2)</sup>、遠心分離により得られた沈殿物についても検査を行った。沈殿物は濃縮操作を行わず、800  $\mu\text{l}$  から ISOIL for RNA (ニッポンジーン社) により RNA を直接抽出し、抽出液 40  $\mu\text{l}$  を得た。

### 2.4 リアルタイム RT-PCR 法

既往の報告では、N 遺伝子、E 遺伝子、ORF1ab 遺伝子、RdRp 遺伝子等の特定領域をターゲットにして新型コロナウイルス RNA 濃度を定量している（図 5）。本調査では、検出キットとして、N 遺伝子内の 2 か所の増幅領域（表 1、N1: 72bp、N2: 67bp）をターゲットとしている SARS-CoV-2 Direct Detection RT-qPCR Kit（タカラバイオ社）を使用した。2 か所の増幅領域は同じ蛍光のプロンプ（Cy5）を使用しており、同じウェル内で同時に反応させ、同じ蛍光を捕捉することで高感度な検出が可能となっている。

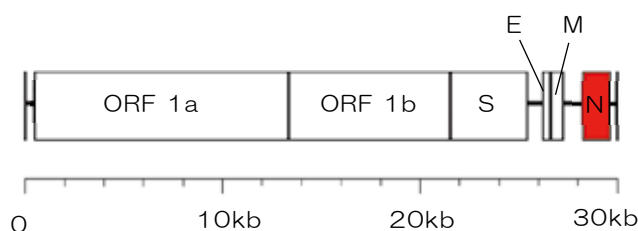


図5 新型コロナウイルス RNA の  
各遺伝子領域

表1 プライマー・プローブ塩基配列

| 遺伝子領域 | プライマー・プローブ名    | プライマー・プローブ配列 (5'→3')                     |
|-------|----------------|------------------------------------------|
| N1    | 2019-nCoV_N1-F | GAC CCC AAA ATC AGC GAA AT               |
|       | 2019-nCoV_N1-R | TCT GGT TAC TGC CAG TTG AAT CTG          |
|       | 2019-nCoV_N1-P | Cy5-ACC CCG CAT TAC GTT TGG TGG ACC-BHQ1 |
| N2    | 2019-nCoV_N2-F | TTA CAA ACA TTG GCC GCA AA               |
|       | 2019-nCoV_N2-R | GCG CGA CAT TCC GAA GAA                  |
|       | 2019-nCoV_N2-P | Cy5-ACA ATT TGC CCC CAG CGC TTC AG-BHQ1  |

装置は、QuantStudio 12K Flex Real-Time PCR System (Thermo Fisher Scientific 社) を使用し、50℃ 30 分、95℃ 5 分の条件で逆転写反応を行った後、95℃ 15 秒、60℃ 60 秒の条件で 45 サイクルまで PCR 処理を行った。

検査結果の判定は、検査キットの説明書に従い、40 サイクル未満を陽性とした。また、40～45 サイクルであっても増幅曲線の立ち上がりが認められたものは陽性（検出限界以下）とし、立ち上がりがない陰性と区別した。各検体は 2 ウェルずつ検査を行い、異なる結果がでた場合にはさらに 1 ウェルの追加検査を行って判定した。

検出限界は 5 コピー/1 反応であり、試料の濃縮倍率に基づき 1L あたりに換算すると、定量下限値は上清で 600 コピー/L、沈殿物で 500 コピー/L である。

なお、全ての検査について、ポジティブコントロールにおいて増幅曲線が立ち上がることで及びネガティブコントロールにおいて増幅曲線がないことを確認するとともに、プロセスコントロールとして下水中に存在するトウガラシ微斑ウイルスの RNA 濃度を測定し、既知の濃度と大差がないことを確認した。

## 2.5 ウイルス培養試験

リアルタイム RT-PCR 法で陽性となった試料についてウイルス培養試験を行った。培養細胞は、国立感染症研究所の開発した TMPRSS2 発現 Vero E6 細胞を使用し、リアルタイム RT-PCR 法と同様、ウイルス濃縮操作後の上清と沈殿物のそれぞれについて試験した。試験は、バイオセーフティレベル 3 (BSL3) の実験室で行った。

手順は、24 穴プレートに単層培養した TMPRSS2 発現 Vero E6 細胞に試料を 100  $\mu$ l 接種し、37℃で 1 時間静置した。その後、試料を取り除き、ダルベッコ変法イーグル培地「ニッスイ」（日水製薬社）に 10%ウシ胎児血清（BioWest 社）と 1%ペニシリン-ストレプトマイシン溶液 5,000U/ml（MP Biomedicals 社）を添加した維持培地を 1 ml 加え、37℃、5%CO<sub>2</sub> 下で 3 週間培養した。この間、倒立顕微鏡で細胞変性効果（CPE）を毎日観察した。なお、1 週間毎に新たな培養細胞を培養上清に入れ継代した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 新型コロナウイルス RNA 検出状況

新型コロナウイルス RNA 検出状況を表 2 に示す。

流入下水について、上清からは新型コロナウイルス RNA が検出されなかったのに対し、沈殿物では芝浦水再生センターの 7 試料(7/16～8/26)、落合水再生センターの 2 試料(7/22、7/29) から新型コロナウイルス RNA が検出された。なお、検出された全ての試料で新型コ



コロナウイルス RNA 濃度は定量下限値の 500 コピー/L を下回っており、流入下水に新型コロナウイルス RNA は存在するものの、その濃度は著しく低いことが分かった。新型コロナウイルス RNA 濃度が定量できなかった理由は、海外の流行地域と比較して人口あたりの感染者数が少なかったためであると考えられる。また、新型コロナウイルス RNA が沈殿物から検出され上清から

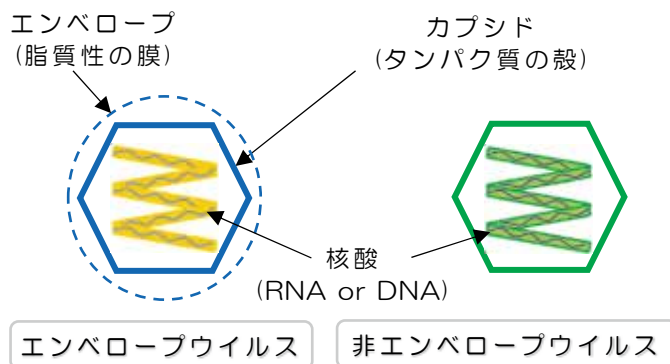


図 6 ウイルス模式図

検出されなかった理由は、非エンベロープウイルス（図 6 右）が上清側に移行しやすいのに対し、新型コロナウイルス等のエンベロープウイルス（図 6 左）は下水中の浮遊物質と結合して沈殿物に移行することが報告されており<sup>2)</sup>、そうしたことが影響したと考えられる。

一方、放流水は、検査した全ての試料において新型コロナウイルス RNA は検出されなかった。この理由として、新型コロナウイルスは沈殿池において物理的除去、反応槽において生物学的分解、消毒工程において酸化・分解等されていることが報告されており<sup>1)</sup>、そうしたことが影響したと考えられる。

表 2 新型コロナウイルス RNA 検出状況及び培養状況

|           | 芝浦水再生センター |            |              |               |           |            |              |               | 落合水再生センター |            |              |               |           |            |              |               |
|-----------|-----------|------------|--------------|---------------|-----------|------------|--------------|---------------|-----------|------------|--------------|---------------|-----------|------------|--------------|---------------|
|           | 流入下水      |            |              |               | 放流水       |            |              |               | 流入下水      |            |              |               | 放流水       |            |              |               |
|           | PCR<br>上清 | PCR<br>沈殿物 | ウイルス培養<br>上清 | ウイルス培養<br>沈殿物 | PCR<br>上清 | PCR<br>沈殿物 | ウイルス培養<br>上清 | ウイルス培養<br>沈殿物 | PCR<br>上清 | PCR<br>沈殿物 | ウイルス培養<br>上清 | ウイルス培養<br>沈殿物 | PCR<br>上清 | PCR<br>沈殿物 | ウイルス培養<br>上清 | ウイルス培養<br>沈殿物 |
| 2020/6/30 | n.d.      | n.d.       | —            | —             | —         | —          | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             | —         | —          | —            | —             |
| 2020/7/7  | n.d.      | n.d.       | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             |
| 2020/7/16 | n.d.      | <500       | No CPE       | No CPE        | —         | —          | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             | —         | —          | —            | —             |
| 2020/7/22 | n.d.      | <500       | No CPE       | No CPE        | n.d.      | n.d.       | —            | —             | n.d.      | <500       | No CPE       | No CPE        | n.d.      | n.d.       | —            | —             |
| 2020/7/29 | n.d.      | <500       | No CPE       | No CPE        | —         | —          | —            | —             | n.d.      | <500       | No CPE       | No CPE        | —         | —          | —            | —             |
| 2020/8/5  | n.d.      | <500       | No CPE       | No CPE        | n.d.      | n.d.       | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             |
| 2020/8/12 | n.d.      | <500       | No CPE       | No CPE        | —         | —          | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             | —         | —          | —            | —             |
| 2020/8/19 | n.d.      | <500       | No CPE       | No CPE        | n.d.      | n.d.       | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             |
| 2020/8/26 | n.d.      | <500       | No CPE       | No CPE        | —         | —          | —            | —             | n.d.      | n.d.       | —            | —             | —         | —          | —            | —             |

PCR 検査の「n. d.」は不検出、「<500」は定量下限値未満（コピー/L）  
ウイルス培養試験の「No CPE」は陰性  
「—」は試験未実施

### 3.2 新型コロナウイルス培養状況

リアルタイム RT-PCR 法で陽性となった芝浦水再生センターの流入下水 7 試料と落合水再生センターの流入下水 2 試料について、上清と沈殿物に分けてウイルス培養試験を行った。新型コロナウイルス培養状況を表 2 に示す。

全ての試料において新型コロナウイルス特有の細胞変性効果（CPE）は観察されず、新型コロナウイルスの感染性は失われていることが推察された。

新型コロナウイルス RNA が検出されているにもかかわらず、ウイルス培養試験結果が陰性となる理由は、流入下水中の新型コロナウイルス RNA 濃度が著しく低いことに加えて、エンベロープウイルスは一般的に環境中で不安定であり、エンベロープ等が損傷すると感染力を失うことが報告されていることから<sup>1)</sup>、そうしたことが影響したと考えられる。

### 3.3 新規感染者数データとの比較

新型コロナウイルス RNA 検出状況と 10 万人あたりの新規感染者数の推移を図 7 に示す。新型コロナウイルス RNA の検出状況と 7 日間移動平均による新規感染者数を比較すると、いずれの水再生センターにおいても、感染拡大の初期では新型コロナウイルス RNA が検出されず、10 万人あたりの新規感染者数が 4 人を超えている際に概ね検出されていた。ただし、落合水再生センターでは 4 人を超えていても検出されない時もあるなど、感染流行状況を十分に反映した結果は得られなかった。また、流入下水の新型コロナウイルス RNA 濃度が定量できなかったことから、新型コロナウイルス RNA 濃度と感染者数の相関を調べることができなかった。

以上のことから、東京都の現状では、下水試料の検査結果を感染流行状況の把握や感染流行予測に用いることは困難であると考えられる。なお、これらの傾向は、様々な仮定（例：報告感染者数は真値であり、処理区域内人口は一定）に基づき加工（例：新規感染者数の 7 日間移動平均の算出や面積比率による処理区域内新規感染者数の推計）した結果得られたものであるため、それらの妥当性について今後さらに検証が必要である。

新型コロナウイルス RNA 検出状況と受水量あたりの新規感染者数の推移を図 8 に示す。芝浦水再生センターにおいては 7 日間移動平均による新規感染者数が 0.6 人/万 m<sup>3</sup> を超え

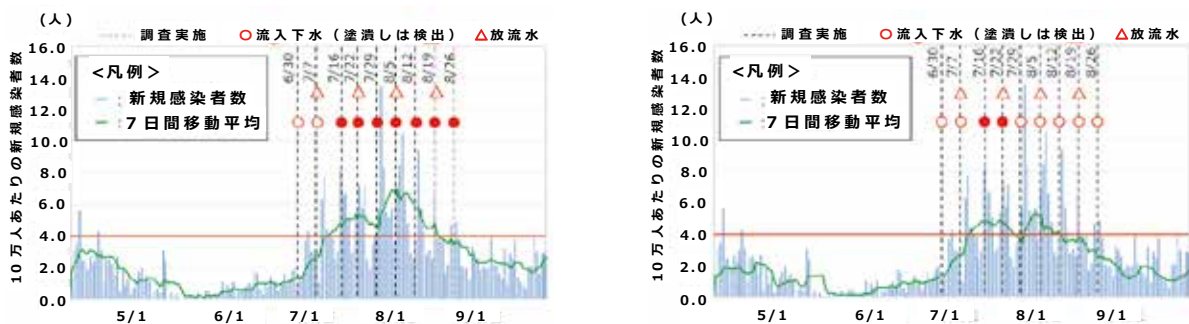


図 7 新型コロナウイルス RNA 検出状況と 10 万人あたりの新規感染者数の推移  
(左：芝浦水再生センター 右：落合水再生センター)

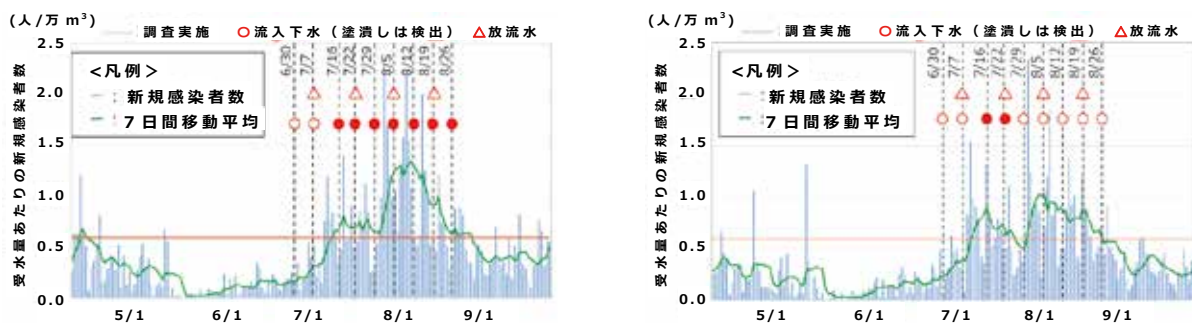


図 8 新型コロナウイルス RNA 検出状況と受水量あたりの新規感染者数の推移  
(左：芝浦水再生センター 右：落合水再生センター)

た時に新型コロナウイルス RNA が検出されていたのに対し、落合水再生センターにおいては検出されていないデータの方が多く、受水量あたりに換算しても統一した傾向を見出すことはできなかった。この結果についても、下水の流達時間や流入水質等が影響しているのかについて、今後の検証が必要である。

#### 4. まとめ

新型コロナウイルス感染症の感染拡大の第2波である2020年6月末から8月末にかけて、処理区域内において感染者が多いと推定される都内2か所の水再生センターで流入下水及び放流水を採取し、リアルタイム RT-PCR 法による RNA の存在の有無及びウイルス培養試験による感染性の有無の調査を行った。その結果、以下のことが分かった。

- ・一部の流入下水から新型コロナウイルス RNA が検出されたものの、その濃度は定量下限値未満であり著しく低かった。
- ・放流水から新型コロナウイルス RNA は検出されなかった。
- ・リアルタイム RT-PCR 法で陽性となった流入下水の試料についてウイルス培養試験を行った結果、全ての試料について新型コロナウイルス特有の細胞変性効果は観察されず、感染性は失われていることが推察された。
- ・流入下水における新型コロナウイルス RNA の検出状況と7日間移動平均による新規感染者数を比較すると、いずれの水再生センターにおいても、10万人あたりの新規感染者数が4人を超えている際に新型コロナウイルス RNA が概ね検出されていた。
- ・流入下水における新型コロナウイルス RNA 濃度が定量下限値未満であったこと等から、現状では下水試料の検査結果を感染流行状況の把握や感染流行予測に用いることは困難であると考えられる。

下水中の新型コロナウイルスの挙動は未だ不明な点が多く、その感染性について検証した事例も少ないことから、下水の安全性に関する懸念が払拭されていない状況にある。本調査が、流入下水に触れる可能性のある下水道作業従事者の方々や放流先の都民の方々、ひいてはその他の下水道関係者や広く一般市民の安心の一助となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) World Health Organization, Water, Sanitation, hygiene, and waste management for SARS-CoV-2, the virus that causes COVID-19 Interim guidance, 2020/07
- 2) K. Kitamura, K. Sadamasu, M. Muramatsu, et al., Efficient detection of SARS-CoV-2 RNA in the solid fraction of wastewater, Science of the Total Environment, 763 (2021) 144587, 2020/12

## 2-2-3 砂系反応槽における窒素処理能力について

東部第一下水道事務所 砂町水再生センター  
相馬英雄、高野啓子、関一成、小山奈美、宅間洋子、太宅香織、太田早苗、野本睦志  
代田吉岳  
東京都下水道サービス株式会社  
今井英幸、後藤麻希、神田直輝、三浦奈那美、鈴木経男、田中歩、石塚健一

### 1. はじめに

砂町水再生センターは砂系、東陽Ⅰ・Ⅱ系、東陽Ⅲ系の水処理施設で構成されている。その中で砂系（処理能力 138,000m<sup>3</sup>/日）は反応槽が浅槽であり、深槽反応槽の東陽系に比べて窒素除去率が低いことが課題となっている。

砂系反応槽では窒素除去率を向上させるため、以前から水温が比較的高い時期になると、ライザー弁閉止による脱窒促進を行うなどの対策を実施している。以前より、ライザー弁の閉止箇所前後のDOを定期的に測定しているが、今回詳しくその効果を確認するため、すべてのライザー弁の箇所ごとにDO測定を行い、DOと窒素濃度の関係を調査することにした。特に、令和3年度調査では、砂系の水量が通常の約1.5倍に増えた際の影響について調査することができたので、その結果について報告する。

なお、本件は東京都下水道サービス株式会社との共同調査によるものである。

### 2. 施設の概要

施設の概要を表1、平面図を図1に示す。このうち、砂系は処理能力 138,000m<sup>3</sup>/日であり、反応槽は浅槽でA～Dの4回路からなっている。散気水深は3.6mで、全面ばっ気方式を採用している。また、送風制御はA回路が風量一定制御、B回路およびC D回路はDO一定制御で運転している。通常はりん処理を重視し、A回路前段の制限ばっ気による疑似嫌気運転を行っている。

表1 砂町水再生センター 各系列の概要

|                                                   | 砂系              | 東陽Ⅰ・Ⅱ系                 | 東陽Ⅲ系                  |
|---------------------------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| 処理方式                                              | 標準法<br>(制限ばっ気法) | 標準法及び疑似AO法<br>(制限ばっ気法) | ステップA <sub>2</sub> O法 |
| 反応槽<br>水深<br>(m)                                  | 4.2 (浅槽)        | 9.9 (深槽)               | 10.0 (深槽)             |
| 容量<br>(m <sup>3</sup> )                           | 36,280          | 122,880                | 57,140                |
| 処理能力<br>(m <sup>3</sup> /日)                       | 138,000         | 400,000                | 120,000               |
| 処理水量※<br>(m <sup>3</sup> /日)                      | 93,390          | 224,820                | 110,670               |
| 反応槽滞留時間※<br>(時)                                   | 9.3             | 11.8                   | 12.4                  |
| 送風倍率(水質)※<br>(m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> ・日) | 6.2             | 5.6                    | 2.5                   |

※令和元年度 水質試験年報より

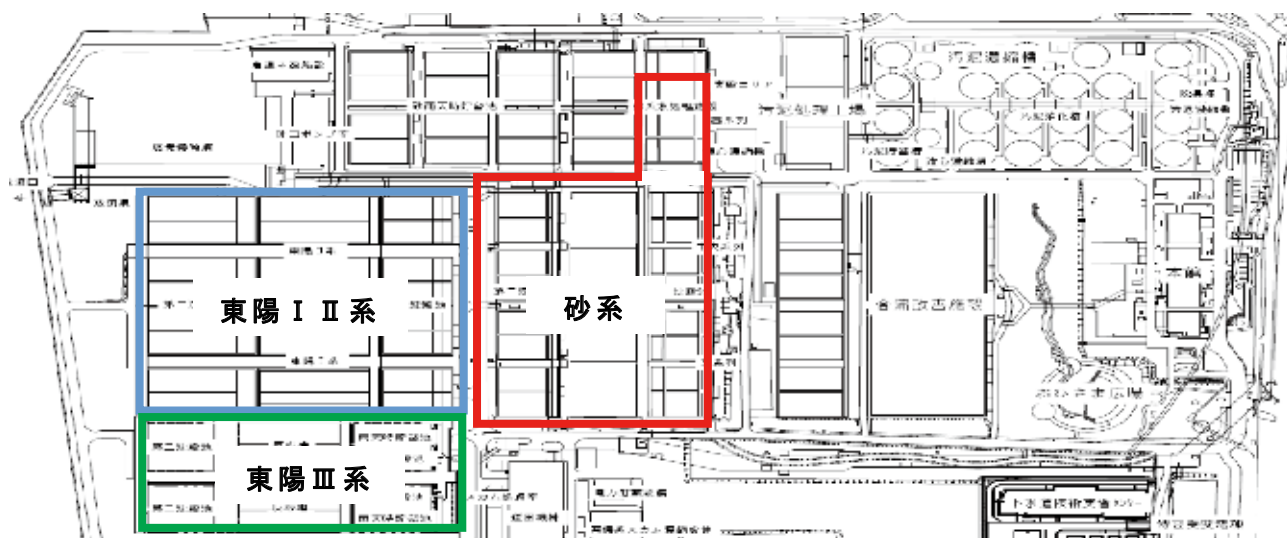


図1 砂町水再生センター 平面図

### 3. 窒素処理の現状

過去12年間の処理水全窒素の推移を図2に示す。過去12年間でみると、砂系は東陽系より処理水の全窒素濃度が約3 mg/L高い状態が続いている（グラフの東陽系は東陽Ⅲ系を含む）。このような背景から、以前から砂系において窒素削減の対策を行っており、窒素除去率を高めるため、反応槽流入量は処理能力の約7割で固定し、返送汚泥率も東陽系より高めに設定して運転している（砂系65%、東陽Ⅰ・Ⅱ系33%、東陽Ⅲ系50%）。当初は処理水全窒素が低下傾向を見せるなど効果を上げていたが、ここ数年は全窒素の値が横ばいになっている。要因として、砂系は浅槽反応槽で全面ばっ気を採用しているため好気槽内脱窒が起こりにくく、深槽反応槽で片側旋回流を採用している東陽系より窒素除去能力が低いと考えられる。

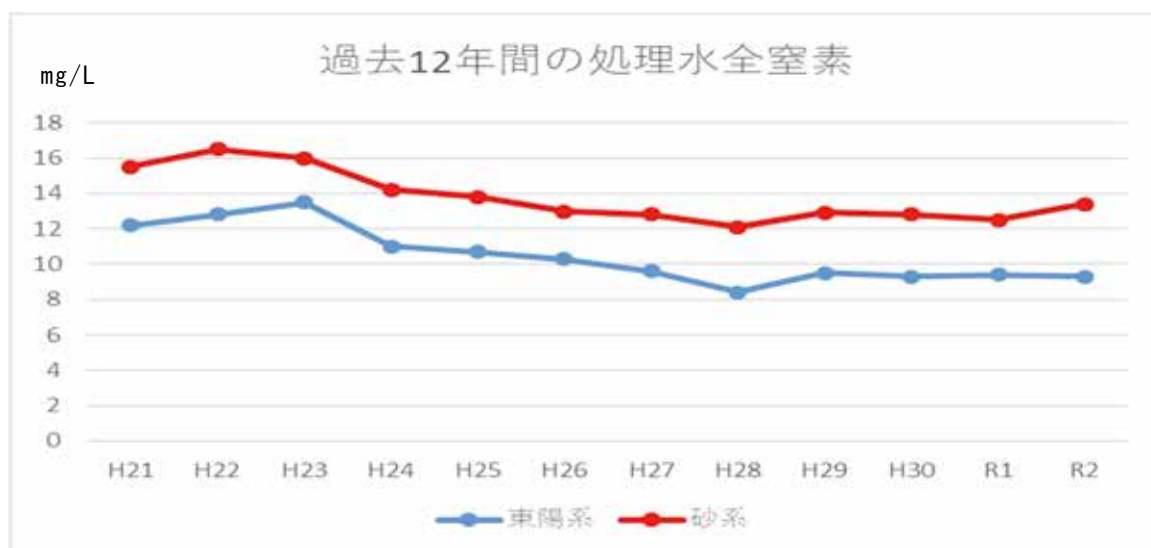


図2 過去12年間の処理水全窒素



## 4. 調査の概要

### 4.1 送風条件

砂系反応槽の模式図を図3に示す。ライザー弁は反応槽各回路に10か所（A～D回路で計40か所）存在している。

過去の脱窒促進調査によりB回路の一部とC回路の一部を絞ることにより、脱窒が促進されることが確認されている<sup>1)</sup>。

令和2年度は第1四半期から第3四半期の高水温期において、内生脱窒による窒素除去を促進させるため、B回路折り返し部（B5、B6）とC回路入口部（C1）のライザー弁を閉止した（図3）。

令和3年度も高水温期に入り水温が20℃を超えた5月からライザー弁の閉止を開始した。前年度との違いとして、反応槽中段のA-HRTを長くして硝化を促進させるため、C回路のライザー弁閉止箇所をC回路入口部（C1）から折り返し部（C5、C6）に変更した（図4）。

なお、水温が低下すると硝化速度が低下しアンモニア性窒素が残存するため、低水温期にはライザー弁を開け、アンモニア性窒素の増加を抑制している。

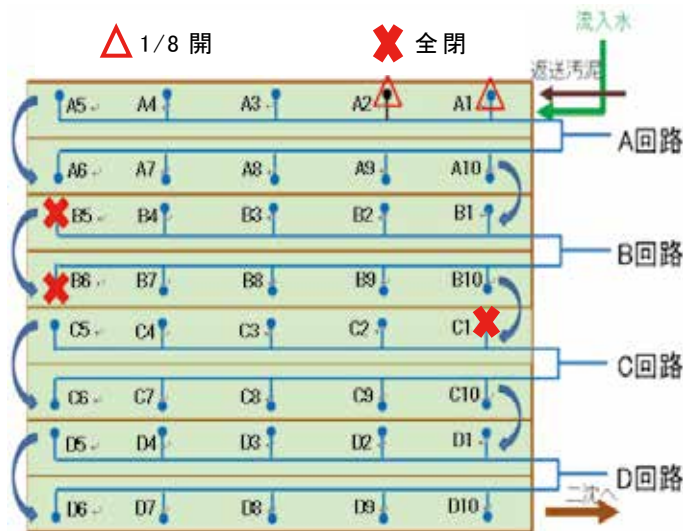


図3 ライザー弁閉止箇所（令和2年度）

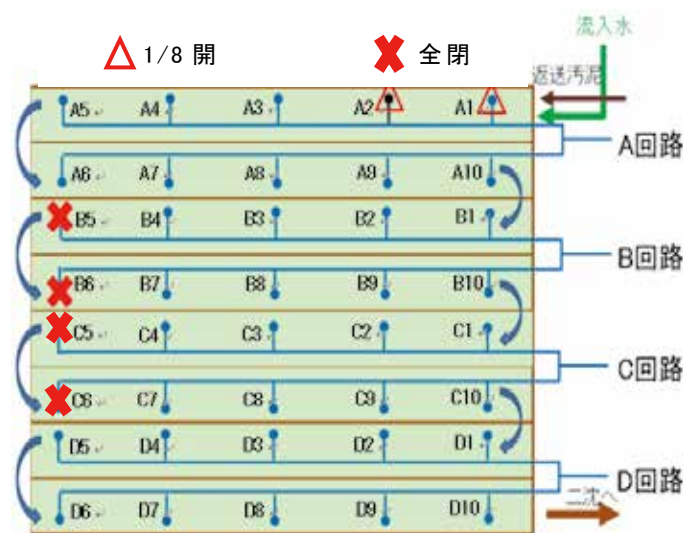


図4 ライザー弁閉止箇所（令和3年度）

### 4.2 調査時期

各調査日のデータを表2に示す。令和2年度調査ではライザー弁閉止時に2回およびライザー弁開放時に2回、令和3年度調査ではライザー弁閉止時に1回の計5回実施した。

砂系は通常、水処理の安定化を図るため、4,000 m<sup>3</sup>/時（96,000m<sup>3</sup>/日に相当）に水量を固定して運転を行っているが、令和3年7月14日に東陽Ⅱ系導水管の破損により一時的に東陽Ⅱ系の水処理が停止したため、砂系も含めた他の系列の処理水量を増加して対応することになった。それにより、令和3年度調査（5回目）は砂系の処理水量が令和2年度調査時（1回目～4回目）に比べて約1.5倍（6,000m<sup>3</sup>/時（144,000m<sup>3</sup>/日に相当））になっ

|                    |                | 1回目            | 2回目            | 3回目           | 4回目            | 5回目          |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|
| 調査日                |                | 2020/<br>10/14 | 2020/<br>10/21 | 2020/<br>12/4 | 2020/<br>12/24 | 2021/<br>8/5 |
| B回路・C回路<br>ライザー弁閉止 |                | あり             | あり             | なし            | なし             | あり           |
| 窒素測定               |                | なし             | あり             | なし            | なし             | あり           |
| 反応槽流入量<br>(m³/h)   |                | 4,000          | 4,000          | 4,000         | 4,000          | 6,000        |
| 返送率<br>(%)         |                | 68             | 68             | 63            | 65             | 49           |
| 送風量<br>(Nm³/h)     | A回路            | 800            | 800            | 800           | 800            | 840          |
|                    | B回路            | 1,000          | 1,800          | 2,500         | 3,200          | 2,300        |
|                    | C回路            | 600            | 700            | 1,100         | 1,000          | 1,500        |
|                    | D回路            | 400            | 600            | 950           | 1,000          | 1,400        |
| DO<br>(mg/L)       | B回路出口<br>(B10) | 2.0            | 1.3            | 1.8           | 3.2            | 0.9          |
|                    | D回路出口<br>(D10) | 5.5            | 4.1            | 2.8           | 2.7            | 3.3          |
| MLSS<br>(mg/L)     | D回路出口<br>(D10) | 910            | 1270           | 1620          | 1810           | 1450         |

表2 調査日の各種データ

た。これは砂系の処理能力（138,000m<sup>3</sup>/日）を超えるなど、使用条件が大幅に異なることから、当初計画していたライザー弁閉止箇所の違いのみによる効果は評価できなかった。

## 4.2 調査方法

### 4.2.1 D O 測定

D O 測定はすべての調査日で実施し、砂系反応槽 3 号の各回路 10 か所（計 40 か所）で D O 測定を行った。なお、D O 測定には投げ込み式 D O 計を用いた。ライザー弁直近の点検口から D O センサーを反応槽内に入れ、D O 値が安定したところで値を記録した。測定箇所を図 5 に示す。

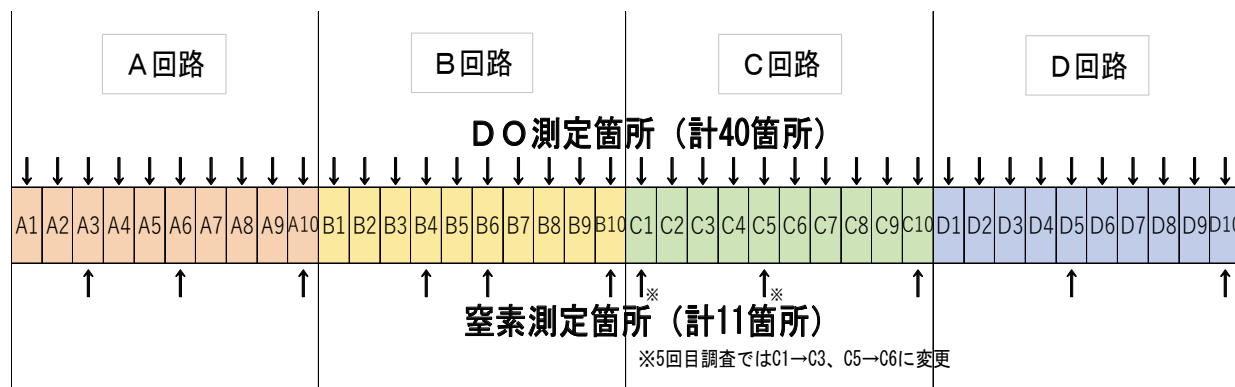


図 5 砂系反応槽 3 号の測定箇所

### 4.2.2 窒素測定

窒素測定は 2 回目と 5 回目の調査日で実施した。砂系反応槽 3 号の各回路 2～3 か所（計 11 か所）において反応槽混合液を採水し、ろ液のアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素を測定した。なお、アンモニア性窒素の測定にはアンモニア計（セントラル科学製 AT-2000）、亜硝酸性窒素と硝酸性窒素の測定には簡易型測定器（メルク社製 R Q フレックス 10）を用いた。測定箇所を図 5 に示す。

## 4.3 結果と考察

### 4.3.1 D O 測定

結果を図 6 に示す。

令和 2 年度調査において、ライザー弁閉止あり（1 回目・2 回目）とライザー弁閉止なし（3 回目・4 回目）で比較すると、ライザー弁閉止箇所（B5・B6、C1）の D O は、ライザー弁閉止の有無により D O 値に明らかに差が見られた（B5・B6 は 0.5 mg/L 以下、C1 は 1～2 mg/L）。処理水量が同じ場合には、ライザー弁閉止による D O 低下効果を確認することができた。

次に、処理水量が異なる場合においてライザー弁閉止を比較すると、処理水量が通常するとき（1 回目・2 回目）と処理水量が多いとき（5 回目）では、C 回路のライザー弁閉止箇所が異なるものの、どちらもライザー弁閉止箇所で D O が低下していた。5 回目調査日は砂系の処理水量が通常の 1.5 倍（6,000m<sup>3</sup>/h）であったが、ライザー弁閉止による D O 低下効果を確認することができた。

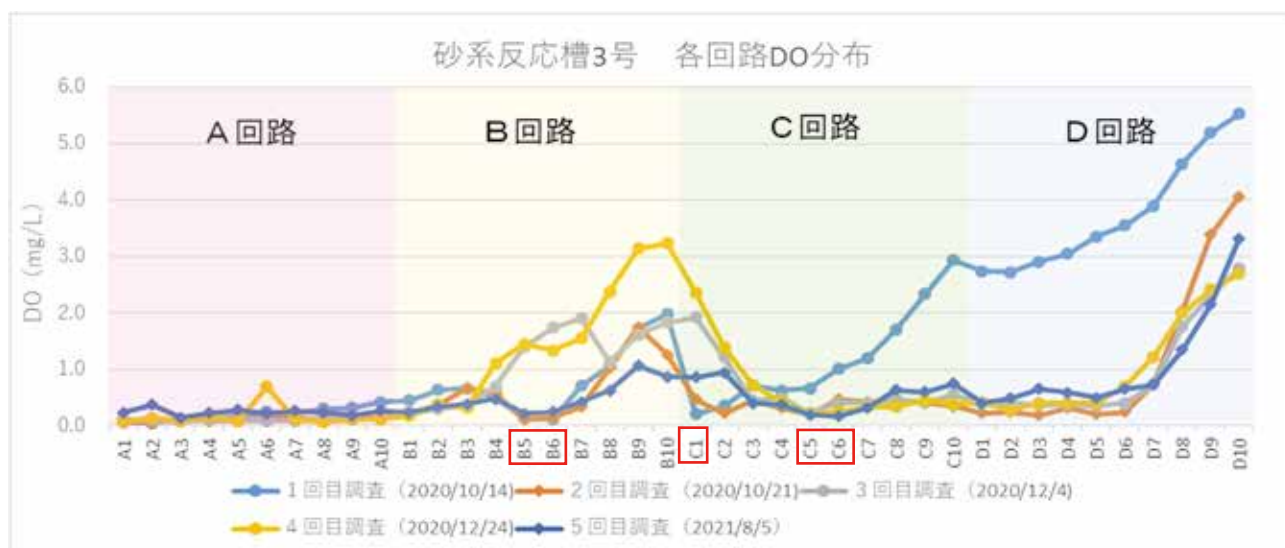


図6 砂系反応槽3号 各回路のDO分布

#### 4.3.2 窒素測定

結果を図7、図8に示す。

令和2年度（2回目）調査では、B回路の前半から硝酸性窒素が検出し始め、順調に硝化が進んでいた。B回路のライザー弁閉止箇所（B4とB6の間）では窒素の減少は見られなかったが、C回路のライザー弁閉止箇所（B10とC1の間）では窒素が減少しており、C回路のライザー弁については効果を確認することができた。

一方、令和3年度（5回目）調査では、A回路からアンモニア性窒素だけが減り続け、B回路の後半になってようやく硝酸性窒素が検出し始める傾向を示した。その後、C回路の終わりになってもアンモニア性窒素が無機性窒素の約半分を占めており、D回路の終わりになってもアンモニア性窒素がほぼゼロになった。ライザー弁閉止箇所（B5・B6、C5・C6）ではB回路付近の窒素の減少がやや確認できたが、全体的にみるとライザー弁閉止箇所以外での窒素の減少が見られた。要因として、硝化と脱窒が同時に進行する現象が起きていた可能性が考えられるが、今後検証により確認していきたい。

窒素除去率で2回目と5回目を比較すると、5回目の方が除去率が高い結果となった（2回目 31.6%、5回目 64.4%）。5回目では砂系の処理水量が増加したため、窒素処理が悪化



図7 砂系反応槽3号 各回路の窒素  
2回目調査（令和2年10月21日）



図8 砂系反応槽3号 各回路の窒素  
5回目調査（令和3年8月5日）

すると考えていたが、逆の結果となった。調査時期における水温の違い、調査前月の降雨量の違い等が影響したものとするが、これについてもさらなる検証が必要である。

## 5. 令和3年度の実際の処理水質

令和3年度上半期における東陽系（東陽Ⅲ系を含む）と砂系の処理水全窒素の推移を図9に示す。5/17に砂系でB回路のライザー弁を閉止したところ、砂系の全窒素は期間中の平均で約1.3 mg/L減少した。しかし、同じ期間中に東陽系でも全窒素が約1.2 mg/L減少しており、東陽系と比較すると窒素減少量にあまり違いは見られなかった。ライザー弁閉止の効果により東陽系並みの窒素濃度になったのか、単純に気温上昇や降雨量の増加によるものかを解明するためには、今後も継続した調査が必要であるとする。

その後、7/7にC回路のライザー弁を閉止したものの、7/14に東陽Ⅱ系導水管が破損し、各系列の処理水量が増加したことにより、砂系・東陽系ともに一時的に全窒素が上昇した。しかし8月前には元の水準に戻り、年末までその状態を維持した。結果として、砂系・東陽系ともに水量増による大きな影響は見られなかった。



図9 東陽系と砂系の処理水全窒素の推移  
(令和3年4月～9月)

## 6. まとめ

- ・令和2年度は4回、令和3年度は1回、砂系反応槽各回路でライザー弁閉止効果の確認調査を実施した。
- ・ライザー弁閉止箇所において、DOが低下していることを確認した。
- ・反応槽混合液の窒素測定を行ったところ、ライザー弁閉止箇所では窒素が減少しており、対策の効果を確認することができた。
- ・砂系において、水量増による窒素処理能力の低下は一時的に見られたものの、しばらくすると元の水準に戻ることを確認した。今回の調査は高水温期に実施したものであることから、低水温期においても同様の現象が見られるのか確認する必要がある。
- ・令和4年度も引き続き調査を実施し、硝化と脱窒の関係性や水温の影響等について検証を行う予定である。

## 7. 参考文献

- 1) 足立悠介ほか：浅槽式反応槽での制限ばっ気による好気槽内脱窒の促進：東京都下水道局水質技術研究発表会論文（2017）



## 2-2-4 りんによる処理機能への影響と安定運用に向けた

### 葛西水再生センターの取組

東部第二下水道事務所 葛西水再生センター スラッジ管理担当 阿部翔真

#### 1 はじめに

近年、東京都下水道局の污泥焼却炉では、焼却灰に含まれるりんが原因と考えられる煙道閉塞が発生している。葛西水再生センター（以下「当センター」という。）でも過去に煙道閉塞が原因で焼却炉の運転を停止し、一時的に污泥処理能力が低下した経験がある。

これまでの調査で、焼却灰に含まれるりんに対して金属類が少なくなると、焼却温度により、融点の低いりん化合物を生成し、炉内で融解して煙道に付着することが分かっている（図 1）。また、金属類とりの含有率に応じて焼却灰の色に一定の変化が生じることなどが報告されている（図 2）。

当センターでは、焼却灰の色データを収集し、煙道閉塞の傾向を把握するとともに、焼却以前の処理工程でりの含有率をある程度低く維持する運用を見出し、煙道閉塞の危険性の小さい、安定した污泥処理を実現したので、その方法及び結果について報告する。



図 1 空気予熱器上部（煙道閉塞時）



図 2 焼却灰（煙道閉塞時）

#### 2 閉塞抑制指標値と余剰比率

##### 2.1 閉塞抑制指標値

煙道閉塞の危険性を示す値として閉塞抑制指標値<sup>1)</sup>があり、図 3 のとおり、閉塞抑制指標値が 1.0 を下回ると煙道閉塞の危険性が大きくなる。煙道閉塞の危険性を小さくするには、式の分母である「りん」が減少するか、分子である「金属類」を増加させて、1.0 を上回ることが必要である。

$$\text{閉塞抑制指標値} = \frac{\left\{ \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)} \cdot 2 + \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} \cdot 2 + \frac{\text{CaO}}{M(\text{CaO})} \cdot \frac{2}{3} + \frac{\text{MgO}}{M(\text{MgO})} \cdot \frac{2}{3} \right\}}{\left\{ \frac{\text{P}_2\text{O}_5}{M(\text{P}_2\text{O}_5)} \cdot 2 \right\}} < 1.0 \Rightarrow \begin{array}{l} \text{煙道閉塞} \\ \text{危険性大} \\ \text{焼却灰白色化} \end{array}$$

$M(\text{Xij})$ : 焼却灰の分析値 [%]       $M(\text{Xij})$ : 化合物  $\text{Xij}$  の分子量 [g/mol]

図 3 閉塞抑制指標値

閉塞抑制指標値の算出に必要な焼却灰の成分分析値は、分析に時間がかかることから、閉塞抑制指標値を速やかに運転に反映することは困難である。このことから、りんと金属類の含有率に応じて変化する焼却灰の色が着目されている。

当センターでは、焼却灰の色を数値化して、りんを多く含有する余剰汚泥と焼却灰の色の関係を調査し、脱水汚泥中の余剰汚泥の比率（以下「余剰比率」という。）から煙道閉塞の危険性を小さくできないか検討した。

## 2.2 汚泥処理状況と余剰比率

当センターでは、一沈汚泥・余剰汚泥・送泥汚泥（中川水再生センター、小菅水再生センターの一沈汚泥と余剰汚泥を混合したもの）と性質の異なる３種類の汚泥を処理している。一沈汚泥・送泥汚泥は重力濃縮槽、余剰汚泥はベルト濃縮機によって濃縮処理し、それぞれの濃縮汚泥を混合して脱水処理する。混合の過程では、貯留できない余剰汚泥が優先的に処理されるため、脱水汚泥中のりんの量は、余剰汚泥に含まれるりんの量に大きく依存する。（一沈汚泥・送泥汚泥は、重力濃縮槽等で時間をかけて処理（重力汚泥）され、大部分のりんは水処理に返水されるため、余剰汚泥と比べてりん含有量は少ない）

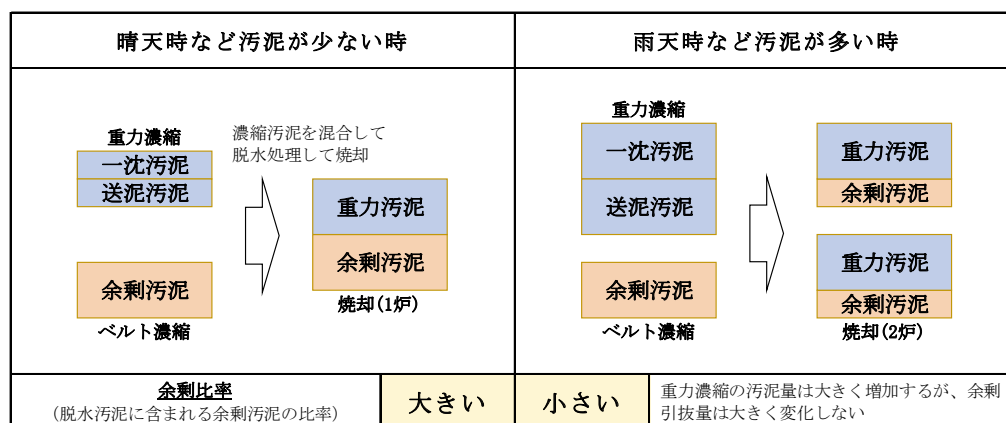


図４ 晴天時・雨天時における汚泥処理状況

当センターでは、図４に示すとおり、重力汚泥の発生量に応じて焼却炉の運転基数を調整している。１炉運転時は、脱水汚泥に含まれる余剰汚泥の比率が大きくなり、金属類を多く含む重力汚泥が少なくなるため、図３式より閉塞抑制指標値は小さくなる傾向にあり、煙道閉塞の危険性は大きくなる。一方、２炉運転時は、余剰汚泥の処理量は大きく変わらないが、各炉に分配するため余剰比率が小さくなり、煙道閉塞の危険性は小さくなる。

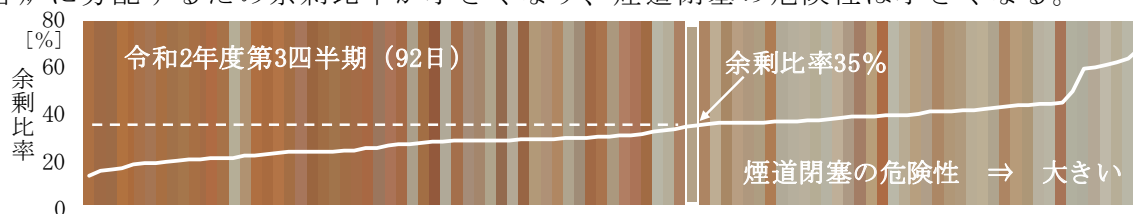


図５ 余剰比率と焼却灰の色（背景色）

令和２年度第３四半期(92日)における余剰比率と焼却灰の色の関係を図５に示す。余剰比率の順に焼却灰の色をプロットした結果、余剰比率が大きくなるにつれて色が白色化する傾向にあることが分かる。特に、余剰比率が３５％を超えたあたりから顕著に白色化していく。

## 2.3 焼却灰の色の数値化と余剰比率

焼却灰の色を数値化するため、焼却灰の画像から RGB 値を求めた（図 6）。焼却灰の R 値は大きく変化せず G 値と B 値が変化している事が分かる。色が赤褐色である図の左側では、R 値と GB 値に差があるが、色が薄くなるほど GB 値が R 値に近づいている。RGB 値は各値が 0～255 で設定されており、値が大きいくほどその色が強く表される。また、各値が近い値になるほど色がなくなり、すべての値が 0 ならば黒、255 ならば白になる。焼却灰の RGB 値は、合計が大きいくほど色が薄くなり、白色に近づくといえる。

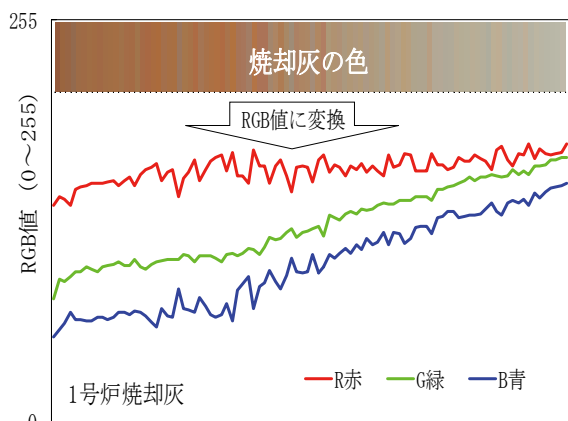


図 6 焼却灰の RGB 値

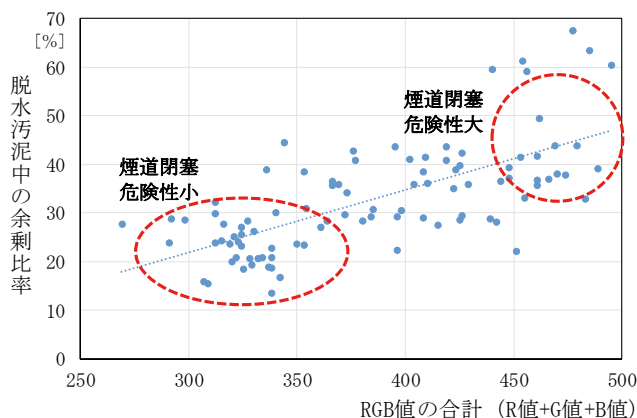


図 7 RGB 値の合計と余剰比率

RGB 値の合計と余剰比率の関係を表したものを図 7 に示す。余剰比率が大きいくほど、RGB 値の合計が大きくなる傾向にある事が分かる。焼却灰が白く（RGB 値の合計が大きいく）なるほど、閉塞抑制指標値が小さくなることから、余剰比率、焼却灰の色及び閉塞抑制指標値には相関があると考えられる（図 8）。

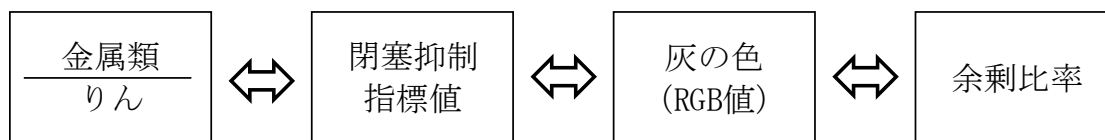


図 8 各指標値の相関

## 2.4 余剰汚泥中のりん濃度

重力汚泥と余剰汚泥の処理量から余剰比率を計算するが、実際のりん負荷量は、余剰汚泥の処理量と余剰汚泥中のりん濃度によって算出される。

汚泥処理施設を併設するセンターの余剰汚泥中のりん濃度を図 9 に示す。当センターの余剰汚泥中のりん濃度は毎年度 4% 強を示しており、比較的高い濃度となっている。

当センターでは、反応槽の処理状況によって、余剰汚泥中のりん濃度が 5% 程度まで上昇することがあるため、定期的に余剰汚泥中のりん濃度を測定し、余剰汚泥の処理

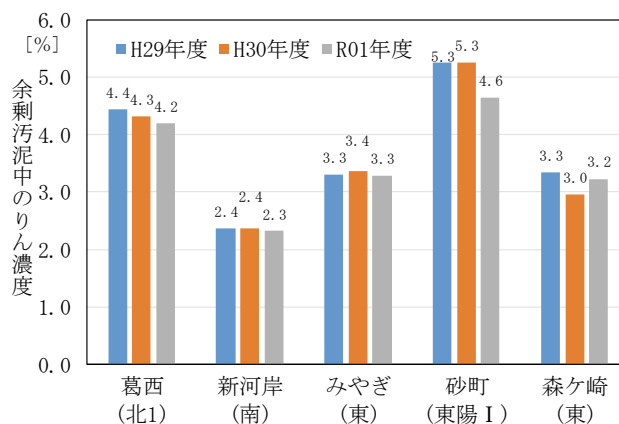


図 9 各センターの代表槽の余剰汚泥中のりん濃度（水質管理月報より）

量とりん濃度からりん負荷量の概算値を算出し、状況を把握することとした。

### 3 煙道閉塞対策

当センターでは、余剰比率を小さくすることが煙道閉塞の抑制に最も効果的であると推測し、余剰引拔量の管理方法の変更により余剰比率の上昇を抑える取組と、幹線フラッシングで重力汚泥を増加させて2炉運転を継続し、余剰比率を小さくする取組を実施した。

#### 3.1 余剰引拔量管理による閉塞抑制効果

令和2年10月以降は、汚泥処理、水質の日報データから、余剰比率やりん負荷量の概算値を算出して数値化、水処理と汚泥処理で情報共有を行い、余剰引拔量などの調整を行った。

2炉運転時に余剰汚泥の引拔量を増加させ、1炉運転時は引拔量を抑制するなどの運転調整を実施して、余剰比率の平準化に取り組んだ。焼却灰が極端に白くなる現象がなくなるなど、ある程度の効果はあったが、反応槽の処理状況を優先して余剰引拔量を決めるため、余剰引拔量の調整には限界があり、2炉運転でも余剰比率が35%前後になるなど、思ったような効果が得られない場合もあった。

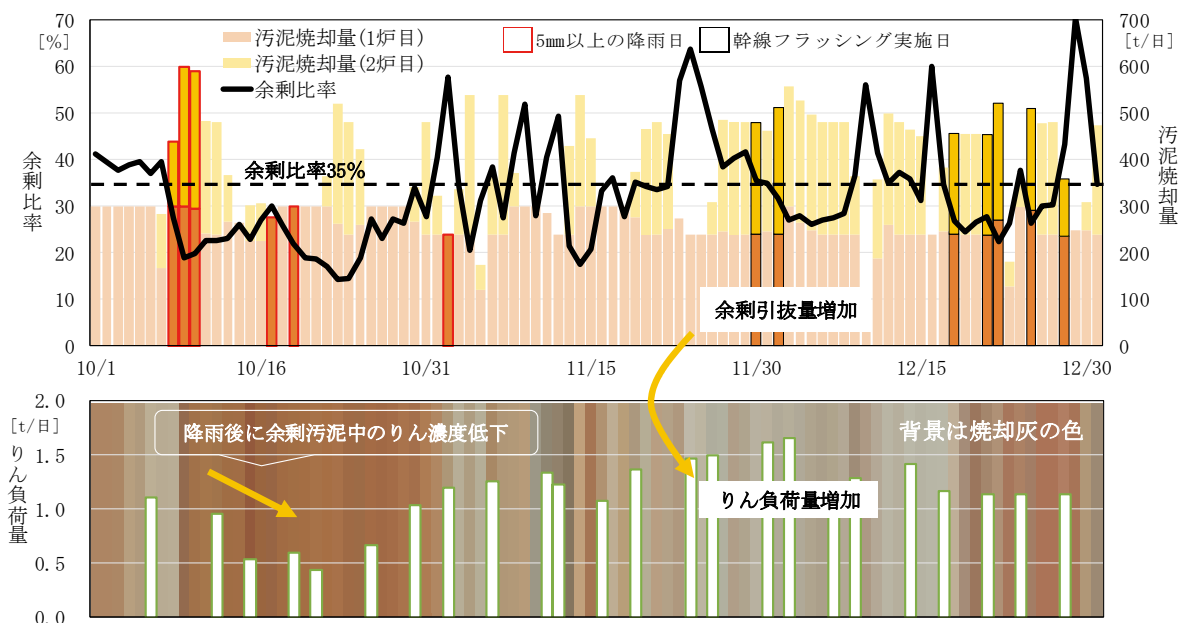


図 10（第3四半期）汚泥焼却量と余剰比率(上)、焼却灰の色とりん負荷量

図 10 に第3四半期の汚泥焼却量、余剰比率、焼却灰の色及びりん負荷量を示す。10月上旬は、降雨により重力汚泥が増加して余剰比率が下がり、降雨後には余剰汚泥中のりん濃度が下がってりん負荷量が減少している。これにより、暫くは閉塞抑制指標値が大きくなり、閉塞の危険性が小さいことが焼却灰の色に表れている。

11月下旬～12月上旬は、余剰引拔量が増え、余剰汚泥中のりん濃度も5%近くまで上昇したため、結果的にりん負荷量が増加した。この期間は5mm未満の降雨や、後述する幹線フラッシングを試験的に実施しているため2炉運転できているが、りん負荷量が増加した影響で、焼却灰の色は白くなった。余剰比率を小さくしても、りん負荷量が大きければ煙道閉塞の危険性は大きくなってしまうため、余剰汚泥中のりん濃度も重要な値であることが分かる。

降雨が少ないと脱水汚泥が不足して定期的に1炉運転となり、余剰比率が大きくなって

しまい煙道閉塞の危険性が大きくなる。煙道閉塞の危険性をできるだけ回避するには、重力汚泥を増加させて2炉運転を維持し、余剰比率を小さく保つことが最も効果的といえる。したがって、一沈汚泥を確保することを次の目標とした。

### 3.2 幹線フラッシング

一沈汚泥を増加させる方法として下水幹線に堆積した汚泥に注目し、晴天時に汚泥を引き寄せる幹線フラッシングという運転方法を行った。これまでも、沈砂池のフラッシングを実施していたが、沈砂池内に堆積した汚泥を引込むだけで、汚泥量の大幅な増加とはなっていなかった。

これに対して幹線フラッシングは、幹線水位を通常運転している水位よりも下げて、幹線内に堆積している汚泥を沈砂池に引き込んだり、上流ポンプ所で揚水量を一時的に増加させて、堆積している汚泥を押し流したりすることで、より多くの汚泥を確保することが可能である。

令和2年12月～令和3年1月の間に実施した幹線フラッシング時の重力汚泥量を図11に示す。ほとんどの幹線フラッシングで重力汚泥が増加し、2炉運転(240t/日×2基)を維持するために必要な重力汚泥(約76[DS-t])を満たして、平均で104[DS-t]の重力汚泥を得ることができた。幹線フラッシングは、重力汚泥の増加に効果的であるといえる。

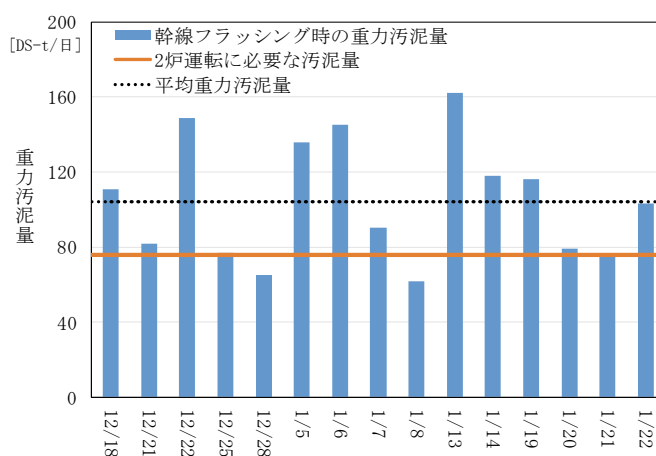


図11 幹線フラッシング時の重力汚泥量

### 3.3 幹線フラッシングによる閉塞抑制効果

令和2年12月下旬以降は定期的に幹線フラッシングを実施し、2炉運転をできるだけ継続する運用を実施した。

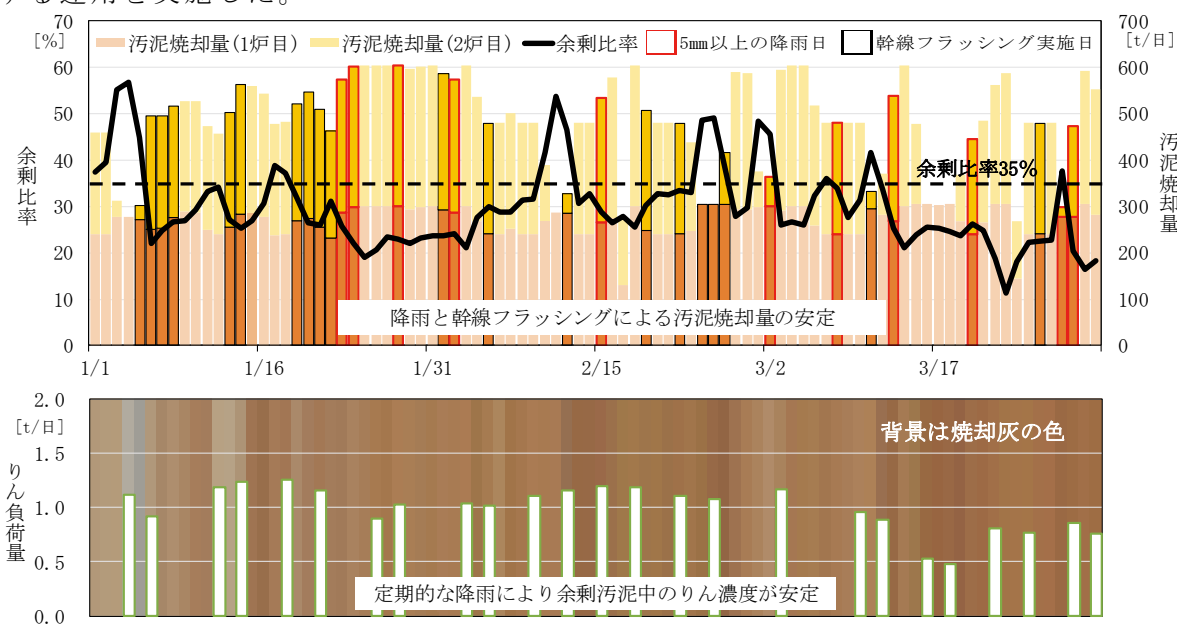


図12 (第4四半期) 汚泥焼却量と余剰比率(上)、焼却灰の色とりん負荷量



図 12 に幹線フラッシングを実施した第 4 四半期の汚泥焼却量・余剰比率・焼却灰の色及びりん負荷量を示す。黒枠で示した日は幹線フラッシングを実施した日、赤枠で示した日は降雨量が 5mm 以上の日を表している。第 3 四半期は 1 炉運転の日数が 30 日あるのに対して、第 4 四半期は 7 日となった。また余剰比率が 35% 以上である日数は、第 3 四半期は 36 日であったが、第 4 四半期は 18 日と半分にまで減少している。

第 4 四半期は、降雨と次の降雨の間に幹線フラッシングを実施して、断続的に幹線に滞留している汚泥を引込み、2 炉運転を維持する事で余剰比率の上昇を抑制した。また、この期間は定期的に降雨があったため、余剰汚泥中のりん濃度が安定してりん負荷量の変動が少なかった。以上のことから、焼却灰の色は安定して赤褐色になっており、煙道閉塞対策の効果が表れたといえる。

日々の運転データからりん負荷量に注視しつつ、幹線フラッシングにより余剰比率を調整して焼却灰の色で状況を確認するといった管理方法により、煙道閉塞の危険性を小さくできる。

#### 4 情報共有及び協力要請

幹線フラッシングにより一時的に汚泥量を増加させることで、焼却炉の 2 炉運転を確保することが、煙道閉塞対策として効果的であることが分かった。しかしながら、葛西処理区内の幹線汚泥だけでは限界があり、必要な汚泥量を確保するためには、東部第二下水道事務所（以下「東二」という。）内の施設課を含む他センターの協力が必要である。そこで、煙道閉塞の危険性が一番伝わり易い焼却灰の色を東二内のサーバーで「灰色通信」と名付けて情報共有（図 13）し、煙道閉塞の危険性が大きい時には、上流側センターでも幹線フラッシングに協力していただいた。

葛西焼却灰の状況（灰色通信）

|        |            | 1月3日  | 1月2日  | 1月3日  | 1月4日  | 1月5日    | 1月6日  | 1月7日  |
|--------|------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 中川     | 降雨量(mm/日)  | 0.0mm | 0.0mm | 0.0mm | 0.0mm | 0.0mm   | 0.0mm | 0.0mm |
|        | 馬車線線       |       |       |       |       | ○       |       | ○     |
| 小宮     | 降雨量(mm/日)  |       |       |       |       |         |       |       |
|        | 小宮線線 柳田P   |       |       |       |       |         | ○     | ○     |
| 葛西     | 降雨量(mm/日)  | 0.0mm | 0.0mm | 0.0mm | 0.0mm | 0.0mm   | 0.0mm | 0.0mm |
|        | 葛西線線 東小松川P |       |       |       |       | ○       |       |       |
| 焼却灰    | 灰採取P       | 5号P   | 5号P   | 5号P   | 4号P   | 4号P     | 5号P   | 5号P   |
|        | 色画像        |       |       |       |       |         |       |       |
| 備考     |            |       |       |       |       | 東プラ受足開始 | 東プラ受足 | 東プラ受足 |
| 閉塞抑制指数 |            |       |       | 1.03  |       | 1.00    |       |       |

図 13 灰色通信

第 4 四半期は、他センターに協力を要請するとともに幹線フラッシングを適宜実施し、2 炉運転を概ね維持できた。りん負荷量が大きい場合は、十分な重力汚泥が必要であり、乾季には他センターの協力が必要となる。

## 5 まとめ

今回行った取組によって、余剰比率、焼却灰の色、閉塞抑制指標値に相関があることが確認でき、余剰比率を抑制する事が煙道閉塞対策として効果があることが明らかとなった。

また、水処理と汚泥処理で情報共有を行い、余剰引抜量の調整・幹線フラッシング等の運転を連携することで 2 炉運転の日数を増加させることが可能であり、煙道閉塞対策に一定の効果があることが明らかとなった。今後も今回実施した煙道閉塞対策を継続し、安定した汚泥処理を行っていく。

## 参考文献

- 1) 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（第 53 回下水道研究発表会）

## 2-2-5 中野水再生センター反応槽の最適な運用方法の検討

西部第一下水道事務所 落合水再生センター 水質管理担当

○松下 勝一、宅間 大吉、宮島 裕子、福田 宗昭

前保 竜一（現 浮間水再生センター）

藤田 勇（現 中川水再生センター）

長藤 拓実（現 北多摩二号水再生センター）

### 1 はじめに

中野水再生センター（以下、当センター）は 2017 年度以降、水処理施設の増設部が準高度処理施設（擬似 A0 法）として順次稼働し、2019 年に処理能力が 4.6 万 m<sup>3</sup>/日から 10 万 m<sup>3</sup>/日となった。水処理施設の増設後も運転管理の工夫や施設改良等により、放流水全窒素の更なる低減を図りながら、送風電力量原単位の削減との両立に取り組んできた。今回、施設の特性に合わせた反応槽の最適な運用方法を検討するため、2020 年度に送風機運転台数の削減、2021 年度に増設部反応槽における窒素低減（ステップ流入の活用と高返送率運転）に取り組んだので報告する。

### 2 施設概要

当センター反応槽の仕様を表 1、模式図を図 1 に示す。1, 2 号槽は 1995 年稼働の既設部反応槽（以下、既設部）で A0 法、3～5 号槽は 2017 年度以降に稼働した増設部反応槽（以下、増設部）で擬似 A0 法として運用している。散気方式は深槽の片側旋回流であるが、嫌気槽と好気槽の容量比率は既設部と増設部で異なっている。嫌気槽は既設部が水中攪拌機（エアレーター兼用）、増設部では散気管で微曝気による攪拌を行っている。なお、水中攪拌機は節電目的で各槽 4 台中、2 台を間欠運転している<sup>1)</sup>。また、散気装置や散気水深が既設部と増設部で異なっており、散気効率は増設部が良好である。既設部は回路数が 8（A～H 回路）で、好気槽にステップ流入扉が 3 門（D, F, G 回路）あり、現在反応槽中段の 1 門（F 回路）でのステップ流入を運用している。増設部は回路数が 6（A～F 回路）であるが、処理能力向上の目的で 3 号槽のみ 2020 年度改良工事で好気槽各回路に隔壁を追加し、反応槽中段（C 回路）にステップ流入扉を 1 門設置している。

表 1 反応槽の仕様

|               | 1号槽                  | 2号槽 | 3号槽                    | 4号槽   | 5号槽   |
|---------------|----------------------|-----|------------------------|-------|-------|
| 稼働年次          | 1995年                |     | 2017年                  | 2018年 | 2019年 |
| 処理方式          | AO                   |     | 擬似AO                   |       |       |
| 散気方式          | 深槽・片側旋回流             |     |                        |       |       |
| 嫌気槽容量         | 2,200m <sup>3</sup>  |     | 1,230m <sup>3</sup>    |       |       |
| 好気槽容量         | 5,880m <sup>3</sup>  |     | 6,850m <sup>3</sup>    |       |       |
| 攪拌方式          | 水中攪拌機（エアレーター付）       |     | 散気管                    |       |       |
| 散気装置<br>（気孔径） | 散気板<br>（300～400 μ m） |     | 高密度配置型散気板<br>（260 μ m） |       |       |
| 散気水深          | 4.5m                 |     | 5.7m                   |       |       |
| 回路数           | 8                    |     | 11<br>（2020年度改良）       | 6     | 6     |
| ステップ流入扉       | 3門                   |     | 1門<br>（2020年度改良）       | なし    | なし    |

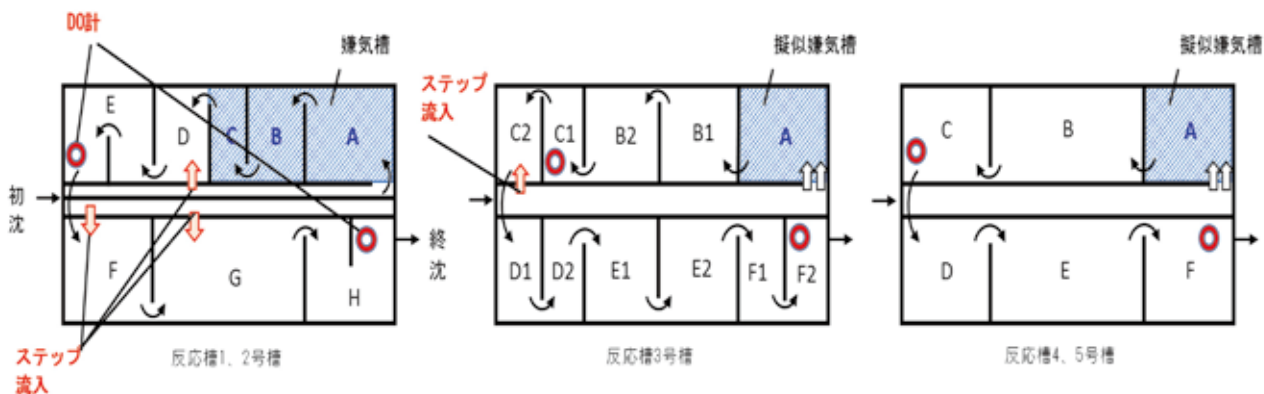


図1 反応槽（1～5号）

### 3 送風機運転台数の削減

当センターは水処理施設の増設後も放流水全窒素と送風電力量原単位の低減の両立に取り組んでいるが、2020年度は送風機電力の効率化を図るため、送風機運転台数の削減に取り組んだ。

#### 3.1 水量配分調整

当センターの送風機と反応槽の関係図を図2に示す。既設送風機（定格出力200kWh×3台）は反応槽1, 2号槽に空気を供給し、増設送風機（定格出力150kWh×3台）は反応槽3～5号槽に空気を供給している。反応槽は流入水量に合わせて既設部2槽、増設部2槽で運用している。

2020年5月14日～15日の晴天時における既設送風機の送風電力量原単位と空気量の経時変化を図3に示す。日中から夜間の送風電力量原単位は0.20～0.30kWh/m<sup>3</sup>と高く、既設送風機は2台運転であったが、早朝は必要空気量が低下し、1台運転となっていた。既設送風機の台数制御設定は必要空気量が8,000m<sup>3</sup>(N)/h以上、10分継続で2台目が起動し、7,600m<sup>3</sup>(N)/h以下、5分継続で1台停止となっている。日中から夜間の必要空気量が2台目起動条件を超えないように、1, 2号槽の処理水量を減らすことで既設送風機1台運転の時間が増加できると考え、揚水量2,600m<sup>3</sup>/h時の1, 2号槽の処理水量を650m<sup>3</sup>/h・槽から段階的に550m<sup>3</sup>/h・槽まで減らした。

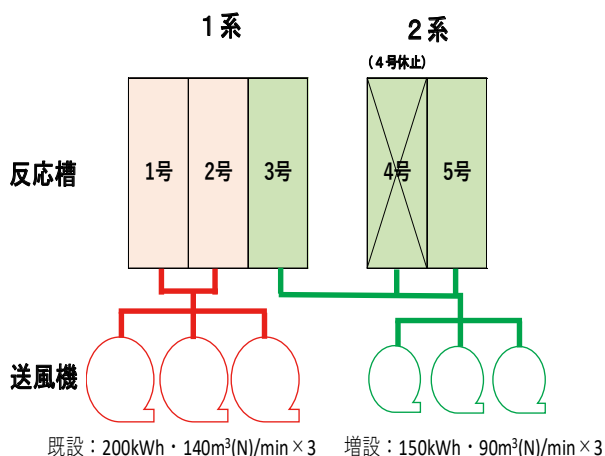


図2 送風機と反応槽の関係図



図3 既設送風機の消費電力分析

### 3.2 二段 DO 制御の導入

次に空気量の制御方法の見直しを検討した。従来の制御方法は最終回路の DO 制御で、必要空気量を反応槽の前半と後半に分配していたが、早朝と夜間の水量変動が 2 倍以上あり、流入水量の変動に必要な空気量が追従できず、送風量のアンバランスが見られていた。そこで、既に整備されている反応槽中段の DO 制御を試行し、反応槽前後半の空気量の平準化と処理の安定化の両立について、1, 2 号槽の運転条件を同一にして、1 号槽を従来の DO 制御（風量配分 6 : 4）、2 号槽を二段 DO 制御として確認した（表 2）。

2020 年 9 月 13 日～14 日の晴天時における送風状況を図 4 と図 5 に示す。図中の DO(1)及び風量(1)は反応槽中段

表 2 既設反応槽の DO 設定値（2020 年 9 月）

|             | DO設定値   |         |
|-------------|---------|---------|
|             | DO(1)   | DO(2)   |
| 1号槽（従来DO制御） | 制御OFF   | 1.0mg/L |
| 2号槽（二段DO制御） | 0.8mg/L | 1.0mg/L |

（E 回路）DO 計及び風量、DO(2)及び風量(2)は反応槽末端（H 回路）DO 計及び風量を表す。従来の DO 制御では空気量の変動に凹凸が見られ、DO(1)は高い時間帯と低い時間帯が生じ、DO(2)は設定値よりも高い状態が半日継続していた。一方、二段 DO 制御の空気量は平準化されており、各 DO 値も比較的安定していた。

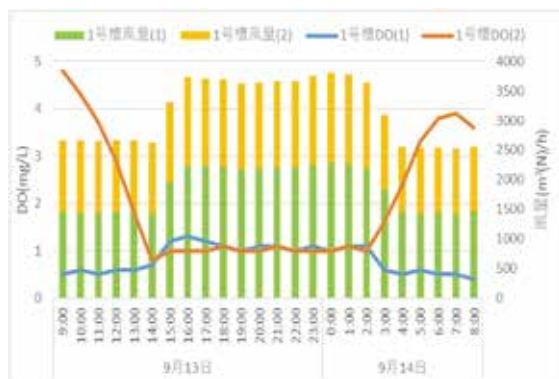


図 4 従来 DO 制御の空気量推移（1 号槽）

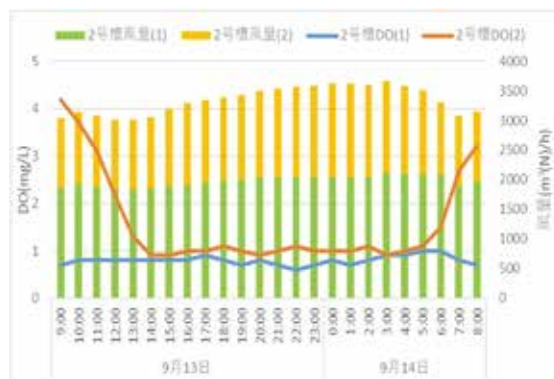


図 5 二段 DO 制御の空気量推移（2 号槽）

反応槽の水量配分調整を継続し、二段 DO 制御を全槽に展開することで、通常時において既設送風機が常時 1 台運転となり送風機運転台数の削減が可能となった。その結果、2020 年度の送風電力量及び送風電力量原単位は前年度比で約 10%減少した（表 3）。

表 3 送風電力実績値の比較

| 年度               | 2019       | 2020       |
|------------------|------------|------------|
| 降雨量(mm)          | 1,679.0    | 1,278.5    |
| 処理水量(m³)         | 21,942,570 | 22,073,400 |
| 送風電力量(kWh)       | 3,497,180  | 3,165,160  |
| 送風電力量原単位(kWh/m³) | 0.159      | 0.143      |

### 4 窒素低減の取り組み

当センターの放流水全窒素は年平均値 10mg/L 程度であり、流総計画上の計画処理水質 9mg/L を満たしていない状況である。既往の調査で新規稼働した増設部の窒素濃度上昇を問題視し、既設部でのステップ流入の活用による窒素低減の取り組みを報告<sup>2)</sup>しているが、2020 年度に反応槽 3 号槽の改良工事でステップ流入扉を設置したことにより、更なる窒素低減が可能となった。そこで、2021 年度にステップ流入の活用（3 号槽）と高返送



率運転（5号槽）による増設部での窒素低減に取り組んだ。ステップ流入は反応槽前段のMLSS濃度が高くなるため硝化脱窒が進行しやすく、反応槽後段では有機物が供給されるため脱窒に有利に働き、窒素低減が期待できる。また、高返送率運転は硝化が良好であれば嫌気槽での脱窒量に応じて窒素が削減できる。

#### 4.1 ステップ比の確認

反応槽3号槽（図1参照）のステップ流入扉はC2回路に位置し、手動の可動堰である。そのため、堰高は固定して運転しているが流入水量の増減に伴う導水渠内の水位変化によりステップ比が大きく変動する可能性がある。そこで一日のステップ流入の状況を確認した。ステップ流入扉全開時、ステップ流入前後のB2回路とD2回路の活性汚泥を2時間間隔で自動採水器を使用して採水し、MLSSを測定した。図6に示すようにB2回路のMLSSは1,690～2,210mg/L、D2回路は1,220～1,510 mg/Lで推移していた。各MLSSと返送比から算出した結果、ステップ比は概ね0.4（0.35～0.44）で安定していた。

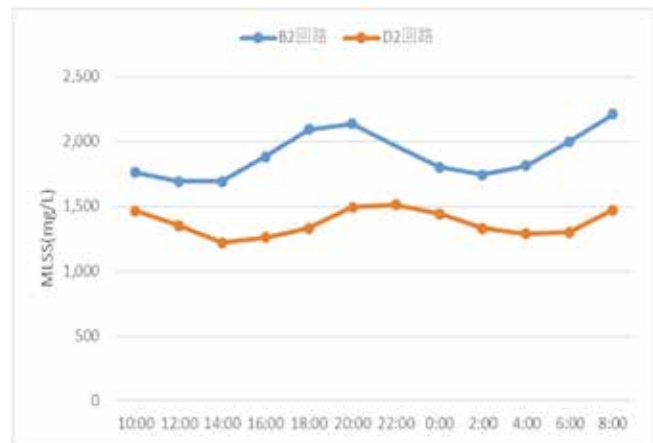


図6 ステップ流入前後のMLSS濃度の推移

#### 4.2 反応槽調査（増設部反応槽）

3号槽のステップ流入及び5号槽の高返送率運転による窒素低減効果を確認するため、各槽の運転条件を同一にして晴天時に反応槽各回路で採水し、窒素とリンの処理状況確認した。反応槽調査の運転条件を表4に示す。

表4 反応槽調査の運転条件

|      | 調査槽 | 期間（調査日）          | ステップ流入 | 返送率 | DO(1)設定値 | DO(2)設定値 |
|------|-----|------------------|--------|-----|----------|----------|
| RUN① | 3号槽 | 9/3～9/20（9/14）   | なし（全閉） | 50% | 0.5mg/L  | 1.0mg/L  |
| RUN② |     | 9/21～10/19（9/28） | あり（全開） |     |          |          |
| RUN③ | 5号槽 | 9/3～9/21（9/14）   | —      | 50% | 0.5mg/L  | 1.0mg/L  |
| RUN④ |     | 9/22～9/29（9/28）  |        | 90% |          |          |

ステップ流入の有無による窒素処理状況を図7に示す。ステップ流入あり（RUN②）ではステップ流入後D回路の硝酸性窒素がステップ流入前のC回路よりも3mg/L程度減少しており、脱窒していると考えられる。また、ステップ流入あり（RUN②）の場合でも最終回路で硝化は完了しており、ステップ流入なし（RUN①）と比べて無機性窒素で約1.5mg/L低かった。次にステップ流入の有無によるリン処理状況を図8に示す。A回路（擬似嫌気槽）のリン酸性リンはステップ流入あり（RUN②）では同程度であったが、反応槽前段でのリンの低下は著しく、C回路でリン処理は完了していた。また、ステップ流入（C回路）以降のリンの残存はみられなかった。



図7 ステップ流入有無の窒素処理状況

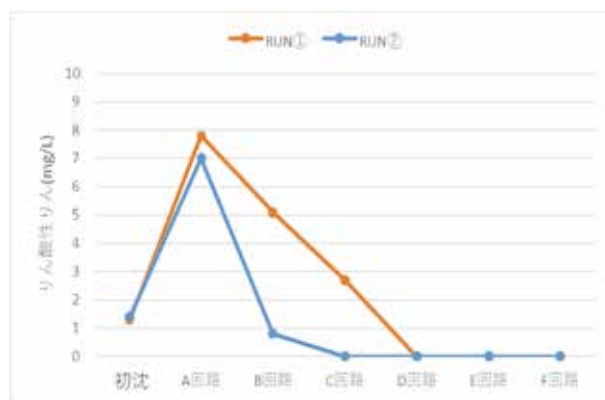


図8 ステップ流入有無りん処理状況

高返送率運転による窒素処理状況を図9に示す。高返送率運転（RUN④）においてもA回路（擬似嫌気槽）での硝酸性窒素の残存が見られず、脱窒は完了していた。また、A回路のアンモニア性窒素は返送汚泥の希釈により通常運転（RUN③）と比べて低く、この差が最終回路まで引き継がれ、無機性窒素は高返送率運転（RUN④）の方が1.7mg/L低かった。次に高返送率運転によるりん処理状況を図10に示す。高返送率運転（RUN④）ではA回路のりん酸性りんは通常運転（RUN③）と比べて低く、B回路以降のりんの低下が緩やかになった。このとき、最終回路のりん酸性りんは0.6mg/Lであった。また、高返送率運転（RUN④）では降雨により流入水の有機物が低い状態が続くとさらにりん処理が低下し、最終回路のりん酸性りんは1mg/Lを超える場合があった。



図9 高返送率運転による窒素処理状況



図10 高返送率運転によるりん処理状況

## 5 反応槽の最適な運用方法の検討

当センターは送風機運転台数の削減の取組に加えて反応槽の最適な運用方法の検討を行ってきており、その検討内容と実施した年度を表5に示す。2020年度は反応槽の水量配分調整と二段D0制御の導入による送風機の運転台数の削減に取り組み、2021年度も継続して実施している。1,2号槽のステップ流入による窒素低減は送率を通常の50%から最高70%まで上げて窒素低減を図った。2021年度は1,2号槽に加えて、3号槽のステップ流入を試行し、前述のとおり窒素低減効果を確認した。5号槽の高返送率運転（返送率90%）は前述のとおり窒素低減効果を確認したが、りん処理に影響が生じたため、返送率70%を基本として、窒素低減を図っている。今後も各反応槽の特性や設備上の制約を十考慮して総合的に検討し、取り組んでいく必要がある。

表 5 反応槽の最適な運用方法の検討

| 2020年度                                                                                                                                                        | 2021年度（9月末時点）                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・反応槽水量配分調整（4月～）</li> <li>・二段DO制御（9月～）</li> <li>・1, 2号槽ステップ流入（制限曝気併用）（8月～）</li> <li>・返送率50～70%（1, 2, 4, 5号槽）</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・反応槽水量配分調整（継続）</li> <li>・二段DO制御（継続）</li> <li>・1, 2号槽ステップ流入（制限曝気併用）（継続）</li> <li>・3号槽ステップ流入（6月～）</li> <li>・返送率1～3号槽50%、5号槽70～90%</li> </ul> |

2019年度第1四半期から2021年度第2四半期までの送風電力量原単位と放流水全窒素の実績を図11に示す。送風電力量原単位は第1, 4四半期が高い傾向であったが、送風機運転台数の削減により2020年度では減少し、2021年度も同様の傾向であった。放流水全窒素は2019年度、2020年度ともに同様の傾向であったが、2021年度では増設部における窒素低減の取り組みにより減少幅が大きくなった。

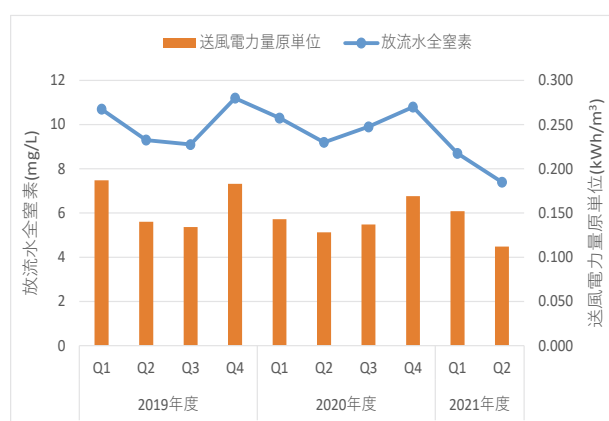


図 11 放流水全窒素と送風電力量原単位実績

## 6 まとめ

- ・反応槽の水量配分調整と二段 DO 制御の導入により送風機運転台数を削減し、2020 年度の送風電力量及び送風電力量原単位は前年度比で約 10% 減であった。
- ・反応槽 3 号槽のステップ比は概ね 0.4 で運用可能で、ステップ流入による窒素低減は約 10% 程度であることを確認した。
- ・反応槽 5 号槽の高返送率 90% 運転での窒素低減は約 10% 程度であったが、りん処理に影響が生じることを確認した。
- ・増設部におけるステップ流入の活用と高返送率運転による窒素低減の取り組みにより、2021 年度の放流水全窒素は減少傾向である。

引き続き、施設の特性を考慮した最適な運用方法の検討を継続し、低水温期における処理状況等の把握に努めていく。また、将来計画されている既設部の準高度化（擬似 A0 法）に向けて、関係部署と協力して課題を整理し、再構築時における水処理施設の整備や改善に繋げていく。

## < 参考文献 >

- 1) 宅間大吉ほか、「中野水再生センター反応槽攪拌機の運転縮減による電力量の削減について」、2010 年度水質技術研究発表会発表論文
- 2) 後上一美ほか、「中野水再生センターにおける反応槽の窒素削減調査について」、2018 年度水質技術研究発表会発表論文

## 2-2-6 低負荷施設における水質改善への取り組み

西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 田中英樹

葛西孝司

増田七彩

(現 施設管理部 環境管理課)

國友雄介

(現 施設管理部 環境管理課)

### 1. 調査目的

新河岸水再生センター（以下、当センター）では、水質改善と省エネルギーの両立のため反応タンクの再構築により段階的高度処理(疑似嫌気好気活性汚泥法)を導入している。これまでに北系反応タンクの整備を終え、令和3年度から南系反応タンクに着手している。しかしながら、当センターでは流入水の BOD が比較的低いため、窒素とリンの除去率が他のセンターに比べて低い。また、流入水に硝酸性窒素がしばしば検出され、リンの除去には厳しい状況である。このため、放流水の窒素とリン濃度の低減を目的に、DO 設定値の変更・MLSS 濃度の上昇・反応槽への負荷量の増大などを試み効果を検証した。

本報は、低負荷施設での水質改善への取り組み状況についてまとめたものである。

### 2. 水処理の状況

当センターの平面図を図1に、施設概要を表1にまとめた。

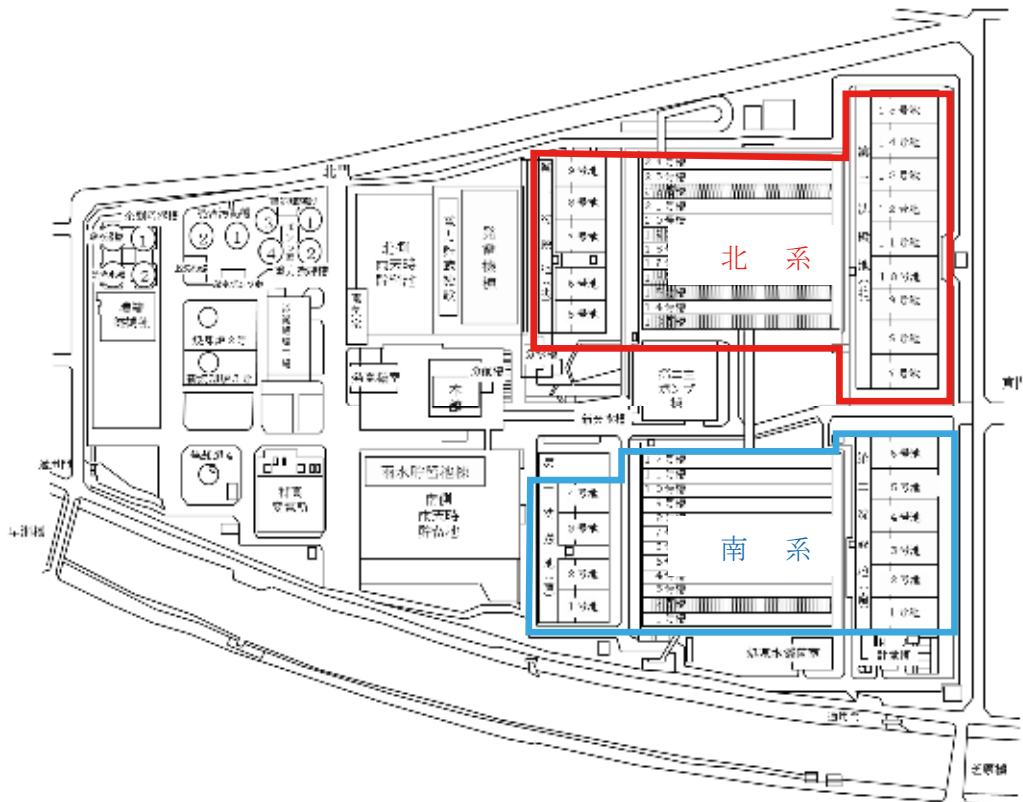


図1 新河岸水再生センター平面図

表 1 施設概要

|       |                           |                     |               |                 |
|-------|---------------------------|---------------------|---------------|-----------------|
| 処理能力  | 670,000 m <sup>3</sup> /日 |                     |               |                 |
|       | 容積                        | 水面積                 | 北系<br>(疑似AO法) | 南系<br>(標準活性汚泥法) |
| 最初沈殿池 | 5,690m <sup>3</sup>       | 1,700m <sup>2</sup> | 5池            | 4池              |
| 反応タンク | 8,430m <sup>3</sup>       |                     | 12槽           | 12槽             |
| 最終沈殿池 | 5,640m <sup>3</sup>       | 1,660m <sup>2</sup> | 9池            | 6池              |

当センターでは、最初沈殿池（5,690m<sup>3</sup>/1池）、反応タンク（8,430m<sup>3</sup>/1池）、最終沈殿池（5,640m<sup>3</sup>/1池）の数が表1に示すように北系と南系で異なり、アンバランスな施設となっている。また、反応タンク容積は北系と南系で同じであるが処理能力は45:55となっている。

下水の排除方式は合流式下水道で、同じ処理区内にある浮間水再生センターから受泥し、当センター内で発生する汚泥とともに脱水・焼却処理を施している。

当センターの水質について説明するため、比較として区部のセンターの令和元年度の反応タンク流入水のBODおよびSSを図2に示す。なお、生汚泥投入を実施している有明水再生センターのデータは図2では省略した。

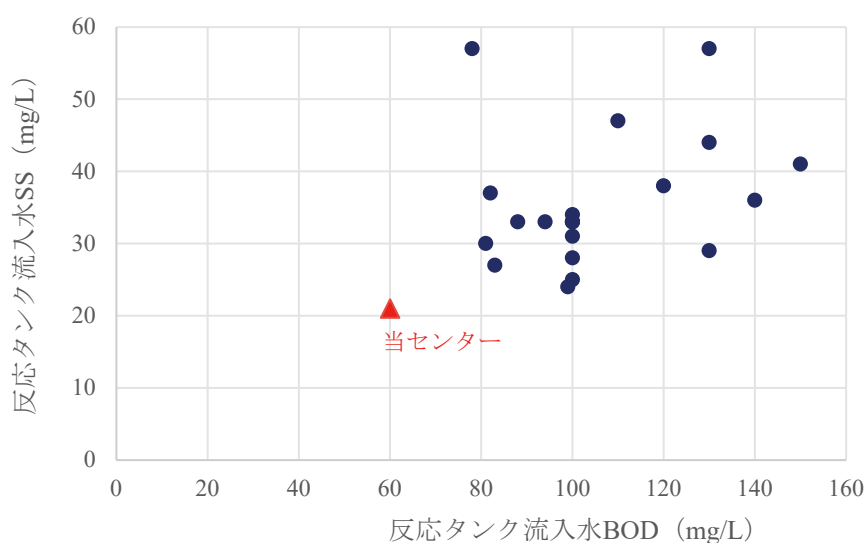


図 2 反応タンク流入水 BOD と SS の比較（有明を除く区部：R1 年度）

図2から当センターの反応タンク流入のBODとSSが他のセンターに比べて著しく低いことがわかる。このため、BODの除去や硝化は安定しているが窒素およびリンの除去率は比較的低い。また、流入下水から硝酸性窒素・亜硝酸性窒素がしばしば検出されており、リンの除去には厳しい状況である。

さらに、反応タンク流入水のSS濃度が低いことが影響して活性汚泥の沈降性が悪くSVIが高い傾向がある。



### 3. 水質改善の取り組み

#### 3.1 風量の調整

反応タンク好気部分での脱窒を促進させるために、まず、DO 設定値を段階的に下げる試みを行った。北系には好気タンクの間中部にアンモニア計が設置されており、これにより流入側のアンモニア濃度の変動をある程度確認することができる。10 時採取の日常試験では、反応タンク出口の  $\text{NH}_4\text{-N}$  は  $0.2\text{mg/L}$  程度であるが、DO 設定値が  $0.9\text{mg/L}$  の時には、図 3 に示す通り、アンモニア濃度の上昇に対して風量の増加が追従せず、負荷の高い時間帯に反応タンク出口の  $\text{NH}_4\text{-N}$  が  $7\text{mg/L}$  程度残留していた。逆に、低負荷時にはアンモニアがゼロとなり風量が過剰であった。一方、DO 設定値を  $2.0\text{mg/L}$  としたときにはアンモニア指示値に対して風量が追従することが確認された（図 4）。しかし、 $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度に比べて風量が多めとなり過剰な送風となることがわかった。すなわち DO 設定値の調整だけでは好気タンクでの脱窒促進は難しいと判断された。

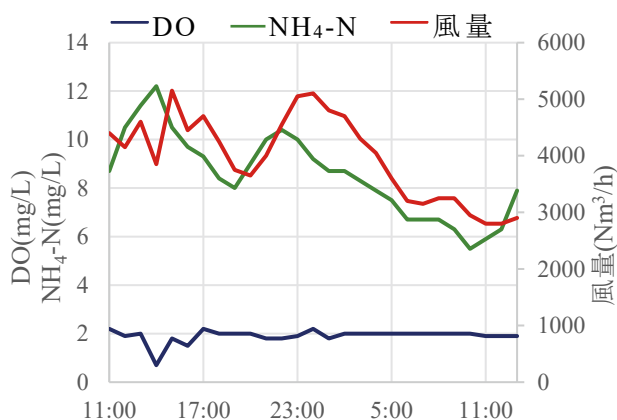
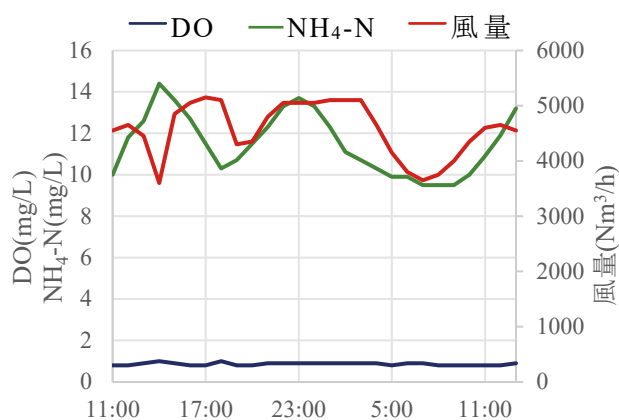


図 3 DO 設定値  $0.9\text{mg/L}$  の場合の風量変動 図 4 DO 設定値  $2.0\text{mg/L}$  の場合の風量変動

#### 3.2 MLSS の調整

次に、MLSS を高くすることで混合液の脱窒速度を高めて窒素除去率の向上を目指した。ただし、当センターでは SVI が比較的高めで推移しており、令和 2 年度の実績（年平均値）で南系： $237\text{mL/g}$ 、北系： $194\text{mL/g}$  で高い MLSS での運転もままならない状況である。このため MLSS をできる限り高める方法として、返送汚泥濃度をできる限り高くキープするように余剰汚泥量を調整することとした。最終沈殿池で活性汚泥の圧密濃度には限界があり、これが返送汚泥濃度の上限值となる。この濃度を下記の方法で実測した。

SV シリンダーに反応タンク出口から採取した活性汚泥混合液を入れ、静置時間に対する SV の変動（沈降曲線）を確認した（図 5）。この沈降曲線からシリンダー下部に沈殿した汚泥層の平均濃度を式 1 から求める。

$$\text{沈殿汚泥の平均 SS 濃度} = \text{MLSS 濃度} \times 100 / \text{SV 値} \quad (\text{式 1})$$

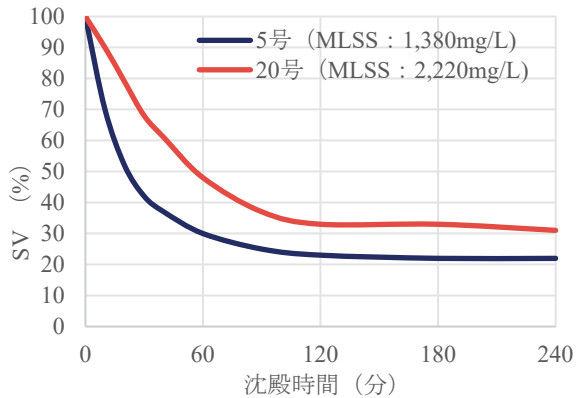


図 5 活性汚泥の沈降曲線

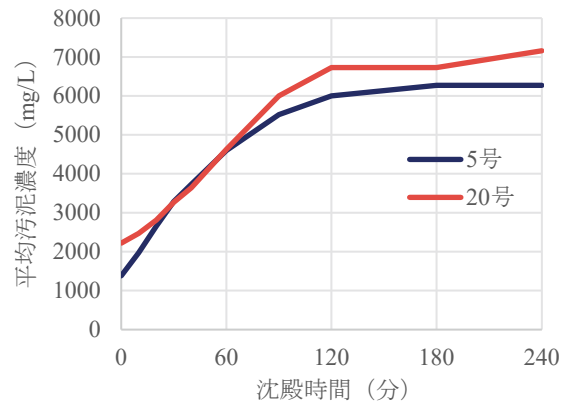


図 6 活性汚泥の濃縮曲線

図 5 より約 2 時間経過で活性汚泥の沈降が終了してそれ以上汚泥が圧密しないことがわかる。この時の汚泥濃度が返送汚泥濃度の上限値と考えられる（図 6）。活性汚泥の性状により圧密時の汚泥濃度は変動すると考えられることから、日常試験で測定した SV をそのまま静置しておき約 3 時間後に再び SV 値を読み取り、式 1 により返送汚泥上限値を求めた。汚泥濃度計の誤差などを考慮しつつ、この結果が返送汚泥濃度計の値より高い場合は余剰汚泥引抜量を減らし、低い場合は余剰汚泥引抜量を増やす対応を行うことでできる限り高い MLSS をキープするように努めた。

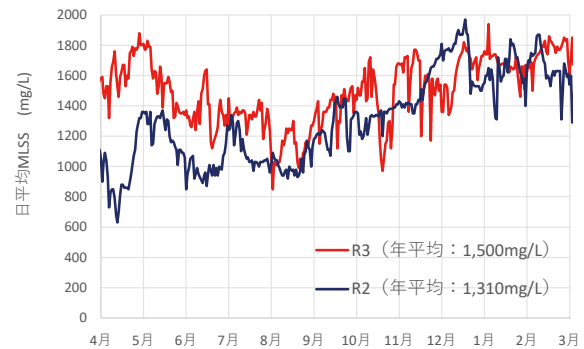


図 7 日平均 MLSS の推移（北系）

3 年度と 2 年度の MLSS 濃度の推移を図 7 に示す。この図から 3 年度は 2 年度に比べて MLSS で約 200mg/L ほど上昇させることができた。

### 3.3 反応タンクへの負荷量増大

つづいて、余剰汚泥の発生量を増やすことで水質改善を目指した。当センターの活性汚泥にはりんが 2.5% 程度、窒素が 9% 程度含まれており、余剰汚泥発生量を増やすことでりんおよび窒素の除去率の向上が期待できる。このため、反応タンクの一部を休止して、余剰汚泥発生量を増大させることを試みた。

余剰汚泥発生量は、流入水の SS および溶解性 BOD などから計算できる。『下水道施設計画・設計指針と解説』に記述されている余剰汚泥発生量の計算式を式 2 に示す。

$$\text{余剰汚泥発生量 (kg/日)} = \text{流入水量 (m}^3\text{/日)} \times \{ a \times \text{溶解性 BOD (mg/L)} + b \times \text{SS (mg/L)} \} - c \times \text{MLSS (mg/L)} \times \text{好気タンク容積 (m}^3\text{)} \quad (\text{式 2})$$

ここで、  
 $a$  : 溶解性 BOD の汚泥転換率 : 0.4~0.6 (gMLSS/gs-BOD)  
 $b$  : SS に対する汚泥転換率 : 0.9~1 (gMLSS/gSS)  
 $c$  : 汚泥の自己分解による減少係数 : 0.03~0.05 (1/日)

式 2 では、汚泥の発生源を流入水の溶解性 BOD および SS で、汚泥の減少量を自己分解する割合で表現している。反応タンクを一部休止させることで運用中の好気タンク容積が減り、第三項の値が小さくなるため、余剰汚泥発生量が増加することが予想される。

6月中旬から反応タンクを順次停止させ、北系12槽中5槽(13・15・16・19・22号槽)、南系12槽中1槽(2号槽)の停止を6月から12月に実施した。

反応タンクの停止に際して急激な汚泥処理への負担や返流水によるりん負荷の増大などが懸念される。北系と南系はともに個々の反応タンクから流出した混合液が導水渠内で合流して最終沈殿池に流入することから、停止する反応タンク内の活性汚泥は流入水で置換して最終沈殿池で回収し余剰汚泥として少しずつ系外に排出した。停止操作は下記の手順で行った。

- ① 停止する前日の夕方に返送汚泥投入扉の開度を30%程度閉めて事前にMLSSを下げしておく。
- ② 当日朝、返送汚泥投入扉全閉とする。
- ③ 反応タンク出口に設置されているMLSS計の濃度を確認し700mg/L程度以下まで低下したら流入扉を全閉とする。(DO制御運転を継続しているところの間に風量が最低量にまで低下する。)
- ④ そのまま一週間程度最低風量でエアレーションすることで槽内のアンモニアは硝酸に変わり、槽内の下水は窒素・りん濃度が少し高めの処理水となる。
- ⑤ アンモニアがすべて硝酸に変わったことを確認したら風量制御弁を全閉とする。(硝酸が残留していれば硫化水素発生の心配はない。)
- ⑥ 運転再開時には流入扉、返送汚泥を開とし、DO制御を開始すると水の入れ替わりとともに立ち上がりとなる。

停止状況を図8に、反応タンクを半分近く止めた北系の月別運転状況を表2に示す。

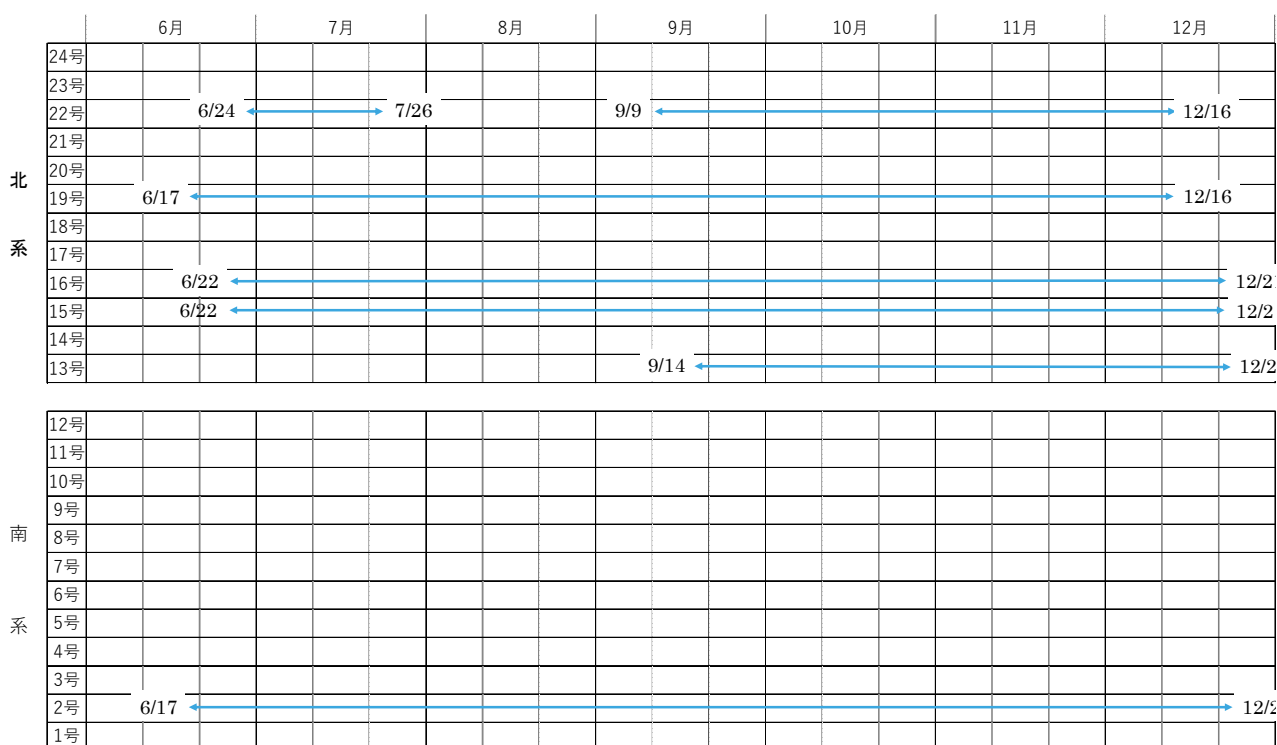


図8 反応タンク一部停止の状況

表 2 月別運転状況（北系）

|                                                               | 4月      | 5月      | 6月      | 7月      | 8月      | 9月      | 10月     | 11月     | 12月     | 1月      | 2月      | 3月      |
|---------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 処理水量 (m <sup>3</sup> /日)                                      | 305,050 | 294,890 | 312,490 | 361,400 | 371,980 | 376,630 | 350,590 | 293,570 | 334,570 | 296,130 | 296,010 | 290,740 |
| H R T (時)                                                     | 8.0     | 8.2     | 7.1     | 4.5     | 4.9     | 4.2     | 4.0     | 4.8     | 4.8     | 8.2     | 8.2     | 8.2     |
| 処理水 1 m <sup>3</sup> 当たりの風量 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 2.6     | 2.9     | 2.9     | 2.1     | 2.3     | 2.2     | 2.2     | 2.7     | 2.8     | 2.6     | 2.5     | 2.8     |
| BOD容量負荷 (kg/m <sup>3</sup> ・日)                                | 0.23    | 0.23    | 0.23    | 0.35    | 0.40    | 0.31    | 0.40    | 0.33    | 0.31    | 0.24    | 0.22    | 0.22    |
| BOD-SS負荷 (kg/kg・日)                                            | 0.13    | 0.11    | 0.14    | 0.24    | 0.26    | 0.23    | 0.25    | 0.24    | 0.21    | 0.13    | 0.13    | 0.12    |
| 返送汚泥率 (%)                                                     | 31.4    | 33.8    | 32.5    | 29.9    | 26.5    | 25.1    | 25.2    | 30.3    | 26.2    | 31.7    | 32.8    | 33.1    |
| 平均 MLSS (mg/L)                                                | 1,740   | 2,050   | 1,690   | 1,450   | 1,560   | 1,350   | 1,590   | 1,370   | 1,480   | 1,810   | 1,750   | 1,930   |
| S R T (日)                                                     | 22.0    | 13.2    | 12.7    | 6.9     | 10.2    | 6.7     | 7.2     | 8.2     | 8.0     | 11.9    | 12.6    | 15.1    |
| 水温 (℃)                                                        | 20.6    | 23.7    | 24.6    | 24.4    | 26.1    | 24.9    | 24.1    | 21.7    | 19.2    | 18.9    | 19.0    | 19.9    |
| 余剰汚泥濃度 (mg/L)                                                 | 5,390   | 6,310   | 4,650   | 5,200   | 4,660   | 5,810   | 6,500   | 6,150   | 5,850   | 5,980   | 5,590   | 5,420   |

北系では硝化の状況を確認しながら最大で 12 槽中 5 槽停止したが、南系は北系よりも設備が古く返送汚泥投入扉を全閉にできる槽が少ないことから 1 槽のみの停止となった。停止により北系の HRT は 4～5 時間に短縮され、BOD 容積負荷および BOD-SS 負荷も高めの運転となった。

当センターは合流式下水道で降雨の影響によって汚泥発生量が大きく変動する。反応タンク停止前後の余剰汚泥発生量の差を確認するため、最初沈殿池の引抜汚泥量(生汚泥量)と余剰汚泥量の関係について通常運転と停止した時で比較する。降雨時には生汚泥量が増大するが、それ以外の日には、生汚泥量と余剰汚泥量にはある程度の相関がみられると想定される。そこで、両者の相関を図 9 に示す。

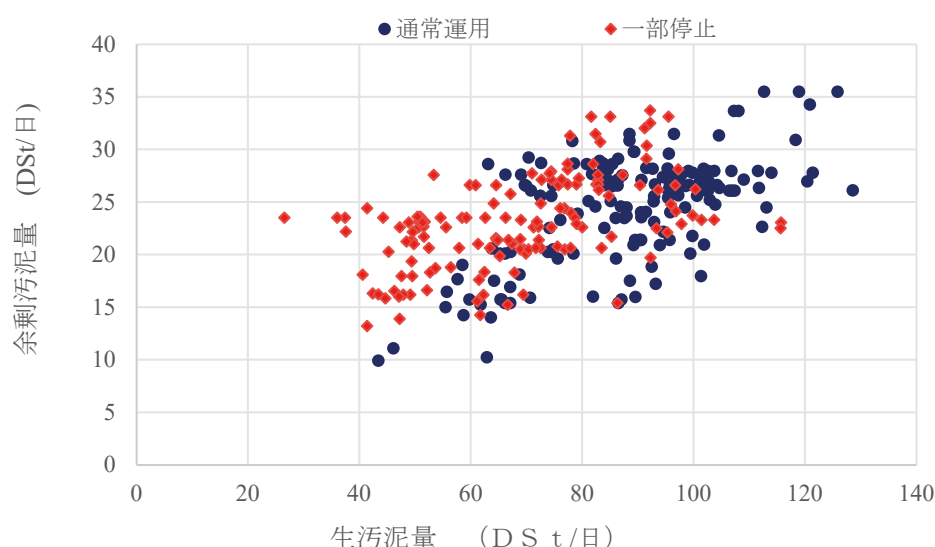


図 9 生汚泥量と余剰汚泥量の関係

図 9 は、生汚泥量と余剰汚泥量について一日の総量でプロットしたものである。生汚泥の多い日は余剰汚泥量も多くなる傾向がみられる。この結果を一部停止期間中と通常運用期間中の平均値で整理したのが表 3 である。すべての反応タ

表 3 汚泥発生量の比較

|      | 生汚泥量<br>(t/日) | 余剰汚泥量<br>(t/日) | 余剰/生 |
|------|---------------|----------------|------|
| 一部停止 | 72            | 23             | 0.34 |
| 通常運用 | 88            | 25             | 0.28 |

ンクを使用した通常運用の時に比べて、一部停止した時の方が生汚泥に対する余剰汚泥発生量の割合は大きくなっている。

りんを系外に出す方法は余剰汚泥の引抜きのみであるため、余剰汚泥発生量が増大すれば、りん除去量も増大すると考えられる。また、窒素についても同様の理由から除去量の増大が見込まれる。余剰汚泥量に活性汚泥の窒素・りん含有率を乗じて窒素・りんの除去量を求めた図。休止を開始した6月の前後で窒素・りんともに除去量に明確な減少は認められなかった（図10）。これは一部停止期間中に比較的降雨の影響が大きく流入水の薄まりが影響していると考えられる。生汚泥量に対する余剰汚泥発生量の割合は一部停止により上昇しているが、表3で示したように余剰汚泥発生量では通常運用期に比べてむしろ減少しているためりん除去の改善が見られなかったと考えられる。

また、流入水に硝酸性窒素がしばしば検出されており、反応タンクに流入するまでに有機酸が脱窒作用によって消費されてりん蓄積性細菌の活性が阻害され、活性汚泥のりん含有率が上昇しなかったことも要因と考えられる。

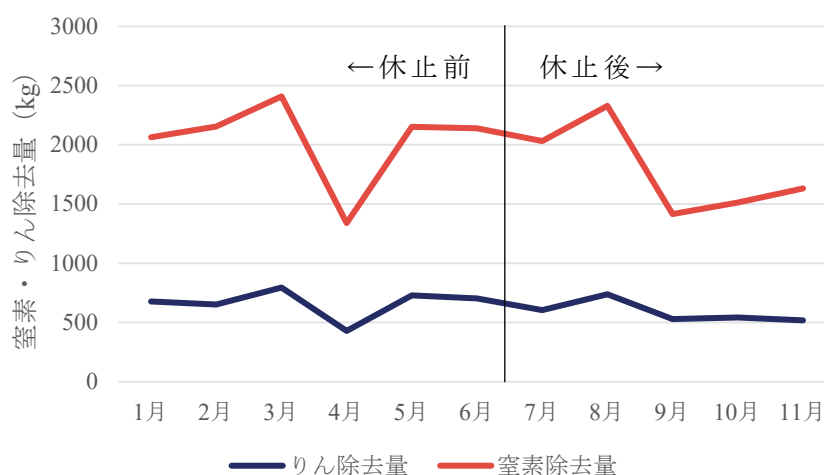


図10 余剰汚泥によるりん・窒素除去量の推移（月平均）

反応タンクの一部停止で処理の効率化により送風機電力の削減が期待されたが、こちらの効果も僅差であった（図11）。

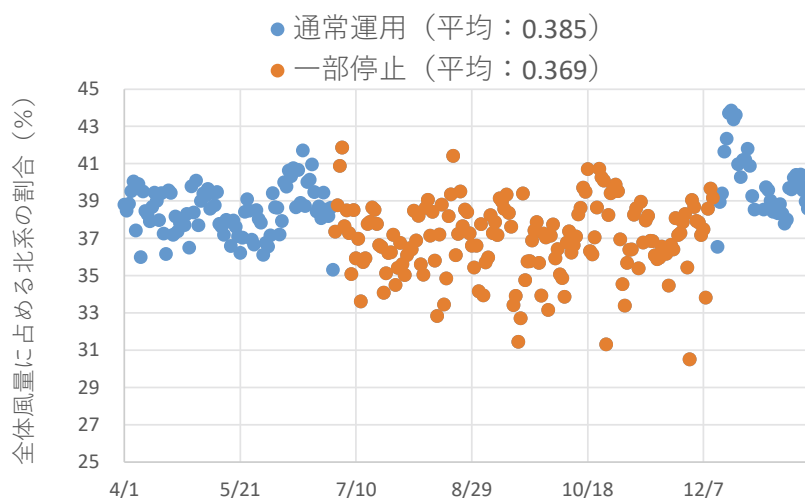


図11 全体風量に対する北系風量の割合の推移



降雨によって送風量は大幅に減少することから単純な風量の比較では削減効果の評価が難しい。図 8 で示したように北系に比べて南系は停止池が 1 槽のみであること、両系列ともにほぼ同じ下水を処理しており、北系と南系の水量割合は通年おおむね変わらないことからセンター全体の風量に対する北系の風量の割合を比較することで一部停止による風量削減効果を確認する。一部停止した期間では北系送風量の割合が平均で数%程度下がっている。なお、北系の風量の割合が特に小さい日は比較的雨量の多い日である。反応タンク 1 槽当たりの最低風量が決まっており、運用中の反応タンクの数が少ないほど降雨時の系内の風量は少なくなるため、風量削減効果が大きくなる傾向がみられた。

#### 4. 制限ばっ気による脱窒促進

DO 設定値の低下や反応タンクの一部を停止することで水質改善と省エネルギーの両立を目指したが、効果が小さかったので反応タンクすべての運用としたうえで、次に、ライザーバルブの開度調節により好気タンク内に脱窒ゾーンを形成させ脱窒促進運転を試みた。当センターは一部の反応タンクを除いてメンブレン散気筒が設置されており、ライザーバルブを全閉とした運転でも目詰まりの心配がないことから、ライザーバルブ開度を全開と全閉で使い分けることで脱窒ゾーンを形成した。北系反応タンク 19～24 号は A～E の 5 回路を隔壁で区分けされていることから、C 回路のライザーバルブ 3 か所のうち上流側 2 か所を全閉にして脱窒ゾーンとし、疑似的な AOA O 運転を行った。その他の反応タンクについては反応タンク内の硝化状況を確認しながら、1 槽当たり数か所のライザーバルブを全閉として脱窒ゾーンを設けた。放流水の全窒素濃度の推移を図 12 に示す。

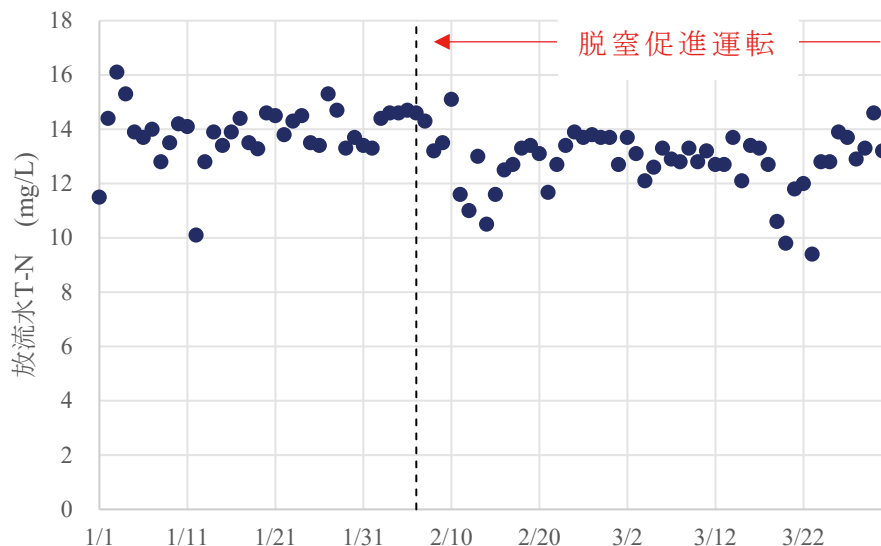


図 12 放流水全窒素濃度の推移

好気タンクに脱窒ゾーンを設けることでおよそ 0.5mg/L 以上全窒素濃度の低下がみられる。反応タンク内の調査で、降雨の影響がない日は若干好気タンク内での脱窒が確認されたが、降雨の影響で流入水の BOD が少しでも低下すると好気タンク内ではほとんど脱窒していなかった。

## 5. 今後の予定

好気タンク内に脱窒ゾーンを設けることで放流水の全窒素濃度の低下が確認されたことから、脱窒ゾーンの適正な位置等について調査を進めて処理水窒素濃度の低減を図る。また、現状の流入水質ではりん除去が安定せず大幅な水質改善が望めないことから反応タンクへの生污泥投入を試行し効果を検証する予定である。

## 6. まとめ

反応タンク流入水の BOD および SS 濃度が低い施設において水質改善を図るため、DO 設定値の低下、MLSS の上昇、反応タンクの一部休止、ライザーバルブの開度調節による好気タンク内の脱窒促進などの措置を行ったが、放流水質の大きな改善は認められなかった。

低濃度の流入水を処理する施設では運転条件の変更だけでは大幅な水質改善は期待できないと判断され、生污泥投入など有機物を追加するなどの措置が必要と考えられる。

## 2-3-1 ポリマー注入量制御システムの開発と評価について

計画調整部 技術開発課 豊嶋 喜貴  
東京都下水道サービス株式会社 曾根 啓一  
月島機械株式会社 栄川 満

### 1 はじめに

汚泥処理において脱水工程では、高分子凝集剤（以下「ポリマー」という）を汚泥に添加して脱水処理を行っている。ポリマーの使用については汚泥性状に応じて最適な注入率となるように運転員が調整を行っている。しかし注入量の調整は難しく、個人差の解消や、汚泥性状の急激な変動などに対しても追従して調整することが求められている。

これに応えるため既報<sup>1)</sup>では、ポリマー注入量を最適値に自動調整するシステムの開発を行い、制御性等について報告した。本報では制御システムで長期間実証運転を行い、含水率やコストについて従来運転の場合と比較を行った結果、良好な結果が得られたことを報告する。

なお本研究は、東京都下水道局（以下「当局」とする）並びに東京都下水道サービス株式会社、月島機械株式会社との共同研究として、東部スラッジプラントにおいて行った。

### 2 ポリマー注入量制御システムの導入

#### 2.1 汚泥脱水機の効率的な運転に向けた課題

濃縮後の下水汚泥は、そのままでは負に帯電した粒子が分散しているため、互いに反発し合っ  
て凝集せず脱水が困難である。そのため、脱水工程では正の電荷を持つカチオン性ポリマーで電  
氣的に中和し、汚泥を凝集させて脱水処理を行っている。ポリマー注入量は脱水ケーキ含水率が  
最小になる最適値があり、過不足いずれの場合も含水率が上昇する。含水率の上昇は焼却工程に  
おいて補助燃料使用量の増加、過剰注入はポリマー使用量の増加で、いずれもランニングコスト  
の増加を招く。

現状ではポリマーは定量注入で、必要に応じて注入量の調整を行っている。注入量の調整は含  
水率（一日数回測定）、汚泥性状及び脱水機運転状況等を総合的に判断して行っている。この判  
断には熟練を要するほか、降雨時など急激に汚泥性状が変化する場合、きめ細かく汚泥性状を把  
握して調整を行うのは作業量上限界がある。また、長時間汚泥性状の確認を行うことは、臭気発  
生源での作業であることなど、作業環境の面からも負担が大きい。

#### 2.2 制御システムの原理と構成

上記の課題に応えるため、汚泥性状を連  
続測定して最適な注入量に自動調整する  
システムの開発に取り組んだ。ポリマー添  
加による凝集状態の良否は、脱水ケーキ含  
水率のほか、脱水分離液の性状で判断する  
ことができる。液中では汚泥粒子の一部が  
コロイド状に分散している。この粒子が持  
つ電荷量がマイナス側であればポリマー  
が不足、プラス側であれば十分もしくは過  
剰で、残留ポリマー濃度の指標になる。コ

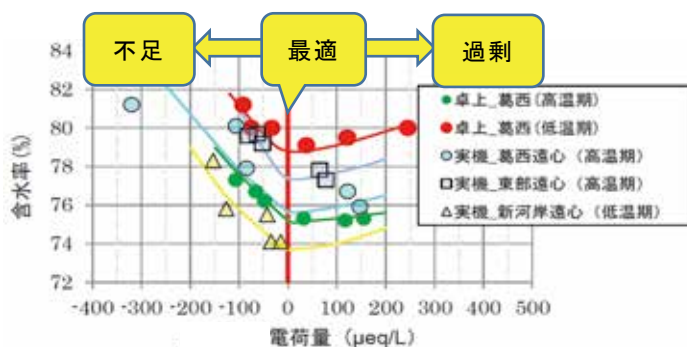


図1 脱水分離液の電荷量と脱水ケーキ含水率の関係

ロイド粒子が持つ電荷の符号、大小を測定できるものとして、製造業等で利用されているコロイド電荷量計がある。この計器は試料と逆の電荷を持つ薬品で滴定し、電荷量をゼロ（等電点）に中和するのに要する滴定量から、単位容積当たりの電荷量として測定するものである。実際に測定した脱水分離液の電荷量と、脱水ケーキ含水率の関係を図1に示す。電荷量がマイナス側、プラス側、いずれも大きい場合は含水率は上昇し、等電点で含水率は最小となる。

これらの知見から、汚泥濃度、含水率及び電荷量を計測することにより、最適なポリマー注入量に自動制御するシステムを製作し、東部スラッジプラントの脱水設備に設置した。制御には汚泥濃度計、含水率計及びコロイド電荷量計を組み合わせ用い、計測値をポリマー注入量の演算に取り込んだ。電荷量の連続測定には、製紙業界で紙の品質向上等に使われているオンライン測定装置（海外製）を採用した。システムの構成と機器仕様を図2に示す。

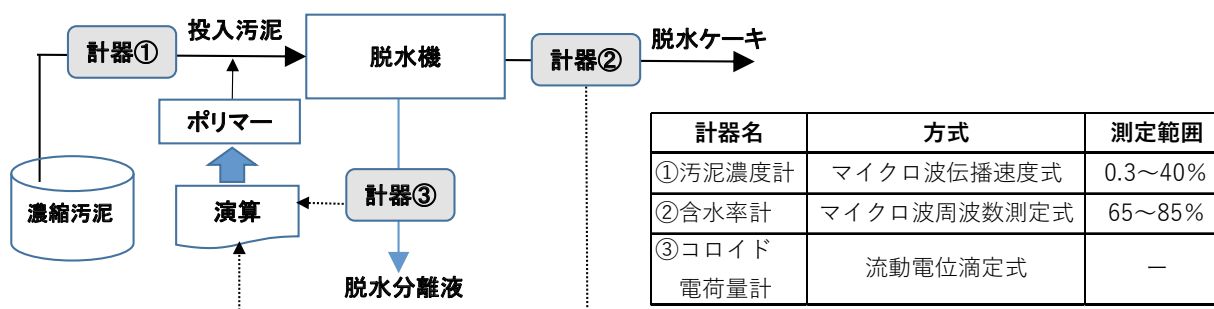


図2 システムの構成と機器仕様

### 3 制御方法の検討

制御方法を決定するにあたり、各センサーを用いて可能な制御方法について、以下のパターンについて検討を行った。

#### 3.1 含水率一定制御（汚泥濃度計+含水率計）

脱水ケーキの目標含水率を設定し、含水率計測定値が設定値より低い場合はポリマー注入率を減少、高い場合は増加させる制御である。汚泥の脱水性が良好な場合（図3、汚泥A）にポリマー削減効果を得やすく、有利な方式である。また、含水率が低下し過ぎると、脱水後の焼却工程へのケーキ圧送ポンプに負荷がかかるため、下限値を設定することでこれを防ぐこともできる。

一方、汚泥性状によって低減が可能な含水率は異なるため、脱水性の悪い汚泥（図4、汚泥B）では含水率の設定が適切でないと、目標含水率まで下がらないままポリマー注入率が増加する。

#### 3.2 電荷量一定制御（汚泥濃度計+コロイド電荷量計）

脱水分離液の電荷量最適値を設定し、電荷量計測定値が設定値より低い場合（マイナス側）は

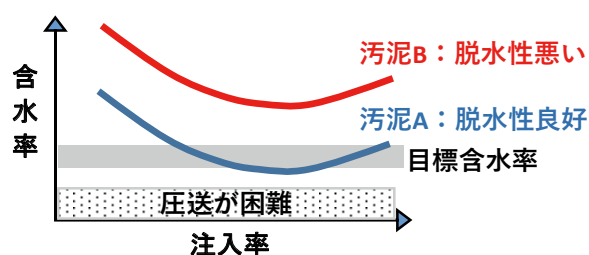


図3 含水率一定制御のイメージ

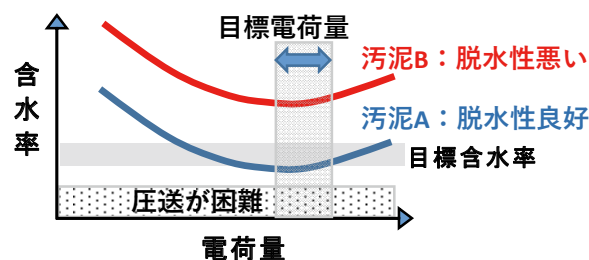


図4 電荷量一定制御のイメージ

ポリマー注入率を増加、高い場合（プラス側）は減少させる制御である。適切な電荷量を設定すれば、汚泥性状に応じて含水率が最小となるよう制御され過剰注入を防ぐことができるため、汚泥性状が良好でない場合（図 4、汚泥 B）に有利な方式である。

一方、生汚泥（第一沈殿池引抜汚泥）の割合が大きい降雨後などで、脱水性が良好な汚泥（図 4、汚泥 A）では、電荷量設定範囲を下回るポリマー注入率でも含水率は低い。場合によっては必要以上に含水率を低下させることも懸念されるため、使用量削減の余地がある。

### 3.3 制御方法の組合せ

そこで、それぞれ単一制御で行った場合の短所を打ち消すため、これらを組み合わせて相互補完する制御方法とした。ケーキ圧送に支障のないレベルとして目標含水率の範囲を設定し、設定範囲以下で脱水性が良好な場合は含水率計に基づいてポリマー注入率を制御する。一方、設定範囲を上回り脱水性が良好でない場合は電荷量設定値に基づいて制御する。各計器による設定値を表 1 のとおりとした。電荷量設定については図 1 からわかるとおり、等電点から若干プラス側で含水率が最も低くなる範囲があることから、安全側に 100～150  $\mu\text{eq/L}$  とした。

表 1 各制御項目の設定条件

|             | 設定値              | 説明                                      |      |
|-------------|------------------|-----------------------------------------|------|
| 含水率計        | 75.5%超           | 電荷量一定制御<br>(100～150 $\mu\text{eq}$ ) /L |      |
|             | 74.5～75.5%       | 注入率維持                                   | 含水率  |
|             | 74.5%未満          | 注入率削減                                   | 一定制御 |
| 注入率<br>演算周期 | 15分              | 設定周期ごとに演算                               |      |
| 注入率<br>変化幅  | 0.05%<br>(DS当たり) | 設定周期ごとに<br>1段階増減                        |      |

## 4 評価方法

前述の制御方法を採用して、以下の評価項目について検証を行った。

### (1) 制御の追従性

雨天時等、汚泥性状の著しい変化にも追従できること

### (2) 脱水ケーキ含水率

調査期間中の手分析平均値について、実験機が従来運転号機と同等以下となること

### (3) 維持管理性

センサー類の保守・点検が月 1 回程度であり、容易であること

### (4) コスト削減効果

全ての脱水機を制御運転した場合、10 年間のポリマー使用量および焼却補助燃料削減による

コスト削減が、イニシャルおよび 10 年間のランニングコストを上回ること

### (5) 汎用性

当局に導入されている全ての脱水機方式に適用できること

(1)～(4)については、平成 29 年 4 月から 9 月までの長期間連続運転による調査結果から評価した。東部スラッジプラントの遠心脱水機 1 号を実験機として、2 号を従来運転号機としてデータを比較した。実験機と従来運転号機の運転条件は注入量の制御方法以外同一とする。

## 5 結果

各評価項目の目標達成状況は以下のとおりである。

### 5.1 制御の追従性



連続運転の結果から、降雨で汚泥性状が著しく変化した日の一例を図 5 に示す（平成 29 年 4 月 11 日）。当日の総降雨量は 34.5 mm、最大降雨強度 5.5 mm（14 時、15 時）であった。

- ① 当初は電荷量一定制御でポリマー注入率が調整され、脱水分離液中のコロイド電荷量は 100 ～150  $\mu\text{eq/L}$  の範囲に収まっていた。
- ② 15 時以降に含水率の低下が続いた。生汚泥の比率が高まるなど、降雨の影響が顕著になったと考えられる。
- ③ 含水率が設定範囲内に到達すると、含水率一定制御に切り替わるが、ポリマー注入率は一定であった。
- ④ 含水率が設定の下限を下回ると、ポリマー注入率を段階的に削減して、含水率は設定範囲内に戻った。その後はポリマー注入率がほぼ一定であった。

この結果に示されているとおり、指示値に呼応して制御方法が切り替わり、ポリマー注入率増減の方向等は降雨時においても適切に制御されていた。これらの事例から、汚泥性状の急変時にも含水率を過度に低下させず安定化に制御が働くなど、追従性は良好と判断出来た。

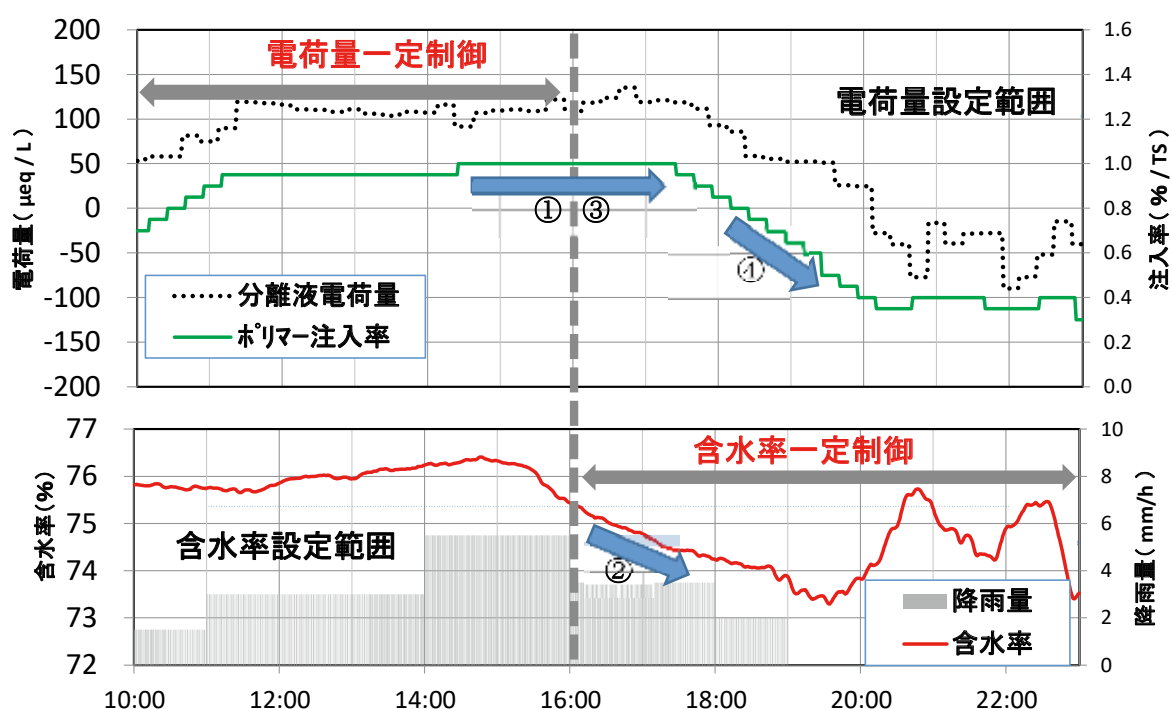


図 5 降雨時の制御結果（平成 29 年 4 月 11 日）

## 5.2 脱水ケーキ含水率

平成 29 年 4 月～9 月の日常試験結果における、実験機と従来運転号機の含水率実測値を表 2 のとおり比較した。実験機はポリマー注入量の低減効果が確認されたうえ、含水率は従来運転号機より僅かながら低下した。

表 2 脱水ケーキ含水率およびポリマー注入率の比較

|    | 脱水汚泥<br>含水率 (%) |            | ポリマー<br>注入量 (m3/h) |            | ポリマー<br>注入率 (%) |            |
|----|-----------------|------------|--------------------|------------|-----------------|------------|
|    | 実験機             | 従来運転<br>号機 | 実験機                | 従来運転<br>号機 | 実験機             | 従来運転<br>号機 |
| 平均 | 76.86           | 77.03      | 4.8                | 5.2        | 0.92            | 1.00       |

### 5.3 維持管理性

調査期間中、含水率計については配管内でシール部分からの漏洩が発生し、シール材質を変更するなどの改良を行った。それ以外、汚泥濃度計を含めて大きなトラブルは発生していない。これらの計器については、月1回程度の保守点検で十分運用が可能である。

コロイド電荷量計については、試料と滴定薬品を反応させる測定セル（図6右上）に汚泥が付着すると測定値の信頼性が損なわれるため、二次処理水による自動洗浄機能が働いている。しかし汚れの除去が十分でない（図6右下）ため、セルを分解して行う内部洗浄が2週間に1回以上発生した。この結果から、「保守・点検が月1回程度であること」については目標を達成できなかった。



図6 コロイド電荷量計測定セル内部  
右上：清浄な状態、右下：汚泥が付着した状態

### 5.4 コスト削減効果

東部スラッジプラントの脱水設備に本システムを導入し、遠心脱水機7台を制御運転とした場合のコスト削減効果について、表3のとおり算出した。イニシャルコストは、計器故障や保守点検等を考慮して2セットを導入することで算出した。制御運転によるポリマーや焼却補助燃料のコスト削減効果については、5.2の結果から算出した。この条件で算出した結果、制御運転を行った場合の10年間のコスト削減額が、イニシャルコストおよびランニングコストの合計を上回っており、目標を達成した。

### 5.5 汎用性

導入にあたり脱水機形式については、当局に導入されているいずれの形式についても適用が可能である。ただし、ベルトプレス脱水機については以下のとおり、試料採取箇所について留意する必要がある。

#### (1) 脱水ケーキ

幅広い形状のため、中央と両端で含水率が異なるため、代表にふさわしい採取箇所とする。

#### (2) 脱水分離液

集合排水管で採水した場合はろ布洗浄水も含まれるため、測定試料として適切ではない。中間の脱水分離液のみを受皿で受け、配管を接続して採取する構造とする。また、上流側と下流側では脱水分離液の性状が変化していることから、電荷量と脱水ケーキ含水率との関係を把握できる採取箇所として適切かを確認する。

表3 コスト試算条件および試算結果

| 項目                       | 条件                    | 備考        |
|--------------------------|-----------------------|-----------|
| 発生汚泥量                    | 130DS-t/日             | H29実績     |
| 注入率の差<br>(実験機-従来運転)      | 0.08ポイント              | 表2より      |
| ポリマー削減量                  | 104kg/日               |           |
| ポリマー単価                   | 480円/kg               | H29データ    |
| <b>ポリマー削減額</b>           | <b>182,210千円/10年</b>  |           |
| 含水率の差                    | 0.17%                 | 表2より      |
| 水分量の差                    | 4.16t/日               | 表2より      |
| 水の比熱                     | 4.184MJ/t・℃           |           |
| 水の蒸発潜熱                   | 2,257MJ/t             |           |
| 水分差分の必要熱量                | 10,695MJ/日            | 汚泥温度25℃   |
| 都市ガスの熱量                  | 45MJ/Nm <sup>3</sup>  |           |
| 補助燃料削減量                  | 238Nm <sup>3</sup> /日 |           |
| 都市ガス単価                   | 66.5円/Nm <sup>3</sup> | H29データ    |
| <b>補助燃料削減額</b>           | <b>57,770千円/10年</b>   |           |
| <b>制御運転によるコスト削減額(a)</b>  | <b>239,980千円/10年</b>  |           |
| <b>イニシャルコスト(b)</b>       | <b>111,600千円</b>      | 2セット導入    |
| <b>制御システムランニングコスト(c)</b> | <b>126,940千円/10年</b>  | 消耗品、滴定薬品等 |
| <b>費用削減効果</b>            | <b>1,440千円/10年</b>    | a-(b+c)   |

## 6 まとめ

汚泥濃度計、コロイド電荷量計、含水率計を用いてポリマー注入量を演算する制御システムを製作し、東部スラッジプラント遠心脱水機において検証を行った。各評価項目について検証の結果、以下のとおり概ね目標を達成した。

- (1) 制御の追従性については、含水率制御と電荷量制御を組み合わせた設定とし、含水率の変化に応じて適切に切り替えるなど、降雨時の汚泥性状変動時においても良好に機能した。
- (2) 脱水ケーキ含水率については、実験機の方が従来運転号機よりも低い値であった。
- (3) 維持管理性については、コロイド電荷量計が自動洗浄のみではセル内部の汚れが除去できず、「月 1 回程度の保守点検」を達成できなかった。
- (4) コスト削減効果については、東部スラッジプラント遠心脱水設備に 2 セット導入する条件で 10 年間の汚泥処理削減コストが、イニシャルコスト及び 10 年間のランニングコストの合計を上回った。
- (5) 当局に導入されている全ての脱水機方式に対して適用が可能である。

今後の課題として、コロイド電荷量計の耐久性等、維持管理性の向上についての取組を別途行っていく必要がある。本制御システムを安定的に運用することができれば、コスト削減効果に加えて、汚泥性状を確認する作業が軽減できるなど、作業量の軽減も期待できる。

## 参考文献

- 1) 塩見 浩、ポリマー注入量制御システムの開発（東京都下水道局技術調査年報 2018）

## 2-3-2 下水汚泥の焼却時に生成される焼結物の構造と

### 人工知能を用いた煙道閉塞の抑制方法

|               |       |     |    |
|---------------|-------|-----|----|
| 計画調整部         | 技術開発課 | ○岸本 | 長  |
| 計画調整部         | 技術開発課 | 藤江  | 正樹 |
| 東京都下水道サービス(株) |       | 曾根  | 啓一 |
| 東京都下水道サービス(株) |       | 小泉  | 僚平 |
| (株) 日水コン      |       | 村田  | 道拓 |
|               |       | 水上  | 紗智 |
|               |       | 濱谷  | 義晃 |

#### 1. はじめに

下水汚泥焼却炉では、焼却時に炉内で硅砂と投入汚泥などが焼結し、クリンカを生じることがある。このようなクリンカが多く発生すると硅砂の流動を妨げる原因となる。また、近年では、排ガスダクトや空気予熱器上部に焼却灰が固着し煙道を閉塞させる閉塞物が生じる事象が発生している。これらクリンカや閉塞物といった焼結物は、汚泥焼却炉の運転に支障を来すため運用上の課題となっている。東京都下水道局（以下、当局という）では、これら焼結物の発生原因を調査するため、表面分析と膠着度分析<sup>1)</sup>によりクリンカ及び閉塞物の構造と焼結温度を明らかにした。また、熱力学的平衡状態シミュレーションを用いて炉内中の物質が燃焼中に生じる変化を確認した。得られた知見について報告するとともに、これまでに当局で開発した人工知能を用いて焼却灰の画像から閉塞危険性を判断する閉塞抑制方法について紹介する。

#### 2. 焼結物の構造

当局で発生しているクリンカや閉塞物の物的な特徴や発生場所はそれぞれ図1、図2のとおりである。これら焼結物の構造を分析するため、表面分析ではEPMA面分析データを元にRGB図を作成し、各元素の存在状態について調査した。RGB図は三元素を赤緑青の

|    | クリンカ                                                                                                 | 閉塞物                                                                                                                  |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                   |                                  |
| 特徴 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・目視で硅砂の粒が確認できる</li> <li>・岩石のように硬い場合や柔らかく崩れやすい場合がある</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・固まっているが柔らかく、触ると表面が崩れやすい</li> <li>・層状になっている</li> <li>・焼却灰のように粉末状の塊</li> </ul> |

図2 焼結物の特徴（左：クリンカ、右：閉塞物）



図1 焼却炉内部の焼結物

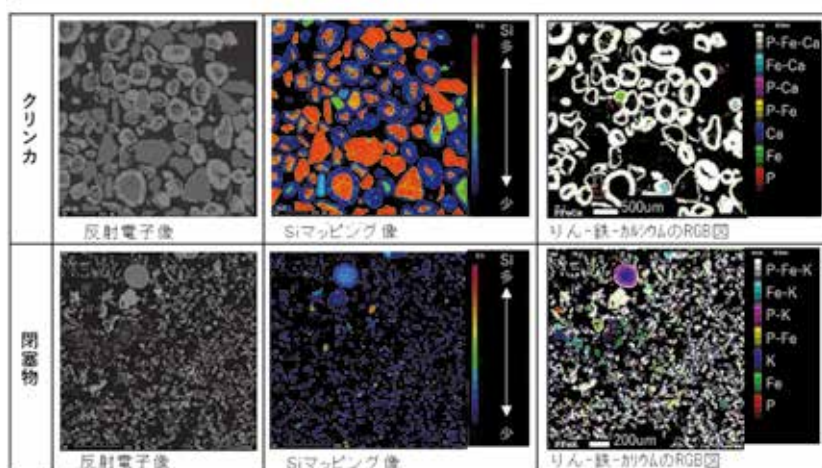


図4 焼結物の表面分析の結果

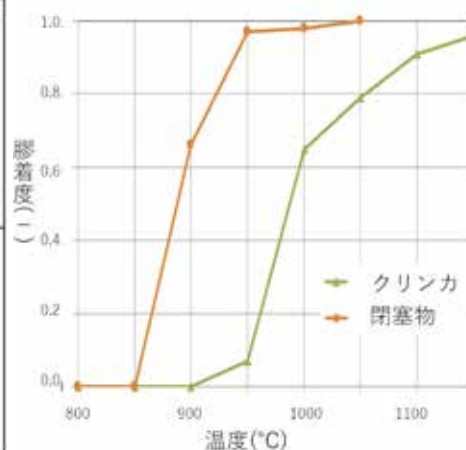


図3 焼結物の膠着度

色の三原色で表現し、色の重ね合わせで元素の存在状態を表現する分析方法である。図3に表面分析の結果としてクリンカを上段、閉塞物を下段とし、表面の反射電子像(左)、シリカ(Si)マッピング像(中央)、代表的なRGB図(右)を示す。クリンカはSiマッピング像から粒状の硅砂の主成分であるSiが全体的に存在し、RGB図からSiを中心にリン酸化合物が包み込みこむように存在し、これがバインダーとして働き、周囲のSiと結合した構造となっていた。一方、閉塞物はSiマッピング図からクリンカに比べSiは少なく、RGB図からパウダー状のリン酸化合物がバインダー成分を形成し、結合した構造であることが分かった。また、RGB図の紫色部分はSi中心にリン酸カリウム化合物(P-K)が包み込むように存在している箇所であった。P-KだけではなくP-Caの存在も確認され、リン酸化合物がバインダーの要因であることが示唆された。次にこれら焼結物の膠着度分析の結果を図-4に示す。膠着度とはゴミ焼却炉でクリンカの焼結温度の推定に用いられる指標であり、膠着度が1.0に近いほど硬く焼結(熔融固化)していること示している<sup>1)</sup>。膠着度の上昇点から、閉塞物は850～900℃で、クリンカは閉塞物よりも高温の950～1000℃で、それぞれ焼結が始まることが分かった。このことから、閉塞物は炉内でP-K等のリン酸化合物が熔融し、バインダー成分となり焼却灰と結合したものと推察された。

一方、クリンカは焼結温度が焼却炉の管理温度値よりも高温であることから、炉内においてガスガン周辺など局所的に950℃以上となる部分で、硅砂と汚泥中のリン酸化合物が焼結し発生したものと推察された。

### 3. 熱力学的平衡状態シミュレーションによる閉塞物等の成分比と相変化の関係

焼却炉内で発生する焼結物成分系の相変化と炉内温度の関係を把握するため、成分比を変化させ熱力学的平衡状態のシミュレーションを実施した。計算には多成分系の熱力学平衡状態シミュレーションソフトウェアであるFactSageを用いた。シミュレーションでは外的要因が考慮されないため、実現象とは異なるものの、成分比が相変化に与える影響を確認できると仮定した。本解析では、計算された各温度における固相および液相の質量を用いて、以下の式で定義される液相率をもとに、炉内で焼却灰等が熔融しやすい(液相率が高い)状態にあるかどうかを確認した。

$$\text{液相率}(-) = \frac{\text{液相質量(g)}}{\text{液相質量(g)} + \text{固相質量(g)}}$$



ここで、本解析に使用した基準試料の成分比は下表とした。

表 1 シミュレーションに用いた基準試料の成分比(%)

| 基準試料 | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | CaO   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> |
|------|-------------------------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|------------------|-----------------|
| 閉塞物  | 40.33                         | 15.28 | 18.19            | 7.90                           | 4.16                           | 7.59 | 0.94              | 4.78             | 0.83            |
| 焼却灰  | 33.92                         | 8.84  | 26.79            | 10.32                          | 9.07                           | 5.63 | 1.70              | 2.94             | 0.77            |

### (1) リン酸化合物の減少

基準試料とした閉塞物の成分からリン酸化合物 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) を減少させた条件での液相率の変化を確認した。炉内温度近傍である 800~900℃における各条件と解析結果を図 5 左図に示す。基準試料では 800~900℃(赤破線間)で液相率が急激に高まり、この温度帯で閉塞物の焼結が進むことが示唆された。一方、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> を減少させた場合は、液相率の急激な増加が見られなくなった。さらに P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の減少量が多いほど液相率は低い値を示した。この結果及び図 3 の結果より、リン酸化合物が閉塞物の生成に寄与しており、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> が高い場合は閉塞の危険性が高まることが確認された。

### (2) 鉄成分の増加

次に、焼結していない通常時の焼却灰を基準試料として、焼却灰の成分から鉄成分 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) を増加させた条件での液相率の変化を確認した。その結果を図 5 右図に示す。閉塞物で見られた 800~900℃(赤破線間)での液相率の上昇はなく、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を増加させた場合、液相率は基準試料よりも低下を示した。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が増加することで焼結し難くなる傾向となった。当局では閉塞対策としてポリ硫酸第二鉄を利用し、汚泥に鉄成分を添加しており、本解析からも、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の添加が閉塞抑制に効果があることが示唆された。

### (3) 950~1000℃における液相率の上昇点

今回、熱力学平衡状態シミュレーションを用いて、上記のように成分比の条件から液相率の変化を確認したが、950~1000℃付近でも液相率の傾きが上向きに変化する上昇点(赤丸破線)が確認された。前述したクリンカの膠着度の上昇する温度帯とも重なることから、炉内が局所的に 950~1000℃の高温域となる地点で急激に熔融し、クリンカ等の焼結物が生成されている可能性が示唆された。

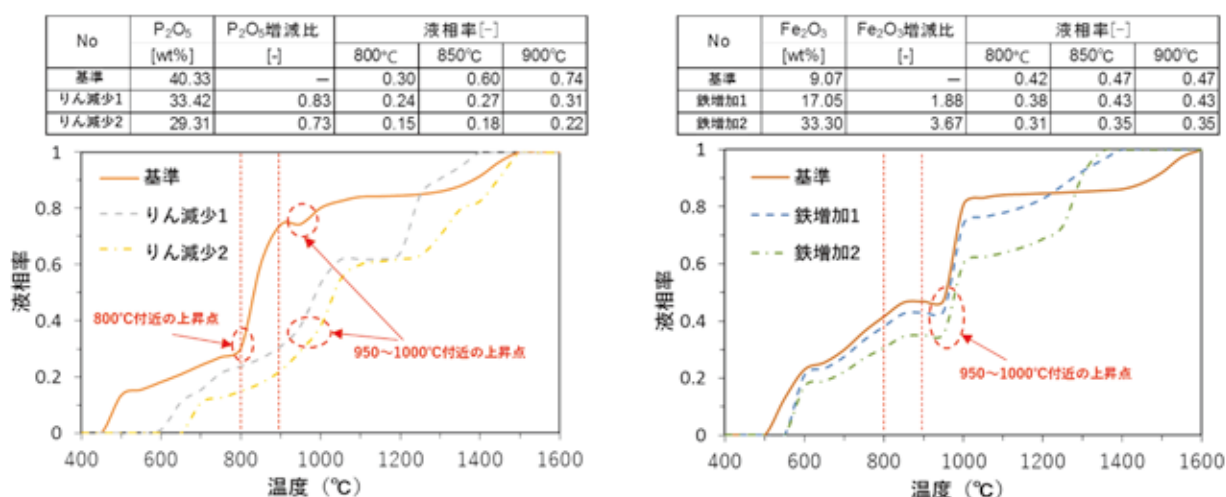


図5 熱力学平衡状態シミュレーション結果

(左：りんを減少させた場合、右：鉄を増加させた場合)

#### 4. 人工知能を用いた閉塞抑制方法

今回、焼結物の生成に  $P_2O_5$  が関わっていることを示した。過去に報告したとおり、当局が開発した画像センサー測定装置では、焼却灰の画像から人工知能（AI）により瞬時に焼却灰中の  $P_2O_5$  含有率と閉塞の危険性を示す閉塞抑制指標値（以下、指標値）を推定することができる<sup>2)</sup>。本装置（図 6）を用いて、 $P_2O_5$  含有率と指標値を監視し、 $P_2O_5$  含有率が増加傾向、または指標値が減少傾向を示した場合は、薬剤添加により鉄を汚泥に添加することで、一定の閉塞抑制効果が得られる。 $P_2O_5$  含有率と指標値は焼却する汚泥の組成により変化するため、日々のトレンドを監視することが肝要である。また閉塞物の焼結温度帯は 850～900℃付近と推察されるため、煙道閉塞が危惧される状況では、炉内温度を低く管理することでも、閉塞抑制効果が期待できる。しかし、焼却灰分析には、人手で焼却灰の採取、運搬、分析を実施する必要があるため、プロセスの自動化が課題となっている。



図6 人工知能を用いた画像センサー測定装置

#### 5. まとめ

本稿では、汚泥焼却炉で発生するクリンカと閉塞物について、表面分析と熱力学平衡状態シミュレーションからその構造、焼結温度及び組成と相変化の関係を示した。また、当局が開発した人工知能を用いた閉塞抑制方法について紹介した。当局では引き続き、閉塞抑制方法のプロセスを自動化する課題に取り組み、汚泥処理の安定化に寄与していきたい。

#### 参考文献

- 1) 茂田潤一 他：都市ゴミ焼却発電ボイラでの灰障害、IIC REVIEW/2018/04. No.59
- 2) 岸本長 他：ディープラーニングの活用による下水汚泥焼却炉閉塞抑制システムの高精度化、第 57 回下水道研究発表会講演集、pp1042-1044

## 2-3-3 ポリ鉄添加によるガス化炉の安定運用について

流域下水道本部 技術部 北多摩一号水再生センター

(現 流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター)

河野 里名

### 1 はじめに

南多摩水再生センター（以下、「南多摩」という。）では、水処理において発生した汚泥をセンター内にある汚泥処理施設で脱水・焼却している。南多摩の焼却炉は、年間を通じた自燃運転に取り組み、汚泥焼却の補助燃料費を大幅に削減してきた。

しかし、2017年度に稼働を開始したガス化炉方式の焼却炉（以下、「ガス化炉」という。）である2号炉は、稼働当初は脱水ケーキの含水率（以下、「含水率」という。）が高かったために自燃運転が継続できなかった。また、りん溶融による煙道閉塞によって焼却炉が緊急停止することも問題だった。

そこで、含水率の改善とりん溶融防止に効果のあるポリ硫酸第二鉄（以下、「ポリ鉄」という。）の添加を開始したところ、2号炉は安定稼働ができるようになった。

一方で、ポリ鉄添加以降、熱回収炉内部には、ポリ鉄がりと未反応の状態で焼却炉に投入された際に生成する酸化鉄を含む焼却灰が堆積するようになった。同じ堆積物は煙道周辺にも確認されたことから、酸化鉄による煙道閉塞が起こる可能性が生じた。

そこで、過去の運用実績や水質分析結果を参考に、ポリ鉄添加及び余裕率管理の検討を行い、ガス化炉に適した運用方法を見出すことにした。

## 2 南多摩の焼却炉の概要

### 2.1 焼却炉の運用状況

南多摩は、多摩市及び稲城市の下水を中心として処理を行う分流式の水再生センターである。1日の処理水量は概ね11万 $\text{m}^3$ 、汚泥処理量は、脱水ケーキ換算で約80トン/日である。焼却炉は、流動床炉方式（以下、「流動炉」という）の1号炉、ガス化炉の2号炉があり、通常はどちらか1炉の運用を行っている。

南多摩の焼却炉は、年間を通して補助燃料を使用しない自燃運転に取り組んでいる。自燃運転に必要な含水率は1号炉で76%以下、2号炉で74%以下であり、いずれも他センターに比べて低い含水率が求められる。そこで、南多摩では、脱水性の良い重力濃縮汚泥（以下、「濃縮汚泥」という。）の濃度を保持するとともに、含水率の目標値によって余剰汚泥の割合を調整することで、自燃運転の維持に努めている。

### 2.2 2号炉焼却フロー

2号炉は、焼却能力110トン/日のガス化炉である。焼却フローを図1に示す。

ガス化炉には、脱水ケーキと脱水ケーキの水分を少なくした乾燥汚泥の2種類の汚泥を投入する。自燃運転時の投入割合は、脱水ケーキが60～70%、乾燥汚泥が30～40%である。ガス化炉では、炉内の空気比を抑えた、不完全燃焼の焼却によってメタンや一酸化炭素などの可燃性ガスを発生させる。その後の熱回収炉では、ガス化炉で発生した可燃性ガスの焼却を行うことによって、炉内温度が上昇して $\text{N}_2\text{O}$ の分解が進む。また、高温の余熱

は流動空気、乾燥汚泥の生産、バイナリー発電と多方面に用いられている。

2号炉は、水分量の異なる2種類の汚泥を投入することで、炉内温度を保ち、自燃運転を継続する機能がある。しかし、乾燥汚泥の生産は、乾燥空気予熱器で回収された余熱を熱源として用いるため、乾燥汚泥の生産量には限りがあり、含水率の上昇や焼却炉への汚泥投入量が少ないといった炉内温度が低下しやすい状況が続くと、乾燥汚泥は枯渇してしまう。脱水ケーキのみの投入でも焼却は継続できるが、自燃運転はできない。



図1 2号炉焼却フロー

### 2.3 2号炉と自燃運転

自燃運転時の2号炉では、流動炉の1号炉に比べて電力量が43%減、N<sub>2</sub>O発生量が86%減と大きなメリットがある。そのため、南多摩では2号炉の稼働を優先させている。

一方、2号炉の自燃運転が停止すると、図2のとおり、補助燃料費の増加だけでなく、乾燥汚泥の投入停止による汚泥処理の停滞、さらには1日のN<sub>2</sub>O排出量が3kgから42kgに増加するなど、様々な問題を引き起こす。

そのため、2号炉の自燃運転の確保は、南多摩の焼却炉運用の基本となっている。

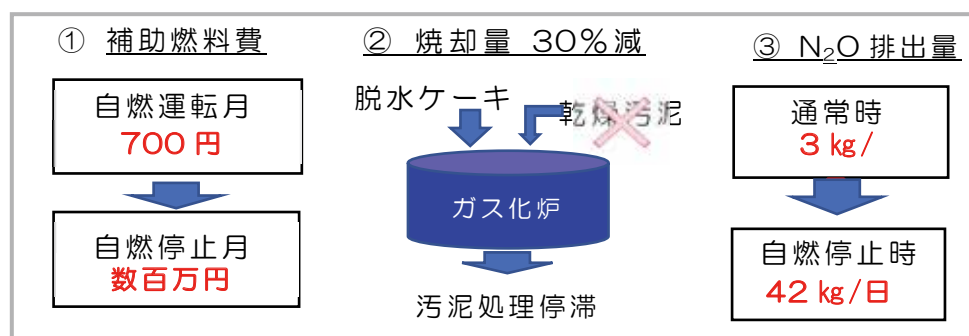


図2 2号炉自燃停止時の影響

## 3 2号炉稼働当初の問題点

2号炉稼働当初の問題は、自燃運転の停止とりん溶融による煙道閉塞であった。

### 3.1 2号炉の自燃運転条件

自燃運転停止の要因は、含水率を2号炉の自燃運転基準である74%以下にできないことにあった。

含水率を下げるために、余剰汚泥の引き抜き量の削減や、凝集剤の検討に取り組んだものの、含水率を安定的に下げることが難しく、2号炉の自燃運転は継続できなかった。

含水率が高い時には、脱水性の良い濃縮汚泥の濃度が低い傾向があった。南多摩は濃縮槽が比較的小さく、下部に堆積する汚泥が少ないために、濃縮汚泥濃度が不安定になりやすい。特に水温の高い夏季は、腐敗により汚泥の沈降性が悪くなるため、濃縮汚泥濃度が低く、含水率は高くなり、自燃運転は全くできなかった。

また、図3のように、濃縮槽汚泥界面の高さによって総合放流水のりん濃度は大きく変動する傾向があった。

そのため、PAC添加日数は年間84日と多く、りん処理の面からも濃縮汚泥の沈降性を改善する必要があると考えられた。

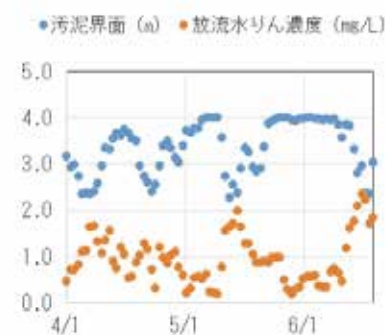


図3 濃縮槽界面とりん濃度

### 3.2 りんの溶融とポリ鉄添加の経緯

一般的に、脱水ケーキ中のりんは、鉄やカルシウムなどの金属イオンと結合し、高温でも安定した状態にあるとされている。しかし、金属イオンよりもりんが多いときには、りんはナトリウムイオンなどと結合し、高温で溶けやすい低融点のりん化合物（以下、「低融点りん」という。）となる。低融点りんは、850℃以上の焼却炉内で溶けて、煙道等に吸着し、煙道を狭めるほどに堆積すると炉内の空気の流れが滞るようになる。

東京都では、N2O発生抑制の観点から850℃以上の高温焼却を推奨している。一方で、A2O法などりん処理に特化した高度処理系列の導入が進み、汚泥中のりんの割合は上昇している。その結果、降雨による金属イオンの流入が少ない分流式の水再生センターを中心にりん溶融が原因の煙道閉塞が発生するようになってきた。

分流式の南多摩では、通常の流動炉である1号炉において2013年頃から煙道閉塞の兆候が見られていた。一方、稼働前であった2号炉は、清瀬水再生センターのガス化炉ではりんの溶融による煙道閉塞が確認されなかったことと、図4に示すとおり、りん溶融が起る850℃以上の設備を通過する焼却灰は全体の20%程度であるため、煙道閉塞を起こすほどの溶融はないものと考えられていた。

しかし、稼働を開始すると、熱回収炉と流動空気予熱器に大量のりん溶融物質が発生して、煙道を塞ぎ、2号炉は何度も緊急停止することとなった。

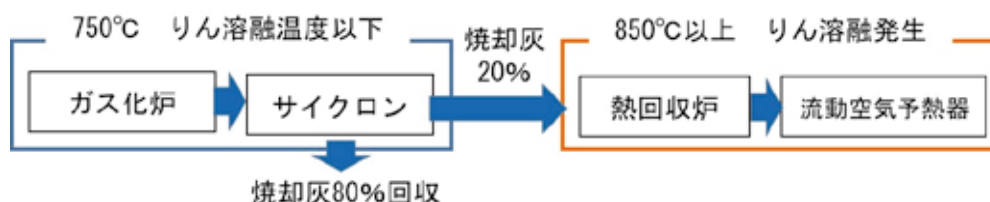


図4 2号炉の温度とりん溶融の関係

そこで、2018年8月から焼却炉の煙道閉塞防止を目的としたポリ鉄の常時添加を開始



した。

南多摩においてポリ鉄添加が可能な箇所は、分配槽（濃縮槽手前）・混合槽（脱水機手前）及び汚泥ホップの3か所である。

ポリ鉄には、りん溶融防止のほかにも、沈降性の悪い汚泥を沈みやすくする汚泥沈降促進効果がある。そこで、ポリ鉄の添加箇所として分配槽を選択し、濃縮槽の汚泥沈降を促進して、含水率を改善することで、2号炉の自燃運転の安定化につなげようと考えた。

## 4 濃縮槽へのポリ鉄添加の効果

### 4.1 ポリ鉄添加による改善点

ポリ鉄添加前の問題点と添加後の改善効果を図5に示す。

ポリ鉄添加後は、焼却炉の緊急停止の原因であったりん溶融がなくなり、煙道閉塞を回避できるようになった。

含水率は、自燃運転条件を下回る73%（年平均）となったことで、特に自燃運転の難しかった夏季の自燃率が0%⇒97%に向上し、年間を通して自燃運転ができるようになった。

濃縮槽汚泥界面（年平均）は、添加前は濃縮槽高さ4mに対して3.5mで汚泥が越流しやすい状況にあったものの、添加後は2.8mに低下して、汚泥界面が安定した。これにより年間のPAC使用量は90m<sup>3</sup>から21m<sup>3</sup>へと大幅に削減された。

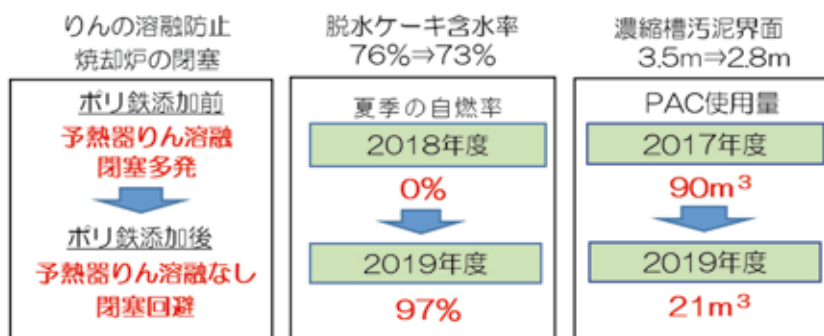


図5 ポリ鉄添加の効果

### 4.2 余裕率

ポリ鉄添加量は、りん溶融を抑えられる余裕率（閉塞抑制指標）1を目指して調整した。

余裕率は、焼却炉の煙道閉塞を防止するための重要な指標で、りんと結合して高温で安定的な化合物を生成する代表的な4種の金属イオン（鉄（Fe）・マグネシウム（Mg）カルシウム（Ca）アルミニウム（Al））の量と、りんの割合を下記のモル関係式で求めたものである。

$$\text{余裕率} = \left\{ \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{M}(\text{Fe}_2\text{O}_3)} \times 2 + \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{M}(\text{Al}_2\text{O}_3)} \times 2 + \frac{\text{CaO}}{\text{M}(\text{CaO})} \times \frac{2}{3} + \frac{\text{MgO}}{\text{M}(\text{MgO})} \times \frac{2}{3} \right\} \div \left\{ \frac{\text{P}_2\text{O}_5}{\text{M}(\text{P}_2\text{O}_5)} \times 3 \right\}$$

※M(i) [g/mol]：化合物iの分子量

図-6 左図に示すとおり、南多摩の脱水ケーキ中のりんは、金属イオンと結合したものが主体であるが、りんの割合が多いため、ナトリウムイオンなどと結合した低融点りんが存在する。この汚泥を焼却すると、低融点のりんが高温で溶けて、焼却炉が煙道閉塞しやすい状況になる。

そこで、ポリ鉄を添加し、りんと鉄を反応させることで低融点のりんをなくした余裕率1の状態にすると（図6中図）りんと金属イオンが過不足なく最も安定な状態となる。

しかし、汚泥中のりんの量は、汚泥の引き抜き状況や、降雨によって変化するため、通常は、りん溶融を確実に防止できる余裕率1を超える管理を行う。余裕率1を超えると、残留した鉄イオンが炉内で酸化鉄に変化するが、流動炉では、酸化鉄が焼却炉の緊急停止などの重大な問題を起こすことは少ないとされている。



図 6 余裕率と脱水ケーキ中の各成分

#### 4.3 ポリ鉄添加後の課題

ポリ鉄添加後の2号炉は、順調に稼働を続けた。余裕率も概ね1前後で運用することができた。しかし、運用開始から3か月後に点検したところ、熱回収炉に大量の焼却灰が堆積しており、流動空気予熱器への煙道が最大でも20cmしか開いていないことが分かった。

焼却灰の堆積状況は、図7左図のとおりであり、煙道入口部分は堆積が少なかったものの、煙道から斜め上に向かって堆積量が増加していたため、堆積物が崩れた場合はすぐに煙道が埋没する状況にあった。3か月の稼働でこの堆積量では長期運用は行えないため、堆積する焼却灰の量を削減する必要がある。



図 7 熱回収炉堆積状況

表 1 熱回収炉の堆積焼却灰の性状

| 色  | 堆積量 | 形状   | 硬さ   | 重さ | 余裕率 | 考えられる原因   |
|----|-----|------|------|----|-----|-----------|
| 赤黒 | 多い  | 塊・粒形 | 硬い   | 重い | 1.3 | 酸化鉄を含む焼却灰 |
| 緑白 | 少ない | 塊    | 柔らかい | 軽い | 1.0 | リンの溶融物    |

堆積した焼却灰には、表 1 に示すとおり、赤黒いものと緑白色のものの 2 種類あった。堆積量が多かったのは、図 7①②のような赤黒い焼却灰であり、20cm を超える大きな塊から粒状のものまで数多く存在していた。塊状のものは比重が重く、余裕率も 1.3 と高いため、酸化鉄を多く含んでいると考えられた。

緑白色の堆積物は、リンの溶融物質であり、堆積量は少なく、堆積した焼却灰の上部に多く存在していたことから、多くが 2 号炉停止時の温度低下とともに壁面から剥離・落下したものと考えられた。

鉄イオンが過剰な汚泥を焼却した際に生成する酸化鉄を多く含む焼却灰と、鉄イオンなどの金属イオンが不足している汚泥を焼却した際に生成するリン溶融物質という通常は共存しない 2 種類の焼却灰が堆積していたのは、ポリ鉄添加後の攪拌が不足していたためと考えられた。

#### 4.4 酸化鉄の生成

3 か月の短い運用期間で熱回収炉に大量の焼却灰が堆積した理由として、炉内の空気の流速とポリ鉄添加による焼却灰の性状の変化が考えられた。

2 号炉は、焼却炉出口の誘引ファンによって空気を引かれるため、炉内には入口から出口に向かう空気の流れが発生している。流速は流路の広さによって変化し、熱回収炉のように内部が空洞で大型の設備では、流速が低下して焼却灰が落下・堆積しやすいと考えられる。

さらに、ポリ鉄の添加によって比重の重い酸化鉄が生成したことで、焼却灰の堆積量が増加していったと考えられる。

これらのことから、熱回収炉を持つ 2 号炉の長期運用には、ポリ鉄の添加量を減らし、酸化鉄の生成を抑えることが必要であると考えられた。

### 5 ポリ鉄添加方法の見直しと対策

#### 5.1 ポリ鉄添加と余裕率管理

東京都では、図 8 に示すように、ポリ鉄を多めに添加して焼却灰の余裕率 1 を超える管理を行っている水再生センターが多い。しかし、流速が低下しやすい熱回収炉を持つ 2 号炉では、余裕率 1 以上の管理を行うと、酸化鉄を含む焼却灰の堆積量が増え、煙道を塞ぐ可能性がある。

一方で、2 号炉は、リン溶融が起きる温度となる熱回収炉手前で焼却灰の多くを回収しているため、流動炉に比べてリン溶融による閉塞は起こりにくい。そのため、運用方法に

よって、余裕率1以下でも長期稼働が可能であると考えられた。

そこで、2号炉に適した余裕率管理を目標として、次の4つの対策を講じた。

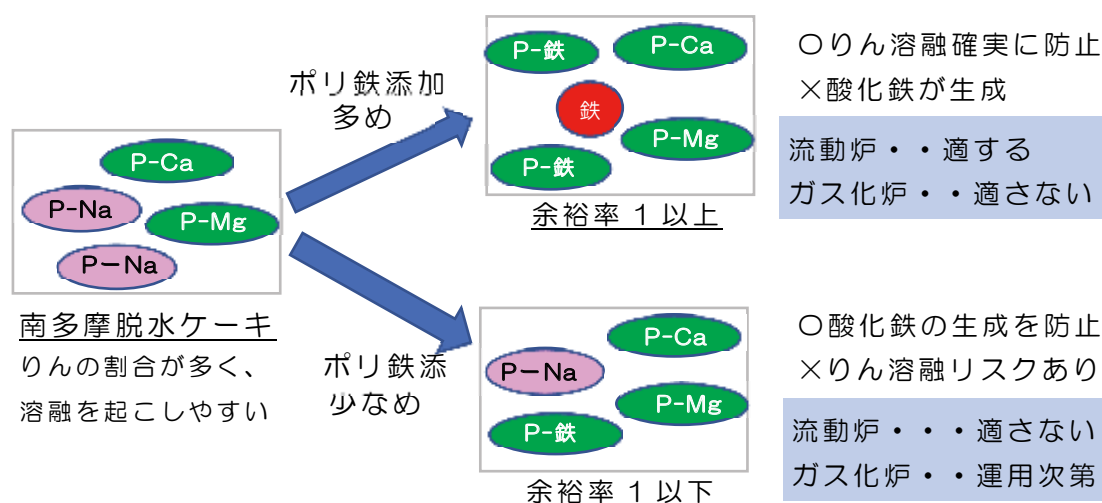


図 8 ポリ鉄添加量による生成物の違いと焼却炉への影

## 5.2 対策1 攪拌効果の見直し

熱回収炉における焼却灰の堆積量の増加は、ポリ鉄添加後の攪拌不足も一因と考えられた。そこで、攪拌効果の見直しを行った。

南多摩のポリ鉄の添加箇所は、濃縮槽手前の分配槽である。2号炉の自然維持には、濃縮汚泥の性状を安定させる必要があるため、添加箇所の変更は難しい。そこで、添加箇所を変えずに、十分に攪拌できる方法がないかを考えた。

分配槽にポリ鉄を添加した後、濃縮槽では汚泥とポリ鉄がしっかりと混ざり合い、滞留時間も比較的長いため、りんとの反応時間を十分に確保できる。(図9)しかし、濃縮槽以降の混合槽は攪拌強度が弱く、脱水機前の攪拌槽は滞留時間が不足しており、十分な効果が出ないと考えられた。そこで、添加したポリ鉄が全量濃縮槽でりんと反応するように添加量を調整することとし、その目安を濃縮槽越流水りん酸性りん濃度とした。

濃縮槽越流水りん酸性りん濃度が目安になるのは、越流水中にりん酸性りんが検出されるときは、図10左図のように、濃縮汚泥中の鉄イオンは全てりと結合した状態にあり、余ったりん酸性りんが越流水として流出している状況だからである。一方、越流水にりん酸性りんが含まれないときは、図10右図のように、汚泥中でりんより鉄イオンが多い状態であり、汚泥中に残った鉄イオンは焼却炉で酸化鉄に変化する可能性がある。

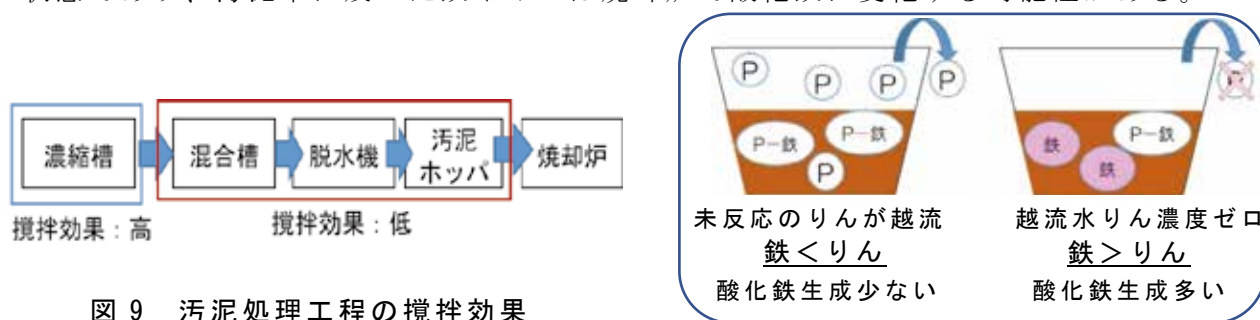


図 9 汚泥処理工程の攪拌効果

図 10 濃縮槽でのポリ鉄の反応機

### 5.3 対策2 熱回収炉温度設定の見直し

熱回収炉で堆積する焼却灰の削減には、ポリ鉄添加量を減らす必要がある。一方、ポリ鉄量を減らすことは、焼却炉でのりん溶融物質の増加につながり、煙道閉塞しやすくなる。そのため、2号炉は、りん溶融物質が増加しても、煙道閉塞や緊急停止を起こさないりん溶融に強い焼却炉を目指す必要があった。

2号炉のりん溶融の多くは、熱回収炉と流動空気予熱器で発生していたが、2号炉の緊急停止の原因は常に流動空気予熱器の閉塞だった。

流動空気予熱器は、余熱を効率的に回収するため、図11のような蜂の巣状の配管構造になっている。配管内には、りんの溶融対策として堆積物を払い落とすチェーンを設置しているが、効果は少なく、配管は付着物により閉塞した。熱回収炉でもりん溶融は起きていたが、流動空気予熱器よりも流路の広い熱回収炉は閉塞することはなかった。

また、流動空気予熱器以降の施設では、りん溶融の発生は少ないことから、2号炉のりん溶融及びりん溶融物質の堆積は850℃以上の設備や煙道で発生すると推測された。

そこで、熱回収炉出口温度を下げて850℃とすることで、後段の流動空気予熱器の温度が850℃を下回るよう運用した。(図12)

この運用でりん溶融は、2号炉の中で唯一850℃以上となる熱回収炉に集中するが、熱回収炉内でのりん溶融物質は壁面上部に付着することが多く、煙道付近には少ない。壁面に付着したりん溶融物質が落下・堆積したとしても、堆積物の合計量（酸化鉄を含む焼却灰＋りん溶融物質）が削減されることで、2号炉の長期運用が可能になると考えられた。



図11 流動空気予熱器内部

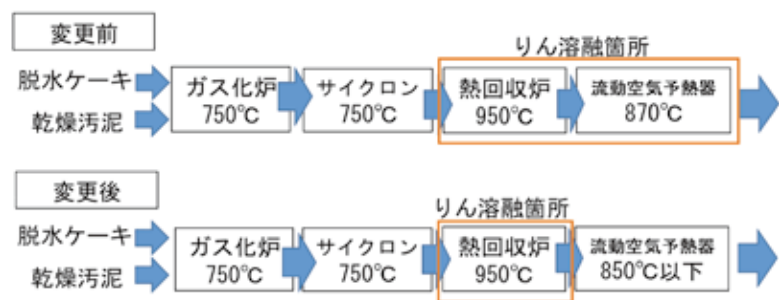


図12 温度設定の変更とりん溶融箇所

## 5.4

### 対策3 ポリ鉄添加量の見直し

2020年度より分配槽におけるポリ鉄添加量の見直しを始めた。ポリ鉄添加量は、過去の運用実績等から40L/時を基本とした。

2020年度の5月～10月の余裕率の変化を図13に示す。余裕率は降雨の影響を受けやすく、降雨後はポリ鉄添加に関係なく数値が上昇する。そのため、余裕率は、降雨の影響を受けにくい月中央値を記載した。調査期間における余裕率は、降雨が続いた7月は1.1を超えたが、その他の月は概ね0.9～1.0で推移した。

図14に余裕率別の測定回数を示す(n=53)。余裕率の数値は、0.8～1.2が多くなっていた。余裕率0.8以下が少ないことから、降雨が少ない日でも極端に余裕率が低下することはないことが確認され、40L/時添加は適正と考えられた。

運用期間中の2号炉は、焼却灰発生率の低下や、誘引ファンの出力上昇といった煙道閉塞の傾向を示す数値の変動はほとんどなく、安定運用を続け、4月～10月の7か月連続稼働を実現した。



停止後に熱回収炉内部を確認したところ、以前の3か月運用時よりも堆積物は減少しており、煙道も確保されていた。

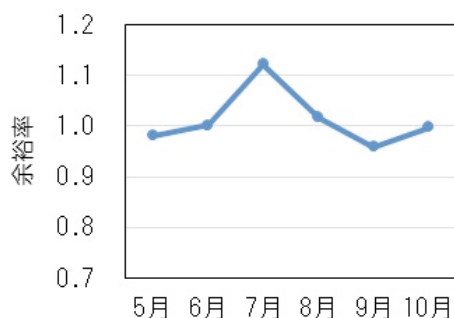


図 13 2020 年度 5 月～10 月の余裕率

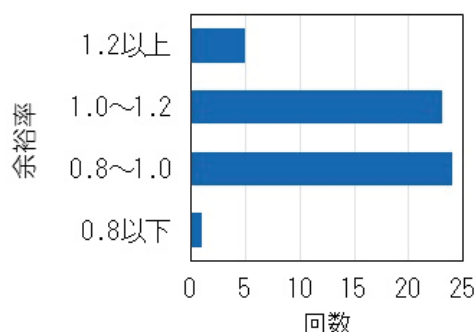


図 14 2020 年度 5 月～10 月の  
余裕率別測定回数

### 5.5 対策 4 2号炉に適した余裕率管理の構築

夏季含む7か月連続運用の実績を参考にして、2号炉に適した余裕率管理の構築を目指した。

調査期間は2020年12月～2021年11月である。

南多摩の焼却炉のりんの溶融による煙道閉塞は、降雨による金属イオンの流入が少ない冬季に起こりやすい。そのため2020年度冬季の余裕率は、上半期の運用実績から、降雨が少ない5月・6月の余裕率0.9～1.0を目標とした。一方、閉塞が起こりにくい春以降（2021年度4月～11月）は酸化鉄の生成量の削減につながるよう余裕率の目標を0.8～1.0とした。

調査期間中の分配槽におけるポリ鉄添加量は、冬季が48L/時（脱水ケーキ1トン当たり約0.5L）春以降が32～40L/時（脱水ケーキ1トン当たり約0.4L）であった。

調査期間中のポリ鉄添加量と濃縮槽越流水りん酸性りん濃度の月別の最低値を表2に示す。なお、他の調査等により、本調査の条件での余裕率測定が2回以下の月は、2か月まとめて集計した。

濃縮槽越流水りん酸性りん濃度は不検出の日にはなかった。このため、調査期間を通じポリ鉄添加量は濃縮槽で反応できる上限を下回る量だったと考えられた。一方、ポリ鉄添加量が48L/時の12月～3月のりん酸性りん濃度は0.1～0.2mg/Lとほぼ不検出に近い数値であったことから、濃縮槽で反応できるポリ鉄添加量の上限は48L/時であると推定した。

表 2 ポリ鉄添加量と濃縮槽越流水のりん酸性りん濃度測定結果

|                           | 12月 | 1月  | 2月・3月 | 4月  | 5月    | 6月  | 7月  | 8月・9月 | 10月 | 11月 |
|---------------------------|-----|-----|-------|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|
| ポリ鉄添加量<br>(L/時)           | 48  |     |       | 40  | 40→32 | 32  |     |       |     | 40  |
| 濃縮槽越流水<br>りん酸性りん濃度 (mg/L) | 0.2 | 0.2 | 0.1   | 0.8 | 0.5   | 1.2 | 3.5 | 2.9   | 2.5 | 0.2 |

また、ポリ鉄添加量と余裕率(目標値及び測定値)の結果を表3に示す。

12月～4月の余裕率は、目標値0.9～1.0に対して測定値0.94～1.04となり概ね目標通りの管理ができた。煙道閉塞の起こりやすい冬季も、焼却灰発生率の低下や誘引ファン

の出力上昇など煙道閉塞の指標となる項目に問題はなく、安定した運用が続いた。

4月からは、ポリ鉄添加量を標準である 40L/時とし、降雨量の増加によって、余裕率が上昇してきた GW 明けから 10 月までは添加量を 20% 減の 32L/時とした。その間の余裕率は、ほぼ目標の範囲内である 0.83~1.04 で推移した。

以上述べてきた 4 つの対策を行った結果、2 号炉は、2020 年 12 月から 2021 年 11 月にかけて自燃運転を維持しつつ 11 か月間稼働することができ、構築した 2 号炉の余裕率管理が適切であったことが確認できた。

表 3 ポリ鉄添加量と余裕率

|                 |     | 12月     | 1月   | 2月・3月 | 4月   | 5月      | 6月   | 7月   | 8月・9月 | 10月  | 11月  |
|-----------------|-----|---------|------|-------|------|---------|------|------|-------|------|------|
| ポリ鉄添加量<br>(L/時) |     | 48      | 48   | 48    | 40   | 40→32   | 32   | 32   | 32    | 32   | 40   |
| 余裕率             | 目標値 | 0.9~1.0 |      |       |      | 0.8~1.0 |      |      |       |      |      |
|                 | 測定値 | 0.94    | 0.92 | 1.04  | 0.95 | 0.83    | 0.95 | 1.04 | 0.92  | 0.97 | 0.95 |

## 6 まとめ

本調査の結果、以下のことが確認された。

- ・分配槽へのポリ鉄添加によって、脱水ケーキ含水率の安定化による 2 号炉の自燃運転の継続と、りん溶融による焼却炉の煙道閉塞防止を実現した。
- ・ポリ鉄の添加後、熱回収炉では焼却灰の堆積量が増加、2 号炉の長期運用には焼却灰の堆積を減らす必要があった。
- ・ポリ鉄添加後の攪拌効果を見直し、攪拌不足による酸化鉄の生成を抑制した。
- ・りん溶融が起こる設備の温度管理を見直し、煙道閉塞を起こしやすい流動空気予熱器のりん溶融を抑制した。
- ・2 号炉に適した余裕率管理を構築した結果、2 号炉は 11 か月の長期運用を実現した。

## 2-3-4 導水式無閉塞水流発生装置（A S）の

### スカム堆積抑制効果について（その2）

東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 兼子 清隆  
技術部 技術開発課 池田 恵一

#### 1. はじめに

東京都墨田区、江東区の大部分を下水処理区にもつ砂町水再生センターでは、浮上性の高いスカムが大量発生し、特に、最初沈殿池及び導水渠では、既存のスカム収集設備の処理能力を超えるスカムが堆積する（図1）。

堆積したスカムは、人力によるかき寄せ作業やバキューム車による吸引、搬出等の対応に苦慮しているほか、高濃度硫化水素による作業環境悪化等を防止するため、スカムを堆

積させないことが課題である。この課題に対し、点検口に容易に設置が可能な、小型の「導水式無閉塞水流発生装置」（以下「A S：アクアストリーマー」という）を開発し実用化している<sup>1)</sup>。

今回は、令和元年度に最初沈殿池2号で行った検証報告<sup>2)</sup>に引き続き、最初沈殿池導水渠及び2号クロス水路に設置されたA Sの運転によるスカム堆積抑制効果について検証したので報告する。

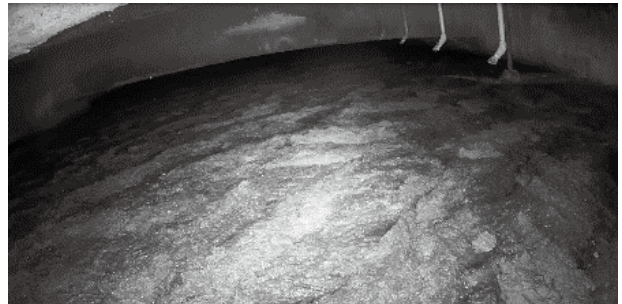


図1 スカム堆積例

#### 2. A S システム概要

A S システムは、駆動水ポンプ（以下「ポンプ」という）、水流発生部、配管等により構成される（図2）。

ポンプから取水した駆動水（最初沈殿池汚水を取水）は、屋外配管により圧送され、水流発生部のノズルより噴射させることで水流発生部周囲の水を引き込む「導水効果」により大量の水を下流側へ送り込む（図3）。

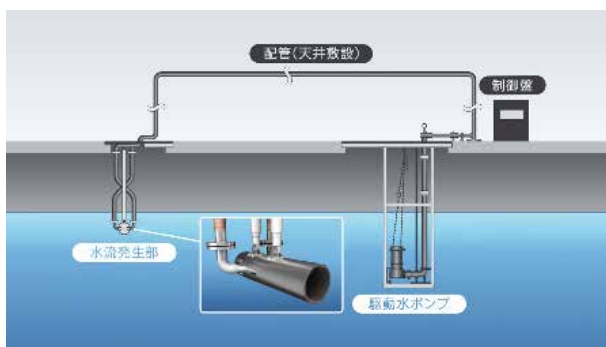


図2 A S システム構成

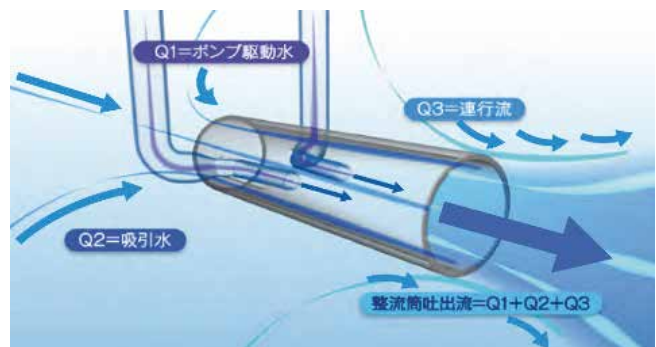
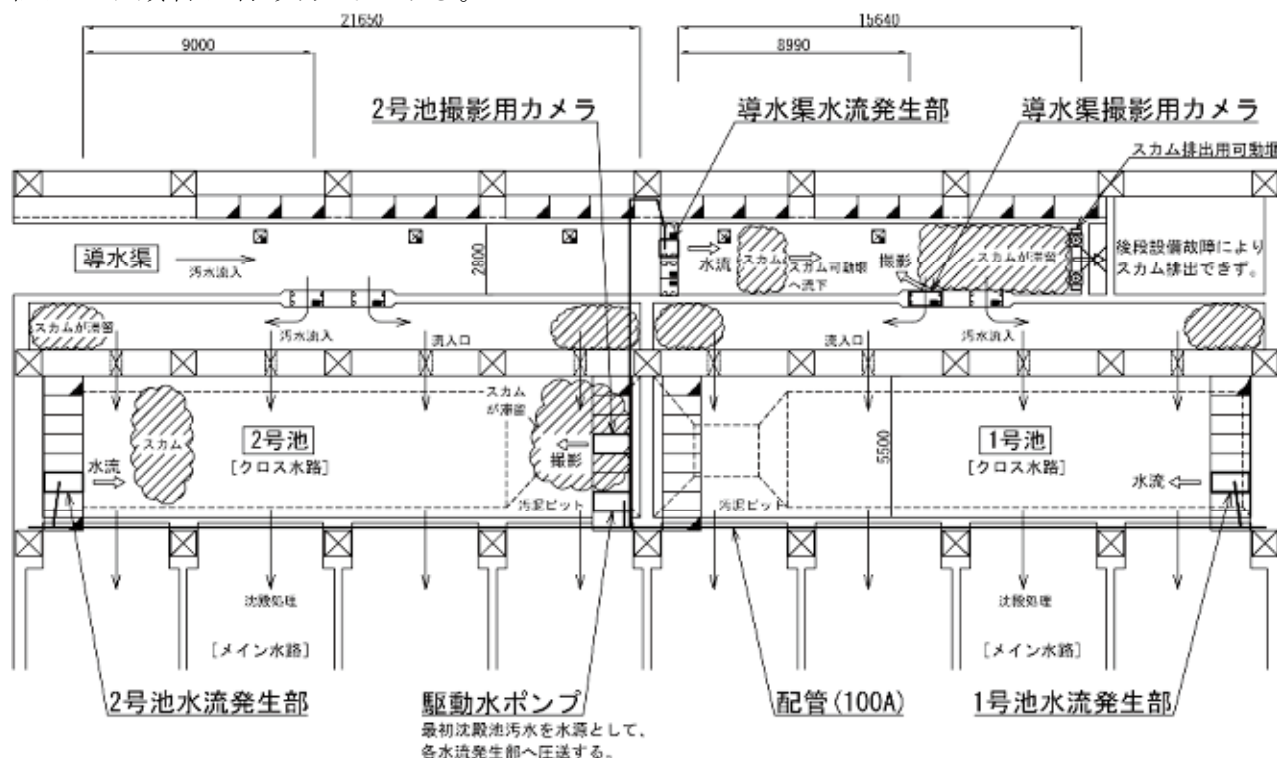


図3 導水効果

これにより、吐出口先端から約9m前方でスカムを流動させることを本システムの性能要件として、スカム堆積抑制効果を確認した（図4）。

水流発生部は、最初沈殿池 1 号クロス水路、2 号クロス水路、及び導水渠の水面深さ 20 c m の位置に、各点検口から設置した（計 3 台）。各場所への送水は、切替弁のタイマー運転により順番に行う方式である。





## 4. 検証結果

### 4.1 最初沈殿池導水渠

導水渠は、各運転パターンにより水流が停止する時間（→スカムが堆積する時間）が異なる。パターン①の場合は4時間であるが、スカムの堆積量は約3cmであり、水流が発生した2時間後には、水流発生部より約9m下流側の地点において、スカムの流動化が確認できた。

また、ポンプ運転時間を25%削減した運転パターン③は、水流停止時間（→スカム堆積時間）が3時間、水流発生時間は1時間であるが、スカムの流動化が確認できたほか、数サイクル運転後には、スカム堆積がなく水面が見通せる状態となり、効果は十分であった（図6）。

なお、水流発生時間が0.5時間である運転パターン②については、運転サイクルを重ねるごとに、下流側の水面に対して徐々に効果を発揮する結果となった。

3時間スカムを堆積させた状態



↓ 水流発生 1 時間



↓ 17 時間 (5 サイクル)



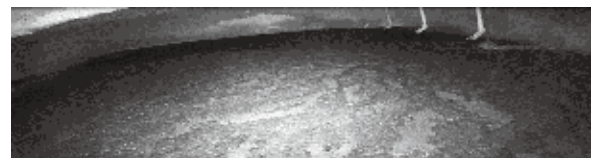
図6 導水渠水流発生（パターン③）

### 4.2 最初沈殿池2号クロス水路

2号池クロス水路に発生したスカムは、全ての運転パターンにおいて、水流発生部より約9m下流側において、スカムの流動化が確認できたほか、約20m下流の汚泥ピット方向へスカムを流動させることも確認できた（図7）。

特に、水流発生時間を2.5時間（水流停止によるスカム堆積時間：3.5時間）とした運転パターン②においては、水流発生開始から4サイクル運転後（約20時間後）には、水流発生部から約20m下流の汚泥ピット上部においてもスカム堆積がなく、クロス水路のほぼ全面において水面が見通せる状態まで改善され、AS運転によるスカム堆積抑制効果を発揮した（図8）。

3時間スカムを堆積させた状態



↓ 水流発生 1 時間

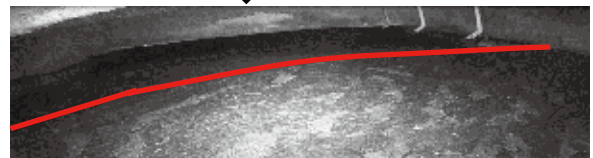


図7 2号池水流発生（パターン③）

4 サイクル運転後（約 20 時間後）

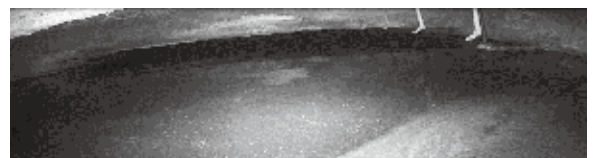


図8 2号池水流発生（パターン②）

## 5. 考察

### 5.1 AS運転設定

本検証結果に基づき、AS運転設定に当たり、晴天時においては、運転パターン③を採用することが、消費電力節減とスカム堆積抑制効果を両立する最適な設定であると考えられる。



一方、雨天時においては、最初沈殿池への汚水送水量の増加に伴い、特に、導水渠のスカム発生量が増大することから、各場所ともに長時間の水流発生が可能な運転パターン①を設定することにより、確実にスカム堆積抑制効果を発揮できると考える（図9）。

本来であれば、常に水流を与え続けることが、スカム堆積抑制効果を最大限に発揮するのであるが、スカム発生状況に応じたASの運転設定を行うことにより、消費電力節減と良好なスカム堆積抑制効果が両立できることを確認した。

降雨後、スカムが増大した状態



↓ 水流発生 2 時間



図9 導水渠水流発生（パターン①）

## 5.2 最初沈殿池導水渠

導水渠水面に発生したスカムは、最初沈殿池流入口（□450mm：水面下約1.5mの位置に開口）の構造により、沈殿池への流入が困難なため、導水渠端部に設けたスカム排出用可動堰を越流させて、最初沈殿池系列外で別途処理される（図4）。

しかし、スカム排出用可動堰は、後段設備の故障により、全調査期間中において運用することができなかった。このため、可動堰周辺の導水渠水面には、ASの水流により流下したスカムやふさ等が、約40cm程度の厚さで滞留し、系外へ排出できない状態であった。

導水渠に水流を発生させることによるスカム堆積抑制効果を詳細に確認するためには、スカム排出用可動堰とASとの連動運転により、可動堰周囲にスカムが滞留することが比較的少ない条件下で検証を行う必要がある。

## 5.3 最初沈殿池2号クロス水路

今回検証した運転パターンによっては、運転サイクル数が増えるにつれて、流動したスカムが汚泥ピット上部に滞留することを確認した（図4）。

この原因の一つとして、汚泥ピット上部の水中には駆動水ポンプの支持架台が設置されているため、スカムが流下した際にポンプ架台周囲に滞留すると考え、併せて、ASによる水流を与えながら、ポンプ架台付近のスカムを別途水流で崩壊させると（スカムを叩くと）、スカムが円滑に流下することを確認した。

## 6. おわりに

今回開発した導水式無閉塞水流発生装置（AS：アクアストリーマー）において、運転パターンを適宜設定することにより、消費電力節減と良好なスカム堆積抑制効果が両立できることを確認したが、設置場所により、新たな課題も発見された。

今後も、本装置の利便性や経済性向上等のため、開発技術の更なる研鑽に取り組んでいく。

なお、本検証において多大なご協力をいただいた、共同開発者である東京都下水道局、イービストレード株式会社及びエビスマリン株式会社に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 三牧大朗：水処理施設におけるスカムの破壊・堆積防止対策、第 55 回下水道研究発表会講演集、2018 年
- 2) 小高勇、池田恵一、清水雅之、中村光：導水式無閉塞水流発生装置（A S）のスカム堆積抑制効果について、第 57 回下水道研究発表会講演集、2020 年

## 2-4-1 東京都における下水熱利用拡大に向けた

### 新たな取組について

計画調整部 計画課 土屋 あゆみ

#### 1 はじめに

下水道事業では、下水や汚泥を処理する過程で電気や燃料を大量に必要とし、多くの温室効果ガスを排出している。東京都下水道局（以下、「当局」とする）の温室効果ガス排出量は 2020 年度で 76.3 万 t-CO<sub>2</sub> にのぼり、都庁全体の排出量の約 35% を占めるなど、地球温暖化防止に対する大きな責務を負っている。

そのため、当局では温室効果ガス排出量削減に向け、下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン」を策定し、最新の「アースプラン 2017」では、2030 年度までに温室効果ガス排出量を 2000 年度比 30% 以上削減することを目標に掲げ、その達成に向け設備の省エネルギー化や再生可能エネルギーの利用拡大など、様々な削減策を実施している。

その対策の一つとして、当局では、再生可能エネルギーに位置付けられている下水熱の利用に積極的に取り組んでいる。現在まで、民間事業者等と連携して地域における下水熱の利用を推進し、その結果、都内における下水熱利用事例は 5 件にのぼる。

しかし、全国での下水熱利用事例は、令和 2 年 8 月末時点で 32 件に留まっており、下水熱利用を推進していくためには、更なる拡大に向けた取組が必要とされている。

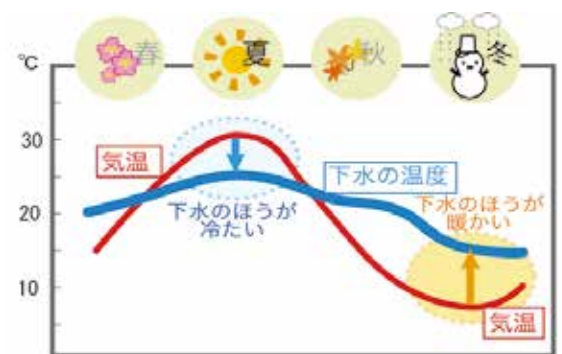
本稿では、これまでの当局における下水熱利用の取組と、更なる拡大に向け下水道管からの熱利用を促進するための取組について報告する。

#### 2 下水熱について

下水の温度は「外気温に比べ、夏は冷たく、冬は暖かい」という温度特性を持っており、下水熱は、この温度差エネルギーを冷暖房の熱源等として利用することで、温室効果ガス排出量削減に効果を発揮する。

また、下水熱は、都市内にも安定的かつ豊富に存在している再生可能エネルギーとして注目を集めている。

当局では、東京 23 区において約 450 万 m<sup>3</sup>（2020 年度日平均）にのぼる膨大な量の下水を処理していることから、下水の持つポテンシャルを活用し、様々な場所で下水熱利用に取り組んでいる。



図－1 下水の温度と気温の比較

#### 3 当局における下水熱利用の取組

##### (1) 水再生センター内での熱利用

当局では、昭和 62 年に下水処理水（以下、「処理水」とする）を熱源とした空調システム「アーバンヒート」を開発し、落合水再生センターをはじめ、区部 12 カ所の水再生センターで導入している。これにより、一般的な空調設備と比較し、年間約 230 t-CO<sub>2</sub> の温室

効果ガス排出量削減に貢献している。

近年では、各部屋やフロア毎にきめ細かい温度制御ができるよう改良を加え、更なる省エネルギー化を図った空調システム「ネオ・アーバンヒート」を開発し、設備の再構築等にあわせて順次更新を進めている。

## (2) 下水熱を利用した地域冷暖房

当局では、熱供給プラントで冷水・温水を製造し複数の建物に供給する、地域冷暖房等の熱源としても下水熱の利用を推進している。

平成6年から、後楽一丁目地区（文京区）で国内初の未処理下水を熱源とする地域冷暖房事業を開始した。本事業は下水のみを熱源とする国内唯一の地域冷暖房事業であり、後楽ポンプ所へ流入する未処理下水 3,600m<sup>3</sup>/h（最大）を熱源として、東京ドームホテルなど7施設へ熱を供給している。

また、平成13年から新砂三丁目地区（江東区）において、都有地に建設された高齢者福祉・医療複合施設等5施設に、砂町水再生センターの処理水 2,000m<sup>3</sup>/h（最大）及び汚泥焼却廃熱を熱源とした熱を供給している。

さらに、平成27年から、芝浦水再生センター再構築に伴う上部利用事業により建設された業務・商業ビル「品川シーズンテラス」へ、処理水 3,100m<sup>3</sup>/h（最大）を熱源とした熱を供給している。

これらの事業実施にあたっては、地域冷暖房等による熱供給を目的として下水道局と民間企業が共同出資し設立した東京下水道エネルギー株式会社（以下、「TSE」とする）が、熱供給を行っている。現在、TSEが下水熱を供給している施設の延床面積は約50万m<sup>2</sup>（東京ドーム約11個分）にのぼる。



図-2 後楽一丁目地区の地域冷暖房

## (3) 冷暖房熱源としての処理水供給

当局では、需要者側で採熱して空調熱源として利用できよう、熱源となる処理水を水再生センターから供給する取組を実施している。

平成18年より、芝浦水再生センターに隣接するソニーシティ（ソニー本社ビル）へ処理水を供給し、オフィスの冷暖房の熱源として利用されている。

また、令和2年8月からは新たに、中野水再生センターに近接する中野区立総合体育館へ処理水の供給を開始し、体育館の冷暖房の熱源として利用されている。本事業により、体育館では一般的な空調と比較してCO<sub>2</sub>排出量を約3割（年間約85t-CO<sub>2</sub>）削減することが可能となり、環境負荷低減の面から中野区のまちづくりに寄与している。

このように、当局では下水熱利用の推進により、局内におけるCO<sub>2</sub>排出削減を進めるとともに、民間事業者や自治体などと連携しながら都市全体のCO<sub>2</sub>排出削減に取組み、良好な

都市環境の創出に貢献している。

#### 4 下水熱利用拡大に向けた新たな取組

これまで、下水熱利用においては、熱源から利用施設までの距離が離れるほど、導入効果が減少することから、立地条件により事業化できるエリアが限られてきた。下水熱の利用を拡大するためには、都市部などに張り巡らされ、より利用者の身近に存在する下水道管からの熱利用を推進する必要がある。このような状況を受け、平成 27 年 5 月に下水道法が改正され、下水道管理者の許可を受ければ民間事業者等が熱交換器等を下水道管内に設置できるようになった。

そこで、当局では下水熱利用の更なる拡大に向け、下水熱利用に関する規程整備やポテンシャルマップの作成・公表など、下水道管からの熱利用を促進するための取組を進めることとした。

まず、下水道管内への熱交換器の設置に伴う下水道機能への影響を把握するため、民間事業者と共同研究を実施し、実際に使用している下水道管に熱交換器を設置することで、下水の排除機能や日常の維持管理等にどのような影響を与えるか評価・検証を行った。この結果をもとに、下水道管の使用許可基準等を定めた利用規程を整備するとともに、利用申請手続きのフローなどを示した「下水熱利用ガイド」をホームページで公表し、令和元年 6 月より民間事業者等から熱利用の受付を開始している。

また、流量が多く下水熱のポテンシャルが高い幹線と、地域の都市開発事業とのマッチングを促進するため、下水道幹線ごとに目安となる熱量を色分けして下水熱のポテンシャルを示した「下水熱ポテンシャルマップ」を作成し、ホームページで公表している。

このように、熱利用にあたっての手続きや許可基準を明確化するとともに、事業の検討に必要な情報を提供することにより、民間事業者等が利用しやすいよう情報発信を行っている。

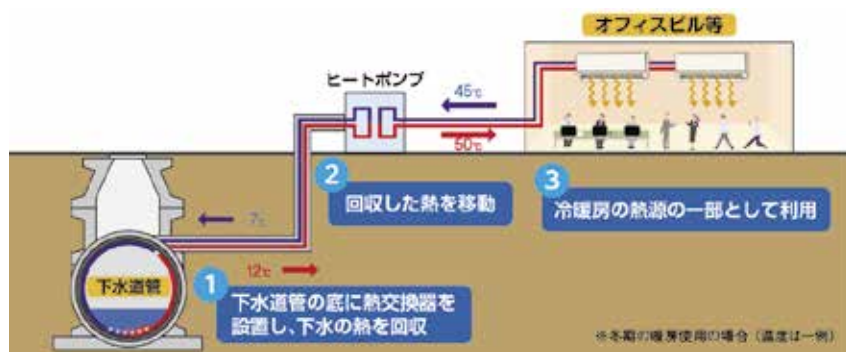


図-3 下水道管からの熱利用（イメージ）



図-4 ポテンシャルマップ

その結果、事業者とのマッチングが成立し、2021 年 6 月に当局は民間事業者と下水熱利用事業の開始に向けて協定を締結した。本事業は、東京都港区における大規模都市開発「虎ノ門・麻布台プロジェクト」（敷地面積 63,900m<sup>2</sup>、延床面積 861,500m<sup>2</sup>）の地域冷暖房の熱源の一つとして下水熱を利用するものであり、地域冷暖房の熱源の一部に下水道管から回収した下水熱を利用する事業として国内初の事例となる。本事業による温室効果ガス排出削減量は年間約 70 t-CO<sub>2</sub>を見込んでおり、令和 5 年 4 月から事業開始予定である。

今後とも熱利用の促進に向け、下水熱利用に関する情報発信を行うとともに、都市開発



諸制度や都市再生特別地区等を活用した開発事業などにおいて、民間事業者等と連携を図っていく。

## 5 おわりに

当局では、東京都が掲げる 2050 年 CO<sub>2</sub> 排出実質ゼロを目指す「ゼロエミッション東京」を見据え、温室効果ガス排出量の更なる削減のため、下水熱をはじめとした再生可能エネルギーの利用拡大を図るとともに、様々な民間事業者等と連携しながら下水熱の利用を進め、環境負荷の少ない都市の実現に貢献していく。

## 2-5-1 汚水流入渠における

### 高濃度の硫化水素発生への対応について

第二基幹施設再構築事務所 工事第一課 大坪 千穂

#### 1. はじめに

当局では大手町二丁目常盤橋地区第一種市街地再開発事業として銭瓶町ポンプ所の再構築を実施している。当初、八重洲幹線を流れる汚水は銭瓶町ポンプ所の沈砂池を経由した後、芝浦水再生センターにて処理されていたが、銭瓶町ポンプ所の再構築に伴い、八重洲幹線の汚水を第二低段幹線へ切り替えるよう計画された。ところが、八重洲幹線から芝浦水再生センターへ汚水が到達する間、どこの沈砂池も経由しないことから、し砂が未処理のまま芝浦水再生センターへ流入してしまうという課題があった。そこで、第二低段幹線への一時切替に合わせ、除じん設備を芝浦ポンプ所内汚水流入渠内に新設することとした。

除じん設備の設置に先立ち、常時汚水の流れる流入渠内をドライ化する必要があるため、芝浦ポンプ所建設工事（以下、本工事）は、流入渠スラブに開口を設け、角落し受枠及び角落しを新設したものである（図1、図2）。

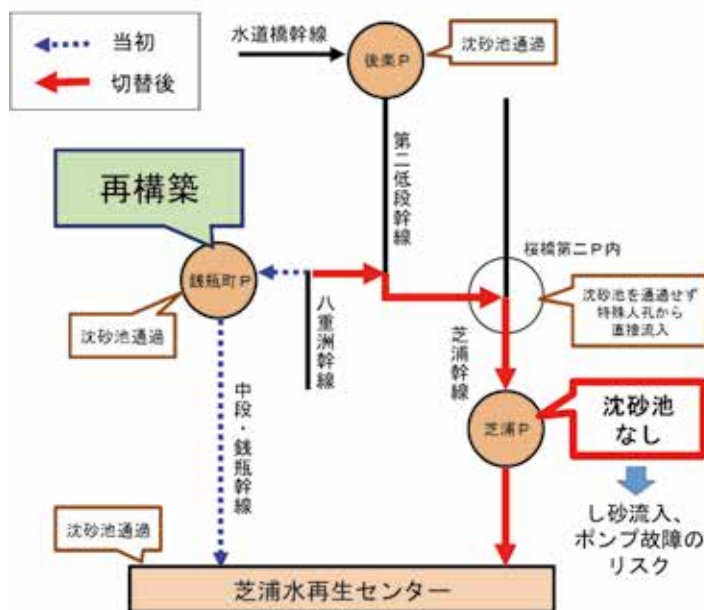


図1 幹線切替計画図



図2 案内図

本工事は汚水流入渠が常時稼働した状態で施工する条件となっていたため、流入渠直上階に開口を設置した後、水中部は潜水作業、気中部は作業員による手作業で、流入渠内に角落し受枠を取り付け、角落しを設置しドライ化する計画としていた（図3）。

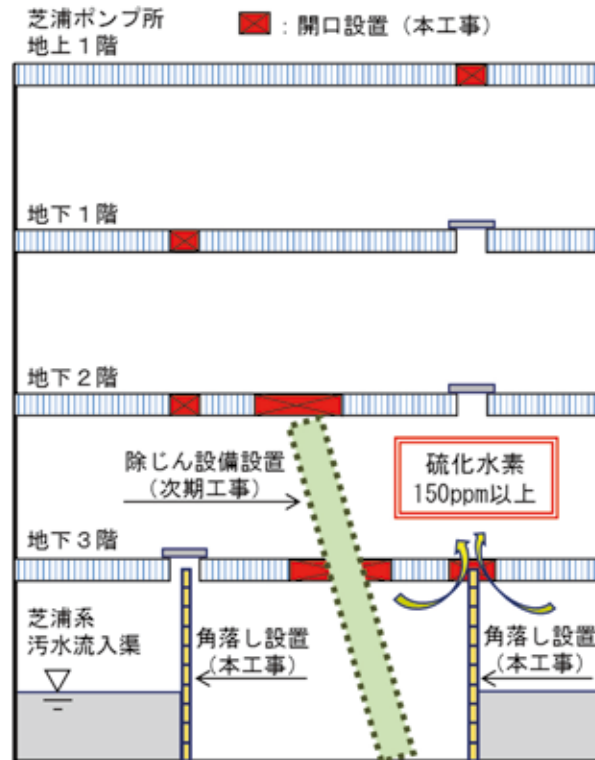


図3 工事概要（縦断面図）

本工事は令和元年10月に着手し、令和3年3月に無事完了した。本稿では、高濃度硫化水素に対して工事の安全を確保するため、当局で実施した調査及び対策について報告する。

## 2. 硫化水素の発生状況について

汚水流入渠直上の地下3階フロアにて角落し設置用開口を新設していた際、作業開始前にガス濃度測定を実施したところ、汚水流入渠内から高濃度硫化水素が断続的に発生していることが判明した。このとき、最大濃度は150ppmにまで及んだ。

労働安全衛生法の規定に基づく酸素欠乏症等防止規則<sup>1)</sup>では、硫化水素濃度は10ppmを規制基準値と定められているが、本工事現場にて測定された濃度はこの基準値を大きく超過しており、嗅覚麻痺、肺炎、結膜炎等、作業員の人体へ悪影響を及ぼす極めて危険性の高い状態であった<sup>2)</sup>（図4）。

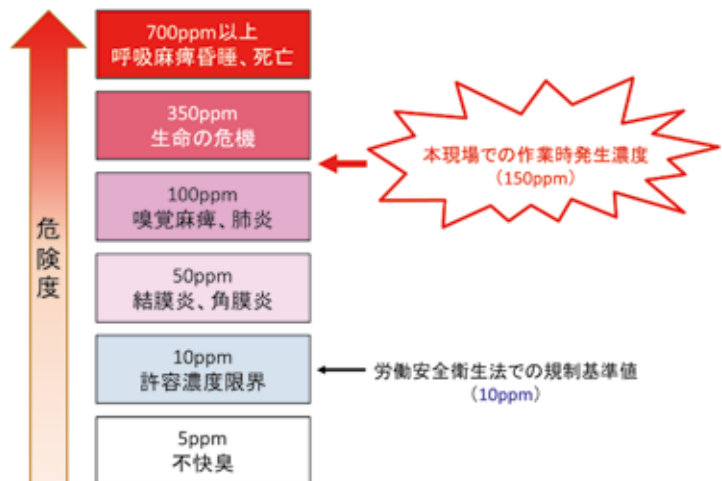


図4 硫化水素濃度危険度図

### 3. 調査

作業員の安全性を確保するため地下3階フロアでの作業はすべて中断し、安全施工方法を検討するため、長期的な濃度測定計画を立案・実施した。

#### 3.1 硫化水素発生傾向

第一段階として、硫化水素の発生傾向を把握するための調査を実施した。

調査方法概要は下記のとおりである。

①高濃度硫化水素が発生した開口にガス測定器を設置

②2週間測定を実施

③測定器を回収、濃度変化傾向を確認

この結果、雨天時は最大625ppmまで硫化水素濃度が上昇することが判明した(図5)。一方、晴天時でも、日中にかけて約50~100ppmで緩やかに濃度上昇がみられた(図6)。また、晴天時の夜間には月2,3回程度の頻度で突発的に濃度が上昇する現象も確認され、最大で345ppmまで上昇した(図7)。この現象は不定期的に発生し、事前に予測することは困難であった。

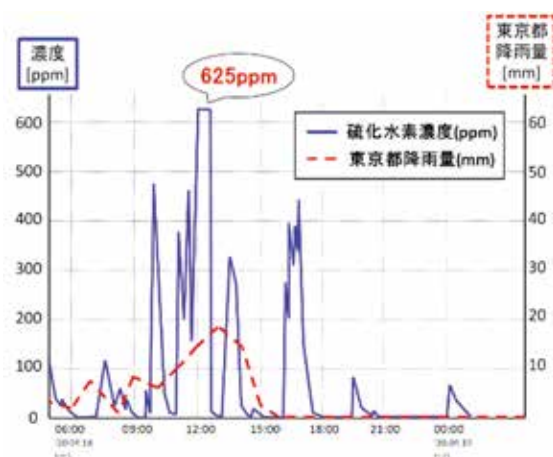


図5 雨天時ガス濃度測定結果

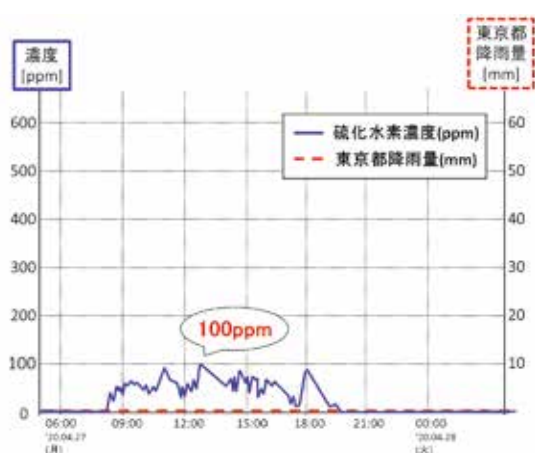


図6 晴天時ガス濃度測定結果①

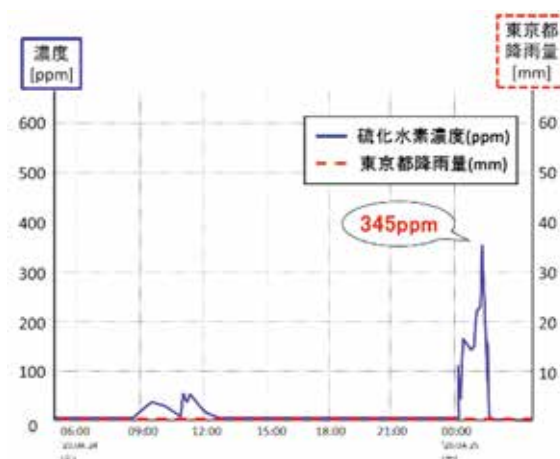


図7 晴天時ガス濃度測定結果②

### 3. 2 硫化水素濃度低減薬剤の利用

#### 3.2.1 施工箇所上流域の位置関係及び硫化水素濃度抑制方法の検討

高濃度硫化水素を検出した芝浦幹線は広域に渡り汚水を収容しており、ガス発生源の特定は極めて困難であった。そこで、本工事では硫化水素自体に直接アプローチし抑制する方法として、硫化水素濃度低減薬剤（以下、薬剤）を利用することを検討した。薬剤が効果を発現するには十分な攪拌時間を確保する必要があるため、本工事現場である芝浦ポンプ所での添加では不十分であった。

ここで、芝浦ポンプ所の約 2km 上流部に位置する汐留第二ポンプ所に着目した。芝浦幹線を流れる汚水は汐留第二ポンプ所から二つの人孔を経由し、芝浦ポンプ所に流れ込む構造となっている（図 8）。この位置関係を利用し、汐留第二ポンプ所から薬剤を添加する方法を検討した。汐留第二ポンプ所から添加した薬剤は芝浦幹線を経由し、途中にある高低差の大きい伏せ越人孔を含む二つの人孔を流下しながら攪拌されることで、汚水中の硫化水素を中和し、芝浦ポンプ所の硫化水素濃度が抑制されると想定した。



図 8 施工箇所上流域図

#### 3.2.2 上流域から施工箇所までの流達時間

汐留第二ポンプ所から薬剤を添加した場合に、十分な到達時間が得られるか検討するため、上流域から芝浦ポンプ所までの流達時間を調査した。

調査方法概要は下記のとおりである。

- ① 芝浦ポンプ所から上流約 2km に位置する汐留第二ポンプ所にガス測定器を設置
- ② 芝浦ポンプ所から上流約 500m に位置する中間地点人孔にガス測定器を設置
- ③ 1 週間程度測定を実施
- ④ 測定器を回収、濃度変化傾向を確認

この結果、汐留第二ポンプ所から芝浦ポンプ所までのガス流達時間は約 1 時間 25 分、比較対象として調査した中間地点人孔からは約 25 分であることが確認された（図 9）。

併せて東京都公共下水道台帳を調べたところ、汐留第二ポンプ所から芝浦ポンプ所までの汚水流達時間は約 58 分であることが確認され、薬剤の攪拌時間は十分に確保できると考えた。



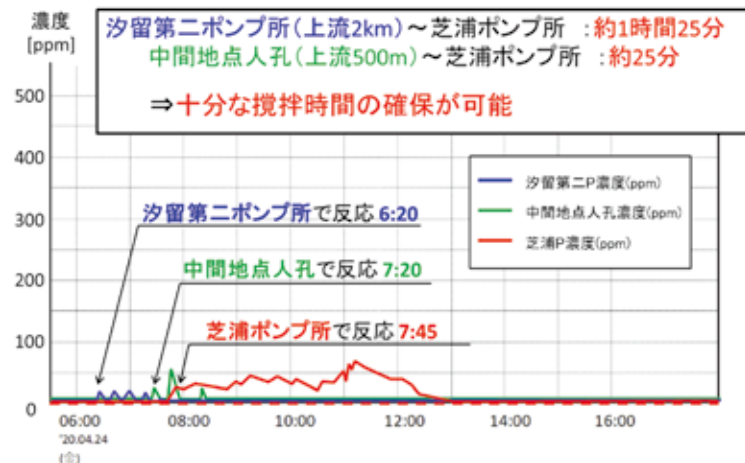


図 9 流達時間調査結果

### 3.2.3 薬剤添加量

薬剤の添加量については、まず机上試験により検討を行った。

検討方法概要は下記のとおりである。

- ① 芝浦ポンプ所内を流れる芝浦幹線の汚水を採取し、汚水中含有硫化水素濃度を測定
- ② 芝浦ポンプ所の平均揚水量（前日及び当日が晴天の日に限定）、添加時間帯を設定
- ③ ①、②より汚水 1L 中の硫化水素を分解するのに必要な薬剤添加量を算出

上記の机上試験の結果、50mg/L の薬剤を添加すれば硫化水素濃度を 0ppm まで抑制可能であると予測された。

この予測結果を受け、実際に 50mg/L にて添加試験を実施したところ、添加前と比べ濃度の減少傾向はみられたが、日中 30ppm まで濃度上昇が確認され、安全に施工可能なレベルまでは濃度を抑制することができなかった（図 10）。そこで、添加量を 58mg/L に増やし再試験したところ、終日を通して 0ppm まで濃度を抑制することができた（図 11）。

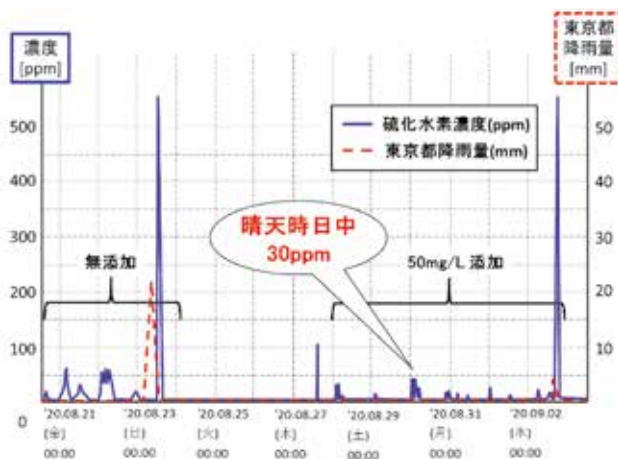


図 10 薬剤 50mg/L 添加結果

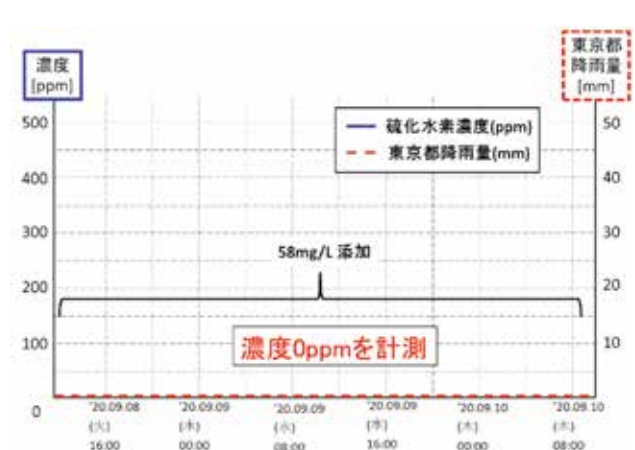


図 11 薬剤 58mg/L 添加結果

### 3. 3 調査結果まとめ

各調査結果及び結論は下記のとおりである。

#### (1) 硫化水素発生傾向

雨天時は 625ppm 超まで濃度が急上昇するため、雨天時での施工は不可とし一滴ルール適用のもと施工を行うこととした。また、晴天時は日中 50～100ppm で緩やかな濃度上昇、深夜間は不定期で突発的な濃度急上昇がみられたことから、濃度変化が予測しやすい日中での施工が望ましいとして結論付けた。

#### (2) 上流域から施工箇所までの流達時間

施工箇所である芝浦ポンプ所から 2km 上流に位置する汐留第二ポンプ所からは、硫化水素の流達時間は約 1 時間 25 分、汚水の流達時間は約 58 分であることが確認された。検討した結果、薬剤の到達時間を十分確保できるとして結論付けた。

#### (3) 薬剤添加量

汐留第二ポンプ所から 58mg/L の薬剤を添加すると、芝浦ポンプ所の硫化水素濃度を終日通して 0ppm まで抑制できることが確認された。本工事の施工時は 58mg/L で薬剤を添加することとして結論付けた。

## 4. 安全施工対策

上流域からの薬剤添加に加え、本工事にて立案した安全施工対策について下記に述べる。

### 4. 1 ガスモニタリングシステム及び退避計画

遠隔でのガス濃度モニタリングが可能な測定器を、施工箇所である芝浦ポンプ所汚水流入渠内やその直上階フロアに設置し、施工箇所の硫化水素濃度を事前に確認したうえで作業員が入場できる体制を構築した。施工箇所は地下 30m と閉塞された場所にあったが、測定器の有線コードを地上階まで引くことで、地上にある現場事務所からも常時施工箇所のガス濃度を監視することが可能となった。

また、芝浦ポンプ所から上流約 500m に位置する中間地点人孔にも測定器及び監視員を配置することで、万が一上流域で硫化水素濃度の上昇を検知した場合、監視員から現場作業員へ緊急退避連絡を行い、濃度上昇前に退避が可能となる退避計画を確立した。前述の調査結果より、中間地点人孔から芝浦ポンプ所までのガス流達時間は約 25 分であることが確認されたため、十分な退避時間を確保することができると考えた。

### 4. 2 仮設ゴンドラ

汚水流入渠内の気中部は作業員による手作業で角落し受枠を取り付けることとしており、当初設計では吊足場を使用していた（図 12）。しかし、吊足場での作業中に硫化水素が発生した場合、作業員の退避に 20 分以上かかってしまうこと、直接開口に吊足場を固定させるため隙間ができてしまい、作業終了時の開口閉塞養生が十分に行えないこと、作業深さごとに吊足場を設置し直す手間が発生してしまうこと等、高濃度硫化水素が発生する可能性のある現場には使用上のデメリットが多かった。

そこで、代替策として仮設ゴンドラを使用することとした。ゴンドラで作業した場合、退避時にはゴンドラを上昇させるだけで済み、最下深での作業時でも約 3 分で退避することが可能となる。また、ゴンドラは開口直上階フロアの壁面にブラケットを設置し固定す

るため（図 13）、作業終了時にはゴンドラを直上階フロアまで引き上げ接地仮置することで、開口閉塞養生を十分に行うことが可能となり安全性を高められた。さらに、作業深さごとの設置し直しも不要のため、作業期間の短縮にも繋げられた。

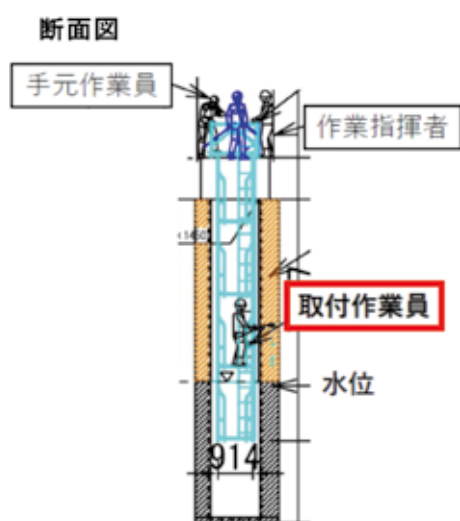


図 12 吊足場作業概要図



図 13 仮設ゴンドラ作業概要図

#### 4. 3 防毒マスク

本工事の作業員の基本装備として、地下 3 階フロアでは必ず防毒マスクを常備、退避時に着用することとした。また、汚水流入渠内で作業を行う作業員は常時着用とした。

なお、マスクは 200ppm まで対応可能な直結式面体型または直結式小型マスクを使用した（図 14）。



直結式面体型



直結式小型

図 14 防毒マスク

#### 5. おわりに

高濃度硫化水素が発生する環境下での土木工事において、長期に渡る調査により状況把握及び検討を実施し、施工箇所上流域からの薬剤添加により、高濃度の硫化水素を低減できることが確認された。また、併せて様々な安全施工対策を講じたことで、無事故で工事を完了することができた。本工事で実施した安全対策は次期工事にも引継ぎ、除じん設備の設置についても安全施工のもと無事完了することができた。

硫化水素は 10ppm 超で人体に影響を及ぼす非常に危険性の高い有毒ガスであり、下水道工事を施工する環境下では特に発生しやすいものである。今後も下水道施設特有の危険条件下での工事において、入念な事前調査及び安全施工方法の検討・実施を徹底し、下水道施設の再構築事業を推進していく。

#### 【参 考 文 献】

- 1) 厚生労働省：労働安全衛生法 酸素欠乏症等防止規則（1972）
- 2) 中央労働災害防止協会：酸素欠乏危険作業主任者テキスト第 5 版（2021）

## 2-5-2 中川建設発生土改良プラント

### 32 年間の歩みと環境への負荷軽減効果について

東京都下水道サービス(株) 管路部 土木技術課 ○岡田 吉人

#### 1 はじめに

埋立処分等されていた下水道工事から発生する土（以下「建設残土」又は「建設発生土」という）のリサイクルを図るため、昭和 63 年 7 月に中川建設残土改良プラント（以下「プラント」という）が東京都下水道局により建設され、その後平成 15 年にリニューアルされた。当社は、開設当初からプラント施設の運転管理業務を受託し、様々なノウハウや経験を得てきた。

プラントでは、東京 23 区内の一部地域から発生する建設発生土を原料にして、下水道工事埋戻し用の土（以下「改良土」という。）を製造する事業を実施しており、周辺地域住民や足立区職員等で構成する地元協議会からの要望にも対応しながら、着実に「土のリサイクル」事業に貢献してきたところである。

このような状況の中、下水道局では現施設の老朽化に伴い、覆蓋化を伴うプラントの二度目の全面的な更新を計画している。本稿では、稼働から令和元年度末までの 32 年間の歴史と生産実績等、並びに環境への負荷軽減の効果について報告する。

#### 2 プラントの歴史と生産実績

##### (1) 第一期施設

昭和 50 年代以降、建設残土は毎年発生量が増加し、その処分について様々な問題が発生していた。都内での処分先は羽田沖等に限られていたため、大半は近県に運ばれ、その処分先でも自然環境の破壊やダンプ公害等の問題を惹起していた。一方、埋戻しに使用する山砂についても資源の枯渇化の問題が生じていた。都では「建設残土対策連絡会議」を設けて残土の有効利用を含め残土問題の具体的解決策を検討していた。下水道局においては「建設残土有効利用専門部会」を昭和 59 年度に発足させ実験を重ねた結果、生石灰を残土に配合することにより改良土とし、埋戻し材に使用できるという結論に達した。これを受けて

昭和 63 年、荒川以東（足立区、葛飾区、江戸川区）の下水道普及促進を効率的に進め、埋立処分等されていた建設発生土のリサイクルを図るため、中川処理場（現・中川水再生センタ



写真-1 中川建設残土改良プラント全景

表-1 中川建設残土改良プラントの概要

|      |                                       |
|------|---------------------------------------|
| 住 所  | 東京都足立区中川 5-1（中川処理場内）                  |
| 敷地面積 | 2.0ha                                 |
| 生産能力 | 150 t / h（90 m <sup>3</sup> / h）      |
| 生産量  | 250 千 t / 年（140 千 m <sup>3</sup> / 年） |
| 改良材  | 生石灰                                   |
| 改良土  | 最大粒径 13mm 以下                          |
| 対象土  | 含水比 40% 以下の残土（アスコン塊等を除く）              |



一) 内に生産能力 1 時間 90 m<sup>3</sup>の「中川建設残土改良プラント」が建設された。プラントの概要を表-1 に示す。

また、プラント周辺部が住居地域に指定されているため、設備を上屋で覆うとともに、敷地境界に 4m の防音壁を設置して騒音対策を講じた。

## (2) 第二期施設（現施設）

表-2 中川建設発生土改良プラントの概要

平成 15 年、第一期施設の老朽化に伴い、プラント南側の処理場用地に新しいプラント施設が建設された。新プラントは、「運転の安定化」、「安全性の向上」、「環境対策」等に配慮して建設され、「中川建設発生土改良プラント（愛称：土づくりの里）」と命名されて現在に至っている。新プラントの概要を表-2 に示す。

|         |                                                               |
|---------|---------------------------------------------------------------|
| 敷地面積    | 8.0ha                                                         |
| 生産量     | 120 千 m <sup>3</sup> /年                                       |
| 改良土品質管理 | 東京都道路占用工事要綱「第 2 種改良土」の基準を満たす<br>① 最大粒径 13mm 以下 ② CBR：3～20% 以下 |
| 改良材     | 生石灰                                                           |
| 対象土受入基準 | 第一～三種建設発生土                                                    |
| 生産フロー   | 図-1 のとおり                                                      |

また、原料土から改良土の生産フローを図-1 に示す。生産工程は、第一期施設の工程と概ね同様であるが、不具合箇所等を改良して効率的なフローになっている。



写真-2 中川建設発生土改良プラント

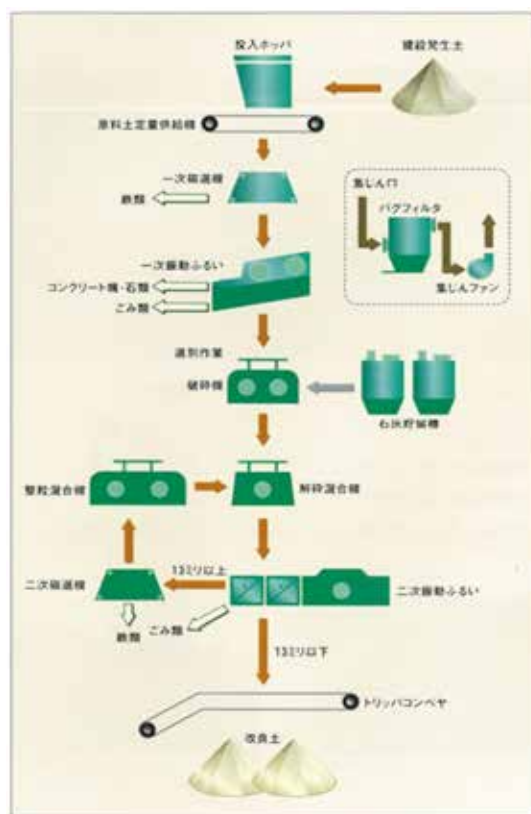


図-1 生産フロー

### (3) 生産実績

稼働から令和元年度までの生産実績を図-2に示す。

32年間の累計は、発生土搬入量が3,588千 $\text{m}^3$ 、改良土生産量が3,546千 $\text{m}^3$ 、そして改良土搬出量が3,525千 $\text{m}^3$ になる。東京23区の下水道は平成6年度に概成100%を達成しており、改良土生産量は全体的には下降トレンドとなっており、近年は100千 $\text{m}^3$ を下回る生産量で推移している。このことは、改良土生産量と当該年度における下水道工事の掘削埋戻し土量の需要は密接に関連しており、対象区域内における下水道局工事掘削埋戻量が減少傾向にあることを示している。

一方、原料土搬入量については、発生土量の増減に起因する年度毎の変動が見られる。このことにより、局工事発注や改良土生産事業に影響が出ないよう、プラント内の置き場ヤードとストック改良土をうまくバッファーとして活用し、搬入・搬出が安定して行えるような運転を行ってきたことが分かる。



図-2 生産実績の推移

### 3 環境への負荷軽減効果

下水道局では、改良土の生産によって、①山の自然環境の保全 ②埋立処分場の延命化 ③建設発生土・山砂の運搬車両の走行減少による二酸化炭素の発生抑制 ④循環型社会形成への貢献等、の効果があると述べている。32年間にわたる改良土生産によって、環境への負荷軽減効果がどの程度かを試算してみた。

まず①については、山砂購入量と同量の改良土を生産していると仮定すると、令和元年度末までの改良土生産量3,546千 $\text{m}^3$ でとなり、これは東京ドーム3個分に相当する量である。このことにより、山の自然環境の保全に十分効果があつたものとする。また、改良土生産は、同量の発生土処分を行わないことを意味するので、②にも寄与していると言える。

次に③について検討するため、稼働から令和元年度末までの二酸化炭素削減量を算出した。二酸化炭素削減量を試算すると累計46,000t-CO<sub>2</sub>であり、1年あたりの削減効果は約1,400tとなる。これは杉の木約100,000本が1年間に吸収するCO<sub>2</sub>量に相当する。このことにより、運搬車両の走行減少による二酸化炭素削減に大きな成果があつたものとする。なお、二酸化炭素削減量は改良トンキロ法で算出し、走行距離については、プラントから工事現場は概ね10km、山砂採取地から工事現場は概ね70km、工事現場から処分地は概ね20kmとしている。

#### 4 おわりに

東京都における土のライフサイクルと下水道再構築との関係性を考えたとき、一度埋戻しに用いられた土は、図-3のとおり、改良プラントを介して繰り返し再生されていく可能性が高い。このことから、適正な下水道ストックマネジメントと有限資源（山砂、埋立処分場等）の延命化のあり方をスパイラルアップさせていくうえで、将来にわたってプラントの役割は極めて重要であると言える。

今後、プラント第二期施設の運転は令和2年度末で一旦休止し、令和3年度から再構築工事に着手する予定である。第三期施設工事期間中も下水道局と綿密に調整を図り、地元の方々との信頼関係を大切に保ち続けるとともに、32年以上にわたる施設の運転管理を通して得られたプラント運転に関わる各種ノウハウを継承していく。当社は引き続き、東京都全体としての建設発生土リサイクルに貢献していく所存である。

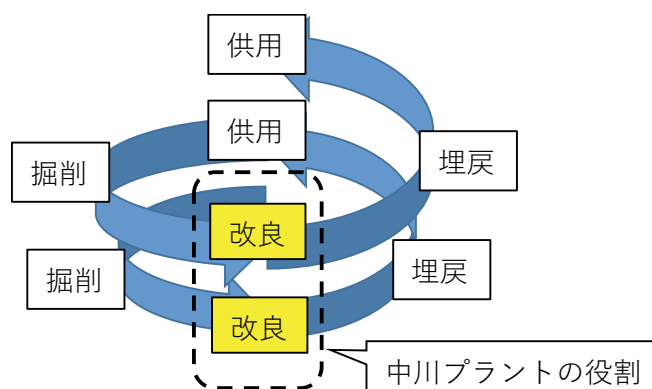


図-3 プラントの役割概念図

参考文献 \*1 中川建設発生土改良プラントにおける長期的な運転・土質試験データの分析と考察（第56回下水道研究発表会、令和元年）

\*2 物流分野のCO2排出量に関する算定方法ガイドライン（経済産業省・国土交通省）

### 3-1-1 第一沈殿池汚泥かき寄せ機の更新計画策定に向けた

#### 劣化状況分析

担当者 東京都下水道局 施設管理部 施設保全課 ○中山由生  
末武慶一郎

#### 1. はじめに

東京都の下水道施設の建設は 1964 年東京オリンピックを契機に進み、平成 7 年に概成 100%となった。このため、当局では、高度経済成長期以降の流入下水量の増加に対応するために建設した施設の老朽化が進行している。こうした状況を踏まえ、効率的かつ計画的に設備の補修・改良や再構築を推進していくため、更新の目安として標準耐用年数より長い経済的耐用年数を設定した「設備再構築基本計画」を策定し、定期的に改定を行っている。

改定に資するため当局では、主要な設備について、工事で撤去した交換部品の寸法を測定することで摩耗状況等を調べる劣化状況調査を実施し、結果を蓄積している。

本稿では、第一沈殿池※汚泥かき寄せ機の劣化状況調査の蓄積データを分析・考察し、現在 20 年としている経済的耐用年数についてさらなる延長が可能か評価を行ったので報告する（※当局では、最初沈殿池のことを「第一沈殿池」と呼んでいる。）。

#### 2. 調査・研究方法

##### (1) 分析対象

今回の対象工事は、東京都 23 区内において、平成 27 年度～令和元年度の 5 か年度の間に完了した 19 件の工事である。1 池複数水路駆動の沈殿池の場合、調査はメイン水路 1 水路とし、上段・下段は問わない。その水路の中から、図 1 に示す部位を測定する。

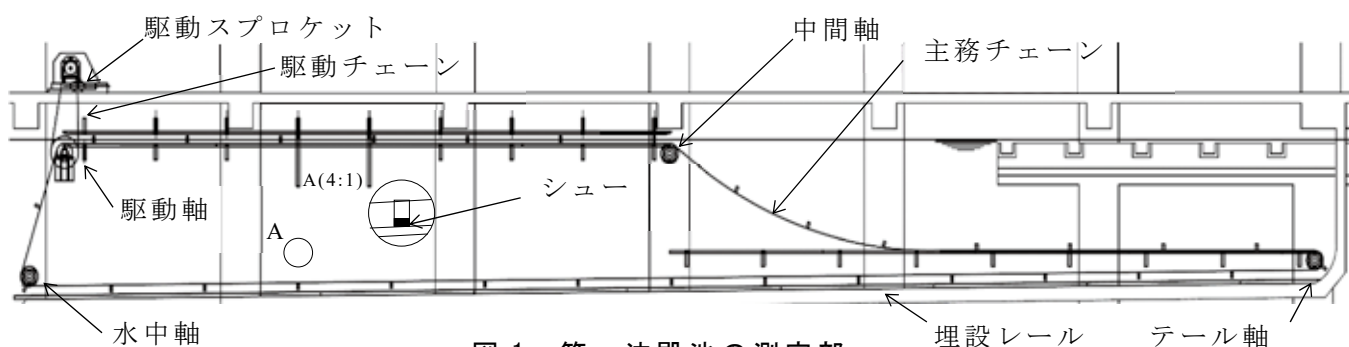


図 1 第一沈殿池の測定部

##### 1) 駆動チェーン・主務チェーン

ブッシュの外径の摩耗量、プレートの板厚の摩耗量、チェーンの伸びを測定する。伸びの測定の際にはチェーン 10 リンクの長さを測定し、1 リンク当たりの平均値を算出して測定値とする。

測定点は 1 点目をチェーンの任意の 1 点とし、2 点目は 1 点目と対角に位置している箇所とする。

## 2) 駆動スプロケット・主務スプロケット

チェーンのブッシュとの接触部の摩耗量を測定する。

測定点は1点目をスプロケットの任意の1点とし、2点目は1点目と対角に位置している箇所とする。

## 3) シュー

レール接触面のシュー厚を左右2点ずつ測定する。

## 4) レール

床面からシュー接触面までのレール厚を2点ずつ測定する。

以上から、21のデータを収集した。2点測定しているものについては、値の大きい測定値を採用した。

## (2) 許容値の設定

測定データの評価に当たり、許容値を表1のとおり設定した。

表1 各部位の許容値

| 部位              | 許容値                          | 参考文献等                                                                                                                                                                                |
|-----------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| チェーン<br>ブッシュ摩耗量 | (外径－内径)×0.6                  | センクシア株式会社 公式サイト<br><a href="https://www.senqcia.co.jp/">https://www.senqcia.co.jp/</a><br>株式会社 椿本チェイン 公式サイト<br><a href="https://www.tsubakimoto.jp/">https://www.tsubakimoto.jp/</a> |
| チェーン<br>プレート摩耗量 | 設計値×1/3                      |                                                                                                                                                                                      |
| チェーン<br>伸び      | 設計値×0.02                     |                                                                                                                                                                                      |
| スプロケット<br>摩耗量   | 焼入れ 4mm⇒6.4mm<br>焼入れ 5mm⇒8mm | 主務スプロケットの焼入れは 5mm を指定しており、取扱説明書では許容値 8mm としている。焼入れ 4mm の場合は換算値。                                                                                                                      |
| シュー・レール<br>摩耗量  | 合計 22mm                      | シューとレールの摩耗量の合計が 22mm になった時点で、シューが床に接するため。                                                                                                                                            |

## (3) 分析方法

今回の分析では散布図を描くことによって傾向を確認する。散布図では縦軸を摩耗率・伸び率（単位：％）とし、横軸を設置からの経過年数（単位：年）とする。なお、摩耗率・伸び率は以下のように定める。

$$\text{摩耗率・伸び率(％)} = \text{測定値(mm)} / \text{許容値(mm)}$$

摩耗率・伸び率は通常 0～100％の範囲に収まるが、その前後 100％を含めた範囲-100～200％とする。この範囲に収まらなかったサンプルは、散布図からは省略する。

得られた散布図を基に摩耗率・伸び率と経過年数の関係を確認し、摩耗率・伸び率が 100％に達する経過年数を考察することによって、更新時期を評価する。



### 3. 結果および考察

#### (1) 駆動チェーン・主務チェーン

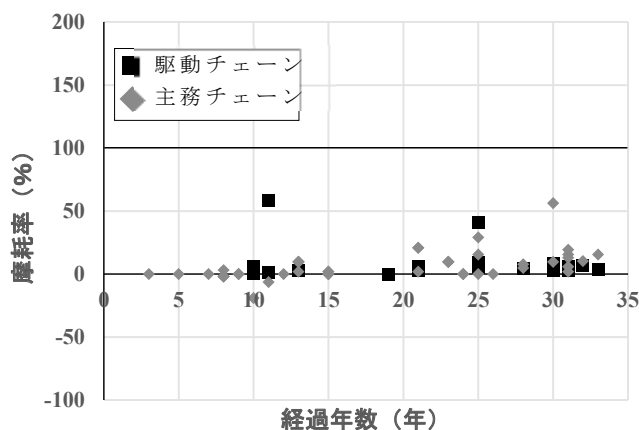


図2 ブッシュ摩耗率

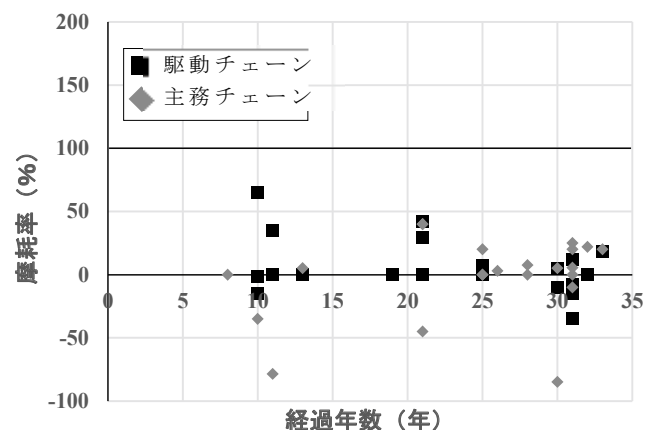


図3 プレート摩耗率

図2, 3より、駆動チェーン及び主務チェーンは30年経過時点における摩耗量が許容値を満足している傾向にある。

なお、負の値のサンプルは測定部位に錆等が含まれていると推測される。

図4は、伸びに関する散布図である。チェーンが伸びた場合は、脱輪を起こす可能性があるが、コマ詰めにより、正常なチェーンの張りに調整できることから、伸びの許容値超えは直ちに使用限界にはならない。そのため、今回は評価に用いない。

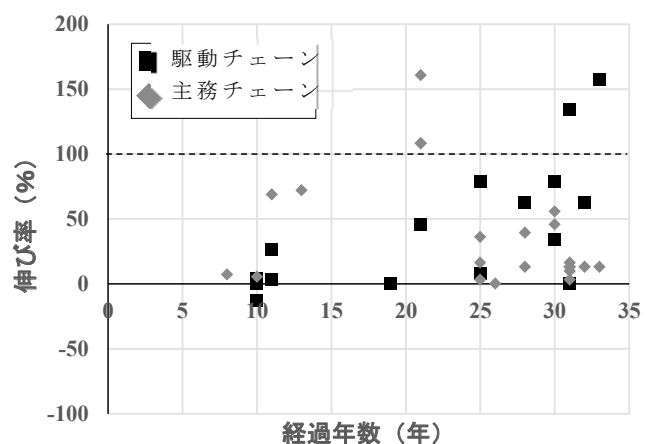


図4 チェーン伸び率

#### (2) 駆動スプロケット・主務スプロケット

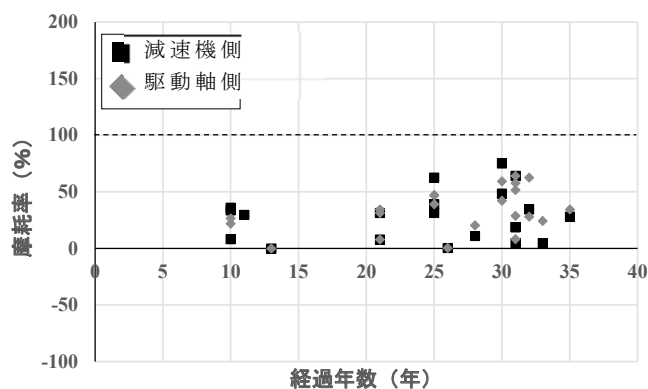


図5 駆動スプロケット摩耗率

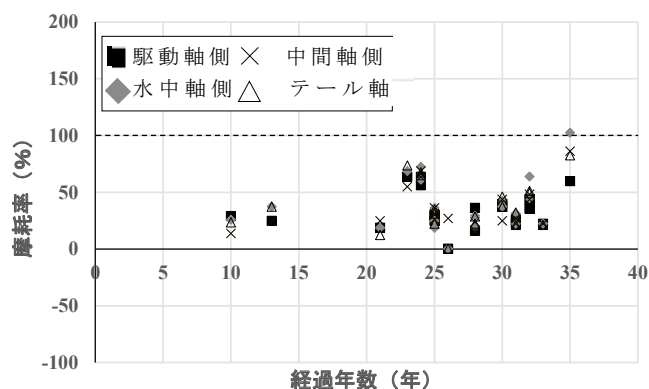


図6 主務スプロケット摩耗率

図 5 より、駆動スプロケットは 35 年経過時点における摩耗量が許容値を満足している傾向にある。

図 6 より、主務スプロケットは 35 年未満の時点における摩耗量が許容値を満足している傾向にある。

### (3) シュー・埋設レール

図 7 より、シュー・埋設レールは 30 年未満の時点における摩耗量が許容値を満足している傾向にある。

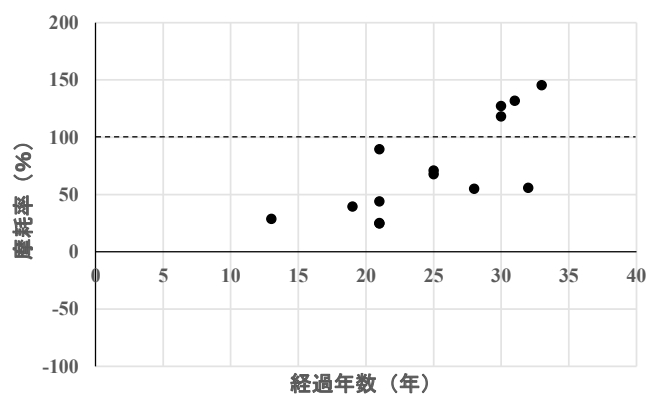


図 7 シュー・埋設レール摩耗率

## 4. 結論

第一沈殿池汚泥かき寄せ機について摩耗率・伸び率の設定及び経過年数との関係を調査した結果、25 年経過時点までは各部位摩耗は許容値を満足している。このことから、汚泥かき寄せ機の経済的耐用年数を 20 年から 25 年にさらに延長することが可能と考える。

### 3-1-2 都心部の腐食環境下にある長大伏越し幹線管渠の 計画的な防食・清掃

中部下水道事務所 お客様サービス課 木村 聡志

#### 1. はじめに

東京都心部の地下では既存の重要施設が輻輳しており、下水道施設の整備は、それら構造物を避けるために伏越し構造を採用せざるをえない場合がある。

平成9年度に完成した千代田区・中央区を縦断する第二低段幹線は、上流のポンプ所と周辺地域から汚水が流入する全長5.8kmの幹線である。

同幹線は中央区日本橋小舟町から日本橋兜町に至る区間において、管径2.8m、土被り23.6m、延長約750mの長大な伏越し構造になっている（図1、2）。この区間は高濃度の硫化水素と可燃性ガス等が発生し、上・下流の人孔の腐食が顕著であるため防食対策及び清掃を計画的に進めている。

本稿では、その概要と取組状況を報告する。

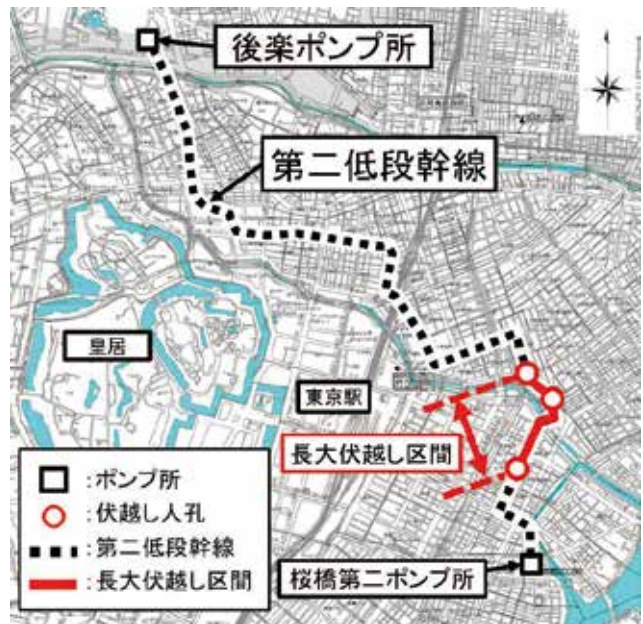


図1 現地案内図

#### 2. 劣化状況の把握と補修計画

##### 2.1 現況調査

伏越し区間の腐食状況を把握するため、現況調査を実施した。同幹線は完成から約15年が経過しており、上・下流人孔は硫化水素による劣化が深刻な状況であった。コンクリートの剥離や鉄筋の露出だけでなく、維持管理に使用していた角落し設置溝が使用できない状況に陥っていた（図3）。また、中間人孔は硫化水素による躯体の劣化が見られない一方で、高濃度の可燃性ガスや一酸化炭素が発生していた。

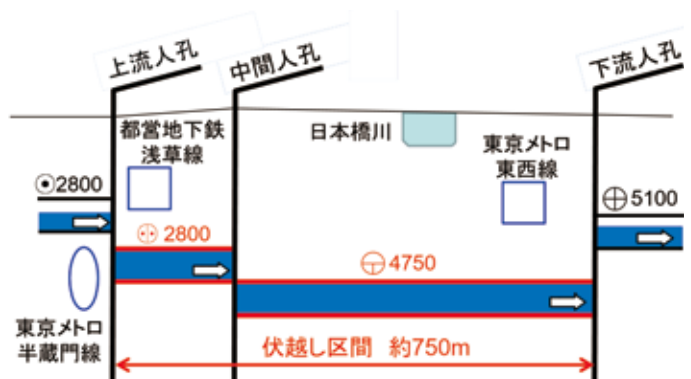


図2 長大伏越し幹線概略図

## 2.2 対策の方針

硫化水素や可燃性ガス等を排除するためには、同区間を清掃する必要がある。清掃は、管渠に入坑し、人力による作業となるため、ポンプ所から常時流入する汚水を一時的に遮らなければならない。そのため、確実な止水が必要となった。

清掃に先立ち、止水機能の回復を目的とした角落し設置溝の補修及び劣化した人孔の健全化・腐食対策として、断面補修・防食被覆補修工事を実施することとした。

これらの人孔内での事前工事は渇水期の限定施工であり、補修対象の上・下流人孔の壁面や床面等の延べ面積が1,000m<sup>2</sup>以上と施工規模が大きく、高濃度のガスが発生する過酷な作業環境であることを踏まえ、地階ごとに工法を選定し、安全対策に配慮しつつ、複数年かけて計画的に補修することとした（表1）。



図3 角落し設置溝の腐食状況

## 3 これまでの取り組み

表1 実施工程表

| 施工内容                   | H27            | H28  | H29          | H30 | R1   | R2   | R3           | R4   |
|------------------------|----------------|------|--------------|-----|------|------|--------------|------|
| 換気塔設置工事                | ■              |      |              |     |      |      | ▲            |      |
| 上流人孔の防食被覆補修工事・角落し溝補修工事 | 地下2・3階<br>工法選定 | 地下2階 | 地下3階<br>角落し溝 |     |      |      |              |      |
| 下流人孔の防食被覆補修工事・角落し溝補修工事 | 地下1階           |      |              |     | 工法選定 | 地下1階 | 地下2階<br>角落し溝 |      |
| 人孔内及び管渠に堆積した土砂・ラードの清掃  |                |      |              |     |      |      |              | ■ 清掃 |

### 3.1 可燃性ガスの応急排除

中間人孔から発生する可燃性ガスによる発火の危険性を排除するため、応急的に換気を行った。可燃性ガスは比重が軽く、人孔の天井付近に滞留していることが現況調査で判明していたため、人孔の天井を開口し、換気塔を設置した（図4）。これにより、自然排気による換気を促すことが可能となった。



図4 換気塔（仮設）

### 3.2 作業時の換気設備の検討

#### 3.2.1 上流人孔における作業時の換気設備

上流人孔の硫化水素濃度は高く、最大で1,132 ppmが測定された。この環境では、作業員の入坑が困難であり、作業時の換気設備の検討が必須であった。

地下1階、2階では、送風機による常時換気に加えて、硫化水素用マスクを着用し、作業を実施することとした。地下3階では硫化水素濃度がさらに高いことから、エアラインマスクを着用し、作業を実施することとした（図5、6）。



図5 エアラインマスク

### 3.2.2 下流人孔における作業時の換気設備

下流人孔の硫化水素濃度は、10ppm 未満のため硫化水素用マスク等は使用せず、送風機による換気を行うこととした。下流人孔は、内空容量が 1,000m<sup>3</sup> と大きかったため、入坑用の人孔 1 箇所から送風を行った上で、資材搬入用の人孔蓋を開口し、空気の流れをつくり、人孔内の空気の入れ替えを行った。

### 3.3 施工区分の検討

上・下流人孔は、幹線道路ではないものの交通量が多い箇所にあった。上流人孔は、交差点の中心にあり、作業帯設置により車両、歩行者への影響が大きい。また、下流人孔も前述の通り、2 箇所の人孔蓋を開口するため、道路交通に与える影響が大きい。そのため、所轄警察と協議の上、深夜間に作業を行うこととした。

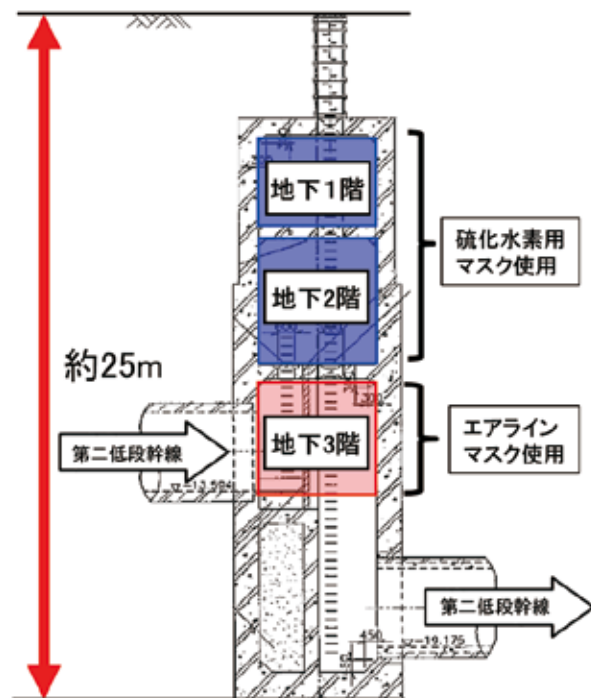


図 6 上流人孔構造図

### 3.4 仮設足場の検討

上・下流人孔の最下部は伏越し構造のため、常時汚水が流下しており、底盤を確認することができない。また、伏越し管渠に向かう落ち込み部は部分的に底面がない。そのため、下部から立ち上げる構造の足場では、接地状況の確認ができない箇所や底面より支持力を得られない箇所があるため、吊り足場による施工を採用した（図 7、8）。開口部に転落防止柵を設置し作業者の安全確保の上、補修箇所である天井の全面にチェーンを設置し、足場を吊り下げた。



図 7 吊り足場設置状況(上流人孔)



図 8 吊り足場設置状況(下流人孔)

### 3.5

#### 上流人孔の断面補修・防食被覆補修工事

コンクリートの剥離厚、鉄筋の露出状況及び中性化深さに合わせ、躯体の断面修復・防食被覆補修を実施した。硫化水素濃度及び湿潤環境により工法選定を行った。地下 1 階、2 階では硫化水素を原因とする劣化が見られたが、平均硫化水素濃度が 10ppm 未満であったことを踏まえ、防食工法は、C 種塗布型ライニング工法を採用した<sup>1)</sup>。



また、地下3階では、平均硫化水素濃度が110ppmであったため、防食工法は、D種シートライニング工法を採用した<sup>1)</sup>(図9、10)。



図9 D種シートライニング施工前



図10 D種シートライニング施工完了

### 3.6 下流人孔の断面補修・防食被覆補修工事

上流人孔と同様に、下流人孔においても、硫化水素を原因とする劣化が見られた。平均硫化水素濃度が10ppm未満であり、また、高湿度環境下であったことから、防食工法は、C種耐硫酸モルタル防食工法を採用した<sup>1)</sup>(図11)。作業時には地下水位の影響により、コンクリート目地から漏水が確認されたため、止水剤を目地に注入し、防食材の品質確保に努めた。



図11 C種耐硫酸モルタル施工完了

### 3.7 角落し設置溝の補修工事

上・下流の角落し設置溝は著しく劣化しており、劣化部を除去する際に、断面が大きく剥離してしまう恐れがあった。そのため、既存の角落し設置溝は活用せず、新たにステンレス製の角落し受枠を設置した。

## 4. 今後の取り組み

現場状況を踏まえた発生ガス対策、仮設足場の検討、渇水期に限定した作業を行うことで、伏越し人孔の防食を安全に完了することができた。令和4年度以降、これまで補修を進めてきた角落し設置溝等を利用し、清掃・調査を実施する予定である。

当該幹線のように二条化されている伏越し管は、一般に角落し等による切替により、比較的容易に維持管理が可能であると考えられているが、本事例では、前段の上・下流人孔の防食被覆補修が必要となり清掃まで約7年間の歳月を要した。長大伏越しなどの維持管理が困難な管渠は、調査を進める中で、人孔補修や水替えなど事前の処理が必要となる場合がある。本案件の知見を活かし、今度とも東京都心部の管渠施設の適切な維持管理に努めていく。

## 参考文献

- 1) 日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル、平成29年12月

### 3-1-3 下水道管きょ内に発生する侵入石の実態調査と

#### 効率的な維持管理について

東京都下水道サービス(株) 管路部 管路第三課 ○松平 晃典

#### 1. はじめに

東京 23 区の荒川以東に位置する足立区、葛飾区、江戸川区内（以下、東部 3 区という）全域の下水道管（以下管きょという）において、取付管支管口や本管ジョイント部等から侵入水とともに成長する鍾乳石のような固形物（以下侵入石という）が発生している。この侵入石は成長して管きょの断面を減少させ、最終的には管きょの閉塞を引き起こす恐れがある。

本研究については、昨年度に侵入石の実態調査及び基礎分析を実施しており、調査結果によれば、侵入石の主成分はカルシウムもしくは鉄であり、成分は管きょを覆う土壌もしくは地下水と相関関係があると考えられている。そのため、侵入石を抑制していくためには、土壌・地下水の影響を受ける箇所を特定し、成長速度を予測することが重要である。また、既に大きくなった侵入石については、維持管理に支障をきたしていることから、効率的に除去する方法を確立していくことも喫緊の課題である。

本稿は、侵入石の発生箇所に対する傾向を把握するとともに、成長した侵入石に対して短時間での除去を可能とするために、活用可能な既存機器を比較することで、効率的な維持管理方法について検討したものである。

#### 2. 侵入石発生箇所に関する調査・分析

##### (1) 侵入石発生箇所の把握

東部 3 区の過去 3 年分のミラー方式管路内調査工、単契清掃報告書から写真による目視判定により侵入石発生箇所及び既存の侵入石発生件数を抽出し、管きょ内で多く発生する箇所を解明した。

調査結果を図-2 に示す。侵入石については、発生確認件数 792 件のうち取付管支管口に付着しているものが発生件数の 78% を、本管ジョイント部に同 15% を占めることが判明した。取付管支管口については穿孔時に本管との間に空隙や亀裂が入ることで地下水が浸入、本管ジョイント部についてはパッキンの劣化もしくは地下水圧によるパッキンの押し出されにより水密性が低くなることで、地下水が浸透し侵入石が成長していくものと考えられる。

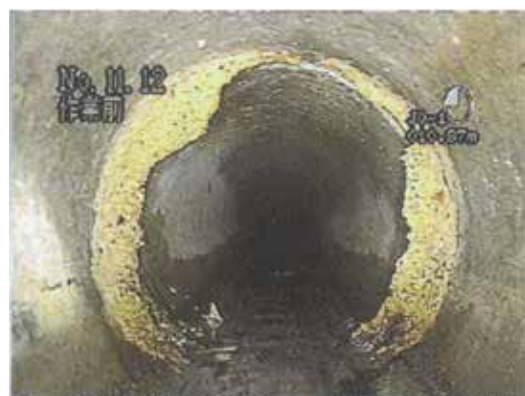


写真-1 侵入石発生状況



図-1 東部3区位置図

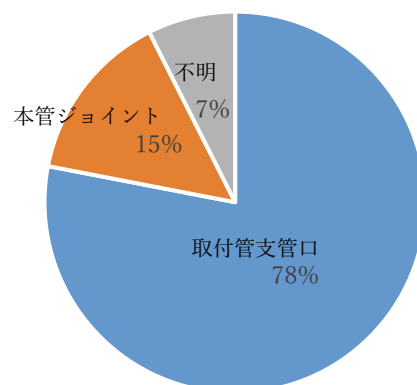


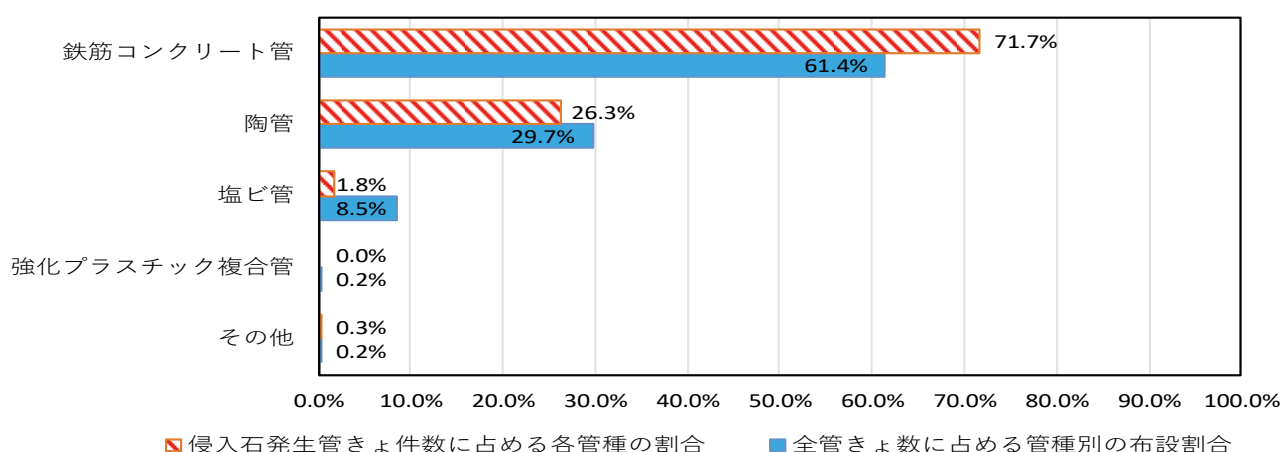
図-2 侵入石発生部位の割合

## (2) 侵入石が発生しやすい管種

抽出した侵入石発生件数について、侵入石発生管きょ件数に占める各管種の割合を図－3において斜線入りの線で表示する。単契清掃報告書では写真による目視判定から侵入石を特定し、ミラー方式管路内調査工からは調査結果で判定されたモルタル付着箇所を侵入石発生箇所とした。

図－3によれば、鉄筋コンクリート管及び陶管が侵入石発生件数のほぼ全てを占めていることがわかる。一方で、布設経過年数26～40年の管きょが約8割を占める東部3区では、当時主流であった鉄筋コンクリート管及び陶管が侵入石発生件数の大多数に寄与しているとも考えられるため、全管きょ数に占める管種別の布設割合を同図において実線で表示し、斜線入りの線と比較することでこれらの管種が侵入石の発生しやすいものか検証してみた。

図－3を分析したところ、鉄筋コンクリート管は全スパン数の61.4%を占めているのに対して、侵入石発生件数の割合は71.7%と1割程度高くなっている。支管口と本管との間の空隙や亀裂、本管ジョイント部のパッキンからの地下水の浸入は鉄筋コンクリート管に多く見受けられる事象であると考えられ、結果侵入石が付着しやすい管種であると判断された。



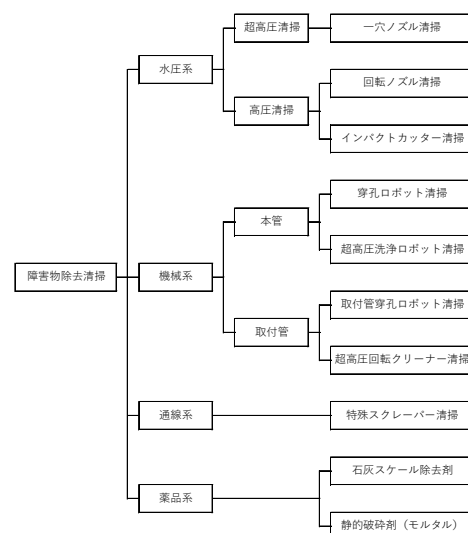
図－3 管種別侵入石発生割合及び布設割合

## 3. 侵入石を効率的に除去する方法

侵入石の発生しやすい箇所、管種が判明したことを踏まえ、効率的に除去できる工法について検討した。

### (1) 侵入石除去技術の分類

侵入石除去が可能な既存技術について調査し、図－4に示す侵入石除去方法に分類した。除去方法としては、水圧により剥がす、カッターにより削り取るといった物理的な方法、薬品により溶かす、破碎するといった化学的な方法がある。現在、侵入石の除去作業は主として高圧噴射による一穴ノズル工法を採用している。一つの機械で本管・取付管部にも対応でき、除去精度が高い反面、機器操作に熟練を要し、清掃時間長くなることが課題となっている。そこで、本管、取付管それぞれの部位に対応した機器を開発し、各機器の操作が容易になれば効率化が図られると考えた。また、除去精度の緩和により扱う機器の選択肢を増やし、最適な組み合わせをすることで効率的な除去につながると考えた。



図－4 侵入石除去工法

## (2) 本管用チェーン回転ノズル清掃

本管に発生する侵入石はジョイント部で円周方向に広がる。面的に分布する侵入石を効率的に除去する方法として、高圧洗浄車のホース先端に鎖(チェーン)のノズルを設置し、チェーンの高速回転によってスパン全体の侵入石を叩き壊しながら除去する方法が有効と判断した。写真－２に示す本管用チェーン回転ノズルは、一箇所焦点を当て侵入石を剥がし落とし除去する従来の工法と比較して面的な除去が可能であり、機器の扱いが従来のものと比較し容易である。また、本機器は侵入石やモルタルの他土砂や木根も同時に除去できるため、施工性が高まり、結果コスト縮減につながると期待される。



写真－２ チェーン回転  
ノズル式清掃機器

## (3) 取付管用穿孔ロボット清掃

本管に発生する侵入石の78%が支管口付近に発生していることから、効率的な除去が可能となる機器について検討した。写真－３に示す取付管用穿孔ロボットは、先端に取り付けたビットが360°自在に回転する構造であるため、侵入石が取付管の至るところで発生しても除去可能と考えられる。また、本機器は更生管削孔機を活用したものであり、モルタル、木根等の除去にも流用可能であり、更に、従来の高圧噴射による方法では対処できない箇所や土被りが深く他企業管の輻輳により開削工法による管取替施工が困難な箇所で大きな効果を発揮するものと期待される。



写真－３ 取付管  
穿孔ロボット

| 工法名     |     | ①チェーン回転ノズル清掃                                                                                  | ②取付管穿孔ロボット清掃                                                                                                    |
|---------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| と従来の比較法 | 日進量 | 1.8倍(推定)                                                                                      | 1.4倍(推定)                                                                                                        |
|         | コスト | 施工性向上により縮減                                                                                    | 開削工事不要により縮減                                                                                                     |
|         | 施工性 | 向上                                                                                            | 向上                                                                                                              |
| 特長      |     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・日進量の増進</li> <li>・施工コストの低下</li> <li>・熟練技術不要</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工困難な箇所でも対応可能</li> <li>・コスト縮減</li> <li>・更生管穿孔、モルタル・木根除去に準用可能</li> </ul> |
| 課題      |     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・適用管種の限定</li> <li>・除去精度</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・除去精度</li> </ul>                                                         |

表－１ 各機器の概要

## 4. まとめ

侵入石の発生しやすい部位や管種、成長速度について分析した。また、既に発生した侵入石については効率的な除去の可能性を探った。

本機器を導入することにより、本管で発生した侵入石を面的で効率的な除去が可能となり、操作性の容易さにより施工性も高まる。また、取付管においては、これまで対応に苦慮した箇所での作業が容易になり、結果として維持管理に対するコスト縮減を進めることができるものと考えられる。さらに、従来使用されている機器を流用することで初期投資が抑えられコスト縮減に繋がることで機器の普及することが期待される。

一方で、管きょを損傷させずに侵入石の除去を試みると、侵入石の付け根部分が残存することとなる。しかしながら、除去精度を高めると、たるみ等の原因により回転するチェーンノズルが管きょと接触し、管種によっては損傷をきたすことが懸念される。

今後は機器の改良、施工精度の向上を積み重ね、実地検証した上で導入を図ることとする。

参考文献：「下水道管内に発生する侵入石の実態調査と基礎分析」（第57回下水道研究発表会講演集）



### 3-2-1 八王子市単独処理区の流域下水道への編入事業

流域下水道本部 技術部 計画課 後藤 裕之

#### 1. はじめに

東京都の多摩地域では、市街化が早期に進んだ地域を中心に、流域下水道が事業化される以前から市が単独で公共下水道を整備している。これらの中には、事業開始から長期間が経過したことから、施設の老朽化等の問題を抱えているものがある。このため、下水道事業の広域化・共同化の一環として、都と市が連携して単独処理区を流域下水道へ編入する事業を進めている（図 1）。

このうち、JR 八王子駅周辺等の市街地を処理区に含む、八王子市の北野下水処理場は、供用開始から約 50 年が経過し、施設の更新、高度処理、耐震性の向上への対応が課題となっていた。これらの課題を解決するため、都が管理する八王子水再生センターに編入することとした（図 2）。都と市がそれぞれ施設整備等を進め、令和 3 年 1 月に当該処理区の編入事業を完了した。その事業の取り組みを報告する。



図 1 単独処理区位置図



図 2 八王子水再生センター

#### 2. 編入事業の概要及び経緯

##### 2.1 事業概要

八王子市の北野処理区は下水道の整備時期により、分流式と合流式の地区を含んでいる（図 3、表 1）。

両地区の下水は市が管理する北野下水処理場に集水され処理されていた。本事業は、この処理区の下水を、都の流域下水道の分流式処理場である八王子水再生センターに編入するものである。

##### 2.2 事業の経緯

平成 14 年当時、多摩地域の下水道普及率は 9 割を超え、将来の目指すべき下水道事業のあり方について検討を行うため、都と多摩



図 3 北野処理区の区域図  
※数値は計画汚水量



の30市町村で「多摩地域の下水道事業のあり方に関する検討会」を設置した。

検討会では下水道をめぐる諸課題と、その解決方策等について、単独処理区のあり方、未普及地域の早期解消、雨水対策、合流式下水道の改善、高度処理の推進などに分け、具体的に検討した。

これにより、都と市町村の連携による取組として、今回報告する単独処理区の編入のほか、下水道台帳の電子化（多摩SEMIS）や、水質検査の共同実施なども実現している。この検討会において北野処理区は高度処理や老朽化の課題を抱えており、流域下水道に編入することが望ましいとの方向性が示された（図4）。

その後、平成21年に改定された「多摩川・荒川等流域別下水道整備総合計画（以下、流総計画）」において、単独処理区の編入が正式に位置付けられた。

平成24年に都と市は北野処理区の編入に関する基本協定を締結し、平成25年に受水量や流域下水道への接続箇所等の詳細を定めた実施協定を締結した。受水量については流総計画に基づき、事業計画で定めた計画一日最大汚水量を限度としている。

### 3. 段階的な処理区編入

第一段階として、受入先となる八王子水再生センターの現有処理能力で受入可能であった分流地区について、先行して平成27年度に編入を実施した。編入にあたり、北野処理区の汚水を流域下水道に送水するため、流域下水道幹線への接続幹線（ $\phi 1100$ 、 $L=554\text{m}$ ）を市施工により整備した。これは、北野下水処理場から推進工法により、一級河川である浅川の地下を横断し、流域下水道の幹線（大和田幹線  $\phi 1500$ ）へ接続している。この接続後に、分流地区の汚水のみ切り替えを行い、八王子水再生センターで受け入れた。（図5）

第二段階として、合流地区については、編入に伴う処理水量の増加に対応するため、八王子水再生センターで水処理施設等の増設を行った。

表1 センター及び処理場の諸元

|                               | 八王子水再生センター<br>(東京都下水道局) | 北野下水処理場<br>(八王子市)        |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 運転開始                          | 平成4年(分流)                | 昭和44年(合流)<br>昭和55年(分流)   |
| 処理能力( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | 207,800<br>(R3年4月時点)    | 31,300(合流)<br>41,300(分流) |
| 普及率(%)                        | 99                      | 100                      |
| 計画処理面積(ha)                    | 8,533                   | 合流354 分流615              |



図4 北野下水処理場の老朽化した施設

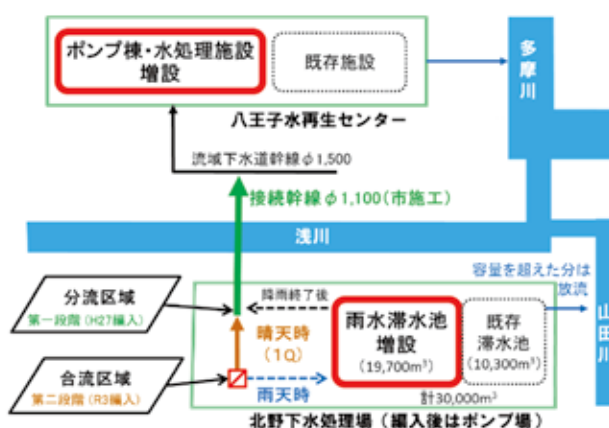


図5 段階的な編入のイメージ

主なものとして、北野処理区からの流入を受ける沈砂池ポンプ棟や水処理施設 5 系などを新設している。このうち、水処理施設については高度処理（ステップ流入式嫌気無酸素好気法）を導入し、処理水質の向上を図っている（図 6）。令和 3 年 1 月に全ての編入事業が完了した。



図 6 新たに建設した  
水処理施設（第 5 系列）

#### 4. 合流地区編入に伴う施設整備と調整

##### 4.1 施設整備

合流地区の下水編入にあたって、分流の処理施設である八王子水再生センターへ計画汚水量を送水するため、北野処理区の幹線（明神中幹線、浅川遮集幹線）において、分水人孔を設置し、接続幹線へ汚水のみを送水する構造とした。

また、雨天時に計画汚水量を超えた下水が河川へ放流され、水質が悪化することを防止するため、市では一定量の雨水を貯留する雨水滞水池を整備することとしている。貯留量は市が合流改善計画を策定して必要な容量を定めた。全量編入を開始した時点から雨水滞水池の機能を確保する必要があるため、編入後に北野下水処理場で廃止する反応槽などの施設を暫定的に雨水滞水池として使用し、その後、新たに雨水滞水池を整備していく。貯留した雨水は降雨終了後に八王子水再生センターの処理状況を見ながら送水し処理を行うこととした。

なお、北野下水処理場は令和元年度にポンプ場とする都市計画変更を行っている。

##### 4.2 調整事項

合流地区の編入に際し、受水量を遵守するため、都と市で協議し時間当たりの計画量も考慮した分水構造を検討した。分水構造は堰に加え、ゲートを用いたオリフィス構造とすることで、流入量の調整を図っている。

流域下水道のセンター施設の建設費や維持管理費用については、計画汚水量やセンターの受水量などに基づき流域関係市町村で負担しているが、編入に伴う負担割合の変更についても関係市町村との調整を行った。

令和 2 年度には都と市で全量編入後の送水量の計測や、雨天時に貯留した下水の扱いなどを規定した、維持管理協定を締結している。

#### 5. 編入による効果

今回の編入事業により、以下の 3 つの効果を得ることができる。

##### 5.1 環境への貢献

北野下水処理場は標準活性汚泥法による処理を行っていたが、八王子水再生センターは高度処理化を進めており、令和 2 年度末現在の高度処理の導入率は 68% となっている（表 2）。今後も施設の老朽化にあわせて再構築をすることで、良好な水環境を創出できる。

表 2 高度処理の導入率（R2 末時点）

|            | 処理法     | 処理能力<br>(m <sup>3</sup> /日) | 割合<br>(%) |
|------------|---------|-----------------------------|-----------|
| 北野下水処理場    | 標準活性汚泥法 | 72,600                      | 100       |
|            | 高度処理法   | 0                           | 0         |
| 八王子水再生センター | 標準活性汚泥法 | 67,500                      | 32        |
|            | 高度処理法   | 140,300                     | 68        |

また、八王子水再生センターでは高効率の焼却炉、省エネ型の微細気泡散気装置等を導入しており、エネルギー使用量及び温室効果ガス排出量の削減も可能となる。

## 5.2 施設の建設・維持管理コストの削減

編入により施設規模の大きい八王子水再生センターで処理を行うことでスケールメリットが働き、施設の更新費や維持管理費が縮減され、下水道事業運営の効率化を図ることが可能となる。

## 5.3 危機管理能力の強化

八王子水再生センターは、多摩川を挟んで隣接する多摩川上流水再生センターと連絡管で接続されている（図7）。連絡管は汚水、汚泥を相互に融通することが可能であり、この機能をバックアップとして活用することで、震災時等における処理機能を確保することができる。



図7 震災時等のバックアップ機能

## 6. おわりに

現在、下水道普及率99%となっている多摩地域では、今後、施設の老朽化が進む一方で、人口減少による下水道料金収入の減少などが見込まれる。このため、これまで以上に下水道事業運営の効率化が求められており、都と市町村との更なる連携が必要となる。これらを背景に、広域化・共同化の一環として立川市の単独処理区の編入事業も進めており、多摩地域の水環境の向上のため、持続可能な下水道事業の運営により一層努めていく。

## 3-2-2 水質規制における工事業者への届出指導と法令周知に

### ついて

担当者 西部第一下水道事務所 お客さまサービス課 松村 日菜子  
(現 流域下水道本部 管理部 管理課)  
関井 葵  
(現：第一基幹施設再構築事務所 庶務課)

#### 1 はじめに

西部第一下水道事務所お客さまサービス課水質規制担当（以下「当事務所」という。）は令和3年4月現在、東京23区のうち、14区（中部・北部・西一・西二の4事務所管轄エリア）に所在する工場・事業場に対する水質規制を所管している。水質規制の事務においては、事業者が特定施設や除害施設を設置する場合、下水道局へそれぞれ届出をする必要があるが、当事務所は4事務所のエリアを所管するため、届出事業数及び年間届出受付数が他事務所と比較して圧倒的に多い[令和2年度末現在 届出事業場数3,114件（水質規制所管事務所全体の約50%）、令和2年度 届出受付数915件（水質規制所管事務所全体の約55%）]。

さらに、当事務所の所管区には丸の内エリアを始めとする都心部や湾岸エリアが含まれており、東京2020大会開催に伴う建設工事や都心の再開発工事が数多く行われ、令和元年度まで届出受付数が増加傾向にあった（表1）。工事業者からの除害施設等の届出書は、内容の誤りがしばしば見られ、また届出受付後に工事現場へ立入検査を行った際にも施設の不備や下水排除基準違反を発見することがあり、工事業者に対する届出指導や法令周知が課題であった。

このような状況を改善すべく、令和元年度より、当事務所では様々な方法・工夫により工事業者への届出指導や工事現場における法令遵守の重要性の周知に取り組んできたので報告する。

表1 年度別工事現場からの届出数推移 （単位：件）

|        | 平成29年度 | 平成30年度 | 令和元年度 | 令和2年度 |
|--------|--------|--------|-------|-------|
| 除害施設届出 | 27     | 49     | 53    | 51    |
| 特定施設届出 | 1      | 8      | 17    | 12    |

#### 2 工事現場における水質規制の概要

工事現場では、建物工事等のコンクリート打設時に使用した左官道具や塗装器具等の洗浄排水、掘削時に発生する湧水等がコンクリート成分の影響でアルカリ性の排水となる。こうした排水の水素イオン濃度（pH）は下水排除基準を超過する可能性があるため、中和処理を行う除害施設の設置が必要となる。さらに土壤汚染が存在する土地での掘削工事では、汚染された湧水を処理するための別の除害施設の設置が必要になることがある。このような場合、東京都下水道条例に基づく除害施設の新設届出書の提出が必要となる。



また、工事現場でコンクリートを練る施設であるバッチャープラントを事業者が設置する場合、当該施設が下水道法の特設施設番号 55「生コンクリート製造業の用に供するバッチャープラント」に該当するため、下水道法に基づく特設施設設置届出書の提出が必要となる。

こうした工事現場に対して届出された除害施設等の工事完了検査やその後の立入検査の際に当局職員が排水指導を行う。指導に当たっての主な確認項目は、特設施設や除害施設が届出書どおりに設置されているかの確認や、処理水の水質検査、維持管理状況（pH 電極の洗浄・校正頻度、施設のメンテナンス）の確認などである。

### 3 工事業業者への排水指導の課題

#### 3.1 届出指導時の課題

当事務所では、工事現場の届出件数が増えるにつれ、以下の課題が多数見られるようになった。

ア わかりやすい説明資料がない

他業種への指導とは異なり、工事現場では現場責任者は初めて届出書作成に携わることがほとんどであるため、届出の必要性や届出書に記載する事項を説明する際、事例に即した資料等がないためイメージの共有がしづらく、説明に多くの時間を要する。

また、工事の進捗や天候により、処理する水量や水質が変化したり、排水の発生場所や除害施設等の設置場所の移動もあるため、比較的短期間で届出内容に変更が生じることが多くその度に届出に時間を要する。

さらに、届出を受けて当事務所の職員が内容審査を行う過程でも書類の記載内容が不十分であることがしばしば見られ、何度も担当者に問い合わせる必要が生じるなど、工事業業者と下水道局の双方に負担がかかっていた。

イ 届出提出期限が守られていない

工事現場特有の事象ではあるが、大雨による浸水の排除や、掘削して湧き出した湧水の排除のために急遽、除害施設を設置することも多い。規定上、除害施設の工事着工希望日の 60 日前までに下水道局へ届出書を提出しなければならないが、着工希望日の数日前に届出をする工事業業者が多くみられる。

これらの課題は、届出にあたりわかりやすく説明する資料がないこと等が原因だと考えられたため、課題の解決策は届出の制度や正しい届出書の作成方法をより理解してもらうために説明方法を工夫することであると整理した（図 1）。



図 1 届出の流れ

#### 3.2 工事現場で見られる課題

工事現場への立入検査時に発見される課題として、除害施設の維持管理ミス（pH 電極のカバー取り忘れ、中和薬品切れ等）、届出と異なる配管や施設の設置、日常点検の未実施等による違反が挙げられる。

また、複数の工事現場を有している大手ゼネコンは、1 つの工事現場で下水排除基準違反が発生した事例が社内で共有されず、他の工事現場で同様の違反が繰り返されることが



あった。

工事現場で見られる課題に関し、参考に令和3年度の主な違反事例を以下に示す。

#### <事例1> 除害施設の操作ミスによる pH 超過

新規届出に対する工事完了検査で当事務所の職員が現場に立ち入った際、除害施設に原水が揚水されていたが、中和薬品である硫酸の注入ポンプの電源が入っていなかった。直ちに水質管理責任者が除害施設の原水揚水ポンプの電源を切り、硫酸注入ポンプを起動したが、中和が間に合わず、pH9.5（下水排除基準：5を超え9未満）で既に下水道に排水された状態であった。水質管理責任者への聞き取りによると、工事業者の社内マニュアルでは水質管理責任者の立会いの下、排水を行うこととなっており、これまでは水質管理責任者が確認せずに原水を揚水することはなかったが、今回は立会いが行われていなかったことが判明した。現場関係者内で、下水排除基準遵守のための排水処理の重要性が認識されておらず、今回の基準超過が発生したものと考えられた。

#### <事例2> オーバーフロー管使用による未処理放流

当事務所の職員が工事現場に立入検査を行ったところ、処理前の原水が入る原水槽から下水道に直接つながるオーバーフロー管（図2）を発見した。この除害施設は原水槽の排水を全量中和装置に送水し、pHを下水排除基準値内に処理してから下水道へ放流するが、降雨によって水量が増加した際、中和装置の処理能力を超えた排水がこのオーバーフロー管を通して下水道に直接、未処理のまま流れる構造となっていた。

そのため、この除害施設からは、未処理のアルカリ排水が下水道に排水されることが推測された。立入検査時、原水槽から中和装置への送水は停止していたが、放流槽の pH 記録紙を確認したところ、前日の夜の時点で既に pH の基準超過で送水停止が発生していた。停止の原因は、処理水を下水道に流す直前の放流槽の計器値で pH 9.1（下水排除基準：5を超え9未満）と基準超過であり、処理不良で原水槽から中和装置への送水が自動停止したためで、工事現場ではその状況に気付いていなかった。立入検査時は前日から断続的に降雨があり、原水槽の未処理のアルカリ排水は、降雨による水量増によりオーバーフロー管を通じて下水道に押し流されたものと考えられた。

なお、このオーバーフロー管は令和2年度の立入検査で発見され、その時点で工事業者による配管の撤去を当事務所は指導・確認していたが、工事業者の判断で再度設置されていたため、下水排除基準違反につながったケースである。

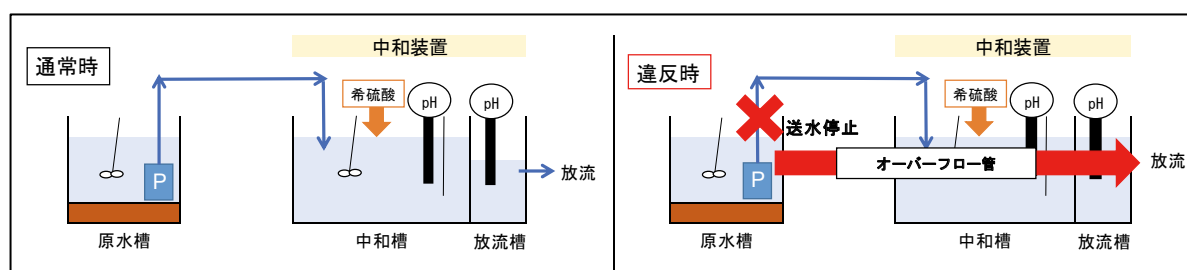


図2 原水槽からのオーバーフロー管

これらの課題は法令遵守の重要性の周知不足に起因していると考えられたため、工事業者に法令遵守の意識を高めてもらうための方法を模索することであると整理した。

## 4 課題解決への取組

工事業への届出指導や立入検査における上記課題を解決するため、当事務所では令和元年度より以下の取組を行った。

### 4.1 届出指導における取組

届出制度を工事業に周知するため、東京都下水道局として工事現場用リーフレット「工事現場の排水処理について」を初めて作成した（図3）。さらに、正しい届出書の作成方法を工事業に短期間で効率的に理解してもらうため、初めて届出書を作成する工事業向けの「届出別紙記入例」も併せて作成した（図4）。

これらの資料は届出書作成や現場での除害施設の維持管理で、当時の新規採用職員の視点から特に分かりづらいと感じた点を重点的に解説し、色使いや構成を工夫することで、工事現場の届出等に初めて携わる人にも分かりやすい内容とした。完成後は、窓口対応時の配布を速やかに開始して当事務所での届出指導に活用するとともに局ホームページにも掲載し広く事業者が閲覧できるようにした。

この結果、局ホームページを閲覧することで、届出者がまず届出制度の概要等を把握でき、その上で当局が届出者に説明を行うことができることから、届出手続きに要する負担を減らすことができた。また、電話やメールでの問合せにおいても局ホームページを案内することで円滑に対応できるケースが増えており、当局からの説明がなくても直接届出書が提出されることがほとんどとなった。



図3 リーフレット



図4 届出別紙記入例

### 4.2 工事現場における法令遵守推進への取組

当事務所では、講習会等、工事業が多く集まる場を利用して違反事例等を周知することで、工事業の法令遵守の意識向上に取り組むこととした。

当局が開催する水質管理責任者資格講習会には様々な業種から受講者が集まるが、工事現場の増加と相まって、近年では工事現場関係者の受講も増加している。受講者の業種は問わない講習会であるものの、工事業への法令等の周知を更に進めるため、この場を活用することとした。届出提出期限の遵守を強調して講義を行うとともに、講義内容に工事現場の違反事例を取り上げることで、参加した工事業に法令遵守を促すことができた。その後、工事関係者への届出指導や法令遵守の周知を一層進めるため、施設管理部排水設備課と連携して業界団体への指導の場を模索した。

その結果、令和3年6月、建設三団体安全対策協議会主催の講習会にて、当局の講演を行うことができた（図5）。この団体の講習会で当局が講演を行うのは初めての機会であっ

た。

本講演では届出書の作成、提出方法及び提出期限並びに工事現場の違反事例等について説明した。講習終了後のアンケートでは9割近くの受講者が「期待以上だった」と回答しており、コメントからも「よく理解できた」との回答が多数みられ、届出指導や法令遵守の周知といった当初の目的を十分に果たすことができた。

令和3年度は、複数の工事現場を有する大手ゼネコンにおける違反の措置では、他の工事現場での違反の未然防止のため、現場責任者のみならず本社担当者に対しても説明し、社内でのより一層の情報共有を促した。

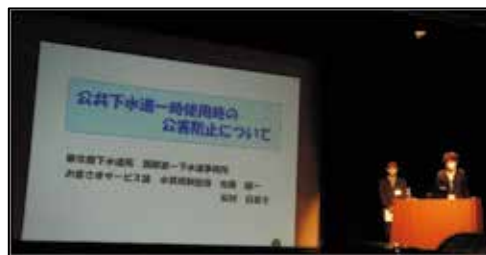


図5 講演の様子

## 5 おわりに

当事務所では、令和元年度から令和3年度現在まで様々な機会、手段を活用して工事現場の届出指導や法令遵守の周知に取り組んできており、一定の成果を得ることができた。

工事現場からの届出受付数は、令和2年度も依然高い水準にある。また、現場責任者は下水道関連の法令に初めて携わる人や届出の作成経験が少ない人も多い。このため当事務所では、今後も引き続き上記の届出指導や工事現場における法令遵守周知への取組を行うほか、事業者に対する周知のみならず、局内の水質規制を所管する他の事務所向けて工事現場対応に関する職場研修を実施する（図6）。



図6 研修の様子

### 3-2-3 大口径管きょ調査用 UAV の開発と実用化に向けた検証

東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 元吉 浩之  
(現 中部下水道事務所 再構築推進課)  
株式会社日立製作所 陰山 晃治、小野 郁宏、益池 孝

#### 1. はじめに

これまで大口径管きょの調査方法は、人が管きょ内に入り、内部の状況を直接目視することで劣化破損状況等を調査することを基本としている。その際、管きょ内の換気、流出防止柵の設置、直視が難しい高所の場合は足場の設置など、安全対策を実施するため、作業効率が低いのが現状である。

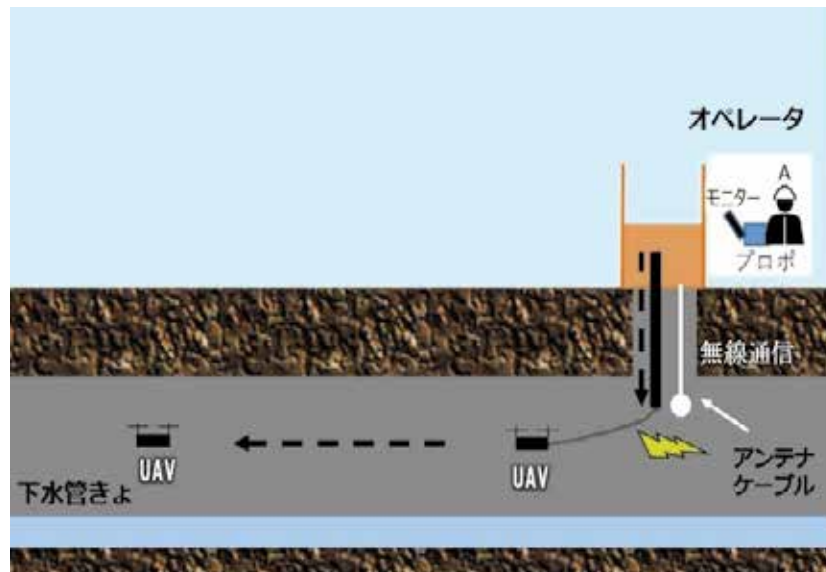
また管きょ内が高水位、高流速、硫化水素の発生により、入孔が困難な場所も多く、調査が困難となっている。このような状況のなか、人が入ることなく地上からの遠隔操作で調査を実施できる解決策の一つとして UAV (ドローン) がある。この UAV を使えば、調査困難な箇所においても、危険を回避し、安全に管きょ内の調査を可能にすると考えられる。

そこで、本稿では、人による調査が困難な場所をターゲットに UAV を開発し、大口径管きょの調査用としての実用化に向け、検証した内容について報告する。

#### 2. 開発目標

下水道管きょ調査用 UAV の開発は、平成 29 年度から進めてきた。図-1 で示すように、モニターに映る UAV 搭載の前方カメラの映像を見ながら、地上にて UAV を操縦し、点検調査を進める形態を目指しており、次の事項を目標とした。

- ① 管きょ内の環境が高水位、高流速、硫化水素濃度が高いなど、人による調査が困難な場所の調査
- ② 5mm 幅のクラック (東京都損傷判定 A ランク) を確認できる画像の取得
- ③ 設計指針が示す人孔間の最長距離最大 200m の安定飛行
- ④ 入孔せずモニターを活用した地上からの遠隔操作 (一部の特殊人孔を除く)
- ⑤ 万一の落下時にも沈没せず確実に回収できると共に、管きょ内での飛行距離や速度を地上で把握でき、更にカメラ機能更新による交換を容易にできること



図－1 飛行調査概念図

### 3. これまでの開発経緯

#### (1) 過年度の試作機

過年度開発した機体は、安定飛行のため管路内の天井面に接触させる車輪を4つ備えた天井接触飛行式 UAV であり、模擬管路を用いた試験で検証した結果、天井面からの変動を±10mm 程度に抑えるものであった<sup>1)</sup>。

#### (2) これまでの開発内容と結果

1) 飛行距離：A ランククラックが判定できる程度の速度で天井接触飛行式 UAV は約4分間に約150m 飛行でき、その際のバッテリー残量から理論上では260m 飛行できる結果を得ている<sup>1)</sup>。

2) 目視外飛行：施設内上層階から下層階にアンテナを下ろし、模擬的に隔離した環境にて、目視外飛行できることを確認している<sup>1)</sup>。

### 4. 検証目的と内容

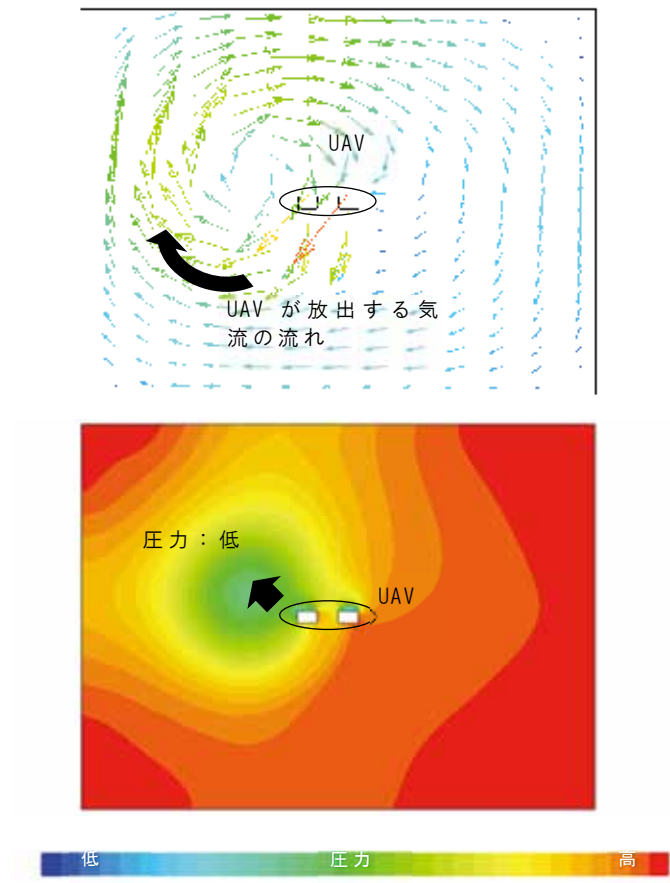
#### (1) UAV を実用化するにあたっての検証

##### 1) 狭隘空間における飛行の安定性

広い空間と異なり、狭隘な管きよ内で UAV を飛行させる場合、機体が発する風の影響により壁面に機体が吸い寄せられる現象が発生する。このことで、場合により壁面に接触し墜落するなど、安定飛行に影響を及ぼすことが過年度の実験<sup>1)</sup>や流体解析結果から判明している。

そこで、安定性を確保できる壁面からの隔離を検証した。なお、風速や圧力が左右対称とならない場合があることを示す解析結果の一例を図-2 に示す。





図－2 流体解析の例

## 2) A ランククラックを調査確認できる飛行速度

UAV による調査技術の利点の一つはその飛行速度であるが、その速さ故に調査カメラの性能によって、取得した画像がぶれるなど、その精度が落ちてしまう。すなわち、飛行速度と画像の精度はトレードオフの関係となる。そこで、より効率的な点検とするため、目標とする A ランククラック画像を取得できる速度について検証した。

### (2) 試験に用いた UAV の機器概要

今回開発し試験に用いた機体の概要は次のとおりである。(図-3)

- 1) 飛行部分：回転翼を 6 基搭載し、直径 500mm、全体重量約 2.5kg
- 2) 制御部分：壁面方向と天井面方向の離隔を計測する距離センサーとその離隔を一定に維持する 2 点測位制御を装備
- 3) 撮影部分：2100 万画素の汎用カメラ



図－3 2点測位制御飛行式 UAV

### (3) 実験の概要

以下に述べる設定を行い実験を行った。

#### 1) 狭隘空間における飛行の安定性

- ① 幅 5mm(A ランククラック相当)の紙テープを管きょ内の壁面に貼付する。
- ② 矩形きょ(4000mm×3200mm)では 1～2m、円形管(φ 4780mm)では 1～2.4m と機体と壁面の離隔を設定し、UAV を往復飛行させ、壁面を撮影しつつ、飛行の安定性を評価する。

#### 2) A ランククラックを調査確認できる飛行速度

- ① 幅 5mm(A ランククラック相当)、3mm、2mm(B ランククラック相当)、1mm(C ランククラック相当)の紙テープを円形管(φ 4750mm)の壁面に貼付する。
- ② 機体と壁面の離隔を 2m と設定し、UAV を往復飛行させて壁面を撮影する。壁面カメラの撮影頻度は 30 フレーム/s、飛行速度は 0.3m/s、0.6m/s、1.0m/s とし、異なる速度での撮影画像を評価する。

## 5. 実証試験による検証と考察

### (1) 実験結果

#### 1) 矩形きょ

UAV の飛行状況を図-4 に示す。2 点測位制御の設定に従い、矩形断面のほぼ中心を飛行し、200m 先までを往復して目視外飛行させた場合の壁面からの離隔の推移を図-5 に示す。グラフから 2 点測位制御の設定値付近を維持していることが分かり、このときの標準偏差は約 8cm であった。また、撮影した壁面画像で A ランククラック相当の幅 5mm の模擬クラックを十分に確認できた。

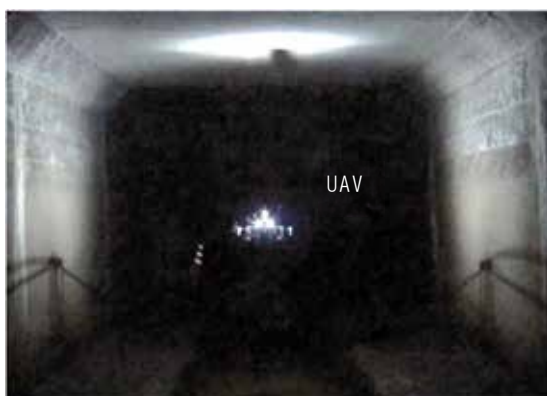


図-4 UAV 飛行状況（矩形きょ）

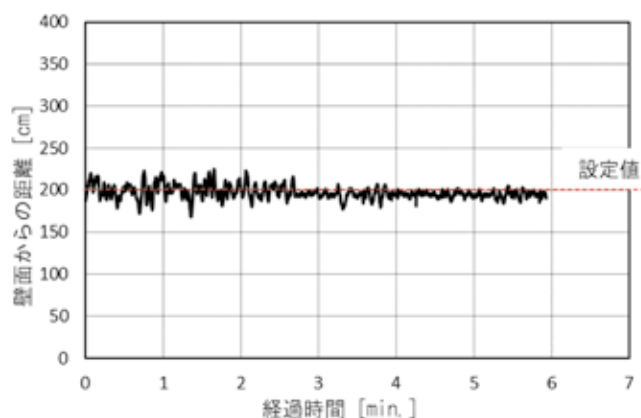


図-5 壁面からの距離（矩形きょ）

## 2) 円形管

UAV の飛行状況を図-6 に示す。2 点測位制御の設定に従い、円形断面の下方中央を飛行し、120m 先までを往復して目視外飛行させた場合の壁面からの離隔の推移を図-7 に示す。グラフから 2 点測位制御の設定値付近を維持していることが分かり、このときの標準偏差は約 11cm であった。

併せて、壁面を撮影した画像の例を図-8 に示す。これは飛行速度を 1.0m/s と設定した場合であるが、A ランククラック相当の幅 5mm の模擬クラックのみならず、B ランククラック相当の幅 2mm の模擬クラックも目視確認できた。

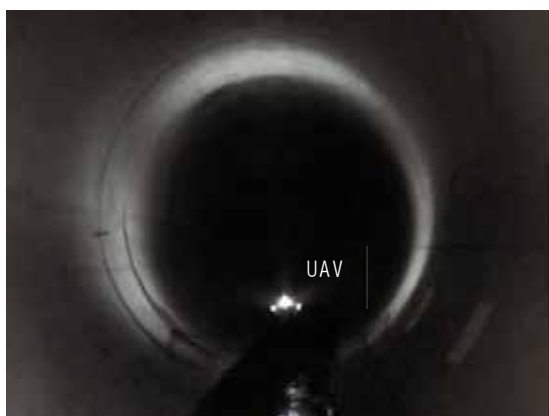


図-6 UAV 飛行状況（円形管）

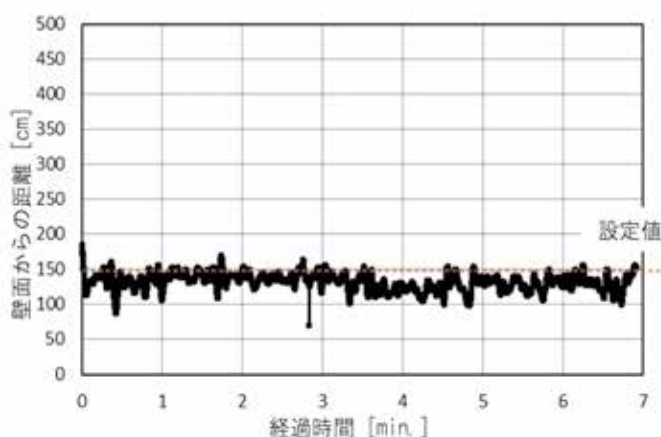


図-7 壁面からの距離（円形管）

## (2) 考察

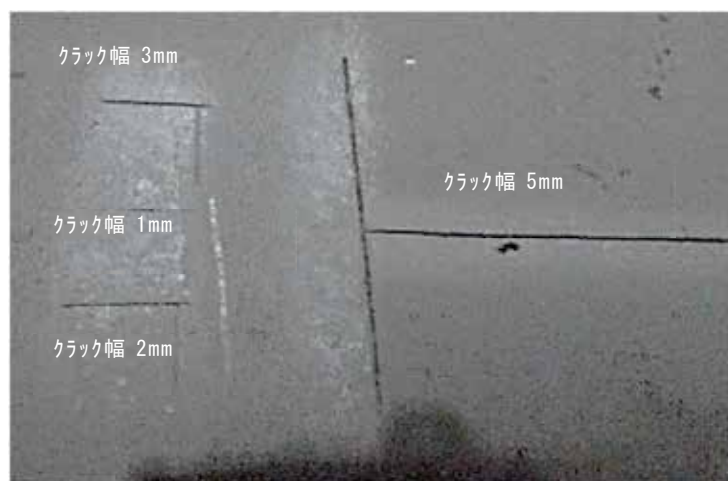
上述のように、矩形きょと円形管にて、壁面や天井からの離隔が一定となるよう設定した際、安定して飛行できることを供用中の下水道施設で確認できた。壁面からの離隔に関して標準偏差は多少異なったが、これは管断面の形状だけではなく管のサイズや 2 点測位制御の制御パラメータの値の違いが影響したと考えられる。

図-8 の壁面画像では、上下に伸びる周方向の 5mm 幅の模擬クラックは左右方向にブ

レがほとんど見られない。この結果は飛行速度を 1.0m/s と設定した場合であるが、A ランククラックを見つけることが目的の場合には飛行速度をさらに高めても良いと言える。飛行速度を高められると、(i)点検効率の向上、(ii)1 回の飛行で点検可能な距離の延伸、(iii)バッテリー交換や充電頻度の低減、などメリットが多い。今後、撮影画像の画質を確保できる飛行速度の上限値の調査も進めていきたい。

## 6. まとめ

本稿では、入孔困難な大口径管きよの点検を安全で効率よく行える UAV の実用化に向け、安定した飛行及び画像取得についての検証内容について報告した。UAV 自体が巻き起こした風により、管路内で機体が不安定となる現象が過年度の研究でみられたことから、2 点測位制御を新たに開発し、供用中の矩形きよ及び円形管で検証したものである。引続き、管きよ内における UAV の飛行の課題をさらに明確化させ運用時の対応に生かすとともに、早期の実用化に向け、当開発のコンセプトである、高水位や高流速、硫化水素発生のため、入孔困難な管きよでも調査できる UAV の開発と検証を進めていく。



図－8 飛行撮影した壁面画像(1.0m/s)

## 参考文献

- 1) 栗原佳弘他、2018 下水道施設調査向けドローンの開発とそれを用いた調査技術について  
第 55 回下水道研究発表会

## 3-2-4 工事情報・進捗等の総合管理を行う工事監督補助台帳システムの開発

東京都下水道サービス株式会社 管路部 施工管理第一課 芝原 亮太

### 1. はじめに

東京都下水道サービス株式会社（以下、TGS という）では下水道管きょ工事における監督業務の豊富な経験とノウハウを活かし、工事監督補助業務委託（再構築工事等での品質管理、安全管理、工程管理、各種調整等）として担うことで、下水道局の再構築事業の確実な執行に貢献している。

工事監督補助業務委託の実施に当たっては、各種指導・調整等を工事担当者個人（委託内で監督業務を担う者）が管理していることから、口頭での受注者指導・占用申請等が属人化しており、担当者不在時に工事の経緯や情報等の収集に時間を要している。

また、近年新入社員が増加しており、経験の浅い社員の多くは、受注者提出書類の指導や工事変更業務に苦慮している状況である。このため、組織力向上のための情報の一元管理や、経験の浅い社員をサポートする業務支援システムの構築を目的として、“工事監督補助台帳システム”の開発を行った。

本稿は、この工事監督補助台帳システムの内容について報告するものである。

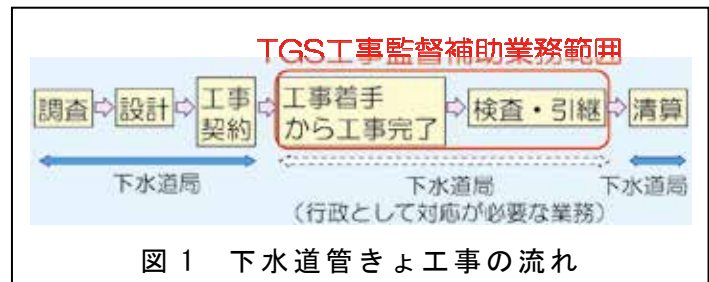


図1 下水道管きょ工事の流れ

### 2. 工事監督補助台帳システムについて

工事監督補助台帳システムとは、工事情報（契約情報、進捗情報、受注者指導内容、他企業協議状況等）をサーバーに集約し、利用者全員が情報の利用・閲覧を可能としたデータベース管理ソフトのことである。本システムは、TGS内で運用しているハードウェア・ソフトウェア等への制約等を考慮し、クラリス社が開発したファイルメーカー（データベース管理ソフト）を活用して開発を行った。



図2 工事監督補助台帳システム

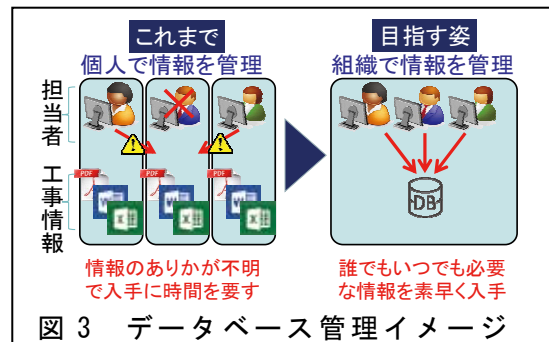
#### 2.1 工事監督補助台帳システムを導入した際の想定効果

これまでは工事情報を共有サーバーに格納してはいたものの、フォルダの構成が個人に任されていたことから、工事情報の所在を社員同士で把握しにくい状況であった。そのため、工事担当者の不在時に、急を要する工事対応等が生じた場合、他の社員では工事の情



報を入手するまでに時間を要していた。しかし、本システムにより各工事で統一された情報管理が可能となるため、工事情報の所在が明確化し、工事担当者以外でも工事の情報を素早く入手し、緊急時対応の迅速化が見込める。

さらに、本システムを開発・導入したことにより、受注者指導内容の見える化、受注者提出書類の提出状況の管理、工事変更業務の補助が可能となり、業務経験の浅い社員への支援を網羅的に実施できるようになる。



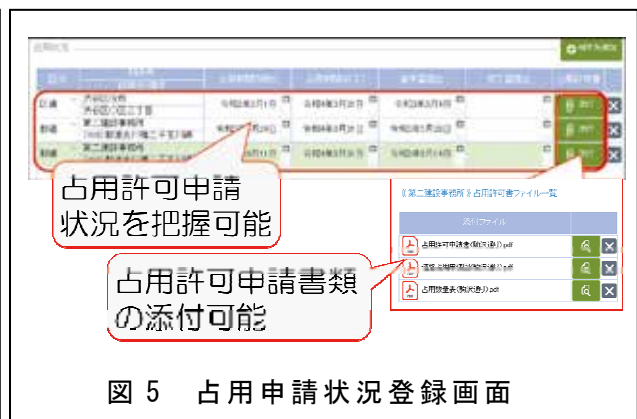
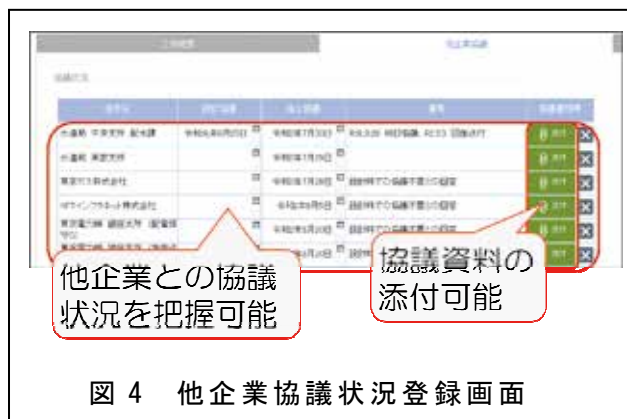
### 3. 取組状況例

本システムは現在、4つのデータベース（工事台帳一覧 DB、業務日報 DB、提出書類管理 DB、変更審議会 DB）で構成されており、令和3年10月から管路部施工管理課内で本格運用を開始している。

#### 3.1 工事台帳一覧 DB

工事台帳一覧 DB は、各工事担当者で管理されていた各工事の基本的な契約情報、他企業協議状況、占用申請状況、TGS の工事担当者や局の監督員情報及び工事出来高率を登録する DB である。

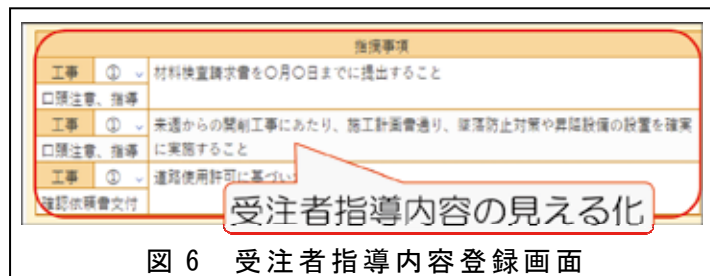
本 DB では、他企業協議状況の記録と関係資料の添付を行うことが可能である。また、占用許可期間を入力することで、占用許可期限の警告アラートを表示し、占用申請の許可期間切れを防止する機能を持つ。これらにより、他企業との協議状況や占用情報を組織として管理することが可能となったことに加え、今後は他企業対応状況や占用状況を後任に確実に引継ぐことが可能となる。



#### 3.2 業務日報 DB

業務日報 DB は工事担当者が毎日作成する業務日報（工事監督補助業務委託の特記仕様書に規定）を作成・管理するための DB である。

本 DB では、日々の工事監督内容に加え、受注者に対して行った指導内容を記載することが可能であり、各工事担



当者が日々受注者に対して行った指導内容を上司が容易に確認できるように DB を構築した。これにより、緻密な受注者指導に加え、受注者対応に苦慮している社員へのフォロー

も行っていくことが可能となる。

また、若手社員が他の社員の受注者指導状況を参考にできるといった、若手社員育成という側面も併せ持っている。

### 3.3 提出書類管理 DB

提出書類管理 DB は受注者が提出すべき書類とそれらの提出状況を管理するための DB である。

本 DB では、必要となる受注者提出書類の一覧と提出状況が表示・登録できる。これにより、工事監督業務経験の浅い若手社員が、受注者に提出させるべき書類を迅速に把握し、失念を防止することが可能になった。

また、受注者から提出された書類の提出日情報、書類の決裁状況を把握できるため、工事完了時の書類不備防止や、人事異動に伴う後任への確実な引継ぎが可能となる。

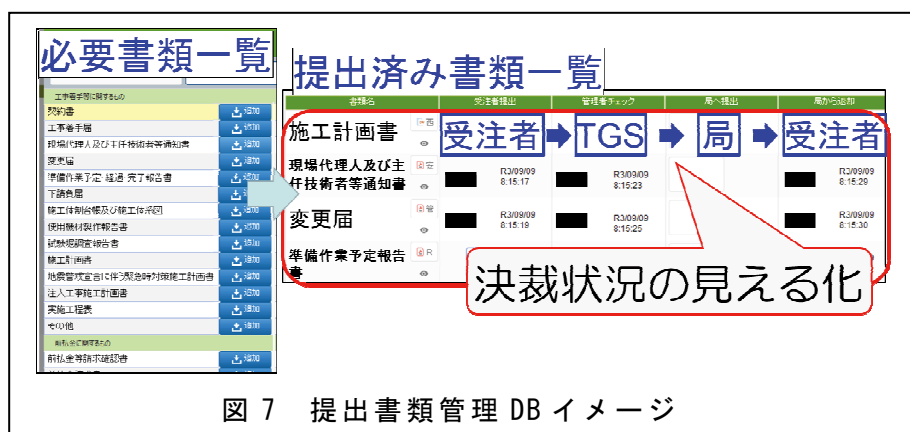


図 7 提出書類管理 DB イメージ

### 3.4 変更審議会 DB

変更審議会 DB は工事変更業務に不慣れな社員に対する業務支援を目的としており、主に審議依頼文の作成や変更審議会説明用資料の保管、他工事の変更審議会資料の検索を行う DB である。

変更業務で変更審議会に付議する際は、変更理由文を記した審議依頼文を作成することになっている。変更理由文の作成では、建設部のマニュアル(全約 20 ページ)に記載してある変更理由文例の中から適切な内容を選定する必要がある。工事変更に通じている社員ならば、容易に変更理由文の選定を行うことができるが、工事変更に通じていない社員の場合、適切な理由文を選定することに時間を要し、変更理由文の作成に苦労している状況である。これに対し、本システムでは、変更する工種(例: 管きょ工(開削))と変更概要(例: 開削工から製管工法への変更)を選択入力することで、建設部のマニュアルに記載されて

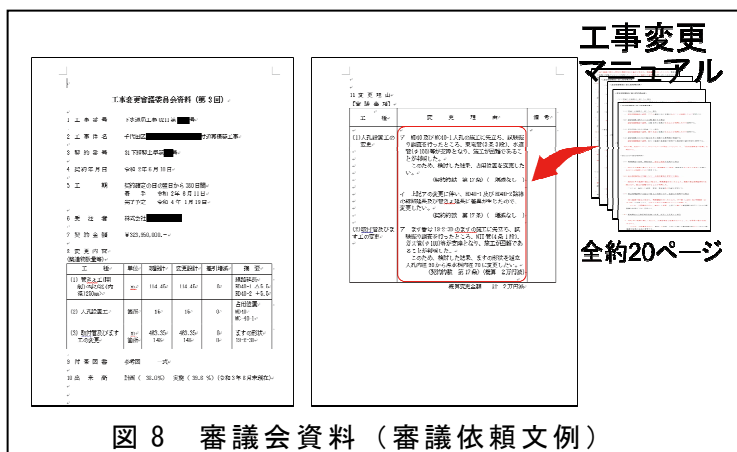


図 8 審議会資料(審議依頼文例)

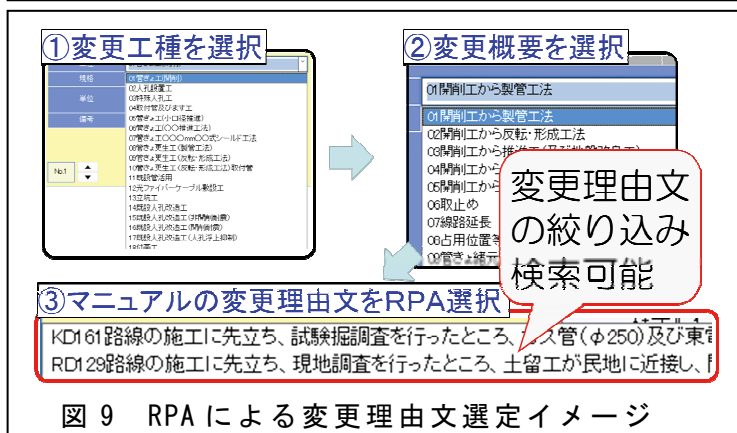


図 9 RPA による変更理由文選定イメージ

いる変更理由文の中から RPA (Robotic Process Automation) により自動で、適切な理由文を選定することが可能となっている。

また、本システムで審議依頼文を作成することで、全事務所の各工事の変更審議履歴が本システムに蓄積され、蓄積された変更審議履歴を検索・閲覧することも可能となる。その結果、担当工事について、工事変更が発生し、なおかつ変更方針が定まらない場合でも、他の工事の過去の変更事例を参照して、変更方針を定めていくことが可能となる。これらにより、今後は、若手社員の即戦力化が可能となる。

#### 4. 取組効果

工事監督補助台帳システムは令和 3 年 10 月から導入したばかりであるが、情報の一元管理を行ったことで、資料・情報の着実な保管が可能になり、工事監督の進捗管理の精度が向上している。

また、急遽担当者が不在となった時でも、工事の進捗状況を把握できるようになり、これまで以上に組織的な対応が可能となっている。さらに、工事変更業務においては、変更理由文の絞り込み機能の活用により、変更資料の作成が効率化している。

#### 5. 今後の展開

今後の展開としては、開発した 4 つの DB (工事台帳一覧 DB、業務日報 DB、提出書類管理 DB、変更審議会 DB) に加え、確認依頼書 DB、夜間勤務日誌 DB、安パト資料 DB の 3 つの DB の開発に取り組んでいる。

##### 5.1 確認依頼書 DB (開発予定)

確認依頼書 DB は工事監督補助業務の実施に当たり、指導事項が生じた際に受注者に対して交付する「確認依頼書」の作成・管理を補助する DB である。

##### 5.2 夜間勤務日誌 DB (開発予定)

夜間勤務日誌 DB は夜間勤務の報告書(夜間日誌及び写真帳)作成を補助する DB である。

##### 5.3 安パト資料 DB (開発予定)

TGS では下水道事業に関する専門的な知識を持つ経験者で構成する「TGS サポート倶楽部」の支援も得て、きめ細やかな工事の安全パトロールを実施しており、安パト資料 DB は安全パトロールの現場選定及び実施記録報告の作成を補助する DB である。

#### 6. おわりに

本取組により、資料作成等の業務を効率的に実施することで、工事監督補助業務の質の維持・向上を図っていく。また、工事情報の一元管理・蓄積を続けることで、保有する技術力を将来に繋ぎ、今後も質の高い業務の遂行を実施し、再構築事業の確実な執行に寄与していく。

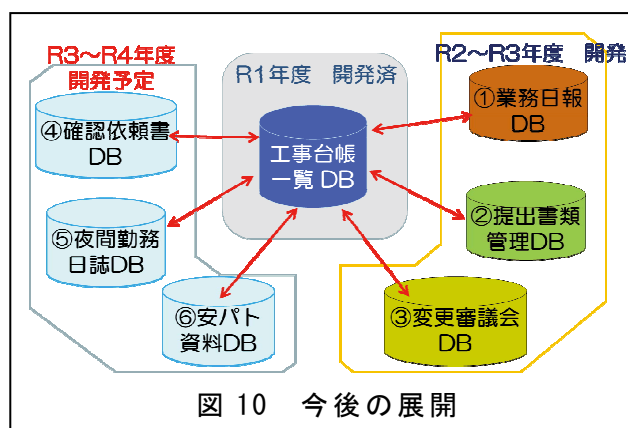


図 10 今後の展開

## 3-2-5 A R技術を活用した効果的な人材育成

東京都下水道サービス(株) 畠平 敏行・○中島 亮

### 1. はじめに

東京都下水道サービス(株)は、都の政策連携団体として下水道事業を補完・代行し、下水道局との一体的な事業運営により、安定的な下水道サービス提供とその質の向上に取り組んでおり、将来にわたって安定的な事業運営体制を確保するためにも「人材の確保育成」が不可欠である。しかしながら、現場経験から培った技術を有する社員が退職する中、その技術を若手社員へいかに継承するかが課題であった。専門的な技術や知識を伝える際、文字や画像による講義だけでは、リアリティに欠けるなど伝わりづらい面もあった。現在、文部科学省においても学びを支える先端技術としてAR技術などの活用を推進しており、現場を拡張表示することでイメージが湧きやすく速やかな技術習得に繋がると期待されている。本稿では、このAR技術を活用した効果的な人材育成について報告する。

### 2. A R技術を活用した映像教材の開発

#### (1) A R技術について

ARとは、Augmented Realityの略で、拡張現実を意味する用語である。現実世界の映像にデジタルにより作成した文字や図形・写真などの情報を重畳表示させる技術であり、近年話題となったスマホゲーム「ポケモンGO」にも活用されている。撮影した写真にポケモンがいるかのように合成され、映像として楽しむことができる。このAR技術は、CGなど人工的に構築された映像と現実を差し替えるVR「仮想現実」技術の研究の中で開発され、主に自動車などの製造分野で利用されてきたが、上記のスマホゲームなどの普及により、一般的に認知されるようになった。映像教材の開発にあたっては、仮想的な空間を体験することができるVR技術の活用も検討したが、現実を対象とし現場業務への適用性が高いことから、下水道に関する実際の現場を撮影し熟練技術者の視線の動きやチェックすべきポイントなどを表示させることで、若手社員への速やかな技術習得に繋がると考え、AR技術を活用した映像教材の開発に着手した。

#### (2) 映像教材の開発経過

AR技術を活用した映像教材の開発にあたっては、様々な課題もあったが、特筆すべき検討事項は、以下のとおりである。

##### 1) 開発するコンテンツの検討

当社では、現場や図面を確認した時、想定される危険などを把握し、有効な解決方法を考え、意思決定する力「直観力」を鍛錬するため「直観力演習」と題したグループ討議形式の研修を実施している。この研修は、実際の現場で課題となった事項を、紙に印刷した文字や図面、画像等の研修資料により出題(図-1)し、グループ内でその課題に対する解決策について討議し発表しているが、紙に印刷した資料では、経験が少ない若手の研修生に対し、現場のイメージが分からない、リアリティに欠けるなど伝わりづらい面もあった。



図—1 直観力演習の出題例



また、コンテンツの検討にあたっては、伝えたい内容を単純に教材とするのではなく、その教材を視聴し自ら考え、研修生の行動変容に繋げられる研修を行うことが重要だと考え、問題版と正解版の2パターンの映像教材を開発した。研修生がリアリティのある問題版の現場映像を視聴し、ワークとして考え、グループ討議や発表をし、正解版の映像を通じて確認するなど、一連の流れで実際の業務を体感することで、実務で活かせる技術習得に繋がるものと考えた。

## 2) 視覚誘導性自己運動感覚による映像酔い

映像教材を研修に使用する方法としては、ヘッドマウントディスプレイ（以下HMD）と映像教材一斉再生システムを実装し行うこととした。映像の開発にあたって、実際にHMDを使用し360度全方位の映像を視聴してみると、その場にいるかのような空間を仮想的に体験することができる一方、静止している人が、HMDによる視覚情報によって移動しているような感覚が引き起こされてしまう現象、視覚誘導性自己運動感覚による映像酔い(以下映像酔い)が課題であった。この映像酔いは、視覚から送られる脳のは「動いている」が、体は静止しているので他の感覚器官は「動いていない」という情報を送るため、このずれが車酔いのような状態を引き起こすとされている。現在、国際標準化機構（ISO）の人間工学分野において、この映像酔いの影響要因に関して影響度の尺度化を行い、これを基に映像酔いを軽減するための指針の策定が進められているところであるが、これらを参考にしながら、映像教材の開発・研修の実施にあたって留意した点は、以下のとおりである。

### ①カメラを激しく動かさず撮影した映像の使用

上下左右に激しく動く映像を視聴すると、映像酔いの可能性が高くなるため、一定方向に滑らかに撮影した映像を使用した。

### ②視線移動を最小限とした拡張表示

拡張表示した画像データ（写真—1）などは、中央部かつ目線が水平になる位置に配置するなど、視線移動を最小限になるよう編集した。また、正解版の映像で確認するチェックポイントなどは、自動的に映像が停止するなど、確認しやすいよう編集した。

### ③HMDの使用に慣れさせる

映像教材を視聴する前に、HMDの操作説明を行い使用自体に慣れさせた。また、体調に異変を感じた場合は、即時、HMDを外すことを周知した。

### ④映像教材の視聴を短時間とする

映像教材の視聴を3分程度とし長時間の利用は避けた。また、映像が動き出す場面では、前方に動き出すとアナウンスしてから映像を開始した。



写真—1 拡張表示した画像データ

## 3. 映像教材を活用した研修

「直観力演習」と題し、開発した映像教材を一斉再生システムから15台のHMDへ配信し視聴する研修（写真—2）を実施した。下水道に関する現場の課題について、問題版の映像を通じて確認させ、解説を交えながら正解版を視聴させた。研修生の意見としては、「360°見回すことができるので実際に現場を見ているような感覚であった」



写真—2 映像教材を活用した研修



「現場に行かずに図面や写真以上に現地状況を知ることができた、画期的である」など好評な意見が占めていた。また、3Dの映像教材を視聴した際、前段の対策を講じたこともあり、頭痛や不快感など体調不良を訴える研修生はいなかった。

#### 4. 考察と今後の展開

以上より、文字や画像などの資料に比べて視覚効果が高いAR技術を活用した映像教材は、研修生の関心を惹きつけ、能動的「アクティブ」に学ぶことができ、言語化しにくい抽象的な事項も“百聞不如一見”のことわざにもあるように映像教材であれば直感的に伝えられ、研修生の理解促進にも繋がるものと考えられる。

今後の展開としては、下水道工事の安全・品質管理（写真－3）の手順、維持管理業務における公共汚水ます調査作業（写真－4）など、形式化しにくい現場のノウハウを3D動画で撮影し、直感的に伝える映像教材のコンテンツを拡充する方針で進めている。さらに、将来的には若手社員がウェアラブルカメラやARグラスを装着し、作業時などにハンズフリーで視線を外すことなく手順書やマニュアルなどを参考にしながら、実践的なトレーニングが可能な仕組みを実装するなど、最新のICTと当社の持つノウハウを複合的に融合させた、効果的な人材育成を実施していきたい。



写真－3 品質管理確認状況



写真－4 公共汚水ます調査作業

#### 5. おわりに

AR技術を活用した効果的な人材育成に関する当社の取組みと今後の展開について述べてきた。当社は下水道施設の維持管理業務を中心に東京の下水道事業を支えているが、労働市場の縮小や社員の退職により、技術系社員を中心に人材確保の困難性が高まっている状況にある。将来にわたって安定的な事業運営体制を確保するためにも「人材の確保育成」が不可欠であり、今後とも、これらの取り組みを着実に推進することで人材の育成や技術継承を図り、都の政策連携団体として、安定的な下水道サービス提供とその質の向上に不断の努力と研鑽を重ねていきたい。

参考文献：3Dコンソーシアム（3DC）．人に優しい3D普及のための 3DC安全ガイドライン．

2010年4月20日改訂 国際ガイドライン ISO IWA 3 準拠

毛利 昌登など．アクティブ・ラーニングの視点を取り入れた社内研修の取組み．第57回下水道研究発表会講演集