

東京都下水道局技術調査年報

-2013-

平成 25 年 12 月
東京都下水道局

技術調査年報の発刊にあたって



下水道は、お客さまの生活を守り、都市活動を支える重要な都市インフラです。

このため、老朽化施設の再構築や浸水対策、震災対策など、安全・安心を支える施策はもちろん、合流式下水道の改善や高度処理による快適な水環境の創出、さらには地球温暖化対策から国際展開に至るまで、これらの施策を着実に進めていく必要があります。

東京の下水道は、明治17年、神田に下水道管を敷設したのが始まりで、120年以上の歴史があります。これまでの歴史の中で、

下水道局は培ってきた技術力を活かし、様々な困難な課題を克服するなど、局職員が一丸となって道を切り拓き、安全で快適な都民生活や高度に集積した東京の都市活動を支えてきました。

また、今年は、下水道局が発足して51年目という新たな半世紀に向けたキックオフの年でもあり、今後とも、「現場力」、「技術力」、「組織力」を持って、新たな課題にも果敢に挑戦し下水道事業を発展させていきたいと思えます。

現在、下水道局は、安全・安心を支える施策や快適な水環境を創出する事業などを進めています。これらの事業を促進するためには、人材の育成と技術の継承が不可欠であります。今年10月1日に砂町水再生センター敷地内に、国内初の下水道技術専門の大規模施設「下水道技術実習センター」を開設しました。このセンターは、実際の下水道の施設や現場を再現した施設が配置され、見て触れて体感できる特徴を有しており、実態に即した技術の継承を進めるとともに、行政だけでなく、民間事業者にも幅広く利用していただき、下水道界全体に携わる全ての人材育成に役立てます。

さらに、事業促進の原動力として技術開発の推進が重要です。最先端技術を持つ民間企業や専門的な基礎研究の担い手である大学との一層の連携強化や共同研究の活性化などを図り、時代に即した新技術の開発を積極的に進めます。

技術調査年報は、日常業務で生じた技術的課題をはじめ、局事業の推進のために各部所で実施した調査や研究の内容を取りまとめたもので、今日の下水道事業に求められている課題に深く関わりを持つものです。

本年報を職員はもとより、技術開発を進める上で共同研究などのパートナーである民間企業、大学・研究機関、関係団体の方々の技術開発ツールとして、また、国、地方公共団体の方々の業務の参考として活用していただければ幸いです。

平成25年12月

下水道局長 松浦 将行

目 次

本書をご利用いただく前に

要旨集	1
-----	---

1 安全性・快適性の向上

(1) 再構築技術

1 流出解析シミュレーションを活用した事例検証による雨水貯留施設の エア抜き対策	31
2 第二浅草系ポンプ室稼働に伴う仮壁・仮ポンプ撤去の設計について	37
3 落合水再生センター～みやぎ水再生センター間送泥管敷設事業	43
4 狭隘な立坑用地の創意工夫、近接施工による立坑築造	51
5 大規模な道路切回しを伴う既設幹線の改造について	59
6 大断面蓋掛け渠におけるSPR工法の施工 一千駄ヶ谷幹線再構築工事	67
7 新河岸水再生センターにおける汚泥焼却設備再構築工事の設計について	73

(2) 浸水対策技術

1 H&V 工法スパイラル掘進による設計 ～立会川幹線雨水放流管事業～	79
2 落合川雨水幹線工事(落合川吐口部)について	87
3 大深度・超大口径推進の施工について	95

(3) 震災対策技術

1 下水汚泥等の放射能濃度と焼却炉排ガス中の放射能測定法の開発 ～原発事故由来の放射性物質汚染への対応経過～	101
---	-----

2 水環境向上、環境負荷低減

(1) 合流式下水道の改善技術

1 幹線下流に流量制限を有する合流改善対策 ～野川下流部雨水貯留施設の設計～	111
---	-----

(2) 地球温暖化対策技術

1 汚泥焼却設備の最適燃焼化システムの導入について	121
2 第二沈殿池におけるサイフォン式揚泥方式の改善	125
3 西部第二下水道事務所練馬出張所に設置した小規模太陽光発電設備の 導入効果について	131
4 下水汚泥の省エネルギー濃縮技術（省エネ型汚泥濃縮機）について	141
5 余剰汚泥の削減がコスト及び動力に及ぼす影響の評価（夏期調査報告）	147
6 下水試料におけるヒドロキシルアミン測定方法の検討	153

(3) 水処理技術

- 1 反応槽流動シミュレーションを用いた新規施設の立ち上げ（事例報告）・・・ 159
- 2 森ヶ崎水再生センター東施設におけるりん除去性能低下の原因追究と
その対策に向けた取り組みについて・・・ 165
- 3 北多摩二号水再生センターにおける疑似 A₂O 法と A₂O 法の比較調査・・・ 171

3 維持管理向上、事業効率化

(1) 維持管理向上、効率化などの技術

- 1 芝浦水再生センター放流渠周辺のユスリカ発生防止対策について・・・ 183
- 2 低含水率脱水汚泥の効率的な搬送技術に関する調査について・・・ 191
- 3 スカムスキマの越流量調整方法の改善について・・・ 199

4 国際論文【第 85 回 WEF 年次総会発表論文 英文】

- 1 Technology Development of Anti-seismic Structures for Sewer Networks
管路施設の耐震化技術の開発・・・ 207
- 2 Discussion about Cause of Nitrous Oxide (N₂O) Emission in Wastewater
Treatment Plant, Based on Long-Term Continuous Measurement
下水処理施設における一酸化二窒素 (N₂O) の連続測定調査等に基づく
発生要因に関する考察・・・ 221

Copyright ©(2010) by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government

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

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

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

本書をご利用いただく前に

◆目的

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

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

◆構成

本書は、平成 24 年度に局内各部所が実施した下水道技術に関する調査・研究・計画・工事についてまとめたものです。各成果は、平成 23 年 1 月に策定した「技術開発推進計画 2010（東京都下水道局）」における 3 つの技術開発テーマ（安全・安心の向上を図る技術、良好な水環境と環境負荷の低減を図る技術、維持管理の向上・事業の効率化などを図る技術）に沿って分類しています。

- ・要旨集：第 1 章から 4 章の本文の概要を 1 頁程度にまとめたものです。
- ・第 1 章：「安全性・快適性の向上」・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 11 編
- ・第 2 章：「水環境向上、環境負荷低減」・・・・・・・・・・・・・・・・ 10 編
- ・第 3 章：「維持管理向上、事業効率化」・・・・・・・・・・・・・・ 3 編
- ・第 4 章：「国際論文」・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2 編

◆お知らせ

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

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

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

○用語の使用

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

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

（本書に関するお問合せ先）

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

＜参考資料＞

・特許などの件数（産業財産権の件数）

職員が着想したアイデア、民間企業などとの共同研究や工事請負契約などから生まれた発明について、特許庁へ出願を行い、多数の産業財産権を取得しています。下表は、平成24年度末で当局が所有している産業財産権の分野別の件数です。

技術開発の成果は、特許件数という数字にも表れています。

産業財産権 登録件数一覧（平成25年3月末時点）（単位：件）

部門	分野	特許	実用新案	意匠	商標	計
管きよ技術	管きよ	25	0	4	0	29
	雨水対策	2	0	0	0	2
管きよ技術計		27	0	4	0	31
維持管理	維持管理	19	0	0	0	19
	設備	22	1	0	0	23
	計測	9	0	0	2	11
	環境	4	0	0	0	4
維持管理計		54	1	0	2	57
水処理技術	水処理技術	39	0	0	0	39
水処理技術計		39	0	0	0	39
汚泥処理技術	汚泥処理技術	19	0	0	0	19
汚泥処理技術計		19	0	0	0	19
有効利用	光ファイバー	1	0	0	0	1
	汚泥の資源化	5	0	0	4	9
	熱利用	1	0	0	0	1
有効利用計		7	0	0	4	11
合計		146	1	4	6	157

平成24年度末において、上表以外で出願中のものが13件あり、登録済のものと合わせると、産業財産権の件数は、170件になります。

要 旨 集

番号	1-(1)-1	件名	流出解析シミュレーションを活用した事例検証による雨水貯留施設のエア抜き対策	
内 容	平成 23 年 8 月 26 日の 16 時半頃、江東区越中島にある区立調練橋公園内において、集中豪雨の発生に起因すると考えられる人孔の上部が破損する事故が発生した。そのため、本件では流出解析シミュレーションを活用して事故原因を検証し、再発防止対策を行った。 事故原因の検証では、流出解析モデル InfoWorks CS を用いて事故発生当時の管路施設内の水理現象について解析し、人孔上部に作用する空気圧力を算出した。その結果、蓋及び側塊の自重による耐圧力（約 5,900 N/m²）を上回る圧力（約 10,500N/m²）が発生していたことが明らかになり、人孔内で圧縮された空気によって人孔上部の破壊現象が起こったものと推測された。 エア抜き対策の検討では、まず解析結果から得られた最大排気量に対して必要となる開口面積を、「ふかし上げポンプ所施設設計マニュアル（案）」に示される 3 つの評価基準別に算出し、最終的に排気音が最も小さくなる開口面積を決定した。次に、決定した開口面積を確保するエア抜き施設について検討し、排気面積が G L V 型鉄蓋の約 3.5 倍であり、その上部構造や外観が公園の機能を損ねないといった理由から、東京都下水道サービス株式会社が開発した空気圧力開放装置を 3 箇所に設置することとした。			
	キーワード 流出解析シミュレーション、空気圧力、			
	処理区名	砂町処理区	位置区分	菅きよ
	職種区分	土木	施策区分	再構築
状態区分	調査 研究	技術区分		
実施年度	平成 23 年度	全体期間	平成 23 年度	
担当部所	東部第一下水道事務所 建設課 事業調査係			
出 展 等	平成 24 年度設計工事事例発表会			
	第 49 回下水道研究発表会			
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	1-(1)-2	件名	第二浅草系ポンプ室稼働に伴う仮壁・仮ポンプ撤去の設計について	
内 容	本設計は、三河島水再生センター第二浅草系ポンプ室の稼働に向けて、東尾久浄化センターから暫定的に汚水を流下させるための連絡管布設及び第二浅草幹線流末人孔内に設置している仮壁・仮ポンプ撤去の設計を行ったものである。			
	1. 連絡管布設			
	連絡管上流側の尾久東幹線流末人孔は、重要文化財の「保存部分」に指定されている築堤に面している。一方、下流側の第二浅草幹線流末人孔は区で管理している公園内にある。これらの現場条件より工法を種々検討した結果、公園内にSMW工法にて発進立坑を設け、到達立坑が不要となる泥濃式推進工法（ヒューム管推進工法）を採用した。			
内 容	2. 仮壁・仮ポンプ撤去			
	第二浅草系ポンプ室へ汚水を流下させるためには、第二浅草幹線流末人孔内にある仮壁及び仮ポンプを撤去する必要がある。先に撤去しなければならない仮壁は仮ポンプに近接しているため、仮壁撤去作業時にドライエリアが確保できるよう、越流式の仮設止水壁を仮ポンプ間に設置することにした。これにより、晴天時には仮設止水壁内側のドライエリアで仮壁が撤去でき、雨天時には汚水が仮設止水壁を越流することで仮ポンプ全台が運転できるため、十分な揚水機能を確保した上で施工することが可能となった。			
キーワード	仮壁、バイパス管、泥濃式推進工法、SMW工法、ウェットエリア内施工			
処理区名	三河島処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	土木	施策区分	再構築、合流改善	
状態区分	設計	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 24 年度	全体期間	平成 23 年度～平成 24 年度	
担当部所	建設部土木設計課設計第四係 椎名 洋匡			
出 展 等	平成 24 年度設計工事事例発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(1)-3	件名	落合水再生センター～みやぎ水再生センター間送泥管敷設事業		
内 容	東京 23 区内では、汚泥処理の役割を担う送泥管の敷設に際して、これまでは主に開削工法による直接埋設や下水道幹線内のインバート内へ配管する手法を採用してきた。しかし、これらの方法では、異常箇所の発見・補修、敷設替えが困難であり、維持管理上の課題が指摘されており、このような課題を解決する手法として、シールド工法により築造された専用管廊の中を送泥管を敷設することとした。 専用管廊方式とすることで、点検などの維持管理の容易化、公衆衛生悪化の抑制、道路掘削の抑制などの効果が見込まれる。 本事業は、直接埋設方式の割合が 90%以上と非常に高く、昭和 38 年から約 50 年にわたり稼働している落合水再生センター～みやぎ水再生センター間の送泥管を、専用管廊方式の最初の事業と位置付け、整備するものである。				
キーワード	送泥管 専用管廊方式 維持管理 老朽化				
処理区名	落合、新河岸、小台処理区		位置区分	処理場 水再生センター、汚泥	
職種区分	土木		施策区分	汚泥処分 汚泥資源化	
状態区分	設計		技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 23, 24 年度		全体期間	平成 23 年度～平成 24 年度	
担当部所	第一基幹施設再構築事務所 設計課 設計第二係 三瓶 武史				
出 展 等	平成 2 4 年度 設計・工事事例発表会				
調査方法	委託調査				
関連情報					

番号	1-(1)-4	件名	狹隘な立坑用地の創意工夫、近接施工による立坑築造	
内 容	これまで、閉鎖性水域である皇居内濠には降雨時、汚水まじりの雨水が放流されていた。東京都下水道局では、内濠の水質を改善するため、雨水の放流先を隅田川へ切換えることを定め、主要枝線をシールド工法により発進させるための立坑を築造した。 立坑用地には、国会議事堂前の中央分離帯が選定されたが、狹隘であり地下構造物や他企業埋設物が近接しているため、様々な課題に直面した。しかし、大深度（55.6m）にも適応し、施工面積も小さく、周辺地盤に影響を与えないニューマチックケーソン工法を採用し、施工に際して以下のような工夫を行った。 ① 諸設備の配置を工種ごとに変更することで作業スペースを確保 ② 有人掘削と無人掘削の併用による掘削の効率化 ③ 躯体のひび割れを抑制するためにガラス繊維ネットを設置 また、近接構造物の影響を評価するために地下構造物の管理者と協議を行い一次管理値を定め、施工による異常の有無を確認した。 以上のように、狭小で特殊な形状の施工スペースにおいても、作業ごとに最適な施工環境を設定することで滞りなく施工し、近接構造物への影響や周辺からの苦情等もなく、工事を完了することができた。			
	キーワード 皇居内濠、水質改善、ニューマチックケーソン、近接施工、立坑用地			
	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	工事	技術区分	
実施年度	平成 24 年度	全体期間	平成 22 年度～平成 24 年度	
担当部所	中部下水道事務所 建設課 工事係 林 恵里香			
出 展 等	平成 24 年度 設計・工事事例発表会			
	第 50 回下水道研究発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(1)-5	件名	大規模な道路切回しを伴う既設幹線の改造について	
内 容	本工事は、浮間水再生センターの増強にあわせ、3Q 分水を行うため、豊島区と板橋区の区界にある谷端川上幹線の分水構造を改造すると共に、他企業埋設物の敷設スペースを確保するため、土被りのない同幹線の上部を切下げるものである。 当該箇所は現道が 4m と狭いため、現道部分を拡幅する「補助 173 号線道路整備事業」が実施されるタイミングに合わせ、豊島区及び板橋区と三者で一体施工協定を締結し、当局受託による施工を実施した。 今回はこの施工の中で、一般的な下水道工事には見られない土被りを解消した「幹線上部の切下げ施工」について詳細を報告する。			
	キーワード 蓋掛け幹線、鋼管杭、P C 版、補助 173 号線、道路切回し			
	処理区名	新河岸処理区、小台処理区	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	技術区分		
実施年度	平成 23 年度	全体期間	平成 23 年度～平成 24 年度	
担当部所	北部下水道事務所 建設課 技術調査係 出野 貴章			
出 展 等	平成 24 年度設計工事事例発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(1)-6	件名	大断面蓋掛け渠におけるSPR工法の施工 —千駄ヶ谷幹線再構築工事—	
内 容	千駄ヶ谷幹線は、東京オリンピックの開催をきっかけに渋谷川に蓋掛けを行って暗渠化した矩形形状の下水道管渠である（延長 3,020m、幅 7.4m、高さ 3.5～4.0m）。 本工事ではこの内、特に老朽化が進んでいる延長 224.5m について内面被覆工法（SPR 工法）で再構築を行った。 内面被覆工法（自由断面）の最大適用範囲は幅 6.0m までとなっており、今回再構築する断面（仕上がり内径 幅 5.75m×高さ 2.93～3.70m）は最大規模となる。また、仕上がり内径が幅 5.0m 以上の施工実績は本工事を含めて 3 件程度しかない。 そのため、施工時に品質トラブルを起こさぬように綿密な施工計画を立案し、様々な工夫を行った。 【内面被覆工における工夫点】 ① 製管機メンテナンス用油圧ジャッキの活用 ② 製管後、裏込め注入するまでの間、仮受支保工により断面形状を保持 ③ 支保工上に足場板を敷設し作業スペースとして有効活用（裏込め注入時） 【その他工夫点】 ① 内壁コンクリート打設の効率化（道路管理者と連携し、雨水桝を利用） ② 蓋掛け頂版の浮上防止対策 ③ 下水道の「見える化」推進 小中断面の内面被覆工事で習得した知識と経験を最大限に活用し、受注者と一体となり創意工夫することで、大断面蓋掛け渠における内面被覆工事についても良好な施工結果を得たので報告する。			
キーワード	内面被覆工法、自由断面、SPR 工法、大断面、蓋掛け渠、老朽化			
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	工事	技術区分		
実施年度	平成 24 年度	全体期間	平成 24 年度～平成 25 年度	
担当部所	第二基幹施設再構築事務所 工事第一課 工事第二係 比護 一裕			
出 展 等	平成 24 年度設計工事事例発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(1)-7	件名	新河岸水再生センターにおける汚泥焼却設備再構築工事の設計について	
内 容	本工事は、新河岸水再生センターの汚泥焼却設備が老朽化したため、これを再構築するものである。再構築工事の発注にあたり、温暖化対策と騒音対策の 2 点の環境対策について検討の上、設計を行った。 (1) 温暖化対策 汚泥焼却炉は、第二世代型焼却炉とし、多層型とターボ型を発注仕様に併記して受注したメーカーの型式を採用することとした。 ターボ型は、燃焼排ガスを有効活用し、電力量が削減できることに對し、多層型は、標準のシステムでは電力量削減機能を有していない。そこで、多層型流動焼却炉に熱回収設備と送風機の回転数制御装置を設置し、電力量削減機能を付加することで、多層型とターボ型のいずれの型式においてもほぼ同等の温室効果ガス削減が可能となる仕様とした。 (2) 騒音対策 汚泥焼却炉稼働時には敷地境界での騒音値が大きくなる傾向があり、これまでも機器ごとの防音被覆などの対策は行われているが、周辺に住宅が多いため、住宅環境に配慮した騒音対策が必要である。そこで、騒音削減効果と施工性を考慮し、汚泥焼却設備の周囲に共通架台併用方式の防音壁を設置することで、敷地境界での騒音値の低減を図った。			
キーワード	再構築、汚泥焼却設備、温暖化対策、騒音対策			
処理区名	新河岸	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	設備	施策区分	再構築、温室効果ガス削減対策	
状態区分	設計	技術区分		
実施年度	平成 23 年度	全体期間		
担当部所	建設部 設備設計課			
出 展 等	平成 24 年度 下水道設備研究発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(2)-1	件名	H&V 工法スパイラル掘進による設計 ～立会川幹線雨水放流管事業～	
内 容		本事業は、品川区立会川周辺の浸水対策及び水質改善を目的に、立会川へ放流されている 50 mm/h-80%相当分の雨水を取り込み、放流先を京浜運河に変更する管きょを布設するものである。 本管は、狭隘な河川内かつ地下埋設物が輻輳している箇所へ布設する必要があるため、平面・縦断において厳しい条件下で施工する必要がある。そのため、通常のシールドマシンを用いた設計では流下能力を満たした断面の確保ができない。そこで、限られた占用スペースの中で最大限の流下能力の確保が可能な工法として H&V 工法スパイラル掘進を選定した。今回は、その経緯と設計について報告する。		
キーワード		シールド工法、H&V 工法、スパイラル掘進、都市部、埋設物		
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	浸水対策
状態区分		設計	技術区分	新規知見あり
実施年度		平成 24 年度	全体期間	平成 21 年度～平成 23 年度
担当部所		第二基幹施設再構築事務所 設計課 事業調査係 岡田 大吾		
出 展 等		平成 24 年度 下水道局公開研修「下水道新技術」		
		平成 24 年度 設計・工事事例発表会		
調査方法				
関連情報				

番号	1-(2)-2	件名	落合川雨水幹線工事（落合川吐口部）について	
内 容	多摩地域の分流地区の雨水整備は市の固有事務となっている。しかしながら雨水の放流先となる河川がないなどの理由から、市単独では雨水の排除が困難な地域があり、豪雨時には多くの地域で浸水被害が発生していた。なかでも多摩北部に位置する黒目川と、その支川である落合川の上流域は浸水常襲地域となっていた。 このため、平成 5 年度より広域的な雨水排除施設として、全国初となる流域下水道事業に着手した。このたび、平成 23 年 9 月に落合川雨水幹線の落合川吐口部の工事が完了したため、以下の特徴等について報告する。 (1) 落合川吐口部における河川工事等との協同事工 落合川雨水幹線は、東久留米市都道弁天橋付近に吐口を設置し、雨水を落合川に放流している。建設局施行の落合川整備事業と調整を図り、河川整備工事の延長約 140 m区間のうち、吐口の影響範囲 37m区間について、下水道局が同時進行する形の協同事工とし、河川工事と綿密な工程調整を実施することにより、工期の短縮及び地元への影響を最小限にすることができた。 ①水理模型実験により吐口の構造を決定（河川の流下阻害を発生させない形状・角度） ②河川工事と共同で河川用地等を施工ヤード・資機材搬出入経路として利用 ③下流の湧水群への影響を最低限とするため、河川路内の河床の防護工の実施（洗掘防止用の擬石ブロックを設置し景観上の配慮とともに平常時のせせらぎを創出） (2) 吐口部手前の特殊人孔工事における創意工夫、安全対策の徹底 落合川雨水幹線と吐口部を接続する特殊人孔（ふかし上げ構造）は、都道小金井街道と住宅に挟まれた狭小な土地に築造を余儀なくされた。交通管理者から、片側一車線の規制による作業帯の設置の同意が得られず、大幅な施工計画の変更を実施した。 ①立坑に隣接する河川用地、民間駐車場の借用による施工スペース、搬出入路を確保 ②上記について手作り模型（縮尺 1/100）を作成し、実際の施工現場の可視化による説明等を実施 ③隣接する住宅への騒音振動対策、広報活動等の徹底			
キーワード	雨水幹線 吐口 協同事工			
処理区名	黒目川排水区・落合川排水区	位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	浸水対策	
状態区分	工事	技術区分		
実施年度	平成 23 年度	全体期間	平成 22 年度～平成 23 年度	
担当部所	流域下水道本部 技術部 工事課 土木工事係			
出 展 等	平成 24 年度設計工事事例発表会			
調査方法				
関連情報	落合川雨水幹線・黒目川雨水幹線			

番号	1-(2)-3	件名	大深度・超大口径推進の施工について	
内 容	本工事は、内径 4000 ミリの組立式超大口径推進管を土被り約 30mの大深度・高水圧下において施工した「世界初」の事例である。管の運搬の際には、道路交通法による高さ制限により分割管として運搬した。			
	施工にあたっては、高水圧下対策として、管接合部に高水圧対応のシール材等を設置することで、止水性を高めた。さらに、推進管挿入時の水圧による管きよの後退防止を図るために、推進管を受け止めるための鋼材支保工や地下水圧を低下させるための地下水位低下対策を施して、安全かつ確実な施工をした。また従来工法（シールド工法）に比べ約 2 割のコスト縮減を確保できた。			
キーワード	組立式超大口径推進管 大深度 高水圧下 後退防止			
処理区名	三河島処理区		位置区分	管きよ
職種区分	土木		施策区分	浸水対策
状態区分	工事		技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 24 年度		全体期間	平成 24 年 4 月～平成 25 年 1 月
担当部所	第一基幹施設再構築事務所 工事第二課 工事係			
出 展 等	平成 24 年度 設計・工事事例発表会、『トンネルと地下』（H25. 2）掲載、全建賞応募			
	都建賞受賞 (H25. 6) 平成 25 年度 下水道研究発表会 (H25. 7 下水道展)			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(3)-1	件名	下水汚泥等の放射能濃度と焼却炉排ガス中の放射能測定法の開発 ～原発事故由来の放射性物質汚染への対応経過～		
内 容	I．平成 23 年 3 月 11 日の原発事故発生後の当局の安全対策の経緯について、放射性物質汚染対処特別措置法（特措法）が一部施行された平成 23 年 8 月 26 日以前、以後、そして全面施行された平成 24 年 1 月 1 日以降に当局が行ってきた放射能対応等の経過を報告した。 II．原発事故発生当初、汚泥等の固形物、放流水、排ガスなど各物質に関する放射能測定方法が確立されていなかったため、当局では独自に、様々な測定方法を検討してきた。その例として、二つの方法について紹介した。 1．焼却炉排ガス中の放射能測定 原発事故発生直後から特措法全面施行までの期間、焼却炉排ガス中の放射能濃度を測定するため、当局が独自に開発し測定を行ってきた方法。 排ガス中のダイオキシン類の試料採取方法等を参考に、固形物に付着する放射性物質とガス状態の放射性物質をそれぞれ捕捉し、分析。 特措法全面施行までの期間（平成 23 年 6 月～9 月）、稼働中の全焼却炉の排ガスを測定したが、放射性セシウム、放射性ヨウ素ともに検出されなかった。特措法施行後は、国のガイドラインに基づき、放射性セシウムを測定。 2．サーベイメータを用いた簡易な放射能濃度測定方法 現場での放射能管理を目的に開発した、簡易な放射能測定方法である。 サーベイメータを用いた空間放射線量の測定から空間放射線量と放射性セシウム濃度の相関式を算出。得られた関係式を用い、空間放射線量から放射性セシウム濃度を求める方法。 汚泥処理作業現場への適用に向け、容器の加工等を行い対応。				
	キーワード 原発事故、放射性物質、下水汚泥、焼却炉排ガス、放射能測定法				
	処理区名		位置区分	処理場 水再生センター	
	職種区分	水質	施策区分	震災対策	
	状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 23 年度～平成 24 年度	全体期間	平成 23 年度～平成 24 年度		
担当部所	施設管理部 環境管理課 調整係 大瀬 俊之				
出 展 等	平成 24 年度水質技術研究発表会				
	平成 24 年度下水道局公開研修「下水道新技術」				
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	2-(1)-1	件名	幹線下流に流量制限を有する合流改善対策 ～野川下流部雨水貯留施設の設計～	
内 容	一般に合流式下水道の整備区域では、雨天時に雨水と汚水が混合した下水の一部が未処理のまま公共用水域に放流されるため、その汚濁負荷によって放流先水域の水質や生態系が損なわれるなど大きな問題を抱えている。 また、流域下水道本部が所管する処理区は、基本的に各処理区毎に水再生センターを設置して処理している。 しかし、本報告にある野川処理区では、処理区内に水再生センターが無く、野川第一幹線から区部の森ヶ崎処理区に流量制限(2Q 相当)を設定して接続されているため、野川処理区の流量制限(2Q 相当)を上回る下水については、処理区内に独自の対策が求められていた。 そこで、野川第一幹線下流部に 2Q 相当を超える水量 2 万口を貯留する雨水貯留池を建設することで野川処理区の合流改善を推進することとなった。 この貯留池の設計にあたり考慮した点は、貯留水の取返水である。取水については、複雑な制御を回避するため、既設オリフィス構造を活用し随時下流に 2Q 相当を流下させ、超えた水量について貯留池に流入する構造とした。また、返水については、幹線水位が低下したのち、2Q 相当が流下できるようになった時点で幹線に返水することとした。 その他、構造において工夫した点は、流入シャフトをふかし上げ構造として小降雨時に必要以上に貯留池への流入が起こらないようにした。また、清掃等の維持管理負担を軽減するために、スクリーンを流入シャフト側に傾け捕捉し、貯留池内に大きなごみが堆積しないようにした。更に、ブレード長を通常より長くすることでひも状のごみの絡まりも防ぐようにした。 このように、本貯留池は様々な工夫がみられる多摩地域における初めての大規模合流改善施設であり、今後、野川処理区の水環境の改善に寄与することが期待される施設である。			
	キーワード	合流改善 雨水貯留池 取返水		
	処理区名	野川処理区	位置区分	処理水 放流水
	職種区分	土木	施策区分	合流改善
	状態区分	設計	技術区分	新規知見あり
	実施年度	平成 22 年度	全体期間	平成 22 年度～平成 25 年度
	担当部所	流域下水道本部 技術部 設計課 土木設計係 金栗 悠太		
出 展 等	平成 24 年度 第 1 回設計工事事例発表会			
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	2-(2)-1	件名	汚泥焼却設備の最適燃焼化システムの導入について	
内 容	下水道局では、「アースプラン 2010」を策定し、温室効果ガス削減の取組みを行っており、削減効果の大きい汚泥焼却については、焼却炉の運転方法の見直しや炉内の燃焼方式等を改善した焼却炉の導入を行う等、様々な対策を積極的に進めている。 このような背景を受け、東部スラッジプラントでは、温室効果ガス削減に有効な焼却炉の高温焼却運転（850℃以上）に取り組んできた。今回、高温焼却運転の取組みの中で、汚泥焼却炉 3 号に焼却炉の温度を最適化する最適燃焼化システムの導入を行った。 一般的に高温焼却運転を行うには、炉温維持のため補助燃料使用量が増加するため、炉の運転状態を最適に保つことが必要とされるが、このような運転を行うにはオペレーターによる緻密な手動運転が欠かせず、オペレーターへの負担が大きかった。 東部スラッジプラントでは、これらを最適に行える制御システム（最適燃焼化システム）を導入し、高温焼却運転を自動化することでオペレーターの負担を軽減し、かつ安定した温室効果ガスの削減を行えることが確認できた。			
	キーワード	N ₂ O 制御、都市ガス、省力化、東京都下水道サービス		
	処理区名	砂町処理区	位置区分	処理場 水再生センター
	職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策
状態区分	工事	技術区分		
実施年度	平成 23 年度	全体期間	平成 23 年度	
担当部所	東部第一下水道事務所 砂町水再生センター 設備整備係 岡本 高典（柳下 慎二）			
出 展 等	平成 24 年度 設計・工事事例発表会 [岡本]			
	（平成 25 年度 下水道研究発表会 [柳下]）			
調査方法				
関連情報				

番号	2-(2)-2	件名	第二沈殿池におけるサイフォン式揚泥方式の改善	
内 容	三河島水再生センター浅草系第二沈殿池では、沈殿池脇の長手方向に設置された排泥きょを経由して汚泥ピットにて汚泥を貯留し、汚泥ポンプで除去している。 汚泥を排泥きょに送る方法として、走行型と固定型がある。走行型は走行サイフォン式採泥機を採用しており、沈殿池長手方向に往復走行し、底部に沈降した汚泥を揚泥する。一方、固定型は固定したサイフォン式揚泥機を採用しており、汚泥かき寄せ機により集められた汚泥を揚泥する。これらの方法は、沈殿池と排泥きょ間の壁を超えるように揚泥管が敷設されており、水面上部に設置されているフランジより空気が混入すると真空状態が破壊されるため、昼夜を問わず頻繁に真空度低下が発生していた。復旧には現場操作が必要で、夜間や雨天時の現場操作には危険が伴い、運転業務に支障をきたしていた。 そこで、水面下の第二沈殿池と汚泥排泥きょと壁に揚泥管の貫通部を設けることで、沈殿池と排泥きょの水位差のみを利用し、真空装置が不要な揚泥方式へと改善した。 その結果、 (1)初期費用の削減 (2)使用電力量・温室効果ガスの削減 (3)安全性の向上及び維持管理作業の軽減 以上の改善効果を得られた。その改善内容と効果を報告する。			
	キーワード	第二沈殿池 揚泥 無動力		
	処理区名	三河島処理区	位置区分	処理場 水再生センター
	職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、効率化
	状態区分	維持管理	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 23 年度	全体期間	平成 23 年度	
担当部所	北部下水道事務所 三河島水再生センター 設備整備係 谷口 小林			
出 展 等	平成 2 4 年度 第 3 3 回下水道設備研究発表会			
	平成 2 5 年度 第 5 0 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)-3	件名	西部第二下水道事務所練馬出張所に設置した小規模太陽光発電設備の導入効果について	
内 容	当局では、葛西水再生センターに太陽光発電設備(490kW)を設置するなど、温室効果ガスの削減を行ってきた。更なる取組として、ポンプ所や出張所等の屋上未利用スペースを活用し、太陽光発電設備を設置することとした(アースプラン 2010)。 パイロット事業所として練馬出張所を選定し、平成 22 年度工事で設備規模 5kW の太陽光発電設備を設置した。発電した電力は事務室などの照明等の一般的な電源として消費する(葛西水再生センターでは、水処理用動力電源として使用している)。また、機器については、一般家庭に広く普及している汎用品を採用することで、設置コストの削減を図った。 平成 23 年 4 月から運用開始し 1 年が経過したことから、太陽光発電設備の導入効果を検証した。 検証の結果、 ・ 想定とおりの発電量を確保していた。 ・ 平成 23 年度は、平成 22 年度と比較して、買電電力量が 30%減少していた(電気料金が 30%下がったことに相当)。 内訳を詳しく見ると、 節電対策で 15%(東日本大震災後、局として節電に取り組んでいる) 太陽光の発電効果で 15%(節電と同様に料金削減に寄与) であった。			
キーワード	太陽光			
処理区名	新河岸処理区	位置区分	その他	
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、エネルギー熱利用	
状態区分	工事	技術区分		
実施年度	平成 23 年度	全体期間		
担当部所	施設管理部 施設保全課 建築保全係			
出 展 等	平成 24 年度下水道設備研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-(2)-4	件名	下水汚泥の省エネルギー濃縮技術(省エネ型汚泥濃縮機)について	
内 容	当局では「アースプラン 2010」に基づいて、温室効果ガスを抑制するために、省エネ効果の高い技術の導入を進めている。 従来、当局に新たな技術を導入する場合は、当局と共同研究の後に実用化の評価を付与してから導入が原則となっている。 今回、新たな仕組みとして『新技術の評価』を策定した。公的機関から性能の評価取得済みで、他の自治体で導入実績があり、新たな開発要素が少ない等の一定の要件を満たす技術においては簡易な方法で評価し、迅速な導入を行う。 汚泥処理における濃縮工程に省エネ型汚泥濃縮機を導入するにあたり、『新技術の評価』の仕組みを使い迅速に性能確認を行った。 公募を行い、当局の目標性能を提示し応募者を集め、性能確認を実施した。その結果、各応募者の技術とも目標を達成し、応募機種全てが省エネ型汚泥濃縮機として承認された。 性能確認後、東部汚泥スラッジプラント設備工事において省エネ型汚泥濃縮機を設置し、現在稼働中である。 なお、試運転時に性能評価時の条件は全て満たした。			
キーワード	ベルト型濃縮機、差速回転型スクリュウ濃縮機 新技術の評価 省エネ型濃縮機			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査 研究	技術区分		
実施年度		全体期間	平成 22 年 10 月～平成 23 年 3 月	
担当部所	計画調整部 技術開発課 企画調整係 竹谷 修平			
出 展 等	平成 24 年度設備研究発表会			
調査方法	新技術の評価			
関連情報	アースプラン 2010			

番号	2-(2)-5	件名	余剰汚泥の削減がコスト及び動力に及ぼす影響の評価 (夏期調査報告)	
内 容	水再生センターにおけるコスト削減及び動力削減は、主に反応槽の空気量を抑えることで対応してきた。しかし、空気量の過度の抑制は放流水質の悪化と余剰汚泥の増大をまねく危険性があり、かえってセンター全体のコストと動力の上昇につながるおそれある。みやぎ水再生センターでは、水処理・汚泥処理を含めたセンター全体の動力及び薬品費等のコスト削減に取り組んだ。汚泥処理性の極めて悪い余剰汚泥量の削減を目的に、生物の活性が著しく高くなる高水温期に DO 設定を高く設定し、活性汚泥の自己酸化による分解を促すことで、余剰汚泥の発生を抑える取組みを実施し、一定の削減効果を上げた。			
キーワード	コスト削減 余剰汚泥 焼却助燃ガス			
処理区名	小台処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 2 4 年度	全体期間	平成 2 4 年度	
担当部所	西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター			
出 展 等	平成 2 4 年度 水質技術研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-(2)-6	件名	下水試料におけるヒドロキシルアミン測定方法の検討			
内 容	水処理過程での反応槽において二酸化炭素の310倍の温暖化効果がある一酸化二窒素（N ₂ O）が排出されている。当局ではアースプラン2010に基づき以前からN ₂ Oの排出抑制に向けた取り組みを行っている。					
	しかし、そもそもなぜN ₂ Oが水処理過程で生成するかという詳細な原因が解明されていないので、効率的にN ₂ O排出抑制の対策を行うことができないという課題がある。					
	そこで、アンモニアからN ₂ Oになる過程の中間体の1つであるヒドロキシルアミンに注目しその測定方法を検討した。					
	ヒドロキシルアミンの固定方法（前処理）及び測定方法について、ろ過方法や酢酸濃度の調整をすることで回収率を高めることができ、下水試料への適用に成功したので報告する。					
キーワード	温室効果ガス　一酸化二窒素　反応槽　ヒドロキシルアミン　下水試料					
処理区名				位置区分	処理場　水再生センター	
職種区分	水質			施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査　研究			技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成23年度～平成24年度			全体期間	平成23年度～平成24年度	
担当部所	施設管理部　環境管理課　水質検査係					
出 展 等	平成24年度水質技術研究発表会					
調査方法	直営調査					
関連情報						

番号	2-(3)-1	件名	反応槽流動シミュレーションを用いた新規施設の立上げ（事例報告）	
内 容	流域下水道本部では、多摩川における良好な水環境創出のため、各水再生センターに高度処理・準高度処理施設の整備を推進している。平成 24 年度、北多摩二号水再生センターにおいても、4 系列ある反応槽施設の 1 つ（1 系反応槽）を標準活性汚泥法からステップ A₂O 法に改良し、平成 24 年 9 月に稼働させた。なお、ステップ A₂O 法施設の稼働は、流域下水道本部において 6 例目である。 施設の立上げに際し、当該反応槽の処理能力が 1 日の平均受水量の約 5 割と大きいことから、通水初期の活性汚泥の確保が大きな課題となった。そこで、他系列からの活性汚泥転送等の作業に先立ち、反応槽内の流動を再現する計算モデルを作成してシミュレーションを実施し、活性汚泥の転送方法・時間等を詳細に検討した。これを踏まえて作業を実施した結果、他の反応槽の処理状況に大きな影響を与えることなく、短時間で必要な活性汚泥量を確保し、処理を開始することが出来た。本稿ではこれら一連の経過について報告する。また、上述の計算モデルを用い、新規反応槽に活性汚泥が流入し拡散していく様子についての再現計算を行ったので、これについても併せて報告する。			
	キーワード 反応槽の立上げ ステップ A ₂ O 活性汚泥流動シミュレーション			
処理区名	北多摩二号処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	高度処理	
状態区分	調査 研究	技術区分		
実施年度	平成 24 年度	全体期間		
担当部所	流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター			
出 展 等	平成 24 年度水質技術研究発表会			
	第 50 回下水道研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-(3)-2	件名	森ヶ崎水再生センター東施設におけるりん除去性能低下の原因追究とその対策に向けた取り組みについて	
内 容	森ヶ崎水再生センターにおける最大の課題は、東施設の処理水のりん濃度が高めに推移することである。標準法で処理する 1, 2 系に比べ、りん除去を目的にした A0（Anaerobic-Oxic：嫌気-好気）法、A₂O（Anaerobic-Anoxic-Oxic：嫌気-無酸素-好気）法で処理する 3, 4 系のりん酸性りん濃度が特に高い傾向がある。今回はその原因を追究するとともに、3, 4 系のりん酸性りん濃度を低くする対策を検討した。 3, 4 系のりん酸性りん濃度が、1, 2 系よりも高くなる原因は、反応槽流入水の水質の違いではないかと考えた。1, 2 系に比べ、3, 4 系の反応槽流入水のりん酸性りん濃度は高く、有機酸濃度は低い。これは、水質の異なる 2 つの着水井からの流入割合が 1, 2 系と 3, 4 系とで違うためである。 3, 4 系のりん酸性りん濃度を低く抑える対策として、第一沈澱池流入水を溜置き腐敗させることによって、有機酸濃度を上昇させた水を反応槽に流入させたところ、反応槽流入水の有機酸濃度が高くなり、反応槽流出水のりん酸性りん濃度が低下した。反応槽流入水の有機酸濃度を高めることで、りん除去が効果的に行われることがわかった。			
	キーワード	りん 有機酸		
	処理区名	森ヶ崎処理区	位置区分	処理場 水再生センター
	職種区分	水質	施策区分	高度処理
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 24 年度	全体期間	平成 24 年度	
担当部所	森ヶ崎水再生センター 水質管理係 西谷内 光春 ほか			
出 展 等	平成 24 年度水質技術研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-(3)-3	件名	北多摩二号水再生センターにおける疑似A ₂ O法とA ₂ O法の比較調査	
内 容	北多摩二号水再生センターでは、高度処理にともなう消費電力量の増加を抑え、A ₂ O法施設と同等程度の処理水質を得る目的で、平成22年度に3系反応槽を標準法から疑似A ₂ O法（制限曝気A ₂ O法）へ改良する工事を行い、平成23年2月21日から運用を開始した。			
	本調査は、平成23年8月から平成24年2月において、疑似A ₂ O法（3系）と既存のA ₂ O法（4系）施設の使用電力量と処理水質について比較したものである。その結果以下のことが明らかになった。			
	(1) BODと窒素の除去性能は、ほぼ同等であった。			
	(2) りんの除去性能は、通常の運転ではほぼ同等だが、降雨等で流入負荷が低減した場合、疑似A ₂ O法の方が除去性能が低下する傾向がみられた。			
	(3) 反応槽の消費電力量の比較では、疑似A ₂ O法は、A ₂ O法の機械攪拌に消費される電力量よりも、少ない電力量で空気攪拌が可能であることが確認された。			
キーワード	準高度処理 制限曝気A ₂ O法 窒素 りん 電力			
処理区名	北多摩二号処理区		位置区分	処理場 水再生センター
職種区分	水質		施策区分	高度処理 温室効果ガス削減
状態区分	調査 研究		技術区分	
実施年度	平成23年度		全体期間	
担当部所	流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター 吉本 圭子			
出 展 等	平成24年度水質技術研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報	経営計画2013			

番号	3-(1)-1	件名	芝浦水再生センター放流渠周辺のユスリカ発生防止対策について			
内 容	芝浦水再生センター周辺は、以前の倉庫や工場が、オフィスビルや高層マンションに代わり、人々が多く集まる地域として生まれ変わってきた。このため、本系放流口付近で夏季にユスリカが飛翔することによる苦情が、近隣ビルから出ていた。 センターでは、ユスリカの苦情が寄せられた放流口付近においてユスリカの飛翔状況を調査するとともに、センター内の繁殖場所の調査を行い、平成２２年度までに次の対策を行った。 ① 繁殖場所をなくすため、第二沈澱池流出樋への藻抑制用銅板張り ② 発生したユスリカを駆除するため、塩素接触槽下流部に自動薬剤噴霧装置を設置 ③ 駆除しきれなかったユスリカの飛翔を抑えるためのゴムシートを放流口に設置					
	平成２３年度は、平均気温が前年度より高く、早い時期にユスリカが発生した。このため、ユスリカの増える夏場に向け近隣ビル側の要望を伺い、次の追加対策を実施した。 ① 放流口付近での薬剤散布を定期的実施 ② ゴムシートの改良 ③ 自動薬剤噴霧装置の増設 ④ 放流口付近への電撃殺虫器の設置					
	平成２４年度には、前年度に完結した追加対策の効果を検証した。発生原因を明確にし、発生段階と場所の状況に応じた対応策を組み合わせることにより、ユスリカの大量発生を効果的に抑制した。 さらに、苦情に対しても迅速に対応し、当局への信頼を高めることができたと考える。					
	キーワード	放流 ユスリカ 飛翔 発生防止 蚊柱 薬剤噴霧 ゴムシート 電撃殺虫器				
	処理区名	芝浦処理区	位置区分	処理場 水再生センター、処理水放流水		
職種区分	設備	施策区分	周辺環境対策			
状態区分	維持管理	技術区分				
実施年度	平成２４年度	全体期間	平成２１年度～平成２４年度			
担当部所	中部下水道事務所 芝浦水再生センター 設備管理係 林 一男 設備整備係 上田 喜一郎					
出 展 等	平成２４年度 下水道設備研究発表会					
調査方法						
関連情報						

番号	3-(1)-2	件名	低含水率脱水汚泥の効率的な搬送技術に関する調査について	
内 容	脱水汚泥の低含水率化は焼却炉の補助燃料削減に大きく貢献するため、下水道局は低含水率脱水技術の開発に取り組み、含水率 74%以下の脱水汚泥を安定的に生産する技術を既に実用化している。 一方、脱水汚泥は低含水率化に伴いその流動性が著しく低下するため、ポンプ圧送においては、ポンプ吐出圧の大幅な増加や搬送量の低下といった課題がある。 これまで、低含水率脱水汚泥のポンプ圧送においては、管摩擦力の低減のため配管内壁に水を注入する対策を実施しており、低含水率脱水技術を十分活用できていない実態があった。 そこで、既存のポンプ搬送設備を改造し、含水率 77%程度の脱水汚泥搬送時と同等の消費電力で、かつ無注水のまま、74%程度の低含水率脱水汚泥を焼却炉まで圧送することを目標と定め、実現のための技術について南多摩水再生センターにて調査を行った。 ①脱水汚泥の練込み ②吐出配管外周の加温 の2つの技術を併用することで、設定した目標を達成する等の有用な知見が得られたので報告する。			
キーワード	脱水汚泥、ポンプ搬送、低含水率、低動力			
処理区名	南多摩処理区	位置区分	水再生センター 汚泥処理プラント	
職種区分	設備	施策区分	事業効率化	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 23 年度	全体期間	平成 23 年度	
担当部所	計画調整部 技術開発課 高橋 淳司 東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 徳岡 繁行			
出 展 等	平成 24 年度 下水道設備研究発表会 論文集 P. 41			
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	3-(1)-3	件名	スカムスキマの越流量調整方法の改善について	
内 容	中川保全事業所では、第一沈殿池及び第二沈殿池において季節によりスカムが大量に発生し、収集しきれずに堆積してしまうことがあった。スカムスキマの調整は作業環境の悪い場所で電極を調整する必要があり、その対応に苦慮していた。 本調査は、スカムスキマの制御回路に新たにタイマ回路を追加変更することで、劣悪な環境での調整作業を無くすとともに、スカム収集を効率よく行ない、安定した水処理の運転を目的として行った。 1 調査内容 スカムスキマの越流量を調整するため、従来の電極の長さを調整する方法から、今回新たにタイマリレーを利用した調整方法に改良した。 2 調査要領 (1) 期 間：平成 23 年 8 月 1 日から平成 24 年 3 月 31 日 (2) 調査対象：第一沈殿池及び第二沈殿池スカムスキマ (3) 調査方法：現場盤内制御回路の一部を変更し、タイマを追加した。そのタイマを調整することでスカムの越流量を調整する。 3 調査結果 (1) スカム発生量に応じた最適なスカムスキマの調整が簡単にできるようになった。 (2) 覆蓋下という悪環境のもとでの電極棒調整作業を無くすことができた。 4 まとめ 今回 2 系一沈 1 号池と 4 号池の計 8 台についてスカムスキマの越流量調整方法を改善した。 スカムの大量発生時にも、タイマ設定時間を変更し越流量を増やすことで、スカムの堆積を防ぐことができた。			
	キーワード	スカムスキマ、越流量、タイマ		
	処理区名	中川処理区	位置区分	処理場 水再生センター
	職種区分	設備	施策区分	効率化
	状態区分	維持管理	技術区分	新規知見あり
	実施年度	平成 23 年度	全体期間	平成 23 年度
	担当部所	東部保全センター 中川保全事業所		
	出 展 等	下水道協会誌 Vol.50 No.603 2013/01		
		平成 24 年度下水道設備研究発表会		
	調査方法	直営調査		
関連情報				

番号	4-1	件名	Technology Development of Anti-seismic Structures for Sewer Networks 管路施設の耐震化技術の開発	
内 容	東京都下水道局では、首都直下地震など大地震が発生した場合でも、下水の流下機能を確保するとともに、お客様の避難時の安全性やトイレ機能を確保するため、管路施設の耐震化技術の開発に取り組んでいる。 本稿では、これまでの地震で被害が多かった管きよとマンホールとの接続部の耐震化技術や地盤の液状化によるマンホール浮上抑制技術に加えて、新たな耐震化技術として開発を進めている既設マンホール内への土砂流入防止技術について報告する。 【開発技術の概要】 1. マンホールと管きよとの接続部の耐震化技術の開発 本技術には、「既設人孔耐震化工法」、「更生管マンホール接続部耐震化工法」、「大口径既設管耐震化工法」があり、これらは下水道管きよと既設マンホールとの接続部を非開削により改造することで、下水道機能を維持するものである。 2. 既設マンホール浮上抑制技術の開発 本技術は、既設マンホール内から人孔側壁に設置した消散弁と呼ばれる装置で、地震時にマンホール周辺に生じる過剰間隙水压を消散するものである。 3. 人孔目地部からの土砂流入防止技術の開発 本技術は、既設マンホール内から人孔側塊の目地部分に土砂流入防止シートを設置し、管路施設内への土砂流入による閉塞及び土砂流入による周辺地盤への影響を抑制するものである。			
キーワード	非開削耐震化、液状化対策、人孔浮上抑制、新技術			
処理区名		位置区分	管きよ	
職種区分	土木	施策区分	震災対策	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 23 年度	全体期間	平成 10 年度～平成 24 年度	
担当部所	計画調整部 技術開発課 管路技術担当 石川幸裕			
出 展 等	第 85 回 WEF 年次総会			
調査方法	ハウ+フィールド [®] 提供型共同研究、簡易提供型共同研究			
関連情報	経営計画 2013			

番号	4-2	件名	Discussion about Cause of Nitrous Oxide (N ₂ O) Emission in Wastewater Treatment Plant, Based on Long-Term Continuous Measurement 下水処理施設における一酸化二窒素 (N ₂ O) の連続測定調査等に基づく発生要因に関する考察		
内 容		東京都下水道局は、温室効果ガス排出削減のための戦略的な行動計画である「アースプラン 2010」を策定し、削減目標や具体的な対策を定めているが、水処理過程から発生する一酸化二窒素 (N₂O) の削減については、排出量に占める割合が 20%近くであるものの、具体的な対策を見出せていない。そこで、下水道局が開発した N₂O 連続測定装置等を用いて長期間にわたって N₂O の発生状況を把握し、処理状況等との関連を解析することにより、N₂O の発生要因を明らかにすることとした。 まず、長期間にわたる N₂O 発生状況を把握し、水質項目との関連を調べたところ、排出される N₂O の濃度は変動が非常に大きく、降雨の影響、硝化状況との関連が見られた。 次に、生物処理過程における N₂O 発生状況を調査したところ、生物処理の過程で硝化が不十分で亜硝酸の生成が見られた場合には N₂O が多く発生していた。 さらに、N₂O と亜硝酸性窒素の連続測定によりこれらの関係を調査したところ、生物反応終了時の亜硝酸性窒素の濃度と N₂O の発生量に相関が見られ、残存亜硝酸性窒素濃度が 1mg/L 以下の場合には N₂O の発生はほとんど見られなかった。 このように、N₂O の発生には亜硝酸が密接に関連していることがわかったため、排出量の削減には亜硝酸の蓄積を防ぐことが重要である。			
キーワード		温室効果ガス削減、一酸化二窒素、N ₂ O、発生要因、連続測定、亜硝酸			
処理区名			位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分		水質	施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分		調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度		平成 23 年度	全体期間	平成 23 年度～	
担当部所		施設管理部 環境管理課 課務担当 北村清明			
出 展 等		第 85 回 WEF 年次総会			
調査方法		直営調査			
関連情報					

1. 安全性・快適性の向上

(1) 再構築技術

- 1 流出解析シミュレーションを活用した事例検証による雨水貯留施設のエア抜き対策
- 2 第二浅草系ポンプ室稼働に伴う仮壁・仮ポンプ撤去の設計について
- 3 落合水再生センター～みやぎ水再生センター間送泥管敷設事業
- 4 狭隘な立坑用地の創意工夫、近接施工による立坑築造
- 5 大規模な道路切回しを伴う既設幹線の改造について
- 6 大断面蓋掛け渠におけるSPR工法の施工
ー千駄ヶ谷幹線再構築工事ー
- 7 新河岸水再生センターにおける汚泥焼却設備再構築工事の設計について

(2) 浸水対策技術

- 1 H&V 工法スパイラル掘進による設計
～立会川幹線雨水放流管事業～
- 2 落合川雨水幹線工事(落合川吐口部)について
- 3 大深度・超大口径推進の施工について

(3) 震災対策技術

- 1 下水汚泥等の放射能濃度と焼却炉排ガス中の放射能測定法の開発
～原発事故由来の放射性物質汚染への対応経過～

1-(1)-1 流出解析シミュレーションを活用した事例検証による

雨水貯留施設のエア抜き対策

東部第一下水道事務所 建設課 高谷 圭吾

1. はじめに

近年、都市部において頻発している集中豪雨により、流下能力を超える雨水が短時間のうちに既設下水道に流入し、圧縮された空気による人孔蓋の飛散事故が多く発生している。特に、人孔の数が少なく、管きよの埋設深が大きい大規模な雨水貯留施設では、空気圧の上昇を引き起こす水理現象が発生しやすく、事故の大きな発生要因となっている。

本件では集中豪雨時に実際に発生した人孔の上部破損事故について、流出解析シミュレーションを活用して管路施設内の水理現象を検証した事例をもとに、事故の再発防止と周辺環境に配慮したエア抜き対策について報告する。

2. 人孔上部破損事故の概要

2. 1 事故の状況

平成23年8月26日の16時半頃、東京都江東区越中島にある区立調練橋公園内において、人孔の上部が破損する事故が発生した。事故当時は、集中豪雨（降雨強度 75mm/hr、降雨継続時間約2時間）が観測されており、江東区内では多数の浸水被害が発生した。現場となった区立調練橋公園は、面積が約2000m²で東西に細長い形状をしており、日中は多くの児童が利用するなど周辺住民の憩いの場となっている。事故の発生状況は、当該公園内のほぼ中央に位置する人孔（内径10m、深さ約25m、GLV型鉄蓋）の蓋及び側塊が持ち上がり、上部のダスト舗装が破壊され、土に混じって碎片が周囲に飛散するというものであった。図1に案内図を、写真1に事故後の状況を示す。



図1 流域案内図



写真 1 事故後の人孔上部の状況

2. 2 管路施設の概要

事故が発生した人孔は、浸水被害が多発している江東区古石場及び越中島地区における雨水貯留施設（主要枝線 $\phi 1000 \sim \phi 2200$ ）と永代幹線を結ぶ路線の間に位置している。流下先となる永代幹線（ $\phi 4000$ ）は、江東区西部の浸水被害軽減を目的に布設された雨水幹線であり、最下流部の江東幹線が現在施工中のため、暫定的に貯留施設として活用している。図 2 に概要図を示す。

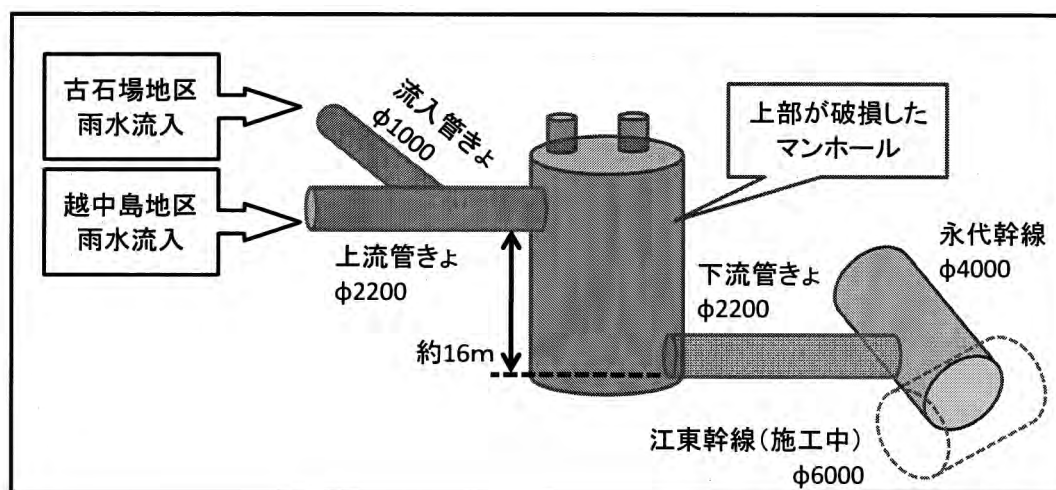


図 2 管路施設の概要図

3. 流出解析シミュレーションを活用した検証

3. 1 事故時における管路施設内の水位変動

3. 1. 1 水理解析モデル

人孔の上部が破損した事故の原因を検証するため、流出解析モデル InfoWorks CS により当該流域の現況管網をモデル化し、実績降雨を用いて管内水理解析を行い、その水位計算結果を用いて空気圧力計算を行った。

3. 1. 2 管路施設内の水位変動

シミュレーション結果に基づく事故発生までの水位変動を図3に示し、以下にその挙動について述べる

- ・ 降雨初期から大量の雨水が流入し、事故発生の20分前には下流管が満管となった
- ・ 下流管への流下が不能となったために、マンホール内の水位が急激に上昇した
- ・ 事故発生時刻直前に上流管が満管となり、空気の逃げ場が完全に失われた

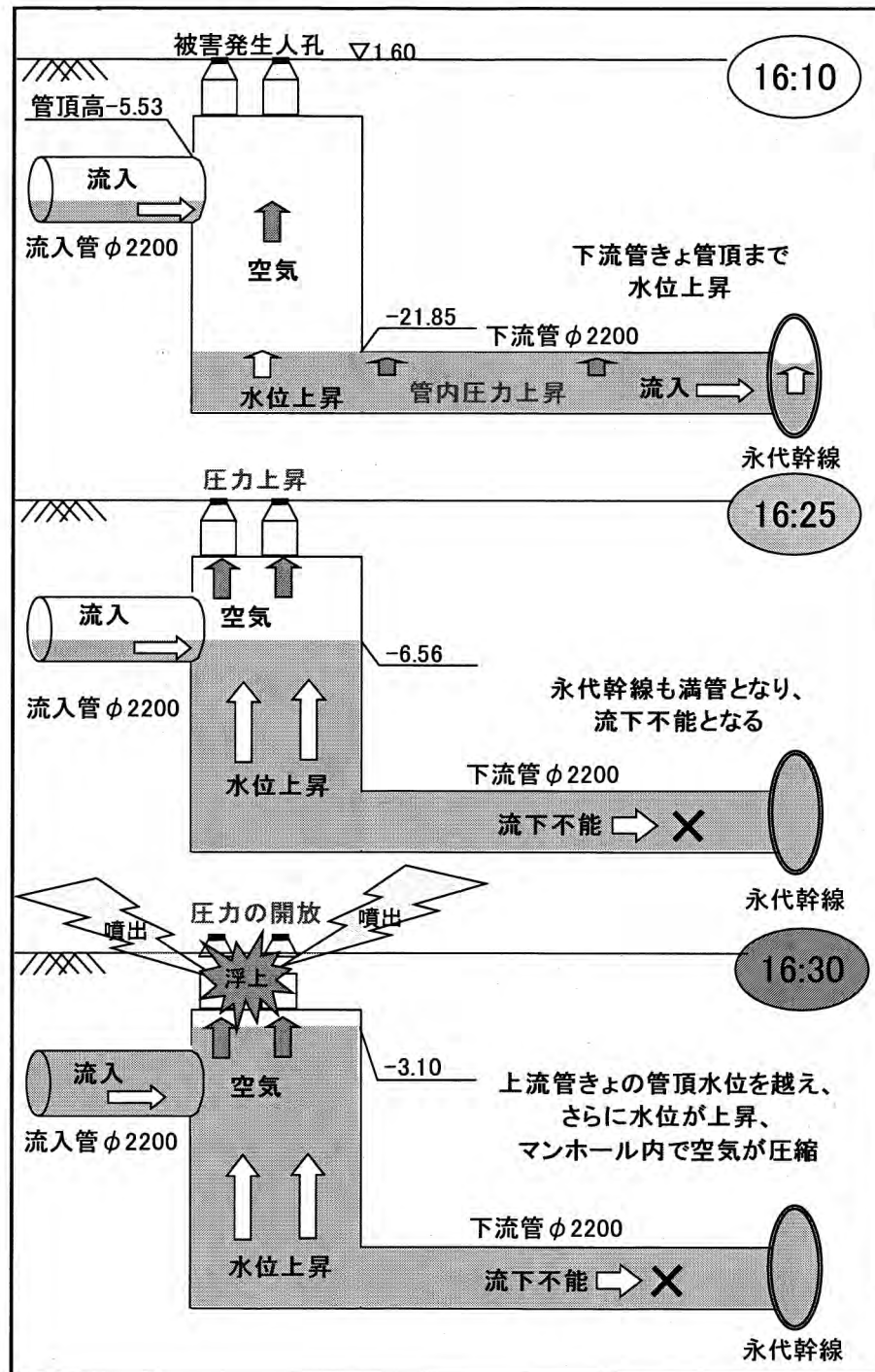


図3 事故発生までの水位変動

3. 2 空気圧力の解析

3. 2. 1 圧力計算モデル

対象人孔に作用する空気圧力の計算は、既存施設において人孔とその下流管きょを1スパンとし、各スパン単位で空気圧力を計算するモデルを作成したうえで、日本下水道協会にて作成された「下水道マンホール安全対策の手引き（案）」に示された計算法により行った。図4に圧力計算スパン模式図を示す。

管きょと人孔内の空気は水位の上昇によって圧縮されるが、圧縮された空気は人孔蓋の空気孔からのみ排出されるものとし、左右のスパンには移動しないという前提条件で計算を行った。

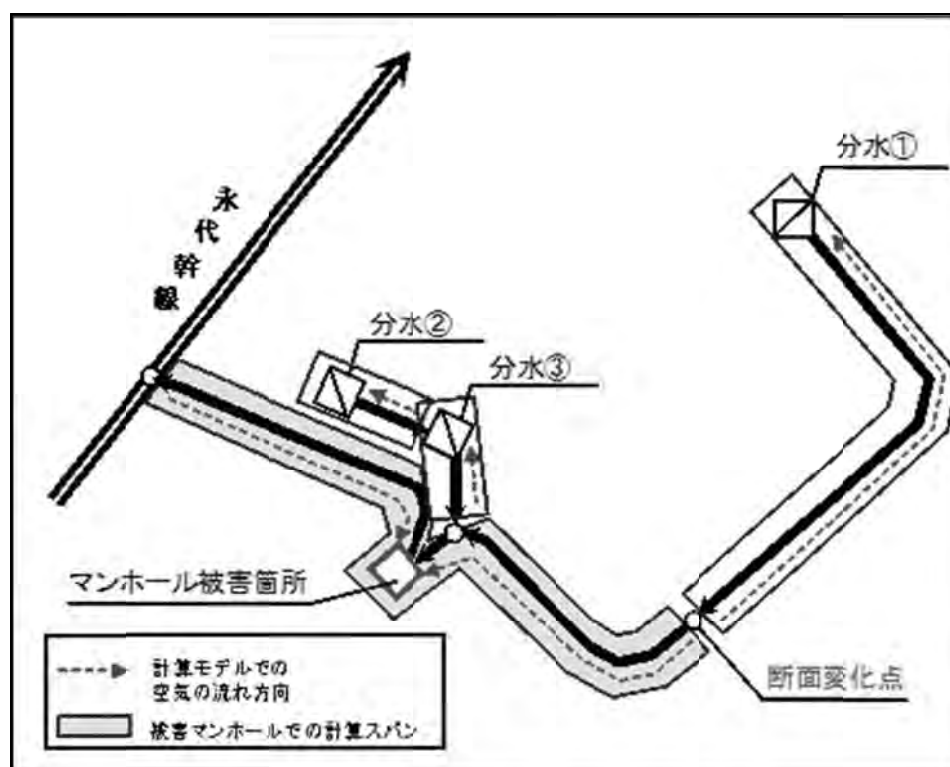


図4 圧力計算スパンの模式図

3. 2. 2 空気圧力の計算結果と検証

空気圧力と人孔内の水位関係図を図5に示す。人孔上部に作用する空気圧力は、スパンの水理現象に連動し、事故発生まで変化し続けていたことが確認された。また、事故発生時には上流管きょが満管であったことから、空気が人孔上部で圧縮され、蓋及び側塊の自重による耐圧力を上回る圧力（約 10,500N/m²）が発生し、人孔上部の破壊現象が起こったものと推測された。

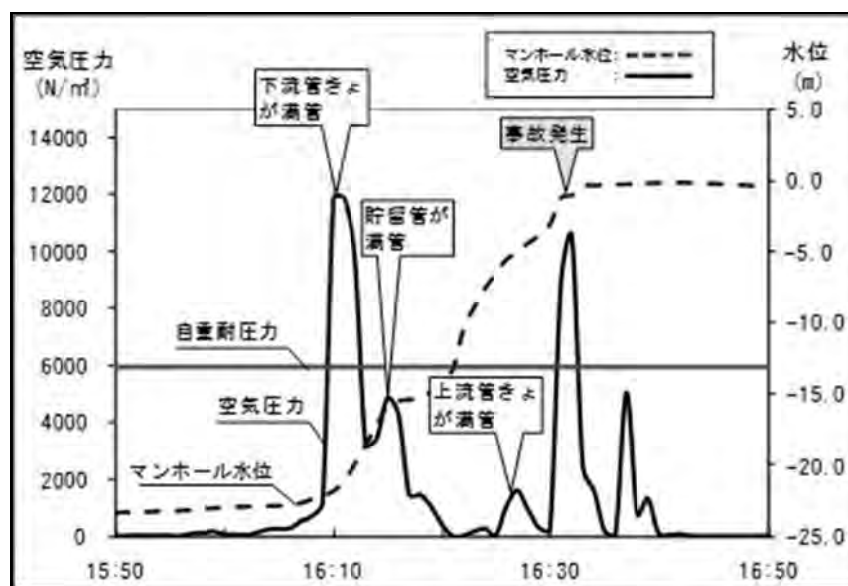


図 5 空気圧力と人孔内の水位関係図

4. エア抜き対策

4. 1 必要開口面積の算出

エア抜き対策の検討では、解析結果による流入ピーク量に対して必要となる開口面積を、表 1 に示す 3 つの評価基準別に下式を用いて算出した。その後各評価基準別に最大圧力を再計算し、人孔上部の自重耐圧力を下回るかについて検証した。表 2 に検証結果を示す。

$$A = Q / V$$

Q : 空気の流入ピーク量 (m³/s)

A : 必要となる開口面積 (m²)

V : 排気風速 (m/s)

当該人孔上部の破損事故の原因が圧縮された空気であったことを踏まえ、再発防止策の立案に当たっては、以下の条件を満足する開口面積を確保することとした。

- ・実績降雨に対して、人孔上部の自重耐圧力を下回る人孔内圧とする
- ・周辺環境を考慮し、開口面での風速は「評価基準 3」に対応する風速 3～6m/s 程度以下とする

表 1 開口規模の評価基準

評価基準 1	想定した大雨に対して、人孔鉄蓋(内径60cm用都型・標準蓋・T-20)が飛散(安全側を考慮し、蓋重量のみ)しない管内圧(0.029kg/cm ² : 噴出風速換算48m/s)以下とする。
評価基準 2	想定外の大雨にも安全な施設とするため、評価基準 1 に対して風速換算で4倍の安全率を考慮する。(噴出風速換算12m/s以下とする。)
評価基準 3	都条例を遵守するため、開口面での風速による風切り音を、規制値占用境界点音量で40dB以下に抑える。(風速 3～6m/s程度以下)

表 2 評価基準別必要開口面積と最大圧力の検証

	評価基準 1	評価基準 2	評価基準 3
排気風速：V (m/s)	48	12	3～6
流入ピーク量：Q (m ³ /s)	6.75		
必要開口面積：A (m ²)	0.14	0.56	1.125～2.25
必要開口面積での 最大圧力：P ₁ (N/m ²)	9,887	5,877	1,783～3,540
判定：(P＞P ₁)	×	○	○
マンホール自重耐圧力 ：P (N/m ²)	(GLV60)=5,901		

4. 2 エア抜き施設の選定

人孔上部の破損事故の再発防止を図り、かつ周辺環境に配慮した排気風速とするべく、エア抜き施設の検討を行った。その結果、空気排気面積がGLV型鉄蓋の約3.5倍であり、その上部構造や外観が公園の機能を損ねないことから、東京都下水道サービス株式会社が開発した空気圧力開放装置を3箇所を設置することとした。本対策により、人孔上部に作用する空気圧力は自重耐圧力を十分に下回るものとなった。写真2に空気圧力開放装置を示す。

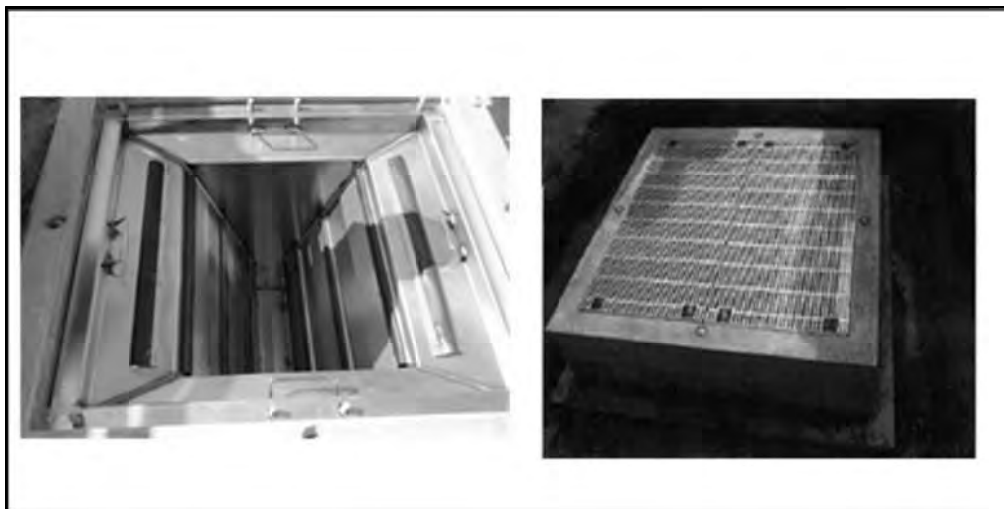


写真2 空気圧力開放装置

5. おわりに

本件では、実際に発生した人孔の上部破損事故について、流出解析シミュレーションを用いた検証を行い、原因となった空気量に対応するエア抜き施設について検討を行った。本検討に基づき、周辺環境に配慮した空気圧力開放装置を築造し、事故の再発防止に努めた。

1-(1)-2 第二浅草系ポンプ室稼働に伴う仮壁・仮ポンプ撤去の設計について

建設部土木設計課 椎名 洋匡

1. はじめに

平成24年度現在、三河島水再生センターにおいて、合流式下水道の改善に伴う遮集量の増大に対応するための施設として、第二浅草幹線の汚水を吸揚する第二浅草系ポンプ室を建設している。(図1)

本設計は、第二浅草系ポンプ室の稼働に向けて、東尾久浄化センターから暫定的に汚水を流下させるための連絡管布設及び第二浅草幹線流末人孔内に設置している仮壁・仮ポンプ撤去の設計を行ったものである。

この連絡管により、東尾久浄化センター西日暮里系主ポンプ室稼働後、尾久東幹線の汚水は第二浅草系ポンプ室へ自然流下することになる。また、仮壁・仮ポンプを撤去することで、第二浅草幹線から第二地蔵堀幹線へ揚水されている汚水は、第二浅草系ポンプ室へ自然流下することになる。(図2, 3)

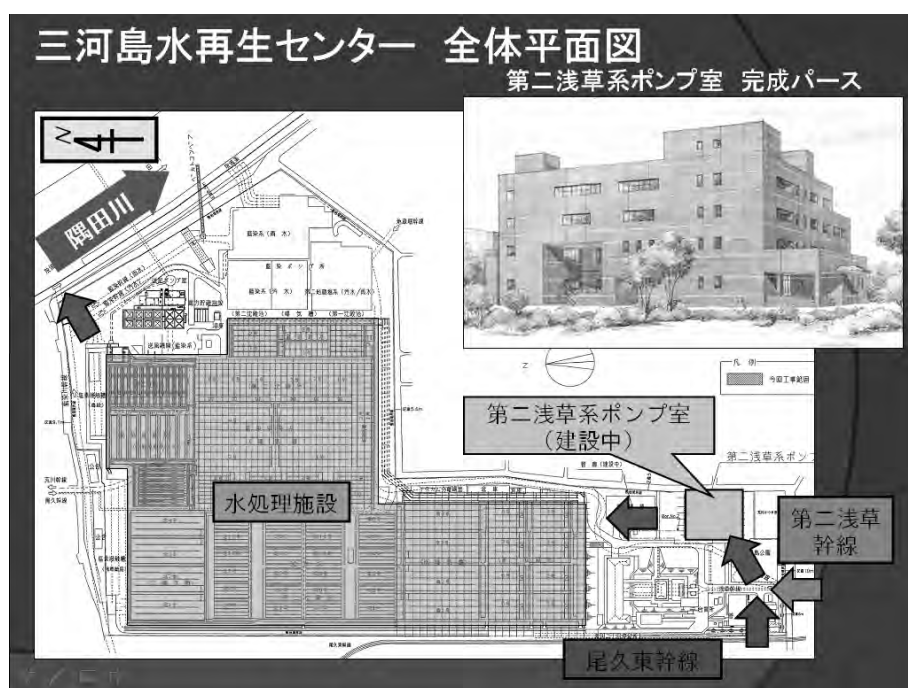


図1 三河島水再生センター全体平面図及び第二浅草系ポンプ室完成パース

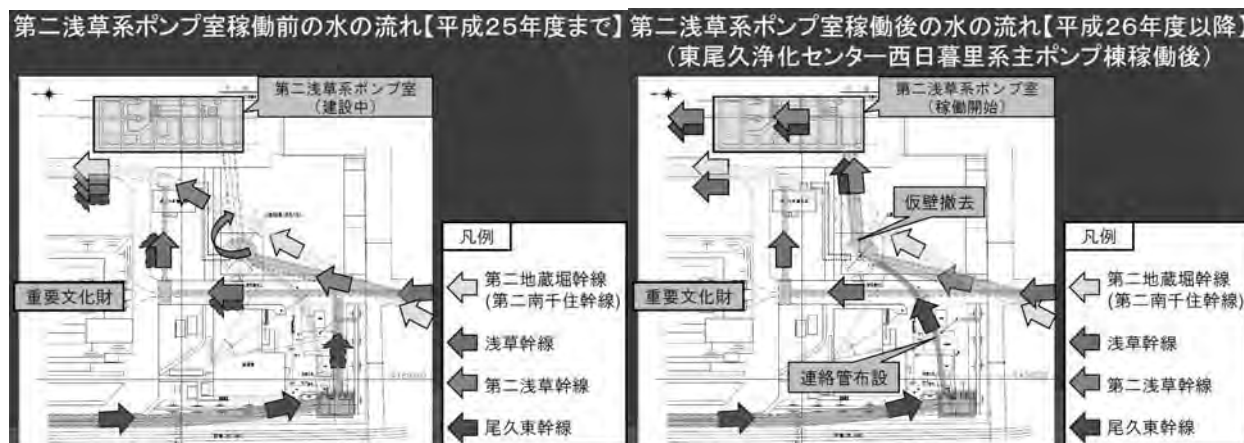


図2, 3 第二浅草系ポンプ室稼働前後における周辺幹線の水の流れ(左:稼働前、右:稼働後)

2. 設計概要

工事件名：尾久東幹線・第二浅草幹線間連絡管建設工事

工事場所：荒川区荒川八丁目25番1号（三河島水再生センター内）

工事期間：平成25年3月1日～平成26年12月1日まで（予定）

工事内容：連絡管布設工（管径φ1800mm、土被り約24m、勾配1.6‰、延長約50m）、発進立坑工、仮壁及び仮ポンプ撤去工ほか

3. 連絡管布設

3. 1 設計上の課題（図4）

3. 1. 1 重要文化財

三河島水再生センターの「旧三河島污水処分場唧筒場（ポンプじょう）施設」は国の重要文化財として指定されており、その近隣構造物や地形も重要文化財の一部として一体的に管理されている。本工事で布設する連絡管上流側にある尾久東幹線流末人孔は、重要文化財の「保存部分」とされている『築堤』に面していることから、立坑工事では築堤に影響を与えないよう施工しなければならない。

また、連絡管布設予定位置近辺には、重要文化財の一部として管理されている『守衛室』があることから、連絡管布設に伴い地盤変状の影響を抑えるため、連絡管の線形は守衛室直下を避ける必要がある。

さらに、平成25年4月から整備工事完了後の重要文化財が一般公開されることから、見学者に配慮した施工が求められる。

3. 1. 2 三河島公園

連絡管下流側の第二浅草幹線流末人孔は荒川区で管理している公園内にあるため、施工ヤードとして使用する場合は公園管理者の了承や地域住民の協力を得なければならない。

また、三河島公園の東側には保育園があるため、施工方法の検討にあたり、工事の騒音・振動に配慮した工法を採用する必要がある。

3. 1. 3 供用中の特殊人孔

第二浅草系ポンプ室稼働前に幹線流域の再構築に先行着手することになったことから、第二浅草系ポンプ室の流入渠と接続している第二浅草幹線は、人孔及び流入渠内に仮壁が設けられた状態で供用されている。この第二浅草幹線流末人孔には仮ポンプ4台が設置されており、第二地藏堀幹線へ汚水を常時揚水している状況である。このため、本工事で布設する連絡管は、供用中の特殊人孔に接続させることになることから、安全な接続方法を検討する必要がある。

3. 1. 4 駐車場

連絡管上流側の尾久東幹線流末人孔は三河島水再生センターの管理棟前にあり、その周辺には水再生センターの維持管理用及び来客用車両の駐車場が整備されている。本工事のための施工ヤードを確保するには代替駐車場を別途設ける必要があるが、水再生センターの限られた敷地内では第二浅草系ポンプ室の設備工事を始めとする各種工事が輻輳しているため、長期間にわたって近隣に代替駐車場を設けることは困難な状況である。

3. 1. 5 地下埋設物

尾久東幹線には、みやぎ水再生センターから受け入れている送泥管が布設されていることから、流末人孔周辺には送泥管が埋設されている。また、尾久東幹線は暫定貯留管として現在使用されていることから、排水ポンプの運転管理のための電線管や排水管等も埋設されている。このため、連絡管布設のために立坑を設ける場合は、地下埋設物の切回しが不可欠である。

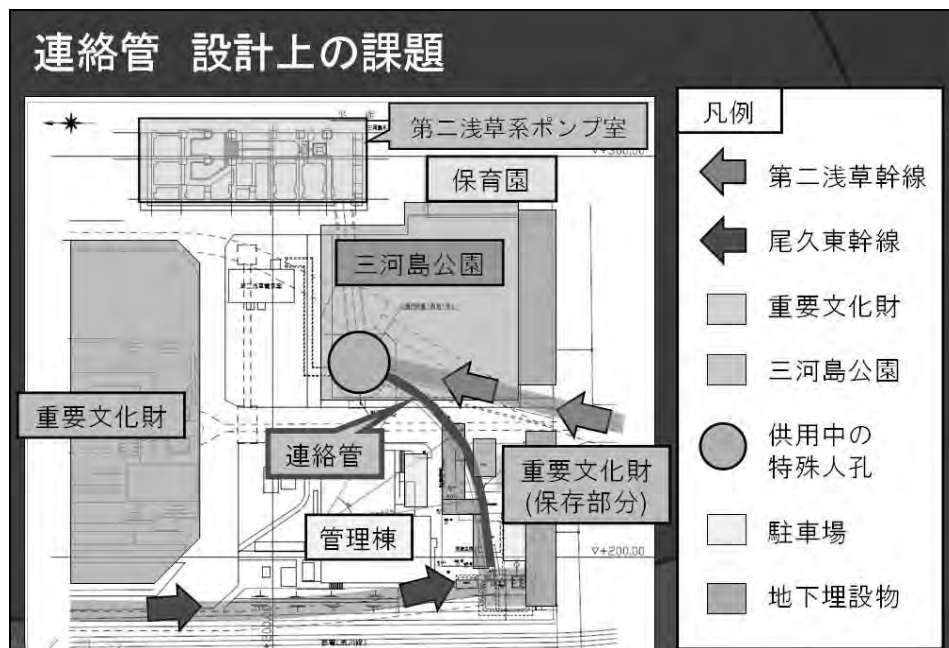


図4 連絡管 設計上の課題

3. 2 工法選定

連絡管上流側に多数の制約があったことから、連絡管下流側にある三河島公園の一時使用について公園管理者と協議を行った。その結果、施工ヤードとして公園面積の約半分を別途工事（第二浅草系ポンプ室特高受変電室建設工事）の工事期間と併せて2年間使用することが可能となった。

このことを踏まえ、立坑位置、連絡管布設位置及び布設工法について種々検討した結果、公園内にS MW工法にて発進立坑を設け、到達立坑が不要となる泥濃式推進工法（ヒューム管推進工法）を採用することとした。これにより、三河島水再生センターにおける各種運転管理及び重要文化財への影響を最小限に抑えた施工方法を採用することが可能となった。

連絡管の線形については、『築堤』と同様に重要文化財の「保存部分」とされている『守衛室』の直下を避けるため、かつ、施工延長の短縮を図るため、急曲線（R=40m）とした。（表1）

表1 立坑位置、線形比較検討

検討案	1	2	3
概要	上流立坑、曲線施工	下流立坑、曲線施工	中間部立坑、直線施工
概要図			
メリット	公園使用が小規模 管理用道路幅員確保	埋設物の切回し不要 代替駐車場が不要 重要文化財に影響なし	埋設物の切回し不要 代替駐車場が不要 重要文化財に影響なし
デメリット	埋設物の切回し必要 代替駐車場の確保困難 重要文化財との近接施工	公園使用が大規模 管理用道路交互通行	公園使用が大規模 中間部に人孔を新設
工事費	約 2億8千万円	約 2億5千万円	約 3億4千万円
評価	△	○	×

4. 仮壁・仮ポンプ撤去

4. 1 現場状況

第二浅草幹線流末人孔は、仮ポンプ（φ600mm×4台）が設置されている「ウェットエリア」と、仮ポンプ配管及び昇降階段が設置されている「ドライエリア」に分かれている。この仮ポンプにより、第二浅草幹線の污水は第二地蔵堀幹線へ揚水され、三河島水再生センター内の藍染ポンプ所を經由して水処理施設へ送水されている。（図5）

また、この人孔と建設中の第二浅草系ポンプ室との間には流入渠が既に築造されているが、鋼製の仮壁（人孔及び流入渠内の計2箇所）によって仕切られており、污水がポンプ室側へ流れ込まないようにになっている。（図6）

このため、本工事では、第二浅草系ポンプ室の移動に合わせて自然流下で污水を流すために仮壁を全て撤去し、不要となる仮ポンプの撤去を行う。

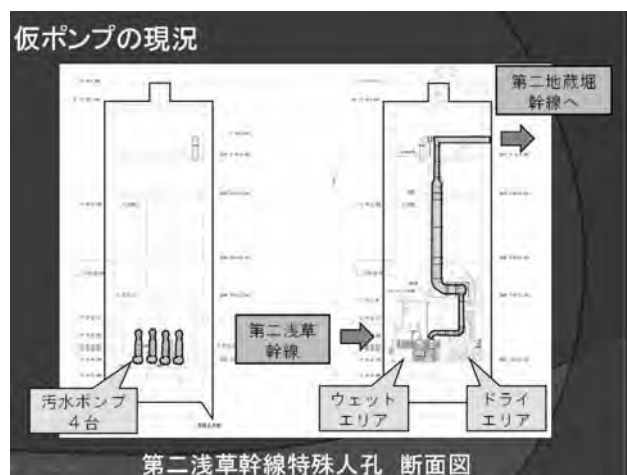


図5 仮ポンプの現況

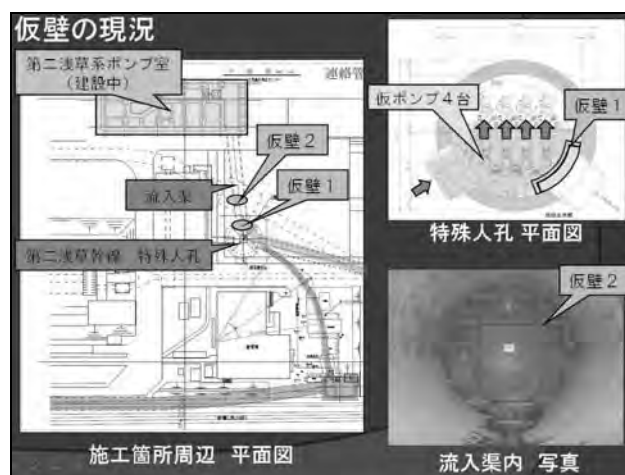


図6 仮ポンプの現況

4. 2 止水壁設置

人孔内には第二浅草幹線の污水が常時流入していることから、仮壁を安全に撤去するためには、十分なスペースかつドライ空間を確保しなければならない。

撤去作業について管理部署と協議した結果、浸水対策として突発的豪雨等に備えるには十分な揚水機能を確保する必要があるため、4台の仮ポンプ全ての揚水機能を確保した状態で施工することになった。

このため、越流式の仮設止水壁をポンプ間に設置し、晴天時に作業エリアのドライ化を図ることができする方法を採用することとした。これにより、雨天時には流入水が仮設止水壁を越流することで仮ポンプ全台運転が可能となり、十分な揚水機能とドライエリアの確保が可能となった。（図7、8）

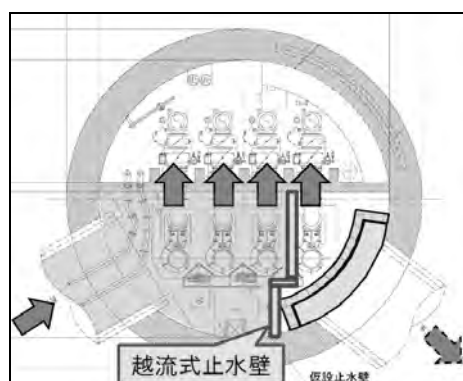


図7 止水壁設置案（平面図）

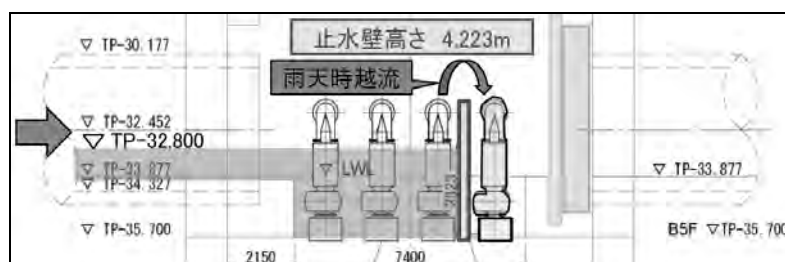


図8 止水壁設置案（断面図）

仮設止水壁の高さ設定に当たっては、現在の仮ポンプ運転状況及び第二浅草幹線污水貯留可能量を確認した上で検討を行った。

直近の仮ポンプ運転状況を調査した結果、本作業期間として想定している渇水期でさえも、仮ポンプ4台が全て運転している日が数日間あることがわかった。また、工事完了図を確認した結果、第二浅草幹線の勾配は下流側が比較的緩やか（0.7‰）であり、レベル区間もあることから、仮設止水壁を設置することで十分な管内貯留が可能となることがわかった。（表2、3、図9）

以上より、三河島水再生センターにおける運転管理方針を踏まえ、仮設止水壁の高さを約4.2mとし、晴天時でも約16,000m³の管内貯留が可能となるようにした。

なお、本作業は幹線流末人孔内での作業であり、ウェットエリアでの作業となることから、この部分の作業については当局で定めている「一滴ルール」を適用し、十分な安全対策を講じるものとした。

表2 渇水期におけるポンプ最大運転台数（12月～2月）

番号	日付	天気	ポンプ最大運転台数（日）				
		雨（日）	0台	1台	2台	3台	4台
1	H22.12	7	0	26	2	1	2
2	H23.1	1	1	22	8	0	0
3	H23.2	9	0	16	7	3	2

表3 ポンプ4台運転時における揚水量及び降雨量

番号	日付	天気	揚水量	ポンプ4台運転		降雨量
			m ³ /日	全4台 運転時間	4台目 揚水量	東京 mm/hr
				min/日	m ³ /日	
1	H22.12.3	雨	118,500	342	18,321	29.0
2	H22.12.22	雨	89,700	176	8,884	6.0
3	H23.2.18	雨	139,100	562	29,345	17.0
4	H23.2.28	雨	38,000	17	840	3.5



図9 第二浅草幹線 管内貯留イメージ図

4. 3 止水プラグ設置

本工事で布設する連絡管は第二浅草幹線よりも約10m浅いため、人孔内に落差工としてドロップシャフトを設置するものとした。また、特殊人孔内から硫化水素の発生が確認されていることから、防食塗装工を行うこととした。

これらの施工は既存の仮ポンプが支障となることから、第二浅草系ポンプ室稼働後に仮ポンプ全てを撤去した後に行う必要がある。また、第二浅草幹線の污水が常時流入してくる状況で施工しなければならない。

供用中の人孔内でドライエリアを確保するための方法を検討した結果、幹線の坑口を塞いでバイパス

管により汚水を送水する案（止水プラグ工法）を採用することとした。これにより、汚水が常時流入してくる人孔内でもドライエリアを確保することが可能となった。

ただし、止水プラグを設置することで幹線断面が縮小されることから、施工期間等については管理部署と十分協議した上で決定し、止水プラグ設置後は幹線内水位を確認するとともに、突発的豪雨等による幹線内水位上昇時でも水压に十分耐えうる構造とする必要がある。

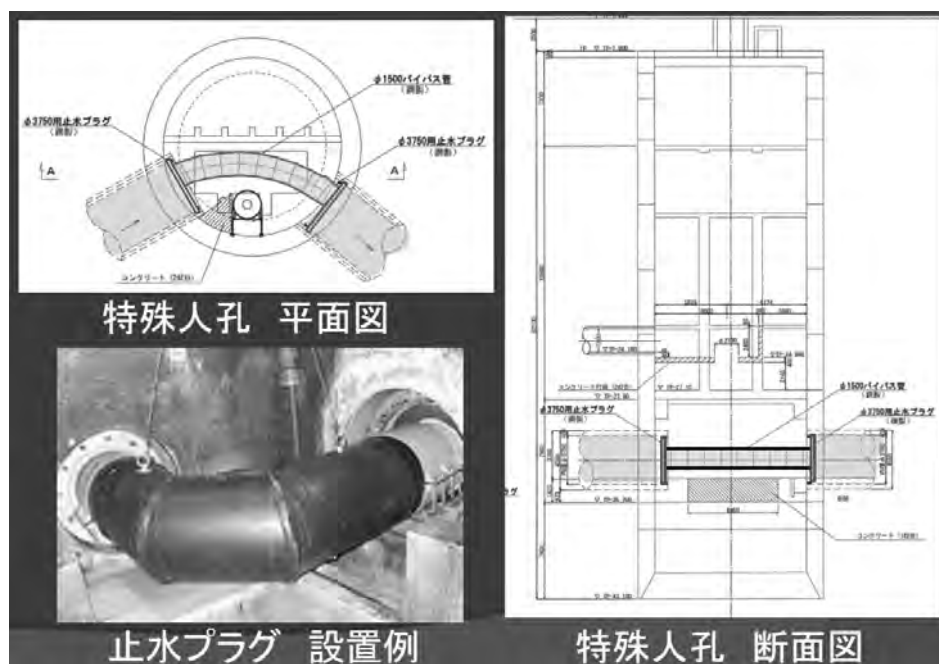


図 10 止水プラグ設置概要

5. 今後の展望

老朽化により再構築が必要な施設や、硫化水素等により腐食した施設の更新工事が今後は急激に増大することが見込まれる。また、発災後も下水道が必ず確保すべき機能を確保するため、施設の耐震化を推進する必要がある。しかし、どの施設も供用中であり、施工用地確保にも限りがあることから、バイパス水路等による流下機能の切回しは現実的に困難な状況である。このため、流下機能をどのように確保しながら施工していくかが、工事を行う上での大きな課題となっている。

今回の設計事例は特殊な現場条件ではあるが、供用中の施設内における設計事例として、今後の施設再構築及び耐震化のための参考事例になると考える。

1-(1)-3 落合水再生センター～みやぎ水再生センター間送泥管敷設事業

第一基幹施設再構築事務所 設計課 設計第二係 三瓶 武史

1. はじめに

東京 23 区内では、汚泥処理の重要な役割を担う送泥管の敷設に当たり、これまでは開削工法による直接埋設及び下水道幹線内のインバート内への配管を主としてきた。しかし、これらの方法では、異常箇所早期発見や補修が困難であることに加え、様々な埋設物が輻輳する今日の道路事情では、布設替工事を簡単には行えず、老朽化対策や耐震性能の向上への対応が課題となっている。

こうした課題を早急に解消するため、当局では、シールドトンネルを構築し、その中に管を敷設する専用管廊方式により、送泥管を敷設することとした。

本稿は、この専用管廊方式の最初の事業となる「落合水再生センター～みやぎ水再生センター間送泥管敷設事業」について、報告するものである。

2. 送泥管敷設プロジェクトの計画概要

2. 1 送泥管の現状

水再生センターへ流入した下水は沈砂地～第一沈殿池～反応槽～第二沈殿池を通り、処理水と下水を処理する過程で発生したゴミや泥である汚泥に分けられる。処理水は消毒後、川や海へ放流されるが、汚泥は汚泥処理施設まで運ばれ、濃縮・脱水され焼却炉にて焼却処分される。

現在、東京都区部では 13 ヶ所の水再生センターにて水処理を行い、ここで発生した汚泥を 5 ヶ所の汚泥処理施設まで運び、処理している。

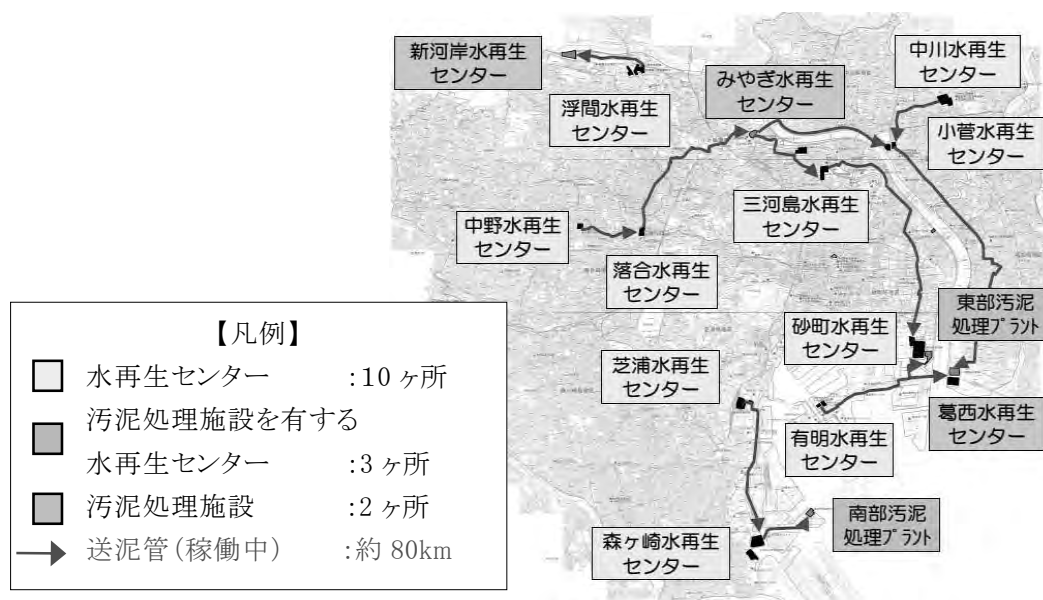


図 1 送泥管網図

なお、送泥管とは、汚泥処理施設を持たない水再生センターから汚泥処理施設までの間、発生した汚泥を輸送するための圧送管のことをいう。図1は現状の送泥管網図を示したもので、総敷設延長は約80kmにも及ぶ。この送泥管が損傷などにより汚泥を輸送できなくなった場合は、現在の下水处理行程に支障をきたすことになる。

2. 2 既設送泥管の課題及びこれからの整備方針

これまでの送泥管は開削工法による直接埋設及び下水道幹線内のインバート部への配管などにより敷設されてきた。しかし、老朽化や地震などにより送泥管が軽微な損傷を生じた場合には、地上からの損傷箇所の特定が困難であることや、補修の際にも道路掘削等が必要となるため、大規模な漏泥工事を未然に防ぐことが困難である。

このため、点検などの維持管理の容易化や、公衆衛生悪化の低減、道路掘削の抑制などの効果を見込み、今後、新たに敷設する送泥管については、シールド工法により築造された耐震性を有するセグメント内に敷設することに加え、危機管理対応として予備管を含めて2条を同時に配管することとした(図2参照)。

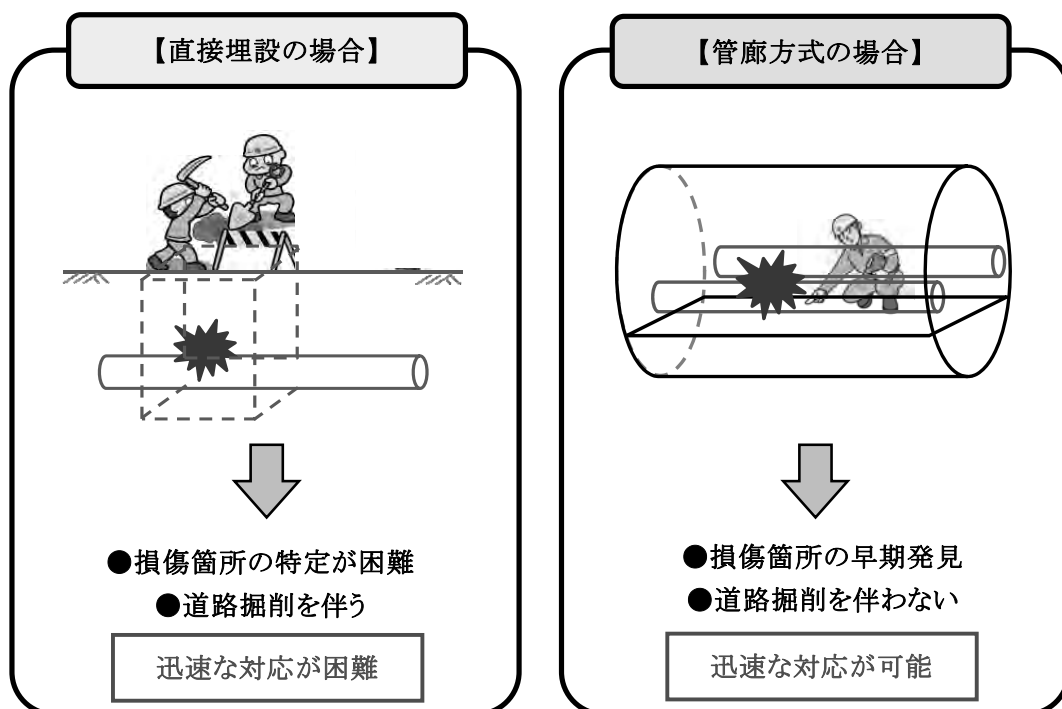


図2 直接埋設、管廊方式の比較

3. 落合水再生センター～みやぎ水再生センター間送泥管敷設事業について

3. 1 落合水再生センター～みやぎ水再生センター間送泥管の現状

落合水再生センターは、新宿区、中野区、杉並区等で発生した下水の処理を行う施設である。水処理の過程で発生した汚泥は、みやぎ水再生センターを経由し、汚泥処理施設のある東部汚泥処理プラントへ送泥され焼却処分されている。

落合水再生センター～みやぎ水再生センター間の既設送泥管については、直接埋設方式の割合が 90% 以上と非常に高いことに加え、昭和 38 年から約 50 年にわたり稼働していることから、老朽化している送泥管の割合も多く、耐震性を有していないなどの問題がある。仮に、約 10km の既設送泥管の途中で送泥管が破損した場合は、落合水再生センターに汚泥が溜まり、2 日以内に復旧できなければ所定の放流水質を確保できなくなり、落合処理区内の約 68 万人や、放流先である神田川の流域人口約 165 万人に影響を及ぼすことになるため、早急に新たな送泥管を整備することが求められている(図 3 参照)。

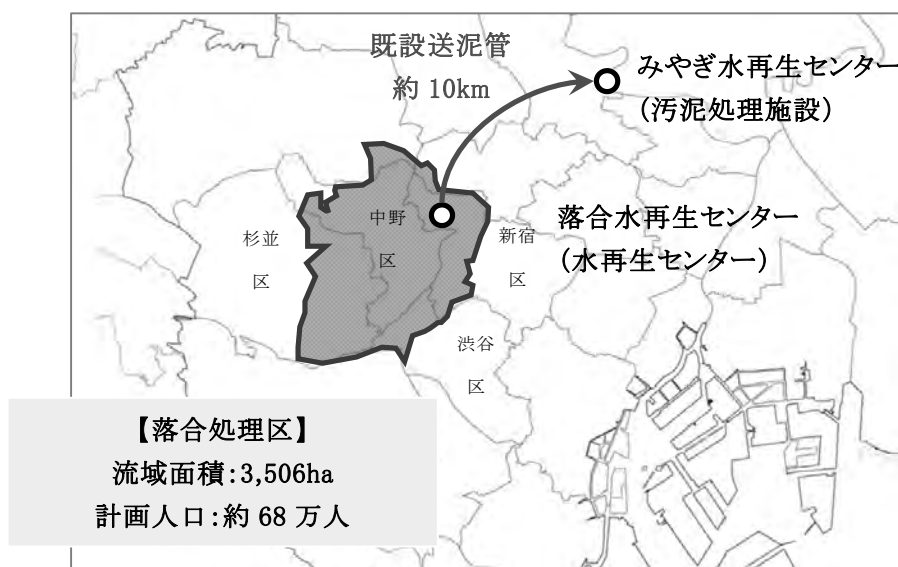


図 3 既設送泥管と処理区域

3. 2 送泥管径・管廊径の決定

当該ルートに敷設する送泥管径は計画発生汚泥量に基づき、 $\phi 400\text{mm}$ に決定した。尚、この計画発生汚泥量は、各水再生センターの発生汚泥量の実績値及び計画水量などから算定されたものである。

管廊径は、送泥管 ($\phi 400\text{mm} \times 2$ 条) の配管スペースに加え、維持管理スペースとして、幅 900mm、高さ 2000mm を確保する。このスペースは、人が立って歩けることや、送泥管の敷設替の際に管材を運搬する台車が通行できることを条件として、決定している。また、送泥管の敷設替作業が可能となるよう、送泥管と管廊内面には 300mm のスペースを確保する。以上から、管廊の内径を 2600mm と決定した (図 4 参照)。

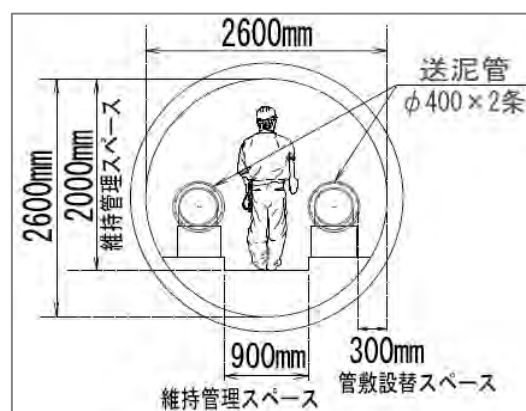


図 4 管廊断面図

3. 3 ルート選定

落合水再生センター～みやぎ水再生センター間の約 10km を結ぶルートを選定においては、維持管理の観点から、途中に管理人孔を築造し、管廊内への入坑箇所を設ける必要があり、今回は、約 3km 毎に 1 箇所ずつ管理人孔を設けることとした。また、シールドマシンの長距離掘進の施工実績からも、約 3km に 1 箇所ずつ立坑を設けることが理想的である。

このため、落合水再生センター・みやぎ水再生センターそれぞれから約 3km の位置に立坑用地として利用できる広い公有地が確保できることがルート選定の 1 つの条件となった。

更に今回、シールドマシン外径は約 3000mm であり、最少曲率半径が 15m の場合、道路幅が 7m 以上確保できないとシールドマシンが公道内で曲がりきれないことから、ルートには適していない。また、池袋駅付近のような、大規模な地下街を存している地域は既存の構造物が輻輳しているため、シールドマシンが通過することができない。よって、これらの範囲を避けることがもう 1 つの条件となった。

以上の条件をもとにルート選定を行った結果、図 5 に示すような 3 つのルート案に絞られた。このうち、施工延長がより短く、最小限の工費・工期で施工できる総延長約 9.9km の案を採用した。

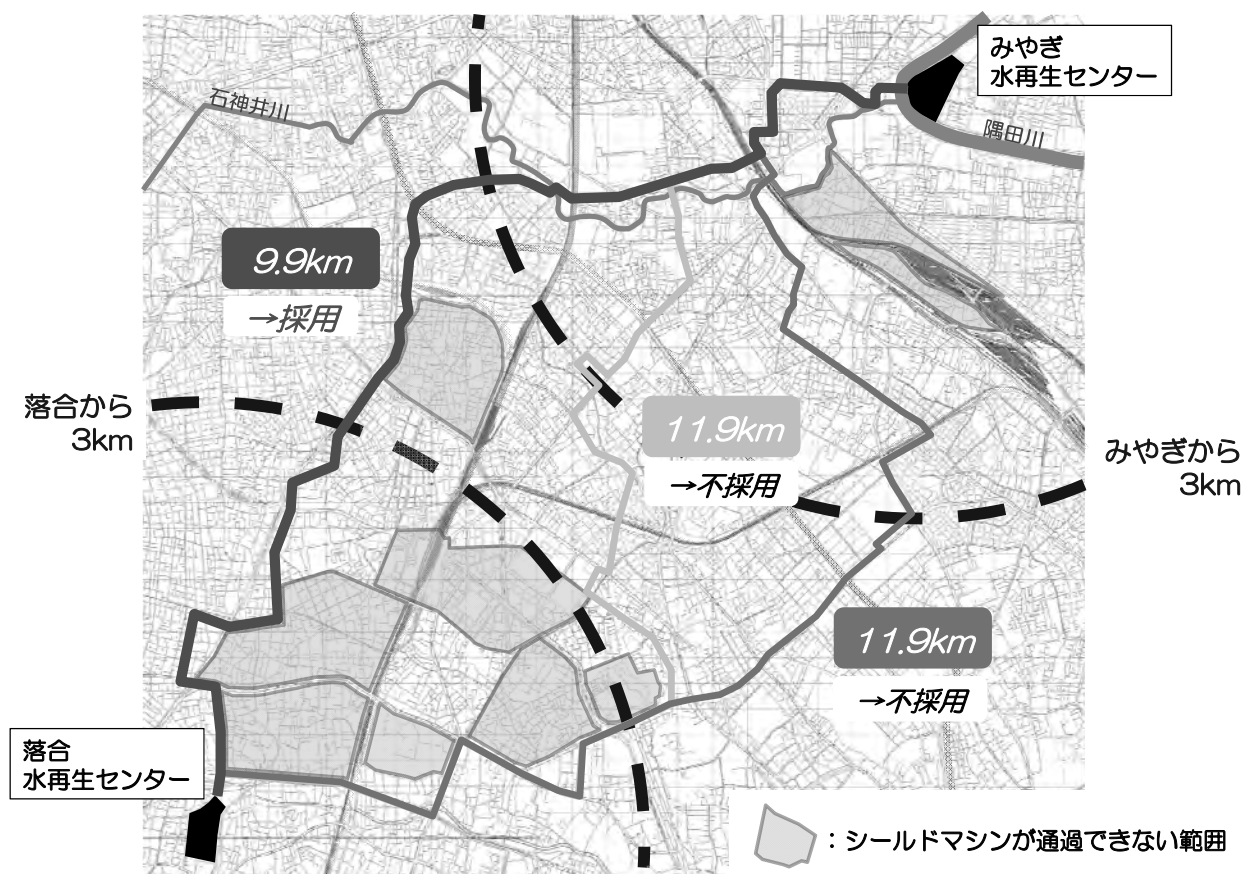


図 5 ルート案のまとめ

3.4 シールド施工方法の検討

前節で決定したルートについて、施工方法の検討を行った。

当初は、図6に示すような、シールド掘進スパンを約3kmずつに分割する3工区案が理想的であった。しかし、3工区となると、中間の立坑用地である板谷公園をシールド発進基地として利用する必要がある。また、板谷公園の借用期間も長くなり、近隣住民へ与える影響が大きいことから、住民へ与える影響がより少なくなる施工方法を検討することとした。

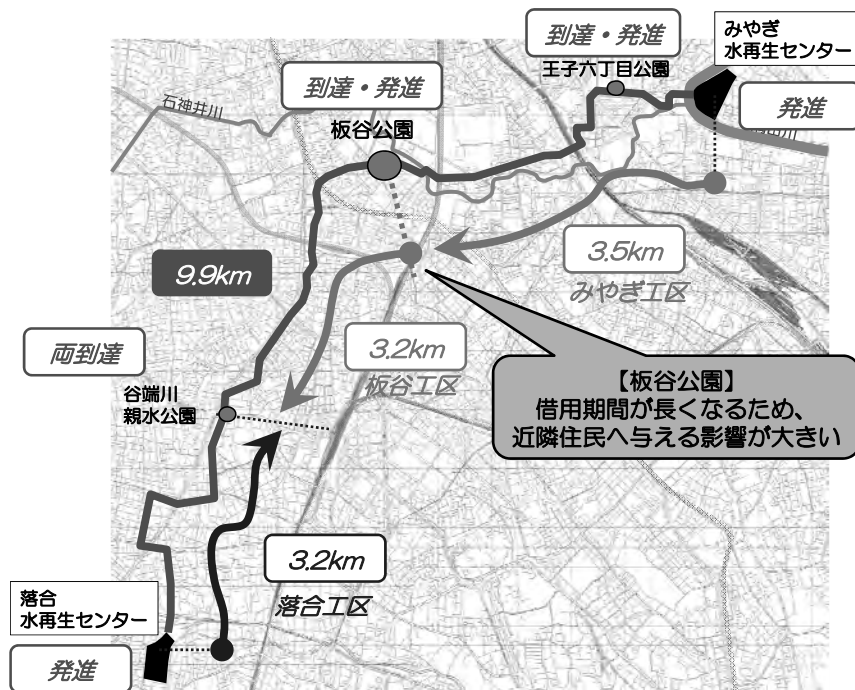


図6 3工区案（不採用）

検討の結果、シールドの発進基地として利用するのは下水道局用地である落合・みやぎの両水再生センターとし、板谷公園の周辺住民へ与える影響を最小限とする案を採用した。中でも、みやぎ水再生センターの立坑用地は隅田川沿いに面しており、直近に家屋等がないことから、みやぎ水再生センターの発進基地を長期間利用する2工区案を立案した（図7参照）。

この案では、みやぎ水再生センターからの掘進スパンが約6.7kmと長距離になってしまうため、中間の板谷公園を通過立坑とし、そこでシールドマシンの面板交換などのメンテナンス作業を行うこととした。この結果、長距離掘進に対応可能となることに加え、板谷公園での工事期間を短縮し、作業ヤード面積を小さくでき、住民への影響が最小限となる方法で施工することが可能となった。

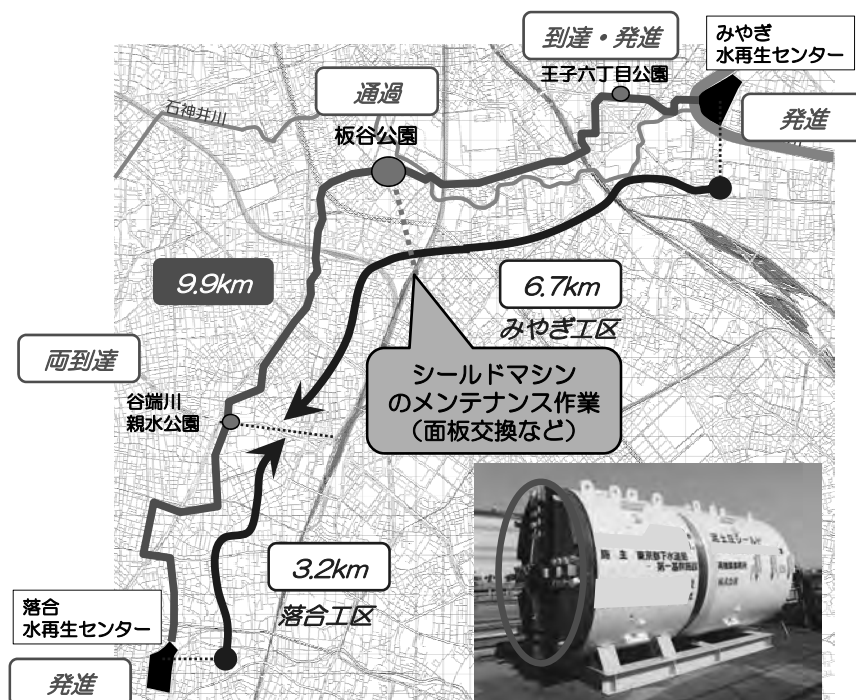


図7 2工区案（採用）

3. 5 立坑築造方法の検討

板谷公園内に築造する立坑については、工事期間の短縮や作業ヤードの縮小について検討を行った。

当初は、3工区案で検討を行っていたため、板谷公園をシールド発進立坑として利用する計画であったが、立坑深度や施工規模などから、圧入オープンケーソン工法が適当であると考えていた。しかし、シールド発進立坑として利用せず、マシンメンテナンス作業を行うこととなったことから、必要な立坑寸法が小さくなった。これにより再検討を行った結果、図8及び図9に示すように、より小規模での施工が可能となり、工事期間も短縮できるアーバンリング工法を採用することとした。

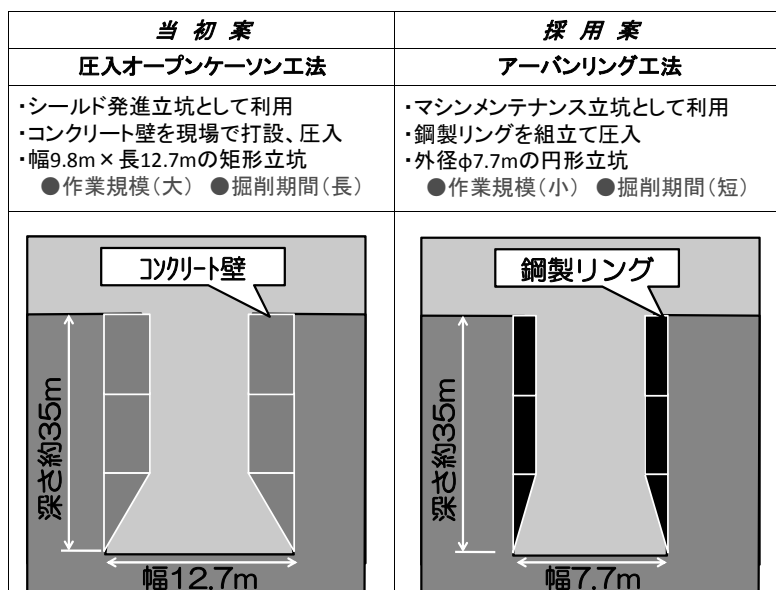


図8 立坑築造工法の検討

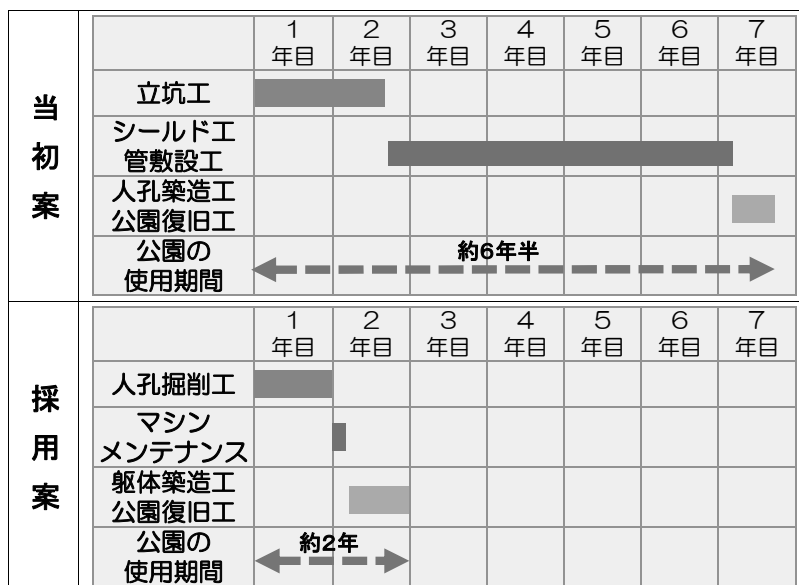


図9 工事期間の検討

作業ヤードについても、当初はシールド発進立坑として利用する計画であったため、公園全体面積の1/4程度となる約1,400m²を占める計画であったが、計画変更により約1,000m²へ縮小が可能となった。また、図10に示すとおり、ヤード位置についても利用者の少ない公園中央部へ移動し、ヤード形状も遊具等を避けるよう工夫した。このような工夫により、公園に隣接する住民や公園利用者へ与える影響を最小限にした。

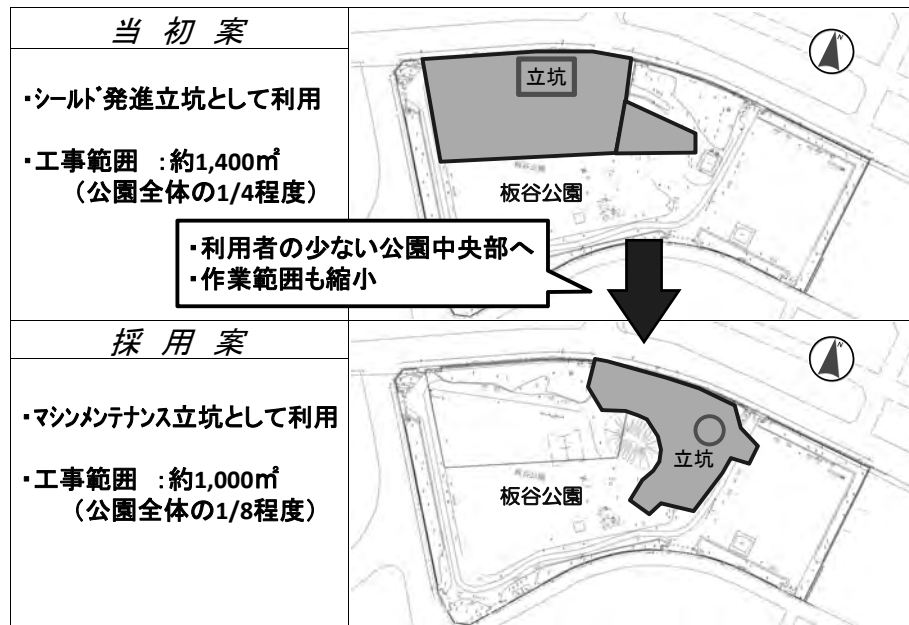


図10 作業ヤードの検討

4. 今後について

本プロジェクトは今後の東京都区部の安全・安心な下水道施設の整備において重要な役割を担っている。その中でも最初の事業となる「落合水再生センター～みやぎ水再生センター間送泥管敷設事業」は、事業全体の方向性を示すという意味でも、その役割は大きい。今後、みやぎ水再生センター内に発進立坑を築造し、事業を開始していくが、工事に際しては、地元住民の理解を得られるよう地域特性を十分に把握した住民対応に努め、事業を着実に推進していく所存である。

1-(1)-4 狭隘な立坑用地の創意工夫、近接施工による立坑築造

中部下水道事務所 建設課 林 恵里香

1. はじめに

千代田区に位置する皇居内濠は、人々の生活に潤いを与えるオアシスとして愛されてきた。最近では、皇居ランニングなどスポーツ活動の場としても皇居周辺が多くの人々に利用されるようになっており、内濠がより多くの人の目にとまるようになってきている。

一方で、皇居内濠は閉鎖性水域であり、慢性的な水不足に加え、合流式下水道の雨水吐口から大規模降雨時に汚水混じりの雨水が放流されることで、富栄養化や水質悪化が問題となってきた（図-1 参照）。このため、内濠の水質改善を目指し、環境省が浄化設備の運転を行うとともに、当局でも千鳥ヶ淵と桜田濠での水面制御装置（ゴミの流出を抑えるもの）の設置といった努力が続けられてきたが、根本的な解決には至っていない。

そこで、内濠の水質の抜本的な改善策の一つとして、東京都下水道局では清水濠の部分分流化や、雨水の放流先を皇居内濠から、現在建設中の第二溜池幹線を通じて東京湾へ切り替えることで、下水道越流水の流入の防止を図ることとした。その一環として、内濠の水質改善とともに永田町、平河町の浸水対策等を目的とし、地先流域、内濠の雨水吐口及び第二溜池幹線を結ぶ主要枝線を築造する事業を、永田町周辺で展開している。（図-2 参照：国会議事堂南側に築造した立坑より第二溜池幹線、桜田濠、平河町の三方向へ主要枝線が築造される。）

本稿では、本事業において既に完了している第一期工事のシールド発進立坑工事について、特に現場の特殊性と施工を可能にした工夫に重点をおいて紹介する。



図-1 お濠周辺の吐口



図-2 工事概要図

2. 施工箇所の概要および工法の選定

本工事の施工概要を表－1に示す。この工事では、千代田区永田町一丁目付近（図－2）に外径 13m、掘削深度 59.4m の大口径・大深度円形立坑を築造した。施工箇所は国会議事堂や首相官邸といった国の主要機関、東京メトロ千代田線や首都高速道路等の重要な交通機関が近接しており、都内においても極めて特殊な施工環境にあるといえる。

立坑築造箇所の選定の際には、候補地として十数カ所の検討を行ったが、施工期間、作業スペース、施設の占用の条件を満たしたのは、国会議事堂南側の中央分離帯の三角形の土地のみであった。当現場の特徴としては、複数の地下構造物が近いこと、施工箇所が三角形であり狭小であるという特殊な土地であること、50m以上の大深度の立坑を掘削しなければならないことが挙げられる。そのため、工法の選定にあたっては、周辺地盤に影響を与えず既設の構造物を沈下させない、狭い土地でも施工が可能な工法を採用する必要がある。

これらの施工環境を踏まえ、地下連続壁、オープンケーソン、ニューマチックケーソン、鋼製セグメント圧入工法の比較検討を行った結果、経済性などに優れているニューマチックケーソン工法を採用することとなった（表－2）。本工法は、高さ 5 m のリング状の躯体をロットごとに築造した後に、土砂を掘削して躯体を沈下させることを繰り返すもので、施工が効率的かつ着実であり、工期的にも有利であることも採用の理由として挙げられる。

表－1 立坑築造工事の施工概要

工事件名	千代田区永田町一丁目付近再構築立坑設置工事
工事箇所	千代田区永田町一丁目（図－2）
平面形状	円形（外径 13m、内径 10m）
掘削深度	59.4m（内空 55.6m）
地下水位	G.L. －13.43m
工 法	ニューマチックケーソン工法

表－2 工法の比較検討

	地下連続壁	オープンケーソン	ニューマチックケーソン	鋼製セグメント圧入
施工性	△	△	○	△
施工面積	×	○	○	○
周辺地環境への影響	△	△	○	△
工期	×	×	○	△
経済性	×	△	○	△

3. 施工における現場の課題と工夫

本工事では、大深度の立坑を狭く特殊な形（三角形）のスペースで施工し、かつ地中に錯綜している地下構造物や他企業埋設管を損傷・沈下させないために、随所に様々な工夫を行った。本論文では、特に重要な4つの点について述べる。

3.1. 狭小な工事用地での施工

一般的に、ニューマチックケーソン工法では、躯体築造と掘削・沈下を繰り返すため、ケーソンの周囲にはこの二工程で使用する設備を配置する作業スペースが必要となる。しかし、本工事では中央分離帯内の狭小なスペースにおける施工のため、十分な作業スペースを確保できないという課題があった。

そこで、本工事では工程が変わるごとに設備の配置を変えて作業を進めた。具体的には、掘削時はクレーンや土砂ホッパをケーソンに寄せて作業を行い、コンクリート打設時にはトラックミキサー車やコンクリートポンプ車をケーソンに寄せて作業を行った。（図-3 参照）。

その結果、これらの配置換えを1ロット毎に計13回繰り返すことで、狭いスペースでの作業性を確保し、効率的に作業を進めることができた。

掘削時



コンクリート打設時

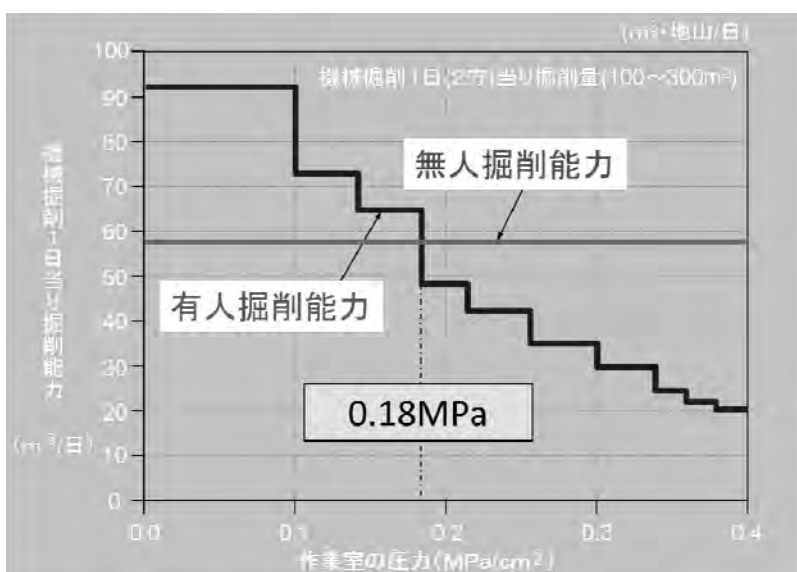


図-3 工種ごとの仮設備配置図

3.2. 掘削の効率化

通常ニューマチックケーソンにおいては、ケーソン底部の作業室で行われる掘削は、高気圧下の作業となる。人間が深い場所で作業をしようとするすると減圧症、四肢の痛みや骨の組織壊死といった症状を生じる危険性があることから、作業時間が極端に短くなり、作業効率が著しく低下する（図－４）。一方、地上で作業員が機械を操作する無人掘削（図－５）は、浅いところでは有人掘削に比べて効率が落ちるものの、深度が増しても作業効率がそれほど落ちない。そのため、一般に一定以上の深度では無人掘削の方が工事全体の作業効率が高くなる。

そこで、本工事では、0.18MPa（G.L. 31m）から無人掘削を採用し、高い作業効率を実現した。このように、大深度の掘削でも有人掘削と無人掘削を併用することにより、効率的な掘削を実施することができた。



図－４ 圧力と掘削能力の関係



図－５ 無人掘削管理室

3.3. ひび割れの抑制

ニューマチックケーソン工法は、1 ロットごとに鉄筋を組立てて、コンクリートを打設し、掘削沈下を行う。そのため、前施工部分にコンクリートの下端が拘束されてしまい、温度収縮によるヘアクラックが生じやすい状況下での施工となる。また、本工事では、早強コンクリートを使用したため硬化初期の水和熱が高いということ、FFU 壁（直接切削可能な素材を組み込んだ壁）設置および発進坑口では部材厚さが違うためコンクリート水和熱の温度差が発生することから、ひび割れが発生する可能性が極めて高い状況下での施工となった。

そこで、このヘアクラックの発生を抑制するため、ガラス繊維を躯体周りおよび発進坑口部に配置し、収縮により発生するひび割れを分散させ、過大なひび割れの発生を抑制した（図-6）。

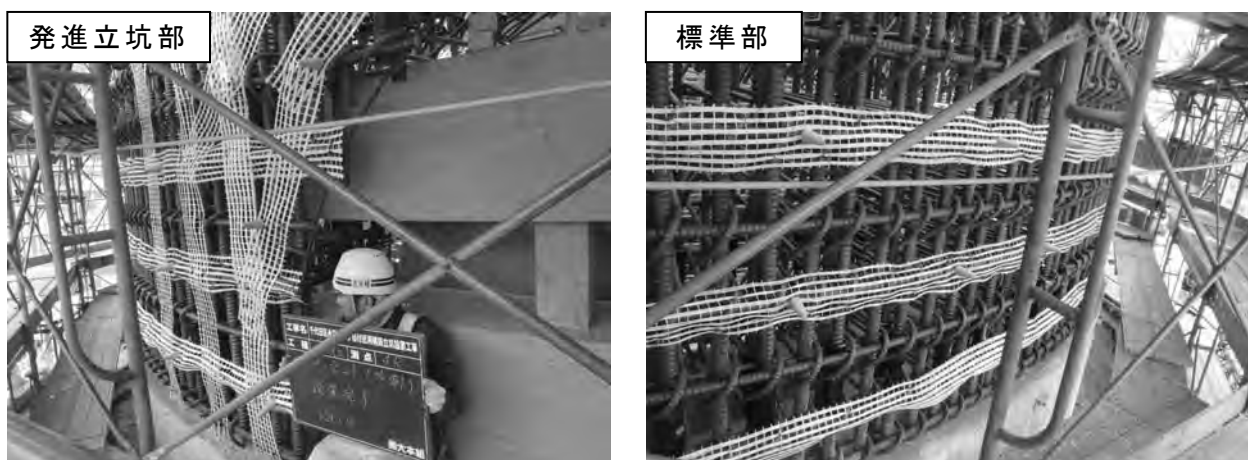


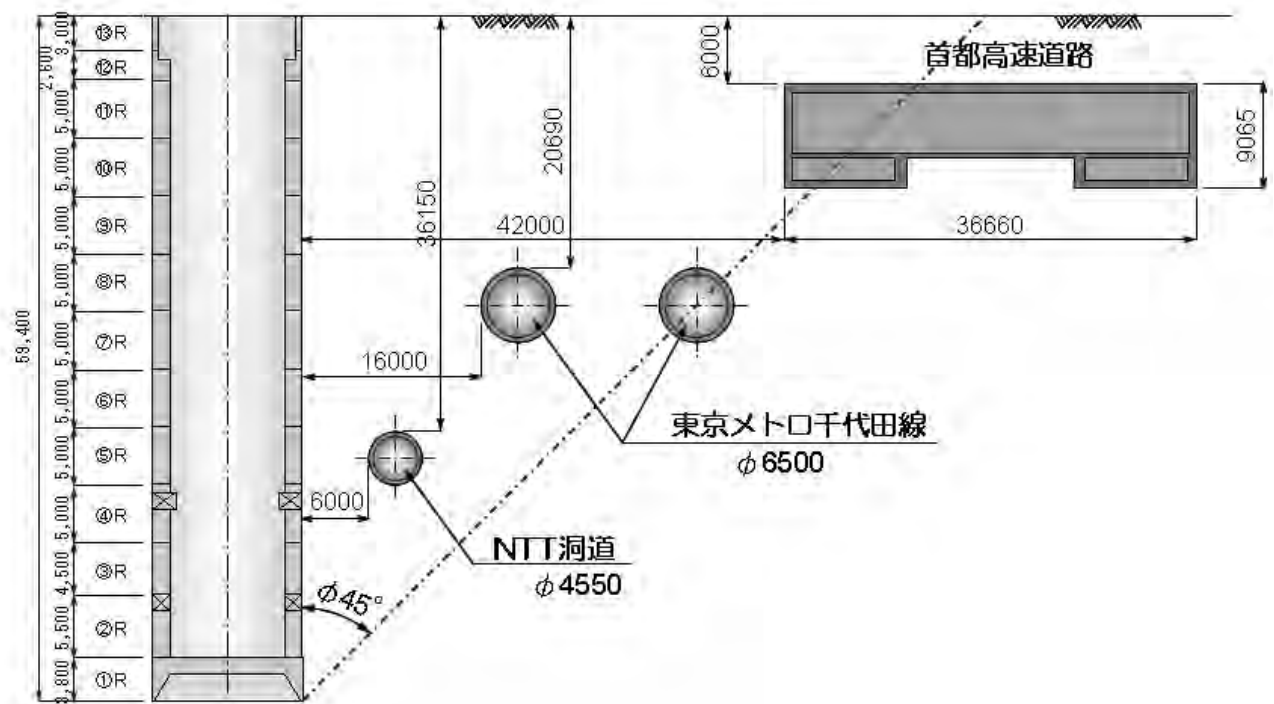
図-6 ガラス繊維ネットの設置

3.4. 近接構造物の変位測定

本工事現場の周辺には、東京メトロ千代田線、首都高速道路など、多数の地下構造物が錯綜しており、立坑の新設に当たってはこれら既設構造物に影響を与えないよう、細心の注意が求められた。

ケーソン沈設に伴い、近接構造物に何らかの影響が生じた場合には、いち早く状況を把握し対策を講じる必要があるため、近接する地下構造物において変位測定を行った。着工前に地下構造物の管理者と協議し、対策を講じる基準値として一次管理値を定め、立坑の安息角内に位置する地下構造物に計測機器を設置して変位量を常時計測した（図-7）。特に、東京メトロ千代田線については、立坑に近接する 40m の区間について、施工期間中電車の運行が終わった深夜に鉛直変位、水平変位、軌道間隔等を測量し、施工による異常の有無を確認した。

その結果、一次管理値として変位量が 3.5mm を超えた場合に施設管理者と早急に協議を行うこととしていたが、電車の運行に支障をきたすことなく 1mm 以下の変位量で施工が完了した。



図－7 安息角内の他企業管及び構造物

4. 環境対策

本工事現場は国会議事堂や首相官邸など国の中枢施設に隣接するため、特に騒音に対する対策を行った。

掘削土をケーソン内から排出するための土砂バケットが出入するワイヤーボックスの漏気音は、作業室内に発生する高圧空気流により発生する。この漏気音については、既存の蓋に加工を施し、マテリアルロック（ケーソンへの資材搬入口）の気密性を上げることで、124dB から 94dB に減少させた。また、コンプレッサーの共鳴音を低減するためにサイレンサーを設置したり、金属製の土砂バケットがワイヤーボックスにあたって金属音が発生しないようにゴムで覆ったりすることで、騒音規制基準値 50dB（敷地境界線上）を超えないよう、騒音の低減を行った。（図-8）。



図－8 騒音対策一覧

5. おわりに

本立坑設置工事は、狭小な作業スペース、大深度、地下鉄等との近接施工といった課題を一つ一つクリアすることにより、平成 24 年 11 月に無事完了した。今後この立坑を拠点とし第二期、第三期工事のシールド掘進が開始される。

2020 年のオリンピック・パラリンピックの開催が決まった今日、東京の豊かな緑や環境を世界にアピールする上でも、皇居内濠への注目度は一層高まっている。

このことから、後続の工事においても本立坑工事（第一期工事）の創意工夫、周辺環境への配慮を踏まえ、確実かつ安全に事業が完了するために所として取り組んでいく所存である。

1-(1)-5 大規模な道路切回しを伴う既設幹線の改造について

北部下水道事務所 建設課 出野 貴章

1. はじめに

板橋幹線は、豊島区、練馬区及び板橋区の一部から流出する汚水量の増大に対処するため、谷端川上幹線、石神井川上幹線、常盤台幹線、志村幹線流域の汚水を収容し、赤羽幹線に流入するものである。本工事の目的は、浮間水再生センターの一部稼働にあわせ、谷端川上幹線から板橋幹線への分水構造の改造を行うものである。施工箇所は、豊島区と板橋区の区界にある谷端川上幹線と板橋幹線の分水箇所であり、拡幅事業中の補助173号線の事業区間となっている【図1-1：案内図】。今まで、補助173号線の現道は幅員が4mと狭いことから、分水構造の改造を実施することが出来なかった【図1-2：施工箇所拡大図】。そこで、この拡幅事業が実施されるタイミングにあわせ、豊島区及び板橋区と三者で一体施工協定を締結し、当局受託で施工を実施したものである。本工事では、分水構造の改造にあわせ、谷端川上幹線上部の切り下げを行い、他企業埋設物の布設スペースも確保するという、一般的な下水道工事には見られない施工を行ったことから、これを報告する。



図1-1：案内図



図 1－2：施工箇所拡大図

2. 工事目的

本工事の目的は、浮間水再生センターの一部稼働にあわせ、谷端川上幹線から板橋幹線への分水構造の改造を行うものである。今回工事では、新たに分水堰と連絡水路を設置することにより、汚水送水量を谷端川幹線から板橋幹線へ切り替えを行った。

また、分水構造の改造にあわせ、谷端川上幹線上部の切り下げを行い、他企業埋設物の布設スペースも確保した。既存の補助173号線を横断する谷端川上幹線は、旧河川を石積みで嵩上げして、その上に橋桁を設置した構造となっているため土被りが無い状態であった。【図2：谷端川上幹線断面図（左＝施工前）】。しかし、補助173号線は、電線共同溝や他企業管など多くの埋設物が敷設される計画であることから、豊島区及び板橋区からの指示を受け、土被りを確保する必要があった。そこで、橋桁を橋台で受ける橋梁形式にすることにより、谷端川上幹線上部の切り下げを行った【図2：谷端川上幹線断面図（右＝施工後）】。なお、橋台の基礎杭には鋼管杭、橋桁にはP C版を採用した。

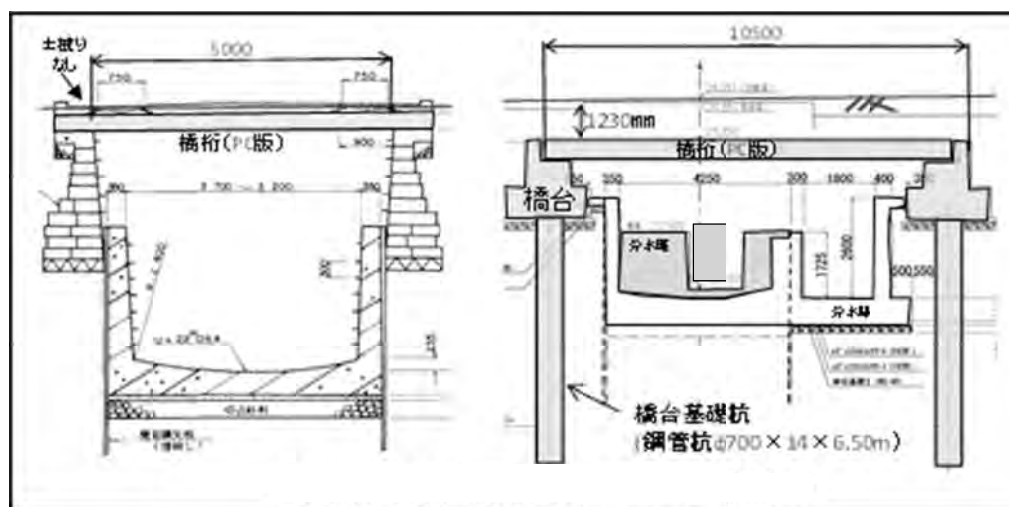


図 2：谷端川上幹線断面図（左＝施工前 右＝施工後）

3. 施工環境と施工手順

本工事の施工箇所は、拡幅事業中の補助173号線の事業区間である。補助173号線の現道は幅員が4mと狭く、山手通りに抜ける一方通行となっている。本工事にあたり、交通管理者から示された条件は、当該道路を通行止めにしないということであった。そこで、施工範囲を事業用地と現道とに二分割し、道路を2回切回しながら施工を行った。【図3-1：施工箇所平面図】



図3-1：施工箇所平面図

施工手順であるが、第一に事業用地から実施した。まず、施工範囲を掘削するため、①鋼矢板の打設を行った。次に、覆工の支持杭となる②中間杭（H鋼）の打設、③谷端川上幹線の頂版撤去、④覆工板の設置を行った。その後、⑤谷端川上幹線の上部撤去、⑥橋台基礎杭（鋼管杭）の打設を行った。最後に、⑦分水路の設置、⑧橋台の設置、⑨築造した分水路への仮止水壁設置を行い、事業用地での施工はいったん終了した【図3-2：平面図、図3-3：断面図】。

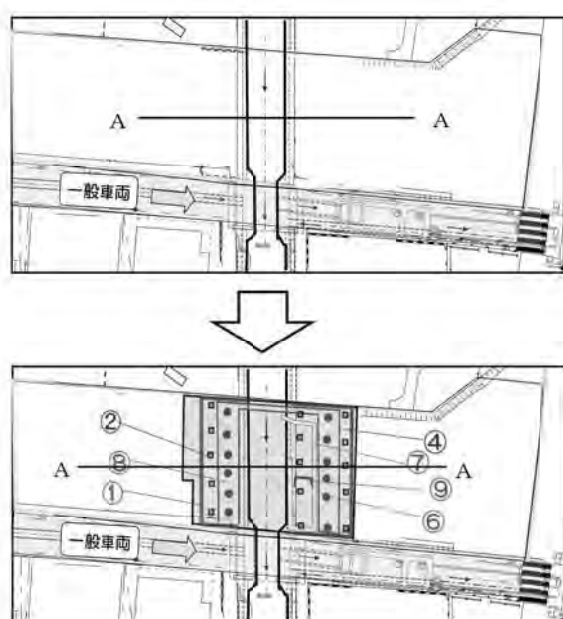


図3-2：平面図

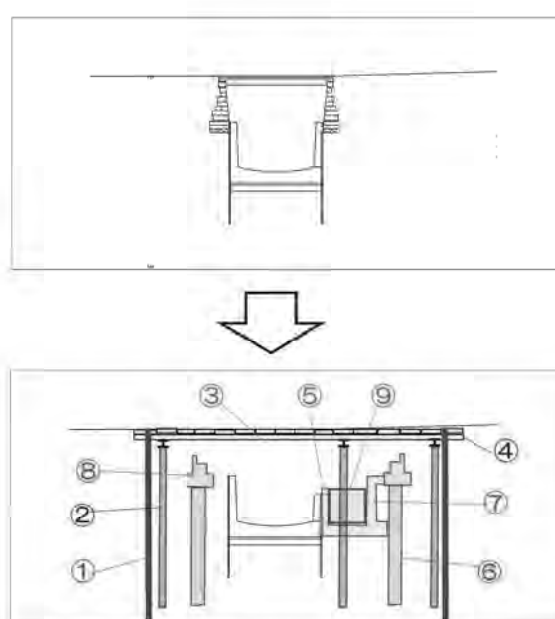


図3-3：A-A断面図

第二に、現道での施工である。まず、交通路を確保するため、①事業用地への道路切回しを行った。次に、事業用地の施工と同様に、②鋼矢板の打設、③中間杭（H鋼）の打設、④谷端川上幹線の頂版撤去、⑤覆工板の設置を行った。その後、⑥谷端川上幹線の上部撤去、⑦橋台基礎杭（鋼管杭）の打設、⑧橋台の設置、⑨橋桁（P C版）の設置を行った。最後に、⑩山留内の埋戻し、⑪覆工板・中間杭・鋼矢板の撤去、⑫舗装復旧を行い、現道での施工が完了した【図3-4：平面図、図3-5：断面図】。

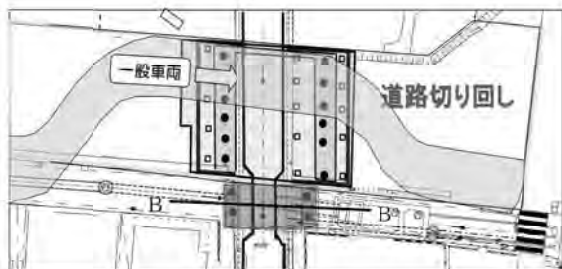
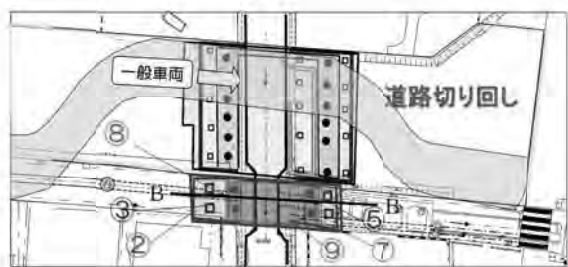
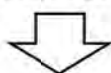
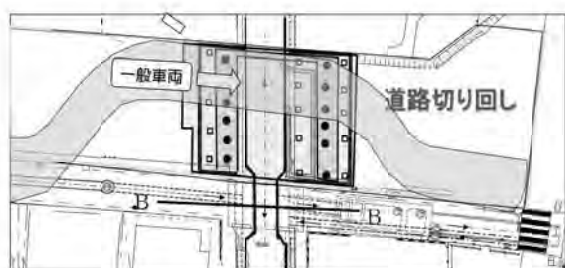


図3-4：平面図

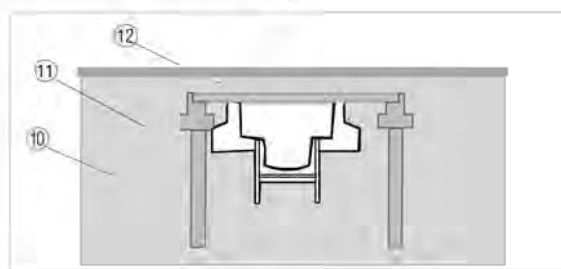
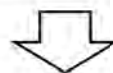
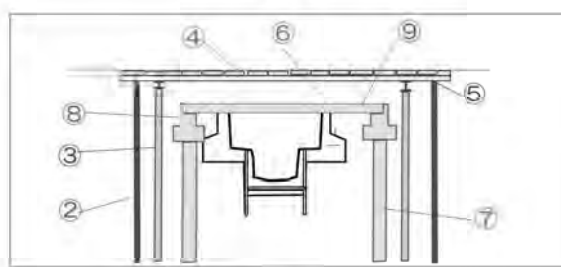
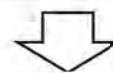
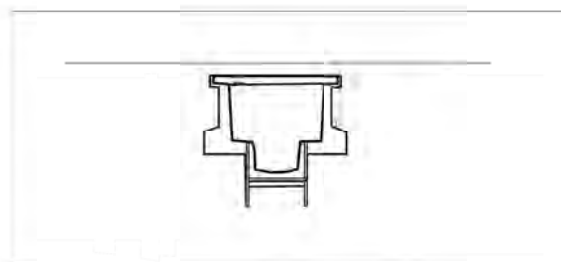


図3-5：B-B断面図

第三に、再び事業用地での施工である。まず、交通路を戻すため、①現道への道路切回しを行った。次に、②分水堰の築造、残った③橋桁（P C版）の設置を行った。その後、④山留内の埋戻し、⑤覆工板・中間杭・鋼矢板の撤去、⑥舗装復旧を行った。最後に、⑦仮止水壁の撤去、⑧角落しの設置を行い、事業用地での施工も完了した【図3-6：平面図、図3-7：断面図】。このように、通行止めを避けるため、道路を2回切回しながら施工を行った。

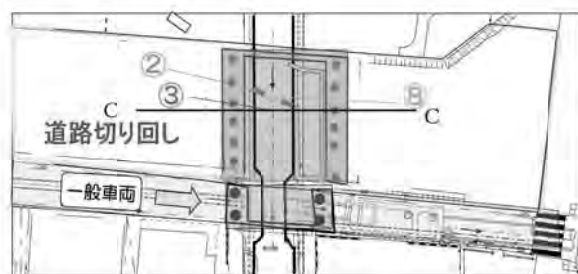
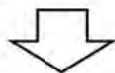
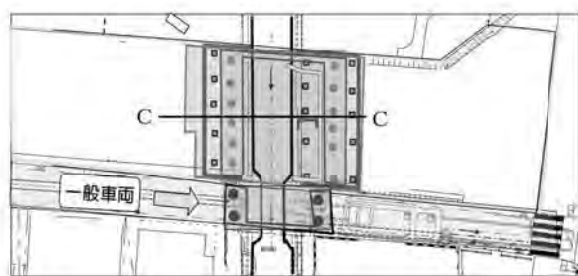


図 3-6 : 平面図

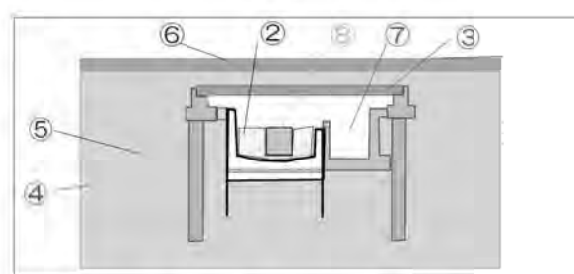
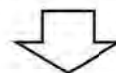
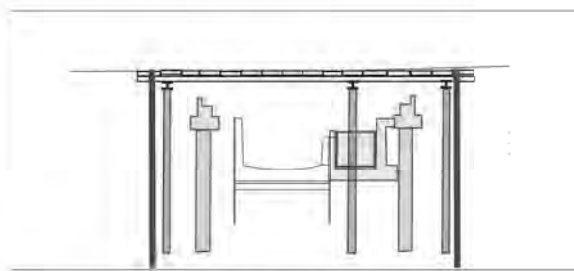


図 3-7 : C-C断面図

4. 施工状況

① 事業用地への道路切回し

補助 173 号線の現道は 4 m と狭い一方通行道路で、現道側も事業用地側も民家が立ち並んでいた【写真 4-1 : 施工前道路状況】。切回し後の現道での施工は事業用地と比べ、非常に狭く、困難な施工となった【写真 4-2 : 現道切回し後の道路状況】。そこで、沿道家屋の車両のために、代替駐車場を確保しながら施工を実施した。また、道路切回しに伴い、夜間の車両感知器の移設（2 回）も行った。



写真 4-1 : 施工前道路状況



写真４－２：現道切回し後の道路状況

②橋台基礎杭（鋼管杭）の打設

本現場は軟弱地盤であり、沿道からは振動等の苦情を頻繁に受けた。特に重機が通行すると、地震のように揺れるとのことであった。そこで、重機の走行速度を減速し、工事ＰＲを密に行うことで地元の理解を得ることが出来た。橋台基礎杭（鋼管杭）の打設にあたっては、打継ではなく一本もので搬入し、打設を行うなど取り組んだ。なお、鋼管杭の大きさは円形７００mm、厚さ１４cm、長さ６．５m、施工はプレボーリング先端根固め工法にて、合計１６本を打設した【写真４－３：鋼管杭打設状況】。



写真４－３：鋼管杭打設状況

③橋桁（P C 版）の設置

資機材の規模に対し、作業スペースが狭く、複数の工種を同時行うことができないため、施工には時間を要した。事業用地の施工では、手前からP C 版、ラフタークレーン、開口部、バックホウ、材料搬入車という厳しい配置となった【写真4－4：P C 版設置状況（全景）】。そこで、P C 版といった長尺物の施工をする際には、ラフタークレーンのアームを高く上げて回転半径を小さくし、近接物に接触しないよう、慎重に平行移動させながら設置を行った。なお、P C 版の規格は長さ10 m、幅1 m、厚さ50 cm、重さは8 tにも及ぶ。これを16枚、45 tのラフタークレーンで吊りながら設置を行った【写真4－5：P C 版設置状況】。



写真4－4：P C版設置状況(全景)



写真4－5：P C版設置状況

5. おわりに

本工事は、狹隘道路にある土被りのない蓋掛け幹線の施工であった。このように現場が狭く、限られたスペースの中で円滑に施工を行うため、受注者と一丸となり、環境対策などの地先住民への配慮はもちろんのこと、道路管理者、交通管理者や他企業との幾度にも渡る調整を重ね、工事を無事に完了させることができた。

東京には、他にも同じような蓋掛け幹線が数多く残存していることから、この施工実績が今後の再構築工事の一助となれば幸いである。

1-(1)-6 大断面蓋掛け渠におけるSPR工法の施工

一千駄ヶ谷幹線再構築工事

第二基幹施設再構築事務所 工事第一課 工事第二係 比護 一裕

1. はじめに

千駄ヶ谷幹線は、昭和 38 年に施工された延長 3,020 m、幅 7.4m、高さ 3.5～4.0mの大断面蓋掛け渠であり、本工事ではこの内、延長 224.5mをSPR工法で再構築するものである。SPR工法に関する技術資料によると矩形の最大適用範囲は幅 6.0mまでとなっており、今回再構築する断面（ $\square$ 5.75×2.93～3.70m）は最大規模である。しかし同規模の施工実績はほとんどない。そのため施工時に品質トラブルを起こさぬように綿密な施工計画を立案し、様々な工夫を行う必要があった。本稿では準備工から製管工（施工中）までの状況を報告する。



写真－1 製管状況

2. 工事概要

工事名：千駄ヶ谷幹線再構築工事

工事場所：渋谷区神宮前五、六丁目

工期：平成 24 年 5 月 30 日～平成 25 年 10 月 25 日（349 日間）

主要工事内容：管渠内面被覆工 $\square$ 5.75×2.93m～ $\square$ 5.75×3.70m L=224.5m



図－1 施工位置図

3. 施工環境

千駄ヶ谷幹線は、表参道の近くに位置する通称「キャットストリート」と呼ばれる通りの下にある。キャットストリートは、東京オリンピックの開催をきっかけに、渋谷川にそのまま蓋をする形で暗渠化して遊歩道化したものであり、正式名称は「旧渋谷川遊歩道」という。暗渠沿いにはかつて架かっていた橋の親柱が現在もいくつか残されている。キャットストリートの地上部は道路として使用しており、両サイドにはファッションビル等の店舗が多数立ち並んでいる。本件工事は日中、買い物客や観光客で非常に混雑しているが夜間は人通りもまばらで閑散とした状態になるため、全期間深夜間工事（21～6時）で施工している。



写真－２ 暗渠後の渋谷川



写真－３ 渋谷川上流に残る橋の親柱



写真－４ 施工箇所状況（上流側）



写真－５ 施工箇所状況（下流側）

4. 大断面SPR工法の施工実績（自由断面）

大断面SPR工法の施工実績（自由断面）を表－１に示す。更生断面の幅が5.0mを超えるのは表中の3件のみであり、すべて東京都下水道局発注の工事である。

表－１ 大断面SPR工法施工実績（自由断面）

No.	工事件名	最大断面(内寸 m)
1	渋谷川幹線(施工済)	5.75 × 3.85
2	千駄ヶ谷幹線(当工事)	5.75 × 3.70
3	千駄ヶ谷幹線(施工済)	5.10 × 3.32

5. 当現場における施工時の工夫点

大断面となるSPR工法への対応として現場独自に製管機整備の効率化、工事費低減策等に取り組んだ。施工時の工夫点等を以下に示す。

5-1. 製管機整備用油圧ジャッキ

製管機の大型化により既設管渠内での製管機の整備は困難である。当現場では製管機の整備、部品交換の際、製管機を流下汚水水面より上に持ち上げることができる油圧ジャッキを製作し、整備を汚水の中に入手を入れることなく、安全にかつ衛生的に効率よく行った。

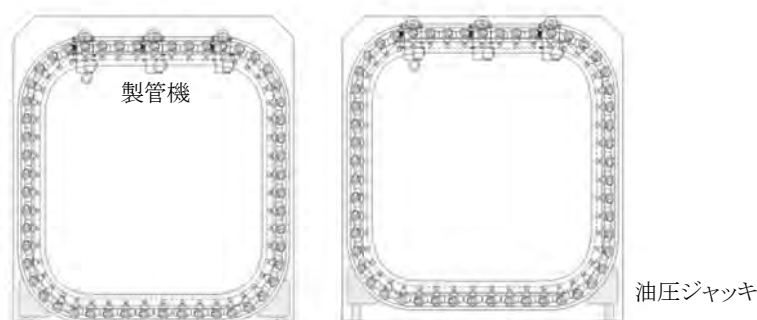


図-2 油圧ジャッキの活用



写真-6 製管機整備用油圧ジャッキ

5-2. 仮受支保工による断面形状保持

巻きたてられた更生管は何もしないと自重により変形を起こし、所定の断面を保持することができない。さらに一度変形した更生管を裏込注入時に設置する支保工で矯正することは困難である。また、支保工により断面が阻害され、局部的集中豪雨時に上流部で逸水する懸念があった。このため、製管後から裏込材を注入するまでの間、仮受支保工を設置して断面形状を保持した。(写真-7)

5-3. 支保工の有効活用

小中断面で支保工を設置する場合は地組みした支保工を人力で起こして設置するが、今回は大断面の為、底部から順に組み上げ、上部で連結することで支保工自体を一体化させ転倒を防止した。また組み上がった支保工に足場板を敷設して作業通路として活用した。(写真-8)



写真-7 仮受支保工設置状況

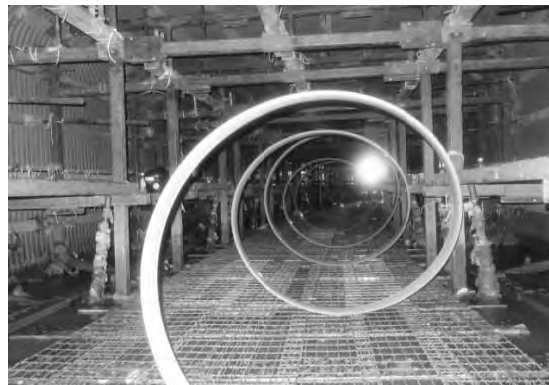
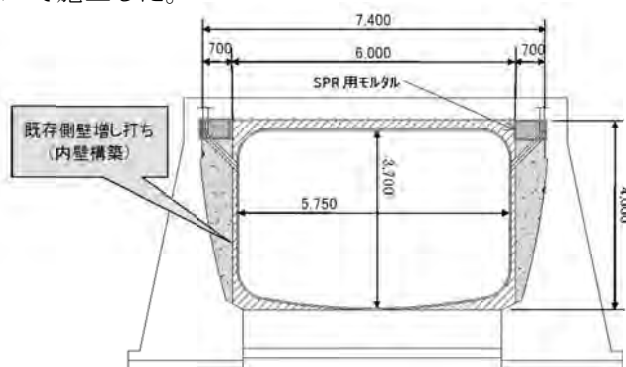


写真-8 支保工を利用した作業通路

6. その他施工実績

6-1. 工事費低減策

(公財) 日本下水道新技術機構の建設技術審査証明を取得している自由断面SPR工法の最大適用範囲は幅が6.0mまでとなっているが、今回施工する既存管渠は幅が7.4mあり、事前に断面を縮小させる必要があった。断面縮小部は製管後に行う裏込注入時にSPR用モルタルで充填することも可能であったが、SPR用モルタルは材料を含めた施工費が高価であるため、安価なコンクリートで既存側壁を増打ちすることで工事費の低減を図った。ただし、断面縮小部の最上部は充填性及び作業効率を考慮して、SPR用モルタルで施工した。



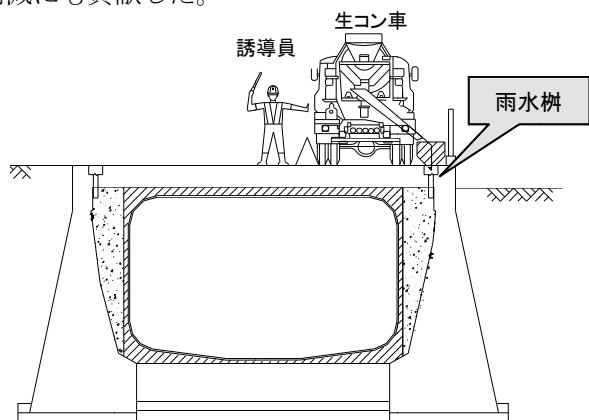
図－3 内壁コンクリート打設



写真－9 内壁コンクリート打設状況

6-2. 内壁コンクリート打設の効率化

施工延長が224.5mと長く、人孔は上下流の2箇所しかないため、コンクリートを打設するたびに管内にコンクリート圧送用配管の設置・撤去する作業や、管内で配管内の残コンクリートや廃水(強アルカリ水)を処理する作業は負担が大きいと考えた。そこで当現場では地上に点在する雨水桝を利用してコンクリートを流し込む方法を採用した。この方法によりコンクリートを打設する事前準備作業が、雨水桝の破損・汚損を防止するためのシート養生やコンクリートが管内に落下するときの骨材分離を防止するための塩ビ管の取り付け等で済み、大幅に作業効率を向上させることができた。雨水桝の使用にあたっては道路管理者である渋谷区と連携し、雨天時には事前に雨水桝を通常の状態に復旧する等の取り決めを行うことで使用許可を得ることができた。さらにこの方法は、コンクリートポンプ車を使用しないため、騒音・振動の削減にも貢献した。



図－4 内壁コンクリート打設状況図



写真－10 雨水桝からの打設状況

6-3. 蓋掛け頂版の浮上防止対策

蓋掛け頂版は既存の側壁に頂版（P C 蓋）を載せただけの簡易な構造であるため、製管後に施工する裏込工の注入圧により頂版が浮き上がることが懸念された。そこで頂版の浮上防止対策として製管前に既存側壁と頂版を固定金具及びアンカーで結合させた。さらに大断面对策として今回施工した内壁コンクリートと頂版も同様に固定することで浮上防止対策を二重にして安全性を向上させた。施工時は大断面であることから高所作業（高さ 3.5～4.0m）になるため墜落・転落事故等を起こさぬように安全にも十分配慮して施工した。

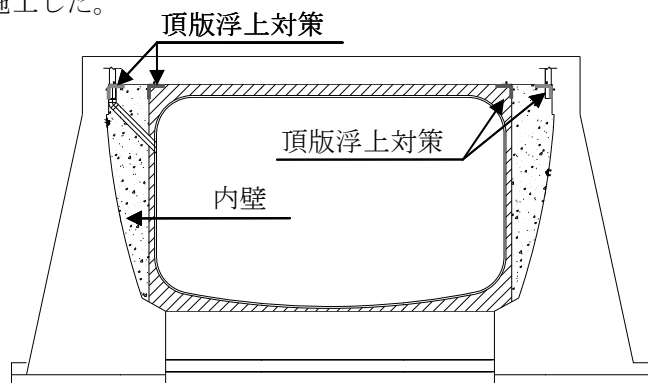


図-5 頂版浮上防止工施工図



写真-11 頂版浮上防止工施工状況

6-4. 下水道の「見える化」

当工事及び下水道事業について近隣のお客さまの理解を得るために工事現場オリジナルホームページを開設した。さらに管渠内作業状況を地上モニターで放映するとともに工法看板を作業車の側面に設置するなど、工事への興味・理解と協力が得られるように努めている。



写真-12 現場ホームページ



写真-13 管渠内作業状況放映

7. おわりに

これまでに行ってきた S P R 工事で習得した知識と経験を最大限に活用するとともに、受注者と一体となり創意工夫することで大断面蓋掛け渠においても品質やコストを圧迫する重大トラブルを発生させることなく施工している。今年度は特に例年と比較して雨天日が 3 倍程度も増えており、工事の施工に影響を及ぼしているが、無事故・無災害の達成、環境トラブルゼロを目標に工事を進めている。当工事の実績が今後の大断面 S P R 工事の参考になれば幸いである。

1-(1)-7 新河岸水再生センターにおける汚泥焼却設備

再構築工事の設計について

建設部設備設計課 加納 勇

1 はじめに

東京 23 区の下水处理過程から発生する汚泥は、1 日約 18 万 m³に達するが、平成 15 年度から全量焼却体制が確立され、濃縮、脱水及び焼却と数次の処理を経ることによって減量化し、埋立処分または資源化を行っている。

新河岸水再生センターは、23 区内陸部に位置し、新河岸処理区の発生汚泥を焼却処分する重要な汚泥集約処理施設の一つであり、3 炉ある汚泥焼却炉のうち 3 号炉は、昭和 60 年に設置され、稼働から 25 年以上経過している。この間、適切な維持管理に努めてきたが、老朽化した汚泥焼却炉を再構築し、汚泥処理の安定化を図る必要がある。

また、「アースプラン 2010」では、汚泥焼却時に発生する温室効果ガス削減のために、新たな燃焼方式として第二世代型焼却炉を導入するとともに、「汚泥処理処分施設計画」では周辺住宅環境に配慮して、汚泥焼却炉にはしゃへい施設を設けることとされている。

本稿では、「新河岸水再生センター汚泥焼却設備再構築工事」の発注にあたり、温暖化対策と騒音対策の 2 点の環境対策について、比較検討の上、設計を行ったので報告する。

2 工事概要

2.1 再構築工事内容

- (1) 汚泥焼却炉 1 基

(多層型流動焼却炉又はターボ型流動焼却炉、250t/日)

- (2) 工期 (4 年債務負担工事)

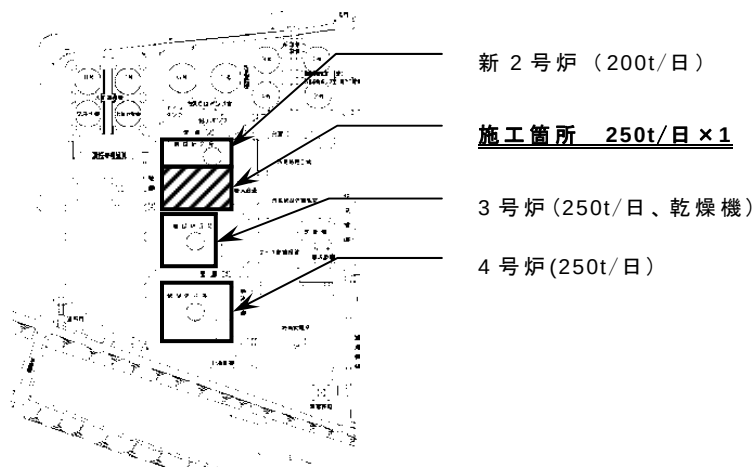
契約締結の日の翌日から平成 27 年 3 月 2 日まで

(平成 23 年 10 月 24 日から平成 27 年 3 月 2 日)

2.2 汚泥焼却炉の配置計画

新設炉の配置計画と既設炉との関係は、以下のとおりである。

- (1) 既設の汚泥焼却炉は計 3 炉あり、新設炉は、新 2 号炉と 3 号炉の間の用地に建設する。
- (2) 3 号炉 (既設) は、新設炉が稼働した後に撤去し、次の再構築工事の用地とする。
- (3) 図-1 に汚泥処理施設平面図を示す。

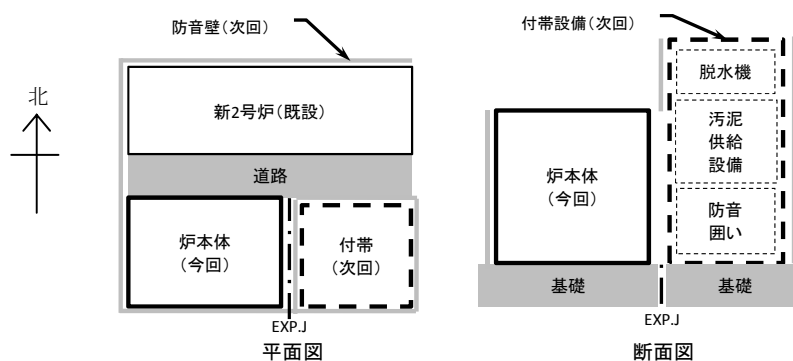


図－1 汚泥処理施設平面図

2.3 全体工事計画

再構築工事は、炉本体工事と脱水機を含めた付帯設備工事の2期に分けて発注する計画とし、全体工事計画は、以下のとおりである。

- (1) 汚泥焼却設備は、既設の新2号炉の南側に維持管理用道路を挟んで配置し、西側を汚泥焼却炉本体、東側を付帯設備と計画した。
- (2) 今回は、第1期工事分として、炉本体から排ガス処理までの汚泥焼却設備を発注した。次回は、第2期工事分として汚泥脱水機、汚泥供給設備、その他ユーティリティ設備、環境対策として、新2号炉と新設炉に防音壁を設置する工事を計画している。
- (3) 図－2に全体工事計画図を示す。



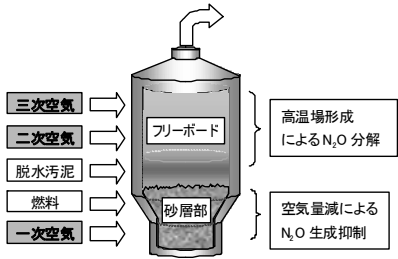
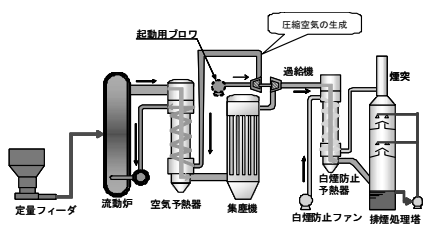
図－2 全体工事計画図

2.4 発注仕様

汚泥焼却炉の発注仕様は、簡易提供型共同研究※を経て技術開発された第二世代型焼却炉（多層型又はターボ型と併記）とし、受注したメーカーの方式を採用することとした。各型式の特徴は、下記のとおりである。（※民間企業の試験研究段階や簡易な工夫・改善を加える技術段階の共同研究）

- (1) 多層型は、従来の流動炉からの改良が容易である。
- (2) ターボ型は、設置面積が小さく、電力消費量が少ない。
- (3) 表－1に多層型とターボ型の特徴比較を示す。

表－1 多層型とターボ型の特徴比較

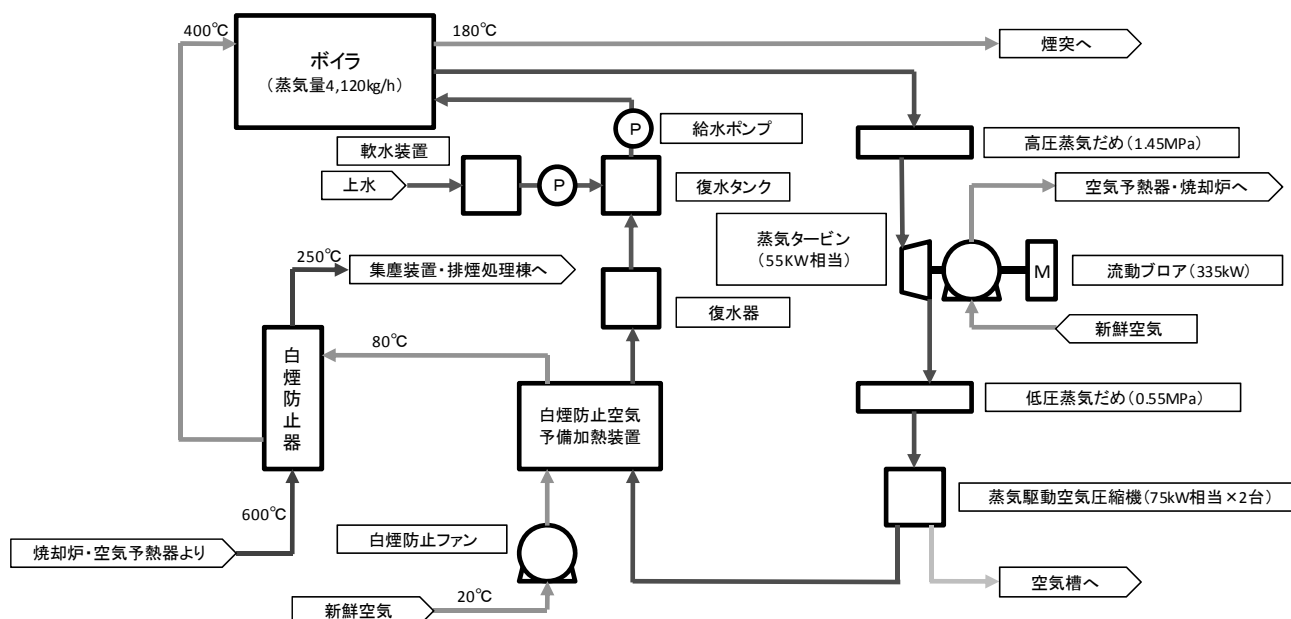
	多層型流動焼却炉	ターボ型流動焼却炉
概念図		
運転圧力	負圧	正圧
既設改良	○	△
設置面積	従来と同じ	従来より小
N ₂ O 排出	○	○
電力消費	△	○
稼働実績	南プラ、新河岸	浅川

3 汚泥焼却設備の環境対策

3.1 温暖化対策

ターボ型は、燃焼排ガスを有効活用し、電力量が削減できることに対し、多層型は、標準のシステムでは電力量削減機能を有していない。そこで多層型流動焼却炉に熱回収設備とブロア類の回転数制御装置を設置し、電力の削減対策を行うこととした。

- (1) 熱回収設備は、白煙防止空気を熱源としてボイラで蒸気を発生させ、流動ブロウと空気圧縮機の動力源、白煙防止空気の加熱として利用するものとした。図－3 に熱回収設備概念図を示す。



図－3 熱回収設備概念図

- (2) 多層型の電力削減対策を行った場合、電力由来の温室効果ガスを約 30%削減する効果があり、N₂O を含めた温室効果ガス削減効果は、ターボ型に近いものとなった。表－2 に温室効果ガス削減効果比較を示す。温室効果ガス排出量は、CO₂ 換算で年間約 7000t の削減となる。

表－2 温室効果ガス削減効果比較

	多層型	ターボ型
温室効果ガス削減効果	約 45%	約 48%
電力由来 CO ₂	約 30%※	約 48%
N ₂ O	約 50%	約 50%

※熱回収設備の設置により約 18%削減

※ブロー類の回転数制御装置の設置により、約 12%削減

- (3) 表－3 に多層型の電力削減対策の費用対効果を示す。機器が増える分、イニシャルコストは増えるが、電力が削減できるためランニングコストが下がり、20 年間のトータルコストでみると費用対効果が得られる。ランニングコストでは、年約 14 百万円程度の削減が図られる。

表－3 多層型の電力削減対策の費用対効果

	増減額
トータルコスト（20 年間）	240 減
イニシャルコスト	80 増
ランニングコスト	280 減
GHG※排出コスト	40 減

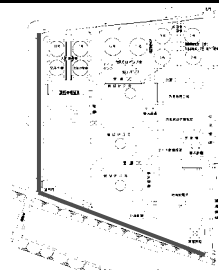
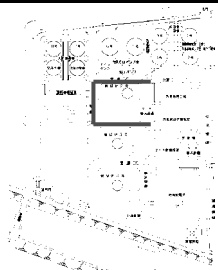
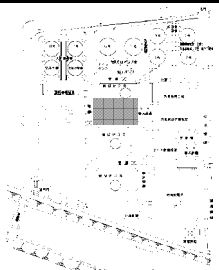
※GHG（Greenhouse Gas、温室効果ガス）

3.2 騒音対策

平成 21 年度に騒音測定を行った結果、汚泥焼却炉稼働時には敷地境界での騒音値が大きくなる傾向がみられた。これまでも、機器ごとの防音被覆など騒音対策は行われているが、民家に近い周辺環境にあり、お客さまからの騒音苦情が多い現状がある。そこで、再構築工事の設計にて汚泥焼却炉の騒音対策の検討を行った。

- (1) 表－4 に騒音対策比較を示す。A 案は、施設全体を自立の防音壁で囲むことにより効果の確実性が高いが、日照、景観上の問題や大規模な基礎工事が必要などの課題が多い。また、C 案は、発生源（機器）ごとの対策は、これまでもとられており一定の効果があるものの、現状以上の効果を期待することができない。したがって、施工性がよく、騒音値の削減効果が得られる B 案の汚泥焼却設備（新 2 号炉と新設炉）の周囲を防音壁で囲うこととした。

表－４ 騒音対策比較

	A 案	B 案(採用案)	C 案
対策案	 敷地境界に防音壁を設置	 設備周囲に防音壁を設置	 発生源(機器)ごとに対策
効果	○	○	△
施工性	△	○	○
課題	日照、景観上の問題 大規模な基礎工事必要	対象炉以外の対策が必要	効果の確実性が低い

- (2) 防音壁は、工期の短縮と架台の重量や設置スペースを考慮して、共通架台併用方式とした。共通架台併用方式は、汚泥焼却設備の共通架台と防音壁の骨組みを一体化する方式で、共通架台は、防音壁を支えることができる強度を要する。なお、4号炉（既設）は、共通架台の強度に防音壁の荷重は考慮されていないため、同様の防音壁設置による対策は困難である。表－５に防音壁の仕様を示す。

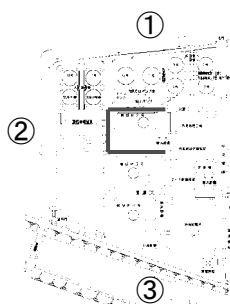
表－５ 防音壁の仕様

方式	共通架台併用方式
仕様	防音壁：ALC パネル 厚さ 120mm 程度 吸音材：軽量コンクリート系吸音材 厚さ 50mm 程度 質 量：100kg/m ² 程度
施工例	南多摩水再生センター (80t/日) 

- (3) 新 2 号炉（既設）と新設炉の合成騒音について防音壁を設置しない場合と設置した場合の騒音値低減効果を比較した。表－６に防音壁を設置した場合の騒音低減値を示す。

表－６ 防音壁を設置した場合の騒音低減値

	騒音低減値(dB)
①	11.1
②	11.9
③	11.2



4 まとめ

- (1) 多層型の電力削減対策を行うことで、ターボ型と多層型のいずれの型式の汚泥焼却炉においてもほぼ同等の温室効果ガス削減が可能となる仕様とした。
- (2) 新 2 号（既設）と新設炉の周囲に防音壁を設けることで敷地境界での騒音値の低減が可能となる仕様とした。
- (3) 今後の工事施工や次期の工事設計に向けて、局内外の関係者との調整を密に行っていく所存である。

1-(2)-1 H&V 工法スパイラル掘進による設計

～立会川幹線雨水放流管事業～

第二基幹施設再構築事務所 設計課 岡田 大吾

1. はじめに

東京都品川区を流れる立会川は、川幅 8m、延長 750mの中小河川である。流域のほとんどは市街化され、雨水の大部分は下水道を通じて短時間に河川に流出し、一度溢れると甚大な浸水被害となる。また、合流式下水道からの雨天時の放流により河川及び運河に水質悪化や悪臭の影響が見られ、その改善が大きな課題となっている。

本事業はこれらの対策として、立会川へ放流されている雨水を取り込み、閉鎖性水域の勝島運河から、京浜運河へ放流先を変更するための「立会川幹線雨水放流管」を布設するものである。図1に立会川幹線流域図を、図2に立会川幹線雨水放流管概要図を示す。立会川幹線雨水放流管は、狭隘な河川内かつ地下埋設物が輻輳している箇所へ布設する必要があるため、平面・縦断において厳しい条件下で施工することが求められている。そのため、通常のシールドマシンを用いた設計では流下能力を満たした断面の確保ができない。そこで、限られた占用スペースの中で最大限の流下能力の確保が可能な工法としてH&V 工法スパイラル掘進を日本で初めて選定した。本稿では、その経緯と設計について報告する。

工事件名：立会川幹線雨水放流管工事

工事場所：品川区東大井二、三、六丁目、大井一、四、五丁目

対象流域：813ha

工 法：特殊泥水式シールド（H&V 工法 二連中折れ式）

延 長：L=1551.65m

内 径：5000 mm×2 本

土被り：11.4m～23.7m（スパイラル箇所は 11.5m～17.4m）



図1 立会川幹線流域図



図2 立会川幹線雨水放流管概要図

2. 設計条件

2.1. 管きょ布設ルート

立会川幹線雨水放流管の上流部は、立会川へ放流されている雨水を放流箇所である月見橋付近にて取り込む必要がある。また、下流部はなぎさ会館付近の既設立坑で第二立会川幹線へ接続させる必要がある。この条件で施工可能な線形を考慮した結果、川幅 8m の狭隘な立会川に河川縦断占用を行うこととした。シールド工は工事ヤード等を考慮し、既設なぎさ会館立坑を発進し、河川上流部の月見橋付近に到達立坑を設けることとした。図 3 に平面・縦断概略図を示す。



図 3 平面・縦断概要図

2.2. 縦断的な制約

立会川の縦断占用は、品川共同溝、京浜急行本線高架橋、勝島運河護岸など多くの重要地下埋設物と近接する。このうち立会川幹線雨水放流管と最も近接する施設は、なぎさ会館付近の勝島運河護岸の基礎杭となる。図4に勝島運河護岸の基礎杭及びなぎさ会館立坑図を示す。

なぎさ会館から立会川幹線雨水放流管を発進する際のコントロールポイントは以下の二点である。

- ・勝島運河護岸の基礎杭（設置深さ TP-18.13m）から、最小離隔 1.5m を確保する。
- ・下流部の第二立会川幹線（管底高さ：TP-25.12m）よりも浅い位置へ接続する。

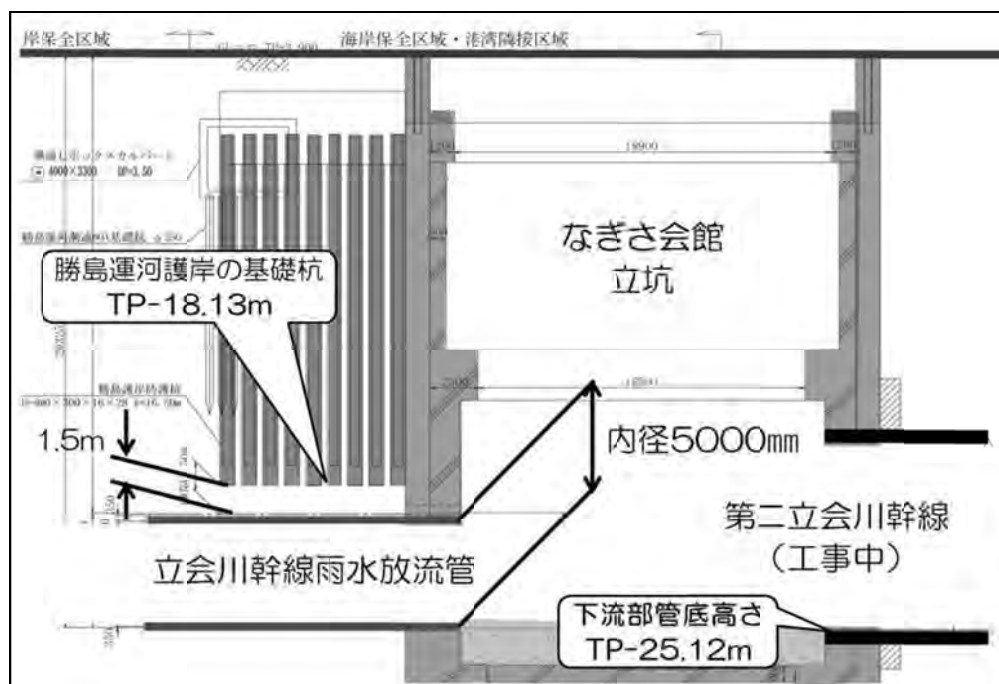


図4 勝島運河護岸の基礎杭及びなぎさ会館立坑図

2.3. 平面的な制約

川幅 8mの狭隘な河川に縦断占用するにあたり平面的な制約が生じる。特に、下流部から 670mの桜橋付近でのS字カーブ箇所は、両側が民地となり官民境界からの離隔を確保する必要がある。図5に桜橋付近河川平面図を示す。

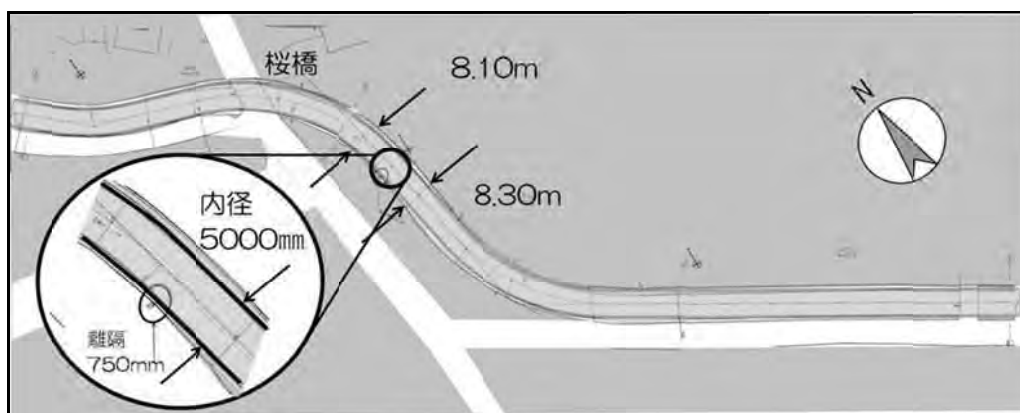


図5 桜橋付近河川平面図

このように発進立坑付近では縦断的な要因、桜橋付近では平面的な要因により立会川幹線雨水放流管の施工可能規模が制限される。この条件で検討したところ、施工可能径は内径 5000 mm (外径 5700 mm) が限界となる。必要整備水準を満たすためにはシミュレーションや水理模型実験結果より、内径 5000 mm の下水道管きょを 2 本分布設する必要があると分かった。そこで、内径 5000 mm を 2 本布設するための工法選定を行った。

3. 工法選定

内径 5000 mm を 2 本布設するため単独シールドマシンを 2 台使用する工法と、連結シールドマシンを使用する工法の比較検討を行った

3.1. 単独シールドマシンを 2 台使用する工法

先行して内径 5000 mm のシールドを 1 台発進させ、初期掘進終了後に 2 台目のシールドマシンを発進させる。縦断的な制約のあった発進立坑付近では平面位置をずらすことによって対応させ、平面的な制約のあった桜橋など河川域については縦断位置をずらして同一平面へ施工するように対応させる。図 6 に単独シールドマシンを 2 台使用する工法（概略図）を示す。

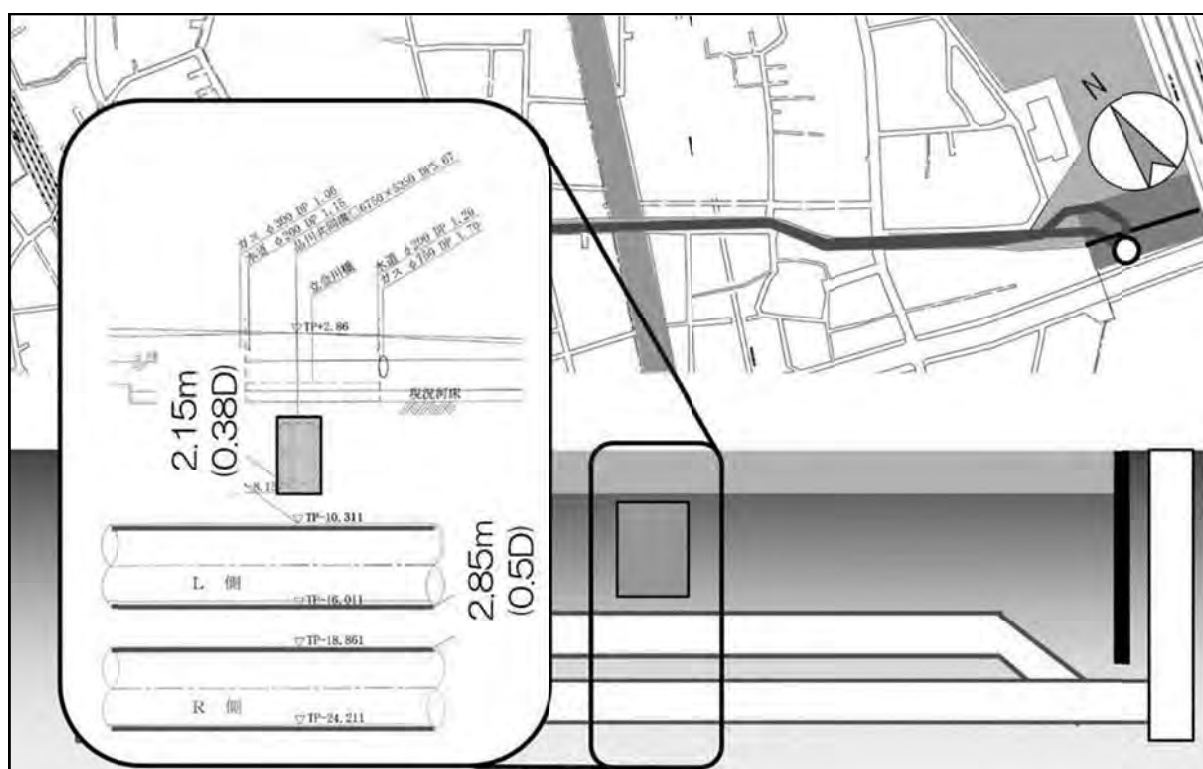


図 6 単独シールドマシンを 2 台使用する工法（概略図）

この工法の問題点は以下の通りである。

- ・下水道管きょを 0.5D (2.85m) の離隔で 2 本別々に同一平面へ布設する必要がある。
- ・品川共同溝と下水道管きょの離隔が 0.38D (2.15m) となる。
- ・各シールド発進箇所にて地盤改良を行うため、改良範囲が大規模となる。
- ・発進ステップが 2 段階となり、後発シールド発進時に先発シールド掘進に休止期間が生じる。

3.2. 連結シールドマシンを使用する工法

2つの円形シールドを組み合わせ、超近接したトンネル断面を構築できる工法として、H&V工法の検討を行った。

H&Vシールドは中折れピンで連結した2つの前胴を相反する方向へ中折れさせ、異なる地盤反力を作用させることでローリング制御を行うクロスアーティキュレート機構を持っている。2つの前胴間にはスライド可能な連結ピンなどを設け、前胴が分離しないよう固定している。

このクロスアーティキュレート機構を活用することで超近接した2つのシールドをらせん状にねじるスパイラル掘進が可能となり、横二連型から縦二連型へと変化させて合理的に地下空間を活用することができる。

図7にクロスアーティキュレート機構概念図を、図8にスパイラル掘進概略図を示す。

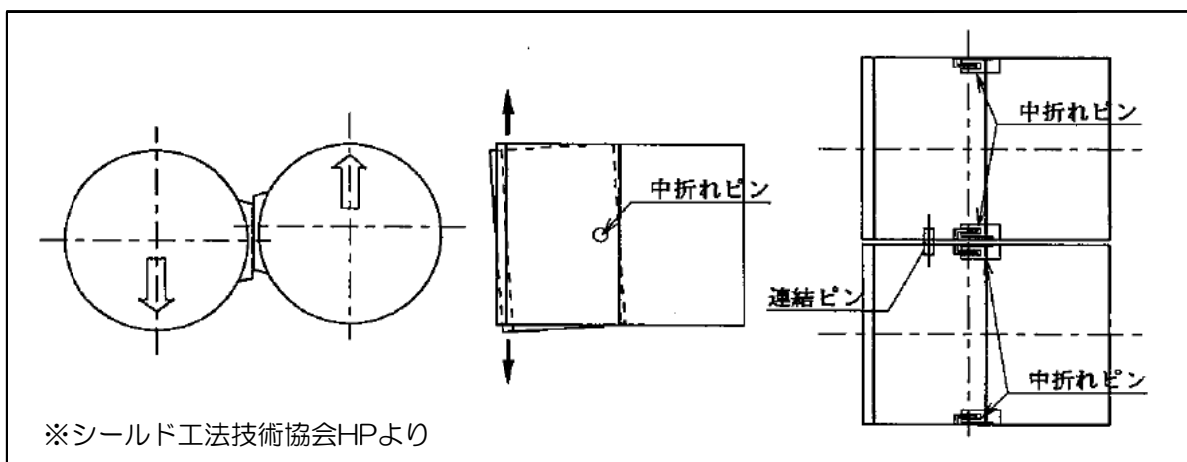


図7 クロスアーティキュレート機構概念図

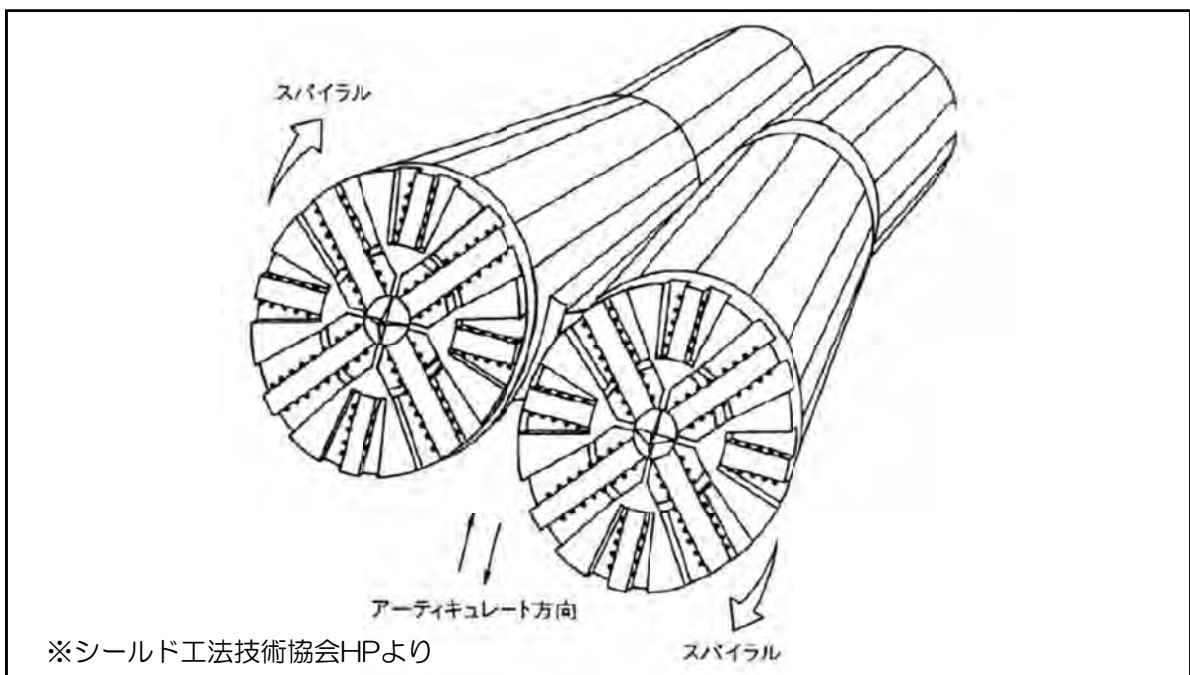


図8 スパイラル掘進概略図

この H&V 工法スパイラル掘進を活用することによって、縦断的な制約のある発進立坑付近を横二連で掘進し、平面的な制約のあった桜橋など河川域を縦二連で掘進することができる。スパイラル掘進は、勝島運河護岸部通過後の、運河から河口部までの 137.4m の区間を活用して施工するように計画した。図 9 にスパイラル箇所図を示す。

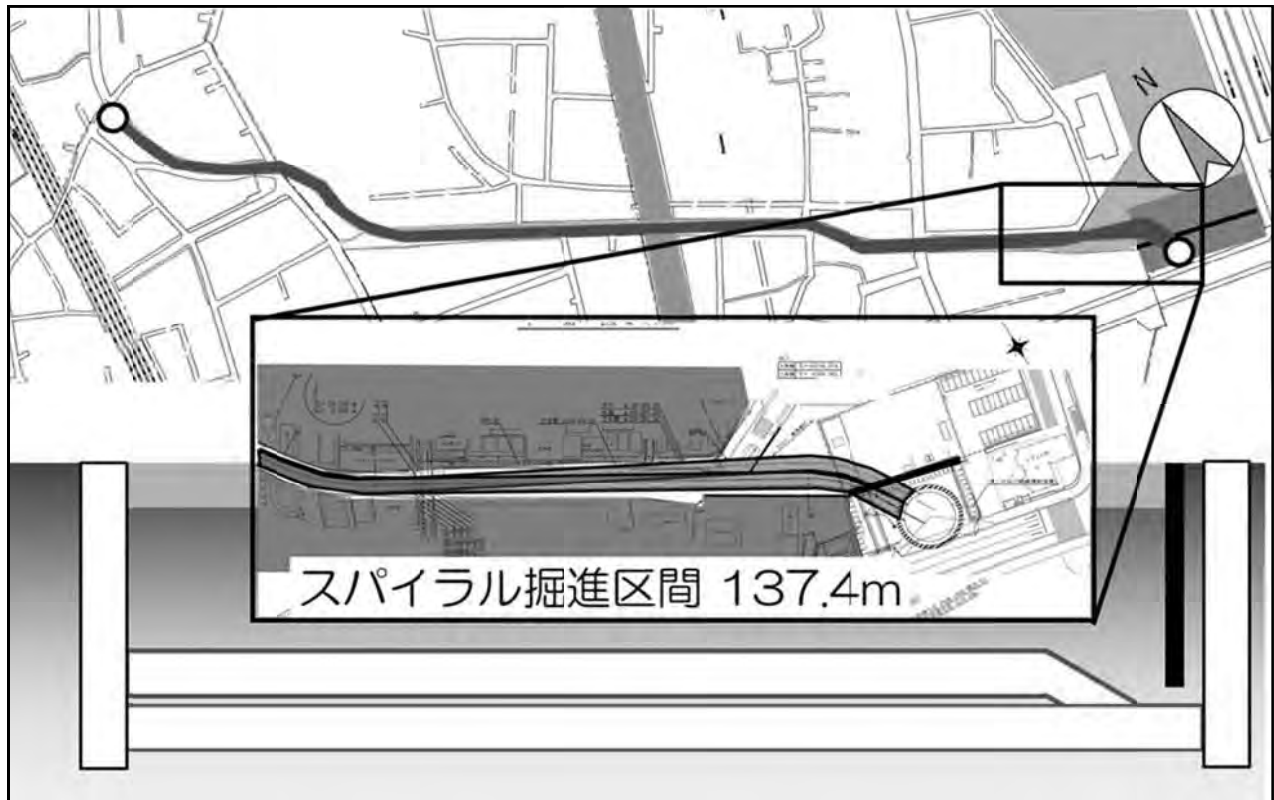


図 9 スパイラル箇所図

本工法を採用した場合、従来の単独シールドマシンを 2 台使用する工法に対し以下の点で有利となる。

- ・ 下水道管きょを超近接した状態で 2 本同時に同一平面へ施工できる。
- ・ 品川共同溝との離隔を 0.84D (4.8m) 確保することができる。
- ・ 発進ステップが 1 段階となる。
- ・ 地盤改良を超近接した状態で 2 本分同時に行うため、改良範囲が最小限となる。

よって、今回設計では H&V 工法スパイラル掘進を採用した。

4. スパイラル箇所の設計

スパイラル掘進箇所の設計にあたって、特に留意した点を次頁に示す。

4.1. セグメントの選定

スパイラル区間については上部シールド機を 90° 回転させ、下部シールドは回転させず直進する。本区間の使用セグメントについては、上部・下部ともに鋼製セグメントを使用することとした。

スパイラル箇所上部のシールドは方向制御及びジャッキ推力について急曲線部に相当する対策が必要となる。一般的な急曲線施工時には偏心量に応じて作用させるジャッキの位置を調整し推進力を得る。スパイラル箇所ではこの推進力に加えて、回転する方向への分力が必要なことから、ジャッキをシールドの円周方向へ偏心させてジャッキ推力をかける必要がある。そのため、セグメント端部に通常の急曲線部以上に集中荷重が発生する。

スパイラル箇所下部のシールドは見かけ上直進するが、掘進方向への推力の他に、スパイラル箇所上部のシールドマシン回転時の偏心した推力などが作用することから集中荷重が発生する。

このため、RC セグメントでは発生した集中荷重により欠損し、破損する恐れがあるため、スパイラル区間については鋼製セグメントを使用することとした。図 10 に急曲線部へのジャッキ作用例、図 11 にスパイラル箇所ジャッキの偏心図、図 12 にスパイラル箇所下部シールド機の作用荷重を示す。

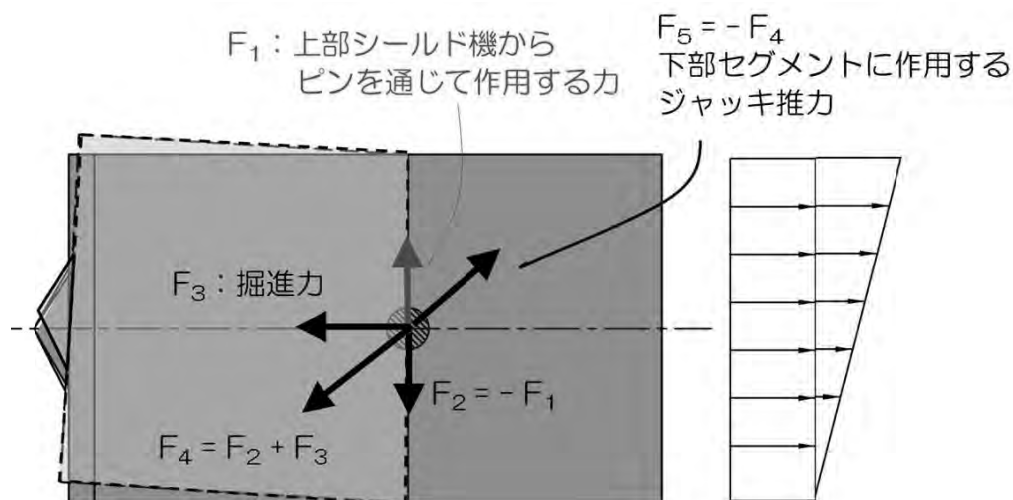
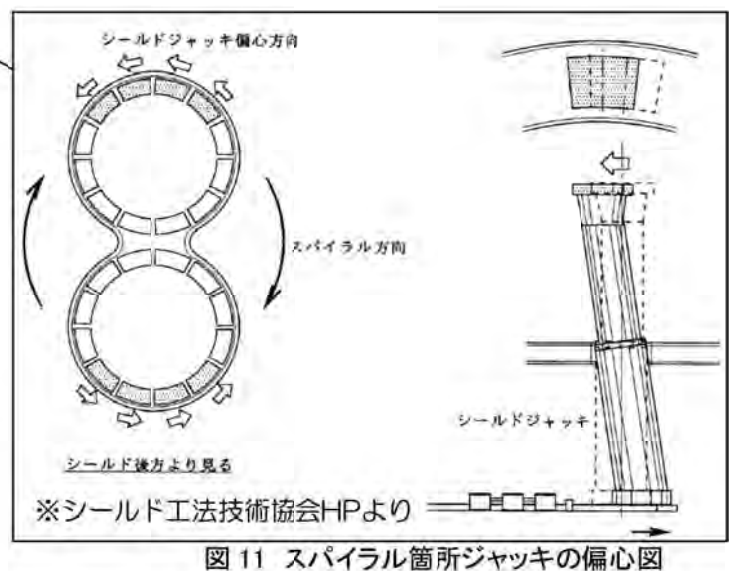
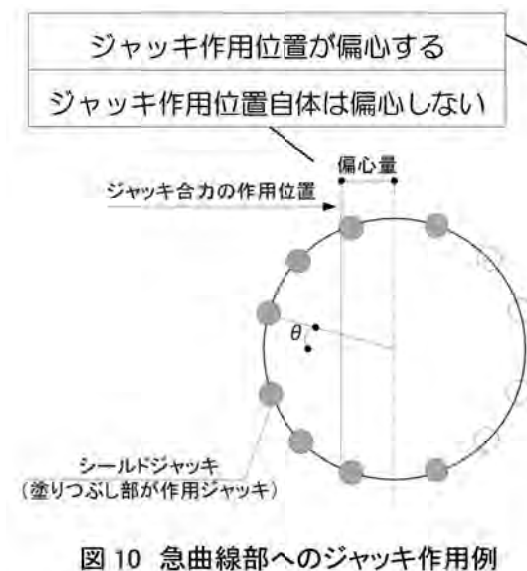


図 12 スパイラル箇所下部シールド機の作用荷重

4.2. シールドマシンの設計

スパイラル掘進によってシールド機が 90° 回転することから、スパイラル区間の設備切替を最小限に抑えるように設計した。泥水式シールドマシンでは送泥管・排泥管を設置されており、シールドマシン上部から送泥、マシン下部から排泥を行いつつ掘進していく。ところが、スパイラル掘進でシールドマシンが回転すると送泥管・排泥管の設置個所が上下端から移動してしまい、効率的な送排泥が行えない。

そこで、今回のシールドマシンでは送泥管・排泥管をそれぞれ二本設置している。掘進前は上下端に設置している送排泥管を稼働させ掘進させていくが、スパイラルに伴う回転で 45° 回転した時点で送排泥管をそれぞれもう一方の管きょに切り替え、スパイラル掘進後もマシン上下端から送排泥を行えるように設定した。これにより設備切替の手間を最小限に抑え、効率的に施工することが可能となる。図 13 にスパイラル区間の送排泥管設備切替概要図を示す。

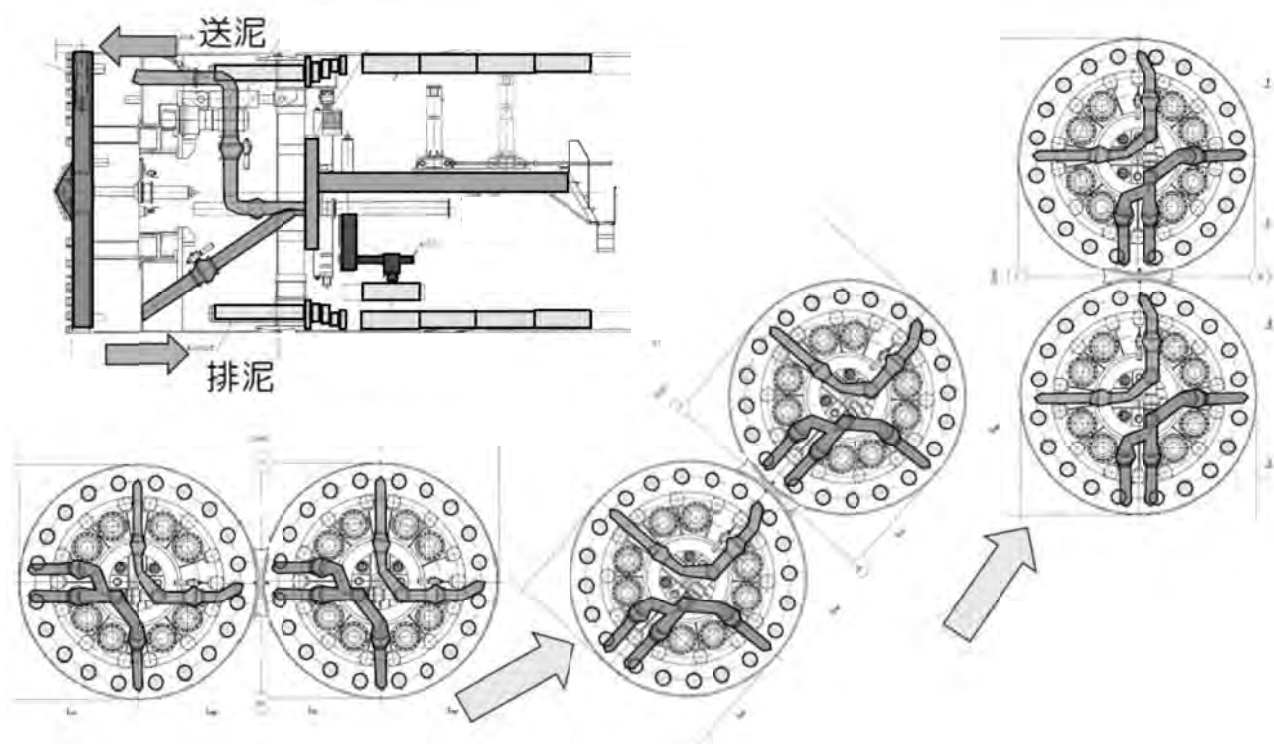


図 13 スパイラル区間の送排泥管設備切替概要図

5. おわりに

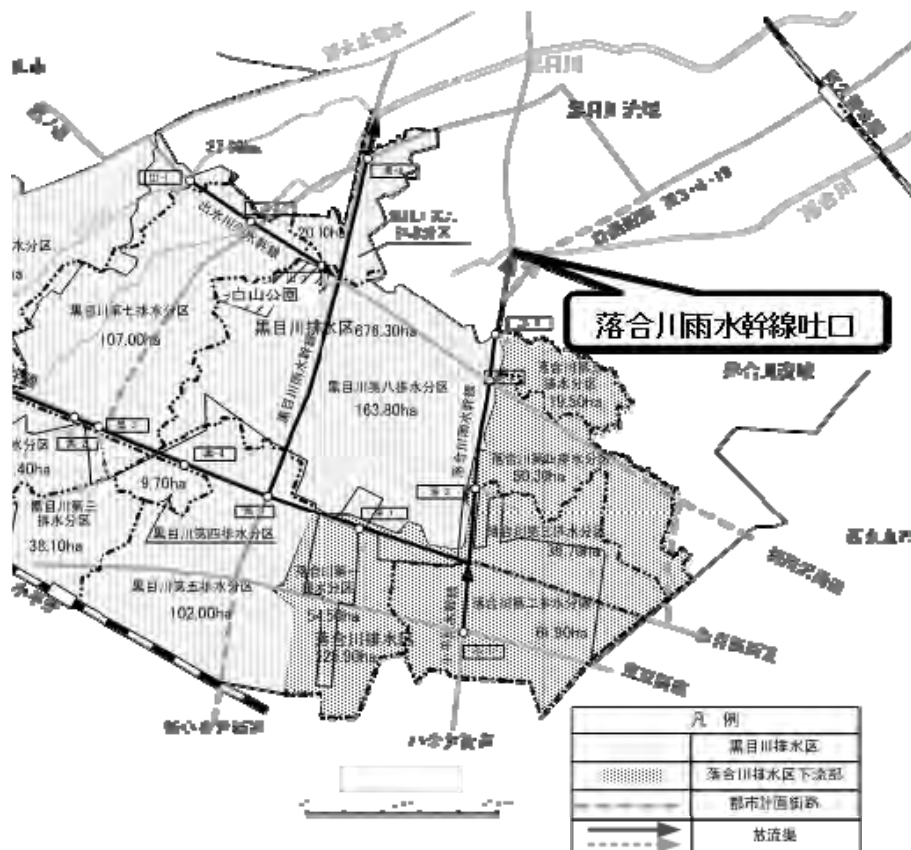
今後も都市部で下水道整備を進めるにあたり、厳しい路上条件から下水道管きょの布設可能なルートが限られる、重要地下埋設物が輻輳している、など大都市ならではの厳しい環境での設計が求められると考えられる。本稿では、平面・縦断において制約条件がある中で、H&V 工法スパイラル掘進を用いることで流下能力のある下水道管きょを布設することが可能となったという設計について報告した。今後も厳しい設計条件下での検討を通じて最新のシールド技術の発展に寄与していきたい。

1-(2)-2 落合川雨水幹線工事（落合川吐口部）について

流域下水道本部 技術部 工事課 日高 輝幸

1 はじめに

多摩北東部、埼玉県境に位置し、黒目川・落合川雨水処理区に属する黒目川・落合川流域雨水幹線整備事業は、1994年（平成6年）東久留米市において着手し、以降小平市及び東村山市においても順次工事を進め、約20年の歳月を費やし、2011年（平成23年）総延長8,100m、流域面積902haに及ぶ事業が完了した。（図－1）



図－1 黒目川・落合川流域図

当該地域においては、雨水の放流先となる河川が無いなど市単独では雨水の排除が困難なこと、また浸水被害が甚大なことなどから、流域下水道本部が浸水対策事業の一つとして全国で初めて流域下水道雨水幹線整備に取り組むこととなった。

事業全体は平成5年に都市計画決定され、各種管理者（道路、河川、交通など）や地元などとの合意形成に合わせ整備を進めた。整備の内容は、黒目川雨水幹線、出水川雨水幹線、小平雨水幹線及び落合川雨水幹線であり、黒目川雨水幹線は平成5～13年度、出水川雨水幹線は平成8～13年度、小平雨水幹線は平成13～16年度、落合川雨水幹線は平成13～23年度に整備を行った。

平成 14 年度には黒目川流域の黒目川、出水川雨水幹線の供用を開始し、平成 16 年度末には、落合川雨水幹線の一部や小平雨水幹線が完成し、本流域の浸水被害の早期軽減を図る必要から、落合川雨水幹線下流部が未整備であったが、平成 17 年より雨水収容の暫定利用を開始している。

このような経緯をたどり、平成 23 年 9 月 29 日、東久留米市本町三丁目において、落合川合流地点（弁天橋）の工事である落合川雨水幹線その 4 工事が竣工し、落合川吐口部の工事が完了したため、同工事の特徴について報告する。

2 工事の特徴、課題への取り組み

(1) 落合川吐口部における河川工事等との協同事工

落合川雨水幹線は、東久留米市中央町五丁目の小金井街道弁天橋付近に設置する吐口から落合川に放流するものである。この吐口付近において、落合川整備事業（河川護岸工事及び弁天橋架替工事）が平成 21 年度より着手されたことから、吐口築造工事が河川工事と完全に競合することとなった。そのため双方の工程調整が頻繁に必要となるなど困難な工事となった。

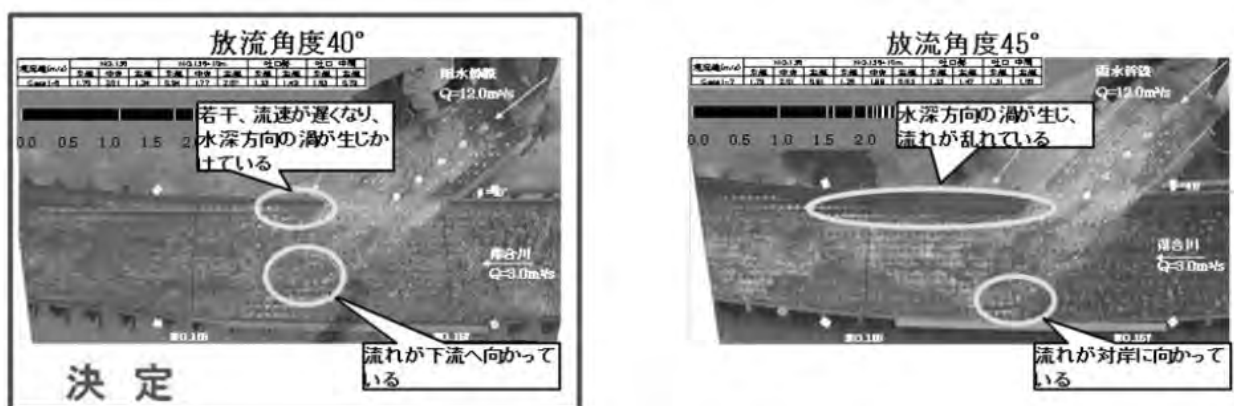
落合川整備事業（河川工事）の概要

落合川（延長 3.4km、流域面積 6.8km²）は、東久留米市八幡町付近の湧水を固有水源とし、普通河川立野川を併流後、埼玉県との県境付近で黒目川に合流する荒川水系一級河川である。

昭和 46 年度に黒目川合流点から水源付近までの 3.43km を都市計画決定後に事業着手し、昭和 47 年度から黒目川の整備水準に合わせ時間雨量 30mm の暫定整備を進めた。昭和 57 年度からは時間雨量 50mm 規模の護岸整備に着手し、平成 23 年度で整備が完了した。

① 吐口の構造について

吐口の構造については、水理模型実験に基づき、建設局と協議の上決定した。河川協議当初は放流角度を 30 度を提案していたが、放流角度が緩くなるほどはけ口の占用面積が大きくなるため、河川管理者から、占用面積が小さく、河川に影響ない角度を検証するように指示を受けた。このため、放流角度について検証した結果、40 度で決定した。1)（図－2）



図－2 水理模型実験状況

② 仮設工事

吐口部の仮設は、アースオーガー併用圧入機により、鋼矢板（Ⅲ～Ⅴ型 矢板長 8m

～18m) 80 枚の打設が必要であった。ところが、地上には重機類の配置スペースや資材等の置き場の確保が困難であったため、河川工事側と詳細な工程調整を行い、河川路切換え工事期間で水の流れていない河川路部をこれらのスペースとして利用し施工した。

(写真－１，２)



写真－１ 河道内での仮設施工状況



写真－２ 河道内への資機材搬入通路

③護岸工事

吐口は弁天橋下流の右岸側に築造となるが、吐口周囲約 37m の区間については吐口工事の影響範囲という扱いになり下水道局施工となった。建設局施工区間との品質整合を図るため、施工時には建設局基準類に準拠した施工、品質管理を行った。(写真－３)

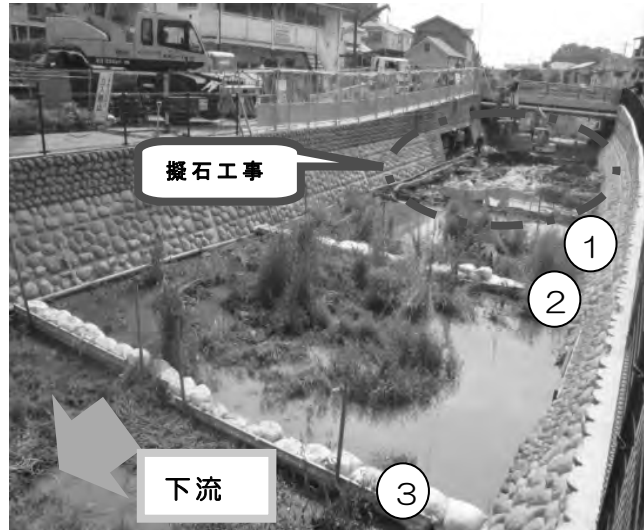


写真－３ 護岸施工状況

④施工中の環境及び安全対策

落合川の水源が近いことから護岸周辺からも湧水が発生していた。吐口、護岸工事に際して河床掘削を伴うことから、掘削等の影響により濁った湧水がそのまま落合川に流れ込むのを防ぐため、河川路内に活性炭入りの土のうを設置し、沈殿・ろ過を行った後に落合川へ放流した。(写真－４)

通常、他局工事と作業範囲が重なる場合、競合工事（双方の工事工程を調整し期間を区分して工事を進行）となるが、本吐口工事においては、河川工事との「協同」という形態を取り、同時進行させることで事業期間の短縮を図り、工事による地元等への影響を最小限にすることを第一に考えたことが大きな特徴である。

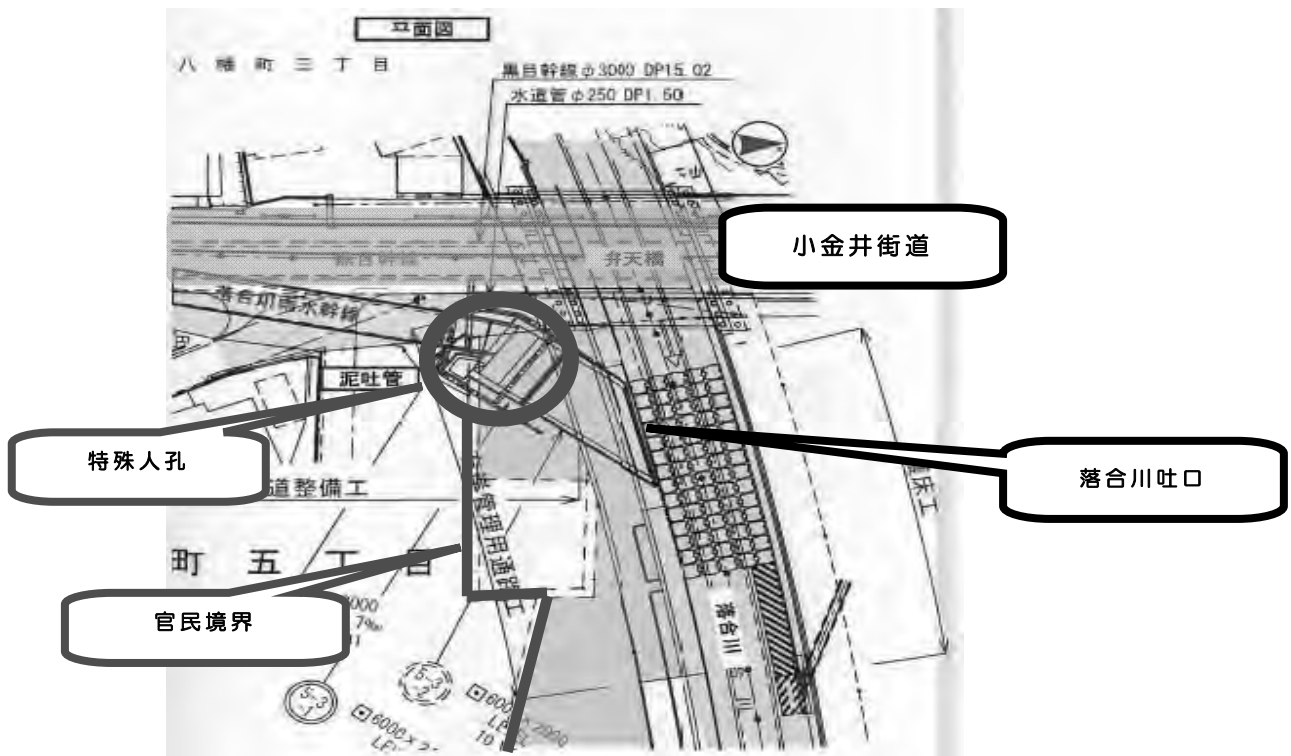


写真－４ 活性炭入り土のう設置状況

(2) 吐口部手前の特殊人孔工事における創意工夫、安全対策の徹底

雨水幹線管きょ部と吐口部には高低差があることから、吐口手前にはふかし上げ構造（管底差約 4m）の人孔を築造することとなった。人孔部工事は、吐口部と同様に鋼矢板（V_L型 矢板長 18m）45 枚の打設が必要で土留内掘削及び躯体築造も伴う。しかしながら、吐口工事完了後に発注され河川路内の使用が不可能であったため、資材搬入や重機車両配置など施工にあたって綿密な検討が必要であった。（図－３）

そこで、工事全体を把握する目的として手作りの現場模型を製作し、各種検討等幅広く活用した。（写真－５）



図－３ 特殊人孔設置位置図



写真－５ 手作り模型の全景

①道路の規制を伴わない施工への変更

当初設計では、小金井街道の片側１車線を規制することで作業帯を設置し工事用地とする計画であった。しかしながら、交通管理者と協議したところ道路の規制について同意が得られなかった。模型を製作し検証したところ、鋼矢板施工時をはじめ、掘削や躯体築造時においても土砂や資材搬出入など施工スペースの確保が必要となり、小金井街道の規制が必要ことが判明した。そのため、小金井街道の規制が伴わない施工への変更を余儀なくされた。(写真－６)

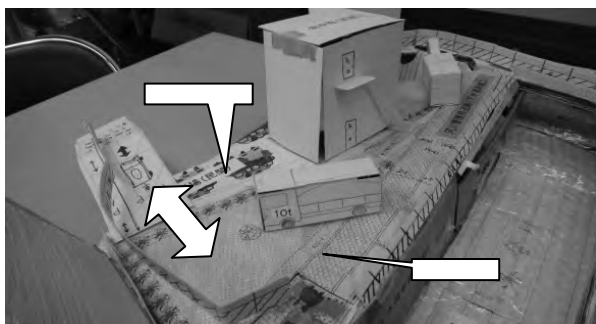


写真－６ 模型検証①

左) 河川路に重機がはみ出る

右) 小金井街道の規制が必要

再び模型を活用した検討を重ね、当初から人孔築造部付近の河川用地は工事用地として使用できたことから、河川用地に隣接する民間駐車場を借用し、ここを工事用搬出入路として利用することにより東久留米市道に抜ける資材搬出入ルートを確認した。(写真－７)



写真－７ 模型検証②

左) 搬出入路検証状況

右) 小金井街道を占用しない作業スペースの検証

②騒音振動対策

現場付近の土質は N 値 1 ～ 30 程の粘性土で構成された軟弱地盤で、川を挟んだ兩岸

は住宅地であり、施工現場においても住宅が非常に接している。また、小金井街道は、昼夜とも交通量が多く、大型車も多いため、住民は従来から振動や騒音に敏感となっていた。施工は立孔形状の開削工法で、掘削深さが約 10m あり、長大な土留（鋼矢板 VL 型 矢板長 18m）も必要であったため、施工機械による騒音や振動による影響をいかに抑えるかが課題であった。（写真－８）

そのため、まず、住民に対して日常生活で発生する振動や騒音を具体的な数値で示すこととした。工種ごとに振動、騒音調査を実施し、実測値を公開することで理解が得られ大きな苦情は発生しなかった。また、作業員一人ひとりが、「いかに振動や騒音を抑えて施工すべきか」という意識向上にもつなげることができた。

さらに、発動発電機を使用する際は、発電機の向きと設置場所を選定するとともに、重機械の運転においてエンジン回転数を低く設定し出力を抑えることで振動、騒音を低減するなどの対策を実施した。（写真－９）



写真－８ 土留め施工状況



写真－９ 発動発電機の設置場所選定

③安全対策と広報活動

河川通路（遊歩道）を含めた河川用地を作業用地として使用しているため、施工中の河川通路は立ち入り禁止としていたが、作業終了後や休工時には通路沿いにバリケードを設置して作業班と区画したうえで開放し、散策者などの通行を確保した。（写真－１０）

また、小金井街道に面する側は歩道を狭めていることから、通行者に対して誠実かつ丁寧な誘導を実施するとともに、クレーン作業における旋回時の安全確保のため、専門の監視員を配置し、きめ細やかな安全管理を心掛けた。（写真－１１）



写真－１０ 歩道規制状況



写真－１１ 通行者への声掛け誘導

次に、広報活動については、「お知らせ」を工事の進捗に応じて段階別に作成し、近隣住民だけでなく、付近の教育施設や地元町会などに配布するとともに、掲示板に掲示することにより、地域からの協力と理解を得た。（図－４）

下水道工事が第2段階に入ります

平成23年4月15日

日頃より、東京都の下水道事業に対して、ご理解・ご協力をお願いされて厚く謝礼申上げます。
平成23年1月より着工した落合川雨水幹線その4工事ですが、工事は順調に進み、第2段階(歩道整備工、河川涵路整備工、既設人孔内仮設撤去)に入る見込みとなりました。

引き続き、皆様方にはご不便・ご迷惑をおかけいたしますが、工事を安全に進めてまいりますので、さらなるご理解とご協力のほど、宜しくお願いします。

ご不明な点、お気づきの点がございましたら、お手数ですが、ご連絡を頂けますようお願いいたします。

記

工事件名 : 落合川雨水幹線その4工事
 工事場所 : 東京都東久留米市中央町五丁目地内
 工事期間 : 平成23年 1月 上旬～平成23年 9月 下旬(予定)
 工事概要 : 工事延長 1.0 40m
 鉄筋コンクリート管 3000mm 4.0m 1箇所
 管径5m 6000×2000 1箇所
 特殊人孔 1箇所
 護床工 2ヶ所 70箇所
 付帯工(歩道整備工、河川涵路整備工など)

【工事施工に関する問い合わせ先】

施工者 : 有限会社 今村組 電話 042-493-0254
 現場代理人 : 関分 英二 携帯 090-1542-1052
 係長 : 東京地下水道局 流域下水道課 流域下水道課 工事課 電話 042-527-4341
 担当 : 関分 英二・ 齋藤 龍平

【工事影響の主な予定】

段階	第1段階	第2段階	第3段階
場所	歩道工 仮設工	上り 地中涵路整備工 河川涵路整備工	歩道整備工 河川涵路整備工
小金井街道	東側 歩道整備工事のみ使用	西側 歩道整備工事のみ使用	西側 歩道整備工事のみ使用
東久留米市都市計画道路3-4-19号線	—	歩行者通行を確保	歩行者通行を確保
東久留米市	—	第1段階完了後、当該現場への資機材等の搬入路として一時的に使用	第1段階完了後、当該現場への資機材等の搬入路として一時的に使用
落合川	河内内	作業時は洪水の逆流防止(仮設)を設置	—
管理道路	作業時は通行止、後は原則開放	作業時は通行止、後は原則開放	作業時は通行止、後は原則開放
予定時期	H23.1～H23.4	H23.4～H23.9	H23.9～H23.9

下水道工事が第3段階（最終）に入ります

平成23年4月25日

日頃より、東京都の下水道事業に対して、ご理解・ご協力をお願いされて厚く御礼申上げます。
平成23年1月より着工した落合川雨水幹線その4工事ですが、工事は順調に進み、最終段階(歩道整備工、河川涵路整備工、既設人孔内仮設撤去)に入る見込みとなりました。

最終段階では、小金井街道の歩道及び東久留米市道の整備に伴い、東久留米市道の一部で一時的(3～4日間程度)な通行止め(9月下旬予定)が発生します。通行止めに関する詳細については、別途チラシを作成し、お知らせいたします。

引き続き、皆様方にはご不便・ご迷惑をおかけいたしますが、工事を安全に進めてまいりますので、さらなるご理解とご協力のほど、宜しくお願いします。

ご不明な点、お気づきの点がございましたら、お手数ですが、ご連絡を頂けますようお願いいたします。

記

工事件名 : 落合川雨水幹線その4工事
 工事場所 : 東京都東久留米市中央町五丁目地内
 工事期間 : 平成23年 1月 上旬～平成23年 9月 下旬(予定)
 工事概要 : 工事延長 1.0 40m
 鉄筋コンクリート管 3000mm 4.0m 完了
 管径5m 6000×2000 1箇所 完了
 特殊人孔 1箇所 完了
 護床工 2ヶ所 70箇所 完了
 付帯工(歩道整備工、河川涵路整備工など)

【工事施工に関する問い合わせ先】

施工者 : 有限会社 今村組 電話 042-493-0254
 現場代理人 : 関分 英二 携帯 090-1542-1052
 係長 : 東京地下水道局 流域下水道課 技術課 工事課 電話 042-527-4341
 担当 : 関分 英二・ 齋藤 龍平

【工事影響の主な予定】

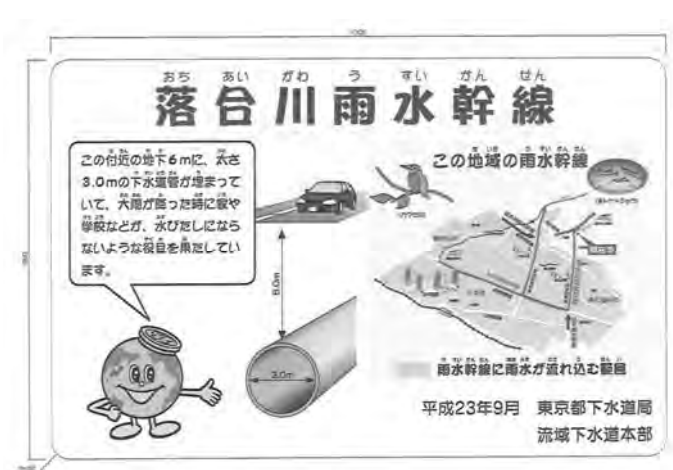
段階	第1段階	第2段階	第3段階
場所	歩道工 仮設工	上り 地中涵路整備工 河川涵路整備工	歩道整備工 河川涵路整備工 既設人孔内仮設撤去
小金井街道	東側 歩道整備工事のみ使用	西側 歩道整備工事のみ使用	西側 歩道整備工事のみ使用
東久留米市都市計画道路3-4-19号線	—	歩行者通行を確保	歩行者通行を確保
東久留米市	—	第1段階完了後、当該現場への資機材等の搬入路として一時的に使用	第1段階完了後、当該現場への資機材等の搬入路として一時的に使用
落合川	河内内	作業時は洪水の逆流防止(仮設)を設置	—
管理道路	作業時は通行止、後は原則開放	作業時は通行止、後は原則開放	作業時は通行止、後は原則開放
予定時期	H23.1～H23.4	H23.4～H23.9	H23.9～H23.9

図－４ 段階ごとの「お知らせ」チラシ

また、落合川雨水幹線が全線完成時には、特殊人孔築造に伴い購入した当局用地内に、落合川雨水幹線の広報版を設置し、整備目的や役割について紹介している。（写真－１２、図－５）



写真－１２ 広報版設置状況



図－５ 広報版を拡大したもの

以上のような制約がある中、検討を積み重ね、多くの創意工夫により工事を無事故で完了することができた。

参考文献

- 平成 20 年度第 2 回カワセミ 落合川雨水幹線吐口の設計について

1-(2)-3 大深度・超大口径推進の施工について

第一基幹施設再構築事務所 工事第二課 荒川 恭平

1. はじめに

東京都荒川区に位置する「東尾久浄化センター」は、隅田川の水質浄化及び東京湾の富栄養化防止対策の一環として、三河島処理区の一部汚水を処理し、また同処理区の一部の雨水を吸揚し、隅田川に放流するための施設である。

「東尾久浄化センター西日暮里幹線流入渠建設工事」は、西日暮里幹線と西日暮里系主ポンプ棟を接続する工事である。本稿では、大深度での施工は世界初となる組立式超大口径推進管を採用した工事の施工について記述するものである。

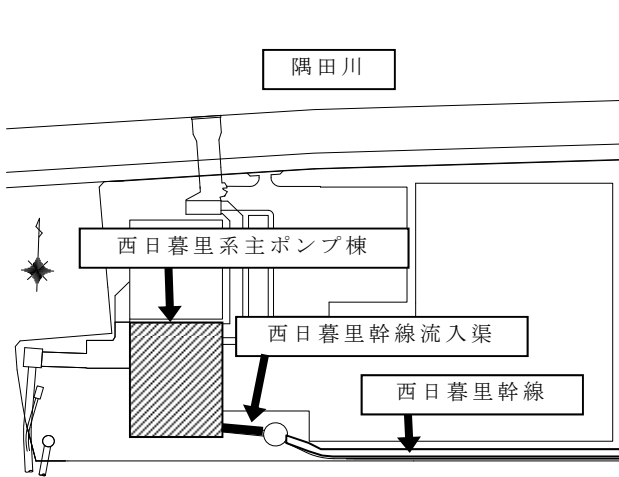


図 1. 東尾久浄化センター

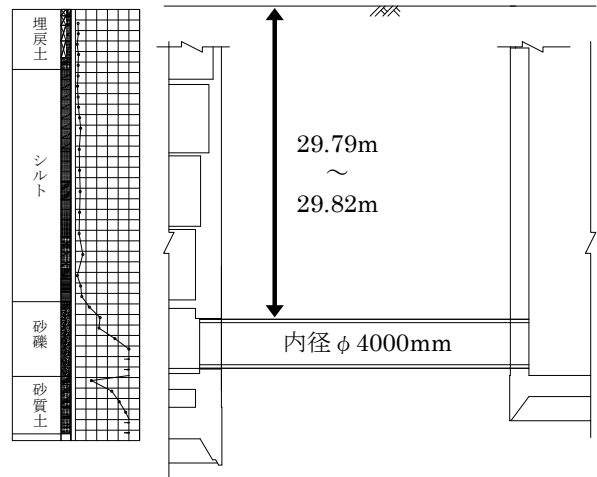


図 2. 施工断面図

1. 1 施工条件

本工事の施工条件は以下の通りである。

- 管径（内径）： 4,000mm
- 管径（外径）： 4,600mm
- 掘削外径： 4,630mm
- 土被り： 30m
- 水圧： 0.3MPa
- 管渠延長： 32.3m

1. 2 工法比較検討

以上のような施工条件下において、工法の比較検討を行った。開削工法による管の敷設、推進工法による推進管の敷設、従来工法であるシールド工法での管の敷設の3工法について、工期、経済性について比較した。

次のページに工法比較検討表を記載する。

表 1. 工法比較検討表

施工方法	① 開削工法	推進工法		④ シールド工法
		② 刃口推進工法	③ 密閉型推進工法	
工 期	掘削及び地盤改良等に施工期間を要す	全面地盤改良（4か月）、掘進（6か月）を要す。	マシン製作（6か月）、掘進（2か月）を要す。	マシン製作（8か月）、掘進（2か月）を要す。
	△	△	◎	△
経済性	（工事費内訳） 山留仮設費 材料費 地盤改良費（路線地盤改良）	（工事費内訳） マシン制作費+掘進工 材料費 地盤改良費（路線地盤改良）	（工事費内訳） マシン制作費+掘進工 材料費 地盤改良費（坑口地盤改良） バックリング対策費	（工事費内訳） マシン制作費+掘進工 材料費 地盤改良費（坑口地盤改良）
	工事費（係数比較） 1.68	工事費（係数比較） 1.26	工事費（係数比較） 1	工事費（係数比較） 1.22
	×	×	◎	×
総合評価	施工規模（埋設深さ）から、経済性の点不利。また、掘削及び地盤改良等に伴う施工期間もかなり要する。	人力での作業であり、切羽部での安全性に懸念があることも問題が残る。また、経済的にも不利となる。	施工性・経済性・工程的に最も優位な案であり本工事で採用する。	施工性は良いが、経済性・工程的に③案に劣る。
	×	△	◎	△

1. 1 施工条件でも述べた通り、今回工事は既設の西日暮里幹線の内径 4000mm を確保し、土被りが 30m という大深度での施工、さらに工法検討の結果、密閉式推進工法を採用する事となった。

また、過去の組立式超大口径推進管の施工実績について、表 2 から分かる通り、内径 4000 ミリの大口径管を土被り約 30m の大深度・高水圧下において推進工法で施工した実績はなく、今回の施工は世界初となる大深度における組立式超大口径推進管を採用した推進工事となる。

表 2. 組立式超大口径推進管施工実績

施工年度	発注者	内径	深度
H17年度	横浜市	φ 3500	約3m
H20年度	愛知県	φ 3700	約7m
H21年度	横浜市	φ 4000	約12m
H24年度	民間	φ 4000	約9m

2. 施工にあたっての課題と対策

今回の施工においては、次の二つの課題が挙げられる。まずは管径が超大口径となり、道路交通法による推進管の運搬時の高さ制限に対する課題。また、大深度及び高水圧下での施工となり、管接合部での漏水対策及び推進管にかかる後退力に対して課題があった。

2. 1 運搬時における課題と対策

従来の推進管は道路交通法の制限により内径 3000mm の運搬が限界であったので、今回採用した推進管は、管を分割することによって運搬可能としたものである。本工事は内径 4000mm の組立式超大口径推進管を採用した。

組立手順は、推進管を組み立てるための足場及び回転台を設置、分割された推進管の下部と上部を設置しコッターという接合部材を用いて接合させる。組立終了後、管敷設時に接合部を連続させないように、管体を 45 度回転させて立坑内に据え付ける。

具体的な組立時の写真を次のページに記載する。

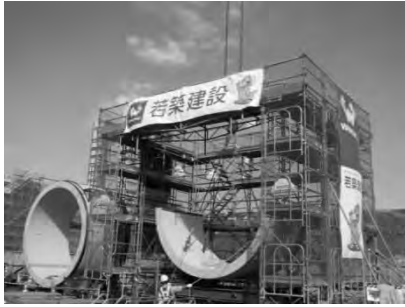
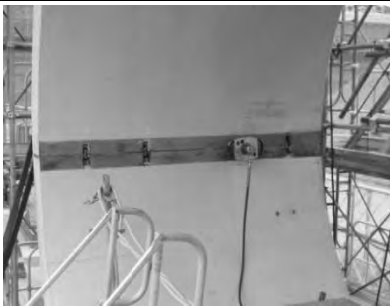
① 準備工 (推進管組立用足場設置)	② 荷卸し工 (推進管搬入)	③ 下部材工 (下部材据付)
		
④ 上下部材接合工 (推進管組立)	⑤ コッター締結工 (推進管接合)	⑥ 推進管完成
		

図 3. 推進管組立手順

2. 2 大深度、高水圧下での施工に対する課題と対策

約 30 m という大深度での施工であることから、管接合部での漏水対策及び推進管にかかる後退力に対して課題が挙げられた。

2. 2. 1 推進管接合部の止水性の確保

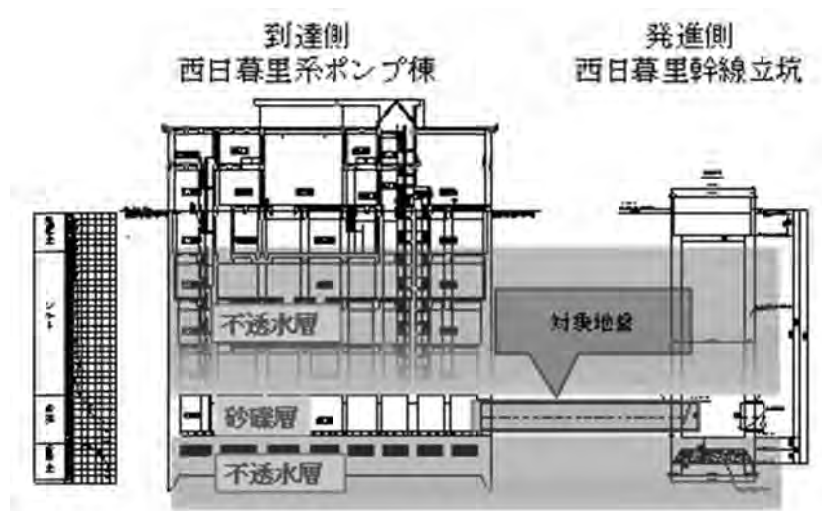


図 4. 対象地盤について

図 4 に示したように施工対象土層は、砂礫層であり、その上層は層厚約 20m のシルト層であった。そのため砂礫層は被圧滞水層となり、被圧地下水位 GL-6.72m の水圧により推進管には約 0.3Mpa もの水圧が作用する。このことより、推進管には高水圧下で分割した管

の接合面と、管同士の接合部の水密性の確保が要求されるため、止水方法を検討した。まず、推進管同士の継手構造は一般的な推進工事と同様にカラー形として、ゴム輪は、同深度の中大口径推進の施工実績から 0.6Mpa 仕様のものを採用した。また、推進管組立部の通常の接合は、接合面にシール材としてアクリル樹脂系の接着剤を塗布し、コッターにより締結するが、本工事では高水圧下での確実な止水方法を検討し、接合面に水膨張性シール材を設置することとした。

2. 2. 2 推進管の後退（バックング）防止

中大口径以上の土圧式推進工事では、推進管をセットし元押しジャッキを解放する際に、掘進機前面の土圧及び水圧により切羽前面に後退力が作用し、掘進機が後退することがある。

特に、本工事のように高水圧下では後退させる力が約 5000kN という大きな後退荷重が想定されるため、十分な後退防止策を施す必要がある。また、超大口径推進での大深度・高水圧下での施工は実績がなく、後退力の推定値と実績値が大きく異なることも予想されるため、十分な安全対策を施す必要がある。

（１）後退防止対策方法比較

後退防止対策は、大きく分類して下記の 2 つがある。

①切羽を自立させる方法

②後退力を支持する方法

以上の①と②の比較表に記す。

表 3. 後退防止対策工法比較検討表

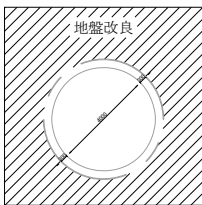
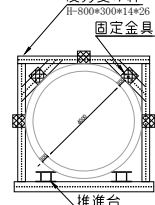
対策	切羽自立	管体支持	
	全断面改良	鋼製支保工	ジャッキ締付け
概要図			
概要	地盤改良を行い、切羽を自立させるが非常に工費が高い	管体を鋼製支保工で固定してバックング荷重に抵抗する	管体をジャッキで締付けバックング荷重に抵抗する
工期	×	○	○
工費	△	○	○

表 3 に示したように、切羽を自立させて、後退力を生じないようにするには全面地盤改良を行う方法がある。推進工法は比較的安価な刃口推進工法で施工可能となるが、大規模な地盤改良が必要となるため工費が著しく高くなる。

後退力を支持する方法は、鋼製支保工により推進管を支持する方法や、ジャッキで推進管を締付けて支持する方法がある。両方法ともに、過去の実績から 2000kN 程度未満の後退力であれば対応可能であるが、本工事では後退力が 4772kN と大きく対応できない。

(2) 地下水位低下工法

後退力は 4772kN と大きいですが、その内訳は土圧が 1119kN、水圧が 3653kN であり、水圧が支配的である。そのため、水圧を低減するために、被圧滞水層の地下水位をディープウェル工法により低下させることとした。

しかし、揚水対象の被圧滞水層は砂礫層であり、透水係数が $2.92 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ と大きい。そのため、支持可能な後退力まで地下水位を低下させた場合、ディープウェル工法による影響範囲が広範囲になってしまう。東尾久浄化センターは、隅田川に隣接し、住宅街の中に位置しているため、影響は最小限に抑える必要があった。

そこで、掘進の対象土層である砂礫層の下層はシルト混じり砂層であり、砂礫層と比較すると透水係数が小さいこと ($4.18 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$) に着目した。透水係数の高い砂礫層を遮水し、揚水対象範囲の透水係数が低下すれば、地下水位を所定の位置まで低下させることが可能であるため、砂礫層の両側に遮水壁を設けることによって、透水係数を低下させることとした。遮水壁は、施工深度が深く対象土層が砂礫層であるため、施工性及び経済比較により、薬液注入工法により施工した。

これにより、被圧地下水位を GL-28.72m まで低下させ、後退力を 1721kN まで低減させることで、後退力を支持する方法により、後退防止対策が可能となった。

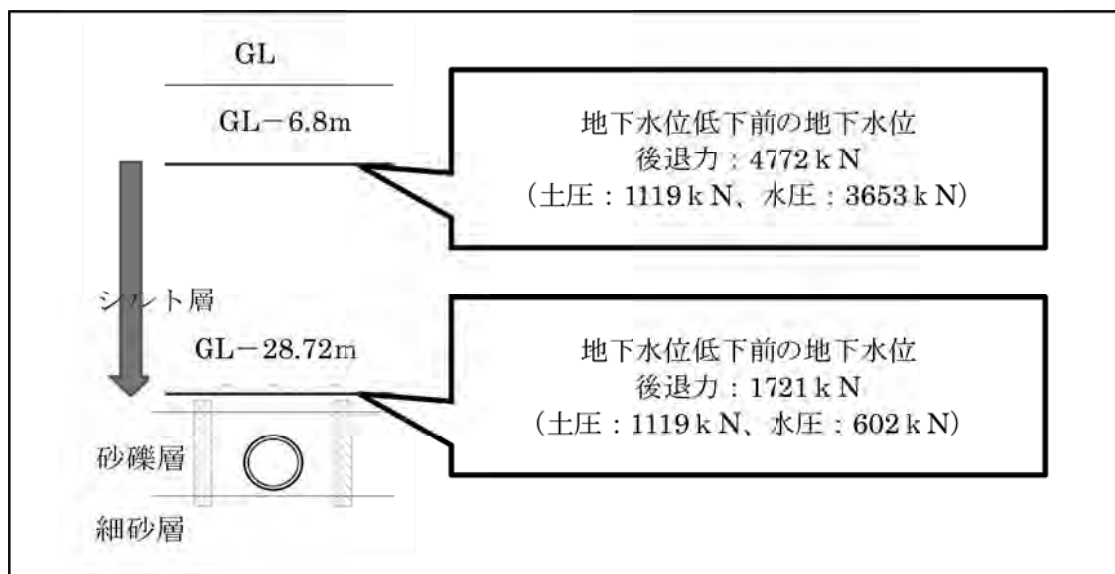


図5. 地下水位と後退力、イメージ図

(3) 管体支持

後退防止対策方法については、鋼製支保工で推進管を支持する方法やジャッキによる締付けをして支持する方法があり、両方共に同程度の効果が期待される。しかし管体をジャッキによる締付けは摩擦力により支持する方法であるのに対し、鋼製支保工は直接支圧壁から反力を取り、管体を支持する方法であり、本工事においては、確実性を考慮して鋼製支保工による支持をした。

鋼製支保工を推進設備の外側に設置、推進管に固定金具及び受枠を設置し、支圧壁から反力を取り、管体を支持した。



図 6．立坑内、鋼製支保工

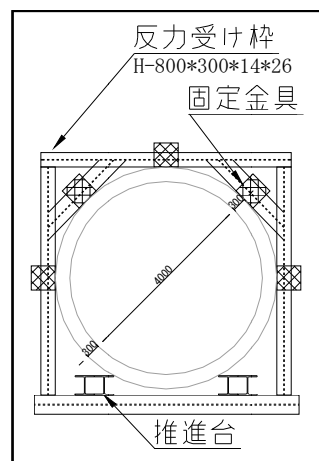


図 7．鋼製支保工断面図

3．計測・管理

後退力を把握し、確実な施工管理と安全管理を図るために後退防止鋼製支保工にひずみゲージを設置し、後退力の測定を実施した。

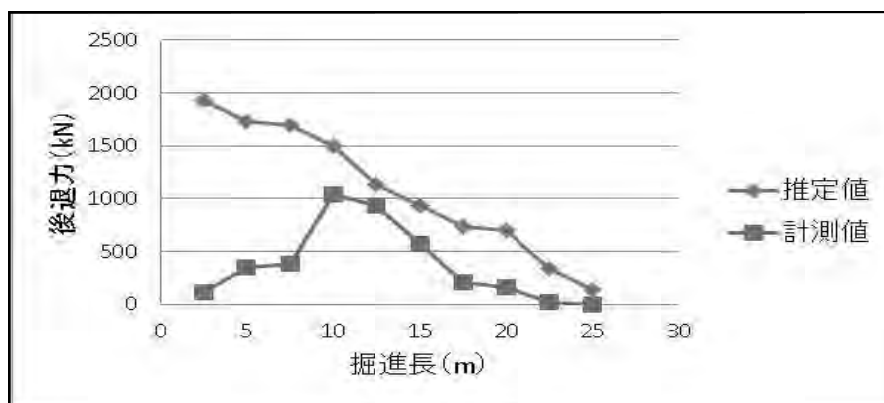


図 8．後退力計測結果

図 8 に後退力の推定値と測定結果を示した。このように地下水位低下工法を併用することで、推定値の後退力を 2000 kN 未満として管理した。まず、発進防護の地盤改良による摩擦が大きく推定値よりも後退力が小さいが地盤改良範囲を過ぎた 10m 以降は推定値と測定値の差は小さくなく、後退力の推定は十分に出来たと考えられる。

4．まとめ及び今後の展開

本工事は、平成 25 年 3 月に完了した。施工中は、発進から到達まで問題も生じず無事に予定通り掘進を完了した。なお、採用した後退防止対策が有効に働き、管体に異常も確認されなかった。

さらに冒頭にある表 1 の比較検討表にも標記されているが、従来工法であるシールド工法との経済比較を行った際、今回の組立式超大口径推進管を用いた推進工法を採用した本工事は、全体で約二割のコストを縮減させる事が可能となり、経済面においても優れた結果が出せたと考えている。

本実績が今後の組立式超大口径推進を用いた施工の安全性・施工性に寄与できれば幸いである。

1-(3)-1 下水汚泥等の放射能濃度と焼却炉排ガス中の 放射能測定法の開発

～原発事故由来の放射性物質汚染への対応経過～

施設管理部環境管理課 大瀬 俊之

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災に伴い発生した福島第一原子力発電所の放射能事故（以下、「原発事故」という。）は、我々にこれまで経験したことの無い放射能への対応という困難な課題をもたらした。事故後、放射性物質は東京にも拡散していることが明らかとなり、東京都下水道局（以下、「当局」という。）の下水汚泥焼却灰からも放射能が検出された。このため、放射能に関するお客さまの不安の払しょく、汚泥処理業務に従事する職員及び委託業者等の安全確保等を目的として、当局は、国の放射能関係法令の施行に先駆けて、原発事故発生直後から様々な対策を実施してきた。

本報告では、まず、放射能対応の基本法律である「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」（以下、「特措法」という。）が一部施行された平成 23 年 8 月 26 日以前、以後、そして全面施行された平成 24 年 1 月 1 日以降の対応等の経過を報告する。

また、原発事故発生当時は、下水汚泥等の固形物、放流水、下水汚泥焼却炉（以下、「焼却炉」という。）排ガスなど各対象物質に関する放射能測定方法が確立されていなかった。そのため、当局では独自に様々な測定方法を検討し放射能管理を行ってきたが、その中から、排ガスの測定法として当局が独自に開発した簡易で取扱いの容易な測定法と、作業現場での放射能管理として、サーベイメータを用いて空間放射線量から放射能濃度を求める簡易な放射能測定方法の二つの方法についても併せて報告する。

2. これまでの経緯

放射能に関するこれまでの経緯及び当局の主な対応等を示す。

- ・平成 23 年 5 月 19 日 測定結果の公表（脱水汚泥と焼却灰の放射能濃度〔1 回/2 週〕、汚泥処理施設敷地境界空間放射線量〔当初 1 回/2 週、その後 1 回/週〕）
- ・平成 23 年 6 月 16 日 国土交通省から「放射性物質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取扱いに関する考え方」について 通知
- ・平成 23 年 8 月 9 日 測定結果の追加公表（焼却炉排ガス）
- ・平成 23 年 8 月 26 日 **特措法 施行**
放射能対応の基本方針等が定められたが、具体策は示されなかった。
- ・平成 23 年 11 月 11 日 測定結果の追加公表（汚泥処理を行っていない施設の空間放射線量）

- ・平成 24 年 1 月 1 日 **特措法 全面施行**

特措法施行規則 施行

調査方法、測定方法等が具体的に規定される。

- ・平成 24 年 3 月 27 日 **放射能調査義務免除取得**

特措法第 16 条の規定に基づき、焼却灰、混練灰（※）の放射能濃度が 3 か月連続して 6,400Bq/kg 以下となった東部スラッジプラント（以下、「東プラ」という。）、みやぎ、新河岸の各水再生センター（以下、「センター」という。）、南部スラッジプラント（以下、「南プラ」という。）及び流域下水道本部の 7 センターは、焼却灰、混練灰の放射能濃度調査が免除される。

- ・平成 25 年 3 月 13 日 **放射能調査義務免除取得**

葛西水再生センターについて、特措法第 16 条に規定される焼却灰の放射能濃度調査が免除される。

この結果、当局の全施設において、放射能濃度調査が免除される。

ただし、施設周辺住民や都民の方々の不安の払しょく及び職員の安全管理のため、自主対応として濃度調査及び結果の公表などを継続している。

※焼却灰の飛散防止、安定化を図るため、セメントと水を混ぜ合わせたもの。

3. 当局の主な対応

特措法の施行に伴う当局が実施してきた主な対応について、以下の期間ごとに示す。

- （１）特措法施行前 （平成 23 年 3 月 11 日から 8 月 25 日まで）
- （２）特措法一部施行後 （平成 23 年 8 月 26 日から 12 月 31 日まで）
- （３）特措法全面施行後 （平成 24 年 1 月 1 日以降）

- （１）特措法施行前（平成 23 年 3 月 11 日から 8 月 25 日まで）

原発事故発生から特措法一部施行までの期間に、国土交通省から「「放射性物質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取扱いに関する考え方」について」

（平成 23 年 6 月 16 日付）が通知されたが、焼却灰や下水道施設に適用すべき明確な放射能測定のルールや放射能の影響に対する具体的な対策も示されないという状況が続いた。そのため、当局では、文献調査や原子力事業で行われている測定方法や評価方法を参考にし、測定、評価方法を模索しながら、放射能対応を行った。

具体的な対応は、

- ① シンチレーション式サーベイメータによる汚泥処理施設敷地境界空間放射線量の測定（図 1）
- ② ゲルマニウム半導体検出器による脱水汚泥・焼却灰の放射能濃度測定（図 2）
- ③ 焼却炉排ガス中の放射性物質測定方法の開発

などである。

また、作業室の安全対策として、電離放射線障害防止規則に準じた対応を行った。

なお、③で開発した測定方法は、大学研究機関から「妥当」との評価を受けた。



図 1 シンチレーション式サーベイメータ



図 2 ゲルマニウム半導体検出器

(2) 特措法一部施行後（平成 23 年 8 月 26 日から 12 月 31 日まで）

平成 23 年 8 月 26 日から特措法が一部施行された。しかし、調査方法や測定方法等を具体的に定めた施行規則がなかったため、測定方法等の詳細は依然として不明であった。

このため、これまで行ってきた（1）の対応に加えて、汚泥処理施設を持たない区部のセンターにおいても、施設敷地境界の空間放射線量の測定を開始した。

汚泥処理施設のない水再生センターの空間放射線量の結果は、平成 23 年 11 月 11 日にホームページ上で公表している。

(3) 特措法全面施行後（平成 24 年 1 月 1 日以降）

「特措法施行規則」を含めて、特措法が全面施行され、調査方法、測定方法等が規定された。

また、試料採取方法や測定条件などを示した「廃棄物関係ガイドライン」が示され、原発事故由来の放射性物質に関する管理を実施していくための詳細が明らかとなった。

これ以降、当局では特措法等も踏まえた対応を実施している。

具体的な対応は、

- ① シンチレーション式サーベイメータによる汚泥処理施設敷地境界空間放射線量の測定
- ② ゲルマニウム半導体検出器による焼却灰・混練灰の放射能測定
（特措法に定める焼却灰の測定を継続し、脱水汚泥に代わり混練灰の測定を開始）
- ③ ガイドラインに定める方法による排ガス及び放流水中の放射性物質測定
- ④ 処理基準に基づく対応（混練灰の保管場所表示等）
- ⑤ 電離則に準じた作業室の安全管理

などである。

4. 現在の状況

4. 1 測定頻度

焼却灰・混練灰、放流水、排ガスの放射能濃度、及び、汚泥処理施設敷地境界の空間放射線量の測定頻度を表 1 に示す。これらの値はホームページ上で公表している。

表 1 各測定項目における頻度

焼却灰	混練灰	空間放射線量	放流水	排ガス
1 回 / 2 週間	1 回 / 2 週間	1 回 / 週	1 回 / 月	1 回 / 月

4. 2 測定結果

4. 2. 1 空間放射線量

汚泥処理施設を持つ区部及び流域の施設における敷地境界の空間放射線量(平均値)は、汚泥処理施設を持たないセンターと同様に、東京都健康安全研究センターが平成 23 年 6 月に東京都全域で実施した地表高さ 1 m での空間放射線量測定結果 (0.03～0.20 μ Sv/h) と、ほぼ変わらないことが分かった (図 3)。

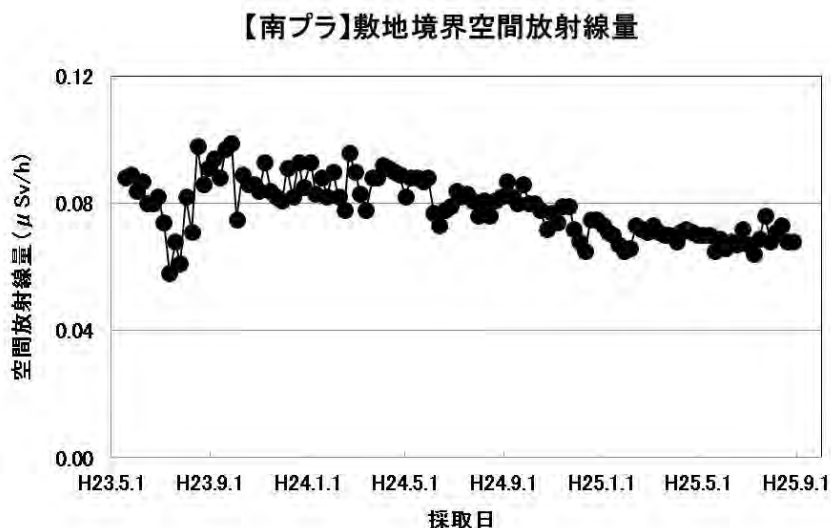


図 3 空間放射線量測定結果 (南プラ)

4. 2. 2 焼却灰及び混練灰の放射能濃度

区部及び流域の焼却灰の放射性セシウム濃度は漸減傾向である。ただし、降雨後に放射性セシウム濃度の一時的上昇が見られた。なお、混練灰についても同様の傾向が見られている。(図 4)

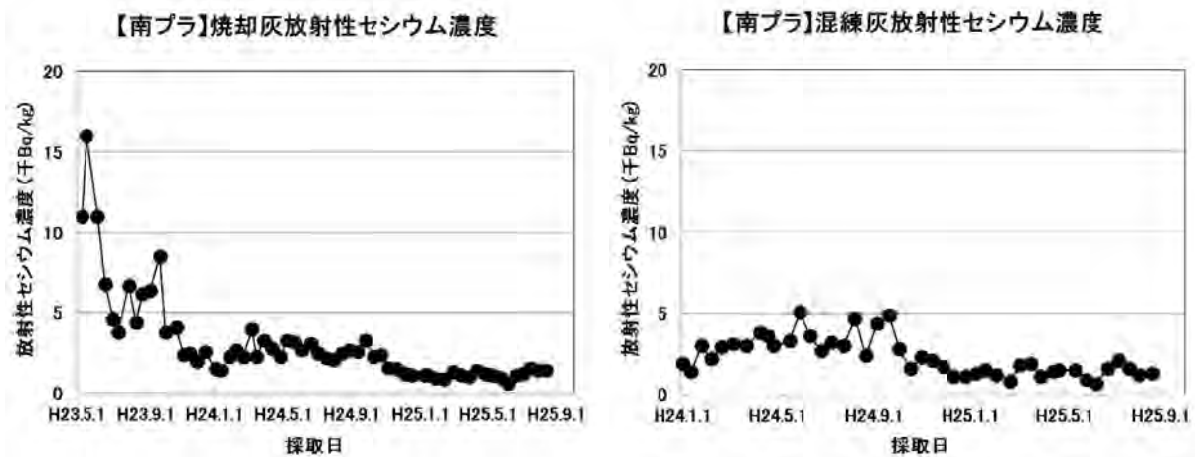


図 4 南プラ焼却灰及び混練灰の放射性セシウム濃度

4. 2. 3 放流水及び汚泥焼却炉排ガスの放射能濃度

区部及び流域の水再生センターの放流水からは、放射性ヨウ素及び放射性セシウムは検出されていない。また、汚泥焼却炉排ガスから放射性セシウムは検出されていない。

5. 原発事故発生直後に当局が開発した簡易的測定方法

5. 1 焼却炉排ガス中の放射能測定

原発事故発生直後から特措法全面施行までの期間、焼却炉排ガス中の放射能濃度を測定する具体的な測定を示した規定がなかったことから、当局は、学識者の意見を仰ぎながら独自の測定法を開発し、測定を行い、その結果を公表してきた。以下にその詳細を示す。

5. 1. 1 対象

汚泥焼却炉を有する区部 5 施設（東プラ、葛西、みやぎ、新河岸、南プラ）と流域下水道本部の 7 センター

5. 1. 2 開発した測定方法

排ガス中のダイオキシン類の試料採取方法等を参考に、固形物に付着する放射性物質を捕捉するろ紙とガス状態の放射性物質を捕捉するろ紙を重ねて排ガスを通すことで、排ガス中の放射性物質を捕捉し、2 枚のろ紙を測定することによって放射能濃度を求めた（図 5）。

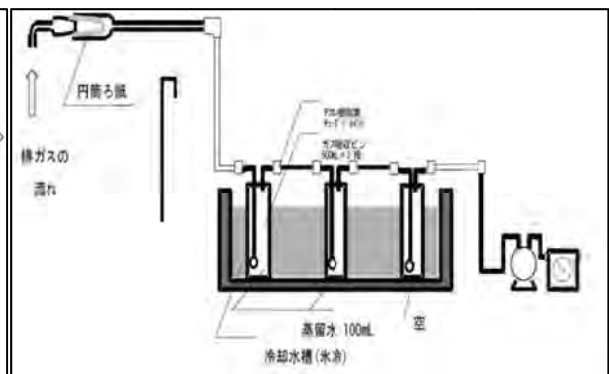
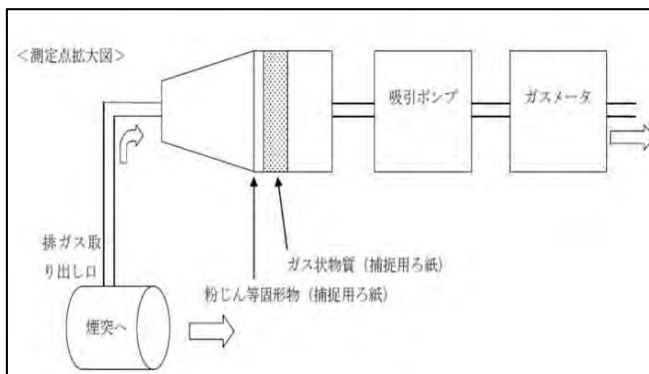


図 5 排ガス放射能測定方法（当局開発） 図 6 排ガス放射能測定方法（ガイドライン）

排ガス採取で使用した機材及び測定条件は、以下のとおりである。

- 粉じん等固形物捕捉：JIS Z 4601（放射ダストサンプラ）規定ろ紙（アドバンテック社 HE-40T）
- ガス状物質捕捉：JIS Z 4336（放射性ヨウ素サンプラ）規定ろ紙（東洋紡績社 ATM-48MT）
- 吸引ポンプ：JIS Z 8808 に準拠
- 吸引量：乾きガス量で 3Nm³ 以上（等速吸引で 30L/min 程度）
- 放射能濃度：ゲルマニウム（Ge）半導体検出器（ORTEC 社 GMX-20195S、GFG-LB-GMX-SV）を用いたγ線核種分析により測定

5. 1. 3 測定結果

当局が開発した方法は、固形物及びガス状物質を専用のろ紙で直接捕捉できるため、ガイドラインに規定された方法（図 6）に比べ、気化温度が比較的低い放射性ヨウ素等を捕捉しやすいという利点がある。また、この方法は、大学研究機関から「妥当」との評価を受けている。

特措法全面施行までの期間（平成 23 年 6 月～9 月）、稼働中の全焼却炉の排ガスを測定したが、放射性セシウム、放射性ヨウ素ともに検出されなかった。

平成 24 年 1 月 1 日以降は、特措法で公式に測定法が定められたこと、1 月 1 日までの測定で放射性物質が検出されていないことなどから、国のガイドラインに基づき測定している。

5. 2 サーベイメータを用いた簡易な放射能濃度測定方法

放射能濃度の傾向が十分に明らかでなかった中で、汚泥処理業務を行う現場での焼却灰等の放射能濃度の把握が必要と考えた。しかし、放射能濃度を測定するゲルマニウム半導体検出器は装置が大きいこと、設置場所に制限があることなどから現場への導入は難しい。そこで、当局では、サーベイメータを用い、空間放射線量から放射能濃度を求める簡易な放射能測定方法を検討し、現場での放射能管理への適応を試みた。以下にその詳細を示す。

5. 2. 1 使用する機器等

- ・シンチレーション式サーベイメータ
- ・U-8 容器
- ・スタンド

5. 2. 2 開発した測定方法

- ① あらかじめゲルマニウム半導体検出器でセシウム濃度を測定した U-8 容器入り焼却灰（以下、試料という。）を用意する。なお、使用した試料は約 50 種類で、試料重量は事前に測定する。
- ② 装置を図 7 のように設定した後、サーベイメータを安定化させる。
- ③ 測定場所の放射能（バックグラウンド値）を測定する。
サーベイメータの検知部上には何も置かずに、30 秒ごとに 5 回測定し、その平均値を算出する。算出した値は、測定場所のバックグラウンド値とする（図 7）。

- ④ 試料の放射能を測定する。

試料をサーベイメータの検知部に設置する（図 8）。

30 秒ごとに 5 回測定し、その平均値を算出する。

平均値からバックグラウンド値を引いた値を測定値とする。

- ⑤ 空間放射線量からセシウム濃度を算出する。

実運用としての汚泥処理の作業現場での使用を考慮し、④で算出した空間放射線量の測定値を試料 60g あたりに換算した後、事前にゲルマニウム半導体検出器で求めた放射性セシウム濃度との相関式を算出する（図 9）。

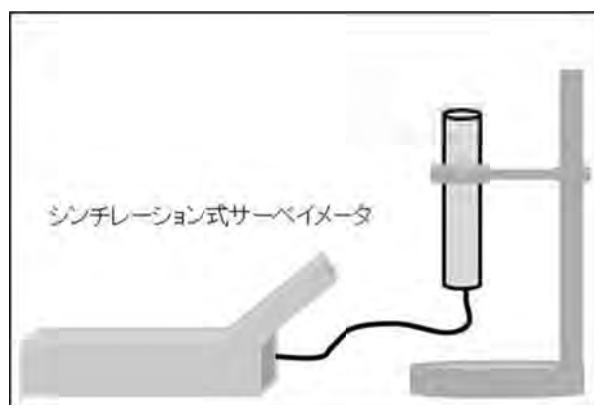


図 7 バックグラウンドの測り方

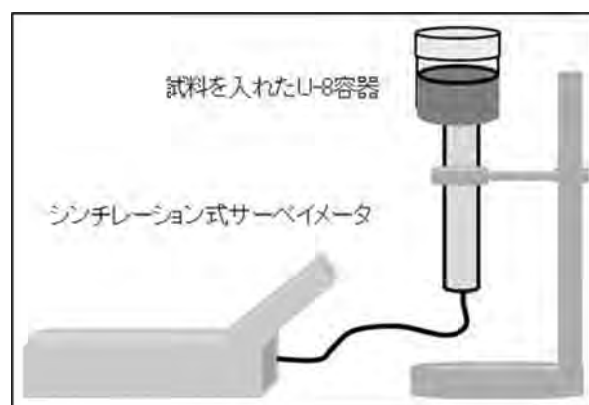


図 8 試料容器の測り方

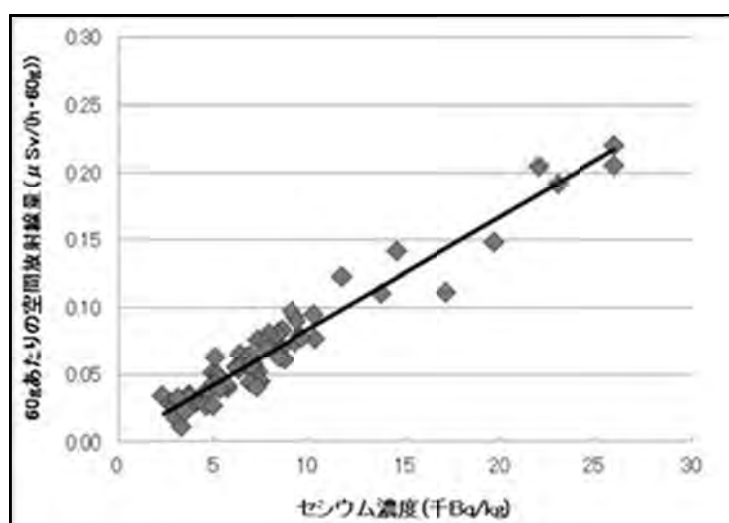


図 9 セシウム濃度と空間放射線量の相関図

- ⑥ 精密秤がない現場での作業のために、U-8 容器にあらかじめ焼却灰が 60g となる位置に標線を引いておくことで（図 10）、利便性の向上と精度の維持を図った。

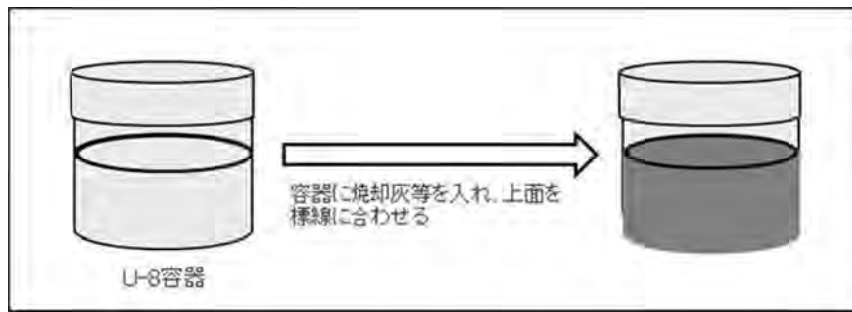


図 1 0 容器への試料の入れ方

5. 2. 3 測定に及ぼす種々の影響の調査

測定場所でのバックグラウンド値を測定することにより、装置の違いや測定場所の違いによる測定結果への影響はないことが分かった。

本法を用いることで、焼却灰等の放射能濃度のレベルを、簡易に確認することが可能となった。

特措法の全面施行（平成 24 年 1 月 1 日）に合わせ、NaI シンチレーションスペクトロメータが導入されるまで、本法を活用した。

6. 今後の対応

原発事故以来、当局は、これまで様々な対応をしてきた。

放射性セシウム濃度は低下傾向にあるが、セシウム-137 の半減期は 30 年と長いため、放射能に関しては今後も適切に対応していく必要がある。

当局は、今後も、特措法に則るほか、廃棄物ガイドライン等を参考に焼却灰やその埋立処分等における安全管理を徹底していく。また、汚泥処理に関する業務を中心にして業務に従事する作業員の安全管理を徹底していくとともに、施設周辺の住民の方々などお客さまである都民の安全、安心のため、放射能測定を行い、結果公表するなど情報提供を継続していく。

2. 水環境向上、環境負荷低減

(1) 合流式下水道の改善技術

- 1 幹線下流に流量制限を有する合流改善対策
～野川下流部雨水貯留施設の設計～

(2) 地球温暖化対策技術

- 1 汚泥焼却設備の最適燃焼化システムの導入について
- 2 第二沈殿池におけるサイフォン式揚泥方式の改善
- 3 西部第二下水道事務所練馬出張所に設置した小規模太陽光発電設備の導入効果について
- 4 下水汚泥の省エネルギー濃縮技術(省エネ型汚泥濃縮機)について
- 5 余剰汚泥の削減がコスト及び動力に及ぼす影響の評価
(夏期調査報告)
- 6 下水試料におけるヒドロキシルアミン測定方法の検討

(3) 水処理技術

- 1 反応槽流動シミュレーションを用いた新規施設の立ち上げ(事例報告)
- 2 森ヶ崎水再生センター東施設におけるりん除去性能低下の原因追究とその対策に向けた取り組みについて
- 3 北多摩二号水再生センターにおける疑似 A₂O 法と A₂O 法の比較調査

～野川下流部雨水貯留施設の設計～

1. はじめに

流域下水道本部が所管する処理区は、基本的に各処理区ごとに水再生センターを保有している。しかし、本報告にある野川処理区には水再生センターが無く、幹線は区部の森ヶ崎処理区に接続している。このため、幹線下流に流量制限があるという制約のもとでの対応策が求められていた。本件はその対応策の考え方と雨水貯留施設の設計について報告するものである。

(1) 多摩地域の下水道の仕組み

一方、多摩地域では、市町村が公共下水道事業を行い、都が水再生センターやポンプ所、下水道幹線などの基幹施設の建設・維持管理などの流域下水道事業を行っている。

多摩地域の下水道計画区域の約8割は流域下水道であり、8つの処理区に分かれている。そのうちのひとつが野川処理区である。(図1)



- 111 -

（２）野川処理区の概要

野川処理区（図 2）は、武蔵野市、三鷹市、府中市、調布市、小金井市、狛江市の全 6 市で構成されており、流域面積 4,490ha のうち 3,748ha が合流区域となっている。

現在、野川処理区には水再生センターが無いいため、野川処理区から発生する汚水は、合流の野川第一幹線から成城排水調整所を経由し、森ヶ崎水再生センターへ送られ処理されている。一方、雨水は公共下水道の各雨水吐から野川に放流されているが、一部排水区北側では、流域雨水幹線である野川第二幹線を経由して野川に放流されている。

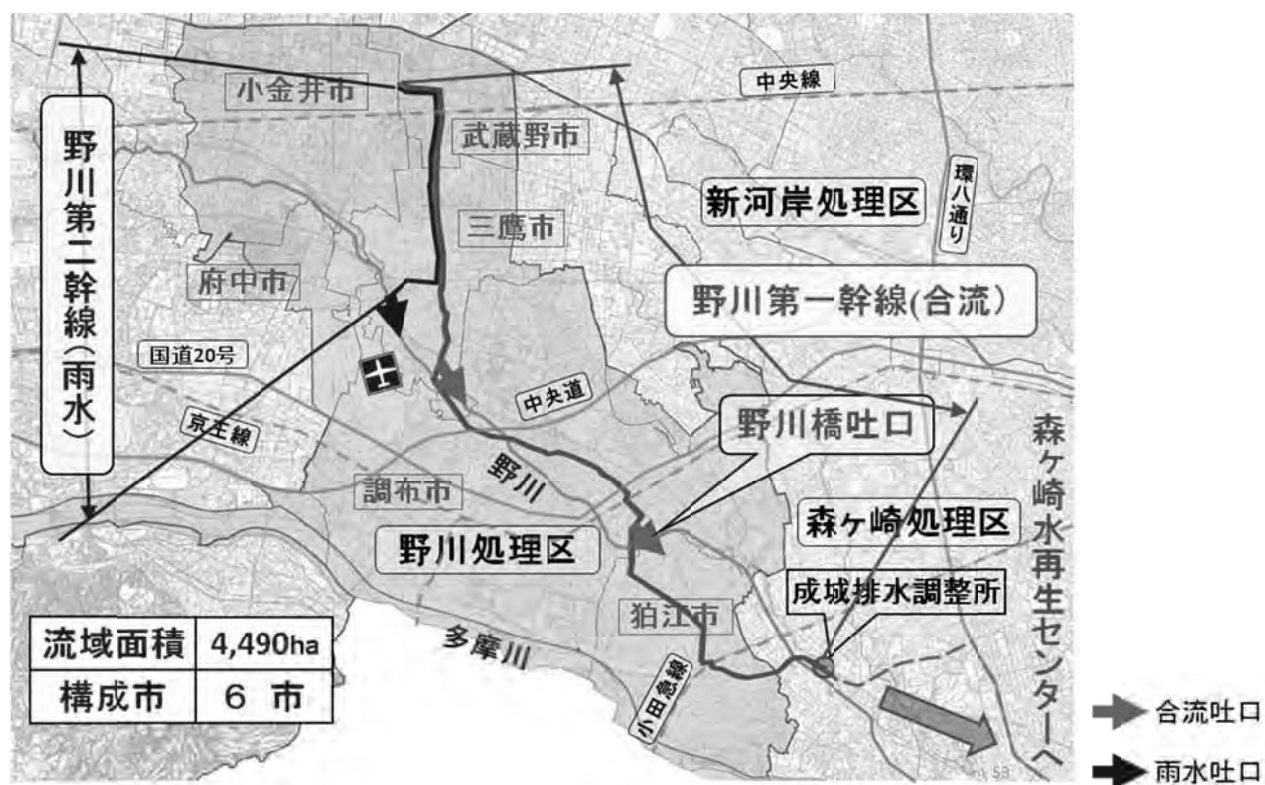


図 2 野川処理区

（３）野川橋吐口付近の現状

野川第一幹線は、各市から 3Q（Q：時間最大汚水量）を受け入れる予定であるが、区部への流入水量を 2Q 相当に制限されている。そのため、流下する下水を制限するオリフィス人孔が野川の南側に設けられている。したがって、上流からの水量が多くなる雨天時には、下水の全量をオリフィス下流へ通過させることができず、一部の汚水混じりの雨水は、野川第一幹線を満水状態で北上し、野川橋の吐口から放流されている。（図 3、4）



図 3 現場環境



図 4 野川橋付近の吐口

(4) 合流改善の目標

国が平成 14 年度に創設した、合流式下水道緊急改善事業では、以下の 3 項目の合流改善目標を掲げている。

- ① 処理区全体の年間 BOD 負荷を分流並みとするとともに、雨天時における放流水の水質基準を BOD40mg/ℓ 以下とする。
- ② 処理区内の全ての吐口からの未処理水の放流回数を半減させる。
- ③ 処理区内の全ての吐口において、夾雑物の流出を最小限度のものとするように、スクリーンの設置等を行う。

これを受け、平成 16 年に多摩地域の合流式下水道を採用している 12 市による「多摩地域の合流式下水道改善基本方針」が策定され、流域下水道本部及び野川処理区を構成する関連 6 市が合流改善計画を策定し、様々な合流改善整備に取り組んでいる。

本施設は、構成市で行う③を除く 2 項目について対応するためのものである。

(5) 野川処理区の対策概要

合流改善事業は、当該処理区全体での目標達成のため、流域下水道本部と関連 6 市の全体目標を掲げている（表 1）

- ① 処理区全体の年間 BOD 負荷は、対策前の 932 t から 782 t を目標とする。
未処理下水の放流回数を下水道施行令の 40 mg/ℓ 以下とする。
- ② 処理区内の吐口における放流回数は、対策前の 48 回から 24 回を目標とする。
- ③ 夾雑物の流出抑制は、対策前の 0 箇所から 72 箇所とする。

上記目標達成のため、流域下水道本部と関連 6 市で協議し、対策の役割分担を行って

いる。まず、都流域下水道を所管する当本部では、流域幹線の野川橋吐口及び相曽浦橋吐口の2箇所の吐口付近に雨水貯留施設を整備する。また、関連6市では、流域幹線への流入抑制のため、各地で浸透施設を整備する。

以上の対策を、流域下水道本部と関連6市が協力して実施することで、合流改善目標の達成を図る。(図5)

表1 野川処理区対策目標

	内容	対策前	目標	対策後
計画期間	平成21～25年度			
対象年間降雨	2002年降雨(気象庁府中観測所データ)			
汚濁負荷削減	年間BODの分流並以下	BOD 932 t/年	BOD 782 t/年	BOD 669 t/年
改善指標	未処理下水の放流回数の半減	48回/全吐口平均	24回/全吐口平均	23回/全吐口平均
公衆衛生上の安全確保	吐口への夾雑物除去施設の設置	0箇所	72箇所	72箇所
きょう雑物の削減	放流平均水質 BOD40mg/ℓ以下	21.6mg/ℓ	40mg/ℓ以下	19.3mg/ℓ
下水道施行令の遵守				

※「多摩川流域下水道・合流式下水道緊急改善計画 野川処理区」より抜粋

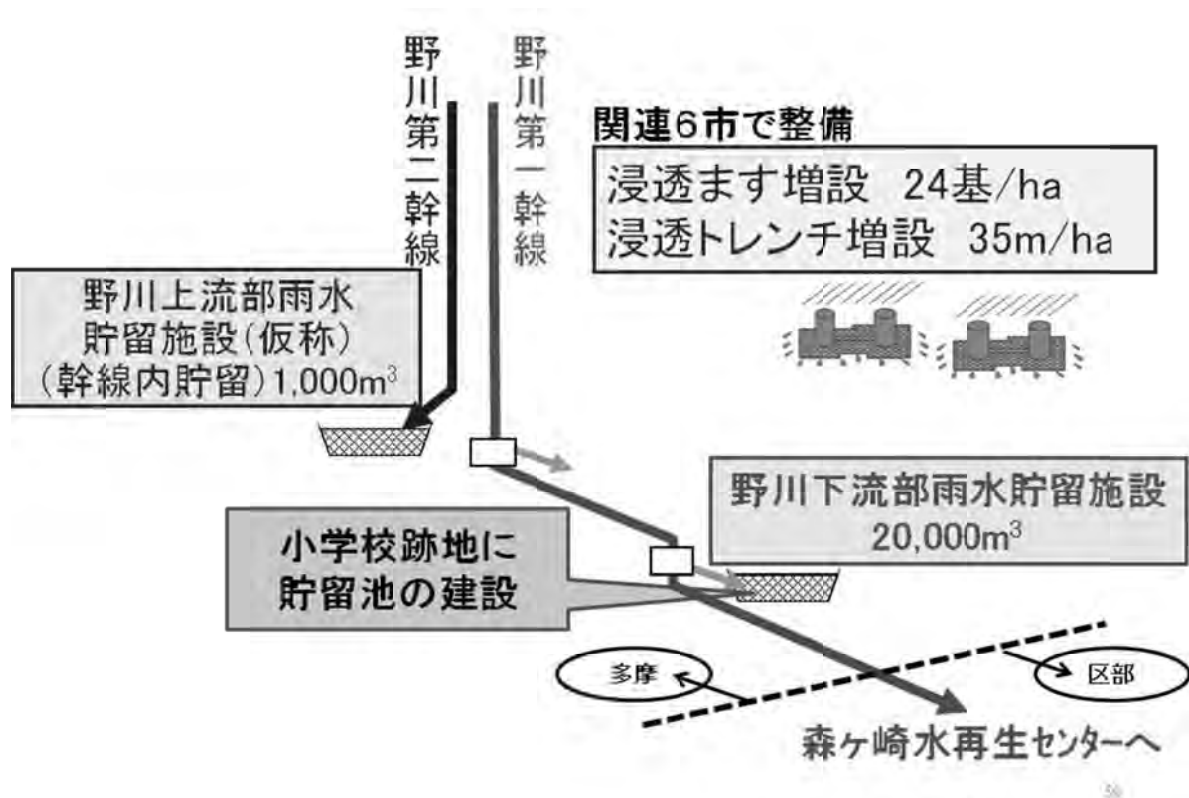


図5 野川処理区の対策イメージ

3. 設計内容

(1) 雨水貯留施設の合流改善対策の考え方

雨水貯留施設の対策により、雨天時ではオリフィスより上流側の管内水位が上がり、満管状態となるものの、雨水貯留施設に流入することで汚水混じりの雨水の河川放流は回避される。(図 6) なお、貯留量は、野川処理区全体の年間汚濁負荷量の軽減と野川橋吐口からの年間放流回数の半減を同時に達成するために 20,000m³としている。

貯留された下水は、降雨終了後野川第一幹線に全量返水し、区部の森ヶ崎水再生センターで処理する。

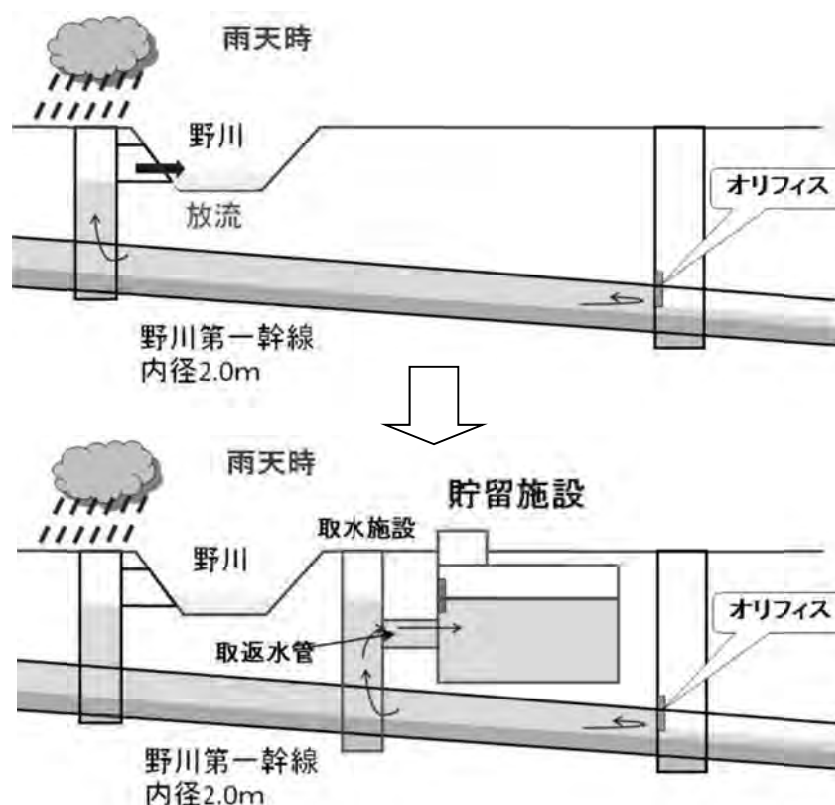


図 6 貯留施設の対策イメージ

雨水貯留施設の断面図を(図 7)に示す。

雨天時に野川第一幹線の水位が上昇すると、図の左の取返水管を経由してきた下水は、青矢印のように流入シャフトを上昇し、流入堰を超えて、貯留スペースに貯留される。貯留スペースに貯留された水は、晴天時に赤矢印のルートを通して、幹線に返水する。

降雨終了後は、まず、自然排水域に貯留された水が、取返水管を戻り、野川第一幹線へ戻される。取返水管は、返水時に自然流下するように、貯留施設から野川第一幹線に向かって勾配が付いている。自然排水域の返水が終わった後は、ポンプ排水域の水を排出し一連の貯留サイクルを終了する。

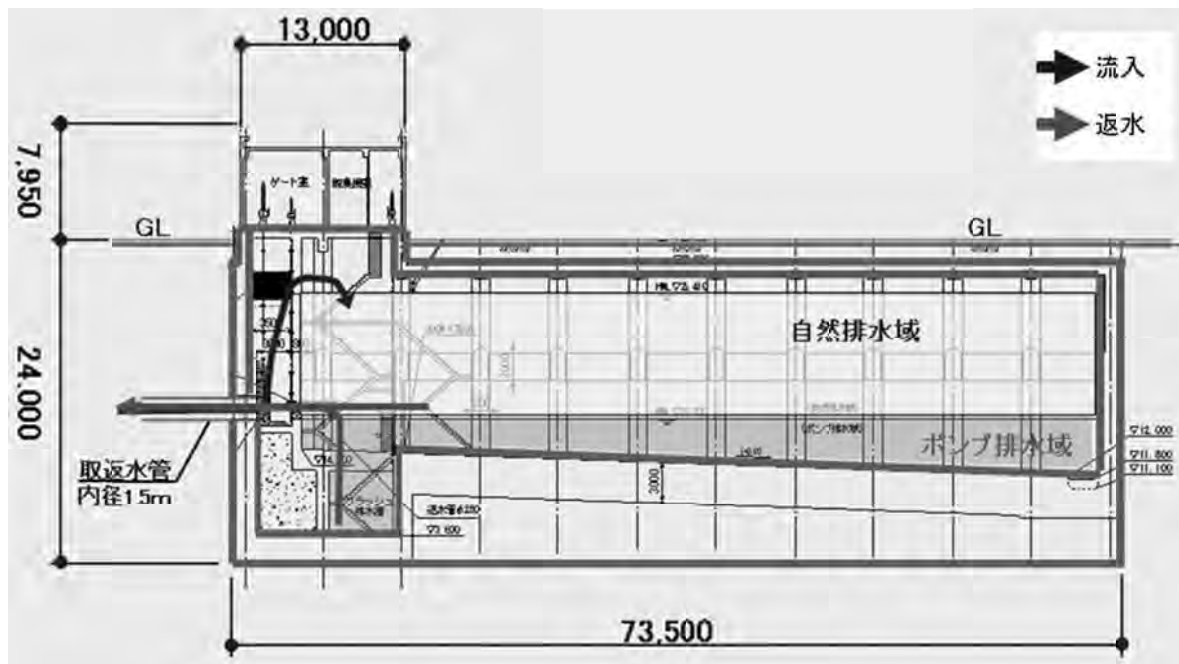


図 7 貯留施設断面図

(2) 建設予定地と取返水管ルート選定

雨水貯留施設の建設予定地は、地元狛江市の協力を得て旧第七小学校跡地を選定した。建設された貯留施設への雨水流出入のため必要な取水管と返水管の検討は、以下の2案について比較検討を行った。

1) ルート案 1

取水は、オリフィスが設置されている特殊人孔の上流側から、また、返水は、オリフィスの下流側の野川第一幹線に流入させる案である。(図 8)

本案の場合、流量調整を行っている既設オリフィスの下流に返水するため、返水先の野川第一幹線の水量が区部への制限流入量を上回らないよう、返水量のコントロールが課題となる。



図 8 ルート案 1 取水管と返水管

2) ルート案 2

本案は、取水と返水を取返水管 1 本で対処する案である。(図 9) この案の主たるメリットは、既設オリフィスの上流側に返水することで、返水先の野川第一幹線の流量制限を考慮した返水量制御の必要性が無くなるという点である。

その他、建設コスト等も含め比較検討の結果、ルート 2 案を採用することとした。



図 9 ルート案 2 取返水管

(3) 貯留池構造における創意工夫

貯留施設には、雨天時の下水に混じり、様々なごみが流入する。そのため、貯施設内の流入ごみを低減させる様々な工夫を設計の中に取り入れている。

1) ふかし上げ構造の流入シャフト

野川に放流されない小降雨時に、必要以上の貯留施設への水の流入が起こらないようにする効果がある。流入シャフト内に侵入したごみは、水位低下とともに幹線へ返され、下流に流下させることができる。(図 10)

2) 流入シャフト上部の逆傾斜スクリーン

降雨量が増え貯留施設に水が流入するとき、流入シャフトを塞ぐように設置されたスクリーンで、大きなごみを捕捉することができる。スクリーンの傾斜が流入シャフト側に傾いていることで、水位低下後に流入シャフト側に落下させることができるよう工夫している。これにより、スクリーンにおける夾雑物の堆積を減少させ、清掃等余計な維持管理コストを軽減できるようにした。(図 10)

また、スクリーン自体にも、工夫を施した。本設計のブレード長は、150 mmと、従来のスクリーン 75 mm より、2 倍長くしており、これにより、ひもなどのごみの絡まりを防ぐことができる。(図 11)

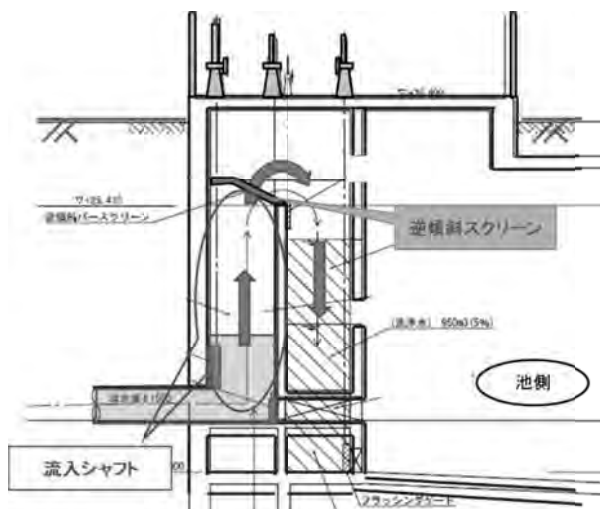


図 10 流入ごみ対策

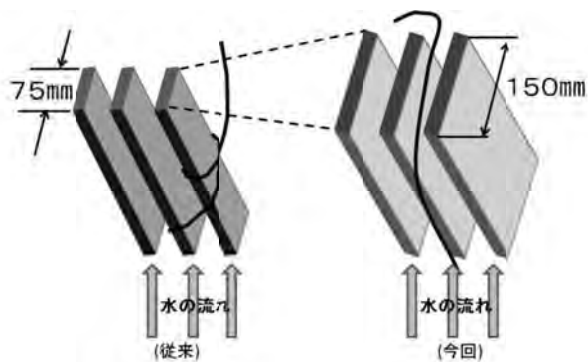


図 11 逆傾斜スクリーンにおけるブレード長の工夫

3) 洗浄システム

上記の流入シャフト及び逆傾斜スクリーンを通過する小さいごみは、貯留施設内に侵入する。これらのごみの多くは、晴天時返水の際に、水とともに幹線へ戻される。一方、戻らなかったごみは、貯留施設の底部に沈み留まる。

これら底部に留まるごみを除去、低減するために、貯留施設底部の洗浄を行う。以下に、本施設の取水から洗浄までのサイクルを示す。

(1) 取水

- ①取返水管より流入した水が、徐々に流入シャフト内を上昇する。(図 12)
- ②流入シャフトを超えた水は、スクリーンを通過後、フラッシュ排水槽に貯まる。(図 13)
- ③貯留施設本体に流入し、20,000m³貯めたところで、流入を止める。(図 14)

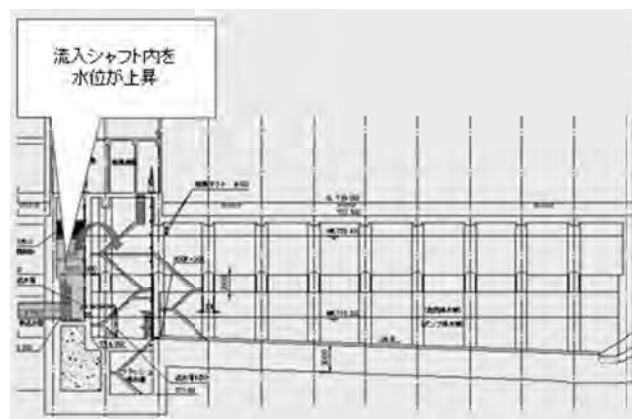


図 12 流入シャフト取水

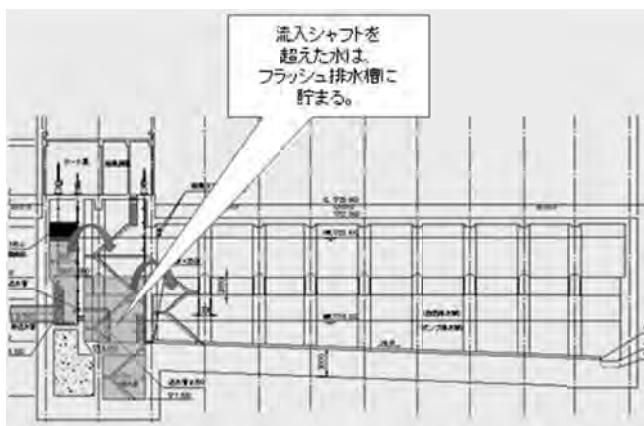


図 13 フラッシュ水槽取水

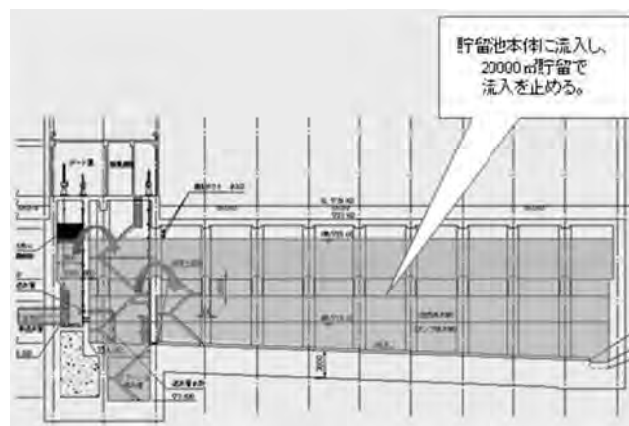


図 14 貯留池取水

(2) 返水

①流入シャフト水位が返送開始水位まで下降したことを検知し、返水ゲートが開き、自然排水を行う。12000m³を8時間かけて返水する。(図 15)

②自然排水終了後、ポンプ排水を行う。

8000m³を1.83 m³/分×2 台で35時間かけて返水する。(図 16)

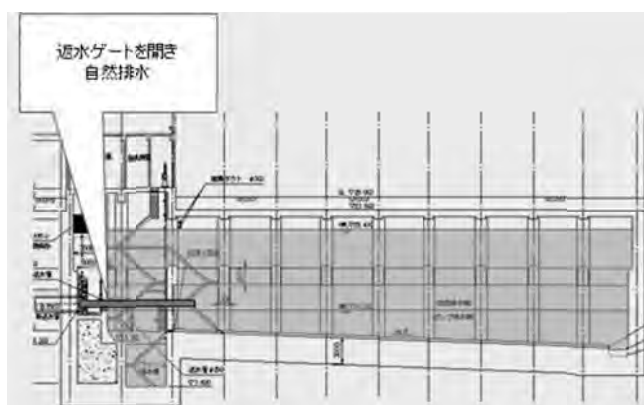


図 15 自然返水

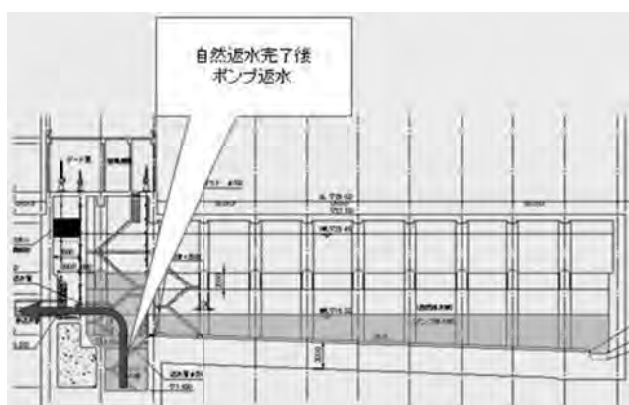


図 16 ポンプ返水

(3) 洗浄

①ポンプ返水終了後、フラッシュ排水槽にある貯留水により洗浄を行う。まず、フラッシュゲートを開け、貯留池に水を流し、底部の洗浄を行う。清掃効果の確保のため流速は1.7m/sを確保できるよう、勾配をとっている。(図 17)

②最終的に、サンドポンプにより、土砂と一緒に水を、幹線側へ返水し、一連の貯留のサイクルを終了する。(図 18)

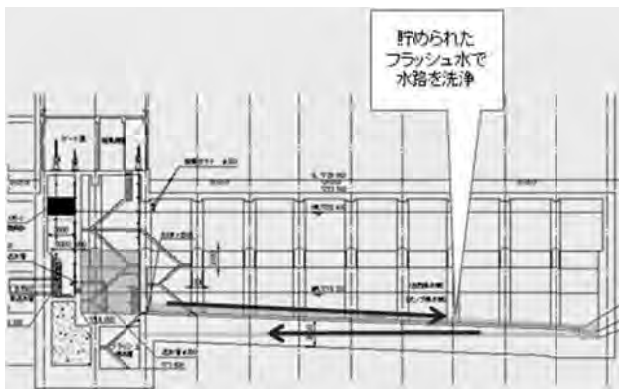


図 17 洗浄

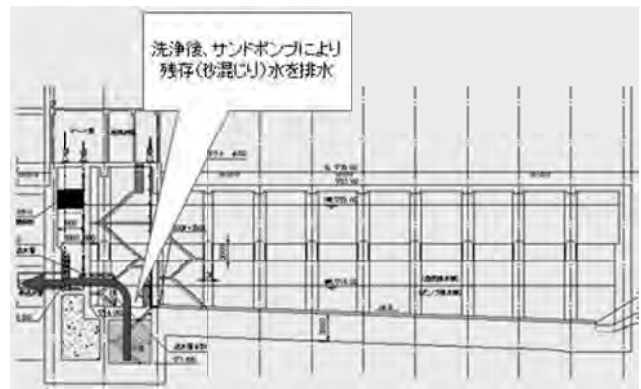


図 18 サンドポンプ返水

このように、取水から返水までの1サイクルの中に、洗浄が効果的に位置付けられ、貯留施設底部のごみの堆積を低減できるよう工夫を行っている。

4. 結論

本事例では、幹線下流の流量制限のため設置された既設オリフィスを上手く活用し、森ヶ崎処理区への区域外流入の制約条件と、河川放流の合流改善目標を同時に満足することができる雨水貯留施設を設計することができた。(図 19)

検討にあたっては、貯留水の返水に複雑なコントロールが必要とならないよう取返水管ルートを選定し、清掃等の維持管理の負担軽減のため、流入シャフト構造、スクリーン及び洗浄システムに工夫を行った。

本施設は東京都の多摩地域における初めての大規模合流改善施設であり、野川の水環境が大幅に改善されることが期待されている。流域下水道本部では、地元関係市との連携を重視し、今後も良好な水環境の創出に寄与する取り組みを進めていく所存である。

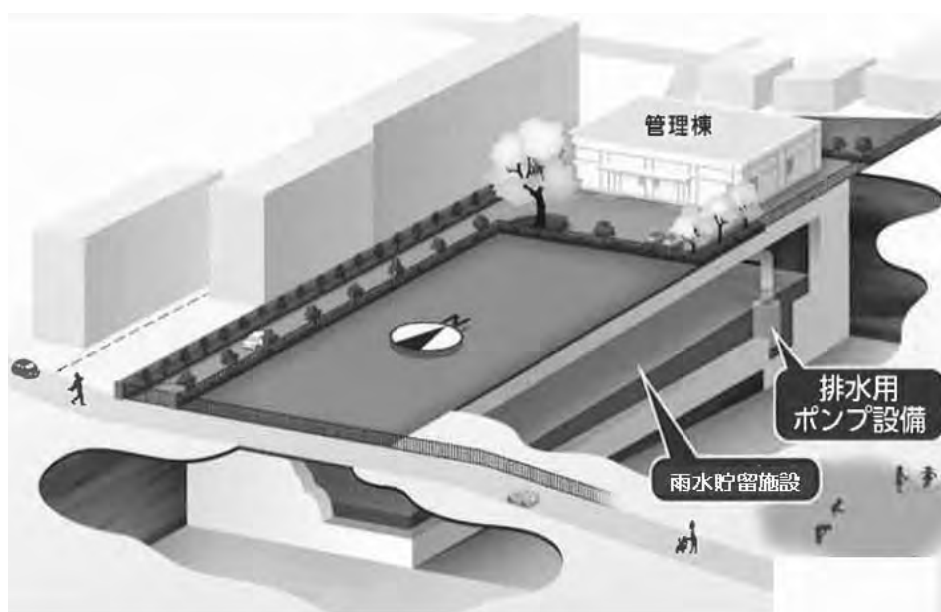


図 19 完成予想図

2-(2)-1 汚泥焼却設備の最適燃焼化システムの導入について

東部第一下水道事務所 砂町水再生センター 岡本 高典

1 はじめに

下水道局では、地球温暖化対策の取組みとして地球温暖化防止計画「アースプラン 2010」を策定し、温室効果ガス削減の取組みを行っている。計画の中で、削減効果の大きい汚泥焼却については、焼却炉の運転方法の見直しや炉内の燃焼方式等を改善した焼却炉の導入を行う等、様々な地球温暖化対策を積極的に進めている。

このような背景を受け、東部スラッジプラントでは、汚泥処理業務の委託先である東京都下水道サービス株式会社の協力のもと、温室効果ガス削減に有効な手法の一つである焼却炉の高温焼却運転(850℃以上)に取り組んできた。今回、高温焼却運転の取組みの中で、汚泥焼却炉 3 号に焼却炉の温度を最適化する最適燃焼化システムの導入を行ったので報告する。

2 汚泥焼却における温室効果ガス削減の必要性について

アースプラン 2010 によると、汚泥焼却に伴う N_2O の排出量(CO_2 換算値)は、下水道局全体の温室効果ガス排出量の約 27%となる。2014 年度には 2000 年比 18%の温室効果ガスの削減を行う目標であるが、その内訳をみると N_2O を 2000 年比 45%削減することを目標達成の基軸としている。

また、 N_2O は CO_2 と比べて地球温暖化への作用が 310 倍と非常に高く、汚泥焼却炉での N_2O 排出量は燃焼温度に依存するため、高温焼却運転を行うことで温室効果ガスの大きな削減効果を期待できる。

しかし、一般的に高温焼却運転を行うには、炉温を維持するための補助燃料(都市ガス)使用量が増加する課題があり、汚泥焼却炉の運転状態を最適な状態に保つことが必要とされる。

加えて、このような運転を行うには、オペレーターの常時監視による緻密な手動運転が欠かせない等、オペレーターの負担が大きかった。東部スラッジプラントでは、これらを最適に行える制御システムの導入を行い、高温焼却運転を自動化することで、オペレーターの負担を軽減し、かつ安定した温室効果ガスの削減を行う必要があった。

3 最適燃焼化システムの導入について

3. 1 高温焼却運転の課題について

東部スラッジプラントでは、汚泥焼却炉 3 号の高温焼却運転を平成 22 年度から行っている。そのため、最適燃焼化システムを導入するまでは、オペレーターが焼却炉の管理値の範囲内で設定値(流動空気圧、流動空気量、 O_2 濃度)の変更を行い手動運転にて高温焼却運転を行っていた。

設定値の変更については、まず、脱水ケーキを砂層(以下 SB)部ではなくフリーボード(以下 FB)上部で完全燃焼させる必要があるため、流動空気圧を 28kPa から 26kPa に変更し、SB の珪砂量を減らした。

次に、燃焼に使用する分以上の流動空気を焼却炉内に入れてしまうと、余剰空気まで焼

却温度の 850℃まで昇温させる必要が生じてしまい、補助燃料を必要以上に消費してしまう。そのため、流動空気量の設定を 19,000m³/h から必要最小限の 16,500m³/h に変更した。

また、焼却炉の運転管理は、脱水ケーキの含水率や発熱量など汚泥性状に影響を受けるため、焼却炉は自燃（都市ガスを使用しない状態）と補燃（都市ガスを使用する状態）を繰り返して焼却炉内の温度を一定以上に保っている。

しかし、自燃と補燃を繰り返すことで炉出口排ガス O₂ 濃度が大きく変動してしまうことや、油脂分の多い吾孺スカムを焼却すると酸素消費量が増加し O₂ 濃度が低下する等の問題点を抱えていた。そのため、炉出口排ガス O₂ 濃度の変動に安定的に対応できるよう、従来は O₂ 濃度 7～8% を目標値に運転していたが、高温焼却運転をするに当たり、O₂ 濃度 5～6% に目標値を変更した。

上記のような設定で高温焼却運転を行うには、炉内温度の低下を防ぐため、流動空気量及び流動空気圧を少なく運転する必要があったが、従来の制御システムでは自動制御が追従できないため、常時、オペレーターによる緻密な手動運転を行う必要があった。

今回、オペレーターの負担を軽減し、安全かつ安定的に高温焼却運転を行うため、最適燃焼化システムの導入を行った。

3. 2 最適燃焼化システムについて

従来の制御システムでは、SB の温度が一定となるよう、自燃時には流動空気温度を、補燃時にはガス供給量を制御していた。

今回の制御システムでは、従来の制御でも使用していた SB 温度及び FB 温度の測定値に加えて N₂O 計及び O₂ 計の測定値も最適燃焼化システムに取り込んでいる（表 1 及び図 1 参照）。

また、最適燃焼化システムでは、従来の制御に加えて流動空気量の制御を追加した。そのため、従来オペレーターが行っていた流動空気量変更操作を、出口排ガス O₂ 濃度が過剰又は不足しないように補正し、適正な流動空気量の自動制御が可能になった。

表 1 従来制御との最適燃焼化システム比較表

		従来の制御		最適燃焼化システム	
		SB 温度制御	FB 温度制御	高温焼却制御	N ₂ O 制御
目標値 (SV)		SB 温度	FB 温度	SB 温度 FB 温度 O ₂ 濃度	N ₂ O 制御 SB 温度 O ₂ 濃度
操作量 (MV)	補燃	ガス供給量(燃料調節弁)		ガス供給量(燃料調節弁) + 流動空気量(流動ブロワ吸込弁)	
	自燃	流動空気温度 (入口弁・中間バイパス弁)		流動空気温度 (入口弁・中間バイパス弁) + 流動空気量(流動ブロワ吸込弁)	

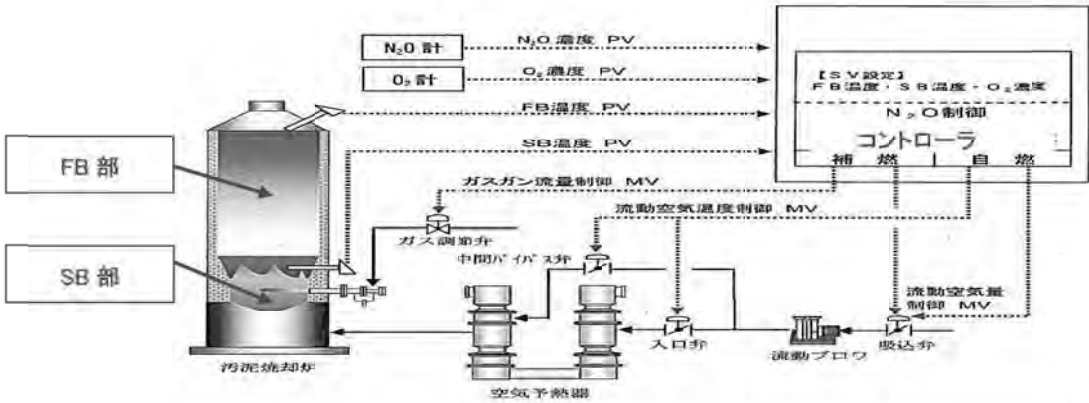


図 1 最適燃焼化システム概略図

4 最適燃焼化システム導入の効果について

4. 1 調査内容

今回の調査方法は、焼却炉 3 号の運転を、従来の制御システムを使用した手動対応運転による高温焼却運転と最適燃焼化システムを使用した自動運転を交互に行い、焼却由来の N_2O 排出量 (CO_2 換算値) 及び都市ガス使用量を比較し、温室効果ガスの排出状況を確認した。

調査期間は、焼却炉の定格運転が可能な平成 24 年 6 月から平成 24 年 8 月に行い、運転条件として、脱水ケーキ投入は定格運転 12.5t/h、脱水ケーキの含水率は 75.6~76.5% とした。

また、最適燃焼化システムの設定は N_2O 制御とし、 N_2O 濃度目標値を自燃時は 30ppm、補燃時には 15ppm、炉出口排ガス O_2 濃度を自燃時 7%、補燃時 6%、FB 温度 860℃で自燃、855℃で補燃に切り替える設定とした。

4. 2 調査結果及び考察

上記 4. 1 の調査結果を表 2 にまとめた。

従来制御を使用した手動運転と最適燃焼化システムを使用した運転では、従来制御と比較して焼却由来の N_2O 排出量は 0.4 t (CO_2 換算値) 増えたが、都市ガス由来の CO_2 排出量は、0.1 t (CO_2 換算値) 削減することができた。

また、FB 温度については、従来制御より 0.5℃低い温度になった。

今回の調査結果によると、 N_2O 排出量と都市ガス由来の排出量は、最適燃焼化システムを使用しても、温室効果ガスの排出量がほぼ同等程度になることがわかった。

このことから、最適燃焼化システムは、省力化を図りながら従来制御と同等程度の温室効果ガスを削減可能であることが確認できた。

表 2 調査結果表

	FB温度(℃)	焼却由来 N_2O 排出量(t- CO_2)	都市ガス由来 CO_2 排出量(t- CO_2)
最適燃焼化システム	858.3	11.7	0.7
従来制御	858.8	11.3	0.8
対従来制御との比較	-0.5	0.4	-0.1

注1 6月~8月平均

5 まとめ

今回導入した最適燃焼化システムは、高温焼却運転に必要な 850℃以上での運転を維持することができ、オペレーターの手動運転と同等程度の温室効果ガスの削減効果を得られた。また、課題であったオペレーターによる常時監視による手動運転を行う必要が無くなり、プラント全体の監視に尽力できるようになった。

今後の課題として、今回は調査期間が短期間であったため、一年を通じて季節変動する汚泥性状に対しても同様に温室効果ガスの削減を行えるように設定値の調整等を検討していく必要がある。

6 おわりに

今回導入した最適燃焼化システムは、東部スラッジプラントにある焼却炉 3 号に導入し、

温室効果ガスの安定的な削減に寄与したが、下水道局では 2020 年度までに温室効果ガス
対 2000 年度比 25%削減する必要がある。そのため、他メーカーの焼却炉に対しても高温
焼却運転に適した制御システムを導入していく等、温室効果ガス削減に取り組んでいく。

2-(2)-2 第二沈殿池におけるサイフォン式揚泥方式の改善

北部下水道事務所 三河島水再生センター 小林 直生
(現 西部第二下水道事務所 浮間水再生センター) 谷口 秀昭

1 はじめに

三河島水再生センターは、日本最初の下水道処理施設として、大正 11 年 3 月に稼働を開始した。現在では、浅草系、藍染系、藍染東系及び藍染北系の 4 系列の水処理施設を有し、その処理能力は約 70 万 m^3 /日（平成 24 年度現在）となっている。

このうち、浅草系の第二沈殿池（全 24 池）は、昭和 40 年代に更新されたものであり、その特徴の一つにサイフォン式揚泥方式がある。

現在、主流となっている揚泥方式は、第二沈殿池にある汚泥だめに集められた汚泥を直接汚泥ポンプにて除去するポンプ揚泥方式である。

一方、サイフォン式揚泥方式は、第二沈殿池底部にたまった汚泥を真空装置等の機器で揚泥し、沈殿池脇の長手方向に設置された排泥きよを經由して汚泥ピットにて貯留、貯留された汚泥は汚泥ポンプで除去する方式であり（図-1）、一度、真空装置でサイフォンを形成すれば揚泥は連続して行われる。

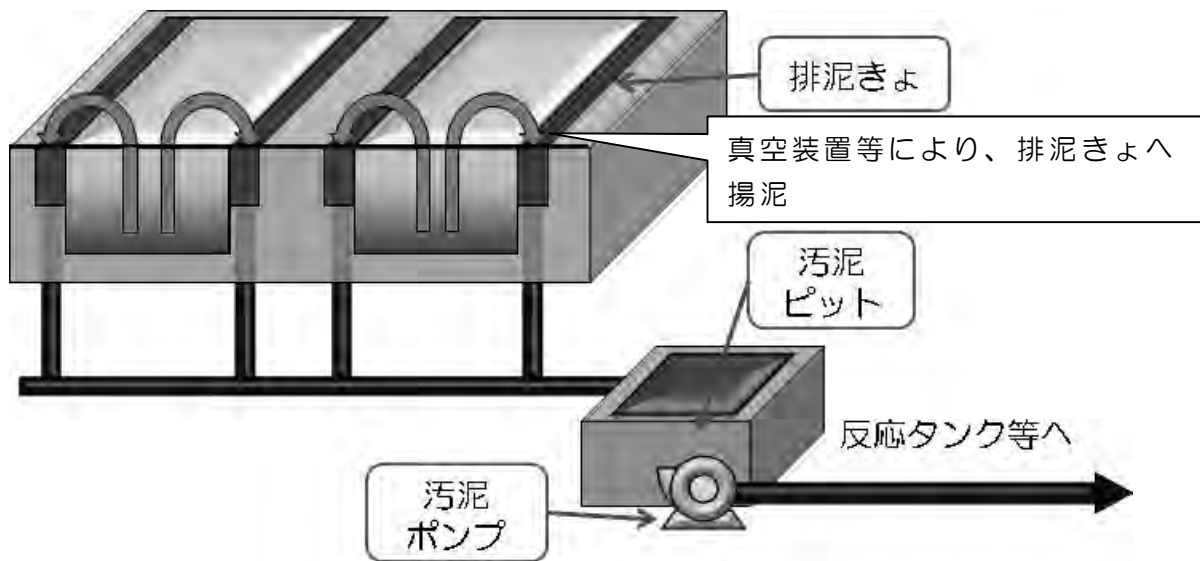


図-1 サイフォン式揚泥方式による処理方法

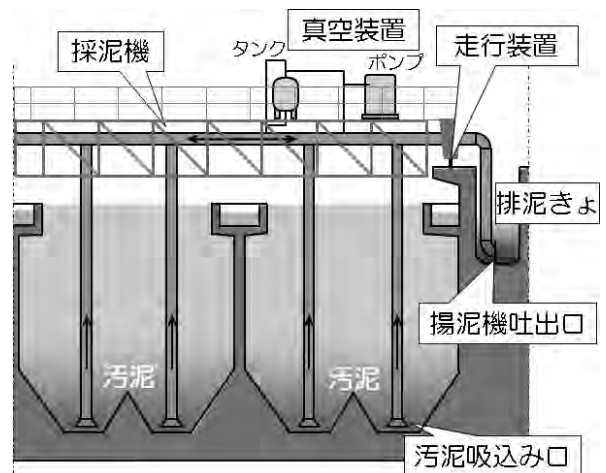
しかし、この揚泥方式は老朽化の影響もあって、真空度低下が頻発し、運転管理業務に支障をきたすようになったため、ばっ気用空気を用いたエアリフトポンプ揚泥方式が導入された。揚泥方式としては、安定していたが、空気量が 1 池当たり 10m^3 /分程度と多いため、反応タンクへの影響を考慮すると新たにエアリフトポンプ揚泥方式を導入することは困難であった。

今回、これらの課題を解決するため、真空装置等の動力を必要としない水位差揚泥方式を導入したので、その取組について報告する。

2 サイフォン式揚泥方式

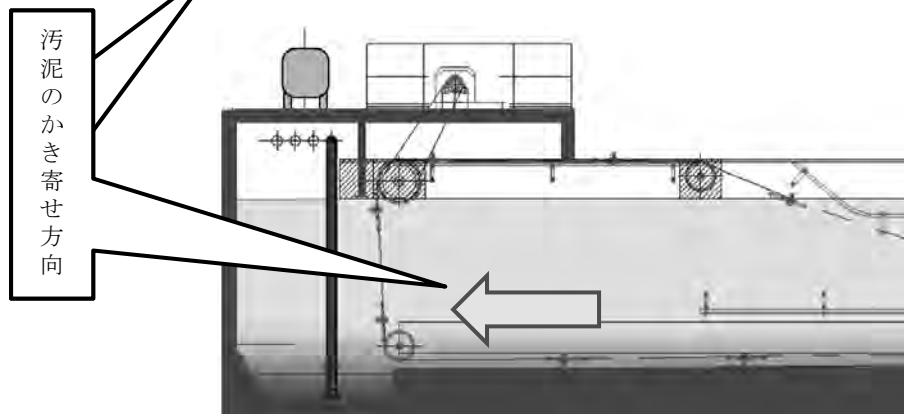
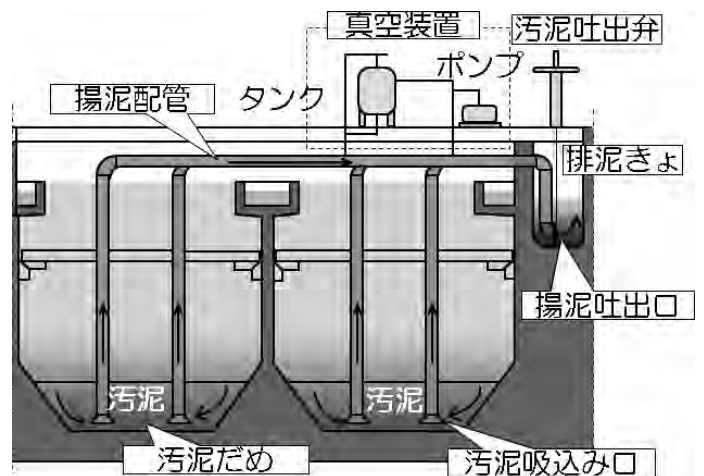
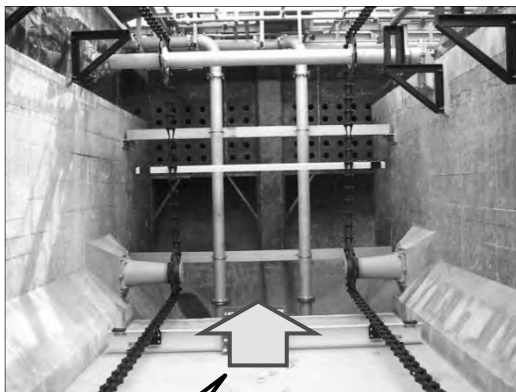
サイフォン式揚泥方式は、汚泥を揚泥するためのサイフォン管、サイフォンを形成するための真空装置等の機器で構成され、走行型と固定型に大別される。

走行型は、長手方向に往復走行することで、第二沈殿池底部にある溝に沈降した汚泥を揚泥する（図－2）。



図－2 走行型サイフォン式揚泥方式

固定型は、かき寄せ機等により、沈殿池底部に沈降した汚泥を汚泥だめへかき寄せてから揚泥する（図－3）。



図－3 固定型サイフォン式揚泥方式

この揚泥方式では、サイフォン管内の真空度が低下した場合には、警報が発報して揚泥が停止してしまう。警報は、多い日には2回程度発報し、その都度、現場において復旧作業を行っていた。管内の真空度が低下してしまう主な要因としては、排泥きよの水位が揚泥吐出口より低下した場合、又は、サイフォン管のフランジ部等から空気が混入してしまう場合が考えられる。沈殿池は24時間連続運転しており、昼夜間を問わず真空度が低下することがある。復旧現場は沈殿池上での作業となり、夜間や荒天時には大変危険を伴うものであった。

3 改善策

サイフォン式揚泥方式では、警報が頻繁に発報して問題視されていたことから、平成23年度に実施した更新工事に合わせて、真空装置に代わる設備で揚泥できないかを検討した。その結果、真空装置を要しない水位差揚泥方式を採用することとした。更新する第二沈殿池は、汚泥をかき寄せ機で汚泥だめに集めて、揚泥する固定型とするため、沈殿池上部側壁に揚泥管の貫通部を設けるだけで配管敷設が可能であり、施工は容易であると判断した（図-4）。

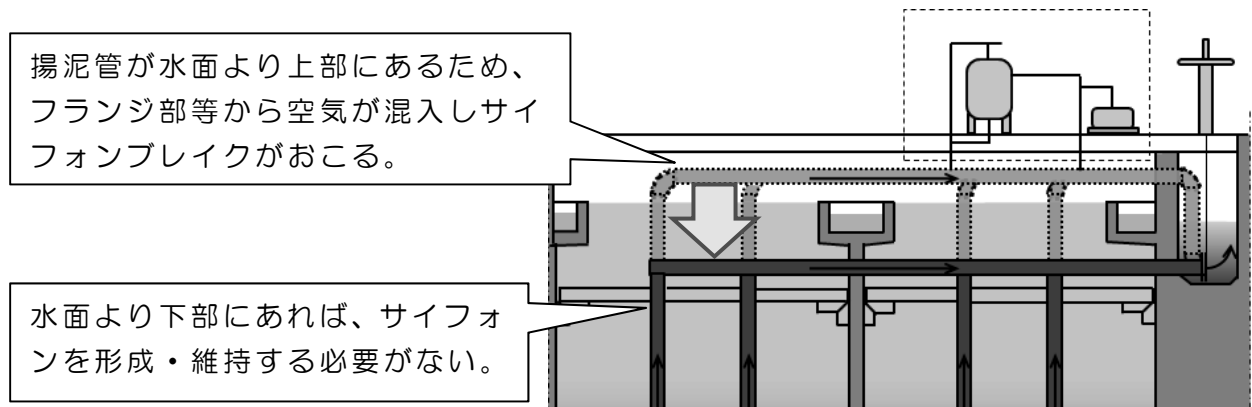


図-4 改善断面図

この揚泥方式では、沈殿池上にあったサイフォン管を沈殿池の水面下に敷設することで真空装置を設置することなく、沈殿池と排泥きよとの水位差のみの揚泥を実現することができる（図-5）。

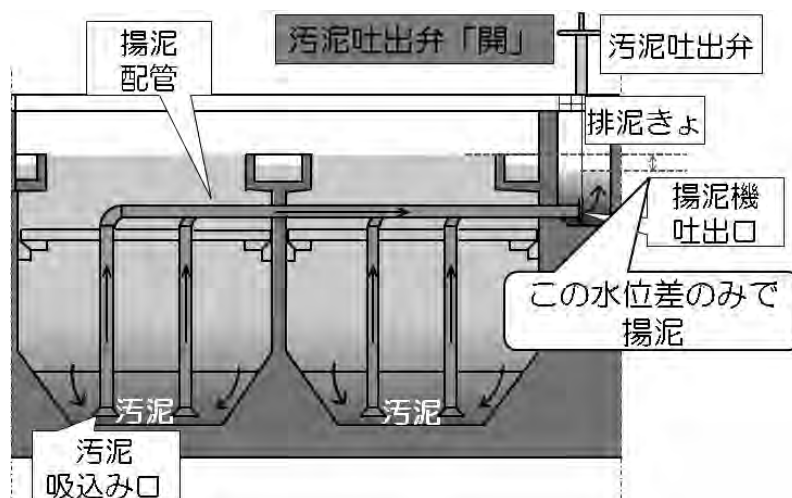
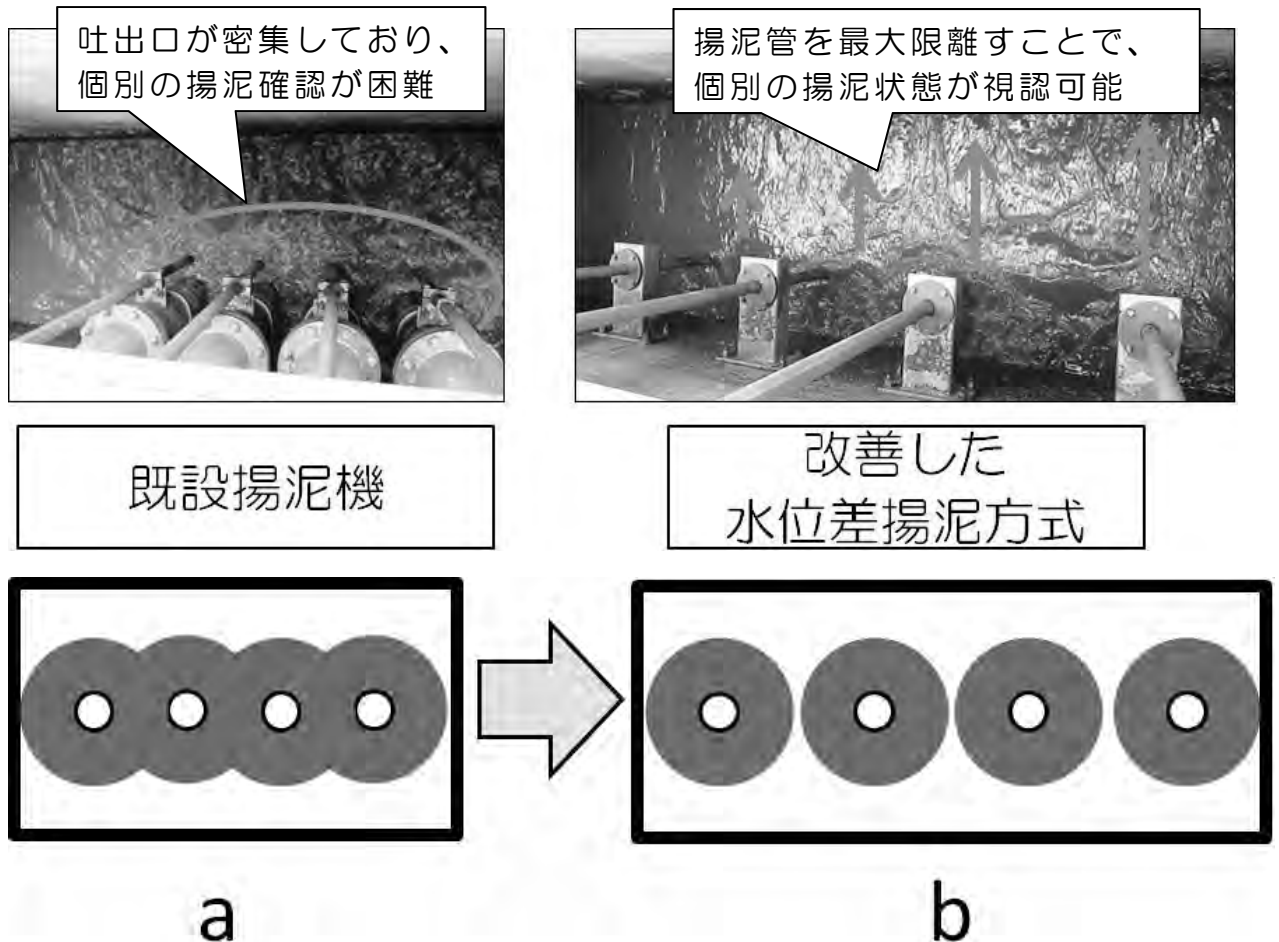


図-5 水位差揚泥方式断面図

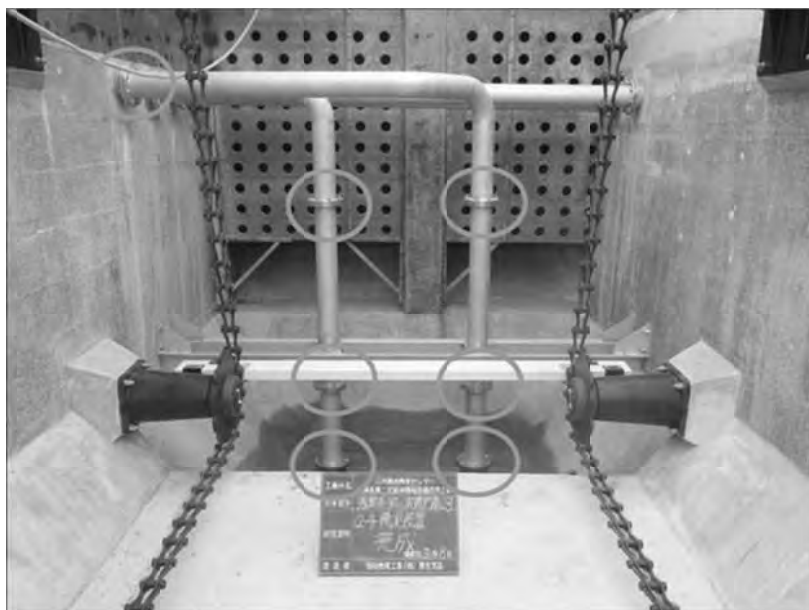
また、排泥きょにおける揚泥の見える化についても改良を行った。サイフォン式揚泥方式では、揚泥が継続しているかの判断には真空度計で確認することができた。しかし、水位差揚泥方式には、揚泥を確認する計器類がなく、沈殿池 1 池あたり 4 本ある揚泥配管のすべてが水中に敷設されており、正常に揚泥しているか否かの確認をすることが難しい。さらに、2 池の揚泥吐出口が一か所に集中し、揚泥がさらに確認しづらくなっている（図－6a）。そこで、排泥きょにある揚泥吐出口の間隔を最大限離すことで 1 本の揚泥管から吐出している汚泥の流れを確認しやすくした（図－6b）。また、揚泥吐出口の上部全面をグレーチング化することで、池上からの揚泥確認を容易にした。



図－6 揚泥の見える化

水位差揚泥方式は前述の通り、配管のみの構成であるため、基本的にはメンテナンスフリーである。現在のところ汚泥が揚泥管内を閉塞するという現象は発生していないが、汚泥が詰まった場合にも対応できるよう揚泥管の汚泥吸込み口付近等は溶接接合ではなくフランジ接合とした。万が一、汚泥詰まりが発生した場合においても、配管を取り外すことができるため復旧は容易である（図－7）。

水位差揚泥方式の採用により、機器構成は汚泥ポンプで池から直接引き抜く場合と同様となり、維持管理が大幅に簡素化された。



図－7 揚泥管の閉塞対策

4 改善効果

4.1 安全性の向上及び維持管理作業の低減

サイフォン式揚泥方式では、警報が発報すると昼夜間を問わず現場に向かい復旧作業を行っていた。

しかし、水位差揚泥方式では、この復旧作業の必要が無くなったことに加え、真空装置等の設備を廃止することで点検個所が大幅に削減することができた。それにより、職員の安全性が確保され、運転管理業務における負担が低減された。

4.2 初期費用の低減

サイフォン式揚泥方式では、真空ポンプ、真空タンク等の真空装置が必要であった。

しかし、水位差揚泥方式では、これらの設備が必要ないことから、初期費用約 500 万円の低減につながった（「平成 22 年度三河島水再生センター浅草系第二沈殿池機械設備改良工事」より）。

4.3 電力使用量の削減

サイフォン式揚泥方式では、真空度維持ため真空ポンプを繰り返し運転していた。また、急激に真空度が低下した際は真空ポンプを連続的に運転していた。

しかし、水位差揚泥方式では、真空ポンプの運転に使用していた電力量が削減でき、省エネルギーへの貢献・温室効果ガス削減にもつながった（表－1）。

表－1 年間削減電力量及び CO₂ 排出量

	年間削減量	備考
電力量 (kWh/年)	640	真空ポンプ出力 2.2kW
CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /年)	244	

* 年間削減電力量は、真空ポンプが 1 日 1 時間程度運転すると想定して算出した。

＊ CO₂ 排出係数は、「特定温室効果ガス排出量算定ガイドライン（東京都環境局）」を基に、0.382 t-CO₂/千 kWh とした。

5 おわりに

三河島水再生センターでは、今回初めて浅草系の第二沈殿池に水位差揚泥方式を導入した。

その結果、水位差揚泥方式では、真空装置が不要となったことから、真空度低下による現場確認、復旧作業が不要となった。また、設備点検業務においても機器点数の減少により負担が軽減された。

さらに、運転管理業務の効率化と現場作業に伴う危険性を排除し、費用面に関しても、真空装置の初期費用と電力使用量の削減を行うことができた。

水位差揚泥方式は、浅草系の第二沈殿池と同様に排泥きょを利用した揚泥方式を採用している水再生センターであれば水平展開が可能である。

ただし、水位差揚泥方式は従来のサイフォン式揚泥方式と違い警報装置が不要であるため、気づかないうちに揚泥管の閉塞発生という事態も懸念される。揚泥管はフランジ接合を多く採用しているため、閉塞時における清掃は容易であるが、今後とも注視をして維持管理に努め、他の第二沈殿池についても、この水位差揚泥方式の設置を検討していきたい。

2-(2)-3 西部第二下水道事務所練馬出張所に設置した

小規模太陽光発電設備の導入効果について

施設管理部 施設保全課 野澤 道明

1. はじめに

当局では、アースプラン 2010 に基づき葛西水再生センターに発電容量 490kW の太陽光発電設備を設置し、水処理用動力電源として使用するなど、温室効果ガスの削減を行ってきた。更なる削減のための取組として、都内に点在するポンプ所や出張所等屋上の未利用スペースを活用し、太陽光発電設備を設置して発電することとした。

設備規模は、1箇所当たり 20kW 未満の比較的小規模な太陽光発電設備（以後、小規模太陽光発電設備とする。）で、発電した電力は事務室などの照明コンセント等の一般的な電源として消費する。設置に当たっては、一般家庭に広く普及している汎用品の太陽電池パネルや機器を採用することで、コストの削減を図った。

本報告は、平成 22 年度に練馬出張所に設置した小規模太陽光発電設備における工事企画から完成まで及び設置後 1 年間の実績を報告するものである。

2. 練馬出張所太陽光発電設備工事の概要

2. 1 パイロット事業所選定

平成 22 年度は、小規模太陽光発電設備設置の初年度であり、パイロット事業所を選定し設置することとした。

2. 2 事前調査

次の条件(1)から(5)を検討し、設計期間・施工性を考慮して練馬出張所を選定した。

- (1)機器設置場所、スペースの確認(約 10m²/kW のスペースが必要)
- (2)建物構造、屋根仕様、屋根勾配、方位の確認
- (3)周辺環境の確認(建築物、日影など)
- (4)設計条件(防火基準、基準風速、積雪量、風致地区、その他条例など)の確認
- (5)電源系統の種別

2. 3 企画・設計

事業所の選定後次の(1)から(6)について、検討、設計を行った。

- (1)用途負荷の想定
用途の想定、負荷量の想定
- (2)システム基本設計
太陽電池容量の決定、システム構成の検討、設置方法の決定、方位角・傾斜角の選定
- (3)太陽電池アレイの設計
太陽電池モジュールの選定、アレイ直並列の決定、架台の設計
- (4)周辺機器の選定
パワーコンディショナー、接続箱、表示装置等、システム構成機器の選定

(5)システム特性の計算(発電量予測)

(6)工事価格の算出

2. 4 補助金制度の活用

本工事においては、一般社団法人新エネルギー導入促進協議会の「地域新エネルギー等導入促進事業」の補助金 200 万円の支給を受けている。

補助金制度の概要を表-1 に示す。

表-1 補助金制度の概要

所管官庁	経済産業省
窓口	一般社団法人 新エネルギー導入促進協議会
制度名	地域新エネルギー等導入促進事業
対象	地方公共団体 非営利民間団体(学校法人などを含む) 社会システム枠(地方公共団体と民間事業者の共同事業)
条件	10kW以上／複数地点で10kW以上(1地点平均2kW以上)
補助額	補助対象経費の1/2以内又は40万円/kWのいずれか低い額
備考	補助金の交付に当たっては、併せて普及啓発事業を実施すること(事業経費は補助対象外)

2. 5 設備概要

2. 5. 1 練馬出張所の状況

練馬出張所の施工前の屋上の状況を図-1 に示す。

南東7度の方向に傾斜角10度で太陽電池パネルを設置した。

設置スペース南側に高い障害物が無いため、日照条件は良好である。

屋上には雨量計が設置されているため、雨量計に影響が出ないように必要な離隔を確保している。



図-1 練馬出張所の施工前の屋上の状況(北から南に向かって撮影)

2. 5. 2 設備仕様

練馬出張所に設置した小規模太陽光発電設備の仕様を表－2に示す。

表－2 小規模太陽光発電設備の仕様

機器	仕様	型式	数量	製造会社
太陽電池パネル	出力：208.4W (総出力：5kW) 寸法：1,500×990×36 (8直列×3並列) 単結晶シリコン	KD2084X－PPE－S	24枚	京セラ
架台	鋼製 溶融亜鉛メッキ	－	一式	－
接続箱	屋外壁掛形	SD34N	1個	京セラ
パワーコンディショナー	5.5kW(単相三線 200V)	PVN－551B	1台	京セラ
信号変換箱	屋内壁掛形	L6－485W1	1台	京セラ
計測監視装置	専用 PC、UPS 等	KC－ES4－H	一式	京セラ
表示装置	液晶 32 インチ	LCD－V321	1台	NEC
日射計	全天日射計 クラス 2	LP－PYRA03	1台	サカキ
気温計	P t 100 クラス A	HD9008.03	1台	サカキ
気象信号変換器箱	屋外壁掛形	WE2－TD	1台	京セラ

太陽電池パネルは、1枚当たりの出力が 208.4W で、総出力が 5kW となるよう、計 24 枚のパネルを設置している。

架台は、太陽電池パネルを屋上に設置するための金属製の台である。屋根への設置方式は陸屋根式を採用した。陸屋根式とは、平面の屋根の上に固定用の基礎を設けた上に傾斜架台を設置し、その上に太陽電池モジュールを固定するものである。

接続箱は、太陽電池パネルからの複数のケーブルを 1 本にまとめるための箱である。

パワーコンディショナーは、太陽電池パネルで発電した直流の電気を交流の電気に変換する装置である。

オプションとして、日射計、気温計、日射量・気温・発電量のデーターを収集するためのパソコン、来庁舎向けのモニターを設置した。

練馬出張所の電気の契約種別は、従量電灯 C、低圧動力の 2 種類である。小規模太陽光発電設備は従量電灯 C の電気系統に接続した。従量電灯 C とは、一般家庭が電力会社から電気の供給を受けるのと同じ方式(単相 3 線 200V)である。

なお、発電した電気は全量を自己消費すると想定したため、余った電気を電力会社に売電するためのメーターは設置していない。

2. 5. 3 システム構成図

練馬出張所に設置した小規模太陽光発電設備のシステム構成図を図－2、用語説明を表－3に示す。

太い実線は、小規模太陽光発電設備で発電された電気の流れを示す。太い破線が、東京電力から購入する電気の流れを示す。

夜間及び昼間の日照が無い時は、太い破線の流れで、庁舎内に電気が流れる。昼間の日照がある時には、太い実線の電気の流れもできて、太い破線と合わせて庁舎内に電気が流れる。この時、太い実線の電気の量の増減に反比例して、太い破線の電気の量は変化する。

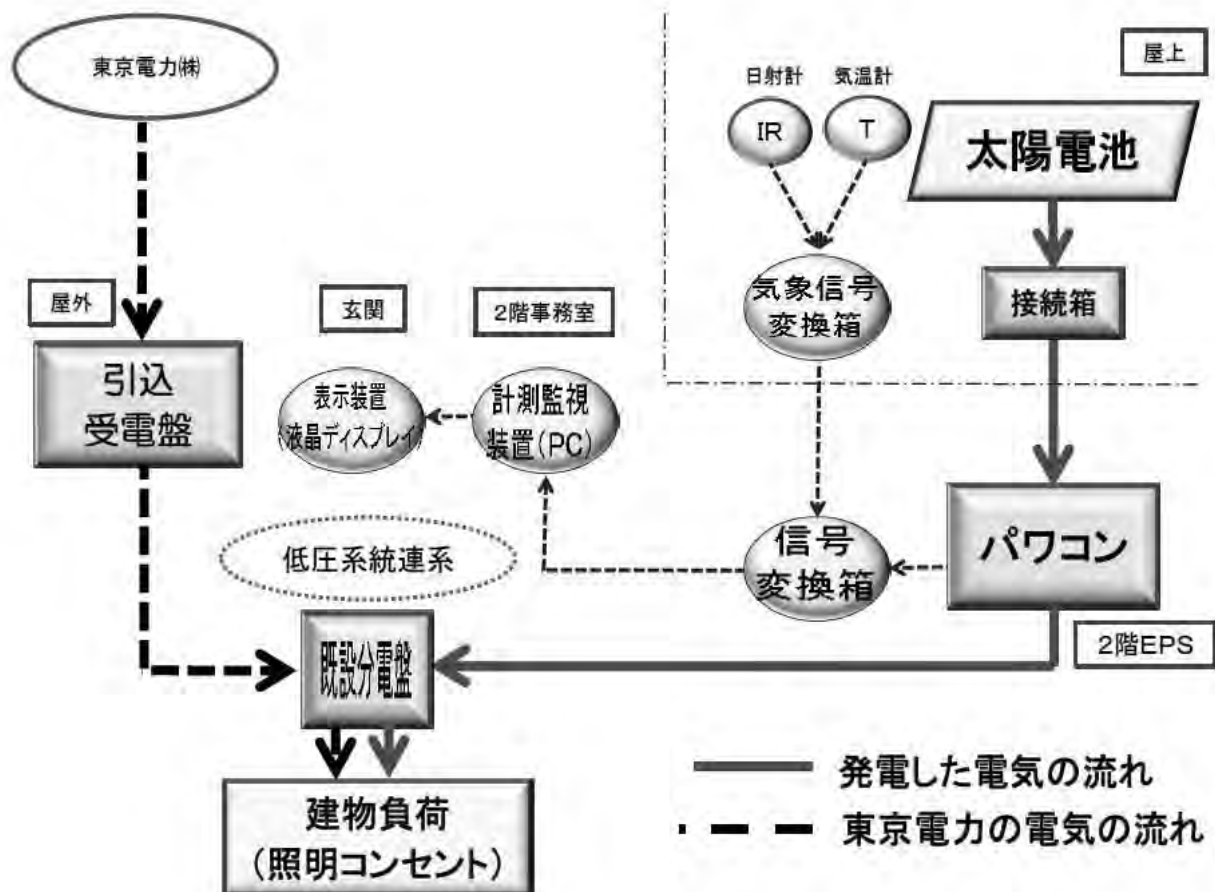


図-2 システム構成図

表-3 システム構成図の説明

	機器類	説明
発電ライン	太陽電池アレイ	太陽電池パネルと固定フレームを併せたもの（発電容量5kW）。
	接続箱	複数の太陽電池系統をパワコンに送り込むためにまとめる盤。
	パワコン	パワーコンディショナーの略。太陽電池は直流で発電出力するため、交流100Vに変換するための装置。既設分電盤に接続できるよう変換する。
	既設分電盤	既設分電盤の一次側の回路に、発電出力を接続する。
信号ライン	日射計・気温計	日射量（kWh/m ² ）と気温（℃）を計測するセンサー
	気象信号変換箱	日射量・気温の信号を、計測監視装置用に変換する装置
	信号変換器箱	発電量・運転状況の信号を、計測監視装置用に変換する装置
	計測監視装置	気象信号変換箱・信号変換器箱からの発電状況データを表示記録する装置。パソコンタイプを採用し、専用ソフトにてデータ整理する。
	表示装置（液晶ディスプレイ）	玄関ホールに設置し、都民に対してのクリーンエネルギー使用アピールのために、毎時の発電量・日射量・気温を表示する。

3. 設置状況について

3. 1 施工写真紹介

練馬出張所の小規模太陽光発電設備設置工事の施工写真を紹介する。

図-3は屋上に設置した架台の組立後と太陽電池アレイ取付後の写真である。図-4は気象観測装置(日射計、気温計)の写真である。図-5は玄関前に設置した発電量等を表示する装置(液晶ディスプレイ 32インチ)の写真である。都民の皆様へ、再生可能エネルギー使用のアピールをするために設置した。図-6は稼働状況を表示・記録・保存する計測監視装置の写真である。



架台組立後

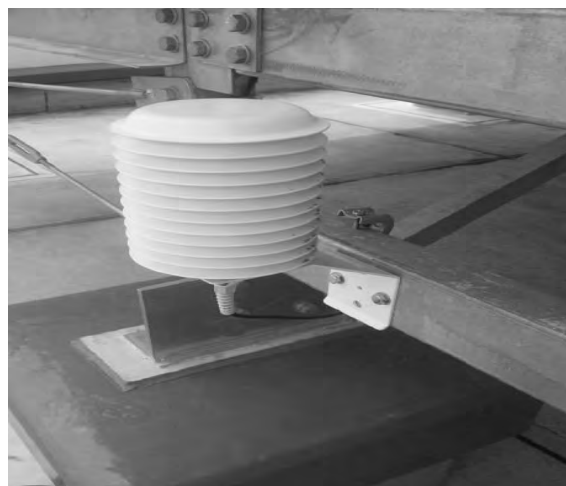


太陽電池アレイ取付後

図-3 屋上に設置した架台の組立後と太陽電池アレイ取付後の施工写真



日照計



気温計

図-4 気象観測装置



図－５ 発電量を表示する液晶装置



図－６ 計測観測装置

３．２ 工事費収支比較

練馬出張所の小規模太陽光発電設備設置工事における工事費収支比較を表－４ にまとめた。

電気料金削減額とは、太陽光で発電した電気を使用することにより、東京電力から購入しなくなる電気を金額換算したものである。単価は 24 円/kWh で計算している。

環境価値は、太陽光で発電した電気により CO₂ 排出を削減する効果を金額に換算したものである。排出係数は 0.382t-CO₂/千 kWh、単価は 15,000 円/t-CO₂ で計算している（計算に使用している単価、係数は平成 22 年度当時）。

20 年間稼働した場合での試算では、工事費を回収したうえ、収支はプラスとなった。現在のシステム価格は 80 万円/kW なので、補助金なしで収支を±0 にするには一般住宅用なみの 60 万円/kW 程度まで下げる必要がある。

表－４ 工事費収支比較表

項 目		金額（万円）	合計（万円）	備 考
収入	補助金	200	497	補助金単価 40万円/kW 発電容量 5 kW で計算
	電気料金削減額	240		20年間分の合計金額
	環境価値*	57		*発電電力とは別のCO2排出を削減するという行為に対する価値。 20年間分の合計金額
支出	太陽光発電設備	208	400	発電設備のみの価格 *信号系設備を除く
	電気設備工事及び諸経費	192		ケーブル・電線管及び接地設備
差し引き（収入－支出）			97	

*表中の金額は、消費税等相当額を含まないものとする。

4. 導入効果

4. 1 発電実績

平成 23 年度(平成 23 年 4 月から平成 24 年 3 月まで)の発電実績を図-7 に示す。

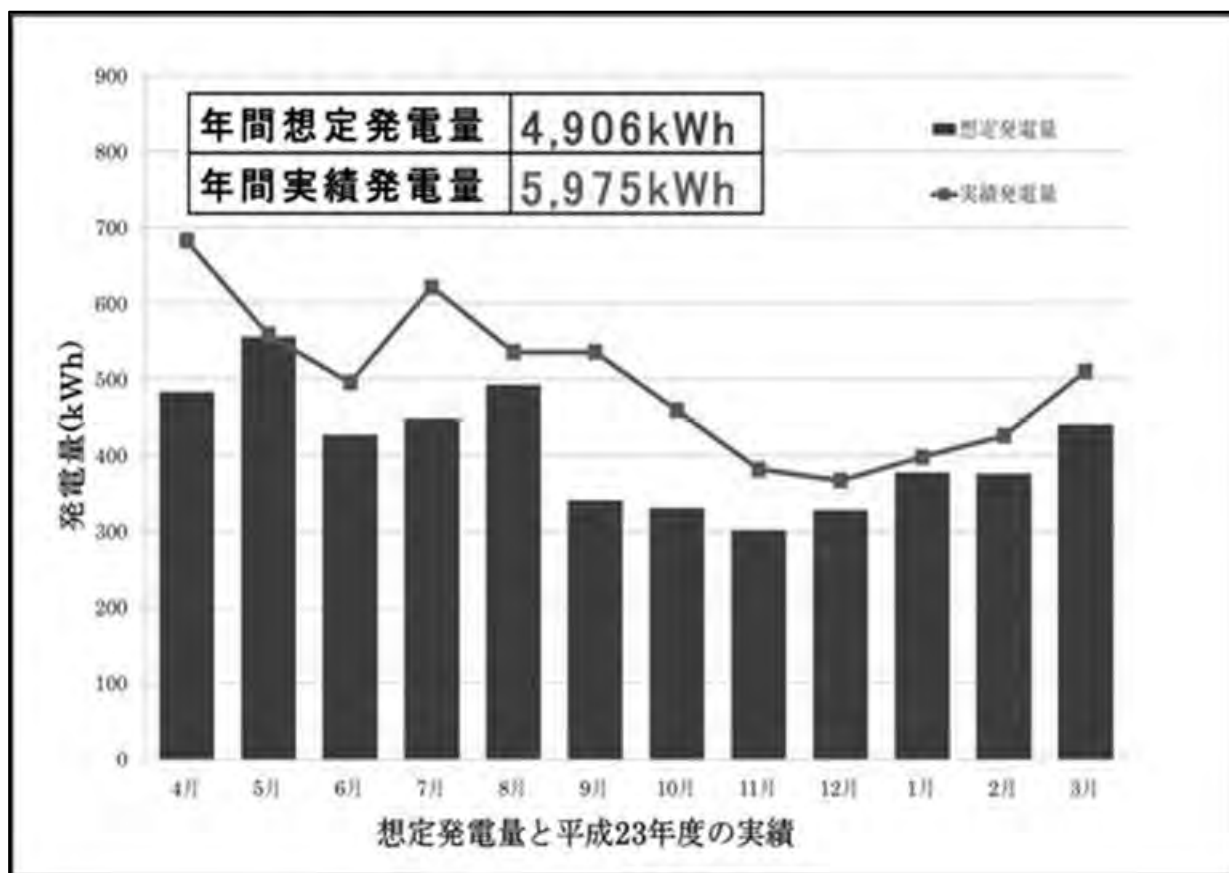


図-7 想定発電量と平成 23 年度の実績

棒グラフがシミュレーションによる想定発電量、折れ線グラフが実績発電量を示す。

年間想定発電量 4,906kWh に対して、実績発電量が 5,975kWh となっている。年間実績は想定に対して約 20% 多く発電している。

発電量は日射量に応じて増減するため、日射量データーの確認を行った。特に発電量が多かった 4 月、7 月、9 月、10 月の実績平均日射量が、想定平均日射量より 20%～40% と多かった。これが、実績発電量が想定よりも多くなった大きな要因と考える。

データーからは、トラブルなく順調に設備が稼働していることが分かる。

4. 2 使用電力量比較

平成 22 年度、平成 23 年度の使用電力量の比較を図-8 に示す(平成 22 年度における使用電力量は買電電力量、平成 23 年度の使用電力量は、買電電力量と発電電力量の合計値をいう。グラフ内の表中カッコ書き数値は、発電電力量を示す。)。

折れ線グラフは、平成 22 年度の買電電力量を示す。22 年度は太陽光発電をしていないので、使用電力量と買電電力量は同じ数値となる。

塗りつぶされている棒グラフは、平成 23 年度の買電電力量を示す。斜線で網掛けされている棒グラフは、平成 23 年度の太陽光発電した電力量を示す。

塗りつぶされている棒グラフと斜線で網掛けされている棒グラフの合計値が、平成 23

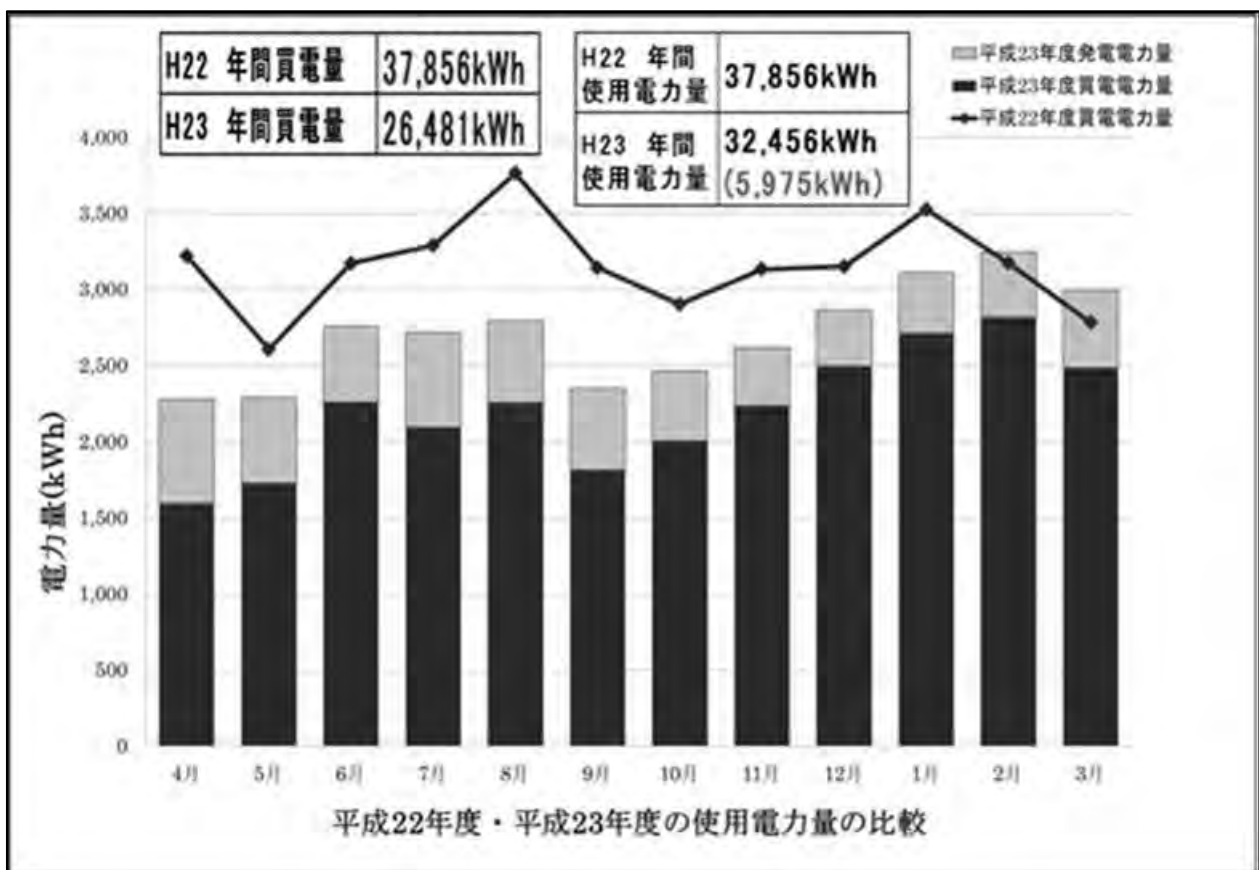
年度の使用電力量となる。

平成 22 年度の年間使用電力量と平成 23 年度の年間使用電力量を比較すると、平成 23 年度は対前年度比で 15%程度少なくなっている。これは平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の発生を受け、局として節電に取り組んだ経緯があり、これはその成果によるものである。4 月は震災直後の取組により、また 7 月から 9 月は夏季の節電の取組により大幅な減となっている。上半期は 15%～30%程度、下半期は 2 月、3 月では対前年度比で増となっているが、下半期の他の月では 10%～15%程度の範囲で節電されている。

次に平成 22 年度の買電電力量と平成 23 年度の買電電力量を見てみると、平成 23 年度 4 月は 50%減、8 月、9 月は 40%減、他の月でも 10%以上の減と年間を通して前年よりも買電電力量が少なく、平成 23 年度の年間買電電力量は対前年度比で 30%程少なくなっている(電気料金が 30%下がったことを意味する)。

これは節電の取組成果と小規模太陽光発電設備による発電電力の寄与によるものである。節電の取組成果が 15%程度であることから、30%下がった電気料金の内およそ半分は小規模太陽光発電設備による発電電力の寄与によるものである。

以上を整理すると、平成 23 年度は平成 22 年度と比較して、節電の取組成果で 15%、小規模太陽光発電設備の導入効果で 15%、計 30%の電気料金を削減できたと言い換えることができる。



図－8 平成 22 年度・平成 23 年度の使用電力量の比較

5. おわりに

平成 22 年度に練馬出張所に設置した小規模太陽光発電設備の設置後 1 年間の実績と導入効果について検証をした。

発電実績から、想定とおりの発電量が確保できていること、設備がトラブルなく、順調に稼働していることが確認できた。

平成 23 年度は平成 22 年度と比較して、買電電力量が 30% 減少していた。これは電気料金が 30% 下がったことに相当する。その内訳は、節電対策で 15%、太陽光の発電効果で 15% であり、節電と同様に電気料金削減に太陽光発電が大いに寄与していることが分かった。

また、小規模太陽光発電設備の導入による CO₂ 削減効果は、実績発電量が想定発電量よりも多かったことから、2.3t-CO₂/年(想定 1.9 t -CO₂/年)であった。

2-(2)-4 下水汚泥の省エネルギー濃縮技術

(省エネ型汚泥濃縮機)について

計画調整部 技術開発課 竹谷 修平

1 はじめに

当局では「アースプラン 2010」に基づいて、温室効果ガスを抑制するために、省エネ効果の高い技術の導入を進めている。

今回汚泥処理工程における省エネを進めるにあたり、当局に導入されていないが、他自治体で導入実績がある省エネ型汚泥濃縮機について当局の汚泥に対する適合性を確認するため、技術管理委員会の新技術の評価のしくみを使い迅速に性能確認を行った。

本稿では、新技術の評価の概要と性能確認及びその結果について報告する。

2 新技術の評価について

当局に新たな技術を導入する場合は、東京の地域特性や下水の水質、汚泥性状などの条件下でも性能を発揮させるため、当局と共同研究の後、実用化の評価を付与してから導入することを原則としていた。

今回技術開発課では、公的機関から性能評価等を取得済みで、既に他の自治体で導入実績があり、新たな開発要素が少ないなど一定要件を満たす技術について、当局への適合性を確認するため、「試験施工」や「性能確認」等の簡易な方法で評価を行う「新技術の評価」のしくみを策定した（図-1）。

本稿における下水汚泥の省エネルギー濃縮技術（省エネ型汚泥濃縮機）は、新技術の評価のしくみを使い性能確認を行った。

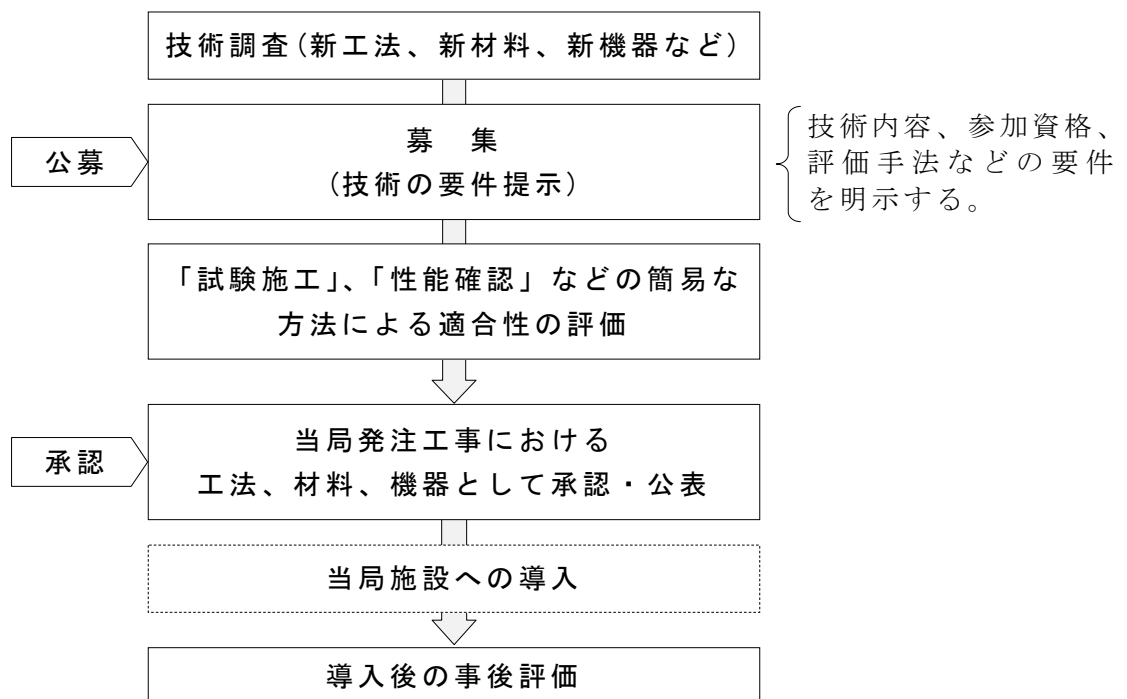


図-1 新技術評価の流れ

3 性能確認について

3.1 概要

テーマ 下水汚泥の省エネルギー濃縮技術(省エネ型汚泥濃縮機)の性能確認
形態 新機器採用に関する評価

3.2 期間

平成 22 年 10 月 1 日から平成 23 年 3 月 31 日まで

3.3 応募条件

他の自治体等で処理能力 30m³/h 以上の導入実績があり、かつ土木研究所、日本下水道事業団又は下水道新技術推進機構の評価（共同研究、審査証明、標準仕様として採択）を得ていること。

3.4 目標性能

本募集内容の目標性能を表－1 に示す。

表－1 性能確認目標

1 供給汚泥の条件
➢ 供給汚泥は、当局水再生センターから採取した混合汚泥及び余剰汚泥とする。
➢ 性能試験を行う汚泥は、当局の指定する、区部 2 か所、2 季節(10 月、1 月)及び流域 1 か所、1 季節のそれぞれ別の日の 2 点以上とする。
2 濃縮機の性能に関わる条件
➢ 濃縮汚泥の平均濃度は 4.0%以上とし、固形物回収率は 95%以上とする。
➢ 使用する凝集剤は高分子凝集剤とし、添加率は平均で 0.4%以下とする。
➢ 省エネの条件として、従来の遠心型より動力を 7 割以上削減する。
➢ 投入汚泥濃度の範囲は、混合汚泥 0.5～1.5%、余剰汚泥 0.3～0.7%とする。
3 試験実施の条件
➢ 濃縮性能の試験は、原則実機を使用して行う。ただし、既にある試験データから、ラボテスト等で性能を満足できることが技術的に示せる場合(※)は、この限りでない。
※ 例) ベルト式濃縮機において、凝集剤添加による汚泥の凝集性と濃縮性との関係が、実機を使用した試験データから確定しており、当局の汚泥についても凝集試験等を行うことにより、その濃縮性能が客観的に類推できる。

4 適合性の評価

4.1 応募者

6社5グループ

株式会社神鋼環境ソリューション、月島機械株式会社、巴工業株式会社／メタウォーター株式会社、株式会社クボタ、株式会社石垣

※以下、株式会社表記は省略

4.2 応募条件の確認

応募者の省エネ型汚泥濃縮技術内容を表－2に、濃縮機外観を図－2に示す。

表－2 技術内容

	神鋼環境 ソリューション	月島機械	巴工業/ メタウォーター	クボタ	石垣
機器名	ベルト型濃縮機（樹脂ベルト）	ベルト型濃縮機（樹脂ベルト）	ベルト型濃縮機（樹脂ベルト）	ベルト型濃縮機（ステンレスベルト）	差速回転型スクリーン濃縮機
導入実績	新潟県長岡市長岡浄化センター （60m ³ /h×1台） 他 14 箇所	千葉県南部浄化センター （60m ³ /h×2台） 他 7 箇所	栃木県鹿沼市黒川終末処理場（30m ³ /h×1台） 他 3 箇所	福岡県御笠川那珂川流域下水道御笠川浄化センター （100m ³ /h×1台）、他 74 箇所	大阪市放出下水処理 （50m ³ /h×1台） 他 9 箇所
評価	・日本下水道事業団「機械設備標準仕様書」 ・下水道新技術推進機構「建設技術審査証明」	・日本下水道事業団「機械設備標準仕様書」	・日本下水道事業団「機械設備標準仕様書」 ・下水道新技術推進機構「建設技術審査証明」	・日本下水道事業団「機械設備標準仕様書」 ・下水道新技術推進機構「性能評価書」	・下水道新技術推進機構「新技術研究成果証明」
処理能力	10～150 m ³ /h	10～150 m ³ /h	20～120 m ³ /h	10～150 m ³ /h	5.6～180 m ³ /h

各応募者が、応募条件を満たしていることが確認された。

○ベルト濃縮機
神鋼環境ソリューション



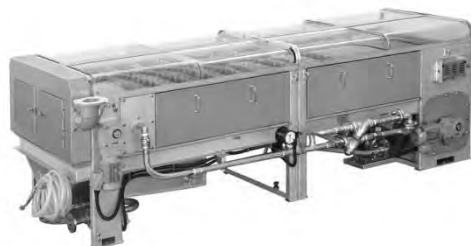
○TSKベルト型濃縮機
月島機械



○ベルトろ過濃縮機
巴工業／メタウォーター



○ベルト型ろ過濃縮機（ステンレスベルト）
クボタ



○差速回転型スクリーン濃縮機
石垣



図－２ 濃縮機外観

４．３ 試験実施の条件確認

応募者の試験実施の確認方法を表－３にまとめる。

表－３ 性能確認方法

	神鋼環境 ソリューション	月島機械	巴工業/ メタウォーター	クボタ	石垣
実機テスト	－	－	○	○	－
ラボテスト (※)	○	○	○	○	○

※すべての応募者が、ラボテストと実機性能の相関関係を示した。

4. 4 目標性能確認結果

混合汚泥及び余剰汚泥の、性能確認の結果を表－4及び表－5に示す。

表－4 混合汚泥の性能確認結果

項目	目標値	結果				
		神鋼環境 ソリューション	月島機械	巴工業/ メタウォーター	クボタ	石垣
濃縮濃度	4.0%以上	○	○	○	○	○
SS回収率	95%以上	○	○	○	○	○
薬注率	0.40%以下	○	○	○	○	○
動力削減	▲70%以上	○	○	○	○	○

注) 結果における○表記は目標値の達成を示す

表－5 余剰汚泥の性能確認結果

項目	目標値	結果				
		神鋼環境 ソリューション	月島機械	巴工業/ メタウォーター	クボタ	石垣
濃縮濃度	4.0%以上	○	○	○	○	○
SS回収率	95%以上	○	○	○	○	○
薬注率	0.40%以下	○	○	○	○	○
動力削減	▲70%以上	○	○	○	○	○

注) 結果における○表記は目標値の達成を示す

各応募者が、混合汚泥・余剰汚泥ともに、濃縮機の性能に関わる条件を満たしている事が確認された。

5 まとめ

技術管理委員会の新技術の評価のしくみを使って迅速に性能確認を行った。

性能確認において、すべての省エネ型汚泥濃縮機が設定した目標をすべて達成したことから、当局の汚泥濃縮工程での温室効果ガス削減に大きく寄与できる技術として採用された。

今後、濃縮設備を更新及び設置する際、省エネ型汚泥濃縮機は従来機種に加えて選定可能機種となった。

また、「東部汚泥処理プラント汚泥濃縮設備その5工事」にて省エネ型汚泥濃縮機を設置し、現在稼働中である。

2-(2)-5 余剰汚泥の削減がコスト及び動力に及ぼす影響の評価（夏期調査報告）

西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター
伊藤喜代志 樋口和也 広木孝行
湯田恵 板橋裕直

1. はじめに

水再生センターにおける処理動力の削減にはいくつかの手法があるが、通常最初に検討されるのは最も消費動力の大きな反応槽の動力を低減することであろう。実際、みやぎ水再生センター（以下「みやぎ」という。）でも昨年度夏までの夏期節電対策は、送風機の運転台数を減らす手法を採用し、所定の成果を上げてきた。

しかし、反応槽送風量の過度の抑制は、水質悪化につながるリスクを内在しているばかりでなく、反応槽における余剰汚泥の増大を引き起こす可能性が高い。このため、放流先の公共用水域の水環境にネガティブな影響を与えるだけでなく、余剰汚泥の増大による汚泥処理動力や汚泥処理コストの上昇を招くリスクをはらんでいる。

余剰汚泥は極めて処理性が悪く、余剰汚泥の増大は脱水ケーキ含水率の上昇、凝集剤添加率及び焼却助燃ガスの増大を招くことから、その削減は汚泥処理における動力・コストの削減につながる。みやぎでは、生物活性が著しく高くなる高水温期に反応槽のDOを高く設定し、活性汚泥の自己酸化による分解を促すことで余剰汚泥の削減を図り、それがセンター全体の動力・コスト等に与える影響について検証を行った。

2. 施設概要

施設の概要は、以下の通りである。

- | | | |
|-----|------|--|
| (1) | 処理能力 | 西系：216,000m ³ /日、東系：98,000m ³ /日 |
| (2) | 処理水量 | 西系：133,000m ³ /日、東系：85,000m ³ /日
(平成24年7月1日～9月17日間の平均値) |
| (3) | 散気方式 | 西系：浅槽 全面曝気
東系：深槽 機械攪拌・旋回流 |
| (4) | 処理方式 | 西系：標準活性汚泥法
東系：嫌気好気活性汚泥法 |

3. 検証方法

3. 1 検証期間、調査対象

- | | | |
|-----|------|---|
| (1) | 検証期間 | 平成24年7月1日(日)～9月17日(土) (以下、夏期はこの期間のことを言う。) |
| (2) | 調査対象 | 西系反応槽 西側 (1～4号槽) 及び東側 (5～7号槽) |

3. 2 運転条件

活性汚泥の自己酸化による分解を促し、余剰汚泥の発生を抑制するため運転条件を以下のように設定した。

- | | | |
|-----|-------|--|
| (1) | DO設定値 | 最終回路のDO1.5mg/L以上 |
| (2) | 処理水量 | 水量変動を抑え十分な滞留時間を確保するため、必要に応じて雨天時貯留池を汚水の調整池として活用し、放流水量を1日を通して約5,000m ³ /hでの一定運転とした。 |

4. 結果

4. 1 水処理、汚泥処理の状況

4. 1. 1 処理量

高級処理水量は、降水量が少なかったにもかかわらず、平成 22、23 年度より増加していた。これは、浮間水再生センターへの幹線切替準備工事の影響によるものである。

検証期間中の水処理量及び汚泥処理量を表 1 に示す。

濃縮槽投入量は、余剰汚泥引抜量を抑えたことで、余剰汚泥を主に処理する加圧浮上濃縮槽の濃縮汚泥量が減少した。

また、重力濃縮汚泥量が、平成 24 年度は、降水量が少なかったにも関わらず、増加している。これは、第一沈澱池引き抜き時間を短く変更したことで、重力濃縮槽への投入汚泥量は減少しているが投入汚泥濃度が高くなり、重力濃縮槽からの引き抜き量が増えたものと考えられる。一方、平成 23 年度の濃縮汚泥量は、通常東部スラッジプラントに送泥している落合受泥と東処理施設の余剰汚泥を処理したため平成 22、24 年度より増加した。

表 1 夏期における処理水量及び汚泥処理量

	高級処理水量	余剰汚泥量	濃縮槽投入量	濃縮汚泥量			
				重力 2 号	重力 3 号	加圧浮上	合計
H 22	17,880,760	432,100	621,750	19,640	22,660	37,250	79,550
H 23	17,800,980	380,780	716,990	31,790	25,570	42,800	100,240
H 24	18,063,700	269,070	563,660	22,440	30,420	30,740	83,600

4. 1. 2 運転諸元

検証期間中は状況に応じて余剰汚泥引抜量や送風量及びDO設定値について運転変更を行った。

検証期間中の MLSS の推移を図 1 に、検証期間中に運転変更内容を表 2 に示す。

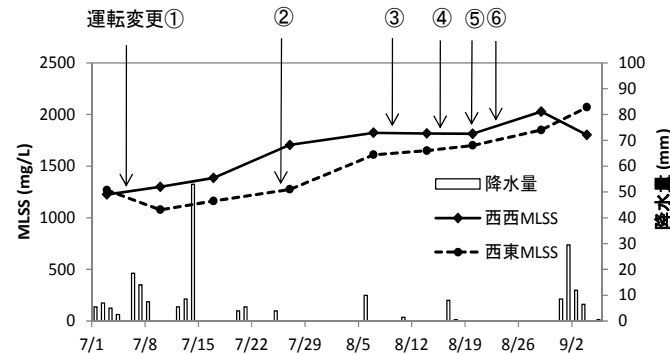


図 1 MLSS の推移と運転変更

表 2 検証期間の運転変更内容

①	7/5	西系西側	余剰汚泥量	60 m³/h→40 m³/h
②	7/26	西系東側	余剰汚泥量	50 m³/h→40 m³/h
③	8/9	西系西側	DO 設定値	1,2 号槽 2.0 mg/L→2.5 mg/L
				3,4 号槽 1.5 mg/L→2.0 mg/L
		西系東側	DO 設定値	2.0 mg/L→2.5 mg/L
④	8/16	西系西側	DO 設定値	1,2 号槽 2.5 mg/L→3.0 mg/L
			(8 時～23 時)	3,4 号槽 2.0 mg/L→2.5 mg/L
⑤	8/20	西系西側	AB 回路送風量	20N m³/min→30N m³/min
⑥	8/23	西系西側	AB 回路送風量	30N m³/min→45N m³/min

当初、反応槽のDOを高く維持すれば自己酸化により MLSS 濃度はある一定値に収束するものと予想したが、実際は図のように MLSS 濃度は上昇傾向にあった。しかし、MLSS は 2,000mg/L 程度で収束し、それ以上は大き

く上昇することはなかった。今回の条件では、MLSS2,000mg/L 程度で余剰汚泥の発生と自己酸化がバランスしたものと考えられる。同様の条件で目標値である1,500 mg/L 程度にMLSS 濃度を収束させるためには、滞留時間を10 時間以上（平成24 年8 月 月平均値：9.7 時間）確保して自己酸化をさらに進める必要があると考えられる。

4. 1. 3 余剰汚泥引抜率

検証期間中の西系反応槽余剰汚泥引抜率の推移を図2 に示す。

平成22,23 年度の余剰汚泥固形物引抜量の反応槽固形物量に占める割合（余剰汚泥固形物量／反応槽固形物量）は9～25%の範囲で推移していた。引抜率の変動は、MLSS 濃度を余剰汚泥引抜量で調整する運転を行っていたことに起因する。

一方、平成24 年度は余剰汚泥を一定量で引抜く運転を行ったことから、引抜率はほぼ一定の値となった。みやぎでは、余剰汚泥を加圧浮上濃縮槽で処理している。しかし、余剰汚泥引抜率を一定にしたことで加圧浮上濃縮槽への投入量が一定となった。その結果、原泥貯留槽からオーバーフローし、重力濃縮槽へ流入する余剰汚泥がなくなり、重力濃縮槽の負荷変動の軽減にも寄与した。

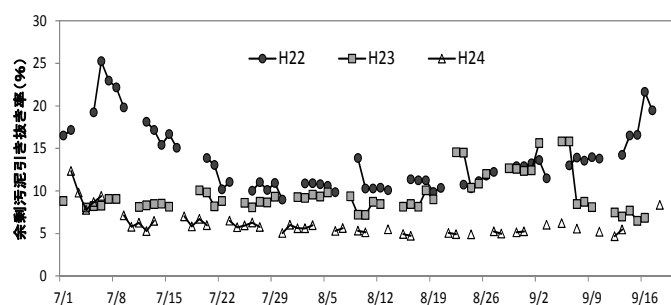


図2 余剰汚泥引抜率の推移

4. 1. 4 処理水質

放流水のアンモニア性窒素濃度の推移を図3 に、りん酸性りん濃度の推移を図4 に示す。

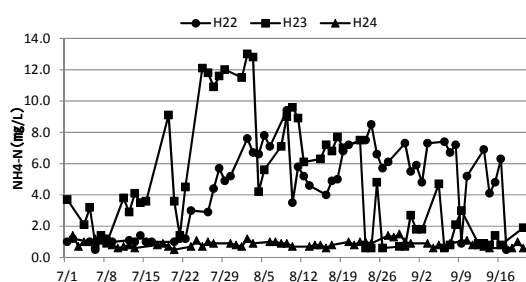


図3 放流水のNH₄-N 濃度の推移

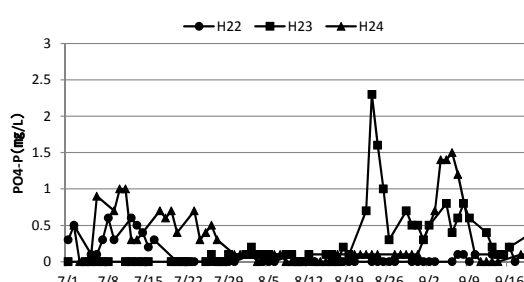


図4 放流水のPO₄-P の推移

平成22 年度は、MLSS を1,000 mg/L 前後で、目標処理水質（残留アンモニア性窒素濃度：3mg/L）を設定し、送風量の削減に取り組んだが、目標としたアンモニア性窒素濃度3mg/L を安定的に維持することができず、最終的には硝化が停止しかけたことで、高いアンモニア性窒素濃度で推移した。

平成 23 年度は、東日本大震災に起因する大幅な節電対策のため送風機の稼働台数を抑える運転を行った結果、アンモニア性窒素濃度が上昇した。

平成 24 年度は、MLSS と DO 設定値を高く設定したことで、窒素処理は硝化が安定的に進み低いアンモニア性窒素濃度で推移した。

アンモニア性窒素が公共用水域に放出されると、硝化により水域の溶存酸素を消費し溶存酸素濃度を低下させる。これは、その水域に生息する生物に負の影響を与えることになるため、みやぎではアンモニア性窒素が残らない方向での処理を重要視している。

一方りん処理については、平成 22、23 年度は、送風量を削減したことで最終回路まで有機物が残存したためりんの取込みが良好で、りん酸性りん濃度で概ね 1mg/L 以下と安定した除去率を示した。

平成 24 年度は、反応槽の MLSS を高く保ったことで、吐出し・取込みがある程度維持され、概ね 1mg/L 以下で推移した。

4. 2 動力及びコストの縮減

4. 2. 1 電力量

みやぎの使用電力量の割合を図 5 に、夏期の水処理及び汚泥処理の使用電力の合計を表 3 に示す。

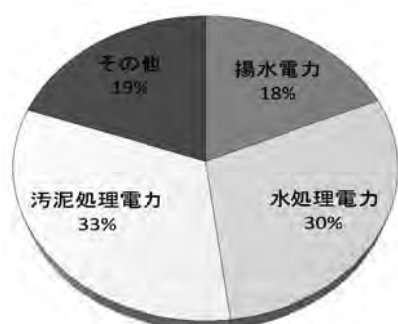


図5 使用電力内訳（平成 22 年度実績）

表 3 夏期における電力使用量

単位 (kWh)

	水処理	汚泥処理	合計
H 22	3, 221, 620	3, 474, 700	6, 696, 320
H 23	2, 609, 640	3, 584, 700	6, 194, 340
H 24	3, 365, 270	3, 148, 300	6, 513, 570

使用電力の平成 22 年度実績では、水処理と汚泥処理の電力はともに全体の約 3 割を占めている。

平成 24 年度は、余剰汚泥を削減するために反応槽の DO 設定値を高く設定したことから、送風量が増加し、送風機の稼働台数を減らした平成 23 年度に比べ水処理電力は 755, 630kWh 増加している。

一方、汚泥処理電力は汚泥処理性が著しく悪い余剰汚泥が減ったことにより、使用電力量の少なかった平成 22 年度と比較しても 326, 400kWh 削減できた。

従って、平成 24 年度の処理に係る電力は、平成 22 年度と比較して 182, 750kWh 削減され、平成 23 年度との比較では 319, 230kWh 増加した。

なお、平成 23 年度は東日本大震災の影響により、東部スラッジプラントへの送泥が困難となり、バックアップルートである葛西水再生センターへの送泥も葛西の処理悪化により停止することとなり、通常送泥している落合水再生センターの汚泥及び東処理施設の余剰汚泥をみやぎで処理したため汚泥処理電力は上昇した。

4. 2. 2 都市ガス、高分子凝集剤

脱水ケーキの含水率、焼却炉の都市ガス使用量及び高分子凝集剤使用量を表 4 に示す。

表4 夏期における脱水ケーキ含水率、都市ガス量及び高分子凝集剤使用量

	脱水ケーキ		都市ガス	高分子凝集剤		
	ケーキ量	含水率		濃縮	脱水	合計
	DS- t	%	m ³	kg	kg	kg
H22	6,922	72.0	113,863	4,300	7,786	12,086
H23	9,327	71.6	181,475	2,460	9,021	11,481
H24	6,596	70.5	73,298	1,310	6,757	8,067

脱水ケーキの含水率は、8月期に降雨がほとんど無かったにも関わらず、70.5%と低い値であった。このため、焼却時の都市ガス使用量は過去2ヶ年より40,000m³以上の削減となった。

また、余剰汚泥の削減による汚泥処理性の向上で、脱水及び加圧浮上濃縮への高分子凝集剤の添加量は過去2ヶ年より3,400kg以上の削減となった。

4. 2. 3 コストの縮減

夏期における処理コストを表5に示す。

表5 夏期における処理に関わるコスト

単位(円)

	処理電力			都市ガス	高分子凝集剤			合計
	水処理	汚泥処理	合計		濃縮	脱水	合計	
H22	41,881,060	45,171,100	87,052,160	8,129,818	2,244,600	4,344,588	6,589,188	101,771,166
H23	33,925,320	46,601,100	80,526,420	12,957,315	1,284,120	5,033,718	6,317,838	99,801,573
H24	43,748,510	40,927,900	84,676,410	5,233,477	683,820	3,770,406	4,454,226	94,364,113

処理コストのうち電力量は、水処理の送風量の増加に伴い平成23年度に比べ980万円程度上昇したが、余剰汚泥の削減により汚泥処理で約570万円削減できたことから、処理電力コストの上昇は410万円程度に抑えることができた。

都市ガスは、含水率低下による効果で平成23年度と比較して約770万円削減でき、高分子凝集剤のコストは約190万円削減できた。

従って、余剰汚泥の削減により、平成22年度と比較して約740万円、平成23年度と比較して約540万円処理コストが削減された。

4. 2. 4 温室効果ガス排出量の削減

水再生センターでの処理動力といえば一般に電力を指すが、都市ガスや高分子凝集剤も次元は異なるが処理動力として評価できる。各々の次元を統一するため、ここでは動力指標の一つであるCO₂排出量の比較を行った。処理に関わるCO₂排出量を表6に示す。

ここでCO₂の換算係数は、電力と都市ガスについては供給企業のホームページより、高分子凝集剤にかかわる係数は、平成21年3月国土交通省の「下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き」を参照した。

平成24年度は、平成23年度と比較して処理電力が増加しているため、電力に関わるCO₂排出量は約120t上昇しているが、都市ガスの削減で約250t、高分子凝集剤使用量の削減で約20t減少しており、全体のCO₂排出量は145t削減された。

表6 夏期における処理に関わるCO₂排出量

	処理電力						都市ガス		高分子凝集剤		合計
	水処理		汚泥処理		合計						
	kWh	t-CO ₂	kWh	t-CO ₂	kWh	t-CO ₂	m ³	t-CO ₂	kg	t-CO ₂	t-CO ₂
H22	3, 221, 620	1, 231	3, 474, 700	1, 327	6, 696, 320	2, 558	113, 863	259	12, 086	79	2, 896
H23	2, 609, 640	997	3, 584, 700	1, 369	6, 194, 340	2, 366	181, 475	413	11, 481	75	2, 854
H24	3, 365, 270	1, 286	3, 148, 300	1, 203	6, 513, 570	2, 489	73, 298	167	8, 067	53	2, 709

※CO₂排出量算出式：電力（kWh）×0.000382、都市ガス（m³）×0.002277、高分子凝集剤（kg）×0.006534

5. 考察

下水処理における動力は、水処理だけでなく汚泥処理も含めた動力で規定されることより、水処理動力が上昇したとしても、その上昇分を汚泥処理でカバーできれば全体での動力削減につながる。

水処理とほぼ同程度の動力を要する汚泥処理は、水処理の手法によって処理動力が大きく異なる。このため、水処理動力を増やして放流水質の向上を図り、余剰汚泥の削減により汚泥処理動力の削減を図ることで、全体動力を削減することは十分可能であることが今回の検証で明確となった。

この効果は、活性汚泥の生物活性が高く汚泥の自己酸化が起き易い夏期に顕著であるが、それ以外の季節でも適用できる可能性は少なくない。また、この手法による効果の一つとして、公共用水域への負荷を削減することで、長期的スパンで考えると放流水域の生物多様性や親水価値の上昇につながる事が挙げられる。

6. まとめ

今回の取り組みでは、放流水の水質を良好に維持しながら、コスト削減と動力削減を図った。結果として、水処理動力は増加したが、それ以上に汚泥処理動力が削減されたため全体動力と処理コストは削減された。

一方、活性汚泥の自己酸化は想定通りに進まない状況の中で余剰汚泥の引抜量を減らしたことで、MLSSが高濃度となり、第二沈澱池からの汚泥流出リスクの上昇と、活性汚泥のりん含有率の上昇による降雨時の放流水りん濃度上昇のリスク増加が今後の課題として残った。

本手法による動力削減及びコストの削減は、活性汚泥の自己酸化を促進するため反応槽の負荷をある程度低い状態で一定に保つ必要があり、水処理施設に余裕のないセンターでは晴天時においても雨天時貯留池を使用するなど運転に困難を伴う。

また、汚泥処理を持たないセンターでは、水処理動力の上昇だけが結果として残ることから、実施は困難である。しかし、下水道局全体で評価すれば、各センターでの余剰汚泥削減による全体の汚泥処理動力の低下が、各センター個々の水処理動力の上昇を上回る可能性も十分考えられる。

今回の検証では、余剰汚泥の引抜量をそれまでの2/3程度に抑えたが、これが最適値かどうかは確認されていない。今回より若干余剰汚泥引抜量を増やすことで、水処理動力と汚泥処理動力の合計が最も低くなる条件が存在すると考えている。翌年度は、この最適値をみつけるための検証を行う予定である。

2-(2)-6 下水試料におけるヒドロキシルアミン測定方法の検討

環境管理課水質検査係

○栗原寛幸、広木孝行（現水道局）、宮島裕子、
宮澤敬夫（現環境管理課水質調査係）、林紀子、廣畑和幸、井上文恵、坂元忠明

1 はじめに

水処理過程での反応槽において、二酸化炭素の 310 倍の温室効果を持つ一酸化二窒素（以下、「 N_2O 」という。）の排出が知られている。当局ではアースプラン 2010 に基づき、 N_2O の排出抑制に向けた取り組みを行っている。しかし、 N_2O が水処理工程で生成する詳細な原因が解明されていないため、効率的に N_2O 排出抑制対策を行うことが困難な状況となっている。

そこで、当係ではアンモニアから N_2O になる過程の中間体として関与しているヒドロキシルアミンに注目し、その測定方法について検討した。

ヒドロキシルアミンの測定方法は、島根大学の福森ら¹⁾により報告されているが、これは環境水（淡水から海水まで）を対象とした方法である。今回、その方法が下水試料に適用可能かどうか検討を行った。

2 ヒドロキシルアミンの性質

図 1 のようにヒドロキシルアミン（以下、「 NH_2OH 」という。）は、アンモニアが窒素ガス、硝酸イオンや一酸化二窒素になる硝化・脱窒過程の中間体であり、 N_2O 生成の詳細なメカニズムを明らかにする上で極めて重要な化学種である。

ヒドロキシルアミンの水溶液は、空気存在下において pH 4 では数日間は安定であるものの、pH 7.8 では 60 分程度しか安定でないほど容易に酸化されやすく、非常に不安定な物質である。

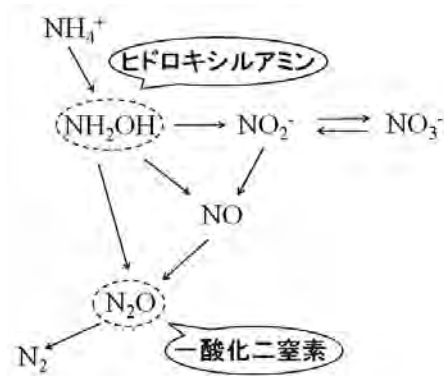


図 1 硝化・脱窒機構における NH_2OH

3 測定方法

3.1 概要

測定試料中の亜硝酸イオン（以下、「 NO_2^- 」という。）をジアゾ化及びアゾカップリングし、生成するアゾ色素を Sep-Pak C_{18} カートリッジ（以下カートリッジ）で取り除いた後、ヨウ素を用いてヒドロキシルアミンを NO_2^- に酸化する。生成した NO_2^- を再びアゾ色素に変換し、その吸光度を波長 545 nm で測定することにより、ヒドロキシルアミンを定量する。

3.2 試薬の調製及びカートリッジのコンディショニング方法

- ・ヒドロキシルアミン標準液（500 mgN/L）：塩化ヒドロキシルアンモニウム 0.2481 g を窒素置換した超純水に溶解し 100 mL とした。
- ・スルファニル酸溶液：スルファニル酸 2.10 g、酢酸ナトリウム 1.36 g を酢酸 60 mL および超純水 120 mL で加熱溶解した。冷却後、超純水を加え 200 mL とした。
- ・ナフチルエチレンジアミン溶液：N-1-ナフチルエチレンジアミン二塩酸塩 0.2 g を超純水に溶解し 200 mL とした。
- ・ヨウ素溶液：メノウ乳鉢ですりつぶしたヨウ素 0.072 g を酢酸 100 mL に溶解した。
- ・カートリッジのコンディショニング：2 mol/L 塩酸 5 mL、超純水 5 mL、メタノール 5 mL で洗浄した。使用時に、超純水 5 mL、空気 2 mL を順次通した。

3.3 操作手順

福森ら¹⁾の報告を参考にした操作手順を以下のフロー図に示した。今回、カートリッジのろ過速度、試料中の NO_2^- の影響、検量線、定量下限値について検討した。

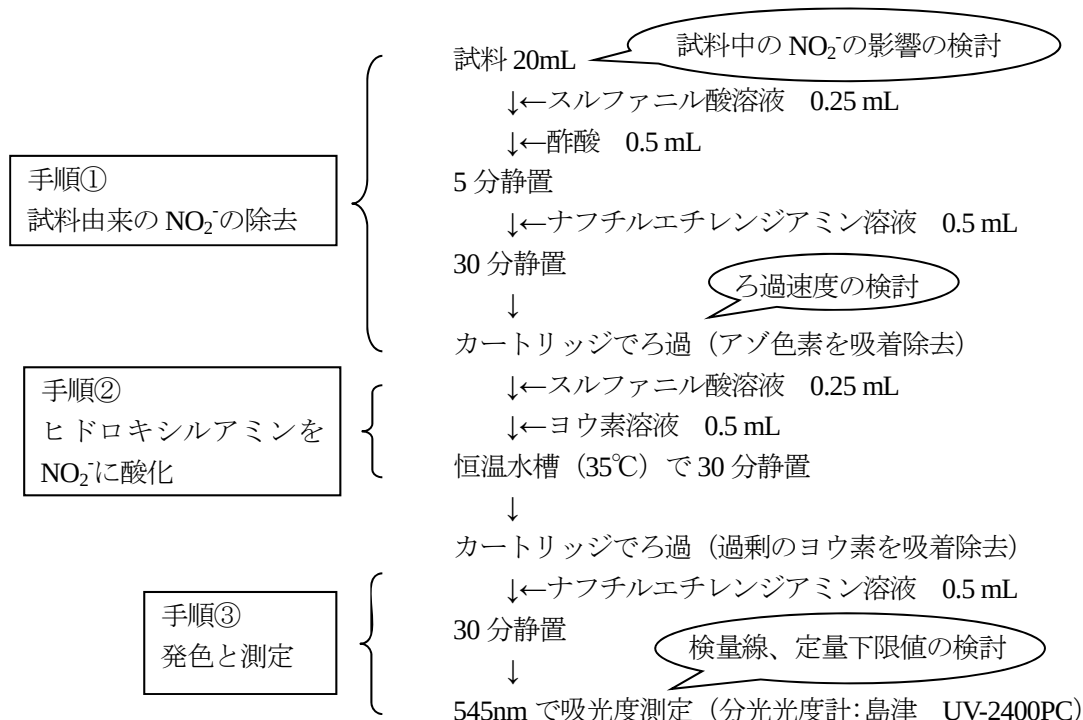


図2 操作手順

4 検討内容（超純水）

4.1 ろ過速度

4.1.1 目的及び方法

試料由来の NO_2^- から生成するアゾ色素を吸着除去する過程（手順①）においてろ液が着色してしまう事例があった。そこで、どの程度のろ過速度が適当かを検討した。

超純水を用いて亜硝酸性窒素濃度を 0.1 mg/L に調整した試料をアゾ色素に変換した後、カートリッジを取り付けた 20 mL シリンジに移し、ろ過速度を変えてろ過した。得られたろ液の吸光度を測定することにより、ろ過速度の検討を行った。検量線は亜硝酸性窒素濃度を $0.00, 0.01, 0.05, 0.10 \text{ mg/L}$ に超純水を用いて調整した試料により作成した。

4.1.2 結論

表1より、 20 mL の試料を1分以上かけてろ過（ 20 mL/分 以下の速度でろ過）することでアゾ色素をほぼ完全に除去できることがわかった。

また、ろ液が着色してしまったカートリッジは下部まで赤く着色していたので、ろ過を行う際にはカートリッジの着色状況に注目するのが有効と考えられた。

表1 ろ過速度と吸光度

ろ過時間	濃度 (mg/L)	吸光度	ろ液の状態 (目視)
12 秒	0.0512	0.630	濃いピンク
34 秒	0.0016	0.026	やや薄いピンク
1 分	0.0005	0.011	ほぼ透明
1 分 2 秒	-0.0004	0.001	透明
1 分 7 秒	-0.0002	0.003	↓
1 分 20 秒	-0.0003	0.002	

4.2 試料中の NO₂⁻の影響

4.2.1 目的及び方法

反応槽において高濃度の NO₂⁻が存在する可能性を考慮し、予備実験として超純水に亜硝酸性窒素 1 mg/L のみ添加した試料を用いて発色操作を行ったところ、本来発色するはずのない手順③で発色してしまうという事例があった。これは手順①において加えた試薬の当量以上に NO₂⁻が存在することが原因と考えられた。つまり、ろ過時にアゾ色素として吸着されずろ液の中に NO₂⁻のまま残留してしまい、手順③で発色したと想定される。そこで、通常の試薬量で対応できる亜硝酸性窒素濃度の検討を行った。

亜硝酸性窒素濃度を表 2 で示したように調整し、手順①後のろ液にスルファニル酸溶液 0.25 mL、ナフチルエチレンジアミン溶液 0.5 mL を加え発色させ、吸光度を測定した。検量線は亜硝酸性窒素濃度を 0.000, 0.001, 0.005, 0.010, 0.050, 0.100 mg/L に超純水を用いて調整した試料より作成した。

4.2.2 結果

表 2 より、亜硝酸性窒素濃度 0.5 mg/L までは残留する亜硝酸性窒素濃度は 0.0006 mg/L と定量下限値未満 (4.3 参照) となっていた。そこで、通常の試薬量で対応できるのは試料中の亜硝酸性窒素濃度が 0.5 mg/L までと考えられ、それ以上の試料については希釈して測定することにした。

表2 試料中の亜硝酸性窒素濃度と
手順①後の残留濃度

調整濃度 (mg/L)	残留濃度 (mg/L)	吸光度
0.0	0.0000	0.005
0.1	0.0005	0.012
0.5	0.0006	0.013
1.0	0.0027	0.040

4.3 検量線と定量下限値の検討

4.3.1 目的及び方法

4.2 までの検討結果をもとに検量線と定量下限値について検討を行った。検量線は超純水を用いてヒドロキシルアミン濃度を 0.000, 0.001, 0.004, 0.007, 0.010, 0.050, 0.100 mg/L に調整した試料より作成した。0.001~0.010 mg/L の 4 試料について n = 5 で併行試験^{注)}を行い、定量下限値は変動係数が 10%となる濃度より求めた。²⁾

^{注)} 併行試験とは、測定者、測定日、測定機器が同一である条件で繰返し試験を行うことをいう。

4.3.2 結果

検量線は図 3 に示したとおり 0.000~0.100 mg/L の範囲で良好な直線性が得られた。併行試験の結果は表 3 に示した。変動係数とヒドロキシルアミン濃度の相関関係のグラフを作成し (図 4)、変動係数が 10%となる濃度を求めたところ 0.0011mg/L となったので、定量下限値は 0.002 mg/L とした。

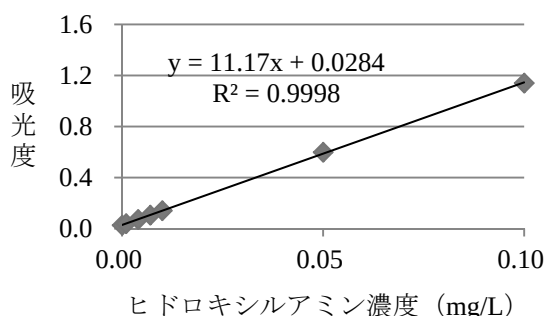


図3 ヒドロキシルアミンの検量線

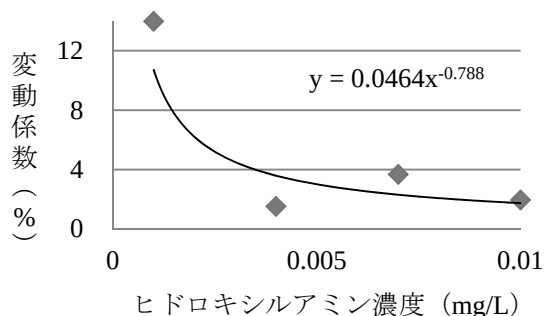


図4 ヒドロキシルアミンの濃度と変動係数

表3 併行試験の結果

調整濃度(mg/L)	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均値	標準偏差	変動係数(%)
0.001	0.0013	0.0013	0.0010	0.0012	0.0010	0.00115	1.60E-04	14
0.004	0.0042	0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.00412	6.33E-05	1.5
0.007	0.0075	0.0071	0.0069	0.0069	0.0070	0.00707	2.61E-04	3.7
0.010	0.0103	0.0102	0.0105	0.0099	0.0101	0.01020	2.00E-04	2.0

5 検討内容（反応槽試料）

5.1 添加回収実験

5.1.1 目的及び方法

反応槽試料を用いた添加回収試験を行うことにより、4 で検討した測定方法が適用可能かどうかを確認した。

中野水再生センターの反応槽 B、C、D 回路から採水し、0.45 µm メンブランフィルター（以下、MF）でろ過したものを試料とした。試料にはヒドロキシルアミン 0.05 mg/L を加えたものと無添加のものを調整し、両試料の濃度から回収率を求めた。

5.1.2 結果

表4に示すように、B、C、D 回路のいずれの無添加試料も定量下限値未満だった。また、添加した試料からほぼ全量のヒドロキシルアミンが回収できた。以上のことから、反応槽試料中に妨害物質は特にないものと推察され、本法が適用できると考えられた。

表4 反応槽 B～D 回路のヒドロキシルアミン濃度及び回収率

	測定濃度(mg/L)	回収濃度(mg/L)	回収率 (%)
B 回路	(0.0011)* ¹		
B+0.05 mg/L	0.0515	0.0504	101
C 回路	(0.0011)		
C+0.05 mg/L	0.0512	0.0501	100
D 回路	(0.0014)		
D+0.05 mg/L	0.0515	0.0501	100

*¹ () 内は定量下限値 0.002 mg/L 未満である。

5.2 固定方法

5.2.1 目的及び方法

反応槽試料を用いて固定する酸濃度およびろ過のタイミングについて検討した。

試料は中野水再生センターの反応槽 2 系 D 回路で採水した。あらかじめ試料 A : 5mg/L、試料 B : 10mg/L、試料 C : 20mg/L、試料 D :

40mg/L の濃度になるよう酢酸を加えたポリびんに 500 mL ずつ分取して酸固定し、そこにヒドロキシルアミンを 0.05 mg/L となるよう加えゆるやかに転倒混和した。そして、試料 A～D それぞれについて表5の①～④のろ過のタイミングを組み合わせ測定し、回収率を求めた。②と③では現場か試験室のいずれかでろ過することを想定し、30 分静置を行った。④に関しては現場で 5A ろ過まで行い、翌日に水質検査係で MF ろ過することを想定して行った。なお、試料 E として試料 B からヒドロキシルアミン添加前に 100 mL の試料を分取し、試料由来のヒドロキシルアミンの確認に用いた。

表5 ろ過のタイミング

①	5A ろ過	→	MF ろ過
②	5A ろ過	→ 30 分静置 →	MF ろ過
③	30 分静置	→ 5A ろ過 →	MF ろ過
④	5A ろ過	→ 24 時間静置 →	MF ろ過

*5A ろ過 : 5A ろ紙によるろ過

5.2.2 結果

結果を表6に示した。試料 E に関しては 0.0007 mg/L と定量下限値未満だったので、試料由来のヒドロキシルアミンは存在しないものと考えられた。

①、②については試料 B が、③、④については試料 C が最も高い回収率となった。従って固定時の

酢酸濃度は10～20 mg/L では差がなく良好なため、試薬量削減のため10 mg/L が適当と考えられた。

ろ過のタイミングについては③、④よりも①、②のほうがヒドロキシルアミンの回収率は高く、現場でただちに5A ろ過し、30 分以内にMF ろ過を行ったほうが良好な結果であった。なお、試料D-③についてはろ液に着色が見られた。

以上より、回収率と現場での作業性を考慮すると、現場で酢酸を10 mg/L となるよう添加した後、5A ろ過し、おおむね30 分以内を目安に試験室にてMF ろ過を行うのが望ましいと考えられた。

表6 各条件での回収率 (%)

	酢酸濃度(mg/L)	①	②	③	④
A	5	94	96	79	81
B	10	98	97	87	85
C	20	96	96	90	89
D	40	90	92	-	87

6 まとめと今後の課題

今回の調査結果から以下の3点を行うことにより、下水試料への適用が可能となることがわかった。

- ①カートリッジのろ過速度を20 mL/分以下にすること。
- ②試料中の亜硝酸性窒素濃度が0.5 mg/L 以上の場合は希釈して測定すること。
- ③試料の固定方法は酢酸を10 mg/L となるよう添加した後、現場で5A ろ紙でろ過し、おおむね30 分以内を目安に試験室にてMF ろ過を行うこと。

現在、水質調査係と協力し、本測定法により硝化状況(NH_4^+ 、 NH_2OH 、 NO_2^- 、 NO_3^- の挙動)と N_2O の発生状況との関連について調査中である。引き続き N_2O 削減の一助となるよう、本測定法を活用していきたい。

参考文献

- 1) 福森ら、BUNSEKI KAGAKU Vol. 52, No. 9, pp. 747-753 (2003)
「固相抽出法による環境水中ヒドロキシルアミンの前処理及び前濃縮／吸光光度定量法」
- 2) 日本水道協会 上水試験方法 2011 年版 総説編 p 72-80

2-(3)-1 反応槽流動シミュレーションを用いた新規施設の立上げ

(事例報告)

流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター
和光 一紀、真島 徳男、岩井 毅大、吉本 圭子

1. はじめに

多摩川における良好な水環境の創出等を目的とし、東京都下水道局では流域下水道本部の各水再生センターへの高度処理導入を推進している。北多摩二号水再生センターにおいても、4系列ある反応槽施設の1つを標準活性汚泥法からステップA₂O法に改良し、平成24年9月に稼働させた。この際、当該反応槽の処理能力が施設全体の平均受水量(約40,000m³/d)の約5割を占めることから、初期の活性汚泥確保や受水量の割当等に課題が生じた。そこで、作業に先立ち、槽内の活性汚泥の流動に関する計算モデルを作成してシミュレーションを実施し、作業内容の検証・修正を行った。これにより、他系列の反応槽の処理状況に大きな影響を与えることなく、短時間で処理に必要な活性汚泥を確保することが出来た。本稿は、これら一連の作業経過について報告するものである。

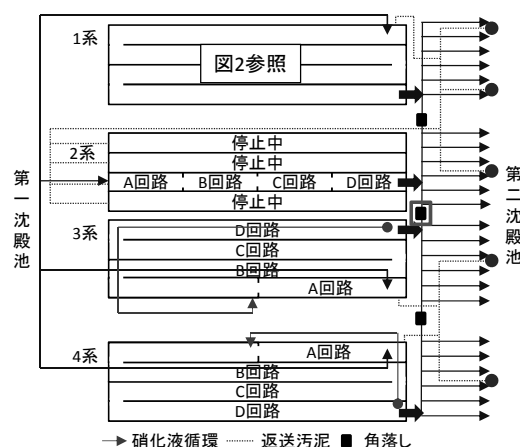


図1 反応槽施設平面図

2. 1系反応槽立上げ

2.1 立上げに際しての課題と対策のアウトライン

図1に当センターの反応槽施設の平面図、図2に今回立上対象とした1系反応槽の詳細な平面図、表1に反応槽各系列の処理方式・能力を示す。1系反応槽は、上流部から嫌気槽、第一無酸素槽、第一好気槽、第二無酸素槽、第二好気槽で構成され、処理能力は4系列ある反応槽のうち最大である。反応槽流入水は、嫌気槽のほか第二無酸素槽にもステップ流入し、同槽へ脱室に必要な有機物を供給する。これにより、第一好気槽のMLSSが第二好気槽と比較して高濃度となることから、槽容量は第一好気槽

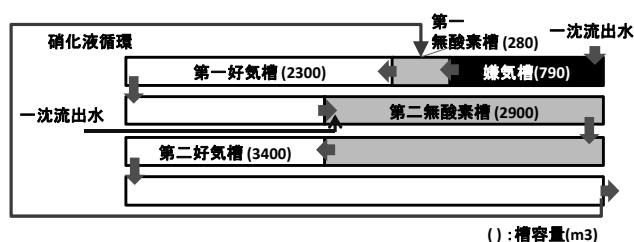


図2 1系反応槽平面図

表1 処理方式・処理能力

	1系	2系(※)	3系	4系
処理方式	高度処理 (ステップA ₂ O)	標準法 (制限曝気)	準高度処理 (制限曝気A ₂ O)	高度処理 (A ₂ O)
処理能力(m ³ /d)	22,400	20,500	20,500	15,500
槽容量(m ³)	9,670	9,670	9,670	9,670

※1系列のみ稼働中、実質処理能力約5,000m³/d

＜第二好気槽となっている⁽¹⁾。また、小さい硝化液循環比で高い窒素除去率が得られることから、硝化液循環ポンプは小さく、それに合わせて第一無酸素槽の槽容量も小さい。

当該反応槽施設の立上げに際し、局内の先行事例等から、稼働初期の段階で反応槽の MLSS を 1000mg/L 程度とする必要があると考えられた。また、処理能力が相対的に大きく、稼働初期であっても良好な水質を維持する必要があったことから、汚泥転送等の立上げに関する作業は短時間で実施するのが望ましかった。一方で、大容量の返送汚泥ポンプを用いて活性汚泥を転送することが可能なのは実質槽容量が小さい 2 系からに限られた。このため、第二沈殿池への導水渠の 2・3 系間角落し（図中、四角で囲った部分、以下単に角落し）を撤去し、3 系活性汚泥の一部を 2 系第二沈殿池経由で 1 系へ転送することとした。また、受水量が少なく 1～4 系すべての反応槽を運転することが困難だったことから、2 系反応槽については槽内の活性汚泥をすべて 1 系へ転送した後、停止することとした。

2.2 反応槽立上げ準備

2.2.1 作業計画の作成

立上げに関する作業は、9 月 3 日 10:00 から 24 時間かけて実施することとし、この間の 1 系反応槽への積算流入水量が反応槽容量を下回るように、流入水量と転送汚泥量を各 200m³/h に設定した（表 2）。作業終了後、2 系反応槽を停止して 1 系反応槽への流入水量を徐々に増やすこととし、当面の間、硝化液循環は行わないこととした。

表 2 設定流入水量・転送汚泥量

	流入水量(m ³ /h)				転送汚泥量(m ³ /h)
	1系	2系	3系	4系	2系→1系
9/3 10:00～	200	300	900	600	200
9/4 10:00～	200	0	1100	700	0
13:00～	500	0	900	600	0

作業終了後、2 系反応槽を停止して 1 系反応槽への流入水量を徐々に増やすこととし、当面の間、硝化液循環は行わないこととした。

2.2.2 作業計画の検証

角落しが無い状態で活性汚泥を転送すると、3 系 MLSS が過剰に低下する恐れがあった。このことから、事前にシミュレーションを実施し、作業計画の検証を行った。

(1) 計算モデルの作成

連結した n 個の完全混合槽から成る反応槽について、そのうちの一つの混合槽の MLSS 経時変化は、物質収支の考え方に基づき①式のように表すことができる。これを差分展開すると②式のようになることから、上記のような完全混合槽の MLSS は、基準時間(t=0)における MLSS と流入水量から求まる。ここで、当センターの反応槽についても、隔壁ごとに完全混合槽が連結したものとみなせることから、槽内の MLSS 経時変化は①・②式に従うと考えた。当式を実施設に適用するに際し、事前に再現性を確認するため、水処理模型を用いた実験を行った。

①再現性の確認実験

$$\frac{dC_{n,t}}{dt} = \frac{1}{V_n} \times \frac{dS_{n,t}}{dt} \cdots \textcircled{1}$$

$$C_{n,t+1} = C_{n,t} + \frac{1}{V_n} \times (S_{n,t+1} - S_{n,t}) \cdots \textcircled{2}$$

C: MLSS(mg/L) S: 汚泥量(g)

V: 槽容量(m³) n: 槽番号 t: 時間ステップ

【計算に用いた式】

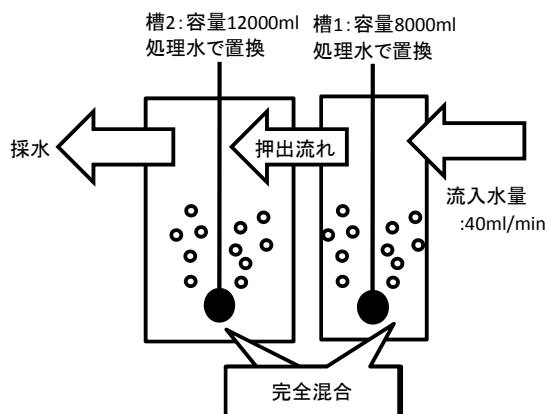


図 3 実験概略図

表 3 水処理模型実験条件

	MLSS(mg/L)	流入水量(mL/min)
流入水	50	40
流入汚泥	4000	20

水処理模型として、図 3 のように 8,000ml と 12,000ml の模擬反応槽が連結した、容量 20,000ml のもの（しゅりえもん）を用いた。この模擬反応槽のそれぞれに、高級処理水を満たした状態で 2 系返送汚泥と第一沈殿池流出水（以下、流入水）を同時流入させ、水処理模型流出水の MLSS を一定時間毎測定した。実計画に近い流入水量と流入汚泥量の割合となるよう、表 3 のような実験条件とし、完全混合状態確保のため各槽では十分なエアレーションを行った。

②実験結果

図 4 に MLSS の実測値と計算値を示す。実測値について、実験開始 1 時間後は 31mg/L と低かったが、徐々に増加し、槽内の高級処理水が流入水と活性汚泥に置き換わる 6 時間経過後に 720mg/L となった。計算値は実測値とおおむね一致しており、今回使用した計算モデルで水処理模型内の活性汚泥の流動状況を説明できた。このことから、本計算モデルを用いて、汚泥転送中の 1～3 系の MLSS の挙動を予測することとした。

(2) 汚泥転送中の MLSS 予測

1～3 系について隔壁毎に計算格子を切り、各格子に実際の容量を与えた（表 4、図 5）。これと、表 2 に示す流入水量等を基に、汚泥転送中の MLSS を計算した。ここで、反応槽出口以下は、図 6 のように 2・3 系からの流出水が導水渠で混合してからそれぞれの第二沈殿池に流入するものとした。また、MLSS の初期値を 2 系で 1500mg/L、3 系で 2000mg/L とし、2 系第二沈殿池からは活性汚泥を全量 1 系反応槽へ、3 系第二沈殿池からは 240m³/h を 3 系反応槽へ返送す

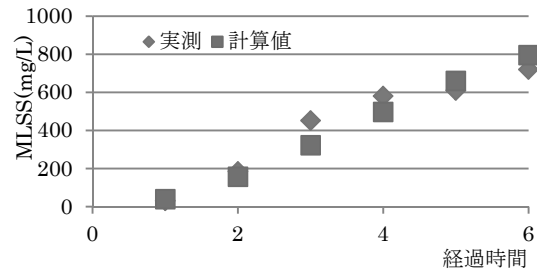


図 4 MLSS の実測値・計算値比較

表 4 計算格子番号と容量

1系		2系		3系	
番号	容量(m3)	番号	容量(m3)	番号	容量(m3)
①	790	①	640	①	1280
②	280	②	640	②	1280
③	662	③	640	③	1280
④	662	④	640	④	1280
⑤	662			⑤	1280
⑥	331			⑥	1280
⑦	729			⑦	1280
⑧	729			⑧	1280
⑨	729				
⑩	729				
⑪	306				
⑫	612				
⑬	612				
⑭	612				
⑮	612				
⑯	612				

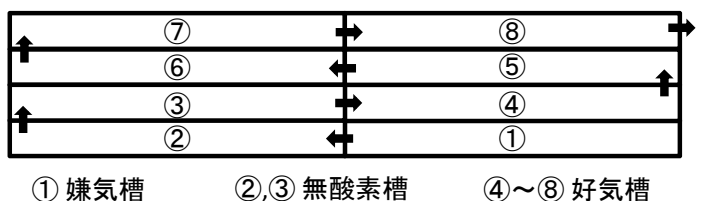
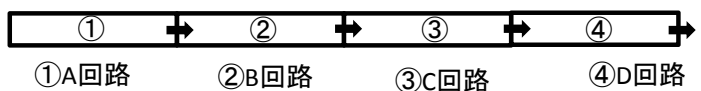
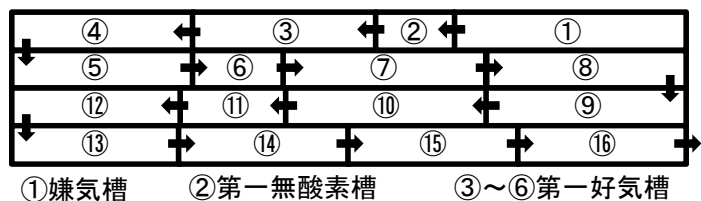


図 5 各系列の計算格子番号（上段から 1・2・3 系）

る条件とした。なお、余剰汚泥量については、量が少ないことから計算条件から除外した。計算結果を図 7 に示す。

図 7 より、計算結果では、9 月 3 日 16:00 ごろには 1 系の MLSS がほぼ 1000mg/L に達する一方、翌日 9 月 4 日 9:00 には 3 系の MLSS は 500mg/L 程度まで低下した。このことから、当初のスケジュールでは 3 系の MLSS が下がりすぎてしまうと考え、見直しを行った。

(3) 事前に角落しを撤去した場合の MLSS 予測

角落しを設置したまま活性汚泥を転送して 1 系 MLSS を目標の 1000mg/L 以上とするには、2 系 MLSS を通常 1500mg/L 程度のところを 4000mg/L 以上にする必要があると考えられた。ここで、通常運転時に角落しを撤去すると、処理水量の違いにより 2 系 MLSS が上昇し、3 系 MLSS は減少することが予想されたことから、角落しの撤去により 2 系 MLSS を高める方法について、シミュレーションで検証した。流入水量等は通常時の値(表 5)を基に設定し、計算式は前述のものを使用した。

図 8 に結果を示す。角落しの撤去後、2 系 MLSS は 4500mg/L 程度で一定となると推定できた。また、3 系 MLSS も 1000mg/L 以上維持できると考えられたことから、処理への影響は小さいと判断した。これらから、角落しについて、汚泥転送日以前に撤去し、2 系 MLSS の上昇を確認した後再設置することとした。

2.2.3 角落し撤去および再設置

角落しの撤去を 8 月 29 日 14:00 に実施した。翌 8 月 30 日 17:00 の 2・3 系 MLSS は、それぞれ 3800mg/L、1200mg/L とほぼ想定通りの結果となった。この間の両反応槽出口における MLSS について、実際の水量等を基に計算した結果と、実測値を比較した結果を図 9 に示す。両者はおおむね一致しており、本計算モデルは、実施に適用した場合も良好な精度を維持する

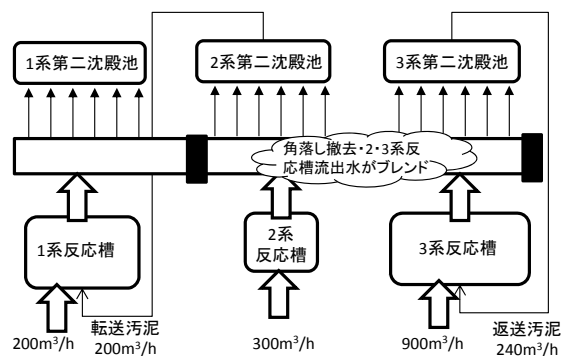


図 6 汚泥転送の概念図

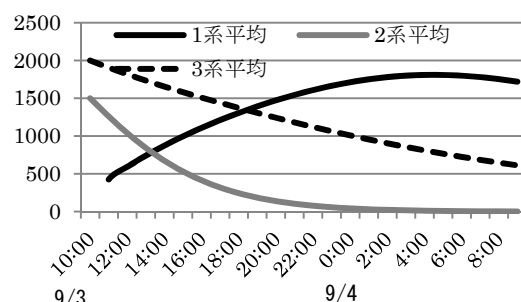


図 7 汚泥転送中の MLSS (mg/L)

表 5 通常時の運転条件

	流入水量	硝化液循環量	返送汚泥量	MLSS
2 系	200 m³/h	---	150 m³/h	1500 mg/L
3 系	1100 m³/h	700 m³/h	240 m³/h	2000 mg/L

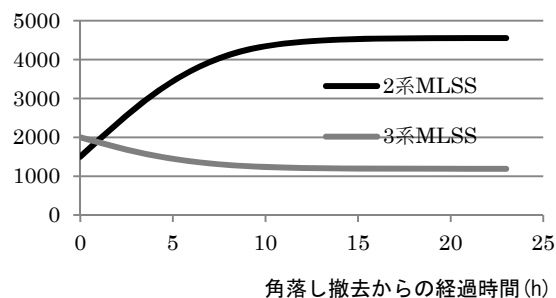


図 8 角落し撤去後の MLSS 予測 (mg/L)

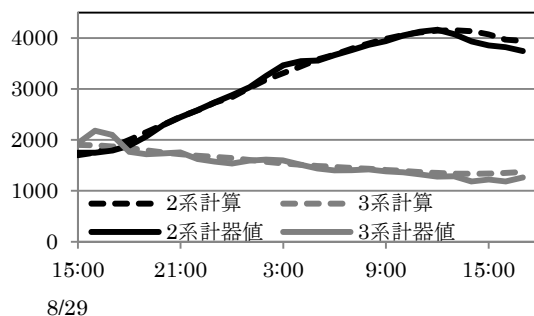


図 9 角落し撤去後の MLSS 挙動 (mg/L)

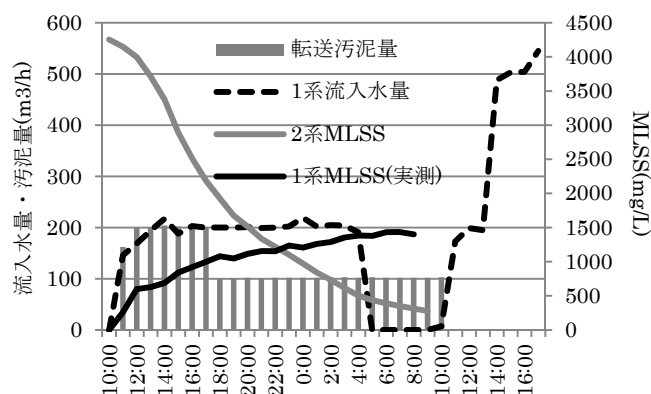


図 10 反応槽立上げ時の流入水量・転送汚泥量・MLSS

ことが示された。なお、角落しの再設置を行った 8 月 31 日 9:00 には 2 系 MLSS は 4000mg/L を超え、目標とした 1 系 MLSS1000mg/L が達成できる状況となった。

2.3 反応槽の立上げ

2.3.1 立上げ結果

(1) 汚泥転送及び 2 系反応槽の停止

1 系反応槽への活性汚泥転送作業は、表 2 の計画を原則とし 9 月 3 日 10:00～4 日 10:00 に実施した。図 10 に作業中の転送汚泥量、1 系流入水量及び 1・2 系 MLSS を示す。ここで、1 系 MLSS は 3 日 10:00～4 日 8:00 に槽内 5 か所(嫌気槽末端・第一好気槽末端・第二無酸素槽末端・第二好気槽中間・第二好気槽末端)で 1 時間ごと連続測定した結果の平均値、2 系 MLSS は反応槽末端に設置してある計器の計測値である。1 系 MLSS について、汚泥転送開始後、3 日 18:00 には 1000mg/L を上回り、4 日 8:00 には約 1400mg/L まで上昇した。その後、2 系 MLSS がほぼゼロとなった同日 10:00 に活性汚泥の転送を終了し、2 系反応槽への下水の流入を停止した。それと同時に 1 系反応槽への汚泥返送を開始し、15:00 には流入水量を 500m³/h に増量した。

2.3.2 活性汚泥転送作業の再現計算

前項で用いた計算モデルによる 1 系反応槽内の活性汚泥流入・拡散状況の再現を試みた。具体的には、まず、1 系流入水量、2 系からの汚泥転送量(図 10)及び嫌気槽の MLSS 実測値を基に、槽内の MLSS 経時変化を計算した。次に、嫌気槽以外の 4 か所における MLSS 実測値と計算値との比較を行い、計算結果の再現性を確認した。最後に、すべての計算格子について

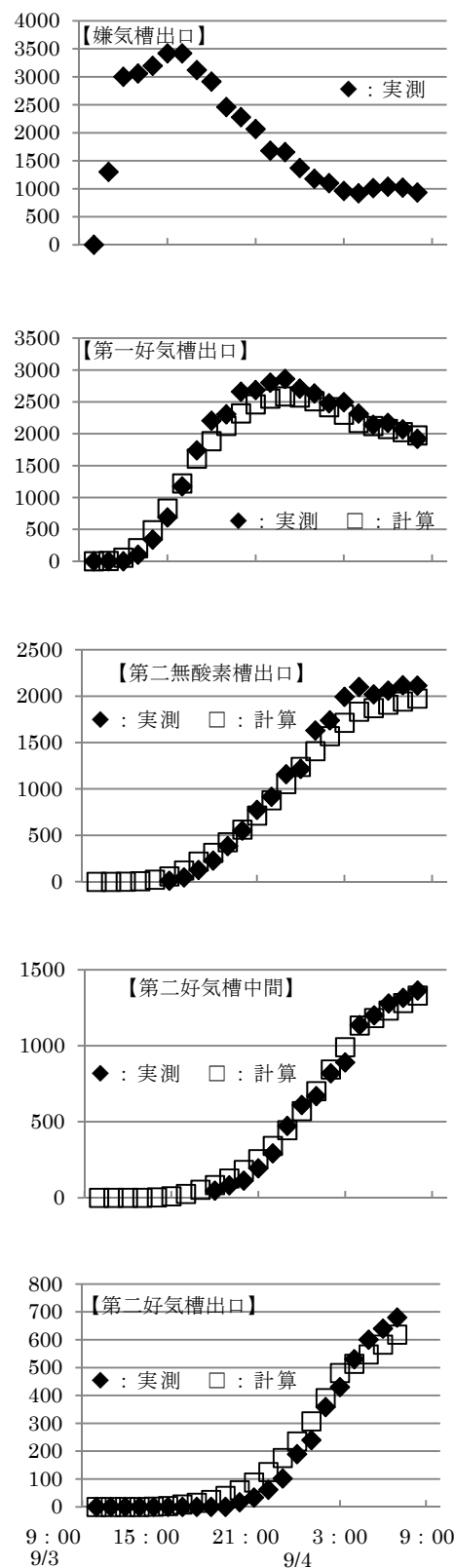


図 11 反応槽立上げ時の
1 系 MLSS 濃度 (mg/L)

MLSS 濃度の経時変化を算出し、活性汚泥の流動状況を図化した。なお、計算格子、容量等の条件は前項以前のものを使用した。

図 11 に、MLSS 実測値と計算値の比較を示す。嫌気槽の MLSS は汚泥転送開始と同時に急上昇し、14:00 に最大で 3500mg/L 程度となりその後低下した。これを受け、第一好気槽出口では、21:00 ごろに最大となり、その後低下した。一方、第二無酸素槽、第二好気槽では、MLSS は上昇を続け、第二好気槽末端では、9 月 4 日 8:00 に 680mg/L となった。第一好気槽出口以下の計算値は実測値とおおむね一致しており、再現性は良好だった。

図 12 は、各計算格子の MLSS 計算結果を水平方向に番号順にならべ、鉛直方向にそれぞれの時系列変化を示したものである。同図に見られるように、作業開始後直後、嫌気槽～第一無酸素槽にとどまっていた活性汚泥は、時間の経過とともに第一好気槽、第二無酸素槽、第二好気槽へと移動しながら拡散していき、9 月 4 日 8:00 には、ほぼ槽内全体に広がった。このように、計算モデルを用いたシミュレーションにより、立上げ作業中の活性汚泥の流動状況を詳細に把握することが出来た。

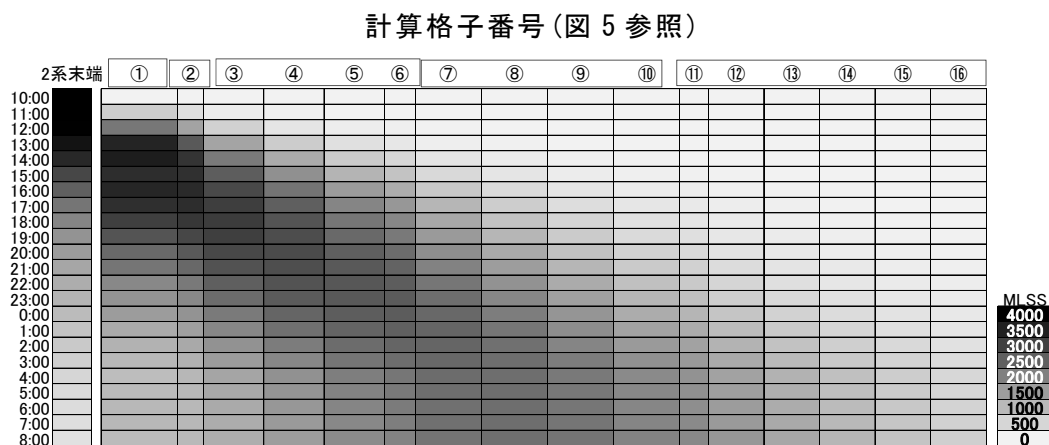


図 12 1 系反応槽内 MLSS 分布計算結果 (mg/L)

3 まとめ

反応槽内の流動を適切に再現する簡易な計算モデルを用い、作業スケジュールを検証・修正することで、作業をより適切なものとすることができた。また、同計算モデルを用いることで、新規反応槽において活性汚泥が流入し、移流していく様子を再現し図化することができた。

今回用いた計算モデルは、隔壁ごとの完全混合と押出し流れの組合せという理想的な流動条件において成立するものであることから、1 系反応槽は、それに近い流動特性を持つものと考えられる。この点が明らかになったことは本調査の持つ意義の一つであると考ええる。また、本計算モデルを用いた流動シミュレーションは、その簡便さから他のセンターにおいても活用可能と思われる。このため、今後は、日常の運転管理への活用など、本計算モデルの適用の幅を広げていきたいと考えている。

参考文献

- (1) 計画調整部,ステップ流入式嫌気—無酸素—好気法設計マニュアル(案),平成 14 年 3 月

2-(3)-2 森ヶ崎水再生センター東施設におけるりん除去性能低下の

原因追究とその対策に向けた取り組みについて

森ヶ崎水再生センター

西谷内光春、窪田勝之、坂牧実、河野由美、高山恒一、佐藤義文、松井駿佑、横田義春

1. はじめに

森ヶ崎水再生センターにおける最大の課題は、東施設の処理水のりん濃度が高めに推移していることである。

東施設の各系統反応槽流出水のりん酸性りん濃度を表1に示す。これを見ると、標準法で処理する1,2系に比べ、りん除去を目的にしたAO（Anaerobic-Oxic：嫌気-好気）法、A₂O（Anaerobic-Anoxic-Oxic：嫌気-無酸素-好気）法で処理する3,4系のりん酸性りん濃度が高いことがわかる。

今回はその原因を追究するとともに、3,4系反応槽流出水のりん酸性りん濃度を低くする対策を検討した。

表1 東施設の各系統反応槽流出水のりん酸性りん濃度(2011年10月～2012年9月)

系統	反応槽		りん酸性りん濃度(mg/L)
1系	1～3号槽	標準法	0.5
2系	4～6号槽		0.8
3系	7,8号槽	AO法	1.4
4系	9,10号槽	A ₂ O法	1.6

2. 生物学的りん除去における有機酸の役割

活性汚泥を用いた生物学的りん除去は、菌体内にりんを多量に蓄積するりん蓄積細菌の性質を利用して行われる。

りん蓄積細菌は、嫌気槽では体内に蓄積したりんを放出し、そのときに生成するエネルギーを用いて有機物（主に有機酸）を体内に取り込む。次いで好気槽では、嫌気槽で取り込んだ有機物の一部から得られるエネルギーを用い、放出した量より多くのりんを体内に取り込む。このように、りん蓄積細菌が有機酸を利用してりんを過剰摂取することにより、りんが除去される。

有機酸とは、酢酸、プロピオン酸、酪酸などのことで、生物学的りん除去には有機酸が必須であること及び下水汚泥などの腐敗過程で有機酸が生成することが知られている。

3. 3,4系反応槽流出水のりん濃度が高い原因

3.1 反応槽流入水のりん酸性りん及び有機酸濃度

各系統反応槽流入水のりん酸性りん及び有機酸濃度を表2に示す。これより、以下のことがいえる。

- 反応槽流入水のりん酸性りん濃度は、1,2系に比べ、3,4系の方が高い
- 有機酸濃度は、3,4系の方が低い

3,4系反応槽流出水のりん酸性りん濃度が1,2系よりも高くなるのは、反応槽流入水の水質の違いが原因ではないかと考えられる。

表 2 各系統反応槽流入水のりん酸性りん及び有機酸濃度(2012 年 5 月～10 月)

系統	りん酸性りん濃度(mg/L)	有機酸濃度(mg/L)
1系	3.0	12.1
2系	3.6	9.5
3系	3.9	6.4
4系	3.9	7.6

3. 2 各系統反応槽流入水の濃度に差が出た理由

各系統反応槽流入水のりん酸性りん及び有機酸濃度に差が出た理由を考えた。

東施設の汚水の流れの概略図を図 1 に示す。西施設から東施設への送水（東送水）と汚泥処理返流水は旧着水井へ流入する。他方、東糞谷ポンプ所からの送水（東糞谷ポンプ所）と南部スラッジプラントからの返流水（南プラ返流水）等は新着水井へ流入する。2 つの着水井からの流出水は第一沈殿池の手前で合流し、第一沈殿池を経て反応槽へ流れていくが、その過程で均一に混ざるのではなく、位置関係上、旧着水井の流出水は 1, 2 系側へ、新着水井の流出水は 3, 4 系側へ流入しやすくなっている。

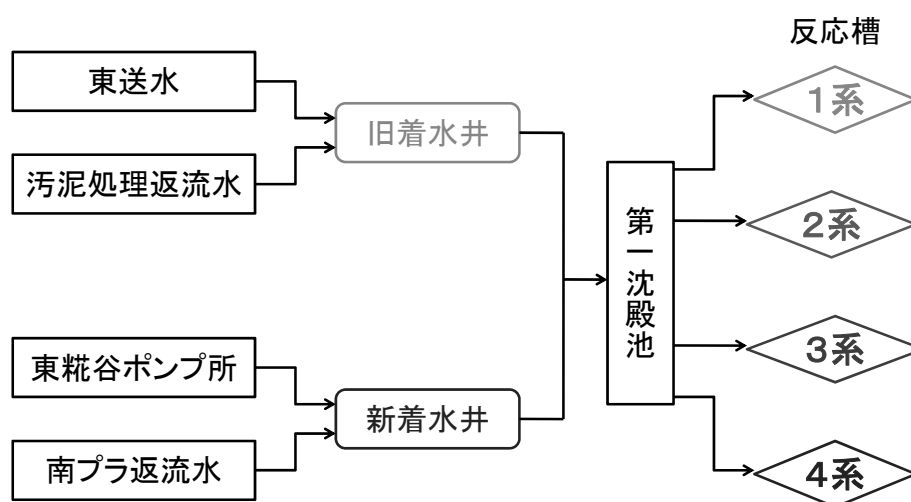


図 1 東施設の汚水の流れの概略図

各流入水のりん酸性りん濃度、有機酸濃度及び水量を表 3 に示す。

1, 2 系側へ流入しやすい東送水と工場返流水では、りん酸性りん濃度は水量の多い東送水が低く、有機酸濃度は両方とも高い。

一方、3, 4 系側へ流入しやすい東糞谷ポンプ所と南プラ返流水では、りん酸性りん濃度は南プラ返流水が群を抜いて高く、有機酸濃度は水量の多い東糞谷ポンプ所が群を抜いて低い。

これらより、3, 4 系反応槽流入水では 1, 2 系に比べ、りん酸性りん濃度は高く、有機酸濃度は低くなっていると考えられる。

表 3 各流入水のりん酸性りん濃度、有機酸濃度及び水量
(2012 年 5 月～2012 年 10 月)

流入水の種類	反応槽への 流入のしやすさ	りん酸性りん 濃度(mg/L)	有機酸濃度 (mg/L)	水量 (万m ³ /日)
東送水	1, 2系側	1.7	17.6	21.1
汚泥処理返流水		4.1	27.9	4.0
東糞谷ポンプ所	3, 4系側	1.5	1.8	61.4
南プラ返流水		20.9	19.9	10.0

4 3, 4 系反応槽流出水のりん濃度を低くする対策

4. 1 実験方法

3, 4 系反応槽流出水のりん濃度を低くする対策として、第一沈澱池流入水を一定期間溜置き腐敗させることによって、有機酸濃度を上昇させた水を反応槽に流入させてみた。具体的には、第一雨天時貯留池 2 号池に第一沈澱池流入水 25,000m³ を 10 日間溜置き、10 月 10 日 12 時から 11 日 3 時までの 15 時間、流量約 1,700m³/h (ポンプ最大能力) で新着水井に連続投入した (表 4)。新着水井の流量に対する溜置きした水の流量の割合は、約 5.4% と計算される。なお、この投入実験は、前後の期間を含め、降雨の影響がない期間を選んだ。

溜置きした水を投入する直前、10 日 10 時における 3, 4 系反応槽流出水の状態を表 5 に示す。

表 4 実験方法

溜置き水量	25,000m ³
溜置き期間	10日間
投入期間	10月10日12時～11日3時 (15時間)
投入水量	約1,700m ³ /h

表 5 3, 4 系反応槽流出水の状態

	3系	4系
MLSS(mg/L)	1,200	1,030
DO(mg/L)	2.4	2.5
りん酸性りん濃度 (mg/L)	2.7	2.7

4. 2 実験結果

4. 2. 1 溜置きした水の影響期間

反応槽入口、出口における溜置きした水の影響期間を推定した (図 2)。第一沈澱池、反応槽の滞留時間はそれぞれ約 3 時間と約 10 時間であることから、10 日 12 時に新着水井に投入された水は、第一沈澱池を通り反応槽入口に達するのが 15 時、反応槽出口に達するのが 11 日 1 時と計算される。よって、反応槽出口でその影響が出るのは、11 日 1 時から 16 時までと推定される。

日		10日							11日								
時		10	12	14	16	18	20	22	0	2	4	6	8	10	12	14	16
投入期間																	
反応槽	入口																
	出口																

図2 反応槽入口、出口における溜置きした水の影響期間（推定）

4. 2. 2 有機酸濃度

第一沈澱池流入水を10日間溜置きした結果、有機酸濃度が76mg/L（通常の7～8倍）に上昇した。

溜置きした水の投入前と投入影響期間中の反応槽流入水の有機酸濃度を表6に示す。3系は0.0から9.1mg/Lに、4系は0.0から9.7mg/Lに増えたことがわかる。

表6 投入前と投入影響期間中の反応槽流入水の有機酸濃度（mg/L）

	3系	4系
投入前 （10日10時）	0.0	0.0
投入影響期間中 （10日16時）	9.1	9.7

4. 2. 3 リン酸性りん濃度

りん酸濃度計器で連続測定された3, 4系反応槽流出水のりん酸性りん濃度の経時変化を図3に示す。図2より、反応槽出口における溜置きした水の投入影響期間は11日1時から16時であり、その期間に3, 4系ともりん酸性りん濃度が急激に低下した。

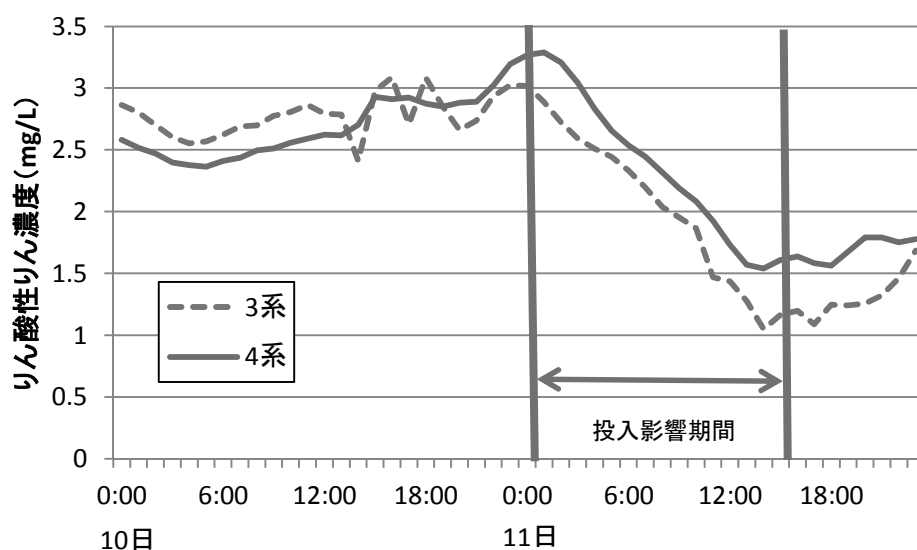


図3 3, 4系反応槽流出水のりん酸性りん濃度の経時変化

5 結論

5. 1 3, 4系反応槽流出水のりん濃度が高い原因

りん除去を目的にしたAO法、A₂O法で処理する3, 4系の反応槽流出水のりん酸性りん濃度が、標準法で処理する1, 2系よりも高くなる原因は、反応槽流入水の水質の違いではないかと考えた。1, 2系に比べ、3, 4系の反応槽流入水のりん酸性りん濃度は高く、有機酸濃度は低い。

これは、水質の異なる 2 つの着水井（旧着水井及び新着水井）からの流入割合が 1, 2 系と 3, 4 系とで違うためである。

5. 2 3, 4 系反応槽流出水のりん濃度を低くする対策

第一沈澱池流入水を一定期間溜置き腐敗させることによって、有機酸濃度を上昇させた水を反応槽に流入させたところ、反応槽流入水の有機酸濃度が高くなり、反応槽流出水のりん酸性りん濃度が低下した。反応槽流入水の有機酸濃度を高めることで、りん除去が効果的に行われることがわかった。

6 おわりに

3, 4 系反応槽流入水の有機酸濃度を上昇させるための方策を検討した。

- 有機酸濃度の低い新着水井流入水と有機酸濃度の高い旧着水井流入水とが均一に混ざる施設の設置
- 有機酸濃度の高い汚泥処理返流水の新着水井への投入

今後は、更なるりん除去の知見を得るとともに、上記の施設変更等を総合的に考え、東施設の処理水のりん濃度を低くしていきたい。

2-(3)-3 北多摩二号水再生センターにおける疑似 A₂O 法と

A₂O 法の比較調査

流域下水道本部技術部北多摩二号水再生センター

吉本圭子、渡瀬誠司、佐藤義文、真島徳男

1. はじめに

北多摩二号水再生センターでは、高度処理にともなう消費電力量の増加を抑え、A₂O 法施設と同等程度の処理水質を得る目的で、平成 22 年度に水処理 3 系反応槽の散気板の一部を更新し、隔壁及び硝化液循環ポンプを設置する改良工事を実施し、平成 23 年 2 月 21 日から 3 系を疑似 A₂O 法施設として運用を再開した。

新たな施設が稼働したことから、北多摩二号水再生センターで過去に行った調査を踏まえ、疑似 A₂O 法と A₂O 法の反応槽の性能比較調査を実施したので、その結果を報告する。

2. 施設概要

水処理 3 系と 4 系（第一沈殿池を除く）の概要を表 1 及び図 1 に示す。

表 1 3 系と 4 系の反応槽及び第二沈殿池の概要

	項目	単位	3系 準高度処理 (制限曝気A ₂ O法)	4系 (A ₂ O法)
反応槽	長	m	47.4	47.4
	幅	m	6.8	6.8
	有効水深	m	7.5	7.5
	有効容量	m ³	9,670	9,670
	(疑似)嫌気	m ³	1,209	907
	嫌気・無酸素両用	m ³	—	907
	(疑似)無酸素	m ³	2,418	2,418
	好気	m ³	6,044	5,440
	散気方式		片側旋回流	片側旋回流
	散気水深	m	4.5	4.5
散気板	疑似嫌気		300 μ × 24枚	—
	疑似無酸素		300 μ × 48枚	—
	好気		260 μ × 2,820枚	300 μ × 1,099枚
攪拌機			—	5.5kw × 8台・3.7kw × 2台
返送汚泥ポンプ			7.1m ³ /min × 2台	6.3m ³ /min × 2台
硝化液循環ポンプ			3.6m ³ /min × 2台	6.0m ³ /min × 3台
第二 沈殿池	長	m	54.6	
	幅	m	27.5	
	有効水深	m	2.8	
	有効容量	m ³	4,200	
	水面積	m ²	1,500	
	堰長さ	m	199.1	

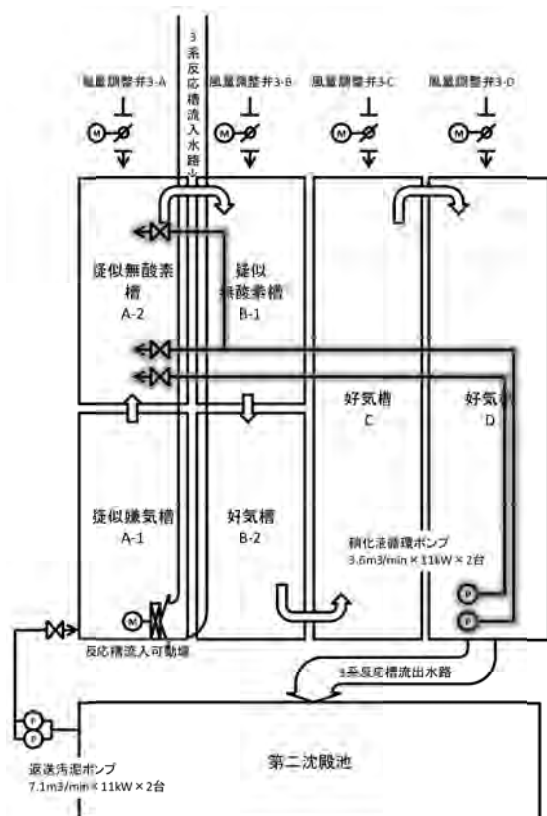
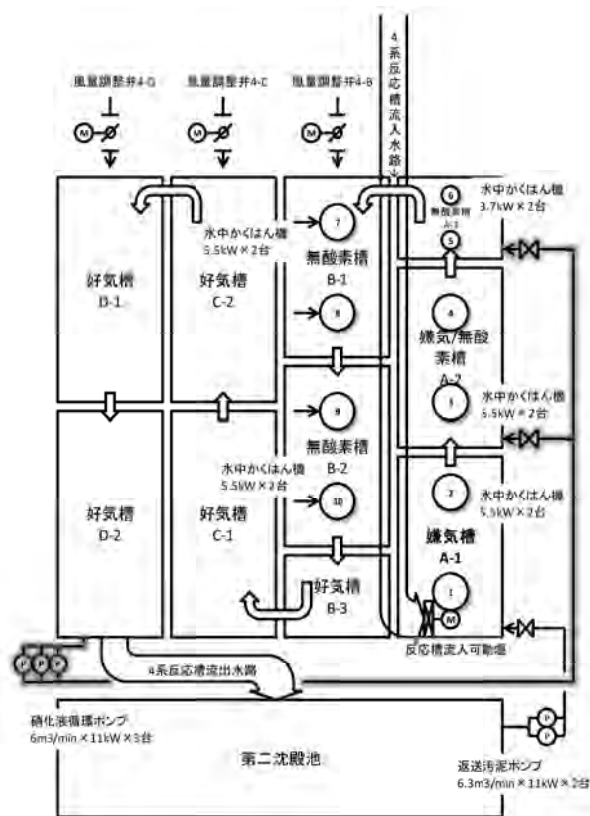
3 系：疑似 A₂O 法4 系：A₂O 法

図 1 反応槽と第二沈澱池の概要

疑似 A₂O 法に改良した 3 系反応槽の主な改造箇所は、以下のとおりである。

- (1) A 回路中間と B 回路中間に隔壁を設置（開口部：縦 2m、横 1m）
- (2) 1 系反応槽から硝化液循環ポンプ 2 台を移設
- (3) 疑似嫌気槽と疑似無酸素槽の散気板のうち、表 1 を除いた部分を閉止板で閉塞
- (4) 好気槽の散気板を高密度配置型に更新

3. 調査方法

平成 23 年 8 月から平成 24 年 2 月まで月 2 回を基本として 24 時間調査を合計 13 回実施した。調査実施日を表 2 に示す。

24 時間調査では、反応槽流入水並びに 3 系と 4 系の第二沈澱池流出水を 24 時間分採取し、混合試料を作成して生物化学的酸素要求量（以下、BOD）、ATU 添加 BOD（以下、ATU-BOD）、全窒素（以下、T-N）、全りん（以下、T-P）を分析した。分析値から、BOD、窒素及びりんの季節的な変化と各々の除去率を把握するとともに、

表 2 24 時間調査実施日

	1回目		2回目	
	開始日	終了日	開始日	終了日
8月	2	3	24	25
9月	14	15	27	28
10月	18	19	26	27
11月	16	17	29	30
12月	13	14		
1月	17	18	24	25
2月	1	2	7	8

運転データを加え疑似 A₂O 法と A₂O 法の窒素及びりんの除去性能を比較した。さらに、りん処理については、24 時間調査とは別に 8 月から 2 月初旬までの 122 回（PAC 注入時を除く）の日常試験データの T・P 濃度から降雨時を含めた処理の安定性を比較した。

また、処理水量及び処理水質がほぼ同等であった平成 23 年 12 月のデータを用い、反応槽の消費電力量を比較した。

4. 運転状況

24 時間調査実施日の運転状況を表 3 に示す。

表 3 調査実施日の運転状況

項目	単位	3系			4系			
		平均	最小	最大	平均	最小	最大	
反応槽流入水量	m ³ /d	22,800	17,900	29,900	21,040	16,500	26,600	
返送汚泥率	%	33	26	50	34	27	52	
硝化液循環率	%	75	56	94	79	0	116	
循環比	%	108	93	128	113	52	147	
送風倍率(水量)	倍	3.5	2.4	4.4	4.1	2.8	5.3	
MLSS	mg/L	1,920	1,500	2,460	2,030	1,600	2,680	
A-SRT	d	7.2	4.6	13.3	7.0	4.7	10.6	
HRT	(疑似)嫌気	h	1.3	1.0	1.6	2.2	1.6	4.0
	(疑似)無酸素	h	2.6	1.9	3.2	2.7	0.0	3.5
	好気	h	6.5	4.9	8.1	6.3	4.9	7.9
	全体	h	10.4	7.8	12.9	11.2	8.7	14.0

反応槽流入水量の平均値は、3 系が 4 系よりも約 8% 大きい値であった。これは、季節や時間帯によって、効率の良い 3 系反応槽により多くの下水を流入させたためである。

4 系の硝化液循環率は、1 月 24 日に硝化液循環ポンプを停止したため、最小値が 0 となった。

送風倍率の平均値は、3 系が 0.6 ポイント低かった。これは散気板を気孔径の小さな高密度配置型に交換したためである。

嫌気槽 HRT は、4 系のほうが 3 系よりも若干長かった。これは、4 系の嫌気槽と無酸素槽の両用部分（図 1 の A2 区画）を嫌気槽として運用したためである。なお、3 系は、疑似嫌気、疑似無酸素及び好気槽の各々の容量を変更することはできない構造である。

以上のように、調査期間中の 3 系と 4 系の運転状況の比較では、構造上もしくは運転上に起因する若干の差異はあるが、調査期間中は運転条件に大きな差は無かった。

5. 調査結果

5. 1 24 時間調査での BOD の変化

反応槽流入水、処理水の BOD の変化を図 2 及び図 3 に示す。

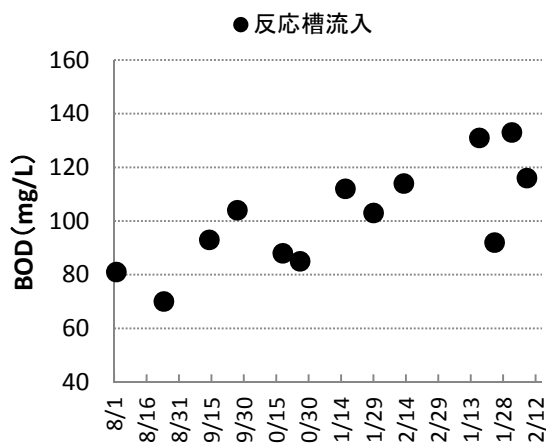


図 2 反応槽流入水 BOD の変化

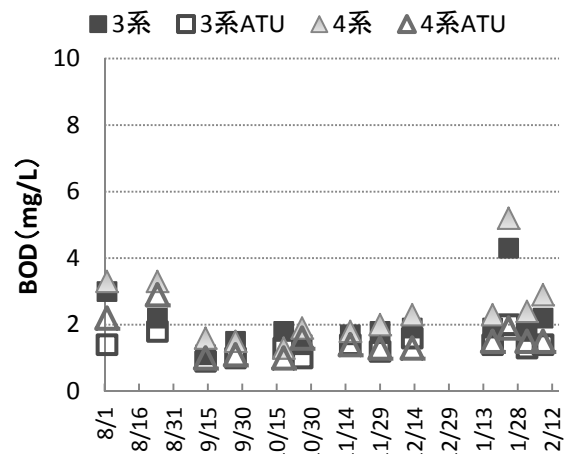


図 3 処理水 BOD 及び ATU-BOD の変化

反応槽流入水の BOD は、低水温期にかけて、徐々に上昇する傾向であった。最大値は 2 月 1 日～2 日の 133mg/L であった。その一方で、降雨の影響のあった 8 月 24 日～25 日には 70mg/L まで低下した。なお、1 月 24 日～25 日の低下は前日の雪の影響によるものと考えられる。

処理水は 3 系、4 系ともに BOD 及び ATU-BOD とともに流入水温が低下した 1 月 24 日を除き 1～3 mg/L 程度と低い値であった。このときは、処理水中にアンモニア性窒素が残存したため、BOD が 4～5 mg/L 程度まで上昇した。

5. 2 24 時間調査での窒素の変化

反応槽流入水及び処理水の T-N の変化を図 4 に、反応槽流入水、3 系処理水及び 4 系処理水の窒素の内訳を表 4 に示す。(以下、アンモニア性窒素は $\text{NH}_4\text{-N}$ 、亜硝酸性窒素は $\text{NO}_2\text{-N}$ 、硝酸性窒素は $\text{NO}_3\text{-N}$ で表す。)

反応槽流入水の T-N は、BOD と同様に低水温期にかけて、徐々に上昇する傾向であり、最大値は 1 月 17 日～18 日の 30.8mg/L であった。その一方で、降雨の影響のある場合は、流入水 T-N が 20mg/L を下回る場合もあった。反応槽流入水の変化にもかかわらず、処理水は 3 系及び 4 系ともに濃度は同等かつ 10mg/L を下回り良好な状態であった。

窒素の内訳は、反応槽流入水では T-N に対する $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が 71% であった。3 系と 4 系処理水の傾向はほぼ同一であった。その内訳は、大部分が $\text{NO}_3\text{-N}$ でわずか

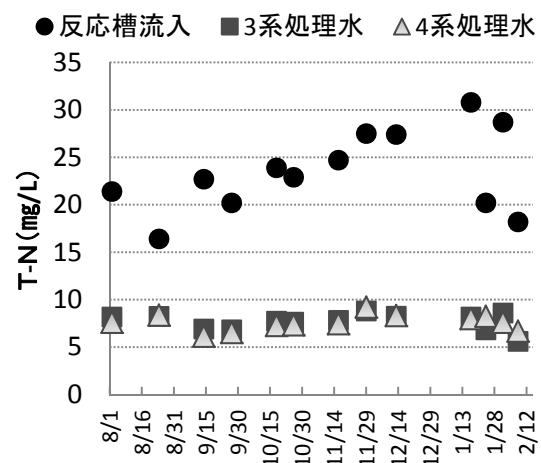


図 4 T-N の変化

表 4 窒素の内訳 (平均値 : 単位 mg/L)

	T-N	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	有機性窒素
反応槽流入水	23.5	16.8	0.1未満	0.1未満	6.7
3系処理水	7.7	0.1	0.1未満	6.8	0.8
4系処理水	7.6	0.2	0.1未満	6.5	0.9

に有機性窒素が残存する傾向であった。また、 $\text{NO}_2\text{-N}$ は全ての調査で 0.1mg/L 未満であった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ と有機性窒素の合計で 2mg/L を超える場合もあったが、大部分は 1mg/L 以下であり、調査期間中はほぼ完全硝化を達成していた。

5.3 24時間調査でのりんの変化

反応槽流入水及び処理水の T-P の変化を図 5 に示す。

反応槽流入水は、BOD や T-N と同様に、低水温期にかけて濃度が徐々に上昇する傾向であり、最大値は、1 月 17 日～18 日の 4.4mg/L であった。その一方で、降雨の影響のある場合は、 2mg/L 程度まで低下した。

処理水は、高水温期に濃度が 2mg/L 程度まで上昇する場合があります、特に 8 月 2 日～3 日の調査での値が高くなった。これは、夏季に実施した省エネのための送風機台数削減運転の影響がりん処理に現れたためである。高水温期は 3 系処理水が 4 系よりもやや高めの傾向であったが、それ以降は、ほぼ同様に 1mg/L を下回る状態であった。また、1 月 17 日～18 日の 4 系処理水の上昇は、攪拌機の運転条件の変更によるものである。

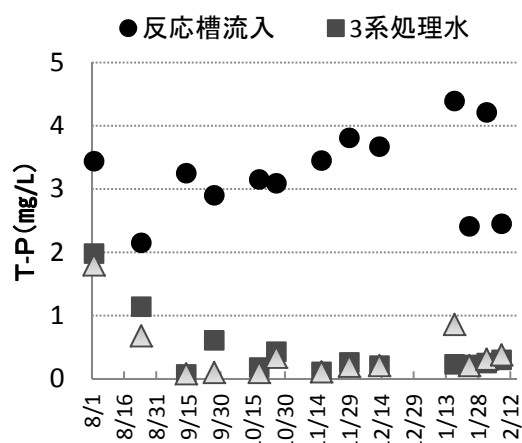


図 5 T-P の変化

5.4 除去率の変化

24 時間調査のデータから計算した、BOD、T-N 及び T-P の除去率を表 5 に示す。

表 5 BOD、T-N、T-P の除去率

	BOD除去率			T-N除去率			T-P除去率		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
3系水処理	97.9	98.8	95.3	66.7	73.5	49.8	84.5	97.9	42.4
4系水処理	97.5	98.6	94.4	66.7	74.0	48.9	87.0	97.5	47.7

BOD の除去率は、両系列ともに平均値がおおむね 98% であった。融雪水による水温低下の影響で 95% を下回った以外は全て 95% 以上であった。

T-N の除去率の平均値は、両系列ともに 67% であった。除去率の最小値が 50% を下回った理由は、降雨による流入 T-N 濃度の減少によるものである。なお、設計指針では、 A_2O 法の T-N 除去率を 60～70% としているので、この値は両系列ともにおおむね満足していた。

T-P の除去率の平均値は、3 系が 85%、4 系が 87% であった。処理が良好な場合は両系列ともに 90% 以上であったが、処理が悪化した場合には除去率は 50% を下回った。3 系の方が除去率の低下が大きかった。ただし、この期間を除けば、両系列とも、設計指針の A_2O 法の T-P 除去率 70～80% を上回っていた。

6. 考察

6. 1 窒素の除去性能

窒素の除去性能の評価として、3系と4系の反応槽流入から第二沈殿池流出までの窒素収支を比較するとともに、制御因子として循環比及びBOD-SS負荷を選びT-N除去率との関係を検討した。

6. 1. 1 反応槽から第二沈殿池までの窒素収支

反応槽内の窒素収支を比較検討するため、24時間調査データを基に、反応槽流入T-N負荷量①を、処理水排出量②、余剰汚泥排出量③、第二沈殿池から嫌気槽までの脱窒除去量④、また、硝化液循環によって無酸素槽から好気槽までの間の硝化・脱窒による除去量⑤の以上4つに分類した。各々の計算式は以下のとおりである。

①＝反応槽流入T-N (mg/L) × 反応槽流入水量 (m³/d)

②＝処理水T-N (mg/L) × (反応槽流入水量－余剰汚泥量) (m³/d)

③＝余剰汚泥量 (m³/d) × 余剰汚泥濃度 (%) × 活性汚泥中の窒素含有率 (%)

④＝{処理水NO₂-N+NO₃-N (mg/L)} × 返送汚泥量 (m³/d)

⑤＝①－②－③－④

このようにして計算した収支の13回の平均値を図6に示す。

両系列ともT-Nの反応槽流入負荷に対して、処理水で約33%、余剰汚泥として23～24%が系外に排出されている。無酸素槽～好気での脱窒は3系33%、4系34%とほぼ同等で、疑似A₂O法も脱窒性能は十分であることが確認された。さらに、第二沈殿池～嫌気槽では両系列ともに流入負荷の1/10程度の窒素が除去されている。

全体的に、除去される負荷量の割合に大きな差はなかった。

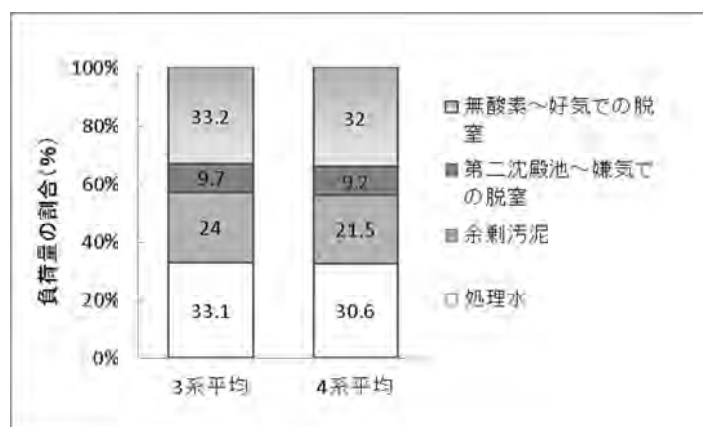


図6 窒素の収支（平均値）

6. 1. 2 窒素処理に関わる制御因子の検討

(1) 循環比（返送率+硝化液循環率）とT-N除去率との関係について、図7と図8に示す。

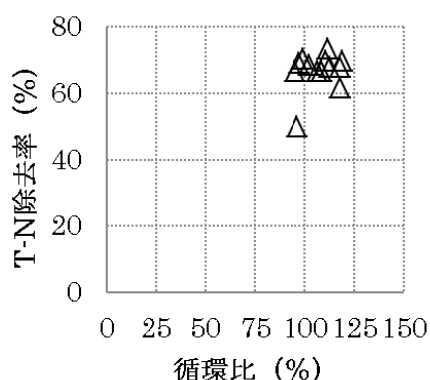


図7 3系の循環比と除去率との関係

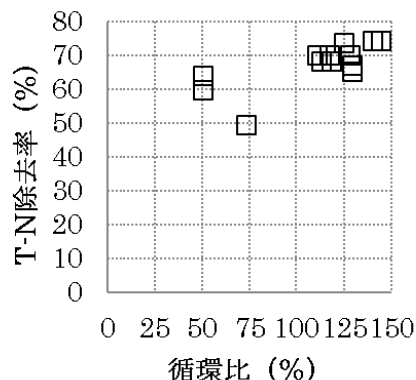


図8 4系の循環比と除去率との関係

3系の循環比は95～120%、4系は52～140%であった。3系と4系の循環比の範囲の違いは、ポンプ容量とともに、3系は連続運転であったのに対して、4系では降雨時に一時的に循環ポンプを停止したためである。この結果、3系では降雨の影響のあった際の1つのデータを除き窒素除去率は60%以上であった。4系では循環ポンプ停止時にT-N除去率が若干低下したが、同じく降雨の影響のあった際の1つのデータを除き、除去率は60%以上であった。

(2) BOD-SS 負荷と除去率との関係について、図9と図10に示す。

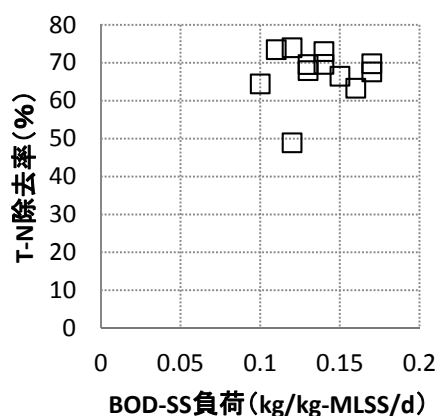
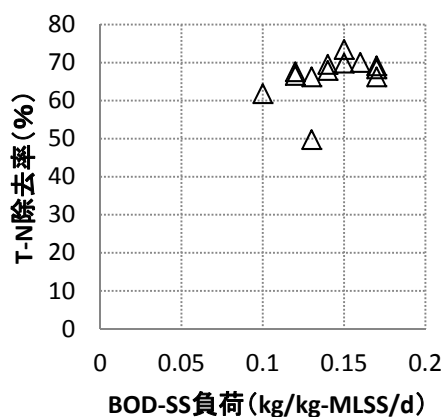


図9 3系のBOD-SS 負荷と除去率との関係

図10 4系のBOD-SS 負荷と除去率との関係

BOD-SS 負荷は、3系と4系ともに0.10～0.18の範囲内であった。また負荷の高低にかかわらず、降雨の影響のあった際の1つのデータを除き除去率は60%以上であった。

なお、維持管理指針によれば、BOD-SS 負荷の設計諸元は0.05～0.10kg/kg-MLSS/dとなっているが、BOD-SS 負荷は設計諸元の2倍程度で運転していた。

6. 2 りんの除去性能

6. 2. 1 りん処理に関わる制御因子の検討

りんの除去性能の評価として、制御因子にA-SRT及びBOD-SS 負荷を選びT-P 除去量との関係を検討した。なお、過去の調査では、反応槽でのりん除去のメカニズムから、T-P 除去性能の評価はT-P 除去率よりもT-P 除去量が適切とされているので、今回はそれに従った。

また、T-P 除去量は反応槽流入水と処理水のT-P 濃度の差から計算した。この場合、流入水平均T-P 濃度が4.0mg/Lで処理水が1.0mg/Lの場合、処理水量(=反応槽流入水量－余剰汚泥量)が20,000 m³/dでは、T-P 除去量が60 kg/dとなる。

東京都下水道局では長期的には全量高度処理を導入する計画としているため、本調査での処理水T-Pの目標値は、水再生センターの全ての反応槽が高度処理になった場合に適用される東京都環境確保条例の放流水濃度基準値1.0mg/Lとした。なお、同条例による現在の北多摩二号水再生センターの放流水濃度基準値は3.0mg/Lである。

この場合、本調査での流入水T-Pの最大値は1月の1回目の4.4mg/Lであったため、目標値1.0mg/Lを満たすためには、T-P 除去量がおおむね60 kg/d以上であることが必要である。

(1) A-SRT と T-P 除去量の関係について、3 系を図 11 に、4 系を図 12 に示す。

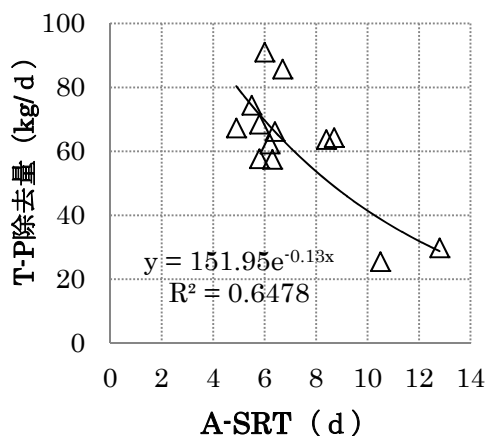


図 11 3 系の A-SRT と除去量の関係

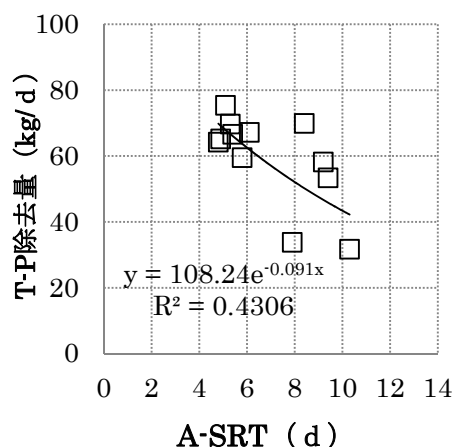


図 12 4 系の A-SRT と除去量の関係

A-SRT と T-P 除去量の関係は、A-SRT が長くなるに従って除去量が低下する傾向であった。3 系では、除去量 60kg を超えるのはおおむね A-SRT が 8 日以下であり、4 系では 7 日以下であった。

(2) BOD-SS 負荷と T-P 除去量の関係について、3 系を図 13 に、4 系を図 14 に示す。

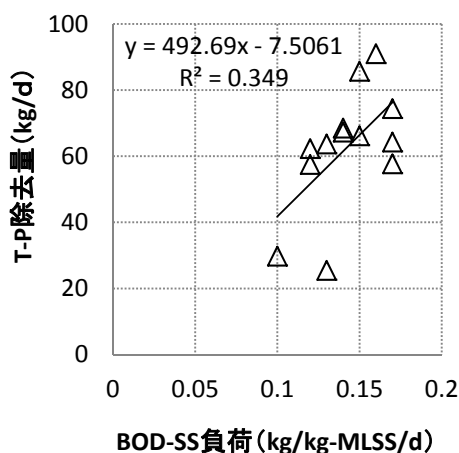


図 13 3 系の BOD-SS 負荷と除去量の関係

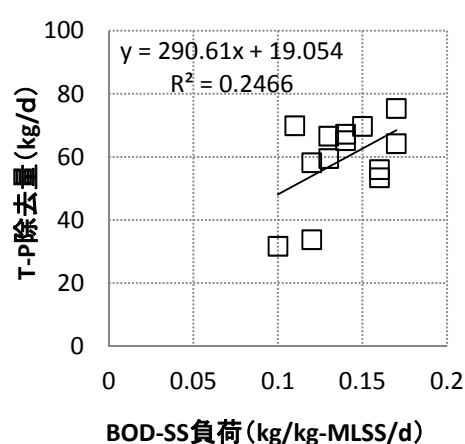


図 14 4 系の BOD-SS 負荷と除去量の関係

BOD-SS 負荷と T-P 除去量の関係は、BOD-SS 負荷が高くなるに従って除去量が増加する傾向であった。除去量 60kg を超えるのは、3 系と 4 系ともに、おおむね BOD-SS 負荷が 0.12kg/kg-MLSS/d 以上であり、この範囲内では、図 9 及び図 10 から窒素除去率も 60% 以上となっている。当センターでは、高度処理施設の処理水量を増加させ、高負荷で運転することにより、りん除去を改善した経緯があり、本調査でも同様の結果が確認された。

BOD-SS 負荷が低下する一つの要因として、雨水の影響による BOD の低下がある。BOD-SS 負荷と T-P 除去量に直線関係が成り立つと仮定すれば、降雨後のりん除去能力を速やかに回復させるためには、BOD-SS 負荷の低下を長引かせないことが重要となる。第

二沈殿池の水面積負荷、返送汚泥ポンプの能力及び送風機の能力の許容する範囲内で、可能な限り流入水量を増やし、希釈された BOD を量によって補うことが望ましい。

なお、硝化液循環ポンプについては、降雨の影響がある時間帯に停止していた 4 系と連続運転していた 3 系のりん除去能力に大きな差がみられないことから、りん処理よりも電力量削減の観点から運転の有無を決定するほうがよいと考えられる。

6. 2. 2 処理水りん濃度の分布

降雨によるりん処理への影響を確認するため、調査期間中の日常試験における 3 系の T-P 濃度の分布を図 15 に、4 系を図 16 に示す。また、表 6 に統計量を示す。

なお、これらは 3 系もしくは 4 系に PAC を注入した日（調査期間中で 8 日）を除いたデータである。

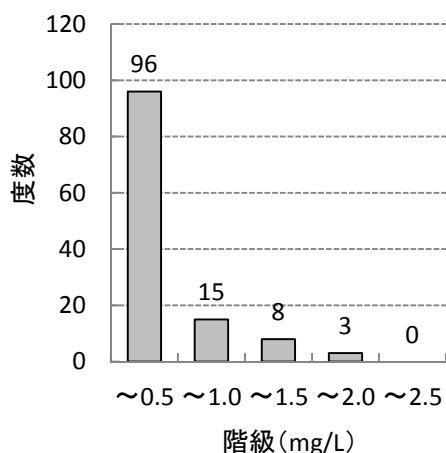


図 15 3系処理水の分布

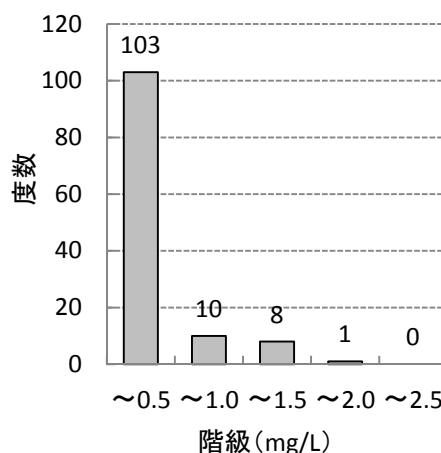


図 16 4系処理水の分布

3 系と 4 系ともに、ほぼ同様な分布であるが、平均、標準偏差及び分散の値は、3 系が 4 系よりも若干大きかった。3 系は、嫌気槽でりんの吐出しが 4 系よりも少ない傾向があり、降雨の影響でりん処理が悪化した場合も、4 系よりも回復に時間がかかる傾向がある。このため、処理水りん濃度が 0.5 mg/L 以上の回数が多くなっていると考えられる。

表 6 統計量

項目	3 系処理水	4 系処理水
回数	122	122
平均	0.362	0.300
分散	0.1453	0.0980
最小	0.07	0.07
最大	1.87	1.82

7 反応槽の消費電力量の比較

処理水量、処理水質がほぼ同等だった 12 月について、水量と水質を表 7 に、3 系と 4 系それぞれの反応槽で消費された処理水量千 m³ あたりの電力量の内訳を図 17 に示す。

表 7 12 月の処理水量と処理水質の比較

(水質は日常試験平均値)

	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)	処理水量(m ³)
3系	7.9	0.3	20,450
4系	7.8	0.2	19,800

硝化液循環、汚泥返送の電力量に若干の差が見られるが、これは設置されたポンプの定格や運転時間の違いによる。

一方、消費電力の大半を占める送風機電力についてはほぼ同等であった。送風機電力は各系列に送られた送風量に比例しており、この月の送風量は両系列それぞれ、3系 約 2,826,000Nm³、4系 約 2,762,000 Nm³だった。また、3系の嫌気槽、無酸素槽で攪拌のために利用された空気量は、約 70,000 Nm³で、3系全送風量の 2.5%だった。両系列は散気板の設置経過年数が 10

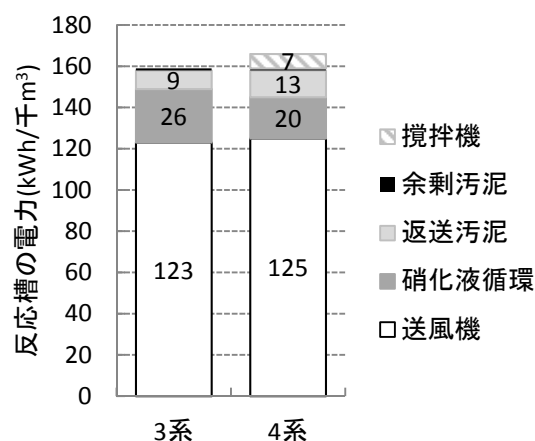


図 17 反応槽の消費電力比較（12 月）

年以上違うため、単純に送風量を比較することはできないが、4系の攪拌機電力よりも3系の空気攪拌の消費電力の方が少ないことが確認された。一方、4系の攪拌機にかかる電力は、運転台数及び時間に比例しており、停止や間欠運転で抑制することが可能である。汚泥堆積状況や水処理への影響を見極めながら運転時間を抑えることで電力削減が可能と考えられる。

8 まとめ

今回の疑似 A₂O 法と A₂O 法の比較調査で得られた結果は、以下のとおりである。

- (1) BOD と窒素の除去性能は、ほぼ同等であった。
- (2) リンの除去性能は、通常の運転ではほぼ同等だが、降雨等で流入負荷が低減した場合、疑似 A₂O 法の方が除去性能が低下する傾向がみられた。
- (3) 反応槽の消費電力量の比較では、疑似 A₂O 法は、A₂O 法の機械攪拌に消費される電力量よりも、少ない電力量で空気攪拌が可能であることが確認された。

9 今後の方針

平成 24 年の 4 月から 8 月までの疑似 A₂O 法と A₂O 法の T-N と T-P の日常試験月平均値を表 8 に示す。

24 年度も疑似 A₂O 法は A₂O 法と同様の運転方法で安定した処理状況であった。今後、より効率的で良好な処理を目指すには、B 回路の好気部と無酸素部の空気配管を分離して個々の制御を可能にする、硝化液循環ポンプの能力を上げ、故障に備えて予備機を配備する、などの整備も検討する必要がある。

また、24 年度に稼働開始したステップ A₂O 施設（T-N 処理に有利）とバランスをとりながら、良好な処理水質と電力量の削減の両立を目指していく。

表 8 月別処理水質（単位：mg/L）

	疑似A ₂ O		A ₂ O	
	T-N	T-P	T-N	T-P
4月	7.3	0.7	7.7	0.6
5月	8.2	0.3	7.8	0.3
6月	7.9	0.4	7.0	0.6
7月	7.2	0.1	6.3	0.2
8月	7.4	0.2	6.4	0.2

３．維持管理向上、事業効率化

- (１) 維持管理向上、効率化などの技術
 - １ 芝浦水再生センター放流渠周辺のユスリカ発生防止対策について
 - ２ 低含水率脱水汚泥の効率的な搬送技術に関する調査について
 - ３ スカムスキマの越流量調整方法の改善について

3-(1)-1 芝浦水再生センター放流渠周辺の

ユスリカ発生防止対策について

中部下水道事務所芝浦水再生センター設備管理係 林 一男
設備整備係 上田 喜一郎

1 はじめに

近年、芝浦水再生センター（以下、「当センター」という。）の周辺エリアは、ビジネス街の高層・高密度化、高層住宅の開発、高浜運河のテラス護岸の整備など、人々が多く集まる地域として生まれ変わってきた。そのため、当センターから発生するユスリカに関する苦情も増加しており、早急に改善が必要な問題となってきた。

本稿では、現在までユスリカ問題に対する当センターの取組状況や、その効果について報告する。

2 背景

以前から当センターの本系放流渠吐口（以下、「放流口」という。）付近において夏季になるとユスリカが飛翔することに対して、地元住民や近隣ビルからの苦情および改善要望が出されていた。

特に、近隣商業ビル（新港南橋の南側吐口際）では 1F レストラン等へユスリカが侵入するため、ビル側は自衛措置として、電撃殺虫器及び防虫ランプを設置し、ビル内への侵入を防いでいる状況であった（図-1）。

一方、当センター内ではユスリカの発生源となる水たまり場の削減や、殺虫器等の設置を行ってきた。

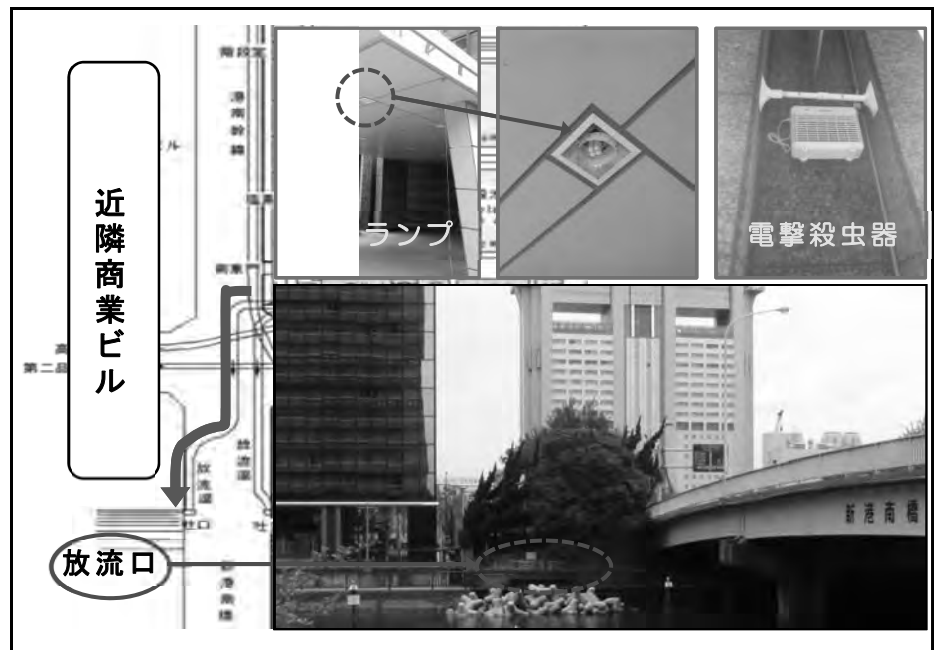


図-1 近隣商業ビルの自衛措置

3 ユスリカ飛翔の原因と対策

ユスリカ飛翔の苦情が寄せられた放流口付近を中心に観察を行った。

その結果、新港南橋にある 2 つの吐口の内、南側は、運河の干潮時に水面から吐口上部の気相部が現れ、その際に当センター内の発生源となっている塩素接触槽と気相部がつながりユスリカが飛翔していることが分かった。このため、塩素接触槽から放流口ま

でのルートを中心にユスリカ飛翔阻止対策を実施した。

3.1 平成 22 年度までの取組

3.1.1 ユスリカ発生過程の調査

専門業者により、モニタリング捕虫紙を塩素接触槽を中心として 10 箇所に 3 日間設置した。採取したユスリカを調査した結果、当センターに生息するユスリカについて以下のことが分かった。

当センターで発生するユスリカのほとんどは、日本に 1000 種類以上いると言われるユスリカの中では、代表的な種であるセスジユスリカ（図－2）に属する。日本全土の下水溝や都市河川等に多く生息し、1 年を通して発生するが、数が多くなるのは 5 月頃～11 月頃である。卵は一度に 500 個ほど産み、2～3 週間で成虫となる。成虫は「蚊」に似ているが吸血せず食物もとらず寿命は 1 週間程度である。成虫の飛翔範囲はそれほど広くなく



図－2 セスジユスリカ

発生源近くで蚊柱を作り、時にアレルギーを引き起こす原因と言われている（死骸が風化する際の過程で微粒子となりそれを吸い込むことにより発症）。ユスリカが塩素接触槽で多く捕獲されたことに関しては、第二沈殿池以降の処理水がユスリカの生息に適し、特に暗渠（外へ飛来できない）である塩素接触槽で多く生息していることが考えられる。

本調査結果から発生過程が、第二沈殿池（外部侵入、繁殖の繰り返し）→塩素接触槽（卵や幼虫の流入により繁殖）→放流口（成虫・幼虫流出）となっており、発生や繁殖の場所となっている第二沈殿池の清掃、塩素接触槽への害虫駆除装置の設置が望ましいという改善案に至った。

3.1.2 繁殖源の除去

発生の要因をなくすため、以前より、当センター内でのユスリカ発生源となる水たまりや雑草の除去に努めるとともに、第二沈殿池流出樋への藻抑制用銅板張り対応などのユスリカ抑制措置を行ってきた（図－3）。



図－3 藻抑制用銅板

3.1.3 発生したユスリカの駆除

(1) ユスリカ対策方法の選択

発生したユスリカを効果的に駆除するため、薬剤噴霧（卵を生む成虫を駆除）と紫外線殺菌（卵の不活性化）を比較し、薬剤噴霧を採用した（表－1）。

表－1 ユスリカ対策方法の比較

評価項目		A 薬剤噴霧	B 紫外線殺菌	×(否)
効果		○	×	1.Aは局内で実績あり（森ヶ崎水再生センター・有明水再生センター）薬剤噴霧が間欠なので、100 %卵をなくすことは不可能。 2.Bはインターネット等を検索したが、紫外線殺菌がユスリカの卵の不活性化に有効との知見はなし。（一般細菌、カビ、ウィルス等には有効） 専門業者によると、卵はゼリー状の物質に包まれて沈んでいくので、紫外線による不活性化は大変難しいとのこと。
経済性	イニシャル	(×)	(○)	1.Aは主な機器費で 2050 万円（700 万円×1 面＋150 万円×9 面＝2050 万円） 2.Bは主な機器費で 1300 万円（31 万円×42 台≒1300 万円）
	ランニング	(○)	(×)	1.Aは薬品費で 60 万円/年 2.Bは 340 万円/年 殺菌ランプ 1×6 個×42 台＝252 万円（年 1 回交換） 電気代 240W×42 台×10 円/kW÷1000×24h×365 日≒88 万円/年
	トータル	○	×	約 3 年未満で B、3 年以上で A が安い (2050-1300)÷(340-60)≒2.7 年
	維持管理性	△	△	1.Aは薬剤補充、噴霧ノズル清掃で、月に 1 回点検 2.Bはランプ保護管清掃で月に 1 回、ランプ交換で年に 1 回点検
安全性		○	◎	1.Aは薬剤を希釈し、製品安全データ（MSDS）以下の値で噴霧のため安全 2.Bは残留持続性がなく無害

(2) ユスリカ発生過程の調査を受け、捕獲数が多く放流口に近い本系塩素接触槽下流部に自動薬剤噴霧装置(6台)を設置し、塩素接触槽内のユスリカ対策を図った(図－4)。

また、自動薬剤噴霧装置設置後も、上流側のユスリカ生息状況の調査を継続して、分布状態を把握するとともに、抑制効果の大きい場所については駆除装置の追加設置等を検討することとした。



図－4 ユスリカ対策の取組

3.1.4 吐口からの飛翔抑制対策

- (1) 各係交代で職員による放流口付近への定期的な薬剤散布（図－5）。
- (2) 運河干潮時、自動薬剤噴霧装置で駆除しきれなかったユスリカの飛翔を防止するため、放流口を切込みのあるゴムシートで閉鎖し、ユスリカの飛翔を抑制（図－6）。



図－5 職員による薬剤散布



図－6 放流口とゴムシート

3.2 平成 23 年度の取組

3.2.1 近隣商業ビルへの説明会

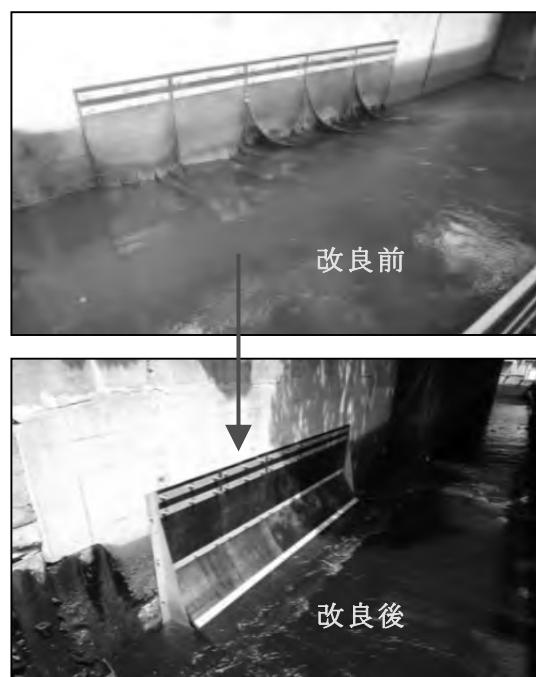
平成 23 年 4 月、平均気温が平成 22 年同月より高く（12.4℃→14.5℃）、平成 22 年よりも早い時期にユスリカが発生したため、平成 23 年 5 月、近隣商業ビル側と夏季対応策について協議した。その際、以下の要望があった。

ア ゴムシートのめくれによるユスリカ再飛翔の改善

イ 放流口付近への電撃殺虫器の設置

平成 23 年 6 月、近隣商業ビル側（職員 3 名）に実施中のユスリカ対策について説明するとともに、当センター内施設の見学を実施した。

- (1) 散布距離の長い新型機を使い、放流口付近での薬剤散布を定期的実施した結果、ユスリカの飛翔は増えなくなったことを説明した。
- (2) 放流口のゴムシートが水流でめくれないように金属の板を組み合わせてゴムの切り込みを無くし、吐口と密着させて隙間をなくした（図－7）。ゴムシートからユスリカの飛翔は抑制できていることを現場にて説明した。
- (3) 放流口付近への電撃殺虫器の設置案及び、当センター内自動薬剤噴霧装置の稼働状況、上流側生息状況調査の結果による装置増設案を現場にて説明した。
- (4) 水処理施設の反応槽や沈殿池、送風機、管廊の配管状況等を見学。
今回の説明会を通じて、近隣商業ビル側に当初あった当局への不信感が少なくなっていることを感じ、施設見学は大変好評であった。



図－7 ゴムシートの改良

3.2.2 平成 23 年度に導入した追加対策

平成 23 年度はユスリカの発生防止効果を一層高めるため、以下の追加対策として電撃殺虫器、自動薬剤噴霧装置を設置した。

それぞれの機器の諸元を表－2、表－3 に、また、設置状況を図－8、図－9 にそれぞれ示す。

表－2 電撃殺虫器

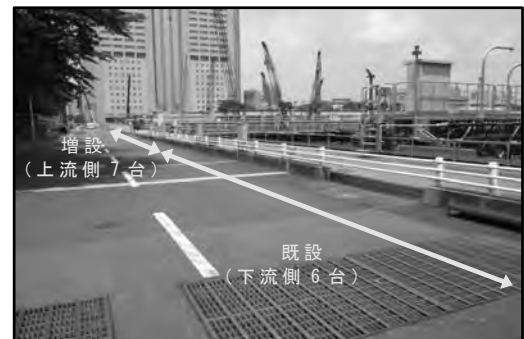
設置場所	放流渠吐口上部（2 台）
仕様	屋外 4 灯 防雨構造
誘虫灯	FL30SBL（又は同等品）
製造会社	三興電機（株）
電圧	1 相 200V（運転時 1A 153.3W/台）
稼働日	平成 23 年 12 月 21 日
稼働時間	タイマー設定（2 回/日 標準）



図－8 電撃殺虫器

表－3 自動薬剤噴霧装置

設置場所	本系塩素接触槽（上流側増設 7 台）
仕様	噴霧ノズル式（噴霧圧 0.3MPa）誘虫灯付き
誘虫灯	FDL27BL-KIGU-T（又は同等品）
使用薬剤	ピレストロイド系薬剤（噴霧量 50ml/回）
設置会社	イカリ消毒（株）
稼働日	平成 24 年 2 月中旬
稼働時間	タイマー設定（夏期 2 回/日、冬期 1 回/日 標準）



図－9 自動薬剤噴霧装置

3.2.3 追加対策の効果検証

粘着トラップを塩素接触槽内各所に設置して、翌日回収し、ユスリカの数と分布を調査した（図－10）。

表－3 で放流口については、点検時目視で放流口周辺のユスリカ発生状況を調査し、下記 A～D のランク分けとした。

なお、D ランクについては、平成

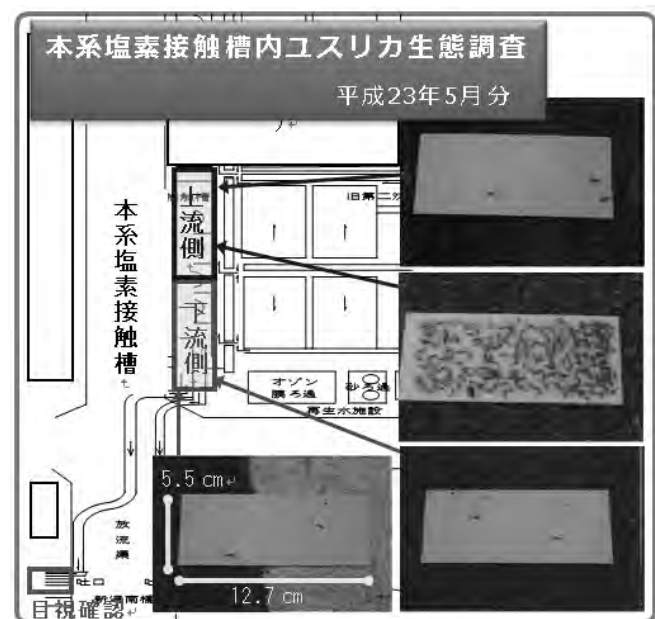
23 年度以前に確認されたが、その後の対策により現在は確認されていない。

A：ユスリカ発生の痕跡がない。

B：ごく少数のユスリカが発生しているが、護岸通行に支障はなく、予防措置として状況に応じ吐口への薬剤散布を行う。

C：多数のユスリカが発生し、護岸通行に支障があり、継続的な吐口への薬剤散布を必要とする。

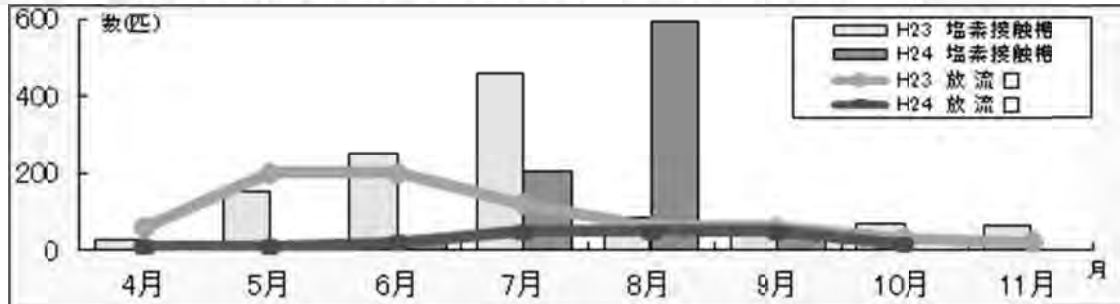
D：大量にユスリカが発生して、蚊柱が見受けられ、対応策の検討を要す。



図－10 粘着トラップ設置場所

表－4 ユスリカ生態調査

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
平成23年度	塩素接触槽	26	152	251	455	85	57	71	63
	放流口周辺	B	C	C	C-B	B	B	B-A	B-A
	外気温(℃)	18.2	17.9	19.4	28.6	31.6	31.0	21.1	14.3
平成24年度	塩素接触槽	1	6	30	201	590	39		
	放流口周辺	A	A	B-A	B	B	B	B-A	
	外気温(℃)	17.6	16.6	27.0	34.0	30.0	31.8		



表－4 は、本結果の集計で、塩素接触槽内の捕獲数(4か所の合計)を棒グラフで表し、放流口付近の発生状況を折れ線グラフで表している。

平成23年12月～3月は各月とも極少数のため、省略している。

放流口についてだが、例年、ユスリカの発生は5月頃から多くなり、それに伴って苦情がでていた。平成24年度は6月に入り放流口に数匹のユスリカが飛んでいたが、平成23年度までと比較して発生数は少なく、苦情もなかった。

その後8月には塩素接触槽内の捕獲数が増加していたが、原因の一つとして、自動薬剤噴霧装置の目詰まりが発生したことが考えられる。これについてはメンテナンスにより問題は解決している。また、これ以降、発生状況に合わせて、1日2回の薬剤噴霧時間を10分から20分に調整することとした。また、放流口付近でもユスリカの発生数が増加していると考えられたが、放流口の状況は安定しており、放流口ゴムシートの改良と電撃殺虫器の効果が発揮されていると考えられる。

平成24年8月以降のランクは平成23年度と同程度だが、平成23年度は夏場(6～10月)放流口付近に毎日2回薬剤散布したのに対し、本年度は応急的に週1、2回(7～9月)行っているのみである。

4 まとめと今後の課題

ユスリカの発生そのものを完全に阻止することはできなかった。

しかし、ユスリカが発生した場合でも当センターで取り組んできたように、発生原因を明確にし、発生段階と場所の状況に応じた対応策を組み合わせ、総合的に実施することで、ユスリカが大量に飛翔することを効果的に抑制できることが実証された。また、苦情に対しても迅速に対応し、誠意を持って取り組んだことにより、当局への信頼に結び付けることも出来た。

今後の課題として、平成24年8月の大量発生時においても的確に対応できたように、引続き検証を続け、生息状況の変化をいち早く察知し、薬剤噴霧時間、回数、電撃殺虫器稼働時間等の変更を検討していく。

また、ユスリカだけでなく、センター周辺の日常の変化に対しても、苦情につながる前に対策を検討し、お客さまとの信頼関係を築いていけるように取り組むを行う。

当センターの場合、今後、上部利用ビルプロジェクトへの対応が最大の課題となる。
ユスリカに限らず、臭気等による周辺への影響が大きくなることが予想されるが、積極的な対応を進めることにより解決を図り、周辺との信頼関係を築いていく。

3-(1)-2 低含水率脱水汚泥の効率的な搬送技術に関する調査について

東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 徳岡 繁行
東京都下水道局 計画調整部 技術開発課 高橋 淳司

1 はじめに

東京都下水道局（以下、「局」という。）は、東京都の事務事業活動から発生する温室効果ガス排出量の約4割を排出しており、地球温暖化防止に対する大きな責任を負っている。

このため、局では京都議定書に先駆け、平成16年9月に「アースプラン2004」を策定し、温室効果ガスの計画的な削減に取り組んできた。その主な削減対策は、汚泥の高温焼却による一酸化二窒素の削減であったが、高温焼却は補助燃料が増加することや焼却炉高温化工事が概ね完了したことから、更なる温室効果ガス削減には新たな対策が必要となった。

そこで、「アースプラン2010」では、焼却炉補助燃料使用量の削減策として、汚泥の低含水率化が挙げられた。しかし、脱水汚泥は低含水率化に伴いその流動性が著しく低下するため、ポンプ搬送においては吐出圧力や消費電力の増加、搬送量の減少といった新たな問題が発生する。

本稿では、低含水率脱水汚泥を低動力で効率的にポンプ搬送する技術について、実設備に近い規模の実験設備を用いて実施した調査の結果を報告する。

2 脱水汚泥の自燃

脱水汚泥の自燃に関する特徴を図-1に示す。

脱水汚泥固形分の発熱量は、18,000kJ/kg-DS程度あり、石炭の7割程の発熱量を持っている。

しかし、脱水汚泥の含水率は77%前後であるため、現状では、安定的に自燃させることは困難である。

発熱量の日変動及び季節変動を考慮すると、安定的な自燃を達成するためには、脱水汚泥の平均含水率は74%以下に維持する必要がある。

また、自燃限界曲線は傾きが急であるため、僅かな含水率の上昇が、自燃を妨げる要因となる。

(1) 出典：東京都下水道局「アースプラン2010」

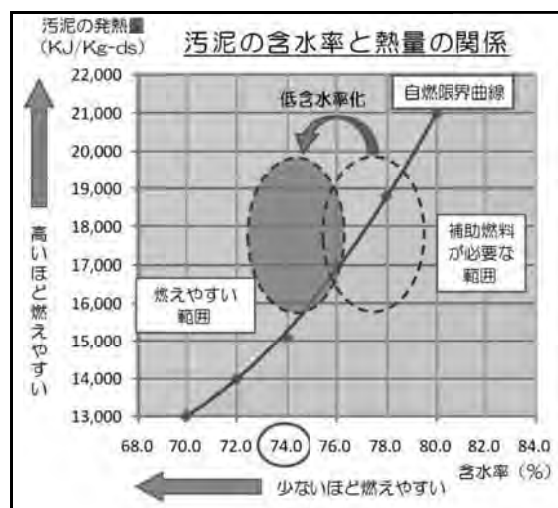


図-1 脱水汚泥の自燃限界⁽¹⁾

3 低含水率脱水汚泥のポンプ搬送における課題

臭気の漏洩防止や搬送ルート自由度向上等のため、近年、脱水汚泥の搬送は、従来のコンベヤ方式に替わってポンプ圧送方式が採用されている。

脱水汚泥の低含水率化に伴うポンプ搬送の課題について、以下に整理する。

3.1 課題とその要因

低含水率脱水汚泥をポンプ搬送する場合、搬送設備の消費電力が大幅に増加することが課題となる。これは、含水率の低下に伴い脱水汚泥の粘性が増し、流動性が低下することに由来する。

低含水率化と消費電力増加の関係を図-2に示す。

搬送設備の消費電力が増加する要因として以下の2つが挙げられる。

- (1) ポンプ内へ脱水汚泥を吸い込む効率（充填率）の低下
- (2) 圧送管における管摩擦損失の増加

(1)はポンプ上流における要因、(2)はポンプ下流における要因である。従って、消費電力増加抑制対策としては、(1)及び(2)に対してそれぞれ実施することが望ましい。

図-3にポンプ充填率のイメージ図を示す。

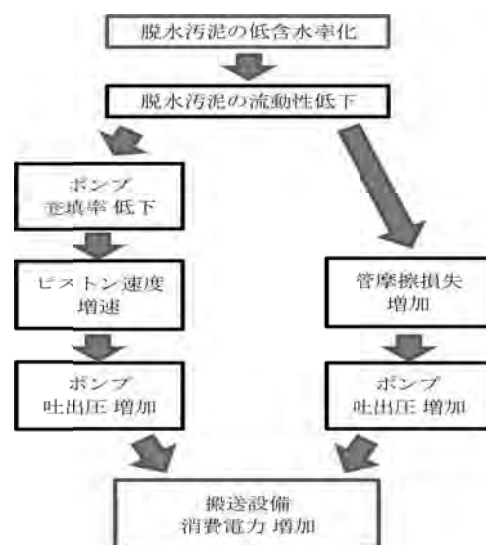


図-2 ポンプ消費電力増加要因

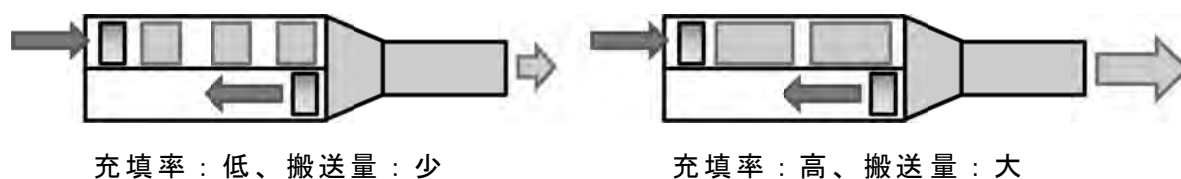


図-3 ポンプ充填率のイメージ図

3.2 これまでの対策方法

低含水率脱水汚泥をポンプ搬送する場合、これまでは、圧送管を大口径化する他に、管摩擦を減らすために管内壁と脱水汚泥の間に水を注入することで消費動力の増加を抑制している。しかし脱水汚泥への注水は含水率の再上昇に繋がるため、低含水率脱水技術を十分活用できていないことになる。

4 低含水率脱水汚泥の効率的な搬送技術に関する調査について

局技術開発課では、低含水率脱水技術の開発に合わせて、低含水率脱水汚泥の効率的な搬送技術に関する調査を平成21年度に実施している。その際に得られた知見を基に実験設備を作製し、その性能や最適な運転条件を確認することを目的として、本調査を実施した。

4.1 調査概要

実施形態：委託調査（発注者：局 計画調整部 技術開発課）

調査場所：南多摩水再生センター

調査期間：平成23年12月22日～平成24年3月23日

4.2 過去の調査で得られた知見

平成21年度に砂町水再生センターで実施した含水率72%程度の低含水率脱水汚泥の搬送技術に関する調査で、以下の知見が得られた。

- (1) 低含水率化（77%⇒72%）によって、管摩擦損失は約 60%上昇する。
- (2) 低含水率脱水汚泥を練り込むことで流動性が改善し、管摩擦損失は約 47%低下する。
- (3) 圧送管外周を 50℃程度に加温することで、管摩擦損失は約 42%低下する。
- (4) 練込みと加温を併用することで、管摩擦損失は約 66%低下する。

4.3 本調査の目標

本調査は、含水率 74%程度の脱水汚泥を 77%程度の脱水汚泥搬送時と同等の消費電力で、かつ無注水のまま、焼却炉までポンプ搬送する技術を開発することを目標とした。

「アースプラン 2010」では、脱水汚泥搬送電力の削減を行うため、脱水機と焼却炉を近接設置する汚泥処理のユニット化が提案されているが、これは原則として焼却炉再構築時の対策である。

本調査は、既存の搬送設備を改良し、低含水率脱水汚泥に適用させる技術を対象としている。

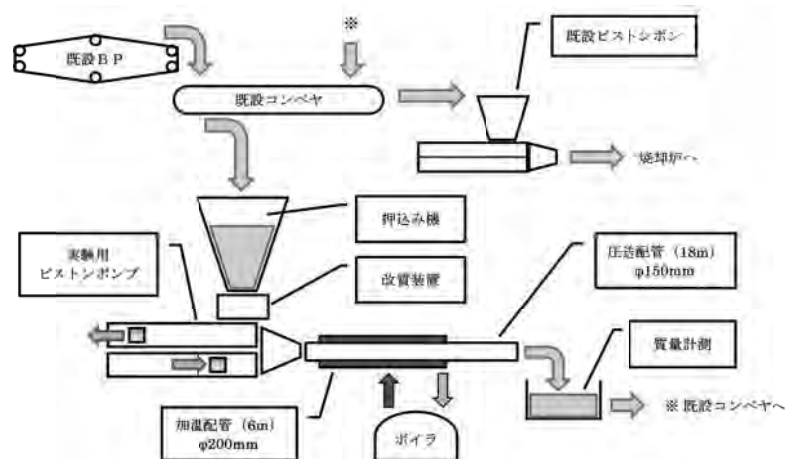
4.4 実験設備概要

4.4.1 実験設備フロー

南多摩水再生センター汚泥処理棟 3 階に実験設備を設置し、ベルトプレス脱水機から排出される脱水汚泥を用いて搬送実験を実施した。実験設備のフローを図－4 に示す。

【実験設備仕様】

- 実験用ピストンポンプ
形式：ダブルシリンダ型
口径：φ125mm
3.0m³/h、3.0MPa
油圧ユニット出力：22kW
- 押込み機
形式：縦型スクリー式
電動機出力：15kW
- 改質装置
形式：回転パドル式
回転数：50～300rpm
油圧ユニット出力：45kW



図－4 実験設備フロー

4.4.2 改質装置

改質装置は、ポンプに充填される前の脱水汚泥に高速で回転するパドルによりせん断力を加えることで、練り込むことと同様の効果を与え、脱水汚泥の流動性を改善し、ポンプ充填率を向上させることを目的としている。

脱水汚泥にせん断力を加えることで流動性が改善する理由としては、脱水汚泥の固形物間に偏在する間隙水が均一化され、その一部が表面にも染み出るためと考えられる。

図－5 に改質装置内部構造を示す。

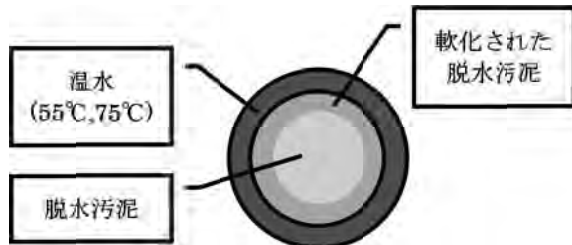


図－5 改質装置内部構造

4.4.3 加温装置

加温装置は、圧送管外面を温水により加温することで、圧送管に接している脱水汚泥を局所的に軟化させる構造となっている。

図－6 に加温装置断面イメージを示す。



図－6 加温装置断面イメージ



図－7 加温装置外観

使用する温水の温度は、焼却炉洗煙排水の排熱利用を前提とするため、55℃及び 75℃とした。

本実験装置の加温装置は、圧送配管の全長 18m のうち 6m の長さで設けており、加温装置より下流側の圧送管には、放熱を抑えるため保温カバーを設けた（図－7）。

5 調査結果

5.1 改質装置の効果

改質装置からの排出状況を表－1 に示す。

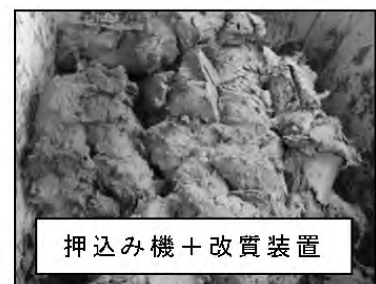
改質装置を設けない従来の押込み機のみでは、排出量が極端に少なく、排出状況も断続的で不安定だった。

一方、改質装置を追加すると、回転数が 100rpm 以上で排出量が増加し、連続的で安定した排出状況が維持できていた。

図－8 は脱水汚泥外観の変化を示した写真である。改質装置による練込みの効果がみられる。

表－1 改質装置排出状況

改質条件	脱水汚泥含水率 (%)	排出状況 (目視)	排出量 (m³/h)	改質装置電流値 (A)	脱水汚泥温度 前/後 (℃)
a.改質無し (従来仕様)	73.9	不安定	1 未満	—	—
b.50rpm	73.9	不安定	約 1	53.5	16.0/17.5
c.100rpm	73.1	良好	約 13	52.6	13.8/18.5
d.200rpm	73.1	良好	約 15	59.6	13.8/18.9
e.250rpm	72.1	良好	約 20	70.7	15.0/18.0
f.300rpm	72.6	良好	約 20	72.6	13.3/17.7



図－8 改質装置前後での脱水汚泥外観の変化（100rpm）

改質装置を設けることでピストンポンプの充填率が向上する様子を図-9に示す。

改質装置により、全てのポンプ設定（ピストン速度の最大時を100%とする。）において充填率の向上が見られる。また、改質装置回転数が高いほど向上幅が大きく、ポンプ設定70%の場合、49%の充填率は最大78%まで向上した。

また、含水率77%の脱水汚泥搬送時（改質装置無し）の充填率を上回るまで向上した。

改質装置を設けることでポンプ吐出圧が改善する様子を図-10に示す。本図は横軸が搬送量を示している。

含水率74%の脱水汚泥の搬送で改質装置なしの場合と比較すると、ポンプ吐出圧が最大で約35%改善した。

（搬送量2.0t/h、回転数300rpm）

しかし、含水率77%の脱水汚泥搬送時（改質装置無し）のポンプ吐出圧までの改善はできていない。

5.2 改質装置と加温装置の併用による効果

改質装置と加温装置を併用することで、ポンプ吐出圧が大幅に改善する様子を図-11に示す。

含水率74%の脱水汚泥の搬送で改質及び加温装置なしの場合と比較すると、ポンプ吐出圧が最大で約67%改善した。（搬送量2.0t/h、回転数300rpm、加温条件75℃）

加温条件は55℃よりも75℃の方が改善効果は大きかったが、改質装置回転数は100rpmと300rpmで大きな差は見られなかった。

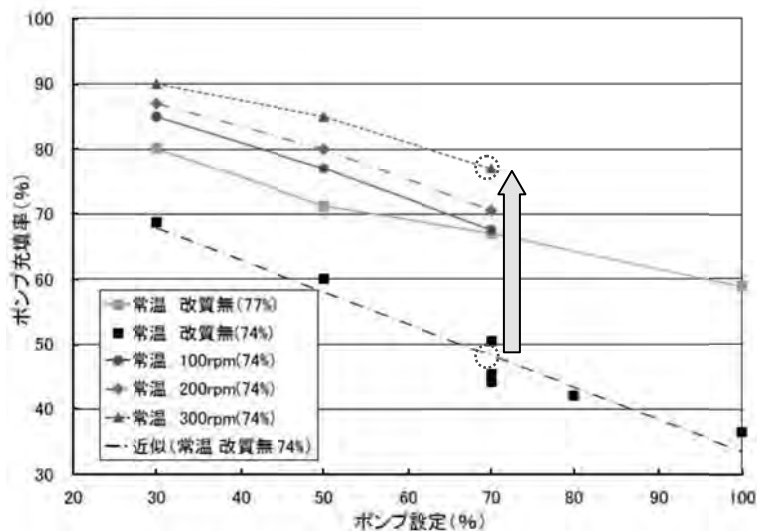


図-9 充填率の向上

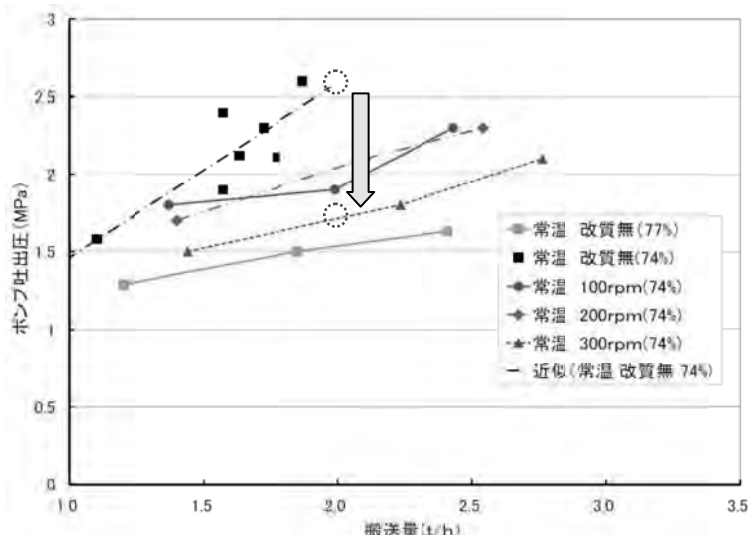


図-10 ポンプ吐出圧の改善①

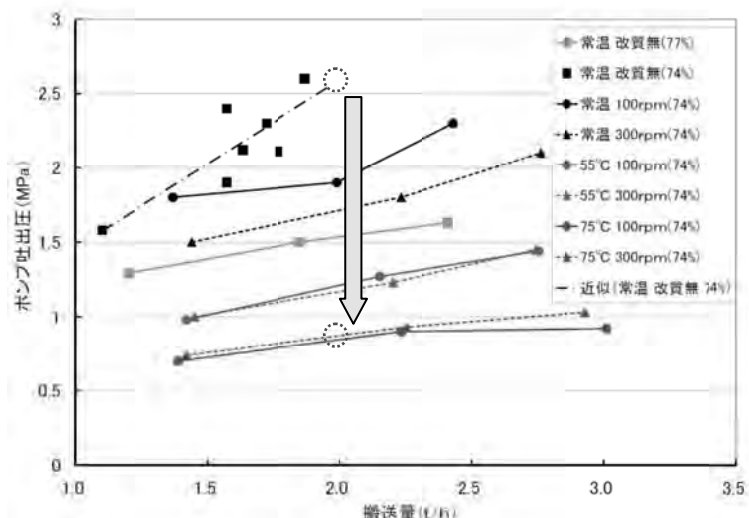


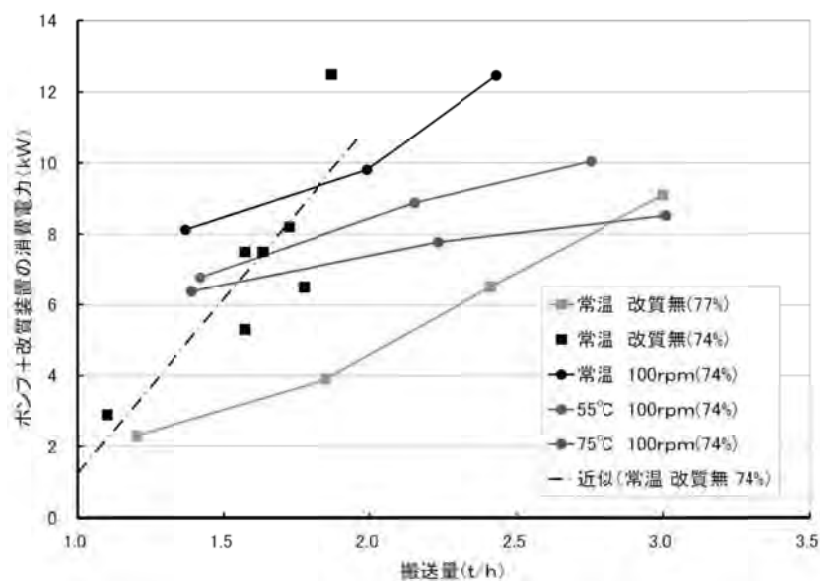
図-11 ポンプ吐出圧の改善②

5.3 改質及び加温が搬送設備消費電力に与える影響

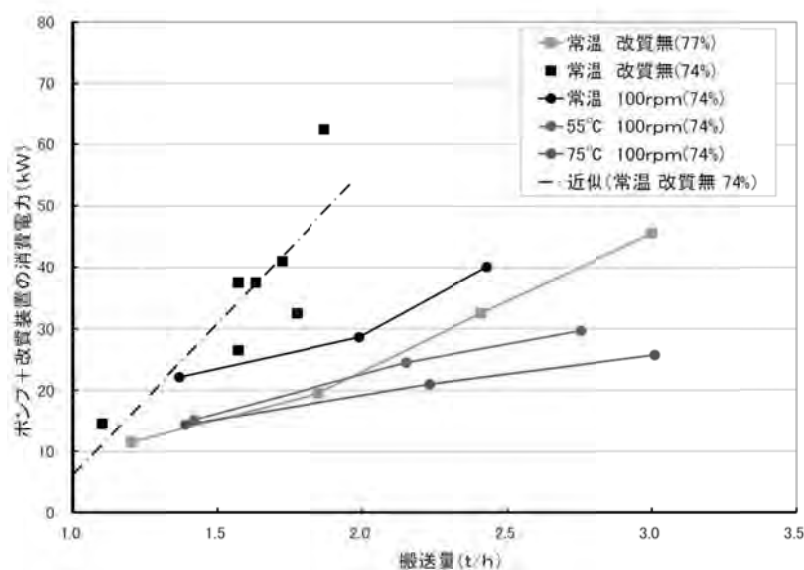
脱水汚泥を改質及び加温することで、低含水率脱水汚泥のポンプ搬送時の吐出圧力が大幅に改善することが分かった。ただし、改質装置には新たな動力が必要になることから、搬送設備全体での消費電力について評価する必要がある。

本実験装置における搬送設備全体（ポンプ動力と改質装置動力の合計）の消費電力の様子を図－12 に示す。本調査の目標「77%の脱水汚泥搬送時と同等の消費電力」に達していないことが分かる。これは、本実験装置の吐出配管が 18m と短く、全消費電力に占める改質装置動力の割合が大きかったためである。

そこで、ポンプ動力は吐出配管長に比例するものとして、吐出配管長を実設備程度の長さ（90m）とした場合の搬送設備消費電力を試算した。その結果、実設備においては、「77%の脱水汚泥搬送時と同等の消費電力」を満足できると予想された。（図－13）



図－12 搬送設備消費電力(実験装置)



図－13 搬送設備消費電力(想定設備)

吐出配管長を 90m とした想定設備における搬送設備消費電力の内訳を図-14 に示す。

ポンプ動力は吐出配管における管摩擦損失に大きく依存するため、改質と加温により減少する一方、改質装置動力は加温条件によらず一定であることが分かる。

5.4 改質及び加温が脱水汚泥の粘度に与える影響

回転粘度計を用いて簡易的に脱水汚泥の粘度測定を行い、これまでの実験結果の考察を試みた。改質及び加温による脱水汚泥の粘度変化の様子を図-15 に示す。

多少のばらつきはあるが、改質装置により脱水汚泥の粘度の低下が見られる。このことから、改質装置の効果は主にポンプ充填率向上による搬送速度（ピストン速度）の低下がもたらす管摩擦損失の低減であるが、粘度低下による吐出配管における管摩擦低減効果もあることが推測される。

さらに、改質と加温を併用することで、脱水汚泥の粘度は 1/3 以下にまで低下しており、加温が粘度低下に大きく寄与していることが分ると同時に、図-11 が示すポンプ吐出圧の改善結果ともよく整合している。

6 まとめ

本調査により明らかとなった知見は以下のとおりである。

- (1) 含水率 74%程度の脱水汚泥ポンプ搬送において、パドル式改質装置によりポンプ吐出圧が約 35%改善した。
- (2) 含水率 74%程度の脱水汚泥ポンプ搬送において、パドル式改質装置と温水式加温装置の併用により、ポンプ吐出圧が約 67%改善した。
- (3) 含水率 74%程度の脱水汚泥ポンプ搬送におけるポンプ本体動力と改質装置動力の合計は、温水式加温装置を併用することで、含水率 77%程度の脱水汚泥ポンプ搬送におけるポンプ本体動力と同等以下になる。

以上から、本技術は、既存の搬送設備を低含水率脱水汚泥に適用させる技術の一つとなる可能性があることが分かった。

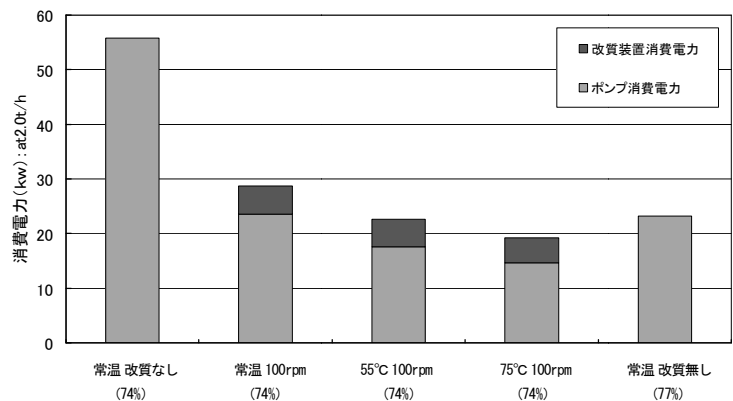


図-14 搬送設備消費電力内訳

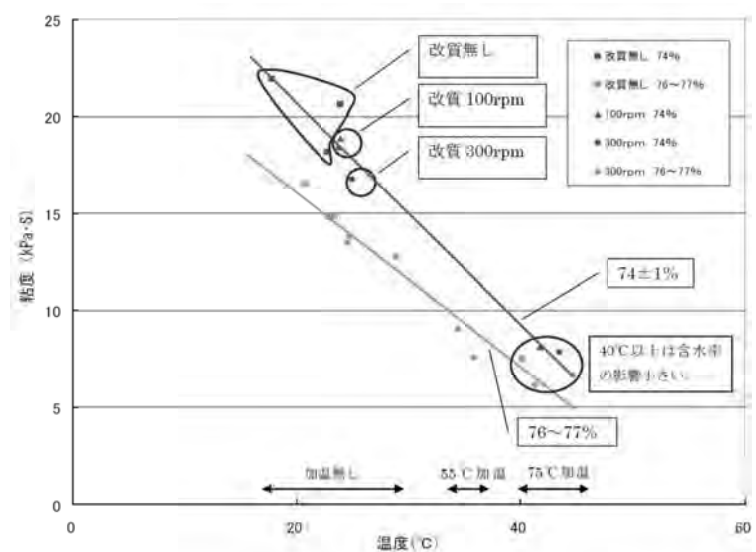


図-15 汚泥の粘度変化

3-(1)-3 スカムスキマの越流量調整方法の改善について

東京都下水道サービス（株）施設管理部東部保全センター
中川保全事業所 中濱 英仁

1. 背景

中川保全事業所では、第一沈殿池及び第二沈殿池において季節によりスカムが大量に発生し、収集しきれずに堆積してしまうことがある。堆積したスカムは固まることもあり、竹竿で砕いたり、かき寄せたりして流していたが容易な作業ではなかった。

スカムの堆積を防ぐ目的で越流量を変える場合、スカムスキマと連動する水位検出用電極棒の長さを変えることでスカムスキマの転倒角度を調整してきた。覆蓋下部での電極棒の調整は、作業エリアが狭く作業性が悪い上、回転する機器に挟まれる恐れがある。臭気や流入水が飛散する劣悪な環境のもとでの作業であり、作業環境が非常に悪かった（図1、2）。



図1 電極棒調整作業環境



図2 電極棒調整作業環境

そこで本調査では、越流量の調整方法を改善するとともに、スカムの堆積を防ぎスカム収集を効率よく行うことで、安定した水処理の運転を目指した。

2. 改善方法の検討

2. 1 スカム越流量調整方法の検討

スカムの越流量を調整する方法として、次の方法を検討した。

- (1)スカムスキマ転倒角度の調整
- (2)スカムスキマ開時間の調整
- (3)スカムスキマ据え付け高さの調整
- (4)スカム押し込み水量の調整

本調査では、効果、費用、手間等を総合的に判断し、「(1) スカムスキマ転倒角度の調整」による方法を採用した。

2. 2 スカムスキマ転倒角度調整方法の検討

スカムスキマの転倒角度を調整する方法として、次の方法を検討した。

(1)水位検出電極棒長さの調整（従来）

(2)スカムスキマ転倒動作時間の調整

(3)スカムスキマ据え付け角度の調整

3つの調整方法のうち、(3)は直営では対応できないため、(1)及び(2)について検討した。

2. 2. 1 「(1)水位検出電極棒長さの調整（従来）」の特徴

従来の方法である電極棒長さの調整の特徴は次のとおりである。

(1)長所

スカムスキマの停止角度が視覚的にわかりやすい。

(2)短所

1)越流量を増やす場合は電極棒を短く切れれば良いが、越流量を減らす場合は電極棒の交換が伴い、費用がかかる。

2)スカム混じりの流入水のすぐそばで作業する必要があるため、作業環境が悪い。

3)工具や電極棒を池内に落とした場合、沈殿池を停止する必要がある。

2. 2. 2 「(2)スカムスキマ転倒動作時間の調整」の特徴

従来の方法である「電極棒長さの調整」は電極棒が水面に触れると転倒を停止する制御であった。これにタイマ回路を追加して停止までの遅延を作ることによって、電極棒が水面に触れても転倒を続け、転倒角度を大きくすることで越流量を増やす。スカムスキマの転倒状況を図3に示す。

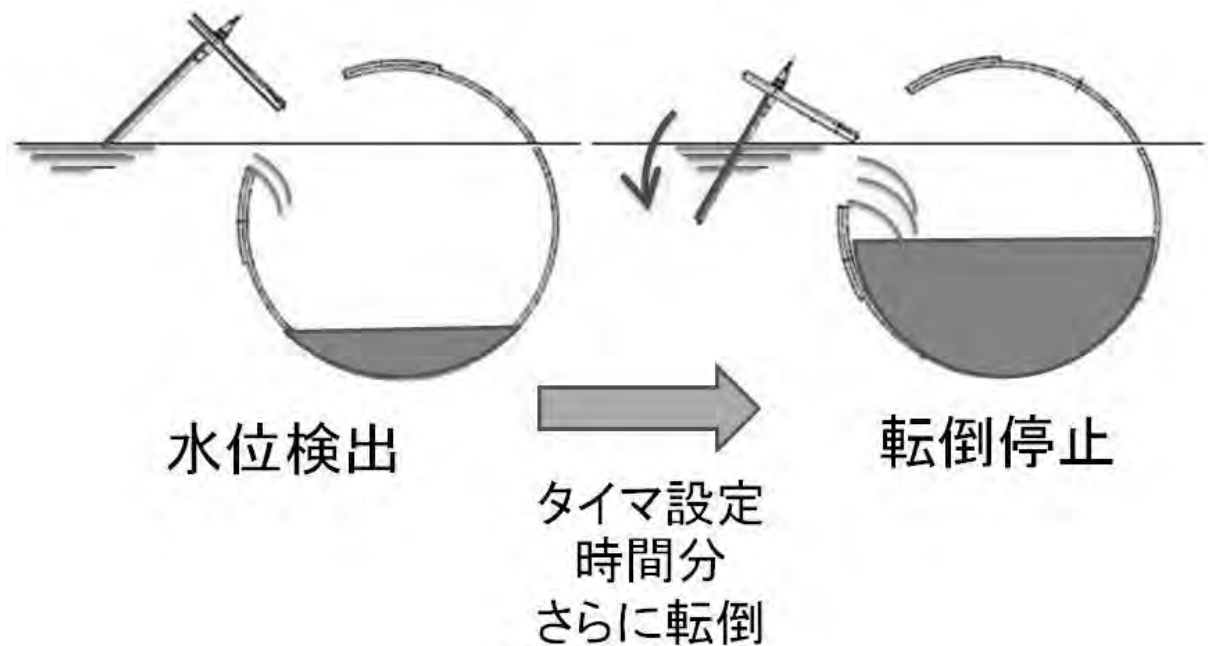


図3 スカムスキマ転倒状況

転倒動作時間の調整による方法の特徴を以下に示す。

(1)長所

1)導入時・変更時とも、手元盤内で行えるため作業環境が良い。

2)タイマの追加・設定時間の変更のみでできるため、設定の変更が容易である。

3)水位変更時に費用がかからない。

(2)短所

- 1)導入時に、シーケンス回路変更に伴うタイマ等の費用がかかる。
- 2)タイマ設定時間を同じにしても、回転速度の個体差により、スカムスキマの停止角度が異なる可能性がある。

以上のことから、「(2)スカムスキマ転倒動作時間の調整」による方法を採用した。

3. 改造要領

改造の流れは次のとおりである。

- (1)シーケンス回路変更の検討
- (2)2系一沈1号池でのタイマ取付試験
- (3)2系一沈4号池への水平展開

3. 1 タイマ回路の作成

スカムスキマ転倒動作時間を調整できるようにするため、水位検出回路にタイマ回路(遅延回路)を追加し、水位検出後もパイプスキマ転倒動作を一定時間継続するようにした。

改造に使用した部品は次のとおりである。

- (1)タイマ H3M 1個

(設定可能範囲：0～1、「秒」・「分」切替付き、「1倍」・「10倍」切替付き)

- (2)ベース 1個

- (3)配線材料 一式

※数量は1水路あたり

なお、部品はすべて在庫品を使用した。

改造前後のシーケンス回路図を図4、5に示す。

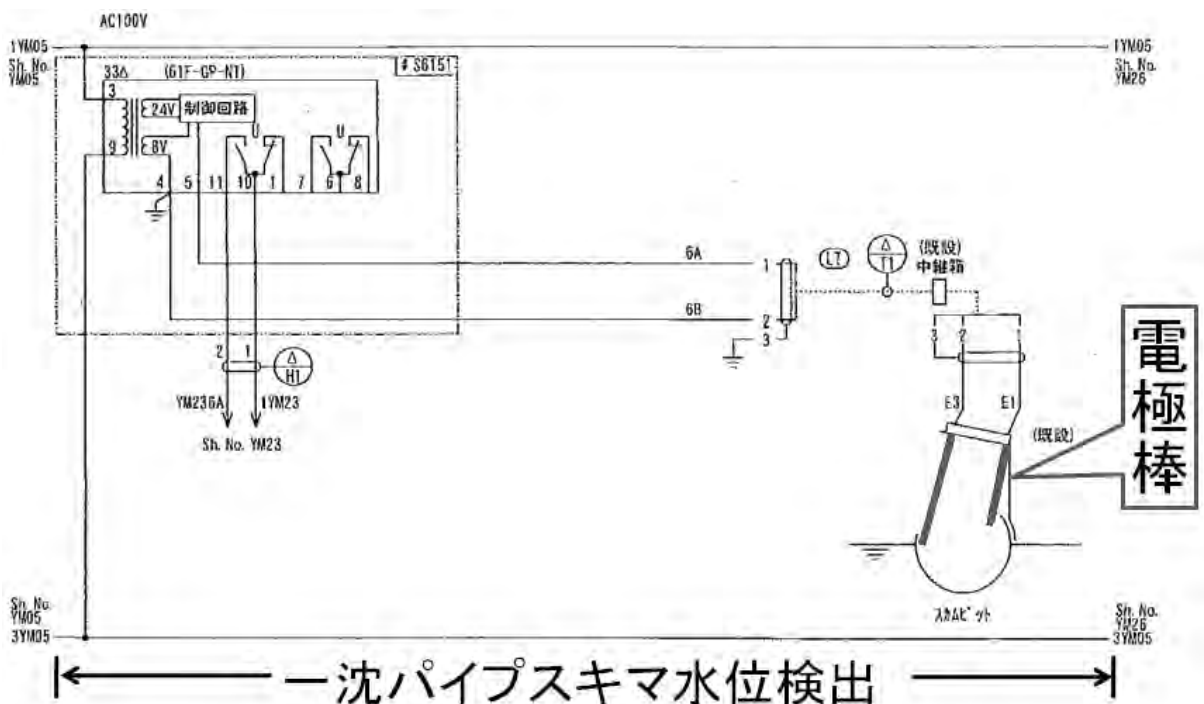


図4 シーケンス回路（改造前）

10月から11月の2か月間運転した結果、システムとして問題ないことを確認した。

3. 3 2系一沈4号池への水平展開

2系一沈1号池でタイマ設定可能時間等に問題がなかったため、1号池に加えて4号池にもタイマ回路を設置した。1号池と同様、定期的に状況を確認し、状況に合わせてタイマ設定時間を変更した。平成24年2月までの3か月運転を継続して確認したが、2系一沈1号池、4号池とも目立ったスカムの堆積がなく、一定の効果がみられた。

平成24年3月現在のタイマ設定時間は表1のとおりである。

表1 タイマ設定時間

号池	2系一沈1号池				2系一沈4号池			
水路	1	2	3	4	1	2	3	4
設定時間 (秒)	2.5	1.5	1	1	1	1	1	2

4. 結果

2系一沈1号池、4号池での改造により、次のような成果が得られた。

- (1)スカム発生量に応じた最適なスカムスキマの越流量調整が簡単にできるようになった。
- (2)覆蓋下という劣悪な環境での電極棒の調整作業を無くすことができた。

5. まとめ

今回2系一沈1号池と4号池の計8台についてスカムスキマの越流量調整方法を改善した。

スカムの大量発生時にも、タイマ設定時間を変更し越流量を増やすことで、スカムの堆積を防ぐことができた。今後、第一沈殿池の他の号池と第二沈殿池への水平展開を検討する。

4. 国際論文

【第85回W E F年次総会発表論文 英文】

- 1 Technology Development of Anti-seismic Structures for Sewer Networks
管路施設の耐震化技術の開発
- 2 Discussion about Cause of Nitrous Oxide (N₂O) Emission in Wastewater Treatment Plant, Based on Long-Term Continuous Measurement
下水処理施設における一酸化二窒素 (N₂O) の連続測定調査等に基づく発生要因に関する考察

4-1 Technology Development of Anti-seismic Structures for Sewer Networks

Yukihiro ISHIKAWA

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

ABSTRACT

Japan has experienced several major earthquakes in the past two decades: the Southern Hyogo Earthquake (1995), the Niigata-Chuetsu Earthquake (2004) and the Great East Japan Earthquake (2011). These earthquakes damaged many kinds of infrastructure, including sewage facilities, and resulted in a major long-term impact on civic life and urban activities.

Almost 90 years has passed since the Great Kanto Earthquake of 1923, and there is a 70 percent chance that a shallow-focus earthquake could hit directly under Tokyo within the next 30 years.

The Tokyo Bureau of Sewerage is working to develop seismic technologies to maintain sewerage infrastructure as well as ensure safe evacuation and toilet usability in the event of a major earthquake.

Here, we would like to introduce our seismic retrofitting measures for the joints connecting sewage pipes to manholes (which have shown significant damage during earthquakes) and a trenchless seismic retrofitting technology to prevent the manhole uplifting that results from liquefaction. We would also like to briefly introduce a new technology currently under development that prevents sediment influx into manholes during earthquakes.

KEYWORDS: Trenchless seismic retrofitting, liquefaction countermeasures, manhole uplift suppression, new technology

INTRODUCTION

Sewage works suffered significant damage in the Hyogo (1995), Niigata Chuetsu (2004) and Great East Japan (2011) earthquakes. Ruptured sewer lines (Photo 1) and uplifted manholes from liquefaction (Photo 2) made toilet facilities at evacuation sites unusable and blocked road traffic, thereby seriously hindering post-disaster civic life and emergency restoration efforts. Final treatment of sewage was stopped, with workers implementing stopgap measures such as the construction of temporary settling tanks on facility grounds and in neighboring canals and, for a limited period, carrying out only primary treatment of sewage waste.

The metropolitan Tokyo area is estimated to have a 70 percent chance of experiencing a

magnitude-7 class earthquake within the next 30 years. If a magnitude 7.3 earthquake occurred in the northern part of Tokyo Bay, an average of 27.1 percent of sewer pipes are expected to suffer damage. If the earthquake halted sewage functions and a major rainfall occurred, the system would not be able to carry off rainwater, potentially wreaking enormous damage.

Earthquake measures are therefore an urgent issue and require further strengthening of efforts to mitigate damage and accelerate recovery and restoration.

Heavy traffic in urban areas such as Tokyo makes the regulation of road lanes during excavation difficult. Moreover, open-cut excavation for the implementation of seismic technologies in sewer lines presents difficulties since water, gas and electric lines are also buried under roadways.

Given these conditions, the Tokyo Bureau of Sewerage is working to develop trenchless seismic retrofitting technologies for its sewer lines.



Photo 1: Ruptured connection between manhole and sewer pipes



Photo 2: Uplifted manhole (2004 Niigata Chuetsu Earthquake)

Plan to Seismically Strengthen the Tokyo Sewer System

As part of the Tokyo 2020 Plan announced in 2011, the metropolitan government is actively promoting earthquake measures in its aim to create a disaster-resistant city and enhance the metropolis' credibility.

When selecting sewer lines on which to carry out seismic retrofitting work, the Bureau of Sewerage gives priority to “points” of attention such as sewer lines and manholes that carry wastewater from disaster center hospitals, schools that serve as evacuation centers, and parks that serve as evacuation facilities.

Specifically, the Bureau has been surveying the joints connecting manholes and sewer pipes of 700 millimeters or less at 2,500 evacuation facilities to determine whether retrofitting is possible.

At the end of March 2012, 78 percent had been surveyed, with a planned completion by the end of March 2014.

Moreover, the Bureau is also promoting another seismic measure “point”: suppressing manhole uplifting to ensure that emergency vehicles can pass over roads during a disaster. These measures are also being applied to manholes on sidewalks to ensure passage to evacuation centers and the like.

Specifically, these measures are being applied in areas at high risk for liquefaction to roads designated as essential emergency transport routes and evacuation routes in order to mount recovery activities during in an earthquake disaster. Over a three-year period beginning in 2008, the Bureau implemented measures to prevent uplifting of manholes along 500 km of roads designated at emergency transport routes. From April 2011, we have been working to implement these same measures for manholes along the 1,500 km of roads that access these emergency routes.

Given the danger of an earthquake directly hitting the metropolis, the Bureau will need to extend its seismic measures in stages, expanding out from such “points” to “lines” and “surfaces.”

Seismic strengthening of “lines,” or the actual sewer pipes, is currently being carried out as part of reconstruction work and is by necessity a long-term effort. As such, there is need to proceed with such “line” work—seismic retrofitting and reconstruction—in parallel.

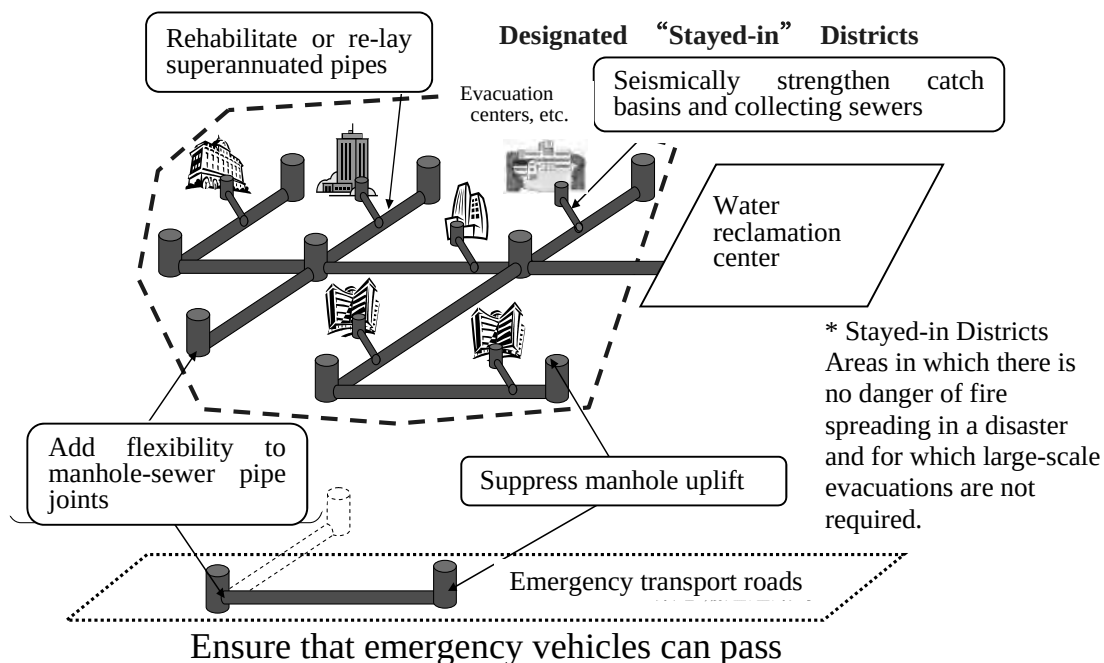


Fig. 1. Overall image of seismic retrofitting and reconstruction in stayed-in districts

In addition to work on lines from evacuation centers, etc. it also necessary to expand work to maintain other essential “points” such as national and city organizations responsible for disaster prevention; police, fire and other public facilities; facilities essential to post-disaster recovery of electricity, gas and other lifelines; major railway stations, who must deal with stranded commuters; and convenience stores and similar places that provide services during a disaster.

“Areas” refer to seismic retrofitting of sewer systems in the designated “stayed-in” districts (Fig. 1) (areas where it is safe to remain in a disaster) of Tokyo’s disaster prevention plan, largely those in central Tokyo and around major stations. Since basically the entire sewer system needs to be seismically retrofitted, by increasing the priority of reconstruction work, the Bureau must promote speedy and efficient seismic retrofitting and superannuated pipe measures.

Developing Technology for Making the Tokyo Sewer System Earthquake-Resistant

Seismic retrofitting of sewer pipes consists of three basic types of work: strengthening the pipes themselves, strengthening the joints connecting manholes and pipes, and measures to prevent the uplift of manholes. Tokyo Bureau of Sewerage has been carrying out joint research with a number of private-sector enterprises to develop seismic technologies with respect to latter two types of work, and we would like to introduce them here.

1. Development of a Technology to Strengthen the Joints Connecting Manholes and Sewer Pipes

In the 1995 Southern Hyogo Earthquake, sewer pipes suffered damage from ruptures, ejections, joint slippage and cracks. In particular, the damage was often seen at the joint between the manhole and the sewer pipe and in the first pipe leading from the manhole.

The joints connecting manholes to sewer pipes were rigid and not able to absorb the difference in the movement between the two parts in response to ground motion.

After surveying the damage in the Hyogo earthquake, the Japan Sewage Works Association published its guidelines and commentary for seismically retrofitting sewage facilities based on two levels (Level 1, Level 2) of ground motion and indicated new thinking about seismic-resistant design.

Using these guidelines, the Tokyo Bureau of Sewerage began collaborative research with private enterprises from 1998 to develop a seismic technology for the joints connecting manholes and sewer pipes.

(1) Request to Develop a Seismic Retrofitting Method for Existing Manholes

1) Background to the Request

Given the damage to sewage facilities in the 1995 Southern Hyogo Earthquake, the Tokyo Bureau of Sewerage made a request to private-sector enterprises in 1998 to develop seismic

technology for joints connecting manholes and sewer pipes.

The following year, three companies developed a seismic method for use in existing manholes. After verifying the technology under actual conditions, from 2000 the Bureau began using the method in existing pipelines that handle wastewater from evacuation centers and disaster hospitals.

2) Overview of Method

In this method, the joint connecting existing manholes and sewer pipes is improved by adding flexibility for seismic resistance without excavation of the site.

By improving flexibility of the joint, this technology prevents pipe damage and ensures seismic resistance even when the pipe is refracted or ejected due to ground motion.

3) Method Characteristics and Scope of Application

This method uses a special cutting device along the outside diameter of sewer pipe using a special device, cutting through the manhole to the ground and separating the pipe from the manhole. This work may call for water stoppage for soil stabilization, depending on the conditions around the pipe. The cut channel is filled with an elastic polyurethane sealant to give the joint elastic structure. (Fig. 2, 3)

In addition, this method is designed to deal with Level 2 ground motion, which occurs statistically every 500 to 1,000 years.

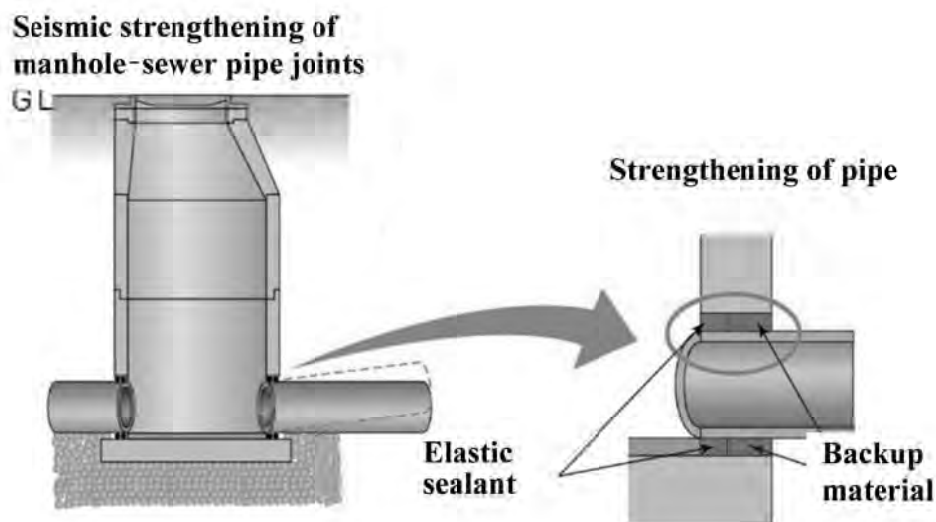


Fig. 2. Conceptual schematic for seismic retrofitting of existing manholes

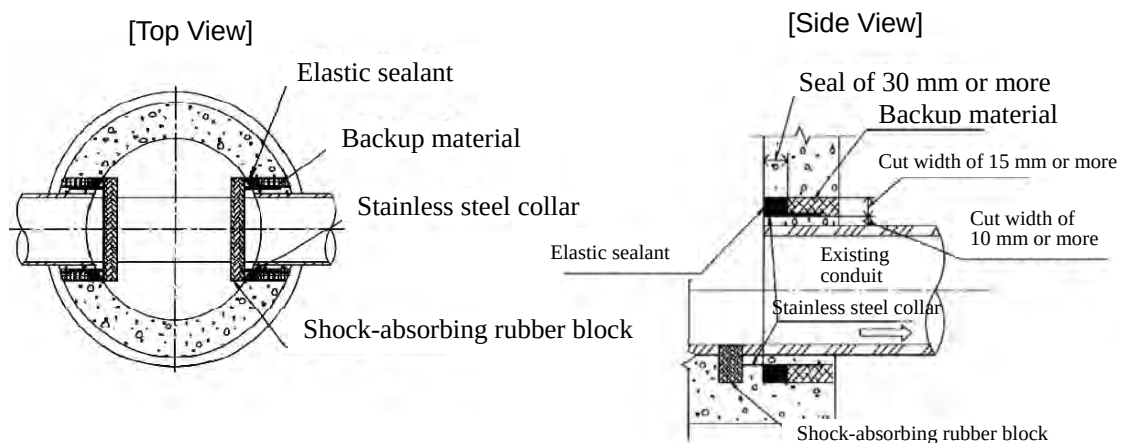


Fig. 3. Conceptual schematic for seismic retrofitting of existing manholes

The scope of application is as follows:

- 1) Pipe types: clay, reinforced concrete, rigid PVC pipe, fiber-reinforced plastic mortar pipe
- 2) Existing pipe size: inside diameter of 250–700mm
- 3) Manhole diameter: inside diameter of at least 900mm
- 4) Thickness of manhole wall: 300mm or less
- 5) Manhole cover: 600mm or more
- 6) Manhole depth: 5m or less

(2) Use of a Method to Seismically Retrofit Joints in Rehabilitated Pipes at Manholes

1) Decision on the Method to Be Used

There is a large concentration of superannuated pipes in central Tokyo that have well exceeded their statutory 50 years of useful life and, due to advancements in urbanization and more sophisticated lifestyles, many of these pipes have insufficient flow capacity for handling wastewater volumes and increased rainwater runoff. To address this problem, measures to deal with superannuation are required.

In the 2004 Niigata Chuetsu Earthquake, sewers were unusable due to large-scale damage to sewage lines and there was a shortage of toilet facilities at evacuation centers, reiterating the importance of sewers as a lifeline.

With the aim of seismically retrofitting the joints between manholes and rehabilitated sewer lines, in 2009 we assessed a method developed in the private sector and decided to implement it in our facilities.

2) Overview of Method

This method applies to the joints between manholes and sewer lines for rehabilitation, adding seismic resistance for pipe ejection, projection and refraction by giving a more flexible structure

using a trenchless method prior to the rehabilitation work. Moreover, this method aims to ensure earthquake resistance against ground motion in the same way as seismic retrofitting of non-superannuated pipes.

After deploying this technology in the joints of upstream and downstream pipes in manholes then rehabilitating the pipes allows seismic strengthening of both the pipe and the joint at the manhole.

3) Characteristics and Scope of Applicability

This is a trenchless method that uses special cutting equipment from inside the manhole to cut into existing pipe (wall only) without cutting through to the ground. The cut area is fitted with a waterproof and seismic-resistant rubber ring that is sealed in place with an elastic wet epoxy resin. (Figure 4)

The scope of application is as follows:

- 1) Pipe type: reinforced concrete, clay
- 2) Pipe shape: circular
- 3) Pipe diameter: Inside diameter 250–400mm
- 4) Manhole shape: Inside diameter of 900mm or more
- 5) Thickness of manhole wall: 200–300mm
- 6) Cover diameter : Inside diameter of 600mm or more
- 7) Manhole depth: 5 meters or less

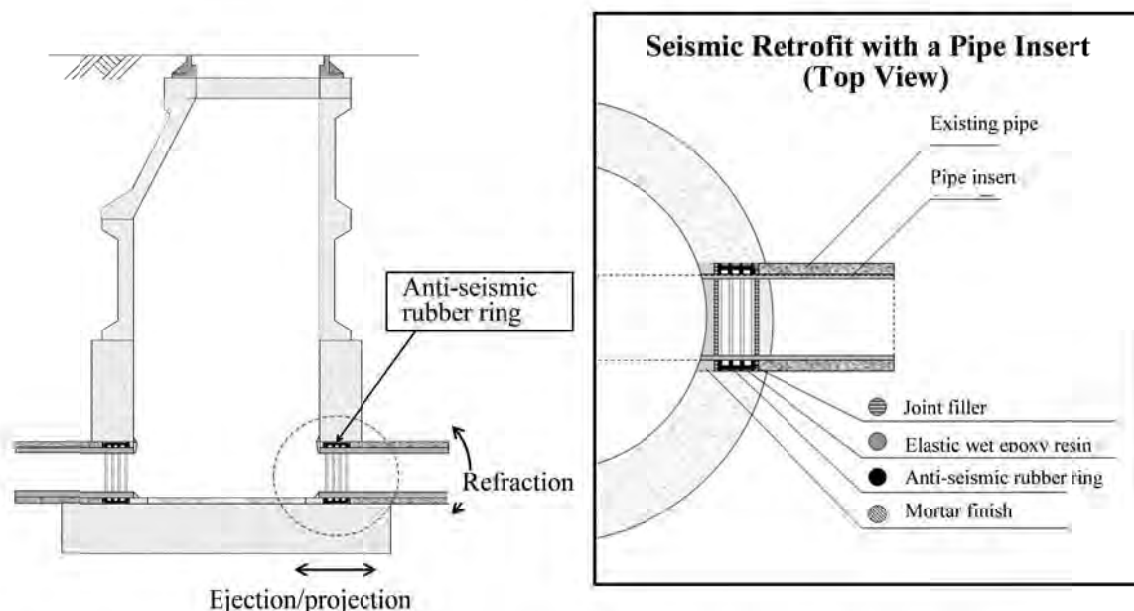


Fig. 4 Conceptual diagram for the joint between a manhole and rehabilitated sewer line

(3)Development of a Seismic Retrofitting Method for Large-diameter Pipes

1) Background

We have carried out trenchless seismic retrofitting on smaller pipes of 700mm or less, which showed a comparatively higher level of damage in the 1995 Southern Hyogo Earthquake. However, in order to strengthen the pipes connected to evacuation centers and other lifeline locations and the pipes leading to water reclamation centers, it is necessary to seismically retrofit large-diameter pipes of 800mm or more. The Bureau of Sewerage began joint research with four private-sector companies in 2010, as there were no existing trenchless methods to retrofit large-diameter pipes.

2) Method Overview

Our seismic retrofitting method for large-diameter pipe addresses the weakest point in an earthquake—the joint connecting the pipe with a manhole—by inducing a hairline crack along the joint, then filling the space with a seismic-resistant material to strengthen against shaking. (Fig. 5)

This method uses a dedicated cutting device in the manhole to cut into the pipe wall or part of the manhole, thereby avoiding the need to drill through ground, and removes a three-dimensional cut in a circumferential direction. There is no need to break the invert with this method. Moreover, since there is no need to cut through to the surrounding ground, there is no need for to shut off water to keep the ground stabilized.

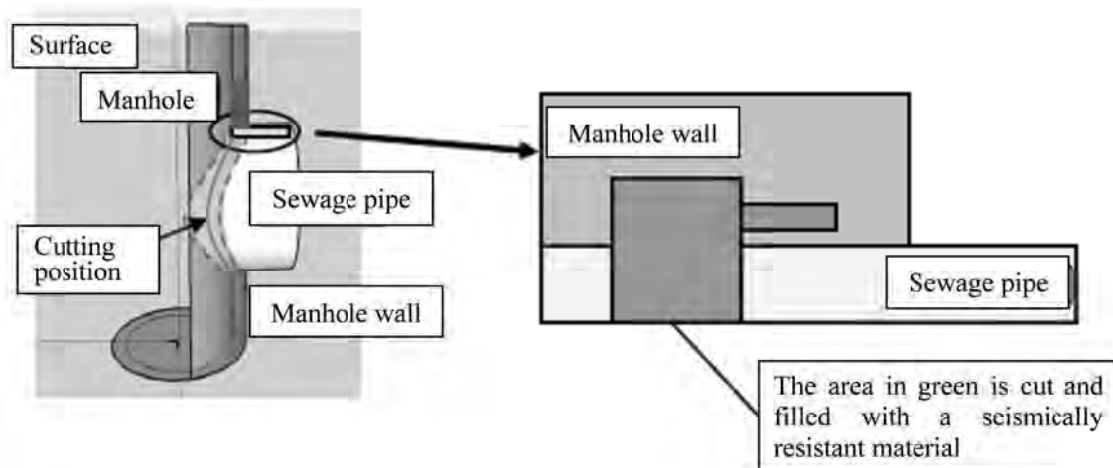


Fig. 5. Concept for a Seismic Retrofitting Method for Large-diameter Pipes

3) Purpose of Research and Scope of Application

To establish this method, we are moving forward with technology development with the following five research goals:

- 1) Determine an appropriate antiseismic structure
- 2) Develop and carry out a performance evaluation of the cutting device
- 3) Select durable antiseismic materials
- 4) Validate seismic performance for Level 2 seismic motion
- 5) Ensure construction constraints are met, such as being able to bring the cutting device into manholes with 600mm covers

The scope of application is as follows:

- 1) Pipe type: reinforced concrete
- 2) Pipe shape: circular
- 3) Diameter: internal diameter 800mm–2000mm
- 4) Manhole shape: internal diameter 1200–2200mm
- 5) Wall thickness: 250-300mm
- 6) Manhole depth: within 10m



Photo 3: Cutting



Photo 4: Installation of seismic-resistant materials



Photo 5: Completion of seismic retrofitting

2. Development of an Uplift Suppression Method for Existing Manholes

(1) The Principle behind Manhole Uplifts and Existing Measures

For sandy soil or insufficiently compacted (loose) soils, the soil particle skeleton is fragile and prone to subsidence in an earthquake. If groundwater is present, the soil cannot sufficiently drain pore water, leading to an increase in pore water pressure in which soil particles lose their effective stress and muddify. This is the process of liquefaction. Since anything with a higher specific gravity than muddy water will float, manholes (which have a light apparent specific gravity due to their hollow interior) will rise up.

Existing countermeasures include backfilling with improved soil followed by sufficient compacting or ground improvement. These are open-cut methods and therefore difficult to implement in metropolitan settings. The Bureau has been carrying out joint research with three private-sector companies since 2005 to develop technologies that can be safely implemented with trenchless methods.

(2) Target Values

The uplifted manholes resulting from large-scale earthquakes in Japan in recent years have interfered with road traffic such as the passing of emergency vehicles. The Japan Sewage Works Association's 2006 Earthquake Measures Manual provides guideline criteria for emergency measures with respect to passage interference (Table 1).

On the other hand, it is said that the maximum allowable height difference for the passage of traffic is 15 cm. At present, it is not possible to calculate the amount of subsidence that would occur from liquefaction, but if subsidence is estimated at 5 cm, then manhole uplift would need to be kept to below 10 cm to stay with the 15 cm limit. We therefore aimed to achieve manhole uplift of less than 10 cm.

In addition, we also set a development goal of working from inside the manhole to remove the need for excavation, to be able to restore traffic as early as possible, and to create a structure that would not interfere with operations and maintenance once implemented.

Table 1: Classification of degree of damage (excerpt)

Facility	Survey topic	Level of damage		
		Light	Medium	Heavy
Roads	Height difference between road and manhole	Feel bumps when passing over in a vehicle (Difference of 3cm or less)	Interferes with operation of vehicle (3cm-10cm)	Vehicles unable to pass (more than 10cm)

(3) Overview of Method

In this method, a dissipation valve is installed from the inside wall of the manhole. When pore water pressure increases in the area around the manhole, dissipation valves release the pressure by ejecting a pressure-sensitive plate, allowing the pore water to be released into the manhole and preventing manhole uplift. (Fig. 6, 7)

This technology is not affected by the size, depth or shape of existing manholes and allows for the selection of the best position and optimal number of valves. An installed valve consists of the valve socket, a mesh screen to prevent sediment inflow and a pressure-sensitive plate. When the pressure-sensitive plate is exposed to pore pressure water above a certain level, the plate is ejected, which allows water to flow into the manhole to dissipate pressure. Installation work uses a trenchless method and a specialized drilling device that stops just before penetrating through the manhole wall. The dissipation valve is press-fitted into the manhole and the space between the dissipation valve and the drilled space is filled.

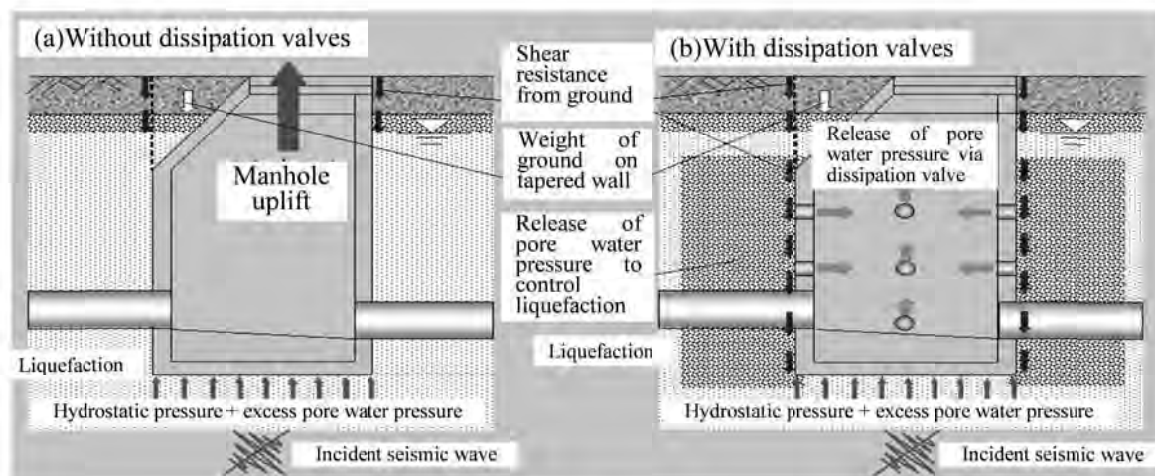


Fig. 6 Conceptual image of method to prevent uplift of existing manholes

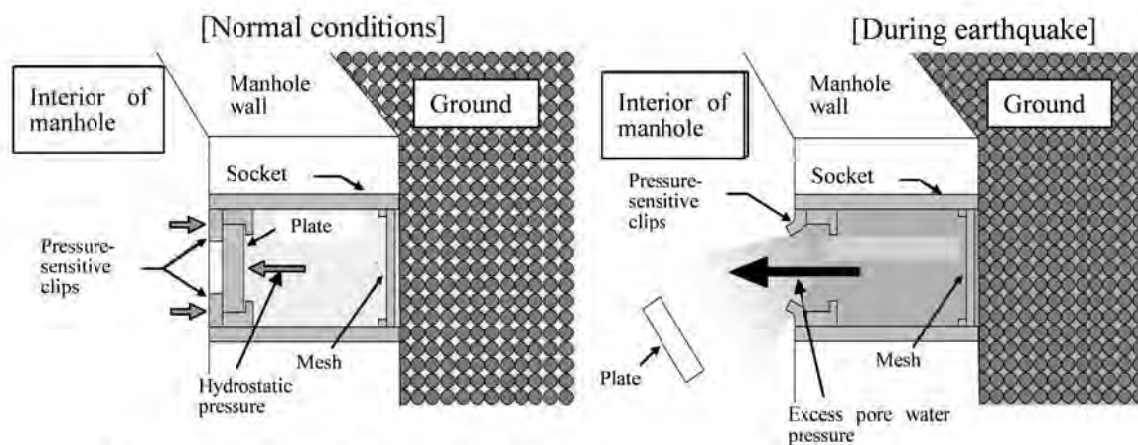


Fig. 7 The principle for the dissipation valve

A New Earthquake Resistance Technology

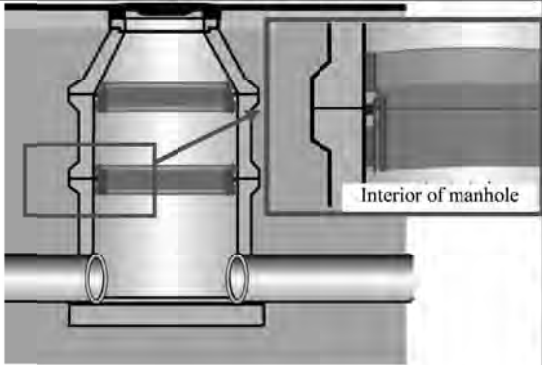
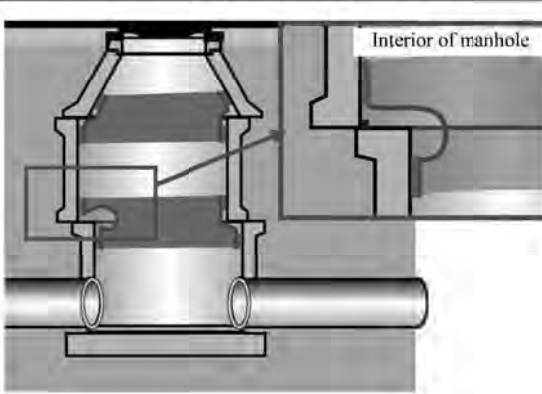
The March 11, 2011 Great East Japan Earthquake caused liquefaction in certain parts of Tokyo. At the same time, manhole blocks shifted and allowed sediment inflow. When sediment enters sewer lines, it inhibits flow and can result in sunken roads, which seriously affects the surrounding area. Sediment removal is also a time-consuming and costly effort and represents a delay risk in earthquake recovery. Therefore, there is pressing need to take steps to prevent sediment from flowing into sewage lines.

In the areas of Tokyo where liquefaction occurred on March 11, manhole joints shifted and allowed sediment inflow. We began joint research with four private-sector companies from July 2012 with the aim of developing a technology to prevent sediment inflow from manhole joints due to shifting from earthquake ground motion.

(1) Method Overview

Sediment inflow sheets are installed on the joints of existing manholes to occlude sediment inflow into the sewer system and suppress effects on the surrounding soil from sediment inflow.

The sediment inflow sheet is flexible and works in the same way as other seismic retrofitting methods by following ground motion and preventing the inflow of sediment into a manhole.

Normal conditions (post-installment)	After an earthquake (shifting of manhole joints)
	
• The sediment inflow sheet is installed folded and does not interfere with operations and maintenance. • The sheet is attached to the manhole joints with an adhesive that remains watertight under normal water pressure conditions.	• In response to a large stress, the waterproof adhesive is fractured without damaging the inside of the manhole or the sheet • The sheet unfolds and will remain watertight for slippage of up to 100mm.

(2) Purpose of Research

To establish this method, we are moving forward with technology development with the following five research goals:

- 1) Confirm the strength and durability of the sediment inflow sheet
- 2) Confirm the water-tightness of the sediment inflow sheet
- 3) Confirm the strength and durability of the sheet adhesive
- 4) Confirm the sheet's ability to keep up with displacement from ground motion
- 5) Confirm installability and post-installation quality

CONCLUSIONS

The Great East Japan Earthquake of March 11, 2011 produced shaking in Tokyo of Upper 5 (Japanese Seismic Intensity Scale) and liquefaction. Post-quake surveys focused on districts where liquefaction occurred were able to confirm that the sewer systems that had undergone seismic retrofitting had no major damage and were able to maintain flow.

To contribute widely to work for making earthquake-resistant sewerage works, we will continue to expand the scope of implementation for seismic technologies and aim to establish simple construction methods adapted to site conditions, as well as promote the development of new technologies in needed areas.

REFERENCE

1. 2010 Management Plan, Metropolitan Tokyo Bureau of Sewerage (published February 2010)
2. 2010 Technology Development and Promotion Plan, Metropolitan Tokyo Bureau of Sewerage (published January 2011)
3. 46th Sewage Research Conference (2009), “Development of a Seismic Resistance Method for the Joints of a Rehabilitated Manhole (*Taishin Ippatsu-kun*),” Tomohiro Hanahara, Yuji Imasaki, pp. 158-160 (Japanese)
4. 48th Sewage Research Conference (2011), “Seismic Resistance Work for Sewer Lines (Trenchless Method to Control Uplift of Manholes),” Hidetaka Takazawa, pp. 109-111 (Japanese)
5. 48th Sewage Research Conference (2011), “Method to Strengthen Seismic Resistance in Existing Large-diameter Pipes,” Yukihiro Ishikawa, Kenzo Sato, Shohei Iwasaki, Tsutomu Tanaka, Kohei Nakatani, pp. 112-114 (Japanese)

4-2 Discussion about Cause of Nitrous Oxide (N₂O) Emission in Wastewater Treatment Plant, Based on Long-Term Continuous Measurement

Kiyoaki Kitamura*, Tadahiro Nemoto, Shouichi Matsushita, Mihoko Uchida, Yoshitake Yoda, Kouji Kassai, Aki Hamamoto, Kouichi Satoh
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government
Kiyoaki_Kitamura@member.metro.tokyo.jp

ABSTRACT

The Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, has been implementing various measures to reduce greenhouse gas (GHG) emissions. However, measures to reduce Nitrous Oxide (N₂O) emission from wastewater treatment, which amounts to about 16% of the GHG emission from the Bureau, has been delayed since little is known about its behaviors and factors which affect its emission.

The Bureau installed continuous N₂O analyzer in a wastewater treatment plant (WWTP), and conducted continuous measurement of N₂O emission for one year. The results showed that N₂O emission fluctuated significantly and was affected by nitrogen load of influent and nitrification condition in reaction tank.

KEYWORDS : Green House Gas, Nitrous Oxide, Continuous Measurement, Wastewater treatment, Nitrite

INTRODUCTION

In recent low carbon society, not only water quality improvement, but also GHG reduction has become essential for WWTP. WWTP emits GHGs such as Carbon Dioxide (CO₂) due to electricity consumption and N₂O, which has 310-fold-stronger greenhouse effect than CO₂, from wastewater treatment and sludge incineration. The Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, has initiated proactive set of measures for reducing GHG emissions, calling it “Earth Plan 2010”. The Bureau has so far implemented GHG countermeasures by reducing electricity consumption and lowering the amount of N₂O generated by sludge incineration. However, only little progress has been made to suppress the emission of N₂O from wastewater treatment. Thus, reduction of N₂O from wastewater treatment will be important for further reduction of GHGs.

N₂O is a byproduct in both nitrification and denitrification process, and released into atmosphere by aeration of reaction tank. Nitrite (Zheng *et al.* 1994), sludge retention time (SRT) (Mizuochi *et al.* 1999), and dissolved oxygen (DO) (Tallec *et al.* 2006) have been reported as factors to affect N₂O generation in laboratory-scale experiment. In addition, the Bureau reported in WEFTEC2010 that N₂O generates in aeration tank and nitrite accumulation during nitrification process caused an increase of N₂O emission, in experimental water processing plant. However, there is a lack of knowledge regarding behavior of N₂O emission from full-scale WWTPs and detailed factor of its emission based on long-term monitoring and these data are required to advance measures to reduce N₂O from wastewater treatment.

Hence we set continuous N₂O analyzers in the WWTP in March, 2011 and have measured N₂O emissions. Here we report;

1. Fluctuation of N₂O emissions based on one year measurement and its relation with influent and effluent water quality.
2. Relation of N₂O emissions and nitrogen treatment status in each zone of biological reactor, to identify key factors that are correlated with N₂O emission.
3. Relation of nitrite concentration and N₂O gas concentration based on continuous measurement.

The Countermeasures against GHG Emission in Japan and Tokyo Metropolitan Government and the Role of Sewage Works

In Japan, “the Act on Promotion of Global Warming Countermeasures” obliges big enterprises which use energy more than 1,500 kL equivalent of petroleum per year to estimate and report the amount of GHG emission annually since April 2006. Emission factors to estimate the emissions are shown in the related regulations of the Act. Emission factors of methane (CH₄) and N₂O from wastewater treatment and N₂O from sludge incineration are the characteristic factors in wastewater field. For example, the emission factor of N₂O from wastewater treatment is 0.00016 kg of N₂O emission per 1 m³ of wastewater treatment. Although each emitter is allowed to use its actual measured volume instead of the emission factors, almost all of emitters estimate their emission volumes by the emission factors since it is difficult to measure emission volumes of N₂O and CH₄ in exhaust gas continuously.

These emission factors are specific in Japan and are different from the values shown in such as “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” (IPCC, 2006) that is commonly used to estimate official GHG emission. Each specific factor was determined according to the average data sampled from around 1990 to around 2000 in several WWTPs in Japan. For example, the emission factor of N₂O from wastewater treatment was calculated as the averaged value among eight data from three investigations (Ministry of the Environment Government of Japan, 2006).

The emission factor of N₂O on wastewater treatment (0.00016 [kg-N₂O/m³]) can be converted to approximately 30 [g-N₂O/person/year] using population and actual amount of wastewater treatment in Tokyo’s 23 wards area. This value is larger than 3.2 [g-N₂O/person/year] in IPCC guideline without intensive nitrification and denitrification and 7 [g-N₂O/person/year] used in the U.S. with intensive nitrification and denitrification (USEPA, 2012). Since wide range of emission factors (0.28-140 [g-N₂O/person/year]) and significant temporal variability on various WWTPs were also shown in recent investigation held in the U.S. (Chandran, 2010), emission factor in Japan is not thought to be quite larger than actual emission factor or emission factors in IPCC guideline and in the U.S.

While the Act in Japan obliges the big enterprises to only report estimation of GHG emission, Tokyo Metropolitan Government, a local government with the largest population in Japan, introduces a regulation demanding reduction of GHG emission as obligation. The targets of this obligation are big enterprises which use energy more than 1,500 kL equivalent of petroleum per year. WWTPs and other industries have to reduce more than 6% of the average emission from FY 2010 to FY 2014 in comparison with the average emission of any continuous three years from FY 2002 to FY 2007. All of 13 WWTPs and three of 83 pumping stations which are managed by Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government in Tokyo’s 23 wards are obligatory to reduce GHG emission.

The target GHG to be reduced in this regulation is only CO₂. However, if an enterprise is able to reduce other GHGs emission intentionally, the half of reduced amount of the GHGs (carbon conversion) is counted as the reduced amount of CO₂. As shown in the circle chart below (Figure 1), the proportion of N₂O is rather large on wastewater and sludge treatment and therefore capacity to be reduced is huge. To count the reduction amount of N₂O by this regulation, we need to reveal that actual emission factor is smaller than the defined value in the Act through continuous monitoring of N₂O on actual WWTPs.

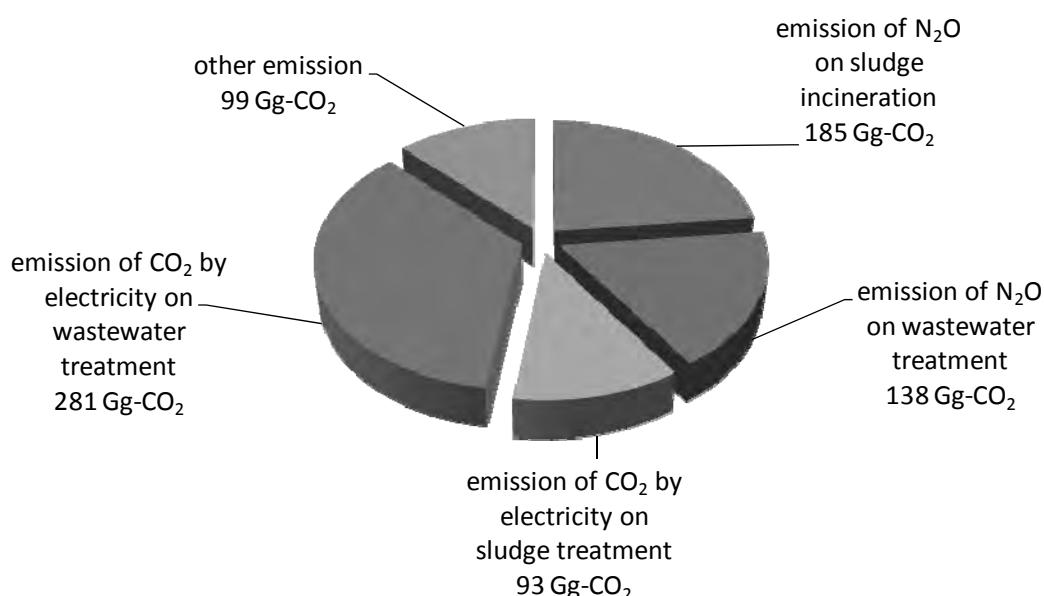


Figure 1 Inventory of GHG emission on Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (FY2010)

METHODOLOGY

1 Long Term Continuous N₂O Measurement

1.1 Outline of the Wastewater Treatment Plant

The outline of the WWTP which we installed continuous N₂O analyzers (WWTP-A) is shown in Table 1.

Table 1. Outline of WWTP-A

Treatment capacity	Removal system	Treatment trains	Treatment method	Sewage volumes (Fiscal 2011)
598,000 m ³ /day	Combined sewer system	Train 1	Conventional activated sludge process	116,000 m ³ / day
		Train 2	Conventional activated sludge process	249,000 m ³ / day
		Train 3	Step feed A ² /O method	52,000 m ³ / day

Continuous N₂O analyzers (METAWATER: ZSU-4) were set at air duct to deodorization equipments in WWTP-A. Amounts of N₂O emission from total plant and each treatment trains were measured every half-hour from April 2011 to March 2012.

1.2 Measurement Items Used to Analyze the Cause of N₂O Emission

At WWTPs in Tokyo, water quality tests are conducted at 10 a.m. on weekdays for daily operation and maintenance of the plant. Measurement items shown in Table 2 were used to analyze the cause of N₂O emission. Data of treated wastewater volume, supplied air flow, and rainfall were also used for the analysis.

Table 2. Measurement Items Used to Analyze the Cause of N₂O Emission

Samples	Measurement Items
Primary Effluent	Ammonium-nitrogen (NH ₄ -N), (Chemical oxygen demand) COD, Water temperature
End of Biological Reactor	NH ₄ -N, Nitrite-nitrogen (NO ₂ -N), Nitrate-nitrogen (NO ₃ -N), DO, Mixed liquor suspended solids (MLSS)
Treated Wastewater	NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N, COD

2 Relations of Nitrification Status and N₂O Emissions in Each Part of Reactor

Two Biological reactors (one from Train 1 and the other from Train 2 of WWTP-A) with different nitrification status were selected and N₂O concentrations in off-gas from 4 parts of the reactors were measured continuously for two days (14th to 15th of September, 2011) (Figure 2). Multi-gas analyzer (HORIBA: VA-3012) was used for measurement of N₂O. Activated sludge of each part was sampled at 9:00 a.m., 12:00 p.m., and 3:00 p.m. on September 14th and 9:00 a.m., and 12:00 p.m. on September 15th to measure NH₄-N, NO₂-N, and NO₃-N by ion chromatography analysis (DIONEX: ICS-1000). NH₄-N and COD of the primary effluent were also measured. Relations of these measurement items and N₂O emissions were analyzed.

In addition, same survey was conducted at a biological reactor of another WWTP (WWTP-B), which was expected that N₂O emission was low since the center always shows good nitrification, on 24th to 25th of October, 2011. Since biological reactors of WWTP-B are operated by Anaerobic-oxic activated sludge process, we selected 4 parts of aerobic tank to measure N₂O emission (Figure 3). Activated sludge of each part was sampled at 9:00 a.m., 12:00 p.m., and 3:00 p.m. on October 24th and 9:00 a.m., and 12:00 p.m. on October 25th to measure NH₄-N, NO₂-N, and NO₃-N by ion chromatography analysis (DIONEX: ICS-1000). NH₄-N and COD of the primary effluent were also measured.

RESULTS AND DISCUSSION

1 Long Term Continuous N₂O Measurement

Daily N₂O emission from WWTP-A from April 2011 to March 2012 is shown in Figure 5. The data shows that N₂O emission fluctuates widely. It can also be seen that N₂O emission declines after heavy rainfall, which is considered to be due to decrease in ammonia load of primary effluent.

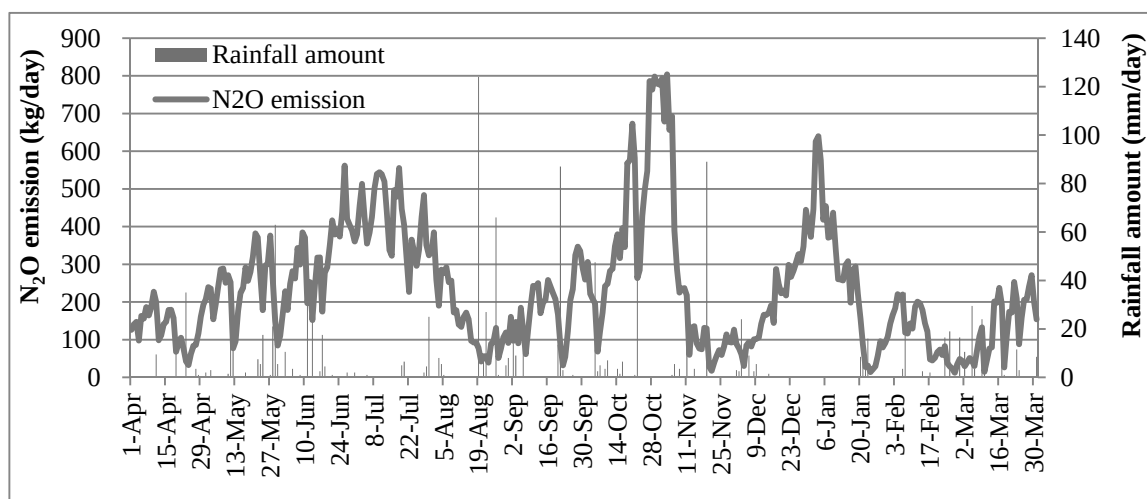


Figure 5. Total N₂O Emission Amount from WWTP-A

To analyze the cause of the fluctuation, we selected Train 1 as a representative and analyzed the relations between N₂O emission and measurement items shown in Table 2, wastewater volume and supplied air flow. No clear interrelations were shown between N₂O emission and wastewater volume, supplied air flow, COD, DO, or MLSS (Data not shown).

Since several reports show that N₂O emissions are affected by nitrification status and N₂O emission amount increases when nitrite remains in the reactor (Miyamoto *et al.* 2002, and Miyamoto *et al.* 2010), we analyzed the relation between NO₂-N concentration of the effluent and N₂O emission. To evaluate residual level of nitrite, we defined “Nitrite rate (%)” as shown in following equation.

$$\text{Nitrite rate (\%)} = \left\{ \text{NO}_2\text{-N}_{\text{effluent}} / (\text{NH}_4\text{-N}_{\text{effluent}} + \text{NO}_2\text{-N}_{\text{effluent}} + \text{NO}_3\text{-N}_{\text{effluent}}) \right\} \times 100$$

Annual N₂O emission and Nitrite rate are shown in Figure 6. Characteristically in dotted circle, Nitrite rate was also high when N₂O emission was high. This long term measurement result indicates that residual level of nitrite greatly affects N₂O emissions in full-scale plant. Thus, we conducted following surveys to analyze further details of the relation between N₂O emissions and nitrite in the reactor.

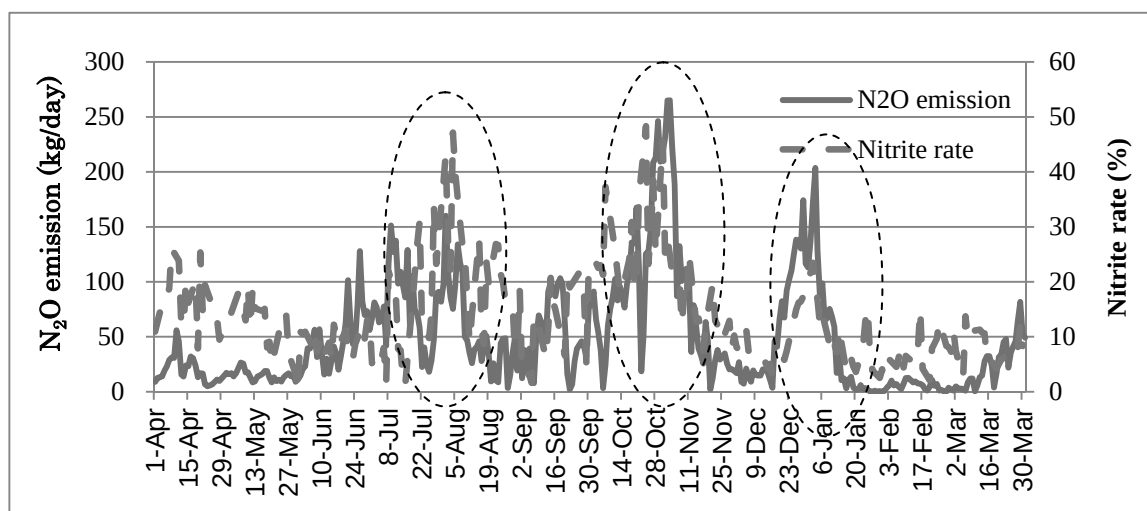
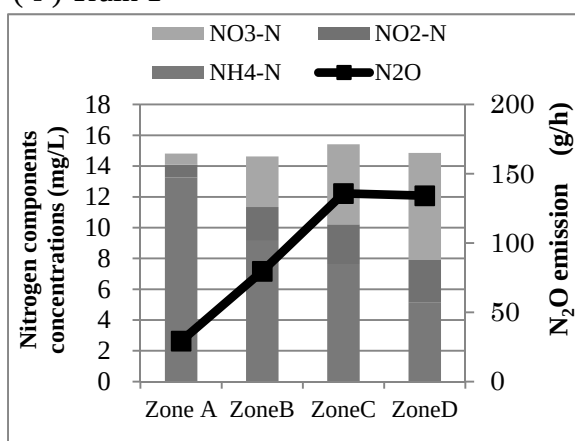


Figure 6. N₂O Emission and Nitrite Rate in Train 1 of WWTP-A

2 Relations of Nitrification Status and N₂O Emissions in Each Part of Reactor

N₂O emissions and NH₄-N, NO₂-N, and NO₃-N concentrations of each zone in Train 1 and 2 of WWTP A are shown in Figure 7. Average values of 5 data (9:00 a.m., 12:00 p.m., and 3:00 p.m. on September 14th and 9:00 a.m., and 12:00 p.m. on September 15th) were used since measured data at each time showed similar tendency. In Train 1, accumulation of nitrite was seen after zone B, and N₂O emissions were relatively high. Meanwhile, in Train 2, relatively high amount of ammonia remained while NO₂-N concentrations were very low, and N₂O emissions were lower than Train 1. In Train 1, N₂O emission was the largest at zone C, while it continued to rise until the final zone in Train 2. The differences of these trains were that, nitrification rate (5.6 mg/L/hour) was higher and residual ammonia was relatively low in Train 1, while nitrification rate (4.7 mg/L/hour) was lower and higher amount of ammonia remained in Train 2.

(I) Train 1



(II) Train 2

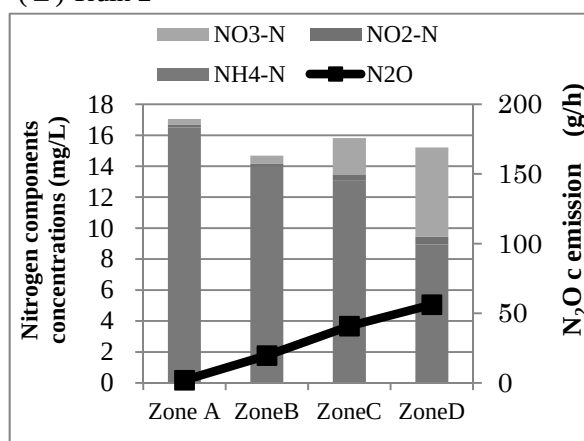


Figure 7. Concentrations of Nitrogen Components in Each Zone of Reactors of Train 1 (I) and Train 2 (II) in WWTP-A and N₂O Emissions from its Off-gas.

Correlations between concentrations of $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ in each zone of reactors and N_2O emissions from the same place at 9:00 a.m., 12:00 p.m., and 3:00 p.m. on September 14th and 9:00 a.m., and 12:00 p.m. on September 15th are shown in Figure 8. In Train 1, relatively high correlation with N_2O was seen for both $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ which shows that N_2O emits as nitrification proceeds. In Train 2, relatively high correlation with N_2O was only seen for $\text{NO}_3\text{-N}$, while scarce correlation was seen for $\text{NO}_2\text{-N}$ since $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration was very low.

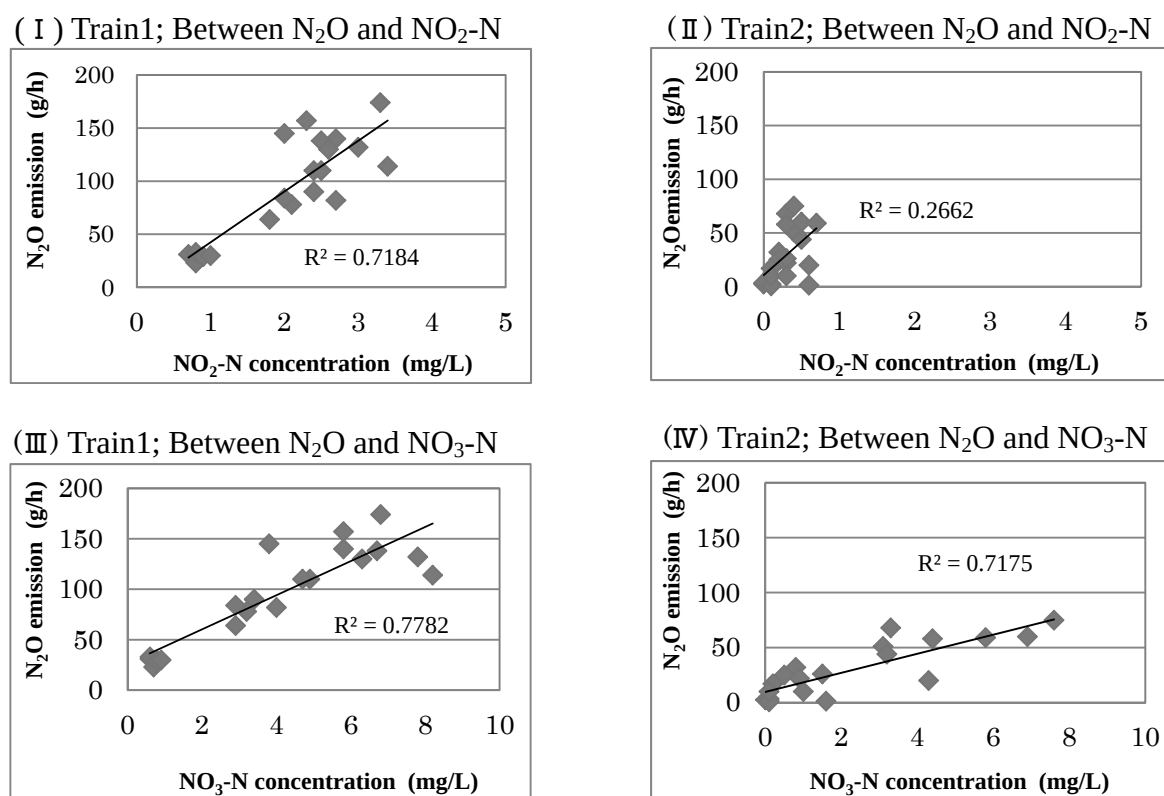


Figure 8. Correlations between N_2O Emissions and $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ Concentrations in Train 1 and Train 2 of WWTP-A

Same survey was conducted at a biological reactor of WWTP-B, which was expected that N_2O emission is low since the center always shows good nitrification. As seen in Figure 9, nitrification progressed quickly at the latter part of the reactor with no N_2O emission.

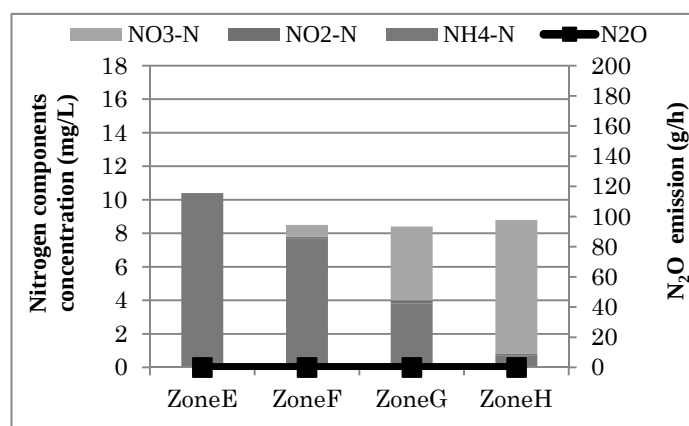


Figure 9. Concentrations of Nitrogen Components in Each Zone of a Reactor in WWTP-B and N_2O Emissions from its Off-gas.

These results of two WWTPs suggest that N_2O emits as nitrification proceeds when nitrification status is insufficient, as seen in the results of WWTP-A. It showed especially large emission when nitrite accumulated and there was a correlation between N_2O emission and $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration in that case as seen in Train1. In addition, there was no N_2O emission from a reactor of WWTP-B, which showed ideal complete-nitrification status. These results show that the control of nitrification is a key to reduce N_2O emissions.

3 Continuous Measurements of N_2O and $\text{NO}_2\text{-N}$ Concentration in Biological Reactor

N_2O and $\text{NO}_2\text{-N}$ concentrations were continuously measured for 10 days (From August 22 to 31, 2011) and data of both analyzers was extracted every 3 hours to analyze the correlation of N_2O and $\text{NO}_2\text{-N}$. There was a relatively high correlation between N_2O and $\text{NO}_2\text{-N}$ (Figure 10), which shows the link between N_2O emissions and nitrite accumulation in long-term analysis. This result suggests that $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration in the part of biological reactor where nitrification is proceeding could be an indicator of N_2O emission from biological reactor. Especially, since there was almost no emission of N_2O when $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration was under 1.0 mg/L, it was confirmed that avoiding nitrite accumulation in biological reactor is important to reduce N_2O emission.

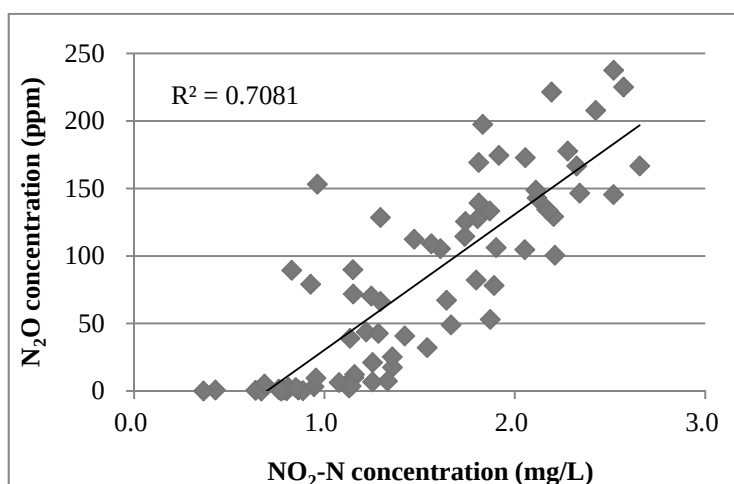


Figure 10. Correlation between N_2O Concentrations and $\text{NO}_2\text{-N}$ Concentrations in a Biological Reactor of WWTP-C

CONCLUSIONS

N_2O emissions from a WWTP in Tokyo were continuously measured for one year. N_2O emissions showed large fluctuations, declined sharply after rainfall, and was affected by nitrification status, especially residual amount of nitrite. So we conducted detailed surveys to confirm the relation of N_2O emission and $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration in each zone of biological reactor. The results confirmed that nitrite accumulation in biological reactor greatly affects N_2O emission. Thus, it is firstly important to achieve perfect nitrification without accumulating nitrite to reduce N_2O emission from wastewater treatment.

FUTURE PLANS

In addition to WWTP-A, which we started continuous N₂O measurement from 2011, we started continuous N₂O measurement at two more WWTPs in Tokyo from July, 2012. These three WWTPs have multiple processing methods (Conventional activated sludge process, A/O process, A²/O process) and this will enable us to compare the difference of N₂O emission behaviors of each method.

Furthermore, laboratory-scale and pilot plant experiments with different operating conditions, which are controllable in actual plants, are planned to find conditions for N₂O reduction. These conditions are planned to be adopted into the three WWTPs which we are conducting continuous N₂O measurement to investigate whether N₂O emission from wastewater treatment will actually reduce.

After confirming whether it is possible to reduce N₂O emission by the surveys mentioned above, we would like to take a leading role in establishment of a new system for N₂O reduction. Concretely, we will propose to the central government to set different emission factors by different processing methods or operating conditions, and we will work on Tokyo Metropolitan Government to apply these different emission factors to GHG reducing obligation by an Ordinance of Tokyo.

REFERENCES

- Chandran, K. (2010) Greenhouse Nitrogen Emission from Wastewater Treatment Operations: Interim Report. Water Environment Research Foundation (WERF), Report Number U4R07a.
- IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, Chapter 6 Wastewater Treatment and Discharge. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Ministry of the Environment Government of Japan (2006) Study Results for Estimating Greenhouse Gas Emissions, Part 4. Available at:
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h1808/40waste.pdf> (in Japanese)
- Miyamoto, A.; Ogoshi, M. (2010) N₂O Emission from Wastewater Treatment Process. *Civil Engineering Journal*, **52** (4), 10-13. (in Japanese)
- Miyamoto, T.; Suzuki, K. (2002) Greenhouse Gas Emission from Wastewater Treatment Plants. Annual Report of Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government on Technical Research. Available at:
<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/gijyutou/gn14/nenpou2002/REPORT64.pdf> (in Japanese)
- Mizuochi, M.; Inaishi, T.; Ichikawa, M.; Oishi, R.; Kimochi, Y. (1999) Effects of SRT and DO on N₂O Emission in Biological Anaerobic-Oxic Activated Sludge Process. *Journal of Japan Society on Water Environment*, **22** (2), 145-151 (in Japanese)
- Tallec, G.; Garnier, J.; Billen, G.; Gossailles, M. (2006) Nitrous Oxide Emissions from Secondary Activated Sludge in Nitrifying Conditions of Urban Wastewater Treatment Plants. *Water Research*, **40** (15), 2972-2980
- USEPA (2012) Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2010. EPA 430-R-12-001
- Zheng, H.; Hanaki, K.; Matsuo, T. (1994) Production of Nitrous Oxide Gas during Nitrification of Wastewater. *Water Science and Technology*, **30** (6), 133-141.

平成25年12月発行

技 術 調 査 年 報
2 0 1 3

平 成 2 5 年 度
印刷物規格表第5類
登 録 第 5 5 号

編集・発行 東京都下水道局 計画調整部 技術開発課
所 在 地 東京都新宿区西新宿二丁目8番1号
電話 (5320) 6606 (内) 51-781
印 刷 株式会社 ミック



古紙配合率100%再生紙を使用しています



地球にやさしい大豆油インクを使用しています