

東京都下水道局技術調査年報

-2012-

平成 25 年 1 月
東京都下水道局

技術調査年報の発刊にあたって



下水道事業の役割は、毎日大量に発生する下水を処理し河川や東京湾に放流すること。そして、浸水被害の軽減です。この本質的な役割を達成するために私達は多くの施設を建設、管理しており、これを現実のものにするのが「技術」です。

土木・建築に限らず、設備や水質など関連する技術は多様であり、これらの技術を駆使することで、事業を進める局面局面で発生した課題の克服に努めており、今後もこの基本スタンスが変わることはありません。

「技術開発推進計画2010」でも明確に謳っていますが、技術開発を進める上では民間企業との協調は不可欠です。近年は景気の低迷の影響もあり、共同研究に参画する企業が減少傾向にありますが、企業に対して開発意識を鼓舞することが重要です。そのためには、しっかりとニーズを発信することが大切となり、今後は特に現場での苦労をニーズとして発信したいと考えています。

下水道局では平成25年度を初年度とする「経営計画2013」を策定し、この中で下水道事業が直面する技術的課題や将来を見据えて解決すべき課題について計画的に技術開発に取り組み、日本の下水道技術をリードして下水道サービスの維持・向上を目指すことにしています。

一方、この計画に合わせて、来夏をめどに砂町水再生センターの敷地内に「下水道技術実習センター」を整備し、下水道局や東京都下水道サービス（TGS）の職員だけでなく民間事業者にも開放して、技術の継承や人材育成を積極的行っていきます。

また、国際展開の取組みについては、SPR工法や水面制御装置など東京発の個別技術の海外展開、東京下水道の経験、ノウハウなどを活用した下水道全般に渡る支援、下水インフラなどの整備に取り組む現地の技術者への技術指導も考えています。

技術調査年報は、日常業務で生じた課題をはじめ、局事業の推進のために各部署で実施した調査や研究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。

本調査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1月

下水道局長 小川 健一

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 着脱・再掘進型管路築造工法による地中障害物の撤去	31
----------------------------	----

(2) 浸水対策技術

1 東大島幹線及び南大島幹線の設計について	41
2 高水压下におけるH&Vシールドの直接発進施工	47
3 世界最大のニューマチックケーソン工法によるポンプ棟建設について	55

(3) 震災対策技術

1 東北地方太平洋沖地震に伴う江東区新木場地区（管路施設）の液状化対応について	63
2 東部汚泥処理プラント護岸耐震補強工事の事例報告	75
3 大口径既設管きよの耐震化技術の開発について	83
4 東北地方太平洋沖地震の汚泥かき寄せ機の被害と取組状況について	93

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 羽田ポンプ所放流時における環境負荷低減について	103
---------------------------	-----

(2) 地球温暖化対策技術

1 低動力型高効率遠心脱水機の導入による温室効果ガス削減効果	111
2 小菅水再生センター アンモニア+DO制御の事後評価	117

(3) 水処理技術

1 準高度処理の導入による窒素の削減と送風電力の抑制	125
2 好気槽における脱窒促進運転について	133
3 亜硝酸型硝化事例とその対策について	145
4 反応槽への送風方法を変更した送風量削減調査結果について	151
5 水処理から発生するN ₂ O(一酸化二窒素)排出抑制技術の開発その2	157

(4) 汚泥処理技術

1 汚泥焼却における温室効果ガス削減の取組	169
2 汚泥ガス化炉事業における事後評価の実施について	175

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 | 北多摩一号水再生センター・南多摩水再生センター間連絡管工事について・・・ | 185 |
| 2 | 高引火点潤滑油のばっ気用送風機への適用・・・・・・・・・・・・・・・・ | 195 |
| 3 | 生物脱臭設備の維持管理に関する考察・・・・・・・・・・・・・・・・ | 203 |
| 4 | 「現像廃液削減装置」に関する届出への対応事例・・・・・・・・ | 209 |

4 国際論文【第 84 回 W E F 年次総会発表論文 英文】

- | | | |
|---|--|-----|
| 1 | “Earth Plan 2010” Global Warming Prevention Plan of the
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government
(東京都下水道局の温暖化防止計画「アースプラン 2010」)・・・・・・・・ | 219 |
| 2 | Drastic Mitigation in Greenhouse Gas Emission by Sewage Sludge
Gasification System in Kiyose Water Reclamation Center
(清瀬水再生センター汚泥ガス化システムによる温室効果ガス排出量の
大幅な削減)・・・・・・・・・・・・・・・・ | 233 |
| 3 | Hydraulic simulation and analysis for designing the longest and
largest siphon structure of stormwater drainage in Japan
(一日本における長大伏越雨水放流渠の水理挙動解析)・・・・・・・・ | 239 |
| 4 | New approaches to the coexistence of water quality improvement and
GHG reduction in wastewater treatment
(下水処理における水質改善と温室効果ガス削減の両立の新しい試み)・・・・・・・・ | 243 |

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 23 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」・・・・・・・・・・・・・・ 8 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」・・・・・・・・・・・・ 4 編
- ・第 4 章：「国際論文」・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4 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２３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２４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	３０	０	６	３	３９
	雨水対策	３	０	０	０	３
管きよ技術計		３３	０	６	３	４２
維持管理	維持管理	１９	０	０	０	１９
	設備	１９	１	０	０	２０
	計測	９	０	０	２	１１
	環境	４	０	０	０	４
維持管理計		５１	１	０	２	５４
水処理技術	水処理技術	４２	０	０	０	４２
水処理技術計		４２	０	０	０	４２
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	２	０	３
	汚泥の資源化	１３	０	０	４	１７
	熱利用	１	０	０	０	１
有効利用計		１５	０	２	４	２１
合計		１６０	１	８	９	１７８

平成２３年度末において、上表以外で出願中のものが１９件あり、登録済のものと合わせると、産業財産権の件数は、１９７件になります。

要 旨 集

番号	1-(1)-1	件名	着脱・再掘進型管路築造工法による地中障害物の撤去	
内 容	本工事は、都道の不忍通りに浅層埋設されている既設矩形きょが道路拡幅事業等の支障となることから、代替の主要枝線を推進工法で布設するものである。 主要枝線を計画するに当たり、不忍通りの占用状況を調査したところ、東京メトロ千代田線建設時に土砂搬出用として築造された土留め壁が主要枝線の計画線上を横断する方向に2箇所残置されていることが判明した。 このため、土留め壁の撤去方法について検討を行い、切羽掘進装置を着脱することで、装置の前面に人力作業空間を作ることができる DAPPI 工法で施工を行ったものである。 DAPPI 工法では、通常複数障害物がある場合、障害物毎に切羽掘進装置の着脱を行い掘進する。今回障害となる土留め壁は、間隔3.8mと短いため、土留め壁間を刃口推進することで、切羽掘進機の着脱の回数を低減して、工期の短縮・工事費の削減を図る検討を行った。 DAPPI 工法で刃口推進工法を行うに当たり、本掘進機は、掘進機外殻に刃口が装着されていないため、地山に貫入させることができない。そこで、土砂肌落ち対策として、上部に装着する安全フードを開発し、安全フード設置部を先掘りした後、元押しジャッキにて押し込みを行う計画とした。 こうして全国的にも初めてである DAPPI 工法による刃口推進を実現し、工期の短縮・工事費の削減を図ることができた。			
	キーワード DAPPI 工法、刃口推進、地中障害物撤去			
	処理区名	三河島処理区	位置区分	管きょ
	職種区分	土木	施策区分	再構築
	状態区分	工事	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 21～23 年度	
担当部所	北部下水道事務所 建設課 設計第二係 阿部 耕太郎			
出 展 等	平成 23 年度設計工事事例発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(2)-1	件名	東大島幹線及び南大島幹線の設計について	
内 容	東大島幹線及び南大島幹線は、大島・小松川各ポンプ所流域の雨水流出量増大に対応するため、現在建設中の小松川第二ポンプ所へ当該流域の雨水を流入させる幹線である。 本設計に当たり、2つの大きな課題があった。第1は、東大島幹線と南大島幹線の合点を当初両発進立坑と考えていたが、六価クロム問題から地上掘削が不可であることが判明し、他の発進立坑が必要となった。第2に、路線終点である大島ポンプ所手前約300m 地点において都営新宿線大島駅及び東電洞道の直下を横断する計画であるが、駅舎築造時に使用された土留め壁及び中間杭、東電洞道構築時の土留め杭が残置されており、計画通りシールドを掘進させるためには、これらの撤去を行う必要があった。 第1の課題の対応策として、路線上に立坑の適地がないことに加え、同一口径での一括施工が不可であることが確認できたことから、東大島幹線から南大島幹線への断面変化は、親子シールド工法を採用し、発進は小松川第二ポンプ所内、到達は大島ポンプ所内とした。第2の課題の対応策として、路線終点の手前約300m 地点は都道交差点のため交通量も非常に多く、地上から地盤改良を行うことが困難であることから、残置杭撤去の方法として、地中から超高压ジェットシステムを用いて支障物の切断・撤去が行えるD0-Jet 工法を採用した。			
	キーワード 親子シールド工法、D0-Jet 工法			
処理区名	砂町処理区	位置区分	管きょ	
職種区分	土木	施策区分	浸水対策	
状態区分	設計	技術区分		
実施年度	平成 21 年度	全体期間	平成 20 年度～平成 21 年度	
担当部所	第一基幹施設再構築事務所 設計課 設計第一係 船倉 崇弘			
出 展 等	平成 23 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	高水圧下におけるH＆Vシールドの直接発進施工	
内 容	本工事は第二溜池幹線と勝どき幹線をH＆Vシールド工法にて同時に2連のシールドとして発進し、隅田川を横断した築地市場下で地中分離する。今回、高水圧下においてH＆Vシールドを直接発進した際に、以下の課題があった。 ①発進部の立坑壁はカッタービットで切削可能な部材であるが、シールド接合部断面は切削できないことが判明した。 ②0.4MPa の切羽圧保持のため、エントランス装置の水密性の確保が必要。ひょうたん型のシールドの断面に対し、セグメントは独立した円形であるため、セグメント周囲の止水が必要。 ③両シールドの面盤が同一平面になく 750mm の段差があるため、後行側が立坑壁を切削し終えるまでの間、先行側は長時間にわたり地山を低速掘進することになり、崩壊性地盤の切羽保持が課題。 それぞれの課題に対し、以下の対策を講じた。 ①シールド接合部の立坑壁をコア抜きし、壁背面を凍結工法により止水・地盤強化した。 ②エントランス装置は加圧チューブ内蔵の4段パッキンとし切羽圧保持を図った。また、二重エントランスとし、シールド・セグメント双方の止水を図った。 ③凍結工法による地盤強化範囲を拡大し地山の崩壊防止を図った。			
キーワード	高水圧下、H＆Vシールド工法、エントランス、崩壊性地盤、凍結工法			
処理区名	芝浦処理区	位置区分	管きょ	
職種区分	土木	施策区分	浸水対策、合流改善	
状態区分	工事	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成22年度	全体期間	平成21年度～平成24年度	
担当部所	第二基幹施設再構築事務所 工事第二課 宮司 憲男			
出 展 等	平成23年度設計工事事例発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(2)-3	件名	世界最大のニューマチックケーソン工法による ポンプ棟建設について	
内 容	東京都荒川区に位置する「東尾久浄化センター」では、平成 17 年度から東尾久浄化センター内に西日暮里系主ポンプ棟を世界最大のニューマチックケーソン工法にて施工しており、平成 21 年度に沈設が完了した。 躯体平面積が 4,837㎡であり、ニューマチックケーソン工法としては世界最大となる。このため施工に際しては、躯体内部に補強仮壁を配置し、この補強仮壁と底版が一体化した吊桁構造とすることにより底版スラブの剛性の向上を図った。また、12 項目にもおよぶ沈下計測項目をリアルタイムにモニターに表示し、適切な沈下管理を行った。さらに、一般的な刃口高さより高くすることにより漏気防止対策を行ったり、現場周辺におけるダンプトラックの走行を大幅に削減するため、隅田川を利用した土運船による残土搬出を行うなど、周辺環境への配慮をしながら施工を行った。その結果、計画最終深度 TP-41.2m に対して誤差 3mm という高精度にて沈設が完了したので、施工について報告する。			
キーワード	ニューマチックケーソン工法、世界最大			
処理区名	三河島処理区	位置区分	ポンプ所、処理場 水再生センター	
職種区分	土木	施策区分	再構築、浸水対策	
状態区分	工事	技術区分		
実施年度	平成 17 年度～平成 21 年度	全体期間	平成 17 年度～平成 21 年度	
担当部所	第一基幹施設再構築事務所 工事第二課 技術調査係 長谷 祐樹			
出 展 等	平成 23 年度設計工事事例発表会			
	第 48 回下水道研究発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(3)-1	件名	東北地方太平洋沖地震に伴う江東区新木場地区（管路施設）の液状化対応について	
内 容	平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、都内でも震度5強の揺れとなり、東京湾岸部の埋立て地区では液状化により、ライフラインに大きな被害が発生させた。区部では、特に江東区の新木場地区で液状化による大きな被害が発生し、下水道施設も噴出した土砂が大量に流入するとともに管路施設が損傷するなど大きな被害が発生した。 今回、下水道管の流下機能回復のための緊急清掃や被災状況の確認のための管路内調査から、下水道局で初めて申請した「災害査定」の対応まで、極めて限定された期間の中で、局内、TGS、下水道メンテナンス協同組合等の関係者が一体となり無事対応することができた。			
キーワード	東北地方太平洋沖地震・液状化・緊急復旧作業・災害査定			
処理区名	砂町処理区	位置区分	ます、取付管、管きょ	
職種区分	土木	施策区分	震災対策	
状態区分	維持管理	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	東部第一下水道事務所 管路施設課 小段 辰彦			
出 展 等	平成23年度 設計工事事例発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(3)-2	件名	東部汚泥処理プラント護岸耐震補強工事の事例報告	
内 容	1 報告概要 東北地方太平洋沖地震により被害を受けた東部汚泥処理プラント護岸の被災状況及び現在施工中の護岸耐震補強工事について報告する。			
	2 被災状況及び施工概要 震度 5 強の地震により、旧護岸（鋼矢板Ⅱ型 L=10.5m）が大きく変位するとともに、旧護岸背面側地盤が液状化した。本工事は、旧護岸の背面側 1.0m に新設護岸（鋼矢Ⅳw 型 L=27.5m）を設置し、その背面側地盤の改良を行うものである。			
	3 地中障害物への対応 本工事ではセメント系固化材をスラリー状に混練後、地中噴射し原地盤と強制的に攪拌混合する工法を採用し、パワーブレンダーと称するベースマシーンにトレンチャー型攪拌混合機を装備した機械を用いた。			
	しかし、地盤改良工を開始したところ、地中障害物（松杭、木矢板、砂岩）により、トレンチャーが地中に挿入できないことが判明したため、対応方法の検討を行った。			
	対応方法として①鋼矢板工法による地中障害物除去、②オールケーシング工法による地中障害物除去、③恒久グラウト工法による改良材浸透注入が挙げられたが、経済性、工期、品質確保の観点から②オールケーシング工法による地中障害物除去を採用した。			
キーワード	地盤改良工（スラリー噴射方式）、パワーブレンダー、地中障害物			
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	土木	施策区分	震災対策	
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～平成 24 年度	
担当部所	第一基幹施設再構築事務所 工事第一課 工事第一係 左野 耕一郎			
出 展 等	平成 23 年度設計工事事例発表会			
調査方法				
関連情報				

番号	1-(3)-3	件名	大口径既設管きよの耐震化技術の開発について	
内 容	平成 7 年の阪神・淡路大震災を教訓に、震災時のトイレ機能を確保するため小口径下水道管きよの非開削耐震化工法を開発し、平成 12 年度より導入している。今後、首都直下地震など大規模地震の発生が危惧されることから、これまでの小口径下水道管きよに加えて、幹線などの大口径下水道管きよにおいても、下水の流下機能を確保できる技術の開発が不可欠である。これらのことから、民間企業との共同研究（ノウハウ+フィールド型）により大口径耐震化工法を開発した。 本工法は、管径800mm以上の既設管きよの耐震化を、非開削かつ既設マンホールの側壁厚の範囲内で行うものである。地震時に既設管きよと既設マンホールとの接続部分にひび割れを誘発させ、その周辺部分に耐震性能などを有する材料を充てんすることで、耐震化が可能な構造にしている。また、マンホール側壁を地山まで切削しないため、施工の際、止水する必要がない構造になっている。 平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、現場実験を行った江戸川区西葛西八丁目付近でも、震度 5 弱を観測した。地震後の調査では損傷等の被害もなく、下水の流下機能が確保されていることを確認した。今後も本工法の適用範囲の拡大と、現場条件に即した容易な施工方法を確立することで、下水道事業の耐震化に広く貢献できるものとする。			
キーワード	大口径、耐震化、非開削工法			
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	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 21～23 年度	
担当部所	計画調整部 技術開発課 石川 幸裕			
出 展 等	平成 23 年度設計工事事例発表会、平成 23 年度東京都下水道局公開研修「下水道新技術」第 48 回下水道研究発表会			
調査方法	ノウハウ+フィールド [※] 提供型共同研究			
関連情報	経営計画 2010（P76）、技術開発推進計画 2010（P47）			

番号	1-(3)-4	件名	東北地方太平洋沖地震の汚泥かき寄せ機の被害と取組状況について	
内 容	3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、当センターにおいても震度5弱の揺れが生じ、沈殿池に大きな被害があった。汚泥かき寄せ機のフライトの破損、沈殿池の搬入口蓋の落下等が発生し、水処理に影響を受けた。今後発生する地震に適切に対応するため、汚泥かき寄せ機の被害状況の分析を行い、被害の予防・拡大防止の検討を行った。 西施設第一沈殿池の被害は、地震によるスロッシング（池内の水の動揺）によりチェーンの脱輪とフライトの破損であった。中間軸での発生が約半数を占めていた。東施設の被害は、沈殿池が二階層式であるため、スロッシングによる搬入口蓋の外れと側壁PC板の落下によりチェーン破断、フライトの破損が発生し、チェーンの脱輪は少なかった。稼働していた沈殿池全体の80%以上で発生した。 搬入口蓋の外れ防止、側壁PC板の落下防止、感震器による汚泥かき寄せ機の自動停止、脱輪抑制金物の設置及び汚泥かき寄せ機の確認時の手順を工夫することにより、チェーンの脱輪・破断及びフライト破損の発生を少なくすることが可能となる。これより、汚泥かき寄せ機の機能維持と被害の復旧を容易にすることができると考える。			
	キーワード 大震災 地震 かき寄せ機 脱輪			
	処理区名	森ヶ崎処理区	位置区分	処理場 水再生センター
	職種区分	設備	施策区分	震災対策
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 22 年度～平成 23 年度	
担当部所	森ヶ崎水再生センター 保全管理係 小方 浩			
出 展 等	平成 23 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-(1)-1	件名	羽田ポンプ所放流時における環境負荷低減について	
内 容	1. 発表概要 羽田ポンプ所に流入する雨水は、閉鎖性水域である海老取川に放流しているが、雨水放流時の河川汚濁・臭気等の水質改善要望が多い。そのため平成 17 年度には放流水質を改善するために雨水沈砂池 3 号池に設置されているスクリーンの目幅を縮小したろ面循環式微細目スクリーン（6 mm 目幅）を設置した。 しかし、海老取川は羽田空港に隣接しており、大田区において水辺の景観形成を目指す整備計画を策定する等の一層の水質改善が求められている。そのため、平成 22 年度の改良工事では、設置費やメンテナンス性を考慮し、前面降下前面かき揚げ式細目スクリーン（12 mm/7 mm 目幅）を雨水沈砂池 6 号池に設置し、さらなる環境負荷の低減を図っている。 微細目スクリーン、細目スクリーン及び既設のスクリーン（25 mm 目幅）それぞれの除じん性能等を調査し、検証結果について発表する。			
	2. 検証方法 (1) 晴天時に、既設スクリーン、細目スクリーン、微細目スクリーンによるかき揚げ量を比較し、除じん性能を検証する。 (2) 既設スクリーン、細目スクリーン、微細目スクリーンに 24 時間録画できるカメラを設置し、録画された画像から雨天時のかき揚げ量を推測し、除じん性能を検証する。			
	キーワード 自動スクリーン、除じん性能、スクリーン目幅			
	処理区名	森ヶ崎処理区	位置区分	ポンプ所
	職種区分	設備	施策区分	合流改善、周辺環境対策
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 22 年度	全体期間	平成 22 年度、平成 23 年度	
担当部所	南部下水道事務所 ポンプ施設課 大谷 敏路			
出 展 等	平成 23 年度 下水道設備研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報	経営計画 2010			

番号	2-(2)-1	件名	低動力型高効率遠心脱水機の導入による温室効果ガス削減効果	
内 容		東京都下水道局では「アースプラン 2010」を掲げ、温室効果ガス削減に向けて技術の向上に取り組んでいる。処理規模が大きく、他の処理場から汚泥を受け入れている新河岸水再生センターの脱水機としては安定性に優れる遠心脱水機を運用しているが、温室効果ガス削減のため、更に電力消費量が少なく高効率の遠心脱水機が求められるようになった。 このため、当センターでは低動力型高効率遠心脱水機を平成 22 年 4 月から運用開始した。昨年のエコスクラムにて報告した通り、脱水しにくい夏季の汚泥で取得したデータについて、従来の遠心脱水機に比べて低消費動力、低薬注率、低含水率ケーキが得られ、温室効果ガスの大幅な削減効果があることを確認した。 またその後、降雨前後の大きな変動に対してより安定運用するために制御方法の見直しやソフト改造等の対策を実施し、これまでのところ更に安定した運転を実施している。 本稿では平成 22 年度のデータを用いて温室効果ガス削減効果について報告すると共に、安定運用のための対策内容とその効果について報告する。		
キーワード		温室効果ガス 遠心脱水機 電力 高効率 低動力 低薬注率 低含水率		
処理区名		新河岸処理区	位置区分	水再生センター
職種区分		設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、効率化
状態区分		調査	技術区分	新規知見あり
実施年度		平成 22、23 年度	全体期間	平成 22、23 年度
担当部所		西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 藤岡 敬一		
出 展 等		平成 23 年度 下水道設備研究発表会		
調査方法				
関連情報				

番号	2-(2)-2	件名	小菅水再生センター アンモニア+DO制御の事後評価	
内 容	当局では、「アースプラン 2010」を策定し、温室効果ガス排出量削減に取り組んでいる。この中で、水処理工程で消費する電力量の多くを占める反応槽への送風量電力量の削減が課題となっている。 現在、当局で送風量制御システムとして多く採用されているものとしては、溶存酸素濃度を一定に保つDO一定制御であるが、DO設定値は水量変動や水質変動を考慮し、DO値を高めを設定するため、負荷が低い時は過曝気となってしまう。これに対し、アンモニア+DO制御は反応槽内のアンモニア性窒素濃度が低い場合や処理水量が少ない場合には送風量を削減する、きめ細やかな運転を行うことにより、処理水質を低下させず、送風量の削減を図り、節電効果が得られる制御である。 本件は、小菅水再生センターに導入された、アンモニア+DO制御について事後調査を行い、曝気風量削減効果、処理水質、維持管理性について評価し、一定の評価が得られたため報告するものである。また、今後、他機場へ導入する場合についての考え方をまとめたものである。			
キーワード	反応槽、溶存酸素濃度、DO一定制御、アンモニア+DO制御			
処理区名	小菅処理区	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	維持管理	技術区分		
実施年度	平成 22 年度	全体期間	平成 22 年度	
担当部所	計画調整部 技術開発課			
出 展 等				
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-(3)-1	件名	準高度処理の導入による窒素の削減と送風電力の抑制	
内 容	芝浦水再生センター（以下、当センター）は、処理区域に商業施設やオフィルビルが多いため流入下水中の全窒素濃度（主にアンモニア性窒素）が非常に高く、それに伴って放流水中の全窒素濃度も高くなっている。一方、当センターには窒素除去能力の高い高度処理施設（A₂O施設）や、流入下水量の変動を抑制するためのピークカット貯留池がない。このため、従来より昼夜間の流入下水量の変動をなるべく抑制するとともに、窒素処理に効果があるとされる硝化促進運転を実施している。しかし、冬季は水温が低下し下水を処理する微生物の活動が弱まるため、放流水中の全窒素濃度が放流水の水質基準値である 30mg/lに迫ることがあるなど、水質基準の遵守が危ぶまれる状況であることから、ハード面の対策が必要となっている。 このような状況下、当センターでは既存の深槽反応槽 4～6 号槽を従来の標準法設備から窒素除去に効果があるとされる準高度処理設備へ改良した。平成 23 年度から深槽反応槽 4 号槽が実運転に入ったため、この窒素削減効果を報告する。また上記の工事に合わせ、反応槽に高効率散気板を導入していることから、この電力削減効果についても報告する。			
キーワード	水質改善、電力削減、準高度処理			
処理区名	芝浦処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	設備、水質	施策区分	高度処理 温室効果ガス削減対策	
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	中部下水道事務所 芝浦水再生センター 運転管理係 横井 徹			
出 展 等	平成 23 年度 下水道設備研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報	なし			

番号	2-(3)-2	件名	好気槽における脱窒促進運転について	
内 容		一般に、窒素の除去率は循環比（流入水に対する返送＋硝化液循環の割合）によって決まり、循環比が大きくなるほど窒素除去率が上昇するとされている。しかし、実施設でのデータでは、循環比に大きな差がない状況でも窒素除去率が変動する現象が見受けられる。例えば、空気量の制御方式を DO 制御からアンモニア制御に切り替えることで、処理水の窒素濃度が 1 割程度低下した報告がある。 反応槽内の窒素の挙動を調べるうちに、反応槽内で硝化と脱窒が同時に進行し、これが処理水 T-N にある程度影響を及ぼしていることが示唆された。すなわち、反応槽内の硝化と脱窒を制御することで、窒素除去率の向上が可能と考えられる。テーブルテストによる窒素の挙動と反応槽内での無機性窒素の詳細な調査結果から窒素除去率を向上させる運転方法として、以下の事項が重要と考えられる。 ① 反応槽出口の NH₄-N が一定レベル（1mg/L 程度）になるように空気量を調節する。 ② MLSS をやや高め（2,000mg/L 以上）で運転し、脱窒速度を高める。 ③ 散気設備の下部において脱窒が進むことから、反応槽の深さが深くなるほど有利。		
キーワード		硝化、脱窒、硝化脱窒同時処理、アンモニア制御		
処理区名		芝浦処理区	位置区分	処理場 水再生センター
職種区分		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 23 年度	全体期間	平成 23 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 水質管理係 岸野俊明 他		
出 展 等		平成 23 年度 水質技術研究発表会		
調査方法		直営調査		
関連情報		調査結果をもとに、簡易提供型共同研究に移行。		

番号	2-(3)-3	件名	亜硝酸型硝化事例とその対策について	
内 容		平成 23 年 3 月、北多摩一号水再生センター1 系において、亜硝酸型硝化が起こり、反応槽内に亜硝酸が集積したことによる生物活性の低下が原因で汚泥の凝集性が低下し、透視度が悪化した。本報告は、①亜硝酸性窒素の検出と上昇までの経緯と背景、②亜硝酸型硝化を進行させないために行った送風量調整等の対策、③水処理悪化時に行った汚泥転送の具体的な手順等を報告するものである。 亜硝酸型硝化への対応から以下のことが明らかになった。 (1) 目標 A-SRT を十分確保した運転を行っていても、亜硝酸型硝化が起こる場合がある。 (2) 今回の亜硝酸型硝化事例は、好気槽中段回路の DO 不足により亜硝酸酸化細菌の活性範囲が減少したことによると考えられる。 (3) 亜硝酸型硝化の進行時に対策として送風量調整等の運転条件変更を実施したが改善できず、完全な亜硝酸型硝化状態（机上曝気実験でNO₂-Nが増加）に至った。この状態から回復させることは困難であったので、汚泥転送を行った。 (4) 亜硝酸型硝化の対策として、一般的に最も有効な方法は汚泥転送であるが、本調査では転送量が少ないと効果は限定的になる。		
キーワード		亜硝酸 亜硝酸型硝化 亜硝酸型硝化の対策 汚泥転送		
処理区名	北多摩一号		位置区分	処理場 水再生センター
職種区分	水質		施策区分	
状態区分	維持管理		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	流域下水道本部 北多摩一号水再生センター 尾又広喜			
出 展 等	平成 23 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)-4	件名	反応槽への送風方法を変更した送風量削減調査結果について		
内 容	平成 22 年度の経営管理会議において、送風量削減による電力削減が目標に設定された。そのため、葛西では送風量削減に向けた取組みとして、D0 設定値の見直しや、ピーカー実験による新たな送風方法での送風量削減調査に取り組んできた。 その結果、反応槽 A 回路から最終回路までの送風量を徐々に絞った方がアンモニアの硝化が効果的に進み、処理時間を短縮することが可能と判断した。 そこで、平成 23 年度は、実施設の反応槽各回路の送風量を徐々に絞った送風方法による検証調査に取り組んだ。 震災や受泥による汚泥循環の影響が長期化し、本格的に検証調査を開始したのは 9 月以降になったが、7 月末時点で昨年同月と比較すると、送風倍率は 5 倍を下回り、削減率は目標の 5%をほぼ達成した。				
キーワード	温室効果ガス 反応槽 送風方法 電力				
処理区名	葛西処理区		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質		施策区分	温室効果ガス削減対策、効率化	
状態区分	調査 研究		技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 23 年度		全体期間	平成 23 年度	
担当部所	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター 石井 健一				
出 展 等	平成 23 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)-5	件名	水処理から発生するN ₂ O(一酸化二窒素)排出抑制技術の開発その2	
内 容		わが国では東日本大震災以降、エネルギー政策の見直しが検討されている。電力等のエネルギー消費自体の抑制に加え、地球温暖化対策を進めていくためには、再生エネルギーの活用やCO₂以外の温室効果ガス排出量削減に向けた技術の確立がこれまで以上に重要となる。東京都下水道局では「汚泥焼却工程からのN₂O（一酸化二窒素）」が高温焼却の導入により温室効果ガス排出量を大幅に削減したが、今後さらなる削減を図るためには、排出実態や生成条件の把握が不十分で実質的な対応をとれずにいた「水処理工程からのN₂O」の削減が不可欠である。そこで、N₂Oの生成要因および生成条件を回分試験装置を用いて調査した。また、嫌気槽等を活用したN₂Oの分解除去技術の開発に向けた基礎検討調査を実施した。 その結果、下記に示す知見が得られた。 （1）N₂O生成要因調査結果 （硝化調査） ・ N₂O排出量は、DOが低い条件で多くなる傾向を示した。 ・ N₂O排出量は窒素負荷が高いほど高くなる傾向を示した。 ・ NO₂-Nが高い程N₂O排出量が多くなったが、DO条件によってその傾向が異なった。 （脱窒調査） ・ 脱窒に寄与する因子であるC/N比が高い条件では脱窒処理が良好となり、N₂O排出量は少なくなった。 ・ N₂O排出量は窒素負荷が高いほど高くなる傾向を示した。 ・ 窒素負荷が高い条件において、窒素負荷が低い条件と比較してNO₂-N蓄積量は大きく、脱窒反応が終了した場合にはN₂O排出量も多くなるものと推察された。 （2）N₂O分解装置検討調査 ・ D-N₂Oの分解速度は約 10～15mgN/gSS・hrと推定された。 ・ G-N₂Oの分解速度は本調査における試験条件では負荷を高めるほど高くなる結果であった（最大 約 1.3mgN/gSS・hr）。		
キーワード		一酸化二窒素、N2O、温室効果ガス、生成要因		
処理区名		位置区分	処理場	
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 22 年度	全体期間	平成 22 年度
担当部所		計画調整部技術開発課技術開発主査（水質）		
出 展 等				
調査方法		委託調査		
関連情報		当知見をもとに N2O 排出抑制技術の確立に向けた共同研究を実施中		

番号	2-(4)-1	件名	汚泥焼却における温室効果ガス削減の取組	
内 容	下水道局では、東京都下水道局経営計画２０１０の地球温暖化対策においてＣＯ２排出量削減の取組の中で、汚泥処理が大きな部分を占めることから、特に削減効果の大きい汚泥焼却について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、運転管理業務受託者の東京都下水道サービス株式会社と共同で平成２２年度に汚泥焼却設備における温室効果ガス（Ｎ２Ｏ、ＣＯ２）を削減するための運転改善に積極的に取組み、 ①Ｎ２Ｏ→対前年度比 52.2％ ②ＣＯ２→対前年度比 80.5％ と一定の成果が得られたので報告する。			
キーワード	温室効果ガス 高温焼却 N２O CＯ２ 流動空気量 炉出口酸素濃度			
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	維持管理		技術区分	
実施年度	平成２２年度		全体期間	平成２２年度～継続中
担当部所	東部第一下水道事務所 砂町水再生センター スラッジプラント管理係 中田 友三			
出 展 等	平成２３年度下水道設備研究発表			
	第４９回下水道研究発表			
調査方法				
関連情報				

番号	2-(4)-2	件名	汚泥ガス化炉事業における事後評価の実施について	
内 容	当局は、東京下水道サービス㈱、北海道大学、(財)エネルギー総合研究所、三菱重工業㈱及びメタウォーター㈱と共同で「下水道汚泥ガス化発電システム」を開発し、平成 22 年 7 月、清瀬水再生センターに日本初となる汚泥ガス化炉を稼働させた。 本施設は、乾燥させた脱水汚泥を還元雰囲気下（低酸素状態）で熱分解させて、熱分解ガス(H₂・CH₄・CO)を抽出するとともに、N₂O生成要因物質であるNOの生成を抑制し、後段の高温炉でN₂Oを分解して温室効果ガスの発生を大幅に抑制する。また、熱分解ガスをガス化炉内の汚泥乾燥機の熱源として使用するとともに、ガスエンジン発電機の燃料としても活用できる技術的特長がある。 導入後の事業評価（性能評価）として、当局の要求水準に基づき実証を行った。 性能評価期間：平成 22 年 7 月 1 日から平成 24 年 3 月 31 日 性能評価項目：①汚泥処理量(33,000t/年) ②温室効果ガス量(年間 3,500t-CO₂以下) ③発電量(100kWh 以上) 結果、いずれの項目も要求水準を満たしており、かつ、年間を通して既存流動層炉と同等な安定した汚泥処理が実施されていることが実証された。 このことから、今年度の技術管理委員会において「導入拡大すべき技術」として承認された。			
	キーワード	ガス化 改質 ガス精製 ガス発電 熱回収		
	処理区名	荒川右岸処理区	位置区分	処理場 水再生センター
	職種区分	設備	施策区分	エネルギー 熱利用
	状態区分	維持管理	技術区分	
実施年度	平成 23 年度	全体期間	平成 21 年度～平成 23 年度	
担当部所	流域下水道本部 技術部 施設管理課 設備管理係 井本 淳介			
出 展 等	平成 24 年度 技術管理委員会			
	平成 22 年度 下水道設備発表会（初期運転結果について）			
調査方法	(財)下水道新技術推進機構と共同研究			
関連情報				

番号	3-(1)-1	件名	北多摩一号水再生センター・南多摩水再生センター間 連絡管工事について		
内 容		流域下水道本部では、多摩川対岸の水再生センター間に連絡管を整備し処理機能の相互融通化を推進している。本工事は、多摩川上流・八王子水再生センター間に続く第二弾として、平成 20 年度に着手し、平成 23 年度にシールド工事を完了した。 連絡管の効果として、処理水質の安定化、維持管理の効率化、施設建設コストの縮減などに加え、震災時のバックアップ機能等が期待される。 工事の主な特徴として、西武線及び J R 武蔵野線等を横断するための沈下管理など細心の施工管理を行い、無事故で施工を完了した。 また、シールド工事は、長距離（約 3,300m）に加え急曲線（50R）であるとともに、河川横断に係る河川管理者との約 2 年半にわたる協議の結果、多摩川の洗掘対策などを考慮し河床からの土被りを約 12m 確保しての施工となった。 さらに、シールド掘削土（泥土）を分級システムの導入により発生土処分とし、コスト縮減及び環境負荷の軽減を図った。 北一・南多摩連絡管事業は、平成 24 年度末完成に向け、連絡管内の配管に加え、管廊・ポンプ室、各種設備工事等を推進していく。			
キーワード		連絡管			
処理区名	北多摩一号処理区、南多摩処理区		位置区分	管きよ、処理場 水再生センター	
職種区分	土木		施策区分	連絡管	
状態区分	工事		技術区分		
実施年度	H23 年度		全体期間	H20 年度～H24 年度（予定）	
担当部所	流域下水道本部 技術部工事課 土木工事係 中山 健				
出 展 等	H23 年度設計・工事事例発表会				
調査方法					
関連情報					

番号	3-(1)-2	件名	高引火点潤滑油のばっ気用送風機への適用		
内 容	これまで、多段ターボブロワの潤滑油には第四石油類である引火点が250℃未満のタービン油（以下、従来油とする）が広く使用されている。この従来油を使用した送風機の設置には、消防法の規定により防火対策を施す必要があるため、多段ターボブロワの採用に課題となっていた。 近年開発された、引火点が250℃以上ある高引火点潤滑油は、可燃性液体に分類されるので、消防法が規定する危険物に該当しない。この高引火点潤滑油を使用することにより、水処理施設に多段ターボブロワの採用が容易となり、水量の多い処理系列にも対応できる風量と圧力を最小の台数で供給できる、送風機の最適配置が可能となる。 本調査では、高引火点潤滑油のばっ気用送風機（多段ターボブロワ）への適用について調査と試験を行い、潤滑性能、経済性、耐久性、環境性能、維持管理性について有用な知見が得られたので報告する。				
キーワード	高引火点潤滑油 可燃性液体類 個別送風機				
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	効率化		
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり		
実施年度	平成22年度～平成23年度	全体期間	平成22年度～平成23年度		
担当部所	東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 冠城 敏之				
出 展 等	H23 下水道設備研究発表会 論文集 P128				
	第49回 下水道研究発表会 講演集 P850				
調査方法	簡易提供型共同研究				
関連情報					

番号	3-(1)-3	件名	生物脱臭設備の維持管理に関する考察	
内 容	流域の水再生センターでは水処理施設の臭気対策として、維持管理が容易でランニングコストが安い生物脱臭設備を数多く導入してきた。ところが、近年脱臭設備出口において、悪臭防止法の規制基準値の順守が難しい状況となっている。そこで、生物脱臭設備の超過原因について調査を行った結果、以下のことが確認された。 ○臭気濃度の除去率はH23 年度実績で80%以上(脱臭設備設計マニュアルの除去率:50%) ○水処理系脱臭設備の除去率が汚泥系と比較して変動する傾向 ○脱臭設備入口の臭気成分濃度が H22～23 年度において半数の設備で設計基準値を超過(硫化水素、メチルメルカプタン) ○その他 流入水温の上昇、高度処理化、水中攪拌機の運転と臭気との関連は明確ではなかった。 水処理系脱臭設備については、汚泥系と比較して除去率に変動があることから、現有設備の能力を最大限発揮させるために維持管理に関する改善を適宜行っていく。 生物脱臭設備で依然として処理が難しい施設については、代替設備への変更や設備の改良などを含めた今後の対策検討を進めていく必要がある。			
キーワード	水再生センター、臭気、脱臭設備、生物脱臭、活性炭脱臭			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	設備、水質	施策区分	臭気対策	
状態区分	維持管理	技術区分	直営調査	
実施年度	平成 23 年度	全体期間	平成 21～23 年度	
担当部所	流域下水道本部技術部施設管理課水質保全係			
出 展 等	平成 23 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	3-(1)-4	件名	「現像廃液削減装置」に関する届出への対応事例	
内 容	事業場から、「現像廃液削減装置」の導入に関する情報提供と問い合わせがあった。現行、廃液を全量回収しているため、生活排水のみ公共下水道へ排出されていた事業場であったが、本装置の導入により、事業系の排水が発生することになる。 そこで、本装置に関する情報を、販売会社や装置導入予定の事業場から収集し、また、導入した事業場で、工事完了後に実施する検査時に、本装置からの排出水を採水・分析するなど、実態調査を実施した。 その結果、以下のことがわかった。 ・使用する自動現像機、現像液、現像補充液が限定されていた。 ・自動現像機と本装置を、配管や送液ポンプ等で接続する事例が多かった。 ・排出される排水「蒸留再生水」は、再生水タンクでの監視が可能で、公共下水道へは、このタンクのオーバーフロー分になっていた。 ・蒸留再生水の分析では、下水排除基準を超過するような有害物質はなかった。 これらの結果を踏まえて、当課では、「現像廃液削減装置」を導入する事業場からの届出について、 本装置を、特定施設「自動式感光膜付印刷版現像洗浄施設（番号 23 の 2 ロ）」の付帯設備とし、届出等の対応をしていく。 ことと整理した。 なお、この整理については、対象となる現像液等を限定していることや調査期間が短かったこと、技術の向上等に伴う状況変化を考慮し、今後も情報収集や追加調査を実施する。			
キーワード	現像廃液削減装置、自動現像機、蒸留再生水、特定施設、感光膜付印刷版			
処理区名		位置区分		
職種区分	水質	施策区分	流入水質規制	
状態区分	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	施設管理部排水設備課 伊藤正宏			
出 展 等	平成 23 年度 水質技術研究発表会			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	4-1	件名	“Earth Plan 2010” Global Warming Prevention Plan of the Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government 東京都下水道局の温暖化防止計画「アースプラン 2010」	
内 容	日本の首都東京における温室効果ガス排出量は約 5,780 万t-CO ₂ /年であり、このうち下水道事業によるものは約 85.6 万t-CO ₂ /年と約 1.5%を占め、当局事業の温室効果ガス削減が求められている。「アースプラン 2010」は、当局の温室効果ガス排出量を、2020 年度までに 2000 年度比で 25%削減することを目標に見据え、2014 年度までに 18%以上削減するための具体的な取組内容を示したものである。			
	【具体的な内容】			
	1. 汚泥の低含水率化 汚泥は低含水率にすると燃焼しやすいという特徴を活かして、補助燃料を大幅に削減する。			
	2. ばっきシステムの最適化 酸素溶解効率の良い微細気泡散気装置と小型送風機を各槽に個別設置することで、送風量を最適に制御し、送風量を減らして、電力を削減する。			
	3. 新たな燃焼方式の焼却炉の導入 多層型流動焼却炉やターボ型流動炉などの第二世代型焼却炉を導入し、汚泥処理工程の見直しを合わせて行うことで、従来よりも温室効果ガスを削減する。			
	4. その他 汚泥のガス化、汚泥の炭化、太陽光発電、水処理から発生する N2O 抑制、お客様との取組により、温室効果ガス削減を図っていく。			
	当局では、本プランの施策を実施することにより、東京の下水道事業から排出される温室効果ガス排出量を率先的かつ計画的に削減し、快適な地球環境を次世代に継承していく。			
キーワード	地球温暖化、温室効果ガス、省エネルギー、高度処理、汚泥処理			
処理区名		位置区分	処理場、水再生センター、汚泥	
職種区分	設備	施策区分	高度処理、温室効果ガス削減対策、 汚泥処分 汚泥資源化、エネルギー熱利用	
状態区分	計画	技術区分		
実施年度	平成 22 年度	全体期間	平成 23 年度～平成 32 年度	
担当部所	計画調整部 計画課 山田英樹			
出 展 等	第 84 回 WEF 年次総会			
調査方法				
関連情報	経営計画 2010、アースプラン 2010			

番号	4-2	件名	Drastic Mitigation in Greenhouse Gas Emission by Sewage Sludge Gasification System in Kiyose Water Reclamation Center 清瀬水再生センター汚泥ガス化システムによる温室効果ガス排出量の大幅な削減	
内 容	東京都では、温室効果ガス排出量を 2020 年までに 2000 年比で 25%削減することを目指している。そこで、清瀬水再生センターに、温室効果ガス排出削減に大きく寄与するとともに、下水汚泥から電力や熱等のエネルギーを効率的に取り出すことのできる下水汚泥ガス化炉の導入を図ることとした。 下水汚泥ガス化炉とは、これまでのように汚泥を焼却するのでなく熱分解を行い、発生した可燃性ガスを汚泥の乾燥と発電に用いることで、従来の焼却炉に比べ大幅な温室効果ガスの削減を図ることができる技術である。下水汚泥ガス化炉施設は、受入・乾燥設備、ガス化・改質設備、ガス精製設備、発電設備、熱回収設備に分けられる。 清瀬水再生センターにガス化炉の導入の際、下水道局として初めての技術であることから、民間企業の持つ技術力と経済的提案を事業に取り入れるため、DBO（Design Build Operate）の公募型プロポーザル方式を採用している。DBO の主な内容は下記の通り。 ・設計及び建設：平成 20 年 7 月～平成 22 年 6 月 ・維持管理及び運営：平成 22 年 7 月～平成 42 年 3 月 ・事業費：建設費 38 億円、維持管理費 50 億円（20 年間） 清瀬水再生センター100t規模の汚泥ガス化炉の事業効果として、要求水準は温室効果ガス排出量 3,500t-CO₂/年以下、ガス発電量 100kWh以上としている。稼働後の一定期間の実績値から年間試算をすると、温室効果ガス排出量及びガス発電量は要求水準を満足していることが確認できた。なお、汚泥ガス化炉は、全国初の実用化施設であるため、平成 23 年度までシステム全体の性能評価を行った。			
キーワード	ガス化炉、ガス発電、DBO、清瀬水再生センター			
処理区名	荒川右岸処理区	位置区分	処理場 水再生センター、汚泥	
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、エネルギー 熱利用	
状態区分	計画	技術区分	新規知見あり	
実施年度	平成 20 年度	全体期間	平成 20 年度～平成 41 年度	
担当部所	流域下水道本部 技術部 計画課 井上 典之			
出 展 等	第 84 回 WEF 年次総会			
調査方法				
関連情報	経営計画 2010、アースプラン 2010			

番号	4-3	件名	Hydraulic simulation and analysis for designing the longest and largest siphon structure of stormwater drainage in Japan —日本における長大伏越雨水放流渠の水理挙動解析—									
内 容	砂町水再生センターでは、雨水を閉鎖性水域である砂町北運河に放流しているが、当センター流域は合流式下水道で整備されているため、雨水放流による水質汚濁や、周辺船舶への浮遊物の付着等の問題が生じている。 このため、雨水放流先を外郭堤防外側の砂町運河に変更し、合流式下水道の改善を図る事業を実施している。 新設する雨水放流渠は、砂町運河の下部を通過するため長大伏越で計画されており、計画放流量は最大 59m³/ s と大規模であるため、雨水放流時には、以下の水理学的課題が発生すると予想された。 (1) 伏越部流入時の管内空気の排気 (2) 伏越部管内が満管となるまでの非定常的な水位の挙動 (3) 伏越部における損失水頭 これらの課題を検討するために、水理模型実験を行い、流況などの具体的な水理挙動を確認した。この上で、以下の改善策等を行うこととした。 (1) 人孔の流入方式を渦流式と突入式を組み合わせた形状とした結果、管内空気の排出は良好な結果が得られた。 (2) 伏越部が満管となる直後には、最大で 1.6mの高さのサージングが発生するため、既存施設である調圧水槽のかさ上げを行う。 (3) 損失水頭は、実験値の方が計算値よりも約 20 c m大きくなった。これは人孔内損失の影響と推察されるが、対策として堰高の変更を行う。 (伏越管渠の規模) <table><tr><td>内径</td><td>7, 100 ㍉</td></tr><tr><td>伏越区間長</td><td>約 1500 メートル</td></tr><tr><td>高落差</td><td>約 17m</td></tr><tr><td>計画放流量</td><td>最大 59m³/ s</td></tr></table>				内径	7, 100 ㍉	伏越区間長	約 1500 メートル	高落差	約 17m	計画放流量	最大 59m ³ / s
	内径	7, 100 ㍉										
	伏越区間長	約 1500 メートル										
	高落差	約 17m										
	計画放流量	最大 59m ³ / s										
	キーワード	砂町水再生センター雨水放流渠の水理実験及び実施設計										
	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	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 20 年度	全体期間									
担当部所	建設部 土木設計課 設計第一係 並木克之、大橋誠一											
出 展 等	下水道研究発表会、かわせみ											
	WEFTEC 2011											
調査方法	委託調査											
関連情報												

番号	4-4	件名	New approaches to the coexistence of water quality improvement and GHG reduction in wastewater treatment 下水処理における水質改善と温室効果ガス削減の両立の新しい試み	
内 容	近年、二酸化炭素等の温室効果ガスに起因する地球温暖化は重要な問題として認識されており、その削減を目的として世界的に対策が試みられている。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 2004」や「アースプラン 2010」において、削減目標とこれを達成するための具体的な対策を示している。本稿では、水処理において運転方法の改善等によりエネルギー使用量を削減する 3 つの手法を報告する。 一つ目は、DO に加えてアンモニア濃度を指標とする制御を活用した曝気風量の最適化である。この「アンモニア+DO 制御」により、従来の DO 制御と比較して最大 15%の送風量原単位を削減することができた。 二つ目は、標準活性汚泥法の施設に硝化液循環ラインを導入するとともに、施設前段では送風量を絞る「制限曝気A₂O法」である。窒素の除去率は 70%に達し、A₂O法の場合の除去率と同程度の窒素除去性能であった。リンの除去性能はA₂O法よりは劣るものの、標準活性汚泥法を上回った。制限曝気A₂O法での電力消費量は標準活性汚泥法と同程度であり、A₂O法と比較すると 25%削減されていた。また、制限曝気A₂O法はA₂O法と比較し、低コストでの導入や維持管理が可能であった。 三つ目は、流入水の水質により曝気風量を制御する手法である。流入水中の電気伝導度を指標とし、通常のフィードバック制御に代えてフィードフォワード制御により送風量を制御することにより、電力消費量の削減と水質改善を達成できる可能性を見出すことができた。			
キーワード	温室効果ガス削減、アンモニア+DO 制御、 制限曝気 A2O 法、フィードフォワード風量制御、電気伝導度			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター、処理水放流水	
職種区分	水質	施策区分	高度処理、温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査 研究	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 19 年度～平成 22 年度	
担当部所	計画調整部 計画課 基本計画主査 北村清明			
出 展 等	第 84 回 WEF 年次総会			
調査方法	委託調査、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 着脱・再掘進型管路築造工法による地中障害物の撤去

(2) 浸水対策技術

- 1 東大島幹線及び南大島幹線の設計について
- 2 高水圧下におけるH&Vシールドの直接発進施工
- 3 世界最大のニューマチックケーソン工法によるポンプ棟建設について

(3) 震災対策技術

- 1 東北地方太平洋沖地震に伴う江東区新木場地区（管路施設）の液状化対応について
- 2 東部汚泥処理プラント護岸耐震補強工事の事例報告
- 3 大口径既設管きよの耐震化技術の開発について
- 4 東北地方太平洋沖地震の汚泥かき寄せ機の被害と取組状況について

着脱・再掘進型管路築造工法による地中障害物の撤去

研究担当者；北都下水道事務所 建設課
阿部 耕太郎

1 工事概要

1) 背景

文京区根津、千駄木地区の不忍通りにおいて、浅層埋設（D. P0.50m～1.10m）されている既設矩形きょが「補助第94号線（不忍通り）拡幅事業及び電線共同溝事業」の支障となるため、道路管理者より、上部を土被り1.20mまで撤去するよう指示されている。また、当該地域は浸水常襲地域であるため、新たに代替管を布設し、既設矩形きょは上部撤去後、残った断面を貯留管として活用する計画となっている。

しかし、代替管を布設する不忍通りには、東京メトロ千代田線、当局の圧送管である湯島幹線など大断面の構造物が浅層で埋設されているうえに、東京メトロ千代田線築造時に使用された土留めコンクリート壁が土被り1.20mで車道両側に残置されている。（図1）

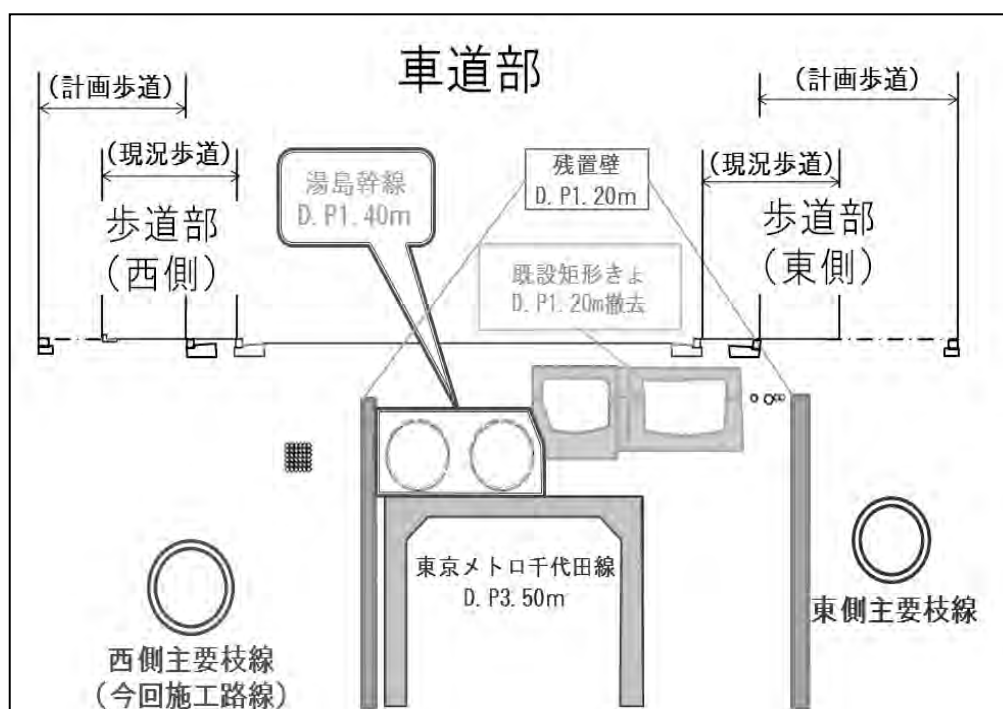


図1 不忍通り横断面図

このように不忍通りには、多数の大規模埋設物が輻輳しており、1本の代替管で既設矩形きょの流域全域を負担させることが困難であるため、流域を東西に分割し、西側の現況歩道部と、東側の計画歩道部に新たに代替の主要枝線を布設することとした。（図2）

本工事は、西側の現況歩道部に、推進工法によって代替の主要枝線を布設するものである。



図 2 流域概要図

2) 概要

本工事は、上流部の千駄木二丁目交差点を発進立坑、根津神社入り口交差点付近を到達立坑とし、推進工法によって主要枝線を布設する。また、到達立坑より、鋼製鞘管方式によって、第二地蔵掘幹線に流下する既設のφ3,000mmの主要枝線に落とし込みを行う。(図3)

本路線の諸元は以下のとおりである。

流域 : 15.16ha
 管径 : φ1,500mm
 勾配 : 2.0‰
 延長 : 180.80m
 土被り : 約3.7～4.3m



図 3 系統図

2 現場条件

本工事の計画線上、到達立坑より手前約 15m の位置に、横断方向に設置されている残置壁が 2 ヶ所確認され、本工事の支障となることがわかった。このため、資料の精査及び試験掘調査を行ったところ、東京メトロ千代田線築造時に土砂搬出用として使用された土留めコンクリート壁であり、車道下の残置壁同様、土被り 1.20m 以深が残置されていた。(図 4, 5)

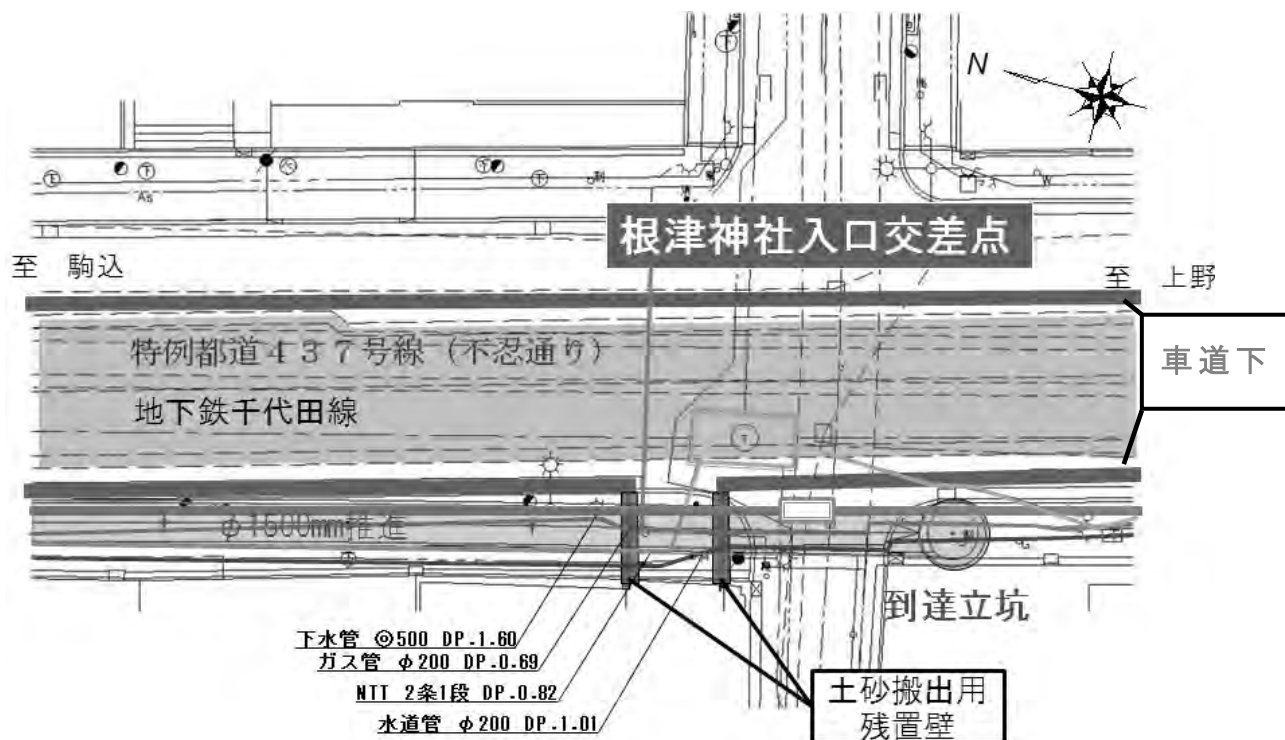


図 4 支障物構造図

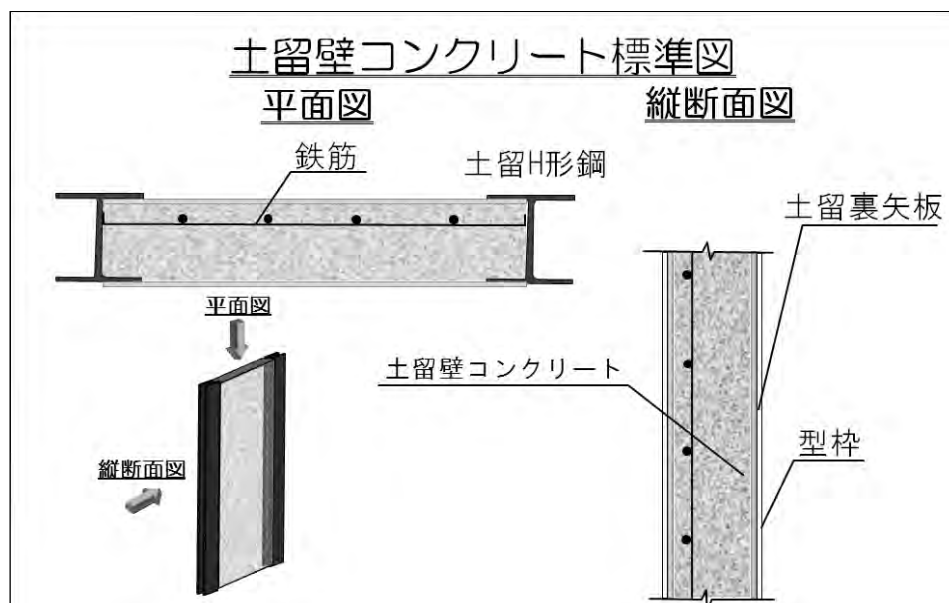


図 5 土留めコンクリート壁標準図

3 施工方法の検討

支障となる残置壁付近は、官民境界と車道下の残置壁の離隔が約 3m と非常に狭い中に、既設の下水道管、ガス管、水道管、NTT 管などの埋設物が輻輳しており、これらの既設管を移設したうえで、地上より支障となる残置壁を撤去することは、大規模かつ長期の作業を要する。また、本工事は、道路事業に先行する工事で、早期の完了を求められていた。そこで、推進機から土留め壁の撤去を行なうことができ、かつ工費・工期の面で最も優位である D A P P I 工法（着脱・再掘進型管路築造工法）を採用することとした。（表 1）

表 1 推進工法比較表

検討項目		DAPPI 工法	Do - Jet 工法	2 方向の推進工法
推進種別		泥土加圧式推進工法	泥濃式推進工法	泥濃式推進工法 ＋刃口推進工法
工法概要		推進機の外殻から切羽掘進装置を引き抜き、人力で障害物撤去作業を行い、再度切羽掘進装置を装着して掘進を行う推進工法である。	推進機内から地盤改良を行い、超高压ジェット水を噴射することで、障害物の切断・除去を行う推進工法である。	障害となる土留め壁までは、泥濃推進で推進し、土留め壁部は、到達立坑側からφ2000 で刃口推進し、人力で撤去を行い、泥濃推進側より鞘管内を空押しして到達する。
現場条件への適応		土質、地下水位、施工延長ともに問題なし	土質、地下水位、施工延長ともに問題なし	刃口推進部全面地盤改良の必要あり
立坑寸法	発進立坑	6000×3600		
		設置可能		
	到達立坑	φ 2500	φ 3000	φ 5000 (刃口発進立坑)
		設置可能	設置可能	設置不可能
経済性		1 億 7,500 万円	2 億 8,100 万円	1 億 2,500 万円
工期		7.5 か月	9.5 か月	8 か月
総合評価		◎	○	×

4 DAPPI (Detaching And Proceeding to dig Piping) 工法の概要

1) 工法概要

DAPPI 工法（着脱・再掘進型管路築造工法）とは、掘進機の外殻から切羽掘進装置を引抜き、障害物撤去作業等の後、切羽掘進装置を装着・再掘進して管路を構築する工法である。切羽付近での作業は、通常のシールド工法における支障物撤去時と同様であり、地盤改良等の補助工法を併用する。

2) 掘進機の特徴

- ①切羽掘進装置を引き抜いた後、広い作業空間で障害物を安全、確実に撤去することができる。
- ②切羽掘進装置の引抜、再装着は、機内からの遠隔操作で行うことができる。
- ③既設マンホールや既設管きょに直接到達させることが可能である。
- ④既設マンホールや既設管きょへ接続した後、切羽掘進装置を回収することが可能であり、別工事に転用することができる。
- ⑤可動式カッタスポークは、回転駆動軸に偏心しているため、大きな伸縮ストロークが確保でき、切羽掘進装置を容易に引き抜くことができる。
- ⑥可動式カッタスポークの大きな伸縮により、切羽掘進装置は、推進管の規格で 1～2 ランク程度異なる管径の掘進機に再転用できるため、経済的である。
- ⑦大口径掘進機の場合、分割運搬が可能となるため、運搬作業が容易である。

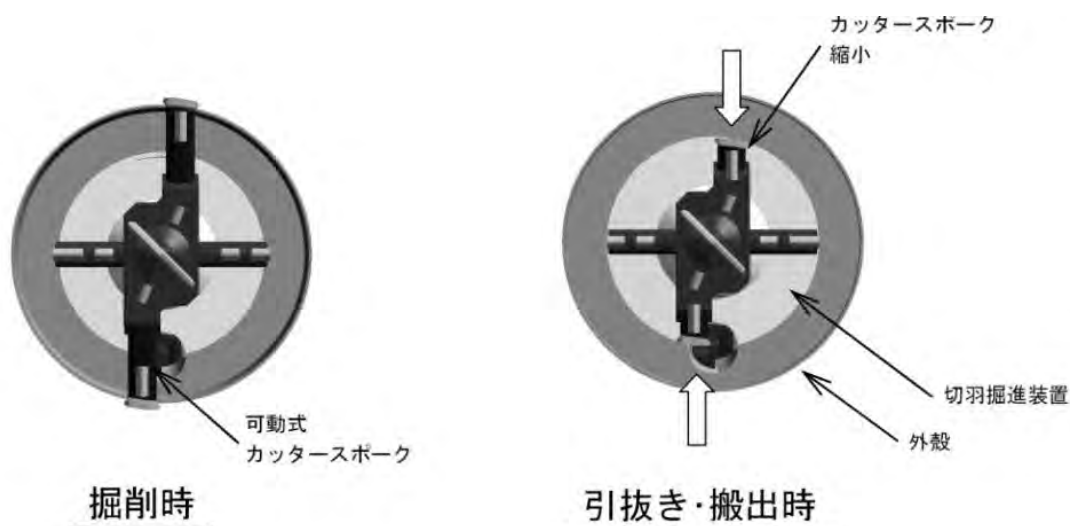


図 6 掘進機前面

3) 工法手順

以下に工法手順図を示す。

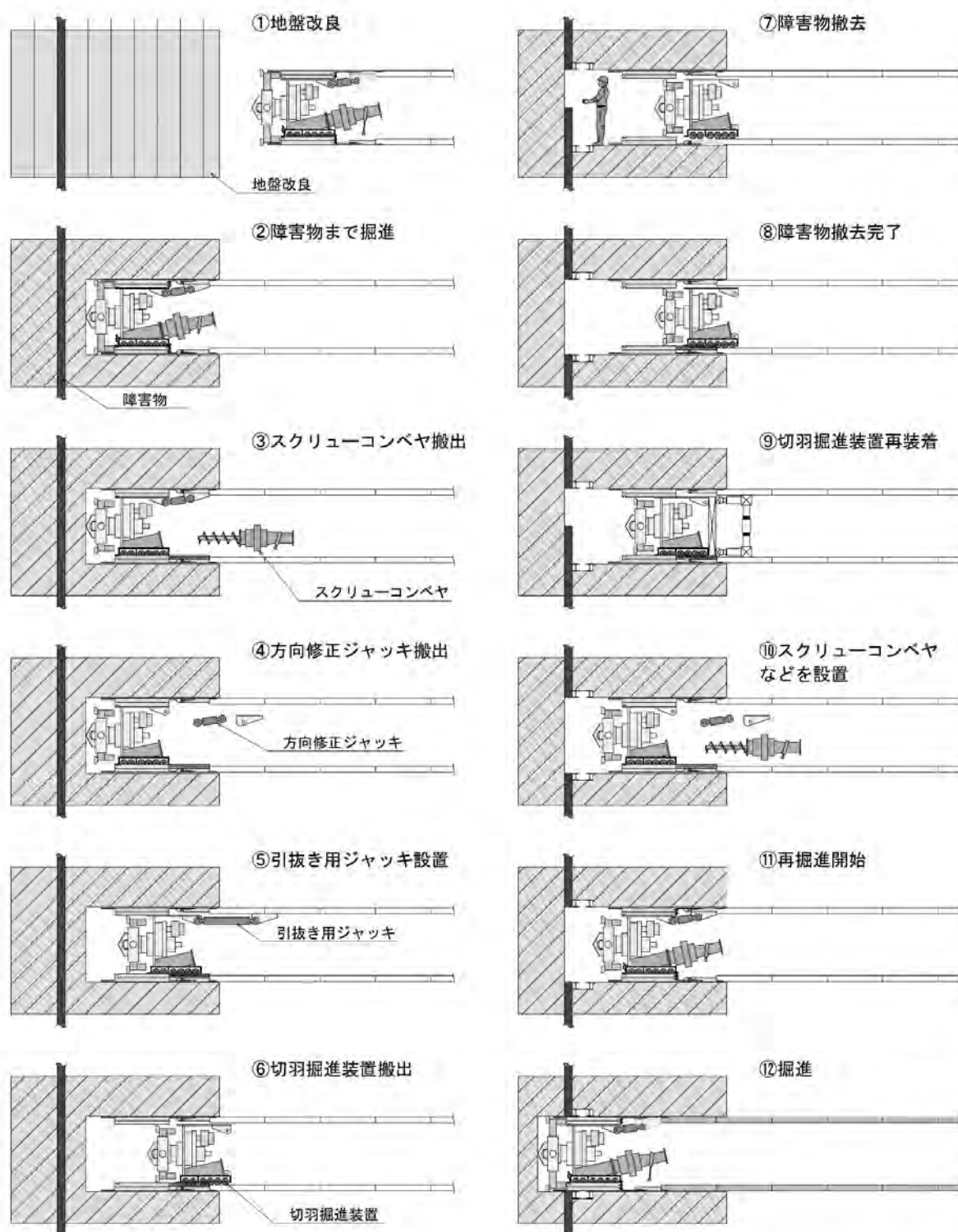


図 7 工法手順図

5 連続する地中障害物撤去方法の検討

1) 刃口推進の検討

DAPPI 工法では、通常、複数の障害物の撤去を行う場合、障害物毎に切羽掘進装置の着脱を行い掘進する。(図 8)

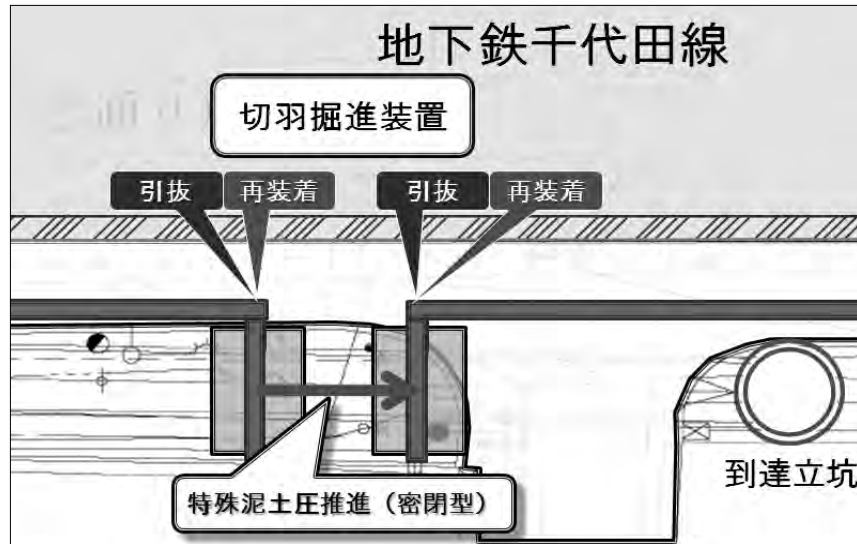


図 8 障害物撤去手順(通常)

今回、障害となる土留め壁の間隔は 3.8 m と短く、上部から全断面地盤改良を行うことが可能であるため、1 枚目の土留め壁撤去後、切羽掘進装置の再装着を行わず、掘進機の前面が開放状態のまま人力で掘削を行いながら推進していく（刃口推進）ことで、切羽掘進装置の着脱回数を低減させる検討を行った。(図 9, 10)

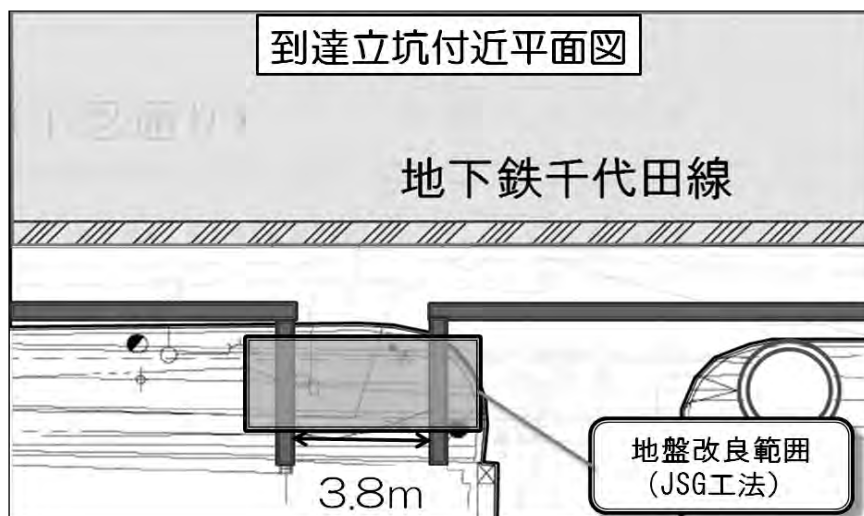


図 9 障害物付近詳細

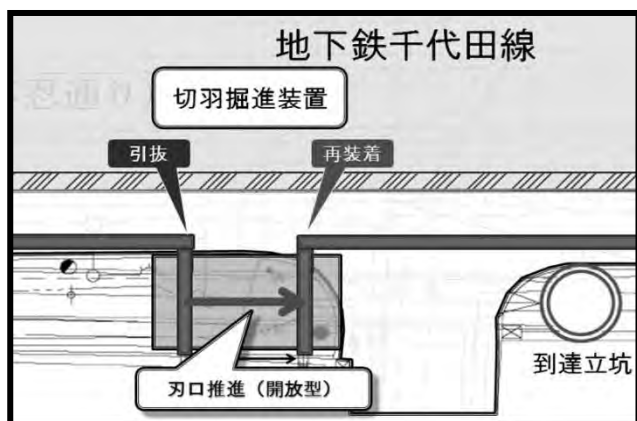


図 10 障害物撤去手順（今回）

2) 安全フードの開発

DAPPI 工法で刃口推進を行うに当たり、通常の刃口推進機と異なり、掘進機外殻に刃口が装着されていない。そのため、地山に貫入させることができず、人力掘削の際の土砂肌落ちが懸念された。（図 11）



図 11 掘進機前面

そこで、人力掘削の際の上部土砂肌落ち対策として、掘進機の上部に設置する安全フードを開発した。(図 12)



図 12 安全フード

フード設置部を先行掘削した後、元押しジャッキで押し込み推進していく。(図 12)

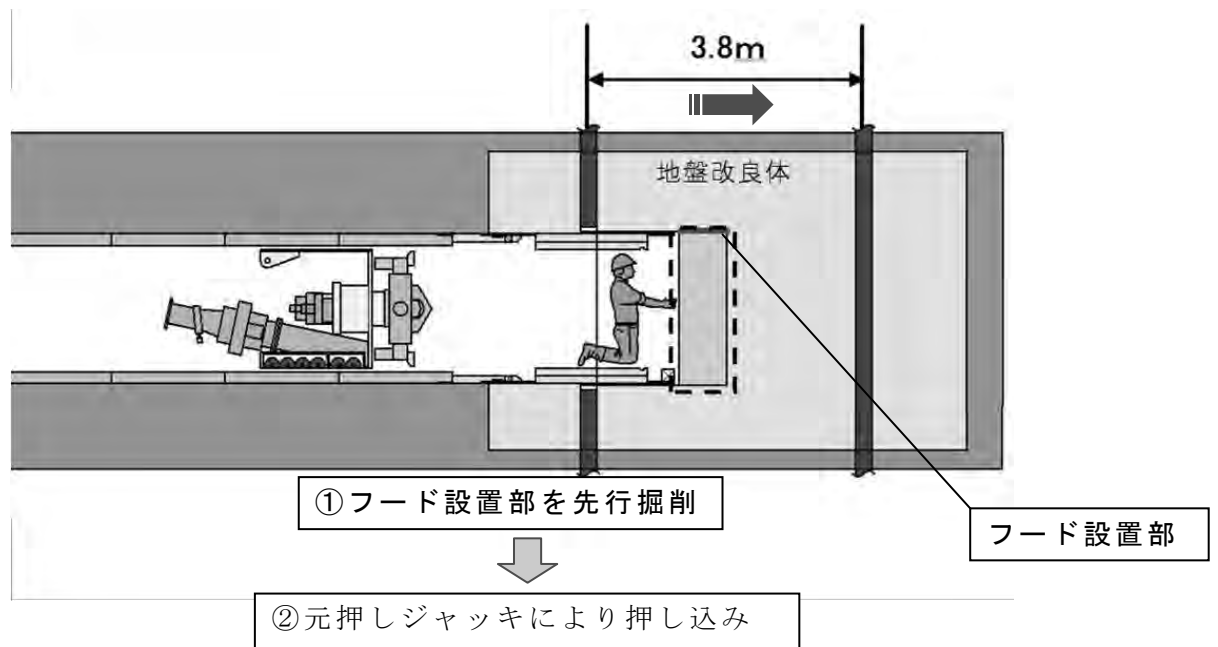


図 13 刃口推進手順

これにより、DAPPI 工法による刃口推進を実現した。

6 施工状況

1) 障害物撤去状況

推進機内より、コンクリート部はブレーカーではつり、H鋼はガス切断機により撤去を行った。



コンクリート壁はつり



H鋼切断状況

図 14 障害物撤去状況

2) 刃口推進状況

1枚目の土留め壁撤去後、上部に安全フードを設置し、2枚目の土留め壁まで人力掘削による刃口推進を行った。



安全フード設置状況



人力掘削状況

図 15 刃口推進状況

7 考察

D A P P I 工法で刃口推進を採用した事例は、今回の工事が初めてである。本工事のように、複数の障害物が狭い離隔で存在する場合においては、刃口推進を併用することで、切羽掘進装置の引抜・再装着の回数が低減され、従来と比べて、工期短縮や工事費の縮減を図ることができる。

1-(2)-1 東大島幹線及び南大島幹線の設計について

第一基幹施設再構築事務所 設計課 設計第一係
船倉 崇弘

1. はじめに

東大島幹線及び南大島幹線は、大島・小松川各ポンプ所流域の雨水流出量の増大に対応するために整備し、小松川第二ポンプ所へ流入する雨水幹線である。両幹線の整備後は、大島ポンプ所を廃止し、小松川第二ポンプ所から荒川へ雨水を放流する計画となっている。

東大島幹線は、小松川第二ポンプ所を起点、江東区亀戸三丁目地内を終点とし、内径 2,000 mm～6,000 mm、延長 4,040m であり、南大島幹線は都道番所橋通り交差点の東大島幹線合流箇所を起点、大島ポンプ所を終点とし、内径 4,500 mm、延長 1,365m である。今回は、小松川第二ポンプ所から大島ポンプ所間の延長 2,070m についての設計を行った。(図 1)

設計条件は急曲線部は R=25m:1 箇所、R=35m:1 箇所、R=40m:3 箇所の計 5 箇所であり、土被りは 23.8m～39.9m、土質はシルト質粘土(下部有楽町層)、砂混じりシルト(7号地層)である。

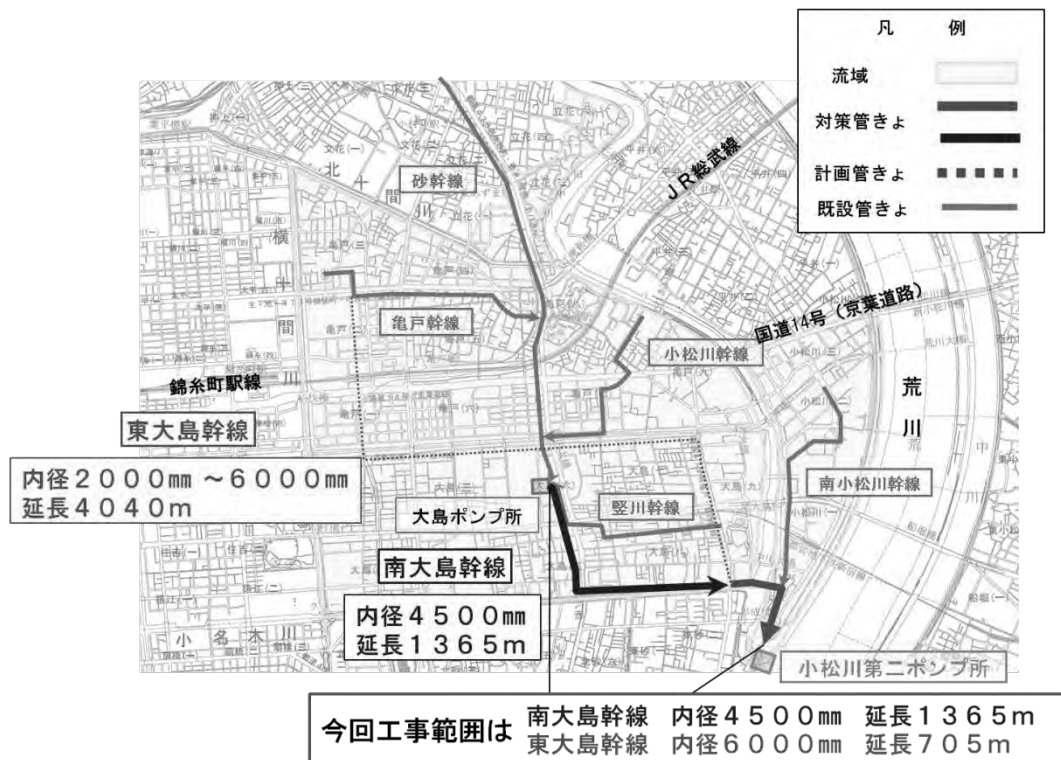


図 1 全体計画図

2. 設計上の課題

2. 1 掘削不可による立坑位置変更(問題点①)

本工事は都道番所橋通り交差点において径が 6000 mm から 4500 mm に変わるため、当初は東大島幹線と南大島幹線の会合点を両発進立坑とし、大島ポンプ所・小松川第二ポンプ所を到達立坑と考えていた。しかし、隣接する大島小松川公園(わんさか広場)は六価クロ

ムの封じ込めをしており、公園及び都道番所橋通り上での立坑掘削が出来ないため、会合点において両発進立坑の設置を断念することとなった。そのため、他の発進立坑用地を検討する必要が生じた。(図2)

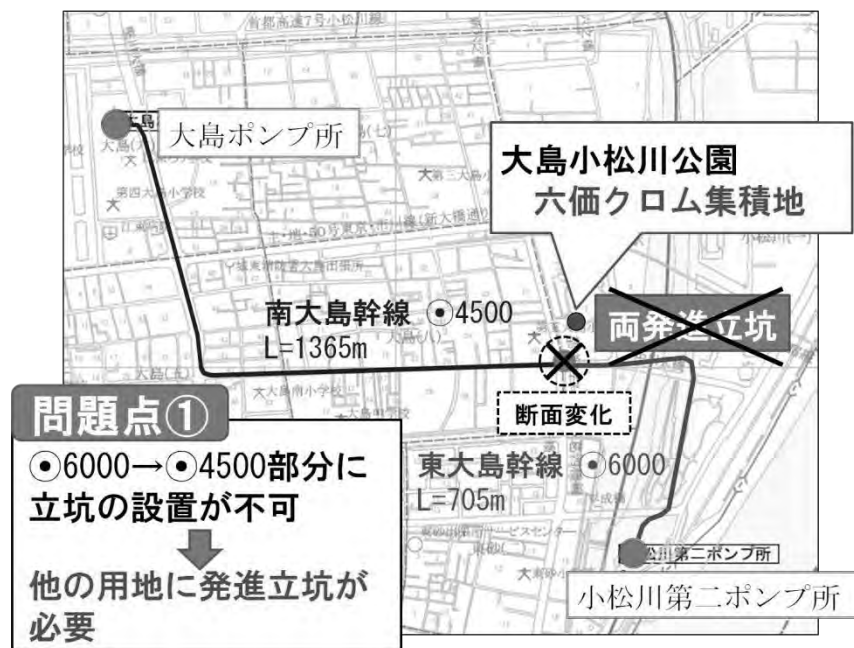


図2 問題点①

2.2 近接構造物（問題点②）

本工事の近接構造物は、中川大橋付近にある水管橋の鋼管杭、当局のしゃ集幹線である大島幹線及び都営地下鉄新宿線・東電洞道の残置杭である。鋼管杭と大島幹線については、幹線通過により管理値以上の沈下影響が発生するため、地盤改良による防護対策を行う。本工事で特に問題となるのは、都営地下鉄新宿線・東電洞道の残置杭であるH鋼とPIP杭で、計48本が支障となる¹⁾（図3、図4）。

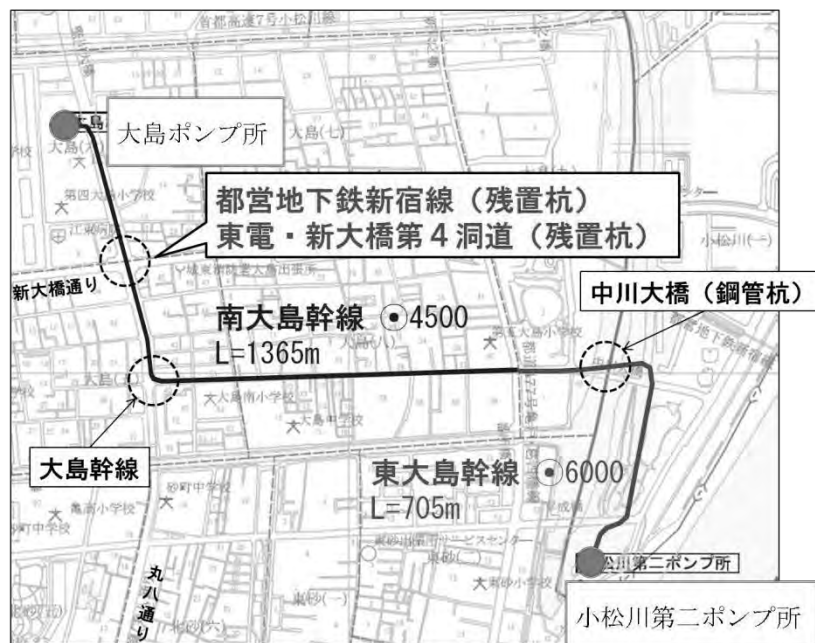


図3 近接構造物

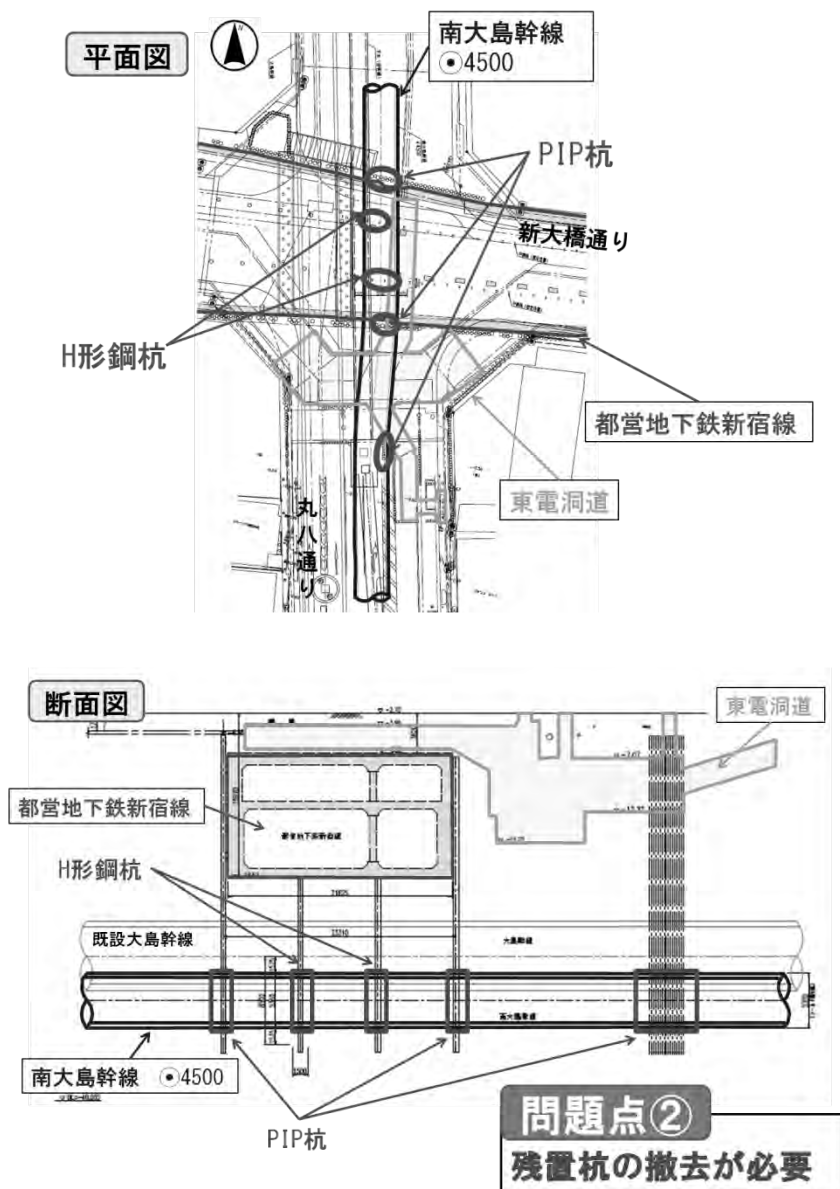


図 4 問題点②

3. 対応策（工法選定）

3. 1 問題点①についての対応策

東大島幹線と南大島幹線の会合点以外の発進立坑の候補として、①大島ポンプ所、②区立大島8丁目公園、③小松川第二ポンプ所の3箇所がある。用地面積は大島ポンプ所：980m²、大島8丁目公園：1,000m²、小松川第二ポンプ所：1,560m²である。周辺環境としては、大島ポンプ所と区立大島8丁目公園はアパート等が隣接しているため、騒音等の問題を生じる可能性がある。3箇所の用地を比較し、発進立坑に必要な面積、施工環境を考慮した結果、本工事では、小松川第二ポンプ所を発進立坑として選定した。

また、番所橋通り通過後の区道部は狭小道路であることから、区道部以降の施工は内径4,500mmとなるため、内径6,000mmでの一括施工はできない。さらに、路線上に立坑用地が確保できないため、内径6,000mmから内径4,500mmへの断面変化は親子シールド工法を採用し、大島ポンプ所を到達立坑とした。（図5）親子シールド工法とは、親機と親機に内蔵された子機により、径の異なる管渠を連続的に施工する工法である。本工事で使用する

シールド機は、親機が外径 7,100 mm、子機が外径 5,340 mm の予定である。



図5 親子シールドの採用

3. 2 問題点②についての対応策

本工事の残置杭撤去箇所の特徴として、①メタンガス含有土層であること、②都道交差点であるため、交通量が多い箇所であることが挙げられる。

今回工事範囲は、東大島幹線・南大島幹線の会合部付近と到達部付近の2箇所について、含有量5%を超えるメタンガスを確認している。(図6) そのため、残置杭撤去時にメタンガスを考慮に入れた工法を選択する必要がある。

また、同箇所は都道丸八通りと新大橋通りの交差点部であり、交通量が多い箇所である。(図7) 残置杭を撤去する際、既存施設に対する影響を軽減させるため、事前に地盤改良を行う必要があり、地上からの地盤改良の場合は、交通量も考慮する必要がある。

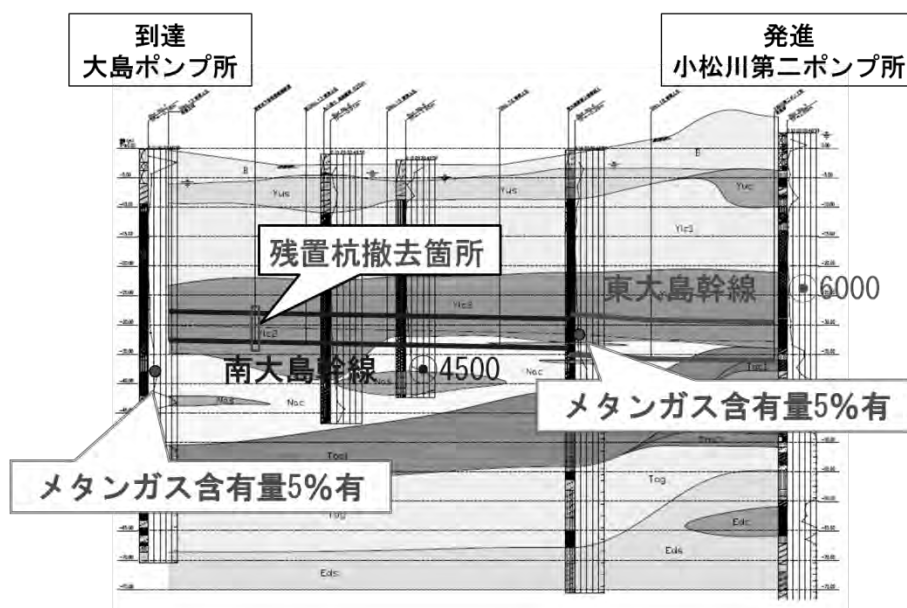


図6 残置杭撤去箇所の土質柱状図



図 7 残置杭撤去箇所の現場状況

残置杭撤去方法として、第 1 案：シールド機前面人力切断工法、第 2 案：シールド特殊カッター切削工法、第 3 案：D0-Jet 工法がある。各工法の比較は以下の通りである。

表 1 工法選定表

工法案 項目	第 1 案 シールド機前面 人力切断工法	第 2 案 シールド特殊 カッター切削工法	第 3 案 D0-Jet 工法
条件	①メタンガス含有土層を通過 ②都道丸八通りと新大橋通り交差点の交通量が多い		
安全性	ガス対策に十分な対応が必要 △	機械設備によるメタンガス対策可 ○	機械設備によるメタンガス対策可 ○
周辺環境	交通に支障を及ぼす ×	交通に支障を及ぼす ×	交通上支障がない ○
経済性	△	○	○
総合評価	×	×	○

第 1 案：シールド機前面人力切断工法

事前に地上から地盤改良を行い、シールド機内から人力で障害物を撤去する工法

第 2 案：シールド特殊カッター切削工法

事前に地上から地盤改良を行い、特殊カッタービットで障害物を切削除去する工法

第 3 案：D0-Jet 工法

シールド機内から地盤改良と超高圧ジェット噴射により障害物を切削除去する工法

現場条件を考慮して、安全性・周辺環境・経済性の観点から、3案の比較を行った。

安全性については、第1案は作業員がシールド機前面に出て作業する必要があるため、換気を行い、残置杭撤去時に火器を使用しないなど十分な対応が必要である。第2案、第3案は機械設備によるメタンガス対策が可能である。

周辺環境については、第1案、第2案は地上から地盤改良を行う必要があり、交通に支障を及ぼす。第3案は地上からの地盤改良を必要とせず、シールド機内からの超高压ジェット噴射による地盤改良であるため、交通に支障を及ぼす可能性はない。

経済性も併せて比較し、本工事では DO-Jet 工法を採用した。(表 1、図 8)

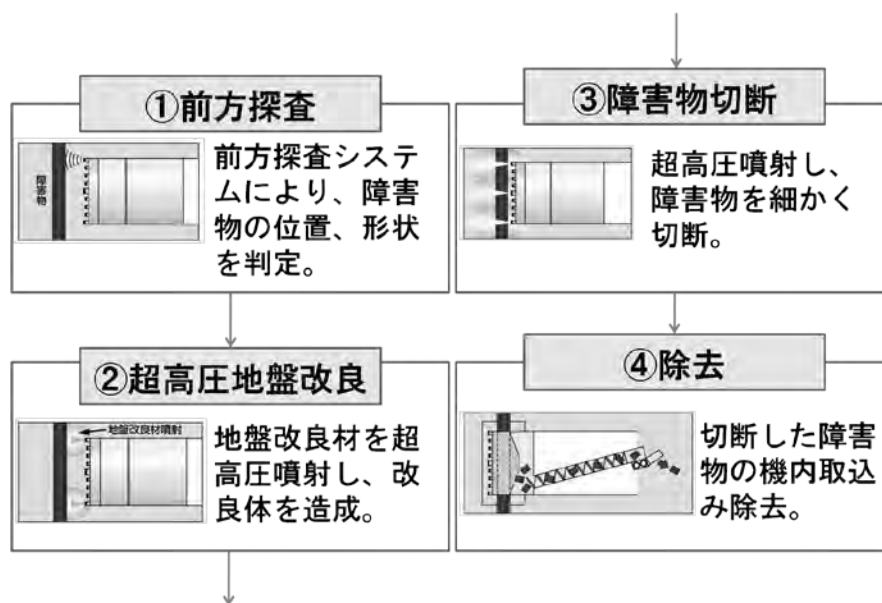


図 8 DO-Jet 工法の概要

4. 今後の予定

人口が多い都市部では、大規模な影響が懸念される重要構造物近傍での施工を余議なくされる場合が多い。また、制約条件があり立坑掘削ができない場合もある。このような場合、実績をともなった工法を選択肢に据えて検討を行い、安全かつ確実に施工することが求められる。本工事では親子シールド工法と DO-Jet 工法を活用することで無事に竣工するものと期待している。

本工事は、小松川第二ポンプ所を平成 24 年 6 月に発進予定であり、親子シールドの地中分離は平成 25 年 7 月頃、DO-Jet 工法による残置杭撤去は平成 26 年 4 月からを予定している。

参考文献

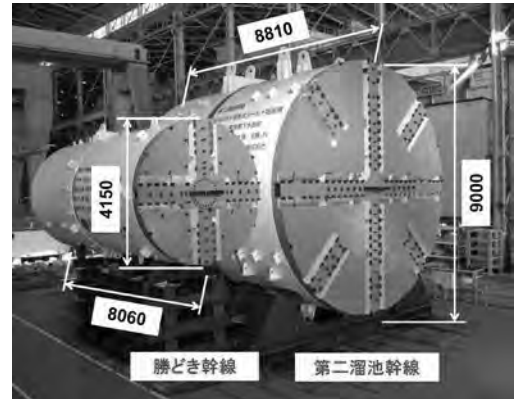
- 1) 地下鉄駅直下の残置杭を DO-Jet 工法で切断撤去、トンネルと地下、2011 年 2 月

1-(2)-2 高水圧下におけるH&Vシールドの直接発進施工

第二基幹施設再構築事務所 工事第二課 宮司 憲男

1. はじめに

千代田区、港区及び中央区の一部の浸水対策、皇居内濠等の閉鎖性水域の水質改善を目的として、「第二溜池幹線」と「勝どき幹線」のシールド工事を施工中である。本工事は H&V シールド工法を採用しており、仕上がり内径 8000mm の第二溜池幹線と 3500mm の勝どき幹線を同時に掘進する 2 連シールドとして発進し、隅田川を横断した築地市場直下で地中分離する。今回、高水圧下において H&V シールドを直接発進したため、その事例を報告するものである。



図－1 シールドマシン

2. 工事概要

工事件名 第二溜池及び勝どき幹線工事

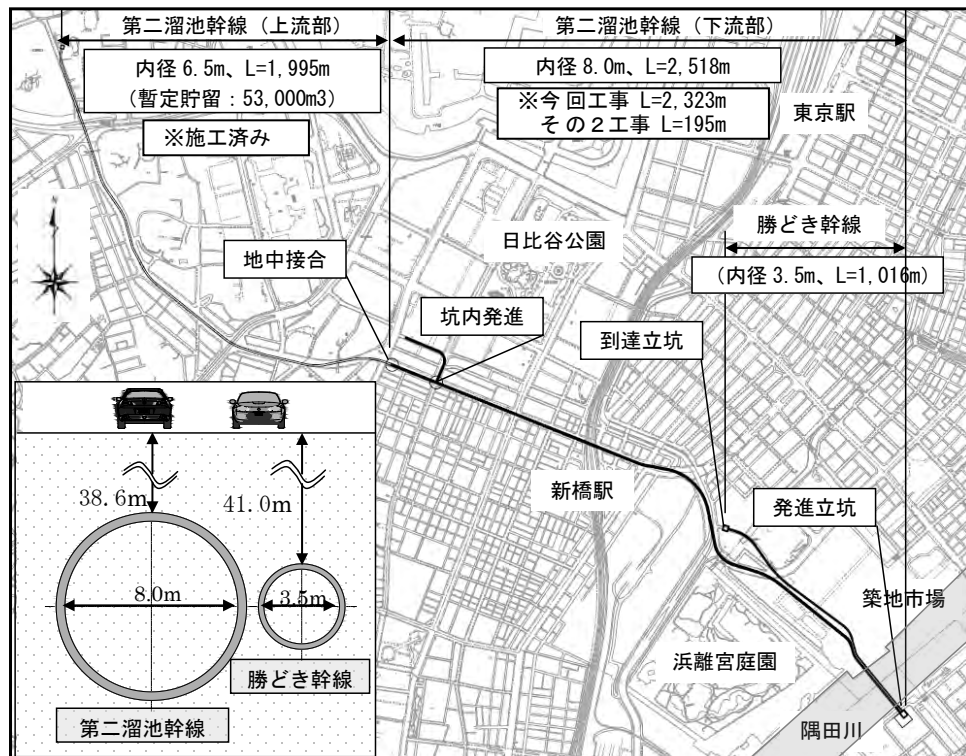
工事場所 中央区勝どき五丁目、築地五丁目、銀座八丁目
港区東新橋一丁目、新橋一、二丁目、西新橋一丁目

工事内容 ・シールド一次覆工（二次覆工一体型）

第二溜池幹線 仕上がり内径 8000mm 線路延長 2322.55m

勝どき幹線 仕上がり内径 3500mm 線路延長 1016.15m

・立坑 1 か所



図－2 概要図

3. シールド発進における施工前段階での課題と解決策

1) エントランス装置の水密性

・課題

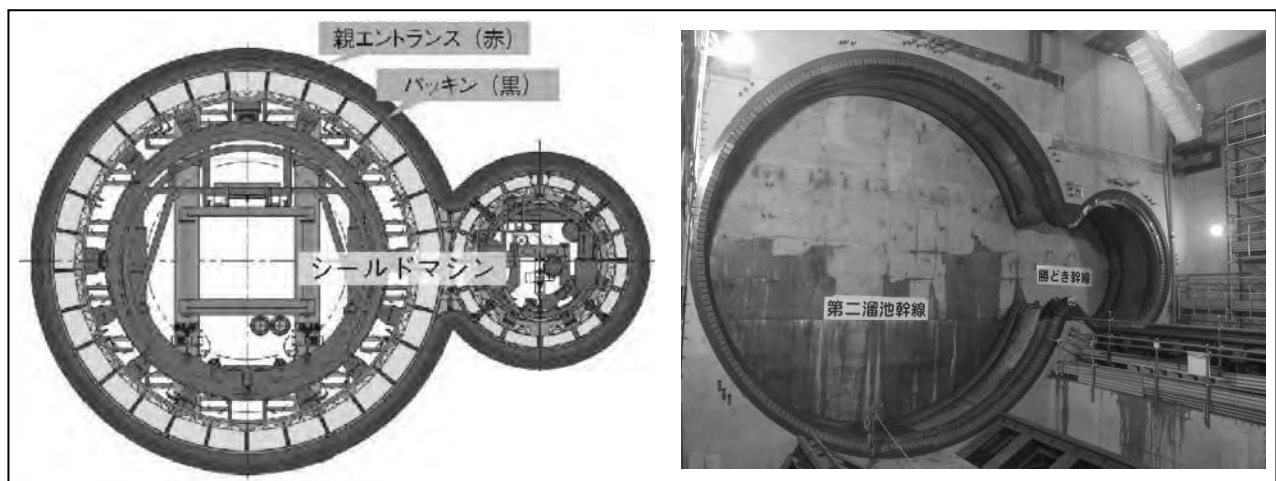
発進時は 0.4MPa の切羽圧を保持する必要があるため、エントランス装置の水密性を確保する必要があった。また、シールドの断面がひょうたん型に連続するのに対し、セグメントは独立した円形であるため、セグメント周囲の止水について配慮する必要があった。

・解決策

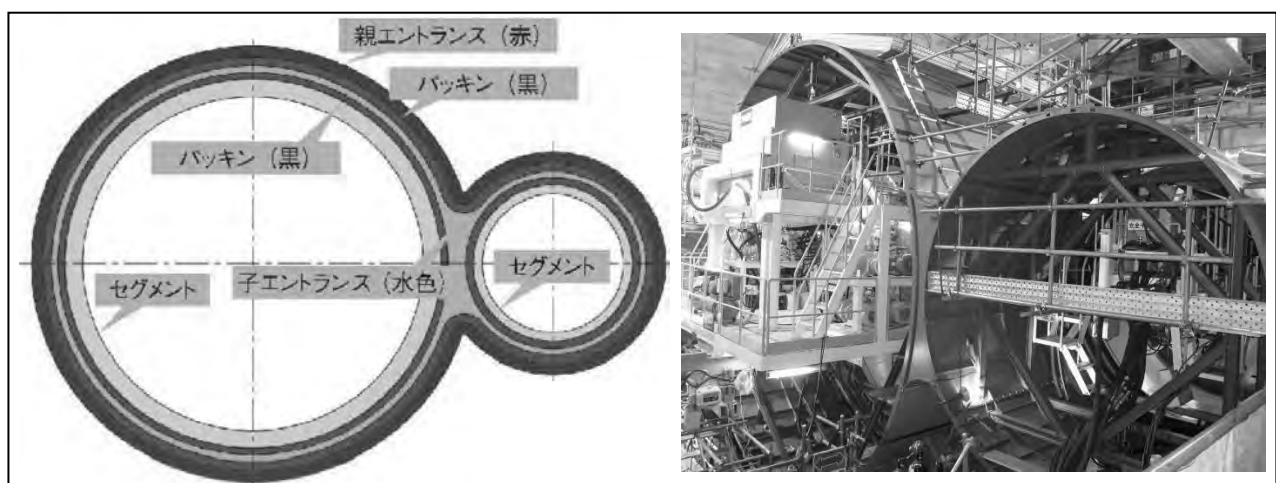
エントランス装置は、シールドマシン通過時と通過後にエントランス内に残るセグメントの双方に対して水密性を確保する必要があるため、親と子の2重構造とした。シールドマシン通過時は親エントランスによりシールドマシン外周の水密性を確保し（図－3）、通過後は子エントランスによりセグメント外周の水密性を確保する構造とした（図－4）。また、エントランス装置は加圧チューブ内蔵の4段パッキンとして切羽保持を図った（図－5）。



図－5 4段パッキン



図－3 親エントランス



図－4 子エントランス

2) 直接発進および崩壊性地盤における長時間の低速掘進

・課題

発進部の立坑壁は直接発進可能なSEW工法で施工されているが、シールド接合部断面はカッタービットで切削可能な部材（FFU部材）を切削できないことが判明した。

また、両シールドの面盤が同一平面になく750mmの段差があるため、後行側が立坑壁を切削し終えるまでの間、先行側は長時間にわたり地山を低速掘進することになる。立坑背面地盤が崩壊性であることが判明したため切羽保持が課題となった。

・解決策

シールド接合部の立坑壁は先行削孔によりコア抜きし、地盤凍結工法により壁背面の止水及び地盤強化を図った。

また、崩壊性砂地盤の地山崩壊防止のため、全断面を地盤凍結工法により改良した。(図-6)

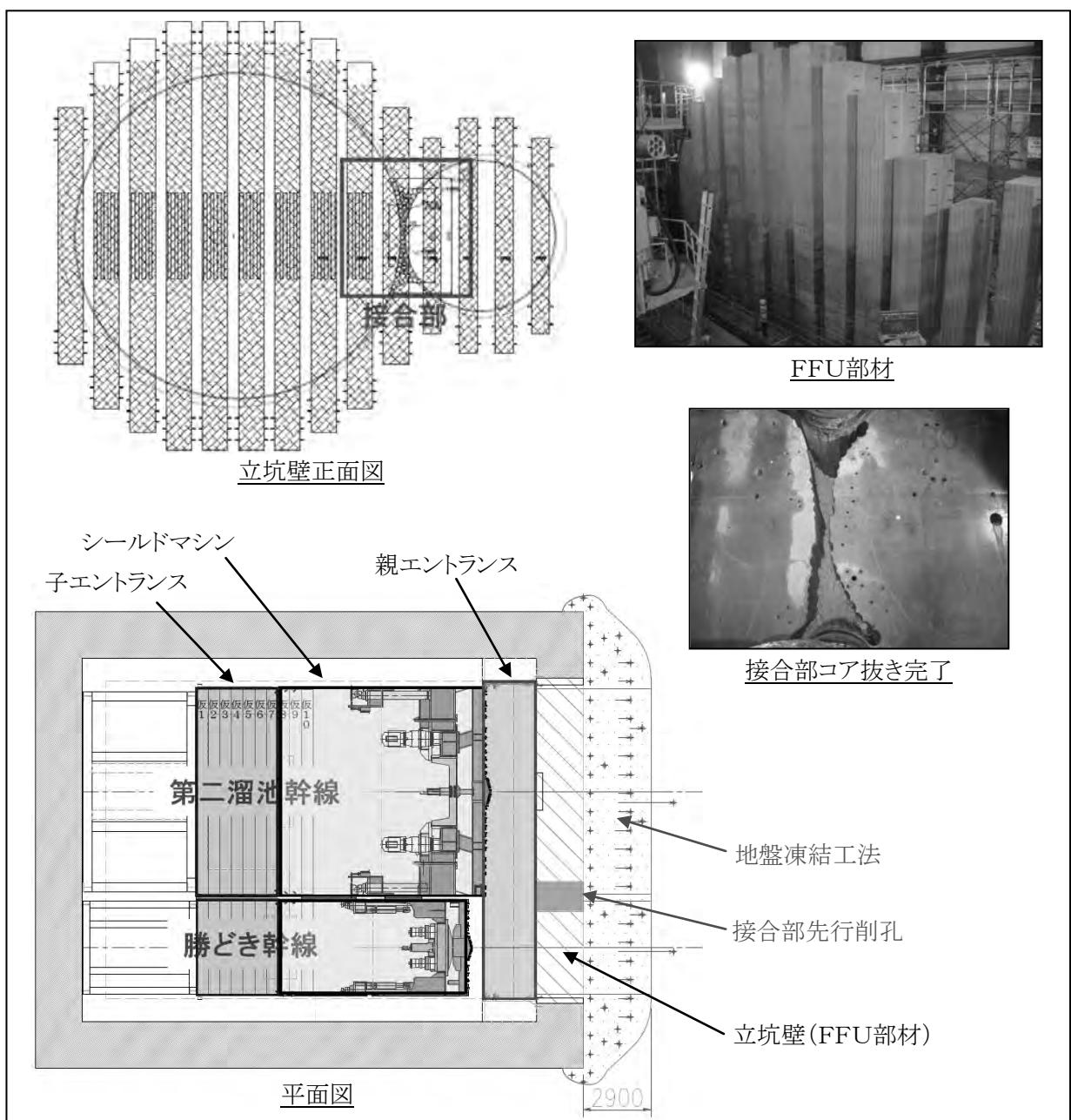


図-6 立坑壁先行削孔・地盤凍結図

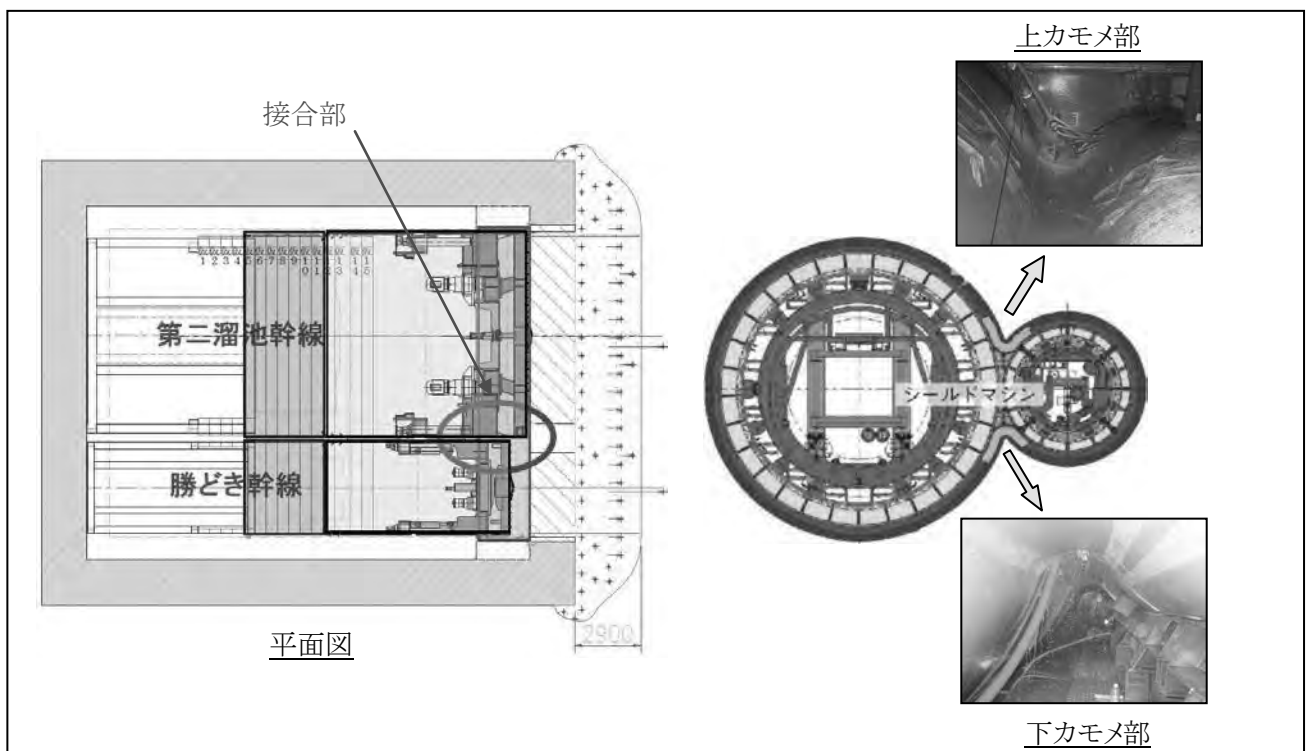
4. 実施工において発生した問題点と対策

1) エントランスの耐圧試験

直接発進工法では裏込め注入を実施する前にシールドマシンが地山に到達してしまうため、切羽安定のためにはエントランスで水圧を保持することが重要である。立坑壁の切削に先立ち、シールドマシンをエントランス内に押出し、エントランスパッキンを作動させた上で、エントランス内に泥水を送り込んで耐圧試験を実施した。

今回のシールドは中心で0.4MPaの水圧が作用するため、0.5MPaの耐水圧を目標として試験を実施した。試験の結果、シールドマシン結合部の上下カモメ部から漏水があり、十分な結果を得ることができなかった（図－7）。切羽の泥水を抜き取り、切羽側から原因を調査した。

シールドマシンの切羽側に入って確認した結果、カモメ部のパッキンが波型に変形し、シールドマシン接合部との間に、大きな隙間が生じている事が判明した。対策としては発生した隙間に弾性シール材を充填した（図－8）。また、充填したシール材が水圧で押し出されないように坑口部に押さえ金物を設置するなどの対策を施した。



図－7 結合部カモメ部漏水状況



図－8 カモメ部隙間弾性シール充填

2) FFU部材の切削

エントランスの耐圧が確認された後、シールドの掘進を開始した。立坑壁の切削は毎分 0.5mm～1mm 程度のジャッキスピードで掘進した。切削に際してはコンクリート塊及び FFU の切削片が発生することから、排泥ラインに礫取り装置を設置した。しかし、泥水の比重に近い FFU の切削片は礫取り箱に沈降せず浮遊してしまうため効果が発揮できず、装置に設置したスクリーンに閉塞し掘進不能となった(図-9)。このような現象が頻発するため、礫取り装置を撤去した。また、礫取り装置撤去後は排泥ポンプ、配管内の閉塞が頻発し掘進を妨げるようになった(図-10)。更に、FFU 部材と泥水中の物質の化学反応により、泥水中に大量の泡が発生し、プラントの処理能力を著しく低下させ掘進を何度も中断することとなった。施工では消泡剤を用いて対応した。



図-9 スクリーン閉塞状況



図-10 配管内閉塞状況

3) 中折れ装置部のエントランス通過

掘進に伴ってシールドマシンの中折れ装置がエントランスに差し掛かる段階となった(図-11)。中折れ装置部分の断面は「くびれた」形状となっているため、パッキンが馴染むようにウレタン系の材料を充填し平滑にした。しかし、パッキンの押さえ金物が充填した材料に食い込む形となり塗布した材料が剥離してしまったため(図-12)、材料を再選定して充填し直すこととした。

材料再選定の結果、エポキシ樹脂を充填することにした(図-13)。エントランス通過時には破壊せず、かつ中折れ作業時に阻害しない材料として選定したものである。パッキン押さえ金物が反転しなかった箇所については、これ以上の反転が発生しないように補強を施した(図-14)。

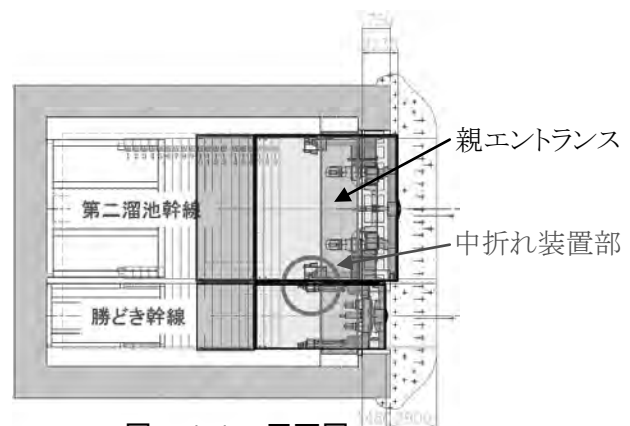


図-11 平面図



図-12 ウレタン系材料



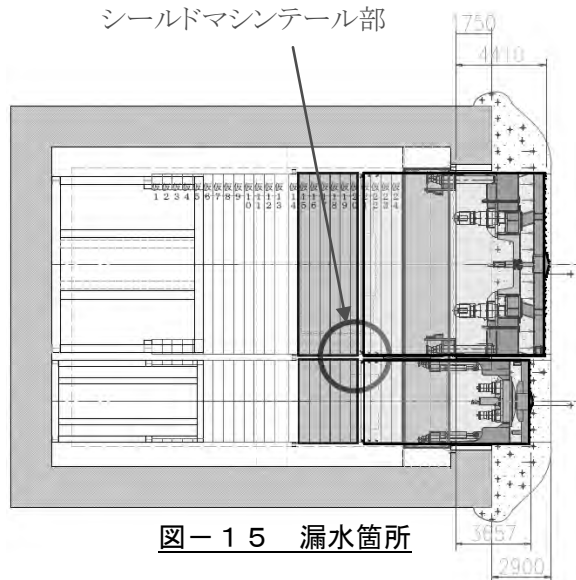
図-13 エポキシ樹脂系材料



図-14 押さえ金物補強

4) マシンテール部からの漏水

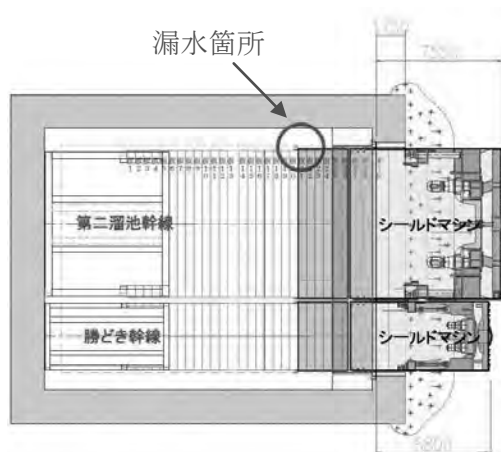
凍結区間の掘進途中でシールドマシンのテール部から泥水の漏水が発生した（図－15）。発生箇所はカモメ部で毎分 500 口であった。原因として水圧によるマシン接合部カバーの変形が考えられるため、当該部の補強を実施するとともにエポキシ樹脂による充填を行った（図－16）。



図－16 漏水状況

5) 子エントランスからの漏水

シールドマシンが完全に親エントランス内に入り、子エントランスの一部が親エントランスにかかった時点で、第二溜池幹線側（大口径機側）の側部を中心に泥水の漏水が発生した。発生箇所は子エントランスと仮セグメントの間で（図－17）、毎分最大 4000 口に達した（図－18）。この漏水は泥水であり流体の輸送能力面では、十分に切羽圧力を保持できる量ではあったが、これ以上の量となると切羽バランスが崩れ地山を呼び込む可能性があると考え、止水・固定を行うこととした。主な原因は子エントランスの偏芯によりパッキンとセグメントの間に隙間が生じたものと考えられる。対策として、疎水性発泡ウレタン材を仮セグメント注入孔より注入した。泥水の漏水量が毎分 700 口まで低下したところで裏込め材を注入し、100 口以下に低下した。次に子エントランスが動かないように親エントランスと固定し、子エントランスと仮セグメント間も止水溶接を実施して完全に止水した（図－19）。



図－17 漏水箇所

図－18 漏水状況

図－19 止水・固定状況

6) 立坑壁部での地山との遮断

子エントランスを固定した後、シールドを再掘進した。立坑壁に組立てる「本2リング」(図-20)は裏込め材を注入すると限定範囲で膨らむ袋付きセグメントとし(図-21)、立坑壁の断面で完全に地山側と遮断することとした。本2リングへの裏込め注入後(図-22)、坑口側へ裏込めを再注入して水みちを遮断した。

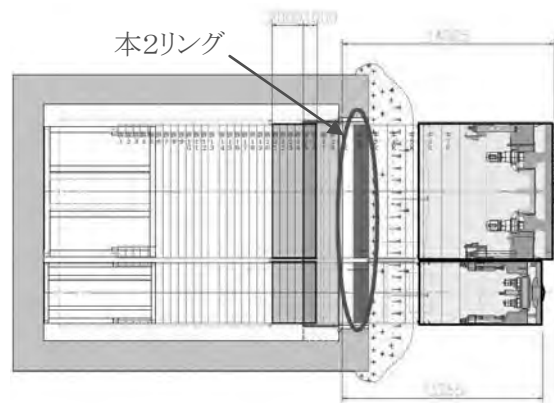


図-20 袋付きセグメント使用箇所



図-21 膨張前



膨張後



図-22 裏込め注入

5. おわりに

今回の工事事例は、高水圧下におけるH&Vシールドの直接発進施工であった。多くの課題や問題点があったが、無事に発進し現在は順調に掘進をしている。都心部では、下水道工事を行う上で必要となる立坑用地の確保が年々困難になってきており、地下は鉄道、道路、各企業の埋設管が輻輳していて、大口径下水道管を施工する際は、必然的に大深度となる。今回の事例が、今後の類似工事において参考となり、新たな視点として寄与できれば幸いである。



第二溜池幹線 (大口径機)



勝どき幹線 (中口径機)

1-(2)-3 世界最大のニューマチックケーソン工法による

ポンプ棟建設について

第一基幹施設再構築事務所
工事第二課技術調査係 長谷 祐樹

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(最大 20 万 m^3 /日)の処理及び三河島処理区の一部雨水を吸揚するため計画した施設である。西日暮里系及び尾久系の両主ポンプ棟が完成すれば、排水面積約 610ha、晴天時時間最大汚水量 3.29 m^3 /s、雨天時時間最大汚水量 8.7 m^3 /s、雨水量 60 m^3 /sの処理が可能となる。

当施設の中核となる両主ポンプ棟(尾久系、西日暮里系)のうち、平成 17 年度から西日暮里系主ポンプ棟(図-1)建設を進めており、完成までに新たな幹線をあわせて整備することで、浸水被害に対する安全度の向上を図ることとしている。

本稿では、世界最大のニューマチックケーソン工法で沈設が完了した西日暮里系主ポンプ棟工事について紹介する(図-2)。この躯体の平面積は 4,837 m^2 となり、これまでニューマチックケーソン工法の施工規模としては世界最大であった、レインボーブリッジのアンカレイジ基礎 3,157 m^2 の約 1.5 倍の面積を有している。

2. 施工概要

工事名称	東尾久浄化センター主ポンプ棟建設工事
工事場所	東京都荒川区東尾久七丁目 2 番地
土工	212,000 m^3
地盤改良工	改良体積 72,082 m^3
躯体平面積	4,837 m^2 (62.1m×77.9m)
最終深度	TP-41.2m
施工方法	ニューマチックケーソン工法

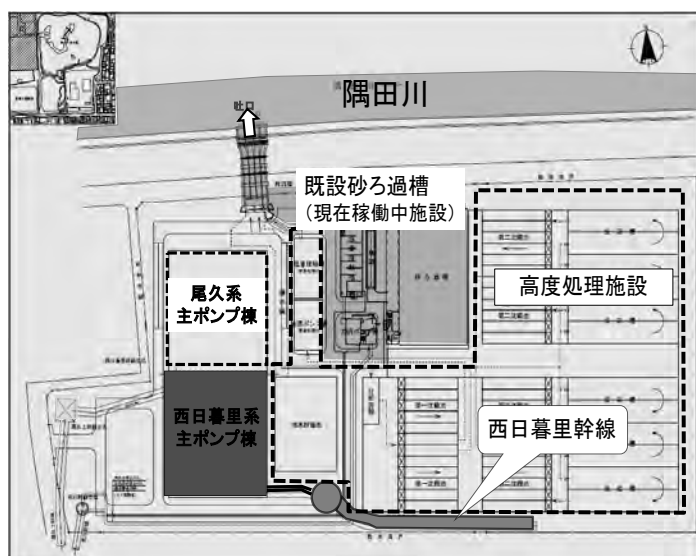


図-1 東尾久浄化センター全体平面図



図-2 西日暮里系主ポンプ棟構造図

3. 施工上の留意点

3.1 吊桁構造

本ケーソンの底版は、完成すれば直接基礎となるが、沈設施工中は広い圧気作業室を柱なしで支える天井としての機能を有する。ケーソンの平面積が大きくなるに従い、この天井もより大きなスパンに耐えられる剛性を有している必要がある。

平面積の小さなケーソンは沈設中に発生するねじれや曲げに対して底版スラブ 1 枚の剛性で抵抗するが、面積が大きな場合には底版を格子状に補強したボックス構造が採用され、本ケーソンにおいても、62.1m×77.9m と大規模な底盤スラブの剛性を確保するため、底版上部(躯体内部の地下 6 階から地下 4 階スラブ、高さ 15.9m)に格子状に補強仮壁を配置し、この補強仮壁と底版が一体化した逆 T 形状を有する吊桁が連続する構造とした(図-3、4: 図中の斜線部が補強仮壁)。これにより 80 枚の四辺固定スラブ(最大で 9.0m×9.0m)に分割した構造となり、沈設中のケーソン躯体の剛性を確保した。

この構造は 2 次元の平面格子解析では設計上のメリットは現れないが、3 次元シェル解析においてはボックス上面の効果は大きなものになる。

また構造設計を行う上での条件として、ケーソンの刃口が地盤から受ける支持反力を設定する必要があるが、この支持反力は外周 4 辺で必ずしも一定ではなく、過去の沈下実績からケーソンの短辺・長辺の反力バランスは 1:3~3:1 の範囲で変化することが分かっている。本ケーソンにおいてもこの比率で構造設計がなされたことで吊桁は全通り芯に格子状に配置された。

ケーソン躯体の沈設は、この吊桁構造部の構築が全て完了してから開始し、ケーソンが設計深度に着底するまで躯体の剛性を確保することができた。なお、この補強仮壁は、ケーソンの沈設が完了し中埋めコンクリートを打設した後に切断・撤去した。

3.2 刃口鋼板・スラブ鋼板

ケーソンの刃口部及び底版スラブは、沈設中に発生する大きな変形に耐えられるだけの剛性を必要となり、一般に高密度配筋となる部位である。特に刃口部は内空が小さいためにこの傾向が著しい。そこで、本ケーソンでは表面に鋼板を用いて一体化した構造物とすることで剛性を確保し、かつ鉄筋量を低減させ過密配筋を防ぐことができた。

さらに、鉄板の厚みは 6mm~9mm が一般的だが、本ケーソンでは刃口部に 16mm、底版スラブ部に 12mm をそれぞれ採用することにより、鉄筋の低減効果を高めた。

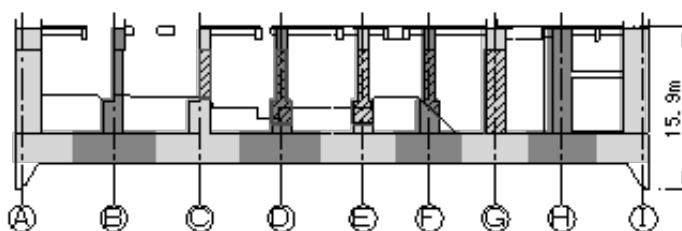


図-3 吊桁構造断面図

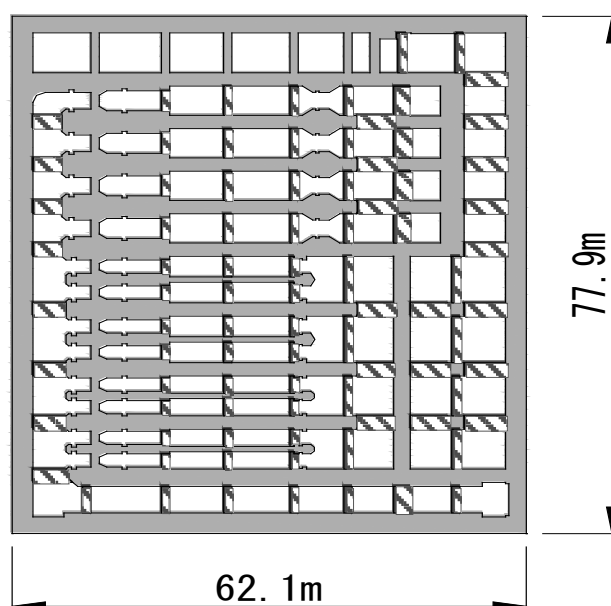


図-4 吊桁構造平面図

また底版スラブの厚さは3mあり、マスコンクリートのひび割れを避けることは困難であるが、万一ひび割れが発生すると沈設中の漏気の原因となるばかりでなく、構造物としての耐久性を低下させる要因となる。今回の鋼板で覆った構造は、これらの対策にも非常に有効なものとなった。

3.3 特殊刃口形状

一般的なケーソンの施工において、万一、躯体が急な傾斜を起こした場合の漏気対策として、刃口先端よりも20cm程度高く水位を設定し、さらにブロー回収装置を設けるなど二重の安全対策が行われている(図-5)。

本工事の現場周辺においても、大学やビルなどが隣接しているだけでなく、近隣で井戸を使用している民家も多く存在していた。そこで、万一、作業室内の圧力を上げすぎて刃先からの漏気が発生すると、周囲に多大な悪影響を及ぼすことが懸念された。しかし、本工事においては、3.2で記した通り刃口部を鋼板で覆っているため、ブロー回収装置のような開口部を設置することが不可能である。この制約のなかで確実な漏気対策を行うため、刃口高を一般的なケーソンの2.3mよりも20cm大きい2.5mとし、これにより刃口先端が常に40cm地中に先行している状態とし、刃先からの漏気防止対策とした(図-6)。

さらに、躯体外周に4箇所の漏気観測用井戸を設置し、万一漏気が発生した際には、現場周辺の地下施設への入場を一時制限して函内圧の低減などの漏気対策を実施する計画とした。

このような対策により、沈設完了までは一切の漏気は認められなかった。

3.4 初期沈設時の姿勢制御

沈設開始前のケーソンは躯体の全重量を砂セントルが直接基礎として支持しているが、この状態から掘削が始まると重量を支持する面積が徐々に減少し、刃口付近の地盤はそれまで以上の荷重がかかるとともに、底版には大きな剛性が必要となる。その後沈設が進むと地下水

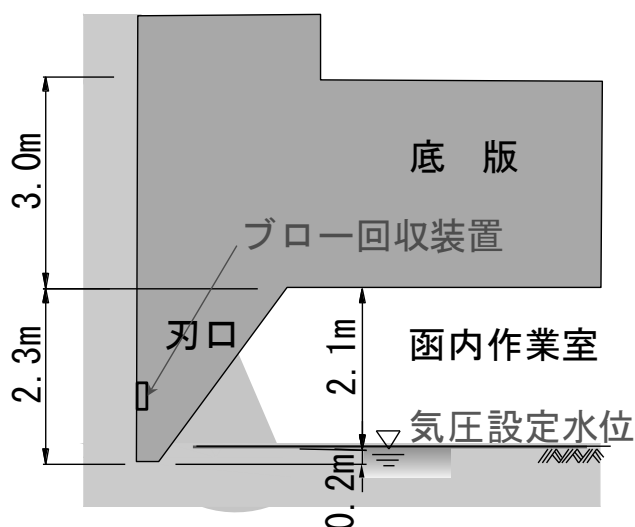


図-5 一般的な刃口形状

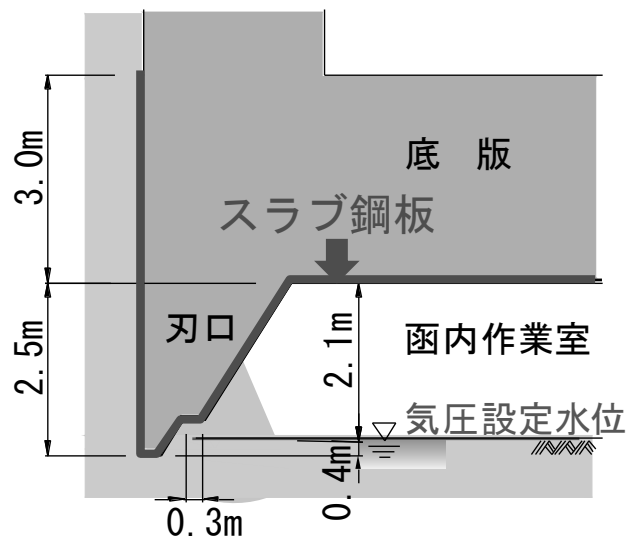


図-6 特殊刃口形状(二段刃口形状)

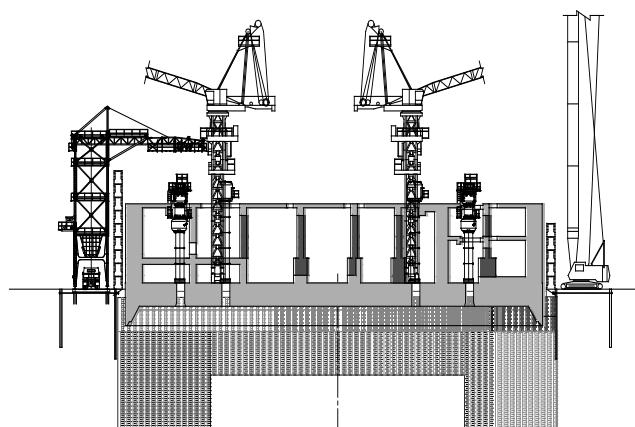


図-7 沈下掘削開始時

の浮力の影響を受け見かけの上躯体は軽くなり、軟弱な地盤でも支持できるようになり、最終的には荷重水を増さないと浮力以上の沈下力が発生しない。

3.1 で述べたとおり、本ケーソンにおいては吊桁構造を採用したことで、沈下掘削開始時(1 ロット～4 ロットまでの構築完了)(図-7)のコンクリート量が 43,000m³を超え、躯体重量は 10 万t以上にもなった。これは一般的なケーソンの沈下開始時の重量に比べて非常に大きなものとなり、N値 1～4 程度の軟弱地盤では、沈下掘削の初期段階で地盤の支持力が不足していた。

そこで、このような軟弱地盤上に設置された重量構造物の安定を図るため、ケーソンの躯体構築に先立ち地盤改良を施工し、その支持力を確保した。地盤改良は、図-8 に示すように刃口付近に残された地盤面からケーソンの自重による円弧滑りを想定し、安全率が確保できるように設定した(サンドコンパクション工法による置換率 29%で N 値 $\geq$ 8 相当)。

また、沈設開始前までは底版および刃口部の全面積で躯体重量を支持しているが、初期の掘削が進むにつれて重量を支持する面積が減少する。これが軟弱な地盤であれば、初期の掘削時に急激に支持力を失って躯体が傾斜するリスクが高くなる。そこで、軟弱な地盤に対して刃口部で支持する地盤の面積を確保するため、幅 300mm の水平部を有する二段刃口形状(図-6)とすることで、設置面積を増加させることにより、過沈下対策とした。

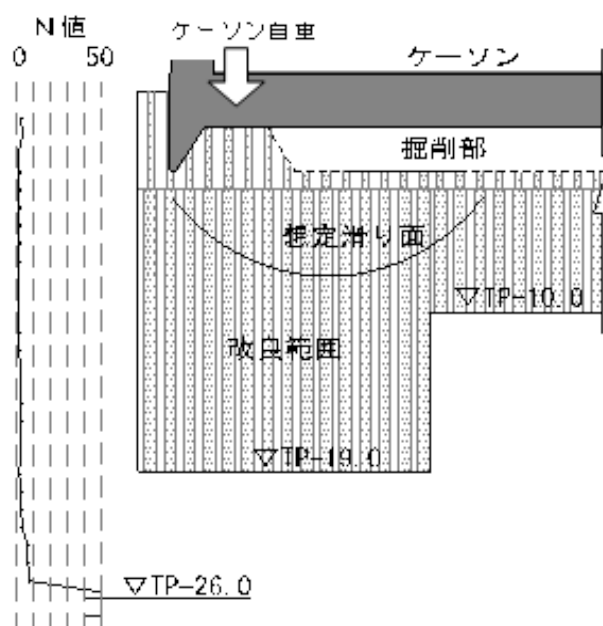


図-8 地盤改良概念図

3.5 沈下掘削中の姿勢制御

一般に、地盤が軟弱な場合には、沈下掘削中の過沈下を防止するために刃口周辺の土を残し、躯体重量を支持する地盤の面積を増やすことで対応する。掘削面積が大きなケーソンでは、同じ開口率であっても通常のケーソンに比べて掘削できる面積も大きく作業しやすいため、この方法は今回のケーソンの姿勢制御に特に有効であった。

開口率は、リアルタイムに計測される刃口反力計とスラブ反力計の値を監視しながらその掘り残し位置と範囲を定め、ケーソンが傾斜及び過沈下しないよう管理した。

本工事における地盤種類と開口率の関係

を図-9 に、刃口深度と開口率の関係を図-10 に示す。TP-26.0m 以浅の軟弱シルト地盤掘削時には、開口率を 30%～80%程度とすることで躯体の過沈下および傾斜を防止し、それ以深の堅固な地盤の掘削時には開口率を 90%以上とした。なお、ケーソンは沈設完了まで大きな姿勢不良は無かった。

一方、刃口反力は地盤性状が変化する TP-26.0m で計測値が大幅に変化した。なお、TP-30.0m 以深で

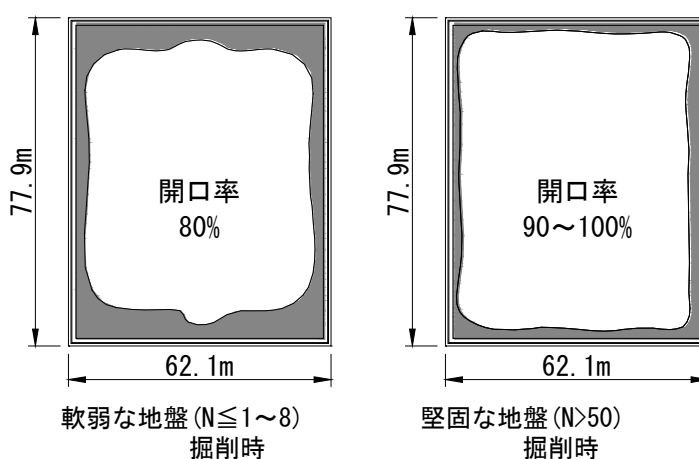


図-9 地盤種類と開口率の関係

反力が低減したのは、地下水による浮力の影響と考えられる。

3.6 無人掘削

有人掘削による沈設が進み、作業室内の気圧が 0.18MPa を超えた時点で遠隔操作による無人掘削に切り替えた。無人掘削のオペレータの配置は、実際のショベルの配置(レール1列にショベル3台)と同様にオペレータ3人が隣同士に並んだ配置とし、遠隔操作ではあっても近くで作業するオペレータ同士が互いに声をかけあえる環境とした(図-11、図-12)。また、躯体傾斜(四隅の高低差)がリアルタイムに映し出されるモニター画面を部屋の中央正面に配置し、オペレータ全員が常に監視できる環境とした。

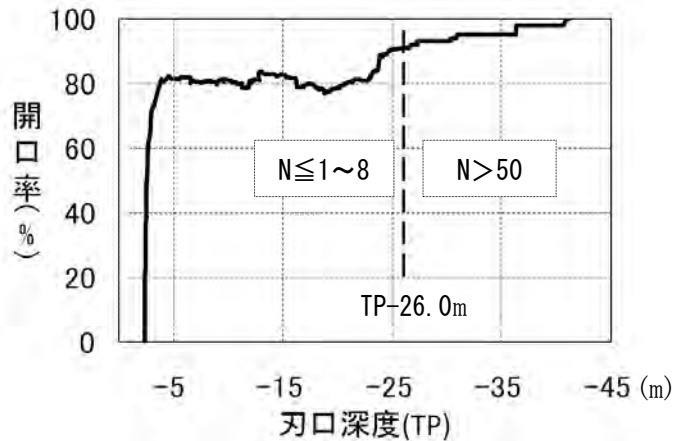


図-10 刃口深度と開口率



図-11 有人掘削



図-12 無人掘削

3.7 騒音対策

ケーソン沈下掘削作業は昼夜作業で行われるが、周辺には大学や民家が近接していることから、ケーソン掘削作業中の排気音や、コンプレッサーの騒音について、近隣住民への騒音対策が必要であった。そこで、高さ 15m の防音壁、防音対策型マテリアルロック、ワイヤーボックス消音扉、大型ロックマフラー、コンプレッサー用防音ハウス、ウィンチ音低減型排土キャリア、消音ゴムライニング型アースバケットなどを導入して、騒音対策を図っている(図-13)。これらの対策を施して、ケーソン工事の夜間作業時に、現場外周部で騒音測定を実施した結果、48～50dB 以下となり、東京都環境確保条例の規制基準値を下回ることができた。

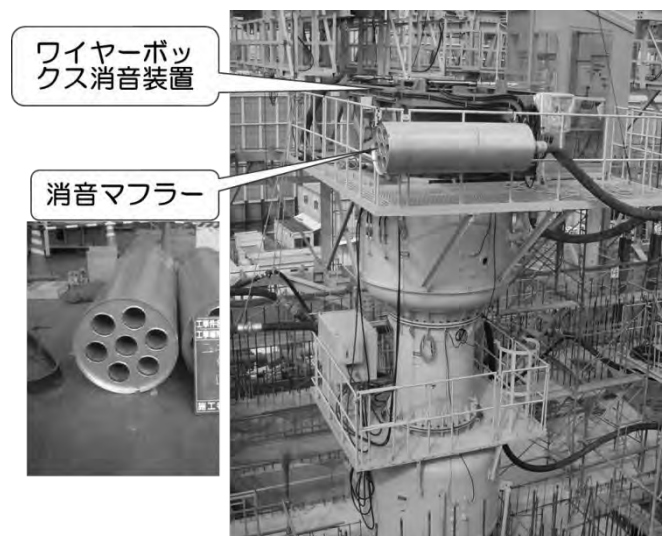


図-13 防音対策型マテリアルロック

3.8 沈下計測監理

本ケーソンの沈下計測項目については、躯体の鉛直変位、傾斜、刃口反力、スラブ(底版)反力、周面摩擦力、土圧、間隙水圧、函内気圧、水荷重、鉄筋応力、鋼板応力、底版変形量の12項目であった。これらにより得られた情報は20秒間隔でリアルタイムにモニターに表示し、関係者全員が即座に確認できるようにし、ケーソンの急激な沈下や傾斜が生じないように気圧の調整、刃口の荷重バランス、開口率を調整しながら掘削を行った(図-14)。その結果、最終的には躯体対角距離100mにおいて高低差4mmという高精度にて着底し、大きな躯体の傾斜及び急激な沈下は起きなかった(図-15)。



図-14 モニター表示状況

3.9 残土搬出工

本工事では約 212,000m³(10t ダンプ約 38,500 台分)の土砂が発生し、この建設発生土を陸上運搬すると周辺地域への影響が非常に大きいことから、隅田川を利用して水上運搬にて搬出した(図-16)。この建設発生土は、場内に設置した土砂搬出用の設備(ベルトコンベヤ)を使用し、土運船に積み込み水上運搬する。その後、東京湾の当局施設(森ヶ崎水再生センター)の栈橋で陸揚げし、ダンプトラックに積み替えて、東京湾の埋め立て施設に搬入し、埋立材として再利用される。大量の建設発生土を土運船により水上運搬することで、現場周辺におけるダンプトラックの走行を大幅に削減することができ、近隣道路の交通環境にも配慮ができた。

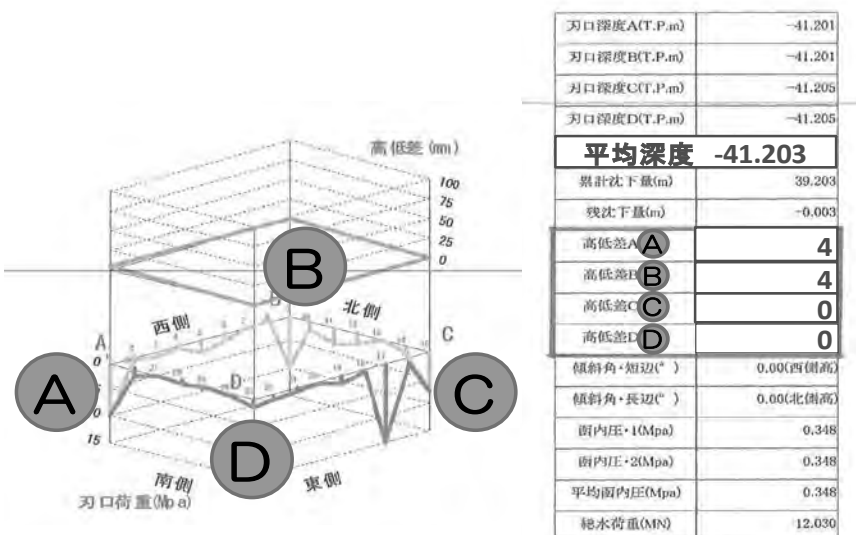


図-15 計測監理画面(最終沈下精度)

3.10 中埋めコンクリート工

ケーソンが着底し地耐力試験を実施した後に、中埋めコンクリートを打設した。面積が大きいいため、その打設量は10,262m³に及んだ。



図-16 残土運搬経路

中埋めコンクリートの分割施工は通常では行わないが、東京都の条例で1日あたりの作業時間が10時間を超えてはならないこと、および東京都が環境基準を受けて作成した事業計画では隣接した道路での騒音の制約65dB以下から生コン車の受入間隔が29台以下/時間となること、これらが制約となって過去に例を見ない8分割での打設となった(図-17)。

中埋めコンクリートは、高気圧環境下の閉塞された空間に打設するため、人によるコンクリートの締固めが出来ず、品質は生コンクリートの自己充填性に大きく影響する。本工事では分割施工となるため、先に打設して硬化したコンクリート表面の凹凸形状が、次に打設する生コンクリートの流動性を阻害することが懸念された。特に、天井まで打上げる最終層では、これが障害となって未充填箇所ができると重大な欠陥となるため、流動性の高い材料(モルタル)を使用した。また、コンクリートの投入は図-18のように、沈下掘削時に圧縮空気を送っていたブロー管(50箇所)を打設管として使用するが、使用した打設管の直下の位置でコンクリートは山形状の頂点を形成するので、打設は毎回別の管から行い、全体としてコンクリート表面の形状が水平をなすよう配慮した。

その結果、最終打設時には全ての打設管からモルタルの噴出を確認でき、良質な中埋めコンクリートを施工することが出来た。

また中埋めコンクリートの一部分において、スーパーアッシュのコンクリートへの混和材としての適用性に関する試験施工(600m³)も実施した。

事前の室内試験結果から、粒度調整灰をコンクリート工場で生コンクリートを練る際に同時に添加した場合には、その後のスランプロスが

大きくなる傾向が認められたことから、現場に到着したミキサー車に打設直前に添加する方法を用いた。図-19は、現場での粒度調整灰の添加状況である。

この方法を用いたことで、試験施工部も良好なワーカビリティで打設することができた



図-17 中埋めコンクリート打設状況(地上部)



図-18 中埋めコンクリート打設状況



図-19 粒度調整灰添加状況

3-11 補強仮壁撤去工

中埋めコンクリートの打込み・養生後に荷重水を排水し、沈設施工中の剛性確保の役目を終えた補強仮壁を撤去した。これによってポンプ棟の水路部がはじめて貫通することになる。対象壁の多くは厚さ2mもあり、躯体内部は迷路のようになっているうえ、通路の幅、高さ、切断壁の寸法も様々であった。そのため、切断順序、使用する機械の能力とサイズ、それに必要な講台や足場など特に綿密に施工計画をたててから実施した。

まず、補強仮壁の撤去は地下5階～6階のレベルにおいて5つの区画に分けた。それぞれの区画で対象となる鉄筋コンクリート



図-20 補強仮壁撤去状況

のコア抜きを行い、そのコアを利用してワイヤーソーにて鉄筋コンクリートを羊羹状に切断した。切断したコンクリート塊はフォークリフトにて引抜き、各区画に設けられた開口部下まで運搬、この開口部を利用してクレーンにて吊り上げ躯体の外部へ搬出した(図-20)。搬出後は仮置きヤードにて小割し、コンクリートがらはリサイクル工場へ、鉄筋はスクラップとしてそれぞれ有効利用した。

撤去の対象壁の多くは、その高さが地下6階～4階まで連続していたため、切断作業のための足場とフォークリフトの構台を組立て上半と下半に分けて作業を行った。使用したワイヤーソーの切断ワイヤーの径は $\phi 10.5\text{mm}$ であったが、機械の構造上から設計の切断面より50mm撤去側にずらした位置で切断した。その後は残った50mmと仕上げ材の塗りしろ20mmの計70mm分を手ではつりモルタルによる表面仕上げを行った。コンクリートの取壊し数量は $3,109\text{ m}^3$ 、表面仕上げは $2,437\text{ m}^2$ にもおよんだ。この作業によってポンプ棟内部の水路が完成した。

4. まとめ

今回、平面積($4,837\text{ m}^2$)において世界最大のニューマチックケーソン工法により西日暮里系主ポンプ棟の施工を行い、ケーソンの沈設を平成22年4月、補強仮壁の撤去を平成23年2月にそれぞれ完了した。

底版スラブの剛性の向上及び軟弱地盤における適切な沈下の管理、また漏気防止や土運船による残土搬出等の周辺環境への配慮をしながら施工した結果、最終的には躯体対角距離100mにおいて高低差4mmという高い精度をもって沈設が完了できた。今後は、この大断面ケーソンに於ける施工データを参考に、引き続き施工する尾久系主ポンプ棟($4,099\text{ m}^2$)や大規模ケーソンの沈設工事に役立てたい。

1-(3)-1 東北地方太平洋沖地震に伴う江東区新木場地区

(管路施設)の液状化対応について

東部第一下水道事務所管路施設課 小段辰彦

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、都内でも震度5強の揺れとなり、地盤の液状化により東京湾岸部の埋立て地区のライフラインに大きな被害を生じた。区部では、特に江東区の湾岸部の埋立て地区で液状化現象により大きな被害が発生し、下水道施設にも噴出した土砂が大量に流入するとともに管路施設の損傷など大きな被害を受けた。

今回、下水道管の機能回復のための緊急清掃や被災状況の確認のための管路内調査から、下水道局で初めて申請した「災害査定」の対応までの、極めて限定された期間の中、局内はもとより、TGS、下水道メンテナンス協同組合等の関係者が一体となり対応したことについて報告する。

2. 東北地方太平洋沖地震について

東日本大震災は、2011年（平成23年）3月11日14時46分、太平洋三陸沖を震源として発生し、東北から関東にかけての東日本一帯に大津波や地盤の液状化現象による都市施設への甚大な被害をもたらした。

この地震のマグニチュードは9.0で、宮城県栗原市で最大震度7、岩手県から千葉県にかけて震度6弱以上を観測するなど広範囲で強い揺れとなり、東京都区部でも5強を記録した。

この地震では予想を越える高い津波が発生したが、関東地方では湾岸部の千葉県千葉市から浦安市、東京都江東区の埋立地を中心に地盤の液状化現象による被害の方が大きかった。

東部第一下水道事務所管内では、江東区新木場地区において甚大な被害が発生した。

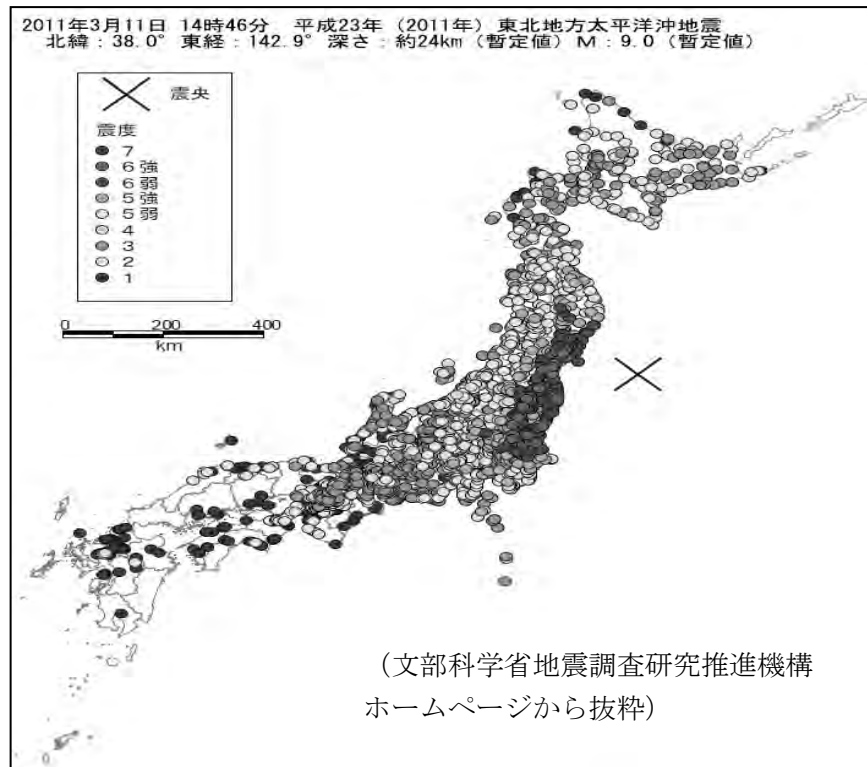


図-1 主要地点の震度分布図

(1) 地震加速度情報

- 1) 観測管区：東京管区
- 2) 地震発生時刻：2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分 18 秒
- 3) 震源地：三陸沖 北緯 38.1 度、東経 142.9 度
- 4) マグニチュード：9.0
- 5) 震源の深さ：約 24km

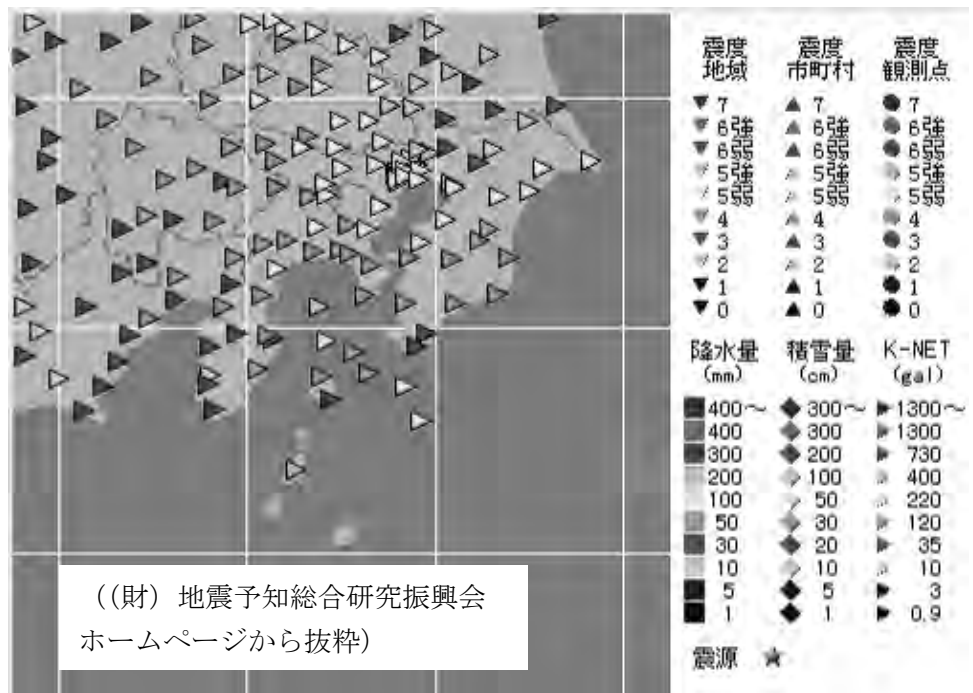
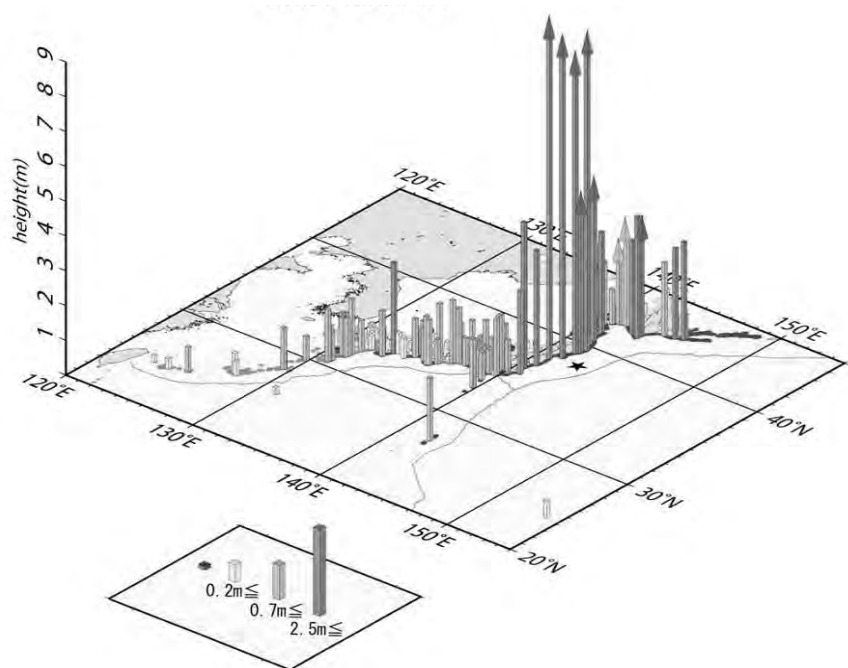


図-2 首都圏の地震加速度



(気象庁ホームページ資料から抜粋)

図-3 津波観測状況

江東区内の液状化は、①漣橋（潮見1丁目～辰巳2丁目）、②新木場全域、③新砂2－5、④東雲一丁目（辰巳橋取付部）、⑤辰巳1－10・⑥辰巳2－1、⑦辰巳2－9、⑧東陽1－3・⑨東陽2－4、⑩豊洲3－5・⑪豊洲5－6、⑫若洲2丁目で発生しているが、新木場地区以外は下水道施設に大きな被害は発生していない。



図-4 新木場地区案内図



図-5 区道（歩道）の填砂の状況



図-6 人孔の土砂の堆積状況



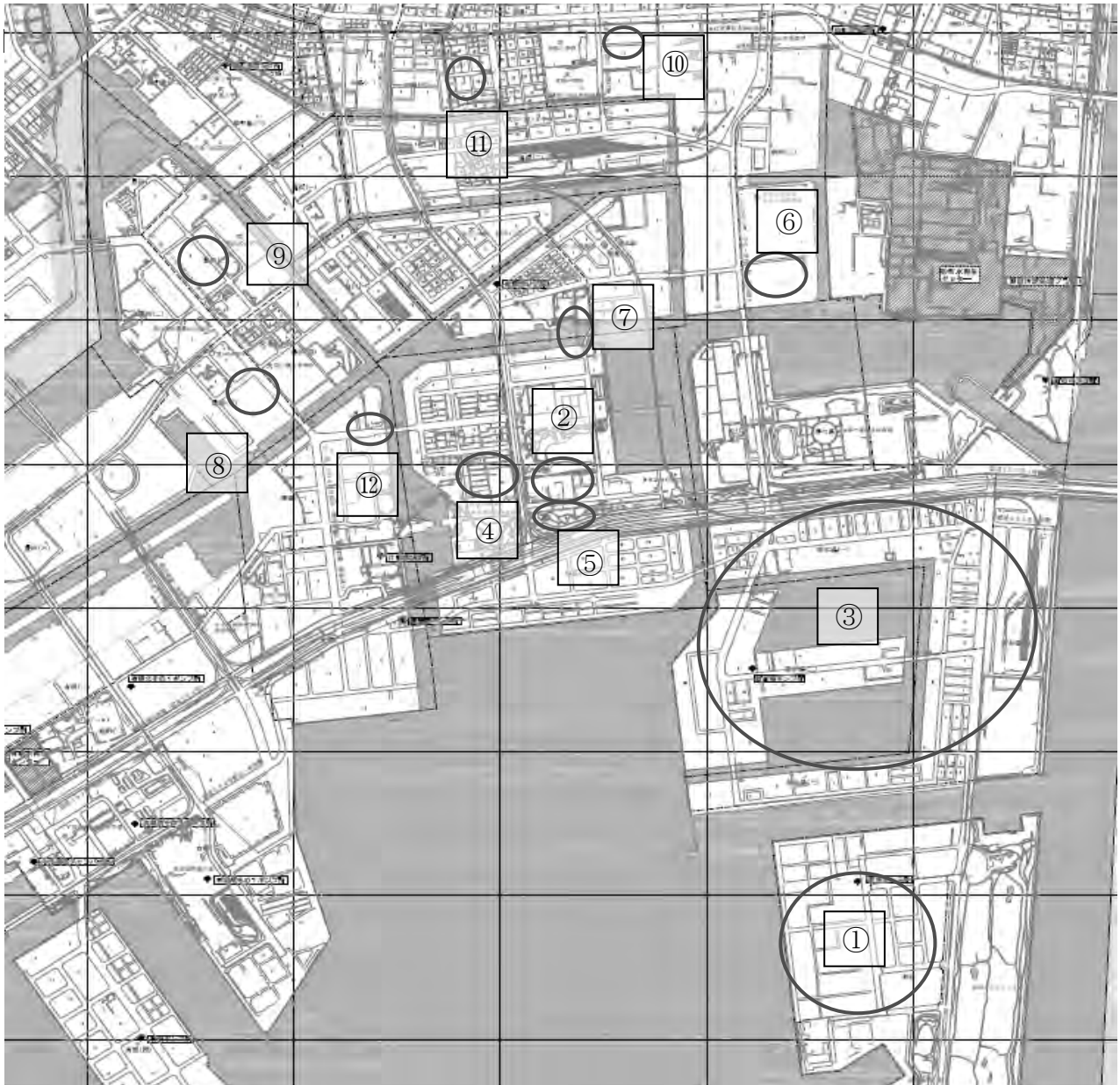
図-7 雨水管の土砂の堆積状況



図-8 填砂で埋まった自転車



図-9 宅内用雨水柵周囲の陥没状況



図—10 江東区内の液状化発生箇所

2. 新木場地区の地盤の特徴

液状化は、地盤が砂地盤で密度が小さいことや地下水位が浅い場合に、地震などの振動が加わり発生する。

江東区内の液状化は、新木場地区の他、隣接する辰巳地区、東陽 1. 2 丁目、豊洲 3. 5 丁目等臨海部の埋立てられた地区で発生している。新木場地区の埋立て（図-11）は、昭和 44 年～昭和 56 年に埋立て造成されており、今回、より深刻な液状化で被害を受けた千葉県の浦安市の臨海部と同様、港内浚渫の砂で埋立てられている。

一方、埋立て地区の中でも新木場地区に隣接する夢の島、若洲地区などでは、大きな液状化は発生せず、下水道施設も被災していない。

夢の島、若洲地区は、ごみの埋立て処分場であったことから、埋立ての材料の差が液状化発生の有無に大きく影響したものと思われる。



※黒色：江戸初期から昭和 20 年（1945）の
埋立て造成地

※斜線：昭和 21 年（1946）～昭和 45 年（1970）
の埋立て造成地

（地学雑誌 2004 東京都臨海域における
埋立地造成の歴史（遠藤毅）より抜粋）

図-11 東京都臨海域の埋立て造成図

図-12 のとおり、新木場地区の柱状図（東京都土木技術支援・人材育成センターのボーリングデータ）では、地表から 2m まで埋め土でその下は 16m くらいまで砂層となっており、液状化する土質である。



（東京都土木技術支援・人材育成センター東京の地盤（WEB 版）より抜粋）

図-12 新木場地区の柱状図

3. 緊急復旧作業（清掃・調査）

地震発生後、液状化現象により下水道管渠が破損し、土砂の流入により流下能力が損われた。そこで、まず、流下能力を回復させることを最優先に、区域を 3 ブロックに分けて、汚水管の清掃作業に着手し水みちを確保した。また、調査作業を並行して実施した。

その後、清掃では、流入した土砂が管路内で固化し、清掃作業は 1 日 2 スパンしか除去できなかった日もあるなど作業は難航を極めたが、下水道の使用制限をすることなく、清掃、調査を無事完了することができた。

作業は、清掃、調査ともに下水道メンテナンス協同組合と当局で締結している「災害時における下水道管路施設の応急復旧業務に関する協定」に基づき緊急支援体制をとり、下水道メンテナンス協同組合が地震翌日の平成 23 年 3 月 12 日に着手して、6 月 7 日に終えた。

(1) 地震直後の被災状況の確認から緊急清掃・調査作業着手までの動き

●3月11日（金）

地震直後 江東出張所現場パトロールに出発するが、途中余震のため帰庁指示する。

17：20 墨田出張所現場パトロールに出発する主要幹線等異常なし
（国道6号、14号線、送泥管ルート）

18：00 砂町センターから新木場ポンプ所に流入水が無いとの連絡で、直ちに江東出張所に現場調査を指示し、出発する。
新木場駅付近の道路を警察が規制しており、新木場地区の現場確認できないため、一旦帰庁する。

18：30 高潮防潮扉に江東出張所到着 異常なし
※（待機者）管路施設係5名 墨田出張所2名（墨田事業所4名）江東出張所9名

23：00 再度新木場地区への現場確認を試みたが、依然として警察の道路規制により立ち入りできなかった。

●3月12日（土）

メンテ待機班外で高潮防潮扉点検 異常なし

5：00 管路施設係3名で新木場、若洲地区の確認に出発

6：00 新木場着（道路大渋滞のため現場着が遅れる。）
新木場地区の液状化が激しく、桝、人孔内は土砂流入して上部まで堆積している。
新木場ポンプ所前で特に大量の填砂確認、新木場一帯の管路施設は緊急清掃が必要な状態。

若洲地区は異常なし

6：00 江東出張所埋立て地区の調査に3班出動する。

8：00 管路施設係パトロール班が帰庁し、所対策本部に状況を報告する。

8：15 出張所パトロール班から管路施設係に新木場地区の液状化について報告される。

8：30 所本部から新木場地区污水管の水みち確保について指示。

9：00 管路施設係・江東出張所で、新木場地区の管路施設図面等資料作成

13：00 管路施設係、江東出張所、下水道メンテナンス（協）で現況調査実施、当面の清掃方法を協議する。

※本日夜間からA・B・Cの3ブロックに分割して3班で管渠の清掃開始

※清掃手順：污水管の水みち確保から污水管の清掃完了までを3月末までとし、その後雨水管に着手して、4月末までに完了予定とした。

16：00 管路施設係2名、江東出張所2名が、新木場ポンプ所に出動

20：00 新木場ポンプ所先遣隊と後発隊（管路施設係2名、墨田出張所2名）が交代、先遣隊は帰庁し、本部に状況報告

23：30 新木場ポンプ所、清掃土砂運搬開始

(2) 故障処理・緊急維持補修工事対応

- ・地震発生後、江東区役所、地先からのつまり等の対応依頼には「故障処理」（待機班）で対応した。
- 故障の状況により故障処理の他「緊急維持補修工事」で対応した。

(3) 「災害協定」に基づく緊急清掃及び調査作業

- ・緊急清掃については、污水管の機能回復のための水みち作りは、施設管理部との調整で「災害協定」により処理することに決定した。

- ・緊急清掃・調査は、図-13のとおり新木場地区を3ブロックに分割し、それぞれ下水道メンテナン

ス協同組合の組合員企業を割り当て作業に着手した。



図—13 作業ブロック割図

(4) 災害協定に基づく下水道メンテナンス協同組合への協力要請から作業完了までの概要

○平成 23 年 3 月 11 日

協定書第 2 条により新木場地区の災害復旧のため、下水道メンテナンス協同組合に協力要請

○平成 23 年 3 月 11 日付

協定書第 6 条により出動要請（出動要請書）H23. 3. 12～3. 31

○平成 23 年 3 月 12 日

協定書 7 条により、メンテナンス協同組合に業務内容指示

（江東区新木場一、二丁目付近の管路内清掃及び調査に着手）

○平成 23 年 3 月 31 日

協定書第 6 条により変更出動要請（要請書）H23. 4. 1～4. 30

○平成 23 年 4 月 20 日

一次作業完了（污水管、雨水管一次査定対象分）

※雨水管残分（二次）作業継続

○平成 23 年 4 月 28 日

協定書第 6 条により二次作業に伴う変更出動要請（要請書）H23. 5. 1～5. 31

○平成 23 年 4 月 28 日

一次分作業完了確認

○平成 23 年 5 月 30 日～6 月 1 日

災害復旧工事査定

○平成 23 年 5 月 31 日

協定書第 6 条により変更出動要請（要請書）H23. 6. 1～8. 31

○平成 23 年 8 月 31 日

協定書第 6 条により変更出動要請（要請書）H23. 9. 1～9. 15

○平成 23 年 9 月 10 日

二次作業完了（雨水管清掃・調査及び一次・二次清掃分砂町仮置き土砂運搬 1,674m³）2,289 t

(5) 災害協定に基づく出動要請にかかる留意点

災害協定に基づく出動

1. 事前に所本部及び管路管理課との調整
 - ・災害協定に基づき出動要請する場合は、事前に所本部及び管路管理課と調整する。
2. 災害査定の申請が想定される場合
 - ・査定用の資料作成が必要となるため、1. と合わせて確認調整する。
3. 出動要請後、作業着手前の調整等
 - ・下水道メンテナンス協同組合及び対応する各社現場責任者と事前に詳細打合せを行い、作業体制、作業手順、作成資料、毎日の報告内容、方法等について調整指示する。

表-1 出動人員等

延班数	延人員	延作業車両
496 班	4,394 人	2,304 台

表-2 清掃及び調査延長

施 設		調査数量
本 管	污水管	12,989m
	雨水管	11,834m

4. 下水道管路施設の被災状況

管路内調査による被害状況は、表-3 のとおりであるが、污水管は、約 46%、雨水管は約 37%の被災率となっており、污水管の被災率が高くなっている。

損傷内容は、クラック、破損、ずれ、たるみであるが、管路内調査で近々に陥没事故が予想される個所は、緊急維持補修工事で損傷個所を補修して二次災害の防止に努めた。



図-14 人孔側隕のずれ

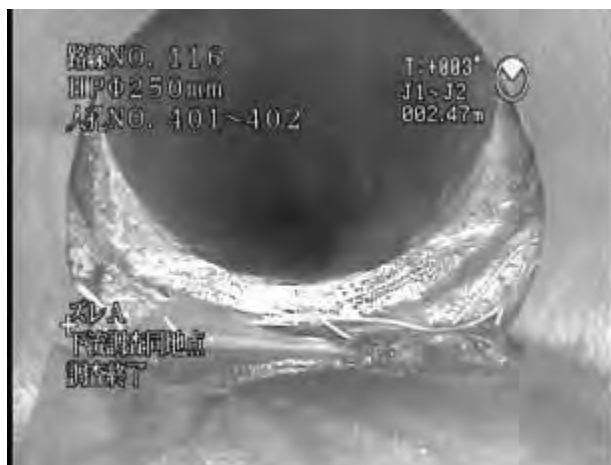


図-15 管渠のずれ

表-3 被害内容

	延長・個数	被害内容
本 管 (汚水管) (雨水管)	1 0, 3 0 8 m (5, 9 6 0 m) (4, 3 4 8 m)	クラック、破損、ずれ、たるみ
人 孔	1 5 2 個	クラック、破損、ずれ
枿	2 8 1 個	
管路内調査	2 5, 1 7 7 m	
土砂除去	1, 6 7 4 m ³	土砂流入

※管路内調査延長及び土砂除去量は査定申請箇所以外も含む

5. 災害査定

(1) 体制確保と事前準備

資料作成等の各業務に対して、本局各部、東部第一下水道事務所、T G S 本社、江東事業所（墨田事業所一部応援）で体制を確保した後、関係者間の調整会議を開催し、体制の確保と担当事務を確認した。

(2) 査定対応までの経過

- ☐ 地震発生（3月11日）
緊急調査（約1日・被災状況確認）査定一次調査（3日間）
- ☐ 被害状況報告（3月18日）
（土砂排除及びTVカメラ調査）
- ☐ 修正報告（4月11日）
査定二次調査（4月20日調査まで）・資料作成・申請書作成
- ☐ 申請書提出（5月13日）
査定の準備・資料確認
- ☐ 災害査定実施（5月30日開始）
5/30（23時終了）5/31（22時終了）6/1（23時終了）
- ☐ 査定終了（6月1日終了）

(3) 査定日の対応

査定の査定官（国土交通省）は2名、立会官（財務省）1名に対し、当局の対応者は、計画調整部、施設管理部、建設部、東部第一下水道事務所の管路施設課と建設課が対応したが、机上査定及び現場実査における被災状況及び災害復旧工事内容説明と質疑対応は、所管部署である当所管路施設係と建設課調整係が対応した。

（査定の主な内容）

- ◆被災箇所の確認
- ◆復旧工法の確認
- ◆設計図に基づく数量確認と現地計測
- ◆設計書の審査

表-4 査定結果

	査定申請延長・ 個数	認定延長・ 箇所	査定率
本 管	1 0, 3 0 8 m	4, 7 0 1 m	4 6 %
(汚水管)	(5, 9 6 0 m)	(3, 1 7 3 m)	(5 3 %)
(雨水管)	(4, 3 4 8 m)	(1, 5 2 8 m)	(3 5 %)
人 孔	1 5 2 個	1 2 2 個	8 0 %
枿	2 8 1 個	9 3 個	3 3 %
管路内調査	2 4, 8 2 3 m	8, 8 2 2 m	3 6 %
土砂除去	1, 1 5 0 m 3	3 6 6 m 3	3 2 %

表-5 査定で認定された項目及び削除された項目

項目	当初査定設計書	査定時修正事項
クラックの取扱い	路線単位での復旧	人孔付近：管 2 本 人孔間の中央付近：管 3 本 での復旧とすること。ただし、対策が必要な管渠が対象路線の半分以上の場合、路線単位での復旧とする。
マンホールの亀裂・破損の取扱い	新設人孔	破損・損傷が少ない場合は、人孔壁の撤去・再設置（据付け直し）とすること。
処分費について	計上	削除すること（復旧工事で復活認定：実際の処分費）
管路内調査延長について	作業延長を計上	災害査定の申請延長とすること。
管路内土砂排除作業	作業延長を計上	災害査定の申請延長相当分の排除量の 7 割とすること。

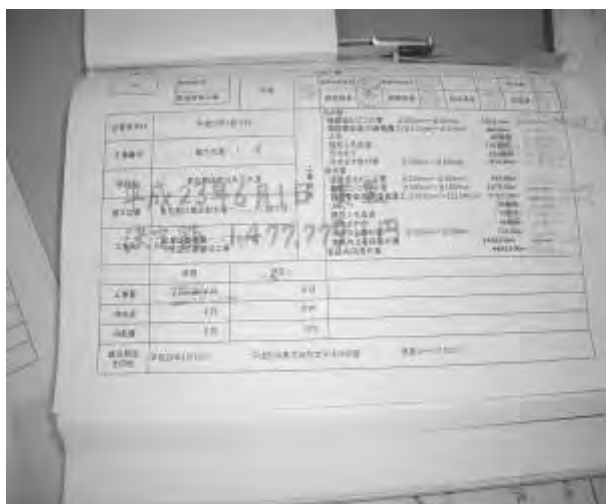


図-16 朱入れ後の査定設計書



図-17 災害野帳



図写真-18 机上査定状況



図-19 現場実査状況

6. まとめ

今回の災害復旧対応では、下水道メンテナンス協同組合など関係団体の協力のもと土砂の除去や管路施設の調査を早期に終わることができ、下水道の使用制限することなく、災害査定にも対応することができた。

災害査定においては、写真での被災状況の確認、復旧工事の内容が原形復旧としているか、適切な工法となっているかなどが精査された。

特に被災状況の確認では、写真で確認できることを求められているなど、資料作成には、災害復旧の手続等について詳細に記載されている「災害手帳」（社）全日本建設技術協会）を参考に、被災時の緊急復旧作業（清掃・調査）時から災害査定を踏まえて対応することが重要である。

首都圏では、これまで、今後30年間にM7クラスの地震の発生率70%とされていたが、現在70%～90%まで高くなっているとされており、今回の災害対応は、当事務所としても応急復旧対応など今後の危機管理上も貴重な経験になったと考えている。

1-(3)-2 東部汚泥処理プラント護岸耐震補強工事の事例報告

第一基幹施設再構築事務所 工事第一課 左野 耕一郎

1. はじめに

本件は平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって被害を受けた東部汚泥処理プラント護岸の被害状況について報告するとともに、東部汚泥処理プラント護岸を復旧すると同時に耐震化することを目的として発注された東部汚泥処理プラント護岸耐震補強工事の施工において生じた課題とその対応策について報告するものである。

2. 東部汚泥処理プラント護岸の被災状況について

東部汚泥処理プラントは、効率的な汚泥の集約、処理・処分を進めるために計画された汚泥処理施設であり、平成3年度に着手し、平成9年度より一部稼働している施設である。そのうち、東部汚泥処理プラント護岸は東側を荒川、南側を砂町運河が面しており、昭和40年に東京都港湾局が築造し、昭和57年に当局が有償移管を受けた。護岸形状は鋼矢板Ⅱ型・矢板長10.5mのタイロッド式矢板護岸である。(図1、図2)



図1 案内図

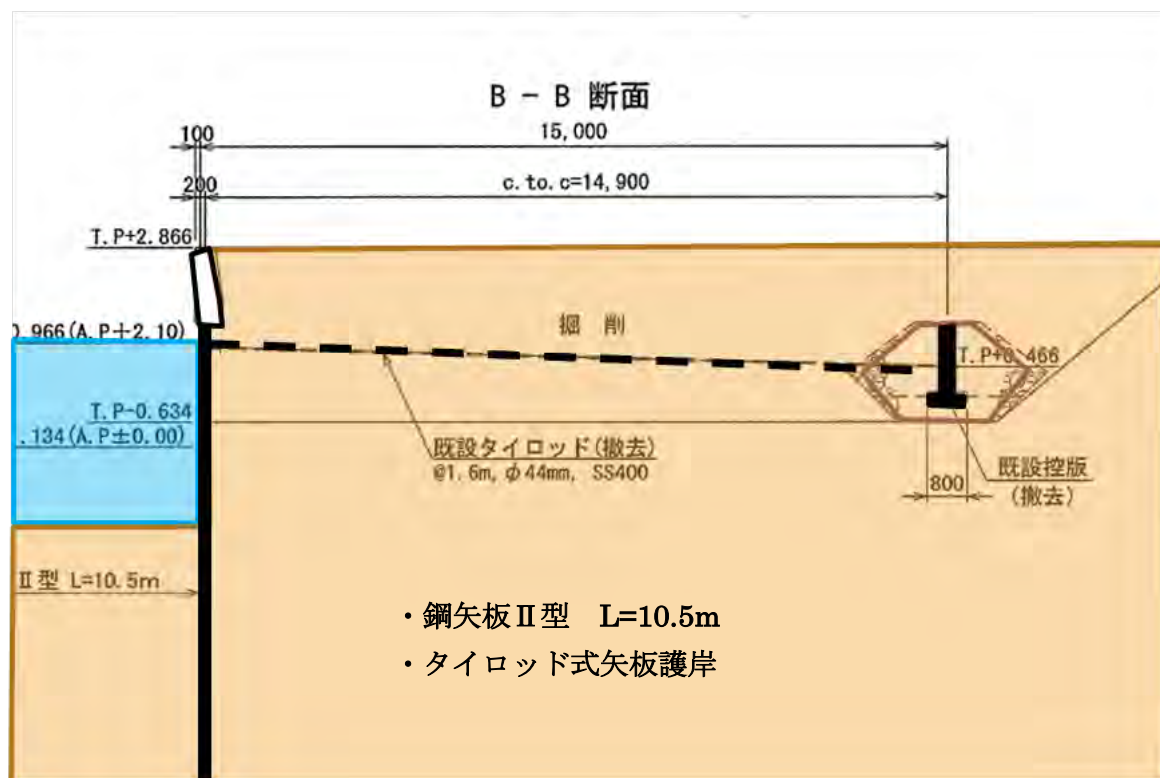


図2 護岸断面図

当該用地では、砂町水再生センター砂系ポンプ棟の雨水放流先を砂町北運河から砂町運河に変更し、併せて処理水放流先を変更するための放流渠吐口工事が平成23年3月31日完了に向けて施工を進めており、地震発生当日は、吐口躯体築造に伴って設置した二重締め切りの撤去作業を行っていた。

(図3)しかし、東北地方太平洋沖地震の発生により、吐口躯体翼部と護岸鋼矢板との接合部が損傷を受けた(図4)ほか、護岸が大きく荒川側・砂町運河側に変位する(図5)とともに、護岸の背面側地盤の液状化(図6、図7)が発生するなどの被害が発生した。なお、上記工事は余震活動が落ち着いた平成23年7月に無事完了した。

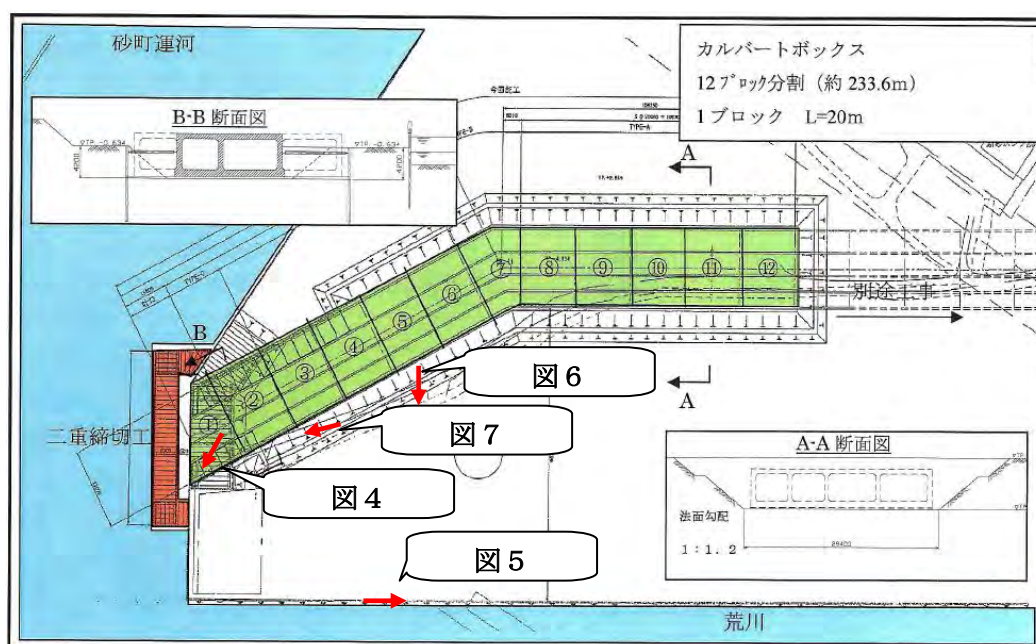


図3 放流渠吐口工事 施工概要図



図4. 吐口翼部・護岸鋼矢板接合部損傷状況



図5. 護岸変位状況



図6. 液状化発生状況



図7. 液状化発生状況

3. 本工事の施工概要について

本工事は東日本大震災によって損傷した吐口躯体翼部と護岸鋼矢板の接合部の補修及び荒川側・砂町運河側に変位した旧護岸の撤去及び新設護岸の設置、液状化した護岸背面側地盤の地盤改良を行うものである（図8、図9）。主要施工数量等は次のとおりである。

旧護岸鋼矢板撤去（鋼矢板Ⅱ 型 L=10.5m）	・・・696枚
新護岸鋼矢板設置（鋼矢板Ⅳ _w 型 L=26.5～27.5m）	・・・465枚
地盤改良（スラリー噴射方式、H=12.0～13.15m）	・・・76,910m ³
吐口躯体翼部・護岸鋼矢板接合部補修工	・・・一式

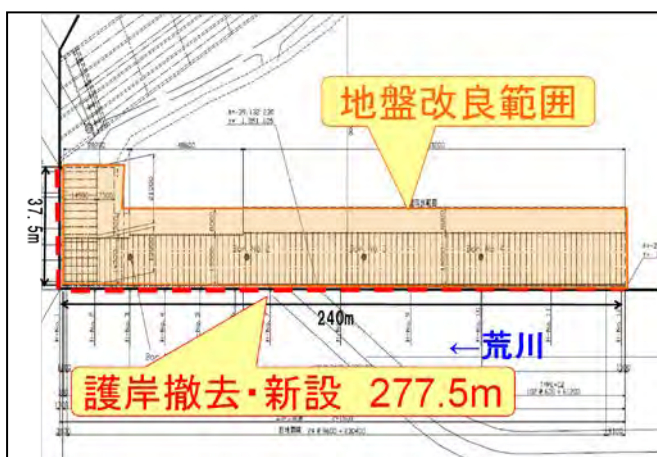


図8. 平面図

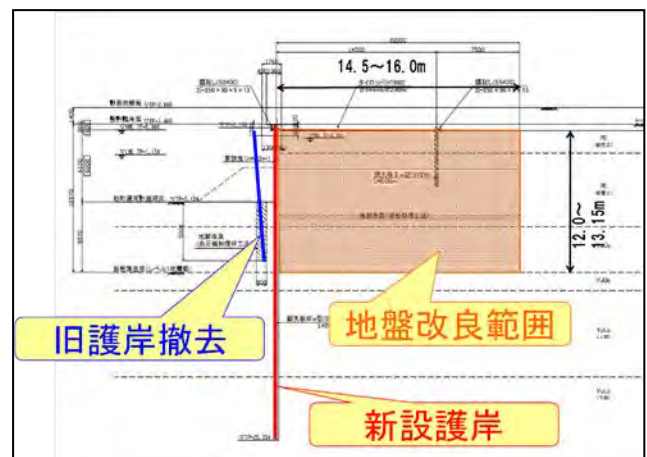


図9. 断面図

1)地盤改良工(スラリー噴射方式)について

地盤改良工(スラリー噴射方式)とは、ベースマシンにトレンチャー式混合攪拌機を装着した機械(図10)を使用し、地中に挿入したトレンチャーの先端からスラリー状にしたセメント系固化剤を噴射して現地盤と強制的に混合攪拌する工法である。

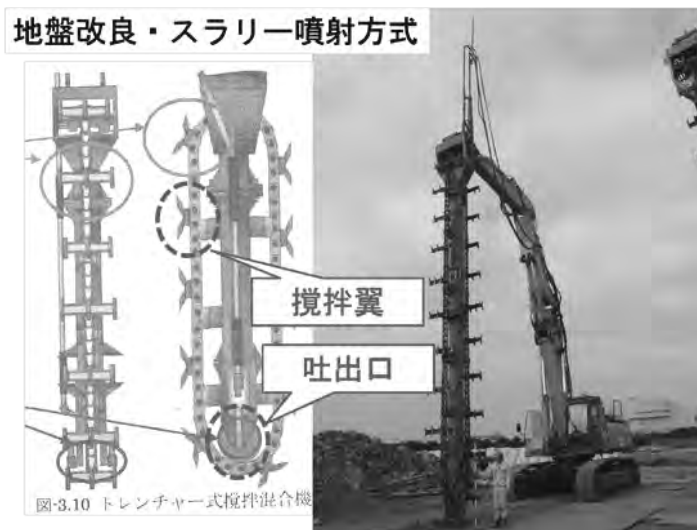


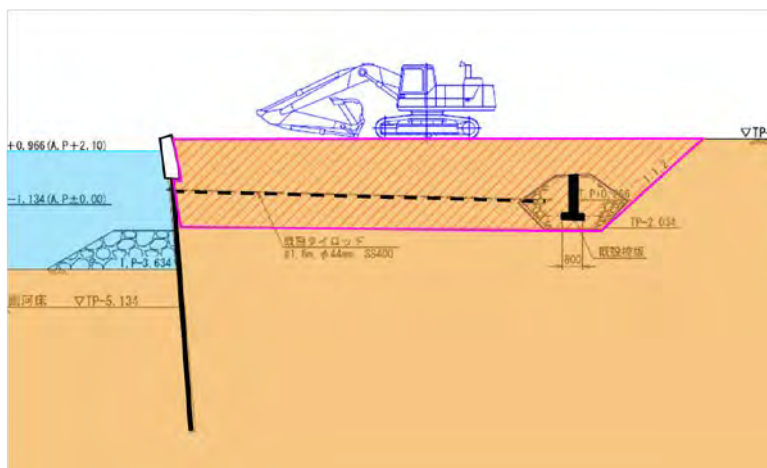
図10. パワーブレンダー

2)施工順序について

施工順序を各ステップごとに説明する。

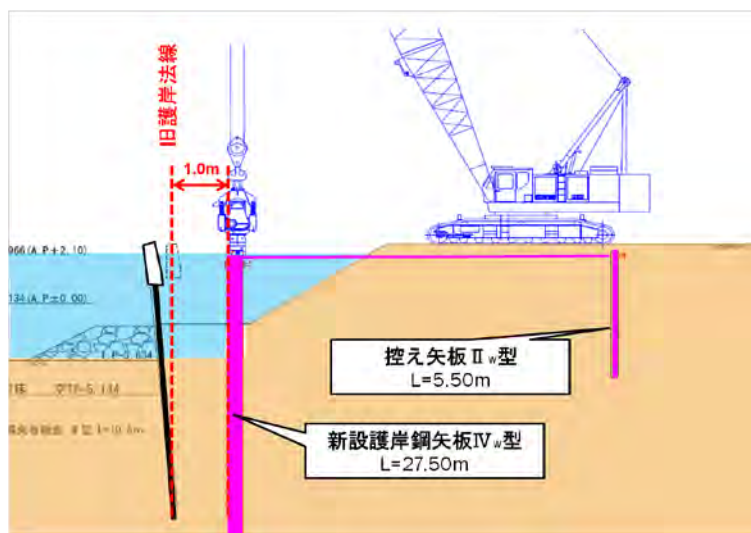
【ステップ1】

新護岸鋼矢板を打設するため、旧護岸鋼矢板の背面側を掘削し、タイロッド及び控え版を撤去する。



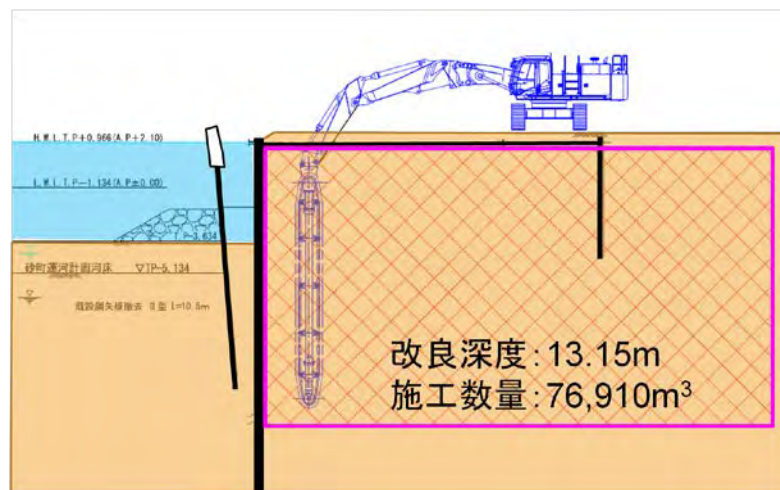
【ステップ2】

旧護岸法線から1.0mセットバックした位置に新設護岸鋼矢板を打設するとともに、控え矢板打設、タイロッド設置する。



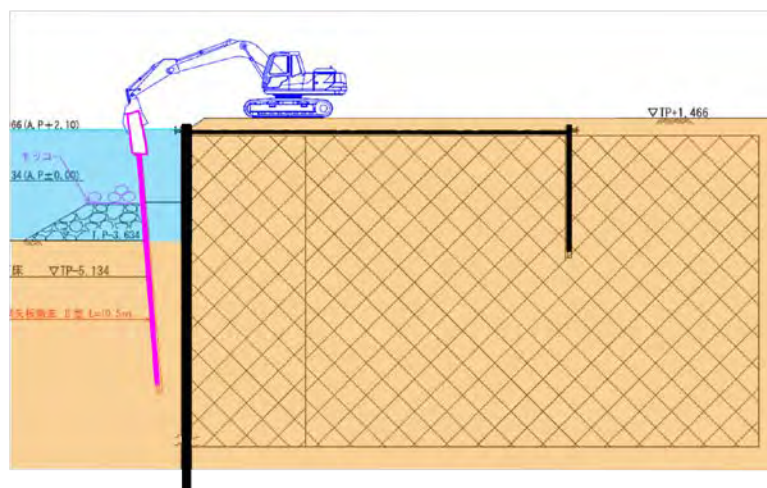
【ステップ3】

護岸鋼矢板の背面側地盤の地盤改良工（スラリー噴射方式）を行う。



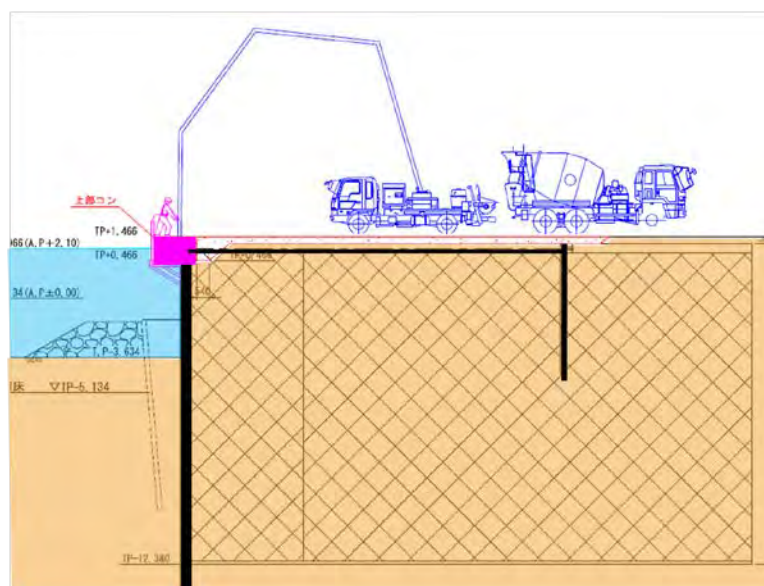
【ステップ4】

旧護岸の上部工を撤去し、旧護岸鋼矢板の撤去を行う。



【ステップ5】

新設護岸の上部工コンクリートを打設して完了。



4. 施工中に生じた課題について

地盤改良工（スラリー噴射方式）の施工を開始したところ、改良範囲の一部において、トレンチャーが障害物にあたり、地表面より約 5m 程度以深の地中挿入ができないことが判明した。このため、施工を中断し、地中障害物の調査を行った。

地中障害物の調査にあたっては、本工事が災害復旧工事であるという特殊事情により、特に迅速な工事再開が求められることに加えて、非常に広い施工範囲から地中障害物の位置を特定する必要があったことから、次のとおり、調査方針（図 1 1）を立て、効率的な調査を行った。

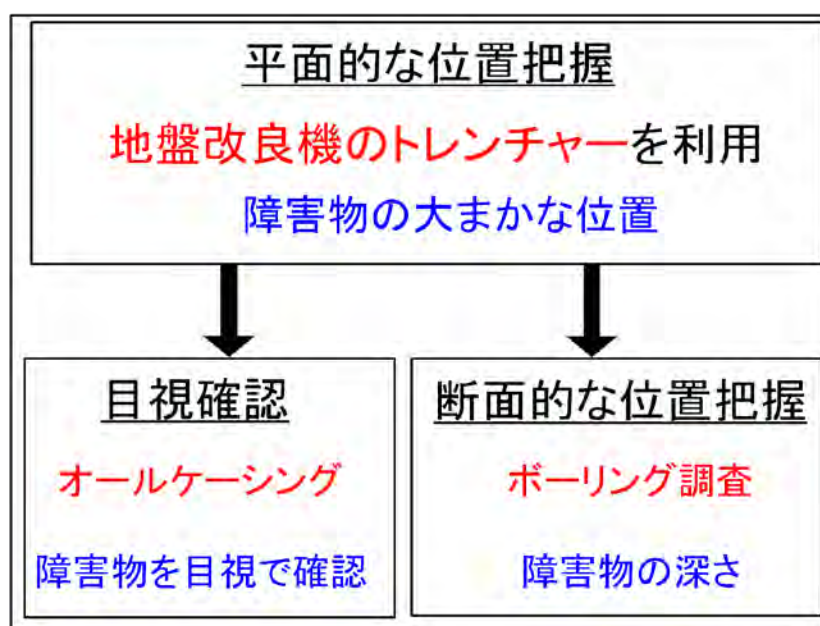


図 1 1. 調査方針

（1）平面的な位置把握

地中障害物の調査を効果的に行うため、既に現場に搬入され稼働していた地盤改良機を転用した。地盤改良機のトレンチャーを地中に挿入し、地中障害物の有無を把握することにより、地中障害物の大まかな位置を比較的容易に確認することが可能となった。

（2）目視確認

地盤改良機による調査で判明した地中障害物箇所において、全回転オールケーシング工法により地盤を掘削して、地中障害物の内容を目視で確認した。その結果、木矢板や松杭、砂岩が混在しており、これらがトレンチャーの地中挿入に支障となっていたことが判明した。（図 1 2、図 1 3）



図 1 2. 目視確認（木矢板・砂岩）



図 1 3. 目視確認（地中障害物）

(3) 断面的な位置確認

地盤改良機による調査で地中障害物の平面的な位置、目視確認により地中障害物の内容が判明したことから、ボーリングマシンにより地中障害物の断面的な詳細位置の確認を行った。

以上の調査により判明した地中障害物の分布は以下のとおり（図 1 4）である。

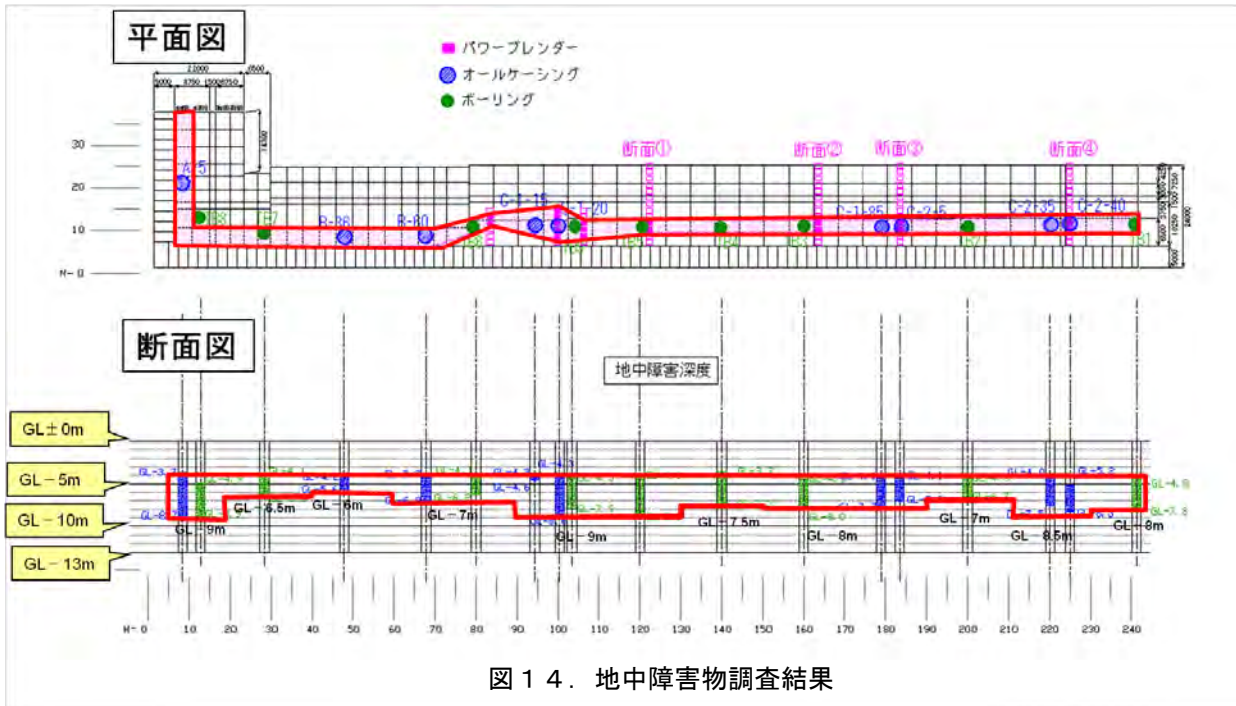


図 1 4. 地中障害物調査結果

これらの調査により、護岸に沿って全体的に地中障害物が存在し、また、最も深い箇所では地表から 9.0 m まで地中障害物が存在することが分かった。

5. 地中障害物への対応策について

地中障害物への対応策として、地中障害物を撤去しない方法と撤去する方法について検討を行った。

(1) 地中障害物を撤去しない方法

地中障害物が護岸に沿って全体的に分布していることや最大深度が 9.0 m であり、非常に深いことから、地中障害物を撤去しない方法として恒久グラウト工法を検討した。

恒久グラウト工法とは、一般的に止水目的等の補助工法として採用される薬液注入工法と同じ原理であるが、恒久構造物用として開発された注入材を使用する工法である。薬液注入工法と同じ原理であるため、注入材を浸透固化させることにより地中障害物が存在しても液状化対策が可能である。メリットとしては、地中障害物撤去を目的とした掘削が必要ないため安全に施工ができ、また、施工期間の短縮が図れる等が挙げられる。一方、注入材の価格が高く経済的に不利であることや粘性土の含有率が高い場合はその品質にばらつきがあることがデメリットである。本件では、地盤改良対象箇所の一部に粘性土が介在している層が確認されたため、恒久グラウト工法の採用には至らなかった。

(2) 地中障害物を撤去する方法

地中障害物を撤去する方法として、鋼矢板工法と全回転式オールケーシング工法の 2 工法について経済性、工期、安全性について検討した。

鋼矢板工法の場合、掘削底版の安定性確保のため高圧噴射攪拌工法による底版改良が補助工法とし

て必要となる一方、全回転式オールケーシング工法は水中掘削可能であり、補助工法が不要である。このため、経済的にも工期的にも有利な全回転式オールケーシング工法を採用することとした。(図15)

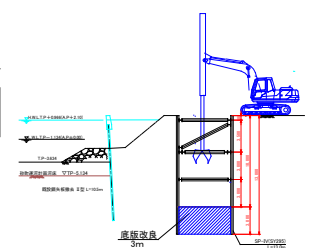
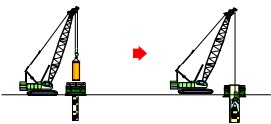
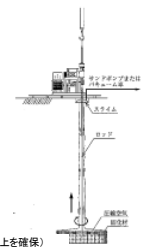
項 目	支 障 物 を 撤 去 す る 方 法		支障物を撤去せずに地盤改良工法を変更
	①山留め壁を設置して支障物を撤去	②全周機による支障物の撤去	③未改良部分を浸透性固化材で薬液注入 +高圧噴射 (細粒分含有率25%以上)
概 要	鋼矢板Ⅳ型(L=13m)を荒川に平行して2列打設し、切梁をかけたが内部を掘削して支障物を撤去する。掘削床付け以降には底版改良を行う。 	地盤改良部全周機によりケーシングをGL-15m付近まで挿入し、内部をグラブハンマーで掘削して支障物を撤去する。 	支障物は撤去しないで、H-1噴射方式の浸透性固化材で施工できる範囲を施工し、未改良範囲には浸透性の長期耐久型グラウト材を薬液注入する。細粒分含有率25%以上の地盤については高圧噴射による改良を行なう。   (200KN/m2以上を確保)
施工の特徴	河川側地盤が3.5m低いので偏圧の対策として斜梁が必要となる。また、開口が5m程度となるため、掘削はテレスコ型の掘削機+小型ベックとなる。底版改良の分、混合処理工法の数量は減となる。	円筒形の掘削面となるため、取り残し無いうようにラップして施工する必要がある。	【薬液注入工】改良深度から1本/日程度の施工となるため施工のセット数が多くなるが、他工事とのラップ作業が可能となるため工期が短くなる。 【高圧噴射工】改良径が大きく出来るため本数を少なく出来、工期が短くなる。粘性土地盤に対しても対応可能である。
主要施工数量	鋼矢板 (Ⅳ型、L=13m) : 1,333枚 底版改良 (φ2m、改良厚3m) : 810本	削孔径 : φ2,000 削孔本数 : 415本	薬液注入工 (φ1.5m) : 406本、注入量約1,800m ³ 高圧噴射工 (φ3.5m) : 112本
施工の信頼性	・鋼矢板先端をGL-14.0m以下の不透水層に挿入すれば釜場排水程度で掘削し、その範囲の支障物は完全に撤去できる。しかし、鋼矢板自体が支障物により打設できない可能性は否めず、その場合、別の支障物撤去工法により撤去する必要がある。 △	・ケーシングで土留めした内部を掘削するので、所定深度まで掘削すれば、その範囲の支障物は完全に撤去できる。 ○	【薬液注入工】 障害物が木材や栗石であればボーリング削孔可能であり、浸透性薬液なので障害物の周囲も確実に改良できるが、薬液注入対象土層(砂層)に粘土層が存在しており、その部分は浸透性に難がある。 【高圧噴射工】 高圧噴射対象土層(シルト層)は地中障害物が確認されている深度より下方のため地中障害物の影響は無いと考えられるが、万一対象土層に障害物が存在した場合には障害物直前直後の改良不見合が懸念される。 △
工 期	×	○	○
工 費	×	○	△
評 価	×	○	△

図 15. 検討結果表

6. 地中障害物撤去の施工結果

前記のとおり、地中障害物範囲を検討した結果、地中障害物撤去の施工数量は次のとおりとなった。

- ・全回転式オールケーシング H=6.0～9.0m 415箇所 (φ2000)
- ・木くず処分 424m³
- ・砂岩処分 1,208m³

地中障害物撤去のため全回転式オールケーシング機を3台投入し、約3ヵ月間で地中障害物の撤去を完了させた。

7. おわりに

東部汚泥処理プラント用地のような埋立地は、土質性状等が一樣ではなく、地盤改良工の施工には特に十分な事前調査が重要であると改めて認識させられた。今回事例と同様に埋立地に立地する当局施設での工事において、本工事の取り組みが参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 『パワーブレンダー工法(浅層・中層混合処理工法) 技術資料』パワーブレンダー工法協会 (2011.5)

1-(3)-3 大口径既設管きよの耐震化技術の開発について

計画調整部技術開発課 石川 幸裕

1. はじめに

地震時の下水道機能の確保が重要な課題の一つとして認識されたのは、平成7年の兵庫県南部地震である。東灘下水処理場などの水処理施設とともに管きよやマンホールなどの管路施設が被災し、長期間にわたって都市活動や市民生活に大きな影響を与えた。このことから、地震時における下水道施設のライフラインとしての重要性が、これまで以上に強く求められている。

首都直下地震など大規模地震の発生が危惧されるなか、東京都下水道局では、平成12年度より避難所や災害拠点病院などの排水を受け入れる既設管きよの耐震化を、既設人孔耐震化工法により行っている。これは、既設マンホール周辺に埋設されている施設に影響を与えないで、既設管きよと既設マンホールとの接続部を、非開削により耐震化できる技術である。これまでの既設人孔耐震化工法は、兵庫県南部地震での被害が比較的多かった小口径の既設管きよ（管径700mm以下）を対象としてきた。しかし、これまでの技術では、地震時における避難所などと水再生センターとを結ぶ路線全体の下水道機能を確保できないため、大口径の既設管きよ（管径800mm以上）の耐震化技術を新たに開発した。

大口径既設管耐震化工法（以下「本工法」という）による既設管きよ（管径800mm以上）の耐震化は、非開削で既設マンホール側壁厚の範囲内で耐震化を行い、管口周りを地山まで切削しないため、止水する必要はなく、かつインバートをはつらないことで、小口径の既設管耐震化工法と同様にレベル2の耐震化を図ることができる。その耐震性能をFEM解析と使用材料の性能試験を行い、総合的に評価し技術の開発を行った。

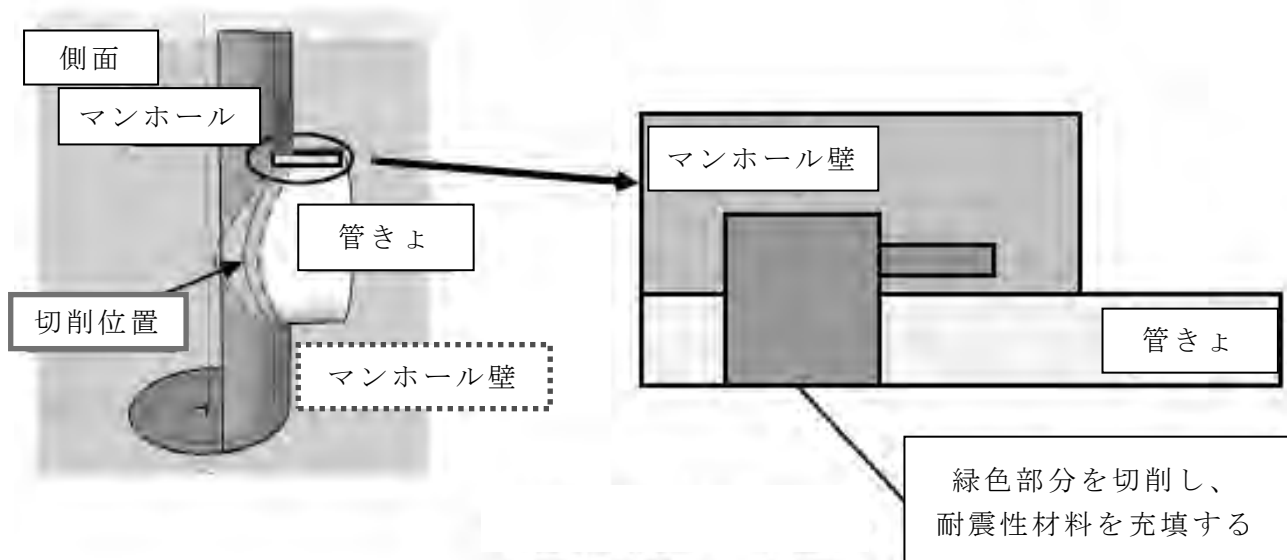


図1 大口径既設管耐震化工法の概念図

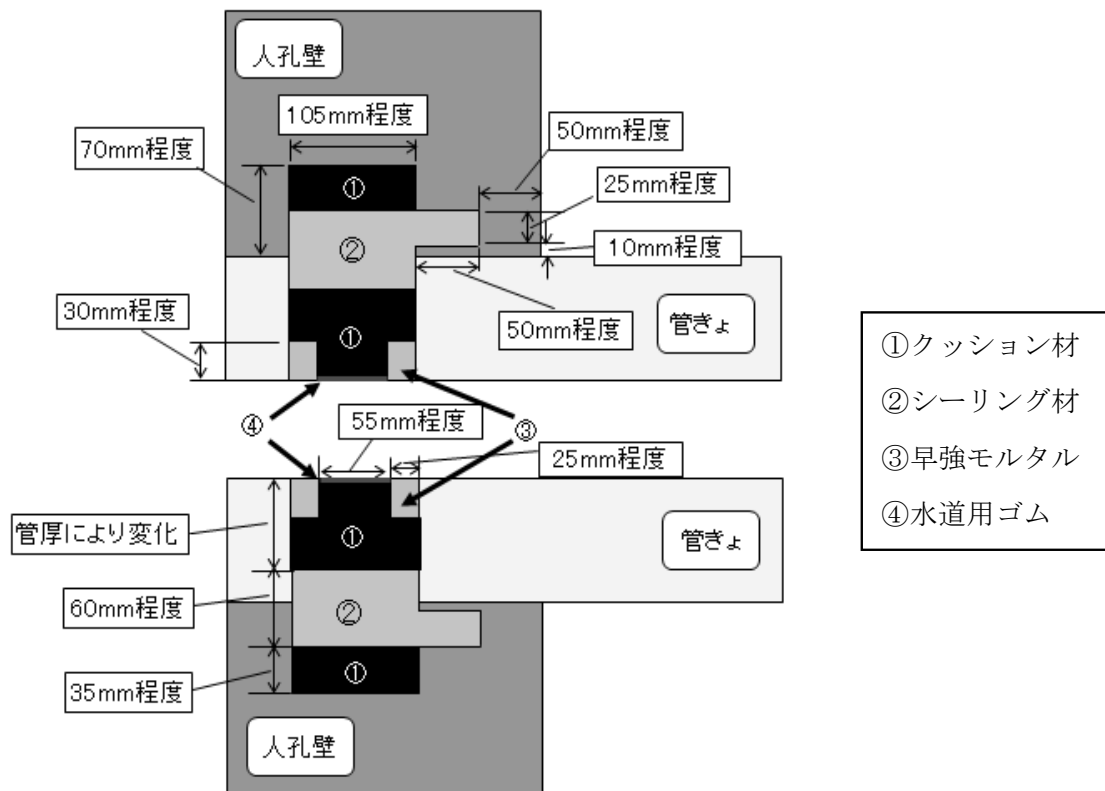


図2 耐震構造図

2. 開発技術の内容

本工法は、管径 800mm 以上の既設管きょの耐震化を、非開削でかつ既設マンホール側壁厚の範囲内で行うものである。地震時に既設管きょと既設マンホールとの接続部分にひび割れを誘発させ、その周辺部分に耐震性能を有する材料を充填することで、レベル2地震動による耐震化を目的としている。

この技術を確認させるため、①最適な耐震構造の決定、②切削機の開発及び性能確認、③耐久性のある耐震性材料の選定、④レベル2地震動に対しての耐震性能の確認、⑤切削機をマンホール蓋 600mm の既設マンホール内に搬入できることなどの施工性の確認について検討を行った。

適用範囲は、管きょについては、①管種は「鉄筋コンクリート管」、②形状は「円形管」、③管径は「800mm～2,000 mm」としている。そして、マンホールについては、④種類は「内径 1200～2200mm の標準円形マンホール」、⑤壁厚は「250mm 以上」、⑥深さは「10m 以内」としている。

3. 大口径既設管耐震化技術の確立に向けた検討

3. 1 最適な耐震構造の決定

模型実験及び数値解析により地震時における管きょとマンホールとの接続部分の損傷範囲等を確認し、最適な耐震構造を決定する。

3. 1. 1 地山まで切削しない構造の検討

既設人孔耐震化工法では地山まで切削するため、地下水対策で止水工を必要とする場合がある(図3)。しかし、本工法では地山まで切削せずに一部を残すことで、止水工を必要

としない構造とした（図5）。このため、地震動により管きょとマンホールとの接続部分がどのようなになるかを模型実験（図4, 5, 6）と数値解析を行った。そして、実験及び解析結果から、想定していた場所にひび割れが発生することを確認した（図7）。

これらのことから、ひび割れ誘発を利用した構造とすることとした。

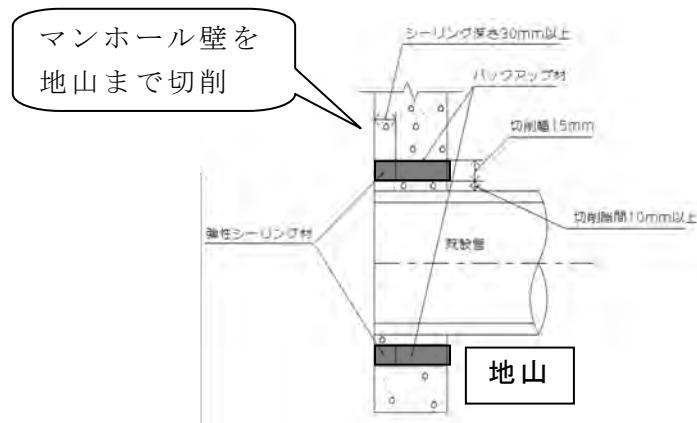


図3 既設人孔耐震化工法の概要図

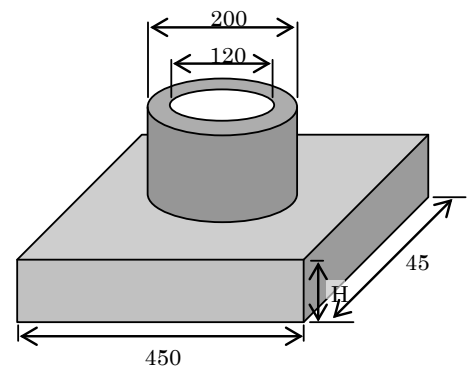


図4 模型実験の供試体形

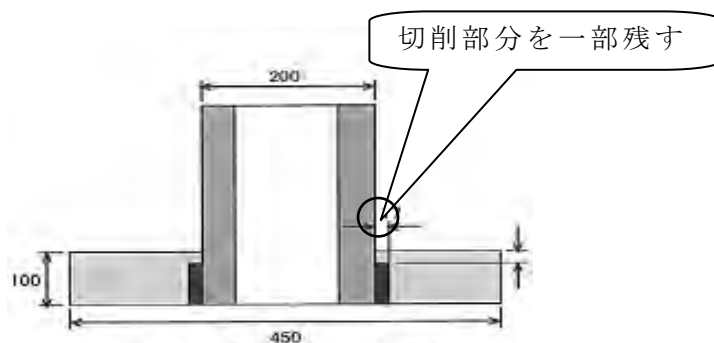


図5 模型実験の供試体詳細形状

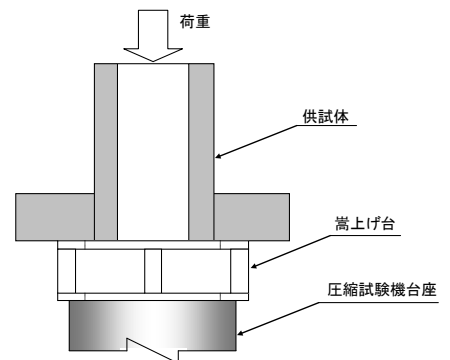


図6 模型実験概略図

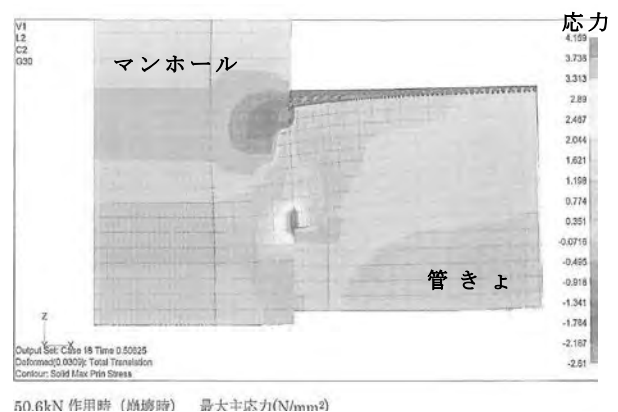
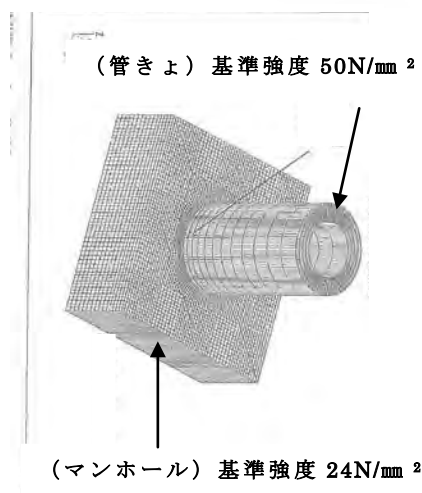


図7 既設マンホール接続部の三次元モデルによる数値解析

3. 1. 2 切削方法の検討

この構造を作り出すのに必要な切削方法を検討し、管きょ内側から切削する方法を決定した。地震が発生した際のイメージは下記のとおり。(図8)

ア、イ部分に圧縮、引張、止水性に優れた材料を設置することにより、ひび割れを誘導させ、レベル2地震動に耐える構造を決定した。

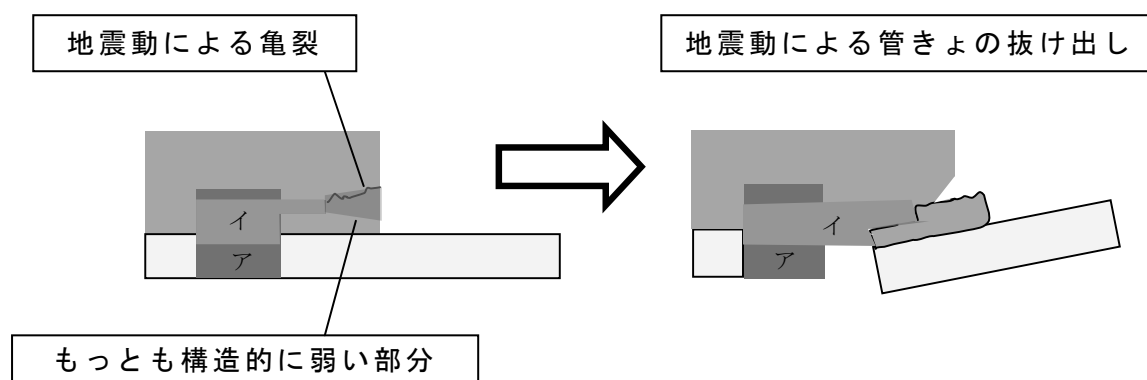


図8 地震動によるイメージ

3. 1. 3 詳細な構造の決定

レベル2地震動に対する下水道機能を確保することから、もっとも構造的に弱い部分(図8)のひび割れに対応できる構造として、ひび割れの誘発とともに圧縮、引張に強く、かつ止水性を保持できる耐震材料を設置することにより、耐震性能を確保できる詳細な構造を決定した。(図2)

また、FEM解析の結果と切削機の性能及び施工性を考えて、耐震構造の切削寸法を決めた。

3. 2 切削機の開発及び性能確認

上記の耐震性能を確保できる構造を構築するため、切削機を開発した(図9)。管きょ内側に円周回転用レールを設置し、三次元的に切削するためのガイドレール(ナライガイド)を取り付け、これに沿って専用の切削ドリルで必要な部分を切削する。具体的な切削工程は次のとおり(図10, 11, 12, 13, 14)。

工程1: ①、②部分を各上部から左右半周に分けて全周切削する。①②の間の残った部分を取り除く。

工程2: ③、④の順に上部から左右半周に分けて全周切削する。残った⑤の部分を切削する。

工程3: ⑥部分の切削では、工程1・2と異なる切削ドリルに変更し、工程1と同じように上部から左右半周に分けて全周切削する。

地上実験での性能確認を行ったところ、切削溝ごとの実測値は、幅・深さ共にすべて計画値の範囲以内であり、また切削面も良好であった。

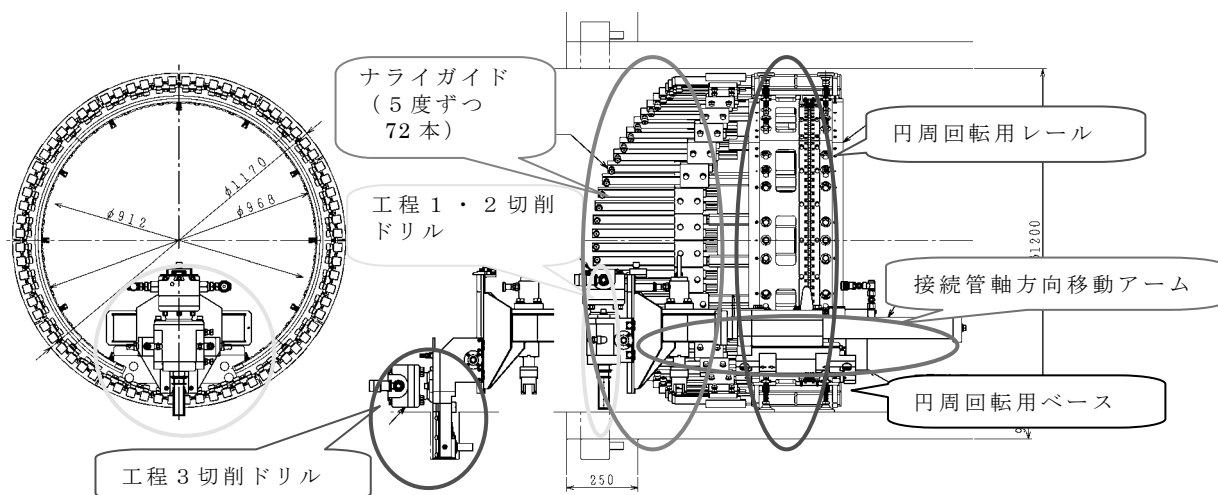


図9 切削機外観図

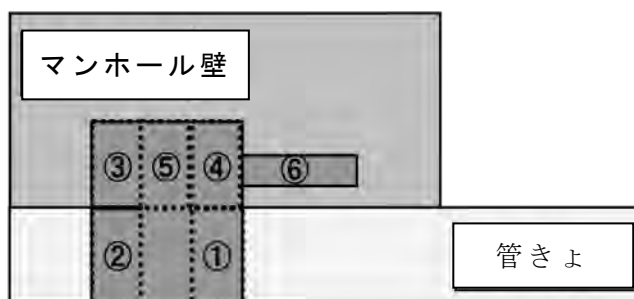


図10 切削工程



図11 ガイド、切削機設置状況



図12 切削状況



図13 ①②部分切削



図14 切削部分

3. 3 耐震材料（クッション材及びシーリング材）の選定

クッション材は、下水道環境下での劣化が少なく、ゴムの硬さがあり圧縮 40mm に対応でき、材料の入手が容易なクロロプレンゴムを選定した。

シーリング材は、耐震性能に耐えられる部材として、部材の伸び率、コンクリートとの付着力に優れているアイガス E-LM を選定した。

選定したシーリング材については、レベル 2 地震動に対して屈曲角 1° 、管の水平変位 40mm の条件で水圧 0.1MPa を保持し、3 分間耐えることにより水密性を確認した（図 15）。また、クッション材については、レベル 2 地震動に対して屈曲角 1° 、管の水平変位 40mm の条件で圧縮した際の圧縮応力が、コンクリート管強度（ 50N/mm^2 ）を下回り、選定したクッション材の圧縮性能を確認した。（図 16）



図 15 水密試験状況



図 16 圧縮試験状況

3. 4 耐震性能の確認

3. 4. 1 耐震性能の評価手法

これまでの耐震性能の評価手法として、既設人孔耐震化工法などの小口径管きよでは、実物大の試験体を使用して水密試験を行っている。この試験では、屈曲角 1° 、水平変位 40mm の条件下で管きよとマンホールとの接続部に水密試験治具を取付け、所定の水圧を 3 分間負荷し、漏水のないことを確認している。

しかしながら、本工法は、適用マンホール深が 10m と深い位置での耐震化であるため、管きよとマンホールとの接続部分の構造的安定、地下水の止水性など、これまでの材料試験的な耐震性能試験では適正な評価ができない。地震時に想定した位置にひび割れの発現性、管きよとマンホールとの接続部分の壊れ方、使用する耐震材料の耐震性能評価などより詳細に検討する必要がある。そこで、材料の耐震性能試験により耐震性能を確認するとともに、FEM 解析を用いた構造的な解析により、総合的な耐震性能の評価を行うこととした。

3. 4. 2 耐震性能の評価方法

本工法で設定した耐震性能評価方法は、①地震時に未切削部近傍にひび割れが誘発され、耐震構造に問題のないことを FEM 解析で確認する。②ひび割れ誘発位置にひび割れが発生し管きよとマンホールとの拘束が解かれた状態で管に屈曲角 1° 、水平変位 40 mm の変形が生じた場合のシーリング材、クッション材の耐震性能試験を行う。

3. 4. 3 レベル 2 地震動における FEM 解析結果

レベル 2 地震動による FEM 解析の結果としては、解析モデルに屈曲角 1° 、管きよの水平変位 40mm の条件で変位を与えていくと、屈曲角は 0.00125° 、水平変位は 1.0mm で想定箇所にひび割れが生じた。しかし、この変位以降は、クッション材の効果によりそれ以上応力が伝わらない状態となり（この時の最大応力は 5.19 N/mm^2 ）、マンホール本体が破損するような応力が発生しないことを確認した。

このことから、耐震材料の物性を用いた FEM 解析により、レベル 2 地震動における耐震性能を確認することができた。（図 17, 18），（表 1）

表 1 物性値

部位	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比	圧縮強度 (N/mm ²)
管	32000	0.2	50
マンホール	21000	0.2	18
クッション材①-1	0.51	0.05	—
クッション材①-2	1.99	0.07	—
シーリング材	0.37	0.18	—

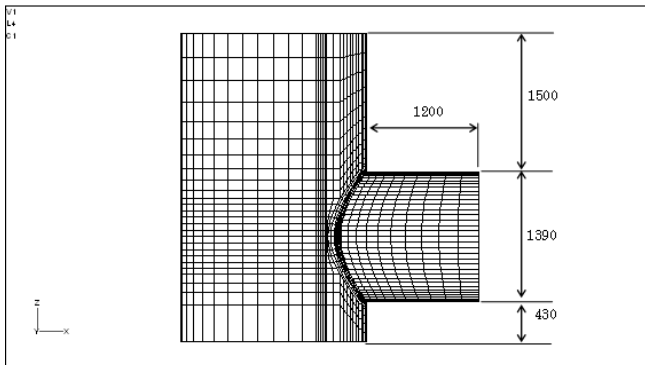


図 17 モデル図

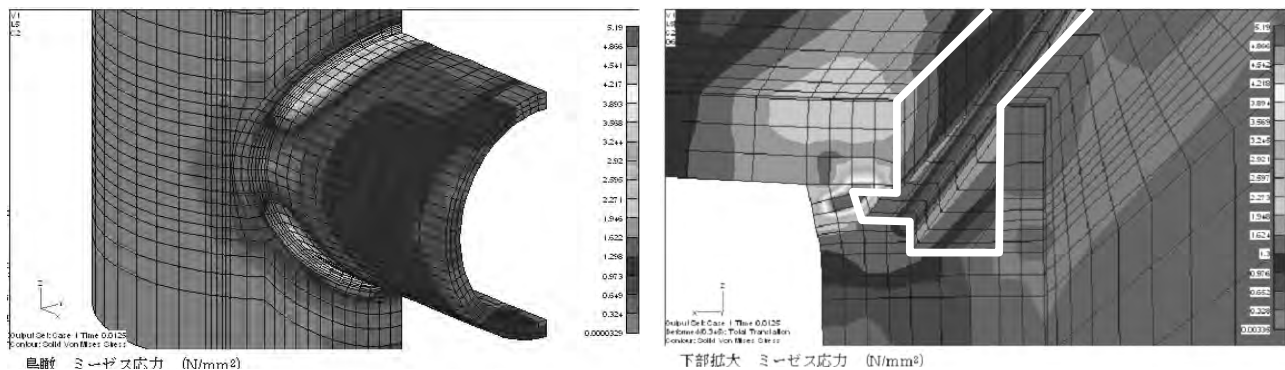


図 18 解析結果

3. 5 施工性の確認

3. 5. 1 施工場所

現場実験を行う管きよは円形管の管径 1,200mm とし、その上流が耐震化路線に指定されている箇所であり、合わせて施工環境などを考慮し、江戸川区西葛西八丁目付近の管きよを選定した。また、施工は当該マンホールの上流路線側の管口（土被り 2.84m）に実施した。

3. 5. 2 作業時間

現場実験（管径 1,200mm）での施工時間は延べ 5 日間を要した。これに対して、既設管路耐震化工法の内径 700mm の施工日数は片側で約 3.5 日であるが、今回の現場実験の施工日数は、管径が内径 1,200mm と大きいことから、既設管路耐震化工法と比べても相応の施工日数と考えられる。

施工は、（１）仮排水工、（２）切削機の設置、（３）切削工、（４）切削機の撤去、（５）耐震材料の設置の施工手順で行った。

各施工の作業時間は次のとおり。

（１）仮排水工

- ・流量、流速もある中での作業であったため、土のう、仮排水管の設置に約 180 分の時間を要した。（図 20）

（２）切削機の設置

- ・信号柱脇でのクレーン操作、人力による切削機材（最大 30kg）のマンホール内移動などから、設置に約 315 分の時間を要した。（図 21）

(3) 切削工

- ・ 切削の全体時間は予定時間内（660 分）に完了した。（図 22, 23）

(4) 切削機の撤去

- ・ 切削機搬入・組立と同様に時間がかかり、約 120 分の時間を要した。（図 24）

(5) 耐震材料の設置

- ・ 予定時間とほぼ同等である約 180 分で完了した。（図 25）

よって、これらの現場実験の結果から、切削機及び全ての機材をマンホール蓋 600 mm のマンホール内に搬入できることを確認した。また、既設管きよの内側から既設マンホール壁を壁厚の範囲内で切削できることを確認した。



図 19 耐震化前



図 20 仮排水工



図 21 切削機の設置

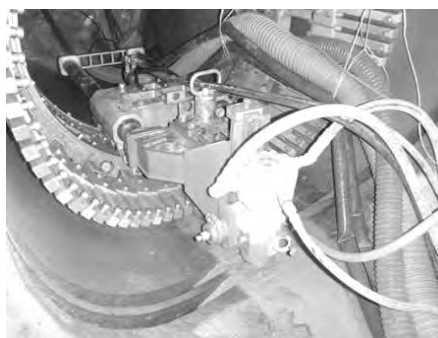


図 22 切削工



図 23 切削後状況



図 24 切削機の撤去



図 25 クッション材
設置状況

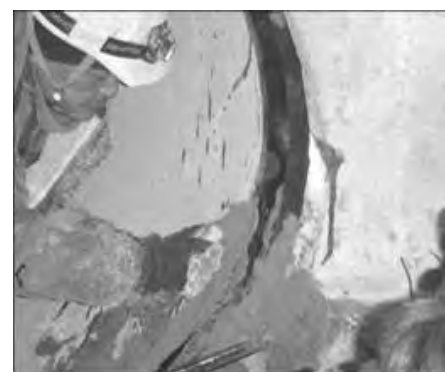


図 26 モルタル設置状況



図 27 耐震化完了

4. 追跡調査の実施

4. 1 調査目的および調査頻度

本調査は、大口径既設管耐震化工法を導入するにあたり、実施工後の施設の経年的な信頼性について一定期間継続して確認していく必要があるため、施工（平成 23 年 3 月上旬）の 2 ヶ月後（5/20 実施）、3 ヶ月後（6/20 実施）、6 ヶ月後（9/14 実施）に追跡調査を実施した。

4. 2 大口径耐震化施工部の目視調査

各回の調査結果では、施工箇所の変位は特に見られず、耐震構造部からの漏水等もなく、施工直後との変化は見られなかった。また、各回の調査寸法は測点 a, b, c とともに設置時の寸法の 55mm と同じであった。（図 28, 29, 30）

4. 3 施工部のゴムにおける経年変化の目視調査

各回の調査結果では、施工部のゴムの劣化、シーリング材の流出、その他の異常は認められなかった。



図 28 施工部全体



図 29 寸法測定 (a 点)



図 30 寸法測定 (b 点)

5. おわりに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、現場実験を行った江戸川区西葛西八丁目付近でも、震度 5 弱を観測した。大口径既設管耐震化技術の施工 3 日後に地震が発生したため、地震 1 週間後（3/18 実施）にも当該マンホール施工箇所部分の点検及び確認を行った。点検結果では、下水の流下機能は確保されており、震度 5 弱の地震では下水道機能に支障がないことを立証することができた。また、6 ヶ月後（9/14 実施）の点検においても、特に変化は見られなかった。

今後も本工法の適用範囲の拡大と、現場条件に即した容易な施工方法の確立により、大口径既設管耐震化工法は下水道事業の耐震化に広く貢献できるものとする。

1-(3)-4 東北地方太平洋沖地震の汚泥かき寄せ機の

被害と取組状況について

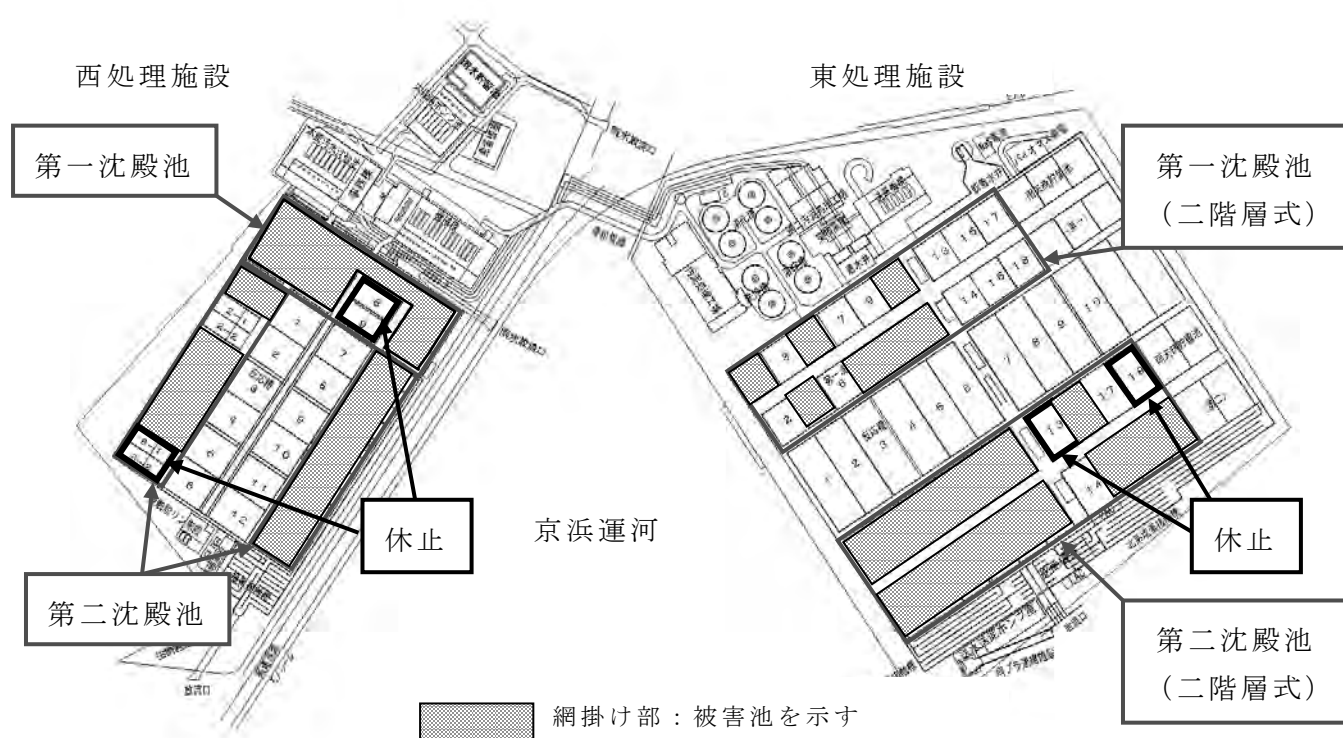
森ヶ崎水再生センター 保全管理係 小方 浩

1. はじめに

森ヶ崎水再生センターは、大田区、品川区、世田谷区等の各区と多摩地域の野川処理区等の下水を処理している計画処理能力 154 万 m³/日の我が国最大規模の下水処理場である。処理施設は、京浜運河を挟み、東西にわかれていた。（図－1）

3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、当センターにおいても震度5弱の揺れが生じ、このため沈殿池に大きな被害があった。特に、汚泥かき寄せ機のフライトの破損、沈殿池の搬入口蓋の落下等により汚泥かき寄せ機の運転ができなくなり、水処理に影響を受けた。

今後発生する地震に適切に対応するため、被害状況の詳細な分析を行い、被害の予防・拡大防止の検討を行ったので報告する。



図－1 森ヶ崎水再生センター概要

2. 地震による被害状況

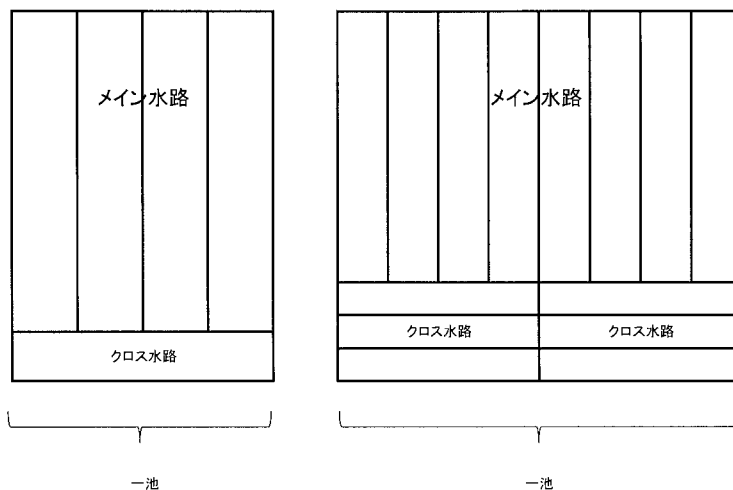
当センターの汚泥かき寄せ機の仕様を表－1に示す。また、図－2に沈殿池の構成を示す。汚泥かき寄せ機は、大部分がチェーンフライト式であり、機長、軸数（中間軸の有無）、チェーン材質、フライト材質等の異なるものが混在している。

表－１ 汚泥かき寄せ機仕様

		池数	汚泥かき寄せ機型式	水路数	材 質	備 考
西施設	第一沈殿池	12	チェーンフライト式 メイン 4 軸 41m クロス 3 軸 21m	メイン 4 水路 クロス 1 水路	メイン チェーン フライト SUS 米桧、F U クロス チェーン フライト SUS 米桧、F U	
	第二沈殿池	24	チェーンフライト式 メイン 3, 4 軸 29m クロス 3 軸 12m	メイン 4 水路 クロス 3 水路	メイン チェーン フライト SUS、FRP F U、 クロス チェーン フライト FRP SUS 米桧、F U	10-1 号、10-2 号 メイン水路 レシプロ式
東施設	第一沈殿池	18	チェーンフライト式 上段 4 軸 31m 下段 4 軸 36m	メイン 上段 6 水路 下段 6 水路	チェーン フライト SUS 米桧、F F U	二階層式 P C 板、合成 木材蓋
	第二沈殿池	20	チェーンフライト式 上段 3, 4 軸 51m 下段 4 軸 51m	メイン 上段 5 水路 下段 5 水路	チェーン フライト SUS、FRP 米桧、F F U、F R P	二階層式 P C 板、合成 木材蓋

第一沈澱池

第二沈澱池



図－２ 沈澱池構成図（概略図）



地震発生時の沈殿



汚泥かき寄せ機破損状

図－３ 沈殿池被害状況

図－３に沈殿池被害状況を示す。沈殿池は、今回の地震により横方向に揺られた。この地震により発生した被害項目を表－２に示す。

西施設の被害項目は、チェーンの脱輪とフライトの破損である。

東施設の沈殿池は、二階層式である。被害項目は、チェーンの脱輪と破断、フライトの破損、沈殿池上段床にある搬入口蓋の外れ（PC板製のものは落下等、合成木材製のものは浮上）、第二沈殿池水路（１・２系は側壁がPC板製）の側壁PC板の落下である。

次に、当センターの沈殿池被害状況を表－３に示す。西施設の第一沈殿池と東施設の第二沈殿池の被害が特に大きかった。被害を受けた沈殿池の割合は、稼働していた沈殿池全体の８０％以上となっている。

表－２ 被害項目

西施設	東施設
チェーン脱輪	
—	チェーン破断
フライト破損	
—	搬入口蓋外れ
—	側壁PC板落下

表－３ 沈殿池被害状況（池単位、水路単位）

		池単位				水路単位			
		全池数	稼働池数	被害池数	被害率 ※対稼働	全水路数	稼働水路数	被害水路数	被害率 ※対稼働
西施設	第一沈殿池	12	10	8	80%	60	50	26	52%
	第二沈殿池	24	23	1	4%	168	161	1	1%
東施設	第一沈殿池	18	18	7	39%	216	216	36	17%
	第二沈殿池	20	18	16	89%	200	180	90	50%

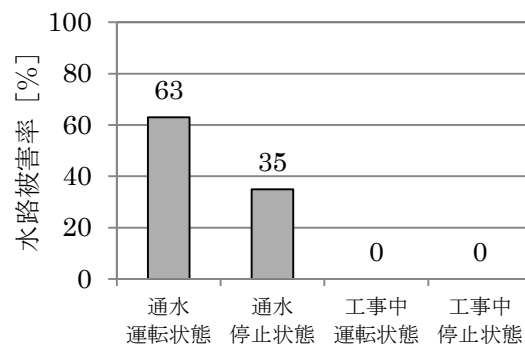
さらに各池の被害状況を細かく把握するため、各水路単位での被害状況の分析を行った。表－3のように、水路単位では50%の被害率であっても、池単位では被害率80%と跳ね上がっている。これは、図－2に示すように、沈澱池が複数の水路で構成されており、このうちの1水路でも被害があった場合、1池としてカウントされるためである。

西施設の第一沈殿池は、地震時に以下の4パターンの稼働状態があった。

- (1) 通水されて汚泥かき寄せ機が運転している状態
- (2) 通水されて汚泥かき寄せ機がタイマーにより停止している状態
- (3) 工事で試運転している状態
- (4) 工事で停止している状態

この状態別に被害状況を整理した結果を図－3に示す。

図－3から、通水中の沈殿池においては、運転状態でも停止状態でも汚泥かき寄せ機に被害があったことがわかる。これは地震の揺れによるスロッシング(池内の水の動揺)により、スプロケットからチェーンが脱輪したものと考えられる。

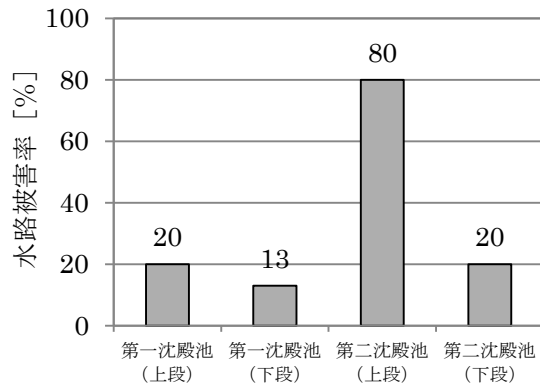


図－3 西施設第一沈殿池
水路被害率
(汚泥かき寄せ機運転状態別)

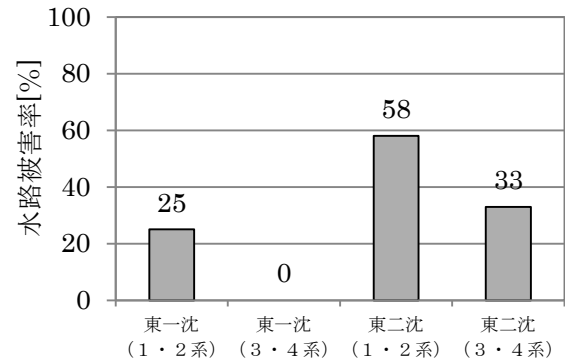
被害の割合は、運転状態では63%、停止状態では35%であり、運転状態の方がチェーンの脱輪が8割程度起こり易い結果となった。沈殿池内に水がない状態では、運転状態、停止状態ともチェーンの脱輪はなかった。

図－4は、東施設の二階層式沈殿池の上段下段別での被害状況を示している。これを見ると、第一沈殿池の上段と下段では被害率が約1.5倍、第二沈殿池の上段と下段では被害率が4倍も違っている。第一沈殿池、第二沈殿池どちらも上段に設置されている汚泥かき寄せ機の方が、下段より多くの被害を受けていることがわかる。

図－5は、東施設での水路被害率である。被害の多い第二沈殿池1・2系は、水路の側壁にPC板を用いており、他のコンクリート壁の沈殿池とは構造が異なっている。



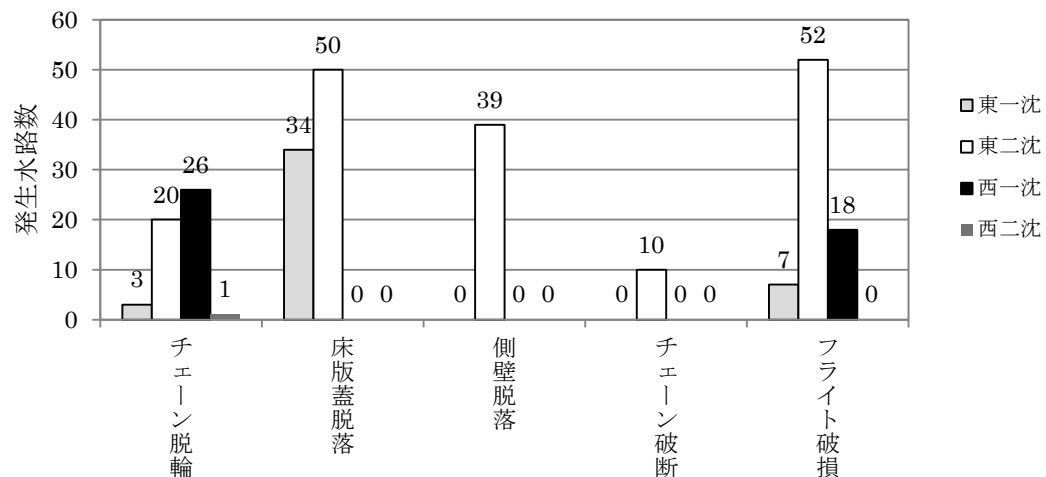
図－４ 東施設 水路被害率
(上段下段別)



図－５ 東施設 水路被害率

3 被害の原因と分析

図－６は、被害項目別に被害のあった水路数をグラフ化したものである。汚泥かき寄せ機本体の機械的な機能を失わせた要因は、チェーン破断とフライト破損である。これらの発生した原因を次に考察する。

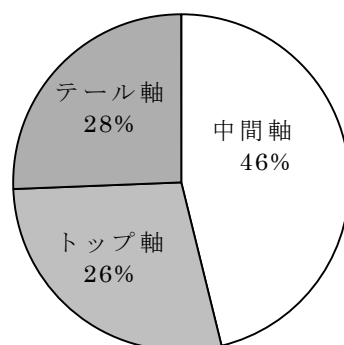


図－６ 発生被害別水路数

3.1 西施設第一沈殿池の原因と分析

西施設第一沈殿池では中間軸、テール軸及びトップ軸の各スプロケットからチェーンが外れ、汚泥かき寄せ機の運転によりフライトが側壁等に当たり破損したものと考えられる。

脱輪した箇所は図－７に示すように、中間軸が最も多く全体の 46%と約半分を占めている。テール軸とトップ軸で脱輪した割合は、ほぼ同じであった。これより、地震発生時に汚泥かき寄せ機を停止し、中間軸での脱輪の有無を確認することにより、西施設第一沈殿池では地震による汚泥かき寄せ機の被害を 50%程度少なくすることができると考えられる。



図－7 西施設第一沈殿池
チェーン脱輪状況

稼働水路に対する脱輪発生率を東西施設の沈殿池で比較すると、西施設第一沈殿池が52%と突出している。

東西施設第一沈殿池の汚泥かき寄せ機を比較すると、機長はほぼ同じであるが、脱輪発生率が大きく異なっている。汚泥かき寄せ機の構造として異なっている点は、カテナリ部（懸垂部、中間軸～テール軸間のチェーン部分）の長さが東施設第一沈殿池のものは短く、西施設第一沈殿池のものは前者より3倍長くなっていることである。

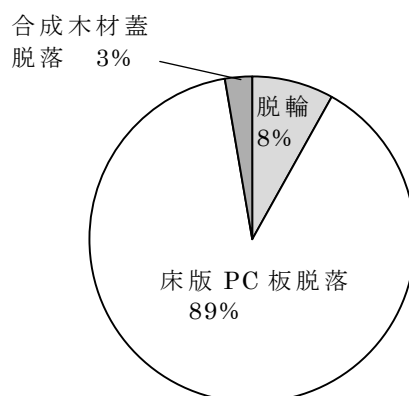
中間軸（4軸）のあるタイプは、カテナリ部が長いとレールに乗っていない自由に動くフライトが多くなるため、スロッシングによりフライトが振られて、中間軸若しくはテール軸で脱輪し易くなるものと思われる。フライトが水面を移動する第一沈殿池は、この影響が大きいと考えられるので西施設第一沈殿池では、中間軸をテール側に移動しカテナリ部を短くすることが、地震時の脱輪には有効であると思われる。

3.2 東施設第一沈殿池の原因と分析

東施設第一沈殿池のフライト破損の原因は、下段からの水圧によって搬入口蓋のPC板が外れ、このPC板と接触したものである。

被害原因は図－8のように搬入口蓋のPC板脱落が約9割を占めている。沈殿池上段が下段よりも被害水路が多いのは、搬入口蓋のPC板が下段に落下したものより上段側でずれたものが多いためである。

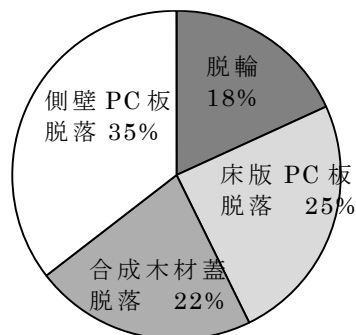
図－6のように搬入口蓋のPC板等の脱落箇所は34か所、チェーンの脱輪箇所は3か所であった。フライトの破損水路数が床版PC板の脱落水路数に比べて少なかったのは、重量のあるPC板脱落により過トルク等が発生し、汚泥かき寄せ機が短時間で停止したことによるものである。



図－8 東施設第一沈殿池被害原因

3.3 東施設第二沈殿池の原因と分析

東施設第二沈殿池では、図－6のように側壁 PC 板の脱落が 39 か所、搬入口蓋の PC 板等の脱落が 50 か所で発生している。図－9 に示すように、側壁 PC 板脱落、搬入口蓋の PC 板脱落及び合成木材蓋脱落の合計が、被害原因の約 8 割を占めている。



図－9 東施設第二沈殿池被害原因

側壁 PC 板脱落は、地震時のスロッシングにより、沈殿池上段の上部側壁 PC 板が脱落落下したものである。沈殿池上段が下段の 4 倍も被害を受けた原因は、この要因と搬入口蓋の PC 板のずれによるものである。特に、1・2 系の沈殿池は側壁に PC 板を使用しているため、被害が大きかった。フライトの破損も 52 水路と東西施設で最も多い結果となった。また、チェーン破断が FRP 製のチェーンでみられた。一部の水路では、FRP 製のフライトと一部固定金具が外れた合成木材蓋と干渉したため、フライトの破損本数が多くなっている。

東施設の沈殿池の被害原因は、水圧による搬入口蓋の PC 板、側壁 PC 板及び合成木材蓋の脱落が主な原因である。PC 板等の脱落防止対策を行うことにより、東施設の汚泥かき寄せ機の機能を確保することができると考えられる。

4 被害の予防・拡大防止

今回の地震直後の対応として、反応槽への返送汚泥量を確保すること等、水処理機能を維持するため、過トルク等で停止した汚泥かき寄せ機を運転する必要があった。

このため、現場で汚泥かき寄せ機の動作電流等を確認しながら運転したが、それが新たなフライトの破損を発生させる要因になった面もあると思われる。

地震時に汚泥かき寄せ機の損傷が起こらないように、予防対策を立てることが最も重要であるが、損傷が発生した汚泥かき寄せ機の被害拡大防止対策も重要である。

当センターにおいて、地震時に汚泥かき寄せ機の機能を確保するために考えた予防対策及び被害拡大防止対策は、次のとおりである。

(1) 予防対策

ア 感震器による汚泥かき寄せ機の自動停止の導入と脱輪防止金物を設置する。

イ PC 板製の搬入口蓋を合成木材（FFU）蓋に変更する。

ウ 搬入口蓋を下段の水の揺れによる圧力を逃がす構造（逃がし穴の設置やグレーチングの蓋等）にする。

- エ 側壁 PC 板を受枠等により堅固に固定し、最終的にコンクリート壁に改造する。
- オ チェーン破断検出器の設置場所を駆動軸から中間軸に移動し、中間軸で発生した脱輪の検出時間を短くする。
- カ 西第一沈殿池の中間軸の位置をテール側へ移動し、カテナリ部を短くする。

(2) 被害拡大防止対策

- ア 中央監視室から汚泥かき寄せ機の運転停止操作を可能とする。
- イ 汚泥かき寄せ機の停止後は、中間軸での脱輪発生が約半数と多いことから、中間軸での脱輪の有無を確認し、脱輪がない場合には試運転を行い、異常がない場合に運転を継続する。
- ウ ファイバースコープ等の水中での状況を確認できる器具を利用できる場合には、故障警報が発生した沈殿池を優先的に、トップ軸・テール軸の脱輪の有無、搬入口蓋の脱落の有無の確認を行う。異常がない場合に運転を継続する。
- エ 合成木材（FFU）蓋が水面へ浮上した場合には、故障警報の発生がなくても池の排水を行う等、池内部の状況確認を行う。

これらの予防対策を実施することにより、チェーン脱輪、チェーン破断及びフライト破損は発生が少なくなり、被害拡大防止対策の汚泥かき寄せ機停止等により、停止後にフライトの破損等を更に発生させないようにすることが可能となる。よって、汚泥かき寄せ機の機能維持と被害の復旧が容易となり、地震時の水処理機能を確実に確保することができる考える。

5 おわりに

当センターで発生した汚泥かき寄せ機の被害項目を分析し、考えられる原因をもとに予防対策と被害拡大防止対策の検討を行った。対策の中には、当センターに特徴的なものが多いと思われる。今後も、今回の地震の経験を踏まえて維持管理をしていく中から、更に有効な対策が生み出されるものと考えている。

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 羽田ポンプ所放流時における環境負荷低減について
- (2) 地球温暖化対策技術
 - 1 低動力型高効率遠心脱水機の導入による温室効果ガス削減効果
 - 2 小菅水再生センター アンモニア＋DO制御の事後評価
- (3) 水処理技術
 - 1 準高度処理の導入による窒素の削減と送風電力の抑制
 - 2 好気槽における脱窒促進運転について
 - 3 亜硝酸型硝化事例とその対策について
 - 4 反応槽への送風方法を変更した送風量削減調査結果について
 - 5 水処理から発生する N_2O (一酸化二窒素)排出抑制技術の開発その2
- (4) 汚泥処理技術
 - 1 汚泥焼却における温室効果ガス削減の取組
 - 2 汚泥ガス化炉事業における事後評価の実施について

2-(1)-1 羽田ポンプ所放流時における環境負荷低減について

南下水道事務所 ポンプ施設課 大谷敏路

1 はじめに

羽田ポンプ所では、合流改善クイックプランに基づき、改良工事により雨水ろ格機のスクリーン目幅の変更を実施してきた。

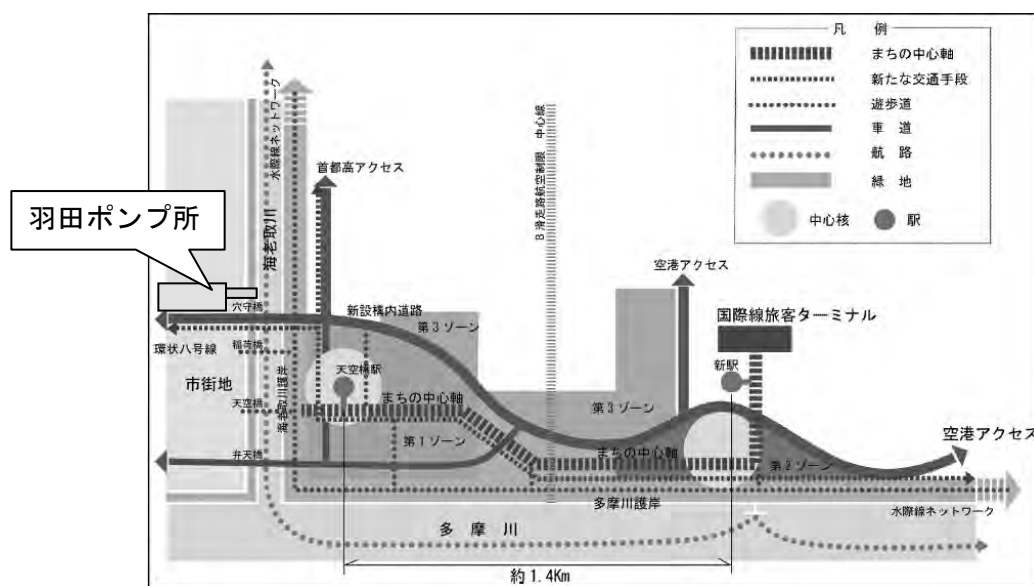
しかし、更なる放流水質の改善が求められたため、平成 22 年度に雨水ろ格機の改良を行った。以下、改良工事内容及び新設雨水ろ格機の効果検証結果を報告する。

2 背景

2.1 地域特性

羽田ポンプ所は、雨天時には隣接の閉鎖水域である海老取川へ雨水を放流しているが、水面汚濁に対し長年住民からの苦情が多く寄せられている。

また、羽田空港再拡張事業の結果生まれる跡地の適切な利用に向け、海老取川が流れる大田区では「羽田空港跡地利用 OTA 基本プラン」、「空港臨海部グランドビジョン 2030」を策定している。図-1 に示す通り、羽田ポンプ所付近は、水と緑の新たな景観が創出される予定となっている。



図一1 羽田空港跡地利用に伴う基盤施設構成イメージ図

2.2 これまでの取組み

お台場海浜公園等に白色固形物（オイルボール）が漂着し、社会問題となったのを契機として、下水道局では 2001 年に合流改善クイックプランを策定し、雨天時放流に伴う環境負荷の低減を目的として、雨水ろ格機のスクリーン目幅の縮小化（50mm から 25mm）を実施している。羽田ポンプ所においても平成 14 年度に同施策を実施した。

そして、平成 17 年度には更なる改善策として、目幅 6mm の微細目スクリーンを当局で初めて部分導入し一定の成果が得られた。しかし、スクリーン目幅縮小後においても、羽田ポンプ所の放流時における近隣住民からの苦情があり、また地域特性を考慮して更なる水質改善の必要性が

高まっている。

2.3 現状と問題点

2.3.1 羽田ポンプ所スクリーン設備について

(1) 微細目スクリーンについて

平成17年度の改良工事では、年間放流回数の約70%を占める雨水ポンプ1台のみでの放流に対応することを目的とし、雨水沈砂池6池中1池（3号池）に微細目スクリーンを設置した。図-2は羽田ポンプ所平面図、図-3は微細目スクリーンイメージ図、表-1は微細目スクリーンの仕様を示す。

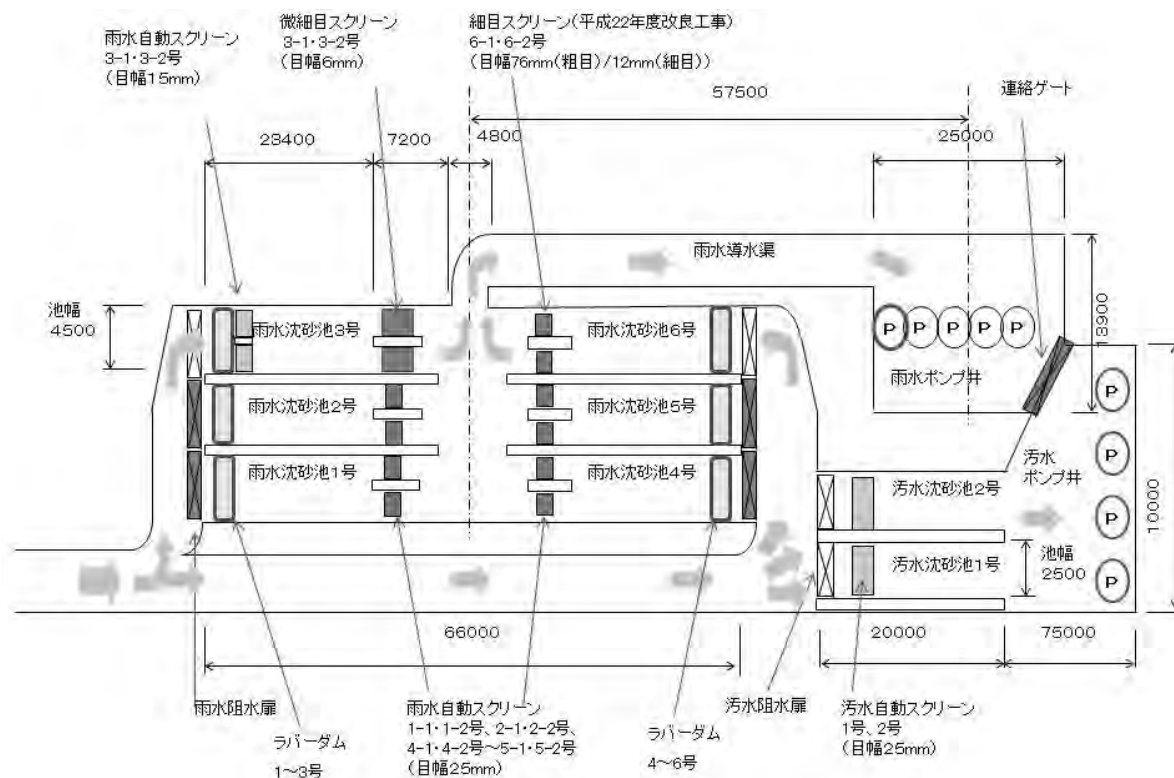


図-2 羽田ポンプ所平面図

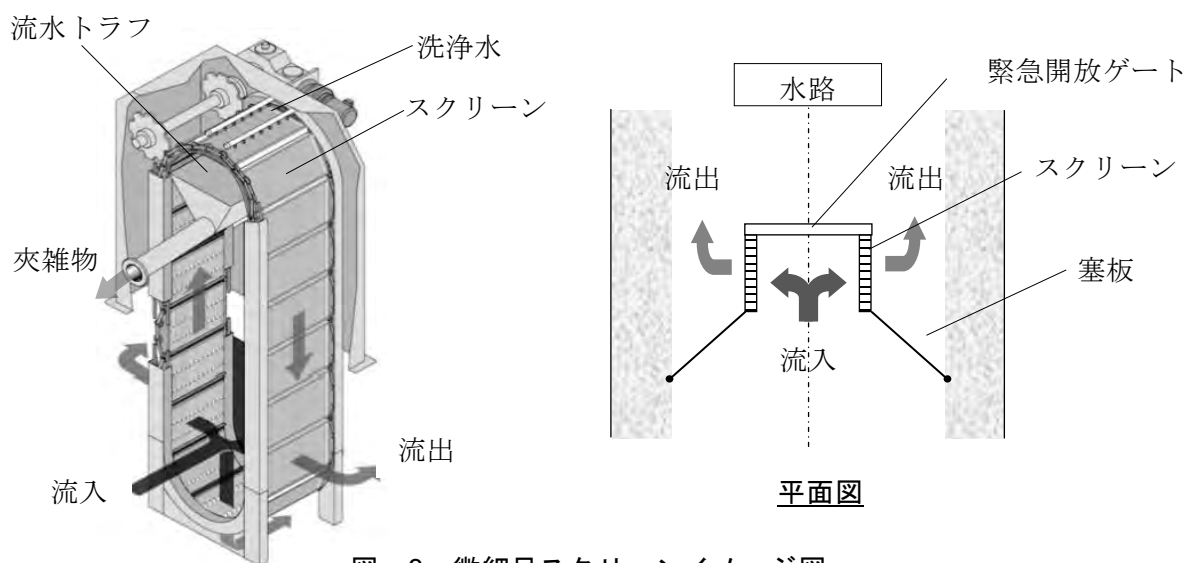


図-3 微細目スクリーンイメージ図

表－1 微細目スクリーン仕様

名 称	微細目スクリーン
形 式	ろ面循環式微細目スクリーン
水 路	幅 2,000mm×高さ 4,000mm
スクリーン目幅	6mm
台 数	2 台（3-1、3-2 号池）
補 機	水切りコンベヤ、搬送コンベヤ、洗浄水タンク、洗浄水供給ポンプ、洗浄水ポンプ、洗浄水用ストレーナ、緊急開放ゲート、制御盤、配管・弁類、スクリーン流入・流出側水位計、連成計、圧力計等

以下に、微細目スクリーンの特徴を述べる。

図－3 に示すように、連続回転するスクリーンを流水方向に対して並行に設置し、スクリーンの内側から外側に通水して夾雑物を補足する。補足した夾雑物は、洗浄水により流水トラフに落とされ、搬送コンベヤにより搬出する。また、故障時やスクリーンの通水能力を超える流入があった場合に備え、バイパス放流用の緊急開放ゲートが設けられている。

微細目スクリーン設備は、スクリーン目幅が 6mm であり夾雑物の除去については高い性能を示すが、表－1 に示すとおり、前面降下前面かき揚げ式スクリーンと比較し補機類が多いため、軽故障の発生頻度がやや高い。

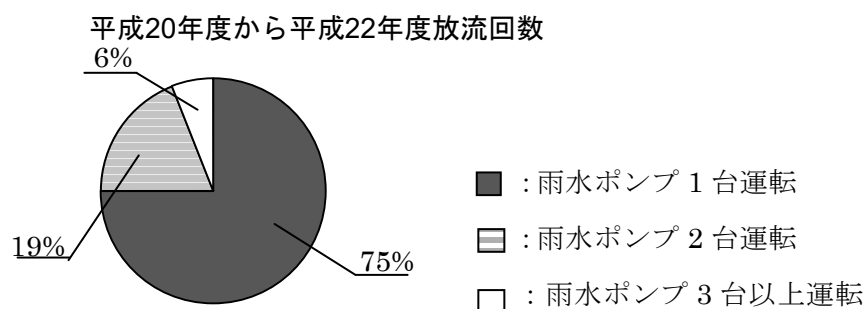
また、急激な流入により大量の夾雑物が捕捉され、スクリーン前後で水位差が大きくなると安全のため、緊急開放ゲートが作動してしまうので、阻水扉の操作により流量調整が必要である。

(2) 25mm目幅スクリーン設備について

雨水沈砂池 1、2 号池及び 4～6 号池のスクリーン設備は、設置後 8 年しか経過していないため、本体及び駆動装置等の劣化等はほとんど見られず、再使用できる状態である。

2.3.2 羽田ポンプ所の雨水放流状況

羽田ポンプ所における雨水放流の状況を図－4 に示す。



図－4 羽田ポンプ所における雨水放流回数

平成 20 年度から 22 年度における雨水ポンプ 1 台による放流回数は、全放流回数に対して約 75%を占めている。既設の微細目スクリーンは雨水ポンプ 1 台分の通水能力のため、残りの放流回数 25%は、25mm 目幅スクリーン設備（以下、局標準スクリーンという）により夾雑物の除去

を行わなければならない状況であった。

3 改良概要

2.3 に挙げた課題を解決し更なる放流水質の改善を図るため、平成 22 年度に行った改良工事における検討事項及び導入した設備概要を以下に示す。

3.1 検討事項

3.1.1 スクリーン形式の比較

微細目スクリーンは、SS の除去効果が大きく、環境への負荷は大幅に低減できる。しかし、羽田ポンプ所では上水、雑用水の確保には、補機等の設置に必要な建設費及びランニングコストが他のスクリーン形式に比べて高くなる。

一方、局標準スクリーンは、微細目スクリーンに比べ除じん性能が劣る。「雨水ろ格機のスクリーン目幅縮小に関する調査（施設管理部）」に示される通り、除じん性能を上げるために目幅を縮小すると損失水頭が高くなる。また、目幅の縮小は砂や石等の詰まりによる過トルクの発生につながる恐れがある。

本改良工事では、既設微細目スクリーンの処理量を超えた夾雑物の除去を目的とし、既存設備を可能な限り流用した上で、最小限のコストで対策を進めることを方針とした。

そこで、前面降下前面かき揚げ式スクリーンにおいて、通水能力を確保しつつ除じん性能を向上させるバーの材質及び形状について検討した。

3.1.2 スクリーンバーの材質について

局標準スクリーンバーは SS 製のため腐食代が必要であるが、SUS304 製とすることで腐食代が不要となり開口率が確保できる。

3.1.3 スクリーンバーの形状について

局標準スクリーンバーは目詰まり防止形が標準であるが、開口率確保のため目詰まり防止形の代わりに、レーキ爪を深搔き形とした。

また、奥行きと板厚の異なるバーを組み合わせ、目幅 76mm のスクリーンバー（粗目）で粗大ごみを事前に除去した後、目幅 12mm のスクリーンバー（細目）で夾雑物が除去される構造とした。

これにより、夾雑物除去用のバーの板厚を薄くすることが可能となるため開口率が確保され、通水能力を大きく損なわずに目幅を縮小することが可能となる。粗目スクリーンと細目スクリーンを組み合わせたスクリーンバー（粗目/細目兼用スクリーン）の概要を図-5 示す。

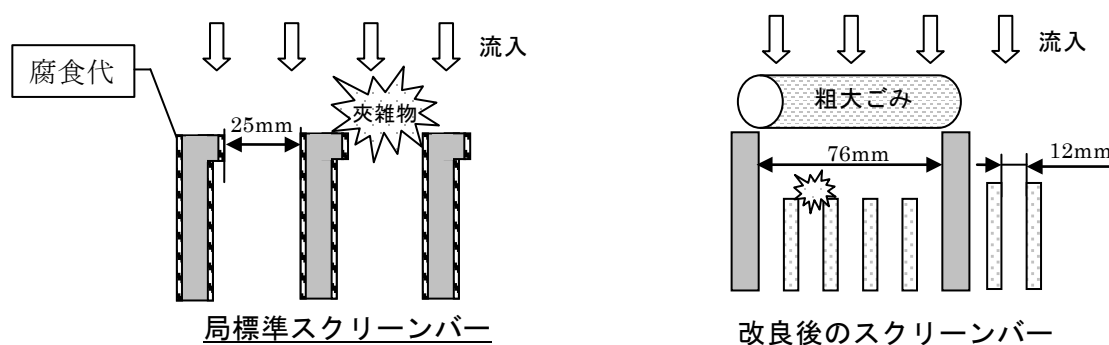


図-5 スクリーンバー概要

3.2 設備概要

3.1 の検討結果を踏まえ、本改良工事では粗目スクリーンと細目スクリーンを組み合わせた前面降下前面かき揚げ式スクリーンを導入した。本工事にて導入したスクリーンの仕様を表-2 に、スクリーンイメージ図を図-6 に示す。

表-2 細目スクリーン仕様

名 称	細目スクリーン
形 式	前面降下前面かき揚げ式スクリーン
池 形 状	幅 2,000mm×高さ 4,000mm
スクリーン目幅	76mm（粗目）/12mm（細目）兼用
数 量	2 台（6-1、6-2 号池）

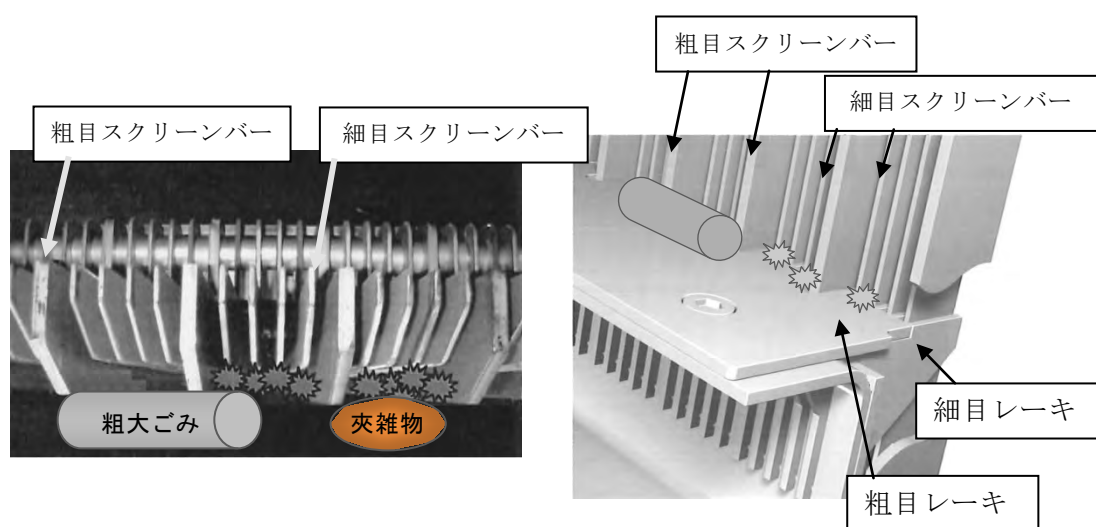


図-6 スクリーンイメージ図

4 効果について

細目スクリーンの効果について以下に示す。

4.1 公称値

表-3 に細目スクリーンの公称値を示す。

表-3 細目スクリーン公称値

名称	細目スクリーン	微細目スクリーン	局標準スクリーン
スクリーン目幅	76mm/12mm 兼用	6mm	25mm
スクリーンバー厚さ	9mm/4mm	1.5mm	9mm
開口率	0.71	0.80	0.68
夾雑物補足値 (SRV値※1)	45%以上	70%以上	約 12%※2

SPIRIT21※3では、スクリーンの夾雑物捕捉の必要性能目標値（SRV値）として、5.6mm以上の大きさの夾雑物を 30%以上除去することとなっている。

表-3 より、細目スクリーンはこの指標を満足していることが分かる。また、開口率も局標準のスクリーンとほぼ同等であり、高い通水能力を確保している。

※1：Screening Retention Value の略で、5.6mm 以上の夾雑物を対象とする。

※2：2006 年度に行われた実測値。

※3：下水道で特に重点的に技術開発を推進すべき分野について、民間主導による技術開発を誘導・推進するとともに、開発された技術の早期かつ幅広い実用化を目的とした新たな技術開発プロジェクト

4.2 羽田ポンプ所における効果検証

平成 22 年度改良工事に於いて羽田ポンプ所に設置した細目スクリーン等を用いて、平成 23 年度 4 月より汚水および雨水を通水し検証を行ったので、その結果を以下に示す。

4.2.1 検証方法

(1) 晴天時における検証

晴天時に羽田ポンプ所に流入した汚水を雨水沈砂池 3 号池（微細目スクリーン）、雨水沈砂池 5 号池（局標準スクリーン）及び雨水沈砂池 6 号池（細目スクリーン）に通水し、各スクリーンによりかき揚げられたしさを計測し、それぞれのスクリーンの除じん性能を比較した。

(2) 雨天時における検証

雨水放流を行うような降雨がいつ発生するかの予測が難しいこと、また、そのような降雨時には、各スクリーンによりかき揚げられたしさを測定することが困難なことから、各雨水沈砂池にビデオカメラを設置し、その映像からかきあげられたしさを推測し、スクリーンの除じん性能を比較した。

4.2.2 検証結果

(1) 晴天時における検証

晴天時に汚水を通水させたときに各スクリーンでかき揚げられたしさを図-7 に、実際にかき揚げられたしさを図-8 に示す。

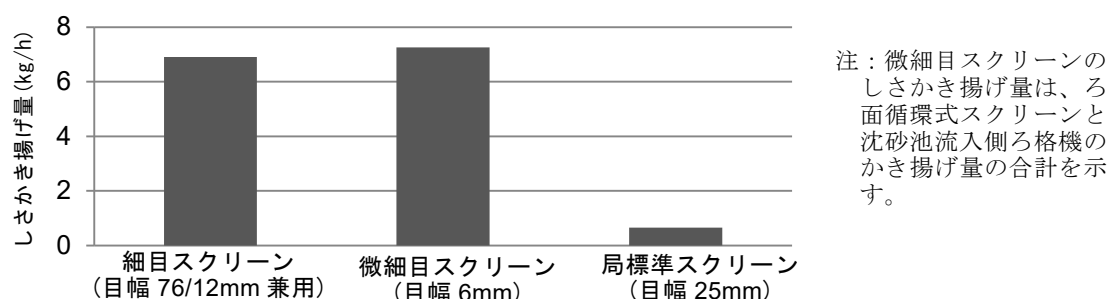


図-7 晴天時における検証結果



図-8 かき揚げられたしさ

(2) 雨天時における検証

雨天時に雨水を通水させたときに各スクリーンでかき揚げられたしさの推定量を図-9 に、ビデオ撮影データの一部を図-10 に示す。

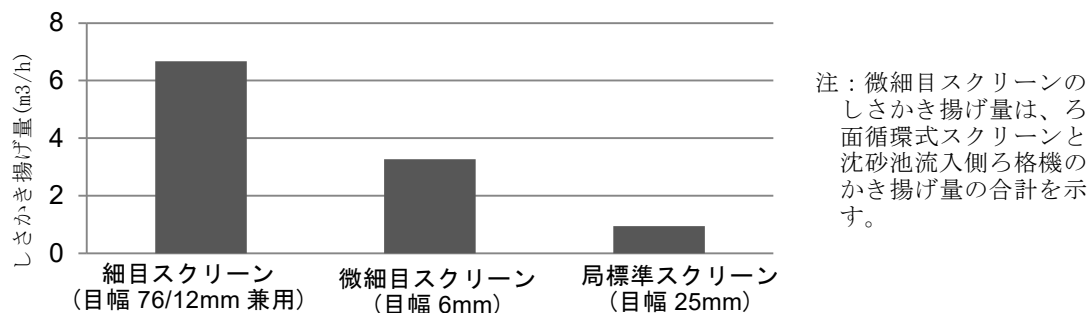


図-9 雨天時における検証結果



図-10 ビデオ撮影データ

図-7、9 より、微細目スクリーンのしさかき揚げ量は、晴天時には局標準スクリーンの約 10 倍、雨天時には約 4 倍となっている。また、細目スクリーンにおいては晴天時および雨天時ともに局標準スクリーンの約 10 倍のしさをかき揚げており、それぞれのスクリーンの除じん性能が局標準スクリーンに対して向上していることが分かる。

今回の検証では、微細目スクリーンによる除じん効果が細目スクリーンと比較し、同等またはそれ以下となってしまったことの理由として、以下の 2 点が考えられる。

- ① 雨水沈砂池 6 号池は、流入水路の末端にあり、3 号池に比べしさが流入しやすい。
- ② 図-8 のかき揚げられたしさを比較すると、微細目スクリーンには泥状のしさが少ないことから、搬送のための洗浄水スプレーやスクリュウコンベヤによりしさの一部が破碎され測定できなかった。

また、本検証期間中における細目スクリーンの運転中には、過トルク等のトラブルは発生しなかった。

5 おわりに

本検証結果から、細目スクリーンは局標準スクリーンと比較して除じん性能に効果があり、環境負荷の低減につながる事が分かった。

参考資料

- 「雨水ろ格機のスクリーン目幅縮小に関する調査（平成 17 年 3 月）施設管理部」
- 「羽田空港跡地利用 OTA 基本プラン（平成 20 年 10 月）東京都大田区」
- 「空港臨海部グランドビジョン 2030（平成 22 年 3 月）東京都大田区」

2-(2)-1 低動力型高効率遠心脱水機の導入による

温室効果ガス削減効果

西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター

スラッジ管理係 吉野武志

1 はじめに

東京都下水道局では「アースプラン 2010」を掲げ、温室効果ガス削減に向けて技術の向上に取り組んでいる。処理規模が大きく、他の処理場から汚泥を受け入れている新河岸水再生センターの脱水機としては安定性に優れる遠心脱水機を運用しているが、温室効果ガス削減のため、電力消費量が少なく高効率の遠心脱水機が求められるようになった。

このため、当センターでは低動力型高効率遠心脱水機（以下、「低動力型」という。）を平成 22 年 4 月から運用開始した。昨年のエコスクラムにて報告したとおり、脱水しにくい夏季の汚泥で取得したデータについて、従来の遠心脱水機に比べて低消費動力、低薬注率、低含水率ケーキが得られ、温室効果ガスの大幅な削減効果があることを確認した。

また、降雨前後の大きな変動に対して、より安定運用するために制御方法の見直しやソフト改造等の対策を実施し、これまでのところ安定した運転が継続できている。

本稿では平成 22 年度のデータを用いて温室効果ガス削減効果について報告すると共に、安定運用のための対策内容とその効果について報告する。

2 低動力型の特徴

低動力型は遠心脱水機の優れた維持管理性を維持しながら、図-1 に示す低消費動力、低薬注率、低含水率ケーキ機構を付加した新しい遠心脱水機である。

(1) マルチアングルビーチ

ビーチ部を二段にすることで固形物に対して常に高い圧密力・圧搾力が働き、低含水率ケーキを生産できる。また、従来機に比べて低遠心力で低含水率ケーキが得られるため、消費動力を大幅に低下させることが出来る。

(2) 排出半径の縮小

脱水ケーキ及び分離液排出半径を小さくすることで、排出時の動力損失を抑えて消費動力を低下させる。同一遠心力において消費動力は 20%削減可能である。

(3) 液深がより深く、ボウル容積が大きい

固形物の滞留時間が長くなり低含水率ケーキが得られる。

(4) ショートコーン

ショートコーンは汚泥が回転筒内に供給される際の汚泥層のかく乱を防止し、またフロック破碎を抑制することで、低薬注率で高い処理性能が得られる。

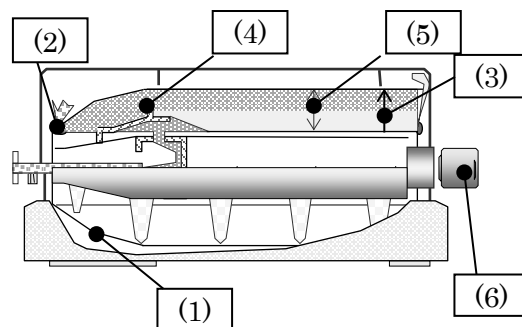


図-1 低動力型高効率遠心脱水機の特徴

(5) 分離液の液深が深い

分離液の液深が深く、固形物の沈降時間を長く確保できるため、高 SS 回収率が得られる。

(6) 省動力ギヤボックス

高減速比のギヤボックスの採用により、差動機にかかる負荷を低減でき、電動機容量を小さくすることができる。

3 比較調査

夏季及び冬季に、従来機と低動力型を同条件で運転し、処理性能比較調査を行った。

3.1 機器仕様

従来機、低動力型共に標準処理量は 30m³/h である。主電動機/差動機の電動機容量は従来機が 90kW/30kW、低動力型が 55kW/15kW となっている。低動力型は主電動機容量が 39%、差動機容量が 50%低くなっている。詳細を表-1 に示す。

表-1 機器の仕様

調査対象機	従来機	低動力型
標準処理量	30m ³ /h	30m ³ /h
主電動機容量	90kW	55kW
差動機容量	30kW	15kW
ギヤ比	80	242

3.2 汚泥性状

汚泥性状を表-2 に示す。TS は汚泥の固形分濃度のことである。VTS/TS は汚泥の有機物量の指標である。また、繊維状物 100 メッシュは汚泥中の繊維状物質の指標である。一般に、TS 及び繊維状物 100 メッシュは高いほど汚泥は脱水しやすく、VTS/TS が高いほど脱水しにくい傾向がある。

夏季、冬季の汚泥性状を比較すると、VTS/TS が同程度、TS 及び繊維状物 100 メッシュは夏季が低い値となっており、夏季の汚泥は脱水しにくく、冬季の汚泥は比較的脱水しやすい傾向と推測できる。

表-2 汚泥性状

調査時期	夏季	冬季
TS	1.53～1.72%(平均 1.61%)	2.31～2.75%(平均 2.50%)
VTS/TS	79.6～85.2%(平均 83.9%)	83.6～85.6%(平均 84.7%)
繊維状物 100 メッシュ	7.0～11.9%(平均 9.9%)	12.0～16.4%(平均 14.5%)

3.3 調査結果

3.3.1 遠心力の比較

夏季、冬季それぞれについて、遠心力とケーキ含水率の関係をそれぞれ図-2、図-3に示す。いずれの場合も遠心力を高くするとケーキ含水率は低下傾向を示す。低動力型は従来機と比較すると低い遠心力で高い脱水性を発揮している。参考として、遠心力 1,600G の時に 5～6%のケーキ含水率低減効果が確認された。

低動力型は脱水性が悪い夏季の汚泥についても従来機に対して低遠心力運転（従来機 2,000G に対し、低動力型は 1,200G）で、管理値の 77.8%(*1)以下を十分に満足するだけでなく、自燃域のケーキ含水率 75%(*2)以下を達成することができた。

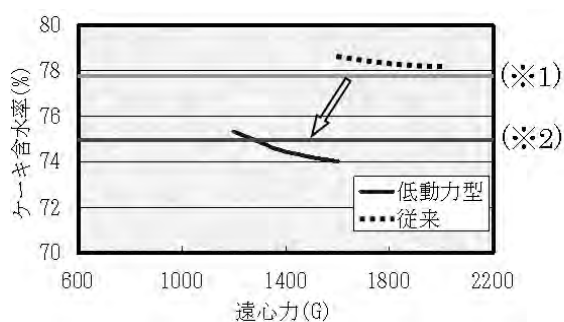


図-2 遠心力とケーキ含水率の関係（夏季）

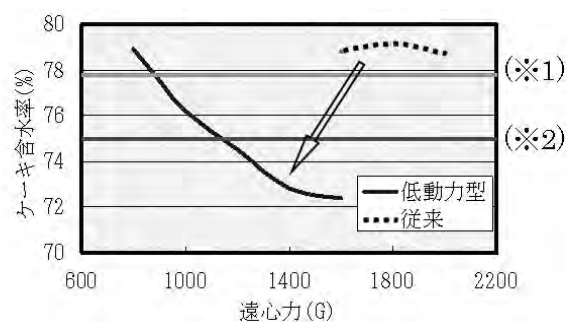


図-3 遠心力とケーキ含水率の関係（冬季）

3.3.2 薬注率の比較

夏季、冬季それぞれについて、薬注率とケーキ含水率の関係をそれぞれ図-4、図-5に示す。いずれの場合も薬注率を高くするとケーキ含水率は低下傾向を示す。低動力型は従来機に対して低遠心力運転（従来機 2,000G に対し、低動力型は 1,200G）で、かつ同一薬注率で 3～5%のケーキ含水率を低減した。

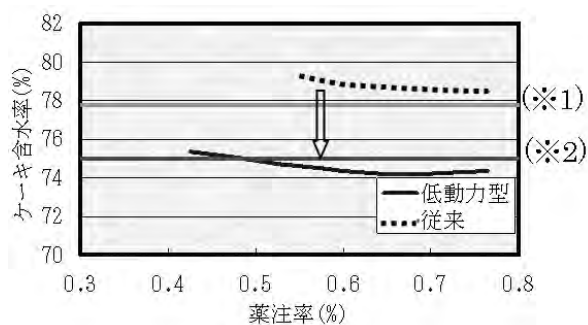


図-4 薬注率とケーキ含水率の関係（夏季）

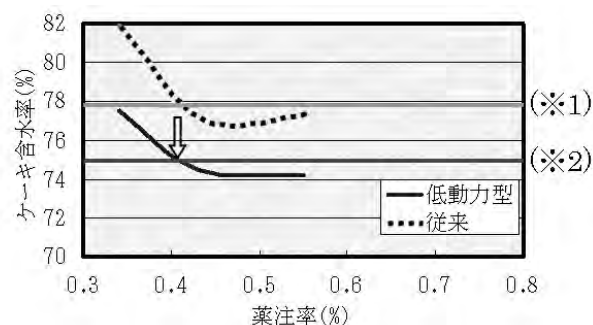


図-5 薬注率とケーキ含水率の関係（冬季）

3.3.3 総合評価

低動力型の遠心力、消費動力、薬注率の低減効果のまとめを表-3に、また、脱水機単独で評価した温室効果ガスの削減効果を表-4に示す。遠心力が 40～62%低い運転で、消費動力は 50～71%低下する。また、薬注率は 21～45%削減できる。温室効果ガスとして評価すると、約 43%の削減効果となった。

表-3 低動力型の低減効果

遠心力	40～62%
消費動力	50～71%
薬注率	21～45%

表-4 低動力型温室効果ガス削減効果

	従来	低動力型
温室効果ガス (kg-CO ₂ /m ³)	1.47～1.52	0.81～0.87 (43%減)

4 汚泥処理全体の温室効果ガス削減

新河岸水再生センターでは7台の遠心脱水機が稼動中である。仮に全7台を低動力型に改良した場合の汚泥処理全体の温室効果ガス削減効果を考える。

また、低動力型は低含水率ケーキが得られるため、自然域での運転が可能であり、都市ガスは焼却炉の昇温で使用するだけなので、使用量は90%程度削減できるものと見込める。前項の通り電力使用量、高分子凝集剤の使用量も削減可能であり、汚泥処理全体として評価すると、45%ものCO₂排出量を削減することが可能となる。

(t-CO₂/年)

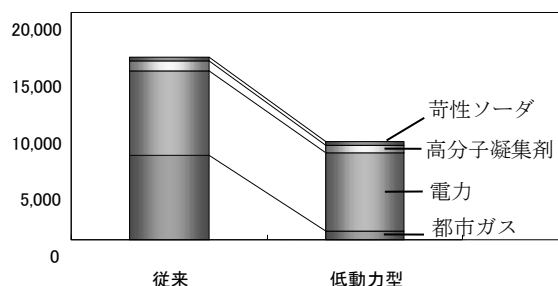


図-6 温室効果ガス削減効果
(汚泥処理全体)

表-5 温室効果ガス削減効果内訳(汚泥処理全体)

名称	削減前 (t-CO ₂ /年)	削減後 (t-CO ₂ /年)	削減率 (%)
都市ガス	7,420	742	90
電力	7,460	6,940	7
高分子凝集剤	803	579	28
苛性ソーダ	360	360	0
計	16,043	8,845	45

5 新たな運用方法の採用

当センターの処理区では排除方式が合流式であり、降雨前後では汚泥性状が大きく変動する。このため、晴天時と降雨時で運転条件を変える必要がある。まず運転条件を自動的に変化させるため、差速の制御方法を差速一定制御からトルク一定制御へ変更した。更に遠心力をワンタッチで簡単に減速することができる、遠心力選択システムを降雨前後でより有効活用するようにした。

また、降雨後でケーキ含水率が急激に低下しているときに、何らかの原因（例えば汚泥ポンプの軽故障等）で待機運転になると、振動が増幅することが判明した。そこで、待機運転時の振動防止及び効率的な洗浄方法を行うため、シーケンスの改良を実施した。

5.1 当センターの汚泥性状

汚泥性状の変動幅を表-6に示す。当センターは季節及び天気の影響による汚泥性状の変動が非常に大きく、脱水機にとって非常に大きな負荷変動を与えている。実際、降雨後に晴天時と同一運転条件で低動

表-6 汚泥性状の変動幅

TS	1.5～4.4%
VTS/TS	79～90%
繊維状物 100メッシュ	7～35%

力型を運転した場合、ケーキ含水率が 65%近辺になる事がある。

5.2 汚泥性状変動への対応

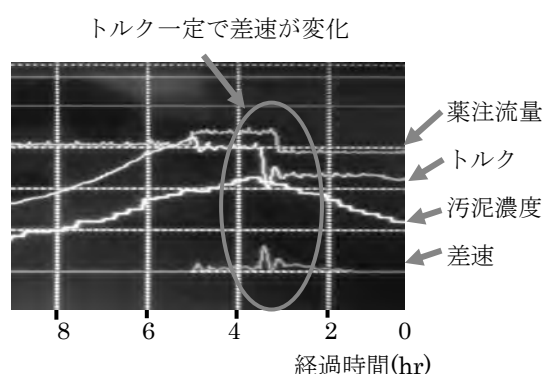
汚泥性状の変動に対応するため、トルク一定制御に変更した。

- (1) 差速一定制御：設定した差速になるように 0.1min^{-1} の精度で自動制御
- (2) トルク一定制御：差速が自動的に変化して含水率を一定に保つ制御

表－7 低動力型の制御方法

制御方法	制御目的	差速	トルク	含水率
差速一定制御	差速を一定	一定	変動	変動
トルク一定制御	含水率を一定	自動で変化	一定	一定

低動力型のトルク、汚泥濃度、差速のトレンドを図－7に示す。汚泥濃度の上昇に伴い、トルクが上昇している。差速が自動的に大きくなり、トルクを一定に保っていることがわかる。トルク一定制御に変更したことにより、自動的に差速を変化させてケーキ含水率を所定の範囲に保っていることから、トルク一定制御の有用性、信頼性を確認した。



図－7 低動力型のトレンド

5.3 遠心力選択システム

遠心力選択システムを図－8に示す。遠心力選択システムは、ワンタッチで遠心力を変えることができるシステムである。従来機の一部から採用しているシステムであるが、従来は変更できる遠心力が固定であったものに対し、低動力型の同システムは、遠心力を3段階に変更でき、更に対応範囲が高いシステムになっている。



図－8 遠心力選択システム

5.4 その他対策

待機運転時に差速を大きくし、洗浄水を供給するシーケンスに改造することで機内の固形物排出が促進され、振動を抑制した。更に振動モニタを増設し、監視を強化した。

6 おわりに

低動力型は、低遠心力、低薬注率、低消費動力で低含水率ケーキが得られ、温室効果ガスの大幅な削減が可能である。併せて、汚泥性状の大きな変動に対応するため、新たな運転方法を採用する事によって更に安定的な運用が可能になった。

今後も低動力型を優先号機として運用すると共に、更なる温室効果ガス削減に向けたより高効率な運転、運用方法の検討に注力をする所存である。

2-(2)-2 小菅水再生センター アンモニア+D0 制御の事後評価

計画調整部 技術開発課 齊藤 正二

1. はじめに

当局の水再生センターで運用される一般的な下水処理法では、下水中に空気を吹き込むことで下水中の微生物の働きを活性化させ、有機物を処理しているが、空気を下水中に微細な気泡として吹き込む際には多くの電力を要する。

当局では、国際的な課題となっている地球温暖化への対策として「アースプラン 2010」を策定し、温室効果ガスの排出量削減に取り組んでおり、中でも「徹底した省エネルギー」を大きな柱として位置付けている。また、東京湾の富栄養化対策として、放流水質の向上にも継続して取り組んでいる。

こうした中で当局では、処理水質を維持しつつ送風量を削減し、水処理工程で消費する電力量の削減ができる送風量制御システムの一つとして、硝化制御システムを一部の水再生センターに導入している。しかし、状況によっては送風量削減効果が低い場合もあった。

そこで、より安定して処理水質を維持しつつ送風量を削減できる、新たな送風量制御システムを開発し、その効果を検証したので報告する。

2. 従来の送風量制御システムの課題

従来の送風量制御としては大きく、風量一定制御、D0 一定制御、硝化制御の三つに分類される。これらの制御システムの特徴と課題を以下に示す。

(1) 風量一定制御

目標送風量を設定し、設定された送風量になるように制御する方式である。シンプルな制御方式であるが、常に一定の空気を送風するため、送風量の無駄が多くなる。

(2) D0 一定制御

設定された目標 D0（溶存酸素）濃度になるように送風量を制御する方式である。制御が安定しており、反応槽に流入する水量・水質に応じて送風量が変化するため、流入水質などが安定した条件下では送風量の無駄が少ない。しかし、D0 によるフィードバック制御であるため、急激な負荷変動時には D0 変動後の対応となりリアクションが遅れることから、常に余裕を持った送風を行う必要がある。

(3) 硝化制御

設定された目標アンモニア濃度になるように送風量を制御する方式である。硝化促進が安定している場合、D0 一定制御より送風量を低減できる。しかし、低水温などの理由から硝化が進まない時には、送風量が設定値上限に固定されてしまう問題があった。また、降雨などで流入基質が薄まった場合、アンモニア濃度も低くなることで硝化が完了したと判断されてしまい、有機物の酸化に必要な空気が供給されなくなる場合があった。

これらの制御が抱える課題は、D0 またはアンモニア濃度のどちらか一方のみを指標として用いることに由来している。そこで D0 及びアンモニア濃度の両方を指標とした送風量制御システムを考案し、その効果を検証することとした。

3. 新制御システムの特徴

今回、考案した送風量制御システムは、以下の二つである。

- (1) D0 安定制御
- (2) 可変 D0 制御

以下に、それぞれの特徴を示す。

3. 1 D0 安定制御

D0 安定制御のフロー図を図 1 に示す。本制御は、基本となる送風量を D0 一定制御と同様の手法で算出し、算出された送風量を計測した反応槽内のアンモニア濃度による増減を行い、補正する制御である。本制御は、負荷が急激に変動してもアンモニア濃度の変化を計測し補正することで、D0 低下前に送風量を増加するなどの対応が可能である。そのため、従来の D0 計のみによる D0 一定制御のように D0 に余裕を持たせておく必要がなく、送風量を低く抑えることができる。

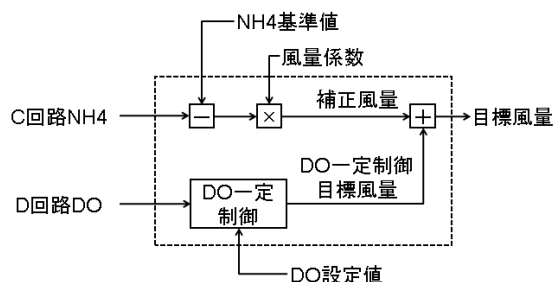


図 1 D0 安定制御のフロー図

3. 2 可変 D0 制御

可変 D0 制御のフロー図を図 2 に示す。本制御は、計測した反応槽内のアンモニア濃度に応じ、本来は手動で設定する D0 一定制御の D0 設定値を自動的に変化させる制御である。本制御は、反応槽内の水質に応じて D0 設定値を自動的に変化させるため、常に必要十分な D0 設定値での運転を行うことができる。通常の D0 一定制御では、水質に応じてオペレータが随時 D0 設定値を変えることは、特に雨天時等には困難である。本制御は、その操作を自動で行うため、通常の D0 一定制御に必要な余裕を持たせた運転が不要であり、送風量を低く抑えることができる。

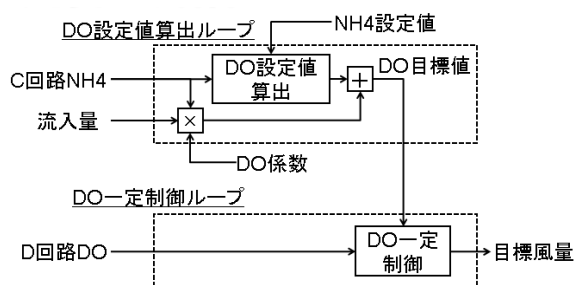


図 2 可変 D0 制御のフロー図

3. 3 事前検証について

考案した二つの新制御システムについては、いずれもアンモニア濃度の測定値を用い、送風量を変更するものであり、同様のコンセプトで考えたものである。

平成 20 年度に小菅水再生センターで両制御について試験を行い、検証した結果、可変 D0 制御の方が D0 安定制御より電力削減効果が高いことが確認できた。なお、水質はどちらの制御においても良好であった。したがって、可変 D0 制御を実際の水処理施設において性能評価を行うこととした。また、この可変 D0 制御について、アンモニア濃度と D0 値を基に制御することから、アンモニア+D0 制御と呼称することとした。

4. 新制御システムの性能評価

アンモニア+DO 制御システムの性能評価のため、実際の水処理施設を活用し、性能評価を行った。送風量削減効果は、送風倍率の比較で検証した。また、制御の安定性や処理水質についても評価を行った。

4. 1 事後評価箇所

事後評価は、小菅水再生センター東系処理施設で実施した。東系処理施設は、1-1 号槽から 1-4 号槽までの 4 槽で構成されている。特徴としては、全槽 A0 法を採用していること、本田ポンプ所から長時間かけて圧送された汚水が第一沈殿池に直接流入するため、負荷及び水量の変動が多いことがあげられる。

4. 2 システム構成

本検証におけるシステム構成を図 3 に示す。

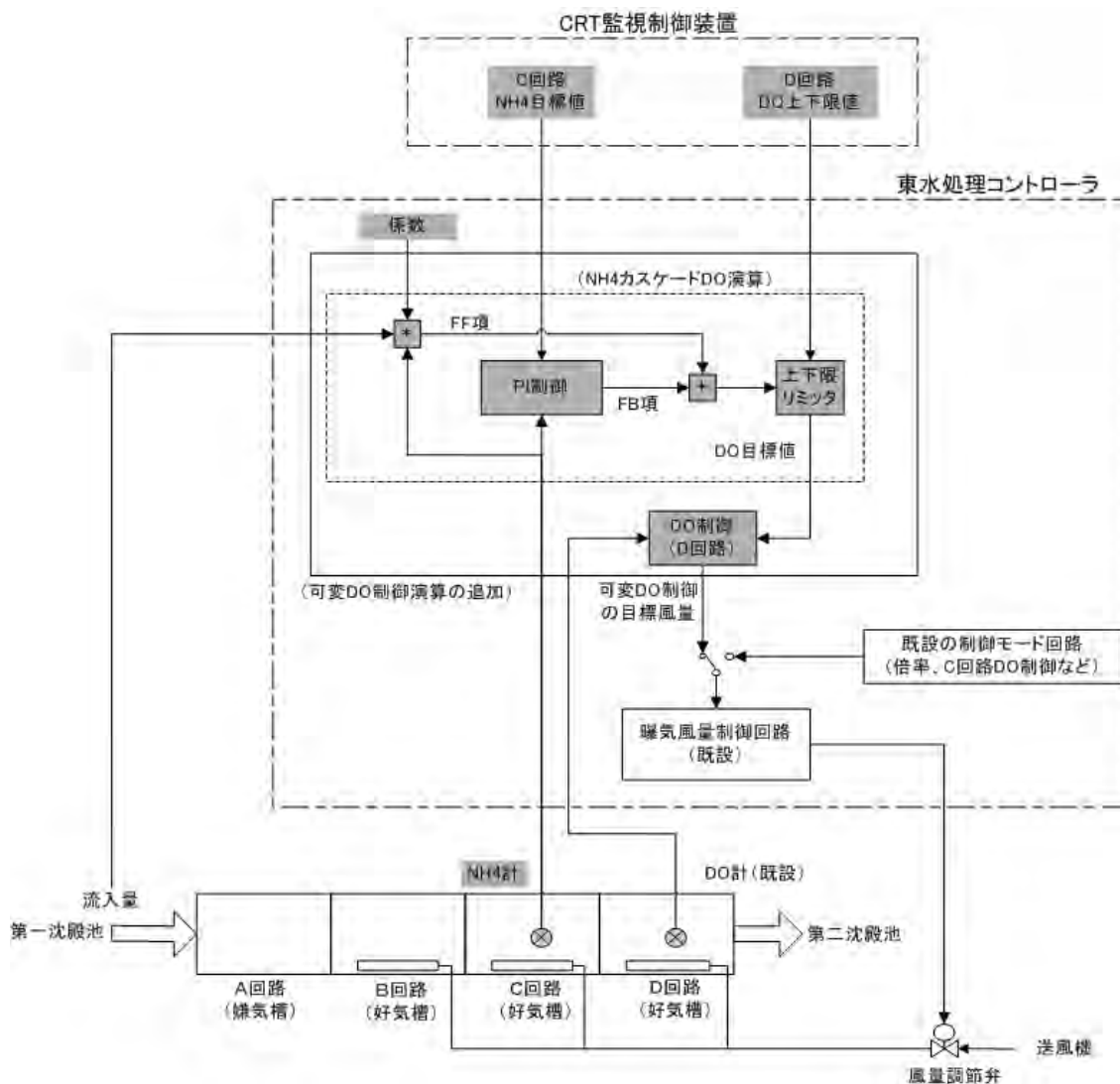


図3 アンモニア+DO 制御 概略システム構成

5. 新制御システムの検証結果

5. 1 晴天時の運転状況

晴天時の運転状況を図4に示す。水温は15.8℃、流入量はおおよそ500～1500m³/hの範囲で、数時間ごとに増減を繰り返している。また、MLSSは、計器平均値で約2300mg/Lである。

(1) 新制御の動作状況

1号池C回路NH₄は、600m³/h程度の低流量時では目標値2.0mg/Lより、多少低い0.8mg/Lまで低下しているが、流入量が増加すると、概ね目標値2.0mg/L付近に維持されている。また、1号D回路DOは、C回路NH₄に応じて変化し、低流量時では、下限DOの1.5mg/Lに、高流量時では、上限DOの2.5mg/Lとなっている。

低流量時では、D回路DOは、2号池より3mg/L程度低く、C回路DOも0.5～1.0mg/L程度低くなり、このため、曝気風量も小さくなっている。また、D回路DOが下限DOとなっても、C回路NH₄は目標値を下回ったままであることから、硝化の観点からは下限値1.5mg/Lは高めの値と考えられる。なお、下限風量でもD回路DOを下限DOに下げることができない場合もある。

高流量時では、D回路DOは、2号池D回路DOが流量増加に伴い低下するため、2号池との差は、ほぼなくなるが、C回路DOは逆に1mg/L程度、高くなり、曝気風量も大きくなっている(図中a部)。これは、DO制御点の違いによる制御特性の差異と考えられる。すなわち、可変DO制御の制御点はD回路であり、D回路の酸素消費速度に見合った風量が各回路に均等配分されるのに対して、制御点がC回路のDO制御では、C回路酸素消費量に応じた風量となり、D回路DOは、負荷状況に応じて、成り行きで変化する。高流量時では滞留時間が小さくなり、C回路までのNH₄除去が進まなくなるため、C回路の酸素消費量は、D回路に比較して小さくなっていると思われる。このため、1号池曝気風量は2号池より高くなり、また、C回路DOも高くなっていると考えられる。

(2) 風量削減効果

水質試験期間(2日間)の風量削減率(曝気倍率で評価)は、約10%となっているが、主にC回路・D回路DOが2号池より低下している低流量期間で風量削減されており、C回路DOが大きくなっている高流量時では、逆に、風量が大きくなる場合もある。可変DO制御による風量削減においては、高流量時に対応した上限DOを適切に行なうことが重要となる。

(3) 処理水質

(ア) NH₄-N

1,2号池D回路NH₄は、0.1～0.3mg/L程度で大きな差異はなく、試験期間では、硝化は良好に行われていると考えられる。なお、3/3日、3/4日の日常分析値(10時)は1号池のみ測定されているが、この時の値は、分析に使用した計器が異なるためか、0.7mg/Lと9,11時の水質試験分析値0.2mg/Lより、かなり高くなっているが、管理目標値以内である。

(イ) TN、NO₂-N、PO₄-P

1,2号池ともに、TNは、7.0～10.0mg/L、NO₂-Nは、0～0.3mg/L程度であり、多少、2号池の値が大きい時間帯があるが、大きな差異はない。また、PO₄-Pは、1,2号池ともに、概ね、0.1～0.2mg/Lであり、特に大きな差異はない。

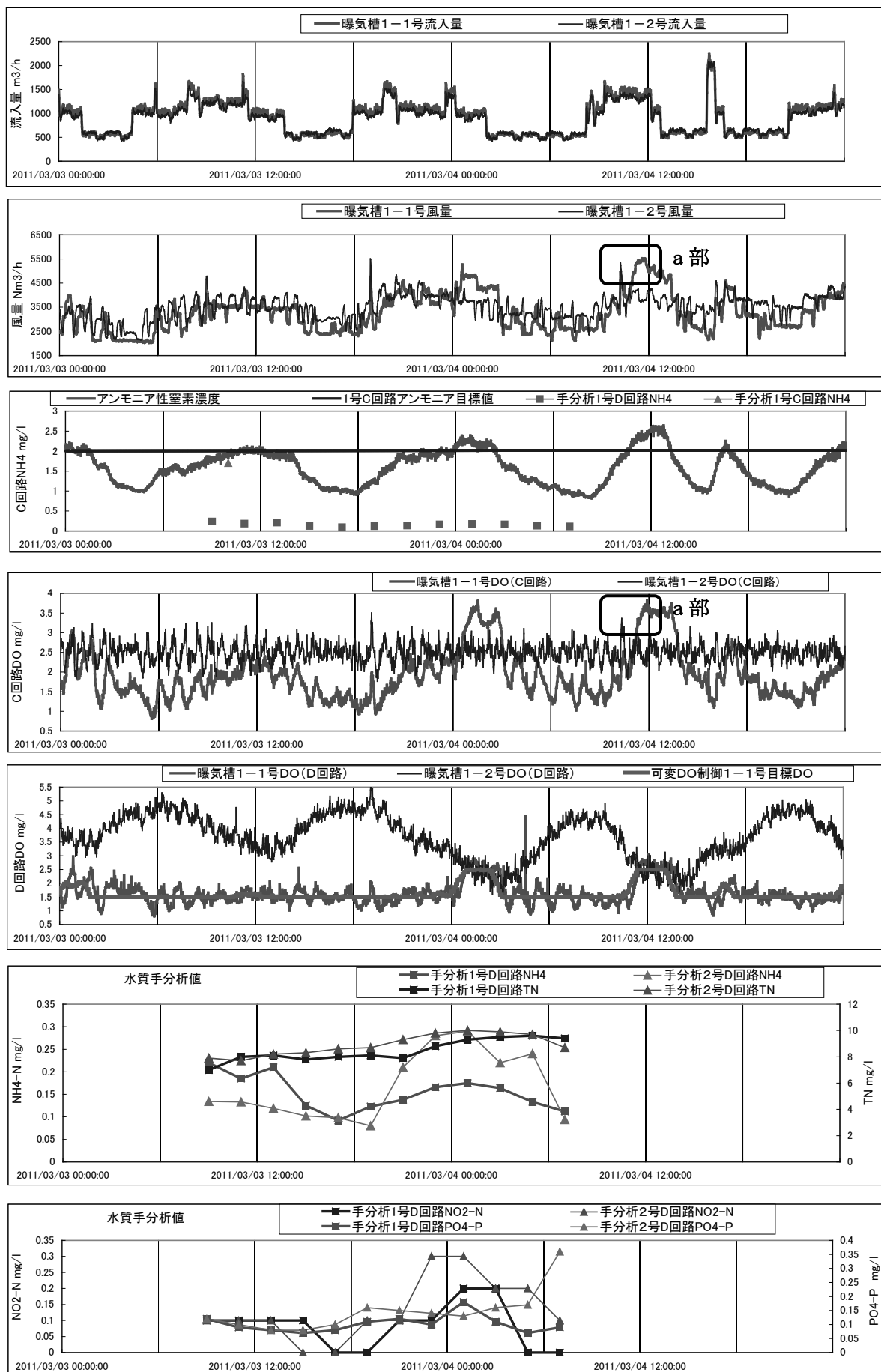


図4 晴天時運転状況 (2011/3/3~3/4、水温 15.8°C、MLSS2316mg/L)

5. 2 降雨時の運転状況

降雨時の運転状況を図5に示す。6月16日18時頃から断続的に6月17日の15時頃まで降雨があり、水温は22℃から20℃程度に低下し、その後、緩やかに回復しつつある。流入量は6月16日18時頃に2000m³/hに急増し、6月17日15時頃まで2000m³/hの高流入が続いた後、緩やかに通常の流量付近まで戻っている。また、MLSSは、流入量が急増したため、1500mg/Lから1300mg/L程度まで低下している。

(1) 新制御の動作状況

降雨前の1号池C回路NH₄は、0.5mg/L程度と目標値3mg/Lより、かなり低く、D回路DOも下限値1.5mg/Lになっているが、降雨により高流量でNH₄濃度が低い流入水（以下、初期雨水と記載）が流入すると急増し目標値を大きく超える。これに伴いD回路DOは上限値2.5mg/Lに張付くが、C回路NH₄は、4時間程度、5mg/L（計器レンジ）以上が継続している。その後、高流量であるが低NH₄濃度の雨水（以下、単に雨水と記載）が流入することにより、0.2mg/L程度まで急減している。

初期雨水流入時のD回路DOは、晴天時の高流量時と同様に、2号池D回路DOの急減にともない、2号池とほぼ同じ値まで低下しているが、C回路DOは2号池より大きくなり、曝気風量も大きくなっている。雨水流入期間では、低負荷のため、曝気風量は1，2号ともに下限風量となり、C回路、D回路DOともに大きく上昇する。

(2) 風量削減効果

上記期間（2日間）の風量削減率は約12%であったが、降雨前の6月16日0時～17時までは、約20%削減であり、初期雨水期間の6月16日18時～6月17日6時までは、逆に約9%増加している。また、雨水流入期間は、1,2号池とも、ほぼ下限風量に張付いており、風量削減は無しとなっている。このため、降雨の影響を受ける期間では、晴天時より風量削減効果は減少することになる。なお、初期雨水の流入期間では、D回路NH₄を管理目標値以内にできないので、上限DOを高めに設定すると、晴天時の高流量時と同様、曝気風量は2号池よりかなり高くなるので、上限DOの設定には特に注意が必要である。

(3) 処理水質

上記期間における水質測定は、日常10時の測定のみであるが、降雨前の1号D回路NH₄は0.5mg/L程度であった。初期雨水流入時の測定は行なわれていないが、1号D回路NH₄は、C回路NH₄がレンジオーバーとなっていることから、管理目標値1mg/Lをかなり超えていると思われる。

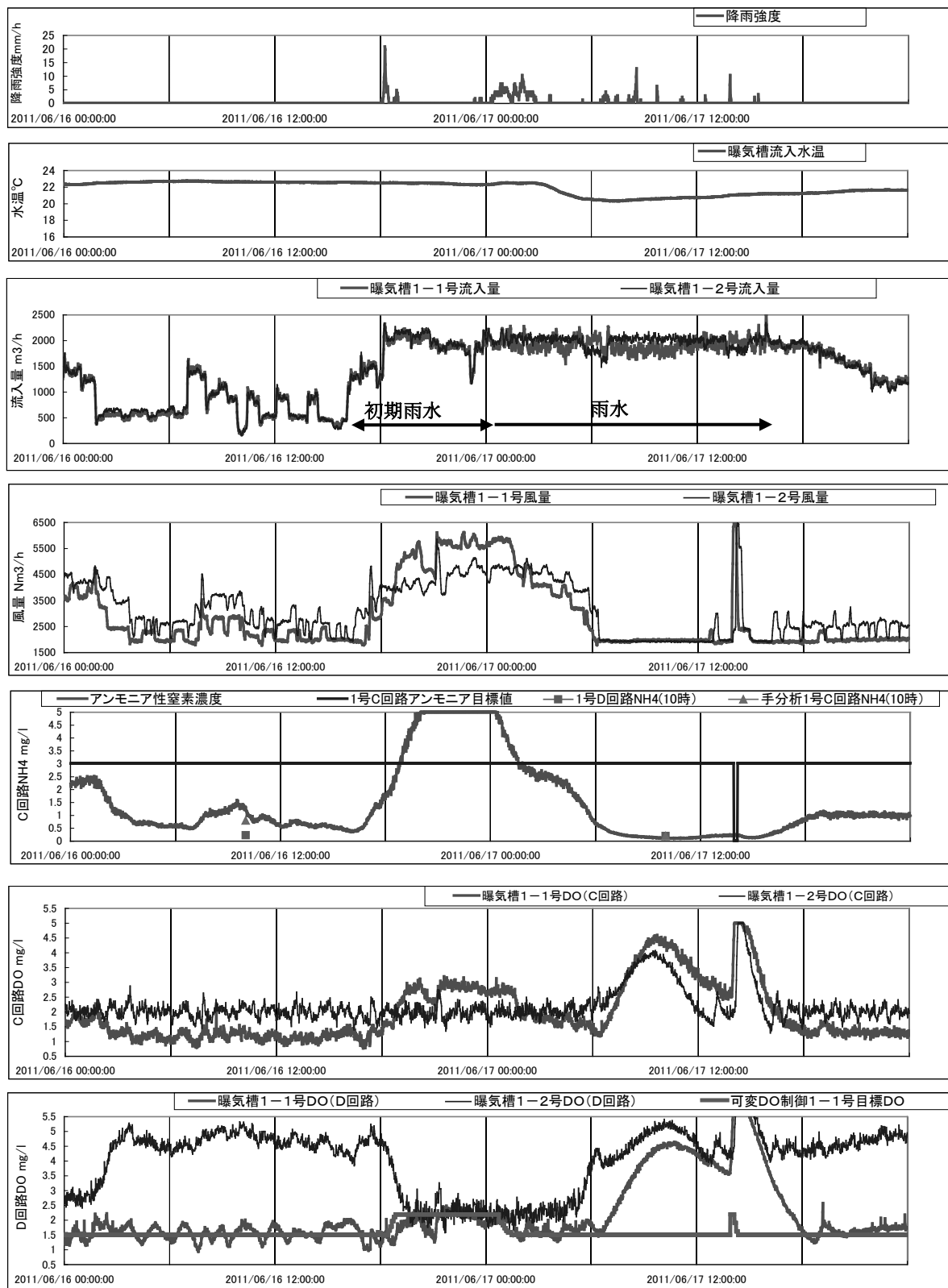


図5 降雨時運転状況 (2011/6/16~6/17、水温 21.9℃)

5. 4 新制御システムの適用条件

今回の事後評価により得られた結果から、適用できる条件について整理した。

適用条件としては、硝化が可能な機場であること、反応槽の DO 制御が可能なことである。また、経済性としては、DO 一定制御と比較するとアンモニア計を新たに設置する必要があるため、新制御システムによる電力削減効果とアンモニア計の維持管理費を考慮し、設置する必要がある。

6. まとめ

今回、実施した事後評価により、DO 及びアンモニア濃度の両方を指標とする送風量制御を行うことで、送風量の削減を行うことができ、且つ処理水質も維持できることが示された。

今後は、事後評価の結果を基に新制御システムの本格導入を図り、水処理工程における消費電力の削減に取り組み、温室効果ガスの排出削減に取り組んでいく。

2-(3)-1 準高度処理の導入による窒素の削減と送風電力の抑制

中部下水道事務所芝浦水再生センター設備管理係 横井 徹

1 はじめに

芝浦水再生センター(以下、当センター)の処理区域は千代田・中央・新宿・港・渋谷区という都心区のため、昼間人口が多く夜間人口が少ない。そのため、流入下水量(日量 65 万 m^3)の昼夜間の変動が 3~4 倍と大きく、安定した窒素除去に欠かせない反応槽内の処理時間が不安定となる状況がある。

また、オフィビルや商業施設の集積が多いため、流入下水には高い濃度の全窒素(主にアンモニア性窒素)が多くなっており、その濃度は、区部セン

ターの平均約 30mg/L に比べ 1.5 倍ほど高い。このため、水温低下による微生物の活動が弱まる冬期では、放流水中の全窒素の濃度が「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」の水質基準である 30mg/L 近くになることがある(図-1)。

一方で、当センターには流入下水量の変動を平準化させる貯留施設や、効率よく脱窒できる A_2O 施設がない。このため運転方法での窒素抑制対策として、流入幹線内で汚水貯留を行うことにより、流入下水量を平準化することや、脱窒のための硝化促進運転を実施してきた。さらに、平成 23 年の冬期(1 月~3 月)は、反応槽への流入水量をより平準化させるため、昼間のピーク流入下水をカットし、それを流入水量が少ない夜間に処理することを目的に、①既設雨天時貯留池に、昼間の流入下水(1.6 万 m^3)を一時的に貯留し、夜間に幹線に返水して処理することや、②昼間の流入下水の一部(1.0 万 m^3)を三河島へ振り替え、逆に夜間は流入下水を増やすことなどを行った。しかし、依然として冬期の窒素は高濃度であるため、安定的に窒素処理できるハード的対策が必要となっている。

今回は既存の標準法の本系深槽反応槽 4 号槽を、窒素除去に効果がある準高度処理設備に改良することを実施した。平成 23 年度から同反応槽の実運転に入ったため、この窒素削減効果を報告する。また同時に同 4 号槽に高効率型散気板を導入したので、この電力削減効果についても報告する。

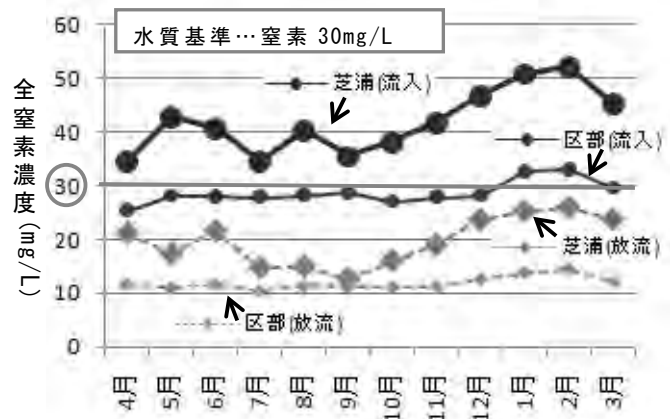


図-1

平成 22 年度流入、放流水全窒素濃度(月平均)

2 準高度処理法の原理

準高度処理とは、標準活性汚泥法の水処理施設において、機器の設置スペース確保など一定の条件を満たす場合に、既存施設の設備改良などと運転管理の工夫を組み合わせることで、窒素やリンの削減効果を高める水処理方法のことである。

当センターに導入したシステムは、反応槽後段に空気を十分に吹き込むことで硝化を促し、生じた硝酸の一部を循環ポンプにより反応槽前段に戻し、反応槽前段には攪拌機

を設置すると共に隔壁を設け無酸素槽とすることにより、窒素ガスを空气中に放出する(脱窒)施設である。なお、当センターに導入した準高度処理設備は、深槽反応槽の流入側(A回路)と流出側(D回路)が隣り合わせのため、効率よく硝化液を循環させることができるというメリットがある(図-2)。

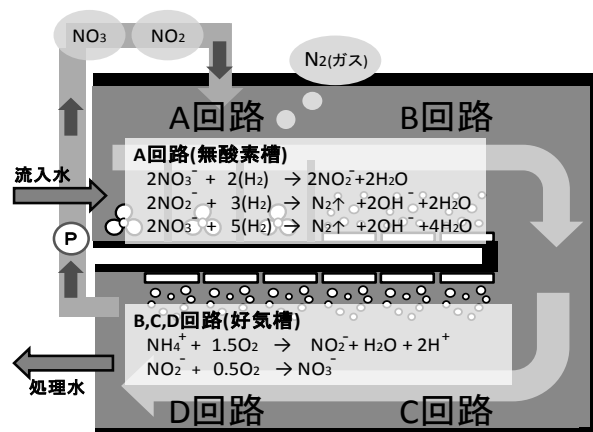


図-2 準高度処理フロー

3 準高度処理設備の導入

当センターには、本系(浅槽反応槽、深槽反応槽(東)(西))、西系、東系の小処理施設があり(図-3)、各系列の一日当たりの処理能力は、本系:580,000m³、西系:100,000m³、東系:150,000m³である(合計 830,000m³)。今回は、センター全体の処理水量の約半分を占める深槽反応槽 6 槽の内、4 号槽について、標準法設備(図-4)から準高度処理設備(図-5)への改良を行った。準高度処理化に伴い導入した設備は以下のとおりである(表-1)。

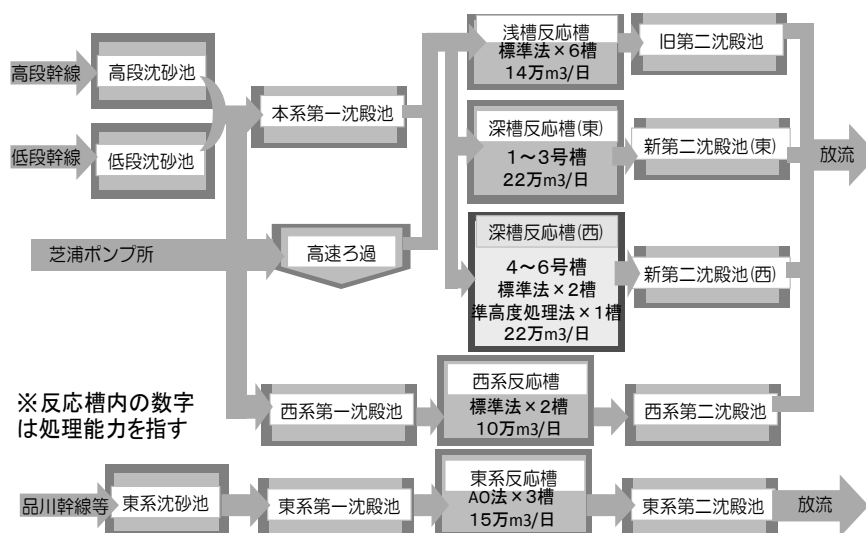


図-3 芝浦水再生センター処理フロー

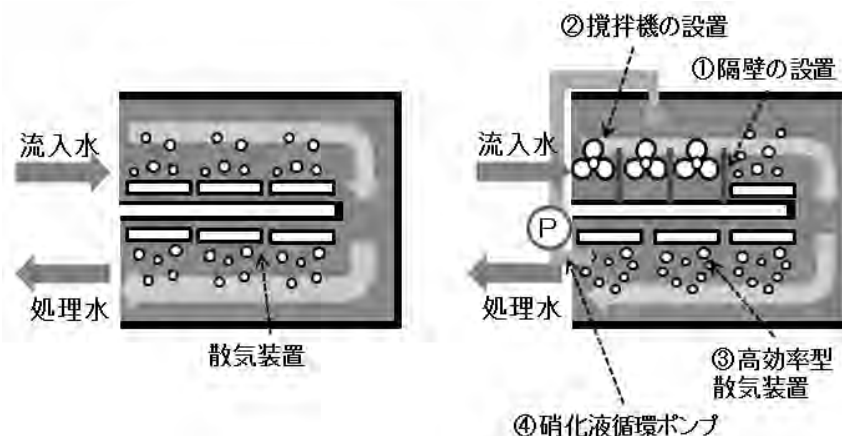


図-4 改良前の反応槽

図-5 改良後の反応槽

- (1) 反応槽を無酸素槽と好気槽に分割するために、反応槽前段に隔壁を設置した。
- (2) 活性汚泥濃度を均一にするために反応槽前段に攪拌機を 3 台設置した。
- (3) 酸素移動効率を向上させるため、従来型散気板を高効率型散気板に変更した。
- (4) 硝化液による脱窒を行うために、硝化液を反応槽後段側から反応槽前段へ送るための硝化液循環ポンプを設置した。

表－1 本系深層反応槽仕様

		深槽反応槽(西)4号槽 準高度処理	深槽反応槽(西)5～6号槽 標準法
反応槽	槽形状(m)	幅 9.1×長さ 182.6×高さ 10.2	
	散気方式	旋回流方式	
	設計流入流量(m ³ /日)	72,000/日/槽	
	槽容積(m ³)	16,890/槽	
	処理能力(m ³ /日)	67,500/槽	
攪拌機 (設置台数、動力)		1.5kW×1 台	なし
		11kW×2 台	
散気板	散気装置	高効率型散気板	散気板
	寸法	100mm ^W ×300mm ^L ×15mm ^t	300mm ^W ×300mm ^L ×30mm ^t
	最大気孔径	260μm	400μm
	設置枚数	8,064 枚	2,520 枚×2 槽
	材質	セラミックス	磁器
	施工年	平成 23 年	平成 9 年
硝化液循環ポンプ	電動機出力	11kW×400V×50Hz	なし
	回転数	1,010min ⁻¹ (流量:750m ³ /h)	

4 調査概要

準高度処理設備に改良した深槽反応槽 4 号槽について、平成 23 年 4 月～7 月間の実績運転データを基に、窒素の削減効果と使用電力の変化について検証する。調査項目は以下のとおりである。

4.1 準高度処理導入による窒素の削減効果

準高度処理化した深槽反応槽 4 号槽の窒素削減効果を調べるため、標準法の 5 号槽と窒素除去効果を比較する。

なお、4 号槽は 5 号槽と第二沈殿池を共有しているため、処理水での比較はできない。このため、各反応槽出口の無機性窒素濃度(アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素の合計)を比較することで、窒素の除去効果を検証する。

4.2 酸素移動効率測定結果

高効率型散気板を導入した深槽反応槽 4 号槽と、従来型散気板の深槽反応槽 3 号槽の酸素移動効率を比較する。3 号槽は 4 号槽と反応槽中の処理水の流れが似ていることから、この 2 槽を比較することにより高効率型散気板の効果を検証する。

4.3 反応槽への送風空気量および使用電力量について

深槽反応槽 4 号槽と 5 号槽の送風空気量および使用電力量を比較する。これにより 4

号槽に導入した高効率型散気板の酸素移動効率の向上による送風空気量の削減効果を検証する。

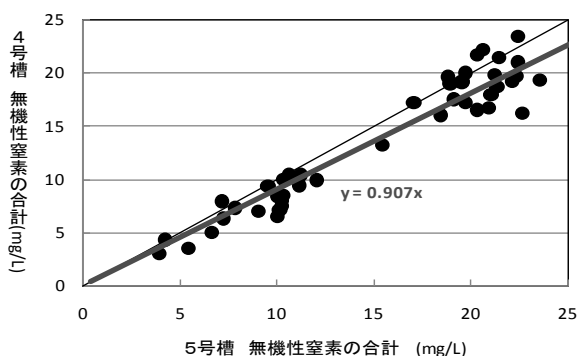
4.4 深槽反応槽 4～6 号槽一体の準高度処理化による効果予測

標準法の深槽反応槽 5、6 号槽についても 4 号槽と同様の準高度処理化を進めている。4 号槽によるデータ知見から、深槽反応槽 4～6 号槽の一体稼働後の窒素除去と電力削減効果を予測する。

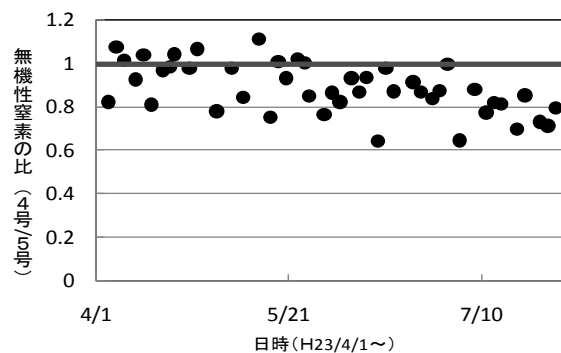
5 調査結果

5.1 準高度処理導入による窒素の削減効果について

平成 23 年 4 月～7 月までの日常試験時の無機性窒素濃度データを使い、4 号槽と 5 号槽の相関関係について調査した。深槽反応槽 4、5 号槽の処理条件は、1 日あたりの反応槽への流入量が 40,000～50,000m³、水理学的滞留時間 HRT(槽容量[m³]×24[h]／1 時間あたりの反応槽流入量[m³])は 8.5h～10h、4 号槽の 1 時間あたりの硝化液循環量は 750m³である。



図－6 無機性窒素濃度比（4 号槽：5 号槽）



図－7
無機性窒素濃度比（4 号槽／5 号槽）

(1) 無機性窒素濃度の合計での比較（図－6）

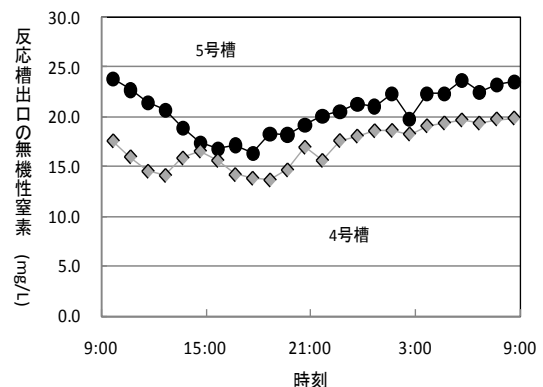
無機性窒素の濃度は、5 号槽に比べ 4 号槽側で低いデータが多く、4 月～7 月までの期間で平均 10%程度低くなっている。

(2) 無機性窒素濃度比の時間変化（図－7）

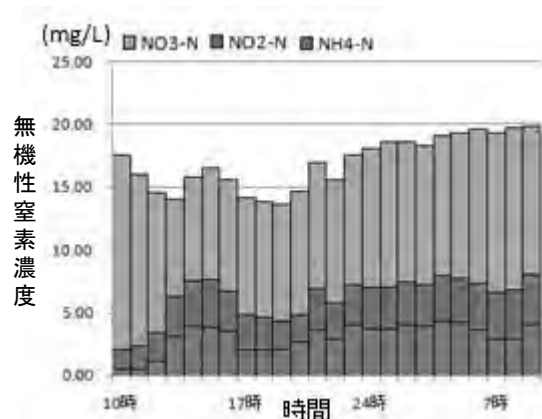
4 月～7 月間の濃度変化状況をより詳しくみるため、無機性窒素の比(4 号槽／5 号槽)の時間変化をグラフ化したところ、5 月中旬頃から無機性窒素比が低下する傾向がみられた。これは 4 月の運転開始以降、硝化の進行や DO 設定値の調整などによって、準高度処理に適切な運転状態に近付いてきたためと考えられる。

(3) 無機性窒素濃度の 24 時間変動（図－8、図－9、図－10）

深槽反応槽 4 号、5 号槽の(平成 23 年 7 月 27～28 日)24 時間の無機性窒素濃度の変化である。時間帯によって両者の差が若干変動するが、常に 4 号槽側が低い結果となった(図 8)。また無機性窒素の内訳(図 9, 図 10)を見ると、5 号槽に比べ 4 号槽の方がアンモニア性窒素の硝化が進んでおり、準高度処理による窒素除去効果が表れている。

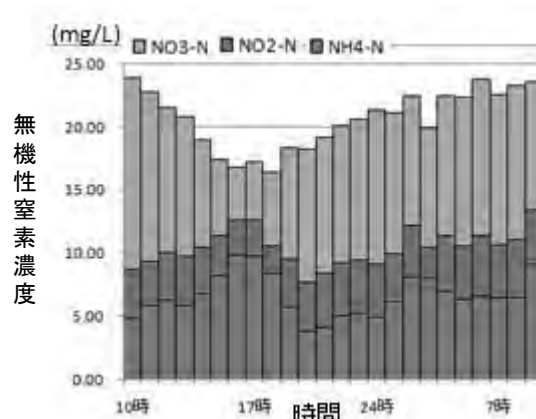


図－8 反応槽出口での無機性窒素濃度



図－9

4号槽出口での無機性窒素濃度（内訳）

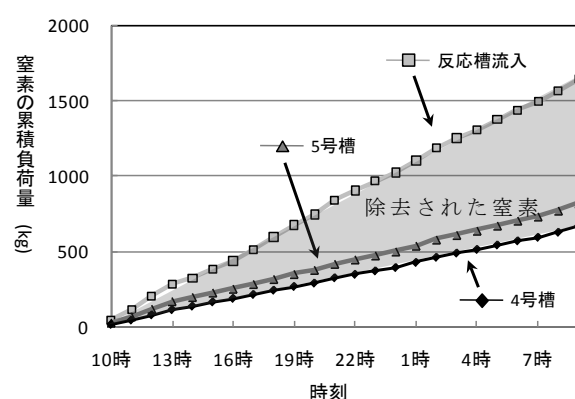


図－10

5号槽出口での無機性窒素濃度（内訳）

(4) 窒素累積負荷量による比較（図－11）

図8での4号槽と5号槽の窒素濃度差を詳細に比較するため、水量をかけた負荷量をグラフ化した。両反応槽への窒素の負荷量が約1,600kg/槽/日なのに対して、5号槽からの排出量が約830kg（除去率51%）、4号槽からの排出量が約670kg（除去率59%）となり、4号槽の窒素除去率は8ポイント高くなった。また4号槽の窒素除去率59%という値は、準高度処理設備の窒素除去率の設計値である50%という値も満たしている。



図－11 窒素累積負荷量

5.2 酸素移動効率測定結果について（表2～4）

従来型散気板の4号槽について、オフガス法により酸素移動効率を比較した。酸素移動効率とは、反応槽に供給した空気中の酸素がどの程度曝気液に溶解したかという指標であり、溶解した酸素量と反応タンクに送られる空気量の酸素量の比から求まる。酸素移動効率が高ければ、反応槽への送風空気量を抑えることができるため、送風機電力の削減にとって重要な指標である。

表－2 本系深槽反応槽仕様

		4号槽 準高度処理	3号槽 標準法
反 応	槽形状(m)	幅 9.1×長さ 182.6×高さ	
散 気 板	散気装置	高効率型散気	散気板
	設置枚数(枚)	8064	2520
	寸法(mm)	100W×300L×	300W×300L
	有効発泡面積(m)	0.03	0.0748
	最大気孔径	260	400
発泡面積比(%)		18.36	13.12
施工年		平成 23 年	平成 21 年

(1) 比較対象槽の仕様(表-2)

従来散気板の3号槽に比べ、今回導入した高効率散気板の4号槽の気孔径は小さく、槽に対する発泡面積比は3号槽の約13%に対し、4号槽は約18%である。

(2) 酸素移動効率の比較(表-3,4)

深槽反応槽4号槽の清水ベース(散気水深5.00m)の酸素移動効率の平均値は23.11%で、設計値

(23.1%)を満たすことができた。また従来散気板の深槽反応槽(17.51%)に比べて4号槽が高い値となった。また後述するが、この酸素移動効率の向上により従来の仕様の散気板に比べ、深槽反応槽4号槽の送風量および送風電力量を削減することができる。

表-3 深槽反応槽4号槽酸素移動効率測定結果

測定日	汚水(η_0)	清水(η_1)	清水(η_2)
平成23年3月	%	散気水深4m %	散気水深5m %
B回路	12.18	14.96	17.57
C回路	15.90	19.05	22.37
D回路	20.24	25.01	19.37
平均値	16.11	19.68	23.11

表-4 深槽反応槽3号槽酸素移動効率測定結果

測定日	汚水(η_0)	清水(η_1)	清水(η_2)
平成23年3月	%	散気水深4m %	散気水深5m %
B回路	9.79	12.58	14.75
C回路	12.08	14.62	17.17
D回路	15.69	17.53	20.58
平均値	12.52	14.91	17.51

5.3 反応槽への送風空気量および使用電力量について(図-12,13)

準高度処理化した深槽反応槽4号槽と標準法の深槽反応槽5号槽について、平成23年4月～7月にかけて、空気倍率(反応槽への送風空気量[Nm³]/反応槽の汚水流入量[m³])、反応槽末端のアンモニア性窒素濃度および使用電力量の各項目について比較した。

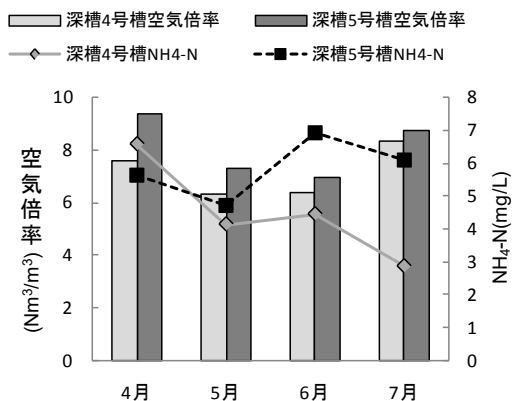
(1) 空気倍率および反応槽末端でのアンモニア性窒素濃度による比較(図-12)

4号槽と5号槽の空気倍率(月平均)を比較してみたところ、各月とも5号槽に比べて4号槽の方が4.5～19%程度少ない結果となった。

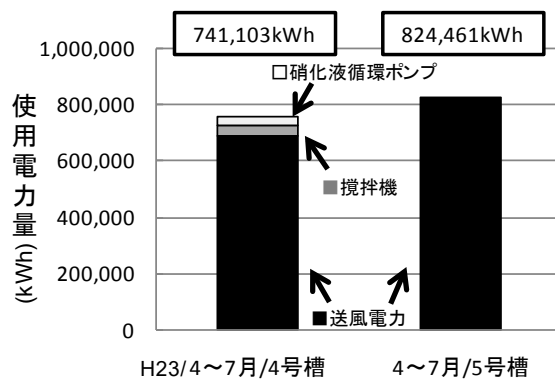
また反応槽末端でのアンモニア性窒素濃度(月平均)の比較では、4月以降、徐々に4号槽の濃度が低くなっており良好な硝化が進んでいることが伺われる。これらの両者のデータから5号槽に比べ、4号槽では少ない空気量で良好に窒素処理をすることができていると考えられる。この理由は、今回導入した高効率型散気板による酸素移動効率の向上と、準高度処理による処理が適切に機能したためと考えられる。

(2) 使用電力量による比較(図-13)

4号槽と5号槽における4月～7月の総使用電力量の比較を行った。酸素移動効率の向上による反応槽への空気量の減少により、5号槽に比べ4号槽(新たな硝化液循環ポンプと攪拌機使用分を含む)は、約10%の削減となった。



図－12 深槽反応槽 4,5 号槽空気倍率、



図－13 深槽反応槽 4,5 号槽使用電

5.4 深槽反応槽 4～6 号槽一体準高度処理化による効果予測（表－5）

深槽反応槽 5、6 号槽についても、4 号槽と同様の準高度処理化に改良中である。いままでの 4 号槽データによる知見から、深槽反応槽 4～6 号槽が準高度処理施設として一体的に稼働した場合の窒素除去率と使用電力削減効果が表 5 である。

表内の「現在」とは、4 号槽が準高度処理設備、5、6 号槽が標準法の時の値を、「将来」とは 4～6 号槽を準高度処理化した時の値を示している。表 5 より、準高度化後の深槽反応槽 4～6 号槽の送風量については、「現在」に比べ 12.91%の削減、使用電力量の合計については 8.6%削減(センター全体の使用電力量では 1%削減に相当)、窒素の除去率については 6 ポイントの向上が見込める。

表－5 将来の効果予測（月平均）

深槽 4～6 号槽	現在	将来	効果
送風量/月	32,652,450 Nm ³	28,436,602 Nm ³	-12.91%
使用電力量/月	608,195 kWh	555,827 kWh	-8.60%
窒素除去率/月	53%	59%	6 ポイント向上

※深槽反応槽 4～6 号槽の H23 4～7 月の月平均値より算出

6 まとめと今後の課題

準高度処理を導入した深槽反応槽 4 号槽と標準法の深槽反応槽 5 号槽の平成 23 年度 4 月～7 月までの運転状況を比較することにより、以下の結果が得られた。

(1) 準高度処理導入による窒素の削減効果

4 月～7 月までの運転状況で、無機性窒素の濃度は、5 号槽に比べ 4 号槽では平均 10%程度低くなった。また、窒素累積負荷量による比較でも、5 号槽に比べ 4 号槽の窒素除去率は 8 ポイント高くなった。これらのことから準高度処理による窒素削減効果が証明された。

(2) 酸素移動効率測定結果

従来型散気板の 3 号槽と高効率型散気板の 4 号槽について、オフガス法により酸素移動効率を比較した結果、4 号槽の清水ベースの酸素移動効率の平均値は 23.11%で、3 号槽の 17.51%に比べて約 5.6 ポイント高い値となり高効率型での効率上昇が裏付けられた。

(3) 反応槽への送風空気量および使用電力量について

平成 23 年 4 月～7 月にかけての空気倍率は、5 号槽に比べて 4 号槽の方が 4.5～19% 程度少ない結果であった。この間、反応槽末端でのアンモニア性窒素濃度は 4 号槽の方が低く、良好な硝化が進んでいた。また 4 号槽の総使用電力量は 5 号槽に比べ約 10% の削減である。従って、準高度処理の 4 号槽では、少ない空気量で良好に窒素処理をすることが可能となった。

(4) 深槽反応槽 4～6 号槽一体準高度処理化による効果予測について

4～6 号槽が一体的に準高度処理施設として稼働した場合、送風量については現在(4 号槽[準高度]+5,6 号槽[標準法]) に比べ 12.91%の削減、使用電力量の合計については、8.6%削減(センター全体では 1%削減)、窒素の除去率については単純加算で 6 ポイントの向上が期待できる。

しかし、将来 4～6 号槽が準高度処理施設として稼働した際には、3 槽の相乗効果により、今回予測した以上の窒素除去率の向上が期待できる。

今後の課題としては、活性汚泥の働きが弱くなる冬期における硝化状態の悪化時に、準高度処理がどのような挙動を示すかを注意深く観察していきたい。また、反応槽内の MLSS や空気量、硝化液循環量等を適切に管理することにより、より効果的な窒素処理方法を検討していきたい。

2-(3)-2 好気槽における脱窒促進運転について

中部下水道事務所 芝浦水再生センター

岸野俊明

葛西孝司

1 はじめに

一般に、窒素の除去率は循環比（流入水に対する返送＋硝化液循環の割合）によって決まり、循環比が大きくなるほど窒素除去率が上昇するとされている。しかし、実施設でのデータでは、循環比に大きな差がない状況でも窒素除去率が変動する現象が見受けられる。例えば、降雨時には、流入水の有機物濃度の低下により窒素除去率が低下するといわれている。

反応槽内の窒素の挙動を調べるうちに、好気槽内で硝化と脱窒が同時に進行し（硝化脱窒同時処理）、これが処理水 T-N にある程度影響を及ぼしていることが示唆された。すなわち、好気槽内での硝化脱窒同時処理を制御することで、窒素除去率の向上が可能と考えられる。

本調査は、好気槽内の DO の分布やテーブルテストによる窒素の挙動から窒素除去率を向上させる運転方法についてまとめた。

2 施設の概要

調査を行った芝浦水再生センターは、浅槽系、深槽東系、深槽西系、西系、東系の 5 系列に分けられる。それぞれ、反応槽の構造などが異なり、反応槽内の窒素の挙動から、好気槽の硝化脱窒同時処理は、深槽東系、深槽西系、東系の 3 つの系列で認められたが、浅槽系と西系では、硝化脱窒同時処理はほとんど発生していないことがわかっている。各系列の反応槽の構造を表 1 にまとめる。

表 1 各系列の反応槽の構造

系列名	処理方式	有効水深 (m)	散気水深 (m)	幅 (m)	長さ (m) × 回路
浅槽系	標準法	4.1	3.6	6.7	80 × 4
深槽東系	AO 法	10.2	4.0	9.1	91 × 2
深槽西系	AO 法	10.2	4.0	9.1	91 × 2
西系	標準法	10.0	4.0	13.5	83.5 × 1
東系	AO 法	11.2	3.7	9	65 × 2

3 実施設での調査

3-1 反応槽断面での DO 分布

硝化と脱窒反応には、DO が重要な因子となる。そこで、DO 分布を調査した。調査系列は、反応槽の構造 {有効水深、散気水深など} を考慮して浅槽東系、深槽西系、東系の 3 系列を選定した。測定は、反応槽 A～D 回路のうち、硝化脱窒同時処理が発生していると考えられる B または C 回路について、投げ込み型 DO 計センサーにおもりと長さのメモリを付け、開口部からセンサーを下し、深さ 1 m ごとの DO の値を記録した。各系列の DO 分布を図 1～5 に示す。

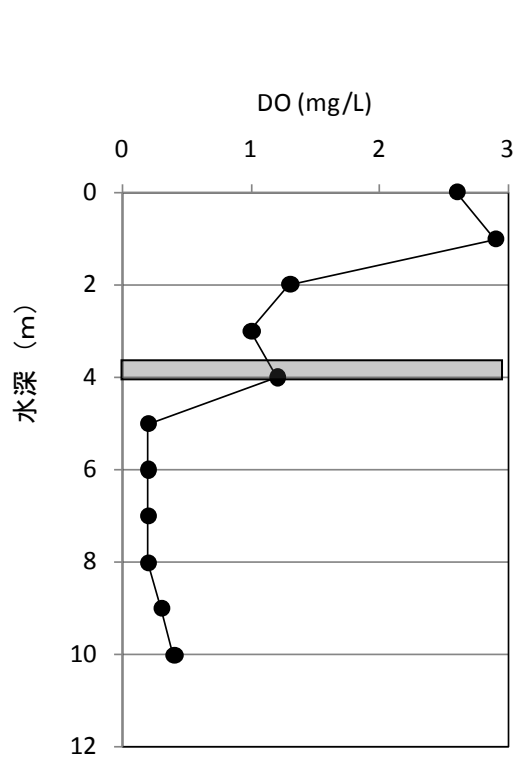


図 1 深槽西系の DO 分布（散気板側）

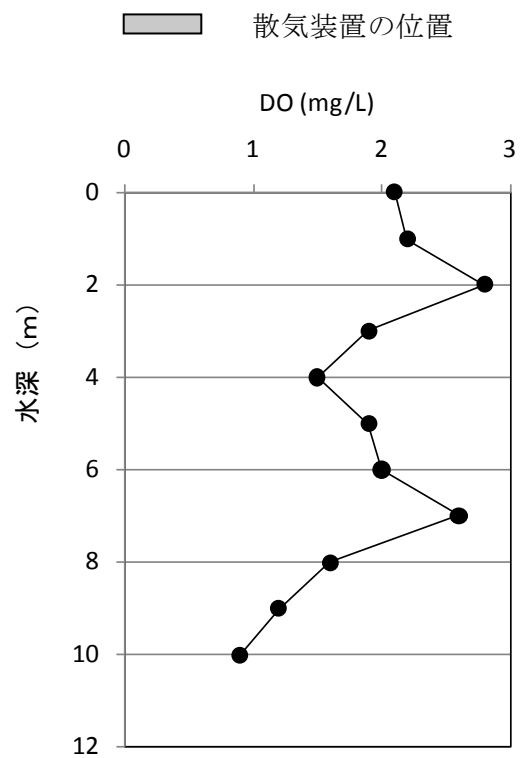


図 2 深槽西系の DO 分布（反対側）

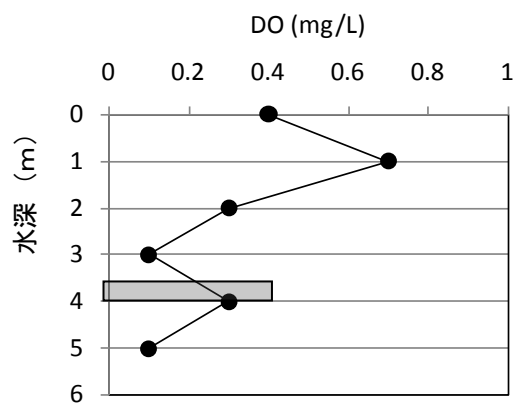


図 3 浅槽東系の DO 分布（散気筒側）

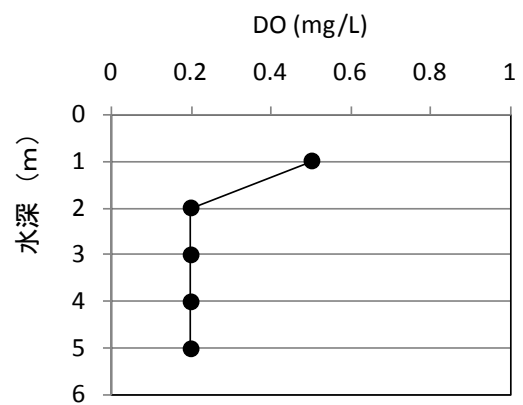


図 4 浅槽東系の DO 分布（反対側）

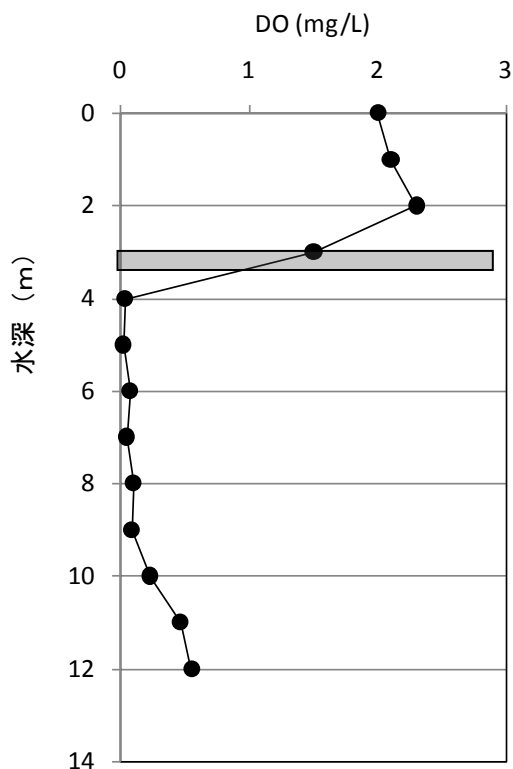


図5 東系のDO分布（中央：2mの深さあり）

深槽反応槽では、散気設備より下の層では、DO がほぼゼロになっており、槽内での硝化と脱窒の条件がそろっていると考えられる。一方、浅槽反応槽では、全体的にDO が低めで、濃度差が小さいため、硝化または脱窒のどちらか一方が進む条件になっていると考えられる。すなわち、DO が低くなると脱窒は進みやすいが硝化が進まない。逆に、DO が高くなると硝化のみが進行する状態と考えられる。ただ、脱窒が進みやすい状態でも $\text{NO}_x\text{-N}$ が存在しない状態では脱窒しないことから窒素除去が進みにくいと考えられる。

3-2 反応槽流下方向でのDO分布

次に、反応槽の流入部から出口にかけて、深槽西系反応槽および浅槽系反応槽について、DO 分布を確認した。測定には、上記のDO の断面分布を考慮して、表2に示すように深槽西系反応槽で4か所、浅槽系反応槽で3か所測定した。結果を図6～7に示す。

表 2 DO 分布測定場所

	測 定 場 所
深槽反応槽	散気板側水面、散気板直下、反対側水深 6 m、反対側底部
浅槽反応槽	散気筒側水面、散気筒直下、反対側底部

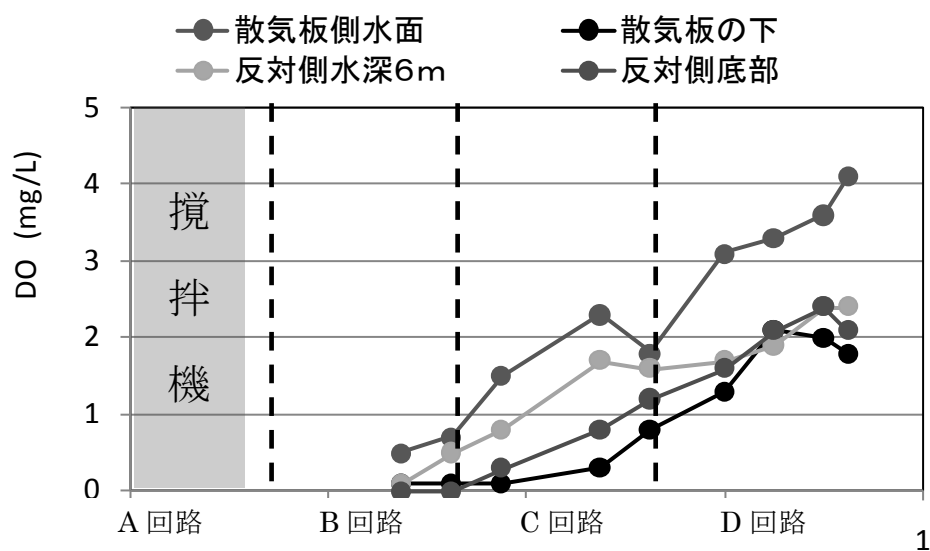


図 6 深槽反応槽の DO 分布

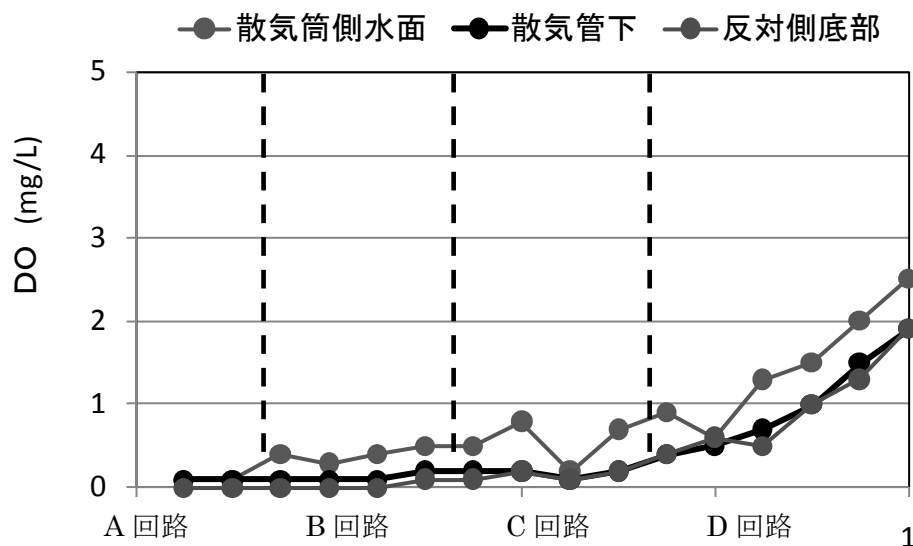


図 7 浅槽反応槽の DO 分布

深槽では、A 回路に攪拌機が設置されているため、B～D 回路を測定した。散気板側水面と反対側 6 m の DO はほぼ同レベルで、散気板の下が最も低かった。散気板下と水面とでは、1.5mg/L 程度の差が生じている。また、散気板の下では、C 回路前半部分まで DO が低く、この位置まで硝化脱窒同時処理が進みやすい状態といえる。

浅槽でも同様に、C 回路後半から DO の上昇が認められる。ただ、比較的 DO が高くなる散気筒

側水面においても A,B 回路では、0.5mg/L 程度で、硝化反応は進みにくいと考えられる。浅槽では、全ての回路において、水面と底部の DO の差が小さく、前半部分では、硝化が制約されているため窒素除去が進まず、硝化が進み始めると DO の上昇によって脱窒が制約されていると考えられる。

両者を比較すると、好気槽内で硝化脱窒同時処理を進めるためには、反応槽の深さが重要な要素になると考えられる。

3-3 旋回流周期の測定

片側旋回流方式の反応槽では、旋回流に沿って流動する過程で、活性汚泥混合液が酸素の供給と停止を繰り返していると考えられる。この周期を調べるため、1 回の旋回に要する時間（何秒で 1 回転するか）を測定した。測定には、青色 1 号をトレーサーとして用い、この 100 g を処理水に溶解させたものを散気装置の反対側の旋回流の潜り込む側に瞬時に投入した。同じ場所で、定量ポンプを用いて反応槽から連続的に混合液を採取する。試料は、5 秒間ビンに採取し、採取後、ただちに次のビンに採取することで、連続的に経過時間に対するフラクションを得た。

採取した混合液は、活性汚泥が沈殿した後に、上澄みを 0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過したろ液について波長 627nm の吸光度を測定することで、トレーサー濃度を測定した。

なお、深槽西系および東系については、トレーサーのピークがはっきりしなかったため、同様の測定を 2 回行った。

測定結果を図 8～12 に示す。

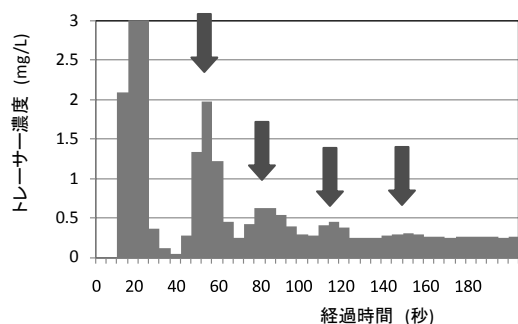


図 8 浅槽東系の結果

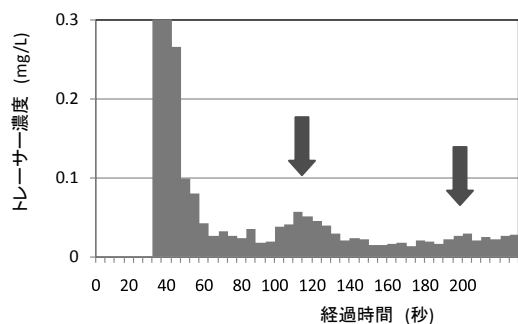


図 9 深槽西系の結果（1回目）

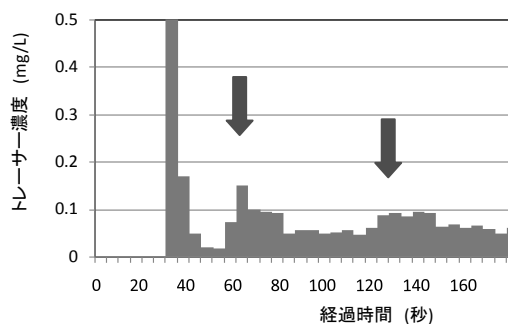


図 10 深槽西系の結果（2回目）

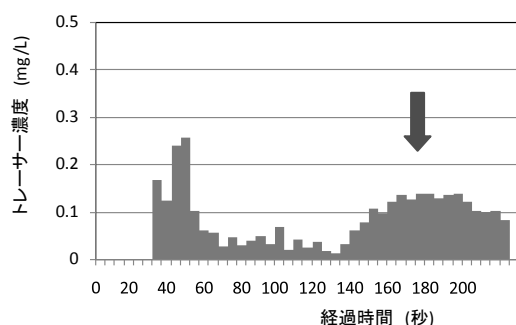


図 11 東系の結果（１回目）

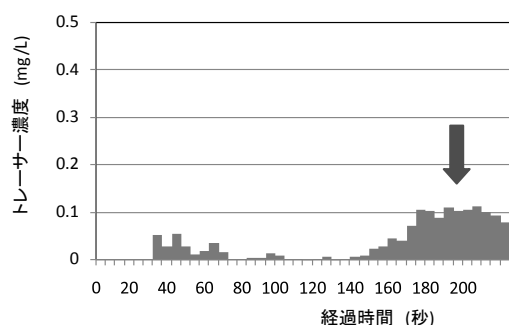


図 12 東系の結果（２回目）

図 8～12 の結果をもとに、各系列のピークの時間を表 3 にまとめた。

表 3 各系列のピーク時間

系列名	ピーク時間（秒）	巡回時間（秒）
浅槽東系	50、80、110、140	約 30
深槽西系	1 回目 105、195	約 100
	2 回目 60、125	約 60
東系	1 回目 170	約 180
	2 回目 185	

空気量の増減によって巡回流速は変動すると考えられる。深槽西系において、2 回の測定結果で、差が生じたのは空気量の差によるものと考えられる。また、約 30 秒間隔でピークが明確に見られる浅槽東系に比べ、他の槽では、後半部分のピークがはっきりしなくなっている。これは、深槽反応槽では、乱流が発生し、一様な流れに沿って、巡回していないためと思われる。すなわち、好気槽内の短絡流が少なくないと考えられる。

4 テーブルテストによる硝化・脱窒の確認

現場調査の結果、散気板の下では、DO が低く、脱窒しやすい状態であることが分かった。好気槽内の活性汚泥混合液は、散気板からの空気の供給と下に潜り込む際の酸素供給の停止を繰り返している。これをテーブルテストによって実験的に再現し、硝化・脱窒の状況を確認した。

4-1 実験方法

硝化脱窒同時処理を実験的に確認するため、次の 2 種類の実験を行った。

実験 1 では、深槽反応槽を想定して、短時間の曝気と停止を繰り返す方法を実施した。エアレーションと停止の時間については、前述の表 3 から、深槽西系では、1 回の巡回に要する時間が 60～100 秒となっていることをもとに、表 4 の 2 つのパターンに定めた。実験用試料は、A 回路（嫌気槽）から採取した活性汚泥混合液を用いた。

表 4 間欠曝気のパターン

	エアレーション	停止	周期
パターン 1	15 秒	45 秒	60 秒
パターン 2	20 秒	60 秒	80 秒

実験 2 では、浅槽反応槽の前半の DO の低い状態を考慮して、空気量の少ない状態で連続的にエアレーションする実験を行った。酸素の供給を制限した（空気量を少なくした）状態で形態別窒素

の挙動を調べることで、DO の低い状態での硝化・脱窒の状況を確認した。浅槽反応槽での調査では、反応槽前半（AB 回路）において DO の低いエリアが大部分を占めていることから、実験 2 の状態に近いと考えられる。空気量としては、3 ㍑の活性汚泥混合液に対し、0.1 ㍑/分と 0.2 ㍑/分の 2 種類を設定した。また、実験 1 と同様、試料は、A 回路（嫌気槽）から採取した活性汚泥混合液を用いた。

4-2 実験結果

実験 1 の 2 つのパターンでの経過時間に対する形態別窒素の変化を図 13 および 15 に示す。また、このときの DO の変化を図 14 および 16 に示す。

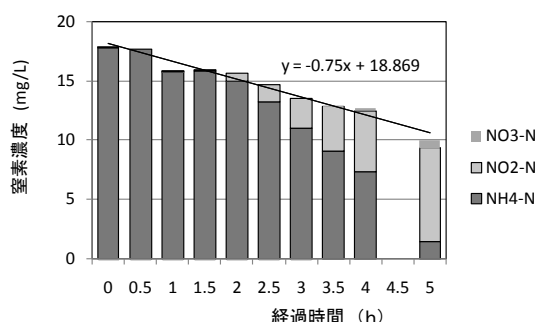


図 13 パターン 1 のときの窒素の挙動

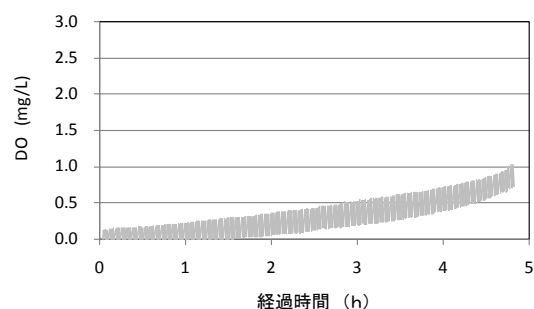


図 14 パターン 1 のときの DO の変化

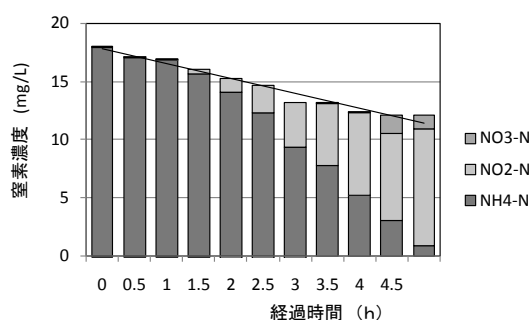


図 15 パターン 2 のときの窒素の挙動

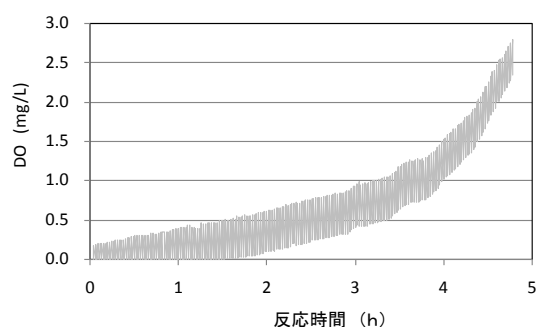


図 16 パターン 2 のときの DO の変化

図 14 および 16 は、『エアレーション時に DO が上昇し、停止時には低下する』を 60 秒と 80 秒周期で繰り返していることから、DO の変化が帯状になっている。図 13 と 15 では、実験開始直後では、NH₄-N が減少するが、NO_x-N の生成は認められない。この間の DO は、エアレーション停止時にはゼロまで下がっている。処理時間が経過し、エアレーションを停止したときに DO がゼロまで下がらなくなる時間帯から、NO_x-N の蓄積が開始されている。ただ、NO_x-N の蓄積がはじまった時間帯以降も無機性窒素の低下が進行しており、一定レベル以下の DO では、脱窒が継続されるといえる。

テーブルテストで得られた DO の変化（図 14、16）と現場調査で得られた DO 分布（図 6、7）を比べると、よく一致しており、この実験と同様の反応が実施設において生じていると考えられる。

空気量を制限して、連続的にエアレーションした実験 2 での結果を図 17～20 に示す。

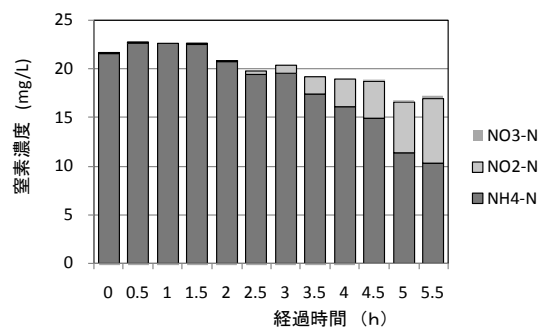


図 17 制限曝気状態での窒素の挙動
(0.1L/分)

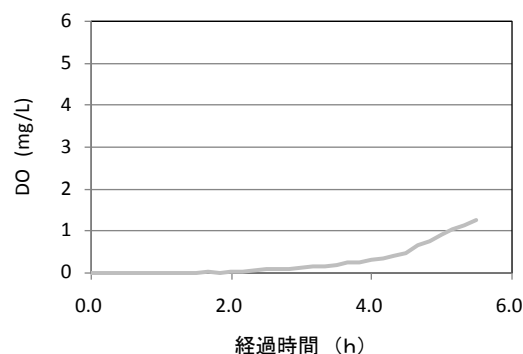


図 18 制限曝気状態での DO の推移
(0.1L/分)

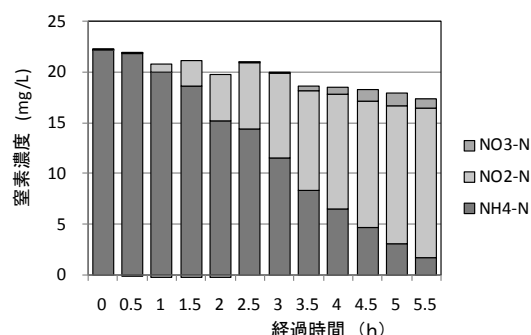


図 19 制限曝気状態での窒素の挙動
(0.2L/分)

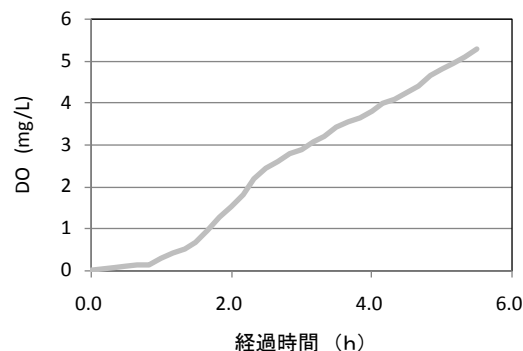


図 20 制限曝気状態での DO の推移
(0.2L/分)

実験 1 のときと同様に、DO が検出され始める頃から、NO_x-N の蓄積が開始されている。さらに、図 17 および図 19 において、時間の経過とともに無機性窒素が減少していることが分かる。ただ、実験 1 のときに比べ無機性窒素の減少幅は小さいことから、硝化と脱窒を繰り返す処理のほうが、低い DO で硝化と脱窒を行う方式よりも窒素除去に有利と考えられる。

2 つの実験結果から条件が整えば、好気槽内で硝化脱窒同時処理は可能といえる。また、実験 1 と実験 2 を比較するとエアレーションを間欠的に行う方式が窒素除去に有利と考えられる。これらの実験で共通していることとして、NO_x-N の蓄積が始まるのが、DO が検出される頃と一致していることがあげられる。これは、反応槽の横断面で DO が最も低いエリア（通常は、散気板の下の部分）で DO が上昇し始める地点から NO_x-N が蓄積し始めることを意味する。見方を変えると反応槽内で NO_x-N が検出され始める地点から上流部では、DO がゼロで、脱窒が進行しやすいエリアがあるといえる。調査結果から、好気槽内において、硝化脱窒同時処理を進行させるため、好気槽前半部分の空気量は硝酸がわずかに検出される状態に制御することで、好気槽前半での硝化脱窒同時処理を維持することが可能と思われる。

5 実施設での窒素の挙動

反応槽内での窒素の挙動を調べるため、深槽西系反応槽を 8 等分し（A～D 回路をさらに二分）、それぞれの地点における無機性窒素を測定した。結果を図 21 に示す。

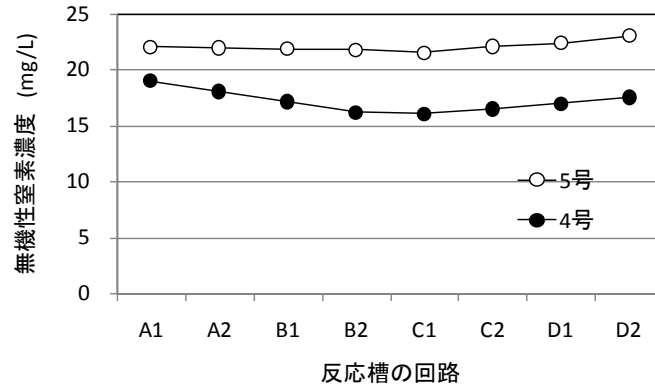


図 21 反応槽各回路の無機性窒素濃度

反応槽の形状が同じで隣り合わせの 4 号と 5 号を比較した結果、反応槽の流入部 (A1) の無機性窒素の差に比べて、流出部 (D2) での差が拡大している。両者の窒素の挙動を詳細に確認するため、4 号槽の形態別窒素濃度を図 22 に、5 号槽のそれを図 23 に示す。

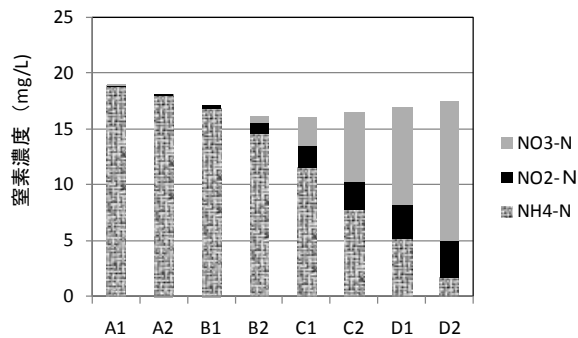


図 22 形態別窒素の分布 (4号槽)

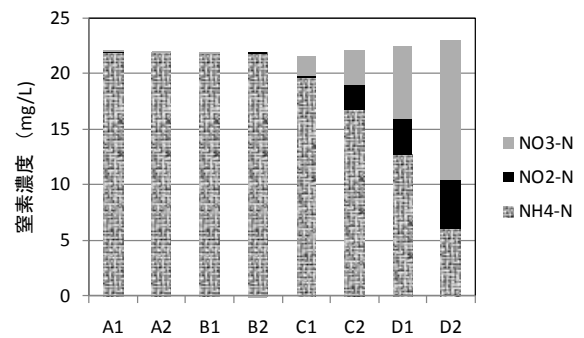


図 23 形態別窒素の分布 (5号槽)

図 22 において、反応槽の前半部分における NH4-N の低下が、反応槽出口の無機性窒素の差に寄与していることが分かる。4 号槽では、空気量が適正な状態で反応槽前半で硝化と脱窒が同時に進行していた（無酸素状態に近かった）と考えられる。反応槽の前半は、流入水の有機物を利用して脱窒が起こりやすい。適度な空気量で硝化が進む一方、反応槽の下層部分を中心に脱窒も進行する。これに対して、5 号槽では、空気量の不足から硝化 (NH4-N の減少) が不十分で、無機性窒素が低下しなかったと考えられる。

次に、硝化の状態と処理水窒素濃度の関係を見る。浅槽反応槽出口の形態別窒素を図 24 に、また、このデータを NO3-N と無機性窒素との関係に修正したものを図 25 に示す。

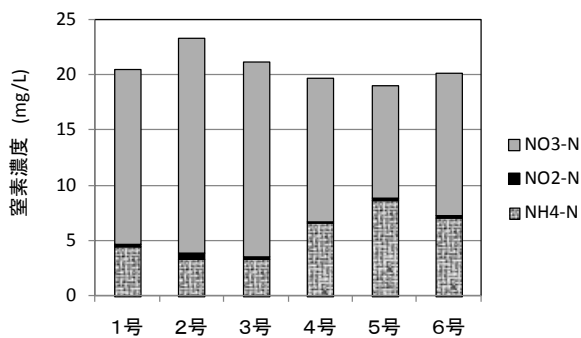


図 24 浅槽反応槽出口の窒素

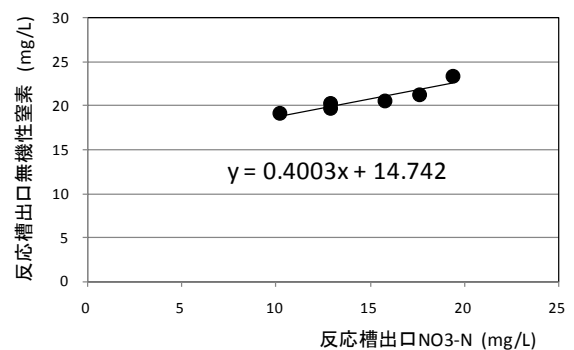


図 25 NO3-N と無機性窒素の関係

6つある浅槽反応槽は、流入水と返送汚泥は同じものが流入しているが、処理水量と空気量がそれぞれ異なるため、反応槽によって硝化の状況がまちまちである（図 24）。図 25 から、反応槽出口の $\text{NO}_3\text{-N}$ が低くなるほど無機性窒素が低下している。これは、硝化と脱窒が同時に進行するエリアが広い反応槽ほど $\text{NO}_3\text{-N}$ の蓄積が抑えられ、結果として、無機性窒素（処理水反応槽出口の窒素）が低下したと考えられる。図 25 から、反応槽出口 T-N が最も低くなるのは、 $\text{NO}_3\text{-N}$ がゼロのときとなるが、硝化抑制運転では $\text{NO}_3\text{-N}$ が生成されないため、反応槽内での脱窒も望めない。したがって、硝化促進運転を基本としながら、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を若干残留させる運転が最適と考えられる。なお、図 25 で近似線の傾きは、0.4003 と比較的低く、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が 10mg/L 下がると処理水 T-N で 4mg/L 低下することを意味し、浅槽反応槽では、脱窒させにくいといえる。

つづいて、流入水質の変動に対して、反応槽内での脱窒がどのように変化するかを確認する。深槽反応槽では比較的脱窒させやすいことから、ここでの無機性窒素の時間変動を調べた。反応槽流入部（A1）と出口（D2）における変動を図 26 に示す。

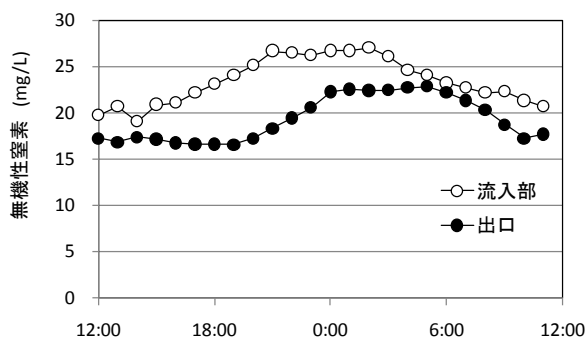


図 26 無機性窒素の時間変動

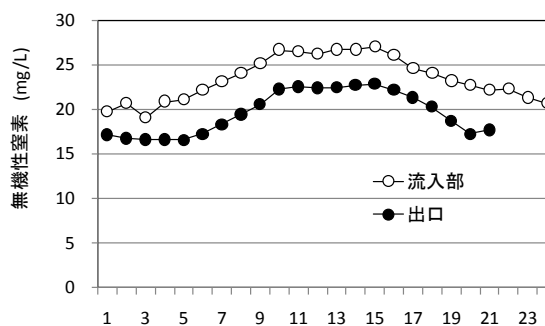


図 27 無機性窒素の変動（ピークを一致）

流入水 $\text{NH}_4\text{-N}$ の変動によって反応槽流入部と出口の無機性窒素は周期的に変動している。時間変動分を補正するため、両者のピーク時間を重ねたものが図 27 である（出口のデータを 3 時間分前に異動させた。）。図 27 から、反応槽内での脱窒が 4mg/L 程度で維持されていることが分かる。調査時は、空気量がやや少なかったため、反応槽出口 $\text{NH}_4\text{-N}$ が高めであった。窒素除去率をさらに上げるためには、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の残留濃度を 1mg/L 程度で維持することが望ましいと考えられる。反応槽内で硝化脱窒同時処理による窒素の除去率は、返送汚泥や余剰汚泥による窒素除去率に比べると低い。必要以上に空気量を削減すると、反応槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ の残留が著しくなり、返送および硝化液循環による脱窒量が減少するため、かえって窒素除去率の低下を招くためである。

最後に、図 27 で深槽反応槽では、反応槽内で 4mg/L 程度脱窒しているが、図 25 での傾きから、浅槽反応槽での脱窒量は少ないようで、反応槽の深さも脱窒に関係していると考えられる。

6 窒素除去率向上のための運転方法

これまでの知見から、窒素除去率を向上させるための運転方法を以下にまとめた。

- ① 反応槽の深さが深くなるほど有利。
散気板より下の反応槽底部において脱窒が進行しやすい。
- ② MLSS をやや高めで運転する。
混合液の硝化速度・脱窒速度が高い状態を維持する。
- ③ 反応槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ が一定レベル（ 1mg/L 程度）になるように DO を調節する。
 $\text{NH}_4\text{-N}$ がゼロの状態では、脱窒の阻害や有機物の分解による窒素の溶出を招く。
DO 制御よりもアンモニア制御が有利。
- ④ 好気槽の空気量を『前半の空気量』＜『後半の空気量』に調節する。
特殊な条件を除いて、反応槽の後半部分での脱窒は望めない。前半部分で確実に脱窒させるためには、ここの空気量をやや少ない状態をキープすることが重要。
- ⑤ 処理水量を適正な状態に維持する。
脱窒には、有機物が不可欠である。処理水量を増大させると脱窒しやすくなる。
一方、負荷が高すぎると、硝化を維持することが難しくなる。

7 今後の予定

本調査結果を踏まえて、硝化脱窒同時処理を維持し、窒素除去率の向上と風量削減の両立を目指した共同研究を、メタウオータ㈱、東京都下水道サービス㈱との間で、平成 23～24 年度に実施している。

参考文献

- 1) 2010 東京都下水道局技術調査年報
「制限曝気 A2O 法による水質改善効果と処理コストの比較」

2-(3)-3 亜硝酸型硝化事例とその対策について

流域下水道本部技術部 北多摩一号水再生センター 水質管理係
○尾又 広喜 今井 理絵 坂元 忠明

1 はじめに

平成 23 年 3 月、当センター1 系において透視度が低下し、この時期の反応槽最終回路上澄水に亜硝酸性窒素（以下、 $\text{NO}_2\text{-N}$ と記す）が最大 6.1mg/L 検出された。この透視度低下は、反応槽内に亜硝酸が集積したことによる生物活性の低下によって汚泥の凝集性が低下したことが原因と考えられた。

本報告は、① $\text{NO}_2\text{-N}$ の検出と上昇までの経緯と背景②亜硝酸型硝化を進行させないために行った送風量調整等の対策③水処理悪化時に行った汚泥転送の具体的な手順等を報告するものである。

2 水処理施設概要

当センター水処理施設の現有処理能力は、標準活性汚泥法の 1 系 54,100 m^3 /日、3 系 108,000 m^3 /日と A_2O 法の 4 系 54,400 m^3 /日、制限曝気 A_2O 法の 2 系 54,100 m^3 /日であり、日平均 190,810 m^3 /日（平成 22 年度平均）を処理している。

今回、亜硝酸型硝化が起きた時期とほぼ同時期（平成 22 年 11 月 16 日～平成 23 年 3 月 29 日）には、2 系水処理施設が工事（標準活性汚泥法から制限曝気 A_2O 法への改良工事）に伴い停止していた。

なお、1、3 系はりん処理を目的として制限曝気運転を行っていた。

3 $\text{NO}_2\text{-N}$ の検出状況と送風量調整等の対策

1 系反応槽最終回路出口の $\text{NO}_2\text{-N}$ は、平成 23 年 1 月 31 日に初めて検出した。この $\text{NO}_2\text{-N}$ や処理水の透視度等の推移を図-1 に示した。3 月 16 日までの $\text{NO}_2\text{-N}$ は、2mg/L 弱であったが、17 日に 5.0mg/L と高い値となった。この時透視度も 55 度まで低下し、翌日にはさらに 30 度まで低下した。

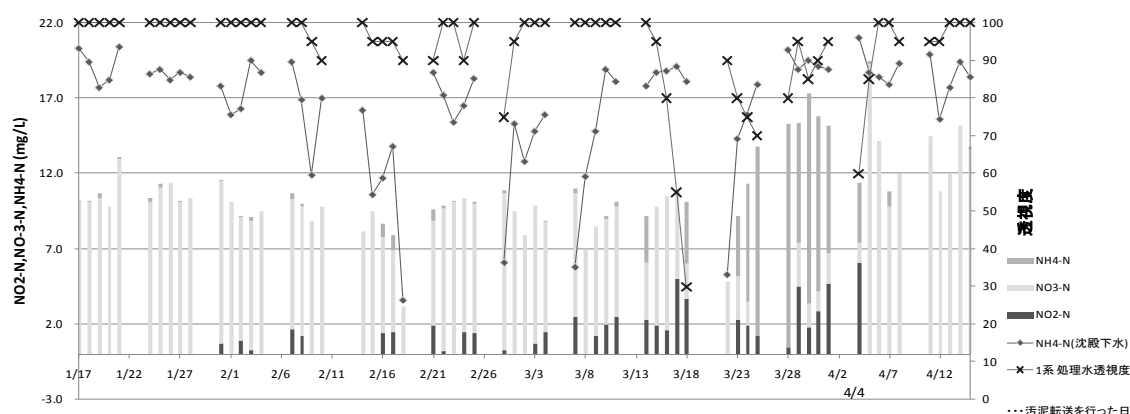


図-1 処理水質

図-2 に 1 系最終回路の DO、MLSS 等の運転条件を示した。DO は日によって変動があるものの概ね 2mg/L 程度以上、MLSS についても 3 月 17 日まで 1300mg/L 程度以上を確保しており、共に低い状況が継続するようなことはなかった。

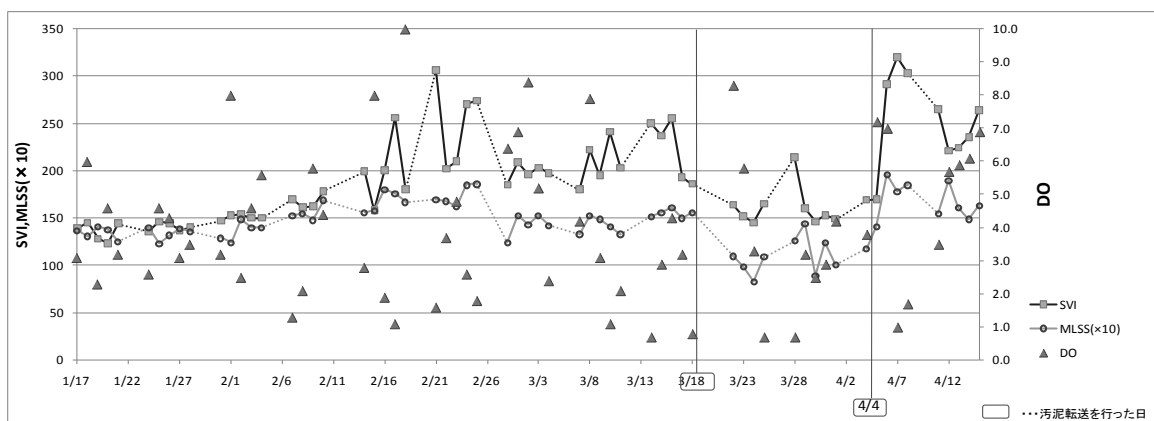


図-2 運転条件 (DO, MLSS)

図-3 に 1 系の A-SRT と目標 A-SRT 等の推移を示した。1 系の A-SRT は、3 月 17 日まで目標 A-SRT の 5.5 程度を十分に上回っていた。

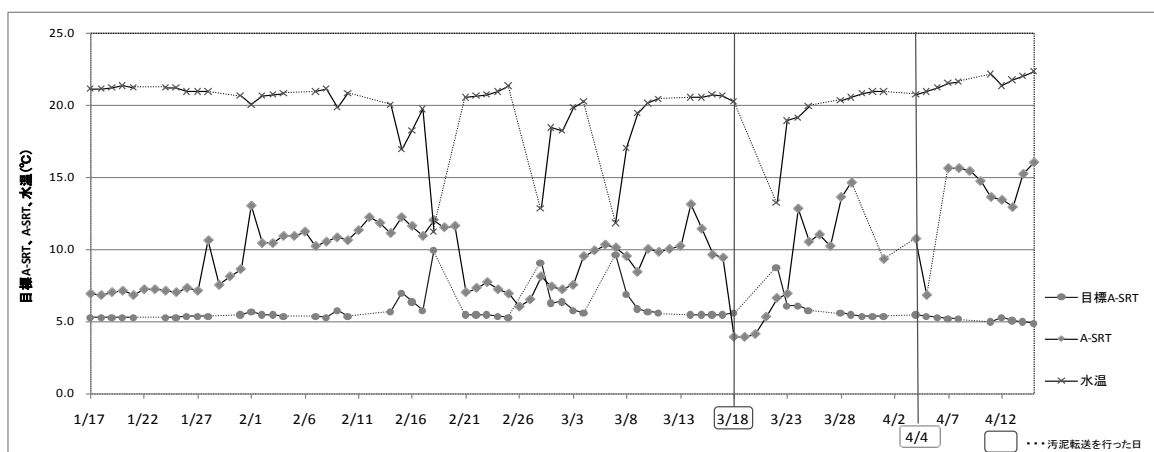


図-3 運転条件 (A-SRT)

図-4 に好気槽滞留時間、送風倍率等の運転条件を示した。好気槽滞留時間は、A 回路を制限曝気槽より好気槽へ変更する 2 月 21 日まで 6 時間程度、変更後は 8 時間程度確保していた。送風倍率についても降雨時を除き 5.0 倍以上確保していた。

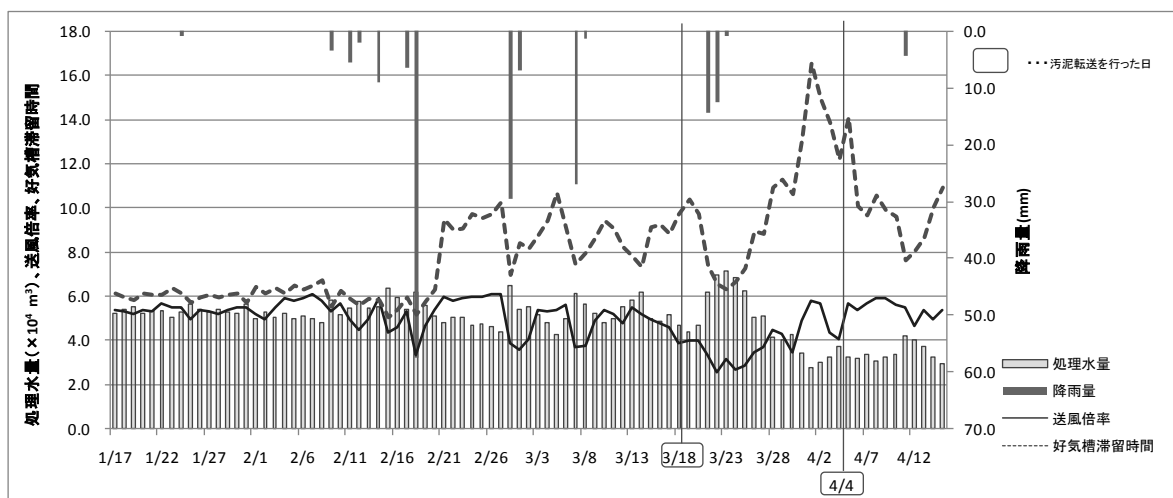


図-4 運転条件 (A-HRT, 送風倍率)

図-5に10時に採水した1系各回路末端のDOとNH₄-Nの挙動を示した。DOは各日ともC回路まで低めで推移し、D回路にて2mg/L以上に上昇していた。一方NH₄-NはB回路まであまり低下せず、C回路からD回路にかけて直線的に低下していた。

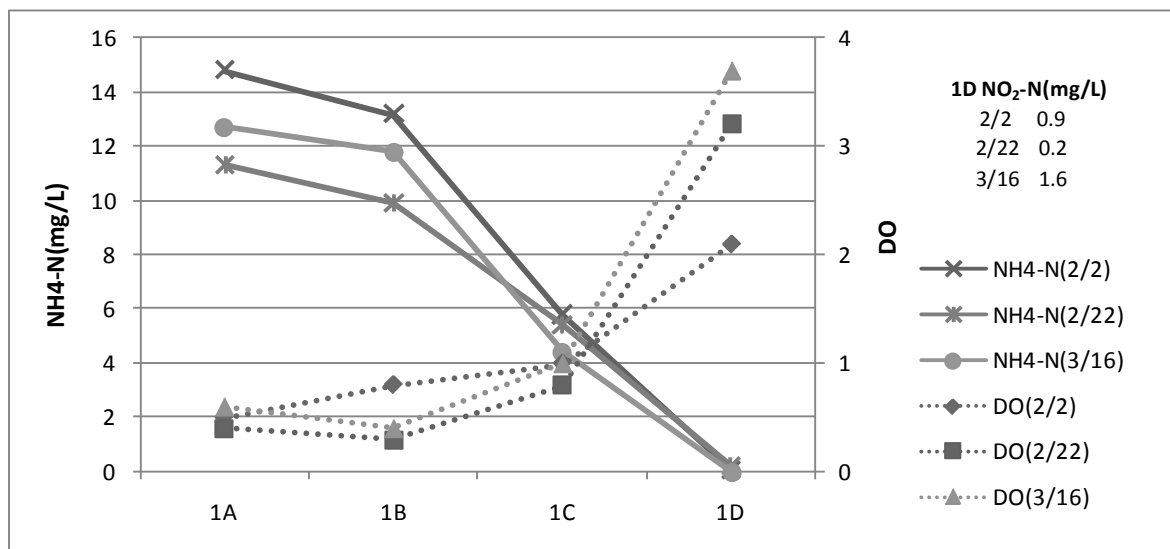


図-5 各回路水質

表-1に亜硝酸型硝化対策として実施した運転変更等を整理した。この表には、運転変更をした際には番号を付け、亜硝酸型硝化の抑制効果についても有無で示した。また、NO₂-Nの検出時は、机上曝気実験¹を実施し、曝気によるNO₂-Nの挙動を確認し、その結果を記号で示した。

表-1 運転変更とその効果

番号	日付	運転変更	目的	亜硝酸性窒素濃度 (mg/L)	机上曝気実験結果	効果の有無
1	1/31	余剰汚泥量30→20(m ³ /h)	A-SRTの増加 (当日8.7→翌日13.1)	0.7	○	無
2	2/21	A回路間欠曝気を連続に変更	好気槽の容量増加 (A-SRT 7.1→7.4)	1.9	○	無
3	2/24	風量調節弁変更1-1を8%から19% 1-2を8%から27% 600(Nm ³ /h)程度	送風量の増加 (送風倍率 6.0→6.0)	1.5	○	無
4	2/25	目標処理水量を1割下げる 55,000→50,000(m ³ /日)	水量負荷の低減 (A-HRT 9.5→9.7)	1.4		無
	3/11	地震発生 3系2沈1池停止 (フライト坂破損)	3系2沈1池停止のため1系の水量負荷増加 (A-HRT 9.1→8.2)	2.5		
	3/14			2.3	○	無
	3/16			1.6	×	無
5	3/17	水量比変更 1系:2系:3系=約1.0:1.2:1.0 1.0:1.5:1.2に変更	水量負荷の低減 (A-HRT 8.8→9.7)	5.0		無
6	3/18	2系停止中のため 3系より1系へ汚泥転送(4時間)	活性汚泥の入替	3.7		少し有
	3/28	2系立ち上げ作業開始 3系より2系へ連続汚泥転送		0.5		
	3/29	2系立ち上げ作業完了		4.5		
7	4/4	2系から1系へ汚泥転送 (14:30から翌日10:40まで) 余剰汚泥量変更 30→90(m ³ /h)	活性汚泥の入替	6.1		有
	4/5	汚泥転送完了		0.1		
	4/6			0.1未満		

実施した対策のうち汚泥転送（6、7は後述）を除くと、①送風量の増加を目的としたもの（2、3）、②A-SRTの増加を目的としたもの（1、2）③好気槽滞留時間（A-HRT）の増加を目的としたもの（4、5）に大別される。これらの対策は、亜硝酸型硝化を解消することができなかった。

机上曝気実験¹：反応槽最終回路で採水した混合液をボールフィルターで2時間程度曝気した後、静置し上澄みの $\text{NO}_2\text{-N}$ の増減を測定する。この結果 $\text{NO}_2\text{-N}$ が検出されなくなる場合、曝気時間を確保すれば亜硝酸型硝化にならないとし、表に○と記した。

4 汚泥転送

4-1 1回目

3月18日（金）、処理水の透視度が30度まで低下したため、汚泥転送の実施を決めた。しかし、2系が停止していたため、3-2系から1系へ汚泥転送を実施した。この汚泥転送は、3系と1系の両方の返送汚泥管を使用して行うため、転送中は3系または1系のどちらか一系にしか汚泥の投入ができないという制限があった。このため、3系から1系への転送は11:15～13:15、15:00～17:00の計4時間、合計約2,000 m^3/h 行った。この間11:15～17:00 1系の返送汚泥は停止し、余剰汚泥引抜き量は1系90 m^3/h 、3系停止を3月23日まで実施した。また、この転送量2,000 m^3/h は、転送日の3系日平均返送汚泥濃度6890 mg/L 、前日の1系日平均MLSS濃度1480 mg/L 、反応槽容量17,840 m^3 から計算すると、反応槽内のMLSS量の52%程度であった。

3月22日の日常試験では1系の $\text{NO}_2\text{-N}$ が検出されず、汚泥転送の効果と期待したものの23日に再び検出した。結果として、21日の降雨の影響と考えられ、1回目の汚泥転送の効果は不十分であった。

4-2 2回目

3月29日に停止していた2系水処理施設が復旧した。これにより1系の水量負荷が低減されたものの、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が高い状態が継続し、4月4日には6.1 mg/L まで上昇した。

このため、4月4日14:30～5日10:40まで2系から1系へ汚泥転送を約300 m^3/h で行った。この時、1系の余剰汚泥量は30 $\text{m}^3/\text{h} \Rightarrow 90\text{m}^3/\text{h}$ へ変更し、転送終了時に引抜きを停止した。転送量300 $\text{m}^3/\text{h} \times 20\text{h} = 6,000\text{m}^3/\text{h}$ を1回目同様に計算すると、転送時の2系平均返送汚泥濃度4490 mg/L 、前日の1系日平均MLSS濃度1340 mg/L 、反応槽容量17,840 m^3 から計算すると、反応槽内のMLSS量の110%となりこの計算上1系の汚泥が2系に入れ替わったことになる。汚泥転送後の1系のMLSS濃度1366 mg/L （11時の工業計器値）と適切な値であった。一方で2系のMLSS濃度は680 mg/L まで低下し、翌日の透視度は60度まで低下したものの、翌々日には95度と回復した。

1系については転送の効果が明確に表れ、転送終了の翌日より、透視度100度、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 不検出と完全に回復し、以降良好な水質を維持した。

5 考察

今回当センターで起きた亜硝酸型硝化の原因を探るため、運転条件と処理水質について図により整理した。その結果、送風倍率、最終回路のDO、A-SRT等の運転条件から要因と推定される要素を見つけることはできなかった。つまり、当初予想していた2系水処理施設の停止により、1系の負荷が増加したことが直接的な原因ではないと考えられた。

『亜硝酸化対策検討会報告書』を参照すると、亜硝酸型硝化メカニズムとして酸素不足による亜硝酸酸化細菌活性範囲の減少があげられている。これは、反応槽最終回路DOで全体風量をコントロールしている場合、最終回路以外でのDOが低いとアンモニア酸化細菌より酸素獲得能力の低い亜硝酸酸化細菌の活性範囲が狭くなり減少するためとされている。

当センターのDO制御は、最終回路のDO3.0 mg/L で制御しており、図-5に示したように最終回路では概ね目標値に達していた。しかしC回路以前は低く、DO上昇曲線は最終回路で急上昇して

いた。この状況は『亜硝酸化対策検討会報告書』の亜硝酸型硝化メカニズムに合致していた。

以上のことから、亜硝酸型硝化の原因は好気槽中段回路の DO 不足によるものであったと考えられる。表-1 に対策として実施した運転変更を整理したが、これらの対策（汚泥転送除く）は、好気槽中段回路の DO 上昇につながるものである。しかし結果として DO 上昇には不十分であり、状況を改善できなかった。

さらに、3 月 16 日の机上曝気実験では、ついに追加の曝気をしても亜硝酸性窒素が増加する状況になった。この回復には汚泥転送が必要と判断し、3 月 18 日と 4 月 4 日の 2 回汚泥転送を実施した。1 回目の汚泥転送は、反応槽内の MLSS 量の 52% とかなり高い割合であったが、効果は不十分であり、2 回目ではほぼ反応槽内の MLSS 量が硝酸型硝化の汚泥に入れ替わることにより完全な回復に至った。このことは、汚泥転送するに当たり、活性汚泥の大部分の入れ替えが必要であることを示していると考えられる。

6 まとめ

今回の亜硝酸型硝化への対応から以下のことが明らかになった。

- (1) 目標 A-SRT を十分確保した運転を行っていても、亜硝酸型硝化になる場合がある。
- (2) 今回の亜硝酸型硝化事例は、好気槽中段回路の DO 不足により亜硝酸酸化細菌の活性範囲が減少したことによると考えられる。
- (3) 完全な亜硝酸型硝化状態（机上曝気実験で $\text{NO}_2\text{-N}$ が増加）になってしまった場合、運転条件の変更で回復させることは容易ではない。また、亜硝酸型硝化への進行時に対策として送風量調整等の運転変更を実施したが改善できなかった。
- (4) 亜硝酸型硝化対策として最も有効な方法は汚泥転送であるが、転送量が少ないと効果は限定的になる。

参考文献： 亜硝酸化対策検討会報告書（平成 23 年 6 月）

2-(3)-4 反応槽への送風方法を変更した

送風量削減調査結果について

東部第二下水道事務所 葛西水再生センター

島田誠一、石井健一、小谷野正雄、渡部昇

1 はじめに

環境確保条例による温室効果ガス排出量削減義務や改正省エネ法による事業者全体としてのエネルギー管理が平成22年4月1日からスタートした。これを受け、各水再生センターでは送風量削減に伴う電力削減への取組が求められたことから、当センターでは、平成22年度にDO設定値の見直しやビーカー実験による送風量削減の可能性に関する調査を実施した。その結果、A回路から最終回路の送風量を段階的に絞った方法（以下、テーパー法という。）では、アンモニアの硝化時間が短縮でき、送風量削減に繋がる可能性が確認できた。本報告は、平成22年度調査で効果が確認できた条件での、実施設における検証結果について報告するものである。

2 平成22年度ばっき実験調査結果（各回路ごとの送風量の違いによる硝化実験）

送風条件を表1に、調査結果を図1、図2に示した。

表1 各送風条件

条件1	標準法	条件2	制限ばっき法	条件3	テーパー法
試料量	5,000 mL	試料量	5,000 mL	試料量	5,000 mL
送風倍率	6 倍	送風倍率	6 倍	送風倍率	6 倍
必要送風量	30,000 mL	必要送風量	30,000 mL	必要送風量	30,000 mL
時間当たり	3,333 mL/h	A回路(3時間)	10,000 mL	A回路(3時間)	10,000 mL
ばっき時間	9 時間	50%開条件	5,000 mL	A回路(流量)	83 mL/min
流量	56 mL/min	A回路(流量)	28 mL/min	B回路(流量)	50 mL/min
MLSS濃度	1,420 mg/L	B回路(流量)	56 mL/min	C回路(流量)	33 mL/min
		C回路(流量)	56 mL/min	ばっき時間	9 時間
		ばっき時間	9 時間	MLSS濃度	1,420 mg/L
		MLSS濃度	1,420 mg/L		

写真の装置に反応槽混合液5Lを入れ、条件1から3の方法でばっきを行い、1時間ごとにNH₄-N、NO₂-N、NO₃-N等の測定を行った。

条件1、2に差が見られなかったが、条件3は8時間後のNH₄-N濃度が1.0mg/Lを下回る結果が得られた。さらに、NO₃-Nについても、条件3の方が他の条件よりも約5mg/L高い結果が得られた。



写真 実験風景

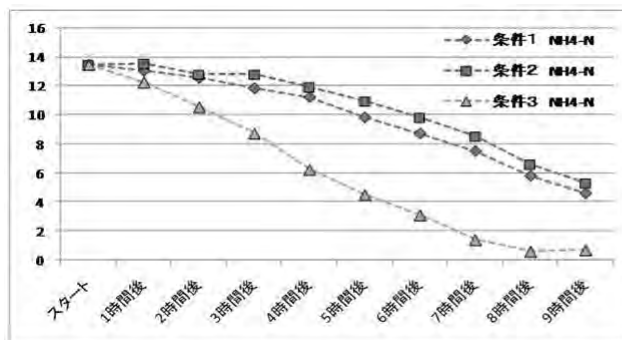


図 1 条件別の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の挙動

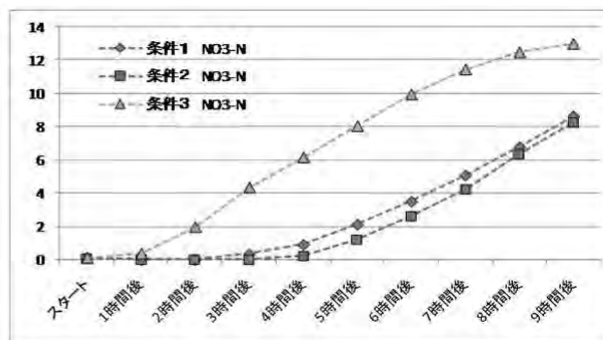


図 2 条件別の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の挙動

調査の結果、テーパード法は、硝化時間の短縮が可能となり、結果的に送風量の削減に繋がることが期待できると判断した。

3 平成 23 年度検証調査

3. 1 調査方法と削減達成目標

図 3 に検証調査実施施設等を示した。

北 2 系 7 号（テーパード法）を検証施設に 8 号（制限ばっ気法）を対照施設として、削減達成目標は対前年同月比 5 %（空気倍率で比較）とした。

また、空気弁の開度設定の変更や処理状況を連続で確認するために、B 回路にイオン電極式 NH_4 計（セントラル科学製）を設置して連続測定を行った。

ただし、当センターでは、平成 23 年 3 月の震災の影響で水処理施設（第一、第二沈殿池）が大きく損傷し、放流水質にも影響があったために、年度当初は検証調査に取り組めない状況にあった。

さらに、7 月中旬からみやぎ受泥に伴う汚泥循環が長期間継続したために、本格的な検証調査の開始は 9 月以降となった。

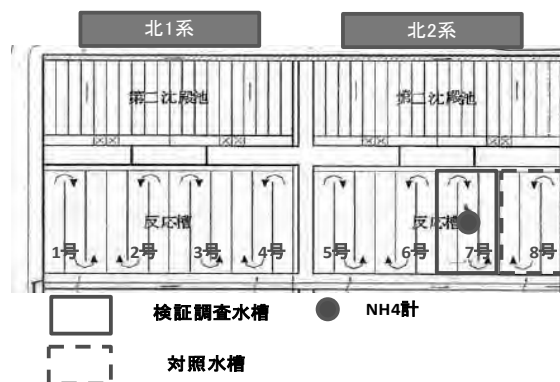


図 3 検証調査実施施設等

3. 2 7 号反応槽のライザ管の開度設定

表 2 に検証施設の北 2 系 7 号（テーパード法）の空気弁の変更前後の開度を示した。

調整前の制限ばっ気の開度設定を A 回路～最終回路の空気弁の開度を段階的に絞り、7 月 11 日に空気弁の全開の数を A : B : C を 5 : 3 : 1 に設定して検証調査を行った。

なお、調整前の空気弁の開度の設定は、制限ばっ気としていた 7、8 号の空気弁の設定開度である。

表 2 検証調査時の空気弁の開度調整

		調整前	6月30日	7月1日	7月11日
A回路	元弁開度	15	40	40	40
	1	2/9	全開	全開	全開
	2	2/9	全開	全開	全開
	3	2/9	2/9	2/9	2/9
	4	2/9	全開	全開	全開
	5	2/9	2/9	2/9	2/9
	6	2/9	全開	全開	全開
	7	2/9	2/9	2/9	2/9
B回路	元弁開度	50	40	30	40
	1	6/9	全開	全開	全開
	2	6/9	2/9	2/9	6/9
	3	6/9	2/9	2/9	6/9
	4	6/9	全開	全開	全開
	5	6/9	2/9	2/9	6/9
	6	6/9	2/9	2/9	2/9
	7	6/9	全開	全開	全開
C回路	元弁開度	45	25	25	25
	1	7/9	2/9	2/9	2/9
	2	7/9	2/9	2/9	2/9
	3	7/9	2/9	2/9	2/9
	4	7/9	6/9	6/9	全開
	5	7/9	6/9	6/9	6/9
	6	7/9	2/9	2/9	2/9
	7	7/9	2/9	2/9	2/9

4 検証調査結果及び考察

4. 1 水質の状況

9月13日から10月21日の7号と8号のNH₄-Nの測定結果を表3に示した。

8号処理水のNH₄-N濃度は9月20日6.4mg/L、9月29日1.4mg/Lと1mg/L以上を2回検出した。

一方、7号(テーパード法)については、NH₄-N濃度が1.0mg/L以上を4回検出している。この理由は、7号はB～C回路にかけて全開の数が少なく設定しており、流入水の濃度変動によって、NH₄-Nの硝化が十分進まずに上昇したと考えられる。ただし、7号のNH₄-Nの上昇は一過性で長期間継続することもなく、8号と同程度の硝化が行われていることを確認した。

表3 7号、8号の水質測定結果

月日	時間	天気	7A	7B		7C	8C
			NH4-N	NH4-N	NH4-N	NH4-N	NH4-N (MT-1)
9月13日	10:00	晴	10.7	4.8	3.7	0.9	0.8
9月14日	10:00	晴	13.0	7.9	6.1	3.1	0.9
9月15日	10:00	晴	10.5	5.3	4.5	0.9	1.0
9月16日	10:00	晴	13.3	8.8	6.9	4.3	1.0
9月20日	10:00	曇	7.8	8.9	7.2	9.0	6.4
9月21日	10:00	雨	0.5	0.5	1.5	0.5	0.6
9月27日	10:00	曇	8.8	4.4	4.9	0.7	0.7
9月28日	10:00	晴	11.3	4.2	4.9	0.7	0.8
9月29日	13:30	晴	12.1	6.3	6.0	0.8	1.4
9月30日	10:00	晴	9.6	4.0	4.6	0.8	0.8
10月4日	10:00	晴	14.9	3.6	—	0.7	0.9
10月4日	12:00		10.8	3.3	4.4	0.7	—
10月4日	14:00		11.1	3.8	—	0.7	—
10月4日	16:00		11.6	4.7	5.2	0.7	—
10月4日	18:00		13.1	6.3	7.1	1.0	—
10月5日	10:00	曇	10.8	5.3	6.1	0.8	1.0
10月6日	14:30	曇	7.9	3.1	7.0	0.4	0.5
10月7日	10:00	晴	5.3	3.1	4.4	0.6	0.8
10月11日	10:00	晴	10.9	4.0	5.0	0.5	0.9
10月12日	14:00	晴	0.9	0.6	1.9	0.6	0.7
10月13日	10:00	晴	16.3	7.4	7.4	3.1	0.6
10月14日	10:00	晴	11.1	4.9	5.8	0.7	0.8
10月18日	10:00	曇	9.5	5.1	5.9	0.7	0.8
10月19日	10:00	曇	9.3	4.9	5.9	0.7	0.7
10月20日	10:00	曇	9.3	5.8	6.9	0.8	0.9
10月21日	10:00	曇	10.2	4.6	5.9	0.7	0.7

mg/L

4. 2 NH₄計（現場設置）の精度確認

9月13日～21日に測定したNH₄-Nの手分析(MT-1)とB回路に設置したイオン電極式NH₄計の測定値を使って、精度確認を行った結果を図4に示した。

実測値と計器の相関係数は、 $R^2 = 0.7647$ と良好な結果であった。

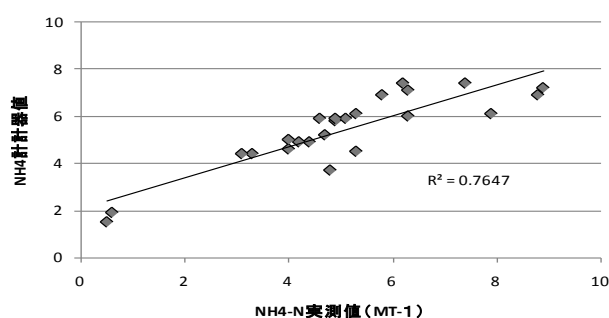


図4 NH₄計の精度管理 (NH₄計とMT-1)

4. 3 NH₄計による硝化制御の可能性

7号B回路に設置したNH₄計の測定値と最終回路のNH₄-N濃度の関係を図5に示した。

図5の赤の破線で示したとおり、現状の空気弁の条件では、B回路のNH₄-N濃度を6.5mg/L以下に制御することで、最終回路のNH₄-N濃度を1.0mg/L以下まで処理することが可能になると判断した。

今後、NH₄-N濃度による送風量制御が可能になれば、現状のDO制御よりも送風量の削減が期待できると考えられる。

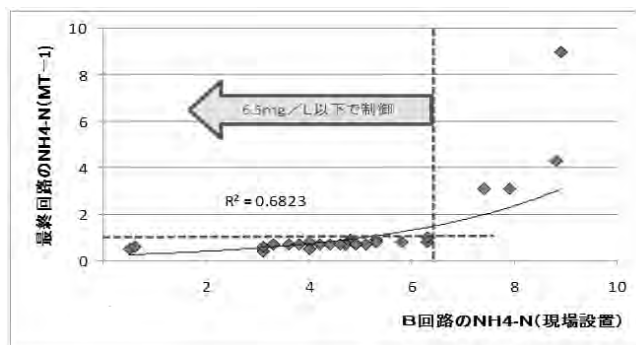


図5 NH₄計による管理方法

4. 4 凝集剤（PAC）の削減効果

7号におけるテーパード法は、A回路における生物学的なりんの吐き出しは、ほとんど見られない。

表4は、10月16日の降雨後にりん処理が不安定になった10月20日の北系全反応槽各回路ごとの窒素とりんの水質分析結果である。

7号以外はPO₄-P濃度が1mg/L以上を検出していたが、7号については窒素、りんの処理は良好に行われていた。

図6に、北1、2系のPO₄-P計の測定結果（時間毎）を示した。

北1系については、17日～18日にかけて数時間PO₄-P濃度がPAC注入開始濃度の2mg/Lを超過したことから、5,057LのPACが注入された。

しかし、2系については制限ばっ気であることや、表4のとおり7号のPO₄-P濃度は0.1mg/Lと良好に処理されており、2系全体のPO₄-Pの濃度がPAC注入設定濃度の2.0mg/Lを超過しなかったことから、PAC注入が無かった。

特に、7号のテーパード法は、A回路でのりんの吐き出しがほとんどないことから、処理水のPO₄-P濃度が大きく上昇することがないために、凝集剤の削減効果も期待できると考えられる。

表4 北系反応槽処理状況（10月20日）

号	回路	NH4	NO2	NO3	PO4-P	DO
		13:30	13:30	13:30	13:30	13:30
1	A	14.7	0.0	0.0	18.3	0.3
	B	欠測	欠測	欠測	欠測	1.1
	C	1.7	0.3	11.3	2.0	2.0
2	A	15.8	0.0	0.0	18.7	0.4
	B	11.6	0.0	1.4	9.6	1.5
	C	1.0	0.3	10.2	1.8	3.0
3	A	14.2	0.0	0.0	16.4	0.3
	B	9.1	0.0	2.0	6.0	1.2
	C	0.8	0.0	12.2	1.3	3.3
4	A	15.1	0.0	0.2	15.9	0.4
	B	10.5	0.2	2.5	8.2	1.8
	C	0.8	0.0	13.6	1.9	3.1
5	A	14.8	0.0	0.2	15.2	0.3
	B	10.1	0.0	2.3	7.4	1.2
	C	1.0	0.4	10.8	1.2	2.1
6	A	15.0	0.0	0.2	9.9	0.3
	B	9.0	0.5	5.2	4.8	2.3
	C	0.9	0.5	14.0	1.6	3.1
7	A	12.3	0.0	0.9	3.6	0.5
	B	5.9	0.3	5.7	0.4	1.2
	C	0.6	0.0	10.8	0.1	1.6
8	A	14.6	0.0	0.7	14.2	0.4
	B	10.0	0.2	3.8	7.4	1.3
	C	0.8	0.2	13.8	2.4	1.9

DO設定値 2.5 mg/L

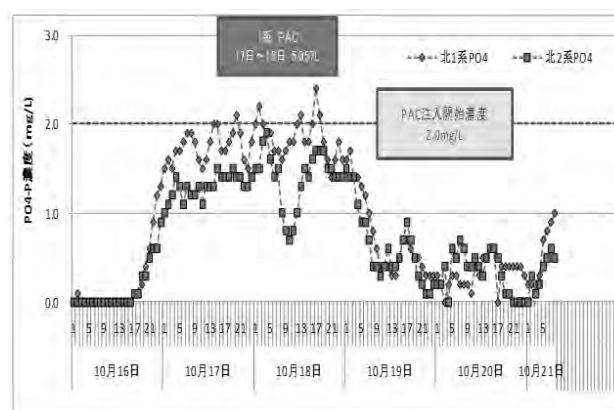


図6 北1、2系のPO₄-P計のトレンド

4. 5 送風量削減効果（送風倍率での比較）

平成22年と23年の7月から9月の北系1号から8号の送風倍率結果を表5、6に示した。

降水量や汚泥循環等があり単純比較は難しいが、北2系7号（テーパード法）の送風倍率は対照である8号よりも低く、7月は7.4%、8月は11.9%と前年同月比（送風倍率）で5%を上回って削減を達成していた。

なお、9月における削減率については、平成22年9月は360mmの降雨があり、単純比較は難しい。

そこで、対照である8号と比較したところ7号の方が送風倍率が0.4倍高い結果であったことから、原因等について検証調査を継続しているところである。

表5 平成22年7月～9月の送風倍率

	降水量	北1系				北2系			
		1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号	8号
H22.7月	77	4.1	4.4	5.4	5.2	4.9	4.7	5.4	5.0
H22.8月	24.5	4.9	5.6	5.9	5.7	5.7	6.0	5.9	5.4
H22.9月	368	4.4	4.3	4.1	4.3	3.5	4.3	4.3	4.2

表6 平成23年7月～9月の送風倍率

	降水量	北1系				北2系			
		1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号	8号
H23.7月	42	5.9	5.3	5.2	5.6	5.3	5.0	5.0	5.3
H23.8月	198.5	5.6	5.1	5.2	5.2	5.3	5.2	5.2	5.4
H23.9月	139.5	4.3	4.5	4.1	4.3	4.6	4.8	4.9	4.5

5 まとめ

今回の実施設を使った検証調査を行った結果、以下のことが分かった。

- ① テーパード法は、制限ばつき法と同程度の硝化が行われていた。
- ② テーパード法は、A回路での生物学的なりんの吐き出しはほとんどなく、降雨時も他の反応槽と比較し PO_4 -Pの処理が安定していたことから、凝集剤（PAC）の削減効果も期待できる。
- ③ テーパード法の7月、8月の送風倍率は、前年同月比（送風倍率比）5%を超えて削減目標を達成したが、9月は対照槽より0.4倍高い結果であり、現在、原因等調査を継続している。
- ④ イオン電極式 NH_4 計と手分析（MT-1）の NH_4 濃度には、良好な相関が確認できた。
- ⑤ 今回の空気弁の開度条件の場合、B回路（中間部）の NH_4 -N濃度を6.5mg/L以下に処理できれば、最終回路の NH_4 -N濃度は1.0mg/L以下まで処理が可能である。
- ⑥ 最適な空気弁の開度調整や NH_4 計を活用した送風量制御を行うことにより、さらに送風量の削減効果が期待できると考えられる。

今後も、硝化状況と送風量の詳細な関係について、調査を継続し、テーパード法の有効性を十分検証した上で他の反応槽への展開を図って、効果的な送風量削減を目指す予定である。

2-(3)-5 水処理から発生するN₂O（一酸化二窒素）

排出抑制技術の開発その2

計画調整部 技術開発課 技術開発主査
濱本亜希 塩見 浩 佐藤浩一

1. はじめに

わが国では東日本大震災以降、エネルギー政策の見直しが検討されている。電力等のエネルギー消費の抑制に加え、地球温暖化対策を進めていくためには、再生エネルギーの活用やCO₂以外の温室効果ガス排出量削減に向けた技術の確立がこれまで以上に重要となる。

東京都下水道局では、地球温暖化対策として「アースプラン2010」を策定し、「温室効果ガス排出量を2020年度までに2000年度比で25%以上削減する」という具体的な目標を掲げ、様々な取組を進めている。図1は2011年度の温室効果ガス排出量とその内訳を示しているが、「汚泥焼却工程からのN₂O（一酸化二窒素）」が高温焼却の導入により、総排出量として既に20%以上（2000年度比）の削減を実現した。しかし、今後さらなる削減を図るためには、全体の17%を占める「水処理工程からのN₂O」の削減が不可欠となる。そこで技術開発課では、平成19年度から当時未解明であった水処理過程のN₂O生成機構解明から着手し、実態把握に不可欠となる連続測定計の開発、制御センサーとしての亜硝酸連続測定計の開発を進めてきた。本調査では、21年度に水処理実験プラントを用いて行った、N₂Oの生成に影響を及ぼす制御因子の特定を目的とした調査^{*1}で得られた知見に基づき、回分試験装置を用いて、各制御因子におけるN₂O生成条件を詳細に検討した。また、嫌気槽等を活用したN₂Oの分解除去技術の開発に向けて行った基礎検討調査についても報告する。

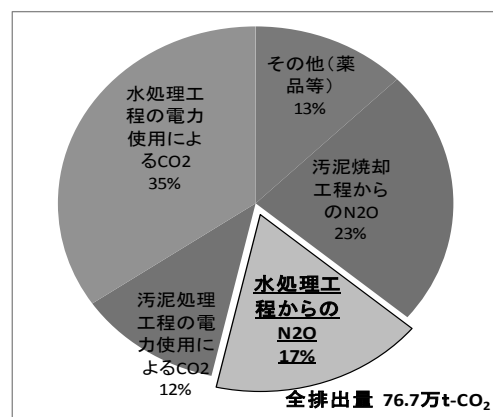


図1 温室効果ガス排出量内訳 (2011年度)

2. 調査内容

2.1. N₂O生成要因調査

21年度の調査結果^{*1}によると、水処理過程から排出されるN₂Oは、大部分が好気槽内の硝化過程で生成されるが、第二沈殿池や嫌気槽、無酸素槽における脱窒過程でも一部生成されている。

そこで、硝化過程と脱窒過程に分けて、N₂Oが生成される条件を把握するための調査を行った。

2.1.1. 硝化試験

(1) 目的

好気槽におけるN₂O生成を抑制するためには、N₂Oの生成と影響因子との関係を硝化という反応を考慮しながら調査することが必要となる。本調査では、反応槽の運転管理に活用できる項目として、①DO（溶存酸素濃度）②SSあたりの窒素負荷（NH₄-N）を対象として、調査を行った。

(2) 調査条件

表1のとおり、DOもしくはSSあたりの窒素負荷条件を変えた7条件について、水温25℃（秋季調査）、18℃（冬季調査）で調査を行った（計14条件）。

(3) 調査方法

図2に示す回分試験装置に、前項箇所で採取した活性汚泥30Lを投入した後、攪拌しながら曝気を開始した。DOが安定した時点で調査開始とし、0分試料として活性汚泥を採取した後即座に必要な量の試薬（塩化アンモニウム溶液、炭酸水素ナトリウム）を添加し、以降最初の1時間は15分間隔で、その後30分間隔で4時間後まで試料（活性汚泥）を採取し、各態窒素濃度（NH₄-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N）および溶存N₂O濃度の測定を行った。ま

た回分試験の開始から終了までの間、N₂O連続測定計（FT-IR）を用いてガス態N₂O濃度の連続測定を行った。また、条件①、③（表1）について、東京工業大学との共同研究により、アイソトポマー技術を用いて、N₂Oの生成機構の解明も合わせて行った。

（4） 活性汚泥採取場所

本硝化調査に用いる活性汚泥は、砂町水再生センター砂系反応槽末端で採取した。

表1 N₂O生成に関する回分試験条件（硝化）

	DO [mg/L]	窒素負荷NH ₄ -N [mgN/gSS]		備考
		水温 25℃	水温 18℃	
①	0.5	35	11	
②	1.0	14	10	
③	2.0	23	14	
④	3.0	16	14	中負荷
⑤	2.0	8	6	低負荷
⑥	2.0	26	24	高負荷

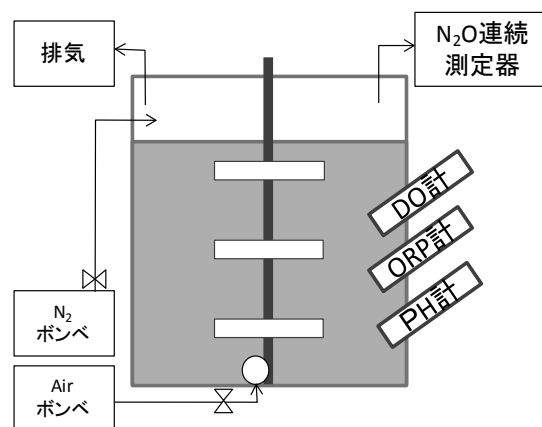


図2 回分試験装置の模式図

2.1.2. 脱窒試験

（1） 目的

処理過程から排出されるN₂Oは、好気槽以外にも、無酸素槽等の脱窒過程でも生成されている。なかでも、第二沈殿池は好気槽と同程度生成する場合があるうえに、返送汚泥として反応槽に循環するため、対応が必要である。そこで本調査では、脱窒に伴って発生するN₂Oに対して、①SSあたりの窒素負荷（NO_x-N）、②窒素あたりの有機物負荷が与える影響について、回分試験装置を用いて調査を行った。

（2） 調査条件

表2のとおり、SSあたりの窒素負荷もしくは窒素あたりの有機物負荷を変えた7条件について、水温25℃（秋季調査）、18℃（冬季調査）で調査を行った（計14条件）。

（3） 調査方法

図2に示す回分試験装置に、前項箇所から採取した活性汚泥30Lを投入し、NO₂-N、NO₃-N濃度およびDOが0mg/Lとなった段階で試験を開始した。0分の試料を採取した直後に必要量の試薬（酢酸ナトリウム溶液、硝酸カリウム溶液）を添加した。以降、最初の1時間は15分間隔で、1時間以降は4時間後まで30分間隔で汚泥を採取・ろ過し、各態窒素濃度（NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N）および溶存N₂O濃度の測定を行った。また回分試験の開始から終了までの間、N₂O連続測定計（FT-IR）を用いてN₂O濃度の連続測定を行った。

（4） 活性汚泥採取箇所

本脱窒調査に用いる活性汚泥は、砂町水再生センター東陽Ⅲ系（10-1号槽）第二無酸素槽にて採取した。

表2 N₂O生成に関する回分試験条件（脱窒）

No	C/N比[mgO/mgN]		窒素負荷 初期NO ₃ -N [mgN/gSS]		MLSS[mg/L]	
	水温 25℃	水温 18℃	水温 25℃	水温 18℃	水温 25℃	水温 18℃
①	2.0	2.0	13	12	1,200	1,300
②	3.1	3.2	11	14	1,400	1,100
③	3.7	4.1	14	14	1,200	1,100
④	6.0	5.1	10	12	1,400	1,400
⑤	7.7	6.4	5	4	1,100	1,500
⑥	4.6	4.8	38	28	940	1,200
⑦	4.1	4.4	40	29	490	640

2.2. N₂O分解装置検討調査

2.2.1. 目的

反応槽から排出されるN₂Oは、流入窒素負荷の大きな変動や処理状況の悪化などによって、急激に増えることも予測される。このリスクを回避するためには、排出されたN₂Oを確実に分解処理できる装置の構築が求められる。本調査では、反応槽（活性汚泥）活用型装置を想定し、回分試験装置を用いてN₂O分解処理の基礎検討を行った。N₂Oの分解処理としては、①溶存態のN₂Oを分解処理するフローと、②ガス態のN₂Oを分解処理するフローが考えられるため、両者の分解状況および分解速度の把握を行った。

2.2.2. 溶存態N₂O分解調査

(1) 調査条件

予備調査での検討結果から、反応槽内のMLSS濃度では分解速度が速くて測定が困難であったことから、MLSSを5倍希釈、10倍希釈してそれぞれの分解速度を測定した。

(2) 調査方法

図3に調査手順を示す。回分試験装置に活性汚泥（対照試験として蒸留水）を投入し、装置下部より、N₂O標準ガス（1000ppm）にて1時間程度曝気してN₂O溶液を作成する。脱室に十分量の酢酸を添加した後、0分の試料を採取し、30分後まで5分間隔で汚泥を採取し、溶存N₂O濃度の測定を行った。

2.2.3. ガス態N₂O分解調査

(1) 調査条件

表4のとおり、分解するガス態N₂O濃度を変えて調査した。

(2) 調査方法

回分試験装置に活性汚泥（対照として蒸留水）を投入し、濃度調整したN₂Oガスで曝気しながら、気相部のガス態N₂O濃度を連続測定することで、活性汚泥によるN₂O分解速度を調査した。なお、調査は4条件連続して実施したが、開始前に分解に必要な酢酸を添加した。

表3 溶存態 N₂O 分解調査条件

	N ₂ O 濃度 [ppm]	酢酸 Na [ml]	MLSS [mg/L]
①	1,000	100	活性汚泥 5 倍希釈
②	1,000	100	活性汚泥 10 倍希釈

表4 ガス態 N₂O 分解調査条件

RUN	N ₂ O 濃度 [ppm]	酢酸 Na [ml]
1	100	40
2	300	120
3	500	200
4	1,000	400

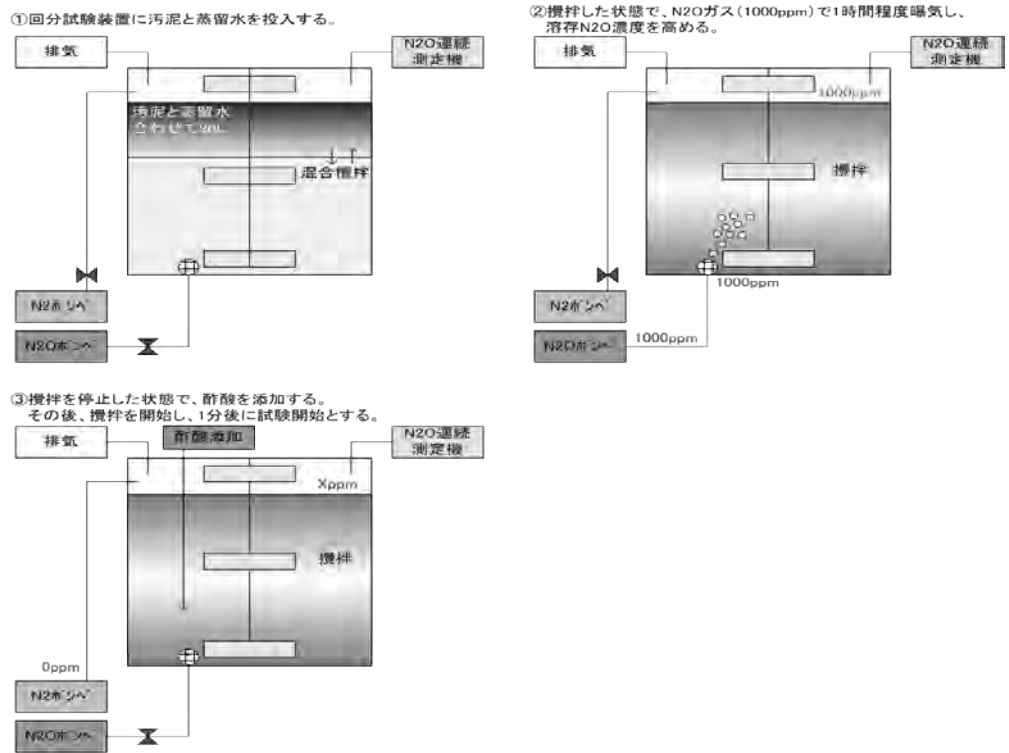


図2 溶存態N₂O分解調査の調査手順

2.3. 溶存N₂O濃度の試料採取・分析方法

溶存N₂O用のサンプルは、活性汚泥による生物反応によってN₂Oが生成・分解されることを防ぐため、下水試験方法による溶存酸素測定の前処理法を準用して硫酸銅・酢酸溶液を1%添加、冷蔵保存し、当日中に測定した。図4に、溶存N₂O濃度の測定装置一式を示す。

試料をフラスコA（攪拌子入り）に静かに投入してゴム栓を閉めた後、ガス態N₂Oの連続測定を開始する。フラスコA内のサンプルを攪拌しながらヒータで温めると、試料中の溶存N₂Oがガス化するためN₂O濃度が高くなるが、この値が再び大気中のN₂O濃度（0.3ppm程度）まで下がるまで測定を続ける。調査開始から終了までのガス態N₂O濃度の積算値から、溶存N₂O濃度を算出する。なお、フラスコBは、高温ガス中の水蒸気を冷水により水滴にし、N₂O計に水蒸気が流れ込むのを防ぐ。

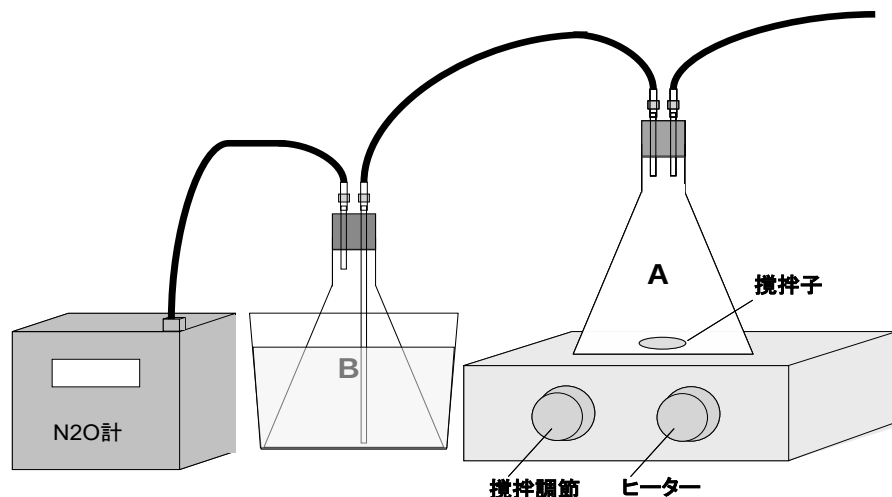


図4 溶存態N₂O濃度測定装置

3. 結果と考察

3.1. 硝化試験結果

3.1.1. 硝化状況とN₂O排出状況

表5に、調査条件毎の、硝化状況とN₂Oの生成・排出状況を示す。

表5 硝化試験における硝化状況とN₂O排出状況一覧

		調査条件		水質結果			N ₂ O生成・排出状況			
		DO (mg/L)	単位SSあたり 窒素負荷 (mgN/gSS)	硝化率* ₂ (240分)	最大 ΔNO ₂ -N* ₄ (mgN/L)	MLSS (mg/L)	D-N ₂ O (mgN)		G-N ₂ O 排出量* ₁ (mgN)	G-N ₂ O 転換率* ₃
							0分	240分		
秋季 調査 25℃	①	0.5	35	61%	1.4 (240)	900	6	7	9	1.5%
	②	1.0	14	100% (210)	5.7 (180)	1,100	5	5	7	1.5%
	③	2.0	23	99%	5.0 (150)	900	5	3	4	0.6%
	④	3.0	16	99%	6.1 (180)	900	8	3	5	1.2%
	⑤	2.0	8	100% (120)	3.3 (90)	900	3	5	3	1.3%
	⑥	2.0	26	65%	13 (240)	1,200	8	6	19	3.2%
冬季 調査 18℃	①	0.5	11	59%	2.1 (240)	1,400	15	7	3	1.1%
	②	1.0	10	85%	4.1 (240)	1,600	4	2	6	1.4%
	③	2.0	14	89%	3.6 (210)	1,400	14	10	3	0.5%
	④	3.0	14	85%	4.0 (240)	1,400	3	1	2	0.4%
	⑤	2.0	6	99%	1.7 (120)	1,400	4	1	1	0.4%
	⑥	2.0	24	49%	4.0 (240)	1,400	3	2	3	0.6%

*1 試験開始時から終了時まで（240分間）の累積値

*2 試験終了時の硝化率、（ ）は開始時から100%に達した時間

*3 硝化量あたりのN₂O排出量の割合

*4 （ ）は、最大濃度となった試験開始後の時間（分）

硝化状況について、秋季調査では、低DO (①) と高負荷 (⑥) 条件を除き、試験時間(240 分間)内に硝化がほぼ完了したが、冬季調査では低負荷 (⑤) 条件以外は、硝化は完了しなかった。また全ての条件で、試験中に N_2O の主要な原料である亜硝酸性窒素 (NO_2-N) が蓄積する状況がみられた。 NO_2-N 蓄積量は、低DO (①)、低負荷 (⑤) の条件では小さかったが、硝化が完了しなかった条件では、試験終了時まで NO_2-N 濃度が上昇する傾向がみられた。

N_2O (G- N_2O) の排出状況について、水温の高い (25℃) 秋季調査において、硝化率および硝化量が大きい上に、 N_2O 転換率も高くなっており、冬季調査よりも排出量が多くなった。また、秋季調査ではDOや窒素負荷の条件により、排出量に違いがみられ、低DO (①) 条件および高負荷 (⑥) の条件において、 N_2O 排出量は多くなった。一方、溶存態 N_2O (D- N_2O) 濃度については、秋季調査ではほとんど変動がなく、冬季調査においては、逆に低下した。

3.1.2. 硝化過程における N_2O 生成要因解析

(1) N_2O 排出量と窒素負荷 (NH_4-N) の関係

図4に回分試験開始から終了までのSS当りの N_2O (G- N_2O) 排出量と流入窒素負荷 (DO2.0mg/L) との関係を示す。本調査では、窒素負荷と N_2O 排出量との間に明確な相関関係は認められなかったが、秋季調査の高負荷条件 (26 mgN/gss) において、 N_2O 排出量が非常に大きくなった。当該条件では、表1に示すように NO_2-N 濃度が高くなっており、その結果、 N_2O 排出量が増加したと考えられた。実際、図5は各 NH_4-N 負荷における、 NH_4-N 酸化速度を示しているが、窒素負荷が高くなる程、 NH_4-N 酸化速度すなわち NO_2-N 生成速度が大きくなっていった。このことから、実施設における流入窒素負荷の増加は、反応槽内に一時的に NO_2-N を蓄積するために、 N_2O 排出量を増加させていた可能性が示唆された。

(2) N_2O 排出量とDOとの関係

図6に、回分試験開始から終了までの単位SSあたりの N_2O 排出量とDOとの関係を示した。

秋季調査 (水温 25℃) において、 N_2O 排出量は低DO条件で多く、DOが高くなるほど低くなる傾向を示し、DO = 2.0mg/L、3.0mg/Lではほぼ同程度であった。図7に N_2O 排出量の時間変動を、また図8、9に、それぞれDO条件 0.5 mg/L と 2.0 mg/Lの時の水質状況を示す。DO $\geq$ 1.0 mg/Lの条件では、DO = 2.0 mg/Lと同様に、硝化の進行に伴って N_2O 排出量が増加、硝化が完了して NH_4-N が 0 mg/Lになると、 NO_2-N 濃度の減少とともに、 N_2O 排出量も大きく減少した。

一方、DO = 0.5 mg/Lにおいては、上記傾向と異なり、まず、試験開始直後に硝化がほとんど進行していない状況で N_2O 排出量の大きなピークが認められた。また、亜硝酸性窒素 (NO_2-N) 濃度が低く抑えられていたにもかかわらず、 N_2O 排出量は試験終了時まで高い値で推移した。

冬季調査 (水温 18℃) では、 N_2O 排出量の時間変動は秋季調査のDO $\geq$ 1.0 mg/Lと同様の傾向を示し、 NO_2-N 濃度に応じて高くなった。

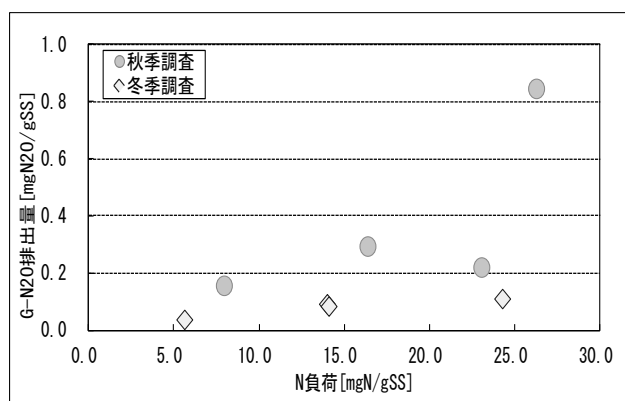


図4 N_2O 排出量と窒素負荷 (NH_4-N) との関係

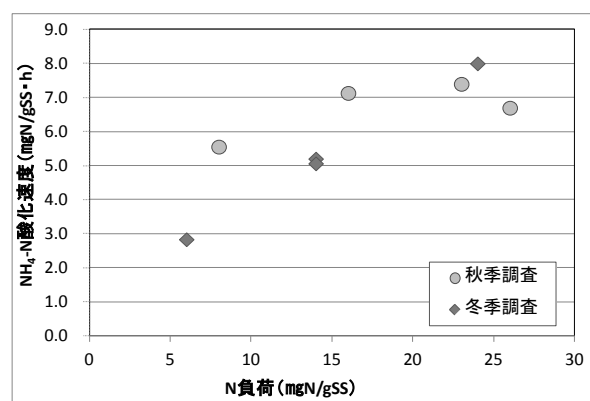


図5 流入窒素負荷と NH_4-N 酸化速度

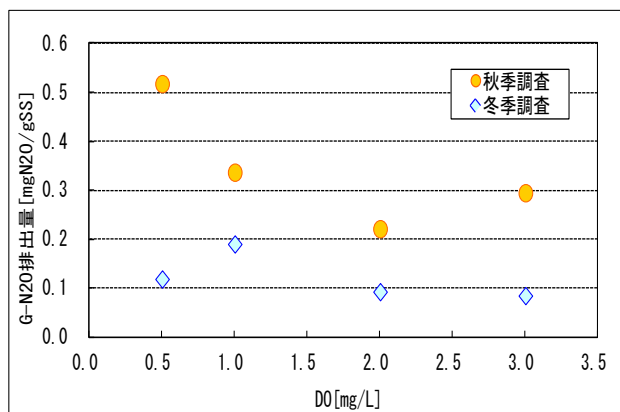


図6 N₂O排出量とDOとの関係

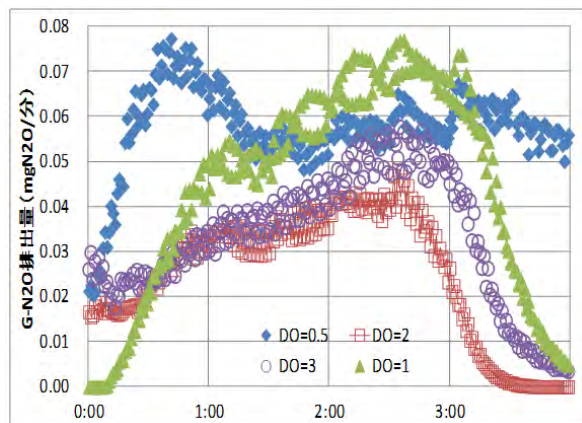


図7 N₂O排出量の変動（秋季調査）

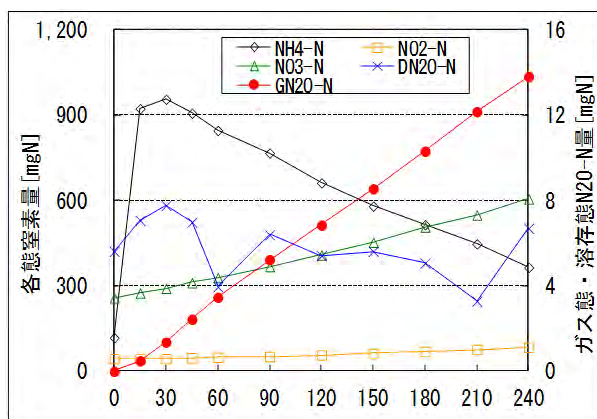


図8 DO=0.5mg/Lの水質変動（秋季調査①）

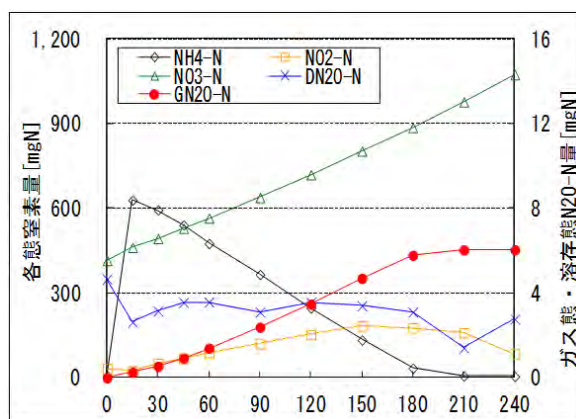


図9 DO=2.0mg/Lの水質変動（秋季調査③）

(1) 亜硝酸性窒素とN₂O生成・排出量の関係

図10、11に、代表例としてDOが0.5 mg/Lと2.0 mg/Lの時の回分試験装置内のNO₂-N蓄積量とN₂O (G-N₂O) 排出量との関係を示す。なお、N₂O排出量は各時間における瞬時値ではなく、累積値を示す。また、図上の矢印は反応の進行方向を示している。

NO₂-N蓄積量増加に伴いN₂O排出量も増加したが、DO条件によって、排出量は大きく異なる結果となった。DO=0.5 mg/Lでは、同じNO₂-N蓄積量で、DO=2.0 mg/Lの場合と比較してN₂O排出量が大きい結果となっていた。また、図9 (DO=2.0 mg/L) にみられるように、試験開始後210分にNH₄-N濃度が0mgN/Lとなって硝化が完了すると、亜硝酸性窒素 (NO₂-N) が残存しているにもかかわらず、N₂O排出量は急に減少し、停止した。このことから、N₂Oの生成には、原料となるNO₂-Nの蓄積に加えて、アンモニア (NH₄-N) の酸化反応が必要であると考えられた。

なお、既知の研究結果から、好気槽から排出されるN₂Oは、NH₄-NからNO₂-Nへの酸化過程で中間物質として生成されるヒドロキシルアミン (NH₂OH) の副生成物 (NH₂OH酸化) として、もしくは、NO₂-NのNO₃-Nへの脱窒過程 (亜硝酸脱窒) での中間物質として生成されることが分かっている。技術開発課では、東京工業大学との共同研究において、アイソトポマー技術を用いたN₂O生成機構解明を進めており、本件においても、D-N₂Oについて由来を調査したが、SP (Site Potential) の値から、いずれの調査条件においてもNH₂OH酸化よりも、亜硝酸脱窒の方が優位となっていた。しかし、NO₂-Nの蓄積がほとんどみられなかったDO=0.5 mg/Lの条件において、非常に大きなG-N₂O排出量がみられたこと、また、N₂Oの生成に、アンモニア (NH₄-N) の酸化反応が必要であったことから、G-N₂Oについては、NH₂OH酸化由来であった可能性がある。

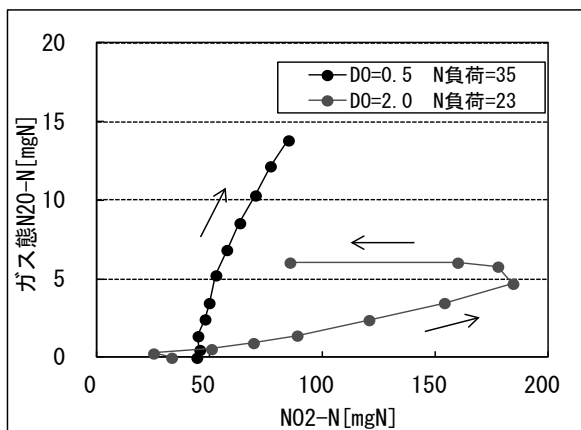


図 10 亜硝酸量とガス態 N_2O 排出量（秋季調査）

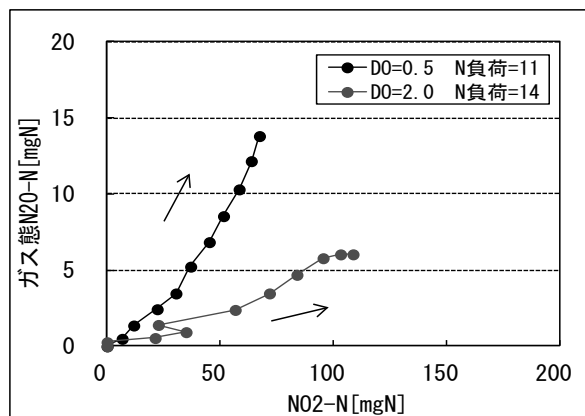


図 11 亜硝酸量とガス態 N_2O 排出量（冬季調査）

(4) N_2O 排出量と硝化率の関係

硝化試験結果における硝化量と N_2O 排出量の関係を図 11、12 に示す。なお、硝化量は $\text{NO}_x\text{-N}$ 生成量から算出した。DOが0.5mg/Lと低い条件では硝化の進行が遅かったが、 N_2O 排出量は、硝化量が同じにもかかわらず、DO $\geq$ 2mg/Lよりも多い結果となった。

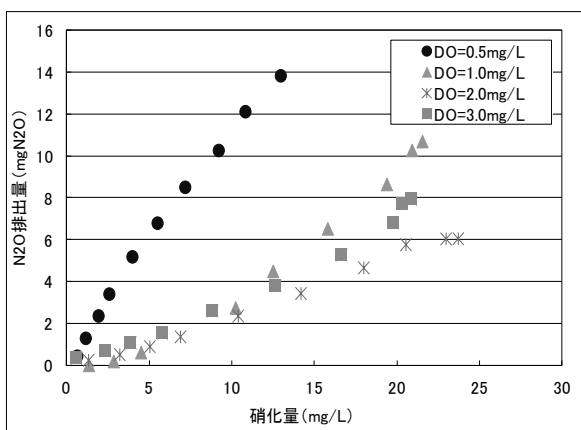


図 12 硝化率と N_2O 排出量の関係（秋季調査）

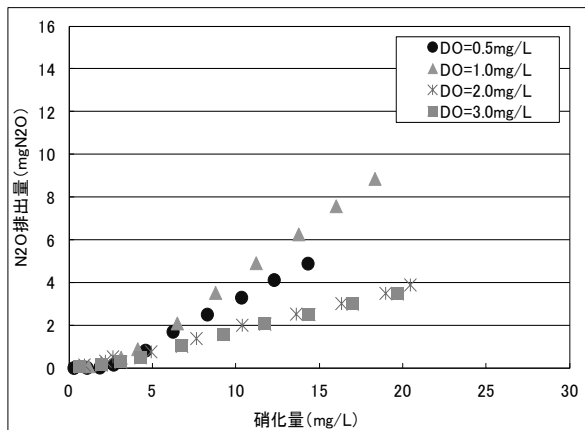


図 13 硝化率と N_2O 排出量の関係（冬季調査）

3.2. 脱窒試験結果

3.2.1. 脱窒状況と N_2O 排出状況

表 6 に、調査条件毎の、脱窒状況と N_2O の生成・排出状況を示す。

脱窒状況について、窒素負荷の低い条件（⑤）で完全脱窒に至った。また全ての条件で、試験中に N_2O の主要な原料である亜硝酸性窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）が蓄積する状況がみられた。特に、窒素（ $\text{NO}_x\text{-N}$ ）負荷が高い条件（⑥）において、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 蓄積量が大きくなった。

N_2O （ $\text{G-N}_2\text{O}$ ）の排出状況について、排出量は硝化試験の場合と比較して1オーダー低い結果となり、脱窒工程では硝化工程と比較して、ガス態としては、 N_2O はほとんど排出されていなかった。

一方、溶存態 N_2O （ $\text{D-N}_2\text{O}$ ）濃度については、ほとんどの条件で試験開始時と終了時で変化はみられなかったが、窒素負荷が高く $\text{NO}_2\text{-N}$ 蓄積量が大きかった条件（⑥）では、濃度が高くなり N_2O の生成が認められた。

表 6 脱窒試験における硝化状況とN₂O排出状況一覧

		調査条件		水質結果			N ₂ O生成・排出状況			
		C/N比 [mgO/ mgN]	単位SSあたり 窒素負荷 (mgN/gSS)	脱窒率 (240分)	最大 ΔNO ₂ -N ^{*4} (mgN/L)	MLSS [mg/L]	D-N ₂ O (mgN)		G-N ₂ O 排出量 ^{*1} (mgN)	G-N ₂ O 転換率 ^{*3}
							0分	240分		
秋季 調査 25℃	①	2	13	70%	3.5 (240)	1,200	10	9	1	0.2%
	②	3.1	11	79%	4.3 (150)	1,400	2	3	1	0.1%
	③	3.7	14	100%	5.8 (120)	1,200	7	2	1	0.1%
	④	6.0	10	97%	3.9 (150)	1,400	9	18	1	0.2%
	⑤	7.7	5	100% (180)	2.2 (90)	1,100	1	0	0	0.2%
	⑥	4.6	38	60%	18 (210)	940	5	11	1	0.1%
冬季 調査 18℃	①	2	12	69%	2.4 (240)	1,300	15	14	1	0.1%
	②	3.2	14	47%	0.4 (240)	1,100	1	2	0	0.1%
	③	4.1	14	75%	1.5 (240)	1,100	10	7	1	0.1%
	④	5.1	12	91%	2.5 (150)	1,400	11	11	1	0.1%
	⑤	6.4	4	100%	0.4 (60)	1,500	2	2	0	0.1%
	⑥	4.8	28	74%	10 (240)	1,200	0	19	1	0.1%

*1 試験開始時から終了時まで (240 分間) の累積値

*2 試験終了時の脱窒率、() は開始時から 100%に達した時間

*3 脱窒量あたりのN₂O排出量の割合

*4 () は、最大濃度となった試験開始後の時間 (分)

3.2.2. 脱窒工程におけるN₂O生成要因解析(1) N₂O排出量とC/N比の関係

脱窒に寄与する因子であるC/N比とG-N₂O排出量との関係を図 14 に示す。

いずれの調査においても、G-N₂O排出量が最小となる「最適C/N比」が存在し、その値は 3.0~3.5mgO/mgN程度であると考えられた。しかし、既往の研究結果によると、C/N比はN₂O生成の有無を支配する重要な因子であり、脱窒に不利となる低C/N比条件では脱窒過程でN₂Oが生成、排出されるものの、一定以上確保されていれば、生成を抑制できるとされる。本調査において、C/N比が高くなる程再びN₂O排出量が高くなった理由としては、酢酸添加によりpHが低くなったためと考えられた。

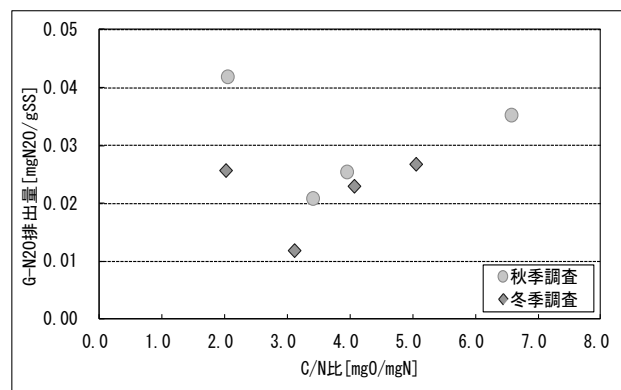
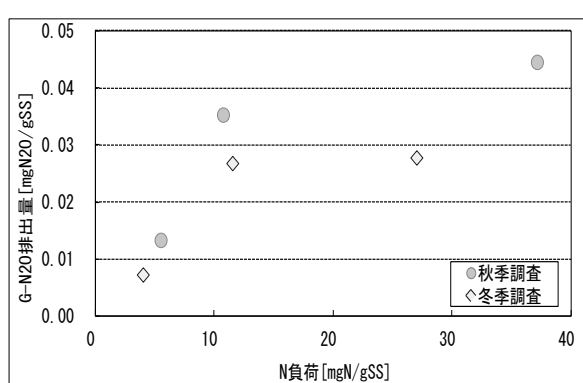
(2) N₂O排出量と窒素負荷の関係

窒素 (NO_x-N) 負荷とG-N₂O排出量との関係を図 15 に示す。

秋季調査結果、冬季調査結果ともに、窒素負荷が小さいと、G-N₂O排出量は低く抑えられていたが、窒素負荷量とG-N₂O排出量との間には、明確な相関関係は認められなかった。

(3) 亜硝酸性窒素とN₂O生成・排出量の関係

亜硝酸性窒素 (NO₂-N) とN₂O生成・排出量の関係を図 16、図 17 に示す。秋季調査、冬季調査ともに、窒素 (NO_x-N) 負荷が高い程、NO₂-N蓄積量が大きくなる傾向が認められた。しかし、G-N₂O排出量は、NO₂-N増加の過程では一定の割合で増加し、NO₂-N減少の過程でも一定の割合で増加する傾向がみられた。一方、溶存N₂O (D-N₂O) については、NO₂-N蓄積量と明確な関係はみられなかった。

図 14 N₂O排出量とC/N比の関係図 15 N₂O排出量と窒素負荷の関係

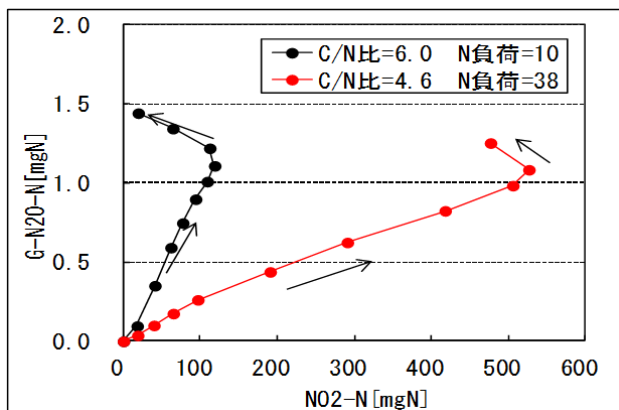


図 16 亜硝酸量とG- N₂O排出量（秋季調査）

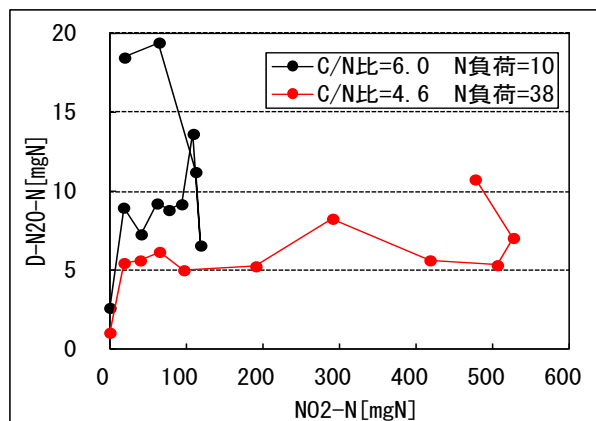


図 17 亜硝酸量とD- N₂O排出量（秋季調査）

1.1. N₂O分解装置検討調査

1.1.1. 溶存N₂O分解速度

図 18 に分解試験開始後のD-N₂O濃度の変化を示す。溶存N₂O濃度は時間経過に伴って線形的に低下した。

以下のように溶存N₂Oの分解（脱窒）速度を算定すると、約 10～15mgN/gSS・hrとなった。

活性汚泥の状況にもよるが、返送汚泥中D-N₂O も嫌気槽内の滞留時間で、十分分解できると考えられる。

脱窒分解速度

$$= \{ (C_{N_2O,(5)} - C_{N_2O,(30)}) \times 60 / (30 - 5) \} / (MLSS / \text{希釈倍率}) \times (28 / 44) \times 1,000$$

$C_{N_2O,(5)}$: 試験開始 5 分後の D-N₂O 濃度 (mg/L)

$C_{N_2O,(30)}$: 試験開始 30 分後の D-N₂O 濃度 (mg/L)

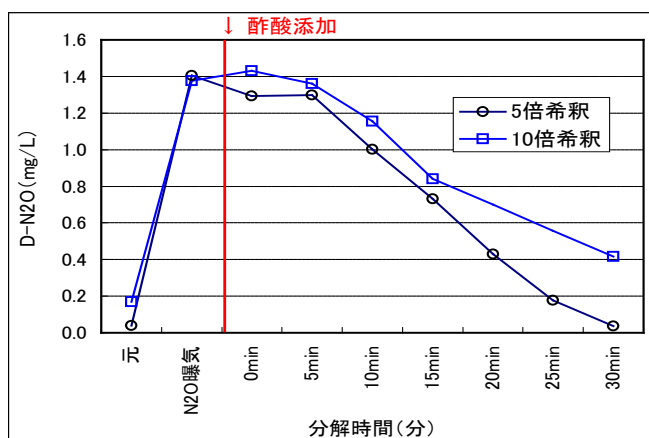


図 18 D-N₂O の分解状況

1.1.2. G-N₂O分解速度

図 19 に、N₂O曝気時の回分試験装置気相部のN₂O濃度を示す。

水に曝気した場合には、気相部のN₂O濃度は、各RUN中曝気ガスのN₂O濃度に相当する濃度であったが、汚泥を用いた試験では、その約半分程度と低い値で安定し、この差分が活性汚泥による分解反応によるものであると考えられた。また、D-N₂O濃度についても、水に曝気した場合は、曝気ガスのN₂O濃度に比例してD-N₂O濃度も増加したが、活性汚泥による試験では、曝気ガスの濃度によらず、溶存N₂O濃度は同濃度で推移した。

このことから、水に曝気した場合と活性汚泥中に曝気した場合のガス態N₂O濃度の差分が活性汚泥によるN₂Oの分解と考えられるが、曝気ガス濃度が高い程、活性汚泥によるN₂O分解量も高くなっていた。

図 20 に、N₂O負荷量ごとの、活性汚泥によるN₂O分解速度を算出した結果を示す。N₂O負荷量と分解速度には高い相関がみられ、本調査における最大分解速度は 約 1.3mgN/gSS・hrであった。

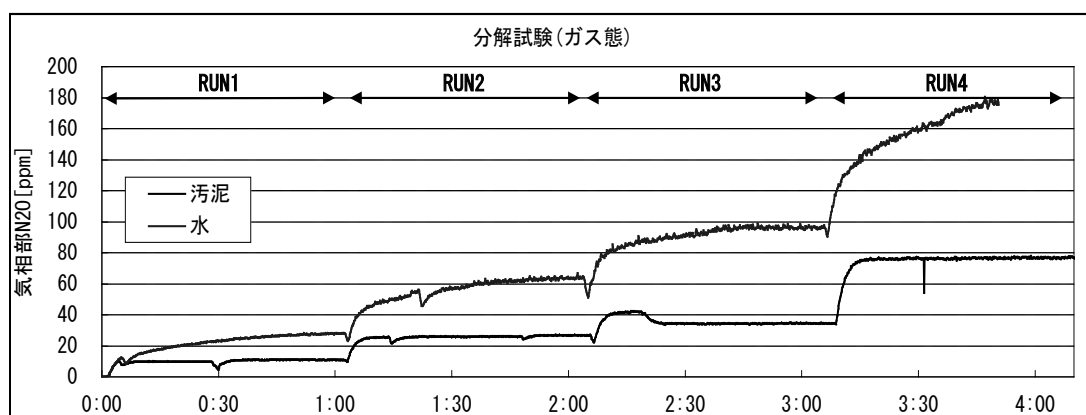


図 19 分解試験時の気相部の N_2O 濃度

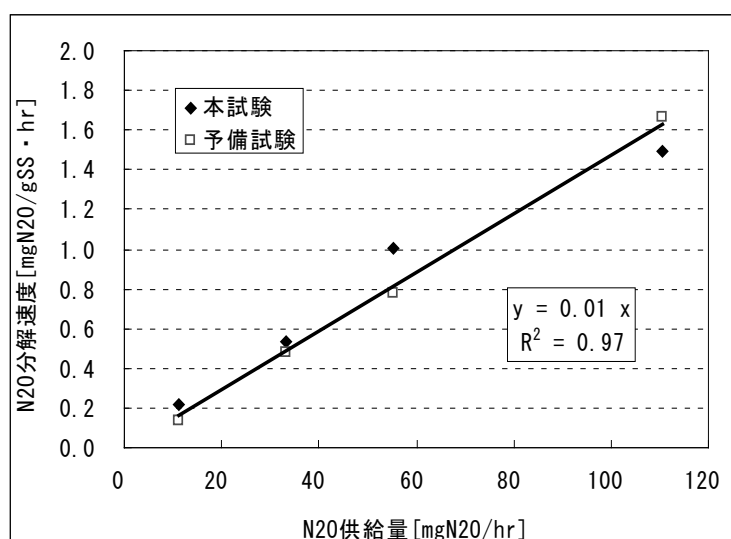


図 20 N_2O 負荷量と分解量との関係

4 まとめ

4.1 N_2O 生成要因調査

(硝化試験)

- N_2O 排出量は、DOが1 mg/L以上の高DO条件では、少なくなった。
- N_2O 排出量と流入窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) 負荷との間には明確な関係はみられなかったが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷が高くなるとアンモニア酸化速度が大きくなり、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が蓄積しやすい状況を生む可能性が示唆された。
- $\text{NO}_2\text{-N}$ が検出される状況で N_2O 排出量が多かったが、DO条件によって排出傾向が異なった。
- $\text{NO}_2\text{-N}$ の蓄積によるG- N_2O 排出は、アンモニア酸化状況下で起こっていた。

(脱窒試験)

- 脱窒に寄与する因子であるC/N比が高い条件では脱窒処理が良好となり、 N_2O 排出量は少なくなった。
- N_2O 排出量は窒素負荷が高いほど高くなる傾向を示した。
- 窒素負荷が高い条件では $\text{NO}_2\text{-N}$ 蓄積量は大きく、脱窒反応が終了した場合には N_2O 排出量も多くなるものと推察された。

4.2 N_2O 分解装置検討調査

- D- N_2O の分解速度は約10~15mgN/gSS・hrと推定された。
- G- N_2O の分解速度は負荷が高い程速くなり、本調査では最大速度 約1.3mgN/gSS・hrであった。

5 今後の予定

下水処理過程で発生する N_2O は、主に好気槽および第二沈殿池で生成、排出され、嫌気槽、無酸素槽では分解される。そこで技術開発課では、水処理施設からの N_2O 排出量削減に向けて、本調査やこれまで得られた知見をもとに、① N_2O の生成や蓄積、排出を抑制する「生成抑制技術」と、②排出された N_2O を適正な条件下で分解してしまう「分解促進技術」という2つの観点から、技術開発を進めている。具体的な開発技術内容を以下に示す。

1) 生成抑制に関する技術・条件

(1) 亜硝酸蓄積による生成を回避するため、アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌のバランス最適化のために必要なHRTおよびA-SRTの条件を検討する。

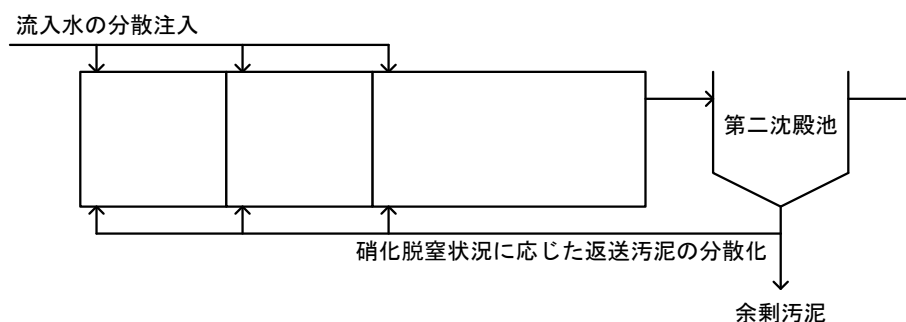
(2) アンモニア酸化と亜硝酸酸化といった硝化状況をコントロールすることで、 N_2O の生成を抑制するため、亜硝酸計やアンモニア濃度計等を用いた送風制御条件を検討する。

(3) 流入負荷が高い状況では、従属栄養細菌との酸素の奪い合いにより低DO状況が生じるうえに、 NH_4-N 負荷増大に伴うアンモニア酸化速度の上昇により、亜硝酸が蓄積し、 N_2O が生成されやすくなるため、流入水等の窒素負荷を分散化する条件および効果を検証する（図21）。

(4) 第二沈殿池での脱窒反応による N_2O 生成を抑制するため、ORP計等を用いた生成抑制条件を検討する。

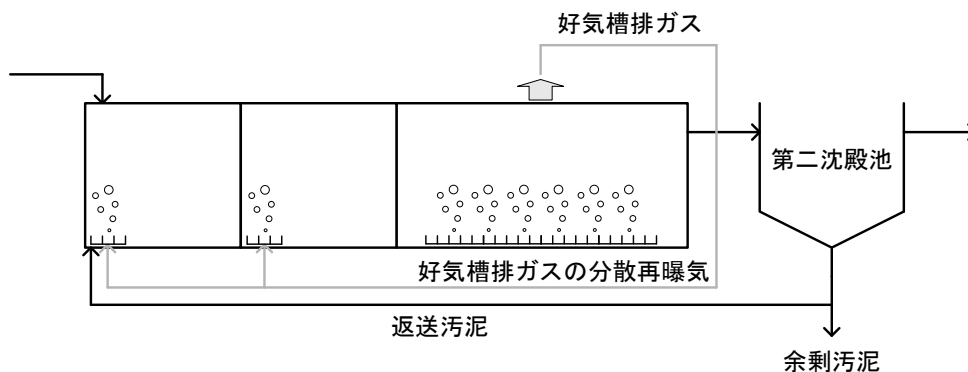
2) 分解促進に関する技術

好気槽から排出された N_2O を、好気槽排ガスの一部を嫌気部へ循環曝気することで分解するため、分解に必要な条件と分解可能量の試算を行う（図22）。



流入水や返送汚泥のバイパスなどにより N_2O の排出を抑制する。

図21 窒素負荷分散による生成抑制技術のイメージ



好気槽排ガスを前段（嫌気槽・無酸素槽等）へ循環曝気することで N_2O の分解を促進する。

図22 分解促進技術のイメージ

[参考文献]

*1 塩見他 水処理から発生する N_2O （一酸化二窒素）の排出抑制技術の開発 東京都下水道局技術調査年報2010 3-1-(3)

2-(4)-1 汚泥焼却における温室効果ガス削減の取組

東部第一下水道事務所砂町水再生センター 中田 友三

1. はじめに

下水道局では、東京都下水道局経営計画 2010 の地球温暖化対策においてCO₂排出量削減の取組の中で、汚泥処理が大きな部分を占めることから、特に削減効果の大きい汚泥焼却について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、運転管理業務受託者の東京都下水道サービス株式会社（以下、TGSという）と共同で平成 22 年度に汚泥焼却設備における温室効果ガスを削減するための運転改善に積極的に取り組み、一定の成果が得られたので報告する。

2. 下水道局の温室効果ガス削減の取組（汚泥処理）

2. 1 汚泥処理施設の温室効果ガス削減の取組

下水道局では、省資源・省エネルギー対策に向け、積極的に新技術の開発・導入に努め、これまでに、汚泥の消化ガス発電、下水熱や汚泥焼却廃熱を利用した地域冷暖房事業等多様な取組を行ってきた。しかし、当局は事業活動で、都内の電力消費量の 1%を占める膨大な電力（約 10 億kWh）を消費しており、また、都の事務事業活動に伴う温室効果ガス排出量の 4 割を占めている。温室効果ガス排出量の内訳としては、汚泥処理に伴うN₂O（一酸化二窒素）排出量が約 3 割と、汚泥焼却設備の運用に伴う温室効果ガス排出量がかなりの割合を占めている。また、N₂OはCO₂の 310 倍の温室効果がある。そこで、下水道局では、平成 22 年度に汚泥処理 5 施設（みやぎ、新河岸、葛西、東部スラッジプラント、南部スラッジプラント）の管理業務受託者TGSと協力し、特に削減効果が大きい汚泥処理設備における温室効果ガス削減対策について取組を行った。

2. 2 汚泥処理 5 施設の取組内容

汚泥処理 5 施設では、TGS と協力し、温室効果ガス削減対策として

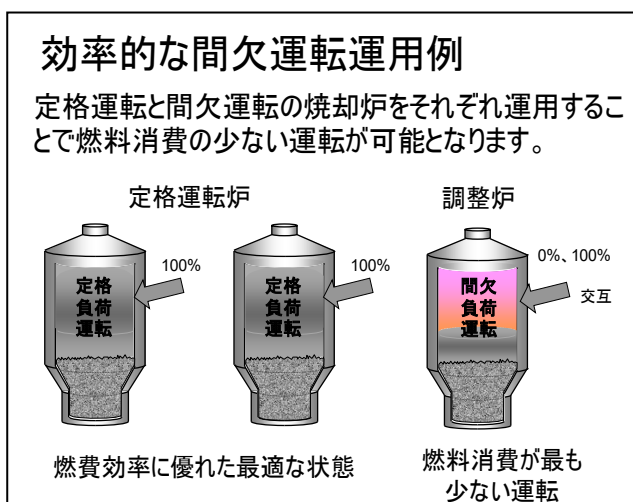
- (1) 高温焼却の確実な実施
- (2) 燃費特性に優れた焼却炉の優先稼働
- (3) 効率的な間欠運転の実施

について積極的に取り組んでいる。

具体的な取組内容として、

(1) では、すでに高温焼却を実施している施設において、日々汚泥性状や汚泥量、含水率等の変動がある中で適正な温度「フリーボード（以下、FB という）上部温度」を維持するためオペレータが手動により流動空気量や硅砂量等をこまやかに管理している。

(2) では、同じ施設においても焼却炉ごとに燃費特性が異なることから、燃費特性を検証し、燃費



図－1 効率的な間欠運転運用例

の良い焼却炉（号機）を優先的に稼働している。

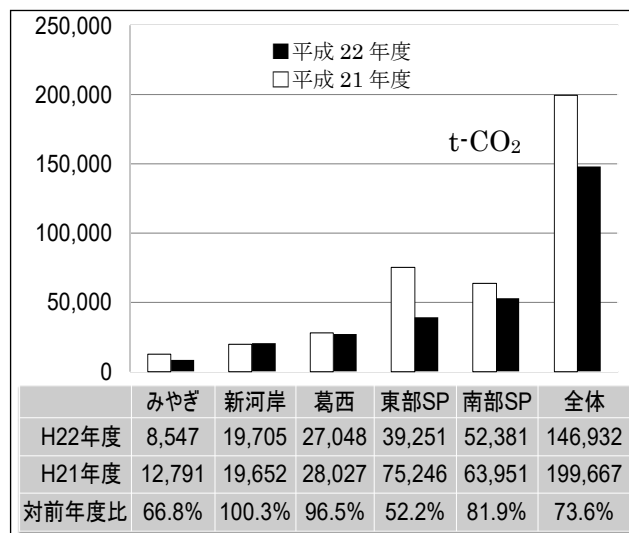
(3)では、汚泥貯留槽などを活用して、定格運転をする定格運転焼却炉と待機運転を繰り返す間欠運転焼却炉（調整炉）をそれぞれ運用し（図－1 参照）、燃料消費の少ない運転を実施している。

2. 3 汚泥処理 5 施設の温室効果ガス排出量実績

図－2 にH22 年度のN₂O排出量実績を示す。前述の取組により、汚泥処理 5 施設全体としては対前年度比約 73%削減をすることができた。削減要因としては、高温焼却実施によるN₂O排出量の削減が大きく貢献している。N₂O排出量は炉内温度に依存することから、汚泥処理 5 施設が高温焼却に積極的に取り組み、平均炉内温度が高温化されたことが分かる。

また、対前年度比較で変化が少なかった施設については、前年度も高温焼却を実施していた施設となっている。そのことから、高温焼却を継続的かつ安定的に実施できたことが分かる。みやぎや南部スラッジプラントについては、炉の休止や更新による削減効果となっている。

ここで、N₂O排出量を対前年度比 52.2%も削減することができた東部スラッジプラントの削減対策について、3 章で説明する。



図－2 5 施設 H22 年度 N₂O 排出量対前年度比較

3. 東部スラッジプラント汚泥焼却設備の取組と効果

3. 1 これまでの運転方法

汚泥焼却炉 1～3 号の高温焼却実施前後の運転条件を表－1 に、東部スラッジプラント汚泥焼却炉簡略フローを図－3 に示す。東部スラッジプラントの平成 21 年度までの運転手法としては、局の目標でもあった補助燃料の低減化によるCO₂排出量の削減や、パラメータが多岐にわたっている焼却設備自動制御の安定性を考慮し、砂層に熱容量を多く持たせるため、焼却炉の管理値内で珪砂の量及び流動空気量を増量していた。

表－1 に示した高温焼却実施前の各設定値は、汚泥性状の影響により、焼却炉が自燃（補助燃料を使用せず砂層温度を 740℃以上に保つよう珪砂量や流動空気量等を調整し汚泥を燃焼させる方法）

～補燃（砂層温度が 720℃まで下がった時に、ガス燃料を使い汚泥を燃焼させる方法）を繰り返す中で、炉出口のO₂濃度が前後 3%程度変動することや、油脂分が多い吾孺スカムを焼却炉で燃焼させると、

表－1 高温焼却実施前後の運転条件

	平成 21 年度	平成 22 年度
流動空気量	19,000m ³ /h	16,500m ³ /h
空気比※1	1.7	1.35
FB（フリート）温度	813℃	841℃
流動空気圧力	28kPa	26kPa
珪砂量	115 t	105 t
炉出口酸素濃度	7～8%	4～5%
補助燃料原単位※2	11.5Nm ³ /wet-t	9.7Nm ³ /wet-t

※1 空気比＝供給空気量／理論空気量

※2 補助燃料原単位＝都市ガス使用量／脱水ケーキ量

O_2 消費量が増大して O_2 濃度が低下してしまうことからインターロック条件(O_2 濃度3%でケーキカット)を考慮し、 O_2 濃度が7~8%となるよう各パラメータを決めていた。

また、補助燃料の低減化が目標として掲げられていたことにより砂層に熱容量を持たせるため、流動空気圧力を27Pa(硅砂が多い状態:115t程度)にしておき、雨天時などで脱水ケーキの砂分が増え圧力が上昇しても28kPa程度までは硅砂を抜かずに運転をしていた。

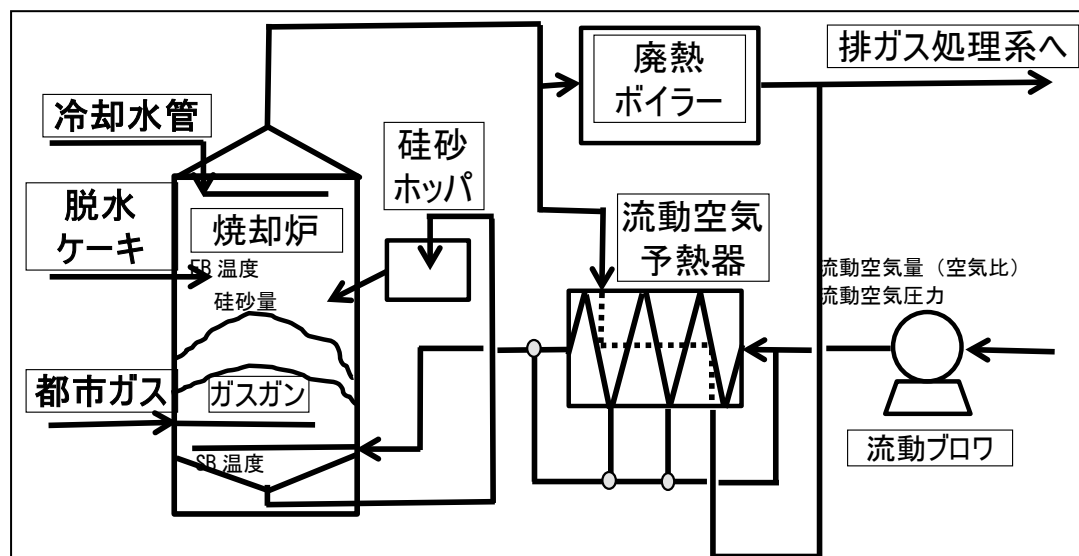


図-3 東部 SP 汚泥焼却炉簡略フロー (参考)

3. 2 高温焼却におけるこまやかな運転管理 (硅砂量・流動空気量・酸素濃度等)

東部スラッジプラントでは、平成22年4月から高温焼却実施(FB 上部温度 835℃以上の維持)の取組をスタートし、現在まで継続している。平成22年4月~平成23年3月までの運転条件を表-1にまとめた。

運転条件を設定するに当たっては、これまでの燃料低減化に主眼をおいてきた運転管理を、高温焼却を優先させた運転管理に見直す必要があった。東部スラッジプラントは、これまで、焼却炉温度制御はサンドボード (SB) の砂層温度で行っており、再生可能エネルギーを有効に活用するために廃熱発電設備(東部スラッジプラント固有設備)が設置されていることから、高温焼却を実施するに当たり以下の問題点があることが分かった。

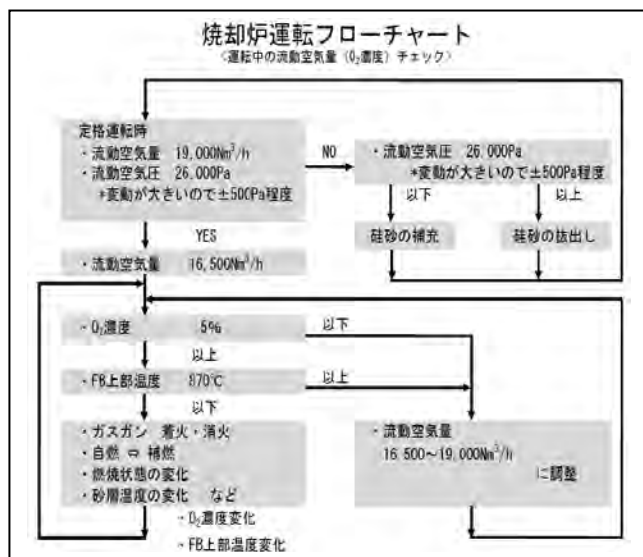


図-4 焼却炉運転フローチャート

(1) 高温焼却では補助燃料による昇温が必要不可欠だが、高温焼却時に自燃状態に入るとガスガンが消火してしまうため、高温焼却の運転が維持できない(SB 部で温度が740℃以上になるとガスが最低供給状態になり、その状態が30分以上継続すると自燃状態に入り、ガスガンを消火させる制御に

なっている)。

(2) 汚泥量減少及び含水率悪化等により、汚泥焼却量が定格 12.5t/h 以下の運転になると、温度が低下してしまう(過去の実績から常時定格運転を行うのは困難)。

(3) FB 上部温度を常時高温状態で継続させると、排ガスの熱量が上がり廃熱ボイラーから発生する主蒸気流量が増大し焼却炉の停止が懸念される(主蒸気量が 10.6t/h になると廃熱ボイラーが停止してしまい、併せて焼却炉も停止させてしまう)。

東部スラッジプラントでは、以上の問題点を解決し安定かつ安全に高温焼却を実現するため、各問題点について焼却炉メーカーにヒアリングを実施したが、明確な回答が得られなかったことや(高温焼却に耐えられる設備に改良するためには時間も費用もかかり、設計思想が違うため推奨できない等)、高温焼却による N_2O 排出量削減対策は喫緊の課題であったことから、焼却炉設備や焼却制御を改造することなく焼却炉の管理値の範囲内で(表―1 参照)オペレータが運転条件を設定することで高温焼却に取り組むこととした。高温焼却を実現するための条件を設定したフローを図―4 に示す。上記(1)～(3)の問題点を解決しFB上部温度を 835℃以上の高温にするために、以下の方策を行った。

まず、砂層の熱ボリュームを減らし、SB 部ではなく FB 部でケーキの完全燃焼をさせる必要があることから、流動空気圧(硅砂量の目安)を 28～26kPa に減少させ、砂層のボリュームを減らした。

次に、FB 上部で 835℃以上の高温を維持させるために砂層の流動量や空気による冷却効果を少なくする必要があったため、流動空気量を 19,000m³/h から管理値限度の 16,500m³/h まで減らした。このことにより炉の出口酸素濃度が 4～5%まで下がり、結果的に FB 上部温度を 841℃まで高温化することに成功した。

また、FB 上部が高温化したことにより、焼却炉を出た流動空気の温度も高温化し、流動空気による冷却効果がさらに減少したため、SB 部も高温化が維持でき、ガスガンの使用頻度が下がり補助燃料の消費量を原単位で 11.5～9.7Nm³/wet-t まで下げることができた。この運転方法は、高温化ができるうえ、燃費にも優れた運転手法であるということが分かった。

これらの取組により、(1)から(3)の問題について見解が得られた。

(1) はガスガンが止まっても、炉内温度の高温化が維持でき、運転にも支障がないことが確認された。

(3) については、高温焼却によって炉内温度は高温になったが、流動空気量が少ないため排ガスの総熱量は増えず廃熱ボイラーには影響がなかった。

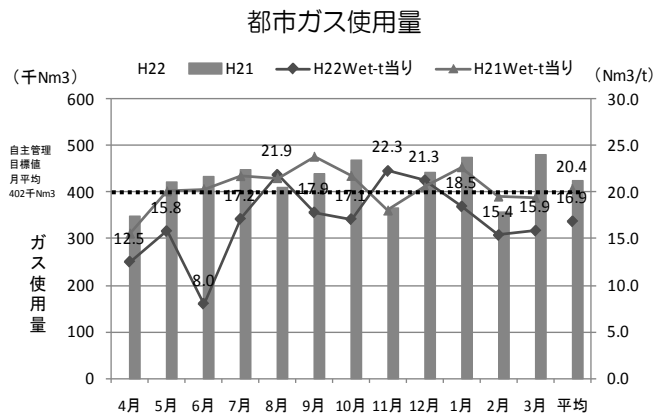
しかし、(2)については、定格運転不可(発生汚泥量の低下や含水率悪化等)の場合は炉の温度低下が避けられないため、炉を保温状態にし、ケーキ貯留槽に脱水ケーキが定格運転できるまで貯留されるのを待つ運転(定格バッチ運転)を強いられるため、焼却能力に制限が出ることやオペレータによる常時監視が必要となることが分かった。また、高温焼却実現のために実施した流動空気を減らし、硅砂量を少なくすることは、より鋭敏な運転となるために、自動制御が追従できずにオペレータによる緻密な手動運転が必要ということも分かった。

3. 3 平成 22 年度東部スラッジプラント温室効果ガス削減効果

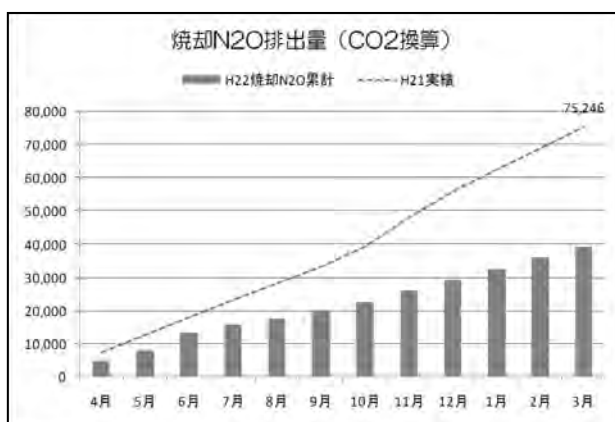
これらの取組による、平成 22 年度の東部スラッジプラント温室効果削減効果を表―2、及び図―5～7 にまとめた。運転手法を流動空気量と硅砂量を削減し O_2 濃度をこまやかに管理する手法へ改善し、高温焼却を実現した結果、 N_2O 排出量で対前年度比 52.2%削減を達成することができた。併せて CO_2 排出量も燃料使用量も低減できたため、対前年度比で 80.5%削減することができた。

	N ₂ O排出量 (汚泥焼却)	CO ₂ 排出量 (都市ガス由来)
平成 22 年度	39,251	9,246
平成 21 年度	75,246	11,487
対前年度比	52.2%	80.5%

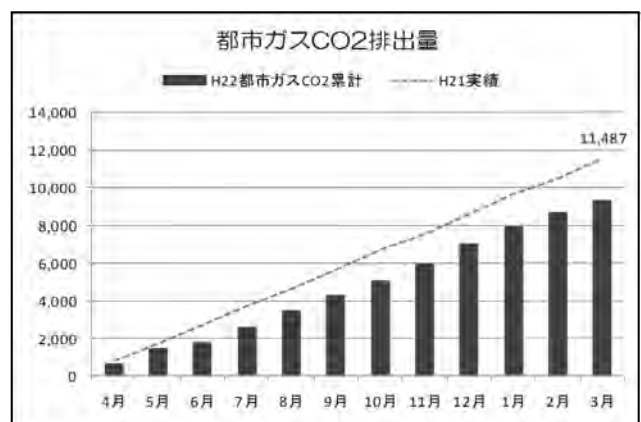
表ー2 東部 SP 温室効果ガス削減実績
(単位: t-CO₂)



図ー5 東部 SP 都市ガス使用量実績



図ー6 東部 SP 温室効果ガス排出量実績



図ー7 東部 SP 温室効果ガス排出量実績

4. 今後の対応

今回確立した運転手法は、上記排出量実績結果のとおり地球温暖化対策として非常に優れた運転方法であるが、実施するに当たっては、3.2 に述べた通り、現在の焼却炉監視制御装置では設計思想が異なるため自動制御ができず、オペレータの常時監視による手動制御が必要となっている。

このため東部スラッジプラントは、焼却炉 3 号について安全かつ安定的に高温焼却を実施できるよう、自動制御を導入する検討を行っている。

5. まとめ

東部スラッジプラントでは、これまでの焼却炉運転手法から、高温焼却運転手法に切り替えたことにより対前年度比でN₂O及びCO₂排出量を多量に削減することができた。しかし、高温焼却はオペレータの鋭敏な管理が求められることや、アースプラン 2010 でも掲げられている 2020 年度まで対 2000 年度比 25%の温室効果ガス削減などを求められていることもあり、今後はより先進的かつ安定的な汚泥焼却設備を導入し、さらなる地球温暖化対策に取り組んでいく。

2-(4)-2 汚泥ガス化炉事業における事後評価の実施について

流域下水道本部技術部施設管理課井本 淳介

〃 小岩 徳昭

(現 施設管理部施設管理課) 宇津木 正義

(現 東京下水道サービス) 大坪 廣基

1. はじめに

東京都下水道局は、東京都の事務事業活動で排出される温室効果ガスの約4割を排出しており、東京都が2006年に策定した「10年後の東京」の実行プログラム（カーボンマイナス東京10年プロジェクト）において、大幅な温室効果ガス排出量の削減を求められた。

このため、下水道局では温室効果ガスの更なる削減に向け、2010年に「アースプラン2004」を見直し、「アースプラン2010」を策定した。

本プランにおいて、燃焼方式を改善したターボ型、多層型を採用した新型汚泥焼却炉の導入のほか、脱水汚泥中の有機分を熱分解して燃焼ガスを製造する汚泥のガス化炉を導入して、汚泥焼却時に発生する温室効果ガス削減を図る計画としている。

この汚泥ガス化炉は、アースプラン2010の重要施策の一つとして位置づけられ、汚泥の高温焼却（850℃）に比べ、温室効果ガス排出量を約7割削減する効果が見込まれた。

下水道局では、日本初となる汚泥ガス化炉（100 t / 日）を清瀬水再生センターに設置し、平成22年7月に稼働させた。

本稿は、この清瀬水再生センターに導入した汚泥ガス化炉の約2年間の運転状況を事業の事後評価として、まとめたものである。



汚泥ガス化炉全景

2. 汚泥ガス化炉の特長

本施設は、次の2つの技術的な特長がある。

(1) 温室効果ガス削減

乾燥炉で乾燥させた下水汚泥（脱水汚泥）をガス化炉にて、還元雰囲気下（低酸素状態）で熱分解し、 N_2O 生成要因物質である NO の生成を抑制しながら熱分解ガス（水素（ H_2 ）・メタン（ CH_4 ）・一酸化炭素（ CO ））を抽出し、温室効果ガスの発生を大幅に抑制する。

(2) 熱分解後の生成ガスを活用したガス発電

高温の熱分解ガスをガス化炉内の汚泥乾燥機の熱源として再使用するとともに、ガス精製設備によって熱分解ガスを調質し、ガスエンジン発電機の燃料として活用する。ガスエンジン発電によって発電された電力は施設内の電力として使用する。

本施設の処理フローを図1に示す。

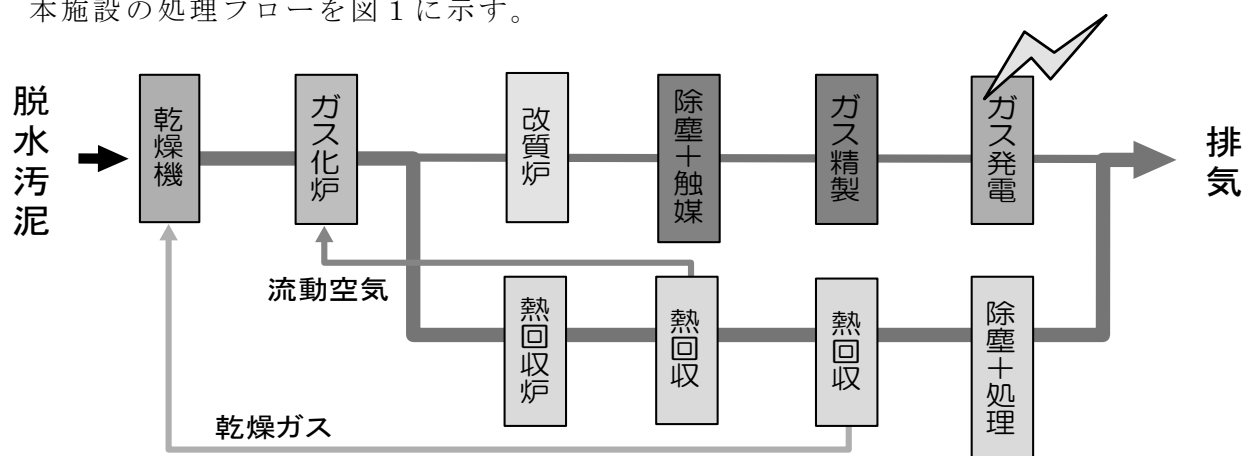


図 1 ガス化炉処理フロー

なお、事業の実施にあたっては、民間のノウハウを活用し、効果的かつ効率的に事業を実施するため、本事業の実施に必要な施設の設計及び建設並びに維持管理及び運営を通して民間事業者へ委託している。

3. 事後評価について

3. 1 目的

今回、新規導入、運用されたガス化炉施設が変動する脱水汚泥性状下においても、安定した処理が行え、温室効果ガス発生量、ガス発電量等要求水準項目を満足しているか量的に検証し、事業効果を評価する。

さらに、清瀬水再生センターの既存の汚泥焼却炉、他のセンターに導入が計画されているターボ型、多層型といった燃焼方式を改善した新型汚泥焼却炉から発生する温室効果ガス量（メーカ試算値）との削減効果の比較を行う。

事業の評価期間は次の期間で実施した。

事業評価期間：平成22年7月1日から平成24年3月31日（1年9ヶ月）

3. 2 検証方法

事業評価は、清瀬水再生センター汚泥ガス化炉事業要求水準書（平成19年10月15日東京都下水道局（以下「要求水準書」という。））の温室効果ガス発生量等各項目について、3.3で掲げた内容の検証を行った。

3. 3 要求水準書に基づく検証項目

(1) 運転管理性

供給する脱水汚泥性状は表 1 に示す変動範囲の脱水汚泥を供給し、この変動範囲内の脱水汚泥を供給しても、年間を通じて安定した処理が出来ること。

各運転管理値等は次に示す。

1) 脱水汚泥処理量：33,000t/年

2) 処理能力：100t/日

1) で示す年間の脱水汚泥処理量 33,000t を達成するためには、ガス化炉の日処理能力 (100t/日) より $33,000\text{t/年} \div 100\text{t/日} = \underline{330}$ 日の稼動が必要である。

表 1 脱水汚泥性状

	含水率(%)	可燃分(%)	高位発熱量(kJ/kg-DS)
基本点	76	86	20,300
変動幅	70～80	82～88	19,300～20,700

※基本点とは、脱水汚泥の変動幅の中心点の性状を示す。

3) 各種環境法令遵守

本施設における大気、臭気、排水に関する環境法令基準値は表 2 の範囲内となること。

表 2 法規制値

項 目		規制値	ばいじん (g/m ³)	NOx (ppm)	SOx (ppm)	HCl (ppm)	ダイオキシン類 (ng-TEQ/m ³)
大気汚染物質	排気筒出口	(O ₂ 換算 12%時)	0.15	250	6.42	700	5
	ガスエンジン出口	(O ₂ 換算 0%時)	0.05	500	—	—	—
臭 気 (排気塔出口)		290,000 (m ³ n/分)					
排水水質	シアン化合物	1 (mg/l 以下)					

(2) 温室効果ガス発生量、発電量

汚泥性状変動範囲内の脱水汚泥を供給し、処理した結果において次の項目を満たすこと。

1) 温室効果ガスの発生量が定められた数値以下になること。

年間 3,500t-CO₂/年以下

(参考)

温室効果ガス発生量内訳

ア) 電力由来：1,488t-CO₂/年

イ) 汚泥由来：2,012t-CO₂/年

2) ガス発電量が定められた数値以上になること。

発電量 100kWh以上

ただし、安定的な発電出力を得るため、都市ガス等を補助燃料として用いることは差し支えない。

なお、事業者が導入時に提案した提案性能では、ガスエンジンの発電量は 150kWh となっている。このため、本稿では ガス発電量 150kWh として性能を評価する。

4. 検証結果

4. 1 運転管理性

4. 1. 1 ガス化炉稼働状況

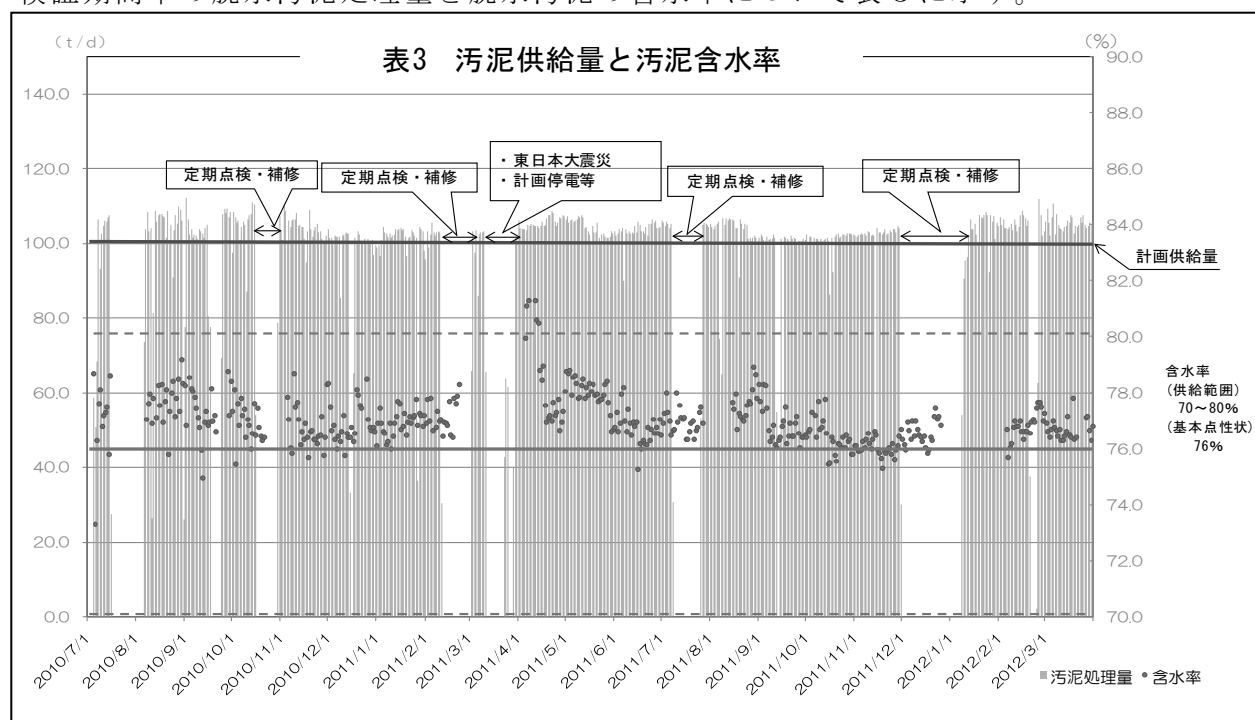
(1) 平成 22 年度 稼働実績：198 日/240 日（平成 22 年 7 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日）

脱水汚泥処理量：24,000t 計画に対し、処理実績：19,335 t

(2) 平成 23 年度 稼働実績：305 日/330 日（平成 23 年 4 月 1 日～平成 24 年 3 月 31 日）

脱水汚泥処理量は 3 月 31 日まで 33,000 t に対し、処理実績 31,131 t

検証期間中の脱水汚泥処理量と脱水汚泥の含水率について表 3 に示す。

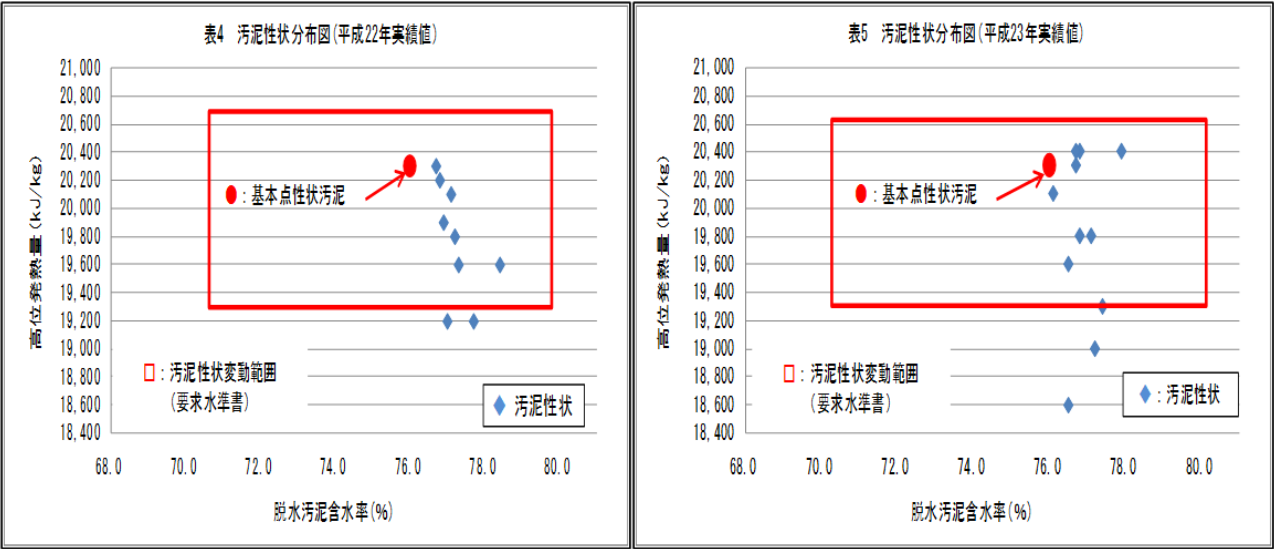


稼働初期に実施した設備改良のため、施設停止日数が当初計画より増加した。さらに、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う計画停電等による停止等の予見できない事由発生により、施設稼働日数、汚泥処理量が要求水準を若干下回る結果となった。

しかし、施設としては上記の表 3 のように大きなトラブルもなく、平成 22 年 7 月の稼働以降、脱水汚泥を要求水準とおり 100 t / 日処理し、日々安定した汚泥処理を実施した。

4. 1. 2 汚泥性状

検証期間中のガス化炉に供給した脱水汚泥の分布を表4、5に示す。
 なお、含水率等は、検証期間中の月毎の平均をプロットした。



供給した脱水汚泥について、含水率、高位発熱量とも概ね変動範囲内に収まっているが、変動範囲に満たない月もあり、後段のガス発電設備で都市ガス使用量増加に繋がった。

4. 1. 3 各種環境法令遵守状況

検証期間中の各種環境法令の測定結果について表6に示す。

表6 測定結果

項 目		規 制 値	ばいじん (g/m ³)	NOx (ppm)	SOx (ppm)	HCl (ppm)	タ ^ニ イオキシ ^ン 類 (ng-TEQ/m ³)
大 気 汚 染 物 質	排 気 筒 出 口	(O ₂ 換算 12%時)	0.15	250	6.42	700	5
		測定結果	0.008	19.4	0.106	<3	0.000034
	ガ ス エ ン ジ ン 出 口	(O ₂ 換算 0%時)	0.05	500	—	—	—
		測定結果	0.004	144	—	—	—
臭 気（排気塔出口）		290,000 (m ³ n/分)	(測定結果) 142,500				
排水水質	シアン化 化合物	1 (mg/l 以下)	(測定結果) <0.1				

※測定結果は、平成 22、23 年度に行った四季毎の結果を平均化したものである。

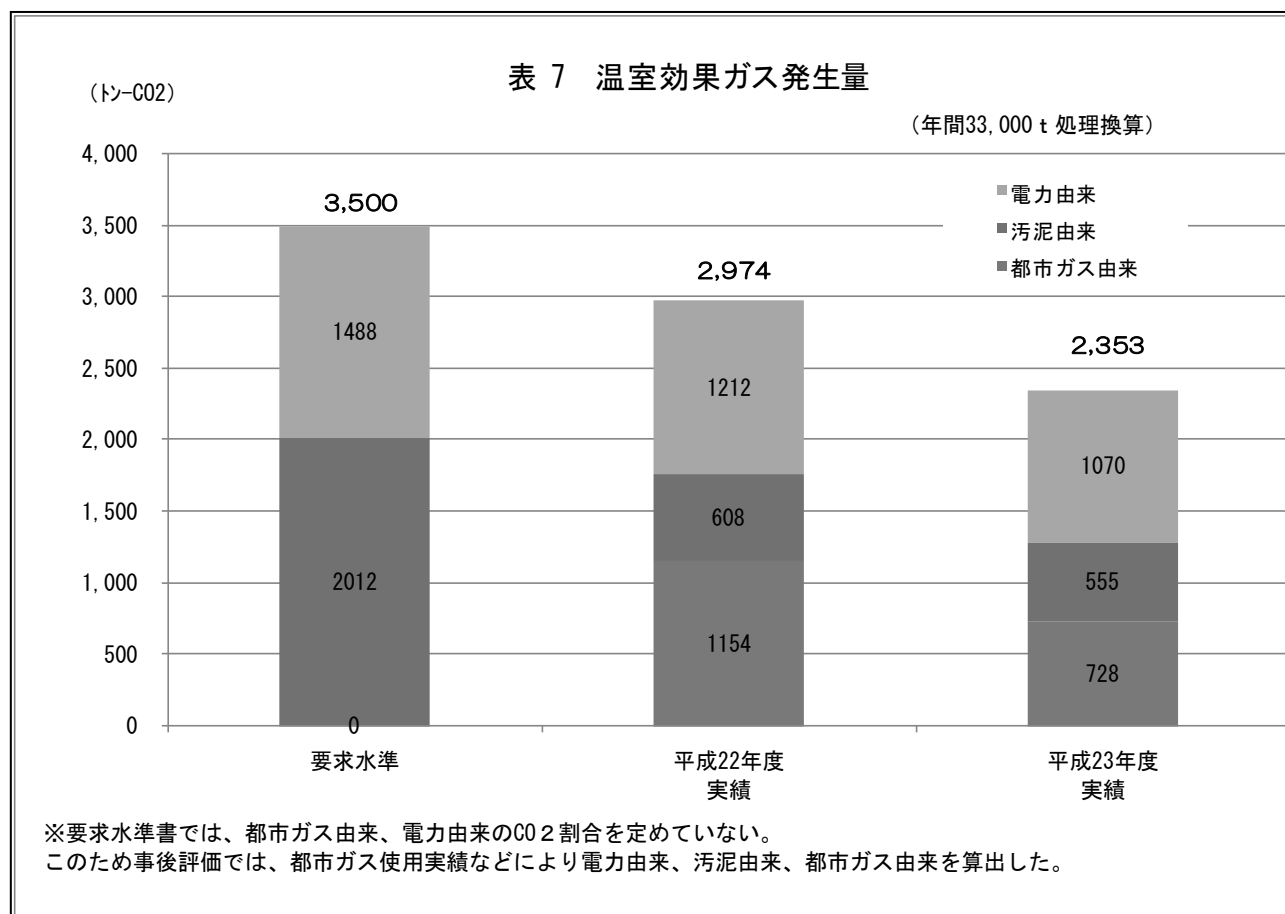
※表中の<は、定量下限未満を示す。また—は、測定対象外を示す。

全ての規制項目で基準値以下のとなり、法規制値を満足している。

4. 2 温室効果ガス発生量、ガス発電量

4. 2. 1 温室効果ガス発生量（実績）

4. 1. 1 のガス化炉稼働状況時における温室効果ガス発生量を表 7 に示す。



供給汚泥の含水率、高位発熱量の変動もあったが、表 7 のとおり要求水準で求める 3,500t-CO₂/年以下を達成した。

燃料(都市ガス)由来のCO₂発生量は、当初、要求水準では想定をしていなかったが、供給汚泥の変動によって改質炉へ供給するガスのエネルギーが不安定となったため、都市ガスを供給することにより安定化を図ったことによって生じた。

また、熱回収炉が当初 900℃運転を想定していたが、実際には 900℃以上の運転が行えたことで、N₂Oの大幅な削減を達成した。

4. 2. 2 ガス発電量（実績）

4. 1. 1 のガス化炉稼働状況時におけるガス発電量を表 8、9 に示す。

表 8 ガス発電量

	要求水準	平成22年平均値	平成23年平均値	事業者 提案性能
ガス発電機	100kWh	約137kWh	約145kWh	150kW
汚泥由来発電量	—	約62 k Wh	約52kWh	105kW
都市ガス発電量	—	約75kWh	約93kWh	45kW

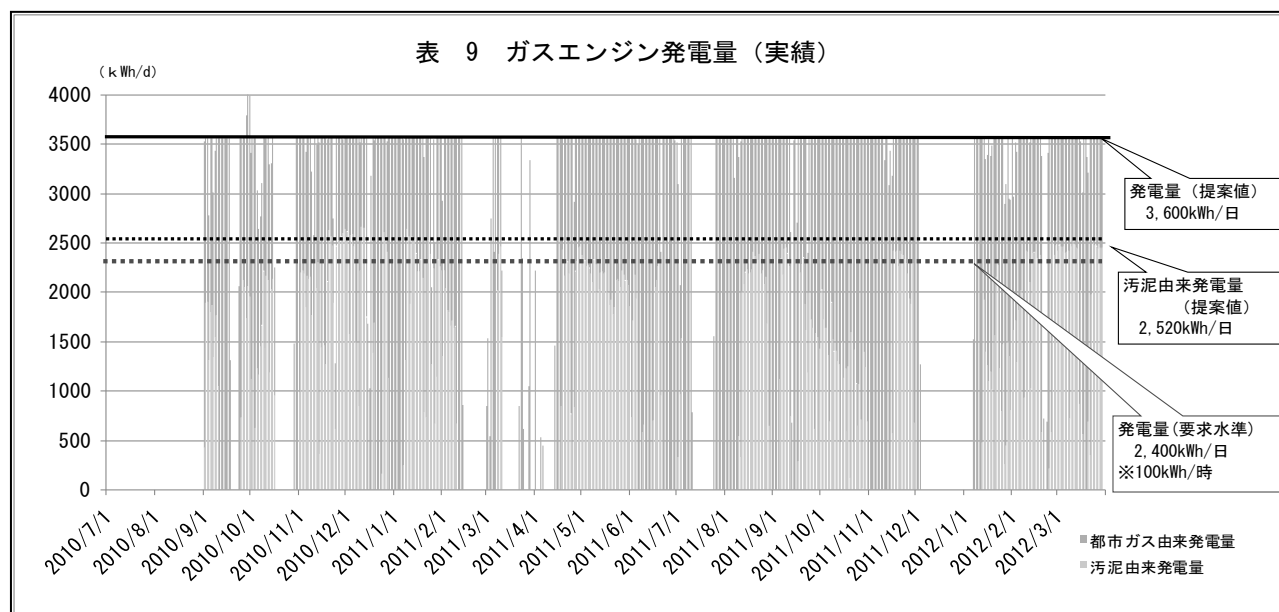


表 8、9 で示すとおり、ガス発電量は要求水準を達成した。ただし、表 8 で示すように都市ガス由来の発電量が半数を占める結果となった。

これは、ガス化炉内に発生するクリンカを抑制するため、ガス化温度を 850℃から 780℃へ下げたこと。さらに、供給した脱水汚泥が基本点より高含水率、低発熱量の性状変動幅が大きかったことにより、熱分解ガスの熱量が下がったためである。なお、クリンカの発生原因として、清瀬水再生センターの汚泥濃縮設備で使用する塩化第二鉄や汚泥中に取り込まれるリンの影響により共融現象が発生し、通常より低温域でリンや鉄の酸化物が溶融し炉内のけい砂とクリンカを形成したと考えられる。

4. 3 検証結果まとめ

運転管理性、温室効果ガス発生量、ガス発連量を要求水準等に照らし合わせ評価を行う。

(1) 運転管理性

約 2 年間の運転により、運転上のノウハウの蓄積が行われた結果、平成 23 年度はより安定した運転が可能となった。なお、稼働日数の要求水準を年間汚泥処理量(33,000t)より、330 日/年と設定していたが、東日本大震災等の影響によって達成できなかった。

しかし、当局では既存の流動焼却炉の稼働日数を 292 日(稼働率 80%)と設定しており、本施設の平成 23 年度実績はこれを上回る稼働日数 305 日(稼働率 83.6%)を達成した。

このことから、既存流動焼却炉と同等の安定した運用が可能である。

さらに、大気汚染物質等各種環境規制値について、全ての項目で法規制値以下となっており、環境性も問題なかった。

(2) 温室効果ガス発生量

供給する汚泥の成分、含水率、発熱量等性状の変動が生じてても、要求水準（3,500t-CO₂/年以下）を達成した。なお、改質炉の安定運転のため、都市ガスを供給したことにより、燃料由来の CO₂が発生したが、熱回収炉で当初予定以上の高温域での運転が可能となったため、大幅な温室効果ガスの発生量が抑制された。

(3) ガス発電量

表 4、5 のように変動する脱水汚泥性状の状況下においても、不足する生成ガスの熱量を都市ガス供給で補い、要求水準（発電量 100kWh 以上）を達成した。

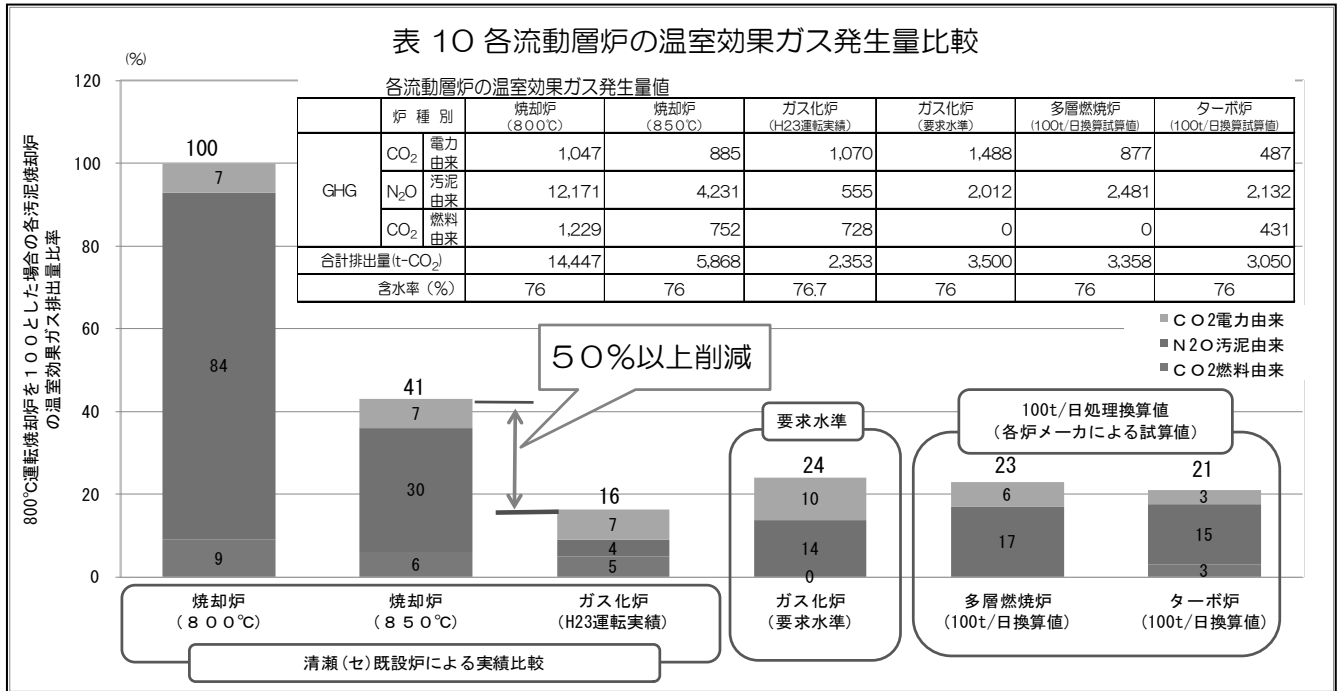
(4) まとめ

東日本大震災発生等予見できない事由発生により、稼働日数は要求水準に満たない結果となったが、各種環境規制値、温室効果ガス発生量、ガス発電量とも要求水準を達成した。

5. 既存汚泥焼却炉、新型焼却炉との温室効果ガス発生比較検証

清瀬水再生センターのガス化炉と同センター既存汚泥焼却炉（流動層式）及び、今後、他のセンターで導入が計画されている多層型、ターボ型の温室効果ガス発生量比較を表 10 に示す。

なお、多層型、ターボ型の温室効果ガス発生量は、メーカーの試算値を参考とした。



清瀬水再生センターの既存炉の高温焼却運転時と比較しても導入したガス化炉の温室効果ガス発生量は、表 10 で示すとおり 50 % 以上の削減が図れた。

さらに発生量はメーカーの試算値ではあるが、多層型、ターボ型といった燃焼方式を改善した新型焼却炉とも比較しても同等以上の削減効果が見込める。

6. 汚泥ガス化炉事業の事後評価まとめ

本施設は、汚泥性状が日々変動する中でも、汚泥処理を通年で支障なく行え、各種環境法規制値も満足している。さらに定期点検等計画的な停止を行っても年間の運転日数は 8 割を超え、既存の汚泥焼却炉と同様の安定運用が可能である。今後、汚泥ガス化炉の導入に際し、既存汚泥焼却炉と同様の年間 8 割稼働として設定することが妥当である。

また、温室効果ガス発生量は、燃焼方式を改善した新型焼却炉と同等以上の削減効果が見込めることから、今後、導入拡大すべき技術であると評価できる。

なお、ガス発電量は、供給する汚泥性状(含水率、発熱量)の変動より、汚泥由来の発電量が変動すること明確となった。

このため、今後、生成ガスの利用方法については、汚泥性状などを考慮して、発電や他の利用方法も検討し、個々の水再生センターの特性に応じた最適な設備を選定する必要がある。

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 北多摩一号水再生センター・南多摩水再生センター間連絡管工事について
 - 2 高引火点潤滑油のばっ気用送風機への適用
 - 3 生物脱臭設備の維持管理に関する考察
 - 4 「現像廃液削減装置」に関する届出への対応事例

3-(1)-1 北多摩一号水再生センター・南多摩水再生センター間

連絡管工事について

流域下水道本部 技術部 工事課
土木工事係 中山 健

1. はじめに

流域下水道本部では、多摩川対岸の水再生センター間に連絡管を整備し処理機能の相互融通化を推進している。

多摩川上流・八王子水再生センター間に続く第二弾として、北一・南多摩センターの連絡管を平成20年度に着手し、今年度シールド工事が完成した。

今回、シールド工事について報告する。



今回施工中の連絡管は、平成17年度に完成した、多摩川上流水再生センターと八王子水再生センターを結んだ連絡管に続き、流域下水道本部として2本目の連絡管である。

今後、3本目の北多摩二号水再生センターと浅川水再生センターを結ぶ連絡管が発注される予定である。

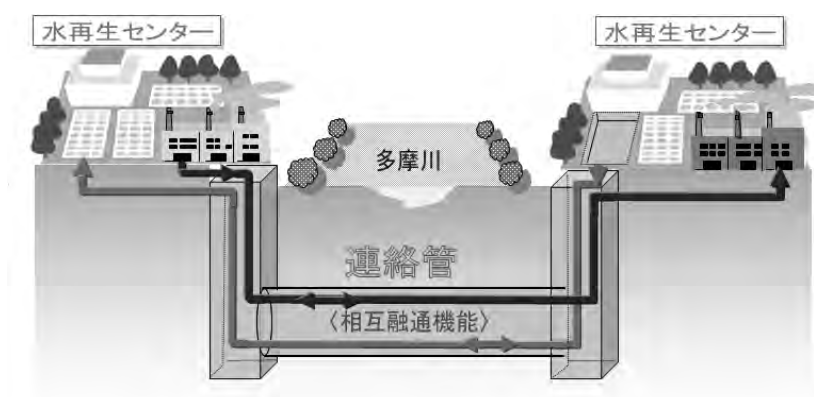
連絡管事業	着手年度	完成年度
多摩川上流・八王子水再生センター間	H15	H17
北一・南多摩水再生センター間	H20	H24（予定）
北二・浅川水再生センター間	H24（予定）	

2. 連絡管の効果

流域下水道本部の7つの水再生センターは、水処理に加え汚泥処理についても独立したシステムとなっており、各水再生センターで個々に施設を有している。

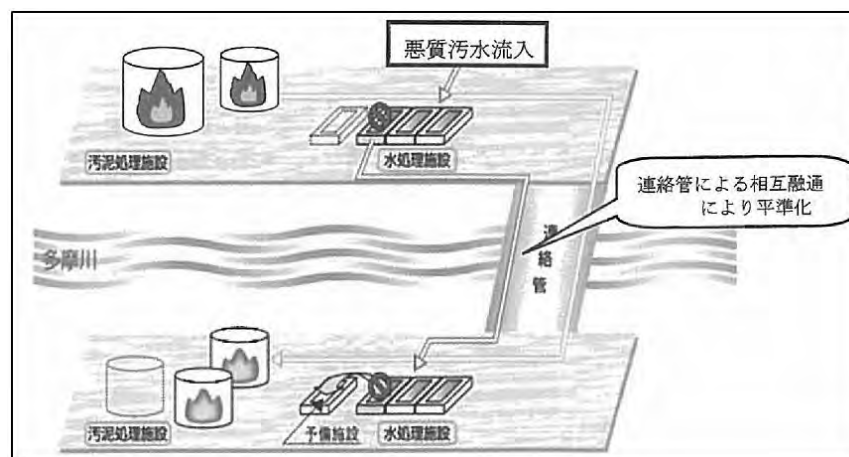
そのうち、多摩川対岸に位置する2つの水再生センターを結ぶことにより、汚水・汚泥の相互融通が可能となり、維持管理の効率化などに加え、震災時のバックアップ機能等が期待できる。

連絡管の建設により得られる効果は次の4点がある。



1) 処理水質の安定化

片方の水再生センターに急激な流入水量変動や突発的な悪質汚水の流入等が発生した場合、連絡管を活用し他方の水再生センターに汚水の一部を送水することにより、水処理における負荷量を低減し、処理水質の安定化が図れる。その結果、多摩川および東京湾の水環境向上により一層貢献を図ることが可能となる。

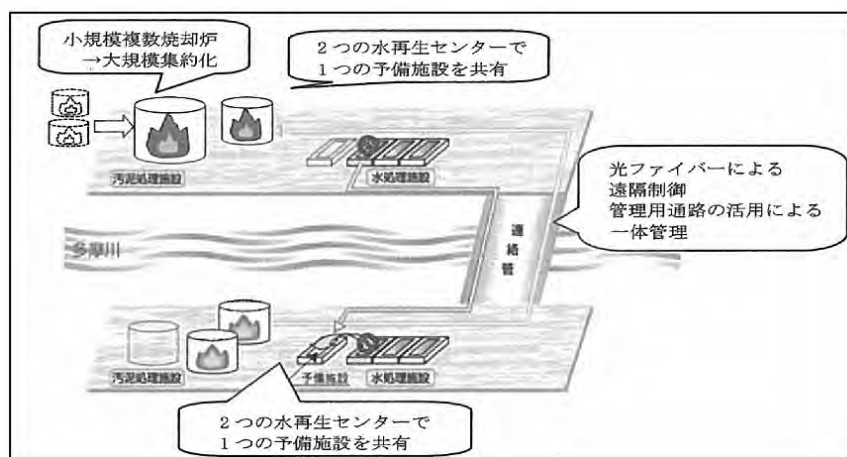


2) 維持管理の効率化

相互融通により汚水・汚泥処理の平準化や、連絡管内に敷設する光ファイバーを活用した遠方監視制御等、二つの水再生センターの統合的一元管理が可能となり、維持管理の効率化が図れる。

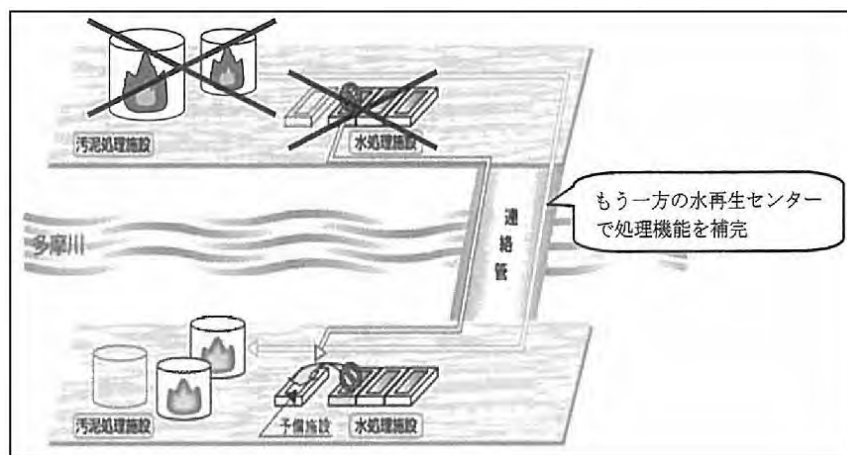
3) 施設建設コストの削減

施設の更新時・点検時に、二つの水再生センターが保有する施設を相互融通することで、予備施設の共有化を図るとともに、汚泥焼却炉等の大規模集約化を図ることにより、施設建設コストの削減が図れる。



4) バックアップ機能の確保

地震等の被災や事故等により、一方の水再生センターの水処理機能が低下した場合、もう一方の水再生センターに送水・送泥することでバックアップ機能を確保できる。



3. 連絡管の概要

1) 施設概要

連絡管内径 : □ 3 5 0 0 m m

延 長 : 約 3 3 0 0 m

工 法 : 泥土圧シールド工法

土 被 り : 最大約 3 1 m (多摩川河床部 約 1 2 m)



2) 連絡管の断面および収容物

連絡管の断面は、配管スペース、架台スペース、配管作業スペース、管理用動線等を考慮し、内径 3500mm となった。

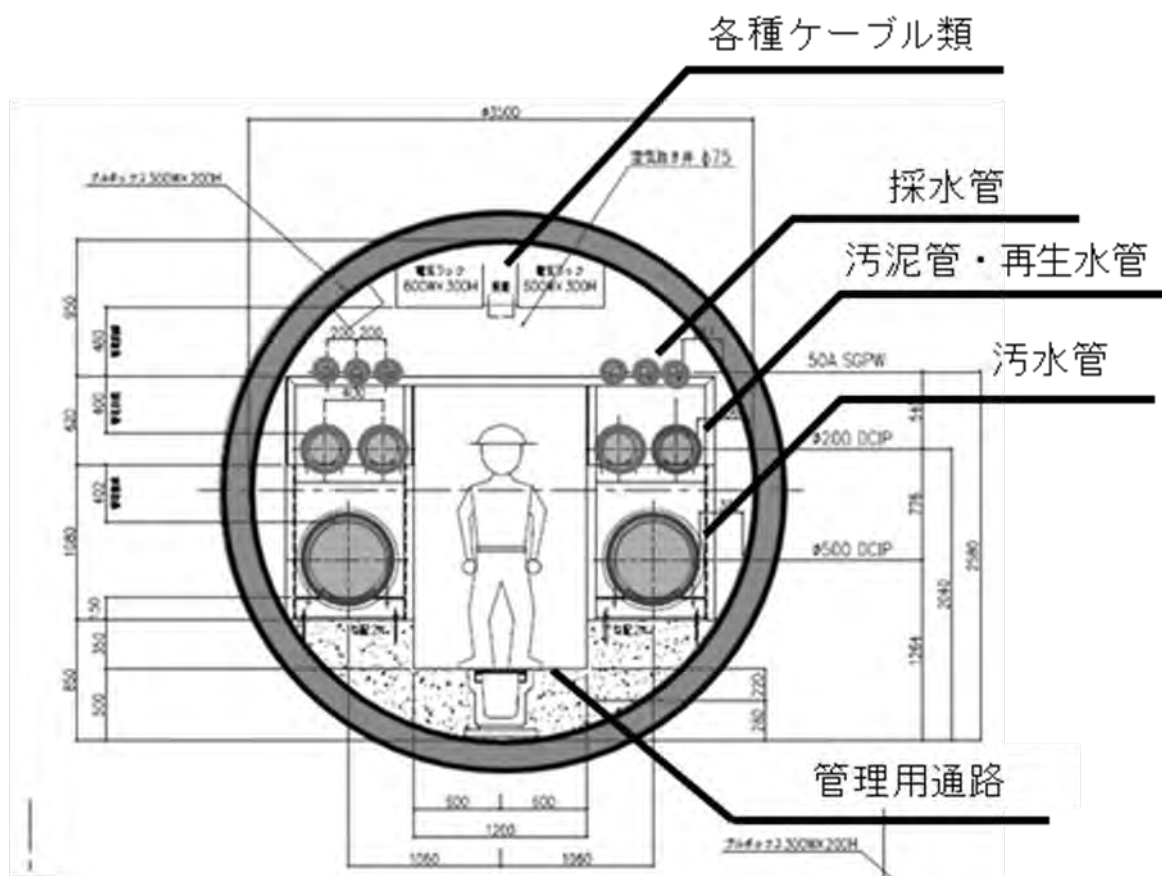
連絡管内には、汚水・汚泥の相互融通を図るために必要な配管が敷設される。

また、定期点検時に必要な照明設備や放送設備、通信設備、光ファイバー等の設備も収容されることとなっている。

なお、管内には人が通行できるように管理用通路（幅 1.2m、高さ約 2m）を確保している。

【管内に収容される配管類】

汚水管	φ 500mm × 2本
汚泥管	φ 200mm × 3本
再生水管	φ 200mm × 1本
採水管	φ 50mm × 6本
各種ケーブル（照明用ケーブル・光ファイバー等）	



4. 連絡管工事の概要等

今回の連絡管工事の概要等について、主に多摩上・八王子連絡管（以下、既設の連絡管と言う。）と比較しながら、以下にまとめた。

	北一・南多摩連絡管	多摩上・八王子連絡管
工法	泥土圧シールド工法 （二次覆工省略型）	同左
内径	□ 3500mm	同左
延長	約 3300m	約 570m
線形	直線、急曲線（最大 50R）	ほぼ直線
他企業等	河川管理者 西武多摩川線 J R 武蔵野線・南武線 東京ガス 東京電力	河川管理者
河床からの土被り	約 12m（約 3 D）	約 6m（1.5 D）
掘削土処分	発生土処分	産業廃棄物処分

1）長距離かつ急曲線施工

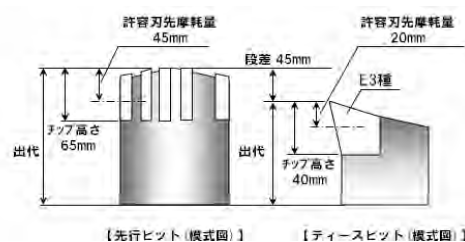
既設の連絡管延長約 570m に較べて、約 6 倍の延長（約 3300m）となることに加え、最大 50R という急曲線部を有している。

- ・50R 及び 60R の急曲線に対しては、シールド機に中折れジャッキを採用した。急曲線に差し掛かったときに、中折れジャッキの稼働音がシールド上部付近の家屋に響いたため、シールド掘進部では珍しい騒音に対する苦情が発生した。状況等を繰り返し説明することで、理解を得ることができたが、想定外の出来事であり、急曲線部の掘削における教訓となった。



泥土圧シールド掘削機

外径	φ 4,040	mm
機長	7,125	mm
装備推力	13,734	kN
	1,400	tf
カッタートルク	1,523 (定格)	kN・m
最大中折れ角度	5.0	°
	R=50m 急曲線施工時、所要角度 4.3°	



【先行ビット (模式図)】

【ディースビット (模式図)】

- ・セグメントは、直線部および緩曲線部では幅 1200mm、桁高 200mm、6 分割の特殊コンクリートセグメントを基本仕様としたボルトレスセグメントを使用した。急曲線部では、幅 600mm、桁高 200mm、6 分割の特殊鋼製セグメント（中詰めコンクリート鋼製セグメントⅡ型）を使用した。これらのセグメントの採用により、作業の効率化を図り、工期の短縮に大きく貢献した。
- ・長距離かつ高水圧での施工であるため、止水性に特に配慮し、テールブラシを 3 段にし最後の 1 段はシリコンでワイヤーブラシを包込みテール部の止水性・耐久性を向上させる等の工夫を図った。



ボルトレスセグメント設置状況



テール部ワイヤーブラシ

2) シールド掘削土の処分に分級システムを導入

掘削地盤の大半が砂質土であったため、流体輸送された掘削土を分級し、建設泥土から砂分を分離し建設発生土として再利用することとした。

当初は掘削土全量を産業廃棄物として処理するところであったが、大部分を建設発生土処分とすることにより、環境負荷の軽減及びコスト縮減を図った。なお、流体輸送にしたことにより、シールド坑内を広く活用できるようになり、作業員の安全通路を確保することができた。

3) 河川管理者との協議

シールドトンネルを多摩川のような大河川を横断させることに対しては、橋梁添架などと比べて実績が少なく、河川管理者は慎重な立場であり協議については、長時間を要した。

そうした中、シールドの多摩川横断部は、「大丸用水堰」下流部を予定していたが、シールド工事発注後の台風の際、河床掘削が発生した。その結果、当初の 2 倍（3 D 相当の約 12 m）の土被りに変更をしいられた。

既に、シールド工事が発注後であったため、シールド到達高さ変更等が生じた。

4) その他他企業等との協議

今回の連絡管ルート上には、J R 東日本や私鉄、東京電力、東京ガス等、多くの

他企業の施設が横断・近接していた。

このため、各々の管理者とシールド工法による各施設への影響と対応について度重なる協議を行った。この結果、近接施工対策として全ての施設の沈下管理を綿密に行った。例えば、西武多摩川線では、軌道内に沈下計測装置を設置し、営業時間内を含め計測調査を実施した。

こうした、細心の沈下管理を実施した結果、どの施設にも影響を与えることなく通過し、無事故で施工を終えることができた。



西武多摩川線計測状況

5. イメージアップについて

本工事では、「下水道の見える化」を積極的に行った。

まず、地域の方々に対し、日々の進捗が分かるように工事看板を工夫した。また、定期的に見学会を行い、下水道工事の理解を深めてもらうとともに、見学会に参加した子供たちに、シールドトンネル内に設置したボードへ自由に絵やコメントを描いてもらい、工事完了までトンネル内に展示を行った。このことは、再度、見学会に訪れた人を喜ばせ、工事をより身近に感じてもらえることとなった。さらに、多摩モノレールにラッピング広告の掲出を行い、地域を超えた不特定多数の方々に対し下水道工事のPRを積極的に実施した。

以上の取組の結果、平成23年度の「見える！わかる！下水道工事コンクール」で最優秀賞を受賞することができた。



見学者によるトンネル内ボードへの記入



ラッピング広告

6. おわりに

平成23年8月にシールド工事を完了後、現在は、連絡管内の配管類の布設とともに、北多摩一号水再生センター内及び南多摩水再生センター内において、関連施設並びに設備工事を鋭意進めているところで、北一・南多摩連絡管事業は、平成24年度末の完成を目指している。

今後も、流域下水道本部一丸となって本事業に取り組んでいく。

3-(1)-2 高引火点潤滑油のばっ気用送風機への適用

東京都下水道サービス（株）技術部技術開発課 冠城 敏之

1. 背景

これまで、ばっ気送風機として多くの実績のある多段ターボブロワの潤滑油には、第四石油類である引火点が 250℃未満のタービン油（以下、「従来油」という）が広く使用されている。この従来油を使用した送風機の設置には、消防法の規定により、防火扉の設置などの防火対策を施す必要があるため、多段ターボブロワ採用において一つの課題となっていた。

近年開発された、引火点が 250℃以上ある高引火点潤滑油は、可燃性液体類に分類されるので、消防法が規定する危険物に該当しない。このため高引火点潤滑油を使用することにより、水処理施設に多段ターボブロワの分散設置が容易となり、水量の多い処理系列にも対応できる風量と圧力を最小の台数で供給できる送風機の最適配置が可能となることから、高引火点潤滑油の多段ターボブロワへの適用について、東京都流域下水道本部、㈱電業社機械製作所と簡易提供型共同研究により調査と試験を行ってきたが、潤滑性能、経済性、耐久性、環境性能、維持管理性について有用な知見が得られたので報告する。

2. 調査概要

本調査は、H22 年度から H23 年度にかけて実施した。初年度は、高引火点潤滑油と従来油による試験機の運転を実施し、従来油と比較することで適応性の確認を行った。次年度は、東京都流域下水道本部南多摩水再生センターの実機を用いて、高引火点潤滑油の長期間に亘る適応性と維持管理性の調査を行うとともに、強制的に劣化を促進させる試験を実施し、潤滑性能、経済性、耐久性、環境性能を従来油と比較することで実証を行った。調査項目別の要領・判定基準は表－１のとおりである。

表－１ 調査概要表

調査項目	調査要領	判定基準
① 試験機による適用試験	・ 軸受温度の記録 各軸受温度が静定するまで記録	給油温度より各軸受温度が 40℃以上上昇しない
② 実機による適用試験	・ 軸受温度等の記録 各軸受温度、室温、騒音等の計測 ・ サンプル油の性能検査 ・ 維持管理性の調査	従来油と比べ同等以上の性能を有する
③ 強制劣化試験	・ IOT 試験 動粘度、酸価、色相、ミリポワ フィルタの測定 ・ RBOT 試験 酸価安定度の評価	従来油と比べ同等以上の性能を有する

3. 調査結果

① 試験機による適応試験

本試験は、多段ターボブロワと高引火点潤滑油の適応性を確認するため、軸受の温度変化と推移を従来油と比較することで確認を行った。工場での適応試験に用いた機器仕様は表－２のとおりである。

試験は以下の手順で行った。

- 個別給油装置に従来油を入れ、軸受温度上昇の推移を測定記録する。（約３時間記録する）
- 従来油排出後、高引火点潤滑油で洗浄を行う。
- 個別給油装置に高引火点潤滑油を入れ運転し、軸受温度上昇の推移を主として測定記録する。（約３時間記録する）

試験結果は以下のとおりであった。

（１） 軸受温度変化について

従来油と高引火点潤滑油の軸受温度上昇は、直結側軸受・反直結側軸受共に、高引火点潤滑油は潤滑性能の向上による若干の温度低下が認められた。

図－１、図－２参照。

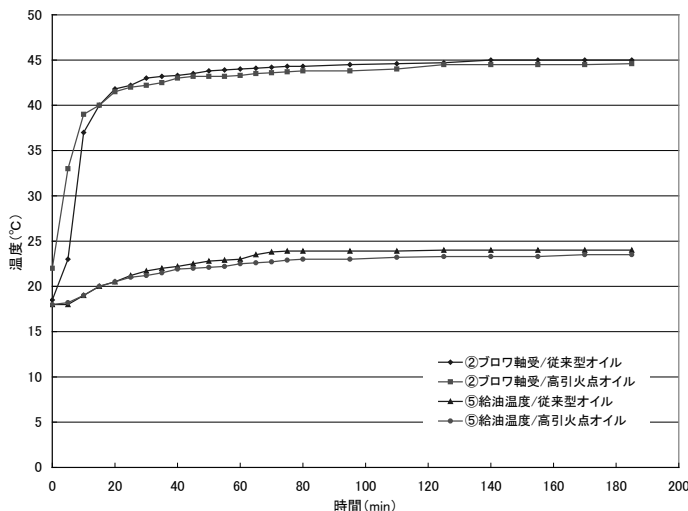
（２） 軸受温度推移について

温度推移は、従来油と高引火点潤滑油で差異は認められなかった。図－１、図－２参照。

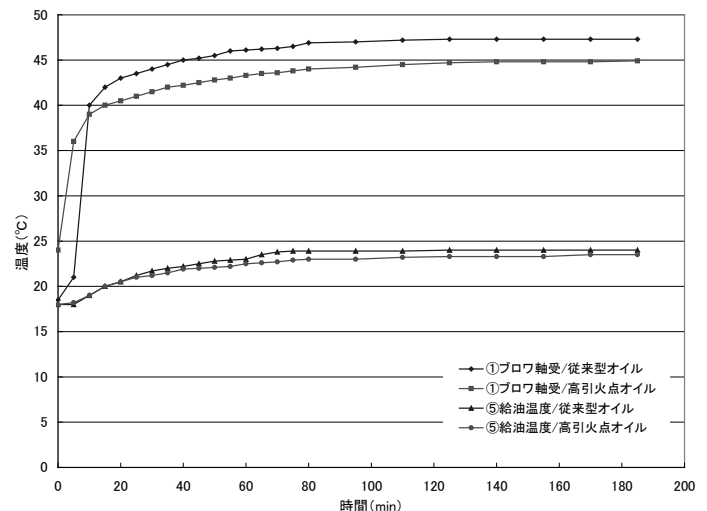
以上の調査結果より、従来油に比べ高引火点潤滑油の潤滑性能は同等以上であると判断した。

表－２ 機器仕様（工場試験機）

機 器 名 称	多段ターボブロワ
型 式	φ 300/250
空 気 量	80m ³ /分
吐 出 圧	71.6kPa
電 動 機	140kW



図－１ 直結側軸受温度



図－２ 反直結側軸受温度

② 実機による適用試験

本試験では安定した潤滑性能と維持管理性の確認を行った。

南多摩水再生センターでの実機試験に用いた機器仕様は表－３のとおりである。

表－３ 機器仕様（実機試験機）

潤滑油種類	高引火点潤滑油	従来油
機器名称	多段ターボブロワ	多段ターボブロワ
型式	φ 700/600	φ 500/450
空気量	600m ³ /分	350m ³ /分
吐出圧	58.8kPa	58.8kPa
電動機	780kW	470kW

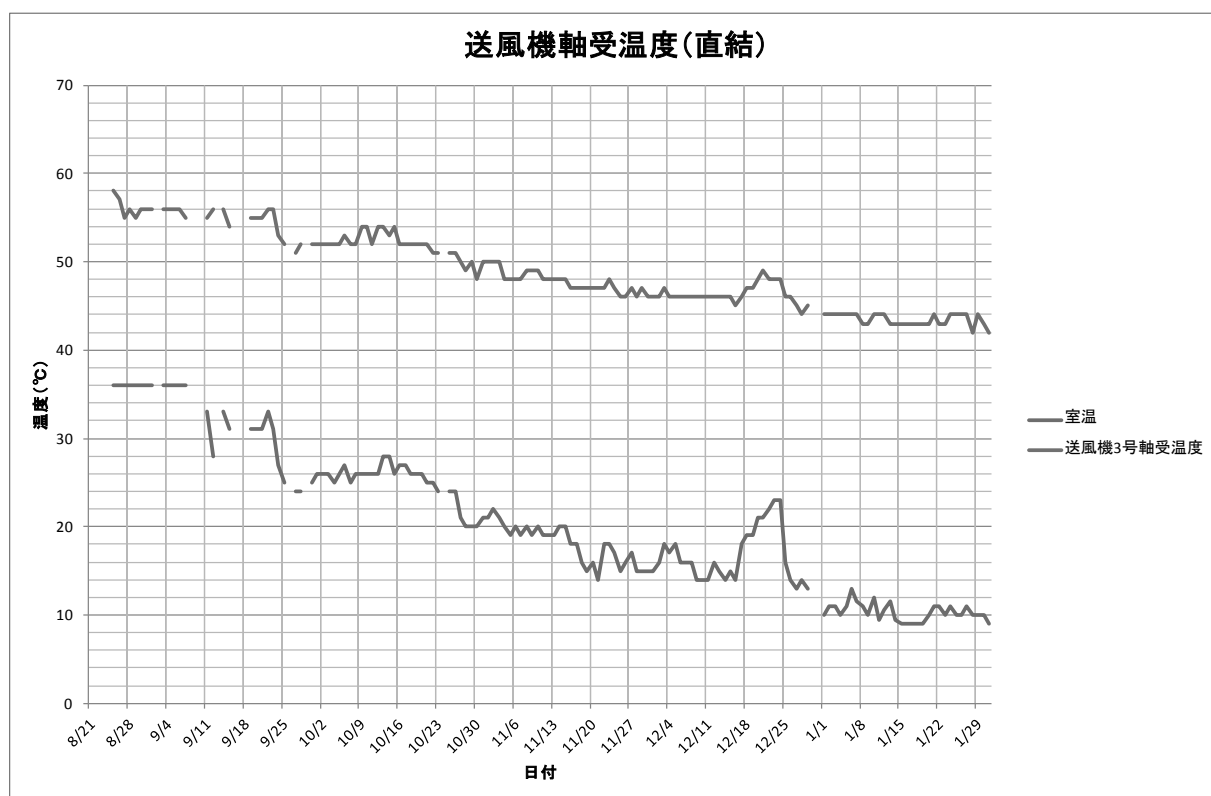
試験方法は以下のとおりである。

- 既設多段ターボブロワに従来油と高引火点潤滑油の新油を各々給油し、各軸受の温度上昇の推移を測定する。
- 実機潤滑油を調査機関に送付し、動粘度・酸価・色相・油中のゴミの量（ミリポアフィルタ）の性能確認をする。（月１回）
- 実機潤滑油採取時に、運転中の多段ターボブロワの騒音を測定し推移を確認する。（月１回）

高引火点潤滑油の試験結果は以下のとおりであった。

（１） 軸受温度推移について

長期間に亘り安定した推移を確認した。図－３ 参照。



図－３ 直結側軸受温度推移

(2) 潤滑油性能

本試験での劣化は認められなかった。試験の結果は表－４のとおりである。

表－４ 実機性能検査結果

潤滑油種別 評価項目	高引火点潤滑油		従 来 油	
	目 標 値	結 果	目 標 値	結 果
動粘度 (40℃ mm ² /s) (維持率%)	34.46 (±10%)	34.78 (+0.9%)	31.9 (±10%)	31.85 (-0.01%)
酸 価 (mg KOH/g)	0.25 以下	0.08	0.25 以下	0.07
色 相	4.0 以下	0.5	4.0 以下	0.58
ミリポワフィルタ (mg/100ml)	10 以下	0.16	10 以下	0.32

※３号機サンプリング調査による平均値

※動粘度 (JIS K 2283)

→潤滑油で最も重要な特性の一つで、適油選定では潤滑油の油膜厚さが適正に保持できるか否かを判断する重要な項目である。

※酸価 (JIS K 2501)

→酸価は、潤滑油の劣化の程度を知るための重要な値で、酸化劣化して生成した酸性物質の量を示しており、継続使用の可否を決める重要な数値である。

※色相 (JIS K 2580)

→潤滑油は、使用時間とともに酸化などの劣化が進み色相が低下（濃色化）する傾向があることから、潤滑油劣化の簡便な目安として用いられている。

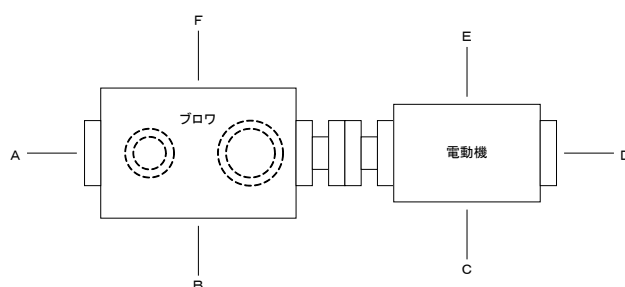
※ミリポアフィルタ (JIS B 9931)

→油圧油で不溶分（コンタミナント：粒子、夾雑物の総称）が増加すると、各種摺動部でのカジリ・作動不良・フィルタ目詰まり・給油不足による各種トラブルが頻発するようになるため、重要な管理項目の一つになっている。

(3) 騒音

潤滑油の入替え後で、測定値に変化は認められなかった。

測定の結果は、図－４、表－５のとおりである。



図－４ 騒音測定位置

表－５ 騒音測定結果

単位：dB（A）

測定日	機器番号	A	B	C	D	E	F
交 換 前	３ 号	84	84	84	80	83	84
2010/8/24	３ 号	83	84	84	78	84	83
2010/9/30	３ 号	84	84	83	81	82	85
2010/10/29	３ 号	85	85	84	80	85	85
2010/11/30	３ 号	84	86	84	78	84	85
2010/12/27	３ 号	84	84	85	80	84	84

※測定位置は、機側 1.5m・高さ軸心の位置で測定

③ 強制劣化試験

実機による潤滑油寿命の比較試験は、確認までに 10 年～20 年を要するため、従来油と高引火点潤滑油を高温・酸素富化の環境下で、強制的に劣化を促進させる試験を実施し、短期間で耐久性の確認と使用限界時期の推定を行った。

測定方法は以下のとおりである。

- 高引火点潤滑油・従来油の IOT 試験を行う。

図－５に試験装置を示す。

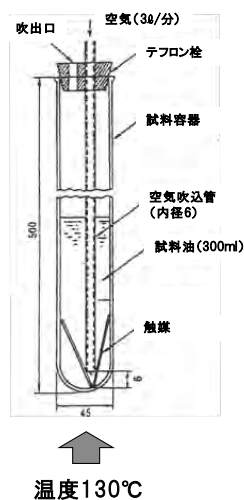
試験は、潤滑油温度を 130℃に保持し、空気（3ℓ/分）を吹込む。

試験開始から評価時間 168、240、480、720 時間毎にサンプルを抽出し RBOT 試験及び性能確認を行う。性能確認は、実機試験と同様の 4 項目とした。

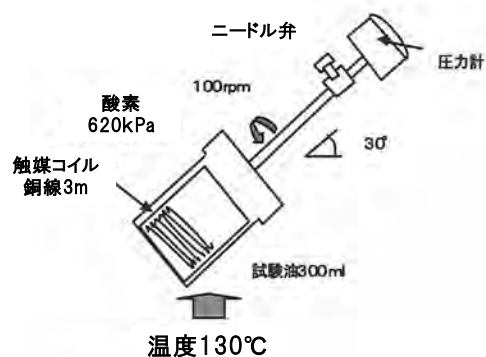
- IOT 試験サンプルの RBOT（JIS K 2514）試験を行う。

図－６に試験装置を示す。

試験は、容器内の潤滑油を酸素ガスにより 620kPa に加圧する。潤滑油温度を 130℃に保持し、毎分 100 回転を加えながら容器内圧が 175kPa 低下するまでの時間を計測する。



図－５ IOT 試験装置



図－６ RBOT 試験装置

※IOT試験：(Indiana Oxidation Stability Test)

→潤滑油の酸化安定度を評価する試験方法で主に工業用潤滑油の評価に用いられる。

※RBOT 試験：(Rotating Bomb Oxidation Test) (JIS K 2514)

→潤滑油の酸化安定性を実験室的に評価する方法の一つである。

タービン油、作動油等の酸化安定性を評価する方法で、酸化安定度を迅速に評価する場合に用いられる。また、使用油の残存寿命を推定したい時にも用いられる。

強制劣化試験の結果は表－6のとおりである。

表－6 評価時間 720 時間での性能試験結果

潤滑油種別 評価項目	高引火点潤滑油		従 来 油	
	目標値	結 果	目標値	結 果
動粘度 (40℃ mm ² /s) (維持率%)	34.46 (±10%)	35.27 (+2.3%)	31.9 (±10%)	32.29 (+1.2%)
酸 価 (mg KOH/g)	0.25 以下	0.03	0.25 以下	0.09
色 相	4.0 以下	2.5	4.0 以下	4.5
ミリポワフィルタ (mg/100ml)	10 以下	0.0	10 以下	0.2
R B O T (分)	1910	2089	348	79
R B O T 維持率 (%)	新油に対して 25% 以上	109.4	新油に対して 25% 以上	22.7

※RBOT 維持率：新油の RBOT 値を 100%とした場合の維持率

評価時間 720 時間で従来油の色相及び RBOT 値が目標値(使用限界値)を超えたが、高引火点潤滑油は、その時点での評価項目の変動幅が少なく、安定した性能を長期間維持できることが確認された。

高引火点潤滑油の RBOT 維持率は、従来油と比べて約 5 倍良いことから、耐久性も従来油より 5 倍程度あると確認された。

4. 考察

調査結果より高引火点潤滑油の使用により以下のような知見を得ることができた。

ア 高引火点潤滑油と多段ターボブロワの適応性に問題がないことを確認した。

イ 多段ターボブロワが、消防法適用外設備となるため、水処理施設などに防火対策を施すことなく配置が可能である。

ウ 酸化安定性・耐熱性に優れているため、従来油の 5 倍程度の耐久性が確認できた。(価格は 2 倍程度)

エ 従来油と比較したライフサイクルコストは 60%程度の削減が可能である。

オ 給油回数及びブロワ周りの清掃頻度が低減した。(実機試験中は無給油、無清掃)

カ 廃油発生量が 80%程度の削減可能であり、環境性能に優れている。

5. まとめ

調査開始より約 2 年が経過したが、高引火点潤滑油を使用した多段ターボブロワは、順調な運転を継続している。

高引火点潤滑油を多段ターボブロワに適用することで、防火対策を必要としなくなるなど、水処理施設の再構築にあたっても建設費用削減効果が見込まれる。また、高引火点潤滑油は、耐久性に優れ交換間隔の延長によるライフサイクルコスト削減と、それに伴う廃油量の大幅な削減効果があり、設備改造の実施を伴わず適用が可能であることから、維持管理費削減の有効な手段となることが期待される。

3-(1)-3 生物脱臭設備の維持管理に関する考察

流域下水道本部 技術部 施設管理課 水質保全係 鶴島 康一

1. はじめに

流域本部では水再生センターの反応槽から発生する臭気対策として、生物脱臭設備を数多く導入してきた。生物脱臭設備は維持管理が容易で、活性炭脱臭設備と比較すると、メンテナンスにかかるランニングコストが安いというメリットがある。ところが、近年、生物脱臭設備出口において、悪臭防止法の規制基準値を順守することが難しい事例が多くなっている。散水時間を長くすることにより、一時的な改善が見られるケースもあったが、短期間で再度超過するケースも見られ、安定した脱臭効果を維持することが難しくなっている。そこで、超過の原因について調べたところ、いくつかの興味深い知見が得られたので報告する。

2. 流域脱臭設備概要

流域水再生センターの脱臭設備数を表1に示す。

水処理系（第一沈殿池、反応槽、第二沈殿池、沈砂池など）の脱臭設備については、「活性炭脱臭設備」または「生物脱臭設備」のどちらか一方を設置している。生物脱臭設備は、平成13年度から導入を始めており、平成13年度以降はすべて生物脱臭設備を導入している。汚泥処理系は、すべて「生物脱臭設備+活性炭」となっている。

表1 脱臭設備数

		北一	南多摩	稲城P	北二	浅川	多摩上	八王子	清瀬	青梅P	合計
水処理系	活性炭	4	6	1	5	3	2	4	7	1	33
	生物	2	1	0	0	3	4	1	2	0	13
汚泥処理系	生物+活性炭	2	1	—	2	1	2	2	3	—	13

※汚泥焼却炉停止時に使用する脱臭設備は含まず。

3. 超過状況

流域のすべての水再生センターは悪臭防止法の第2種区域に該当し、排出口の高さ、口径により規制値が異なる。継続的な環境改善を図るための「EMS」の管理項目として、また規制値の順守状況確認のため、上半期（4月～9月）と下半期（10月～3月）の年2回臭気測定を実施している。平成21年度以降の、流域水再生センターの半期毎の異常事例を表2に示す。

表2 生物脱臭設備臭気測定状況（平成21年度以降）

	測定数	異常事例数	異常発生率(%)
平成23年度上半期	13	3	23
平成22年度下半期	12	2	17
平成22年度上半期	12	2	17
平成21年度下半期	10	1	10
平成21年度上半期	11	1	9

ここ数年生物脱臭設備について、測定値異常数が上昇している。昨年度については、気温が下がり入口臭気が低くなると思われる下半期にも、2設備で異常値が観察されており、これまで見られなかった事例が現れてきている。

そこで、水処理系生物脱臭設備で異常値が増えている原因を探るため、臭気測定に関するデータの集計を行い、生物脱臭設備の経年的変化から近年の異常を究明することを試みた。

3.1 除去率による生物脱臭能力の確認

平成23年度上半期における生物脱臭設備入口および出口の臭気測定結果から、各設備の臭気濃度除去率を算出した(図1、図2)。測定結果は、水処理系ではすべて除去率80%以上であり、平成19年下水道局建設部の「脱臭設備設計マニュアル」(以下、設計マニュアルという)の設計除去率である50%を上回っていた。この結果から、生物脱臭設備の臭気除去性能が悪いため超過しているわけではないことがわかった。

汚泥処理系についても、すべての設備で98%以上となっており、設計除去率である98%を満たしていた。また、汚泥処理系では98~100%の範囲内に全データが納まっていた。一方、水処理系の生物脱臭設備の除去率は80~99%の広い範囲に分散しており、安定性の悪さが際立っていた。

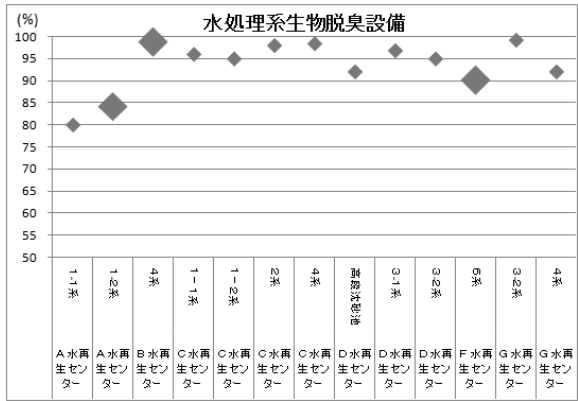


図1 臭気濃度除去率(平成23年度上半期)
—水処理系—

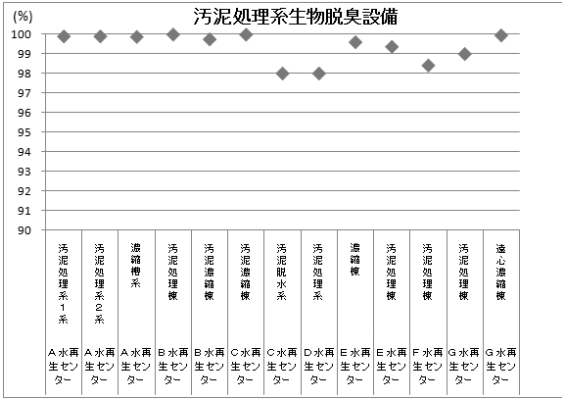


図2 臭気濃度除去率(平成23年度上半期)
—汚泥処理系—

3.2 脱臭設備入口臭気からの検討

近年、水処理系脱臭設備出口における臭気指数の上昇と合わせて、入口臭気指数の測定結果が、汚泥処理系と同じような高い値になるケースが見られる。そこで、入口臭気についてデータ集計を行った。平成22年度以降の水処理系脱臭設備入口臭気測定結果(活性炭脱臭設備を含む)のうち、設計マニュアルの設計値超過率を表3に示す。

表3 脱臭設備入口の設計値超過率(平成22年度以降)

	入口 臭気指数	硫化水素	メチルメル カプタン	硫化メチル	二硫化 メチル	アンモニア
測定回数	15	15	15	15	15	1
設計値超過数	13	7	8	0	0	0
設計値超過率(%)	87	47	53	0	0	0

ほとんどの設備で入口臭気指数が設計値を上回っていた。また、臭気成分については約半数の設備で硫化水素、メチルメルカプタンが設計値を上回っていた。この結果から、水処理系脱臭設備で規制値超過が増えているのは、能力を超える臭気の発生が原因であることがわかった。

3.3 入口臭気が高くなる原因の検討

3.3.1 臭気と処理水温の関係

放流水温と水処理系脱臭設備入口の平均臭気濃度(臭気指数から換算)との関係を図3に示す。図3からは、入口臭気放流水温と密接な関係があることが判る(相関係数0.72)。このことから、放流水温の経年的な上昇が、脱臭設備入口臭気上昇の一因になっていると考えられる。

過去10年間の府中市の6月から8月までの平均気温(気象庁ホームページより)と、同市にある北多摩一号水再生センター放流水温の関係を図4に示す。また、府中市と八王子市の夏場の平均気温の推移を図5に示す。図4から、気温の上昇が放流水温の上昇に関連し、図5からその気温が経年的に上昇していることが判る。

これらの結果から、気温の上昇により流入水温が上昇した結果、脱臭設備入口臭気が強くなっている可能性があることがわかった。

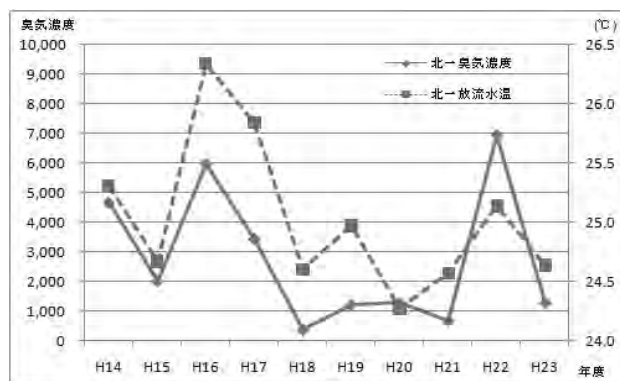


図3 放流水温と水処理系入口臭気濃度の関係

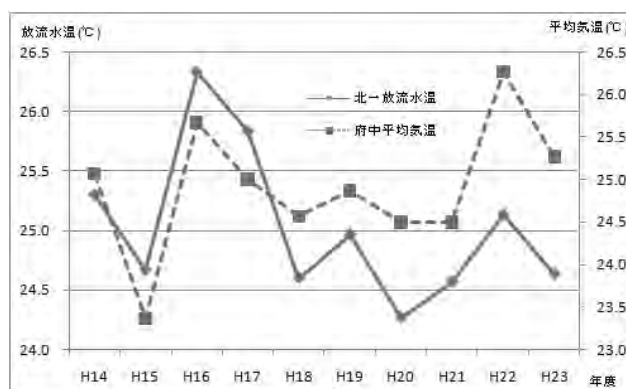


図4 平均気温と処理水温の関係

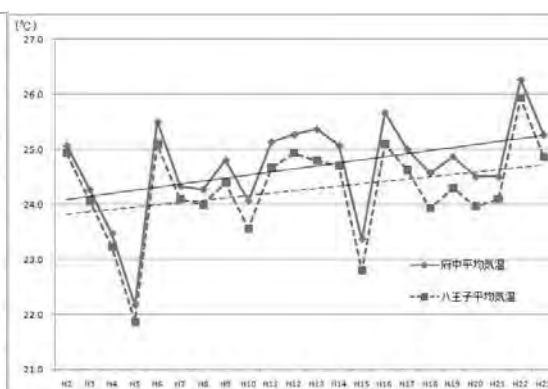


図5 府中市と八王子市の夏場の気温推移

3.3.2 高度処理化との関連

高度処理は、嫌気槽、無酸素槽を設けているため、そのことが原臭濃度の上昇に寄与している可能性がある。

八王子水再生センターにおける高度処理比率と水処理系脱臭設備入口臭気濃度(平均値)の関係を図6に示す。高度処理比率は放流量に占める高度処理水量から算出した。高度処理比率が高くなるに従って、臭気濃度も高くなる傾向が見られる。

一方、今年度上半期に実施した臭気測定結

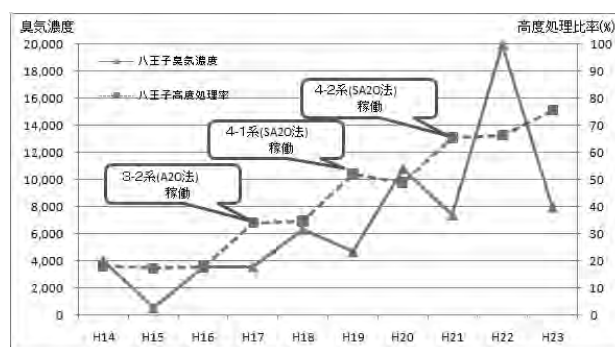


図6 脱臭設備入口臭気濃度と高度処理比率

果を、処理法別に集計したものを表4に示す。

この結果ではステップA₂O法が最も高い値となっているが、制限曝気A₂O法、A₂O法が低い値になっており、高度処理化することにより発生臭気が強くなるとは言えない。

ただし、今年度上半期に規制値を超過した生物脱臭設備は、すべてステップA₂O法系列の脱臭設備となっている。今後も高度処理を進めていく方針であるため、高度処理との関連については、さらなる調査が必要である。

表4 処理方式別脱臭設備入口臭気指数平均値

	標準法 (制限曝気)	A ₂ O法	制限曝気 A ₂ O法	A ₂ O法	ステップ A ₂ O法
臭気指数平均値	3.4	3.5	2.9	3.3	3.6
測定数	13	2	2	7	7

3.3.3 水中攪拌機の間欠運転との関連

流域水再生センターでは、温室効果ガス発生量削減のため水中攪拌機の間欠運転を実施するケースが増えている。水中攪拌機の運転方法と脱臭設備入口臭気指数の関係を表5に示す。

この結果からは、水中攪拌機の運転方法による発生臭気について明確な違いは見られない。

表5 水中攪拌機運転方法が異なる場合の脱臭設備入口臭気指数
(多摩川上流水再生センター：ステップA₂O法系列)

	平成21年度 上半期	平成21年度 下半期	平成22年度 上半期	平成22年度 下半期	平成23年度 上半期	平均
1-1 系ステップ A ₂ O 法 (水中攪拌機間欠運転)	3.0	3.0	4.4	2.4	3.5	3.3
1-2 系ステップ A ₂ O 法 (水中攪拌機連続運転)	3.0	3.0	4.1	2.7	3.4	3.2

4 対策の検討

規制値を超過している水処理系の生物脱臭設備が増えていることから、既存の生物脱臭設備についての維持管理について、対応策を検討した。

4.1 散水時間の管理によるドレン水pHの適正化

脱臭設備の入口臭気が強いと、脱臭設備内で硫酸、硝酸が生成し酸性側に傾く。この結果、ドレン水のpHも低くなるため、散水時間の調整によりドレン水のpH値を管理する必要がある。

一般的にpHが酸性側に傾くと、硫化水素、アンモニア、中性側では、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチルの除去性能が高くなると言われている。生物脱臭設備内でのガスの流れは上向流のため、下段が酸性、上段が中性というのが理想的と考えられる。

したがって、脱臭設備入口の臭気成分濃度により、必要に応じて散水時間を設定し、pH設定値を変更する等の管理が必要である。

4.2 充填材の目詰まり、短絡のチェック

生物脱臭設備では、ガスの流れを差圧計により管理している。差圧が高ければ充填材が目詰まりしている可能性がある。生物脱臭設備はメンテナンスフリーであると考えられているが、目詰まりしている場合には、充填材の洗浄や交換を行う必要があるとのメーカーもある。

また、差圧が低ければ、短絡（ショートパス）している可能性がある。点検口より設備内部の状況を目視で確認するとともに、散水状況も確認する必要がある。散水ノズルが詰まっていると、その部分の充填材が乾き、短絡が発生する可能性がある。これらの内容を定期的に確認し、管理する必要がある。



ノズルの点検（八王子水再生センター）



充填材洗浄（清瀬水再生センター）

4.3 散水の残留塩素

生物脱臭設備の散水には二次処理水または三次処理水を使用している。これらの水は、低い値ではあるが残留塩素が検出されることが多い。残留塩素濃度が高い場合には、臭気を分解・除去する生物に影響を与える可能性もあることから、散水の残留塩素を測定し、高めに検出される場合には活性炭などによる脱塩素装置の設置を検討する必要がある。

5 おわりに

臭気規制値超過への対応として、その後流域の水再生センターでは、前項で示した対策を実施して既存設備の能力を最大限に発揮するよう運転管理を行っている。

一方で原臭濃度が年々上昇していることから、今後は現状の維持管理に加え、流入する原臭レベルに応じた規模の脱臭設備への改良や原臭中に含まれる臭気成分に応じた脱臭設備への変更を検討していく予定である。



脱塩素装置（浅川水再生センター）

3-(1)-4 「現像廃液削減装置」に関する届出への対応事例

施設管理部排水設備課 伊藤 正宏

1. 背景

事業場から、「現像廃液削減装置」を導入して、全量回収で処分している廃液の量を削減する旨の情報提供と、届出に関する問い合わせがあった。また、複数の下水道事務所の水質規制係からも、当該装置への対応について、照会が相次いだ。

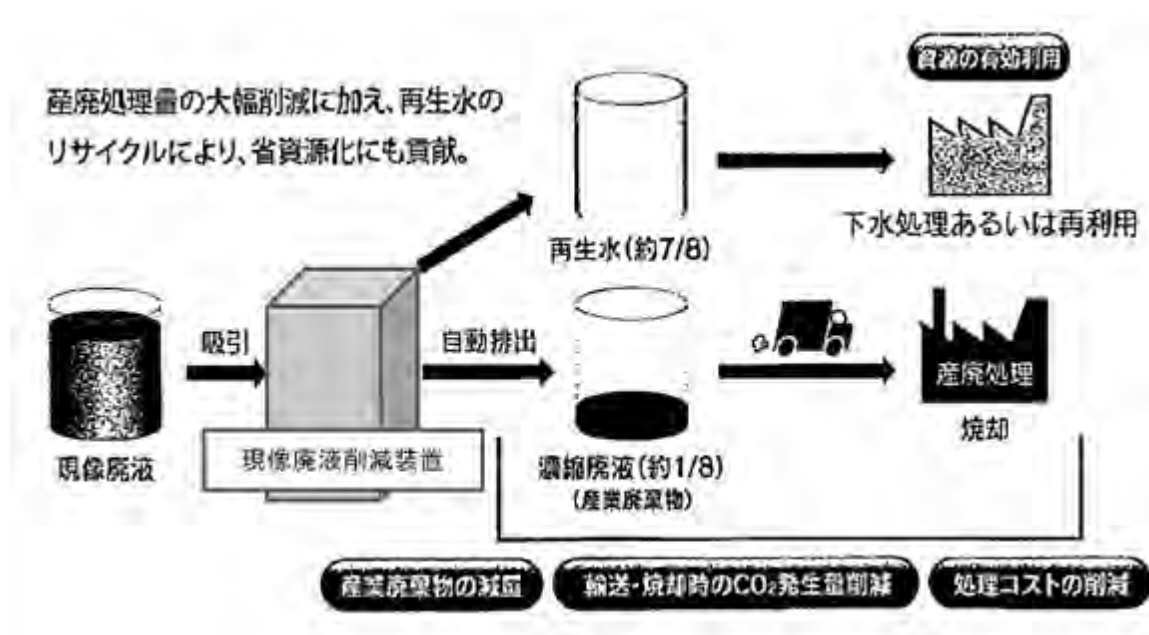


図1 「現像廃液削減装置」の導入イメージ ～販売会社カタログより抜粋～

本件にかかわる事業場では、それまで、現像機からの廃液等は、全量を回収して、そのまま業者に処理・処分を委託していた。そのため、生活系の排水のみが公共下水道へ排出されていたが、この「現像廃液削減装置」の導入に伴い、現像機由来の事業系排水の一部が公共下水道へ排出されることになる。

そこで、排水設備課では、23区内の同様な事例に対する考え方を、各下水道事務所の共有情報とするため、当該装置に関する水質規制上の課題を整理した。

2. 水質規制事務

2. 1 届出と事務の流れ

図2は、東京都下水道局における水質規制事務の流れを、届出書別に模式化したものである。

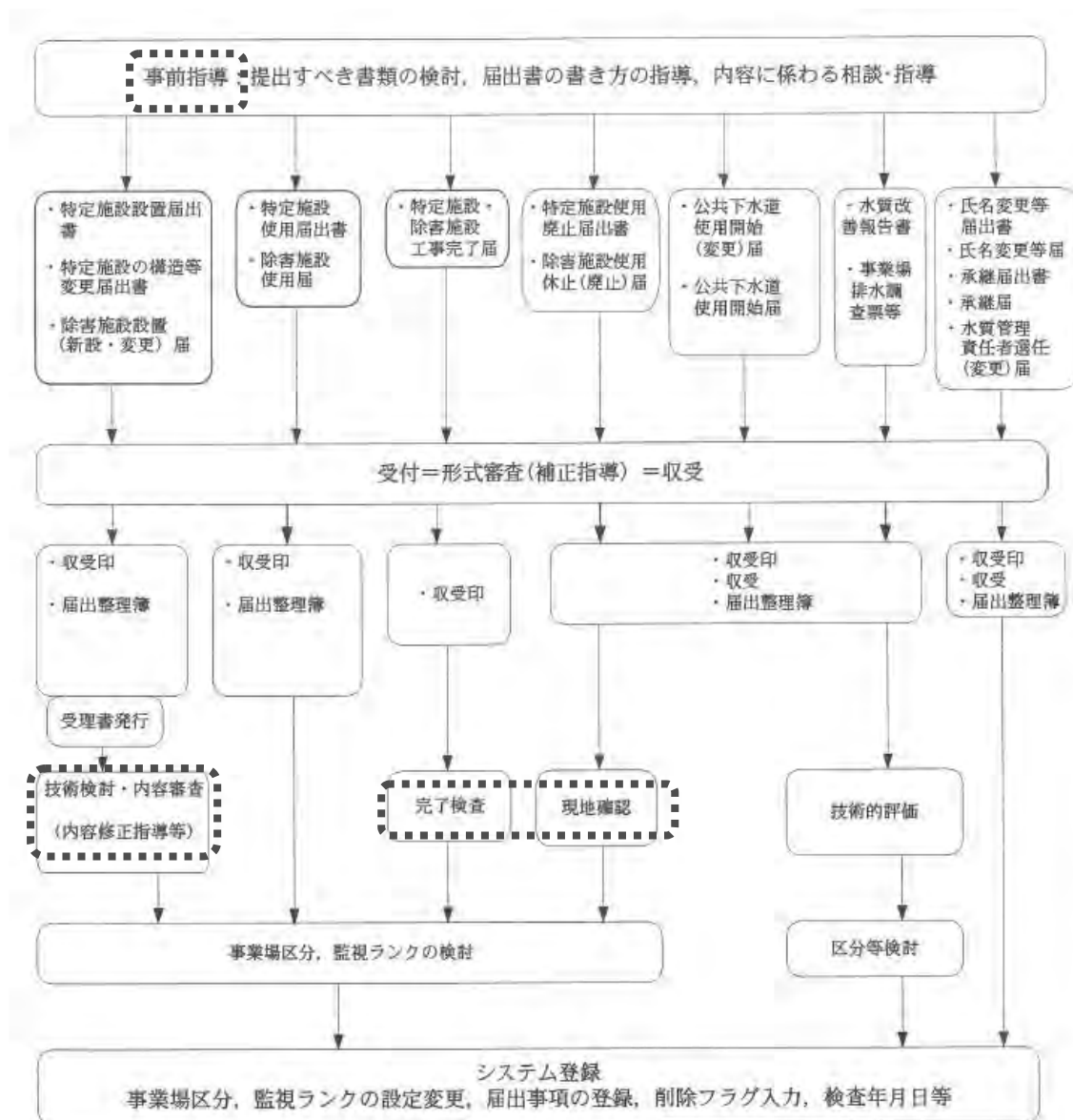


図2 届出事務の流れ

この事例に照らしてみると、

- (1) 事前指導： 「廃液の全量回収」から処理施設の設置へ変更するか
特定施設の変更とするか 除害施設の新設とするか
 - (2) 技術検討・内容審査： 当該装置に対する評価はどうするか
 - (3) 完工検査、現地確認： 事業場の区分や監視ランクを設定、水質の確認方法
- これらの事務作業を経て、通常の事業場指導を実施していくことになる。

2. 2 事業場指導の現況

図3は、平成23年度当初、23区内で下水道局への届出がある事業場8,770件を、業種別にグラフ化したものである。

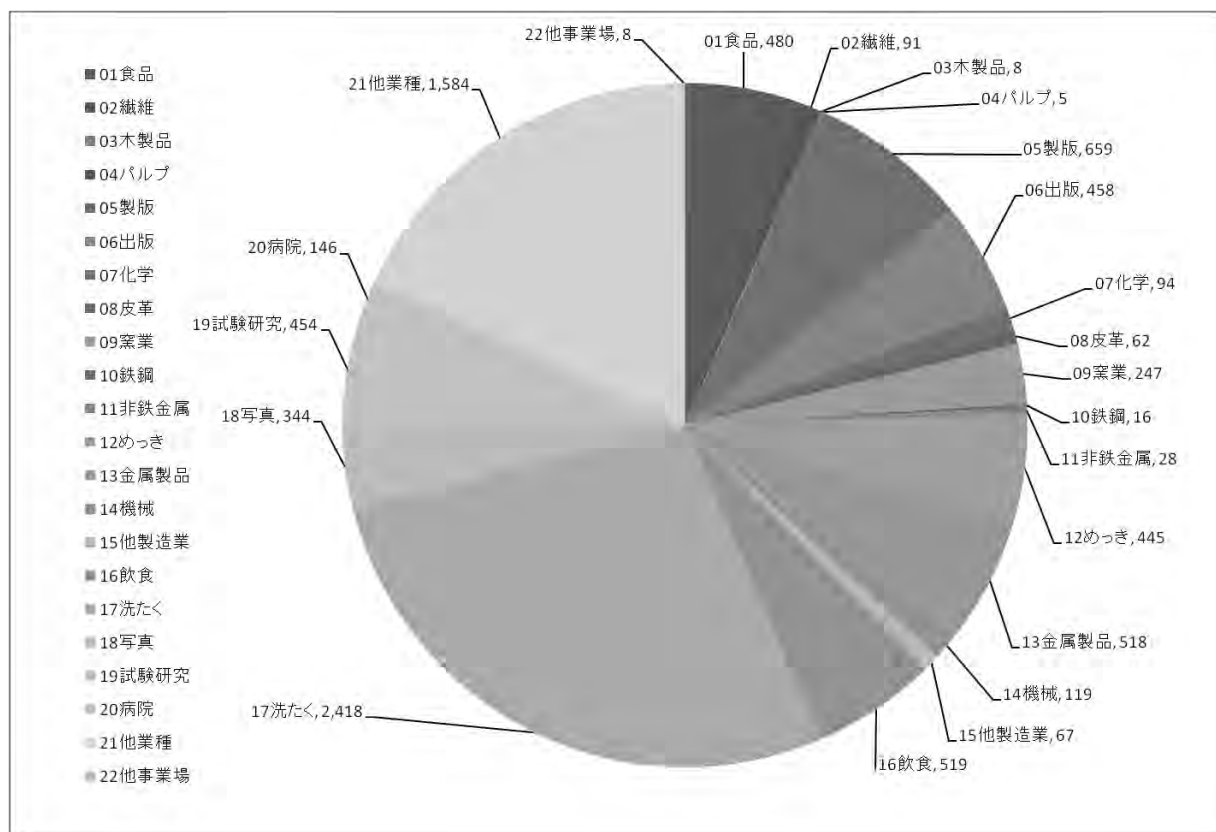


図3 23区内の届出事業場

下水道局では、上記の事業場を対象に、事業場排水が下水排除基準に適合しているか、また、届出内容に変更点はないかなどを、立入検査等により確認している。

事業場指導にあたっては、届出書の情報をもとに、各事業場における有害物質の使用状況や日排水量、汚水処理状況などを条件に、「事業場区分」を設定し、事業場指導の効率化を図っている。

今回、問い合わせを受けた事業場は、(1)特定事業場である。

製版業であるこの事業場は、水質汚濁防止法に規定する特定施設（23の2ロ：新聞業、出版業、印刷業、製版業における自動式感光膜付印刷版現像洗浄施設）に該当するPS※1自動現像機を設置しているため、特定事業場となる。

※1 Pre-Sensitized offset printing plate：あらかじめ感光層が塗布された版材

表1 事業場区分

区分	理由、条件
重点指導	有害大量
	有害
	酸性
一般指導	...
	百m ³ 超
	通常
確認対象	...
	水量監視中
	有害物質未使用
	無公害転換
	...

(2) 公共下水道への排出水は、生活系の排水のみである。

特定施設から発生する現像廃液等の全量を回収し、処理を委託している。また、この事業場が属する業界においては、廃液の回収ルートも確立されており、公共下水道への排出水は、生活系の排水のみであるため、排出水の水質は、特に問題ない。

「廃液回収」により下水排除基準に対応している事業場は、23区に1,818ヵ所あり、事業場指導の効率化を図る理由から、これらの事業場については、下水道への影響が小さい事業場として位置づけ、指導している。

3. 当該装置を導入することによる問題

この事業場が、「現像廃液削減装置」を導入することにより、現況との変更点が生じる。それらについて、情報収集して整理した。

3.1 現像廃液削減装置

まず、この装置の概要については、当該装置の販売会社からの聞き取り調査により把握することとした。図4に概略図を示す。

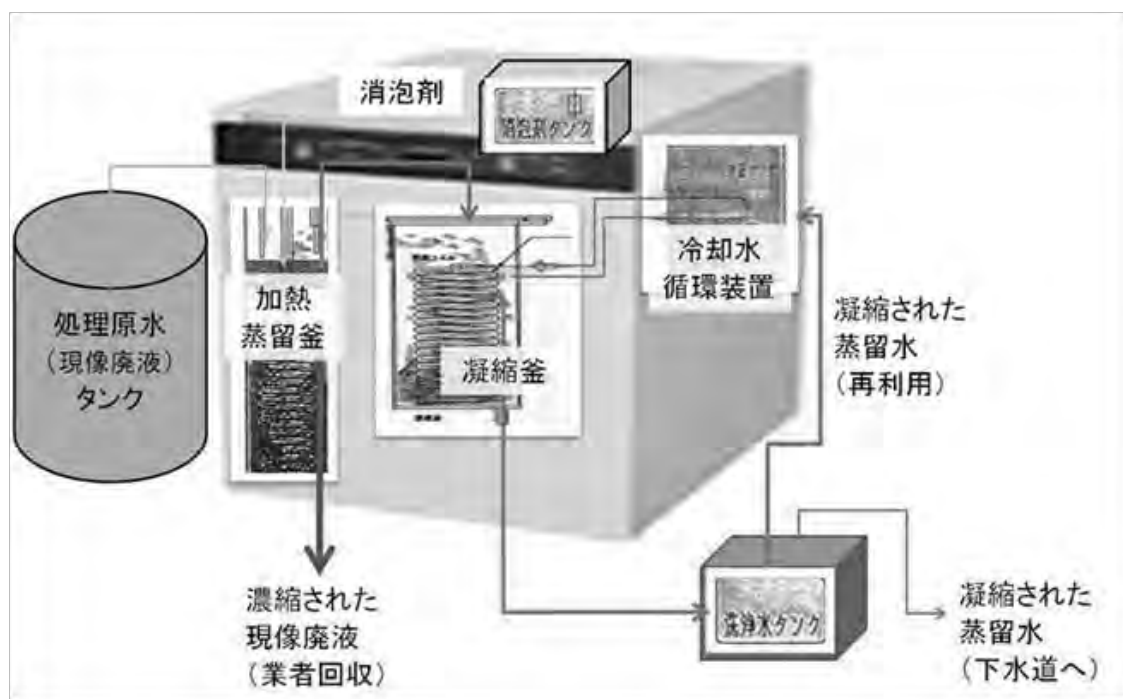


図4 装置の概略図

聞き取りの結果、

- (1) 濃縮された現像廃液は、配管と送液ポンプにより、回収タンクへ導入される。
- (2) 凝縮された蒸留水は、洗浄水タンクへ貯留され、一部は、濃縮釜へ冷却水として再利用される。
- (3) 洗浄水タンクは、内部を目視で監視できる。また、その越流水は下水道へ排出される。
- (4) 蒸留時の突沸を防止するため、消泡剤（シリコン含有）を添加している。
- (5) 蒸留中の液面の泡と水分をセンサーで監視して、異常時は自動停止する。

これらの情報から、「現像廃液削減装置」を設置すると、凝縮水（再生蒸留水）の一部が下水道へ排出されるため、その水質に関して確認することとした。

一方、販売会社では、

[illegible]

図5 計量証明書（抜粋）

(2) 当該装置が対象としている処理原水（廃液）は、C T P ※² 自動現像機に使用される現像廃液のみに限定している。

(3)当該装置の保守は、販売会社の技術者が実施している。

という体制で、設置を進めていることも分かった。

※2 C T P (Computer To Plate)

製版工程から得られたデジタルデータをもとに、数種類のレーザー光を使用して、直接版材に露光し刷版を作成するシステム

3. 3 現地調査による情報収集

各下水道事務所水質規制係の協力で、立入検査等の機会に、事業場の担当者からの聞き取りおよび洗浄水タンクからの蒸留水の採水を実施した。また、一部の事業場においては、当該装置へ導入される原水（現像廃液）の採水も実施した。表 2 は、各事業場の調査結果をまとめたものである。

3. 3. 1 事業場からの聞き取りによる情報

(1)対応するCTP自動現像機は、3種類。

(2)使用できる現像液、現像補充液は、2種類。

(3) 当該装置と自動現像機は、配管で接続し、液面計やポンプなどで送水を制御している事業場が多い。

表 2 調査結果の一覧

現像廃液削減装置(型番)			タイプ1		タイプ2	
処理能力(再生処理水量、L/時)			2.2		4.8	
対応するCTP自動現像機 (型番)			A	B	B	C
(台)			1	1～2	2	4
配管等の接続状況			あり	4	1	1
(件) なし			1	2	0	0
その他自動現像機 (台)			2	0～4	2	1
現像液			現像液Ⅰ			現像液Ⅱ
			商業印刷用			新聞印刷用
現像補充液			現像補充液Ⅰ			現像補充液Ⅱ
水質分析結果	蒸留再生水	ふっ素	検出せず ～ 0.3mg/L			検出せず
		VOC	検出せず (※)			すべて検出せず
	現像廃液	ふっ素	20mg/L			－
		VOC	検出せず			－

※ 一部の事業場において、ジクロロメタンの検出事例あり。

3. 3. 2 採水による水質分析

(1) 分析対象項目

販売会社からの情報や当該装置の仕様、原理を考慮して、分析を実施する部所である環境管理課と調整した。その結果、水質規制係が現地で採水した試料について、環境管理課水質検査係への臨時分析依頼として、

- 1) ふっ素
- 2) 揮発性有機化合物 (以下、VOC という)

を分析することとした。

(2) 分析結果

採水に関しては、2010年11月～2010年12月に届出があった事業場を対象に立入検査時に実施して、臨時分析依頼をした。

その結果、

- 1) ふっ素… 現像廃液に含まれている (20mg/L 含有例あり)。
排水 (蒸留再生水) における検出事例はなかった。
- 2) VOC… 現像廃液に含まれていない。
排水 (蒸留再生水) における検出事例はなかった。 (※)

※ 一部で基準を超える事例があったが、当該事業場を指導している水質規制係によるその後の調査で、当該装置の導入とは別の原因であることが判明した。

4 今後の対応および課題

4. 1 問題点の整理

今回実施した調査を整理すると、

- (1) 当該装置からの排出水の水質 → 下水排除基準を超過するおそれはない。
 - 1) 事業場ごとの廃液による水質分析結果を知ることができる。
 - 2) 洗浄水として再利用されるような水質であるものが、下水道へ排出される。
- (2) 当該装置に関する届出 → 処理施設（除害施設）としての届出は不要。
 - 1) 限定されたCTP自動現像機で、専用の現像液、補充液を使用している。
 - 2) 自動現像機と当該装置が、配管や送液ポンプで、接続されていることが多い。
 - 3) 現像廃液の発生量削減が目的で、廃液回収のルートは存続することになる。

4. 2 今後の対応

今回の調査結果をもとに、以下のとおり整理し、各下水道事務所の水質規制係あて通知した。

- (1) 当該装置を、「特定施設番号23の2ロ」の付帯設備とする。
- (2) 技術検討書には、廃液の減容化により、蒸留水が排出されることを付記する。
- (3) 内容審査の総合評価に際して、現像液、現像補充液（もしくは自動現像機）を確認し、それが、今回調査で確認されたものと同じで、その他の理由がない場合には、判断を保留しない。それ以外の場合は、判断を保留し、排水設備課と協議する。
- (4) 当該装置を導入したことによる事業場区分の変更はしない。

4. 3 課題

今回の案件は、事前相談だけではなく、届出として提出されたものなどもあった。そのため、限られた期間での調査結果をもとに整理することとなった。そのなかでも、当該装置や現像液、現像補充液における限定条件については、技術の進歩などを考えると、将来的に不十分となることも想定される。

したがって、今後、新たな解釈を要し、対応の変更が必要となる可能性も否定できないため、情報収集や追加調査を定期的の実施して、注視していくことが必要である。

参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会：事業場排水指導指針－2002年版－
- 2) コニカ（株）：印刷・製版の常識

4. 国際論文

【第 84 回 W E F 年次総会発表論文 英文】

- 1 “Earth Plan 2010” Global Warming Prevention Plan of the
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government
東京都下水道局の温暖化防止計画「アースプラン 2010」
- 2 Drastic Mitigation in Greenhouse Gas Emission by Sewage
Sludge Gasification System in Kiyose Water Reclamation
Center
清瀬水再生センター汚泥ガス化システムによる温室効果ガス
排出量の大幅な削減
- 3 Hydraulic simulation and analysis for designing the
longest and largest siphon structure of stormwater
drainage in Japan
—日本における長大伏越雨水放流渠の水理挙動解析—
- 4 New approaches to the coexistence of water quality
improvement and GHG reduction in wastewater treatment
下水処理における水質改善と温室効果ガス削減の両立の新
しい試み

4-1 “Earth Plan 2010” Global Warming Prevention Plan of the Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

Hideo TERAJIMA¹, Hideki YAMADA^{1*}

¹ Bureau of sewerage, Tokyo Metropolitan Government

* Contact details are as follows. E-mail: Hideki_Yamada@member.metro.tokyo.jp

Abstract

The Bureau of sewerage, prior to the Kyoto protocol, established the global warming prevention plan, "Earth Plan 2004" for the sewage works in September 2004 and have implemented greenhouse gas reduction measures. The result of this is that greenhouse gas emissions in fiscal 2009 were reduced by 16% from the fiscal 1990 level.

The bureau did not settle for this result and in order to further reduce greenhouse gas established “Earth Plan 2010” which took over “Earth Plan 2004” and showed a new path of global warming prevention for the sewage works. By implementing this plan surely, the greenhouse gas emitted by sewage works is to be reduced by 25% from the fiscal 2000 level by fiscal 2020.

Introduction

Japan obeyed the UN Framework convention on climate change (COP15) held in Copenhagen in December 2009 and submitted the goal of reducing greenhouse gas emissions by 25% from the fiscal 1990 by fiscal 2020 on the condition that “all major countries agree fair and effective goal” to the UNFCCC secretariat on the 26th of January in 2010.

Hereafter, looking towards this goal, government agencies, private companies and households inclusive must take measures to prevent global warming in unison.

However, the Tokyo sewerage system consumes a huge amount of energy through treating 5.6 million m³ of sewage a day at water reclamation centres (sewage treatment plants) and incinerating the 3300wet-t of sludge generated by the water treatment process at sludge plants. This electricity consumption was equivalent to around 1% (approx. 1 billion kWh) of the yearly electricity consumption of the Tokyo metropolis, and greenhouse gas emissions (around 856,000t-CO₂) by the bureau of sewerage (hereafter “this bureau”) accounted for about 1.5% of the total metropolis emissions (around 57.8 million t-CO₂) which meant that this bureau had a big responsibility to prevent global warming.

Under these conditions, this bureau established the “Earth Plan 2004” in September 2004, and advanced the reduction of greenhouse gas generated by the sewage works with the introduction and development of technology and other pioneering efforts.

Hereafter, by promoting the enhancement of sewerage functions such as improving treated sewage quality, reducing flood damage or improving the combined sewer overflow, increasing energy consumption has become unavoidable, so reducing greenhouse gas emissions further has become a pressing issue.

Therefore the “Earth Plan 2004” was succeeded by the “Earth Plan 2010” in February 2010 which shows a new path to prevent global warming for the sewage works and takes a leading role in greenhouse gas reduction measures in the metropolis.

Past Efforts

The Earth Plan 2004, in order to achieve the goals of the Kyoto protocol, aimed to reduce greenhouse gas emissions by more than 6% (reductions of 188,000 [t-CO₂]) from the fiscal 1990 level by fiscal 2009. (fig. 1)

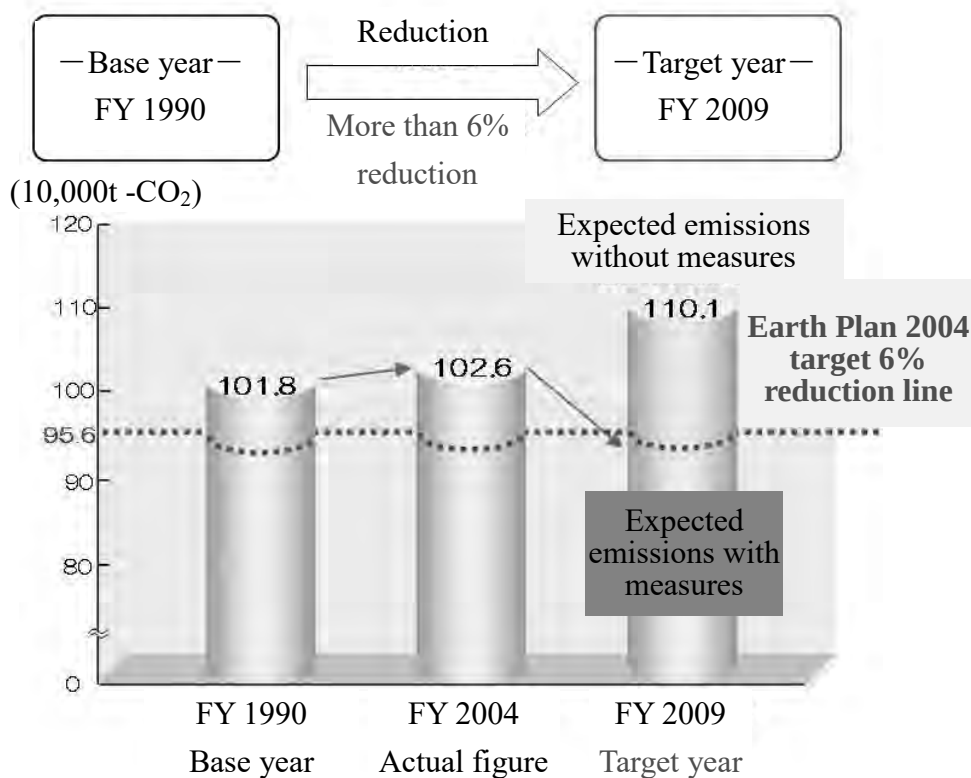


Figure 1. Earth Plan 2004 image for reductions

As a main reduction measure, we focused on the sludge generated by sewage treatment, and worked aggressively to reduce the nitrous oxide (N₂O) generated by incinerating the sludge. N₂O, which is 310 times more powerful a greenhouse gas than carbon dioxide (CO₂), accounted for 40% of greenhouse gas emissions by this bureau and half of that in Tokyo metropolis. The fact made us the largest generator of N₂O in Tokyo metropolis. Regarding this N₂O, an original investigation by this bureau found that raising the sludge incineration temperature from 800 to

850°C could reduce N₂O by 70%. So making improvements to a high temperature incinerator and taking actual measures of introducing sludge carbonization furnace which heats sludge with shutting off the air in a high temperature contributed to great N₂O reductions.

Also, in the water treatment process, almost half of the electricity for water treatment was accounted for the reaction tank equipment. We focused on that equipment, and reduced greenhouse gas by introducing micro-bubble diffusers and energy efficient stirrers.

Other ways to reduce greenhouse gas was to utilize renewable energy sources such as small scale hydroelectric generators using the discharge height in water reclamation centres and biomass generators burning digestion gas.

Results and problems in Earth Plan 2004

From the above efforts, the 2009 greenhouse gas emissions were around 856,000 [t-CO₂] which exceeded the target reduction of 956,000 [t-CO₂] by a large margin. A comparison of greenhouse gas emissions in the fiscal 1990(the base year) and fiscal 2009 is shown in fig. 2.

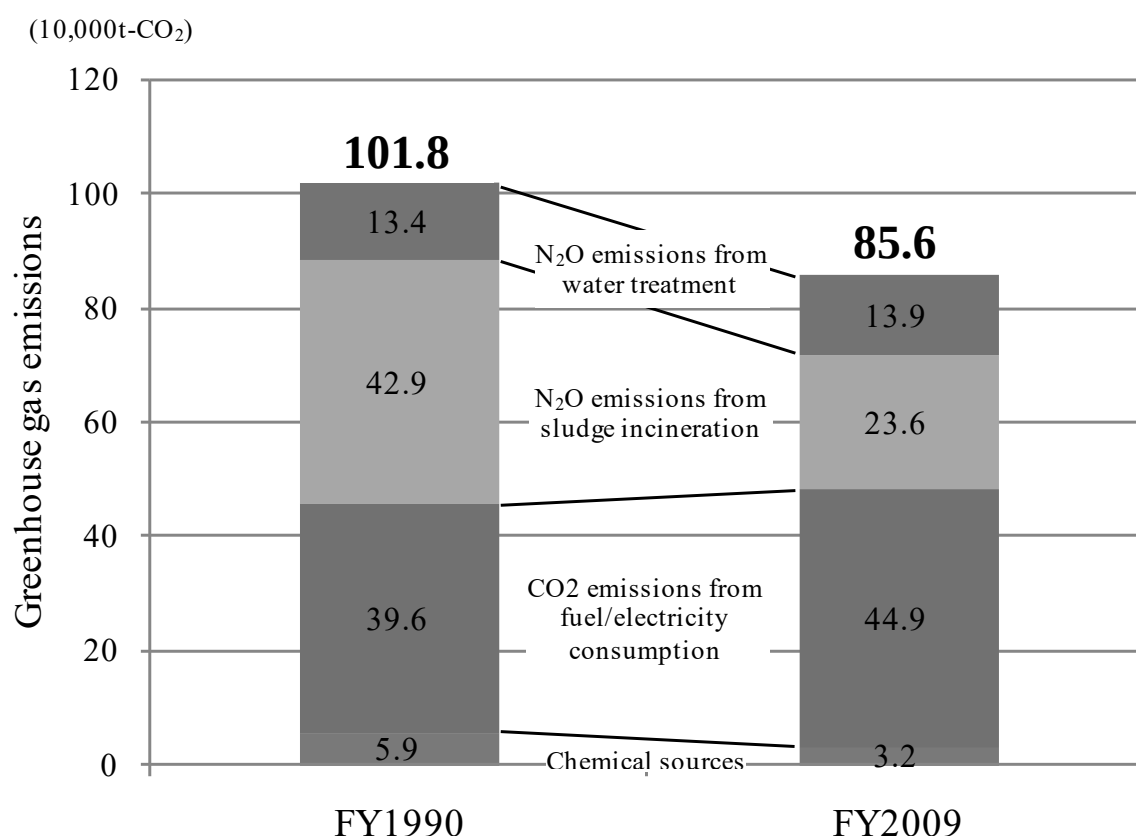


Figure 2. Changes in the Bureau of Sewerage's greenhouse gas emissions

However, an analysis of the Earth Plan 2004 results and content brought to light the following problems in order to reduce greenhouse gas further hereafter.

First, electricity consumption from additional facilities increased due to introduction of

advanced treatment or strengthening countermeasures against flooding, the amount of auxiliary fuel burned in the incinerators increased with the improvement of high temperature sludge incineration, which meant the CO₂ emissions from the electricity and fuel consumption was greater in scale than the reduction measures. Therefore we needed alternate reduction measures necessary.

Second, over 90% of greenhouse gas reductions constituted of N₂O reduction by high temperature sludge incineration and sludge carbonization. Now the high temperature sludge incineration is largely complete, therefore a new reduction method for N₂O reduction is necessary.

Third, around 16% of greenhouse gas emissions (139,000 [t-CO₂]) in fiscal 2009 was accounted for N₂O emissions from water treatment. Now methods for suppressing it were not established, therefore development of technology is needed.

Formulation of Earth Plan 2010

Earth Plan 2010 takes its base year as fiscal 2000, and aims to make cuts of more than 25% (greenhouse gas emissions to under 743,000 [t-CO₂]) by fiscal 2020 and to make cuts of more than 18% (813,000 [t-CO₂]) by the mid-term of fiscal 2014 (fig. 3).

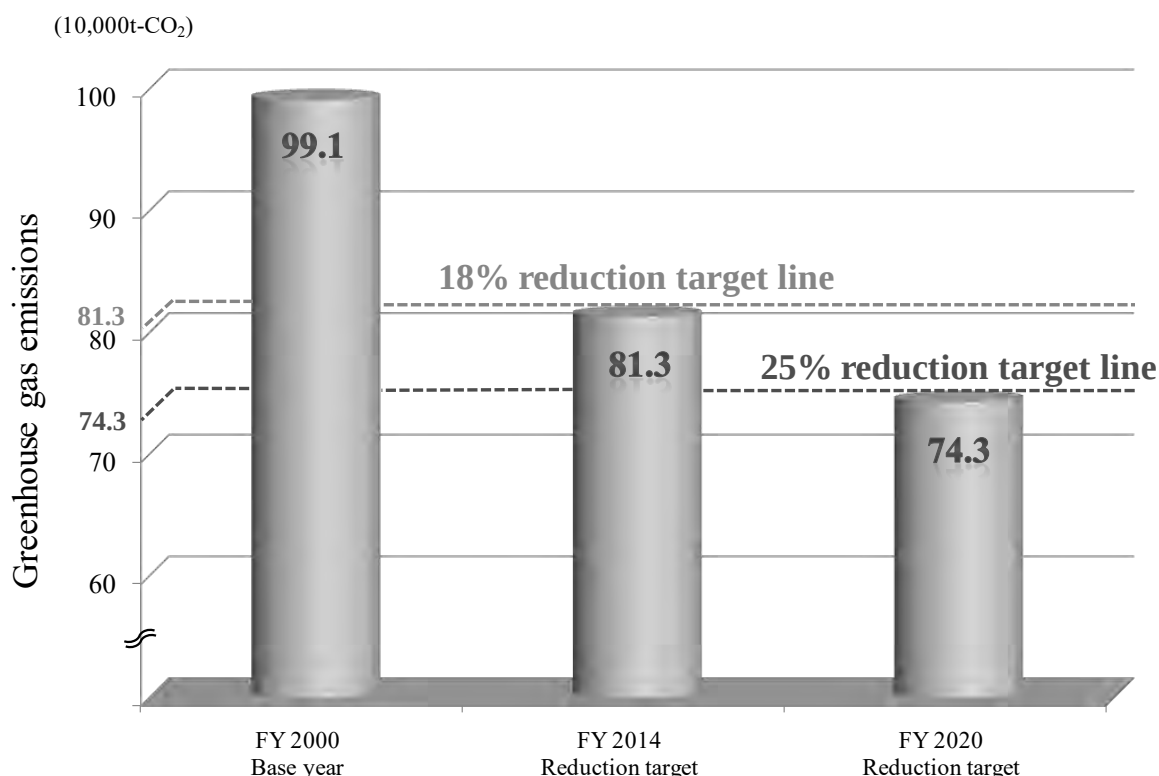


Figure 3. Earth Plan 2010 greenhouse gas reduction image

Through this process, we aim to achieve an advanced urban environment with the smallest environmental impact in the world and to contribute to the “carbon minus Tokyo 10 year project” (25% reductions from 2000 levels by 2020) promoted by Tokyo prefecture.

Also, the “Environmental regulations to secure the health and safety of citizens (Environmental security laws)” reformed to achieve the above project obliges large scale organizations which use the equivalent of more than 1500KL of crude oil annually to reduce carbon dioxide (CO₂). All of the water reclamation centres and part of the pumping stations, a total of 24 operation centres controlled by this bureau fall under these regulations, and are obliged to cut CO₂ by an average of 6% a year for the 5 year period of 2010-14.

The current state of this bureau’s greenhouse gas emissions

Sorting this bureau’s fiscal 2009 greenhouse gas emissions by source, as shown in fig. 4, can be classed into the following 3 groups.

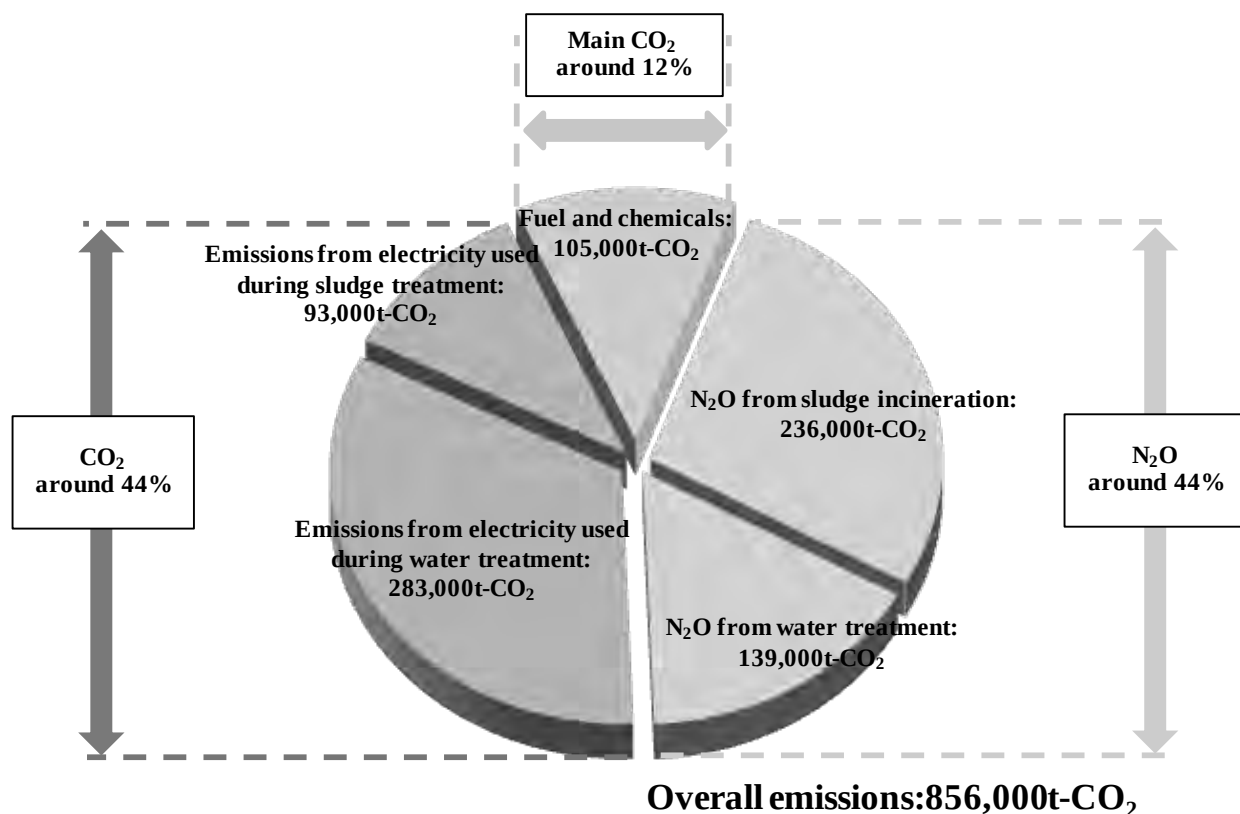


Figure 4. Breakdown of the Bureau of Sewerage’s greenhouse gas emissions (FY 2009)

(1) CO₂ emissions by electricity consumption during water treatment and sludge treatment

Electricity used by equipment for water treatment such as pumps and blowers, and electricity used by equipment for sludge treatment such as dewatering machines, thickeners and incinerators accounts for around 44% of total emissions.

(2) N₂O emissions from water treatment and sludge incineration

Nitrous oxide (N₂O) is a powerful (310 times) greenhouse gas, and these emissions are generated through the action of microorganisms in the reactors of the sewage treatment process or from the incineration of sludge. N₂O emissions from water treatment and sludge incineration account for around 44% of total emissions.

(3) CO₂ emissions from fuel or chemical consumption

The greenhouse gases from auxiliary fuel for sludge incineration, the fuel used in back-up generators and from chemicals used for disinfection in water treatment or for concentrating or dewatering sludge. CO₂ emissions from fuel or chemical consumption account for around 12% of total emissions.

Furthermore, half of that, around 50,000t-CO₂, accounts for auxiliary fuel required for sludge incineration and the like.

Basic policies of Earth Plan 2010

The Earth Plan 2010, built on the success of Earth Plan 2004 and in consideration of future greenhouse gas emissions, has initiatives for cutting greenhouse gas with the following strategies as its pillars.

- (1) We will take intensive measures during the plan period to accelerate implementation and realize reduction as soon as possible.
- (2) We will pioneer the introduction of up-to-date technologies to further enhance the reduction effect.
- (3) We will take various measures to reduce greenhouse gas emissions and enhance sewerage functions, including countermeasures against flooding, improvement of combined sewer overflow, and promotion of advanced treatment.

New measures in Earth Plan 2010

Based on these strategies, in solving the issues of greenhouse gas reduction, the measures are classified as follows to give specific reduction measures. Here several example measures are introduced.

(1) Promote exhaustive energy-saving efforts

In sewage treatment facilities, we will further reduce electricity consumption for blowers and stirrers by introducing micro-bubble diffusers and energy efficient stirrers, continuing from conventional measures.

Also, in sludge treatment facilities, greenhouse gas reduction is promoted through the new introduction of energy efficient thickener and dewatering equipment which can reduce electricity and chemical consumption, as well as conventional measures such as changing the incinerator auxiliary fuel from heavy oil to city gas.

(2) Overview of the treatment process/method

In addition to introduce individual equipment such as energy efficient equipment, by optimizing or changing the layout of equipment in consideration of the entire water/sludge

treatment processes, the system as a whole can become energy efficient and further reduce greenhouse gases.

Also, by changing the combustion method in sludge incinerators, the N_2O generated from the incinerator can be suppressed and the CO_2 generated from consumption of fuel or electricity can be reduced.

A. Optimization of the aeration system

When reconstructing the reaction tanks, the blowers and aeration equipment is simultaneously upgraded, and optimizing the airflow in the reaction tanks has the following greenhouse gas reduction effects. (fig 5)

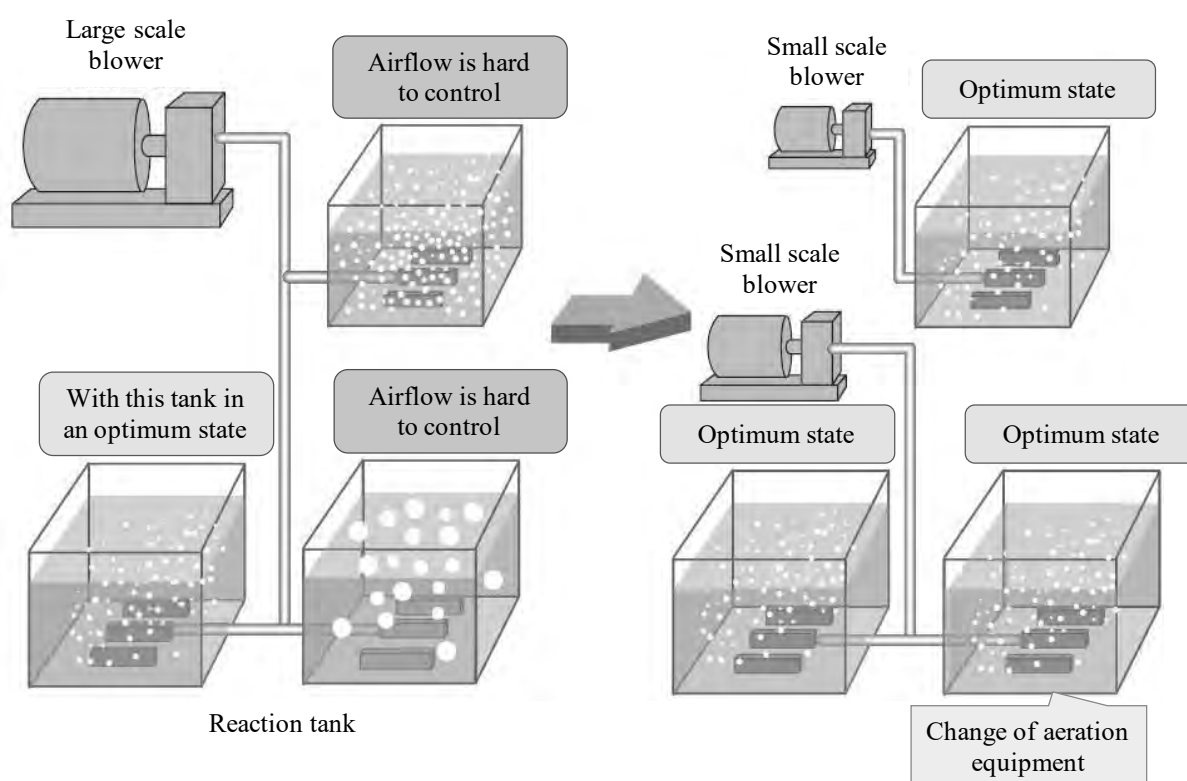


Figure 5. Aeration system

By introducing micro-bubble diffusers, the bubbles are finer than the conventional method and increase the surface area in contact with mixed liquor in reaction tanks. Furthermore by installing the diffusers at depth in deep water, long contact periods with mixed liquor can be maintained. From the above, improvement of oxygen dissolving rate (percentage of oxygen dissolved in mixed liquor) reduces the airflow volume.

By installing small size blowers near the reaction tanks which provide the necessary airflow for each tank, blower pressure and airflow volume can be optimized and the loss of blowing air can be reduced compared with conventional measures.

B. Unitization of sludge treatment

As well as upgrading the sludge incinerators, by newly installing dewatering equipment near the incinerators, the following greenhouse gas reduction effects are attained (fig. 6).

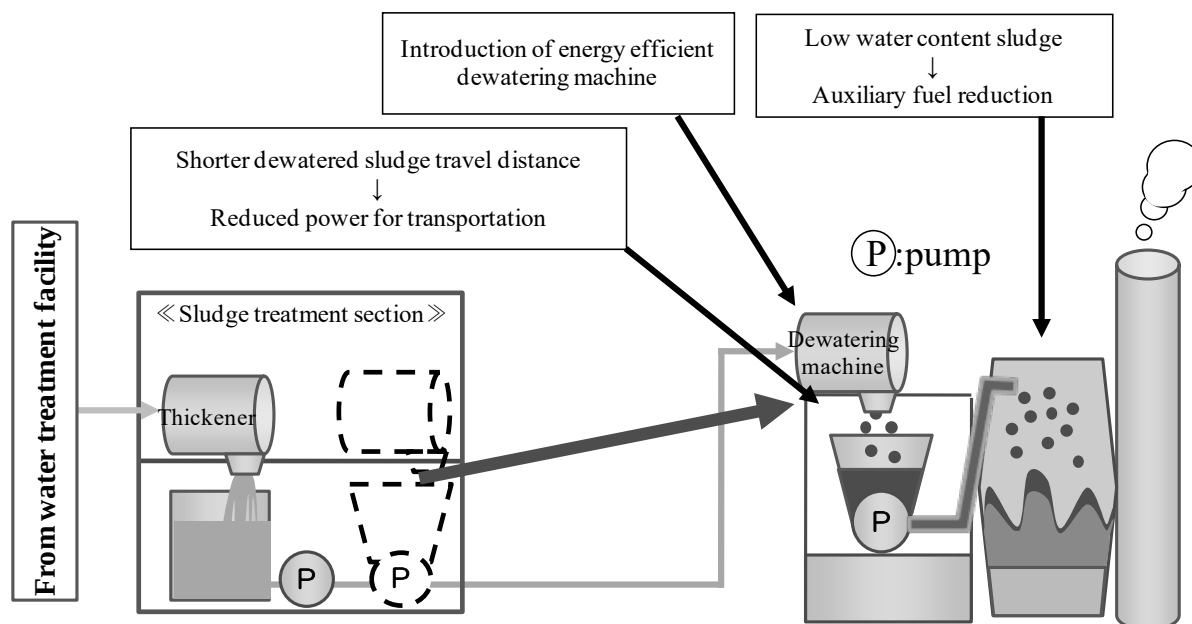


Figure 6. Unitization of sludge treatment

By introducing energy efficient dewatering equipment, electricity and chemical consumption can be reduced.

By shortening the transportation distance of dewatered sludge, the electricity required to move the sludge with lower water content is decreased.

Incinerating sludge with lower water content makes the sludge itself easier to combust and reduces auxiliary fuel for the incinerator.

C. Introducing sludge incinerators with new combustion methods

When reforming incinerators which emitted large greenhouse gas or is dilapidated, the second generation incinerators (multilayered and turbo style) are being introduced. These incinerators can reduce not only N_2O by around 50%, but also CO_2 emissions by around 20% by reducing electricity and auxiliary fuel consumption compared to high-temperature sludge incineration ($850^{\circ}C$).

Figure 7-1 shows one of these second generation incinerators, a multi-layer liquid incinerator. This multi-layer liquid incinerator can be introduced by improving existing incinerators.

By lowering the amount of combustion air blown into the low levels of the furnace, the

N_2O generation can be suppressed. In addition, by newly blowing combustion air into the mid-level, the high temperature state and gas holding time is maintained which improves the dissociation of N_2O and suppresses N_2O emissions. Furthermore, by improving combustion within the furnace, the amount of auxiliary fuel consumption can be reduced which means CO_2 is also reduced. Already, the Nanbu Sludge plant No. 3 incinerator (300t incinerator) had been converted to multi-layer liquid incinerator in June 2009, now the Shingashi water reclamation centre No. 4 incinerator (300t incinerator) is being converted too.

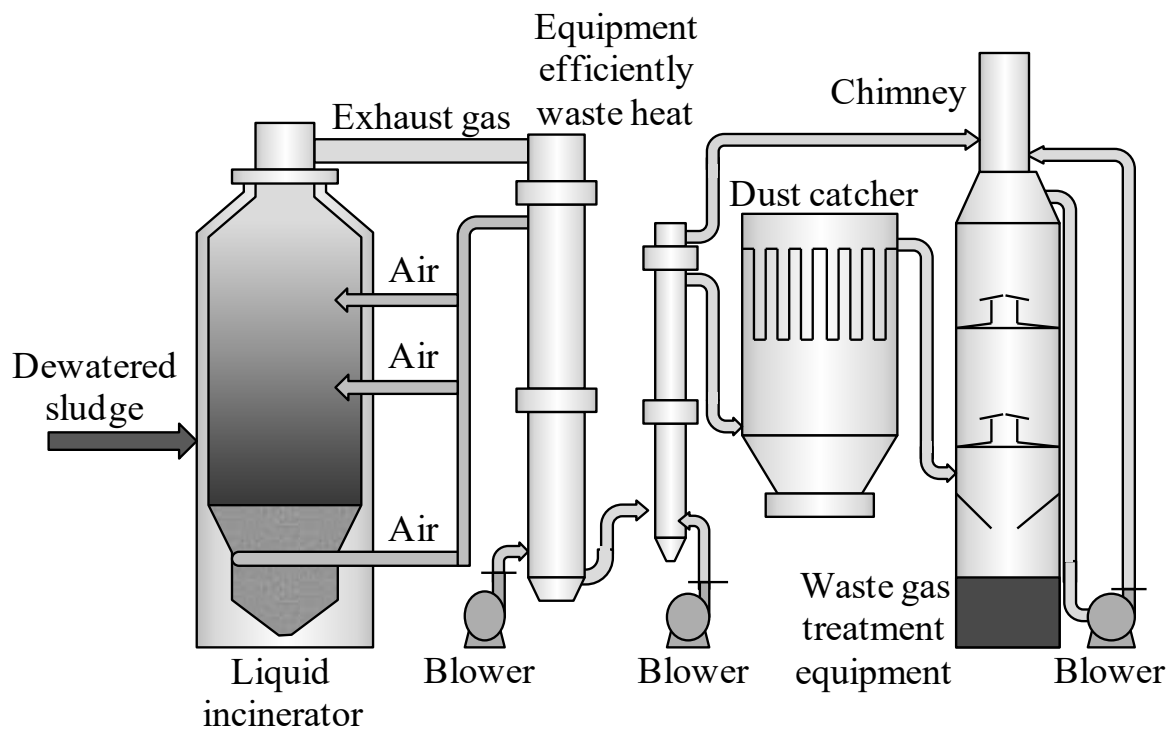


Figure 7-1. Multi-layer liquid incinerator

Figure 7-2 shows another second generation incinerator, a turbo liquid incinerator. A turbo liquid incinerator burns sludge at pressures of around 0.15MPa, and exhaust gas generated from the incinerator drives a turbo charger to get compressed air. Therefore some blowers become unnecessary and the electricity for driving blowers can be reduced. Furthermore, as combustion speed increases under pressure, the furnace itself is smaller. As a result, the incinerator becomes more compact because heat radiation from the furnace is less. In addition, the amount of auxiliary fuel consumption can be reduced compared to a high-temperature incinerator.

Also, as temperatures in the incinerator reach higher temperature ranges (about 870°C) than those of conventional incinerators, N_2O dissociation is promoted and N_2O emissions can be efficiently suppressed.

Currently, construction is under way at the Kasai water reclamation centre aiming for operation to begin in April 2014.

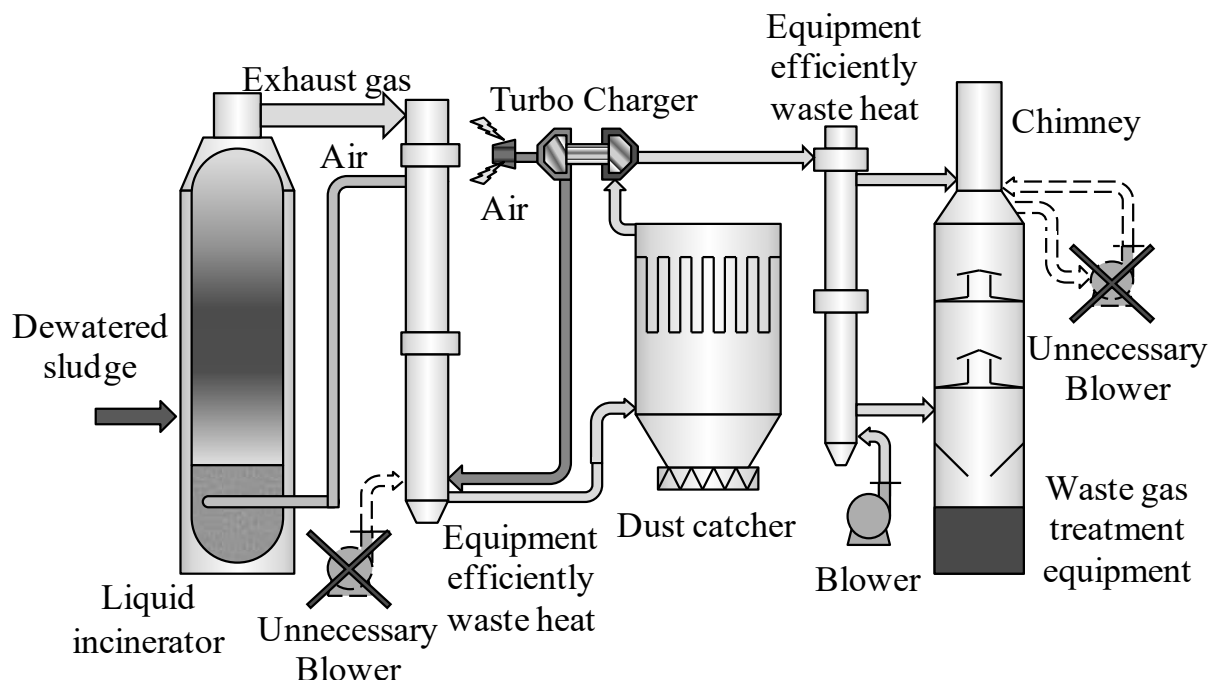


Figure 7-2. Turbo liquid incinerator

(3) Use of unused or renewable energy

In order to achieve the goal of Earth Plan 2010, it is necessary to take run further effective additional measures as well as making reductions through equipment upgrades by introducing energy efficient equipment. In order to achieve this, greenhouse gases must be reduced by utilizing unused or renewable energy held by this bureau.

A. Introducing solar power

In April 2010, new solar equipment, which was developed to improve electricity generation efficiency, was fully introduced to the Kasai water reclamation centre. This equipment is a “single-axis tracking” type (290kW) which combines ultra-thin solar cells on panels rotating to face the sun. Utilization on this scale is the first of its kind in Japan (fig.8). We can have the necessary workspace for facility inspections etc by making use of the vertically arranged panels (a feature of single-axis tracking) installed on the roof of the water treatment facility.

Also, “fixed” type panels are installed in the vicinity of the water treatment facility, effectively utilizing space in the whole facility. In 2010, around 630,000kWh was generated which exceeds the planned yearly electric-generating capacity (590,000kWh) and reduced

greenhouse gas emissions by around 240[t-CO₂].



Figure 8. Solar cell generators (single-axis tracking type)

B. Introduction of sludge carbonization furnaces

In November 2007, sludge carbonization furnace began operation at the Tobu sludge plant. That equipment produces carbon fuels by baking sludge at about 600°C under low oxygen or anaerobic conditions. By burning at high temperatures the pyrolysis gases which include nitrogen generated by the carbonizing process, it is possible to greatly reduce N₂O emissions. Greenhouse gas emissions of carbonization furnace are reduced by around 50% compared with high-temperature sludge incinerators (850°C furnaces).

Also, carbonized sludge which is a source of biomass, have 1/3rd the calorific value of general coal, and by using this as an alternative to coal in thermal power station, contributes to improving the sludge recycling rate.

In 2013, the Tobu sludge plant plans on opening its second sludge carbonization furnace in order to further reduce greenhouse gas emissions.

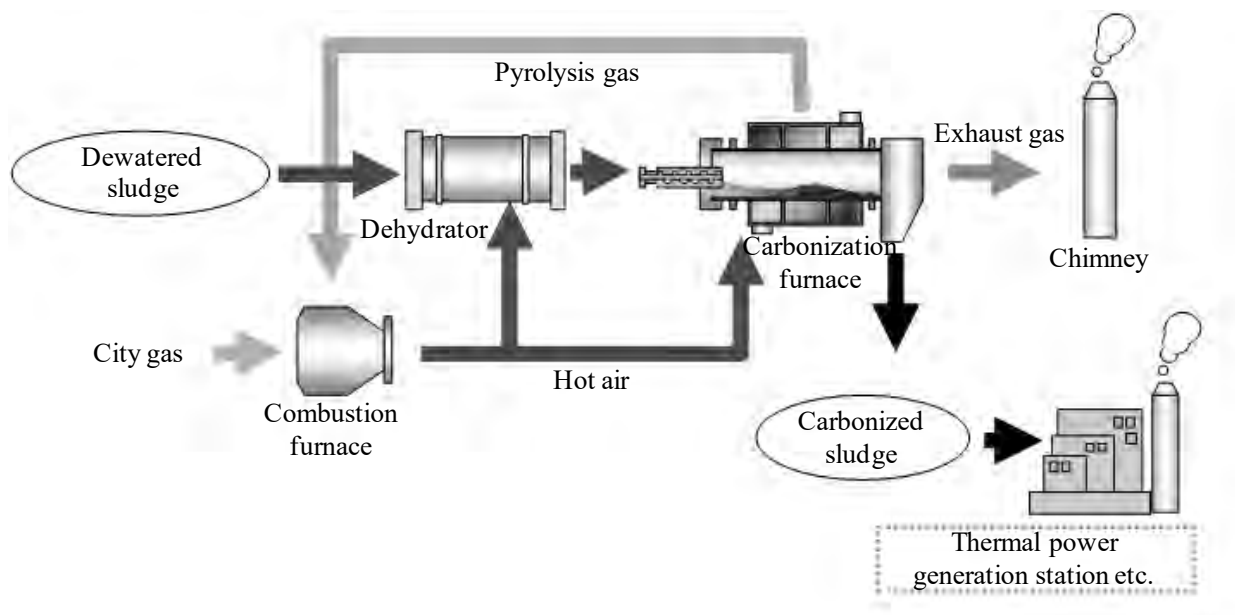


Figure 9. Sludge carbide furnace

C. Introduction of sludge gas furnaces

The sludge gas furnace at the Kiyose water reclamation centre began operation in July 2010 which has higher baking temperature in the furnace than that in a sludge carbonization furnace and by making all heat included in the sewage sludge into gas, can greatly reduce N_2O (fig. 10).

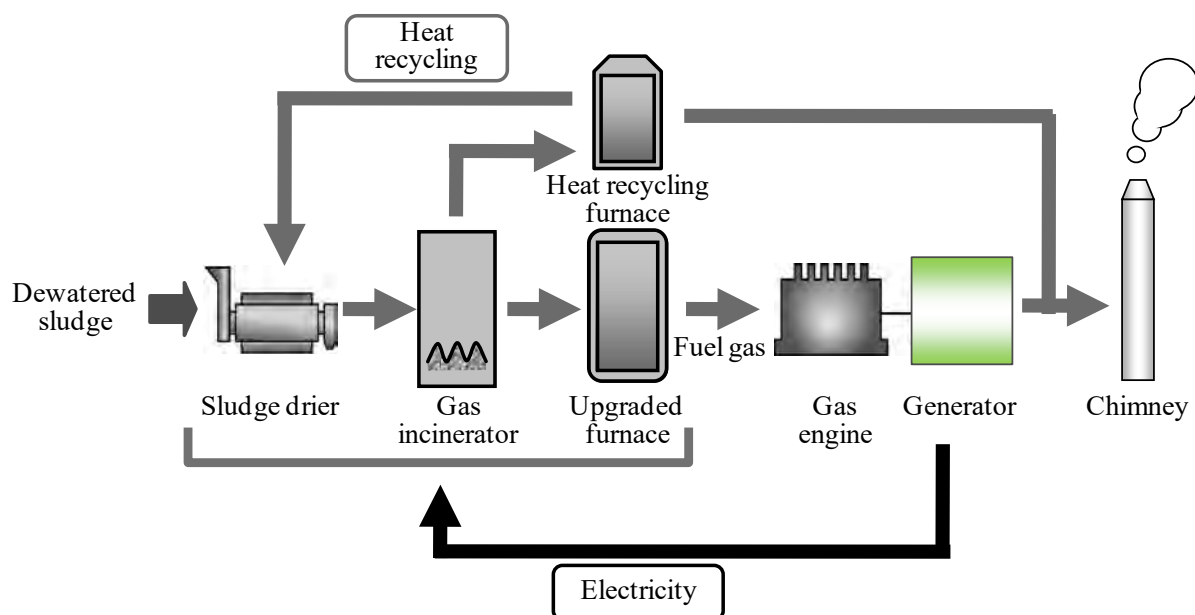


Figure 10. Sludge gas furnace

The generated gas is not only used as the necessary heat source for drying sludge by burning it in a heat recycling furnace. By reforming and purifying the gas at around 1000°C it can be used as fuel for a gas engine to drive a electricity generator. The generated electricity is effectively used as part of the electricity needed to drive the gas furnace which goes towards reducing CO₂ emissions.

The gas furnace can cut greenhouse gas emissions by around 70% compared to a high temperature (850°C) sludge incinerator.

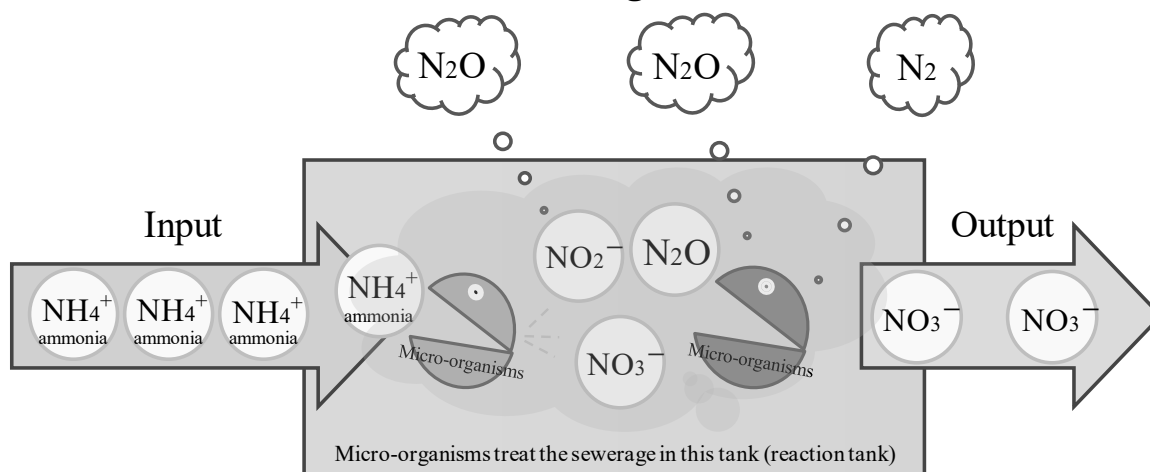
(4) Technological developments

To continuously reduce greenhouse gases from now on, in addition to the current measures, making technical developments in consideration for effective reduction of greenhouse gas in the treatment process in the light of mid- and long-term is important.

Especially, with regard to N₂O generated by the water treatment process, which is a large emission source of greenhouse gases from this bureau, there is still room for reducing greenhouse gas from the 139,000[t-CO₂]. To do this, this bureau developed a device to continuously measure N₂O generated from water treatment and applied it from 2010.

By using this device, currently, we understand the N₂O emissions generated from each treatment method and investigate/verify fluctuation etc in the N₂O emissions from operation methods. Then we continue to investigate in order to establish technology for suppressing N₂O generation, such as making some kinds of efforts in the water treatment process.

Control of N₂O generated in the water treatment process with new technologies



The cause of N₂O generation in the reaction tank is unknown

Measures to find the cause and a control method

Figure 11 N₂O emissions and control from the water treatment process

(5) Customer Communication

Earth Plan 2010 asks customers to install stormwater infiltration inlet within residential areas. It is new activities. With the spread of stormwater infiltration inlet, stormwater infiltrates underground and reduces the amount of rain water flowing into the sewer facilities. From this, 160m³ of stormwater infiltrates the ground per household during one year. By this reduction, the electricity of pumping up stormwater etc is decreased. As a result, we can reduce greenhouse gas by around 70kg-CO₂ (calculation in case of 120m² residential area).

Conclusion

This bureau will promote and speed up measures in the Earth Plan 2010 in order to achieve the goal of reducing greenhouse gas emissions by 25% by fiscal 2020 from the fiscal 2000 level.

Hereafter, we will try to reduce greenhouse gas emissions further by introducing new ideas and new technology actively. At the same time, we will promote various measures comprehensively in order to satisfy both of improving sewer functionality (countermeasures against flooding, improvement of combined sewerage systems, and promotion of advanced treatment etc) and preventing global warming. And we will construct a sustainable society and inherit a comfortable world environment for the next generation.

Furthermore, the greenhouse gas reduction technology of the sewage works is leading age in the world. Therefore we will try to contribute worldwide by spreading “Tokyo’s greenhouse gas reduction technology.”

4-2 Drastic Mitigation in Greenhouse Gas Emission by Sewage Sludge Gasification System in Kiyose Water Reclamation Center

Akio Morishima¹

¹Planning Section, Engineering Department, Regional Sewerage Office, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

1. Background of construction of the facilities

To take initiative in suppressing greenhouse gas (GHG) emissions, the Tokyo metropolitan government initiated “The 10-Year Project for Carbon-Minus Tokyo” in 2007, aiming at reducing GHG emissions by 25%, with respect to the value in 2000, by 2020. The Bureau of Sewerage accounts for approximately 40% of the entire GHG emitted as a result of administrative and business activities of the Tokyo metropolitan government, and must therefore reduce a significant amount of GHG emissions to achieve the goal.

As a result, it was decided to construct of sewage sludge gasification system, which is capable of achieving significant reduction of GHG emissions while efficiently taking out energies such as electric power and heat from sewage sludge.

2. What is gasification of sewage sludge?

In the Water Reclamation Center, a large amount of sludge is generated as a result of treating sewage. To efficiently treat and dispose the sludge generated, the River-Basin Sewerage Headquarters has been incinerating the whole of the dewatered sludge, thus emitting GHG in larger quantity.

The sewage sludge gasification performs pyrolysis of sludge, unlike conventional incineration, and by using generated combustible gas for drying sludge and generating electric power, significant reduction in GHG emissions is expected.

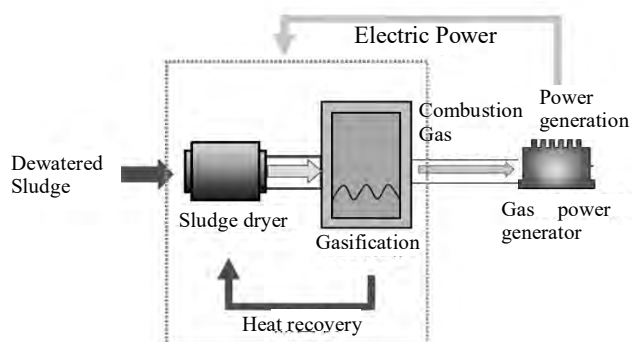


Fig. 1 Sewage sludge gasification

3. Mechanism of sewage sludge gasification

The sewage sludge gasification system is consist of several facilities, such as accepting/drying system, gasification/reforming system, gas purification system, power generation, and heat recovery system. The outline of each facility is described as follows.

(1) Accepting/drying facilities

In the accepting/drying facilities, the sludge having the water content of 70% to 80% transferred from the Water Reclamation Center is dried to approximately 20%. A rotary dryer with hot air of approximately 600°C is adopted as direct drying system. As a heat source, dry gas obtained by using combustion heat generated from the pyrolysis gas in a heat recovery furnace is used.



Fig. 2 Drying facilities

(2) Gasification/reforming facilities

The dry sludge transferred from the accepting and drying facilities is subjected to pyrolysis in the gasification using high-temperature air flowing within the gasification transmitted from the heat recovery facilities in low-oxygen state to generate pyrolysis gas. By reforming the generated gas within the reforming furnace, a high-quality combustible gas containing H_2 and CO as major components and having low tar content is generated.



Fig. 3 Gasification furnace

(3) Gas purification facilities

Impurities in the reformed gas transferred from the gasification/reforming facilities, such contents of ash, nitrogen compounds and sulfur compounds, are removed to condition the gas into the one suitable for gas engines.

After removing the ash using the reformed gas dust collector, toxic HCN is reduced in a catalytic reactor. In the scrubber that follows, NH_3 and H_2S are removed using alkaline water conditioned using water and NaOH solution.



Fig. 4 Gas purification facilities

(4) Power generation facilities

The reformed gas conditioned for use for gas engines is mixed with city gas to stabilize power generation output, and the mixed gases are burnt to generate electric power of 150 kW, which accounts for approximately 30% of the entire power consumed in the sewage sludge gasification system.

(5) Heat recovery facilities

The heat recovery facilities, which exchange the energy of pyrolysis gas into heat, consist of the heat recovery furnace, combustion air preheater, dry gas pre-heater, etc.

In the heat recovery furnace, the pyrolysis gas generated in the gasification is combusted at approximately 900°C to suppress generation of nitrous oxide (N₂O) considerably. The combustion air in the gasification and the dry gas is preheated by 650°C and 600°C, respectively, from the heat of the combustion gas exchanged using with the each preheater.



Fig. 5 Heat recovery facilities

The combustion gas after heat exchange is collected, washed, and then emitted from the stack pipe into the atmosphere.

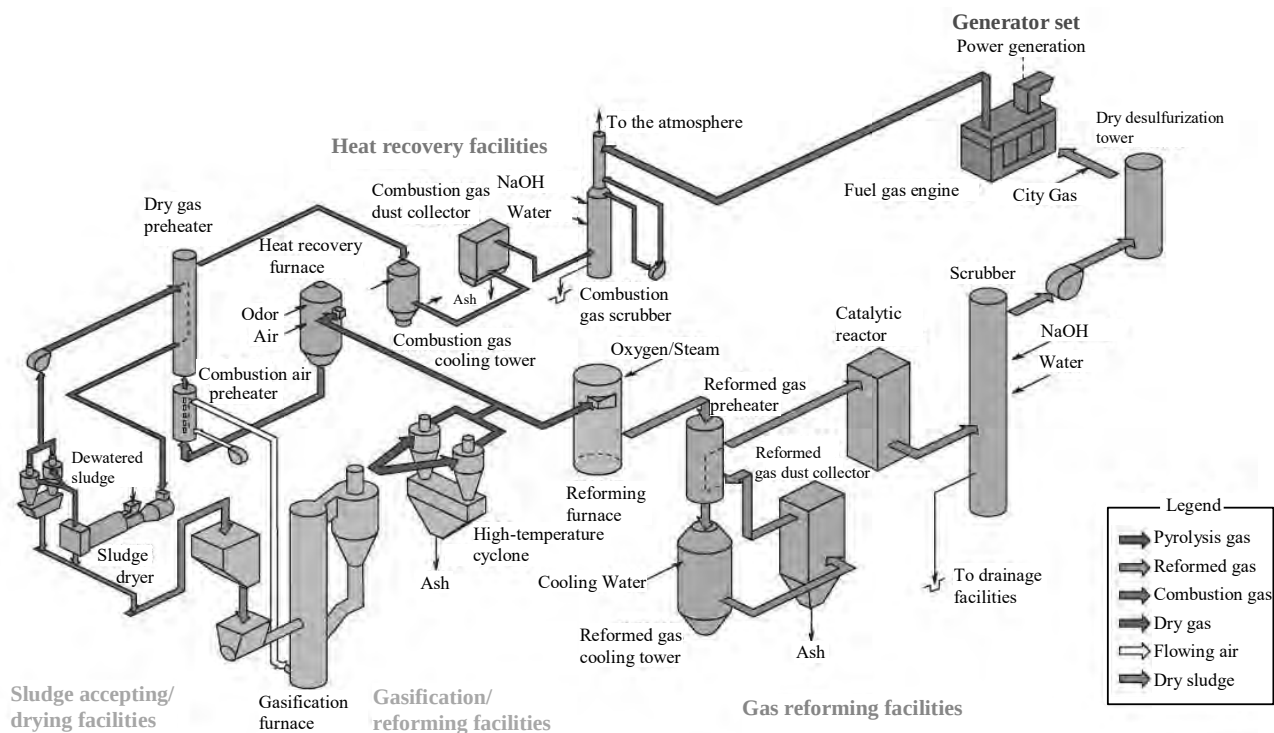


Fig. 6 Sewage sludge gasification system

4. Outline of this project

Since the gasification system was to be introduced to the Bureau for the first time, an open-type Design Build Operate (DBO) proposal system was adopted in order to take in technical capabilities of private companies and their economic proposals.

(1) Project name

Kiyose Water Reclamation Center Sludge Gasification Project

(2) Place of project

3-1375 Shitajuku, Kiyose, Tokyo, Japan (Within Kiyose Water Reclamation Center, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government)

(3) Period of project

[1] Design and construction

From July 2008 to End of June 2010

[2] Operation and Maintenance

From July 2010 to end of March 2030

(4) Project cost

[1] Construction cost; ¥3.8 billion

[2] Maintenance cost; ¥5.0 billion (for 20 years)

5. Aimed project effect

Comparison between the scale of 100 ton-WS/day gasification system, which has been under operation this time, and conventional incineration system reveals that the expected amount of reduction of GHG emissions is approximately 12,500 t-CO₂/year (actual emissions in 2005: 14,500 t-CO₂/year, proposed emissions: approximately 2,000 t-CO₂/year), which is equivalent to the yearly amount of CO₂ absorbed by the woods within the area of 3,500ha.

In addition, the amount of heat of the gas generated from the gasification is equivalent to the amount of utility gas consumed by 8,500 general households per year. This technology is thus very promising also from the viewpoint of generating renewable energy.

Since this gasification system is the first practical operation in Japan, its performance will be assessed and verification tests of the whole system will be conducted, until fiscal 2011 to check the stability of the operation with the performance proposed,

including GHG emissions and electric power generation from sludge, and adequacy of operating conditions.

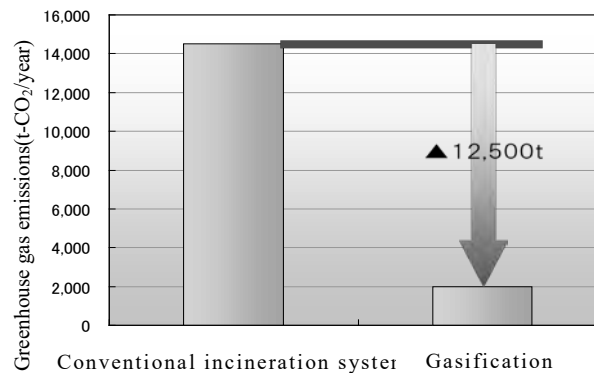


Fig. 7 Comparison in greenhouse gas emissions to one conventional incinerator in Kiyose Water Reclamation Center

6. The situation of sewage sludge gasification and project effect

The operation of the sewage sludge gasification system was started in July 2010, the initial adjustment was conducted until October. Since the operation was cut off to adjust the equipment from July to October occasionally, the amount of processing was approximately 70%. After the adjustment completed, the system of the sewage sludge gasification is operated smoothly (118.5%).

The GHG emission is 3,000 t-CO₂/year (the emissions of six months, from July to October, converted into the annual emission). this result is influenced by the frequent adjustment of the equipment.

When heat recovery facilities were controlled stably (One period, December 10 to 14, was extracted and converted into annual number), the amount of N₂O emission was reduced to 1/40. The amount of reduction of GHG emissions is approximately 12,500 t-CO₂/year (actual emissions in 2005: 14,500 t-CO₂/year).

Moreover, the amount of the gas power generation achieved the objective. The regulation levels of the gas emitted into the atmosphere, the odor, and the wastewater quality were obeyed respectively.

7. Summary

After the initial adjustment was finished, the supplemental fuel was reduced to about half, and it is necessary to do the effort of the stabilizing the water content in the sewage sludge.

In addition, it is important to reduce N₂O emission that the temperature in the furnace of heat recovery facilities is stabilized.

From now on we try to carry out further stabilization of the temperature in the furnace of heat recovery facilities, and keep the performance of reducing the GHG emissions by challenging to decrease the water content in the dewatered sludge and to reexamine the electric power of the auxiliary machineries

Sewage sludge contains abundant biomass energy. Regarding the Water Reclamation Center as the hub of creating energy, the River-Basin Sewerage Headquarters shall continue addressing environmental challenges including global warming control, utilizing potential energy of sewerage systems while introducing new technologies, to create a city model in the 21st century.

4-3 Hydraulic simulation and analysis for designing the longest and largest siphon structure of stormwater drainage in Japan

Seiichi Ohashi^{*1}

^{*1} Plant Design Section, Construction Division

1. Introduction

Sunamachi wastewater treatment plant is located in Koutou-ward, Tokyo.

This plant covers the area called Koutou delta area and is located between the Sumida and Arakawa River. Storm water in this area is pumped up and discharged into Sunamachi North Canal which is seen as a semi-closed water area. As the collecting system of this drainage area is of combined sewer type, problems are often occurred in weather. Polluted effluent from the plant makes pleasure boats and craft dirty with suspended debris and solid. For addressing these problems, a project was launched to change the outfall point from the present canal to Sunamachi Canal which is outside the Outer banks.

After negotiation with port administrator and consideration of the underground condition such as cables, dra

ins and water pipe, it was decided to employ an inverted siphon structure for a part of the diversion channel.

From the viewpoint of O&M for the diversion channel, inverted siphon structure should be dried up after rainfall events.

This paper shows how the long and large scale of the structure of diversion channel and inverted siphon was designed on the basis of a similar hydraulic model test.

2. Outline of the storm water outlet channel

1) Structure of the storm water outlet channel

Plane figure and vertical section figure of this storm water diversion channel are shown in Fig-1 and Fig-2, respectively. Flow capacity of this channel is 50.0 cubic meters per second (13.1 M gal. /s) at a maximum. Total length of this channel is approx.2.5 kilo meters

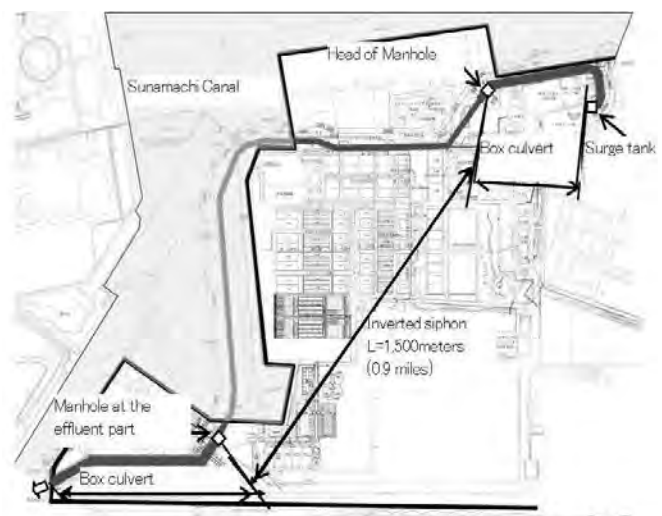


Fig-1 Plane figure of storm water outlet channel

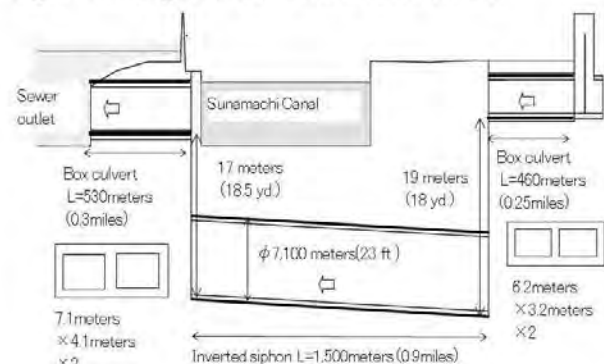


Fig-2 Vertical section of storm water outlet channel figure

(1.6 miles). Storm water flows down approx. 460 meters (0.25miles) in horizontal double box culvert, inverted siphon channel outlet with the head of 17 meters (18.5 yd.,) head and approx.530 meters (0.3miles) in horizontal double box culvert after overflowing from surge tank. Length of the inverted siphon channel section is approx.1.5 kilo meters (0.9miles), and structure is a circular pipe of 7.1 meters (23 ft.). Flow rate of the channel is approx. 1.5 meters per second (0.6 in./s)for former culvert and siphon and, one meter per second (0.4in. /s) for the later culvert.

2)Structure of manhole

Head of manhole at influent part is approx.17 meters (18 yd.). For the part of the inverted siphon channel must be always dried, influent flows to the bottom at a stretch. Meanwhile, influent flows down by water head between influent and effluent part of channel after part of the inverted siphon channel fills with storm water. To cope with this characteristic, Overflow weir in the manhole at influent part is set and influent flows down to the circular shaft preventing from air mixture at first stage. When the part of inverted siphon channel fills with storm water, influent flows over overflow weir to reduce the head loss, combination of volute and normal type are adopted in short. For the structure of influent part is a horizontal double culvert, two drop shafts are adopted. Manhole at the effluent part has characteristic of discharging at a stretch after the outlet channel fills with storm water, structure of this manhole is designed to discharge the storm water and air smoothly with straightening vane at least.

3.Main subjects in hydraulic movement

This storm water siphon structure is the largest and longest one in Japan. Hydraulics-related issues on this channel are shown as follows.

1)Exhaust air at the mouse of the inverted siphon channel

At the beginning of discharging storm water by pump, the part of the inverted siphon channel was filled with storm water which flows into the structure, entraining large amount of air. Due to the limited space for degassing toward to the manhole at the influent part, insufficient degassing may cause high air pressure which leads to gushing storm water with air.

2)Movement of storm water level caused by unsteady flow at the part of the inverted siphon channel

When the part of the inverted siphon fills with storm water and pressured flow is occurred, we were afraid that surging of storm water level in unsteady flow may be caused to overflow from the manhole at influent part.

3)Head loss at the inverted siphon channel

For this outlet channel was adopted the long and large siphon structure, we were afraid that actual head loss was higher than hydraulic calculation and

malfunctions to the pump. Owing to confirm the situation of flow and examine this improvement plan as mentioned, we practiced the hydraulic experimental model test.

4.Outline of the hydraulic experimental model

1)Model scale

Experimental model was covered from surge tank to outlet point and decided a one-thirtieth scale model after preliminary experiments.

2) Experimental conditions and items of the model

At the beginning of making the experimental model, we decided these experimental conditions and items shown as follows.

Water level at the inverted siphon part both dry and wet condition

- Operating condition of pump
- Water level at the discharging point

5.Results and inquiries of the experimental model test

1)Condition of degassing from the channel

Accompanied with filling with storm water at the part of inverted siphon channel, degassing was observed smoothly both influent and effluent parts and a phenomenon such gushing out from the channel was not occurred, although surging could be occurred both upper and lower part of channel.(Fig-3 and Fig-4)

2)Movement of water level in unsteady flow at the inverted siphon channel

First of all, a rise of water level was observed at the part of surge tank, soon after the level sank and rose again finally. Head of surging was estimated approx.1.2 meters (3.9 ft.) at the influent and effluent manhole, and arroxx.1.6meters (5.2 ft.) at the

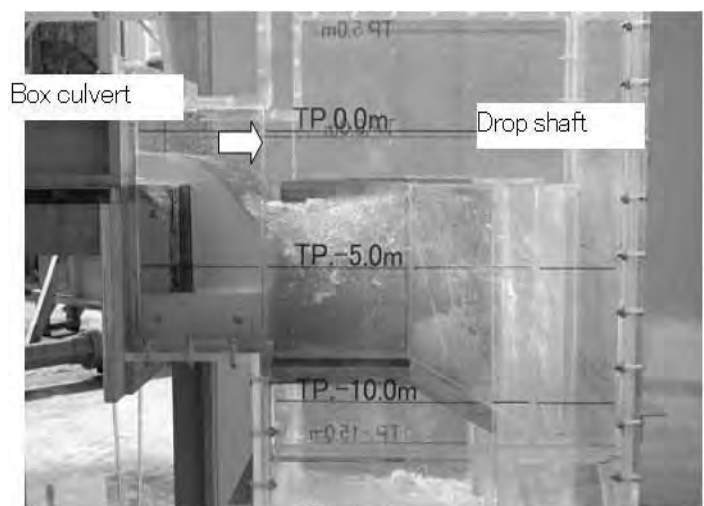


Fig-3 The upper part in head of manhole

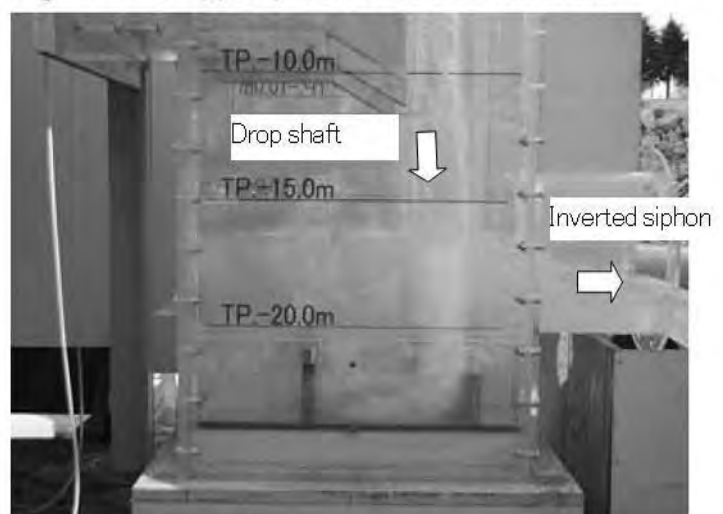


Fig-4 The lower part in head of manhole

surge tank. Structure of the surge tank was piled up due to this experimental result.

3) Head loss at the siphon channel

Head loss of this experimental model test was approx. 20 centimeters (7.9 in.) higher than the hydraulic calculation. This difference was thought to be the head loss of each part in this experimental model. Height of backflow prevention weir was raised due to this experimental model test.

6. Conclusion

As this inverted siphon channel was large, long and particular structure, we practiced the experimental model test and could get important technical information through the experiment such as complicated surging phenomenon and head loss at the particular manhole, which we could not get from the hydraulic calculation. Hereafter, we will practice this big project appropriately due to this result.

4-4 New approaches to the coexistence of water quality improvement and GHG reduction in wastewater treatment

- Challenges of the Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government toward the shift in operation management of activated sludge process in all Water Reclamation Centers in Tokyo. < Air volume control by ammonium concentration, restricted-aeration A²/O process, monitoring of influent by electric conductivity> -

Kiyoaki Kitamura, Teru Yamamoto, Tadahiro Nemoto, Kazuhiro Endou, Seiji Watase,
Kouichirou Miyoshi, Mayuko Takahashi

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

ABSTRACT

Important issue of global warming attributed to elimination of several greenhouse gases like carbon dioxide has been frequently reported as a serious problem in recent years. Several countermeasures or trials aimed to its inhibition were introduced in world-wide scale. Effective measures of regulation for reduction of CO₂ emission in industry field were started as a middle and long term goal in Japan. In Tokyo, one of a strategic plan “Earth Plan 2010” followed by “Earth Plan 2004” was set as a regional goal for prevention of global warming, therefore the reduction of electrical requirement for waste water treatment consisted of 33% amounts of emission from treatment plant had been constantly conducted. Here we report three effective results in respect to reduce energy consumption by three operation methods upgraded the activated sludge process.

First is the optimization of air volume supply at aeration by means of controlling dissolved oxygen according to NH₄-N concentration. We have more efficient operation of activated sludge process in aeration tank by utilize this method. Operation using the parameter configured in this experiment made 15% at maximum of air volume consumption cut off at monthly relative to the method using simply dissolved oxygen control.

Next is restricted A²/O process with nitrified liquor recirculation on the basis of the conventional activated sludge process. Nitrogen removal ratio could be achieved 70% by means of this process, higher than conventional activated sludge process but equal level comparing to A²/O process. In addition, its phosphorus removal ratio was also higher than conventional activated sludge process, meanwhile less than restricted A²/O process. Electric power consumption supplied to the restricted A²/O process was equal level comparing to conventional activated sludge process and 25% higher than A²/O process. Therefore, introduction of restricted A²/O process in substitution for standard A²/O process will not only achieve initial and running cost savings, but also maintain much good final effluent water quality of waste water treatment plant.

Lastly, the control of air flow volume on the basis of monitoring characteristics of influent waste water had been discussed. Adoption of feed-forward control instead of feed-back control can be a key to appropriate air supply for treatment of waste water. This trial indicated possibility feed-forward control by monitoring electric conductivity of influent to attain saving electric energy consumption and improvement of effluent water quality.

KEYWORDS : Reducing greenhouse gas, Ammonia+DO control, Restricted-aeration A²/O

process, Feed forward air volume control system, Electric conductivity

INTRODUCTION

Sewage works discharges a great deal of greenhouse gas (GHG) in the process of wastewater and sludge treatment. Major sources GHG in sewage work are CO₂ from electricity consumption and NO₂ generated in the treatment. GHG emission of The Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (TMG) amounted to 856 thousand tonnes of CO₂ in fiscal 2009, and the breakdown is; electricity consumption 376 thousand tonnes of CO₂, NO_x from sludge treatment 236 thousand tonnes of CO₂, NO_x from water treatment 139 thousand tonnes of CO₂, and fuel, chemicals and other 105 thousand tones (Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, 2010a). In the situation that combating global warming is urgent, globally a great number of studies are carrying out in sewage fields. For example, studies about difference of GHG discharge amounts caused by variation of treatment methods (Keller *et al.* 2003)(Cakir *et al.* 2005), comparison of treatment method taking local characteristics into account (Wett *et al.* 2003), and emission reduction of N₂O (Park *et al.* 2000). The Federal Environment Agency in Germany announced a research result that local wastewater treatment plant can reduce CO₂ emission by 40% from the 1990 level as a press release (Umbelt Bundes Amt 2010). The Bureau has created proactive set of measures for reducing GHG emissions, calling it “Earth Plan 2010 (Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, 2010a)”, and has been implementing measures to reduce GHG by 25% or more from fiscal 2000. The steps are, for example, rising temperature of sludge incinerator to reduce generated N₂O, producing carbide fuel from sludge, generating solar electricity on a water reclamation center (wastewater treatment plant), and so on (Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, 2010a).

In Tokyo, several effective approaches to save energy were undertaken with enthusiasm in the process for treatment of waste water. In particular, a reduction in power required to run the blowers for aeration is very critical, because of height of all power consumption in sewage treatment process. One of a relatively simple control system, constant dissolved oxygen, had been installed around many waste water treatment plant to deal with the change of characteristics and flow rate during rain and storm conditions(Chevakidagarn *et al.* 2007)(Howarth *et al.* 2007)(Dabkowski *et al.* 2011)(Barbu *et al.* 2011). However, sufficient treatment by using constant dissolved oxygen system had not always been performed in waste water treatment plant adopted combined sewer system. Therefore, control of nitrification process by adjusting flow rate in aeration tank according to monitoring ammonia concentration level had been proposed as a new system instead of the system using dissolved oxygen data. Implementation of this new type of system made in obvious excess aeration supply cut off, because of monitoring the level of nitrification of ammonia. According to the result of simulation using activated sludge treatment model, it was indicated that nitrification control system could be reduced about 11% of air volume consumption during aeration (Furukawa *et al.* 2002). Yet, in case of change of environmental condition like rainfall or storm conditions, treatment of organic substances was insufficient relative to nitrification of ammonia. Additionally, low of oxygen concentration at the end of an aeration tank also induces phosphorus to increase by anaerobic elution. As a consequence of these situations, the new system using concentration of ammonia and dissolved oxygen had been introduced as a

substitute for the simple nitrification control system. Monitoring ammonia concentration with dissolved oxygen may have great advantage. This report shows this in experimental results actually using waste water treatment plant in Tokyo.

The energy consumed under the process of nitrogen and phosphorus removal is mainly one of the significant factors in sewage treatment process. The amounts of energy consumed agitators at anaerobic and anoxic phase in nitrogen and phosphorus removal used A²/O had been gradually increased. Therefore, there was one case temporarily resting a part of agitator or intermittent operation as the countermeasure to reduce electric energy consumption in several treatment plants. Installation and technological development of new types of agitator being able to operate even by low-power has also been undertaken. On the other hand, pseudo anaerobic aerobic treatment method as restricted-aeration system at the first step of conventional activated sludge process can be also more than a little efficient approach. That is the operation for removal nitrogen and phosphorus using pseudo anaerobic phase formed by adjusting aeration condition according to the quality of influent waste water instead of agitators. This system does not require immeasurable cost and can minimize new investment for reformation due to relatively scale-down work of construction, as a consequence, emission rate of CO₂ can be reduced by cutting off the power consumption for agitator. In addition, the minimum required air volume to make activated sludge agitate in aeration tank of restricted-aeration A²/O can be ensured by slight air volume corresponding to a few % levels all the air volume supplied in aeration tank.

It is represented that characteristics of influent waste water can be control of air flow rate as other interesting approach. Almost all WWTP in Tokyo had usually adopted feed-back control system monitoring of dissolved oxygen at the end of aeration tank. However, this type of system cannot prevent supplying excessive oxygen by reason of not focusing to oxygen used for nitrification of ammonia. Efficient accommodation had been required in Tokyo mainly adopted combined sewer system to deal with adequate waste water treatment in one third rainy days. Since one-third of the year is a rainy day in Tokyo, effective operation to improve effluent water quality had been required. Feed-forward control system had been introduced to the treatment of sewage or wastewater instead of traditional feed-back control system in Japan, because of equalization of treatment water (Toshiba Corp. 2001)(JFE Steel KK. 2009). As one case, control by electric conductivity, which does not use any reagents has lower running cost and is easy to maintenance. Therefore, the case of sewage treatment to adopt electric conductivity to evaluate activated sludge had also reported (Hitachi, Ltd. 2005). So, feed forward air volume control system by monitoring water pollution of primary effluent was examined to resolve this excessive supply of air volume.

INVESTIGATION

【AMMONIA+DO SYSTEM】

Schematic representation of Ammonia+DO control system

Flow diagram and treating process by ammonia + dissolved Oxygen (Ammonia+DO) system are illustrated in Fig.1.

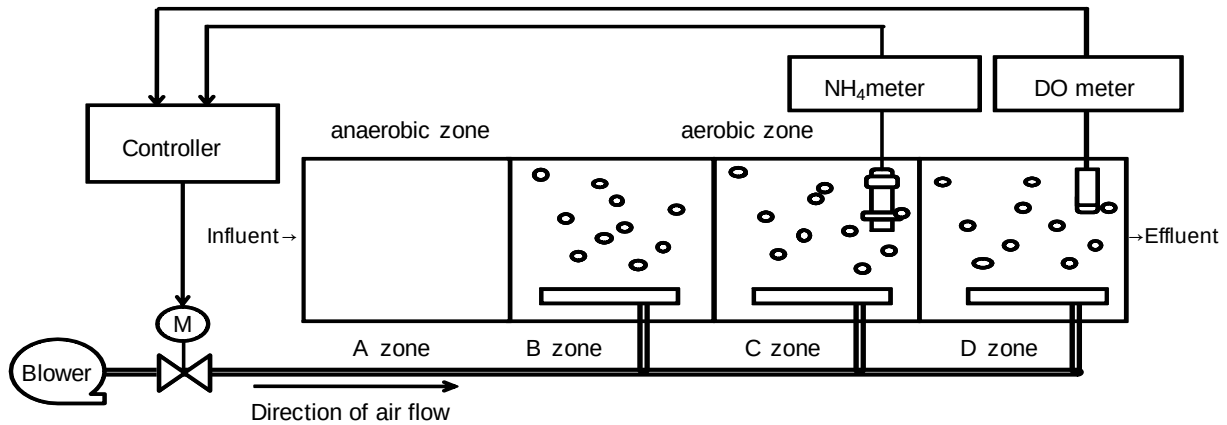


Fig.1 Flow diagram and treatment process by Ammonia+DO system at aeration tank

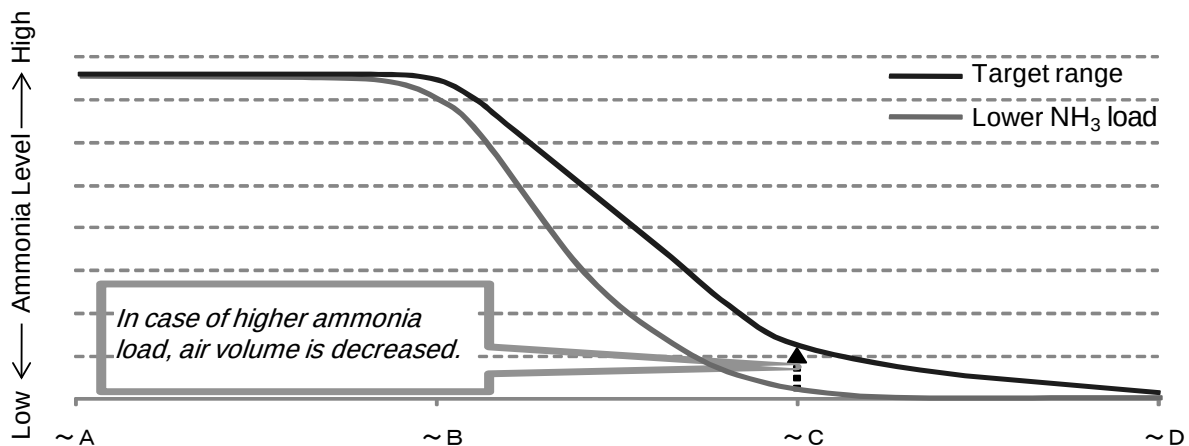


Fig.2 Process of ammonia concentration at the phase of aeration tank

This system allows a substantial lowering of air flow rate in aeration step by means of oxygen demand estimated from monitoring data of ammonia concentration level, and moreover control of dissolved oxygen at the end of aeration tank is complementary function to not decay quality of treatment water. Ammonia nitrification is made much more progress by addition of air flow rate in case of increasing ammonia concentration at C zone in consequence of declining effluent water quality or increase of water flow rate like during rainfall or storm conditions. On the other hand, ammonia nitrification can be restrained by running down aeration level, when ammonia concentration is lower level at C zone or also influent quantity is lower level so that air flow rate is reduced relatively to normal operation case. This system can achieve efficient operation to improve effluent water quality with saving energy, because of the control of ammonia nitrification with constant level of dissolved oxygen concentration at the end of D zone (Fig.2).

Experimental site

This experiment was undertaken at Kosuge Waste Water Treatment Plant (WWTP) in Tokyo. Treatment plant is located at south area of Katsushika ward in the eastern region of Tokyo and 160 thousand m³ of sewer water, from 2,172ha width of area included Katsushika and a part of Adachi ward, are received per day in 2009 and planned treatment population is about 260 thousand people. Treatment plant consists of east and west treatment line separation, experimental site was east line treated about 70 thousand of waste water. The combined sewer system is adopted in all of this area, thus a large amount of storm sewage influent flows into the treatment plant. In addition, characteristics of influent waste water, as is obvious, can be easily changeable relatively to fine weather day. Schematic view of experimental treatment process is illustrated in Fig.3. The volume of A zone as anaerobic and from B to D zone as aerobic are 729m³ and 7,747, respectively.

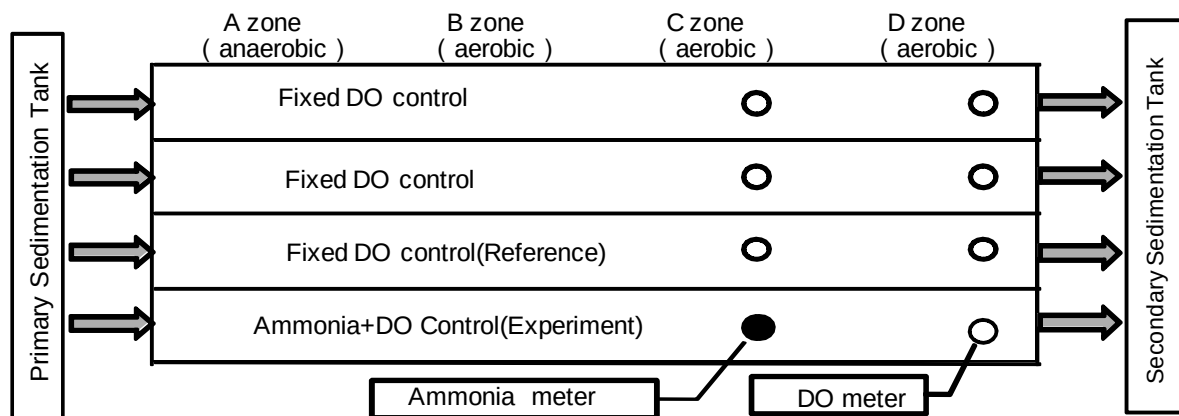


Fig.3 Configuration of the east plant at the Kosuge Waste Water Treatment Plant

Parameter of the Ammonia+DO control system

One aeration tank was used for Ammonia+DO control system, one of the other tanks was used for dissolved oxygen control system for comparison. Instrument used ionic electrode was installed for measuring NH₄-N concentration in Ammonia+DO control tank. This type of analyzer can be applied long-term continuous measurement due not to emit liquor waste and operation can be carried out on the basis of real-time on line data. These characteristics also show direct analysis by the detector under the waste water without using sampling pump and reagents for analysis.

Parameters of Ammonia+DO control system are shown at Table.1. Monitoring of NH₄-N concentration was carried out at the end of C zone in the aeration tank. Parameter NH₄-N value was 2.0mg/L from January to April and 3.0mg/L after middle of May. Parameter dissolved oxygen value at the end of D zone was arranged to the range from 2.5-3.0mg/L to 1.5-2.2mg/L. Parameter dissolved oxygen value also for comparison at the end of C zone was 2.0-3.5mg/L. These parameter values were decided so as to be equal level in effluent water quality between experimental and comparing tank.

Table.1 Parameters of Ammonia+DO system

Method	Parameter	January	February	March	April	May
Ammonia+DO	DO (mg/L) ^a	2.5-3.0	2.5-3.0(-20) 1.5-2.5(21-)	1.5-2.5	1.5-2.2	1.5-2.2
	NH ₄ -N (mgN/L)		2.0			2.0(-17) 3.0(18-)
Fixed DO	DO (mg/L) ^b	2.0	2.0(-20) 2.5(21-)	2.5(-13) 3.5(14-) 2.0/3.0 ^c (16-)	2.0/3.0 ^c	2.0(-17) 2.5(18-)

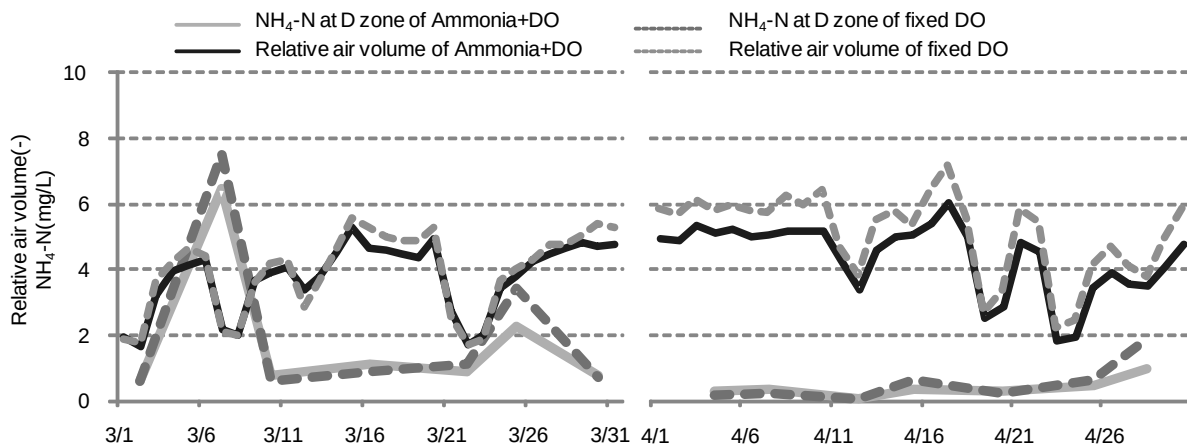
a:Dissolved Oxygen for Ammonia+DO control was analyzed at end of the D Zone of the aeration tank.

b:Dissolved Oxygen for Fixed DO control was analyzed at end of the C Zone to control of the aeration tank.

c:Dissolved oxygen value was 2.0mg/L from 8 A.M. to 4 P.M. and 3.0mg/L rest of the day.

Methods for investigation

Two reaction tanks were selected for the experiment on the basis of preliminary research. One was Ammonia+DO control system, the other was dissolved oxygen control system. The amounts of flow rate and influent waste water quality of these tanks are almost equal level. Comparing examination of the relative rate of air volume supply was undertaken not to affect the difference of influent water volume. NH₄-N, NO₂-N and PO₄-P concentrations at the end of D zone except NH₄-N concentrations at the end of C zone were analyzed to evaluate water quality experimental results according to the official method. Additionally, air volume at aeration tank, the amounts of flow rate of influent and dissolved oxygen concentration at the end of C, D zone were monitored per 1 hour, respectively.

**Fig.4 Relationship of air volume supply for aeration and NH₄-N concentrations after**

Results of waste water treatment

Relation of relative rate supplied air volume to comparison tank and NH₄-N at the end of D zone is shown in Fig.4. Concentrations of NH₄-N were analyzed by samples collected on 10 A.M. NH₄-N concentrations were temporarily increased in experimental and comparison tank,

because of snow on March 6th. By constant inflow of storm water from 21st to 23rd, $\text{NH}_4\text{-N}$ concentrations were also temporarily increased in experimental and comparison tank. On the other time, the water quality in effluent at the end of D zone of experimental and comparison tank were similarly equal level. Continuous operation for optimization of parameters from January to February could be induced relative rate of air volume supply to the amounts of influent to decrease to comparison. Relative rate of air volume to the amounts of influent in experimental tank was 3.8 and comparison tank was 4.0 at monthly average, respectively. Thus 3.7% of relative rate of air volume to the amounts of influent was reduced by means of these operations.

Meanwhile, significant reduction of relative rate of air volume supply to the amounts of influent was not observed during the period influenced by storm sewage. Since April, as reduction of relative rate of air volume supply to the amounts of influent had been observed constantly and dominantly, it followed that average relative rate of air volume supply to the amounts of influent was 4.4 at experimental and 5.1 at comparison, respectively. Average reduction of relative rate of air volume supply to the amounts of influent reached 15%. The rates of reduction of experimental tank to comparison during investigation period are indicated in Table.2. As previously described, gradual decrease of reduction of relative rate of air volume supply to the amounts of influent had been observed after modification of parameter from January to February, therefore average reduction of relative rate of air volume supply to the amounts of influent reached up to almost 16%.

Table.2 The amounts of air volume reduction by adopting Ammonia+DO control system compared to dissolved oxygen control system

Month	January	February	March	April	May
Reduction rate (%) ^a	+7.6	+16.8	-3.7	-15.4	-15.7

a:monthly average

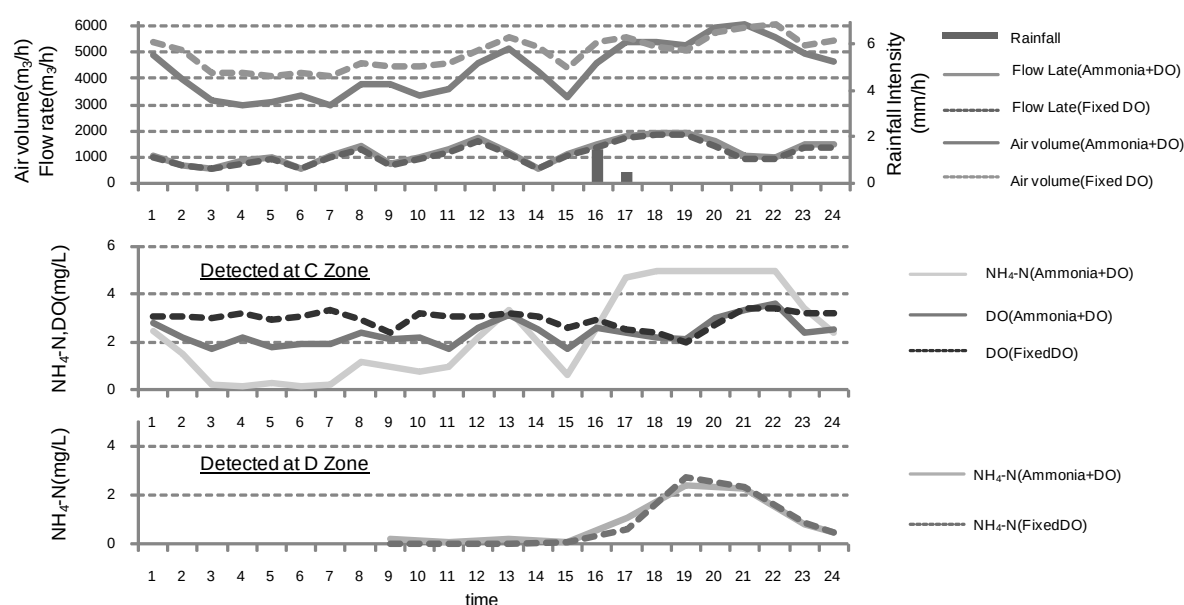


Fig.5 One case of processing status of waste water at rainy day (May 17th, 2011)

Drastic change in quality and quantity of waste water can be occurred in the rain against the fine day. Influence of such characteristics and quantity to the operation of Ammonia+DO control system was researched during experimental period. Rainfall of 2mm was observed in experiment undertaken at May 17th, flow rate of influent was increased twice as high compared to typical fine day condition. Processing status of waste water during experimental period is shown in Fig.5. Increase of flow rate of air volume in experimental and comparison tank, because of insufficient nitrification attributed to increasing of amounts of influent water. These results indicated reliable operation for treatment can be maintained within 1.5 at maximum relative to typical fine day level as an acceptable range. The Ammonia+DO control system is good for operation to improve effluent water quality with saving energy, as water quality of equal level relative to dissolved oxygen system can be maintained even the changeable condition of influent water quantity and flow rate of air volume supply during aeration can be saved in less changeable case of influent water quantity.

Annual savings of energy

As 10% of air volume supply could be reduced on the basis of the estimation by the operation in these results also taken into account for influence of rainfall frequency, this amounts of emission cut corresponds to 28tons of CO₂ in one year.

Operation and maintenance

Operation maintenance of ammonia meter was carried out per one month. Electrode of ammonia meter was exchanged to new ionic electrode three times per one year.

Estimated operation cost

\$300,000 was used for installation of this system, moreover running cost required for maintenance and supplies expense is approximately \$5,000.

Requirements for installation

Treatment plant receiving drastic change of quantity and quality of influent waste water has to be avoided to installation of Ammonia+DO control system, because of difficulty for saving energy by reduction of air flow rate. It should be appreciated that this system could be introduced in a treatment plant having complete nitrification due to its control by means of monitoring data of NH₄-N concentration. This system may not be adequate for high concentration of NH₄-N in effluent water not to nitrify sufficiently. As another requirement, it is significant that reduction of air flow rate is directly proportional to GHG reduction. Installation for a treatment plant introduced control system such as using inlet-vane or inverter control is suggested.

Future plans

- Because nitrification rate is easily changeable by water temperature variation, influence of operation strategy or parameters by difference of temperature and adequate condition of this system according to all season has to be optimized.
- Operation strategy during the time remaining influence to quality and quantity by storm water such as attenuation of NH₄-N concentration according to passage of time.
- Requirement toward installation to the other treatment plant having several characteristics has to be specified.

【RESTRICTED-AERATION A²/O SYSTEM】

Experimental site of restricted-aeration A²/O system

Schematic View of Kitatama nigou Waste Water Treatment Plant undertaken this experiment are illustrated in Fig.6.

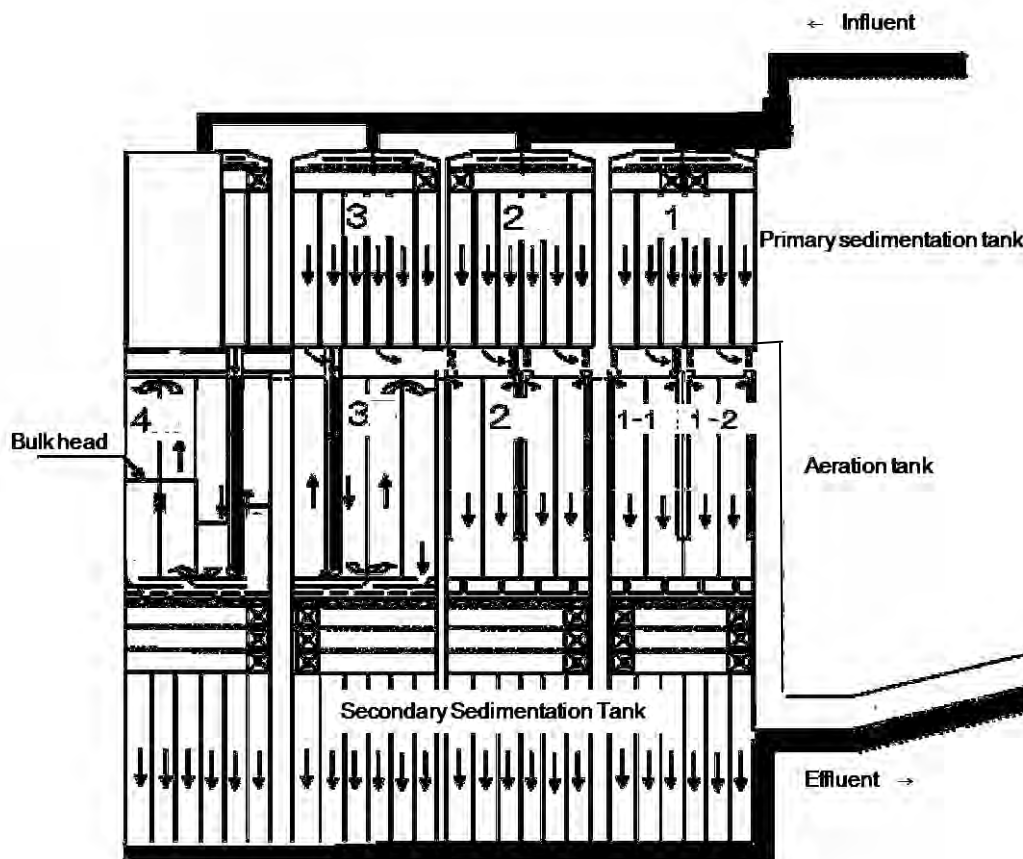


Fig.6 Schematic view of Kitatama nigou Waste Water Treatment Plant

Treatment plant is separated to three trains of conventional activated sludge plant and one train of A²/O plant. In this experiment, one of three trains of conventional activated sludge plant was altered for use in restricted-A²/O process. This treatment plant receives combined sewer waste water. Meanwhile, all influent waste water flowing into each aeration tank is the same.

The submersible pump provided for nitrified liquor recirculation to aeration tank used for restricted-A²/O process was installed at the end of aeration tank, and returned nitrified liquor recirculation to the anoxic tank. Aeration tank used for conventional activated sludge and restricted-A²/O process were equal size, however that of A²/O was about two times bigger than the other one. All pumps used in return sludge or nitrified liquor recirculation were operated by constant flow rate.

Experimental procedure of restricted-aeration A²/O system

Experimental period was from May 2009 to February 2010. Composite water samples of influent and each effluent, restricted-aeration process, conventional activated sludge process and A²/O process, of 24 hours were collected on every Wednesday by automatic water sampler.

Activated sludge mixtures of B zone for except A²/O process were sampled for the measuring of nitrification rate and denitrification rate, and sampled at the end of anoxic phase in regard to A²/O process. Additionally, electric power consumption supplied to nitrified liquor recirculation pump, return sludge pump and agitator were compared by electric power meters. Operational situation during experimental time of each treatment processes are shown in Table.3 and water quality of influent water to aeration tank and effluent water of each treatment processes are shown in Table.4.

Table.3 Operational situation during experimental time of each treatment processes

	Restricted-aeration A ² /O process			Standard-activated sludge process			A ² /O process		
	Ave.	Min	Max.	Ave.	Min	Max.	Ave.	Min	Max.
Flow rate (m ³ /day)	12,623	5,15 3	18,8 56	13,00 4	7,46 5	18,91 2	23,27 1	14,5 24	28,41 5
Return sludge (%)	26	16	57	23	15	39	25	0	38
Nitrified liquor recirculation (%)	148	7	355	–	–	–	82	5	132
Circulation rate (%)	174	23	412	23	15	39	107	36	164
Aeration ratio	2.9	1.3	4.4	3.2	1.6	4.4	3.0	1.6	3.9
MLSS (mg/L)	2,020	1,61 0	2,50 0	2,040	1,31 0	2,630	1,950	1,43 0	2,770
SRT (day)	10.3	5.0	25.5	12.2	5.7	36.9	10.9	6.8	25.5
ASRT (day)	5.1	2.5	12.7	9.1	4.3	27.7	6.1	3.8	14.4
H R T (h)	Anaerobic	2.3	1.5	5.6	2.2	1.5	3.9	0.9	0.7
	Anoxic	2.3	1.5	5.6	–	–	–	3.6	2.8
	Aerobic	4.6	3.1	11.3	6.7	4.6	11.7	5.7	4.5
	Total	9.2	6.2	22.5	8.9	6.1	15.5	9.6	7.9

*Cells were black out the tank to be operated by restricted-aeration

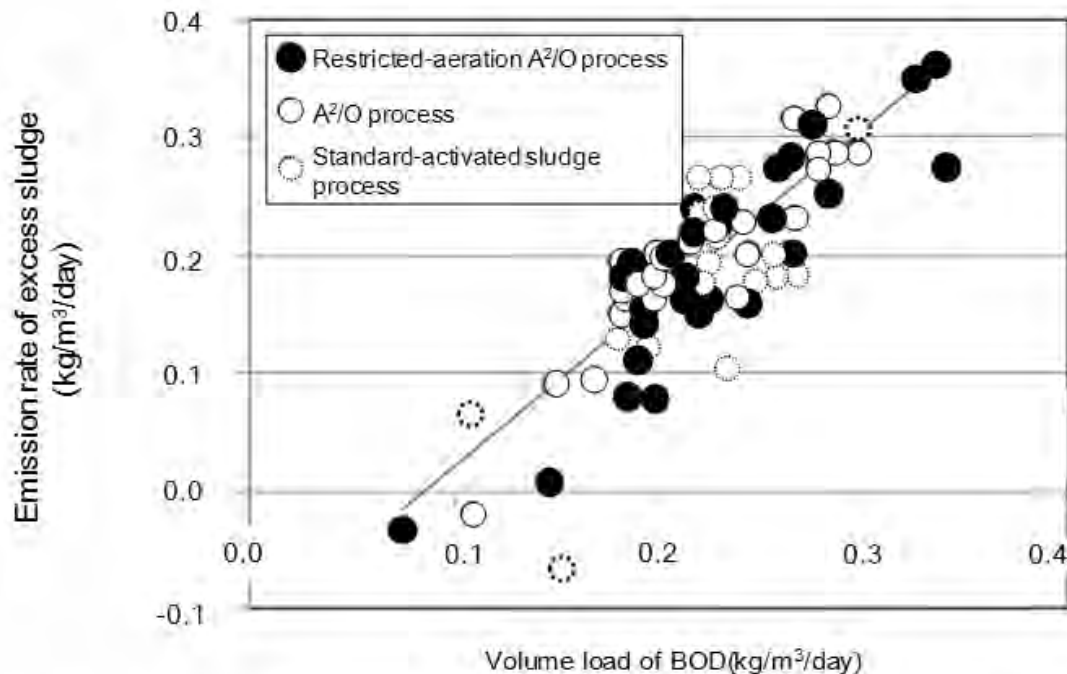
Table.4 Water quality of influent and effluent of each treatment processes

	Influent water			Restricted-aeration A ² /O process			Standard-activated sludge process			A ² /O process		
	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.
BOD(mg/L)	116	176	50	5	11	1	2	4	1	4	7	1
ATU-BOD(mg/L)	89	114	39	1	4	0	1	1	0	2	3	1
Dis. ^a -ATU-BOD(mg/L)	35	51	13	–	–	–	–	–	–	–	–	–
T-N(mg/L)	23	27	10	6.9	9.2	3.6	9.1	11	6.4	7.2	9.1	5.4
NH ₄ -N(mg/L)	16	20	7	1.4	4.7	0.0	0.6	4.9	0.0	0.4	1.5	0.0
T-P(mg/L)	3.6	5.2	1.6	1.1	4.3	0.3	1.2	2.6	0.1	0.6	1.8	0.2
PO ₄ -P(mg/L)	2.2	3.5	0.9	0.7	1.8	0.1	1.1	2.7	0.1	0.4	1.8	0.1

a BOD samples were analyzed after filtration of 5C filter paper.

The amounts of emission of excess sludge

As emission rate of excess sludge significantly related to elimination performance of nitrogen and phosphorus, first of all, emission rate was considered in the evaluation of treatment. Emission rate was calculated from the concentration of suspended solid and dissolved

**Fig.7 Relationships volume load of BOD and emission rate of excess sludge**

biochemical oxygen demand (BOD). These experimental results indicated that emission rate of excess sludge depended on the load of BOD. The volume load of ATU-BOD was strongly correlated with emission rate of excess sludge in restricted-A²/O process and also A²/O process, thus emission rate of excess sludge could be estimated by BOD of influent waste water and amounts of treatment water. Furthermore, relationship emission rate of excess sludge per unit volume size of aeration tank converted to apply the conditions of other treatment plant and the volume load of ATU-BOD in the restricted-A²/O process and also A²/O process is illustrated in Fig.7. On the basis of this correlation, excess sludge is generated under 0.08kg/m³/day of the volume load of ATU-BOD, however can approximately increase linearly over above value. In other words, increasing of emission rate of excess sludge can lead nitrogen and phosphorus elimination efficiency to improve.

Phosphorus removal in restricted-aeration A²/O system

Increasing of emission rate of excess sludge is significantly available for phosphorus removal. As emission rate of excess sludge well correlated the volume load of ATU-BOD, the relationships of the volume load of ATU-BOD and phosphorus removal was also considered. This correlation was represented in Fig.8. Analyzed data of the restricted-A²/O process and A²/O process had similar trend, therefore these results indicate that performance between both processes had little difference about phosphorus removal. We can also estimate phosphorus removal efficiency by means of correlating equation of Fig.8. This trend graph shown at Fig.8 is straight line not from origin, therefore there is limited level of the volume load of ATU-BOD to cause increased phosphorus concentration. On the other hand, stability of phosphorus removal extremely attributes to operation by specific level of the volume load of ATU-BOD.

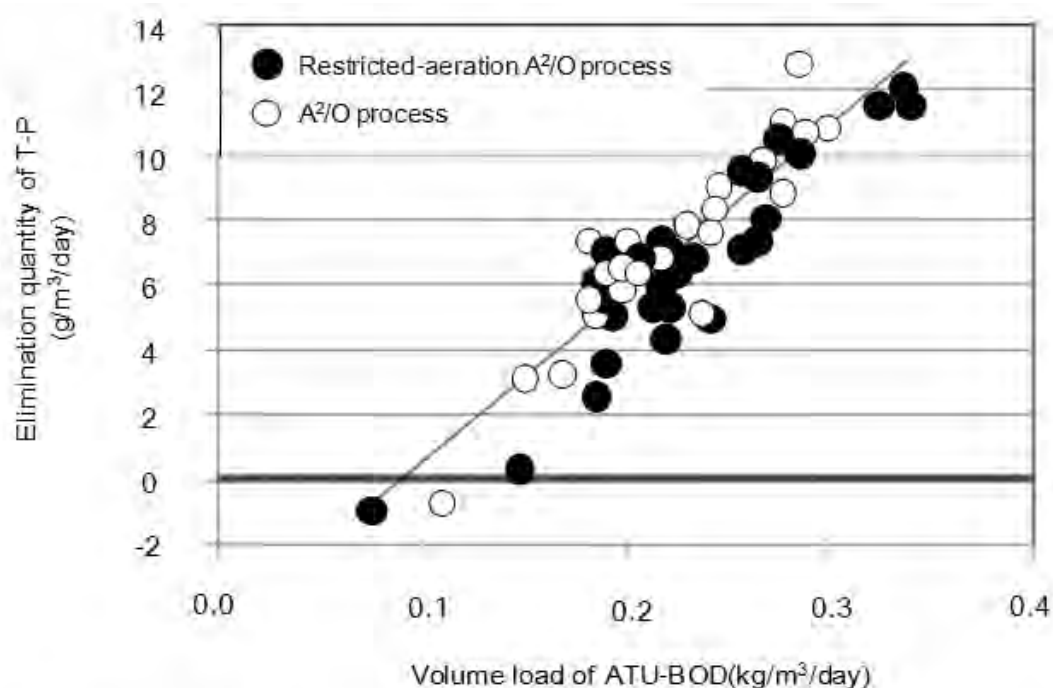


Fig.8 Relationships of volume load of ATU-BOD and Elimination quantity of T-P

Nitrogen removal in restricted-aeration A²/O system

Breakdown of nitrogen treatment downstream of reaction tank was considered in order to compare with nitrogen removal. Firstly, the amounts of phosphorus emitted as excess sludge were calculated from its breakdown, continuously solid volume of excess sludge was calculated by phosphorus concentration in sludge. Additionally, nitrogen emitted as excess sludge was estimated due to the value multiplied solid volume by nitrogen concentration contained in sludge. This approach for estimation is more appropriate in biological/constantaneously nitrogen and phosphorus removal. Breakdown of average nitrogen removal in experimental period were shown in Fig.9. Elimination rate of nitrogen by restricted-A²/O process was highest level at 74%. A²/O process had equal level and its slight difference depended on nitrified liquor recirculation rate (restricted-A²/O process:148%, A²/O process:82%). These observations represent that two treatment process, restricted-A²/O and A²/O process, have hardly definite difference.

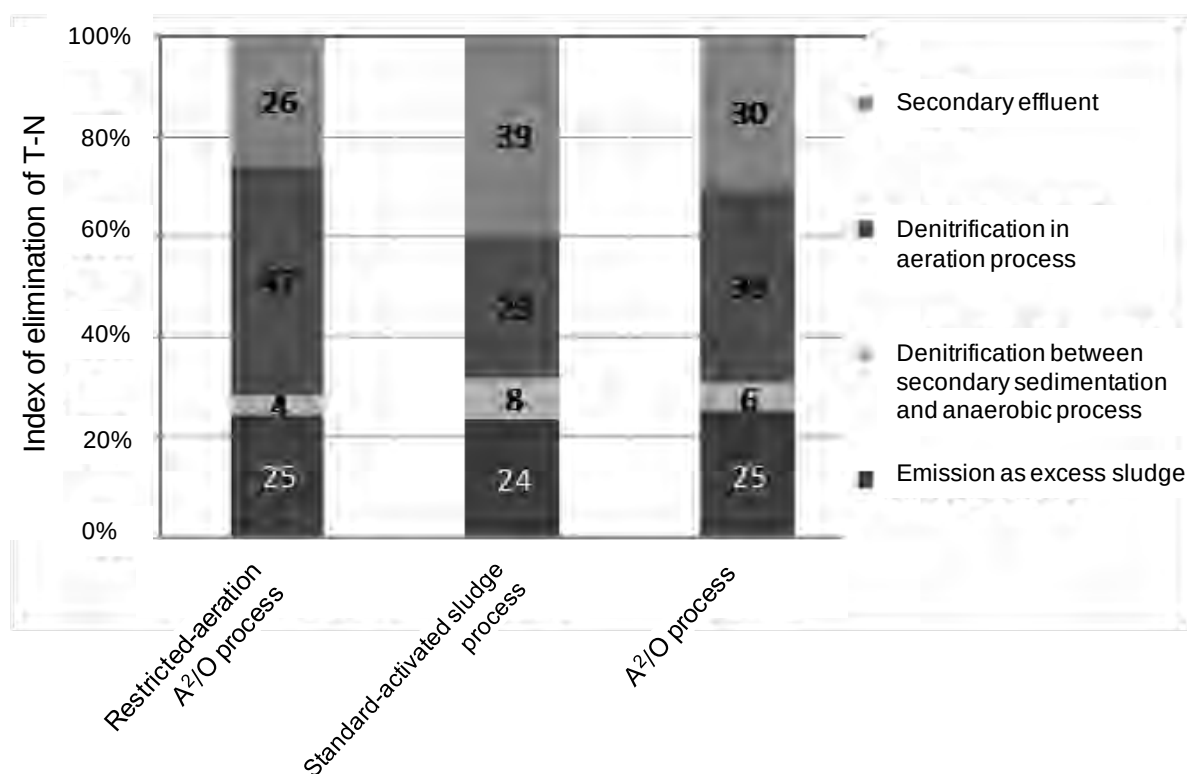


Fig.9 Compositions of T-N emission by treatment process

Cost by implementation of restricted-aeration A²/O system

Initial and running cost of restricted-A²/O, A²/O and conventional activated sludge process (pseudo AO) were compared. Initial cost shows construction cost to alter a part of aeration tank. Experimental results are shown in Fig.10. Result of estimation indicated that initial cost of restricted-A²/O process is only slightly higher than that of conventional activated sludge process, but much lower than that of A²/O process. Running cost of restricted-A²/O process is equal level to conventional activated sludge process, but slightly lower than A²/O process. Experimental tank used for conventional activated sludge process was completely-mixed type easy to simultaneously progress nitrification and denitrification in aeration tank. Therefore, as oxygen

demand decreases by elimination of BOD attributed to denitrification, additional exchanges from extrusion type to completely-mixed type aeration tank applied restricted-A²/O are critically efficient for improvement of final effluent water quality and also reduction of treatment cost.

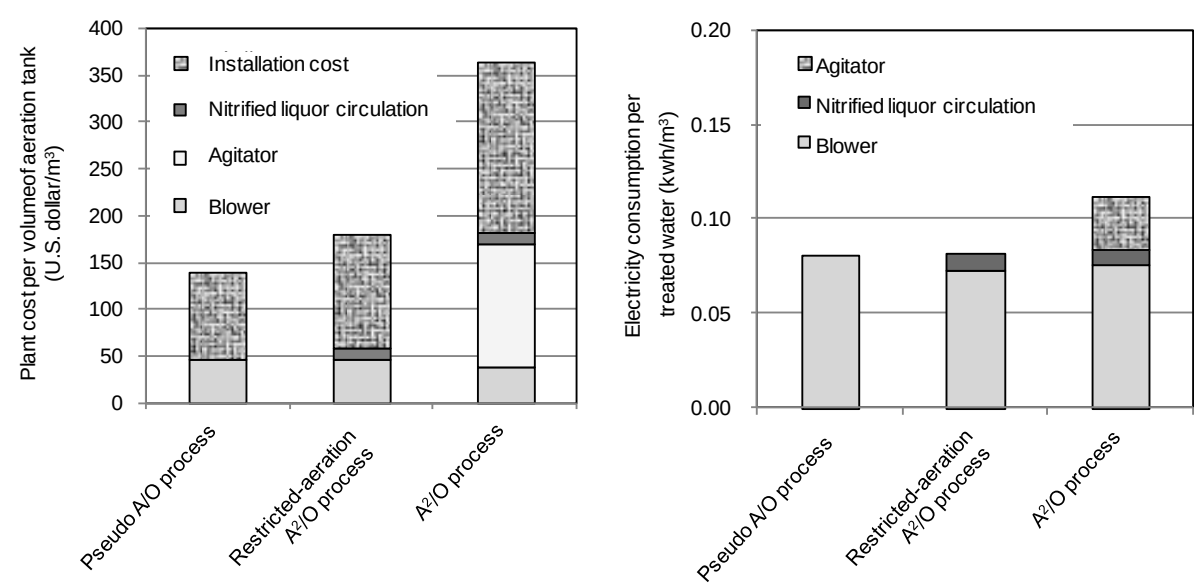


Fig.10 Comparison of initial and running cost during process operation

【Feed Forward Air Volume Control System for GHG Reduction in Wastewater Treatment】

Experimental procedure

Investigations using actual plant were conducted at Ochiai Water Reclamation Center (conventional activated sludge process). First, correlation between EC and other properties of water was examined to know whether fluctuation of water pollution can be monitored by measuring EC. Second, for using fluctuation of water pollution monitored by EC meter to control supplied air volume, relation between primary effluent EC and concentration of dissolved oxygen (DO) was examined. Third, behaviour of EC in reaction tank was investigated with small scale reaction tank. This investigation was conducted at Nakano Water Reclamation Center (A/O process).

Correlation of electrical conductivity and water quality

Samples showed below were collected several times, and their EC and other properties were measured.

Investigation term: 24 March 2008 ~ 16 June

Samples: influent, primary effluent, secondary effluent, and sand filtered water

EC meter: TOA DKK CM-20S

Measured properties: EC, COD_{Mn} , ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, and phosphate phosphorus

Electrical conductivity and supplied air volume control

In terms of constant air flow and DO controlled, EC of primary effluent and DO in the end of reaction tank were measured successively.

Investigation term: 25 July 2008 ~ 26 December

Air control methods: constant air flow during 25 July ~ 10 September

DO controlled during 24 November ~ 26 December

EC meter: TOADKK CM-21P

DO meter: MITSUBISHI TY3301

Interval of measuring: 10minutes

Behaviour of EC in reaction tank

Investigation was conducted as following:
10 litres of Primary effluent and 3.5 litre of reverse sludge were poured into a cylindrical reaction tank that has capacity of 15 litres. EC was measured every ten minutes. Other properties were measured at intervals of half or 1 hour.

RESULTS AND DISCUSSION

Correlation of electrical conductivity and water quality

Variation of Electrical Conductivity

Fig.11 shows variation of EC and rainfall in investigation term. EC of influent and

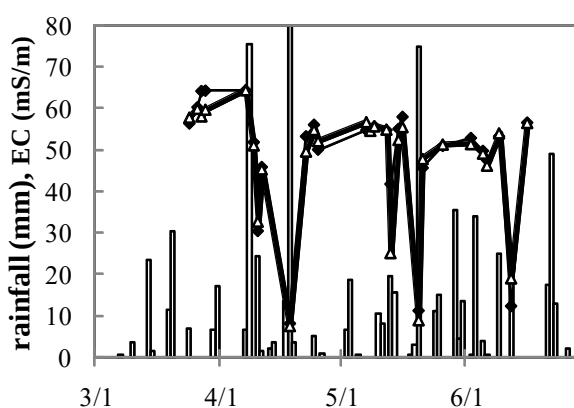


Fig.11 EC of influent (◆ with fine line) and primary effluent (△ with bold line) from 24 March 2008 to 16 June, the white bar shows dairy rainfall total (white bar) from 1 March to 30 June.

primary effluent were high level of 55mS/m or more when they were not affected by rain. In contrast, EC of sewage was decreased by dilution on rainy days. Meanwhile, EC was decreased by diluting with rain water in rainy days. If it was more rainfall, EC tended to be lower. EC values of secondary effluent and sand filtered water were 40~45mS/m on Fig.12 when they were not affected by rain. Those EC were tended to decrease in rainy days just like influent's and primary effluent's, but their range were smaller.

Correlation with Other Water Quality

Relations between EC and COD of influent and primary effluent were shown in Fig.13. The correlations are strong, and correlation coefficients were 0.93. From this result, EC can be used for alternative indicator of COD. Having steeper slope of linear approximate equation, EC of

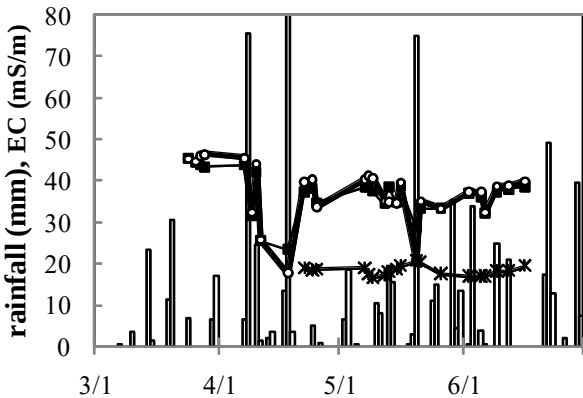


Fig.12 EC of secondary effluent (■ with fine line), sand filtered water (○ with bold line) from 24 March 2008 to 16 June and tap water (* with middle width line) from 22 April to 16 June, the white bar shows dairy rainfall total from 1 March to 30 June.

influent can detect variation of COD in high sensitivity.

Because of it, effluent is suit for monitoring water quality with the intention of controlling reaction tank by feed forward method.

Table.5 shows correlation efficiencies of measured samples. Correlations between EC of primary effluent and ammonium nitrogen and phosphate phosphorus were high level of 0.9 or more as well as EC and COD. Fig.14 and 15 shows the correlations. In contrast, samples after reaction tank such as secondary effluent and sand filtered water have some low efficiencies. Because of these result, EC can be used for index of water quality if monitoring spot is selected properly.

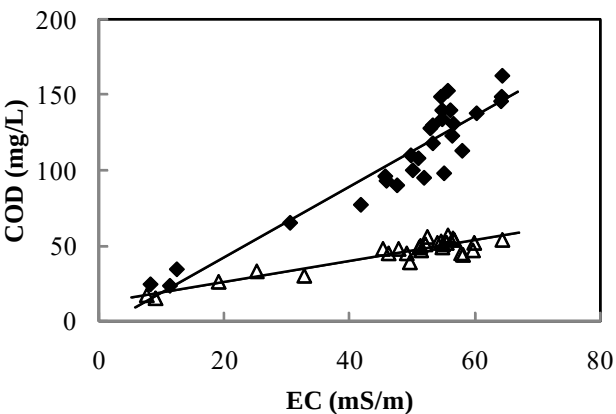


Fig.13 Concentration dependence of EC for COD, in influent (◆) and primary effluent (Δ). The data were collected from 24 March to 16 June.

Table.5 Correlation coefficients between EC and COD, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, phosphate phosphorus, turbidity and chromaticity. The number of date is 28.

	influe nt	prima ry efflu e	second ary effluent	sand filtered water
COD	0.93	0.93	0.44	0.83
NH ₄ -N		0.95		
NO ₃ -N				0.47
PO ₄ -P		0.96		0.64
Turbidit				-0.14
Chromat				0.85

Electrical Conductivity and Supplied Air Volume Control

Constant Air Blow term An example of EC of primary effluent, DO in the end of reaction tank and air volume variation is shown in Fig.16. EC value decreased with rain in July 29 (the rainfall was 38.5mm) and after that the value increased. In that day, DO value definitely increased at almost the same time EC decreased. Increasing DO value means pollutant concentration decreased because of rain. EC meter can detect decreasing pollutant as well as DO meter. In not rainy days, the DO value increased (decreased) and supplied air flow decreased (increased) in response to the decrease (increase) of EC after the elapse of retention time. EC value has correlation with DO value whether it is rain or not. In fact, in this investigation term, EC value exceeded 57.5mS/m before DO value decreased below 2.0mg/L 9times in 10 and this phenomenon has repeatability.

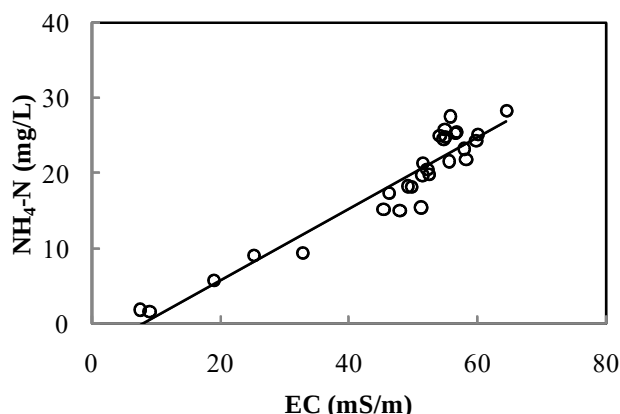


Fig.14 Concentration dependence of EC for ammonium nitrogen in primary effluent (○). The data were collected from 24 March to 16 June.

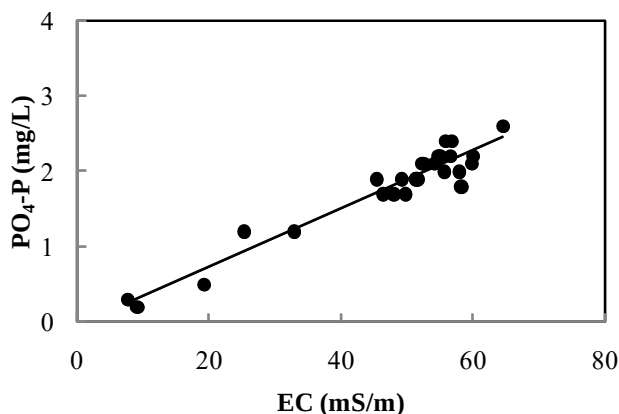


Fig.15 Concentration dependence of EC for phosphate phosphorus in primary effluent (●). The data were collected from 24 March to 16 June.

Although the survey was conducted for eleven consecutive days without cleaning the electrode, the measurement value was stable, which means it is easy to maintenance.

DO controlled term Variation of EC of primary effluent, DO in the end of reaction tank and supplied air volume is shown in Fig.17. It can be read by this graph that variation pattern of effluent quality indicated by EC value was similar to that of supplied air volume. From this result, it is thought that excess and deficiency of air volume and variation of DO can be suppressed and optimization of operation will be achieved by controlling air volume with feed forward method using the data of

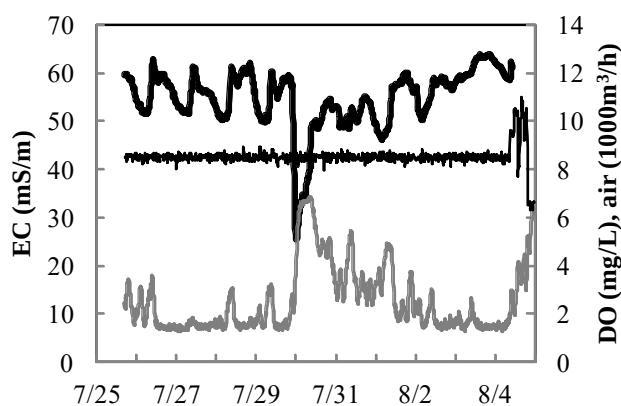


Fig.16 EC of primary effluent (bold black line), supplied air volume (fine black line) and DO in the end of reaction tank (gray line) at constant air flow term from 25 July 2008 to 4 August.

primary effluent EC variation.

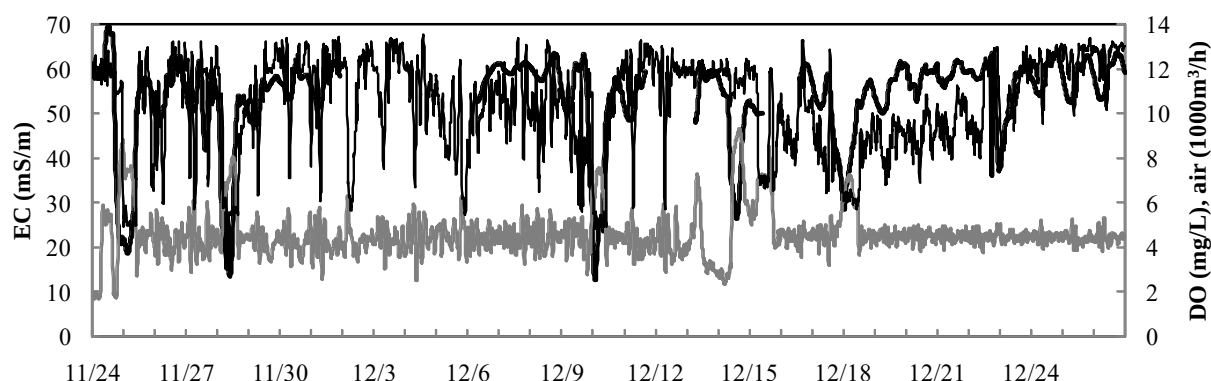


Fig.17 EC of primary effluent (bold black line), supplied air volume (fine black line) and DO in the end of reaction tank (gray line) at DO controlled term from 24 November 2008 to 26 December.

Behavior of EC in reaction tank

Fig.18 shows variation of EC and other properties. EC value of mixed liquor increased as phosphate phosphorus does while the reaction tank kept anoxic condition for 2 hours. After starting aeration, EC value decreased as phosphate phosphorus and ammonium nitrogen did. Between until concentration of phosphate phosphorus got closer to 0mg/L and after that, there was a little different in rate of EC decline.

It was observed that how EC value changes as treatment proceeds. EC value in the reaction tank changes mainly with concentrations of phosphate phosphorus and ammonium nitrogen was indicated.

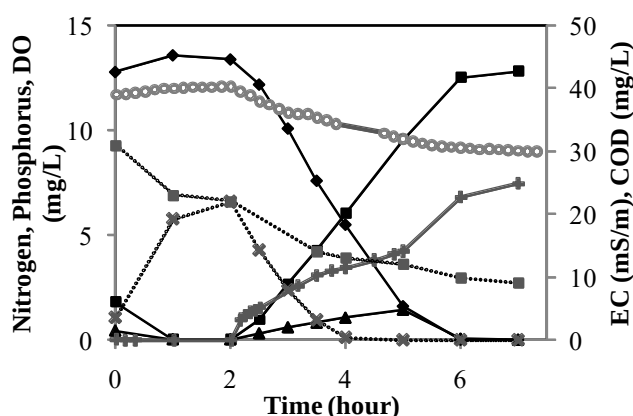


Fig.18 Variation of EC (○), COD (gray ■ with dotted line), ammonium nitrogen (◆), nitrate nitrogen (▲), nitrite nitrogen (black ■), phosphate phosphorus (×) and DO (+) in experimental reaction tank.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

The results in these experiments led to the following conclusion:

Long-term wastewater treatment operation by means of ammonium-nitrogen and also dissolved oxygen concentration was undertaken to keep reducing electric power consumption and improving effluent water quality. The results indicated that this system achieved more efficient operation from the aspect of wastewater treatment and electric power consumption compared to the traditional dissolved oxygen control system under the condition of relatively less changeable water quality and quantity. Though the condition of nitrification and/or installation type of aeration facilities according to each treatment plant had to be taken into account, it was

confirmed that this system was adequate to introduce in order to reduce power consumption used for blower.

Operation of restricted-aeration A²/O system to simultaneously and efficiently remove nitrogen and phosphorus by means of forming pseudo anaerobic condition in substitution for the form of anaerobic phase by using agitator was researched. Results indicated that restricted-aeration A²/O system made final effluent water quality improve equal level compared to the A²/O system by much lower initial and running cost. Especially, it is relatively easy to construct new facilities to the existing plant.

Feed-forward control system by means of electric conductivity which had researched in sewage and wastewater treatment field system as efficient control instead of traditional dissolved oxygen control was investigated. Electric conductivity correlated several water qualities, and tended to follow variation during rain and storm water conditions. Because of endurance to long-term operations, installation of feed-forward control system for aeration to use electric conductivity by selection of appropriate monitoring point would attain streamlining and efficiency of operation for wastewater treatment.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to the staffs of the waste water treatment plants included in this survey. We also acknowledge the support of individuals giving new ideas and new trials through this project.

REFERENCES

- Barbu, M.; Caraman, S.; Bahrim, G.; CARP, D. (2011) Results regarding the control of the dissolved oxygen concentration in wastewater treatment processes. *Romanian Biotechnological Letters*, **16**(2), 6096-6104.
- Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (2010a) *Environmental Report* (in Japanese). available at:
http://www.gesui.metro.tokyo.jp/jigyoku/kei-kan2010/kei-kan2010/07kankyoku_houkoku.pdf
(accessed at 2 May 2011)
- Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (2010b) *Earth Plan-2010*. available at:
http://www.gesui.metro.tokyo.jp/english/r_and_r/img/rr06/earth_plan2010_gaiyou.pdf
(accessed at 2 May 2011)
- Cakir, F. Y.; Stenstorm, M. K. (2005) Greenhouse gas production: A comparison between aerobic and anaerobic wastewater treatment technology. *Water Research*, **39**(17), 4197-4203.
- Chevakidagarn, P. Annachatre, A. P.; Puetpaiboon, U.; Koottatep, T. (2007) Dissolved Oxygen Control System for Upgrading Conventional Activated Sludge Process for Seafood Industrial Wastewater in Southern Thailand, *Asian Journal on Energy and Environment*, **8**(01), 454-460.
- Dabkowski, B. (2011) New Sensor Technology Optimizes DO Control at WWTP, *WaterWorld*, **26**(6)
- Furukawa, S.; Tanaka, H.; Hirotsuji, J. (2002) Saving of air volume consumption at aeration in waste water treatment plant by using nitrification control system, *Workshop of Sewerage at 39th*, 614-616. (in Japanese)

- Hitachi, Ltd. (2005) Activity evaluation method for activated sludge. JP,2005-219022,A. 18.08.2005
- Howarth, M. J. (2007) Dissolved Oxygen Control System At Wastewater Plant Reduces Costs For Electrical Power, Sludge Removal, And Chemicals, available at: <http://www.wateronline.com/article.mvc/Dissolved-Oxygen-Control-System-At-Wastewater-0001>(accessed at 20 July 2011)
- JFE Steel KK. (2009) Apparatus and method for continuously treating waste water containing COD component. JP,2009-006316,A
- Keller, J.; Hartley, K. (2003) Greenhouse gas production in wastewater treatment: process selection is the major factor. *Water Sci. Technol.*, **47**(12), 43-48.
- Park, K. Y.; Inamori, Y.; Mizuochi, M.; Ahn, K.H. (2000) Emission and control of nitrous oxide from a biological wastewater treatment system with intermittent aeration. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **90**(3), 247-252.
- Toshiba Corp. (2001) Controller of sewerage system. JP,2001-182135,A. 03.07.2001
- Umbelt Bundes Amt, (2010) *Efficient sewage technology reduces CO₂ emissions and saves energy*. Press Release No.46/2010, available at: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse-e/2010/pdf/pe10-046_efficient_sewage_technology_reduces_co2_emissions_and_saves_energy.pdf (accessed at 12 May 2011)
- Wett, B.; Buchauer, K. (2003) *Comparison of aerobic and anaerobic technologies for domestic wastewater treatment based on case studies in Latin America*. available at: http://www.araconsult.at/download/literature/bogota_wett_lg.pdf (accessed at 12 May 2011)

平成25年1月発行

技 術 調 査 年 報
2 0 1 2

平 成 2 4 年 度
印刷物規格表第5類
登 録 第 5 7 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

