

東京都下水道局
技術調査年報

—2014—

Vol.38

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

平成 27 年 3 月

東京都下水道局

東京都下水道局技術調査年報 - 2014 - の発行にあたって

平成 26 年（2014 年）は明治 17 年（1884 年）の「神田下水」着工から 130 年、平成 6 年度末（1994 年）の区部 100% 普及概成から 20 年目という東京の下水道事業にとって節目の年です。このような歴史を有する東京の下水道は、時代の変化に伴い多様化、高度化する都民ニーズに合わせてその役割を増し、現在では様々な事業を展開しています。

現在、特に力を入れている事業は、老朽化施設の計画的な再構築事業、近年の豪雨から都民の生命財産を守るための浸水対策、首都直下地震などの地震や津波に対して下水道機能を確保する震災対策、2020 年の東京オリンピック・パラリンピックの中心となる東京ベイゾーン（臨海部）において重要となる東京湾の水質浄化に資する合流式下水道の改善や高度処理の着実な推進、さらには地球規模で推進すべき省エネや地球温暖化対策など、多岐にわたっています。

その中でも地球温暖化対策として、平成 26 年 6 月に策定した下水道事業におけるエネルギー基本計画「スマートプラン 2014」では、総エネルギー量に占める再生可能エネルギー等の割合について 20% 以上を目指す高い目標を掲げ、再生可能エネルギーの拡大などに取り組んでいるところです。

これらの事業を展開するうえでは、様々な課題に直面します。これらの課題の解決には技術開発が不可欠であり、事業を円滑に進めるためには技術開発の成否が大きな鍵を握っています。このため、当局としても民間企業、大学・研究機関、関係団体との連携を一層深め、産学公の技術交流の活発化に努めながら、強力に技術開発を推し進めてまいります。

本年報は、下水道事業を取り巻く多くの課題に対して、平成 25 年度に下水道局が行った調査研究や業務上の取組などの技術的成果をまとめたもので、内容は計画、設計、施工、維持管理など下水道事業に関わる広範な技術分野におよびます。本書の活用によって、職員の技術力の継承、向上はもとより、直面する困難な技術的課題の解決に役立つものと確信しています。

さらに、本書が各関係機関の方々の調査研究の一助として、また国、地方公共団体の方々の業務の参考になれば幸いです。

平成 27 年 3 月

東京都下水道局長
松田 芳和

目 次

本書について	1
<参考資料> 特許などの取得状況	2
要旨集	3
論文集	39

No.	タイトル	担当部署	氏名	要旨	論文
1 安全性・快適性の向上					
1-1 再構築技術					
1	1-1-1 支障物撤去を伴う日比谷線直下の横断推進	中部下水道事務所 建設課	小川 雄也	5	41
2	1-1-2 老朽化対策先行整備（段階方式）の拡大に向けた取組 ～実施設計における整備手法の比較・検証～	北部下水道事務所 再構築 推進課	今井 翔子	6	45
3	1-1-3 隅田川幹線その2工事における凍結工法の安全対策	第一基幹施設再構築事務所 工事第一課	森川 脩之	7	51
4	1-1-4 シールド掘進中の急曲線部（R=15m）での不具合発生 とその対応	第二基幹施設再構築事務所 工事第一課	丸 善哉	8	59
1-2 浸水対策技術					
5	1-2-1 新たな光ファイバー水位計の開発について ～幹線水位の把握によるポンプの効率的な運転～	計画調整部 技術開発課	中田 友三 齊藤 正二	9	64
6	1-2-2 区部河川における下水道からの雨水放流量の緩和につい て～神田川流域のケーススタディ～	建設部 設計調整課	鈴木 淳也	10	73
7	1-2-3 既設雨水渠へのシールド接続方法の検討について（第二 谷田川幹線その4工事）	第一基幹施設再構築事務所 設計課	笹井 満	11	82
1-3 震災対策技術					
8	1-3-1 地震時の人孔側塊目地ずれ抑制シートの開発	計画調整部 技術開発課	和田 光由	12	87
9	1-3-2 既設構造物の耐震補強設計への非線形解析の導入につい て	建設部 土木設計課	神田 浩幸	13	98
10	1-3-3 新木場地区の下水道管渠災害復旧工事の完了報告	東部第一下水道事務所 建 設課	植山 敬太 渡部 将来	14	102
2 水環境向上、環境負荷低減					
2-1 合流式下水道の改善技術					
11	2-1-1 閑静な住宅地における大規模開削工事の施工 ～野川処理区下流部雨水貯留池の例～	流域下水道本部 技術部 工事課	佐藤 裕隆	15	112
2-2 水処理技術					
12	2-2-1 疑似AOA法と疑似AO法の処理状況の比較	西部第二下水道事務所 新 河岸水再生センター	岸野 俊明	16	117
13	2-2-2 森ヶ崎水再生センター西施設における窒素処理に関する 取組	森ヶ崎水再生センター	松井 駿佑	17	122
2-3 汚泥処理技術					
14	2-3-1 葛西水再生センターにおける低動力型脱水機の効率的運 転について	東部第二下水道事務所 葛 西水再生センター	小川 誠	18	128
15	2-3-2 余剰汚泥の長時間貯留に伴う脱水性の検証	西部第二下水道事務所 み やぎ水再生センター	佐藤 光昭	19	135

No.	タイトル	担当部署	氏名	要旨	論文
16	2-3-3 森ヶ崎水再生センターにおける消化槽管理温度の設定変更による安定的な消化槽運転について	森ヶ崎水再生センター	藤井 晋司	20	141
2-4 地球温暖化対策技術					
17	2-4-1 高度処理の推進と地球温暖化対策の両立に向けた課題と対応	計画調整部 技術開発課	田辺 晃一	21	147
18	2-4-2 多層燃焼炉における燃費改善に向けた取組	施設管理部 施設管理課	大島 和峻	22	151
19	2-4-3 南多摩水再生センター・未利用エネルギーの導入	流域下水道本部 技術部 計画課	望月 伸行	23	157
20	2-4-4 ステップA ₂ O法の処理特性及びNH ₄ -N制御の有効性について	流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター	和光 一紀	24	161
21	2-4-5 北多摩二号水再生センターにおける二軸管理の取組について（事例報告）	流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター	岩井 毅大	25	166
22	2-4-6 葛西水再生センターにおけるアンモニアDO制御の安定運用に向けた取組について	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター	菊池 一成	26	172
23	2-4-7 南部スラッジプラントにおける既設遠心脱水機の改良によるエネルギー削減効果について	森ヶ崎水再生センター	板崎 吉則 榎本 皓太	27	178
24	2-4-8 東部スラッジプラントにおける汚泥焼却設備3号炉高温制御装置のN ₂ O削減効果に関する調査	東京都下水道サービス株式会社 施設管理部 東部スラッジセンター	大塚 克司	28	183
3 維持管理向上、事業効率化他					
3-1 維持管理向上、効率化などの技術					
25	3-1-1 誰でも簡単に活性炭の脱臭能力を把握できるpH診断法の開発	施設管理部 環境管理課	熊田 翔史	29	191
26	3-1-2 中川水再生センターにおける大腸菌の挙動及び測定法の課題について	東部第二下水道事務所 中川水再生センター	藤田 勇	30	201
27	3-1-3 硝化速度測定における新手法の導入について	東部第二下水道事務所 小菅水再生センター	近松 康樹	31	209
3-2 その他					
28	3-2-1 国指定重要文化財「旧三河島污水処分場唧筒場施設」の保存・復原について	施設管理部 施設保全課	渡邊 龍也	32	213
4 国際会議発表論文					
4-1 第86回WEF（米国水環境連盟）年次総会・研究発表会 -2013.10.7～10.9 米国・シカゴ-					
29	4-1-1 New Aeration Control System Based on Ammonium Measurements : Effect on Energy Saving and Denitrification in an Aerobic Tank アンモニア測定に基づく新しい送風制御システム-省エネ効果と好気槽内脱窒-	計画調整部 技術開発課	濱本 亜希	33	225
4-2 第10回IWA（国際水協会）上下水道における最新技術会議 -2013.6.2～6.6 フランス・ボルドー-					
30	4-2-1 Sewerage Plan for the Prevention of Global Warming in Tokyo ～Earth Plan-2010～ 東京の下水道事業における地球温暖化防止計画～アースプラン-2010～	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター	葛山 欣司	34	233
4-3 第5回IWA-ASPIRE（IWAアジア太平洋地域会議） -2013.9.8～9.12 韓国・大田（テジョン）-					
31	4-3-1 Earthquake and Tsunami Countermeasures of Tokyo's Sewerage 東京下水道の地震・津波対策	計画調整部 計画課	引野 政弘	35	237
32	4-3-2 Renewal of the Radars of Rainfall Information System: Tokyo Amesh 東京アメッシュレーダーの更新について	施設管理部 施設管理課	小鮎 格久	36	244
33	4-3-3 Technology for Reducing Nitrous Oxide (N ₂ O) Generated from Wastewater Treatment Process 下水処理過程におけるN ₂ O排出抑制技術の開発	施設管理部 環境管理課	根本 忠浩	37	252

Copyright©(2015) by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government

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

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

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

本書について

◆本書の目的

本書は、東京都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発行しています。

- 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

◆本書の構成

本書は、平成 25 年度に局内各部署が実施した下水道技術に関する調査・研究・計画・設計・工事についてまとめたものです。各論文は、平成 25 年 2 月に策定した「経営計画 2013（東京都下水道局）」の経営方針に沿った 3 つの技術テーマ別（安全性・快適性の向上を図る技術、良好な水環境と環境負荷の低減を図る技術、維持管理の向上・事業の効率化などを図る技術）に分類して掲載しています。

- | | | |
|---|-----------------------|--------|
| 1 | 安全性・快適性の向上・・・・・・・・・・ | 10 編 |
| 2 | 水環境向上、環境負荷低減・・・・・・・・ | 14 編 |
| 3 | 維持管理向上、事業効率化他・・・・・・・・ | 4 編 |
| 4 | 国際会議発表論文・・・・・・・・・・ | 5 編 |
| | | 計 33 編 |

◆本書の沿革・閲覧場所

本書は、昭和 52 年（1977 年）9 月の「技術調査報告書」を初版として、昭和 54 年度（1979 年）からは「技術調査年報」として毎年発行しており、2014 年版は 38 刊目にあたります。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活用を図ることとし、各機関への冊子の配布を取りやめています。

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

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

◆本文中の用語

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

- ・人孔（マンホール）
- ・ポンプ所（ポンプ場）
- ・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＞ 特許などの取得状況（産業財産権の件数）

東京都下水道局では職員が着想したアイデア、民間企業などとの共同研究や工事請負契約などから生まれた発明について、特許庁へ出願を行い、多数の産業財産権を取得しています。

下表は当局が所有している産業財産権の分野別の登録件数を示したもので、平成 25 年度末現在の登録件数は合計 132 件にのびります。

下表以外で出願中の産業財産権が平成 25 年度末現在 13 件あり、登録済のものと合わせると、当局所有の産業財産権の件数は 145 件になります。

産業財産権 登録件数一覧（平成 26 年 3 月末時点）（単位：件）

部門	分野	特許	実用新案	意匠	商標	計
管きょ技術	管きょ	22	0	2	0	24
	雨水対策	2	0	0	0	2
管きょ技術計		24	0	2	0	26
維持管理	維持管理	15	0	0	0	15
	設備	22	1	0	0	22
	計測	9	0	0	2	11
	環境	3	0	0	0	3
維持管理計		49	1	0	2	52
水処理技術	水処理技術	33	0	0	0	33
水処理技術計		33	0	0	0	33
汚泥処理技術	汚泥処理技術	14	0	0	0	14
汚泥処理技術計		14	0	0	0	14
有効利用	光ファイバー	1	0	0	0	1
	汚泥の資源化	2	0	0	4	6
	熱利用	0	0	0	0	0
有効利用計		3	0	0	4	7
合計		123	1	2	6	132

要 旨 集

番号	1-1-1	表題	支障物撤去を伴う日比谷線直下の横断推進	
内 容		本工事は、再構築、浸水対策、合流式下水道の改善を目的として中央区日本橋小網町、日本橋蛸殻町付近の流域における汚水、雨水の流下先を茅場町幹線及び桜橋第二ポンプ所へ切り替えるための主要幹線を布設する第一期工事であり、泥濃式推進工法により内径 1500mm の管を施工するものである。 施工に関しては、 ① 東京メトロ日比谷線直下の推進横断時に地下鉄躯体との離隔が 1.8m しか確保できないこと。 ② 地下鉄の開削施工時の鋼矢板及び中間支持杭が残置され、中間支持杭は地下鉄躯体の直下に位置すること。 ③ 残置鋼矢板の直上が交通量の多い都道の交差点部である。 などの厳しい制約が課されており、地下鉄躯体との近接施工及び残置物の地中での撤去時に供用中の地下鉄への影響を最小限することが本工事の課題となった。 これらを踏まえ、地盤への影響を最小限にしながら地盤改良及び地中での支障物除去が可能な工法を採用した。 推進施工中、前方探査により新たな支障物が出てくるなど想定外の事象にも的確に対応するとともに、自動計測による地下鉄躯体の挙動の常時監視など細心の注意を払い施工を進めたことにより、地下鉄に影響を与えることなく、工事を完了することができた。		
キーワード		推進工法、計測管理、支障物撤去、日比谷線直下、横断推進		
処理区名	芝浦処理区		位置区分	管きょ
職種区分	土木		施策区分	再構築、浸水対策、合流改善
状態区分	工事		新規性	
実施年度	平成 24 年度		全体期間	平成 23 年度～平成 24 年度
担当部署	中部下水道事務所 建設課 設計係 小川雄也			
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 設計・工事事例発表会		
	局外			
調査方法				
関連情報				

番号	1-1-2	表題	老朽化対策先行整備（段階方式）の拡大に向けた取組 ～実施設計における整備手法の比較・検証～				
内 容		現在、区部の法定耐用年数を超えた下水道管の延長は、約 1500km に達するとともに、今後 20 年間で新たに約 6500km 増加する。このため、下水道局では管きよの老朽化を先行して整備を行う「老朽化対策先行整備（段階方式）」（以下、「老対（段階式）」という）を用い、再構築事業のペースアップを図っている。 本論文は、「老対（段階式）」の適用を拡大していくにあたり、通常整備と比較しての当整備手法の優位性を検証したものである。 単純な工費及び工期の積上げで考えると、 ① 自由水面確保の場合、経済性と工期ともに「通常整備」の方が優位 ② 能力確保の場合、経済性と工期ともに「老対（段階式）」の方が優位 となった。しかし、時間軸を用いて両者を整理すると、②は整備後第三段階の整備まで浸水リスクを保有したままとなるなど、単純な積上げによって両者を比較することはできないことが分かった。「老対（段階式）」の適用に当たっては、保有される浸水リスクを考慮し、各流域の特性や現場状況、実施時期等を踏まえ総合的に判断する必要があることがあらためて認識できた。 ※能力確保：第2段階まで実施すれば流下能力は確保されるものとした。					
キーワード		老朽化対策先行整備（段階方式）		面再構築事業		整備手法 通常整備	
処理区名		小台処理区		位置区分		管きよ	
職種区分		土木		施策区分		再構築	
状態区分		設計		新規性			
実施年度		平成 24、25 年度		全体期間		平成 24 年度～平成 25 年度	
担当部署		北部下水道事務所 再構築推進課 事業調査係 今井 翔子					
発 表		局内	平成 25 年度 設計・工事事例発表会				
履 歴		局外					
調査方法		委託調査					
関連情報							

番号	1-1-3	表題	隅田川幹線その２工事における凍結工法の安全対策	
内 容		隅田川幹線は、足立区千住地区の浸水被害の軽減を目的として施工するものである。本工事では、総延長 3,120m をφ5,650 mmの泥水式シールド工法で掘進し、到達部の既設人孔への地中接続では、延長 5.45m をφ2,800 mmの隧道工法で接続するために凍結工法による補助地盤改良（凍土量 185 m³）を採用し、既設人孔壁の撤去や鋼製セグメント組立等の作業を、安全かつ確実に施工した。 凍結工法は、完全な遮水性と優れた強度を有する地盤改良工法であるが、「大深度地下における管きょ地中接続工事」では出水事故の事例もある。出水の原因としては、凍土面の温度上昇による融解や構造物と凍土の凍着部の剥離があることから、凍土造成の精度と安全性の向上を図るため、施工場所の土質調査、地下水の流向・流速等の事前調査を実施し、以下の安全対策を行った。 ・凍土範囲の拡大 ・構造物変位のリアルタイム計測 ・凍土中でのガス切断で生じる熱対策 ・地下水・土砂流出時の安全確保 本工事では、安全対策の成果により、地盤の変動もなく凍結工事を完了した。		
キーワード		隅田川幹線、凍結工法、安全対策、地中接合、隧道工法		
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	工事		新規性	
実施年度	平成 25 年度		全体期間	平成 23 年度～平成 25 年度
担当部署	第一基幹施設再構築事務所 工事第一課 森川 脩之			
発 表	局内	平成 25 年度 設計・工事事例発表会		
履 歴	局外	平成 26 年度 第 51 回 下水道研究発表会		
調査方法				
関連情報				

番号	1-1-4	表題	シールド掘削中の急曲線部（R=15m）での不具合発生とその対応	
内 容	本件は、泥土圧式コンパクトシールド工法により、仕上がり内径 1800mm の管を 606.45m 布設した際、R=15m 及び R=20m の出口にて発生した不具合と、その対応について報告するものである。 具体的には、急曲線用と直線用のセグメント段差部を通過時にシールド機後胴のテールブラシの稼働不良により、ジャッキ推力が上昇し後胴とテール部をつなぐ接続ボルトの破断及びセグメントにクラックが生じたことに対して、以下の対策を実施した。 ① 接続ボルトの破断について 原因は裏込め材がテールブラシ内側に侵入し、ブラシが固定された状態で固まったことやボルト強度が推力以下であったことが考えられた。対策として、(1)ブラシ部の定期的な清掃及びテールシールの充填、(2)急曲線の出入り口に幅広のテーパ付異径セグメントの使用を実施した。 ②セグメントにクラックが生じたことについて 原因はセグメントに偏心力がかかりブラシの抵抗力にも偏りが生じ、さらにシールドジャッキがセグメントを外側に押し広げようとする分力が働いたものと考えられた。対策として、(1)偏心が起こらないようにテールクリアランスを均等に保つよう施工、(2)セグメントの芯に力を伝えるためにジャッキ先端に低摩擦板の設置を実施した。 以上の対策を講じることにより、他の急曲線部においては、不具合が発生することなくシールド掘進することができた。			
	キーワード 急曲線（R=15m）、急曲線（R=20m）、異径セグメント、偏心			
	処理区名 芝浦処理区		位置区分	管きよ
	職種区分 土木		施策区分	再構築
	状態区分 工事		技術区分	
実施年度 平成 24 年度		全体期間	平成 23 年度～平成 25 年度	
担当部署 第二基幹施設再構築事務所工事第一課 工事第一係 丸 善哉				
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 設計・工事事例発表会		
	局外			
調査方法				
関連情報				

番号	1-2-1	表題	新たな光ファイバー水位計の開発について ～幹線水位の把握によるポンプの効率的な運転～		
内 容	近年、都市化の進展による下水道への雨水流入量の増大、地球温暖化やヒートアイランドによる局所的な集中豪雨の多発などによって、都市型水害のリスクが高まっている。 当局では、浸水対策として、幹線や雨水ポンプの能力増強等を行っている。その中で先行待機型ポンプの無注水形軸受には、気中運転時間の制限があり、先行待機形ポンプの起動タイミングに課題がある。 その解決策の一つとして、幹線水位を把握し、ポンプ所への下水流入量及び流達時間を把握することで、気中運転時間の最適化による経済的かつ効率的な運転を行うことが考えられる。これまでの光ファイバー水位計は、高価で維持管理性に課題があり導入が進まない状況であった。これらの問題を解決し、小型で安価かつ維持管理性の良い光ファイバー水位計を開発した。 本稿では、開発した光ファイバー水位計の概要、研究開発の内容、調査結果、今後の展望について述べる。				
キーワード	光ファイバー水位計 先行待機型ポンプ 無注水軸受 ポンプ運転の効率化				
処理区名	葛西処理区		位置区分	ポンプ所	
職種区分	設備		施策区分	浸水対策 震災対策 効率化	
状態区分	調査 研究		新規性	新規知見あり	
実施年度	平成 24 年度～平成 25 年度		全体期間	平成 23 年度～平成 26 年度	
担当部署	計画調整部 技術開発課				
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 局公開研修「下水道新技術」			
	局外	平成 26 年度 第 51 回下水道研究発表会			
調査方法	委託調査				
関連情報	光ファイバーによる水位等の測定技術に関する調査委託その 1～その 3 報告書				

番号	1-2-2	表題	区部河川における下水道からの雨水放流量の緩和について ～神田川流域のケーススタディ～			
内 容		当局では、整備途上の区部河川において、河川管理者である建設局と確認書を締結し、下水道と河川を一体として構築した雨水流出解析モデルを用いて、シミュレーションにより河川の氾濫への安全性を確認しながら、下水道吐口からの雨水放流量の緩和を行っている。 神田川流域では、放流緩和箇所として4箇所の吐口を選定し、平成23年度までに2箇所の緩和を実施した。 この後、確認書の手順に従って、水理解析モデルの妥当性を再検証し、残りの2箇所の緩和を実施することとなっている。 本報告では、雨水放流量の緩和の背景や基本的な考え方を紹介するとともに、神田川流域における取り組み状況を紹介する。				
キーワード		放流量緩和 水理解析モデル シミュレーション 神田川流域				
処理区名				位置区分	管きょ、ポンプ所	
職種区分		土木		施策区分	浸水対策	
状態区分		調査 研究、計画		新規性		
実施年度		平成24年度		全体期間	平成23年度～平成24年度	
担当部署		建設部 設計調整課 管路事業調査係 鈴木淳也				
発 表		局内	平成25年度 設計・工事事例発表会			
履 歴		局外	平成26年度 第51回下水道研究発表会			
調査方法		委託調査				
関連情報						

番号	1-2-3	表題	既設雨水渠へのシールド接続方法の検討について (第二谷田川幹線その4工事)		
内 容		本工事は、谷田川幹線の増補幹線である第二谷田川幹線を新たに整備するものである。第二谷田川幹線は、伏越し構造である既設藍染川幹線雨水渠に到達することから、対策を講じない場合はシールド到達作業が水中作業となり、施工難易度が非常に高いことが想定された。そのため、接続部工事の安全性を高めるとともに、施工しやすい環境を整えるため、接続人孔内のドライ化について、流出解析シミュレーションを用いて以下の2点の検討を行った。 ①河川水の流入防止対策の検討 … 藍染川幹線雨水渠は、隅田川の河川水の影響を受けるため、接続人孔内への河川水の流入を防止する対策の検討 ②藍染川幹線分水部の堰高の検討 … 藍染川幹線と藍染川幹線雨水渠の分水人孔で分水された雨水が接続人孔内へ流入することから、藍染川幹線雨水渠内への流入をより制限するため、分水人孔の適切な堰高の検討 検討を行った結果、河川水の流入防止対策としては、既設スルースゲート（高潮防潮扉）を使用することとした。また、藍染川幹線分水部の堰高対策としては、治水安全度を考慮し堰高を80cmを嵩上げする対策とした。			
キーワード		既設雨水渠 シールド到達 ドライ化 流出解析シミュレーション			
処理区名	三河島処理区		位置区分	管きょ	
職種区分	土木		施策区分	浸水対策	
状態区分	設計		新規性		
実施年度	平成 25 年度		全体期間		
担当部署	第一基幹施設再構築事務所 設計課 笹井 満				
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 設計・工事事例発表会			
	局外				
調査方法	委託調査				
関連情報					

番号	1-3-1	表題	地震時の人孔側塊目地ずれ抑制シートの開発	
内 容	平成 23 年に発生した東日本大震災において、下水道管路内への土砂堆積が液状化発生地域を中心に多く確認された。管路内への土砂堆積は下水道の流下機能を阻害し、また、堆積物を管路内から除去するには多くの時間を要するため、長期間にわたるトイレ使用の制限などし都民生活に対し多大な影響を与えた。同地震においてはマンホール側塊の目地がずれる被害が多く発生し、側塊ずれ部からの土砂流入が管路内への土砂堆積被害の一因と考えられている。このことから、民間企業との共同研究により、地震時人孔側塊目地ずれ抑制シート工法を開発した。 本工法は、非開削での施工が可能であり、マンホール内部からマンホール側塊目地部に合成樹脂製の目地ずれ抑制シートを接着することにより、地震時におけるマンホール側塊目地部のずれを抑制し、目地部からマンホール内への土砂流入の防止を図るものである。適用範囲は斜壁及び直壁部のマンホール側塊目地部で、マンホール深 5 m 以内、内径 900～1500 mm の円形マンホールを対象としている。 本工法は液状化の危険性の高い地盤にあり、マンホール側塊のずれ止め対策が行われていないマンホールの土砂流入を防止する有効な工法であるため、今後の下水道事業の耐震化に広く貢献できるものと考えている。			
	キーワード	マンホール側塊、液状化、耐震化、非開削		
	処理区名		位置区分	管きょ
	職種区分	土木	施策区分	震災対策
状態区分	調査研究	新規性	新規知見あり	
実施年度	平成 24 年度	全体期間		
担当部署	計画調整部 技術開発課 和田 光由			
発 表 履 歴	局内			
	局外	平成 26 年度 第 51 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 2013			

番号	1-3-2	表題	既設構造物の耐震補強設計への非線形解析の導入について	
内 容	東京都が設置した「地震・津波に伴う水害対策技術検証委員会」では、これまで都が実施してきたレベル1地震動に対しての対策は、東日本大震災では一定程度効果を発揮したとして評価できるとした一方、将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動への対策に取り組んでいくべきであるとした。その提言を踏まえて、当局では施設の耐震補強計画の見直しを行った。耐震化の完了の目標年次は、東京オリンピックの開催を見据えて平成31年度とし、下水道が最低限確保すべき機能を担う機能について、耐震性を確保することとし、対象地震動はレベル2地震動とした。耐震性を強化することに加え、今年度（平成25年度）を含めて7年間という短い期間で完了する必要があるため、耐震補強をこれまで以上に効率的に進めていくことが必要となった。 既設の下水道施設を耐震補強するためには、施設を供用しながら施工する必要があることと、補強のための空間が限られることが課題として挙げられる。しかし、現行の設計手法では補強部位が多くなる傾向があるという問題があり、施設の耐震補強が進んでいない。日本下水道協会では耐震対策指針の改定作業を進めており、新たな設計手法である「非線形解析」を選択することができる予定である。今回、この非線形解析を試験的に導入して耐震補強の検討を実施した。 試行の結果、対象のすべての施設について補強箇所が減少する結果となった。非線形解析は計算量が増大するため解析に要する費用は増加するが、補強対象箇所の減少により工事費を縮減することが可能となることから、総事業費の縮減が期待される。そのため、より効率的に既存構造物の耐震化を図ることが期待できる非線形解析を平成26年度より順次導入する予定である。			
	キーワード	レベル2地震動、耐震補強、非線形解析、耐震対策指針		
	処理区名		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	震災対策
	状態区分	設計	新規性	
実施年度	平成25年度	全体期間		
担当部署	建設部 土木設計課 神田浩幸			
発 表 履 歴	局内	平成25年度 設計・工事事例発表会		
	局外	平成26年度 第51回下水道研究発表会		
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	1-3-3	表題	新木場地区の下水道管渠災害復旧工事の完了報告			
内 容	平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災では、都内で震度5強の強い揺れが発生し、下水道施設でも様々な被害が発生した。とりわけ湾岸部の江東区新木場地区では、液状化現象の発生により、土砂が噴出し、道路が沈下することによる管渠のたるみや破損、マンホールのズレやひび割れが生じた。東部第一下水道事務所では、発災直後から関係機関との協力のもと、管路内の土砂排出等の応急復旧に取り組み、下水道機能の回復を図り、その後、本格的な災害復旧工事に着手した。 災害復旧工事では、他企業の復旧工事の競合による工程上の制約や他企業埋設物による開削困難箇所への対応等多数の問題点が発生した。このため関係機関との調整を図り、施工口数を1工事最大9口、新木場地区全体で15口を確保し、他企業埋設物への対応は、占用位置変更やアップパー管設置等の変更検討を速やかに実施することにより、着実な工事施工を行った。 施工に当たり、所内及び東京都下水道サービス株式会社、工事受注会社が一丸となり、全力を挙げて対外調整や工事を進めることにより、平成 24 年度中に工事を無事完了させることができた。今回経験した災害復旧工事における課題と対応策は、今後の災害復旧においても参考として活用できると考える。					
	キーワード	東日本大震災 液状化現象 災害復旧工事 東京都下水道サービス株式会社				
	処理区名		位置区分	ます取付管 管きょ		
	職種区分	土木	施策区分	震災対策		
状態区分	工事	新規性				
実施年度	平成 23 年度～平成 24 年度	全体期間	平成 23 年度～平成 24 年度			
担当部所	東部第一下水道事務所 建設課 工事係					
発 表	局内	平成25年度 設計・工事事例発表会				
履 歴	局外					
調査方法						
関連情報						

番号	2-1-1	表題	閑静な住宅地における大規模開削工事の施工 ～野川処理区下流部雨水貯留池の例～	
内 容	野川処理区下流部雨水貯留池工事は、野川処理区における合流式下水道の改善を目的として、雨水貯留施設（貯留量約2万m³、28m×73m×深さ21m）を整備するものである。本工事は廃校となった小学校跡地に用地を取得し、平成22年より約4年にわたり工事を行った。 現場はマンションや家屋が密集する住宅地に位置し、隣接する賃貸マンションまでの離隔は貯留池（山留め壁の端部）から約4mと非常に近接している。本工事においては工事騒音や地盤沈下等周辺への影響を極力抑制すること、および近隣住民との良好な信頼関係の構築に努め、大きな苦情等なく工事を完了できた。具体的な取組内容を以下に示す。 周辺への影響を考慮した施工方法の工夫 ① 隣接マンションの日照確保のための採光式防音壁の採用 ② 住民に配慮した土留工法の検討 ③ 周辺地盤に対する沈下の検討・追加対策の実施 近隣住民との良好な信頼関係の構築に係る取組 ① 現場見学会の開催 ② 現場内への談話室の設置 なお、こうした取組の結果、平成25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。			
	キーワード	合流改善 雨水貯留池 近隣住民対策		
	処理区名	野川処理区	位置区分	処理水 放流水
	職種区分	土木	施策区分	合流改善
	状態区分	工事	新規性	
実施年度	平成25年度	全体期間	平成22年度～平成25年度	
担当部署	流域下水道本部 技術部 工事課 土木工事係 佐藤 裕隆			
発 表 履 歴	局内	平成25年度 設計・工事事例発表会		
	局外			
調査方法				
関連情報				

番号	2-2-1	表題	疑似 AOA法と疑似 A0法の処理状況の比較	
内 容		新河岸水再生センターでは、より一層の全窒素及び送風量の削減を目的として、嫌気硝化内生脱窒法（Anaerobic Oxic Anoxic Oxic method:以下、AOA法）を模倣した疑似 AOA法を採用し調査を行った。AOA法とは、前段の好気槽で生成した硝酸性窒素を後段の無酸素槽で内生脱窒させる方法である。同形状の2槽の反応槽のうち一方を疑似 AOA法、他方を疑似嫌気好気活性汚泥法（Anaerobic Oxic method:以下、疑似 A0法）として運転した結果、疑似 AOA法では疑似無酸素槽における脱窒により、疑似 A0法と比較して全窒素を約1割程度削減することができた。しかし、送風量に関しては、流入水量バランスの調整が難しいことや DO 制御の不調により、これらの削減効果は評価できなかった。		
キーワード		疑似 AOA法 全窒素 送風量 無酸素槽 内生脱窒		
処理区名		新河岸処理区		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		新規性 新規知見あり
実施年度		平成 25 年度		全体期間 平成 25 年度
担当部署		西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 水質管理係		
発表履歴		局内	平成 25 年度 水質技術研究発表会	
		局外		
調査方法		直営調査		
関連情報				

番号	2-2-2	表題	森ヶ崎水再生センター西施設における窒素処理に関する取組	
内 容	現在、下水処理施設では東京湾の赤潮の一因とされる窒素やリンの更なる除去が求められている。森ヶ崎水再生センター西施設では、平成 23 年 7 月より余剰汚泥を分離送泥することが可能になり、リン処理が比較的良好に行えるようになった。一方、窒素処理に関しては、(1)低水温期に硝化が不十分な反応槽が出現する、(2)浅槽反応槽であるためか脱窒を十分に行えず処理水の全窒素濃度が高い、という課題を抱えている。また、新たな二軸管理手法の導入により、全窒素濃度の低下と送風電力量原単位の削減を両立することも求められている。このような状況の中で以下に示した取り組みを行い、窒素処理についての一定の成果を得ることができたので報告する。 (1) 流入水温に応じた反応槽内のMLSS濃度目標値を設定し、きめ細かな維持管理を行うことで、送風量を増やすことなく、通年にわたって安定的に硝化を行うことができた。 (2) 返送汚泥率を高め設定し、返送汚泥とともに回路前段部へ返る硝酸性窒素の量を増やした運転を行うことで、脱窒を促進させ、処理水の全窒素濃度を低下させることができた。			
キーワード	窒素除去、MLSS濃度、返送汚泥率、送風電力量			
処理区名	森ヶ崎処理区		位置区分	処理場 水再生センター
職種区分	水質		施策区分	高度処理 温室効果ガス削減対策
状態区分	調査 研究		新規性	
実施年度	平成 25 年度		全体期間	平成 24 年度～平成 25 年度
担当部署	森ヶ崎水再生センター 水質管理係			
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 水質技術研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報	経営計画 2013			

番号	2-3-1	表題	葛西水再生センターにおける低動力型脱水機の効率的運転について	
内 容	葛西水再生センターでは、「アースプラン 2010」に基づく汚泥処理工程におけるエネルギーの削減を目的として、平成 22 年度に老朽化した汚泥脱水設備の再構築を行い、局内第 1 号機となる低動力型二重円筒式加圧脱水機（以下、「加圧脱水機」という。）2 基を導入し、運用を開始した。 しかしながら、加圧脱水機は夏期を中心に発生する難濃縮性汚泥の影響や、汚泥発生量の変動に伴う汚泥焼却炉の発停などによる、投入汚泥の量・質的な変動に追従できず、設備稼働率の低下を招いていた。 このため、年間を通した濃縮汚泥の性状変動に対して安定的に処理を継続できるよう、加圧脱水機の前段部に汚泥を簡易的に濃縮する「調質槽」を追加し、加圧脱水機のろ過濃縮ゾーンの濃縮性能の向上と脱水性の改善を図った。 この結果、加圧脱水機の処理量を回復させることができ、薬注率、含水率、固形物回収率においても改善前と同等以上の結果が得られた。また、低動力である加圧脱水機の設備稼働率が向上し、遠心脱水機の代わりに運転することで、脱水における電力量原単位を約 20%削減することができた。 今後は、一年を通して設備稼働率の向上が可能となるよう、加圧脱水機の安定化運転を行うとともに、凝集剤（高分子凝集剤）の薬注率低減に向けた検討も進めていき、更なるコスト縮減に取り組んでいきたい。			
	キーワード	アースプラン 2010、低動力型脱水機、運転改善、汚泥調質		
	処理区名	葛西処理区	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	汚泥処分 汚泥資源化、効率化
	状態区分	維持管理	新規性	新規知見あり
実施年度	平成 24 年度	全体期間	平成 24 年度～平成 25 年度	
担当部署	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター スラッジ管理係 小川 誠			
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 下水道設備研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-3-2	表題	余剰汚泥の長時間貯留に伴う脱水性の検証	
内 容	みやぎ水再生センターでは、余剰汚泥量削減の取り組みにより、低含水率脱水汚泥の生産（H25 実績：含水率 70.8%）、汚泥焼却炉の自然焼却運転の促進により、汚泥焼却炉運転に要する都市ガス使用量及び汚泥焼却に伴う温室効果ガス排出量を削減している。 余剰汚泥は難脱水性の汚泥であり、脱水工程における余剰汚泥比率の大小は脱水汚泥の含水率に影響を与えている。このことから、更なる脱水性の向上を目指し、ベルトプレス型汚泥脱水機による 100%余剰汚泥の脱水性の把握とこの特性を活用した余剰汚泥のコントロールに向けた検証を実施した。 ① 100%余剰汚泥の貯留（腐敗進行）による脱水性の検証 脱水汚泥含水率は、貯留直後 82.9%、2 週間経過後 83.7%、2 週間平均 84.3%であった。このことから、2 週間程度の貯留による脱水性は大きく変化しないという貯留特性が確認できた。 ② 余剰汚泥の貯留特性を活用した余剰汚泥比率の調整の検証 通常の混合汚泥に貯留余剰汚泥を添加させて余剰汚泥比率を調整し、常時一定以下の含水率で脱水できることを確認した。 今後さらに検証を進め、余剰汚泥比率を調整することにより脱水汚泥含水率を制御する手法を実用化することは、自然焼却可能な脱水汚泥の効率的生産が可能となり、温室効果ガス発生量削減に寄与できる。			
	キーワード	余剰汚泥、長時間貯留、脱水性、余剰汚泥比率、自然焼却		
	処理区名	小台処理区	位置区分	処理場 水再生センター
	職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策
	状態区分	維持管理	新規性	新規知見あり
実施年度	平成 25 年度～平成 26 年度	全体期間	平成 25 年度～平成 26 年度	
担当部署	西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 佐藤 光昭			
発 表 履 歴	局内	平成 26 年度 下水道設備研究発表会		
	局外	平成 26 年度 第 51 回下水道研究発表会		
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-3-3	表題	森ヶ崎水再生センターにおける消化槽管理温度の設定変更による安定的な消化槽運転について	
内 容	森ヶ崎水再生センターでは、昭和 54 年度より汚泥減量化のために高温消化(50～57℃程度での消化)を行っている。消化槽の稼働当初は、一次消化槽の管理温度を 55℃に設定し、安定的に消化ガスを生成していた。平成 16 年度からは、発生した消化ガスをバイオマスエネルギーとして有効に利用するため、ガスエンジンによる常用発電事業が開始された。これに伴いガスエンジンの潤滑油の温度管理のため、一次消化槽の管理温度を高温消化適正範囲の下限値である 50 度に引き下げた。しかし管理温度引き下げ以降、消化プロセスに安定性を欠く傾向が表れた。 今回の調査では、一次消化槽の最適な管理温度を調査し、安定した消化槽の運転が確認できたので報告する。			
キーワード	消化槽、消化ガス発電、バイオマス、森ヶ崎エナジーサービス			
処理区名	芝浦、森ヶ崎処理区		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	汚泥処分 汚泥資源化
状態区分	維持管理		新規性	
実施年度	平成 24 年度～25 年度		全体期間	平成 24 年度～平成 25 年度
担当部署	森ヶ崎水再生センター 設備整備係 藤井 晋司			
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 下水道設備研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-4-1	表題	高度処理の推進と地球温暖化対策の両立に向けた課題と対応	
内 容	東京都下水道局は、環境負荷の最も少ない都市の実現に向けた取組として、高温省エネ型焼却炉（ターボ型流動炉、ガス化炉、多層型流動炉）の計画的な導入や高温焼却の実施により、温室効果ガスの削減を図りつつ、良好な水環境の創出と公共用水域の更なる水質向上に資することを目的に高度処理の普及に努めてきた。 一方、近年多摩地域の複数の水再生センターで、焼却炉の排気ガスダクトや流動砂にリン化合物が付着することで、閉塞や流動不良が頻発し問題となっているその原因は、リン化合物の挙動と考えられ、焼却灰中のリン化合物の増加、焼却温度、他の金属類含有量の影響が推察されている。 そこで、焼却灰中のリン化合物、焼却温度と焼却灰付着との因果関係を解明するため、23区及び多摩地域の水再生センターの焼却灰の分析調査を実施した。 分析調査の結果及びこれまでの閉塞事例の経験から、焼却灰中のP₂O₅の構成比の把握が閉塞のリスクを評価する上で重要であることが明らかになった。 また、既に閉塞が生じているセンターにおいては、ポリ鉄の注入や適正な温度管理などの当面の対策を実施するとともに、原因究明に向けた調査検討を引き続き行っていく。			
	キーワード	リン、閉塞、流動不良、P ₂ O ₅ の構成比、ポリ鉄		
	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	高度処理、温室効果ガス削減対策
	状態区分	調査 研究	新規性	新規知見あり
実施年度	平成 25 年度	全体期間		
担当部署	計画調整部技術開発課			
発 表 履 歴	局内	平成 26 年度 下水道設備研究発表会		
	局外	平成 26 年度 第 51 回下水道研究発表会		
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	2-4-2	表題	多層燃焼炉における燃費改善に向けた取組	
内 容	当局では、これまでに下水道事業における地球温暖化防止の道筋を示す「アースプラン」(2004, 2010) を策定し、温室効果ガスの削減に取り組んでいる。この取組みにより、特に下水汚泥の高温焼却の推進によって一酸化二窒素 (N₂O) を大幅に減らしてきた。その一方で、下水汚泥の高温焼却は、焼却に要する燃料や電力の使用量が増加するといった課題があったため、これまでも下水汚泥の低含水率化などに取り組み、燃料等の削減に努めてきた。 多層燃焼炉は、燃料等の増加を抑えつつ、N₂O 排出量を高温焼却以上に削減できる燃焼方式であり、当局では平成 21 年以降導入を進めている。今回、多層燃焼炉（南部スラッジプラント 4 号炉）における更なる燃費改善の取組として、「空気比最適化制御」を調査研究した結果、定格運転における燃料等の削減効果や汚泥処理量変動時にも安定操炉が可能であることが確認できた。			
キーワード	都市ガス、空気比、多層燃焼炉、温室効果ガス削減対策			
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	エネルギー 熱利用、温室効果ガス削減対策
状態区分	調査 研究		新規性	
実施年度	平成 24 年度		全体期間	平成 25 年 1 月～平成 25 年 3 月
担当部署	施設管理部 施設管理課 維持係 大島 和峻			
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 設備研究発表会		
	局外			
調査方法	委託調査			
関連情報				

番号	2-4-3	表題	南多摩水再生センター・未利用エネルギーの導入		
内 容	当局では、2010 年に「アースプラン 2010」を策定し、事業活動から発生する温室効果ガス排出量を 2020 年度までに 2000 年度比 25%以上削減することを目標に掲げ、新たな削減技術の導入など様々な対策を進めている。				
	また東日本大震災により発生した原子力発電所の停止に伴う電力供給量不足や計画停電は、電力会社に依存している今後の下水道事業における電力の安定供給確保に向けて大きな課題を残した。このため可能な省エネルギー施策、創エネルギー施策を進め、水再生センターにおける自前の電力を確保するなど、多様な手段によりエネルギー自給率を高めることが喫緊の課題となっている。				
	今回、南多摩水再生センターにおいて、建設中の汚泥焼却炉にこれまで活用できなかった低温域の廃熱を活用するバイナリー発電設備の設置および処理施設保護のために保有している緩斜面を有効活用した太陽光発電設備を設置する未利用エネルギーの活用を計画した。				
キーワード	再生可能エネルギー バイナリー発電 太陽光発電 温室効果ガス削減 電力				
処理区名	南多摩処理区		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 温室効果ガス削減対策	
状態区分	計画		新規性	新規知見あり	
実施年度	平成 24 年度		全体期間		
担当部署	流域下水道本部 技術部 計画課 望月伸行				
発 表 履 歴	局内				
	局外	平成 26 年度 第 51 回下水道研究発表会			
調査方法					
関連情報					

番号	2-4-4	表題	ステップ A ₂ O 法の処理特性及び NH ₄ -N 制御の有効性について	
内 容	北多摩二号水再生センターでは、ステップ A₂O 法反応槽施設を平成 24 年 9 月から運用しており、ステップ比や各好気槽の硝化量が処理性や必要送風量に及ぼす影響を調査している。平成 24 年度から平成 25 年度までの調査結果から、当処理方法において処理性を維持しつつ送風量を低減する運転条件について以下のような知見が得られた。 ・ステップ比(嫌気槽流入水量／総流入水量)を高くすると、処理性が向上する一方、送風量が増加する。 ・処理水窒素濃度は、ステップ比、硝化液循環比、汚泥返送比、第一好気槽出口の NH₄-N 濃度で制御できる。 ・NH₄-N 制御を行うことで、ステップ比の上昇に伴う送風量増加を抑制できるほか、処理水 NH₄-N 濃度をおおむね一定の値に制御できる。 ・平成 25 年度の処理実績では、ステップ A₂O 法は制限曝気 A₂O 法と比較して、処理水窒素濃度、処理水量あたり送風量ともに 1 割以上優れている。			
キーワード	ステップ A ₂ O 法 ステップ比 NH ₄ -N 制御 窒素除去率			
処理区名	北多摩二号処理区		位置区分	処理場 水再生センター
職種区分	水質		施策区分	高度処理 温室効果ガス削減
状態区分	調査 研究		技術区分	
実施年度	平成 25 年度		全体期間	平成 24 年度～平成 25 年度
担当部署	流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター 和光一紀			
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 水質技術研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報	経営計画 2013			

番号	2-4-5	表題	北多摩二号水再生センターにおける二軸管理の取組について (事例報告)		
内 容	流域下水道本部では、温室効果ガスの削減と水環境の保全を目指し、送風機電力原単位（以下、原単位）と放流水 T-N 濃度を管理目標とした二軸管理に取り組んでいる。 一般的に、小規模な水再生センターほどきめ細かな水質管理が可能な一方、処理水量が少なく送風機電力量原単位の削減が難しい。本報告は晴天日平均受水量が約 40,000m³/d と流域下水道本部の水再生センターの中で最小である北多摩二号水再生センターにおいて、放流水 T-N 濃度を良好に維持しつつ、原単位の削減に取り組んだ事例を報告するものである。				
キーワード	二軸管理 T-N 濃度 送風機電力原単位 幹線貯留 送風機 1 台運転				
処理区名	北多摩二号処理区		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質		施策区分	温室効果ガス削減	
状態区分	調査 研究		新規性		
実施年度	平成 25 年度		全体期間		
担当部署	流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター 塩見浩				
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 水質技術研究発表会			
	局外				
調査方法	直営調査				
関連情報	経営計画 2013				

番号	2-4-6	表題	葛西水再生センターにおけるアンモニア DO 制御の安定運用に向けた取組について			
内 容	当局では「アースプラン 2010」に基づき、温室効果ガス削減に向けて省エネルギー機器の導入や水処理工程の見直しを行っている。特に水処理工程の電力消費量は下水処理全体で大きな割合を占めるため、一層の電力量削減が求められる。その一方で、水質への影響についても考慮しなければならない。 葛西水再生センターでは、反応槽のきめ細やかな制御により電力消費量を削減するため、南系反応槽に小型送風機、メンブレンパネル及びアンモニア DO 制御設備が、平成 22、23 年度の 3 件の工事により整備された。アンモニア DO 制御は、電力量削減と良好な水質の確保の両立を狙って導入されたシステムであり、稼働当初から最適な状態で運用するために、現場職員による各設備の総合調整、各種検討が必要となった。 本稿では、取組みによって明らかになった送風バランスやライザー弁開度等についての注意点を示すとともに、アンモニア計の測定値がカートリッジの個体差によってばらつくことを報告する。					
	キーワード 送風量制御 アンモニア DO 制御 アンモニア計 省電力					
	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	設備		施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	維持管理		新規性	新規知見あり		
実施年度	平成 24 年度		全体期間	平成 24 年度～平成 25 年度		
担当部署	東部第二下水道事務所 葛西水再生センター 菊池 一成					
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 下水道設備研究発表会				
	局外					
調査方法	直営調査					
関連情報						

番号	2-4-7	表題	南部スラッジプラントにおける 既設遠心脱水機の改良によるエネルギー削減効果について		
内 容		南部スラッジプラントには平成 25 年 4 月現在、汚泥脱水処理能力 50m³/h の遠心脱水機が計 12 台ある。その内訳は、従来型遠心脱水機が 4 台（うち 2 台は平成 25 年度末に低動力型に更新予定）、改良型遠心脱水機が 4 台、低動力型高効率脱水機が 4 台である。 従来型から低動力型への更新までの期間、従来型の性能向上による使用電力量と高分子凝集剤使用量の削減を目的として、機械設備と電気設備の一部改良・部品交換を行い、従来型の性能を低動力型と同程度にする改良工事を実施した。（平成 23 年度 2 台、平成 24 年度 2 台） 従来型の改良を実施した改良型遠心脱水機の運転結果（平成 24 年 5 月～平成 25 年 2 月までの 10 ヶ月間）により、改良型のエネルギー削減効果を確認することができた。			
キーワード		汚泥脱水 遠心脱水機 エネルギー削減 従来型改良			
処理区名		森ヶ崎処理区		位置区分	汚泥
職種区分		設備		施策区分	温室効果ガス削減対策
状態区分		調査 研究		新規性	
実施年度		平成 24 年度		全体期間	平成 23 年度～平成 25 年度
担当部署		森ヶ崎水再生センター 南部スラッジプラント 管理係 板崎 吉則、榎本 皓太			
発 表		局内	平成 25 年度 設備研究発表会		
履 歴		局外	平成 25 年度 第 50 回下水道研究発表会		
調査方法					
関連情報					

番号	2-4-8	表題	東部スラッジプラントにおける汚泥焼却設備 3 号炉高温制御装置の N ₂ O 削減効果に関する調査		
内 容		東部スラッジプラント汚泥焼却設備は、N₂O 排出削減のため高温焼却を行っている。高温焼却を行うには、珪砂量、流動空気量を減じて O₂ 濃度を小まめに管理する必要がある。このようなきめ細かな運転制御は、既設の自動制御では追従することができなかった。このため、焼却炉の管理値の範囲内でオペレータが運転条件（珪砂量、流動空気量、O₂ 濃度等）を設定する手動運転にて高温焼却を実現してきた。 汚泥焼却設備 3 号炉の制御装置が高温焼却用に改良されたことに伴い、従来の制御装置と新たな高温制御装置との比較調査を平成 24 年度に実施し、N₂O 排出量削減効果を検証した。 調査の結果、高温制御装置（自動運転）は、従来行ってきた手動運転と同様に高温焼却が可能で温室効果ガスの排出削減効果が確認できた。一方、高温制御装置（自動運転）は、空気予熱器出口温度制御との関連性がなく、自燃性が高い汚泥性状時、廃熱ボイラーの過大な主蒸気量の発生を招くことが分かった。このため、付帯設備を含めた焼却炉の全体システムで安定した自動運転が可能な制御装置への改善が今後必要である。			
キーワード		高温焼却、N ₂ O 制御、都市ガス、省力化			
処理区名		砂町処理区	位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分		設備	施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分		工事、維持管理	新規性	新規知見あり	
実施年度		平成 24 年度	全体期間	平成 24 年度	
担当部署		東京都下水道サービス株式会社 施設管理部 東部スラッジセンター			
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 設備研究発表会			
	局外				
調査方法					
関連情報					

番号	3-1-1	表題	誰でも簡単に活性炭の脱臭能力を把握できる pH 診断法の開発	
内 容	下水道施設から発生する臭気防止対策として、活性炭等を使用した脱臭設備がある。脱臭設備の脱臭能力は、3 点比較式臭袋法による臭気測定結果をもとに判断していたが、コストと時間を要するため、現状の脱臭能力を迅速に把握することが困難であった。 そこで、活性炭の脱臭能力を定量的に評価する手法として、pH 診断法を開発した。pH 診断法は、誰でも簡単に活性炭の脱臭能力を直接把握できるところにメリットがある。pH 診断法を活用した結果、従来の交換サイクルより活性炭を延伸して使用することで維持管理コストを削減するだけでなく、臭気基準値を遵守することができた。			
キーワード	臭気防止対策、脱臭設備、ヤシガラ活性炭、pH 診断法、予防保全			
処理区名		位置区分	ポンプ所、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	調査 研究		新規性	新規知見あり
実施年度	平成 25 年度		全体期間	平成 23 年度～平成 25 年度
担当部署	施設管理部環境管理課 熊田 翔史			
発 表	局内	平成 25 年度 局公開研修「下水道新技術」		
履 歴	局外	平成 25 年度 第 50 回下水道研究発表会		
調査方法	委託調査			
関連情報	経営計画 2013			

番号	3-1-2	表題	中川水再生センターにおける大腸菌の挙動及び測定法の課題について		
内 容	下水処理場における衛生学的管理指標としては、大腸菌群数が用いられている。しかしながら、環境基準においては、大腸菌群数から大腸菌数への基準の見直しが検討されており、基準の見直しは、放流基準や下水処理の維持管理等にも多大な影響を及ぼすと推測される。 下水処理場においては長年、大腸菌群数を指標とする運転管理を行っているものの、下水処理における大腸菌の挙動に関する知見は少ない。 このため本調査は、大腸菌単独の測定が可能である特定酵素基質寒天培地法のクロモアガーECC 培地法及びクロモアガーE. coli 培地法を用いて、当センターにおける大腸菌の実態を把握したものである。調査を通して、以下のことが判明した。 (1) 流入水及び放流水とも、従来より実施しているデソ培地法で測定した大腸菌群数と、特定酵素基質寒天培地法の2法で測定した大腸菌数は、各々高い相関が得られた。 (2) 希釈倍率が低すぎるとコロニーが多数出現し、大腸菌群及び大腸菌のコロニーが十分に生育できないことから、測定対象菌種のコロニーに合わせた希釈倍率の設定等、測定法に関する課題が示唆された。 (3) 選択性の高い特定酵素基質寒天培地法を用いても、色調や形状等の視点から、大腸菌として扱うには疑問と思える偽陽性的なコロニーが出現ことから、他の試験方法の併用の必要性が示唆された。				
キーワード	大腸菌 大腸菌群 特定酵素基質寒天培地法				
処理区名			位置区分	処理水 放流水	
職種区分	水質		施策区分		
状態区分	調査研究		新規性		
実施年度	平成 25 年度		全体期間		
担当部署	東部第二下水道事務所 中川水再生センター 藤田 勇				
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 水質技術研究発表会			
	局外	平成 26 年度 第 51 回下水道研究発表会			
調査方法	直営調査				
関連情報					

番号	3-1-3	表題	硝化速度測定における新手法の導入について	
内 容	硝化速度は反応槽の硝化状況を把握する上には重要な因子である。各センターで測定が行われているが、測定方法が統一されていない。そこで、当センターでは、簡易で高精度な振とう法で、多数の測定条件下での硝化速度の同時測定を行ってみた。その結果、硝化速度は MLSS 濃度や送風レベル等、測定条件の違いにより大きく異なり、センターごとに測定条件の違う硝化速度の値では、硝化能力の比較が難しいことがわかった。 この振とう法での測定条件を全センターで統一すれば、センター間での硝化速度の比較が可能となり、センター間の硝化の難易度比較等の前例のない知見が得られる。この一連の検討について紹介する。			
キーワード	硝化速度 振とう法			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	効率化	
状態区分	調査 研究	新規性		
実施年度	平成 25 年度	全体期間		
担当部署	東部第二下水道事務所 小菅水再生センター 水質管理係 近松康樹			
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 水質技術研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-2-1	表題	国指定重要文化財「旧三河島污水処分場唧筒場施設」の保存・復原について	
内 容		東京都荒川区にある旧三河島污水処分場は「近代下水道の発祥の地」であり、日本最初の下水処理施設として大正 11 年に運用を開始した。唧筒（ポンプ）場施設は、平成 11 年に休止するまで 77 年間稼働を続けた歴史的な建造物である。阻水扉室、沈砂池などの一連の構造物が、旧態を保持しつつまとめて残っており、近代下水道の構成を知る上で貴重な施設である。その高い歴史的価値が認められ、平成 19 年、国の重要文化財（建造物）に指定された。 当局では、施設の一般公開に向けて平成 22 年から保存・復原工事を行った。工事では、歴史的価値を損なわないように赤レンガタイルの復原や漆喰、擬石塗等、できる限り当時の技術を活用した。また、耐震性を確保しつつ、公開時のバリアフリー化を図るため、耐震補強を様々な方法で比較検討し、外観や建物内空間の保全を念頭に最適な工法で実施するとともに、ポンプ室内部を見学者が不自由なく往来できるように整備した。施設の見どころのひとつである地下暗きょは地上からも見学ができるように整備した。 下水道の歴史と意義を発信し下水道事業の重要性や役割を多くの人々に理解していただくために、平成 25 年 4 月から施設の一般公開を行っている。		
キーワード		国指定重要文化財、日本の近代下水道の発祥の地、旧三河島污水処分場、下水道の歴史と意義を発信、施設の一般公開		
処理区名			位置区分	処理場 水再生センター
職種区分		建築	施策区分	
状態区分		工事	新規性	
実施年度		平成 22 年度～平成 24 年度	全体期間	平成 22 年度～平成 24 年度
担当部署		施設管理部 施設保全課 建築保全係 渡邊 龍也		
発 表 履 歴		局内	平成 25 年度 設計・工事事例発表会 平成 25 年度 設備研究発表会	
		局外	平成 25 年度 第 50 回下水道研究発表会 平成 24 年度 全建賞受賞事業発表会 平成 26 年度 IWA 報告	
調査方法				
関連情報				

番号	4-1-1	表題	New Aeration Control System Based on Ammonium Measurements : Effect on Energy Saving and Denitrification in an Aerobic Tank アンモニア測定に基づく新しい送風制御システム-省エネ効果と好気槽内脱窒-	
内 容	送風機電力量は水再生センターで使用する電力量の約 4 割を占めており、当該電力量の削減は、温室効果ガス排出量の削減や維持管理コストの縮減に有効である。 下水処理に必要な空気量は、流入水の負荷変動や好気槽の処理状況によって常に変動することから、好気槽末端の溶存酸素濃度(DO)に基づき、槽全体に均等に空気を供給する DO 制御では、余裕を持たせた送風を行うことで負荷変動に対応していた。 そこで今回、好気槽の各回路にアンモニア連続測定計とDO計、反応槽入口に流量計を設置し、回路毎の硝化速度から求められる必要空気量（演算風量）をリアルタイムに当該回路に供給する送風量制御システム（硝化速度制御）の開発を行った。反応槽流入水、反応槽最終回路のアンモニア濃度に応じて、それぞれフィードフォワード、フィードバックで風量の補正も行った。なお、低送風の影響で散気装置の孔が目詰まりしないように通気量に応じて散気膜が伸縮するメンブレン式散気装置を採用し、必要空気量が設備的な最低送風量を下回る場合には、間欠曝気により対応した。 水処理実験プラントを用いて、同じ流入下水を硝化速度制御と従来の DO 制御の 2 種類の制御方法で処理し、同等の処理水質が得られたときの送風倍率を比較したところ、硝化速度制御では DO 一定制御より 20%以上削減できた。通常の流入負荷条件において各回路の DO を比較すると、硝化速度制御では全回路で 0.5mg/L を下回り、必要最低限の空気量を供給できていたと考えられた。また、必要な酸素を供給できていれば低 DO でも硝化が進行することも確認できた。 本制御を稼働するためには、各回路に風量調節弁および風量計の設置が必要となるが、温室効果ガス排出量の削減を目指していくためには、必要な設備である。今後、回路毎の風量制御が他系列の送風制御に及ぼす影響について検証を行うとともに、送風量の最適化に伴う効果として、好気槽内脱窒による窒素除去効果の確認を進めていく。			
キーワード	アンモニア制御、省エネルギー、温室効果ガス			
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター	
職種区分	水質	施策区分	温室効果ガス削減対策	
状態区分	調査 研究	新規性	新規知見あり	
実施年度	平成 23 年度、平成 24 年度	全体期間	平成 23 年度～24 年度	
担当部署	計画調整部 技術開発課 濱本亜希			
発 表 履 歴	局内			
	局外	平成 26 年度 第 51 回下水道研究発表会 2013 年 第 86 回 WEF 年次総会・研究発表会 米国・シカゴ		
調査方法	共同研究			
関連情報				

番号		4-2-1		表題		Sewerage Plan for the Prevention of Global Warming in Tokyo ～Earth Plan-2010～ 東京の下水道事業における地球温暖化防止計画～アースプラン-2010～	
内 容		東京都下水道局は、京都議定書に先駆け、2004（平成 16）年 9 月にアースプラン 2004 を策定した。この計画では、温室効果ガス排出量を 2009（平成 21）年度までに 1990（平成 2）年度比で 6%以上削減することを目標としたが、実際には約 16%の削減が達成できた。引き続き、当局では、2010（平成 22）年 3 月にアースプラン 2010 を策定し、2020（平成 32）年度までに 2000（平成 12）年度比の 25%以上の削減を目指している。					
		2011（平成 23）年度の実績では、汚泥焼却での一酸化二窒素と焼却燃料由来の二酸化炭素の削減に成功しているが、汚泥焼却で使用される電力由来の二酸化炭素と水処理由来の一酸化二窒素・二酸化炭素は削減できていない。そこで、これら由来の温室効果ガスの削減対策を進める必要があった。					
		対策として、1) 新たな燃焼方式による汚泥焼却炉、2) 従来プロセスと同等のエネルギーによる栄養塩類除去プロセス、の 2 つの施設・設備の導入を進めている。					
		汚泥焼却炉では、①多層型流動焼却炉、②ターボ型流動焼却炉の 2 つを開発した。					
		①は、焼却炉の高層と低層の 2 個所に新たに空気を吹きこむことで、炉内の高温域拡大により、燃焼の効率を図るというものである。					
		②は、廃熱を集じん機で回収し、ターボチャージャーに送り、そこで作った圧縮空気を高圧の焼却炉内に送ることで、燃焼速度の上昇と高温での焼却が可能となる、というもので、一部のブローが不要となり、電力使用量の削減につながる。					
		一方、水処理では、従来の標準活性汚泥法と高度処理（A ₂ O）プロセスの中間的な処理方法（準高度処理）を推奨している。これは、既存の施設の活用と運転改善により、前段の空気を絞り、疑似 A0 法的な運転を行うことで消費電力は、標準活性汚泥法と同等で、処理水質は（標準法を 100%とした時）、窒素で 85%、りんで 50%除去可能となる。					
		このように、新技術の導入（ハード対策）と運転改善・工夫（ソフト対策）の両立でアースプラン 2010 に掲げた目標を達成し、下水道局として、地球温暖化防止と省エネルギーに大きく貢献していきたい。					
キーワード		温室効果ガス削減、新汚泥焼却技術、準高度処理、栄養塩類除去					
処理区名				位置区分		処理場 水再生センター	
職種区分		設備		施策区分		温室効果ガス削減対策	
状態区分		計画、工事、維持管理		新規性		新規知見あり	
実施年度		平成 25 年度		全体期間		平成 22 年度～平成 32 年度	
担当部署		計画調整部計画課、カーボンマイナス推進担当					
発 表		局内					
履 歴		局外		2013 年 第 10 回 IWA 上下水道における最新技術会議（Leading Edge Technology）			
調査方法							
関連情報		経営計画 2013、アースプラン 2010					

番号	4-3-1	表題	Earthquake and Tsunami Countermeasures of Tokyo' s Sewerage 東京下水道の地震・津波対策		
内 容	東京都では東日本大震災の甚大な被害を踏まえ、地震・津波対策の基本方針を取りまとめるため、学識経験者からなる委員会を設置した。委員会からの提言を受け、東京都下水道局では、（１）津波に備えた下水道施設の耐水化、（２）津波発生時における下水道管内への逆流防止対策としての高潮防潮扉の遠方制御等による自動化（３）下水道施設の耐震化に係る計画「下水道施設の地震・津波対策整備計画」を策定した。内容は以下のとおり。 （１）水再生センター及びポンプ所の耐水化（津波に備えた耐水化） 東京都防災会議で示された最大津波高さ（T.P.+2.61m）に対して、地盤高さが低い施設を対象に電気設備などへの浸水を防ぐ耐水化を実施 （２）下水道管内への逆流防止対策 津波発生時の閉鎖の迅速性、安全性を確保するため、最大津波高さより周辺の地盤高さが低く、自動的に閉鎖する装置がない高潮防潮扉を対象に遠方制御による自動化などを実施 （３）水再生センター及びポンプ所の耐震化 区部すべての水再生センターとポンプ所を対象に震災時においても揚水や簡易処理、消毒等必ず確保すべき機能を担う施設の耐震化を実施 耐水化と高潮防潮扉の遠方制御等については平成 28 年度までに、耐震化については平成 31 年度までに対策を完了させる予定である。				
キーワード	地震対策、津波対策、耐水化、耐震化、高潮防潮扉操作				
処理区名		位置区分	管きょ、ポンプ所、処理場 水再生センター		
職種区分	土木	施策区分	震災対策、危機管理		
状態区分	計画	新規性	新規知見あり		
実施年度	平成 24 年度	全体期間			
担当部署	計画調整部 計画課 引野 政弘				
発 表 履 歴	局内	平成 25 年度 下水道局公開研修「下水道新技術」			
	局外	2013 年 第 5 回 IWA-ASPIRE 韓国・テジョン			
調査方法					
関連情報	経営計画 2013、下水道施設の地震・津波対策整備計画				

番号	4-3-2	表題	Renewal of the Radars of Rainfall Information System: Tokyo Amesh 東京アメッシュレーダーの更新について		
内 容	“東京アメッシュ”は、2002年に運用を開始した、東京都下水道局のレーダー雨量計システムである。東京アメッシュによる降雨の情報は、ポンプ所や水再生センターの効率的な運用に用いられている。東京アメッシュのレーダーは稼働から10年以上が経過し、近頃は老朽化等による問題が度々発生している。 そこで、現行のレーダーを多くの種類の気象情報を得られる新型のXバンドマルチパラメーターレーダーに更新することにより、信頼性を確保するとともに、精度を向上していく。また、今後の取組みとして新型レーダーを用いて都市型豪雨を素早くとらえる試みや、雨量計の維持管理コストを縮減する取り組みを進めていく。				
キーワード	レーダー雨量計システム, Xバンドマルチパラメーターレーダー, 都市型豪雨				
処理区名			位置区分	ポンプ所、処理場、水再生センター	
職種区分	設備		施策区分	浸水対策	
状態区分	工事、維持管理		新規性		
実施年度	平成25年度		全体期間	平成24年度～平成25年度	
担当部署	施設管理部施設管理課 小鮎 格久				
発 表 履 歴	局内				
	局外	2013年 第5回 IWA-ASPIRE(ポスター発表) 韓国・テジョン Water Practice & Technology, volume 8, issue 3-4, P440-447			
調査方法					
関連情報	経営計画2013				

番号	4-3-3	表題	Technology for Reducing Nitrous Oxide (N ₂ O) Generated from Wastewater Treatment Process 下水処理過程における N ₂ O 排出抑制技術の開発	
内 容	東京都下水道局は、地球温暖化対策として、2020 年度までに温室効果ガス排出量を 2000 年度比で 25%削減する計画を推進している。汚泥焼却過程の N₂O については、高温焼却の導入等により大幅削減をすでに実現している。 現在は、さらなる削減に向けて、下水処理過程で排出されるの N₂O の削減技術と、発生した N₂O の分解技術の確立を進めている。 これまでの研究から、①N₂O の大部分が好気槽において生成、排出されており、N₂O 生成に寄与する主な因子は硝化過程での亜硝酸の蓄積や SRT（汚泥滞留時間）、DO（溶存酸素濃度）であること、②A₂O 法の嫌気、無酸素槽においては、N₂O が主に脱窒反応により分解されていること、がわかっている。 上記知見を踏まえ、本研究では次のことを解明した。 ① 回分実験装置を用いた実験で、ばつ気開始時から高風量とした場合に亜硝酸が蓄積しやすく、N₂O が多く排出されることを確認し、好気槽における送風パターンの最適化（反応槽前段の送風量を抑制）により硝化速度をコントロールすることで、N₂O の削減が可能であること ② N₂O を含む好気槽の排ガスの一部を嫌気槽に再送気することで、N₂O の脱窒分解が可能であること			
	キーワード	温室効果ガス、一酸化二窒素（N ₂ O）、発生要因、亜硝酸（NO ₂ ）、脱窒分解		
	処理区名		位置区分	処理場 水再生センター
	職種区分	水質	施策区分	温室効果ガス削減対策
	状態区分	調査 研究	新規性	新規知見あり
実施年度	平成 24 年度	全体期間		
担当部署	計画調整部 技術開発課 濱本亜希、施設管理部 環境管理課 根本忠浩			
発 表	局内			
履 歴	局外	2013 年 第 5 回 IWA-ASPIRE（IWA アジア太平洋地域会議）韓国・テジョン		
調査方法	直営調査、委託調査			
関連情報				

論 文 集

1-1-1 支障物撤去を伴う日比谷線直下の横断推進

中部下水道事務所建設課 小川 雄也

1. はじめに

現在、中央区日本橋小網町、日本橋蛸殻町付近の流域における汚水は老朽化している浜町幹線を経由し銭瓶ポンプ所に流下しており、雨水は、分水人孔を経て日本橋川に放流されている状況にある。

本工事では、老朽化対策、合流改善、雨水対策を目的として、汚水、雨水ともに茅場町幹線を経由し桜橋第二ポンプ所へ流下先を切り替えるための主要枝線を布設するものである（図1）。この主要枝線の第一期工事（図2）では、泥濃式推進工で1500mmの管を施工するものであるが、本推進路線において、東京メトロ日比谷線の直下（離隔1.8m）の横断を行い、さらに支障となる日比谷線施工時の残置鋼矢板を地中にて撤去することとなった。

本稿では、このような地下鉄との極近接での推進施工という厳しい環境下における取組を紹介する。



図1 全体図



図2 主要枝線の整備概要図

2. 工事概要

事 件 名：中央区日本橋小網町、日本橋蛸殻町一丁目付近再構築工事

受 注 者：佐藤工業（株）

工 期：平成23年3月30日～平成25年3月22日

築造物内容	鉄筋コンクリート管	推進工法（泥濃式）	φ1500mm	320.85m
	鉄筋コンクリート管	特殊推進工法（泥濃式）	φ1500mm	75.00m
	人孔	2箇所		
	特殊人孔	1箇所		

3. 施工環境の特殊性

本工事における日比谷線直下箇所における現場の課題として、下記の三点がある。

- ① 東京メトロ日比谷線直下の推進横断時に地下鉄躯体との離隔が 1.8m しか確保できないこと（図 3）。
- ② 地下鉄の開削施工時の鋼矢板及び中間支持杭が推進路線上にあり、中間支持杭は地下鉄躯体の直下に位置すること（図 3）。
- ③ 地下鉄横断部の直上が交通量の多い都道の交差点部であること（写真 1）。

このため、地下鉄躯体との近接施工及び残置物の地中での撤去を供用中の地下鉄への影響を最小限にしながら、施工することが本工事の課題となった。

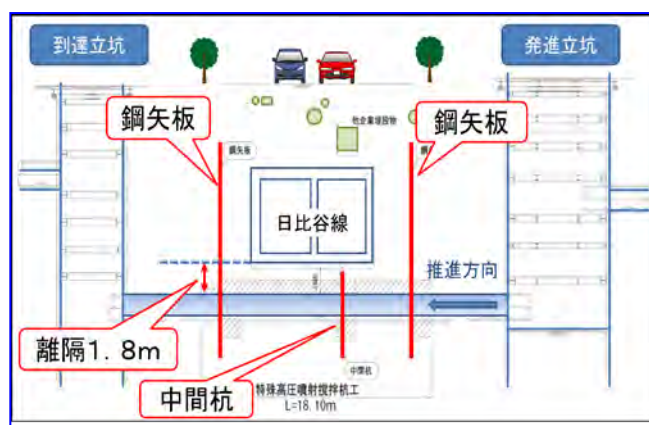


図 3 推進路線における問題点



写真 1 地下鉄横断部の直上状況

4. 施工方法の選定

上記の施工環境の特殊性を踏まえ、東京メトロとの近接施工協議を行った結果、施工方法の選定条件として下記の二点が挙げられた。

- ① 地下鉄直下の推進において、事前に地下鉄躯体直下に地盤改良を行うこと。
- ② 残置杭等の撤去を地中にて施工し、地下鉄への影響を最小限にすること。

以上のことを考慮し、地中にて障害物を除去する機能を有する 4 工法について比較検討した。（表 1）

- ① Do-Jet 工法
- ② DAPPI 工法 + MJS 工法（水平地盤改良）
- ③ 刃口推進工法 + MJS 工法（水平地盤改良）
- ④ ブロックボーリング工法 + 地上からの地盤改良

DAPPI 工法及び刃口推進工法の場合、水平地盤改良（MJS 工法）が必要となるが、残置鋼矢板があり地下鉄躯体直下での地盤改良が不可能である。また、ブロックボーリング工法については、地上部からの地盤改良が必要であるが、地上部が交通量の多い都道の交差点部であるため、地盤改良が不可能である。

表 1 推進及び地盤改良工法検討

		Do-Jet 工法	MJS工法 +DAPPI 工法	MJS工法 +刃口推 進工法	ブロック ボーリン グ工法
①	地盤 改良	○	×	×	×
②	鋼材 撤去	○	△	△	△
	総合 評価	○	×	×	×

これらのことから地盤への影響を最小限にしながら機内からの地盤改良、障害物除去が可能なD o - J e t 工法を採用することとなった。

5. 施工概要

日比谷線直下の推進では掘進機前面より改良材（セメントミルクと高圧ジェット水）を噴射し推進前方にアーチ状の地盤改良を施工（図4）し、改良材の硬化後に当該地盤改良範囲の下部を推進するという工程を繰り返し行うことにより推進を行った。

残置鋼矢板等の地中における除去においては、初めに前方探査を行い支障物の形状を把握した。当初鋼矢板と想定していた支障物がH鋼杭であったり、新たな支障物が出てくるなど想定外の事象が発生したが、その都度関連企業等と迅速に協議しながら支障物の形状に応じて地盤改良範囲を設定した。（図5、6）

この地盤改良の施工後には、掘進機前面から噴射される研磨剤を含んだ超高压ジェット水により鋼材の切断を行った。切断の際は常に土圧管理を行うことにより噴射による鋼矢板背面の地山の崩壊及び隆起を起こすことなく施工した。

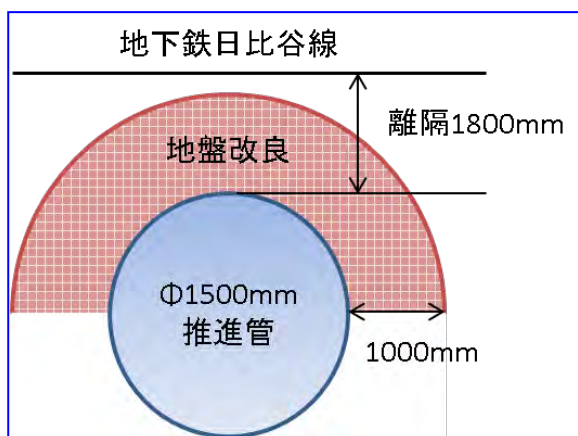


図4 地下鉄躯体直下の推進時における地盤改良位置

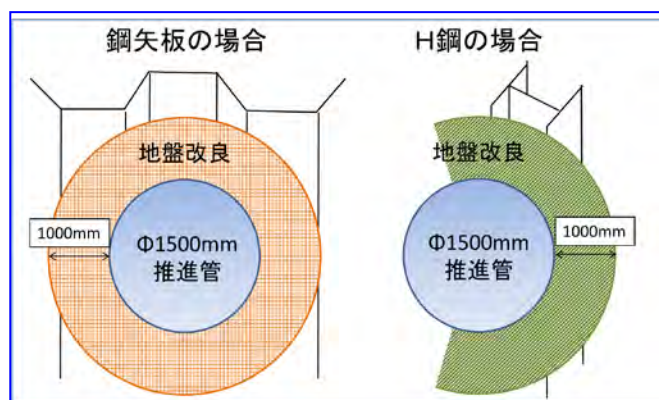


図5 残置鋼矢板等の切断に先立つ地盤改良範囲図

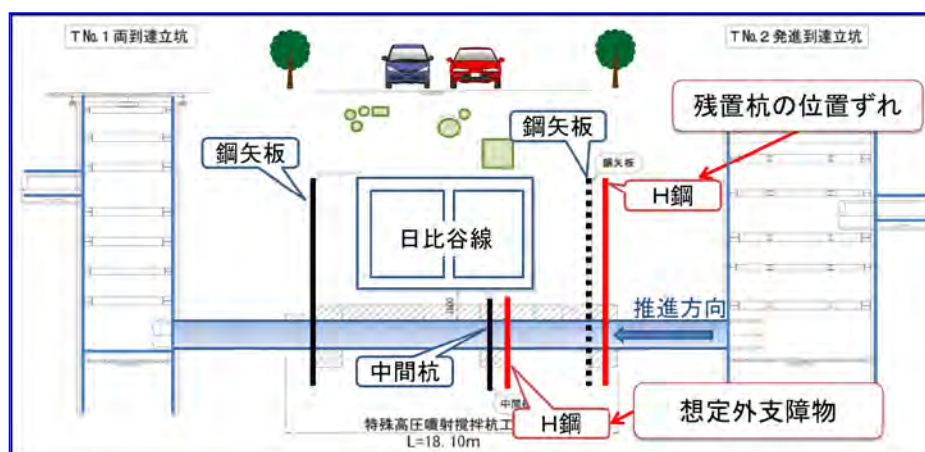


図6 残置鋼矢板等の位置

6. 計測管理

営業している地下鉄躯体の直下（離隔 1.8m）で横断、さらに支障となる残置鋼矢板等を地中にて撤去するため、常に細心の注意を払って施工をしなければならなかった。このため、推進施工中の地下鉄躯体の変状計測は本工事における重要な管理項目であった。計測管理の方法として、地下鉄営業線構内に沈下計（写真 2）を設置し、自動計測により地下鉄躯体の挙動を常時監視した。また、定期的に水準測量（写真 3）、水平測量を行うことにより複合的に計測管理を行った（図 7）。さらに、構内に Web カメラを 2 台設置し、視覚的な監視も行うことで変状の発生及びその兆候を早期に把握し、速やかに対策が講じられるようにした（写真 4）。東京メトロとの事前協議では、地下鉄躯体の変位が 3.5 mm（一次管理値）を超えた場合、早急に対策をとることとなっていたが、最終的に最大変位 0.5 mm（沈下）で掘進を完了させることができた。



図 7 計測測量



写真 2 沈下計



写真 3 水準測量状況

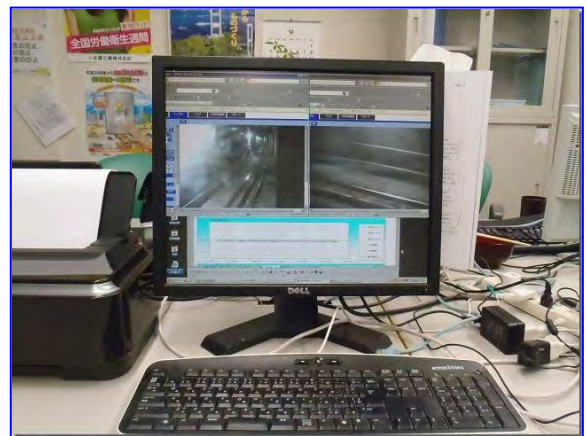


写真 4 Webカメラ監視状況

7. まとめ

地下鉄営業区間における極近接施工にあたって、東京メトロ及び他の埋設企業との綿密な協議、周辺地盤への影響を最小限にする施工検討（地盤改良、支障物切断）、想定外の事象が生じた時の的確な対応、万全を期したリアルタイムの計測管理を行うことで地下鉄に影響を与えることなく、施工を完了することができた。

1-1-2 老朽化対策先行整備（段階方式）の拡大に向けた取組

～実施設計における整備手法の比較・検証～

北都下水道事務所 再構築推進課
事業調査係 今井 翔子

1. はじめに

現在、区部の法定耐用年数を超えた下水道管の延長は、約 1500km に達するとともに、今後 20 年間で新たに約 6500km 増加する。このため、下水道局では、整備年代の古い都心 4 処理区を第一期再構築エリアとし、平成 41 年度までに再構築を完了させるため、管きよの老朽化を先行して整備を行う「老朽化対策先行整備（段階方式）」（以下、「老対（段階式）」という）を用い、再構築事業のペースアップを図っている。そのことを受け、実際に「老対（段階式）」を適用する工事のなかで、「通常整備」との比較・検証を行ったので以下にその取組みを紹介する。

2. 面再構築事業

2.1 面再構築事業の概要

枝線再構築事業、いわゆる面再構築事業では、既存の下水道管きよの更新、改良だけでなく、老朽化対策とあわせて、雨水排除能力の増強や耐震性の向上などを行っている。面整備の再構築工事では、主に道路を掘削する開削工法や非開削工法である内面被覆工法や推進工法を用いている。これらの工法は、既設管の健全度や流下能力により選定され、管径の増径やバイパス管を築造することで、雨水排除能力の向上を図っている。

2.2 整備手法

面再構築事業における主な整備手法を以下に示す。

2.2.1 老朽化対策先行整備

シミュレーション（50 mm/h・80%相当）により既設管きよの動水位が GL-1.0m 以下である場合に、現況の雨水排除能力のままで整備を行い、老朽化対策を行う整備手法である。工事としては内面被覆工法の割合が高くなり、全体的に道路掘削が少なくなる傾向がある。

2.2.2 通常整備

シミュレーション（50 mm/h・80%相当）により既設管きよの動水位が GL-1.0m より上である場合に、基幹施設を整備した後、老朽化対策と併せて雨水排除能力の向上を行う整備手法である。工事としては、開削工法や推進工法を用い、管径の増径やバイパス管を築造するため、工事規模が大きくなる傾向がある。

2.2.3 老対（段階式）

シミュレーション（50 mm/h・80%相当）により既設管きよの動水位が GL-1.0m より上である場合に、基幹施設が整備される前に、老朽化対策を先行して整備を行う。雨水排除能力の向上については、基幹施設の整備状況に合わせ、段階的に整備を行う手法である。工事としては、第 1 段階では内面被覆工法などで老朽化対策を行い、その後、第 2 段階、第 3 段階では開削工法や推進工法が用いられる傾向がある。

3. 北都下水道事務所管内の面再構築事業の現状

3.1 これまでの進捗について

北都下水道事務所管内では、平成 24 年度末現在、43.5%(1650ha)の面積において面再構築事業が完了している。近年は 100～120ha/年程度のペースで整備を進めてきた。

3.2 面再構築事業を進めるにあたっての制約

面再構築事業を推進していくにあたり、当事務所では下記の制約があり、「通常整備」で全ての面再構築事業を早期に整備を進めることが困難となっている。

- ① 河川放流制限 ・ ・ ・ 一部吐口で雨水放流量の制限が行われている。
- ② 基幹施設の未整備 ・ ・ ・ 処理施設やポンプ所が整備中もしくは未整備である。

3.3 老対（段階式）の適用拡大の必要性

今後、更新時期を迎える管きょが更に増加するため、整備ペースを向上させる必要が生じている一方で、当事務所では上記の制約を受け、「通常整備」が適用できない地域が多いため、老朽化対策を先行して行う「老対（段階式）」の適用を拡大していく必要がある。

4. 整備手法の比較検証

「老対（段階式）」の適用を拡大していくにあたり、どのような問題点があるのかを検証するために、実際の設計案件の中で、「通常整備」と比較を行った。

「通常整備」と「老対（段階式）」において、工事回数や施工内容を加味すると、それぞれの経済性と工期について以下のことが考えられる。

- ①自由水面確保の場合、経済性と工期ともに「通常整備」の方が優位
- ②能力確保^{*1}の場合、経済性と工期ともに「老対（段階式）」の方が優位

しかし、上記のことに対して北都下水道事務所では実際に比較し、確認したケースがないため、今回、ケーススタディとして実施設計で比較・検証を行った。

4.1 検証対象地区

今回の比較・検証の対象とした実施設計の概要を表 1 に示す。

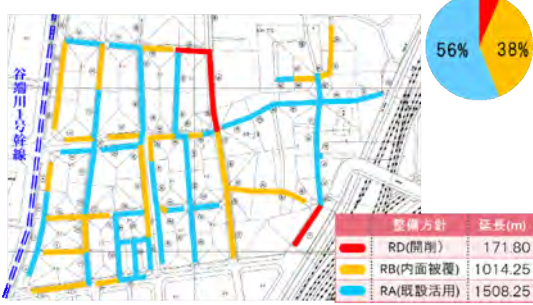
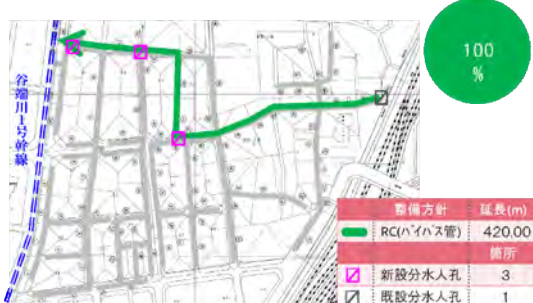
表 1 実施設計概要

件 名	豊島区池袋一、二丁目付近再構築実施設計	
対 象 場 所	豊島区池袋一、二丁目	
処 理 区	小台処理区	
流 域 / 延 長	約 8.60ha / 約 2700m	
水 の 流 れ	現況	
	将来	
汚水 ⇒谷端川④⇒石神井川下④ ⇒みやぎ水再生センター 雨水 ⇒谷端川④⇒谷端川雨水渠 ⇒石神井川 汚水 ⇒谷端川④⇒飛鳥山④ ⇒みやぎ水再生センター 雨水 ⇒谷端川1号④ ^{*2} ⇒石神井川		
布 設 年 度	40 年以上経過した管きょが全体の 15%	
健 全 度	比較的良好	

4.2 整備内容の検討結果

本実施設計において「通常整備」および「老対(段階式)」で設計を行った結果を表2に示す。

表2 各整備手法における整備内容(ケーススタディ)

施 工 内 容		概 要
通常 整備 備		既設管網を最大限活用し、RDで管径の増径や流向の変更、RBによる流量率改善を行い、流域全体の流下能力向上を図る。また、流向を谷端川1号幹線に切り替えるため、バイパス管を築造し、分水人孔を設置する。 [自由水面確保]
第 1 段 階		【管きよの老朽化対策】 健全度が良好な流域であるため、RDが6%となり、掘削が少なくなる。
第 2 段 階		【動水位をGL-1.0m以下】 バイパス管を築造し、分水人孔を設置することで、既設管の雨水をバイパス管に取り組み、谷端川1号幹線に流下させ、既設管の動水位を下げる。 [能力確保※1]
第 3 段 階		【雨水排除能力の向上】 雨水排除能力の向上を図り、自由水面を確保させる必要があるため、能力の足りない管きよはRDとなる。また、能力の向上を図るため、バイパス管を築造し、分水人孔を設置する。 [自由水面確保]

4.3 施工内容のまとめ

表 2 において、「老対（段階式）」の第 1 段階から第 3 段階までを累計し、各整備手法の施工内容を整理したものが表 3 である。

表 3 各整備手法における施工内容の比較

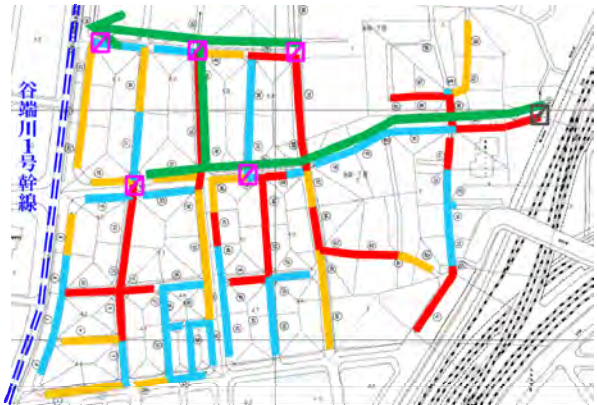
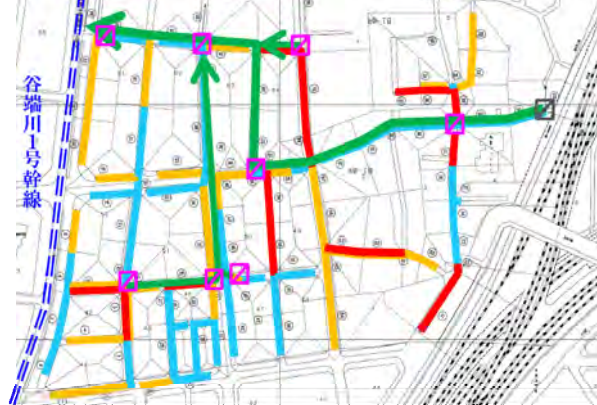
通常整備			老対（段階式）		
					
	RD(開削)	885.30m		RD(開削)	565.05m
	RB(内面被覆)	761.50m		RB(内面被覆)	1014.25m
	RA(既設活用)	1039.80m		RA(既設活用)	1508.25m
	RC(バイパス管)	547.00m		RC(バイパス管)	686.00m
	分水人孔	5 箇所		分水人孔	8 箇所
3233.60m			3773.55m		

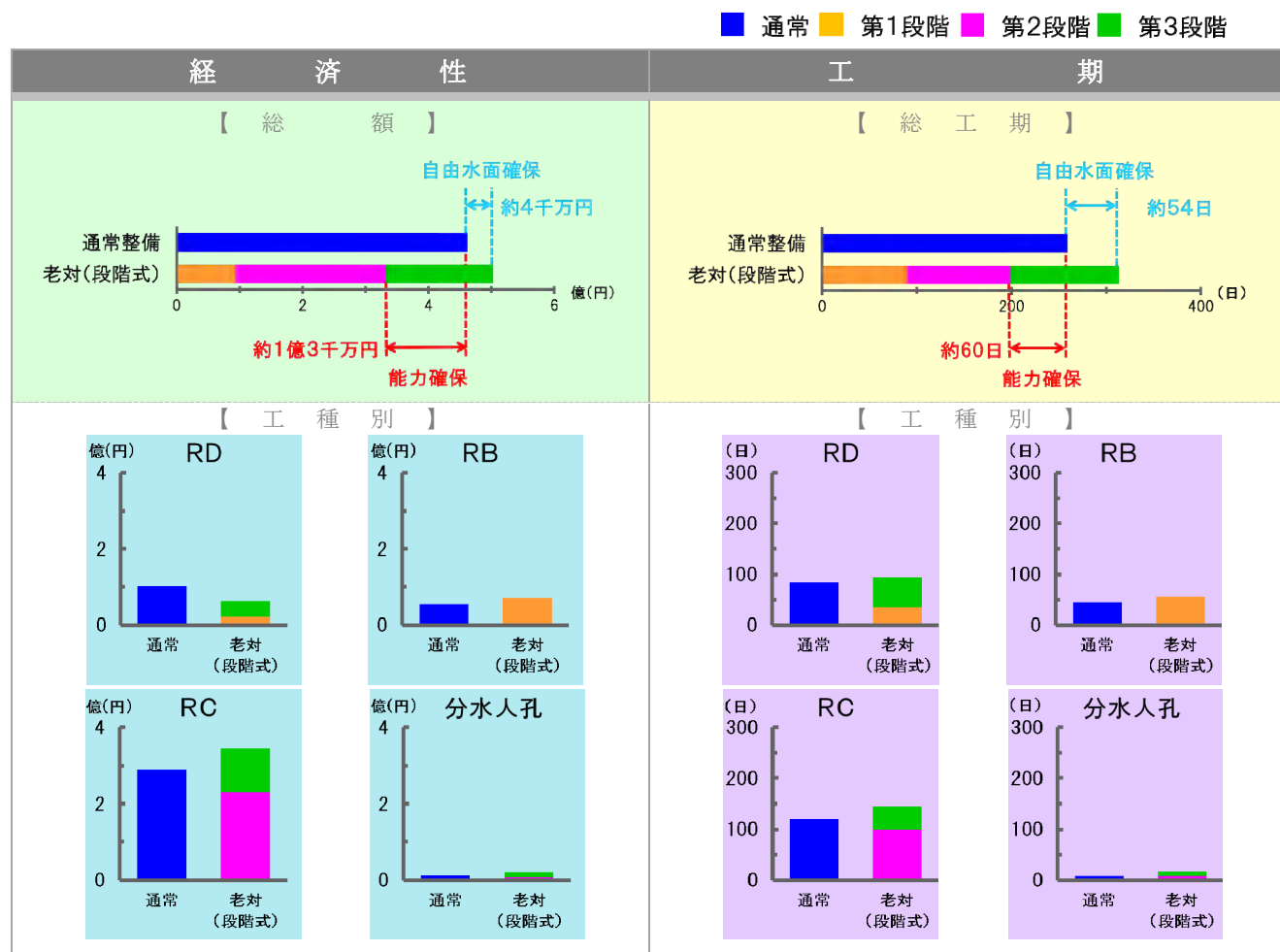
表 3 より、「老対（段階式）」は「通常整備」に比べ、RDの延長は短くなるが、RCの延長が長くなり、分水人孔が増えることが分かった。また、「老対（段階式）」は第 1 段階でRAやRBだった路線が第 3 段階ではRDとなる路線があるため、総延長が長くなることが分かった。

4.4 経済性・工期の比較

表 3 の結果を受け、各工種を行うために必要な費用や工期を算出したものを表 4 に示す。表 4 より、自由水面を確保する場合、「老対（段階式）」は、約 4 千万円（約 10% 程度）高くなり、工種別にみるとRCの差が総額に影響を与えていた。一方で、能力確保※¹の場合、「老対（段階式）」は、約 1 億 3 千万円（約 30% 程度）安くなることが分かった。

また、工期について比較すると、自由水面を確保する場合、「老対（段階式）」は、約 54 日間（約 20% 程度）長くなり、工種別にみるとRCの差が影響を与えていた。一方で、能力確保※¹の場合、「老対（段階式）」は、60 日間（約 30% 程度）早くなることが分かった。

表 4 各整備手法における施工内容の比較



5. 比較検証の考察

5.1 経済性・工期の比較における留意点

図 1 に示すように、今回は時間軸を現在に固定し、「老対（段階式）」の各段階も引き続き整備を行う形で比較を行った。しかし、実際は、3. 2 で示したように制約があるため、「通常整備」や「老対（段階式）」の第2段階を継続して行うことはできない。そのため、実際の時間軸は図 2 のようになる。

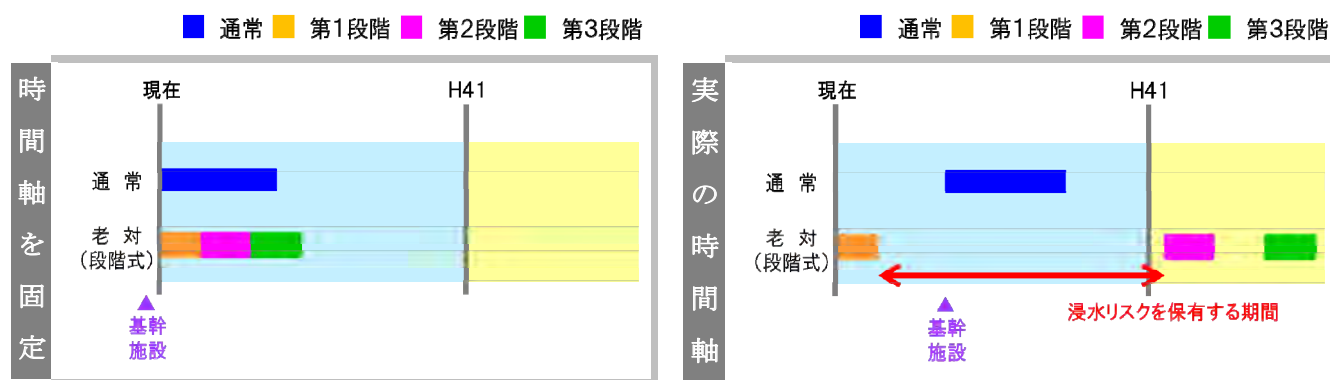


図 1 時間軸を固定した場合

図 2 実際の時間軸

このことを踏まえると、「老対（段階式）」は基幹施設完成前に再構築工事に着手でき、老朽化のリスクの解消には有効である。しかし、一方で「老対（段階式）」は第2、第3段階の実施時期が明確に設定できないため、第2段階の実施時期によっては平成41年以降も浸水リスクを保有し続ける可能性がある。このことから、単純に「通常整備」と「老対（段階式）」の優位性を比較することは出来ないといえる。

5.2 浸水リスクの指標化について

浸水リスクが保有される地域では、リスクが保有される期間を短くするために第2段階の実施時期を早める必要がある。第2段階の実施時期を明確にするためには、浸水履歴だけでなく、地形や浸水規模、浸水回数などを複合的に評価した指標を設定することが考えられる。指標を設定することで、第2段階の時期を決めやすくなるだけでなく、浸水対策の効果について評価しやすくなり、各地域における老朽化対策と浸水対策の効果を比べながら、よりバランスよく整備手法を選択していくことができる。

5.3 本比較検証の汎用性について

今回の対象地域は既設管の健全度が比較的良好であることや、「通常整備」において既設管きよの流向が大きく変更になる地域ではなかった。しかし、「通常整備」において既設管きよの流向が大きく変更になる場合では、優位性が異なる可能性もある。これは、「老対（段階式）」の第1段階でRDやRBだった路線が第3段階では流向変更などに伴ってRDとなる路線が増え、総延長が増加するためである。このように本比較検証を他地域に単純に適用することはできないため、整備手法の採用にあたっては、各流域の特性や現場状況を整理し、実施時期も踏まえ総合的に判断する必要がある。

5.4 まとめ

以上より、「老対（段階式）」の採用にあたっては、保有される浸水リスクを考慮した上で、各流域の特性や現場状況を整理し、実施時期も踏まえ総合的に判断することが求められる。

※1 能力確保

動水位がGL-1.0m以下とすることで、一時的な管きよの圧力管状態を許容しつつ、管きよ内の動水位が地表面に吐出しないことを確認できるため、50mm/h-80%相当の流下能力を有するとする。（第2段階まで実施すれば流下能力は確保されていると設定する。）

※2 谷端川1号^⑨

谷端川1号幹線の下流側は未整備となっている。（平成25年度現在）

1-1-3 隅田川幹線その2工事における凍結工法の安全対策

第一基幹施設再構築事務所工事第一課

工事第一係 森川 脩之

1. はじめに

東京都足立区の千住地区は荒川と隅田川に挟まれた低地帯であり、図1に示す箇所これまで浸水被害が発生している。千住地区の雨水排除は主に、砂幹線、竜田川幹線及び千住東幹線という3つの幹線と、千住西ポンプ所と千住ポンプ所の2つのポンプ所が担っているが、千住地区の都市化の進展により下水道への雨水流入量が増えたため、雨水排除能力が不足している。このため、緊急的な対策として雨水整備クイックプランにより暫定貯留管を先行整備し、浸水被害の軽減を図ってきた。

しかし、千住地区の抜本的な浸水対策を図る上では、図2に示すように、基幹施設の千住関屋ポンプ所と隅田川幹線を新たに整備することが必要であり、この両施設の整備により既設の暫定貯留管を隅田川幹線へ接続させ、千住地区410haの7割を超える292haを千住関屋ポンプ所の流域とする計画となっている。

本稿では、当事務所で現在実施中の隅田川幹線建設工事における凍結工法の安全対策を紹介する。

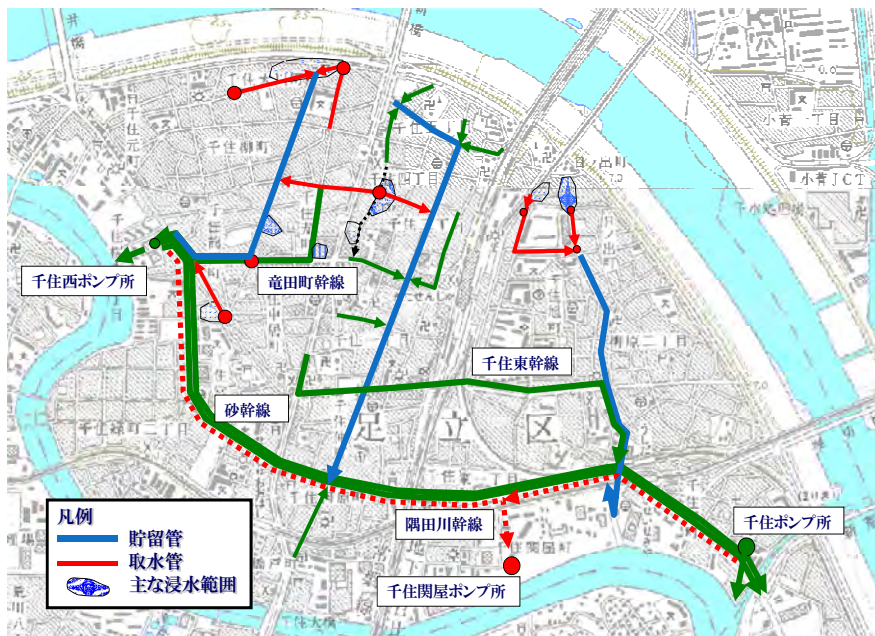


図1 千住地区の雨水排除の現況

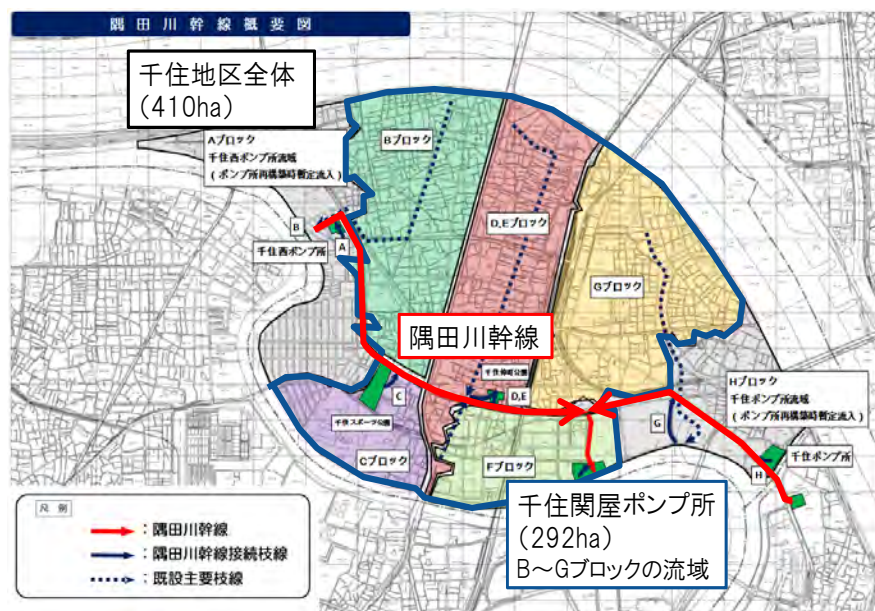


図2 隅田川幹線概要図

2. 工事概要

「隅田川幹線その2工事」の施工内容は、図3に示した線路延長1,970.1m、内径4,750mmのシールドトンネルを施工するものであり、その1工事と合わせると総延長は3,119.8mになる。

本工事の到達人孔は、道路幅員及び地下埋設物等の施工環境の制限により内径5,100mmの円形人孔であり、シールドマシン外径5,650mmに比べ小さいことから地中接合することが困難であった。そのため、シールドマシンを既設人孔の直前で停止させて既設人孔とシールドマシン面板の間を凍結工法による地盤改良を行い、その凍結箇所内を掘削し、内径2,800mmの円形管を隧道工法により布設した。凍結工法の深さはシールドマシンの芯で39.7mである。

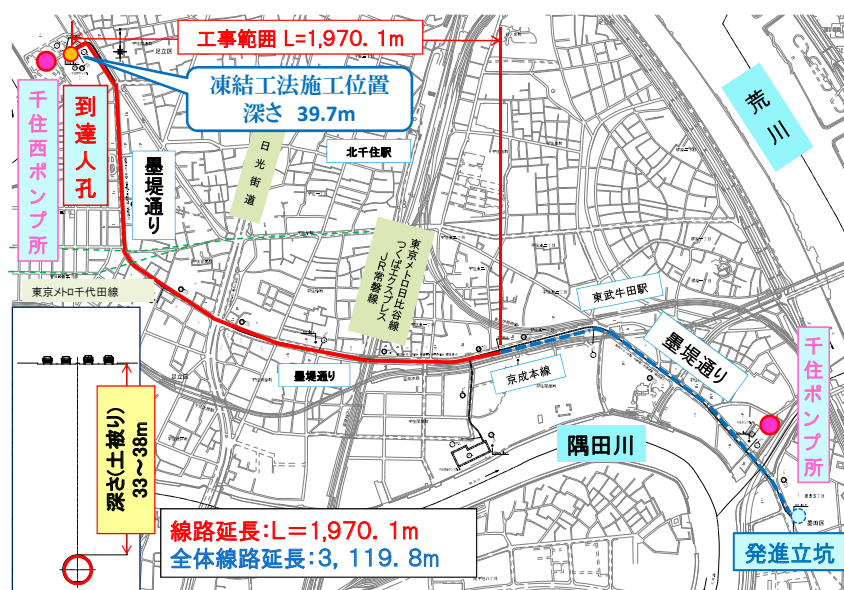


図3 案内図



写真1 凍結工法施工箇所

3. 凍結工法の概要

凍結工法とは、地中に埋設した水平凍結管と構造物の内部の壁面に設置した貼付凍結管にブラインと呼ばれる約-30℃の不凍液を循環させて、地下水を有する周辺地盤を徐々に凍らせることで、強固な凍土を造成する工法である。特徴として、完全な遮水性、優れた強度などが挙げられる。

本工事では、隧道工法に伴う既設人孔壁の撤去や鋼製セグメント組立等の作業を安全かつ確実に施工することを目的として凍結工法を採用した。水平凍結管、貼付凍結管を図4のように設置し185m³の凍土を造成した。施工期間は、凍土の造成に42日間、隧道工法施工のための凍土維持期間として40日間、強制解凍に40日間、合計122日間を要した。

写真2、3は凍結工法施工時のシールドマシンと既設人孔の内部の様子である。写真2の太い管をブライン管と呼び、ここから各凍結管にブラインを循環させていくこととし、既設人孔内部の貼付凍結管は写真3のように内部の壁面に貼り付け、既設人孔壁を介して周辺地盤を凍らせていくこととした。

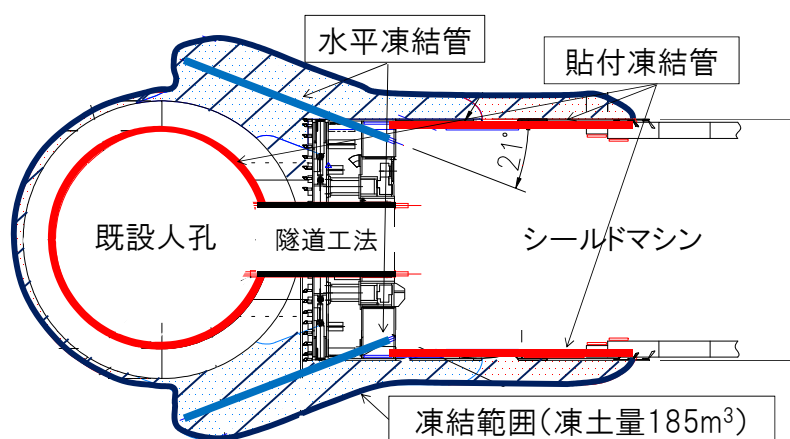
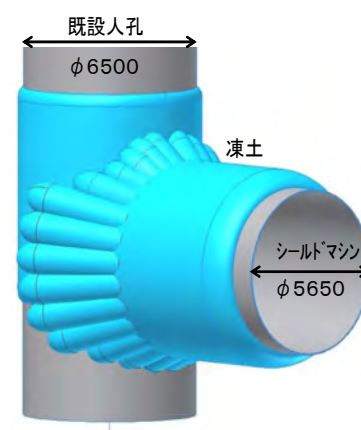


図4 凍結工法の概略平面図



凍結範囲イメージ図

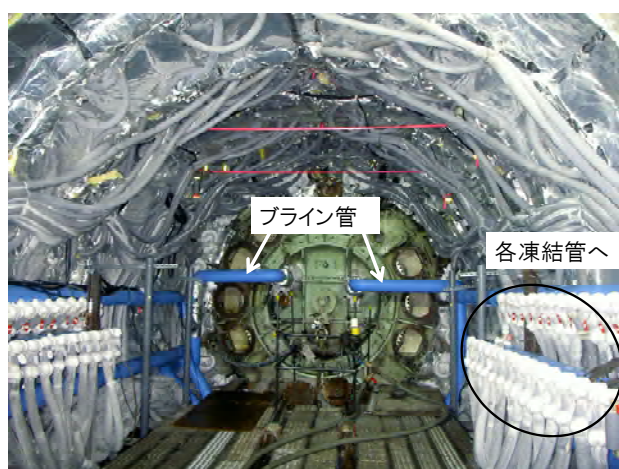


写真2 凍結工法施工中のシールドマシン内部

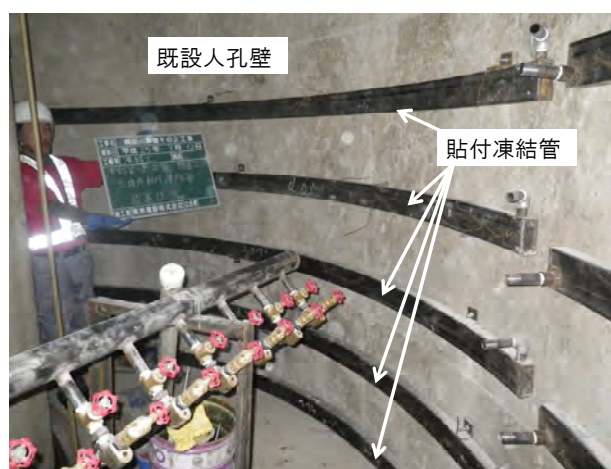


写真3 既設人孔内部の貼付凍結管

4. 凍結工法の安全対策

凍結工法は、多くのメリットがある地盤改良工法であるが、地下水の坑内への出水という大きなリスクも伴っている。ひとたび出水が発生すると、地下水の流入を止めるのは極めて困難である。この場合、坑内の作業員の人命は危険にさらされることになる。また、出水の勢いが増すと土砂も流入してきて、地上部で陥没を引き起こす可能性もある。さらに、出水は周辺地盤の地下水位と同じ水位になるまで止まらないので、ひとたび出水が発生すると本工事の場合、約 40m の深さの延長 3km を超えるトンネルが水没することになる。

出水の原因としては、凍土面の温度上昇による融解や構造物と凍土の凍着部の剥離がある。そのため、凍土造成の精度と安全性の向上を図るため、施工場所の土質調査、地下水の流向・流速等の事前調査を実施し、以下の安全対策を実施した。

4.1 凍土範囲の拡大

凍結工法では、凍着部に剥離が生じると地下水が浸入し、凍土の融解が始まる。また、剥離が開口部まで到達すれば地下水の出水に至る。そこで、剥離の発生を抑制するために、図 5 のように、既設人孔の裏側まで貼付凍結管を設置し、人孔を抱き込むように凍土範囲が広がるように凍土を造成した。また、シールドマシン部分については、マシンの後方まで十分な凍着長を確保し凍土範囲を広げた。

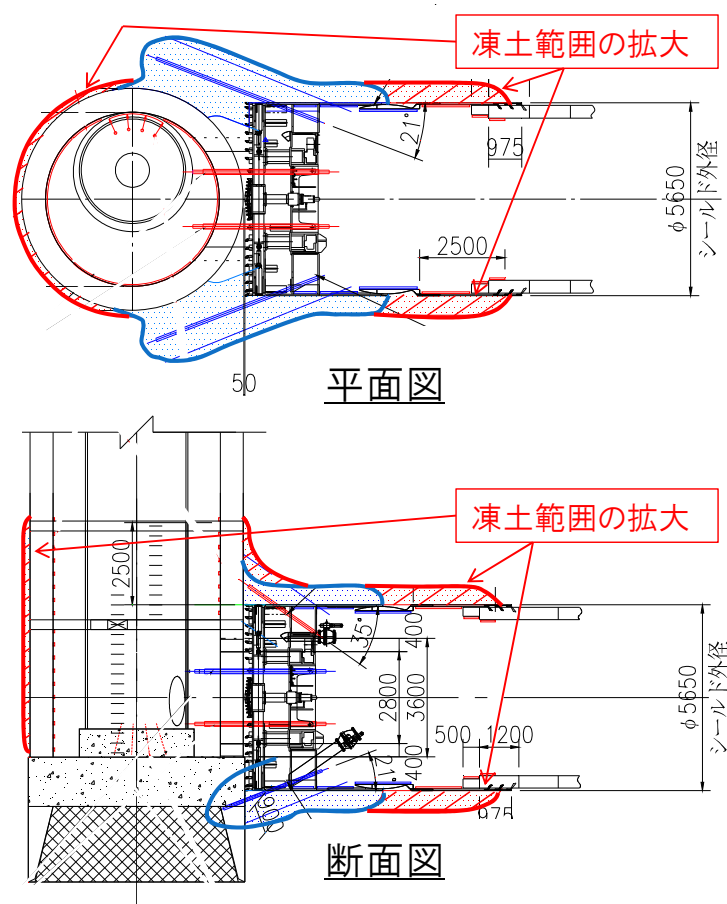


図 5 凍結範囲

4.2 構造物変位のリアルタイム計測

凍着部の剥離の原因の一つに、構造物の変形がある。凍結工法では凍土造成に伴って構造物に凍土膨張圧が作用する。この凍土膨張圧が作用した状態で、既設人孔壁の撤去を行うと、構造的に弱くなった人孔が変形し凍着部の剥離が発生する恐れがある。このため、構造物の変形状況を監視するために、既設人孔とシールドマシンに変位計を設置した。

本工事では図6に示すように、既設人孔にベクトル変位計を25点設置した。ベクトル変位計とは、垂直に垂らしたワイヤーの変位を、磁力を用いて計測するものである。シールドマシンにはマイクロクリップメーターを、1断面に4点、合計8点設置した。マイクロクリップメーターは張ったワイヤーの張力の変化から変位量を計測するものである。表1に示す測定結果は、1日あたりの変位量で最大値であるが、すべて一次管理値の1mm以内に収まっている。

また、異常があった場合に視覚的に確認できるように、監視カメラを人孔内に1台、シールドマシン内に1台設置した。監視カメラの映像は、発進立坑地上部にある現場事務所と、到達立坑地上部にある凍結監視室で24時間確認できるようにした。

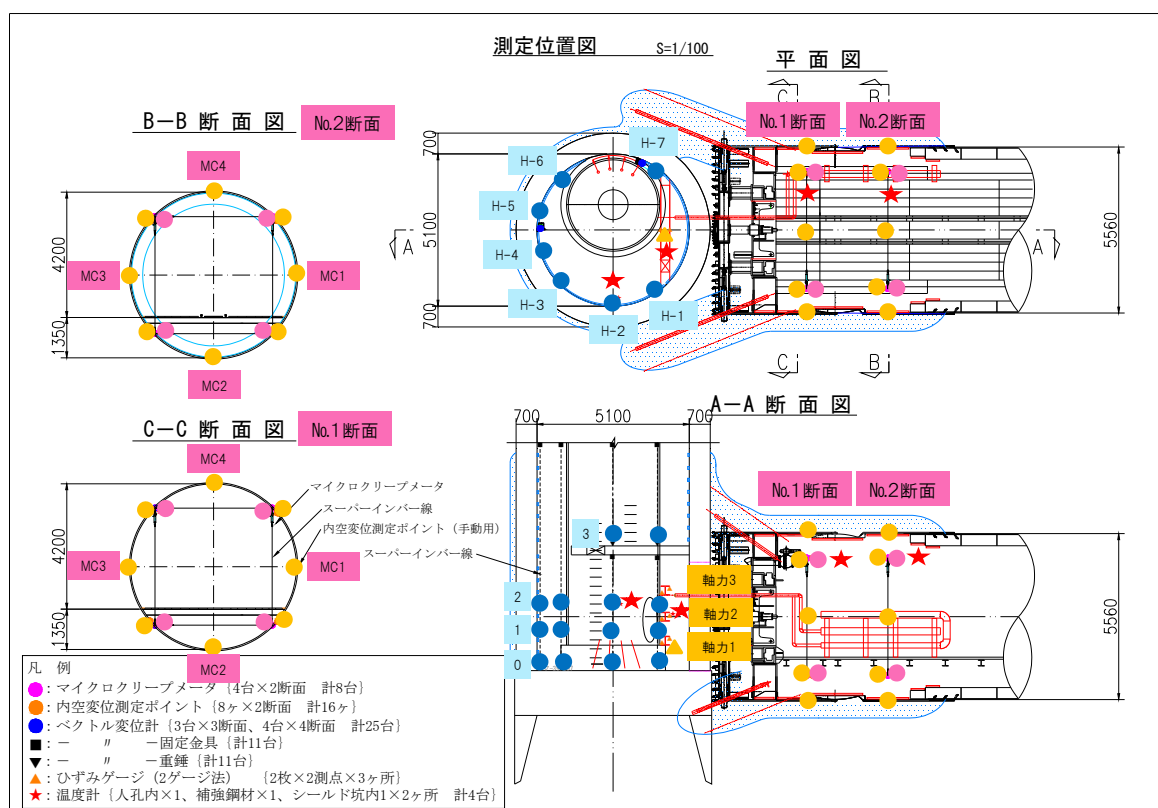


図6 構造物の変位計

表1 変位計測定結果

測定箇所	測定方法	管理値		計測値(最大値)
		一次管理値	二次管理値	
シールドマシン内	マイクロクリップメーター	1 mm/日	2 mm/日	0.97 mm/日
		許容値	3 mm/日	
到達人孔内	ベクトル変位計	1 mm/日	2 mm/日	0.68 mm/日
		二次管理値	2 mm/日	
		許容値	3 mm/日	

4.3 凍土中でのガス切断で生じる熱対策

凍土造成後の施工のなかで、シールドマシン面板のガス切断作業が凍土面の温度上昇を引き起こす可能性が高かった。対策として、熱伝導の計算結果に基づき、ガス切断作業は1箇所あたり連続で20分未満とした。さらに、切断箇所から最も近い水平凍結管の根元での温度計測を行った。この点で温度が上昇すると、水平凍結管を流れるブラインの温度も上昇し、切断作業の直接的影響だけでなく凍土全体に影響が及ぶ可能性がある。そのため、1箇所あたり20分経過していなくても、水平凍結管の根元で温度上昇があれば切断箇所を変更する等の対応を事前に決めていたが、実際には1次管理値の1℃を超える温度上昇はみられなかった。

また、ガス切断による火花がマシン内部にあたることによってマシン外殻の温度上昇も考えられた。そのための対策として、図7のように、面板から4mほどの範囲を防火シートで覆い、その下に防熱材であるグラスウールを敷き詰めた。さらに、既設人孔内とシールドマシン内の2箇所にカーテンを設置し、地上から流れてきた空気による凍土の温度上昇を防ぐために、空気の流れを遮断した。

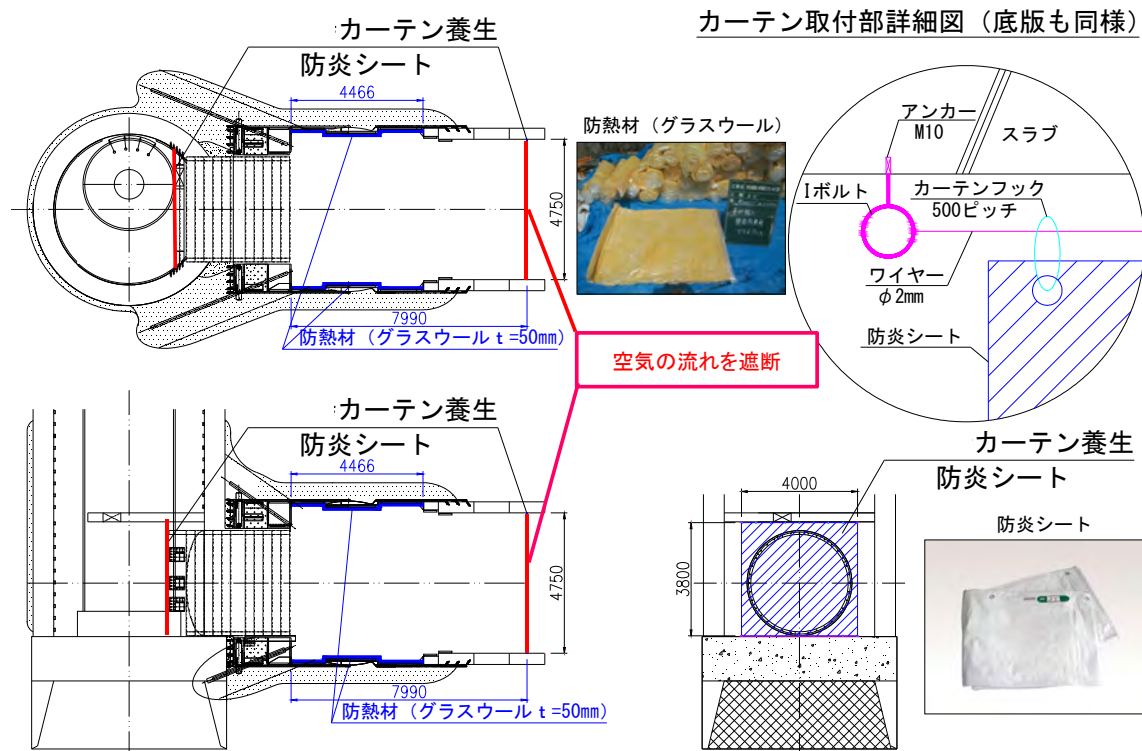


図7 防火シートとカーテンの位置図

4.4 地下水・土砂流出時の安全確保

地下水の出水対策として4.1～4.3の対策を講じることとしたが、万が一出水が発生し、地下水・土砂の流出が始まると、それを止めることは極めて困難である。作業員の人命を守るとともに、地上部と構造物への被害を最小限に抑えるために、緊急時対応として図8のように、角落し、及び鋼製隔壁（バルクヘッド）を設置し、さらに注水設備を用意した。

角落しは掘削部の近くに写真5のように設置した。出水が発生した場合、一次対応として角落しの木材を落として地下水の流入を素早くくい止め、この間に作業員は鋼製隔壁の後方へと退避する。退避完了後、二次対応として鋼製隔壁を閉鎖することで、隔壁よりも後方への地下水・土砂の流入を完全に遮断することができる。角落しと鋼製隔壁により、作業員の人命を守り、隅田川幹線全体への地下水・土砂の流入を防ぐことができる。

さらに、土砂の流入を最小限に抑えるためには、図9のように、鋼製隔壁から既設人孔の内部を早急に満水にして、この水压を地下水圧と同等にする必要がある。このための注水設備として4インチの水中ポンプと耐圧ホースを3セット用意した。出水があった場合には、千住西ポンプ所の吐出渠から隅田川の水を人孔内に注水することとし、発進立坑からも直径4インチの送水管で注水を行うこととした。これらの注水により約6.5時間で内部を満水にすることが可能となった。

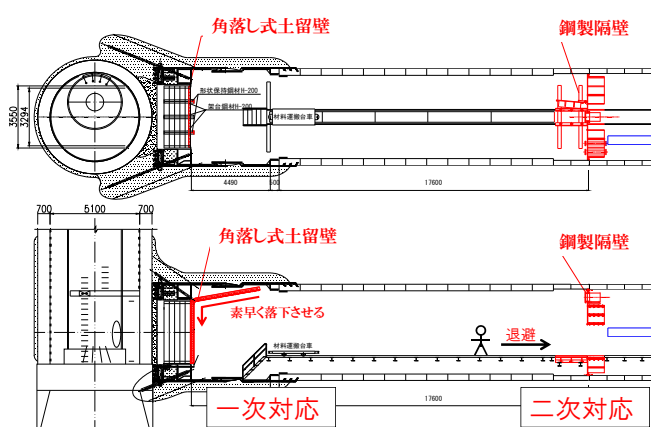


図8 角落しと鋼製隔壁

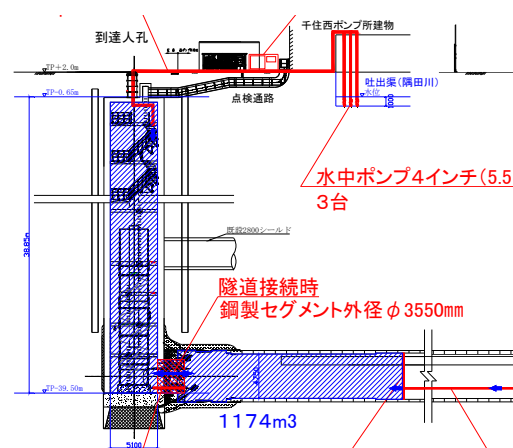


図9 注水範囲



写真5 角落し



写真6 鋼製隔壁

5. まとめ

本工事では、凍結工法の施工にあたり、図 10 に示す 36 地点で地上部のレベル測量を、凍土造成・維持期間では 1 回／日、強制解凍期間では 2 回／日、解凍後 3 カ月間は 1 回／週の頻度で行ったが、全ての地点で沈下は計測されなかった。

本工事では、これまで述べたような安全対策の成果により、地盤の変動もなく凍結工法による隧道の施工を終えることができた。本工事のような高水圧・大深度下での凍結工事は、今後、千住関屋ポンプ所と接続する隅田川幹線の拡幅部でも凍土量およそ 3,000m³ の大規模工事が予定されている。今回の経験を活かして第一基幹施設再構築事務所の「安全は、何よりも優先する」を合言葉に、凍結工事を進めていきたい。



図 10 凍結工法施工箇所の地上部の測量地点

1-1-4 シールド掘削中の急曲線部（R=15m）での不具合発生とその対応

第二基幹施設再構築事務所 工事第一課 工事第一係 丸 善哉

1. はじめに

本件は、泥土圧式コンパクトシールド工法により、仕上がり内径 1800mm の管を 606.45m 布設した際、R=15m 及び R=20m の出口にて発生した不具合と、その対応について報告するものである。直線部は二次覆工一体型の RC セグメントでの施工となっており、急曲線部においては、鋼製セグメント（二次覆工は内面被覆工法）となっている。（図-1）

2. 工事概要

工事件名：港区新橋五丁目、芝公園一丁目付近整備工事

工事場所：港区新橋五、六丁目、芝公園一丁目（図2）

工期：平成24年2月2日から平成25年10月28日まで（430日間）

本件は、老朽化した汐留ポンプ所の機能を新たに建設する勝どきポンプ所に移転し、下水道施設を再構築する事業の一環として整備工事を施工するものである。勝どきポンプ所の完成には長期間を要するため、当面の間、汐留ポンプ所に流入する雨水を近隣の芝浦ポンプ所に分散させる必要があり、このため、新しい下水道管をつくることでポンプ所間のネットワークを構築することが目的である。

さらに、勝どきポンプ所が稼働した後は、本工事で施工した管に雨水を一時貯留することで、大雨による浸水被害を軽減することが可能となる。

3. 掘進中の不具合とその対応について

3.1 R=15mでの不具合とその対応

泥土圧式コンパクトシールド機



- 1) シールド外径：2,230mm
- 2) シールド機長：10,530mm（前・中・後胴3分割）
- 3) ジャッキ推力：600kN × 8本 = 4,800kN

図1 泥土圧式コンパクトシールド機写真



図2 案内図（出典：国土地理院ホームページ
(<http://www.gsi.go.jp/index.html>))

本工事において、R=15m 出口部で急曲線の縮径セグメントと直線のセグメントの段差部通過時に、シールド機後胴のテールブラシの稼働不良が発生し、ジャッキ推力が上昇して後胴とテール胴をつなぐ接続ボルトが破断する不具合が発生した。(図 3, 4)

ボルト破断の原因は、① 1 段目と 2 段目のブラシ間に裏込め材が侵入しブラシの可動域が減ったこと、②テールブラシがセグメント段差部を乗り越えようとした際に推力が高まったこと、③後胴とテール胴を接続するボルト強度 (3318kN) が装備推力 4800kN 以下であったと考えられた。(図 5)

以上の不具合への対策としては、裏込め材がテールブラシ間に侵入することを防ぎ、ブラシの可動域を確保する必要がある。そこで、掘進再開後、テールブラシの状態を確認する頻度を増やし、裏込め材が侵入しないように必要に応じてテールシールの充填を行った。しかし、縮径セグメントを使用した急曲線部では裏込め材の侵入を完全に防ぐことは困難と考えられるため、段差部通過前に、セグメントに点検・清掃用の開口を設け、ブラシの状態を点検し、必要に応じて電動ドリルによる清掃を実施した。(図 6)

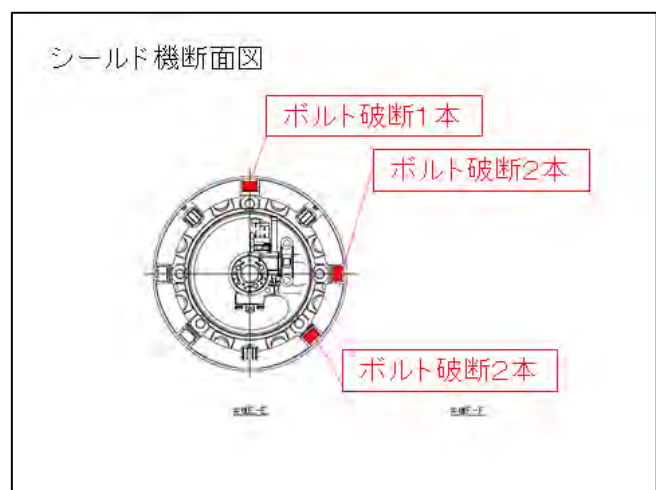


図 3 ボルト破断箇所図



図 4 ボルト破断部写真

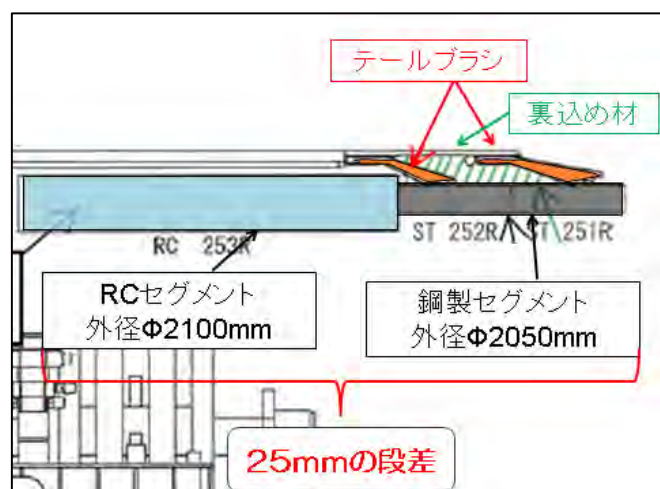


図 5 セグメント段差部詳細図



図 6 点検・清掃用開口

3.2 R=20m(1) での不具合とその対応

R=20m(1)の出口についても 3.1 と同様にボルト破断の不具合が発生し、さらに進行方向に向かって曲線の外側のコンクリートセグメントにもクラックが生じた。

セグメントにクラックが生じた原因は、①セグメントの芯とジャッキの芯がずれたことにより偏心力がかかったこと、②ブラシの開きが片寄ったために片側のブラシの抵抗力が増えたこと、③シールドジャッキがセグメントを外側に押し広げようとする分力が働いたことが考えられた。(図 7)

そのため以下の対策を実施した。

- 1) セグメント組立時に偏心しないように、テールクリアランスを均等に保つよう施工した。
- 2) セグメントの芯に力が伝わるように、ジャッキ先端に低摩擦板を設置した。(図 8)

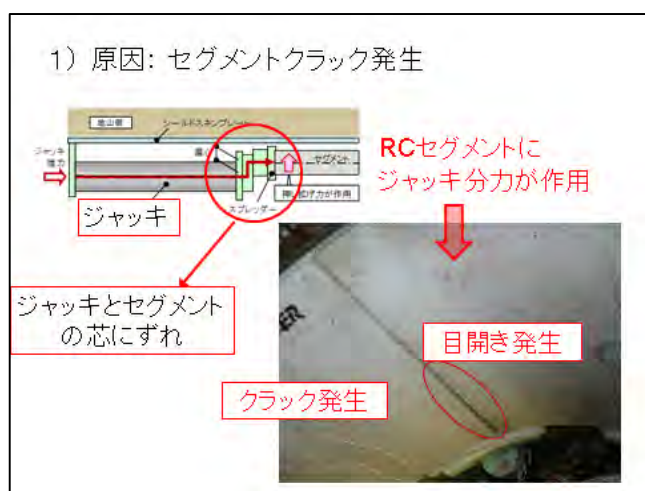


図7 クラックの原因

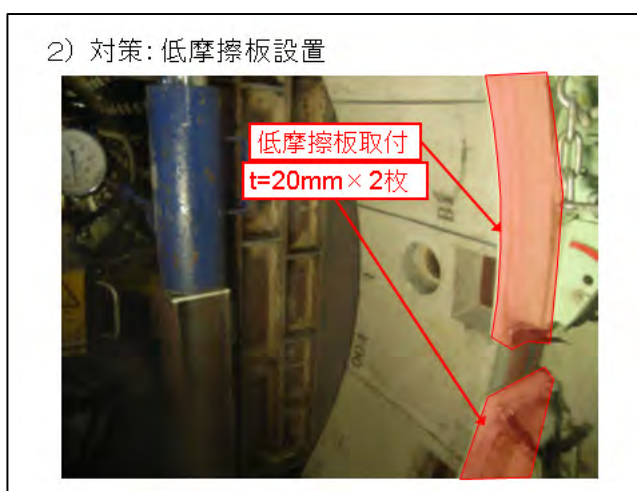


図8 低摩擦板設置状況

4. コンパクトシールド工法の改善案

以上の不具合を受けて、当工事でR=15m、R=20m(1)の後に予定されている急曲線部での対応を含め、今後のシールド機的设计に関して、以下のとおり提案する。

4.1 現行のシールド機を使用する場合

シールド機の装備推力 4800kN に対して、後胴とテール胴を接続するボルト強度は 3318kN となっていたため、ジャッキ推力を接続ボルト強度 (3318kN) 以下に抑制する必要がある。このため、テールブラシがセグメント段差部を通過する際にジャッキ推力が 3318kN 以上に高まらないよう低減させる策を講じる必要がある。

推力低減策については、3.1 で述べたように、裏込め材がテールブラシに侵入しないように定期的に手でテールシールの充填を行うことや、セグメント段差部通過前にブラシを点検・清掃することが有効である。

4.2 新規のシールド機を作製する場合

後胴とテール胴の接続ボルトの強度が、シールド機の装備推力を上回るようボルトを増強することで、ボルトの破断を防ぐことが可能となる。また、テールブラシ部に自動給脂装置を設置し、自動でテールブラシの点検・清掃を行うことで、裏込材がテールブラシに侵入することを防ぐことができ、

推力の過度な上昇を抑えることが可能となる。

4.3 現行・新規共通の提案

R Cセグメントと縮径（鋼製）セグメントでは、25mm の段差が生じてしまうが、セグメント段差部においてテールブラシをスムーズに拡張させるために、急曲線の出入り口に幅広のテーパ付異形鋼製セグメントを使用することで、推力を低減することが可能となる。（図 9）

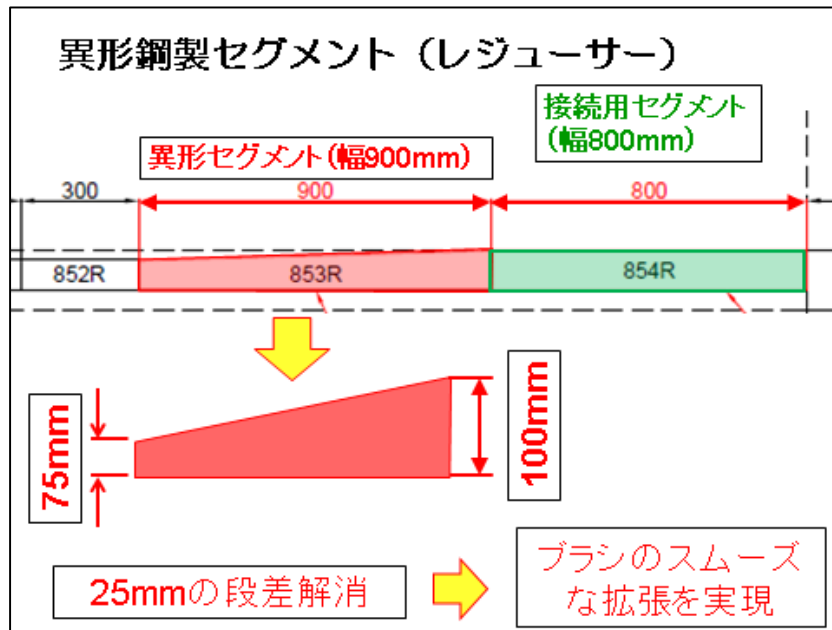


図 9 異形鋼製セグメントの特徴

5. R=30m、R=20（2）での対応

当工事では、R=15m、R=20m(1)の不具合発生後の急曲線部 R=30m、R=20(2)部において、①手動によるテールブラシの管理、②ジャッキとセグメントの間に低摩擦板を設置するとともに、R=20m（2）において、③急曲線部の入口と出口に異形鋼製セグメントを使用することで、スムーズなシールド掘進が実施できた。（図 10、11）

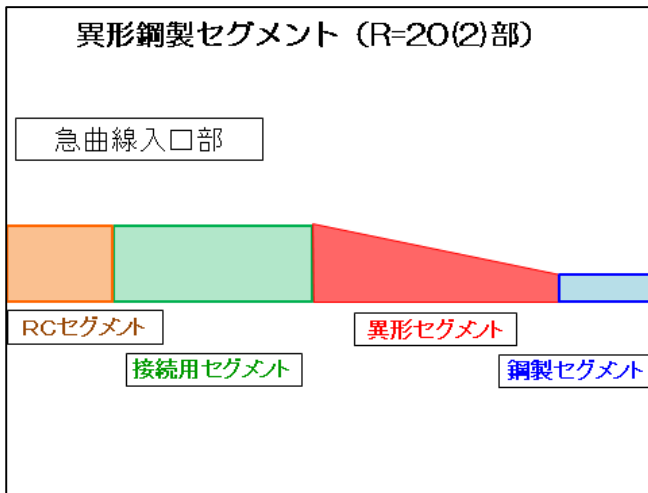


図 10 R=20m(2) 入口部での異形鋼製セグメント

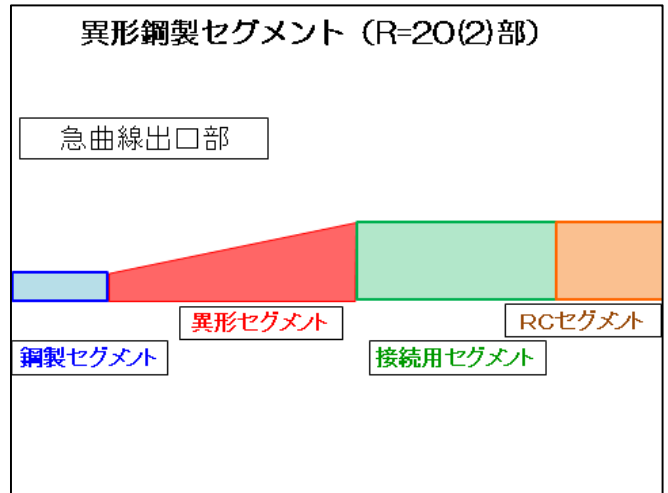


図 11 R=20m(2) 出口部での異形鋼製セグメント

6. おわりに

今後の類似工事について、本工事の事例を参考に新規コンパクトシールド機の製作や、現存のシールド機の改良等を行う必要があると考える。

1-2-1 新たな光ファイバー水位計の開発について

～幹線水位の把握によるポンプの効率的な運転～

計画調整部技術開発課 中田 友三
 齊藤 正二
 （現 流域下水道本部技術部設計課）

1. はじめに

近年、都市化の進展による下水道への雨水流入量の増大、地球温暖化やヒートアイランドによる局所的な集中豪雨の多発などによって、都市型水害のリスクが高まっている。

当局では、浸水対策として、幹線や雨水ポンプの能力増強等を行っている。その中で先行待機型ポンプの無注水形軸受には、気中運転時間の制限があり、先行待機型ポンプの起動タイミングに課題がある。

その解決策の一つとして、幹線水位を把握し、ポンプ所への下水流入量及び流達時間を把握することで、気中運転時間の最適化による経済的かつ効率的な運転を行うことが考えられる。これまでの光ファイバー水位計は、高価で維持管理性に課題があり導入が進まない状況であった。これらの問題を解決し、小型で安価かつ維持管理性の良い光ファイバー水位計を開発した。

本稿では、開発した光ファイバー水位計の概要、研究開発の内容、調査結果、今後の展望について述べる。

2. 光ファイバー水位計の概要

2.1 特徴

表1に既存の光ファイバー水位計（検出器）（以下、旧水位計と記す。）及び新たな光ファイバー水位計（検出器）（以下、新水位計と記す。）の概要を示す。

表1 新旧の光ファイバー水位計の概要（比較）

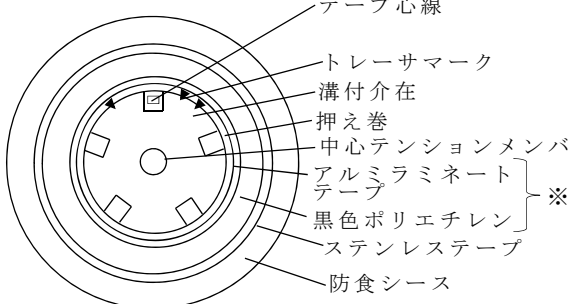
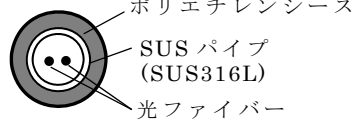
	旧水位計	新水位計
外形写真		
センサ電源	不要	不要
必要芯線数	1 芯（5 台まで接続可）	1 芯（8 台まで接続可）
測定精度	±2.5%FS	±2.5%FS
形状寸法	L150 mm × φ 114 mm	W100 mm × H30 mm × L150 mm

光ファイバーを用いたこれらの水位計は、FBG センサ (Fiber Bragg Grating Sensor) を使用するものであり、1 芯で多点の計測、電源が不要、長距離伝送が可能といった特徴を有する。

旧水位計は、SUS316L 製で大型且つ重いものであった。新水位計はベロフラムの小型化、材質をポリプロピレン樹脂に変更したことにより、小型で設置も容易となり、加工の手間及び材料費の低減により、大幅な機器費の低減に成功した。

また、光ファイバー水位計に使用するリードケーブルの改善を図った。旧水位計に使用している水位計リードケーブルは、管きょ内で通常敷設されている光ファイバーケーブルと同様のものであり、ケーブル外径も太く、許容曲げ半径も大きいものであった。新水位計に使用する水位計リードケーブルはポリエチレン被覆を施した SUS パイプにファイバーを通す構造とした。これにより、ケーブル外径が細くなり許容曲げ半径も小さくなったため、センサの小型化、施工性の向上に貢献した。表 2 に新旧水位計リードケーブルの比較を示す。

表 2 水位計リードケーブル比較

	従来のリードケーブル	新リードケーブル
外径寸法	15.5 mm 以下	3.5±0.5 mm (従来比：約 1/4.4)
許容曲げ半径	155 mm R	50 mm R (従来比：約 1/3)
形状		

2.2 開発の背景

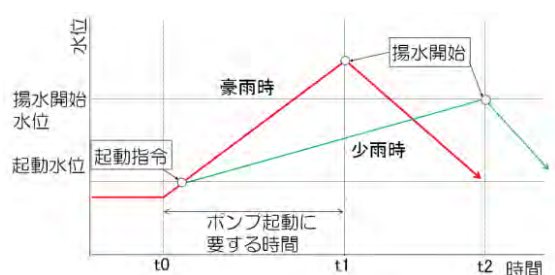
雨水ポンプ運転は大きく分けて、豪雨時と長時間の少雨時に分けられる。

図 1 (a) に、現状の豪雨時と少雨時におけるポンプ運転と水位の関係を示す。豪雨時はポンプ起動指令から補機運転等により揚水開始に 1～2 分程度の時間を要することから、揚水開始水位で揚水が行われずにポンプ井水位が揚水開始水位より上昇することを示している。また、少雨時では、ポンプ起動水位から揚水開始水位まで水位上昇に時間を要する等、気中運転（非揚水）時間が長くなることによって余分な電力を消費してしまうことを示している。

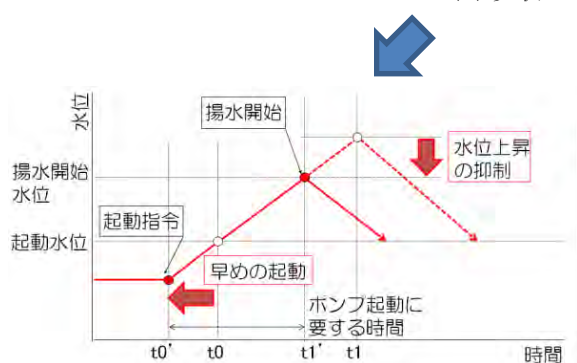
その対応策として、豪雨時（図 1 (b)）では、流入幹線に設置した新水位計のデータを基に、ポンプの起動指令をポンプ起動に要する時間を考慮し早めに起動し揚水開始水位でポンプを運転状態とすることでポンプ井水位の上昇を抑えることが可能となる。

また、長時間の少雨時（図 1 (c)）では、流入幹線に設置した新水位計のデータを基に、ポンプ起動指令をポンプ起動に要する時間とポンプ井への流入量を考慮し、遅らせること

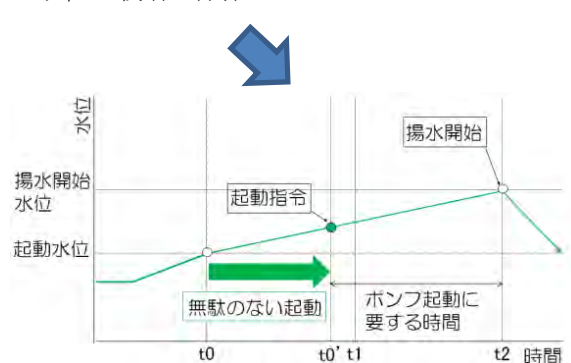
により無駄のないポンプ起動が可能となり、気中運転時間が短縮されることによって電力の消費を抑えることができる。



(a) 現状のポンプ運転と水位の関係 (例)



(b) 豪雨時におけるポンプ運転の効率化 (例)



(c) 少雨時におけるポンプ運転の効率化 (例)

図1 ポンプ運転の効率化のイメージ (例)

これらの効率的なポンプ運転を実施するためには、多点での幹線の水位を把握しポンプ井への流入量、流達時間を把握することが必要である。

今回は、幹線に新水位計を複数設置し、幹線水位からポンプ井への流入量及び流達時間を把握することでポンプ運転の効率化が図れると考え、光ファイバー水位計の開発及びフィールドテストを実施した。

2.3 測定原理

光ファイバー水位計の測定原理を図2に示す。

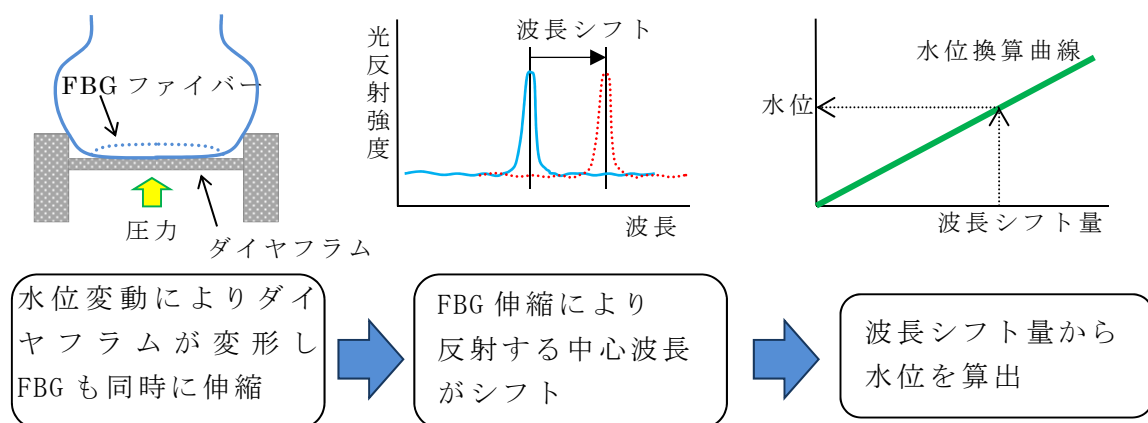


図2 光ファイバー水位計の測定原理

水位計のダイヤフラム部に FBG センサが張り付けられており、水位変動による圧力変化でダイヤフラム部が変形する。この時、ダイヤフラム部に張り付けられている FBG センサも伸縮する。この結果、光ファイバーケーブルから特定の波長をもった光が変化することで、中心波長がシフトする。このシフト量を水位換算曲線と比較し、水位を算出する。

また、この方式のメリットとして、センサ部を含め可動部分がないため、故障が少なくメンテナンスが容易であることも挙げられる。

2.4 システム構成

新水位計を用いた水位計測システムの構成を図 3 に示す。本システムは処理装置、表示装置、光波長測定装置からなるセンター装置及び管きょ内に設置するセンサ部に分かれている。

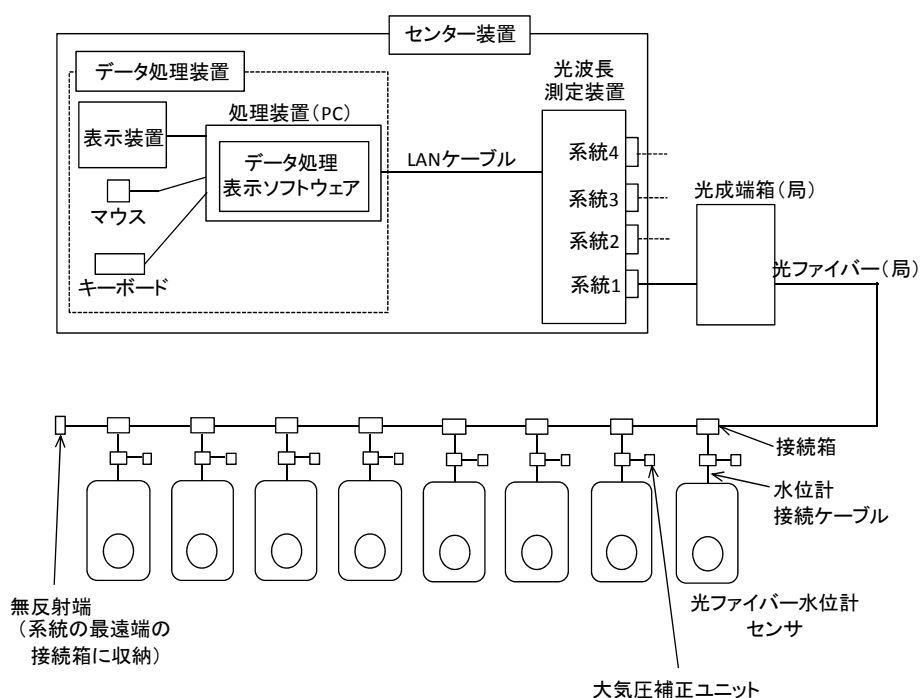


図 3 光ファイバー水位計測システム構成図

FBG を用いた計測システムでは、光ファイバー1 芯に対し、多点計測が可能であることが特徴であるが、本システムでは、1 芯 (1 系統) に水位計が最大 8 台接続可能であり、また 4 系統まで接続が可能となる。即ち、水位計を最大 32 台設置することが可能である。

ただし、本システムの構築可能距離は、水位計及び接続箱の接続による伝送ロスにより変動する。例えば、1 芯 (1 系統) について、水位計 1 台の場合は最大 20km、水位計 4 台の場合は最大 15km、水位計 8 台の場合は最大 13km ということになる。

また、本システムは、測定原理として、FBG を採用していることから、他の光ファイバー計測機器 (旧水位計、光ファイバー流量計等) を同一システムで取り扱うことができる。

3. 研究開発の内容

3.1 平成 24 年度の調査内容

新水位計について、管きょに設置する場合に想定される様々な状況 (下水での対応、下水の酸・アルカリへの対応、圧力変動への対応等) における性能を確認するために、平成

24 年度に長時間浸漬試験、耐食性試験、流下試験などを行い、問題が無いことを確認した。なお、これらの試験のうち、長時間浸漬試験、耐食性試験は、箱崎ポンプ所に設置した試験装置で実施し、流下試験は、外部機関の試験装置（下水管路施設の模型）で実施した。

以下に平成 24 年度に実施した性能評価試験の概要を示す。

(1) 長時間浸漬試験

下水での適用性を確認するため、下水汚水に対し長期間浸漬し、その後、水位計測が問題なく動作するかを検証した。試験方法は、新水位計を試験水槽に設置し、汚水を連続送水（4 時間～15 時間程度）した後、送水を停止し 2～3 日浸漬する。このパターンを 3 回繰り返した後、静特性及び動特性試験を行った。図 4 に試験水槽概要、図 5 に長期浸漬試験（動特性）の結果を示す。試験の結果、長期間の汚水浸漬後でも静特性及び動特性試験について、測定誤差も少なく、問題なく計測できることが確認できた。

なお、静特性試験とは、水位計の測定誤差を評価するため、汚水を 0～2.4m まで 20cm 間隔で注水し、各計測位置で水位を十分安定させた後にマノメータ水位値と新水位計の計測値の差を比較したものである。動特性試験とは、汚水を 0～2.4m まで連続的に注水し、上昇時の各計測位置でマノメータ値と新水位計の測定値の差を確認し、2.4m で水位が安定した後、全量を 5 分程度で排水できるスピードで水位を下降させ、この時に各計測位置のマノメータ値と新水位計の計測値の差を確認したものである。

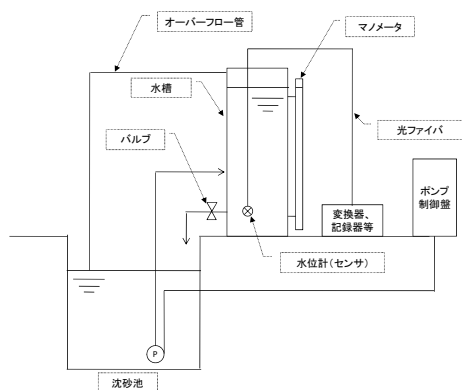


図 4 試験水槽 概要図

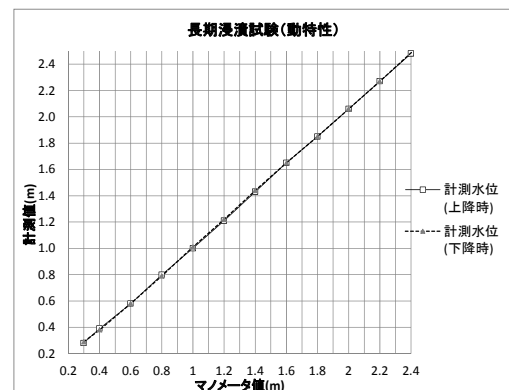


図 5 長時間浸漬試験 動特性試験結果

(2) 耐食性試験

下水の排水基準は pH5.8～pH8.6 である。このような汚水に対しても新水位計による計測が可能か、また本体が腐食しないことを確認するため、酸及びアルカリに対する耐食性試験を実施した。試験方法は、下水汚水に塩酸及び水酸化ナトリウムを加え pH を調整し 4 日程度浸漬させた後、静特性及び動特性試験を行った。図 6 に動特性試験結果、図 7 に動特性試験後の水位計外観を示す。試験の結果、静特性及び動特性試験について、測定誤差も少なく問題なく計測ができた。

また、酸及びアルカリ浸漬後の新水位計本体について確認したが、腐食や劣化などの異常はなかった。

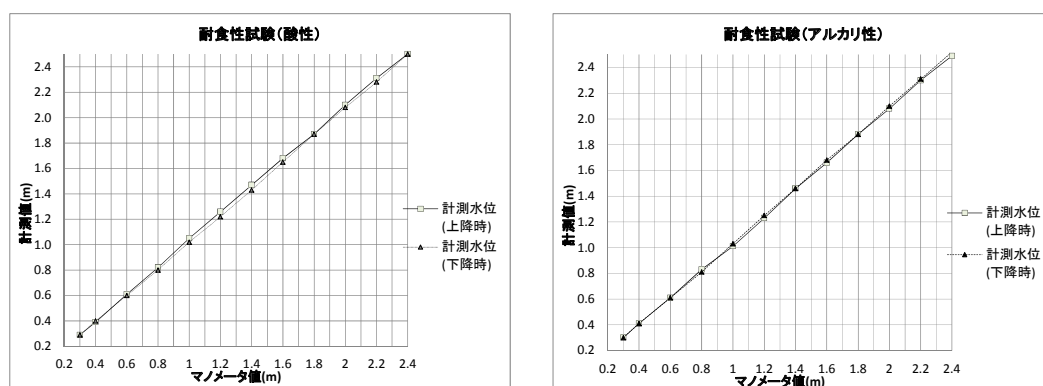


図6 酸及びアルカリ曝露後の動特性試験結果



図7 耐食性試験後の水位計外観（動特性試験後）

(3) 流下試験

水位計は、下水管きょに設置することを想定しているため、水の流れる状況でも計測できること、また下水管きょにおいて満管かつ圧力状況下でも計測が可能かについて、下水管路施設の模型（流下試験装置）を用いて試験を行った。試験条件は、流量 4.49m³/min、6.5 m³/min、10.0 m³/min、15.0 m³/min で実施した。図8に流下試験装置の概要図、図9に流下試験の結果の一例として、管きょの出口弁を急激に遮断することにより圧力変動を発生させた場合の水位変化を示す。試験の結果、ウォーターハンマーが発生する程の圧力変動があっても目視水位と計測水位の誤差は少ないことから下水管きょでの計測が可能であり、水位計本体の故障もないことが確認できた。

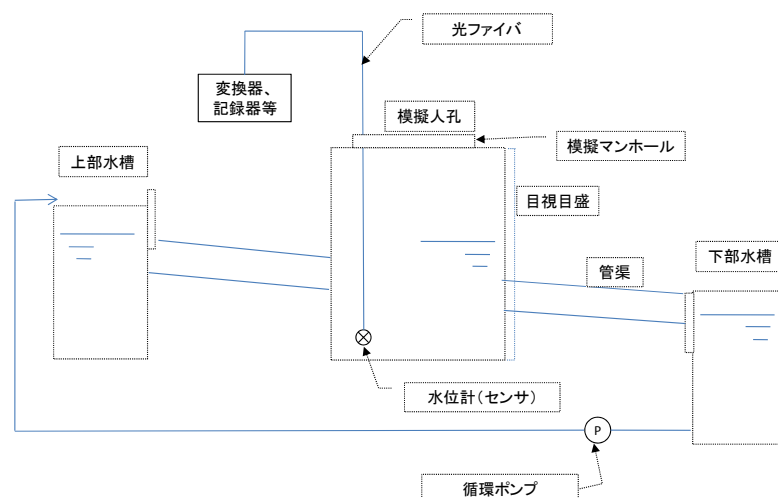


図8 流下試験装置の概要図

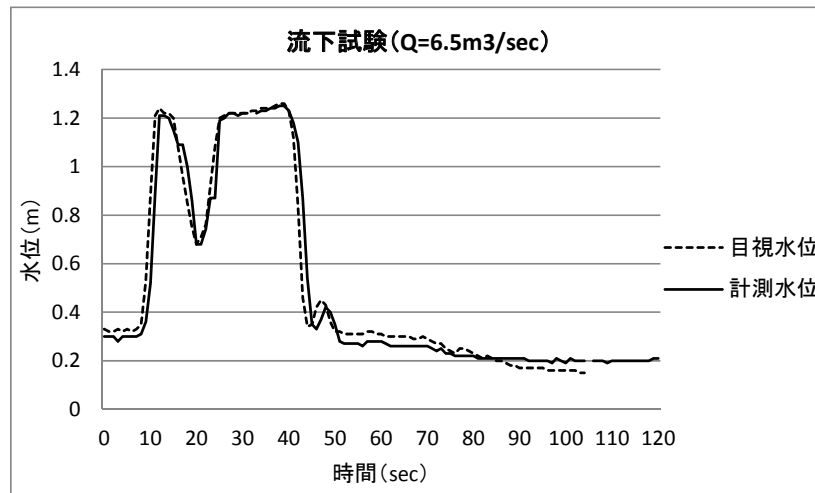


図 9 流下試験（遮断時特性）

3.2 平成 25 年度の調査内容

(1) フィールド試験概要

開発した新水位計について、多点の幹線水位の計測及びポンプ所のポンプ井水位との関係性を調査するため、平成 25 年 12 月からフィールド試験を開始した。

今回の設置箇所を選定するにあたり、既設光ファイバーケーブルが敷設されており接続箱があること、幹線と幹線の合流・堰があること等を考慮した結果、西小松川ポンプ所流域とした。

図 10 に西小松川ポンプ所流域に計 8 個の新水位計を設置した箇所を示す。

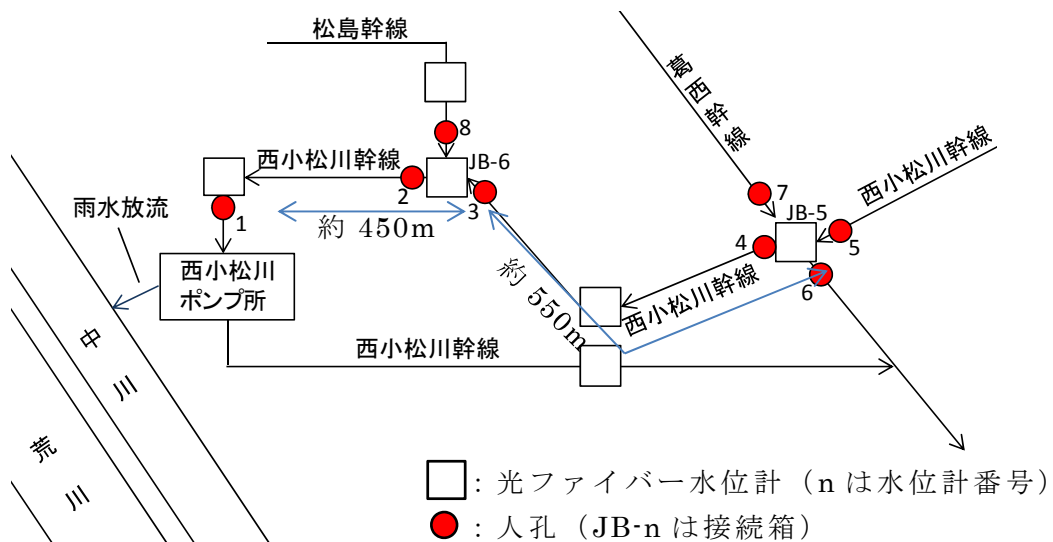


図 10 新水位計設置箇所

水位データを収集解析し表示させるセンター装置の設置にあたっては、他機場も含めて光ファイバーのデータを集約している葛西水再生センターを選定した。

設置作業は、平成 25 年 11 月下旬から 12 月中旬に実施した。図 11 に新水位計センサ及びセンター装置の設置状況を示す。



水位計設置状況①

水位計設置状況②

センター装置設置状況

図 11 新水位計センサ及びセンター装置設置状況

(2) 調査結果

平成 25 年度に計測したデータは少雨のみであったが、一例として図 12 に平成 26 年 2 月 28 日の降雨時における幹線水位と西小松川ポンプ所流入渠水位の変動を示す。

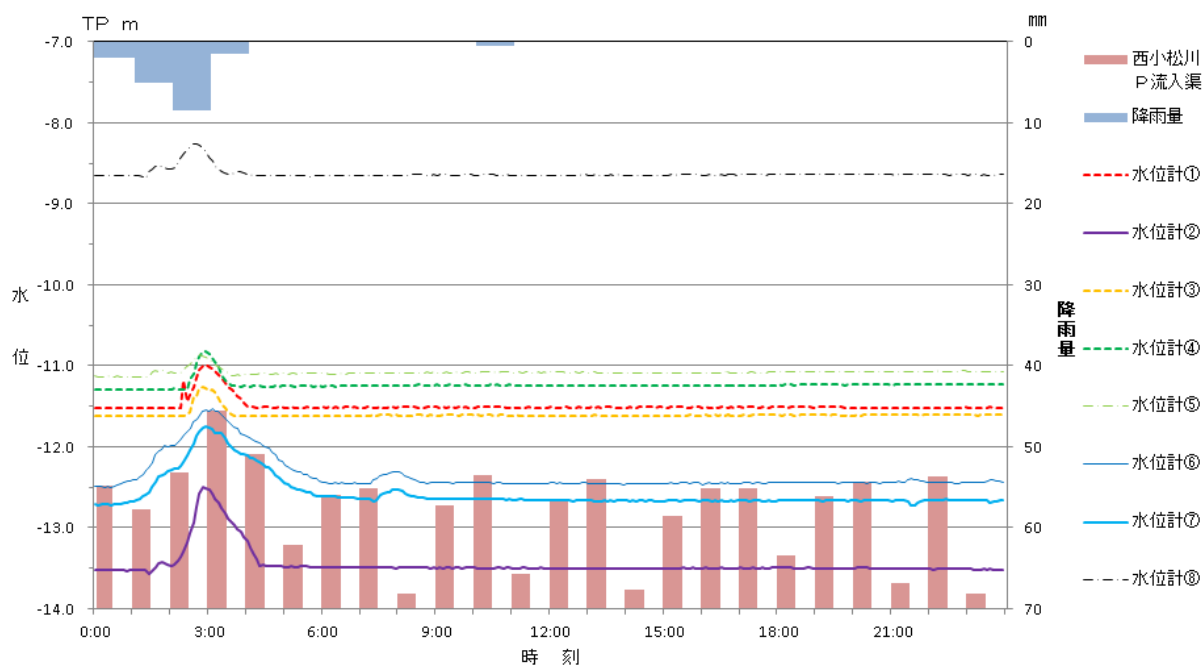


図 12 降雨時における幹線水位とポンプ所流入渠水位(平成 26 年 2 月 28 日 0:00~24:00)

図 12 より 0:00 台から 4:00 台までの降雨によって、8 個の幹線水位とポンプ流入渠水位の変動に同様の傾向がみられ、各々に相関関係があることが示唆された。平成 25 年度はフィールド試験期間が短く、乾季だったこともあり、データ収集量が少なかったことから、平成 26 年度も継続してフィールド試験を実施し、雨季の豪雨時及び長雨時に収集した水位データの検証を進めている。

4. 今後の展望

新水位計は、旧水位計と比較して安価、メンテナンス性の向上、小型化により、数多く

設置することが可能となるため、今後、管きょや水再生センター、ポンプ所での導入が考えられる。

また、管きょの水位を把握し、水再生センターやポンプ所への流入量及び流達時間の把握をすることで、ポンプ運転の最適化が図れると考えている。

今後も、平成 25 年度に引続き実施している調査を通じ、豪雨時や長雨時における管きょ水位・ポンプ所流入量・ポンプ井水位との相関性調査を実施し、得られた知見を基に効率的なポンプ運転を行うための運転支援方法について検証を行っていく。

1-2-2 区部河川における下水道からの雨水放流量の緩和について

～神田川流域のケーススタディ～

建設部 設計調整課 鈴木 淳也

1. 雨水放流量緩和の背景

近年、時間 50 ミリを超える局所的集中豪雨が一部地域で頻発し、平成 17 年 9 月 4 日に台風 14 号の影響による集中豪雨で、都内全域に約 6000 棟近くの浸水被害が発生した。（図 1）

このような状況において、浸水被害を軽減させるためには、河川や下水道を整備し、降雨を速やかに排水する必要がある。

東京都では、河川、下水道ともに時間 50 ミリの降雨を排水するための整備を進めている。しかし、整備が完了していない河川においては、下水道からの放流量に制限が設けられ、下水道の能力を十分に活用することができないだけでなく、吐口を設置すること自体が困難な箇所も存在するのが実情である。（図 2）

このため、建設局と下水道局は協議を重ね、より緊密な連携により、整備の完了していない河川を少しでも有効活用しながら従来の放流量規制を緩和し、下水道から河川への放流量を拡大することで、浸水被害の軽減を図ることとした。



図 1 浸水被害の状況



図 2 放流量規制の状況

2. 雨水放流量緩和の概要

2.1 取組方針

これまで、吐口ごとに合理式を用いて計画放流量を定め放流協議を行っていた。しかし、河川が整備途上の状況においては、現況の河川の流下能力で下水道からの放流量を受け入れられないため、下水道からの放流量に規制を設けられ、計画量の放流を行えない状況であった。

そこで、新たな方法として、時間 50 mm 降雨に対応する整備の途上にある河川において、流域全体の河川と下水道管網を一体とした雨水流出解析モデル（以下、モデルという。）を構築することで、流量の時間変動や河川の整備状況を最大限活用し、河川への放流量緩和の協議を行うこととした。具体的には、モデルによるシミュレーションで、下水道からの放流量と河川水位を算出し、図 3 のように現況の河川の高水位（以下、現況 H.W.L. という。）を超えない範囲で下水道からの放流量を増やしていく。現況 H.W.L. とは、既設護岸高から、約 1 m 程度差し引いた値と定義して、放流量緩和の判断基準としている。

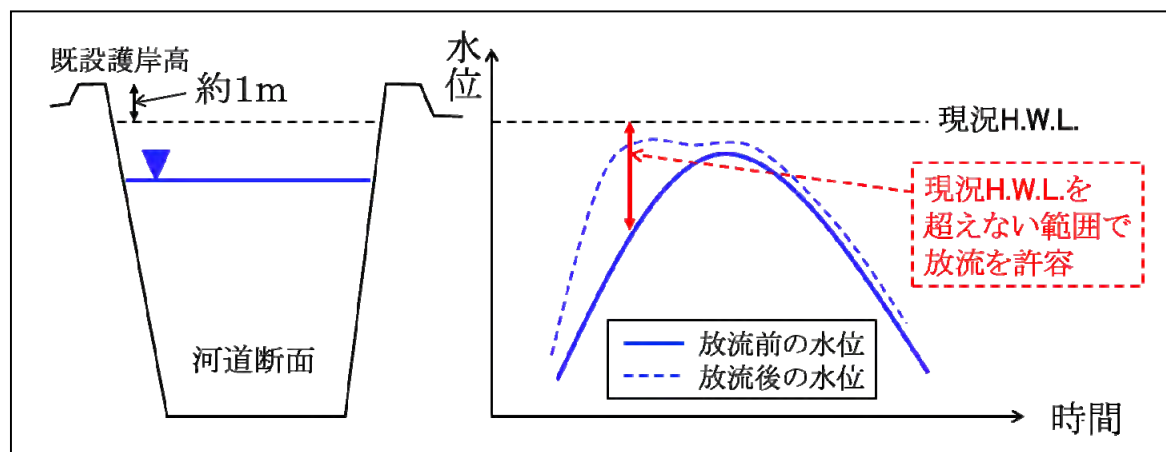


図3 新たな放流協議のイメージ

この取組方針は、建設局と下水道局とで平成 20 年 3 月 31 日に締結した「区部河川における下水道からの雨水放流量の調整、緩和に関する覚書」（以下、覚書という。）により承認されている。

覚書は、区部河川での放流量緩和の一般的な取組方針を示しており、具体的な取組については、河川ごとに確認書を取り交わすこととなっている。

確認書で取り決める緩和の手順は以下のとおりである。

- ① モデルを構築し、下水道からの放流量緩和後の河川水位が計画降雨において現況 H.W.L. を超えないことなどを確認して、下水道からの放流量を緩和する吐口を複数箇所選定する。
- ② 吐口の位置や緩和放流量、緩和時期などに関する事業計画を策定する。
- ③ 緩和手順として、計画した緩和箇所の中から、優先的に先行して緩和を実施する吐口を数箇所選定する。

- ④ 先行して数箇所の吐口を緩和した後に、実降雨によるモデルの再検証を行い、モデルの妥当性を確認する。このとき、モデルと現況が異なれば、モデルを更新する。(必要に応じて確認書を修正する)
- ⑤ 残りの吐口の緩和を実施する。
- ⑥ 全ての吐口を緩和した後に、再度実降雨によるモデルの再検証を行い、妥当性が確認できた段階で完了となる。

2.2 各流域における取組概要

神田川流域では、平成 20 年 4 月 30 日に「神田川流域における下水道雨水放流量の調整・緩和に関する確認書」を締結し、4 箇所の吐口で放流量を緩和することとなった。このうち 2 箇所の吐口については、先行して放流量の緩和を実施し平成 23 年度までに吐口工事が完了したため、モデルを更新して実降雨によるモデルの再検証を行い、妥当性の確認を終え、平成 25 年 3 月 29 日に「神田川流域における下水道雨水放流量の調整・緩和に関する確認書の一部を修正する確認書」を締結した。

また、隅田川・新河岸川流域では、平成 20 年 12 月 19 日に「隅田川・新河岸川流域における下水道雨水放流量の調整・緩和に関する確認書」を締結し、9 箇所の吐口うち、先行して 5 箇所の放流量緩和を予定しており、モデルの再検証に向け検討を行っている。

この他に、目黒川流域や白子川流域などについては、放流量緩和に向け、現在検討を進めている。

3. 神田川流域における取組事例

本報告では、神田川流域における放流量緩和に向けた取り組みについて説明する。

3.1 確認書締結までの取組

神田川流域は約 10,000ha あり、神田川、善福寺川、妙正寺川などの河道と概ね $\phi 800$ mm 以上の下水道管網でモデルを構築した。(図 4)

この流域では、後楽ポンプ所、坂下幹線、第二十二社幹線、第二妙正寺川幹線の 4 箇所の放流量緩和が確認書により承認されている。

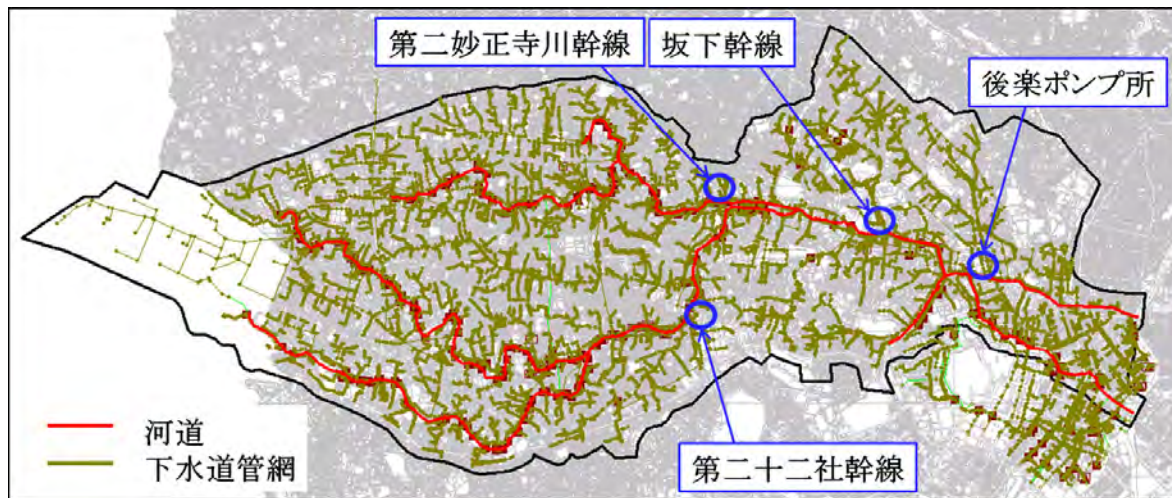


図4 神田川流域の流出解析モデル概要図

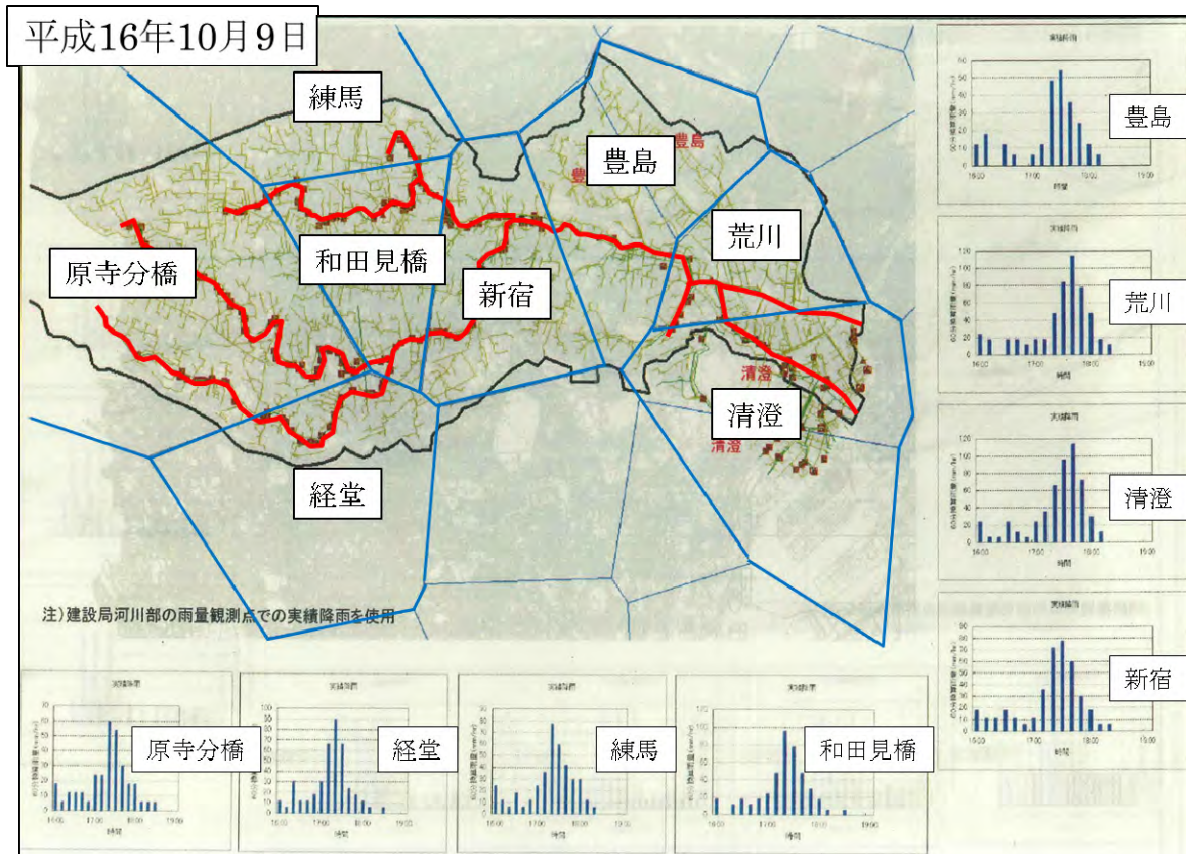


図5 降雨入力エリアと実績降雨の一例

モデル構築後は、図5のように降雨入力エリアを定め、各エリアに設置されている雨量観測所で計測した降雨を5つ選定し、各エリアの降雨条件としてシミュレーションを行った。その後、河川水位を計測している図6の39箇所において、シミュレーションにより算出された河川の計算水位と実測水位を比較した。この結果、図7のように計算水

位と実測水位が概ね一致していることから、モデルの妥当性が確認され、モデルを確定することができた。



図6 水位比較地点

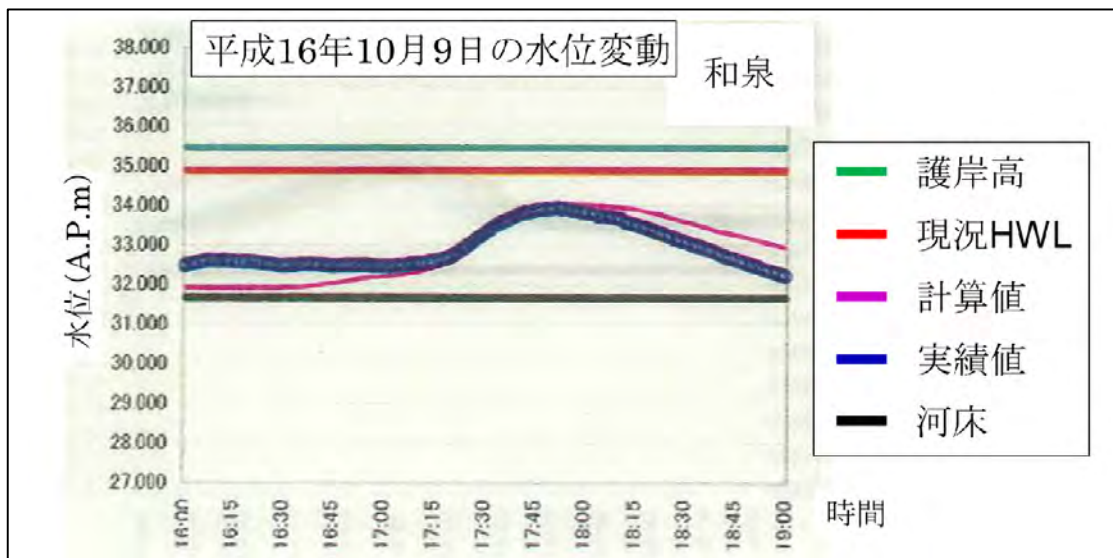


図7 水位比較の一例

また、確定したモデルにより、放流量緩和の前後における浸水状況をシミュレーションにより再現し、浸水が軽減されることを確認することができた。図8は、坂下幹線流域における浸水軽減効果を示したものである。

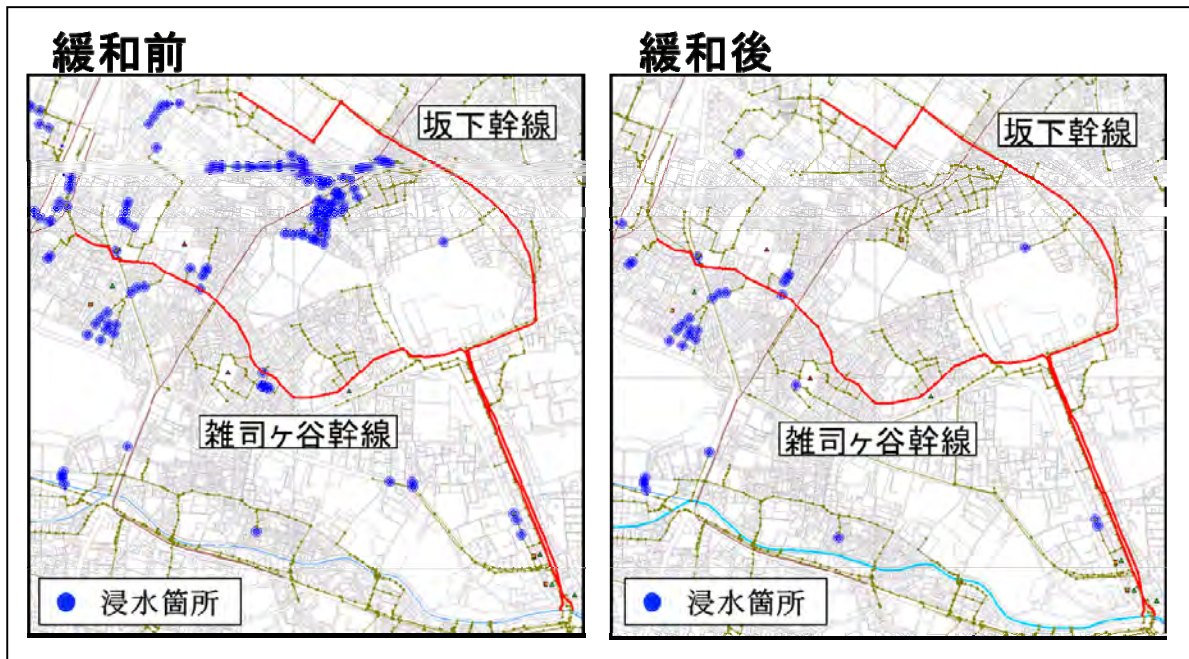


図8 坂下幹線流域における浸水軽減効果
(時間 50 mm 計画降雨を用いたシミュレーション結果)

その後、このモデルを用いて、上記 4 箇所の放流量を算出し、緩和放流量として決定した。

また、4 箇所のうち、2 箇所の吐口の放流量を先行して緩和することを決定した。

このとき、先行緩和後にモデルの再検証を行い、妥当性の確認が完了した後、残りの 2 箇所について放流量の緩和を行い、最終段階でも再度モデルの検証を行うといった手順も確認書に定めた。

3.2 先行緩和実施後のモデルの再検証

平成 21 年 5 月に後楽ポンプ所、平成 23 年 8 月に坂下幹線の放流量緩和を先行して実施したため、確認書の手順に従って、モデルを再検証することとなった。

再検証を行うにあたっては、河川工事などにより確認書締結時と河川の状況などが変わったため、モデルの更新を行った。

また、当初は時間 20～30 mm 程度の 2～3 降雨で再検証を行うこととなっていたが、平成 23 年度において、対象となる降雨が 1 降雨しか観測されなかったため、建設局と協議し、平成 23～24 年の期間における時間 10 mm 程度の降雨も含めた 5 降雨で再検証することとした。この結果、計算水位と実測水位が概ね一致していることが確認されたため、更新後のモデルを確定することができた。(図 9)

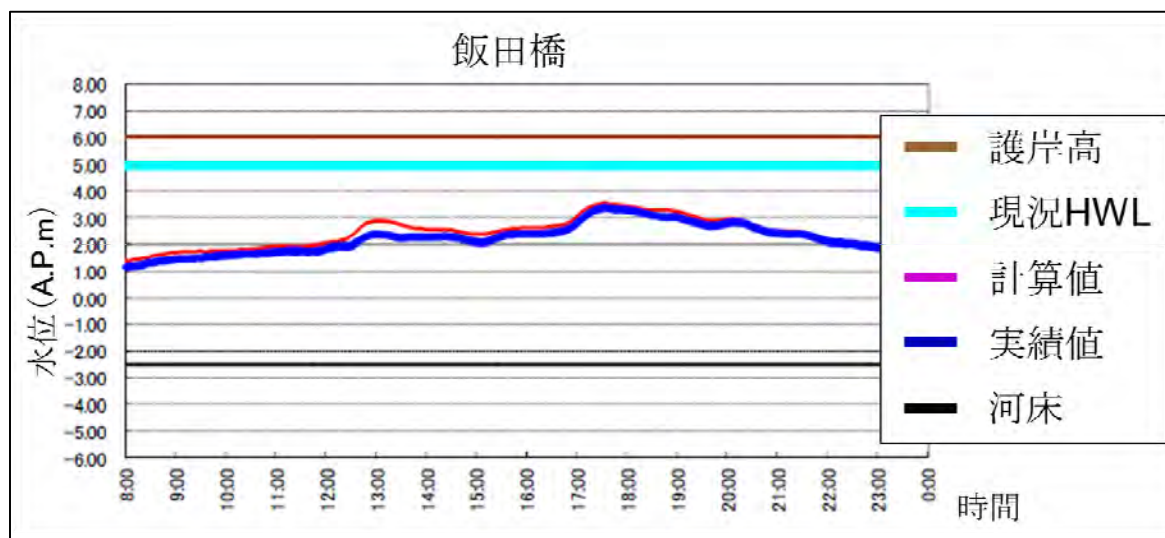


図9 水位比較の一例

3.3 修正した確認書の締結

モデルの更新により、計算結果が変わるため、緩和放流量の見直しを行った。

表1のとおり、基本的には、更新モデルにより算出された放流量を緩和放流量とした。

ただし、第二妙正寺川幹線については、放流先の流況が複雑であるため、別途水理模型実験を行っており、実験で河川の氾濫への安全性が確認された当初の緩和放流量を踏襲した。

また、このとき合理式により算出した放流量を計画放流量として原則記載したが、第二妙正寺川幹線だけは、更新モデル上の最大値を計画放流量として記載した。

表1 修正した確認書の放流量一覧

番号	施設名	緩和放流量(m³/s)			計画放流量(m³/s)
		H20当初確認書	更新モデル	H24今回確認書	
1	第二妙正寺川幹線	14.9	16.1	14.9	16.7
2	後楽ポンプ所	14.5	14.5	14.5	14.5
3	第二十二社幹線	15.8	15.5	15.5	24.0
4	坂下幹線	19.5	18.6	18.6	26.0

4. 雨水放流量緩和に関する課題

表1に示したように放流量として計画放流量と緩和放流量の二つの値が存在するため、放流協議、計画協議の順に行う河川協議の中で、吐口断面形状の決定プロセスが複雑になり、以下に示す課題が明らかになった。

具体的な内容について、坂下幹線の事例を挙げて説明する。

坂下幹線の放流協議では、合理式による計画放流量 26.0m³/s とシミュレーションによ

る当初の緩和放流量 $19.5\text{m}^3/\text{s}$ について承認を得て、H20 当初の確認書を締結した。このとき、坂下幹線の吐口の断面形状は、計画放流量 $26.0\text{m}^3/\text{s}$ に対して合理式のマンニング式から算定される高さ 3.0m 、巾 3.0m で計画されていた。

その後の計画協議において、計画放流量 $26.0\text{m}^3/\text{s}$ により決定された吐口の断面形状では、緩和放流量 $19.5\text{m}^3/\text{s}$ よりも多く放流される恐れがあるため、緩和放流量 $19.5\text{m}^3/\text{s}$ に合わせた吐口形状に縮小するよう指示を受けた。指示に従い、図 10 のように袖壁を設けて、吐口の断面形状を縮小する検討を行った。このとき、縮小後の吐口の断面形状は、建設局の指示に従いマンニング式により $19.5\text{m}^3/\text{s}$ に見合ったものとしたことから、高さ 3.0m 、巾 2.15m となった。

再検証時にこの袖壁をモデルに反映し、吐口の断面形状を高さ 3.0m 、巾 2.15m として再度放流量を算出すると、袖壁の損失が追加され、当初の緩和放流量 $19.5\text{m}^3/\text{s}$ よりも小さい $18.6\text{m}^3/\text{s}$ となったため、最終的に緩和放流量を $18.6\text{m}^3/\text{s}$ として平成 24 年に確認書を修正し締結した。

確認書の修正手続きにおいて、次のことが課題と考えられた。

縮小した吐口の断面形状は、マンニング式により当初の緩和放流量 $19.5\text{m}^3/\text{s}$ で設定しているため、計画協議時の指導方針からすると、新たな緩和放流量 $18.6\text{m}^3/\text{s}$ に見合った吐口の断面形状に変更し、吐口をさらに小さくする必要があるが生じる。

そして、マンニング式により修正後の緩和放流量 $18.6\text{m}^3/\text{s}$ に見合った吐口の断面形状に再度変更し、再びモデルに反映し計算し直すと、放流量は $18.6\text{m}^3/\text{s}$ より小さい値となることが予想される。

つまり、この指導方針では、いつまでも吐口の断面形状が定まらず、最終的には吐口を閉塞することになりかねないことがわかる。これは、マンニング式とシミュレーションという異なる手法で算出した値を、吐口の断面形状を扱う際に、それぞれの算出方法の違いを考慮せず、値の大きさのみに着目して協議を行ったことが原因である。

以上のことを建設局と確認した結果、当面の暫定措置として吐口の断面形状は高さ 3.0m 、巾 2.15m とし、これ以上の断面縮小の検討は行わなくてよいこととなった。

今回の河川協議における検討を通して、マンニング式で求められた吐口の断面形状に対して、シミュレーションで求められた緩和放流量に見合うようさらにマンニング式で吐口形状を再設定する方法は適切ではないと考えられる。

このため、今後も吐口の断面形状の決定プロセスについて継続的に建設局と協議を行う予定である。

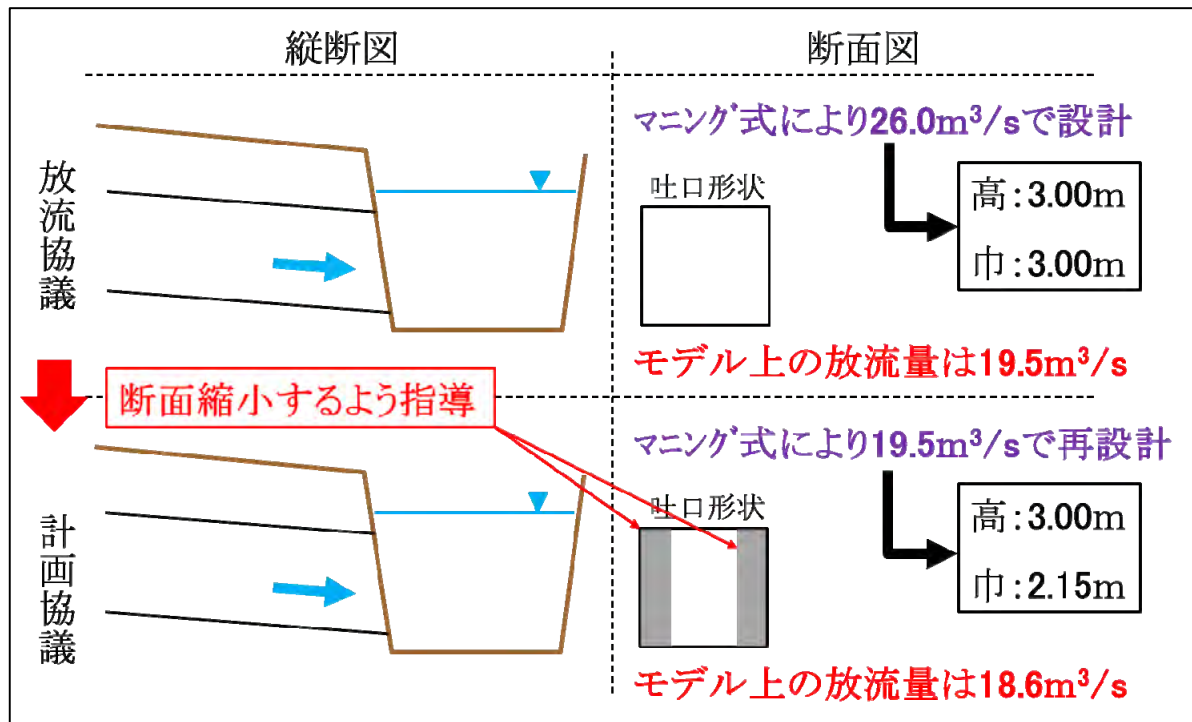


図 10 坂下幹線における事例

1-2-3 既設雨水渠へのシールド接続方法の検討について

(第二谷田川幹線その4工事)

第一基幹施設再構築事務所 設計課
事業調査係 笹井 満

1. はじめに

本工事は、谷田川幹線の増補幹線である第二谷田川幹線を新たに整備するものである。第二谷田川幹線は、伏越し構造である既設藍染川幹線雨水渠に到達することから、対策を講じない場合はシールド到達作業が水中作業となり、施工難易度が非常に高いことが想定された。そのため、接続部工事の安全性を高めるとともに、施工しやすい環境を整えるため、流出解析シミュレーションを用いた接続人孔内のドライ化の検討を行った。

2. 工事概要

工事件名： 第二谷田川幹線その4工事

工事場所： 北区田端新町一丁目、荒川区東尾久一丁目付近

工事内容： 泥土圧式シールド工法（コンパクトシールド工法）

仕上り内径 ϕ 2,600mm、路線延長 L=216.95m

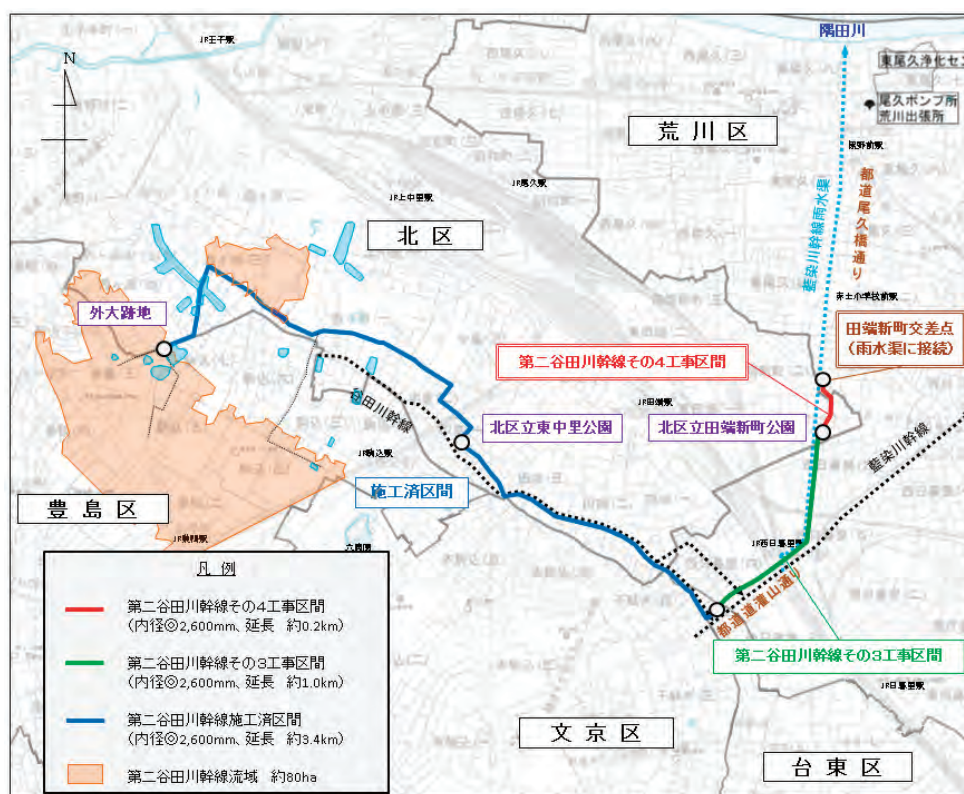


図1 流域概要

3. 本工事における課題

本工事は、第二谷田川幹線の最下流部区間であり、既設藍染川幹線雨水渠の伏越し人孔（図2）にシールドマシンが到達する計画である。しかし、当該人孔は隅田川の河川水の影響を受けており、常時滞水している状況である。

当初計画では、シールド到達作業に当たっては、水中作業にて足場及び仮締切を設置し、接続箇所を排水し、ドライスペースを設けた上で、第二谷田川幹線を接続する計画であった。しかし、この場合シールド到達作業が水中作業となるため、施工難易度が非常に高く、安全性及び施工性の面で大きな課題があった。

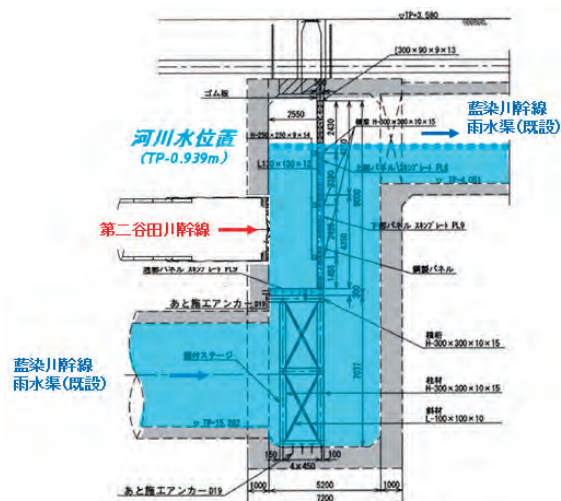


図2 既設藍染川幹線の伏越し人孔
(接続人孔)

4. 検討内容及び結果

(1) 検討項目

シールド到達作業の安全性及び施工性の向上を図るため、接続人孔内のドライ化について検討を行った。検討項目は、以下の2点である。（図3、4）

①河川水の流入防止対策の検討

… 藍染川幹線雨水渠は、隅田川の河川水の影響を受けるため、接続人孔内への河川水の流入を防止する対策の検討を行う。

②藍染川幹線分水部の堰高の検討

… 藍染川幹線と藍染川幹線雨水渠の分水人孔で分水された雨水が接続人孔内へ流入することから、藍染川幹線雨水渠内への流入をより制限するため、分水人孔の適切な堰高の検討を行う。

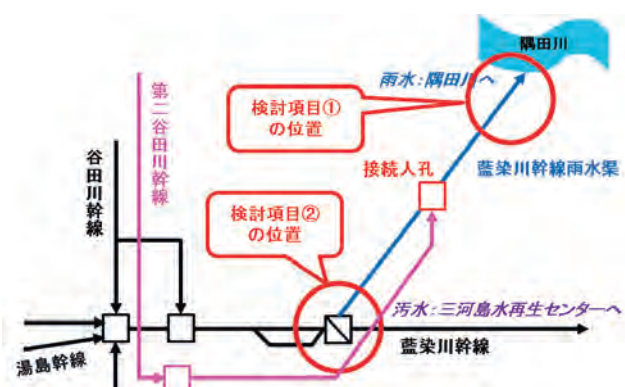


図3 検討項目の平面位置図

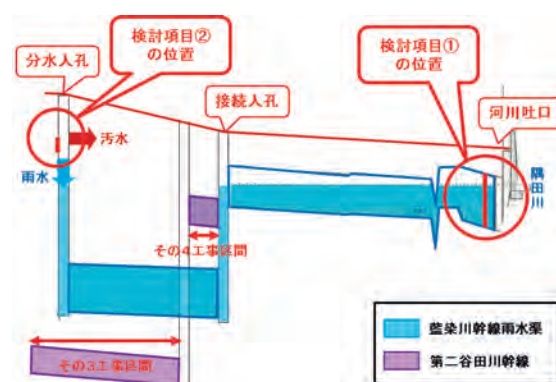


図4 検討項目の断面位置図

(2) 流出解析シミュレーション

ドライ化の検討に当たっては、ドライ化対策前後における流域全体の治水安全度の確認を行うため、流出解析シミュレーションを用いた。

流出解析シミュレーションソフトとして、今回は分布型モデルの1つである InfoWorks CS を用いた。モデル化した流域は、藍染川幹線流域及び谷田川幹線・第二谷田川幹線流域の約 560ha である。(図 5)



図 5 流出解析シミュレーションによるモデル化流域

流出解析モデルの雨水流出係数などの各種パラメータの設定に当たっては、当該流域の過去の浸水実績や流末である三河島水再生センターへの流入実績などの既存データを基にキャリブレーションを行い、流出解析モデルの妥当性を確認した。

(3) 検討結果

①河川水の流入防止対策の検討

藍染川幹線雨水渠は、隅田川の河川水の影響を受けるため、接続人孔内への河川水の流入を防止する対策の検討を行った。

河川水の流入防止対策の位置としては、締め切った後の藍染川幹線雨水渠の貯留量を最大限活用する考えから、図 6 に示すように河川吐口部付近に設置することが有効であると考えた。この場合の藍染川幹線雨水渠の貯留容量は、約 55,000m³ となる。

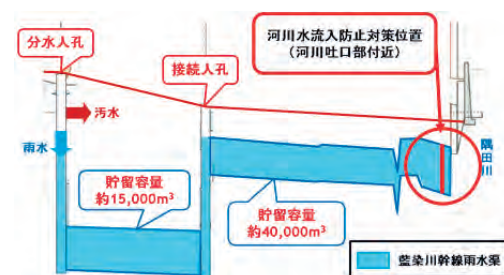
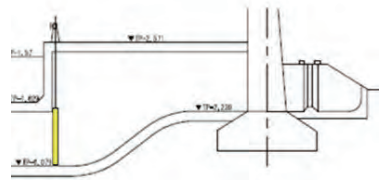
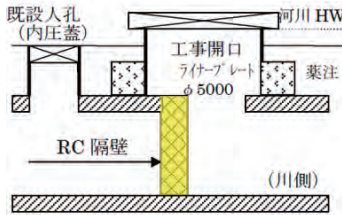


図 6 河川水流入防止対策位置

次に、河川水の流入防止対策として、既設スルースゲート（高潮防潮扉）を使用する対策と鉄筋コンクリートなどで仮壁を設置する対策を検討した。比較表を表 1 に示す。

維持管理部所との協議の結果、「大雨時にすぐに開けられるような構造にすること」という要望があったため、今回は短時間に手動でゲート開閉が可能な「既設スルースゲートを使用する対策」を採用した。

表 1 河川水流入防止対策の比較表

	既設スルースゲート使用	仮壁設置
概要	既設スルースゲート（高潮防潮扉）で止水する。	雨水渠内に、鉄筋コンクリート構造等の仮壁により止水する。
作業概要及び構造	手動ゲート 【ゲート開：40 分（20 分×2 門）】 【ゲート閉：6 分（3 分×2 門）】 	既設藍染川幹線雨水渠頂版を撤去し、仮壁を設置する。工事後、頂版復旧が必要。 
施工日数	設置日数(開)：約 1 日間 撤去日数(閉)：約 1 日間	設置日数：約 50 日間 撤去・復旧日数：約 40 日間
止水性	ゲートの戸当たり部で漏水の可能性があるため、雨水渠内に土のう、仮排水ポンプを設置し、排水する。	止水性は高い。
前提条件	大雨時にすぐに開けられるような構造にすること。(維持管理部所より)	
前提条件の可否	対応が可能	対応が不可能
評価	○	△

②藍染川幹線分水部の堰高の検討

藍染川幹線と藍染川幹線雨水渠の分水人孔で分水された雨水が接続人孔内へ流入することから、ドライ化を目的として藍染川幹線雨水渠内への流入を制限するため、分水人孔の適切な堰高の検討を行った。

藍染川幹線分水部の構造は、図7に示すとおり、既設堰高が1.2mであり、堰高を越えるまでの汚水は三河島水再生センターへ流入し、堰高を越えた雨水は藍染川幹線雨水渠へ流入し隅田川へ放流される。

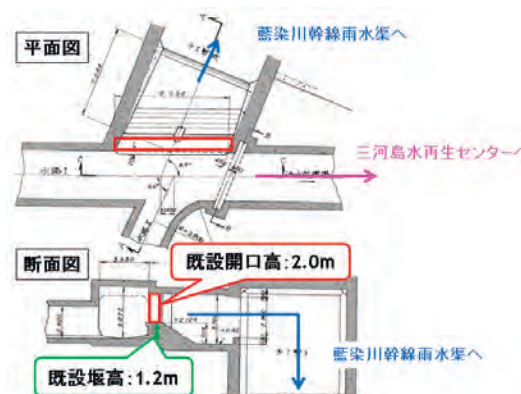


図7 藍染川幹線分水部の構造

1) 計画降雨における藍染川幹線分水部の必要堰高

流出解析シミュレーションを用いて、計画降雨10mm/hr～50mm/hrの5降雨で藍染川幹線分水部のピーク水位の確認を行い、各降雨における必要な堰高の検討を行った。検討結果を表2に示す。

当該流域において、計画降雨10mm/hrでは藍染川幹線分水部のピーク水位が1.265mであったことから、ピーク水位に対応可能な必要堰高は1.3m（堰嵩上げ高0.1m）と設定した。その他に、20mm/hr対応堰高は2.0m（堰嵩上げ高0.8m）、30mm/hr対応堰高は2.9m（堰嵩上げ高1.7m）と設定した。ただし、40mm/hr、50mm/hr対応堰高に関しては、ピーク水位が既設開口高よりも上昇することから、全閉塞が必要という結果となった。

表2 藍染川幹線分水部の水位と必要堰高

計画降雨	ピーク水位 (m)	必要堰高 (m)	堰嵩上げ高 (m)
10mm/hr	1.265	1.3	0.1
20mm/hr	1.972	2.0	0.8
30mm/hr	2.882	2.9	1.7
40mm/hr	4.019	3.2(全閉塞)	2.0(全閉塞)
50mm/hr	4.367	3.2(全閉塞)	2.0(全閉塞)

※既設分水堰高：1.2m、既設開口高：2.0m

2) 現況堰と40mm/hr、50mm/hr対応堰（全閉塞）の治水安全度の比較

次に、最適な堰高を確認するために、堰高を変更させたことによる流域全体の治水安全度を検証することとした。流域全体の治水安全度を評価するにあたり、流出解析シミュレーションで算出した流域全体の総溢水量で評価することとし、現況堰（対策前）と比較して、堰高変更時（対策後）の流域全体の総溢水量が増大していないかを確認することとした。

現況堰と40mm/hr、50mm/hr対応堰（全閉塞）の流出解析結果を図8に示す。

計画降雨40mm/hrと50mm/hrの結果をみると、両降雨ともに堰高を嵩上げすることで流域全体の総溢水量が増大し、治水安全度が低下している。この理由としては、堰を全閉塞した結果、今まで分水堰を越流して隅田川へ放流していた雨水が藍染川幹線へ流下し全て三河島水再生センターへ流入し、藍染川幹線の流下能力や三河島水再生センターのポンプ能力を超えたことにより、地表面へ溢水したためである。したがって、分水堰を全閉塞することは、治水安全度が大幅に低下することから、採用できない結果となった。

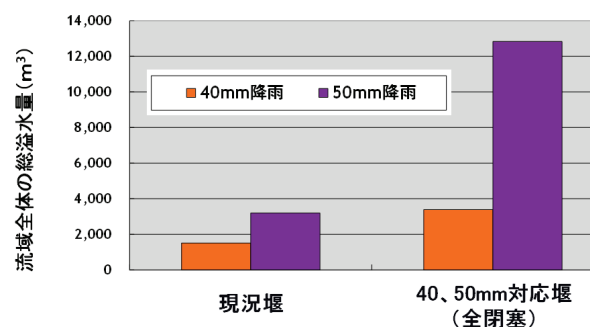


図8 流域全体の総溢水量
（現況堰と堰全閉塞時）

3) 現況堰と 20mm/hr、30mm/hr 対応堰の治水安全度の比較

② 2)の検討結果より、藍染川幹線分水部の堰高は 40mm/hr、50mm/hr 対応堰高（全閉塞）では治水安全度が低下したため、20mm/hr、30mm/hr 対応堰を検討対象とした。ここで、10mm/hr 対応堰高については表 2 より現況の堰高を 0.1m 嵩上げするに過ぎず、嵩上げの目的である第二谷田川幹線のシールド到達作業中のドライ化に対し、現況堰と比べて越流回数の削減効果がそれほど期待できないことから、10mm/hr 対応堰を検討対象外とした。

現況堰と 20mm/hr、30mm/hr 対応堰の流出解析結果を図 9 に示す。

20mm/hr 対応堰では、計画降雨 40mm/hr 及び 50mm/hr のいずれの場合も流域全体の総溢水量は現況堰と比較して概ね同程度であった。

一方、30mm/hr 対応堰では、計画降雨 40 mm/hr 及び 50mm/hr のいずれの場合も現況堰と比較して総溢水量が大きくなり治水安全度が低下する結果となった。これは、30mm/hr 対応堰では表 2 より 1.7m 嵩上げするため、既設開口高 2.0m に対して 0.3m しか開口がなくなることから、藍染川幹線雨水渠側へ適切に雨水が流入しないことによるものである。

以上より、計画降雨 40mm/hr、50mm/hr までは概ね治水安全度の確保が可能な 20mm/hr 対応堰を採用し、表 2 より分水堰高を 0.8m 嵩上げすることとした。

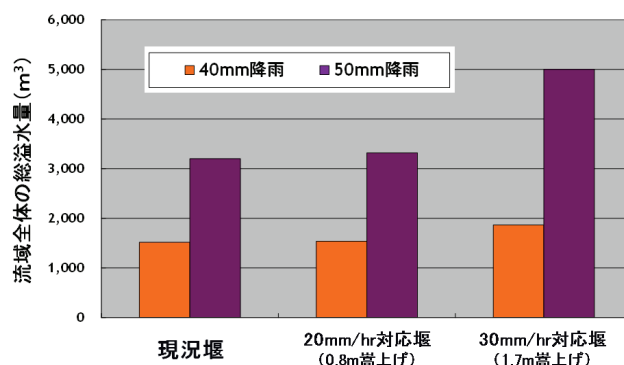


図 9 流域全体の総溢水量
(現況堰と 20、30mm/hr 対応堰)

(4) 対策結果の整理

今回、シールド到達作業の安全性及び施工性の向上を図るため、接続人孔内のドライ化について検討を行った結果、河川水の流入防止対策としては、図 10 に示すように、既設スルースゲートを使用することとした。また、藍染川幹線分水部の堰高対策としては、図 11 に示すように、堰高を 80cm 嵩上げする対策とした。



図 10 河川水の流入防止対策

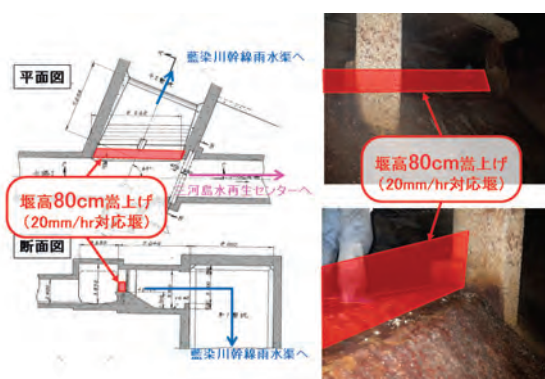


図 11 藍染川幹線分水部の堰高対策

5. おわりに

シールド到達作業における水中作業は、施工難易度が非常に高く、施工しやすい環境に整える必要があるため、既設雨水渠へのシールド接続方法の検討にあたっては、今回の事例のように治水安全度を考慮したドライ化など、設計段階より十分な検討を行う必要がある。

1-3-1 地震時の人孔側塊目地ずれ抑制シートの開発

計画調整部技術開発課 和田 光由

1. はじめに

1.1 開発の背景

平成 23 年に発生した東日本大震災において、下水道管路内への土砂堆積が液状化発生地域を中心に多く確認された。管路内への土砂堆積は下水道の流下機能を阻害し、また堆積物を管路内から除去するには多くの時間を要するため、長期間にわたるトイレ使用の制限など都民生活に対し多大な影響を与えた。同地震においてはマンホール側塊の目地がずれる被害が多く発生し、側塊ずれ部からの土砂流入が管路内への土砂堆積被害の一因と考えられている。

また、東日本大震災による被害報告において「側塊ブロックを持つマンホールについて土砂流入防止の観点から躯体のずれ防止または、目地部からの土砂流入防止技術の開発が必要である」と報告されている。

以上より、管路内の土砂流入に対して早急に対策を講じる必要があるため、側塊ブロックの水平方向ずれに対する土砂流入防止技術の開発を行った。

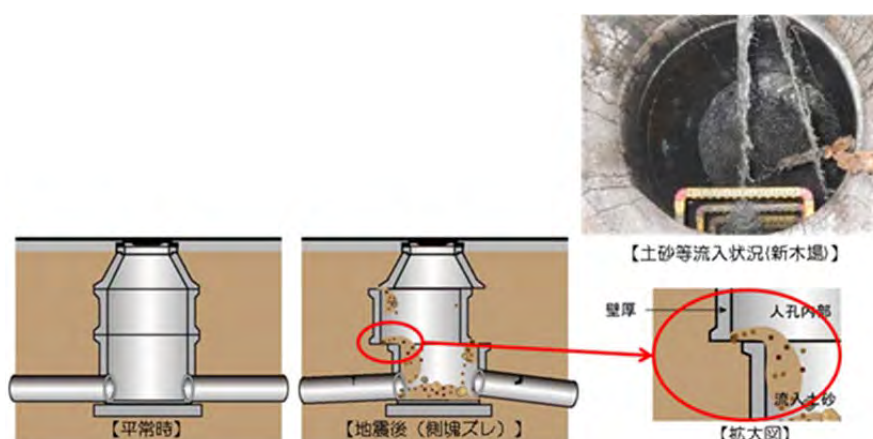


図 1 マンホール側塊ずれの被害イメージ



図 2 目地ずれ被害状況（浦安市） 中央：土砂堆積状況 右：躯体ずれ状況

1.1 開発の概要

マンホール躯体のずれを防止する対策として開削工法で組立マンホールへ交換する方法があるが、市街地では道路内埋設物が錯綜するとともに路上交通も多く、開削工法はコストがかかるうえに市民生活に大きな影響を及ぼす。

そこで、マンホール内部から非開削で施工可能な、地震時に発生するマンホール側塊間のずれを抑制し側塊目地部からの土砂流入を防止する工法「地震時人孔側塊目地ずれ抑制シート工法」を開発した。図3に本工法の概要図を、図4に詳細図を示す。本工法はマンホール内部からマンホール側塊目地部にエポキシ樹脂の弾性接着剤及びオレフィン系シートにポリエステルフェルトを溶着させたシートを設置するものである。地震時にマンホール側塊に発生する水平力に対し、マンホール目地部に設置した弾性接着剤及びシートによりマンホール側塊間のずれを抑制する。またマンホール本体の腐食によるシートへの影響を防止するため、エポキシ樹脂の端部処理材を上端および下端に設置する。

適用範囲は斜壁及び直壁部のマンホール側塊目地部であり、マンホール深 5m 以内、内径 900～1500 mm の円形マンホールを対象とした。

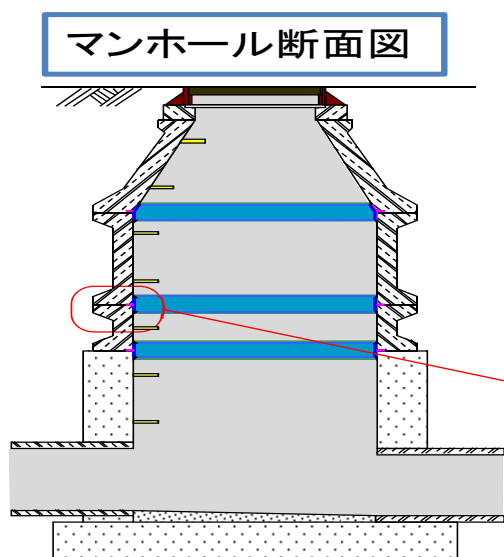


図3 工法概要図

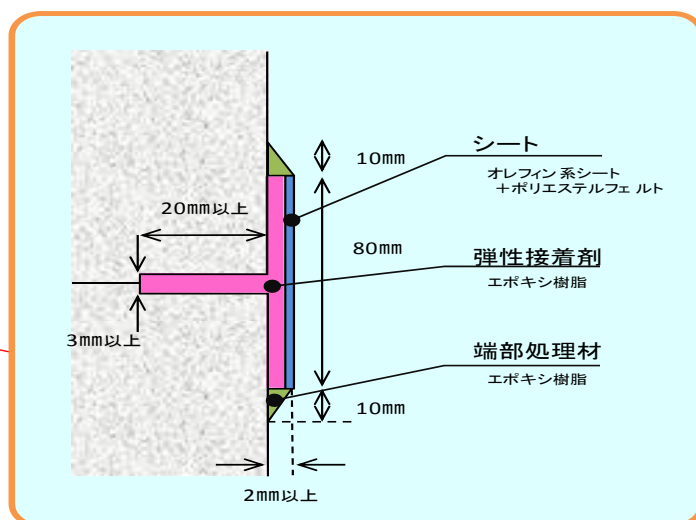


図4 工法詳細図

2. 耐震性能の評価

2.1 本研究における耐震性能の評価手法

現在「下水道施設の耐震対策指針と解説」等にはマンホール側塊の地震時水平方向の影響を検討する方法は示されていない。液状化地盤では地盤反力は期待できないと考えられるため、液状化時の揺さぶりによる「ずれ」現象を応答変位法により表現することは困難である。

そこで、本研究における耐震性能の評価にあたっては、震度法の考え方を採用することとした。これは、液状化発生時には地盤の変位によるばね応力が働かないため大きな力の働かない応答変位法でなく、構造物そのものの慣性力を考慮する震度法で応力を設定することが適当と考えたことによる。

本研究では、マンホール側塊目地部に発生しうると考えられる最大の応力を設定し、そ

の応力に対し必要な性能を確保させることとした。

2.2 水平力の算定

耐震性能の評価最大の応力である最大水平力の設定にあたって計算条件は以下とした。

- ・マンホールは1号を想定し、内径900mm、マンホール側塊高60cm、マンホール深5mとする。
- ・マンホールの継目は鉛直方向を結合し、水平方向はスライドする（摩擦なし）。
- ・水平力が作用した際、マンホールの傾きによる浮き上がりは考慮しない。
- ・水平震度 K_h は L2 地震動タイプ II を想定し、下水道施設の耐震対策指針と解説等に表示される L2 地震動における設計水平震度のうち最大となる $0.8G$ とする。
- ・載荷する荷重は水平地震力によって作用するマンホールの慣性力のみとし地盤反力等は考えない。
- ・マンホールの最下段は管によって固定され、最上段は道路舗装によって固定されているものとする。
- ・慣性力は一方向に均一に作用する。

図5に水平力算定時のマンホール側塊モデルのイメージを示す。マンホールの最下段(マンホールブロック)と最上段(蓋、調整リング)は固定され、マンホールブロックの接合部は目地ずれ抑制シートで繋がっているが、斜壁と調整リングの接合部にはシートはなく、解析上、摩擦もないため、モデルは最下部(管により固定)を支点として、片持梁となり、安全側の計算となる。

図5より、シート部にかかる最大水平力は、⑧部分において20,788Nとなった。

以上より、マンホール目地部にかかる水平力20,788Nに対し、水密性及び接着性能を有するシート及び接着剤を選定、開発することとした。

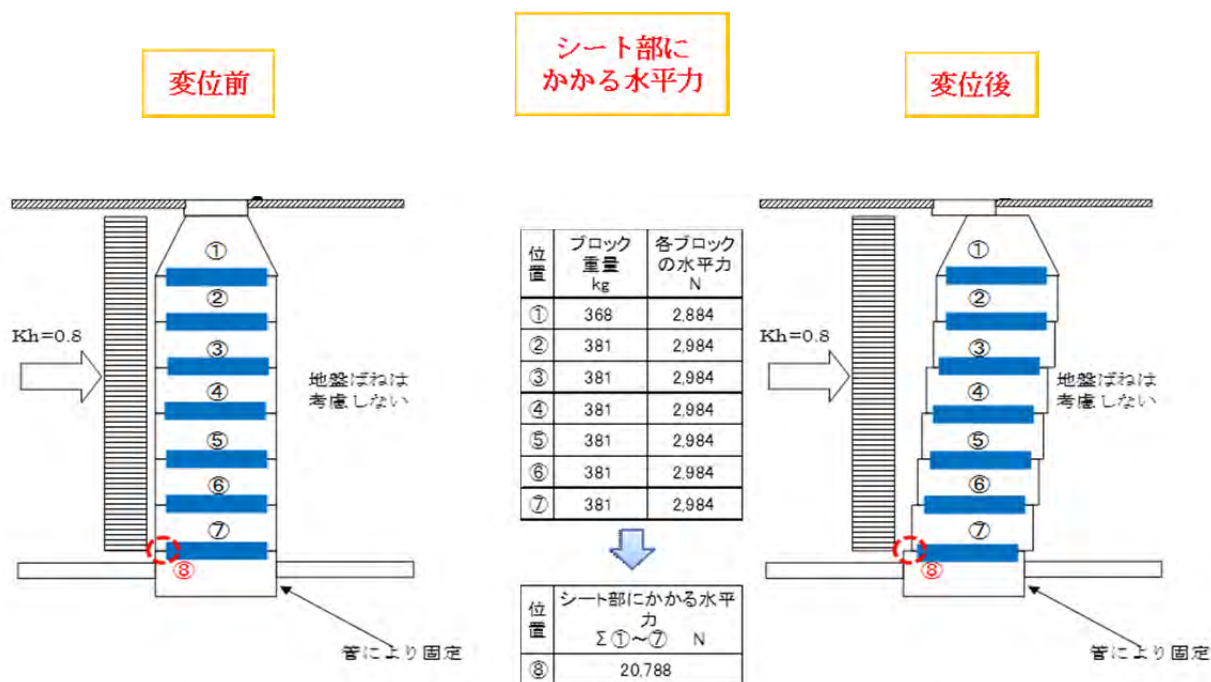


図5 水平力算定時のマンホール側塊モデルのイメージと水平力の算定

3. 材料の選定

3.1 最適なシート用接着剤及び目地ずれ抑制シートの材料の選定

地震時のマンホール側塊目地ずれ抑制シートに使用する各部材に関し、要求される性能や材料の選定理由を示す。

本技術の材料の概要を図 6 に示す。

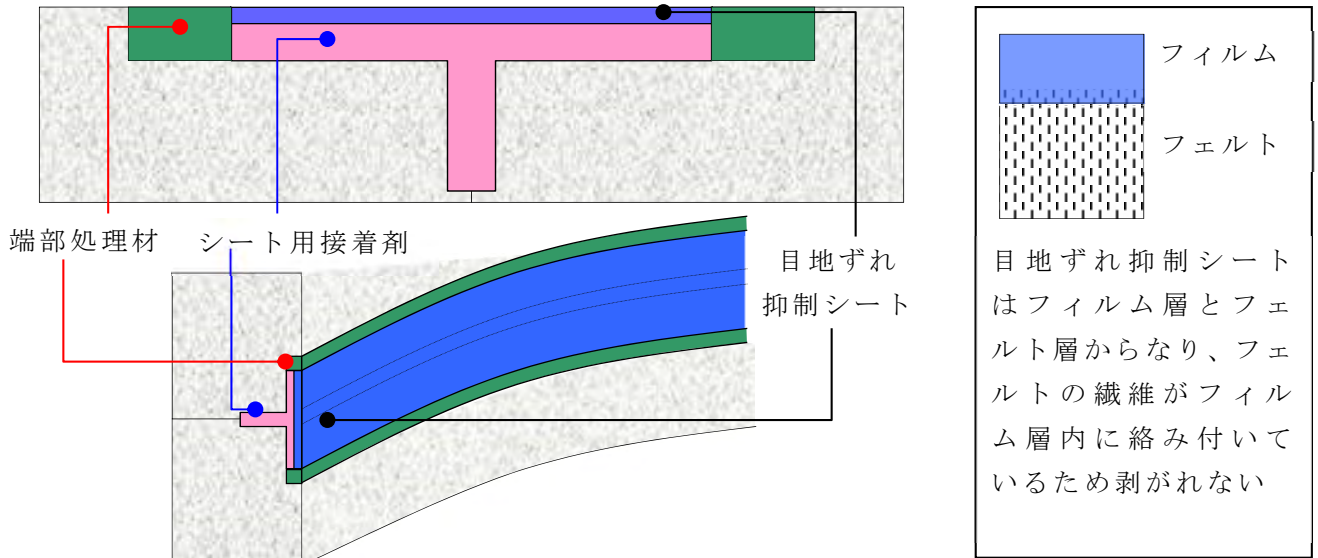


図 6 材料概要

(1) シート用接着剤の材料選定

シート用接着剤に求められる性能は以下のとおりである。

○接着性の確保

地震時の応力に対し十分な接着力を有するとともに、柔軟性を有し既設マンホールの変位に追従する必要がある。

○水密性の確保

弾性変形時においても地震時に発生する間隙水圧に対して水密性を確保する必要がある。

○耐久性の確保

長期にわたり、強度性能に変化がない必要がある。

○経済性

汎用性のある接着剤の中から選定を行った。

上記より弾性と水中硬化特性を有している樹脂を選定することとし、土木用材料としての使用実績を考慮すると、更生管マンホール接続部耐震化工法（通称 耐震一発くん）で変位に追従する止水材として使用している、弾性エポキシ樹脂を選定した。

(2) 目地ずれ抑制シートの材料選定

目地ずれ抑制シートに求められる性能は以下のとおりである。

○強度

地震時に発生する応力に対応する必要がある。

○耐薬品性

水や硫酸等を含む下水道内部環境に暴露されるため、耐食性を有する必要がある。

○水密性

シート用接着剤と一体となり、過剰間隙水圧に対して水密性を確保する必要がある。

○施工性

マンホール内部において人力で施工を行うため、柔軟性を持ち、且つ部材が軽量である必要がある。

○加工性

接着力の増加を図るため、材料表面の改質や、容易に加工できる必要がある。

○経済性

経済性を考慮し、汎用プラスチックから選定を行う。

以上の要求性能を満たす材料として、ポリプロピレン、ポリエチレン混合物を採用した。

また、シート用接着剤との接着力を向上させるために材料の表面加工方法について、耐食性、加工性に優れているポリエステル不織布張り付けを選定した。

3.2 目標強度の設定

(1) 解析モデルの概要

シート用接着剤及び目地ずれ抑制シートの目標強度の設定にあたり、最下段部のマンホール目地部をモデル化した 3 次元 FEM 解析を実施した。設定条件は以下のとおりである。

- ・マンホールの条件：内径 900 mm 側塊高 60 cm マンホール深 5 m
- ・マンホールに与える応力値：20,788 N レベル 2 地震動に対応する水平震度 0.8G の慣性力を与えた場合の応力値（2.2 より）
- ・物性値 選定した材料の基礎試験から得られた試験結果より物性値を設定した。

シート用接着剤	設定接着強度	0.25N/mm ²	ヤング率 1.0N/mm ²
目地ずれ抑制シート	設定引張強度	10N/mm ²	ヤング率 400N/mm ²

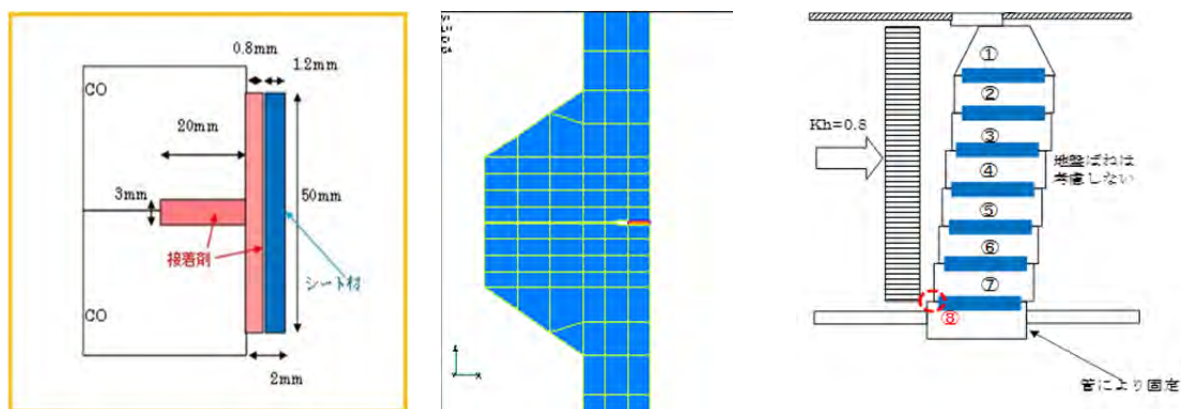


図 7 解析モデルのイメージ

(2) 解析結果及び目標強度

図 8 に解析モデル図を、図 9 にシート用接着剤の応力算定結果を示す。

解析の結果、最大応力は力の方向と目地の向きが並行な部分の目地部で発生した。（図 8 の点線部） これはこの地点では目地ずれ抑制シートが円周状にずれようとする力が働き、シート用接着剤に大きなせん断応力が発生しているためと考えられる。

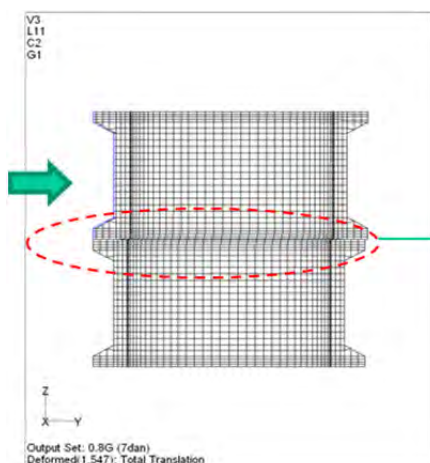


図 8 解析モデル図

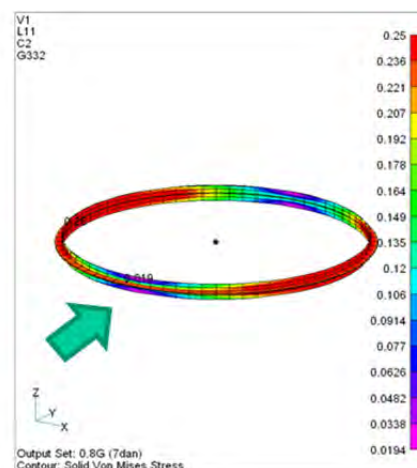


図 9 シート用接着剤の応力算定結果

解析結果よりシート用接着剤の発生最大応力は 0.25N/mm^2 、目地ずれ抑制シートの最大発生応力は 5.02N/mm^2 であり、各々が設定接着強度以下、設定引張強度以下であることを確認できた。本解析結果をもとに、シート用接着剤及び目地ずれ抑制シートの目標強度として、発生最大応力に対して安全率 1.3 を考慮し、表 1 に示すとおり目標接着強度を 0.35N/mm^2 、目標引張強度を 7.0N/mm^2 と設定した。

表 1 シート用接着剤及び目地ずれ抑制シートの目標強度

シート用接着剤		目地ずれ抑制シート	
FEM解析結果による発生最大応力	0.25 (N/mm ²)	FEM解析結果による発生最大応力	5.02 (N/mm ²)
目標接着強度	0.35 (N/mm ²)	目標引張強度	7.00 (N/mm ²)

3.3 材料の各種試験結果

(1) シート用接着剤

1) 接着力試験

マンホール目地部に目地ずれ抑制シート及びシート用接着剤を設置した平板模型を作成し、2方向に荷重を載荷し接着強度について測定した。その結果、接着剤とシート、接着剤とマンホール側塊の接着強度が目標値を満足していることを確認した。

なお、破壊時にコンクリートやシートに影響はなく、接着剤がはがれることを確認した。

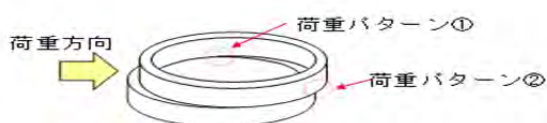


図 10 2方向の荷重パターン

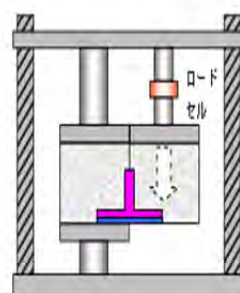


図 11 接着力試験のイメージ

表 2 試験結果

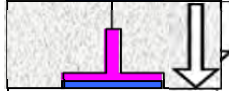
	荷重 N	強度 N/mm ²	目標強度 N/mm ²
	1458	0.58	0.35
	1733	0.70	

写真 1
試験後の破壊状況
荷重パターン②

2) 水密試験

マンホール目地部に目地ずれ抑制シート及びシート用接着剤を設置した平板模型を作成し、0.1MPaの水圧を3分間作用させた。その結果、漏水等の発生は生じず、水密性を確保していることを確認した。

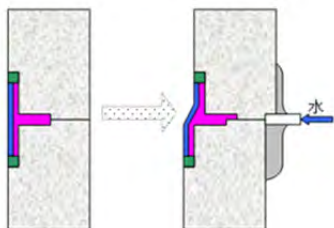


図 12 水密試験のイメージ



写真 2 試験実施状況

3) 耐久性試験

接着剤に対し高温下で熱を加え老化を促進させる熱老化試験を実施した結果、30℃の条件における劣化予測時間（推定耐用年数）が50年を超えることを確認した。

(2) 目地ずれ抑制シート

1) 引張試験

目地ずれ抑制シートの引張試験を実施した結果、目標強度を満足することを確認した。

表 3 シート単体（NO.1～5）引張試験結果

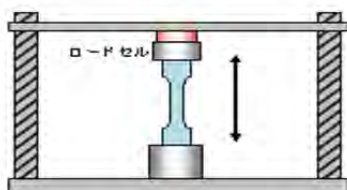
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	平均値	目標強度
引張強度 (N/mm ²)	19.9	18.2	18.8	21.5	19.3	19.5	7.0

図 13 引張試験のイメージ

2) 耐薬品性試験

目地ずれ抑制シートは下水道環境と接触するため、硬質塩化ビニル管と同等の耐薬品性試験(k-1)を実施し、質量変化率が許容値 ($\pm 0.2\text{mg}/\text{cm}^2$) 以内であり、耐薬品性を有することを確認した。

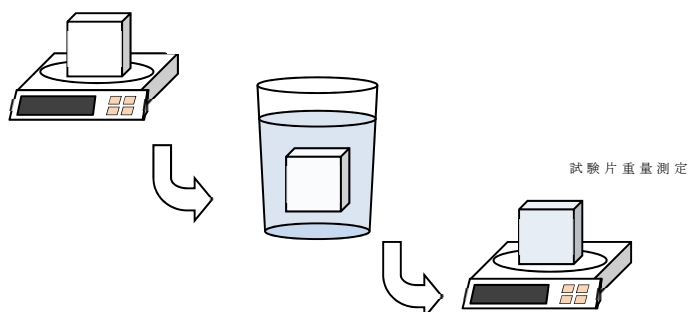


図 14 耐薬品性試験方法

表 4 耐薬品性試験結果

薬品	K-1試験結果 (mg/cm^2)
蒸留水	0.00
10%塩化ナトリウム水溶液	-0.03
30%硫酸水溶液	-0.00
40%塩化ナトリウム水溶液	-0.01

(3) 端部処理材

端部処理剤の材料として下水道環境と弾性エポキシ樹脂との接触を遮断するため、下水道環境下で使用している防食塗布ライニング材を選定し、接着性、耐久性など品質規格を満足していることを公的機関の試験結果により確認した。

4. 実物大試験による目地ずれ抑制シートの耐力確認

4.1 実物大試験の概要

地震時にマンホール側塊に加わる想定水平力をかけた際に目地ずれ抑制シートが耐力を有していることを確認するため、実物大のマンホールを用いて試験を実施した。

組立マンホール(1号マンホール)を切断し、積み重ねて試験を実施した。目地部に溝を形成後目地ずれ抑制シートを設置し、油圧ジャッキを用いて上側のマンホールに荷重を作用させた。

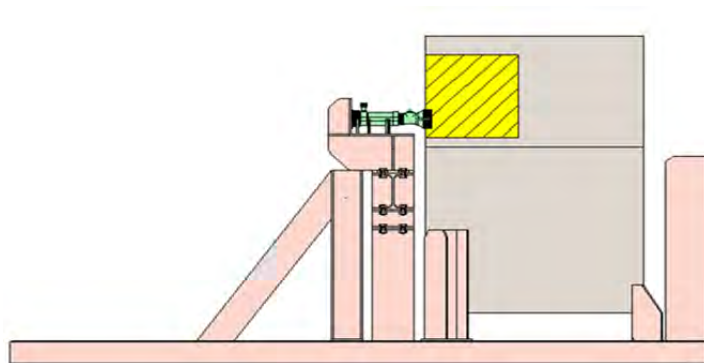


図 15 実物大試験状況図



写真 3 試験状況

4.2 設定した荷重と試験結果

設定した荷重は3.2の解析モデルと同様に、水平震度0.8Gに相当する水平力20.8kNとした。その時のシートの状態を確認した結果、目地ずれ抑制シートにはがれ等の異常は見られなかった。さらに、荷重を増加し目地ずれ抑制シートを剥離させたが、剥離時においてもシート用接着剤が破壊し、目地ずれ抑制シート及びコンクリートには損傷を与えないことを確認した。



剥離後、シートを撤去し
コンクリート表面に損
傷がないことを確認



試験片重量測定



4種の薬品へ
60℃・5時間浸漬

写真4 実物大試験結果の状況

5. 試験施工による現場での施工性の確認

実現場での施工性や歩掛りなどを検証するため、平成25年2月～3月に試験施工を実施した。液状化地域にある横ずれ防止機能のない既設マンホールが対象であることから、多摩川付近にある大田区本羽田（内径90マンホール）及び羽田（内径120マンホール）を試験施工箇所として選定した。

当初は想定時間よりも施工に時間がかかることもあったが、安全かつ確実に施工ができることを確認した。施工時間は、内径90マンホールについては目地部2か所あたり5時間27分、内径120マンホールについては目地部3か所あたり7時間15分であった。

施工時間については、施工機械の改良や注入器の採用などにより、短縮が可能であることを確認した。



① 目地部整形工



② 目地部切削完了



③ プライマー塗布



④ 接着剤塗布



⑤ シート貼付状況



⑥ 端部処理剤塗布

写真5 試験施工の施工状況

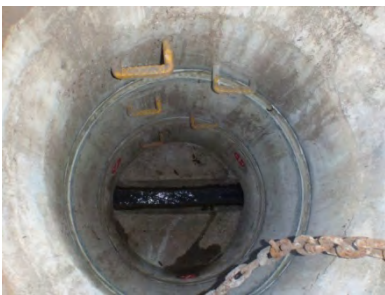
6. 追跡調査による施工後の品質確認

6.1 追跡調査の実施時期

マンホール側塊目地ずれ抑制シート工法を導入するに当たり、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追跡調査を実施した。追跡調査は、施工（平成 25 年 2 月、3 月）の 1 ヶ月後（3/26、4/19 実施）、3 ヶ月後（6/24 実施）、6 ヶ月後（9/27 実施）に実施した。

6.2 マンホール目地部の目視調査

追跡調査は目視により実施し、施工前後でマンホール目地部に貼ったシートの状態に変化がないかを確認した。調査の結果、目地ずれ抑制シートのはがれや浮きがなく、目地ずれ抑制シートに変色や劣化などが見られなかったことから、施工直後の状態を保っていることを確認できた。



全景（6 ヶ月後）



目地部 足掛直上（6 ヶ月後）



目地部 斜-直（6 ヶ月後）



全景（施工直後）



目地部 足掛直上（施工直後）



目地部 斜-直（施工直後）

写真 6 現場試験の追跡調査状況（内径 90 マンホール）



全景（6 ヶ月後）



目地部 足掛直下（6 ヶ月後）



目地部 詳細（6 ヶ月後）



全景（施工直後）



目地部 足掛直下（施工直後）



目地部 詳細（施工直後）

写真 7 現場試験の追跡調査状況（内径 120 マンホール）

7. 終わりに

管路施設の耐震化対策は、下水道管とマンホール接続部の耐震化、マンホールの浮上対策などが計画的に取り組まれてきている。

一方、東日本大震災では江東区新木場地区で大規模な液状化が発生し、マンホールや本管などへの土砂流入が発生し、都民生活に多大な影響を与えた。

目地ずれ抑制シート工法は、液状化の危険性の高い地盤にあり、マンホール側塊のずれ止め対策が行われていないマンホールの土砂流入を防止する有効な工法であるため、今後の下水道事業の耐震化に広く貢献できるものと考えている。

参考文献

- 1) 社団法人（現公益社団法人）日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 2006年版、平成 18 年 8 月

1-3-2 既設構造物の耐震補強設計への非線形解析の導入について

建設部 土木設計課 神田 浩幸

1. はじめに

下水道施設は、水道・電気・ガスなどのライフラインと同様に、国民生活や社会活動に欠くことのできない重要な施設である。特に当局の施設は首都機能維持に必要不可欠であり、ひとたび大地震が発生し機能不全に陥ると、都民生活に支障をきたすだけでなく、日本全体に影響を与えることになる。

これまでも、当局では施設の重要度に応じて耐震補強事業を実施してきたが、東日本大震災の発災を受けて計画を大きく見直したことに伴い、事業の効率化が必要となった。その方策の一つとして非線形解析の導入を検討した。

2. 当局の下水道施設耐震化計画

2.1 東日本大震災の発災を受けた東京都の対応

東京都では、東日本大震災の発災を踏まえた対策を検討するために、学識経験者等による技術検証委員会「地震・津波に伴う水害対策技術検証委員会」を設置し、これまでの対策を検証するとともに、今後の対策のあり方について検討を行った。

その結果、今回の震災では都がこれまで実施してきたレベル1地震動（施設の供用期間内に1～2度発生する確率を有する地震動）に対する対策は、一定程度効果を発揮したと評価できるとした。一方、将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動への対策に取り組んでいくべきであるとした。また、ポンプ所や水再生センターなどは、内水を速やかに排水する水害防止のための重要施設であることから、耐震性の照査を更に進め、最大級の強さを持つ地震動に対する耐震対策を検討し、速やかに対策に取り組むべきであるとした。

2.2 下水道施設の耐震補強計画の見直し

下水道局では技術検証委員会の提言を受け、施設の耐震補強計画の見直しをおこなった。

耐震化の完了の目標年次は、東京オリンピックの開催を見据えて平成31年度とした。対象とする施設は、施設の廃止や再構築の計画がある施設を除く、当局の区部が所管する水再生センター13か所、ポンプ所85か所すべてを対象とし、下水道が最低限確保すべき機能を担う機能について、耐震性を確保することとし、対象地震動はレベル2地震動（施設の供用期間内に発生する確率は低いが大きな強度を有する地震動）とした。

すなわち、これまでレベル1地震動を対象に実施してきた耐震補強を、レベル2地震動に対応するよう耐震性を強化することに加え、今年度（平成25年度）を含めて7年間という短い期間で完了する必要があるため、耐震補強をこれまで以上に効率的に進めていくことが必要となった。

2.3 耐震補強対象施設

下水道機能の耐震性向上については、個々の施設の耐震化に加え、処理システム全体の機能を確保することに留意して、事業を実施することとした。

具体的には、水再生センターについては、それぞれの水再生センターについては、「揚水→沈澱→消毒→放流」の各機能を結ぶルートについて耐震性を確保する。ポンプ所につい

ては、「揚水→放流」の各機能を結ぶルートについて耐震性を確保することとした。

3. 耐震解析手法について

3.1 既存施設の耐震化が抱える問題点

既設の下水道施設を耐震補強するためには、施設を供用しながら施工する必要があることと、補強のための空間が限られることが課題として挙げられる。しかし、現行の設計手法である「疑似非線形解析」では、部材毎の耐震性評価が不可能であることや、破壊モード判定による補強部位が多くなる傾向があるという問題がある。

以上のことから、全国的にも施設の耐震補強が進んでいない。

3.2 下水道協会の動き

施設の耐震化をこれまで以上に推進するためには、既存施設に適した耐震設計手法が必要となる。日本下水道協会では平成 25 年度末を目標に「下水道施設の耐震対策指針と解説」の改定作業を進めている。この中で、既存施設の耐震化については、各下水道管理者が現行の設計手法に加え、新たな設計手法である「非線形解析」を選択することができることとしている。

この設計手法は、各部材の損傷状態や変位状態が耐震性能に応じた限界状態を超えないことを確認することとしており、より現実的な対応が可能となることが期待されている。

3.3 疑似非線形解析とは

図1は構造物の水平力と水平変位の関係を示したモデル図である。構造物は、降伏点までの弾性域では水平力と水平変位が比例するが、降伏点を超える弾塑性域では、地震のエネルギーが躯体を破壊することに消費される（赤線）。なお、この時の面積は消費されるエネルギーと等価である。耐震設計をするうえで、このような非線形の挙動を解析することは多大な計算量を要するため、本来非線形で解析するものを線形（青線）に置き換えて解析する手法を、疑似非線形解析と呼んでいる。

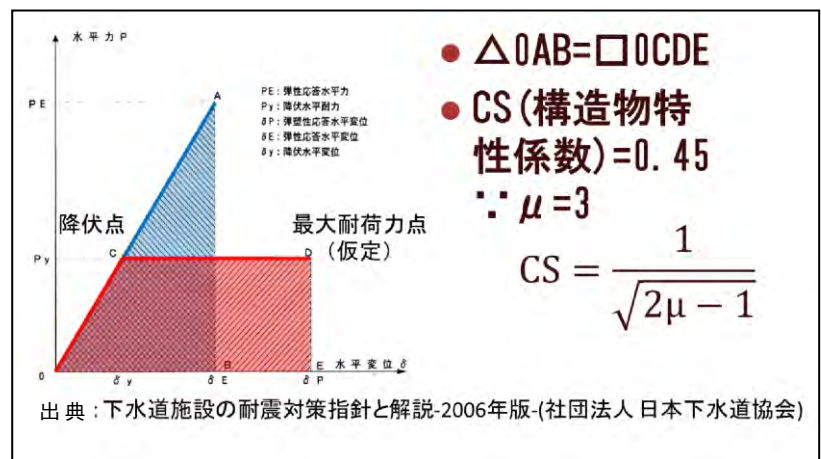


図1 疑似非線形解析（線形解析）概念図

なお、A 点に対する C 点の水平力の割合を構造物特性係数としており、現行指針では下水道土木構造物の構造物特性係数は 0.45 としている。これまではこの構造物特性係数を用いて疑似非線形解析により耐震設計を行ってきた。

3.4 非線形解析とは

前述のとおり現行の設計手法である疑似非線形解析では、本来非線形の挙動を示す構造物を、線形に置き換えて解析を行っていたが、新しい設計手法の非線形解析では、荷重を繰り返し増加させながら解析することにより（荷重増分法）、非線形の挙動で解析するものであり（図 2）、終局点までの解析が可能となった。

また、これまでの手法では構造物特性係数を用いていたため、せん断破壊が先行して発生しないかを評価する破壊モード判定により補強箇所が多くなる傾向があったことに対して、新しい設計手法では大幅に補強箇所が減ることが想定されている。

3.5 耐震性能について

表1のとおり、耐震性能1は、頻度の高い地震に対する性能であるため、地震発生後も修復することなく性能を確保する状態をいう。

耐震性能2は、頻度の低い地震に対する性能であるため、多少の変形を容認し、修復することで機能を回復することが可能となる状態としている。なお、耐震性能1及び2については、これまでの解析でも使用していた。

指針の改定により追加が予定されている耐震性能2'は、最大耐荷力点を超えているため曲げ破壊は始まっているが終局点までに至っていない状態であり、非線形解析を導入することにより求めることが可能である。

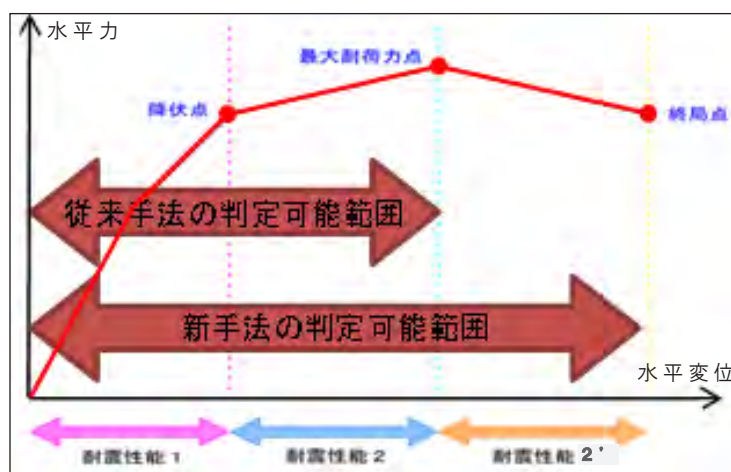


図2 非線形解析概念図

表1 耐震性能

対象 地震動	耐震性能	構造の状態
レベル1 地震動	耐震性能1	修復せずに要求機能を確保した状態
レベル2 地震動	耐震性能2	構造の修復性を確保し、要求機能を確保した状態
	耐震性能2' (非線形解析の導入により判定可能)	一部の部材が損傷を受けても、施設全体として安全性と修復性を確保し、要求機能を早期に回復できる状態

4. 試行案件の検討内容について

以上のことを踏まえ、平成24年度に既に発注している耐震補強実施設計のうち、非線形解析を導入することにより補強対象部位の減少が期待できる以下の3件について試行案件として検討した。

- ・ 耐震診断の結果から、破壊モードによる耐震補強が多い案件（試行1）
- ・ 一体の構造物の一部を耐震化する案件（試行2）
- ・ 耐震診断の結果から、大規模な機器の移設が見込まれる案件（試行3）

従来手法と新手法を比較したものを表2に示す。試行の結果、補強範囲が大幅に減少し、事業費も大幅に減少することが判明した。

表 2 従来手法と新手法の比較結果

	従来手法			新手法		
	補強範囲	概算 事業費	耐震性能	補強範囲	概算 事業費	耐震性能
試行 1	10,340m ²	32 億円	耐震性能 2	7,159m ²	21 億円	耐震性能 2'
試行 2	11,657m ²	11 億円	耐震性能 2	3,913m ²	5 億円	耐震性能 2
試行 3	4,754m ²	39 億円	耐震性能 2	2,342m ²	18 億円	耐震性能 2

※新手法による解析結果のうち、試行 2 及び試行 3 については耐震性能 2 と耐震性能 2' の補強範囲の差が極めて小さい結果となったため、耐震性能 2 の場合の結果を示した。

5. 耐震補強設計の今後の方針

今回の試行では、非線形解析で解析することにより対象の 3 施設すべてについて補強箇所が減少する結果となった。平成 25 年度末に改定が予定されている耐震対策指針には、疑似非線形解析と非線形解析が併記される予定であり、当局では今回の試行の結果を踏まえ、非線形解析の導入について検討を進めている。非線形解析は計算量が増大するため解析に要する費用が増加するが、補強対象箇所の減少により工事費を縮減することが可能となることから、総事業費の縮減が期待されている。

平成 25 年度までに疑似線形解析で設計を完了した施設のうち補強にまだ着手していない施設については、設計を見直してまで補強解析をやり直す必要があるかの整理が必要となる。補強が小規模な施設では、事業費の削減量が小さく、設計を見直すメリットが無い可能性があるため、一律設計を見直すのではなく、条件を定めて設計を見直すか否か判断する必要がある。

耐震診断において概算の補強事業費を算出しており、突出して補強事業費が高い施設については、非線形解析での解析見直しを検討していく。また、補強事業費が平均程度の施設については、破壊モード判定で NG の部材が多い場合、機器移設が多い場合など各施設の状況に応じて解析の見直しを検討する方針である。

6. まとめ

災害時に最低限必要な下水道機能を確保するための耐震化を平成 31 年度までに完了することを目指している。指針の改定で導入予定の非線形解析は現行の疑似非線形解析と比較すると、構造物の特性をより詳細に解析することが可能となり、試算の結果有用性が確認できた。

今後、平成 31 年度までに上記の耐震化目標を達成するために、より効率的に既存構造物の耐震化を図ることが期待できる非線形解析を平成 26 年度より順次導入してゆく予定である。

注：本原稿の執筆時点は平成 26 年 3 月であり、平成 26 年 4 月発刊された「下水道施設の耐震対策指針と解説 2014 年版」とは異なる記述がある。

参考文献

- 1) 社団法人（現公益社団法人）日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 2006 年版、平成 18 年 8 月

1-3-3 新木場地区の下水道管渠災害復旧工事の完了報告

東部第一下水道事務所 建設課 植山 敬太
渡部 将来

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、都内で震度5強の強い揺れが発生し、下水道施設でも、様々な被害が発生した。とりわけ江東区新木場地区を含む湾岸部では、液状化現象の発生(図 1)により、土砂が地上に噴出し、道路が沈下することなどによる下水道管渠のたるみや破損、人孔のズレやひび割れが生じた(図 2)。

東部第一下水道事務所では、発災直後から緊急措置として、管渠の損傷箇所からの土砂流入による陥没事故や、下水道管のつまりを起因とする使用制限等お客様に支障をきたす事態を防ぐため、必要な箇所から管路内の土砂を排出することなどにより流下機能の回復に努めた。その後、東京都下水道局として初めて国の災害査定に臨み、本格的な下水道施設の復旧工事に着手し、平成25年3月に災害復旧工事が完了したので報告する。



図 1 東京湾岸部液状化発生地点¹⁾

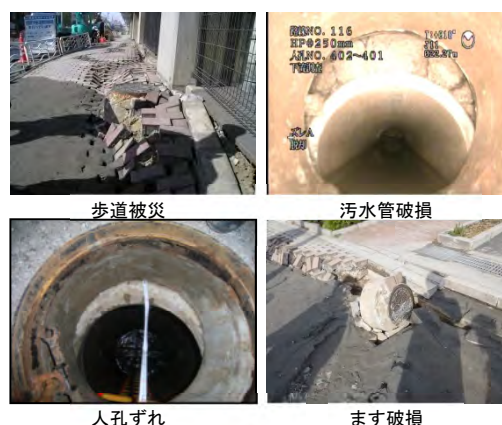


図 2 液状化現象による被災写真

2. 概要

2.1 新木場地区の成立と地盤状況

新木場は、昭和 47 年に 14 号埋立地を江東区に編入した地域であり、木場に代わり、木材流通基地の整備が進められた。

江戸時代には、日本橋・神田周辺にあった木材置場(貯木場)を集中的に現在の木場に移転させ、最近まで東京における木材の需要を引き受けていた。しかし、埋立地の造成により内陸地となってしまったこと(図 3)、木材需要の増大による敷地の狭隘化、さらに木場周辺も含めた江東区は地盤が低く、木造家屋が密集していることなどから木材流通拠点を新木場に移転することとなり、現在の新木場ができあがっている。

新木場地区の地盤は、埋立地であることから、地表から 2 m まで埋め土でその下は 16m くらいまで砂

層となっている(図4)。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ことから、新木場地区は液状化が発生しやすい地質であることがわかる。

2.2 施工概要

本災害復旧工事の施工箇所は、新木場地区全域にわたっている(図 5)。また、新木場地区は、分流地区であることから污水管、雨水管の双方を復旧する必要がある、工事規模としては、全施工延長が 12,310 m(污水管:7,800m 雨水管:4,510m)と、相当量の施工延長となった。

できる限り短期間に復旧工事を完了させるために、施工延長と施工エリアを踏まえて４件（江東区新木場一、四丁目付近下水道管渠災害復旧工事、江東区新木場一丁目付近下水道管渠災害復旧工事、江東区新木場二丁目付近下水道管渠災害復旧工事、江東区新木場一、四丁目付近下水道管渠災害復旧その２

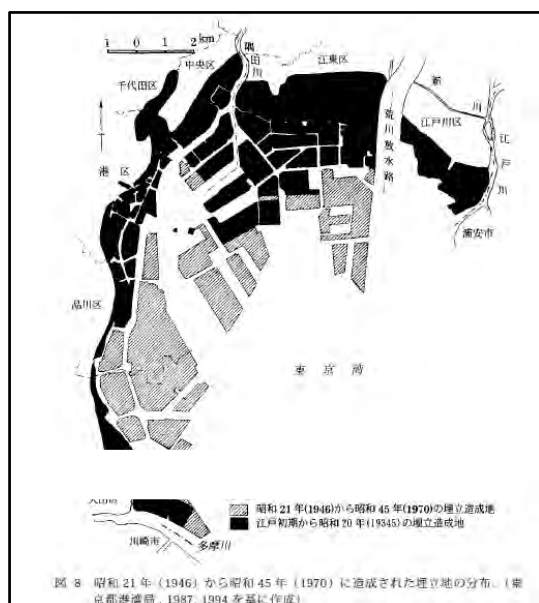


図3 東京臨海部の埋立地造成図²⁾

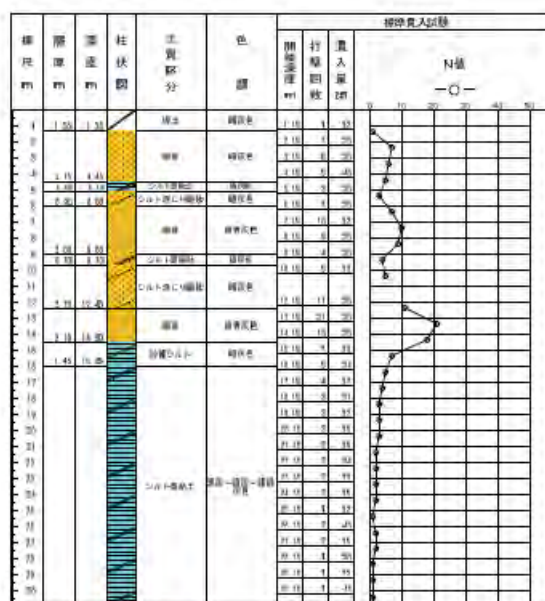


図4 新木場地区の柱状図³⁾

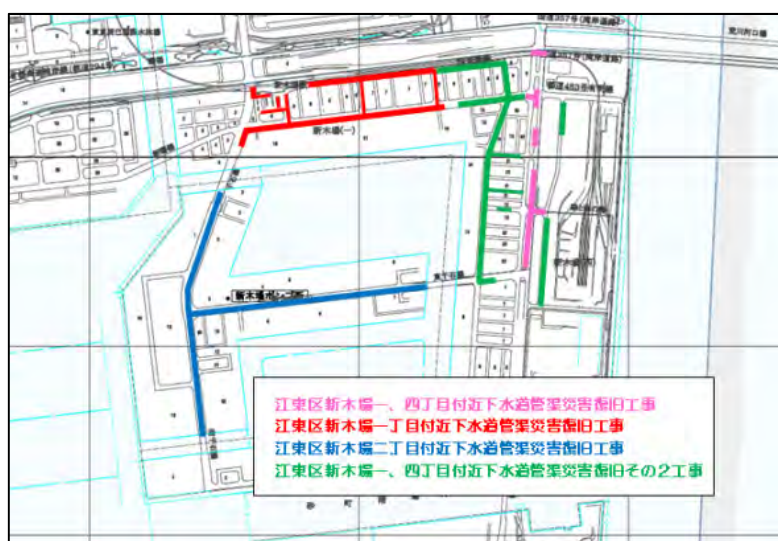


图 5 施工箇所図

工事)に分割して工事を行った。各工事間での綿密な工程調整を行い、24年度内で工事を完了することができた。

2.3 工事の特徴

主に開削工法により損傷した下水道管の布設替えを行った。また、埋戻しにあたっては下水道施設の耐震対策指針と解説⁴⁾より、中川建設発生土改良プラントから搬入する改良土を使用することで、再度の液状化による管渠の損傷を防止するものとした。

新木場地区は、分流地区であり、特に污水管の掘削深が深く、埋設物が輻輳した箇所であることから、開削工には細心の注意が求められた。さらに当地区では、開削時に埋立ガラや既設管渠の360度コンクリート基礎防護が支障となり、土留の圧入や既設管撤去工に時間を要し、早期完了が非常に困難な工事であった。

2.4 災害復旧事業

新木場地区の下水道施設の復旧工事は、当局で初めて公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法に基づく災害復旧事業として実施した。

災害復旧事業とは暴風、洪水、高潮、地震その他の異常な天然現象により被災した公共土木施設の復旧費の一部を国が負担することで、速やかな原形復旧を図り、公共の福祉を確保することを目的としている⁵⁾。なお、原形に復旧することが不可能な場合においては当該施設の従前の効用を復旧するための施設を設置することができるものである。

災害復旧事業の大まかな流れを図6に示す。災害復旧事業では、国土交通省の災害査定官が設計図、設計書、現場等を確認し、国庫負担額の決定や、設計変更の精査を行い、災害査定が実施される(図7、図8)。

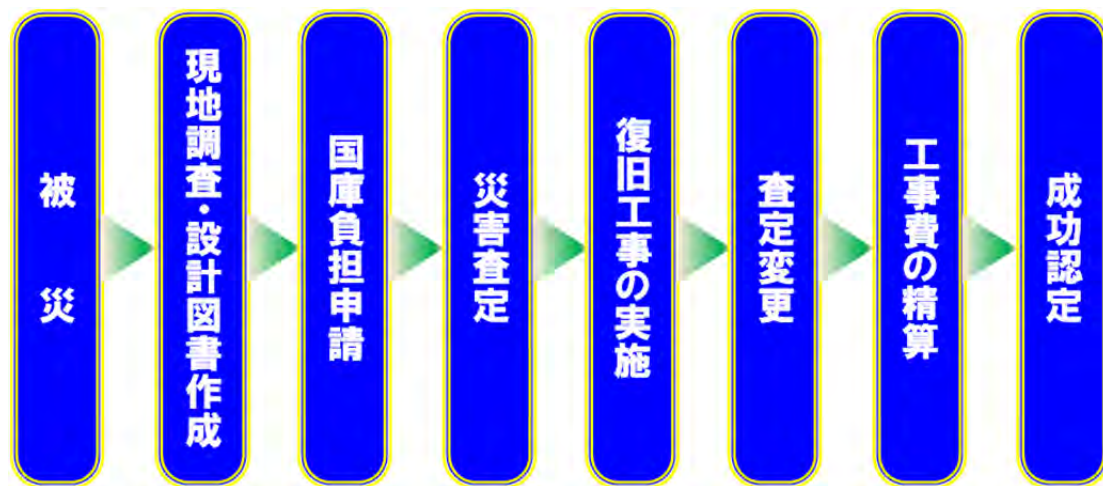


図6 災害復旧事業の流れ



図7 害査定写真（書類審査）



図8 災害査定写真（現場踏査）

3. 災害復旧工事における課題と対応策

3.1 工期の制限

工事の施工に当り、様々な工期の制限を受けたことから、各々に対して以下のように対応した。

3.1.1 東京ゲートブリッジ開通時期に合わせた対応

施工箇所の一部の道路は、東京港臨海道路（東京ゲートブリッジ）と東京湾岸道路を結ぶ臨港道路「新木場・若洲線」であった（図8）。この東京港臨海道路については、開通による経済効果が高い路線であることから、早期に開通するよう求められていた。

当局の対応として、東京ゲートブリッジ開通前の平成24年2月までに臨港道路「新木場・若洲線」における下水道管渠の復旧工事を完了させるため、起工決定前施工を行った。起工決定前施工とは、天災事変等に伴い、緊急に工事を行う必要があるが、工事内容が確定できない場合などに、やむを得ない措置として行う随意契約の手法である。契約は、随意契約を予定する会社と協議書（件名、工事概要施行場所、予定工期を記載）及び簡単な特記仕様書等を取り交わして行うものであり、震災が発生した約2カ月後の5月25日には本工事の契約を行うことができた。この措置により速やかな工事着手が可能となり、臨港道路部については、ゲートブリッジの開通前に工事を完了させることができた。

3.1.2 お客さまからの要望への対応

平成23年6月24日にお客さまから新木場地区災害復旧の早期完了の要望を受け、当局では平成24年度末までに下水道管渠全ての災害復旧工事を完了させることを約束したため、これまで以上に綿密な工程管理が必要となった。

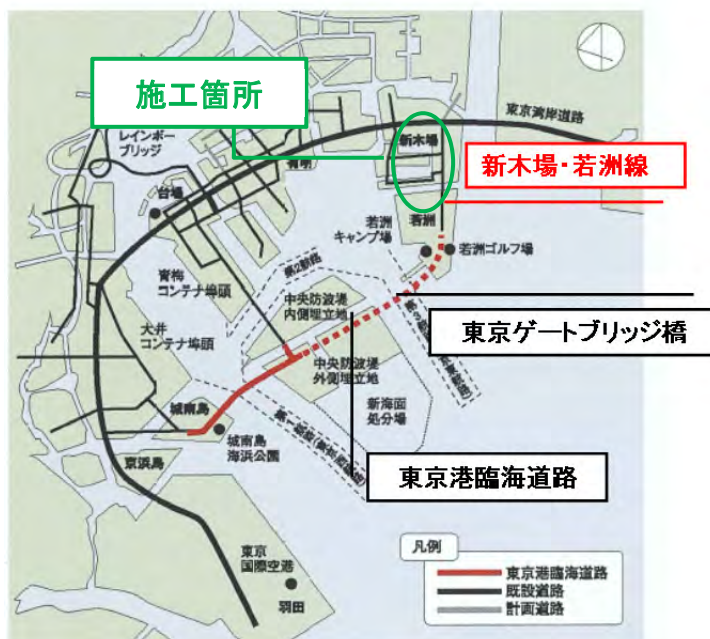


図8 施工箇所と周辺道路の位置関係

このため、月1回の頻度で工事協議会を開催し、本工事に関与する東部第一下水道事務所建設課、TGS関係者、受注者が一堂に会し、工事の進捗状況の把握、情報の共有や工程の問題点の解決策の検討を行った。工事協議会での検討結果、早期完了するためには、新木場地区全体で15口、1工事最大9口の口数を確保する必要があった。通常の再構築工事の口数が1口から2口であることから、非常に多くの口数であった。所轄の警察署やお客さまへの丁寧な説明と粘り強い協議の結果、理解が得られ、工期短縮に大きく寄与した。

3.1.3 競合工事との工程調整

本災害復旧工事は、道路管理者(江東区、東京都港湾局)の道路災害復旧工事と施工箇所が競合していたため、江東区や東京都港湾局と施工箇所・施工時期等について随時調整することで、競合している路線の歩道や車道に分けて施工するなど、できるだけ競合を回避して実施した。本工事の工程表を図9に記す。

江東区の道路復旧工事が平成24年8月に着手され平成25年度から本格的な実施が予定されていたため、綿密な工程調整や協議により江東区工事との競合を回避しながら3件の当局工事を平成24年度末までに実施した。(江東区新木場一丁目付近下水道管渠災害復旧工事、江東区新木場二丁目付近下水道管渠災害復旧工事、江東区新木場一、四丁目付近下水道管渠災害復旧その2工事)

また、東京都港湾局の道路復旧工事は、東京ゲートブリッジ開通に合わせて平成24年1月までに行うこととなったため、競合する江東区新木場一、四丁目付近下水道管渠災害復旧工事についても、平成24年1月までに施工し、目標の平成24年度末までに本災害復旧工事を完了させることができた。

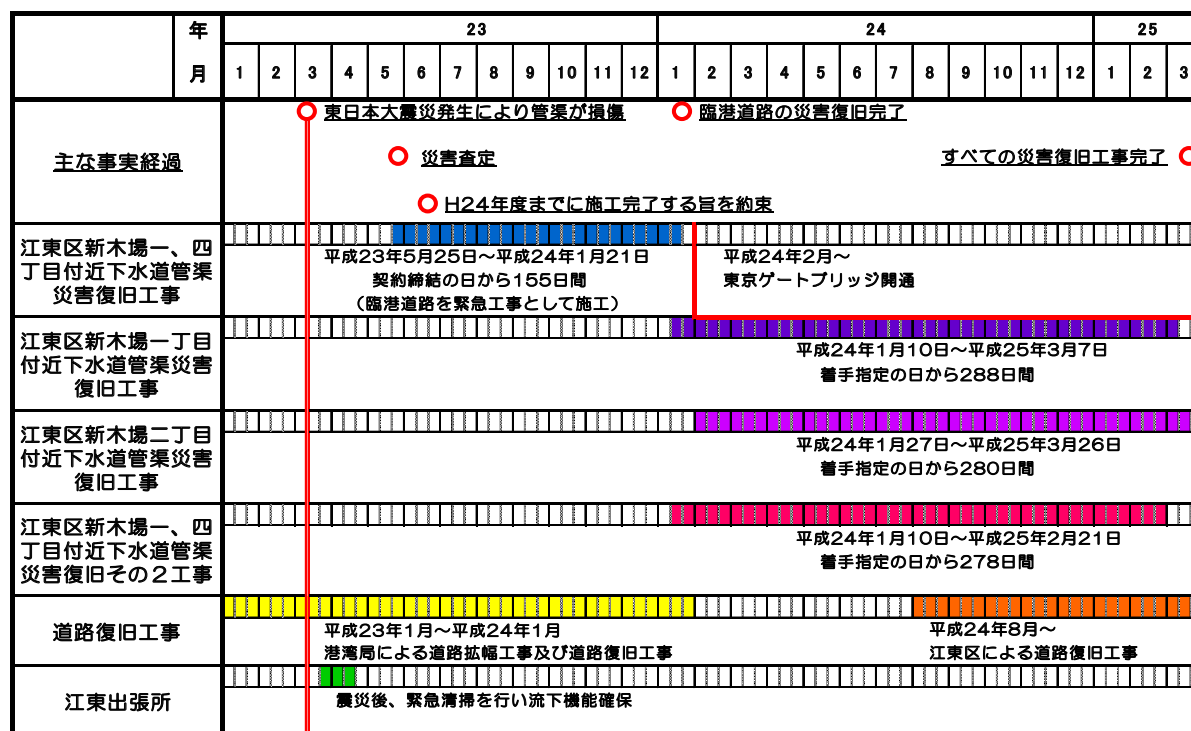


図9 本災害復旧工事の工程表

3.2 他企業埋設物支障への対応

本災害復旧工事に際し、再度の液状化による下水道管渠の損傷を防ぐため、開削工法による布設替えの上、液状化対策に有効である改良土による埋め戻しを基本としていた。しかし、他企業埋設物が支障となり、土留を圧入することができないため、開削工法による施工が困難な路線が多数あった。施工が困難な路線の概念図を図10に示す。土留の圧入のため埋設物管理者に支障移設を協議したところ、埋設物の支障移設には多大な時間を要することが判明し、工期内の施工完了は極めて難しいことから、工法変更を含む抜本的な施工検討が必要となった。他企業埋設物支障により設計変更を行ったケースを図11に示す。

ケースⅠについては、歩道部の既設管が他企業埋設物の影響で撤去できないため、新たに車道部に新設管を設置し、下水を新設管に流す形で占用位置の変更を行ったものである。既設管の撤去はできないことから、道路管理者との綿密な協議を行い、発泡モルタルを充填し残置することとした。

ケースⅡについては、ケースⅠの歩道部に加えて車道部にも他企業埋設物が存在しているため、占用位置の変更はできない場合である。この場合は、既設管は内面被覆工法により補修し、既設管の上部に汚水を取り込むためのアップパー管を設置することとした。アップパー管を既設管に比べて土被りが非常に浅い位置に布設することで、掘削幅を減らすことができたため、他企業埋設物が支障とならずに設置できた。なお、アップパー管に流入した汚水は、下流の人孔で落とし込み、内面被覆を行った既設管に取り込む構造とした。

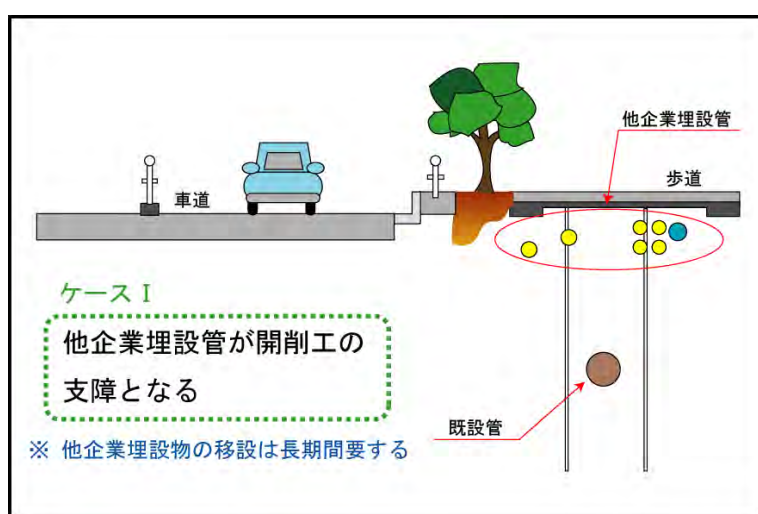


図10 施工困難箇所概念図

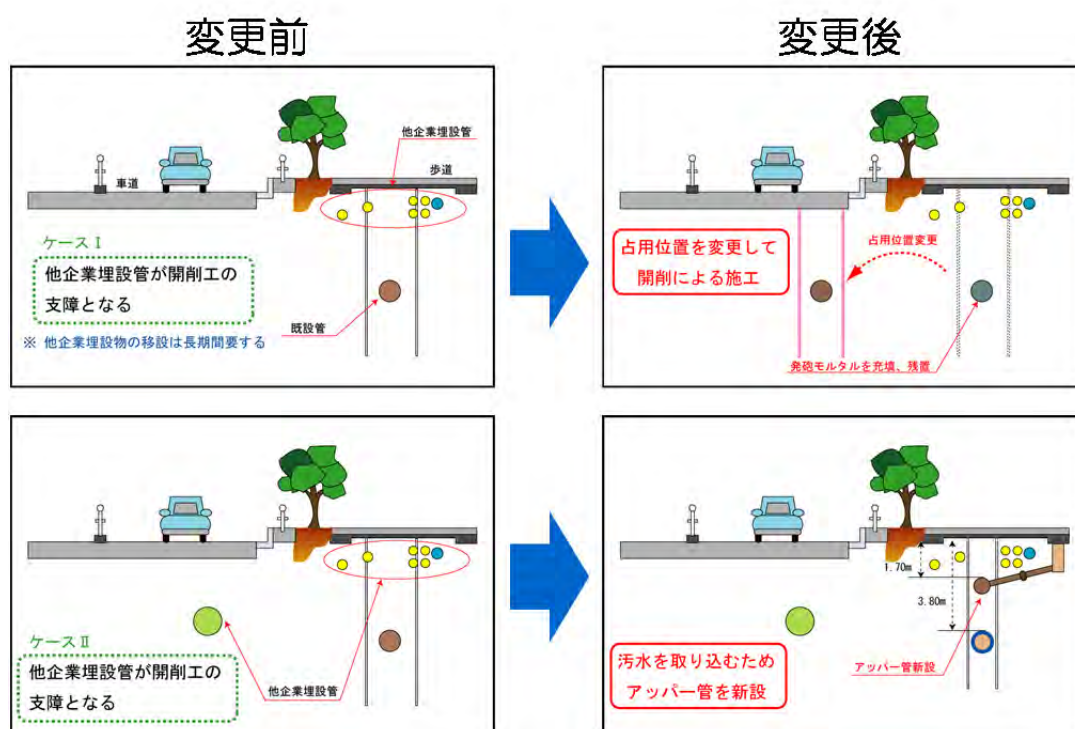


図11 他企業埋設物支障による設計変更

3.3 港湾部近接施工時の対応

新木場地区は、港湾部に近接しているため(図 12)、雨水管の下流部の施工では満潮時に雨水の吐口(図 13)から海水が管内に逆流することが予想された。このため、事故防止対策には万全を期して施工を行う必要があった。

雨水管の吐口付近の施工を安全に行うため、潮時表で事前におおよその水位を把握し、施工時間帯を干潮時に限定して作業を行うこととした。さらに、雨水吐口からの海水の逆流を防止するために、施工箇所の下流側に 2.0m の高さの止水壁を設置した。止水壁の平面図、断面図と写真を図 14、図 15 に示す。止水壁は固定壁とし、6 インチ水中ポンプを 2 台程度使用し 24 時間水替えを行った。また、管渠内にある既設コンクリート堰上流側にも 6 インチ水中ポンプを設置し、施工箇所をドライとした。なお、止水壁設置作業は潜土工により作業を行うため海への流出が予想されたことから、救命胴衣及び救命浮環等を常備した。このように、施工時間の制限や止水壁の設置等の事故防止対策に万全を期して施工を行い、無事故で完了することができた。



図 12 港湾部近接施工箇所



図 13 満潮時の雨水吐口の状況

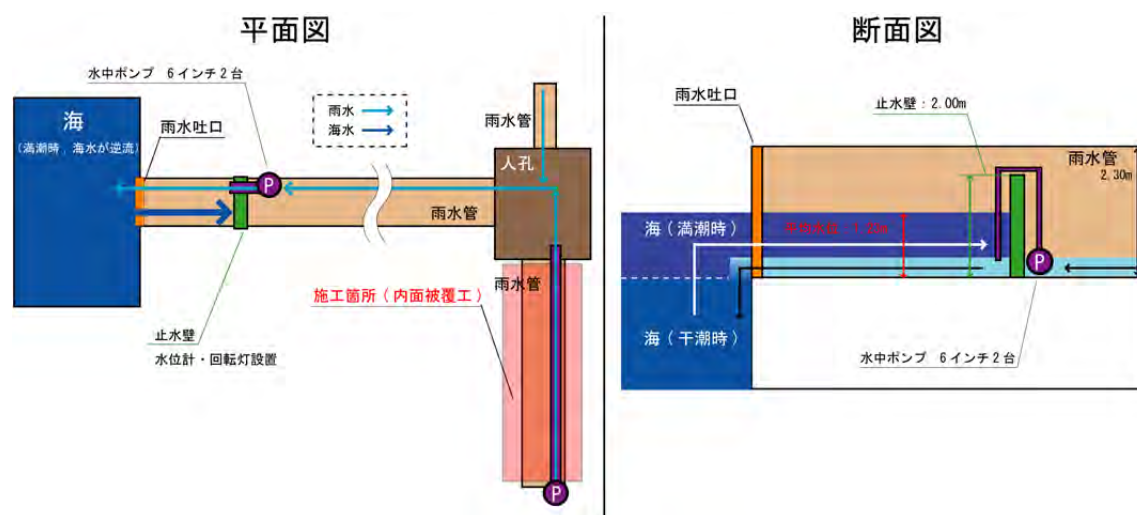


図 14 止水壁の平面図、断面図



図 15 止水壁の写真

3.4 災害査定時の対応

本工事は、当局で初めて公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法に基づく災害復旧事業として工事を実施したため、災害査定に関して多数の不明点があった。

特に災害復旧事業における査定対象基準と当局の査定対象箇所の認識には相違があったため、国庫補助負担額が決定するまでに多大な労力を要した。

例を挙げると、当局の申請では、下水道施設の耐震対策指針と解説から、破損した管渠すべてを取替え、改良土にて埋め戻すことにより、再度の液状化による管渠の損傷を防止するものとしたが、災害復旧事業における査定対象基準では、震災による管渠のたるみやズレの箇所のみを査定対象としているため最終的には部分布設替えとして認定された。

また工期内に完了するためには、災害査定後の 90 日以内に管路内調査等を行い国庫補助負担額を決定する必要があったため、維持管理部署の速やかな管路内調査により、無事期限内に国庫補助負担額を決定することができた。

4. まとめ

震災によって被害を受けた下水道施設の復旧写真を図 16 に示す。

本工事において実施した対応策を以下にまとめる。

- ① 臨港道路部は、起工決定前施工による先行着手
- ② 工事口数を1工事最大9口、新木場地区全体で15口を投入
- ③ 道路災害復旧工事との工程調整による効率的な工程計画の策定
- ④ 他企業支障埋設物に伴う占用位置変更やアップパー管設置等の設計変更の速やかな実施
- ⑤ 施工時間の制限や止水壁の設置等事故防止対策の徹底

本災害復旧工事に際しては、下水道局だけでなく監督補助を行った東京都下水道サービス株式会社、工事受注会社が全力を挙げて対外調整や工事を進めた結果、お客様に約束した平成24年度内に完了することができた。また、当局では、未経験の災害査定業務についても、関係部署と連携、協力して対応することで、業務を滞りなく処理し、国庫補助申請額に対し、震災直後に実施した管路内土砂排除作業、管路内調査費を含め、約53%の補助を受けることができた。

工事規模が大きいことに加え、施工に時間を要する開削工法が主体であったにも関わらず円滑に施工を進めることができたのは、すべての関係者が一丸となり、全力を挙げて災害復旧を進めるようという熱意と実現に向けた努力によるところが大きい。今回経験した災害復旧工事における課題と対応策は、今後の災害復旧においても参考として活用できると考える。



図 16 下水道施設の復旧写真

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局、公益社団法人地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明、2011年、p5
- 2) 遠藤毅：東京都臨海域における埋立地造成の歴史、地学雑誌 113巻 6号、2004年、p794
- 3) 東京都土木技術支援・人材育成センター：東京の地盤（GIS版）、
<http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-jyouhou/geo-web/geo-webmap.aspx>
(アクセス日:2013.12.6)
- 4) 社団法人日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説、2006年、p136-p147
- 5) 社団法人全日本建設技術協会：平成23年度災害手帳、2011年

2-1-1 閑静な住宅地における大規模開削工事の施工

～野川処理区下流部雨水貯留池の例～

流域下水道本部技術部工事課 佐藤 裕隆

1. はじめに

野川処理区は合流式下水道で整備された区域であり、雨天時の汚濁負荷削減が課題となっている。

野川処理区下流部雨水貯留池工事は、「多摩川流域下水道野川処理区合流式下水道緊急改善計画」の一環として、狛江市内に雨水貯留池（貯留量 20,000m³）を整備したものである。本稿では、閑静な住宅地における開削工事の一例として、特に工事期間中の近隣対策の取組みについて報告する。

2. 事業の概要

（１）野川処理区の概要

野川処理区（図 1）は、武蔵野市、三鷹市、府中市、調布市、小金井市、狛江市の全 6 市で構成されており、流域面積 4,400ha のうち 3,748ha が合流区域である。

現在、野川処理区には水再生センターが無く、処理区から発生する汚水は、野川第一幹線から成城排水調整所を経由し、森ヶ崎水再生センターへ送っている。

（２）野川橋吐口の現状

野川第一幹線は調布市国領町で野川と交差しており、交差部分には野川橋吐口を設けている（図 2）。

上流からの水量が多くなる雨天時に、下水の全量を下流へ通過させることができなくなった場合、一部の汚水混じりの雨水は野川橋吐口を通じて野川に放流されている。

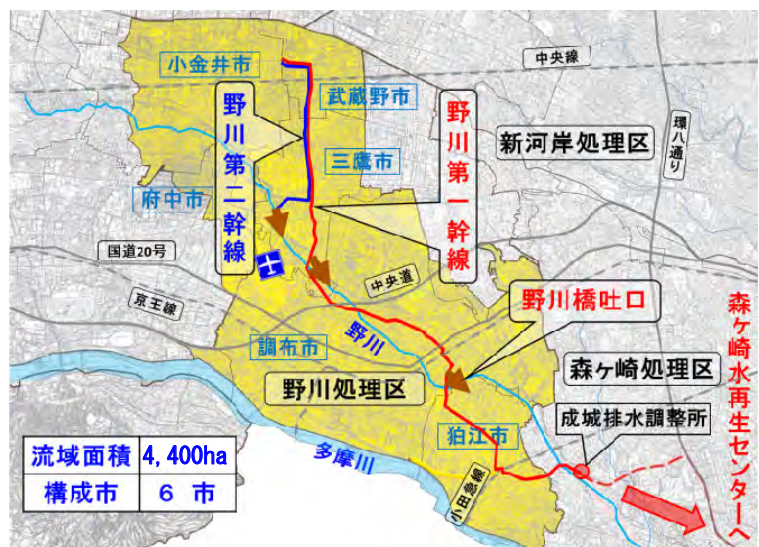


図 1 野川処理区の概要

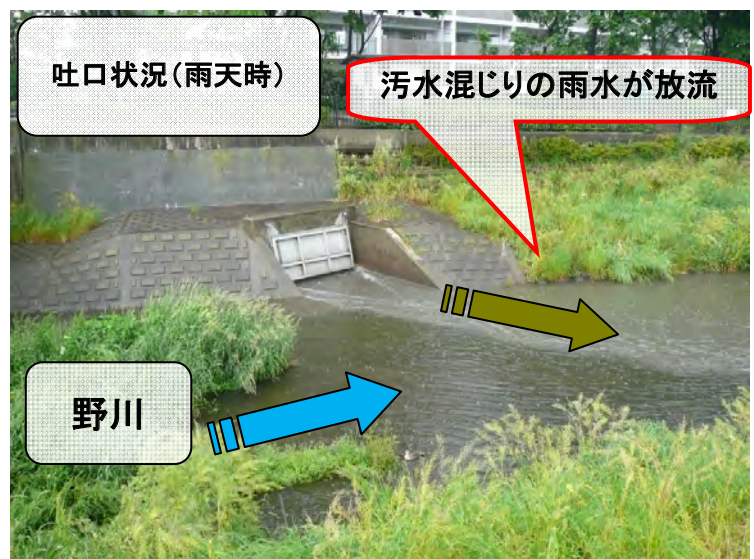


図 2 野川橋付近の様子

（３） 事業の目的

平成 20 年に国が示した「効率的な合流式下水道緊急改善計画策定の手引き（案）」に基づき策定した「多摩川流域下水道野川処理区合流式下水道緊急改善計画」では、図 3 に示す 3 項目の合流改善目標を掲げている。

野川処理区下流部雨水貯

留池は、目標①②達成のために建設するものであり、処理区全体の汚濁負荷量の削減（目標①）と流域幹線にある吐口での放流回数半減（目標②）が期待されている。

①汚濁負荷量の削減

処理区から排出する年間BOD総汚濁負荷量を**分流式下水道並以下**とする。
雨天時放流水の平均水質を**BOD40mg/L以下**とする。

②公衆衛生上の安全確保

全ての吐口からの未処理水の放流回数を**半減**する。

③きょう雑物の削減

きょう雑物の流出を最小限度のものとするように、スクリーンの設置その他の措置を講ずる。

図 3 合流改善目標

3. 工事の概要

（１） 貯留池の構造

- ・貯留量 20,000m³ （幅 28m×長さ 73m×深さ 21m）
- ・管理棟 1 棟 （幅 13m×長さ 28m×高さ 7m）

貯留池用地のうち、管理棟を含む維持管理スペース以外の地上部は、狛江市による上部利用を行う予定である。

（２） 施工環境

狛江市の小学校跡地を用地として取得し、平成 22 年より約 4 年にわたり工事を行った。現場は閑静な住宅地に位置し、隣接するマンションまでの離隔は貯留池（土留壁の端部）から約 4m と近接している。

（３） 施工時の課題

マンションに近接していることに加え、周囲には住宅地が広がっている。その中で、開削工事にあたり、以下の点が課題となった。

① 住環境への影響抑制

現場周辺は閑静な住宅地であることから、工事に伴う騒音・振動や施工機械の圧迫感の低減が特に重要であった。また、開削工事に伴い、周辺地盤の沈下防止の検討・対策を要した。

② 地域住民に対する積極的な情報発信

本工事は野川の合流改善施設を建設するものであり、地域住民に直接的なメリットがあるものではない。また、以前は小学校であった土地に、大きくイメージの異なる下水道施設を建設することから、地域住民の反発が懸念された。工事を円滑に進めるためには、地域住民の合流改善事業に対する理解促進が不可欠であり、積極的な工事情報の発信が求められた。



図 4 施工環境

4. 住環境対策

(1) 防音壁による日照障害対策

隣接マンションと現場との間に設置する防音壁は、当初設計では防音性を優先した遮光式であった。しかし、この防音壁は日照を障害するため、隣接マンションの全戸に対してアンケートを実施した。アンケートでは採光式透明パネルを変更案として提示し、遮光式の防音壁と比較しどちらを希望するかを尋ねた。

アンケートの結果、採光式透明パネルを希望する意見が多数であったため、防音壁を採光式に変更した。住民の声を現場に反映させた対応を図ったことにより、その後の苦情発生を抑えられた。

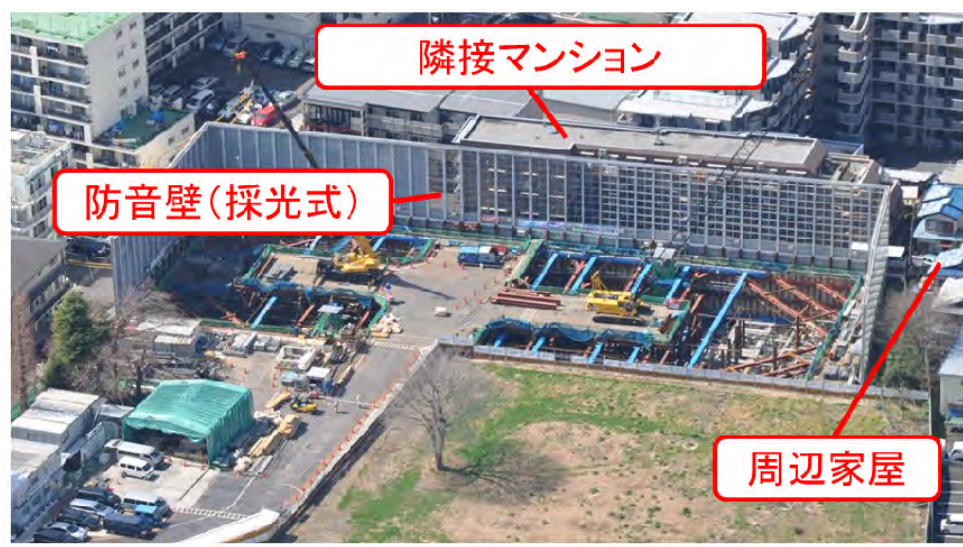


図5 採光式防音壁の設置状況

(2) 住民に配慮した土留工法の検討

開削工事に先立ち、土留工法の検討を行った。本工事では深さ 42m の土留を設置するため、住民等に与える影響も大きい。これを最小限に抑えるため、土留工法として「等厚式ソイルセメント地中連続壁工法 (TRD 工法)」と「柱列式ソイルセメント地中連続壁工法 (SMW 工法)」の 2 つの工法について比較検討を行った。

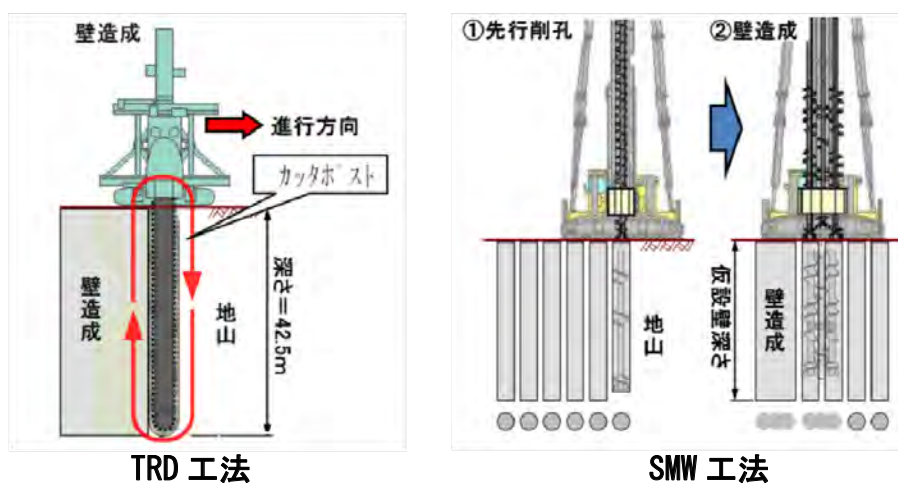


図6 TRD 工法 (左) と SMW 工法 (右) の概要

工法選定上の検討項目は、施工精度の確保、施工機械の圧迫感の低減、機械の転倒による第三者災害の防止、工期・品質の4点とした。

比較検討において、施工精度や品質等には優位な差が見られなかったものの、TRD 工法は施工機械が比較的小さく（高さ約 10m、SMW 工法は約 30m）、機械転倒のリスクと圧迫感の低減という面で優位であった。このことから本工事では住民への負担軽減を図るため、TRD 工法を採用した。

（３） 周辺の地盤沈下の防止

躯体の構築は、掘削時に設置した切梁・腹起しを、下段から順次撤去して行う。隣接マンションとの離隔が約 4m と比較的接近していることから、周辺地盤の沈下や傾き等を発生させてはならない状況であり、施工段階においても入念な沈下予測が求められた。通常は設計段階において変位予測をし、掘削時には計測管理をした上で、躯体構築を行う。しかし、本工事では、掘削時や躯体構築時に得られた計測結果をもとに数値解析を繰り返し、沈下の予測精度の向上を図った。

解析の結果、当初計画通りに施工した場合、マンションにわずかに傾きが発生することが予想されたため、再度対策の検討を行った。その結果、最上段である 1 段梁の上部に追加切梁（0 段梁）を設置することで、マンション構造物の傾きを抑えられるとの結果が得られた。

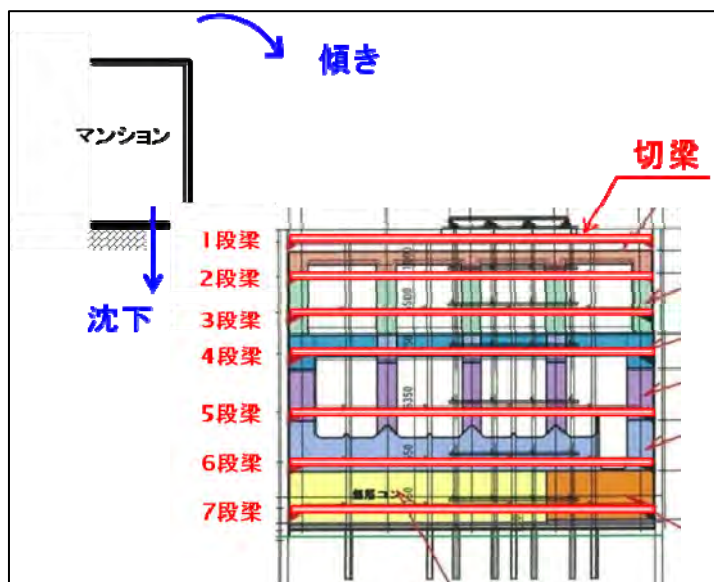


図7 計画時の切梁構造

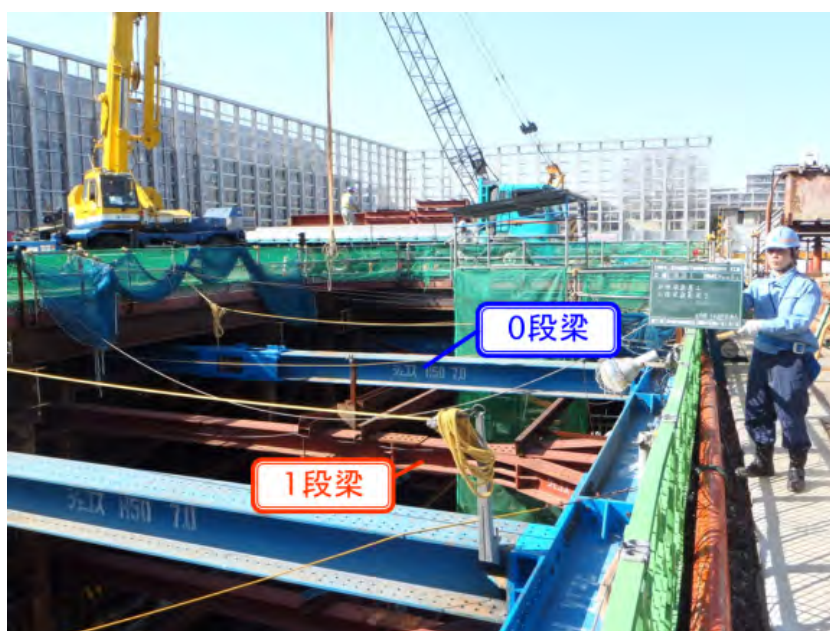


図8 0段梁設置状況

0 段梁を設置した様子を図 8 に示す。以上のように精密な数値解析をもとにした対策を行うことによって、隣接マンション地盤に影響を与えることなく躯体構築を完了することができた。

5. 地域住民対策

(1) 現場見学会の開催

工事現場の情報を積極的に提供する取組の一環として、定期的に地域住民を対象とした見学会を開催し、各回約 100 人が来場した。さらに、本工事では工事概要を分かりやすく説明したパンフレットを製作し見学会で配布するなど、現場情報を積極的に提供し、地域住民との信頼関係の構築を図った。

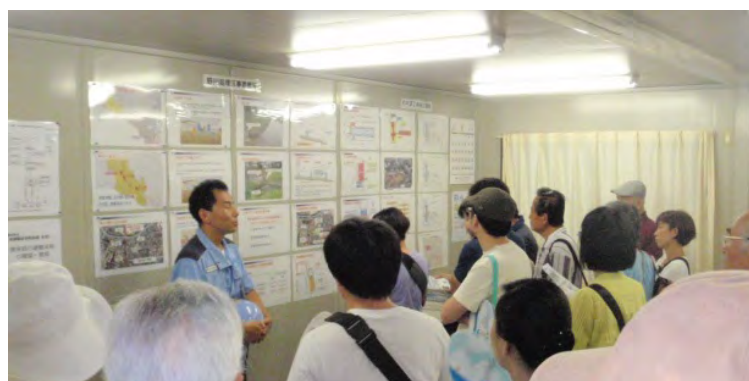


図 9 見学会の様子（談話室内での説明）

(2) 談話室・ノーヘルメット通路の設置

地域住民の方々が気軽に入室できる談話室を設け、工事実施日には随時現場を見学できるようにした。また、談話室へ続く通路はヘルメットの着用が不要な安全通路とし、住民の方に身近に感じていただける場所になるよう配慮した。

談話室内にはイスやテーブルを配置し、工事の経過がわかる写真や、事業の概要・解説を常時展示するなどの工夫をした。



図 10 ノーヘルメット通路

6. おわりに

閑静な住宅地において、工事を円滑に施工するためには、地域住民と良好な関係を築くことが必要不可欠である。また、本事例は小学校跡地に下水道施設を建設する工事であったことから、地域住民の理解を得ることが最重要課題であった。今回の取組みの結果、大きな苦情等もなく平成 26 年 3 月に工事を完了した。さらに、平成 25 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。

今後も地域住民に対する積極的な情報開示をはじめ、影響の少ない工法の検討等、本工事で得られた知見を他の事業にも生かしていきたい。

参考文献

1) 金栗 悠太 東京都下水道局技術調査年報 2013

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

2-2-1 疑似 AOA 法と疑似 AO 法の処理状況の比較

西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 水質管理係
森田 健史、平田 一広、高野 啓子、○岸野 俊明、秦 寛夫

1. はじめに

新河岸水再生センターは南系に 12 槽 (1～12 号)、北系に 12 槽 (13～24 号) の反応槽があり、全て隔壁のない直線構造であったが、反応槽 1～3 号は、平成 24 年度工事によって隔壁が 3 枚/槽設置 (A～D 回路) されるとともに散気設備が更新された。その結果、反応槽 1～3 号は、短絡流の解消及び酸素移動効率の向上により C 回路で処理が終わる状況となり、送風量を削減できる余地が生まれた。送風量を削減する方法としては、B 回路のライザー管を絞る方法や、A 回路から下流側に段階的にライザー管を絞っていく方法が報告されているが、前者は嫌気槽りん酸性りん (以下、 $\text{PO}_4\text{-P}$) の過剰溶出、後者はりんの処理性そのものが低下する可能性があることから、当センターでは A 回路及び C 回路のライザー管を絞る疑似硝化内生脱窒法 (疑似嫌気・好気・無酸素・好気法; 以下、AOAO 法) を採用することにした。AOAO 法は、前段の好気槽で生成した硝酸性窒素 (以下、 $\text{NO}_3\text{-N}$) を後段の無酸素槽で内生脱窒させる方法であり、送風量の削減とともに全窒素 (以下、 T-N) の削減が期待できる。平成 25 年度に当センターで得られた知見について報告する。

2. 方法

2.1 施設概要

表 1 南系反応槽の仕様

南系反応槽の仕様を表 1 に示す。反応槽の有効水深は 7.0m であり、前述したように反応槽 1～3 号には隔壁が設置されているが、4～12 号槽には隔壁がない。散気設備は反応槽によって異なり、1～9 号は高効率メンブレン式散気筒で散気水深が 3.85m、10～12 号は散気管で散気水深が 4.0m である。送風量は反応槽毎に溶存酸素制御 (以下、DO 制御) を行っており、D 回路末端 DO が 0.8～1.2mg/L となるように設定している。なお、各反応槽の処理水量及び返送汚泥量については、反応槽毎に流量計がないため、南系全体の処理水量及び返送汚泥量を槽数の 12 で割って概算値を求めている。

号数	1号～3号	4号～6号	7号～9号	10号～12号
隔壁の有無	あり(2.87m ²)	なし		
回路数	4(A, B, C, D)	便宜上 A, B, C, D と呼ぶ		
散気方法	片側旋回流			
散気水深(m)	3.85			4.0
有効水深(m)	7.0			
容量(m ³ /槽)	8,430			
散気装置	高効率メンブレン式散気筒			散気管
散気材質	シリコン製			SUS304
更新年度	H24年度	H22年度	H20年度	H19年度
制御方式	DO制御(D回路末端)又は定風量			

2.2 調査方法

調査は、隔壁のある反応槽 2、3 号を使用して平成 25 年度に行った。Run1 (7/1～7/31) では、ライザー管の開度調整により、A～D 回路の空気配分を 2 号槽 AOA 法、3 号槽疑似 AOOO 法 (以下、AO 法) とし、Run2 (8/1～) では、水理特性の影響を確認するため、2 号槽 AO 法、3 号槽 AOA 法とした。A はライザー管開度 10～20%、O は開度 100% の状態を表す。

調査期間中、両槽の D 回路末端の活性汚泥浮遊物 (以下、MLSS)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、アンモニア性窒素 (以下、 $\text{NH}_4\text{-N}$)、亜硝酸性窒素 (以下、 $\text{NO}_2\text{-N}$)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を毎日分析した。また、適時、A～C 回路末端についても分析し、反応槽内の水質濃度分布を比較した。なお、風量制御が不調で 2 号槽の $\text{NH}_4\text{-N}$ が残留した 7/1、7/10、7/11、7/16 の 4 日間は、データを除外して解析を行った。

3. 結果

3.1 D 回路末端水質の比較

窒素成分の経日変化を図 1、D 回路末端水質の期間平均値を表 2 に示す。調査期間中、硝化状況は良好であり、両槽とも $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{NO}_2\text{-N}$ は低い濃度であった。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は 5.4~11.5 mg/L の間で推移していたが、Run1 の期間平均値は AO 法 9.0 mg/L、AOAO 法 7.8 mg/L で AOAO 法の方が 1.2 mg/L、13%低く、Run2 では、AO 法 8.7 mg/L、AOAO 法 7.7 mg/L で AOAO 法の方が 1.0 mg/L、11%低かった。一方、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の期間平均値は、いずれの Run でも両槽 1.3 mg/L であり、差は見られなかった。

表 2 D 回路末端水質の期間平均値

(mg/L)	Run1 (7/1~7/31)		Run2 (8/1~10/11)	
	2号槽 AOAO法	3号槽 AO法	2号槽 AO法	3号槽 AOAO法
MLSS	1,110	1,090	940	920
$\text{NH}_4\text{-N}$	0.3	0.2	0.2	0.2
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.1	0.0	0.0	0.0
$\text{NO}_3\text{-N}$	7.8	9.0	8.7	7.7
$\text{PO}_4\text{-P}$	1.3	1.3	1.3	1.3
DO*	1.6	1.1	1.9	1.2

*工業計器日平均値

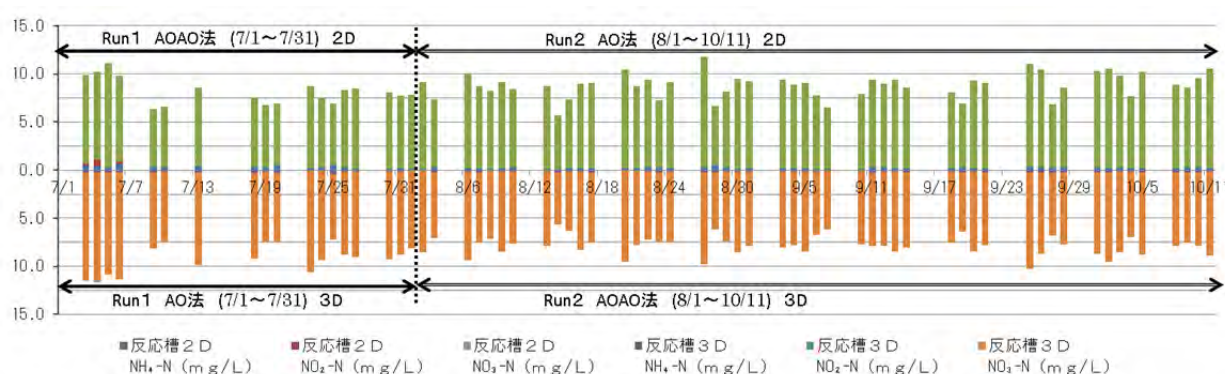


図 1 窒素成分の経日変化

3.2 反応槽内水質濃度分布の比較

AO 法及び AOAO 法の反応槽内水質濃度分布の一例 (8/20) をそれぞれ図 2、図 3 に示す。有機物処理は、両槽とも C 回路で終了していた。りん処理についても、両槽で同様のパターンであり、AOAO 法にて懸念された無酸素槽におけるりん吸収の悪化はなかった。窒素処理は、AO 法の場合、B 回路では硝化はほとんど進まず、C 回路で硝化が進んでいたのに対し、AOAO 法では、C 回路で絞った空気の一部が B 回路に回ったため、B 回路で硝化が進行しており、さらにその一部が C 回路の無酸素槽で脱窒されている状況が確認できた。D 回路末端の T-N は AO 法 10.1 mg/L、AOAO 法 8.5 mg/L であり、AOAO 法の方が 1.6 mg/L、16%低かった。

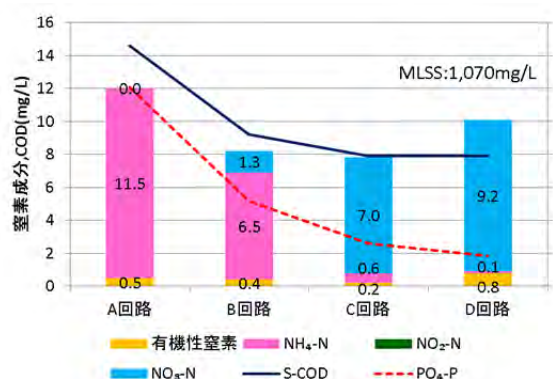


図 2 AO 法の水質濃度分布 (2 号槽)

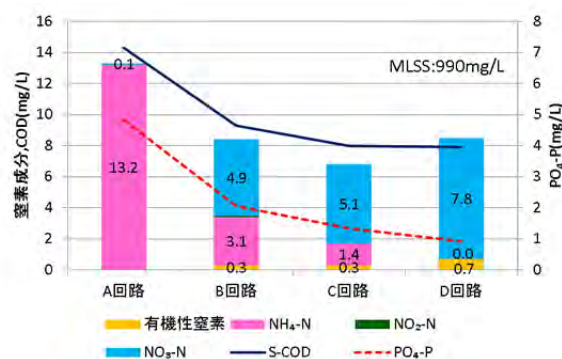


図 3 AOAO 法の水質濃度分布 (3 号槽)

3.3 送風量削減効果

送風量の期間平均値を表3に示す。AOAO法の方がRun1で9%、Run2で1%低かった。NO₃-N、送風量ともRun2の方が削減効果が小さかったが、この理由については4.3節にて後述する。

表3 送風量の期間平均値

(Nm ³ /h)	AO法	AOAO法
Run 1 (7/1~7/31)	2,110(3号槽)	1,924(2号槽)
Run 2 (8/1~9/30)	1,869(2号槽)	1,845(3号槽)

4. 考察

当センターにおいて、AOAO法は一定のT-N（NO₃-Nとして）及び送風量の削減効果が見られたが、効果は限定的であった。その理由について考察した。

4.1 反応槽流入水有機物濃度と脱窒速度

平成23年度の各センターの反応槽流入水BOD及びCODを表4、平成24年度の南系反応槽（8号槽）のりん処理状況を図4に示す。当センターは、他センターと比べて反応槽流入水有機物濃度が低く、BOD及びCODの年間平均値はそれぞれ60 mg/L、41 mg/Lである。そのため、A回路嫌気槽におけるPO₄-Pの吐出し量は小さく、結果として反応槽のりん除去率は低い。従って、無酸素槽において内生脱窒に使用できる有機物は非常に少ないと予想される。

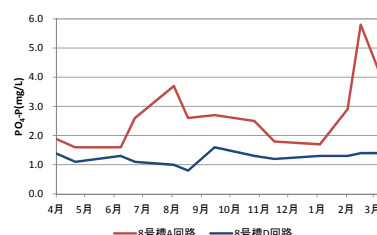


図4 南系反応槽のりん処理状況(H24)

表4 各センターの反応槽流入水BOD及びCOD(H23)

(mg/L)	芝浦東系	三河島浅草系	砂町東陽系	有明	中川	小菅西系	葛西	落合	中野	みやぎ西系	新河岸	浮間	森ヶ崎東系
BOD	120	110	140	73	130	100	120	110	81	81	60	80	64
COD	63	55	82	62	55	59	62	56	52	51	41	52	45

嫌気槽及び無酸素槽の脱窒速度を推定するため、反応槽流入水または処理水3.5 Lに返送汚泥1.5 Lと15 mg/L程度のNO₃-Nを混合し、無酸素状態にしてNO_x-Nの経時変化を調べた。水温25℃及び15℃におけるNO_x-Nの経時変化を図5及び図6、求めた脱窒速度を表5に示す。反応槽流入水を用いた場合の脱窒速度は、処理水を用いた場合の3.0～3.6倍であり、水温15℃では25℃の0.5～0.6倍になった。

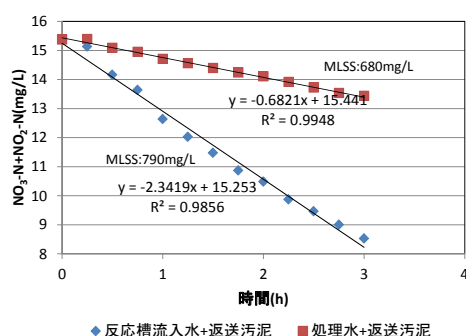


図5 NO_x-Nの経時変化(25℃)

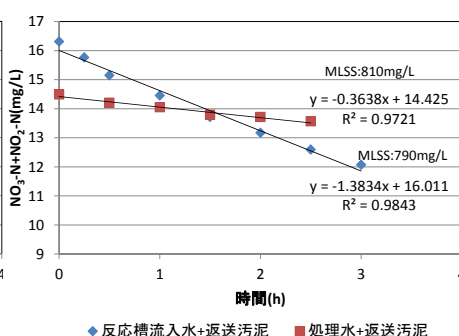


図6 NO_x-Nの経時変化(15℃)

表5 脱窒速度

水温	条件	脱窒速度 (mg/gSS・h)
25℃	反応槽流入水+返送汚泥	3.0
	処理水+返送汚泥	1.0
15℃	反応槽流入水+返送汚泥	1.8
	処理水+返送汚泥	0.5

以上より、脱窒速度は有機物濃度に依存するが、当センターでは反応槽流入有機物濃度が低い。ため無酸素槽における脱窒速度は小さく、低水温期にはさらに脱窒速度が低下すると予想される。また、一般的に脱窒細菌よりも硝化細菌の方が水温の影響を受けやすいことから、低水温期においては、無酸素槽の脱窒速度が低下する前に前段好気槽の硝化速度が減少すると予想される。そのため、前段好気槽での硝化量が減少する兆候が表れた段階で、AOAO法をAO法に戻す方が良好な水質を確保できると考えられる。どの程度の水温までAOAO法が機能するのか引き続き検証していきたい。

4.2 C回路の無酸素状態

現在、C回路のライザー管の開度を10～20%としているが、無酸素状態が不十分である可能性が挙げられる。脱窒を促進させる意味では、ライザー管の開度をさらに絞ったり、一部、完全に閉にしたエリアを設けるのが望ましい。しかし、旋回流の確保とメンブレンの目詰まり防止の観点から、これ以上絞ることが難しい。また、その他の要因として、反応槽の水深が7.0mと通常の深槽式より浅く、脱窒ゾーンが限られている可能性も考えられる。

4.3 DO制御の不調等

反応槽流入水量、送風量及びD回路DOの経時変化の一例を図7に示す。隔壁のない5号槽では、未処理水と処理水が混合する中で必要な酸素要求が行われているため、DOのハンチングはほとんど見られない。一方、隔壁のある2、3号槽では、短絡流の解消及び酸素移動効率の向上により、水量の少ない時間帯や流入基質の薄い時間帯において、最低送風量でもD回路で空気が過剰になりDOが上昇する。また、2、3号槽を比較すると、2号の方が制御値0.8 mg/Lから外れている時間帯が多いため、2号槽の水量が少ないことが予想される。3.3節にて送風量の削減効果を算出したが、DOが制御値から外れていること及び正確な水量が不明であることから、削減効果を評価するのが困難である。

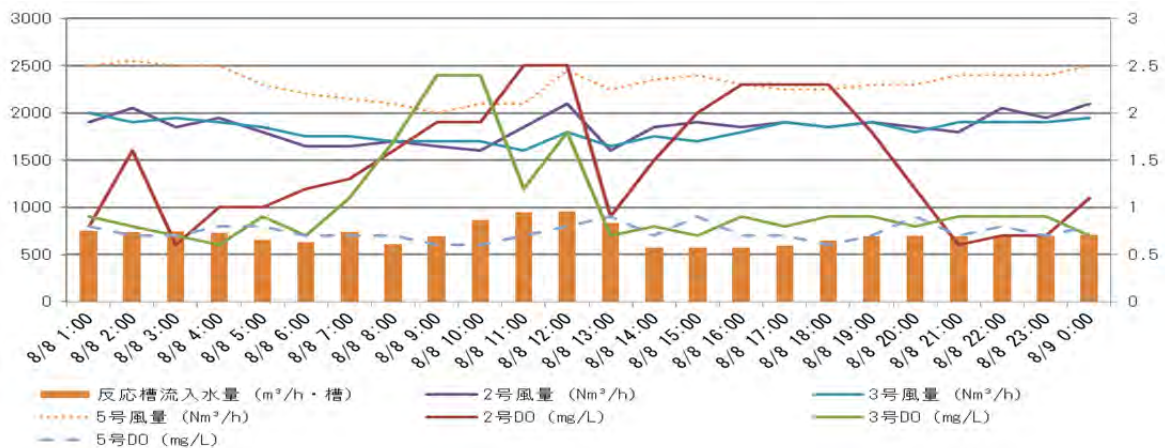


図7 反応槽流入水量、送風量及びD回路DOの経時変化(8/8)

5. まとめ

隔壁のある反応槽において、C回路のライザー管開度を絞ってAOAO法とし、調査を行った。その結果、無酸素槽における脱窒効果及び送風量削減効果により、AO法と比べて全窒素を1割程度、送風量を1～9%削減することができた。本調査は施設改造を伴わない試みであるため、これらの削減量には限界があり、運用時期も高水温期に限定される可能性が高い。しかし、二軸管理により水質及び電力のシビアな管理が要求されている現状において、検証していく価値のある手法であると考えられる。

参考文献

- 1) 嫌気・無酸素・好気法と嫌気・硝化脱窒法との処理状況比較について : 第47回下水道研究発表会公演集 pp.170-172, 2010.
- 2) 既存水処理施設における窒素除去の向上を目指した新しい運転管理指標の提案 : 第50回下水道研究発表会公演集 pp.820-822, 2013
- 3) 循環ポンプレス高度処理(AOAO法)における低曝気制御方式の開発 : 第50回下水道研究発表会公演集 pp.889-891, 2013

4) 嫌気・好気・無酸素・好気法（AOAO 法）を用いた窒素およびリンの除去性能：下水道協会誌
Vol.37 No.450 2000/4

2-2-2 森ヶ崎水再生センター西施設における窒素処理に関する取組

森ヶ崎水再生センター

松井 駿佑、前保 竜一、安野 隆雄、窪田 勝之、横田 義春

1. はじめに

森ヶ崎水再生センター西施設では低水温期に硝化が不十分になり亜硝酸化が進行する反応槽が出現する。また、硝化が良好な時期においても浅槽式反応槽であるため脱窒を十分に行えず、処理水の全窒素濃度が高い。このように、西施設は通年にわたって窒素処理に関して課題を抱えている。これらの課題に対して、硝化や脱窒反応の促進を図るための最適な運転条件を検討する取り組みを行ったので報告する。

2. 西施設の現状

2.1 西施設の管理

森ヶ崎水再生センターは東施設（公称処理能力 106 万 $\text{m}^3/\text{日}$ ）と西施設（同 48 万 $\text{m}^3/\text{日}$ ）で構成されている。通常、西施設沈砂池に流入した下水は定量を西施設へ揚水し、その残りを東施設へ送水して処理している。しかし、耐震化工事の影響や、送水ポンプ能力の制約等の諸事情により、ここ三ヶ年の西施設での処理水量は特定期間ごと（工事期間、節電期間、低水温期等）に大きく異なり、水量調整することは難しい状況にある（図 1）。このため、良好に処理を行うためには、風量設定値や返送汚泥率、反応槽内の活性汚泥濃度（MLSS 濃度）等の水量調整以外の項目をよりきめ細やかに管理することが求められる。

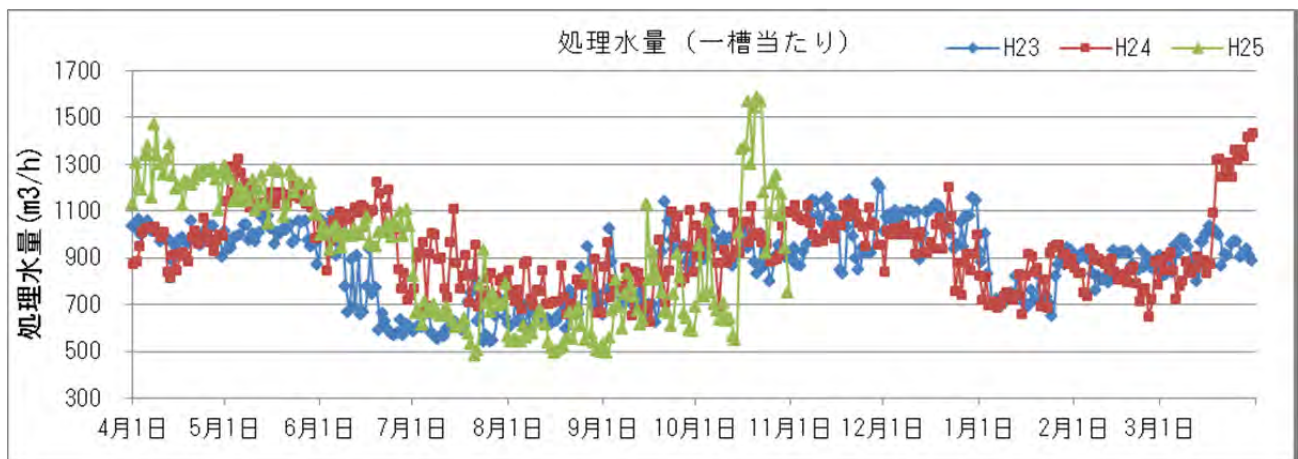


図 1 反応槽一槽あたりの平均処理水量の推移

2.2 西施設の反応槽

西施設の反応槽は 12 槽あり、すべて浅槽式で、標準法（制限ばっ気）もしくは A0 法で運転している（表 1、2）。また、反応槽と第二沈殿池は一対一で対応しており、各槽は互いに独立している。このため、運転変更等をした際に比較的鋭敏に影響が出る反面、槽ごとに処理状況が微妙に異なり、槽内が一度不安定化すると急激に悪化しやすいなどの特徴

がある。

表 1 反応槽の規格

容量	8100 m ³
水深	4.5 m
散気水深	4.1 m
散気方式	全面
回路数	6回路(A~F)

表 2 各槽の運転状況（平成 25 年 10 月時点）

	A0法
1, 3号	反応槽の1. 25/6(B回路の1/4まで)が嫌気部 反応槽の4. 75/6が好気部(気孔径260μm)
2, 4, 5, 6, 9号	標準法(制限ばっ気)(気孔径300μm)
8, 10, 11, 12号	標準法(疑似A0法)(気孔径260μm)

※7号反応槽は散気設備更新工事により停止中。

3. 低水温期における硝化促進の取り組み

3.1 取り組みの概要

平成 23 年度 12 月～3 月は複数の反応槽で亜硝酸化が進行し、アンモニア性窒素の残存、COD 値の上昇、透視度の低下など処理水質が悪化した。これまでの亜硝酸化対策の事例等から、MLSS 濃度が低いことが原因の一つではないかと考えた¹⁾。そこで、流入水の水温に応じた必要な MLSS 濃度を予測して維持管理を行う取り組みを行った。目標 MLSS 濃度を設定する際の手順を(1)～(4)に示す。なお、平成 23 年度に複数の反応槽で亜硝酸化が進行し始めた反応槽流入水の水温が 20℃を下回る時期を低水温期とした。

表 3 MLSS 濃度の目標値の設定表

		西施設			
20℃におけるMLSS(仮) =		①	②	③	④
		1400	1600	1800	2000
	水温℃	MLSS mg/L			
冬場の水温→	15	1,980	2,263	2,546	2,828
	16	1,847	2,111	2,375	2,639
	17	1,724	1,970	2,216	2,462
	18	1,608	1,838	2,068	2,297
	19	1,500	1,715	1,929	2,144
標準	20	1,400	1,600	1,800	2,000
	21	1,306	1,493	1,679	1,866
	22	1,219	1,393	1,567	1,741
現在の水温	23	1,137	1,300	1,462	1,625
	24	1,061	1,213	1,364	1,516
	25	990	1,131	1,273	1,414
	26	924	1,056	1,188	1,320
	27	862	985	1,108	1,231
	28	804	919	1,034	1,149
	29	750	857	965	1,072
	30	700	800	900	1,000

(1) 表 3 上部の①～④のように流入水温が 20℃の時に必要な MLSS 濃度を適当な間隔でいくつか仮定する（今回は 200mg/L 刻みとした）。

(2) 表 3 を作成する。一般的に反応系の温度が 10℃上昇した場合、反応速度はおおよそ 2 倍になるとされる。この関係から流入水温が 10℃上昇した場合、必要な MLSS 濃度は 1/2 倍（反応速度が 2 倍になるので）になると仮

定し、式 1 を導いた。

$$\text{流入水温が } T \text{ 度の時に必要な MLSS 濃度} = (\text{20℃の時に必要な MLSS 濃度}) \times 2^{-(T-20)/10} \quad \cdots \text{式 1}$$

この式から、流入水温が 20℃の時に必要な MLSS 濃度を基準として、水温が変化したときの MLSS 濃度を計算し、表 3 を作成した。

(3) 実際の流入水温と MLSS 濃度、窒素処理の状況から流入水温が 20℃の時に必要な MLSS 濃度を決め、目標値の列を決定する（例：設定時の流入水温が 23℃の時に MLSS 濃度 1300mg/L

程度で処理できていれば、20℃の時に必要な MLSS 濃度は 1600mg/L となり、列②の数値が目標 MLSS 濃度となる)。なお、西施設で流入水温が 20℃の時に必要な MLSS 濃度は 1800mg/L となり、列③の数値を目標 MLSS 濃度とした。

(4) 流入水温が変化した時に表による目標値で処理が十分に行えているかを確認し、必要に応じて修正を行う（処理が十分でない場合はより濃度の高い表の右方向の列に目標値を変更する等）。

3.2 取り組みの結果

平成 24 年度の低水温期における水温の挙動は平成 23 年度とほぼ同様であり、17℃～20℃であった。平成 23 年度の低水温期における MLSS 濃度 1500～1800mg/L（12 槽の平均値）に対し、平成 24 年度は 1900～2200mg/L となり、概ね目標値に近い値で管理することができた（図 2）。これにより、平成 24 年度は平成 23 年度と比べてアンモニア性窒素や亜硝酸性窒素を低濃度に抑えることができ、透視度や COD 値などの数値からも、安定的に処理が行えたといえる（図 3、4）。なお、一部の制限ばっ気を行っている槽で、アンモニア性窒素や亜硝酸性窒素が検出された。これについては、AB 回路の送風量設定値を上げる対策をとった。しかし、結果として安定的に処理を行えたためか、前年度より送風量や送風倍率も若干削減することができた（送風倍率前年度比 9%削減）。



図 2 MLSS 濃度の推移 (12 槽の平均)

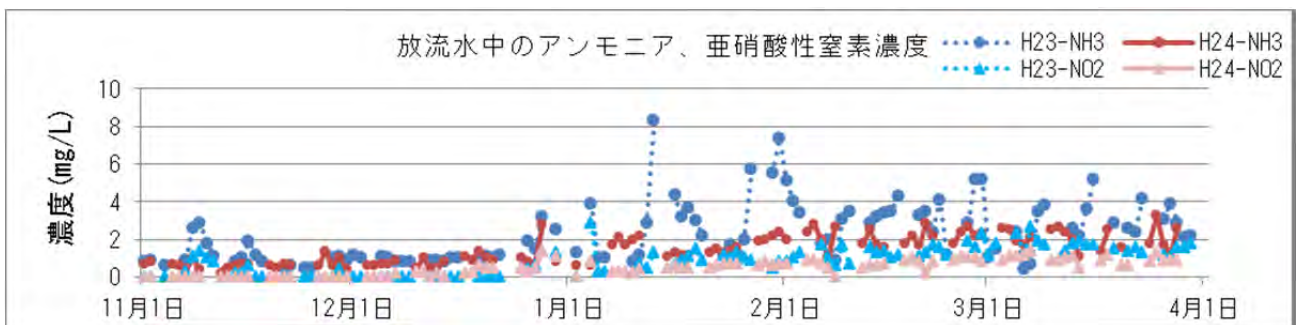


図 3 放流水中のアンモニア、亜硝酸性窒素の推移

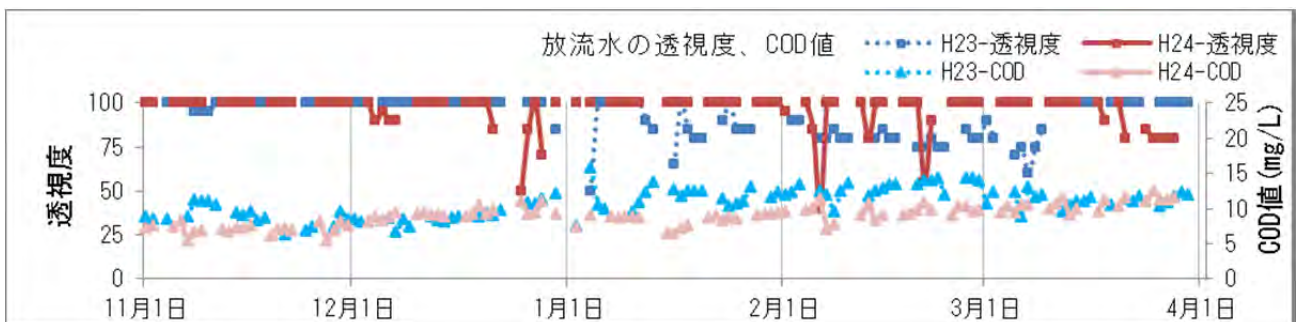


図 4 放流水の透視度、COD 値の推移

4. 脱窒促進の取り組み

4.1 平成 25 年度の処理状況

平成 25 年度より新たに全窒素濃度と送風電力量原単位の二軸管理目標値を導入し、目標達成に向けて取り組みを行うこととした。年度当初は前年度末から実施していた東西連絡導水渠耐震化工事の影響で、西施設における流入水量が大幅に増加し（前年度比 35%増）、反応時間が短くなったため、一部の反応槽で亜硝酸化が進行してしまい、全窒素濃度が上昇した（平成 25 年 3 月 18 日～5 月 31 日）（図 5）。その後、同工事が休止となった夏季の節電期間（平成 25 年 7 月～9 月）は東西施設の処理特性を考えた水量負荷の分配と送風機運転台数の削減を行うため、西施設の流入水量は前年度より少なくなった（前年度比 19%減）。硝化を十分に行える状況になったことから、全窒素濃度を低下させる取り組みを行うこととした。



図 5 放流水中の全窒素濃度の推移

4.2 反応槽前段部での脱窒を促進させる取り組み

これまで高水温期は比較的良好に硝化を行うことができたが、脱窒を十分に行うことが難しかったため、全窒素濃度を低下させることができなかった。この一因として、西施設の流入水量が少ないため、反応槽回路前段部における嫌気度が低くなり、脱窒が困難になることが考えられた。しかし、污水ポンプの特性や散気設備の最低風量の制限のため、処理水量の増量や送風量の絞り込み等の調整には限界がある。そこで、これらの制約の中で実施可能な取り組みを考えた。

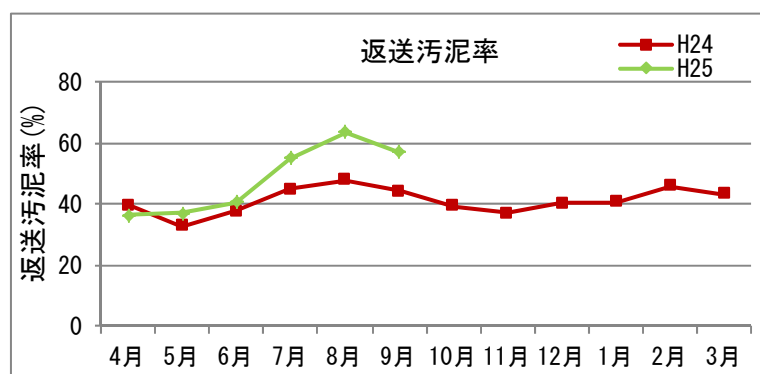


図 6 返送汚泥率の推移(12槽の平均)

反応槽（1号(A0法)、12号(疑似A0法)）の返送汚泥率をさらに高めて70%とし、窒素処理の経過を観察することとした（8月13日～）。なお、返送汚泥率の変更前から返送汚泥率が前年度と比べて高い値だった理由は、流入水量が少なく、返送汚泥ポンプを最低の能力で運転した場合でも、流入水量に対して返送汚泥量が過剰になるためである。

具体的には、返送汚泥率を高めて返送汚泥とともに回路前段部に返る硝酸性窒素の量を増やすことで脱窒反応を促し、系外に窒素ガスとして排出される量を増加させる取り組みを試みることにした。なお、返送汚泥率は7月以降前年度と比べて高い値（55～65%）であったが（図 6）、全窒素濃度は低下していなかった。そこで、一部の

4.3 取り組みの結果

返送汚泥率を高めて運転を行ったところ（1号 49→68%、12号 62→70%）、両槽とも反応槽末端での(NH₃+NO₂+NO₃)濃度が 2mg/L 程度低下したことがわかった（図7：降雨の影響を除いた日常試験の結果（平成25年7月～10月））。

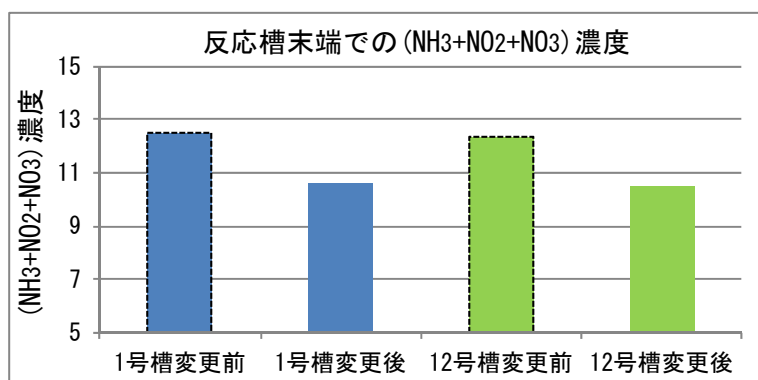


図7 返送汚泥率変更前後の窒素処理の比較

次いで、疑似A0法で運転している12号槽に対して、返送汚泥率以外の条件をそろえた対照槽（10号槽）を設け、各回路ごとの処理過程と最終的な処理状況を比較した（表4、5、図8：10月通日調査結果）。日中3時間おきに処理状況を確認したところ、すべての時間帯において、返送汚泥率の高い12号槽の反応槽末端における全窒素濃度が 2mg/L 程度低いことがわ

った。

表4 各回路の空気設定

各回路風量・D0設定値		
A, B回路	D回路	F回路
各 400 m ³ /h	0.7 mg/L	2.5 mg/L

表5 各槽の運転条件

	10号槽	12号槽
返送汚泥量 (m ³ /日)	9,620	12,680
第二沈殿池出口流量 (m ³ /日)	18,150	18,060
返送汚泥率 (%)	53.0	70.2

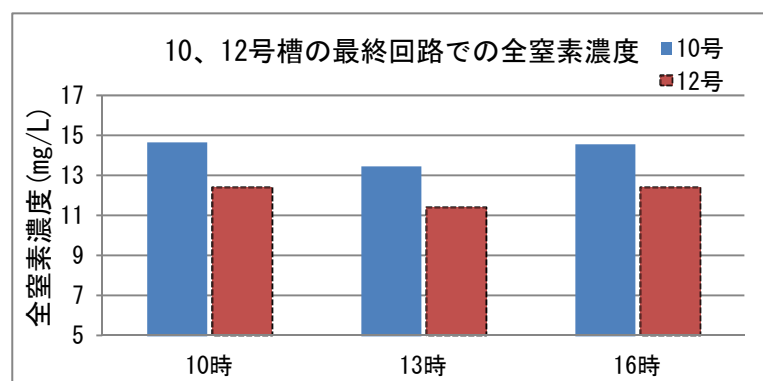


図8 10、12号槽の全窒素濃度の比較

一般的に高い返送汚泥率で運転を行うとりん処理が不安定になるとされるため、返送汚泥率の高い12号槽でりん処理が悪化することを懸念していたが、今回の調査では確認されなかった（図9）。しかし、12号槽のA回路におけるりんの吐き出しが弱くなっており、嫌気度が低下していることが要因と推測される。このため、

持ち込みの溶存酸素量の多い降雨後にりん処理が不安定化する期間が以前と比べて長くなったと考えられる。

その後、疑似A0法で運転を行っている他の槽（8、10号槽）についても返送汚泥率を70%に高めて運転を行ったところ、前年度と比べて放流水に含ま

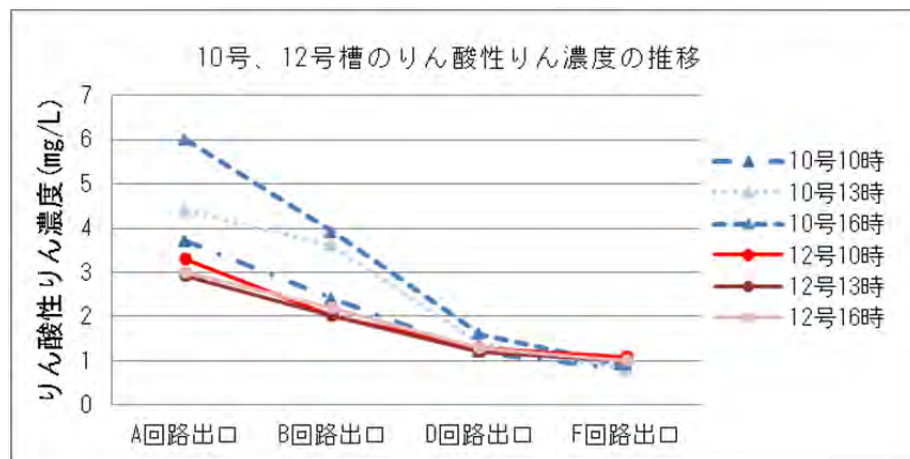


図9 10、12号槽のりん処理過程

れる全窒素濃度が若干ではあるが低下する傾向がみられた。

こうした一連の取り組みにより嫌気度の低い条件下で窒素処理を改善する見通しがついた。

5. まとめ

5.1 低水温期の硝化促進の取り組みについて

流入水温に応じた MLSS 濃度の目標値を設定し、維持管理を行ったことで、低水温期における処理を良好に行うことができた。この取り組みを通年にわたり行うことで安定的に完全硝化型の運転を行えると考えられる。また、単純に MLSS 濃度の数値だけでは処理状況を正確に把握しきれない面もあるので、実際の処理状況と照らしあわせ、活性汚泥の色や沈降性、好気部における汚泥滞留時間なども考慮しながら管理していくことも必要である。

5.2 脱窒促進の取り組みについて

完全硝化の行える高水温期に高い返送汚泥率（70%）で運転したところ、全窒素濃度を低下させることができた。今後、当センター西施設や他センターの全窒素濃度を低下させる取り組みの一例として用いることができると考える。しかし、りん処理についてはやや不安定になる傾向にある。

今後は東西施設での水量負荷分配比率の見直しや反応槽の施設停止など、既存設備と処理水量の最良点を模索するとともに、今回の取り組みの通年実施を検討する。

参考文献

- 1) 竹田 裕一：亜硝酸型硝化の解消の運転対応について、東京都下水道局技術調査年報 2000

2-3-1 葛西水再生センターにおける

低動力型脱水機の効率的運転について

東部第二下水道事務所 葛西水再生センター 小川 誠

1. はじめに

葛西水再生センターでは、「アースプラン 2010」に基づく汚泥処理工程におけるエネルギーの削減を目的として、平成 22 年度に老朽化した汚泥脱水設備の再構築を行い、局内第 1 号機となる低動力型二重円筒式加圧脱水機（以下、「加圧脱水機」という。）2 基を導入し、運用を開始した。

本稿では、加圧脱水機における夏期の汚泥性状悪化に伴う処理量低下に対応するため、平成 24 年度に実施した対策とその効果について報告する。

2. 葛西水再生センターの汚泥処理プロセス

葛西水再生センターにおける汚泥処理プロセスは、表 1 のとおり 4 つの工程で構成されている。

表 1 葛西水再生センターの汚泥処理プロセス

工程	汚泥輸送	汚泥濃縮	汚泥脱水	汚泥焼却
設備名	汚泥調圧槽×1 基 受泥設備 一式	重力濃縮槽×4 槽 遠心濃縮機×3 台 ベルト濃縮機×2 台※	ベルトプレス型脱水機×10 台 遠心脱水機×3 台 加圧脱水機×2 台	汚泥焼却炉×3 炉 (流動床炉)

※ベルト濃縮機は平成 25 年度から運用開始

2.1 汚泥輸送工程

葛西水再生センターは、江戸川区の大部分及び葛飾区の一部地域からの下水を処理し、東京湾へ放流している。

発生する汚泥は、中川水再生センターと小菅水再生センターから送られてくる汚泥と併せ、汚泥処理工場で処理している（図 1）。各センターから送泥される汚泥は、中川から小菅を経て葛西まで 19.2 km に亘り、約 8～10 時間程度をかけて輸送される。

また、荒川を挟んで位置する東部スラッジプラントからも、緊急時の送泥ルートがある。

2.2 汚泥処理量と濃縮工程

汚泥処理プロセスでは、センター内で発生する一沈汚泥及び余剰汚泥と各センターからの送泥汚泥（以下、「混合汚泥」という。）を濃縮、脱水、焼却の順に処理している。これ

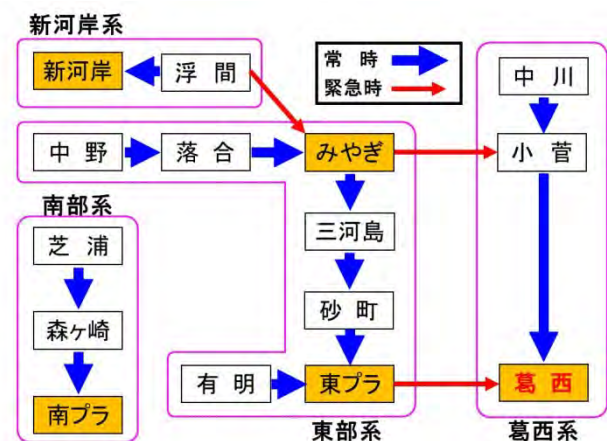


図 1 水再生センターの送泥網（区部）

らの汚泥処理量の割合を図 2 に示す。

このうち、混合汚泥は約 6 割（平均 19,000 m³/日）を占め、その汚泥性状は 3,000 mg/l 程度の低濃度で嫌気状態にある。

一沈汚泥は、晴天時と雨天時では 3,300～21,200m³/日と大きく変動する。

また、汚泥性状は、晴天時 10,000 mg/l 程度、雨天時 20,000 mg/l 程度になり、他の汚泥に比べて濃縮・脱水性が良好な傾向にある。混合汚泥と一沈汚泥は、4 槽ある重力濃縮槽で約 12 時間かけて濃縮され脱水工程へ搬送される。

一方、余剰汚泥は、平均 5,000m³/日 程度を安定的に全量遠心濃縮機で処理している。

ここで、混合汚泥及び一沈汚泥を濃縮処理する重力濃縮槽では、水温が上昇する夏期に汚泥の腐敗が発生し、濃縮・脱水性が低下することから、濃縮時間を短くして槽内で腐敗が進行しないよう汚泥界面の調整を行っている。

重力濃縮された汚泥（以下、「濃縮汚泥」という。）濃度は、月平均 2.4%（平成 24 年度実績値）であるが、汚泥の腐敗対策により夏期の濃縮汚泥濃度が低下する傾向にある（図 3）。

2.3 汚泥脱水・焼却工程

濃縮汚泥は、各汚泥脱水機へ投入し、含水率 78%程度まで脱水され汚泥焼却炉へ投入する。現在、当センターに設置されている脱水機の主な仕様は、表 2 のとおりである。

表 2 汚泥脱水機の主な仕様

	ベルトプレス型脱水機	遠心脱水機	加圧脱水機
処理量 (m ³ /h)	23	45	30
主要電力量 (kWh/台)	33	162	32
処理原単位 (kWh/m ³)	1.43	3.60	1.07
台数	10	3	2

図 4 は、脱水機の設備稼働率である。

（設備稼働率＝実処理量÷計画処理量）

脱水機の運転は、後段の汚泥焼却炉の補助燃料を削減するため、汚泥性状に応じた含水率の制御を比較的行いやすい遠心脱水機を中心に運用し、脱水ケーキ含水率の低減化を進めている。

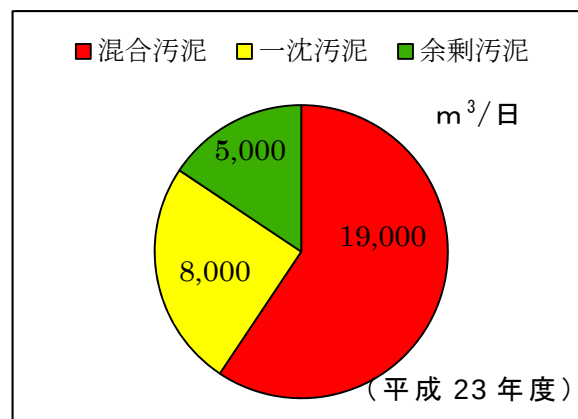


図 2 日平均汚泥処理量の割合
(H23 年度)

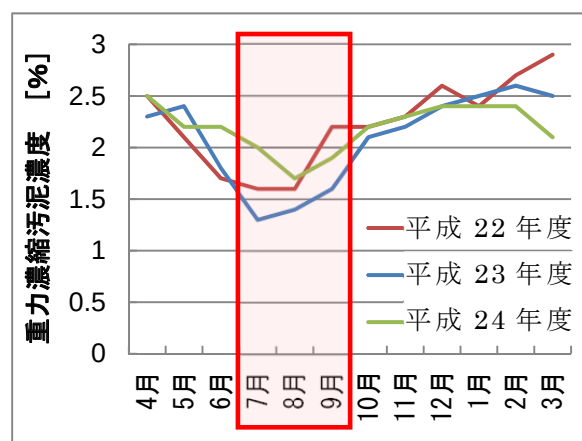


図 3 重力濃縮汚泥濃度の月変化

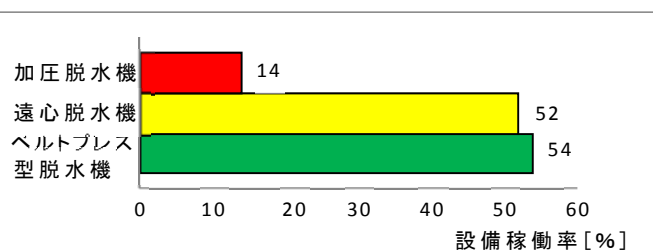


図 4 脱水設備稼働率 (平成 23 年度)

汚泥焼却炉は、焼却能力 850t/日（250t×1 基、300t×2 基：流動床炉）であり、脱水ケーキ焼却量が最少 120t/日、最大 740t/日と変動が大きい。通常時の運転の状況は、日平均 430t/日 1 炉が定格運転、2 炉目が調整運転（発停運転）をしている。

汚泥処理施設の特徴を整理すると次のとおりである。

① 夏期は、汚泥が腐敗を生じ難濃縮性汚泥となる。

② 流入汚水量の増減により、汚泥の混合割合（重力濃縮、余剰汚泥）が日々変化する。

このような状況の中、平成 22 年度に導入した加圧脱水機は、夏期を中心に発生する難濃縮性汚泥の影響や、濃縮汚泥量の調整のための汚泥焼却炉の発停などによる、投入汚泥の量・質的な変動に追従できず、設備稼働率の低下を招いていた。

3. 加圧脱水機の構造と脱水メカニズム

3.1 基本構造

平成 22 年度に導入した加圧脱水機の各部名称と内部構造を図 5 に示す。加圧脱水機は、同心配置された大小 2 つの金属製円筒ろ材〔内筒、外筒スクリーン（以下、「内外筒」という。）〕、スパイラル板及び背圧板により構成される。内外筒は、同方向、同角速度で回転し、挟み込んだ汚泥を円周方向に搬送する。一方、スパイラル板は、内外筒間に位置し、上部で固定されており回転しない。

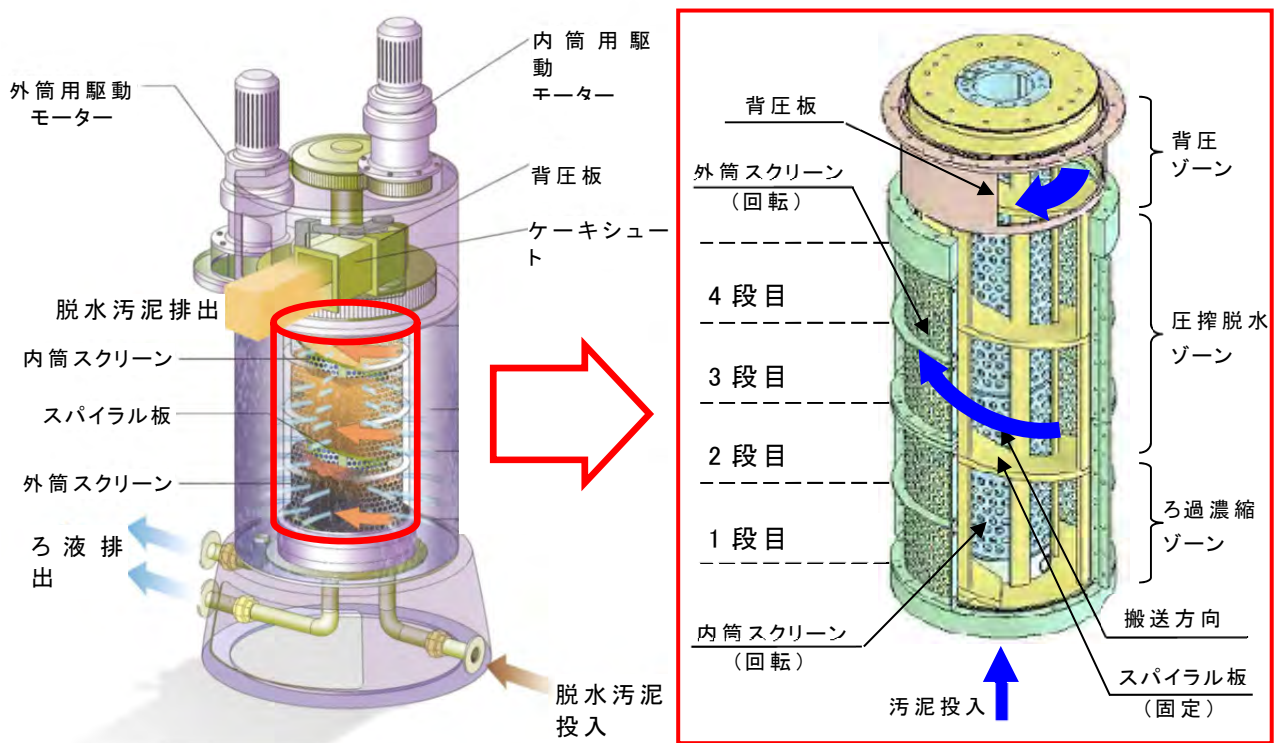


図 5 加圧脱水機の各部名称と内部構造

3.2 脱水メカニズム

高分子凝集剤を添加した汚泥は、凝集混和槽にて凝集され、汚泥供給ポンプにより加圧

脱水機下部の汚泥投入管から螺旋状の流路に圧入される。充填された汚泥は、汚泥供給ポンプの投入圧（MAX:50kPa）をろ過差圧として内外筒ろ材を介し、下部のろ過濃縮ゾーンにてろ過濃縮（両面ろ過）される。このとき、縦型であるため、下部から汚泥が均一に充填され、スクリーンの固形物負荷を均一にできる。

ろ過濃縮された汚泥は、粘性が上昇し流動性を失った半固形物状となる。このため、内外筒と汚泥の間に摩擦が生じ、回転する内外筒に挟まれスパイラルに沿って円周方向の搬送作用（以下、「両面搬送」という。）を受ける。この圧搾脱水ゾーンでは、同時にスパイラルの間に生じる干渉により汚泥は圧搾力と上方への搬送力が与えられる。

また、両面搬送とスパイラルとの干渉によりせん断効果が与えられるため効率的に脱水が行われる。

上部の背圧ゾーンでは、背圧板が汚泥の排出面積を減少させることで更に高いせん断および圧搾力を加え、高い内圧（MAX:150～200kPa）にて汚泥を脱水し、加圧脱水機の外に排出する。

4. 加圧脱水機の運用における課題

4.1 夏期の難濃縮性汚泥による濃縮性能の低下

過去3か年の濃縮汚泥濃度と濃縮汚泥の水温は、図6のような関係がある。

この図のとおり、水温の上昇に伴い濃縮汚泥濃度が低下することがわかる。

汚泥の滞留時間の長い重力濃縮槽では、水温の影響を受けやすく、高水温時には腐敗による汚泥浮上から濃縮汚泥濃度が低下する。

また、嫌気状態にある混合汚泥も相まって汚泥の腐敗が進行し、有機固形分の

可溶化及び有機酸の生成で汚泥粒子が微細化し、汚泥表面の電荷量の増加が起こり、汚泥浮上が促進される。加えて、脱水性の良し悪しに影響する粗浮遊物（別名粗繊維分）は、嫌気条件が続くと分解され、脱水性も低下する。

以上のことから、夏期における濃縮汚泥が性状変化を起こし、加圧脱水機のろ過濃縮ゾーンの濃縮性能の低下を起こしたと考えられる。

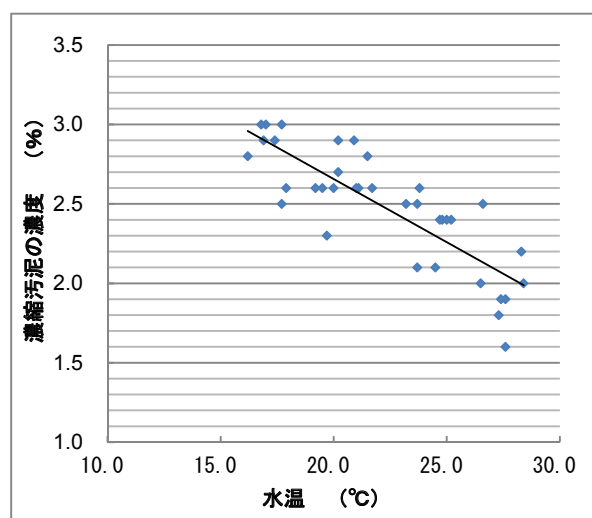


図6 濃縮汚泥濃度と水温の関係（H22～24）

5. 加圧脱水機の改善内容

5.1 これまでの取組

平成22年度より運用開始した加圧脱水機は、夏期のほかにも投入汚泥の性状（汚泥濃度、濃縮汚泥中の混合割合など）が変動することで、処理量が低下する現象が発生していた。このため、ろ材目幅の変更や夏期汚泥の薬品の選定などによる対策を行ってきた（表3）。

最終的には、年間を通した濃縮汚泥の性状変動に対して処理量を確保するため、加圧脱水機の前段部に、汚泥を簡易的に濃縮する調質槽を追加する調査を実施し一定の効果が得られた。

表 3 これまで取り組んだ調査及び対策

時期	調査内容	結果	効果
H 22.3～4	・焼却炉 1 炉運転時の性能調査（余剰汚泥割合が高い）	・ろ過濃縮性能の悪化により処理量低下	×
H 22.6～7	・ろ材内外筒の回転数制御の変更	・脱水性悪化時に制御	○
H 22.8	・高分子凝集剤の机上試験	・両性系高分子凝集剤の適正が認められる	○
H 22.9～10	・高分子凝集剤実機試験	・継続性に欠けていた	△
H 22.11～12	・連続運転調整	・連続運転の確認	○
H 23.4～8	・高分子凝集剤実機試験（再度）	・両性系高分子凝集剤に一部適性が認められ、定格処理量（4～7 月）での運転が確認された。しかし、薬品供給全体の見直しが必要となった。	—
H 23.8	・高分子凝集剤実機試験（再度）	・両性系高分子凝集剤に一部適性が認められ、定格処理量の 70% 程度での運転が確認された。	—
H 23.11～12	・調質槽（試験機）の性能確認	・投入汚泥濃度が上昇することで含水率、処理量が安定して上昇することが確認された。	◎

5.2 調質槽による汚泥調質の流れ

これらの調査結果から平成 24 年度に、加圧脱水機の前段にろ過濃縮機能を持つ調質槽を導入した（図 7）。既設では、汚泥と薬品を凝集混和槽にて混合させた凝集汚泥を、脱水機に直接投入していたが、新たに調質槽を導入し事前にろ過濃縮することで、加圧脱水機のろ過濃縮ゾーンの濃縮性能が改善され、脱水性の改善を図ることができる。

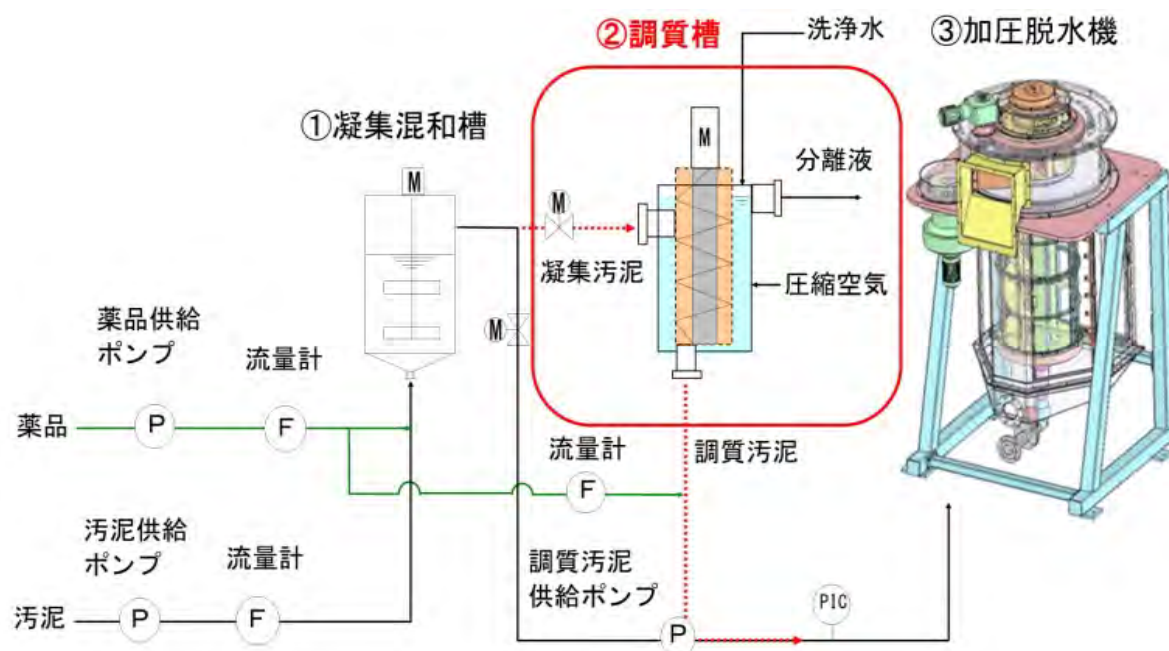


図7 今回追加した調質槽の加圧脱水フロー

ここで、導入した調質槽は、以下のような流れを経て加圧脱水機へ汚泥を移送する（図8）。

- ① 凝集混和槽は、汚泥と薬品（高分子凝集剤）を混合させて凝集汚泥を形成させる。
- ② 凝集汚泥は、調質槽の円筒スクリーン内部に投入され、スクリーンを介してろ過濃縮される。
- ③ ろ過濃縮された調質汚泥は、調質汚泥供給ポンプにて加圧脱水機へ投入される。
- ④ 調質汚泥の濃度は、調質汚泥供給ポンプの流量と投入汚泥の流量の設定により任意に調整可能となる。

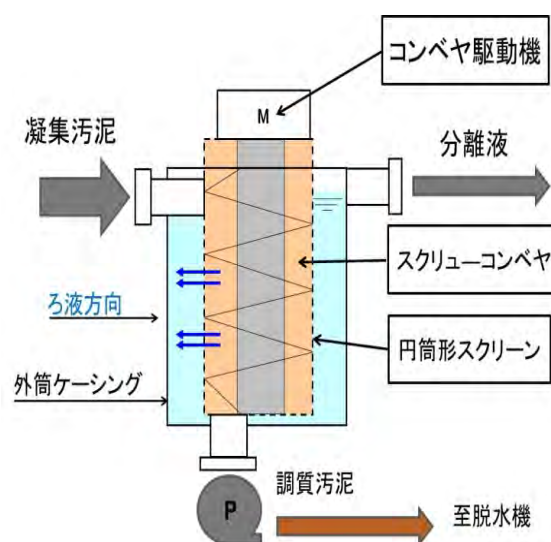


図8 調質槽の構造

6. 夏期における改善効果

調質槽を導入後の加圧脱水機の運転結果（表4）より、次の効果を確認できた。

- ① 処理量は、余剰汚泥の混合割合が上昇すると、調質槽の汚泥飲み込み量が低下するが、改善前と比べて $20 \sim 30 \text{ m}^3/\text{h}$ まで処理量を回復させることができた。また、薬注率、含水率、固形物回収率においても改善前と同等以上の結果が得られた。
- ② 処理の安定性は、余剰汚泥の混合割合の変動に対して、安定した運転が可能となり、起動時から目標処理量までの自動運転ができるようになった。（これまでは、運転状況を確認しながら処理量を徐々に増加させていた。）

- ③ 調質槽の導入により低動力である加圧脱水機の設備稼働率が向上し、遠心脱水機の使用電力量を低減することができた（図 9）。例えば、稼働率が 3.4%から 36.8%に増加することで、脱水における電力量原単位を約 20%削減することができた。
- ④ 平成 25 年度についても、平成 24 年度と同等の稼働率を確保できており、運転状況も良好である。（平成 25 年度 8 月末現在）

表 4 夏期（7～9 月）における調質槽試運転結果

項目	改善前 [平成 23 年度]	改善後 [平成 24 年度]
処理量 (m ³ /h)	10～15	20～30
稼働率 (%)	3.4	36.8
薬注率 (%)	1.4	0.9～1.3 (1.1)
含水率 (%)	81.0～82.0	76.7～80.7
汚泥濃度 (%)	1.5～2.0	1.7～3.0 (2.3)
粗繊維分 (%)	10～20	3～17 (12.2)
固形物回収率 (%)	95 以上	95 以上

() 内の数値は、平均値

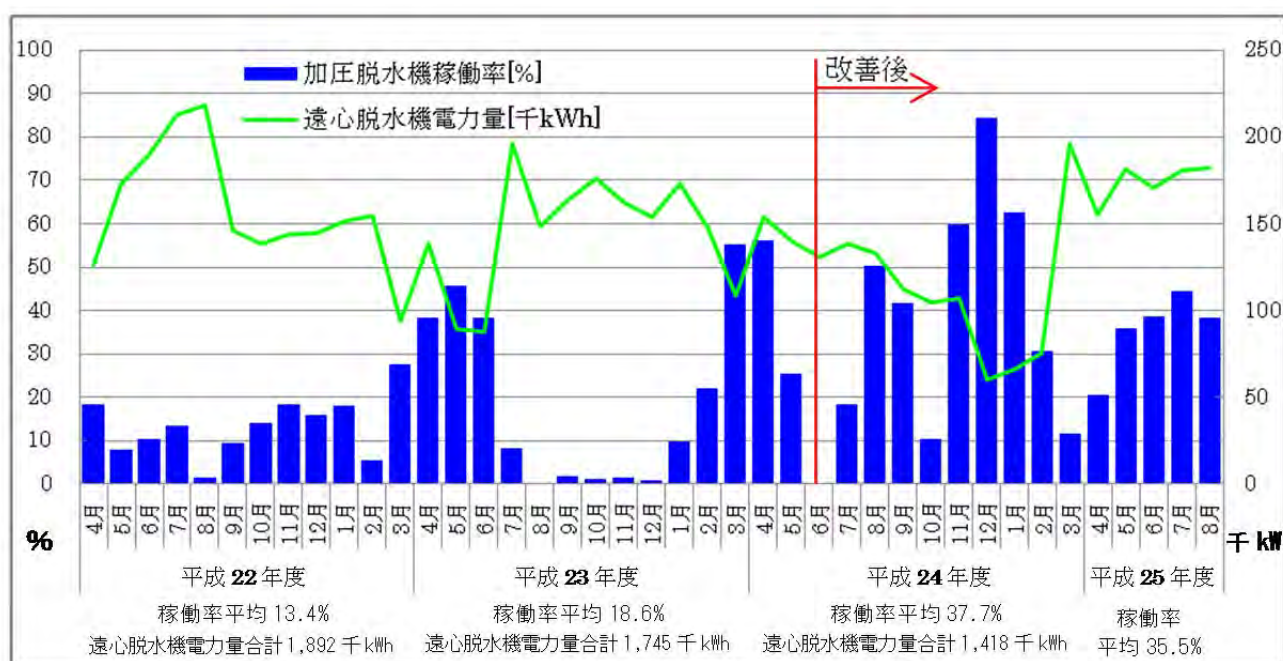


図 9 加圧脱水機の設備稼働率と遠心脱水機使用電力量

7. まとめ

調質槽の導入により加圧脱水機へ投入する濃縮汚泥の固形物濃度が上昇し、従来の加圧脱水機の特長を生かす運転が可能となった。

今後は、一年を通して設備稼働率の向上が可能となるよう、加圧脱水システム（凝集混和槽・調質槽・加圧脱水機）の安定化運転や、凝集剤（高分子凝集剤）の低薬注率化に向け、更なるコスト削減に取り組んで行く。

2-3-2 余剰汚泥の長時間貯留に伴う脱水性の検証

西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 佐藤光昭

1. はじめに

下水道局では、「アースプラン 2010」を策定し、温室効果ガス排出量削減の取り組みを行っている。汚泥処理プロセスの一つである汚泥焼却は、温室効果ガス排出量の削減効果は大きいが、補助燃料や電力等の使用による維持管理コストが高い処理プロセスである。このため、常に経済的な運転に努めるよう前段プロセスである汚泥脱水における汚泥性状の把握や脱水汚泥投入量及び焼却炉の運用条件の適正化を図ることが重要である。

汚泥焼却運転に要する補助燃料の使用量は、焼却炉へ投入した脱水汚泥の燃焼状態が大きな影響を与え、自燃焼却運転の実施により使用量の減少を図ることができる。さらに、自燃焼却運転は、高温焼却による温室効果ガス排出量削減も可能である。しかしながら、この自燃焼却運転を行うためには、低含水率脱水汚泥の生産が必要不可欠である。

余剰汚泥は難脱水性の汚泥であり、脱水における余剰汚泥比率の大小は脱水汚泥の含水率を左右する。ここでは、余剰汚泥の脱水性の評価と、貯留による余剰汚泥比率のコントロールについて実施設を用いた検証を行ったので報告する。

2. 100%余剰汚泥の脱水性の検証

余剰汚泥を構成する細菌群は細胞表面に強固な細胞壁を持つ。細胞壁は細胞内部水の外部排出の妨げとなることから、脱水汚泥含水率の上昇の原因となっている。脱水性向上のためには細胞壁を破壊して内部水を排出する必要がある。ここでは余剰汚泥の長時間貯留による汚泥腐敗の進行が細胞壁の変性に寄与するという仮説をたて、汚泥の長時間貯留が脱水性に及ぼす影響を評価するため検証を行った。

(1) 設備の型式

本検証に使用した既設の汚泥処理設備の型式は、表1のとおりである。(写真1.1～1.4)

(2) 検証期間

平成25年10月8日～10月21日

表1 本検証に使用した汚泥処理設備

汚泥濃縮設備	重力濃縮
	加圧浮上濃縮
汚泥貯留設備	円形槽
汚泥脱水設備	ベルトプレス型



写真 1.1 重力濃縮設備



写真 1.2 加圧浮上濃縮設備



写真 1.3 汚泥貯留槽



写真 1.4 ベルトプレス型脱水機

(3) 検証方法

浮上濃縮設備で濃縮処理した余剰汚泥を貯留（以下、「貯留余剰汚泥」という）して、この貯留経過に伴う脱水性を検証した。

余剰汚泥の貯留は、通常の汚泥処理において使用していない汚泥貯留槽の予備槽を活用し、貯留期間を2週間とした。

なお、汚泥脱水機の運転条件は、平成25年9月9日～9月18日にかけて事前検証を行い、汚泥脱水機が安定運転できる条件とした。

表 2 100%余剰汚泥の脱水性の検証における運転条件

項目	運転条件
汚泥投入量	10 m ³ /h
ろ布速度	1.4 m/min
ろ布緊張圧	0.24 MPa/cm ²
薬品添加率	0.23 %/WS-t
貯留時間	0日、1日、2日、3日 1週間、2週間

運転条件を表2、通常の汚泥処理フローを図1.1、本検証時のフローを図1.2に示した。

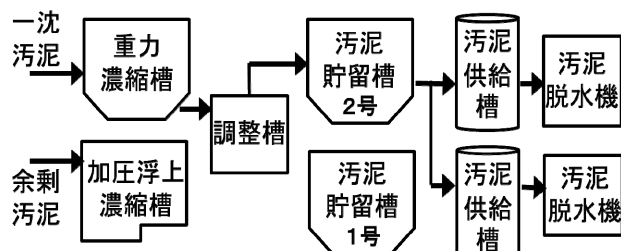


図 1.1 通常の汚泥処理フロー

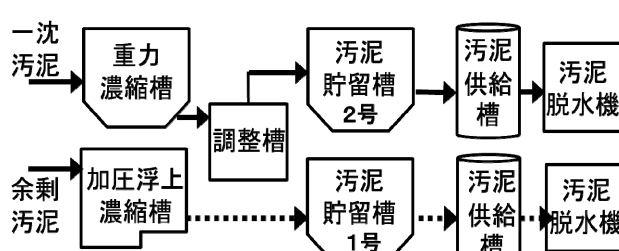


図 1.2 検証時の汚泥処理フロー

（実線：通常フロー、破線：検証フロー）

(4) 結果と考察

図2に脱水ろ液中のアンモニア性窒素の推移を、図3に脱水汚泥含水率の推移を示す。図2のとおり、貯留期間が長くなると余剰汚泥のタンパク質等の分解により発生するアンモニア性窒素が増加していることから、余剰汚泥は腐敗が進行していることがわかる。一方、脱水汚泥含水率は、貯留直後82.9%、2週間経過後83.7%、2週間平均84.8%でありほぼ一定で推移した。（図3）

これより、当初想定していた細胞壁の破壊による含水率の向上は認められなかった。しかし、余剰汚泥は、2週間程度の貯留では脱水性が大きく変化しない貯留特性を有していることが確認された。このことから、余剰汚泥の貯留特性を活用することで、脱水する際の余剰汚泥比率をコントロールして脱水汚泥含水率を平準化することがある程度可能であると考えられる。

一方、今回の調査対象としていない第一沈殿池引抜汚泥（以下、「一沈汚泥」という）の場合には長時間貯留することで汚泥腐敗が進行し脱水性の低下や凝集剤使用量の増加につながるということがわかっている。

汚泥脱水機の運転性については、本検証期間の同一運転条件の中、貯留時間が 0 日、1 日、2 日、3 日、1 週間、2 週間のいずれの場合も、供給汚泥のサイドリークの発生はなく、脱水汚泥の剥離性は同様な状況であった。（写真 2.1、写真 2.2）

なお、当初目論んでいた細胞壁の破壊による含水率の向上は認められなかった。一方、第一沈殿池引抜汚泥（以下、「一沈汚泥」という）の場合には長時間貯留することで汚泥腐敗が進行し脱水性の低下や凝集剤使用量の増加につながる。しかし、余剰汚泥は、2 週間程度の貯留では脱水性が大きく変化しない貯留特性を有していることが確認された。

このことから、余剰汚泥の貯留特性を活用することで、脱水する際の余剰汚泥比率をコントロールして脱水汚泥含水率を平準化することがある程度可能であると考えられる。

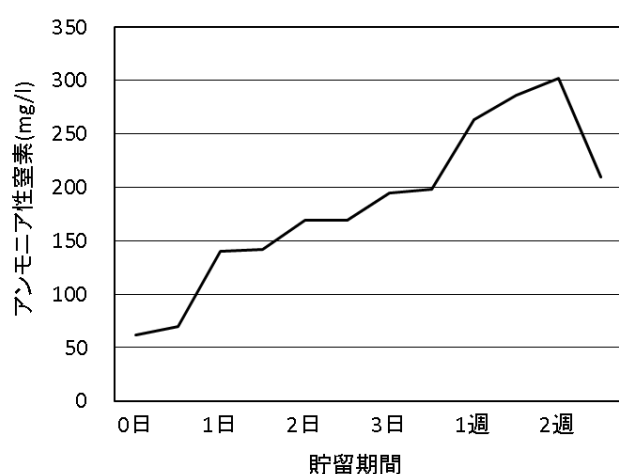


図2 脱水ろ液中のアンモニア窒素の推移

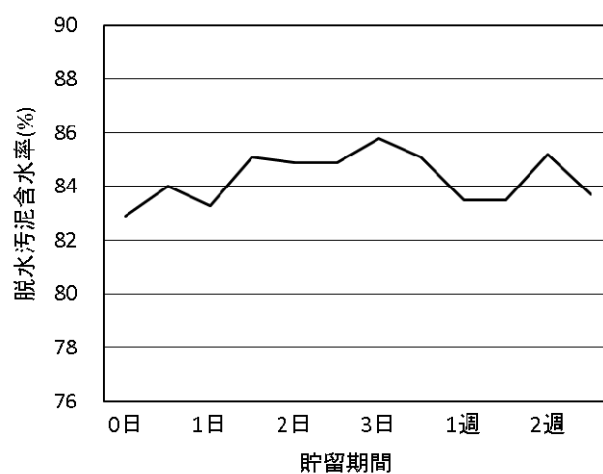


図3 脱水汚泥含水率の推移



写真 2.1 余剰汚泥の脱水状況 (0日間)



写真 2.2 余剰汚泥の脱水状況 (2週間)

3. 貯留余剰汚泥による余剰汚泥比率の制御

脱水汚泥含水率は、汚泥脱水機の供給汚泥中に占める余剰汚泥の割合（以下、「余剰汚泥比率」という）が大きな影響を受ける。通常時の余剰汚泥比率を下げるため、一部の余剰汚泥を貯留し、降雨後等の無機分が多く脱水性が良好な時に貯留した余剰汚泥を加えて脱水することで、常時一定以下の含水率で脱水ができるか検証を行った。

(1) 検証方法

余剰汚泥の貯留は、前出2と同様、通常の汚泥処理において使用していない汚泥貯留槽の予備槽を活用した。なお、貯留期間は、腐敗進行の大小による影響を比較するため2日間と2週間に設定した。

本検証による通常汚泥の余剰汚泥比率の調整は、貯留した余剰汚泥に通常汚泥を投入することで行った。また、この時の汚泥脱水機の運用は、貯留した余剰汚泥の脱水性に与える影響を調べるため、表3に示す運転条件のとおり、通常運転と検証運転を同時に実施した。

図4.1、図4.2に汚泥処理フローを示す。

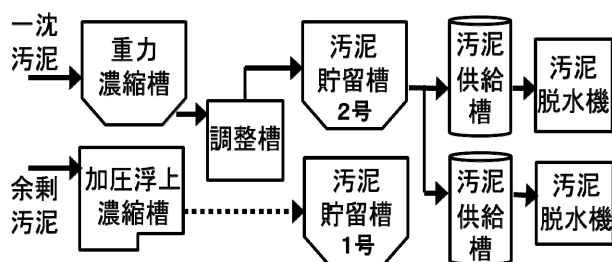


図4.1 余剰汚泥貯留時の汚泥処理フロー
（実線：通常フロー、破線：検証フロー）

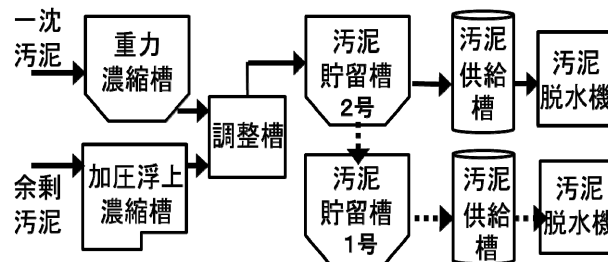


図4.2 貯留余剰汚泥を活用した汚泥処理フロー
（実線：通常フロー、破線：検証フロー）

表3 貯留余剰汚泥を活用した脱水性の検証における運転条件

	・通常汚泥 ・余剰汚泥添加 【2日間貯留】	・通常汚泥 ・余剰汚泥添加 【2週間貯留】
汚泥投入量 (m³/h)	16	16
ろ布速度 (m/min)	1.3	1.3
ろ布緊張圧 (MPa/cm²)	0.24	0.23
薬品添加率 (%/WS-t)	0.25	0.19

(3) 結果と考察

2日間貯留と2週間貯留の各々の場合の検証結果を表4.1、表4.2に示す。

表4.1より、2日間貯留後の余剰汚泥を添加することによって通常汚泥の余剰汚泥比率を32%から50%に上昇させた場合、脱水後含水率が通常汚泥では69%であったのに対して1.5%上昇し、含水率70.5%の脱水汚泥が得られた。

表4.2より、2週間貯留後の余剰汚泥を添加することによって通常汚泥の余剰汚泥比率を33%から50%に上昇させた場合、脱水後含水率が通常汚泥では68.8%であったのに対して1.7%上昇し、含水率70.5%の脱水汚泥が得られた。

また、汚泥脱水機の運転性については、2日間貯留、2週間貯留とも、供給汚泥のサイドリークや脱水汚泥の剥離状態の悪化が発生することなく、通常の供給汚泥の運転性と大きな差異は見られなかった。（写真4.1、写真4.2）

表4.1 貯留余剰汚泥を活用した脱水性の検証結果（2日間貯留）

	通常汚泥	余剰汚泥添加 【2日間貯留】
余剰汚泥比率 (%)	32	50
含水率 (%)	69.0	70.5



写真 4.1 2日間貯留余剰汚泥を活用した脱水状況

表 4.2 貯留余剰汚泥を活用した脱水性の検証結果（2週間貯留）

	通常汚泥	→	余剰汚泥添加 【2週間貯留】
余剰汚泥比率(%)	33		50
含水率(%)	68.8		70.5

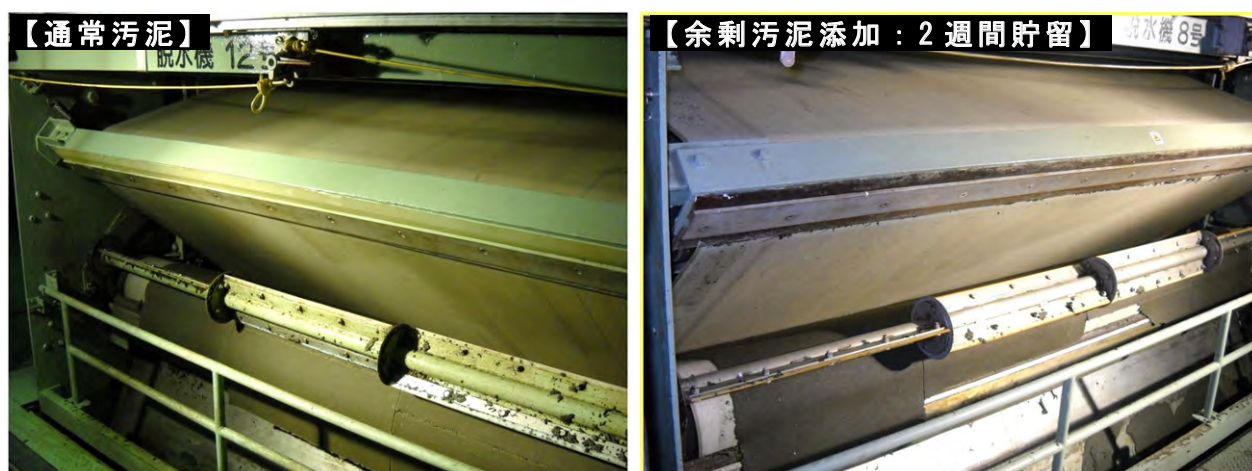


写真 4.2 2週間貯留余剰汚泥を活用した脱水状況

通常、余剰汚泥比率を人為的にコントロールするのは困難と考えられてきた。しかし、余剰汚泥の脱水性が2週間程度の貯留では低下しないことから、汚泥貯留槽を使用して貯留することで、コントロールが可能となる。日々発生する余剰汚泥をその日に全て脱水するのではなく、一部を貯留することで通常時は余剰汚泥比率の低い汚泥の脱水処理が可能となる。貯留余剰汚泥は、降雨時や管渠のフラッシングで一沈汚泥量の増加に伴う脱水性が良好な時に混合させて脱水処理を行えば、脱水汚泥含水率の上昇を抑えることができる。

また、今回設定した余剰汚泥比率は図4に示す平成25年度実績における余剰汚泥比率と含水率の分布の範囲内にあることから十分に実施可能であると考えられる。

今後は、貯留余剰汚泥を混合させる余剰汚泥比率調整の実用化に向けて、余剰汚泥比率調整の制御性、既存設備の活用に伴う課題および運用時の効果を検証する。

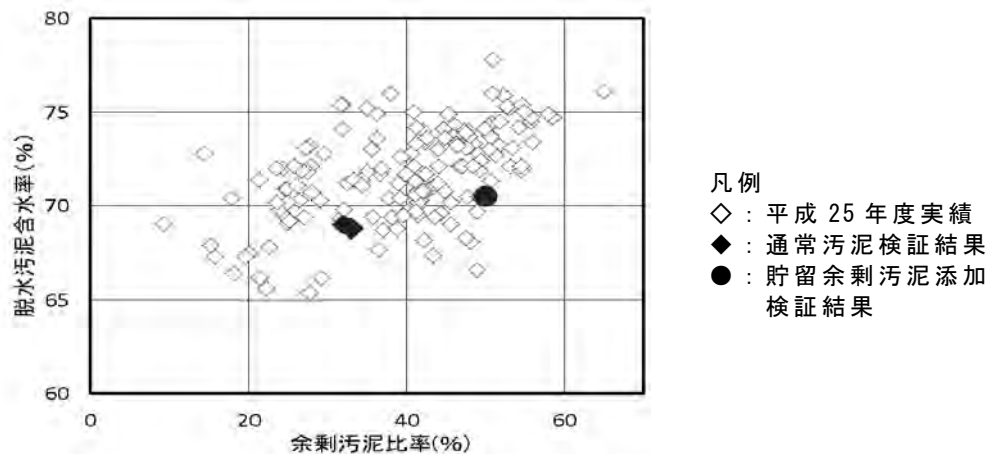


図 4 余剰汚泥比率と脱水汚泥含水率

4. まとめ（脱水汚泥含水率の安定化に向けて）

水処理における一沈汚泥量及び余剰汚泥量の変動に伴い、汚泥処理量及び脱水汚泥含水率が変化している。また、汚泥焼却炉の補助燃料使用量及び温室効果ガス排出量を共に削減する効率的な運用を図るためには、自然運転が最も効果的である。しかし、水処理における一沈汚泥量及び余剰汚泥量の変動に伴い、汚泥処理量及び脱水汚泥含水率は変化するため、これまでは安定した自然運転が困難な場合があった。

自然運転可能な脱水汚泥の生産においては、含水率を自然上限値に抑えることが必要であるが、過度に低い含水率の脱水汚泥は搬送設備の運用トラブルの要因になるため不要であり、安定した脱水汚泥含水率が求められている。

本検証から得られた余剰汚泥の貯留特性の活用は、余剰汚泥の貯留と排出による汚泥処理量の平準化と余剰汚泥比率の調整による脱水汚泥含水率の安定化を可能にすると考える。（図 5）

貯留余剰汚泥を混合させる余剰汚泥比率調整を実用化した際、汚泥焼却炉の自然焼却可能な脱水汚泥の効率的生産が図られ、自然焼却に伴う補助燃料使用量及び高温焼却による温室効果ガス発生量の削減に向けた、既設の汚泥処理施設の運用改善手法として有効である。

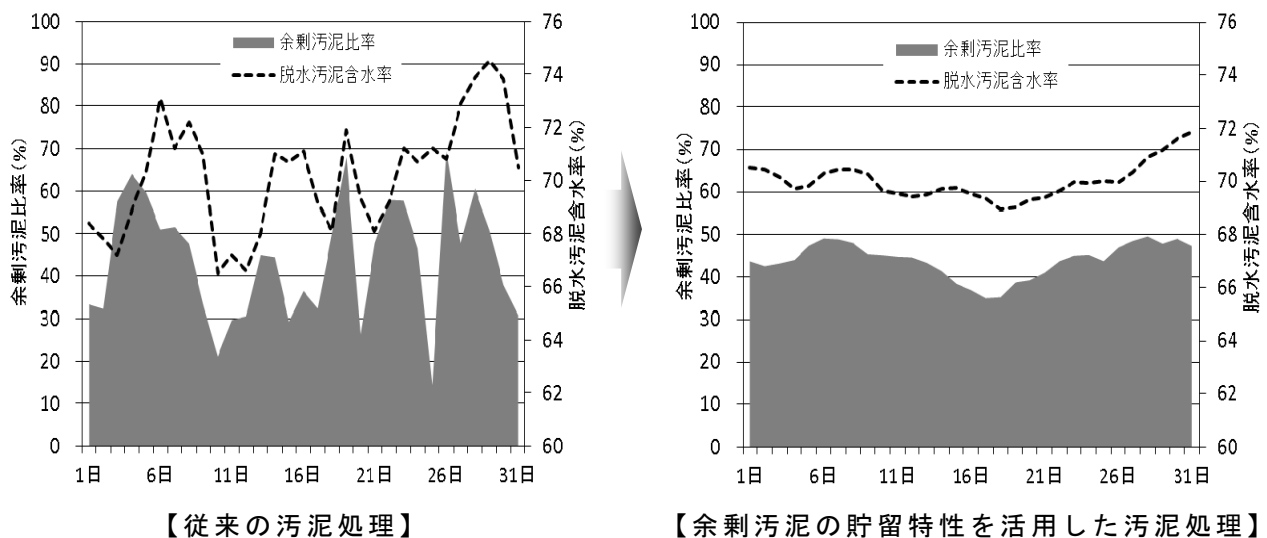


図 5 脱水汚泥含水率の安定化（イメージ図）

2-3-3 森ヶ崎水再生センターにおける消化槽管理温度の設定変更による

安定的な消化槽運転について

森ヶ崎水再生センター 藤井 晋司

1. はじめに

森ヶ崎水再生センター（以下、「当センター」という。）では、下水処理により発生する汚泥の減量化のため、昭和 54 年度より嫌気性消化を行っている。平成 16 年度からは、下水道事業では国内初の PFI 事業として、消化により発生したメタンガス（以下、「消化ガス」という。）をバイオマスエネルギーとして有効活用する消化ガス発電施設が稼働した。

ここでの消化とは、汚泥に含まれるタンパク質や糖などの栄養分を、さまざまな菌の働きによりメタン等のガスに分解することである。一般に嫌気性消化は低温（15～20℃）、中温（30～37℃）、高温（50～57℃）の 3 つのいずれかの温度帯域で行われている¹⁾。これは、消化に関わる菌の種類が温度帯域により異なることから、これらの温度帯域に分かれている。

当センターでは、比較的多くの消化ガスをより早く得られる高温消化を採用している。消化槽の稼働当初は、一次消化槽の管理温度を 55℃に設定して安定的に消化ガスを生成していた。ここで得られた消化ガスは、消化槽加温用温水ボイラーの燃料として利用してきた。しかし、平成 16 年度のガスエンジンによる常用発電事業開始以来、ガスエンジンの潤滑油劣化を防ぐため、一次消化槽の管理温度を、高温消化適正範囲の下限值である 50℃に引き下げた。それ以降は、消化プロセスに安定性を欠く傾向が現れ、消化ガス発生量が変動し、発電にも影響を及ぼした。

本調査では、当センターの一次消化槽の最適な管理温度を調査し、安定した消化槽の運転を確認することができたので報告する。

2. 設備概要と経緯

当センターには消化槽が 4 槽あり、内 3 槽が重力濃縮槽と遠心濃縮機で濃縮した濃縮汚泥を加温して消化させる一次消化槽、残り 1 槽が消化汚泥を投入して静置させる二次消化槽となっている。一次消化槽（以下、「消化槽」という。）では、温水と熱交換した汚泥を循環させることで加温している。

当センターから供給される熱量と処理水は、PFI 事業者である森ヶ崎エナジーサービス株式会社（以下、「MESCO」という。）に無償で提供され、発電施設で発電した電力と温水はセンターへ売却している（図 1）。

また、熱交換用の温水に供する熱源は以下のとおりである。

- (1) ガスエンジンの潤滑油冷却による廃熱
- (2) 排ガス温水器（ガスエンジンの廃熱）
- (3) 消化ガス温水器
- (4) 灯油焚き温水器
- (5) 南部スラッジプラント（以下、「南プラ」という。）新 2 号炉の廃熱

(1)はガスエンジンの潤滑油冷却用の一時冷却水と熱交換した二次冷却水の形で消化槽に供給されている（図 2）。この方式では、消化槽加温後の戻り水を潤滑油の冷却に利用できる。別途冷却器を設ける

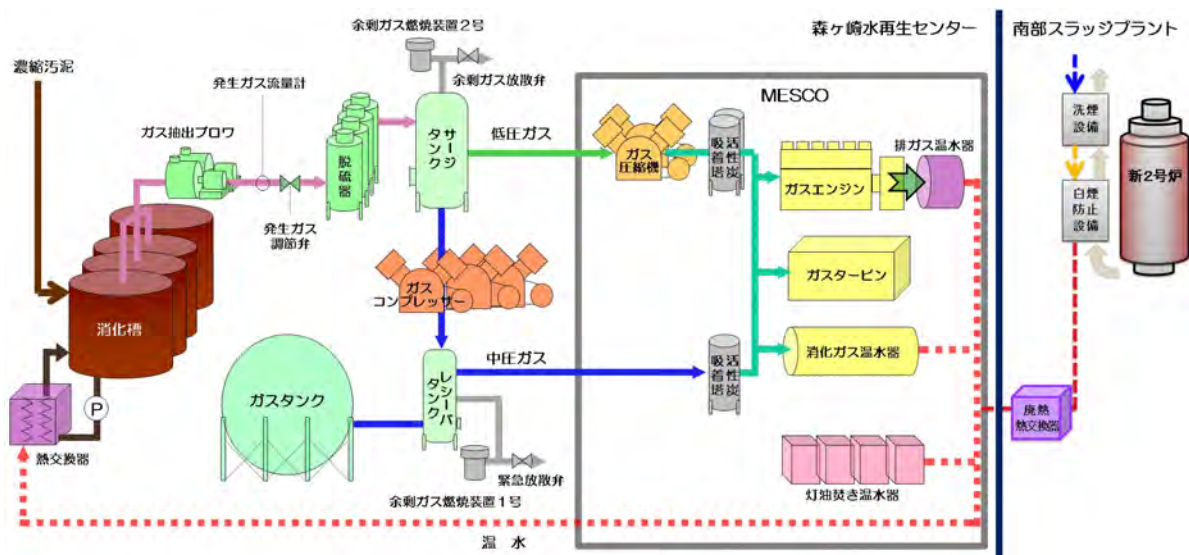


図1 常用発電フロー図

必要がなく、当初の設備投資が大幅に安価で済むことから、この方式が採用された。しかし、常用発電事業開始以前と同じ管理温度の 55℃では、熱交換器による一次冷却水の冷却が不十分で、潤滑油劣化の加速につながり、機器保全上問題があることが懸念された。そのため、管理温度を高温消化適正温度の下限である 50℃に設定し、運用することになった。

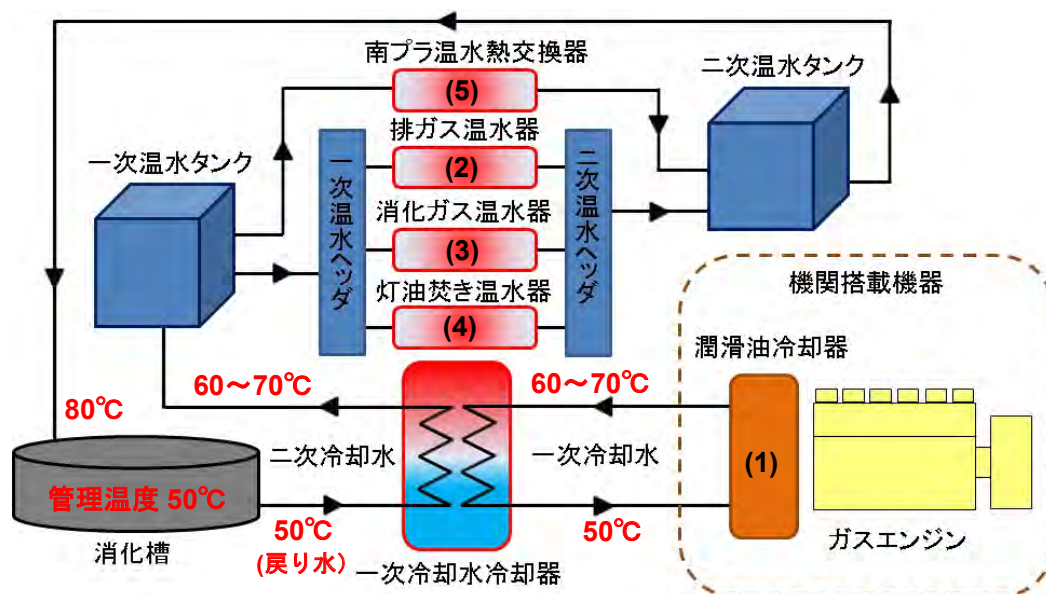


図2 温水給水フロー図

実際には消化槽の管理温度を常時 50℃に保つのは困難であり、高温消化適正温度の下限を逸脱し、メタン菌の働きが急速に悪化して消化ガス発生量が落ち込むことがある。その場合は、必要熱量を抑制するため汚泥投入量を下げたり、灯油焚き温水器により供給熱量を増やすなどの対応をするが、安定するまでに時間がかかる。

また、汚泥の過剰投入やメタン菌の大量発生、pH の異常などの原因で異常な泡立ち現象（以下、「フオーミング」という。）が発生することがある。平成 20 年度には、フオーミングにより汚泥が消化ガス配管にまで流出し、設備停止を余儀なくされた。

このように、管理温度を 50℃に下げたからは消化槽の安定運転を継続することが難しくなったが、平成 21 年に南プラの熱供給設備が稼働してからは加温熱量の供給が多くなり、立上げ時等に戻り水温度

が 52℃まで上昇しても、発電に影響が出ていない傾向が確認されたため、今回の調査を実施した。

3. 調査概要と結果

調査の開始は、安定した発電電力を要求されるピーク調整契約期間（6～9 月）の終了を待ち、平成 24 年 10 月 10 日正午より、10 日間程度かけて消化槽の管理温度を 50℃から 51℃に引き上げた。

図 3、図 4 に平成 23 年度と 24 年度の 10 月 1 日～11 月 25 日までの消化槽運転管理データを、図 5、図 6 に同じ期間の供給熱量と発電電力量データを示す。11 月 25 日以降のデータは年次点検による消化槽設備停止などのため、比較は行わないこととした。

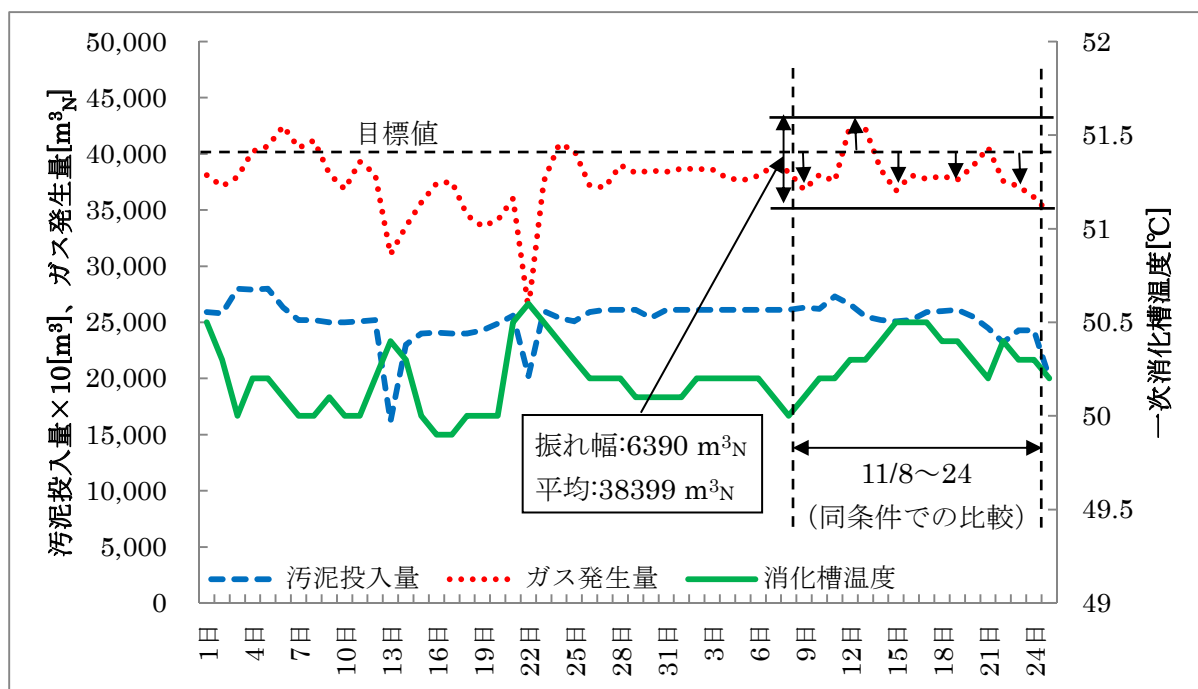


図 3 平成 23 年 10 月 1 日～11 月 25 日の消化槽運転データ（消化槽管理温度 50℃）

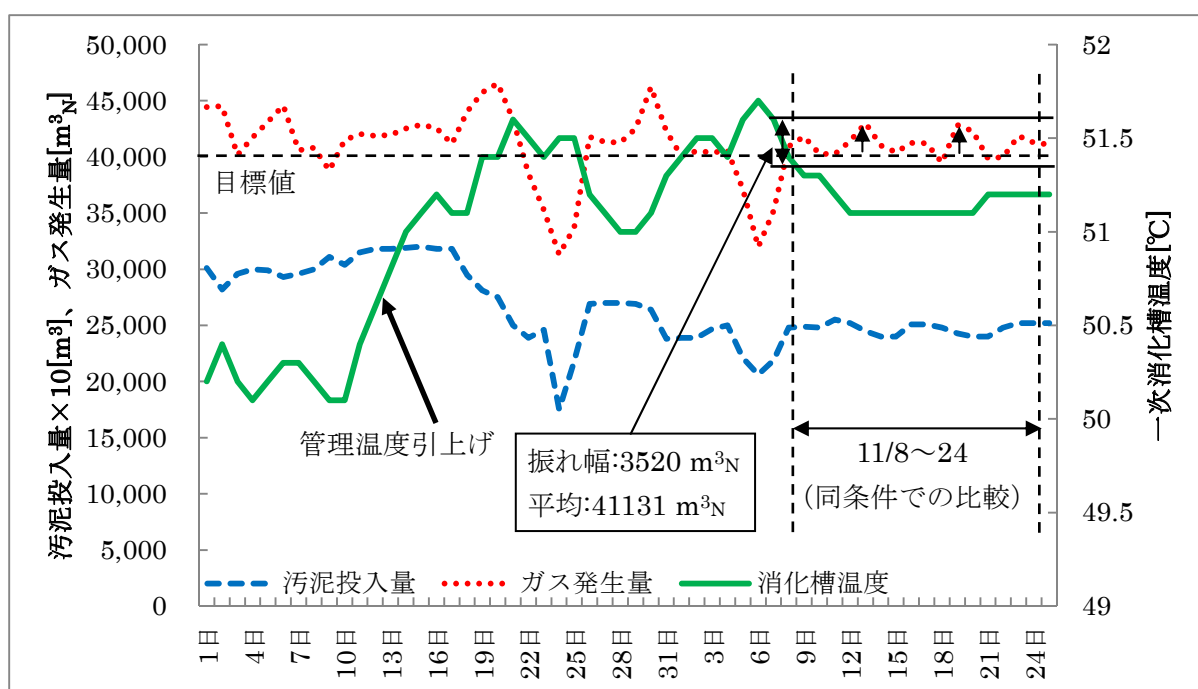


図 4 平成 24 年 10 月 1 日～11 月 25 日の消化槽運転データ
（消化槽管理温度 51℃ H24.10.10 以降）

調査開始以降、消化槽の運転が安定し、かつ工事、点検、トラブル等による影響が少なく、天候的にもほぼ同条件である 11 月 8 日～24 日までのデータを平成 23 年度と 24 年度で比較する。表 1 にその期間における投入汚泥量とガス発生量の累計を示す。

表 1 平成 23, 24 年度比較期間における投入汚泥量、ガス発生量

	投入汚泥量 [m ³]	ガス発生量 [m ³ N]
平成 23 年度 (50℃)	43,330	652,790
平成 24 年度 (51℃)	42,020	699,230

図中に示しているガス発生量目標値 40,000 m³N/日は、ガスエンジンがほぼ定格で運転し、エンジン廃熱が最大限得られる目安の量である。図 3、図 4 を比較すると、消化ガス発生量の目標値 40,000 m³N/日を下回った日は、平成 23 年度は 17 日間中 14 日に対し、24 年度は 3 日しかなかった。

また、比較期間 (11/8～24) において平成 23 年度のガス発生量の振れ幅は 6390m³N であるのに対し、平成 24 年度の振れ幅は 3520m³N と小さく、管理温度が 51℃の方がガス発生量は安定していることがわかる。

さらに、消化槽投入汚泥量は、平成 24 年度は 23 年度に比べて約 3%少ないにも関わらず、消化ガス発生量は約 7%増加した。

このように、消化槽の管理温度を 1℃引き上げることで、メタン菌の活動が落ち込む温度までのバッファが確保できることにより、消化槽運転の安定化が図れ、メタン菌のさらなる活発化により消化ガス発生量が増加したと考えられる。

また、供給熱量を比較すると、図 5 では比較期間中は平均すると概ね 300,000MJ で推移しているのに対し、図 6 では概ね 350,000MJ 程度の熱量で推移していることがわかる。

ここで、南プラの熱供給量が少ない日や、熱供給が停止している日は、図 5 の①のように灯油焚き温水器、もしくは②のように消化ガス温水器を活用するが、消化ガス温水器を使用すると消費するガス量が増加し、その分ガスエンジンで消費するガス量が減少することで、発電電力量も減少する。

以上より、消化槽管理温度を 50℃から 51℃に引き上げたことで消化ガス発生量は増加する一方で、安定的に消化ガスを発生させて発電するには多くの熱量を必要とするため、南プラの熱供給設備の安定的な稼働が熱量確保に非常に大きな役割を果たしていることがわかった。

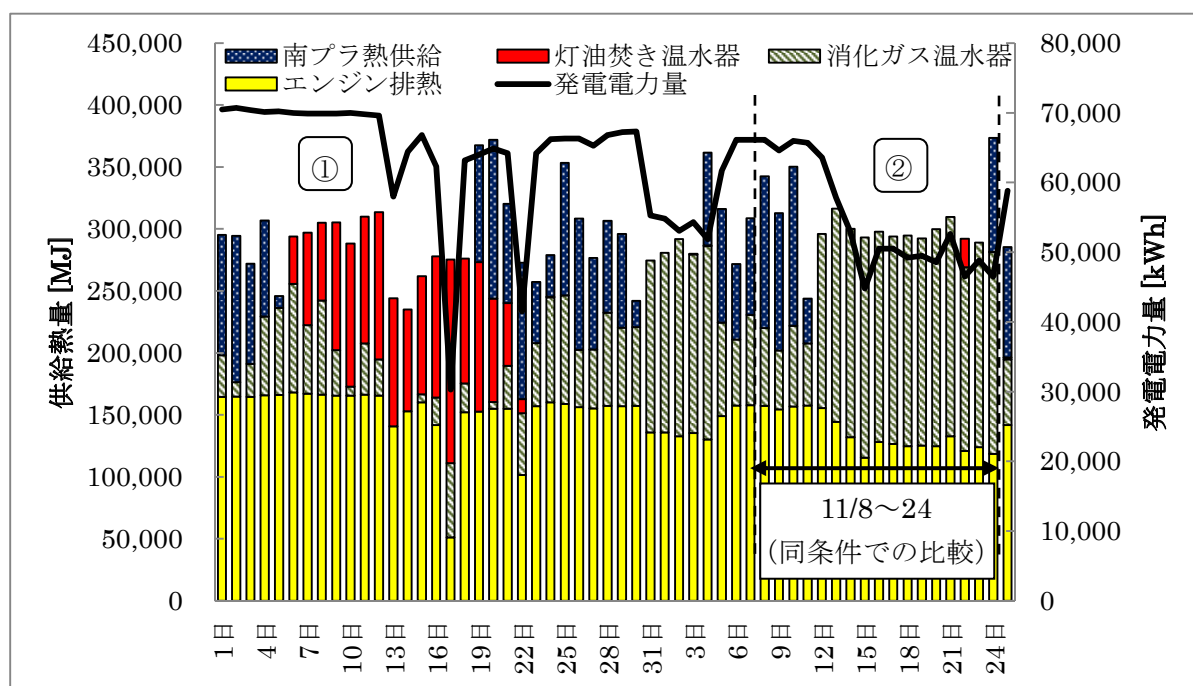


図5 平成23年10月1日～11月25日の供給熱量と発電電力量データ
(消化槽管理温度 50℃)

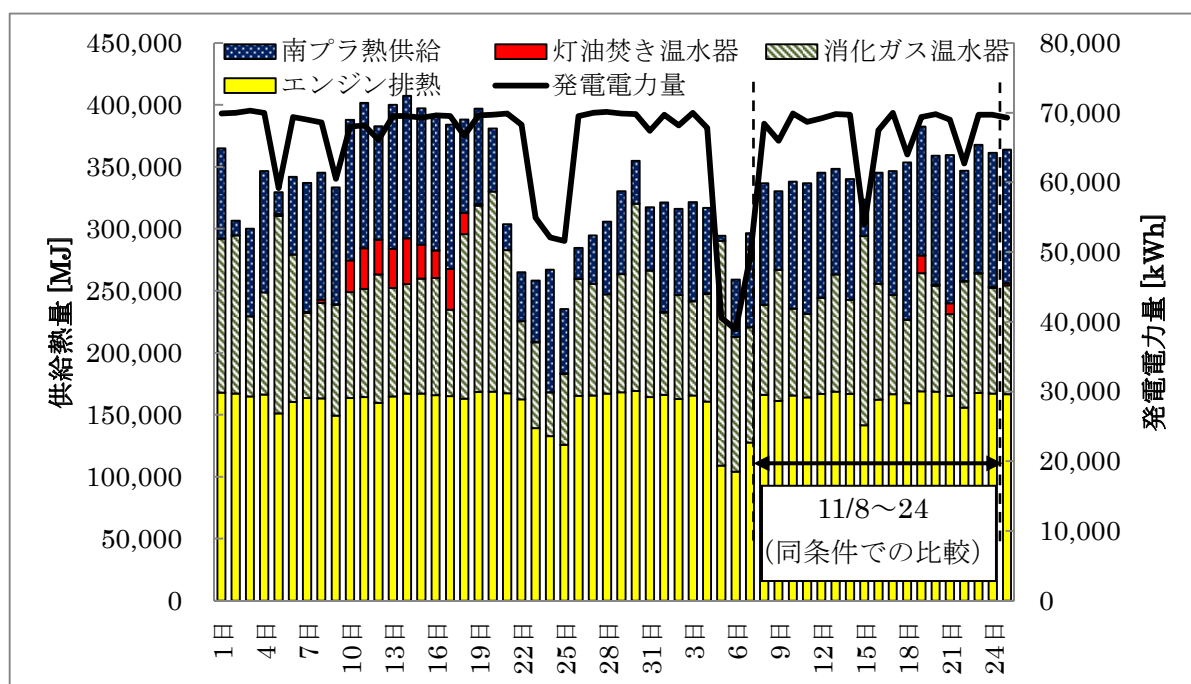


図6 平成24年10月1日～11月25日の供給熱量と発電電力量データ
(消化槽管理温度 51℃ H24.10.10以降)

次に平成24年10月の消化槽の管理温度引上げによる発電電力量の変化を長期的に追跡し、評価する。ただし、定期点検や工事による消化槽設備の停止や、設備トラブルによる熱供給停止の影響を排除するため、平成24、25年度の4～6月のデータのみを比較する。表2に平成24、25年度の4～6月の発電

電力量を示す。平成 24 年度の 4～6 月の発電電力量の合計は 5,610,500 kWh であったのに対し、平成 25 年度は 6,144,400 kWh で、533,900 kWh 増加した。この分、東京電力からの買電電力量が減ったと仮定した場合、1 か月あたりの CO₂ 削減量が約 83 t 増加した計算になる。(平成 24 年度環境省発表データより算出) 定期点検等で消化槽設備を停止する期間を考慮しても、年間を通じて約 950 t の CO₂ 削減と約 2,000,000 kWh 相当分の電気料金削減に貢献できることになる。

表 2 平成 24, 25 年度 4 月～6 月分発電電力量実績

単位：kWh

	4 月	5 月	6 月	合計
平成 24 年度 (50℃)	1,692,900	1,866,600	2,051,000	5,610,500
平成 25 年度 (51℃)	2,041,900	2,047,100	2,055,400	6,144,400

4. まとめ

本調査より、消化槽の管理温度を 1℃引き上げると、消化ガスの発生が安定し、発生量が増加した。それに伴い発電も安定的に行われ、発電電力量も増加したことが確認できた。

また、その後も継続して管理温度を 51℃にして運転しているが、MESCO から秋季に行われる年次精密点検で潤滑油が目に見えて劣化していた旨の報告はないことから、管理温度引上げによる設備影響もないことが確認できた。

以上から、消化槽管理温度の引上げにより、消化ガス発電事業の事業効率が向上し、東京電力からの電力購入量削減につながり、環境負荷低減とコスト削減に結び付いたと考えられる。

謝辞

本調査にあたり多大なご協力をいただいた、当センターの消化槽の運転管理を行っている東京都下水道サービス株式会社、及び常用発電事業者である森ヶ崎エナジーサービス株式会社に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 東京都下水道汚泥処理技術管理委員会：下水汚泥処理の維持管理、平成 16 年 7 月、p.59

2-4-1 高度処理の推進と地球温暖化対策の両立に向けた課題と対応

計画調整部 技術開発課 田辺 晃一

1. はじめに

東京都下水道局は、環境負荷の最も少ない都市の実現に向けた取組として、高温省エネ型焼却炉（ターボ型流動炉、ガス化炉、多層型流動炉）の計画的な導入や高温焼却の実施により、温室効果ガスの削減を図りつつ、良好な水環境の創出と公共用水域の更なる水質向上に資することを目的に高度処理の普及に努めてきた。

一方、近年多摩地域の複数の水再生センターで、焼却炉の排気ガスダクトや流動砂にリン化合物が付着することで、閉塞や流動不良が頻発し問題となっているその原因は、リン化合物の挙動と考えられ、焼却灰中のリン化合物の増加、焼却温度、他の金属類含有量の影響が推察されている。

そこで、焼却灰中のリン化合物、焼却温度と焼却灰付着との因果関係を解明するため、23区及び多摩地域の水再生センターの焼却灰の分析調査を平成25年度に実施した。

今回、焼却灰に含まれるリンと鉄、アルミニウムなどの金属類の含有比率と関連性が高いことが示唆されたので報告する。併せて、焼却炉安定運転に向けた当面の対応と今後の課題について報告する。

2. 閉塞事例の概要

2.1 清瀬水再生センターの事例

清瀬水再生センターにおいて、ガス化炉内にクリンカ（クリンカとは、焼却灰が溶融等により灰塊と化したものをいう。）が生成し、炉内閉塞の傾向が見られた。電子顕微鏡による分析結果から炉内の流動ケイ砂の周囲にリンや鉄が確認され、これらの固着が原因と予想された。

また、汚泥乾燥用の熱エネルギーを回収するための熱交換器の伝熱面に焼却灰が付着し、熱交換器差圧の上昇も確認されている。

なお、高温焼却を実施している流動炉においても同様の事例が発生している。（図1）。

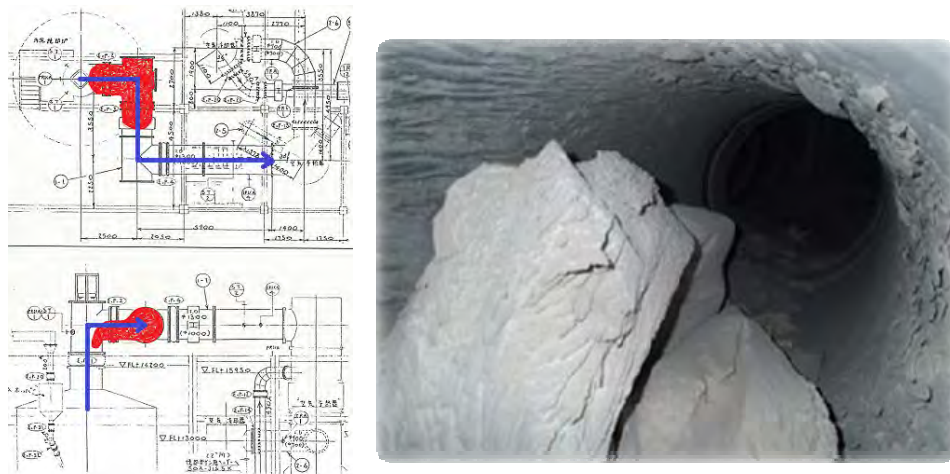


図1 流動炉の閉塞状況

2.2 浅川水再生センターの事例

浅川水再生センターにおいて、ターボ型流動炉の出口排ガスダクトに灰蓄積による閉塞が発生した（図2）。この閉塞により、焼却炉出口から流動用予熱器間の圧力損失が上昇、焼却炉出口のサポート部の破損、伸縮継手変形及び排ガスの漏えいが生じた。

また、高温焼却を実施している流動炉においても同様の事例が発生している。

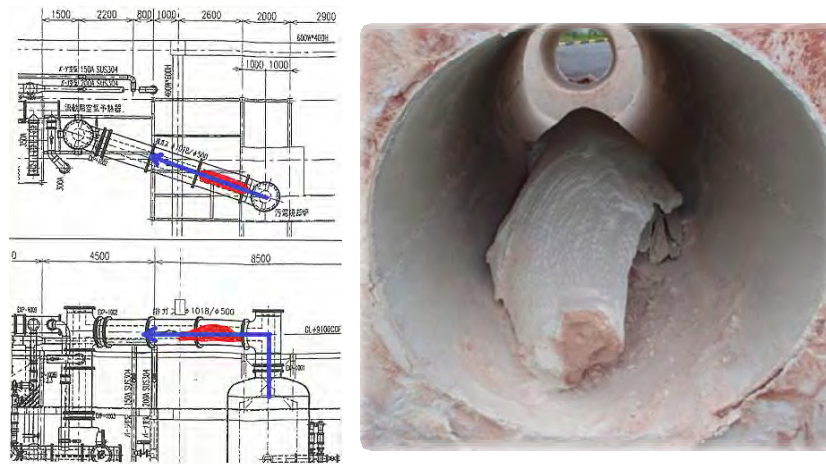


図2 ターボ型流動炉の閉塞状況

3. 焼却灰分析調査

閉塞事例が確認された多摩地域の水再生センター焼却灰と閉塞が確認されていない 23 区水再生センター、污泥処理プラント焼却灰の構成成分を比較し、閉塞メカニズムの推定を行った。

3.1 調査方法

23 区 3 箇所の水再生センター（葛西、新河岸、みやぎ）と 2 箇所の污泥処理プラント（東部污泥処理プラント（以下、「東プラ」という。）、南部污泥処理プラント（以下、「南プラ」という。））及び多摩地域 7 箇所の水再生センター（北多摩一号、南多摩、北多摩二号、浅川、多摩川上流、八王子、清瀬）の焼却灰を対象に蛍光 X 線解析による構成成分分析を行った。

3.2 調査結果

表 1 より、いずれの焼却灰も五酸化リン（以下、「 P_2O_5 」という。）と二酸化ケイ素（以下、「 SiO_2 」という。）の割合が高く、2 成分で 50%を超えている。その他酸化アルミニウム（以下、「 Al_2O_3 」という。）、酸化カルシウム（以下、「 CaO 」という。）、酸化鉄（Ⅲ）（以下、「 Fe_2O_3 」という。）、酸化マグネシウム（以下、「 MgO 」という。）、酸化チタン（以下、「 TiO_2 」という。）の順で割合が多く、7 成分で 90%以上を占めている。

なお、成分と閉塞との関連性を明確にするため、閉塞が確認された浅川、清瀬の 2 センターについては、付着性灰とクリンカの成分分析結果を表記した。

これより、浅川、清瀬では、 P_2O_5 の成分割合が著しく高くなっている。

P_2O_5 は、融点が $340^{\circ}C$ と低く潮解性を有することから、焼却により一度融解したあとに排ガス温度が下がっていく過程でダクトに付着することが今回の閉塞のメカニズムと考えられる。高度処理化に伴い污泥中のリン濃度が増大したことが P_2O_5 増加、付着性灰増加の一因と考えられた。

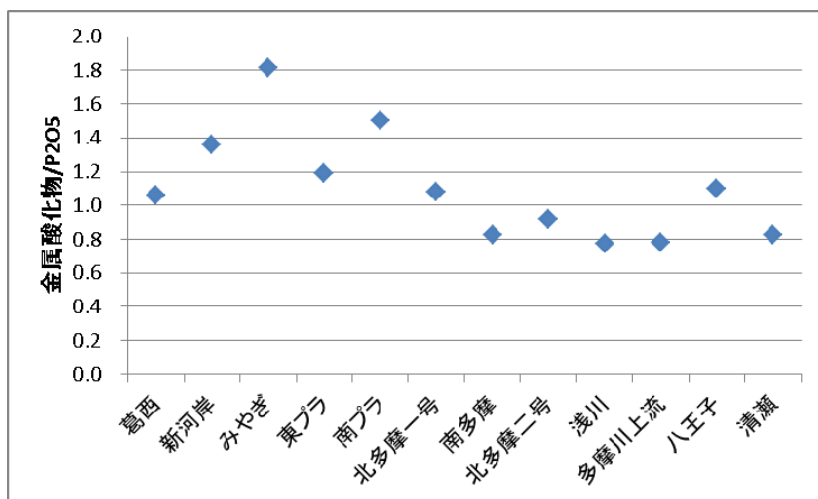
その一方で、葛西、東プラのように P_2O_5 が比較的高い水再生センターや汚泥処理プラントでは、閉塞事例が生じていない。この要因として、リンと反応して融点の高い化合物を形成する金属類の影響が考えられた。

表 1 水再生センター焼却灰分析結果

	センター名	P_2O_5 (%)	Fe_2O_3 (%)	TiO_2 (%)	CaO (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	MgO (%)
2 3 区	葛西	27.5	5.7	0.7	8.4	29.1	10.2	4.9
	新河岸	24.6	6.1	0.8	11.7	29.0	12.6	3.1
	みやぎ	16.4	6.0	0.6	8.8	43.5	12.1	2.9
	東プラ	28.6	8.9	0.6	9.5	23.7	11.5	4.1
	南プラ	23.4	5.5	0.7	11.6	28.7	14.2	3.9
多 摩 地 区	北多摩一号	28.2	3.8	0.6	10.7	28.9	11.0	5.0
	南多摩	35.0	2.9	0.5	11.1	22.4	9.2	5.7
	北多摩二号	31.0	3.3	0.7	9.5	25.7	9.9	5.7
	浅川※	39.2	1.8	0.5	7.3	24.5	13.8	7.5
	多摩川上流	34.6	3.5	0.6	9.2	22.3	8.9	5.5
	八王子	23.7	3.4	0.6	8.6	34.2	10.5	3.6
	清瀬※	37.3	11.8	0.5	6.5	20.2	7.2	5.2

(注) 浅川は付着性灰、清瀬はクリンカの分析値

図 3 は各焼却灰中の P_2O_5 の量に対する金属酸化物 (Fe_2O_3 、 TiO_2 、CaO、 Al_2O_3 、MgO) の合計量の割合を示したものである。これより、浅川、清瀬の付着性灰やクリンカは、この割合が低く、葛西、みやぎ等閉塞の起きていない水再生センター、汚泥処理プラントでは割合が高かった。

図 3 各焼却灰の金属酸化物と P_2O_5 比

4. 当面の対応

浅川水再生センターでは、経験的にポリ硫酸第二鉄（以下、「ポリ鉄」という。）の添加量を増やすことにより焼却灰の付着を防止する効果のあることがわかっていた。

これは上記3.2の調査結果から、ポリ鉄添加によって融点が高く付着性の低い鉄とのリン化合物を形成することで焼却灰の付着を防止していると推定された。

これより、浅川水再生センターでは、当面の対応としてポリ鉄をターボ型焼却炉に注入

し、ダクトの閉塞を防止している。

図4に、ポリ鉄添加前後の灰発生率（単位焼却量あたりの灰発生量）の変動を示す。添加開始直後、灰発生率は0.8%から2.3%まで改善し、炉内やダクト内に焼却灰の蓄積は確認されなかった。

また、清瀬水再生センターでは、高温焼却を実施している流動炉の運転温度を 850℃から 800℃程度に下げて、焼却灰の付着性を防止している。

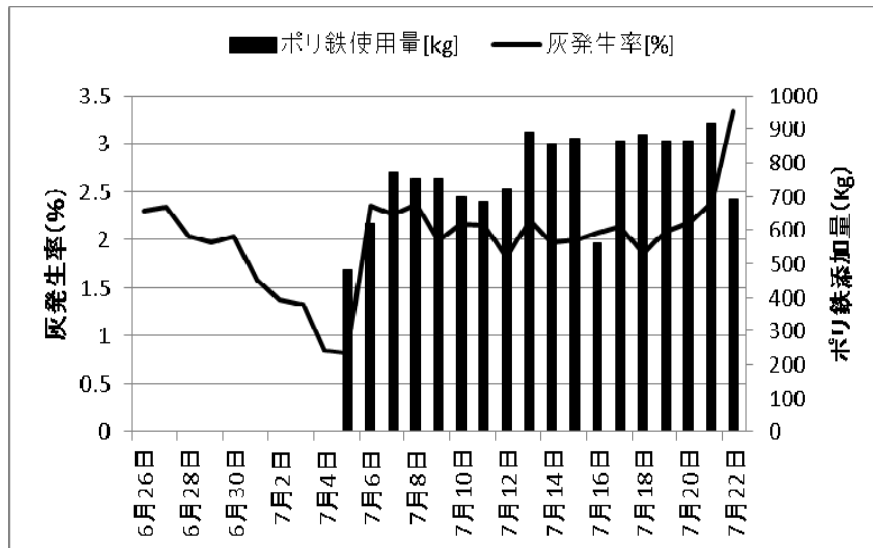


図 4 ポリ鉄添加による灰発生率の改善効果（浅川水再生センター）

5. おわりに

以上の分析結果及びこれまでの閉塞事例の経験から、焼却灰中の P_2O_5 の構成比の把握が閉塞のリスクを評価する上で重要であることが明らかになった。

また、既に閉塞が生じているセンターにおいては、ポリ鉄の注入や適正な温度管理などの当面の対策を実施するとともに、原因究明に向けた調査検討を引き続き行っていく。

現在は、このような焼却炉の閉塞事例は、区部より高度処理化が進んでいる多摩地域の水再生センターに限られているが、今後の高度処理の進捗によっては、区部にも拡大していく可能性がある。

その一方、焼却灰中のリンの増加は汚泥資源化メニューの一つであるセメント原料化の制約要因にもなることから、水処理工程でのリンの除去率や汚泥の焼却温度の設定、汚泥中のリンの回収などを含む下水処理システム全体の最適化に向けた検討を進めていきたい。

2-4-2 多層燃焼炉における燃費改善に向けた取組

施設管理部 施設管理課 大島 和峻

1. はじめに

下水道局では、下水道事業における地球温暖化防止の道筋を示す「アースプラン」を策定し、温室効果ガスの削減に取り組んでいる。この取組みでは、特に下水汚泥の高温焼却の推進により、二酸化炭素（ CO_2 ）の 310 倍の温室効果をもつ一酸化二窒素（ N_2O ）を大幅に減らしてきた。その一方で、下水汚泥の高温焼却は、焼却に要する燃料や電力の使用量が増加するといった課題があり、東日本大震災以降、原子力発電所の停止や、円安の影響などにより、電気料金をはじめ、エネルギーコストが大幅に増大しており、より一層の維持管理コストの削減が求められている。このため、省エネルギーへの取組みは、維持管理コストの削減につながるとともに、地球温暖化防止対策としても非常に重要となっている。

今回、南部スラッジプラント 4 号炉の多層燃焼炉における更なる燃費改善の取組みとして、「空気比最適化制御」（以下、空気比制御）を調査研究した結果、成果が得られたので報告する。

2. 燃費改善に向けた取組み

2.1 これまでの取組み

(1) 多層燃焼炉の概要

当局では、下水汚泥の高温焼却の推進により、 N_2O を大幅に減らしてきたが、高温焼却による燃料コストの増大から、 N_2O の発生を抑制しつつ、同時に補助燃料等を削減することができる燃焼方式である多層燃焼炉を平成 21 年以降導入してきた。多層燃焼炉は、流動空気（燃焼空気）を砂層部のほかフリーボード部に送り、複数の燃焼ゾーンを形成して燃焼する方式である。砂層部では一次空気量を減らし、汚泥中の窒素分の酸化を抑えて N_2O の生成を抑制させると同時に、未燃ガスを発生させる。さらに、フリーボード部に二次、三次空気を供給して、砂層部で生成された未燃ガスを完全燃焼させる。これにより、フリーボード部に高温場が形成され、砂層部で生成された N_2O を高温分解する。このように、多層燃焼炉では砂層部における N_2O 生成抑制とフリーボード部での N_2O 高温分解の相乗効果により N_2O を削減できるとともに、燃料の削減を図ることができる（図 1）。

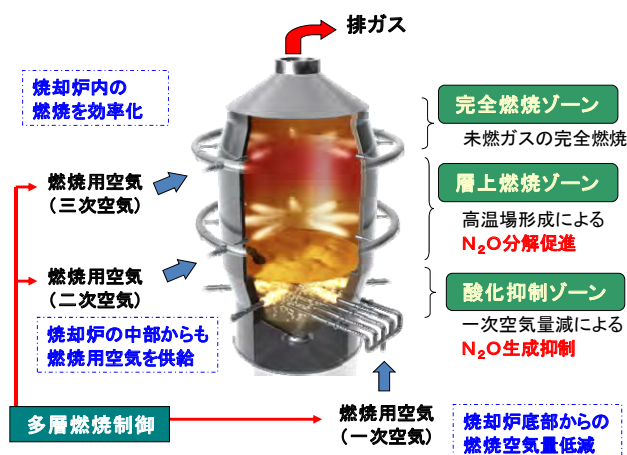


図 1 多層燃焼炉イメージ図

(2) N_2O 排出量と燃料使用量の推移

当局では、温室効果ガスの削減と燃料等の削減を両立するため、 N_2O と燃料使用量の同時削減を目指し、燃焼温度を適宜変更する運転管理を行ってきた。

図 2 に示すとおり、850℃で焼却する高温焼却によって 800℃で焼却する通常焼却時よりも約 7 割の N_2O 排出量を削減してきた一方で、燃料使用量に比例する燃料由来の CO_2 は 2 割程度上昇する結果となった。これを解消するため、865℃で焼却する多層燃焼炉の導入を進めてきたが、 N_2O は通常焼却時よりも約 85%削減できたのに対し、燃料由来 CO_2 削減率は約 4%と 1 割に届かない状況にあった。

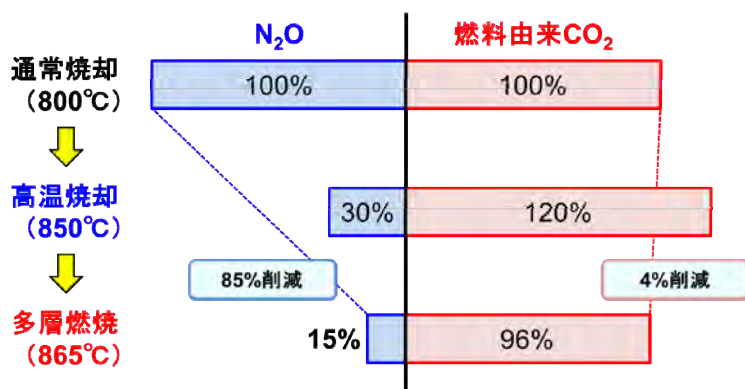


図 2 焼却温度変更による N_2O 排出量と燃料由来 CO_2 の推移

2.2 燃費改善に向けた取組み

従来の多層燃焼制御では、流動空気量の調整が手動設定操作となっており、汚泥性状の変動を考慮して流動空気を余剰に供給した場合、余剰空気による炉内の温度低下を防ぐための燃料が余分にかかることが課題であった。このため、更なる燃費改善として、多層燃焼制御に流動空気量を自動制御する「空気比制御」を追加し、余分な燃料を抑える省エネルギー運転を図った。

図 3 a は、空気比制御がない従来の多層燃焼制御である。燃焼に必要な空気量は汚泥性状により変動するので、炉内へ吹込む流動空気量が一定の場合、必要な空気量以上の空気を炉内へ吹込んでしまうため、余剰な空気が発生してしまう。燃焼に使用されなかった空気量を表す O_2 濃度は空気量の余剰分に依存するので、余剰空気の変動により O_2 濃度も変動する。このため、余剰空気が多くなった場合、炉外へ排出される余剰空気に炉内のカロリーが多く奪われ、炉内

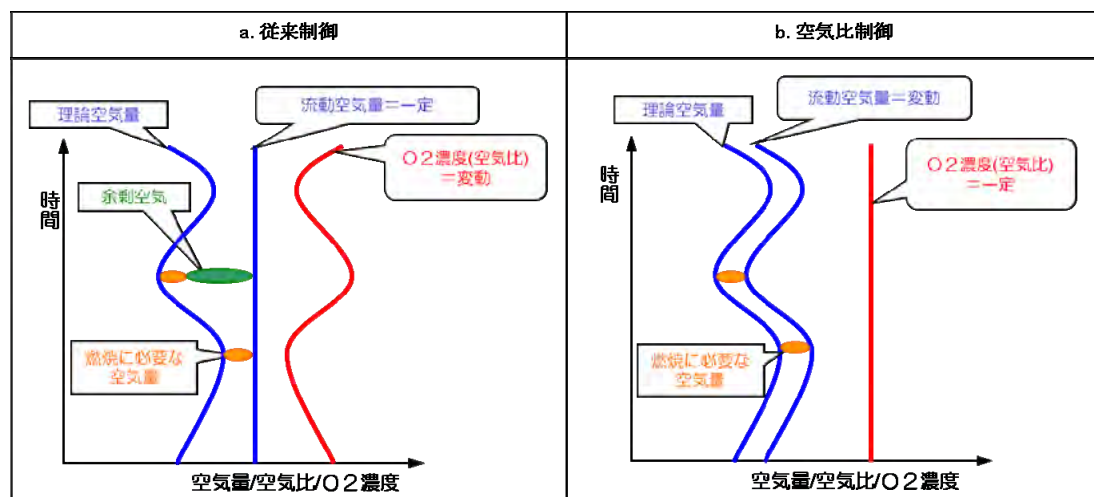


図 3 空気比制御のイメージ図

温度が低下してしまう。その温度低下を防ぐために、燃料使用量の増加となる。

一方、図 3b は、空気比制御を導入した場合である。 O_2 濃度（空気比）を一定とすることで、流動空気量は燃焼に必要な空気量の変動に追従するので、炉内に供給される流動空気量は常に適正な量となる。これにより、炉内温度低下の原因となる余剰空気の発生を抑制できるので、燃料使用量の削減につながる。

3. 空気比制御の検証

3.1 空気比制御の概要

多層燃焼炉の従来の制御では、燃料と流動空気量の増減に関わらず、フリーボード温度と砂層温度の目標値（設定値）を維持するモデル予測制御を採用している。今回の空気比制御では、フリーボード温度と砂層温度に加えて、新たに炉出口の O_2 濃度（空気比）を目標値に設定し、各目標値に対して上下限範囲内で自由に変動させることにより、 O_2 濃度を維持しながら燃料と流動空気量が必要最低限となるように制御する。今までは、空気量が余剰な場合には、人為操作にて空気量を変更し、適正な空気量へのアプローチを行っていたため、余剰空気が過大となっていた。しかし、空気比制御を導入することで空気量の変更が自動制御となり、適正な空気量へのアプローチがスムーズになる。このことにより、炉内に供給される空気量は適正な値で一定となり、余剰空気を燃焼させるために必要な燃料やブロワの動力費の削減が期待される。

今回は、空気比制御による流動空気量の自動制御について、制御の安定性及び省エネルギー効果、汚泥処理負荷量を変動させたときの安定性評価について検証を行った。

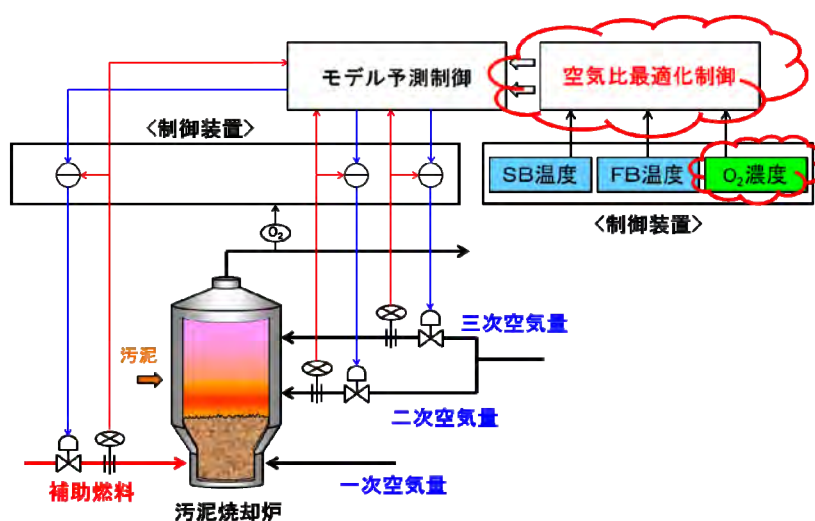


図 4 空気比制御概要

3.2 従来制御と空気比制御の比較

図 5 は、平成 24 年 1 月 25 日 0:00 から 16:00 において従来制御から空気比制御に切り替えた時の各数値の変化を示したものである。従来制御から空気比制御に切り替えた 9:00 以降、流動空気流量は自動制御され減少方向へ動き、燃焼に対し適正流量となった。流動空気流量が適正化されると余剰空気が減少となるので、 O_2 濃度も安定的に減少することが確認できた。この時、多層燃焼の設定値であるフリーボード中部温度と砂層中部温度は急変せず、安定維持できており、流動空気流量を減少させても、プラントは問題なく安定操炉できることが確認できた。

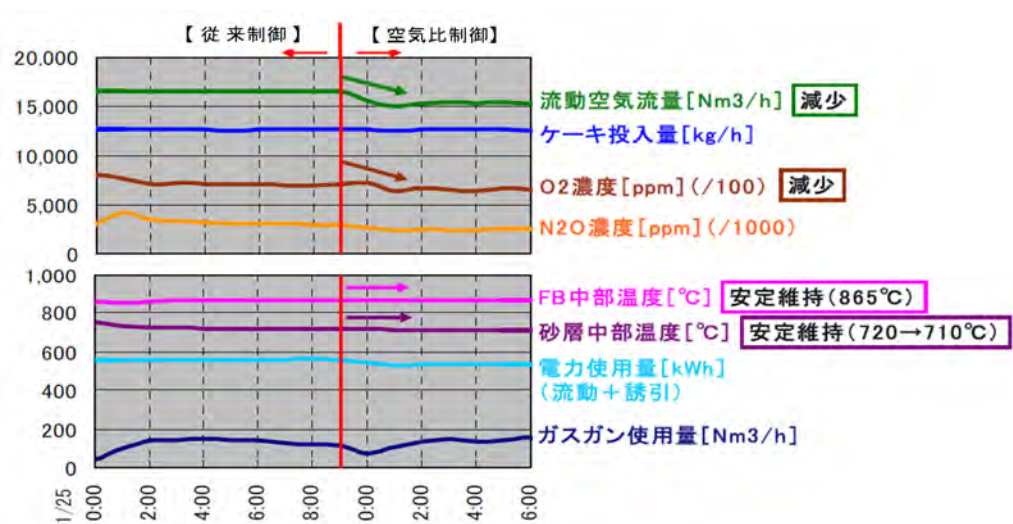


図 5 従来制御と空気比制御の比較

3.3 定格運転¹における省エネルギー効果

空気比制御における省エネルギー効果（燃費、電力使用量）として、目標値を燃費－6%、電力使用量－4%と設定し、定格運転にてデータを比較した（表 1）。

空気比制御導入効果として、従来の制御より燃費－7.4%、電力使用量－3.3%削減することができ、燃費・電力使用量ともに概ね目標を達成することができた。さらに、流動空気過剰投入による酸化を防ぎ、高温安定で燃焼することができたため、N₂O も従来制御よりも－22%削減することができた。

表 1 空気比制御調査結果（定格運転時）

		従来制御	空気比制御	削減効果
ケーキ投入量	[t/h]	12.6	12.6	
ケーキ含水率	[%]	79.0	78.5	
フリーボード部中部温度	[°C]	865	866	
砂層部中部温度	[°C]	725	718	
流動空気流量	[Nm³/h]	16,477	15,374	
O ₂ 濃度（空気比）	[%]（[－]）	7.3（1.53）	6.8（1.48）	
N ₂ O 排出量	[kg-N ₂ O/t-DS]	0.96	0.75	－22%
燃料（燃費）	[Nm³/t-cake]	14.8	11.0	－7.4% ² （目標－6%）
ブロワ動力	[kWh]	560	541	－3.3%（目標－4%）

3.4 汚泥処理量の変動時における安定性評価

空気比制御において、汚泥処理量を定格 100%負荷運転(12.6t/h)から 80%負荷運転(10.1t/h)

¹ 95%負荷以上での運転時

² 燃料の削減効果は空気比制御のケーキ含水率を 79.0%に補正した値にて試算

に変動させたときに、自動的に流動空気量を減少し、適正な燃費で運転できるかどうかを検証した。

表 2 空気比制御調査結果（汚泥処理量変動時）

		負荷率		増減割合
		100%	80%	
ケーキ投入量	[t/h]	12.6	10.1	-20%
ケーキ含水率	[%]	78.0	78.0	—
フリーボード中部温度	[℃]	868	862	—
砂層部中部温度	[℃]	711	711	—
流動空気流量	[Nm ³ /h]	16,736	13,643	-19%
O ₂ 濃度（空気比）	[%]（[-]）	7.5（1.56）	7.9（1.60）	+0.4%
N ₂ O 排出量	[kg-N ₂ O/t-DS]	0.86	0.34	-60%
燃料（燃費）	[Nm ³ /t-cake]	13.8	14.2	+3%
ブロワ動力	[kWh]	569	509	-11%

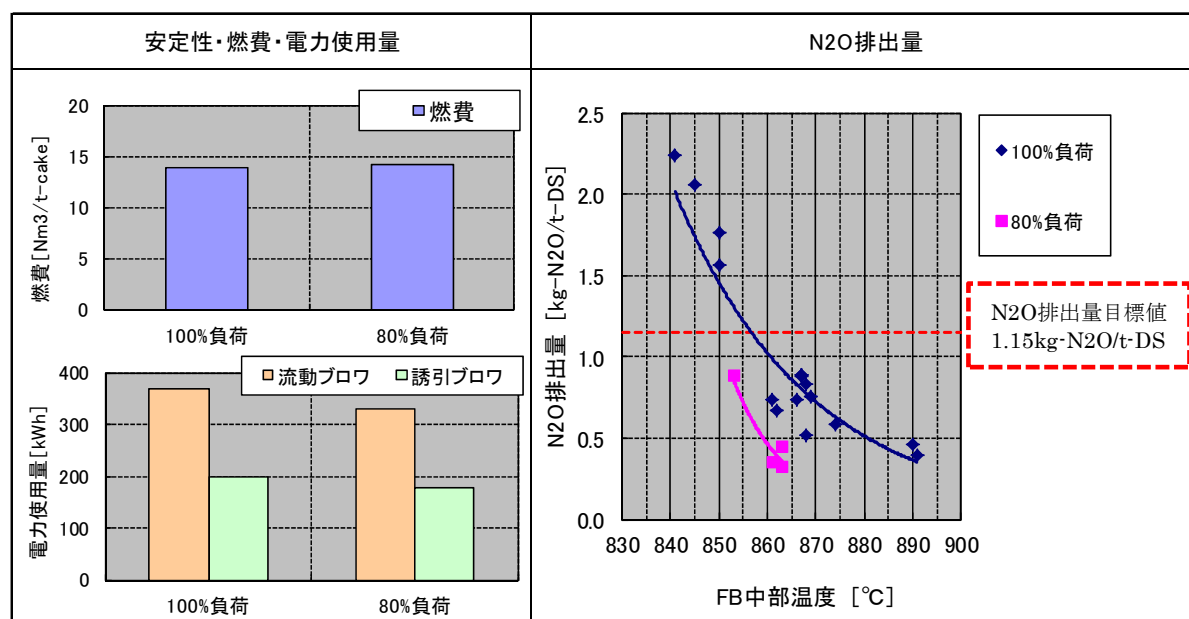


図 6 低負荷運転による安定性評価

結果として、80%負荷時でも、O₂濃度（空気比）は0.4%増加、燃費は3%増加し、100%負荷時に対しほぼ同等で運転することができた（表2）。また、汚泥負荷量を減少させたことにより、燃焼に要する流動空気量が減少となるので、ブロワ動力は-11%の削減となった。N₂O排出量については、汚泥負荷量減少の影響で100%負荷時に比べて80%負荷時は-60%削減することができた。

図6にフリーボード中部温度を変化させた時のN₂O排出量を示す。これより、低負荷運転では焼却温度を865℃以下に下げても、N₂O排出量目標（1.15kg-N₂O/t-DS）を満足できることがわかった。

以上より、低負荷運転時でも O_2 濃度（空気比）及び燃費は 100% 負荷とほぼ同等の値で運転可能であり、負荷変動させても空気比制御による安定操炉が可能であることが確認できた。

4. まとめ

多層燃焼炉における燃料削減の取組として、空気比制御を調査した結果、定格運転において燃料等の削減効果を得ることができた。また、汚泥処理量の変動時においても定格運転時と同程度の燃費による運転が可能であった。今回の調査結果をもとに、空気比制御の課題や費用対効果を整理し、実用化を図っていく。

2-4-3 南多摩水再生センター・未利用エネルギーの導入

流域下水道本部 技術部 計画課 望月 伸行

1 はじめに

東京都の下水道事業は、安全で快適な生活環境や良好な水環境を創出する一方で、下水の処理過程において大量のエネルギーを消費している。このため、東京都下水道局では、2010年に「アースプラン2010」を策定し、事業活動から発生する温室効果ガス排出量を2020年度までに2000年度比25%以上削減することを目標に掲げ、新たな削減技術の導入など様々な対策を進めている。

また東日本大震災により発生した原子力発電所の停止に伴う電力供給量不足や計画停電は、電力会社に依存している今後の下水道事業における電力の安定供給確保に向けて大きな課題を残した。このため、可能な省エネルギー施策、創エネルギー施策を進め、水再生センターにおける自前の電力を確保するなど、多様な手段によりエネルギー自給率を高めることが喫緊の課題となっている。

今回、南多摩水再生センターにおいて、建設中の汚泥焼却炉にこれまで活用できなかった温度域の廃熱を活用するバイナリー発電設備の設置および処理施設保護のために保有している緩斜面を有効活用した太陽光発電設備を設置する、未利用エネルギーの導入を計画したので報告する。

2 焼却廃熱を利用したバイナリー発電

汚泥焼却炉における中・低温域（70℃～400℃程度）の廃熱は、エネルギー回収の効率が悪く、廃熱で温水を発生させ事務所等の暖房に利用する以外、ほとんど有効利用されずに大気に放出しているのが現状であった。また焼却炉から排出される高温の廃熱を利用して蒸気発電を行うケースもあるが、下水汚泥には多量の水分が含まれていることから燃料としてみたときの熱量は低く、一部の大規模焼却炉でしか発電を行ってなかった。また蒸気発電の場合、ボイラー・タービン主任技術者の選任が必要になるなど、資格者の育成から始めなければならないこともあり、汚泥焼却炉での発電は一般的ではなかった。

しかし電気事業法の見直しによる資格要件の緩和（表1）などから、小型バイナリー発電設備の開発が急速に進み、中・低温域の未利用廃熱を活用した発電が可能となってきた。

バイナリー発電とは、地熱発電所等で採用されてきた技術であり、温水の持つ熱エネルギーにより沸点の低い媒体（フロンやアンモニア等）を蒸発させて、タービン発電機を作動させ発電するものである。（図1）

表1 小型バイナリー発電機に係る
電気事業法の規制緩和の動き

日 程	動 き
平成24年4月	小型バイナリー発電機に適用される電気事業法が規制緩和された (バイナリー発電設備に係るボイラー・タービン主任技術者の選任及び工事計画届出等の不要化)
平成24年7月	規制緩和の熱媒体として、245fa(フロン)が追加で認可
平成26年5月 (予定)	バイナリー発電設備に係るボイラー・タービン主任技術者の選任及び工事計画届出等の不要化範囲の拡大

そこで、平成25年度に南多摩水再生センターの焼却炉の更新工事を発注するにあた

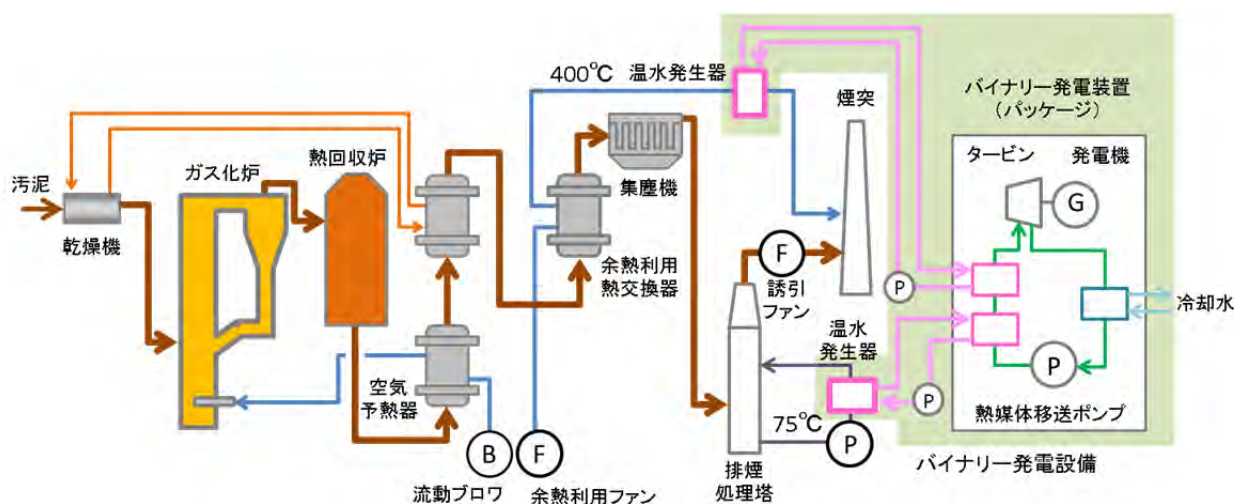


図1 バイナリー発電設備フロー

り、未利用エネルギーの活用による創エネルギーおよび温室効果ガス排出量削減の観点より、汚泥焼却炉に小型バイナリー発電設備の設置を計画した。

現在、平成28年度末の稼働に向けて、南多摩水再生センターでは110トン/日（汚泥含水率74%）の能力を持つガス化炉を建設中である。白煙防止空気ラインに温水発生器を設置し、140℃程度の温水を回収し、その熱エネルギーにより、媒体（フロン）を蒸発させ、タービン発電機を作動させ、発電する。

脱水汚泥が保有するエネルギーの内、約2割をバイナリー発電に利用することで、120kWの発電が可能であると試算している。

これにより焼却炉とバイナリー発電設備の稼働率を80%とすると、年間84万kWhの発電が期待できる。

表2 バイナリー発電装置

形式	パッケージ式
媒体	フロン(245fa)
熱源	白煙防止空気ラインからの温水回収
定格出力	125kW(ユニット内消費電力を除く)

3 緩斜面を活用した太陽光発電

南多摩水再生センターは、都内の一級河川である多摩川に面して設置されている（図2）。敷地に接している川崎街道はセンターよりも高い位置にあり、一連の処理施設との間に施設保護のために保有している緩斜面が存在している。今回、この用地を有効活用し、センターのエネルギー自給率を高め、また温室効果ガス排出量削減を目的に発電容量1MWの太陽光発電設備の導入

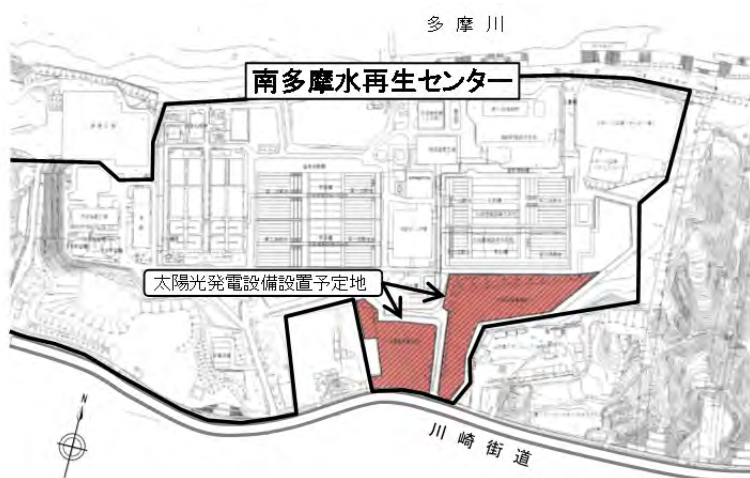


図2 太陽光発電設備の設置予定地の概要

を計画した。目的の一つが温室効果ガス排出量の削減であることから、太陽光発電で発電した電力は全て水再生センターでの自家消費とし、固定価格買取制度を活用した売電は行わないこととした。また設置場所として幹線道路のそばに設置することで、広く都民に下水道局の環境対策事業をPRする効果を図る計画である。太陽光発電設備の設置にあたっては、風力荷重を考慮した架台のコスト、太陽光パネルの設置密度及び発電量から総合的に判断し、太陽光パネルの設置角度を10度に設置することとした。また設備容量は、標準的なパワーコンディショナの容量である250kW単位を基本として決定した。NEDOの資料による試算では、1MWの太陽光発電で年間約100万kWhの発電が可能となる。南多摩水再生センターでの使用電力は、1,500～2,500kWで推移しているため、夏の晴れた日では、センターの使用電力を最小で約600kWの使用電力に抑制することができる(図3)。

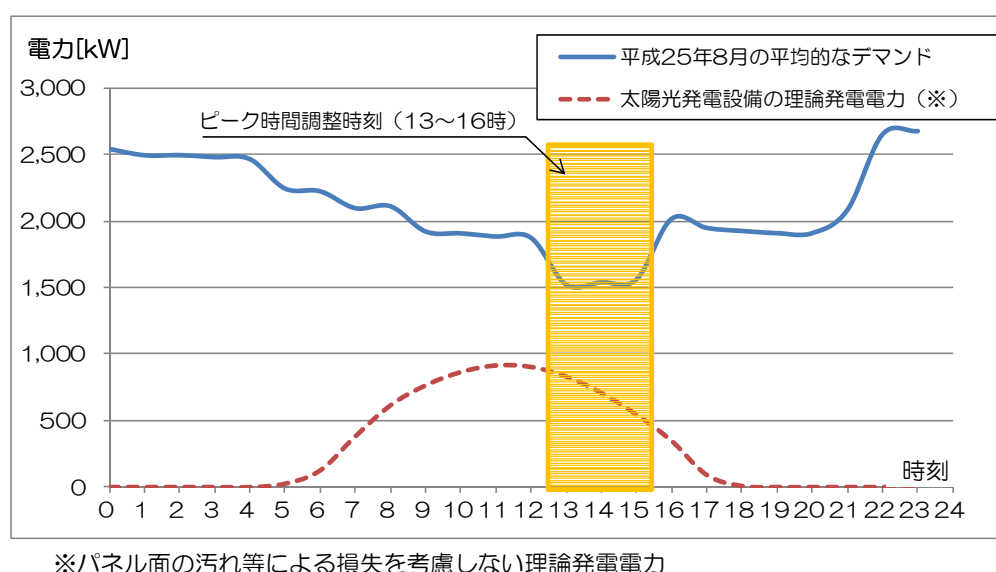


図3 南多摩水再生センターのデマンド実績と
太陽光発電設備の理論発電電力

4 創エネルギー効果及び温室効果ガス排出量削減効果

(1) 創エネルギー効果

バイナリー発電を導入することに加え、ガス化炉で使用する大型ブロワのインバータ化による省エネを合わせることで、ガス化炉で使用する電力の4割弱を発電でまかなうことが可能となる。また太陽光発電を導入することで、夏期晴天時であれば、南多摩水再生センターで使用する電力量の約1割を太陽光発電でまかなうことが可能となる。

(2) 温室効果ガス排出量削減効果

南多摩水再生センターでは、電力由来の温室効果ガス排出量の平成24年度実績として、約7,400t-CO₂/年を排出している。バイナリー発電と太陽光発電を合わせることで、約10%、700t-CO₂/年の温室効果ガス排出量の削減が可能となる。

表 3 発電量・温室効果ガス削減量

		バイナリー発電	太陽光発電	合 計
発電量	kW	120	1,000	1,120
年間発電量※1, 2	kWh/年	840,000	1,000,000	1,840,000
センター年間受電量に 対する割合(H24ベース)※3	%	4.4	5.2	9.6
年間温室効果ガス削減量※4	t-CO ₂ /年	321	382	703

※1 バイナリー発電装置の稼働率は、焼却炉と同じ80%とした

※2 太陽光の発電量はNEDOの資料より算出

※3 平成24年度の南多摩(セ)の年間受電量は、19,290千kWh

※4 電力排出係数は、0.382kg-CO₂/kWhとした

5 今後の取り組み

バイナリー発電については、今まで活用が困難だった中・低温の焼却廃熱を有効に活用でき、これからも技術開発や規制緩和が進むことが予想される技術であり、さらなるエネルギー削減が図れる可能性がある。今後、焼却炉技術の進展も視野に入れ、導入によるメリットが期待できる場合には、積極的に検討を行い実施していく。

太陽光発電については、電力需要が高まる夏期晴天時、定格能力に近い発電が可能となるため、センターの電力需要の抑制効果が期待でき、社会的な貢献が可能となる設備である。ただし、太陽光発電設備は設置場所として広い用地を必要とするため、その確保が課題となる。今後、他のセンターへの展開にあたり、当面、処理施設の建設が予定されていない用地に、期間を定めて太陽光発電設備を設置し有効活用する方式を検討するとともに、これを新たな制度として国に要望していきたい。

将来にわたり安定した下水処理を確実に実施していくため、「省エネルギー」「創エネルギー」に関する技術を官民一体となり、技術・コスト検討を行うことにより、事業性が認められるものについては、積極的に導入し、環境負荷の少ない都市の実現に貢献していく。

2-4-4 ステップ A₂O 法の処理特性及び NH₄-N 制御の有効性について

流域下水道本部技術部 北多摩二号水再生センター 水質管理係
○和光 一紀 岩井 毅大 伊部 一星 吉本 圭子

1. はじめに

北多摩二号水再生センターでは、ステップ A₂O 法施設（1 系反応槽）を平成 24 年 9 月より運用している。同施設の平面図を図 1 に、処理能力等の諸元を表 1 に示す。反応槽は、嫌気槽・第一無酸素槽・第一好気槽・第二無酸素槽・第二好気槽からなり、第一好気槽で生成した NO_x-N を第二無酸素槽で脱窒することで、窒素を除去する。反応槽流入水は、嫌気槽のほか第二無酸素槽にもステップ流入し、同槽へ脱窒に必要な有機物を供給する。

当ステップ A₂O 法¹⁾が A₂O 法及びステップ流入式硝化脱窒法の組み合わせであることを考慮すると、流入水量に占める嫌気槽への流入水量比（前段ステップ比、以下単にステップ比）は、処理性のみならず必要送風量にも影響すると考えられる。本稿では、ステップ比に着目して処理状況の解析等を行った結果について報告する。さらに、上記を踏まえ処理性の向上及び送風量の低減について検討した結果、NH₄-N 計を用いた送風量制御の有効性が確認できたので併せて報告する。

2. ステップ比・返送汚泥比とりん処理性の関係

ステップ A₂O 法は、窒素処理が良好な一方で、りん処理はやや不安定となると報告が他の事業所等からされている²⁾³⁾。当処理方法は、設計上のステップ比が 0.5 であることから、設計どおりの運転では、嫌気槽流入水量に対する返送汚泥量の割合が高くなる。この点が A₂O 法との大きな違いであり、りん処理を不安定にする主な要因

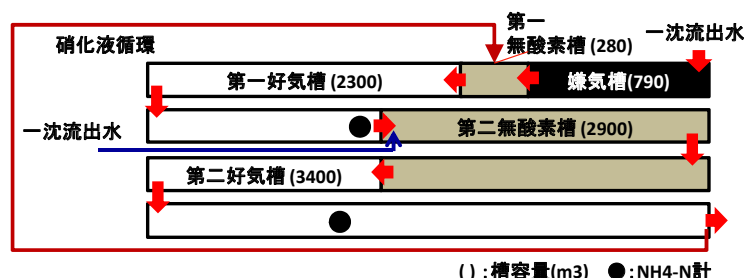


図1 1系反応槽平面図

表1 処理方式・処理能力

	1系	3系（参考）
処理方式	ステップ A ₂ O 法	制限曝気 A ₂ O 法
処理能力	22,400m³/d	20,500m³/d
槽容量	9,670m³	9,670m³

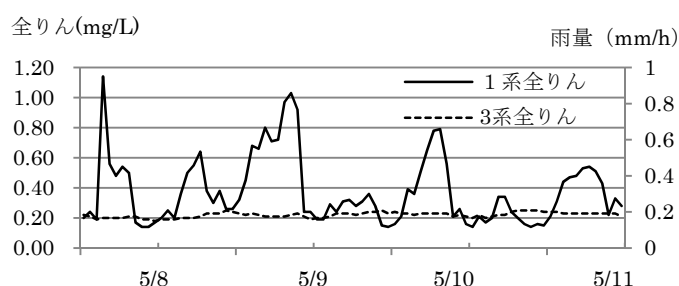


図2 処理水全りん濃度の比較（1）

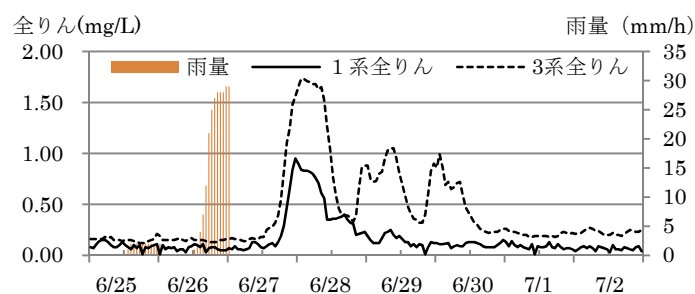


図3 処理水全りん濃度の比較（2）

と考える。これについて、嫌気槽での返送汚泥量割合の異なる二つの期間におけるりん処理状況について、処理水全りん濃度計の計測値等を基に検証した結果を以下に述べる。

図 2 は、嫌気槽における返送汚泥量割合が 40%程度（ステップ比 0.75、汚泥返送比 0.3）であった期間の処理水全りん濃度である。この間降雨は無かったが、1 系の全りん濃度は 1 日の間で 0.2～1.0mg/L で変動しており、対照の 3 系（制限曝気 A₂O 法、汚泥返送比 0.3）と比べて処理状況が不安定だった。

一方、図 3 は同 25%程度（ステップ比 0.75、汚泥返送比 0.2）であった期間の処理水全りん濃度である。当該期間においては、1 系全りん濃度は低濃度で推移しており、降雨の影響が 3 系(汚泥返送比 0.3)よりも小さいなど、りん処理性は良好だった。

このように、ステップ比を高く、汚泥返送比を低く運転し、嫌気槽流入水量に対する返送汚泥量の割合を低くすることで、ステップ A₂O 法においても良好なりん処理性を確保できることが確認できた。現在当センターでは、嫌気槽でのりんの吐き出し状況や第二無酸素槽での脱窒状況、第二沈殿池の汚泥界面の状態等を注視しつつ、ステップ比 0.75、汚泥返送比 0.2 を基本とした運転を行っている。

3. ステップ比と送風量との関係性

ステップ A₂O 法では、ステップ比の増加に伴い嫌気槽への流入水量が増加し、第一好気槽では MLSS や HRT が低下する。このことは、ステップ比と必要送風量との間に一定の関係性があることを示唆している。この考えから、平成 24 年 9 月～11 月(晴天日)の処理状況を基に、ステップ比と処理水量当たりの送風量の関係性を検証した。当該期間について、処理水量、第二好気槽 MLSS は、各ステップ比でほぼ同等であった(表 2 参照)。水温についてはステップ比ごと若干の違いが見られたが、当該期間中、他の反応槽において、水温と送風量に明確な関係性が見られないことから、送風量への影響は小さいと考えた。

図 4 に、ステップ比と処理水量当たり送風量の関係を示す。同図に見られるように、ステップ比が高くなると、第一好気槽で送風量が増加するものの、第二好気槽ではほぼ一定で推移し、結果としてステップ比の上昇に伴い送風量が増加した。

上記期間中は、DO 計を用いた送風量制御により(DO 制御)、第一好気槽においても完全硝化を原則とした運転を行っていた。この場合、ステップ比が上昇すると、第一好気槽で硝化量が増加し、第二好気槽では硝化量が減少する。このため、ステップ比の上昇に伴い、第一好気槽では硝化に必要な送風量が大きく増加する一方、第二好気槽では同送風量が汚泥攪拌に必要な最低送風量を下回り、過剰送風状態となったと考えられる。そこで、送風量がステップ比とともに増加することを防ぐため、NH₄-N 制御により第一好気槽の硝化量を制御する運転について検討した。

表 2 ステップ比と運転条件

ステップ比	放流水水温(℃)	平均処理水量(m ³ /h)	好気槽 MLSS (mg/L)	
			第一	第二
0.50	27	808	2410	1800
0.70	25	678	1840	1570
0.75	22	691	1950	1730
1.00	24	675	1630	1670

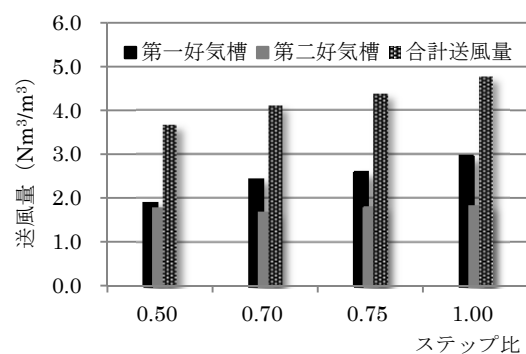


図 4 ステップ比と処理水量当たり送風量

4. 第一好気槽の硝化量制御

全窒素は、無機窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_x\text{-N}$ ）と、有機窒素（たんぱく質やアミノ酸等）の合計である。第一好気槽で硝化量を制御し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を残存させると、第二無酸素槽での脱窒量が減少し、処理水無機窒素濃度の上昇を招来すると考えられた。このことから、第一好気槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、処理水無機窒素濃度との関係性を明らかにした上で、有機窒素濃度を含む処理水全窒素濃度が 8.0mg/L 以下となるような値に制御することとした。

そこで、反応槽での無機窒素に関する物質収支をもとに、第一好気槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と無機窒素除去率の関係性を表す式（式①）を導いた。本式を用いて1系反応槽の無機窒素理論除去率を求め、通日試験時の実測値と比較した結果を、図5に示す。同図に見られるように、実測値と計算値がおおむね一致したことから、無機窒素除去率と第一好気槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度との関係性は式①で表せると判断した。

なお、ステップ比 1.0 （10月；図5）では有機物不足から第二無酸素槽での脱窒が不十分となった結果、無機窒素除去率が理論値よりも低下したと考えられる。

式①を用いて、反応槽流入水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を 17mg/L （年報値）、処理水有機窒素濃度を 0.5mg/L （放流水年報値）とすると、処理水全窒素濃度を 8.0mg/L 以下とするために必要な無機窒素除去率は 60% と計算できた。そこで、ステップ比と第一好気槽 $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御値を、無機窒素除去率が 60% 程度となるように設定して運転し、送風量と処理水全窒素濃度を検証した。表3に、調査期間中のステップ比と処理水量、第一好気槽出口 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の日平均値及び1系処理水の平均全窒素濃度を示す。なお、データは晴天日のものを用い、第二好気槽の送風量は、どのステップ比において

$$E_N = \frac{(1-k) \times (\alpha + R_r + R_n)}{1 + R_r + R_n} \quad \text{①}$$

$$k = \frac{\text{NH}_{4o1}}{\text{NH}_{4in}} \quad \text{②}$$

E_N ：無機窒素除去率

α ：ステップ比

R_r ：硝化液循環比 R_n ：汚泥返送比

NH_{4in} ：反応槽流入水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度

NH_{4o1} ：第一好気槽出口 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度

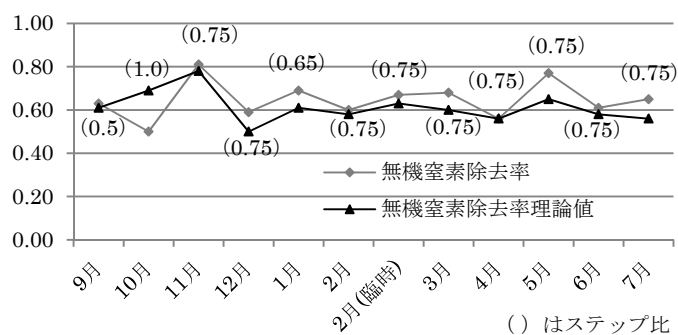


図5 無機窒素の除去率（理論値と実測値の比較）
（平成24年9月～平成25年7月）

表3 ステップ比ごとの処理水全窒素濃度
（平成25年1月～2月調査実施）

ステップ比	処理水量 (m^3/h)	第一好気槽 出口 $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L) ※	無機窒素除去率 (推定値)	全窒素 (mg/L)	処理水量 当たり送風量 (Nm^3/m^3)
0.50	954	1.1 (1.0)	0.58	7.3 ※() は設定値	5.3
0.65	980	4.2 (3.5)	0.56	7.3	5.0
0.75	893	5.2 (4.5)	0.56	7.7	5.0

も処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度がほぼゼロとなるように制御した。

表に見られるように、第一好気槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度をステップ比ごとに所定の値に制御した結果、処理水の全窒素濃度及び、処理水量当たり送風量はステップ比によらず概ね一定となった。これより、第一好気槽の硝化量を制御することで、ステップ比の増加に由来する送風量の増加を抑制できることが分かった。

5. 処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の一定制御

ステップ A_2O 法では、最終的な脱窒を第二無酸素槽で行うため、硝化液中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は処理水全窒素濃度の上昇要因とはならない。このため、送風量低減の観点から、BOD の極端な上昇等を招来しない程度に、第二好気槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を制御する運転を検討し、過去データを参考に目標値を $2.0\sim 3.0\text{mg/L}$ 程度とした。ここで、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 計は、第一好気槽出口と第二好気槽中間地点に設置していることから、上記のような運転を行うには、各 $\text{NH}_4\text{-N}$ 計計測値と第二好気槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の関係性を明らかにする必要がある。

図 6 に示すように、第二無酸素槽へは第一好気槽流出水のほかに反応槽流入水がステップ流入する。これを考慮すると、第二好気槽入口の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は式③のように表すことができる。これと第二好気槽の $\text{NH}_4\text{-N}$ 計計測値から、補外法で第二好気槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が計算できる（式④）。

実際に式③、④を用いて第二好気槽流入水と流出水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を計算し、実測値と比較した結果を図 7 に示す。ここで計算値は、表 4 に示す流入水量等の日平均値をもとに計算した値、実測値は、1 時間ごと 24 時間連続で採水・分析した結果の平均値である。同図に見られるように、第二好気槽流入及び流出水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度計算値は実測値とおおむね一致した。これより、各好気槽で $\text{NH}_4\text{-N}$ 制

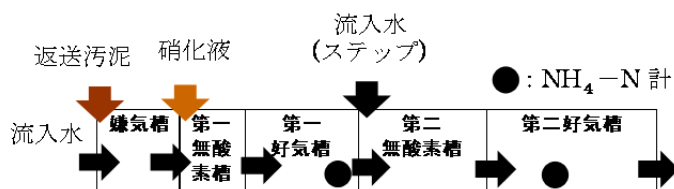


図 6 1系反応槽の模式図

$$\text{NH}_{4\text{o}2,\text{in}} = \frac{(\alpha + R_r + R_n) \times \text{NH}_{4\text{o}1} + (1 - \alpha) \times \text{NH}_{4\text{in}}}{(1 + R_r + R_n)} \quad \text{③}$$

$$\text{NH}_{4\text{o}2,\text{out}} = \text{NH}_{4\text{o}2,\text{in}} - \frac{(\text{NH}_{4\text{o}2,\text{in}} - \text{NH}_{4\text{o}2,\text{mid}}) \times V_1}{V_2} \quad \text{④}$$

$\text{NH}_{4\text{o}2,\text{in}}$: 第二好気槽入口 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度

$\text{NH}_{4\text{o}2,\text{mid}}$: 第二好気槽 $\text{NH}_4\text{-N}$ 計計器値

$\text{NH}_{4\text{o}2,\text{out}}$: 第二好気槽出口 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度

V_1 : 第二好気槽容量

V_2 : 第二好気槽 $\text{NH}_4\text{-N}$ 計設置点までの槽容量

表 4 反応槽流入水量等

総流入水量 (m^3/h)	ステップ比	硝化液循環量 (m^3/h)	汚泥返送量 (m^3/h)	$\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度日平均値 (mg/L)	
				反応槽流入水 (実測値)	第一/第二好気槽 ※ () は設定値 $\text{NH}_4\text{-N}$ 計計測値※
1070	0.75	140	260	18	7.2 (6.5) / 5.7 (5.5)

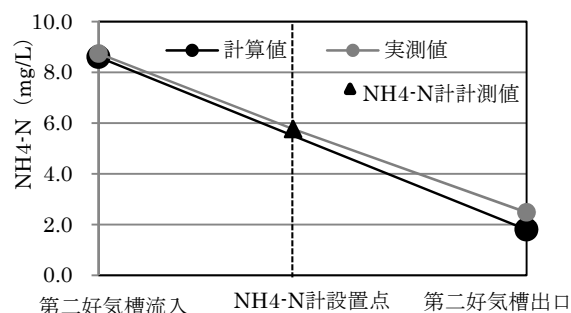


図 7 第二好気槽での $\text{NH}_4\text{-N}$ の挙動

御を行うことで、処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を一定に制御できることが示された。

6. $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御の効果

平成 25 年度の 4 月から、1 系反応槽は、処理水の全窒素濃度 8.0mg/L 以下、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 $2.0\sim 3.0\text{mg/L}$ 程度となるような $\text{NH}_4\text{-N}$ 設定値で各好気槽の送風量を制御している。4

月～8 月の 1 系、3 系反応槽の全窒素・全リ

ン濃度および処理水量当たり送風量の平均値を図 8 に示す。図に見られるように、1 系反応槽は、処理水質、送風量ともに、3 系反応槽よりも良好な結果となった。

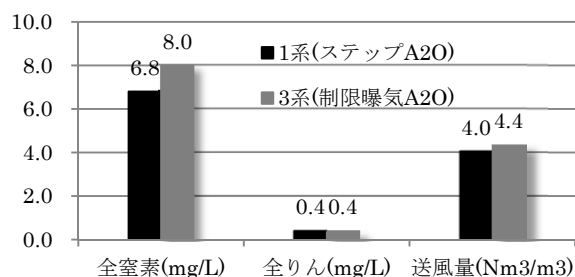


図 8 処理状況比較（平成 25 年 4～8 月）

7. まとめ

上記のように、ステップ比や $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御等に関する調査結果から、ステップ A_2O 法において処理性を維持しつつ送風量を低減する運転条件について、以下のような知見が得られた。

- ・ステップ比(嫌気槽流入水量／総流入水量)を高くすると、処理性が向上する一方、送風量が増加する。
- ・処理水窒素濃度は、ステップ比、硝化液循環比、汚泥返送比、第一好気槽出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度で制御できる。
- ・ $\text{NH}_4\text{-N}$ 制御を行うことで、ステップ比の上昇に伴う送風量増加を抑制できるほか、処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度をおおむね一定の値に制御できる。
- ・平成 25 年度の処理実績では、ステップ A_2O 法は制限曝気 A_2O 法と比較して、処理水窒素濃度、処理水量あたり送風量ともに 1 割以上優れている。

参考資料

- 1) 東京都下水道局計画調整部：ステップ流入式嫌気－無酸素－好気法設計マニュアル(案)，平成 14 年 3 月
- 2) 永津雅庸ほか：八王子水再生センターのステップ A_2O 法について，平成 19 年度水質管理研修
- 3) 古澤和樹ほか：清瀬水再生センターのステップ A_2O 法について，平成 21 年度水質管理研修

2-4-5 北多摩二号水再生センターにおける二軸管理の取組について

(事例報告)

流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター 水質管理係
 ○岩井 毅大、和光 一紀、伊部 一星、吉本 圭子

1. はじめに

流域下水道本部では、温室効果ガスの削減と水環境の保全を目指し、送風機電力原単位（以下、原単位）と放流水 T-N 濃度を管理目標とした二軸管理に取り組んでいる。流域センターの二軸管理目標値は表 1 のとおりであり、北多摩二号水再生センター（以下、北二）の目標値は最も厳しいものとなっている。

一般的に小規模な水再生センターほど、きめ細かな水質管理が可能な一方、処理水量が少ないことから電力量原単位の削減が難しい。当センターは晴天日平均受水量が約 40,000m³/d で、稼働している反応槽は表 2 に示すように 1 系、3 系の 2 系列のみである。本稿は流域下水道本部で最も小規模な当センターにおいて、放流水 T-N 濃度を良好に維持しつつ、原単位の削減に取り組んだ平成 25 年度の事例を報告するものである。

2. 二軸管理の取組の考え方

過去の調査により、送風機の運転台数を通常の 2 台から 1 台に減らすことで電力量の削減が図られることが分かっている¹⁾。このため、通年の送風機電力量の目標値を決定し、その達成に向け、可能な限り送風機の運転台数を 1 台削減することを第一の方針とした。

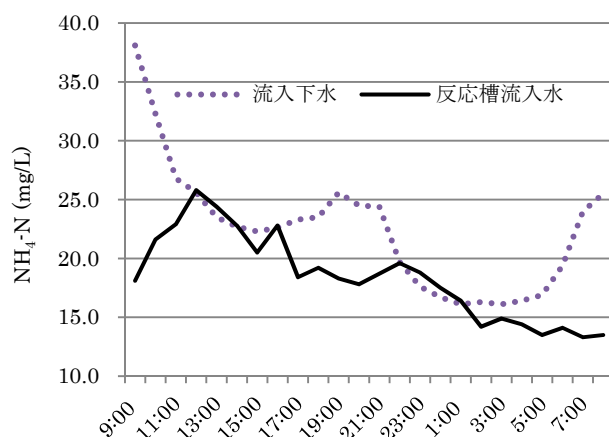
また、目標値からの大きな逸脱を防ぐため、T-N 濃度と原単位のそれぞれについて、日々の実績値を検証し、必要に応じて送風量制御値等の変更を行うなど、きめ細かな運転管理を徹底することを第二の方針とした。

表 1 平成 25 年度流域センター目標値

水再生センター名	T-N (mg/L)	送風機電力原単位 (kWh/m ³)
北多摩一号	9.5	0.116
南多摩	9.3	0.126
北多摩二号	8.0	0.114
浅川	12.5	0.134
多摩川上流	9.6	0.132
八王子	10.7	0.128
清瀬	8.8	0.128

表 2 処理方式、処理能力
(北多摩二号水再生センター)

	1 系	3 系
処理方式	ステップ A ₂ O 法	制限曝気 A ₂ O 法
処理能力 (m ³ /d)	22,400	20,500

図 1 NH₄-N 濃度の経時変化
(平成 25 年 4 月晴天日平均)

3. 通常時の送風機 1 台運転について

送風機の運転台数を 1 台にすると、送風量不足による処理水質悪化を招く恐れがあることから、事前に流入水の特性や反応槽の必要送風量を検証する必要があった。

図 1 は平成 25 年 4 月晴天日において流入下水および反応槽流入水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の経時変化を調査した結果をまとめたものである。

図 1 に示すように流入下水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は 9:00 に最大となり、反応槽流入水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度はやや遅れて 12:00 前後に最大となった。また、夜間から早朝にかけては、流入下水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の低下に合わせ、反応槽流入水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が低下した。この結果と反応槽内の滞留時間から、4 月の晴天時における送風量の変動傾向は、正午から夕方にかけて上昇し、早朝から正午にかけて低下すると推定できた。

図 2 は 1、3 系反応槽の合計送風量について、各時刻における 4 月の月平均値を時系列で示したものである。なお、平日、休日、休日明けの月曜日で送風量の変動傾向に違いが見られたことからそれぞれを区別して表示した。

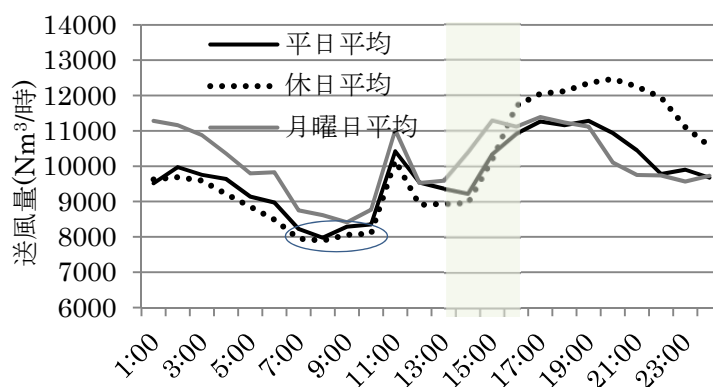


図 2 送風量の経時変化
(平成 25 年 4 月平均)

図 2 に示すように、送風量は 14:00 頃から上昇をはじめ、19:00 に最大となった。一方、送風量の低い時間帯は 6:00～10:00 で、月曜日を除く各曜日で 1・3 系合計送風量が約 8,000Nm³/h と、おおむね送風機 1 台での最大送風量に等しい値となった。このことから、送風機の運転台数を 1 台とするのは、月曜を除いた 6:00～10:00 に限定することが望ましいと考えられた。

4. 高負荷時の送風機 1 台運転への対応

4.1 返送汚泥率を高めることによる反応槽窒素負荷軽減

北二では 7～9 月の平日において 13:00～16:00 の 3 時間、夏期電力ピーク調整のための 1 台運転を実施している。当該時間帯は図 2 に示したとおり必要空気量が多く、1 台運転を実施した場合、T-N 濃度の上昇等、水質への影響が懸念された。そこで、揚水量を抑えつつ汚泥返送量を増やすことにより反応槽への窒素負荷を下げ、当該時間帯の送風量と T-N 濃度の上昇を抑制することを検討した。ここで、揚水制限は流入下水幹線を活用して実施し、貯留量は平時の幹線水位、固定堰高さ等を考慮し、2,000m³/h とした。また、揚水制限を実施する時間は、反応槽への流入水質を考慮し、10:00～15:00 の 5 時間とした。

4.2 事前調査

上記のような運転は操作が複雑となることから、降雨等の予報が無い晴天日に、表 3 に示す揚水量制限等を実施したパターン a と通常運転のパターン b について試行を行い、運転方法の確認、効果の検証を行った。

表 3 調査時の運転パターン

	時間帯	汚泥返送率
a	13:00～16:00	0.6
	上記以外の時間帯	0.3
b	終日	0.3

4.3 調査結果

図 3 にパターン a、b それぞれについて嫌気槽での $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と対反応槽流入水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 低減率を示す。パターン a では、パターン b と比べて、嫌気槽での $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が低く、対流入水低減率が高いことから、本取組による反応槽への窒素負荷軽減効果は認められるものと判断した。

また、図 4 に両パターンでの送風量の経時変化を示す。当センターの反応槽滞留時間や風量制御計器の位置等を考慮すると、取組の効果が表れるのは 17:00～20:00 と想定した。図 4 より、パターン a で当該時間帯の送風量が低下しており、本取組により必要送風量を低減できることが示された。

図 5 に 3 系処理水 T-N 濃度を示す。反応槽と第二沈澱池の滞留時間を考慮すると、取組の効果として T-N 濃度が低下するのは、22:00～1:00 と推定できた。図 5 より、パターン b では、当該時間帯に T-N 濃度が 11mg/L 程度まで上昇している一方、パターン a では大きな変動がなく、9mg/L 程度で推移した。このように、本取組で処理水 T-N 濃度の上昇を抑制できることも確認した。

上記の結果に加え、幹線水位の上昇速度が想定どおりであったこと、汚泥返送量の一時的な増量等の運転操作に大きな問題が無かったことなどから、夏期の電力使用量ピークカット時間帯の送風機 1 台運転に併せて、本取組を実施することとした。

5. 1 台運転取組の検証

5.1 通常時の送風機 1 台運転

図 6 に 6:00～10:00 の 1 台運転を実施した 6 月 30 日と、実施していない 6 月 2 日の放流水質の時間変化を示す。両者の T-N 濃度に大きな違いは無く、りん処理状況はどちらも良好であったことから、朝方の 1 台運転

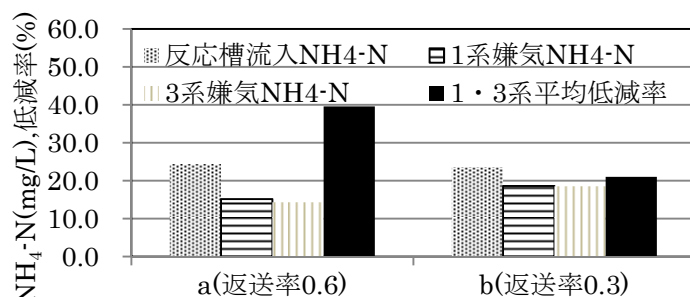


図 3 流入、1、3 嫌気槽 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 低減率 (平成 25 年 7～9 月晴天日平均)

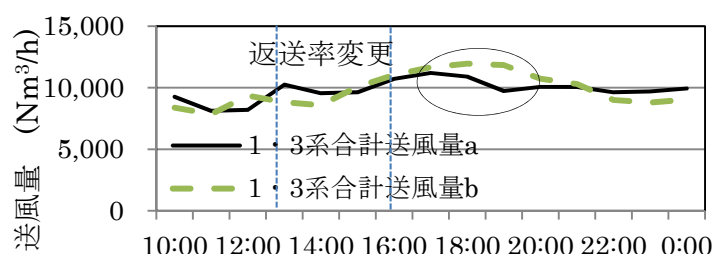


図 4 送風量の変化

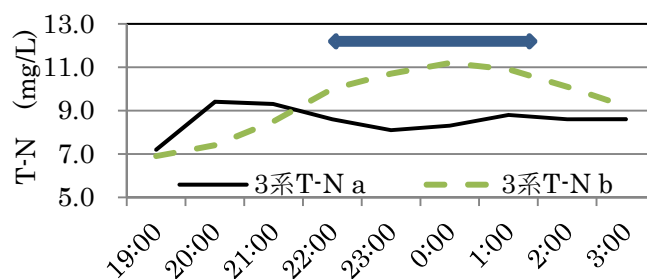


図 5 3 系制限曝気 A_2O 法処理水 T-N 濃度

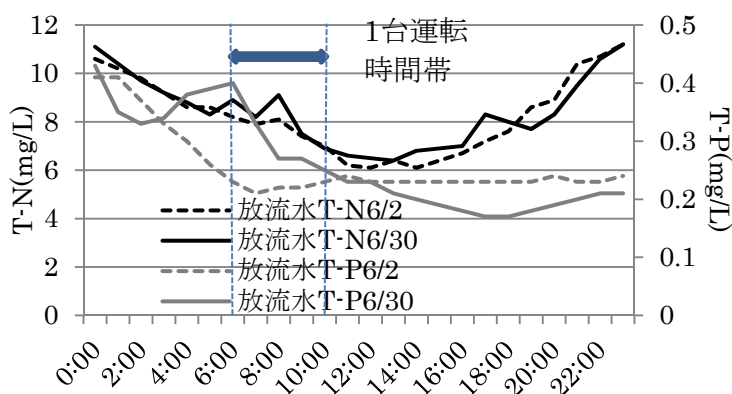


図 6 放流水質の比較 (平成 25 年 6 月 2 日、30 日)

が放流水 T-N 濃度に与える影響は小さいと判断した。

5.2 電力ピーク調整時間帯の送風機 1 台運転

夏期電力ピーク調整時間帯における 1 台運転の取組を検証した。運転状況は図 7 に示した通りで、10:00～15:00 までの 1・3 系反応槽流入量を平時の 1,000m³/h 程度から 800m³/h 程度に制限し、返送汚泥量を 500m³/h に増量した。

放流水質について通常運転をした 6 月 5 日の通日試験日（7:00～10:00 のみ 1 台運転）と比較をした結果を図 8 に示す。

7 月 10 日は 13:00～16:00 の 1 台運転にもかかわらず夜間の T-N 濃度上昇が抑制されていた。これは、事前調査でも見られたように、反応槽流入水を返送汚泥で希釈した効果と考えられる。なお、返送汚泥率を一時的に上昇させる取組を 7 月以降継続したが、りん処理には大きな影響は見られず、上記期間においても T-P は低濃度で推移しており、処理状況は良好だった。

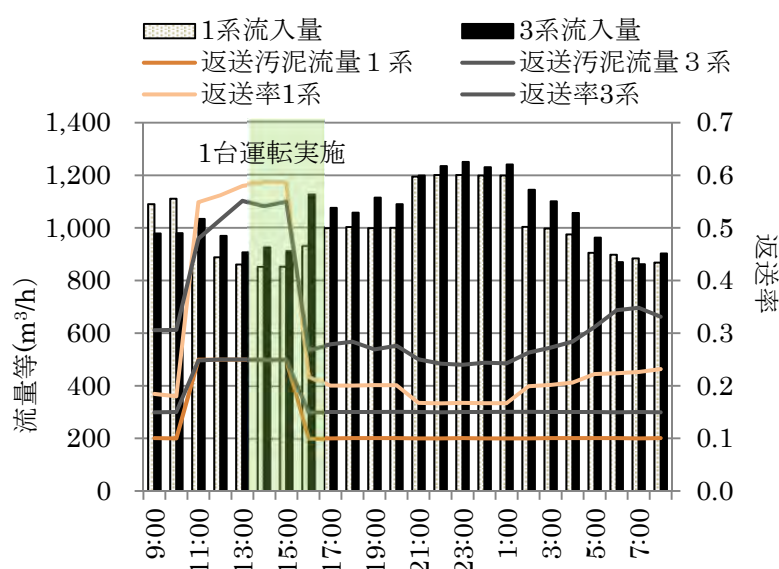


図 7 運転状況（平成 25 年 7 月 10 日～11 日）

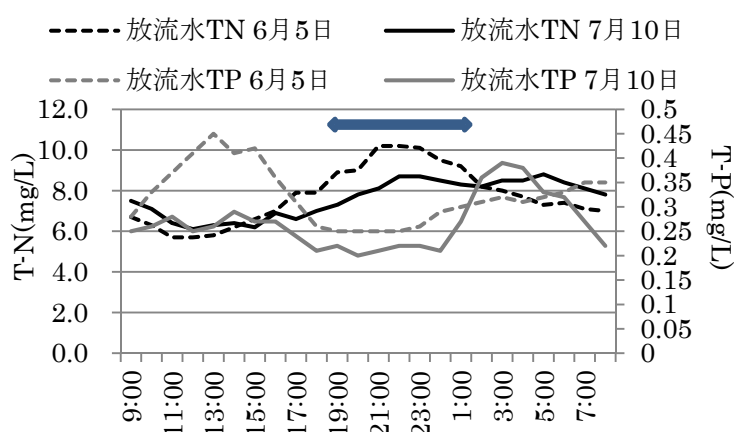


図 8 放流水質の比較

6. 進行管理の取組について

当センターでは、毎朝、管理 JV（共同企業体）との引継ぎ時に前日の二軸管理実績値を共有している。さらに、毎週、図 9 に示したような原単位と T-N 濃度の進行管理グラフを局、管理 JV 職員で確認している。ここで、週平均値は 1 週間単位の平均値、累積平均値は 4 月 1 日からの平均値、目標値は年間目標値である。このような取組により、すばやく処理状況の変化に気づき、対応することができている。また 1 週間ごとに取組を振り返り、今後の運転管理に役立てている。

取組の例をあげると、8 月の中旬以降、T-N 濃度が低いものの原単位が比較的高い状況が続いた。このことから、9/2（★）に水質に大きな影響の出ない範囲に硝化を抑制して送風量を低減する運転に改めた。これにより、T-N 濃度は若干上昇したものの、原単位を低下させることができた。

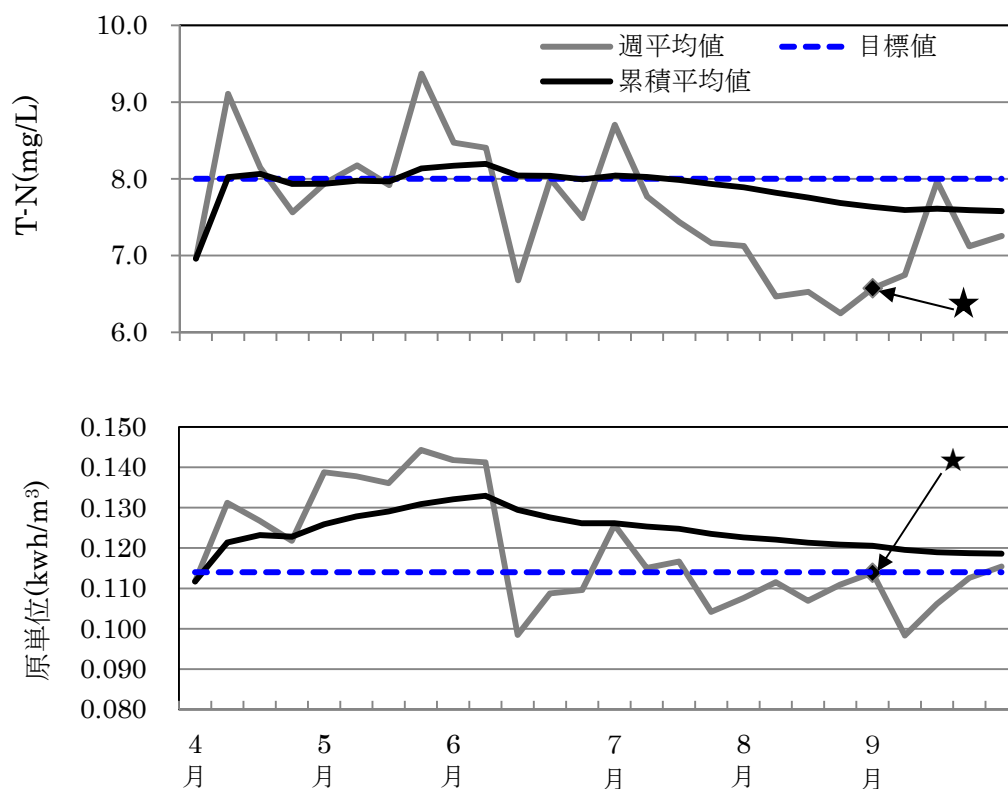


図9 進行管理グラフ (上図) T-N 濃度 (下図) 原単位

7. 二軸管理取組の結果

表4に平成25年4月から9月までの北二での二軸管理取組結果を示す。平成25年度上半期の原単位に関しては、平成24年度と比べると悪くなっているが、これは降雨量が約250mm少なかったためである。降雨の影響により平成24年度と比べ処理水量は8%以上減っており、降雨による持込D0効果が小さくなったにもかかわらず、送風機電力は3%弱減少させることができた。これは、送風機1台運転時間を大幅に増やしたことが寄与したといえる。

T-N濃度に関しては平成24年度より0.5ポイント下げることができた。7～9月に一定時間、汚泥返送率を高める運転を行ったが、T-P濃度は6月以前と同程度であり、りん処理に影響が出ることはなかった。

表4 平成25年度上半期の二軸管理取組結果

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	H25 上半期	H24 上半期
処理水量(千 m³)	1,464	1,483	1,523	1,568	1,489	1,495	9,022	9,879
送風機電力(千 kWh)	182	206	176	178	165	164	1,070	1,101
原単位(kWh/m³)	0.124	0.139	0.116	0.113	0.111	0.109	0.119	0.111
T-N(mg/L)	8.0	8.4	7.7	7.7	6.5	7.4	7.6	8.1
T-P(mg/L)	0.67	0.46	0.53	0.37	0.35	0.50	0.48	0.61
1台運転時間(h)	66	8	133	169	180	223	779	464
降雨量(mm)	187	34.5	158	64	74	225	742.5	996.5

8. まとめ

平成 25 年上半期において 1 日の時間別に必要な送風量の調査を行い、計画的に 1 台運転をする時間数、時間帯を決めたことで、水質への影響を最小限に抑えつつ、送風機電力を下げることができた。

反応槽の窒素負荷が高い時間帯においても、幹線貯留により流入水量を制限し返送汚泥量を増やすことで、反応槽への窒素負荷を低減し、1 台運転で送風量を減らしても、放流水質を維持することができた。

また、日々、原単位と T-N 濃度を進行管理することで、迅速に水処理状況の変化に対応し、適切な送風制御を行うことができた。

現在は朝方時間帯における 1 台運転取組に加え、電力ピーク調整が終了した平成 25 年 10 月以降についても、昼間時間帯における送風機 1 台運転の取組を継続している。処理状況を注視しつつ通日試験等で水質を確認しながら運転管理を行い、送風機電力の削減に努めたい。

参考文献

- 1) 五十嵐仁：送風機 1 台運転の時間帯確保による電力使用量の削減について, 平成 23 年度下水道設備研究発表会論文集

2-4-6 葛西水再生センターにおけるアンモニア DO 制御の

安定運用に向けた取組について

東部第二下水道事務所 葛西水再生センター 菊池 一成

1. はじめに

当局では「アースプラン 2010」に基づき、温室効果ガス削減に向けて省エネルギー機器の導入や水処理工程の見直しを行っている。特に水処理工程の電力消費量は下水処理全体で大きな割合を占めるため、一層の電力量削減が求められる。その一方で、水質への影響についても考慮しなければならない。

葛西水再生センターでは、反応槽のきめ細やかな制御により電力消費量を削減するため、南系反応槽に小型送風機、メンブレンパネル及びアンモニア DO（Dissolved Oxygen：溶存酸素）制御設備が、平成 22、23 年度の 3 件の工事により整備された。その際、きめ細やかな運転方法を確立するために、いくつかの検討が必要となった。

本論文では、それらの現在の運用に至るまでの現場職員による取組及び結果を報告する。

2. 設備概要

2.1 設備仕様

当センターの水処理施設は北系と南系に分かれており、各系列の 1 日当たりの処理能力は、北系：320,000 m³、南系：80,000 m³（合計：400,000 m³）である。今回、送風機設備の更新を行った南系反応槽の仕様を表 1 に示す。

表 1 南系反応槽仕様

反 応 槽	槽 形 状	長さ 49.0 m×幅 8.1 m×水深 10.0 m
	有効容量	15,880 m ³
	処理方法	標準法
	槽 数	2 槽（1 号槽、2 号槽）
	各槽回路数	4 回路
散 気 設 備	散気装置	メンブレンパネル式
	散気方式	片側旋回流方式・微細気泡式
	散気水深	5.5 m
	枚 数	408 枚／槽
送 風 機	型 式	電動機直結単段ターボ型
	台 数	3 台
	吸込・吐出口径	350 mm・300 mm
	風 量	120 m ³ / min
	圧 力	75 kPa
	出 力	200 kW

各反応槽への送風量は、反応槽ごとの風量調節弁開度によって制御される。そして各送風機の吸い込み風量は、反応槽へ空気を送る空気本管の圧力を目標値に設定し、その圧力を維持するよう制御される。

また、送風機の運転台数制御は吸込風量に応じて行われる。反応槽の吸い込み風量が少ない場合は送風機1台のみの運転となり、吸い込み風量が設定値を超えた場合は、自動的に2台目が起動するような制御が行われる。

2.2 設備稼働状況

南系反応槽の送風機設備は、平成24年4月からの稼働に向け、平成22、23年度の2か年に送風機設備工事、反応槽設備工事及び電気設備工事、計3件の工事により整備された。しかし図1のように、平成22年度末に起きた東日本大震災による被災設備の補修工事や、分水槽改良・補修工事等の影響により、南系反応槽は1槽、ないし全停止の運用が続き、それらの工事が完了した平成25年4月以降、ようやく全槽稼働が可能となった。

そこで、全槽による通常運用の開始後、適切な制御を目指すために、本稿で紹介する各種検討を行うこととした。

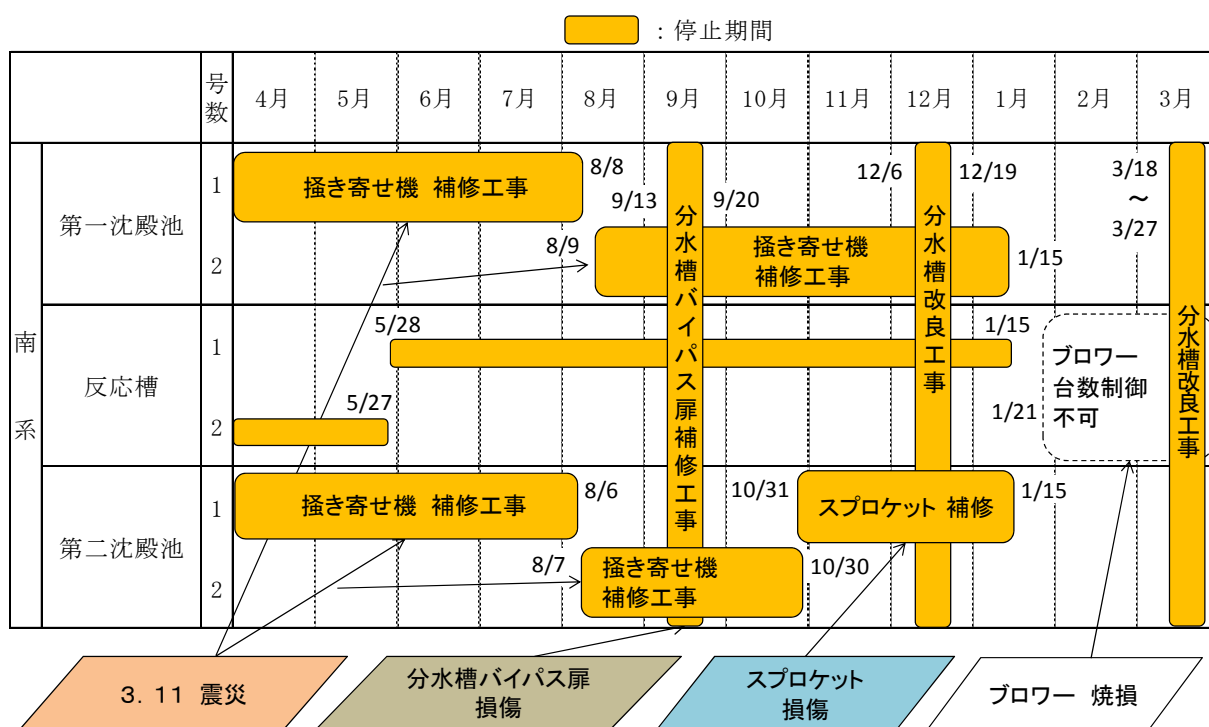


図 1 平成 24 年度南系水処理施設停止状況

3. 送風機の制御方法

3.1 従来の送風量制御

従来の制御方法として、風量一定制御および DO 一定制御がある。以下にこれらの制御方法の特徴と課題を示す。

(1) 風量一定制御

反応槽への目標送風量を設定し、設定された送風量を維持するように運転を行う制御方式である。シンプルな制御方式ではあるが、処理水量・水質にかかわらず常に一定量の空気を送り込むため、送風効率が悪い。

(2) DO 一定制御

反応槽内の目標 DO 濃度を設定し、測定 DO 濃度と目標 DO 濃度の差を計算することで、設定された目標 DO 濃度になるよう送風量を制御する方式である。制御が安定しやすく、反応槽に流入する水量・水質に応じて送風量が増減するため、送風効率が良い。しかし、測定 DO 濃度によるフィードバック制御であり、実際の DO 濃度の変動に対して送風量の制御が遅れるため、急激な負荷変動に応じた風量が維持できるよう、適切な管理が必要となる。

3.2 アンモニア DO 制御の概要

アンモニア DO 制御とは、手動で設定する DO 一定制御の目標 DO 濃度を、反応槽内のアンモニア濃度に応じて自動的に変更する制御である。本制御は、反応槽内の負荷に応じて目標 DO 濃度を自動的に変えるため、常に必要十分な DO 濃度を確保しながら運転することができる。

通常の DO 一定制御では、雨天時等に負荷に応じて運転員が随時目標 DO 濃度を変える必要があり、常に最適な風量を維持するのは困難である。一方、アンモニア DO 制御では負荷に応じた目標 DO 濃度変更を自動で行うため、DO 一定制御における目標値に追従させることが容易となる。そのため、送風量を低く抑えることができ、適正な水質を維持しながら電力量削減が期待できる。

以上の各送風量制御方式における目標値設定フローを図 2 に示す。

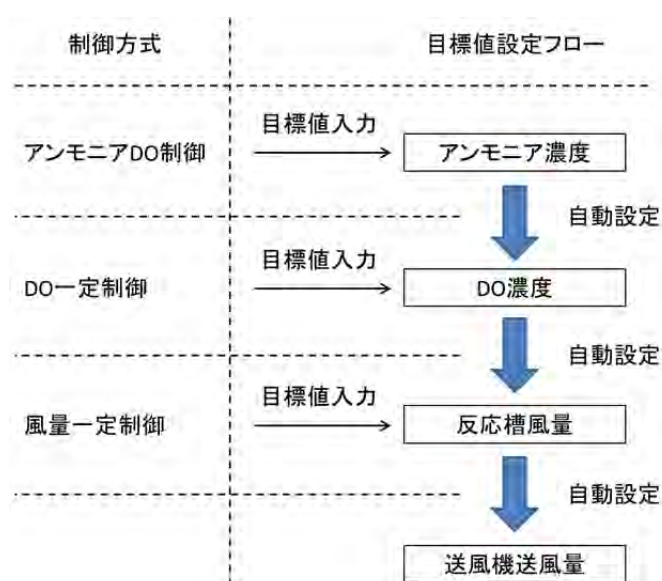


図 2 各送風量制御方式における目標値設定フロー

4. アンモニア DO 制御の確立に向けた検討事項

4.1 送風バランスの調整

平成25年度より南系送風機の運用を開始したところ、反応槽2号への送風量が反応槽1号と比較して少なく、送風バランスが取れていないことが判明した。このままでは適切な風量調節制御ができないため、図3に示す空気管元弁について、反応槽1号へ送風する配管への元弁を表-2のように全開から開度40%に調節した。

以上のような調整前後の送風量及び風量調節弁開度の変化を図4、図5に示す。図4のように改善前では1号と比較して2号の送風量が少なく、図5のように2号の風量調節弁が多く時間で開度が大きい状態となっている。しかし、改善後では、送風量、風量調節弁開度ともに1号、2号の時間変化が一致しており、適切な風量制御が可能となった。

表 2 空気管元弁開度

	改善前	改善後
1号	100%	40%
2号	100%	100%



図 3 空気管元弁

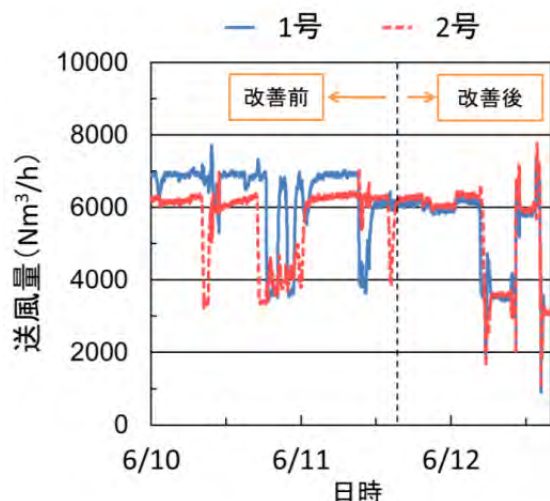


図 4 送風量

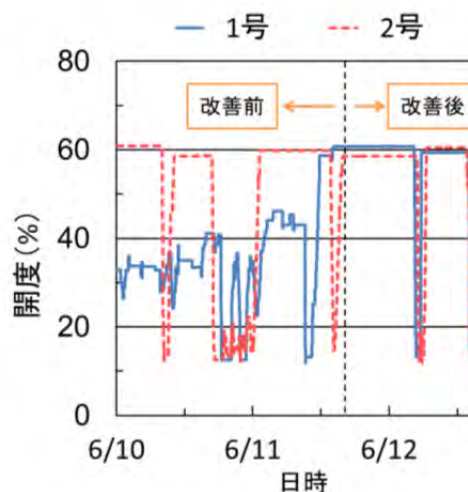


図 5 風量調節弁開度

4.2 ライザー弁開度の調整

平成25年度より南系反応槽の運用を開始したところ、DO濃度が目標値に達する前に、空気本管圧力が送風機の制御設定値に達し、目標DO濃度に必要な風量が確保されていなかった。そこで、当センターにおいて原因を調査した結果、ライザー弁の開度が比較的閉じた状態になっていたことが判明した。ライザー弁開度の変更について、反応槽設備工事受注者に確認を行い、A回路を1/8開から1/4開、B～D回路を1/4開から全開（一部2/4開）に変更し、全体的にライザー弁を開く方向で補正した。

その結果、本管圧は 69kPa から 65kPa に下がり、最大送風量は図 6 のように改善前の 6,400Nm³/h から改善後には 7,000Nm³/h に増加したことで、本管圧が適正な範囲内での必要風量の供給が可能となった。

このように、送風機の運用について、実運用に応じた送風量制御を行うには複数の検討事項が生じるため、その調整に関しては、運用開始後も継続して、局及び関連各所（工事受注者）が連携を取り、総合的に調整する必要があると考えられる。

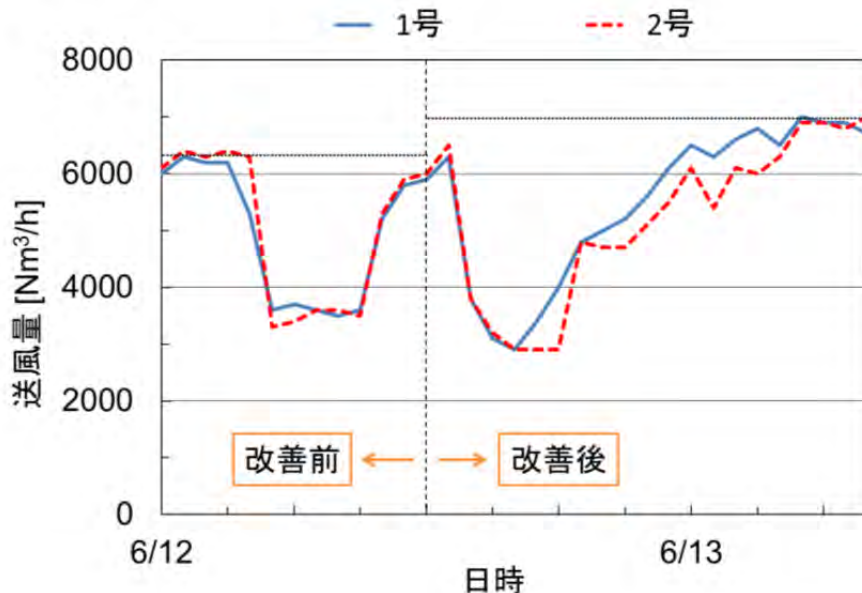


図 6 ライザー弁開度調整による送風量の変化

4.3 アンモニア計の信頼性の検討

アンモニアDO制御では、反応槽内のアンモニア性窒素濃度を風量制御に用いるため、アンモニア計の信頼性が重要である。

アンモニア計には、アンモニア濃度を検知するための電極カートリッジが装着されており、カートリッジには寿命があるため、年4回の定期的な交換が必要となる。

しかし、図 7 のように、1 回目のカートリッジ交換（5 月 22 日）後に新品のカートリッジに交換したにもかかわらず、アンモニア計の測定値と水質管理係の手分析による実測値に差が生じていることが判明した。その後、2 回目、3 回目に交換した後も、アンモニア計測定値と手分析による実測値との差は解決されず、4 回目の交換後に解消された。

このように、新品のカートリッジ交換によってアンモニア測定値の差が生じたことから、カートリッジには生産上の個体差があり、4回目の交換で差が解消された具体的な原因は判明していない。したがって、今後もカートリッジ交換の際にこうした差が生じる可能性があるため、アンモニアDO制御を行うにあたり、カートリッジ交換の際には個体差による差が生じていないか、アンモニア測定値をその都度確認する必要があることが判明した。

なお、アンモニア計のカートリッジの個体差について、現在その原因を調査し、解明しているところである。

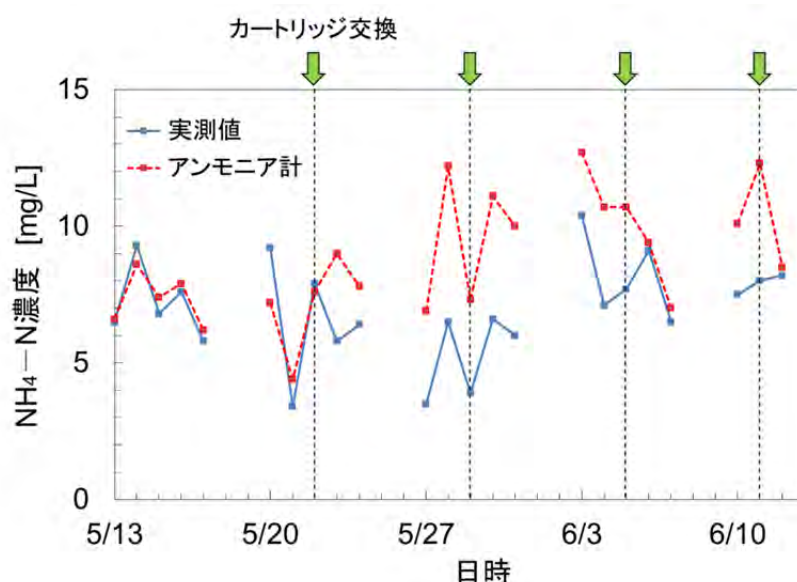


図 7 手分析による実測値とアンモニア計の測定値の比較

5. おわりに

アンモニアDO制御は、電力量削減と良好な水質の確保の両立を狙って導入されたシステムであり、稼働当初から最適な状態で運用するために、現場職員による各設備の総合調整、各種検討が必要となった。今回、送風バランスやライザー弁開度等についての注意点を示すとともに、アンモニア計の測定値がカートリッジの個体差によって、ばらつくことが明らかになった。

このように、下水道プラント設備は、新技術導入当初から安定運用に至るまで、経験工学的要素が多分に占めている。こうした中で、刻々と変化する状況において不測の事態にも対応できるような現場職員の経験は、新技術・設備を実運用に適した状態に調整する際に大いに活かすことができると考えられる。

今後は、これまでと同様に水質管理係との連携を密に行い、互いに情報を共有しながら、各種パラメータ等を調整し、アンモニア DO 制御の安定運用と、効果の検証を行っていききたい。

2-4-7 南部スラッジプラントにおける

既設遠心脱水機の改良によるエネルギー削減効果について

森ヶ崎水再生センター 板崎 吉則
榎本 皓太

1. はじめに

東京都の下水道事業は、都の事業活動で排出される温室効果ガスの約 39%を排出しており(図 1)、地球温暖化防止に対する大きな責務を負っている。

また、東京都下水道局では、東京 23 区内で 79,594 万 kWh(平成 23 年度)の電力を消費しており、東日本大震災に伴う原子力発電所の事故に起因する電力需給状況に鑑み、使用電力量の削減が急務となっている。このため、当局では、「アースプラン」と「経営計画」に基づき、地球温暖化対策とエネルギー削減に向けた技術向上に取り組んでいる。

下水の最終処理である汚泥処理工程で発生する温室効果ガスの削減は、汚泥焼却時に発生する N_2O の削減を中心に大きな効果を上げている。しかし、汚泥焼却以外の汚泥処理工程では、電力使用由来の CO_2 排出量が、平成 12 年度と平成 23 年度とを比較して 0.4 万 t- CO_2 削減できたものの、薬品などの使用による CO_2 排出量は、平成 12 年度と比較して平成 23 年度は 1.1 万 t- CO_2 増加した。

そこで、東京都下水道局における、温暖化対策及び使用電力量削減の取組として、多層燃焼流動床焼却炉の導入並びに、低動力型高効率脱水機(以下、「低動力型」という。)への更新及び従来型遠心脱水機(以下、「従来型」という。)の改良を行っている。

本稿では、従来型を改良した結果、エネルギー削減効果が確認できたので報告する。

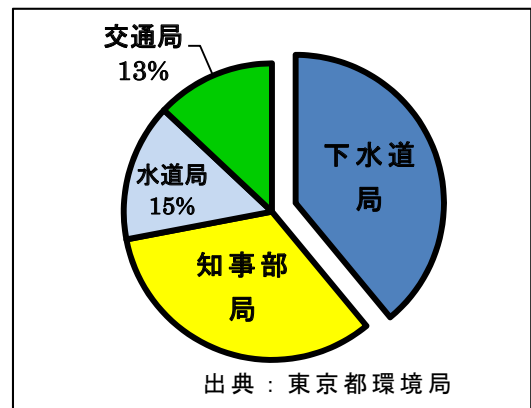


図 1 東京都における事業別の温室効果ガス排出割合(平成 23 年度)

2. 南部スラッジプラントの脱水機

表 1 に南部スラッジプラントにおける遠心脱水機の台数の推移を示す。

南部スラッジプラントでは平成 25 年 4 月現在、汚泥処理量 50m³/h の遠心脱水機が 12 台ある。その内訳は低動力型が 4 台、改良型遠心脱水機(以下、「改良型」という。)が 4 台、従来型が 4 台である。従来型の内の 2 台は、低動力型に更新予定である。

低動力型に更新するまでの間、使用電力量と高分子凝集剤使用量を削減することを目的として、従来型の性能向上を図るため、従来型の機械設備と電気設備に一部改良を実施した。

表 1 南部スラッジプラントにおける遠心脱水機の台数の推移

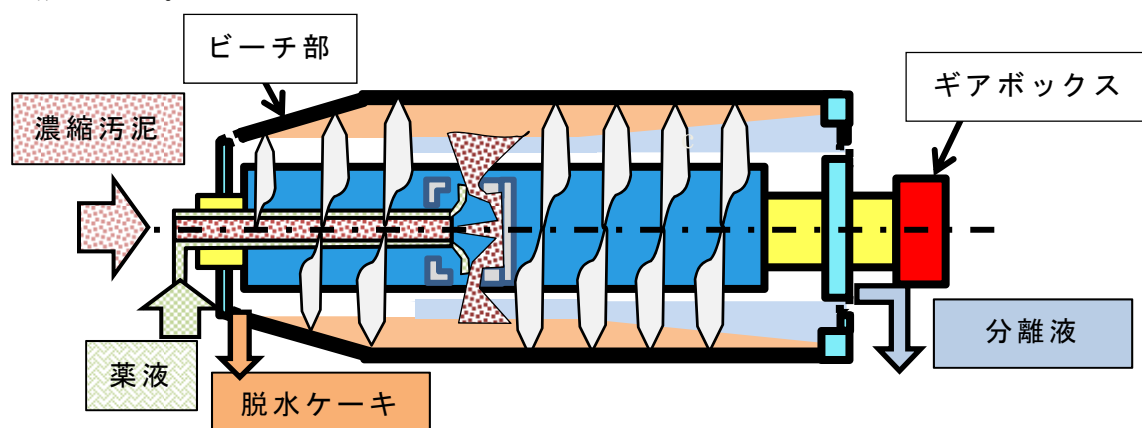
	平成 18 年 4 月	平成 19 年 4 月	平成 23 年 5 月	平成 23 年 8 月	平成 24 年 2 月	平成 24 年 5 月
従来型	10 台	10 台	9 台	6 台	5 台	4 台
低動力型	—	2 台	2 台	4 台	4 台	4 台
改良型	—	—	1 台	2 台	3 台	4 台

3. 改良内容

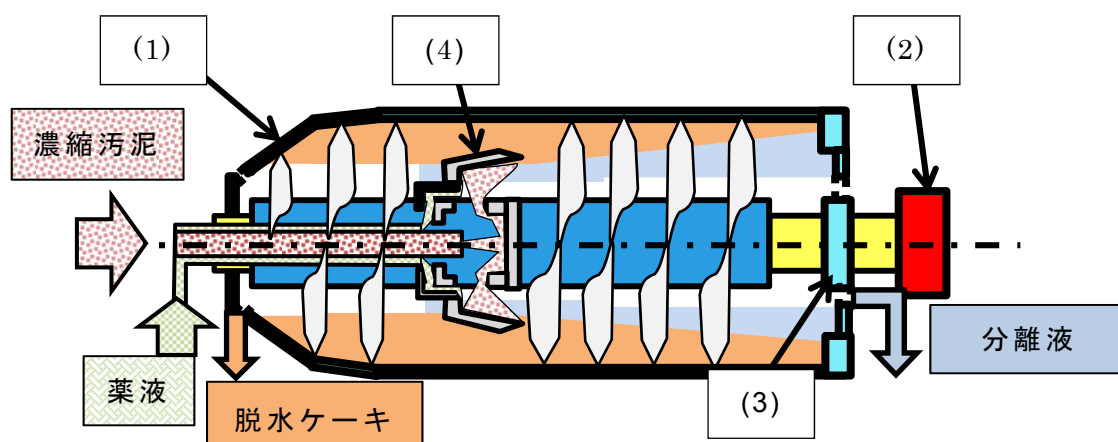
3.1 機械設備

従来型及び改良型の構造を図 2 に示す。機械設備における改良点は、以下のとおりである。

- (1) 外胴ボウルのビーチ部をストレートな構造から、2 段ビーチ構造に改良する。この結果、低遠心力でも、従来型と同等のケーキ含水率を保つことができる。
- (2) ギアボックスのギア比を改良することで、減速比を大きくし、差動機側の運転にかかるトルクを小さくする。これにより使用電力量が抑制できる。
- (3) 脱水ケーキと分離液の排出口を軸心に近付けた構造へ改良する。この結果、脱水ケーキと分離液が排出される際のエネルギー損失が従来型より少なくなり、使用電力量が抑制できる。
- (4) ショートコーンを取り付けることで、フロックの破碎が防止でき、薬液注入量が低減できる。



(a) 従来型遠心脱水機



(b) 改良型遠心脱水機

図 2 機械設備改良箇所

3.2 電気設備

これまで起動時にのみインバータ制御を使用していた従来型を、インバータ常用運転に制御方法を変更することで、汚泥性状に合わせた適切な遠心力モードを選ぶことが可能となり、回転数を通常(1,500G)、低 G1(1,300G)、低 G2(1,000G)、低 G3(800G)の 4 段階のモードから、汚泥性状に適したモードが選択できることとなった。

従来型の遠心力は 1,800G であったが、改良型は機械設備を改良しているため、従来型よりも低い遠心力で運転管理目標の含水率 77%を満たすことができる。低遠心力での運転は、遠心脱水機の電動機の出力を抑えることができ、電力使用量の削減を図っている。

3.3 各遠心脱水機の仕様

表 2 に改良型、低動力型、従来型の仕様を示す。

低動力型は、従来型と比べ主電動機及び差動機の容量が小さくなっている。一方、改良型と従来型の主電動機及び差動機の容量は同じである。これは、改良型の電動機は従来型のものを再使用しているためである。

表 2 各遠心脱水機の仕様

	改良型	低動力型	従来型
標準処理量(m ³ /h)	50	50	50
主電動機(kW)	160	110	160
差動機(kW)	55	22	55

4. 調査方法及び調査結果

平成 24 年 5 月から平成 25 年 2 月までの 10 か月間で、従来型と改良型が同時に運転したときの結果を抽出し比較を行った。

なお、南部スラッジプラントでは、ケーキ圧送ポンプとケーキコンベヤの併用によって脱水ケーキを搬送しているため、ケーキ含水率 77%を目標に運転管理をしている。このケーキ含水率の目標は、従来型、改良型及び低動力型のすべての脱水機に対して定められている。

図 3 及び表 3 に調査期間中の南部スラッジプラントの脱水機投入汚泥の汚泥性状を示す。

調査によって得られた従来型と改良型の削減効果の結果を表 4 に示す。

表 4 に示す調査結果より、従来型の遠心脱水機に改良を加えることで、使用電力量と薬液注入量が減少し、ランニングコスト及び CO₂ 排出量を削減できることが確認できた。

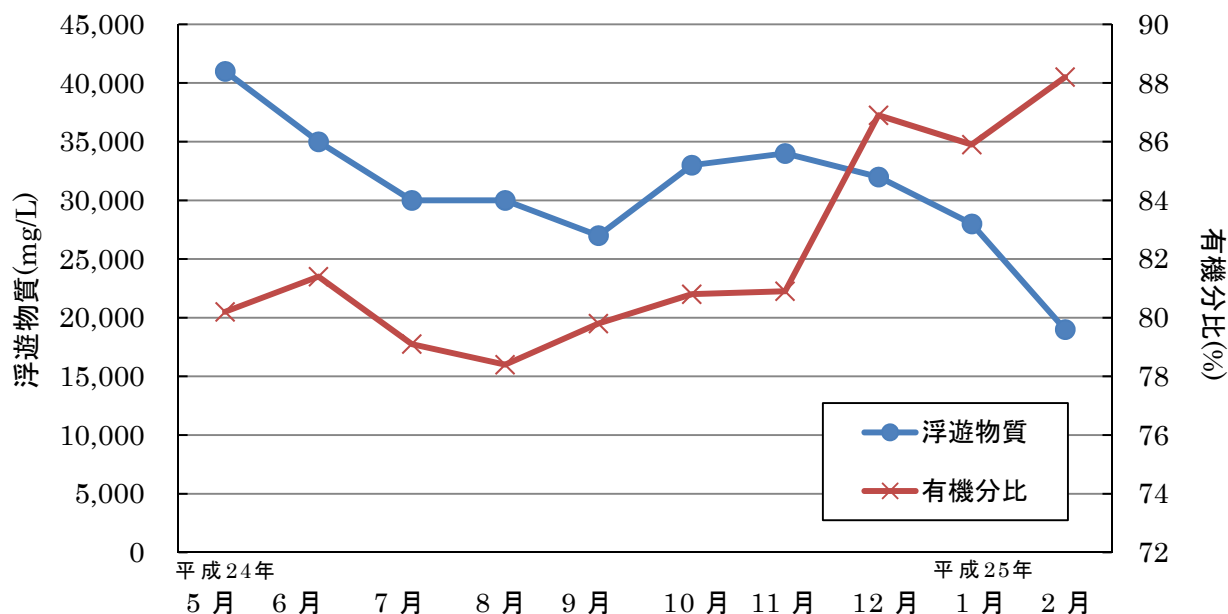


図 3 脱水機投入汚泥の月別汚泥性状

表 3 脱水機投入汚泥の汚泥性状

	浮遊物質 (mg/L)			有機分比 (%)		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小
脱水機投入汚泥	31,000	43,000	14,000	82.6	88.2	78.4

表 4 従来型と改良型の削減効果の比較

	従来型(A)	改良型(B)	削減率 $(= (A-B)/A \times 100)$
使用電力量	131kWh	64kWh	▼52%
薬液注入率	0.38%	0.26%	▼32%
ケーキ含水率	77%	77%	0%
ランニングコスト比	100	64	▼36%
CO ₂ 排出量比	100	59	▼41%

(注 1) 電力由来の CO₂ 排出係数を 0.382kg-CO₂/kWh、高分子凝集剤由来の CO₂ 排出係数を 6,534kg-CO₂/t とする。

(注 2) 調査期間は、平成 24 年 5 月から平成 25 年 2 月までの 10 か月間。

5. 各遠心脱水機の評価

低動力型と改良型の導入効果を表 5 に示す。

始めに、イニシャルコストを比較すると、低動力型を新設するコストは多額の費用がかかるが、改良型は回転体と制御方法の改良で導入が可能であり、低動力型と比べ導入費用が安価である。

次に、工期を比較すると、低動力型を新設する再構築工事が約 2 年かかることに比べ、改良型は 6 か月程度で導入可能である。南部スラッジプラントでの実績では、2 台の従来

型の改良工事期間が約 9 か月であり、再構築工事と比べて半分以下の工期で導入可能である。ただし、本稿における工期とは、脱水機の製作、据付、付帯設備工事及び事務処理などを含んでいる。

以上のように、改良型は、従来型より使用電力量等の削減効果が高く、低動力型と比較してもイニシャルコスト面等の利点がある。しかし、遠心脱水機自体を延命化するものではないため、稼働年数が標準更新年数の 25 年を超えた場合は、低動力型への更新が望ましい。

表 5 低動力型と改良型の評価

	低動力型	改良型
使用電力量	67kWh	69kWh
薬液注入率	0.32%	0.32%
イニシャルコスト比	100	43
工期	約 2 年	約 6 か月

(注) 使用電力量と薬液注入率については、改良型と低動力型が並行運転時のデータのため、表 4 の数値とは異なっている。

6. おわりに

既設遠心脱水機の改良は、導入期間、導入費用及び運用費用も含めて考慮すると、更新を待たなければならない遠心脱水機のエネルギー削減と温室効果ガスの削減を実現できる有用な方法の一つである。

今後も、引き続きエネルギー削減と温暖化対策に取り組んでいく。

2-4-8 東部スラッジプラントにおける

汚泥焼却設備 3 号炉高温制御装置の N_2O 削減効果に関する調査

東京都下水道サービス株式会社 東部スラッジセンター 大塚 克司

1. はじめに

東部スラッジプラント汚泥焼却設備 3 号炉の制御装置は、高温焼却の自動運転が可能な高温制御装置に改良され、平成 24 年 4 月から運転を開始している。これに伴い、従来の制御装置と新たな高温制御装置の比較調査を平成 24 年度に行い、 N_2O 排出量削減効果を検証した。

併せて、刻々と変化する汚泥性状の中で、付帯設備として廃熱ボイラーを有する流動焼却炉の各運転管理項目データが得られたので報告する。

2. これまでの高温焼却運転の実施状況

東部スラッジプラントでは、地球温暖化対策として、汚泥焼却からの排ガス中の N_2O 排出量削減を図るため、通常の焼却温度に比べ高温で維持する運転「高温焼却」を行っている。（高温焼却とは、焼却炉フリーボード（以下「FB」という）部上部において、 850°C 以上で焼却を行うことである。）

高温焼却では、砂層部ではなく FB 上部で脱水ケーキを完全燃焼させる必要がある。このため、従来の運転から高温焼却運転にするために下記の変更を行った。

- ・流動空気量の減量
- ・珪砂量を 115t から 105t へ減量し、下部砂層部の熱ボリュームを小さくした。

ここで、流動空気の削減は、脱水ケーキの不完全燃焼により焼却炉運転に支障を来す恐れがあるため、不完全燃焼の防止や汚泥性状の変動等を考慮し風量制御の設定値を下記のとおり変更した。

- ・炉出口排ガス O_2 濃度を 7～8% から 5～6% に変更
- ・空気比を 1.5 から 1.3 近傍へ変更

これにより流動空気を砂層部の流動性を確保しつつ、燃焼反応に必要な最小限の風量の $16,500\text{m}^3/\text{h}$ 、 26kPa まで減量した。

上記の運転方法の変更により、炉内焼却域が FB 側へ移行し砂層温度が一定になり、高温焼却での運転が安定した。

高温焼却では、降雨後及び季節要因等で汚泥の性状が大きく変化した場合、炉出口排ガス O_2 濃度の変動が大きく、従来の自動制御装置では変化に追従できない。そのため、焼却炉に付帯した廃熱ボイラー蒸気、炉出口排ガス O_2 濃度を常時監視しながら、流動空気量等の運転条件をオペレーターの手動介入により、高温焼却を実施してきた。

3. 汚泥焼却設備制御装置の改良内容 [表 1 及び図 1]

従来の汚泥焼却設備制御装置は、FB 温度、砂層温度のいずれかを選択し、温度が一定（設定値）になるように、補燃時は都市ガス量、自燃時は流動空気温度を操作していた。

今回、高温焼却用に改良された「高温制御装置」は、流動空気量の自動調整機能として

流動ブロワ吸込弁を自動操作する機能が新たに追加された。

これは、従来オペレーターが行っていた流動空気量の操作を、炉出口排ガス O_2 濃度が過大、過小にならないよう補正し、適正な流動空気量（空気比）で自動運転を行う機能である。具体的には、FB 温度、砂層温度、 N_2O 濃度、炉出口排ガス O_2 濃度の目標設定値に対し、ガスガン流量、流動空気温度の他、流動空気量の自動操作が行われる。

また、「高温制御装置」には、新たに「 N_2O 制御」が設けられた。 N_2O 制御とは、目標とする N_2O 濃度を設定することで、FB 温度を変化させる制御である。

表 1 汚泥焼却設備制御装置

		従来の制御装置		高温制御装置（改良）	
		FB 温度 一定制御	砂層温度 一定制御	高温焼却制御	N_2O 制御
目標 設定値		FB 温度	砂層温度	FB 温度、 砂層温度、 O_2 濃度	N_2O 濃度、 FB 温度、 砂層温度、 O_2 濃度
操 作 量	補 燃	都市ガス量（燃料調節弁）		都市ガス量（燃料調節弁）＋ 流動空気量（流動ブロワ吸込弁）	
	自 燃	流動空気温度 （A/H 入口弁、中間バイパス弁）		流動空気温度 （A/H 入口弁、中間バイパス弁）＋ 流動空気量（流動ブロワ吸込弁）	

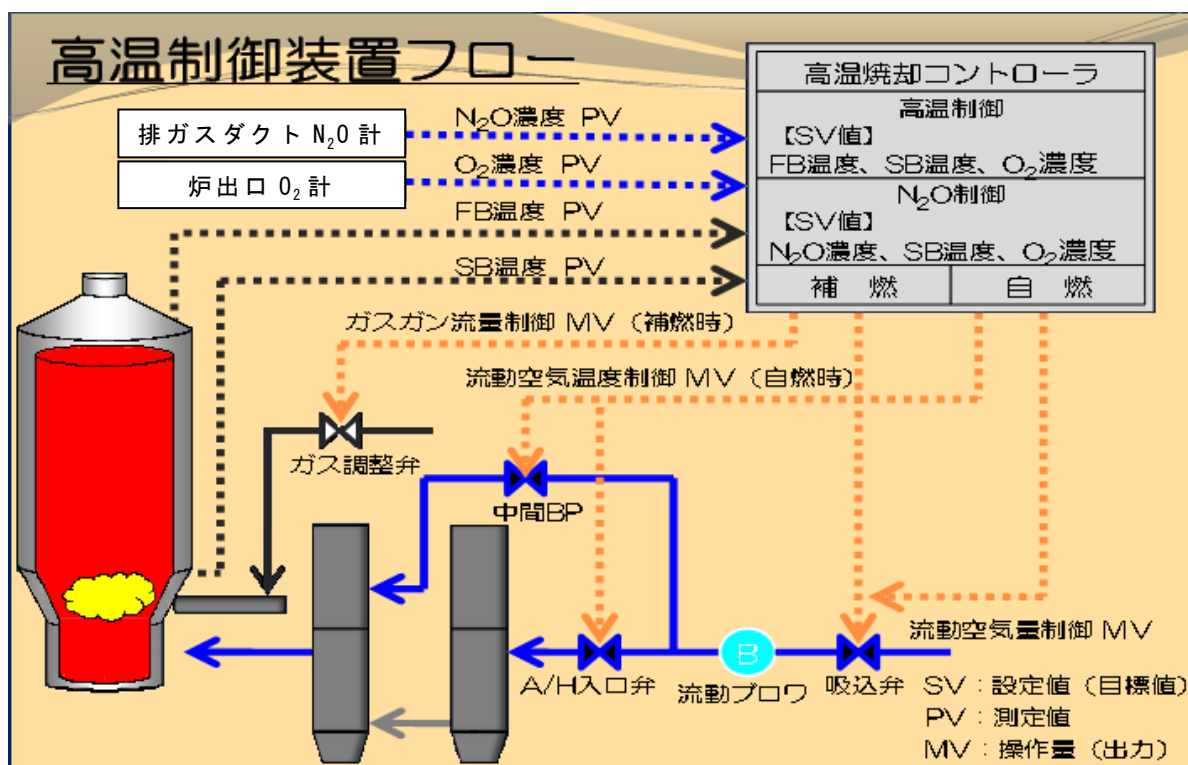


図 1 高温制御装置フロー

4. 調査内容

4.1 「高温制御装置」(自動運転)による各運転管理項目データ調査

(1)調査項目

3号炉の運転について、「従来の制御装置」と「高温制御装置」による自動運転を交互に行い、1)～3)に示す運転管理項目を調査、比較することで温室効果ガスの排出状況等を確認した。

1)FB 温度 (°C) と焼却由来 N_2O 排出量 (t- CO_2 換算値)

2)都市ガス使用量 (Nm^3) と都市ガス由来 CO_2 排出量 (t- CO_2)

3)流動空気量 (Nm^3) の変化に対する FB 温度 (°C) と N_2O 濃度 (ppm) の関係

(2)調査期間

調査期間は、定格運転が可能な平成 24 年 6 月から平成 24 年 9 月の期間に実施し、各直 8 時間の運転データを平均化し比較した。

(3)運転条件

- ・ 定格運転脱水ケーキ焼却量 12.5t/h
- ・ 脱水ケーキ含水率は、75.6～76.5%で変動

(4)「高温制御装置」(自動制御)の運転条件

- ・ N_2O 制御
- ・ N_2O 濃度目標値を自燃 30ppm、補燃 15ppm
- ・ 炉出口排ガス O_2 濃度を自燃 7%、補燃 6%
- ・ FB 温度 860°C で自燃、855°C で補燃に切替る

(5)「従来の制御装置」の運転条件

- ・ 砂層温度一定制御
- ・ 砂層温度 750°C で自燃、740°C で補燃に切替る

4.2 汚泥性状の変動が付帯設備(廃熱ボイラー)に与える影響

「高温制御装置」の自動運転時に手動運転に切り替えた事例をもとに、自燃性が高い汚泥等、汚泥性状の変動が付帯設備(廃熱ボイラー)に与える影響について整理した。

5. 調査結果

5.1 「従来の制御装置」と「高温制御装置」(自動運転)による各運転管理項目データ

5.1.1 FB 温度と焼却由来 N_2O 排出量 (t- CO_2 換算値)

(1)FB 温度 (°C) [図 2 参照]

「従来の制御装置」による手動運転では、炉出口排ガス O_2 濃度 5～6%、炉内空塔速度 0.5m/s、流動空気量 16,500 m^3 /h を目標に手動で空気量を最小限まで絞り運転した結果、常に FB 上部で 850°C 以上を維持した。

「高温制御装置」による自動運転でも常に 850°C を上回る良好な結果が得られた。

なお、9 月は雨量も少なく自燃し難い汚泥性状であったこと、また脱水ケーキの有

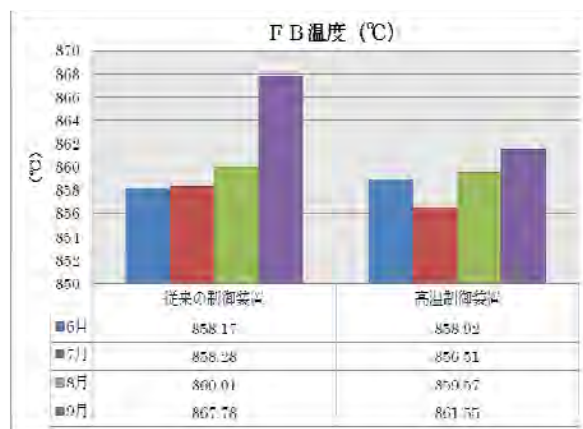


図 2 FB 温度 (°C)

機分が少ない汚泥であり、都市ガス使用量と流動空気量が大幅に増加したため、FB 温度が高めに推移した。

(2)焼却由来 N_2O 排出量 (t- CO_2 換算値) [図 3 参照]

燃焼由来 N_2O 排出量は FB 温度が高いほど少なくなる。このため、7 月～9 月については図 2 より「従来の制御装置」の方が「高温制御装置」よりも FB 温度を高く誘導できたため、「従来の制御装置」の方が N_2O 排出量 (t- CO_2 換算値) は少なかった。

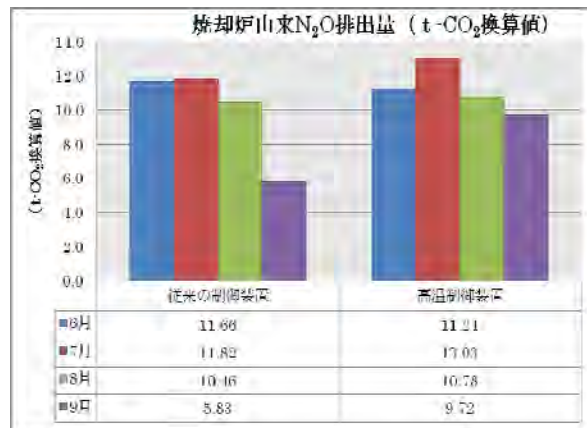


図 3 焼却由来 N_2O 排出量 (t- CO_2 換算値)

5.1.2 都市ガス使用量と都市ガス由来 CO_2 排出量

(1)都市ガス使用量 (Nm^3) [図 4 参照]

「従来の制御装置」と「高温制御装置」の都市ガス使用量を比較した結果、6 月～8 月は「従来の制御装置」の方が大きく、9 月は「高温制御装置」の方が大きかった。これは、温度制御対象位置と温度目標値が「従来の制御装置」では砂層温度 $750^{\circ}C$ 一定、「高温制御装置」では FB 温度 $860^{\circ}C$ 一定と違っていることが要因としてあげられる。6 月～8 月は通常の汚泥性状であり、「従来の制御装置」の方が都市ガスを多く使用した。一方、9 月は自燃し難い汚泥性状だったため、「高温制御装置」の方が FB 温度を $860^{\circ}C$ に保つために都市ガスを多く使用した。

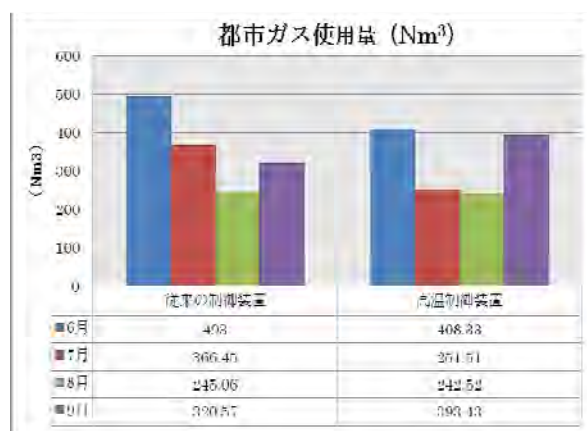
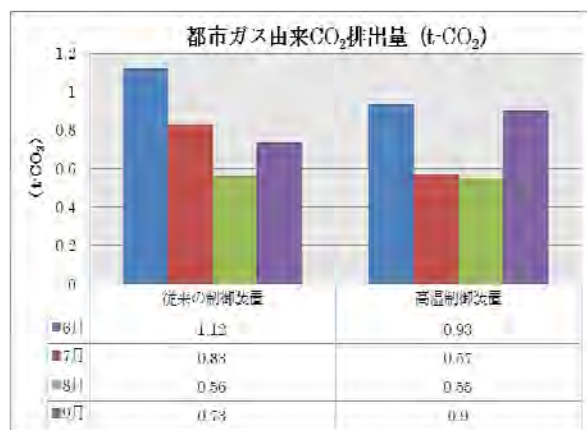


図 4 都市ガス使用量 (Nm^3)

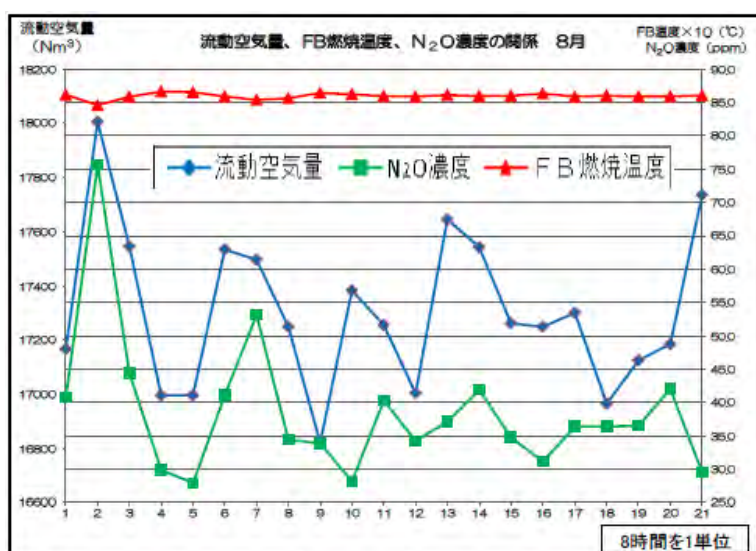
(2)都市ガス由来 CO₂ 排出量 (t・CO₂) [図 5 参照]

都市ガス由来 CO₂ 排出量は都市ガス使用量に比例して増減するため、図 4 と同様の傾向となった。図 5 より、6 月、7 月では従来の制御装置の方が大きく、9 月は高温制御装置の方が大きい結果となった。

図 5 都市ガス由来 CO₂ 排出量 (t-CO₂)5.2 流動空気量 (Nm³) の変化に対する FB 温度 (°C) と N₂O 濃度 (ppm) の関係

流動空気量は、炉内燃焼域に影響を与えるため、流動空気量が多い場合は、焼却炉内の冷却に繋がり、FB燃焼温度が下降し、砂層温度が上昇する傾向がある。一方、流動空気量が少ない場合、傾向は逆となる。

図6に示すように、流動空気量の増減に対する変化を調査した結果、流動空気量が減少した場合、炉内の冷却効果が低下することで、FB燃焼温度が上昇し、N₂O濃度が減少する相関を確認することができた。

図 6 流動空気量と FB 温度、N₂O 濃度の関係

5.3 「従来の制御装置」と「高温制御装置」の違いと N_2O 濃度 (ppm) の関係

「従来の制御装置」と「高温制御装置」による運転で N_2O 濃度を 6 月～9 月の各月平均値で比較した。 N_2O 濃度は、「従来の制御装置」では 25.9～38.9ppm、「高温制御装置」では 28.6～33.5ppm の範囲で変化している。

6 月～8 月は前出の図 2 より「従来の制御装置」と「高温制御装置」の FB 温度はほぼ同じだが、図 4 より「従来の制御装置」の方が都市ガス使用量が多いため、 N_2O 濃度が高くなった。

一方、9 月は図 4 より「従来の制御装置」の方が、都市ガス使用量が少なかったことに加え、図 2 より FB 温度が「高温制御装置」より約 6°C 高く運転が実現できたため、 N_2O 濃度が低くなった。[図 7 参照]

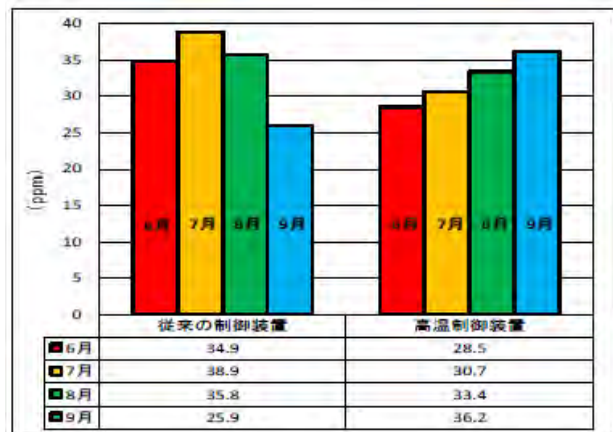


図 7 N_2O 濃度

5.4 汚泥性状の変動が付帯設備（廃熱ボイラー）に与える影響

5.4.1 排ガス及び流動空気フロー [図 8 参照]

「高温制御装置」による自動運転において、炉出口排ガス温度は、 850°C 程度で空気予熱器と廃熱ボイラーへ流れる。

一方、流動空気については、 20°C の外気を取り入れ、空気予熱器で熱交換後、 650°C に昇温され焼却炉へ供給される。排ガスは、空気予熱器で冷却され、後段のバグフィルターを保護するため、既存の空気予熱器出口温度制御により 250°C 一定に制御される。

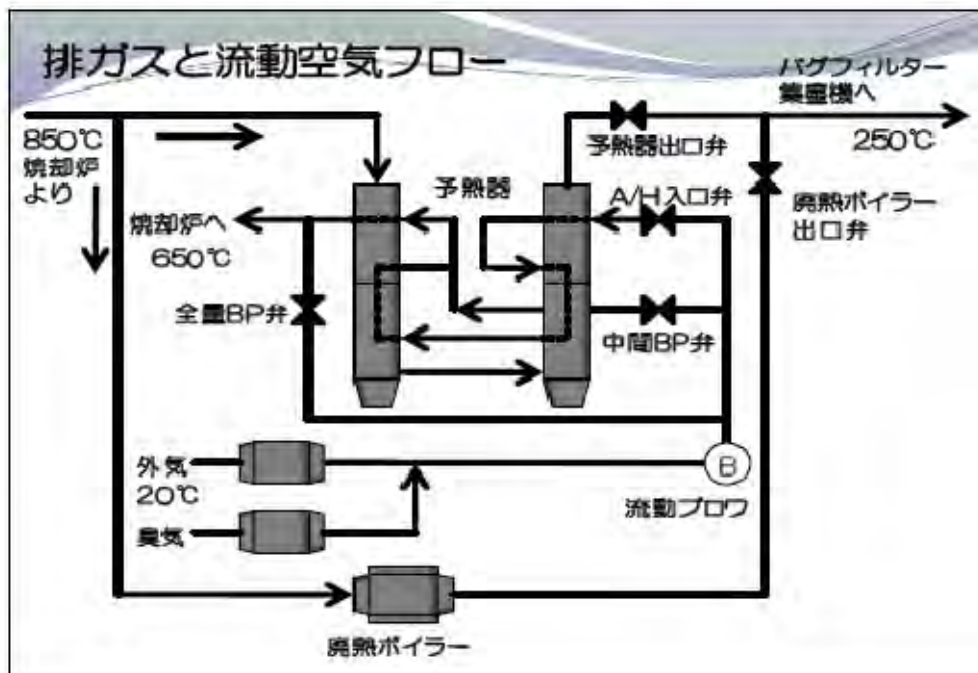


図 8 排ガスと流動空気フロー図

5.4.2 「空気予熱器出口温度制御」に関する事例

以下に、「高温制御装置」の自動運転時に既存の「空気予熱器出口温度制御」が付帯設備である廃熱ボイラーに影響を与えた事例を紹介する。[図 9 参照]

「高温制御装置」の自動運転では、自燃で運転中、可燃分が高い性状の脱水ケーキが投入されると FB 温度が上昇し、炉を保護するため冷却運転に入る。炉の冷却方法は、空気予熱器「A/H 入口弁」を絞り「中間バイパス弁」（以下「中間 BP 弁」という）を開放し、流動空気の一部が空気予熱器を通過せず、バイパスに回ることによって炉へ供給される流動空気温度を下げ冷却する。このように可燃分が高い汚泥性状で流動空気の空気予熱器バイパス運転状態が継続した場合、空気予熱器で排ガス熱の除去が困難になり空気予熱器出口温度が 250℃を超過する。

一方、既存の「空気予熱器出口温度制御」では、空気予熱器出口温度を 250℃一定に制御するため「空気予熱器出口弁」を絞り、「廃熱ボイラー出口弁」を開放する。廃熱ボイラーへ排ガスの熱負荷を増すことで排ガス温度を下げる制御となっている。その結果、廃熱ボイラーに過大な熱負荷がかかり主蒸気の発生量が上限値 10.0t/h を超え、脱水ケーキ投入量を制限せざるを得ない事例が発生した。この時には自動運転を打ち切り、手動介入で「中間 BP 弁」、「ボイラー出口弁」の開閉操作を行うことで対応した。

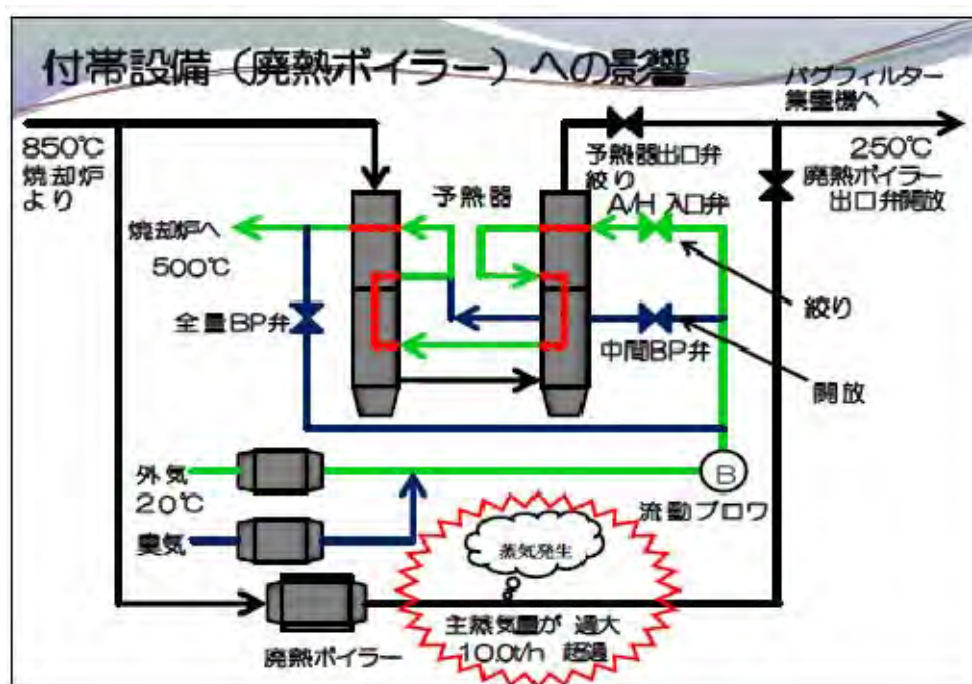


図 9 付帯設備（廃熱ボイラー）への影響

5.4.3 中間 BP 弁の動作性等に関する事例

次に、「中間 BP 弁」の動作性等に関して発生した事例を紹介する。

従来はオペレーターが FB 温度の上昇や下降状況及び主蒸気の発生量に応じて、段階的に柔軟に「中間 BP 弁」の開閉操作を行い対応してきた。

「高温制御装置」の自動運転では、FB 温度の上昇で炉を保護するために「中間 BP 弁」を急開することによって冷却運転に入る。この結果、廃熱ボイラーへ排ガスの熱負荷を増

すことで FB 温度は一時的に下降するが、これに合わせ主蒸気の発生量が増加する。逆に、FB 温度が下降すると「中間 BP 弁」が急閉し、再び FB 温度が上昇するなどの動作が繰り返される。主蒸気の発生量も不安定となり、焼却炉全体が不安定な運転となる。

「高温制御装置」は、汚泥性状の変化等による FB 温度の上昇や下降に伴う、「中間 BP 弁」の開度調整、及び主蒸気発生量の制御を取り込んでいない。そのため、この動作を繰り返すことで、徐々に主蒸気の発生量が増加し上限値 10.0t/h を超過する恐れがあったため、従来行ってきた手動運転に切り替える事例が日常的に発生した。

6. まとめ

6.1 「高温制御装置」（自動運転）による各運転管理項目データ

「高温制御装置」による自動運転では常に FB 温度 850℃以上を維持し、従来の運転とほぼ同等の温室効果ガス排出抑制効果が得られた。

本調査では 3 号炉が定格運転できた期間は短期間だったため、今後は長期にわたる運転を行い季節変動及び雨天時の汚泥性状変化等に対して、各設定値で試行し最適な自動運転を検討する必要がある。

また、流動空気量の変化が FB 燃焼温度に影響を与え、その結果、N₂O 濃度に変化が現れると想定していたとおり、流動空気量が大きく変動した場合、その相関が顕著に現れた。

今後の検討課題として、流動空気温度（廃熱ボイラーとの兼ね合い）、ケーキ含水率、炉内 O₂ 濃度、都市ガスの使用状況などその他要因との相関を引き続き調査する。

6.2 付帯設備（廃熱ボイラー）への影響

制御装置の改良前後にかかわらず一般的に言えることとして、焼却炉の高温対応の運転に伴い、プラントの全体発生熱量が増加することになり、廃熱ボイラー蒸気量も増加する。このためプラント全体の熱バランスは、余剰となる蒸気量に対し、廃熱ボイラーの容量変更等増加熱量を放出する設備等が必要となる。

「高温制御装置」（自動運転）は、既存の「空気予熱器出口温度制御」と関連性がないため、自燃性が高い汚泥性状の条件下において、廃熱ボイラーの過大な主蒸気量の発生を招き、手動介入の必要が生じる。

また、「中間 BP 弁」の動作は、従来、オペレーターが行っていた FB 温度の上昇、下降状況や主蒸気の発生量に応じた段階的で柔軟な開閉操作が行えず、急激な開閉動作を繰り返すことで、徐々に廃熱ボイラーの主蒸気量が増加し、自動運転の継続が困難になる。

そのため、焼却炉の運転に必要な付帯設備（廃熱ボイラー）を含めた全体システムで安定した自動運転が行えるよう制御装置の改善が今後必要である。

3-1-1 誰でも簡単に活性炭の脱臭能力を把握できる

pH 診断法の開発

施設管理部 環境管理課 熊田 翔史

1. はじめに

1.1 水再生センター等における臭気防止対策

水再生センターから発生する臭気は、悪臭防止法により臭気指数等で規制されている。脱臭設備排出口や汚泥焼却炉の煙突などの気体排出口、放流水の排出口及び敷地境界線が規制の対象となる。多くの水再生センター、ポンプ所は住宅地や商業施設に近接しており、お客さまの快適な生活環境を確保するために臭気防止対策は重要である。

1.2 活性炭の脱臭原理と脱臭設備の維持管理における課題

水再生センター、ポンプ所は、臭気防止対策として原臭の臭気濃度や成分に応じてヤシガラ活性炭（以下、活性炭とする。）、腐植質脱臭剤、添着炭などの脱臭剤を使用した脱臭設備を設置している。水再生センターにおける脱臭設備の約7割が活性炭を使用している。活性炭は無数の細孔を持ち、その主な脱臭メカニズムは、臭気物質の物理的な吸着による除去である。なお、活性炭は臭気物質を吸着すると徐々に脱臭能力が低下するが、特に飽和近くまで吸着すると脱



図1 脱臭設備

臭能力が大幅に低下する¹⁾ため、その前に交換（以下、再生も含む。）して規制基準値を遵守できるように維持管理する必要がある。

これまで活性炭の交換時期は、脱臭設備排出口の臭気測定結果や過去の交換履歴に基づき判断していた。しかし、下水道施設から発生する臭気の原因濃度は、設置場所や気温、天候によって大きく変動するため²⁾、臭気測定結果から脱臭能力を正確に評価することは困難である。例えば一時的に原因濃度が上昇すると出口の臭気濃度も増加するため、臭気測定結果はあくまでも脱臭設備の間接的なデータであり脱臭能力の直接的な指標にはなりにくい。また、臭気測定は臭気判定士等の資格を有する分析機関に依頼する必要がある、2週間程度の時間と測定回数に比例したコ

ストを要し頻繁に実施できない。こうした理由から、臭気基準値を遵守するため活性炭を早めに交換していた。

1.3 pH 診断法の pH に着目した理由

上記のような実態から、的確に活性炭の交換時期を判断するために、脱臭能力を定量的かつ簡便に把握できる維持管理手法の開発ニーズが高かった。活性炭における脱臭能力の指標の1つに溶剤吸着性能があるが、これは有害物質のトルエンを使用することやある程度の測定ノウハウや時間が必要な点で維持管理に用いるには課題がある。また、臭気センサーを用いた判定方法もこれまで検討を重ねたが実用化には至らなかった。そこで今回、水再生センター等の水処理施設から発生する臭気の主成分である硫化水素が、活性炭に吸着除去された後、酸化されて強酸の硫酸になるのではないかと考え、簡単に測定できる指標として活性炭のpHに着目した。活性炭のpH測定方法はJISで規定されているが、溶剤吸着性能との関係を含め脱臭能力の指標として使用できるかどうかは不明であった。そこで、活性炭の脱臭能力について定量的かつ安価で簡易に把握できるpH診断法の開発に取り組んだ。

1.4 pH診断法の概要とその活用

JISに定められた活性炭のpH測定は、採取した活性炭に蒸留水を加え、5分間沸騰させた後にpHを測定するという簡単な方法であり、水再生センターにある既存の設備を用いて誰でも簡単に測定することができる。pH診断法はpH測定結果に基づいて活性炭の脱臭能力を「正常」、「注意」、「劣化」と定量的に判定することができ、活性炭の脱臭能力の定量的指標として有用である。

当局では平成24年度からpH診断法を試行的に導入し、活性炭の脱臭能力を定量的に管理した結果、脱臭能力が低下した活性炭を速やかに交換する一方で、従来の交換サイクルより活性炭を延伸して使用することで維持管理コストを削減できた。また、平成25年度からはpH診断法による脱臭設備の維持管理手法を本格的に導入している。

本発表では、活性炭の脱臭能力を簡単に把握できるpH診断法について報告する。また、具体的な活用事例についても報告する。

2. 活性炭の脱臭能力における評価指標の検討

当局の活性炭脱臭設備の多くは、活性炭を充填したカートリッジの上下2段積で構成されている。活性炭脱臭設備の模式図を図2に示す。各施設で発生する臭気は吸気ファンにより脱臭設備下部に送られ、下段及び上段カートリッジの活性炭で除去される。そのため、活性炭は最初に臭気物質が通過する下段カートリッジの下部から徐々に劣化し、やがて脱臭能力が完全に失われる状態になる。

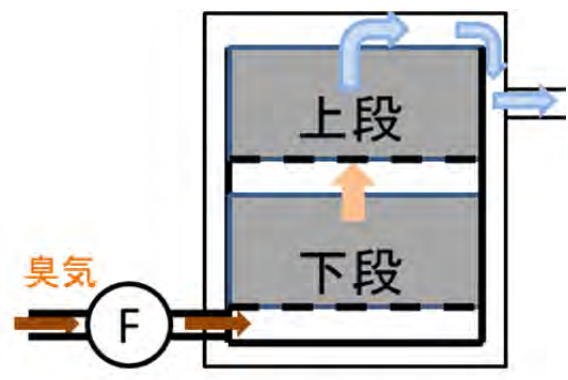


図2 脱臭設備の模式図

活性炭の交換方法は、図3のように下段カートリッジの活性炭を交換後、上段に設置し、交換前の上段カートリッジを下段に移動させる。

以下の調査方法により脱臭能力の評価指標を検討した。

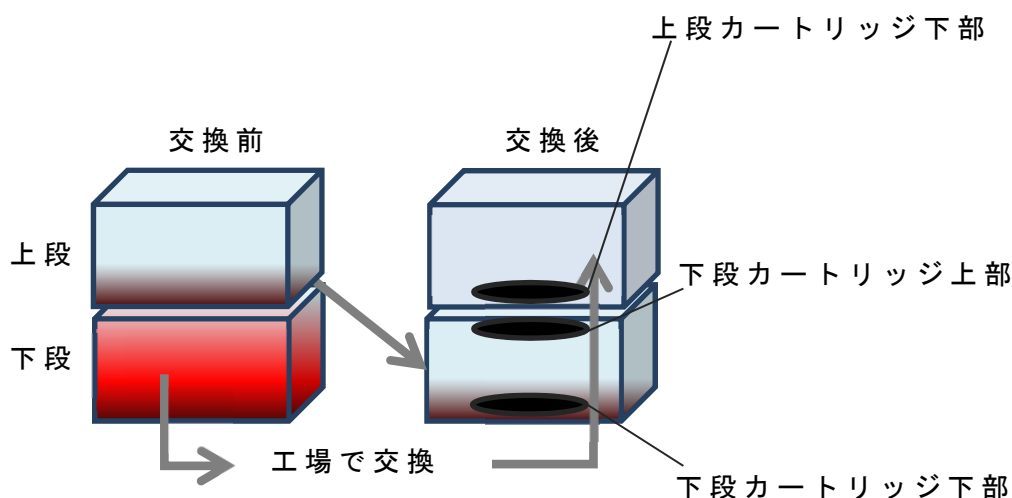


図3 活性炭カートリッジの交換方法

2.1 調査方法

2.1.1 調査対象の脱臭設備の選定

水再生センターにおける脱臭設備の多くは、水処理系から発生する臭気を脱臭しているため、まず汚泥処理系を除く水処理系の脱臭設備に焦点を絞った。また、水再生センターの脱臭設備の約7割が活性炭を使用しているため、上下段カートリッジ共に活性炭を使用している脱臭設備を調査対象とした。

一方、さまざまな劣化状況の活性炭を採取して分析するために、平成23年度に過去の実績から比較的脱臭能力が早く低下する芝浦水再生センターの高速ろ過施設脱臭設備及び徐々に低下する同センター東系沈砂池施設脱臭設備で調査を実施した。また、平成24年度に複数の水再生センターでデータを蓄積するために、浮間水再生センターの反応槽脱臭設備においても同調査を実施した。調査した脱臭設備の仕様と調査期間を表1に示す。

表1 調査した脱臭設備の仕様と調査期間

施設	脱臭設備	処理風量	カートリッジ	調査期間
芝浦 水再生センター	高速ろ過施設 脱臭設備	415 m ³ /min	12×2 段積	平成23年9月から 平成24年2月まで
	東系沈砂池施設 脱臭設備	140 m ³ /min	8×2 段積	
浮間 水再生センター	反応槽脱臭設備	440 m ³ /min	12×2 段積	平成24年7月から 平成25年2月まで

2.1.2 調査試料

さまざまな劣化状況の活性炭を分析するために、活性炭の脱臭能力が大幅に低下していると考えられる下段カートリッジ下部、使用期間の経過とともに徐々に劣化が進行すると考えられる下段カートリッジ上部及び上段カートリッジ下部の3カ所から、表1に示す調査期間中に月1回の間隔でカートリッジ上部はスコップで、カートリッジ下部はゾーンサンプラーを用いて活性炭を採取した。

2.1.3 測定項目

2.1.2で採取した活性炭について表2に示す測定項目及び入口、出口の臭気を分析した。

前述のように水再生センター等の水処理施設から発生する臭気の主成分は、第一沈殿池など嫌気状態で多く発生する硫化水素である。硫化水素は活性炭に吸着した後に酸化されて硫酸に変化し、活性炭のpHが低下すること及び含硫黄物質である硫化水素の吸着により、活性炭の硫黄が蓄積することが推測される。そこで、活性炭の脱臭能力の指標である溶剤吸着性能とpH、全硫黄、それに従来から測定していた脱臭設備入口と出口の臭気指数及び硫化物濃度を測定項目とした（表2）。

なお、活性炭のpH測定法はJISで規定されているが、溶剤吸着性能との関係を含め脱臭能力の指標として使用できるかについては報告がなく不明であったために、最初に溶剤吸着性能とpH及び全硫黄の関係性について調査した。



図4 ゾーンサンプラー

表2 活性炭及び臭気の測定方法

測定項目		測定方法	備考
活性炭	溶剤吸着性能	JIS K 1474 活性炭試験法	溶剤にトルエンを使用
	全硫黄	JIS M 8813 石炭類及びコークス類-元素分析法	
	pH	JIS K 1474 活性炭試験法	
臭気	臭気指数	環境省告示第63号 「臭気指数及び臭気排出強度の算定方法」	入口、出口
	硫化物 (硫化水素等)	環境省告示第9号 「臭気物質測定分析」	入口、出口

2.2 調査結果

活性炭の溶剤吸着性能と pH 及び全硫黄との関係を図 5 及び図 6 に示す。溶剤吸着性能は、活性炭の脱臭能力の指標の 1 つであり、数値が大きいほど脱臭能力が高いことを意味している。当局の納入時における溶剤吸着性能の仕様基準は、30 WT%以上である。

芝浦水再生センター及び浮間水再生センターの脱臭設備から採取した活性炭を分析した結果、活性炭の溶剤吸着性能が低下すると、pH は急激に低下しており、活性炭の溶剤吸着性能と pH とに高い相関があった(図 5)。溶剤吸着性能が約 30 WT%のとき、pH 8 から 10 と高くアルカリ性であり、溶剤吸着性能が 20 WT%以下のとき、pH 2 以下の強酸性であった。

一方、溶剤吸着性能は全硫黄と逆相関の関係にあり、溶剤吸着性能が低下すると全硫黄は直線的に増加した(図 6)。溶剤吸着性能が約 30 WT%のとき全硫黄は 0 から 1 WT%程度と低く、溶剤吸着性能が 20 WT%以下のとき全硫黄は 4 から 8 WT%と増加した。

実際に、硫化水素が脱臭設備で除去されているかどうか確かめるために、脱臭設備の

入口、出口における臭気成分を測定した結果、入口の硫化水素濃度の最大値は 39 ppm であり、脱臭設備出口の硫化水素除去率は 90% 以上であった。したがって、今回調査した脱臭設備の活性炭は、確実に硫化水素を吸着除去していた。

これらの結果から、下水道施設から発生する臭気の主成分である硫化水素などが

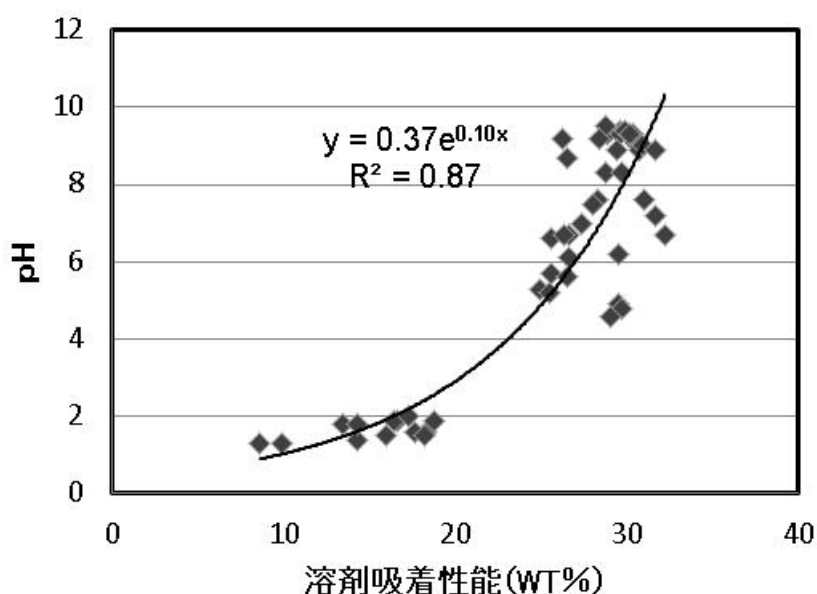


図 5 溶剤吸着性能と pH の関係

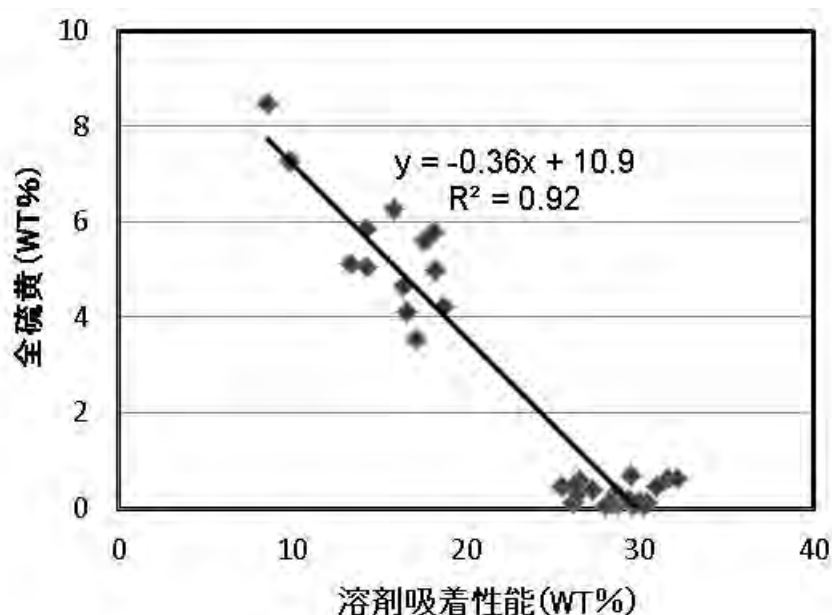


図 6 溶剤吸着性能と全硫黄の関係

活性炭に吸着することで溶剤吸着性能の低下とともに全硫黄が増加し、pH が低下するとした推測は妥当であり、活性炭の溶剤吸着性能を pH もしくは全硫黄から判断できることがわかった。溶剤吸着性能及び全硫黄は、特殊な分析装置が必要でありコストや時間もかかるが、pH は安価で簡易に分析することが可能である。このため、活性炭の脱臭能力を判断する指標として pH を用いることにした。

3. pH 診断法の検討

3.1 採取位置の検討

前述のように、脱臭設備の活性炭の脱臭能力は下段から上段に向けて徐々に低下する。最も効率的で経済的な活性炭の交換タイミングは、下段カートリッジがすべて劣化し、上段カートリッジの劣化がほとんど進行していないときである。上下2段積の脱臭設備において中間部の脱臭能力を把握できれば、より適切な時期に交換することができるため、中間部の活性炭を採取することにした。脱臭設備の中間部は、上段カートリッジ下部もしくは下段カートリッジ上部の2か所あり両者の pH はほぼ近似した値であったため、より短時間で採取できる上段カートリッジ下部から活性炭を採取することにした。

3.2 評価基準

評価基準は図7のように pH6 から pH10 を「正常」、pH2 以下を「劣化」とし、それらの間である pH2 から pH6 を「注意」とした。pH6 から 10 を「正常」とした理由は、納入時における活性炭の溶剤吸着性能は約 30 WT%、pH 8 程度であり、pH 6 以上のとき溶剤吸着性能は 25 WT% 以上で脱臭能力を十分保持していることからである。

一方、溶剤吸着性能が 20 WT% 以下になると、pH 2 以下の強酸性になっていたことから pH 2 以下を「劣化」とした。またそれらの間の pH 2 から pH 6 を「注意」とした。

pH 2 から pH 6 の「注意」領域のデータが少ないのは、活性炭の吸着性質によると考えられる。一般的に活性炭の吸着破過曲線は、飽和した状態を過ぎると吸着能力が指数関数的に低下するため、その状態に相当する「注意」領域の活性炭を採取することは困難であり、データ数が少なくなったと考えられる。

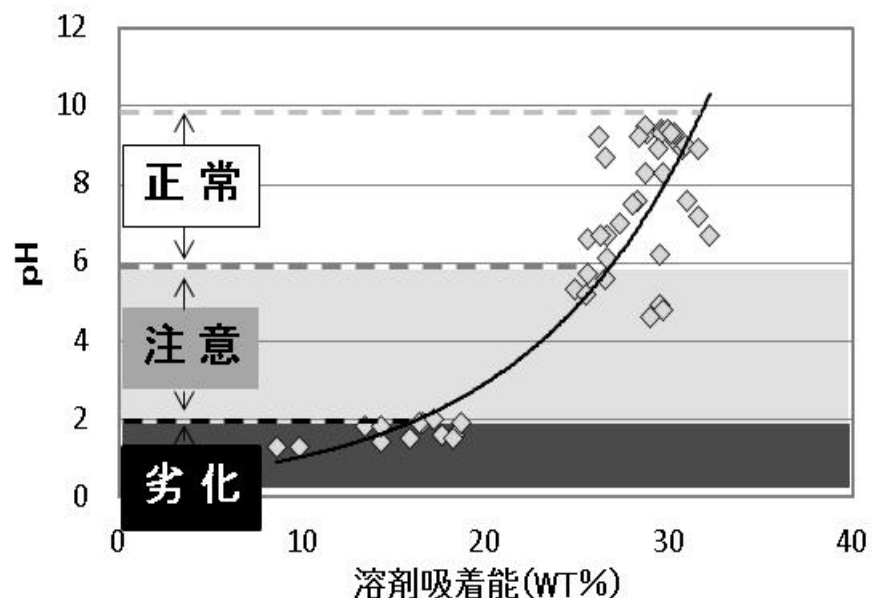


図7 活性炭の pH による脱臭能力の評価基準

3.3 pH 診断法の手順

pH 診断法の手順を以下に示す。

- (1) ゾーンサンプラーを使って、上段カートリッジ下部から活性炭を採取
- (2) 活性炭 pH を測定し、図 7 に基づいて脱臭能力を「正常」「注意」「劣化」に評価
- (3) 「劣化」と判断された場合は活性炭交換の必要性の有無を判断

活性炭 pH 測定方法（以下、JIS 法とする。）は JIS K 1474 に準拠した方法であり、その模式図を図 8 に示す。ビーカーに活性炭と蒸留水を入れ、発熱コンロで 5 分間沸騰させ、放冷した後に pH 計で pH を測定する。1 検体あたり約 20 分で測定することができ、水再生センターにある既存の分析機器を用いて簡単にかつ迅速に測定可能である。

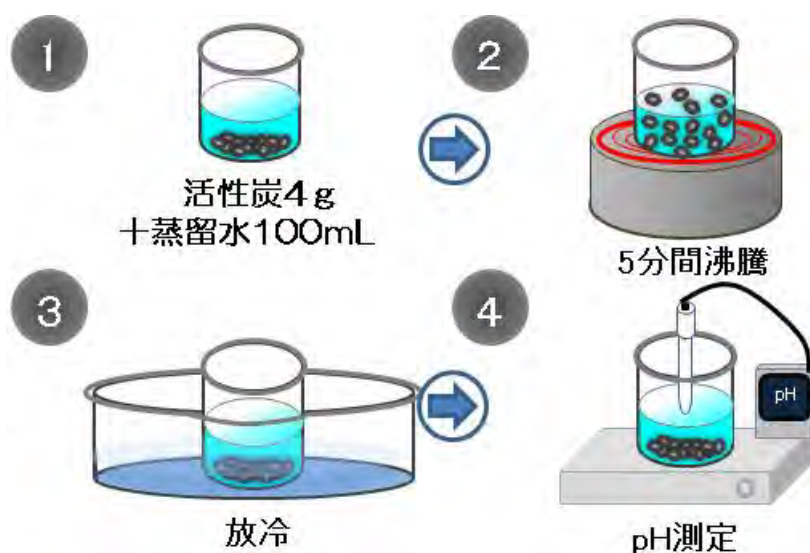


図 8 活性炭 pH 測定方法の模式図

3.4 pH 診断法のメリット

pH 診断法は臭気測定による従来法と比較して、採取や分析などの所要時間を圧倒的に短く簡単に判定できる点に大きなメリットがある。臭気測定による従来法は、臭気判定士の資格を有する分析機関に委託する必要がある、コストや2週間程度の時間を要する。一方、今回開発した pH 診断法は分析が容易であり、コストもあまりかからず、かつ活性炭の採取から pH 測定まで1検体あたり約2時間で判定できる。pH 測定の結果「劣化」と判定された活性炭は、迅速に交換することができる。

3.5 pH 測定のスクリーニング

図 8 に図示した JIS 法は、試料を沸騰させ放冷する必要があるため 1 検体あたり約 20 分を要し、検体が複数ある場合は数時間に及ぶこともある。そこで、さらに測定時間を短縮できるスクリーニング法を考案した。これは上記の沸騰、放冷を省き、スターラーと攪拌子で 5 分間強攪拌する方法である。JIS 法とスクリーニング法とを比較した結果を図 9 に示す。スクリーニング法の pH は、JIS 法と極めて高い正の相関があった。したがってスクリーニング法を用いて、「正常」「劣化のおそれ」の判定は可能であると考えた。具体的には、スクリーニング法で測定した結果、pH7 以上であれば「正常」と判定し、JIS 法は実施しない。一方 pH7 未満であれば「劣化のおそれ」と判定し、JIS 法で測定する。スクリーニング法は 1 検体あたり約 8 分で測定することができ、多検体の活性炭を測定するとき大幅に時間を短縮できる。

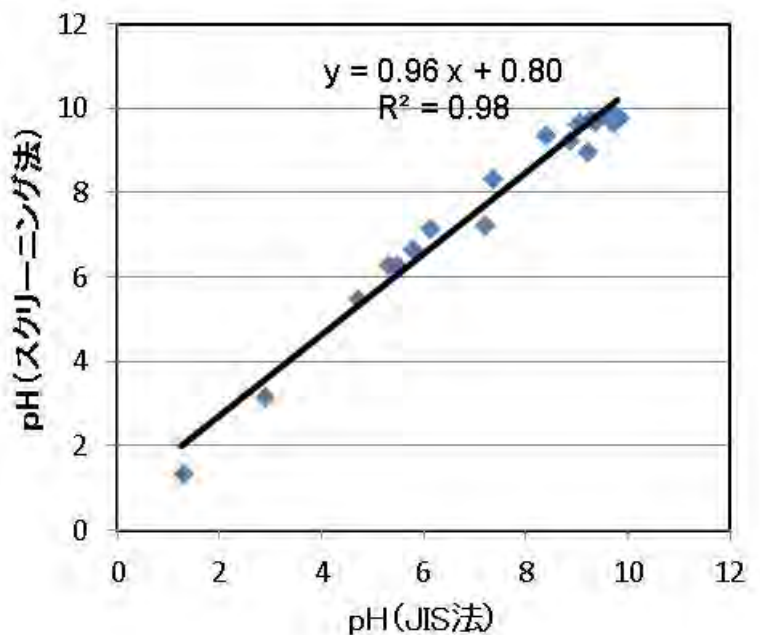


図 9 活性炭 pH 測定方法の JIS 法とスクリーニング法

4. 活用事例

平成 24 年度に 11 水再生センター及び 5 ポンプ所の合計 74 脱臭設備について pH 診断法を用いて脱臭設備の活性炭を定量的に管理した。ここで、pH 診断法による特徴的な活用事例を 2 件紹介する。

平成 24 年 5 月に森ヶ崎水再生センターの西系反応槽脱臭設備で pH 診断法による評価を行った結果、判定基準は「注意」区分であった。また、各水再生センターで臭気の原因濃度が上昇する夏季を含め少なくとも年 2 回脱臭設備の排出口などで臭気測定を実施しており、平成 24 年 1 月に測定した臭気指数は、基準値（臭気指数 27）に近い値であった。このため、気温の上昇に伴い臭気濃度が増加する夏前に活性炭の交換を実施した。これまでの交換サイクルでは平成 24 年度の夏以降に行う予定であったが、数か月前倒して脱臭設備の交換工事を実施した結果、原臭の臭気濃度が上昇する夏季に臭気基準値を遵守することができた（表 3（a））。

一方、平成 24 年 8 月に小菅水再生センターの機械棟沈砂池脱臭設備で pH 診断法による評価を行った結果、判定基準は「正常」区分であった。また、同月に当該脱臭設備の出口で測定した臭気指数は、基準値（臭気指数 24）より大幅に低い数値であったことから、脱臭能力は十分保持していると考え平成 24 年度に実施予定であった活性炭の交換を次年度に延伸した（表 3（b））。当該脱臭設備ではこれまで 3 年サ

イクルで活性炭を交換していたが、1年延伸して3年サイクルから4年サイクルとした結果、交換工事費が約3割削減できることとなった。

表3 pH診断法による活用事例

(a) 前倒し事例

施設	脱臭設備		脱臭剤	pH	判定基準	臭気指数	臭気基準
森ヶ崎 水再生センター	西系反応槽 脱臭設備	1号	活性炭	4.1	注意	21	27
		2号		3.9	注意	21	
		3号		4.2	注意	26	

(b) 延伸事例

施設	脱臭設備		脱臭剤	pH	判定基準	臭気指数	臭気基準
小菅 水再生センター	機械棟沈砂池 脱臭設備		活性炭	9.4	正常	12未満	24

さらに、平成25年度においても平成24年度と同様に水再生センター、ポンプ所でpH診断法による維持管理を進めている。その結果、「正常」と判定された複数の水再生センターの脱臭設備において交換工事を次年度に延伸する予定であり、コスト削減になる見込みである。

pH診断法で活性炭の脱臭能力を定量的に判定することにより、活性炭の交換サイクルを延伸して使用することでコストを削減するだけでなく、臭気基準値の遵守にも寄与した。このようにpH診断法を用いた脱臭設備の維持管理を継続することにより、予防保全を推進することができた。

5. 今後の課題

今回開発したpH診断法は水処理系脱臭設備の調査に基づいているため、今後は汚泥処理系の脱臭設備についても本法による評価が適用可能か検証することを予定している。

また、今回の調査でpH診断法による脱臭能力の評価基準が「注意」領域である検体数は少なかった。活性炭の採取期間をこれまでより短縮して、「注意」領域のデータを増やして精度をより高めることが必要である。

さらに、活性炭以外の脱臭剤である腐植質脱臭剤の脱臭能力について簡単に判定する指標を探索している。脱臭能力が低下した交換前の腐植質脱臭剤は、活性炭のようにpHが低下しないと言われているためpH診断法による脱臭能力の判定は困難

であると予想される。

上記以外には脱臭設備の改善として、脱臭剤採取口の設置がある。活性炭の採取では、ホイストクレーンなどにより脱臭設備の上蓋を開ける必要があり、時間と手間に加えてある程度の熟練が求められる。そこで活性炭の採取口を設置することで、容易に活性炭を採取できるようにしていきたい。

6. 結論

脱臭設備における活性炭の脱臭能力を判定する方法として、pH 診断法を開発した。pH 診断法の利点は、活性炭の脱臭能力を安価に、誰でも簡単に迅速に判定できる点にある。pH 診断法に基づく評価を水再生センターやポンプ所で活用することにより、一部の脱臭設備で平成 24 年度及び平成 25 年度に活性炭の交換サイクルをこれまでよりも 1 年程度延伸し、交換工事費を削減できた。pH 診断法の活用によりこれまでの早めの交換から定量的な分析結果に基づく評価による予防保全に基づいた交換が可能になり、コスト削減と法令遵守の徹底との両立を図ることができた。

参考文献

- 1) 川瀬義矩：はじめての脱臭技術，東京電機大学出版局，p69（2011）
- 2) 社団法人臭気対策研究協会：悪臭防止技術の手引き（X）（下水道施設編），p46（1994）

3-1-2 中川水再生センターにおける大腸菌の挙動

及び測定法の課題について

東部第二下水道事務所 中川水再生センター 水質管理係
藤田 勇、杉山 修、萩原 英明、柳下 正美

1. はじめに

大腸菌群数は、下水処理場における衛生学的管理指標として従来から用いられているが、平成 24 年 4 月に策定された環境基本計画において、「新たな衛生微生物指標などに着目した環境基準等の目標について調査を行い、指標の充実を図る」とされ、現在、大腸菌群数から大腸菌数への項目の見直しが検討されている。

しかし、下水処理における大腸菌の挙動については知見が少ないのが現状で、基準の改正は、下水処理場に対する放流基準や維持管理等に多大な影響を及ぼすことが予想される。

本報告は、大腸菌単独の測定が可能であり、使用機材は従来の大腸菌群数測定方法であるデソキシコール酸塩寒天培地法（以下「デソ培地法」という。）と共通で、測定方法も同様の平板培養法である特定酵素基質寒天培地法の中からクロモアガーECC 培地法（以下「ECC 培地法」という。）及びクロモアガーE.coli 培地法（以下「E.coli 培地法」という。）を用いて、大腸菌の実態を調査したものである。

2. 基準見直しの側面

大腸菌群数の基準見直しの理由のひとつに、大腸菌群数のふん便汚染指標としての適性がある。大腸菌群数の中には土壌などの自然由来に起因する菌も含まれており、「ふん便汚染の指標として適さない」という考え方である¹⁾。この考え方を裏付ける一例として、表 1 に示す公共用水域の水質測定結果をみると、全国の AA 類型の河川調査において pH、BOD、SS 及び DO の各項目は 9 割近くが基準に適合している一方で、大腸菌群数については 10 年以上もその 8 割以上が不適合となっている²⁾。

表 1 公共用水域の水質測定結果

◎河川		E測定検体数 F:環境基準に適合しない検体数												(大腸菌群数)		
(項目)		(pH)			(BOD)			(SS)			(DO)					
類型	年度	E	F	F/E (%)	E	F	F/E (%)	E	F	F/E (%)	E	F	F/E (%)	E	F	F/E (%)
AA	H. 15	5,070	100	2.0	5,017	523	10.4	5,021	70	1.4	5,024	66	1.3	4,525	3,828	84.6
	H. 16	5,075	109	2.1	4,993	506	10.1	4,959	79	1.6	5,038	60	1.2	4,475	3,827	85.5
	H. 17	5,151	125	2.4	5,062	506	10.4	5,050	57	1.1	5,107	122	2.4	4,606	3,840	83.4
	H. 18	4,969	79	1.6	4,870	319	6.6	4,845	84	1.7	4,886	64	1.3	4,441	3,892	87.6
	H. 19	4,927	124	2.5	4,842	333	6.9	4,829	38	0.8	4,858	126	2.6	4,441	3,785	85.2
	H. 20	4,933	98	2.0	4,856	329	6.8	4,818	45	0.9	4,835	91	1.9	4,426	3,847	86.9
	H. 21	4,959	103	2.1	4,871	355	7.3	4,861	59	1.2	4,872	107	2.2	4,472	3,925	87.8
	H. 22	4,968	90	1.8	4,886	367	7.5	4,872	58	1.2	4,877	108	2.2	4,414	3,760	85.2
	H. 23	4,884	74	1.5	4,796	367	7.7	4,759	101	2.1	4,772	56	1.2	4,305	3,711	86.2
	H. 24	4,767	115	2.4	4,774	323	6.8	4,291	55	1.3	4,724	54	1.1	4,224	3,574	84.6

一般に、AA 類型では、BOD が 1.0mg/l 以下であるような管理区分であり、このような清流河川にふん便汚染由来の流入が常時あるとは考えにくいことから、この大腸菌群数は

自然由来の菌が多数検出されている可能性が示唆される³⁾。

加えて、大腸菌群数が基準見直しに至ったもうひとつの側面として、近年大腸菌の測定が簡便にできる方法が開発されたことが挙げられる。以前は、大腸菌を直接測定することは技術的にも困難であったが、大腸菌そのものを直接測定して規制しようという動きに繋がったものと考えられる⁴⁾。

3. 大腸菌群と大腸菌の違い

大腸菌群とは、一般にはグラム陰性、無孢子の短桿菌で、乳糖を分解してガスと酸を生成する好気性あるいは通性嫌気性菌の総称とされており、必ずしも人体に対して有害ではない⁴⁾。その試料がふん便によって汚染されている疑いを示す公衆衛生的な指標として実用面から定義され、広く一般的に活用されている。

大腸菌群という名称は、図1に示すように、学術的な分類によるものではなく、ふん便性汚染の指標となる菌の総称であ

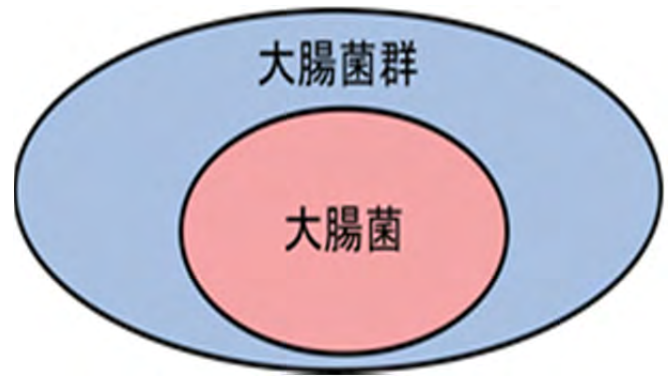


図1 大腸菌群と大腸菌の概念図

り、あくまでも衛生学的な名称である一方、大腸菌は、*Escherichia coli* という学名を持っている。

4. 大腸菌群に対する法的な側面

「下水の水質の検定方法等に関する省令」(昭和37年12月17日厚生省・建設省令第1号)及び環境大臣が定める排水基準にかかわる大腸菌群の検定方法では、デソ培地法による平板培養法が規定されている。また、水質汚濁にかかわる大腸菌群数の測定では、乳糖ブイヨン-ブリリアントグリーン乳糖胆汁ブイヨン培地法(LB-BGLB)による最確数法が公定法として規定されている。

下水処理水の再利用水質基準等マニュアルでは、再生水の利用用途として水洗・散水・親水用水にかかわる基準に、特定酵素基質培地法による大腸菌が採用され、修景用水に限っては暫定的に大腸菌群がそれぞれ採用されている。

この他、大腸菌群の検査方法としては、MF-エンドウ培地法がある。大腸菌群等の試験方法の一例を図2に示す⁵⁾。

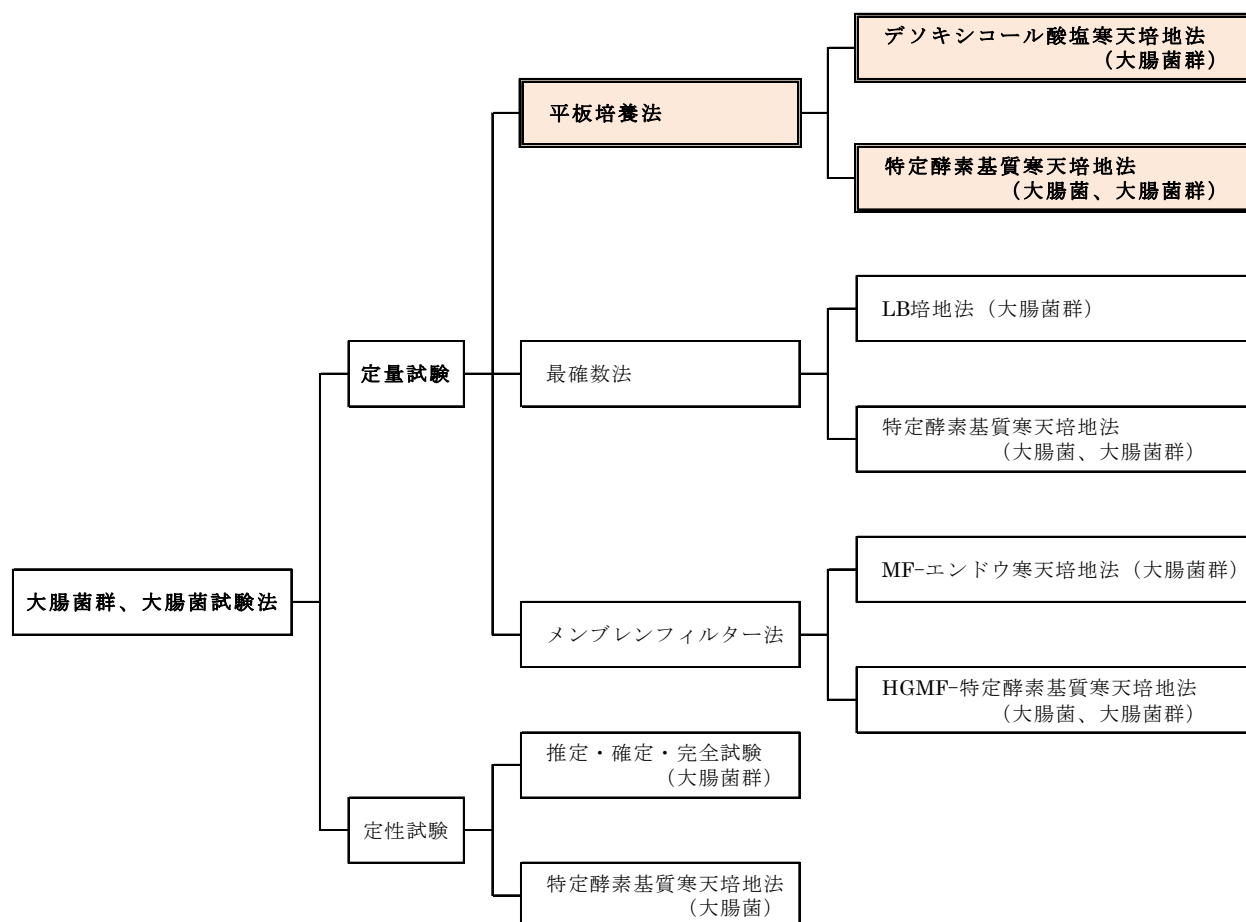


図 2 大腸菌群及び大腸菌の試験方法

5. 調査方法

5.1 調査内容等

(1) 調査期間

平成 25 年 5 月から平成 26 年 8 月まで

(2) 調査対象試料

中川水再生センター流入水及び放流水

5.2 特定酵素基質寒天培地法を選択した理由

大腸菌群の測定方法として規定されているデソ培地法の場合、35～37℃で 18～20 時間培養すると規定されているが、この測定法で検出されるのは大腸菌 (*Escherichia coli*) 以外に *Citrobacter* 属、*Enterobacter* 属、*Klebsiella* 属が含まれる。また、デソ培地法を用い、44.5±0.2℃で培養してさらに選択性を高めたふん便性大腸菌群数でも一部の *Klebsiella* 属の細菌類が検出されてしまう⁵⁾。

本調査では、下水試験方法にて大腸菌単独で測定可能と記載があり、さらに大腸菌群の測定手法であるデソ培地法と使用機材が共通であり、加えて測定方法も同様の平板法であることから、特定酵素基質寒天培地法に着目した。

5.3 デソ培地法

試料 1 ml 中に大腸菌群数が 300 個以上あると思われる試料については、その菌数が 30～200CFU/ml 程度になるように希釈する。ただし、雑菌が多く存在すると思われる試料については、大腸菌群数を 100CFU/ml 以下になるように適宜希釈する。以下に、デソ培地法による操作方法を示す。

- (1) 測定試料 1 ml を正確に分取して、無菌シャーレに入れる
- (2) 完全に溶解させ、45℃程度に保温しているデソキシコール酸塩培地 10ml 程度を上記 (1) の無菌シャーレに加える
- (3) 加えたデソ培地が固まらない内に試料と十分に混合させ、静置・放冷する
- (4) 培地表面等に拡散型のコロニーが形成することを防止するため、培地上にさらに培地を加えて放冷する
- (5) 培地が完全に固まったら、シャーレを倒置して 35～37℃の培養装置の中で、18～20 時間培養する
- (6) 培養後、直径 0.5 mm 以上の赤～深紅色の円形状または米粒上の、定型的なコロニーを計測する

※ 上記操作を希釈倍率ごとにシャーレ 2 枚を 1 組として作業する。

5.4 測定方法

表 2 に、従来行っているデソ培地法、今回新たに検討した特定酵素基質寒天培地法のクロモアガーECC 培地法及びクロモアガーE.coli 培地法の測定条件及び測定菌種を示す。

表 2 測定条件及び測定菌種

培地名	培養時間	培養温度	測定菌種
デソ培地法	18～20時間	35～37℃	大腸菌群
ECC培地法	24時間	35～37℃	大腸菌群
			大腸菌
E.coli培地法	24時間	35～37℃	大腸菌

5.5 陽性反応の違い

従来のデソ培地法による培養では、直径 0.5 mm 以上、赤～深紅色の円形または米粒状のコロニーを大腸菌群としてカウントするとしている⁵⁾。

デソ培地法は、大腸菌群に対する選択性を高めた培地であるため、図 3 に示すとおり発色は大腸菌群の存在を示す赤色系のコロニーのみになると考えられる。しかし、実試料の測定においては、赤～深紅色の円形または米粒状のコロニー以外にも、発色が薄い赤色（ピンク色）を示すコロニーや、図 4 に示すように輪郭部がぼやけている偽陽性的コロニーも発生するなど、その発色状況や単色の色調のみで判断する必要があり、陽性-陰性の判別に経験を要する事例も少なくない。

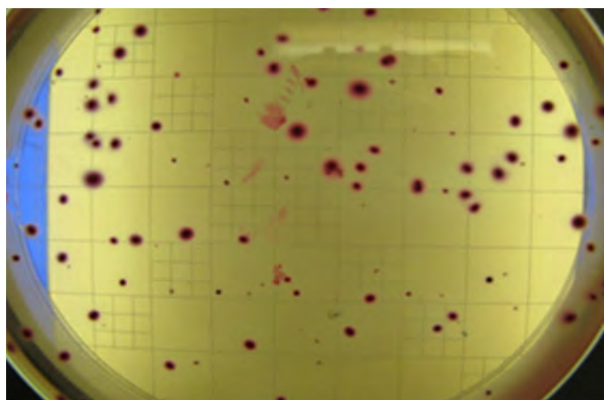


図3 デソ培地上のコロニー

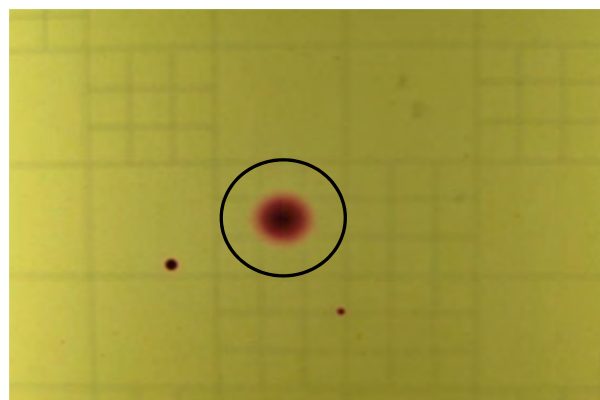


図4 デソ培地上の偽陽性的コロニー

一方、特定酵素基質寒天培地法による測定の場合、一般細菌、大腸菌群及び大腸菌はそれぞれの菌種特有の酵素に対して独自色を発色する仕組みであり、デソ培地法とは発色のメカニズムが異なっている。

図5に示すECC培地法の場合、一般細菌は白色、大腸菌は青色、大腸菌以外の大腸菌群は赤色のコロニーを形成する。また、図6に示すE.coli培地法の場合は、大腸菌のみを測定する培地のために大腸菌は青色に、他の細菌類については白色のコロニーを形成する。

このようなことから、デソ培地法と比較すると、特定酵素基質寒天培地法による測定では、各種菌種の判断には経験を要することなく、容易に識別することができる。

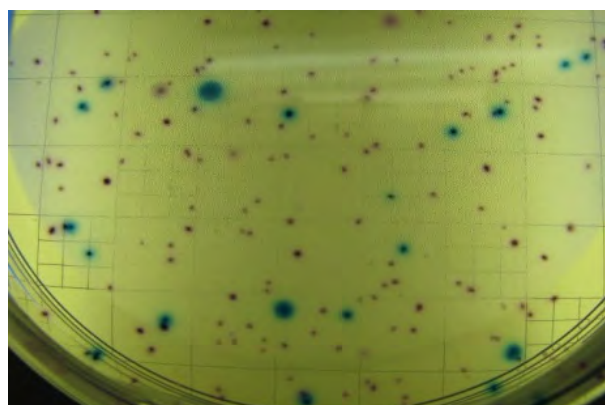


図5 ECC培地上のコロニー

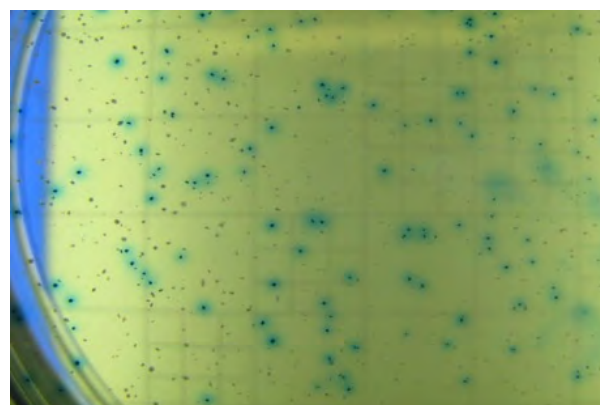


図6 E.coli培地上のコロニー

6. 結果と考察

6.1 流入下水における結果

流入下水におけるデソ培地法による大腸菌群数とECC培地法による大腸菌数との関係を図7に示す。今回の調査では、一定の相関が認められ、大腸菌群数の約4割が大腸菌であった。

次にデソ培地法による大腸菌群数とE.coli培地法による大腸菌数の関係を図8に示す。今回の調査では、ECC培地法と同様に一定の相関が認められ、大腸菌群数の約5割が大腸菌であった。

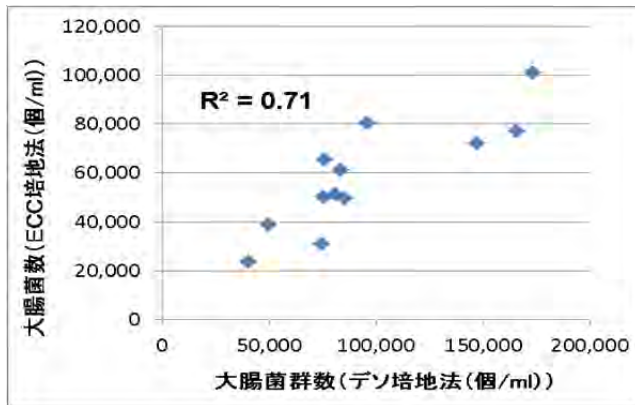


図7 デソ培地法と ECC 培地法の関係
(流入下水)

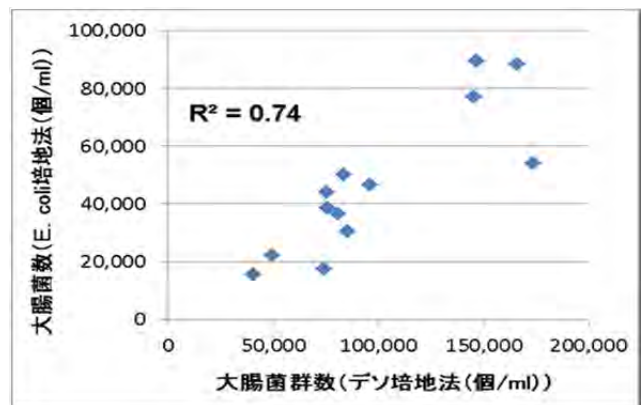


図8 デソ培地法と E.coli 培地法の関係
(流入下水)

6.2 塩素接触前処理水における結果

塩素消毒前処理水におけるデソ培地法による大腸菌群数と ECC 培地法による大腸菌数との関係を図9に示す。今回の調査では一定の相関が認められ、大腸菌群数の約5割が大腸菌であった。

次にデソ培地法による大腸菌群数と E.coli 培地法による大腸菌数の関係を図10に示す。今回の調査では、ECC 培地法と同様に一定の相関が認められ、大腸菌群数の約4割が大腸菌であった。

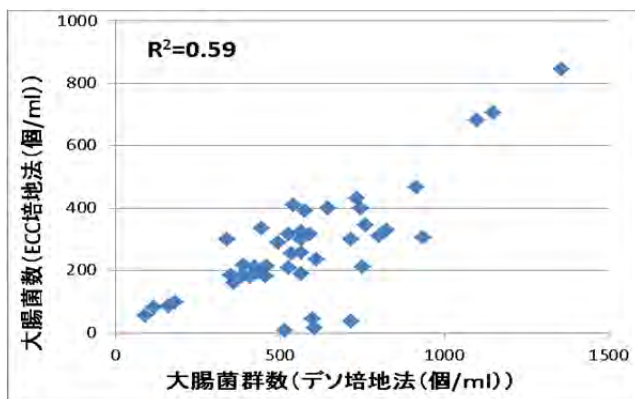


図9 デソ培地法と ECC 培地法の関係
(塩素接触前処理水)

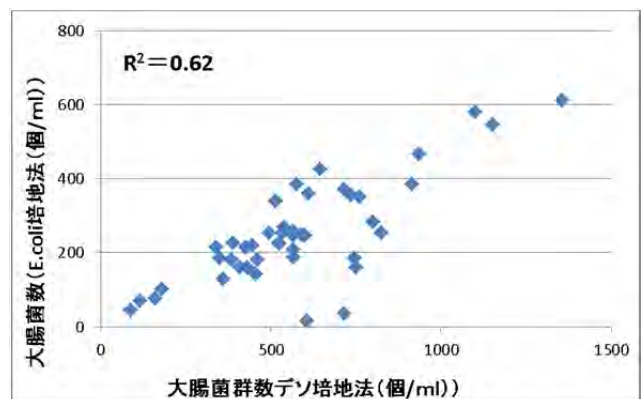


図10 デソ培地法と E.coli 培地法の関係
(塩素接触前処理水)

6.3 放流水における結果

放流水におけるデソ培地法による大腸菌群数と ECC 培地法による大腸菌数との関係を図11に示す。今回の調査では一定の相関が認められ、大腸菌群数の約5割が大腸菌であった。

次にデソ培地法による大腸菌群数と E.coli 培地法による大腸菌数の関係を図12に示す。今回の調査では、ECC 培地法と同様に一定の相関が認められ、大腸菌群数の約4割が大腸菌であった。

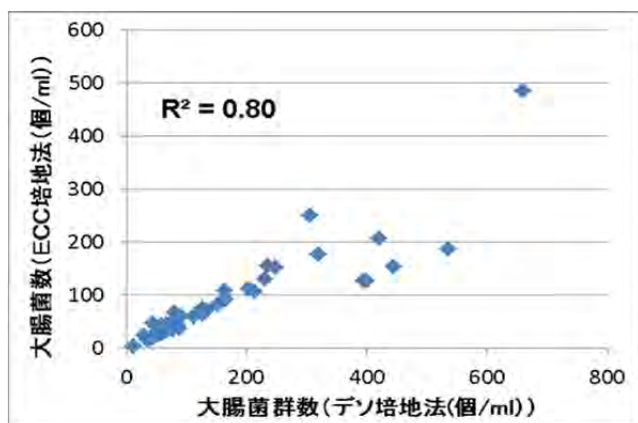


図 11 デソ培地法と ECC 培地法の関係
(放流水)

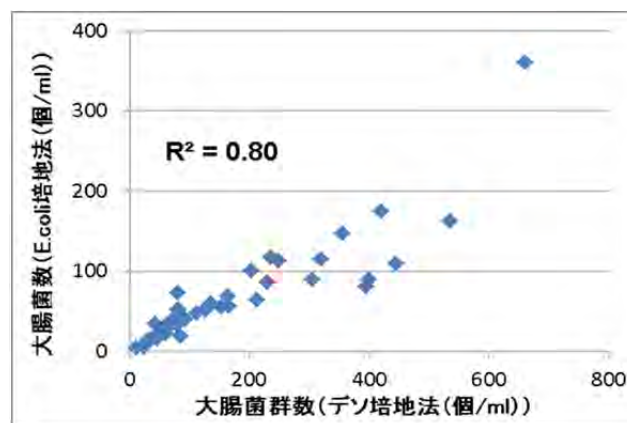


図 12 デソ培地法と E.coli 培地法の関係
(放流水)

6.4 考察

流入下水、塩素接触前放流水及び放流水の調査から、ECC 培地法、E.coli 培地法ともにデソ培地法と総じて高い相関が得られた。継続性の観点から、今後も水質管理指標としてデソ培地法を用いて大腸菌群数を測定することにより、大腸菌群数との相関から大腸菌数の推定が可能であることが示唆された。

7. 測定法の課題

7.1 希釈倍率

ECC 培地法及び E.coli 培地法では、図 13 に示すように白色の一般細菌コロニーが出現する。

また、図 14 に示すように、試料中の大腸菌群・大腸菌の存在量に対する希釈倍率が低すぎると、大腸菌群、大腸菌及び一般細菌のコロニーが多数出現することから、大腸菌群や大腸菌のコロニーが十分に生育できていないことが推測される。

下水試験方法によるデソ培地法の解説には、「試料 1 ml 中に大腸菌群数が 300 個以上あると思われる場合は、菌数が 30～200CFU/ml 程度になるように希釈する。」と記載されている⁵⁾。

ECC 培地法の場合、大腸菌と大腸菌以外の大腸菌群を同時に検出する測定原理のため、シャーレ上には大腸菌、大腸菌以外の大腸菌群及び一般細菌の 3 種類の菌種を示すコロニーが必然的に混在することになり、測定試料の特性によっては、測定対象菌種のコロニー以外の菌種のコロニーが多数を占めてしまい、

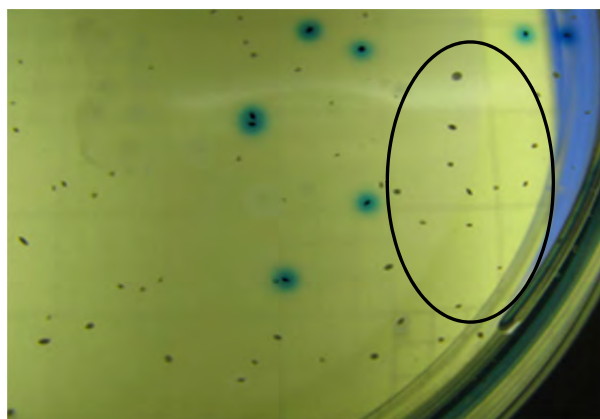


図 13 一般細菌コロニー

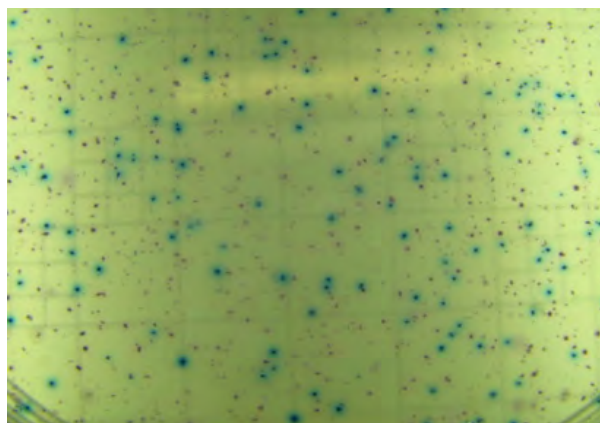


図 14 多数出現したコロニー

測定対象菌種の計数を阻害する可能性もある。

このようなことから、一例として、シャーレ上に生育するすべての菌種のコロニーを下水試験方法と同様の 30～200CFU/ml とするののか、測定対象菌種のコロニーのみをこの範囲内に収まるようにするのか、整理する必要がある。下水試験方法によるデソ培地法の解説には、「試料 1 ml 中に大腸菌群数が 300 個以上あると思われる場合は、菌数が 30～200CFU/ml 程度になるように希釈する。」と記載がある。

これは、他の細菌が大腸菌群コロニーの生育を妨害することにより判別を難しくすることを防ぐなどの目的で記載されている事項であり、コロニー数の新たな基準を整理する必要もある。

7.2 偽陽性の判定

ECC 培地法、E.coli 培地法ともに大腸菌は青色のコロニーを形成する。しかし、図 15 に示すように、大腸菌の菌種を示す青色の反応であっても、他の正常なコロニーとは違う形状の場合（図 15 黒丸内）や、さらには色調なども弱く輪郭が不鮮明であるなど、大腸菌として扱うには疑問と思える偽陽性的なコロニーが出現することがある。偽陽性的なコロニーについては、他の試験方法を併用するなどして、陽性・陰性の判断を行うことが望ましい。

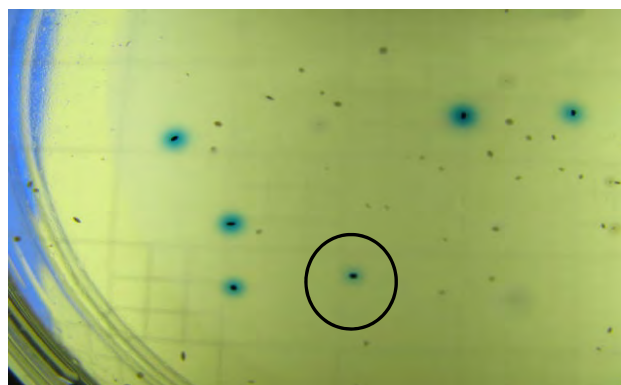


図 15 発色の弱いコロニー

8. 最後に

大腸菌の測定については、現在発刊されている下水試験方法では簡単にしか触れられていない。

菌種に特有な発色をする特定酵素基質寒天培地法であっても、偽陽性の判定で取上げたように形状や色調の差異、さらには輪郭部が不鮮明なコロニーの扱い方及び菌種の同定などの、解明すべき課題が残されている。このような課題を究明するため、さらなる知見の集積に向けて現在も多面的かつ複合的な調査に取り組んでいる。

引用文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水処理水の再利用水質基準等マニュアル，平成 17 年 4 月
- 2) 環境省水・大気環境局：平成 24 年度公共用水域水質測定結果
- 3) 和波ほか：都内河川の大腸菌群数に関する研究（2）－多摩川の大腸菌群の遺伝子解析－，東京都環境科学研究所年報 2010
- 4) 木瀬ほか：大腸菌数及び大腸菌群数に関する試験方法の検討，東京都環境科学研究所年報 2012
- 5) 日本下水道協会：下水試験方法－2012 年版－（2012）

3-1-3 硝化速度測定における新手法の導入について

東部第二下水道事務所 小菅水再生センター 水質管理係

○近松康樹 小林克巳 降矢るみ子 小宮陽一

1. はじめに

硝化速度は反応槽の硝化状況を把握する上では重要な因子である。そのため、各センターで簡易的な測定が行われているが、測定方法が統一されていないために、センター間でのデータ比較ができていないのが現状である。そこで、当センターでは、多数の測定条件下での硝化速度の同時測定を行う際に、簡易で高精度な振とう法を活用してみたのでその結果を報告する。

2. 振とう法の概要

振とう器は、複数のフラスコを同時に振とうできる装置である（写真参照）。フラスコの形状・液量を一定として振とうした場合、複数のフラスコの液面は同一の動きをし、複数のフラスコの液面に対して同一量の酸素供給が可能となる。また、酸素供給能力は、振とう器の振とう幅、回転数により決定され、振とう器の振とう幅、回転数を一定にしておけば、複数のフラスコ内で同一条件の定風量運転が容易に再現できる。適度な振とうが得られる液量ではD₀が飽和し、液量を増すと攪拌が悪くなるため、適度なD₀と攪拌を両立させることが難しい。そこで、振とうを間欠させることで、汚泥が沈降することなく実施並みのD₀を維持することができる。また、振とう時間を短くすれば、嫌気状態にすることも可能と考えられる。

硝化速度の測定は、下水試験法では、D₀を2mg/L以上で安定させた状態で行うこととしているが、本測定法では振とう条件を選定し、一定のD₀を保つものである。今回の実験では、反応容器300mL振とう三角フラスコ、液量120mL、回転数110rpm、レシプロ式振とう器、振とう幅25mmで行った。

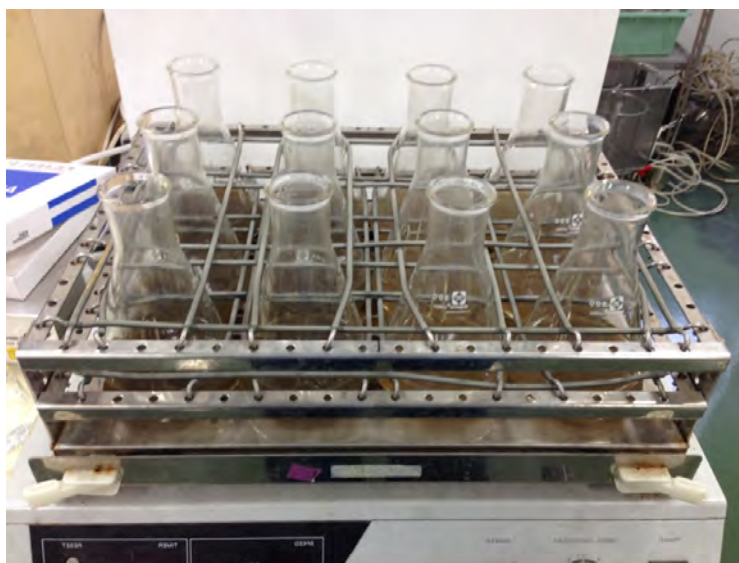


図1 振とう器の写真

3. 硝化速度の測定

3.1 振とう法の信頼性

硝化速度の測定方法の繰り返し再現性については CV（変動係数＝標準偏差/平均値×100）を指標にしており、スターラーを使用した従来法は CV＝7～39%であったのに対し、振とう法は CV＝1～5%であったことから、従来法に比べて振とう法は信頼性が高いといえる。（公定法では、通常は CV で 10% 以下が求められる。）

3.2 測定方法

実験試料は東系反応槽最終回路濃縮汚泥（濃度約 9000mg/L）、東系一沈流出水、東系反応槽最終回路上澄水を混合して汚泥濃度を 340～2700mg/L に調整した。送風は間欠とし、振とう時間は中風が 10s/60s、低風が 20s/90s としている。実験開始時点の水温は 23.5℃、実験終了時点の水温 23.3℃であった。NH₄-N はイオンメータ、NO₂-N および NO₃-N はイオンクロマトグラフにより測定した。

3.3 測定結果

図 2 に振とう曝気による条件別の窒素の挙動の測定結果を示す。振とう法ではサンプルは各時間ごとに使い切るのでサンプル数に限りがある。そのため予備実験において硝化がほとんど進んでいなかった低風の 2.5h におけるデータは採取しなかった。

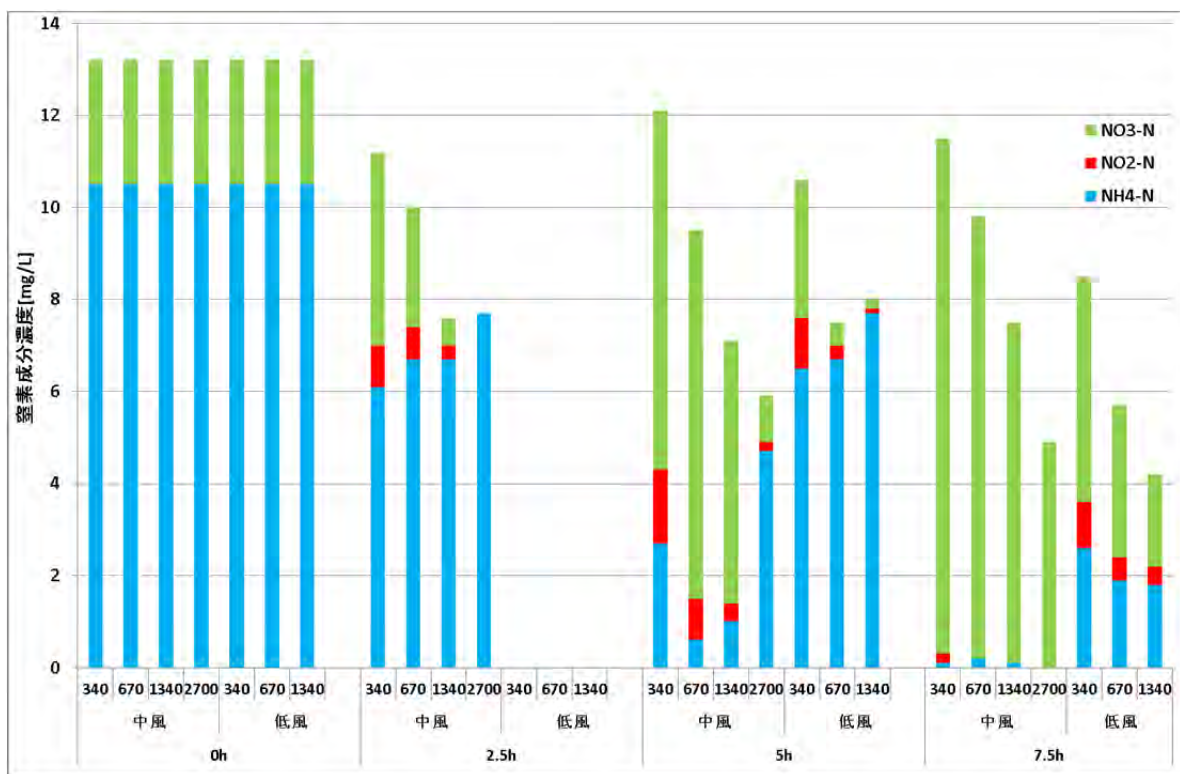


図 2 振とう曝気による条件別の窒素の挙動 (図中の数字は汚泥濃度 (mg/L) を示す。)

図 2 から以下のことがわかった。

- ・ MLSS が低くても硝化は十分可能であるが、脱窒は不十分である。
- ・ 低風条件の方が脱窒量が多い。

図 2 の結果をもとに $\text{NH}_4\text{-N}$ 減少による硝化速度および硝化速度定数を算出し、図 3～6 にまとめた。硝化速度定数とは g-MLSS あたりの硝化速度である。

なお、ここでは $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が 1 未満のデータは除外した。そのため 5h 時点での $\text{NH}_4\text{-N}$ が 0.6mg/L であった中風条件, $\text{MLSS}=670\text{mg/L}$ のデータが含まれる 2.5h→5h の硝化速度および硝化速度定数はグラフに載せていない。

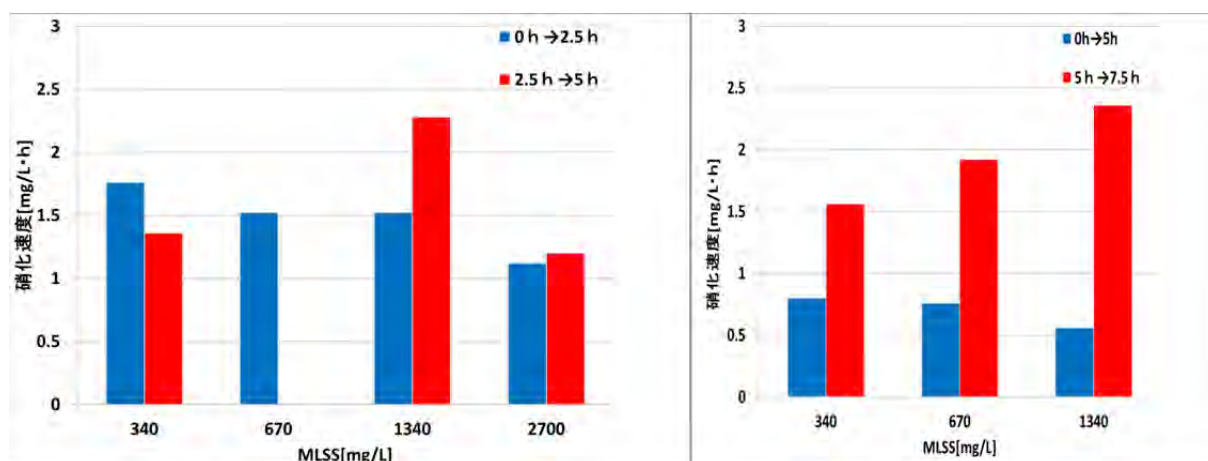


図 3 硝化速度（中風）

図 4 硝化速度（低風）

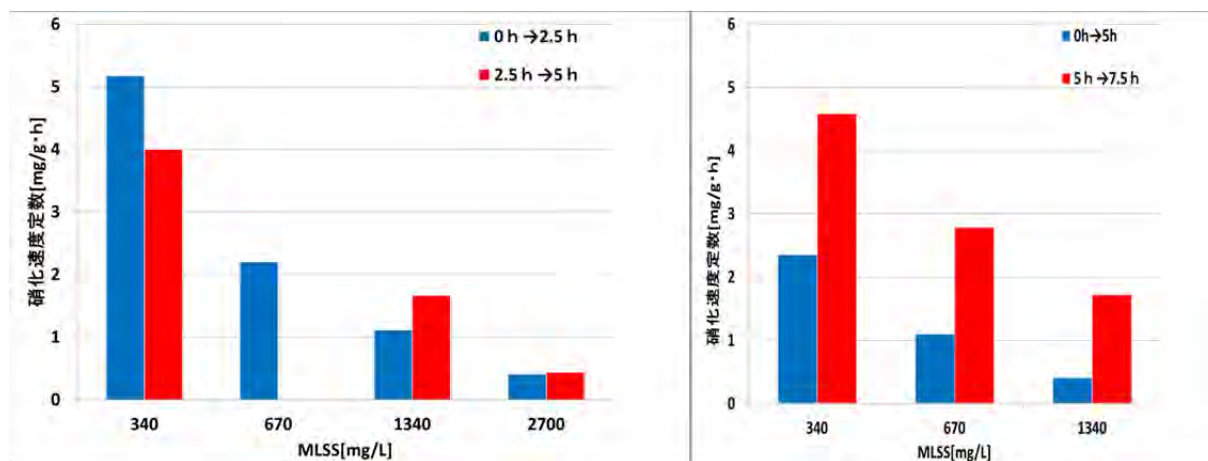


図 5 硝化速度定数（中風）

図 6 硝化速度定数（低風）

図 3～6 から以下のことがわかった。

- ・ 中風条件では初期と終期の硝化速度は変化が少ない。
- ・ 低風条件では初期の硝化速度は小さいが終期には中風と同程度にまでなった。
- ・ 硝化速度と MLSS の関係は、中風条件では MLSS が変化してもあまり変わらず、低風条件では終期には MLSS が高くなると硝化速度は増加する。
- ・ 硝化速度定数は送風条件にかかわらず MLSS が高くなると減少する。

4. まとめ

今回の実験結果から同じ振とう法による硝化速度実験でも、硝化速度は初期と終期、MLSS、送風レベルの違いにより大きく異なることがわかった。

したがって、現状のようにセンターごとに異なる測定条件で測定された硝化速度の値では、センターごとの硝化能力の比較を行うには疑義がある。

5. 今後への活用

振とう装置を共通化し、振とう法での測定条件を全センターで統一すれば、センター間での硝化速度の比較が可能となり、硝化に関して前例のない知見が得られる。

センター間での硝化速度の比較により硝化能力の高い活性汚泥が見い出せれば流入水質や運転条件との因果関係を詳しく調べて他のセンターにも転用できる。窒素除去と使用電力との二軸管理を進める中で水質管理の基礎データとなる情報を再現性良く把握できる意義は大きい。

振とう法は硝化速度以外にもりん吸収速度にも応用が可能である。また反応槽各部の混合液を振とうして変化を観察することから得られる情報もある。

水質管理に欠かせないこれらの基礎情報を振とう法を用いて全センターで統一した方法で測定し、比較検討することが重要である。

3-2-1 国指定重要文化財「旧三河島污水処分場唧筒場施設」の 保存・復原について

施設管理部 施設保全課 渡邊 龍也

1. 保存・復原工事の経緯

旧三河島污水処分場は「近代下水道の発祥の地」であり、今も残る唧筒（ポンプ）場施設は歴史的に価値の高い建造物である。阻水扉室、沈砂池などの一連の構造物が、旧態を保持しつつまとめて残っており、近代下水道の構成を知る上で貴重な施設である。その高い歴史的価値が認められ、平成 19 年 12 月、重要文化財に指定された。

本施設を文化的資産として、未来永劫にわたり保存・活用していくため、平成 21 年 3 月に『重要文化財（建造物）旧三河島污水処分場唧筒場施設保存活用計画（東京都下水道局）』を策定した。本計画は文化財保護法により、建造物を自由に変形、改造することのできないという厳しい制約条件の下で策定したものである。

本稿は、同計画に基づき実施した旧三河島污水処分場唧筒場施設の保存・復原工事について報告する。本工事は平成 22 年に着手し、平成 25 年 3 月に完了、同年 4 月から一般公開を開始している。



写真 1 唧筒場全景（平成 25 年 3 月撮影）

2. 旧三河島污水処分場唧筒場施設の概要

三河島污水処分場唧筒場施設は、図 1 のように地上部と地下部の施設から構成されている。

2.1 重要文化財としての魅力

三河島污水処分場は日本最初の下水処理施設として 1922(大正 11)年に運用を開始した。ポンプ室はその中心施設のひとつで、1918(大正 7)年 6 月に着工し 1921(大正 10)年 2 月に竣工した。主要構造が鉄骨および鉄筋コンクリート造である。延床面積は約 350 坪で、中央部が平屋で吹き抜けの大空間になっており、その両側が 3 層で、変電設備などの補助的機能が収められている。



図 1 旧三河島污水処分場唧筒場施設

ポンプ室の建築様式は「セセッション」（「分離派」ともいう）である。セセッションの特徴は平面性を強調すること、直線を多用することで、平面や直線による単純な抽象的構成に美を見いだすところにある。この新様式は明治末（1900年代末期）に日本にもたらされ、大正中期にかけてよく用いられた。三河島汚水処分場ポンプ室は当時の最新のデザインを適用したひとつである。現在ではセセッションの遺構は少ないので、この建物は、大正時代の建築家のセセッションへの傾倒を今に伝えるものとして、そのデザインのレベルの高さとともに、建築史的に貴重なものといえる。

創建当時の写真と現状を比較すると、鉄骨小屋組が全く同じであり、その下の揚重機（石川島重工製）も当初からのものであることがわかる。この種の施設としては、また90年以上を経た建物としては例外的なほど、当初の状態をよく残している。上記の他に、デザイン的な価値として、内部の大空間にも注目すべきであろう。この空間は、高い天井高や、鉄骨小屋組の軽快さによって、開放的で、魅力あるものになっている。（写真3, 4）



写真2 ポンプ室（平成25年撮影）

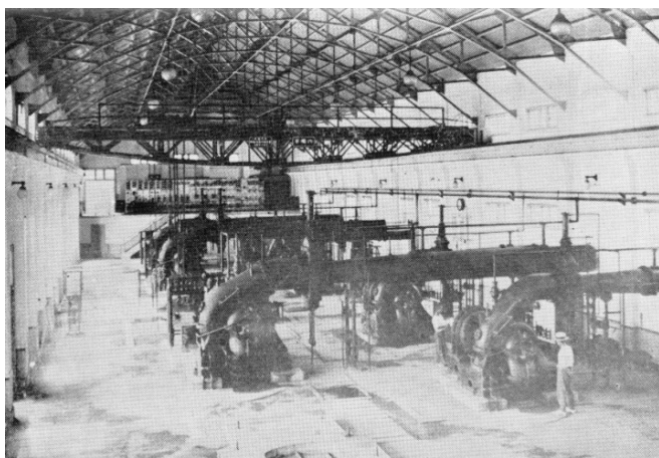


写真3 ポンプ室内部（大正11年撮影）

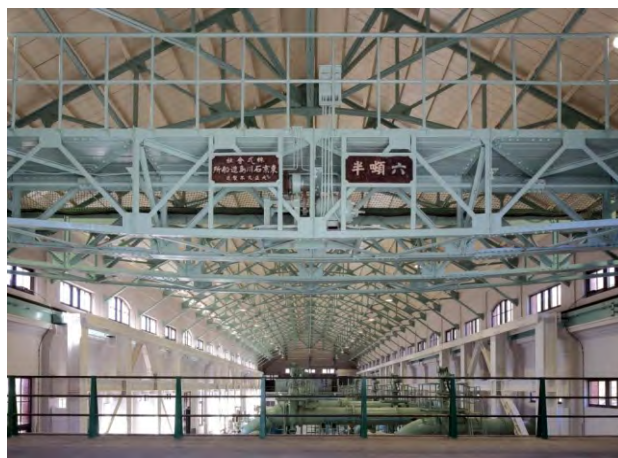


写真4 ポンプ室内部（平成25年撮影）

また、唧筒場施設にみられる様々な創意工夫は、「用・強・美」と表現することができ¹⁾、どの部分をとっても、多くの歴史と逸話が秘められている。「用」という観点では、旧三河島汚水処分場から三河島水再生センターにつながる歴史を回顧してみれば約77年余りの現役時代がすべてを物語っている。「強」については、まず、1923（大正12）年の関東大震災による被害が「給水棟の倒壊と沈殿池・濾過池の亀裂」にとどまったこと、地下部分での大地震の痕跡は皆無であったこと及び旧主ポンプ室の現状を見ればよくわかる。

「美」に関しては、三要素のなかで突出している。当施設の建物としての魅力は、何と言っても優美にしてクラシックな赤レンガ色の煉瓦タイルであり、東京駅に使用されたレンガと同じ「品川白煉瓦株式会社」製のものが使用されていた。

2.2 三河島污水処分場の歴史

当施設は、明治 41 年に閣議決定された『東京市下水道設計』を基に、大正 3 年に工事が着手された。三河島污水処分場は第二区（図 2）で、現在の台東区のほぼ全部と、千代田区、文京区の一部で、浅草や上野、秋葉原などが含まれる。技術上、財政上の問題から第二区を優先して行った。また、当時の施工はほぼ人力で行われ、足場等も竹や木製のものが使われていた。

（写真 5）

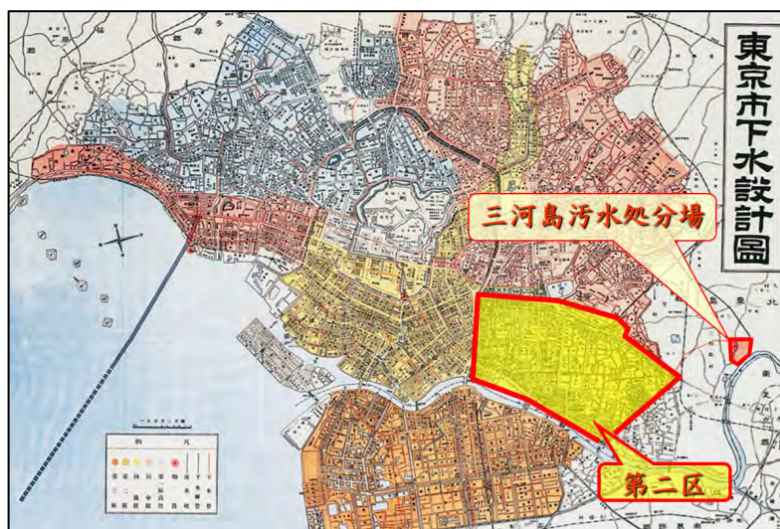


図 2 東京市下水設計図(明治 41 年閣議決定)

その後、施設が完成し、わが国最初の近代下水処理場として、およそ 90 年前の大正 11 年（1922 年）に運転を開始した。（写真 6） 施設完成後は污水をいったん処理施設に集めて浄化し、衛生的で安全な状態にした上で河川に流すようになった。つまり、この施設が完成・機能したことで、東京の下水処理は近代的な都市にふさわしいものになった。この時の処理方式は散水ろ床を採用していたが、昭和 9 年に処理方法をパドル式活性汚泥法を導入し、さらに、昭和 36 年に散気式活性汚泥法を導入している。このように、運転開始から稼動停止まで 77 年間にも長き渡り稼動し続け、平成 11 年 3 月にその役目を終了している。処理方法についても 3 代にわたり変遷をみている。そして、停止後は日本の近代下水処理施設の代表的遺構として保存されてきた。

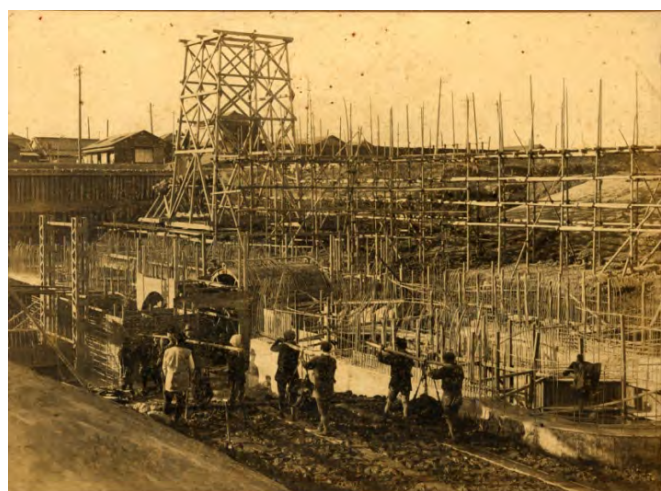


写真 5 ポンプ室の基礎工事の状況
（大正 7 年撮影）



写真 6 建設当時の唧筒場全景
（大正 14 年撮影）

2.3 当時の下水処理システム

図 3、4 は、当初の三河島污水処分場の下水処理システムのフローである。①汚水は浅草幹線より阻水扉室（流入水を調整する施設）に流入する。②阻水扉室を経て沈砂池に流入

し、土砂等を沈殿させる。③濾格機室でスクリーンにより浮遊物を取除く。④ポンプ室に流入し、汚水を汲み上げて処理施設へ送水する。⑤沈殿池で、細かい浮遊物を沈殿・分離させる。⑥ろ過床で、ろ過材表面の生物膜と反応させ、浄化、ろ過する。⑦最後沈殿井で、微細固形物を沈殿させる。以上の処理工程を経て、隅田川に放流するシステムである。

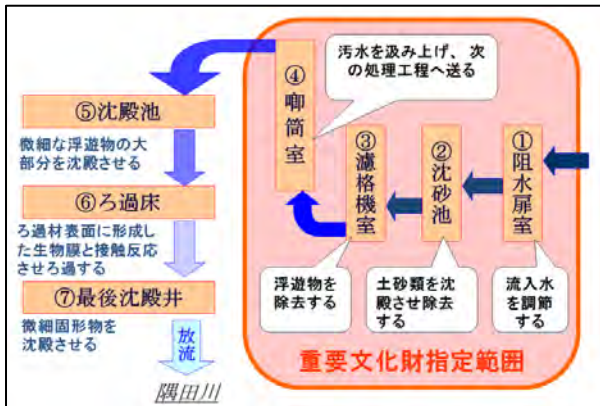


図3 下水処理システムの流れ（当初）

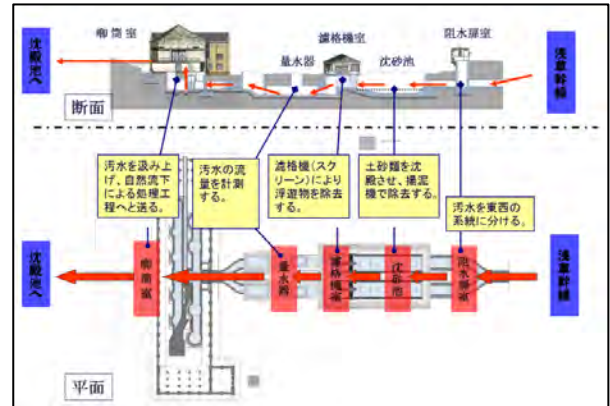


図4 重要文化財指定範囲内のシステム概略

3. 旧三河島污水処分場唧筒場施設の保存・復原工事の概要

工事に当たっては、当局が保管している古図面や現地の詳細調査を行い、できる限り伝統的な技術・技能を活かし、文化財的価値を損なわないよう保存・復原を行った。特に復原等の現状変更を伴う工事は、文化庁で工事方針が慎重に審議され、その修理方針に基づき、工事が進められた。以下、今回の工事で実施した主要な修理や整備の内容について報告する。

3.1 門衛所

門衛所は、鉄筋コンクリート造の平屋建で、内部には洗面所、便所が配置され、巡視員が常駐していた。旧三河島污水処分場の表玄関として大正14年に事務所、正門とともに整備された。昭和30年代には下屋に出勤簿が置かれ、出勤した職員はここで押印していた。

今回工事では、下屋を撤去し、創建当時の姿に戻した。また、屋上の防水についても、経年劣化による漏水のリスクがあったので、改修を行った。（写真7,8）



写真7 工事前の門衛所



写真8 工事完了後の門衛所

3.2 東西止水扉室

止水扉室は、流入する下水を堰き止めるためのゲートを格納した部屋である。東西の二系統について、地下の止水扉を上下させることで水の流れを管理していた。室内にある油圧シリンダは平成2年に取り換えられたものである。

今回工事では、建物内部の劣化が進んでいたため、維持修理として、ペンキ塗装や腰壁の補修及び屋上の防水改修を行った。(写真9,10)



写真9 工事前の止水扉室
(平成22年撮影)



写真10 工事完了の止水扉室
(平成25年撮影)

3.3 沈砂池

沈砂池はポンプ設備の損傷を防止するため下水中の土砂等を除去する施設である。下水は広い沈砂池で流速を弱められ、沈殿した土砂等は沈砂池の両側に敷設された揚泥機でかき揚げられ、浮いている大きなゴミはろ格（スクリーン）で取り除かれた。それらの撤去物は土運車（トロッコ）に積まれ、インクラインで場内道路まで引き上げられた後、場内のレールで捨場まで運ばれていた。その後、処理方法の改善とともに改造され、昭和37年以降上部に蓋が掛けられて盛土の上に芝が張られた。(写真11)

今回工事では、施設の公開に伴い当初の下水処理システムを理解し易くするためと安全性を確保するために、経年劣化した覆蓋（鉄筋コンクリート）を撤去し、以前の露天の姿とした。東西二つの沈砂池のうち東側沈砂池は設備類を撤去し創建当時に近い形とした。西側沈砂池は改造履歴がたどれるように、平成11年の施設停止当時の設備をそのまま存置した。(写真12)



写真11 工事前の沈砂池
(平成22年撮影)



写真12 工事完了後の沈砂池
(平成25年撮影)

3.4 濾格（ろかく）室上屋

濾格室上屋は、下水中の浮遊物を除去するための鉄製のスクリーンと、浮遊物を連続してかきあげる機械設備を格納する建物である。濾格室上屋のトラスは、当初のものが残っていて、八幡製鉄所の刻印を確認することができる。機械設備は更新されていて、当初の機械は残っていない。

今回工事では、塗装の剥落が進行していたトラスや機械の塗りなおし、さらに外壁では煉瓦タイルの補修等を行った。旧三河島污水処分場唧筒場施設の建物としての魅力は、何と言っても優美にしてクラシックな赤レンガ色の煉瓦タイルである。煉瓦タイルは、東京駅と同じ「品川白煉瓦株式会社」製のものが使用され、一枚一枚の裏側には「品川」の刻印が施されている。今回

の整備工事において、部分的に損傷・劣化した煉瓦タイルを復原する必要があった。建物の詳細な調査を行い、既存煉瓦タイルの形状に合わせて金型を作成し、煉瓦タイルの復原を行った。また、色調を合わせるため、土の配合や、焼き温度を調整の上、試作品を製作し、オリジナルにできる限り近づけた。タイルの裏側には、オリジナルと混同しないように今回の製造年と製造業者名を表す「H22 ARAKI」と刻印した。（写真 13）



写真 13 煉瓦タイルの試作品
（平成 22 年撮影）

3.5 インクライン

インクラインは、コンクリート製の傾斜路に複線レールを敷設し、上部が水平の台車を、上げ下げして沈砂やゴミを積んだ土運車を場内道路まで運び上げる設備である。（図 5）昭和 37 年に、沈砂・ゴミの処理方法が変わったことにより、インクラインは撤去され、その跡は埋められていた。

今回工事では、埋められていたコンクリート製の傾斜路とレールの一部（写真 14）が発見されたため、周囲にブロックを積み、上部に蓋を設置し、遺構として保存できるように整備した。

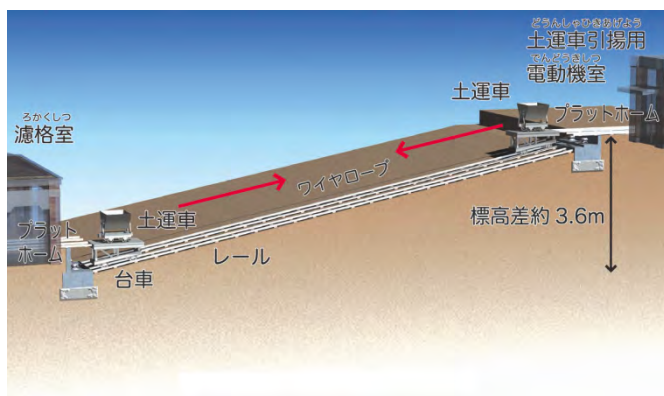


図 5 インクラインの仕組み



写真 14 発見されたインクライン基礎
（平成 25 年撮影）

3.6 土運車引揚装置用電動機室

土運車引揚装置用電動機室は、インクラインを動かすための巻上機を格納する建物である。(写真 15) 昭和 37 年にインクライン設備が撤去された際に巻上機も撤去され、その後は倉庫として利用されていた。工事着工前に建物周辺を発掘したところ、インクラインの一部が見つかった。また建物内には木床が張られていたが、床下の当初のコンクリート土間に巻上機のものと同様の機械基礎の痕跡が残っていた。

今回工事では、本来の機能をより明確に表現するため、床をすべて撤去しコンクリート土間と機械基礎の痕跡を見えるように工事を行った。既存のスチールサッシは劣化が進んでいて、交換する必要があった。しかし、既存のサッシには文化財的価値があるという観点から、オリジナルをなるべく残す必要があった。そこで腐食が進行していない部分のスチールサッシ枠を分解し、それをつなぎ合わせて一つのサッシを作成した。(写真 16) ガラス押さえは創建当時と同じパテ止め工法とした。今回残した既存のガラスは製作精度が今よりも低く、覗き込むと歪んでみえる。



写真 15 工事完了後の土運車引揚装置用電動機室（平成 25 年撮影）

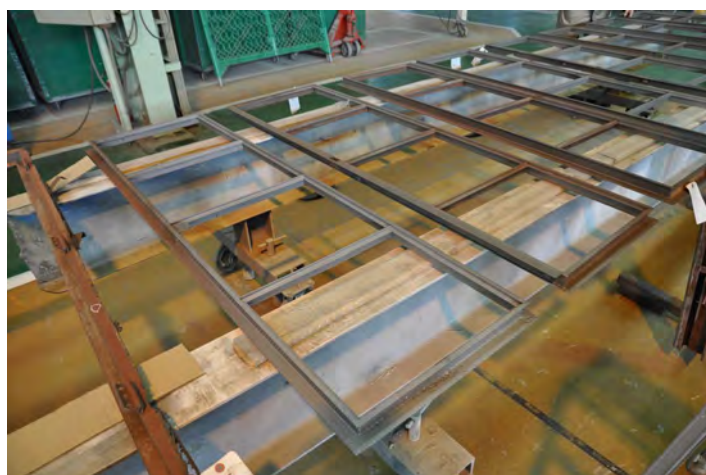


写真 16 スチールサッシの修理状況（平成 22 年撮影）

3.7 量水器室及びヴェンチュリー管

濾格を通過した下水は、流量を計測するためのヴェンチュリー管が設置された量水器室（写真 17）に流れこむ。ヴェンチュリー管は中央の管径が細くなっている。(写真 18) 配管の一部を絞ると、細い部分を通る下水の流速は、太い部分を通る流速より早くなり、流れの圧力は反対に小さくなる。この圧力差を取り出し流量を算出するのがヴェンチュリーメーター（記録計）で、唧筒室内に設置されている。ヴェンチュリーメーターは英国ジョージ・ケント社から大正 11 年に輸入され、当時の価格で 32,860 円と高価なものだった。（当時の米 10kg：2 円程度）

今回工事では、上部覆蓋を撤去し、埋められていたヴェンチュリー管を露出させ、地上部から量水器室及びヴェンチュリー管がうかがえる形状とした。



写真 17 工事完了後の量水器室上部
(平成 25 年撮影)



写真 18 露出したヴェンチュリー管
(平成 25 年撮影)

3.8 ポンプ室

ポンプ室は下水の本格処理に先立ち、集まってきた下水を沈澱池に揚水するためのポンプを収容、操作するための建物である。南側に張り出す東西両翼をもつ左右対称の立面は、垂直線と水平線を用いた平坦な面で構成されており、セセッション様式の影響が見られる。室内は、屋根を支える小屋組がアーチ型を呈する変形キングポストトラス鉄骨による大空間となっている。内部には 10 台（当初は 9 台）のポンプが設置されている。当初のポンプは「みのくち式渦巻ポンプ」と言われ、東京帝国大学教授の井口在屋博士が明治 38 年に発表した、渦巻ポンプの原理を数学的に解明した世界初のポンプ理論にもとづき製作された渦巻ポンプである。現在のポンプは昭和 39～48 年にかけて更新されたもので、当初のポンプからすると第 2～4 代目にあたる。また、天井部には揚重機（天井クレーン）が設置され、ポンプや変圧器等の重量物の搬入・搬出に使用されていた。このクレーンは大正 9 年東京石川島造船所（現在の株式会社 I H I）が製造したものであり、現在でも、クレーン両側に付属している滑車を回す（手動）ことでレール上を東西に稼働させることが可能である。

今回工事では、天井部の鉄骨、野地板及びポンプ設備の塗装補修や内壁の漆喰等の補修を行った。（写真 19） また、建設当初の床の開口を復原し、地下のポンプの配管を上部から見学できるように整備した。（写真 20）



写真 19 漆喰塗の施工状況
(平成 25 年撮影)

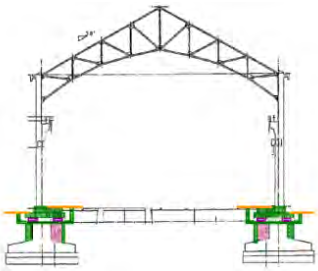
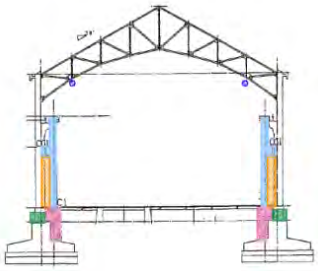
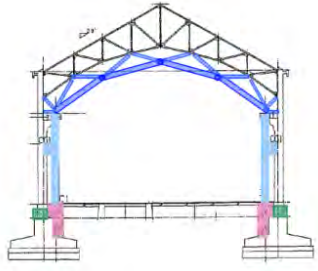


写真 20 開口部の縁石設置状況
(平成 25 年撮影)

内壁の漆喰の補修については当時の技法と同じように、現地にて海藻（フノリ）を炊いてのりを作り、麻すき（麻の繊維）と塩焼き消石灰を混合したものを使用した。昔ながらの漆喰は防水性を与えることが出来るほか、不燃素材であるため外部保護材料として、また調湿機能に優れているため、古くから城郭や寺社、商家、民家など、木や土で造られた内外壁の上塗り材としても用いられてきた建築素材である。また、壁の上部と梁の取り付け部分には蛇腹引きという技法が用いられていて、熟練の技能士により綺麗なカーブが復原された。また、床の開口を復原するにあたり、建設当初と同じく縁石には茨城県稲田産の御影石を使用した。

耐震補強については、「文化財的価値を損ねない」、「セセッション様式の外観を保つ」ことをコンセプトに、詳細な現地調査を行い、様々なケースについて検討を重ねた。表 1 はその一例である。

表 1 耐震補強方法の比較

工法	免震工法	既存柱接合 ※採用	屋根トラス補強
コスト	約 600,000,000-	約 150,000,000-	約 180,000,000-
施工性	地下暗渠に影響あり	影響なし	影響なし
工期	8 ヶ月	6 ヶ月	7 ヶ月
見栄え	◎	○	△
その他	・基礎付加重量による杭の検討が必要 ・ポンプ類を非免震とした場合、壁との間にクリアランスが必要 ・建物外周部にクリアランスが必要	補強鉄骨柱と既存RC柱を緊結するためのあと施工アンカーの使用及びトラス補強材設置に伴い、既存建物を新たに傷つけることになる	屋根トラスを補強するため、内観に影響を及ぼすこと及び既存建物を新たに傷つけることになる
補強案イメージ			

耐震補強は、コスト、施工性、公開に与える影響等を考慮した結果、表 1 の既存の柱と耐震補強鉄骨を接合する工法を採用することとした。

施工に際しては、耐震補強鉄骨と既存RC柱を接合するために、T型鋼を既存RC柱にアンカー固定し、耐震補強鉄骨と溶接接合した。（写真 21） また、既存RC柱の基礎と耐震補強鉄骨を一体化させるために、既存の床面から長さが 3 m ものアンカーを打ち込んだ。屋根トラスはφ 30mm 程度の弦材を 2 本設置することで耐震性を高めた。弦材は既存屋

根トラスと区別できるように白色の塗装で仕上げた。(写真 22)



写真 21 耐震補強鉄骨溶接状況
(平成 24 年撮影)



写真 22 工事完了後のポンプ室内部
(平成 25 年撮影)

3.9 唧筒井及び唧筒井接続暗渠

唧筒室の地下には唧筒井及び唧筒井接続暗渠がある。(写真 23, 24) 二系列に分けられて沈砂池を通過した下水は、唧筒室の直前で一つとなり、阻水扉のある部屋を通過して大きく四つに区切られた接続暗渠を経て唧筒井へ流入し、唧筒室内のポンプにより地下から汲み上げられる。これらの施設は鉄筋コンクリート造で馬蹄型暗渠であり、床部は摩耗に強い陶板タイル張りである。さらに、暗渠やゲート室の一部には、御影石を使用していた。汚水による腐食に対する耐久性を意識して作られていたと考えられる。また、ポンプの吸込み管先端にはラップ管が取り付けられ、ポンプを運転したとき、吸い込みやすくするための工夫として、吸込み管下部には山型の突起が設けられている。

地下の公開にあたっては、地下構造物の耐震診断を実施して地震時の安全性を確認し、あわせて今後の施設運営に関わる安全について消防署とも協議を行った。中間阻水扉室(写真 25)に地下へ下りる鋼製階段を設置し、公開のための換気・照明設備等を設置した。工事完了後はガイドの案内による地下の公開が行われている。



写真 23 工事完了後の唧筒井
(平成 25 年撮影)



写真 24 工事完了後の接続暗渠
(平成 25 年撮影)



写真 25 工事完了後の中間阻水扉室
(平成 25 年撮影)

今回工事では、唧筒室内部から地下の吸込管をのぞけるように南列東端の一箇所限り唧筒井保守用開口を復旧し、唧筒井の吸込管を埋めていた細粒材及びモルタルを撤去し、当初の底面を露出とした。このことにより、埋められていたポンプの配管も、その全体像が見学できるようになった。見学者が自由に移動できるように歩廊の整備も行った。また、経年劣化により、各所に漏水する箇所があったので、現地の詳細な調査を行



写真 26 工事前の阻水扉
(平成 22 年撮影)



写真 27 工事完了後の阻水扉
(平成 25 年撮影)

い、樹脂を注入したり、クラック部分に補修材を充填する等の工法で補修を行った。接続暗渠内に 4 基設置されている阻水扉は、そのうちの 2 枚を、長い歴史の中で蓄積された錆をサンドブラストを用いて落とし、錆止め塗料を塗布した。(写真 26, 27) 残りの 2 枚については、建設当初の歴史を感じ取れるように、そのままの形で残している。

3.10 外構整備

施設の外部については、当初の地盤は今よりも 200mm 程度低いものであった。また、桜やツツジ等の植栽も無く、地面は土のままであった。(写真 28) その後の度重なる改修を経て、地盤のレベルは上がり、植栽も植えられ、地面はメトロレンガ(下水処理場で発生した汚泥の焼却灰を原料とした



写真 28 完成当時の外構
(大正 11 年撮影)

インターロッキングブロック）で舗装された。

今回工事では、当初の地盤レベルまで下げ、ビューポイントを設定し、そこから建物を見渡せるように桜を除く高木を撤去した。このことにより、施設全景を一望することが可能となった。また、舗装については、当初の地面を再現するために、メトロレンガを撤去し、真砂土舗装という工法を用いて舗装を行った。

4. おわりに

今回の工事では複数の施設で構成される近代化遺産において、工事範囲を限定しつつも効率的な復原や整備により文化財的価値を損なわずに施設を保存することとともにバリアフリーを考慮した公開活用が可能となった。この事業を実現するためには、多くの関係者の知恵と工夫が必要であった。

保存活用計画を改定し適切な保全により施設の歴史的価値を未来に継ぐとともに、下水道の歴史と意義を発信し下水道事業の重要性や役割を多くの人々に理解していただくために、平成 25 年 4 月から一般公開を行っている。

2020 年の東京オリンピック・パラリンピックや 2018 年の I W A 等、世界的なイベント開催の折にも、関係者をご案内するなど、東京における近代下水道の遺構を積極的に P R し、東京下水道の技術力を世界にアピールしていきたい。

参考文献

- 1) 東京都指定文化財 三河島物語 平成 16 年 3 月 東京都下水道局 株式会社東京建築研究所
- 2) 近代下水道発祥の地 重要文化財指定 旧三河島污水処分場唧筒場施設 平成 21 年 3 月 東京都下水道局施設管理部
- 3) 重要文化財（建造物）旧三河島污水処分場唧筒場施設保存修理工事報告書 平成 26 年 3 月 東京都下水道局施設管理部 公益財団法人文化財建造物保存技術協会

4-1-1 New Aeration Control System Based on Ammonium Measurements : Effect on Energy Saving and Denitrification in an Aerobic Tank

Aki Hamamoto^{1*}, Kouichi Sato¹, Syungo Aida², Makoto Shimoike²

¹ Tokyo Metropolitan Government, Japan

² Sanki Engineering Co., Ltd.

*Email: Aki_Hamamoto@member.metro.tokyo.jp

ABSTRACT

To reduce energy consumption of blowers, we developed a new aeration control system based on nitrification rate instead of DO. The new aeration control system can reduce air flow volume by more than 20% compared to DO set-point control tested at a pilot plant. Furthermore the possibility of simultaneous nitrification and denitrification (SND) in aeration tanks by minimizing air flow volume is also discussed.

KEYWORDS: Aeration Control, Energy Saving, Denitrification, Aerobic Tank

INTRODUCTION

The prevention of global warming is one of important tasks to be tackled on a global scale. Tokyo metropolitan government sets a goal of reducing emissions by 2020 to 25 % below 2000 levels and is taking some measurements such as cap-and-trade system. Therefore, Bureau of Sewerage emitting much global warming gas has also implemented its abatement by improving dissolution efficiency to reduce blower energy consumption.

The following paper reports the new aeration system injecting the minimum air flow requirements into the each section consist of aeration tanks using ammonia sensors and DO sensors. Furthermore the possibility of simultaneous nitrification and denitrification (SND) in aeration tanks by minimizing air flow volume is also discussed.

CURRENT AND NEW AERATION CONTROLS

Conventional air control methods for blower systems focus on maintaining a fixed DO set point in the last aerobic reactor to ensure that there is enough DO present to facilitate the nitrification process (Lindberg and Carlsson, 1996). Unlike this DO control, ammonia-based aeration control can lead to reduce the extent of effluent ammonia peaks and limiting aeration since nitrification condition is directly observed by ammonia sensor (Rieger *et al.* 2012).

DO-based aeration control

DO-based aeration control maintains DO in the last aeration reactor at a certain value to complete nitrification. Therefore, supplied aeration is prone to more than required especially when influent load becomes low, since fixed DO set-point is determined so as to complete nitrification even when influent load becomes high.

Ammonia-based control

Ammonia-based control has been mainly based on feedback control which maintains effluent ammonia concentration at 1-2mgN/L. Since air flow volume is determined in response to nitrification situation at the end point of an aeration tank, excessive aeration and energy consumption can be suppressed. A problem is that feedback control acts on the process only when influent causes changes in the last aerobic reactor, which is usually too late with respect to influent disturbance dynamics. Hence, in order to act faster to an influent disturbance, feed forward control by using the additional measurements of the influent ammonia has been developed.

New aeration control

However these controls above determine only the total amount of aeration into aerobic reactor but not amount into each compartment divided by partitions. Therefore, we developed new aeration control system which directly calculate required air flow volume for treatment in each compartment of aerobic reactor and supply it for limiting more aeration.

PRELIMINALY STUDY

In order to examine the optimum temporal allocation of required air flow volume or SOR calculated from influent load, relationship of nitrification and air flow supplied per unit time and DO were investigated.

Figure1 shows the relationship between nitrification and DO values when SOR (standard oxygen requirement) is supplied for 8h (No.1), 7h (No.2), 6h (No.3), 5h (No.4) as a representative case. Follows were found as well as other cases.

- (1) Nitrification starts at the point of time when $DO > 0.1$ mg/L
- (2) After nitrification starts, nitrification rate becomes constant on the condition that $NH_4-N > 2$ mg N/L
- (3) Nitrification rate becomes higher in proportion to air flow or SOR per unit time and the rate becomes maximum on the condition of $DO > 1.5$ mg/L
- (4) Required air flow during the period of stable nitrification rate can be calculated from the nitrification rate

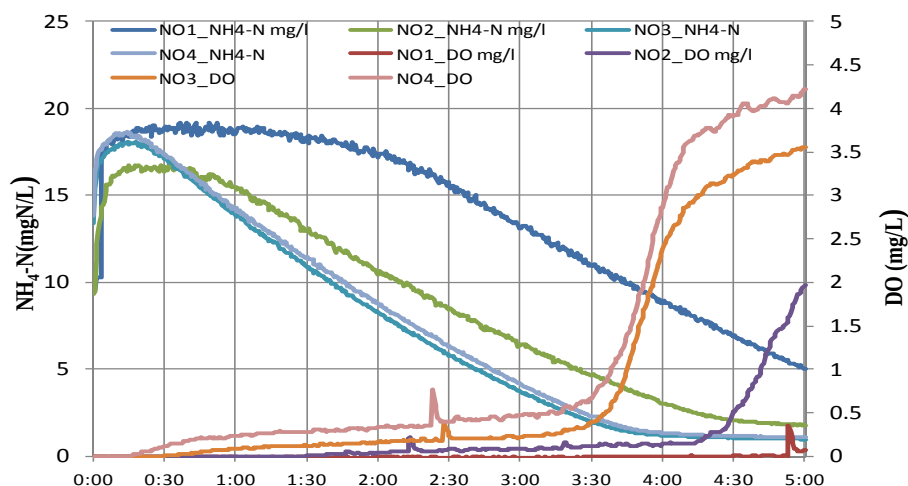


Figure 1 Relationship of nitrification and air flow supplied per unit time

From these results above, we decided to develop the new aeration control system; in the first compartment of the reaction tank, DO sensor was used to confirm the start of nitrification and in the following compartments, each air flow was calculated and supplied from nitrification rate using ammonia sensors.

OUTLINE OF NEW AERATION CONTROL SYSTEM BASED ON NITRIFICATION RATE

Figure2 shows the schematic diagram of the control based on nitrification rate (NRC system). Ammonia sensors and DO sensors set at every compartment of a aerobic reactor. Air flow into each compartment calculated from the nitrification rate is supplied with a blower and electric-operated air flow valves installed at each compartment controlled.

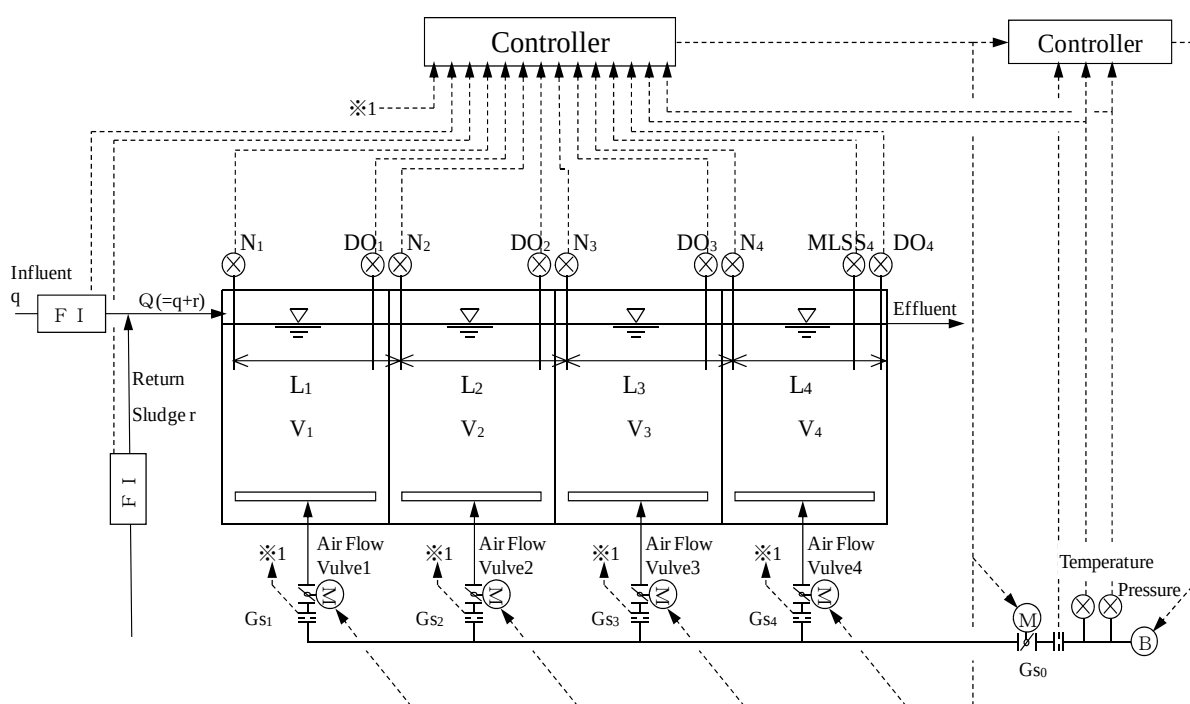


Figure 2 New aeration control system based on nitrification rate (NRC system)

Aeration Control Mode

Aeration control mode of each compartment of a reaction tank is independently determined every 5 minutes based on Figure3.

(a) Nitrification rate control (including feed-forward control)

Nitrification rate control is the main aeration control mode of the new system. From influent volume and ammonia measurements, nitrification rate can be calculated at each compartment. Using this nitrification rate and also MLSS, required oxygen volume for nitrification and endogenous respiration can be calculated. Actual supplied air flow is calculated from this required oxygen volume and the oxygen transfer efficiency of the aeration equipment. If ammonia measurement of influent into each compartment has on a declining or rising trend, air flow is corrected using coefficient proportional to the difference (feed-forward control).

(b) Intermittent aeration

If required air flow calculated from (a) is lower than the minimal flow of aeration equipments, air flow is supplied by intermittent aeration. Air is supplied intermittently in order to lower to the required volume. This mode is possible only by use of membrane type aeration equipment.

(c) Feed-back control

The ammonia sensor at the last compartment has set-point which enables ammonia measurements to around 1mgN/L. If the ammonia measurement becomes over the set-point, air flow volume into each compartment is corrected by multiplying coefficients which varied by compartment proportional to the difference.

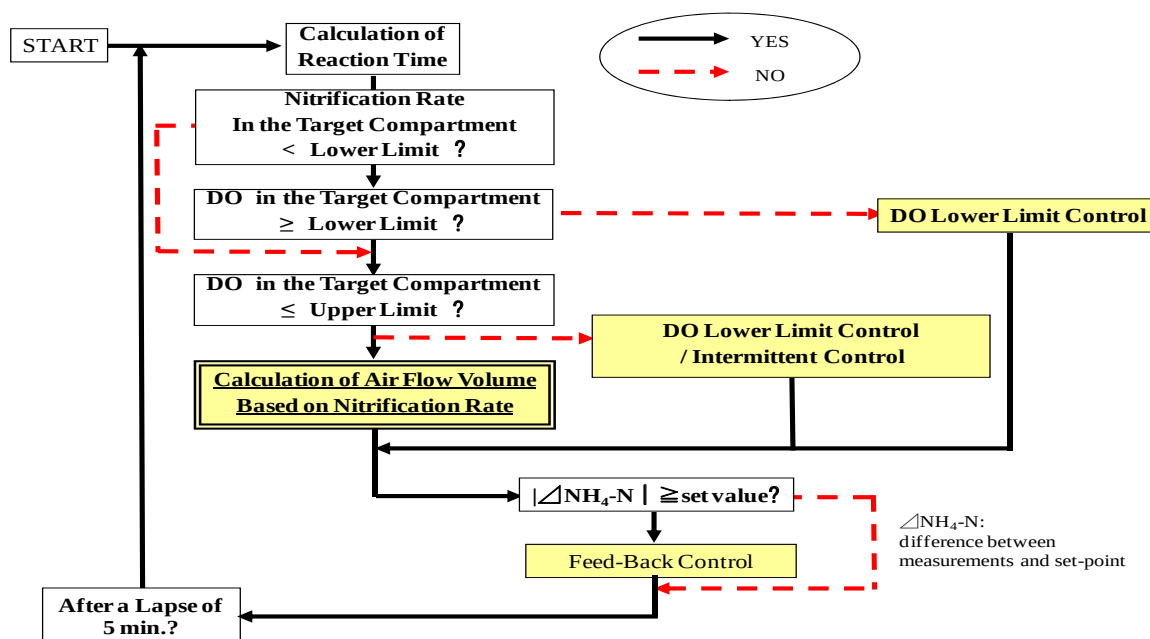


Figure 3 Aeration control flow at each compartment

METHODOLOGY

Pilot Plant Study

The trials were conducted using continuous plug flow pilot plant. The plant had two lines and each capacity is 8m³(W:1m L:8m H:1m). One blower was equipped with one line. Each line was divided into four compartments and electric-operated air flow valves were installed at each compartment. Ammonia sensors and DO sensors were set at the former and the latter part of all compartments. Membrane type of aeration equipments were adopted for intermittent aeration.

Plant operation condition

Operation conditions and aeration control are show in Table1 and Table2. Line1 was controlled by NRC system and Line 2 was controlled by conventional DO aeration control. DO set-point of Line2 was 2.0 mg/L which can complete nitrification at the end of aerobic reactor. Air flow volume into each compartment of Line2 was same.

Table 1 Operation Condition

Influent	A-HRT (h)	Return Sludge Rate (%)	A-SRT (d)
Constant	6-8	20-40	7.4-19
Fluctuation	4.5-12.6		

Table 2 Control Method

	Control Method
LINE1	Control based on nitrification rate
LINE2	Control based on DO (DO setpoint:2.0mg/L at end point)

RESULTS AND DISCUSSION

Effect for reduction of air flow volume

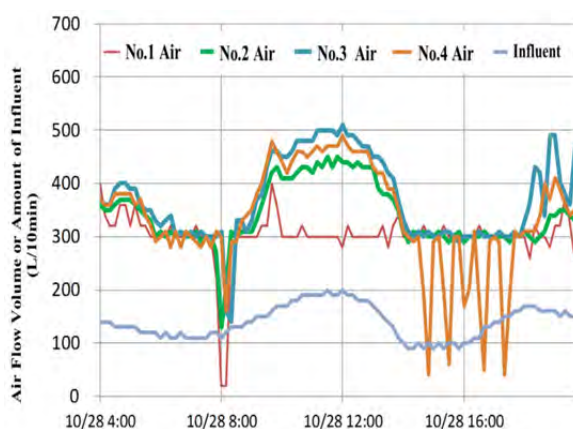
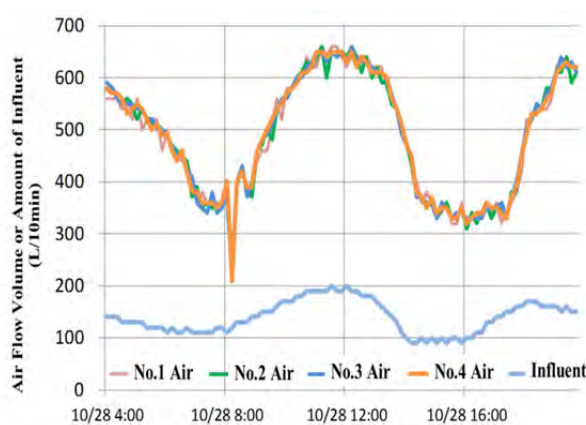
Table 3 shows the air flow rate of NRC system compared to that of DO control. Aeration volume was reduced by more than 20 % under the all temperature conditions.

Figure 4 and 5 shows change of air flow volume in each compartment controlled based on nitrification rate and DO.

Table 3 Effect of air flow reduction

Water Temperature	Air Flow Reduction Rate	Air Flow Rate(Nm ³ /m ³)	
		Nitrification Rate Control	DO Control
<15℃	22%	6.5	8.2
15℃≤T<20℃	22%	6.9	8.9
T>20℃	21%	6.8	8.7

While under the control based on DO, every air flow volume of all compartments in response to the flow fluctuation of influent, under the control based on nitrification rate, total and each air flow fluctuation were smaller than DO control since required air flow volume was supplied into each compartment. When influent volume was small, in the latter compartment, air flow was supplied intermittently. Figure 6 and 7 shows average DO values at each compartment of aerobic reactor under the both controls. Under the NRC system, at all compartments DO was under 0.7mg/L. This result shows NRC system could supply the minimum air flow requirements at each compartment.

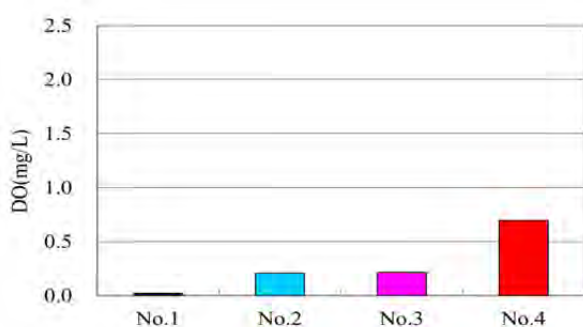
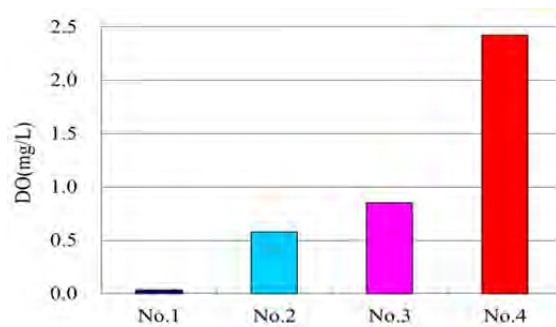
**Figure 4 Air flow in each compartment (NRC system)****Figure 5 Air flow in each compartment (DO control)**

Effluent water quality

Table 4 shows effluent water qualities by both aeration control systems. All quality items were similar and treated well. T-N removal rate of NRC system was a little higher than DO control.

Table 4 Effluent water quality of both controls

		BOD	T-N	NH ₄ -N	T-P	T-N RemovalRatio
T > 20°C	Influent	—	19	13	2.0	—
	Effluent (NRC system)	0.6	7.6	0.2	0.3	59%
	Effluent (DO control)	0.8	9.1	0.1	0.6	50%
T ≤ 20°C	Influent	—	30	21	3.4	—
	Effluent (NRC system)	4.7	13	0.5	0.4	55%
	Effluent (DO control)	1.4	15	0.2	0.5	50%

**Figure 6 Average DO values(NRC)****Figure 7 Average DO values(DO)****Factorial analysis of aeration reduction**

This aeration control based on nitrification rate can reduce air flow by 20% compared to the conventional DO control. Factors which contribute to this reduction are divided into three below.

(1) Improvement of dissolution efficiency

NRC system can make low level DO at every compartment. Low DO makes oxygen dissolution efficiency (Ea) high since oxygen dissolution rate is expressed in formula (1). SOR is expressed in formula (2). Therefore, given that SOR of Line1 (NRC system) is equal to that of Line2(DO control system), effect of aeration reduction caused by improvement of dissolution efficiency can be calculated, using the corrected air flow volume Gs'(NRC system).

$$Or = KLa (Cs - C) \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$SOR = Gs \times Ea / 100 \times \rho \times Ow \cdot \cdot \cdot (2)$$

Or (kgO₂/h): oxygen dissolution rate

Gs (m³): air flow volume

Ea: oxygen dissolution rate

ρ (kg/Nm³): density of air

Ow (kgO₂/kgAir): oxygen weight in air unit

C (mg/L): dissolved oxygen concentration

Table 5 Factorial analysis reduction

	Air flow volume reduction rate(%)	24.2 (100)
①	Improvement of dissolution efficiency(%)	9.5 (39)
②	Reduction of oxygen volume for maintaining DO (%)	1.7 (7)
③	Other factors (%)	13.0 (54)

(2) Reduction of oxygen volume for maintaining DO (Oo)

Oo is expressed in formula (3).

$$Oo = qrC \cdot \cdot \cdot (3)$$

q (m³): amount of influent

r (m³): return sludge volume

C (mg/L): dissolved oxygen concentration

(3) Other factors

As other factors, intermittent aeration, supplying required air flow into each compartment is considered.

(4) Each reduction rate

Table 5 shows each proportion of effect on aeration reduction caused by each factor.

Approximately 40 % of reduction rate was caused by improvement of dissolution efficiency.

DEVELOPMENT OF SIMULTANEOUS NITRIFICATION AND DENITRIFICATION SYSTEM

At actual facilities, if the fixed DO set points in a deep reaction tank is set as low as possible without compromising compliance, total nitrogen (TN) concentration at the end of aerobic tank decreases more than nitrogen contained within excess activated sludge volume. This phenomenon suggests the denitrification in aerobic tanks.

This control system is the real time control system supplying the minimum required air in each compartment of a reaction tank. Figure 8 shows the conceptual cross-sectional diagram of aerobic reactor in aerating low air volume. Oxygen in air bubbles is dissolved in water in the course of rising from aeration equipments to water surface. DO gradient occurs along the length from aeration equipment concerning respiration rate (R_r). Therefore, in aerating low air volume, anoxic area is formed also in an aerobic reactor.

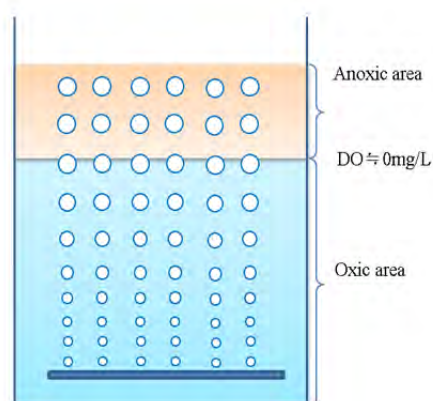


Figure 8 Cross-sectional diagram of aerobic reactor in aerating low air volume

Condition anoxic area is formed

Amount of oxygen contained in one bubble can be expressed in formula (4), if time from when an air bubble leaves aeration equipment to when the rate of oxygen dissolution becomes $0\text{mgO}_2/\text{L}/\text{h}$ represents t (h). If t (h) is shorter than H/v , anoxic area without oxygen is being formed.

$$k_{\text{O}_2} V \text{ (kg)} = \alpha \int_0^t \{ KLa(C_s - C_t) \cdot k_s \cdot S \cdot n \cdot d_{\text{O}_2} \} dt \quad \cdot \cdot \cdot (4)$$

DO distribution seen in cross section

If DO is utilized for nitrification as soon as it is dissolved into water, DO at depth of h is expressed in formula (5). Respiration rate R_r at depth of h is expressed in formula (6) concerning consumption by nitrifier. DO at each point of aerobic reactor can be deduced from the formulas (4)~(6) if air flow is determined.

$$C_h = \int_0^t \{ KLa(C_s - C_h) \cdot d_{\text{O}_2} - R_r \} dt \quad \cdot \cdot \cdot (5)$$

$$R_r = k_N \frac{S_{\text{O}_2}}{K_{\text{O}_2} + S_{\text{O}_2}} \cdot \frac{S_{\text{NH}_4}}{K_{\text{NH}_4} + S_{\text{NH}_4}} \cdot X_{\text{AUT}} \quad \cdot \cdot \cdot (6)$$

Balance between nitrification and denitrification seen in cross section

According to DO distribution calculated from formula(4) ~ (6), nitrification and denitrification volume are expressed in formula(7),(8).

$$\Delta NH_4 = \int_0^t \mu_N \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot X_{AUT} dt \cdot \cdot \cdot (7)$$

$$\Delta NO_3 = \int_t^{H/v} \mu_H \eta_{NO_3} \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot X_H dt \cdot \cdot \cdot (8)$$

On the plant study, DO measurements in the aerobic reactor controlled by this NRC system are maintained under 0.5mg/L, the nitrogen removal rate was higher only by 5-9points compared with that of DO control. Shallow depth of the plant is considered to be a major reason. Hence, using actual reactor with deep depth, nitrogen removal effectiveness is to be examined if NRC control is adopted.

Oxygen transfer rate(kgO₂/h):KLa(C_s-C_t)

Saturating oxygen concentration (mg/L): C_s

Dissolved oxygen concentration at the position at time't' (mg/L): C_t

Dissolved oxygen concentration at the position in the depth of 'h' (mg/L):C_h

Radius of bubble (m): r

Oxygen concentration in a bubble (kg/m³): k_{O₂}

Surface area of a bubble (m²): S =4πr²

Volume of a bubble (m³): V =4πr³/3

Numbers of bubbles (1/h): n

Rising rate of bubbles (m/h): v

Depth of reaction tanks (m): H

Oxygen residual ratio in a bubble: d_{O₂} (-)

Respiration reactor(kgO₂/h) : Rr

CONCLUSIONS

New aeration control based on nitrification rate can reduce air flow by more than 20% compared to the conventional control based on DO at the end of reactors. This system requires electric-operated air flow valves at every compartment in order to supply required air flow certainly. However, these equipments necessary for detailed control will be necessary for global warming gas reduction including N₂O gas. As a future plan, we will investigate the effect for total nitrogen removal by using this control at actual plants.

REFERENCES

- Lindberg, C.F.; Carlsson, B. (1996) Nonlinear and set-point control of dissolved oxygen concentration in an activated sludge process. *Water Sci. Technol*, 34(3-4), 135-142
- Thornton, A. Sunner, N.; M. Haack (2010) Real time control for reduced aeration and chemical consumption:a full scale study. *Water Sci. Technol*, 61.9, 2169-2175
- Rieger, L; Jones R.M.; Dold T.L.; Bott C.B.(2012) Myths About Ammonia Feedforward Aeration Control *WEFTEC2012*, New Orleans, Louisiana,USA

4-2-1 Sewerage Plan for the Prevention of Global Warming in Tokyo ～Earth Plan-2010～

Kinji YAMADA, Yukio NIHEI, Hajime TAKAHASHI, Kazuma KATOU

Bureau of Sewerage, Tokyo metropolitan Government

Abstract: In September 2004, prior to the Kyoto protocol, the Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government formed the “Earth Plan 2004”. The goal of the plan was to reduce the emissions of greenhouse gases (GHGs) by 6% from FY1990 levels by FY2009. The actual reduction was around 16%. As a next step, The Bureau formed “Earth Plan 2010” with a target reduction of more than 25% from FY2000 levels by FY2020. In this poster, we explain the outline and key technologies of the plan.

Keywords: greenhouse gas emission; fluidized bed incinerator of new technology; nutrient removal; activated sludge process; restricted-aeration A2/O process

1. Greenhouse gas emissions by sewerage service in Tokyo

An entire GHGs emission in Tokyo is about 56,650,000 [t-CO₂/year]. Among them, sewerage service accounts for about 1.5% (859,000 [t-CO₂/year]). Therefore, The Bureau is obligated for GHGs reduction as a member of public sector. On the other hand, the projects are underway to upgrade the sewerage system for renewal of sludge incinerators, nutrient removal from effluent, and so on. The conventional methods lead to increase of GHGs inevitably. Under this circumstance, we are working on the development of new technologies to achieve GHGs reduction while upgrading the system.

The intermediate target is a reduction of 18% by FY2014 leading to 25% by FY2020 from the FY2000. So far, we made a success of reducing N₂O from sludge incineration and CO₂ from the supplemental incineration fuel. However, we have been unable to contain the CO₂ from electricity used for sludge incineration and the N₂O and CO₂ from wastewater treatment. We are working on these challenges.

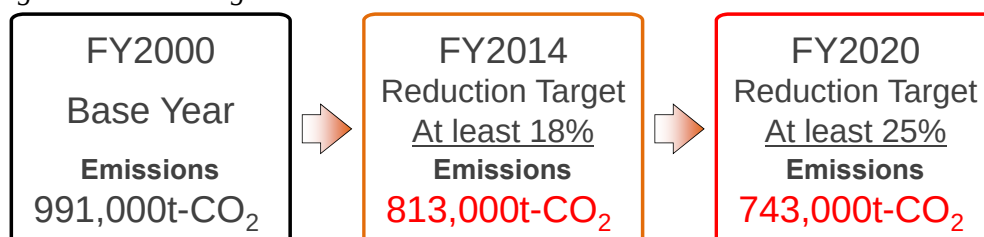


Figure.1 Target of GHGs reduction in the Bureau

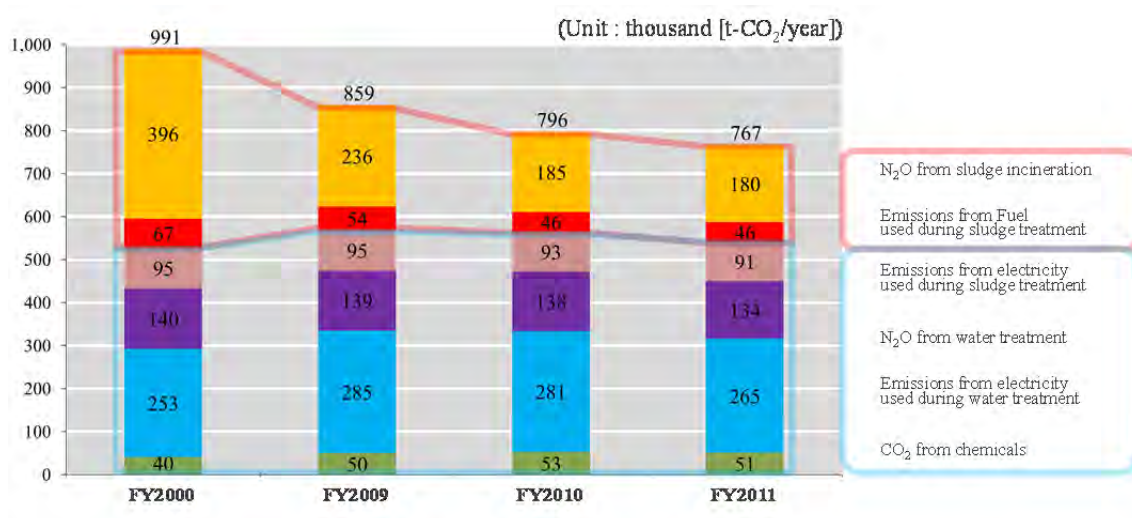


Figure.2 Changes of GHGs emission

2. New measures

2.1 Introduction of New Combustion Systems for Sludge Incineration

-Multilayer Fluidized Bed Incinerator-

By having two additional air vents at high and low positions, the new incinerator has achieved high efficiency with a wide area of high temperature, leading to breakdown of N₂O and reduction of supplemental fuel use.

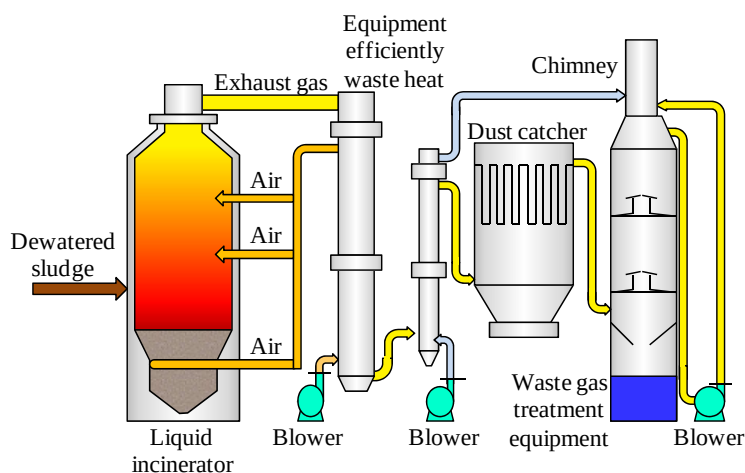


Figure.3 Scheme of Multilayer Fluidized Bed Incinerator

-Fluidized Bed Incinerator with Turbo Charger-

Waste heat is recovered from the dust controller and sent to the turbo charger. Then, pressurized air is injected to the high pressurized incinerator leading to enhanced combustion speed and higher incineration temperature. Higher temperature incineration breaks down more N₂O. This new incinerator system removes part of blowers leading to a reduction in electricity use.

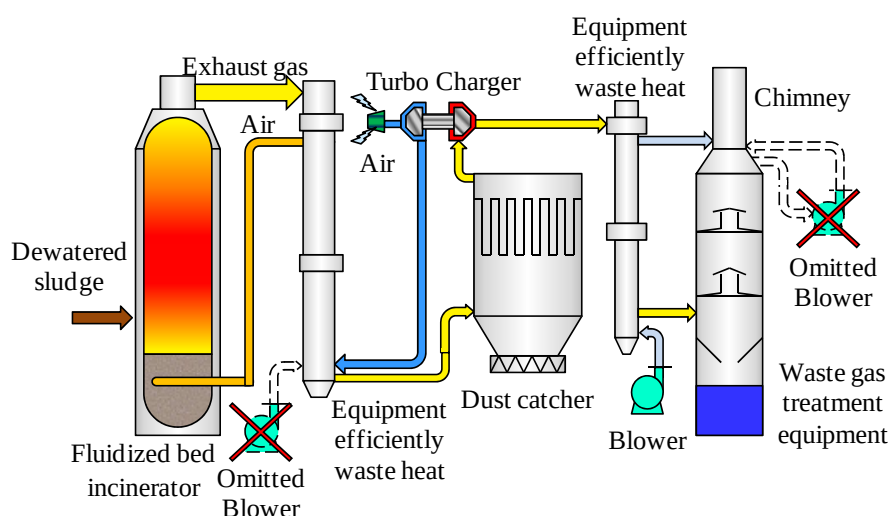
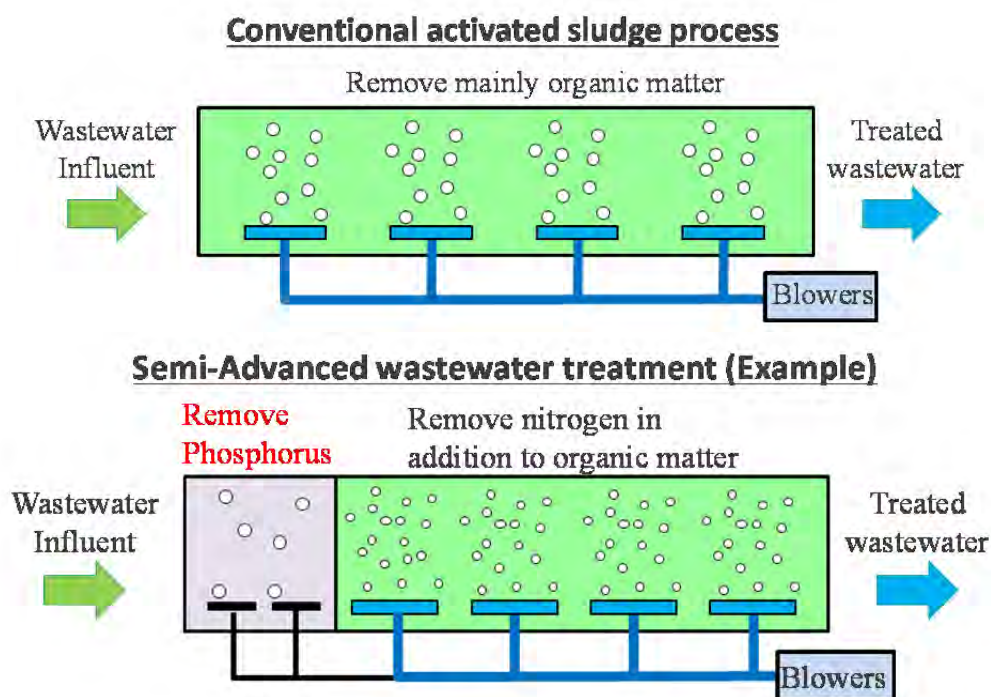


Figure.4 Scheme of Fluidized Bed Incinerator with Turbo Charger

2.2 Nutrient Removal with Same Energy Use as Conventional Process

Nutrient removal is necessary to meet the effluent permit. The Bureau has converted conventional activated sludge system to advanced wastewater treatment (A2/O) process gradually. However, the A2/O process consumes more electricity with more tank space. We successfully developed a new operation method to meet the requirement for effluent quality while keeping GHGs emission at the same level as the conventional activated sludge process.



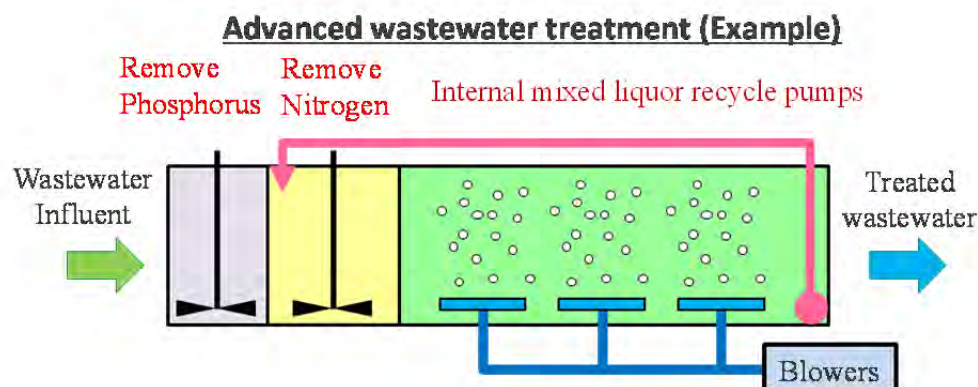


Figure.5 Scheme of 3 types activated sludge process

Table.1 Comparison of the wastewater treatment method

	Effluent water quality	Electricity consumption	Treatment capacity
Conventional activated sludge process	Nitrogen: 100% Phosphorus: 100%	100%	100%
Semi-Advanced wastewater treatment	Nitrogen: 85% Phosphorus: 50%	100%	100%
Advanced wastewater treatment process	Nitrogen: 65% Phosphorus: 40%	130%	63%

※ The data are expressed as relative values, with Conventional activated sludge process being 100 percent.

3 Conclusions

We are committed to continue to expand our new approaches to our sewerage system so that we can achieve the goal of a 25% reduction of GHGs in FY2020 from FY2000. We are confident that the new technologies we developed can make a positive contribution to the world wastewater operators for their control of GHGs and energy use.

4-3-1 Earthquake and Tsunami Countermeasures of Tokyo's Sewerage

Masahiro Hikino* and Gaku Sato**

*Planning Section, Planning and Coordinating Division,
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government
8-1 Nishi shinjuku 2-chome, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8001, Japan
(E-mail: Masahiro_Hikino@member.metro.tokyo.jp)
** (E-mail: Gaku_Sato@member.metro.tokyo.jp)

Abstract

The Tokyo Metropolitan Government created a committee consisting of academic experts to summarize Tokyo's basic policy for earthquake and tsunami in light of the extensive damages caused by the Great East Japan Earthquake. Based on the recommendations from the committee, the Bureau of Sewerage is formulating and implementing a series of countermeasures against earthquake and tsunami, including protection of sewerage facilities from flooding in the event of a tsunami, automation and remote control of storm surge gate to prevent tsunami-generated backflow to sewers, and aseismic reinforcement of sewerage facilities.

Keywords

tsunami, protection of sewerage facilities from flooding, protection of sewer pipe from backflow, storm surge gate, aseismic reinforcement of sewerage facilities

1. Tokyo's Measures for Earthquake and Tsunami after the Great East Japan Earthquake

On March 11, 2011, an earthquake of magnitude 9.0, the biggest in Japan's modern history, hit Northeast Japan. The earthquake, later named the Great East Japan Earthquake, had its epicenter in the Sanriku coast; the northern part of Miyagi Prefecture measured the seismic intensity 7. The subsequent tsunami attacked a wide range of the Pacific coast areas from the Tohoku to Kanto regions, causing about 20,000 dead or missing and serious damages on sewerages, levees, water gates, etc., on the Tohoku and surrounding regions.

Although several parts of Tokyo areas observed the seismic intensity 5 upper and

tsunami wave of 1.5m height, higher than the official assumption of maximum height of 1.2m, no major damages occurred on sewerages, rivers, and coastal protection facilities, thanks to the continued improvement on the facilities up to date.

However, in light of the extensive damages caused by the earthquake and to respond to the expected damages by a possible Tokyo inland earthquake in near future, the Tokyo Metropolitan Government created a committee consisting of academic experts to summarize Tokyo's basic policy for earthquake and tsunami, in addition to the immediate inspection and survey of potentially impacted facilities in cooperation with concerned bureaus and departments in charge of river, port, and sewerage.

The committee, based on the results of the emergency investigation, issued the recommendations on the anti-quake and anti-flood measures regarding levee, water gate, pumping station, water reclamation center, etc. Based on the recommendations, the Tokyo Metropolitan Government formulated Tokyo's Basic Policy for Flood Disaster Prevention Associated with Earthquake and Tsunami in August 2012. To embody the basic policy, the Bureau of Sewerage formulated the Sewerage Facility Development Plan to Counter Earthquake and Tsunami in December 2012, followed by the implementation of the measures from subsequent fiscal 2013.

2. Tokyo's Basic Policy for Flood Disaster Prevention Associated with Earthquake and Tsunami

In August 2011, the Tokyo Metropolitan Government formulated Tokyo's Basic Policy for Flood Disaster Prevention Associated with Earthquake and Tsunami. In the document, the Tokyo Metropolitan Disaster Prevention Council assumed the maximum magnitude caused by a subduction zone earthquake to be 8.2. Based on the assumption, the Tokyo Metropolitan Government aimed to promote anti-flood measures to resist the above possible biggest earthquake and subsequent tsunami, by protecting facilities from inundation and retaining the functions of levees, water gates, pump stations, water reclamation centers, etc.

The concept of preventive measures is based on the data in the Damage Assumption Caused by A Tokyo Inland Earthquake published in April 2012 by the Tokyo Disaster Prevention Council, which assumed the maximum height of tsunami wave to be T.P+2.6m, not exceeding the height of currently planned levees (T.P+3.5-8.9m) along Tokyo coasts and rivers. Therefore, the Tokyo Metropolitan Government decided to promote anti-storm surge measure under the current plan in principle, without increasing the height of levees (Figure 1).

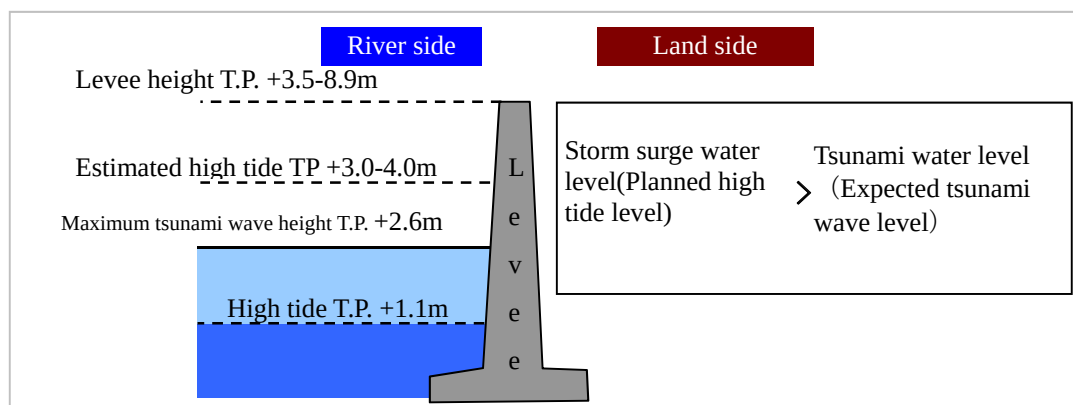


Figure 1: Tsunami and storm surge

The above assumption of maximum height of tsunami wave T.P.+2.6m was based on a possible earthquake of magnitude 8.2 with an epicenter near the Sagami Trough located from the Sagami Bay to off the Boso Peninsula, as well as the biggest tsunami Tokyo suffered in history. The following is our basic course of action in each field.

◎ **Anti-quake measures**

Aseismic reinforcement of facilities should be immediately started to retain the facilities' functions even after the ground motion caused by the largest class earthquake, such as a subduction zone earthquakes of magnitude 8.2 or a possible Tokyo inland earthquake assumed by the Tokyo Disaster Prevention Council.

◎ **Anti-flood measures**

Electric and mechanical equipment of each facility, depending on its specific location and condition, should be protected from inundation to retain its function, even in the event of flooding caused by destroy of levee and water gate.

◎ **Water gate operations**

Function of backup facilities and multiplexing of communication network should be strengthened, while introduction of off-site remote control system to replace on-site manual operation should be studied. Also, information regarding weather, water level, opening/closing of water gate, etc., should be shared by using existing communication network that each facility's administrator currently operates.

Tokyo's Basic Policy for Flood Disaster Prevention Associated with Earthquake and Tsunami recommended a cross-sectional approach to the above prevention. More specifically, the policy recommended that not only the Bureau of Sewerage, but also the Bureau of Constructions and the Bureau of Port and Harbor, formulate the development

plan regarding quake-resistant and flood-resistant levees and remote control of water gate in cooperation with each other.

Under the policy, the Bureau of Sewerage formulated the development plan for anti-quake, anti-flood measures for water reclamation center and pumping station, and remote control of storm surge gate installed at storm water outlets along rivers and port areas.

3. Development plan for sewerage facilities resistant to earthquake and tsunami

(1) Protection of water reclamation center and pumping station from flooding (measures against tsunami)

The most of sewerage facilities in Tokyo are located in the inside of storm surge levee of the Tokyo Bay, and so in principle they are protected from tsunami and storm surge. However, there are possibilities that a quake-generated tsunami may destroy these levees and water gates, causing damages on sewerage systems. To prepare for such case, retention of sewerage discharging function and early recovery from tsunami disaster is desired. In this direction, the Bureau of Sewerage is formulating and implementing a series of flood-resistant measures to protect electrical equipment at water reclamation centers and pumping stations located in the areas lower than the maximum tsunami wave height in the Tokyo Bay (T.P.+2.6m) assumed by the Damage Assumption Caused by A Tokyo Inland Earthquake published by the Tokyo Disaster Prevention Council.

More specifically, the Bureau of Sewerage is installing watertight doors and water bars to the openings of doors and shutters of building. The Bureau assumed that the water level would rise gradually in flooding caused by partial damage on levee, creating no dynamic water pressure. Therefore, the water pressure at the protected height was assumed to be the hydrostatic pressure at a depth of flooding. In addition, the position of ventilation opening should be raised, so not to be affected by the maximum height of tsunami wave. The outdoor operation panel should be elevated to a higher position or replaced with water-resistant types(Figure 2).

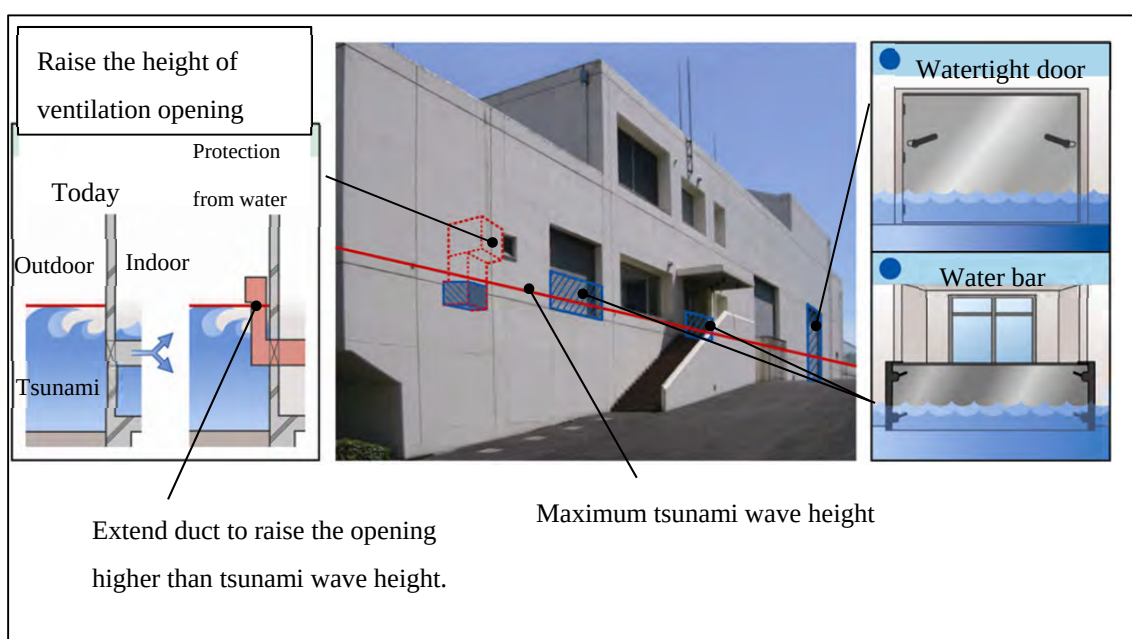


Figure 2: Pumping station protected from flooding(measures against tsunami)

(2) Backflow prevention for sewer pipe

To protect from extra-high tide induced by approaching typhoon, many storm surge gates are installed at storm water outlets along rivers and port areas in Tokyo. The gates, which are designed to prevent the backflow and flooding to sewers from increased water at rivers and port, are mostly closed by hands of operators on site.

Fortunately, during the Great East Japan Earthquake, there was no damage caused by the backflow of the tsunami in Tokyo, but the closure of storm surge gate became necessary when tsunami warning was issued. During the gate closing, however, it took some time for our operators to arrive the sites with gate closing equipment, because of delayed instruction to operators due to emergency restriction of telephone communication and heavy traffic congestion in Tokyo then. Moreover, the Great East Japan Earthquake reminded us that the manual gate operation on site is dangerous, evidenced by the victims of local gate operators during tsunami.

Therefore, in order to close the storm surge gate safely, quickly, and securely, the Bureau decided to promote automatization, remote control of storm surge gate. In converting the system into electrical operation, we specially paid attention to the location of emergency power supply, which will substitute normal power source in case of power outage. We studied the suitable place at each site to carry out the ongoing project.

Further, to respond to sudden happening and quickly arriving tsunami, remote control terminals should be installed at several offices in the Bureau of Sewerage, so that the

gate can be immediately closed according to tsunami warning, even in night or on holidays when staff is absent. In installing remote control system, laying optical fiber cable in sewer pipe, which has strong resistance to earthquake, should be positively used (Figure 3).

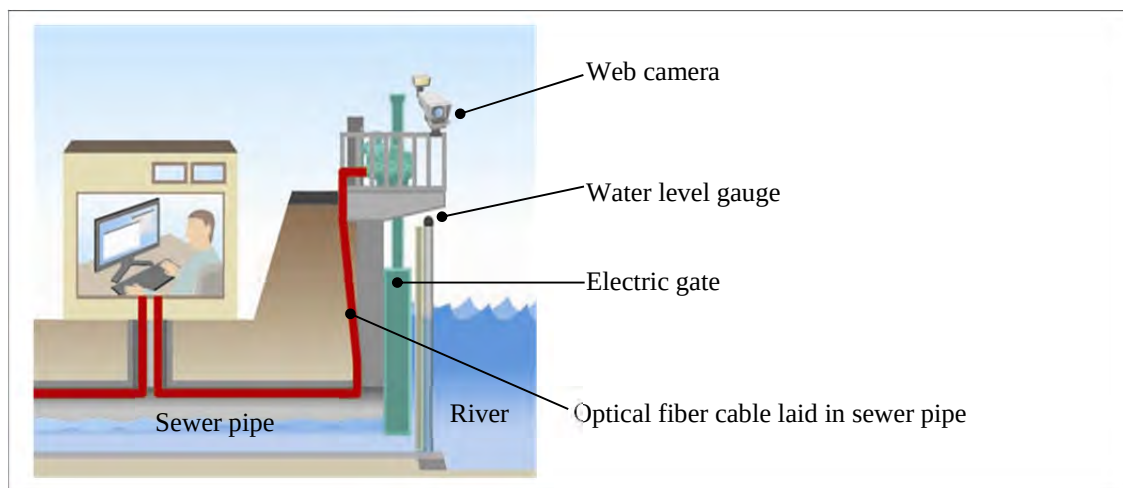


Figure 3: Remote control of storm surge gate

(3) Aseismic reinforcement of water reclamation center and pumping station

Designing of new water pumping station and water reclamation center is based on the assumption of the scale of Level 2 Ground Motion, which is not so much likely to occur during facility's service period, but has largest seismic motion. On the other hand, the aseismic reinforcement of existing facilities so far in principle is based on the scale of Level 1 Ground Motion, which is likely to occur once or twice during facility's service period, because the reinforcement in parallel with continuing operations of existing mechanical and electrical facilities is not so easy.

For future reinforcement to respond to a possible Tokyo inland earthquake, the Bureau of Sewerage reviewed its plan and prioritized the functions need to be retained as "pumping," "primary treatment," "disinfection," and "water discharge (Figure 4)." The aseismic reinforcement of the facility to perform the above function should be carried out based on the scale of Level 2 Ground Motion.

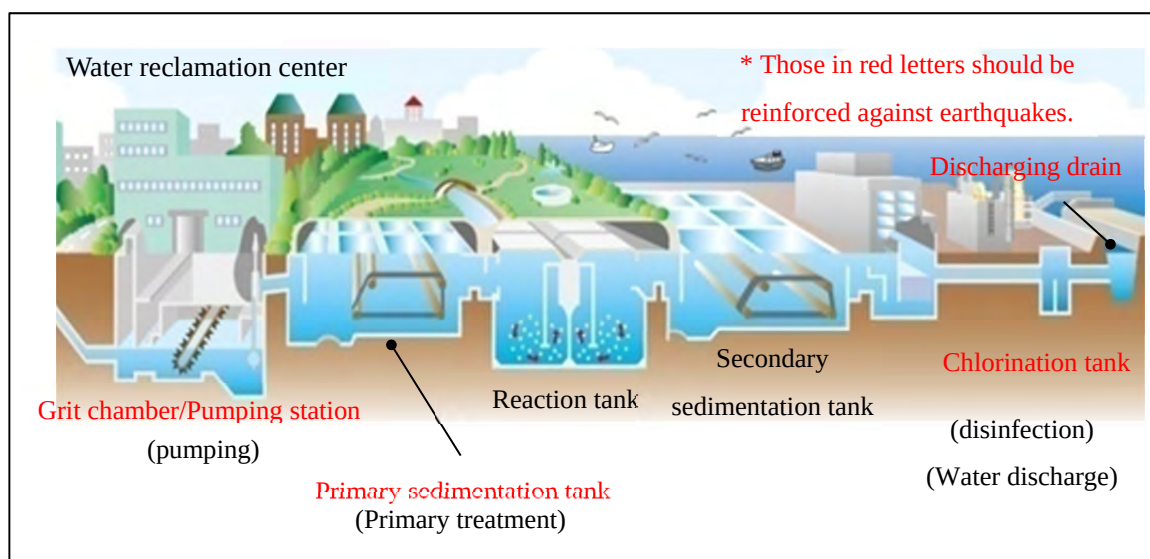


Figure 4: Facilities need to retain their functions even in disaster

4. Creating disaster-resistant Tokyo

Since the Great East Japan Earthquake hit Northeast Japan in March 2011, interest among citizens in safety and security is growing. People are expecting more quake-resistant, flood-resistant sewerage systems. In this belief, the Bureau of Sewerage is dedicated to contribute to the creation of the Disaster Resistant City Tokyo by innovating and improving sewerage system against earthquake and tsunami.

Reference

- 1) Tokyo Metropolitan Government. Report: Damage Assumption Caused by A Tokyo Inland Earthquake. April 2012.
- 2) Bureau of Construction, Bureau of Port and Harbor, and Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government. Tokyo's Basic Policy for Flood Disaster Prevention Associated with Earthquake and Tsunami. August 2012.
- 3) Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government. Anti-quake, Anti-flood Sewerage Facility Development Plan. December 2012
- 4) Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government. FY2013 Tokyo Sewerage Management Plan. February 2013.

4-3-2 Renewal of the Radars of Rainfall Information System: Tokyo Amesh

Tadahisa KOBUNA, Yoshinori YABUKI

Staff Member and Senior Staff, Facilities Management Section,
Facilities Management and Maintenance Division,
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government
2-8-1 Nishi-Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan
(E-mail: *Tadahisa_Kobuna@member.metro.tokyo.jp*; *Yoshinori_Yabuki@member.metro.tokyo.jp*)

Abstract

Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government has a radar rain gauge system, “Tokyo Amesh”. Rainfall information system is used to make the operation of pump stations and wastewater treatment plants more efficiently. The rain radars of Tokyo Amesh have worked for a long time. We are replacing the rain radars because of the aging of the facilities. Observations of additional meteorological parameters with the newly developed radars would increase the precision and relativity. As future efforts, methods to rapidly detect urban heavy rain and to decrease cost of maintenance of ground rain gauges will be addressed.

Keywords

Radar rain gauge system, X-band radar, dual polarization radar, urban heavy rain

1. INTRODUCTION

Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government is in charge of the speedy removal of rainwater from land surface to public water body through pipes and pumps in order to guard cities in Tokyo against floods. Urbanization of Tokyo has altered our rainfall environment. The rainwater no longer permeates into the ground easily due to the decrease of unpaved grounds. The rainwater mostly flows into sewerage pipes. Because of the low permeation rate, concentrated heavy rain causes immediate water rush-in to pumping stations and wastewater treatment plants. The accurate and real-time information of rainfall conditions is essential to respond unstable rainfall with stable operation. In addition, most of pump stations in Tokyo are remote controlled from centralized monitoring room in distant wastewater treatment plant or pumping station. It enables us to operate pumps by fewer workers. However, operators need to understand rain information in each distant pumping stations. For these reasons, we have a radar rain gauge system, “Tokyo Amesh”. The radars are used to measure rainfall intensity and location. Accurate rainfall information enables appropriately operate.

However, several operational problems are occurring due to deterioration of the radars after the long period of service. To enhance reliability of the rainfall information, we replace the current rain radars with X-band MP radars (dual polarization radars using X-band), which can obtain data of additional meteorological parameters.

Moreover, in recent years, increased frequency of urban heavy rain, which brings much rain localized to a small area in short period of time, increases a risk of floods. We address to rapidly detect urban heavy rain with the new radars.

Ground rain gauges are used for calibrating some error originated in the uncertainty of the shape and density of raindrops. The new radars do not require the calibration. The maintenance cost of ground rain gauges would decrease by using the new radar.

In this paper, the efforts of Tokyo Metropolitan Government to prevent floods through replacement Tokyo Amesh radars will be shown.

2. TOKYO AMESH

A radar beam travels straight and reflects on the surface of an object. The property enables radar to measure the location and the dimension of the object. The Radar Rainfall Gauge system gathers rain signals, omitting the reflection from buildings, mountains or structures (See Figure 1).

The antenna receives the echo and measures the power, which indicates the rainfall intensity.

Conversion coefficients between the signal power and the rainfall intensity determined empirically include some error because of the uncertainty of the shape of raindrops. The calibration with the ground rain gauge data contributes to the minimization of the error.

To apply effective calibration, ground rain gauges are arranged densely over Tokyo land area. 106 gauges of Bureau of Construction are used as well as 44 gauges of Bureau of Sewerage for the calibration.

Tokyo is mostly covered by the two radars. Each of the radars has the observation area of 50km-radius. In addition, Tokyo Amesh also shares the rainfall information with the neighbouring local governments, successfully enhancing accuracy and extending observation range. Radar's observation is obstructed by strong rain near the antenna. The effect rainfall Attenuation occurs because beam weakens while passing through rain. The attenuation is complemented in the allied system with the neighbouring local governments.

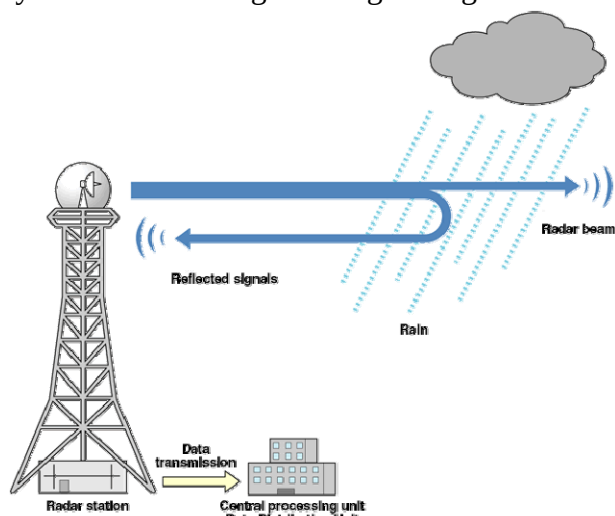


Figure 1. Radar rainfall information measurement

Tokyo Amesh system consists of five radar stations, 150 ground rain gauges, central computer for processing and data distributing, and over 100 information terminals (See Figure 2).

Based on the measured data with the radars and ground rain gauges, the central computer calculates the intensity of the rain and sends the results to terminal stations. At a terminal station, the information is shown on the graphical interface suited to plant operation (See Figure 3). As the information obtained from Tokyo Amesh is open to the public via Internet and Cellular phones, it is popular among Tokyo Metropolitan citizens.

(Our web site: <http://tokyo-ame.jwa.or.jp/en/index.html>)

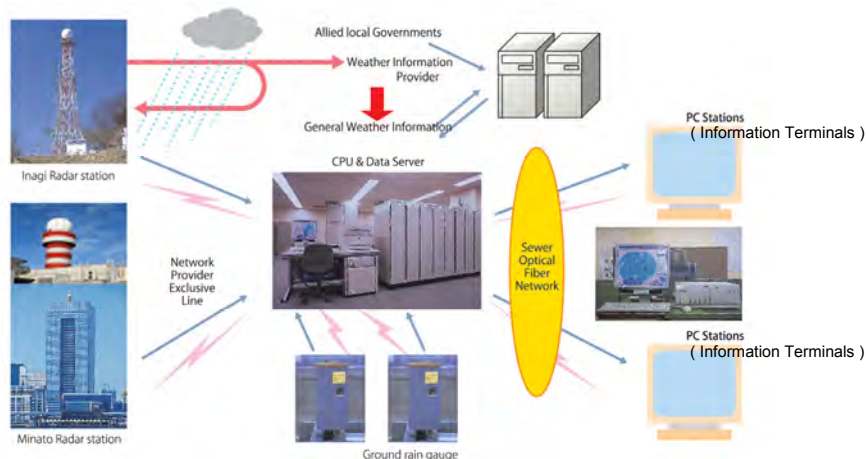


Figure 2. System configuration of Tokyo Amesh

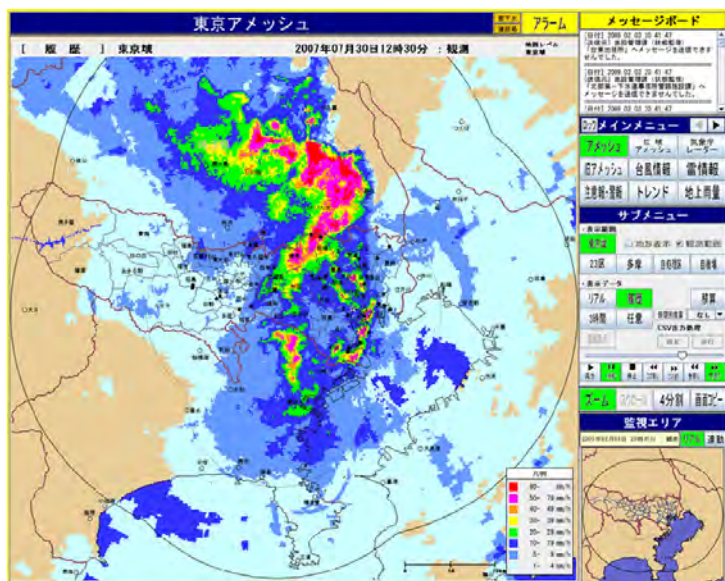


Figure 3. Main surveillance screen of Tokyo Amesh

3. REPLACEMENT OF RADARS

Current radars were put into operation in 2002. System troubles caused by mechanical failure sometimes occur in recent years. In the management plan 2013, Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government made a decision to replace the decrepit radars as one of the countermeasures against floods. The plan aims to increase precision of the rain information system to increase safety of pump operation against heavy rain.

X-band MP radars will be installed as new radars. Features and advantages of the new radars are shown in this chapter.

3.1 Principle of X-Band MP Radar

Current rainfall radars measure rainfall intensity with received signal strength of only horizontal polarimetric wave. On the other hand, X-band MP radars enable to identify the shape and the diameter distribution of raindrops by measuring rainfall with both horizontal and vertical polarimetric wave (See Figure 4).

The major parameters measured with the new radars are shown in Table.1.

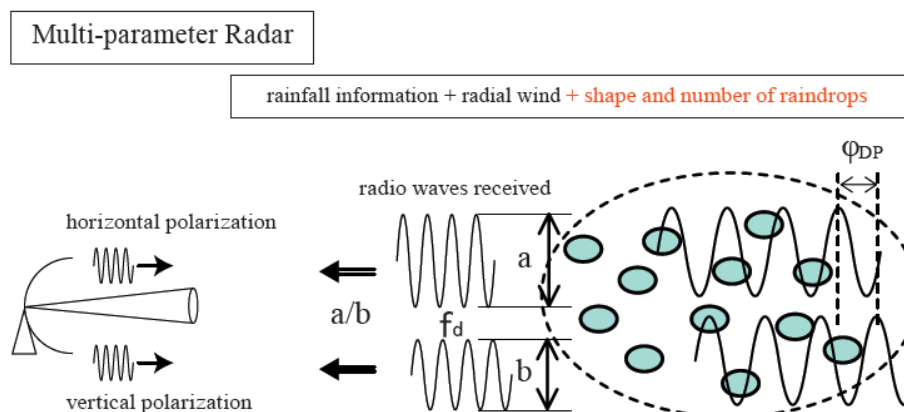


Figure 4. Conceptual diagram of MP radar (NIED, 2005)

Table 1. Major parameters of X-Band MP radar

Parameter	Symbol	Description
Horizontal Reflectivity Factor	Z_H	To estimate rainfall intensity.
Differential Reflectivity	Z_{DR}	To identify the shape of raindrops (spherical or flattened) with the ratio of horizontal reflectivity factor (Z_H) and vertical reflectivity factor (Z_v).
Differential Propagation Phase	ϕ_{DP}	To estimate ellipticity of raindrops with the phase difference between horizontal and vertical polarimetric wave.
Co-Polar Correlation Coefficient	ρ_{HV}	Calculated with a correlated function of received signals of horizontal and vertical polarimetric wave. To identify the raindrop type (rain, snow or hail) in combination with differential reflectivity ratio.
Specific Differential Phase	K_{DP}	Differential propagation phase per unit distance. To estimate rainfall intensity, being less interfered by rain attenuation.
Radial Velocity	V_D	To measure wind direction and wind velocity with the radial velocity of raindrops.
Spectrum Width	W	To indicate accuracy of the measured radial velocity.
Doppler Velocity Unfolding	V_H	Radial velocity corrected for folding effect.
Doppler Velocity Spectrum Width	W_H	Spectrum width of Doppler velocity unfolding.

3.2 Solid-State Transmitter

Magnetron transmitters, which can transmit at a high output power, are used in the current radars. However, the short mechanical life of about 1 year and the occasional occurrence of sudden failure make its maintenance cost higher.

In the new radars, solid-state transmitters are used. Solid-state transmitters offer longer mechanical life, less maintenance cost and stable continuous rainfall monitoring. Although the output power of solid-state transmitter is less than that of magnetron transmitter, the output power is enhanced by assembling eight solid-state transmitters. The assembled transmitters enable us to deliver equal performance to the conventional transmitter at a smaller output power by applying for pulse compression. Comparison of magnetron and solid-state transmitter specification are shown in Table 2.

Table 2. Comparison of magnetron and solid-state transmitter specification

	Magnetron	Solid-State
Type	Coaxial Magnetron	Gallium Nitride Device
Replacement Frequency	Approximately 1-year	No Regular Replacement
Transmitter Power	70kW	1.2kW (Eight 200W Devices Assembled)
Pulse Width	2 μ s	0 to 7.5 km 1 μ s 7.5 to 80 km 48 μ s
Pulse Compression	Inapplicable	Applicable
Minimum Detectable Signal	-109dBm	-110dBm

3.3 New Radar Specification

Comparison of specifications between the current radar and the new radar is shown in Table 3.

Table 3. Specification comparison between current and new Radar

		Current Radar	New Radar
Operation Range		0~80km (0~50km : Quantitative Monitoring) (50~80km : Qualitative Monitoring)	0~80km (0~50km : Quantitative Monitoring) (50~80km : Qualitative Monitoring)
Antenna	Diameter	Φ3m Circular Parabolic	Φ3m Circular Parabolic
	Polarization	Horizontal	Horizontal, Vertical
	Beam Width	Less than 1.4°	Less than 0.8°
	Gain	More than 43dB	More than 43dB
	Rotation	3 min ⁻¹	3 min ⁻¹
Transmitter	Peak Power	70kW	1.2kW
	Frequency	9710MHz (Minato Radar) 9730MHz (Inagi Radar)	9710MHz (Minato Radar) 9730MHz (Inagi Radar)
	Pulse Width	2 μ s	Short Pulse 1 μ s Long Pulse 48 μ s
	Type	Coaxial Magnetron	Solid-State
	Pulse Repetition Frequency	450pps	1200/1500pps (Dual Type)
	Minimum Detectable Signal	Less than -109dBm	Less than -110dBm
Data Processing Capability	Range Resolution	250m	150m
	Spatial Resolution	1.4°	0.8°
	Update Frequency	1 minute	1 minute

Parameters	Horizontal Electric Wave Signal (Pr-NOR), Horizontal Electric Wave Signal(Pr-MTI), Horizontal Reflectivity Factor (Z-NOR), Horizontal Reflectivity Factor (Z-MTI), Rainfall Intensity (Rr-MTI), Rainfall Intensity (Rr-NOR)	Horizontal Electric Wave Signal (P _H -NOR), Vertical Electric Wave Signal (P _V -NOR), Horizontal Electric Wave Signal (P _H -MTI), Vertical Electric Wave Signal (P _V -MTI), Horizontal Reflectivity Factor (Z _H), Vertical Reflectivity Factor (Z _V), Differential Reflectivity (Z _{DR}), Differential Propagation Phase (Φ _{DP}), Co-Polar Correlation Coefficient (ρ _{HV}), Specific Differential Phase (K _{DP}), Radial Velocity (V), Spectrum Width (W), Doppler Velocity Unfolding (V _H), Doppler Velocity Spectrum Width (W _H), Rainfall Intensity (Rr)
------------	--	---

Note: NOR (Normal) is a raw value from the radar. MTI (Moving Target Indicator) is a value corrected for interfering reflected wave from the moving target.

3.4 Advantages of X-Band MP Radar

Due to the installation of X-band MP radars, some advantages are expected. Some observation errors tend to occur with the current radars, as below. It is expected to improve precision of estimate rainfall intensity by decreasing the errors with the new radars.

(1)Effect by the shape of raindrops

As intensity of radar beam is affected by ellipticity of raindrops by air resistance, error tends to occur by the uncertainty of the shape of raindrops. To identify the shape of the raindrops by measuring rainfall with both horizontal and vertical polarimetric wave using X-band MP radars could be estimated more precisely.

(2)Overestimating by Bright Band

Radar waves are reflected strongly at the layer of melting rain cloud, which is called the bright band. Bright band makes received signal stronger than actual and overestimate the rainfall intensity. Combining differential propagation phase (φ_{DP}) and co-polar correlation coefficient (ρ_{HV}) enables distinguishing whether the strong signal is from raindrops or from melting layers and prevents to the overestimation of the rainfall intensity.

(3)Underestimating by Rain Attenuation

X-band radar is susceptible to rain attenuation due to the short radar wave length. Decline of radar wave by rain attenuation causes an underestimation of the rainfall intensity. X-band MP radars calculate specific differential phase (K_{DP}) with horizontal and vertical polarimetric wave phase and

estimate rainfall intensity with specific differential phase (Maki et al., 2005). As phase of radar wave is not affected by the rain attenuation, it can estimate rainfall intensity less susceptible to rain attenuation. To calculate specific differential phase with the new radars prevents more effectively to underestimate rain intensity.

In addition, it is difficult to observe low rainfall (less than 1 mm/hr.) with the current radars. To estimate rainfall more precisely with the new radars would contribute to identify low rainfall from about 0.3 to 1 mm/hr.

3.5 Data Distribution during Replacing

Since the rainfall information cannot be obtained during replacing the radars, alternative rainfall data collection methods are required in order to operate pump as usual. As we allied with Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, the rainfall data of them will be available. That data enable us to offer rainfall information as accurate as the current system to its users without any interruption during the transition periods.

4. FUTURE EFFORTS

Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government continues to address the following challenges with the new radars.

4.1 Rapid Detection of Urban Heavy Rain

Rainfall radars can identify rainfall only after the rainfall starts. Detecting early signs of urban heavy rain is essential to be ready for a pump control.

During the initial stage of urban heavy rain, strong downdraft known as microburst occurs (See Figure 5). If X-band MP radars can detect microburst with Doppler measurement technology, the radars would provide sufficient time to prepare for urban heavy rain.

We will develop detection technology as one of the next challenges with the new radars.

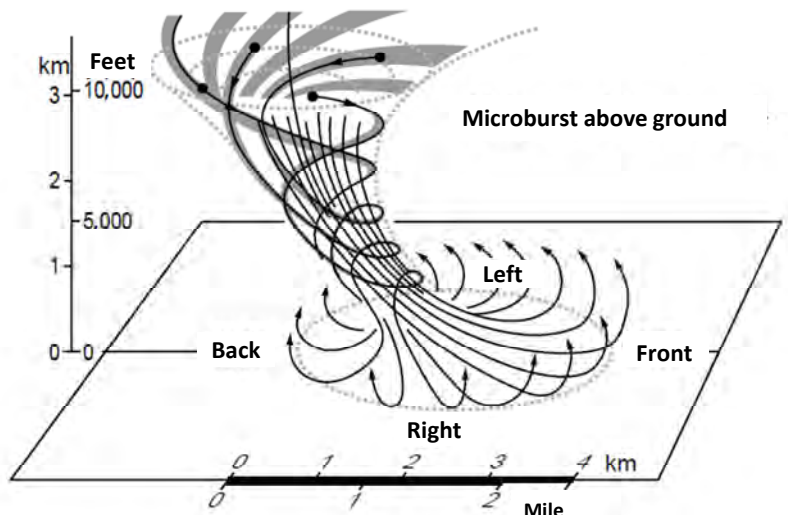


Figure 5. Conceptual diagram of microburst
(Translated based upon data from Adachi and Sato, 2000)

4.2 Reduction of Maintenance Cost of Ground rain gauges

As Amesh system is aimed to monitor inflow amount of rain water to sewage facilities, it is important to estimate the actual amount of precipitation. As mentioned above, the rainfall intensity estimated by the radars is calibrated with the rainfall data of ground rain gauges.

The X-band MP radar provides more precise rainfall estimate. The calibration with ground rain gauges will become less important than before, indicating possible reduction of the number of ground rain gauges.

Operation of ground rain gauges requires maintenance cost which includes fees for periodic certification test. We address to reduce the number of ground rain gauges in order to reduce the maintenance cost maintaining the precision of rainfall monitoring.

5. SUMMARY

Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government is replacing the decrepit radars as one of the countermeasures against floods. Due to the installation of X-band MP radars, improvement of precision of estimates is expected. In addition, the methods to detect urban heavy rain rapidly and to reduce maintenance cost of ground rain gauges by decreasing its number will be addressed.

6. REFERENCE

- (i) Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government, Tokyo Amesh, available at: <http://tokyo-ame.jwa.or.jp/en/> (accessed 28 May 2013)
- (ii) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED), 2005 Rainfall Observation by X-Band Multi-Parameter Radar, available at: http://www.bosai.go.jp/kiban/radar/PDF%20Files/PDF%20File%20-%20English/nied_brochure_e.pdf (accessed 28 May 2013)
- (iii) Maki, M., Park, S-G., & Bringi, VN. 2005 Effect of Natural Variations in Rain Drop Size Distributions on Rain Rate Estimators of 3 cm Wavelength Polarimetric Radar, *Journal of the Meteorological Society of Japan* VOL. 83, NO. 5, p.871-893
- (iv) Adachi, H. & Sato, Y. 2000 Special Issues: Radio Wave Application Technologies and Systems, *Toshiba Review*, 2000, VOL.55, NO.5, p.27-30

4-3-3 Technology for Reducing Nitrous Oxide (N₂O) Generated from Wastewater Treatment Process

Tadahiro Nemoto*, Aki Hamamoto*, Kiyoaki Kitamura*, Chikashi Nomoto*

* Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government, Japan

(E-mail: Tadahiro_Nemoto@member.metro.tokyo.jp)

Abstract

Global warming has become a world-wide issue, so that it is imperative for us to reduce emissions of greenhouse gases. Tokyo Metropolitan Government aims to reduce greenhouse gas emissions by 25% by 2020, based on 2000 levels. Bureau of Sewerage has implemented GHG countermeasures so far, however, no achievements have been made to suppress the generation and emission of N₂O from reaction tanks working in wastewater treatment. Most of the N₂O was generated under aerobic conditions and decomposed under anoxic conditions by denitrification.

In this research, in order to reduce N₂O generation in aerobic tanks, optimization of air flow pattern was investigated. As a result it was important to reduce air flow rate in the early part of biological reactor in order not to accumulate NO₂-N which could be source of N₂O generation. Furthermore, to decompose N₂O emitted from aerobic tanks, the necessary conditions to denitrify N₂O and decomposition rate were investigated.

Keywords

Greenhouse gas, Nitrous oxide, N₂O, Wastewater treatment plant

INTRODUCTION

In recent low carbon society, not only water quality improvement, but also GHG reduction has grown important for WWTP. WWTP emits GHG gases themselves as well as consumes huge electricity for treatment. Especially N₂O gas emitted from wastewater treatment and sludge incineration processes is in great need for reduction since it has 310-fold-stronger greenhouse effect than CO₂.

The Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, has initiated proactive set of measures for reducing GHG emissions. The Bureau has so far implemented GHG countermeasures by reducing electricity consumption and lowering the amount of N₂O generated by sludge incineration. Reduction of N₂O from wastewater treatment will be important for further reduction of GHGs.

Previous studies (Shiomi et al. 2010) have shown that most of N₂O generate and emit from aerobic tanks, and that accumulation of NO₂-N in reaction tanks through nitrification, sludge retention time (SRT), and dissolved oxygen (DO) are main factors to affect N₂O generation. On the other hand, in anaerobic and anoxic tanks of A₂O (Anarobic-Anoxic-Oxic) process, N₂O is decomposed into Nitrogen (N₂) by denitrification.

In this research, in order to reduce N₂O generation in aerobic tanks, optimization of air flow pattern was investigated. Furthermore, in order to abate N₂O emission, the denitrification-decomposition rate of N₂O by activated sludge and the necessary conditions for the decomposition were examined when emission gas from aerobic tanks was aerated into activated sludge under the anoxic condition.

METHODOLOGY

Strategy for reducing N₂O emission by controlling supplied air flow

The detail mechanism and the actual emission of N₂O are still unknown although some recent research revealed remarkable movement on emission from WWTP (Ahn et al. 2010, Kitamura et al. 2012). Instead, N₂O emission is often estimated using modified Activated Sludge Models (ASM) (e.g. Houweling et al. 2010, Flores-Alsina et al. 2012).

We, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government have developed a device to measure N₂O concentration in exhaust gas from wastewater treatment continuously and reported measurement data of N₂O throughout whole year (Kitamura et al. 2012). Our next approach is to

establish the method to reduce N₂O emission from wastewater treatment process by controlling supplied air flow. Before carrying out the experiment using SBR (Sequencing Batch Reactor), calculation using modified ASM is done.

Modeling N₂O emission from wastewater treatment process is still been discussing and none of the models is said to be the de facto model of N₂O emission (Ni et al. 2012). Those models are also very complicated because of a lot of chemical substances and microorganisms. In this study, simplified two-step nitrification model was used in order to focus the relationship of the behavior of nitrite and supplied air flow through nitrification. As concerns the relationship of N₂O emission and nitrite accumulation, close relationship was observed at the actual WWTP (Kitamura et al. 2012) and also at modified ASM briefly in our unpublished work.

The example of the equations of nitrification from ammonia to nitrite by AOB and from nitrite to nitrate by NOB was expressed as equation (1) and (2). The rate constants used were based on the model of available literature (Ni et al. 2011).

$$\frac{dS_{NH4}}{dt} = -\frac{\mu_{AOB}}{Y_{AOB}} \cdot \frac{S_{O2}}{K_{O2}^{AOB} + S_{O2}} \cdot \frac{S_{NH4}}{K_{NH4}^{AOB} + S_{NH4}} \cdot X_{AOB} + b_{AOB} \cdot X_{AOB} \quad (1)$$

$$\frac{dS_{NO3}}{dt} = \frac{\mu_{NOB}}{Y_{NOB}} \cdot \frac{S_{O2}}{K_{O2}^{NOB} + S_{O2}} \cdot \frac{S_{NO2}}{K_{NO2}^{NOB} + S_{NO2}} \cdot X_{NOB} - b_{NOB} \cdot X_{NOB} \quad (2)$$

Some values of DO in SBR were set as shown in Table 1 and the maximum values of nitrite are also indicated as the result of the simulation. The maximum concentration of nitrite was relatively low in the condition of No.5 in which low DO was set at the beginning of air flow and high DO at the beginning of nitrification.

The reason of the result was analysed using equation (1) and (2) as below. When air flow was started, the rate of nitrification from ammonia to nitrite was dominant because of absence of nitrite and nitrate and the higher DO led higher rate of the production of nitrite as shown in Figure 1. When nitrification from nitrite to nitrate was started with low concentration of nitrite, the higher DO led decrease of nitrite as shown in Figure2.

The reason of relatively high concentration of nitrite compared to actual behaviour of nitrification was thought to be due to the simulation with no calibration. Therefore, only trends of DO dependence was referred for the experiments for the reduction of N₂O emission using SBR.

Table 1 Set values of DO and the maximum values of nitrite in each conditions

	Set values of DO	Maximum values of nitrite(mg/L)
1	0.5mg/L fixed	6.19
2	1.0mg/L fixed	4.74
3	2.0mg/L fixed	3.55
4	3.0mg/L fixed	3.04
5	0-50min : 0.1mg/L 50-60min : 0.5mg/L 1-2.5hr : 3.0mg/L 2.5hr- : 0.5mg/L	3.09

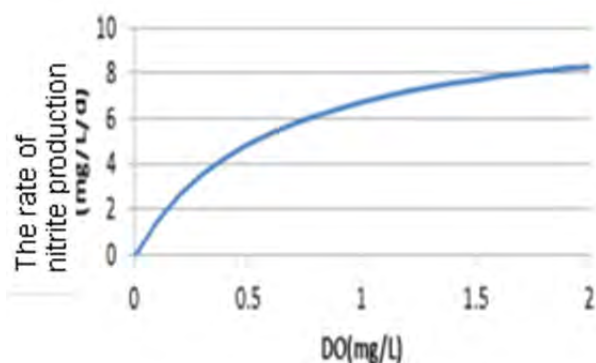


Figure 1 The relationship of DO concentration and the rate of nitrite production when air flow starts ($\text{NH}_4\text{-N}=20\text{mg/L}$, $\text{NO}_2\text{-N}=0\text{mg/L}$, $X_{\text{AOB}}=20\text{mg-COD/L}$)

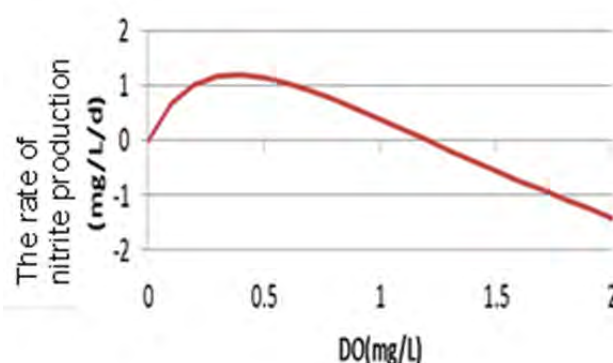


Figure 2 The relationship of DO concentration and the rate of nitrite increase or decrease when nitrification from nitrite to nitrate starts ($\text{NH}_4\text{-N}=17\text{mg/L}$, $\text{NO}_2\text{-N}=3\text{mg/L}$, $X_{\text{AOB}}=20\text{mg-COD/L}$, $X_{\text{NOB}}=40\text{mg-COD/L}$)

Experimental control of supplied air flow using batch reactor

Primary effluent and return sludge of a WWTP in Tokyo, which shows complete nitrification all year, is used for the following experiment.

3L of return sludge ($\text{SS} = 4,560 \text{ mg/L}$) and 9L of primary effluent were mixed in the 15L experimental batch reactor. After 30 minutes of anaerobic condition, the mixed sludge was aerated by air-pump. The experiment device was sealed and N_2O concentration of emitted gas was measured continuously. To enhance N_2O emission, nitrogen load was increased by adding 120 mg (10 mg/L) of ammonium chloride. Two lanes were prepared and air flow patterns were changed in each lane. $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and DO concentrations were measured either every 30 or every 60 minutes for the duration of the 9 h experimental period. Air flow patterns of each condition are shown in Figure 3.

For condition A, the aim was to follow the model mentioned above. Aeration was started with low air flow (0.3 L/min) and was increased to 1.5 L/min to raise DO when nitrification started. After an hour of high air flow period, air flow rate was decreased to maintain DO to around 3.0 mg/L.

For condition B, aeration was started with high air flow (1.5 L/min) and gradually decreased to maintain DO to around 3.0 mg/L.

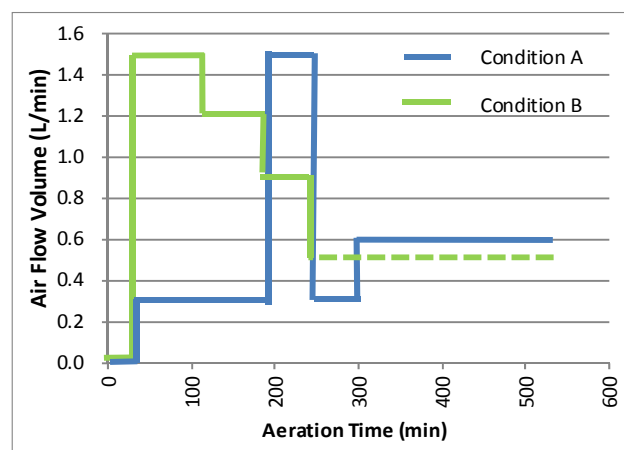


Figure 3 Air Flow Pattern

Relationship of air to sewage ratio and N_2O Emission in actual WWTP

In order to investigate the relationship between air flow ratio to wastewater treatment volume and N_2O emission, eight-month continuous N_2O measurement was conducted at each treatment process in the WWTP in Tokyo which shows complete nitrification all year and has three types of treatment processes; Conventional Activated Sludge(CAS) process, Anaerobic-Oxic (AO) process, Anaerobic-Anoxic-Oxic(A_2O)process.

Investigation of N_2O decomposition condition

There is limitation on reaeration volume when gas emitted from aerobic tanks is reinjected into aeration tanks under the anoxic condition in order to decompose N_2O , because dissolution of

oxygen over a certain level causes the denitrification-decomposition to stop. Therefore the maximum possible aeration volume and N_2O decomposition rate were investigated.

Activated sludge in an anaerobic tank was installed into batch-wise reaction (30L) and the different amounts of N_2O gas were aerated. Gaseous N_2O (G- N_2O), Dissolved N_2O (D- N_2O), DO were measured and N_2O decomposition rate was calculated and DO values when N_2O decomposition stops were checked.

Furthermore, the relationship between the overall oxygen transfer coefficient ($\text{KLa}(\text{O}_2)$) and the overall Nitrous oxide transfer coefficient ($\text{KLa}(\text{N}_2\text{O})$) were measured using different air diffusers on the same condition of N_2O decomposition survey in order to estimate N_2O dissolution rate based on the $\text{KLa}(\text{O}_2)$ of the diffusers in the actual facilities.

RESULTS and DISCUSSION

Experimental control of supplied air flow using batch reactor

N_2O , DO, and $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration was shown in Figure 4 to 6. N_2O emission was higher in condition B. In both condition, $\text{NO}_2\text{-N}$ and N_2O followed a very similar pattern and a peak of N_2O concentration came one hour after a peak of $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration. This shows that accumulation of $\text{NO}_2\text{-N}$ largely affects N_2O emission. In both conditions, $\text{NH}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations were almost the same at the end of the experiment, so there was no significant difference in nitrification condition.

The reason of the difference in N_2O emission could be explained by reaction rates of ammonia oxidation and nitrite oxidation. N_2O emission in condition B is thought to be higher because ammonia oxidation rate was relatively high in the beginning due to high air flow rate which caused $\text{NO}_2\text{-N}$ accumulation. On the other hand, in condition A, which maintained low air flow rate until nitrification started, both $\text{NO}_2\text{-N}$ and N_2O concentration was low, probably because nitrite oxidation rate was relatively high.

These results suggest that N_2O reduction is possible by controlling the rates of each nitrification process by changing air flow pattern. Especially, it is important to reduce air flow rate in the early part of biological reactor. In this study, air flow rate was set up to extreme conditions since it was an experiment using batch reactor. But in actual WWTP, air flow patterns should be determined considering the situations of each facility.

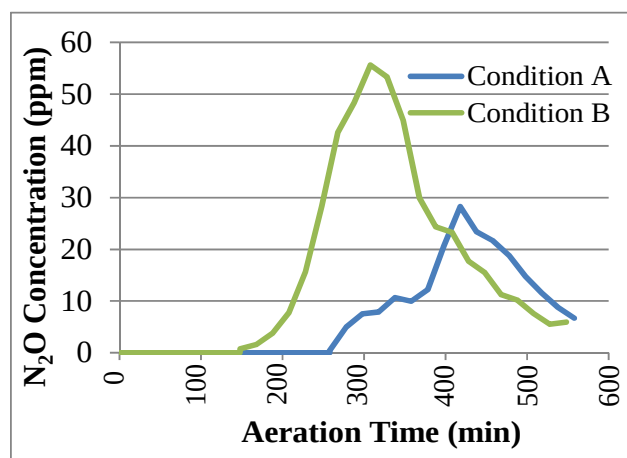


Figure4 Change in N_2O concentration

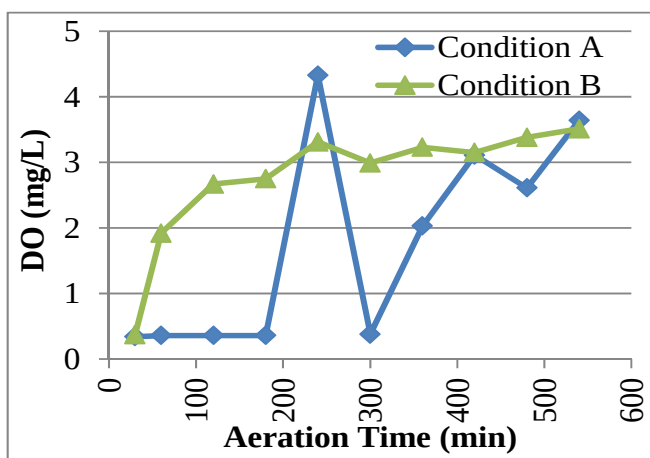


Figure5 Change in Dissolved Oxygen(DO)

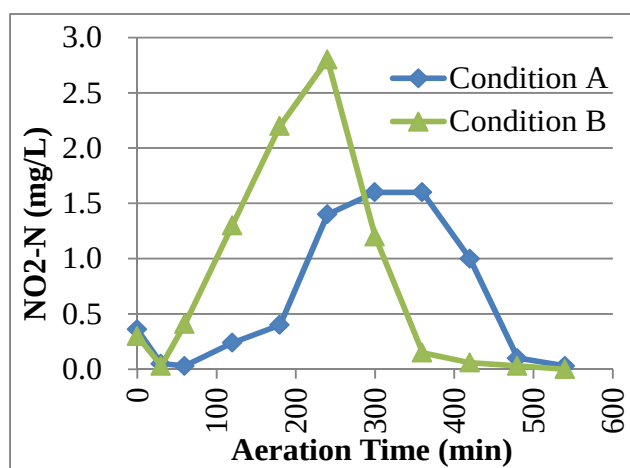


Figure6 Change in NO₂-N Concentration

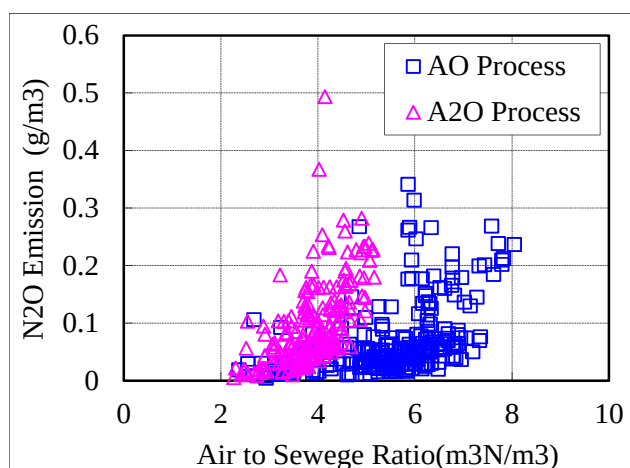


Figure7 Relationship between N₂O emission and Air to Sewage Ratio

Relationship of air to sewage ratio and N₂O Emission in actual WWTP

Figure7 shows the relationship between air to sewage ratio and N₂O emission by each process at the WWTP. The relationship in CAS process was removed from consideration because N₂O emission was low and low correlation was observed.

The result shows that the higher air flow ratio was, the higher N₂O emission became, whereas DO at the end of aeration tanks had little relation with N₂O emission. This suggests that air flow ratio affects N₂O emission. The reason thought to account for the relation was that air is supplied into aeration tank as a whole uniformly despite nitrification condition changes in the tanks and that strong aeration intensity cause D-N₂O to purge to the air as G-N₂O.

Therefore, N₂O emission could be reduced by reduction of supplied air flow in the early part of aeration tanks.

N₂O decomposition investigation

A) Relationship between N₂O Decomposition Rate and Aeration Volume

Table2 showed the experimental conditions and results of N₂O decomposition investigation.

Figure8,10 showed time variation of G-N₂O or D-N₂O concentration in the gas phase of the batch reactor when different amounts of 500ppm N₂O gas in the air were aerated. On the condition of 0.4L/min, 0.5L/min, G-N₂O concentration drifted around 180ppm, N₂O dissolved into mixed liquor in aeration tanks and steadily decomposed under the anoxic condition (N₂O removal ratio:68%). On the other hand, under the condition above the volume of 0.7L/min, D-N₂O and G-N₂O concentrations became higher at the same instant DO measured over 0.1 mg/L detected as shown on Figure9. As a result, the N₂O decomposition ratio, which was the ratio of N₂O decomposition to supplied N₂O quantity declined. DO was considered to be observed when the respiration rate (R_r) of activated sludge fell below the oxygen dissolution rate with organic matter in the influent oxidized. As shown on Figure10, under the condition that G-N₂O concentration drifted constant, all dissolved N₂O was denitrified and D-N₂O concentration remained 0mg/L. This result suggests that the D-N₂O decomposition rate is equal to or more than the N₂O dissolution rate under the condition. A certain gas dissolution rate is obtained for the product of the overall transfer coefficient (KLa) and the saturating concentration (C_s).

These results show that the maximum possible air flow volume is the value under the condition that $KLa(O_2) \cdot C_s(O_2)$ is equal to R_r and that the N₂O decomposition rate is equal to N₂O dissolution rate expressed in $KLa(O_2) \cdot C_s(O_2)$.

Figure11 showed change in N₂O decomposition rate and Figure12 showed the N₂O decomposition rate at the different amounts of air flow volume per unit water volume and the N₂O and O₂

dissolution rate ($KLa \cdot Cs$). The N_2O decomposition rate increased in proportion to the air flow volume because amount of N_2O dissolution increased. However, under the condition of air flow volume on which the O_2 dissolution rate was more than the respiration rate (R_r) of activated sludge, 20mg/L, N_2O decomposition rate decreased. Furthermore, N_2O decomposition rate was approximately equal to the N_2O dissolution rate.

B) Relationship between $KLa(O_2)$ and $KLa(N_2O)$

Figure13 showed the relationship between $KLa(O_2)$ and $KLa(N_2O)$. Logarithmic values of $KLa(O_2)$ and $KLa(N_2O)$ have linear relation as shown in the following formula.

Using this formula, N_2O decomposition rate could be predicted from $KLa(N_2O)$ calculated from $KLa(O_2)$.

$$KLa(N_2O) = 0.77 \cdot KLa(O_2)^{0.91}$$

Based on these results above, we estimated the N_2O reduction rate when the effluent gas from aerobic tanks which contains N_2O corresponding to N_2O emission coefficient prescribed in Japanese law (160mg N_2O per influent volume unit) was aerated into anaerobic tanks of A_2O process.

As the results N_2O reduction ratio is approximately 10 %. The future challenge is to increase N_2O concentration or decrease O_2 concentration.

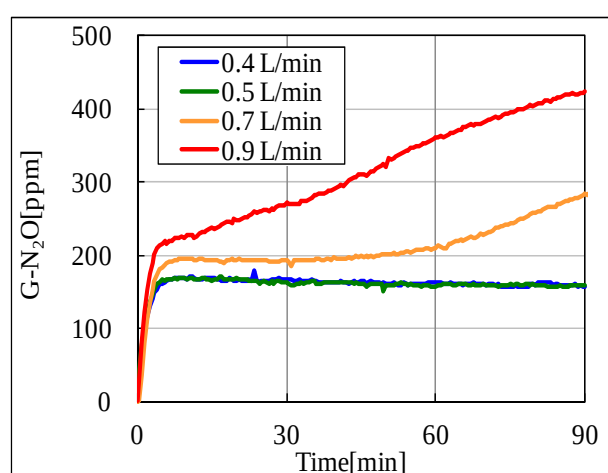


Figure8 Change in G- N_2O Concentration

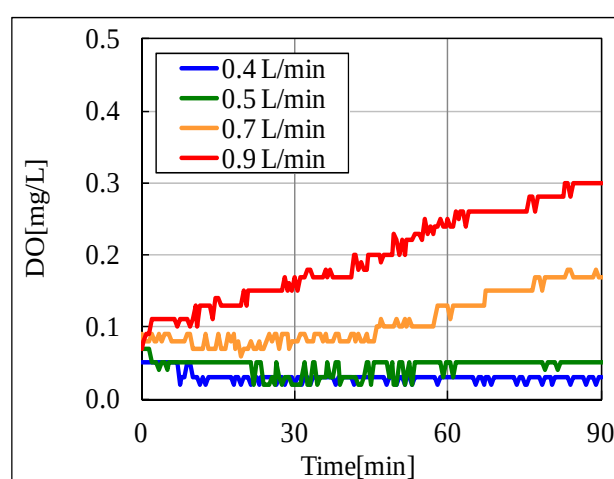


Figure9 Change in DO Concentration

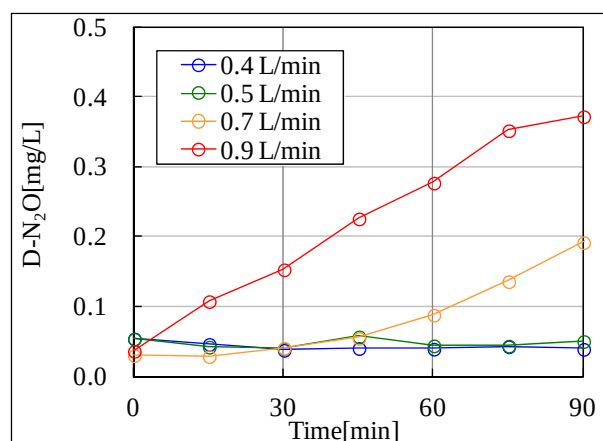


Figure10 Change in G- N_2O Concentration

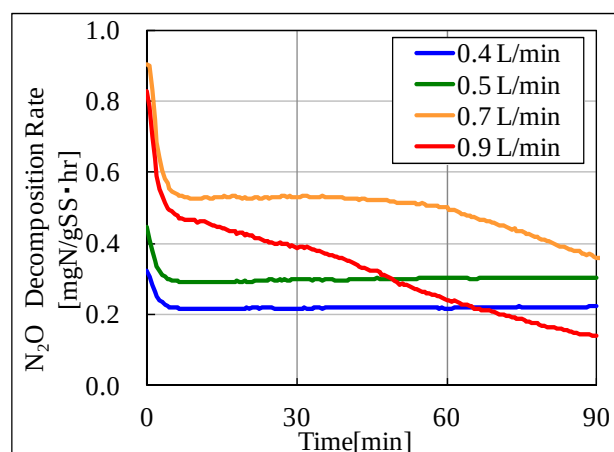


Figure11 Change in N_2O Decomposition Rate

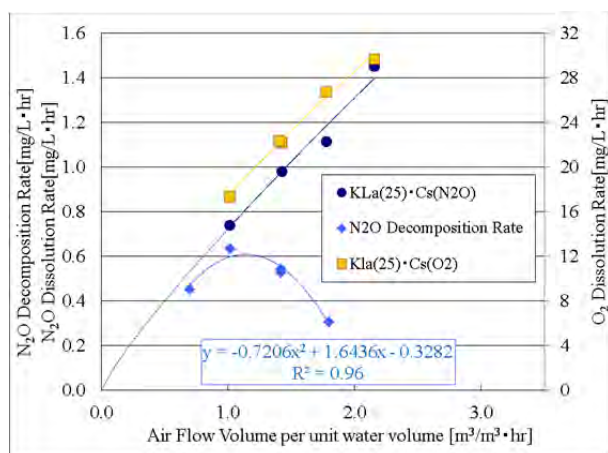


Figure12 Change in N₂O decomposition rate

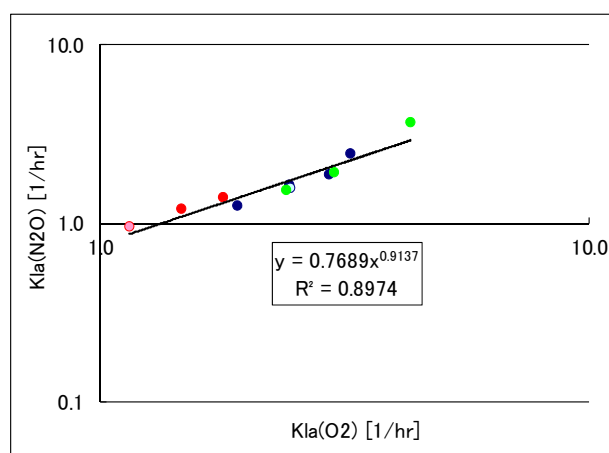


Figure13 Relationship between KLa(O₂) and KLa(N₂O) (double logarithmic plot)

Table2 Results of N₂O Decomposition Investigation

N ₂ O Concentration	Air Flow Volume	VVH	KLa Investigation		N ₂ O Decomposition	
			KLa(25)·Cs(N ₂ O)	KLa(25)·Cs(O ₂)	Decomposition Ratio	Decomposition Rate
[ppm]	[L/min]	[m³/m³·hr]	[mg/L·hr]	[mg/L·hr]	[%]	[mgN/gSS·hr]
500	0.4	0.7	-	-	68	0.45
	0.5	1.0	0.7	17	67	0.64
	0.7	1.4	1.0	22	57	0.53
	0.9	1.8	1.1	27	17	0.31
	1.1	2.2	1.5	30	-	-
300	0.7	1.4	1.1	21	52	0.1
100	0.7	1.4	1.3	23	30	0.03

CONCLUSIONS

N₂O reduction is possible by controlling the rates of each nitrification process by changing air flow pattern. Especially, it is important to reduce air flow rate in the early part of biological reactor in order not to accumulate NO₂-N which can be source of N₂O generation.

We will verify the effect of controlling air flow pattern on N₂O reduction in actual WWTP facilities and develop the control system using measuring instruments.

Furthermore, N₂O reduction is possible by reaerating the effluent gas from aerobic tanks into anoxic area of reaction tanks and denitrifying N₂O into N₂. However, the possible reaeration volume which confirms anoxic condition has limitation. Therefore we will confirm the feasibility of this N₂O decomposition technology using activated sludge in aeration tanks by selectively increasing N₂O concentration of the gas supplied under anoxic condition.

REFERENCE

AHN, Joon Ho, et al. N₂O emissions from activated sludge processes, 2008– 2009: results of a national monitoring survey in the United States. Environmental Science & Technology, 2010, 44.12: 4505-4511.

FLORES-ALSINA, Xavier, et al. A dynamic modelling approach to evaluate GHG emissions from

wastewater treatment plants. In: IWA World Congress on Water, Climate and Energy (WCE2012), Dublin, Ireland. 2012.

HOUWELING, Dwight; FAIRLAMB, Mark; DOLD, Peter. Scope 1 GHG Emissions from Wastewater Treatment Plants Using Dynamic Modeling. Proceedings of the Water Environment Federation, 2010, 2010.11: 5327-5342.

KITAMURA, Kiyooki, et al. Discussion about Cause of Nitrous Oxide (N₂O) Emission in Wastewater Treatment Plant, Based on Long-Term Continuous Measurement. Proceedings of the Water Environment Federation, 2012: 2403-2412.

NI, Bing-Jie, et al. Modeling nitrous oxide production during biological nitrogen removal via nitrification and denitrification: Extensions to the general ASM models. Environmental science & technology, 2011, 45.18: 7768-7776.

NI, Bing-Jie, et al. Evaluating mathematical models for N₂O production by ammonia-oxidizing bacteria: towards a unified model. In: Proceedings of 3rd IWA/WEF Wastewater Treatment Modelling Seminar, Mont-Sainte-Anne, Québec, Canada. 2012.

平成27年3月発行

東京都下水道局
技術調査年報
- 2 0 1 4 -

平成26年度
印刷物規格表第5類
登録第77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 大進印刷株式会社



古紙配合率100%再生紙を使用しています
石油系溶剤を含まないインキを使用しています

