東 京 都 下 水 道 局

技 術 調 査 年 報

-2018-

Vol.42

Annual Report on Technical Research & Development

Bureau of Sewerage , Tokyo Metropolitan Government

平成 31 年 3 月

東京都下水道局

目　次

本書について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
＜参考資料＞　特許などの取得状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2

要旨集 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ **3**
論文集 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ **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	下水道管の再構築事業における構造レジリエンスに関する研究	計画調整部　事業調整課	岡部　和樹	3	39
2	1-1-2	新河岸水再生センター受変電設備再構築工事の設計における留意点について	建設部　設備設計課	平井　利幸	4	43
3	1-1-3	シールド掘進時の支障物によるトラブルへの対応について	第一基幹施設再構築事務所 工事第二課	中尾　基広	5	51
4	1-1-4	世田谷区大蔵一丁目、桜丘五丁目付近枝線工事におけるコンクリートセグメントクラック発生トラブルについて	第二基幹施設再構築事務所 工事第一課	瀬下　将平	6	59
5	1-1-5	大深度におけるRCセグメント圧入工法の検討について～常盤橋幹線整備事業～	第二基幹施設再構築事務所 設計課	山ノ井　巧	7	64
		1-2　浸水対策技術				
6	1-2-1	Improvement of Observation Accuracy and Enhancing Convenience of Rainfall Information System: Tokyo Amesh （降雨情報システム(東京アメッシュ)における観測精度と利便性の向上について）	施設管理部　施設管理課	駿河　直人		
		英語論文			－	67
		日本語（訳）			8	70
7	1-2-2	高落差流入人孔における水理模型実験について～3方向から流入し、流下先が長大伏越し構造となる千代田区紀尾井町付近主要枝線人孔を例に～	中部下水道事務所 再構築推進課	吉原　沙也佳	9	74
		2　水環境向上、環境負荷低減				
		2-1　合流式下水道の改善				
8	2-1-1	次亜臭素酸による雨天時放流水の消毒性能について	計画調整部　技術開発課	葛西　孝司	10	79
9	2-1-2	下水処理における消毒効果の検証（その１）	流域下水道本部技術部 施設管理課	青木　陽平	11	94
		2-2　水処理技術				
10	2-2-1	ステップ流入と制限曝気を活用した浅槽反応槽における脱窒の促進	中部下水道事務所 芝浦水再生センター	多田　哲朗	12	102
		2-3　汚泥処理技術				
11	2-3-1	Development of the polymer dosage control system （ポリマー注入量制御システムの開発）	計画調整部　技術開発課	塩見　浩		
		英語論文			－	111
		日本語（訳）			13	115
12	2-3-2	Construction of Energy Self-Contained Incineration System with Ultra-low Moisture Content Type Dehydrator （超低含水率型脱水機を併設したエネルギー自立型焼却システムの建設について）	建設部　設備設計課	渡辺 大樹	14	119

No.		タイトル	担当部署	氏名	要旨	論文
		2-4 地球温暖化対策技術				
13	2-4-1	アースプラン2017の策定と取組み	計画調整部 計画課	新井 龍一	15	129
14	2-4-2	トータルエネルギー削減に向けた運転の工夫	流域下水道本部技術部 北多摩二号水再生センター	小橋 潤	16	133
15	2-4-3	水質改善と省エネルギーを両立する運転方法の検証（事例報告）	流域下水道本部技術部 多摩川上流水再生センター	磯村 真一	17	137
16	2-4-4	落合水再生センター管理棟におけるLED照明の導入とその効果について	西部第一下水道事務所 落合水再生センター	藤田 真裕	18	145
17	2-4-5	みやぎ水再生センターにおける二軸管理の取組みについて	西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター	玉井 奈生子	19	152
18	2-4-6	新河岸水再生センターのターボ型流動焼却炉導入における温室効果ガス削減効果の検証	西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター	水野 文夫	20	156
		3 維持管理向上、事業効率化他				
		3-1 維持管理向上技術				
19	3-1-1	幹線管きょに用いる簡易調査機器の導入に向けた検討	計画調整部 技術開発課	岡田 吉人	21	164
20	3-1-2	腐食環境下における防食人孔蓋の導入に向けた取組について	計画調整部 技術開発課	工藤 祥子	22	168
21	3-1-3	ビッグデータを活用した道路陥没の未然防止	施設管理部 管路管理課	天野 雄太	23	172
22	3-1-4	揮発したトリクロロエチレンによる公桝での違反とその改善事例	東部第一下水道事務所 お客さまサービス課	五十嵐 大就	24	175
23	3-1-5	砂町水再生センター汚泥処理返流水の対策について	東部第一下水道事務所 砂町水再生センター	返流水対策ＰＴ	25	181
24	3-1-6	汚水圧送管の損傷事故対応について	南部下水道事務所 お客さまサービス課	有田 和宏	26	187
25	3-1-7	葛西水再生センター焼却炉1号用遠心脱水機のダムプレート変更による含水率改善	東京都下水道サービス 株式会社	五十嵐 聡	27	192
26	3-1-8	梅田ポンプ所におけるホッパ設備の排出トラブルの改善	東京都下水道サービス 株式会社	水島 幹生	28	197
		3-2 事業の効率化技術、その他				
27	3-2-1	Stable Sewage Treatment and Effective Business Operation in Tama Area by Utilizing Utility Tunnels （連絡管活用による多摩地域の安定的な下水処理と効率的な事業運営） 英語論文 日本語（訳）	流域下水道本部技術部 計画課	濱野 祥太	 － 29	 203 207
28	3-2-2	水質規制と局内関連部署との連携による事業場水質事故対応事例の報告	西部第一下水道事務所 お客さまサービス課	梅田 賢一	30	210

No.		タイトル	担当部署	氏名	要旨	論文
4 国際会議発表論文						
4-1 第7回 IWA-ASPIRE 会議・展示会 -2017.9.11～9.14 マレーシア・クアラルンプール-						
29	4-1-1	Measures against Aging of Sewage Pipe （下水道管の老朽化対策）	計画調整部 計画課	森川 脩之		
		英語論文			(213)	213
		日本語（訳）			31	220
30	4-1-2	Sludge Transportation Pipe Network utilized for Risk Management of Sludge Treatment （送泥ネットワークを活用した汚泥処理の危機管理）	施設管理部 施設管理課	應和 詩織		
		英語論文			(228)	228
		日本語（訳）			32	236
31	4-1-3	A New Operation and Maintenance Approach of Wastewater Treatment Plants to Achieve both Improvement of Effluent and Reduction of Electricity Consumption （水質改善と電力削減を両立するための下水処理施設における新たな維持管理手法について）	施設管理部 環境管理課	橘谷 珠世		
		英語論文			(244)	244
		日本語（訳）			33	250
32	4-1-4	Introduction of Kerosene-City Gas Dual Fuel Emergency Generator in Tokyo Sewage Treatment Plants （東京の下水処理施設における灯油・都市ガス併用型（デュアルフューエル）非常用発電機の導入について）	建設部 設備設計課	佐々木祐介		
		英語論文			(256)	256
		日本語（訳）			34	263
4-2 第６回ＥＷＡ(欧州水協会)/ＷＥＦ(米国水環境連盟)/ＪＳＷＡ(日本下水道協会)特別会議 -2018.5.15～5.18 ドイツ・ミュンヘン-						
33	4-2-1	Rebuilding of the Pumping Station in Tandem with City Planning in Front of Tokyo Station and Contribution to the Community through Using the Upper Space Thereof （東京駅前のまちづくりと連携したポンプ所再構築と上部利用による地域貢献）	計画調整部 事業調整課	木下 隆史		
		英語論文			-	269
		日本語（訳）			35	279
34	4-2-2	Installation of Turbocharged Fluidized Bed Combustion System for Efficient Sludge Incineration （ターボ型流動焼却炉の導入とその効果について）	施設管理部 施設管理課	村里 善晴		
		英語論文			(284)	284
		日本語（訳）			36	291
35	4-2-3	Seismic Retrofitting Measures for Sewerage Structures in Tokyo （首都中枢機能が集積する永田町エリアにおける下水道管きょ耐震化事業）	建設部 土木設計課	田中 千鶴		
		英語論文			(298)	298
		日本語（訳）			37	306
4-3 第11回IWA（国際水協会）世界会議 -2018.9.16～9.21 日本・東京-						
36	4-3-1	Promotion of technological development in Tokyo Metropolitan Government -Technological Development Promotion Plan 2016- （技術開発推進計画2016）	計画調整部 技術開発課	工藤 祥子		
		英語論文			-	312
		日本語（訳）			38	319

Copyright©(2018) by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government
All rights reserved. No Parts of this report may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government.
The mention of trade names or commercial products in this report is for illustrative purposes and does not constitute endorsement of recommendation for use by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government.
本書に関する権利は、東京都下水道局にあります。したがって、本書の全部又は一部の転載、複製は、東京都下水道局長の文書による承認が必要です。また、本書の中の商品名又は製品名は、事例として示したものであり、東京都下水道局が使用上の性能を確認したり、推奨したりするものではありません。

本書について

◆本書の目的

本書は、東京都の下水道技術に関する研究と開発の成果を共有し、将来へ技術を継承することを通じて、技術力の維持向上を図ることを目的として発行しています。

具体的には以下を目指して作成、発行するものです。

①東京都の下水道技術に関する技術情報を網羅し、共有することによって、東京都ひいては下水道界全体の技術力の維持向上と技術の継承及び技術的課題の解決の糸口となること

②東京都の下水道事業に関わる課題と課題解決への取組みの成果について、先駆的に情報発信を行い、産学公の技術交流を深め、東京都の事業運営の効率化に寄与すること

◆本書の構成

本書は、下水道技術に関する調査・研究・計画・設計・工事について概ね過去一年以内に局内外で発表、実施した成果をとりまとめたものです。各論文は、平成 28 年 2 月に策定した「経営計画 2016（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・・・・・・・・・・・・	**7 編**
２　水環境向上、環境負荷低減・・・・・・・・・・	**11 編**
３　維持管理向上、事業効率化他・・・・・・・・・	**10 編**
４　国際会議発表論文・・・・・・・・・・・・・・	**8 編**
	計 36 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、2018 年版は 42 刊目にあたります。2006 年版からは東京都下水道局公式ホームページでの掲載を主体として利活用を図ることとし、各機関への冊子の配布を取りやめていましたが、2017 年版から都庁内、研究機関、大学、政令指定都市等に CD－ROM として再配布することといたしました。

技術調査年報の論文は、東京都下水道局公式ホームページにも掲載しています。
(http://www.gesui.metro.tokyo.jp/business/technology-statistics/gn/index.html)

◆本文中の用語

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

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

（本書に関するお問合せ先）
東京都新宿区西新宿 2-8-1　東京都庁第二本庁舎 28 階
東京都下水道局　計画調整部　技術開発課　電話 03-5320-6606

＜参考資料＞　特許などの取得状況（産業財産権の件数）

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

下表は当局が所有している産業財産権の分野別の登録件数を示したもので、平成 30 年度末現在の登録件数は合計 81 件にのぼります。

下表以外で出願中の産業財産権が平成 30 年度末現在 8 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 89 件になります。

産業財産権　登録件数一覧（平成 30 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	１２	1	2	0	１５
	雨水対策	0	0	0	0	0
管きょ技術計		**１２**	**1**	**2**	**0**	**１５**
維持管理	維持管理	6	0	0	0	6
	設備	１２	0	0	0	１２
	計測	8	1	0	2	１１
	環境	5	0	0	0	5
維持管理計		**３１**	**1**	**0**	**2**	**３４**
水処理技術	水処理技術	１７	0	0	0	１７
水処理技術計		**１７**	**0**	**0**	**0**	**１７**
汚泥処理技術	汚泥処理技術	１４	0	0	0	１４
汚泥処理技術計		**１４**	**0**	**0**	**0**	**１４**
有効利用	光ファイバー	0	0	0	0	0
	汚泥の資源化	0	0	0	1	1
	熱利用	0	0	0	0	0
有効利用計		**0**	**0**	**0**	**1**	**1**
合計		**７４**	**2**	**2**	**3**	**８１**

番号	1-1-1	表題	下水道管の再構築事業における構造レジリエンスに関する研究

内　容	東京都区部の下水道整備は明治 17 年の神田下水から始まり、平成６年に普及率 100%（概成）を達成した。これまで整備された管きょの総延長約 16,000km のうち、法定耐用年数 50 年を超える管きょが約 1,800km であり、20 年後には 8,900km にまで増加する状況にある。 膨大な下水道管の老朽化対策を効率的に実施するには、老朽化の状況を踏まえて対策の優先度を設定するなど、定量的に評価できる指標が必要である。 本研究は、我が国が目指すべき「国土強靭化」に向けて、下水道施設の構造レジリエンスを定式化し、それを再構築事業の評価や対策実施の意思決定に資する指標として、下水道施設の合理的な維持管理マネジメントへ活用することについて研究したものである。

キーワード	レジリエンス　国土強靭化　老朽化対策　維持管理マネジメント		
処理区名		位置区分	管きょ、ポンプ所、水再生センター
職種区分	土木	施策区分	再構築
状態区分	調査　研究	新規性	
実施年度		全体期間	
担当部署	計画調整部　事業調整課　事業調整担当		
発　表 履　歴	局内		
	局外	平成 30 年度　第 55 回下水道研究発表会	
調査方法			
関連情報			

番号	1-1-2	表題	新河岸水再生センター受変電設備再構築工事の 設計における留意点について

内　容	当局設備の老朽化は深刻さを増しており、耐用年数の超過や技術の陳腐化が見受けられる。そのため、老朽化した設備を計画的かつ効果的に再構築していかなければならないが、稼働中施設の再構築は多くの制約を受けるため、設計に当たって十分な検討が必要になる。 本稿では、新河岸水再生センター受変電設備再構築工事の事例から、既設建屋内でオープンストラクチャから GIS へ受変電設備の再構築を行うに至った検討内容、その切替えに係る想定施工手順及び工事中の安全確保策について報告する。

キーワード	受変電設備　オープンストラクチャ　GIS　再構築			
処理区名	新河岸処理区		位置区分	水再生センター
職種区分	設備		施策区分	再構築
状態区分	設計		新規性	
実施年度	平成 27 年度		全体期間	平成 27 年度
担当部署	建設部　設備設計課　電気設計担当・第一			
発 表 履 歴	局内	平成 29 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	1-1-3	表題	シールド掘進時の支障物によるトラブルへの対応について

内　容	下水道局では、浸水対策として、「東京都豪雨対策基本方針（改定）」に基づき、概ね３０年後の浸水被害解消を目標に、１時間５０ミリ降雨に対応する下水道施設を整備することとしている。 「北区赤羽北一丁目、板橋区小豆沢四丁目付近枝線工事」は、50 ミリ施設整備重点地区のひとつである北区赤羽西、赤羽北地域の増強施設として、内径 2400mm の枝線を環八通り直下に泥土圧式シールド工法（土被り 9.5m～12.5m）で施工するものである。 発進立坑から 1227m 付近をシールド工法で掘進中に支障物（H 形鋼 300×300）に遭遇し、掘進が困難となった。 支障物撤去工法は様々な工法があるが、現場の実情としては制約条件が数多く存在し、どの工法を選定しようとしても施工が難しいものであったが、二つの工法を組み合わせることにより、支障物を撤去し、無事当該部のシールド掘進を完了させた。

キーワード	浸水対策　50 ミリ施設整備重点地区　シールド工法　支障物　支障物撤去工法		
処理区名	新河岸処理区	位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	浸水対策
状態区分	工事	新規性	新規知見あり
実施年度	平成２９年度	全体期間	平成 26 年度～平成 30 年度
担当部署	第一基幹施設再構築事務所　工事第二課　工事担当・第二		
発表 履歴	局内		
	局外	平成 29 年度　設計・工事事例発表会（カワセミ）	
調査方法			
関連情報			

番号	1-1-4	表題	世田谷区大蔵一丁目、桜丘五丁目付近枝線工事におけるコンクリートセグメントクラック発生トラブルについて

内　容

本工事は、世田谷区の一部の雨水を収容するため施行するものである。

本工事のうち、151-3 路線は泥土圧式シールド工法（内径 2600㎜）により、管きょを築造するものであるが、IP.6 の 15Ｒ部急曲線通過後、シールド掘進中に、推力が二次管理値付近（8800ｋN）まで上昇し、RC セグメント（439 リング）にクラックが生じたことから、シールドマシンを停止した。本稿では、RC セグメントクラック発生要因と再掘進に向けた対策について説明する。

現場確認の結果、RC セグメントにクラックが確認された。(15 箇所)

今回のトラブルの要因を特定するため、土質調査及び RC セグメント撤去を行った結果、トラブルの発生要因が下記の 2 つと考えられる。

①RC セグメント坑口側の法線方向内側への力の作用

テールブラシが ST セグメントと RC セグメントとの段差を乗り越える際、外径差（25㎜）があるため、RC セグメントがテールブラシを押し広げたことにより、テールシールの RC セグメントとの接触抵抗が増加し、テールブラシ圧が RC セグメントの坑口側に対して法線方向内側に作用したことが要因になったと考えられる。

②シールドジャッキと RC セグメントの図心偏心に伴うセグメントの周方向への変形

シールドジャッキのロッドとスプレッダーの図心偏心により、シールドジャッキのセグメント作用点から曲げモーメントが発生し、RC セグメントの切羽側に法線方向外側に力が作用する。これに伴い、RC セグメントの切羽側が法線方向外側に変形することで、クラック発生要因になったと考えられる。

再掘進に向けた対策として、下記の 3 つを実施した。

①縮小径 ST セグメントを使用する曲線区間の前後に異形 ST セグメントを配置

RC セグメントのつなぎ部分には標準径の ST セグメントを 1 リング以上入れる。

②ST セグメント（標準径）と RC セグメントの接続部での推力管理の徹底

③テールシールの交換及びテールシールのグリス自動給脂装置の整備

キーワード	泥土圧式シールド、急曲線、推力上昇、テールブラシ圧、異形セグメント			
処理区名	森ヶ崎処理区		位置区分	管きょ
職種区分	土木		施策区分	浸水対策
状態区分	工事		新規性	
実施年度	平成 28 年度		全体期間	平成 26 年度～平成 30 年度
担当部署	第二基幹施設再構築事務所　工事第一課　工事担当・第二　瀬下　将平			
発　表 履　歴	局内	平成 29 年度　設計・工事事例発表会		
	局外			
調査方法				
関連情報				

番号	1-1-5	表題	大深度における RC セグメント圧入工法の検討について～常盤橋幹線整備事業～

内　容	常盤橋幹線整備事業は、新たに再構築される銭瓶町ポンプ所と千代田幹線を接続する幹線を整備するものである。当該事業の到達立坑は大規模な再開発事業区域内に位置しており、限られた作業スペースの中での施工となること、及び、地下鉄と近接するため離隔の確保や影響検討を行いつつ、内径 5.6m、深さ約 50mの大深度立坑を築造するものである。本報告では到達立坑の検討において、設計段階で RC セグメント圧入工法を検討した例について報告する。		
キーワード	再構築、大深度、RC セグメント圧入工法		
処理区名	芝浦処理区	位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	再構築、効率化
状態区分	設計	新規性	
実施年度	平成 29 年度	全体期間	平成 29 年度
担当部署	第二基幹施設再構築事務所　設計課　設計担当・第一		
発表履歴	局内		
	局外	平成 30 年度 第 55 回下水道研究発表会	
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	1-2-1	表題	降雨情報システム(東京アメッシュ)における観測精度と利便性の向上について

内　容	当局では、局地的な雷雨や豪雨などの気象情報を迅速に把握し、ポンプ所や水再生センターでポンプの運転管理に活用することを目的に、1988 年に降雨情報システムを導入し、2002 年度からは都民自らが浸水に備えることができるよう、東京アメッシュホームページにて降雨情報をリアルタイムで配信している。 このたび、更なるお客様サービスの向上と東京アメッシュの利用者の拡大を図るため、2016 年 4 月から観測精度が向上した降雨情報を東京アメッシュホームページで配信を開始すると共に、同年11月に東京アメッシュホームページの視認性の向上を行い、更に2017年4月から、東京アメッシュホームページのスマートフォン対応を図ったので報告する。		
キーワード	降雨情報システム　東京アメッシュ　ホームページ　スマートフォン		
処理区名		位置区分	ポンプ所、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 28 年度、平成 29 年度	全体期間	平成 28 年度～平成 29 年度
担当部署	施設管理部　施設管理課　運転情報管理担当		
発 表	局内		
履 歴	局外	平成 30 年度　第 55 回下水道研究発表会	
調査方法			
関連情報			

番号	1-2-2	表題	高落差流入人孔における水理模型実験について～3 方向から流入し、流下先が長大伏越構造となる千代田区紀尾井町付近主要枝線人孔を例に～

内　容	当局は、千代田区紀尾井町付近の下水道管きょの再構築事業として、平成 3 年から平成 28 年にかけて第二溜池幹線関連事業を進め、浸水被害の軽減を図ってきた。現在は浸水対策の骨格となる幹線が完成し、中部下水道事務所では主要枝線の整備を進めている。 千代田区紀尾井町付近主要枝線人孔は、3 つの主要枝線の雨水を集約して、第二溜池幹線の起点人孔付近で南元町幹線に接続する高落差流入人孔となっており、高落差処理方式としてはらせん案内路式ドロップシャフトを採用している。 当該人孔では、①高さや流入角度が異なる 3 方向から雨水が流入する、②流下先の幹線が長大伏越構造であり、最下流部で第二溜池幹線が河川へふかし上げ放流するという 2 つの特性を有することから、高落差処理機能と、ふかし上げ放流に伴い管内水位が上昇し、地上に溢水することが懸念された。このため、詳細な水位の挙動や影響は机上では把握が困難なため、水理模型実験により、原設計案の検証と対策の検討を行った。 本稿では、実験結果及び原設計の改良内容等について報告する。

キーワード	水理模型実験、ドロップシャフト、ふかし上げ			
処理区名	芝浦処理区		位置区分	管きょ
職種区分	土木		施策区分	浸水対策
状態区分	設計		新規性	
実施年度	平成 29 年度		全体期間	平成 28 年度～平成 29 年度
担当部署	中部下水道事務所　再構築推進課　事業調査担当			
発 表 履 歴	局内	平成 29 年度　設計・工事事例発表会		
	局外			
調査方法				
関連情報				

番号	2-1-1	表題	次亜臭素酸による雨天時放流水の消毒性能について

内　容	雨天時の放流水の消毒に使用している臭素系消毒剤（BCDMH：1-ブロモ-3-クロロ-5,5-ジメチルヒダントイン）は短時間での消毒に有効であるが、微粉末のため取扱いに難がある。また、高価であることからこれに代わる消毒技術の開発が求められている。 消毒に広く使用されている次亜塩素酸はアンモニアと反応してクロラミン（結合型塩素）を生成して消毒作用が低下する。一方、臭素系消毒剤は水に溶けると次亜塩素酸と次亜臭素酸を生成し、このうちの次亜臭素酸はアンモニアとほとんど反応しないため消毒の速効性が担保される。次亜臭素酸は次亜塩素酸ナトリウム溶液に臭化ナトリウム溶液を加えることで生成できる。本研究では、これら２つの液体を混合することで取り扱いが容易で比較的安価な速効性の消毒技術を開発し、その消毒性能について調査した。

キーワード	消毒、次亜臭素酸、臭素系消毒剤、		
処理区名		位置区分	水再生センター
職種区分	環境検査	施策区分	合流改善
状態区分	調査　研究	新規性	新規知見あり
実施年度	平成２９年度	全体期間	平成２８年度～平成２９年度
担当部署	計画調整部　技術開発課　新技術企画担当		
発　表 履　歴	局内		
	局外	第 55 回下水道研究発表会	
調査方法	公募型共同研究		
関連情報	技術開発推進計画 2016		

番号	2-1-2	表題	下水処理における消毒効果の検証（その１）

内　容	環境省の生活環境項目環境基準専門委員会において、大腸菌に関する環境基準値の新設についての検討が継続している。環境基準の項目が大腸菌群数から大腸菌数に変更されると、水質汚濁防止法の排水基準項目も大腸菌数に変更されると考えられる。これを見据え、流域本部では放流水中の大腸菌(群)数の実態把握及び塩素注入率の検討を目的として北二、浅川水再生センターで調査を実施した。 調査の結果、放流水中の大腸菌(群)数は、各センターとも時間変動が小さく、北二では大腸菌数 100MPN/ml 以下、大腸菌数群 100～300CFU/ml、浅川では大腸菌数 200MPN/ml 以下、大腸菌群数 50～200CFU/ml 程度だった。 また、テーブル試験において塩素注入率を変化させると、大腸菌(群)数の不活化率(※１)と CT 値(※２)が比例関係にあることが明らかになった。これにより、目標とする放流水中の大腸菌(群)数を満たすのに最低限確保すべき残留塩素濃度を推定することができた。 （※1）放流水中大腸菌(群)数／塩素接触槽前大腸菌(群)数 （※2）残留塩素濃度×接触時間		
キーワード	大腸菌数　大腸菌群数　全流塩素濃度　消毒効果		
処理区名	北多摩二号、浅川処理区	位置区分	水再生センター
職種区分	環境検査	施策区分	微量物質・病原性微生物等対策技術
状態区分	調査　研究	新規性	
実施年度	平成 28 年度	全体期間	平成 28 年度～平成 30 年度
担当部署	流域下水道本部技術部施設管理課水質保全担当		
発　表 履　歴	局内	平成 29 年度水質技術研究発表会	
	局外		
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	2-2-1	表題	ステップ流入と制限曝気を活用した浅槽反応槽における脱窒の促進

内　容	処理区として都心部のエリアを多く抱える芝浦水再生センターでは、東京 2020 大会に向けた再開発等に伴う窒素流入負荷の上昇が進む一方、耐用年数等から施設の改築による高度処理化は当面先の予定となっている。そこで早期の水質改善策として、設備改造を伴わない運転の工夫の一つであるステップ流入と制限曝気を活用した脱窒促進運転の効果について検証を進めてきた。本調査では、センター浅槽系反応槽を対象としたステップ流入および制限曝気を活用した脱窒促進運転について、ステップ流入位置とステップ流入比、制限曝気部の位置および広さについて調査、検討を行うとともに、脱窒促進運転中における処理水質の経日変化や平日と休日の比較等を実施し、効果的な運転方法を検討した。得られた知見は以下の通りである。 ・ステップ流入および制限曝気の位置については、反応槽 C 回路入口が最適であることが確認された。 ・平成 29 年度当時の処理状況から、ステップ流入比 50%のステップ流入が脱窒促進に大きな効果があることが確認された。 ・調査期間中の送風量については平日、休日ともにエネルギー面への悪影響は確認されなかった。

キーワード	ステップ流入　制限曝気　浅槽系反応槽　脱窒促進　ステップ流入比		
処理区名	芝浦処理区	位置区分	水再生センター
職種区分	環境検査	施策区分	維持管理向上　効率化
状態区分	調査　研究	新規性	
実施年度	平成 29 年度	全体期間	
担当部署	中部下水道事務所　芝浦水再生センター　水質管理担当		
発 表 履 歴	局内	平成 29 年度　水質技術研究発表会	
	局外	平成 30 年度　第 55 回下水道研究発表会	
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	2-3-1	表題	Development of Polymer Dosage Control System ポリマー注入量制御システムの開発

内　容	脱水機で用いられているポリマー（高分子凝集剤）は、通常、一定量で注入が行われている。この注入量は、運転員が投入汚泥性状の変化に合わせてきめ細かく変更を行う必要があるが、激しい強度の降雨などにより、脱水機に投入される汚泥の性状が急激に変化する場合、その変動に追従して安定した処理を行うことは非常に難しい。適正な注入量とならなかった際には、焼却炉補助燃料及びポリマーなどの使用量の増加を招き、維持管理コストへ大きく影響する。 そこで本研究は、汚泥性状等を計測する 3 つの計器（汚泥濃度計、含水率計、コロイド荷電量計）を用いて脱水機のポリマー注入を自動化するシステムの開発を目指し、平成 28 年度より取り組みを開始した。このシステムは、含水率一定制御及び電荷量一定制御の組み合わせにより構築されており、実施設において検証を行った結果、良好な制御性が確認することができた。

キーワード	汚泥処理、脱水工程、ポリマー注入量制御システム、コスト削減		
処理区名		位置区分	汚泥
職種区分	環境検査	施策区分	維持管理向上
状態区分	調査　研究	新規性	新規知見あり
実施年度	平成 28 年度	全体期間	平成 28 年度～平成 30 年度
担当部署	計画調整部　技術開発課　汚泥処理技術担当		
発表履歴	局内		
	局外	平成 29 年度　第 54 回下水道研究発表会 平成 30 年度　第 55 回下水道研究発表会（英語セッション） 平成 30 年度　第 11 回国際水協会（IWA）世界会議	
調査方法	公募型（技術連携型）共同研究		
関連情報	経営計画 2016		

番号	2-3-2	表題	超低含水率型脱水機を併設したエネルギー自立型焼却システムの建設について Construction of Energy Self-Contained Incineration System with Ultra-low Moisture Content Type Dehydrator

内　容	東京都下水道局（以下「当局」という。）は、東京都内における 1 年間の電力量約 860 億 kWh の約 1%を占める 9.8 億 kWh という大量のエネルギーを消費していることから、エネルギー使用量の削減に大きな責務を負っている。 しかし、浸水対策や合流式下水道の改善等の下水道サービス向上に向けた取組によって、このままでは電力使用量や燃料使用量が増加し、温室効果ガス排出量が増加する見込みである。 そこで、当局では、エネルギー基本計画「スマートプラン 2014」及び地球温暖化防止計画「アースプラン 2017」に基づく、「再生可能エネルギー活用の拡大」と「省エネルギーの更なる徹底」により、温室効果ガス排出量削減に取り組んでいる。この取組の 1 つとして、下水汚泥焼却工程における「エネルギー自立型焼却システム」の開発・導入がある。 本論文では、当局で設計及び発注を行った「エネルギー自立型焼却システム」の設計内容について報告するものである。
キーワード	エネルギー自立型焼却システム、超低含水率型汚泥脱水機、温室効果ガス

処理区名	新河岸処理区	位置区分	水再生センター、汚泥
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、 エネルギー 熱利用
状態区分	計画、設計、工事	新規性	新規知見あり
実施年度	平成 28 年度	全体期間	平成 28～31 年度
担当部署	建設部　設備設計課		

発 表 履 歴	局内	
	局外	2018 年　第 55 回下水道研究発表会 2018 年　第 11 回国際水協会(IWA)世界会議・展示会
調査方法		
関連情報	アースプラン 2017 スマートプラン 2014	

番号	2-4-1	表題	アースプラン 2017 の策定と取組

内　容	当局では、下水処理の過程において、東京都内における年間電気使用量の１％強にあたる電力や大量の燃料を使用している。さらに浸水対策の強化や合流式下水道の改善等の下水道サービス向上に伴い、今後もエネルギー使用量と温室効果ガス排出量のさらなる増加が見込まれる。 そこで当局は、温室効果ガス排出量を 2030 年度までに 2000 年度比で 30%以上削減することを目標とした地球温暖化防止計画「アースプラン 2017」を策定した。 当局は、アースプラン 2017 において、最新技術の先導的導入など３つの基本方針と徹底した省エネルギーや再生可能エネルギーの活用など６つの取組方針を掲げ、温室効果ガス排出量の削減に積極的に取り組んでいく。 本稿では、アースプラン 2017 の背景や基本方針・取組方針とともに、主な削減対策を紹介する。
キーワード	地球温暖化防止、温室効果ガス、再生可能エネルギー、省エネルギー

処理区名		位置区分	ポンプ所、水再生センター、汚泥
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、 エネルギー　熱利用
状態区分	計画、工事、維持管理	新規性	新規知見あり
実施年度	平成 29 年	全体期間	平成 29 年度～平成 42 年
担当部署	計画調整部計画課基本計画担当		

発 表 履 歴	局内	平成 29 年度設計・工事事例発表会
	局外	第 54 回下水道研究発表会、月刊下水道 2017 年 6 月号、下水道協会誌 2017 年 7 月号、月刊下水道 2017 年増刊号、
調査方法		
関連情報	経営計画 2016、スマートプラン 2014	

番号	2-4-2	表題	トータルエネルギー削減に向けた運転管理の工夫

内　容	東京都下水道局では、下水処理過程で消費される莫大なエネルギーを削減するため、水処理電力量と当該電力量に影響する処理水全窒素濃度の二つを指標として、放流水中の全窒素濃度を維持しつつ、送風機等水処理電力量の削減を目指す取組（二軸管理）を進めてきた。一方、汚泥処理も行っている水再生センターでは汚泥処理過程で消費されるエネルギーも大きな割合を占めている。そこで、平成 27 年度、浅川水再生センターにおいて、水処理と汚泥処理を一体として捉えて、余剰汚泥引抜量の削減とＤＯ制御を組み合わせた運転管理「余剰汚泥削減運転」を行った。その結果、水処理工程で送風機電力量の削減を積極的に進めた平成 26 年度と比較してトータルエネルギーを約 5%削減できた。また、放流水質も平成 26 年度と比較してアンモニア性窒素を低減することができた。			
キーワード	余剰汚泥削減運転　ＤＯ制御　二軸管理　アンモニア性窒素			
処理区名	浅川処理区		位置区分	水再生センター
職種区分	環境検査		施策区分	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 27 年度		全体期間	平成 26 年度～平成 27 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　水質管理担当			
発　表 履　歴	局内			
	局外	平成 30 年度　第 55 回下水道研究発表会		
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	2-4-3	表題	水質改善と省エネルギーを両立する運転方法の検証（事例報告）

内　容	多摩川上流水再生センターでは、水質改善と省エネルギーを両立する取組みとして、平成２６年度より主に送風機運転台数を低減する手法により運転を行っている。平成２７年２月に５系（ステップA2O施設）が稼働し、平成２７年１２月に散気装置をメンブレンに更新した４系（A2O施設）が稼働した。これらの施設は散気効率が高く処理性能も高いものの個別送風化されており、既存の１～３系の送風設備と独立している。そこで２８年度以降は、個別送風化した高度処理系列（４、５系）に水量負荷をかけ、在来系列である１～３系の送風機運転台数を低減する運転方法を実施し、放流水のアンモニア性窒素を目標の１mg/Ｌ以内に維持したまま送風機電力量原単位の低減が可能であることを確認した。 平成 29 年度は、より省エネルギーな運転方法として第一沈殿池を利用した流入水量の平滑化を実施しており、これまでのところ良好な結果を得ている。これらの取組み事例について報告を行うものである。

キーワード	必要送風量 水質改善 省エネルギー 送風機電力量原単位		
処理区名	多摩川上流処理区	位置区分	水再生センター　処理水　放流水
職種区分	環境検査	施策区分	エネルギー 維持管理向上
状態区分	維持管理	新規性	
実施年度	平成 29 年度	全体期間	平成 26 年度～平成 29 年度
担当部署	流域下水道本部 技術部 多摩川上流水再生センター 水質管理担当		
発 表	局内	平成 29 年度 水質技術研究発表会	
履 歴	局外		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	2-4-4	表題	落合水再生センター管理棟における LED 照明の導入とその効果について

内　容	当局では下水道事業における温室効果ガス削減対策として、水処理や汚泥処理での様々な取り組みを進めている。一方で、事務所や出張所などの管理用途に使用されている建物も一定の電力やエネルギーを使用しており、建築系の温室効果ガス削減に向けた取り組みが必要である。執務室などのオフィスで使用されるエネルギーは、主に、空調、照明、OA 機器等があり、照明が全体の約 4 割を占めているといわれており、今後のより一層の省エネ推進のためには、照明についての対策が必要である。 落合水再生センターでは、老朽化した管理棟の照明器具を更新するため、平成 26 年度から 27 年度にかけて、第二基幹再構築事務所と新宿出張所を含めた執務室に LED 照明を導入した。そこで、LED 照明導入の状況と導入後 1 年間の電力使用量の削減効果について報告する。

キーワード	温室効果ガス削減対策　LED 照明　電力使用量の削減			
処理区名	落合処理区		位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	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 26 年度		全体期間	平成 26 年度～平成 29 年度
担当部署	西部第一下水道事務所　落合水再生センター　設備管理担当			
発 表 履 歴	局内	平成 29 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	2-4-5	表題	みやぎ水再生センターにおける二軸管理の取組みについて

内　容	当局の水再生センターでは、水質改善と省エネルギーの両立を目指し、放流水全窒素濃度と送風電力量原単位を指標とした二軸管理手法を活用している。 みやぎ水再生センターにおいて、二軸管理に基づき、窒素削減を目的とした「制限ばっ気運転」と送風電力削減を目的とした「水処理系列への水量配分適正化」の取組みを行った。その結果、以下のような成果を得て、水質改善と省エネルギーを両立することができた。 ・平成 28 年度より、浅槽式反応槽の西施設と深槽式反応槽の東施設で順次制限ばっ気運転の運用を開始したところ、両施設ともに放流水全窒素濃度は運用以前と比較して約 2 割改善された。 ・平成 29 年度 8 月から、送風効率の良い東施設への配水比率を高め、送風機の適切な運転管理を行った結果、センター全体の送風電力量原単位は前年度同時期と比較して約 1 割低減された。		
キーワード	二軸管理　制限ばっ気　送風機の運転管理		
処理区名	小台処理区	位置区分	水再生センター
職種区分	環境検査	施策区分	準高度処理、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 29 年度	全体期間	平成 27 年度～平成 29 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		
発 表	局内		
履 歴	局外	第 55 回下水道研究発表会	
調査方法	直営調査		
関連情報	経営計画 2016		

番号	2-4-6	表題	新河岸水再生センターのターボ型流動焼炉導入における 温室効果ガス削減効果の検証

内　容

下水道局ではエネルギー・地球温暖化対策として、エネルギー基本計画「スマートプラン 2014」、地球温暖化防止計画「アースプラン 2010」を策定し、エネルギー削減に向けた様々な取り組みを実施している。また、2017 年 3 月に「アースプラン 2017」を新たに策定し、さらなる温室効果ガス排出量削減に取り組んでいる。

新河岸水再生センターにおいても、太陽光発電設備の創エネルギー機器や、反応槽における個別送風設備の省エネルギー機器の導入を積極的に進めており、平成 27 年度から「ターボ型流動焼却炉」新 3 号炉（以下、「ターボ炉」という）と近接設置された低含水率型脱水機を組み合わせた第二世代焼却システムの運用を開始した。

ターボ炉は従来の流動焼却炉に必要な、電力を大幅に消費する送風設備の誘引ブロワ及び流動ブロワが不要となることで、消費電力が大幅に削減されるとともに、加圧高温下にて焼却処理することで N2O（温室効果ガスの一種）排出量の削減効果が期待できる。

平成 27 年度から運用を開始したターボ炉と従来炉の比較を行ったところ、本報告の調査期間において、ターボ炉は従来炉と比べエネルギー及び温室効果ガスの削減効果が非常に高いという結果が得られたので、その効果について報告する。

キーワード	ターボ型焼却炉　温室効果ガス			
処理区名	新河岸処理区		位置区分	水再生センター
職種区分	設備		施策区分	温室効果ガス削減対策
状態区分	調査　研究		新規性	
実施年度	平成 29 年度		全体期間	平成 28 年度～平成 29 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　スラッジ管理担当			
発 表 履 歴	局内	平成 29 年度　設備研究発表会		
	局外			
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-1-1	表題	幹線管きょに用いる簡易調査機器の導入に向けた検討

内　容	東京都区部の下水道管は 1884 年から建設され、現在の総延長は約 16,000 km にも及び、このうち幹線管きょはおよそ 1,100km にも上る。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図るための再構築事業については、昭和 30 年代以前に建設されて老朽化した幹線などを優先して進めている。その前段として、下水道管の健全度を把握するため、目視や TV カメラによる管路内調査を実施しているが、水位が高い、流速が速いなどの理由で調査が難しい路線が存在する。 これらの課題を解決できる簡易調査機器の導入のため、幹線管きょ等において実証試験を実施したことから、その結果について報告する。

キーワード	幹線管きょ、維持管理、管路内調査、調査困難			
処理区名			位置区分	管きょ
職種区分	土木		施策区分	維持管理向上
状態区分	調査　研究		新規性	
実施年度	平成 29 年度		全体期間	平成 26 年度から平成 29 年度
担当部署	計画調整部技術開発課			
発　表 履　歴	局内			
	局外	平成 30 年度　第 55 回下水道研究発表会		
調査方法	委託調査			
関連情報	技術開発推進計画 2016			

番号	3-1-2	表題	腐食環境下における防食人孔蓋の導入に向けた取組について

内　容	東京都下水道局では、平成 4 年から平受け構造に比べてがたつき防止性能に優れる急勾配受け構造の人孔蓋を採用してきたが、平成 23 年度に腐食した急勾配型人孔蓋が車両の通過時に反転・飛散する事故が発生した。以来、腐食環境下における急勾配受け人孔蓋の維持管理手法などを検討してきた。 本論文は、これらの取組に加えて、急勾配受け人孔蓋の維持管理性の向上を図るため、厳しい腐食環境下での防食人孔蓋に必要な性能、腐食判定基準及び対策の選定手法について整理したものである。 フィールド調査、現場暴露試験から、鋳鉄人孔蓋の腐食速度を算出した。また、現場に防食人孔蓋を設置するにあたり、腐食環境に応じた防食人孔蓋の要求性能、人孔蓋の腐食判定基準、防食人孔蓋・標準蓋の選定手法を整理した。 今後、腐食環境における人孔蓋の対策を確立させるため、今回の検討結果を実業務において試行運用し、腐食対策手法の検証を行っていく。

キーワード	人孔蓋、腐食、防食、維持管理		
処理区名		位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	腐食対策　防食対策、維持管理向上
状態区分	調査　研究	新規性	新規知見あり
実施年度	平成 29 年度	全体期間	平成 28 年度～平成 32 年度
担当部署	計画調整部技術開発課管路技術担当		
発　表 履　歴	局内		
	局外	第 55 回下水道研究発表会	
調査方法	委託調査		
関連情報	「防食人孔蓋の手引（仮）」策定予定 「技術開発推進計画 2016」記載		

番号	3-1-3	表題	ビッグデータを活用した道路陥没対策について

内　容	東京都区部の管きょ管理延長は、約 16,000ｋｍにおよび、このうち法定耐用年数 50 年を超えるものは 10%に達している。さらに 20 年後には、50%を超えるなど、下水道管の老朽化対策が喫緊の課題となっている。 当局では、下水道台帳情報システムに蓄積した下水道管の様々な情報（ビッグデータ）を活用し道路陥没の多い地区を抽出して、老朽化した下水道管の再構築とともに、補修や改良工事において道路陥没の発生原因の約 7 割を占める陶器製取付管を塩化ビニル管に取換える対策（以下、塩ビ化という。）を行っている。 対策実施により、下水道管の破損に起因する道路陥没は平成 12 年度には、年間 1500 件強発生していたが、平成 28 年度における道路陥没件数は、460 件と 1/3 程度まで減少している。引き続き、東京 2020 大会の開催に向けて道路陥没の未然防止に努めていく。		
キーワード	効果的・効率的な維持管理、道路陥没対策、公共下水道台帳（SEMIS）、データの蓄積		
処理区名	23 区全域	位置区分	管渠
職種区分	土木	施策区分	維持管理、データ蓄積
状態区分		新規性	
実施年度		全体期間	
担当部署	管路管理課　調整担当		
発　表	局内		
履　歴	局外	平成 30 年度　第 55 回下水道研究発表会	
調査方法			
関連情報	経営計画		

番号	3-1-4	表題	揮発したトリクロロエチレンによる公栃での違反とその改善事例

内　容	東京都下水道局では、有害物質を取扱う事業場に対し立入検査を行い、排水が下水排除基準を遵守するよう継続的に指導を行っている。 本件は、東部第一下水道事務所管内（墨田区・江東区）の鍍金事業場でトリクロロエチレンが下水排除基準を超過したため改善指導を行った事例である。 立入検査では事業場内の様々な場所で水質調査を行い、一般的な超過原因である乾燥不足による持ち出しだけではなく、トリクロロエチレン洗浄（乾燥）槽からの蒸発や製品に付着したトリクロロエチレンが空気中に揮散し、別系統の水洗槽等の水に再溶解したことで下水排除基準を超過したことが判明した。 これまで排水に対する改善指導の実績はあるものの大気由来の知見が少ないため、東京都環境局のＶＯＣ対策アドバイザー派遣制度を利用し、大気の専門家による現地調査と改善対策の提案を受けた。改善対策を検討し実施した結果、トリクロロエチレンの揮散が抑制され、下水排除基準の超過は改善した。

キーワード	トリクロロエチレン　揮散　再溶解　立入検査　下水排除基準			
処理区名			位置区分	ます　取付管
職種区分	環境検査		施策区分	流入水質規制
状態区分	調査　研究		新規性	
実施年度	平成 28 年度		全体期間	
担当部署	東部第一下水道事務所　お客さまサービス課　水質規制担当			
発表履歴	局内	平成 29 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	3-1-5	表題	砂町水再生センター汚泥処理返流水の対策について

内　容	砂町水再生センターの水処理施設には、東部スラッジプラント、砂町汚泥処理工場における汚泥処理により発生した返流水が日量約 10 万 m^3 流入しており、これはセンター高級処理水量の 1/4 を占めている。この返流水には他の水再生センターで発生した汚泥等に由来するりん等も含まれているため返流水の水処理施設への負荷が高くなっている。水処理過程においてりん対策で PAC を注入しているが、平成 28 年度は返流水水質が悪化したケースが多く、PAC 使用量が大幅に増加した。 当センターでは返流水対策 PT を立ち上げ、返流水流量の変動幅を最小限に抑えた返流方法の検討及び PAC 使用量削減方法について検討を行った。本稿では、第一段階として取り組んだ、返流水流量の安定化に向けた取組と、LAC 使用による返流水中のりん濃度低下について報告する。

キーワード	汚泥処理　返流水　流量安定化　ＰＡＣ　ＬＡＣ		
処理区名	砂町処理区	位置区分	水再生センター、処理水　放流水、汚泥
職種区分	設備	施策区分	維持管理向上、合流改善
状態区分	調査　研究	新規性	
実施年度	平成２９年度	全体期間	
担当部署	東部第一下水道事務所　砂町水再生センター		
発　表 履　歴	局内：平成 29 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	3-1-6	表題	汚水圧送管の損傷事故対応について

内　容	平成 29 年 8 月に南部下水道事務所が管理する汚水圧送管の損傷事故があった。この圧送管は汚水の送水ルートの切り替え先が無く、ポンプの運転停止が可能な限られた時間内で補修を行う必要があった。また、損傷個所は防護コンクリートがあり、ガスの中圧管を巻き込むように設置されていたことから、通常の割継輪等による補修を行うことは出来ず、止水材、止水グラウト剤等により補修を行った。 本稿では、補修に至るまでの経緯と検討内容について、報告する。		
キーワード	圧送管　維持管理		
処理区名	森ケ崎処理区	位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	維持管理向上
状態区分	維持管理	新規性	
実施年度	平成 29 年度	全体期間	平成 29 年度
担当部署	南部下水道事務所　お客さまサービス課　管路施設担当		
発表履歴	局内	平成 29 年度設計・工事事例発表会	
	局外		
調査方法	原因者による調査		
関連情報			

番号	3-1-7	表題	葛西水再生センター焼却炉１号用遠心脱水機のダムプレート変更による含水率改善
内　容	葛西水再生センターでは、ベルトプレス脱水機、二重円筒加圧脱水機、既設遠心脱水機（直胴ストレート型)、焼却炉１号用遠心脱水機（直胴テーパー型）が設置されており、汚泥性状に拘らず脱水できる既設遠心脱水機と焼却炉 1 号用遠心脱水機が主力となっている。しかし、季節によって焼却炉１号用遠心脱水機は既設遠心脱水機と比較して 1%程度の含水率の悪化が見られ対策が必要であった。今回、遠心脱水機のダムプレートを変更することで、汚泥性状の変動に合わせた焼却炉 1 号用遠心脱水機の含水率改善と性能向上を確認したので報告する。		
キーワード	遠心脱水機　ダムプレート　含水率　汚泥性状		
処理区名		位置区分	汚泥
職種区分	設備	施策区分	維持管理向上
状態区分	維持管理	新規性	
実施年度	平成 28 年度	全体期間	平成 28 年度
担当部署	東京都下水道サービス株式会社　施設部　東部第二センター　葛西スラッジ事業所		
発 表 履 歴	局内	平成 29 年度　下水道設備研究発表会	
	局外	平成 29 年度　下水道研究発表会	
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	3-1-8	表題	梅田ポンプ所におけるホッパ設備の排出トラブルの改善

内　容	ホッパは、下水から除去したしさや沈砂を一時貯留する設備で、ある程度溜まった時点で、ホッパ下部のベルトゲートを開けて搬出トラックに積み替え、系外へ搬出している。 梅田ポンプ所の青井棟しさホッパ・沈砂ホッパでは、ベルトゲートを寸開した際に、しさ・沈砂や汚濁した水分が飛散しやすく、排水樋の閉塞や点検作業場所の環境悪化を招いている。今回、これらの問題を解決するため可動ジャマ板兼排出ガイド状の飛散防止板を考案し、その効果を検証したので紹介する。		
キーワード	ホッパ　ベルトゲート　しさ・沈砂　飛散防止板		
処理区名	中川処理区	位置区分	ポンプ所
職種区分	設備	施策区分	維持管理向上
状態区分	維持管理	新規性	
実施年度	平成 28 年度	全体期間	平成 28 年度
担当部署	東京都下水道サービス株式会社　施設部　東部第二センター　東部第二ポンプ所保全事業所		
発表履歴	局内	平成 29 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	3-2-1	表題	Stable Sewage Treatment and Effective Business Operation in Tama Area by Utilizing Utility Tunnels 連絡管活用による多摩地域の安定的な下水処理と効率的な事業運営

内　容	流域下水道本部では、震災時のバックアップ機能を確保することを目的とし、多摩川を挟んで向い合う 2 つの水再生センターを連絡管で結ぶ事業を実施し、平成 27 年度に 3 本目の連絡管が完成した。 東日本大震災では、多摩川上流水再生センターの焼却炉の一部が破損し、緊急停止したが、連絡管で結ばれた八王子水再生センターへ処理しきれない汚泥を送ることで、支障なく下水処理を継続した。 震災時以外にも、連絡管は施設更新や効率的な事業運営のために活用されている。施設の更新時には、工事により一時的に低下する処理能力をカバーするために連絡管を活用し、対岸の水再生センターで処理を行っている。 また、2 つのセンターを 1 つのシステムと捉え、2 つの処理区で発生する汚泥を連絡管を通して適正に分配し、稼働させる焼却炉の数を減らし、予備炉の立ち上げに必要なエネルギーの削減や、効率の良い定格運転の実施を図っている。

キーワード	連絡管　震災対策　事業運営　汚泥処理　効率化			
処理区名			位置区分	水再生センター　汚泥
職種区分	土木		施策区分	震災対策　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 29 年度		全体期間	平成 15 年度～平成 29 年度
担当部署	流域下水道本部技術部　計画課　計画担当			
発　表 履　歴	局内	平成 29 年度　設備研究発表会		
	局外	平成 30 年度　第 55 回下水道研究発表会		
調査方法	直営調査			
関連情報				

番号	3-2-2	表題	水質規制と局内関連部署との連携による事業場水質事故対応事例の報告

内　容	東京都下水道局は有害物質を取り扱う事業場の水質事故を抑制するため、23 区内の特定事業場の監視を 4 つの下水道事務所で行っている。 平成 17 年の下水道法改正により、特定事業場を対象として水質事故時の応急措置と公共下水道管理者への届出が義務付けられた。これに伴い、平成 18 年に「事業場水質事故危機管理マニュアル」の運用を開始している。 近年、事業場施設の老朽化に伴い水質事故が多発しており、水質規制部門だけでなく、管路部門や水再生センター、建設部門など様々な部門間との迅速な連携が求められている。 本稿は近年の事業場水質事故について、同マニュアルに基づき対応した事例や水質事故訓練の様子について報告する。

キーワード	水質規制、水質事故、マニュアル、立入検査		
処理区名		位置区分	管きょ、ポンプ所、水再生センター
職種区分	環境検査	施策区分	危機管理
状態区分	調査　研究	新規性	
実施年度	平成 29 年度	全体期間	平成 29 年度
担当部署	西部第一下水道事務所　お客さまサービス課　水質規制担当		
発　表	局内		
履　歴	局外	平成 30 年度　第 55 回下水道研究発表会	
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	4-1-1	表題	下水道管の老朽化対策

内　容	高度経済成長期以降、大量に整備した下水道管が一斉に耐用年数を迎えており、下水道管に起因する道路陥没も発生している。耐用年数を迎えた下水道管を全て新しく入れ替えるには膨大な時間を要する。そのため、これまで蓄積された維持管理情報や更生工法等を活用し、効率的な再構築を行うことが重要です。東京都下水道局では、再構築を推進することにより道路陥没の発生が減少している。

キーワード	下水道管の老朽化、再構築、陶管			
処理区名			位置区分	
職種区分	土木		施策区分	再構築
状態区分			新規性	
実施年度	2017		全体期間	
担当部署	計画調整部計画課			
発表履歴	局内			
	局外	第７回国際水協会（ＩＷＡ）アジア太平洋地域会議（マレーシア・クアラルンプール）		
調査方法				
関連情報				

番号	4-1-2	表題	送泥ネットワークを活用した汚泥処理の危機管理

内　容	当局では、東京都区部の水再生センターの汚泥処理について、東日本大震災や送泥管の異常時の経験を踏まえ、送泥管ネットワークの危機管理についてハード・ソフトの両面から強化を図っている。 ハード面では、送泥管の二重化に加え、他の水再生センターへの汚泥の転送が可能な送泥管ネットワークの構築を進めている。 ソフト面では、施設間での基本的事項の取り決めや、非常時の対応について定めた送泥要綱を作成し、それに基づいた定期的な切替作業、危機管理対応訓練（机上訓練）を実施することで、運転の習熟や職員の危機管理意識の向上を図っている。 このように送泥管ネットワークの構築の推進や職員の危機管理能力の向上により、不測の事態にも迅速に対応でき、安定した下水処理を確保している。 本文は、送泥管ネットワークを活用した汚泥処理の危機管理対応の強化について報告するものである。
キーワード	送泥管ネットワーク、危機管理、汚泥処理

処理区名		位置区分	汚泥、水再生センター
職種区分	設備	施策区分	危機管理
状態区分	維持管理	新規性	
実施年度	平成 29 年度	全体期間	平成 29 年度
担当部署	施設管理部　施設管理課　維持担当		

発表履歴	局内	
	局外	第 11 回 IWA　会議・展示会
調査方法	直営調査	
関連情報	アースプラン 2017	

番号	4-1-3	表題	水質改善と電力削減を両立するための下水処理施設における新たな維持管理手法について A New Operation and Maintenance Approach of Wastewater Treatment Plants to Achieve both Improvement of Effluent and Reduction of Electricity Consumption

内　容	東京都の下水処理にかかる使用電力量は都内の全使用電力の約 1%を占めているため、東京都下水道局では電力使用量並びに温室効果ガス削減を進めてきた。しかしながら、電力削減を過度に進めると放流水質が悪化する恐れがある。 そのため当局では、水質改善と電力使用量削減を両立するための管理ツールとして二軸管理手法を導入した。二軸管理図では、トレードオフの関係にある放流水の全窒素濃度と送風電力量原単位を指標として選択した。この図により各水再生センターの運転管理の工夫や設備更新の効果、並びに課題を視覚化することができる。加えて当局では水質改善と省エネルギーの両立に向けた取り組みを継続的に行うために、二軸管理手法を用いて PDCA サイクルを実行している。 結果として二軸管理手法導入前と比較し、全水再生センターの平均値として、全窒素及び送風電力量原単位を削減することができた。		
キーワード	省エネルギー、水質改善、全窒素濃度、送風電力原単位		
処理区名		位置区分	水再生センター、 処理水　放流水
職種区分	環境検査	施策区分	高度処理　温室効果ガス削減対策 維持管理向上
状態区分	維持管理	新規性	
実施年度	平成 28 年度	全体期間	平成 23 年～平成 28 年度
担当部署	施設管理部　環境管理課		
発 表 履 歴	局内：平成 25 年度　水質技術研究発表会 局外：2015 年 第 5 回 EWA/WEF/JSWA 特別会議 米国・ワシントン D.C 平成 28 年 第 53 回下水道研究発表会 2018 年 第 7 回 IWA-ASPIRE（IWA アジア太平洋地域会議）マレーシア		
調査方法	直営調査		
関連情報	経営計画 2016　東京の下水道 2016　アースプラン 2017		

番号	4-1-4	表題	Introduction of Kerosene-City Gas Dual Fuel Emergency Generator in Tokyo Sewage Treatment Plants 東京の下水道施設における灯油・都市ガス併用型（デュアルフューエル）非常用発電機の導入について

内　容	東京の下水道は、1,300 万人の都民生活や都市活動を支える重要な都市インフラである。 日本は地震大国であり、集中豪雨も増加傾向にあるため、東京都下水道局では停電などの非常時における下水処理機能の維持を目的に非常用発電機の導入を進めてきた。 一方、東北地方を襲った東日本大震災時の計画停電による非常用発電機運転や燃料に使用する灯油が供給不足となった経験から自己電源の更なる安定化を図るため、発電機用燃料の多様化に向けた検討を行い、都市ガス配管の耐震性に着目した灯油・都市ガス併用型（デュアルフューエル）非常用発電機の導入を決定した。 本稿では、導入に当たり、都市ガス使用の可否、設置場所、燃料の切替え方法などの検討を行ったので報告する。			
キーワード	非常用発電機、下水道施設の維持、燃料の多様化			
処理区名	中川処理区		位置区分	水再生センター
職種区分	設備		施策区分	震災対策
状態区分	設計		新規性	
実施年度	平成 25 年度		全体期間	
担当部署	建設部設備設計課電気設計担当			
発　表 履　歴	局内	平成 25 年度設備研究発表会、平成 26 年度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				
関連情報	経営計画 2013			

番号	4-2-1	表題	Rebuilding of the Pumping Station in Tandem with City Planning in Front of Tokyo Station and Contribution to the Community through Using the Upper Space Thereof **東京駅前のまちづくりと連携したポンプ所再構築と上部利用による地域貢献**

内　容	東京都下水道局は、東京駅近傍に位置する老朽化した銭瓶町ポンプ所の再構築にあたり、既存施設が民間ビルとの合築構造であることやポンプ所再構築にあたり代替用地の確保が困難であることを背景として、2012 年に地権者として常盤橋再開発事業に参画し、再開発と連携したポンプ所再構築を進めている。 本論文では、立体都市計画制度を活用して当局施設の上部空間に民間ビルが建築されることなど本事業のスキームを紹介するとともに、民間ビル下部に建設する貯留池による合流式下水道の改善などの事業効果を説明し、それによる経済的メリットなどに言及する。			
キーワード	常盤橋再開発事業、立体都市計画制度、上部利用、合流式下水道の改善			
処理区名	芝浦処理区		位置区分	
職種区分			施策区分	
状態区分	計画		新規性	
実施年度			全体期間	平成 24 年度～平成 39 年度
担当部署	計画調整部事業調整課開発調整担当			
発 表 履 歴	局内			
	局外	2018 年　第 6 回 EWA/WEF/JSWA 特別会議		
調査方法				
関連情報				

番号	4-2-2	表題	Installation of Turbocharged Fluidized Bed Combustion System for Efficient Sludge Incineration **ターボ型流動焼却炉の導入とその効果について**

内　容

当局では、エネルギー基本計画である「スマートプラン 2014」や下水道事業における地球温暖化防止計画である「アースプラン 2010」を策定し、これらの目標達成に向け、エネルギー使用量と温室効果ガス排出量の削減に取り組んでいる。中でも、汚泥処理の焼却過程で多く発生する一酸化二窒素（N_2O）は二酸化炭素（CO_2）の 298 倍の温室効果があるため、当局はこれまで、この温室効果の高い N_2O の削減を積極的に推進してきた。更なる N_2O 削減のためには汚泥を高温で焼却する必要があり、燃料である都市ガスの使用量増加が課題となっていた。

そこで当局は、省エネルギーのさらなる推進を図るために、高温省エネ型焼却炉の一種であるターボ型流動焼却炉と低含水率型脱水機を組み合わせたものを第二世代型焼却システム（以下、本システムという。）と呼び、本システムをこれまで 3 か所の水再生センター（浅川水再生センター、葛西水再生センター及び新河岸水再生センター）で運用を開始した。

本システムを導入することにより、従来型の汚泥焼却炉と比較して、エネルギー原単位及び温室効果ガス排出原単位を削減することができた。

本稿は、導入したターボ型流動焼却炉の効果について報告するものである。

キーワード	地球温暖化、省エネルギー、汚泥焼却炉、ターボ型流動焼却炉		
処理区名		位置区分	汚泥、水再生センター
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策
状態区分	調査・研究	新規性	
実施年度	平成 29 年度	全体期間	平成 26 年度～平成 28 年度
担当部署	施設管理部　施設管理課　維持担当		
発表履歴	局内		
	局外	第 6 回 EWA_WEF_JSWA 特別会議	
調査方法	直営調査		
関連情報	アースプラン 2010、アースプラン 2017、スマートプラン 2014		

番号	4-2-3	表題	Seismic Retrofitting Measures for Sewerage Structures in Tokyo 首都中枢機能が集積する永田町エリアにおける下水道管きょ耐震化事業

内　容	東京では、今後 30 年以内に 70%の確率で首都直下型地震の発生が予想されており、地震の被害は国全体に甚大な影響を及ぶ。このため、下水道局では、下水道管の震災対策として、非開削耐震化工法を用いた人孔と管の接続部の耐震化や人孔浮上抑制対策に取り組んでいる。 本論文では、首都中枢機能が集積する永田町・霞が関地区における下水道管の耐震化工事の施工事例を紹介する。多くの官庁や競合工事との調整において施工時間などに制約を受けたものの、非開削による耐震化技術の特徴を生かし、作業手順や作業時間を効率化して、道路交通や周辺環境へ影響を最小限にとどめて工事を完了することができた。

キーワード	首都直下型地震、耐震化、非開削工法、液状化現象、施工事例、永田町・霞が関地区		
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	震災対策
状態区分	工事	新規性	
実施年度	平成 27 年度	全体期間	平成 27 年度～平成 28 年度
担当部署	中部下水道事務所　建設課　工事担当　田中千鶴		
発表履歴	局内		
	局外	第 6 回 欧州水協会／米国水環境連盟／日本下水道協会 特別会議	
調査方法	直営調査		
関連情報	経営計画 2016		

番号	4-3-1	表題	東京都下水道局における技術開発の推進　～技術開発推進計画 2016～ Promotion of technological development in Tokyo Metropolitan Government -Technological Development Promotion Plan 2016-

内　容	東京都下水道局は、技術開発の方向性を定める計画として「技術開発推進計画 2016」を策定した。この計画には、①技術経営（MOT）手法の活用、②オープンイノベーションの推進、③共同研究の活性化、④下水道界の技術力の向上、の４つの方針が定められている。本計画において、ICT 技術の活用や維持管理技術の充実化など、53 の技術開発テーマを選択し、技術開発の更なる推進を図っている。 本論文では、本計画の内容及び策定の手法を紹介する。			
キーワード	技術開発、技術開発推進計画 2016、イノベーション			
処理区名			位置区分	
職種区分			施策区分	
状態区分	計画		新規性	
実施年度	平成 28 年度		全体期間	平成 28 年度～平成 32 年度
担当部署	計画調整部技術開発課企画調整担当			
発 表 履 歴	局内			
	局外	2018 年国際水協会（IWA）世界会議・展示会		
調査方法				
関連情報	技術開発推進計画 2016			

1-1-1　下水道管の再構築事業における構造レジリエンスに関する研究

計画調整部　事業調整課　藤橋知一
（現　計画調整部　計画課）
馬野仁史
○岡部和樹

1　はじめに

東京都区部の下水道整備は明治 17 年の神田下水から始まり、その約 110 年後の平成 6 年に下水道普及率 100%（概成）を達成した。これまで整備された下水道管きょの総延長約 16,000km のうち、法定耐用年数 50 年を超える管きょが約 1,800km であり、20 年後には 8,900km にまで増加する状況にある。

老朽化により下水道管が損傷すると、下水道の本来機能である汚水や雨水の排除が困難になる上、道路陥没による交通障害を引き起こすなど、首都機能が集積する東京の都市活動に重大な影響を及ぼすことになる。

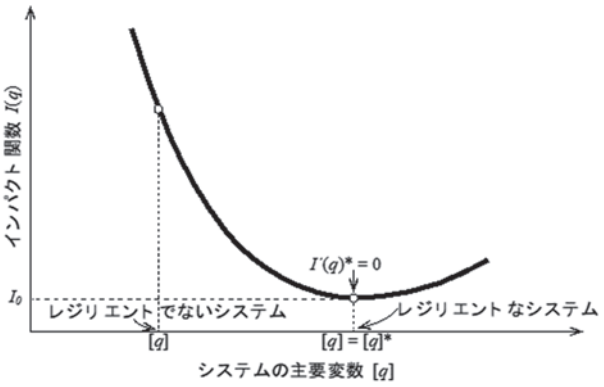
そのため、膨大な下水道管の老朽化対策を効率的に実施するには、老朽化の状況を踏まえて対策の優先度を設定するなど、柔軟かつ計画的に予防保全型の対策を講じていくことが重要である。

本論文では、我が国が目指すべき「国土強靭化」に向けて、下水道施設の構造レジリエンスを定式化し、再構築事業の評価や対策実施の意思決定に資する指標として、下水道施設の合理的な維持管理マネジメントへの活用について研究したものである。

2　構造レジリエンス理論の概要

災害大国と呼ばれる我が国において、真に持続可能な社会の実現を目指すべく、レジリエンスの概念が注目されている。レジリエンスは“リスクが顕在化し社会システムや事業の全部あるいは一部の機能が停止しても、全体として機能を速やかに回復できるしなやかな強靭さ”として理解されることが多い。レジリエンス理論に関する数学的一般表現を以下に示す。

システム S(q1, q2, ..., qn)を考える。システムの主要変数を[q]とし、これらの主要変数の影響を受けるシステム環境を V、そして変化・撹乱を D とする。このとき、I(q1, q2, ..., qn)はシステムに作用する撹乱によるシステム環境への影響度(インパクト)を表す。ある撹乱(例えば地震等)が、システム S に破壊エネルギーE_dを与える時、システムに吸収される破壊エネルギーを$E_{s(1)}$、システムの破壊を伴ってシステム環境 V に放出されてしまう破壊エネルギー（二次災害）を $E_{s(2)}$ で示す。この時、システム環境に生じる破壊エネルギーEv は下式で表



図−1　構造レジリエンスにおけるインパクト関数

すことができる[1)]。

$E_v = E_d - E_{s(1)} + E_{s(2)}$ ・・・(1)

ここで、レジリエントなシステムとは以下の条件を満たすことをいう。

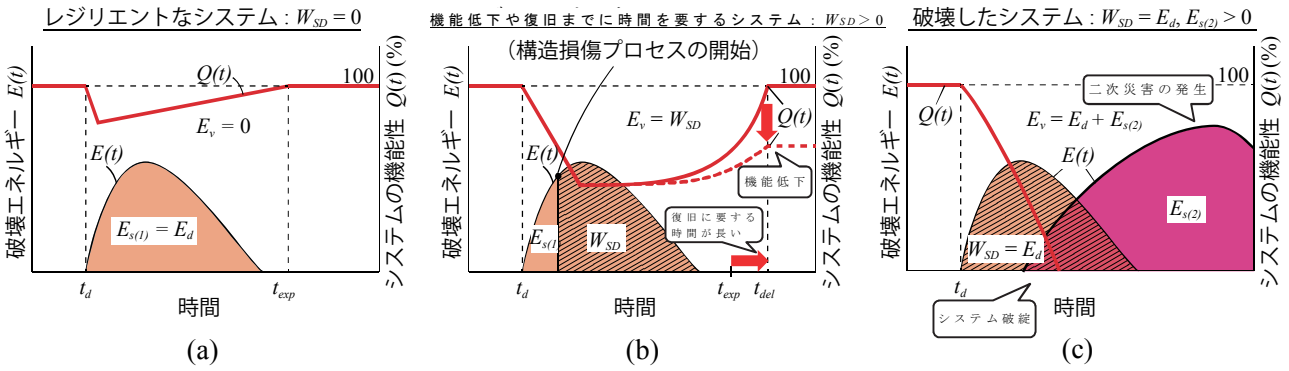
$E_d = E_{s(1)}$ ・・・(2) 、$E_{s(2)} = 0$ ・・・(3)

よって、$\mathbf{E_v = 0}$ となる。つまり、ある変化・撹乱が発生してもそのシステムは破壊エネルギーE_dを完全に吸収でき、しかも二次災害は発生させず、システム環境Vに放出される破壊エネルギーはゼロという意味となる。このような条件下では、システム環境への影響の大きさを表すインパクト関数Iは最小値条件を満たすことになる（図－1)。

$\mathbf{I'(q^*) = 0}$・・・(4)

ここで、[q*]はシステム変数の特性値と呼び、レジリエントなシステム設計を表す。

レジリエンスの評価においては、災害時の復旧活動による機能の回復のプロセスをレジリエンス三角形と定義し[2)]、レジリエンスrは$E_{s(1)}/E_d$で表すことができる。構造レジリエンスの評価においては、システムの吸収エネルギー$E_{s(1)}$と構造の損傷エネルギーW_{SD}から$E_{s(1)} = E_d - W_{SD}$ と表現できることから、レジリエンスは$r = 1 - W_{SD}/E_d$として定量化することができる（図－2)。



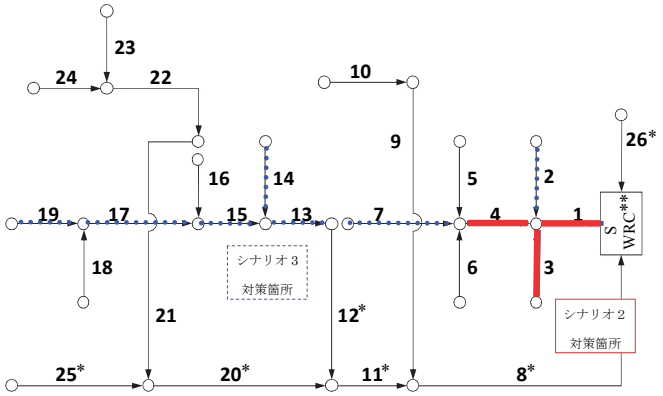
図－2　構造レジリエンスにおけるシステム挙動のイメージ

3　管更生による管路耐震化に対する構造レジリエンスの評価

都内の水再生センター周辺の下水道幹線網の一部をモデル化し、管更生による管路耐震化について構造レジリエンスを評価した（図－3)。対象とするのは26幹線であり、それぞれの流入先、延長、計画流量を考慮してネットワークモデルを作成した。破壊エネルギーは大規模地震動等の既設管を破壊させる規模とし、鉄筋降伏後の変形エネルギーを構造損傷エネルギーと定義する。具体的な構造損傷エネルギーは、各幹線の代表断面の埋設状況に基づき、非線形FEM解析に基づく応答解析から構造物の損傷度と合わせて算出することができる。構造物の損傷度は被災後の流下能力の低下度に反映させ、流下能力を100%、75%、50%、0%の4段階で分類した。また、1日あたりの復旧延長は、過去の被災時の復旧実績より、損傷後の流下能力75%、50%、0%において、それぞれ400ｍ、160ｍ、80ｍとし、幹線の延長を踏まえて復旧日数の算出を行った。

表－1　シナリオの設定

シナリオ	内　容
シナリオ1	全幹線で耐震化対策無し
シナリオ2	一部で複合管更生工法による耐震化対策有(1, 3, 4路線耐震化)
シナリオ3	再構築計画完遂時 (1, 3, 4, 7, 13-15, 17, 19路線耐震化)



* 対策済みのため再構築対象外
** WRC:水再生センター

なお、復旧にあたっては、被災直後の7日間を被災調査等に要するものとし、復旧措置は8日目から実施することと仮定した。また、目標復旧日数は東京都地域防災計画の30日とした。

本検討では管更生による耐震対策の有無に対して3つのシナリオを設定した（表－1)。それぞれについて、クリティカルパス法に基づき、被災後に水再生センターへの流入量を通常時に戻すための最小必要復旧日数を算出し、構造レジリエンスを評価した。

検討の詳細条件と検討結果を表－2及び図－4に示す。シナリオ1では流下能力が20%低下し、シナリオ2では10%低下、シナリオ3では3%低下となり、シナリオ3の損傷エネルギーはシナリオ1の約1/5まで軽減される結果となった。

全幹線で耐震対策が無いシナリオ1のケースでは、機能復旧（計画汚水量まで復旧）に要する日数は37日であり、レジリエントなシステムとは言えない。一方、水再生センター側近の下流側のみで対策を実施したシナリオ2では25日､再構築計画が完遂したシナリオ3では17日で復旧可能となり、レジリエントなシステムとなることが分かった。

表－2　詳細検討条件

幹線番号	路線延長(m)	計画汚水量[日平均]	シナリオ1（全幹線で耐震化対策なし）				シナリオ2（一部で複合管更生工法による耐震化対策有）				シナリオ3（再構築計画完遂）			
		Q^i_{dfr}	複合管更生工法による対策	健全レベル（流下能力）	発災後流量Q^i_{dfr}	損傷エネルギー:W^i_{SD}	複合管更生工法による対策	健全レベル（流下能力）	発災後流量Q^i_{dfr}	損傷エネルギー:W^i_{SD}	複合管更生工法による対策	健全レベル（流下能力）	発災後流量Q^i_{dfr}	損傷エネルギー:W^i_{SD}
		(m^3/日)		(%)	(m^3/日)	kN・mm		(%)	(m^3/日)	kN・mm		(%)	(m^3/日)	kN・mm
1	950	49,851	×	50	24,926	1,425,000	○	100	49,851	0	○	100	49,851	0
2	786	1,814	×	50	907	393,000	×	50	907	393,000	○	100	1,814	0
3	1,908	9,245	×	0	0	3,816,000	○	100	9,245	0	○	100	9,245	0
4	520	35,250	×	0	0	1,300,000	○	100	35,250	0	○	100	35,250	0
5	1,359	9,158	×	75	6,869	362,853	×	75	6,869	362,853	×	75	6,869	362,853
6	927	16,070	×	75	12,053	154,809	×	75	12,053	154,809	×	75	12,053	154,809
7	1,846	6,912	×	50	3,456	1,846,000	×	50	3,456	1,846,000	○	100	6,912	0
8	154	155,173	対策済	100	155,173	0	対策済	100	155,173	0	対策済	100	155,173	0
9	1,101	4,579	×	75	3,434	199,732	×	75	3,434	199,732	×	75	3,434	199,732
10	220	4,579	×	75	3,434	409,590	×	75	3,434	409,590	×	75	3,434	409,590
11	1,123	150,594	対策済	100	150,594	0	対策済	100	150,594	0	対策済	100	150,594	0
12	635	53,654	対策済	100	53,654	0	対策済	100	53,654	0	対策済	100	53,654	0
13	1,327	53,654	×	50	26,827	231,000	×	50	26,827	231,000	○	100	53,654	0
14	1,619	24,451	×	50	12,226	1,651,500	×	50	12,226	1,651,500	○	100	24,451	0
15	5,497	29,203	×	50	14,602	110,000	×	50	14,602	110,000	○	100	29,203	0
16	1,196	8,553	×	75	6,415	373,959	×	75	6,415	373,959	×	75	6,415	373,959
17	1,230	13,133	×	50	6,567	317,500	×	50	6,567	317,500	○	100	13,133	0
18	1,382	8,208	×	75	6,156	441,891	×	75	6,156	441,891	×	75	6,156	441,891
19	35	1,642	×	50	821	809,500	×	50	821	809,500	○	100	1,642	0
20	1,612	96,940	対策済	100	96,940	0	対策済	100	96,940	0	対策済	100	96,940	0
21	662	17,540	×	75	13,155	331,000	×	75	13,155	331,000	×	75	13,155	331,000
22	1,123	17,540	×	75	13,155	187,541	×	75	13,155	187,541	×	75	13,155	187,541
23	1,329	9,072	×	75	6,804	221,943	×	75	6,804	221,943	×	75	6,804	221,943
24	1,916	8,468	×	75	6,351	63,228	×	75	6,351	63,228	×	75	6,351	63,228
25	3,288	79,400	対策済	100	79,400	0	対策済	100	79,400	0	対策済	100	79,400	0
26	1,467	4,579	対策済	100	4,579	0	対策済	100	4,579	0	対策済	100	4,579	0
		$Q_{dfr}=\Sigma Q^i_{dfr}=$ 869,262			$Q_{dfr}=\Sigma Q^i_{dfr}=$ 708,495	$W_{SD}=\Sigma W^i_{SD}=$ 14,646,046			$Q_{dfr}=\Sigma Q^i_{dfr}=$ 777,916	$W_{SD}=\Sigma W^i_{SD}=$ 8,105,046			$Q_{dfr}=\Sigma Q^i_{dfr}=$ 843,320	$W_{SD}=\Sigma W^i_{SD}=$ 2,746,546

※表中の○は各シナリオで複合管更生工法による対策を実施したもの

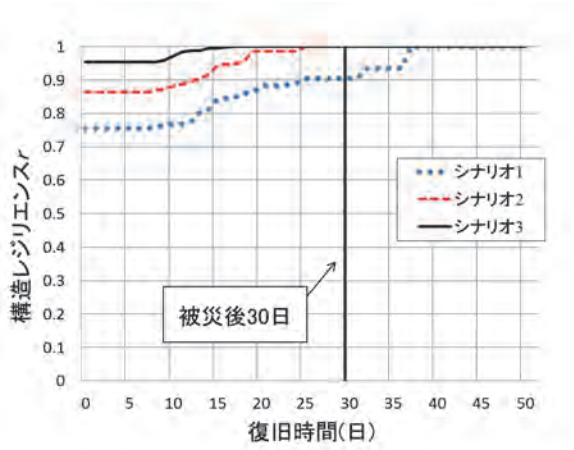
4　おわりに

想定外とも言える大規模自然災害が発生する我が国では、インフラシステムの強靭化が重要である。

高度経済成長期以降、大量に整備した下水道管が一斉に耐用年数を迎えるため、下水道管の老朽化対策は喫緊の課題となっている。

本研究では、下水道管について構造レジリエンス理論を用いることで、力学根拠に基づき、システムのレジリエンスを定量的に示すことができた。

構造レジリエンス理論は、下水道施設、地震動の強弱や復旧日数の設定など様々なシナリオを設定することで幅広く事業の検証を行うことができる。



図－4　構造レジリエンスの評価結果

したがって、膨大な下水道管の老朽化対策を計画的に予防保全型の対策を講じる手段や事業の効果などを説明していく上でも、有効な指標となり得ると考える。

参考文献

1)Shi, Z., Watanabe,S., Ogawa, K. and Kubo, H.(2017). Structural Resilience in Sewer Reconstruction: From Theory to Practice,Elsevier

2)Tierney, K. and Bruneau, M. (2007). Conceptualising and measuring resilience: a key to disaster loss reduction. TR News 250, 14-17,

1-1-2　新河岸水再生センター受変電設備再構築工事の設計における留意点について

建設部　設備設計課　電気設計担当・第一　平井　利幸

1　はじめに

東京の下水道は重要な都市インフラの一つであり、都市構造・環境の変化に柔軟に対応するなど、多くの役割を担っている。今後も、より安心で快適な都民生活や都市活動を支えるためには、水再生センター、ポンプ所の安定性や下水道機能の向上を一層進める必要がある。

高度経済成長期以降の人口増加や産業集中に伴い、東京の社会資本整備の必要性が高まり、とりわけ生活環境の改善を図るため下水道整備に強い要望が寄せられていた。これを受け、当局は下水道の普及に力を入れてきたが、現在急速に整備したこれら施設の老朽化が進行している。中でも設備は、施設などの土木構造物に比べて耐用年数が短く老朽化が深刻さを増しており、設備機器の約 5 割が耐用年数を超過していることに加え、既設設備の中には技術的に陳腐化しているものもあることから、年々増加傾向にある老朽化した設備を計画的かつ効果的に再構築していく必要がある。

そして、稼働中の施設を再構築するには、設備停止期間や設置スペース等、多くの制約を受ける。このため、設計に当たっては、将来構想、機器の選定、施工手順等について、十分検討を行うことが重要となる。

本稿では、新河岸水再生センター受変電設備再構築工事を事例として、設計段階で検討した事項や、想定施工手順を報告する。

2　設計条件

2.1　施設概要

昭和 49 年に運用を開始した新河岸水再生センター（処理能力 705,000m^3/d、以下「本センター」という。）は、練馬、杉並、板橋各区の大部分及び中野、北、豊島、新宿各区の一部地域からの下水を処理し、新河岸川へ放流する。

また、板橋区の一部地域の雨水を吸揚し、新河岸川に放流する。下水を処理する過程で発生する汚泥は、浮間水再生センターから送られてくる汚泥とあわせ、本センター内の汚泥処理工場で処理する。

2.2　本工事の必要性

新河岸水再生センター受変電設備は、昭和 53 年の稼働後 37 年が経過し、設備再構築基本計画で定めた経済的耐用年数の 40 年を迎えようとしている。

また、本センター当初計画には無かった雨水貯留池や汚泥処理工場等、下水道ニーズの変化に基づく施設が徐々に増えたことに伴い設備容量が増加し、本センターが必要とする

受電量は増加している。このため、今後の電力需要予測を踏まえ変圧器容量の見直しを行う必要がある。

本工事で、老朽化した設備の更新により安全性の向上と変圧器容量の見直しを図る。

3 検討事項

3.1 受電方式

本センターは、常時運転されている機器が広範囲に点在し機器点数が膨大である。停電などの事故に備えるため、既設と同様に2回線受電方式とする。2回線受電方式として常用・予備線で受電し、各受電回路ごとに遮断器、断路器を設置した方式である2CB(Circuit Breaker) 方式を採用する。

また、予備線に供給される電気である予備電力には、常時供給変電所から常時供給電圧と同電圧で供給を受ける予備線と常時供給変電所以外の変電所から供給を受ける予備電源がある。本センターは、速やかな復電を可能とするため無停電切替が可能な予備線とする。

3.2 受電電圧

本センターの需要電力は、表－1の受電電圧と東京電力の標準契約種別に示す契約電力50,000kW未満に該当する。現受電電圧は、標準受電電圧66kVと異なる154kV であるため再構築を行う上で、表－2に示す受電電圧の検討を行った。

表－1 受電電圧と東京電力の標準契約種別

契約種別	高圧電力		特別高圧電力		
	A	B			
契約電力	50kW以上 500kW未満	2000kW 未満	10,000kW 未満	50,000kW 未満	50,000kW 以上
受電電圧	6.6kV	6.6kV	22kV	66kV（標準電圧）	154kV（現受電電圧）

表－2　受電電圧の検討

検討案	案　1 受電電圧を 66kV に変更		案　2 受電電圧を 22kV に変更		案　3 現状通り 154kV	
メリット	・適正な電圧となり、受電設備にかかるコストが抑えられる。(154kV 対比)	○	・過小な電圧となり、受電設備にかかるコストが抑えられる。(154kV 対比)	○	・同じ建屋で更新すれば電力会社の工事が少なく、負担金も安く済む。	○
	・地中配線となるので雷対策が不要となりコストが抑えられる。	○	・地中配線となるので雷対策が不要となりコストが抑えられる。	○		
デメリット	・電力会社側の都合で、地中線路を新設する際、下水道幹線と干渉し布設が困難。	×	・受電電圧 22kV については電力会社の供給エリア外。	×	・現東電鉄塔の建替えが困難であり、新鉄塔を建てるのも困難。	△
			・電力会社側の都合で、地中線路を新設する際、下水道幹線と干渉し布設が困難。	×	・同じ建屋で更新すると施工性が悪くなる。	△
					・受電設備の価格が高くなる。	△
総合評価	×		×		△	

表－2 中の総合評価にあるように、本センターの受電電圧は現状通り 154kV とし、既設建屋を利用して再構築を進める。

3.3　機器選定

オープンストラクチャ（図－1）は、機器ごとに点検しやすいという利点はあるが、設置面積が大きいため広大な用地が必要となる。また充電部を露出させた形状のため、感電の危険性がある。

技術革新により受変電設備がオープンストラクチャから GIS（Gas Insulated Switchgear、ガス絶縁開閉装置）（図－2）に移行していることから、受変電設備を GIS で再構築することで、省スペース化と安全性の向上が期待できる。

本工事は、感電の危険性を排除し、限られたスペースの中で再構築をすることを目的に、現在の受変電設備の主流である GIS を選定した。

3.4　配置計画

3.4.1　想定施工手順

特高受変電設備の再構築に当たって、新特高受変電設備の GIS 及び主変圧器 2 号の設置スペースを確保するため、別途工事（STEP1）で既設の特高 2 号線受変電設備を撤去する。これにより 1 回線運用になる時期が発生するため、関連工事と調整を取りながら全体工程に配慮し、この時期ができるだけ短くなるように切替えを行っていく。同時に既設稼働エリア（充電エリア）と新特高受変電設備・配電盤等の設置が干渉しないよう注意する。これを実現するため以下に示す想定切替手順で施工を進めていく。

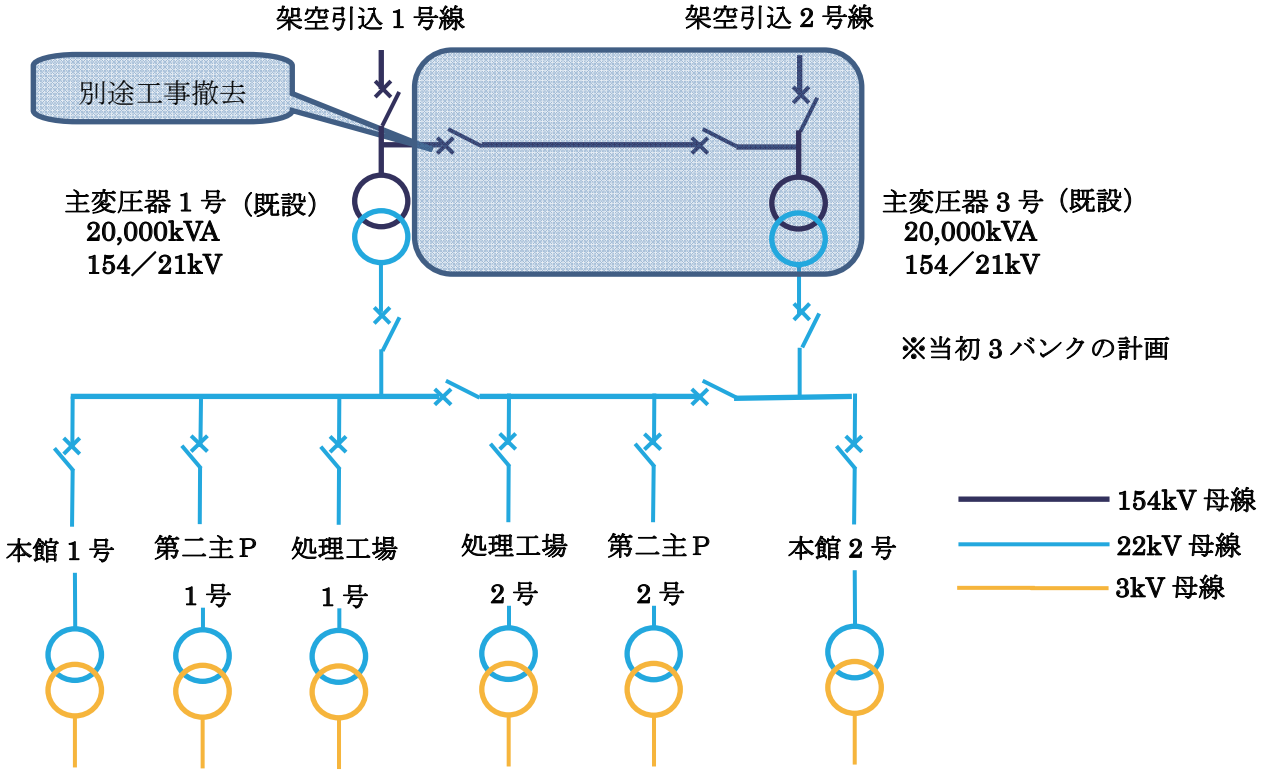
ここで概略単線結線図を図－3 に、特高変電所平面図を図－4 に示す。

図－1　オープンストラクチャ

図－2　GIS

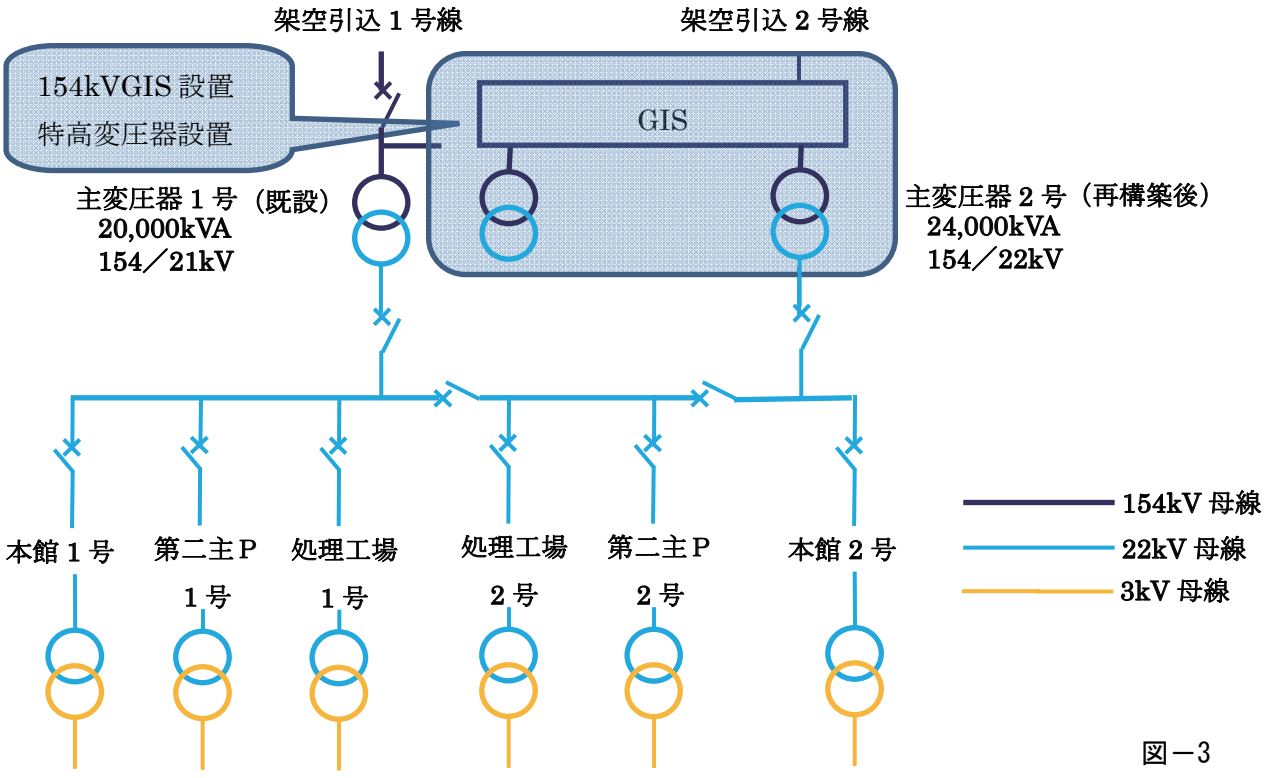
STEP1

新特高受変電設備（GIS 及び主変圧器 2 号）の設置スペースを確保するため、母線連絡を切り離し、片回線分の撤去工事を先行して発注する。



STEP2

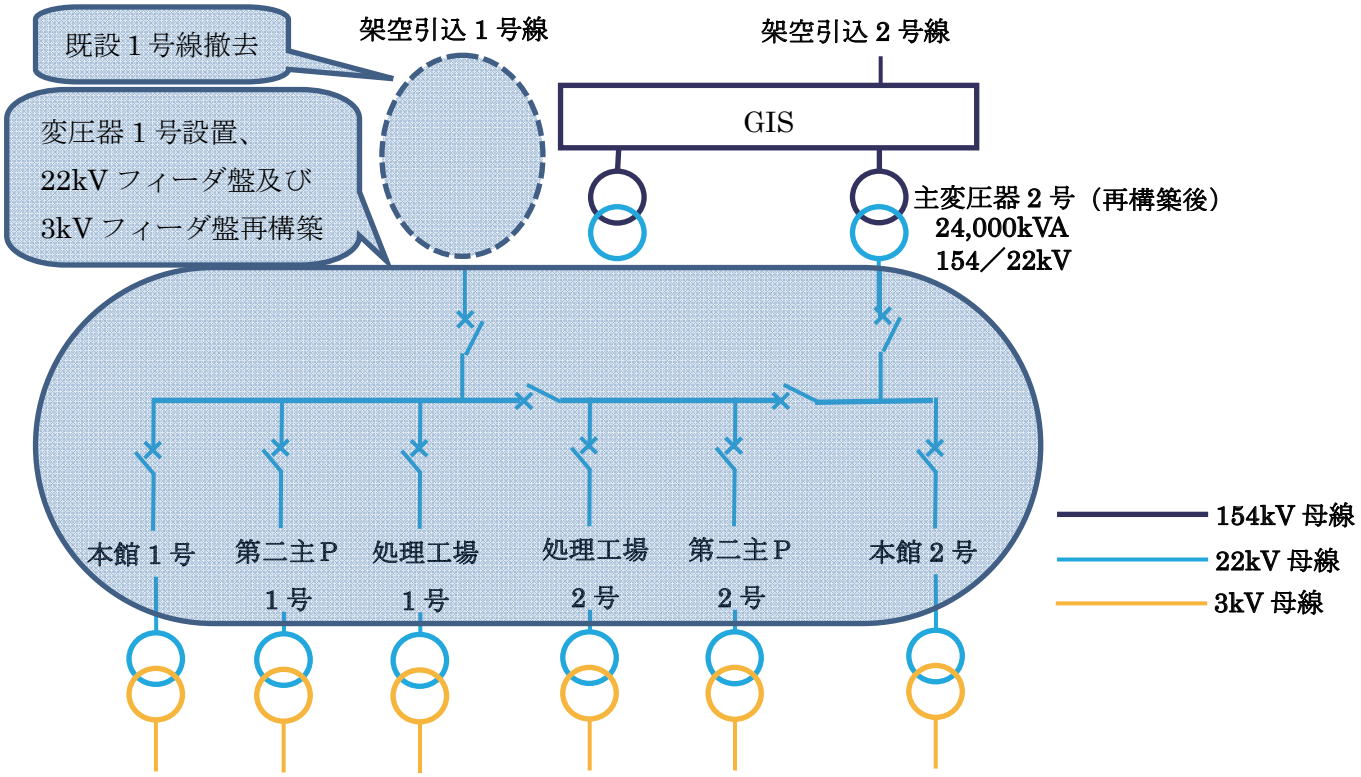
特高 2 号線受変電設備を撤去後、空きスペースに新特高受変電設備を設置し、2 号線に配線を切り替える。



図－3

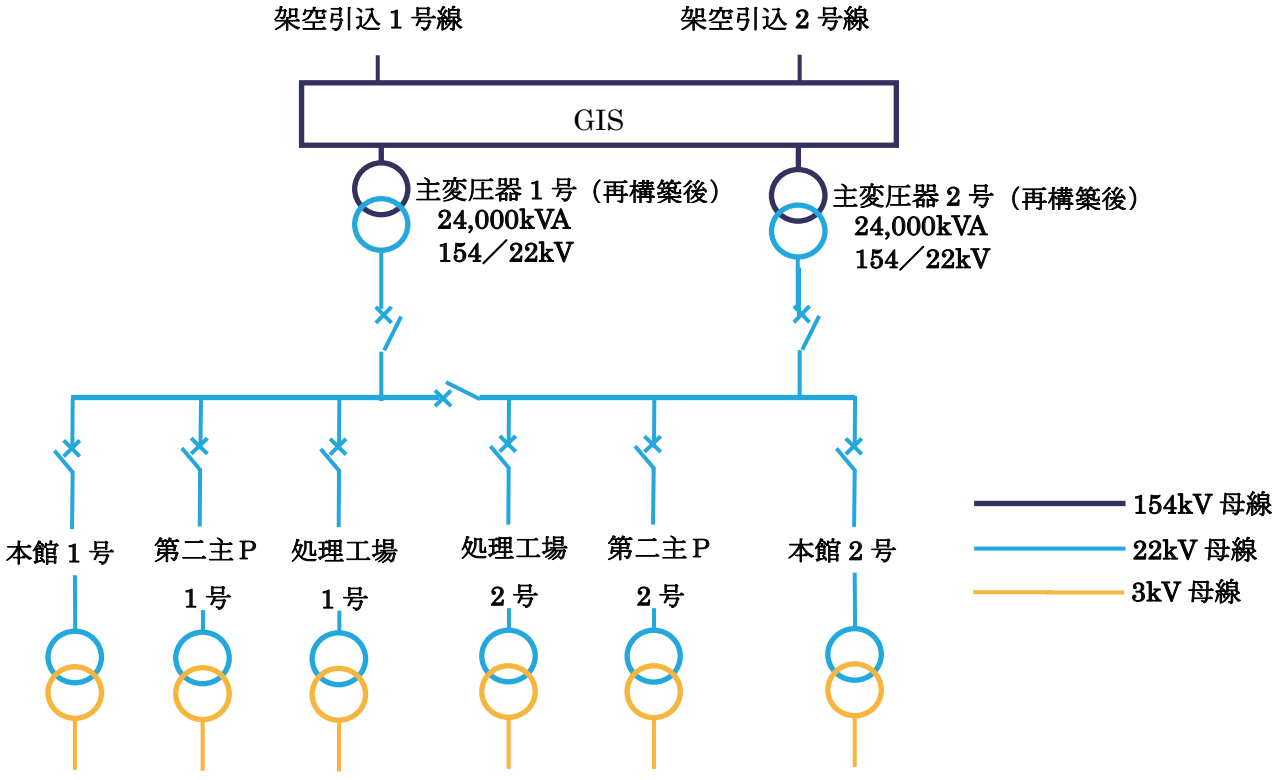
STEP3

既設 1 号線を撤去し、新 22kV フィーダ盤及び新 3kV フィーダ盤（別途工事施行）の再構築を行う。

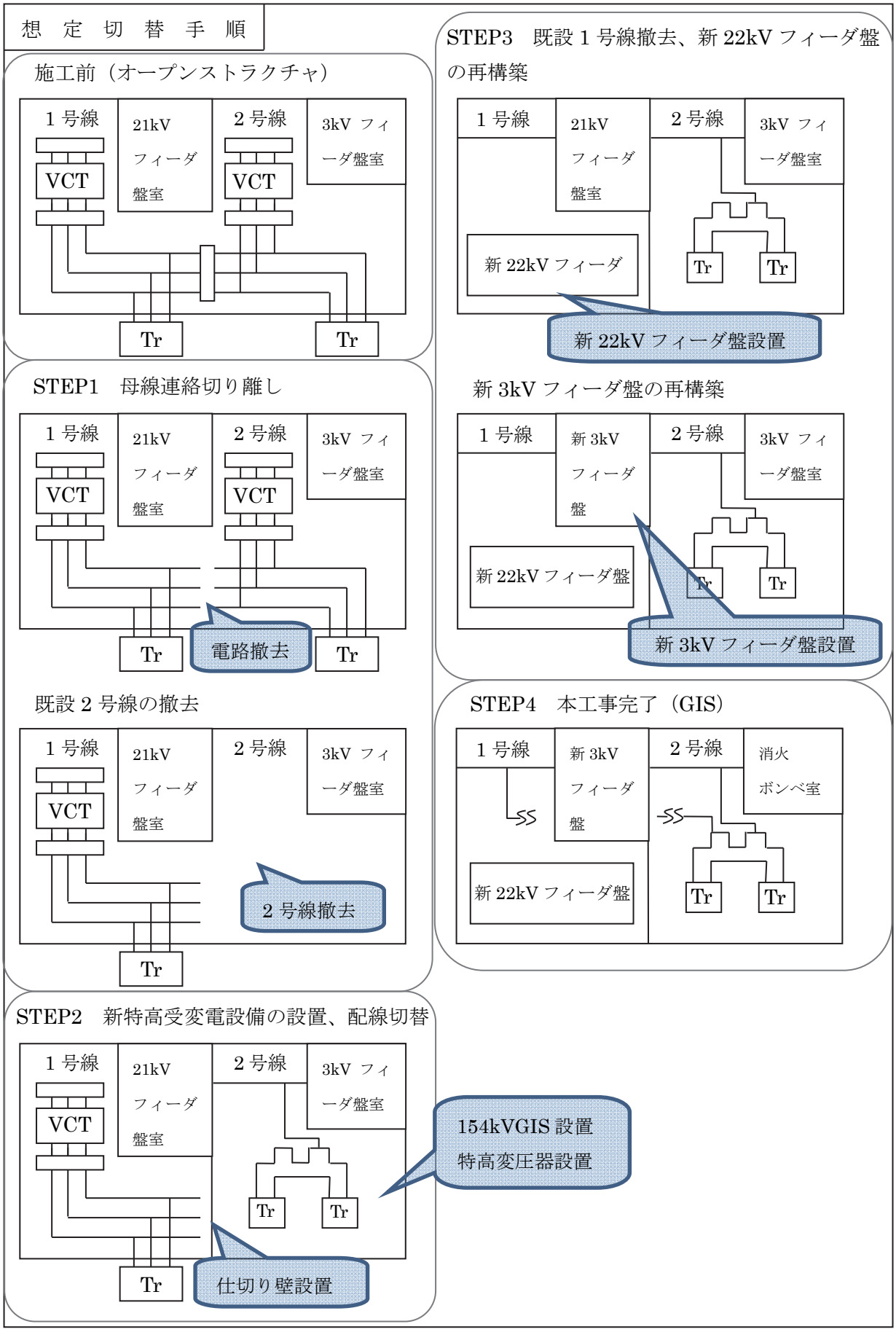


STEP4

1 号線を繋ぎ込み、工事完了。工事完了後の概略単線結線図を下記に示す。



概略単線結線図


想　定　切　替　手　順
施工前（オープンストラクチャ）
1 号線
21kV フィーダ盤室
2 号線
3kV フィーダ盤室
VCT
VCT
Tr
Tr
STEP1　母線連絡切り離し
電路撤去
既設 2 号線の撤去
2 号線撤去
STEP2　新特高受変電設備の設置、配線切替
154kVGIS 設置
特高変圧器設置
仕切り壁設置
STEP3　既設 1 号線撤去、新 22kV フィーダ盤の再構築
新 22kV フィーダ
新 22kV フィーダ盤設置
新 3kV フィーダ盤の再構築
新 3kV フィーダ盤
新 22kV フィーダ盤
新 3kV フィーダ盤設置
STEP4　本工事完了（GIS）
消火ボンベ室

図－4　特高変電所平面図

3.4.2　工事中の安全確保（感電事故防止対策）

既設受変電設備を稼働させながら再構築を行う上で、特に注意が必要な点は、以下の 2 点になる。

1 点目は受電電圧 154kV という高電圧に伴う危険性である。154kV の高電圧だと電線に直接触れなくても空気の絶縁破壊による感電の危険性があるため、十分な離隔距離をとる必要がある。

2 点目はオープンストラクチャによる危険である。充電部を露出させた形状（オープンストラクチャ）のため、充電部に触れ感電する危険性が高い。

上記の危険を解消するため安全確保を図る。154kV 程の高電圧な裸母線に装着するような絶縁用防具は無いため、離隔距離 8ｍ以上（東電内規）を確保して作業をする必要がある。

充電部を触れるような危険性を伴う作業を行う場合、電力会社では、設備及び人身保護から全停電を基本としている。

以上のことから基本的には、活線の 154kV である 1 号線と近接しなければならない作業等は、全停電とし安全を確保する。しかし、本センターを運用しながら工事のため全停電は一時的にしかできない。このため絶縁用の仮壁を設置し、感電事故の予防に努める。

4　まとめ

本センターの標準受電電圧は 66kV であるが、表－2 による検討の結果から既設建屋を利用して受電電圧 154kV で再構築を進めることとした。

また、新たな特高変電所を別の場所に建設できるのであれば、最初から十分な安全性と施工性を確保できるが、既設建屋内での再構築は、既設稼働エリア（充電エリア）と新特高受変電設備・配電盤の設置が干渉しないよう切替えを行っていく必要がある。こうした様々な制約条件を踏まえて設計を行わなければならなかったが、安全に施工可能な設計を最大限考慮できたと考えている。

受電電圧 154kV の特高受変電設備の再構築は、平成 20・21 年度に砂町水再生センターで行われているが、同一室内での作業は今回工事が当局初であり、今後同じ建屋内での再構築を行う際に参考としていただければ幸いである。

1-1-3　シールド掘進時の支障物によるトラブルへの対応について

第一基幹施設再構築事務所　工事第二課　中尾　基広

1　はじめに

下水道局では、浸水対策として、「東京都豪雨対策基本方針（改定）」に基づき、概ね 30 年後の浸水被害解消を目標に、1 時間 50 ミリ降雨に対応する下水道施設を整備することとしている。

「北区赤羽北一丁目、板橋区小豆沢四丁目付近枝線工事」は、50 ㎜施設整備重点地区のひとつである赤羽北幹線の増強施設として、仕上り内径 2400 ㎜の枝線を主要地方道 311 号（環八通り）直下に、泥土圧式シールド工法（土被り 9.5m～12.5m）で延長 1937.85m を施工するものである。

今回、発進立坑から 1227m 付近をシールド工法で掘進中に支障物（H 形鋼 300×300）に遭遇し、掘進が困難となった（図 1.1.1）。

本稿では、支障物を調査し、現場の制約条件を考慮した工法を選定し、支障物の撤去を行った取組みについて報告する。

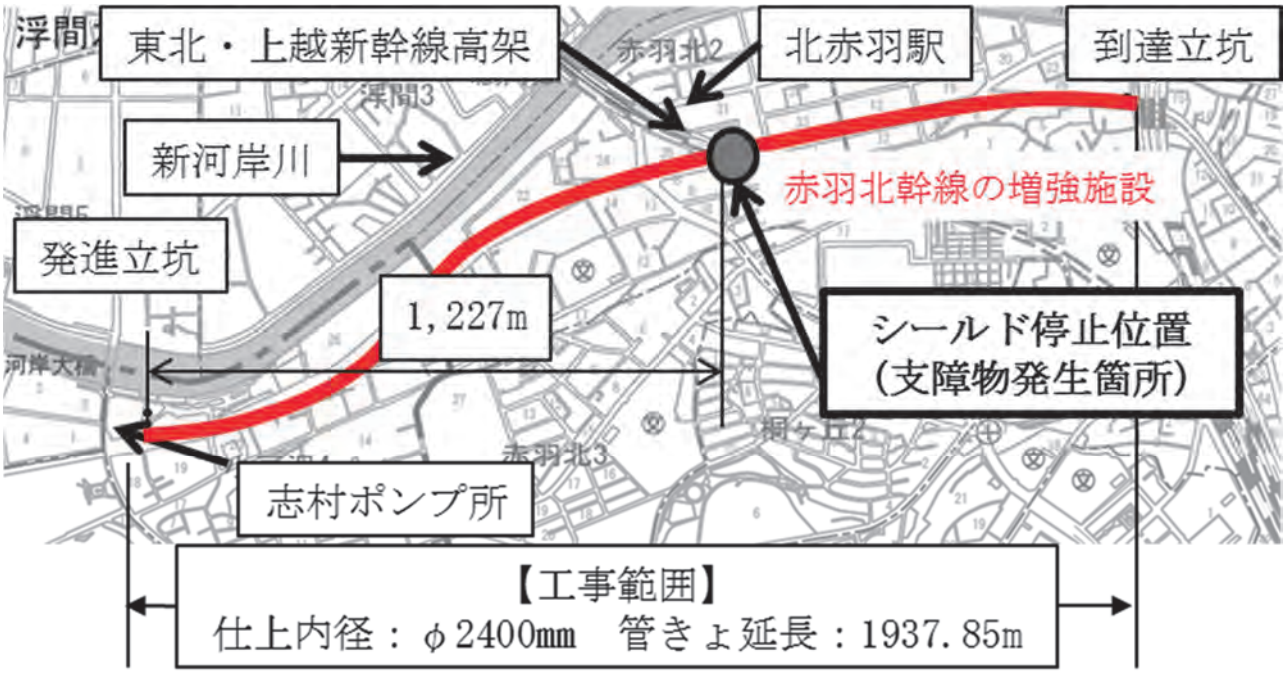


図 1.1.1　概要図

2　工事概要

2.1　施行環境

当該施工箇所は主要地方道 311 号線（環八通り）で交通量が非常に多く、マンション等の集合住宅が多く存在する。（図 2.1.1）。

図 2.1.1　周辺状況

2.2　トラブル発生状況

平成 29 年 4 月 8 日(土)、発進立坑から 1227m 地点を掘進中、カッタートルクの上昇が確認され、切羽から異音、振動が確認された。その後、シールド機が掘進不能となった。

シールド機停止位置は JR 東北・上越新幹線高架下（高さ 5.7m）であり、JR 埼京線「北赤羽」駅ロータリー前交差点付近となっている。地中には工業用水道管（φ2000 ㎜）及び NTT 管（2 条 3 段）その他埋設物が近接している（図 2.2.1、図 2.2.2）。

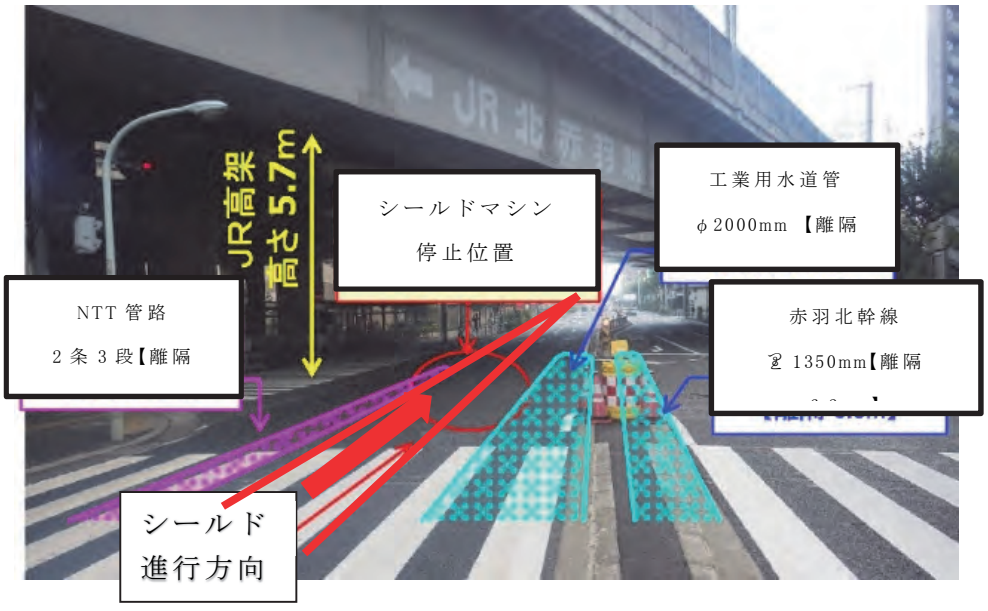


図 2.2.1　停止位置

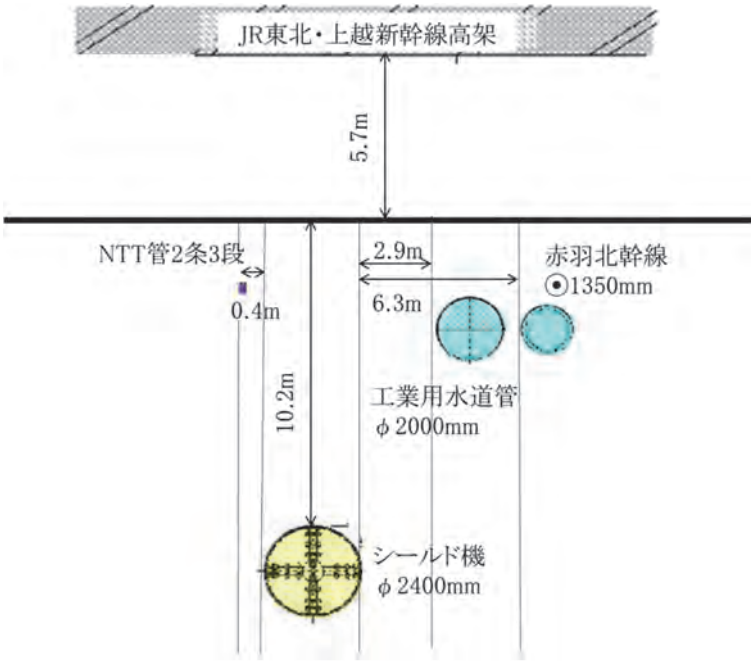
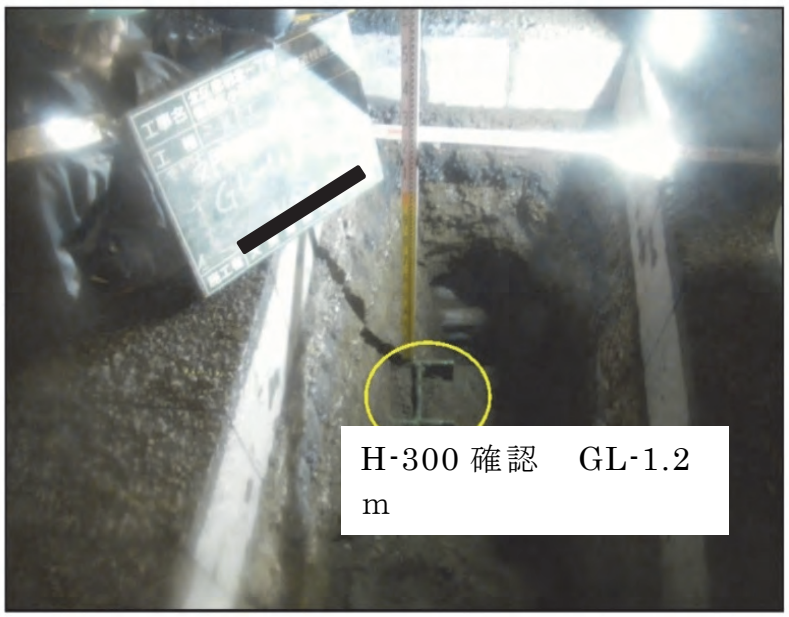


図 2.2.2　埋設物状況

3　支障物への対応

3.1　支障物の調査

前述したとおり、シールド機停止位置は、JR 東北上越新幹線の高架下であり、また工業用水道管（φ2000mm）が埋設されているため、仮設杭等が残置されている可能性が考えられ、シールド機停止位置前面の試験掘調査を実施した（GL-1.5m)。その結果、GL-1.2m の位置に H 形鋼（300×300　1 本）の存在を確認した（図 3.1.1)。



H 形鋼が支障物である可能性があるため、磁気探査を行い、H 形鋼の長さを確認することとした。

磁気探査の結果、シールド機前面の支障物は試験掘時に確認されたものと同一であり、長さは 12.7m であり、シールド機の前面にある支障物であることが確認された(図 3.1.2)。

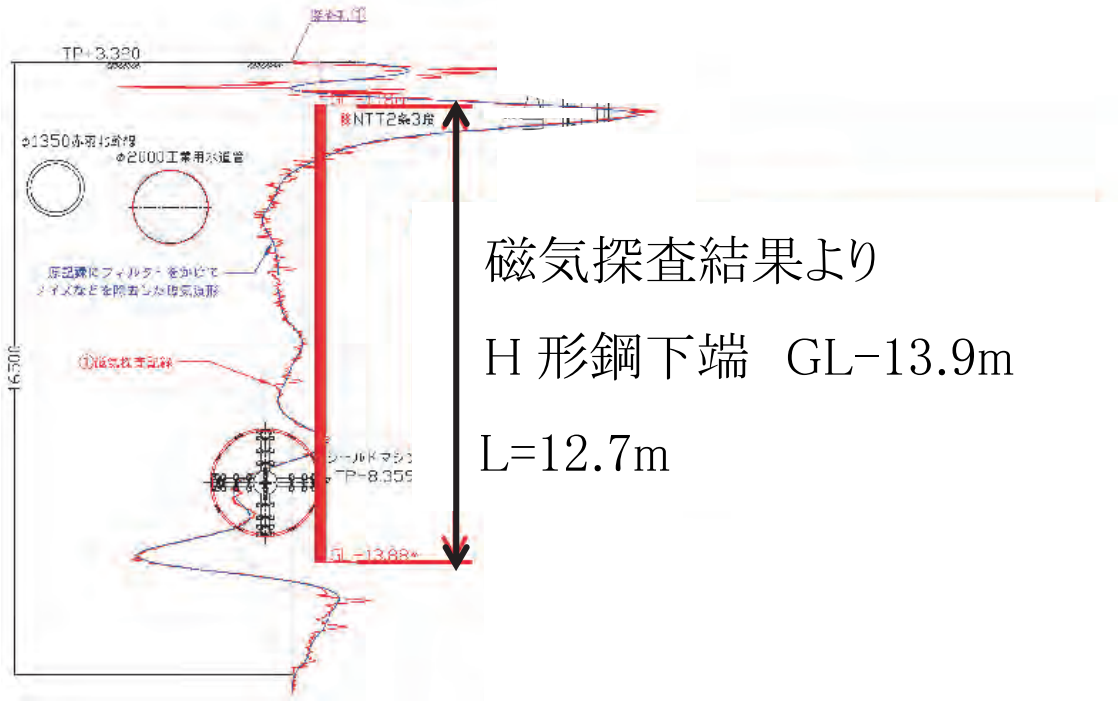


図 3.1.2　磁気探査結果

3.2　工法選定

支障物撤去工法を検討する上で、現場では以下の制約条件があった。

（１） 埋設物が支障物に近接していること

（２） JR 東北・上越新幹線の高架下であること

（３） 周辺にはマンション等住宅地が多く存在すること

上記制約条件を踏まえ、①施工の安全性、②経済性、③確実性、④工程への影響、⑤周辺環境への配慮の 5 点を検討し、総合判断する。

撤去可能工法として 4 つの案を立案した。

第 1 案として、低空頭ケーシング圧入機を用いた撤去工法とした。

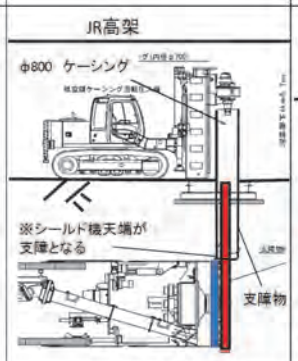
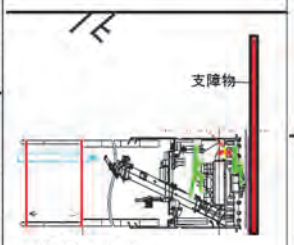
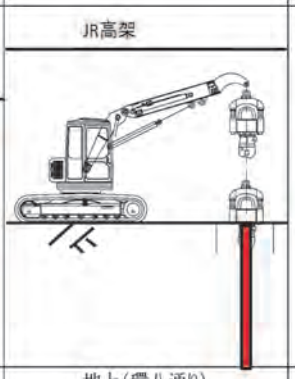
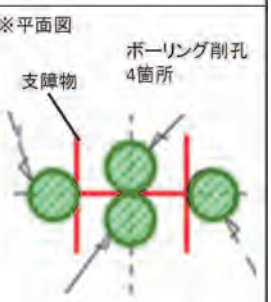
第 2 案として、圧気設備を用いた、人力による撤去工法とした。

第 3 案として、低空頭バイブロ引抜機を用いた撤去工法とした。

第 4 案として、ボーリングマシンを用いて周辺の縁切りを行う撤去工法とした。

総合判断した結果を以下の表に示す（表 3.2.1)。

表 3.2.1　各工法の特徴について、比較と評価

	第1案	第2案	第3案	第4案
	低空頭ケーシング回転圧入機を用いた撤去工法	圧気設備を用いた人力による直接撤去工法	低空頭パイプロ引抜機による撤去工法	ボーリングマシンを用いて周辺の縁切りを行う撤去工法
施工方法	・高さ制限があるため、低空頭の重機を用いる。 ・ケーシング（鋼管）を建込み、支障物周囲の縁切りを行った後に、支障物を撤去する。撤去後、ケーシングを引抜く。	・圧気設備（圧気扉）を設置し、シールド機内を高圧状態にさせ、地山を露出し、直接人力撤去を行う。	・高さ制限があるため、低空頭の重機を用いる。 ・パイプロ機で直接引抜く。	・ボーリングマシンを用いて、支障物周囲を4箇所削孔する。 ・地山との縁切りを行ったのちに引抜を行う。
概略図				
施工位置	地上（環八通り）	シールド機前面	地上（環八通り）	地上（環八通り）
①安全性	環八通り上での夜間作業であるため、作業帯設置時の交通事故等に十分注意する必要がある。	地山を露出させるため、極めて危険性が高い	環八通り上での夜間作業であるため、作業帯設置時の交通事故等に十分注意する必要がある	環八通り上での夜間作業であるため、作業帯設置時の交通事故等に十分注意する必要がある
	○	×	○	○
②経済性	○	×	○	○
③確実性	・ケーシングをシールド機前面に圧入することができない。 ・シールド機天端にケーシングが干渉するため、縁切りを行うことが出来ない。	・支障物が直接露出されるため、確実に撤去を行うことができる	・支障物に付着物がある場合、埋設物に損傷を与える可能性がある	・支障物と周辺地山を完全に縁切りすることが可能 ・支障物を引抜いた後の埋戻し方法が困難
	×	○	×	×
④工程への影響	14日間	60日間（材料の製作期間が必要）	14日間	14日間
	○	×	○	○
⑤周辺環境への配慮	・低空頭の重機を用いることにより、高さ制約に対応できる。 ・第3案のパイプロ引抜機による撤去よりも騒音・振動を抑えることが出来る	周辺環境への影響はない	・低空頭の重機を用いることにより、高さ制約に対応できる。 ・振動・騒音が発生する	・支障物周辺の埋設物（NTT、工業用水道管）に十分注意する必要がある ・支障物を引抜く際，地山に空隙を与える可能性がある
	○	○	×	×
総合評価	×	×	×	×

以上４つの撤去工法を立案したが、上記の表より、いずれも制約条件を満たさない。しかし、以下の二点について着目した。

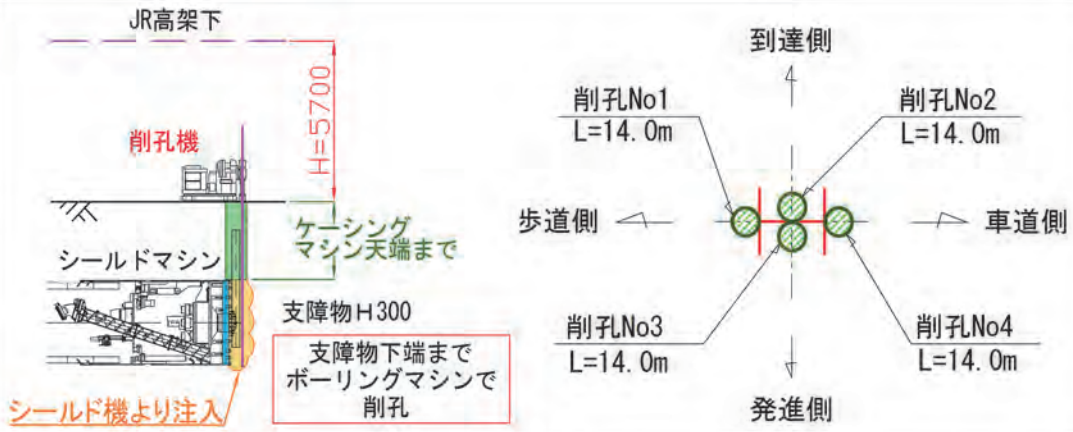
第１案について、長所として、ケーシングはシールド機の天端までは圧入することができる。短所として、シールド機天端にケーシングが干渉するため、前面の縁切りをすることができない。

第４案について、長所として、支障物と地山の縁切りを完全に行うことができる。短所

として、支障物引抜き時に地山が乱れるため、埋戻し管理を行うことが困難であり、地山に空隙を与える可能性がある。

ここで低空頭圧入機を用いた撤去工法（第１案）及びボーリングマシンを用いて周辺の縁切りを行う撤去工法（第４案）を併用することですべての制約条件を満足する撤去工法を立案した（表 3.2.2）。

表 3.2.2　１案と４案を組み合わせた工法の特徴

	第1案＋第4案
	低空頭ケーシング回転圧入機と、ボーリングマシンを併用した撤去工法
概略図	
施工位置	地上(環八通り)
①安全性	・環八通り上での夜間作業であるため、作業帯設置時の交通事故等に十分注意する必要がある。
	○
②経済性	○
③確実性	・ケーシングをシールド機天端まで圧入が可能 ・シールド機前面の埋戻しはシールド機より坑内注入する ・ボーリングマシンを用いることで、シールド機前面の縁切りが可能
	○
④工程への影響	14日間
	○
⑤周辺環境への配慮	・ケーシングにより縁切りするため、周辺埋設物へ影響を与えない。 ・埋戻し管理を確実に行えるため、地山に空隙を与えない。
	○
総合評価	○

第１案の短所となる、シールド機前面の縁切りをすることができないことについては、第４案のボーリングマシンを用いることによりシールド機前面の縁切りが可能となる。

第４案の短所となる、支障物引抜き時に埋戻しを十分に行えないことについては、第１案のケーシングを圧入することにより、シールド機天端までの埋戻し量を管理することが可能となる。ケーシングが圧入できない部分の空隙については、シールド機より裏込め材を用いて充填することが可能である。

よって、二つの案の組合せにより、双方の短所を補うことを可能とした（図 3.2.1,図 3.2.2)。

図 3.2.1　支障物撤去状況

図 3.2.2　ケーシング内縁切り状況

結果として、二つの工法（工法①、工法④）を併用することで、制約条件を満足し支障物を撤去することができた。

3.3 支障物撤去状況

支障物撤去完了後、ケーシングの引抜きは孔壁が崩壊させず、かつ高さ制約を考慮し、4m（ケーシング２本分）ずつ引抜きを行った（図 3.3.1、図 3.3.2)。ここで、引抜き後の空隙を充填させるため、砂と比較して確実に埋戻しができる流動化処理土を用いて、ケーシング引抜きと流動化処理土の埋戻しを繰返した。

その結果、空隙や路面沈下を発生させずにケーシングの引抜きを完了させることができた。

図 3.3.1　ケーシング引抜き状況

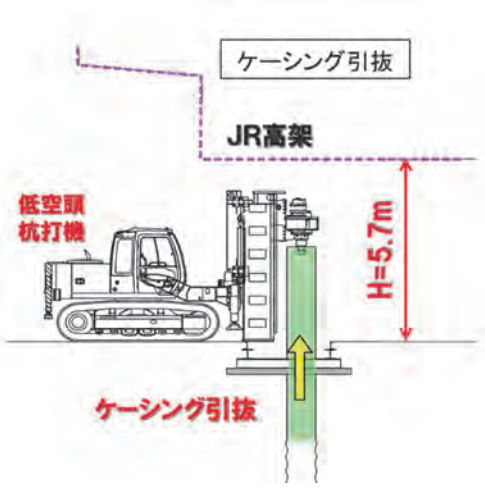


図 3.3.2　ケーシング引抜き断面図

4.まとめ

今回、支障物に対して、様々な制約条件のもと、支障物を撤去し、無事当該部の掘進を完了することができた。支障物撤去工法は様々な工法があるが、現場の実情としては制約条件が数多く存在し、どの工法を選定しようとしても施工が難しいことがある。しかしながら、一つの工法を用いることに拘らず、二つの工法の長所を組み合わせることにより、支障物を撤去することも可能となった。

今回の事例が今後の類似工事において参考になれば幸いである。

1-1-4　世田谷区大蔵一丁目、桜丘五丁目付近枝線工事における コンクリートセグメントクラック発生トラブルについて

第二基幹施設再構築事務所　工事第一課
瀬下　将平

1. はじめに

本工事は世田谷区の一部の雨水を収容するため施行するものである。本工事のうち、151-3 路線は泥土圧式シールド工法で管きょを築造するものであるが、IP.6 の 15R 部急曲線通過後、シールド掘進中に、推力が 2 次管理値（8,800kN）付近まで上昇し、RC セグメント（439 リング）にクラックが生じたことから、シールドマシンを停止した。

本稿では、RC セグメントクラック発生要因と再掘進に向けた対策について説明する。

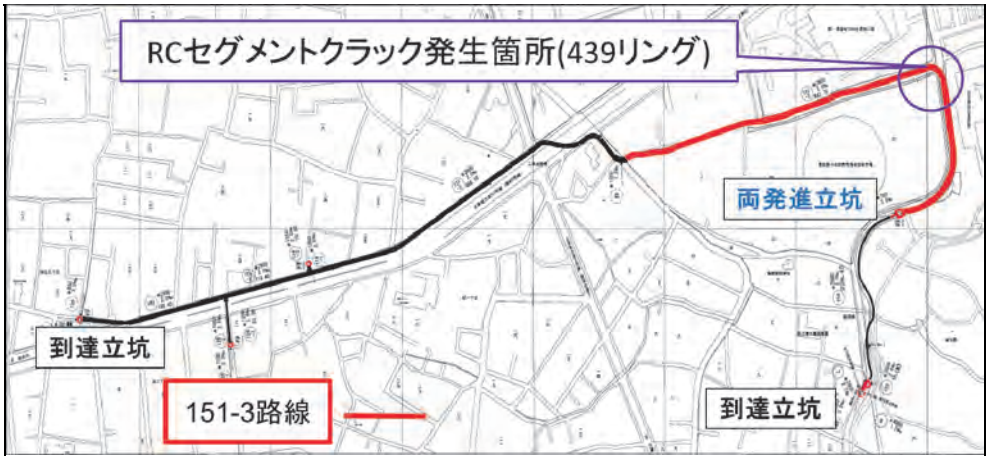


図 1　RC セグメントクラック発生箇所

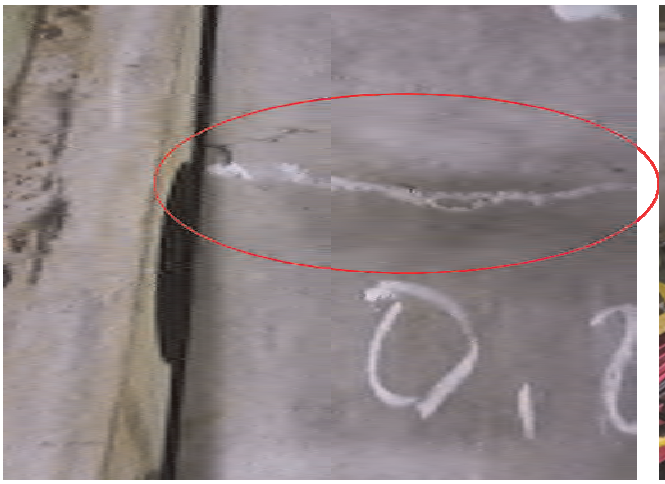


図 2　RC セグメントクラック発生状況①

図 3　RC セグメントクラック発生状況②

2. RC セグメントクラック発生要因

2.1 RC セグメントクラック発生経緯

世田谷区砧公園内の発進立坑から 440 リング目となる 230m の位置でシールドトンネルを掘進中、ジャッキ推力が 2 次管理値（8,800kN）付近まで上昇したため掘進を一時停止した。排泥状態から原因を調査したところ、土質がシルト層から砂層に変化していたことから、地盤から受ける拘束力の増加による推力上昇と考えられた。検討の結果、土質の変化は一時的なものであり、砂層通過後は推力低下すると想定されたことから、セグメントに悪影響を与えないよう、セグメント耐力（10,000kN）に対し余裕を持って掘進することとした。具体的には、ジャッキ推力を 8,000kN 以下とすることに加え、局部的な偏荷重の作用等の影響を防止するため、中折れ操作の禁止を条件として掘進を再開した。しかし、掘進再開直後、439 リングの RC セグメントにクラックが発生した。

2.2 当初想定した推力上昇の要因

当初、シールド掘進区間はシルト・粘土層であり砂層は確認されていなかった。推力上昇の要因となっている砂層分布は局所的であり、一時的なものと捉え掘進を再開したが、結果的にセグメントが損傷した。このため、原因分析に加え、損傷したセグメントの撤去方法や掘進再開に向けた検討が必要であることから、シールドマシン停止位置付近において、新たに土質調査を 4 箇所で実施した。その結果、①では、シールド機天端より 1.08m が砂礫層と細砂層、②では、シールド機全体が細砂層で囲まれていることが確認された。③と④では、どちらもシールド機の位置での土質はシルト層であった。

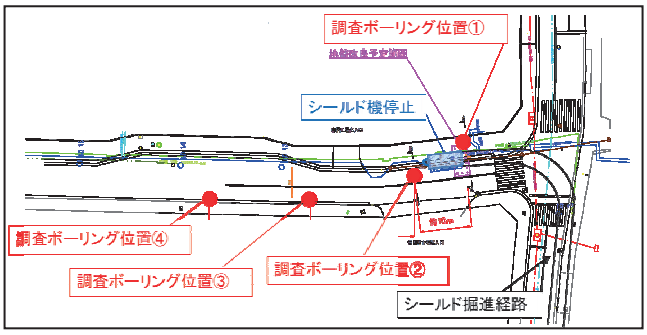


図 4　追加土質調査位置

2.3 RC セグメント（439 リング）撤去

クラックが発生した 439 リングの RC セグメントの撤去にあたり、1 段目のテールブラシはクラックが発生している RC セグメントに来ているため、止水は 2 段目のテールブラシしか期待できないことから（図 6 参照）、出水・土砂流入を防止する対策を行うこととした。

検討した結果、シールドマシンテール部周囲に、薬液注入工による地盤改良を行ってから、RC セグメントの撤去を行うこととした。

RC セグメント撤去後、テールブラシ 1 段目の状況を確認したところ、テールブラシ内周保護板がほぼ全周で破損している状況が確認された。

図 5　テールブラシ破損状況

この時点で初めて、推力上昇の要因が砂層によるシールド機の胴締めではなく、テールブラシが縮径 ST セグメントと RC セグメントの接続部を乗り越えようとした際の圧力の増加であるとの認識に至った。

2.4　RC セグメントクラック発生要因の再検証

RC セグメントにクラックを発生させた直接の要因をテールブラシ圧の増加と仮定し、再検証したところ、当初、想定していなかった 2 つの外力が推察された。

①　RC セグメント坑口側への内周方向の力の作用

テールクリアランスが小さくなることに伴いテールブラシ圧が増加した。RC セグメントがテールブラシを押し潰す状態となり、縮径 ST セグメント側である RC セグメント坑口側には内周方向への力が作用し、RC セグメント切羽側には外周方向の力が発生した。

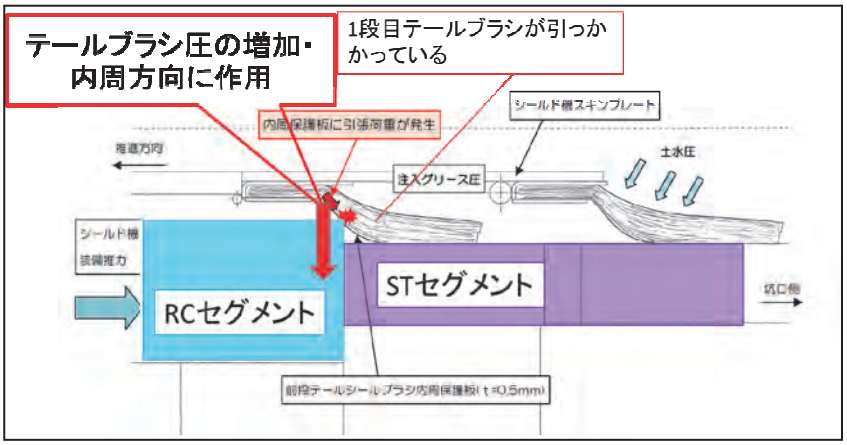


図 6　テールブラシ圧増加による RC セグメント内周部への力

②　シールドジャッキと RC セグメントの図心偏心に伴うセグメントの周方向への変形

RC セグメントとジャッキロッドとの間にはジャッキからの推力を面的に伝えられるようにスプレッダーが設置されているが、ジャッキロッドとスプレッダーの図心が偏心しているため、ジャッキから推力の作用時に、RC セグメント切羽側に外周方向の力が発生した。

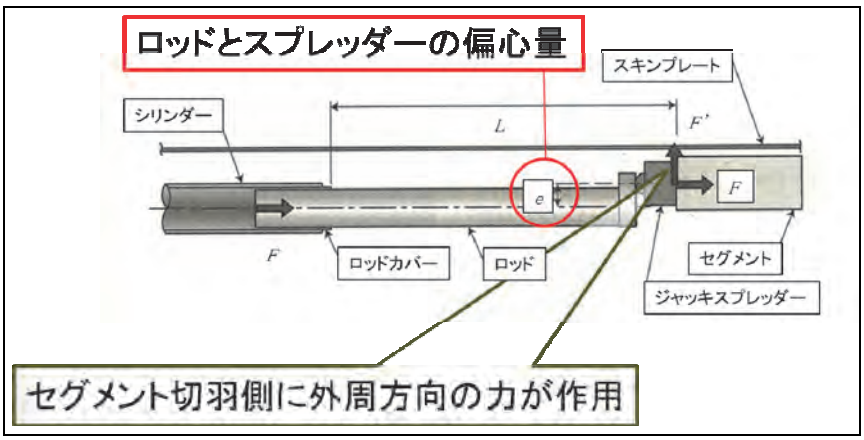


図 7　ロッドとスプレッダーの偏心

2.5　RC セグメントクラック発生要因まとめ

上記の 2 つの外力が複合的に発生する状況の中、当初、推力増加は砂層によるシールドマシンの胴締めによるものとし、高い推力で掘進した。このため、RC セグメント切羽側に、セグメント耐力を超えるより大きな外周方向の力が作用し、RC セグメントにクラックが発生したと考えられる。

3. 再掘進に向けた対策

今回のトラブルを踏まえ、再掘進に向け以下の対策を実施した。

① セグメントの割付変更

設計では、曲線部の始め（BC）と終わり（EC）には、後胴長分の範囲において縮径 ST セグメントが設置されており、その手前とすぐ後は標準径の RC セグメントが設置されることとしている。しかし、この状態には、ST セグメントと RC セグメントの接続部に段差が生じるため、テールブラシの追従性が低く、（いわゆる「つっかかる」状態）となり、テールブラシ圧が急激に上昇したと推察される。

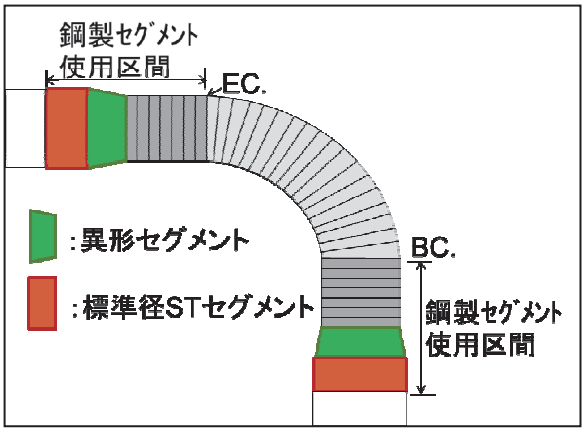


図 8　変更後のセグメント割付

このため、変更案では、縮径 ST セグメントと標準径 RC セグメントとの間に異形セグメントを設置し、その後ろに標準径の ST セグメントを設置することにより、テールブラシの追従性を良好にした。（現在の設計標準では異形セグメントを設定している。）

② ST セグメント（標準径）と RC セグメント接続部での推力管理の徹底

今回のトラブルは ST セグメントと RC セグメントの接続部でテールブラシの追従性が低い状態で、高い推力を作用させてしまったことが要因の一つと考えられる。このため、類似条件の現場の解析結果を参考に、低い管理値を設定して掘進することで再発を防止する。

③ テールブラシの交換及びグリス自動給脂装置の整備

今回、破損した一段目のテールブラシは全て交換した。また、テールグリスの給脂は、これまで手動であったが、自動給脂装置を設置した。グリスを常に給脂し、グリスのばらつきをなくし、テールブラシの追従性が確実になるように図った。（リスク低減のため）

図 9　グリス自動給脂装置

4. おわりに

本工事を通して学んだこととして、事前にトラブル事例等を踏まえ、類似条件の曲線掘進の施工管理に反映することである。異形セグメントの配置や、ST セグメントと RC セグメントの接続部での推力管理を徹底し、トラブルを未然に防ぐことが重要である。

また、今回学んだ各発生要因に関しては、施工計画書を作成する段階から設計内容を十分に把握し、適切な事前対策に努めることが必要であると感じた。曲線箇所の線形に応じ、異形セグメント等の配置を行うことや、掘進区間の土質データを知るため細かく土質調査を行うこと、また、テール部の性能・構造・テールクリアランスの確認が重要であると感じた。

今後の類似工事では、過去のトラブル事例等を踏まえ、必要なリスク低減を行い、安全管理を徹底して施工を進めていく必要がある。

参考文献

1）土木学会　トンネル工学委員会：2016 年制定トンネル標準示方書[シールド工法]・同解説、社団法人　土木学会

1-1-5　大深度における RC セグメント圧入工法の検討について～常盤橋幹線整備事業～

第二基幹施設再構築事務所　設計課　山ノ井　巧

1.　はじめに

常盤橋幹線整備事業は、常盤橋街区再開発事業に伴い、銭瓶町ポンプ所が再構築（移設）されることから、汚水の流下先を切替えるべく千代田幹線に接続させる新たな幹線（以下「常盤橋幹線」という。）をシールド工法で整備するものである。この事業の発進は千代田幹線内であり、到達立坑（以下「常盤橋立坑」という。）は、大規模な再開発事業区域内である。常盤橋立坑は、工程上、再開発事業と並行して行われるため、狭隘な作業ヤード、大深度施工、限られた工期という厳しい施工環境となっている。また、立坑は東京地下鉄の半蔵門線に近接することから施工による影響を抑えるために可能な限り離隔を確保できる工法が求められた。

上記の条件を踏まえ、常盤橋立坑の施工方法を比較検討した結果、対応可能な工法として RC セグメント圧入工法を選定することに至った。さらに設計上の工夫を加味し、本件に関わる課題解決を図った事例として紹介したい。

2.　常盤橋立坑工事の施工概要

銭瓶町ポンプ所の再構築により汚水の大半は、常盤橋幹線を通して大深度で施工される千代田幹線へ流下させる計画となっている。常盤橋幹線は、千代田幹線の施工に合わせて大深度施工となるため、汚水を銭瓶町ポンプ所から常盤橋幹線へ流下させるためには高落差に対応した人孔が必要となる。そのため、常盤橋立坑は、深さ約 54m の大深度となった（図 2 参照）。

図 1　本工事における周辺状況

また、人孔用の設備としては、維持管理用のらせん階段（開口径 φ2000mm）、高落差処理を行うためのドロップシャフト（φ2600mm）、その他に資材投入孔（土砂搬出孔）を設けた。これらの設備を設置するために必要な人孔内径は 5600mm となった。

当該人孔を築造するにあたり、立坑の施工方法は、①狭隘な作業ヤード、②大深度施工といった諸条件をもとに工法を比較検討したところ「セグメント圧入工法」を選定した。

3.　施工における課題

セグメント圧入工法は、ケーソン工法の一種であり、施工現場でセグメントを組み立てて形成したリングを地盤に圧入しながら、クラムシェル等で水中掘削することで立坑を施工する工法である。

同工法は、鋼製セグメントを使用することが一般的であるが、常盤橋立坑の施工においては周辺の開発工事との工程調整（限られた工期）及び重要構造物（地下鉄など）に対する近接施工という条件から採用が厳しい。以下に具体的な課題を示す。

3.1　周辺工事との工程調整

本件は周辺でも他の再開発工事が行われていることから、長期間の道路使用が困難であり、現敷地内での施工が原則となった。また、同敷地内では銭瓶町ポンプ所の再構築を始めとして大規模な土木・建築工事とも競合する。このような施工環境のもと限られた工期内での施工が求められた。

3.2　地下構造物に対する近接施工

鋼製セグメント圧入工法使用時には現場打ちで人孔を構築することから、8.562m の外径が必要となり、その場合、近接する地下構造物（東京地下鉄半蔵門線）との最小離隔は 1.536m となる。この条件をもとに FEM 解析による影響解析を実施したところ、許容変位 3.50mm に対して水平変位が 3.61mm と基準値を超える数値となり、再考が求められた。

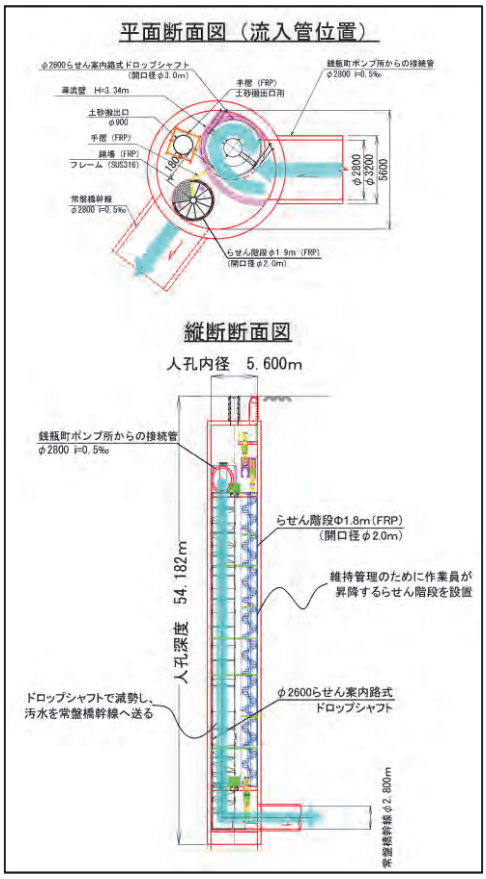


図 2　銭瓶町ポンプ所接続人孔概要

4.　課題解決のための設計（RC セグメント圧入工法の導入）

上記の課題を解決するため、設計段階より RC セグメント圧入工法を採用した。この工法は、プレキャスト製品を使用することで、以下の利点及び特徴が挙げられる。

（1）RC セグメントを人孔躯体として利用できるため、現場コンクリート工などの省略が可能で工期を短縮できる。

（2）現場打ちコンクリートに比べて強度が高く、壁厚を薄くできるため、立坑の外径をより小さくでき、近接の影響の軽減が図れる。

（3）RC セグメントは鋼製セグメントと比較して高価であるが、今回到達立坑として外径を小さくできることから、掘削土量を抑えられ、先行削孔及びセグメントの掘削圧入に関わる費用を比較的小さくすることができた。結果的に本工事においては、コスト縮減が図れた。

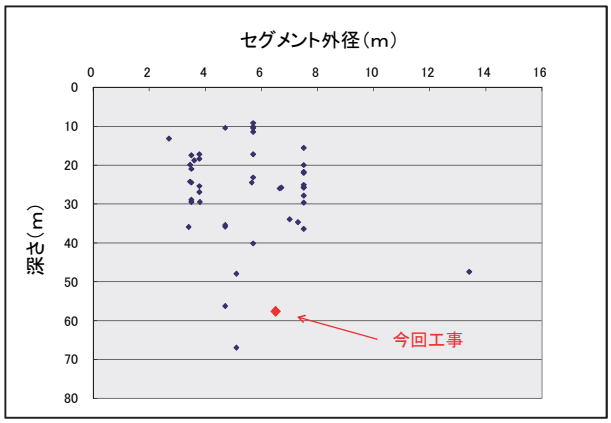


図 3　RC セグメント圧入工法施工実績

（4）鋼製セグメント圧入工法の施工実績は、約 200 件程度と多数の実績があるが、RC セグメント圧入工法の施工実績は、約 20 件程度と少ない。また、本工事は、深さ約 54m の施工であり、かつ外径は 6.500m である。そのため、他の施工実績と比較すると大深度かつ大口径の施工であることがわかる（図 3 参照）。

以下に本工事で採用した RC セグメント圧入工法の利点を具体的に述べる。

4.1　工期短縮

この事業の工期は、730 日となっており、鋼製セグメント圧入工法では工期を超えてしまうため、短縮する必要がある。

表 1　施工日数比較表

	RCセグメント圧入工法	鋼製セグメント圧入工法
立坑圧入日数	420日	590日
人孔築造日数	110日	235日
その他	90日	90日
合計	620日	915日

4.1.1　RC セグメント圧入工法による立坑圧入日数の工程短縮

鋼製セグメント圧入工法で施工した場合、立坑沈設完了までにかかる期間は 590 日である。一方、RC セグメント圧入工法で施工した場合、壁厚の低減による掘削断面の縮小から 420 日まで短縮することが可能となった。

4.1.2　人孔築造における工場製品使用による品質向上と工期短縮

人孔の内部構築では中床版に FRP 製スラブ、頂版にプレキャスト RC 頂版を採用することで品質の向上を図るとともに、現場打ちによる内部構築と比較して工程を 235 日から 110 日に短縮した。

4.1.3　工程短縮のまとめ

上記の他、ポンプ棟との接続工事やドロップシャフトの設置などに 90 日を要するため、現場打ちの人孔構築が必要な鋼製セグメント圧入工法では 915 日、RC セグメント圧入工法では 620 日となる。

4.2　近接施工影響の低減

RC セグメント圧入工法を採用することで立坑外径は 8.562m から 6.500m となり、地下構造物（東京地下鉄半蔵門線）との離隔を 3.532m 確保することが可能となった（図 4 参照）。

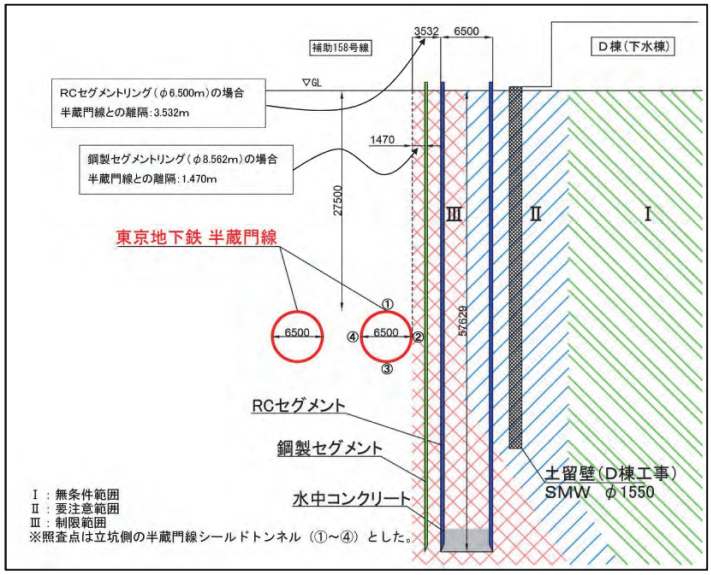


図 4　半蔵門線との近接断面図

本工事が半蔵門線へ与える影響検討は、FEM 解析により行った。本解析における照査点は半蔵門線トンネルの①～④の各点である（図 4 参照）。

RC セグメントで解析した結果、トンネルの最大変位量は水平変位で 2.291mm、鉛直変位で 1.236mm であり、ともに許容値 3.5mm を下回った。鋼製セグメントによる施工検討時（着目点水平変位 3.613mm）と比較して近接施工影響が大きく低減したことが判明した。

表 2　FEM 解析結果一覧

許容管理値3.5mm

工法種別		RCセグメント圧入工法	判定	鋼製セグメント圧入工法	判定
半蔵門線との離隔		3.532m		1.470m	
鉛直変位量	①	1.172mm	OK	1.093mm	OK
	②	1.236mm	OK	1.250mm	OK
	③	0.759mm	OK	0.725mm	OK
	④	0.722mm	OK	0.614mm	OK
水平変位量	①	1.468mm	OK	2.631mm	OK
	②	2.291mm	OK	3.613mm	NG
	③	1.930mm	OK	3.179mm	OK
	④	1.055mm	OK	2.033mm	OK

5.　おわりに

今回の工事は、周辺工事との厳しい工程調整が求められ、また重要構造物と近接しており、施工難度が極めて高い工事であるが、RC セグメント圧入工法の採用が課題解決の一助となった。今後も都市部における下水道事業では、都市化の発展や輻輳した地下空間などから、類似した施工状況が生じる可能性があるが、本業務が課題解決のための参考事例と成れば幸いである。

1-2-1 Improvement of Observation Accuracy and Enhancing Convenience of the Rainfall Information System: Tokyo Amesh

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government ○Naoto Suruga, Masahide Otsuka

1 Introduction

A sewage system processes wastewater discharged from households, factories, etc. to secure comfortable living environment, and eliminates rainwater falling on residential areas and roads, and protects the city from flooding.

Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government introduced rainfall information system in 1988 with the aim of quickly grasping weather information such as local thunderstorms and heavy rains and utilizing it for pump operation management at pumping stations and water reclamation centers. Also, in order to mitigate flood damage, since efforts to prepare for flood by the residents themselves are also important, from fiscal 2002 we have been distributing rainfall situation to the internet in real time, having named it "Tokyo Amesh". We had the highest record of about 78 million accesses in 2014.

In this paper we report that in order to further improve our customer service and expand the users of Tokyo Amesh, from April 2016 we started distributing rainfall information with improved accuracy in Tokyo Amesh homepage, and in November of the same year we improved the visibility of the homepage, and furthermore in April 2017 we started smartphone support.

2 The History of the Introduction and Operation of Tokyo Amesh

Utilization of rainfall information in our bureau was started in 1983 by receiving radar observation data from the then Ministry of Construction, because we suffered a lot of flood damage in the sewerage developed area due to heavy rains that occurred twice in 1981 (see Fig. 1). In 1988, our bureau installed a radar in two places in Tokyo (the urban area and suburban area) and began to independently observe rainfall and deliver the data into the bureau, as "Amesh 500 (see Fig. 2)", which was the predecessor of the present system.

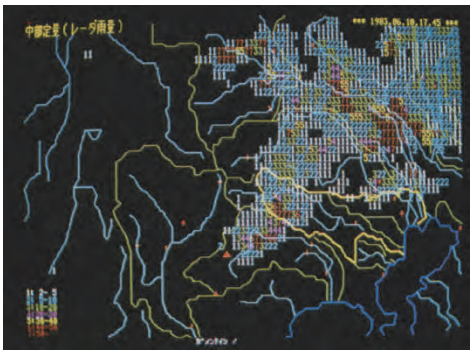


Fig. 1 Rainfall Information System Display (1983)

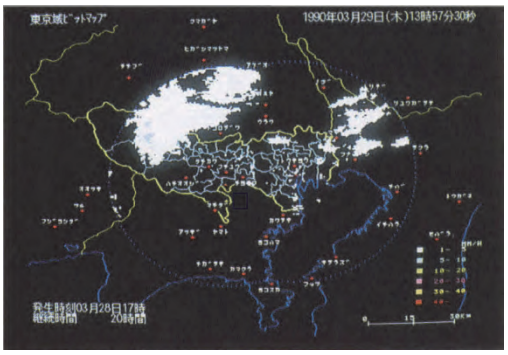


Fig. 2 Amesh 500 Display (1990)

Then, after the system update in 2001 (see Fig. 3), from fiscal 2002 we started distributing information to our customers/residents on the internet as "Tokyo Amesh". Since the last update more than 10 years had passed, and to cope with the deterioration of the equipment, we reconstructed the radar base station and the central processing station over the four years from fiscal 2012 to the end of fiscal 2015. In this reconstruction, we adopted a X-band MP radar which can observe rainfall using horizontal and vertical polarized waves, and improved reliability and observation accuracy, including the segmentation of observation mesh and rainfall intensity display (see Fig. 4).

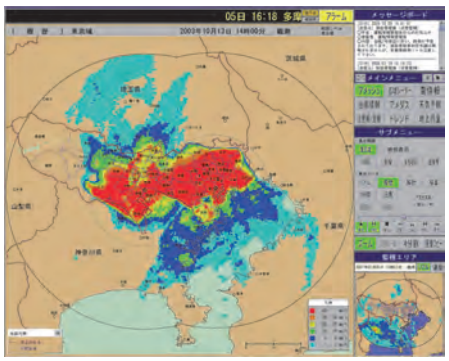


Fig. 3 Tokyo Amesh Display (2002)

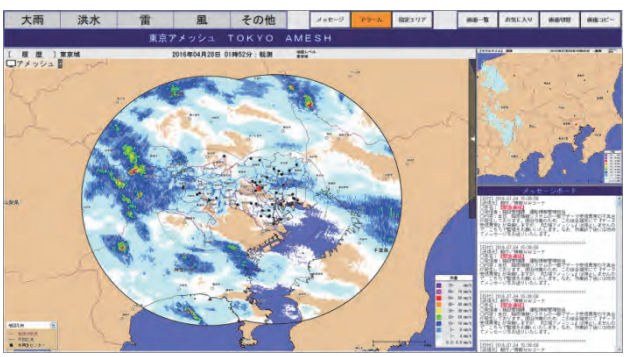


Fig. 4 Tokyo Amesh Display (2016)

3　System Configuration of Tokyo Amesh

Tokyo Amesh consists of two rain radars and 86 ground rain gauges in Tokyo. And the radar observation range is 80 km radius, covering the entire Tokyo area with two radars. Specifically, it consists of the rainfall information central processing unit in the center, two radar base stations in Tokyo (Minato radar in urban area, Inagi Radar in suburban area), 86 ground rain gauges, and 119 raindrop information terminals (see Fig. 5).

The data observed by the radars and the ground rain gauges of our bureau are processed by the rainfall information central processing unit and are delivered to the Tokyo Amesh homepage via the synthesis processing unit. In addition, these data are delivered from the rainfall information central processing unit to each rainfall information terminal of our bureau through our own optical fiber communication network laid in the sewer pipe.

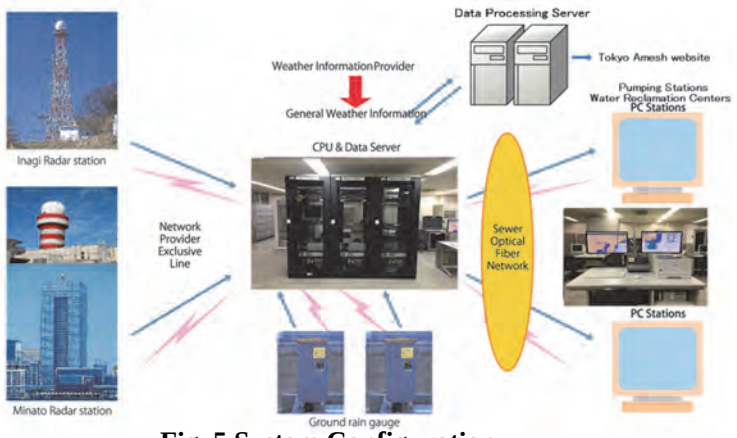


Fig. 5 System Configuration

4　Measures for Expanding Users of Tokyo Amesh

4.　1　Improvement of Observation Accuracy of Rainfall Information

Since the intensity of radar waves is influenced by the shape of raindrops, errors are generated in the estimation of rainfall. By using the X-band MP radar, it has become possible to estimate rainfall with high precision by specifying the shape of raindrops with the radio waves in the horizontal direction and the vertical direction.

The reconstruction was completed at the end of fiscal 2015, and from April 2016 rainfall information with improved observation accuracy has been delivered on the Tokyo Amesh website. In the new system, the display mesh was finely divided from 500 m to 150 m in almost the whole area of Tokyo, the rain intensity indication was subdivided into 10 levels from 8 levels, and by displaying a low rainfall which had not been known with the former radars, it has become possible to sense the sign of sudden rain (see Fig. 6).

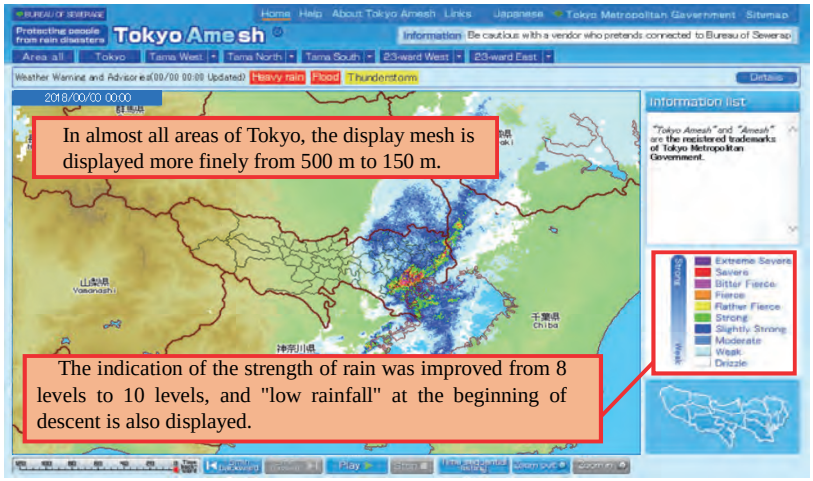
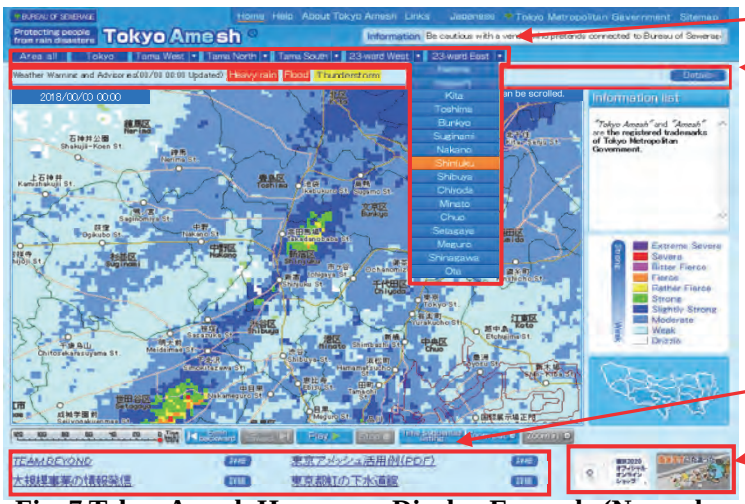


Fig. 6 Tokyo Amesh Homepage Display Example (April, 2016)

4.　2　Improvement of Visibility of Rain Information



Enlargement of map 1 step → 3 steps,
Map selection by area → by city, town village

Special alarm,　Alarm,
Change of warning alarm display

Map changed parts
TOP: Tokyo Metropolitan display added
Enlargement 1: New
Enlargement 2: Place name added
Enlargement 3: New (Station name added)

Banner 2 frames → 4 frames
(Japanese site only)

Image banner 1 frame → 2 frames
(Japanese site only)

Fig. 7 Tokyo Amesh Homepage Display Example (November, 2016)

In April 2016, we refined the rainfall display mesh to 150 m, and in November 2016, we made it possible to enlarge the map from one step to three steps. On the third stage enlarged map, main railway lines and major stations were added, and map selection by city, town, village has become possible. Before that, only map selection by bigger area was possible. Also, the warning alarm display position was changed to the upper part of the screen to improve the visibility. Furthermore, for PR of our bureau, the character banner was increased from 2 frames to 4 frames, and the image banner was increased from 1 frame to 2 frames. We utilize Tokyo Amesh for PR of sewerage business. (see Fig.7)

4. 3 Tokyo Amesh Homepage Smartphone Support

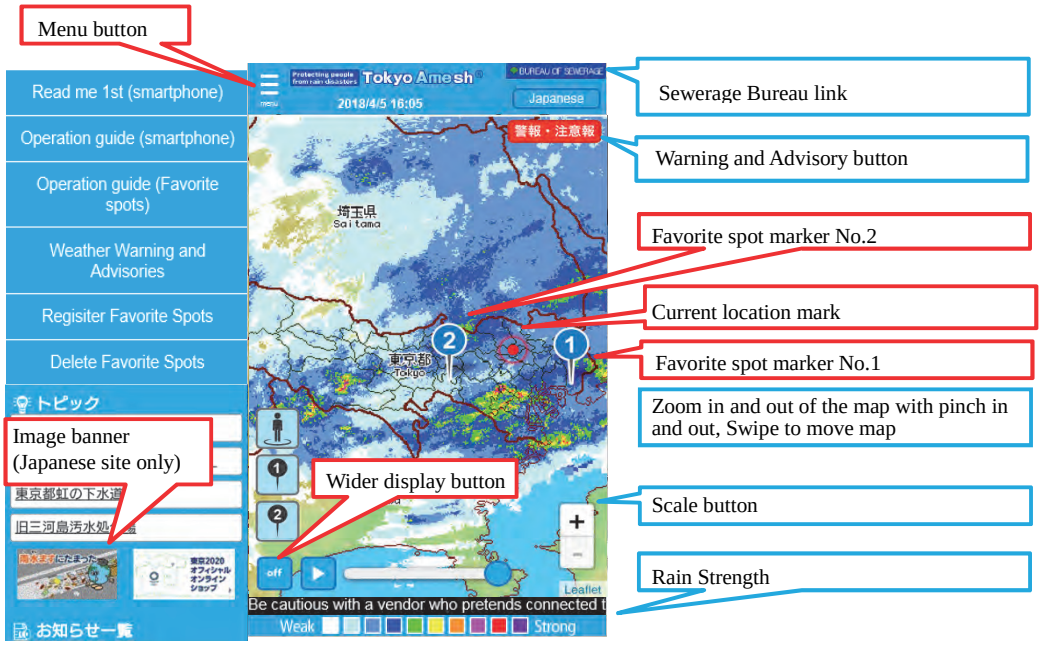


Fig. 8 Homepage Dedicated to Smartphones Display Example (April, 2017)

Tokyo Amesh homepage was built on the premise of using a personal computer, so when used on smartphones, the characters and icons were small and the visibility and operability were inferior. For this reason, in order to further improve customer service, we decided to add a homepage dedicated to smartphones to improve functions and operability.

Specifically, we improved the functionality, such as present location display and registration of arbitrary point, by utilizing the GPS function of a smartphone. Also, we improved operability and visibility by enlarging the icons of the operation buttons etc. to be operated on a small display. This improved service has been distributed since April 2017. (see Fig. 8).

5 Finally

In the Tokyo Metropolitan Sewerage Business “Management Plan 2016" formulated by our bureau in February 2016, based on “Basic policy regarding heavy rainfall mitigation measures in the Tokyo metropolitan area”, with the aim of preventing flood damage for the next 30 years, we are planning to develop sewage facilities that can withstand 50 mm rainfall per hour. In addition, as one of the soft measures in flood countermeasures, the X-band MP radar introduced in conjunction with the reconstruction of "Tokyo Amesh" is planned to be utilized for pump operation, for improving reliability to prevent flood damage. In addition, in April 2017, we started smartphone support of "Tokyo Amesh" so that customers can prepare for flood by heavy rain and can use it when going out.

We will continue to strive to enhance convenience and improve rainfall observation accuracy so that our customers/residents can utilize it.

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government
Facilities Management Section, Facilities Management and Maintenance Division
2-8-1 Nishi-Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan
+81-3-5320-6628
Naoto_Suruga@member.metro.tokyo.jp

1-2-1　降雨情報システム（東京アメッシュ）における観測精度と利便性の向上について

東京都下水道局　施設管理部　運転情報管理担当
岡島　哲也　○駿河　直人

１　はじめに

下水道には、家庭や工場等から排出される汚水を処理し、快適な生活環境を確保するとともに、宅地や道路に降った雨水を排除し、浸水から都市を守る役割がある。

東京都下水道局では、局地的な雷雨や豪雨などの気象情報を迅速に把握し、ポンプ所や水再生センターでポンプの運転管理に活用することを目的に、降雨情報システムを１９８８年に導入した。また、浸水被害の軽減のためには、都民自ら浸水に備える取組みも重要であるため、「東京アメッシュ」と命名し、２００２年度から、降雨状況をリアルタイムでインターネットに配信しており、２０１４年度には過去最高の約７，８００万件ものアクセスがあった。

本稿では、更なるお客さまサービスの向上と東京アメッシュの利用者の拡大を図るため、２０１６年４月から観測精度が向上した降雨情報を東京アメッシュホームページで配信を開始すると共に、同年１１月に東京アメッシュホームページの視認性の向上を行い、更に２０１７年４月から、東京アメッシュホームページのスマートフォン対応を図ったので報告する。

２　東京アメッシュの導入と運用の経緯

当局における降雨情報の活用は、１９８１年に発生した２度の豪雨により下水道整備区域に多くの浸水被害を受けたことから、１９８３年、当時の建設省からレーダー観測データの配信を受けたことに始まる（図-１参照）。１９８８年には、都内２箇所（港区と稲城市）にレーダーを設置し、現システムの前身となる「アメッシュ５００（図-２参照）」として、当局独自に降雨の観測及び局内への配信を開始した。

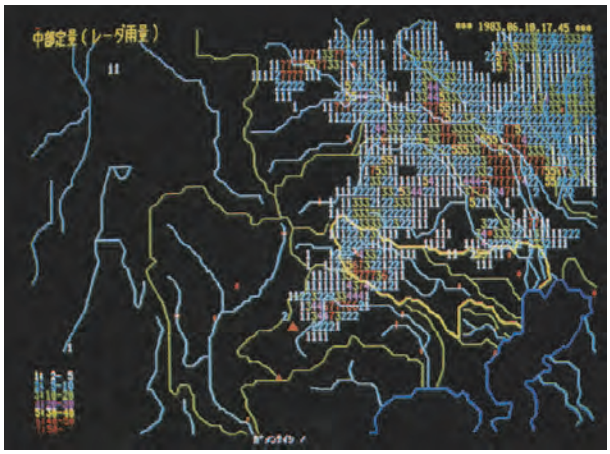


図-１　降雨情報システム画面（１９８３年）

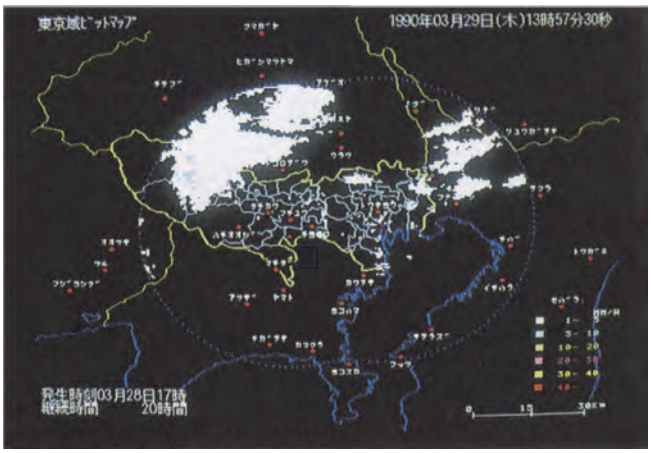
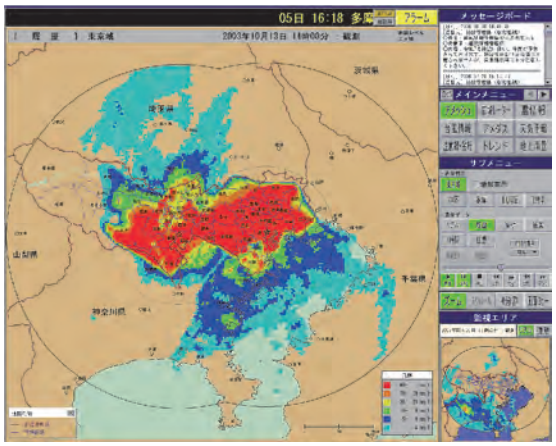


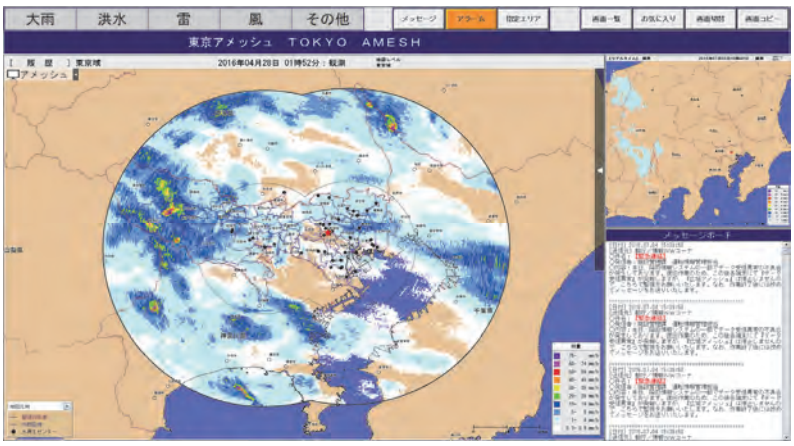
図-２　アメッシュ５００画面（１９９０年）

以降、２００１年のシステム更新（図-３参照）を経て、２００２年度からは、「東京アメッシュ」として、お客さまである都民の方々にインターネットで配信を開

始した。その後、前回更新から１０年以上経過し、設備の老朽化に対応するため、２０１２年度から２０１５年度末までの４年をかけてレーダー基地局と中央処理局の再構築を行った。この再構築により、水平と垂直２つの偏波を用いて雨量を観測できるＸバンドＭＰレーダーを採用し、観測メッシュ及び降雨強度表示の細分化を行う等、信頼性の向上と観測精度の向上を図った（図－４参照）。



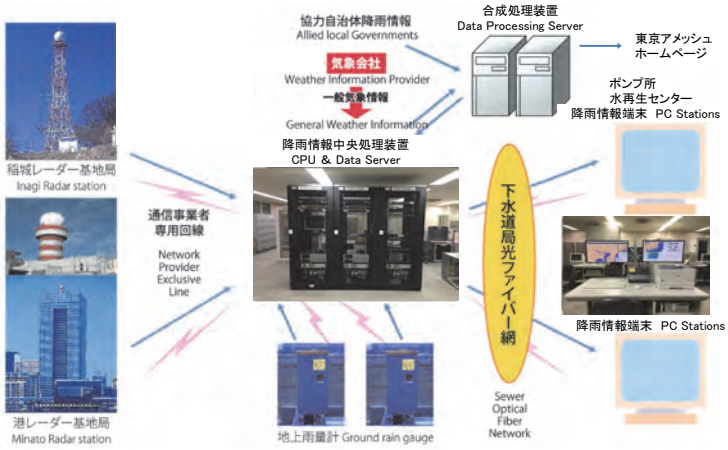
図－３　東京アメッシュ画面（２００２年）



図－４　東京アメッシュ画面（２０１６年）

３　東京アメッシュのシステム構成

東京アメッシュは、都内２箇所の降雨レーダーと地上雨量計で構成されている。また、レーダーの観測範囲は半径８０ｋｍであり、二つのレーダーで東京都全域をカバーしている。具体的には降雨情報中央処理装置を中心に、都内２箇所のレーダー基地局（港レーダー、稲城レーダー）と、８６台の地上雨量計、１１９台の降雨情報端末から構成されている（図－５参照）。当局のレーダー及び地上雨量計で観測されたデータを降雨情報中央処理装置で処理し、合成処理装置を経由して、東京アメッシュホームページに配信している。また、降雨情報中央処理装置から下水道管内に敷設した当局独自の光ファイバー通信網で局内の各降雨情報端末に配信している。



図－５　システム構成

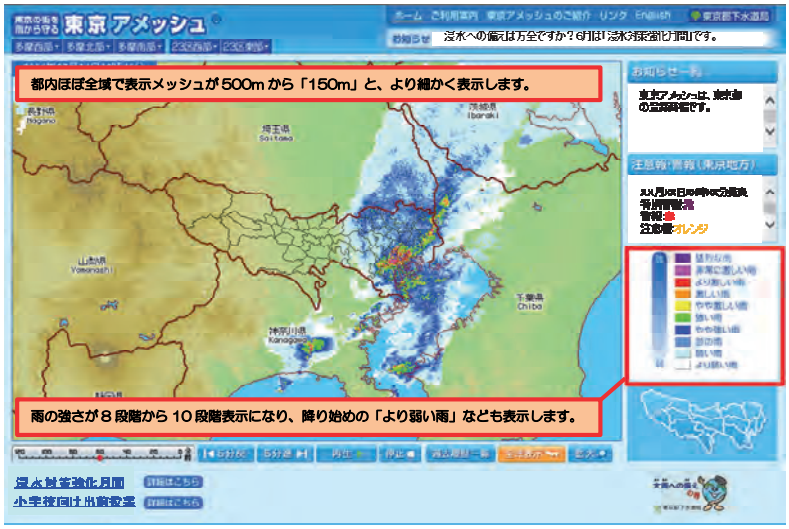
４　東京アメッシュの利用者拡大に向けた対策

４．１　降雨情報の観測精度の向上

レーダー電波の強度は雨粒の形状に影響を受けるため、雨量の推定には誤差が生じる。ＸバンドＭＰレーダーを使用して、水平方向と垂直方向の電波で雨粒の形状を特定することにより、高い精度での雨量推定が可能となった。

２０１５年度末の再構築の完了に併せて、２０１６年４月から、観測精度が向上した降雨情報を東京アメッシュホームページで配信している。新しいシステムでは、都内

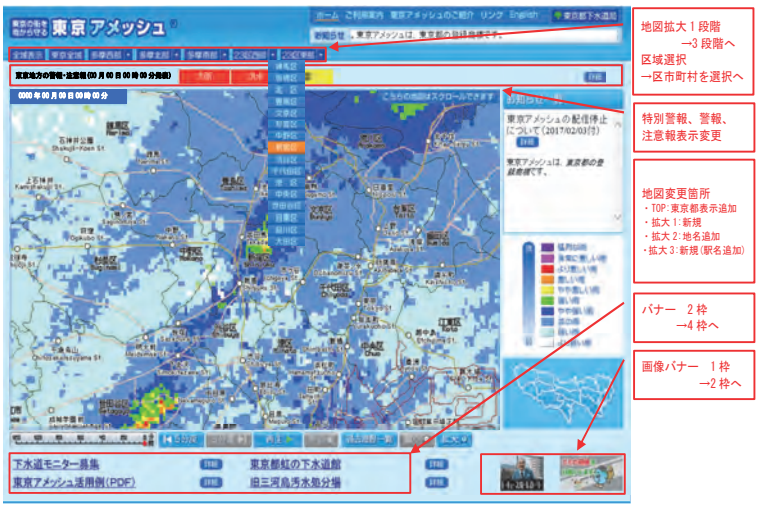
ほぼ全域で表示メッシュを５００ｍから１５０ｍに細かくすると共に、降雨強度表示を８段階から１０段階に細分化し、これまでわからなかった降り始めのわずかな雨も表示することにより、急な雨の予兆も察知できるようになった（図－６参照）。



図－６　東京アメッシュホームページ画面例
（２０１６年４月）

４．２　降雨情報の視認性の向上

２０１６年４月から降雨表示メッシュが１５０ｍに細かくなったことに併せ、２０１６年１１月から、地図の拡大を１段階から３段階に拡大できるようにした。３段階目の拡大した地図上には主要鉄道路線及び主要駅を追加すると共に、地図の選択を区域選択から区市町村選択できるようにした。また、注意報警報表示位置を画面上部に変更し、視認性を向上させた。更に当局のＰＲ用に文字バナーを２枠から４枠に、画像バナーを１枠から２枠に増やし、東京アメッシュを下水道事業のＰＲに活用している。（図－７参照）

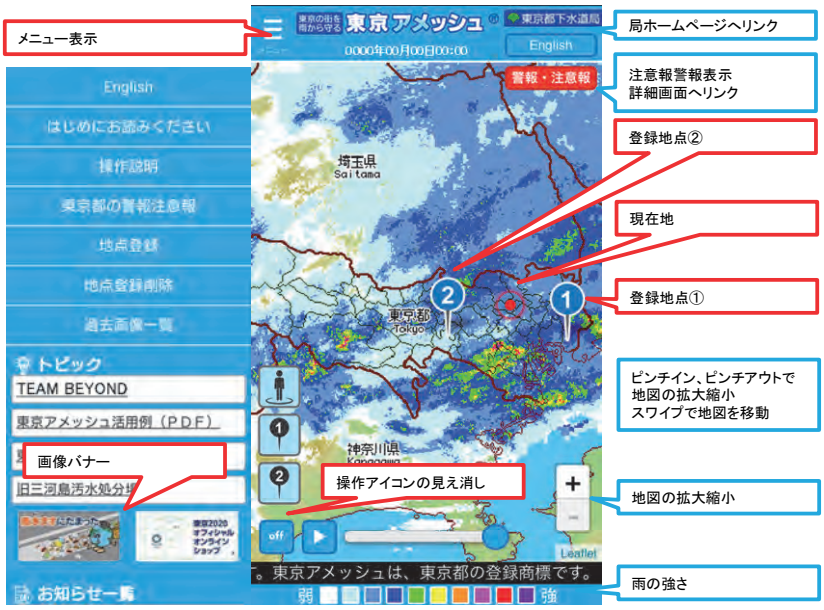


図－７　東京アメッシュホームページ画面例
（２０１６年１１月）

４．３　東京アメッシュホームページのスマートフォン対応

東京アメッシュホームページはパソコンでの使用を前提に構築したため、スマートフォンで使用する場合、文字やアイコンが小さく視認性や操作性等が劣る。このため、更なるお客さまサービスの向上に向けて、スマートフォン専用ホームページを追加し、機能及び操作性の向上を図ることにした。

具体的には、スマートフォンのＧＰＳ機能を活用した現在地表示や任意に地点を登録できるようにする等、機能性を向上させると共に、小さな画面で操作できるよう操作ボタン等のアイコンを大きくして操作性及び視認性を向上させ、２０１７年４月から配信している（図－８参照）。



図－８　スマートフォン専用ホームページ画面例

（２０１７年４月）

５　おわりに

当局が２０１６年２月に策定した東京都下水道事業「経営計画２０１６」では、「東京都豪雨対策基本方針」に基づき、概ね３０年後の浸水被害の防止を目標に、１時間５０ミリ降雨に対応する下水道施設を整備することとしている。また、浸水対策におけるソフト対策の一つとして、「東京アメッシュ」の再構築にあわせ導入したＸバンドＭＰレーダーをポンプ運転等に活用し、浸水被害防止に対する信頼性を向上させることとしている。更にお客さまが豪雨などによる浸水への備えや、お出かけの際に役立てていただけるよう、２０１７年４月から「東京アメッシュ」のスマートフォン対応を図った。

引き続き、お客さまである都民の皆様に活用していただけるよう、利便性の向上に努めていくと共に雨量観測精度の向上に取り組んでいく。

問合せ先：東京都下水道局　施設管理部　施設管理課
ＴＥＬ：０３－５３２０－６６２８
Ｅ－Ｍａｉｌ：Ｎａｏｔｏ＿Ｓｕｒｕｇａ@ｍｅｍｂｅｒ.ｍｅｔｒｏ.ｔｏｋｙｏ.ｊｐ

1-2-2　高落差流入人孔における水理模型実験について

～3方向から流入し、流下先が長大伏越構造となる

千代田区紀尾井町付近主要枝線人孔を例に～

中部下水道事務所　再構築推進課
吉原　沙也佳

1. はじめに

千代田区紀尾井町付近は、地形の高低差が大きく、過去に大きな浸水被害が発生している地域である。この地域の下水道管きょの再構築事業として、平成3年から平成28年にかけて第二溜池幹線関連事業を進め、浸水被害の軽減を図ってきた。現在は浸水対策の骨格となる幹線が完成し、中部下水道事務所では主要枝線の整備を進めている。

第二溜池幹線は、千代田区清水谷公園（千代田区紀尾井町）から当局所管の勝どきポンプ所（中央区勝どき5丁目）に至る約4.5kmの雨水幹線であり、流域の雨水をふかし上げ方式で隅田川へと放流している（図1）。また清水谷公園内において、半蔵濠幹線と南元町幹線が第二溜池幹線の起点人孔に接続している。

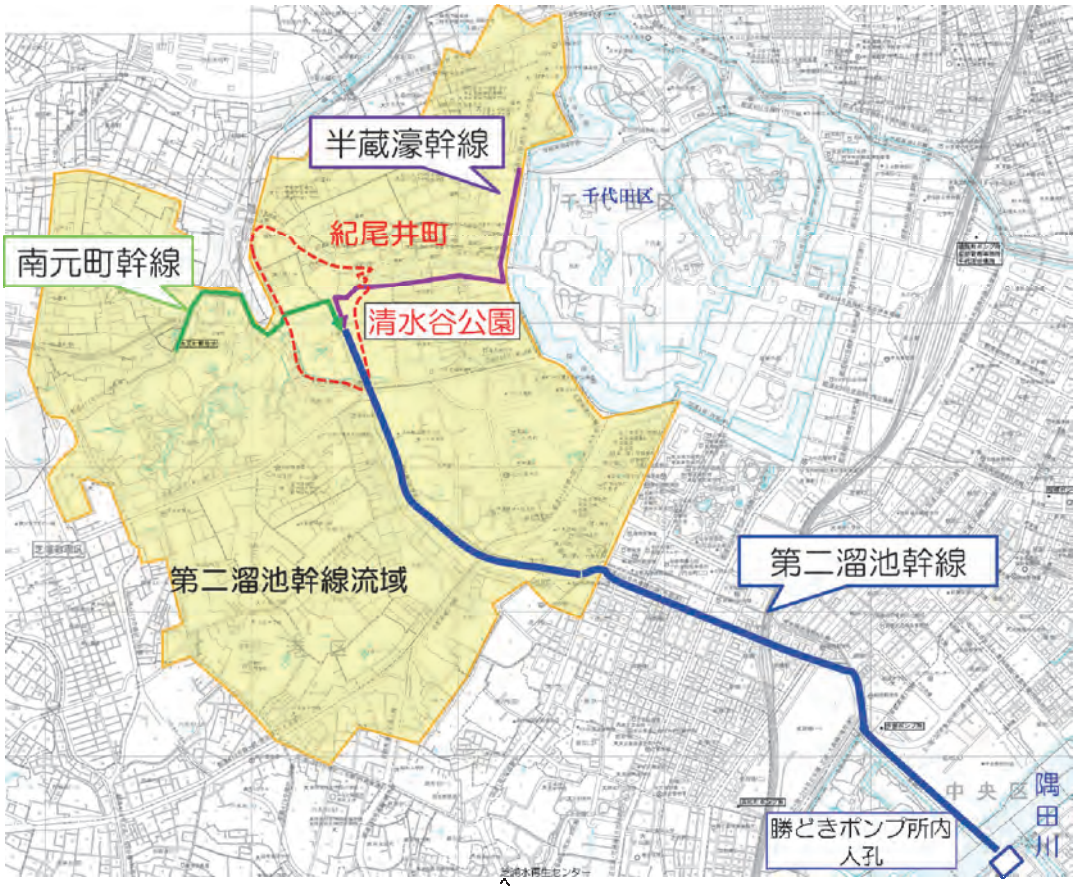


図1　第二溜池幹線等の全体概要

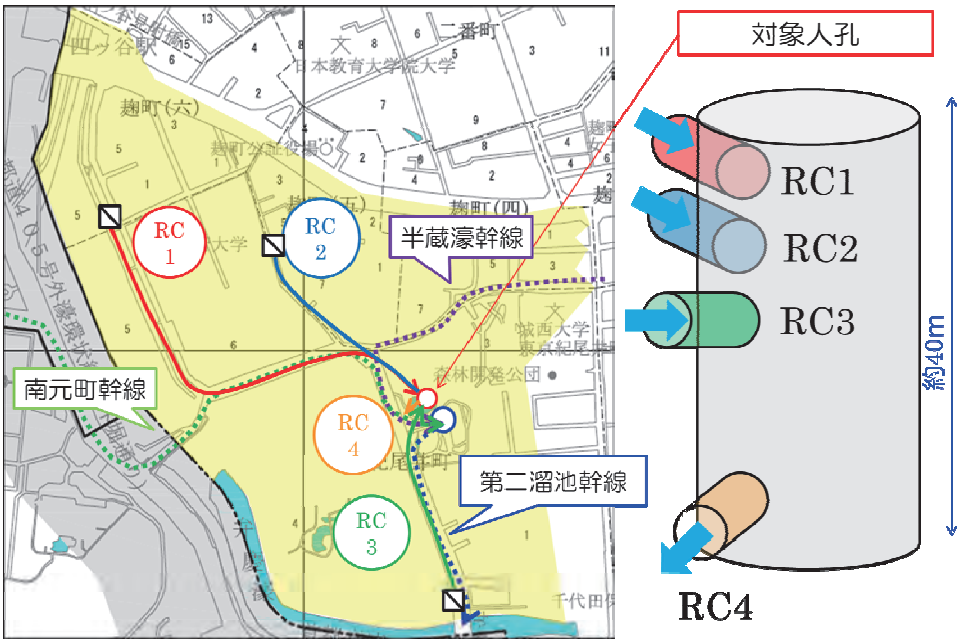


図 2　紀尾井町主要枝線と主要枝線人孔の概要

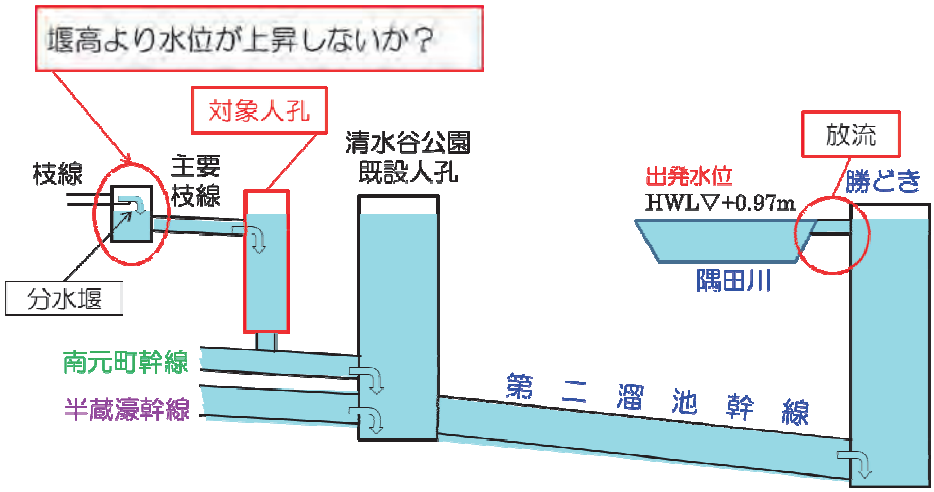


図 3　第二溜池幹線ふかし上げ放流の様子

紀尾井町主要枝線は、流下能力が不足している既設管に分水人孔を設置し、RC1～RC3 の 3 路線に雨水を取り込み、清水谷公園内に集約させ、RC4 路線で南元町幹線へと流下させる主要枝線である（図 2）。ここで、対象人孔において雨水を集約させて土被り約 40m の南元町幹線へと流下させるため、高落差処理方式としてらせん案内路式ドロップシャフト（以下、「ドロップシャフト」）を採用した。

標準的なドロップシャフトは、設計マニュアルに従い各部の水理現象を想定することが可能となるが、この対象人孔については、①高さや流入角度が異なる 3 方向から雨水が流入する、②流下先の幹線が長大伏越構造であり、最下流部で第二溜池幹線が河川へふかし上げ放流する（図 3）という 2 つの特性を有することから、高落差処理機能と、ふかし上げ放流に伴い管内水位が上昇し、地上に溢水することが懸念された。

このため、詳細な水位の挙動や影響は机上では把握が困難なため、水理模型実験により、原設計案の検証と対策の検討を行った。

2. 実験概要

本実験では、原設計案の水理機能の検証を行った。基本条件を表 1、模型の縮尺、範囲等を表 2 に、模型の取入範囲の概念図を図 4 に示す。本実験では、第二溜池幹線が自由水面を持って流下している状態を「ドライ条件」、第二溜池幹線がふかし上げ放流を行っている状態を「ふかし上げ条件」とし、ドライ条件時には高落差処理機能、ふかし上げ条件時には流下機能及び水位上昇の検証を行う。ふかし上げ条件時の下流の境界水位（模型の下流端で与える水位）については、南元町幹線の動水位と各損失を考慮し、最も水位が上昇する条件で設定した。また、ふかし上げ条件時の水位上昇時の上限水位は、流入する主要枝線の内、最も起点人孔の地盤が低い RC3 の分水堰の高さを超えない水位を設定し、これを超えた場合は改良案を検討することとした。

表 1　基本条件

項目	条件
降雨条件	50mm/hr
流出係数	80%（芝浦処理区、溜池処理分区）

表 2　模型の縮尺・範囲・制作方法

項目	設定の考え方	本実験における取扱い
模型縮尺	最小管径 10cm 以上	最小管径 1,000mm（RC2）から、縮尺は 1/10 とする
模型範囲	上下流端において 10D(※)以上を確保	RC1～4 それぞれで 10D(※)を確保
製作方法	流れを視認可能とするために、原則としてアクリルで模型を製作するが、らせん案内板は製作精度の高い鋼製等とする	らせん案内板：鋼製等 その他：アクリル

※（D：内径）

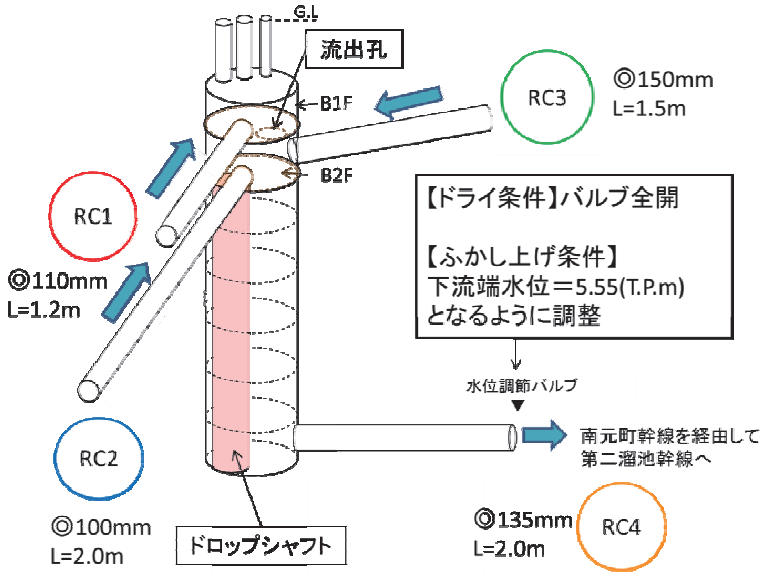


図 4　模型の取り入れ概念図

3. 実験結果

3.1 原設計案実験

3.1.1 ドライ条件

ドライ条件では、3 方向からの流入部において仕切壁を水位が超えることなく、安定的な流況が形成されていた（図 5）。ドロップシャフトも所定の流量を流下させており、高落差処理機能が適切に発現されていた。

3.1.2 ふかし上げ条件

ふかし上げ放流時においては、人孔内水位は B1F 床版の高さと概ね一致し（7.180T.P.m）、RC3 の分水堰を超える上限水位（7.747T.P.m）を約 56.7cm 下回った（図 6）。流下機能についても、安定した流況であった。

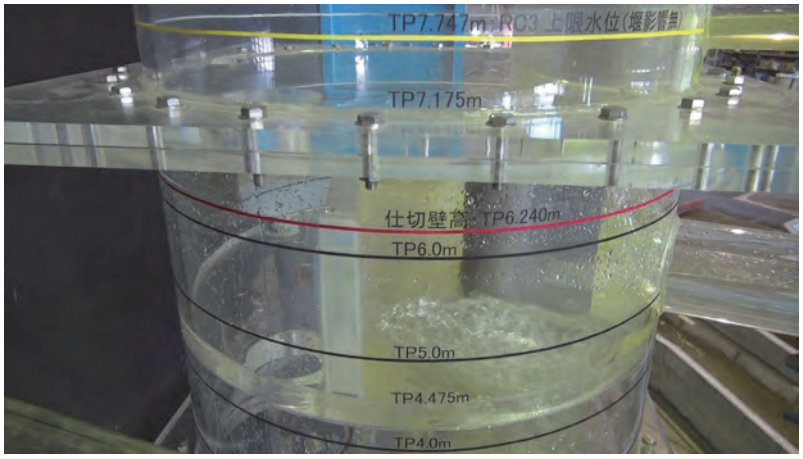


図 5 ドライ条件時の流入部の流況

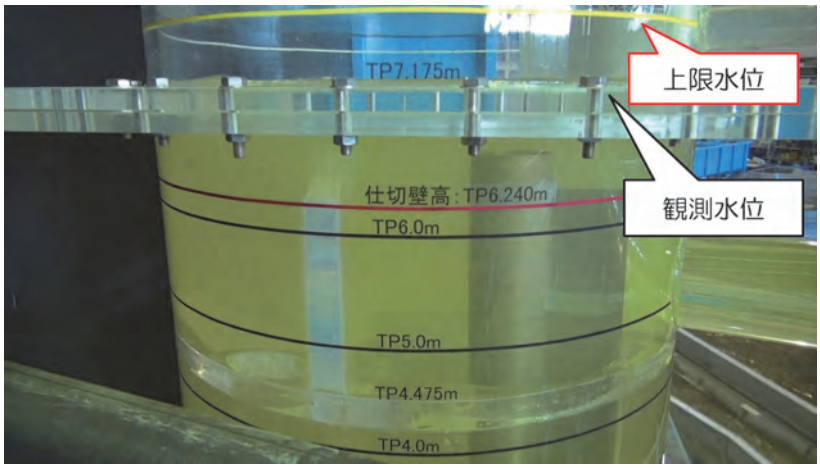


図 6 ふかし上げ条件時の水位の様子

3.2 改良案実験

原設計案で水理機能を満たし、計画降雨時における安全性が確認されたことから、維持管理面を考慮したスペースを確保できないか検討を行った。検討の結果、B1F 導流壁高と B2F 仕切壁高を、原設計案より切り下げてスペースを広く確保しても、流況に影響がないことが判明した（図 7、図 8）。これにより、原設計よりも目視点検、資機材投入のスペースを確保することが可能となり、維持管理性が向上することから、本改良案に基づき設計案の一部に反映させて、人孔構造を決定した。

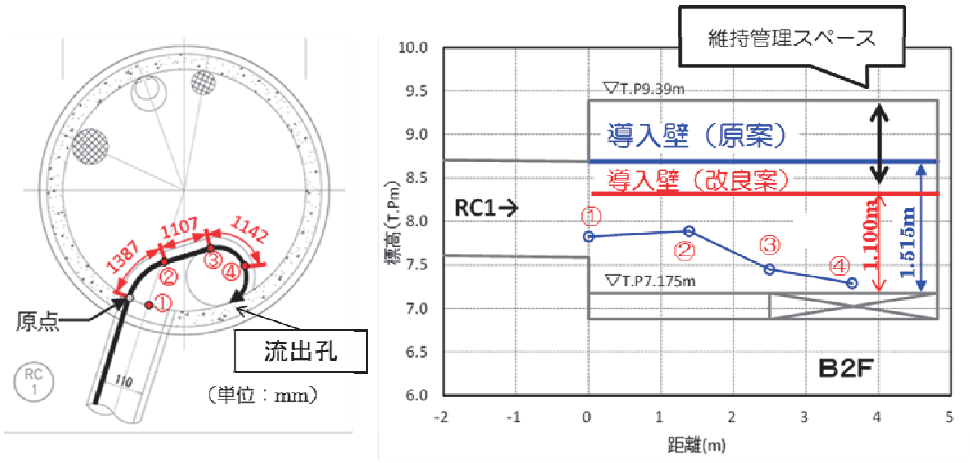


図 7　B1F 導入壁の水位（図の①～④がグラフの①～④に対応）

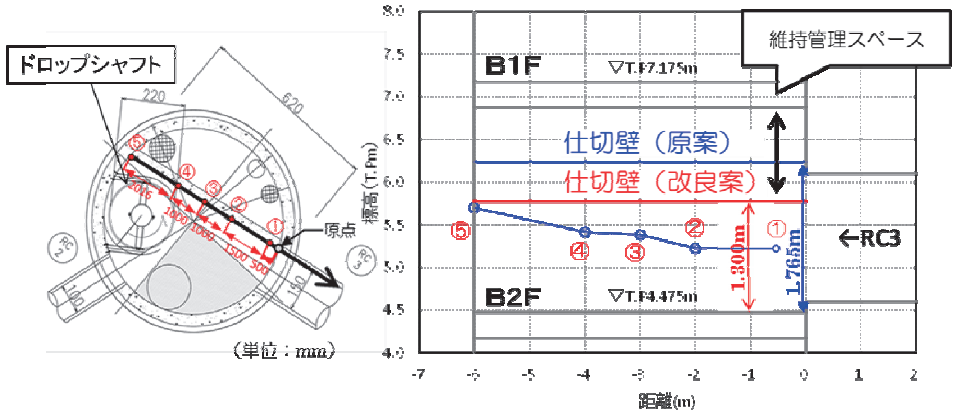


図 8　B2F 仕切壁の水位（図の①～⑤がグラフの①～⑤に対応）

4. その他参考実験について

原設計案及び改良案以外にも、水理模型を用いて多くの幅広い知見を得るため、参考実験を行った。結果は以下のとおりである。

1）Ｂ２Ｆスラブの開口を広げた際の水位低減への効果検証

人孔の構造上施工可能な開口面積の拡大では、水位低減効果は少ない結果となった

2）超過流量時における水位の検証

計画降雨×1.2（約 60mm/hr）の場合、RC3 上限水位と概ね一致し、計画降雨×1.5（約 75mm/hr）の場合、RC3 上限水位を 1m以上超過したが、人孔内水位は頂版には到達しなかった。

3）非定常状態における空気の噴出に関する検証

計画降雨時、超過降雨時いずれも圧縮空気の噴出等の異常は確認されず、排出される空気の風速は基準内であり、安全性を確認することができた。

5. おわりに

本実験結果を元に原設計を改良し、工事発注を行った千代田区紀尾井町主要枝線工事は、平成 32 年度完了に向けて、現在施工中である。

今回の対象人孔のように、複雑な条件により机上の検討で水理現象を予測出来ない他の案件において、本実験で得られた知見が参考となれば幸いである。

2-1-1　次亜臭素酸による雨天時放流水の消毒性能について

計画調整部　技術開発課　葛西　孝司
松田　初弘
（現　生活文化局）

1　研究の背景

放流水の消毒には、主として、次亜塩素酸ナトリウムを使用しているが、雨天時放流水で消毒剤との接触時間が短い施設では、速効性の消毒剤である臭素系消毒剤（BCDMH：1-ﾌﾞﾛﾓ-3-ｸﾛﾛ-5,5-ｼﾞﾒﾁﾙﾋﾀﾞﾝﾄｲﾝ）を使用している。臭素系消毒剤は数分程度の短い接触時間で消毒できるが、微粉末の薬剤であるため補充作業などの際には薬剤が舞い上がるためメガネとマスク等の装着が不可欠である。また、高価な薬剤であることから、取扱いが容易で安価な速効性消毒技術の開発が求められている。

2　各種消毒剤の消毒原理

次亜塩素酸は、下水に含まれるアンモニアと反応し、結合型塩素（クロラミン）を生じて消毒作用が低下するため消毒に時間を要する。一方、臭素系消毒剤は水に溶かすと次亜塩素酸と次亜臭素酸を生成し、このうちの次亜臭素酸はアンモニアとほとんど反応しないため消毒の速効性が担保される。

次亜臭素酸は、臭素系消毒剤の加水分解により生じるほか、次亜塩素酸ナトリウム溶液と臭化物との混合によっても生成できる[1]。本研究では、臭化物として臭化ナトリウム溶液を用いて次亜塩素酸ナトリウム溶液と等モルで混合してできる次亜臭素酸による消毒性能について調査した。

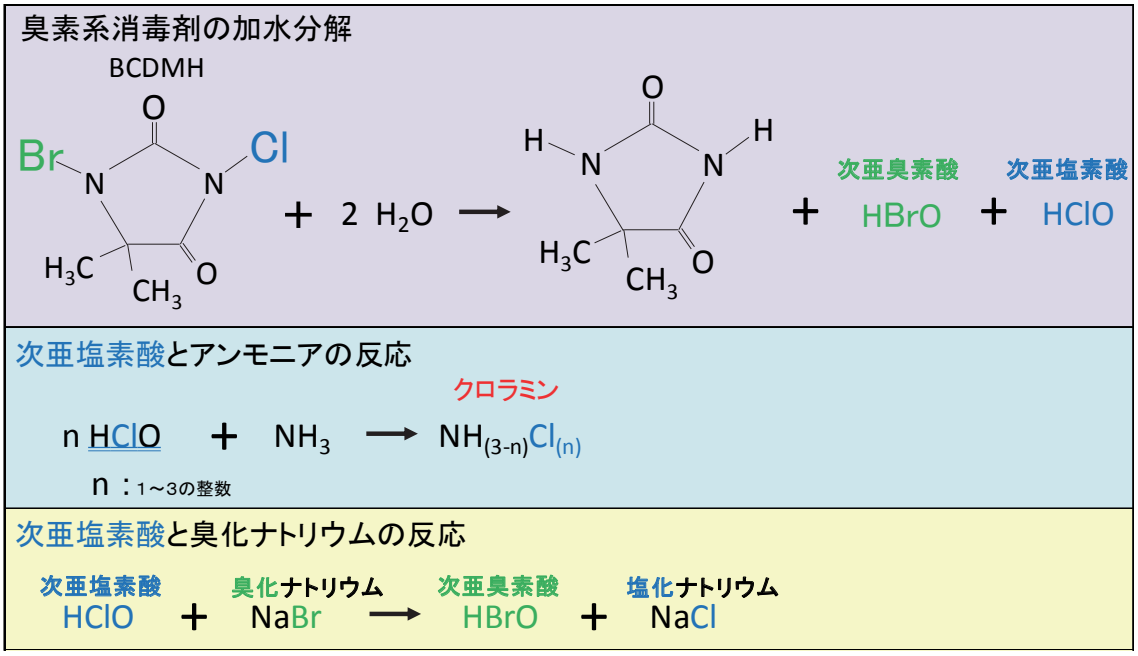


図１　各種消毒剤の反応

3　研究の概要

本研究の概要は以下のとおりである。

研究期間：平成 29 年 1 月 30 日～平成 30 年 3 月 31 日

研究場所：臭素系消毒剤の使用量が比較的多い都内の水再生センターの流入水または最初沈殿池流出水を用いて机上実験により消毒性能等を確認

水再生センターの沈砂池上部に実験プラントを設置して消毒剤の効果的な注入方法等を検討

机上実験では、以下の項目について確認した。

(1) 二液の混合による次亜臭素酸の生成に要する時間と生成後の安定性
(2) 次亜臭素酸による消毒効果（速効性）
(3) 消毒後の次亜臭素酸の残留性
(4) 消毒剤注入率の制御方法
(5) 次亜塩素酸ナトリウムと臭化ナトリウムの混合比率の適正化
(6) 次亜塩素酸および次亜臭素酸における消毒副生成物

実験プラントを用いた実験では以下の項目について確認した。

(1) 渦巻きポンプを用いたかくはんによる消毒効果
(2) 混合ノズルを用いた注入による消毒効果
(3) 実施設での使用を想定した混合ノズルを配置した消毒試験（次亜塩素酸ナトリウムと臭化ナトリウムの混合比率の違いによる試験を含む）

4　机上実験の方法とその結果

4．1　二液の混合による次亜臭素酸の生成に要する時間と生成後の安定性

二液混合による次亜臭素酸の生成に要する時間を確認するため次亜塩素酸ナトリウム溶液と臭化ナトリウム溶液を混合して反応時間に対する次亜臭素酸濃度の関係を図 2 に、また、生成後の次亜臭素酸濃度の変化について図 3 に示す。

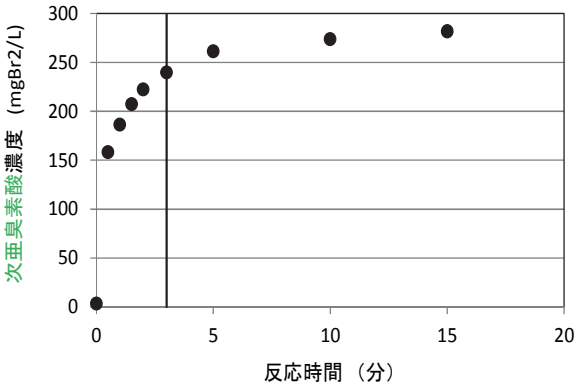


図 2　二液混合による次亜臭素酸の生成

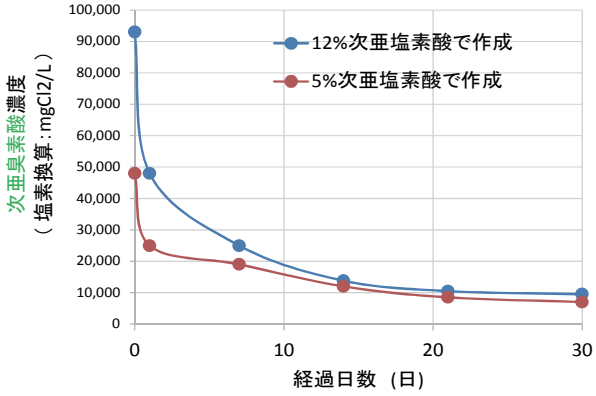


図 3　次亜臭素酸の安定性

図 2 から二液を混合すると 3 分程度で概ね次亜臭素酸の生成が完了することが分かった。また、図 3 から、生成した高濃度の次亜臭素酸は速やかに分解され、10,000ppm 程度まで低下すると、その後は比較的安定することが示された。これらの結果から次亜臭素酸は使用時に二液を混合して生成することが望ましいといえる。

４．２　次亜臭素酸による消毒効果（速効性）

ここでは、速効性の消毒剤として現在使用している臭素系消毒剤と次亜臭素酸について消毒効果（速効性）を比較した。実験では、同一下水試料に対して有効ハロゲンの添加率が塩素換算で同じになるように加えて、接触時間に対する大腸菌群数の推移を確認した（図4および図5）。

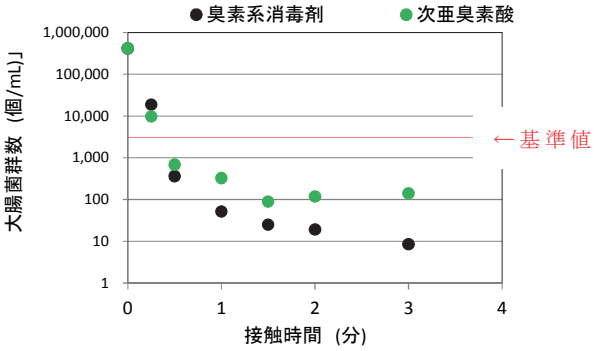


図４　消毒の速効性の比較
（雨の影響なし）
（ハロゲン添加率：塩素換算 18ppm）

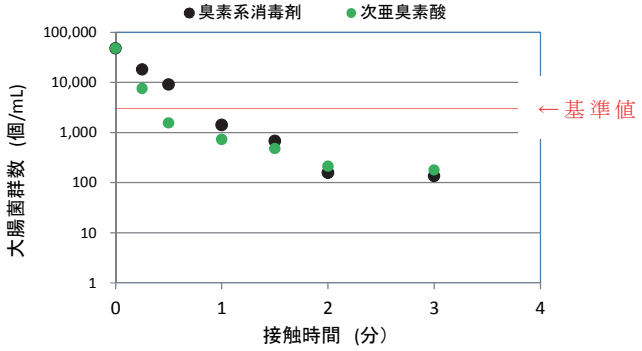


図５　消毒の速効性の比較
（雨の影響あり）
（ハロゲン添加率：塩素換算：1.7ppm）

どちらの消毒剤も１分以内に大腸菌群数の基準値を下回っており、次亜臭素酸が臭素系消毒剤の代替として有効であることが確認できた。接触時間が２分以上になると両消毒剤ともに大腸菌群数の低下がほとんどみられなくなる。下水に注入した次亜臭素酸は素早く分解され消滅するためと考えられる。すなわち注入点での混合が不十分な施設では消毒効果が著しく低下する恐れがあると考えられる。

４．３　消毒後の次亜臭素酸の残留性

下水に注入した次亜臭素酸は速やかに分解され残留ハロゲンが消滅していく。注入後の残留性（消毒の持続性）を確認するため、流入水に次亜臭素酸を添加してからの接触時間に対する残留ハロゲン濃度の変化を確認した（図６および図７）。

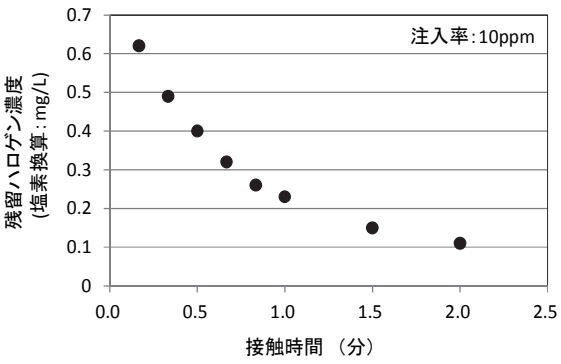


図６　残留ハロゲンの推移（適正量添加）

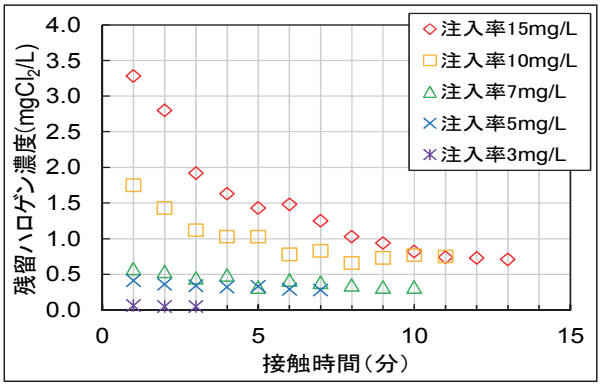


図７　残留ハロゲンの推移（過剰量添加）

図６は、消毒に必要な適量の次亜臭素酸を注入したときのデータで、数分程度で残留ハロゲンが消滅していった。図７は、適正な量よりも過剰に添加したときの残留ハロゲン濃度の推移を示したものである。次亜臭素酸の場合は過剰に注入しても10分程度でほとんど分解された。消毒の際の薬剤の過不足は残留ハロゲン濃度で行い、これまでの経験から放

流時の残留ハロゲン濃度が 0.2ppm 以上あれば大腸菌群数の基準値がクリアされていると推定できる。しかし、次亜臭素酸を用いた消毒では残留ハロゲンが検出されにくいことから適正な注入量の確認が難しくなると考えられる。この対策については、『４．５　次亜塩素酸ナトリウムと臭化ナトリウムの混合比率の適正化』のところで触れる。

４．４　消毒剤注入率の制御方法

下水に次亜塩素酸を加えると、硫化物イオンや有機物など還元性の物質と速やかに反応して消費されるため、これらの濃度が高い下水では消毒剤の注入率を高くする必要がある。水中の硫化物イオン濃度の測定は容易でないが、有機物濃度は UV 計などにより簡単に測定できる。本研究では、UV 計の指示値（波長 255nm の吸光度）とそのときの消毒剤の必要量の関係から UV 計を用いた消毒剤の注入率制御の有効性について検討した。ここで、消毒剤の必要量は、下水試料に DPD 粉末を加えて、かくはんしながら有効ハロゲン濃度 500ppm（塩素換算）の次亜臭素酸を加えていき溶液が赤色を呈したときの次亜臭素酸の添加量から計算した。UV 吸光度と消毒剤の必要量との関係を図 8 に示す。

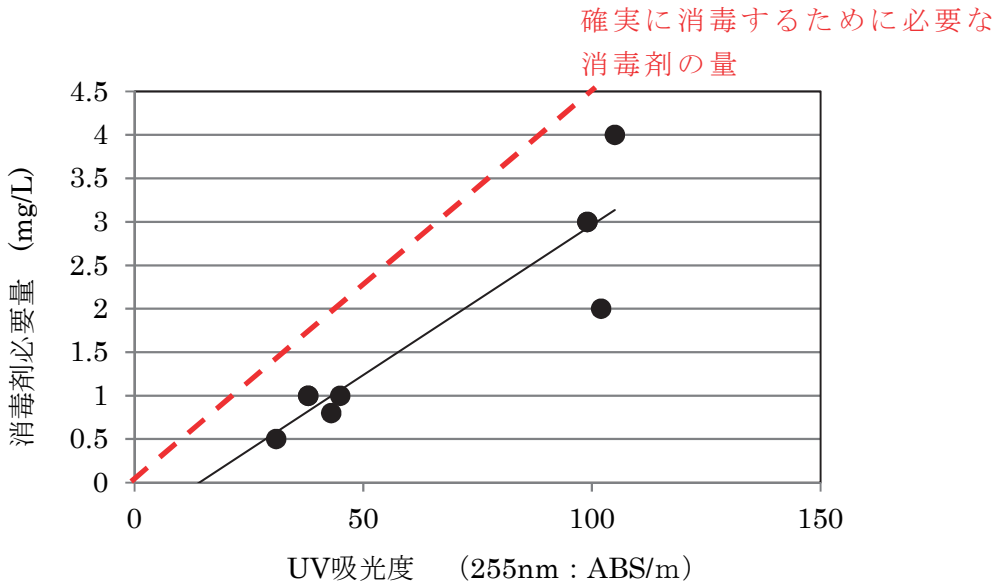


図 8　降雨時における流入水の UV 計指示値と消毒剤必要量の関係

両者には正の相関関係が認められ、UV 計を用いて消毒剤の適正な注入率の制御が可能と考えられる。ただし、UV 計で検知できるのは有機物濃度であるため硫化物など UV 計で検知できない成分による消毒剤の消費分を考慮して、図 8 の赤線で示したように近似線を上方修正して注入率を制御する必要がある。

雨天時放流水の消毒では、放流開始から経過時間に対して注入率を段階的に下げていく方法を採用しているが、雨の降り方は一様ではなく、この方法では、降雨強度の差などによる水質の変動に対して消毒剤注入率を適正に追従させることができない。また、確実に消毒を施すため現行の注入率制御方法では過剰な注入が避けられない。UV 計を用いた注入率制御を導入することでより効率的な注入が可能と考えられる。

４．５　次亜塩素酸ナトリウムと臭化ナトリウムの混合比率の適正化

臭化ナトリウムは次亜塩素酸ナトリウムに比べて薬品単価が 9 倍程度と高価であるので、

臭化ナトリウムの混合割合を下げることで薬品費を削減できる。本技術の場合、使用直前に二液を混合することから、放流水質や放流量などの状況の変化に応じて二液の混合割合をリアルタイムで調節することができる。

次亜塩素酸ナトリウムに対して臭化ナトリウムの混合割合を少なくするほど次亜臭素酸の生成割合が減少するので消毒に要する時間が長くなっていくと考えられる。雨天時放流水の量は雨の降り方によって大きく変動する。放流までの消毒剤との接触時間は放流量に反比例するので放流量（接触時間）に応じて臭化ナトリウム溶液の混合割合を調節することで薬品費の低減が可能となる。

このため、臭化ナトリウムの混合割合と消毒の速効性の関係を調べた。消毒剤との接触時間に対する大腸菌群数の変動を調べることで消毒の速効性を確認できるが、この方法は比較的煩雑であるので残留ハロゲン濃度の比較から速効性を評価した。注入した消毒剤は、消毒作用等に伴い消費されることから、有効ハロゲン添加量（塩素換算）を同じにして一定時間経過（ここでは添加 1 分）後の残留ハロゲン濃度（塩素換算）を比較することで消毒の即効性の定量的な評価ができる。実験では、流入下水に対する次亜塩素酸ナトリウムの注入量を同じとして臭化ナトリウムの混合割合を段階的に変えて注入し、1 分後の残留ハロゲン濃度を測定した。その結果を図 9 および図 10 に示す。

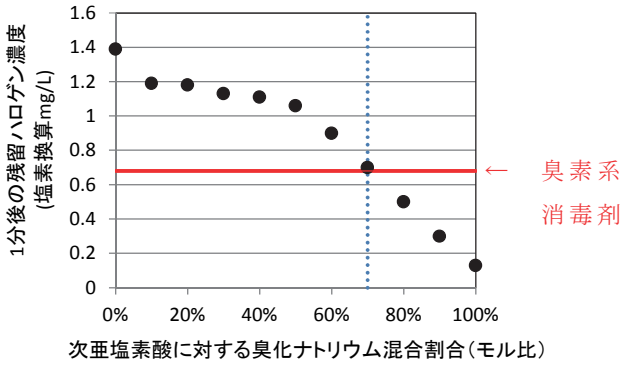


図 9　臭素の割合と残留ハロゲン濃度の関係
（降雨の影響なし）
（ハロゲン添加率：塩素換算 4.8ppm）

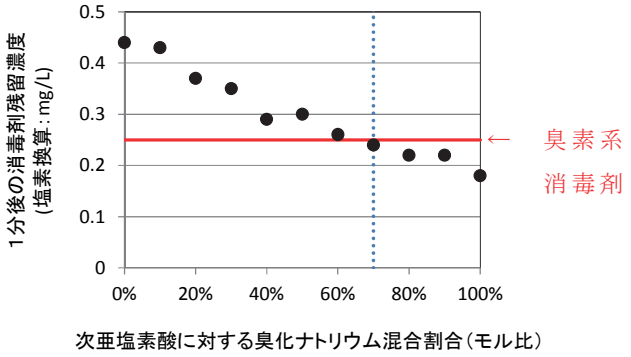


図 10　臭素の割合と残留ハロゲン濃度の関係
（降雨の影響あり）
（ハロゲン添加率：塩素換算 0.6ppm）

赤線は、臭素系消毒剤について同量の有効ハロゲン（塩素換算）を注入したときの残留ハロゲン濃度(塩素換算)を示している。残留ハロゲン濃度は臭化ナトリウムの混合割合が高まるほど下がっており消毒の速効性が向上していることが確認できた。臭化ナトリウムの混合割合が 70%のときに臭素系消毒剤と同レベルの残留ハロゲン濃度となった。これは降雨の影響の有無にかかわらず同じ結果となっており、次亜塩素酸ナトリウムに対して臭化ナトリウムの混合割合を 70%とすることで臭素系消毒剤と同程度の即効性が得られると考えられる。前述で次亜臭素酸での消毒では残留ハロゲンが検出されにくいことを示したが、臭化ナトリウムの混合割合を 70%とすることで臭素系消毒剤と同程度の速効性が得られ、かつ、残留ハロゲン濃度も同程度になることから、本法の臭化ナトリウムの混合割合は 70%を標準とした。

確認のため、次亜塩素酸ナトリウムの注入量を同じとして臭化ナトリウムの混合割合を段階的に変えて消毒性能を比較した。その結果を図 11 に示す。

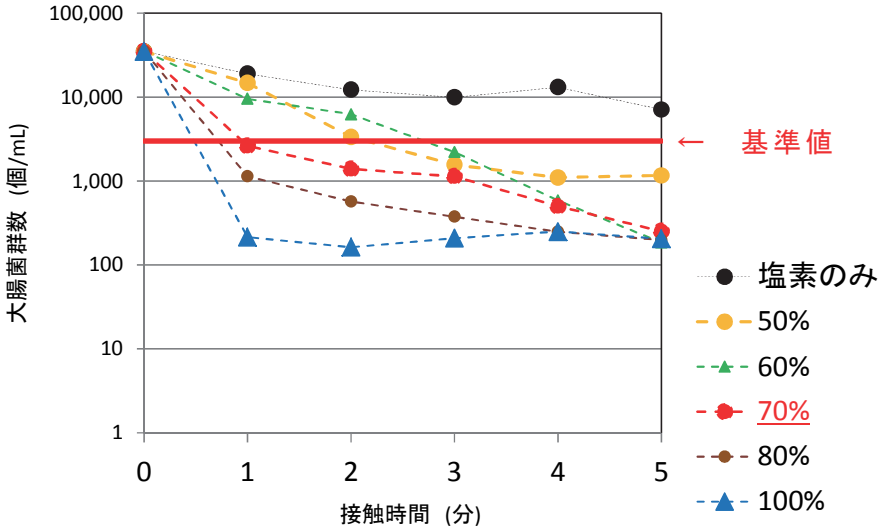


図 11　次亜塩素酸ナトリウムに対する臭化ナトリウムの混合割合と消毒状況

次亜塩素酸ナトリウムに対する臭化ナトリウムの混合割合が高いほど放流基準である大腸菌群数 3,000 個/cm^3 以下に下がるまでに必要な接触時間が短くなる傾向が確認できた。なお、次亜塩素酸ナトリウムに対する臭化ナトリウムの割合が 70%以上では 1 分以内で消毒が完了した。

４．６　次亜塩素酸および次亜臭素酸における消毒副生成物

次亜塩素酸ではクロロホルムなどのトリハロメタンが生成されることが知られている。次亜臭素酸および次亜塩素酸を加えたときの消毒副生成物の生成量を比較した。同一試料にそれぞれの消毒剤の添加量を段階的に増やして 5 分後のトリハロメタン濃度を比較した結果を図 12 および図 13 に示す。

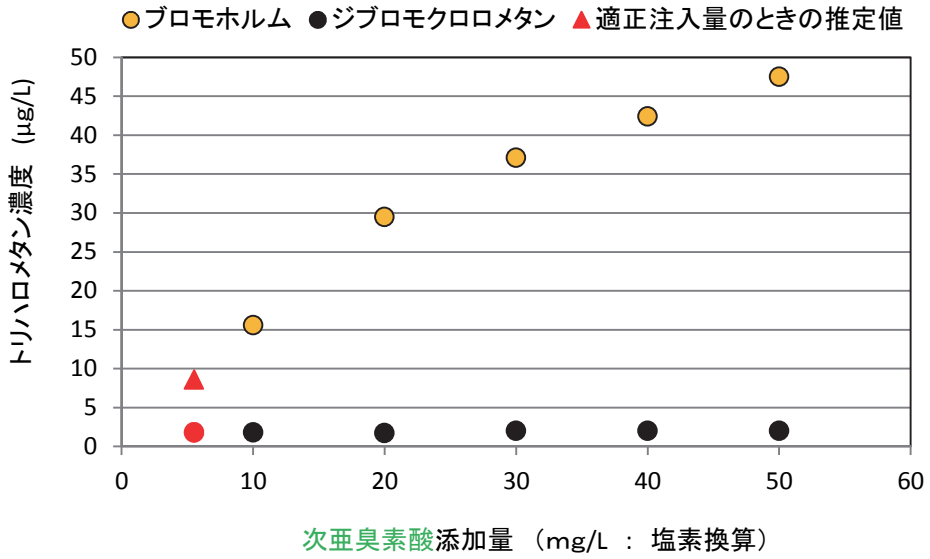


図 12　次亜臭素酸添加量とトリハロメタン生成量の関係

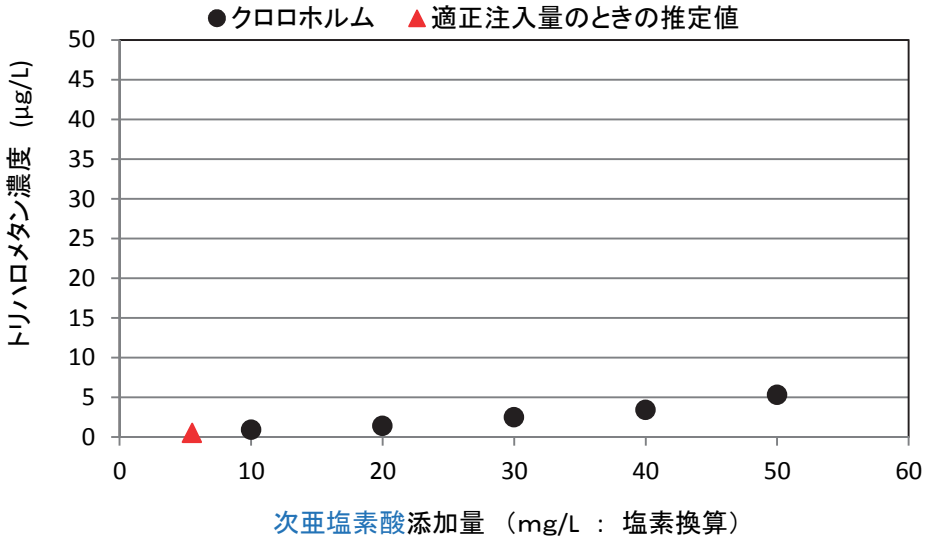


図 13　次亜塩素酸添加量とトリハロメタン生成量の関係

次亜臭素酸の添加ではブロモホルムとジブロモクロロメタンが発生した。特に、ブロモホルムは生成量が多く、次亜臭素酸の添加量が多くなるほど濃度が高くなった。図 12 において内挿により消毒の適正量（この時の試料では 5.5ppm 添加）のときにはブロモホルム濃度が 9μg/L と推定される。試験条件が異なるが、現行の臭素系消毒剤での実験でも同様にブロモホルムとジブロモクロロメタンの生成が確認されている[2]。一方、図 13 で示したように次亜塩素酸の添加ではクロロホルムのみが発生し、その濃度は次亜臭素酸のときのブロモホルムに比べて 1／10 程度と少ない。トリハロメタンの生成量は、消毒剤の注入率が多くなるほど増すので過剰注入の防止が重要である。

なお、4 種のトリハロメタンの毒性評価について、クロロホルムおよびブロモジクロロメタンが IARC（国際がん研究機関）において Group 2B（発癌性があるかもしれない物質）として勧告されているが、ジブロモクロロメタン、ブロモホルムは Group 3（発癌性を分類できない物質）に分類されており、現段階では、クロロホルムよりもブロモホルムの方が毒性は低いとされている。

５　プラントを用いた実験

下水に注入した次亜臭素酸は速やかに分解されるため、注入点での混合が不十分な場合、消毒効果が得られない可能性がある。効果的な混合方法を検討するため、下記の実験プラントを用いて渦巻きポンプによるかくはんと混合ノズルを用いたかくはんの 2 種類で消毒状況を確認した。

設備概略　：実験プラント（H1,000mm×W1,000mm×L21,540mm）
揚水量約 0.8m^3/min（水位 800mm、滞留時間 22 分）

５．１　ポンプかくはんによる消毒効果

プラント末端に取り付けた遠心式の渦巻きポンプのサクション側に次亜臭素酸を注入して、ポンプの出口から分析試料を採取し、1 分後に残留ハロゲンを除去して大腸菌群数を測定した（実験実施日は降雨の影響がない日であった）。

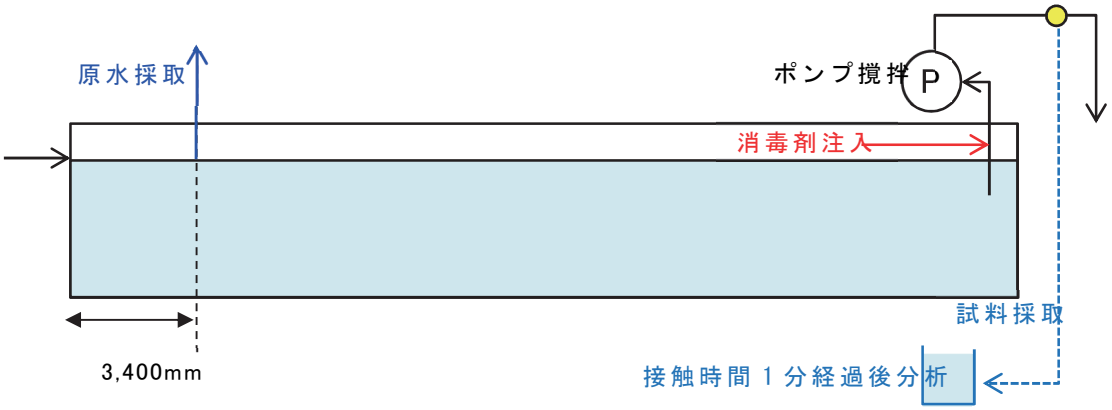


図 12　渦巻きポンプによるかくはん調査の概略図

表１　原水水質データ

採取日時	TOC [mg/L]	BOD [mg/L]	COD [mg/L]	NH4-N [mg/L]	UV255 [abs/m]
H29.9.21 14:00	25	81	56	23.7	99.7
H29.9.21 14:15	25	128	62	23.3	102.3
H29.10.12 14:00	31	100	54	24.5	130.6
H29.10.12 14:00	31	100	54	24.5	130.6

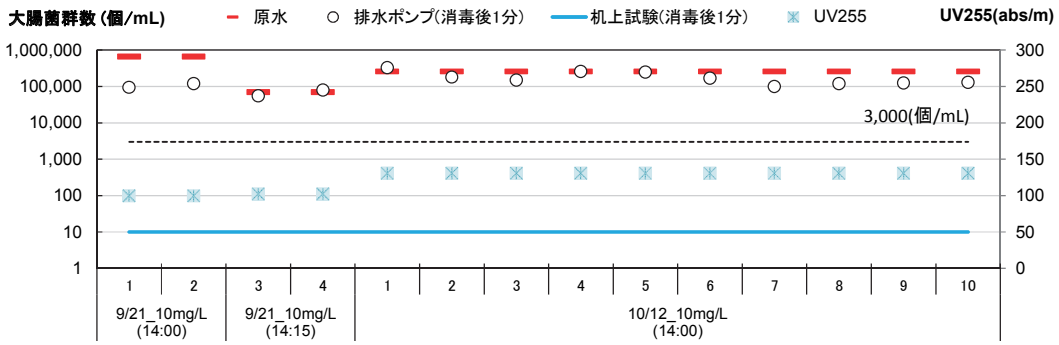


図 13　ポンプかくはんによる試験結果

図 13 から渦巻きポンプを用いたかくはんでは消毒効果がほとんど得られなかった。この理由について、スタテックミキサーによる混合との比較により以下のとおり考察した。

①スタテックミキサーで混合を行う場合

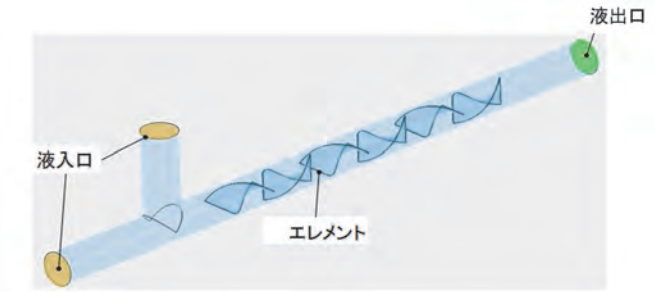
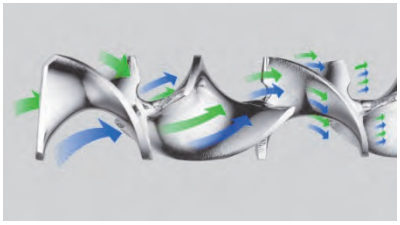


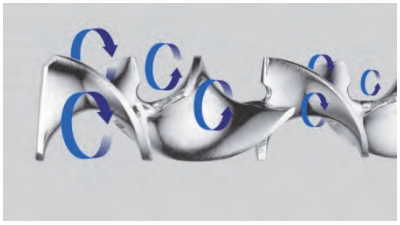
図 16　スタテックミキサーの基本構造[3]

一般的な混合は貯槽と攪拌機によって行われるが、連続混合となるとスタテックミキサー（静止型混合器）が一般的である。図 16 に一般的なスタテックミキサーを示した。左か

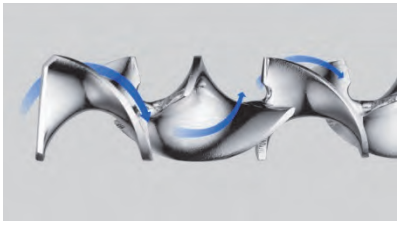
ら入った混合液は左右それぞれのエレメントを通過する際に”分割作用”、”転換作用”および”反転作用”により混合される。図 17 のようにエレメント通過毎に混合液は分割され混合が促進される。



［分割作用］
流体は一つのエレメントを通過するごとに 2 分割される。分割数 $N=2^n$（n はエレメント数）



［転換作用］
流体は、エレメント内のねじれ面に沿って管中央部から壁部へ、管壁部から中央部へと並べ替えられる。



［反転作用］
流体は 1 エレメントごとに回転方向がかわり急激な慣性力の反転を受け乱流撹拌される。

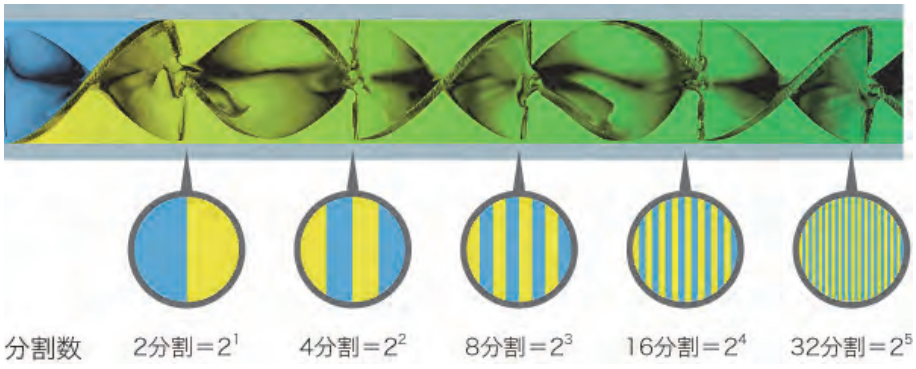


図 17　スタテックミキサーの分割、転換、反転作用[4]

スタテックミキサーによる混合はこの分割作用、転換作用および反転作用によって行われる。

②渦巻きポンプの場合

渦巻きポンプでは、羽根車によって遠心力を与えられ、ケーシングにて圧力を得ている。このときの混合に着目すると、羽根車とケーシング部において乱流による反転作用は期待されるがその他の混合作用はなく、1 回のみである。従って、スタテックミキサーと比べて混合能力が低く、渦巻きポンプによる混合は難しいといえる。

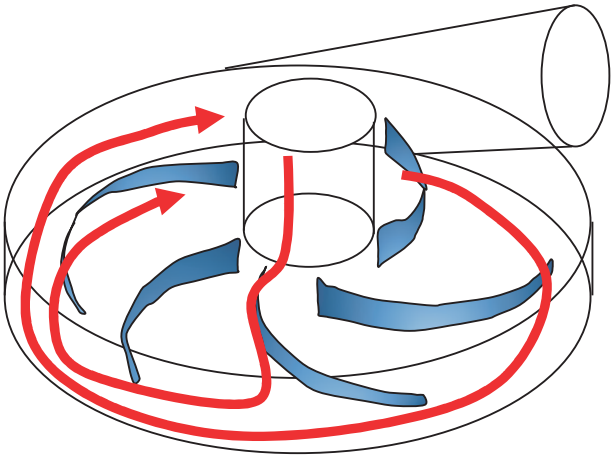


図 18　渦巻きポンプの模式図

上記の検討はポンプ内部での混合状態を考察したものである。実施設の場合、ポンプでくみ上げた水を導水渠に送り込む際に発生する乱流によってある程度混合が期待でき、現状では臭素系消毒剤の使用で消毒効果が得られており、これまでの実績で消毒に支障がなければ消毒剤を次亜臭素酸に切り替えても同程度の消毒効果が得られると考えられる。

５．２　混合ノズルを用いた注入による消毒効果

本研究では、被消毒水と消毒液を速やかに混合するためのノズル（混合ノズル）を開発した。その構造と混合の仕組みを図 19 に示す。

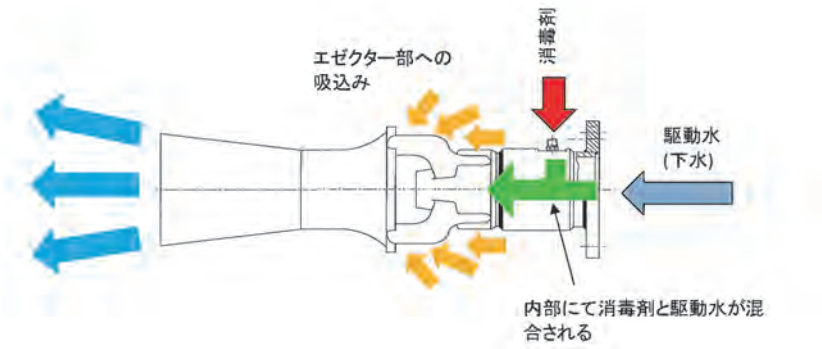


図 19　混合ノズルの概略図

混合ノズルは、駆動水として流入下水を使用し、これと消毒剤を内部で混合し、更に駆動水によりエゼクター部への吸込み効果が生じ､混合ノズル周辺では駆動水の 10 倍程度の拡散水が形成され池内に広まっていく。これにより、かくはん、混合、均一化を行うものである。混合ノズルの配置は、CFD 解析の結果より流れ方向に対して向流に配置することが望ましい（向流とすることで乱流の範囲を広くできるため)。CFD 解析結果の例を図 20 に示す。

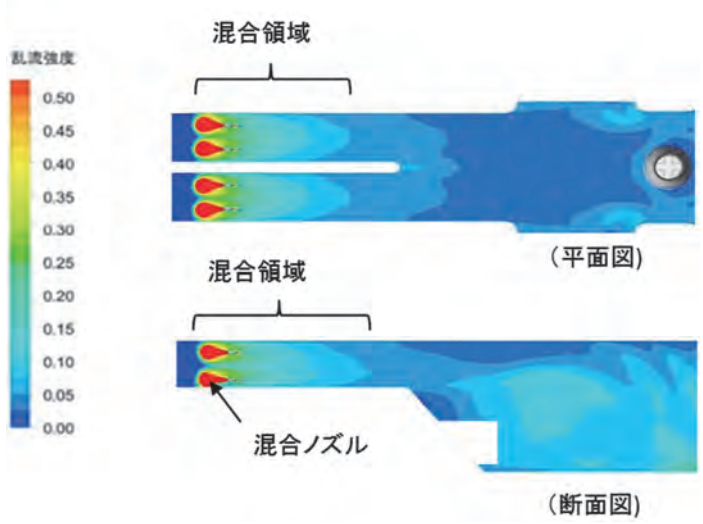


図 20　混合ノズルを向流に配置した際の沈砂池内の乱流強度（CFD 解析結果）

図 20 は、沈砂池 1 水路に向流方向に混合ノズルを 2 列 2 段で配置した時の混合状態を示したものである。混合ノズルを設置した地点で乱流強度が非常に高くなっており速やかに薬剤の混合が行われることがわかる。

図 21 示すように実験プラントに小型の混合ノズルを設置して消毒実験を行った(実験実施日は降雨の影響がない日であった)。

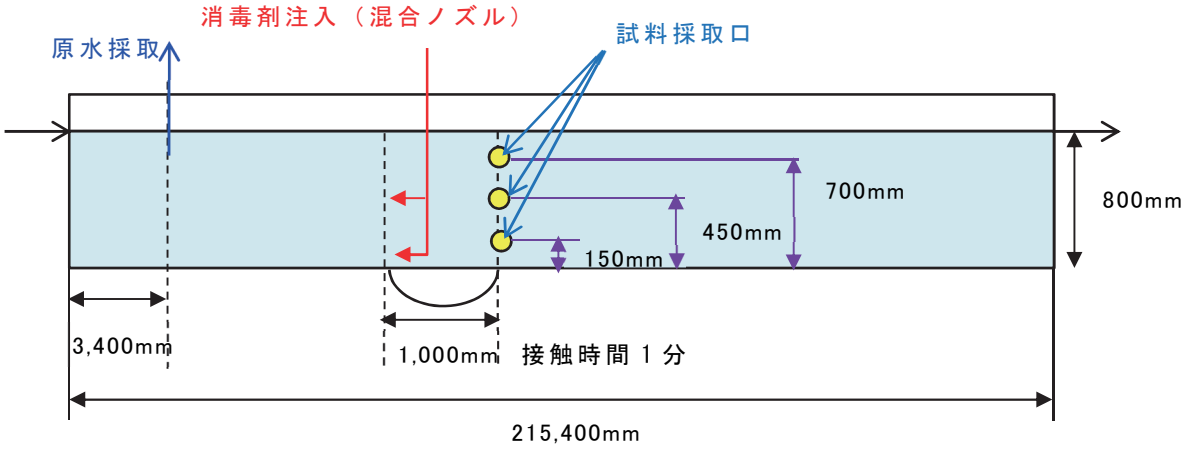


図 21　混合ノズルを用いた消毒調査の概略図

表 2　原水水質データ

採取日時	TOC	BOD	COD	NH4-N	UV255
	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[abs/m]
H30.2.16 10:08	25	80	70	25.8	176
H30.2.16 11:00	24	120	84	28.3	179
H30.2.16 12:00	23	99	64	27.8	163
H30.2.16 13:00	24	95	75	26.5	163
H30.2.16 14:00	25	85	80	26.5	171
H30.2.16 15:00	25	90	84	27.5	163
H30.2.16 15:40	24	100	82	28.0	174

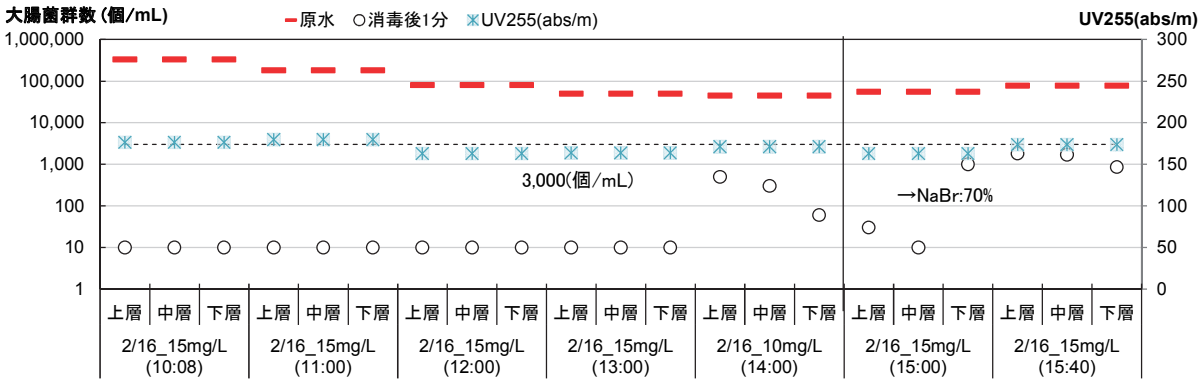
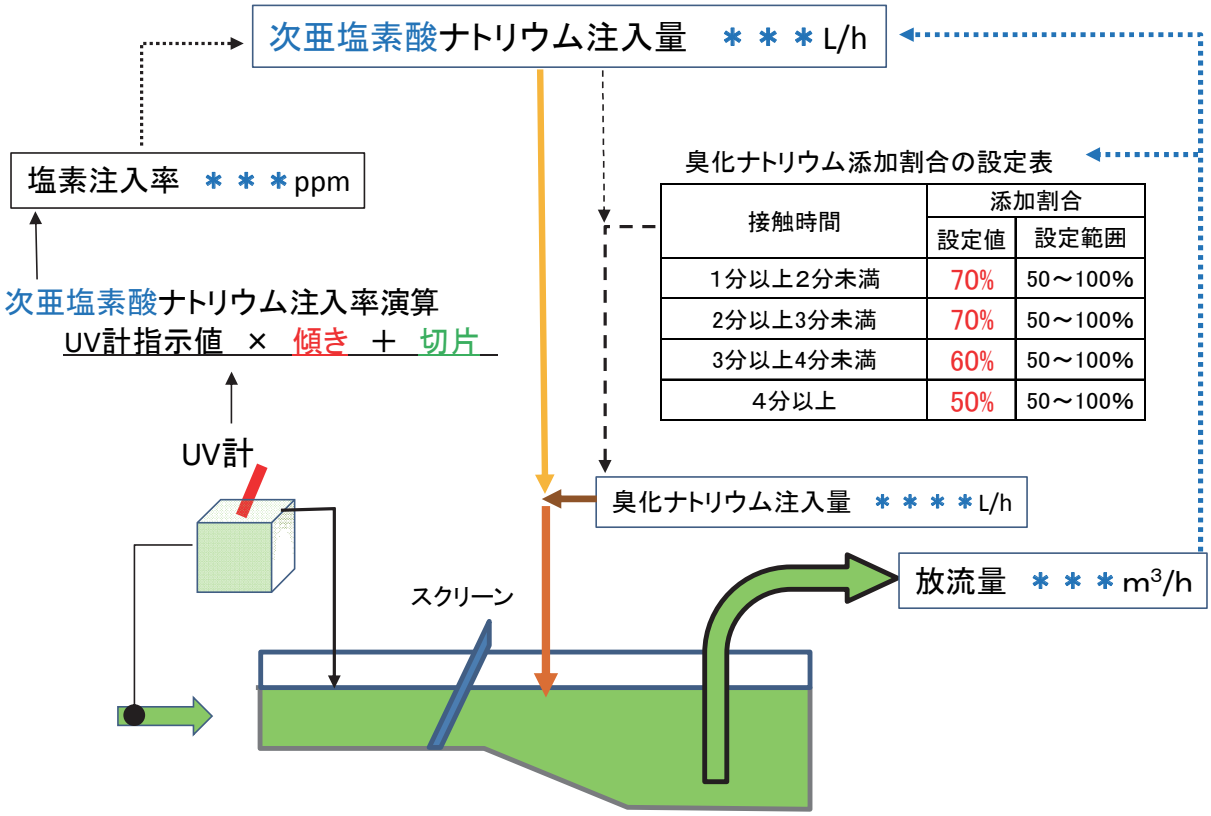


図 22　混合ノズルを用いた試験結果

混合ノズルを用いた消毒実験では適切な消毒剤の注入率が確保できていれば 1 分以内に消毒を完了することができた（図 22）。また、次亜塩素酸ナトリウムに対する臭化ナトリウムの混合割合をモル濃度で 70%とした場合においても、適切な消毒剤注入率が確保することで 1 分以内での消毒が可能であった。

6　効率的な消毒方法の検討

雨天時放流水の水質の変化に対して消毒剤注入量の制御を適正に行うため、UV 計を用いて制御する方法を以下に示す。なお、UV 吸光度と消毒剤必要量の関係に関するパラメータ（傾き、切片）は現場で実際の消毒状況を確認しながら調整する必要がある（図 23）。



接触時間	添加割合	
	設定値	設定範囲
1分以上2分未満	70%	50～100%
2分以上3分未満	70%	50～100%
3分以上4分未満	60%	50～100%
4分以上	50%	50～100%

図 23　雨水放流水の消毒剤注入量制御のイメージ

ここでの次亜塩素酸ナトリウムと臭化ナトリウムの注入量の制御の考え方は以下のとお

りである。
①UV 吸光度と消毒剤必要量の関係線から次亜塩素酸ナトリウムの注入率を求める。
　図 23 中の　次亜塩素酸ナトリウム注入率演算での傾きと切片の値を入力
②上記の注入率に対して放流水量から次亜塩素酸ナトリウムの注入量を制御する。
③放流量から接触時間を求め、あらかじめ設定していた接触時間に対する臭化ナトリウム溶液の注入割合から臭化ナトリウムの注入量を制御する。
　図 23 中の　臭化ナトリウム添加割合の設定表　で設定値（割合）を入力

7　維持管理上の注意点

7．1　次亜塩素酸ナトリウムの劣化

次亜塩素酸ナトリウムは保存中に劣化していくため、本技術で使用する次亜塩素酸ナトリウムは原則として既設の高級処理水の消毒用に使用している次亜塩素酸ナトリウム溶液貯蔵タンクと併用することが望ましい。設備設置面積等の制約により既設のタンク利用が難しい場合は注入点付近に次亜塩素酸ナトリウム溶液の貯蔵タンクを新設する。ただし、この場合は劣化しにくい次亜塩素酸ナトリウム溶液（低食塩次亜）を使用する。ここで使用する次亜塩素酸ナトリウム溶液は通常の薬品に比べて単価が 2.5 倍程度になる。

7．2　消毒効果の確認方法

消毒剤の過不足は、これまでと同様に、残留ハロゲン濃度から判断する。次亜塩素酸ナトリウムに対する臭化ナトリウムの混合割合を 70%とすることで現行の臭素系消毒剤と同程度の残留ハロゲン濃度が検出されるようになる（図 9 および図 10）。放流量が多く接触時間が極端に短い場合には臭化ナトリウムの混合割合を 70%よりも増やすことで短時間に消毒効果が得られるが、この場合、消毒剤が適正に注入されていても残留ハロゲン濃度が検出されにくくなるので注意が必要である。

8　本技術での施設の構成

本技術での消毒施設の構成は以下のとおりである。
(1) 薬品貯蔵タンク（次亜塩素酸ナトリウム溶液：既設、臭化ナトリウム溶液：新設）
(2) 薬液注入ポンプ（新規）
(3) 反応器（二液を混合：新設）
(4) 混合ノズル（混合に懸念がある場合は必要に応じて新設）
(5) UV 計等（水質の変動に対する注入率制御を採用する場合）

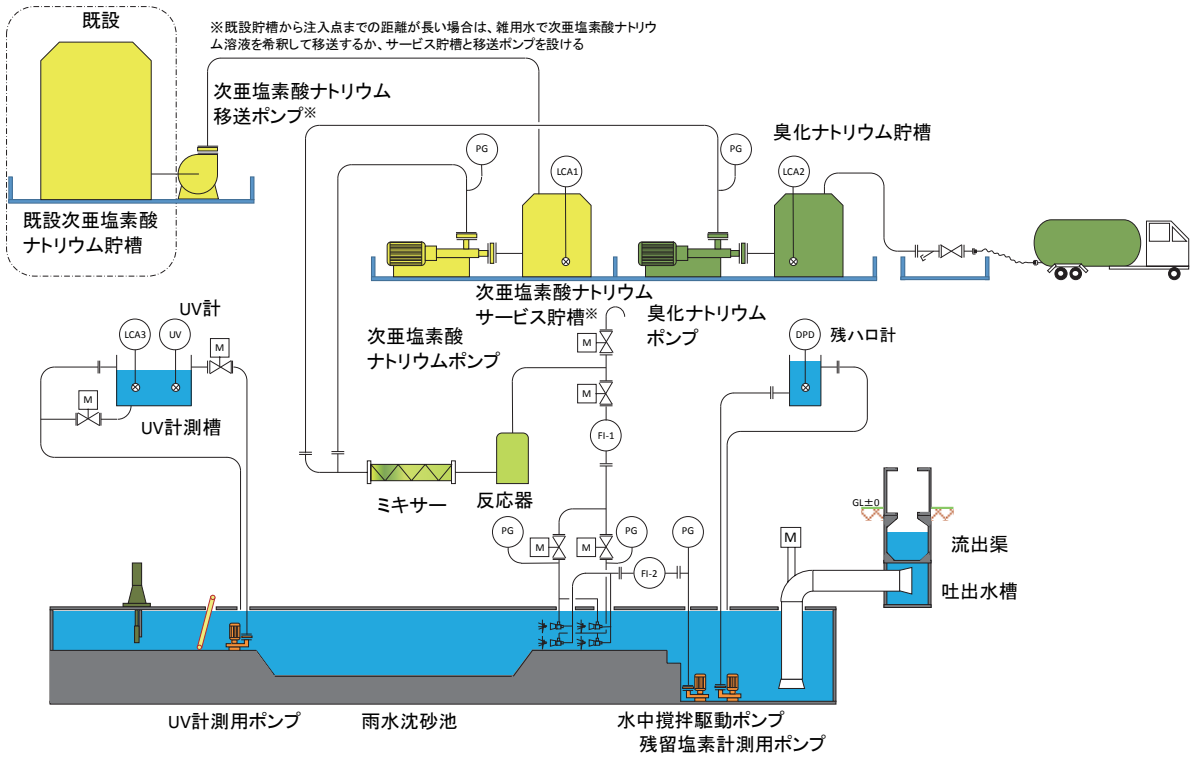


図 24　本技術による消毒施設の構成（雨水放流水の消毒）

9　コスト比較

次亜臭素酸の設備導入コストは、臭素系消毒剤に比べて薬剤の溶解槽が不要になるなどにより半額以下となる。

薬剤に係る費用は、次亜塩素酸ナトリウムに対して臭化ナトリウムの混合割合を 70%とすると、臭素系消毒剤に比べて、次亜臭素酸の場合は半額以下になる（表３）。

表３　薬品単価の比較

	薬品単価の比	有効ハロゲン１kg（塩素換算）当たりの薬品費の比
次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素12%）	1	1
臭素系消毒剤（有効ハロゲン54%	97	22
次亜臭素酸（二液混合）		臭化ナトリウム添加割合 70%のとき 10
次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素12%）	1	
臭化ナトリウム溶液（20%）	13	

薬品単価はH27契約単価を使用

10　まとめ

臭素系消毒剤の代わりに雨天時放流水を短時間に消毒でき、かつ低廉で維持管理容易な消毒技術を開発した。次亜塩素酸ナトリウムと臭化ナトリウムの二液を混合して次亜収差お産を生成することで臭素系消毒剤と同等の消毒性能が得られることが分かった。研究結果のまとめを以下に示す。

・次亜臭素酸は二液の混合により 3 分程度で生成できるが、生成した次亜臭素酸は分解しやすいことから使用時に二液を混合して生成する。
・次亜塩素酸ナトリウムに対する臭化ナトリウムの混合割合を 70%とすることで、臭素系消毒剤と同程度の速効性と残留ハロゲン濃度が得られる。
・注入した次亜臭素酸は速やかに分解するため、注入点における被消毒水との混合が重要である。混合ノズルを用いるなど注入点での混合に注意し、適切な消毒剤注入率が確保できていれば 1 分以内に消毒が完了する。
・UV 計を設置して消毒剤の注入率を制御することで、現行の放流開始からの経過時間による注入率制御よりも効率的な注入が可能と考えられる。
・コスト試算の結果、次亜臭素酸による消毒は臭素系消毒剤と同程度の消毒効果をもちながら、設備導入費用、薬品費ともに臭素系消毒剤に比べて大幅に下回る。

参考文献

1　平野　晃　「臭化カリウム添加による次亜塩素酸消毒の効果の向上について」
第42回下水道研究発表会講演集
2　小峯純夫、名川 忠、安斎純雄「速効性消毒剤を用いた注入システムの開発」
東京都下水道局技術調査年報2001
3　ノリタケカンパニーHP　「スタテックミキサーの基本構造」
(http://www.noritake.co.jp/products/eeg/support/mixing/mixer_character.html)
4　マーキュリー・サプライ・システムス（株）HP　「スタテックミキサーの分割、転換、反転作用」(http://www.mssc.co.jp/mixer/)

本報告は、東京都下水道局、AGC ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ㈱、ｱｸｱｲﾝﾃｯｸ㈱、㈱フソウおよびメタウォータ㈱との共同研究(平成 28～29 年度)の結果をまとめたものである。

2-1-2　下水処理における消毒効果の検証(その 1)

流域下水道本部技術部　施設管理課　水質保全担当
○青木陽平　和光一紀(現水道局)　河野由美　福田宗昭

1 はじめに

環境省の生活環境項目環境基準専門委員会において、大腸菌に関する環境基準値の新設が検討されている。大腸菌群の一種である大腸菌は、主に人や動物の腸管内に存在することから、糞便汚染の直接的な指標となる。このことから、今後大腸菌群に代わり大腸菌に関する環境基準が新設された場合、水再生センターでは現在よりも厳しい消毒処理が求められる可能性があり、実態把握や管理手法の検討が急務である。放流水の大腸菌については、平成 25 年度に流域下水道本部で各水再生センターを対象とした実態調査を実施しているが、当時の調査では分析手法の比較に主眼が置かれており、大腸菌数の測定回数が十分でないほか、管理手法の検討も実施していない。

これを踏まえ、今回の調査では、放流水の大腸菌数について、時間変動を含む詳細な実態把握や、適切な塩素注入率等の消毒方法についての検討を目的とした。調査は、平成 28 年度から 3 か年計画で流域下水道本部の全水再生センターを対象として行うこととした。本稿では、平成 28 年度に北多摩二号水再生センター(以下、北二とする。)、浅川水再生センター(以下、浅川とする。)で実施した調査結果を報告する。

2 調査内容・方法

2.1　放流水大腸菌数実態調査

(1)調査概要

自動採水器を使用して塩素接触槽前後の放流水を 2 時間ごと 24 時間連続で採水し、大腸菌数等(大腸菌数及び大腸菌群数)の日間での濃度変動を調査した。なお、本調査は自動採水器の採用により、採水チューブでの汚染や、時間経過による水質劣化等が懸念されることから、汚染や劣化の有無を確認するため、自動採水器での採水開始時と採水終了時に、滅菌した採水器具で放流水を直接採水し、大腸菌数等を測定した。自動採水器と直接採水の分析結果の違いは、採水開始時においては採水チューブと時間経過の影響が、採水終了時においては採水チューブのみの影響が考えられることから、それぞれにおいて分析結果を比較し、必要に応じて自動採水器の分析結果を補正することとした。

調査は北二・浅川を対象とし、高水温期と低水温期の 2 回ずつ実施した。また、測定手法について、大腸菌数は過去の調査結果から今後公定法として採用される可能性が高いと考えられたコリラート(QT トレイ)法、大腸菌群数は各水再生センターで実施しているデソキシコール酸塩寒天培地法を用いた。

(2)調査方法

①調査期間

【第一回（高水温期)】

北二：平成 28 年 10 月 26 日 11:00 ～27 日 9:00(2 時間ごと採水)

浅川：平成 28 年 10 月 31 日 11:00～11 月 1 日 9:00 (2 時間ごと採水)

【第二回（低水温期)】

北二：平成 29 年 1 月 17 日 11：00～18 日 9：00(2 時間ごと採水)

浅川：平成 29 年 1 月 23 日 11：00～24 日 9：00(2 時間ごと採水)

②使用した自動採水器

使用した自動採水器（**図 1**）の仕様を**表 1** に示す。採水口付近に電源がない場合が想定されたことから、バッテリーで駆動し、採水口の深さを考慮して揚程を十分に確保できるものを選定した。採水容器には脱塩素のため、あらかじめチオ硫酸ナトリウムを添加した。また、24 時間連続で採水することから、採取後のサンプルが速やかに冷却され、冷却状態が保持されるよう、自動採水器の内部には多数の冷媒を入れた。

図 1　自動採水器の外観

表 1　自動採水器の仕様

名称	ISCO　ウォーターサンプラー
型式	6712
電源	AC100V、DC12V
重量	15kg
採水方式	ペリスタリックポンプ方式
採水高さ	8.5m
容量	1L×24本
採水速度	0.77m/秒(高さ6mの場合)

③分析項目および分析方法

分析項目および分析方法を**表 2** に示す。水温と pH は自動採水器の採水開始時に直接採水した試料の分析を行った。消毒効果に影響を与える可能性のある項目(SS、COD、NH4-N)は自動採水器の試料も分析を行った。

表 2　分析項目および分析

分析項目	分析方法
大腸菌数	コリラートを用いた最確数法（36℃、24時間培養）
大腸菌群数	JIS K0102-72.3　デソキシコール酸塩培地法（36±1℃、18～20時間培養）
水温、pH、SS、COD、NH4-N	下水試験方法

なお最確数法の単位は本来「MPN/100ml」であるが、コロニー計数法「CFU/ml」と直接比較するため、本稿では単位を「MPN/ml」（定量下限 0.1MPN/ml）に換算した。

2.2　不活化定数の導出と塩素注入手法の検討

(1)調査概要

大腸菌数等の不活化率(接触時間経過後の濃度の初期濃度に対する割合)と残留塩素濃度及び接触時間の関係は、以下の(1)式で表される。(1)式中の定数 k は不活化定数で、これを導出することで、残留塩素濃度と接触時間の積（CT 値）から大腸菌数等の不活化率を推定することが可能となる。このことから、不活化定数導出を目的にテーブル実験を行った。また、導出した不活化定数について、実際の大腸菌の処理状況と照らし合わせて妥当性を評価した後、大腸菌の消毒のための適正な塩素注入手法について検討した。

【Chick-Watson の式】

$$log\left(\frac{N}{N0}\right) = k \cdot C \cdot T \quad (1)$$

N：放流水中の大腸菌(群)数
N0：塩素接触槽前の大腸菌(群)数
k：不活化定数(L/mg/min)
C：残留塩素濃度(mg/L)
T：接触時間（min）

C：残留塩素濃度（mg/L）

(2)調査方法

①不活化定数導出のためのテーブル実験

北二及び浅川において、塩素接触槽前(以下、塩接前とする)の処理水に反応槽流入水を添加して実験用の試料を調整した。この際、反応槽流入水の添加量を調整して、大腸菌数等が多いものと少ないものを 2 種類作成した。それら調整試料に一定濃度（4 段階）の塩素を注入し、経過時間ごとに残留塩素濃度と大腸菌数等を測定した。次に、経過時間と残留塩素濃度とから CT 値を求め、大腸菌数等の不活化率との関係を整理して不活化定数を導出した。2.1 と同様に、大腸菌数はコリラート(QT トレイ)法、大腸菌群数はデソキシコール酸塩寒天培地法を用いた。また、実験は北二、浅川それぞれで高水温期と低水温期に 2 回ずつ行った。主な実験条件を**表 3** に示す。

表 3　不活化定数導出のための実験

実験試料	塩素注入率	反応時間
調整下水 （大腸菌数:多）	1.0mg/L 2.0mg/L 3.0mg/L 4.0mg/L	各注入率毎に 10min 20min 30min 40min
調整下水 （大腸菌数:少）	0.5mg/L 1.0mg/L 1.5mg/L 2.0mg/L	

②不活化定数の検証

①で得られた不活化定数を用い、2.1 で測定した塩接前の処理水大腸菌数等から消毒後の放流水大腸菌数等を推定し、同じく 2.1 で測定した消毒後の放流水大腸菌数等と比較した。

③塩素注入手法の検討

①で得られた不活化定数をもとに、各水再生センターでの放流水残留塩素濃度及び接触時間と大腸菌不活化率との関係性を求めた。その結果をもとに、適正な残留塩素濃度や接触時間を検討した。

3 結果と考察

3.1 放流水大腸菌実態調査

はじめに、調査期間中の SS、COD、NH4-N について、**表 4** に採水開始時の分析結果を、**図 2** に時間ごとの分析結果を示す。**表 4** 及び**図 2** より、調査中の塩接前処理水は平常の水質であり、消毒効果に影響を与えるような数値変動は見られなかった。**表 5** に大腸菌数等の調査結果を示す。また大腸菌については、**図 3** に調査中の時間毎分析結果を示す。なお、自動採水器と直接採水の大腸菌数等の分析結果に大きな差はなかったことから、**表 5** 及び**図 3** において、自動採水器の分析結果をそのまま採用している。放流水中の大腸菌数等は、北二・浅川とも時間変動が小さく、北二では大腸菌数 100MPN/ml 以下、大腸菌群数 100～300CFU/ml 程度、浅川では大腸菌数 200MPN/ml 以下、大腸菌群数 50～200CFU/ml 程度だった（**表 5**）。塩素消毒による大腸菌数等の不活化率は、北二、浅川ともに 0.5 より高く、消毒前後で半数以下に減少していた。**図 4** に大腸菌群数に占める大腸菌数の割合を示す。**図 4** より、大腸菌群数のうち、北二では 15～70%が、浅川では 40～90%が大腸菌だった。

表 4　採水開始時の水質測定結果　（塩接前処理水）

		水温	pH	SS	COD	NH4-N
北二	第一回	23.8	6.68	2	6.8	0.5
	第二回	17.4	6.91	<1	6.7	0.2
浅川	第一回	24.3	6.65	3	7.4	0.3
	第二回	18.8	6.47	2	9.0	<0.1

単位：水温（℃）、SS、COD、

表 5　大腸菌数及び大腸菌群数平均値と検出範囲

			塩接前処理水		放流水	
			平均	最大 最小	平均	最大 最小
北二	大腸菌数（MPN/ml）	第一回	208	270 150	63	130 12
		第二回	73	120 50	25	39 14
	大腸菌群数（CFU/ml）	第一回	358	560 230	168	300 60
		第二回	259	480 120	113	180 80
浅川	大腸菌数（MPN/ml）	第一回	333	510 200	89	230 120
		第二回	255	370 150	94	120 45
	大腸菌群数（CFU/ml）	第一回	404	540 280	97	170 40
		第二回	290	360 240	142	180 110

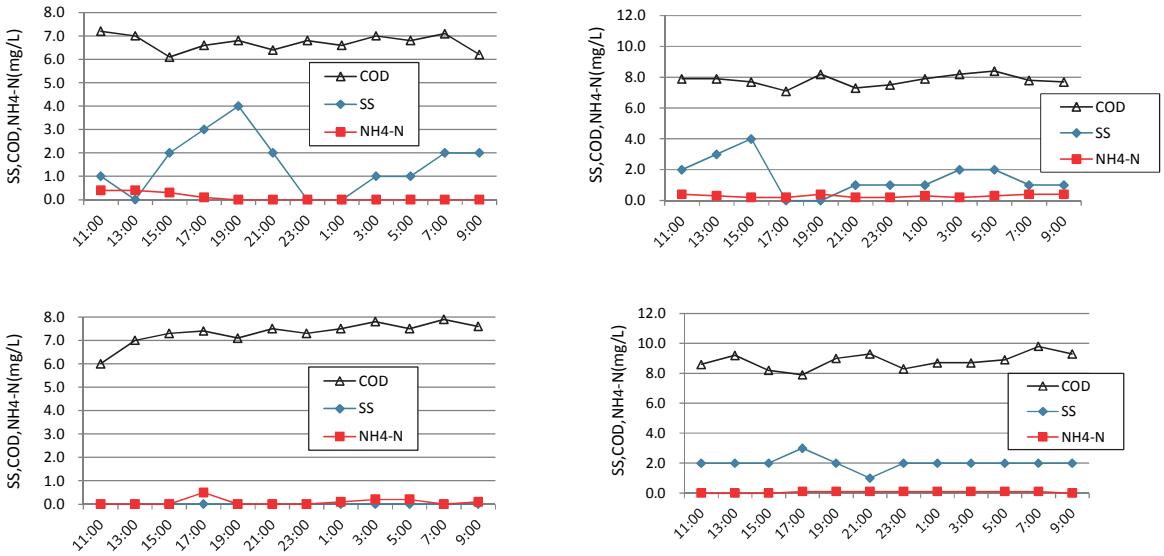


図 2　水質の日変動（左：北二、右：浅川、上段：第一回、下段：第二

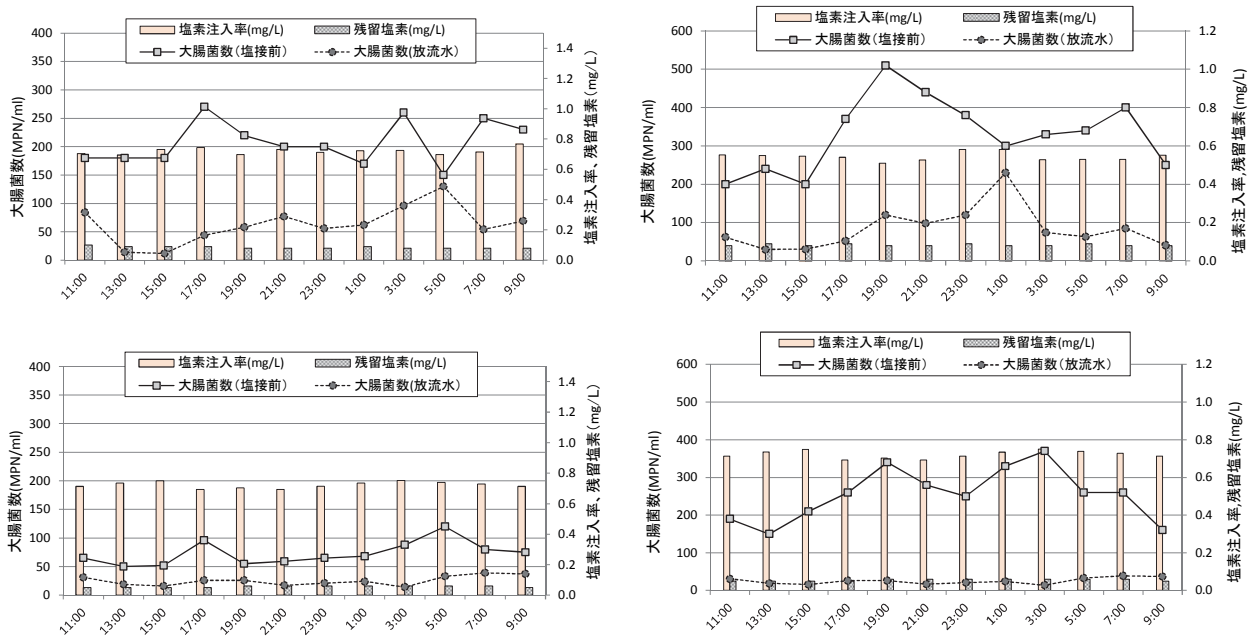


図 3　大腸菌数の日変動（左：北二、右：浅川、上段：第一回、下段：第

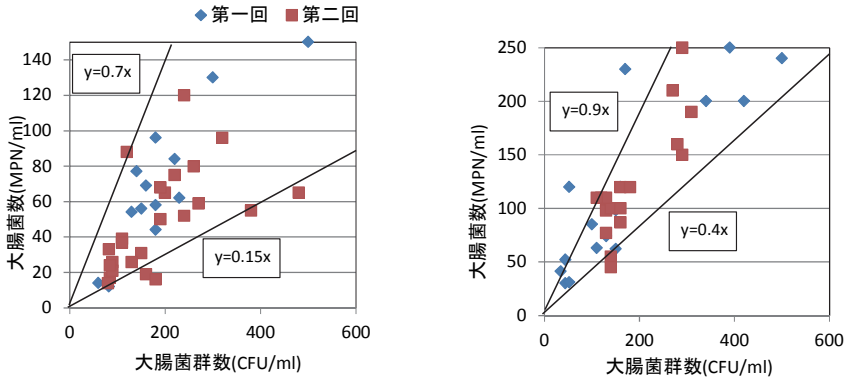


図 4　大腸菌群数に占める大腸菌数の割合（左：北二、右：浅川）

3.2　不活化定数の導出と塩素注入手法の検討

(1) 実験結果

テーブル実験の結果を**図 5、6** に示す。なお、実験開始時には大腸菌数等の初期値が不明のため塩素注入率の範囲を広くとっており（**表 3**）、過剰注入等が原因の異常値が見られたことから、それらのデータを除外している。同図から、大腸菌（群）の不活化率と CT 値は比例関係にあり、不活化定数は第一回と第二回の平均で、大腸菌では北二で-0.065、浅川で-0.089、大腸菌群では北二で-0.065、浅川で-0.083 となった。大腸菌と大腸菌群の間で不活化定数に大きな違いはなく、塩素による消毒効果はおおむね等しいと考えられた。また、不活化定数の平均値は、北二が-0.065、浅川が-0.085 で浅川の方が高い数値となった。これについて、主な原因はクロラミン類の存在比率によると思われるが詳細は不明である。

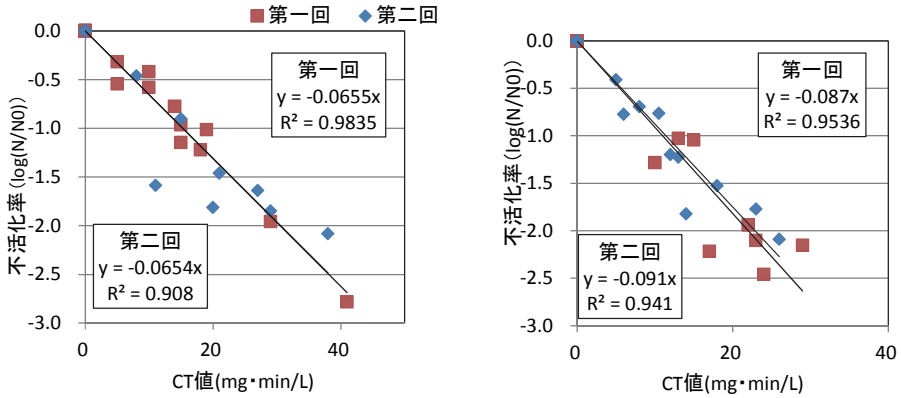


図 5　CT 値と大腸菌不活化率（左：北二、右：浅川）

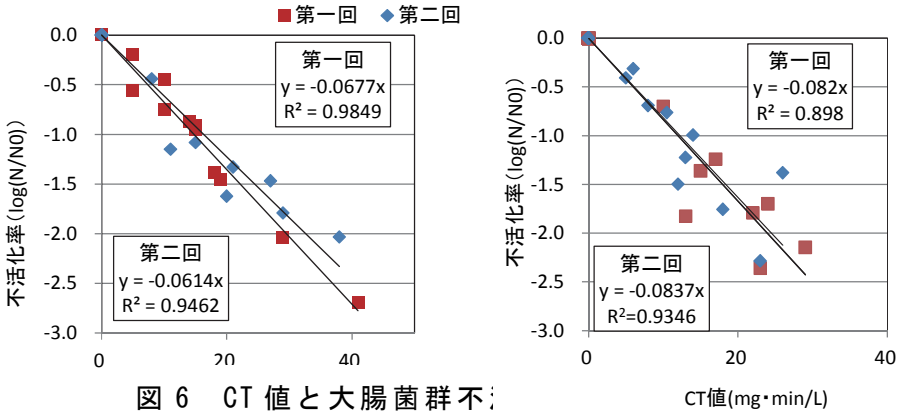


図 6　CT 値と大腸菌群不

(2) 不活化定数の検証

得られた不活化定数及び 3.1 における、時間ごとの残留塩素濃度、塩素接触時間、塩素注入前の大腸菌数等を元に推定した塩素注入後の大腸菌数と、3.1 で実際に測定された塩素注入後の大腸菌数等を比較した。大腸菌数のグラフを**図 7** に、大腸菌群数のグラフを**図 8** に示す。

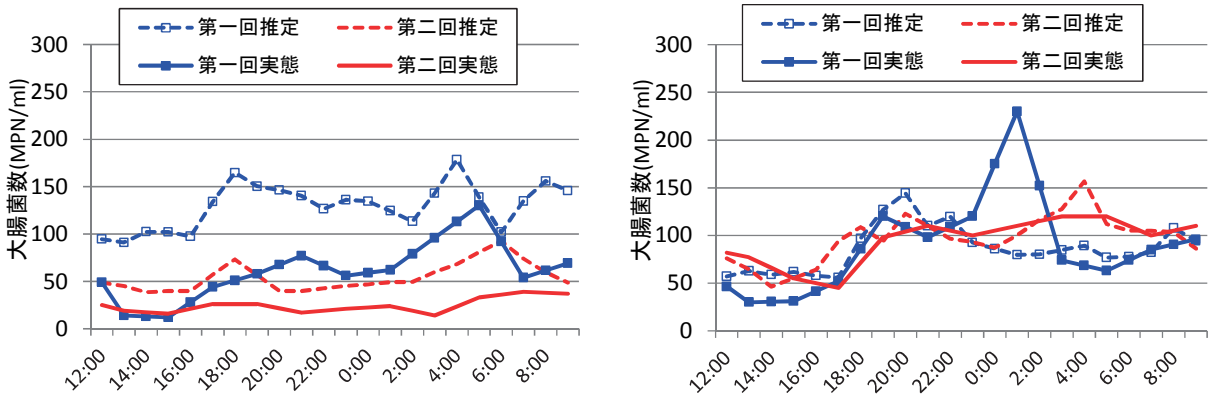


図 7　推定大腸菌数と実態大腸菌数（左：北二、右：

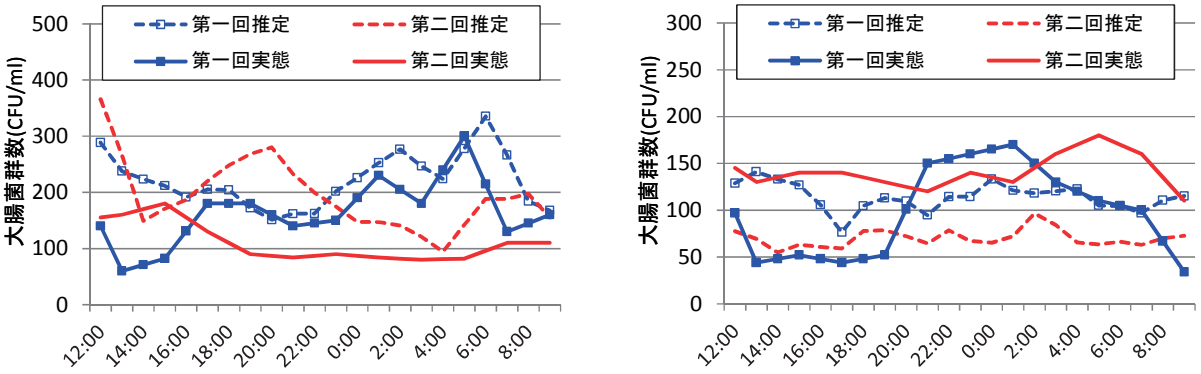


図 8　推定大腸菌群数と実態大腸菌群数（左：北二、右：

北二の大腸菌数では、第一回、第二回調査とも若干推定値の方が実測値より高かった。大腸菌群数では、第一回調査はおおむね一致したが、第二回調査では最大で 300%程度推定値の方が高かった。浅川の大腸菌数では、推定値と実測値はおおむね一致した。大腸菌群数では第一回調査ではおおむね一致したが、第二回調査では一貫して推定値の方が低かった。実測値との間に多少の差異は見られたが、オーダー及び傾向としては大きく外れることもなく、不活化定数の妥当性が示された。

(3)塩素注入手法の検討

得られた不活化定数の値を使い、各水再生センターについて、接触時間及び残留塩素濃度から大腸菌の不活化率（log）を求め、それぞれの関係性をコンター図で整理した。結果を**図 9** に示す。

図中に示す 0.3log、1log、2log の曲線はそれぞれ、不活化率 0.5、0.1、0.01 にあたり、この曲線及び塩素接触時間から大腸菌数の不活化に必要な残留塩素濃度を推定することができる。なお、不活化定数が同一であることから、**図 9** は大腸菌群数についても転用可能である。

図 9 より、目標とする放流水中大腸菌数の不活化率を 0.5 とすると、北二では実際の塩素接触

時間が約 30 分であることから、目安となる残留塩素濃度は 0.15mg/l、同様に浅川では同約 60 分間であることから、目安となる残留塩素濃度は 0.05mg/l となる。北二では、不活化率 0.5 を確保する残留塩素濃度が高いことから、大腸菌の基準化等によって将来的に 0.5 よりも高い不活化率が求められる場合、塩素接触槽の拡大等の措置が必要となる可能性がある。

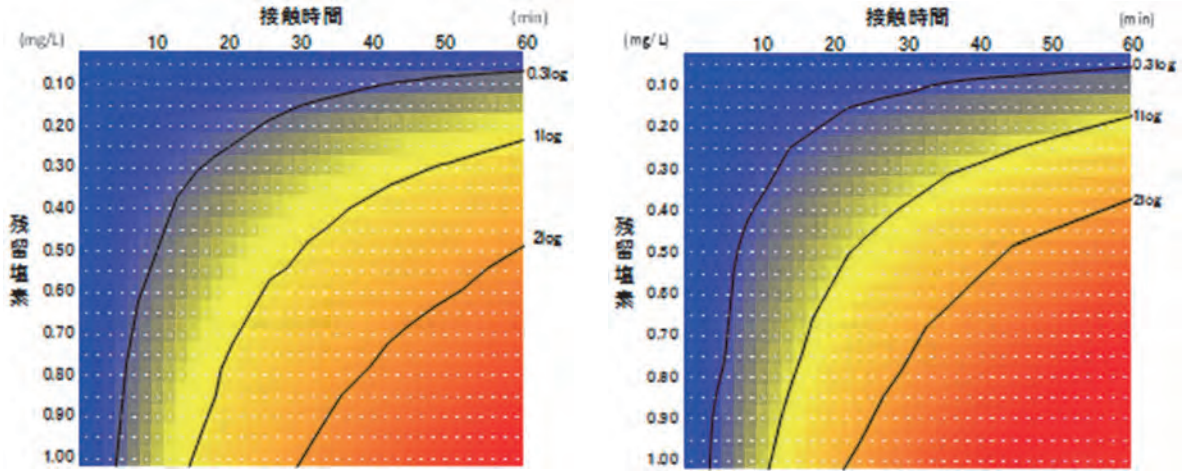


図 9　残留塩素濃度及び接触時間と大腸菌不活化率（log）との関係（左：北二、

4 まとめ

調査の結果、以下の点が明らかとなった。

・北二、浅川において、放流水大腸菌数及び大腸菌群数はおおむね 300MPN/ml(CFU/ml)以下であった。また、時間変動が少ないことから、スポット採水であっても、一日の平均的な値と評価できると考えられた。

・大腸菌群数に占める大腸菌数の割合は、北二で 15～70%、浅川で 40～90%であった。

・大腸菌数の不活化定数は、北二で-0.065、浅川で-0.085 であった。大腸菌群数についても同一であり、大腸菌と大腸菌群で消毒効果はほぼ同等であった。

・現在の消毒設備では、大腸菌の不活化率 0.5 を確保するためには、放流水残塩濃度を北二では 0.15mg/L、浅川では 0.05mg/L とすることが必要と考えられた。

5 今後の予定

今回の調査で、センター特有の大腸菌(群)の実態と消毒効果について確認することができた。特に、大腸菌の不活化定数を導出することが、残留塩素濃度を目安にした大腸菌(群)の管理の一助となることが示された。今後流域の他の 5 センターでも同様の調査を行っていく予定である。

参考文献

1)大腸菌の規制導入に向けた検討　山本央　平成 24 年度水質管理研修

2)合流式下水処理施設の雨天簡易処理時における消毒機能の評価、上角卓矢、山下尚之、田中宏明　学会誌「EICA」第 14 巻　第 2・3 号

3)2.新たな衛生指標の下水処理への適用性の評価　南山瑞彦ほか　平成 18 年度下水道関係調査研究年次報告書集

2-2-1　ステップ流入と制限曝気を活用した

浅槽反応槽における脱窒の促進

中部下水道事務所　芝浦水再生センター　多田　哲朗
山本　央、内海　精司、安野　隆雄、前保　竜一、早坂　政紀、笹田　良介
石塚　健一（現　施設管理部環境管理課）

1. はじめに

東京都では、良好な放流水質の維持と水処理電力削減の両立を目指し、高度処理や準高度処理の導入を積極的に進めている。芝浦水再生センター（以下「芝浦セ」）においても、平成 26 年度に嫌気・同時硝化脱窒処理を新たに導入するなどの対策を進めているが、東京 2020 大会の開催などから、今後窒素流入負荷の増大が予想されており、さらなる水質改善が求められている。そこで既存の施設を用いた、設備の改造を伴わない維持管理の工夫として、反応槽途中での制限曝気とステップ流入を活用することによって一定の水質改善効果が得られたため報告する。

2. 芝浦セおよび調査施設の概要

芝浦セの水処理系列は本系、東系の 2 系列に大別される。標準活性汚泥法の浅槽系、西系、擬似 AO 法の深槽東系、擬似 A_2O 法の深槽西系の 4 系列からなる本系と、嫌気・同時硝化脱窒処理の東系である。現有処理能力は日量 83 万 m^3 であり、東京 23 区内のセンターとしては 2 番目の処理能力である。処理区として千代田区、中央区、港区などの都心部のオフィス街を受け持つ影響から、流入窒素負荷が非常に高く、昼夜、休日の人口変動で流入水質が大きく変化することが特徴である。

施設平面図、系列ごとの処理方法、処理水量を図 1、表 1 に示す。浅槽系の処理水量は日量約 13.5 万 m^3 であり、芝浦セ全体の約 2 割にあたる水を処理しているため、処理水質に与える影響が大きい施設である。また、本系施設の中では最も HRT が長く、好気時間に余裕がある。

浅槽系反応槽の施設概要、平面構造を

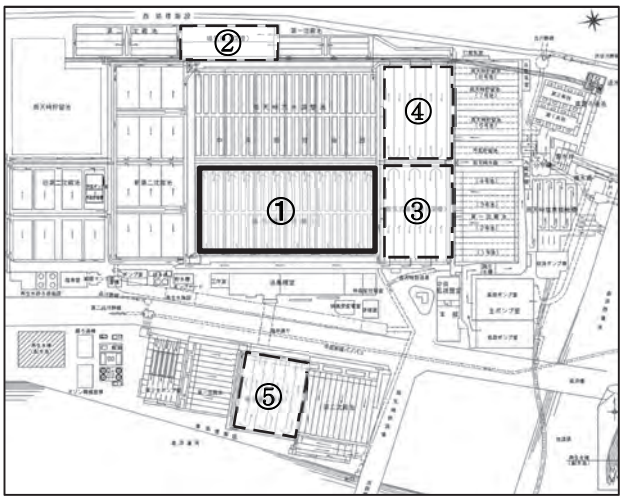


図 1　芝浦水再生センター平面図

表 1　系列ごとの処理方法、処理水量

系列		処理方法	H28 処理実績 (m^3/日)	
本系	①浅槽系	標準活性汚泥法	134,800	501,200
	②西系		59,080	
	③深槽東系	擬似 AO 法	166,790	
	④深槽西系	擬似 A2O 法	140,530	
東系	⑤東系	嫌気・同時硝化脱窒法	86,260	

表 2、図 2 に示す。浅槽系反応槽の有効水深は 4.1 m、反応槽底部に散気設備を配置した旋回流方式である。他系列は有効水深が 10 m 以上の深槽構造で片側旋回流方式であることから、無酸素領域が形成されやすく、深さ方向の脱窒が進みやすいのに対して、浅槽構造の反応槽では深さ方向の脱窒が望めない。そのことから、制限曝気により無酸素領域を形成させて、流れ方向で脱窒を進める手法が過去に報告されている[1)]。浅槽系反応槽は A 回路から D 回路の折り返し 4 回路から成る構造であり、各回路の入口に配置されているステップ水路から、堰高さを手動調整することでステップ流入させることができる。また、各回路は 24 ヶ所ずつ均等にライザー弁が配置され、弁の開閉によって曝気量を調整することが可能となっている。

表 2　浅槽系反応槽の施設概要

処理方式		標準活性汚泥法
反応槽	有効容積　(m^3)	8,790
	池数　　(池)	6
	有効水深　(m)	4.1
	散気水深　(m)	3.6
	散気方式	旋回流方式
	処理能力(m^3/日)	200,000

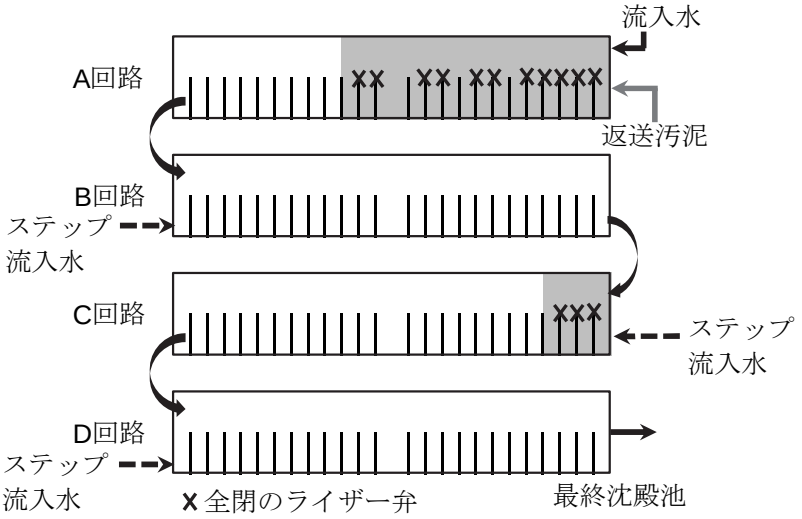


図 2　浅槽反応槽の平面構造図

本調査では制限曝気に加えて、ステップ流入によって脱窒に必要な基質を供給させ、放流水全窒素濃度を低減させることを目的として検討を行った。調査開始前には、りん除去のために A 回路入口の 11 ヶ所のライザー弁が全閉されていたほか、脱窒促進のため C 回路の入口の 3 ヶ所のライザー弁が全閉されており、ステップ流入はさせていなかった。

3.　結果および考察

3.1　ステップ流入と制限曝気についての検討

3.1.1　制限曝気効果の確認

調査前にりん除去のために設定されていた A 回路入口の制限曝気部について、他系列の反応槽の停止による水量増加から硝化が進みにくくなったため、りん処理に影響が出ない範囲で、図 3 のように縮小させた。

C 回路に設けていた脱窒促進を狙った制限曝気部について、現状の脱窒効果をスポット採水で 2 度確認したうえで、制限曝気部を拡大して効果を同様に 2 度確認した。さらに C 回路入口よりも NOx-N の生成量が多い D 回路入口での制限曝気についても効果を確認した。なお、B 回路入口については前年度までの定期試験の結果より、NOx-N が十分に得られなかったた

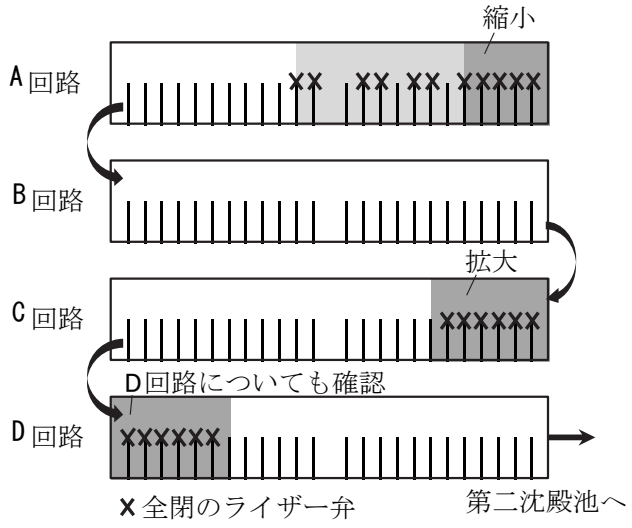


図 3　調査時の浅槽反応槽

め、検討から外した。制限曝気の効果について表 3 に示す。

C､D 回路入口のライザー弁閉数 6 ヶ所では 1.2～2.0 mg/L の脱窒が確認されたが、C 回路入口の閉数 3 ヶ所では効果がほぼ見られなかった。

D 回路入口については C 回路入口と制限曝気による脱窒効果が大きく変わらなかった。

表 3 制限曝気効果のまとめ

単位：mg/L

制限曝気位置	ライザー弁閉数	窒素成分合計 (NH_4+NO_2+NO_3) 制限曝気入口 B回路出口	C回路出口	制限曝気出口	NOx-N 低減濃度
C回路入口	3ヶ所	22.2	→	21.8	0.4
		17.9	→	17.8	0.1
	6ヶ所	16.4	→	15.2	1.2
		17.1	→	15.1	2.0
D回路入口	6ヶ所	―	16.4 →	15.2	1.2

※いずれもステップ流入はなし

3.1.2 ステップ流入位置の検討

浅槽系反応槽でステップ流入をさせた場合、ステップ流入量が増えるに伴って A 回路入口からの流入量が減り、ステップ流入位置までの滞留時間が延長される。後半の制限曝気位置での NOx-N の生成量が脱窒できる窒素の最大値であるため、B 回路入口、C 回路入口で複数のステップ流入比でステップ流入させた際の各位置での NOx-N の生成量を確認することにした。D 回路入口はステップ流入をさせた際に、処理水の NH_4-N 水質が極端に悪化したため検討から外した。ステップ流入比については「下水道施設計画・設計指針と解説」[2]を参考に 50% を最大とした。結果を表 4 に示す。

表 4 NOx-N 生成量まとめ

単位：mg/L

ステップ流入比	NOx-N [NO_2+NO_3] B回路入口	C回路入口
20%	0 ～1.8（0.9）	3.2～6.9（5.1）
30%	0.2～3.5（2.0）	3.9～7.3（5.5）
50%	1.3～4.4（2.8）	5.2～6.8（6.0）

*()内の値は平均値

B 回路入口については当初の予想通り、ステップ流入比 50% であっても十分な NOx-N が得られないことが確認された。C 回路入口については全てのステップ流入比で安定して NOx-N を得られたため、ステップ流入および制限曝気位置は C 回路入口とした。

3.1.3 机上試験でのステップ流入効果の確認

ステップ流入の効果を机上で確認するため、実施設 3 系列を C 回路入口のステップ流入比 0、30、50% に調整し、B 回路出口の反応槽混合液を採取した。これに反応槽流入水をステップ流入比に合わせた比率で各々添加した机上試験を実施し、脱窒速度を測定した。添加前との比較を図 4 に示す。

ステップ流入比の上昇に合わせて C 回路入口から流入する有機物量が増加するため、脱窒速度が上昇した。

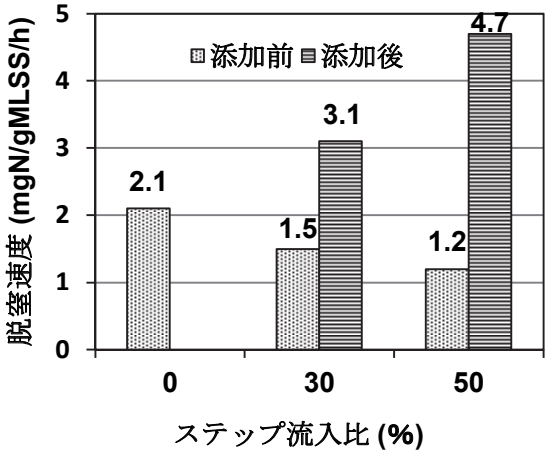


図 4 脱窒効果の机上試験結果

3.1.4　必要な制限曝気時間について

机上試験でのステップ流入の効果および浅槽反応槽の年平均 MLSS である 2,020 mg/L を用いて、必要な制限曝気の時間を検討した（式 (1)）。

$$\text{必要制限曝気時間 (h)} = \frac{\text{C 回路入口の NOx} - \text{N (mg/L)}}{\text{脱窒速度 (mgN/gMLSS/h)} \times \text{年平均 MLSS (gMLSS/L)}} \quad \cdots (1)$$

$$\text{必要ライザー弁閉数 (個)} = \text{全ライザー弁個数 (個)} \times \frac{\text{必要制限曝気時間 (h)}}{\text{年平均滞留時間 (h)}} \quad \cdots (2)$$

この結果、ステップ流入比 50% で 0.6 時間の制限曝気部を設けることで、理論上、C 回路入口で生成した NOx-N を 6.0 mg/L 脱窒させることが可能と考えられた。また、浅槽系反応槽の年平均滞留時間 9.4 時間、全ライザー弁個数 96 個より、ライザー弁の閉数を 6 ヶ所とすることで必要な制限曝気部の設定が可能であると判断した（式 (2)）。

実際の施設において C 回路入口のライザー弁の閉数を 6 ヶ所として､制限曝気部入口および出口の NOx-N 数値から脱窒速度を求めた｡結果を図 5 に示す。

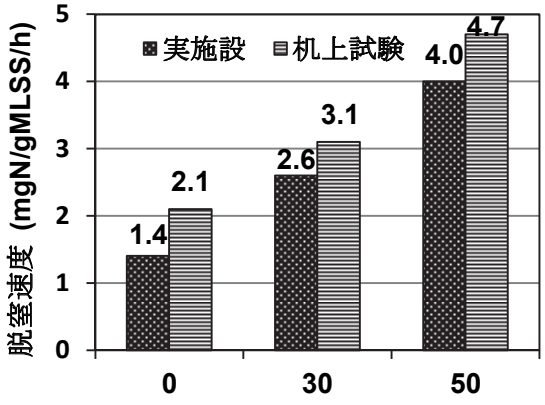


図 5　実施設での脱窒速度

実施設の脱窒速度については机上試験の結果と比較して 0.5～0.7 mgN/gMLSS/h 低下したが、遜色のない効果が得られており、ステップ流入比の上昇に伴って脱窒速度が上昇する傾向は同様であった。この結果より、制限曝気部はライザー弁閉数 6 ヶ所とすることにした。

表 3 の結果より、C 回路入口の制限曝気のみで 1.2～2.0 mg/L の窒素濃度が低減された。よって､図 5 より､MLSS を 2,020mg/L､制限曝気部の滞留時間を 0.6 時間とすると、ステップ流入比 50% の実施設では 4.8 mg/L の窒素濃度が低減でき、このうち、ステップ流入によって低減できる窒素は 2.8～3.6 mg/L であることを確認した。

3.2　実施設での運用結果

調査は浅槽系反応槽 6 槽のうちの 3 槽を対象に、1 槽を対照槽としてステップ流入比 0%、残りの 2 槽をそれぞれ、ステップ流入比 30%、50% で運転して効果を確認した。

3.2.1　脱窒効果の日間変動

平日午前 10 時に実施する日常試験での反応槽 D 回路の分析結果から、ステップ流入による脱窒促進効果をモニタリングした。分析は試験紙を用いた簡易法（NOx-N）およびナフトール法（NH_4-N）で行った。調査期間は平成 29 年の 9 月 13 日から 10 月 6 日とした。結果を図 6 に示す。

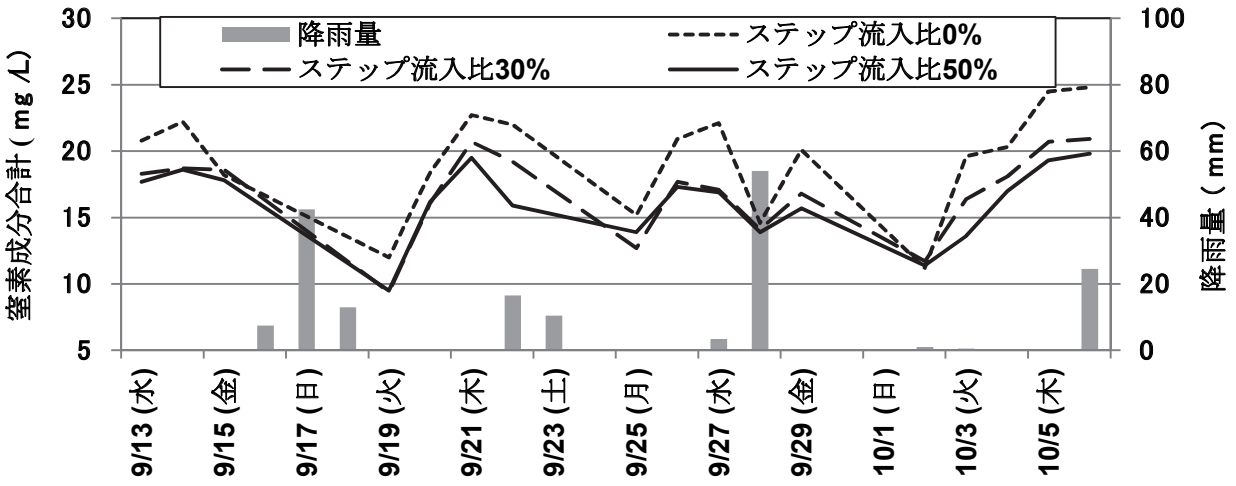


図 6　ステップ流入および制限曝気の脱窒促進効果（日常試験）

図中の土日祝日（9/16～18、23、24、30、10/1）については日常試験を行っていないため前後のデータを結んでいる。

週明け（9/19、25、10/2）および雨天日（9/28）はステップ流入比を高めることによる脱窒促進効果は得られず、それ以外の日（晴天日と表記）については机上試験と同様にステップ流入比を高めることで脱窒を促進できることが確認された。脱窒効果の日間変動結果を表 5 にまとめる。

表 5　日間変動結果まとめ

ステップ流入比		0%	30%	50%
窒素成分合計（mg/L）	晴天日平均	21.3	18.4	17.3
	低減できた濃度	—	2.9	4.0
	雨天日・週明け平均	13.3	12.0	12.2
	低減できた濃度	—	1.3	1.1
	全調査期間平均	19.4	16.9	16.1
	低減できた濃度	—	2.5	3.3

ステップ流入比 50% では、雨天日および週明けは平均 1.1 mg/L、晴天日には平均 4.0 mg/L 窒素濃度が低減された。全調査期間平均ではステップ流入比 30% で 2.5 mg/L、ステップ流入比 50% で 3.3 mg/L であった。ステップ流入比 50%での脱窒効果は最大で 6.1 mg/L、最小で 0.4 mg/L であった。

3.2.2　脱窒効果の日内変動

芝浦セの流入特性として、都心のオフィス街を処理区として持つことから、昼間と夜間、平日と休日のそれぞれについて、流入水質が大きく変動することが挙げられる。脱窒効果の日間変動より、ステップ流入および制限曝気による脱窒促進効果は週明けや雨天日など、流入水質によって影響を受けることが予想されたため、平日、休日についても、自動採水器を使用した連続調査を行うことにした。

(1)　平日調査

調査期間は平成 29 年 9 月 14 日（木）17 時から 15 日（金）16 時まで、1 時間毎に反応槽 D 回路の反応槽混合液を採水、ろ布で汚泥とろ液を分離して分析をした。分析はイオンクロマトグラフ（NOx-N）およびナフトール法（NH_4-N）で行った。結果を図 7 に示す。

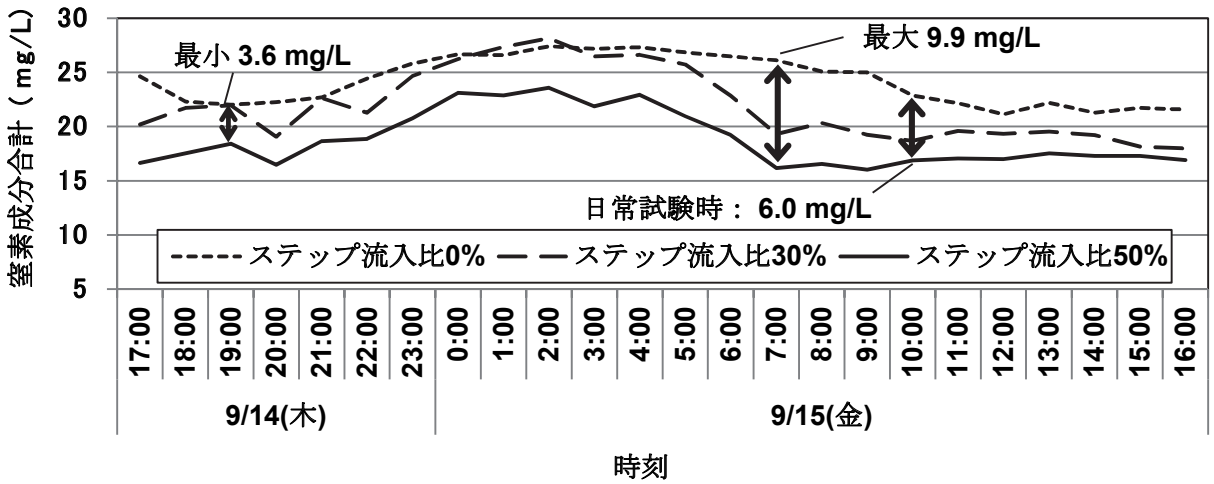


図 7　平日における脱窒促進効果についての日内変動

図 7 より、脱窒促進効果は時間帯によって変動し（最小：3.6 mg/L、最大：9.9 mg/L）、ステップ流入比 50% では午前 7 時に最も大きな効果が得られた。また、すべての時間帯においてステップ流入比 50% の効果が大きかった。

(2)　休日調査

調査期間は平成 29 年 9 月 22 日（金）17 時から 25 日（月）14 時まで、3 時間毎に平日調査と同様の位置と方法で採水、分析した。結果を図 8 に示す。

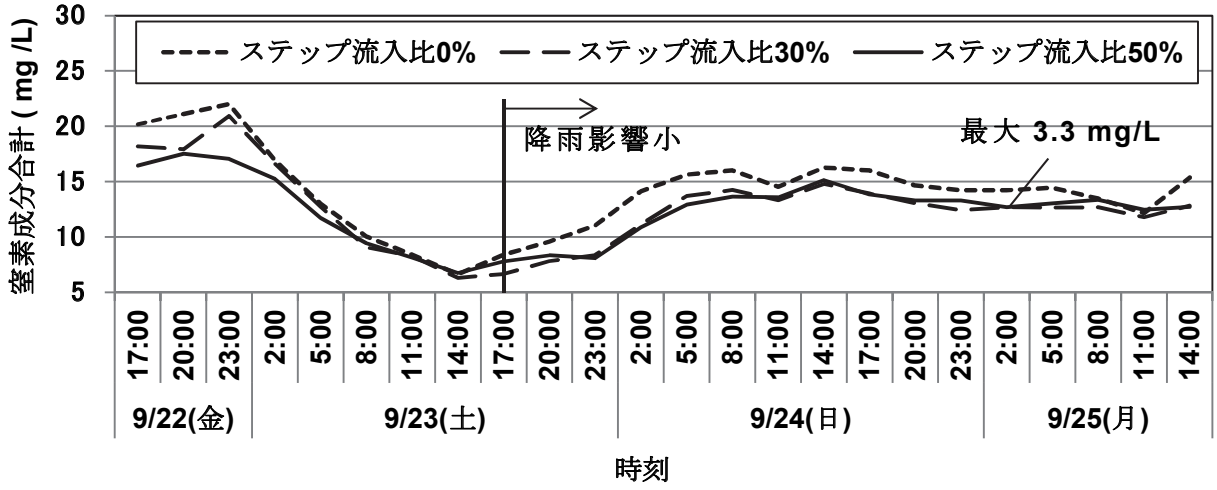


図 8　休日における脱窒促進効果についての日内変動

9 月 22 日の 17 時から 23 日の 8 時にかけて降雨が確認されており、その影響から 23 日の 14 時まではステップ流入比に関わらず脱窒効果は小さかった。23 日の 17 時以後はステップ流入比 30%、50% ともに脱窒促進効果は得られたものの、流入比が高まるに伴って効果が高まることはなく、時間による変動も小さかった。降雨の影響が少ない時間帯で最も脱窒促進効果が得られたのは 25 日の 2 時の 3.3 mg/L で効果がない時間帯もあった。

平日、休日調査期間中の脱窒促進効果について表 6 にまとめる。

表 6　脱窒促進効果の日内変動結果まとめ

ステップ流入比		0%	30%	50%
窒素成分合計（mg/L）	平日平均	24.2	21.9	18.8
	低減できた濃度	—	2.3	5.4
	休日平均	14.1	12.6	12.4
	低減できた濃度	—	1.5	1.7

平日の調査期間内に脱窒できた窒素濃度は、ステップ流入比 30%で平均 2.3 mg/L、ステップ流入比 50%で平均 5.4 mg/L であった。期間中の窒素成分合計の平均は全て、図 6 の日間変動結果の晴天時における窒素成分合計の変動範囲内であることから、妥当な結果と考えられた。休日の調査期間内には、ステップ流入比 30% で 1.5 mg/L、50% では 1.7 mg/L と、平日に比較してステップ流入比 30%、50% ともに脱窒できた窒素濃度は低かった。

3.2.3　日内変動調査時の運転条件と処理水質について

平日、休日の連続調査時における浅槽系反応槽の運転条件および処理水質について表 7 にまとめた。

表 7　日内変動調査時の運転条件と処理水質

	ステップ流入比	処理水量（m^3/時）	送風倍率（倍）	流入水窒素濃度（mg/L）	処理水窒素濃度（mg/L）	窒素除去率（%）
平日	0%	1,200	10.0	45.9	24.2	47.3
	30%	1,500	9.5		21.9	52.3
	50%	1,600	9.1		18.8	59.0
休日	0%	1,500	5.7	36.1	14.1	60.9
	30%	1,300	6.3		12.6	65.1
	50%	1,300	6.2		12.4	65.7

流入水窒素濃度に対する処理プロセスで除去された窒素の割合を表す窒素除去率について、平日はステップ流入比 0% と比較してステップ流入比 30% で 5 ポイント（47.3% → 52.3%）、ステップ流入比 50% で 12 ポイント（47.3% → 59.0%）向上した。また、前述したとおり、休日は平日に比べてステップ流入によって脱窒した窒素濃度は低く、窒素除去率はステップ流入比 30、50% ともに 4～5 ポイント向上した。なお、休日はステップ流入比 0% の場合でも平日以上に良好な窒素除去率（ステップ流入比 0%：平日 47.3%、休日 60.9%）が得られた。これらの結果から、平日には反応槽 C 回路入口での制限曝気およびステップ流入比 50% のステップ流入において、最も高い脱窒効果を得られることが確認された。

なお、調査期間中は、平日、休日ともに送風倍率に大きな増減がなく、ステップ流入および制限曝気による送風量へのデメリットは確認されなかった。

3.2.4　りん処理への影響

ステップ流入および制限曝気の弊害として、反応槽 C 回路の制限曝気部で吐き出されたりん酸性りんが、吸収前に反応槽を通過してしまうことが考えられる。そのため、平成 29 年 9 月 13 日から 10 月 6 日まで、各ステップ流入比で運転した反応槽の出口のりん酸性りんについて、日常試験結果によりモニタリングを行った結果を図 9 に示す。

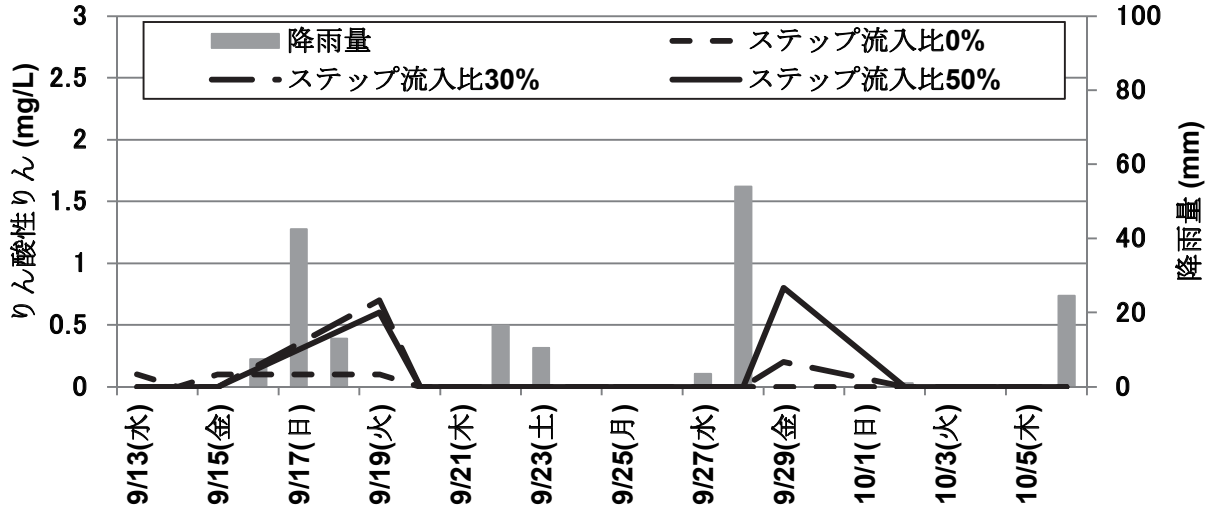


図 9　ステップ流入と制限曝気活用時のりん処理への影響

調査期間中、すべてのステップ流入比の槽について、りん酸性りんの顕著な上昇は見られなかった。また、9 月 17 日（降雨量：42.5 mm）、28 日（54.0 mm）のように多量の降雨があった日については、他系列においても同様にりん濃度の上昇が見られ、ステップの利用に起因する悪影響は確認されなかった。

4　まとめ

高度処理施設が整備されていない既存の標準活性汚泥法の水処理施設について、ステップ流入と制限曝気を組み合わせた運転管理を行うことで、放流水の窒素を低減できた。本調査結果のまとめを以下に示す。

○ 実施設を用いた調査により、ステップ流入なしでの、C 回路入口のライザー弁 6 ヶ所全閉の制限曝気部で 1.2～2.0 mg/L の脱窒が確認された。ステップ流入をさせた場合は、ステップ流入比 50% で 4.0 mgN/gMLSS/h の脱窒速度が得られることから、4.8 mg/L の窒素を理論的に脱窒させることが可能であることが確認された。

○ 机上試験において確認された脱窒速度に比較して、実施設での脱窒速度は若干低下したが、ほぼ遜色のない効果が得られた。

○ 窒素濃度はステップ流入比が大きいほど低減でき、平日においてステップ流入比 50% で C 回路入口の制限曝気部に流入させることが最も効果的な運転条件であった。

○ 調査期間中の送風倍率の比較から、ステップ流入および制限曝気による送風量への悪影響は確認されなかった。

○ 日常試験によるモニタリングにより、ステップ流入の活用によるりん処理への影響は確認されなかった。

5 参考文献

1) 足立悠介ら（2016)「浅槽式反応槽における無酸素領域形成による好気槽内脱窒の促進について」，『技術調査年報』，40，p113-120，東京都下水道局
2) 日本下水道協会編（2009)「下水道施設計画・設計指針と解説（後編)」日本下水道協会.

2-3-1　Development of Polymer Dosage Control System

Hiroshi Shiomi
Deputy director of technical development section , Planning and coordination division

1. Introduction

The polymer used in dehydrators is usually dosed at a constant flow rate. In order to constantly conduct optimal dewatering of the sludge, it is necessary for the operator to change the dosage finely in accordance with the change in the property of the input sludge. If the dosage cannot be properly adjusted, excess or deficiency of the polymer occurs. The insufficient dosage of the polymer increases the water content of the sludge cake (hereinafter referred to as "water content"), and thus, increases auxiliary fuel consumption used in the incinerator. Likewise, if the dosage becomes excessive, the polymer is wastefully consumed. Therefore, it can be expected that the maintenance and management cost can be reduced by constantly keeping the optimal polymer dosage.

This research aims to develop a system that automates polymer dosage to the dehydrator by using three instruments measuring sludge properties and the like. Through this research, the polymer dosage can be properly controlled, which can contribute to the optimal operation of the sludge treatment process.

2. Research Method

Tobu Sludge Plant of the Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government was selected as a field for conducting this survey. This facility site has characteristics such that the water collection system is a combined sewer system, and that it processes the sludge consolidated from other sites. Such characteristics cause a large fluctuation in varieties of the sludge properties put into the dehydrator, which makes the operation extremely difficult. Therefore, the performance of the system developed for this research can be evaluated under more stringent conditions.

As for the machine subject to this research, we selected a high efficiency centrifugal dehydrator. In order to calculate the polymer dosage, three measuring instruments were installed to one of seven dehydrators; A sludge densitometer for measuring the solid concentration within the sludge, a water content meter, and a colloidal charge quantity meter for measuring the electric charge quantity in filtrate.

Figure 1 shows the image of dosage control system. The measured value of the colloidal charge quantity meter is an indicator of the residual polymer concentration, and the more positive value is measured, the higher the concentration of the polymer remaining in the filtrate by dewatering is. The survey started in October 2016.

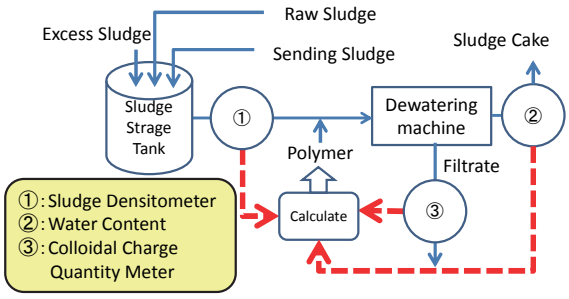


Figure 1 Image of Dosage Control System

2.1. Check of Controllabillity in Control Methods

The possible control methods by the constituent equipments are as follows:

- Constant Control of Water Content: Under this control, the target water content value is set, and when the water content is lower than the set value, the polymer dosage is decreased, and when it is higher than that value, the polymer dosage is increased.
- Constant Control of Electric Charge Quantity: Under this control, the target electric charge quantity range is set, and when the measured value of the electric charge quantity is lower than the set range, the polymer dosage is increased, and

when it is higher that the range, the polymer dosage is decreased.

Controllability was evaluated by checking whether this control system could keep the water content and the electric charge quantity within the set range by changing the polymer dosage in accordance with the fluctuation of sludge properties. The control cycle was set to every 15 minutes, and the change range of the dosage was set to 0.05%TS per one time.

2.2. Establishment of Control System and Check of Controllability

The control system was established by combining control methods that good controllability were recognized through checking described in 2.1 above. The dehydrator operated by the control system was required to make water content 75% or more due to the limitation of the facility for conveying sludge after dewatering. Therefore, the control system basically aimed at the lowest water content, while restriction was imposed so that the water content does not fall below 75%.

3. Result

3.1. Verification of Controllability in Each Control Method

1) Constant Control of Water Content

Figure 2 shows an example in which the control method was implemented under the condition that the dewaterability of the input sludge was good. As a result of setting the water content to 77.0%, the polymer dosage decreased when the water content was lower than the set value, and it increased when the water content was higher than the set value. In both cases, the water content converged to the target water content as time passed. Therefore, it was confirmed that the controllability was good. Figure 3 shows an example in which the control method was implemented under the condition that the dewaterability of the input sludge was bad. When the set value of the water content was 77.6%, the polymer dosage was increased because the water content was higher than the set value. However, since the water content did not decrease even after that, the dosage increased further. As a result, it became exessive. From this result, it was found that this control method can function effectively under conditions where dewaterability of sludge is good.

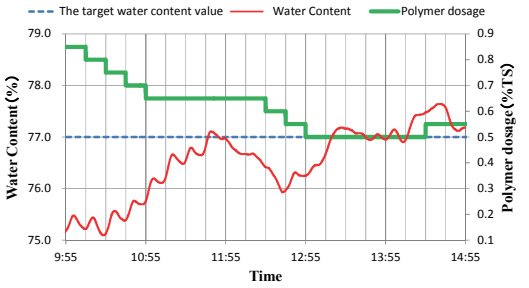


Figure 2 Constant Control of Water Content (Input Sludge Was Good)

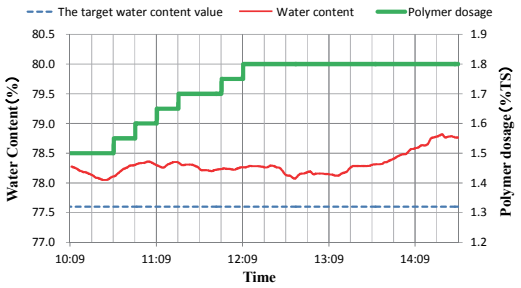


Figure 3 Constant Control of Water Content (Input Sludge was Bad)

2) Constant Control of Electric Charge Quantity

The relationship between the electric charge quantity and the water content was investigated, and it was confirmed that the electric charge quantity range within which the polymer dosage becomes optimal is 100 - 150 μeq / L. Figure 4 and 5 are the result of the control with setting the optimal range of the electric charge quantity to 100 - 150 μeq / L. The value of the electric charge quantity was kept within range by increasing the polymer dosage when the electric charge quantity was lower than the set range, and by decreasing the dosage when it was higher than the set range. Therefore, it was confirmed that the controllability of the method was good. On the other hand, under the condition that the dewaterability of the sludge was good, the water content decreased too low, and a large load was applied to the facility for conveying

sludge. Therefore, it is necessary to add some functions so that the water content does not decrease too much, such as changing the set range of the electric charge quantity.

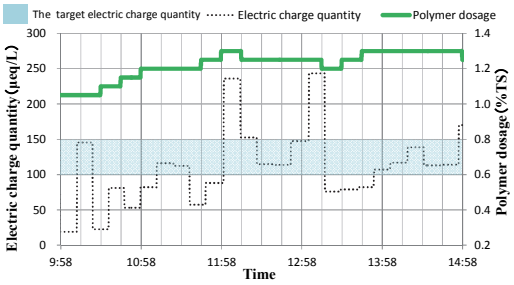


Figure 4 Constant Control of Electric Charge Quantity (Electric Charge Quantity)

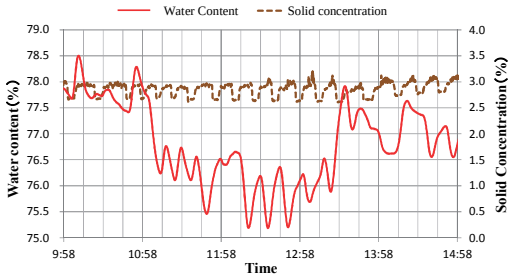


Figure 5 Constant Control of Electric Charge Quantity (Water Content)

3.2. Verification of Controllability of Control System

The control system was constructed by combining constant control of water content and constant control of electric charge quantity. When the water content is above the setting value, control with aiming at the lowest water content is optimum, and thus, the constant control of electric charge quantity is carried out. On the other hand, when the water content reaches the vicinity of the setting value, the control method is switched to the constant control of water content. This makes it possible to eliminate the disadvantages that each control method has.

Figure 6 shows the results of operation by the constructed control system. The optimal electric charge quantity range was set to 100 - 150 μeq / L and the water content set value was set to 75.0%. At the beginning of the control, since the water content was higher than the set value, the polymer dosage was increased with aiming at the lowest water content by the constant control of electric charge quantity. Later on, since the water content fell below the set value of water content, the polymer dosage was decreased by the constant control of water content. As a result, the measured value of the electric charge quantity became significantly lower than the optimal range, and the water content also increased to the set value. The polymer dosage fluctuated in accordance with the variation of sludge properties and the transition of both control methods was smoothly carried out as well as the water content was suppressed to a level not much lower than 75.0%. Therefore, it was confirmed that the controllability was good.

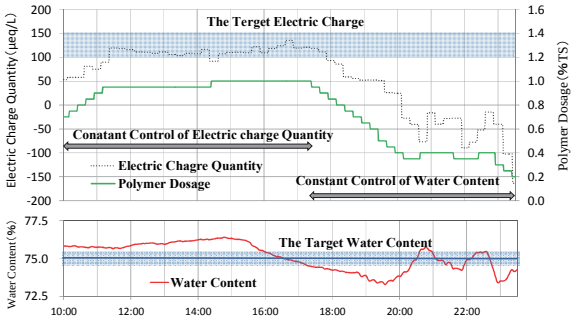


Figure 6 Operation by The Constructed Control System

4. Conclusion

As a result of verifying the polymer dosage control using the sludge densitometer, water content meter and colloidal charge quantity meter, the following knowledge was obtained:

(1) The three instruments had high correlation with the analysis value and kept good accuracy.

(2) The constant control of water content and electric charge quantity had good controllability.

(3) The constructed control system had good controllability.

More study is needed to confirm the usefulness of this control system. Future experiment will be conducted in order to collect verification data by operating the control system for a longer period of time, which enable to compare the water content and the costs with the existing way of operation.

Reference

1) “Maintenance and Management of Sewage Sludge Treatment,” Tokyo Metropolitan Sewerage Service Corporation, 2005 (in Japanese)

2) “Indicators for Judging Appropriateness of Injection Amount of Polymer Flocculant in Sludge Dewatering Step,” Compilation of Lectures at the 43th Japan Annual Technical Conference on Sewerage, p. 944 – 946 (in Japanese)

2-3-1　ポリマー注入量制御システムの開発

計画調整部　技術開発課　　塩見　浩

1.　はじめに

脱水機で用いられている高分子凝集剤（以下、ポリマー）は、通常、流量一定で注入されている。そのため、常に最適な汚泥の脱水を行うためには、運転員が投入汚泥性状の変化に合わせてきめ細かく流量を変更する必要がある。投入汚泥性状の変化に追従できなかった場合、ポリマーの過不足を生じる。注入量の不足は、脱水ケーキ含水率（以下、含水率）が増加して、焼却炉での補助燃料使用量が増加する。同様に注入量が過剰になると、ポリマーを無駄に消費させてしまう。このことから、常に注入量を適正に保つことにより、維持管理コストを低減させることが期待できる。

そこで本研究では、汚泥性状等を計測する３つの計器を用いて、脱水機のポリマー注入を自動化するシステムの開発を目指す。これにより、ポリマー注入量が適正に管理され、汚泥処理工程の最適運転化に寄与することができる。

2.　調査・研究方法

本調査を実施するフィールドは、東京都下水道局東部スラッジプラントを選定した。本機場は、集水方式が合流式であることや他の機場からの汚泥を集約して処理を行っているといった特徴がある。このことは、脱水機に投入される汚泥の性状を大きく変動させる要因となり、脱水機の運転管理を非常に難しくしている。そのため、本開発システムの性能をより厳しい条件のもとで評価することができる。

調査対象の機器は、合流式の高効率型遠心脱水機を選んだ。７台あるうちの１台に対し、脱水機の投入汚泥の固形物濃度を測定する汚泥濃度計、含水率を測定する含水率計、脱水分離水中の電荷量を測定するコロイド電荷量計を設置し、これらの計器の信号からポリマー注入量を演算・制御できるようにした。

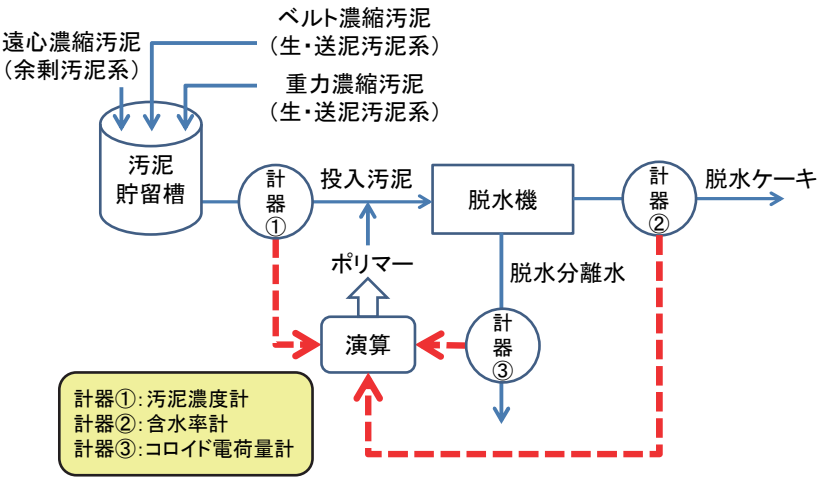


図１注入量制御のイメージ

注入量制御のイメージを図１に示す。コロイド電荷量計の測定値は、残留するポリマー濃度の指標となり、この数値が正に大きいほど脱水分離水中に残留するポリマーの濃度が高いことを意味している。

調査は、2016 年 10 月から開始した。

2.1　制御方法の性能確認

構成する機器から考えられる制御方法を以下に示す。

・含水率一定制御：目標となる含水率値を設定し、含水率が設定値より低い場合はポリマ

ー注入率を減少させ、高い場合は増加させる制御である。
・電荷量一定制御：目標となる電荷量範囲を設定し、電荷量の測定値が設定範囲より低い場合にはポリマー注入率を増加させ、高い場合は減少させる制御である。

制御性の評価は、本制御システムが脱水機に投入される汚泥性状の変動に追随してポリマー注入率を変動させ、含水率及び電荷量が設定の範囲内に収められることが可能であるかどうかを確認することで行った。なお、制御周期は 15 分ごと、注入率の変更幅は 1 回あたり 0.05%TS とした。

2.2　制御システムの構築及び制御性の確認

制御システムは、2.1 において良好な制御性が認められた制御方法を組み合わせることで構築した。なお、制御システムにより制御される脱水機は、脱水後の汚泥を搬送する設備の影響により、含水率を 75%以上にすることが求められていた。そのため、開発する制御システムでは、基本的に最低含水率を目指すが、一方で含水率が 75%未満とならないような制限を加えた。

3.　結果

3.1　各制御方法の制御性の検証

(1)含水率一定制御

投入汚泥の脱水性がよい条件での制御を実施した例を図 2 に示す。含水率の設定値を 77.0%にした結果、含水率が設定値より低い場合は注入率が減少し、設定値より高い場合は増加しており、また時間の経過とともに目標の含水率に収束していることから、制御性は良好であると確認できた。汚泥の脱水性が悪い条件での制御例を図 3 に示す。含水率の設定値を 77.6%にしたところ、含水率が設定値より高いためにポリマーの注入率を上げているが、その後も含水率が低下しないために注入率をより上げていき、結果的に過剰注入となってしまった。この結果から、本制御方式は汚泥の脱水性がよい条件において、有効な性能を発揮できることが分かった。

(2)電荷量一定制御

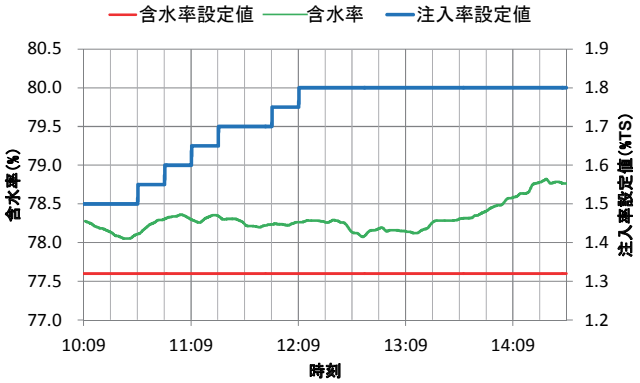


図 2　含水率一定制御（汚泥性状がよい）

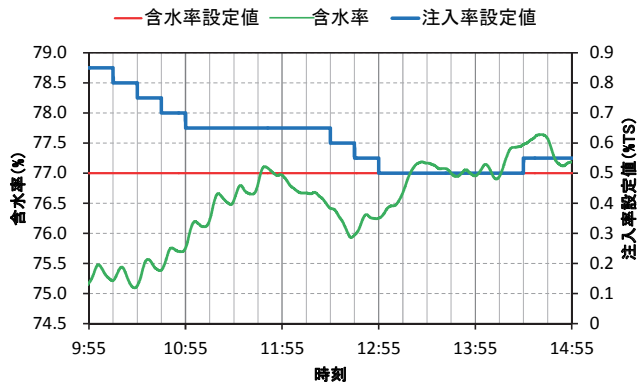


図 3　含水率一定制御（汚泥性状が悪い）

電荷量と含水率の関係を調査し、ポリマーが最適注入となる電荷量の範囲が 100～150 μeq/L であることが確認できた。そこで、電荷量の最適範囲を 100～150 μeq/L に設定し、制御を実施した結果を図 4 及び図 5 に示す。電荷量が設定範囲より低い場合は、ポリマーの注入率を上げ、設定範囲より高い場合は下げることで、電荷量値を設定範囲内に収めることができており、制御性は良好であることが確認できた。一方で、汚泥の脱水性がよい条件では、含水率が低下し過ぎてしまい、その後に設置されている設備へ大きな負荷がかかった。そのため、電荷量の設定範囲を変更するなど、含水率が低下しすぎない機能を付加する必要がある。

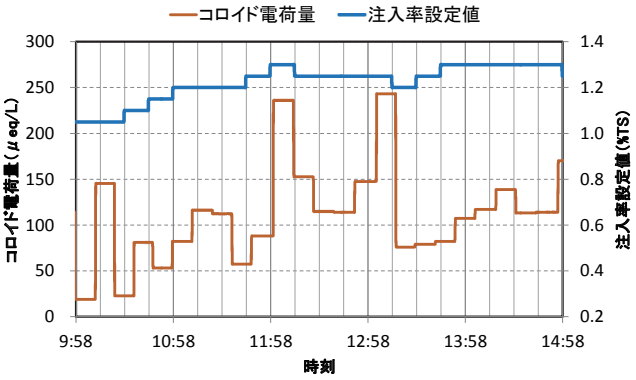


図 4　電荷量一定制御（電荷量値）

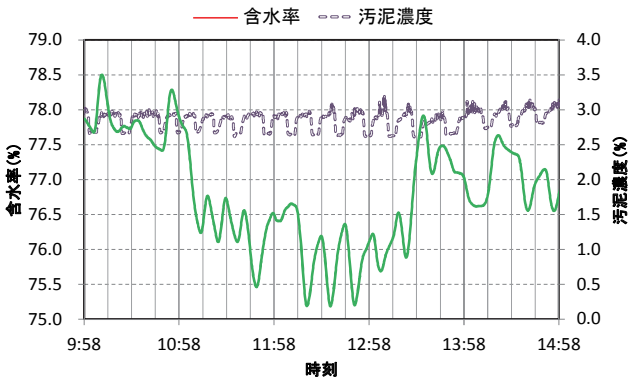


図 5　電荷量一定制御（含水率値）

3.2　制御システムの制御性の検証

制御システムは、含水率一定制御及び電荷量一定制御を組み合わせることで構築した。具体的には、制限がかかる含水率（以下、制限値）付近で、制御方法を切り替える方法である。含水率が制限値以上である場合、最低含水率を目指す制御で支障がないために電荷量一定制御で行い、制限値付近では含水率の制限をかける必要が生じるため、含水率一定制御に切り替える。このことで、それぞれの制御方法が持つデメリットを解消することができる。

構築した制御システムにより、制御を行った結果を図 6 に示す。ここでは、最適電荷量範囲を 100～150 μeq/L に、また含水率設定値を 75.0%に設定している。制御開始当初は、含水率が設定値に比べて高いために、電荷量一定制御によって最低含水率を目指してポリマー注入率が変動された。その後、含水率設定値を含水率が下回ったために、含水率一定制御とよってポリマー注入率が変動された。その結果、電荷量の測定値が最適となる電荷量範囲を大きく下回るとともに、含水率も設定値まで上昇していった。汚泥性状の変動にあわせてポリマー注入率を変動し、両制御方法の移行がスムーズに行われていること、また含水率が 75.0%を大きく下回らない程度に抑えられていることから、良好な制御性を有していることが確認できた。

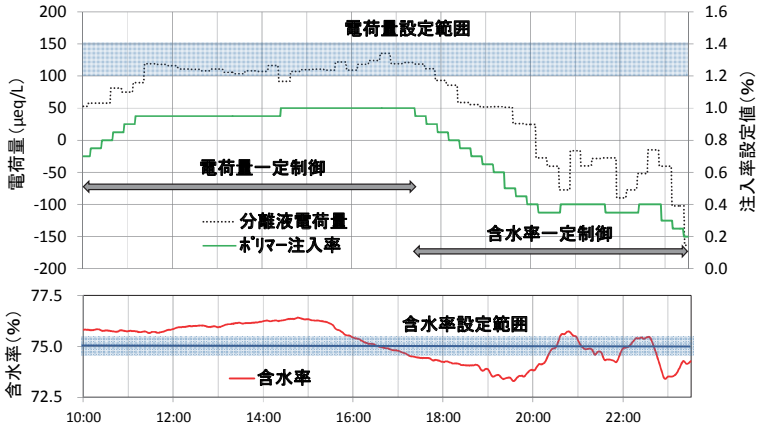


図 6　構築した制御システムによる運転

4. 結論

汚泥濃度計、含水率計、コロイド電荷量計を用いたポリマー注入量制御を検証した結果、以下の知見が得られた。

(1) 3つの計器は分析値との相関が高く、良好な精度を保っていた。

(2) 含水率一定制御と電荷量一定制御は、良好な制御性を有していた。

(3) 構築した制御システムは、良好な制御性を有していた。

今後は、制御システムを長期間運転していくことで、検証データを収集していく。これにより、従来運転との間で含水率やコストの比較を行い、本制御システムの有用性を確認していく。

参考文献

1)東京都下水道サービス㈱（2005)「下水汚泥処理の維持管理」
2)田中一成ら「汚泥脱水工程における高分子凝集剤添加量の適正判断指標について」，第43回下水道研究発表会講演集 p944-946

2-3-2 Construction of Energy Self-Contained Incineration System with Ultra-low Moisture Content Type Dehydrator

Bureau of Sewerage , Tokyo Metropolitan Government Daiki Watanabe

1. Introduction

The Bureau of Sewerage of the Tokyo Metropolitan Government (hereinafter referred to as "the Bureau") consumes a large amount of energy of 980 million kWh, which corresponds to about 1% of the power consumption of 86 billion kWh in the whole Tokyo Metropolis annually. Accordingly, we have a great responsibility for reducing energy consumption.Yet efforts to improve sewerage services such as flood countermeasures and improvement of combined sewerage system will continue to increase electricity consumption and fuel consumption, which is expected to lead to a further increase in greenhouse gas emissions. Therefore, based on our basic energy plan called "Smart Plan 2014" and the plan for prevention of global warming called "Earth Plan 2017", we are working on "expansion of use of renewable energy" and "further efforts to energy saving" in order to reduce CO_2 emissions. As the one of these efforts, we are developing and introducing an "energy self-contained incineration system". In this paper, on behalf of the Bureau, I am reporting it in detail.

2. Energy Self-Contained Incineration System

2.1 Sludge Incinerators in Tokyo sewerage

All of the sludge from wastewater is incinerated and disposed in order to reduce and stabilize sludge in Tokyo because disposal sites of sludge are limited. On the other hand, a large amount of electricity and natural gas is consumed, and a large amount of nitrous oxide (N_2O), which is a kind of greenhouse gas, is emitted from sludge incineration process. With global warming potential being as high as 298, N_2O affects the global warming largely. Therefore, we decided to develop sludge incinerators emitting less greenhouse gas emissions, and we first introduced a high-temperature incinerator. It is based on a characteristic that as incineration temperature increases, N_2O emission decrease. Hence, we first introduced a high-temperature incinerator , whose freeboard temperature was some 50℃ higher than conventional incinerators , which is called "first-generation type" in Tokyo. However, high-temperature incineration also leads to increase of used natunal gas. Then we introduced a high-temperature energy-saving incinerator, which is called "second-generation type" in Tokyo, that reduces the amount of used natural gas while maintaining high-temperature incineration. Furthermore, we developed an energy self-contained incinerator, which is called "third-generation type" in Tokyo. We took notice that the power supplied from the power generator run by incineration waste heat exceeds the power used if moisture content is below 74%. In order to make power generation which use waste heat most effective, the third-generation type is planned to be introduced as a main incinerator, which is operated continuously. For further energy-saving, the second-generation type is planned to be introduced as an adjustment incinerator, which adjusts various paramaters such as input amount

of sludge.

2.2 Composition of the energy self-contained incinerating system

The energy self-contained incinerating system integrates an Ultra-low Moisture Content Type Dehydrator and a third-generation type. The Technical Management Committee at the Bureau of sewerage has evaluated four models of Ultra-low Moisture Content Type Dehydrator and five models of energy self-contained incinerator for practical use.

3 Designing of the energy self-contained incinerating system

3.1 Design condition

Upon renovating the sludge incinerator at Shingashi sewerage treatment plant in Tokyo; designed sewerage flow 670,000 m^3/day, we worked on installing the third-generation type incineration system for the first time in order to reduce greenhouse gas emissions.The following were the major design challenges.

3.2 Space for equipment installation

In consideration of design amount of sludge, existing incinerators' capacity, discontinuation due to inspection and construction, etc., the specification of each equipment was designed as the following: one incinerator of 250 ton per day, and three dehydrators of 60 m^3 per hour. Typically, the sludge incinerator is installed at the site where old incinerator is removed, and the sludge cake is transported from a sludge treatment plant separately established with pumps or belt conveyors. We placed the sludge dehydrator in addition to power generator close to the sludge incinerator, which is called "unitization" in Tokyo, in order to decrease the conveying power of sludge cake including ultra-low moisture, so the installation space was limited.

3.3 Model Selection

We needed to ensure that the models of equipment recognized for practical use meet some requirements. They have to achieve the target figures for greenhouse gas emission and for low moisture content with dewatered sludge, and the actual 250-ton-capaciy incinerator must be self-sustaining on an energy basis. It was also necessary to make a comparative review with initial cost, running cost, etc.

Based on the sludge properties of Shingashi sewerage treatment plant, we made technical inquiries for manufacturers of sludge incinerators and sludge dehydrator. As a result, all models proposed met various conditions, and each of them did not have any significant differences in total cost including initial cost, running cost, etc. Therefore, we decided to place an order for four models and to select and adopt by bidding.

3.4 Equipment Arrangement

Fig. 1 shows the conceptual diagram of Equipment Arrangement and segments of order placement. Compared with the existing incinerator, the number of equipment would increase such as a power generator and dehydrators as a result of unitization. So it was necessary to review site planning in a spatial limited site. Ultra-low moisture content dehydrators and energy self-contained incinerators differ by model, depending on the method of incineration or power generation. So we investigated every possible combination of site planning for equipment. As a result, it was confirmed that equipments can be arranged and unitized under conditions we

considered. We placed orders separately based on the type of industry. This time, we decided to order the dehydration and the incineration facility projects separately according to the self-contained range.

3.5 Coordination of time schedule with related construction works

To construct the energy self-contained incineration system, we placed orders for a total of four construction works: incineration equipment, dehydration equipment, electric facilities and foundation work for the construction site. In case one construction work gets behind, other related works will be affected, and then delay the operation of the energy self-contained incineration system. To prevent such a situation from occurring, we continue to coordinate the work process as needed, manage a close coordination of the progress of each work, and then facilitate smooth coordination for completion.

3.6 Adopted equipment

As a result of a bidding race for the renovating work of sludge incinerating equipment and dehydrating equipment, we adopted a combined system of the fluidizing bed incinerator and centrifugal dehydrators. Fig.2 shows a general flow of the fluidized bed incinerator adopted this time. In order to optimize combustion along with changes of the properties and supply amount of sludge, the system simultaneously monitors the temperature of the incinerator's sand bed, temperature of the freeboard and O_2 concentration at the exit, and optimally controls the fluidizing air rate. By controlling to reduce surplus rate of fluidizing air, it forms a high-temperature zone in the incinerator. As a result it can reduce N_2O emission and CO_2 emission related to the power of the fluidizing blower and use of auxiliary fuel. Moreover, by generating power using wasted heat, it can supply necessary power for operation of the incinerator itself.

3.7 Outlook for the future

Construction works are underway at present for the running of the new system in 2020. After its operation starts, we will conduct an ex-post evaluation of N_2O emissions, power consumption, auxiliary fuel use, power generation unit price, etc.

4 Conclusion

Based on the conditions of sludge properties, installation location, etc., we examined a plan to arrange equipment, costs, etc. in detail, and adopted the energy self-contained incineration system. As a result, the self-sustained operation became available, in which incinerators do not need power supply and fuel supply. We expect to contribute to global warming countermeasures by reducing energy consumption and greenhouse gas emissions.

In the future, we will design not only incineration process but also various facility constructions leading to other global warming countermeasures through energy creation and energy saving.

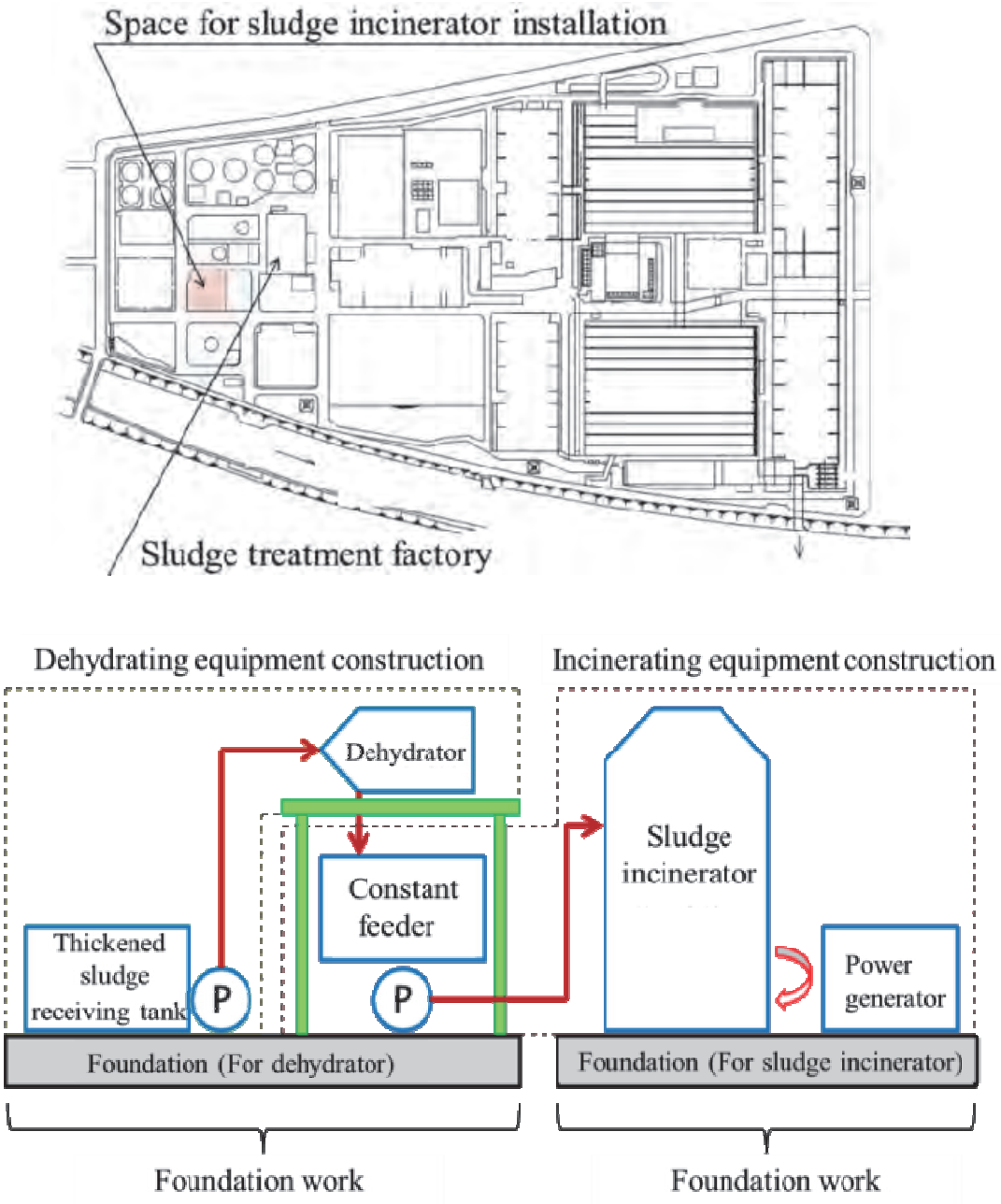


Fig. 1 Conceptual diagrams of the site planning for equipment and segment of order placement

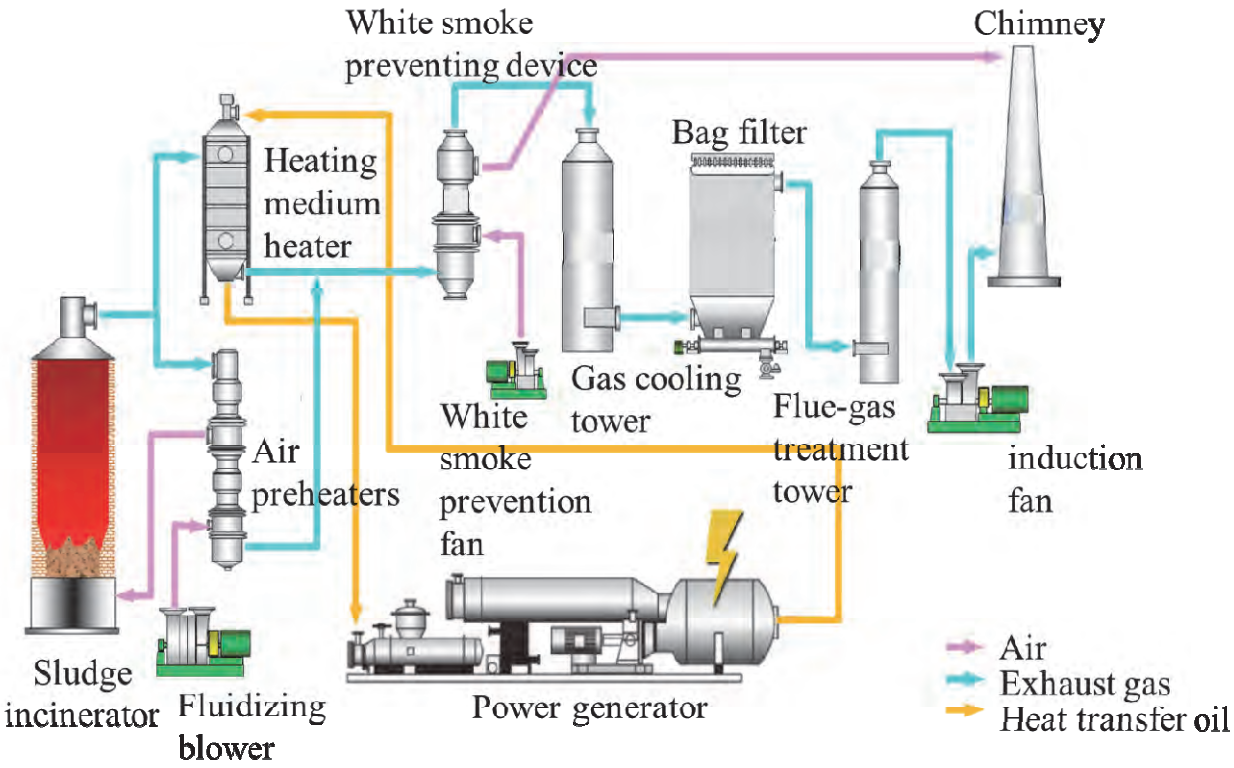


Fig. 2 General flow of fluidized bed incinerator

2-3-2　超低含水率型脱水機を併設した
エネルギー自立型焼却システムの建設について

建設部　設備設計課　渡辺　大樹

1. はじめに

東京都下水道局（以下「当局」という。）は、東京都内における 1 年間の電力量約 860 億 kWh の約 1%を占める 9.8 億 kWh という大量のエネルギーを消費していることから、エネルギー使用量の削減に大きな責務を負っている。しかし、浸水対策や合流式下水道の改善等の下水道サービス向上に向けた取組によって、このままでは電力使用量や燃料使用量が増加し、温室効果ガス排出量が増加する見込みである。そこで、当局では、エネルギー基本計画「スマートプラン 2014」及び地球温暖化防止計画「アースプラン 2017」に基づく、「再生可能エネルギー活用の拡大」と「省エネルギーの更なる徹底」により、温室効果ガス排出量削減に取り組んでいる。この取組の１つとして、下水汚泥焼却工程における「エネルギー自立型焼却システム」の開発・導入がある。本稿では、当局で設計及び発注を行った「エネルギー自立型焼却システム」の設計内容について報告する。

2. エネルギー自立型焼却システムとは

2.1　東京都における汚泥焼却炉の変遷

当局は、下水から生じる汚泥の減容化及び安定化を目的として汚泥の全量焼却処分を行っている。これは、東京都において、下水汚泥の最終処分地に限界があるためである。一方、汚泥焼却工程は、電気及び都市ガスの大量消費に加え、焼却に伴い生成される温室効果ガスの一種である N_2O も大量に排出している。N_2O は地球温暖化係数が 298 と高く、地球温暖化への影響が大きい。そこで、当局は、温室効果ガス排出量を削減する汚泥焼却炉の開発に取り組むことにした。N_2O は焼却温度を高めると発生量が減少する特性を持つことから、N_2O の発生抑制を目的とし、従来より 50℃程度フリーボード部温度を上昇させた高温燃焼焼却炉（これを当局では「第一世代型」という）を導入した。しかし、焼却温度を高温化することで N_2O が減少する反面、都市ガス使用量が増加する。そこで、炉内の燃焼方式等を改善することにより、高温焼却を維持しつつ、燃料を削減する高温省エネ型焼却炉（これを当局では「第二世代型」という）を導入している。さらに今回、焼却廃熱を利用した発電電力が、焼却炉運転時の使用電力を上回るエネルギー自立型焼却炉（これを当局では、「第三世代型」という）を開発した。当局では、エネルギー自立型焼却炉は、廃熱による発電の効果を最大限発揮するため、焼却炉が定格で連続運転することを前提とした主要炉に導入し、高温省エネ型焼却炉は、省エネルギーの更なる推進のため、汚泥量の変動に伴い投入量等を調整する調整炉に導入することを予定している。

2.2　エネルギー自立型焼却システムの構成

エネルギー自立型焼却システムは、超低含水率型脱水機による自燃とエネルギー自立型焼却炉による発電を組み合わせたエネルギー自立が可能な燃焼システムであり、それぞれの特徴は以下に示すとおりである。

2.2.1　超低含水率型脱水機の特徴

従来の低含水率型脱水機の脱水性能が汚泥含水率 76%以下であるのに対し、超低含水率型脱水機は、汚泥含水率を 71%程度まで低下させることができ、もし汚泥性状が悪化した場合でも薬液注入により 74%以下を達成することが可能である。下水汚泥は、含水率を 74%以下とすると、都市ガス等の補助燃料を使用せず高温焼却を行うことが可能となる。共同研究の結果、超低含水率型脱水機として、遠心脱水機、圧入式スクリュープレス脱水機の 2 機種が当局の技術管理委員会により実用化すべきであるという評価を得ている。

2.2.2　エネルギー自立型焼却炉の特徴

エネルギー自立型焼却炉は、高温省エネ型焼却炉に発電機を付加した焼却炉である。汚泥焼却炉の廃熱を利用したバイナリー発電機や蒸気発電機で発電を行うことで、外部から電力供給を受けることなく汚泥焼却炉の運転が可能であり、N_2O を従来比 50%削減可能となる。共同研究の結果、処理能力 300t/日では、エネルギー自立型焼却炉として、ストーカー炉、ターボ型流動炉、燃焼最適化システム付流動焼却炉、タービン多層型流動炉、タービンガス化炉の 5 機種が当局の技術管理委員会により実用化すべきであるという評価を得ている。

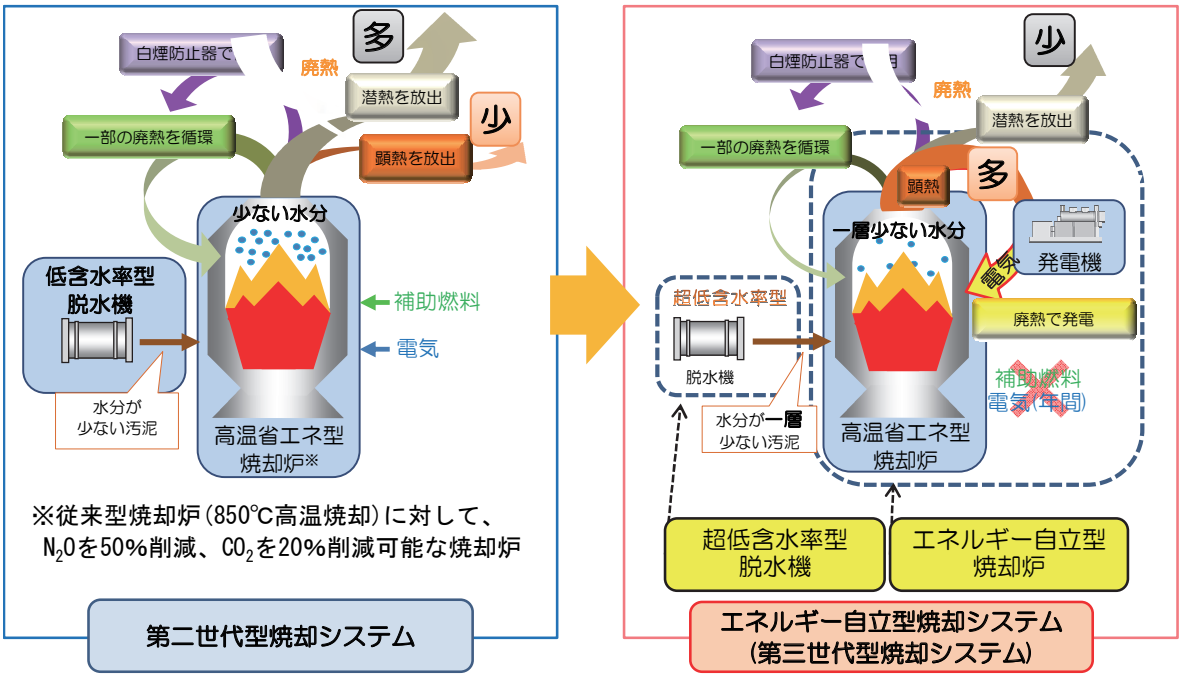


図 1　第二世代型及び第三世代型焼却システム概念図

3.　エネルギー自立型焼却システムの設計

3.1　設計条件

東京都の新河岸水再生センター（東京都板橋区 計画水量 670,000m3/日）の汚泥焼却炉の再構築に際して、温室効果ガス排出量の削減を目指し、エネルギー自立型焼却炉第 1 号機の設計を行った。

主な設計課題としては、次の点が挙げられる。

3.2　設置スペースについて

焼却炉と脱水機の能力は、計画汚泥量、既設の焼却能力、点検・工事等による停止を考

慮し、焼却炉については250t/日を1基、脱水機については60m³/hを3台とした。通常の再構築では、汚泥焼却炉を既設炉の撤去跡地に設置し、脱水汚泥は別の場所にある汚泥処理工場からポンプやベルトコンベヤで搬送する。しかし、今回は、超低含水率化した脱水汚泥の搬送動力を低くするため、汚泥脱水機は汚泥焼却炉に近接配置（以下、「ユニット化」という。）する必要があり、設置スペースに制約がある。

3.3 機種選定について

共同研究で実用化評価された機種が、目標とする温室効果ガス排出量や脱水汚泥含水率を達成すること、焼却炉がエネルギー自立するか等を、実機 250t/日でも性能を確保する必要がある。さらに、イニシャルコストやランニングコスト等についても比較検討が必要である。

このため、新河岸水再生センターの汚泥条件をもとに、汚泥焼却炉、汚泥脱水機の各製造メーカーへの技術照会を行った結果、回答があった全ての機種が当局の要求する仕様を満たし、イニシャルコスト、ランニングコスト等を含めた総コストにも大きな差が見られなかった。そのため、4機種併記での発注とした。

3.4 設備配置について

図2に設備配置及び発注区分の概念図を示す。既設炉に比べ、発電機やユニット化に伴う脱水機等の機器点数の増加がある中、限られた敷地内での配置検討を行う必要がある。超低含水率型脱水機は機種によって各々形状や大きさが異なり、エネルギー自立型焼却炉も機種によって各々焼却方法や発電方式が異なるため、すべての組合せで配置が可能か検討した。

この結果、検討した条件下での機器配置が可能であり、ユニット化できることを確認した。当局では、業種毎に分けて発注を行っており、今回工事においては、汚泥焼却炉がエネルギー自立する範囲を焼却設備工事、それ以外を脱水設備工事に分けて発注することとした。

3.5 関連工事との工程調整について

エネルギー自立型焼却システムを構築するため、機械設備である焼却設備工事、脱水設備工事の他、電気設備工事、土木基礎工事の計4つの工事が発注されている。順序として汚泥焼却炉、汚泥脱水機の機種が決定して初めて大きさや荷重条件が確定し、それを基に土木基礎工事の仕様が確定する。また、電気設備の仕様も機種により異なるため、各工事間での調整が極めて重要である。1つの工事が遅延すると、関連工事へ影響を及ぼし、エネルギー自立型焼却システムの稼働も遅れるため、今後も工程調整を適宜行い、各工事間で密な進行管理を行うことで、工事を円滑に進めていく。

3.6 今回の採用機種について

汚泥焼却設備再構築工事と汚泥脱水設備工事競争において、入札の結果、本工事の採用機種は、流動炉と遠心脱水機の組合せとなった。図3に今回採用した流動炉の概略フローを示す。今回採用した汚泥焼却炉では、汚泥性状や汚泥供給量の変動に追従した燃焼最適化を図るため、焼却炉の砂層温度、フリーボード部温度、出口O_2濃度を同時に監視し、流動空気量を最適に制御する。流動空気量の余剰分を削減するよう制御することで、焼却炉内に高温領域を形成しN_2O排出量の削減を図ると共に、流動ブロワ動力及び補助燃料に関わるCO_2排出量も削減できる。さらに、廃熱により発電することで、焼却炉自体で必要な電気を自給する。

3.7　今後の展望

現在、2020 年の稼働に向けて施工中である。また、稼働後は、N_2O 排出量、使用電力量、補助燃料使用量、発電単価等について共同研究の事後評価を行う予定である。

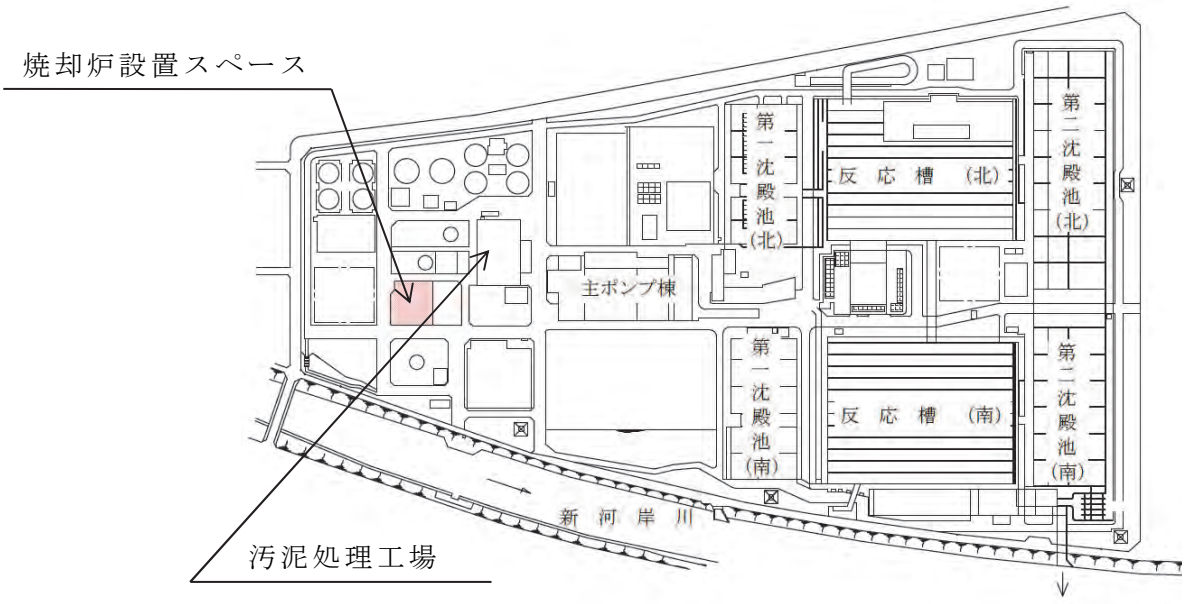


図 2　焼却炉設置スペース

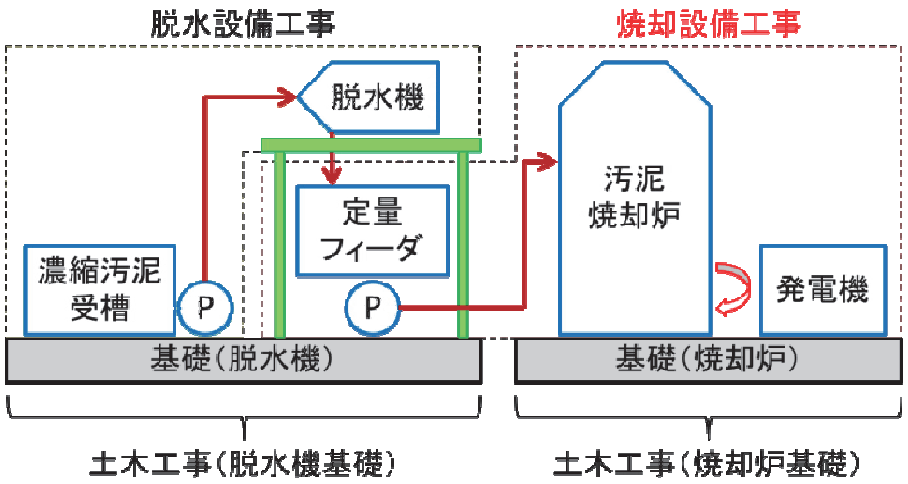


図 3　設備配置及び発注区分の概念図

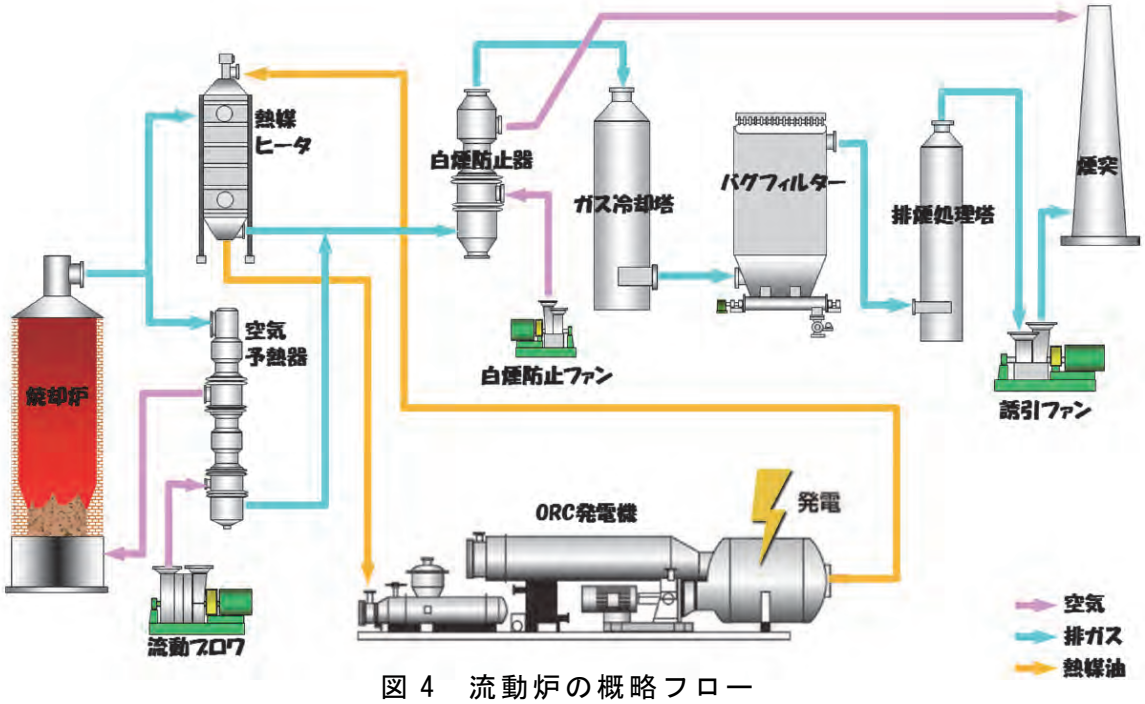


図 4　流動炉の概略フロー

4　おわりに

当局では、汚泥性状、設置場所等の条件から、配置計画、コスト等について詳細な検討を行い、エネルギー自立型焼却システムの採用に至った。これにより、汚泥焼却炉に外部からの電力及び燃料を必要としない自立運転が可能となり、エネルギー使用量の削減と温室効果ガスの削減による地球温暖化対策への貢献が期待できる。

今後も、焼却プロセスに限らず、地球温暖化対策のより一層の推進に向けて、創エネルギー及び省エネルギーに繋がる各種設備工事の設計を行っていく。

2-4-1　アースプラン 2017 の策定と取組

担当者　計画調整部　計画課　新井　龍一
（現　建設部　設備設計課）

1. はじめに

下水道事業では、主に汚水や雨水をくみ上げるためのポンプ設備や反応槽に空気を送り込む送風機設備、汚泥の水分を減らして燃やす焼却設備で電気や燃料を大量に使用しており、同時に大量の温室効果ガスを排出している。都においては、2014 年度の都庁全体の事務事業活動により排出される温室効果ガスの 35％を下水道事業由来のガスが占めていることから、東京都下水道局（以下、「当局」という。）は、地球温暖化防止に対する大きな責務を負っている（図 1）。

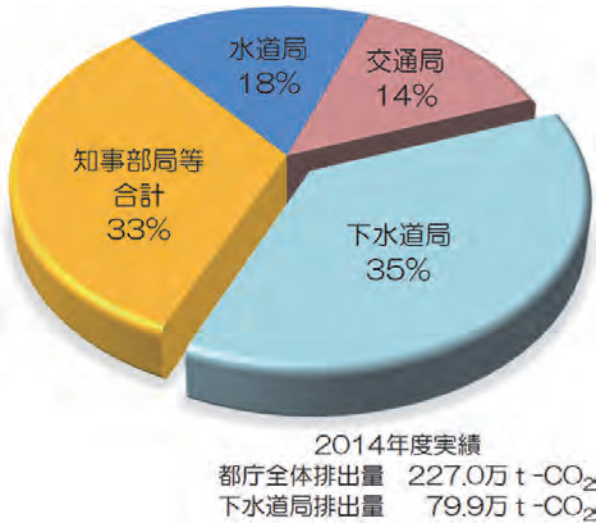


図 1　東京都の事務事業活動における局別温室効果ガス排出量の割合

当局では、京都議定書に先駆け、2004 年に下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン 2004」を策定し、下水道事業から排出される温室効果ガスを 2009 年度までに 1990 年度比で６％以上削減する目標を前倒しで達成した。

引き続き、2010 年には「アースプラン 2010」を策定し、2020 年度までに 2000 年度比で 25％以上の削減を目標として、温室効果ガス排出量の削減に取り組んできた。汚泥の高温焼却や省エネルギー型設備の導入などを進めた結果、汚泥処理工程で発生する温室効果ガスの削減が進み、2016 年度末では、「アースプラン 2010」の最終目標である 2000 年度比で 25％以上削減した。

今後、温室効果ガス排出量の一層の削減を目指して、新たな削減目標、具体的な取組を設定した「アースプラン 2017」を策定した。

2. 下水道サービス向上の取組等による温室効果ガス排出量の増加

今後、都内の人口が増加することに加え、現在、当局で進めている「浸水対策」や「合流式下水道の改善」などの取組では、雨天時に貯留した雨水や下水を晴天時に水再生センターで処理するため、下水や汚泥の処理量の増加に伴い、電力や燃料の使用量も増加する。さらに、高度処理の導入においては、処理水質向上のために必要な水中撹拌機や汚水を循環するためのポンプ設備の導入などにより、標準活性汚泥法に比べて電力使用量が増加する。

これらの人口増加や下水道サービス向上の取組により、下水処理量及び汚泥処理量が増加するため、下水道事業から排出される温室効果ガスは、新たに削減対策を実施しない場合、2020 年度には 81.7 万 t -CO_2、2030 年度には 84.1 万 t -CO_2 までそれぞれ増加すると

見込まれており、これまで以上に温室効果ガス排出量の削減が求められている。

3.「アースプラン 2017」の策定と目標

このような状況を踏まえ、さらなる温室効果ガス排出量の削減を図るために、下水道事業で発生する温室効果ガスを 2030 年度までに 2000 年度比で 30%以上削減することを目標とした、地球温暖化防止計画の第３弾となる「アースプラン 2017」を 2017 年３月に策定した（図 2）。

計画期間と削減目標は、2016 年３月策定の「東京都環境基本計画」に掲げる「2030 年までに東京の温室効果ガス排出量を 2000 年比で 30%削減」を踏まえた。

本プランでは、削減対策を効果的に行うために、計画期間を二つに分割し、2017 ～ 2020 年度までを第一期計画期間として、2020 年度までに 2000 年度比で 25%以上の削減を目標とした。この期間は、具体的な削減対策を示し、計画を着実に実施するとともに、第二期計画期間の削減を確実なものとするために、新たな削減対策の技術開発を継続して推進していく。

また、2021 ～ 2030 年度の第二期計画期間では、第一期計画期間の取組を継続・強化するとともに、新たな削減技術を導入するなど、2030 年度の削減目標である 2000 年度比で 30%以上削減に向けて、対策を加速させていく。

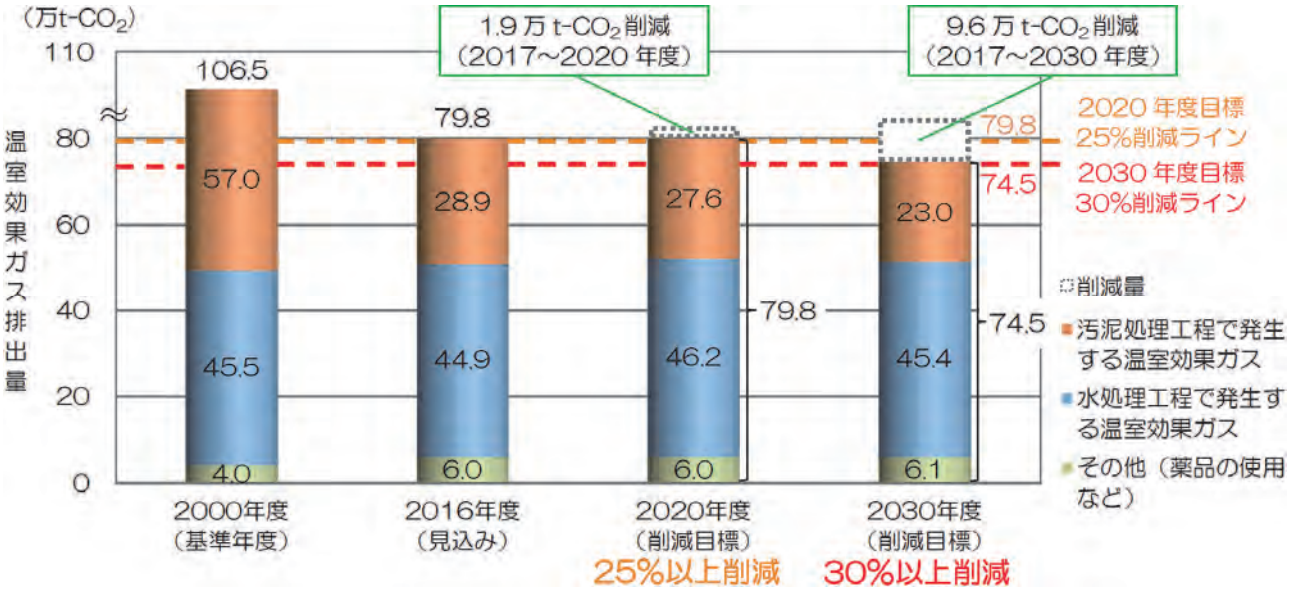


図 2　新たに削減対策を実施した場合の温室効果ガス排出量予測

4. 基本方針・取組方針

当局がこれまで取り組んできた「アースプラン 2010」での対策評価を踏まえ、本プランでは、2014 年に策定した下水道事業初のエネルギー基本計画「スマートプラン 2014 との両立」や、「最新技術の先導的導入」、「下水道サービス向上による温室効果ガス排出量増加への対応」の３つの基本方針と、「徹底した省エネルギー」や「処理工程・方法の効率化」、「再生可能エネルギーの活用」、「技術開発」など６つの取組方針に沿って、24 の対策を掲げ、戦略的に削減していく（図 3）。

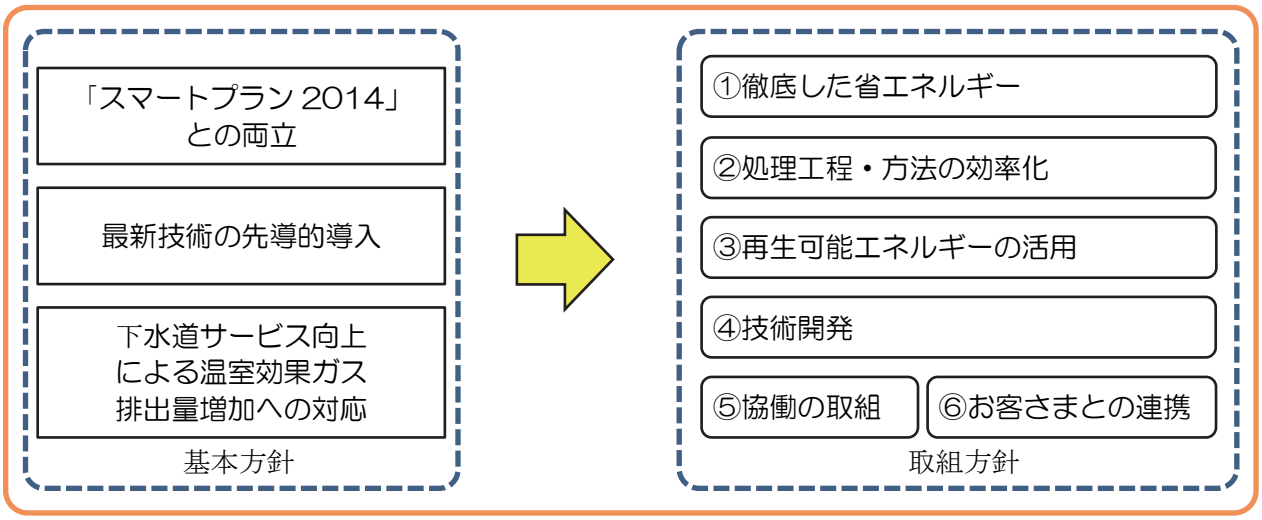


図 3　基本方針と取組方針

5. 主な削減対策

次に、本プランで掲げる主な温室効果ガス削減対策の取組の一部を示す。

5.1　徹底した省エネルギー

再構築に合わせた省エネルギー型機器の導入（図 4）や照明の LED 化（図 5）に加え、温暖化対策の効果を早期に発揮させるために、機能向上した省エネルギー型の設備を前倒しで再構築する。

図 4　省エネルギー型濃縮機の導入

図 5　水再生センター執務室への導入事例

5.2　処理工程・方法の効率化

反応槽のばっ気システムの最適化（図 6）に加え、多摩地域では、多摩川の対岸にある水再生センター間の連絡管を活用し、効率的な汚泥焼却を行う（図 7）など、システム全体としての効率化を図る。

また、電力使用量の削減が可能な「省エネ炉」や廃熱を活用してエネルギーを創り出す「創エネ炉」を導入拡大することで、汚泥処理工程で発生する温室効果ガスの一層の削減を図る。

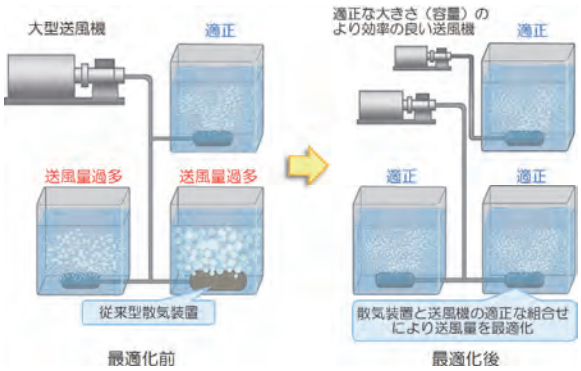


図 6　ばっ気システムの最適化

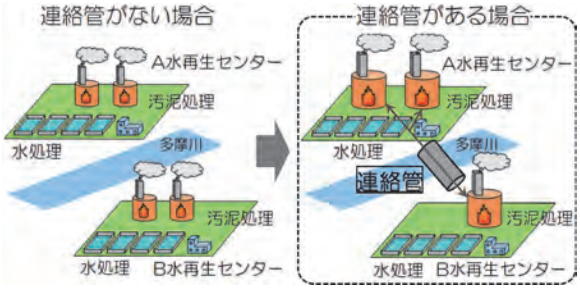


図 7　連絡管を活用した効率的な汚泥焼却

5.3　再生可能エネルギーの活用

太陽光発電（図 8）や小水力発電（図 9）の拡大導入により、可能な限り自らエネルギーを確保し、化石燃料由来の温室効果ガス排出量を削減する。

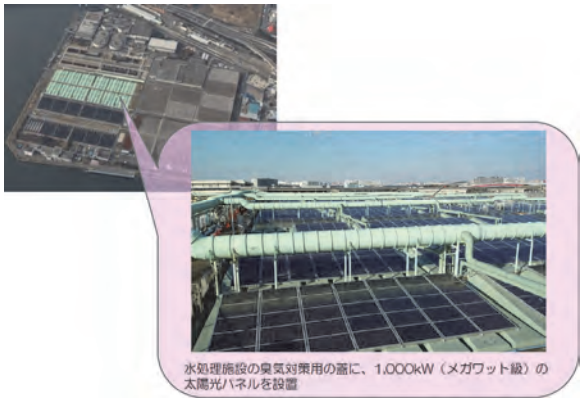


図 8　太陽光発電の導入

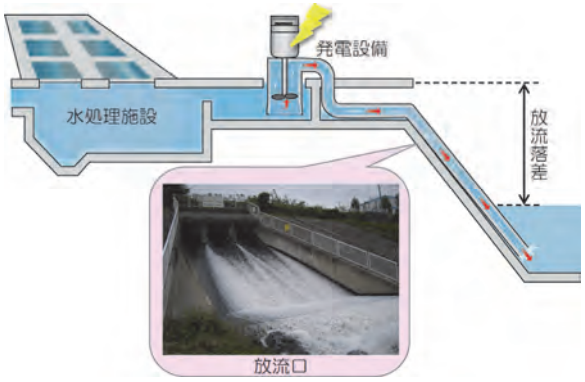


図 9　小水力発電の導入

5.4　技術開発

さらなる温室効果ガス排出量の削減を目指し、活性汚泥モデルを用いて送風量を最適制御して送風機電力を削減する技術や、焼却廃熱を活用して発電を行い、焼却炉自体以外に水処理・汚泥処理施設にも電気を供給する「エネルギー供給型焼却システム（図 10）」などの技術開発を推進していく。

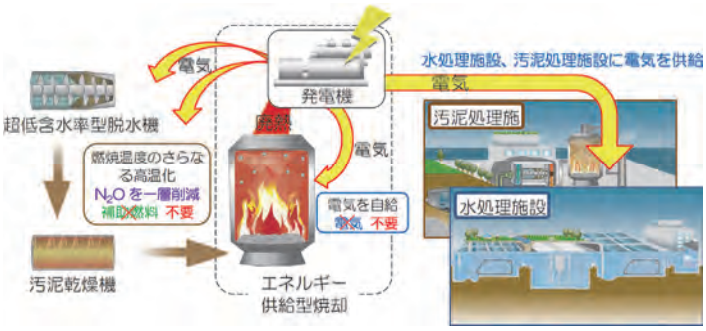


図 10　エネルギー供給型焼却システムの開発

6. まとめ

国内をはじめ、世界各地で温暖化が原因と想定される異常気象の発生が多発しており、地球温暖化対策は、まさに「待ったなし」の状況である。

「アースプラン 2017」の着実な実施により、率先して温室効果ガス削減対策を推進することで、快適な地球環境を次世代に継承し、当局の「経営計画 2016」の目標の一つである「良好な水環境と環境負荷の少ない都市の実現」に貢献する。

2-4-2　トータルエネルギー削減に向けた運転管理の工夫

担当者　流域下水道本部　技術部　北多摩二号水再生センター　小橋　潤
林　紀子
山本　和興
(現　福祉保健局)
濱本　亜希
(現　水道局)
山下　博史
(現　流域下水道本部　技術部　清瀬水再生センター)

1. はじめに

東京都下水道局では、下水処理過程で消費される莫大なエネルギーを削減するため、水処理電力量と当該電力量に影響する処理水の全窒素濃度の二つを指標として、放流水中の全窒素濃度を維持しつつ、送風機等水処理電力量の削減を目指す取組（二軸管理）を進めてきた。

一方、図1に示すように、汚泥処理も行っている水再生センターでは、汚泥処理過程で消費されるエネルギーも大きな割合を占めている。そこで、浅川水再生センターにおいて、水処理と汚泥処理を一体として捉えて、余剰汚泥引抜量の削減とDO制御を組み合わせた運転管理（以下「余剰汚泥削減運転」という）を行った。その結果、汚泥処理工程における都市ガスや高分子凝集剤の使用量が減少し、水処理工程で送風機電力量の削減を積極的に進めた年度と比較して、トータルでエネルギーを削減できたので以下に報告する。

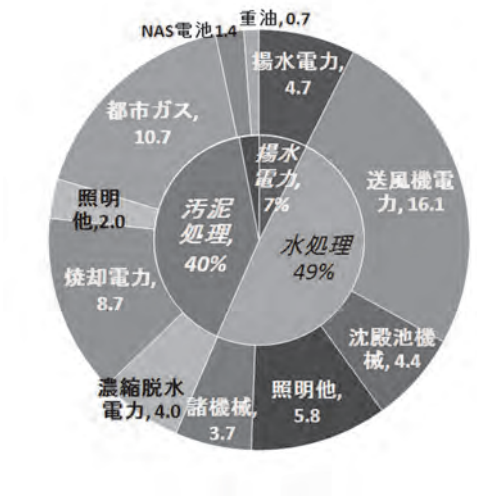


図1 平成28年度浅川水再生センターの消費エネルギー内訳[単位：TJ]
※トータルエネルギーは62.7TJ。

2. 浅川水再生センターの概要

浅川水再生センターは分流式の下水処理場であり、処理水量は 83,400m^3/日である。水処理工程は4系列（標準法、高度処理法）あり、風量制御はDO制御、一部系列でNH_4-N制御も可能となっている。汚泥処理工程は、生汚泥は重力濃縮、余剰汚泥は遠心濃縮されて混合汚泥貯留槽で混合する。混合汚泥は遠心脱水機で脱水後に、省エネ型のターボ型焼却炉（1号炉・処理能力60t/日・使用電力150kW）もしくは流動層式焼却炉（2号炉・処理能力100t/日・使用電力400kWh）で焼却している。

3. 調査内容

余剰汚泥削減運転とは、水処理工程から引き抜いて汚泥処理工程に送る余剰汚泥量を減らすことで汚泥処理エネルギーの削減を図る運転をいう。余剰汚泥の発生自体を抑制する

ために、水処理工程では送風量を抑制せず、反応槽途中で硝化が完了するような目標値でDO制御を行う。浅川水再生センターでは、平成27年4月から、これまでの送風量抑制運転に代わり、余剰汚泥削減運転を開始した。

3.1 余剰汚泥引抜量の削減効果検証

汚泥処理工程に供給する余剰汚泥量を減らすことで、濃縮機や脱水機の稼働台数および稼働時間減による電力量の削減、脱水性の悪い余剰汚泥比率の低下による高分子凝集剤の使用量削減、脱水汚泥の含水率低下による都市ガス使用量削減が期待された。そこで、平成27年4月16日以降、余剰汚泥引抜量を1,100m^3/日から徐々に500m^3/日まで削減し、汚泥処理・焼却電力量、都市ガス使用量、含水率等、水処理施設への影響を調査した。降雨の影響が少なく、同じ焼却2号炉が稼働している表1の期間で比較を行った。

表1 調査条件と比較期間

	比較期間	余剰汚泥引抜量
RUN1	H27/3/15～4/13	1,100m^3/日
RUN2	H27/5/26～6/13	500m^3/日

3.2 風量制御と余剰汚泥発生量の関係調査

余剰汚泥引抜量を減らすと水処理工程で滞留する活性汚泥量が増加し、反応槽のMLSS濃度が上昇する他、最終沈殿池において水量変動時に汚泥界面上昇によるキャリーオーバーのリスクが生じる。そこで、余剰汚泥引抜量を削減してからは、反応槽で活性汚泥が内生呼吸域に入って減量することを目標にして、高負荷時にも反応槽末端でアンモニアが残存しないように完全硝化を目的にDO制御の設定値を調整した。

反応槽内のMLSS濃度、放流水質の分析を行い、反応槽末端でアンモニアが残存する程度まで送風量を抑制した平成26年度と余剰汚泥削減運転を行った平成27年度で余剰汚泥の発生量と放流水質の年度比較を行った。

4. 調査結果

4.1 余剰汚泥引抜量の削減効果

余剰汚泥引抜量を削減したRUN2とそれ以前のRUN1で汚泥処理電力量を比較した。余剰汚泥引抜量が約半分になったことで、遠心濃縮機等の稼働台数や稼働時間が減少し、汚泥処理電力量は4,900ｋWh/日から4,400ｋWh/日と約10%削減された。また、汚泥処理各工程への影響について表2にまとめた。余剰汚泥引抜量減少に伴い引抜汚泥濃度が高くなった影響で、固形物量としては7.0t/日から4.5t/日の約40%減となり、最初沈殿池引抜汚泥（生汚泥）の引抜固形物量が同程度であったこともあり、脱水性の悪い余剰汚泥に対する生汚泥の比率が1.5から2.3と高くなった。この影響で脱水ケーキの含水率は78.7%から76.4%に低下し、脱水ケーキ1tあたりの都市ガス使用量も76.5Nm^3/tから18.7Nm^3/tと大幅に減少した。図2は、焼却炉に投入する脱水ケーキを1時間おきに採取して測定した含水率と都市ガス使用量との関係を示したものであるが、含水率が低くなるほど都市ガス使用量は少なくなる。このため、余剰汚泥引抜量の減量が含水率お

表2 濃縮・脱水・焼却工程への影響

	濃縮			脱水		焼却
	生汚泥（重力濃縮）	余剰汚泥（遠心濃縮）	生/余剰	脱水ケーキ含水率	高分子凝集剤注入率	都市ガス使用量
	t/日	t/日	-	%	%	Nm^3/t
RUN1	10.7	7.0	1.5	78.7	0.37	76.5
RUN2	10.6	4.5	2.3	76.4	0.35	18.7

よび都市ガス使用量の低下につながったと推測された。

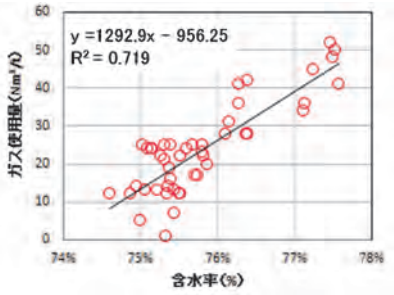


図 2　含水率と都市ガス使用量の関係

4.2　送風量と余剰汚泥発生量の関係

以下の項目について、平成 26 年度（送風量を抑制）と平成 27 年度（余剰汚泥削減運転）で比較を行った。

4.2.1　水処理状況（表 3）

平成 27 年度は、平成 26 年度と比べて、送風倍率は 5.8 倍と増加し、A-SRT も高 MLSS に伴い 13.4 日と長くなった。ただし、汚泥の沈降性が悪化し、最終沈殿池で汚泥界面が高水位で生じた。

表 3　水処理状況（年平均値）

年度	送風倍率	A-SRT(日)
H26	5.1	9.0
H27	5.8	13.4

4.2.2　放流水質（表 4）

T-N としては、平成 26、 27 年度で同値となったが、平成 26 年度は硝化が抑制されて NH_4-N が 4.4mg/L 残存していたのに対し、平成 27 年度は 0.8mg/L とほぼ完全硝化した。

表 4　放流水質（mg/L）

年度	BOD	T-N	T-P	NH_4-N
H26	9	11	1.0	4.4
H27	4	11	1.3	0.8

4.2.3　送風量と余剰汚泥発生量との関係

平成 26、平成 27 年度の余剰汚泥引抜量と、運用した全ての反応槽内の活性汚泥量をそれぞれ固形物に換算した結果を図 3 に示す。図 3 の点線と数値は各年度の余剰汚泥引抜量の平均値を示している。

反応槽内汚泥量の変化をみると、平成 26 年度は焼却炉が停止して余剰汚泥を引抜けなくなった 2 回を除くと大きな変動は認められなかったが、余剰汚泥引抜量を減らした平成 27 年度は反応槽内汚泥量が徐々に増加する傾向が認められた。そこで、下記式により水処理工程における余剰汚泥発生量を算出したところ、平成 27 年度は 4.76t/日であり、平成 26 年度の 5.39t に対し約 10％減少していた。この理由としては送風量増加と余剰汚泥引抜量減に伴う MLSS、A-SRT の増加が考えられる。一般的に、反応槽に空気を多く供給して反応槽途中で有機物処理を完了させることで槽内に有機物→細菌→原生・後生動物といった生物の食物連鎖が形成され汚泥が減量化することが知られている。

余剰汚泥発生量（t/日）＝反応槽内汚泥量の増加量（t/日）※ + 余剰汚泥引抜量（t/日）

※反応槽内汚泥量の増加量（t/日）は以下の計算式により求めた。

反応槽内汚泥量の増加量（t/日）=（調査終了日槽内汚泥量（t/日）- 調査開始日槽内汚泥量（t/日））/ 調査日数

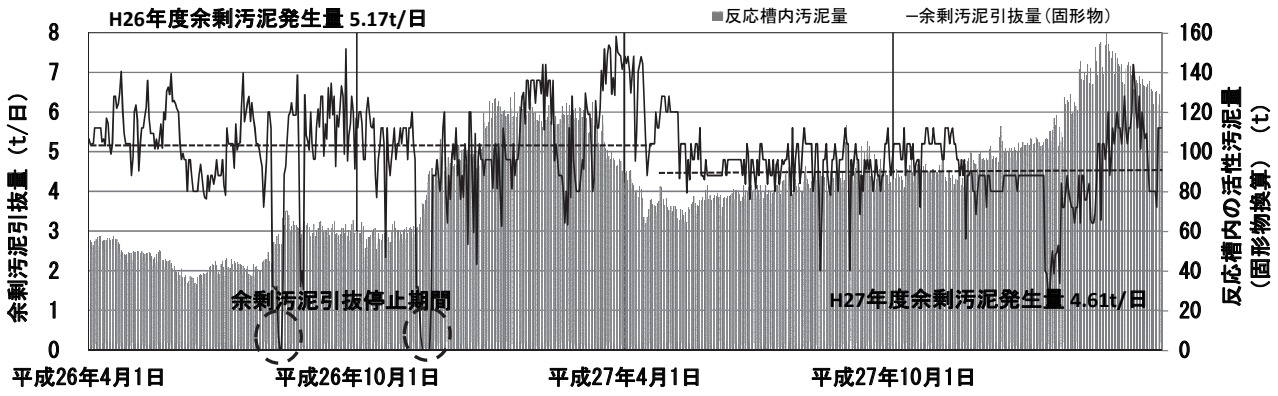


図 3　余剰汚泥引抜量と反応槽内の活性汚泥量の変化

5. 下水処理トータルエネルギー・コスト比較

トータルエネルギーの推移を図 4 に示す。トータルエネルギーは、水処理電力（送風機、沈殿池機械）、汚泥処理電力（濃縮・脱水電力、焼却電力）、都市ガス使用量から算出した。各動力は、電力 1kWh＝3.6MJ、都市ガス 1Nm^3＝43.1MJ とした。水処理電力量は、余剰汚泥削減運転を推進した平成 27 年度は、平成 26 年度と比べて大幅に増加したが、それ以上に多くのエネルギーを都市ガス使用量として削減できており、トータルエネルギーとしては平成 26 年度よりも約 5%減少した。また、図 5 に示すとおり、平成 27 年度のトータルコストは平成 26 年度と同等となった。なお、各動力等の金額換算は、年度によって単価が変動するため、電力 1kWh＝13 円、都市ガス 1Nm^3＝78 円、高分子凝集剤 1kg＝540 円、PAC1kg＝25 円、ポリ鉄 1kg＝22 円とした。

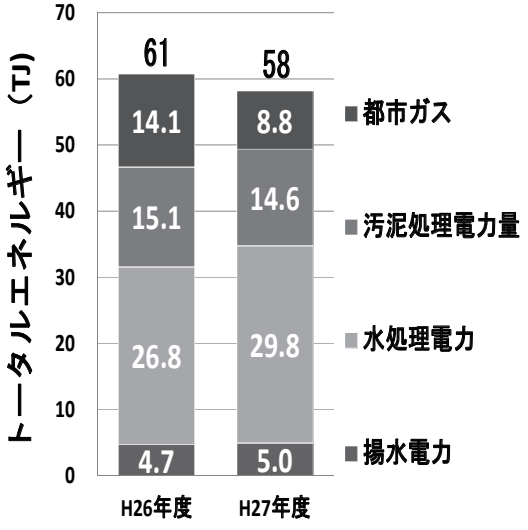


図 4 トータルエネルギーの推移

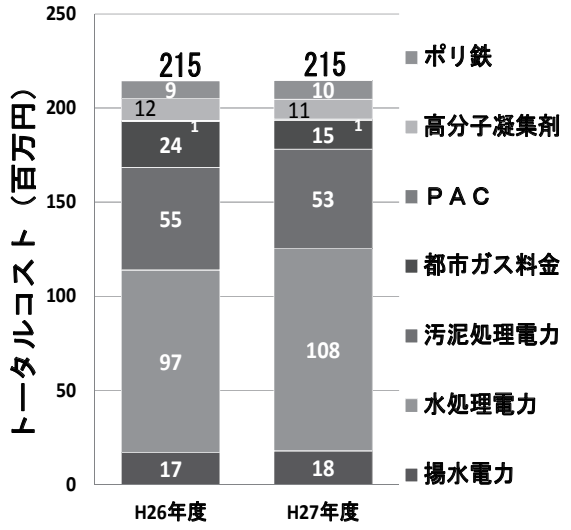


図 5　トータルコストの推移

6. まとめ

余剰汚泥削減運転を行うことにより、風量削減を積極的に促進した運転と比較して、トータルエネルギーは減少し、コストも同程度となった。ただし、余剰汚泥発生量は冬期に増加する傾向があることから、今後、抑制可能な運転条件や範囲について検討していく。

2-4-3　水質改善と省エネルギーを両立する運転方法の検証（事例報告）

流域下水道本部　技術部　多摩川上流水再生センター　水質管理担当
○磯村真一、山田肇、市川博明、花田いち子、坂元忠明

1　はじめに

流域下水道本部では、良好な放流水質の維持と水処理電力量の削減を目指し、水質と電力を両輪とする「二軸管理」による管理手法を実施しており、様々な取組みが行われている[1)~3)]。

多摩川上流水再生センターにおいても、平成 26 年度より主に送風機運転台数を低減する手法により取組んできたが、平成 27 年 2 月に 5 系（ステップ A_2O 施設）が稼働し、平成 27 年 12 月には散気装置をメンブレンに更新した 4 系（A_2O 施設）が稼働した。

これらの施設は散気効率や処理性能が高く個別送風化されており、既存の 1～3 系（以下、「在来系」という。）の送風設備と独立していることから、これらの系列を活かした運転の最適化に取組んだ。そこで 28 年度以降は、個別送風化した高度処理系列（4、5 系）（以下、「個別送風系」という。）に水量負荷をかけ、在来系の送風機運転台数を低減する運転方法により、放流水のアンモニア性窒素濃度を当センターの自主管理目標である 1 mg/Ｌ以内に維持したまま水処理電力量原単位の低減が図れることを確認した。平成 29 年度は、より省エネルギーな運転方法として、上記方法と共に第一沈殿池を利用した流入水量の平滑化を実施しており、良好な結果を得ている。本発表では、その過程と結果について報告する。

2　施設概要

2.1　処理施設の概要

本センターは、水処理施設が 5 系列に分かれる。各系列の反応槽の形状及び平成 28 年度の運転実績を**表 1** に示した。

表 1　反応槽の形状及び平成 28 年度の運転実績

		在来系			個別送風系	
		1 系	2 系	3 系	4 系	5 系
反応槽	処理方式	ｽﾃｯﾌﾟ A_2O	標準	AO/標準	A_2O	ｽﾃｯﾌﾟ A_2O
	処理能力（m^3/日/池）	25,100	37,500	37,500	48,000	45,500
	散気水深（m）	4.0	4.5	4.5	5.7	5.7
	散気装置（気孔径）	ﾒﾝﾌﾞﾚﾝ	散気筒（450μm）	散気筒（450μm）	ﾒﾝﾌﾞﾚﾝ	ﾒﾝﾌﾞﾚﾝ
	池数	2	2	2	1	1
運転実績（28 年度）	処理水量（m^3/日/池）	23,910	28,540	26,720	43,200	45,860
	反応槽滞留時間（h）	14.4	12.2	12.8	15.6	16.6
	BOD-SS 負荷（kgBOD/kgMLSS/日）	0.14	0.26	0.18	0.11	0.12
	MLSS（mg/L）	1,600	1,200	1,600	1,500	1,500
	汚泥返送比	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3
	硝化液循環率（%）	0	－	－	100	12
	前段ｽﾃｯﾌﾟ流入比	0.7	－	－	－	0.7

在来系は異なる散気水深と散気装置の系列が混在していることから、DO 制御がうまくいかない時は、状況に応じて運転員が手動で空気調節弁の開度調整を行って対応している。また、硝化液循環ポンプ

については、節電を目的としてステップ A_2O 施設である 1 系は放流水全窒素濃度に応じた運転とし、同じく 5 系は節電を考慮しつつ無酸素槽での汚泥浮上を抑制することを目的として、平日を停止し、週末のみの運転としている。

2.2　施設稼働状況

図 1 は平成 26 年度から現在に至るまでの施設の稼働状況を図に示したものである。平成 27 年 2 月の 5 系（ステップ A_2O 施設）の新規稼働にはじまり、平成 27 年 12 月には散気装置をメンブレンに更新した 4 系（A_2O 施設）が稼働した。4 系及び 5 系は個別送風化されており、ここ数年間で当センターの水処理施設が大きく更新された。

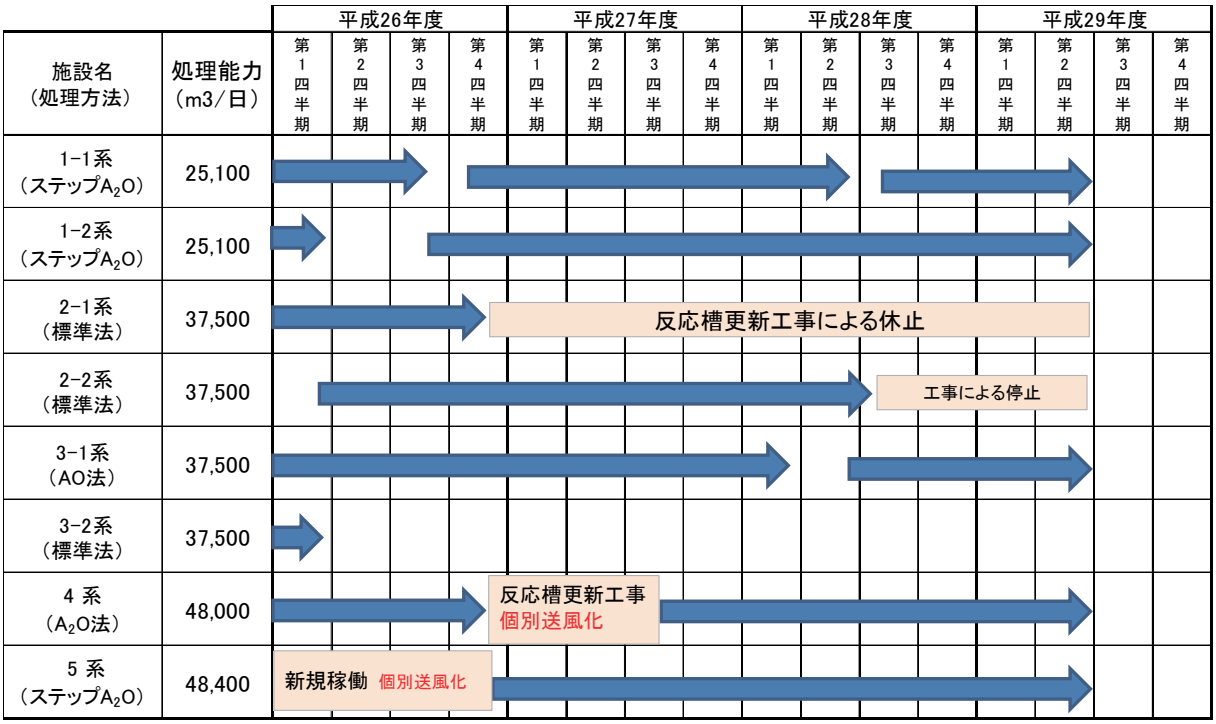


図 1　平成 26 年度から平成 29 年度における施設稼働状況

3　平成 28 年度の取組みについて

3.1　事前調査

平成 27 年 12 月に 4 系が更新稼働したことに伴い、個別送風系で各 1 台送風機を常時運転することとなった。**図 2** は、この時点での基本運転のイメージ図を示している。在来系で送風機 2 台、個別送風系で送風機 2 台の総計 4 台の運転となっている。

4 台運転とした場合、前年度の取組みと比較して、送風機の運転台数が増加してしまうことから、この状態から送風機 1 台の削減運転が可能か以下の 3 パターンについて調査を実施した（**表 2**）。

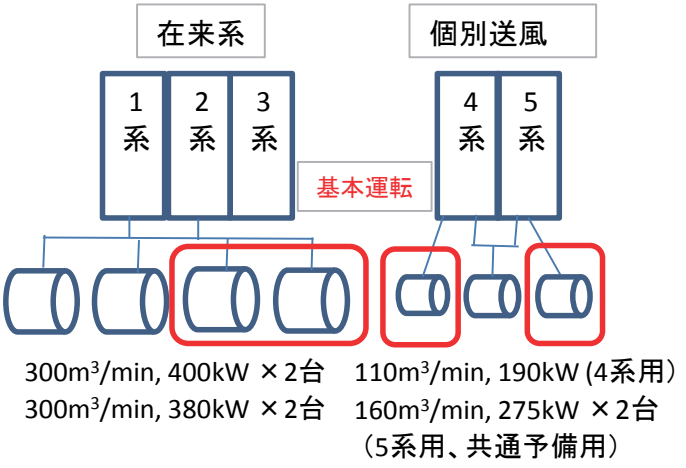


図 2　個別送風化イメージ図

(1) 個別送風系の送風機 1 台運転（条件①）

個別送風系の処理水量を可能な範囲で減少させて送風機 1 台運転とし、在来系は 2 台運転を継続する。

(2) 在来系の送風機 1 台運転（条件②）

個別送風系の処理水量を増加させて送風機は 2 台運転とし、在来系送風機 1 台運転をピーク電力調整期間である 13 時から 16 時の 3 時間確保する。

(3) 在来系の送風機 1 台運転（条件③）

条件②の運転方法で在来系送風機 1 台運転の時間を追加（ピーク時間の 3 時間に加え、早朝 4 時間とピーク時間後の 1 時間を含む 8 時間確保する）。

表 2　事前調査の条件（平成 28 年度）

条件	系列	送風機台数	運転条件
①	個別送風系	1 台	DO が確保できる水量(DO 制御) 風量 9000m³/h、24 時間連続
	在来系	2 台	DO 制御
②	個別送風系	2 台	DO 制御
	在来系	1～2 台	DO が確保できる水量(DO 制御) 1 台運転 3 時間（13 時～16 時）
③	個別送風系	2 台	DO 制御
	在来系	1～2 台	DO が確保できる水量(DO 制御) 1 台運転 8 時間（4 時～8 時、13 時～17 時）

3.2　調査結果

条件②と③では在来系において送風機を 1 台に制限する時間帯があるためにその時間帯に送風量が 1 台分の定格風量まで減少する。一方、条件①では常時 2 台運転で DO 制御を行っており、負荷の少ない深夜から朝の時間帯以外で送風量がほぼ 2 台分の定格風量となっていた（**図 3**）

個別送風系においては、条件①では 24 時間送風機 1 台分の定格風量となっており、実質的に風量一定制御となっている。条件②と③では、それぞれの送風機による DO 制御を行っており、負荷に応じた送風量となっていた（**図 4**）。

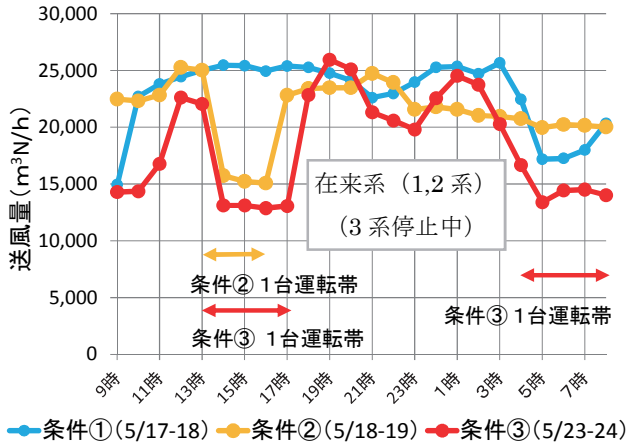


図 3　在来系送風量の時間推移

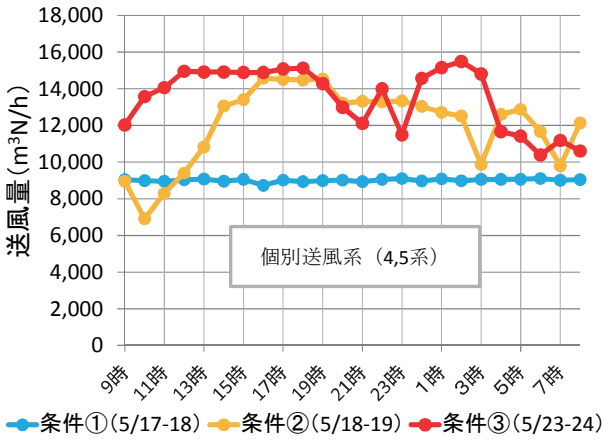


図 4　個別送風系送風量の時間推移

調査期間中の放流水アンモニア性窒素濃度を 2 時間毎に測定したところ、条件①では比較的高濃度で残留する時間帯があった（**図 5**）。当センターでは放流先である多摩川の水質保全に資するため、放流水アンモニア性窒素濃度の管理目標を 1mg/L（平成 28 年度）としており、この目標値をおおむねクリアできていたのは条件③のみであった。

また、それぞれの条件について送風電力量原単位と放流水窒素濃度負荷量平均値を算出し、評価を行ったところ**表 3** の通りとなった。条件①では送風機 1 台の運転削減を 24 時間行うため、送風電力量原単位は最も良い結果となったが、その反面、アンモニア性窒素最大濃度と全窒素平均濃度が最も高い結果となった。条件②と③はほぼ同様の結果となっていたが、送風機 1 台運転の時間が長い条件③の方が送風電力量原単位が低い結果となった。

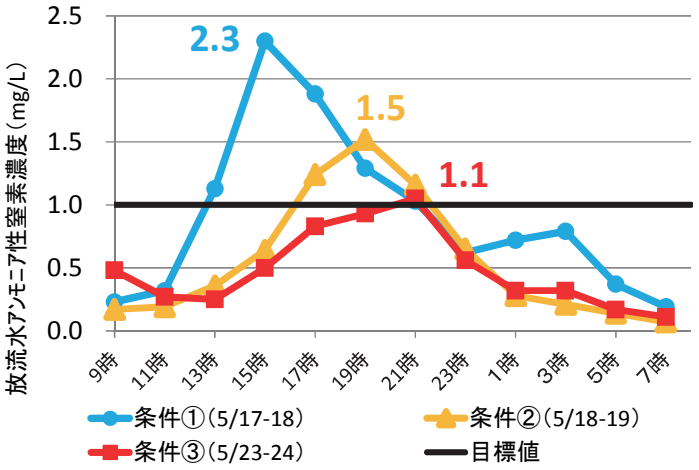


図 5　調査期間における放流水ｱﾝﾓﾆｱ性窒素濃度の推移

以上の結果から、条件③の運転方法により、平成 28 年度の運転対応を行うこととした。

表 3　調査期間における 2 軸項目等の結果と評価

条件	送風機台数	ｱﾝﾓﾆｱ性窒素最大濃度（mg/L）	送風電力量原単位（kWhr/m³）	全窒素平均濃度（mg/L）	評価
①	在来 2 台 個別 1 台	2.3	0.122	8.4	×
②	在来 時限 1 台 個別 2 台	1.5	0.139	7.3	△
③	在来 時限 1 台 個別 2 台	1.1	0.133	7.5	○

3.3　平成 28 年度二軸取組み結果

平成 28 年度は放流水全窒素濃度 7.8mg/L、水処理電力量原単位 0.191kWhr/m³ といずれも 28 年度の二軸目標値である 8.2mg/L と 0.200kWhr/m³ をクリアする良好な結果であった（**表 4**）。BOD 及びアンモニア性窒素濃度についても、管理目標をクリアできており、高度処理系列である個別送風系列を優先活用することで、水質改善と省エネルギーを両立する運転とすることができたと考える。

表 4　平成 28 年度二軸項目等取組み結果

	平成 28 年度	平成 27 年度	平成 26 年度
BOD（mg/L）	3 (10)	5 (9)	8 (6)
ｱﾝﾓﾆｱ性窒素（mg/L）	0.6 (1.0)	1.1	1.4
全窒素（mg/L）	7.8 (8.2)	8.2 (10.4)	10.0 (10.6)
水処理電力量原単位（kWhr/m³）	0.191 (0.200)	0.180 (0.171)	0.187 (0.206)

年間実績値（BOD 及びｱﾝﾓﾆｱ性窒素濃度は通日試験値）
（）内の数値は二軸関連目標値（ｱﾝﾓﾆｱ性窒素は当センターの自主管理目標値）

4　平成 29 年度の取組みについて

4.1　事前調査

平成 28 年度は電力削減の手法として、ピーク電力調整期間を含む 13 時から 17 時の時間帯と深夜から早朝の時間帯において、在来系の送風機運転台数を通常 2 台必要なところ 1 台削減して 1 台運転とし、かわりに個別送風系に可能な範囲で水量をかけて在来系への水量負荷を減らすことで、電力削減と水質の両立を図ることができた。平成 29 年度はこの手法を踏まえた上で、個別送風系をさらに活用し、在来系の送風機の削減時間をさらに伸ばすための取組みを検討した。

図 6 は当センターの各系列の沈澱池と反応槽の位置図を示している。従来行っている第一沈澱池 1 池（2-2 系）による張込みに、もう 1 池（1-2 系）を加えることにより、2 池利用した運転ができないか次の 3 パターンで検証を行った。

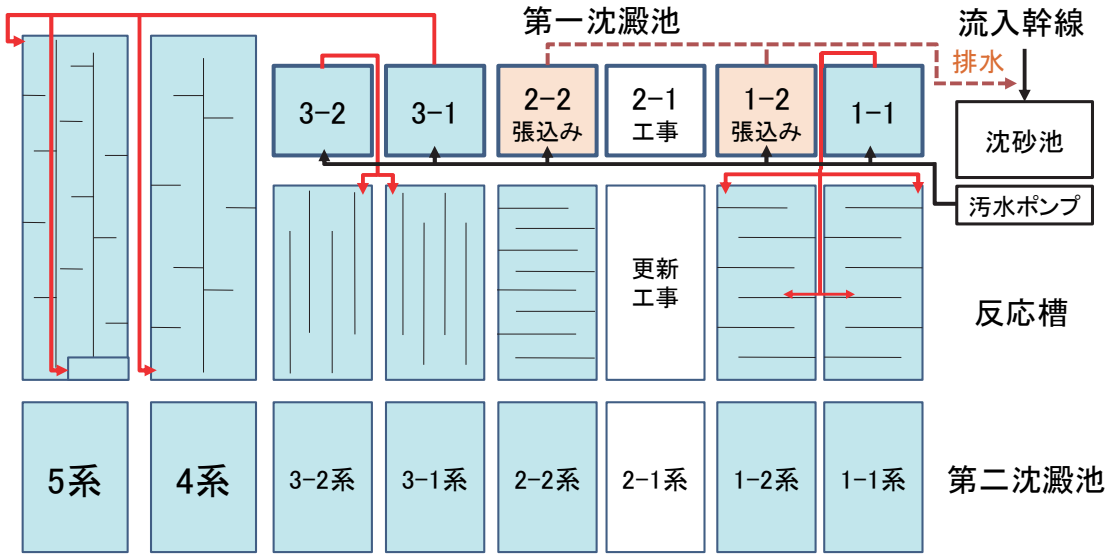


図 6　各系列の沈澱池と反応槽の位置図（平成 29 年度）

(1) 朝と夜に 1 池ずつ張込み（条件①）

一沈 2-2 系（有効容量 4,190m³）と一沈 1-2 系（有効容量 4,190m³）を夜間（1 時～7 時）排水※し、汚水ポンプ 2 台運転となる朝（8 時～13 時）と夜（19 時～24 時）に 1 池ずつ張込みを行う（※ここで言う排水とは、前日に張込んだ汚水を自然流下により幹線戻しとすることである）。

(2) 朝に 2 池の張込み（条件②）

一沈 2-2 系と 1-2 系を夜間排水し、汚水ポンプ 2 台運転となる朝に 2 池張込みを行う。

(3) 朝に 1 池の張込み（対照（従来より実施））

一沈 2-2 系を夜間排水し、汚水ポンプ 2 台運転となる朝に張込みを行う。

なお、在来系送風機の運用については、送風機の削減時間を前年度よりも増やしてピーク電力調整期間を含む 13 時から 19 時を 1 台運転とし、それ以外の時間帯については在来系の送風量の要求に応じた運転台数として運転を行った。

4.2　調査結果

条件①、②及び対照の条件により運転を行った日のうち、降雨等の影響を除いた代表的な日を抽出し、時間毎の水量（一沈総流入量及び反応槽総流入量）の平均をグラフ化した（**図 7**）。

当センターの汚水流入量は、朝と夜にピークがあり、8 時から 13 時頃にかけて汚水ポンプ 2 台運転となり、その後 1 台運転を経て、19 時から 24 時頃にかけて再び 2 台運転となるパターンとなっている。第一沈澱池張込みによって汚水ポンプ 2 台運転時の反応槽流入水量が平準化されていることが分

かった。

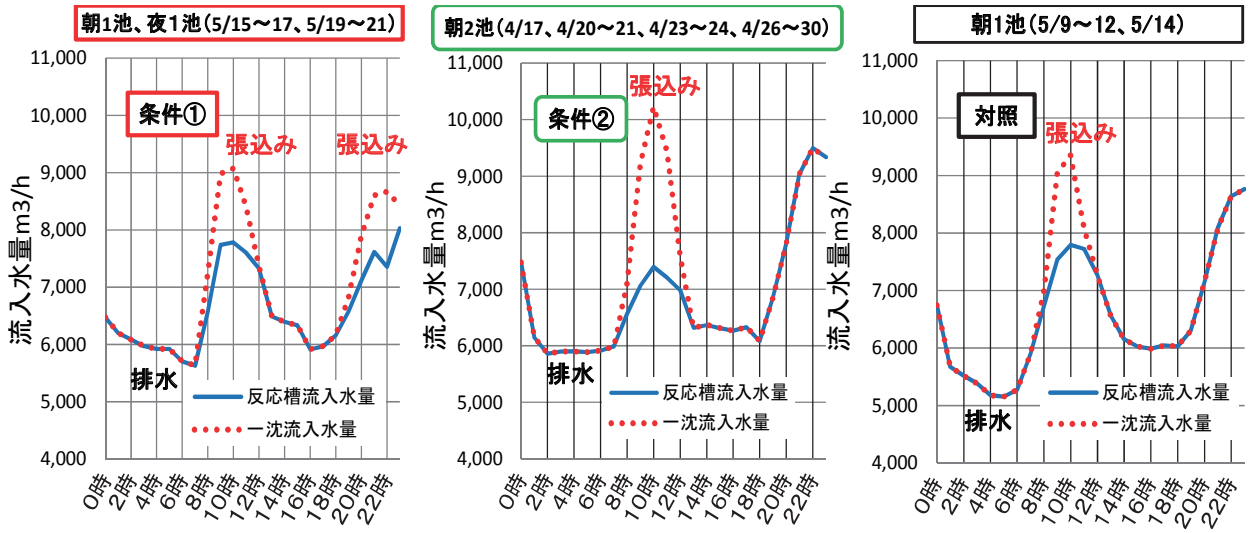


図 7　第一沈殿池張込みによる水量平準化の効果

また、送風電力使用量への影響を確認する為、月曜日から日曜日までの 7 日間毎に条件を変更して運転を行った結果を**図 8** に示した。

個別送風系である 4 系と 5 系は、すべての期間において送風使用電力量はほぼ一定となっており、4 系送風機は 4,360kWhr/日、5 系送風機は 5,470kWhr/日であった。一方、在来系送風機は、2 台目の運転時間に応じて増減しており、その範囲は、8,490kWhr/日～10,510kWhr/日であった。

一方、調査期間中の放流水アンモニア性窒素濃度を 2 時間毎に測定したところ、条件①と対照では比較的高濃度で残留する時間帯があり、条件②が最も低い結果となっていた（**図 9**）。

それぞれの条件で運転を行った 7 日間について送風電力量原単位と放流水窒素濃度負荷量平均値を算出して評価した結果を**表 5** に示した。送風電力量原単位、放流水全窒素濃度ともに条件②が最も良い結果であった。条件②がすべての項目で最も良い結果となった要因としては、水量負荷が大きい朝に張込みを行うことによって在来系への水量負荷を削減し、処理能力の高い個別送風系の水量割合が増加したことによるものと考えている。

以上の結果から、条件②の運転方法により、平成 29 年度の運転対応を行うこととした。

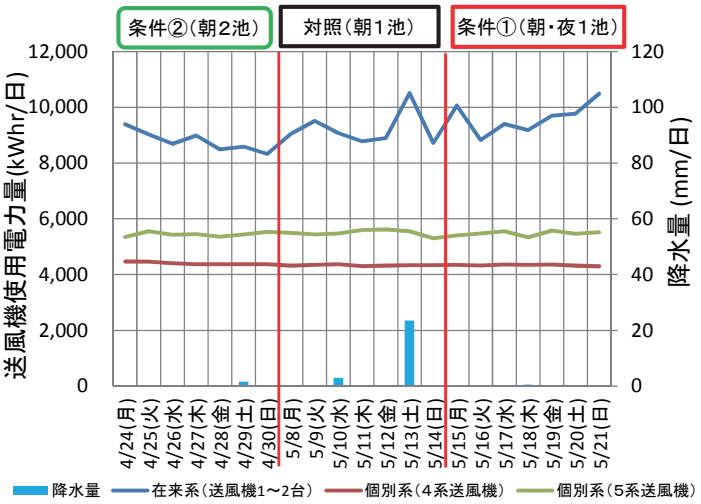


図 8　各条件での送風機使用電力量

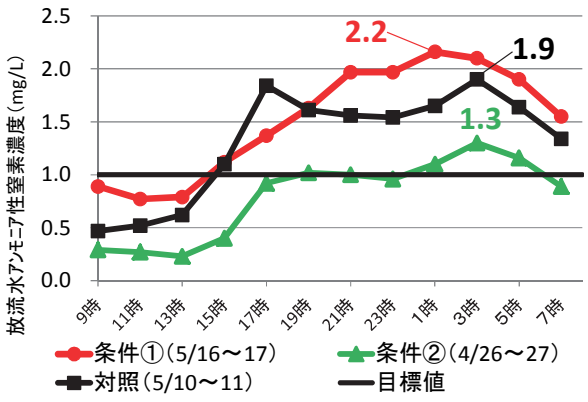


図 9　各条件の放流水ｱﾝﾓﾆｱ性窒素濃度の推移

表 5　調査期間における二軸項目等の結果と評価

条件	張込み	ｱﾝﾓﾆｱ性窒素 最大濃度 (mg/L)	送風電力量原単位 (kWhr/m³)	全窒素平均濃度 (mg/L)	評価
①	朝 1 池、夜 1 池	2.2	0.126	7.8	△
②	朝 2 池	1.3	0.119	7.3	○
対照	朝 1 池	1.9	0.124	8.6	×

4.3　平成 29 年度二軸取組み結果

6 月からの運転にあたっては、朝の汚水ポンプ 2 台運転時に一沈 2 池の張込みを行うとともに、13 時から 16 時までのピーク電力調整期間に加えて夜の汚水ポンプ 2 台運転時まで在来系送風機を 1 台運転とした。また、在来系の負荷を低減するため、個別送風系は可能な限り水量をかける運転を継続した。9 月までの実績値は、放流水全窒素濃度 7.8mg/L、水処理電力量原単位 0.175kWhr/m³ と良好な結果であった（**表 6**）。BOD 及びアンモニア性窒素濃度についても、これまでのところ管理目標をクリアできており、水質改善と省エネルギーを両立する運転とすることができていると考える。

表 6　平成 29 年度二軸項目等取組み結果

	平成 29 年度	平成 28 年度
BOD (mg/L)	3 (8)	3 (10)
ｱﾝﾓﾆｱ性窒素 (mg/L)	0.8 (1.0)	0.6 (1.0)
全窒素 (mg/L)	7.8 (7.9)	7.8 (8.2)
水処理電力量 原単位(kWhr/m³)	0.175 (0.188)	0.191 (0.200)

平成 29 年 4 月～9 月実績値
（BOD 及びｱﾝﾓﾆｱ性窒素濃度は通日試験値）
（）内の数値は二軸関連目標値（ｱﾝﾓﾆｱ性窒素は当センターの自主管理目標値）

5　まとめ

（1）平成 28 年度は、在来系の送風機運転台数を通常 2 台必要なところ 1 台削減して 1 台運転とし、かわりに個別送風系に可能な範囲で水量をかけて在来系への水量負荷を減らす運転とすることで放流水全窒素濃度 7.8mg/L、水処理電力量原単位 0.191kWhr/m³ と良好な結果となり、電力削減と水質の両立を図ることができた。

（2）平成 29 年度は、（1）の取組みに加え、第一沈澱池を朝の水量ピーク時間帯に 2 池張込むことで水量の平準化を図り、高効率な個別送風系列を優先活用する運転を行った。その結果、9 月までの実績値で放流水全窒素濃度 7.8mg/L、水処理電力量原単位 0.175kWhr/m³ と良好な結果を得ることができた。

(3)送風機の運転台数を削減する節電手法と高効率な個別送風系列を優先する運転を組み合わせる運転方法はセンター全体の水質改善と省エネルギーの両立に効果的であった。

6　今後の取組み

現在、当センターでは水処理 2 系の更新工事が進められており、総合試運転を経て平成 30 年度より 2-1 系が更新稼働済である。更新稼働する 2-1 系は処理方式が標準法から準高度処理となり、散気装置もメンブレンへと更新されることから、高効率で高い処理性能を発揮することが期待されている。既存の 1 系と併せて散気装置をすべてメンブレンとする運用も可能となることから、運転方法のさらなる最適化を図り、水質改善と省エネルギーを推進していく予定である。

参考文献

1)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)，平成 26 年度水質技術研究発表会，伊部一星ほか
2)流域における二軸管理の取組みについて，平成 25 年度水質技術研究発表会，山本央ほか
3)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)，平成 25 年度水質技術研究発表会，岩井毅大ほか

2-4-4　落合水再生センター管理棟におけるLED照明の導入とその効果について

西部第一下水道事務所　落合水再生センター　藤田　真裕

1　はじめに

下水道局では、下水道事業からの温室効果ガス排出量を削減するため、水処理や汚泥処理での様々な取り組みを進めている。

一方、事務所や出張所などの管理用途に使用されている建物も一定の電力やエネルギーを使用しているため、プラント系の対策と同時に建築系の温室効果ガス削減に向けた取り組みが必要である。執務室などのオフィスで使用されるエネルギーは、主に、空調、照明、OA機器等があり、照明が全体の約4割を占めているといわれている。当局では、アーバンヒートやネオアーバンヒートなど、空調における再生可能エネルギーの有効利用と省エネ対策を進めてきていることから、今後のより一層の省エネ推進のためには、照明についての対策が必要である。

近年、白熱灯や蛍光灯に比べて長寿命で省電力、コンパクトなどの長所を有する発光ダイオード（LED）が普及してきている。落合水再生センターでは、老朽化した管理棟の照明器具を更新するため、平成26年度から27年度にかけて、第二基幹施設再構築事務所と新宿出張所を含めた執務室にLED照明を導入した。そこで本稿では、LED照明導入の状況と導入後1年間の電力使用量の削減効果について報告する。

2　LED照明導入の経緯

落合水再生センターの管理棟は、地下1階、地上5階であり、送風機や中央監視室、電気室などの水処理施設関連設備のほかに、執務室として落合水再生センター事務室、第二基幹施設再構築事務所事務室、新宿出張所事務室等を有する建築物である。

当センターでは、老朽化していた南側水処理施設の照明設備について、平成21年度からその更新に着手しており、更新する照明器具の方式の選定にあたっては、点灯時間を考慮し避難用照明灯など連続点灯する器具についてはLED照明を導入していた。

平成26年度については、当初は水処理施設の未更新の照明設備のみを対象としていたが、執務室の照明設備が老朽化していたため、その更新を当初計画に加えることとした。当時、LED照明導入の流れができつつあるところで、器具の多様化や低廉化も進んでいた。当センターでも採用を検討したところ、更新による効果が見込まれることから、LED照明を導入することとなった。

平成26年度に執務室にLED照明を導入したことは、区部の水再生センターでは初めての事例となった。

3　照明設備改良工事における LED 照明の導入

3.1　設置箇所の決定

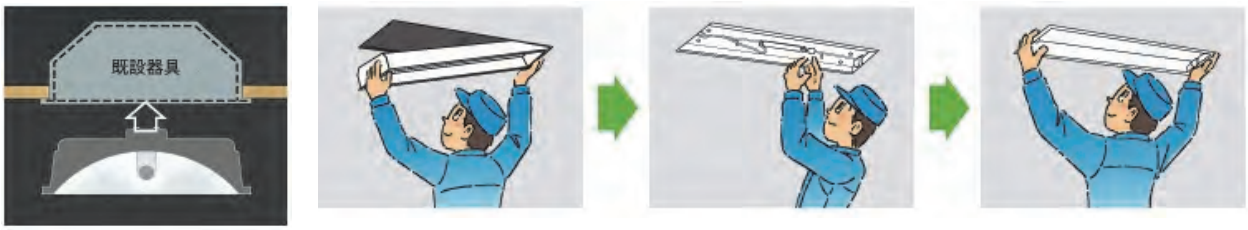
LED 照明の導入は、平日に照明を連続点灯する執務室や水質実験室と、比較的点灯時間が長い管理棟 1～5 階の廊下を対象とした。平成 26 年度の照明設備改良工事では、水処理施設の照明設備の更新に追加して管理棟への LED 照明の導入を行うこととしため、平成 21 年度に実施した照明設備改良工事設計委託（水処理施設を対象）の範囲ではないことから、直営での設計・監督で施工することとなった。また、予算の制約もあったことから、平成 26 年度については、試験的に 3 階の落合水再生センター事務室と廊下とを対象箇所とし、その他の箇所については平成 27 年度に LED 照明の導入を行うこととした。施工年度と施工場所を整理すると以下のようになる（表－1）。

表－1　H26・H27 落合水再生センター管理棟照明設備改良工事（LED 化部分）施工場所

施工階	施工年度	施工場所
1F	H27	廊下
2F	H27	落合水再生センター水質実験室、廊下
3F	H26	落合水再生センター事務室、廊下
4F	H27	第二基幹施設再構築事務所事務室、 新宿出張所事務室、廊下
5F	H27	廊下

3.2　機器の選定

通常、LED 照明は既存の照明と比較してコンパクトであり、照明の設置スペースを低減できる特徴がある。しかし、照明器具の大きさを変更する場合、配線作業や天井ボードの交換作業が必要となり、作業時間が長くなる。平成 26・27 年度の執務室等への LED 照明の設置工事では、執務室や水質実験室など平日昼間には施工ができない箇所が主な施工場所だったため、施工は土日に行う必要があった。そこで、作業時間を短縮するため、配線は既設を流用し、天井ボードは基本的に手を加えない方針で設計した。このため、機器の選定にはリニューアル専用器具を選択した。リニューアル専用器具とは、既設照明器具の取付穴をそのまま活用できるので、天井ボードを貼り換える手間とコストを削減でき、既設の枠跡が隠せるように枠幅を大きくしている製品をいう（図－1）。



図－1　リニューアル専用器具（Panasonic ＨＰより）

新設する照明器具の明るさは基本的に既設に近くなる製品を選んだ。しかし、部屋の状況に応じて作業面の照度は変わってきてしまうため、自由に明るさを調整できる調光機能を付けて、事務室としての照度を満足できる範囲で照度を抑えた。現在では、調光機能付きの照明設備はLED照明に限定されてはいないが､この機能を使うことによって、JIS基準に準拠した照度に近付くように設定できた。特に、調整幅の大きかった2部屋の実績値を以下に示す（表－2)。

この調光機能を使うことによってLED照明の副次的な効果であるが、更なる省エネを図った。

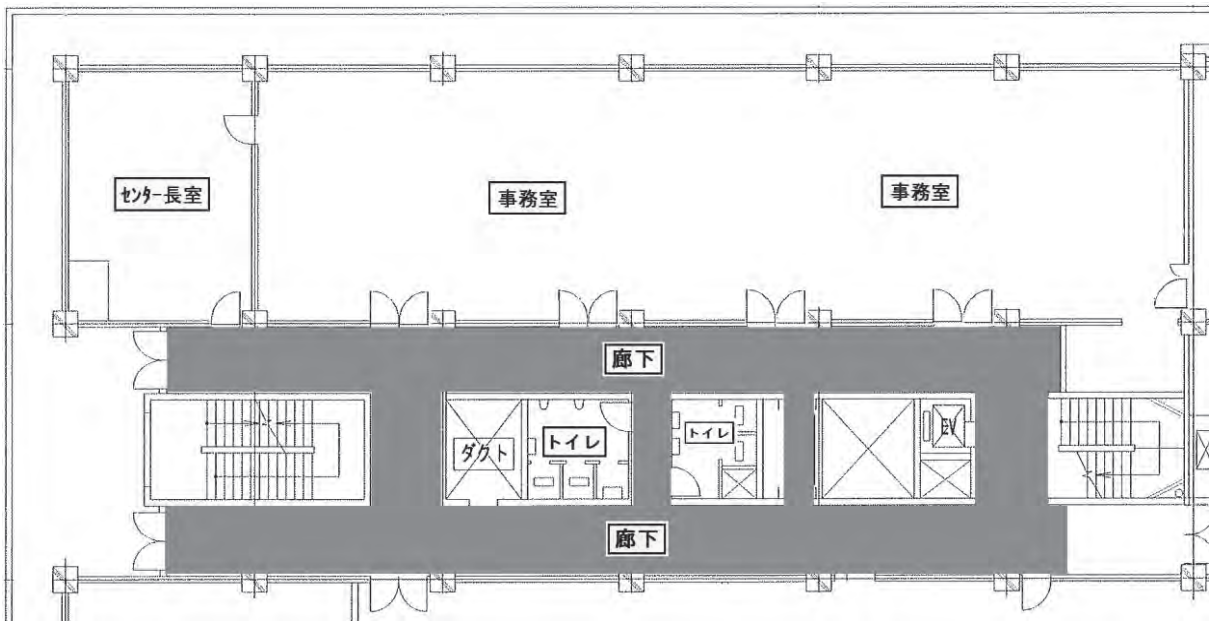
表－2　調光機能による執務室の平均照度の調整結果（平成27年度施工箇所の例）

室　　名	施工前照度（lx）	施工後照度（lx）	推奨照度（lx）※1
第二基幹施設再構築事務所	1,633.9	891.5	750
新宿出張所	1,113.6	860.7	750

※1：JIS　Z　9110：2011照明基準総則による事務室の推奨照度

3.3　設置場所に合わせた点灯方式の検討

LED照明は、普段人がいる執務室は調光方式とした。平成26年度工事では、省エネの観点から管理棟3階廊下に人感センサーを取り付け運用してみた。しかし、落合水再生センター管理棟の廊下は出入口が多く、廊下全体がH字型をしており（図－2）期待していたようなオンオフ制御ができなかった。この状況を解消するためには、人感センサーの設置個数を多くする必要があるが、工事費の増加を招き費用対効果が薄いので、平成27年度工事では廊下への人感センサー設置を見送った。



図－2　落合水再生センター管理棟3階平面図

3.4 施工

LED 照明の施工にあたっては、執務室は土日に作業を行い、執務室以外については、平日に作業を行った。平成 26 年度及び 27 年度の LED 照明の設置箇所、作業内容及び作業日数を示す（表－3)。

平成 26 年度は、落合水再生センター執務室及び廊下（3 階）への LED 照明等の設置（109 台）を土日 4 日間で実施した。LED 照明への交換の状況を示す（図－3～5)。また、設置においては、通常業務への支障が出ないよう、事務机はビニールシートにて養生を行い、事務机や机上の物品の移動をせずに作業を行った（図－6)。なお、平日については、水処理施設や管理棟の屋外の照明についての作業を行った。

平成 27 年度は、管理棟内の残りの執務室、水質実験室及び廊下と設置箇所が多かったことから、水質実験室関係については平日に作業を行い、第二基幹施設再構築事務所及び新宿出張所の執務室への LED 照明等の設置のみ土日に作業を行った。現場作業を平成 27 年 2 月に集中的に行った結果、2 月についてはすべての土日に作業を行うこととなった。

表－3 LED 照明の設置箇所、作業内容及び作業日数

年度	設置箇所	作業内容		作業日数
H26	【3 階】 落合水再生センター事務室、 廊下	設置	LED 照明器具 109 台 非常用照明器具 32 台 人感センサー 8 個（廊下）	4 日間 （全て土日）
		撤去	照明器具（蛍光灯） 120 台 非常用照明器具 32 台	
H27	【4 階】 第二基幹施設再構築事務所、 新宿出張所	設置	LED 照明器具 121 台 非常用照明器具 22 台	8 日間 （土日）
		撤去	照明器具（蛍光灯） 120 台 非常用照明器具 4 台	
	【4 階】 廊下、倉庫	設置	LED 照明器具 13 台 非常用照明器具 8 台	2 日間 （平日）
		撤去	照明器具（蛍光灯） 23 台 非常用照明器具 7 台	
	【2 階】 落合水再生センター 水質実験室及び廊下	設置	LED 照明器具 75 台 非常用照明器具 18 台	6 日間 （平日）
		撤去	照明器具（蛍光灯） 82 台 非常用照明器具 18 台	
	【5 階】廊下 【1 階】廊下 【5 階～1 階】階段	設置	LED 照明器具 16 台 非常用照明器具 9 台 階段灯 8 台	2 日間 （平日）
		撤去	照明器具（蛍光灯） 24 台 非常用照明器具 6 台 階段灯 8 台	

図－3　施工前（蛍光灯）

図－4　施工中

図－5　施工後（LED）

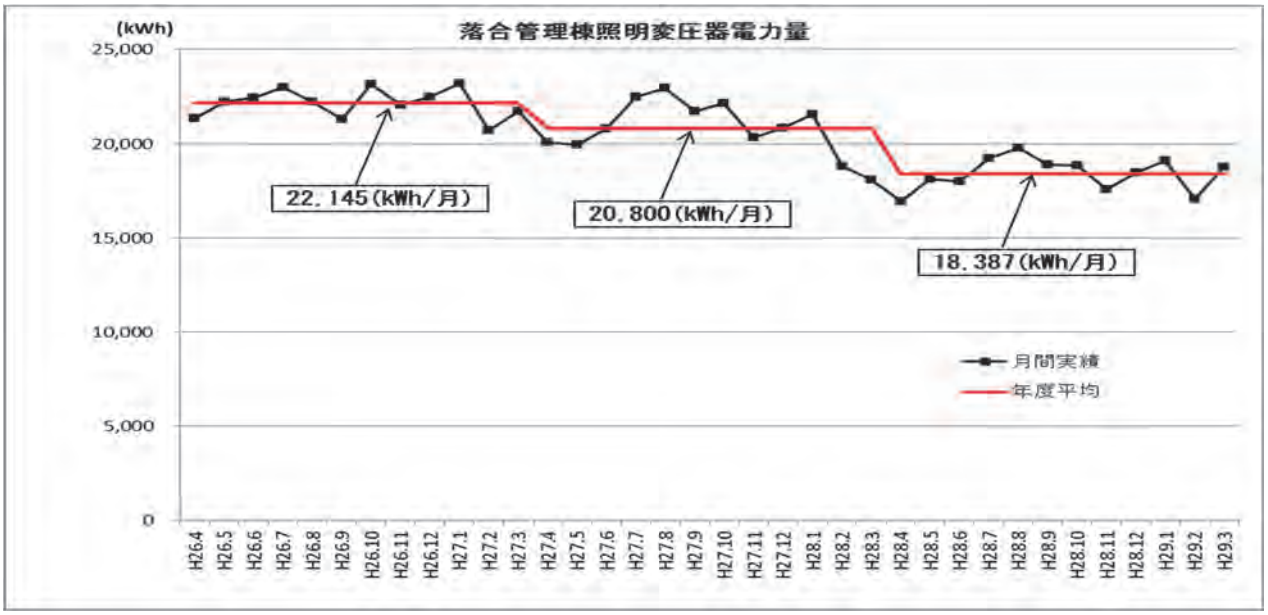
図－6　事務机の養生

4　LED 照明の導入効果

4.1　工事前後における電力使用量と温室効果ガス排出量の比較

設計時には、各部屋の照明点灯時間を想定した上で、蛍光灯から LED に変更した時の省エネ効果を試算した。表－4 の照明器具単独の試算値に示すように、2 回の工事によって 53,811（kWh/年）削減し、施工後の削減率は 69％と試算した。

施工後の実際の電力削減効果については、次の方法で把握した。一定期間の消費電力量については照明回路単独に電力量計が設置されていないため、正確な計測はできない。そこで、誤差は避けられないが管理棟の照明変圧器の電力量で電力削減効果を把握することとした（図－7）。管理棟照明変圧器の負荷は、照明負荷以外にもコンセント回路、電話交換機、ITV 設備、業務用無線等が含まれている。平成 27 年度から 28 年度にかけて毎年電力量が減少していることが分かる。



図－7　管理棟照明変圧器電力量の推移

図－7 のグラフを年度ごとに累積すると表－4 の照明変圧器の実績値になり、2 回の工事によって 45,100（kWh/年）削減し、施工後の削減率は 17%となった。

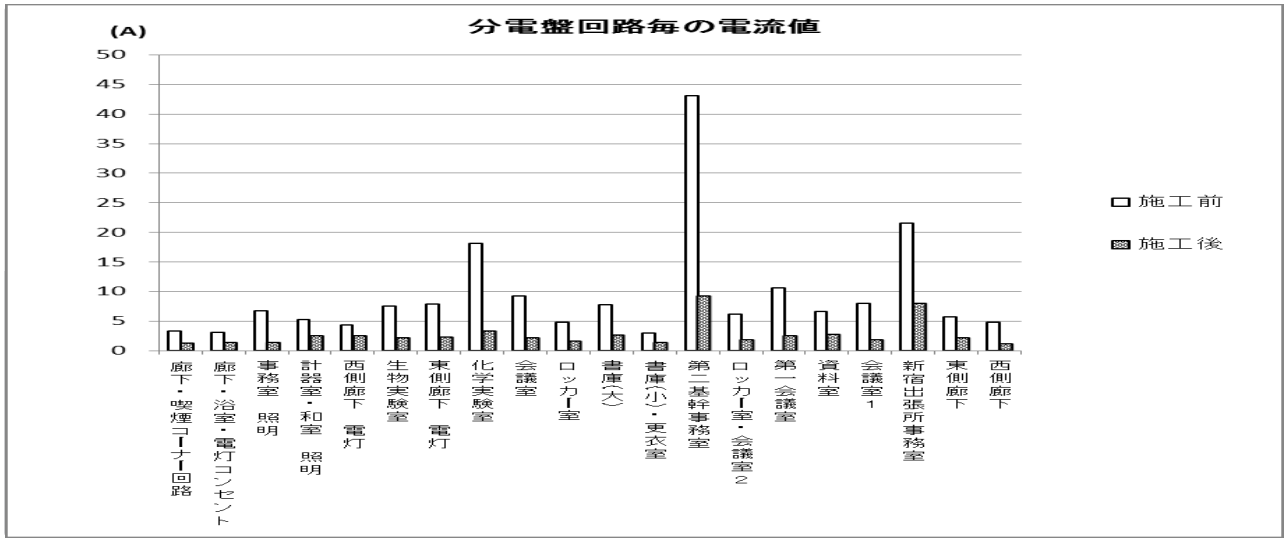
削減量は、設計時点の照明器具単独の試算値の 53,811（kWh/年）に対して、照明変圧器の実績値では 45,100（kWh/年）と近いものであり、LED 照明の導入によって期待していた省エネ効果が得られたと言える。なお、試算値に対して実績値が 84%にとどまった原因は、照明点灯時間の想定との違いや照明変圧器に接続されるその他の負荷の影響と考えられる。

表－4　管理棟照明電力量の変化（kWh/年）

	照明器具単独の試算値（A）	照明変圧器の実績値（B）	B/A
① 施工前	77,944	265,750	―
② H26 年度工事後	51,146	249,610	―
③ H27 年度工事後	24,133	220,650	―
④ 施工前－H27 年度施工後	53,811	45,100	84%
⑤ 施工後の削減率（④／①）	69%	17%	―

照明変圧器の削減量の実績値 45,100（kWh/年）は、CO_2 排出量に換算すると 22（CO_2-t/年）削減したことになり、一般家庭 15 軒分の排出量となる。

平成 27 年度工事で､工事の施工前と施工後で照明分電盤の回路ごとに電流値を測定した結果は図－8 のとおりである。ここでの電流値は全ての照明設備を点灯させて測定した。特に、第二基幹施設再構築事務所、新宿出張所での削減効果が大きいのは、調光機能を活用して照度を抑えた結果と考えられる。この結果から、LED 照明を導入する際には、調光機能付の照明を用いて必要となる照度を基に実際の照度を設定することが有効であると言える。



図－8　分電盤回路ごとの電流値比較

5　おわりに

東京都では、都民ファーストでつくる「新しい東京」～2020 年に向けた実行プラン～（平成 28 年 12 月）で都有施設における LED 照明普及率をおおむね 100％とし、スマートエネルギー都庁行動計画（平成 28 年 3 月）では、照明器具の新設・更新時には LED 化を原則としている。当局でも、アースプラン 2017（平成 29 年 3 月）で執務室に LED 照明を 2020 年度までにおおむね 100％導入と規定している。

落合水再生センターでは、区部の他センターに先駆けて執務室照明設備の LED 化を実施し、おおむね想定した省エネ効果を得ることができた。今後、中野水再生センターにおいても照明設備の LED 化を継続して進めるとともに、省エネ型機器の導入を積極的に進めていく。

2-4-5　みやぎ水再生センターにおける
二軸管理の取組みについて

西部第二下水道事務所　みやぎ水再生センター
玉井奈生子、橋本俊一、大江学（現 東京都下水道サービス）
中村浩一郎、石井健一、紺藤倫生

1.　はじめに

東京都下水道局は、水質改善による良好な水環境への貢献と、電力使用量の削減による省エネルギーの両立を目指して、処理水質とエネルギー使用量の二つを指標とした二軸管理手法を活用している。

みやぎ水再生センター（以下、当センター）では、平成 28 年度より窒素削減を目的とした「制限曝気運転」の運用を西施設の全反応槽で開始し、東施設にも順次拡大して全窒素の処理水質を改善した[1)]。また、送風電力量の削減を目的として、分水可動堰を調整し、散気効率の良い東施設への水量配分比率を高める取組みを平成 26 年度より段階的に行っている。この間の当センターにおける二軸管理の取組みに関して、それぞれの経過及び結果を報告する。

2.　二軸管理について

下水処理において、一般的に水質改善と電力使用量の削減はトレードオフの関係にある。二軸管理手法とは、放流水質（全窒素）とエネルギー使用量（送風電力量原単位）を平面グラフの軸とすることで運転管理の工夫や設備更新の成果を明確にし、最適な方向への改善を目指すものである。図 1 に示す通り、水質改善と電力使用量の削減が両立できたときベクトルは左下を向く。東京都では、平成 25 年から本手法の運用を開始し、毎年スパイラルアップする目標値を設定することで各水再生センターでの運転管理の工夫等の取組みを推進している。

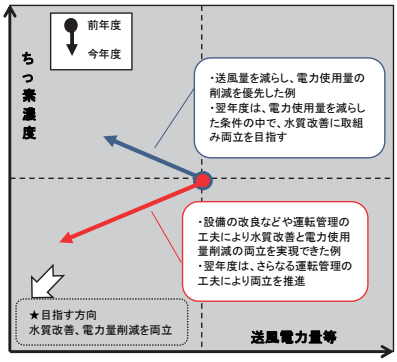


図 1　二軸管理手法

3.　取組み内容

3.1　制限曝気運転による窒素削減の取組み

制限曝気運転とは、反応槽中段の送風量を制限することで脱窒を促進させる運転管理の工夫の一つである（図 2）。水処理能力に余裕がある場合において、施設改造をせずに反応槽の一部の散気装置を絞るという簡単な操作のみで窒素の低減が期待できる。

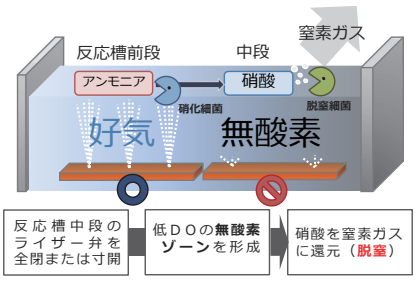


図 2　制限曝気運転のイメージ

当センターでは、都内の水再生センターの先行事例[2)3)]を参考として、同じ浅槽式の西施設において平成 27 年度、続いて深槽式の東施設においても平成 28 年度から検証調査を開始し、平成 29 年度においては両施設の全反応槽において通年運用を行った。

当センターの水処理施設の主な仕様を表 1 に示す。西施設は折り返し構造、東施設は隔壁で分割された直線状の反応槽で、ともに A～D 回路からなる。制限曝気運転では両施設とも C 回路への送風を制限し、脱窒促進のための無酸素領域を形成している。

表 1　水処理施設の仕様

	西施設	東施設
反応槽(深さ)	浅槽(4.2m)	深槽(12m)
反応槽容積	7,410m3×4槽	5,800m3×4槽
処理方式	標準活性汚泥法 (疑似嫌気)	AO法
散気方式	全面曝気	片側旋回流
散気設備	高密度散気板	メンブレン
反応槽滞留時間	7.5h	6.5h
MLSS	1,800～2,200 mg/L	1,600～2,000 mg/L
風量制御	DO制御	DO制御
流入水質(T-N)	20～30 mg/L	20～30 mg/L

*平成28年度年報値

3.2　水処理施設への水量配分適正化による電力削減の取組み

当センターの水処理施設は、昭和 37 年度稼働の西施設と比較して、平成 17 年度に稼働した東施設は設備上送風効率が良く、電力面でコストメリットも高くなっている。そこで、東西水処理施設へ分水する可動堰の開度を調整し、東施設への水量配分を送風機の 1 台運転が可能な範囲で高めることで送風量管理の適正化を図る取組みを行った。平成 26 年度から平成 28 年度までに東施設への水量配分は約 42%から約 48%まで順次高めたが、平成 29 年 8 月にはさらに約 50%へと高めた。これにより、西施設送風機を 2 台運転から 1 台運転主体へ切り替え、主に西施設の送風機電力を削減することでセンター全体の送風電力量の削減を試みた（図 3）。

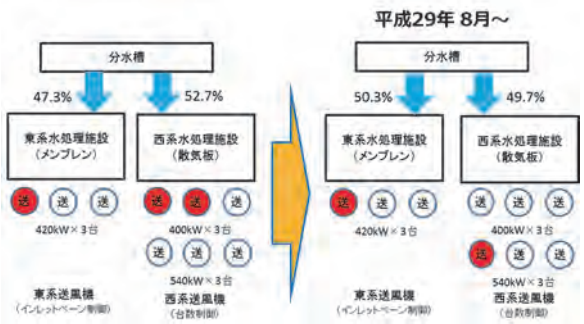


図 3 東施設への水量配分を高める取組み

4　結果と考察

4.1　窒素削減の取組み

制限曝気運転による窒素削減効果について、東施設での検証結果を図 4 に示す。C 回路ライザー弁を寸開とした反応槽 3 号を実験槽とし、滞留時間を考慮して A 回路から順に採水して窒素の挙動を調査した。このとき、制限曝気部位の C 回路における無機性窒素の減少は対照槽で 1.3 mg/L であるのに対し、実験槽では 2.8 mg/L であり、制限曝気により形成された無酸素領域による脱窒反応の促進効果が確認できた。なお、実験槽で硝化およびりん処理の悪化は見られなかった。

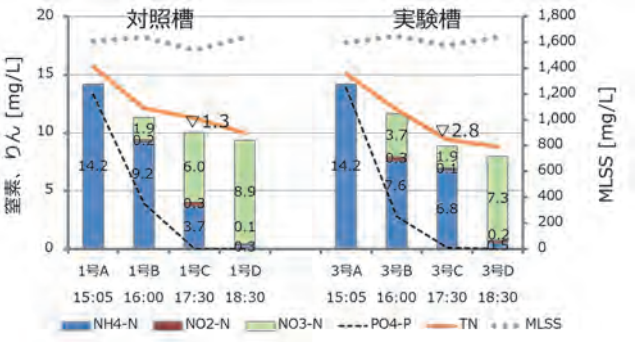


図 4　東施設反応槽における窒素の挙動

東西両施設の放流水全窒素濃度及び降水量の推移（平成 27～29 年度）を図 5 に示す。降雨状況に関わらず、東西ともに放流水の全窒素濃度は前年度を安定して下回って推移している。平成 27 年度と比較すると、制限曝気運転を全槽運用した平成 29 年度では東西ともに約 2 割の窒素が低減している。

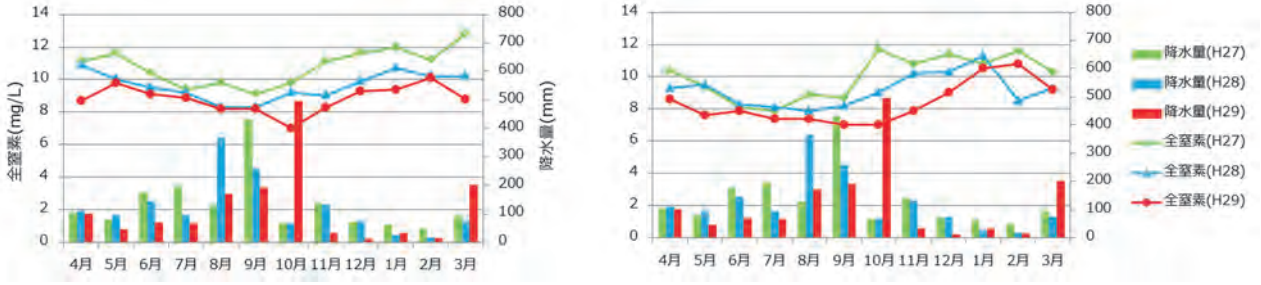


図 5　放流水全窒素濃度の推移（左：西施設　右：東施設）

4.2　送風電力削減の取組み

平成 27 年度から平成 29 年度までの西施設送風機の運転時間を図 6 に示す。東施設への水量配分を増やした結果、西施設の送風機は前年度同時期と比較して（小・400kW）2 台運転から（大・540kW）1 台運転、さらには（小）1 台運転主体へとシフトすることができた。また、職員が本取組の内容を理解し、送風機の増減台を手動で行うなど、適切な運転管理が行われたこともこの結果につながった要因と考えられる。これにより、特に平成 29 年 8 月の取組以降で、西施設の送風機電力量を前年度と比較して約 1 割削減することができた（図 7）。一方で東施設の送風機電力量の目立った増加は見られず、センター全体としては送風機電力を低減することができた。

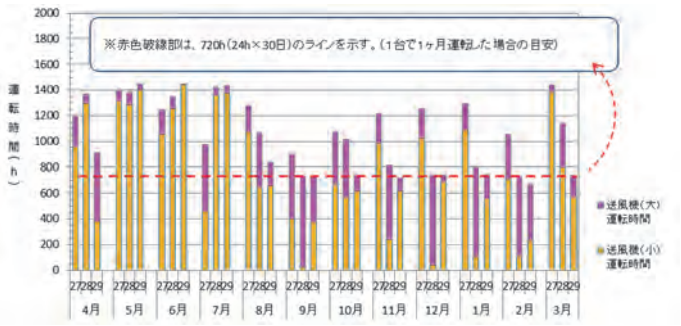


図 6 西施設送風機の運転時間

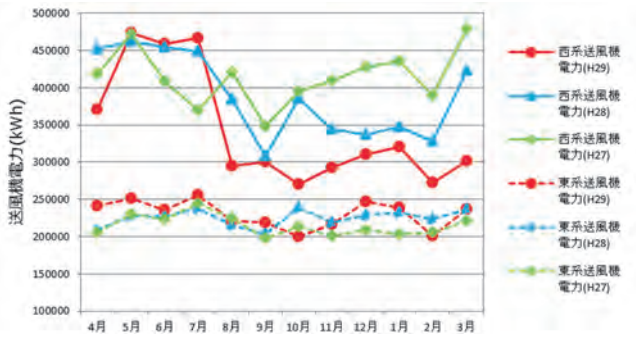


図 7 東西施設の送風機電力

4.3　二軸管理での評価

平成 25 年度から、平成 29 年度までの二軸管理の結果を図 8 に示す。制限曝気運転の運用を東西施設で順次進めたことで、グラフ縦軸である放流水窒素濃度は 10.3 mg/L（平成 27 年度）、9.3 mg/L（平成 28 年度）、8.5 mg/L（平成 29 年度）と低減している。また、送風効率の良い東施設への配水比率を高めに維持することで、平成 29 年度には横軸の送風機電力量原単位についても 0.113 kWh/m^3（平成 28 年度）から 0.107 kWh/m^3（平成 29 年度）に低減することができた。当センターの平成 28 年度から 29 年度へのベクトルは左下を向いており、水質改善と省エネルギーの両立を実現することができた。

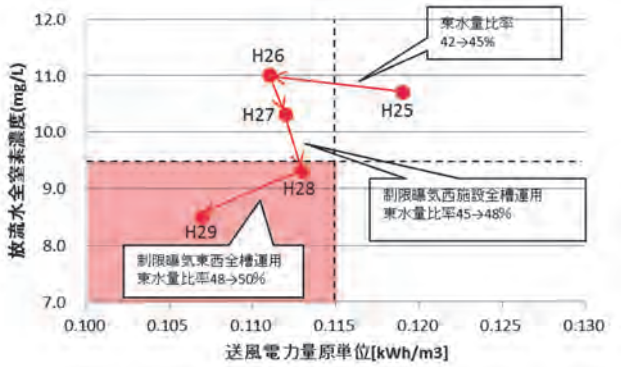


図 8　二軸管理での評価

5.　結論

二軸管理に基づき窒素および送風機電力の削減に向けた取組みを行った結果、以下のような成果が得られた。

（1）　制限曝気運転の調査において、実験槽の窒素は約 2 割削減された。平成 29 年度の放流水全窒素は制限曝気運転運用以前と比較して、東西施設ともに同じく約 2 割削減された。

（2）平成 29 年度 8 月に東西施設への水量配分適正化の取組みと送風機の適切な運転管理を行った結果、西施設送風機の運転台数を減らすことができ、センター全体の送風機電力量原単位を前年度同時期と比較して約 1 割低減することができた。

（3）　二軸管理での評価において、平成 28 年度から平成 29 年度へのベクトルは左下を向いており、水質改善と省エネルギーを両立することができた。

参考文献

1）玉井奈生子ほか：みやぎ水再生センターにおける制限曝気運転による窒素削減の取組について：第 54 回下水道研究発表会

2）佐藤麻貴ほか：浅槽式反応槽の窒素削減に向けた新たな取組について：第 52 回下水道研究発表会

3）足立悠介ほか：浅槽式反応槽における無酸素領域形成による好気槽内脱窒の促進について：第 53 回下水道研究発表会

2-4-6　新河岸水再生センターのターボ型流動焼却炉導入における温室効果ガス削減効果の検証

西部第二下水道事務所　新河岸水再生センター　スラッジ管理担当　水野　文夫

1　はじめに

東京都下水道局では、東京オリンピック・パラリンピックの開催とその後の東京のあり方を見据え、下水道サービスのさらなる向上に取り組むため、「経営計画 2016」を策定した。また、エネルギー・地球温暖化対策として、エネルギー基本計画「スマートプラン 2014」、地球温暖化防止計画「アースプラン 2010」を策定し、エネルギー削減に向けた様々な取組を実施するとともに、2017 年 3 月に「アースプラン 2017」を新たに策定し、さらなる温室効果ガス排出量削減に取り組んでいる。

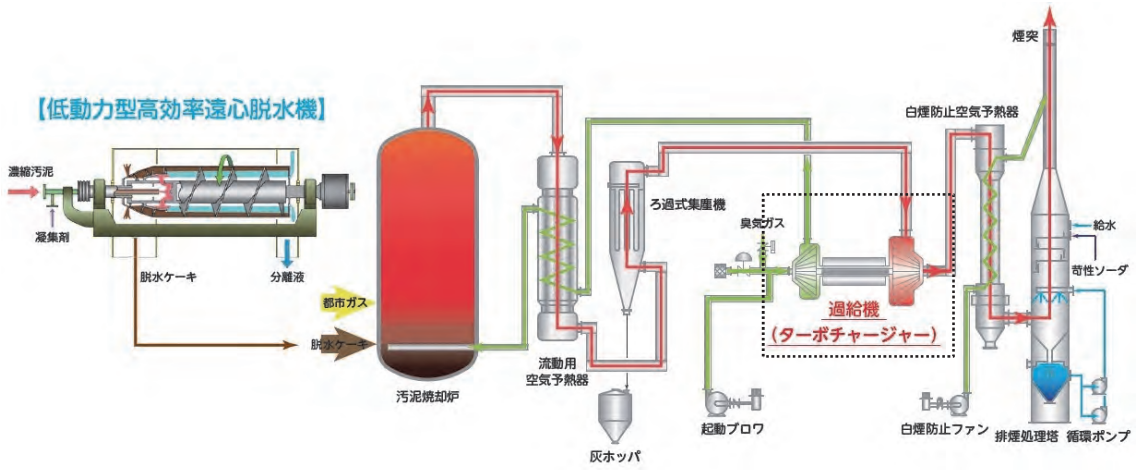
新河岸水再生センターにおいても、太陽光発電設備の創エネルギー機器や、反応槽における個別送風設備などの省エネルギー機器の導入を積極的に進めており、平成 27 年度から「ターボ型流動焼却炉」新 3 号炉（以下、「ターボ炉」という）と近接設置された低含水率型脱水機を組み合わせた第二世代型焼却システムの運用を開始した。

ターボ炉は従来の流動焼却炉に必要な、電力を大幅に消費する送風設備の誘引ブロワ及び流動ブロワが不要となることで、消費電力が大幅に削減されるとともに、加圧高温下にて焼却処理することで N_2O（温室効果ガスの一種）排出量の削減効果が期待できる。

本報告では、2016（平成 28）年 4 月～2017（平成 29）年 6 月のターボ炉と当センターの従来型の焼却炉 4 号炉（以下、「従来炉」という）との運転データの比較を行い、エネルギー及び温室効果ガスの削減効果について検証を行ったので報告する。

2　設備概要

新河岸水再生センターで導入したターボ炉は、図－1 に示すように流動焼却炉と過給機を組み合わせた焼却設備である。

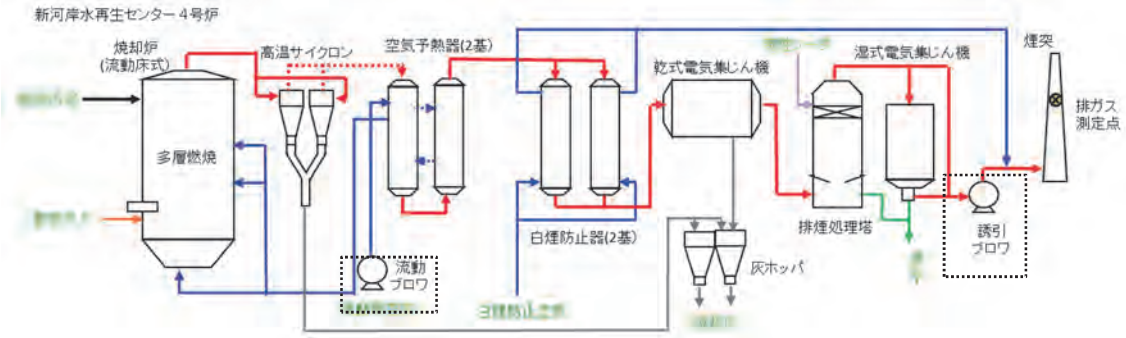


図－1　ターボ型流動焼却炉の概略フロー

ターボ炉では、図－2 に示すように焼却炉内で脱水ケーキを燃焼して発生した燃焼排ガスを過給機に送り込み、過給機のタービンを駆動させ、タービンに直結されたコンプレッサで空気を取り込み圧縮させ、その圧縮空気を燃焼空気として炉に供給するものである。

図－2　過給機

一方、新河岸水再生センターの従来炉焼却設備では、図－3 に示すように焼却炉への給気と煙突からの排気をそれぞれ流動ブロワ及び誘引ブロワと呼ばれる大型の送風機で行っており、多くの電力が必要である。



図－3　新河岸水再生センター従来炉（4 号炉）の処理フロー

また、表－1 に示すように、ターボ炉の内径は従来炉と比較して 61%程度と小さく、断面積は 37%程度小さくなる。ターボ炉は、過給機により大気圧（101.3kPa）の約 2 倍に加圧された状態で焼却するため、焼却炉内部の燃焼ガスの容積が小さくなり、焼却炉から過給機（ダクトを含む）までが従来炉と比べて設置面積がコンパクトにできるといった特徴がある。

表－1　焼却炉仕様の比較

		従来炉 （4 号炉）	ターボ炉 （新 3 号炉）
処理能力　t/日		250	250
内径　mm		φ8,200	φ5,000
外径　mm		φ8,890	φ5,928
常用時	炉内圧力 （絶対圧力）	-0.4kPa・G （100kPa）	150kPa・G （250kPa）
	炉内最高温度　℃	865	860

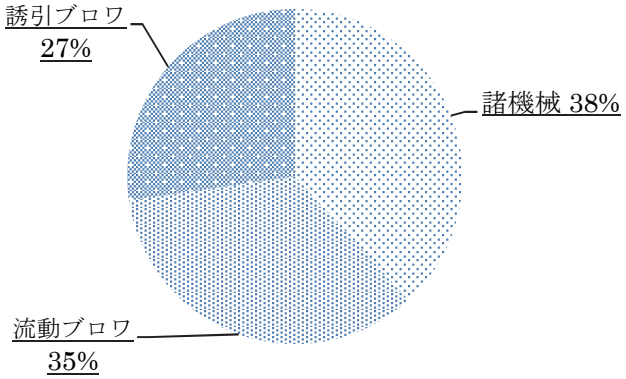
新河岸水再生センターでは、2011（平成 23）年度～2014（平成 26）年度の 4 ヶ年をかけて既設の 3 号炉の跡地に新 3 号炉としてターボ炉が建設された。ターボ炉の導入に当たっては、稼働当初に過給機や排ガス中の焼却灰を集塵するためのセラミックフィルタが破損し、一時停止を余儀なくされたが、それぞれ対策及び調整を行ったことで、現在では大きなトラブル無く運用を行っている。

3　エネルギー削減効果

3.1　消費電力削減

前述のとおり、従来炉は、焼却炉で必要な燃焼空気を供給するための流動ブロワ及び焼却炉で発生する燃焼排ガスを大気に放出するための誘引ブロワが必要となる。これらの送風機の電力は、従来炉で使用する電力の 62%を占めている。（図－4）。

一方、ターボ炉は燃焼排ガスを過給機に通し、タービンを回すことでコンプレッサの燃焼空気を加圧し、燃焼炉に送りこむため、流動ブロワが不要となる。また、過給機を通過した燃焼排ガスは自らの圧力で煙突まで流れて排気することができ、誘引ブロワが不要となる。このため、大量の電気を消費する送風機が必要なくなるという利点がある。



図－4　従来炉（4 号炉）の流動ブロワと誘引ブロワの消費電力

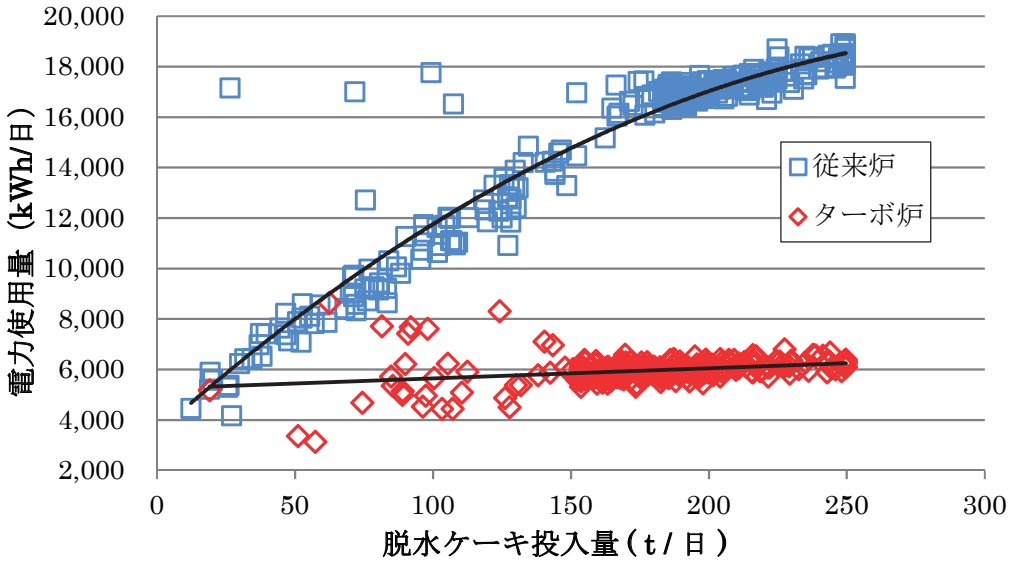
※2016（平成 28）年 4 月～2017（平成 29）年 6 月の実測値より算出

流動ブロワ
定格出力 330kW

誘引ブロワ
定格出力 240kW

参考図　従来炉（4号炉）の流動ブロワ及び誘引ブロワ

検証期間における脱水ケーキ投入量及び焼却炉電力使用量の関係は、図－5のとおりである。焼却炉電力使用量とは、脱水ケーキ供給設備、焼却設備、排ガス処理設備及びユーティリティ設備等の電力使用量の合計である。



図－5　脱水ケーキ投入量当たりの焼却炉電力使用量

従来炉では、脱水ケーキ投入量が多くなるのに比例して電力使用量が増えるのに対して、ターボ炉はほぼ一定に推移していることがわかる。これは、脱水ケーキ投入量が増えるのにつれて、燃焼に必要な空気を焼却炉へ送る必要があり、従来炉ではブロワの風量を多くしただけ、電力使用量が増えるが、過給機を使用しているターボ炉は流動ブロワ及び誘引ブロワが必要ないため、脱水ケーキ投入量が変化しても電力使用量が変化しないことがわかる。

平均値を比較すると、従来炉は脱水ケーキ 406.8kWh/t-DS に対して、ターボ炉は送風機が不要となるため消費電力は 159.4kWh/t-DS である。ターボ炉における消費電力の削減率は約 61%（当センター比）である。

3.2　補助燃料使用量削減

ターボ炉は、前述の通り従来炉の約 2 倍の圧力下で焼却を行うことでガス容積が小さくなるため、焼却炉内の燃焼排ガスの空塔速度(上昇する速度)を従来炉と同程度としたまま、炉径が細くなっている（図－6)。

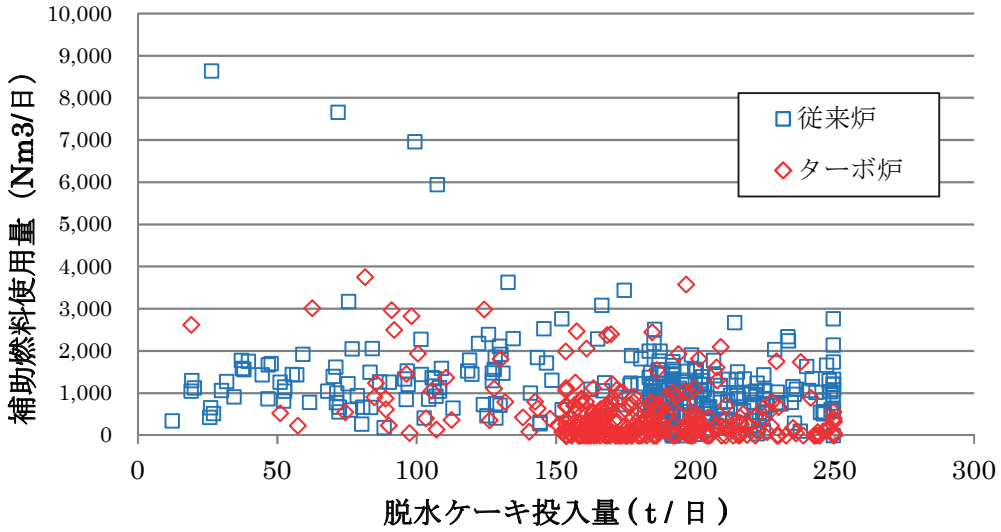
このため、ターボ炉では、焼却炉の表面積が小さくなり、放熱量が従来炉に比べて少なくなるため、補助燃料使用量が削減される。

検証期間における脱水ケーキ投入量と補助燃料使用量の関係は図－7 のとおりである。補助燃料使用量は、脱水ケーキの含水率によって大きく変動することから、脱水ケーキ投入量との関係性は見られない。

しかし表面積が小さいことにより放熱量が減少しているため、補助燃料使用量を平均すると、従来炉 32.6Nm^3/t-DS、ターボ炉 13.7Nm^3/t-DS とターボ炉のほうが少なくなっている。

したがって、ターボ炉における補助燃料使用量の削減率は約 58%（当センター比）である。

図－6　炉径の比較



図－7　脱水ケーキ投入量当たりの補助燃料使用量

4　温室効果ガス削減効果

4.1　消費電力由来

消費電力由来の CO_2 排出量は、エネルギー削減効果にて算出した脱水ケーキ 1t-DS 当たりの電力使用量より、電力の CO_2 排出係数 0.489kg-CO_2/kWh を用いて算出することができる。

消費電力由来の温室効果ガス排出量は、従来炉の 199kg-CO_2/t-DS に対してターボ炉は 78kg-CO_2/t-DS である。

4.2 補助燃料由来

補助燃料由来の CO_2 排出量は、エネルギー削減効果にて算出した脱水ケーキ 1t-DS 当たりの補助燃料使用量より、都市ガスの CO_2 排出係数 2.244kg-CO_2/Nm^3 を用いて算出することができる。

補助燃料由来の温室効果ガス排出量は、従来炉の 73kg-CO_2/t-DS に対してターボ炉は 31kg-CO_2/t-DS である。

4.3 N_2O 由来

N_2O 排出量は排ガス測定による結果から算出した数値を用いて比較を行った。高温焼却を行っている従来炉は脱水ケーキ 1t-DS 当たり 0.555kg-N_2O であったのに対して、ターボ炉は 0.186kg-N_2O である。

ターボ炉における N_2O 排出量の削減率は約 66%（当センター比）である。また、N_2O の地球温暖化係数は CO_2 の 298 倍であることから、それぞれの N_2O 排出量を CO_2 排出量に換算すると、従来炉が 165kg-CO_2/t-DS となるのに対し、ターボ炉は 55kg- CO_2/t-DS である。

4.4 全体の温室効果ガス削減効果

温室効果ガス排出量の比較を表－2 にまとめた。消費電力、補助燃料及び N_2O 由来の温室効果ガス排出量合計は、従来炉が 437kg-CO_2/t-DS となるのに対し、ターボ炉は 164kg-CO_2/t-DS であり、ターボ炉における消費電力、補助燃料及び N_2O 由来の温室効果ガス排出量合計の削減率は約 63%である。

表－2 温室効果ガス排出量の比較

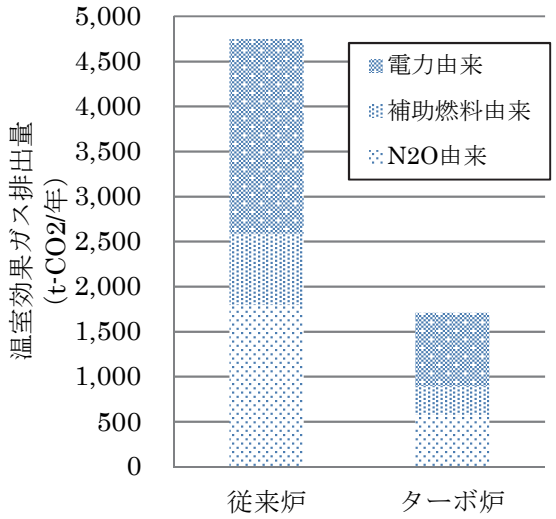
	温室効果ガス排出量 (kg-CO_2/t-DS)		削減率 (%)
	従来炉	ターボ炉	
電力由来	199	78	61%
補助燃料由来	73	31	58%
N_2O 由来	165	55	67%
合計	437	164	63%

また、2016(平成 28)年度の年間温室効果ガス排出量の比較を表－3 及び図－8 に示す。年間温室効果ガス排出量は従来炉が 4,745 t-CO_2/年に対して、ターボ炉は 1,708t-CO_2/年である。

表－3　年間温室効果ガス排出量の比較

（2016（平成 28）年度実績）

	温室効果ガス排出量（t-CO_2/年）	
	従来炉	ターボ炉
日平均投入量 稼働日数	168t/日 281 日	176t/日 247 日
電力由来	2,160	813
補助燃料由来	794	321
N_2O 由来	1,792	574
合計	4,745	1,708



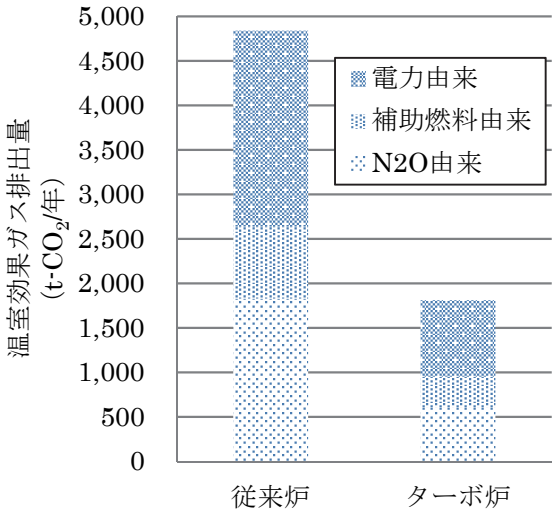
図－8　年間温室効果ガス排出量比較

温室効果ガス削減効果を比較するため 2016（平成 28）年度の実績に基づき、日平均投入量を 172t/日、稼働日数を 281 日と仮定して年間温室効果ガス排出量推定値を算出した。

結果について、表－4 及び図－9 に示す。年間温室効果ガス排出量はそれぞれ従来炉が 4,837 t-CO_2/年に対して、ターボ炉は 1,812t-CO_2/年となる。このことから、条件にもよるが従来炉に比べターボ炉の年間温室効果ガス排出量の差分 3,026t-CO_2/年が削減量として期待できる。

表－4　年間温室効果ガス排出量の比較（推定）

日平均投入量 172t/日 稼働日数 281 日	温室効果ガス排出量（t-CO_2/年）	
	従来炉	ターボ炉
電力由来	2,202	863
補助燃料由来	809	340
N_2O 由来	1,826	609
合計	4,837	1,812



図－9　年間温室効果ガス排出量比較（推定）

5　おわりに

平成 27 年度から運用を開始したターボ炉と従来炉の比較を行ったところ、本報告の調査期間において、ターボ炉は従来炉と比べエネルギー及び温室効果ガスの削減効果が非常に高いという結果が得られた。しかしながら、導入効果の検証にあたっては、運用上の不具合を踏まえた総合的な検証を行っていく必要がある。今後も運用データの収集を行い、より効率的な運用方法を模索することで汚泥焼却におけるエネルギー及び温室効果ガスのさらなる削減に努めていきたい。

3-1-1　幹線管きょに用いる簡易調査機器の導入に向けた検討

東京都下水道局計画調整部技術開発課　　岡田　吉人

１．はじめに

東京都区部の下水道管は 1884 年から建設され、現在の総延長は約 16,000 km にも及び、このうち幹線管きょはおよそ 1,100km にも上る。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図るための再構築事業については､昭和 30 年代以前に建設されて老朽化した幹線などを優先して進めている。その前段として、下水道管の健全度を把握するため、目視や TV カメラによる管路内調査を実施しているが、水位が高い、流速が速いなどの理由で調査が難しい路線が存在する（写真－１）。これらの課題を解決できる簡易調査機器の導入のため、幹線管きょ等において実証試験を実施したことから、その結果について報告する。

２．機器導入の必要性

幹線再構築、補修といった対策を進めるためには、幹線の損傷状況の把握が必要不可欠である。東京都区部では、目視､TV カメラにより 3 か年で集中的に幹線調査を行っているが、前述したように調査が難しい箇所が存在する。

写真－１　調査困難箇所の一例

そこで、従来の手法では調査が難しかった箇所においても適用可能となる調査技術について検討を行った結果、浮流式調査機器に着目した。浮流式調査機器の特徴として、簡易調査機器であるということが挙げられる。すなわち、浮流式調査機器は管きょ内の気相部限定で、詳細な位置計測ができないが､人孔内での組立てが不要であり､A ランク程度の損傷把握が可能である。そのため、調査困難箇所に対応できることから、機器導入に向けて検討を進めることとした。

３．実証試験の概要

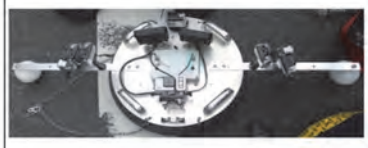
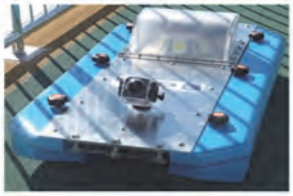
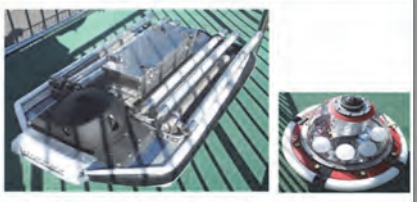
以下のような目標性能を設定し、東京都下水道局下水道実習センター及び幹線管きょ 6 路線における実証試験を行った。

ｱ）既存人孔（ハツリや改造が不要）が通過できる機器寸法であること。
ｲ）人孔部形状の如何に関わらず、調査機器の投入、回収が出来ること。
ｳ）必要な水深が明らかであること（下水に浮流させて自然流下させるため)。
ｴ）管きょ内流速が概ね 0.6m/s～3.0 m/s の範囲で自然流下できること。
ｵ）調査可能な口径は、1200mm 以上であること（幹線管きょへの適用性)。
ｶ）調査機器が流水に対して安定し、調査軸方向（機器の流下方向に向かう管きょの中心軸に対して撮影方向が維持される）が確保されること。
ｷ）調査機器の安全な回収、調査軸方向確保のための牽引索が設置できること。
ｸ）調査機器を動作させるための電源として、十分な蓄電容量を持つこと。
ｹ）撮影精度確保のために十分な照度があること。

ｺ）下水道管きょ内の微細な浮流塵への防塵機能、側流・落下水への防水性を有すること（IP55 レベル以上）
ｻ）下水管きょ内は水蒸気、水飛沫が多いためカメラレンズ前方の撮影障害（蒸気曇りによる画像不鮮明、流
下物付着による画像欠けなど）に対応（ガラスの曇り防止、ワイパーなど）できること。
ｼ）撮影精度は 2～3m 側方壁面のクラック A の確実な確認ができること。
ｽ）動画撮影画像から静止画像のキャプチャーを行うため、ブレ等が生じない程度の撮影コマ数とすること。
ｾ）管きょ内の損傷位置確認のため、上流人孔（又は基点となる人孔）からの距離が 0.5～1m 程度の距離精度で取得できること。
ｿ）従来の管路内調査機器の日進量に比較して同等以上の進捗が得られること。
ﾀ）その他、調査時に生じる障害（横流入や大きな波立ちなど）、下水水質（強酸、強アルカリ、有機溶剤など）への対応が出来ること。

実証試験による確認においては、表－１に示す 3 機種を用いた。いずれの機種も船体及びカメラ、照明器具から構成されており、カメラ A は丸型、カメラ B、C は船型となっている。また、実証試験を行った幹線管きょは、表－２のとおりである。

表－１　機種一覧表

機器名称	カメラA	カメラB	カメラC
概　況			
寸　法	現場寸法に応じた船体 (浮体部を調整) 実証試験時は W150cm×L50cm×H35cm	W50cm×L90cm×H13cm	W51cm×L91cm×H32cm 球型：直径40cmの球形
重　量	5kg程度 カメラ、照明器具の重量のみ	14kg	船型：30kg 球型：12kg
カメラ	2台(前、上)～4台(前、上、左右)	1台(広角カメラ)	1台(前、上、左右の4ﾚﾝｽﾞ) 球型(広角カメラ)
照　明	LED2台(平板) (他にカメラ併設1台/1基)	LED 3台	船型：LED7台(平板1台、光管6本) 球型：LED6台(電球型)

４．実証試験の実施

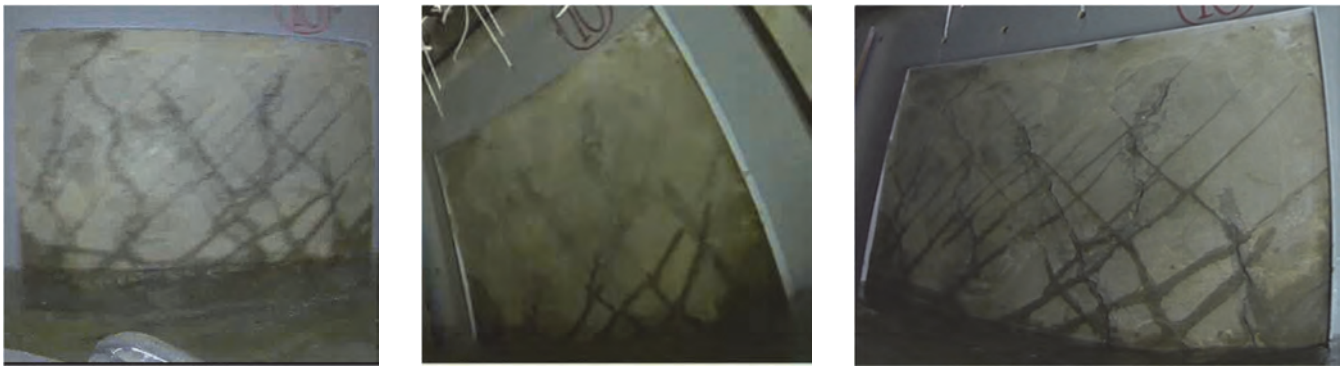
東京都下水道局の下水道技術実習センターにおける実証試験では、模擬損傷パネルを用いて、水位 30cm、50 cm の 2 種類、流速 0.5m/s、1.0m/s、1.5m/s の 3 種類の計 6 パターンについて浮流式調査機器の管きょ内流下性

表－２　実証試験を行った幹線の状況・特徴

	管径(mm)	延長(m)	最小 曲率半径(m)	水位(m)	流速(m/s)
No.1	□2480×3330	313.3	直線	0.80	1.2
No.2	□1550×2580	479.0	直線	0.3～0.8	0.5～1.2
No.3	□1830×2880	690.8	直線	0.6～1.3	0.8～1.2
No.4	○1200	111.1	60	0.60	1.5
No.5	○2700	693.0	160	0.7～0.9	0.4～1.2
No.6	○4000	626.3	250	0.30	0.5～1.3

※□：矩形きょ　○：円形管
※No.2 及び No.3 の幹線管きょは馬蹄形

能、カメラ撮影精度の確認等を行った（写真－２）。



写真－２　実習センターにおける実証試験（左からカメラ A、B、C、いずれも水位 30 ㎝、流速 1.0m/s）

写真－２はＡランク損傷（クラック）を撮影したものである。撮影角度に差はあるものの、いずれの機種においても損傷状況が確認できた。

写真－３は、幹線管きょにおいて、機器投入の可否について確認したものである。機器を支えながらロープで吊下ろす形式をとった。いずれの機種も機器を組み立てた状態で地

写真－３　幹線における実証試験（機器投入状況）

上からの投入が可能であった。

実証試験の結果、上記に掲げた目標性能については概ね満足していることが確認できた（表－３）。可否の欄において、○となっているものは、設定した目標性能を満足していることが確認できたことを意味している。△となっている距離取得性能について、本調査機器には距離測定機能がついていないため、精度の高い距離測定が必要な場合には、別途浮遊紐等を調査機器に結束して、紐の送り出しによる測定を行うこととする。

課題であった、水位については、管径に対し１割から７割程度、流速については、0.4m/s～1.5m/s 程度の管きょにおいて調査可能であることを確認できた。また、60cm の人孔蓋を通過できることから、人孔内での調査機器の組立てが不要となり、水位が高い、流速が速い箇所でも調査可能であることを確認した。

目標性能ｶ）及びｹ）において、機種ごとの違いが現れた。ｶ）については、調査機器が丸型の場合には、管の中央を保持するために、表－1 の浮流式調査カメラ A のようにサイドバーを設置する。また、流下する際に調査機器の回転を防止するため、調査機器後方に細長いガイド棒をつける必要がある。船型の調査機器の場合には、全天球型のカメラの使用

や先導体の設置等で対応する。ｹ) については、浮流式調査カメラＣの照度が 500Lm と他と比べて明るい。そのため、撮影画像の色調が異なるが、損傷の把握に違いが出ることはなかった。その他、浮流式調査カメラＣについては、他の機種に比べて重量が大きくなっているが、バッテリー稼働時間が長いためである。バッテリー稼働時間を他の機種と同等にすれば、重量も他の機種並みとなる。

表－３　目標性能確認表

確　認　項　目		可否	摘　　要
ｱ	既存人孔口への適用	○	搬入接触なし
ｲ	人孔形状への適用(投入、回収)	○	懸垂投入可
ｳ	必要な管きょ内水深	○	喫水20cm以上で流下
ｴ	流速への適用	○	0.4～1.5m/secで確認
ｵ	適用口径	○	1200～4000mm
ｶ	調査軸方向の確保	○	画像安定確認※1
ｷ	安全な機器回収への対応	○	網等により回収
ｸ	バッテリー容量	○	4時間以上の連続稼動が可能
ｹ	撮影のための照度確保	○	200Lm以上※2
ｺ	防塵・防水性能	○	IP55レベル以上
ｻ	撮影障害(曇り、水滴)の防止	○	調査前の湯煎で可
ｼ	クラックA(4mm幅)の確実な確認性能	○	動画視認で可
ｽ	撮影コマ数	○	HD、30コマ
ｾ	距離取得性能(0.5～1m程度の精度)	△	撮影経過時間、対象物から推定
ｿ	期待される日進量	○	2000m以上
ﾀ	調査時障害への対応性	○	機器材質は耐酸・耐アルカリ

※1　一部軸固定用の先導体等が必要
※2　一部500Lm以上

3 機種はいずれも目標性能を満足しているが、機種ごとの特徴がある。そのため、浮流式調査機器を用いた管路内調査を行う場合には、現場条件等に応じて機種を選択する必要がある。

５．まとめ

今回行った実証試験によって、A ランク程度の損傷が可能であることや人孔内での組立が不要であることを確認できた。かねてより困難とされていた水位が高い、流速が速い箇所においても、有効な調査機器であると考えられる。加えて、2000m 以上の日進量が見込めることから、より短時間で調査を実施できる可能性がある。今後は機器の導入に向けて、調査判定基準、調査手順などを記載したマニュアルの整備や調査機器の仕様、要求性能を定めた評価基準についての検討を行っていく必要がある。

3-1-2　腐食環境下における防食人孔蓋の導入に向けた取組について

東京都下水道局　　岸野　文俊
○工藤　祥子

１．はじめに

東京都下水道局では、平成４年から平受け構造に比べてがたつき防止性能に優れる急勾配受け構造の人孔蓋を採用してきたが、平成23年度に腐食した急勾配型人孔蓋が車両の通過時に反転・飛散する事故が発生した。以来、腐食環境下における急勾配受け人孔蓋の維持管理手法などを検討してきた。（第51回下水道研究発表会において報告）

これらの取組に加えて、急勾配受け人孔蓋の維持管理性の向上を図るため、厳しい腐食環境下での防食人孔蓋に必要な性能、腐食判定基準及び対策の選定手法について整理したので報告する。

２．フィールド調査の実施

フィールド調査によって腐食環境の実態を把握し、腐食速度を算出した。

（１）フィールド調査箇所の選定

資料調査及び現地調査により各調査対象箇所の腐食環境を予測し、フィールド調査を行う人孔を選定した。

まず、腐食環境や年代が異なる人孔蓋の選定を目的として40箇所の調査予定人孔を選定した。対象は、圧送ポンプの吐口下流部や周囲にビルピット等がある商業地を対象とした。次に、その調査予定箇所において、人孔蓋の状態調査を行った。状態調査は、腐食の進行過程を確認するため、蓋裏リブ肉厚や錠、蝶番等の腐食の影響を受けやすい部分を中心に寸法測定や外観の観察を行った。加えて、状態調査を行った箇所で硫化水素濃度の測定を行った。硫化水素濃度測定では、簡便的に２日間の累積硫化水素ガス濃度から平均硫化水素濃度を算出した。これらの結果を基に、腐食環境を４区分に分類し、腐食環境ごとにそれぞれ３箇所、合計12箇所のフィールド調査箇所を選定した。

（２）現場暴露試験

暴露試験は平成28年10月に開始し、１つの人孔に合計５枚の未塗装試験片を設置した。その後、暴露４か月後に１枚、暴露１年後に１枚の試験片を回収し、回収した試験片から錆を除去し、質量減少量から次の計算式を用いて腐食速度を算定した。

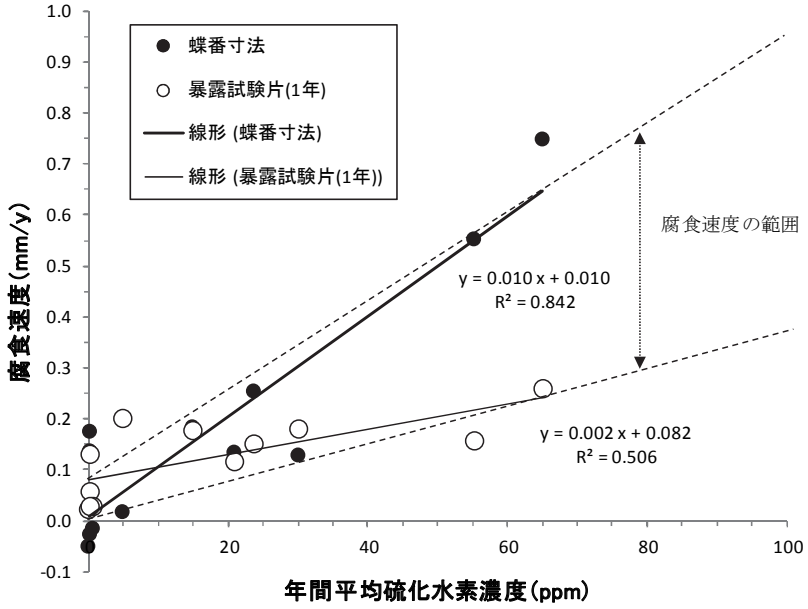
$$\text{腐食速度}(\text{mm/y}) = \frac{\text{質量減少量}(\text{g})}{\text{試験片の暴露面積}(\text{cm}^2)} \div \text{試験片の密度}\left(\text{g/cm}^3\right) \div \frac{\text{暴露期間}(\text{day})}{365(\text{day})} \times 10\ (\text{mm/cm})$$

また、暴露試験を行った人孔に対して硫化水素濃度等の環境測定を行い、腐食環境の特性を詳細に把握した。環境測定は、季節による変動を調査するため年間４回（平成28年10月、平成28年12月、平成29年２月、平成29年８月）行い、各回ともに１週間連続で計測した。

（３）腐食速度

４回の測定結果を用いて、年間平均の硫化水素濃度を求め、暴露試験から求めた腐食速

度との関係を示したものが図－１内の○印である。また、フィールド調査箇所の選定の際に測定した蝶番の寸法から求めた腐食速度と年間平均硫化水素濃度との関係を示したものが図－１内の●印である。暴露試験片と蝶番とでは腐食速度が異なるが、フィールド環境の腐食速度は両者の間に収まると考え、各々の回帰直線によって腐食速度の下限と上限を設定した。



図－１　年間平均硫化水素濃度と鋳鉄の腐食速度

３．防食人孔蓋の導入に向けた取組

（１）腐食環境に応じた防食人孔蓋の要求性能の整理

「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル（平成 24 年 日本下水道事業団)」では､腐食環境を硫化水素の濃度で区分し､Ⅰ類からⅣ類に分類している。下水道施設全体の維持管理の効率性を考慮し、人孔蓋の環境分類に用いる硫化水素濃度はコンクリート構造物と同一とした。この環境分類に応じて、フィールド調査によって得られた腐食環境特性や腐食速度を分類したものが表－１であり、これを防食人孔蓋の要求性能とする。

表－１　腐食環境分類と人孔蓋の要求性能

腐食環境分類	要求性能
Ⅰ	酸性環境及び中性環境での耐食性 きわめて高湿度、強酸性で、腐食速度が 0.5mm/y～1.0mm/y の環境における耐食性
Ⅱ	酸性環境及び中性環境での耐食性 きわめて高湿度、強酸性で、腐食速度が 0.15mm/y～0.5mm/y の環境における耐食性
Ⅲ	酸性環境及び中性環境での耐食性 高湿度、弱酸性で、腐食速度が 0.08mm/y～0.15mm/y の環境における耐食性
Ⅳ	中性環境での耐食性 高湿度、中性で、腐食速度が 0.08mm/y 以下の環境における耐食性

（２）腐食判定基準

過去の飛散・反転事故における腐食状況から、人孔蓋の腐食判定基準を設定した。表－２に示す調査項目①～⑤を使って、A（腐食大）、B（腐食中）、C（腐食小）の３段階判定とした。

①がたつき：腐食が進行すると、勾配面が変状し摩擦力が低下する。蓋上を車両が通行すると蓋ががたつき、蓋の反転、飛散に繋がる可能性がある。

②蓋枠の段差量（浮き量）：腐食の進行に伴い勾配面に腐食生成物が堆積することで蓋の浮きが発生する。

③鋳出し表示の状態（蓋裏）：腐食環境においては、蓋裏の鋳出し表示が減肉し、文字が消滅若しくは一部消滅することがある。

④ロック部・蝶番部の破損・腐食：腐食が著しく進行している箇所では、ロックや蝶番等の部品が欠落している箇所が多いことが確認されている。また、著しく腐食すると堆積膨張した錆により部品どうしが固着する場合がある。

⑤蓋の開閉：腐食環境下では、蓋と枠の勾配面の腐食が進行することで生じる固着等の影響により、開閉性能に支障がある場合がある。

表－２　人孔蓋の腐食判定基準

調査項目		A（腐食大）	B（腐食中）	C（腐食小）
①がたつき		あり	－	なし
②蓋枠の段差量（浮き量）		5㎜以上	－	5㎜未満
③鋳出し表示の状態（蓋裏）		消滅,一部消滅	－	見えるがさびあり
④ロック部・蝶番部の破損・腐食	ロック機能	脱落・固着、動作不良	やせ細り、鎖腐食	－
	蝶番機能			
⑤蓋の開閉		開閉不能	－	－

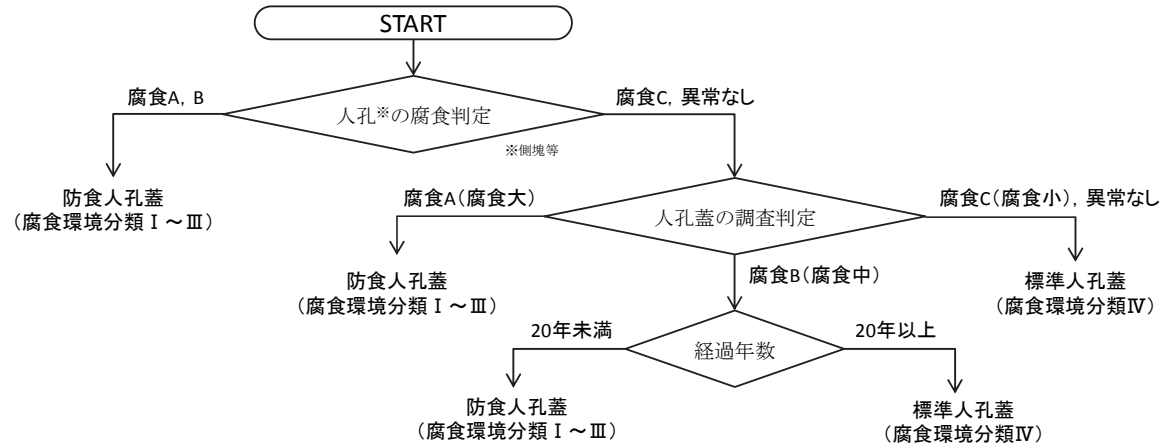
（３）腐食対策の選定手法

腐食環境分類がⅠ～Ⅲ類の人孔には防食人孔蓋を設置することとし、図－２に示す「①施設区分による判定」と「②人孔蓋の調査結果による判定」に基づき防食人孔蓋の採用を検討する。これまでのフィールド調査の結果から、圧送管の吐出し部の下流 500 メートルまでの区間は、全ての箇所が腐食環境分類Ⅰ～Ⅲ類に該当したため、「①施設区分による判定」により判定することとした。それ以外の施設の人孔蓋は②「人孔蓋の調査結果による判定」により判定する。

①施設区分による判定

腐食環境分類	施設区分	対策
Ⅰ～Ⅲ	圧送管の吐出し部の下流（500m）	防食人孔蓋

②人孔蓋の調査結果による判定



図－２　人孔蓋の調査判定フロー

４．おわりに

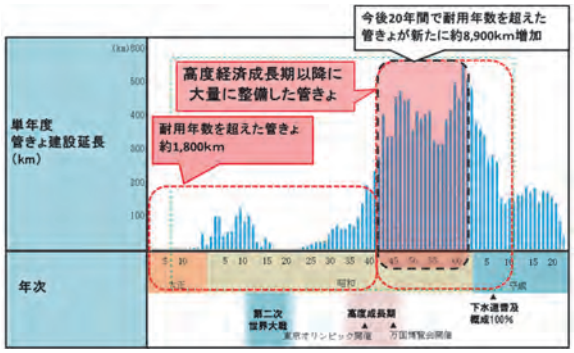
今回、都内の腐食環境の実態を把握するためフィールド調査を実施し、その結果に基づき腐食環境の分類や対策手法について検討した。今後、腐食環境における人孔蓋の対策を確立させるため、今回の検討結果を実業務において試行運用し、腐食対策手法の検証を行っていく予定である。

3-1-3　ビックデータを活用した道路陥没対策について

東京都下水道局　施設管理部　管路管理課　調整担当　天野雄太

1. 東京都の道路陥没対策の現状

東京都区部の下水道事業は、明治 17 年に建設された神田下水以来、110 余年の歳月を費やし、平成 6 年度末に 100％普及概成に至った。現在、東京都区部の管きょ管理延長は、約 16,000ｋｍにおよび、このうち法定耐用年数の 50 年を超えた下水道管の延長は、全延長の約 1 割にあたる約 1,800ｋｍに達している。さらに、今後 20 年間で、耐用年数を超えた下水道管が新たに約 8,900km 増加する等、急速に多くの下水道管が更新期を迎えることから、下水道管の老朽化対策が喫緊の課題となっている（表－1)。



【表-1】 管きょの建設延長の推移

また、人口や産業が集中している東京では、トラックやバス等の大型車両の走行による振動や他企業の近接施工の影響等による下水道管の破損が道路陥没の大きな要因となっている。

当局では、このような状況を踏まえ、下水道台帳情報システム（Sewerage Mapping and Information System、通称ＳＥＭＩＳ）に、下水道管に関する様々なデータ（以下、ビッグデータという。）を蓄積している。このビッグデータを活用し、老朽化した下水道管の再構築とともに、補修や改良工事において道路陥没の発生原因の約 7 割を占める陶器製取付管を衝撃に強い塩化ビニル管に取換える対策（以下、塩ビ化という。）を行っている。また、道路陥没の多い地域を「道路陥没対策重点地区」として選定し、重点的に取付管の塩ビ化を行っており、平成 27 年度までに 61 地区について対策を完了している。

これらの対策により、平成 12 年度に年間 1500 件強発生していた下水道管の破損に起因する道路陥没は、平成 28 年度に 460 件と 1/3 程度まで減少している。

一方で、2020 年には、「東京 2020 オリンピック・パラリンピック」が開催され、国内外から多く人が東京を訪れる。当局では、下水道が原因となる道路陥没の未然防止を重要課題として経営計画に位置付け、重点的に対策を実施していくこととしている。本稿ではその取組を報告する。

【図-1】 再構築エリア及び
道路陥没重点地区図

2. 道路陥没対策と実施計画

当局は、平成 28 年 2 月に、平成 28 年度から 32 年度までの 5 年間の事業運営の指針となる「経営計画 2016」を策定した。本計画では、老朽化施設の改築や浸水対策、震災対策、合流式下水道の改善等に必要な施設の整備を確実に進めるとともに、維持管理の充実にも努めること

とし、現在、本計画に基づき、対策に取り組んでいる。

このうち、予防保全型の道路陥没対策としては、老朽化した管きょについて再構築等の対策を計画的に推進するとともに、「道路陥没が多い 42 地区」と「東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技会場周辺 22 地区」を合わせた 64 地区を新たに「道路陥没対策重点地区」に位置付け、補修や再構築等により、重点的に取付管の塩ビ化を実施する計画としている（図-1）。

3. 道路陥没のメカニズムと効果

(1)道路陥没の原因分析

下水道管に起因する道路陥没の主な原因は、老朽化や衝撃等により下水道管が破損し、周りの土が管の中へ流れ込むことで、道路の下に空洞が発生することによるものと考えられる。

下水道管に起因する道路陥没発生原因を施設別に分析すると、取付管が約 7 割を占めている。取付管に起因する道路陥没が多い理由は、平成元年までに整備された取付管の多くが陶器製であるため、衝撃に弱いことや、比較的浅い位置に埋設されていることから、車両通行による振動の影響を受けやすいことが要因と考えている。

(2) 陶器製取付管の塩ビ化

当局では、陶器製取付管に起因する道路陥没を防止するため、これまで取付管の塩ビ化を進めており、区部の陶器製取付管約 178 万か所のうち、約 65 万か所の塩ビ化を平成 27 年度末までに行った。

(3) 塩ビ化による効果

塩ビ化率と陥没件数の関係をグラフ化したものを図-2 に示す。（塩ビ化率：陶器製取付管を塩ビ管に取り替えた延長の割合）

この図により、取付管の塩ビ化が進むにつれ、道路陥没件数が年々減少していることがわかる。東京都区部の道路陥没は、年間 530 件程度（平成 26～28 年度平均）となっている。

【図-2】塩ビ化による道路陥没件数の変化

4. ビッグデータを活用した重点対策の実施

すべての陶器製取付管を塩ビ化するには多くの時間を要することから、重点的に塩ビ化すべき「道路陥没対策重点地区」を選定するにあたって、当局はビッグデータに所定の条件を付して検索・整理・抽出することにより、重点対策の選定の位置付け等を明確にした。

(1) ＳＥＭＩＳに蓄積されているビックデータ

ＳＥＭＩＳには、大きく「下水道管の基礎情報」、「維持管理情報」、「調査業務支援情報」の 3 つの情報を蓄積している。

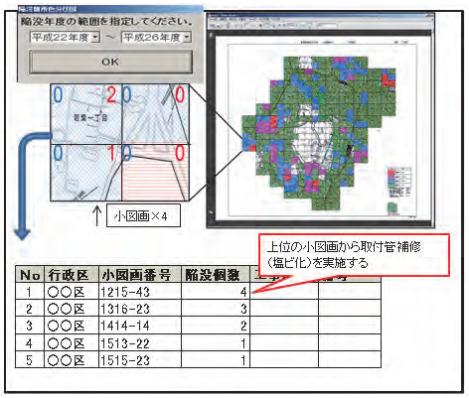
・「下水道管の基礎情報」：約 16,000 ㎞に及ぶ下水道管の管種、土被り、布設年度等の基礎情報や、約 48 万個の人孔、約 193 万個の公設汚水ますの種別、設置位置、深さ等の基礎情報を登録している。また工事完了図等の図面の閲覧及び印刷が可能である。

・「維持管理情報」：道路陥没や浸水被害の発生場所・日時等の維持管理情報を登録しており、被害が発生しやすいエリアの特定等に活用している。
・「調査業務支援情報」：管路内調査の結果は、ＳＥＭＩＳに適時記録している。管径が 800ｍｍ未満の下水道管は、ミラー方式テレビカメラ使用し下水道管の状態を確認しており、下水道管内の映像をデジタル化した画像情報として記録するとともに、この画像情報を展開図化し、損傷箇所や損傷の程度を確認している。

(2)　ビッグデータを活用した重点対策地区の選定

経営計画 2016 における「道路陥没対策重点地区」のうち、道路陥没の多い 42 地区は、「維持管理情報」を活用し、指定期間内において下水道管に起因する道路陥没が比較的多く発生した箇所を選定している。選定方法は以下のとおりである。

①　近年の道路陥没の傾向を把握するため、ＳＥＭＩＳで「平成 22～26 年度」に下水道管に起因する道路陥没が発生した箇所を検索する。
②　①で検索した内容を下水道台帳小図画（250m×175m）単位で整理する（図-3）。
③　①、②のうち、下水道台帳小図画内で道路陥没が比較的多く発生した箇所を抽出する。
※総事業量等を踏まえ、経営計画 2016 では、道路陥没が 3 箇所以上発生している箇所を選定した。
④　再構築工事等を実施済または近々で実施予定の箇所を③で選定した箇所から除外する。



【図-3】道路陥没対策地区抽出方法

これにより、道路陥没が多く発生している箇所の選定、並びに重点的な対策が可能となる。

(3) 重点対策による効果

「道路陥没対策重点地区」の道路陥没減少効果の一例として、平成22～24年度に塩ビ化を実施した高円寺駅南側周辺の道路陥没発生状況の変化を図-4に示す。

当該地区では、昭和58～平成24年度にかけて陥没が127件発生していたが、対策実施後、道路陥没は発生していないことを確認している。このことから陥没が多い地区における重点的な対策が効果的であるといえる。

【図-4】塩ビ化による道路陥没件数の減少

5. おわりに

老朽化による下水道機能の支障や道路陥没の発生は、お客さまの生命や財産、都市活動にも大きな影響を及ぼすことから早急な対策が必要である。一方で、今後、高度経済成長期に整備した下水道管が一斉に更新期を迎えることから、アセットやストックマネジメントを用いた計画的・効率的に事業を推進することが求められる。東京都では、都民の安全を守り、安心で快適な生活を支えるため、これまでに当局が培ってきた「現場力」、「技術力」、「組織力」を発揮し、今後も蓄積してきた膨大な「ビックデータ」等を有効に活用し、道路陥没対策等を重点的に進めることにより、効率的・効果的な維持管理を行っていく。

3-1-4　揮発したトリクロロエチレンによる公栄での違反とその改善事例

東部第一下水道事務所　お客さまサービス課　五十嵐　大就
（現　第一基幹施設再構築事務所庶務課）
東部第一下水道事務所　お客さまサービス課　蝶野　詩織
（現　南部下水道事務所お客さまサービス課）

1　はじめに

東部第一下水道事務所の水質規制担当は主に墨田区と江東区を管轄としており、有害物質等を取扱う事業場に対し下水排水基準を遵守するよう継続的に立入指導を行っている。

過去に比べ違反をする事業場は減少してきてはいるが、除害施設等の維持管理不良や老朽化、処理担当者の知識不足等、様々な理由により今なお違反を繰り返す事業場はなくならない。

同じ事業場の同じ項目の違反でも原因が同じとは限らず、過去の経験からその原因を推測し、1つ1つについて確認して改善指導を行っている。

今回、揮散したトリクロロエチレンの再溶解による下水排除基準の超過があり、抑制対策を実施した結果、基準超過が改善された事例を報告する。

2　事業内容

2.1　事業場の業務内容

この事業場は、主にハンドバックの留め具等の装飾品を鍍金している。

鍍金される材料をトリクロロエチレン脱脂、アルカリ脱脂、銅鍍金後に、ニッケル又は金鍍金を行っている。鍍金の終わった製品は水洗浄ののち、水分除去のためにトリクロロエチレンで洗浄を行い、その後トリクロロエチレンを自然乾燥させている。

2.2　排水処理の方法

排水は、シアン系排水と重金属含有系排水の２つに分けられる。

シアン系排水には濃厚廃水と水洗水があり、濃厚廃水は地下貯槽に溜め業者回収を行っている。水洗水はイオン交換樹脂で再生し再利用している。

重金属含有系排水は、酸アルカリ系排水とニッケル鍍金水洗水、金鍍金水洗水があり、ｐＨを調整してアルカリ凝集させ、フィルタープレスで全量ろ過している。ろ液は最終中和槽を経由し下水道へ放流される。銅鍍金水洗水はイオン交換樹脂で再生し、再利用している。

脱脂用のトリクロロエチレンは廃油として業者回収している。洗浄(乾燥)用のトリクロロエチレンは水分を除去するため蒸留し循環利用している（図 1)。使用量は一日 1～2 缶（18～36 リットル）だが、回収量は一ヶ月で 1～2 缶である。計算上は、大量のトリクロロエチレンが大気中に放出されている可能性があると考えられた。

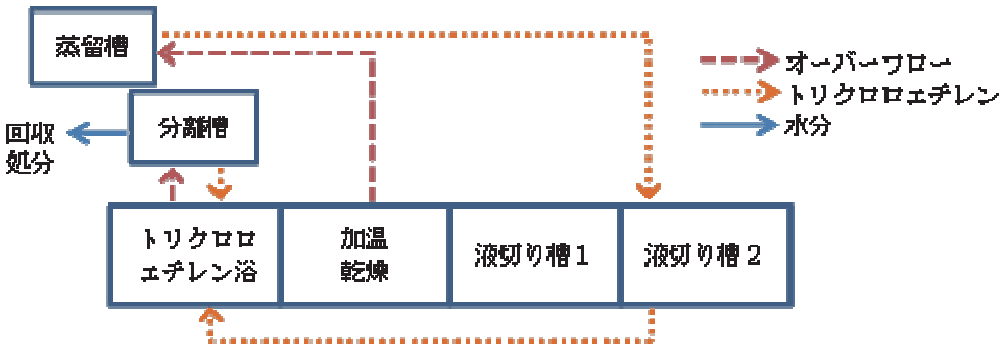


図１　トリクロロエチレン洗浄(乾燥)施設の構造

3　指導経過

3.1　過去の違反状況と改善内容

（下水排除基準　　ｐＨ 5.7 を超え 8.7 未満、銅 3 mg/L 以下、シアン 1 mg/L 以下、トリクロロエチレン 0.1 mg/L 以下）

この事業場はこれまでも違反を繰り返している。その度に原因を調査し、改善に向けた指導を行っている。以下に過去３年間の違反内容と原因、改善内容を示す。

○平成 26 年 12 月１日　銅 9.1 mg/L、シアン 4.8 mg/L　【注意措置】

原因：シアン回収槽の濃厚廃液を地下貯槽へポンプ送水した際に、ホース先端が地下貯槽から外れ、シアン廃液が床を流れて重金属含有系排水に混入した。またシアノ錯体が形成されたため、銅が処理不良となった。

改善内容：ホースを長くし確実に送水できるよう改善した。

○平成 27 年８月５日　銅 4.0 mg/L　【注意措置】

原因：酸槽の廃液を２週に１回のペースで処理施設に排水するが、ｐＨ調整槽のｐＨが一時的に下がるため苛性ソーダを酸アルカリ系貯槽に直接投入した。

このためｐＨ調整槽のｐＨが不安定になり、基準を超過した。

改善内容：酸槽の排水時に自主分析を行い、影響の有無を確認するよう指示した。

○平成 28 年 10 月 27 日　ｐＨ 9.9、シアン 38 mg/L、銅 39 mg/L、ﾄﾘｸﾛﾛｴﾁﾚﾝ 0.47 mg/L

【警告措置】東部第一下水道事務所に事業者を呼び出し、所長から警告書を手渡した。また違反原因と改善計画を文書で報告するよう求めた。

【pH】　原因：酸槽の排水を行ったところｐＨ調整槽のｐＨが低くなったためｐＨ調整槽に手動で苛性ソーダを追加したが入れ過ぎ、ｐＨが高くなった。苛性ソーダは溶かさずに固形のまま投入していた。

改善策：酸槽（500L）２槽を一度に更新していたが１槽ずつの更新に変更する。酸槽内で中和してから送水し、酸アルカリ系貯槽のｐＨが下がり過ぎないようにする。

【シアン】　原因：シアン回収槽から地下貯槽へ送水したが、地下貯槽が満水で溢れ、銅を含有するシアン濃厚排水が酸アルカリ系の床排水に混入した。

改善策：翌日にシアン廃液を業者回収、最終中和槽と放流槽内の水はシアン貯槽に移した。またシアン貯槽と酸アルカリ系貯槽の間に堰を設け、溢れた排水が流れ込まないようにした。シアン貯槽は2つあるため、今後は片方が満水になったら業者回収する。

【ﾄﾘｸﾛﾛｴﾁﾚﾝ】原因：不定期に入るバレル鍍金作業前にトリクロロエチレンで洗浄し脱脂している。液切れが悪く、トリクロロエチレンの持ち出し量が増えた。

改善策：水洗槽の前に回収槽を新設し、トリクロロエチレンの水洗槽への持ち込みを抑制する。乾燥時間を決め、作業を記録する。

3.2 改善確認状況（1回目）

平成29年1月19日：平成28年10月27日の警告措置に対する改善確認を行った。

・ｐＨ計に警報装置を付け、異常時は警報が鳴るように変更された。
・シアン回収槽には貯水量が分かるようセンサーが取り付けられた。
・トリクロロエチレンの回収槽を設置した。回収槽の水質分析を行い濃度が上がった場合は廃液回収を行う。

施設は改善計画書のとおり変更されていた。改善状況を確認するため、採水を行った。

トリクロロエチレン 1.8 mg/L（ｐＨ、シアン、銅は基準内）

【再度の警告措置】回収槽を設置した効果が現れず、トリクロロエチレンは前回より高い値となった。当日の作業状況や違反原因を調査するよう指示した。

3.3 改善確認状況（2回目）

平成29年1月31日：1月19日の警告に対する違反原因調査のため立入りをした。

改善策の効果を確認するため下流の人孔に1月16日から1月20日まで自動採水器を設置していたが、トリクロロエチレンが24検体中17検体で基準値を超過し、最高値は1.7 mg/Lという結果であった。操業時間中はトリクロロエチレンが検出され続けていることがわかった。

事業場からは、1月19日の作業でトリクロロエチレンをこぼした等のミスはなかったこと、トリクロロエチレンが揮発したものがダクトで冷やされ結露して水洗槽に入ることがあるかもしれないとの報告を受けた。

トリクロロエチレンの混入ルートを特定するため、公桝及び工程水のトリクロロエチレンを分析した。

・公桝　0.67 mg/L	・最終中和槽　2.5 mg/L	・酸系貯槽　0.19 mg/L
・私桝　0.75 mg/L	・中継槽　6.1 mg/L	・回収槽　0.06 mg/L
・放流槽　0.53 mg/L	・ｐＨ調整槽　0.28 mg/L	

回収槽の濃度が他に比べても低いことから水系からの混入ではなく、大気経由で混入していることが裏付けられた。(図2)

3.4 改善確認状況（3回目）

平成29年2月6日：1月19日の警告に対する違反原因継続調査のため立入した。

・トリクロロエチレン脱脂作業は乾燥時間を20分確保するように変更した。十分に乾燥させているため回収槽の濃度は低かった。作業記録から乾燥時間を確保しているこ

とを確認した。

・トリクロロエチレン洗浄(乾燥)槽から取り出す際の液切り不足による自然乾燥量の増及びトリクロロエチレン浴の設定温度の上げ過ぎによる蒸発量の増等があり、作業場内の水洗槽に再溶解している可能性が高まった。

・再溶解の状況を調査するため、作業場内の水洗槽で再度トリクロロエチレンの測定を行った。(図 2)

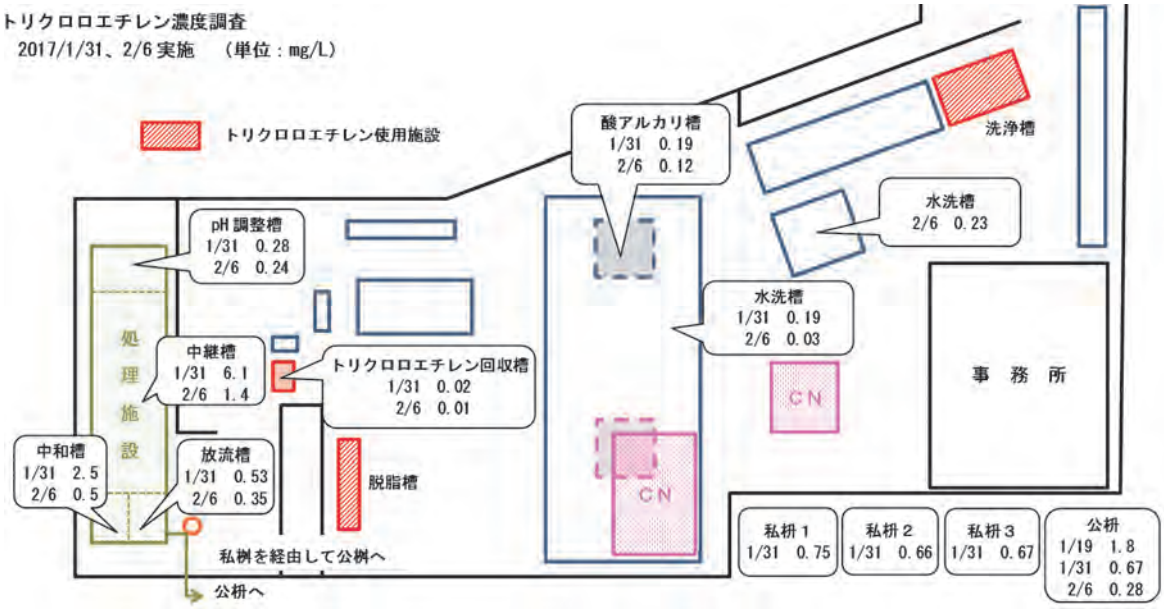


図 2　作業場内トリクロロエチレン検出状況

4　改善指導

平成 29 年 3 月 14 日：ＶＯＣ対策アドバイザー派遣制度（注釈参照）を利用し、当事務所及び環境局で現地調査を行い、具体的な改善指導を実施した。

作業場内の空気中トリクロロエチレン濃度測定結果（環境局）　平均値（最高値）ppm

・洗浄槽排気吸い込み口　　242（452）ppm　　・蒸留槽側面付近　25.1（40.9）ppm

・洗浄槽横水洗槽水面付近　3.6（7.5）ppm　　・油切りスペース　3.5（ 6.4）ppm

作業場内にトリクロロエチレン蒸気が揮散しており、その再溶解により違反が起きていると判断し、以下の対策を指示した。

○洗浄(乾燥)槽

・槽上部の周りを塩化ビニルの板等で囲い、風の影響を受けないようにする。(図 4)

・トリクロロエチレン浴の温度が 83～85℃より上がらないよう温度管理に注意する。

・十分に液切りできるよう、各槽からの引き上げ作業をこれまでよりゆっくり行う。

・トリクロロエチレン浴後の回収槽で治具や品物を、2 分以上静置させる。

・夏場に冷却水の温度を測定し、トリクロロエチレン浴上部の冷却が足りない場合は対策を検討する。(気化したトリクロロエチレンを冷却し大気への放出を防ぐため)

○蒸留槽

・蓋をパッキン付きの覆いかぶせる形状に変更する。(図 5)

(蒸留槽から漏れたトリクロロエチレン蒸気が作業場内に拡散し、水洗槽に溶け込むことが疑われたため。)

○鍍金ライン水洗槽
・鍍金ラインの水洗槽は未使用時には蓋をし、溶け込みを防止する。(図 6)
・トリクロロエチレンの影響のない空気で散気を行う。
○排気設備
・作業場に換気扇を設置する。
・排気ダクトを屋上まで延長し、雨水が入らないよう排気口に覆いを付ける。
○水質分析
・公定分析法でシアン、銅、ふっ素、トリクロロエチレン、ジクロロメタンを定期的に分析する。
・簡易分析法でシアン・銅・ふっ素を毎日確認する。
○社員教育
・全従業員への環境保全と作業安全対策についての教育を定期的に実施する。
・社長と工場長で一日を通して作業場での作業状況の確認を行う。
・これらを写真に撮り、報告書を作成する。

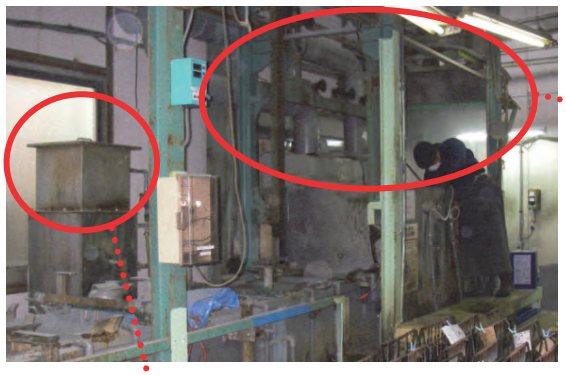


図 3　改善前の洗浄(乾燥)施設と蒸留槽

図 4　洗浄(乾燥)施設 囲いの設置

図 5　蒸留槽 蓋の改善

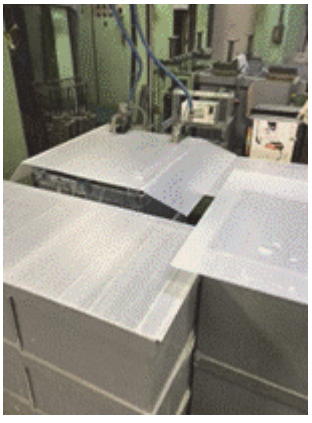


図 6　水洗槽 蓋の設置

5　まとめ

違反を繰り返す事業場において、これまでとは異なる原因での改善指導を行った。
排水への直接の混入ではなく、揮散したトリクロロエチレンの再溶解による違反という

事例であり、対策のための知識も少なかったが、環境局の制度を利用する等、大気関係の情報も活用し改善が行えた。

また、事業者に対して厳重な指導を行うことで、事業者は責任の所在と社員教育の重要性を認識し、定期的な教育を継続することとなった。

改築等全ての対策が終了した平成 29 年 5 月に改善確認を行い､規制対象の項目全てが基準値内であり改善されていることを確認した。平成 29 年 11 月にも立入を行ったが、作業場内の特有の臭気もなくなり、作業環境も含め良好な状態が保たれている。

注釈

ＶＯＣ対策アドバイザー派遣制度とは

東京都環境局環境改善部が実施。

中小企業からの依頼に基づき、審査の上、アドバイザーを派遣する（無料）

○派遣先

・資本金 3 億円以下又は従業員数 300 人以下で、ＶＯＣを取り扱う企業（めっき工場、印刷工場、塗装工場等）

・ＶＯＣの排出抑制策に関する学習会などを主宰する団体

○実施内容

・現場でＶＯＣの簡易測定を行い、工程の改善、原材料の転換、回収・処理装置の設置、融資制度の紹介等の助言を行う

※　ＶＯＣ：揮発性有機化合物

3-1-5　砂町水再生センター汚泥処理返流水の対策について

東部第一下水道事務所　砂町水再生センター　返流水対策ＰＴ

1　はじめに

砂町水再生センターの水処理施設には、東部スラッジプラント、砂町汚泥処理工場における汚泥処理により発生した返流水が日量約 10 万 m^3 流入しており、これはセンター高級処理水量の 1/4 を占めている。この返流水には他の水再生センターで発生した汚泥に由来するりん等も含まれているため、返流水の水処理施設への負荷が高くなっている。放流水におけるりん濃度を低下させるため、水処理過程においてりん対策で PAC を注入しているが、平成 28 年度は返流水水質が悪化したケースが多く、PAC 使用量が大幅に増加した。さらに、東部スラッジプラントには返流水を貯留するための水槽が多数設置されており、水槽ごとに設置されたポンプで各々水処理へ返水するため、返流水流量の変動幅も大きい。このように、返流水は当センターの水処理に大きな影響を与えている。

そこで、当センターでは返流水対策 PT を立ち上げ、返流水流量の変動幅を最小限に抑えた返流方法の検討及び PAC 使用量削減方法について検討を行った。本稿では、第一段階として取り組んだ、返流水流量の安定化に向けた取組と、LAC 使用による返流水中のりん濃度低下について報告する。

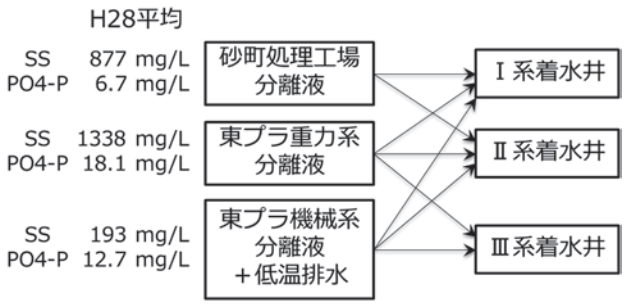
2　砂町水再生センターの返流水概要

2.1　返流水の定義

本稿で取り上げる返流水とは、東部スラッジプラントや砂町汚泥処理工場における汚泥処理により発生する分離液や、焼却炉の洗煙水である。分離液の量は汚泥処理量に依存するため、現状では減量できない。分離液等の成分は発生源となる工程により異なるが、他の水再生センターで発生した汚泥に由来するりんも含まれている。そのため、りん負荷量が当センターの流入水よりも高く、1 日当たりの返流水発生量が当センター高級処理水量に占める割合が非常に大きい特徴がある。なお、本稿では断りがない限り「りん」とは「りん酸性りん」を示す。

2.2　水処理と返流水の関係

東部スラッジプラント、砂町汚泥処理工場から当センターへの返流水はすべて東陽系水処理施設の着水井に流入しており、東陽系水処理施設は、Ⅰ系、Ⅱ系、Ⅲ系の 3 系統に分かれている。Ⅰ系・Ⅱ系は AO 法の高級処理、Ⅲ系はステップ A_2O 法の高度処理である。Ⅰ系とⅡ系は一沈導水渠が共通であるため、以後は、東陽Ⅰ系とⅡ系を合わせて、東陽Ⅰ・Ⅱ系と称する。



図－1　返流水の発生源と着水井の対応

返流水の発生源と着水井は図－1の関係で示される。それぞれの流入量、負荷は一定ではなく、次項で述べるとおり、東プラ重力系には4種類の水槽からの返流水、東プラ機械系には5種類の水槽からの返流水が混在している。

2.3　分離液等の返流水制御

分離液等を一時的に貯留するための水槽は東部スラッジプラントに9槽、砂町汚泥処理工場に1槽ある。各槽には返流水ポンプが設置されており、台数、能力は槽により異なる。分離液等を貯留する水槽から水処理への返流水ポンプはすべて固定速の水位制御であり、ポンプの起動・停止は表－1で示す水位で制御されている。水位一定制御のポンプは回転数ではなく、運転台数の増減によって水位を制御している。よって、返流水流量はポンプの運転台数によって大きく変動する。

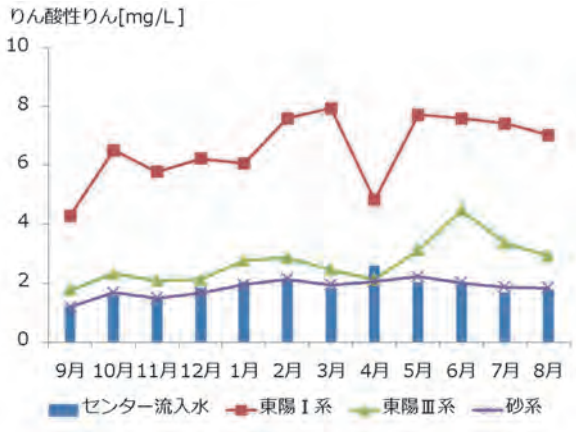
表－1　分離液貯留用水槽と返流水ポンプの運転条件

	水槽名	台数	1台あたりの流量	起動水位	停止水位
砂町処理工場 分離液	ろ液返水ポンプ室　分離液水槽	4	870m^3/h	ポンプ台数の増減による水位一定（2.5m）制御	
東プラ重力系 分離液	重力濃縮槽１～２号 汚泥調整槽１～２号　分離液水槽	3	840m^3/h	4.0m	3.2m
	重力濃縮槽３号、汚泥調整槽3号 余剰汚泥貯留槽　分離液水槽	2	840m^3/h	1.9m	1.0m
	第二汚泥処理棟　オーバーフロー水槽	2	900m^3/h	4.0m	2.0m
	第二汚泥処理棟 トルネード脱水機・ベルト濃縮機　分離液水槽	2	900m^3/h	4.8m	1.7m
東プラ機械系 分離液 ＋低温排水	受泥棟　オーバーフロー水槽	2	480m^3/h	4.0m	2.0m
	汚泥処理棟　遠心脱水機分離液	2	480m^3/h	4.0m	3.5m
	汚泥処理棟　遠心濃縮機分離液	3	480m^3/h	4.0m	3.5m
	汚泥処理棟　オーバーフロー水槽	2	480m^3/h	4.0m	1.9m
	排水ポンプ室　低温排水槽	4	600m^3/h	ポンプ台数の増減による水位一定（2.5m）制御	

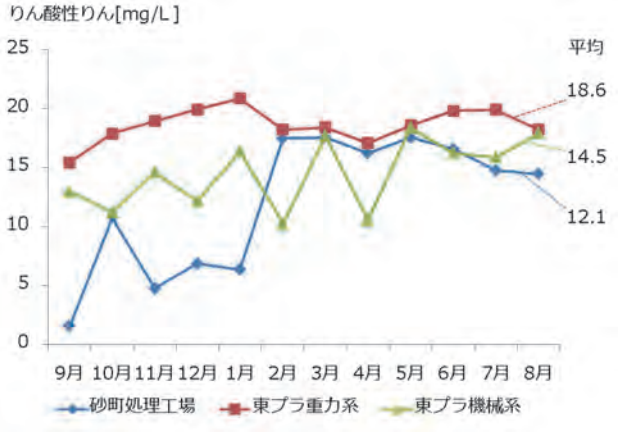
3　返流水の現状

3.1　各地点におけるりん濃度

図－2には、平成28年9月から29年8月のセンター流入水のりん濃度を棒グラフ、



図－2　センター流入水（棒グラフ）と一沈流出水（折れ線グラフ）のりん濃度

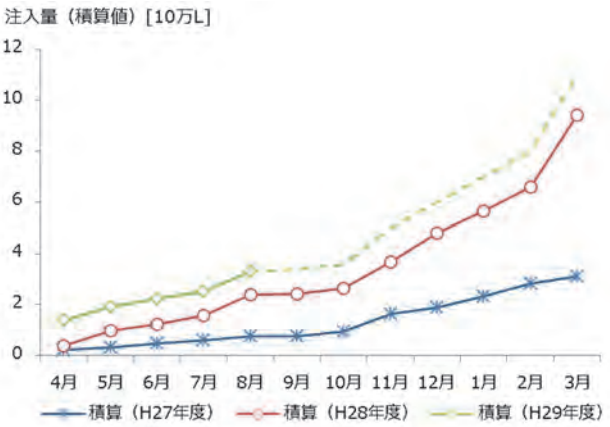


図－3　返流水中のりん濃度

各水処理系統の一沈流出水のりん濃度を折れ線グラフで示した。返流水が流入しない砂系の一沈流出水は、センター流入水のりん濃度とほぼ同じであるが、返流水が流入する東陽系の一沈流出水はセンター流入水よりりん濃度が高くなっている。図－3は平成28年9月から29年8月までの返流水中のりん濃度である。採水は系列ごとに、東陽系水処理着水井への流入点で実施した。東プラ機械系分離液のりん濃度は、焼却炉の低温排水のみが流れているタイミングで採水を行うと低くなり、機械濃縮・脱水の分離液が入っているタイミングで行うと高くなるため安定しないが、大まかな傾向として、図―2で示すセンター流入水の平均りん濃度1.8 mg/Lより高めに推移している。

3.2　PAC使用量

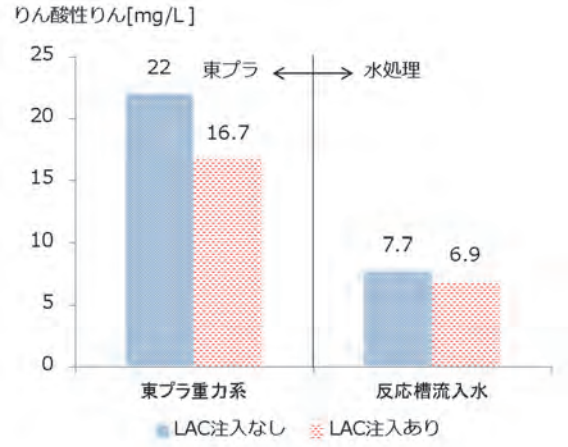
PACは反応槽または放流水におけるりん濃度が基準値を超過しそうな場合に注入しているため、水処理の水質が安定していれば注入する必要はない。しかし図－4で示すとおり、平成28年度途中から、PACの使用量は増加しており、返流水による負荷もこの原因として無視できない。平成29年度は平成27年度、28年度と比較しても使用量が多いため、このままでは点線のように使用量が多くなる可能性がある。



図－4　PAC使用量（H29.9以降は予測）

3.3　LAC注入の効果

着水井への返流水のりん負荷を減らすために、発生源におけるりんを分離液ではなく、脱水ケーキ側に集めることが有効である。そこで、東プラにおいてLACを注入することで分離液中のりんを減少させる。LAC注入点は、調整槽分配槽（受泥後、重力濃縮の前の分配槽）と、濃縮汚泥貯留槽（遠心脱水機投入前の貯留槽）の2か所である。LACは設備が設置された平成20年度より、水処理状況、汚泥処理状況を確認しながら注入している。

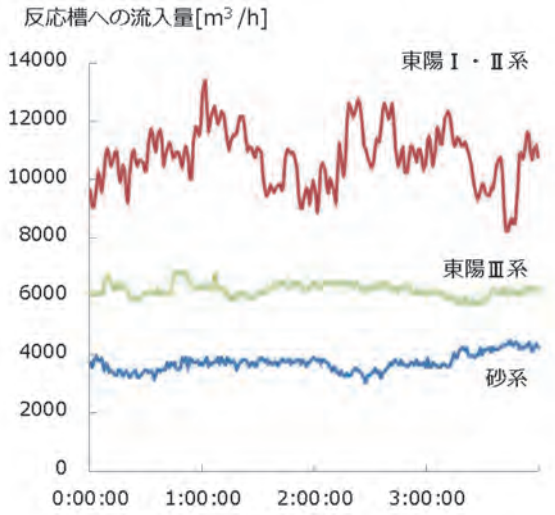


図－5　LACが分離液中のりん濃度に与える影響

2.7L/min注入した結果を、注入していない時と比較した結果が図―5である。分離液中のりん濃度で結果を確認すると、LAC注入により、東プラ重力系で3割程度、返流水中のりん濃度が低下する傾向が確認できた。また、反応槽流入水のりん濃度も、LACを注入したことにより1割程度の低下が確認された。

3.4　反応槽への流入量

りんを安定的に処理するためには、反応槽への流入量が一定であることが望ましい。現状の砂町各水処理系統における反応槽への流入量が図－6である。東プラからの返流水は流量計が設置されている東陽Ⅲ系に一定量が流入し、残りがすべて東陽Ⅰ・Ⅱ系に流入している。そのため、返流水の流入がない砂系の反応槽流入量と比較すると、東陽Ⅰ・Ⅱ系の反応槽への流入量は時間当たりの変動幅が非常に大きく、変動幅を縮小する必要がある。



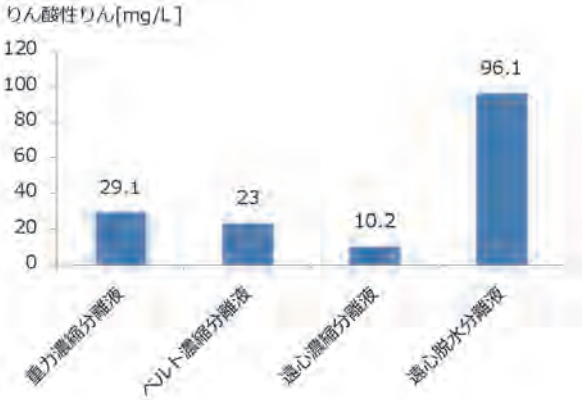
図－6　系統ごと反応槽への流入量

4　現在検討中の取組

4.1　返流水に含まれるりんの抑制

3.3より、LACを注入することで、りん濃度を低下させられることが確認できたため、返流水の含まれるりんの抑制にはLACを活用する。

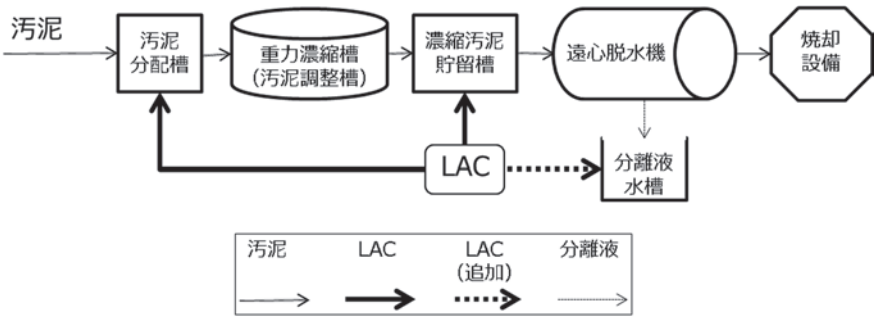
分離液を貯留する水槽は10槽あるが、使用頻度が低いオーバーフロー水槽と、りん濃度が極めて低い、焼却炉の低温排水槽を除いた水槽のりん濃度を確認した結果が図－7であり、遠心脱水分離液のりん濃度が、他の分離液槽より3～4倍高いことが確認できた。図―8で示すとおり、遠心脱水分離液槽には、平成29年度に予定されている工事でLAC注入点が追加されるため、今後はその効果の検証を実施する。



図－7　分離液ごとのりん濃度（LACな

4.2　返流水流量の安定化

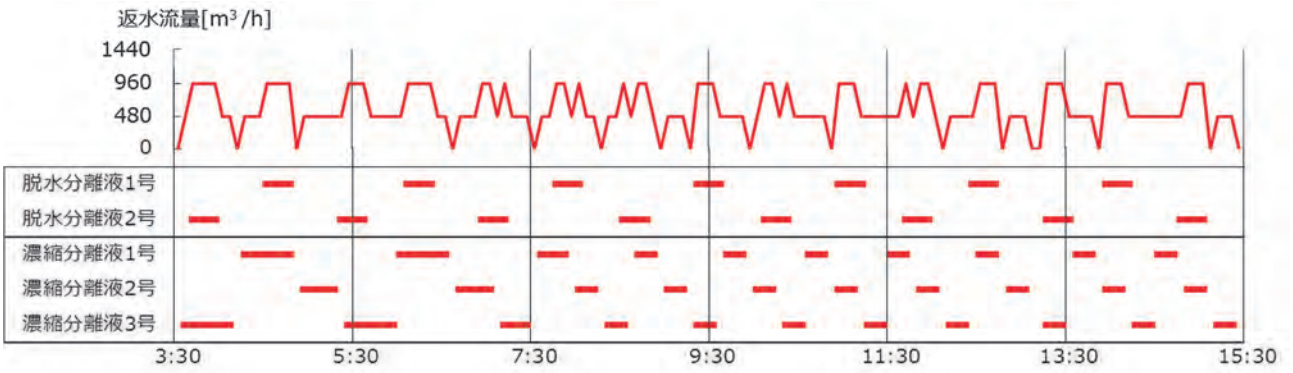
返流水ポンプは各分離液槽の水位に応じて運転するため、複数のポンプが同時に運転すると返流水の流量が多くなる。現状ではそれぞれのポンプの運転が全く連動していないため、流入量は0～4000m³/h程度の幅で変動しており、水処理への影響が大きい。そこでポンプの送水量と運転頻度に応じて起動・停止のタイミングを制御し、可能な限り一定量の送水を目指すことで、水処理の安定化を図る。



図－ 8　現状のLAC注入経路と追加注入点

10 槽のポンプすべてを制御することは困難なため、まずは返流水流量が多く、りん濃度が高い分離液槽を選択し、返流水流量の調整を試みる。

4.1 で確認した、りん濃度が一番高い遠心脱水分離液の返流水ポンプと、同じ系統で送水量が多い遠心濃縮分離液返流水ポンプの運転状況を調査した。汚泥処理設備の運転状況により発生する分離液の量が変化するため、返流水ポンプの運転頻度は一定ではない。そこで図－9 のように運転トレンドを模式化し、分析した。遠心脱水分離液槽返流水ポンプ、遠心濃縮分離液槽返流水ポンプの送水量は共に 480m³/h であり、それぞれ 1 台ずつ水位制御で運転している。図－9 の上段折れ線グラフはこの 2 種のポンプによる返流水流量の瞬時値であり、タイミングによって返流水が止まったり、2 台同時に運転して 960m³/h 返水されたりしていることがわかる。そこで、運転頻度が比較的少ない遠心脱水分離液槽返流水ポンプの運転停止水位の幅を調整することで、ポンプの運転時間、頻度、間隔を制御し、流量安定化の検討を進める。



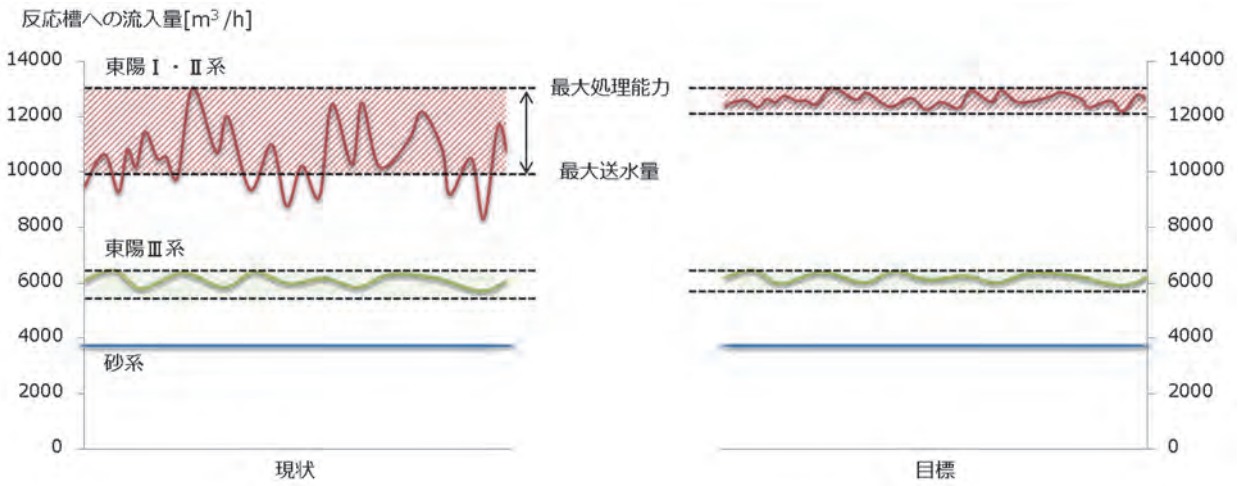
図－9　（上段折れ線）返流水ポンプの運転による時間ごとの水処理への返流水流量
（下段横線）遠心脱水機分離液槽、遠心濃縮機分離液槽の返流水ポンプ運転状況

5　まとめ

分離液への対策方法は、反応槽への流入量変動を少なくする量の安定と、りん濃度の低下による質の安定がある。流入量変動の安定化は、ポンプの起動・停止水位設定の変更により対応する。ただし、現状の設備では起動・停止水位の操作が可能なポンプが限られているため、今後対策を検討する必要がある。返流水中のりん濃度の低下は、東プラの汚泥処理過程において、図―8 で示す、遠心脱水機の分離液水槽に LAC 注入点を追加することで対応する。

将来的な PAC 使用量の削減に向けて、りん濃度が低い返流水を安定した流量で水処理に送ることによる、反応槽におけるりん濃度への影響を長期的に評価することで、PAC 使用量の削減につなげる。

一方、平成 29 年 10 月時点では、図－10 左図のように、返流水流量が最大となった場合でも安定的に処理可能な量として、東陽Ⅰ・Ⅱ系では 10000 m³/h を送水しているため、センター全体の処理水量が大きく制限されている。今回の取組によって返流水流量の安定化を図ることは、図―10 右図のように、最大送水量を増加させ、当センターの高級処理量の増加が見込めるため、今後の合流改善にも寄与すると期待される。



図－10　現状の反応槽流入トレンド（概略図）と目標としたい反応槽流入トレンド（概略図）

3-1-6　汚水圧送管の損傷事故対応について

南部下水道事務所　お客さまサービス課　有田　和宏

1. はじめに

南部下水道事務所では、大田区、品川区において汚水圧送管の管理を行っている。平成29年8月にこの圧送管である八潮汚水幹線で損傷事故があった。この圧送管は汚水の送水ルートの切り替え先が無く、ポンプの運転停止が可能な限られた時間内で補修を行う必要があった。

今回は、補修に至るまでの経緯と検討内容について、報告する。

2. 事故概要

事故があった八潮汚水幹線は、八潮ポンプ所から森ケ崎水再生センターまで汚水を圧送している幹線である(図 1)。完成は昭和 47 年度で、平成 11 年度にホースライニング工法による更生が行われている。

平成29年8月に環状七号線の大和大橋付近で(図 2)、地上から行ったボーリング調査により、地下に埋設されている圧送管(鋼管 φ1100)が損傷した(図 3)。現場は、図 2 に示す通り屈曲部であったため防護コンクリートがあり、ボーリングはこの防護コンクリートを貫通し、内部の汚水圧送管を損傷した。

図 1 八潮汚水幹線位置図

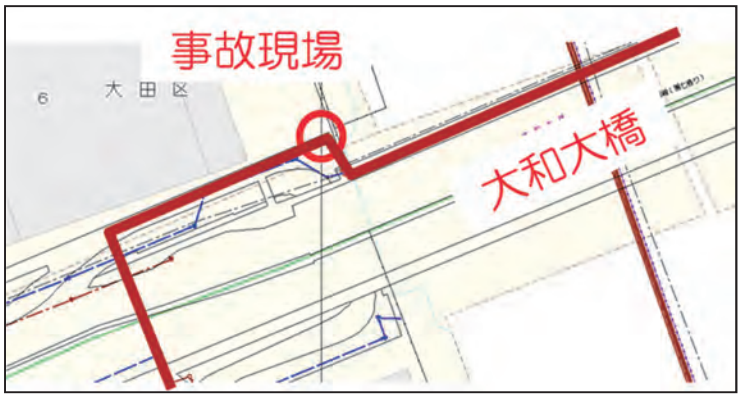


図 2　事故平面図

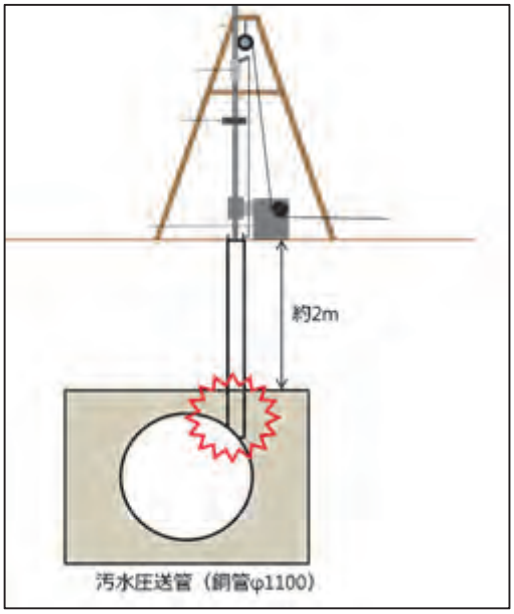


図 3　事故断面図

3．事故発生後の対応

3.1　発生当日の対応

事故発生時の状況は図 4 に示すとおりである。この事故によりボーリング孔を通し、地上に汚水が漏出した。

事故発生後の対応としては、まず森ケ崎水再生センターへ連絡し、ポンプの運転について調整を行った。通常本圧送管はポンプの間欠運転を行っているが、事故発生時はポンプの運転は停止中であったため、ポンプを引続き停止するよう申し入れた。しかし、当該圧送管は送水ルートの切り替え先が無いことから、ポンプの運転を停止し続けることは出来なかった。そのため、ポンプの運転を行う際には現場と水再生センターで連絡を取り合い、汚水が噴出しないようポンプの出力を調整しながら運転を行った。

そして事故発生当日は土のうにより汚水の周辺への流出を防ぎ、その後到着したバキューム車、水中ポンプにより地上に流れ出た汚水を排水した（図 5)。

図 4　事故発生時の状況（当日 16 時）

図 5 排水状況（当日 20 時）

3.2　応急処置

その後補修方法の検討を行ったが、検討に時間を要することが予測されたため、事故発生から 2 日後、木製杭（木栓）による応急処置を行った(図 6、図 7)。これにより地上への汚水の漏出は無くなった。

図 6　応急処置実施状況

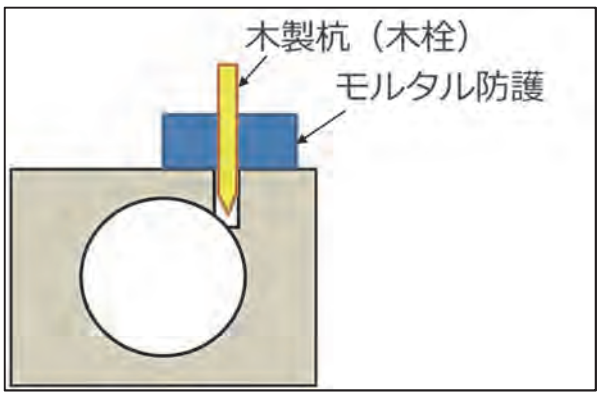


図 7　応急処置模式図

4. 補修工事

4.1 補修方法の決定

その後本格的な補修方法の検討を行った。条件としては以下のことがあった。

まず、1つ目にガスの中圧管が近接していたことである。事故発生箇所は図8に示す通り、当該圧送管の防護コンクリート直上にガスの中圧管が埋設されていた。このため、防護コンクリートを壊して補修を行うことが出来ず、割継輪や部分的な管取替えといった一般的な補修方法を選択することができなかった。

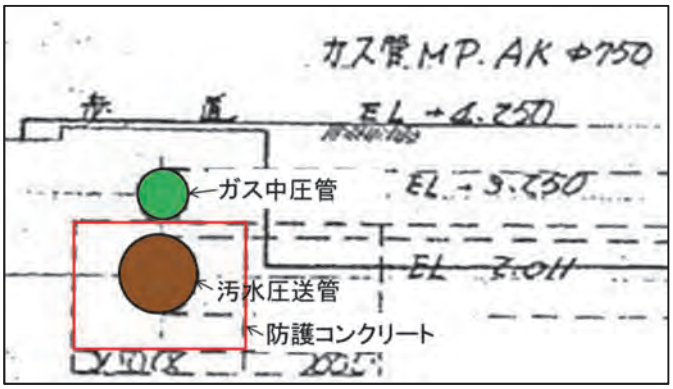


図 8 ガス管の近接

次に、当該汚水圧送管の送水ルートの切替え先が無かったことである。このため、ポンプの運転を定期的に行う必要があり、施工はポンプを最大限停止できる日曜深夜の3時間に限られた。

以上のことから、補修方法は図9の方法を検討した。これはボーリングにより損傷した防護コンクリート部分を止水ゴムや速硬性の止水グラウト剤、セメントモルタル等により補修を行う方法である。この方法によりポンプ停止中の短時間に損傷した個所を補修することとした。

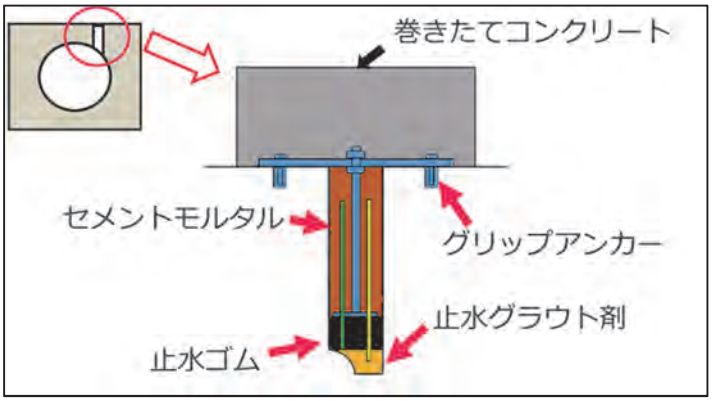


図 9 補修方法

4.2 検討内容

以上のように補修方法を検討した一方で、この方法により補修が可能なのか、またこの方法で圧送管として機能を果たすかどうかを確認する必要があった。そこで以下のような検討を行った。

4.2.1 損傷箇所の確認

まず、1つ目が損傷箇所の確認である。損傷箇所については、現場の汚水の漏出状況や防護コンクリートの損傷状況やからボーリングは貫通せず、ボーリングビットよる刃型程度の亀裂がついたものと想定していたが、現場は常に汚水が湧き出ていたことから、損傷箇所を確認することが出来ていなかった。

そこで損傷箇所については、図10に示す水中カメラにより確認を行った。この水中カメラについては、汚水中の視認性能を確認する必要があったため、森ケ崎水再生センターから汚水を提供頂き、汚水中でも約4cmの距離で目標物が視認可能であることを確認した上で、施工を行った。

図 10 水中カメラ

4.2.2　止水グラウト剤の性能確認

次に止水グラウト剤の確認である。本補修方法では、常に汚水の漏出があったことから水圧に負けないようまず止水ゴムを圧入し、鋼管と止水ゴムの隙間に止水グラウト剤を充填することとしていたが、通常止水グラウト剤は水と撹拌混合させて使用するものであったため、本補修方法でも問題なく硬化するのかを確認する必要があった。

このため、止水グラウト剤については現場と同様の条件を再現し、反応実験を行った。この実験により現場と同様に撹拌出来ない状況でも問題なく硬化することを確認した。

さらに本補修方法では止水グラウト剤は汚水中の水（H_2O）と反応させることとしていたため、汚水と水道水の比較実験を行った（図 12)。その結果、汚水でも水道水と変わらず硬化し、止水効果を発揮することを確認した。

図 11　反応実験

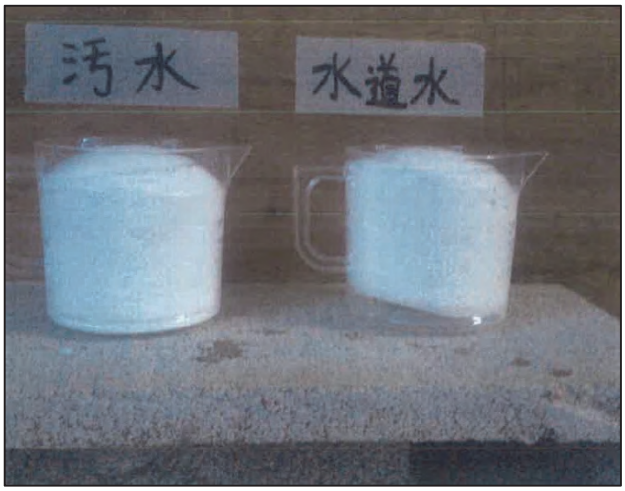


図 12　汚水と水道水での比較

5. 施工状況

以上のような検討を行い、施工を行った。当日の工程表は表 1 に示す通りであり、ポンプ停止中の 3 時間に各作業を実施した。止水グラウト剤については、注入量及び圧力を管理することで、隙間部分が充填されたことを確認した。その後、ポンプの再運転時でも汚水の漏出がないことを確認し、止水を完了した。最後に、巻き立てコンクリート及び埋戻しを施工し、復旧が完了した。

表 1　工程表

時間	作業内容
0:00	ポンプ停止
0:00～0:30	仮設木栓撤去
0:30～1:30	止水ゴム圧入
1:30～2:00	本設用プレート固定
2:00～2:30	止水グラウト剤圧入
2:30～3:00	止水確認
3:00～	ポンプを再運転し、 止水を確認後 セメントモルタル打設

図 13　作業状況

6. まとめ

本事故については、森ヶ崎水再生センター等多くの関係者の協力により、補修を実施することが出来た。一方で南部下水道事務所ではこの他にも多くの汚水圧送管を管理していることから、今後万が一同様な事故が発生した際には、本事故の経験を活用し、現地対応や補修方法の検討を行い、的確かつ迅速に対応したい。

3-1-7　葛西水再生センター

焼却炉１号用遠心脱水機のダムプレート変更による含水率改善

東京都下水道サービス株式会社　施設部　東部第二センター
葛西スラッジ事業所　保全管理担当　五十嵐　聡

1. はじめに

葛西水再生センターに設置されている焼却炉１号用遠心脱水機（直胴テーパー型）はターボ式焼却炉専用として省電力・燃焼効率の向上に大きく貢献をしている。しかし、東京都では「スマートプラン 2014」に基づき更なる省エネルギー化を進めるなど、設備機器の性能向上をよりいっそう高める必要がある。近年、汚泥性状に拘らず脱水できる遠心脱水機が主力になっており、高効率型で遠心力の効果を発揮できる焼却炉１号用遠心脱水機の直胴テーパー型が注目されている。しかし、季節によっては既設遠心脱水機の直胴ストレート型と比較して 1%程度の含水率の悪化が見られ改善が求められている。設置当初は、分離液の清澄性を優先し水質環境の維持に努めていたが、昨今の降雨不足や処理方法の変更などで季節変動に合わせた遠心脱水機の性能改善が求められている。

2. 遠心脱水機の概要

2.1　既設遠心脱水機（直胴ストレート型）の構造

既設遠心脱水機の概略図を図-1 に示す。既設遠心脱水機は、スクリューコンベヤがストレート型になっている。汚泥は凝集剤と共に遠心脱水機のボウル内に供給される。凝集剤によりフロックを形成した汚泥は、遠心力の作用により沈降分離が行われる。分離した固形物は、スクリューコンベヤによりボウル内筒部を搬送される間にケーキは圧密され、スクリューコンベヤによるせん断・圧搾を受けて脱水される。

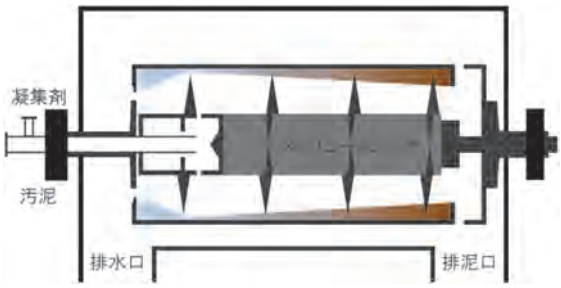


図-1　既設遠心脱水機の概略図

2.2　焼却炉１号用遠心脱水機（直胴テーパー型）の構造

焼却炉 1 号用遠心脱水機の概略図とダム堰の拡大図を図-2 に示す。焼却炉１号用遠心脱水機は、スクリューコンベヤがテーパー型になっている。汚泥と凝集剤が混ざり合いフロックが生成され、フロックは遠心力によって汚泥が固形物と分離液に分けられる。固形物は、直胴テーパー型スクリューコンベヤによって体積減少による強力な圧搾力を利用しながら脱水を行う、排泥口の出口は狭まっており、汚泥がスクリューコンベヤに押し付けられボウルの外周へ移動させられることで遠心力が増大し圧密されながら脱水を行う。分離液はスクリューコンベヤによって汚泥

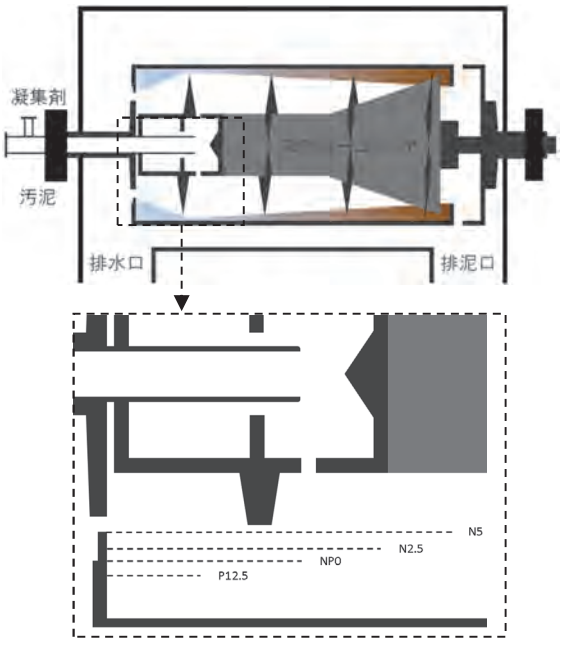


図-2　焼却炉１号用遠心脱水機の概略図

を圧搾し、反対側の出口（ダムプレートを越流して）から排水する事によりダム堰によって分離液の水質を調整できる。

3. ダムプレートの概要

3.1　ダムプレートの構造

ダムレベルは、分離液の排水液位を示し、分離液排水口の出口に取り付けられている部品がダムプレートである。ダムレベルは、ダムプレートを交換することで変更が可能であり、分離液の越流量を調整できる。ダムレベルを低くすると、脱水汚泥含水率が低下し、分離液の固形物回収率が低下して分離液の清澄性が損なわれる。ダムレベルを高くすると、脱水汚泥含水率が上昇し、分離液の固形物回収率が上昇して分離液の清澄性が確保できる。脱水汚泥含水率を低下させられる機能として注目されている。

3.2　ダムプレートの種類

図-3 にダムプレートの概要を示す。図-4 にダムプレートの堰高の比較を示す。本調査で使用したダムプレートは 4 種類あり N5・N2.5・NP0・P12.5 である。堰高を高くしたものを（Negative＝越流しにくい）の頭文字 N とし、堰高を低くしたもの（Positive＝越流しやすい）の頭文字 P として、基準となる高さを NP と表記した。排泥口と排水口を結ぶ直線を基準にして NP0 としてダム堰の基準とした。N5 は、分離液が越流しにくく NP0 より 5mm 堰高が高く、P12.5 は、分離液が越流しやすく NP0 より 12.5mm 堰高が低い。

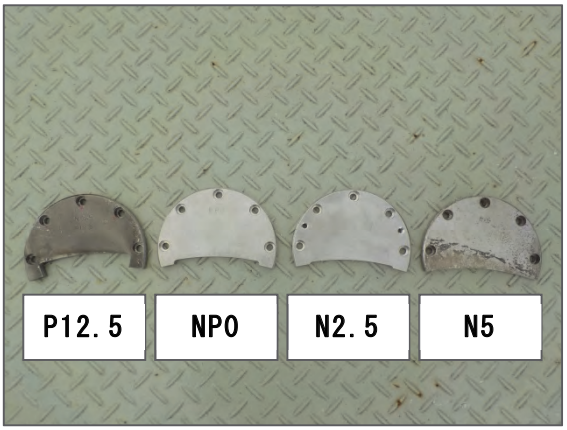


図-3　ダムプレートの概要

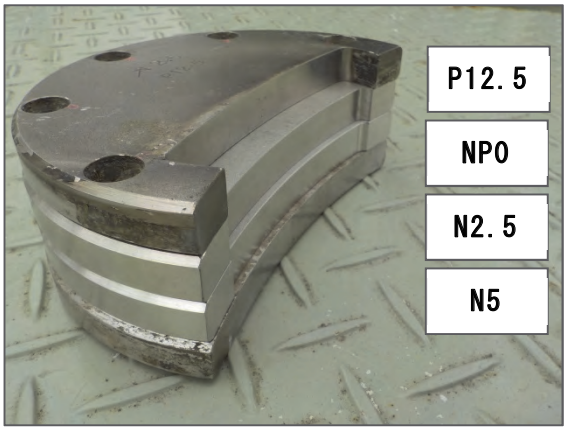


図-4　ダムプレートの比較

4. 調査の方法

表-1 に調査条件を示す。本調査は、遠心脱水機のダムプレートを変更した際の、含水率・油圧・薬液注入率を含水率 78.0%以下と分離液の清澄性を満たした際の値を調査した。油圧は、スクリューコンベヤの搬送能力として検知しており、油圧が高くなれば含水率は低くなる傾向にある。よって、油圧をトルクとして置き換えることで脱水性を調査する指標とした。本調査では、焼却炉 1 号用遠心脱水機はボウル回転数を 1,980 min^{-1} に設定し、既設遠心脱水機のボウル回転数を 2,280 min^{-1} の一定速に設定した際の油圧と薬液注入率を調査した。薬液注入量は、濃度 0.3%の一定濃度に設定し、注入量を変更して含水率 78.0%以下と分離液の清澄性を鑑みながら調査を行った。

ダムプレート	(mm)	N5	(+5mm)
		N2.5	(+2.5mm)
		NP0	(±0mm)
		P12.5	(-12.5mm)
油圧	(MPa)	0～10	
薬液注入率	(%)	0～2	濃度0.3%
ボウル回転数	(min^{-1})	2,280	一定速
		1,980	一定速
含水率	―	78.0%以下	

表-1　調査条件

5. 調査結果

5.1　ダムプレート N5

(2015 年 8 月 1 日～8 月 7 日)

ダムプレートを N5 に交換した際の含水率と油圧の関係を図-5 に示す。焼却炉 1 号用遠心脱水機の油圧は、最大で 5.8MPa を記録し油圧が上がりにくく既設遠心脱水機と同等の油圧を計測することが困難であった。これは、堰高が高くなることで分離液の滞留時間が長くなり、スクリューコンベヤの圧搾脱水が阻害されたと考えられる。その結果、スクリューコンベヤの油圧が低下して含水率が上昇し、夏場の浮力の大きい汚泥も相まって脱水性が損なったと考えられる。

ダムプレートを N5 に交換した際の含水率と薬液注入率の関係を図-6 に示す。既設遠心脱水機と比較すると薬液注入率が増加する傾向が見られた。これは、堰高が高くなることで分離液が越流しにくくなり分離液の清澄性を確保するために薬液注入率が高くなったと考えられる。その結果、夏場の汚泥性状が悪い時期により、更に難脱水になってしまい含水率が上昇した。

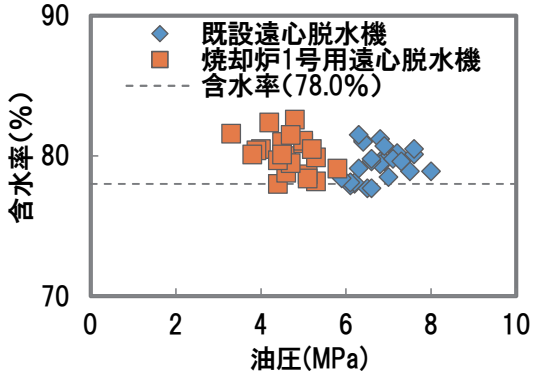


図-5　N5 の含水率と油圧の関係

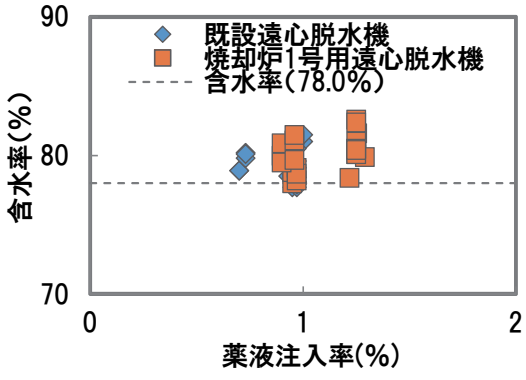


図-6　N5 の含水率と薬液注入率の関係

5.2　ダムプレート P12.5

（2016 年 4 月 10 日～4 月 14 日）

ダムプレートを P12.5 に交換した際の含水率と油圧の関係を図-7 に示す。焼却炉 1 号用遠心脱水機の油圧は、3.9～7.0 MPa を計測し既設遠心脱水機と比べ低いが、ダムプレート N5 よりも油圧の上昇を確認できた。また、高油圧での脱水が可能となり結果として脱水性の向上を確認できた。これは、堰高が低くなることによって分離液の滞留時間が短くなり、効率的に分離液を排除することで遠心脱水機の効果を増加させることができた。春季の汚泥性状が安定している時期では、ダム堰を低くしても含水率を維持できることが確認できた。

ダムプレートを P12.5 に交換した際の含水率と薬液注入率の関係を図-8 に示す。既設遠心脱水機と比較すると薬液注入率が若干増加する傾向が見られた。堰高を低くすることで分離液が越流しやすくなり分離液の清澄性を確保できないため、薬液注入率が多めに添加されたものと考えられる。その結果、薬液注入率を増加させることによって、含水率が既設遠心脱水機と同等になったと考えられる。

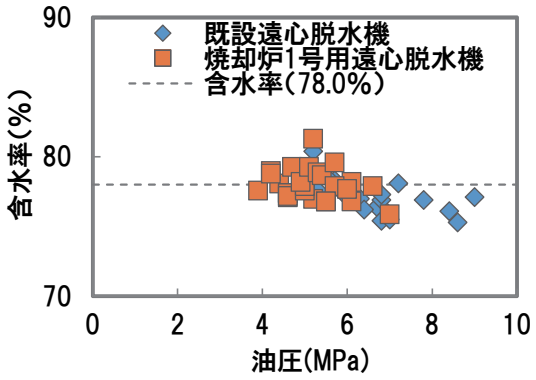


図-7　P12.5 の含水率と油圧の関係

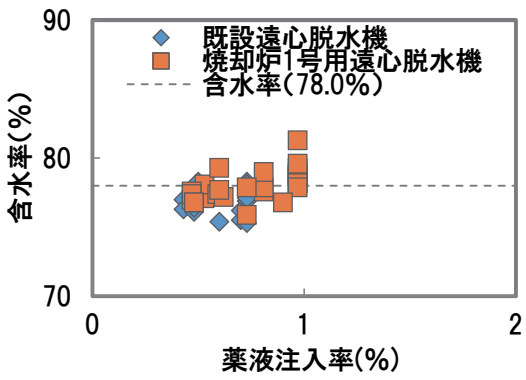


図-8　P12.5 の含水率と薬液注入率の関係

5.3　ダムプレート N2.5・NP0

（2016 年 8 月 18 日～8 月 22 日）

N2.5 と NP0 では差異が見られず同様の結果を示したためまとめて報告をする。

ダムプレートを N2.5 と NP0 に交換した際の含水率と油圧の関係を図-9 に示す。N2.5・NP0 は、油圧は 4.0～6.6MPa を記録するが既設遠心脱水機と同等の含水率を計測する結果が得られた。夏場の浮力の大きい汚泥でも容易に脱水を行うことができ、ダムプレート N5 よりも容易に脱水が可能であり含水率の低下も確認できた。

ダムプレートを N2.5 と NP0 に交換した際の含水率と薬液注入率の関係を図-10 に示す。既設遠心脱水機と比較すると薬液注入率の差異が見られず、既設遠心脱水機と同等の値を計測した。分離液が堰高を越流しやすく、分離液の清澄性を確保できる高さであったため薬液注入率が少なかったものと考えられる。また、含水率が夏場の腐敗が進みやすい時期でも汚泥を容易に脱水することができた。

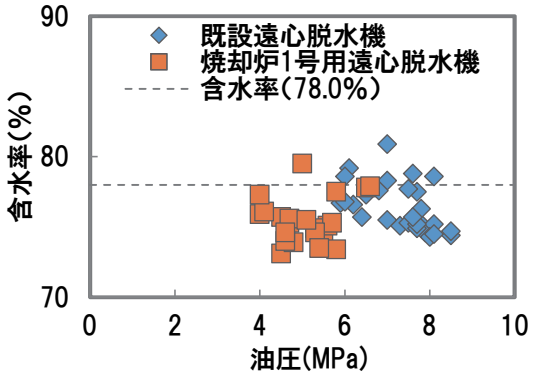


図-9　N2.5･NP0 の含水率と油圧の関係

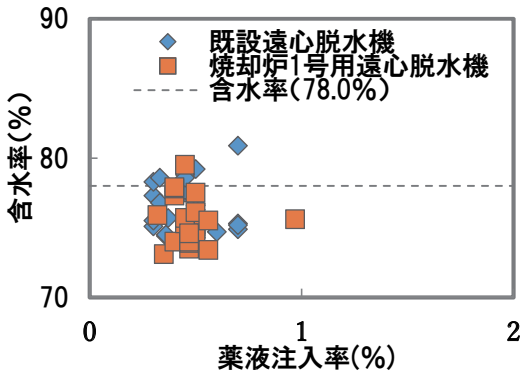


図-10　N2.5･NP0 の含水率と薬液注入率の関係

6. まとめ

① ダムプレートは汚泥性状に合わせた運用が可能であり、ダム堰の高さは、夏季は N2.5～NP0、春季と秋季と冬季は P12.5 となった。その関係を表-2 に示す。

② 汚泥性状に対してダム堰が適切な高さでないと、含水率が上昇し、分離液の清澄性が損なわれ、油圧が低下し、薬液注入率が増加することが確認できた。

	春	夏	秋	冬
N5	△	○	△	△
N2.5	○	◎	○	○
NP0	○	○	○	○
P12.5	◎	△	◎	◎

表-2　ダムプレートの選定

7. 今後の課題

既設遠心脱水機のダムプレートは、N5 の高さで比較を行った。既設遠心脱水機と焼却炉 1 号用遠心脱水機のダムプレートを同じ種類に設定して調査を行わないと正確な調査ができない。

3-1-8　梅田ポンプ所におけるホッパ設備の排出トラブルの改善

東京都下水道サービス株式会社　施設部　東部第二センター
東部第二ポンプ所保全事業所　水島　幹生

1. 背景

ホッパは、沈砂池などで下水から分離除去したしさや沈砂を一時貯留し、搬出トラックへ排出する設備である。東京都下水道局では貯留槽底部のベルト式スライドゲートを開閉して貯留物を落下排出する方式が標準となっている（図-1）。

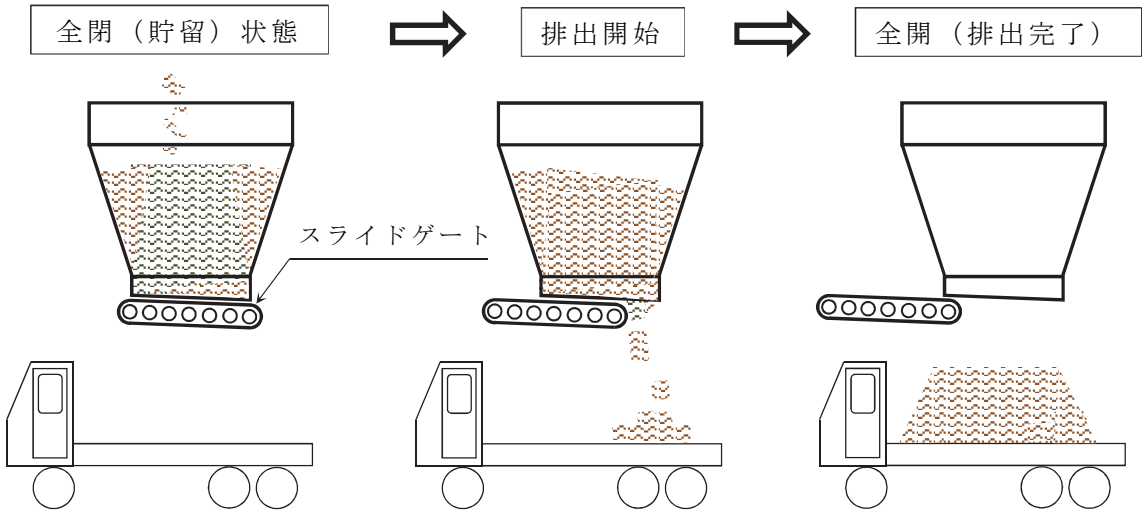


図-1 ホッパ機能概念図

スライドゲートは水平ではなく僅かに傾斜して取り付けられており、貯留槽内の水分は排出口の一辺に溜り、その一部は隙間から漏出することになる。この漏出排水は下部の排水樋で受け、排水管へ導かれている（図-2）。

排水樋は排出口直下を避けた位置に設置されているが、排出のためにゲートが寸開したときに突出するように貯留物が飛散し、排水樋や周囲を汚損することがある。東部第二下水道事務所管内では、梅田ポンプ所の青井棟しさホッパと沈砂ホッパにこの現象が多くみられ、排水樋・管の閉塞や点検作業場所の環境悪化を招いていた（図-3、図-5）。このため、保全作業の環境改善、負担軽減を目的に飛散防止対策を検討することとした。

この他、貯留物排出時に発生しやすいトラブルの代表であるブリッジ現象（図-4）についても模擬実験による発生機構・対策の考察を行い、併せてホッパに係るトラブルの解決の一助とすることを目的とした。

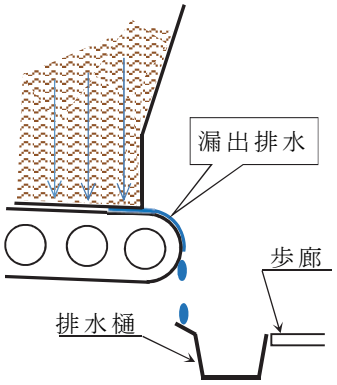


図-2 貯留時の漏出排水（通常時）

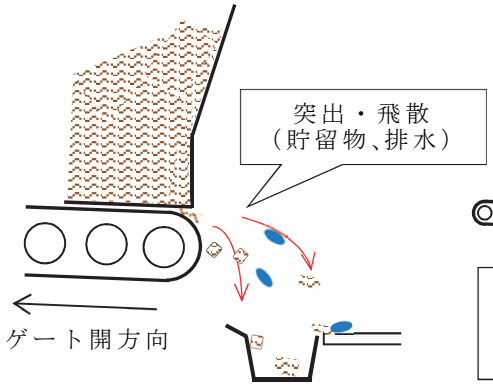


図-3 寸開時の飛散

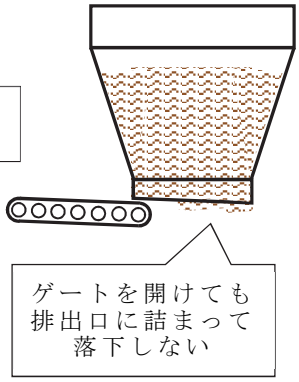


図-4 ブリッジ現象

図-5
旧（仮）飛散防止処置

2. 課題の整理

改善検討のために現状の課題の整理を行った。

2.1 寸開時の貯留物飛散の詳細

前項図-2,3に示したように、排水桶は常時漏出排水を受ける必要があるため、ホッパ排出口に近く、かつ排出の邪魔にならない直下を避けた位置に設置されている。

通常の場合、貯留物はホッパ排出口から真下へ落下するため、問題は生じないが、水分やヘドロ分など流動物が多い場合、寸開時にベルトゲート端部の円弧に沿って放散するように排出されてしまい、これが排水桶や周辺歩廊にまで落下してしまっている。

2.2 簡易な飛散物防護板の限界

汚損を避けるため、現状は木製の防護カバーなどで飛散物が排水桶に入らないようにしていたが、通常時の漏出排水は排水桶に落とす必要があるため、搬出（ベルトゲート開閉）の都度に手動介入が必要という問題点がある。

3. 改善検討

3.1 課題解決のための構想整理

目的は、ホッパ寸開時に飛散する貯留物などが排水樋やその周辺に落下しないよう処置を講ずることである。一方、通常時（ホッパ閉時）の漏出排水は排水樋に落とす必要があるため、ベルトゲート開閉動作に連動できる可動防護板の設置が候補となった（図-6）。

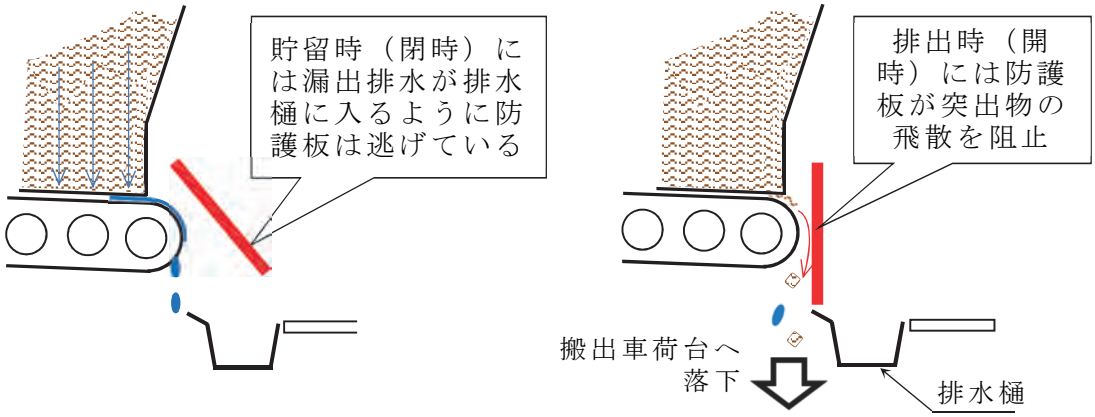


図-6 飛散防護イメージ

3.2 防護板の設計

防護板は前項の図のようにホッパ下部の一点を中心としたヒンジ構造とした。また貯留時の定位置と寸開時の動きに細かく追随調整できるよう、あえて屈曲した形状とし、ウエイトの増減によって微妙に動作、停止位置を変えられる構造とした。

具体的には図-7 に示すとおり、ベルトゲート閉時は、ベルトゲートの端部によって可動防護板を押して所定の位置にくるようにし、開時は自重とウエイトの重量により、防護板が若干回転し、排出物の排水樋への落下を防護できる位置で止まるようにした。

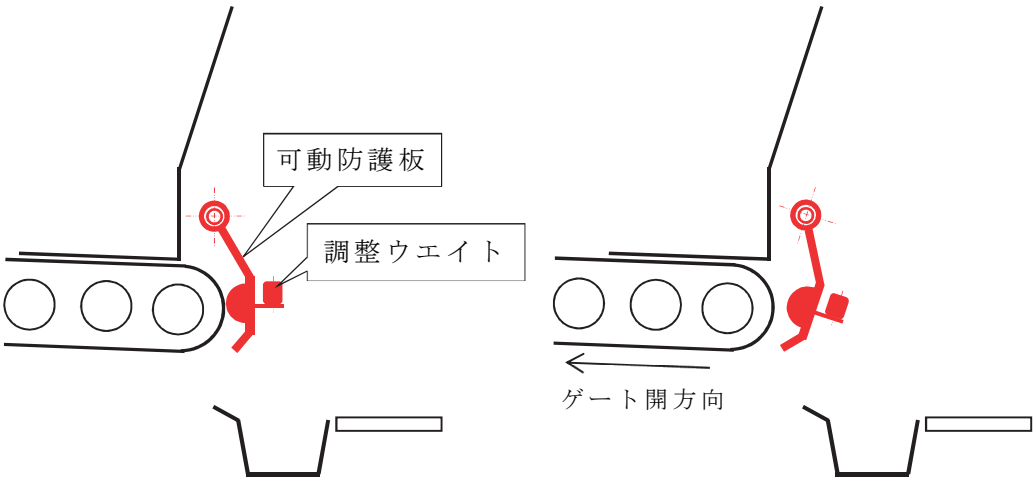


図-7 貯留時の形状と動作

なお、閉時はベルトゲート端部と可動防護板が接触するため、そのままでは通常の漏出排水が堰き止められたり、しさが引っ掛かったりして不衛生になり易い。この対策としては、防護板の内側２箇所に半球状の突起をつけ、この半球の突端のみでベルトゲートと接触するようにした（図-8）。

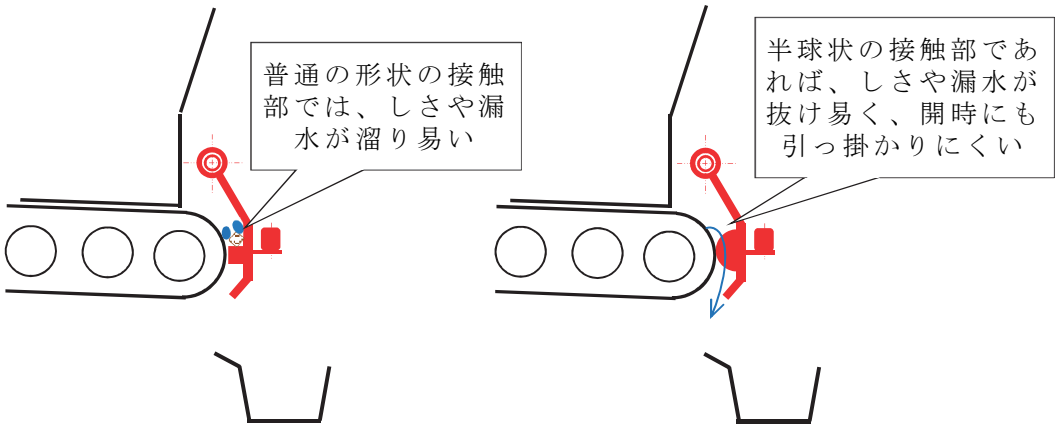


図-8　ベルトゲートと防護板の接触部の構造

4. 実証実験

4.1　防護板の設置状況

検討結果から防護板を製作し、梅田ポンプ所青井棟しさホッパに設置した（図-9、10、11）。

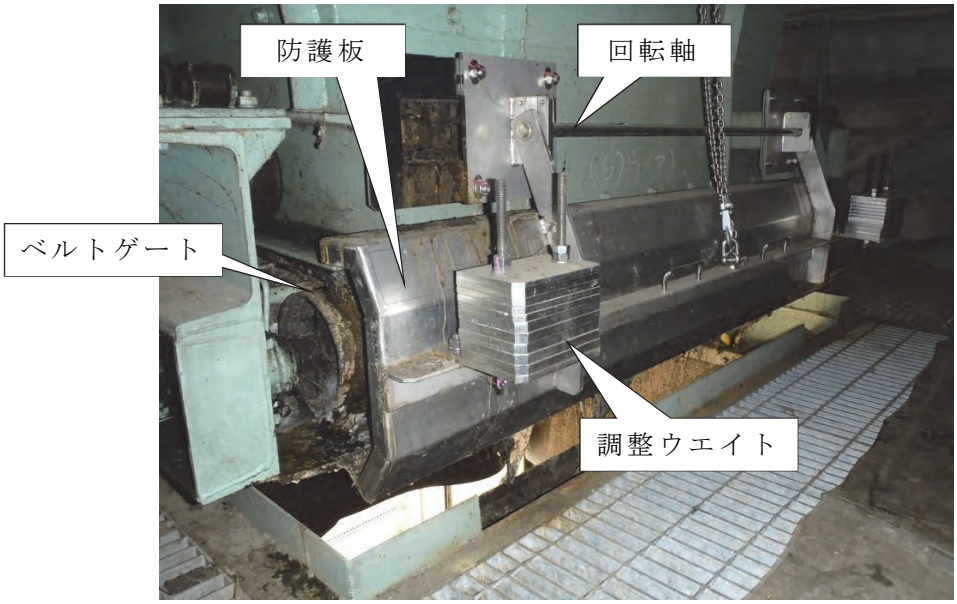


図-9　防護板設置状況

図-10　防護板内面の半球突起

図-11　半球突起とベルトゲートの接触

4.2　実験結果

本防護板を設置後、複数回の搬出が行われたが、防護板は所定の動作をし、排水樋とその周辺飛散は発生することなく作業を完了している。

現在のところ動作状況は良好で、しさの引っ掛かり等のトラブルも発生していない。当初目的であった排水樋・管の閉塞防止と作業環境の改善に十分な効果があるものと考えられている。

5. 補足検討

背景の項でも述べたように、ホッパ排出時のトラブルとしては、寸開時の飛散のほかに、ブリッジ現象によるものがあげられる。

ブリッジ現象はホッパに限らず、シュートなどの排出口に排出物が一気に集中し、互いに押し合って排出口内壁と突っ張りあうように干渉して落下困難となる現象である。裾が絞られた形状のホッパやシュートに発生しやすく、発生した場合は棒でつつくなど人力で解消せざるを得ないことが多い（図-12）。

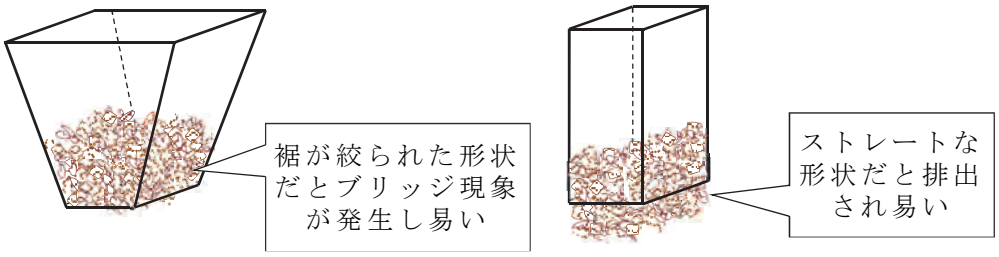
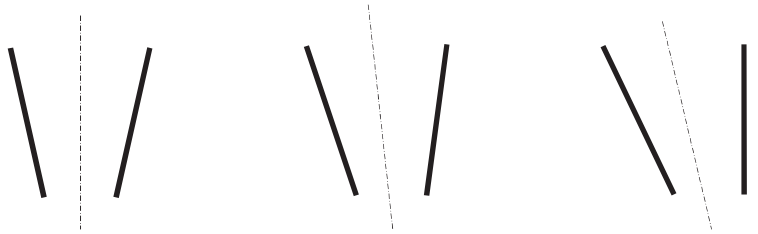


図-12　ホッパ（シュート）形状とブリッジ現象

現場には裾が絞られたものが多く、その大半は左右対称の形状となっている。（ここでは2方向の絞りに限定する）ブリッジ現象は排出物と排出口内壁が互いに押し合って落下困難となるものであるが、左右対称の場合は押し合う力がつり合いやすくブリッジが発生し

やすいと推測される。シュートを左右非対称とすればつり合いが崩れやすく、幅方向に同時に大量の排出物があった場合にも落下速度にズレが生じるのでブリッジが発生しにくいのではないかと推測された。

ただし、左右非対称とした場合、シュート角度の一方はより急傾斜になるが、もう一方は緩傾斜となってしまう。ブリッジ対策には有利でも緩傾斜側が安息角といわれる 60° を下回ると排出物が停滞し単純な閉塞を招く可能性がある（図-13）。



投入口、排出口の幅はいずれも同一。

③は非対称度が強く、右側を垂直としているぶん、左側のシュート角が緩くなっている。

① 左右対称　　②左右非対称（弱）　　③左右非対称（強）

図-13　ホッパ（シュート）形状によるシュート角の違い

今回取組みの中で、（ホッパ）シュートの対称度とブリッジの発生しやすさについての知見を得るため、仮設装置を使った実験を行った。

残念ながら、模擬しさの投入量や性状と仮設装置の排出口の大きさなどを十分にマッチングさせることができず、なかなかブリッジ現象を発生させることはできなかった。

「感覚的に非対称の方が詰まりやすい」程度の結果のみで、定量的な結果を見出すことができなかったが、参考までに考え方をここに提示しておく。

図-14　仮設シュート実験状況

3-2-1 Stable Sewage Treatment and Effective Business Operation in Tama Area by Utilizing Utility Tunnels

Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government
Hamano Shota

1 Introduction

The Great Hanshin-Awaji Earthquake occurred in 1995 brought serious damages to the sewage treatment plants in Hyogo Prefecture such as suspension of treatment functions. The South Kanto Region, including Tokyo, is believed to have a 70 percent chance of magnitude 7 class earthquake in the next 30 years. Tokyo Metropolitan Government is concerned that such an earthquake would damage sewage treatment facilities and could significantly hinder citizens' lives and the living environment.

Tokyo Metropolitan Government learned lesson from such a case and implemented a project to connect two neighboring water reclamation centers (terminal treatment plants) with a Utility Tunnel to secure a backup at the time of the earthquake disaster.

By regarding two water reclamation centers as one system, this project contributes not only to the backup at the time of the earthquake but also to the improvement of the stability and efficiency of the sewerage business even at the time of renewal of facilities or periodic inspection. This paper aims to report cases of utilizing Utility Tunnels and their effects.

2 Overview of Utility Tunnels

In the regional sewerage in Tama Area, three pairs of water regeneration centers are installed facing each other on the right bank and the left bank with Tama River in between. The three utility tunnels connect Tamagawa Joryu and Hachioji, Kita-Tama Nigo and Asakawa, and Kita-Tama Ichigo and Minami-Tama Water Reclamation Centers respectively. Construction of these utility tunnels began in FY2003, and the third tunnel was completed in FY2015. Inside the Utility Tunnel, sewer pipe, sludge pipe, optical fiber, etc. are installed, and it has a mutual exchange function of sewage and sludge. In addition, the inside diameter of the utility tunnel was set to 3.5 m in order to enable maintenance and inspection of installed facilities (Figure 1).

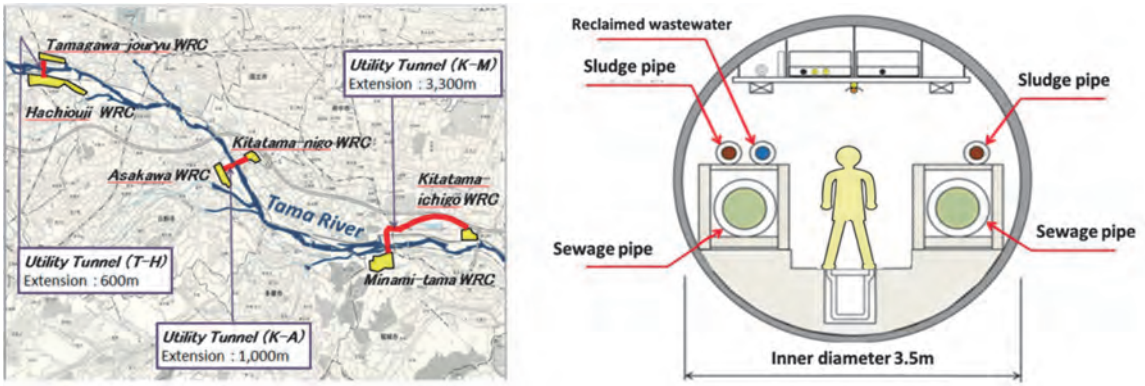


Figure 1: Positions and Sectional Views of Three Utility Tunnels

3 Cases of Utilizing Utility Tunnels and Their Effects

Initially, we started developing the Utility Tunnels for the purpose of backing up in the event of an emergency such as earthquake disaster. In addition, by regarding two water reclamation centers as one system, we can efficiently operate water reclamation works. Several effects and achievements by utilizing utility tunnels are shown below.

3.1 Use of Utility Tunnels at the Time of Earthquake

In the event of a disaster such as earthquake, if one of the water reclamation centers fails and the processing function is deteriorated, the utility tunnel ensures mutual backup function by transferring sewage and sludge to the pair water reclamation center on the other side through the utility tunnel.

In the Great East Japan Earthquake occurred on 11 March 2011, a part of the incinerator No. 1 on the Tamagawa Joryu Water Reclamation Center was damaged and stopped emergently. If the utility tunnel had not been constructed, sludge could not have been drawn out from the water treatment facility, and the quality of the discharged water might have been deteriorated due to the rise of the sludge interface inside the water treatment facility. However, by transferring sludge to Hachioji Reclamation Center, which is located on the other side of the river, through the utility tunnel, the influence on water treatment could be minimized.

3.2 Use of Utility Tunnels at the Time of Facility Capacity Degradation Due to Construction or Inspection

When stopping a part of the facility for a long period of time due to reconstruction work of equipment or inspection, etc., it is necessary to secure alternative capacity such as ensuring processing functions at the remaining facilities. By utilizing the utility tunnel, it became possible to send the amount of sewage or sludge equivalent to insufficient capacity to the water reclamation center on the opposite side of the river, which enabled efficient reconstruction practice.

At the time of renewal one of the water treatment equipment of Kita-Tama Ichigo Water Reclamation Center, the processing capacity of the facility was forced to decrease by approximately 54,000 m^3 per day for the period of approximately half a year. As it was not possible to cover all the insufficient capacity by the rest of the system lines at the center, we secured the treatment capacity by transferring sewage of around 5,000 m^3 per day or approximately 600,000 m^3 in total to Minami-Tama Water Reclamation Center by utilizing the utility tunnel.

3.3 Use of Utility Tunnel for Improvement of Maintenance and Management Efficiency

3.3.1 Efficient Operation of Incinerators

Currently, two to three sludge incinerators are installed at each of the six water reclamation centers in Tama Area. The capacity of these incinerators varies depending on the amount of sludge generated etc. in respective treatment areas, and the amount of sludge to be treated at each water reclamation center also fluctuates depending on the season and the weather.

At Kita-Tama Ichigo and Minami-Tama Water Reclamation Centers, sludge exceeding the capacity of the main incinerator is generated throughout the year. Therefore, each center needed to operate reserve incinerators, and 4 incinerators in total were in operation at two centers.

However, by utilizing the utility tunnel, it became possible to concentrate the sludge which exceeds the

capacity of the main incinerator to the center on the opposite side of the river and limit the number of incinerators to be operated to 3 at maximum (Figure 2).

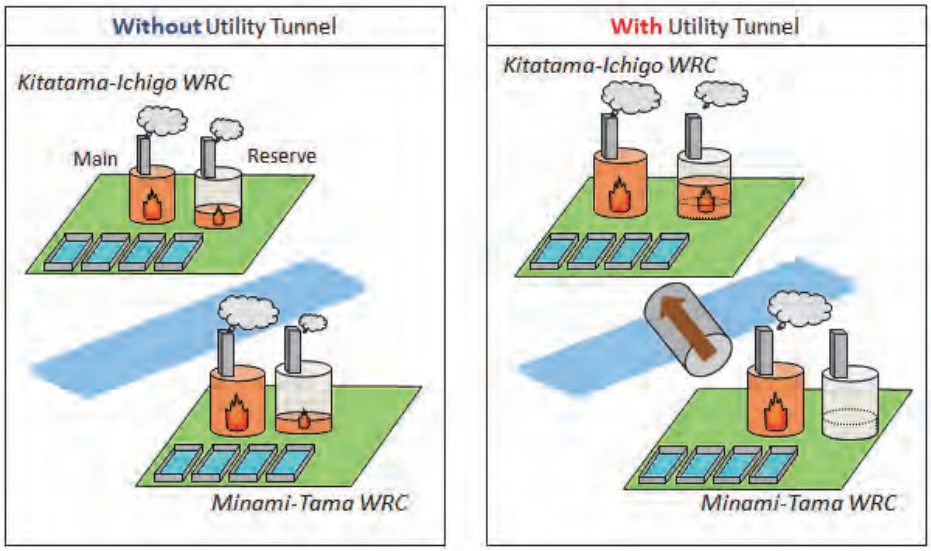


Figure 2: Image of consolidation of generated sludge

3.3.2 Energy reduction effect

The higher the combustion load ratio is, the better the operation efficiency of the incinerator becomes. Therefore, it is possible to reduce the auxiliary fuel by operating the incinerator with the load ratio as high as possible. By intensively concentrating sludge and incinerating it, we have reduced the fuel and electricity necessary for the start-up of the reserve incinerators and the amount of auxiliary fuel used by improving the load ratio.

Figure 3 shows the reduction effect of energy required for sewage treatment when sludge exceeding the capacity of the main incinerator of Minami-Tama Water Reclamation Center was transferred to Kita-Tama Ichigo Water Reclamation Center by using the utility tunnel and treated in an integrated way. Consolidated processing at the Minami-Tama Water Reclamation Center and Kita-Tama Ichigo Water Reclamation Center reduced the required energy for sludge treatment by **23%.**

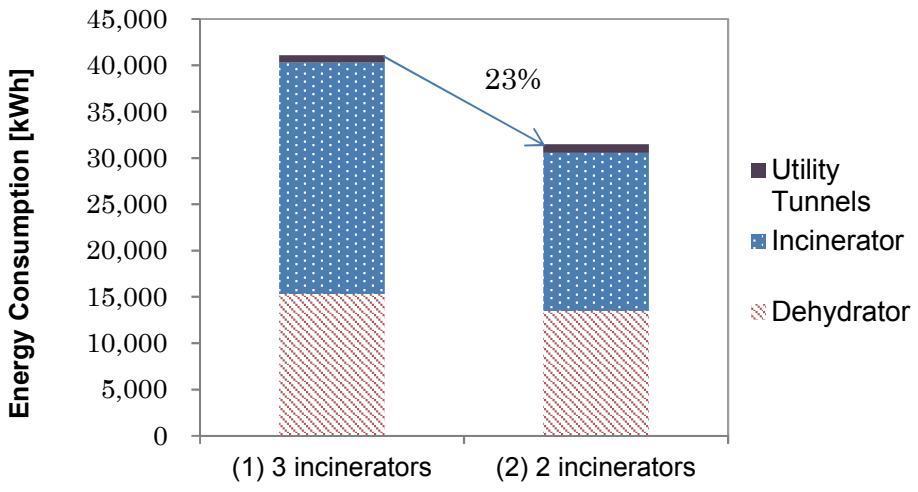


Figure 3: Comparison of incinerator energy consumption at Kita-Tama Ichigo and Minami-Tama WRCs(1) 2016 April ~ July : 2 incinerators in Kita-Tama Ichigo WRC + 1 incinerator in Minami-Tama WRC (2) 2017 June ~ July : 1 incinerator in Kita-Tama Ichigo WRC + 1 incinerator in Minami-Tama WRC

3.3.3 Future Cost Reduction Effect

In the future, incinerators that were developed 20 to 30 years ago will be subject to renewal one after another around the same time, making it necessary to suppress the construction project costs.

Therefore, Tokyo Metropolitan Government is promoting examination of an efficient reconstruction method of incinerators by utilizing the utility tunnels. Specifically, it is planned that 14 incinerators currently in operation at 6 centers will turn into 9 incinerators at 6 centers (3 incinerates for each pair of two centers connected each other with the utility tunnel) through introducing large-scale incinerators with high efficiency and consolidating reserve functions.

Consolidation of reserve functions can reduce the number of incinerators to be maintained and managed in the future and thus, lead to reduction in construction costs and repair costs. In addition, it is possible to reduce operating costs as well as maintenance and management costs by introducing highly efficient incinerators when the existing ones are to be reconstructed.

We estimated and compered the costs of reconstruction under the following two conditions:

(i) In case where there are no utility tunnels and two incinerators are installed at each center (12 incinerators at 6 centers)

(ii) In case where utility tunnels are utilized and three incinerators are installed at each pair of two centers connected each other (9 incinerators at 6 centers)

As a result of estimation, compared to the case (i) without utility tunnels, the reconstruction cost of the incinerators can be reduced by approximately 14.6 billion yen (26%) in case where (ii) we utilize the utility tunnels to a maximum extent. As for the maintenance and management cost, it was estimated to be reduced by approximately 370 million yen (21%) annually due to the merit of scale through increase in size and improvement of efficiency of sludge treatment facilities.

4 Conclusion

By utilizing the mutual exchange function of the utility tunnels, many effects such as backup function at the time of disaster and efficient maintenance and management were obtained. We will continue to examine further utilization of the utility tunnels and contribute to the continuation of good environment in Tama Area by stable sewage treatment and efficient business management.

3-2-1　連絡管活用による多摩地域の安定的な下水処理と効率的な事業運営

流域下水道本部技術部　計画課　濱野　祥太

1　はじめに

1995 年に発生した阪神・淡路大震災により、兵庫県の下水処理場は処理機能が停止するなど大きな被害を受けた。東京都を含む南関東地域では、今後 30 年間のうちにマグニチュード 7 クラスの地震が 70%の確率で発生すると言われており、地震により下水処理機能が失われ、市民生活や環境に悪影響を及ぼすことが危惧されていた。

東京都ではこのような事例を教訓とし、近傍の 2 つの水再生センター（終末処理場）を連絡管で結び、震災時のバックアップを図る事業を実施した。この事業は、2 つの水再生センターを一つのシステムとして捉えることで、震災時のバックアップだけでなく、施設の更新や定期点検の際にも、下水道事業の安定性の向上や効率化に寄与している。本稿では、連絡管を活用した取組事例とその効果を報告する。

2　連絡管の概要

多摩地域の流域下水道では、多摩川を挟み右岸、左岸にそれぞれ 3 つの水再生センターが向かい合って設置されている。3 本の連絡管は、それぞれ多摩川上流と八王子、北多摩二号と浅川、北多摩一号と南多摩の各水再生センター間を結んでいる。2001 年度から建設に着手し、2015 年度に 3 本目の連絡管が完成した。連絡管内には、汚水管、汚泥管、光ファイバーなどを設け、汚水や汚泥の相互融通機能を備えている。また、設置されている施設の保守点検も可能とするため、連絡管の内径を 3.5ｍとした。（図 1）

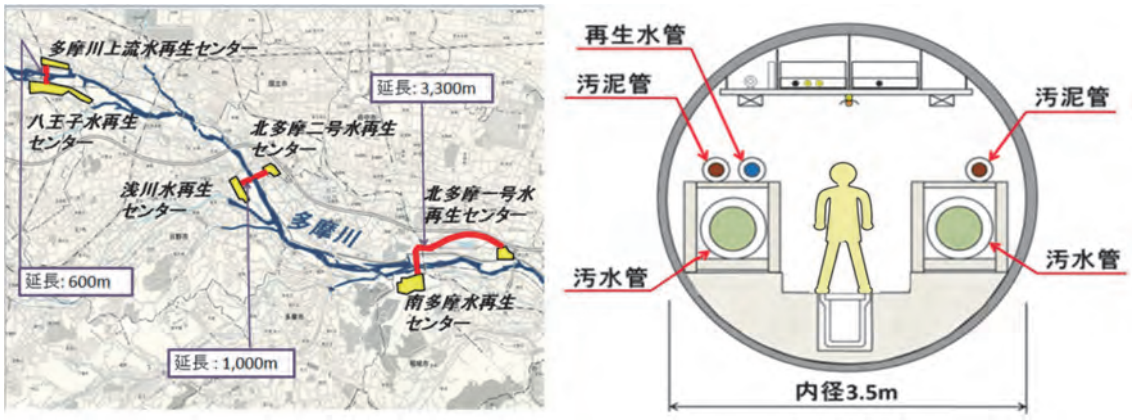


図 1　連絡管の位置図（左）と連絡管の断面図（右）

3　連絡管の活用効果と事例

連絡管は当初、震災などの非常時のバックアップを目的として整備を開始したが、他にも、2 つのセンターを 1 つのシステムとして捉えることで効率的な活用ができる。そこで、いくつかの連絡管の活用効果と実績を以下に示す。

3.1　災害時の活用

地震などの災害時に、一方の水再生センターが故障し処理機能が低下した場合、連絡管を活用して対になる水再生センターに汚水や汚泥を送ることで、相互のバックアップ機能を確保する。

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、多摩川上流水再生センターの焼却炉の一部が破損し、緊急停止した。連絡管が構築されていなければ、水処理施設から汚泥を引き抜くことができず、水処理施設内の汚泥界面の上昇による放流水質の悪化が想定されたが、連絡管を活用して対岸の八王子水再生センターへ送泥することにより、水処理に与える影響を最小限とすることができた。

3.2　工事や点検における施設能力低下時の活用

設備の再構築工事や点検等で施設の一部を長期間停止する場合は、残りの施設において処理機能を確保するなど代替能力の確保が必要となる。連絡管を活用することで、不足能力に相当する量を対岸のセンターに送ることが可能となり、効率的な再構築の実施が可能となった。

北多摩一号水再生センターの設備更新の際には、約半年の間、施設の処理能力が日量約 5.4 万 m^3 減少することになった。残りの系列で不足能力の全てを補うことができなかったため、連絡管を活用して南多摩水再生センターへ日量 5,000m^3 程度、総送水量約 60 万 m^3 の汚水を送水し処理能力を確保した。

3.3　維持管理の効率化に向けた活用

3.3.1　焼却炉の効率的な運転

現在、多摩地域の 6 つの水再生センターには、2～3 基の汚泥焼却炉がそれぞれ設置されている。これらの焼却炉の能力は処理区の発生汚泥量等により様々であり、各センターで処理する汚泥の量は、季節や天候によっても変動がある。

北多摩一号・南多摩水再生センターでは、年間を通して、メイン焼却炉の能力を上回る汚泥が発生する。そのため、各センターでは予備炉の運転が必要となり、2 センター合計で 4 炉を運転していた。しかし、連絡管を活用することで、メイン炉の焼却能力を超える分の汚泥を対岸のセンターに集約し、稼動させる炉を最大 3 炉に抑えることが可能となった。（図 2）

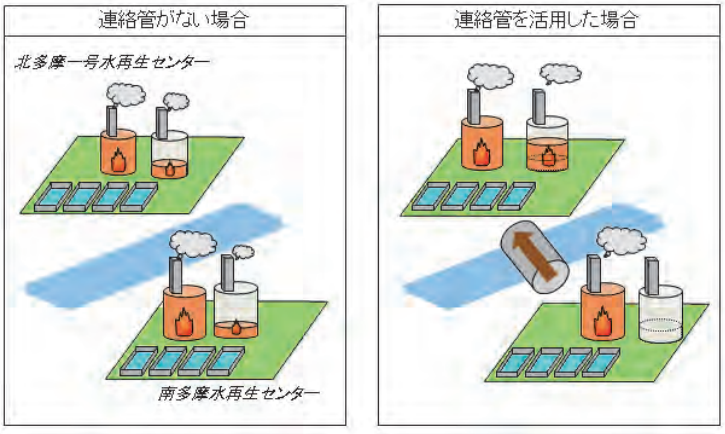


図 2　連絡管活用による汚泥の集約イメージ

3.3.2　エネルギー削減効果

焼却炉は焼却負荷率が高いほど運転効率が良く、可能な限り負荷率を高めた運転により、

補助燃料の削減が可能になる。また、汚泥を集約して焼却することで、予備炉の立上げに必要な燃料・電力の削減や、負荷率向上による補助燃料使用量が低減された。

連絡管を活用し、南多摩水再生センターのメイン炉の焼却能力を超えた汚泥を、北多摩一号水再生センターで集約して処理した際の、汚泥処理に必要なエネルギーの削減効果を示す（図 3)。焼却炉 3 炉で運転した場合と、汚泥を集約して 2 炉で運転した場合を比較すると、エネルギー原単位は約 23%削減された。

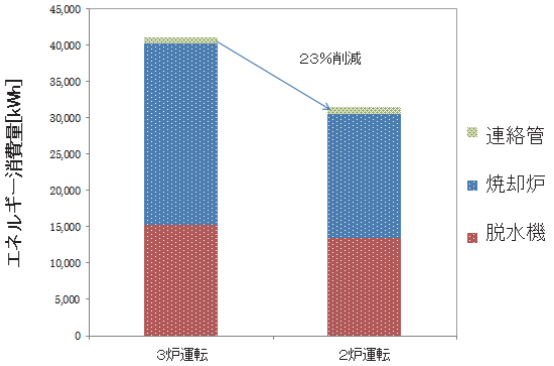


図 3　エネルギー削減効果(1)2016.4 - 2016.7:北多摩一号 2 炉＋南多摩 1 炉 (2)2017.6 - 2017.7:北多摩一号 1 炉＋南多摩 1 炉

3.3.3　将来的な費用削減効果

今後は 20～30 年前に整備した焼却炉が一斉に更新時期を迎える予定である。そのため、建設事業費を抑制することが必要である。

そこで、東京都では、連絡管の活用による効率的な焼却炉の再構築手法の検討を進めている。具体的には、現在 6 センターで 14 基稼働している焼却炉を、高効率の大型焼却炉の導入や予備機能の集約化により、6 センターで 9 基（連絡管で結ばれた 2 センターで 3 基）とする方針である。

予備機能を集約することで、将来的に維持管理が必要な炉の数が減り、建設費と補修費の削減につながる。また、再構築に伴い高効率な焼却炉を導入することで運転費の削減が可能であり、維持管理費も削減できる。

ここでは、以下の 2 条件で再構築を進めた際のコストを試算し、比較した。

①連絡管がなく、1 センターに 2 基ずつ焼却炉を設置した場合（6 センター12 基）
②連絡管を活用し、2 センターで計 3 基を設置した場合（6 センター9 基）

焼却炉の再構築コストについて、①連絡管が無い場合と比較して、②連絡管を最大限活用した場合では、建設費は約 146 億円削減（26%）できる試算となった。維持管理費は、汚泥処理施設の大型化、効率化によるスケールメリットにより、年間約 3.7 億円（21%）のコスト削減が図られるという試算になった。

4　最後に

連絡管の相互融通機能を活用することで、災害時のバックアップ機能、効率的な維持管理など多くの効果が得られた。今後も連絡管の更なる活用方法を検討し、安定的な下水処理と効率的な事業運営により、多摩地域の良好な環境の継続に寄与していく。

3-2-2　水質規制と局内関連部署との連携による事業場水質事故対応事例の報告

西部第一下水道事務所　お客さまサービス課
大鳥葵・梅田賢一

1　はじめに

シアン等の有害物質が公共下水道に流入すると下水道施設の損傷や活性汚泥処理の機能低下、管渠内作業者への健康影響等その影響は甚大である。東京都下水道局（以下、当局）は有害物質を取り扱う事業場の水質事故を抑制するため、計画的に立入指導を行っている。

平成17年の下水道法改正により、特定事業場を対象として水質事故時の応急措置と公共下水道管理者への届出が義務付けられた。これに伴い、当局では平成18年に「事業場等水質事故危機管理マニュアル」（以下、本マニュアル）を作成し、その後、改定を経た中で、水質事故発生時には水質規制部門だけではなく、管路部門や水再生センター、建設部門など様々な部門間で連携し、迅速な対応を図っている。本稿は近年に発生した事業場水質事故において部門間で連携して対応した事例や、水質事故訓練の様子について報告する。

2　区部における悪質下水・有害物質等の流入事故発生状況

当局では23区内の特定事業場の監視を4所の下水道事務所お客さまサービス課で行っており、その監視手法は事業場への個別立入の他に複数の事業場排水が流入する人孔を調査する広域監視がある。当局における事業場等水質事故による出動案件は、平成21年4月から平成30年1月までに139件発生している（表-1）。立入指導の強化を図っている一方、事業場施設の老朽化や経営者の高齢化に伴い水質事故件数は減少していない。水質事故原因は半数以上が操作ミス・破損等であり（図-1）、また、公共下水道に流入した有害物質等の内訳は燃料系油や重金属類、シアン等多岐にわたっている。（図-2）。

表-1　事業場等水質事故による出動件数（区部）

	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	計
件数	7	11	22	22	19	17	15	10	16	139

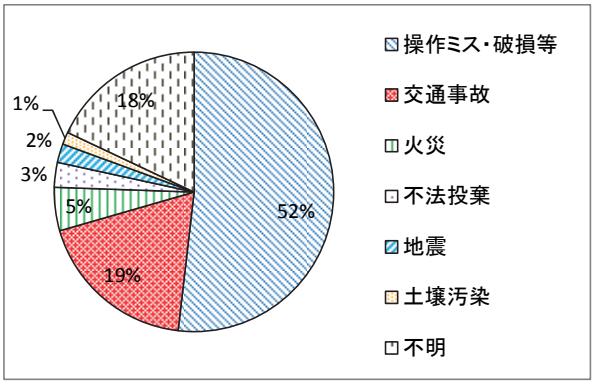


図-1　事業場水質事故等の原因内訳

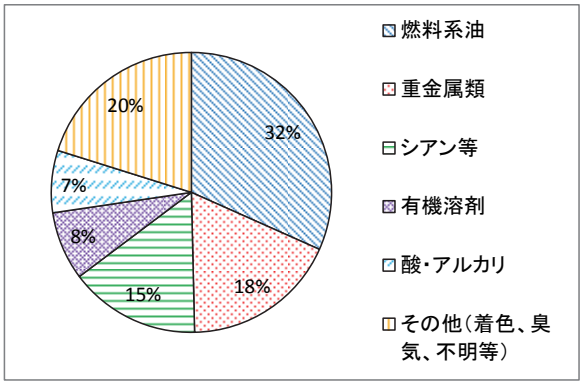


図-2　下水道へ流入した有害物質等の内訳

3　当局の事業場等水質事故時の対応について

当局では国土交通省が平成 17 年に策定した「有害物質等流入事故対応マニュアル」を参考に、事業場等において水質事故が発生した際に当局水質規制職員が対応する際の対応指針として本マニュアルを策定した。公共用水域への有害物質等の流出防止、下水道施設内の職員及び都民の人的被害防止、下水道施設への被害軽減の 3 点を目的としている。

水質事故時の対応として①「事業場から事故発生の通報を受信した、または立入検査時に異常を発見した場合」、②「水再生センター・ポンプ所、または管路部門が実施する調査で異常があった場合」、③「広域監視で異常水質（シアン・六価クロム）を検出した場合」に区分し、それぞれのケースに対し対応フローを定めている。ここでは①の場合を図-3 に示す。いずれのケースも事故収束に向けて、下水道への流入停止の確認を最優先事項とし、原因究明や事業者への対策指導を行う。水質規制部門、管路部門や水再生センターなど様々な部門間との迅速な連携により下水道への影響を最小限に留めるよう対応している。

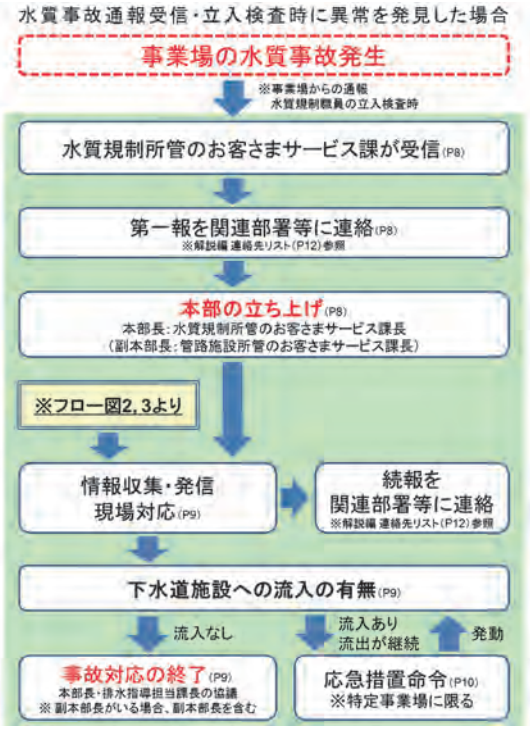


図-3　水質事故発生時の事故対応の流れ

（平成 29 年度改定「事業場等水質事故危機管理マニュアル」より）

4　関連部署における水質事故対応について

本マニュアルに基づき対応した水質事故の事例を以下に示す。

4.1　「水質事故情報受信・立ち入り検査時に異常を発見した場合」の事例

平成 30 年 1 月 17 日 8 時頃、事業場から高濃度の銅を下水道へ流入させたとお客さまサービス課に連絡が入った。直ちに事故対策本部を立ち上げ、管路部門、流下先水再生センター、本庁などの各部門に情報連絡を行い、通報事業場へ出動した。現場班とは 15～20 分の間隔で逐一連絡を取り、その都度各部門で情報共有を図った。事業場到着後の調査で操作ミスによる鍍金浴からの鍍金液漏えいが事故の原因とわかった。事業場へは高濃度銅排水の下水道への流入停止を最優先に処理不完全な廃液の再処理を指導した。16 時 40 分に再処理の完了を確認し、現場対応を終了した。

4. 2　「水再生センター、ポンプ所で異常があった場合」の事例

平成 29 年 8 月 4 日 17 時 15 分頃、A 水再生センターにシアンが流入したとの連絡が本マニュアルに従い A 水再生センターからお客さまサービス課に入った。直ちに事故対策本部を立ち上げるとともに、流入物質がシアンのため、管路内作業員の安全確保を最優先とし、迅速な情報連絡を行うことが求められたため、管路部門、水再生センター、本庁などの各部門に情報連絡を行った。お客さまサービス課は取扱物質や流入経路から対象事業場を 5 事業場に絞り込み、直ちに遡及調査を行った。18 時 50 分に対象のうちの 1 事業場の公桝にてシアンの簡易テストに反応があることがわかり、原因事業場を突き止めたが、その時点で当該事業場は終業していたため、直ちに社長と連絡を取り、シアンを含む排水の下水

道への流入停止を第一優先に、シアン処理不完全な廃液の再処理を第二優先として指導した。21 時 40 分にシアンを含む排水の下水道への流入停止を確認し、各部門に最終連絡を行い現場対応を終了した。

4.3 「広域監視で異常水質（シアン・六価クロム）を検出した場合」の事例

平成 29 年 11 月 14 日 12 時頃、板橋区内の広域監視調査中に六価クロムを検出したと本庁からお客さまサービス課に連絡が入った。直ちに事故対策本部を立ち上げ、管路部門、流下先水再生センター、本庁などの各部門に情報連絡を行うとともに、直ちに対象事業場を 1 事業場に絞りこみ、遡及調査を行った。現場到着後、広域監視調査人孔付近数か所の人孔で調査を行ったが、六価クロムの検出はなかった。その後、当該事業場への立入を行い、14 時 50 分頃、私桝で高濃度の六価クロムを確認した。事故原因は不明だが、事業場へは高濃度六価クロム排水の下水道への流出停止を最優先に処理不完全な廃液の再処理を指導した。事業場は再処理のほかに高濃度の六価クロムを含む廃液の回収を行い、17 時 30 分に現場対応を終了した。

5 情報連絡訓練の実施

水質事故発生時に部門間をまたぐ連絡体制の確認を目的とし、本マニュアルに沿った情報連絡訓練を実施した。訓練の内容を以下に示す。

実施日	平成29年7月4日　14時から16時まで
内容	**1.シアンモニター発報による情報連絡訓練** Bポンプ所に設置しているシアンモニターが発報し、原因者の特定に向けた対応訓練と、TV会議システムを使用した各部門間（事務所、ポンプ所、水再生センター）の情報連絡訓練 **2.雨水ポンプ所における油の流入対応訓練** Cポンプ所に油が流入した場合の各部門間（水再生センター、事務所）の情報連絡訓練

図-4　ＴＶ会議システムを活用した訓練の様子

訓練では、当局独自の光ファイバー回線を活用し、関係部署がＴＶモニターを介して一同に情報共有・議論を行うＴＶ会議システムを使用（図-4）することで、情報の共有化が速やかに行われ、迅速な対応が可能なことがわかった。また、2 件の事故が同時に起きた時の対応を訓練を通して体感できたことは有意義であった。今回のような複数の事故が起きた場合は優先順位をつけて対応することも必要と考える。

6 今後に向けて

水質事故はいつ起こるかはわからない。当局は水質事故発災時には本マニュアルに基づき、速やかに応急、復旧活動に必要な体制を確保し、下水道が果たすべき機能を維持、回復させていかなければならない。今後も緊急時を想定した訓練や、実際の水質事故対応等を積み重ねながら組織全体で水質事故への対応を成熟させていく必要がある。そのために、事業場への個別の立入検査と広域監視による水質調査を効果的に組み合わせて、事業場が排水処理施設を適切に維持管理し、下水排除基準の順守や水質事故時の迅速な対応に協力していただけるよう、日頃より指導していく。

4-1-1 Measures against Aging of Sewage Pipe

Naoyuki Morikawa*

*2-8-1 Nishishinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8001, Japan

(E-mail: *Naoyuki_Morikawa@member.metro.tokyo.jp*)

Abstract

The 20th century was the age of construction in Japan. As time passes, sewage pipes are getting older and causing cave-ins. But, since huge amount of sewage pipes are buried underground, neither inspection to estimate the conditions nor renewal takes long time. So it is important to collect and integrate the information, make the comprehensive plans, then carry out the efficient measures. Tokyo Metropolitan Government Bureau of Sewerage has been executing measures against aging pipes, and occurrence of cave-ins has been reduced.

Keywords

Aging of Sewage Pipe; Reconstruction; Clay Pipe

INTRODUCTION

Sewage line network in Tokyo wards area, whose construction was originated in the construction of Kanda Sewage in 1884, has achieved 100% coverage of the area in FY1994, mainly by combined sewer system. Currently the bureau is managing over 16,000 km of sewage line, comparable to the roundtrip distance between Tokyo and Sidney. Because most of the sewage pipes were completed during the period of high economic growth around 1960s, total length of the sewage piping which has been used for more than 50 years has already reached 1,800 km in the FY2015. Without appropriate measures, the length is expected to reach about 8,900 km in the next 20 years. Therefore we are progressing measures against aging sewage pipes.

Aging of sewage pipes does not only disturb the original function of transporting sewage. It might also affect city activities such as traffic obstruction caused by cave-in of roads. There were over 1,200 road cave-ins in wards area in FY1995, one year after achieving 100 % coverage of sewage line. Among major causes is that the connection pipes, which connect households and sewage main pipe, are made of clay, which are easily fractured by mechanical shock. Clay connection pipes are still remaining and therefore measures for connecting pipes together with the main pipes are going on.

MEASURES AGAINST AGING

Information utilization

In appropriately maintaining numerous sewage pipes in wards area and promoting measures against their aging, it is important to execute them according to the renewal plan based on the actual situation of the aging. For that purpose, it is necessary to collect and store the enormous data on

sewage piping, with the total length exceeding 16,000 km, and to keep them sorted out so that they can be conveniently utilized. These data are what would be called “big data of sewage pipes,” on which the state of sewage pipes, which are changing day by day, should be reflected. We are maintaining “SEwerage Mapping and Information System,” a.k.a. SEMIS, to enable all of the staffs to retrieve and utilize various data, and updating the data 6 times per year.

SEMIS contains the basic information about each sewage pipe such as location, depth, pipe type, date of constructed year, etc., and the maintenance information such as location where incidents of road cave-in and flooding occurred. Inspection of sewage pipes are planned and executed based on this information. Moreover, information about sewage piping is centrally managed by feeding back results of inspection such as damage degree to SEMIS. All information accumulated in this way is utilized for planning of countermeasures against disasters including flood and earthquake as well as aging and for implementation of the plans such as designing. Figure 1 shows the image of information utilization centered on SEMIS. Additionally, in order to improving convenience for users, part of basic information of SEMIS is published on the Web page of the office.

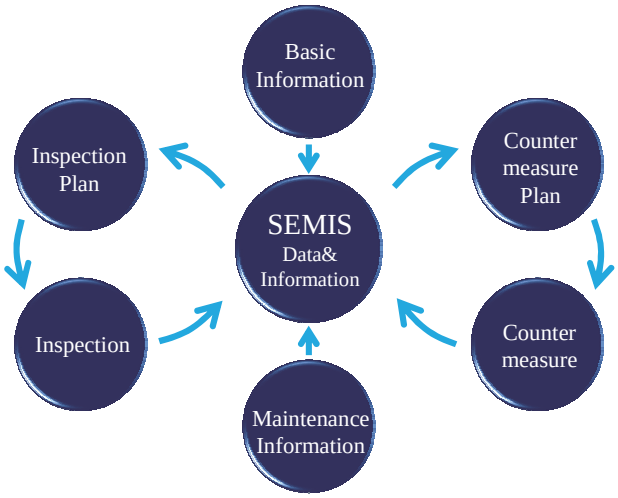


Figure 1. Image of Information Utilization centered on SEMIS

Reconstruction

Outline of Reconstruction

Projects aiming at extending the prescribed useful life, including improving the function such as capacity of draining rain water are defined as “Reconstruction” in Tokyo. While it has taken 110 years to build sewage piping in Tokyo wards area, urbanization has progressed during the period and the amount of rainwater flowing into sewage line has increased. Rainfall intensity and runoff coefficient had changed, so the capacity of draining rainwater is insufficient in some area. Therefore rainwater drainage capacity is going to be reinforced to the recent drainage level together with countermeasures against aging in the reconstruction works. Recent drainage level is 50mm/h for rainfall intensity and 80% for runoff coefficient, commonly called “50mm/h-80%”. Since reinforcement of drainage level should be considered in basins, all of the pipes is target of the reconstruction.

There are 4 types of reconstruction, utilizing existing (RA), rehabilitation (RB), constructing another pipe (RC) and replacing (RD). RA is adopted when existing pipes are not damaged at all

and satisfies the recent drainage level. RB is a method to rehabilitate the existing pipe by coating vinyl chloride internally such as spiral liner method or slipling method. RC is adopted when existing pipe have insufficient capacity of drainage and need to construct another new pipe to fill in the gap. RD is adopted when existing pipe is difficult to utilize as RA or RB, and replace the existing pipe to new pipe by open cut method. The flow chart to determine the reconstruction type is shown in Figure 2. Since numerous infrastructures are congested in urban area, rehabilitation method, in which existing sewage pipe can be reconstructed without excavating roads, is mainly utilized in Tokyo. Rehabilitation method does not only reduce cost and work period compared to open cut method but also suppresses noise and vibration to contribute to reduce influence to resident life.

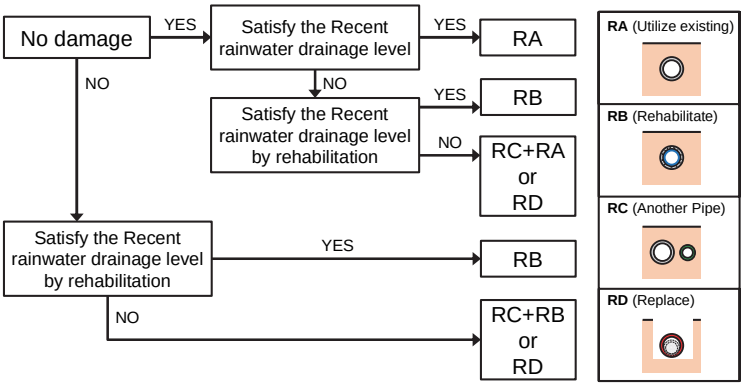


Figure 2. Flow Chart to Determine the Reconstruction Type

Utilization of methodologies of asset management

In order to advance the reconstruction of sewage pipes systematically and efficiently, methodology of asset management considering life cycle costs and leveling the reconstruction projects in mid- to long-term is utilized.

Based on the past record of construction and maintenance cost, the economical useful life, which gives lowest annual average of the lifecycle cost, was calculated to be about 80 years, from the correlation with the lapse of years. Therefore, although useful life of pipe designated by law is 50 years, it was extended with appropriate maintenance by 30 years. And it was decided that the reconstruction of sewage piping of the whole area was promoted with the economical useful life of 80 years, as shown in Figure 3.

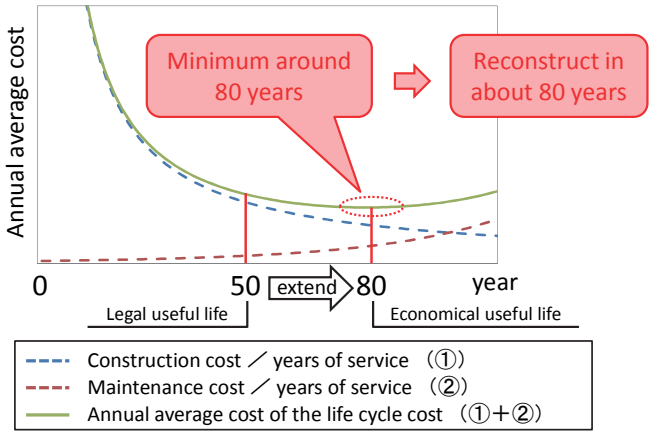


Figure 3. Economical useful life of Sewage pipe

Additionally, in order to level the amount of works in mid- to long-term, the wards area was divided into 3 areas according to the period of construction, as shown in Figure 4. The 163 km^2 of the urban area, where the sewage piping is the most aged, is defined as the first period area and prioritized in the reconstruction work. The full-fledged reconstruction work has been continued since FY1995, with the first period area planned to complete until 2029, as shown in Figure 5. So far the reconstruction of 73 km^2, or 45%, of the first period area was completed as of the end of FY2016.

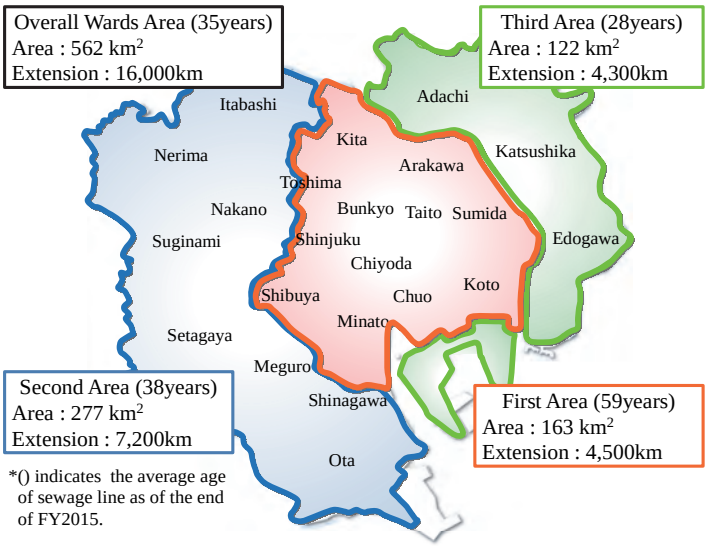


Figure 4. Reconstruction Areas and Average Age

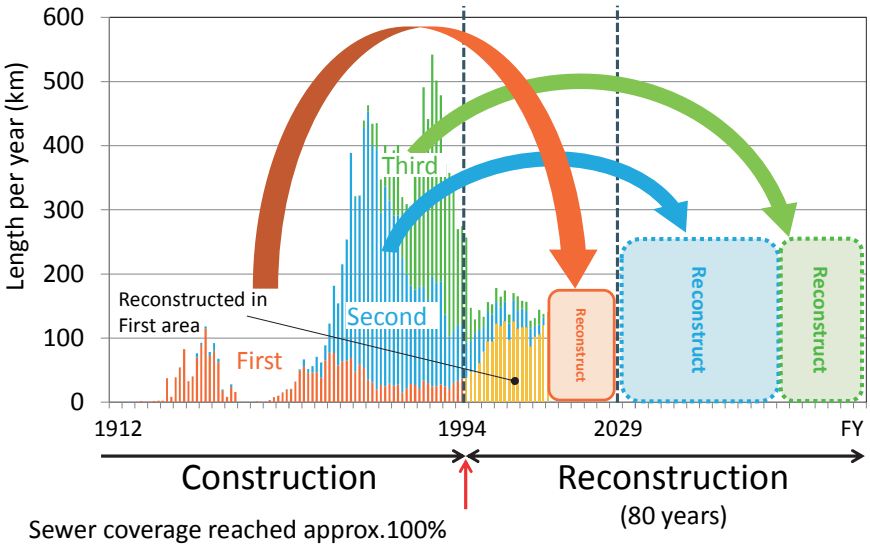


Figure 5. Image of Asset Management

Measures are taken on connection pipes as well as main pipes in reconstruction works. Connection pipes have been also inspected inside together with the main pipe during the inspection of piping. Basically if the connection pipe is made of clay, it is changed to a polyvinyl chloride pipe. If it is not, measures are taken by pipe replacement or rehabilitation method, as necessary. Besides, because reconstruction work is not executed in the second and third period area for the time being, piping is kept in good condition by maintaining partially as necessary.

Accelerating the reconstruction project

As mentioned above, rainwater drainage capacity is going to be reinforced together with countermeasures against aging in the reconstruction works. However, reinforcement of drainage capacity requires constructing new sewage pipes or pipe replacement and additional pumping stations, therefore they caused the reconstruction work to take time since its launch. Moreover, drainage capacity should be reinforced from downstream, which is usually main facilities such as trunk sewer and pumping station. Hence we have adopted “Method of Preceding Measures against Aging” since 2001, defining conventional method as “Normal Method”. Method of preceding measures against aging secures existing draining capacity and takes measures against aging in advance, promoting reconstruction in phases. Additionally, owing to the adoption of “Method of Preceding Measures against Aging in Stages” since 2012, reconstruction operation was accelerated to about twice as fast, achieving reconstruction rate of about 7 km^2 per year, which is necessary to complete reconstruction of the whole wards area in about 80 years, as shown in Figure 6.

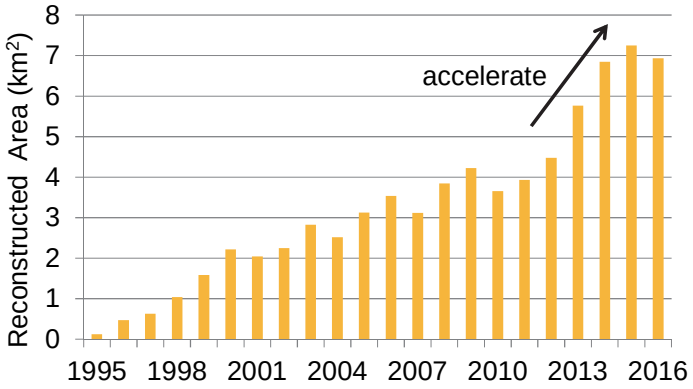


Figure 6. Past Efforts of Reconstruction

In principle, design of reconstruction work of branch sewer is proceeding with normal method. But method of preceding measures against aging is carried out in areas where the dynamic water level is computed to be GL-1.0m or lower in the simulation, which is thought equivalent for 50mm/h-80%, in order to advance the reconstruction as a measure against aging.

Nevertheless, simulation showed that there were only a limited number of basins where the dynamic water level was GL-1.0m or lower and therefore countermeasures against aging did not proceed in majority of basins, where the dynamic water level was above GL-1.0m, until the completion of reinforcement of main facilities. So “Method of Preceding Measures against Aging in Stages” was newly added as a methodology of executing measures against aging ahead of the reinforcement of main facilities to promote reconstruction. Figure 7 shows the flow chart to determine the reconstruction methods.

If it is discovered that the rainwater draining capacity is equivalent for 50mm/h-80% (dynamic water level is GL-1.0 or lower) by simulation, the area is specified “Area of Preceding Measures against Aging” and start reconstruction work, that should not be less than current draining capacity. In This area, reinforcement for 50mm/h-80% by rational method is postponed. Besides, since the plan is basically prepared by rational method also in these areas, the rainwater draining plan have to be formulated.

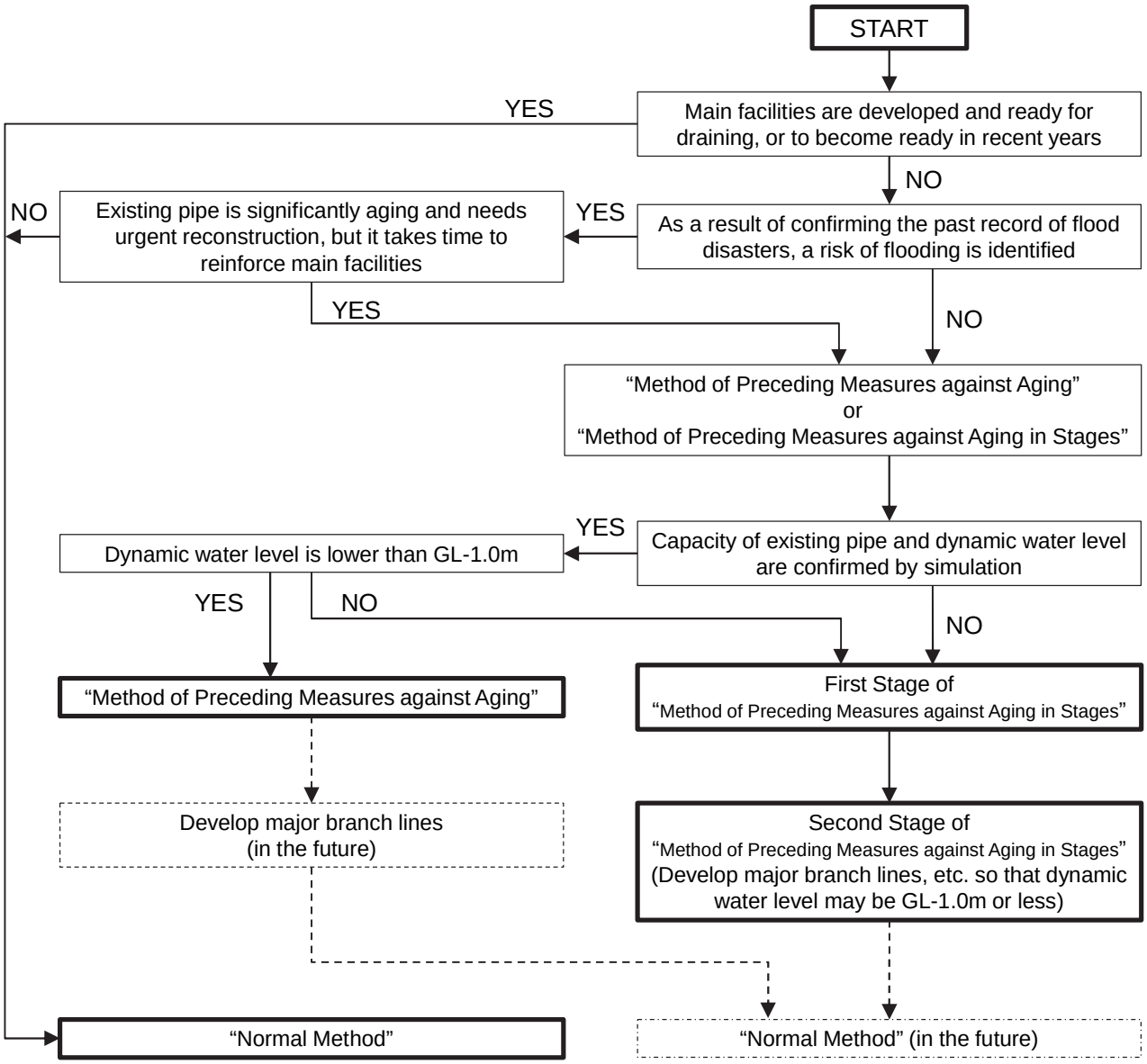


Figure 7. Flow Chart to Determine the Reconstruction Methods

Rainwater drainage level of the first stage of "Method of Preceding Aging Measures in Stages" shall not be less than current draining capacity. Additionally, reconstruction work can be done without simulation. In the second stage, dynamic water level shall be GL-1.0m or lower by simulation.

In the Area where "Method of Preceding Aging Measures" or "Method of Preceding Aging Measures in Stages" have adopted, the rainwater drainage level shall be the level of "Normal Method" in the future.

While pipes aged longer than its legal useful life are increasing, it is necessary to perform reconstructing works more efficiently in order to prevent road cave-ins caused by fracture of pipes and to maintain the function sufficiently. Therefore selection of appropriate method is important.

CONCLUSIONS

We have continued collecting and utilizing big data of sewage pipes and consequently the number of incidents of road cave-in, which is regarded as one of index of measures against aging of pipes, has decreased to about half of 1995, when the restructuring project was launched, although the average age of piping became older, as shown in Figure 8.

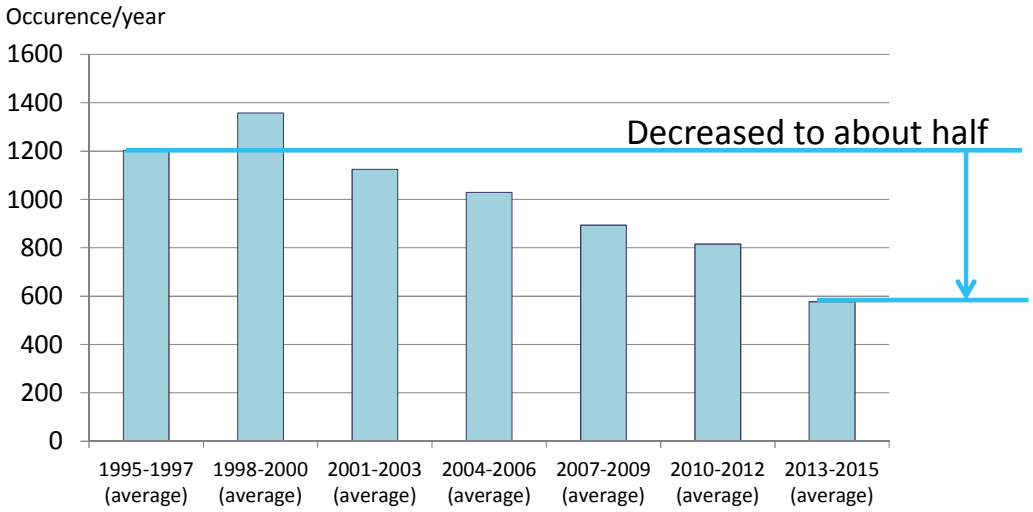


Figure 8. Number of Cave-ins in Tokyo wards area

Aging of infrastructure is the issue which we face without fail as time passes. Especially, sewage pipes buried underground, through which sewage is continuously flowing, is not only in the environment where concrete is corroded but also difficult to inspect and can hardly stop the flow. They are the infrastructures of which measures against aging is difficult to take.

We are going to devise method, develop and implement new technologies flexibly and actively, and continue to make effort toward realization of “Safe City,” which Tokyo aims at, and continuity of the capital function.

4-1-1 Measures against Aging of Sewage Pipe

Naoyuki Morikawa*

*2-8-1 Nishishinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8001, Japan

(E-mail: *Naoyuki_Morikawa@member.metro.tokyo.jp*)

Abstract

The 20th century was the age of construction in Japan. As time passes, sewage pipes are getting older and causing cave-ins. But, since huge amount of sewage pipes are buried underground, neither inspection to estimate the conditions nor renewal takes long time. So it is important to collect and integrate the information, make the comprehensive plans, then carry out the efficient measures. Tokyo Metropolitan Government Bureau of Sewerage has been executing measures against aging pipes, and occurrence of cave-ins has been reduced.

Keywords

Aging of Sewage Pipe; Reconstruction; Clay Pipe

はじめに

東京都区部の下水道は、1884 年の神田下水の整備に始まり、約 110 年後の 1994 年度末に普及概成 100%を達成した。主に合流式下水道であり、現在では東京とシドニーを往復する距離に相当する、16,000km を超える下水道管を管理している。都区部の下水道管は、昭和 30 年代からの高度経済成長期にあわせて整備されたものが多く、法定耐用年数である 50 年を超えて供用されている下水道本管は 2015 年度末時点で既に 1,800km に達している。対策を実施しなければ、今後 20 年間で約 8,900km に増加する見込みであり、当局は下水道管の老朽化対策を進めている。

下水道管の老朽化は、下水道本来機能に支障を来すだけでなく、道路陥没による交通障害など都市活動に影響を及ぼすおそれがある。普及概成 100%を達成した翌年の 1995 年度には区部で 1,200 件を超える道路陥没が発生した。主な原因としては、各家庭と下水道本管をつなぐ取付管の多くが衝撃により破損しやすい陶製であることが挙げられる。現在でも陶製の取付管は多く残っており、本管とあわせて取付管の対策も進めている。

老朽化対策

情報の活用

区部の膨大な下水道管を適切に維持管理し、老朽化対策を進めていくためには、劣化の実態を踏まえた更新計画に基づき、実施していくことが重要である。そのためには 16,000km を超える下水道管に関する膨大なデータを集積し、活用しやすい状態にしておくことが必要となる。これらのデータは「下水道管のビッグデータ」ともいえるもので、日々変わっていく下水道管の状態を反映し続けることも求められる。当局では、下水道台帳情報システム（SEwerage Mapping and Information System)、通称 SEMIS（セミス）を整備し、全職員が様々なデータを閲覧し活用できるようにしており、1 年に 6 回の頻度で更新している。

SEMIS には、下水道管の位置、深さ、管種、布設年度といった下水道管の基礎情報、道路陥没被害や浸水被害の発生場所や日時などの維持管理情報を集積しており、これらの情報を基に管路内調査を計画・実施している。さらに、調査結果である損傷度などのデータを再び SEMIS にフィードバックすることで、下水道管の情報を一元的に管理している。こうして集積された全ての情報は、老朽化対策に限らず浸水対策や震災対策など様々な対策の計画策定や設計業務などの対策計画の実施に活用されている。また、お客さまの利便性向上のため、SEMIS の基礎情報の一部は、平成 17 年度から当局ホームページで公開している。

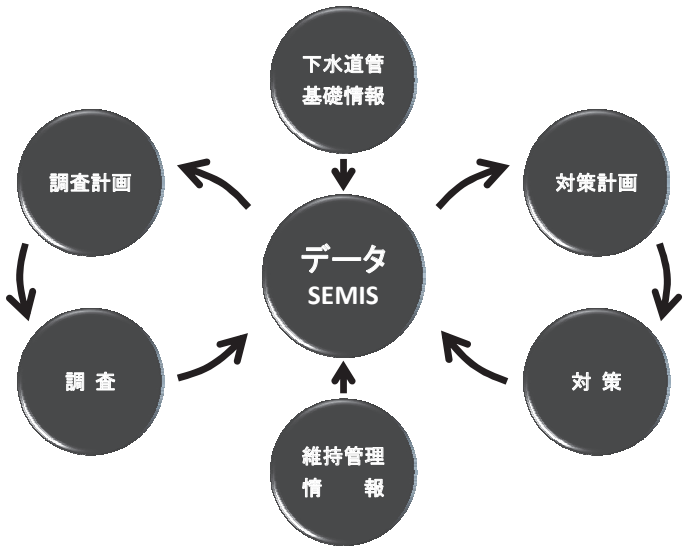


図 1　SEMIS を中心とした情報活用のイメージ

再構築

再構築の概要

都区部の下水道管は約 110 年の歳月をかけて作られたが、この間に都市化が進展し、下水道管への雨水流入量が増加したため、場所によっては雨水排除能力が不足する状況となった。そこで、再構築事業において、老朽化対策と合わせて雨水排除能力の増強を図ることとしている。現在の雨水整備水準は降雨強度は 50mm/h、流出係数は 80%であり、「50mm/h-80%」と呼ばれている。下水道管の設計において、流下能力はマニング式を用いた合理式によって計算することとしている。

現在実施している再構築は、既存活用（RA）、更生工法（RB）、新設（RC）、布設替え（RD）の 4 種類です。 RA は、既存の配管に全く損傷がなく、流下能力を満たす場合に採用されます。 RB は、既設管の内側に硬質塩化ビニル製プロファイルの更生管を製管し、古くなった管きょを強固な複合管とする方法です。既設管の能力が不十分で流下能力が不足している場合、流下能力を補うために別の新しい管きょを建設する必要がある場合には、RC が採用されます。既設管を RA や RB として活用することが難しく、開削等で新しい管きょに交換する場合は RD を採用しています。都市部には多くのインフラが混在しているため、道路を掘削することなく既存の下水道管を再構築することができる更生工法が主に東京で利用されています。更生工法は、開削工法に比べてコストと作業時間を削減するだけでなく、騒音や振動を抑えて住民生活への影響を軽減することにも貢献しています。

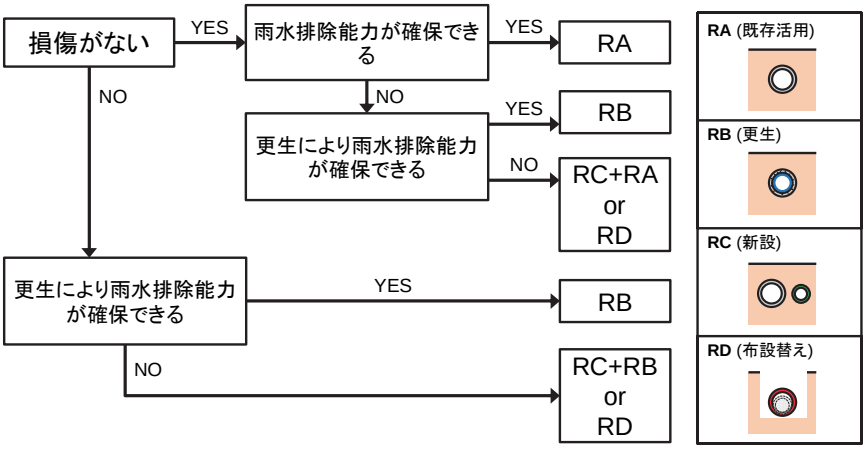


図 2　再構築手法選定フロー

アセットマネジメント手法の活用

当局では、管の取替えや更生により所定の耐用年数を新たに確保する老朽化対策とあわせて雨水排除能力の増強などの機能向上を図る事業を「再構築」と定めている。計画的かつ効率的に下水道管の再構築を進めるために、ライフサイクルコストや中長期的な再構築事業の平準化などを勘案したアセットマネジメント手法を活用している。

建設費と維持管理費の実績をもとに、経過年数との関係からライフサイクルコストの年平均費用が最小となる経済的耐用年数を 80 年程度と算出した。そこで、法定耐用年数は 50 年であるが、適切な維持管理により 30 年程度延命化し、経済的耐用年数である 80 年で区部全域の再構築を進めることとした。

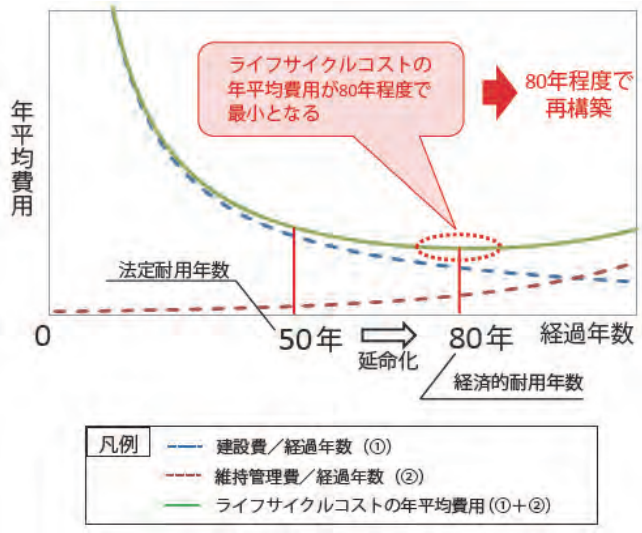


図 3　下水道管の経済的耐用年数

また、中長期的な事業の平準化を図るために、区部を整備年代により三期に分け、最も古い都心部の約 16,300ha を第一期再構築エリアとし優先して進めている。再構築事業は、普及概成 100%達成直後の平成 7 年度から本格的に進めており、区部全域を 80 年程度で再構築を実施するために、第一期再構築エリアは平成 41 年度までの完了を目指している。2016 年度末時点で第一期再構築エリアの約 45%に相当する約 7,258ha の再構築が完了している。

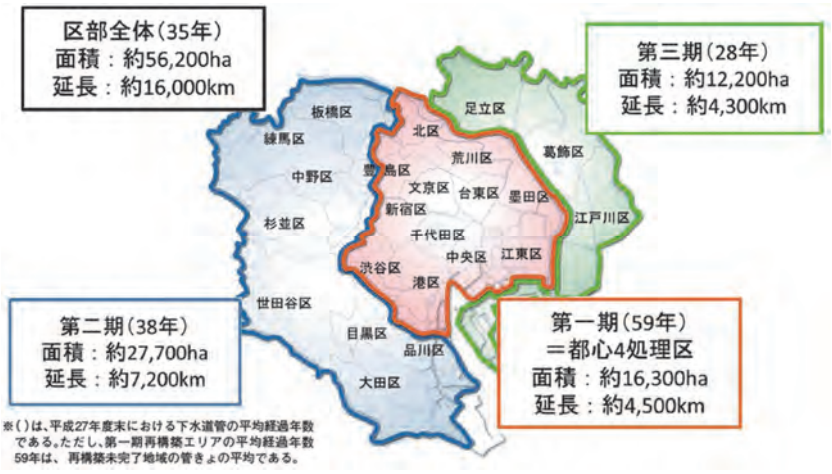


図 4　再構築エリアと平均経過年数

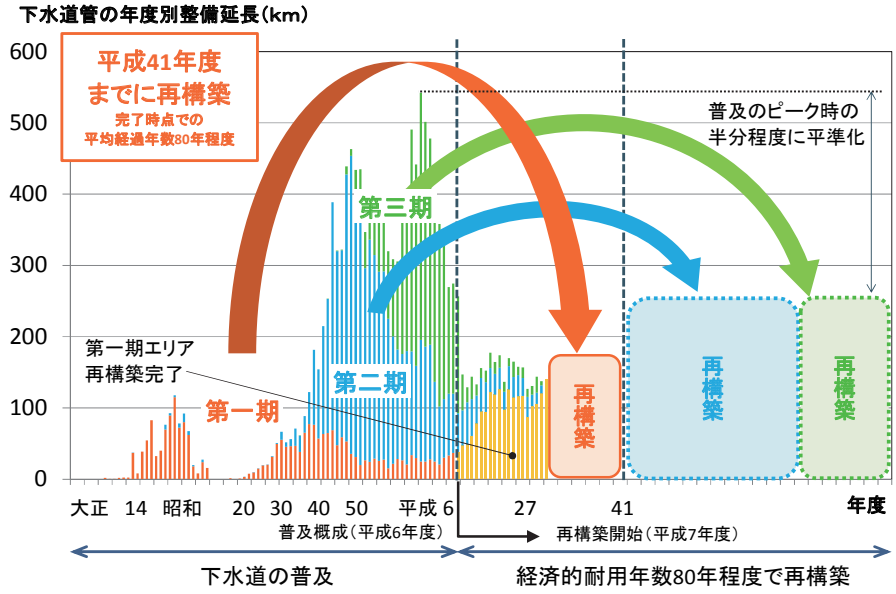


図 5　下水道管のアセットマネジメントのイメージ

都市部では、多くのインフラが輻輳しており、道路を掘らずに既設下水道管を再構築することができる更生工法を活用している。更生工法は、開削工法よりコストと工期を半分程度に縮減するだけでなく、騒音や振動を抑制して住民生活への影響を低減することにも寄与している。

再構築においては、本管だけでなく取付管の対策も行っている。管路内調査時に本管とあわせて取付管の調査も実施しており、取付管が陶管であれば衝撃に強い硬質塩化ビニル管への取替えを基本とし、陶管でない場合は対策の必要があれば布設替えもしくは更生工法により対策を実施している。なお、第一期再構築エリア外では、当面の間再構築事業を実施しないため、調査結果を基に必要に応じて部分的に補修を行うことで管を健全な状態に保っている。

再構築事業のスピードアップ

雨水排除能力の増強は下水道管の新設や布設替え、ポンプ所の増設などの必要がある。さらに、雨水排除能力の増強は、基幹施設である下流から整備するべきものであることも時間を要する原因となった。そこで当局は、老朽化対策を進めるために、2001 年度から老朽化対策先行整備手法を取り入れた。これは、浸水の危険性が少ない流域においては、現況の流下能力を確保し老朽化対策を先行して実施し、段階的に再構築を進めるものである。さらに、平成 24 年度からの老朽化対策先行整備手法の拡大により、整備ペースを約 2 倍にペースアップし、区部全域を 80 年程度で再構築するために必要な年間約 700ha の整備を実現している。

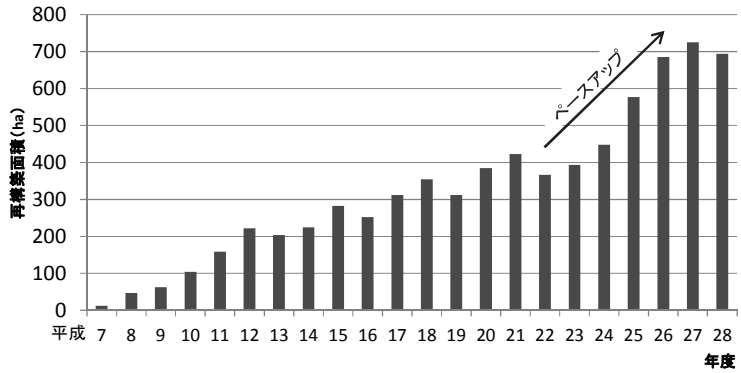


図 6　年度毎の再構築面積

原則として、枝線の再構築設計は、通常整備であるが、再構築による老朽化対策を進めるため、シミュレーション（50mm/h-80%相当）により動水位が GL-1.0m 以下となる流域について、「老朽化対策先行整備」を実施している。

しかしながら、シミュレーションにより動水位が GL-1.0m 以下となる流域は限られており、動水位が GL-1.0m より上となる多くの流域では、基幹施設等の整備完了まで老友化対策が進まない状況となっていた。そこで、基幹施設等の整備に先行して老朽化対策を実施する手法として、「老朽化対策先行整備（段階方式）」を新たに追加し、再構築を推進していくこととした。

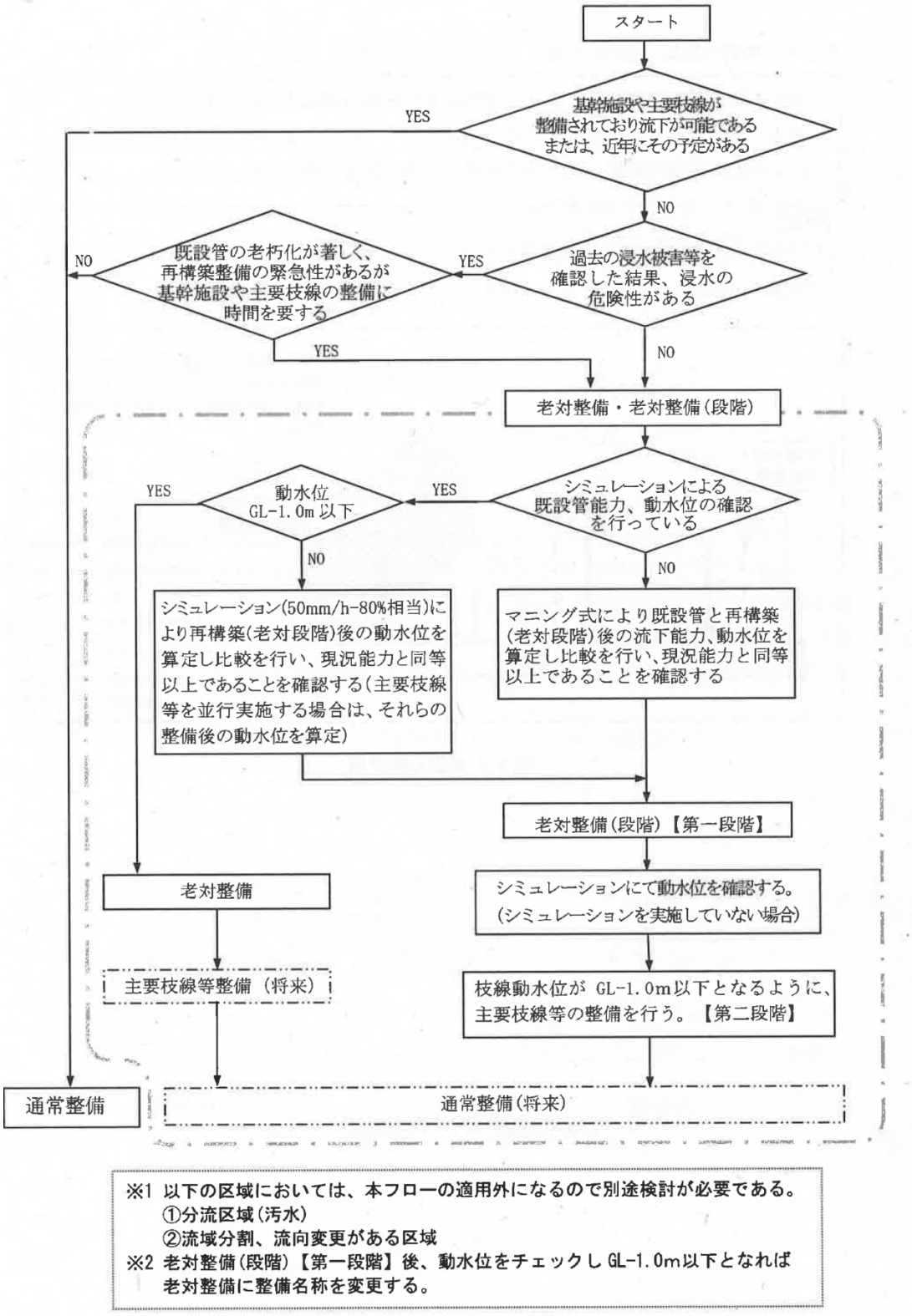


図 7　再構築整備方式選定フロー

シミュレーションにより 50mm/h-80%相当の雨水排除能力を有する（動水位が GL-1.0m 以下）ことが明らかになった場合は、「老朽化対策先行整備エリア」とし、現況の雨水排除能力を下回らないように面的再構築整備を行う。

「老朽化対策先行整備エリア」は、合理式の計算による 50㎜/h-80%相当の整備は行わず当面先送りする。なお、当該エリアにおいても計画は、合理式等流計算によることを基本とするため、将来必要となる合理式等流計算による 50mm/h-80%相当の雨水排水計画を策定するものとしている。

老朽化対策先行整備（段階方式）の第一段階の整備水準は、現況流下能力を下回らないこととする。また、シミュレーションを行わなくても実施することができる。第二段階の整備では、シミュレーションにより動水位が GL-1.0m 以下となるように整備する。

今後、法定耐用年数を超える管きょが急増していく中で、管きょの損傷による道路陥没などを防止し、管きょの機能を十分に維持していくためには、より効率的に再構築整備を進めていく必要が高まっており、適切な整備方式の選定が重要である。

結論

下水道管のビッグデータを収集・活用し、これまで取組を進めてきた結果、下水道管の老朽化対策の効果の 1 つの指標となる道路陥没件数は、下水道管の平均経過年数が増加しているにも関わらず、再構築事業を開始した平成 7 年頃と比べ半減した。

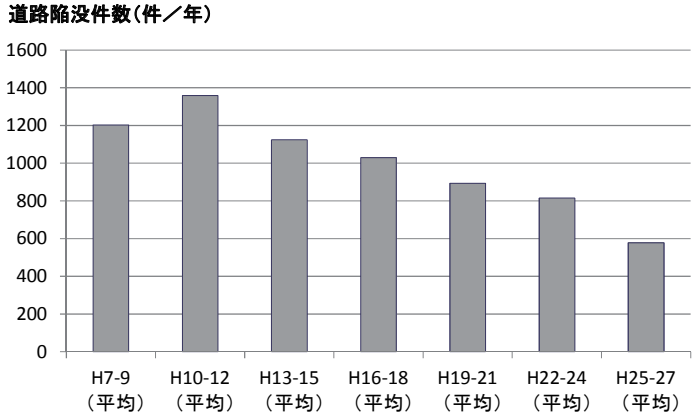


図 8　道路陥没件数の推移

インフラの老朽化は、経年とともに必ず直面する課題である。中でも、地下に埋設されていて、常に下水が流れている下水道管は、コンクリートの腐食環境であるだけでなく、容易に点検出来ず、止めることができない、老朽化対策の実施が難しいインフラである。今後とも、老朽化対策を推進する上で、手法の工夫や新技術の開発・導入を柔軟かつ積極的に進め、都が掲げるセーフシティの実現と首都機能保持に努めていく。

4-1-2 Sludge Transportation Pipe Network utilized for Risk Management of Sludge Treatment

Shiori Ohwa

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: *Shiori_Ouwa@member.metro.tokyo.jp*)

Abstract
The Bureau of Sewerage have dewatered and incinerated sludge at 6 Sludge Treatment Plants to promote the reduction of sludge and the recycling of incineration ash by consolidating sludge from 13 Water Reclamation Center (hereinafter WRC) through the use of a “Sludge Transportation Pipe Network” in the 23wards of Tokyo. The consolidation of sludge enables efficient sludge treatment that takes advantage of scale, but fatal sludge transportation pipe failures or equipment failures due to disaster may make adversely affect sewerage treatment at related WRCs. To avoid it, we have strengthened risk management by establishing the backup system that transfer sludge to other facilities can treat sludge, utilizing the sludge transportation pipe network, and treat it.

Keywords
Risk Management, Sludge Treatment, Sludge Transportation

INTRODUCTION

Sewerage is treated 24 hours a day, every day in water reclamation center (hereinafter WRC) in the 23wards of Tokyo. It is a key how to stably treat the sludge while at the same time ensuring the water quality of both sewerage and public water bodies.

In the 23 wards of Tokyo, percentage of population served by sewerage collection has reached almost 100% in 1995. Our 13 WRCs treat 4.58 million m^3 of sewage per day and generate 2.5 thousand wet-t dewatered sludge. However, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government don’t have enough space to construct a new disposal site in Tokyo Bay. Therefore, we need to extend the life of the present site. To extend sludge disposal site life, our bureau have established a total incineration system for the whole amount in 2003, thereby active promoting the reduction of sludge and the recycling of incineration ash.

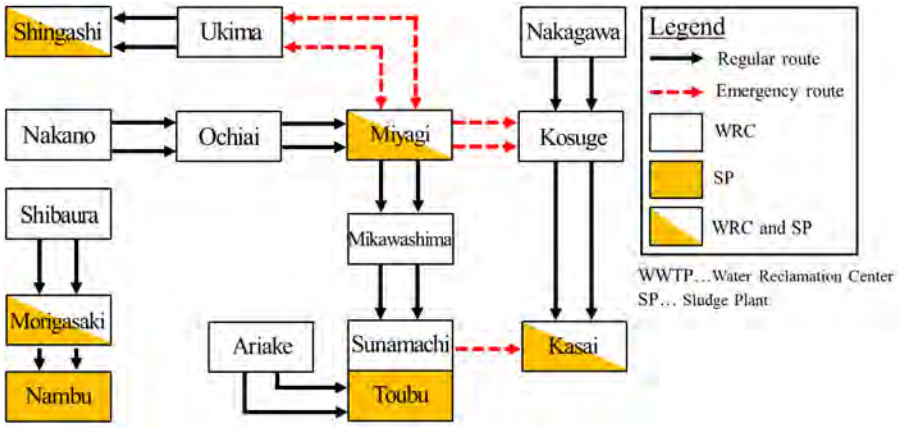


Figure 1. Systematic diagram of current sludge treatment

13 WRCs transfer sludge to 6 sludge plants (hereinafter SP) through the use of a sludge transportation pipe network in the 23wards of Tokyo. 6 SPs dewatered and incinerated sludge consolidated. (See Figure 1) The total network of pipes encompasses about 93 km.

Consolidation of sludge enables efficient sludge treatment that takes advantage of scale. As a result, we can cut maintenance and operation cost (employment cost and energy bill). On the other hand, if WRCs can't transfer sludge to SPs by fatal sludge transportation pipe failures or equipment failures due to disaster, they can't treat primary sludge and waste sludge. WRCs are forced to store sludge in sedimentation tank. It affects final effluent quality. In the worst-case, effluent quality may exceed the reference standard.

In fact, in the Great East Japan Earthquake on March 11 2011, Tobu SP couldn't use all incinerators because it couldn't receive supply of treated sewage from Sunamachi WRC adjacent Tobu SP due to water treatment equipment failure in the 23wards of Tokyo. As a result, Tobu SP had to stop treating sludge consolidated from 6 WRCs. 6 WRCs lost sludge transportation route had to store sludge in themselves.

Thus, in order to avoid the declining whole sewerage treatment capacity linked with such unexpected decline sludge treatment capacity, it is necessary to establish the system to maintain constant treatment of sludge in unexpected emergencies. In particular, for sludge treatment, our bureau have strengthened risk management by establishing a backup system that enables sludge transfer to, and treat at other SPs, utilizing the sludge transportation pipe network.

METHODS OF STRENGTHENING RISK MANAGEMENT

In the 23wards of Tokyo, Bureau of Sewerage have made responses in tangible and intangible aspects as follows, based on the experiences of the Great East Japan Earthquake and of its responses to sludge transportation pipe emergencies.

Tangible measures

1. Promotion of earthquake-proof about transportation pipes and sludge facilities

Part of transportation sludge pipes laid have exceeded useful life (50 years) and gotten older. Therefore, we are reconstructing the old sludge transportation pipes and working on improvement reliability. Sludge transportation pipes have laid under the ground directly up until now. In reconstruction, we lay them in pipe gallery constructed by shield tunnelling method. We improve pipe maintenance by setting up check and work spaces in pipe gallery. In particular, we prioritize reconstruction of pipeline that has already exceeded useful life. The area where daily check is difficult because of direct pipes laying under the ground was also prioritized.

In addition, we work on earthquake-proof sludge facilities. Incinerators use flammable gas which have risk to bring on secondary disaster when it is damaged. To prevent gas leakage, incinerators are needed to take measures to prevent an equipment over-turning. Furthermore, we set seismometers in incinerators. If a big earthquake occurs, incinerators can be emergency stopped in conjunction with seismometers.

2. Duplication sludge transportation pipes

We are duplicating all sludge transportation pipes basically. When sludge transportation pipes in use are damaged, we switch the pipeline to the other pipeline and continue transferring sludge.

3. Establishment of the sludge transportation pipe network

We are establishing sludge transportation pumps and sludge storage tanks to be able to transfer sludge to each SP, sludge transportation pipes. If we can't continue to transfer it due to sludge transportation pipe failures or equipment failures, we switch sludge transportation routes or sludge transportation direction. In addition, we are doing the following approaches as part of establishment of the sludge transportation pipe network.

a. Establishment of mutual sludge transportation between WRCs (See Figure 2)

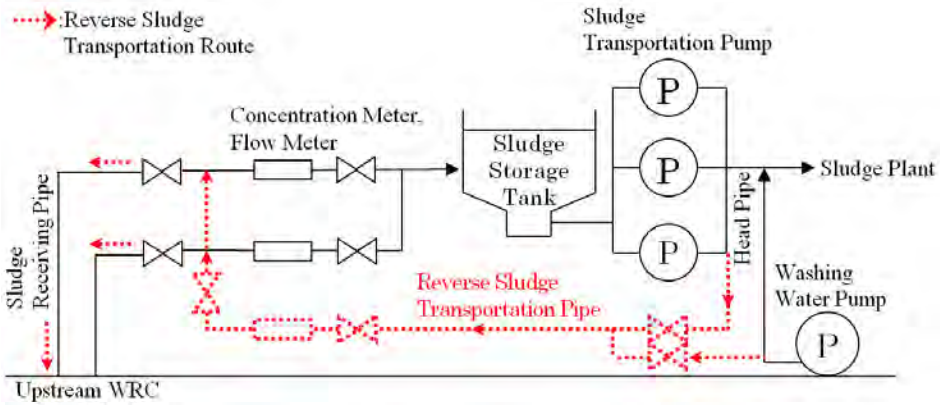


Figure 2. Flow diagram about transportation sludge equipment

We are constructing the equipment to be able to transfer sludge mutually between WRCs which usually transfer sludge to different SPs. We are progressing to set equipment between Miyagi WRC and Kosuge WRC and between Tobu SP and Kasai WRC now. By enabling mutual sludge transportation, the number of sludge transportation routes can increase. It makes us possible to respond flexibly when sludge transportation pipe failures or equipment failures are occurred. Up until now, one-way sludge transportation pipes have been laid. However, by being branched a new pipe from the existing head pipe and connecting new pipe to receiving pipe from another WRC, we can transfer sludge mutually by the existing transportation pump.

b. Construction the sludge treatment “key station”
We will rebuilt Miyagi WRC which stands inland area as sludge treatment key station for controlling sludge transportation volume between WRCs, efficient operation in normal time and backup in emergency. We decide to rebuild Miyagi WRC as the key station because it is at the center of the sludge transportation pipe network.

Intangible measures

1. Making an implementation outline
We made an implementation outlines about sludge transportation between WRC and SP and between WRCs. In the outline, basic point about operation at the time of sludge transportation and how to respond in the case of emergency need to stop or begin transferring sludge urgently are set in.

2. Improvement of the risk management and respond ability
We switch of sludge transportation pipes and drills for risk management routinely based on the implementation outlines. In addition, we test water transportation routinely. We confirm operation of sludge transportation pump and valve, flow in upstream WRC and downstream WRC whether there is any problem (e.g. leakage on a sludge transfer pipe) in the test. Their approaches make staff members improve their operation skill and the risk management. It enables us to respond rapidly in emergency.

3. Establishment of the centralized management system of operating information about our sludge treatment
Currently, not only the sections transfer sludge or receive sludge but also the sections have jurisdiction over the area which sludge transportation pipeline pass through have mutual contact

system. At the time of switch of sludge transportation pipe or sludge transportation route, we spend a lot of time to contact and coordinate.
We have already controlled the information about sludge transportation volume and pressure by existing information system in the whole our bureau. By fulfilling the system and establishing centralized management system, we will be able to switch pipeline and detect the troubles about the sludge transportation facilities rapidly, and strengthen risk management.

METHODS AND APPROACHES FOR RISK MANAGEMENT

Our response procedure in cases sludge can't be transferred due to sludge transportation equipment failures, and the drill for risk management are as follows.

Response procedure in WRC in the case of sludge transportation pipe failures

When we can't transfer sludge due to sludge transportation pipe failures or decline treatment capacity in SP, we respond as follows;

1. If the damaged sludge transportation pipeline has already duplicated;
We switch from the damaged pipeline to the backup pipeline at upstream WRC.

2. If sludge transportation route can't be used because of damaged pipes;
(Sludge transportation pipeline has not been duplicated or already duplicated but main sludge transportation pipeline can't be used because of under construction)
a. Decrease of transportation sludge volume in upstream WRC
Because we can't transfer sludge from the upstream WRC to the downstream WRC or SP, we store sludge temporarily at the upstream WRC to decrease sludge transportation volume. We store sludge as follows; (a) sludge storage tank, (b) primary sedimentation tank and final sedimentation tank by stopping removing sludge from the tanks, (c) storm water storage tank. Our bureau have already grasped about the number of storable days and storable place, and prioritize storage place. If WRC have to stop transferring sludge, we store sludge based on the priority.

b. Switch sludge transportation routes
If the sludge store time lengthened and it may affect final effluent quality, we check treatment condition of other SPs. After checking, we switch the sludge transportation routes and begin to transfer sludge to other SP. Afterward, we check sludge transportation pipe whether there is any problem (e.g. leakage on a sludge transfer pipes).

c. Increase treatment volume of the other SPs
After switching the routes, the other SPs treat more sludge than usual. We start up incinerator additionally as needed.

d. Carry out dewatered sludge to other SPs by a track
We put sludge exceeding process capacity at the acceptable SPs on a box track, and carried to the other acceptable SPs after dewatered and spraying deodorants. After arrival at the other SPs, we throw into dewatered sludge receiving hopper and burn it.

e. Landfill dewatered sludge urgently at disposal site
Sludge exceeding process capacity in acceptable SPs is carried to the disposal site and landfilled after being dewatered. Although, we did odor control by spraying deodorant before we transport as with d.

3. If sludge transportation route can be used but the capacity of the SPs as destination is declined temporarily;
a. Suppression transportation sludge volume from upstream WRC
The sludge is stored temporarily to decrease transportation sludge volume for suppression a load to downstream WRC as with 2.

After we finished a., we carry out from b. to e. are done as with *2*.

Drill for risk management
Bureau of sewerage conduct the drills for risk management once a year to improve the operation skill and an consciousness of the risk management. In the drill, WRCs and the section which manage the whole sludge treatment in the 23wards of Tokyo (hereinafter facilities management section) participate in. We confirm the methods to conduct sludge transportation volume, the methods to consider and decide about switching sludge transportation route or direction, and communication system. The sections which maintenance sludge transportation pipes (hereinafter pipeline maintenance section) participated in, too. They confirm the methods about emergency restoration at accident location, the methods to check pipe when the upstream WRC switch sludge transportation route and communication system. (See Figure 3) Actually, we can't complete to respond about transfer sludge in a short time. Because of limit of time for drill, we extract scenes which need drill and conduct it.

Figure 3. The drill for risk management and response in 2015

Through the drill, our bureau prepare to respond rapidly in emergency by sharing the information between related sections and confirming following 1. to 4.
1. The procedure for stopping sludge transportation, switching route, restarting sludge transportation and communication system.
2. The possession situation of emergency repair material and equipment of pipeline maintenance sections and sewerage maintenance cooperation.
3. The methods of operation valves, checking procedure and division of the roles during emergency repair.
4. The procedure of response at upstream WRC when downstream WRC is in an emergency.

THE EXAMPLES OF RISK MANAGEMENT UTILIZING THE SLUDGE TRANSPORTATION PIPE NETWORK

CASE1. The case of response when the sludge treatment capacity declined due to earthquake

We could not treat sludge due to the Great East Japan Earthquake on March 11 2011 at a part of SPs. Under such situation, we responded against this problem as follows;

1. Damage overview

Tobu SP in Tokyo bay area consolidates sludge from 6 WRCs (Nakano, Ochiai, Mikawashima, Miyagi, Sunamachi, Ariake) and treats them. At Tobu SP, we use the treated sewage receiving from Sunamachi WRC which is adjacent the Tobu SP to clean flue gas from the incinerators. Although, at Sunamachi WRC, the collectors in sedimentation tanks ran off and were damaged due to the earthquake. It made Sunamachi WRC be impossible to treat sewage and transfer treated water to Tobu SP. As a result, Tobu SP couldn't operate incinerators and treat sludge. In addition, expansion joint of waste gas duct was cracked due to earthquake in Tobu SP. (See Figure4)

Figure4 Cracked expansion joint of waste gas duct

2. Response details

(The aftermath of the earthquake)

We asked manufacturer to repair equipment urgently at Sunamachi WRC and Tobu SP. Secondly, Miyagi WRC started up the incinerator urgently and started to burn sludge in upstream WRCs because full repair for equipment in Tobu SP might be needed to take a long time. Mikawashima WRC couldn't transfer sludge, so stored it in the center. Sunamachi WRC transferred sludge generated in the sewerage treatment line where we could treat sewage but could not transfer treated sewage to Tobu SP, and stored it in storage tank in Tobu SP.

(7 days later)

Part of water treatment capacity of Sunamachi WRC was recovered. Because Sunamachi WRC could supply treated sewage to Tobu SP, Tobu SP could treat sludge within small volume. Therefore, Mikawashima WRC restarted to transfer sludge to Tobu SP. However, sludge transportation volume was limited.

(13 days later)

Miyagi WRC had treated sludge beyond the conventional capability after starting to burn sludge consolidated from upstream WRCs. However, sludge volume increased due to the first rain after the earthquake. Then, the capacities of sludge storage in sludge storage tank, primary sedimentation tank and final sedimentation tank were close to its limit. Consequently, the facilities management section decided to switch sludge transportation route as follows;

Before: Miyagi WRC - Mikawashima WRC – Tobu SP

After: Miyagi WRC – Kosuge WRC – Kasai WRC

By switching sludge transportation routes, we could ensure sludge treatment capacity throughout sludge transportation pipe network.

(40 days later)

The sludge receiving system was recovered at Tobu SP. Miyagi WRC switched sludge transportation route to regular route, and restarted to transfer sludge from Miyagi WRC to Tobu SP.

Mikawashima WRC brought sludge transportation volume back to normal.

Thanks to equipment manufacturer's support, we could recover sewage treatment capacity early in the Great East Japan Earthquake. However, the earthquake affected sewage treatment capacity seriously. It made us take a long time to recover to sludge transfer situation before the earthquake.
In particular, Mikawashima WRC was forced to stop transferring sludge to SPs for a long time. By transferring sludge to storage tank temporary and returning overflowed sludge from storage tank to the sewer main, Mikawashima WRC could ensure sewage treatment capacity with continuing to suppress sludge transportation. In addition, Mikawashima WRC has some sewage treatment lines and transferred waste sludge from the line which water quality got worse to the line which water quality was not comparatively worse. The effort enabled Mikawashima WRC to clear final effluent quality standard. Even in the bad situation like this case, thanks to flexible and careful operation by all staff members in Mikawashima WRC, water quality was suppressed worse. With this trouble, our bureau realized again that we need to strengthen our risk management.

In addition, the cause of incinerator's stoppage was that there was only one line to supply treated water to incinerators. To solve the problem, our bureau duplicated treated supply line immediately after the earthquake.

CASE2. The case of response when one sludge transportation pipe damaged and the other was under construction

We could not treat sludge due to sludge transportation pipe failures between WRCs in 2013. Under such situation, we responded against this problem as follows;

1. Damage overview

Two pipelines are laid between Mikawashima WRC and Tobu SP. In this case, one of sludge transportation pipeline was out of service due to construction works. Under such situation, the valve of the other pipeline was in service was broken, and the leakage accident occurred. (see Figure.5)

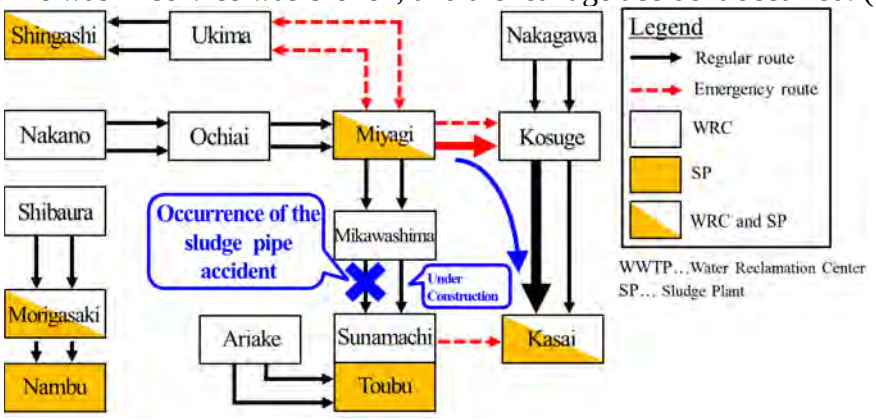


Figure5 Sludge transfer in an emergency situation

2. Response details

(The aftermath of the accident)

First, Mikawashima WRC stopped transferring sludge to Tobu SP immediately based on the implementation outline. Secondly, facilities management section decided to switch sludge transportation routes to backup route as follows;

Before: Miyagi WRC - Mikawashima WRC – Tobu SP
After: Miyagi WRC – Kosuge WRC – Kasai WRC

By switching routes, we could treat sludge consolidated from 3 upstream WRCs temporarily with controlling sludge transportation volume in Kasai WRC. In parallel with switching routes, we decided to repair of the pipeline was under construction.

(1 day later)
We checked pipe damage condition and started emergency repair the pipe which was under construction in the morning. During repair work, we stopped sludge transportation between Miyagi WRC and Mikawashima WRC. After being stopped sludge transportation, we flashed inside pipeline to prevent sludge from decaying. Before starting sludge transportation, we tested water transportation between Miyagi WRC and Kosuge WRC with checking pipeline condition. After checking whether there is air and water leak, we started transferring sludge. In the evening, we finished repairing sludge transportation. However, sludge transportation volume from Nakano WRC and Ochiai WRC to Kosuge WRC, and from Nakagawa WRC to Kosuge WRC was about 80% of usual. On the other hand, we finished the pipe emergency restart was under construction.

(2 days later)
We tested water transportation between Mikawashima WRC and Tobu SP with checking pipe condition by pipeline maintenance section.
After checking whether there is no trouble, we restarted transferring sludge.

(1 week later)
We repaired air leak valve damaged in the accident. After repairing the valve, we switched sludge transportation route to usual route. Pipeline maintenance section checked whether there is no trouble, we completed accident response. As in this case, by communication and coordination with related sections based on the implementation outline, and switching to the backup routes, we could restart to treat sludge at upstream WRCs next day after the accident.

If WRC becomes to be difficult to transfer sludge, the sludge is circulated and pooled in sedimentation tank. It may make the effluent quality deteriorate with the risk of exceeding the effluent standard. In particular, accidents related to pipe have occurred twice a year in the 23wards of Tokyo. By taking measures in a previous describe and drill for risk management routinely, we could respond quickly in cooperation and minimize influence to upstream WRCs.

CONCLUSIONS

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government can deal with the unexpected situation rapidly and keep sewerage treatment stably by implementing tangible measures and intangible measures as previous describes.

However, tangible measures are underway in one of area to complete measures now. (Establishment of mutual sludge transportation equipment, reconstruction of old sludge transportation pipe etc.) Our bureau will continue to promote a comprehensive sludge transportation pipe network to secure backup functions, and strive to strengthen our risk management system. On the other hand, we continue to strive to further strengthen our risk management system by analysing the response in emergency and accumulating the knowhow as the intangible measures.

By enrichment both tangible measures and intangible measures, we improve reliability of sludge treatment and ensure stability of sludge treatment over the future.

REFERENCE

(i) Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government, Sewerage in Tokyo, available at: http://www.gesui.metro.tokyo.jp/english/aboutus/ourprofile/ (accessed 20 July 2017)
(ii) Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government (2016), *Tokyo Metropolitan Government Sewerage Operations Management Plan 2016*, p.36-37, Japanese

4-1-2　送泥ネットワークを活用した汚泥処理の危機管理

施設管理部 施設管理課 維持担当
應和　詩織

1　はじめに

東京都内にある水再生センターでは24時間365日休むことなく流入する下水を処理している。水処理に伴って発生する下水汚泥をいかに安定的に処理するかが、水処理、ひいては放流先である公共用水域の水質確保の重要なカギを握る。

東京都区部では、平成6年度に下水道普及率が概成100%を達成しており、13か所ある水再生センターでは毎日4,580,000m^3(平成27年度実績)の下水を処理し、2,500wet-tの脱水汚泥が発生している。しかし、東京都では東京港内に新たな汚泥の処分場を設置できる水面が限られており、現在使用している埋立処分場の延命化が必要である。そのため、東京都下水道局では、脱水汚泥全量を焼却し、積極的に汚泥を減量化するとともに、焼却灰の資源化も推進することで、埋立処分場の延命化に努めている。

また、下水道局では、区部にある13か所の水再生センターにて、下水処理で発生した汚泥を延長約93kmに及ぶ送泥管ネットワークで集約し、6か所の汚泥処理施設で濃縮・脱水及び焼却処理を行っている。(図1)

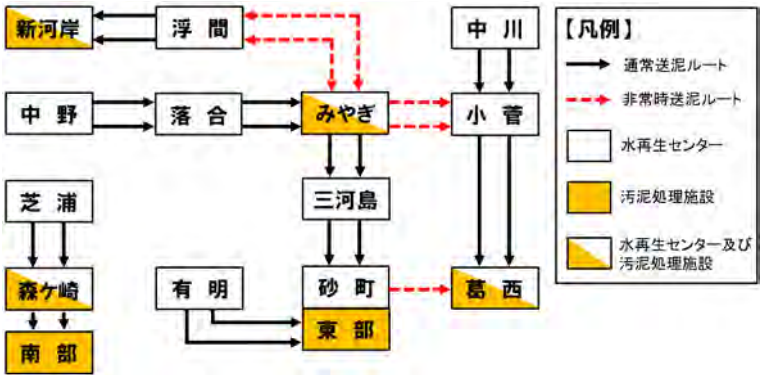


図1 東京都区部の送泥管のネットワーク図

汚泥処理を集約化することにより、スケールメリットを生かした効率的な汚泥処理を行い、人件費、光熱費等の維持管理コストを軽減することができる。その反面、災害による致命的な設備故障や送泥管損傷によって、汚泥処理施設への送泥が困難となった場合、送泥先を失った水再生センターでは、一沈汚泥及び余剰汚泥を処理することができず、沈殿池等に汚泥を貯留せざるを得ない。その結果、貯留した汚泥が放流水質悪化等の影響を及ぼす危険性がある。

実際、東京都区部では、2011年3月11日の東日本大震災時、汚泥処理施設の一つである東部スラッジプラント(以下、東部SP)にて、隣接する砂町水再生センター(以下、砂町C)の水処理設備の故障により汚泥焼却炉で使用する処理水の供給が受けられなくなり、全ての汚泥焼却炉が使用不可となった。その結果、東部SP全体の汚泥処理機能が停止し、送泥先を失った上流の水再生センターではセンター内に汚泥を貯留せざるを得ず、水処理に悪影響を及ぼした。(詳細は4(2)を参照)

このように、突発的な汚泥処理機能の低下に伴う下水処理全体の機能低下を回避するためには、非常時においても下水処理機能を維持する体制の確立が必要となる。そのうち、

汚泥処理機能について、下水道局では送泥ネットワークを活用し、他の処理可能な汚泥処理施設に送泥し処理するなどのバックアップ体制をつくることで、危機管理対応の強化を図っている。

2　危機管理対策について

下水道局では、東京都区部において、東日本大震災や送泥管のこれまでの異常時対応の経験を踏まえ、ハード・ソフト両面について、以下のような汚泥処理の危機管理対策を進めている。

(1)　ハード対策

a．送泥管、汚泥処理施設の耐震化

これまで敷設した送泥管の一部では、耐用年数（50年）を超えており、老朽化が進行している。そのため下水道局では、老朽化した送泥管を再構築し、信頼性の向上に取り組んでいる。再構築の際、これまで地中に直接埋設していた送泥管を、新たにシールド工法等により築造した管廊内に露出配管し、点検・作業空間を設けることで、維持管理性の向上を図る。なお、既に耐用年数を超過している送泥管や、直接埋設箇所が多く日常点検が困難である区間を優先して、再構築を進めている。

また、汚泥処理施設の耐震対策にも取り組んでいる。特に可燃性ガスを取り扱う汚泥焼却炉では、損傷を受けると二次災害を引き起こす危険性がある。可燃性ガスが漏えいしないよう、設備機器類の転倒防止の対策を行い、十分な耐震性能を備える必要がある。さらに、汚泥焼却炉に地震計を設置し、汚泥焼却炉本体と地震計を連動させ、大きな地震が発生した際には、汚泥焼却炉が非常停止できるよう対策を講じている。

b．送泥管の二重化

基本的には全ての送泥管の二重化の構築を進めている。使用中の送泥管が損傷した時には、もう一条の送泥管に切り替えることで、送泥を継続できるようにする。

c．送泥管ネットワークの構築

各汚泥処理施設へ汚泥が転送できるように、送泥管や送泥ポンプ、汚泥貯留槽の整備を進めている。設備の致命的な故障や送泥管損傷時には、送泥ルートや送泥方向を切り替えて、他の汚泥処理施設へ送泥し、処理を行う。また、ネットワーク構築の一環として下記取組を行っている。

(a)．相互送泥設備の構築（図2）

通常異なる汚泥処理施設に送泥している水再生センター同士で相互送泥ができるように、図1のみやぎC－小菅C間及び東部SP－葛西C間で設備の整備を進めている。相互送泥が可能となることで、水再生センターと汚泥処理施設間の送泥可能なルートが増え、設備の致命的な故障や送泥管損傷時に際し、より柔軟な対応が可能となる。従来、片方向の送泥管の整備を行っていたが、一方の水再生センターの送泥ポンプの吐出配管に新規配管を分岐させ、もう一方の水再生センターからの受泥配管に接続することで、既設の送泥ポンプを使用した相互送泥が可能となる。

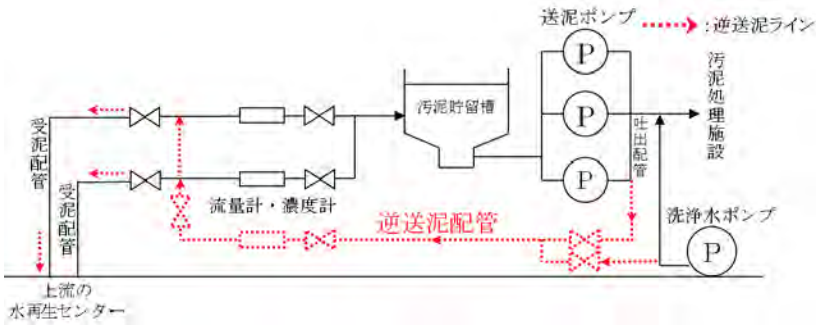


図 2　送泥設備フロー図

(b). 汚泥処理キーステーションの整備

内陸部に位置し、送泥ルートの中継地点となるみやぎ水再生センター（以下、みやぎ C）を、水再生センター間の送泥量を調整し、平常時の効率的な運転及び非常時のバックアップ機能を担うための汚泥処理キーステーションとして整備する。

(2)　ソフト対策

a. 送泥要綱の作成

施設間送泥時の運転連絡に関する基本的事項など、送泥施設や送泥管の故障に伴って緊急に送泥を停止又は開始する必要が生じた場合の対応に関する運用要綱を作成した。

b. 訓練等による危機管理対応能力の向上

送泥要綱に基づき、定期的に送泥管の系統切替えや危機管理対応訓練を行っている。また、定期的に試験送水も行っており、水再生センター内の送泥ポンプや弁の動作確認、上流・下流の水再生センターでの流量確認、送泥管の漏えいの有無の確認を行っている。

これらの取組を行うことで、職員の運転習熟や危機管理対応能力を向上させ、非常時の迅速な対応が可能となる。

c. 汚泥処理に関する運転情報の集中管理体制の構築

現在、送泥側・受泥側の施設だけでなく、送泥管通過地域を管轄する部署など、多数の部署間で送泥に関する相互連絡体制をとっており、送泥管や送泥ルートの切替時の連絡調整に多大な時間を要している。

既に、送泥量及び送泥圧力については、局内全体で既存の情報システムを用いた情報の管理を行っているが、これらを充実させ、前述した汚泥処理キーステーションにて、各汚泥処理施設に関する情報の集中管理体制を構築することで、各所での運転切替の迅速化や送泥施設に関する異常箇所の早期発見を図り、危機管理を強化する。

3　危機管理対応の手法とその取組について

送泥管損傷等の非常時における水再生センターの対応手順及び年 1 回実施している危機管理対応訓練の内容を紹介する。

(1)　送泥管損傷等の非常時における水再生センターの対応手順

送泥管の損傷による送泥不能時や、汚泥処理施設の設備故障に伴う処理能力低下時には、以下の対応を行う。

a. 損傷した送泥ルートが既に二重化されている場合

上流の水再生センターにて、予備管に切り替える。

b. 損傷した送泥ルートが使用できない場合

(送泥管が二重化されていない、または工事で一条が使用不可である場合)

(a) 上流の水再生センター汚泥発生量の抑制

送泥できないため、水再生センター内で汚泥を一時的に貯留する。貯留方法としては、①汚泥貯留槽への貯留、②第一沈殿池、第二沈殿池からの汚泥引抜停止による水処理施設への汚泥貯留、③雨天時貯留池への汚泥貯留等が挙げられる。下水道局では、予め各水再生センターの汚泥の貯留が可能な場所や貯留日数を算定しており、その中で貯留場所の優先順位をつけている。実際に送泥を停止せざるを得なくなった場合には、その順位に基づき汚泥貯留を行う。

(b) 送泥ルートの切替

汚泥貯留が長引き、放流水質への影響が予測される場合、他の汚泥処理施設の処理状況の確認後、送泥ルートを切り替え、通常時とは異なる汚泥処理施設へ送泥する。切替後、送泥管の点検を実施し漏泥等の異常がないことを確認する。

(c) 他の汚泥処理施設での処理量の増加

送泥ルートの切替後、他の汚泥処理施設では通常時よりも多い汚泥量に対応した汚泥処理を行う。なお、必要に応じて汚泥焼却炉の追加立ち上げ等を行う。

(d) 場外搬出処分

受け入れ可能な汚泥処理施設での処理能力を超える汚泥は、脱水汚泥の状態まで減量した上で有蓋車に乗せ、消臭剤散布後、受け入れ可能な汚泥処理施設へ運搬する。運搬後、脱水汚泥受入ホッパー等に投入し、焼却する。

(e) 脱水汚泥の埋立地での緊急処分

受け入れ可能な汚泥処理施設での処理能力を超える汚泥は、脱水汚泥の状態まで減量した上で、汚泥の緊急処分が可能な埋立処分場に運搬し、汚泥の埋立を行う。ただし、(d)と同様、運搬前に消臭剤を散布し、臭気対策を行う。

c. 送泥ルートは使用可能だが、送泥先の汚泥処理施設の能力が低下している場合

(a) 上流の水再生センター汚泥発生量の抑制

下流の水再生センターへの負荷抑制として、送泥量を減らす。このため、b.発生時と同様に一時的に貯留を行う。

以降、b.発生時と同様、(b)～(e)を実施する。

(2) 危機管理対応訓練

下水道局では、運転技術や危機管理意識の向上等を目的として、年1回送泥管損傷等を想定した危機管理対応訓練を実施している。

訓練では、水再生センターと区部全体の汚泥処理状況を管理する部署（以下、施設管理

課）が参加し、水再生センターでの送泥量調整、送泥ルートまたは送泥方向の切替検討から実施までの対応手順及び連絡体制の確認を行う。また、送泥管の維持管理を行う部署（以下、管路維持管理部署）も参加し、事故現場での応急復旧作業の内容確認、送泥ルート切替時の送泥管の点検内容の確認及び連絡体制の確認を行う。なお、実際の送泥対応は短時間で完了できるものではないが、訓練時間の制約上、特に訓練を要する場面を抽出して実施している。（図 3）

図 3 平成 27 年度 危機管理対応訓練の様子

訓練を通して、以下の a.～d.を確認し、関連部署と情報を共有することで、非常時に迅速な対応ができるよう準備を行う。

a. 送泥停止及び系統切替、送泥再開に伴う作業手順及び連絡体制等
b. 管路維持管理部署や下水道メンテナンス協同組合の応急資材・機材の保有状況
c. 応急復旧作業に係る弁類等の操作、点検手順及び役割分担
d. 送泥先異常時の上流の水再生センターの対応手順

4 送泥ネットワークを活用した危機管理対応の実例

(1) 地震による汚泥処理機能低下時の対応事例

平成 22 年度の東日本大震災の時、汚泥処理施設の一部で一定期間汚泥処理ができなくなった際の対応事例を紹介する。（図 1 参照）

a. 被害状況

東京都湾岸部にある東部 SP では、6 か所の水再生センター（中野、落合、三河島、みやぎ、砂町、有明）の汚泥を集約・処理を行っている。東部 SP の焼却設備では、隣接する砂町 C の処理水を使用しているが、地震によって東部 SP へ処理水を送水している系統の沈殿池の汚泥掻き寄せ機の脱輪、損傷が発生し、水処理機能が一部停止した結果、処理水の供給が不可能となった。その結果、汚泥焼却炉が稼働できなくなり、受泥している 6 か所の水再生センターの汚泥の処理ができなくなった。

一方、東部 SP 内においても、地震により汚泥焼却炉の排ガスダクトの伸縮継手に亀裂が入った結果、汚泥処理自体の運転にも支障が生じた。（図 4）

b. 対応内容

（発災直後）

故障した設備の製造会社に対し、砂町 C 及び東部 SP の応急復旧を依頼した。

次に、東部 SP の完全復旧に相当期間を要することが予想されたため、使用停止中のみやぎ C の汚泥焼却炉を緊急で立上げ、みやぎ C 内及び上流の水再生センター

の汚泥を焼却し始めた。

また、送泥先を失った三河島Cでは、発生汚泥をセンター内に貯留し、砂町Cでは、継続可能な水処理系統で発生した汚泥を、東部 SP 内の貯留槽に送泥・貯留した。

図4　破損した排ガスダクト伸縮継手

（発災7日後）

砂町 C の水処理機能の一部が回復し、東部 SP への処理水の送水が可能となったので、三河島 C から東部 SP への送泥を再開した。（ただし送泥量の制限あり）

（発災 13 日後）

元々みやぎ C の汚泥処理能力を超えた処理を行っていたが、発災後初めての降雨により汚泥量が増加し、汚泥貯留槽や第一沈殿池、第二沈殿池での汚泥貯留が限界に近づいたため、施設管理課は送泥ルートの変更を決定した。

（変更前：みやぎ→三河島→東部 SP、変更後：みやぎ→小菅→葛西）

送泥ルートの切替により、送泥ネットワーク全体で汚泥処理能力を確保した。

（発災 40 日後）

東部 SP での受泥体制が復旧したため、送泥ルートを通常ルートに切り替え、みやぎ C から東部 SP への送泥を再開した。また、送泥量を制限していた三河島 C では送泥量を元に戻した。

東日本大震災の際には、設備の製造会社等の支援により処理能力の早期回復に努めることができた。しかし、地震が下水処理へ及ぼす影響は非常に大きく、発災前の送泥状況に戻るまでに多大な時間を要した。

特に、三河島 C では長期間の送泥停止を強いられたが、汚泥貯留槽を活用し、一旦貯留槽に汚泥を送り、貯留槽からオーバーフローした汚泥を流入幹線に返水することで汚泥循環を行い、送泥を抑制し続けることで機能の確保に努めた。結果的には、三河島 C では水処理系統が複数あり、水質が悪化した系統の余剰汚泥を、水質が比較的悪化していない系統に転送することで、水再生センター全体として、放流水基準を遵守することができた。このような悪条件下においても、水質の悪化を抑制できたのは、水再生センターの職員全員が一丸となって柔軟かつ細目な運転管理を実施した事に依るところが大きい。本事例により、地震に対する危機管理対応の強化が必要であることを再認識させられた。

また、今回東部 SP の焼却設備が停止した要因として、焼却設備への処理水の供給が一系統だったことが挙げられる。そのため、当局では震災以降速やかに処理水送水系統の

二重化を実施した。

(2) 予備管使用不可時の送泥管損傷事故への対応事例

次に、平成 25 年度に発生した、水再生センター間の送泥管損傷事故時の対応事例を紹介する。

a. 被害状況

三河島Cと東部SP間に敷設された二条の送泥管のうち、一条が工事による停止期間中に、もう一方の使用中の送泥管のエア抜き弁が破損し、漏えい事故が発生した。(図 5)

b. 対応内容

(事故発生直後)

平成 24 年度に策定した送泥要綱に基づき、ただちに三河島 C から東部 SP への送泥を停止した。

また、工事中の送泥管の復旧作業と並行して、送泥ルートを予備ルートに切り替え、送泥量を調整しながら、中野 C、落合 C、みやぎ C の汚泥を一時的に葛西 C で処理することを決定した。(変更前:みやぎ→三河島→東プラ、変更後:みやぎ→小菅→葛西)

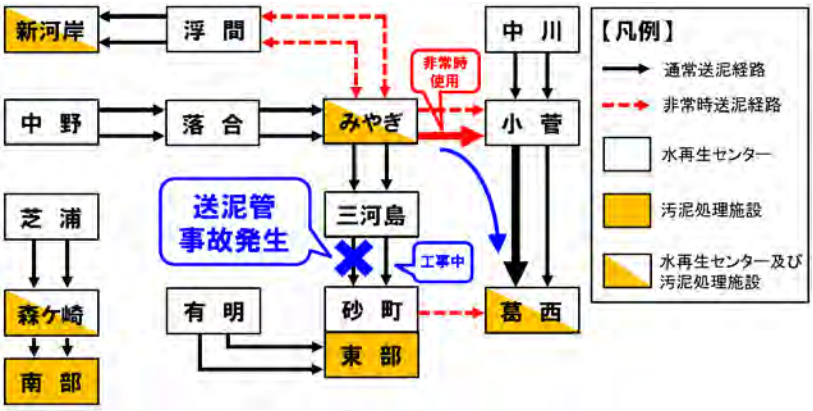


図 5 東京都区部の送泥管のネットワーク図(事故発生時)

(事故発生翌日)

送泥管の損傷状況の確認後、工事中の送泥管の緊急復旧を開始した。復旧作業中は、みやぎ C と三河島 C 間の送泥を停止し、停止後には管内の汚泥腐敗を防ぐことを目的としたフラッシング送水を行った。その後、みやぎ C と小菅 C 間の事前送水を開始し、管路維持管理部署では送泥管ルートの点検を実施。エア漏れや漏水が無いことを確認した後、みやぎ C から小菅 C への送泥を開始した。(ただし、中野 C 及び落合 C から小菅 C への送泥量及び中川 C から小菅 C への送泥量を通常の 8 割程度とした)また、工事中の送泥管の緊急復旧も完了した。

(事故発生翌々日)

三河島 C から東部 SP への事前送水を実施。管路維持管理部署が送泥ルートの点検を実施し、送泥管に異常が無いことを確認した後、送泥を再開した。

(事故発生 1 週間後)

破損したエア抜き弁の修理を実施。修理完了後、通常ルートに切り替え、管路維持管理部署にて送泥管に異常が無いことを確認し、復旧が完了した。

このように、送泥要綱に基づき、迅速に連絡や調整等を行い、予備ルートへ切り替える

ことで、事故発生の翌日には、上流の水再生センターの汚泥処理を再開することができた。

水再生センター間の送泥が困難になった場合、汚泥循環が発生し、沈殿池に汚泥が溜まり、浮上した汚泥の影響で放流水質は悪化し、放流基準超過の危険性がある。特に区部において、送泥管に関する損傷事故は年2回程度起きている。しかし、2で述べた対策を進め、日頃から危機管理対応訓練を行うことで、今回の事例のように関係各所が連携して迅速にバックアップ対応を行うことができ、上流の水再生センターへの影響を最低限に抑えることが可能となる。

5 まとめ

ネットワーク構築の推進や職員の危機管理能力の向上により、東京都下水道局では不測の事態にも迅速に対応し、安定的に下水を処理する機能を確保できている。

ただし、前述したハード対策について、一部の区間では相互送泥設備の整備や送泥管の再構築など、現在対策完了に向けて進行中である。今後も、送泥機能の確保に向けて全体的な送泥ネットワーク化を進め、さらなる危機管理対策の強化を図っていく。また、ソフト対策については、今後も非常時の対応を分析し、ノウハウを蓄積することで、訓練や送泥要綱を改善し、危機管理能力の更なる向上を図っていく。

ハード対策及びソフト対策を充実化させることで、汚泥処理の信頼性を向上させ、将来にわたって安定的に汚泥を処理する機能を確保していく。

4-1-3 A New Operation and Maintenance Approach of Wastewater Treatment Plants to Achieve both Improvement of Effluent and Reduction of Electricity Consumption

T. Hashiya*, Y. Toyoshima, K. Umeda, T. Sato, Y. Yoda

1. ABSTRACT

Since approximately 1% of electric power consumption of the Tokyo metropolitan area attributed to the sewage treatment by the Bureau of Sewerage, the Tokyo Metropolitan Government has been putting its efforts into reducing the electricity consumption to reduce GHGs. However, an excessive reduction of electricity consumption could lead to the deterioration of the water quality. Thus, the Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan government (the Bureau) has introduced the "the Two Axis Management Method" as a tool to achieve both improvement of the effluent and reduction of the electricity consumption.

In "the Two Axis Management Method" graphs, T-N concentration of treated water and the aeration electricity consumption rate per m^3 of water treated (AECR), (which are in trade-off relationships), are chosen to represent the effluent quality and the electricity, respectively. The graphs visualize the effects of the current operation measures and the problem of each wastewater treatment plants (WWTPs). The Bureau has used the evaluation to repeatedly implement the PDCA cycle in spirals of improving measures of operations and equipment upgrades in WWTPs.

As a result, the overall average of T-N concentration and AECR in the fiscal year 2016 decreased compared to those of 2011, when the method was started.

Keywords: wastewater treatment plants, operation and maintenance, total nitrogen concentration, electricity consumption

2. INTRODUCTION

Nitrogen is one of the prime causes of eutrophication, so it is imperative to reduce total nitrogen (T-N) concentration in effluent from wastewater treatment plants (WWTPs). Nitrification of ammonia, which is a preceding step of biological denitrification, requires a certain amount of aeration. WWTPs have consumed huge electricity through operating blowers. The Bureau of Sewerage (the Bureau), which accounts for 1 % of the total electricity consumption in the Tokyo metropolitan area (approximately 810 million kW/year), has implemented countermeasures to save electricity; "Earth plan-2017" was drawn up to reduce the GHG emission, "Smart plan-2014" was drawn up to reduce energy consumption and expand the utilization of renewable energy, such as wastewater heat or sludge gasification, and "Management Plan 2016" was drawn up to formulate the scheme to enhance service quality.

In particular, aeration electricity consumption makes up the majority of total electricity consumption, needed to be reduced. However, it's generally difficult to reduce both electricity consumption T-N concentration of effluent simultaneously. An excessive reduction of electricity at WWTPs would cause an increase in T-N concentration of effluent and vice versa. In order to

balance the water quality with the electricity consumption, the Bureau introduced a new management method named “the Two Axis Management Method”. In this report, we will explain the detail of the new method, as well as its effects 5 years after its introduction.

3. METHODS

3.1. Overview of the “the Two Axis Management Method”

In “the Two Axis Management Method”, two-dimensional graphs are made to visualize the changes of the quality of treated water and electricity consumption as illustrated in Figure 1. From the graphs, the results of how the equipment is operated or upgraded are able to be evaluated. The vertical axis represents the T-N concentration of treated water and the horizontal axis represents the aeration electricity consumption rate per m^3 of water treated (AECR). The two factors are chosen to represent treated water quality and electricity consumption of the WWTPs, respectively.

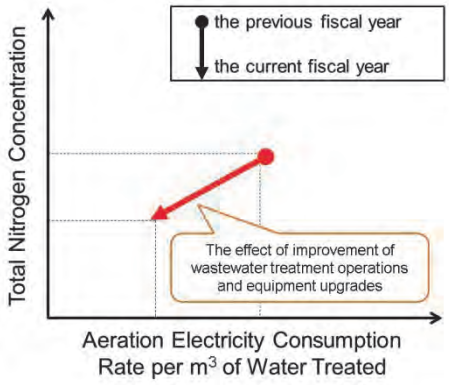


Figure 1 The overview of ”the Two Axis Management Method” graph.

Vectors that represent changes in T-N and AECR are drawn by plotting the results of the previous fiscal year as the starting points and those of the current year as the end points. The vector lengths represent the degrees of the changes. If the vectors point towards the lower left, it describes that the WWTP achieved both an improvement of treated water quality and a reduction of AECR. WWTPs have made efforts to get their vectors towards the lower left by improving wastewater treatment operations and upgrading equipment.

3.2. Operation and evaluation of “the Two Axis Management Method”

To maximize the effects of the improvements of wastewater treatment operation and equipment upgrades, the Bureau has set targets for each WWTP every year.

When setting targets, the three values of each WWTP are calculated first; (1) the result of the previous fiscal year, (2) the target of the previous fiscal year, and (3) the provisional target of the next fiscal year. Then each WWTP’s target is chosen from the lowest (hardest) value of them all. The provisional target (3) is calculated from estimated effects of upgrading equipment, improvements of wastewater treatment operation, or unfavourable influences on water treatment due to the suspension of equipment operations. Under this rule, the target gets lower and lower as years go by, motivating us to improve our operational skills and knowledge of WWTPs.

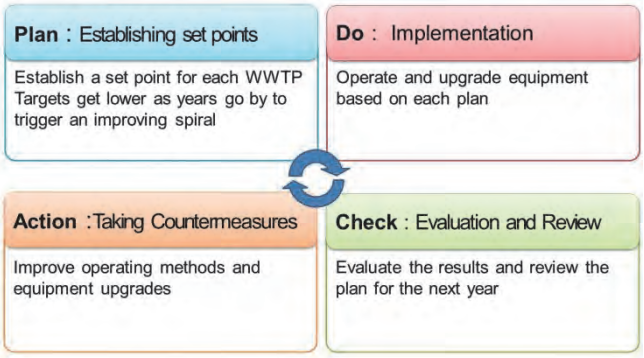


Figure 2 The PDCA cycle for improvements of wastewater treatment operations and equipment upgrades.

In addition, the Bureau has implemented the PDCA cycle repeatedly using “the Two Axis Management Method” to improve wastewater treatment operation and to upgrade equipment in WWTPs. Figure 2 illustrates the image of PDCA. Each WWTP makes efforts toward its target value. The results are evaluated in comparison to their target value. Several factors, such as weather conditions, seasonal fluctuation, suspension of equipment operations, are considered in each WWTP. The plan of improvements for wastewater treatment operations and equipment upgrades and are reviewed on a regular basis using these evaluations.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Overview of the results

Figure 3 shows “the Two Axis Management Method” applied to the 13 WWTPs in Tokyo ward area in the fiscal year 2016 compared to the average of the previous 5 years (2011～2015). Overall average of the T-N concentration and AECR in the fiscal year 2016 decreased by 0.6 mg/L (5.6%) and 0.008 kWh/m^3 (3.3%), respectively.

Figure 4 shows the average of each fiscal year. The averages are generally decreasing year by year, though there are ups and downs. The T-N concentration and AECR in the fiscal year 2016 decreased by 1.1 mg/L (9.1%) and 0.01 kWhr/m^3 (5.2%) respectively, compared to those of 2011, when “the Two Axis Management Method” was started. These results suggest that the Bureau has steadily stacked the skills and knowledge to operate WWTPs efficiently. Here we explain examples of some WWTP's shown in figure 3, which was able to reduce T-N concentration and AECR by making various efforts.

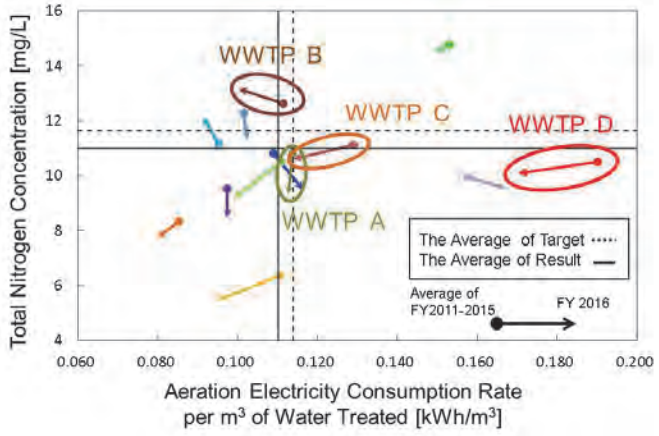


Figure 3 The graph of all WWTPs in FY 2016 in comparison to the average of FY2011-2015.

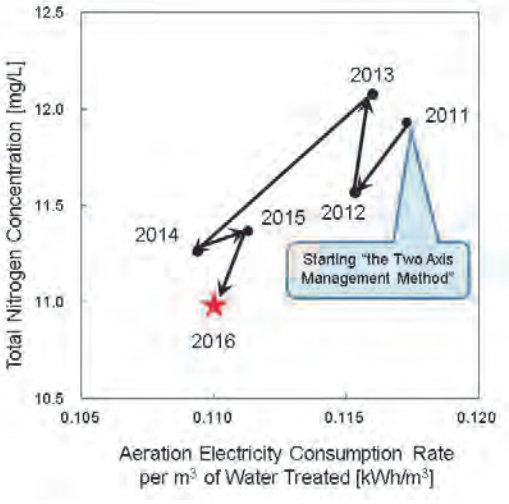


Figure 4 The overall average of each fiscal year.

4.2. Examples of the efforts in operation managements

Some water treatment plants reduced T-N concentration and AECR by changing how to operate their equipment.

Figure 5 shows an innovative aeration system in the reaction tanks at WWTP A. Deep reaction tanks have the higher denitrification efficiency than shallow ones. Deep reaction tanks have diffusers on one side midway into the tanks, which create rotational flows and anaerobic-like areas below them, promoting denitrification. However shallow reaction tanks have diffusers at the bottom of the tanks, which make them difficult to create anaerobic-like area.

To promote nitrification, the WWTP took a new approach to create anaerobic-like areas even in shallow tanks. In some parts of the reaction tanks, aeration was reduced almost to the limit which activated sludge is stirred. It creates anaerobic-like areas, which allows nitrate nitrogen produced in the former area to be reduced to nitrogen and removed from the tanks.

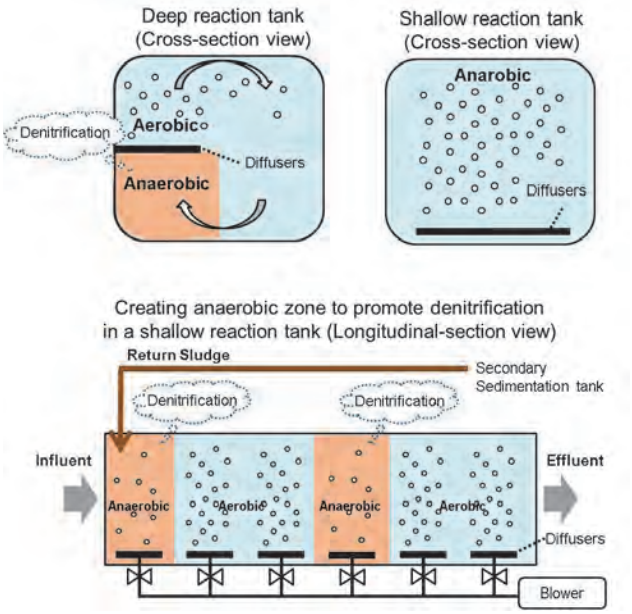


Figure 5 Sectional views of deep and shallow reaction tanks and an image of the new aeration system in a shallow reaction tank.

Consequently, the approach enabled the WWTP to reduce T-N concentration without additional electricity consumption or reconstruction of the reaction tanks. T-N concentration in the fiscal year 2016 decreased by 1.0 mg/L (9.7%) compared to that of 2015, when before this approach was implemented. AECR of the fiscal year 2016 was approximately same as that of 2015.

Since this method was effective, we have applied this approach to the other WWTPs to achieve the reduction of T-N concentration without increasing electricity consumption there.

Figure 6 shows a unique activated sludge transferring system at WWTP B. The WWTP has some series of reaction tanks. The activated sludge in the series A and B have sufficient nitrification activities and the activated sludge in the series C and D do not. The latter cannot sufficiently oxidize nitrites into nitrates. To promote nitrification in that series, aeration had to be increased, thus consumed excess electricity.

In other to overcome that

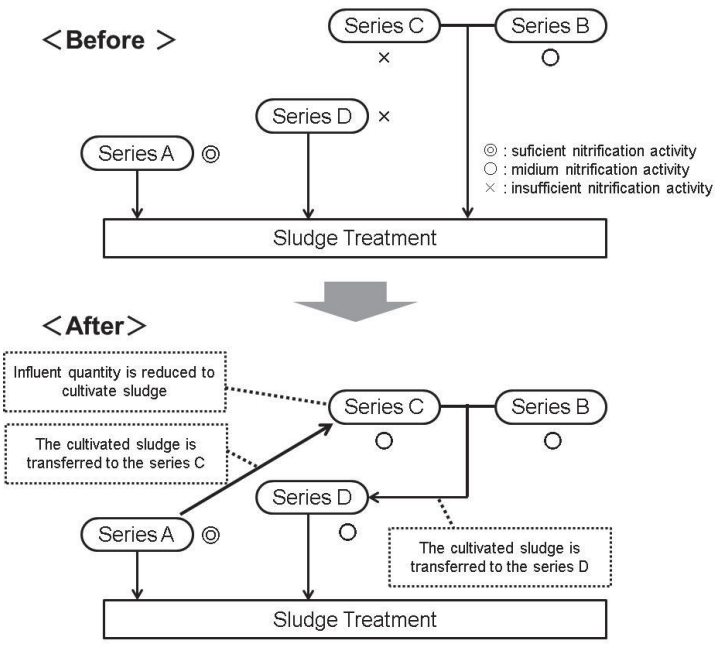


Figure 6 The scheme of the new sludge transferring system.

insufficiency, the activated sludge with sufficient nitrifying bacteria is cultivated and transferred to the other series of tanks. First, the excess sludge in the tanks of the series A is transferred to the tanks of the series C. Then, nitrifying bacteria in the sludge is cultivated there to increase in amount. The influent quantity into the series C is reduced to increase aerobic sludge retention time and raise cultivated efficiency. Finally, the cultivated sludge in the series C is continuously transferred into the series D with the sludge of the series B. The new system has resulted in preserving stable nitrification activity in the all series.

Though this WWTP could not keep this approach due to equipment reconstructions and increased T-N concentration in the latter half of the fiscal year, T-N concentration and AECR in the first half of the fiscal year 2016 decreased by 0.3 mg/L (2.5%) and 0.002 kWh/m^3 (2.1%), respectively in comparison to that of the fiscal year 2015.

4.3. Examples of the efforts in equipment upgrades

The other water treatment plants reduced T-N concentration and AECR by introducing or reconstructing the equipment.

Figure 7 shows the effect of introducing a new sludge treatment equipment at WWTP C. Before introducing the new equipment, its primary sludge and excess sludge are thickened by gravity thickeners after they are mixed. The excess sludge contains less large particles and fibres than the primary sludge, having less specific weights and difficult to thicken. The gravity thickeners were not capable of thickening the mixed sludge enough, which is more difficult to be precipitated than the primary sludge. Insufficient sludge thickening deteriorated the efficiency of the following sludge treatment process. It also increased BOD in the thickener effluent, consuming excess electricity to treat it. The concentration of MLSS in the reaction tanks had to be kept at a low level because the excess sludge was reduced to preserve the thickening efficiency. Thus, T-N concentration was difficult to reduce.

In order to improve thickening efficiency, the WWTP introduced a belt-type thickening machines in the fiscal year 2015, which have high thickening performance even for the excess sludge. Then, the primary sludge and excess sludge are thickened separately. The existing gravity thickeners are for the former and the belt-type thickening machines are for the latter.

Consequently, the separated treating enabled both types of sludge to be thickened sufficiently; drastically decreased SS in the sludge return water. Its T-N concentration and

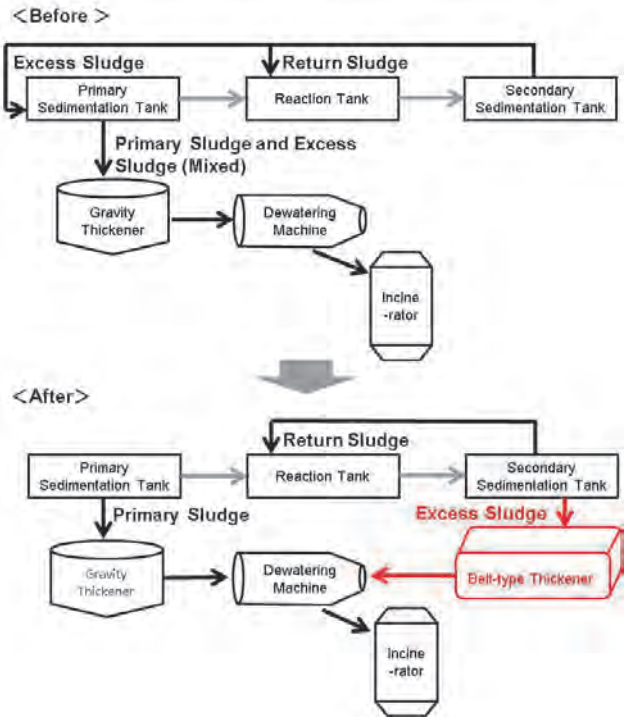


Figure 7 The sludge treatment flow before and after introducing belt-type thickeners.

AECR in the first half of the year 2016 decreased by 0.3 mg/L (2.8%) and 0.009 kWh/m^3 (7.3%) respectively, compared to that of 2015.

Second, we will show another example of the effect of introducing the new equipment. WWTP D introduced a couple of new reaction tanks as replacements for the previous one, which were built about 20 years ago. It expanded the sewerage treatment capacity and enabled the WWTP to make more improvements in operations. Also, it has renovated equipment, such as high-efficient blowers and micro bubble diffusers, which can treat sewage more efficiently. Its T-N concentration and AECR in the fiscal year 2015, when the WWTP introduced new reaction tanks, decreased by 0.9 mg/L (8.4%) and 0.03 kWh/m^3 (15%) respectively compared to that of the fiscal year 2014.

4.4. Comparison between WWTPs

In addition, to evaluate results from directions and lengths of the vectors, the characteristics of each WWTP from their position in the graph of all WWTPs. “The two Axis Management” graph has four areas with the average of the all WWTPs at the center.

Figure 8 illustrates the characteristic of these areas. Each WWTP is located in one of the areas depending on various factors, such as quantity and quality of the influent, or capacity of equipment. The located area clarifies the priority for replacement of equipment. For example, the WWTP, whose result of T-N concentration and AECR both being above the average, is considered to high priority for equipment replacement, like the example of equipment in WWTP D as described above.

Therefore, the graph of all WWTPs illustrates features and problems of WWTPs, and then enables us to review the plan to upgrade equipment.

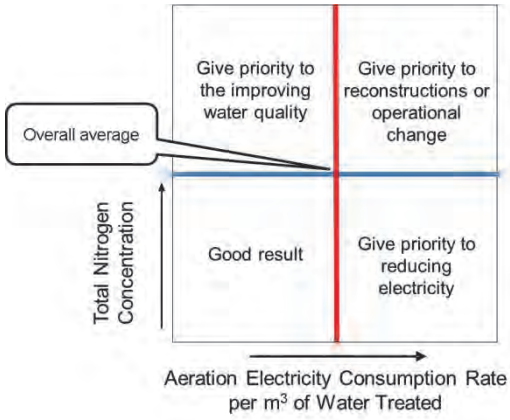


Figure 8“The two Axis Management” graph is divided into four areas.

5. CONCLUSION

“The Two Axis Management Method” makes it possible to grasp the effects of improvements of wastewater treatment operation and equipment upgrades clearly by illustrating the change of the total nitrogen concentration and the AECR by the vectors.

In addition, we set the target value for each WWTP, which is then compared with the annual result. It motivates us to make further effort to improve effluent and to reduce electricity consumption.

We will continuously develop “the Two Axis Management Method” in order to conserve the water in our environment and strive towards a low carbon city.

4-1-3　水質改善と電力削減を両立するための

下水処理施設における新たな維持管理手法について

施設管理部　環境管理課　橋谷　珠世
豊嶋　喜貴
梅田　賢一
（現 西部第一下水道事務所 お客さまサービス課）
代田　吉岳
（現　東部第一下水道事務所　砂町水再生センター）
施設管理部　施設管理課　佐藤　崇仁
（現　建設部　設備設計課）

1.　概要

東京都の下水処理にかかる使用電力量は都内の全使用電力の約 1%を占めているため、当局では電力使用量並びに温室効果ガス削減を進めてきた。しかしながら、電力削減を過度に進めると放流水質が悪化する恐れがある。そのため当局では、水質改善と電力使用量削減を両立するための管理ツールとして二軸管理手法を導入した。

二軸管理図では、トレードオフの関係にある放流水の全窒素濃度と送風電力量原単位を指標として選択した。この図により水再生センター（以下、センター）の運転管理の工夫や設備更新の効果、並びに課題を視覚化することができる。加えて当局では水質改善と省エネルギーの両立に向けた取組を継続的に行うために､二軸管理手法を用いて PDCA サイクルを実行している。

結果として二軸管理手法導入前と比較し、全センターの平均値として、全窒素及び送風電力量原単位を削減することができた。

キーワード：　水再生センター、維持管理、全窒素濃度、電力使用量

2.　はじめに

窒素は閉鎖性公共用水域の富栄養化要因の一つであるため、センターからの放流水中の全窒素濃度を低減していく必要がある。生物学的窒素除去を行うためには、下水中のアンモニアを硝化する必要があり、このプロセスには大量の送風を必要とする。センターでは送風機を運転するために大量の電力を使用している。当局では、都内の年間電力使用の約 1%（約 8.1 億 Wh/年）にあたる電力を使用しているため、これまでも電力使用量の削減対策を進めてきた。温室効果ガス削減計画である「アースプラン 2017」や、省エネルギー・再生可能エネルギー利用拡大計画である「スマートプラン 2014」､5 か年の事業計画「経営計画 2016」を策定し、良好な水環境と環境負荷の少ない都市の実現を目指してきた。

センターの電力使用量の中では特に送風機電力量が大半を占めており、削減が求められている。しかしながら、一般的に水質改善と電力使用量はトレードオフの関係にある。放

流水の全窒素濃度を削減しようとすると、硝化のために送風量を増やすことになり、逆に電力削減を過度に進めると、放流水質が悪化する恐れがある。

そのため、当局では水質改善と省エネを両立するための管理ツールとして二軸管理手法を導入した。本稿では、二軸管理の具体的な取組と導入後５年を経過した本手法の効果を報告する。

3.　方法

3.1. 二軸管理手法の概要

二軸管理手法は、水質と電力使用量の動きを視覚化した図（二軸管理図）を作成することで、運転管理の工夫や設備更新の効果を評価する手法である。

二軸管理図では、図１で示すとおり、センターからの放流水質の代表として放流水中の全窒素濃度（規制項目の一つ）、電力使用量の代表として送風電力量原単位（処理水１立方メートルあたりの送風機使用電力量）の２項目をそれぞれ指標とし、全窒素濃度を縦軸、送風電力量原単位を横軸に取った。

基準年度の実績値を始点、当該年度の実績値を終点とするベクトルを描くことで、全窒素濃度と送風電力量原単位の変化を表す。ベクトルの長さは変化の大きさを示す。水質改善と電力削減の両立ができるとベクトルは左下を向く。各センターはベクトルを左下に向けることを目指し、運転管理の工夫や設備更新の取組を行っている。

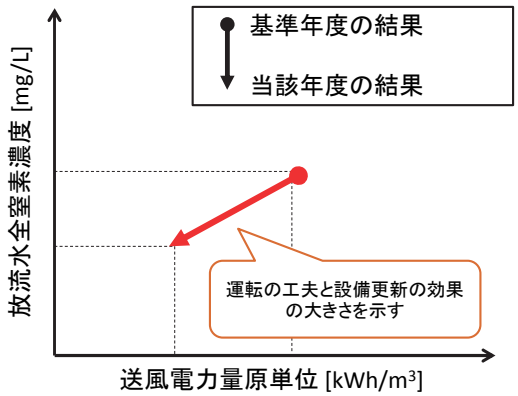


図１　二軸管理手法の概念図

3.2. 二軸管理手法の運用と評価

二軸管理では、センター毎に全窒素濃度と送風電力量原単位に目標値を設定している。目標値設定に当たっては、(1)前年度実績(2)前年度目標値(3)当該年度仮目標値　の中から最も低い値を採用する。(3)当該年度仮目標値は、当該年度に実施する予定の具体的な設備更新や運転の工夫、工事による水処理への影響等を数値化して、(1)前年度実績に足すことで定めている。年度ごとに厳しくなる目標を掲げるルールを採用することにより、職員の持つ技術力や知恵を引き出し出すことに役立てている。

当局では、図２で示す通り、水質改善と省エネの両立に向けた取組を継続的に行うために、二軸管理手法を用いて PDCA サイクルを実行している。センター毎に年度当初に設定した目標値達成に向けて運転管理を行い、その結果を目標値と比較して評価している。各センターのベクトルの長さと方向を基に設備の更新や運転管理の工夫の評価をする際には、気象条件や季節変動、工事による影響を考慮に入れている。これらの評価を受けて、定期的に取組内容を見直している。

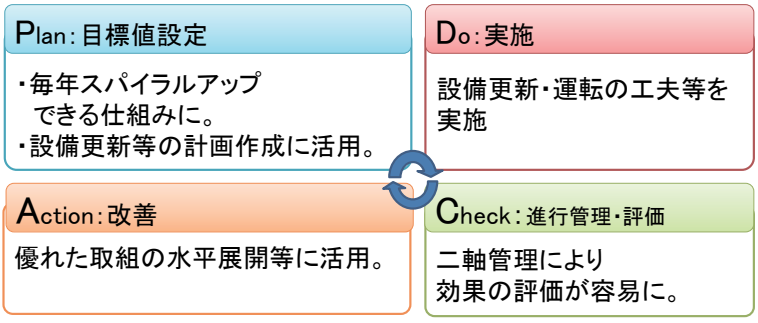


図２　PDCA サイクル

4.　結果と考察

4.1. 平成 28 年度の二軸管理手法の実績

本稿では、東京区部エリアのセンター13 か所を対象とした二軸管理の事例として、2016 年度実績と過去 5 年間(2011 年度～2015 年度)の平均実績の比較について報告する。図 3 に示すとおり、二軸管理手法を用いた結果、2016 年度の全センターの平均値は、過去 5 年間の平均と比較して、全窒素濃度を 0.6 mg/L (5.6%)、送風電力量原単位を 0.008 kWh/m^3 (3.3%)削減することができた。さらに、図 4 では全センターの加重平均を年度ごとに示した。年度ごとに良し悪しはあるが、着実にノウハウを積み重ね、二軸管理を始めた 2011 年度から比較すると 2016 年度は全窒素濃度も送風電力量原単位も大幅に減少し、5 年間で全窒素濃度 1.1mg/L (9.1%)、送風電力量原単位 0.006kwhr/m^3 (5.2%)の削減を達成した。

以下に、図 3 において丸で示した代表的なセンターについて、水質と送風電力量原単位の両立のための取組例を紹介する。

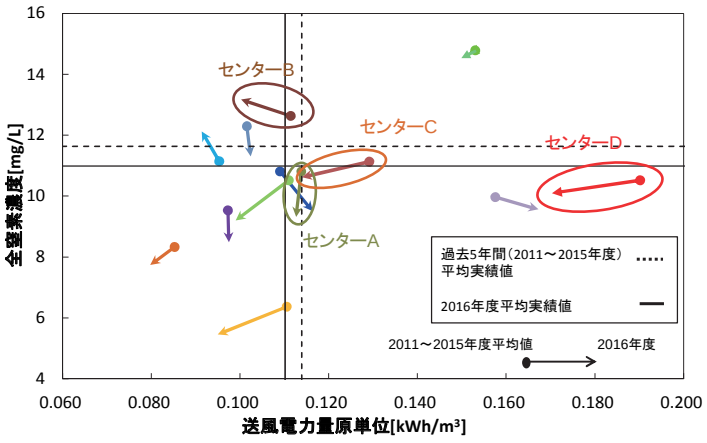


図 3　2016 年度における全センターの二軸管理図

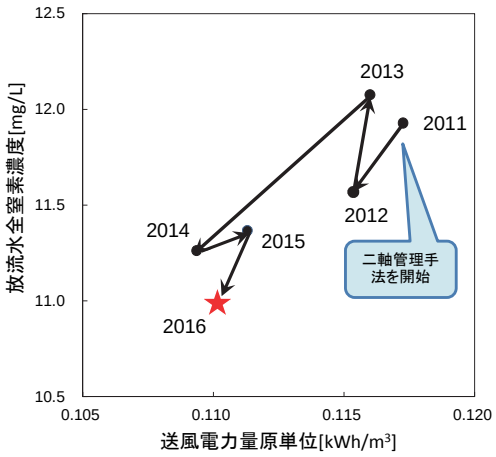


図 4　全センターの平均値推移

4.2. 運転管理の工夫により水質改善と電力削減を実現した事例

いくつかのセンターでは、設備の運転管理の工夫により、放流水全窒素濃度と送風電力量原単位を削減した。

図 5 では、センターA で行った、新たな反応槽の送風方法についての取組を紹介する。深槽反応槽は散気板が槽の中間水深の片側に設置されており、旋回流が発生する。この散気板下部では DO が低い疑似無酸素領域を形成できるため、脱窒を促進させることができる。しかし、水深 5m 以下の浅槽反応槽では散気板が槽の底部に設置されているため、DO が低い領域を形成するこ

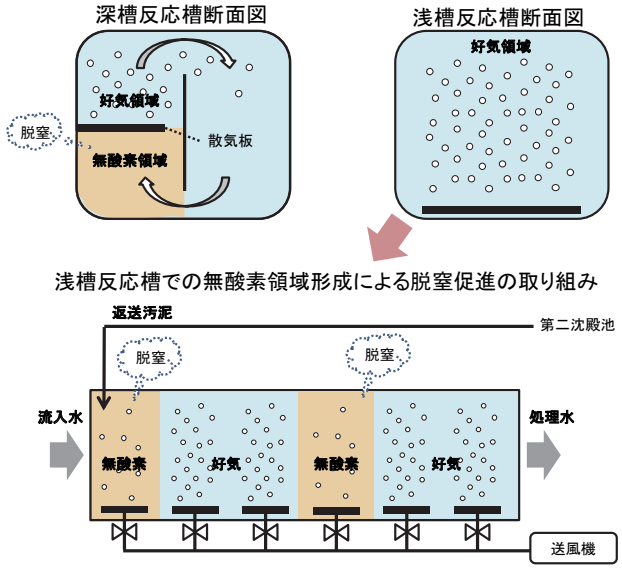


図 5　深槽反応槽と浅槽反応槽の特徴及び浅槽反応槽での脱窒促進取組の概念図

とができず、脱窒を促進することが難しかった。

そこで、センターA では浅槽反応槽でも脱窒を進めるために、好気槽内の一部領域の送風量を、汚泥が沈殿しない程度の量に絞り、無酸素領域を生成することで脱窒を促進する取組を実施した。その結果、設備の更新や送風電力を増加することなく、全窒素濃度を削減した。

その結果、取組を行う前の 2015 年度と比較して、2016 年度は、全窒素濃度は 1.4 mg/L (13%)、送風電力量原単位は 0.006 kWh/m^3 (5.0%)低下した。これらの事例を受けて、当局ではこの方法を他のセンターにも水平展開している。

図 6 では、センターB で行った、画期的な余剰汚泥転送のシステムについて説明する。センターB には複数の系列があり、安定して硝化が進む系列（系列 A・系列 B）と不安定な系列（系列 C・系列 D）がある。不安定な系列では亜硝酸化が発生して放流水質が悪化していた。また、その対応として送風量を増加することで、送風電力量を消費していた。

そこで、2016 年度に硝化能力の高い活性汚泥を増殖させ、必要な系列に転送し、系列 A 以外でも全系列で硝化を進める取組を行った。まず、硝化が特に安定している系列 B の、硝化菌を含む余剰汚泥を種汚泥とし、処理が不安定な系列 C に転送するとともに、系列 C の水量を減らして滞留時間を確保し硝化菌を馴致させた。系列 C の水量を減らす代わりに系列 B の水量を増大させたが、系列 B の水量を増大させて処理に問題が出ないことを事前に確認した上で実施した。次に、系列 C で硝化菌を馴致した余剰汚泥を、系列 B の汚泥とともに系列 D に常時転送した。

この取組の結果、全系列で硝化反応を安定化させることができた。余剰汚泥転送システムを実施した 2016 年度では、工事等により取組を実施できなかった時期があったため、過去 5 年間平均と比較すると全窒素濃度が上昇したが、取組を実施できた 2016 年度上期と 2015 年度上期を比較すると、全窒素濃度が 0.3mg/L (2.1%)、送風電力量原単位は 0.002kWh/m^3 (2.5%)低下した。

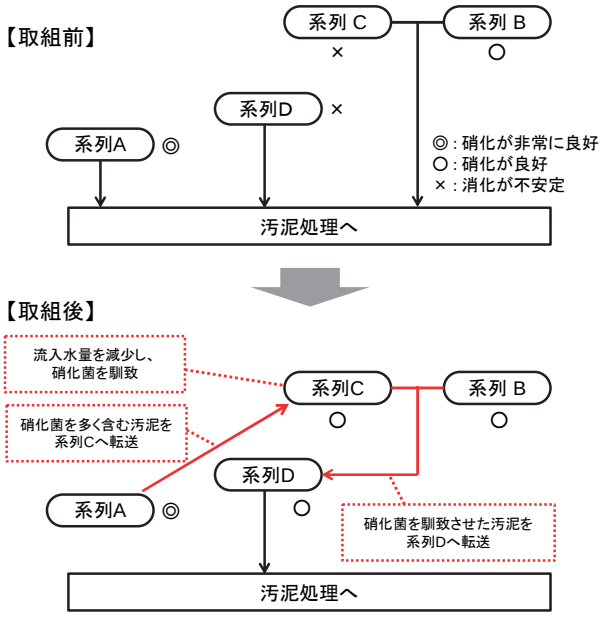


図 6　余剰汚泥転送システムの概要図

4.3. 設備更新により水質改善と電力削減を実現した事例

いくつかのセンターでは、新たな設備の導入や設備更新により、全窒素濃度と送風電力量原単位を削減した。

図 7 では、センターC で、新たに汚泥処理設備を導入した事例を紹介する。センターCの汚泥処理施設では、新設備導入前は生汚泥と余剰汚泥を混合して重力濃縮する方式だった。余剰汚泥は生汚泥と比較して沈降性が悪いため、生汚泥と余剰汚泥を混合すると、後続プロセスの能率が悪かった。また、汚泥処理返流水の BOD が高くなり、それを処理する

ために多量の送風電力を使用する必要があった。さらに、濃縮効率低下を防ぐ目的で、MLSSを低い濃度に保ち余剰汚泥量を減らす必要があったため、全窒素濃度を低下させることは難しかった。

この解消のため、余剰汚泥に対しても効率的に濃縮できる能力を持つベルト濃縮機を2015年度に導入し、余剰汚泥はベルト濃縮、生汚泥は重力濃縮する分離濃縮を開始した。

その結果、いずれの汚泥も効率的に濃縮でき、汚泥処理返流水中のBODが大幅に減少した。その結果、2015年度から2016年度にかけて、全窒素濃度が 0.3 mg/L (2.8%)、送風電力量原単位は 0.009 kWh/ m^3 (7.3%) 低下した。

次に、センターD で新たな反応槽を導入した事例を紹介する。運転開始から約 20 年間稼働してきた旧反応槽を休止し、2015年度3月から新しく2つの反応槽の運用を開始した。このことにより、反応槽の能力が1.5倍に増え、センターの運転管理に工夫の余地が生じた。さらに、再構築に合わせ、高効率の送風機や微細気泡の散気板等、反応槽付帯装置も更新することで、効率の良い運転が可能となった。

その結果、2014年度から2015年度では、全窒素濃度が 0.9mg/L、送風電力量原単位は 0.03kWh/m^3 低下した。

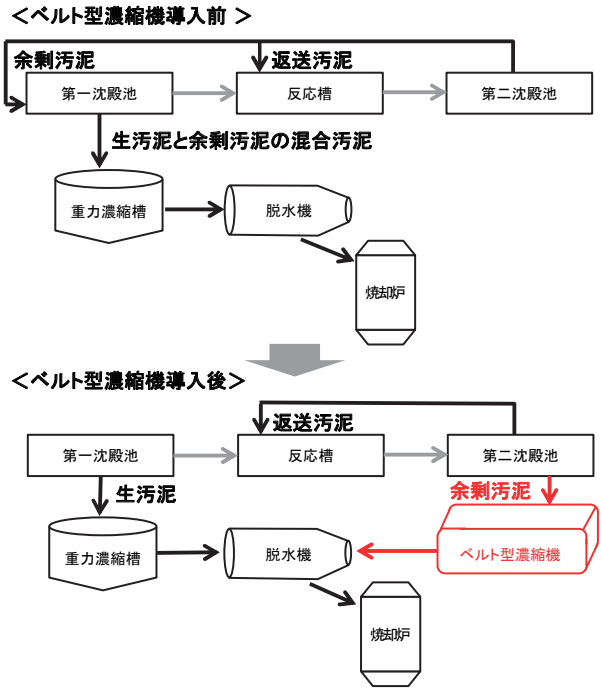


図 7　分離濃縮の概要図

4.5. センター間での比較

各センターの実績をベクトルの方向と長さから評価できることに加え、全センターの二軸管理図における位置から、各センターの特徴を把握することができる。二軸区管理図は全センターの実績の加重平均値を中心に、図8に示す4つのエリアに区分できる。各センターは流入水質や量、設備の特性等の要因によりいずれかのエリアに位置する。加重平均値より全窒素濃度と送風電力量原単位ともに大きく上回っている「重点改善エリア」にあるセンターに対しては、今後は上記のセンターD のような設備更新を優先的に行う計画を立てる必要があると判断できる。

このようにして、各センターの取組や実情を二軸管理グラフにより「見える化」し、センター毎の特徴や課題を把握することで、当局が行うべき設備更新の計画を見直すことに活用している。

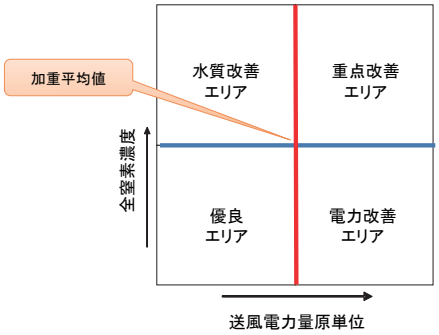


図 8 エリア管理の概念図

5. 結論

以上のように、全窒素濃度と送風電力量原単位の推移を視覚化したベクトルを描くことで、運転管理の工夫や設備改善の効果が明確に把握できるようになった。また、センター毎に設定した目標設定に向けて適宜運転条件の変更を行うことにより、職員の水質改善と電力削減の両立への意識づけを図り、取組を進めやすくなった。

当局では、良好な水環境と環境負荷の少ない都市の実現に貢献していくため、今後もこの二軸管理手法を更に発展させていく。

4-1-4 Introduction of Kerosene-City Gas Dual Fuel Emergency Generator in Tokyo Sewage Treatment Plants

Yusuke Sasaki*

* Tokyo Metropolitan Government, Tokyo, 163-8001, Japan
（E-mail: Yuusuke_1_Sasaki@member.metro.tokyo.jp）

Abstract
The sewage system in Tokyo is part of the city's important infrastructure which supports the life of 13 million citizens and city activities. Meanwhile, Japan is one of major earthquake-prone countries and has seen an increase in heavy rains. Therefore, we regard it as an urgent issue to maintain the sewage treatment function in case of emergent power outage, and have been proceeding with the introduction of emergency power generators. On the other hand, the Great East Japan Earthquake that hit the Tohoku Region had triggered the discussion of improving the reliability of the generators. We then took notice the earthquake-resistance of city gas and installed a kerosene-city gas (dual fuel) emergency generator at one of sewage treatment plants in Tokyo. It can use gas fuels such as city gas besides liquid fuels such as kerosene and heavy oil by switching fuel-control valves. Even if the supply of kerosene is discontinued by earthquake disasters, the function of sewage facilities can be continued. In installing the generator, we examined where to install it, how to control it during changing fuels and whether or not it can be activated on city gas.

Keywords
Emergency generator; Securing the Function of Sewage; Diversification of fuels

INTRODUCTION

Sewage system in Tokyo

First of all, we will explain the outline of Tokyo Metropolis. As shown in Figure 1, Tokyo is located almost in the geographical center of Archipelago of Japan, and in the southern part of the field called Kanto Plain. With the area of 2190 km^2 (Kuala Lumpur has 243 km^2 in comparison), Tokyo is the third-smallest prefecture in Japan, but it has the biggest population of more than 13 million.

Tokyo Metropolis is roughly divided into 3 areas: 23 Wards, Tama Area, and Islands. 23 Wards have the area of 626 km^2 in total, with 9 million inhabitants. There are many sightseeing spots including the Imperial Palace, the metropolitan government buildings, TOKYO SKYTREE, Shibuya, Ginza, and Roppongi, etc. Tama Area has an area of 1160 km^2, with 4 million inhabitants. It is famous for mountains and lakes such as Mt. Takao (the highest 3 stars rank has been awarded by Michelin Guide). Besides, Islands distributed on Pacific Ocean also belong to Tokyo Metropolis. Ogasawara Islands, which is inscribed on the UNESCO World Heritage List as a natural property, is also included in Tokyo Islands.

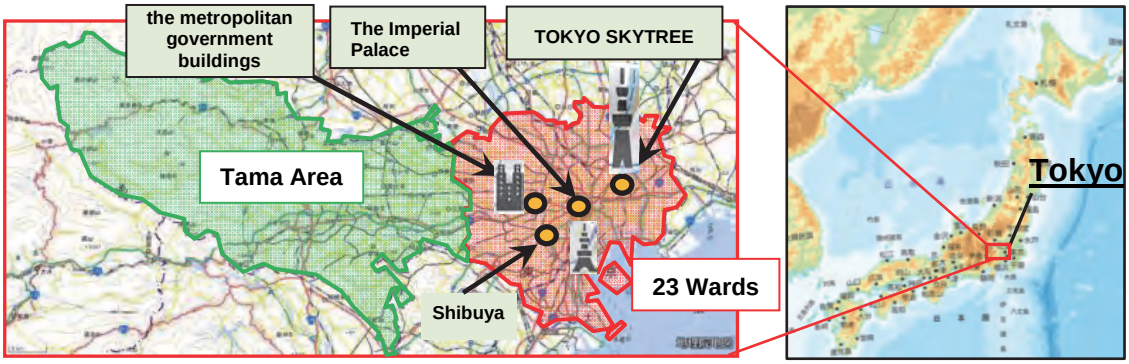


Figure 1. Tokyo 23 Wards and Tama Area (based on the map made by Geospatial Information Authority of Japan (http://maps.gsi.go.jp/))

Next, we will discuss the sewage in Tokyo. Tokyo's sewage was introduced in 1884 when the construction of "Kanda Sewage" began. After the large-scale construction during the era of high economic growth in 1970's, the coverage ratio of Tokyo sewage reached approximately 100% in 1995. Currently we manage pipes and culverts with the total length about 16000 km, 84 pumping stations and 13 sewage treatment plants (called Water Reclamation Center in Tokyo) in 23 Ward Area, 2 pumping stations and 7 Water Reclamation Centers in Tama Area. We directly manage these facilities to process wastewater and sludge securely and remove rainwater quickly for safety and security of Tokyo citizens. 80% of 23 Ward Area uses combined sewer system and 20% separate system. In the area where combined sewer system is used, sewage exceeding the predefined amount is considered as rainwater and drained. A number of pumps for draining wastewater and rainwater are necessary. For instance, 58 pumping station for draining rainwater is located in 23 Ward Area. There are 3 to 5 pumps in each pumping station depending on the scale. Some of them are operated with large-scale motors with its capacity about 3000kW. Additionally, large-capacity equipment listed in Table 1 are managed in each Water Reclamation Centers.

Table 1. Examples of Large-capacity Equipment in Water Reclamation Centers and Pumping Stations

	Kind of Equipment (number of installation)	Capacity [kW]
Sunamachi Water Reclamation Center	Wastewater pump (15)	750, 950, 1360, 2090, 2600
	Rainwater pump (10)	900, 1850
	Blower (10)	400, 620, 810, 830
Kuramae Pumping Sation	Rainwater pump (8)	3000, 3100

It is necessary to use a large amount of electric power in order to operate these equipment. Tokyo sewage is consuming the power of 980 million kWh. This is more than 1% of the total power consumption in Tokyo Metropolis and approximately 0.8 % of the annual power consumption in the whole Malaysia.

In addition to the maintenance of these facilities, to solve problems Tokyo sewage faces, we are working on various projects including Reconstruction facilities, Flood Countermeasures, Measures for earthquake disaster, Improvement of combined sewer system, Advanced Treatment, Energy

Measures and Global Warming Measures. For example, Tokyo has a mean rainfall approximately 1500 mm, and monthly rainfall is at most 150 mm in rainy months. But, heavy rains exceeding 50 mm/hour are in increase in Tokyo these days, so that Flood Counter Measures against shortage of rainwater treatment capacity of sewer system is more important in some area. Additionally, since Japan is an earthquake-prone country, Measures for earthquake disaster are inevitable. Hence it is important, we think, that installation of emergency generator and structuring the system in which we can continue the operation of each facility even in emergency, as well as advancing the earthquake-proofing of sewers and facilities. Capacity of each generator is specified so that it can supply enough power to all rainwater pumps in the pumping station in order to protect Tokyo from flood damage in case of power outage. The motors of emergency generators adopted are mainly gas turbine, using kerosene as its fuel which is stored in facilities to supply electric power to pumps immediately.

DISCUSSION

History

In March 2011, the Great East Japan Earthquake of magnitude 9.0 hit Tohoku Region. Tsunami caused extensive and serious damage to Tohoku and other areas, with power stations also attacked. This situation effected on domestic power supply capacity and it has dropped and consequently unprecedented rolling power outage was executed. We were obliged to operate emergency generator to allocate power in Tokyo sewage. Because of the great earthquake, traffic and distribution systems were extensively confused and procurement of kerosene had become difficult for about 10 days. Because of this experience, we discussed diversification of fuels other than kerosene. Then it was city gas that we noticed. This is the gas derived from Liquefied Natural Gas (LNG) supplied by private gas companies through the gas piping network. City gas piping is highly earthquake-resistant and therefore its supply was not discontinued during the Great East Japan Earthquake, with hardly any damage to gas piping even in Tohoku district. Additionally, since city gas can be used in almost all area of Tokyo 23 Wards, it is possible to draw the gas from piping of gas companies. Because of these advantages, we decided that kerosene-city gas dual-fuel gas turbine emergency generators, which can run on city gas as well as kerosene, the normal fuel, should be adopted. By introducing dual-fuel emergency generators, even if kerosene runs short, generators will be able to run on city gas and maintain the function of the facility.

A dual-fuel emergency generator was installed in Nakagawa Water Reclamation Center (capacity 590000 m3/day) in the northeast of Tokyo for the first time in Tokyo sewage and it began operating in September, 2016. Figure 2 shows the aerial photograph of Nakagawa Water Reclamation Center**.**

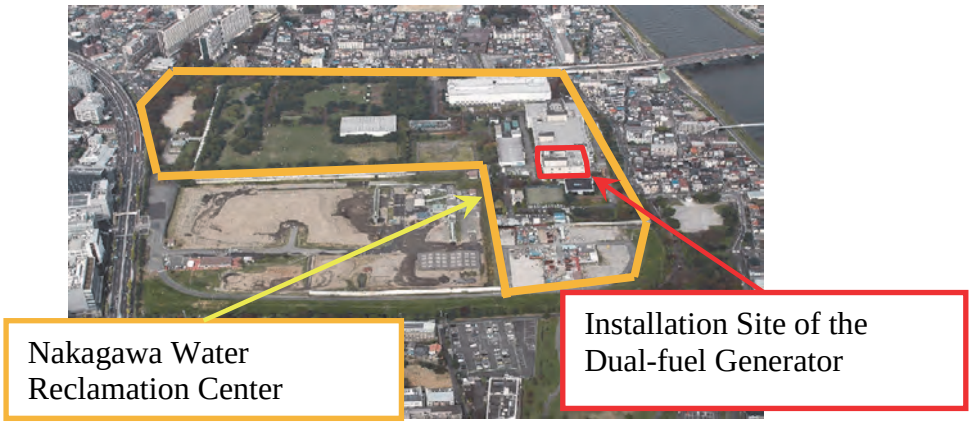


Figure 2. Aerial Photograph of Nakagawa Water Reclamation Center

Kerosene-City Gas (Dual-fuel) Emergent Power Generators

Constitution of the dual-fuel generator is illustrated in Figure 3, specification of the motor is shown in Table 2.

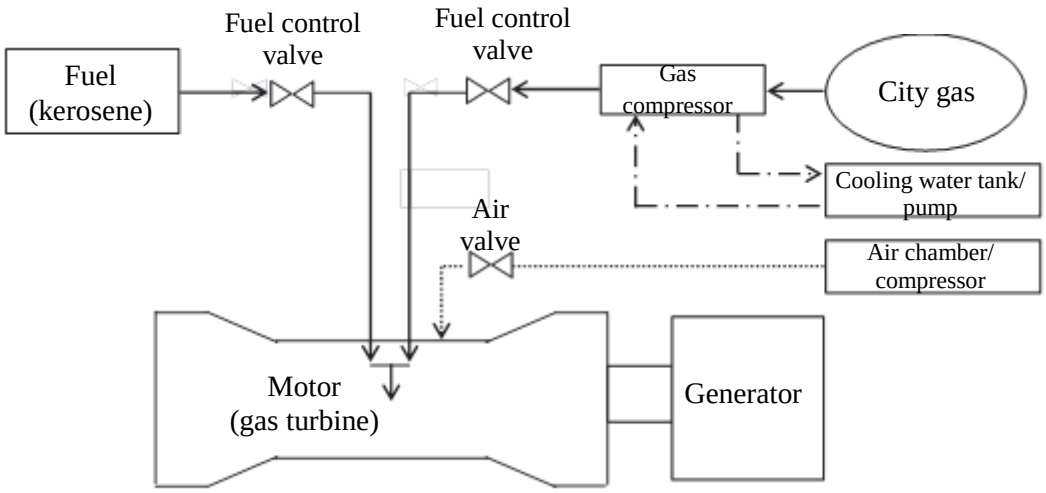


Figure 3. Constitution of the Dual-Fuel Emergency Generator

Table 2. Specification of the Motor

Type	Simple Open Cycle Twin Shaft Gas Turbine
Rated Power Generation	Generator Terminal Output 10400 kW
Starting Device	Air
Time to Start	Started on Kerosene: Voltage is established 3 minutes after the start command Started on City Gas: Voltage is established 5 minutes, including the time to air-purge after the start command, at the shortest
Fuel	Kerosene or City Gas
Cooling Method	Air

Main body of the generator is constituted by the motor (gas turbine) and the generator (synchronous generator). Its rated power output is 10400kW. The turbine is started with the compressed air from

the air chamber. The time between the start command and establishment of the voltage is about 3 minutes when it is started with kerosene, functioning well as the emergency generator. Air-purge means the control after gas operation to emit residual gas remaining in motors or gas piping to prevent explosion. As for auxiliary equipment, in addition to auxiliaries for kerosene, auxiliaries dedicated to city gas including gas compressors to compress the city gas, cooling equipment for gas compressors, and air supply equipment are necessary.

The difference between generators running exclusively on kerosene and dual-fuel ones is that the latter can use gas fuels including city gas besides liquid fuels such as kerosene or heavy oil by switching the fuel supply with fuel control valves. It is also possible to switch the supply between kerosene and city gas while the motor is running.

What we paid attention to introduce the dual-fuel emergency generator are following 3 items: The first is where to install it. Because Nakagawa Water Reclamation Center is located in the neighborhood of residential area, it was necessary to install in a building to reduce noise and vibration on residential area. Additionally, because auxiliary equipment for both kerosene and city gas were necessary, the installation space larger than generators only on kerosene was necessary. Hence it was necessary to confirm whether the large space could be allocated. Moreover, because the gas had to be high pressure enough to operate gas turbine, it could not be drawn from household low-pressure piping (supply pressure 2.5kPa or lower) and it had to be drawn from medium-pressure gas piping (supply pressure between 0.1MPa and 1 MPa). Hence it was necessary to allocate the route for drawing the piping. Because the existing building in Nakagawa Water Reclamation Center satisfied all these conditions, we decided that installation was possible. The ground plan around the building for the generator is shown in Figure 4. The medium-pressure gas piping was branched from the piping near public road.

Figure 4. Aerial Photograph of the Neighborhood of Nakagawa Water Reclamation Center

The second point is that significant fluctuation of the load should be avoided because the motor cannot keep up with it during the switching between kerosene and city gas (about 2 minutes). The motor might be stopped in the worst case. For that purpose, an interlock circuit to prevent large-capacity equipment such as pumps and blowers from starting was programmed into the process controller for plant control.

The third point is that the gas compressor must be already working when the generator is started even if power outage occurs. Although we discuss exclusive power source for the gas compressor starting, the power cell with sufficient capacity is too large. Therefore we did not adopt the idea. Based on that decision, operation procedure of the dual-fuel emergency generator is sorted out as shown in Table 3. Among the operation pattern in Table 3, A and B shows the operation where kerosene is used in starting. Kerosene is used in all operation from startup through load operation to stop. Because operation time is limited by the storage of kerosene, procurement of kerosene to pumping station or Water Reclamation Center is necessary in long operation. Therefore this pattern assumes that the supply route is secured. In the pattern B, the generator is started with kerosene and gas compressor is run with the generated power and subsequently the fuel is switched to city gas in this pattern. Since kerosene is used only in the startup in this case, there is no limit in the operating time. When A and B are compared with each other, B is more convenient in conserving the stored kerosene, but kerosene is cheaper than city gas in Tokyo. Therefore B shall be chosen only when the supply of kerosene is difficult otherwise A is chosen. In addition, C is the flow where city gas is used exclusively. As explained above, starting up with city gas shall not be done during the power outage.

Table 3. Operation Procedure of Dual-Fuel Emergency Generators

Operation Pattern	Start	Load Operation	Stop	Note
A	Kerosene	Kerosene	Kerosene	Emergency except the pattern B
B	Kerosene	City Gas	Kerosene City Gas	When it is difficult to procure kerosene
C	City Gas	City Gas	City Gas	This operation does not occur

CONCLUSIONS

Effect of the Introduction and Future Development

Dual-fuel emergency generator was installed in Nakagawa Water Reclamation Center for the first time in Tokyo sewage in order to diversify fuels. Owing to this equipment, it has become possible to secure electric power not only in case of power outage, such as by lightning, but also in case procurement of kerosene becomes difficult, and consequently sewage processing function of Nakagawa Water Reclamation Center was enabled to continue in any case.

We plan to adopt one dual-fuel generator of the emergency generators in all Water Reclamation Centers, and thereby diversify fuels. We are going to continue the effort so that the above measure may enable the Tokyo sewage, which is continuously supporting the life of Tokyo citizens, maintain its function in case of emergency as well as in normal condition and consequently maintain the high level of safety and security.

4-1-4　東京の下水道施設における灯油・都市ガス併用型（デュアルフューエル）非常用発電機の導入について

東京都下水道局建設部設備設計課
佐々木祐介

概要

東京の下水道は、1,300 万人の都民生活や都市活動を支える重要な都市インフラである。

日本は地震大国であり、集中豪雨も増加傾向にあるため、東京都下水道局では、停電などの非常時における下水処理機能の維持を目的に非常用発電機の導入を進めてきた。

一方、東北地方を襲った東日本大震災時の計画停電による非常用発電機運転や燃料に使用する灯油が供給不足となった経験から自己電源の更なる安定化を図るため、発電機用燃料の多様化に向けた検討を行い、都市ガス配管の耐震性に着目した灯油・都市ガス併用型（デュアルフューエル）非常用発電機の導入を決定した。

本稿では、導入に当たり、都市ガス使用の可否、設置場所、燃料の切替え方法などの検討を行ったので報告する。

キーワード

非常用発電機；下水道施設の維持；燃料の多様化

1　はじめに

(1)　東京の下水道

東京都は、図 1 に示すように、日本列島の中心、関東平野の南側に位置する。東京都は、面積で 2,190 km^2（クアラルンプールは 243 km^2 である）あり、日本国内で 3 番目に小さい都道府県であるにも関わらず 1,300 万人が生活し、国内で最も多い人口を抱えている。

また、東京都は 23 区、多摩地区及び伊豆・小笠原諸島の大きく 3 つの地域に分けられる。

23 区は 900 万人の住民と合計の 626 km^2 の面積があり、皇居、東京都庁舎、東京スカイツリー、渋谷、銀座及び六本木などを含む多くの観光地がある。

多摩地区は 400 万人の住民と 1,160 km^2 の面積があり、高尾山などの山々と湖などの観光地がある（高尾山は、ミシュラン・ガイドで最も高い 3 つ星ランクに評価された）。

伊豆・小笠原諸島は東京都に属し、小笠原諸島は、世界自然遺産としてユネスコに登録された。

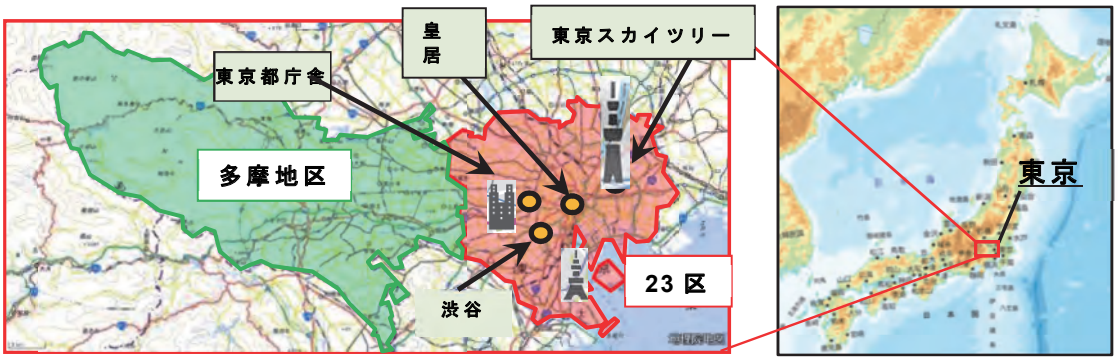


図１　東京 23 区と多摩地区（国土地理院より（http://maps.gsi.go.jp/））

東京都の下水道の歴史は、1884 年の「神田下水」の建設から始まり、1970 年代までの高度経済成長期における下水道の急速な整備を経て、1995 年に 23 区の下水道普及率が、概成 100%を達成した。

現在、東京都下水道局（以下、当局という）では、23 区に 13 か所の水再生センターと 84 か所のポンプ所、多摩地区で 7 か所の水再生センターと 2 か所のポンプ所、下水道管で全長約 16,000km を管理している。

下水道には、家庭や工場等から排出される汚水を処理し、快適な生活環境を確保するとともに、宅地や道路に降った雨水を排除し浸水から都市を守るという役割があり、下水処理により浄化した水を海や河川などに放流し、公共用水域の水質を保全する役割も担っている。

23 区の下水道は、80%が合流式下水道、残りの 20%が分流式下水道を採用している。

合流式下水道は、生活排水（汚水）と雨水を一本の下水道管で集め流す処理方式のため、多くのポンプ所が必要であるため、23 区では、雨水を排除するために 58 か所のポンプ所がある。

各ポンプ所には、規模に応じて３～５台のポンプがあり、その中には 3,000kW 級のモーターで駆動する大型ポンプも稼働している。

表 1 に水再生センターとポンプ所で管理する大型機器の一例を示す。

表１　大型機器の一例

施設名称	機器の種類（台数）	電動機出力[kW]
砂町水再生センター	汚水ポンプ（15）	750，950，1360，2090，2600
	雨水ポンプ（10）	900，1850
	送風機（10）	400，620，810，830
蔵前ポンプ所	雨水ポンプ（8）	3000，3100

これらの大型機器を運転するには、大量の電力が必要であり、東京の下水道事業で、年間 9 億 8,000 万 kWh の電力を使用している。これは東京都内全体における総年間消費電力量の 1%強、マレーシア全体の年間消費電力量の約 0.8%に相当する。

また、当局ではこうした施設の維持管理に加えて、施設の再構築、浸水対策、震災対策、合流式下水道の改善、高度処理、エネルギー対策及び地球温暖化対策等の様々な課題に取り組んでいる。

例えば、東京は年間降水量が 1,500mm 程度、月最大の雨量が 150mm 程度であるが、近年 1 時間に 50mm を越える豪雨が増加傾向にあり、一部の地域では、下水道施設の雨水排除機能の向上がより重要となっている。

また、日本は地震の多い国でもあるので、震災対策として下水道施設の耐震化を進めるだけでなく、非常時にも安定して下水道施設を稼働できる非常用発電機の導入も重要である。

各発電機は、停電時においても東京を浸水被害から守るため、ポンプ所に設置されている全ての雨水ポンプに十分な電力を供給できるよう容量を設定している。

なお、非常用発電機はガスタービンで駆動し、燃料として使用する灯油は施設内に貯蔵している。

2　検討内容

(1)　導入の経緯

平成 23 年 3 月に発生したマグニチュード 9.0 の東日本大震災による津波により、東北地方をはじめとする発電所で深刻な被害が発生し、電力供給能力の低下に伴い前例のない計画停電が実施された。

この影響で、当局は施設の運用を非常用発電機による電力で賄うことを強いられた。

また、東日本の製油所が操業停止したことに加えて輸送手段となるタンクローリーの不足も重なり、発災から約 10 日間、当局施設に燃料が供給されない事態が生じたことから、当局では発電機燃料の多様化について検討した。

都市ガスは、民間のガス会社からガス管網を通して供給される液化天然ガス（ＬＮＧ）を原料とするガスである。都市ガス配管は地震に強く、東日本大震災時の東北地方においても損傷はほとんどなかった。

そして、23 区のほぼ全域で都市ガス使用可能なことから、当局では灯油だけでなく都市ガスでも運転できる灯油・都市ガス併用型デュアルフューエルガスタービン非常用発電機（以下、デュアルフューエル発電機という。）の導入を決定した。

当局では、このデュアルフューエル非常用発電機を東京の北東に位置する中川水再生センター（処理能力 590,000 m^3／日）に初めて導入、2016 年 9 月に稼働を開始した。図 2 は中川水再生センターの航空写真を示す。

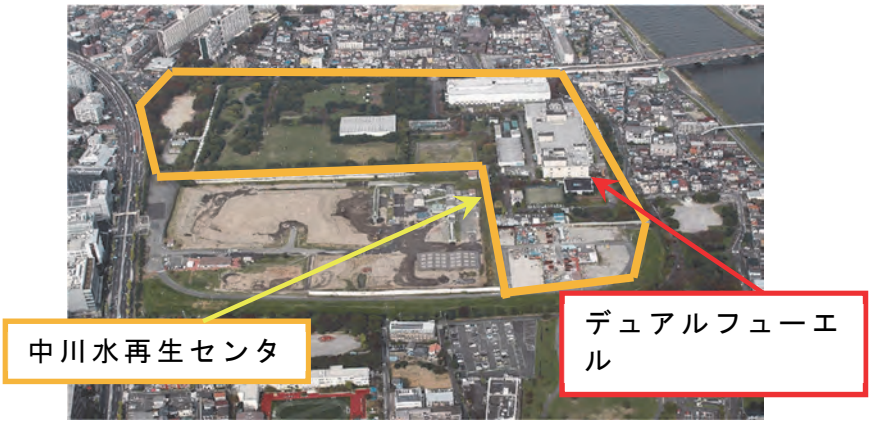


図 2　中川水再生センターの航空写真

(2)　デュアルフューエル非常用発電機

デュアルフューエル非常用発電機の機器構成図及び仕様を図 3、表 2 に示す。

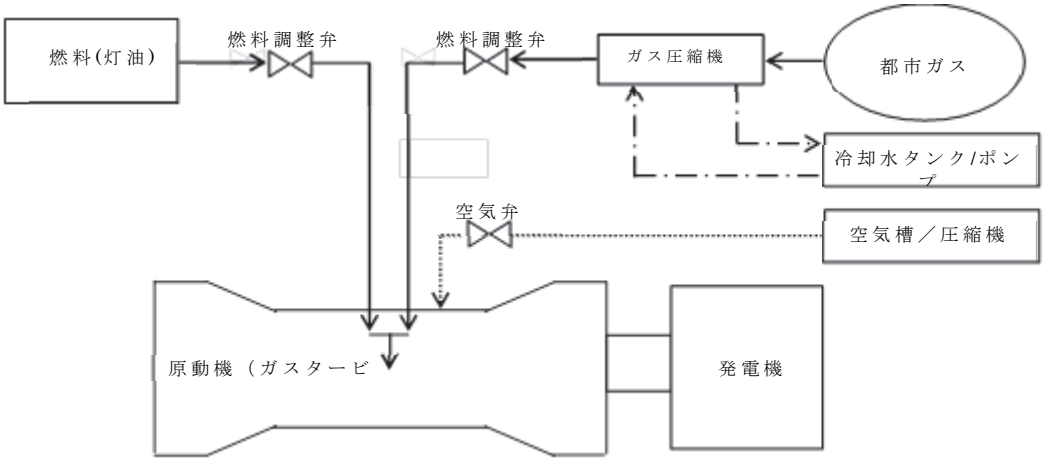


図 3　機器構成

表 2　機器仕様

形式	単純開放サイクル二軸式ガスタービン
定格出力	発電端出力 10,400kW
始動装置	空気
始動時間	灯油始動：始動指令から約 3 分後に電圧確立 都市ガス始動：ガス圧縮機等の運転及びエアパージ条件により最短で 5 分後に電圧確立
燃料	灯油又は都市ガス
冷却方法	空気

今回導入した、デュアルフューエル非常用発電機は、原動機（ガスタービン）と発電機（同期発電機）により構成され、定格出力は、10,400kW である。

始動には圧縮空気を用い、灯油始動の場合は電圧確立に約 3 分間を要する。

また、エアパージとは、都市ガス運転後に原動機やガス配管内の残留ガスを放出し、引火を防止するための制御である。

補機類は、通常の液体燃料用の設備のほかに都市ガスを原動機に送るためのガス圧縮機とその付帯設備に冷却設備、さらにエアパージ用の空気設備が必要となる。

灯油を燃料とする非常灯発電機とデュアルフューエル発電機の違いは、後者が燃料制御弁により、原動機の運転中においても灯油と都市ガスの供給を切り替えることが可能な点である。

デュアルフューエル非常用発電機の導入に当たり、留意した 3 つの点は次のとおりである。

1 つ目は、設置場所の検討である。中川水再生センターは、住宅地に隣接しているので、騒音と振動を減らすため建物内への設置が必要であることに加え、灯油と都市ガスの両方を使用するための補機設備により、灯油のみを使う場合に比べて広い設置場所を確保する必要があった。

また、都市ガスで原動機を運転するためには、家庭用の低圧ガス（供給圧力 2.5kPa 程度）では圧力が不十分なため、中圧ガス（供給圧力 0.1MPa から 1MPa まで）必要なため、引込むための配管ルートを検討した。

この結果、既存の発電機棟がこれらの条件を満たしており、デュアルフューエル発電機の設置が可能と判断した。

中川水再生センター発電機棟付近の周辺状況を図 4 に示す。なお、中圧ガス導管は公道の配管から分岐した。

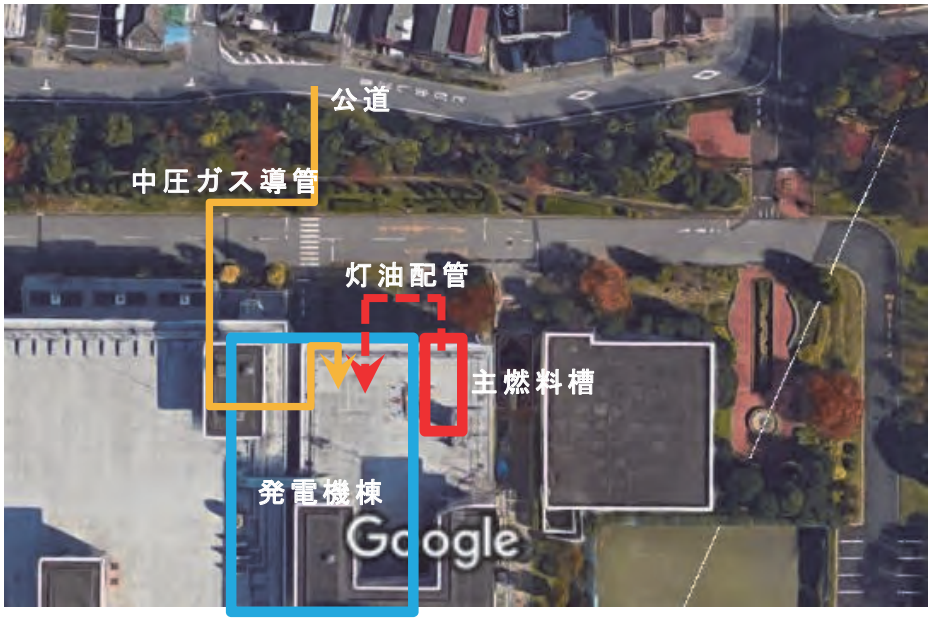


図 4　中川水再生センター発電機棟付近の周辺状況
（GoogleMap より（https://www.google.co.jp/maps/））

2 つ目は、灯油と都市ガスの燃料切替えに約 2 分間を要し、この間に負荷が大幅に変動すると、タイミングにより原動機を過負荷停止に至らせる可能性があることである。

このため、発電機運転中の燃料切替え時には、ポンプや送風機などの大容量機器が起動しないようインターロック回路を設けることとした。

3 つ目は、今回導入のデュアルフューエル発電機は、停電時に起動する場合、ガス圧縮機の運転が確立している必要があることである。

当初、ガス圧縮機専用の起動用電源を検討したが、十分な電気容量を確保するには大きすぎるため採用せず、表３に示す運転手順を整理した。

パターンＡは、非常用発電機の始動から停止まで灯油を使用する。運転時間は、灯油の備蓄量の制約を受けるので､長時間運転する場合､灯油の調達が必要であるため、このパターンは、灯油の安定供給が絶対条件になる。

パターンＢは、灯油で始動し、非常用発電機の電圧が確立したところでガス圧縮機を起動、燃料を都市ガスに切り替える。このパターンは、始動時だけ灯油を使用するため、運転時間の制約がない。

パターンＡとパターンＢを比較した場合、灯油の供給が困難な場合にはパターンＢが有利であるが、それ以外の場合には、都市ガスより灯油の方が安価であるため、パターンＡが有利となる。

なお、パターンＣは、非常用発電機の始動から停止まで都市ガスを使用するが、上記のとおり停電時に都市ガスで始動することは不可能である。

表３　デュアルフューエル非常用発電機の運転方案

運転 パターン	始動時	負荷運転時	停止時	備考
A	灯油	灯油	灯油	パターンＢを除いた平常時
B	灯油	都市ガス	灯油	灯油の購入が難しい時
			都市ガス	
C	都市ガス	都市ガス	都市ガス	この運転手順は実施しない

３　最後に

(1)　導入と今後の展開

デュアルフューエル非常用発電機は、都民の安心と安全を守っていくために、中川水再生センターに初めて導入した。燃料の多様化により、停電時や灯油の調達が困難な時でも電力を確保することができ、更に安定的な下水処理が可能となった。

当局は、すべての水再生センターにデュアルフューエル非常用発電機を導入予定であり、継続して取り組んでいく。

4-2-1 Rebuilding of the Pumping Station in Tandem with City Planning in Front of Tokyo Station and Contribution to the Community through Using the Upper Space Thereof

Takashi Kinoshita

1. Challenges faced by Zenigamecho Pumping Station

Zenigamecho Pumping Station of the Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (hereinafter referred to as the “Bureau”), located in Tokiwabashi District, on the northern side of the Tokyo Station, is an important pumping station in charge of sewage removal in a total area of 1440.19 ha basin including Chiyoda Ward, Chuo Ward (Figure 1).

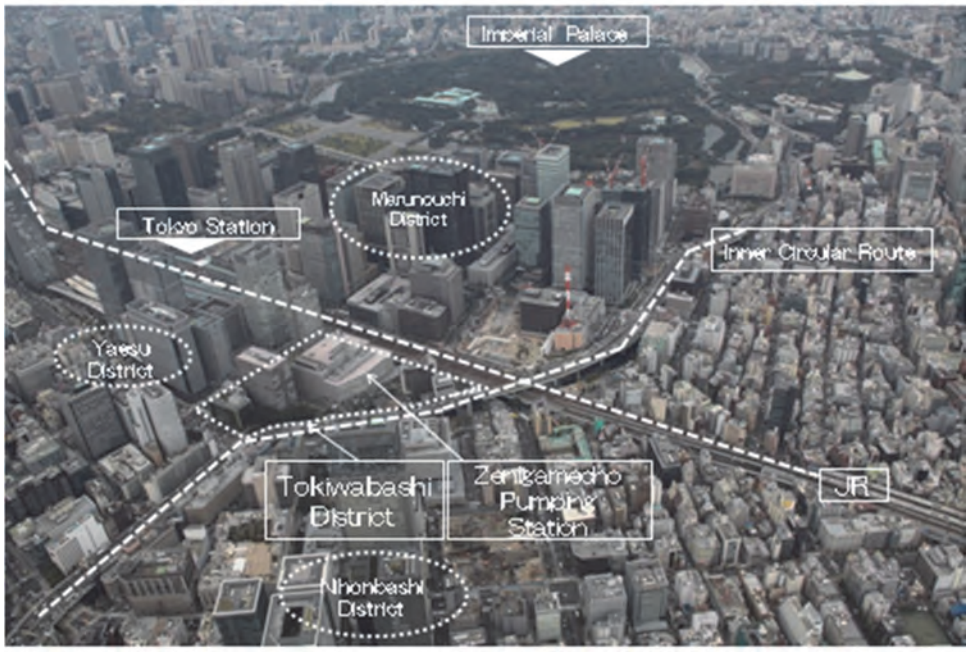
Zenigamecho Pumping Station was first established with the pumping capacity of 4.26 m^3/s in March 1931 and had been operating since then, however, as the volume of sewage inflow into the pumping station remarkably increased due to the increase of the population within the drainage area of the pumping station and verticalization of the buildings in the basin, the current Zenigamecho Pumping Station was re-established in July 1966 with the pumping capacity of 8.50 m^3/s by sharing the premises with private buildings. Since the commencement of its operation, approximately 50 years have passed, and bodies of the facilities, conduits and equipment are considerably aged and thus, it became necessary to rebuild Zenigamecho Pumping Station in order to pump the sewage stably in the future.

There are the following challenges for rebuilding Zenigamecho Pumping Station:

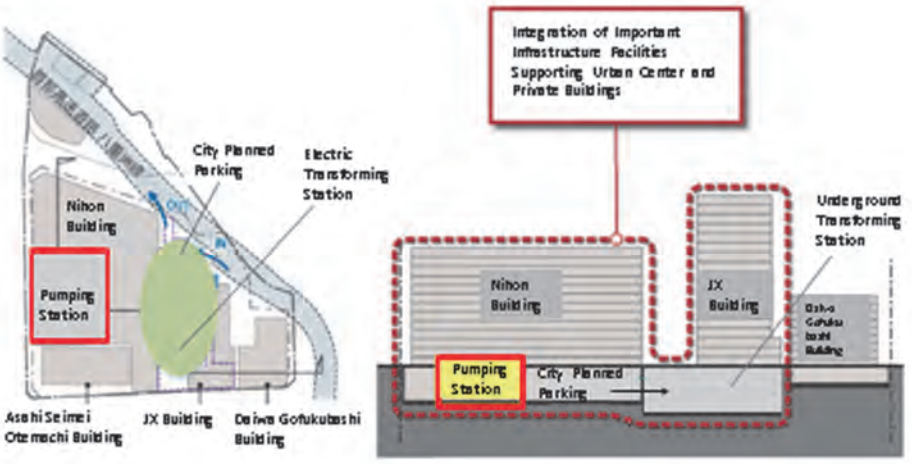
Firstly, it is difficult to update the pumping station independently without affecting the structure of private buildings. Zenigamecho Pumping Station has its structure integrated with private buildings and uses a part from underground to the first floor of the whole building (Figure 2). Therefore, remodeling the existing facility structure will affect the structure of the

entire private buildings.

Secondly, it is difficult to secure a temporary alternative lot for rebuilding the pumping station without stopping its function. Since public facilities such as business commercial buildings, underground parking lots and underground electric transforming station are concentrated in the vicinity of Zenigamecho Pumping Station, it is impossible to physically secure a lot to arrange a new pumping station in advance.



【Figure 1】



【Figure 2】

2. Participation in City Planning around Tokiwabashi District and Chain Redevelopment Project

Located to the north of Tokyo Station, Otemachi area is the home of many office buildings of enterprises and has been playing the central role in Japan's economy by functioning as one of the most important international business centers in the world. In recent years, aging has progressed in many buildings, and it has become necessary to promote redevelopment without interrupting business activities. Therefore, the Otemachi Chain Urban Renaissance Project (hereinafter referred to as the "Chain Redevelopment"), which reconstructs aged buildings in a chained way by using the former compound of the government joint office building as a temporary alternative lot, has been promoted as a land readjustment project implemented by UR, which started its first phase of the Chain Redevelopment in 2005 (Figure 3).

Tokiwabashi District was not initially included in the project area of the Chain Redevelopment. However, in order to respond to the challenges being faced by Zenigamecho Pumping Station as well as other challenges of the town such as aging of private buildings and complicated relation

of rights, the “Committee for Examination and Investigation on Redevelopment of Complex Facilities District (Tokiwabashi District),” consisting of land owners and leaseholders including the Bureau and academics, considered the participation in the Chain Redevelopment Project from FY2007 to FY 2010.

The Bureau agreed to participate in city planning as one of land owners in August 2012 and decided to promote rebuilding of Zenigamecho Pumping Station in cooperation with city planning of Tokiwabashi District. As a result, a decision on city plans was made to include Tokiwabashi District in the area of the Chain Redevelopment Project in December 2012.

Regarding the city planning of the Tokiwakabashi District, in the Guideline on City Development of Otemachi, Marunouchi and Yurakucho Districts (formulated in March 2002 and revised in May 2014), the creation of bustle that is the core of the city center community in line with the renewal of core infrastructure facilities such as sewage pumping stations, etc. and improvement of accessibility between Tokyo Station and surrounding areas were shown as the basic idea of establishment of the community base.

【Figure 3】

3. Rebuilding the Pumping Station in Tandem with City Planning and Contribution to the Community

The following is the description of the details of the rebuilding process and the contents of the contribution to the establishment of the community base shown in the Guideline on City Development of Otemachi, Marunouchi and Yurakucho Districts.

(1) Rebuilding Zenigamecho Pumping Station

Figure 4 shows the current layout of buildings and other structures in Tokiwakabashi District and the location of the project plan.

In the rebuilding procedure, a part of a private building of which the tenants were moved out by the chain redevelopment will be dismantled first in advance. Next, a new pumping station will be developed at the site created by dismantling in advance. Then, after switching the incoming

and outgoing conduits and starting the operation of the new pumping station, the existing pumping station will be dismantled.

(2) Development of a Reservoir for Rain Water Storage, and Utilization of the Upper Space through the Use of Multi-level City Planning System

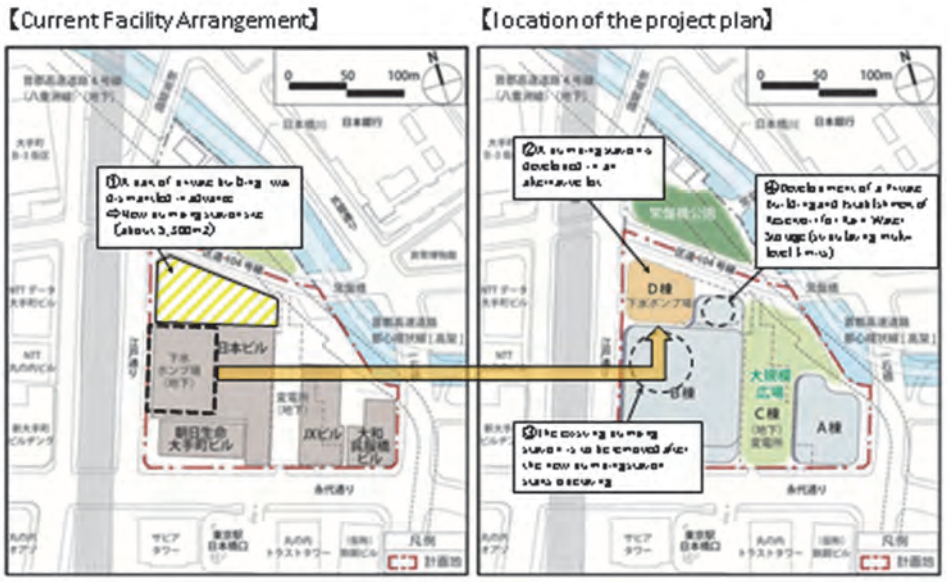
Together with rebuilding Zenigamecho Pumping Station, a reservoir for rain water storage will be developed to improve the combined sewer system by storing the sewage of initial rainfall. In order to pursue integrated and advanced utilization of the entire block of the district along with development of the reservoir ~~for rain water storage~~, it is planned to construct a private building in the upper space of the reservoir for rain water storage by utilizing the multi-level city planning system provided in Article 11, paragraph 3 of the City Planning Act. Specifically, the city plan was revised so as to stipulate multi-level limits for approximately 1,530 m^2 within the site where the new pumping station is to be constructed (approximately 5,300 m^2) and to set up the range of urban facilities only covering the necessary range for the reservoir for rain water storage (Figure 4).

As a result, it has become possible to allocate a private building from Tokyo Station side to Nihonbashi side. Shops, etc. in the lower level of the private building will be facing the adjacent large-scale plaza, and the bustling interchange space where the plaza and the buildings are united will be formed (Figure 5).

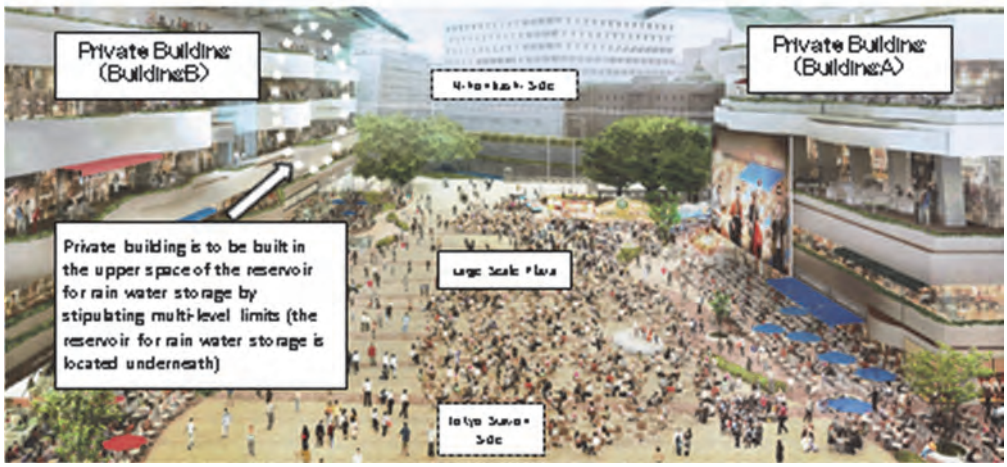
Furthermore, the private building to be constructed together with the reservoir for rain water storage is planned to become a new landmark of Tokyo as it will be the highest building (approx. 390 m) in Japan(Figure 6).

(3) Transfer of Floor-Area Ratio to Private Buildings, etc. in Tokiwabashi District

The floor-area ratio in Tokiwabashi District was set as 1,760% through the proposal to designate as a special zone, etc. The necessary floor-area ratio for Zenigamecho Pumping Station is 500% and thus, the remaining 1,260% is the surplus. Therefore, the surplus floor-area ratio is to be transferred to other buildings in the District by applying the Design System of Collective Buildings provided in Article 86, paragraph 2 of the Building Standards Act. As a result, floor area of the private buildings, etc. to be used for calculation of the floor-area ratio will be increasing and business and commercial functions of such buildings can be expanded further (Figure 7).

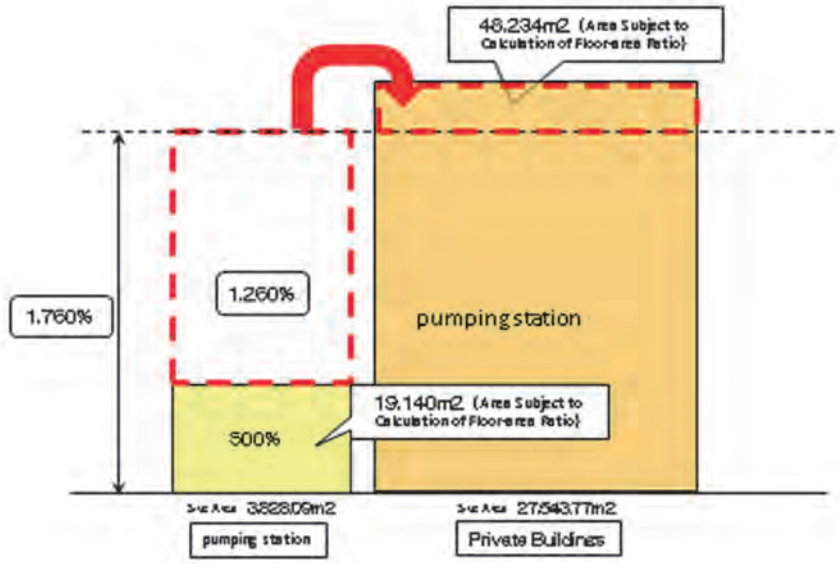


【Figure 4】



【Figure 5】

【Figure 6】



【Figure 7】

4. Benefits to the Bureau of Sewerage Brought by this Scheme

(1) Workability and Maintenance

By participating in the Chain Redevelopment Project, the pumping station can be rebuilt without suspending its function as a pumping station. In addition, by redevelopment of the buildings in the District, the structure of joint construction with private buildings will be dissolved, and the new pumping station will have a pumping facility and building with completely independent structure. As a result, it will become easy to conduct regular maintenance and improvement works, etc.

(2) Economic Efficiency

Compared to the case of rebuilding a pumping station independently, participation in the Chain Redevelopment can reduce the cost to acquire a temporary alternative lot. In addition, as the transfer of Zenigamecho Pumping Station is subject to compensation for land readjustment

project, cost for rebuilding the pumping station will be covered not by the budget for sewerage projects but by the budget for land readjustment projects. The costs for the land readjustment project shall be borne by relevant land owners and leaseholders and thus, the Bureau shall also bear some of the costs. However, the Bureau can rebuild the pumping station with a smaller amount of costs than that of the case of independent rebuilding. Furthermore, the Bureau can gain rent income by leasing out some parts of the upper part of the reservoir for rain water storage to private sectors.

5. Conclusion

Located in the center of urban areas, it is often difficult to acquire alternative sites necessary for rebuilding the facilities while maintaining their functions. If a new city plan is being considered around such sewerage facilities, it can be expected to facilitate rebuilding by participating in such city planning.

On the other hand, in order to realize appealing city redevelopment suitable for the city center, it is required not only to improve infrastructure as sewerage facilities but also to make advanced use of land and to coordinate with local characteristics and development plans of the area around such facilities. Therefore, it is important to formulate a rebuilding plan that will contribute to city redevelopment so as not to hinder the original business of the Bureau of Sewerage.

The redevelopment of Tokiwakabashi District started in FY2017 with rebuilding of Zenigamecho Pumping Station, and the project is to be implementer aiming for completion in FY2027.

4-2-1 東京駅前のまちづくりと連携したポンプ所再構築と上部利用による地域貢献

計画調整部事業調整課　木下　隆史

１．銭瓶町ポンプ所の抱える課題

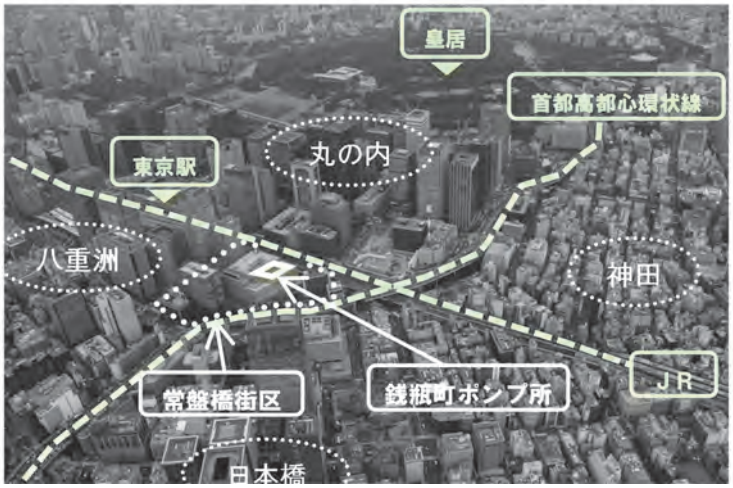
東京駅の北側の常盤橋街区に位置する東京都下水道局（以下「当局」という。）の銭瓶町ポンプ所は、千代田区、中央区など、計１４４０．１９ｈａの流域の汚水排除を担う重要なポンプ所である（図－１）。

初代の銭瓶町ポンプ所は、昭和６年３月に４．２６ m3/s の揚水能力を有するポンプ所として稼働していたが、その後、ポンプ所排水区域の人口増加や流域の建物の高層化に伴い、ポンプ所に流入する下水量が著しく増加したため、揚水能力を８．５０ m3/s として民間建物と合築で再整備し、昭和４１年７月に現在の銭瓶町ポンプ所が稼働した。現在、稼働から約５０年が経過し、施設躯体、導水きょ及び設備機器は著しく老朽化しており、将来にわたって安定的に下水を揚水するために銭瓶町ポンプ所の再構築が必要となっている。

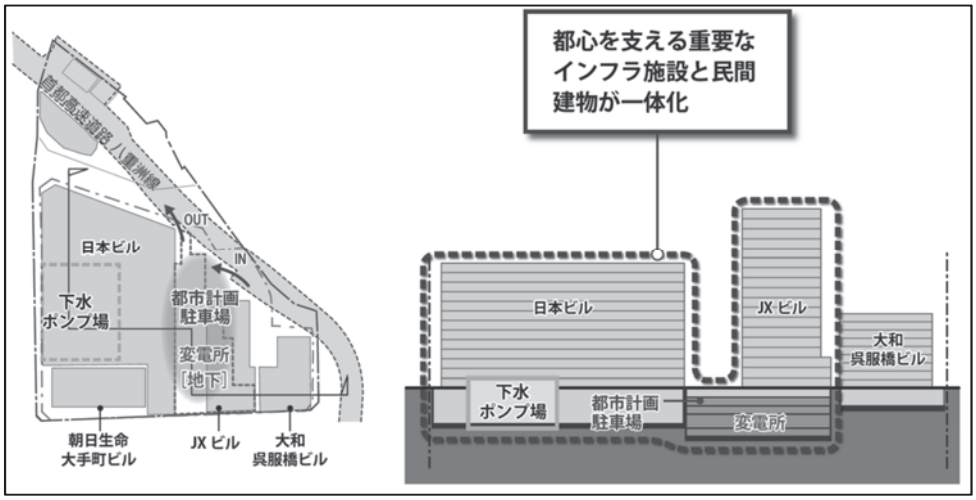
銭瓶町ポンプ所を再構築するためには以下の課題がある。

第一に、民間建物の構造に影響を与えることなく、単独で更新することが困難なことである。銭瓶町ポンプ所は、民間建物と一体の構造となっており、地下から地上１階までの一部区画を使用している（図－２）。そのため、既存の施設躯体を改造しようとすると、民間建物全体の構造に影響を与える。

第二に、機能停止することなく再構築するための種地の確保が困難なことである。銭瓶町ポンプ所周辺では、業務商業ビルや地下駐車場、地下変電所等の公共施設が密集している。そのため、新たなポンプ所を先行的に整備するための種地が物理的に確保できない。



図―１



図―２

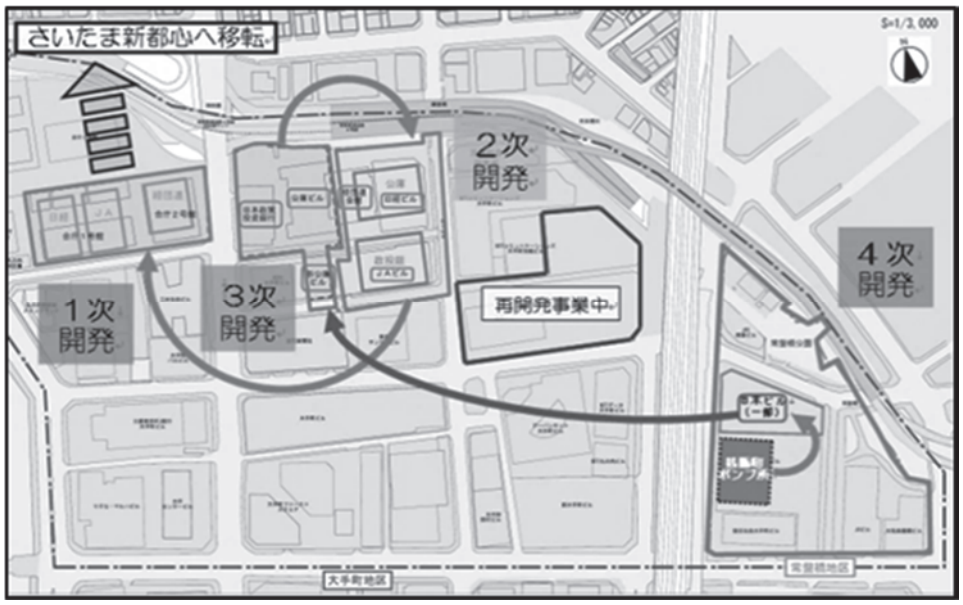
２．常盤橋街区周辺のまちづくりと連鎖型再開発事業への参画

東京駅の北側に位置する大手町一帯は、企業のオフィスビルが数多く立地し、世界有数の国際ビジネスセンターとしての機能を持ち、我が国の経済の中心的役割を担ってきた。近年では、多くの建物で老朽化が進んでおり、業務活動を中断することなく再開発を進めることが求められていた。そこで、国の合同庁舎跡地を種地とし、老朽化した建物を連鎖的に建替える大手町連鎖型都市再生プロジェクト（以下「連鎖型再開発」という。）が、独立行政法人都市再生機構が施行する区画整理事業として、平成１７年の一次開発を皮切りに順次進められてきた（図－３）。

常盤橋街区は、当初連鎖型再開発の事業区域には含まれていなかったが、銭瓶町ポンプ所の抱える課題に加え、民間建築物の老朽化、複雑な権利関係等の街区内の課題に対応するため、平成１９年度から平成２２年度にかけて、当局を含めた地権者や学識経験者からなる「複合施設街区（常盤橋地区）再整備に関する検討調査委員会」において、連鎖型再開発事業への参画を検討してきた。

平成２４年８月、当局は地権者としてまちづくりに参画することに同意し、常盤橋街区のまちづくりと連携しながら銭瓶町ポンプ所の再構築を推進することとした。そして、同年１２月、連鎖型再開発事業区域への常盤橋街区の編入が都市計画決定された。

また、常盤橋街区のまちづくりに関しては、大手町・丸の内・有楽町地区まちづくりガイドライン（平成１４年３月策定、平成２６年５月改定）において、下水道ポンプ所等の基幹的なインフラ施設の更新に合わせた都心コミュニティの核となる賑わいの創出や東京駅と周辺地域とのアクセス性の向上等が拠点整備の考え方として示された。



図―３

３．まちづくりと連携したポンプ所再構築と地域貢献

以下では、具体的な再構築手順及び大手町・丸の内・有楽町地区まちづくりガイドラインに示された拠点整備に資する地域貢献の内容について述べる。

（１） 銭瓶町ポンプ所再構築

常盤橋街区における現況配置図及び計画の位置図を図－４に示す。

再構築手順としては、最初に、連鎖型再開発によりテナントが移転した民間建物の一部を先行解体する。次いで、先行解体により生まれた用地にポンプ所を整備する。そして、流入きょ及び流出きょを切り替え、新たなポンプ所が稼働した後、既存のポンプ所を解体する。

（２）雨水貯留池の整備と立体都市計画制度を活用した上部利用

銭瓶町ポンプ所の再構築と併せて、降雨初期の下水を貯留することにより合流式下水道を改善するための雨水貯留池を整備する。雨水貯留池の整備に併せて街区全体での一体的な高度利用を図るため、都市計画法第１１条第３項に定める立体都市計画制度を活用し、雨水貯留池の上部に民間建物を合築することとした。具体的には、新たにポンプ所を整備する敷地（約５，３００㎡）のうち、約１，５３０㎡ を対象に立体的な範囲を定めるよう都市計画変更を行い、都市施設の範囲が雨水貯留池に必要な範囲にのみかかるようにした（図－４）。

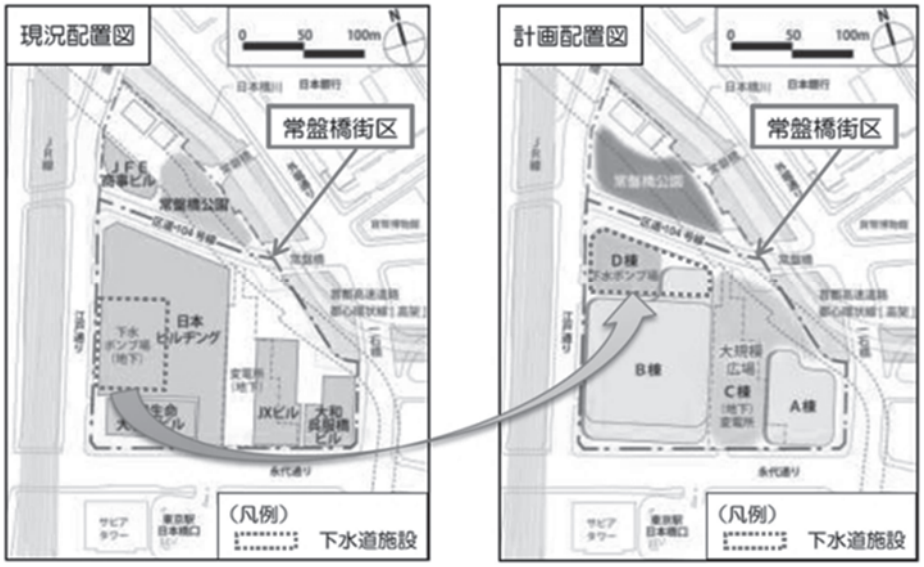
その結果、東京駅側から日本橋側まで民間建物を配置することが可能となる。隣接する大規模広場に対し、民間建物低層部の店舗等が顔を出し、広場と建物が一体となった賑わい・交流空間が形成される（図－５）。

なお、雨水貯留地と合築する民間建物は、日本一の高さ（約３９０ ｍ）を誇るビルとして、東京の新たなランドマークとなる計画である。

（３）常盤橋街区内の民間ビル等への容積移転

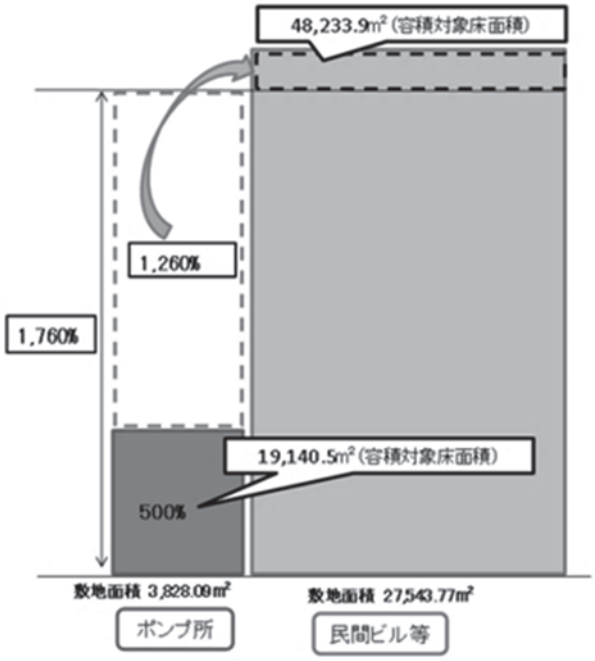
常盤橋街区における容積率は、特区提案等により１，７６０％となったが、銭瓶町ポンプ

所において必要な容積は５００%であり、残りの１，２６０%は余剰となる。そこで、建築基準法第８６条第２項の連担建築物設計制度の適用により、余剰容積を街区内の他の建物に移転する。その結果、民間建物等の容積対象床面積を増やし、業務商業機能をより充実させることが可能となる（図－６）。



図―４

図―５



図―６

４．本スキームによる当局のメリット

（１）施工性及び維持管理

連鎖型再開発への参画により､ポンプ所としての機能を停止することなく再構築できる。また、街区の建物の再整備により、民間建物との合築構造が解消され、完全に独立した構造を持つポンプ所及び建屋となる。これにより、平時の維持管理や改良工事等の施工が容易となる。

（２）経済性

単独でポンプ所の再構築を行う場合と比べ、種地を取得する費用が不要となる。また、銭瓶町ポンプ所の移転は、区画整理事業の補償対象としているため、整備に要する費用は下水道事業ではなく区画整理事業で負担する。区画整理事業に係る費用は常盤橋街区の地権者が負担するため、当局の負担は発生するが、単独で整備費用を賄う場合よりも安価で整備することができる。さらに、雨水貯留池の上部を一部民間に貸し出すことにより地代収入が得られる。

５．おわりに

銭瓶町ポンプ所の事例のように、都市部の中心に位置する下水道施設では、機能を維持したまま再構築する上で必要となる代替の用地を取得することが困難なことが多い。このような下水道施設の周辺で新たなまちづくりが検討されている場合、まちづくりに参画することで再構築の円滑化が期待できる。

一方で、都心部に相応しい魅力あるまちづくりを行うため、下水道施設としての基盤整備だけでなく、土地の高度利用を図り、地域の特性や周辺の開発計画と整合を図っていくことが求められる。下水道の本来の事業に支障を与えないように、まちづくりに資する再構築計画を策定することが重要である。

常盤橋街区の再開発は、銭瓶町ポンプ所の再構築を皮切りに平成２９年度に着工し、平成３９年度の竣工を目指して事業が進められる。

4-2-2 Installation of Turbocharged Fluidized Bed Combustion System for Efficient Sludge Incineration

Yoshiharu Murasato

Staff Member, 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:*Yoshiharu_Murasato@member.metro.tokyo.jp*)

Abstract
The Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (henceforth TMG) has established a total incineration system for the whole amount in 2003 to extend sludge disposal site life in Tokyo Bay. Therefore the emissions caused by the sludge treatment were increased. To cope with this problem, we have worked positively to reduce the energy usage and the amount of GHG emissions. Especially, we have been working on several stages of incineration technologies development to reduce them. Previously, we had developed the incinerators that could reduce the large amount of nitrous oxide (henceforth N_2O) due to the sludge combustion and carbon dioxide (henceforth CO_2) due to using auxiliary fuel. Recently, we developed a turbocharged fluidized bed incinerator which enabled to reduce not only sludge combustion origin N_2O and auxiliary fuel origin CO_2 but also the amount of electricity consumption. Owing to this, we can reduce the large amount of energy and GHG emissions from the incinerator compared with previous types. We report the effect of the turbocharged fluidized bed incineration technology.

Keywords
Sludge incinerator, reduction of greenhouse effect gas, energy conservation, turbocharger

BACKGROUND

Sewerage plays basic roles to ensure the dependable and comfortable living environment and to form good water environment as the requisite infrastructure to support the livelihood of the people and the urban activities. For example, Sewerage contributes to improve the life environment by treating waste water, protect people from flooding hazard by draining stormwater and conserves the quality of public water environment. Though, on the other hand, the bureau of sewerage, TMG (henceforth our bureau) uses slightly more than 1 percent of power consumption of total annual consumption of the Tokyo metropolitan area to provide these sewerage services. In addition, it is expected that energy usage and GHG emissions caused by sewerage services activities will increase because of increasing in population and trying to improve sewerage services (flooding countermeasures, improving combined sewerage, etc.) .Thus, we are responsible for the reduction of power consumption as a major power consumer.

Thereafter, we formulated the global warming countermeasures plan named “Earth Plan 2004” that aims to reduce GHG emissions caused by sewerage services activities by 6 percent or more relative to FY 1990 by FY2009 [1)], and we had been trying to reduce GHG emissions based on this plan. After that, we had achieved the goal of “Earth Plan 2004” and we formulated “Earth Plan 2010” to reduce GHG emissions furthermore in FY2010. The “Earth Plan 2010” aims to reduce GHG emissions caused by sewerage services activities by 25 percent or more relative to FY 2000 by FY2020 [2)]. In addition, we also formulated the master plan to enhance energy efficiency and to promote energy management for sewerage works of Tokyo named “Smart Plan 2014”. It aims to have at least 20 percent of total energy consumption for renewable energy and energy conservation by FY2024 [3)]. We have been trying to reduce GHG emissions and the energy usage based on these plans.

Figure 1 shows the percentage of GHG emissions caused by TMG's activities in FY 2015. The total amount of GHG emissions was around 2.3million t-CO_2 and we emitted 35 percent of it.

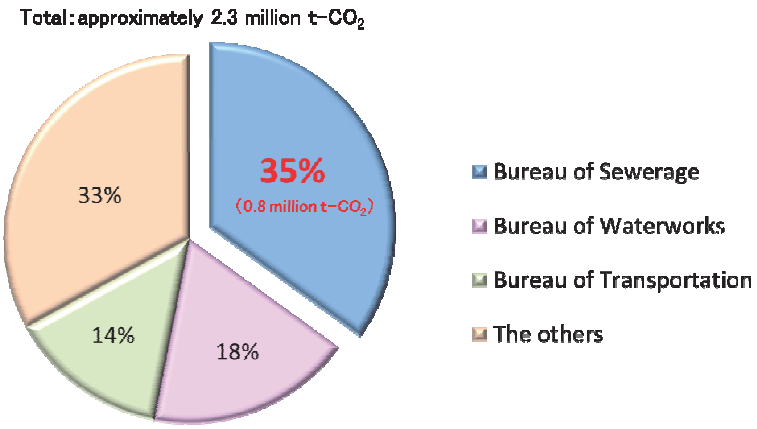


Figure1. Breakdown of GHG emissions caused by TMG's activities in FY 2015

We incinerate dewatered sludge that is produced during the waste water treatment process to reduce of volume significantly and we mainly dispose incinerated ash into final disposal site in Tokyo Bay as wastes. The reason why we incinerate dewatered sludge and try to reduce of volume is because we don't have enough space to construct a new disposal site in Tokyo Bay and we need to extend the life of the present site. On the other hand, we use a large amount of energy to incinerate dewatered sludge.

The amount of GHG emissions caused by the sludge treatment was 570,000t-CO_2/year and accounted for 53.5 percent of our bureau's total GHG emissions (1,065,000t-CO_2/year) in FY2000 that is base year as the reduction target in "Earth Plan 2010". After that, we could reduce the amount of GHG emissions caused by the sludge treatment to 401,000t-CO_2/year and accounted for 42.8 percent of the total GHG emissions in FY2009. Especially, one tonne of N_2O that is mainly emitted by the sludge incineration process is equivalent to 298 tonnes of CO_2. Therefore, we have worked positively to reduce N_2O emissions.

We have installed the turbocharged fluidized bed combustion system which is one of the high-temperature and energy-saving incinerators those can reduce GHG emissions significantly by improving the combustion system compared with previous type of incinerators. Furthermore, we have operated it at a few waste water treatment plants to reduce the energy usage and GHG emissions much further than the previous type of the incinerators from FY2013. We report the energy-saving effect and GHG emissions reduction effect by installing the turbocharged fluidized bed combustion system.

OUR TACKLE THE GHG EMISSIONS RELATED TO SLUDGE INCINERATION

We have been trying to reduce GHG emissions caused by sludge incineration by operating incinerators with ingenuity and by installing new type of incinerators.

At the first stage, we have focused on N_2O caused by sludge incineration. It is generally known that we can decrease the amount of N_2O emission when we incinerate sludge at higher temperature[4)5)] (Figure2). Therefore we set a target to reduce sludge incineration origin N_2O emission by 70 percent by raising incineration temperature from 800°C (1472°F) to 850°C (1562°F) and we had been trying to reduce N_2O emission. On the other hand, the increase of incineration temperature

was accompanied by some disadvantages such as the shortened interval of maintenance and repairs of the incineration. Moreover, auxiliary fuel usage was increased. Therefore, auxiliary fuel origin CO_2 was also increased.

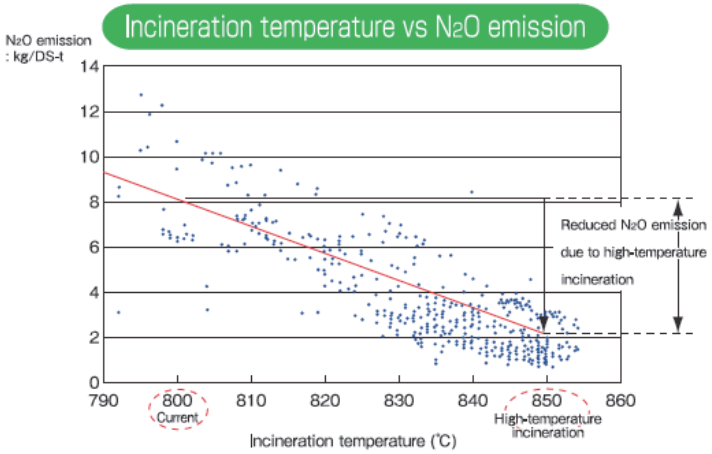


Figure2. Correlation chart between incineration temperature and N_2O emission

At the second stage, we developed the “multilayer burning fluidized bed incinerator” that can reduce N_2O by approximately 50 percent and auxiliary fuel origin CO_2 by approximately 20 percent compared with the conventional fluidized bed incinerators of the first stage. One of the biggest features of this incinerator is that combustion air is blown into not only the bottom but also the middle of the incinerator. Therefore, it can form high temperature layer in the middle of the incinerator for the thermal decomposition of N_2O. (Figure3, Figure4).

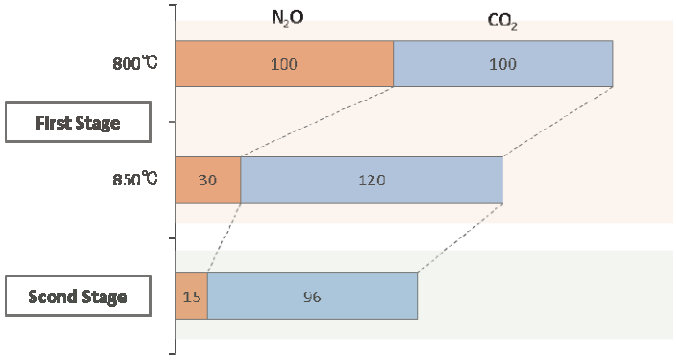


Figure3. Image of GHG emissions reduction (relative value)

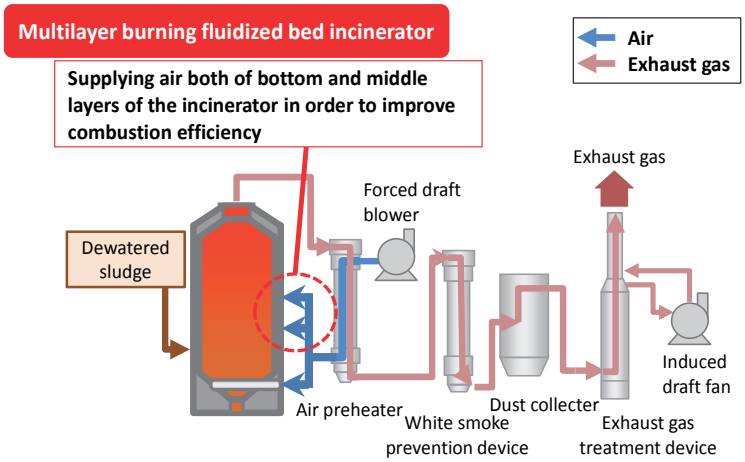


Figure4. Multilayer burning fluidized bed incinerator

As a result of the first stage and the second stage efforts, we had achieved GHG emissions reduction of N_2O from incineration process by approximately 65 percent and CO_2 originated from auxiliary fuel by approximately 50 percent compared with the amount of GHG emissions in FY2000 (Figure5). Though, GHG emissions caused by using electricity for the sludge treatment process were broadly flat, therefore we needed to use less electricity to reduce the total GHG emissions moreover.

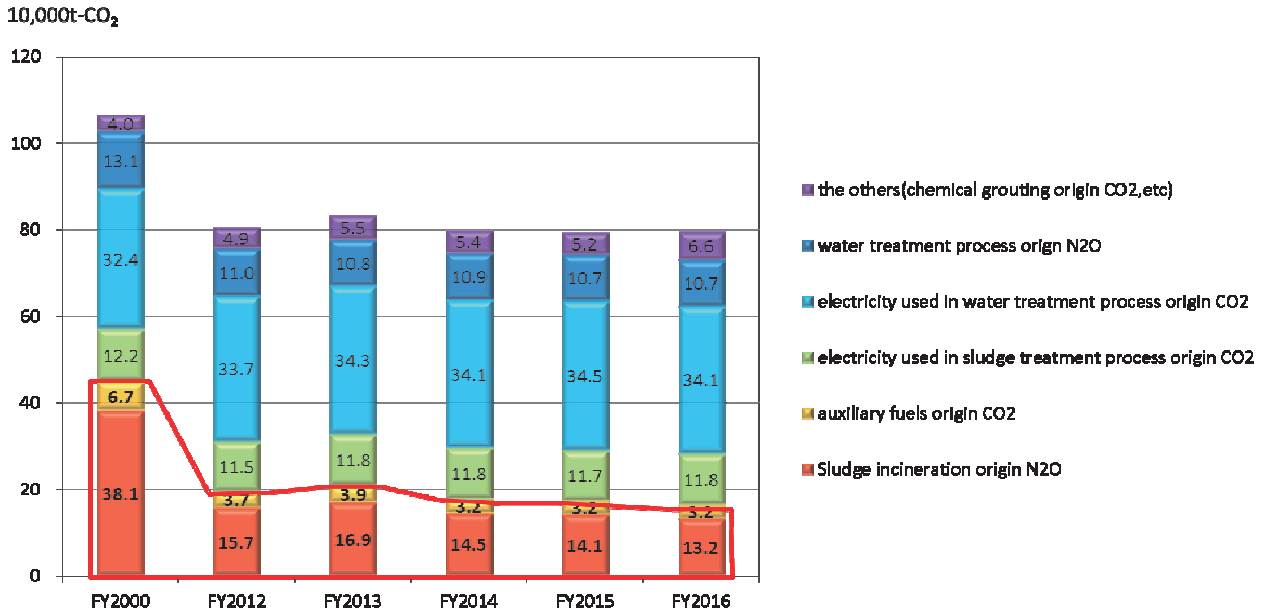


Figure5. Transition of our bureau's GHG emissions

THE TURBOCHARGED FLUIDIZED BED COMBUSTION SYSTEM

We have installed the turbocharged fluidized bed combustion system and have operated it from FY2013 to reduce further energy usage and GHG emissions. It consists of a fluidized bed incinerator combined with a turbocharger (Figure6). The compressor connected to the turbine directly is driven by the combustion gas emitted from the incineration process and it takes in outside air to generate compressed air and supply it as the combustion air to the bottom of the incinerator. Therefore, the internal pressure of the incinerator becomes positive. The positive pressure inside of the incinerator contributes to reduce the amount of GHG emissions as below. First, the higher temperature range (around 880°C (1472°F)) formed in the middle layer of the incinerator expedites thermal decomposition of N_2O. Second, the turbocharged fluidized bed incinerator can be made more compact compared with the conventional incinerators, due to its internal pressurized condition and high incineration rate. Therefore, we can decrease the heat discharge from the surface of the incinerator and we can reduce auxiliary fuel usage. Third, we use the turbocharger to supply combustion air. Therefore the forced draft blower that is necessary for the conventional fluidized bed incinerators is not needed. Moreover, because the pressure inside of the incinerator is positive, the induced draft fan discharging the exhaust gas out of the system that is necessary for the conventional fluidized bed incinerators is not needed. These features contribute to use less electricity in incineration process substantially. It was the world's first technology to use pressure for incinerating dewatered sludge and the turbocharged fluidized bed incinerator was installed at Asakawa water reclamation center (or waste water treatment plant) that is one of our facilities in FY2013. We operate this system at three waste water treatment plants (Asakawa, Kasai and Shingashi) now.

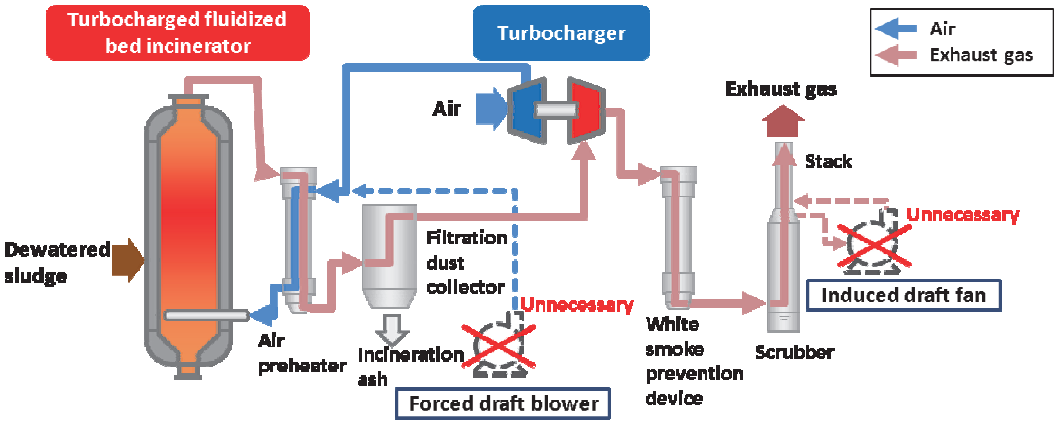


Figure6. Turbocharged fluidized bed combustion system

RESULT OF INTRODUCTION OF THIS SYSTEM

Contribution to energy reduction

As mentioned above, we can reduce electricity usage and auxiliary fuel usage for incineration process by installing the turbocharged fluidized bed combustion system compared with the conventional incinerators.

We show the result of the installation the turbocharged fluidized bed incineration system at Shingashi water reclamation center as an example. We used electricity for the incineration process approximately 3.5million kWh/year and we use auxiliary fuel approximately 920,000 Nm^3/year for operating the previous type of incinerator in FY2012. Then, thanks to installing the turbocharged fluidized bed incineration system, we could reduce electricity usage for incineration process by 53 percent (1.6million kWh/year) and auxiliary fuel usage by 87 percent (120,000 Nm^3/year) in FY2016. In addition, compared with specific energy consumption, the previous incinerator used 92.2kWh to incinerate 1 wet ton of sludge. On the other hand, the turbocharged fluidized bed incinerator used 37.9kWh (59 percent reduction) to incinerate 1 wet ton of sludge. Furthermore, the previous incinerator used 24Nm^3 to incinerate 1 wet ton of sludge. On the other hand, the turbocharged fluidized bed incinerator used 2.7Nm^3 (89 percent reduction) to incinerate 1 ton of dewatered sludge (Figure7).

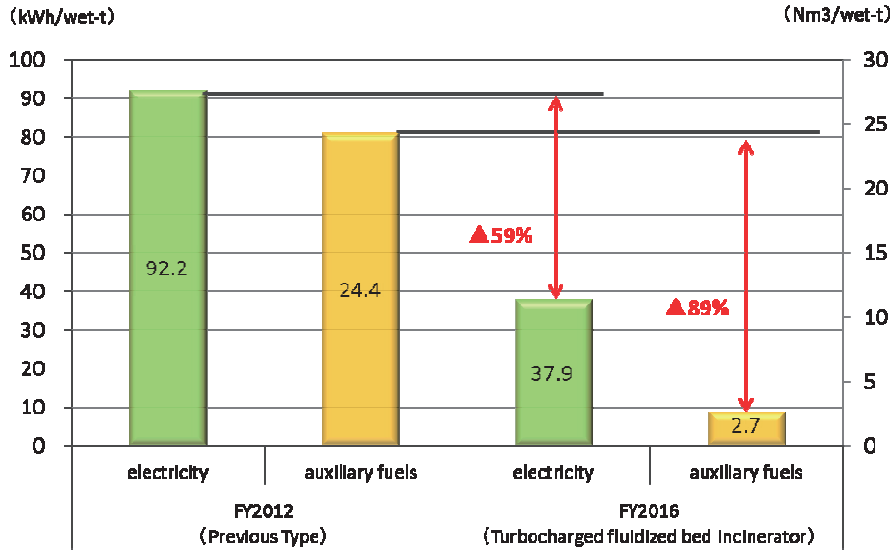


Figure7. Comparison of specific energy consumption

Contribution to GHG emissions reduction

We set the target to reduce 40 percent or more CO_2 emissions caused by using electricity for the incineration process, 50 percent or more N_2O emissions caused by incinerating sludge and 20 percent or more CO_2 emissions caused by using auxiliary fuel for incineration process compared with the conventional fluidized bed incinerators (at the first stage).

Figure8 shows the comparison of GHG emissions caused by incinerating sludge at the Shingashi water reclamation center. The CO_2 conversion factor of electricity is 0.489t-CO_2/thousand kWh and the CO_2 conversion factor of auxiliary fuel is 2.244t-CO_2/thousand Nm^3. Then, we emitted GHG emissions approximately 11,000t-CO_2/year including sludge incineration origin N_2O from conventional fluidized bed incinerator in FY2012. On the other hand, as the result of installing the turbocharged fluidized bed combustion system, we could reduce GHG emissions by 73 percent (approximately 3,000t-CO_2 emitted).

Table1 shows the comparison of CO_2 emissions intensity (t-CO_2/wet-t) between the conventional fluidized bed incinerator and the turbocharged fluidized bed incinerator. Compared with the conventional incinerator, we could reduce CO_2 emissions intensity of sludge incineration origin N_2O by 77 percent, auxiliary fuel origin CO_2 by 89 percent and electricity origin CO_2 by 58 percent by installing of turbocharged fluidized bed combustion system.

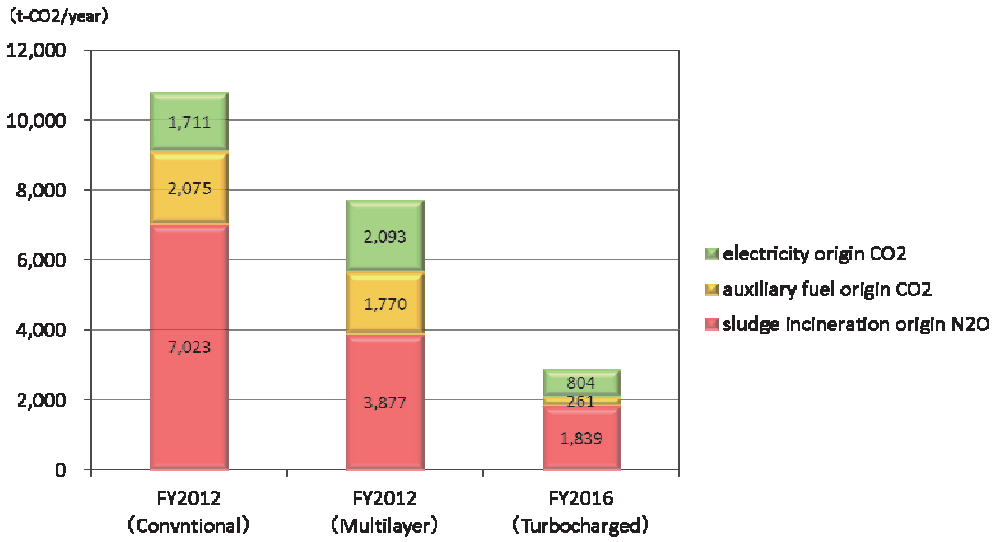


Figure8. Comparison of CO_2 emissions

Table1. Reduction of CO_2 emissions intensity

	Unit	Conventional Fluidized Bed Incinerator	Turbocharged Fluidized Bed Incinerator	Redution Rate
CO2 emissions caused by using electricity	t-CO2/wet-t	0.045	0.019	▲57.8%
	kWh/wet-t	92.2	37.9	-
CO2 emissions caused by using auxiliary fuel	t-CO2/wet-t	0.055	0.006	▲89.1%
	Nm3/wet-t	24.4	2.7	-
N2O emissions caused by incinerating sludge	t-CO2/wet-t	0.185	0.042	▲77.3%

CONCLUSION

We could reduce CO_2 emissions caused by using electricity for the incineration process by installing the turbocharged fluidized bed combustion system. Moreover, it also turned out that the N_2O emissions caused by incinerating sludge and CO_2 emissions caused by using auxiliary fuel could also be reduced substantially. We have been trying to reduce GHG emissions based on “Earth Plan 2010”. Thus, we could achieve the goal of “Earth Plan2010” ahead of schedule. Therefore, we formulated new global warming countermeasures plan named “Earth Plan 2017” that aims to reduce GHG emissions caused by sewerage services activities by 30 percent or more relative to FY 2000 by FY2030[6)] and we are trying to reduce GHG emissions furthermore in FY2016. To achieve this goal, we are advancing the development of new incineration system. For example, “energy self-sustaining incinerator system” is that it utilizes waste heat to generate enough electricity for its own consumption. Hereafter, we continue to try to reduce energy usage and GHG emissions further to achieve the goals of “Smart Plan 2014” and “Earth Plan 2017” by introducing new ideas and new technologies actively.

REFERENCE

(1) Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government (2004): *Earth Plan 2004*, Tokyo, Japan
(2) Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government (2009): *Earth Plan 2010*, Tokyo, Japan
(3) Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government (2014): *Smart Plan 2014*, Tokyo, Japan
(4) Bureau of Sewerage, Facility Management and Maintenance Division, Tokyo Metropolitan Government (2004):*gesuidoushisetsu ni okeru onshitsukoukagasu haishutsuryou jittaichousa houkokusho (Investigation Report for the Amount of GHG Emission Exhausted from Sewerage Treatment Process)*, Tokyo, Japan
(5) Bureau of Sewerage, Facility Management and Maintenance Division, Tokyo Metropolitan Government (2005):*odeishori ni okeru onshitsukoukagasu haishutsuryou sakugenchousa houkokusho (Investigation Report for Mitigation of GHG Emission Exhausted from Sewerage Treatment Process)*, Tokyo, Japan
(6) Bureau of Sewerage of Tokyo Metropolitan Government (2016): *Earth Plan 2017*, Tokyo, Japan

4-2-2　ターボ型流動焼却炉の導入とその効果について

施設管理部　施設管理課　村里　善晴
（現　建設部　設備設計課）

1. 概要

東京都下水道局（以下、当局とする）は、2003年より、東京湾内の最終埋立て処分場の延命化のため脱水汚泥の全量焼却を開始した。その結果、汚泥処理に伴う温室効果ガス排出量は増加した。この問題に対処すべく、当局は積極的にエネルギー使用量及び温室効果ガス排出量の削減に努めてきた。特に、汚泥焼却過程におけるエネルギー使用量、温室効果ガス排出量を削減するために、汚泥焼却技術を段階的に発展させてきた。

これまでは、汚泥焼却に伴い発生する一酸化二窒素（以下、N_2O とする）及び補助燃料を使用することで発生する二酸化炭素（以下、CO_2 とする）の削減に努めてきた。そして今回、焼却由来の N_2O 及び補助燃料由来の CO_2 に加え、電力使用由来の CO_2 も削減することができるターボ型流動焼却炉を導入した。

本文は、導入したターボ型流動焼却炉の効果について報告するものである。

キーワード：汚泥焼却炉、温室効果ガス排出量削減、省エネルギー、過給機

2. 背景

下水道は人々の生活や都市活動を支える必要不可欠な都市基盤施設として、汚水の処理による生活環境の改善、雨水の排除による浸水の防除及び公共用水域の水質保全など、安心で快適な都市環境の確保や良好な水環境の形成といった基本的な役割を担っている。一方で、こうした質の高い下水道サービスを提供するため、当局は、都内の電力使用量の1%強に当たる電力を使用しており、エネルギー使用量削減に大きな責務を負っている。また、今後も都内の人口増加や浸水対策、合流式下水道の改善など、下水道サービスの向上の取組により、下水道事業で発生する温室効果ガス排出量やエネルギー使用量がさらに増加することが見込まれている。

こうしたことから、当局は2004年度に下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン 2004」を策定し、事務事業活動から発生する温室効果ガス排出量を1990年度比で2009年度までに6%以上削減することを目標とし、温室効果ガス排出量の削減に努めてきた[1)]。また、2010年度には、「アースプラン 2004」の目標を達成するとともに、更なる温室効果ガス排出量の削減を推進するために「アースプラン 2010」を策定した。当局は、この「アースプラン 2010」において、事務事業活動から発生する温室効果ガス排出量を 2000年度比で2020年度までに25%以上削減することを目標とし、温室効果ガス排出量の削減に努めている[2)]。さらに、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」を策定し、総エネルギー使用量に対する再生可能エネルギー量等の割合を2024年度までに20%以上とすることを目標としエネルギー使用量の削減に努めている[3)]。

図1に、2015年度の東京都の事務事業活動における知事部局及び公営企業局の温室効果ガス排出量の割合を示す。2015年度の東京都の事務事業活動による温室効果ガス排出量は、約230万 t-CO_2 となっており、当局の事務事業活動における局別温室効果ガス排出量に占

める割合は 35%となっている。

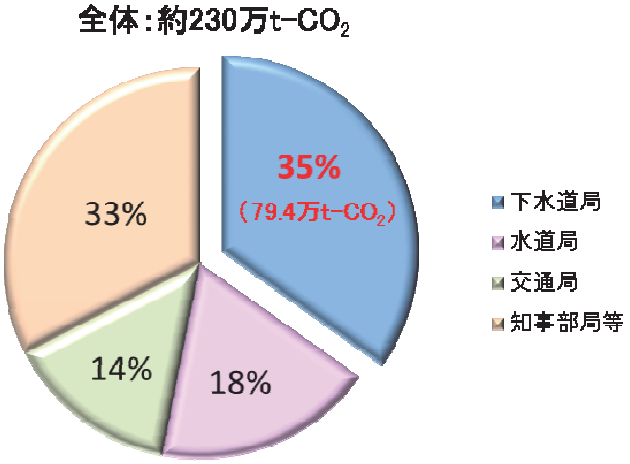


図 1　東京都における局別温室効果ガス排出量の割合（2015 年度実績）

当局は、下水処理の過程で発生する汚泥は焼却炉で焼却し、焼却灰とすることで大幅な減量化を図っており、発生した焼却灰は、主に廃棄物として東京湾内の埋立て処分場に処分している。汚泥を焼却処分している理由は、東京湾内に新たに処分場を設置できる水面が限られ、現在使用している埋立て処分場の延命化が必要となっているためであるが、一方で汚泥を焼却するために大量のエネルギーを使用している。

「アースプラン 2010」の削減目標の基準年度である 2000 年度では全体に占める汚泥処理由来による温室効果ガス排出量は、57 万 t-CO_2 で全体の 53.5%を占めていたが、2009 年度には、汚泥処理由来の温室効果ガス排出量は 40.1 万 t-CO_2 となり、42.8%にまで削減することができた。これは、CO_2 の 298 倍の温室効果を有し、主に汚泥焼却の過程で発生する N_2O の削減に積極的に取り組んできたためである。

当局は、更なるエネルギー使用量の削減や温室効果ガス排出量の削減を図るため、従来の流動焼却炉に対し、炉内の燃焼方式などを改善することにより温室効果ガス排出量を大幅に削減することができる高温省エネ型焼却システムの一種であるターボ型流動焼却炉を 2013 年度より一部の水再生センターに導入し、運用を開始している。

3.　汚泥焼却過程における温室効果ガス排出量の削減の経緯

当局はこれまで、焼却炉の運用の工夫や技術の進歩とともに新たな燃焼方式の汚泥焼却炉を導入することで温室効果ガス排出量の削減に努めてきた。

第一段階として、汚泥焼却の過程で発生する N_2O に着目し温室効果ガス排出量の削減を図ってきた。N_2O は、より高温で汚泥を焼却することで排出を抑制できることが知られている（図 2）[4)5)]。そのため、焼却温度を 800℃（1472° F）から 850℃（1562° F）に上昇させることにより、汚泥焼却由来の N_2O 排出量を約 70%削減することを目標とした。一方で、焼却温度を上昇させたことにより、炉壁の補修間隔が短くなるなどのデメリットが生じた他、補助燃料である都市ガスの使用量が増加し、補助燃料由来の温室効果ガス排出量は増加した。

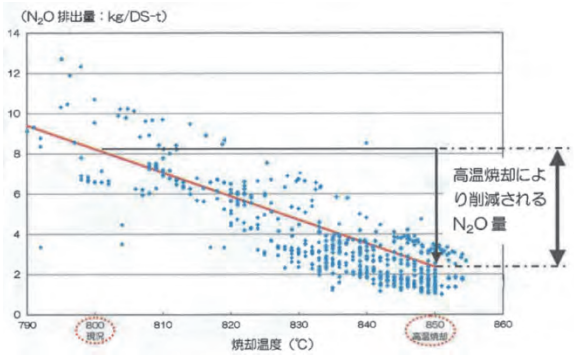


図 2　N_2O 排出量と焼却温度の相関

第二段階として、それまでの焼却炉と比較して焼却由来の N_2O と補助燃料由来の CO_2 を削減できる多層型流動焼却炉を導入した。この焼却炉の特徴は、焼却炉底部から燃焼空気を送ることに加え、炉の中段部からも燃焼に必要な空気を送風できることである。そのため、広い範囲で高温領域を形成し、N_2O を熱分解することができる（図 3）（図 4）。

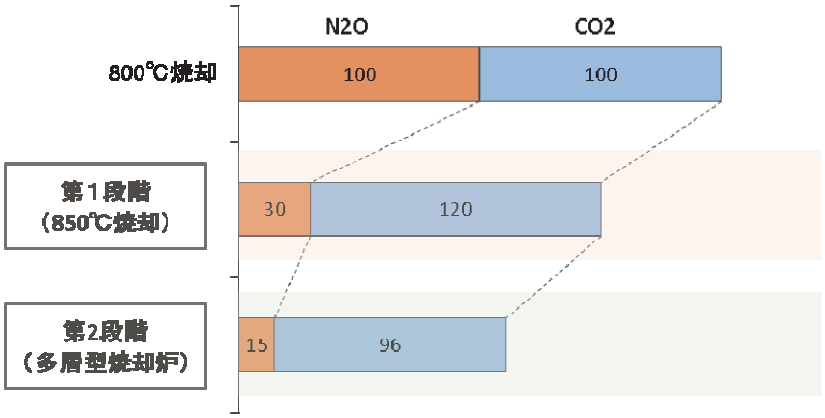


図 3　温室効果ガス排出量の削減イメージ

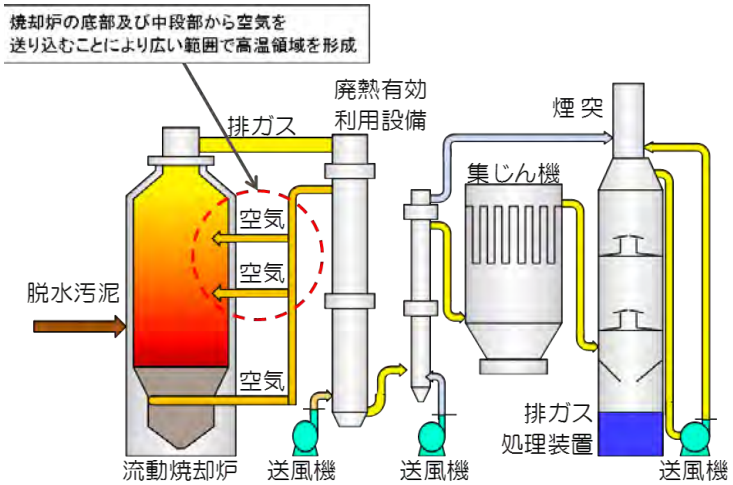


図 4　多層型流動焼却炉

このように、焼却炉の運用の工夫や新たな燃焼方式の汚泥焼却炉の導入により温室効果ガス排出量を削減してきた結果、2016 年度の焼却由来の N_2O 排出量は、2000 年度比で約 65%削減、補助燃料由来の CO_2 排出量は約 50%削減と、大幅に削減することができた。

一方で、汚泥処理電力由来の CO_2 排出量は、ほぼ横ばいとなっており、一層の温室効果

ガス排出量削減を図るためには、汚泥処理電力由来の CO_2 排出量を削減することが必要である（図 5）。

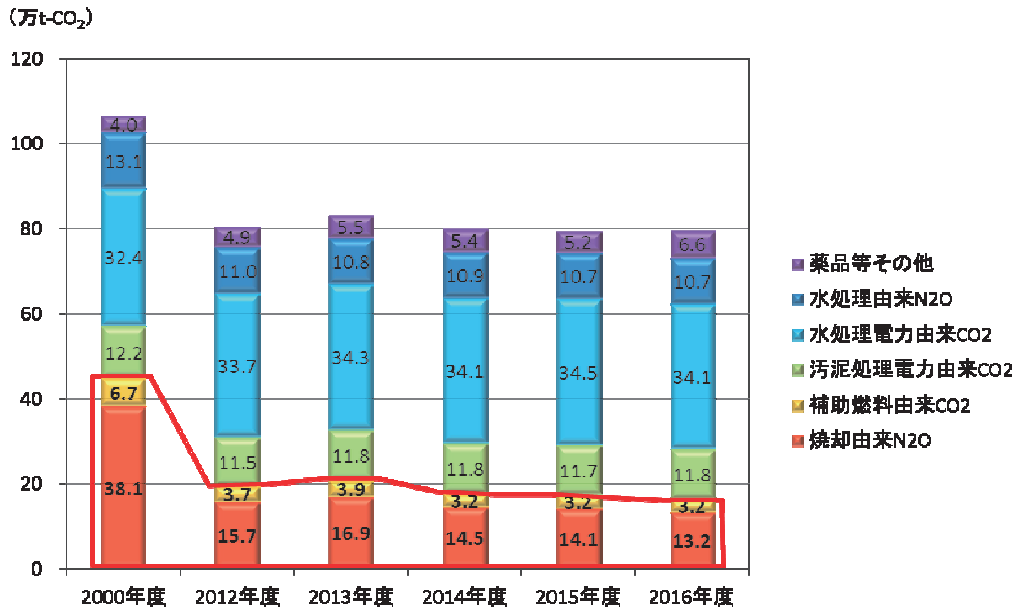


図 5　下水道局における温室効果ガス排出量の推移

4.　ターボ型流動焼却炉の導入

更なるエネルギー使用量の削減や温室効果ガス排出量の削減を図るために、当局は、2013年度よりターボ型流動焼却炉を導入・運用している。ターボ型流動焼却炉は、図 6 に示すように流動炉と過給機を組み合わせたシステムである。過給機は、焼却炉の排ガスを利用してタービンと一体になったコンプレッサを駆動し、圧縮空気を炉内に送ることで炉内を加圧状態に保つことができる。これにより、炉内に高温領域を形成することや燃焼速度を速めることが可能となる。さらに、焼却炉内部の燃焼ガスの容積が小さくなるので、従来型の焼却炉と比較してコンパクトにすることができ、焼却炉表面からの放熱量が少なくなり、補助燃料使用量の削減が可能となる。また、過給機が設置されたことによって、従来の汚泥焼却炉では必要であった焼却用の空気を焼却炉内に送るための流動ブロワや炉内圧力を大気圧以下にし、燃焼排ガスを大気に放出するための誘引ブロワが不要となることから、電力使用量の削減を図ることができる。

下水汚泥燃焼時に圧力を用いるのは世界初の技術であり、2013 年度に当局の浅川水再生センターに世界初のシステムとして導入された。現在当局では、浅川水再生センターの他、葛西水再生センター、新河岸水再生センターの 3 つの水再生センターでターボ型流動焼却炉を運用している。

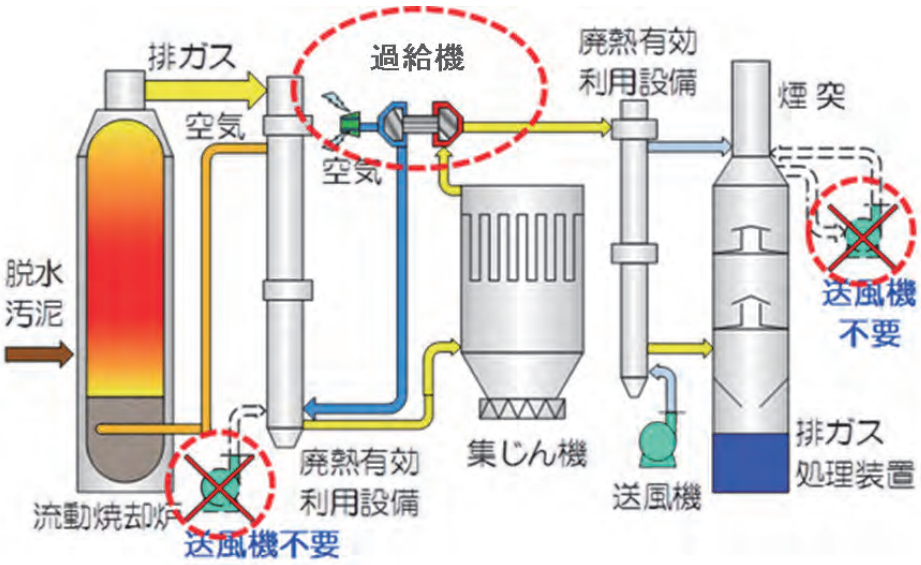


図 6　ターボ型流動焼却炉

5.　エネルギー削減効果

前述のとおり、ターボ型流動焼却炉は従来型の流動焼却炉と比較して、流動ブロワと誘引ブロワが不要となることから、電力使用量を削減できる。さらに、炉をコンパクトにすることができるため、焼却炉表面からの放熱量が減り補助燃料使用量の削減も期待できる。

ターボ型流動焼却炉を稼働したことによるエネルギー使用量削減の例を次に示す。従来型の焼却炉では、焼却に伴う電力量を年間約 350 万 kWh、補助燃料を年間約 92 万 Nm^3 使用していたが、ターボ型流動焼却炉では、焼却に伴う電力量が年間約 164 万 kWh、補助燃料は年間約 12 万 Nm^3 と、使用電力量は約 53%、補助燃料は約 87%削減することができた。また原単位で比較しても、従来型の焼却炉は汚泥 1wet-t 処理するために使用する電力量は 92.2kWh であったのに対して、ターボ型流動焼却炉では 37.9kWh と約 59%削減することができた。補助燃料使用量についても、従来型の焼却炉は汚泥 1wet-t 焼却するために約 24Nm^3 使用していたのに対して、ターボ型流動焼却炉では 2.7Nm^3 と約 89%削減することができた（図 7）。

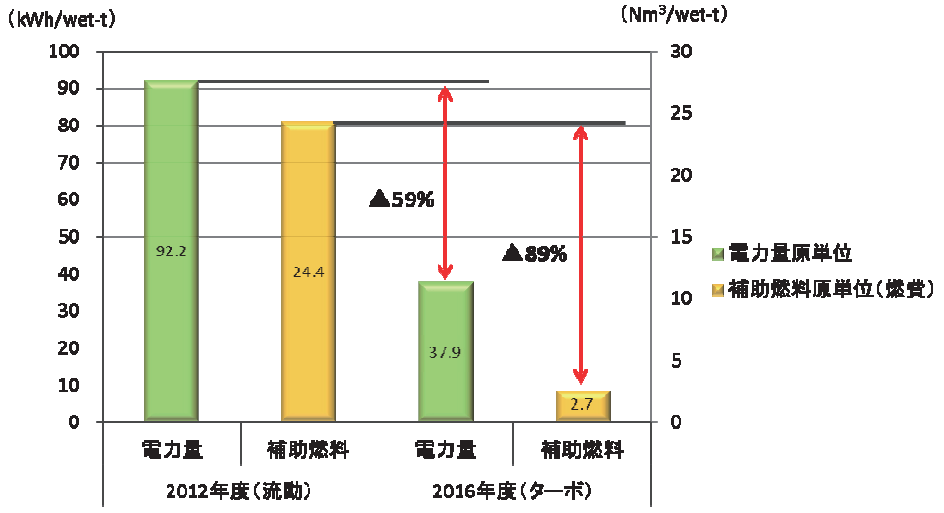


図 7　エネルギー原単位比較

6. 温室効果ガス排出量削減効果

当局は、ターボ型流動焼却炉を導入することで温室効果ガスの排出量は、従来型の焼却炉と比較して汚泥処理電力由来の CO_2 は 40%以上、焼却由来の N_2O は 50%以上、補助燃料由来の CO_2 は 20%以上削減することを目標とした。図 8 は、ターボ型流動焼却炉を稼働したことによる温室効果ガス排出量削減の例を示す。電力の温室効果ガス換算係数を 0.489t-CO_2/千 kWh、補助燃料の温室効果ガス換算係数を 2.244t-CO_2/千 Nm^3 とすると、従来型の焼却炉では、焼却由来の N_2O 排出量も含めて年間約 11,000t-CO_2 もの温室効果ガスを排出していたが、ターボ型流動焼却炉では、年間約 3,000t-CO_2 の排出量となり、約 73%削減することができた。また、表 1 は、従来型の流動焼却炉とターボ型流動焼却炉における温室効果ガス排出量原単位を比較した表である。汚泥を 1wet-t 処理することで発生する温室効果ガス排出量で比較しても、ターボ型流動焼却炉は従来型の焼却炉と比較し、焼却由来の N_2O の排出量原単位は 77%削減、補助燃料由来の CO_2 排出量原単位は 89%削減、汚泥処理電力由来の CO_2 排出量原単位は 58%削減と、目標を大幅に達成することができた。

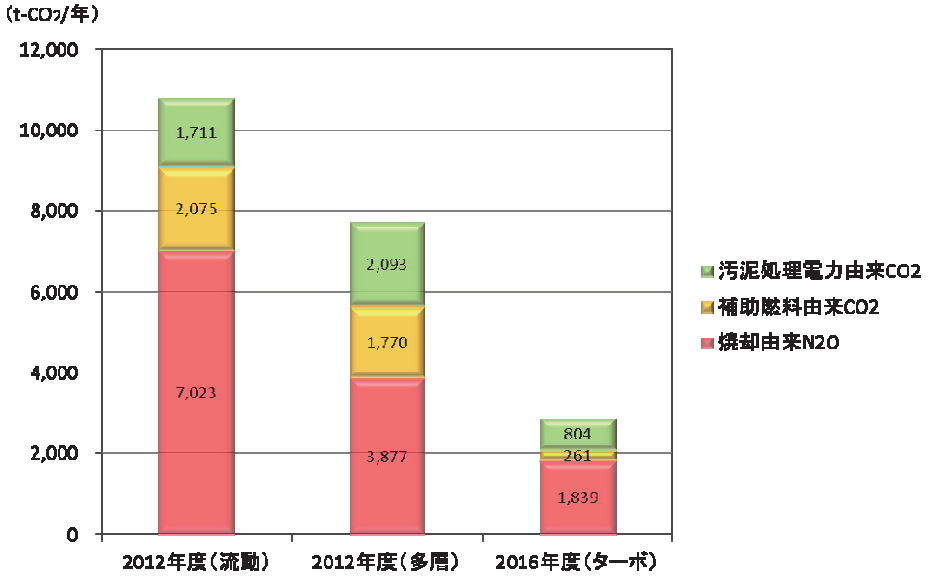


図 8　温室効果ガス排出量原単位の比較

表 1　原単位の削減率

項目	単位	従来型流動焼却炉	ターボ型流動焼却炉	削減率(%)
汚泥処理電力由来	t-CO_2/wet-t	0.045	0.019	▲ 57.8
	kWh/wet-t	92.2	37.9	–
補助燃料由来	t-CO_2/wet-t	0.055	0.006	▲ 89.1
	kWh/wet-t	24.4	2.7	–
焼却N_2O由来	t-CO_2/wet-t	0.185	0.042	▲ 77.3

6. 結論

これまでのデータ等により、ターボ型流動焼却炉は従来型の流動焼却炉と比べ、汚泥処理電力由来の CO_2 排出を削減することができるとともに、補助燃料使用量や焼却由来の N_2O の更なる削減が可能であることを確認できた。当局では、「アースプラン 2010」に基づき温室効果ガス排出量の削減に努め、2017 年度現在、前倒しで目標を達成することができて

いる。そして、更なる温室効果ガス排出量の削減に取組むため、2016 年度に「アースプラン 2017」を策定し、2000 年度比で 2030 年度までに 30%以上削減というさらに高い目標を掲げて温室効果ガス排出量の削減に努めている[6)]。この目標を達成するための取組として、当局では廃熱を利用して発電することにより焼却炉自体で必要な電気を自給することができる「エネルギー自立型焼却システム」などの開発・導入を推進しているところである。

今後もこれらの取組により、「スマートプラン 2014」及び「アースプラン 2017」の目標達成に向けて一層のエネルギー使用量及び温室効果ガス排出量の削減に努めていく。

6. 参考文献

1) 東京都下水道局（平成 16 年）
「アースプラン 2004」
2) 東京都下水道局（平成 22 年）
「アースプラン 2010」
3) 東京都下水道局（平成 26 年）
「スマートプラン 2014」
4) 東京都下水道局　施設管理部（平成 16 年）
「下水道施設における温室効果ガス排出量実態調査報告書」
5) 東京都下水道局　施設管理部（平成 17 年）
「汚泥処理における温室効果ガス排出量削減調査報告書」
6) 東京都下水道局（平成 29 年）
「アースプラン 2017」

4-2-3 Seismic Retrofitting Measures for Sewerage Structures in Tokyo

Chizuru Tanaka, Keisuke Terasako
Tokyo Metropolitan Government the Bureau of Sewerage

Key Words
Earthquake, Earthquake resistance measures, Trenchless technology, Liquefaction, Construction works

Abstract

The capital city Tokyo is the center of Japan's politics and economy, and urban infrastructure such as roads and water supply and sewerage support vigorous urban activities. For this reason, it is of utmost importance to take countermeasures against earthquakes for urban infrastructure. The Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (TMG) has been working on earthquake resistance measures such as making manholes and pipe connections earthquake resistant and prevention of manhole floating. This paper introduces earthquake resistance measures for sewer pipes in Nagatacho and Kasumigaseki District (NKD) where the capital's core functions are concentrated. Although there were many restrictions regarding construction time etc. due to necessity for coordination with many government offices and competing constructions, we could complete the work by making use of the features of seismic reinforcement technology by trenchless technology to make work procedure and working time efficient and minimize the impact on road traffic and the surrounding environment.

1. Introduction

Picture 1: Damage Occurred between the Sewer Pipes

Picture 2: Manhole Floating because of the Liquefaction Phenomena

Japan was hit by major earthquakes until now often, and the sewerage facilities were damaged due to those earthquakes. In the Great Hanshin-Awaji Earthquake occurred in January 1995, damage, protrusion, misalignment and cracking of the sewage pipes occurred, and damages were frequently observed at the connection between the sewer pipes and manholes. These damages were caused by rigid joint structure between manholes and sewer pipes which cannot absorb the

difference of movement between manholes and sewer pipes induced by earthquake motion **(Picture 1)**. In the Niigata-ken Chuetsu earthquake in 2004, liquefaction phenomena occurred due to strong tremors, and it caused many cases of manhole floating. Manhole floating not only impairs the function of the sewers but also hindered road traffic by salient manholes above the ground and affected emergency restoration activities and relief and rescue activities at the time of earthquakes **(Picture 2)**.

In the Great East Japan Earthquake that occurred in 2011, the administrative buildings in the coastal area of Tohoku District were damaged, administrative functions and economic activity stagnated. In the Kanto Region, liquefaction phenomena occurred and damage was extensive. Tokyo is said that within the next 30 years there will be a 70% chance of an epicentral earthquake directly under the capital occurring, and if Tokyo were to be damaged similarly, the whole country would be affected enormously. In particular, in NKD, core functions of the Japanese capital such as the National Diet are concentrated, and the importance of countermeasures against earthquakes for sewer pipes is extremely high.

2. The Importance of Earthquake Resistance Measures in Tokyo

2.1. Seismic Reinforcement Technology Supporting Countermeasures against Earthquake

The Bureau of Sewerage, TMG supported the development of seismic reinforcement technology of private enterprises in response to the damage of sewer pipes caused by earthquakes and put them into practical use. We jointly developed a technology to make the junction of a sewer pipe and a manhole with flexible structure (trenchless technology of seismic reinforcement construction: TTSRC) and a technology to prevent liquefaction phenomena around manholes (trenchless technology of manhole floating prevention: TTMFP) with private enterprises and have been promoting earthquake resistance of sewer pipes.

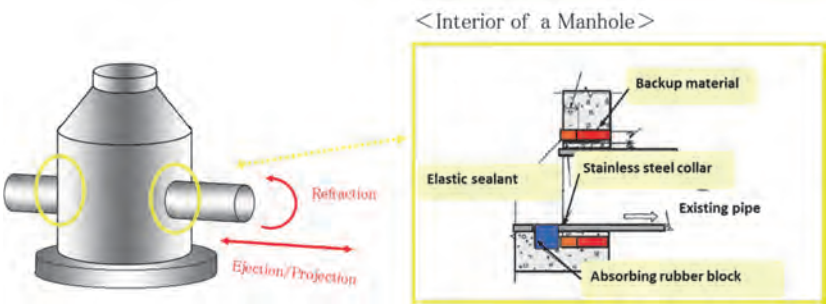


Figure 1: Model Chart of TTSRC

Picture 3: Cutting the Manhole

TTSRC responds to bending and protrusion at the time of earthquake by cutting the outer parts of the pipe (manhole side wall part) with a cutting machine from inside the manhole and injecting elastic joint material into the cut part. By doing this, it is possible to secure the flowing function of the sewer **(Figure 1, Picture 3)**.

TTMFP refers a method that a wall is drilled from the interior of a manhole **(Picture 4)**, a pressure relief valve (dissipation valve: **Picture 5**) is attached, and the excess pore water pressure is dissipated into the manhole through the dissipation valve **(Figure 2)**.

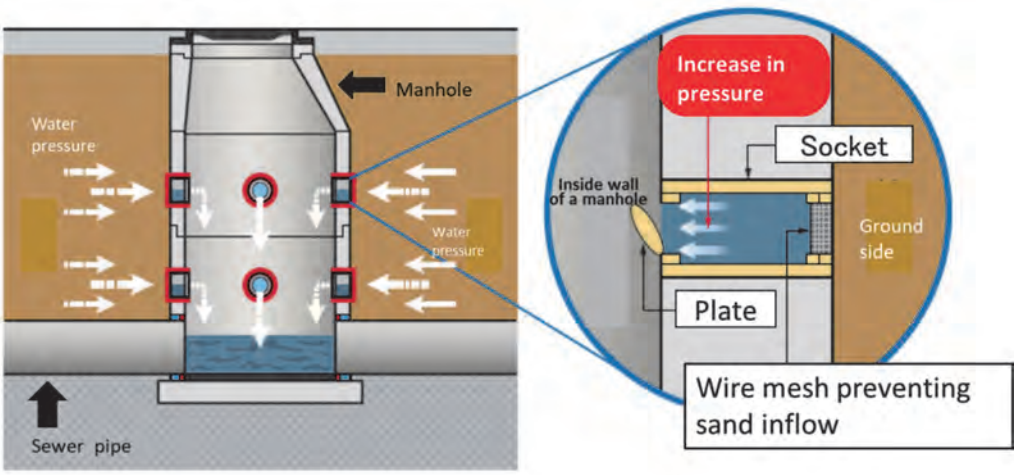


Figure 2: Model Chart of TTMFP

Picture 4: Drilling the Manhole

Picture 5: Dissipation Valve

By suppressing the impact on the manhole caused by liquefaction, it is possible to prevent manhole floating and to reduce the influence on the road traffic.

Since these two construction methods apply seismic reinforcement from the inside of the existing manhole, construction can be done without road excavation by keeping sewage flowing, and the cost is lower and the construction time is shorter than the construction method to replace the manhole. In addition, since the equipment used is small and easy to move, the noise and vibration accompanying the work is also small. Furthermore, as only few ground facilities are required and the work can be done inside the manhole, using these methods can also suppress the impact on road traffic and pedestrians.

2.2. Countermeasures against Earthquakes for Sewer Pipes in Tokyo Metropolis

The total length of sewer pipes managed by the Bureau of Sewerage, TMG is approximately 16,000 km and the number of manholes reaches 480 thousand, and thus, it takes a lot of time and expense to apply seismic reinforcement to all of these sewer pipes. For this reason, TMG gave priority to districts where people gather at the time of earthquake and has been taking countermeasures against earthquake for these prioritized areas and facilities. TTSRC has been applied to sewer pipes receiving sewage from evacuation centers where people gather at the time of earthquake, disaster recovery bases designated by the state, the Metropolitan Government or each ward, terminal stations, areas where evacuation is not necessary where people can stay within the districts as there is no fear of large-scale fire and evacuation is not required, etc. In particular, since the damage of the sewage was concentrated on the sewer pipes with the diameter of 800 mm or less, we have been working on the pipes with diameter of 800 mm or less.

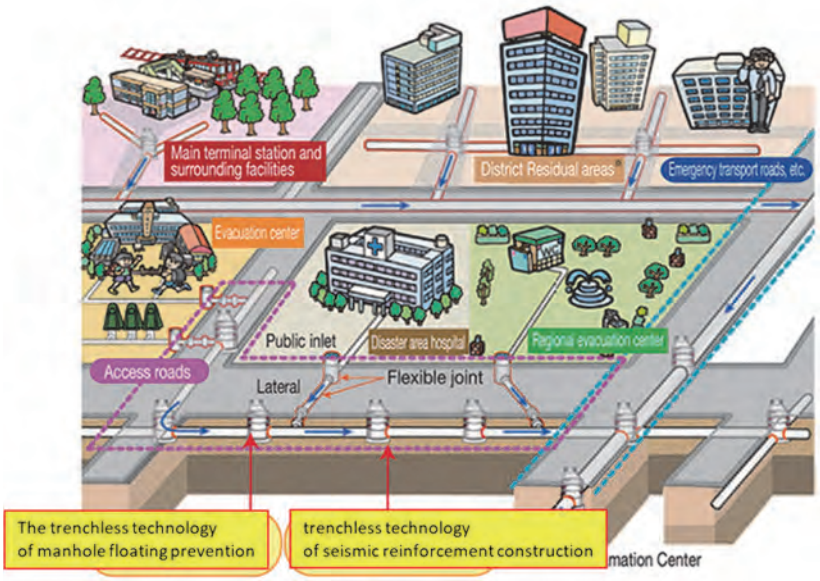


Figure 3: The Image about Countermeasures against Earthquakes in Tokyo

In addition, TTMFP has been applied to emergency transportation roads that support material transportation and emergency restoration at the time of earthquake and access roads connecting the emergency transportation roads to each evacuation center and disaster recovery base within the areas where liquefaction is predicted **(Figure 3)**.

3. Problem definition

3.1. Overview of Nagatacho and Kasumigaseki District (NKD)

NKD, located in the southwest of Tokyo Station, has an area of 210 hectares, and it is a government office area with a population of 200,000 in the daytime. As there are many state guests and government dignitaries visiting important institutions of the country in this district, we regularly conduct facility inspections in a systematic manner in preparation for terrorism such as intrusion into facilities via sewer pipes and dangerous acts. On the other hand, as many of the sewer pipes in this district exceeded the legal service life of 50 years, there has been concern about the deterioration in function at the time of earthquake. Liquefaction is also presumed in most parts of the district. For this reason, in this work, priority is given to 17 facilities **(Table 1)**

Table 1: The List of 17 Facilities for Seismic Reinforcement of Sewer Pipes

Number	Facilities
1	National Diet
2	Legislative Bureau of House of Councilors
3	Prime Minister's Office
4	Board of Audit
5	Cabinet Office
6	Financial Service Agency
7	Ministry of Internal Affairs and Communication
8	Ministry of Foreign Affairs
9	Ministry of Education
10	Culture, Science, Sports and Technology, Agency for Cultural Affairs
11	Japan Patent Office
12	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
13	Tokyo Metropolitan Police Department
14	NTT DOCOMO, Inc.
15	National Personnel Authority
16	Ministry of Health, Labor and Welfare
17	Ministry of Economy, Trade and Industry

and 6 km of emergency transportation roads both of which are important as recovery bases at the

time of earthquake, and we decided to implement seismic reinforcement by TTSRC and TTMFP **(Figure 4)**.

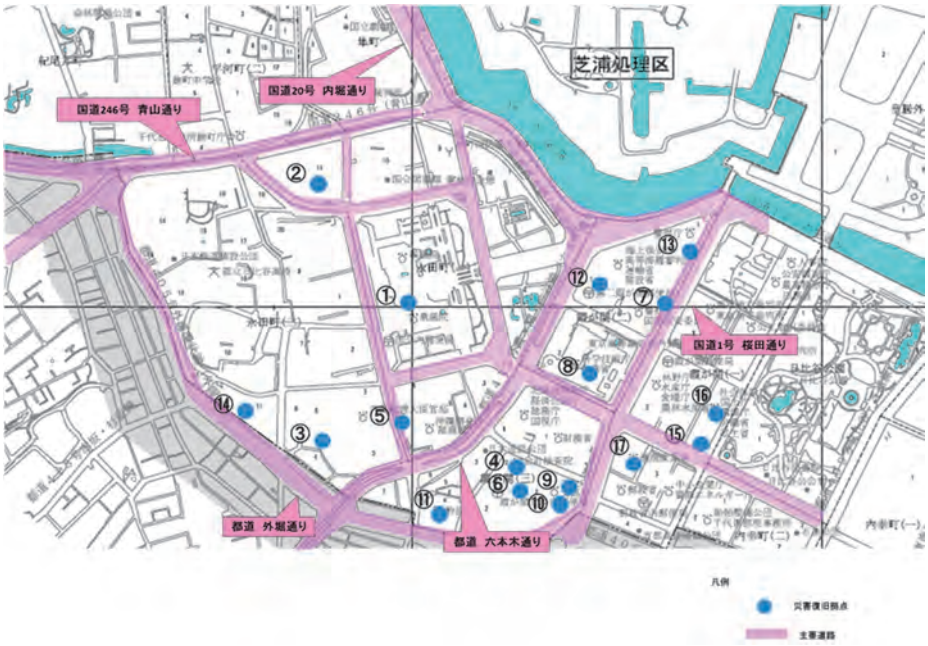


Figure 4: The Construction Map

The details of the construction work are as follows:

Construction period: from 7 August 2015 to 5 July 2016, 220 days

Construction purpose: seismic reinforcement of sewer pipes in NKD

Target facilities: seismic reinforcement of sewer pipes receiving sewage from disaster recovery bases (17 facilities) and manhole floating prevention along 6 km of emergency transportation roads

Construction quantity: 131 locations for TTSRC and 47 locations for TTMFP

3.2. Challenges in Proceeding the Construction

In NKD, many underground buried objects are congested, and it has large traffic volume and many parked vehicles so that traffic regulation has been difficult. As the Diet, ministries and government agencies are located in this district, it was also requested to minimize the influence of construction as much as possible. On the other hand, other lifeline constructions and redevelopment projects were carried out within the same district, and the construction period and the working time were restricted when implementing the construction. In particular, due to the difficulties in coordination with government agencies and in traffic regulation, even during the construction period, it was required to implement the construction on holidays or between 21: 00 and 6: 00 with less traffic volume. Furthermore, in order to avoid overlapping with other constructions, construction period was also limited at some construction sites. In response to such site conditions, ingenuity of the construction method was required in order to complete the construction within the initial construction period.

3.3 Approaches

Specifically, we addressed the following 3 points to solve the above-mentioned challenges.

3.3.1 Gathering Construction Process in Three Areas

First, we tried to speed up the work by reducing the work waiting time and travel time. TTSRC has 4 main stages in its process, namely (i) invert chipping, (ii) cutting, (iii) sealing, (iv) invert restoration, and each stage requires different equipment to be used and technical experts.

In the construction procedure at the design stage, it was planned to complete the work on manholes one by one by replacing equipment to be used and replacing workers for each stage. Movement between construction sites would also create a loss of time.

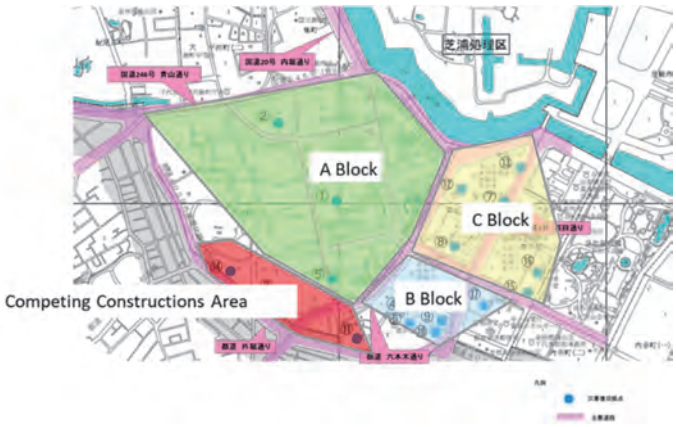


Figure 5: The Working Zone Map

However, in practice, for 100 sites excluding the overlapping sites out of the 140 sites subject to construction, considering the maximum amount of work per day, we divided the construction range into 3 blocks**(Figure 5)** and increased the number of work units at one time up to 3 at the maximum.

The same work was done continuously in a few days within one block and after the work was completed, the team moved to the next block so that the work process transferred not for each manhole but for each block. By reducing time for retooling equipment to be used and time for shifting workers, we reduced the waiting time and travel time for work, made full use of working time, and improved work efficiency. As a result of preparing the single work process, the amount of work per day increased and the construction period could be shortened.

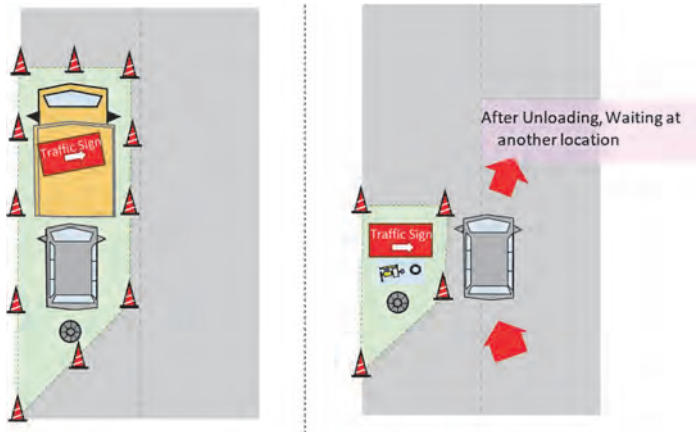
3.3.2 Assembling the Cutting Machine in the Factory

Secondly, by assembling the equipment outside the construction site and loading it to the site, the work at the site became more efficient. In the case of TTSRC, cutting equipment is normally assembled on site.

For the construction this time, as the working time at the site was limited, we made it possible to secure longer time for working on site by assembling equipment in advance at the factory and loading it to the site.

3.3.3 Minimizing the Working Zone

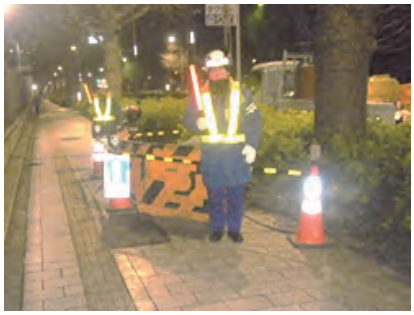
Thirdly, for 40 sites overlapping with other construction works, we narrowed down the working zone and realized competing constructions. In order to perform on-road construction, it is required to reduce the influence on road traffic. In particular, if the working zones are adjacent to each other, they would become an obstruction to road traffic and it might be impossible to get permission for construction from the traffic administrator.



Ordinary Working Zone ($25m^2$)

Reduced Working Zone ($10m^2$)

Figure6: Difference from Working Zone



Picture 6: The Working Zone

For example, for TTSRC, a work area of 25 m^2 is required at the time of construction. In order to implement construction at the same time at two adjacent places, it has been required to separate them more than 300 m between each other. In order to realize the construction at the adjacent places this time, we parked the work vehicle carrying the equipment to the work zone at another location and reduced the work area to 10 m^2 **(Figure 6, Picture 6)**. By reducing the influence on road traffic, we could obtain the understanding of traffic administrators and carry out competing constructions.

In this construction work, we tenaciously consulted with concerned organizations in NKD and competing construction providers, and adjusted the construction date, construction time, construction sites to prepare conditions for launching the work on site. In addition, by making full use of the features of the trenchless technology of seismic reinforcement technology, we minimized the influence on road traffic and the surrounding environment. We also worked on ingenuity at the work site and completed the work by shortening construction period.

4. Conclusion

TMG has been making its efforts in realizing an earthquake resistant town in preparation for an epicentral earthquake directly under the capital which is expected in the future. Considering the priority of target areas and target facilities, the Bureau of Sewerage is promoting countermeasures for sewer pipes against earthquake by actively utilizing TTSRC and TTMFP that can be implemented while draining sewage without excavating the road.

In the future of NKD, we will work on earthquake resistance of the whole sewer pipes throughout the area for 3 years starting from 2021 to improve earthquake resistance of the entire area. In addition to this, the Bureau of Sewerage will implement seismic reinforcement of the sewer pipes for 2000 facilities in the Metropolis and manhole floating prevention for 750 km of roads for 5 years starting from 2016. We will continue to steadily promote earthquake resistance of sewer pipes and will further enhance the safety and security of the capital Tokyo.

References

1) Tokyo Metropolitan Government the Bureau of Sewerage (2016). *Sewerage in Tokyo 2016*. (pp.14-15). Japan

2)Yukihiro Ishikawa (2011).85th WEF Conference 2011. *Technology Development of Anti- seismic Structures for Sewer Networks*

3)Yukihiro Ishikawa, Kenzo Sato, Shohei Iwasaki, Tsutomu Tanaka, Kohei Nakatani (2011). 48th Sewage Reaserch Conference. *Method to Strengthen Seismic Resistance in Existing Large-diameter Pipes. (*pp.112-114). Japan

4)Shohei Iwasaki (2017). 28th Trechless Technology Workshop. *Two Methods of Construction to Reinforce an Existing Manhole Against Earthquake*. (pp.93-100). Japan

4-2-3　首都中枢機能が集積する永田町エリアにおける下水道管きょ耐震化事業

中部下水道事務所　建設課　寺迫　圭介
田中　千鶴
（現　建設部　土木設計課）

要約

首都東京は、日本の政治・経済の中心であり、旺盛な都市活動を道路や上下水道等の都市インフラが支える。このため、都市インフラの震災対策の重要性は極めて高く、東京都下水道局では、下水道管の震災対策として、人孔と管の接続部の耐震化や人孔浮上抑制対策に取り組んでいる。今回は、首都中枢機能が集積する永田町・霞が関地区における下水道管の耐震化を紹介する。多くの官庁や競合工事との調整において施工時間などに制約を受けたものの、非開削による耐震化技術の特徴を生かし、作業手順や作業時間を効率化して、道路交通や周辺環境への影響を最小限にとどめ、工事を完了することができた。

キーワード：首都直下型地震、耐震化、非開削工法、液状化現象、施工事例

1.　はじめに

写真 1　地震による管口破損状況

写真 2　液状化による人孔浮上状況

日本は過去 30 年間に 8 つの大きな地震に見舞われ、下水道施設が被災した。1995 年 1 月に発生した阪神淡路大震災では、下水道管の破損・突き出し・ずれ・ひび割れが発生し、下水道管と人孔の接続部に被害が多くみられた。人孔と下水道管が剛接合になっているために、接続部が地震動に対する人孔と下水道管の挙動の違いを吸収できないことに起因している（**写真 1**）。また、2003 年に発生した十勝沖地震や 2004 年に発生した新潟県中越地震では、強い揺れにより液状化現象が発生し、これより多数の人孔の浮上が確認された（**写真 2**）。人孔浮上は、下水道の流下機能を損なうだけではなく、地上に突出したことにより道路交通を阻害し、地震時の応急復旧活動や救援・救助活動にも影響を与えた。

2011 年に発生した東日本大震災では東北地方沿岸部の自治体の行政庁舎が被災し、行政機能や経済活動が停滞した。東京では、今後 30 年以内に 70%の確率で首都直下型地震が発生すると言われており、同様に被災すれば、国全体に甚大な影響が及ぶ。特に、永田町・霞が関地区は国会や首相官邸、各省庁などの日本の首都中枢機能が集積しており、下水道管の震災対策の重要性は極めて高い。

2.　東京都における下水道管の震災対策

2.1　震災対策を支える耐震化技術

東京都下水道局では、下水道管の被害を受けて、民間企業の耐震化技術の開発を支援してきた。その中で、下水道管と人孔の接合部を柔軟な構造にする技術（非開削耐震化工法）や人孔周辺地盤の液状化現象を抑える技術（非開削人孔浮上抑制工法）を民間企業と共同開発し、下水道管の耐震化に取り組んできた。

非開削耐震化工法とは、人孔内から切削機で管きょ外周部（人孔側壁部）を切削し、切削部分に弾性目地材を注入することで、地震時の屈曲・突出しに対応する（**図 1･2**）施工状況は、**写真 3** に示す通りである。これにより、下水道の流下機能を確保することができる。

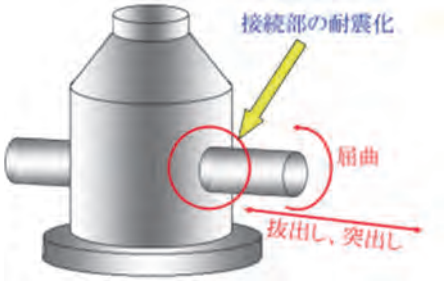


図 1　非開削耐震化工法模式図

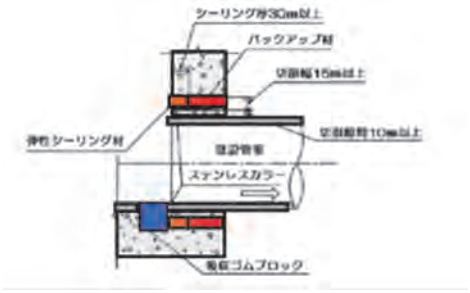


図 2　接続部拡大図

写真 3　切削状況

非開削人孔浮上抑制工法は、人孔内部から壁を削孔して圧力開放弁（消散弁（**写真 4**））を取付け、この消散弁を通して過剰間隙水圧を人孔内に消散させる（**図 3**）。施工状況は**写真 5** の通りである。液状化現象による人孔への影響を抑えることで、人孔の浮上を抑制し、道路交通への影響も小さくすることができる（**図 4**）。

写真 4　圧力開放弁（消散弁）

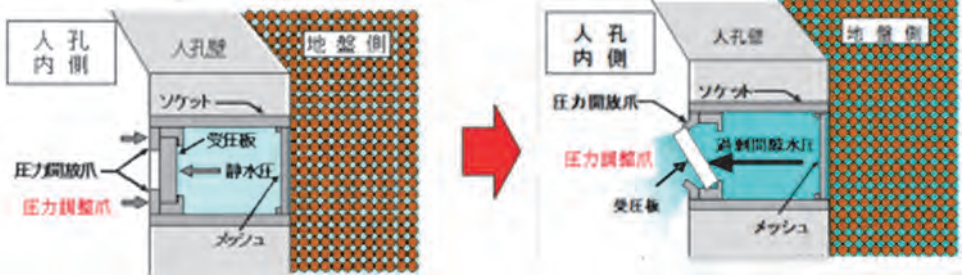


図 3　液状化発生時の消散弁開放状況

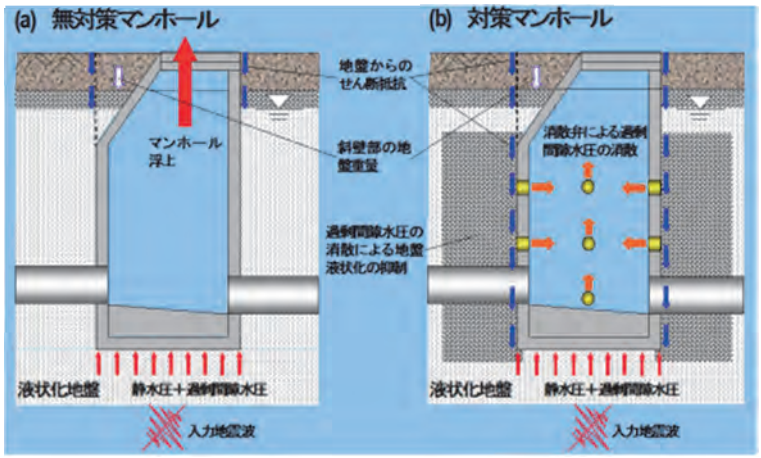


図 4　非開削人孔浮上抑制工法の概念図

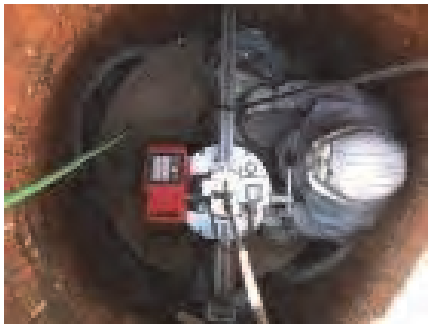


写真 5　人孔内部からの切削状況

2つの工法は既設人孔内部より耐震化を行うため、道路掘削を伴わず下水を流しながら施工ができることから、人孔を取り換える工法と比べて費用も安く施工時間も短い。また、使用機材が小さいので移動しやすく、作業に伴う騒音・振動も少ない。さらに、地上設備も少なく人孔内で作業できるため、道路交通や歩行者への影響も抑えることができる。

2.2　震災対策の取組み

東京都下水道局が管理する下水道管は約16,000km、人孔は48万箇所にも及び、全ての下水道管きょを耐震化するには多大な時間と費用を要する。このため、東京都では、震災時に人が集まる地区や重要となる対象施設を優先して震災対策に取り組んでいる（**図5**）。非開削耐震化工法は、震災時に人が集まる避難所や、国や都、区が指定した災害時復旧拠点や、ターミナル駅、大規模火災の恐れがなく避難を必要としない地区内残留地区などから排水を受ける下水道管を対象に実施している。特に、これまでの下水道管の被害は管径800mm以下の下水道管に集中していたため、管径800mm以下を対象に取組を進めている。

また、非開削人孔浮上抑制工法は、液状化が想定される地域において、震災時に物資輸送や応急復旧を支える緊急輸送道路や、緊急輸送道路と各避難所、災害復旧拠点を結ぶアクセス道路などを対象に、対策を実施している。

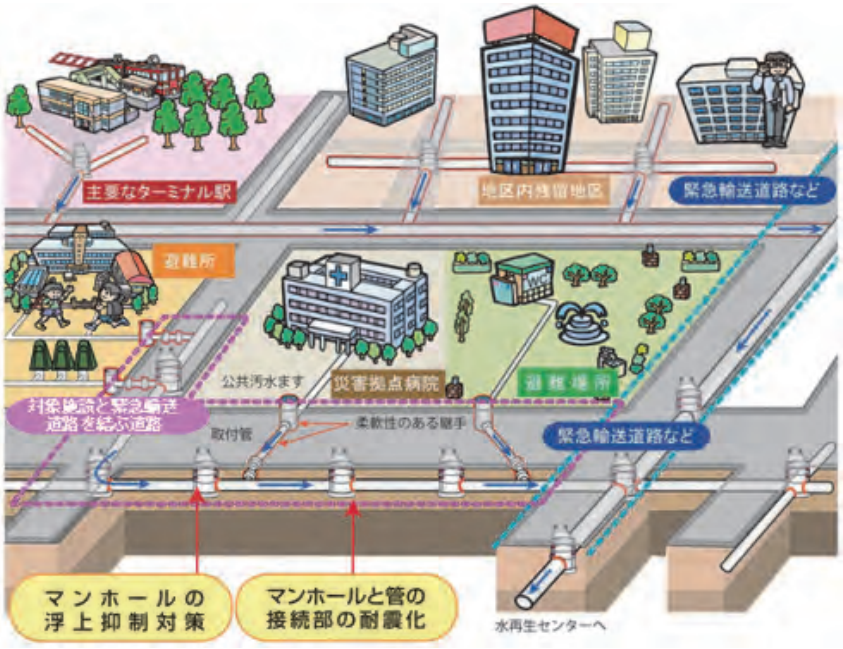


図5　緊急輸送道路　地区内残留地区模式図

3.　永田町・霞が関地区の下水道管の震災対策

3.1　永田町・霞が関地区の概要

永田町・霞が関地区は、東京駅の南西に位置する、面積210ha、昼間人口約20万人の官庁街である。本地区は国の重要機関を訪れる国賓や政府要人が多いため、下水道管を経由した施設への侵入や危険行為等のテロに備えて計画的に施設点検を行うなど、日頃から危機管理に取り組んでいる。一方、本地区の下水道管きょの多くが法定耐用年数50年を超過し、地震時には機能低下が懸念され、地区の大部分では地盤の液状化が想定された。

このため、本工事では、地震時に復旧拠点として重要となる17施設（**表1**）と緊急輸送道路6kmの対策を優先することとし、非開削耐震化工法と非開削人孔浮上抑制工法による耐震化に取り組むこととした（**図6**）。

工事内容は以下のとおりである。

工期：平成27年8月7日～平成28年7月5日　220日間

施工目的：永田町・霞が関地区の下水道管の耐震化

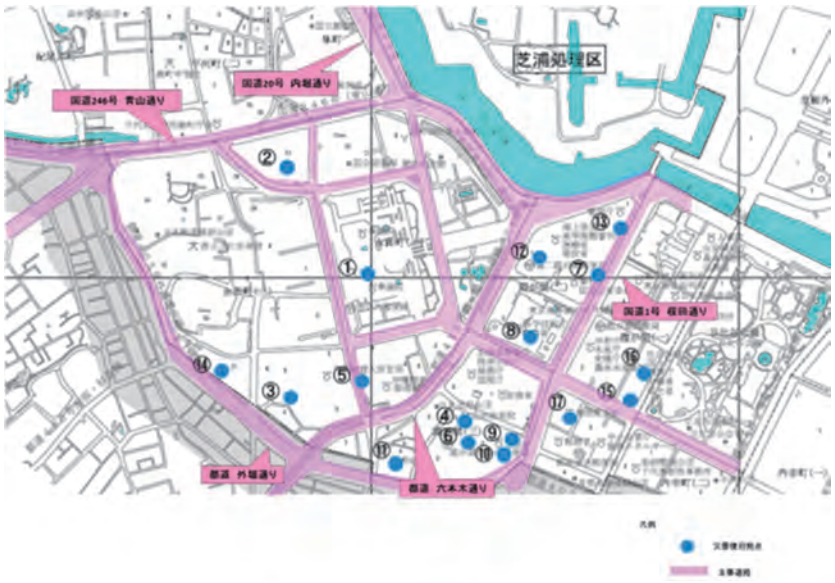


図 6　霞が関二、三耐震化工事施工範囲

表 1　災害復旧拠点

番号	施設	番号	施設
1	国会	10	文化庁
2	参議院法制局	11	特許庁
3	首相官邸	12	国土交通省
4	会計検査院	13	警視庁
5	内閣府	14	(株)NTTドコモ
6	金融庁	15	人事院
7	総務省	16	厚生労働省
8	外務省	17	経済産業省
9	文部科学省	-	-

対象施設；災害復旧拠点（17 施設）から排水を受ける下水道管の耐震化、
緊急輸送道路 6km の人孔浮上抑制対策
施工数量：非開削耐震化工法 131 か所　非開削人孔浮上抑制工法 47 か所

3.2　施工上の課題

永田町・霞が関地区は、多くの地下埋設物が輻輳し、かつ交通量や駐車車両が多く交通規制が困難な状況であった。また、国会や各省庁などの立地から工事上の影響を極力抑えることも求められた。一方で、同じ地区内で他のライフライン工事や再開発事業等が行われ、施工にあたっては工事時期や作業時間の制約が生じた。特に、官公庁との調整や交通規制の難しさから、工期内においても交通量の少ない休日や 21：00～6：00 間の夜間施工を求められた。さらに、他工事との競合を避けるため、施工期間を限定された施工箇所も生じた。こうした現場条件に対応し、当初工期内で工事を完了させるため、施工方法の工夫が求められた。

3.3　現場における施工方法の工夫

上記の問題を解決するため、具体的に下記の 3 点に取り組んだ。

3.3.1　同施工工程の集約化

第一に、現場の作業待ち時間や移動時間を減らし、作業のスピードアップを図った。非開削耐震化工法には、①インバートはつり、②切削、③シーリング、④インバート復旧、の 4 つの作業工程があり、作業工程ごとに使用機材や専門技術者が異なる。設計段階での施工手順では、1 人孔につき 1 工程ずつ作業し、工事を完了させる工期設定であり、施工の際は、使用機材の取り替えや作業員の入れ替えを行った。施工箇所間の移動も時間のロスであった。

本工事では、工事対象の 140 か所のうち、競合箇所を除く 100 か所については、1 日の最大作業量を考慮して施工範囲を 3 つのブロックに分割し、施工口数を最大 3 口まで増加させた（**図 7**）。1 つのブロック内では同じ作業を数日間かけて連続的に行い、作業完了後

には次のブロックに移動し、人孔ごとではなく、ブロックごとに作業工程を移り変えた。使用機材の段取り替えや作業員の交代時間を極力減らすことで、作業の待ち時間や移動時間を減らして、作業時間一杯活用し、作業効率を改善させた。単一の作業工程にした結果、日当たり施工量が増加し、工期短縮をすることができた。

図 8　施工ブロック

3.3.2　作業帯内での資材設置時間の短縮化

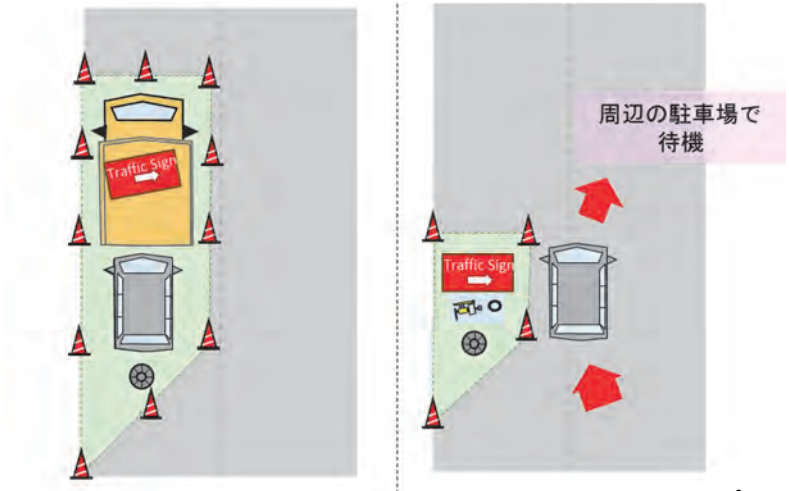
第二に、使用機材を事前に現場外で組み立て、現場搬入することで、現場作業を効率化させた。

非開削耐震化工法の人孔切削の工程では、通常、切削機本体と切削刃を現場の作業帯内で組み立ててから使用している。しかし、本工事では現場での作業時間が限られていることから、工場で事前に切削機材を組み立てて搬入することで、現場での作業を直ちに着手可能にし、実作業の時間をより長く確保することができた。

3.3.3　作業帯縮小による競合工事の実現化

第三に、他工事と競合する 40 か所については、作業帯を縮小させて、競合施工を実現させた。路上工事を行うには、道路交通への影響を小さくすることが求められる。特に、作業帯が隣接すると道路交通に支障となるため、交通管理者からの工事の許可が得られない。例えば、非開削耐震化工法では、施工時に 25m^2 の作業面積が必要となる。隣接した 2 か所で同時期に施工するためには、300m 以上離すことを求められてきた。

そこで、本工事では、隣接箇所での施工を実現するため、作業帯内に機材を持ち込む作業車両を周辺の駐車場で待機させることで、作業面積を 10m^2 に縮小させた（**図 8・写真 6**）。道路交通への影響を減少させた結果、交通管理者の理解が得られて、競合工事を行うことができた。



通常施工時の作業帯：25m^2　　縮小した作業帯：10m^2

図 8　本工事での縮小した作業帯図

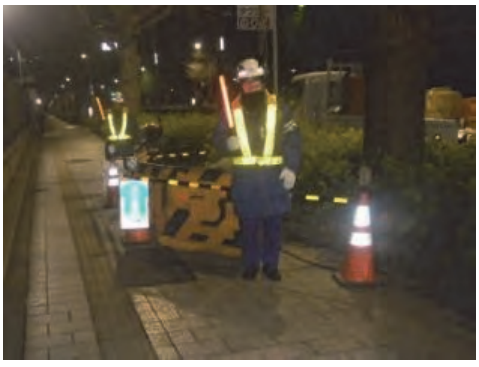


写真 6　作業帯設置状況

以上のように、永田町・霞が関地区の関係機関、競合工事と粘り強く協議を重ねて、施工日や施工時間、施工箇所の調整を行い、現場着手条件を整えた。また、非開削耐震化工

法の技術の特長を最大限生かすことで道路交通や周辺環境への影響を抑えて、さらに現場での創意工夫にも取り組み、作業日数を短縮させて工事を完了することができた。

4. まとめ

東京都では、将来予想される首都直下型地震に備えて、地震に強いまちづくりに取り組んでいる。東京都下水道局では、対象地区や対象施設の優先度を考慮しつつ、道路を掘り返すことなく、下水を流しながら施工できる、非開削耐震化工法や非開削人孔浮上抑制工法を積極的に活用し、下水道管の震災対策を推進している。

永田町・霞が関地区の今後は地区全体の下水道管の耐震性を向上させるため、2021 年からの 3 か年でエリア全域の耐震化に取り組む。このほか東京都では、2016 年からの 5 年間で都内の下水道管の耐震化施設 2000 か所、人孔浮上抑制対策 750km を実施する。引き続き下水道管の耐震化を着実に推進し、首都東京の安全・安心をより一層高めていく。

参考文献

1) 東京都下水道局（2016)『東京都下水道事業　経営計画 2016』pp14-15　東京都下水道局

2) 石川幸裕(2012)「管路施設の耐震化技術の開発」『東京都下水道局技術調査年報-2013-』pp.207-219 東京都下水道局

3)岩崎尚平（2017)「既設マンホールを耐震化する２工法」『第 28 回　非開削技術研究発表会論文集』pp.112-114　一般社団法人　日本非開削技術協会

4-3-1 Promotion of technological development in Tokyo Metropolitan Government –Technological Development Promotion Plan 2016-

Shoko Kudo
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (TMG)

1. Introduction

Tokyo's sewage system began with the construction of the “Kanda Sewer” in 1884, which was a brick sewer pipeline. Since then, the city has been taking part in technology development, and has led the sewerage industry in Japan.

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government (hereinafter referred as “The Bureau”) has been conducting research projects linked to the challenges facing the sewage industry. In order to continue technological development strategically and effectively, the Bureau formulated the “Technological Development Promotion Plan 2016"(hereinafter referred as “the Plan”) as a 5-year plan (FY2016 to FY2020).

2. Technological development system of the Bureau and its previous achievements

The Bureau has been engaged in technological development, typically in collaborative research with private companies and research institutions.

The Technological Development Section of the Bureau is a specialized section for technological development, which takes charge of planning and supervising of the research. The Technological Development Section consists of engineers with different backgrounds, such as civil, mechanical, or environmental engineering.

The Technological Development Section plays a leading role in technological development, but participation is also open to other sections. For examples, members of water treatment plants are actively participating in technological development according to their daily operation demands.

We introduce achievements of the research in the past.

(1) Example 1:Floatless method ®

“Floatless method” is a counter-uplift method of manholes. Soil liquefaction caused by earthquake also affects the underground infrastructures. As a result, the manhole uplifts in the liquefied soil and hinders traffic.

The Bureau developed a valve to resist uplift water pressure by releasing excess water in the soil into the manhole. By the end of FY2016, this system had been set up on about 1,150 km of roads crucial for emergency traffic.

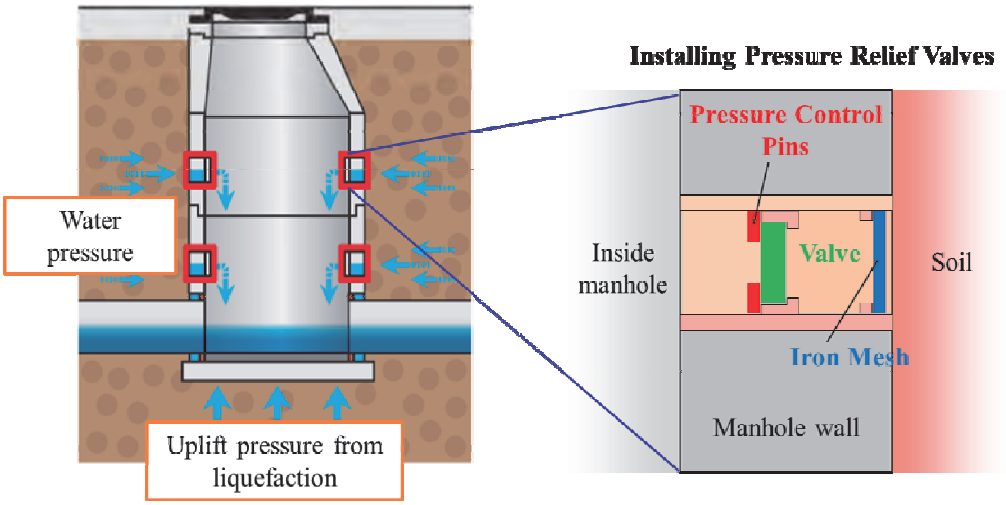


Figure 1 Floatless method mechanism

(2) Example 2:Turbocharged fluidized bed incinerator

Turbocharged fluidized bed incinerator is an energy-saving sludge incinerator. A turbocharger produces compressed air from the combustion gas from the incinerator, and supplies the air to the incinerator. It can reduce greenhouse gas emissions, electrical power and auxiliary fuel by 40% compared to conventional incinerators.

The incinerator has been adopted at three water treatment plants.

Figure 2 Fluidized bed incinerator at Kasai water treatment plant

3. Current situations and demands

Through the years of technological development, the following demands have become apparent:

(1) Demands for strategic and selective technological development

The Bureau conducts a variety of business, including wastewater treatment, construction of facilities and its maintenance. Currently, the Bureau manages 16,000 km(approx.) of sewer pipelines, and 20 wastewater treatment plants.

Since human and economic resources of the Bureau are limited, efficiency in business has to be improved urgently.

Technological development is one of the most effective solutions to improve efficiency, and in order to secure the success, strategic and selective planning is essential.

(2) Demand for cooperation with a wide variety of industries

New and innovative technologies have been invented not directly related to the sewage industry, such as artificial intelligence and robots. However, cooperation between the Bureau and those innovative areas are still limited, though some of the new technologies are apt for improving sewage systems.

The Bureau needs to strengthen cooperation with the different areas of research, and adopt new ideas to the systems.

(3) Demands for active and sustainable collaboration with co-researchers

Collaborative research is a form of technological development that the Bureau and co-researchers take part in together. The Bureau conducts collaborative research by either public invitations, or receiving the proposals from public companies and research institutions.

Collaborative research enables the Bureau to develop technology adjusted to the facility and operational demand of the Bureau. However, co-researchers should benefit as well as the Bureau, or they would lose motivations in participating technological development.

For active and sustainable collaborative research, methods should fit into co-researchers' demands. Strong incentives are essential.

(4)Demands for technical training for engineers of the Bureau

Wastewater management requires diverse areas of knowledge and experience, and engineers with diverse backgrounds support technological development of the Bureau.

For continuous technological development and active participations amongst the members of the Bureau, technical training for engineers is crucial.

4. Overview of the Plan

Considering the demands as mentioned in the preceding section, the Bureau formulated “The Technological Development Promotion Plan 2016”.

Table 1 Table of contents of the Plan

Chapter	Title
Chapter 1	Purpose of Technological Development
Chapter 2	Methodology of Technological Development, and Past Achievements
Chapter 3	Action Policies of Technological Development
Chapter 4	Technological Development Themes: Goals and Schedules

The Plan aimed to be a road map of technological development, clarifying which technology to develop in the future, and when to complete. The Plan included the 53 technology themes and the schedules of each research over five years (FY 2016-FY 2020).

The Bureau established four action policies as shown in Figure 3.

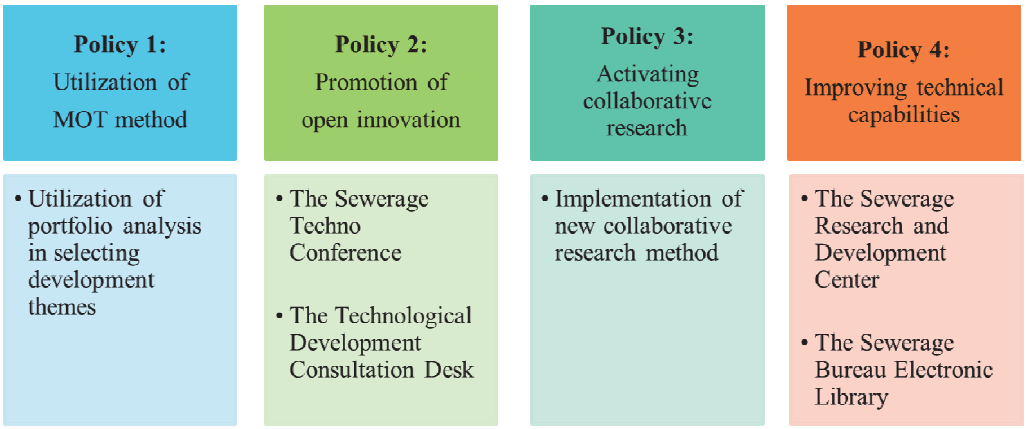


Figure 3 Four action policies of the Plan

(1) Utilization of MOT (management of technology) method

In order to secure the successful technological development, the development themes (technology themes to be developed) should be selected with enough consideration.

In this Plan, the Bureau decided to adopt the Management of Technology methods, especially the portfolio method in selecting the themes. The portfolio method of the Plan includes evaluating the demands, the feasibility, and the human resource requirement of the technological development, and making a comprehensive judgment.

According to the analysis, the Bureau selected 53 development themes.

(2) Promotion of open innovation

The Bureau decided to promote open innovation in order to strengthen the collaboration with private companies and research institutions.

The first initiative is the “Sewerage Techno Conference", which is a forum for exchanging ideas and opinions with engineers of private sectors. Each conference is held with a theme provided by the Bureau. Engineers will give presentations matching the themes, introducing their latest technology.

Through this conference, the Bureau can get the latest information from a wide range of industries, and adopt the technology matching the demands.

The second initiative is the “Technological Development Consultation Desk”, which aims to provide a comprehensive consultation about technological development to private companies and research institutions interested in technological cooperation. For examples, the Desk is open to inquiries about technological demands, and the proposal of original technology.

The Desk aims to be the mean for not only support, but also for gathering new information and making connections with potential co-researchers.

(3) Activating collaborative research

In order to activate and keep sustainable collaboration with co-researchers, the method of collaborative research should fit the demands of co-researchers. The Bureau will strengthen the communication to find the barriers in the existing system, and reform the method.

To begin with the reformation, the Bureau implemented "collaborative research with scheduled implementation."

On some existing collaborative research, the technology could not be implemented promptly since they did not match with the reconstruction or maintenance schedule of existing facilities. This was an unfavourable issue for the co-researchers, as they could not make profits without implementation.

With the method "collaborative research with scheduled implementation", implementation schedule is set and shared before the technological development, which makes it easier for co-researchers to plan, and more importantly, to calculate the benefits.

(4) Improvement of technical capabilities of sewage industry and the Bureau

The Bureau decided to carry out the following initiatives to promote research activities and improve technical capabilities.

The first initiative aims to support co-researchers. The Bureau constructed "the Sewerage Research and Development Centre."

Figure 4 Sewerage Research and Development Center

Sewage research and experiments are often difficult to conduct because actual treatment plants and fields are often inaccessible. The Center is equipped with an experiment plant, field and a laboratory with samples for research use.

The second initiative aims to support engineers. The Bureau decided to establish the "Sewerage Bureau Electronic Library" in order to collect technological information and efficiently pass on knowledge to the inexperienced engineers.

The Library will also provide the methodology of collaborative research in order to support the Bureau members who are interested in participating in technological development.

5. Methodology of formulating the Plan

Here we explain the methodology of formulating the Plan, especially focusing on utilization of the MOT method. Figure 5 shows the basic methodology.

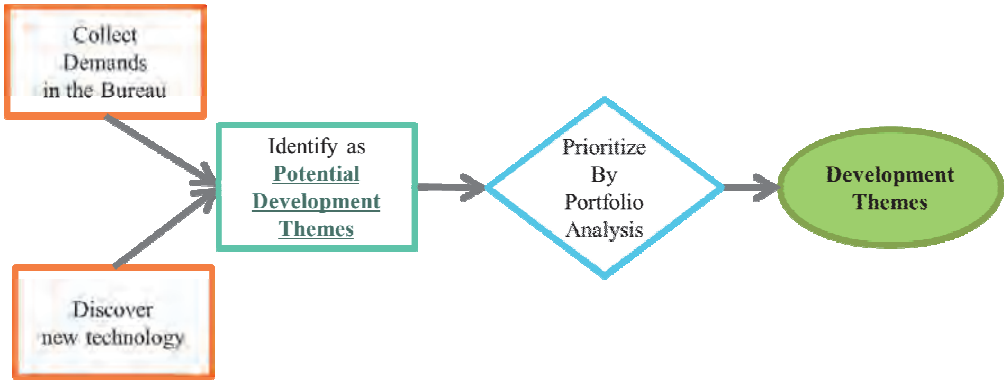


Figure 5 the Methodology of formulating the Plan

(1) Collect the demands within the Bureau

First, we collected the demands for new technology within the Bureau.

In order to gather a wide range of opinions, all staff members took part in a questionnaire, including operation managers of treatment plants, planners of construction, and maintenance staff. Through the questionnaire, technologies in high demand were identified as potential development themes.

(2) Discover new technologies apt for the Bureau's operations

Secondly, the Bureau also collected the newly invented technology from the private sectors.

Through the “Techno Conference” and the “Technology Development Consultation Desk”, the Bureau gathered the information such as the use of ICT and robot technologies. Technologies with the possibility for use were picked as potential development themes.

(3) Evaluate priority levels using portfolio analysis

Thirdly, each theme identified in (1) and (2) were evaluated and prioritized based on the aspects of demands and feasibility. Detailed aspects of the analysis are shown in Table 2.

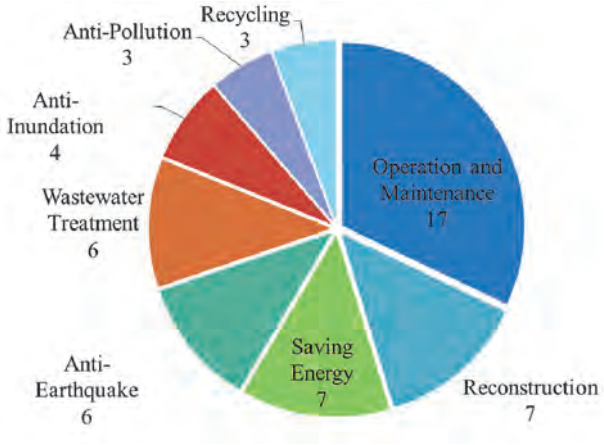
Table 2 Aspects of portfolio analysis

Aspects	**Item**	**Score**	**Definition**
Impacts	Importance	3	Defined as the core activity
	Urgency	2	Highly demanded by members
	Innovativeness	2	Improvements compared with existing technology
	Future Prospect	2	Possibility for future demands
	Possible benefit	1	Possibility for a patent, or an academic rating
Feasibility	Probability	3	Probability of success

The Technological Development Section members completed the analysis. Six aspects were rated individually, and according to the total scores, priorities were decided.

53 high-priority themes were identified as Table 3.

Table 3 Details of 53 development themes



Purpose of Technology	Goals	Examples
Operation and Maintenance	Improve credibility of daily operation/ Improve maintenance management	Image sensor for analyzing additive dosage for incineration ash
Reconstruction	Speeding up reconstruction of aged sewage facility	Non-open cut method for pipe/manhole reconstruction
Saving Energy	Reducing environmental load	Automating system for air blower control
Anti-Earthquake	Speeding up earthquake-proofing from earthquake	Thin pipe-lining method without decreasing drain capacity
Wastewater Treatment	Improving quality of treatment	Sludge granulation for stabilizing solid-liquid separation
Anti-Inundation	Improving/supporting drainage capability	Water level sensors with wireless communications for manhole lids
Anti-Pollution	Improving quality of discharged water to the river	Automation system for dosing disinfectant
Recycling	Promoting recycling of by-products from wastewater management	Phosphorus removal from sludge

As a result, diverse themes were selected, such as construction, maintenance and recycling. For example, “Work robots for inspection, surveying and cleaning of deep sewerage pipelines” and “Binary-cycle electricity generation to supply electricity by utilizing heat from sludge incineration” are both chosen from the ideas of the Bureau staff.

The schedule of development is set according to these priorities.

(4) Provide support for both inside and outside of the Bureau

According to the schedule, the Bureau members, mainly the Technological Development Section members look for the co-researchers.

Once the collaborative research is conducted, the Bureau provides various support, such as offering utilization of the “Sewerage Research and Development Center.”

6. Conclusion

By formulating the “Technological Development Promotion Plan 2016,” the Bureau was able to establish the methodology to enable further development of technology.

The sewage system in Tokyo is facing various problems, such as depopulation and heavy rain. Strategical and effective technological development is a key for tackling the newly emerged problems.

The Bureau will continue to resolve future issues through technological development.

References

The Bureau of Sewerage Management Plan 2016. (2016). Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, Japan. (All in Japanese).

Business Overview 2017.(2017). Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, Japan. (All in Japanese).

Ishikawa Y.(2012).*Technology Development of Anti-Seismic Structures for Sewer Networks.* Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2012: Session 41 through Session 50, pp. 2911-2923(13)

Technological Development Promotion Plan 2016. (2016). Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, Japan. (All in Japanese).

Suzuki Y, Murakami T, Kitajima A. (2014). *Development of an advanced sewage sludge incinerator “turbocharged fluidized bed incinerator”*. Synthesiology, Vol.7, No.1, p.27-35.

Yokobori T, Hashimoto M, Susai K. (2014).*Establishment of the Wastewater Technology Training Center.* Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2015: Session 510 through Session 519, pp. 6460-6473

4-3-1　東京都下水道局における技術開発の推進

～技術開発推進計画 2016～

工藤　祥子　　東京都下水道局計画調整部技術開発課

1.　概要

東京都の近代下水道は、1884 年の神田下水の建設から始まった。以降、東京都は積極的に新技術の導入・開発に関わり、日本の下水道業界の先頭を走ってきた。

東京都下水道局は、その時々の社会要請や課題について、研究を実施してきた。今後、技術開発を戦略的・効果的に進めるために、平成 28 年度から平成 32 年度までの計画として、「技術開発推進計画 2016」を策定した。

2.　下水道局における技術開発と、過去の実績

現在、下水道局における技術開発は、民間企業や研究機関等との共同研究が中心である。
計画調整部技術開発課は、技術開発を専門に扱う部署であり、技術開発の企画・進行管理を行っている。土木、機械、電気、環境検査といった様々な職種の技術者が所属している。
技術開発課が、技術開発の中心的役割を担ってはいるものの、他部署においても技術開発に参加することができる。例えば、水再生センターの職員は、日々の運転管理に関わる技術開発に関わる提案を積極的に実施している。

技術開発の過去の成果を紹介する。

(1) 例 1：フロートレス工法

「フロートレス工法」は、地震による液状化現象に起因する人孔の浮上を防止する工法である。

人孔の浮上を防止するため、人孔にかかる外部地盤内の過剰な水圧を人孔内に排出する弁を開発した。震災時に重要な道路の交通機能を確保するため、平成 28 年度末までに、約 1150km の緊急輸送道路などにおけるマンホールの浮上抑制対策として施工した。

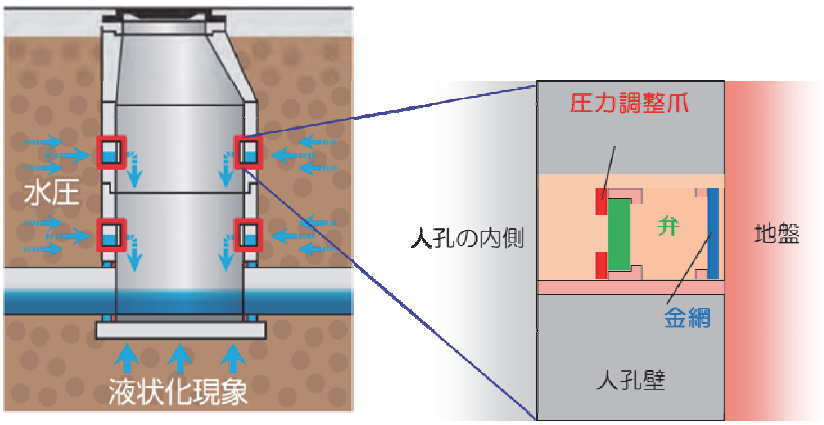


図 1　フロートレス工法のメカニズム

(2) 例 2:ターボ型流動焼却炉

焼却炉からの燃焼排ガスで駆動する過給機(ターボチャージャー)を用いて焼却炉内の圧力を高めた新たな燃焼方式の汚泥焼却炉である。葛西水再生センターなど３センターで導入されており、従来型の焼却炉と比べて電力、補助燃料及び汚泥由来の温室効果ガス排出量を約 40%削減できる。

図 2　葛西水再生センターのターボ型流動焼却炉

3.　技術開発の現状と課題

長年の技術開発を通して、以下の課題が生じた。

(1) 技術開発のマネジメント力の強化

下水道の「普及」から「維持管理」の時代に移るに従い、現場では新たに様々な課題が発生している。

また、IoT、人工知能(AI)をはじめとする ICT(情報通信技術)などの進展の早い先端技術を背景に様々な技術が新たに登場している。

このため、既存技術や現場の課題を十分整理するとともに、最新の技術情報を踏まえた「選択と集中」の視点で効率的に技術開発を進めることが必要である。

(2)　従来技術の延長戦ではない新しいアイデアの必要性

従来の下水道技術の延長では解決できない新たな課題に対しては、既存の技術や枠組みに捉われずに、新しい発想で技術革新を起こしていくことが重要である。

様々な分野の技術と融合を図り、新技術を創造・開発することが求めらている。

(3)　技術開発を取り巻く環境の一層の改善

厳しい経済状況などにより、民間企業などの開発意欲が低下し、下水道界の技術開発が停滞してしまうことが懸念される。

民間企業などの開発意欲を高めて継続的に技術開発に取り組むためには、共同研究への参画などを促進するインセンティブを高める取組を行う必要がある。

(4) 技術力を高める機会の充実

「維持管理」の時代に取り組む技術開発は施設を稼働しながらの技術導入となるとともに、下水道技術は土木・建築・機械・電気・化学・生物などの技術が複合的に組み合わされているため、それぞれの施設や技術を十分に理解することが重要である。

今後も、下水道界の技術力の向上を図るため、下水道技術の向上を支援する場所などの提供に加え、下水道技術やノウハウの継承に取り組むことが重要である。

4. 計画の概要

前章において紹介した課題を踏まえて、東京都下水道局では「技術開発推進計画 2016」を策定した。

表 1 「技術開発推進計画 2016」の構成

章	題名
第 1 章	技術開発の方針
第 2 章	技術開発の流れとこれまでの成果
第 3 章	技術開発手法などの充実
第 4 章	開発テーマ

本計画は、技術開発の方針を定めた計画であり、取り組むべき技術開発テーマ、及びその取組スケジュールを定めるものである。本計画には、平成 28 年から平成 32 年度までに取り組む 53 の開発テーマが掲載されている。

本計画においては、技術開発を効率的に進める 4 つの取組方針を示している（図 3）。

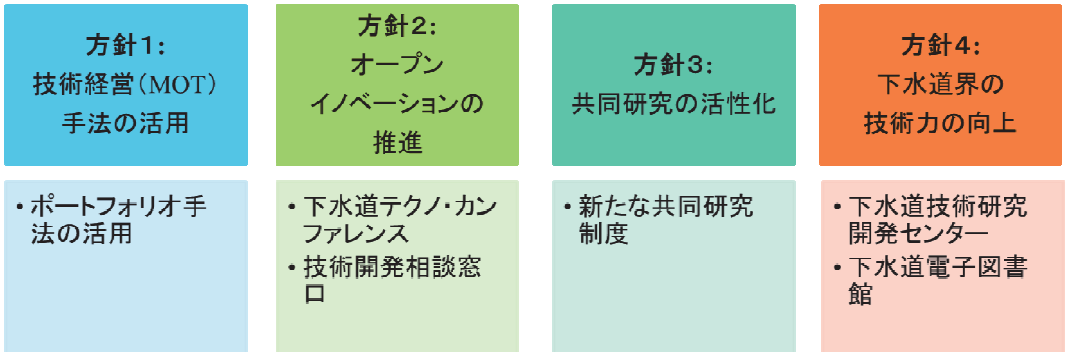


図 3 技術開発の 4 つの取組方針

(1) 技術経営（MOT）手法の活用

技術開発テーマの適切な選定と、効率的な技術開発のため、技術経営（MOT）手法、特にポートフォリオ手法を採用した。ポートフォリオ手法は、技術ニーズ、実現可能性、人的・経済資源などを総合的に評価し、客観的な判断を行う手法である。

分析に基づき、53 の開発テーマが選択された。

(2) オープンイノベーションの推進

下水道に限らず様々な分野との技術の融合を図る「オープンイノベーション」を推進し、従来の下水道技術の延長だけでは解決できない課題を解決していく。

具体的には、民間企業などの技術者との意見交換の場である「下水道テクノ・カンファレンス」や「技術開発相談窓口」を活用して、民間企業や大学などとの協働を強化し、下水道事業に活用できる画期的な技術・アイデアを創造していく。

(3)　共同研究の活性化

具体的な開発テーマの情報提供や「開発技術の導入を前提とした共同研究」などの実施により、民間企業などの参加意欲の向上を図り、効果的に技術を開発していく。

また、共同研究者の声を吸い上げるなど、より技術開発しやすい環境づくりに努めていく。

(4)　下水道界の技術力の向上

下水道界の技術力の向上のため、以下の取組を実施することとした。

まず、「下水道技術研究開発センター」を効果的に活用することで、最先端技術者との基礎研究や下水道局自らの研究の取組を推進し、下水道技術の向上を図る。

具体的には、実際の現場では実施が困難である実験や検証が行えるセンターの有効活用や下水・汚泥の試料を使った実証実験を行う機会を提供することで、下水道の技術開発を推進するとともに、下水道技術の向上につなげていく。

図 4　下水道技術研究開発センター

また、技術情報を一元化した局内の「下水道局電子図書館」への技術資料の登録を進め、技術情報の共有や技術継承を効率的に行っていく。

5.　「技術開発推進計画 2016」策定の流れ

本章では、「技術開発推進計画 2016」の策定の流れについて説明する（図 5）。

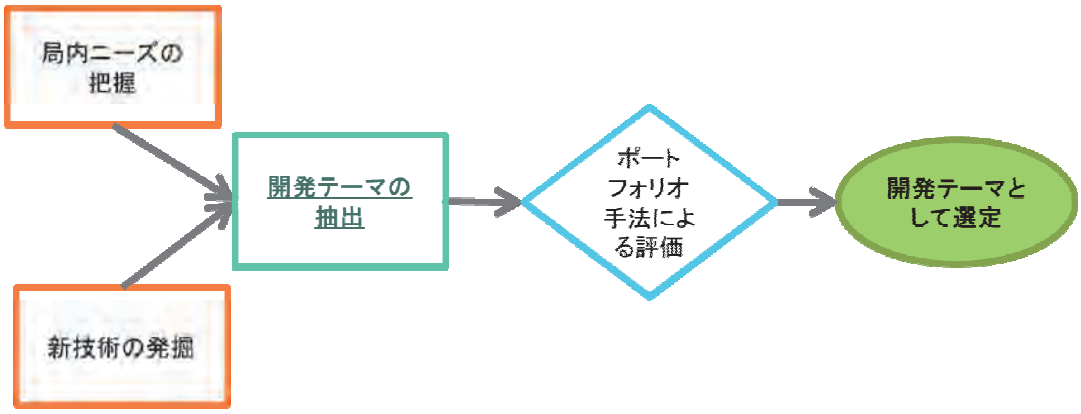


図 5　「技術開発推進計画 2016」策定の流れ

(1)　当局の業務におけるニーズの把握

現場の課題を踏まえた提案や、将来にわたって安定的に下水道機能を確保するための提案等を広く収集する必要がある。今回は、全職員に対するアンケート調査を実施し、需要の高い技術については、開発テーマとして抽出した。

(2)　当局の業務に有用となる可能性がある新技術の発掘

「テクノ・カンファレンス」の開催や、「技術開発相談窓口」の設置により、民間企業等からの新技術提案を募集した。IoT、AI をはじめとする ICT 活用やロボット技術などの最新技術動向を捉え、活用可能性がある技術については、開発テーマとして抽出した。

(3)　ポートフォリオ手法による優先度の決定

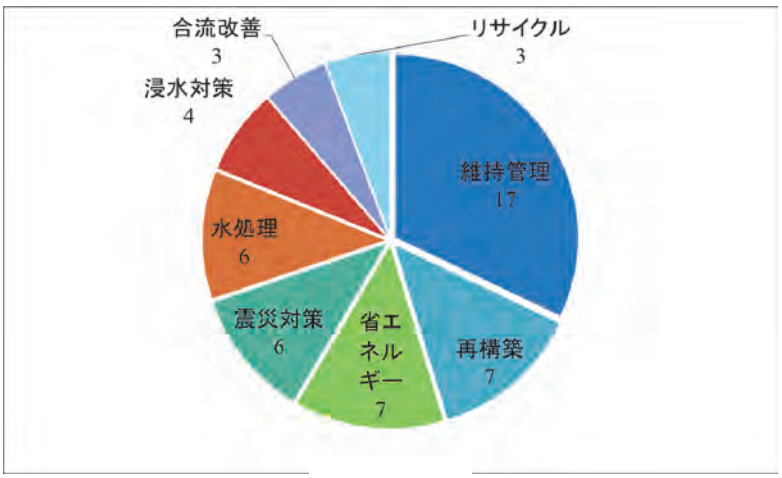
(1) (2)において抽出したテーマに関して、技術開発による効果・実現可能性の 2 点を、ポートフォリオ手法を用いて評価した。表 2 に、ポートフォリオ手法の評価項目を示した。

表 2　ポートフォリオ手法の評価項目

大項目	小項目	点数	内容
期待成果	重要性	3	上位計画に基づくもの
	緊急性	2	局内ニーズが高く、速やかな対応が求められるもの
	効果	2	従来の技術に比べ、大きな効果が得られるもの
	成長性・将来性	2	将来ニーズが高く期待できるもの
	その他	1	特許取得可能性・学問的貢献が期待できるもの
実行可能性	実行可能性	3	技術開発成功の可能性

採点は、当局職員が行った。結果をもとに、優先度が高い 53 テーマに絞り込んだ。表 3 に、その内訳を示す。

表 3　53 テーマの内訳



技術開発の目的	目標	開発技術の例
維持管理	維持管理の充実	焼却灰による煙道閉塞を防止するために焼却灰の色識別で薬剤を最適に注入する技術
再構築	老朽化した下水道を再構築し、安定的に下水道機能の確保	部分的に劣化した管路施設を非開削で修復する技術
省エネルギー	エネルギー使用量や温室効果ガス排出量の削減	送風量を最適制御して送風機電力を削減する技術
震災対策	下水道施設の耐震化、震災後の迅速な復旧	更生工法による断面縮小を抑えて下水道管の耐震性を向上する技術
水処理	下水道処理水のより一層の改善	活性汚泥の濃度を高めることで既存の処理能力を向上する技術
浸水対策	浸水被害の軽減	電源が確保しにくい箇所における水位情報などをリアルタイムで把握する技術
合流改善	海や河川に放流される汚濁負荷量の削減	放流水を消毒する薬剤の注入を最適化する技術
リサイクル	下水道が持つ資源・エネルギーの有効活用	りん濃度の高い余剰汚泥を分離して処理することで焼却灰をりん資源化する技術

評価の結果、建設、維持管理、資源・エネルギーのリサイクル等、多様なテーマが選定された。「作業ロボットなどを活用して、大深度の下水道管の点検調査及び清掃を容易に行える技術」や、「バイナリ―発電などを組み込んで汚泥焼却時の廃熱をより一層活用した発電を行うことで、汚泥処理施設とともに水処理施設で必要な電力を賄うことができる技術」などが選定された。

(4)　技術開発体制のサポート

開発スケジュールに基づき、局は共同開発者を募集する。

技術開発の推進にあたり、共同研究の研究者は、下水道研究開発センターを使用し、実験を実施することができる。下水道技術は、実地での効果測定が困難な場合があるため、こういった実験場所の提供は、有用である。

6. まとめ

「技術開発推進計画 2016」の策定により、効率的・計画的な技術開発を進めることが可能となった。今後も、東京都下水道局は、社会経済情勢の変化や技術動向を踏まえて、直面する課題や将来を見据えた課題を技術開発により解決していく。

参考文献

1) 東京都下水道局：東京都下水道事業　経営計画 2016

2) 東京都下水道局：事業概要　平成 29 年度版

3) Ishikawa Y.(2012).Technology Development of Anti-Seismic Structures for Sewer Networks. Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2012: Session 41 through Session 50, pp. 2911-2923(13)

4) 東京都下水道局:技術開発推進計画 2016

5) Suzuki Y, Murakami T, Kitajima A. (2014). Development of an advanced sewage sludge incinerator “turbocharged fluidized bed incinerator”. Synthesiology, Vol.7, No.1, p.27-35.

6) Yokobori T, Hashimoto M, Susai K. (2014).Establishment of the Wastewater Technology Training Center. Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2015: Session 510 through Session 519, pp. 6460-6473