東京都下水道局技術調査年報
-2010-

平成 23 年 2 月

東京都下水道局

技術調査年報の発刊にあたって

東京の下水道は、欧米で発展した下水道の知見を取り入れ、自らも新技術の開発を行いながら、120 年余の歴史の中で着実な歩みを進め、今日の世界都市東京を支える不可欠なインフラとなっています。

下水道を取り巻く環境は、その時々の社会的状況によって絶えず変化しており、最近では、世界的な「水問題」解決のための海外展開や、地球温暖化防止に向けた取組が求められています。

先進技術による海外展開としては、昨年当局は民間企業と開発した合流式下水道の改善技術である水面制御装置について、ドイツ、韓国の企業とライセンス契約を結びました。これにより、世界の水環境改善に貢献していくことが期待され、先達への恩返しができたと思っています。また、地球温暖化防止に向けた取組としては、都の事務事業活動で排出される温室効果ガスの 4 割を当局が排出していることから、昨年 2 月に「アースプラン 2010」を策定し、2020 年度までに温室効果ガスを 2000 年度比で 25%削減する目標を掲げ、各種対策を推進することとしました。その取組のひとつとして、従来の汚泥焼却炉よりも温室効果ガスの排出量を 9 割削減できる下水汚泥ガス化炉施設が、昨年 7 月より、清瀬水再生センターで稼働しています。

昨年２月、当局は「経営計画 2010」を策定し、高度経済成長期に集中的に整備し老朽化の進行した下水道管や水再生センターなどの再構築、近年多発している都市型水害への対応、合流式下水道から河川等に放流される雨水の水質改善などの主要施策とあわせ、「技術開発の推進」を目標のひとつとして掲げました。

技術開発を推進していく上で、当局に求められる主な役割は、下水道事業の運営・管理を行っている立場から、自ら創造的な発想を持って開発を先導するとともに、現場ニーズを広く発信し、民間企業、大学、関連団体等と連携を図り、必要技術を効率的に開発していくコーディネーターとしての役割です。

技術調査年報は、日常業務で生じた課題への取組、局事業推進のために各部署で実施した調査や研究、将来を見据えた技術開発などの内容を取りまとめたもので、今日の下水道事業のかかえる課題や、技術開発ニーズに深く関わりを持つものとなっています。

本年報を職員はもとより、当局のパートナーである民間企業や大学・研究機関、自治体、国、関係団体の方々の情報源として利用していただくとともに、新たな技術を開発するために活用していただければ幸いです。

平成２３年２月

下水道局長　松田　二郎

目　次

本書をご利用いただく前に

要旨集・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

1 安全性の向上

(1)再構築技術

1　南多摩水再生センターに流入する乞田幹線流入部
の切換えについて・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47

2　勝島幹線の森ヶ崎幹線（品川共同溝）への接続方法の検討について・・・・ 55

3　芝浦水再生センター雨天時貯留池工事
における不断水工法の施工について・・・・・・・・ 65

4　メタンガス発生箇所における
地中障害物撤去の施工について・・・・・・・・・・・ 75

(2)浸水対策技術

1　第二溜池幹線の整備について
（大口径Ｈ＆Ｖシールド工法の設計事例）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 81

(3)震災対策技術

1　光ファイバーを用いた破損管路特定技術・・・・・・・・・・・・・・・・・ 85

(4)微量物質・病原性微生物等対策技術

1　放流水中の大腸菌群数低減に向けた調査・・・・・・・・・・・・・・・・・ 91

2 快適性の向上

(1)高度処理技術

1　次世代型高度処理法の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・101

2　担体添加ステップA_2O法の事後評価（その２）・・・・・・・・・・・・・111

3　東陽Ⅲ系（ステップA_2O法）の稼動状況（続報）・・・・・・・・・・・・127

4　多摩川上流水再生センターのステップA_2O施設における
りん除去率向上のための調査について・・・・・・・・・131

5　制限曝気A_2O法による水質改善効果および処理コストの比較・・・・ 139

(2)周辺環境対策技術

1　伏越し施設の改善技術に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・151

3 地球温暖化対策

(1)温室効果ガス削減技術

1　多摩川上流水再生センターにおける木質系バイオマス混合焼却
の初期運転経過について・・・・・・・・・・・・・・・・・・163
2　省エネ型流動焼却システム（ターボ型流動焼却炉）による温室効果ガス
削減技術の実用化検証・・・・・・・・・・・・・・・・・・・169
3　水処理から発生するN_2O（一酸化二窒素）
の排出抑制技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・179
4　水処理から発生するN_2O（一酸化二窒素）
連続測定計の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・191

(2)省エネルギー技術

1　省エネルギー型脱水機の実用導入
における検討事例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・199
2　送風機から散気装置までばっ気システム全体で
の省エネルギー型再構築・・・・・・・・・・・・・・・・・・203

4 資源の有効利用

(1)処理水再利用技術

1　再生水造水技術の開発、実用化・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・209
2　流域下水道オゾン処理設備調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・213

5 事業の効率化

(1)建設技術

1　シールド工事における腐食土層（ピート層）対策について・・・・・・・・223
2　多摩川上流幹線延伸事業・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・235

(2)維持管理技術

1　光ファイバーケーブル断線予防技術調査その２　・・・・・・・・・・・・・243
2　大口径管きょ調査用カメラシステムの調査事例について　・・・・・・・・・253
3　多重円板スクリュープレス脱水機の実用化検証　・・・・・・・・・・・・・261
4　三河島水再生センターにおけるスカム除去の取組み　・・・・・・・・・・271
5　光水位検出器を利用した簡易型管きょ内水位検出システムの開発・・・・279
6　汚泥調質における凝集制御技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・287
7　イベント時における高濃度窒素流入水への対応について・・・・・・・・・297
8　蛍光Ｘ線分析装置の効果的な活用について・・・・・・・・・・・・・・・・305
9　浸漬型有機物濃度計を活用した流入水連続測定法の開発・・・・・・・・311
10　硫化物が嫌気処理に与える影響について・・・・・・・・・・・・・・・・・317

11　芝浦水再生センターにおける亜硝酸型硝化の発生原因に関する検討・・・321
12　Ｒｒ（呼吸速度）からみた芝浦水再生センター各系列の硝化特性・・・・329

6 国際論文

【8UDM（第8回都市雨水排水モデリング国際会議：IWA主催）英文】
1　東京における豪雨対策・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・335
2　東京都下水道局における雨水整備への
雨水流出解析シミュレーションの活用・・・345

【WEFTEC2009（米国水環境連盟年次総会）英文】
3　多層燃焼による温室効果ガス削減・・・・・・・・・・・・・・・・・・・347
4　東京都における再生水利用事業の概要と諸課題・・・・・・・・・・・・349
5　嫌気・無酸素・好気法の最適な運転管理方法の策定について・・・・・357
6　梅田ポンプ所リアルタイムコントロールシステムの合流改善
と浸水防除機能の有効性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・375

Copyright Ⓒ(2010) by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government
All rights reserved. No Parts of this report may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government.
The mention of trade names or commercial products in this report is for illustrative purposes and does not constitute endorsement of recommendation for use by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government.
この報告書に関する権利は、東京都下水道局にあります。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、東京都下水道局長の文書による承認が必要です。また、この報告書の中の商品名又は製品名は、事例として示したものであり、東京都下水道局が使用上の性能を保証したり、推奨したりするものではありません。

本書をご利用いただく前に

■目的

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

① 局内の技術情報を網羅し、技術情報の共有による職員相互の技術力の維持向上と技術の継承及び技術的課題の糸口となること

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

■構成

本書は、平成 21 年度に局内各部所が実施した下水道技術に関する調査・研究についてまとめたものです。各成果は、平成20年7月に策定した「技術開発推進計画2008（東京都下水道局）」における5つの技術開発テーマ（安全性の向上、快適性の向上、地球温暖化対策、資源の有効利用、事業の効率化）に沿って分類しています。

・要旨集：第1章から 6 章の本文の概要を1頁程度にまとめたものです。
・第1章「安全性の向上」　：　7編
・第2章「快適性の向上」　：　6 編
・第3章「地球温暖化対策」　：　6 編
・第4章「資源の有効利用」　：　2 編
・第5章「事業の効率化」　：14 編
・第6章「国際論文」　：　6 編

■お知らせ

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

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

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

○用語の使用

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

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

（本書に関するお問合せ先）
東京都新宿区西新宿2-8-1　東京都庁第二本庁舎7階中央
東京都下水道局　計画調整部　技術開発課　電話 03-5320-6606

要　旨　集

番号	1-(1)-1	件名	南多摩水再生センターに流入する乞田幹線流入部の切替えについて

内　容

1　はじめに

南多摩水再生センターの乞田幹線（内径 1,800 ㎜）系沈砂池の流入部及び流出部をドライ化して、コンクリート防食工事を実施した。防食か所のドライ化にあたっては、バイパス管の設置や沈砂池手前の流入人孔の改造により、乞田幹線流入部を止水して流入汚水の経路をバイパス管に切替えた。最も困難であった流入部の止水作業について報告する。

2　乞田幹線流入部の切替えまでの取組み

当初は、乞田幹線流入部の止水は既製の鋼製止水板によるとしたが、角落とし枠底部のコンクリート躯体の劣化による不陸が著しく止水出来ない。そのため鋼製止水板下部にクッションゴムを取付け、再度止水を試みたが、止水が不完全なため工事を一時中止し対策を検討した。

その結果、乞田幹線の流入水圧が高いため、クッションゴムの剥離や躯体の不陸部と鋼製止水板の間のわずかな隙間からの漏水が激しいことが原因で、止水できないことが判明した。

完全止水に向け、補強用ゴムの剥離防止及び隙間からの漏水防止を目的に、

① 補強ゴム材料を、硬質ゴムに改め、鋼製止水板にボルトで剛結した。

② 躯体不陸部の隙間を閉鎖するため、硬質ゴム製の止水帯を設置した。

この手法により、乞田幹線流入部を完全止水することができ、沈砂池流入及び流出部のドライ化によるコンクリート防食工事を実施した。

キーワード	幹線流入部の切替え、止水作業、硬質ゴム、コンクリート防食工事、止水帯設置		
処理区名	南多摩処理区	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	土木	施策区分	腐食対策　防食対策
状態区分	工事	技術区分	
実施年度	平成２０年度	全体期間	平成２０年度
担当部所	流域下水道本部　技術部　施設管理課　水谷　裕一		
出展等			
	平成 21 年度第 1 回設計・工事事例発表会		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	1-(1)-2	件名	勝島幹線の森ヶ崎幹線（品川共同溝）への接続方法の検討について

内　容	1. はじめに 新設の下水道幹線を既設下水道幹線へ接続させる場合、既設幹線の内部に開口部補強を行い、シールドを直接到達させる方法を用いることが多い。しかし、常時大量の汚水が流れている稼働中の汚水幹線へ接続する場合、既設幹線内部での作業が困難となるため上記の方法では対応できない。本稿では作業員の安全を確保し、既設幹線内部での作業を最小限に抑えた接続方法について勝島幹線工事での事例を報告する。 2. 接続方法 勝島幹線の接続先の森ヶ崎幹線は、国道 15 号に布設された品川共同溝内の施設であり、現在稼働中の汚水幹線である。国道 15 号は、交通量が非常に多く、埋設物も多いことから立坑および会合人孔を築造することが困難である。そこで、接続箇所近傍の公園に立坑を築造し、立坑から刃口推進工法を用いてさや管を布設する。その後、さや管内にて既設幹線外部から開口部の補強を行い、接続するように計画した。
キーワード	幹線接続、推進管（さや管）、遮水壁設置、止水対策

処理区名	森ヶ崎処理区	位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	合流改善
状態区分	設計	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	平成 21 年度
担当部所	基幹施設再構築事務所　設計課　岡田大吾		
出展等	平成 21 年度設計・工事事例発表会（第一回）		
	第 47 回下水道研究発表会		
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	1-(1)-3	件名	芝浦水再生センター雨天時貯留池工事における不断水工法の施工について

内　容	本工事では、新汚泥ポンプ室を構築後、既設返送汚泥管（φ1,000mm）を稼動させたまま新汚泥ポンプ室と接続できる不断水工法を採用したので、その施工方法について報告する。 当初計画では、新汚泥ポンプ室と既設返送汚泥管の接続は、送泥を一時的に止めて（断水）接続する施工方法を考えていた。しかし、水処理施設の機能を確保できる断水時間は最大で 8 時間までという制約を受けた。施工方法、手順等を検討した結果、最短でも 11 時間の断水が必要となったため、断水を必要としない本不断水工法を採用した。 今回採用した不断水工法は、穿孔機を使用するための作業スペースが必要なことや、施工費用が割高になるなどの面もあるが、下水処理機能に影響を与えずに施工できるため、稼動施設の工事では有効な工法であると考える。

キーワード	不断水工法、返送汚泥管、断水時間、不断水工法		
処理区名	芝浦処理区	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	土木	施策区分	処理場　水再生センター
状態区分	工事	技術区分	
実施年度	平成２１年度	全体期間	
担当部所	基幹施設再構築事務所工事第二課工事第二係　三瓶武史		
出展等	平成２１年度職場研修「設計・工事事例発表会（第２回）」		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	1-(1)-4	件名	メタンガス発生箇所における地中障害物撤去の施工について

内　容	１．工事概要 　下水管渠の布設時において、残置鋼矢板などの地中障害物が支障となる場合がある。地中障害物撤去方法の一つとして、地中坑内から人力にて障害物撤去を行う方法があるが、メタンガス発生地域では、通常のガス切断を行うと危険が伴うことが想定される。そこで、本報告はメタンガス発生箇所における地中障害物撤去方法として、火気を用いない切断工具及び坑内圧気工法を採用したので、施工報告を行うものである。 　本工事施工の結果、「空気式切断機」や「坑内圧気工法」を採用することで、安全に地中障害物を切断撤去することができた。 ２．工事場所　　足立区千住河原町付近 ３．工事内容 ・工法：特殊推進工法（泥土圧式） 【着脱・再掘進型管路築造工法（ＤＡＰＰＩ工法)】 延長　　３７６．２５ｍ 推進管　　内径φ１，３５０ｍｍ、外径φ１，６００ｍｍ （鉄筋コンクリート管、合成鋼管） 土被り　　１０．８ｍ～１２．５ｍ ・地質：シルト（Ｎ値＝１～２） ・地中障害物：鋼矢板Ⅳ型　１箇所 （発進立坑より約２４０ｍ地点の国道４号上り線下）
キーワード	メタンガス、残置矢板切断、空気式切断機、坑内圧気工法、着脱・再掘削型管路築造工法（DAPPI 工法）

処理区名	砂町処理区	位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	再構築
状態区分	工事	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度	全体期間	平成２０年度～平成２２年度
担当部所	基幹施設再構築事務所　工事第一課　笹井　満		
出展等	平成２１年度　第２回設計・工事事例発表会 もんけん第６４号　技術レポート 第４７回下水道研究発表会		
調査方法			
関連情報			

番号	1-(2)-1	件名	第二溜池幹線の整備について （大口径Ｈ＆Ｖシールド工法の設計事例）

内　容	第二溜池幹線は、番町、溜池、四谷、赤坂地区の浸水対策として計画された、内径6,500㎜～8,000㎜、延長約4,530ｍの雨水幹線である。また、同幹線流域は、希釈された汚水の一部がお濠へ流れる仕組みとなっているが、本幹線等の整備により、流末を隅田川へと変更することができ、お濠の水質改善を図ることができる。 本幹線の上流側管きょ内径6,500㎜、延長約2,000ｍは整備済みであり、既設管きょの能力を超えた雨水約53,000㎥を貯留する施設として供用し、浸水被害の軽減に貢献している。 今回の整備区間は、下流側管きょ内径8,000㎜、延長約2,530ｍである。 第二溜池幹線の発進立坑は、新たに建設される勝どきポンプ所内としたが、第二溜池幹線とは別に、銀座、築地地区の雨水を収容する勝どき幹線の発進立坑でもあることから、立坑を兼用することとした。また、ポンプ所躯体などの配置上、立坑規模を小さくする必要があり、工期を短縮することができる「Ｈ＆Ｖシールド工法」を採用した。 このほか、「二次覆工一体型セグメント」「仮壁切削工法」「ケーソン立坑」を採用して、工期短縮及びコスト縮減を図った。		
キーワード	大口径Ｈ＆Ｖシールド工法、お濠の水質改善、ニューマチックケーソン、構造物の影響予測		
処理区名	芝浦	位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	再構築、浸水対策、震災対策、合流改善
状態区分	設計	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度	全体期間	平成１９年度～平成２５年度
担当部所	基幹施設再構築事務所		
出展等	トンネルと地下 平成２１年度設計工事事例発表会		
調査方法			
関連情報			

番号	1-(3)-1	件名	光ファイバーを用いた破損管路特定技術

内　容	震災対策の一環として当課で開発している「光ファイバーを用いた破損管路特定技術」は、光ファイバーをセンサとして用い、遠隔地から管路の破損を捉える事ができる技術である。 この技術は、管路の歪み等の変状を計測することで管路の健全性の常時把握と傾向管理を可能とすることを目指しており、伝送路として既設下水道管路内光ファイバーが利用可能、センサ部は無電源であるなどの特長を有している。 試験場で、光ファイバーセンサを設置したヒューム管に荷重を掛けて破壊し、その歪みを計測する実験を行ったところ、実際の管きょ歪み量と同様の傾向で歪み量を計測できることが確認できた。また、光ファイバーセンサによって微小なクラック音を計測することも可能であった。		
キーワード	破損、管きょ、管路、光ファイバー		
処理区名		位置区分	ます　取付管、管きょ
職種区分	設備	施策区分	震災対策、危機管理
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（設備技術）　遠藤和広		
出 展 等	光ファイバーを用いた破損管きょ特定技術調査委託報告書		
調査方法	委託調査		
関連情報	技術開発推進計画 2008		

番号	1-(4)-1	件名	放流水中の大腸菌群数低減に向けた調査

内　容	平成 13 年 3 月の環境基準改正に伴い、流域下水道本部管内において、放流水中の大腸菌群数に対して自主的に定めた管理目標値（100 個/mL 以下）を達成するため、効果的な大腸菌群数低減方法を調査した。 ① テーブル実験による塩素接触時間及び撹拌強度の調査 多摩川上流水再生センターの放流水水質における最適な塩素接触時間及び撹拌強度をジャーテスターで調査した。各条件を同じ指標で評価するため、撹拌強度 G 値及び撹拌強度と撹拌時間の積である GT 値を計算し検討した結果、現在の塩素注入量である 0.8mg/L では、GT 値が 10×10^4 程度となるような条件で塩素処理を行うことで、管理目標値が達成できる可能性が示唆された。 ② 実施設を用いた調査 実施設での大腸菌群数低減に及ぼす塩素接触時間の効果を調査した。放流口から最も遠い第二沈殿池出口から塩素注入を行うことで、既存施設からの注入に比べ塩素接触時間を延長したが、大腸菌群数は低減しなかった。原因としては、既存施設と同様とした塩素注入量が低かったこと、塩素注入後に流入する高級処理水量が多く、大腸菌よりも高級処理水中の有機物との反応が優先的に起こり塩素が消費されてしまったことなどが考えられ、既存施設を用いた塩素接触時間の延長では、塩素注入量の増加や、多点注入を行う等の対応を併せて行う必要があると考えられた。

キーワード	大腸菌群数　塩素接触　GT 値		
処理区名		位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	病原性微生物等対策技術
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度	全体期間	平成２１～２２年
担当部所	流域下水道本部技術部多摩川上流水再生センター		
出 展 等			
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	2-(1)-1	件名	次世代型高度処理法の開発

内　容

当局は、水再生センターの再構築にあわせて高度処理施設の導入を進めている。高度処理法は、有機汚濁に加えて、窒素・りんを同時処理する優れた処理法であるが、導入した実施設の維持管理経験等から以下の課題が指摘されている。

1)標準法と比較すると撹拌機、硝化液循環ポンプに起因した消費電力量が増加するので温室効果ガス発生量が多い。

2)りん処理が不安定となり、処理水質が悪化する。そのためのバックアップ施設として、りん処理剤の添加設備を必ず設ける必要があり、りん処理に関する設備が重複している。

3)高度処理施設を設計定格負荷に近い運転条件を保つため、降雨時の水量増加分を高度処理施設以外の処理施設で受けることでセンター全体としての処理水質維持を困難にする場合がある。

4)標準法の2倍程度の滞留時間(A_2O 法で 16h 程度)を必要とし、導入を図りたいセンターがあっても、既存敷地面積の制約から積極的な導入を難しくしている場合がある。

このような背景から、技術開発課では、省スペースであり(窒素処理の効率化等による処理時間の短縮)、バックアップ設備を必要としない安定したりん処理能力の向上も図りつつ、なおかつ温室効果ガスの排出量が少ないという特徴を併せ持つ、次世代型高度処理法の開発に着手した。21 年度は、主に窒素処理の効率化による省スペース性を図る技術について基礎的検討を進めた。以下の結果が得られた。

① 芝浦水再生センターは、窒素の排水基準に対する余裕がなく、高度処理での対応を必要としているが、既存高度処理法で最も省スペースなステップ A_2O 法でも、現状の流入水量を高度処理するには容量が不足する。

② 窒素処理の効率的処理に関する文献調査を行い、ステップ A_2O 法をベースに硝化担体を活用した処理法が適当であるとの結論を得た。

③ 二段循環法の好気槽に担体を添加することで処理時間を 8 時間以下することが可能となり、この場合芝浦水再生センターを現有敷地面積内に、余裕を持って高度処理施設を導入できる結果となった。

④ 深槽反応槽への担体適用に関する情報収集を行い、４都市に４種類の導入実績が確認された。

キーワード	高度処理、効率化、担体、		
処理区名	技術開発課	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	高度処理、温室効果ガス削減対策
状態区分	調査　研究	技術区分	
実施年度	平成 21 年度	全体期間	平成 21～23 年度
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（水質）		
出展等			
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	2-(1)-2	件名	担体添加ステップA_2O法の事後評価（その２）

内　容

東京湾の水質改善や身近な水環境の向上のため、高度処理施設の導入、促進が求められている。しかし、高度処理法の主流である A_2O 法の反応タンク滞留時間は、標準法の2倍程度が必要である。このため、既存水再生センターへの A_2O 法の導入は、センター全体としての下水処理能力の低下を招くことから、高度処理の導入を進めるには、省スペースな高度処理システムの開発が課題となっている。本技術は、通常16時間程度の滞留時間を必要とする A2O 法に対して、流入水のステップ流入方式及び好気槽への硝化担体の投入により滞留時間を8時間程度に短縮するものである。

本技術は、平成 11 年度から技術開発に着手し、平成 15 年7月に三河島水再生センター藍染北系に導入された。稼動後、硝化担体が破損するなど想定外の現象が生じているが、担体の耐久性を除いたその他の下水処理性能部分に関する事後評価結果を20年度技術調査年報で報告した。今年度は、継続調査を行っていた硝化担体の耐久性調査に関する調査結果を報告する。

【調査結果】

１破損原因

当初投入担体の破損は、担体が DTA 内を通過するときにインペラーや分離スクリーンに衝突することで大きな物理的ストレスを受けて担体表面が徐々に削り取られ、同時に内部に向かって亀裂が入るために圧縮強度が低下し破損にいたっている。

２破損対策

・当局以外での使用実績について改めて情報収集したところ、DTA での使用で３年間破損が見られず、かつ本設備で必要とする比重 1.01 以下を満足する担体としてポリウレタン(PU)系の担体を新たに選定した。

・PU 担体９㎥を実機に試験投入して追跡調査を行ったが破損の目安となる硬度は、安定した値を維持した。

３担体の最低必要量

実施設の使用状況に合わせた担体の最低必要量の検討を行い、好気槽容積に対して夏季 6.9%、冬季 9.3% の結果を得た。

キーワード	ステップ、担体、PEG、窒素、りん、DTA		
処理区名	北部第一下水道事務所	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	高度処理
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 18～20 年度	全体期間	平成 18～20 年度
担当部所	担体添加ステップA_2O導入ＰＴ(座長：三河島水再生センター長)		
出 展 等			
調査方法	直営調査		
関連情報	技術調査年報に掲載予定		

番号	2-(1)-3	件名	東陽Ⅲ系（ステップ A_2O 法）の稼働状況（続報）

内　容

砂町水再生センターのステップ A_2O 施設について、窒素理論除去率の算出式を単純化すると、

$$窒素理論除去率 = \frac{ステップ流入比+返送汚泥比+硝化液循環比}{1+返送汚泥比+硝化液循環比}$$

の式であらわされる。この式と実際の運転結果を比較すると、理論式と同じ除去率となり、理論式で窒素除去率が把握できることがわかった。次に、りん除去安定化のためＢＯＤ負荷との関係を調査した結果、反応槽流入水ＢＯＤ負荷を上げることが安定したりん除去をもたらすことがわかった。

キーワード	ステップ A_2O　窒素理論除去率　りん除去安定化		
処理区名		位置区分	
職種区分	水質	施策区分	高度処理
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度	全体期間	１年間
担当部所	東部第一下水道事務所　砂町水再生センター		
出展等	平成２１年度水質技術研究発表会		
調査方法	直営		
関連情報			

番号	2-(1)-4	件名	多摩川上流水再生センターのステップ A_2O 施設におけるりん除去率向上のための調査について

内　容

多摩川上流水再生センターでは、窒素、りん対策のため、1 系の水処理施設を標準活性汚泥法からステップ A_2O 法処理施設に改良し、平成 20 年 4 月から 1-1 系が、平成 21 年 4 月から 1-2 系が、それぞれ稼働している。

最適運転条件を明らかにすることを目的に、種々の運転条件のうち、1-1 系、1-2 系の反応槽流入水量や返送汚泥率を変化させ、ステップ A_2O 法における処理水質やりん除去に及ぼす影響について調査した。

① 返送汚泥率の変更

返送汚泥率を設計値の 50%から 20%に下げ、処理水質に及ぼす影響を検討した。その結果、返送汚泥率を下げることでりんの除去性は向上する可能性が示唆された。窒素除去においては、ステップの前段と後段で違いが見られたが、最終の処理水での比較では窒素除去性が向上した。

② 反応槽流入水量の変更

反応槽への流入水量を通常時の 60%に低下させ運転し、処理性に及ぼす影響を検討した。その結果、窒素除去には大きな影響は見られなかったが、りん除去性は低下した。

③ 台風による水量増加時

台風接近に伴う水量増加時（以下、高降雨時）に調査を行い、処理水質に及ぼす影響を検討した。高降雨時は、りん、窒素ともに除去性は大きく低下し、特に窒素の除去性が低下した。

④ 低水温時

低水温が処理水質に及ぼす影響を検討した。その結果、低水温時は、りん、窒素ともに除去性は低下したが、特に窒素の除去性が低下した。

キーワード	ステップ A_2O　りん除去　窒素除去		
処理区名		位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	高度処理
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度	全体期間	平成２１～２２年
担当部所	流域下水道本部技術部多摩川上流水再生センター		
出展等			
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	2-(1)-5	件名	制限曝気 A_2O 法による水質改善効果および処理コストの比較

内　容	本調査は、反応槽の一部を制限曝気することで、撹拌機を設置することなく高度処理を行い、かつ、省エネ化を図る技術としての制限曝気 A2O 法の性能を確認したものである。 窒素の収支および BOD 容積負荷に対するりん除去量の関係では、制限曝気 A2O 法と A2O 法で大きな相違がないことから、制限曝気によって A2O 法と同程度の処理が可能といえる。また、制限曝気 A2O 法と A2O 法はともに、BOD 容積負荷が増大するほど、単位処理水量あたりの余剰汚泥発生量も増えることから、窒素・りんの同時除去法においては、BOD 容積負荷の高い運転を行うことで処理が安定すると考えられる。 コスト試算では、イニシャルコストとランニングコストについて、処理方式別に比較した。イニシャルコストでは、制限曝気 A2O 法は、硝化液循環部分が増えるため、標準法よりもコスト増となるが、撹拌機を必要としないため、A2O 法の半分以下で改造できる。ランニングコストでは、制限曝気 A2O 法は、標準法と同程度で、A2O 法の 7 割程度であり、標準法並みの処理コストで高度処理が可能な技術といえる。		
キーワード	高度処理、省エネ		
処理区名	北多摩二号処理区	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	高度処理、温室効果ガス削減対策
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見なり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	
担当部所	流域下水道本部技術部北多摩二号水再生センター		
出 展 等	月刊下水道　第 33 巻　第 10 号　増刊号		
	2010 下水道技術研究発表会（一部）		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	2-(2)-1	件名	伏越し施設の改善技術に関する調査

内　容	現在、区部の伏越し施設は 1400 箇所以上に及んでいる。伏越し施設は、適切な維持管理が実施されないと臭気が発生し周辺環境に悪影響を及ぼす他、土砂堆積による下水の流動阻害や、雨天時における堆積物の公共用水域への流出など様々な問題の原因となる。 本調査では、伏越し施設の改善検討の一環として、スカムが多く臭気発生が顕著な伏越しを抽出して、資料調査、現地調査を通して、スカムの発生要因の抽出や臭気発生メカニズムの解明等を行った。 【結果】 ①スカムが顕著な 18 箇所の伏越しを対象に流量表等の既存資料に基づき要因分析を行った結果、晴天時時間最大汚水量が流れても、スカムの堆積しない流速である 0.1 m/sec（既往調査結果）に満たない箇所が 16 箇所あった。また、上流人孔の形状が矩形であるものや、上下流の水頭差が小さく汚水が滞留しやすい伏越しが比較的多かった。 ②スカムが顕著な 3 箇所の伏越しを対象に、臭気調査を実施した。その結果、人孔蓋から 1m下方で、臭気指数は 26 以上であり、硫化水素、メチルメルカプタンの濃度が比較的高かった。一方、硫化メチル、二硫化メチル、アンモニアは検出されなかった。さらに、硫化水素濃度を 10 日間連続測定した結果、降雨によって硫化水素濃度が高くなる傾向が見られた。これは、スカムの下の嫌気状態となっている滞留汚水から硫化水素が生成され、降雨によるスカム破壊によって、大気中に放散された結果と推察された。
キーワード	伏越し、スカム、臭気

処理区名		位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	合流改善、臭気対策
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	平成 21～22 年度
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（土木）		
出 展 等			
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	3-(1)-1	件名	多摩上流水再生センターにおける木質系バイオマス混合焼却の初期運転経過について

内　容	平成２０年度工事で多摩川上流水再生センター１号汚泥焼却炉に木質系バイオマスの混合焼却設備が設置された。本論文は、本設備の導入経緯、建設や初期運転経過について報告する。 (1)事業内容・事業スキーム 花粉症対策等から産出される木質系バイオマスを焼却炉補助燃料として活用し、下水道事業から排出される温室効果ガスを削減するとともに維持管理コストの縮減を図ったもので、環境局、産業労働局（総合花粉対策事業、木質系エネルギー資源供給事業、農林業振興事業）と下水道局の連携事業である。 (2)設備概要 木質材受入搬送機、貯留搬送設備、木質材貯留ホッパなどで構成され、木質材搬送専用車で搬入され、焼却炉に約２m^3/h で供給する設備である。 (3)初期運転経緯 木質系バイオマスの投入により助燃用都市ガス使用量が減るなど、汚泥焼却炉補助燃料としての効果が見られた。一方、炉内温度管理方法や、異物の混入など、新たな取組課題も生じた。
キーワード	木質系バイオマス

処理区名	多摩川上流処理区	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策
状態区分	維持管理	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度	全体期間	
担当部所	流域下水道本部技術部多摩川上流水再生センター（本田　圭） 流域下水道本部技術部工事課設備工事係（吉井　鎭英）		
出 展 等			
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	3-(1)-2	件名	省エネ型流動焼却システム（ターボ型流動焼却炉）による温室効果ガス削減技術の実用化検証

内　容	省エネ型流動焼却炉（ターボ型流動焼却炉）では、流動焼却炉から排出される燃焼排ガスを有効利用して過給機のタービン（ターボチャージャ）を駆動させ圧縮空気を生成する。生成された圧縮空気は、焼却炉の燃焼空気として供給される。圧力下による燃焼により燃焼速度が速く、従来よりも高い温度領域（870℃程度）が形成され、N_2O の分解が促進される。 また、圧力下により排ガスのボリュームが減少するため、炉本体から集塵機までの機器がコンパクトになり炉表面積が小さくなることで放熱量が減少し、補助燃料使用量が削減される。さらに圧縮空気を利用することで、従来型流動焼却炉で必要な流動ブロワ及び誘引ブロワが不要となり、大幅な消費電力の削減が図れる。 本研究では、省エネ型流動焼却炉（実証炉）に東京都区部で発生した脱水汚泥を投入し、温室効果ガス削減効果や高温焼却と比較した場合の優位性について検証し、以下の結果を得た。 温室効果ガス削減量（高温焼却(850℃)に比べて） (1)N_2O の削減率 50%以上 (2)電力由来の CO_2 の削減率 40%以上 (3)補助燃料由来の CO_2 の削減率 10%以上
キーワード	温室効果ガス、GHG、N_2O、CO_2、汚泥焼却、ターボ

処理区名		位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度、平成２２年度	全体期間	平成２１年度～平成２２年度
担当部所	計画調整部 技術開発課 技術開発主査（設備）清水 大輔、樋田 靖広		
出展等	省エネ型流動焼却システムによる温室効果ガス削減技術の実用化検証成果報告書		
調査方法	簡易提供型共同研究		
関連情報			

番号	3-(1)-3	件名	水処理から発生する N_2O（一酸化二窒素）の排出抑制技術の開発

内　容

地球温暖化は、自然や社会生活への影響が強く懸念され、いまや全地球的な課題となっており、温室効果ガスの積極的な排出量の削減が求められている。

東京都下水道局では、「アースプラン 2004」に引き続いて「アースプラン 2010」を策定し、2020 年までに 2000 年度比で 25%の削減を目指すという野心的な目標を掲げ、具体的な行動を進めている。

水処理過程から発生している N_2O(一酸化二窒素)は、当局事業から発生する温室効果ガス全体の中で約 17%を占めており、削減による大きな効果が期待されるが、これまでは、どのような因子が N_2O の発生に影響を与えているかが分からず、対策を立案することができなかった。

本研究では、反応槽から N_2O が発生する際に影響を与えている因子を特定し、排出削減に向けた運転条件や制御方法を検討した。調査は、処理方式（標準法、A_2O 法、ステップ A_2O 法）による違いを確認することが可能な水処理実験プラントを用い、流入水や運転条件を様々に変更して処理を行わせ、この時の窒素処理状況と溶存 N_2O または排ガス中の N_2O を測定することにより行った。

【結果】

① N_2O 生成に関与する因子

硝化、脱窒過程での亜硝酸の存在や、アンモニア酸化量、また汚泥滞留時間の長さ等が N_2O 生成に大きな影響を与えている。

② 硝化過程での対応

余裕のある硝化に向けて、処理時間の確保や、アンモニア負荷条件の均一化を図る。

③ 脱窒過程での対応

嫌気、無酸素槽の嫌気状態を確実に確保し、第二沈殿池での脱窒を抑制または管理する。

キーワード	一酸化二窒素、連続測定、妨害物質		
処理区名	技術開発課	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	温室効果ガス削減対策
状態区分	調査　研究	技術区分	
実施年度	平成 21 年度	全体期間	平成 18～24 年度
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（水質）		
出展等			
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	3-(1)-4	件名	水処理から発生する N_2O（一酸化二窒素）連続測定計の開発

内　容

温室効果ガスの排出削減対策への取組が全地球的に求められている。当局においてもアースプラン2004に引き続いて、アースプラン2010を策定して温室効果ガスの排出削減に努めている。

水処理過程から発生している N_2O(一酸化二窒素)は、当局事業から発生する温室効果ガス全体の中で約 17%を占めているが、長期間、安定して測定できる計器が開発されてこなかったことから排出実態は、十分に把握されていなかった。

本研究は、反応タンク排ガス（主に好気槽から発生するばっ気空気による排ガス）中の N_2O を長期間安定して測定できる連続測定計を開発し、水処理から発生する N_2O の実態把握や運転手法、水質状況と N_2O 発生との関係を把握すること等を目的に行ったものである。開発は、既に実用化されている焼却炉排ガス用の N_2O 連続測定計をベースとして、反応タンク排ガス特有の条件である、多量の水分、腐食性ガスを除去する既存の前処理装置を組み合わせて進めた。

【結果】

①測定妨害の特定（３成分）と対策技術の確立

・妨害成分1:H_2S(活性炭による吸着)、妨害成分2:水分(冷却器(結露除湿)＋膜分離による除去)、妨害成分3:CO_2(濃度を別途測定し、内部演算により補正)

②測定性能

公定分析法（ガスクロマト法）とのクロスチェック分析を行い高い一致性が得られた。【$y=1.001\chi$　相関係数　0.994】

③測定の安定性

零点、スパン値の経時的なズレ(ドリフト)は、既存の連続計とほぼ同程度の±２%FSあり、安定した測定が可能であった。

④維持管理性

週１回の自動校正を行うことで、２ヶ月以上(期間:H21.4.20～7.10)メンテナンスフリーで安定した測定が可能であった。

キーワード	一酸化二窒素、連続測定、妨害物質		
処理区名	技術開発課	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	温室効果ガス削減対策
状態区分	調査　研究	技術区分	
実施年度	平成 20～21 年度	全体期間	平成 20～21 年度
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（水質）		
出展等			
調査方法	簡易提供型共同研究		
関連情報			

番号	3-(2)-1	件名	省エネルギー型脱水機の実用導入における検討事例

内　容	東京都下水道局では、近年、維持管理が容易な遠心式脱水機が多く採用されてきた。しかし、従来型遠心式脱水機は、駆動用の電動機出力が大きく、電力消費に伴う温室効果ガスの発生も多かった。このため温室効果ガスを削減できる省エネ型脱水機導入の検討が必要となった。 今回、汚泥脱水機の再構築を行うにあたり、動力の小さい圧入式脱水機を実用導入できるか検討を行った。 また、多くの動力を要するといわれてきた遠心式脱水機について、従来型遠心式から技術革新によりエネルギー効率が向上した新機種の省エネ型遠心式が開発されたため、合せて検討を行った。 検討の結果、圧入式と省エネ型遠心式は、ほぼ同等の評価が得られ、どちらの脱水方式も温室効果ガス削減に大きく寄与できることが確認されたので報告する。		
キーワード	脱水機、省エネルギー		
処理区名	葛西処理区	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	設備	施策区分	再構築、温室効果ガス削減対策
状態区分	設計	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２０年度	全体期間	平成２０年度～平成２１年度
担当部所	建設部　設備設計課　目黒　紀彦		
出展等			
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	3-(2)-2	件名	送風機から散気装置までばっ気システム全体での省エネルギー型再構築

内　容	これまでの送風機の設計においては、イニシャルコストの最小化を図るため、大型の送風機を小数台数、集約化し、複数の水処理系列に同じ送風圧力で送風するシステムを採用している。 この設計手法では、地球温暖化防止施策として進めている高効率型散気装置との組み合わせを考えたときに、装置に必要な送風圧力の不足から装置を最適な水深に設置できないなどの課題がある。 今回の送風機再構築では、反応槽の近くに送風機を分散して配置し、高効率型散気装置と適正圧力で組み合わせることで、効率の良いばっ気システムを構築する。 送風機から散気装置までばっ気システム全体での省エネルギー型再構築手法を確立し、他の水再生センターに先駆けて芝浦水再生センターで設計したので報告する。 また、本再構築工事の事業効果が確認できれば、他の水再生センターへ水平展開し省エネルギー型の水再生センターへの転換を目指していく。
キーワード	送風機、ばっ気システム

処理区名	芝浦処理区	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	設備	施策区分	再構築、温室効果ガス削減対策
状態区分	設計	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２０年度	全体期間	平成２０年度～平成２１年度
担当部所	建設部　設備設計課　大塚　克司		
出 展 等			
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	4-(1)-1	件名	再生水造水技術の開発、実用化

内　容	現在、下水処理水の約9%を再生水として有効利用している。循環型社会の形成において、再生水は豊かな都市生活を送るために必要な安定した水資源と位置づけられ、今後も新たな需要の拡大が期待されている。 再生水の水質向上策としてのこれまでの精密膜ろ過技術は、コスト面での課題があった。今回、水質の安定性が高く経済性に優れた再生水造水技術として、当局と民間企業との共同研究により開発された精密膜ろ過技術が導入可能となったので報告する。		
キーワード	再生水、精密膜ろ過技術		
処理区名	芝浦処理区	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	設備	施策区分	処理水再利用
状態区分	調査　研究、設計	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２０年度	全体期間	平成２０年度～平成２１年度
担当部所	建設部　設備設計課　片桐　吾郎		
出展等	再生水処理技術（セラッミック膜ろ過）報告書		
調査方法	公募型共同研究		
関連情報			

番号	4-(1)-2	件名	流域下水道オゾン処理設備調査

内　容	多摩川上流水再生センターでは清流復活事業の一環として、二次処理水を砂ろ過（PAC添加)、オゾン処理し、野火止用水や玉川上水に送水している。平成３年５月に稼働開始したオゾン処理設備を更新するにあたり、現有施設を用いてオゾン処理による水質改善効果を検証した。 調査は、処理水量を一定（24,800m3/日、滞留時間 28 分）とし、オゾン注入率 1、3(現行)、5、6.5mgO_3/L の４条件下で実施した。二次処理水、砂ろ過前、オゾン処理前、オゾン処理後、玉川上水放流口の水を滞留時間を考慮して採水し、臭気指数及び色度や大腸菌群等水質を測定した。 臭気については、砂ろ過（PAC 添加）だけでは除去されず、オゾン処理により注入率に応じて臭気指数が低減し、最大 41%除去された。色については、PAC の効果により、砂ろ過で約 50%除去されるが、オゾン処理により最大 89%除去された。その他、1,4-ジオキサンについても、オゾン処理による除去効果が確認された。
キーワード	清流復活　オゾン処理　臭気　色

処理区名	多摩川上流処理区	多摩川上流処理区	多摩川上流処理区
職種区分	水質	水質	水質
状態区分	調査　研究	調査　研究	調査　研究
実施年度	平成２１年度	平成２１年度	平成２１年度

担当部所	流域下水道本部技術部施設管理課　濱本亜希
出展等	流域下水道オゾン処理設備調査業務委託
調査方法	委託調査
関連情報	

番号	5-(1)-1	件名	シールド工事における腐植土層（ピート層）対策について

内　容	大田区馬込地区では、昭和 40 年代に下水道を整備しているが、地盤沈下による家屋被害が多く発生し、腐植土層が大きく影響したとの報告がある。 当地区では、浸水対策のため平成 16 年度より馬込西二号幹線を泥土圧シールド工法により整備してきた。シールド発進基地となる立坑は沖積低地にあり、深さ 3.7～12.6mに存在する沖積層腐植土（Aq）および沖積層粘性土（Ac）は、N値 0～2 の非常に軟弱で圧縮性が高い性状の腐植土層である。本工事ではこの腐植土層を通過して深さ 20.8m まで立坑を掘り下げるため、次の対策を実施した。 ①立坑構築時の対策 置き換え工法により地中連続壁構築時の孔壁崩壊を防止。 ②シールド発進時の対策 シールド直接発進方式の採用により、山留を撤去するための鏡切りを不要にし、地下水の立坑内への侵入をなくすことで、周辺地盤の圧密沈下を防止。 ③地盤沈下対策 立坑内に浸入した地下水を立坑周りに復水し、圧密沈下を防止。 ④振動対策 防音建屋内の天井クレーンに防振ゴムを設置する等により、工事による振動を軽減。 ⑤計測管理 立坑山留壁の水平変位と周辺地盤の地層ごとの沈下を計測した結果、著しい地盤変位はなく、対策の有効性を確認。
キーワード	腐植土層、シールド直接発進到達工法（SEW 工法）、復水工法（リチャージ）、計測管理、ダブルパッキンエントランス

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	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	平成 16 年度～平成 22 年度
担当部所	基幹施設再構築事務所　工事第二課　工事第三係　小峯　豊		
出展等	（社）日本下水道協会　第 46 回下水道研究発表会		
	（社）日本トンネル技術協会　第 65 回（都市）施工体験発表会		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	5-(1)-2	件名	多摩川上流幹線延伸事業

内　容	本事業は、奥多摩町及び青梅市の一部の汚水を収容するため、既存の多摩川上流幹線を奥多摩町まで延伸する事業である。延伸区間の全体延長 15km のうち 12.1km の区間については、既設の公共下水道を青梅市から流域下水道として無償移管を受け、残り区間 2.9km は下水道管を新設することとした。新設区間のうち土被りが深い 800m の区間については、小口径推進工法を採用し、残りの区間 2.1km は開削工法にて下水道管を布設した。 本工事の小口径推進工事は、最大圧縮強度 100N/mm2 という硬質岩と、玉石混じりの礫質土とが互層になっている地層を施工するものであった。 掘進直後に礫詰まり現象により掘進機が停止したため、工事を一時中止し、岩盤・玉石地盤対応の工法に変更して工事を再開した。施工中は、カッタビットの摩耗具合を確認検証し、安定した掘進の確保に努めたほか、土被りが深い曲線区間については、「プリズムシステム」を採用し、より高精度な施工管理を行った。 平成 21 年 2 月には新設区間の全ての工事が完了し、流域下水道幹線として供用を開始している。　この結果、多摩 30 市町村すべての公共下水道が流域下水道に接続されることとなった。
キーワード	小口径推進、泥土圧方式、岩盤、玉石、プリズムシステム

処理区名	多摩川上流処理区	位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	普及対策
状態区分	工事	技術区分	
実施年度	平成 18 年度～平成 20 年度	全体期間	平成 18 年度～平成 20 年度
担当部所	流域下水道本部　技術部　工事課　土木工事係　渡部　和寛		
出 展 等	平成 21 年度　全建賞・都建賞受賞事業発表会		
調査方法			
関連情報			

番号	5-(2)-1	件名	光ファイバーケーブル断線予防技術調査その２

内　容	本調査は、光ファイバーケーブルの破損を防止し、遠制ポンプ所の安定運転やネットワーク機能の安定維持を目指すため、昨年度調査の断線原因の分析、対策箇所の選定及び断線予防対策の検討を踏まえて、光ファイバーケーブルの断線を予防する最適な技術を開発するために行った。具体的な断線予防対策としては、防護方法がある。現在実施している防護方法では、人孔管口での光ファイバーケーブル引出し形態で、直上引出しの場合は一般的なカバー形状で対応できるが、斜め引き出しや側方引き出しの場合は、垂直カバーと水平カバーを屈折・屈曲部で重ね接続することが難しく、設置箇所ごとに防護カバーの設計を行う必要がある。カバーの設置は人力作業であり、場合によってはより厚みのある材料を使用することもあり、防護カバーの性能、施工性、製作費など課題も多く、より良い防護カバーが求められている。今回開発した防護カバーは、これらの課題を解消できるものとして２タイプを製作し、耐久性や施工性等を工場試験や実現場での設置により従来品と比較を行い優位性を確認している。しかし、評価では実現場での施工を通して改善点も挙げられており、改良を重ねていくことで性能や施工性がさらに良くなることが見込まれる。また、今回設置した防護カバーについては、毎年実施されている光ファイバーケーブルの保守点検で、その状況を調査し性能を評価していくこととしている。
キーワード	光ファイバーケーブル、断線予防技術、防護材

処理区名		位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	危機管理
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	平成 20 年度～平成 21 年度
担当部所	計画調整部　技術開発課　管路技術担当		
出展等	平成 21 年度光ファイバーケーブル断線予防技術調査その２調査報告書		
調査方法	委託調査		
関連情報	経営計画 2007		

番号	5-(2)-2	件名	大口径管きょ調査用カメラシステムの調査事例について

内　容	平成 18 年度から平成 19 年度に簡易提供型共同研究にて開発された大口径管きょ用調査用カメラが幹線現況調査で使用された。この調査機の能力の検証と調査事例について報告する。 調査機の概要は、①人孔間距離が長いシールド幹線への適応②たるみ・曲がり・土砂の堆積等の調査困難箇所や高流速、高水位等の流水影響への対応③硫化水素や酸素濃度測定等の予備調査・安全確認機能などを併せ持っている。 平成 19 年度、平成 20 年度に実施された調査事例を示す。区部の 70km を含む全国で 170km の調査を実施した。自走式調査機では矩形きょ 8000×4400mm を調査することができた。調査延長は下流からの調査で 1700m を自走でき、また、30R 程度は通過することができた。水位 1.5m、流速 1.5m/秒以下、土砂堆積 20cm 程度まで調査可能であった。なお、調査機は搬入を考慮して分割式になっており、資機材搬入から調査機の組立、作業開始までに 1 時間 30 分程度で準備することができた。平成 20 年度からは、水位が高く流速が無いまたは低流速の箇所や水面下に土砂の堆積が推定される箇所の調査を目的に船体型の調査機にスクリューを搭載した自航式船体型調査機での調査も実施した。 これは、自走式の部材を船体に載せたものである。調査延長は累計で約 3.6km であった。管径はφ1200mm から、水位は 45cm から対応でき、帯水箇所 800m を調査することができた。 本調査機を使用することによりこれまで調査が不可能であった高流速や高水位の箇所を安全に行うことができた。今後、本調査機の運用で得られた情報から効率的な維持管理に寄与することが期待できる。

キーワード	大口径管きょ調査用カメラ、幹線調査、8 輪駆動自走式、４点レーザー		
処理区名		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	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 20 年度	全体期間	平成 19 年度～平成 20 年度
担当部所	計画調整部　技術開発課　管路技術担当		
出展等	平成 20 年度局公開研修「下水道新技術」		
	平成 21 年度第 1 回設計・工事事例発表会		
調査方法	直営調査		
関連情報	技術開発推進計画 2008		

番号	5-(2)-3	件名	多重円板型スクリュープレス脱水機の実用化検証
内　容	重力濃縮汚泥と機械濃縮工程を省略した余剰汚泥との混合汚泥を対象とした大型多重円板型スクリュープレス脱水機の脱水性能把握と、省エネルギー性、省スペース性の評価を実用規模で検証したものである。 検証の目標は、脱水性能を脱水ケーキ含水率７８％以下、高分子凝集剤注入率０．８％以下、固形物回収率９５％以上とした。 省エネルギー性及び省スペース性、省コスト性は、「遠心濃縮機＋ベルトプレス脱水機」と比較して、優位であることとした。 検証の結果、目標を達成していることを確認し、機器部品の耐久性を確認した上で実用可能であると評価した。		
キーワード	スクリュープレス脱水機		
処理区名	北多摩二号処理区	位置区分	処理場　水再生センター　汚泥
職種区分	設備	施策区分	汚泥処分　汚泥資源化
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成１８年度～平成２０年度	全体期間	平成１８年度～平成２０年度
担当部所	流域下水道本部 技術部 設計課 機械設計係		
出 展 等	第４６回下水道研究発表会		
調査方法	ノウハウ＋フィールド提供型共同研究		
関連情報			

番号	5-(2)-4	件名	三河島水再生センターにおけるスカム除去の取組み

内　容	沈殿池導水渠で発生するスカムは、既設のスカム回収・除去設備だけで全てを処理するのは困難である。そのため、運転管理係の職員が直接現場で手作業によるスカム処理に多くの時間と労力を費やしている現状がある。 三河島水再生センターでは、これらの問題点を改善する対応策として、 ①第一沈殿池導水渠の浸水式スプレーノズル ②パイプスキマ水位検知器のスカム混入防止装置 ③雑用水の水圧を利用した浮上汚泥（スカム）処理装置 の３つの装置を導入し、スカムの回収・除去の効果を上げているので報告する。		
キーワード	現場作業の省力化、環境改善、安全性		
処理区名	三河島処理区	位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	設備	施策区分	効率化
状態区分	維持管理	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２０年～平成２１年	全体期間	平成２０年～平成２１年
担当部所	北部第一下水道事務所　三河島水再生センター　高際　千映		
出展等			
	平成２１年度下水道設備研究発表会		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	5-(2)-5	件名	光水位検出器を利用した簡易型管渠内水位検出システムの開発

内　容	浸水対策の一環として当課で開発したものの一つである「光水位検出器」を用いた、「簡易型管渠内水位検出システム」の開発を行った。 光水位検出器とは、ある一定水位への水位到達の有無を、光の強度変化によって検出するもので、本体に光ファイバーを直接接続できる構造となっている。そのため、電源が不要、長距離伝送が可能で遠隔地から水位検出が可能など、優れた特長を有する。 当課では既に、光水位検出器を用いた水位検出システムとして、OTDR の原理を応用した変換器で構成するシステムを開発している。このシステムは、光ファイバー1 心で多点の水位検出が可能である。 今回開発した簡易型管渠内水位検出システムは、光ファイバー1 心で 1 点の水位検出を行うことに機能を限定し、低コスト化を図ったものである。		
キーワード	光水位検出器、光ファイバー		
処理区名		位置区分	管きょ
職種区分	設備	施策区分	浸水対策、危機管理
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査（設備技術）　遠藤和広		
出 展 等	光水位検出器を利用した簡易型管渠内水位検出システムの開発に関する簡易提供型共同研究報告書		
調査方法	簡易提供型共同研究		
関連情報	経営計画 2007、技術開発推進計画 2008		

番号	5-(2)-6	件名	汚泥調質における凝集制御技術の開発

内　容	本研究は、汚泥に凝集剤を添加して脱水する前のフロック形状を撮影し、その画像を解析することにより、凝集剤の最適注入制御方法を確立することを目的におこなった。 具体的には、凝集混和槽から脱水機に汚泥を供給するラインの途中に検視装置を設置し、フロックの状態を撮影する。得られた画像を二値化処理することでフロックの状態を判断して、凝集剤の注入率を最適化させる制御をおこなうものである。 研究目標として以下の 3 点を掲げ、開発をおこなった。 ①既存設備に影響を与えず、かつ保守・点検が容易な画像検視装置を開発すること。 ②汚泥性状の変化に追従できる凝集剤注入制御の方法を開発すること。 ③㈱石垣が保有する既存含水率計を用いた薬注制御方式と比較して、優位となるシステムを開発すること。 今回の研究では、研究目標の全てを達成し、画像解析技術の下水汚泥への適用が十分可能であることを確認した。
キーワード	汚泥凝集、画像処理

処理区名		位置区分	処理場　水再生センター、汚泥
職種区分	水質	施策区分	効率化
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	
担当部所	計画調整部技術開発課汚泥処理技術担当　廣繁直治		
出 展 等			
調査方法	ﾉｳﾊｳ+ﾌｨｰﾙﾄﾞ提供型共同研究		
関連情報			

番号	5-(2)-7	件名	イベント時における高濃度窒素流入水への対応について

内　容	有明水再生センターでは毎年、夏季と年末の年2回、処理区域内にあるお台場・有明地区における大きなイベント開催により通常よりも高濃度窒素含有流入水が流入し、水処理に多大な影響を与えている。 平成21年度は、8月及び12月～平成22年1月の2回、お台場・有明地区で大きなイベントが開催され、高濃度の窒素を含有する流入水が水再生センターへ流入した。この高濃度窒素流入水に対し、生物反応槽内における硝化液循環量を制御することにより、放流水質の悪化を抑制することができた。		
キーワード	イベント対応、全窒素、流入水、A_2O法、硝化液循環		
処理区名	砂町処理区	位置区分	処理場　水再生センター、 処理水　放流水
職種区分	水質	施策区分	高度処理
状態区分	維持管理	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成21年度	全体期間	平成21年度
担当部所	東部第一下水道事務所　有明水再生センター　高橋昌史		
出展等			
	水質管理研修、部内発表		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	5-(2)-8	件名	蛍光 X 線分析装置の効果的な活用について

内　容	蛍光 X 線分析は、非破壊的に分析対象の元素組成についての知見を得ることができる手法であり、水質検査業務の迅速化・効率化及び精度の向上を目標に、蛍光Ｘ線分析装置の効果的な活用方法について検討した。 まず現在行っている焼却灰の成分試験ののための精度管理手法について検討し、米国国立標準技術研究所が提供している標準試料を用いて効果的な精度管理を実施できることが確認できた。 次に焼却灰の含有試験について、現在酸分解による煩雑な前処理等を行い２日間程度かけているが、含有試験結果と蛍光Ｘ線分析結果の比較を行った結果、両者の間には良好な相関があり、蛍光Ｘ線分析を用いることで２時間程度で結果を得られる可能性が示唆された。 また、高濃度の重金属を含む液体試料への蛍光Ｘ線分析の適用を検討した結果、公定法のための希釈倍率の決定や水質事故時の対応に有効であることが示唆された。
キーワード	蛍光Ｘ線分析、焼却灰、成分試験、含有試験、精度管理

処理区名		位置区分	
職種区分	水質	施策区分	汚泥処分　汚泥資源化、効率化
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度	全体期間	
担当部所	施設管理部環境管理課		
出 展 等	平成２１年度　下水道局水質技術研究発表会		
調査方法			
関連情報			

番号	5-(2)-9	件名	浸漬型有機物濃度計を活用した流入水連続測定法の開発

内　容	1 研究目的 本研究は、浸漬型の有機物濃度計を第一沈殿池流入導水渠に設置し、下水を測定対象とした測定精度の確保、メンテナンス手法の確立等の実用化を図ったうえで、測定値に基づき異常な高濃度流入水があった場合に反応槽へ送るか、貯留するかを判断するシステムを開発する。 2 研究結果 (1) 手分析値と浸漬型測定器値の相関係数は 0.8 以上であった。 (2) 自動洗浄方式としては、圧搾空気を用いた洗浄方式が最適であった。 (3) 判断システムの開発は、異常流入水の現象は終息し、調査期間中に高濃度流入がなく中止した。 3 考察 本研究で対象とした浸漬型有機物濃度計により、流入水を連続測定するにはンテナンス・洗浄・校正を定期的に行うことで、実用可能な測定結果が得られることを確認した。

キーワード	有機物濃度計　連続測定　浸漬型		
処理区名		位置区分	水再生センター
職種区分	水質	施策区分	
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 20 年度	全体期間	平成 19 年度～20 年度
担当部所	西部第二下水道事務所　施設課　浮間水質管理係　武藤美紀		
出 展 等			
調査方法			
関連情報			

番号	5-(2)-10	件名	硫化物が嫌気処理に与える影響について

内　容	下水中の溶存硫化物は、還元性物質として下水中の酸素を消費するため、水処理過程において反応槽での必要空気量を増加させ、有機物の分解や窒素化合物の硝化など生物処理に悪影響を与えることが既に報告されている。しかし逆に、嫌気処理においては還元性物質としてORPを低下させ、脱窒やりんの吐き出しを速やかにする効果があることが、沈殿下水と返送汚泥の混合液に硫化ナトリウムを添加した実験によって確かめられている。 本研究では、特に嫌気条件下での脱窒に着目し、硫化物や有機物が嫌気処理に与える影響や、亜硝酸と硝酸の脱窒状況の違いなどについて調査した。 脱窒が行われている間、ORPは-150 mV前後であり、脱窒前後に比べ緩やかに低下した。硝酸の存在下では硝酸脱窒が亜硝酸脱窒より優先される傾向があり、亜硝酸の一時的な増加もみられた。一方、今回の実験では、硫化物が脱窒の進行を速やかにする効果は特に認められなかった。
キーワード	嫌気処理、脱窒、溶存硫化物

処理区名		位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	高度処理
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度	全体期間	
担当部所	中部下水道事務所　芝浦水再生センター　水質管理係　長　健太		
出展等	平成２１年度　水質技術研究発表会		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	5-(2)-11	件名	芝浦水再生センターにおける亜硝酸型硝化の発生原因に関する検討

内　容	芝浦水再生センターでは近年、流入水中の全窒素濃度が 40mg/L を超えており、年々増加する傾向となっている。一方で、芝浦の処理施設は高濃度の窒素除去を目的として作られていないことから、安定的な窒素除去はセンターにおける急務の課題となっている。センターでは硝化促進運転を目指す一方で、幾つかの処理系統では継続的な亜硝酸型硝化が進行し、放流水質中における窒素濃度の上昇が恒常的に見られる状況となっている。そこで、水質管理係では亜硝酸型の硝化を解消するために、硝化に影響を与えると考えられる種々の要因（DO、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素等）についての比較・検証を行った。		
キーワード	硝化促進、亜硝酸型硝化		
処理区名		位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	高度処理
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度	全体期間	
担当部所	中部下水道事務所　芝浦水再生センター　水質管理係　山本　央		
出 展 等	平成２１年度　水質技術研究発表会		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	5-(2)-12	件名	Rr（呼吸速度）からみた芝浦水再生センター各系統の硝化特性
内　容	芝浦水再生センターでは流入アンモニア性窒素濃度が年々上昇し、窒素除去が重要な課題となっている。そのために年間を通じて硝化促進運転を行い窒素の除去に努めている。センターには流入特性、処理性能の異なる５系統があるが、処理状況は各系統で異なっている。 平成１９年度から定期の反応槽試験で各系統、各回路の Rr、ATU-R r を測定してきた。平成２０年度までのデータをまとめ、各系統の硝化の状況などと照合し、各系統の汚泥の硝化活性を検討・評価した。その結果から、活性汚泥の硝化活性の系統による違いが、アンモニア性窒素、硫化物などの流入水質、HRT 等の運転状況などで変わっていることがわかった。		
キーワード	呼吸速度、硝化、亜硝酸型硝化、硝化速度		
処理区名		位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	高度処理
状態区分	調査研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成２１年度	全体期間	平成２０～２１年度
担当部所	中部下水道事務所　芝浦水再生センター　水質管理係　石井　英俊		
出 展 等	平成２１年度水質技術発表会		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	6-1	件名	Stormwater Control Measures for Tokyo （東京における豪雨対策）

内　容

東京都では都市の安全性を確保するため、下水道整備としては1時間50ミリの降雨に対応できる幹線やポンプ所などの基幹施設の整備を着実に進めてきた。

しかしながら、近年、1時間50ミリを大幅に超える局所的な集中豪雨が頻発している。

地下空間の有効利用が進んでいる都市部では、地下街や地下鉄だけではなく、個人住宅においても地下や半地下に居室や駐車場が増えるなど、浸水に対する危険性が増大していることから、このような集中豪雨への対策が緊急の課題となっている。

このような中、現在東京都下水道局で実施している豪雨対策の取り組みを紹介する。

（1） 流出解析シミュレーションの活用

現在の合理式による設計手法に加え、地域特性をよりきめ細かに考慮することができる雨水流出解析手法を活用した管きょ設計手法の導入した。流出解析シミュレーションの活用により、貯留管の整備やバイパス管の整備、管きょの増径などの適切な対策を図っていく。

また、シミュレーション結果の検証を行うことにより、雨水排除能力の向上を主眼とした従来のアウトプット型事業から、浸水被害を軽減させる効果の見えるアウトカム型事業への転換を図る。

（2） 豪雨対策の効果検証

一方、整備完了箇所については整備前後の浸水被害軽減効果を実績降雨で確認するため、完了後一年以上経過した地区を対象として事後評価を行っている。

分析に当たっては2種類の事業効果分析手法を採用している。

(a)浸水発生状況による分析として整備前後の実績降雨と浸水被害の発生状況を比較

(b)計画降雨(1時間50㎜)でシミュレーションを行い、整備前後の浸水範囲を比較

対策完了箇所については計画降雨でのシミュレーション評価とともに、実降雨による浸水被害状況を対策前と対策後で比較を行った。

キーワード	豪雨対策、流出解析シミュレーション		
処理区名		位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	浸水対策
状態区分	計画、設計	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	
担当部所	計画調整部計画課		
出展等	8UDM		
調査方法			
関連情報	東京都豪雨対策基本方針		

番号	6-2	件名	Utilization of stormwater runoff models for flood control in Tokyo （東京都下水道局における雨水整備への雨水流出解析シミュレーションの活用）

内　容	東京都の管渠施設の設計は、これまで合理式によって雨水流出量を決定し、等流計算によって管渠の規模、勾配を決定してきた。しかし、この手法では、流域の地形や背水影響などを考慮して評価することが難しかった。このため、地形や背水影響などを考慮するとともに、動水位による地表面流出が起こらないような設計を可能にすることを目的に、雨水流出解析シミュレーションの活用に向けた効率的なモデル化手法の検討、職員向けのマニュアル整備を行った。また、活用例として最適貯留方法の検討を行った。 その結果、今回のモデル地区における検討では、平坦地形では貯留施設の形式・設置手法がどのような整備であっても効果的であったのに対して、くぼ地地形では効果的な手法が限定的で、整備方法によっては、効果が得られない。また、勾配地形の場合、管渠接合部の段差により動水位が連続しない特性を活かすことで、これまであまり採用されていなかったインライン貯留が効果的であることが明らかになった。		
キーワード	豪雨対策、流出解析シミュレーション		
処理区名	調査　研究	位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	浸水対策
状態区分	計画	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	平成 20 年度
担当部所	計画調整部技術開発課技術開発主査		
出展等	8UDM		
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	6-3	件名	Mitigation of Greenhouse Gas Emission from Sludge Incinerators - Innovative Approach by Multilayer Incineration – （多層燃焼による温室効果ガス削減）

内　容	当局区部から排出される温室効果ガスは年間合計約 71 万 t であるが、そのうち汚泥焼却が 29.7%を占めている。 汚泥焼却の温室効果ガス排出量削減対策として、汚泥の高温焼却（850℃）が行われてきた。高温焼却は、800℃での焼却と比較して N_2O（一酸化二窒素）の排出量を約 7 割削減することができるが、燃料使用量が増加するという問題がある。 そこで、この問題を解決するために、多層燃焼の開発を行った。多層燃焼は燃焼用空気を 1 次空気と 2 次、3 次空気の複数箇所から送る方式である。砂層部では、空気量を削減して窒素分の酸化を抑制することにより、N_2O の生成を抑制する。 また、フリーボード部では未燃ガスの完全燃焼により高温場が形成され、砂層部で生成された N_2O は高温により熱分解する。これらの相乗効果により N_2O を削減する。 当局の南部スラッジプラント 3 号炉（定格 300t/日）において、多層燃焼を行った。その結果、多層燃焼は高温焼却と比較して燃料使用量と N_2O 排出量を同時に低減できた。N_2O 排出量は、800℃焼却に比べ、約 83%削減することができた。また、燃料使用量は、850℃焼却に比べ、約 12%削減することができた。
キーワード	多層燃焼、

処理区名		位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 21 年度	全体期間	平成 19 年度～平成 21 年度
担当部所	施設管理部		
出展等	WEFTEC 2009		
調査方法	簡易提供型共同研究		
関連情報			

番号	6-4	件名	Outline and problem of reclaimed water supply business in Tokyo （東京都における再生水利用事業の概要と諸課題）

内　容	東京都下水道局では処理水をさらに高度な処理を施し、都市における貴重な水源として再利用している。その量は日量 9,093m^3 と全処理水量の 0.2%程度にすぎない。 再生水事業は、1984 年より西新宿地区で開始され、その後臨海副都心、品川駅東口、大崎、汐留、永田町及び霞が関、東品川及び八潮地区と供給地区を拡大していった。2008 年度の供給実績は供給面積が 1,080m^2、供給件数が 157 件であった。 使用用途はトイレ洗浄水が主で、このほか植栽の灌水、鉄道車両洗浄水、ヒートアイランド対策として道路散水等に利用されている。さらに枯渇した河川に再生水を供給することで水辺空間の創出にも寄与している。 一方、水量、水質及び施設に関する課題を抱えており、更なる供給拡大のためには、適切な対処が必要である。水量では、主な用途がトイレ洗浄水であることから各ユーザの使用ピークが重複し一時的な水量不足に陥る場合があることが課題で、安定供給のための施設能力の適正化が必要である。水質では、供給水の残留塩素濃度が大きく変動することが一番の課題で、ユーザーからの苦情が最も多い。また、塩素耐性を有するノロウィルス等の病原性微生物リスク管理、トイレ用水へのユスリカ幼虫の混入など、再生水使用における質的な課題の評価と適正な対応が必要である。さらに、配管や仕切弁等の老朽化や震災時のリスク管理が施設面における課題であり、短期的及び長期的な施設計画を策定し着実に実施していく必要がある。
キーワード	再生水利用事業、トイレ洗浄水、供給水量不足、残留塩素濃度、病原性微生物、ユスリカ、仕切弁、老朽化対策

処理区名		位置区分	処理水　放流水
職種区分	業務	施策区分	処理水再利用
状態区分	維持管理	技術区分	
実施年度	平成２１年度	全体期間	平成２０～２１年度
担当部所	経理部業務管理課　山下　博史		
出展等	WEFTEC 2009		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	6-5	件名	Effective Operation and Management of Anaerobic-Anoxic-Oxic (A^2/O) Process（嫌気・無酸素・好気法の最適な運転管理方法の策定について）

内　容	多摩地区の全ての水再生センターには、嫌気・無酸素・好気法（A_2O法）が導入され、りん、窒素の除去に効果を上げている。しかし、A_2O法施設では降雨等でりん除去が不安定になることがある。原因は流入水中の有機物量の不足や好気槽の実質的な処理能力が設計値より高いためと考えられる。生物学的りん除去は、嫌気部において、活性汚泥がＰＨＡ（ﾎﾟﾘﾋﾄﾞﾛｷｼｱﾙｶﾉｴｲﾄ）を合成・蓄積することが重要といわれる。 そこで、室内実験により嫌気、無酸素、好気の各処理条件で、活性汚泥中の PHA とりん酸性りんの関係を確認した。また、好気槽での最適なアンモニア負荷をどのように算出するかを検討した。 これらの調査結果より、流域下水道本部ではA_2O法の最適な運転管理条件を策定した。この運転管理条件を基に、現在多摩地区の水再生センターでは適切な運転管理を行っている。
キーワード	高度処理、りん除去、運転管理条件

処理区名		位置区分	処理場　水再生センター
職種区分	水質	施策区分	高度処理
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 18 年度	全体期間	
担当部所	流域下水道本部技術部施設管理課		
出展等	WEFTEC 2009		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	6-6	件名	Availability of CSO Control and Flood Control of Real-Time Control System in Umeda Pumping Station （梅田ポンプ所リアルタイムコントロールシステムの合流改善と浸水防除機能の有効性）

内　容	東京都下水道局では，2004（平成 16）年度に合流改善として梅田ポンプ所流域にリアルタイムコントロール（RTC）システムを導入した。本システムは，2001（平成 13）年度に当局で初めて RTC システムを導入した篠崎ポンプ所と異なり，対象降雨を限定せずに流入量に合わせてポンプ運転を行い，合流改善と相反する浸水防除を両立させたシステムである。本論文は，梅田ポンプ所 RTC システムの実運用での合流改善効果の定量化と運転状況の検証を行い，本システムの合流改善と浸水防除機能の有効性を明らかにすることを目的とする。 2005（平成 17），2006（平成 18）年度，2 か年にわたる調査の結果，従前のポンプ井水位による水位制御の場合と比較した相対改善度は，雨水放流量で約 19.2%，BOD 負荷量で約 27.3%，COD 負荷量で約 27.6%，SS 負荷量で約 24.3%であった。また，これまで強降雨に対しても適切に雨水ポンプの運転を行い，沈砂池の冠水や対象流域の浸水などの被害もなかったことから，合流改善と浸水防除機能の有効性が確認できた。

キーワード	RTC、合流改善、浸水防除		
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	合流改善
状態区分	調査　研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 18 年度	全体期間	平成 17 年度～平成 18 年度
担当部所	北部第二管理事務所　施設課　鈴木　忠夫		
出 展 等	梅田ポンプ所流域における貯留汚濁負荷調査委託報告書		
	WEFTEC 2009		
調査方法	委託調査		
関連情報			

１．安全性の向上

（１）再構築技術

１　南多摩水再生センターに流入する乞田幹線流入部の切替えについて

２　勝島幹線の森ヶ崎幹線（品川共同溝）への接続方法の検討について

３　芝浦水雨再生センター雨天時貯留池工事における不断水工法の施工について

４　メタンガス発生箇所における地中障害物撤去の施工について

（２）浸水対策技術

１　第二溜池幹線の整備について（大口径Ｈ＆Ｖシールド工法の設計事例）

（３）震災対策技術

１　光ファイバー用いた破損管きょ特定技術

（４）微量物質・病原性微生物等対策技術

１　放流水中の大腸菌群数低減に向けた調査

1-(1)-1　南多摩水再生センターに流入する乞田幹線流入部の切替えについて

流域下水道本部技術部施設管理課　水谷　裕一

１．工事概要

南多摩水再生センターの乞田幹線（内径 1,800 ㎜）系沈砂池の流入部及び流出部をドライ化して、コンクリート防食工事を実施した。

防食か所のドライ化にあたっては、バイパス管の設置や沈砂池手前の流入人孔の改造により、乞田幹線流入部を止水して流入汚水の経路をバイパス管に切替えた。最も困難であった流入部の止水作業について報告する。

２．南多摩処理区の幹線位置

南多摩処理区は、分流式下水道であり水再生センターへは3つの幹線が流入している。

南多摩処理区図を図１に、南多摩水再生センター内幹線位置図を図２に示す。

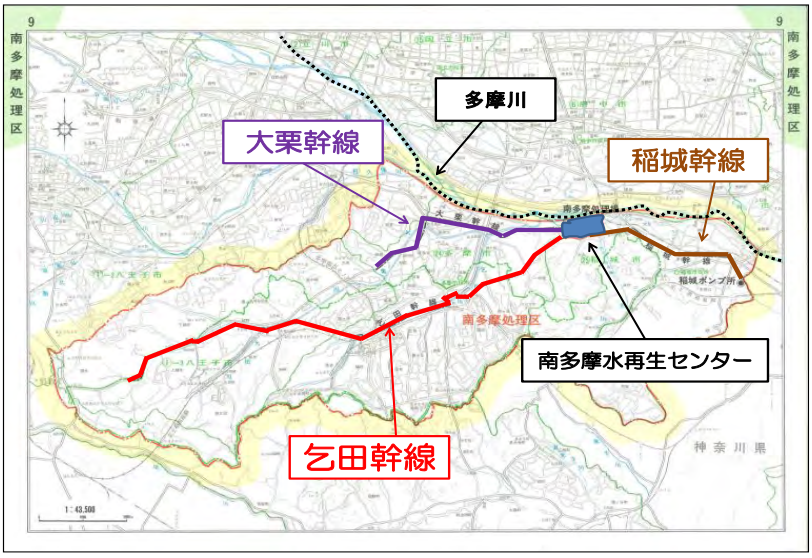


図１　南多摩処理区図

図２　センター内幹線位置図

３．流入水の切替え

通常、流入水は、乞田幹線の流入きょから沈砂池の流入部、沈砂池及び流出部を通り、導水きょを経由して分水槽へ流れる。沈砂池への流入水を止水するに当たり、既存の電動ゲートが完全に閉鎖出来ず、止水が困難であったため、流量人孔に鋼製止水板を設置した。これにより、水の流れをバイパス管側へ切替え、沈砂池の流入・流出部をドライ化して防食を行った。通常時の流れと切替時状況を図３に示す。

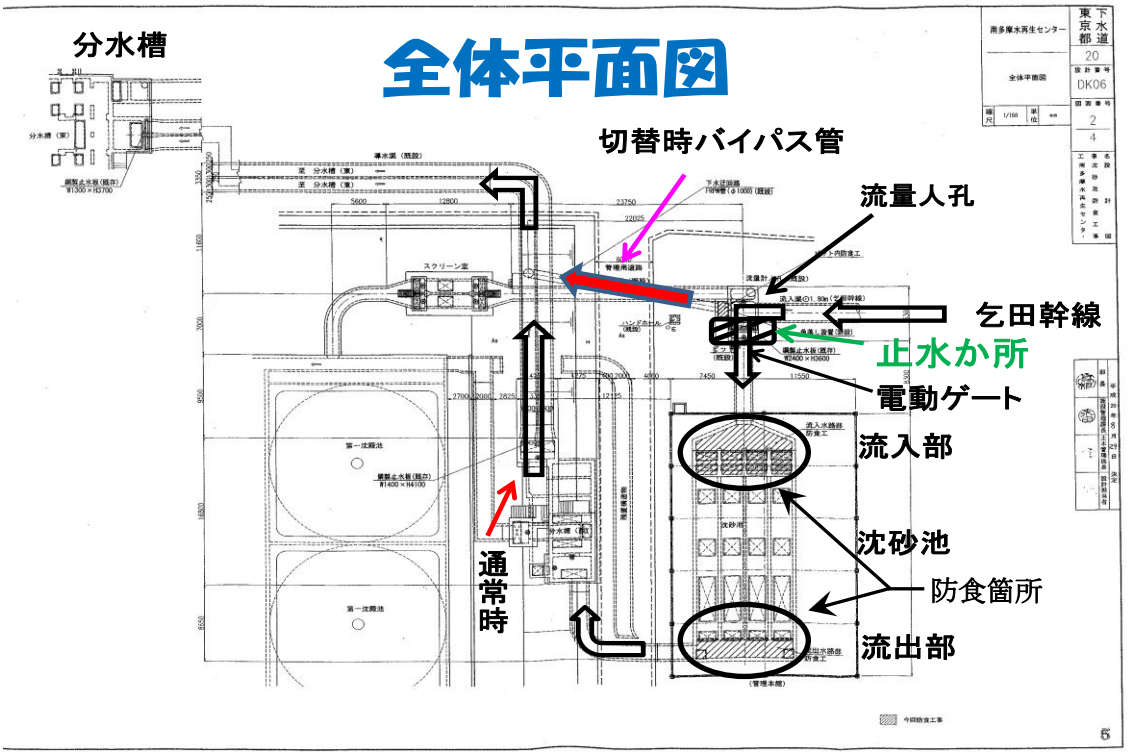


図３　流入水の切替え状況

４．バイパス管設置

今回の工事に先立ち、平成 19 年度にバイパス管を設置した。

導水きょが、2 系統あることから、左側の導水きょ上にライナープレートを築造し、導水きょと乞田幹線流入きょとを結ぶバイパス管約 20m（強化プラスチック複合管）を設置した。

管径については、流速を 3.0m/S 以下となるよう、バイパス管径を 1,000 ㎜とした。

ライナープレート及びバイパス管設置か所を図４に示す。

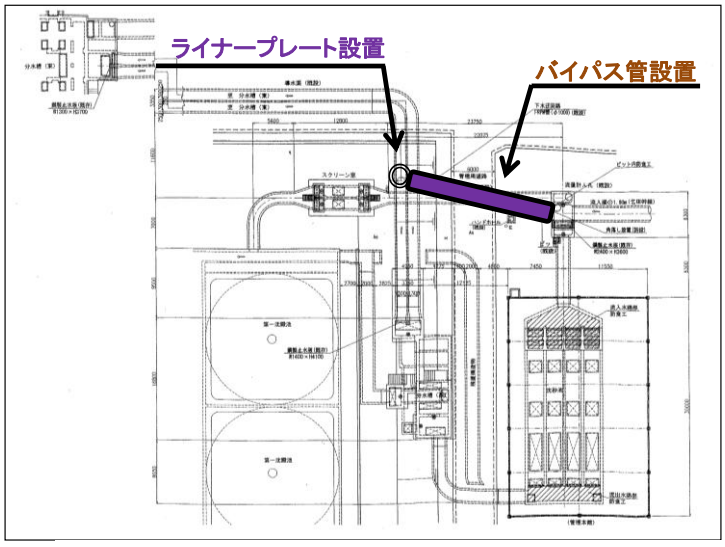


図４　ライナープレート及び
バイパス管設置か所

５．止水板設置か所

止水板設置か所は、流入きょ手前の流量人孔（沈砂池側）とした。
設置か所を図５に、現地状況を写真１及び写真２に示す。

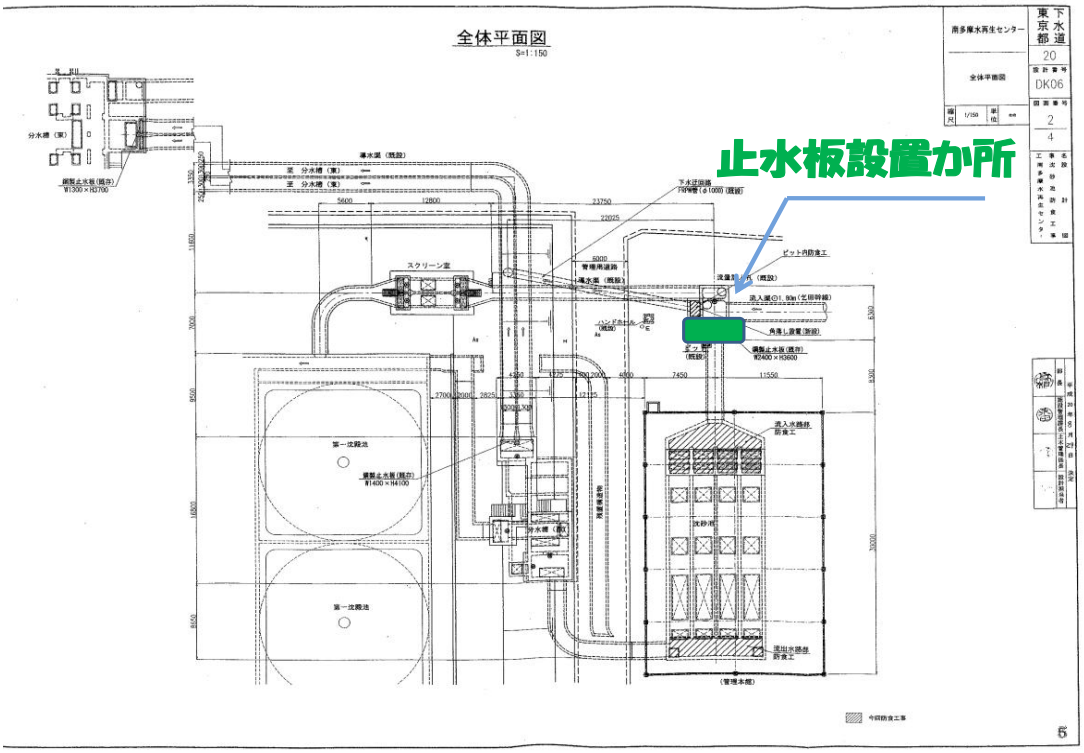


図５　止水板設置か所

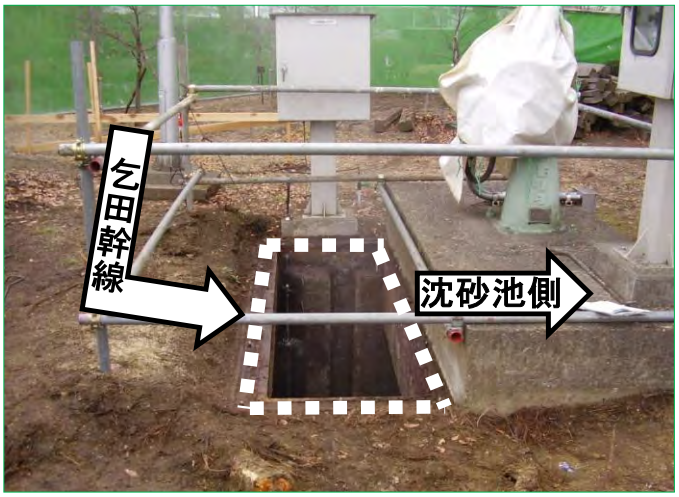


写真１　止水板設置か所

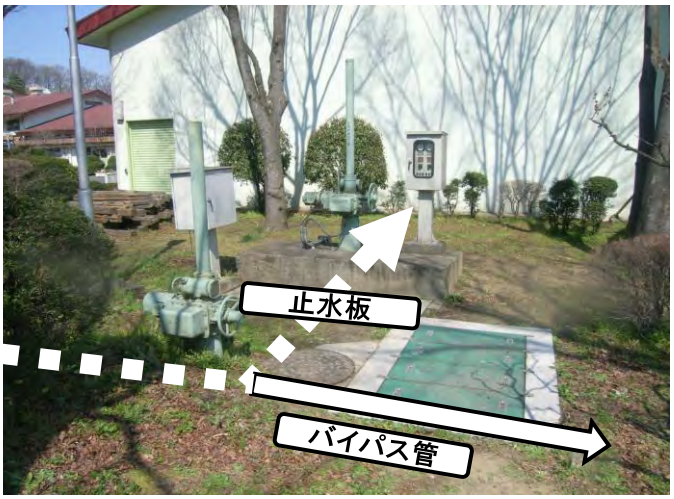


写真２　止水板とバイパス管位置

６．幹線流入部切替えまでの取組み

沈砂池への乞田幹線の流入を止めるため、既設人孔内の止水板設置は、既設の鋼製止水板を使用することとした。鋼製止水板の側部と底部には厚さ５㎜の硬質ゴムを貼り付けして止水性の確保を図った。しかし、角落し枠の底の部分の劣化と隙間からの漏水が激しく幹線流入水を止めることができなかった。（図 6）

このため、2 回目（写真 5, 6）には、1 回目の止水用硬質ゴムに加えて鋼製止水板下部にクッションゴムを速乾強力ボンドで接着して、再度止水を試みたが、クッションゴムが外れ、止水が不完全であった。

工事を一時中止し対策を検討した結果、乞田幹線の流入水圧が高いため、クッションゴムの剥離や躯体の不陸部と鋼製止水板の間のわずかな隙間からの漏水が激しいことが原因で止水出来ないことが判明した。（図 7）

完全止水に向け、補強用ゴムの剥離防止及び隙間からの漏水防止を目的に、3 回目は、補強用ゴム材料を、硬質ゴムに改め、鋼製止水板にボルトで剛結した。また、躯体不陸部の隙間を閉塞する目的で硬質ゴム製の止水帯を設置した。

この手法により、乞田幹線流入部を完全止水することができ、沈砂池流入及び流出部のドライ化によるコンクリート防食工事を実施した。

写真３　　１回目　補強なし

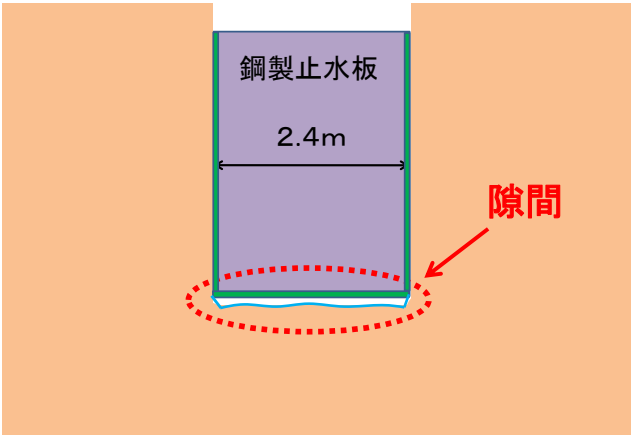


図６　１回目　底部状況

写真４　　２回目　補強材料

写真５　　２回目
クッションゴムで補強

写真６　　２回目
クッションゴム取付状況

写真７　２回目
土のう設置状況

写真８　　２回目
土のう設置状況（約 50 袋）

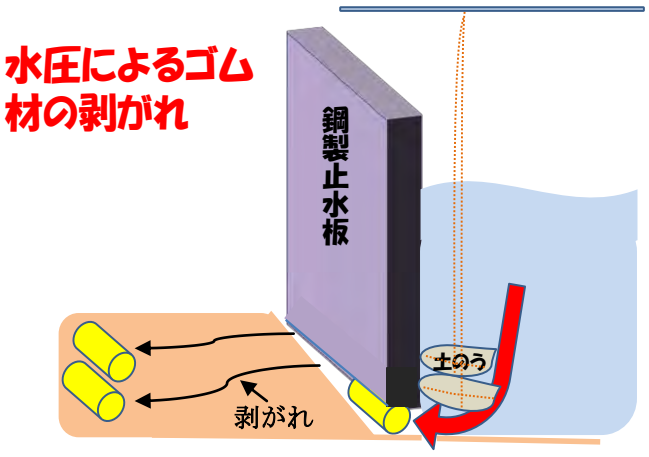


図７　２回目
水圧によるゴム材の剥がれ

この図は、1,2回目の失敗を教訓に、3回目の止水方法について、図示したものである。

これまでの方法では、幹線の水圧が高かったため、クッションゴムの剥離や、躯体の劣化による不陸と止水板の間のわずかな隙間からの漏水があって止水できないと判断した。

補強用ゴムの剥離及び底部の隙間からの漏水を防止するため、補強ゴム材料を、硬質ゴム W60 ㎜×H80 ㎜に取替えて、鋼製止水板にボルトで固定した。

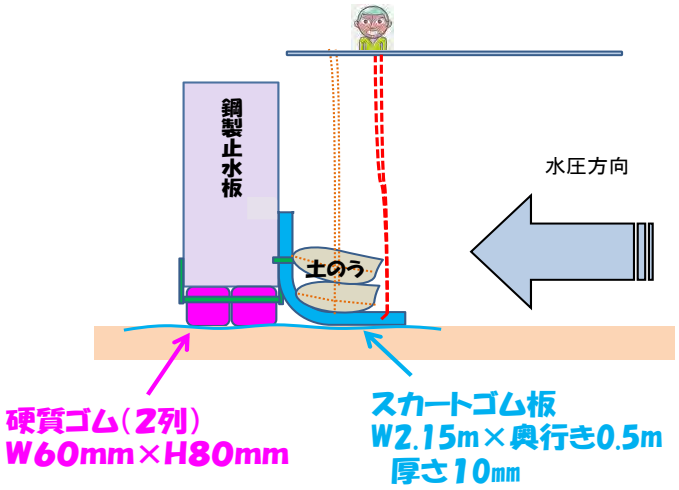


図８　３回目　止水状況

また、二重の対策として、新たに硬質ゴム製の止水帯（W2.15m×奥行き 0.5m、厚さ 10 ㎜）を設置した。ゴム製止水帯は、流入水圧により止水板に圧着するので止水性が向上することを期待した。なお、1,2 回目に取り付けた止水板側部と底部の三方向に設置した補強ゴム材も厚さ 5 ㎜から 10 ㎜の硬質ゴムへ替えている。

止水板設置時には、ゴム製止水帯が水圧によって鋼製止水板の下に潜り込まないように、止水帯に取り付けたロープを引張りながら止水板を降ろした。（写真 12、13、14）

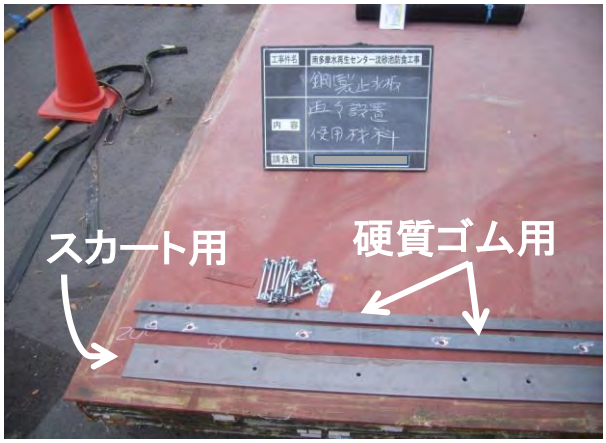


写真９　　３回目　補強材料

写真１０　３回目　溶接状況

写真１１　３回目
硬質ゴム取付状況

写真１２　　３回目
止水帯のゴム取付状況

写真１３　　３回目
硬質ゴム及び止水帯の取付状況

写真１４　　３回目
止水板取付状況

７．今後の課題

今回の南多摩水再生センターについては、バイパス管を設置することができたため、乞田幹線の流入汚水をバイパス管に切替えて沈砂池の流入部及び流出部をドライ化した防食施工が可能となった。他のセンターにおいては、ドライ化に必要なバイパス管の設置が困難なため、沈砂池流入部及び流出部のドライ化の手法について、新たな検討を進めていく。

センター名	流入幹線	バイパスの有無
北多摩一号	北多摩一号西幹線	無
南多摩	乞田幹線	有(19年度設置)
	大栗幹線	無
	稲城幹線	
北多摩二号	北多摩二号幹線	
浅川	日野幹線	
	浅川幹線	
多摩川上流	多摩川上流幹線	
八王子	秋川幹線	
清瀬	黒目幹線	

図９　　他の流域下水道本部の水再生センターの現状

1-(1)-2　勝島幹線の森ヶ崎幹線（品川共同溝）への接続方法の検討について

基幹施設再構築事務所　設計課　岡田　大吾

１．はじめに

下水道の再構築事業を進めていくなかで、新設の下水道管きょを稼働中の既設下水道管きょへ接続させる事例が増加している。下水道幹線同士を接続する場合、既設幹線の内部に開口部の補強を行い、シールドを到達させる方法を用いることが多い。しかし、常時大量の汚水が流れている稼働中の汚水幹線へ接続する場合、既設幹線内部での作業が困難となるため上記の方法では対応できない。本稿では作業員の安全を確保し、既設幹線内部での作業を最小限に抑えた接続方法について勝島幹線工事での事例を報告する。

２．勝島幹線工事

勝島幹線工事は、品川区の勝島ポンプ所に収容される汚水を、既設の森ヶ崎幹線へと送水する汚水幹線を新設するものである。**図１**に勝島幹線案内図を示す。

２．１．工事概要

工事概要を以下に示す。

工事件名：勝島幹線工事
工事場所：品川区勝島一、二丁目
　　東大井二、三丁目
　　南大井一、四丁目
工　　法：特殊泥土圧シールド工法
延　　長：L=1407.20m
内　　径：◎1500 ㎜

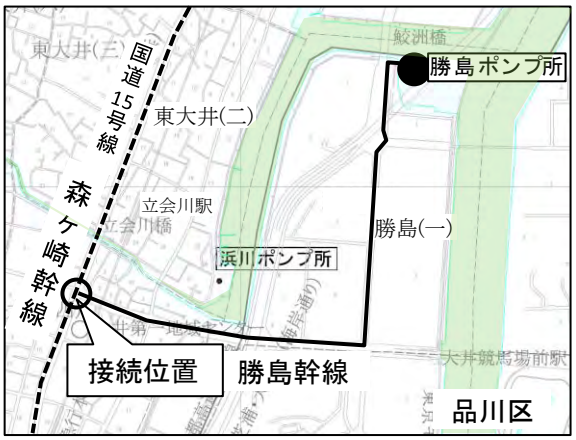


図1　勝島幹線案内図

２．２．接続箇所の施工環境

本設計は以下の制約条件のもとに設計することが求められている。

○施工環境１/既設幹線布設位置が国道

勝島幹線を接続させる森ヶ崎幹線は、国道 15 号直下に布設されている。本路線は交通量が非常に多いため、路上

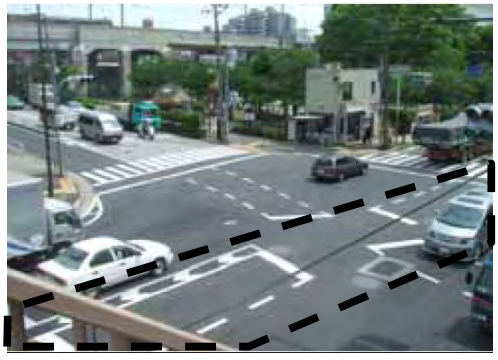


図2　森ヶ崎幹線布設位置

の占用を最小限に抑えて施工することが求められている。**図 2** に国道 15 号における森ヶ崎幹線布設位置を示す。

○施工環境 2/共同溝内の施設へ接続

森ヶ崎幹線内空高さ 3250 ㎜に対し勝島幹線は内径 1500 ㎜であり、開口部の補強が必要となる。この森ヶ崎幹線は共同溝内の他企業施設と一体化した構造であるため、開口部の補強、及び接続方法は他企業施設の支障とならないようにする必要がある。**図 3** に品川共同溝概略図を示す。

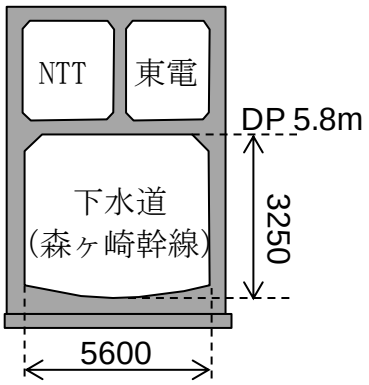


図3　品川共同溝概略図

○施工環境 3/稼働中の汚水幹線へ接続

森ヶ崎幹線は稼働中の汚水幹線であり、常時汚水が流れている。現地での水位変動を測定した結果、夜間最高水位は 1.84m、最低水位は 1.06m と確認された（計測期間：平成 21 年 8 月 7 日から平成 21 年 8 月 27 日まで)。このため、幹線内での施工環境は極めて悪いといえる。**図 4** に測定した森ヶ崎幹線水位変動図を示す。

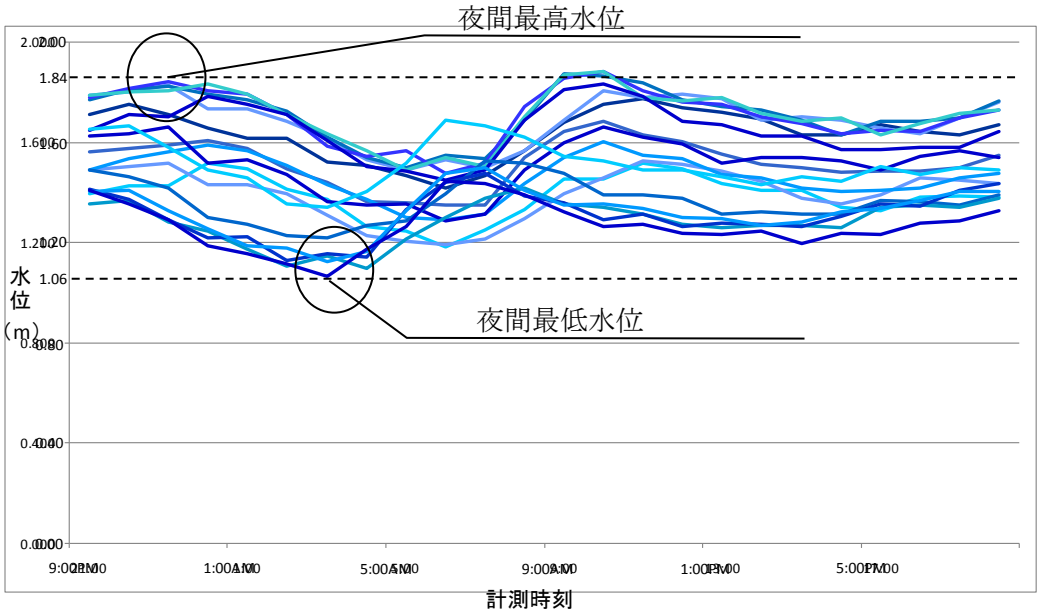


図4　森ヶ崎幹線水位変動図

３．接続方法の検討

下水道管きょに新たに幹線を接続する場合は、会合部に人孔を築造して接続させる方法が一般的に採用されるが、本事例では路上交通量が多く、また共同溝内の他企業施設と一体化した構造という条件から人孔を築造することは難しい。そのため、下水道管きょ同士の接続が必須となる。本設計では、以下の接続方法の検討を行った。

３．１．(a)シールドマシンを直接到達させる方法

既設管の内部で開口部の補強を行い、そこへシールドマシンを直接到達させるという方法である。管きょの直接接続を行う場合、最も一般的に採用されている。本事例の場合、既設幹線の内部で、止水壁を設置してドライエリア確保、吊足場を設置して幹線横断、開口部の補強と接続作業を行う事が求められており、既設幹線の流量が多いと施工困難となる。

３．２．(b)接続部に立坑を築造する方法

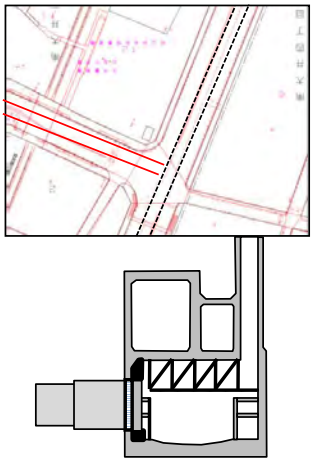
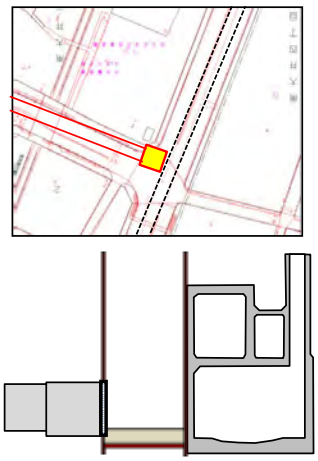
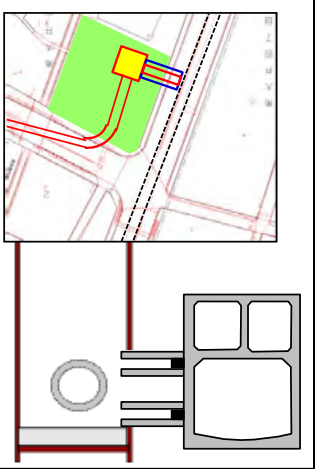
幹線内部での作業が最小限となるよう、接続部に立坑を築造し、立坑内から接続作業を行う方法である。本事例のような水位の高い幹線への接続工事にも対応することができる。しかし、立坑を築造するために大規模な路上占用が必要となり、交通量の多い交差点上では施工困難となる。

３．３．(c)推進管を設置し、推進管内部で接続作業を行う方法

接続箇所近傍の公園に立坑を築造し、そこから刃口推進工法で設置した推進管を接続作業の作業空間として活用し接続する方法である。推進管内で開口部の補強及び接続作業を行うため、流量の多い幹線内部での作業を抑え、路上交通への影響を最小限にすることが可能となる。

表１に接続方法比較検討表を示す。

表1　接続方法比較検討表

	(a)シールドマシンを直接到達させる方法	(b)接続部に立坑を築造する方法	(c)推進管を設置し、推進管内部で接続作業を行う方法
概略図			
施工性	流量の多い既設幹線内部での作業が必要	立坑から接続作業を行うため既設幹線内で作業を行わない	推進管内で接続作業を行うため既設幹線内で作業を行わない
交通への影響	作業拠点となる人孔部の路上占用が必要	立坑を築造するため、国道交差点上に大規模な路上占用が必要	公園に立坑を築造するため、路上占用が不要
判定	×	×	○

以上の検討より、(c)推進管を設置し、推進管内部で接続作業を行う方法を採用した。

４.施工方法

接続箇所概略平面図を**図 5**、接続方法模式図を**図 6** に示す。

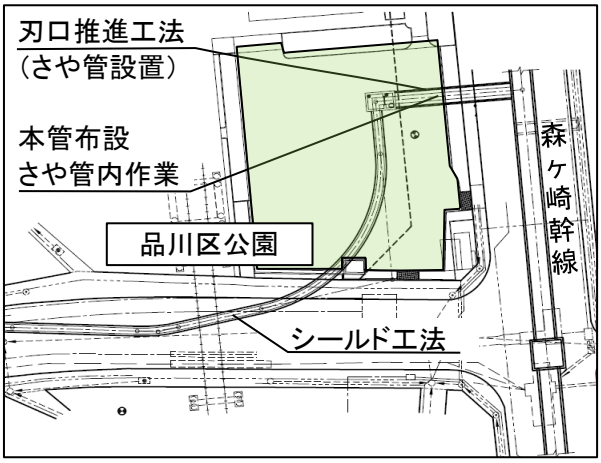


図5 接続箇所概略平面図

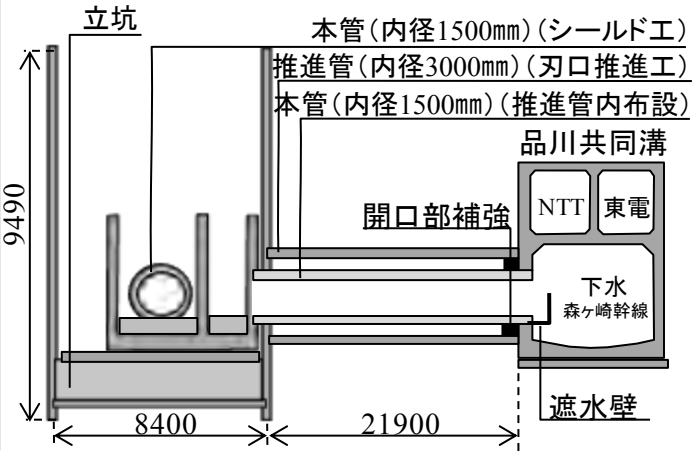


図6　接続方法模式図

４．１．施工手順

施工手順を以下に示す。既設幹線接続施工フローを**図 7** に示す。

○接続手順１/立抗築造

接続部近傍の公園に立坑を築造する。この立坑はシールドの到達立坑及び刃口推進の発進立坑として使用する。

○接続手順２/推進部地盤改良

推進部の地盤改良を行う。国道での路上作業が困難なため、改良工は坑内から水平施工を行う。

○接続手順３/刃口推進工（推進管布設）

刃口推進工法を用い、立坑から推進管を布設する。以降、この推進管内を作業スペースとして活用する。

○接続手順４/開口部補強

推進管内部にて森ヶ崎幹線の開口部補強を行う。

○接続手順５/開口

開口部からの汚水流入を極力防ぎつつ開口を行う。

○接続手順６/本管設置

推進管底部にならしコンクリートを打設し、本管を挿入、固定後にエアモルタルを用いて充填させる。

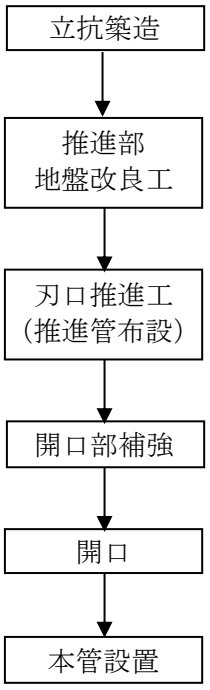


図7　既設幹線接続施工フロー

４．２．開口からの汚水流入対策

作業を安全に行うために、既設幹線からの汚水の流入を最小限に抑えながら施工する必要がある。本設計では、開口部からの流入を防ぐ「二段階の開口作業と遮水壁設置」と、作業空間である推進管への汚水流入の影響を最小限に抑える「二段階の止水対策」を検討した。

４．２．１．二段階の開口作業と遮水壁設置

開口部の管底高さは既設幹線の最低水位 1.06m に比べ 0.30m 低い位置となるため、開口・接続作業時には幹線からの汚水流入への対策が必要となる。そこで安全に施工するために二段階の開口作業及び遮水壁の設置を計画した。

まず、遮水壁を設置するために必要な作業空間を確保できるよう開口径 1600 ㎜のうち上部 1230 ㎜の開口を行う。次に、この開口部を利用して既設幹線内に遮水壁を設置し、汚水流入を防ぎつつ下部 370 ㎜の開口および本管の設置作業を行う。遮水壁の設置については、次の２点を検討条件とした。

①流れの激しい既設幹線内での作業を極力減らした状態で施工可能なものとする。

②限られたスペースでの推進管内での作業となるため、大型機械を用いず人力による作業で施工可能なものとする。

この条件を満たすため、最も作業手間のかかる遮水壁骨組の組立を地上で行い、既設幹線内での作業を設置のみとするように計画した。そのため、組み立てられた骨組を運搬できるよう遮水壁の各種寸法は開口部からの搬入が可能となる大きさとした。また、作業時には大型機械を持ち込むことができないため、遮水壁全体（約 630kg）を一度に設置するのではなく、骨組部材（260 kg）と壁面パネル（約 25kg ×15 枚）に分けて施工をすることで施工性の向上を図った。**図 8** に遮水壁模式図を示す。

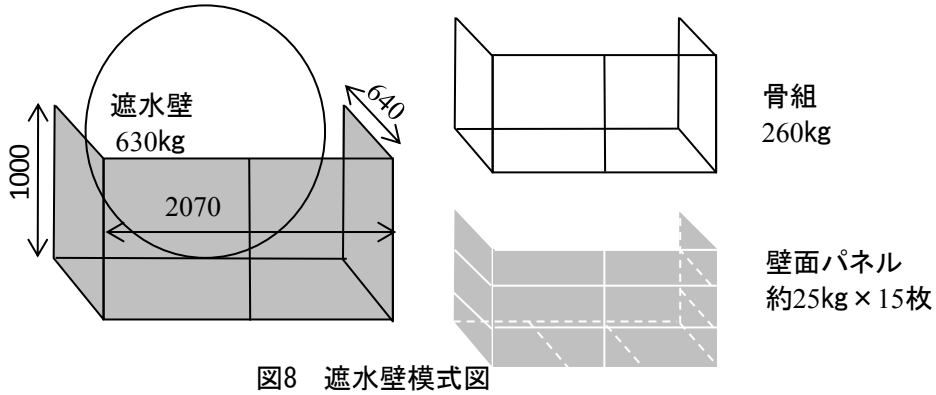


図8　遮水壁模式図

以下に遮水壁設置手順を示す。

〇手順１/一段階目開口

既設幹線の水位を確認しながら上部 1230 ㎜を開口し、遮水壁を搬入するスペースを確保する。手順１概略図を**図 9** に示す。

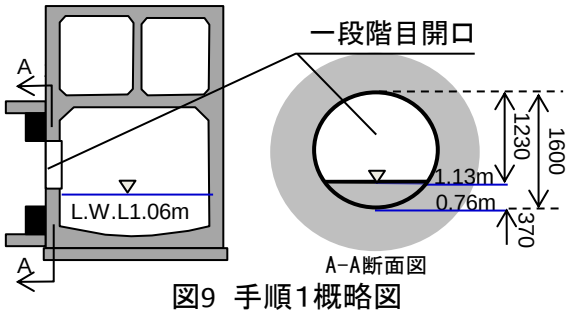


図9　手順1概略図

○手順２/仮設構台設置

推進管内に仮設構台を設けて開口断面から足場を張り出し、既設幹線内での作業スペースを確保する。

○手順３/遮水壁骨組運搬

遮水壁骨組を開口断面から搬入する。骨組を組み立てた状態で搬入することが可能となるよう寸法を設計した。手順３概略図を**図 10**、骨組搬入時の開口断面模式図を**図 11** に示す。

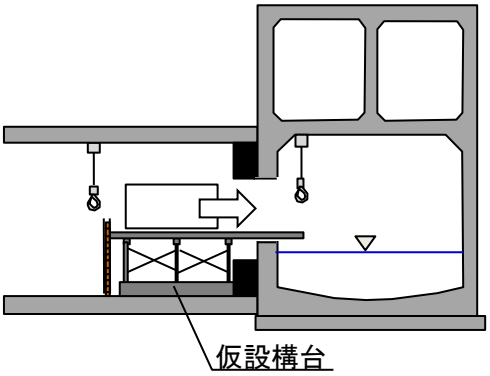


図10　手順３概略図

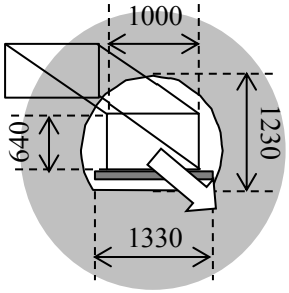


図11　骨組搬入時の開口断面模式図

○手順４/遮水壁骨組設置

チェーンブロックを用いて遮水壁骨組の方向を調整し、足場上から施工可能な範囲の骨組上部を固定し（手順①）、必要な耐力が確保できた段階で壁面パネルを設置する（手順②）ことで作業空間を確保する。この状態では固定箇所が上部に偏っているため完全な止水はできていないが、遮水壁内部を水の流れのない作業空間として活用することができる。そこで足場を撤去し、遮水壁内部から骨組下部の固定を行い（手順③）、遮水壁を完成させる。手順４概略図を**図 12**、遮水壁設置手順模式図を**図 13** に示す。

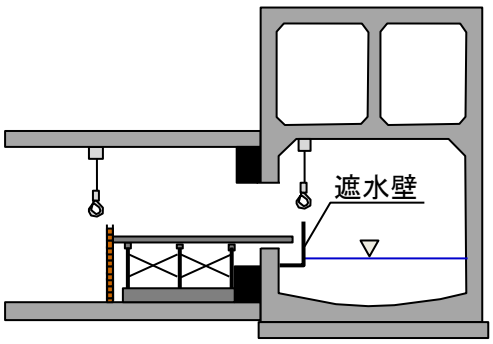


図12　手順４概略図

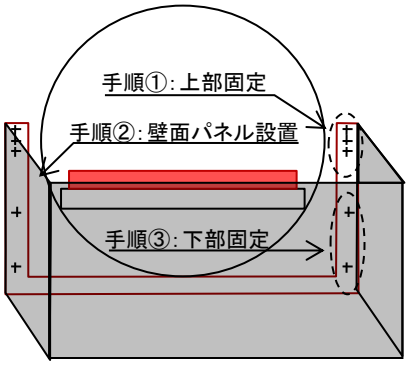


図13　遮水壁設置手順模式図

この遮水壁により、水位測定結果の平均水位 1.48m に対して 1.58m まで汚水流入を防ぐことができる。このように、最低水位 1.06m に対し開口部の管底高さが 0.76m という厳しい条件でも、二段階の開口作業と遮水壁を設置することで、作業をドライエリア内で安全に施工することが可能となる。各施工段階における森ヶ崎幹線の水位対応図を**図 14** に示す。

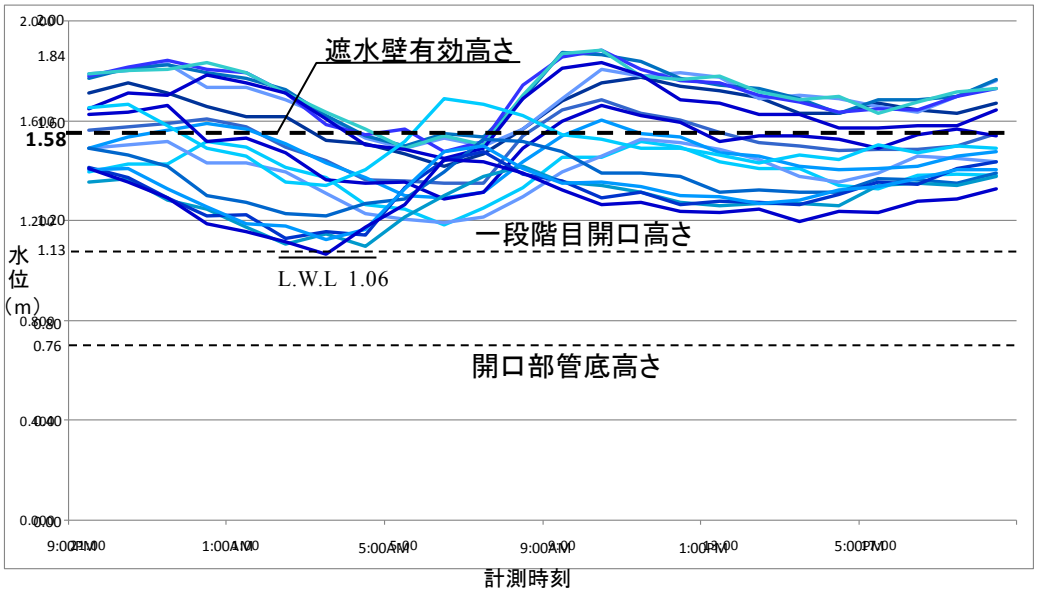


図14　各施工段階における森ヶ崎幹線水位対応図

４．２．２．二段階の止水対策

推進管内への流入の影響を最小限に抑えるための止水対策を二段階に分けて計画した。

〇一段階目止水対策/仮止水壁設置

作業中の流入に備え推進管内に仮止水壁を設置する。この仮止水壁により既設幹線内の平均水位 1.48mに対し、構造上設置可能となる推進管中心部高さ 1.53mまで対応することが可能となる。この仮止水壁により、作業中に多少の流入があっても流入を開口部付近にとどめることができ、水替作業が効率的となる。止水対策概略図（一段階目）を**図 15**、仮止水壁断面図を**図 16** に示す。

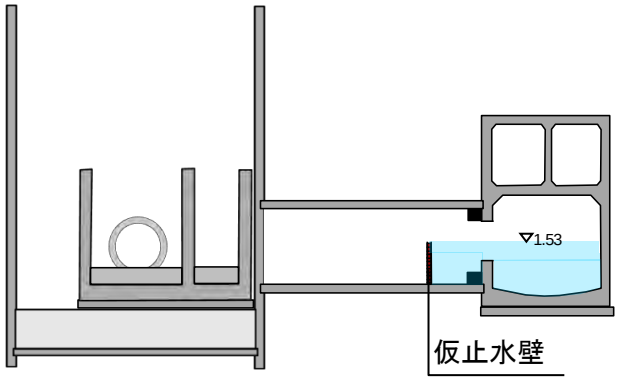


図15　止水対策概略図（一段階目）

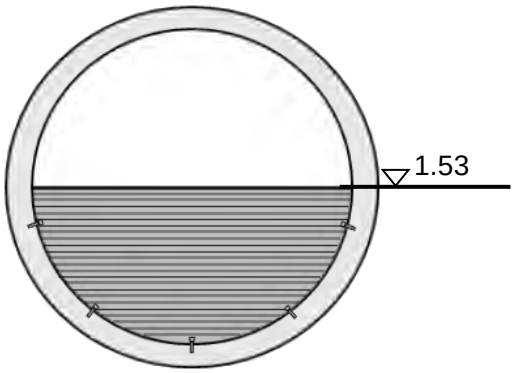


図16　仮止水壁断面図

〇二段階目止水対策/角落し設置

既設幹線内水位が最大まで上昇した際に備え、人孔部に角落としを設置する。この角落としは既設幹線内の最高水位 1.84mに対し、2.42m（開口断面の管頂高）まで対応することが可能となる。この角落しにより、作業時間外の水位が高い状態に対しても流入を推進管内のみで抑えることができる。止水対策概略図（二段階目）を**図 17**、人孔部平面図を**図 18**、角落し断面図を**図 19** に示す。

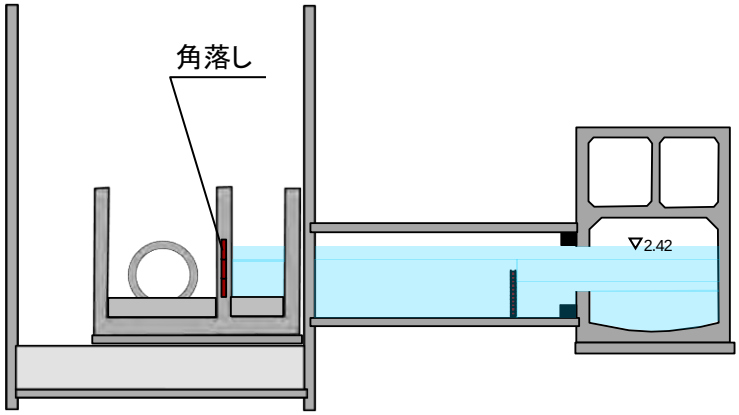


図17　止水対策概略図（二段階目）

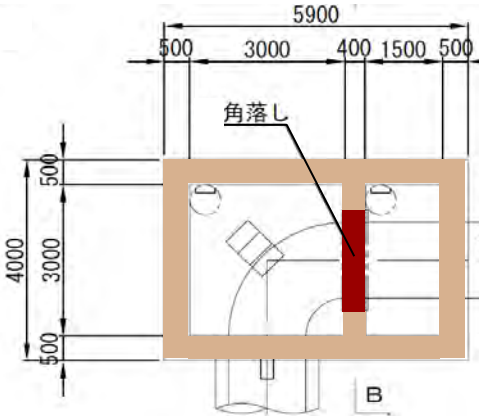


図18　人孔部平面図

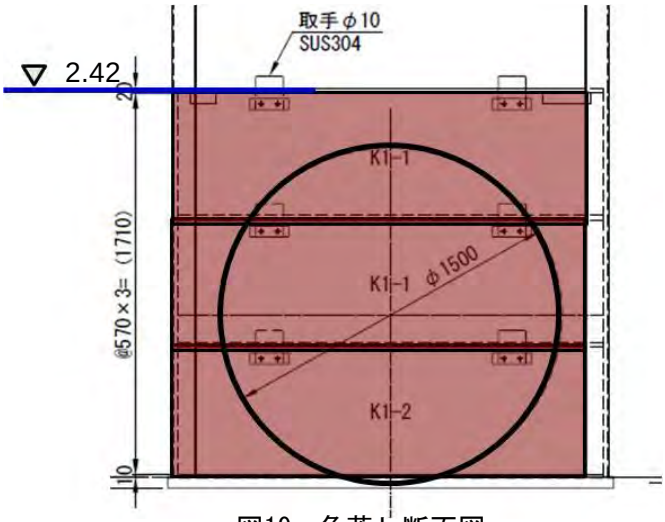


図19　角落し断面図

このように 2 段階の止水対策を盛り込むことで、作業中の流入は仮止水壁で汚水流入を開口部付近にとどめ、作業時間外の高水位時には角落しで汚水を推進管に抑え、流入に対して備えながら接続作業を行う事が可能となる。二段階止水対策と森ヶ崎幹線の水位対応図を**図 20** に示す。

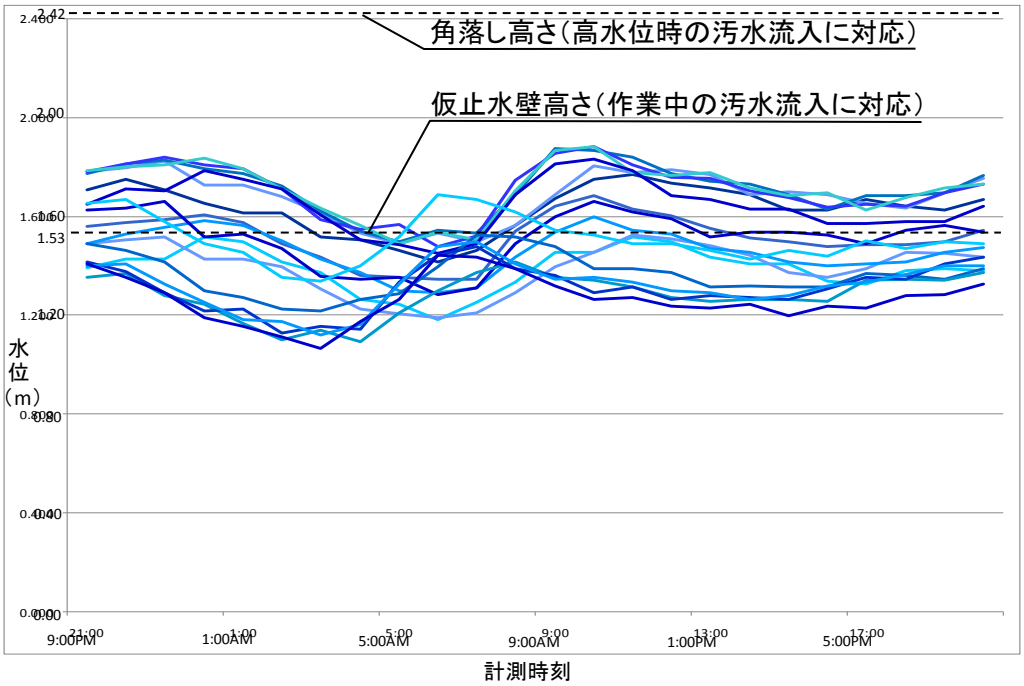


図20　二段階止水対策と森ヶ崎幹線の水位対応図

このように、二段階の開口作業と遮水壁設置、二段階の止水対策により、開口部からの汚水の流入を最小限に抑えることができる。

５．まとめ

本工法は、作業員の安全確保の観点から以下の点で有効である。

・推進管を作業空間として活用することで、交通量・埋設物の多い国道上でも既設幹線外部から接続作業を行うことが可能となる。
・二段階の開口手順を踏み、遮水壁の各種寸法および設置手順を工夫することで、既設幹線内部での水中作業を最小限とし、施工上のリスクを軽減させることが可能となる。
・二段階の止水対策により、開口部からの流入汚水の影響を最小限に抑えることが可能となる。

下水道の再構築事業を進めていくため、稼働中の幹線への接続工事の重要性は今後もますます増大していくことが想定される。そのため、本稿で取り上げた「流量の多い管きょ内での作業をいかに安全に施工するか」という問題は、下水道局の業務を執行していく上で極めて重要な課題である。このような環境で工事を行う際には、当然ながら現場の施工環境、それに基づく綿密な安全計画を、設計の段階から確実に立てることが極めて重要となる。本稿が今後の下水道管きょ再構築事例の検討事例として参考となれば幸いである。

1-(1)-3　芝浦水再生センター雨天時貯留池工事における不断水工法の施工について

基幹施設再構築事務所　工事第二課　三瓶武史

1. 概要

1) 工事概要

芝浦水再生センター雨天時貯留池工事は、芝浦水再生センター内の雨天時貯留池の建設に先立ち、汚泥ポンプ室の新設および既設返送汚泥管への接続を行ったものである。（図 1）

なお、建設予定の雨天時貯留池施設は貯留容量約 76,000m^3 であり、その上部には高さ約 160m の高層ビルの建設が予定されている。

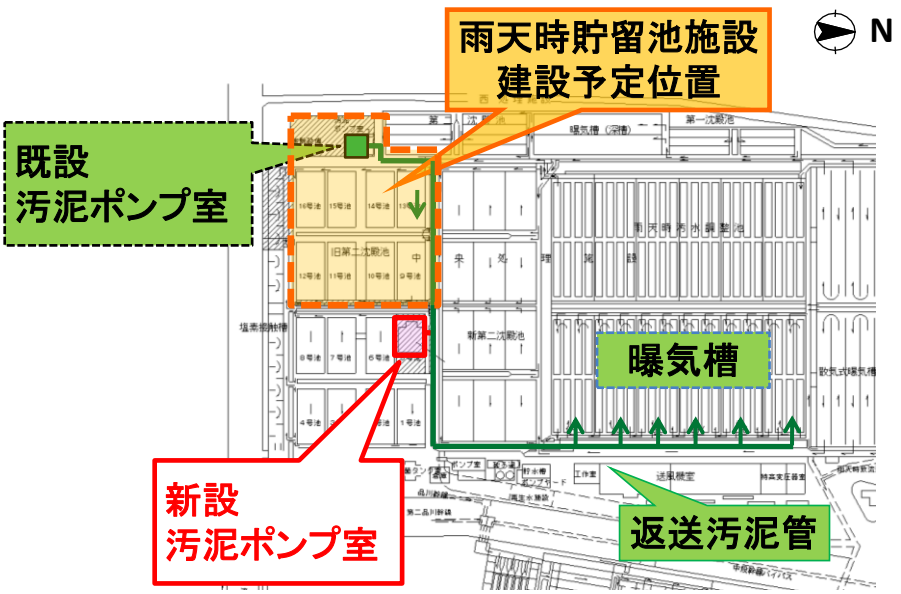


図 1　芝浦水再生センター平面図

2) 不断水工法の施工概要

不断水工法とは、既設管の送水を止めずに管に穴をあけ、他の管と接続する工法である。本工事では、既設返送汚泥管（φ1,000mm）を稼働させたまま、新汚泥ポンプ室と接続する際に本工法を採用した。

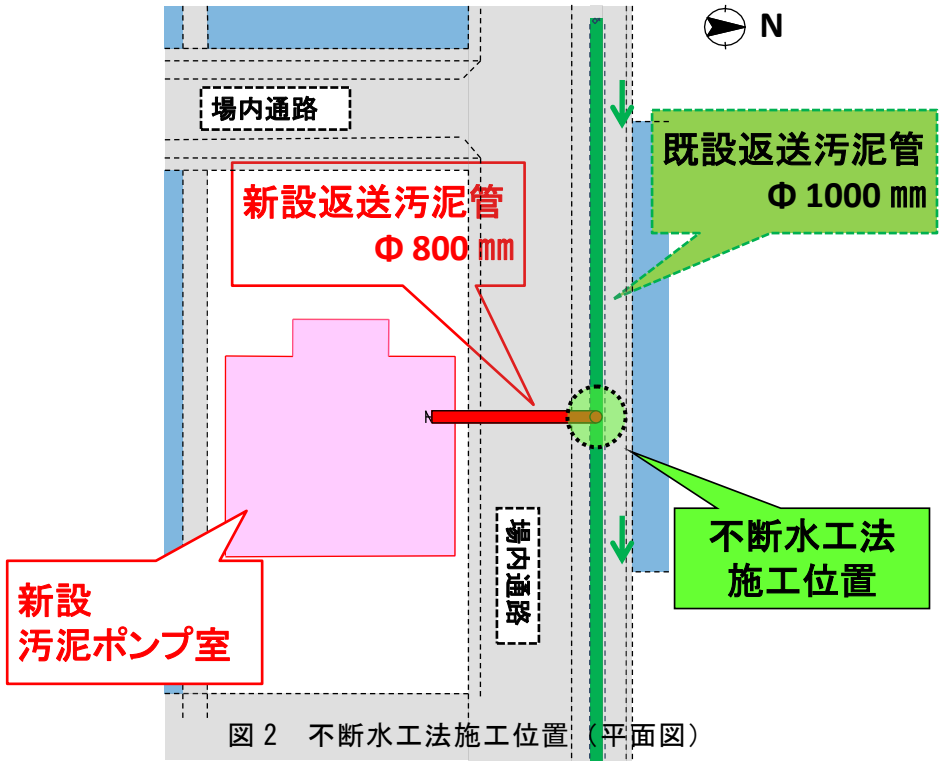


図 2　不断水工法施工位置（平面図）

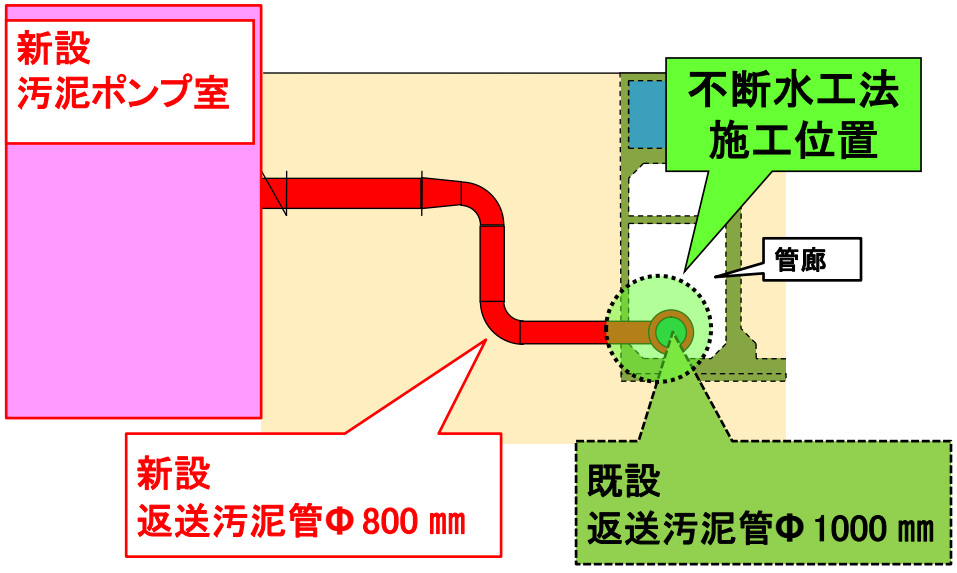


図 3　不断水工法施工位置（断面図）

2. 本工法の採用理由

1)当初計画と課題

当初は、既設管の送泥を一時的に停止する「断水接続」による施工を計画していた。しかし、水再生センターとの協議を重ねた結果、長時間に及ぶ返送汚泥の停止により、曝気槽内の活性汚泥に影響を及ぼし、水処理機能の低下・処理水質の悪化につながることが判明した。

よって、その課題を解決すべく、送泥の断水時間を必要最小限にとどめ、水処理機能を確保できるような工法の検討を行った。

2)工法検討

表 1 に示すような３つの案について検討を行った。それぞれの問題点に対し、施工可否の検討を行ったが、C 案の不断水接続のみが施工可能と判定された。

よって、C 案の不断水工法を採用することとなった。

表１　工法検討

	A案	B案	C案
手法	断水接続	返送汚泥管の新設	不断水接続
施工概略	既設管を断水し、 開口・溶接により接続	新汚泥ポンプ室 ～ 曝気槽 間の返送汚泥管を新設	既設管の断水を 行わずに新設管 を接続
問題点	断水時間は最低でも １１時間は必要	管廊内は他の配管類で 輻輳している	穿孔機の設置 スペースが必要
問題点への検討	水再生センターとの協議により、断水可能時間は最大で8時間と判明	返送汚泥管の占用 スペースの確保が困難	立坑設置により、 スペースの確保が 可能
判定	×	×	○

3. 施工手順

1) 不断水工法　施工手順

以下に不断水工法の施工手順を示す。（図 4～図 8）

① 既設管を「割 T 字管」で覆う。
② 仕切弁を接続する。
③ 穿孔機を接続する。
④ 穿孔機のドリルで既設管に穴を開ける。
⑤ ドリルを戻し、仕切弁を閉じる。
⑥ 穿孔機を撤去する。
⑦ 新設管を取り付ける。
⑧ 仕切弁を開け、送泥する。（施工完了）

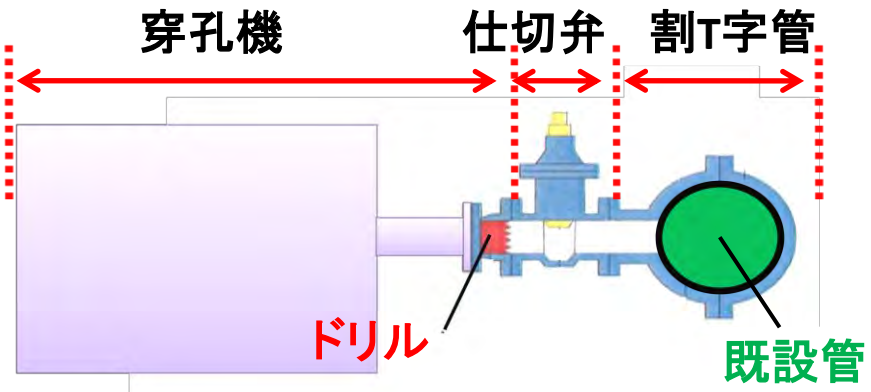


図 4　不断水工法施工手順①～③（断面図）

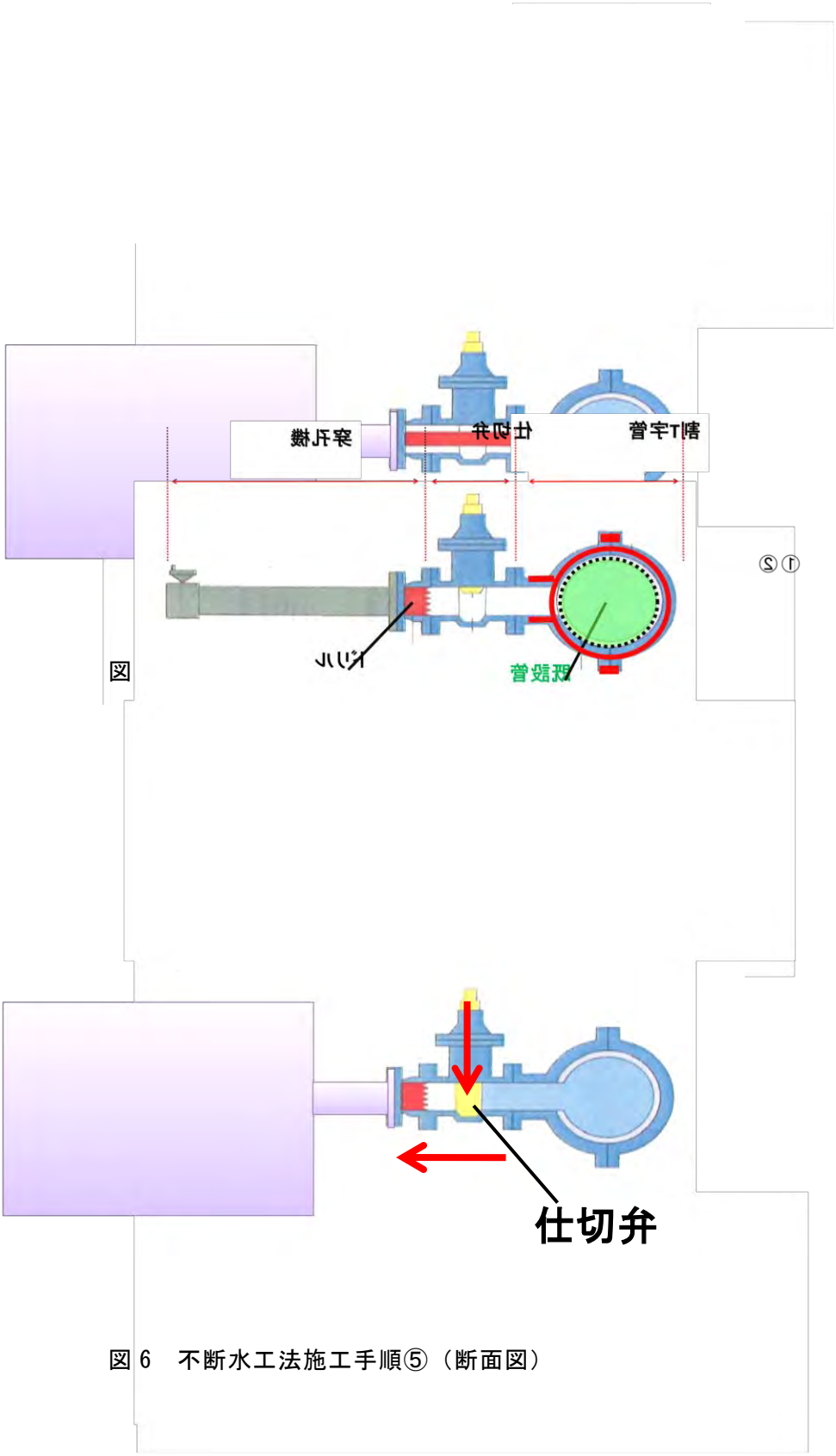


図６　不断水工法施工手順⑤（断面図）

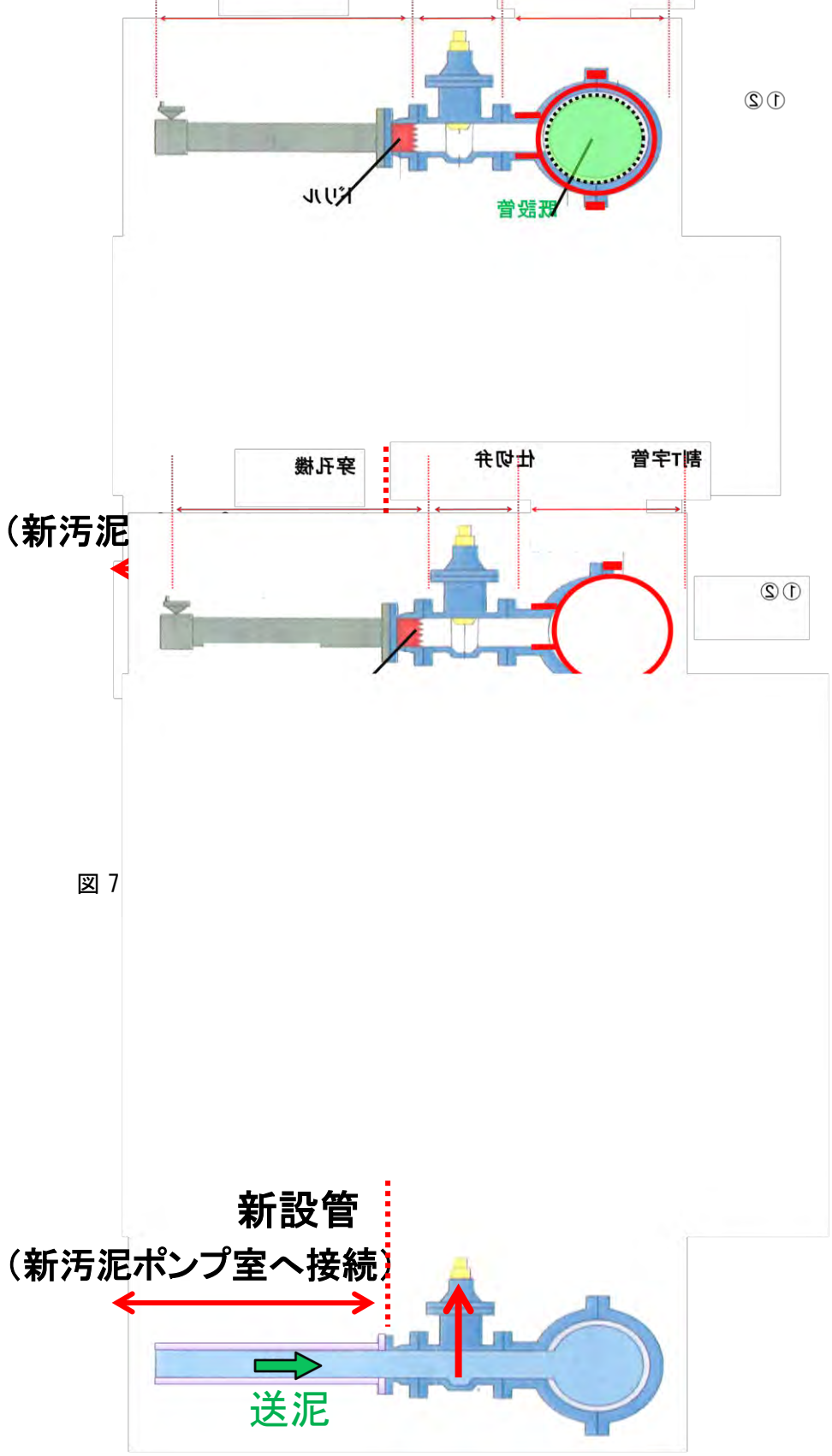


図 7

図 8　不断水工法施工手順⑧（断面図）

2)施工写真

ここで、不断水工法の施工写真を載せる。

図 9～11 は本工法で使用する割 T 字管・穿孔機、図 12 は穿孔機の取付け完了後の写真である。この図 12 の状態で不断水施工を行う（既設管に穴を開ける）。

また、図 13 は施工完了後の新汚泥ポンプ室である。

図 9　割 T 字管

図 10　割 T 字管の取付け完了

図 11　穿孔機

図 12　穿孔機の取付け完了

図 13　完成写真（新汚泥ポンプ室）

4. まとめ

今回採用した不断水工法は、穿孔機を使用するための作業スペースが必要なことや、施工費用が割高になるなどの面もあるが、下水処理機能に影響を与えずに施工できるため、稼動施設の工事では有効な工法であると考える。

また、施工にあたっては、断水に伴う下水処理機能への影響検討・工事中の運転管理等をはじめ、芝浦水再生センターの協力を得るなど、建設部門と維持管理部門とが密接に連携して取り組むことの重要性を改めて認識できた。

稼動施設での工事は、今後増加することが予想されるが、建設部門と維持管理部門とが連携し、工事による影響を最小限に抑えることなど、本工事での取り組みが参考になれば幸いである。

1-(1)-4 メタンガス発生箇所における地中障害物撤去の施工について

基幹施設再構築事務所　工事第一課　　笹井　満
（現　北部第一下水道事務所建設課）

１．はじめに

足立区千住地区は足立区の南部に位置した、荒川と隅田川に挟まれた地区で、日光街道の宿場町として栄えるなど古くから発達した地区であり、現状の下水道管の雨水排除能力の不足などから、長年にわたり多くの浸水が発生している。本地域は、クイックプランとして、主要枝線の先行整備を行い、暫定貯留管として活用するなど、雨水対策を行ってきた地域である。（**図１**）

足立区千住河原町周辺においても、国道４号線沿いの京成線千住大橋駅周辺で浸水が発生しており、地元住民と道路管理者から浸水軽減の強い要望があるなど、浸水対策が急がれている地域である。このため、本地域の浸水被害を軽減させることを目的として、既設管渠の能力増強を図る雨水主要枝線管渠の布設を行った。

本工事は、主要枝線（内径 1,350mm、延長 376.25m）を推進工事（泥土圧式）で整備するもので、施工にあたり国道４号線下の千住共同溝施工時の鋼矢板が残置されており、施工に支障となった。また、この地区は地中メタンガスの存在する地区であり、事前調査において、地中メタンガスが確認された。このため、メタンガス発生地域において地中障害物を撤去するための対策が必要となった。

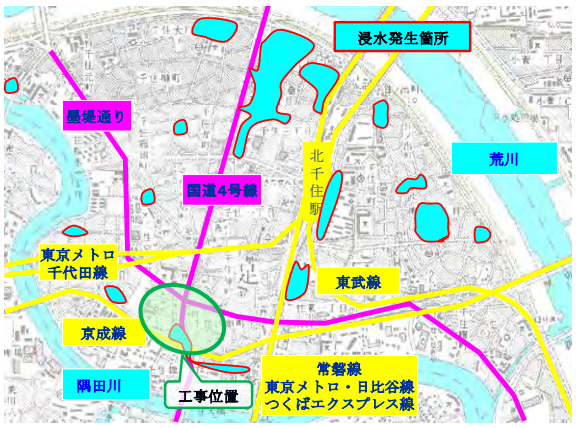


図１　流域概要・浸水発生状況図

２．工事概要

２．１　工事内容（図２，３）

・延長：376.25m
・管きょ：内径φ1,350mm
・土被り：10.8m～12.5m
・地質：シルト（N 値＝1～2）
・地中障害物：鋼矢板Ⅳ型　１箇所
（発進立坑より約 240m 地点の国道４号上り線下）

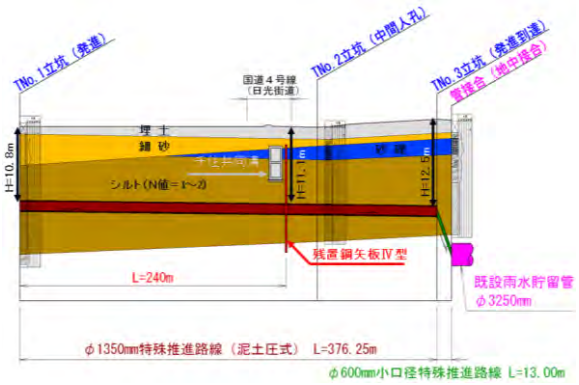


図３　路線断面図

２．２　工法の選定

本工事において、国道４号線下の地中障害物撤去に関して、まず、「地上から開削による撤去」、「残置鋼矢板の管渠下越し」、「地中坑内からの障害物撤去」の３方法で検討を行った。「地上から開削による撤去」は国道上における大規模な掘削及び交通規制が伴うこと、「残置鋼矢板の管渠下越し」は到達部の既設暫定貯留管高が決まっており取り込みが出来ないことから、施工が不可能である。よって、本工事では「地中坑内からの

障害物撤去」を選定した。

工法については、地中での障害物撤去及び再発進の実績がある「着脱・再掘進型管路築造工法（DAPPI工法）」を採用した。（**図４**）

DAPPI 工法とは、推進機の外殻から切羽掘削装置を引抜き、坑内より障害物撤去を行い、撤去完了後に切羽掘進装置を再装着、再発進して管渠を築造する工法であり、施工適用範囲は、φ1,350～3,000mm である。

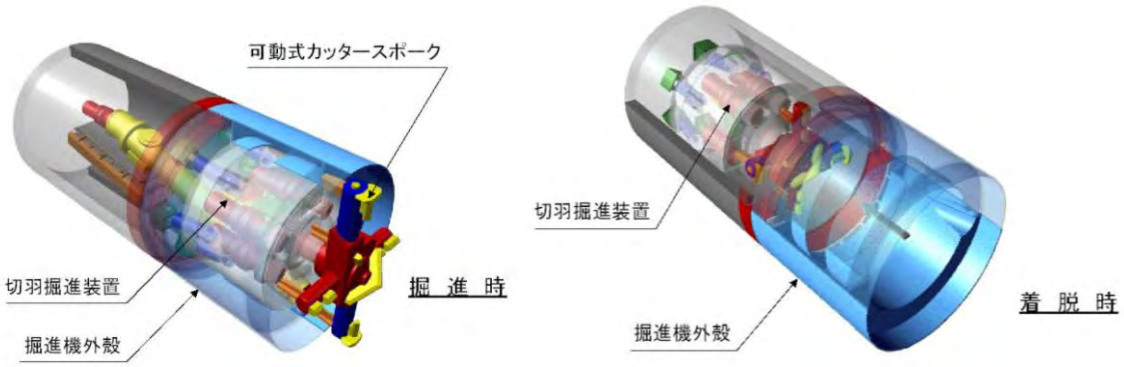


図４　着脱・再掘進型管路築造工法（DAPPI 工法）概要図

３．事前調査工

３．１　事前調査

本工事を安全・確実に施工するに先立ち、メタンガス適用地域範囲内であったため可燃性ガス調査を実施し、共同溝の残置鋼矢板の位置及び残置長を確認するため試験掘調査及び磁気探査を実施した。

３．２　可燃性ガス調査

可燃性ガス調査は、推進路線上の各立坑部の 3 箇所（**図５**）にて実施した。可燃性ガス調査結果を**表１**に示す。結果は、9.61～23.30%と高濃度の溶存メタンガスが確認され、残置鋼矢板の位置は中間立坑部から発進側に 25m 程度と、最も高濃度の値を示す中間立坑部付近であった。

可燃性ガス調査の結果、爆発下限界 5%を大きく上回る結果であり、メタンガス対策の基本方針（**表２**）に沿った可燃性ガス安全対策が必要である。このため、地中での残置鋼矢板切断撤去を通常のガス切断にて行えないことが判明した。

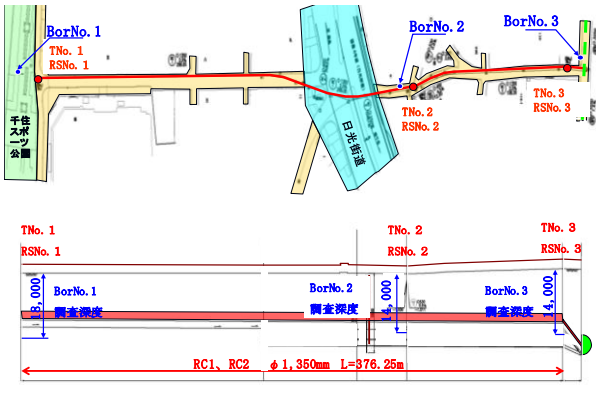


表１　可燃性ガス分析結果一覧表

地点番号	試験深度 (GL -m)	酸素濃度分析結果 (C'_{02}) (vol %)	孔口ガス分析結果 (vol %)	地下溶存ガス分析結果 (C'_{me}) (vol %)	空気補正ガス濃度 (C_{me}) (vol %)
BorNo. 1 (発進立坑)	18.0	15.7	0.2600	4.29	17.00
BorNo. 2 (中間立坑)	14.0	10.2	0.0123	12.00	23.30
BorNo. 3 (到達立坑)	14.0	10.1	0.0151	4.99	9.61

※ 空気補正濃度　$C_{me}=C'_{me}\times21\ (21-C'_{02})$

３．３　試験掘調査及び磁気探査

試験掘調査及び磁気探査の結果を、**図６，７**に示す。磁気探査の結果、残置鋼矢板は共同溝東側の片側のみで確認され、残置長は GL-18.0m であった。また、試験掘調査の結果、残置鋼矢板と共同溝躯体との離隔が無い状態であることが確認された。

よって、共同溝と残置鋼矢板の離隔が無いため、**図８**に示すように地盤改良を施工しても、一部改良効果が小さいと考えられる箇所が発生することが判明したため、残置鋼矢板切断撤去時に地下水

表２　メタンガス対策の基本方針

メタンガス濃度	防火対策	防爆構造設備
0%	◎メタンガス管理…自動警報装置	無し
5%未満	◎メタンガス管理…自動警報装置（中央監視方式） ◎メタンガス減弱…換気設備（集中・送・排気組合わせ式）	無し ただし、メタンガス検知器は防爆構造である。
5%以上	◎メタンガス管理…自動警報装置（中央監視方式） ◎メタンガス減弱…換気設備（集中・送・排気組合わせ式） ◎火源対策…防爆範囲の決定 （防爆化） ただし、路線上において、部分的（延長比で一割程度）にメタンガス濃度が 5%以上検出された場合は、換気による対策も検討。	シールド機、シールド機械設備、自動警報装置、通信設備、換気設備、照明設備、水替用ポンプ、電力設備は防爆構造とする。

※「メタンガス対策設計の手引き」P.28 より抜粋

溶存メタンが発生・流入することが想定された。

これらの課題に対して、メタンガス対策の基本方針に準拠した設備の変更(「中央監視方式によるメタンガス管理」・「集中送排気式換気設備によるメタンガス減弱」・「推進機の防爆化」) を行うとともに、安全で確実な施工方法として「火気を用いない切断工具」と「坑内圧気工法」の採用を行った。

４．本工事の対策と実施の結果

４．１　火気を用いない切断工具の採用・効果

本工事同様に地下水溶存ガスの発生が想定される場合であっても、メタンガス対策の基本方針に準拠した対策にて 5%以下に濃度を希釈し、ガス切断にて通常行われるが、今回は圧縮空気を動力とした空気式削孔機と空気式鋸を用いて切断撤去を行う方法の採用を検討した。(**図９，１０**)

空気式切断機は火気を用いることができない人命救助の現場などで使用されている工具である。このため、本工事において切断撤去可能な手段であるかを確認するため、試験施工を実施した。(**図１１，１２**)

試験施工の結果、空気式切断機による残置鋼矢板の切断撤去は可能であり、施工時間は空気式削孔機が 80 秒/箇所（削孔径φ25mm)、空気式鋸が 10mm/分（鋼矢板セクション部）であった。

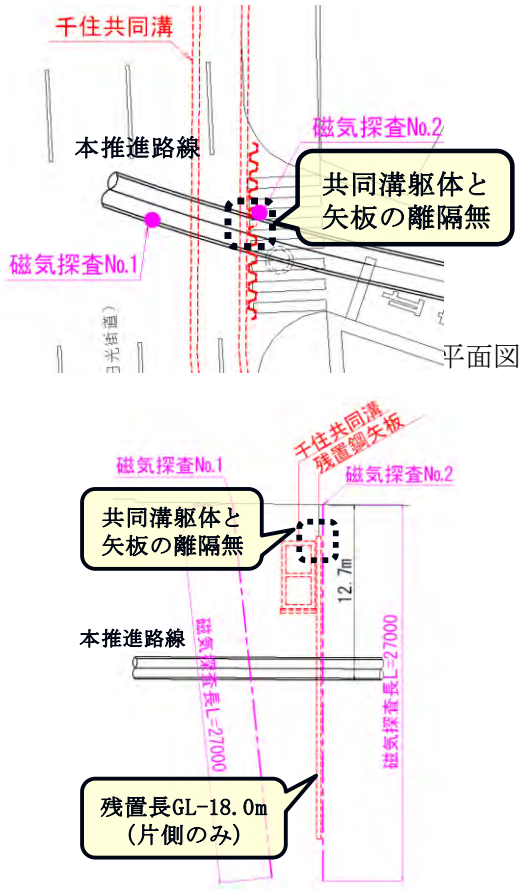


図７　試験掘調査及び磁気探査結果断面図

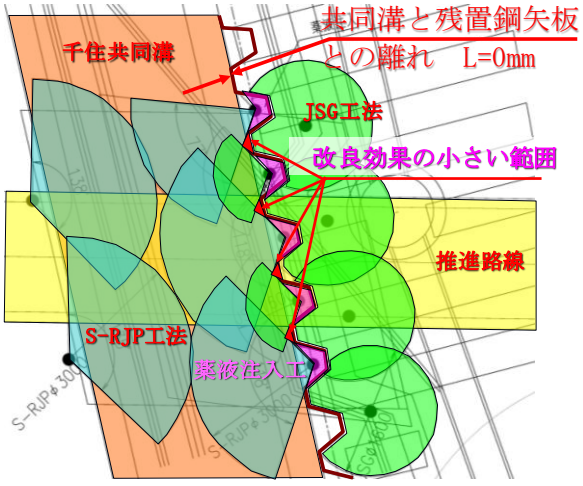


図８　地盤改良平面図

図９　空気式削孔機

図１０　空気式鋸

図１１　試験施工（空気式削孔機）

図１２　試験施工（空気式鋸）

使用機械の特徴として、曲線部施工の場合は空気式鋸では施工困難なため、空気式削孔機を採用した。直線部施工または鋼矢板セクション部施工の場合は施工速度が速いことまたは空気式削孔機では削孔不可能なことから、空気式鋸を採用することとした。

試験施工結果に基づき、撤去計画の作成を行った。実作業は、狭いスペース内での人力作業によるものであることや、撤去片を切羽部マンホールから取り出す必要があることから、作業性に重点をおいて計画を行った。障害物撤去計画を**図１３**に示す。作業時間算出については作業効率を試験施工値の 50%と想定し、2 台同時施工で計画作成した。計画段階での作業想定時間は、52.5 時間（昼夜間施工で 3.3 日）とした。

実施工は、推進機の引抜後に残置鋼矢板に切断割付をマーキング（**図１３**）し、空気式削孔機による削孔を行い、次に空気式鋸による切断を行った（**図１４**）。鋼矢板切断による鋼矢板切断ピースの落下が無いように、順序良く行うとともに、鋼矢板背面の地山及び地下水流入の有無を確認しながら細心の注意を払って作業を行った。鋼矢板の撤去片を**図１５**に示す。

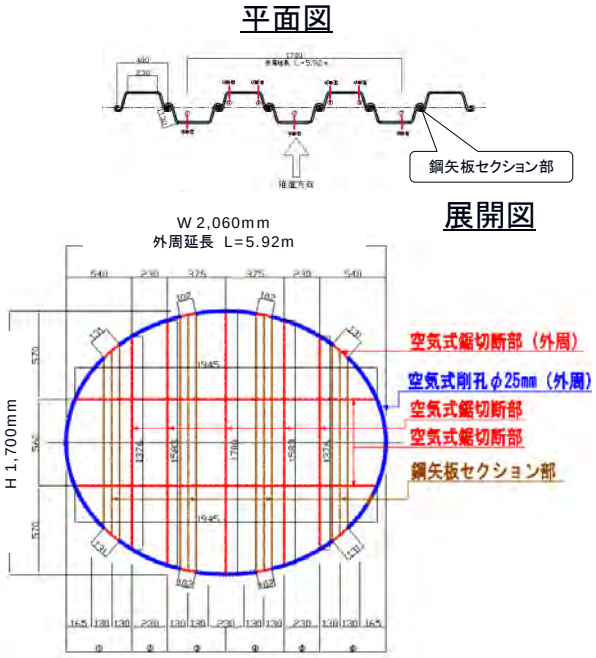


図１３　障害物撤去計画（切断割付図）

図１４　実施工状況

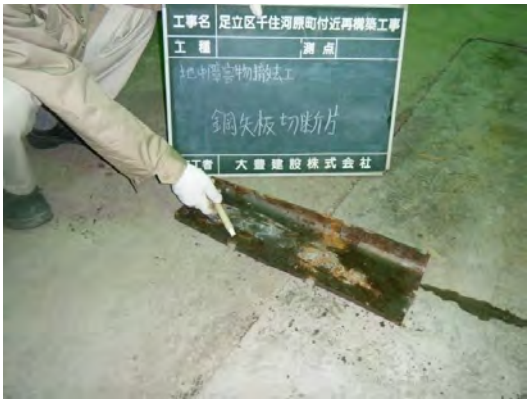


図１５　残置鋼矢板撤去片

計画時間の 52.5 時間に対し、実施工時間は 54.0 時間とほぼ計画通りに作業を完了した。試験施工とは異なり、鋼矢板背面に地盤改良体があるため、困難な作業であったが、切断機がコンパクト（図９～１２）なものであり、狭いスペースでの 2 台同時施工を十分に行うことができた。

今回実施した「空気式切断」と通常の鋼矢板切断方法である「ガス切断」を比較すると、狭いスペースでの作業環境においては、煙などが発生しないため良好であった。この作業環境の改善は、作業場所の地山崩壊や地下水流入などの目視確認を容易にするとともに、切羽前面で作業を行う作業員への負担を軽減することにおいては効果的であった。しかし、空気式切断は鋼矢板切断の作業時間や作業人員を多く費やす結果であったため、作業効率の改善を行うことが今後の課題であると言える。

４．２　坑内圧気工法の採用・効果

試験掘調査結果により、共同溝と残置鋼矢板の離隔が無いことから、地盤改良を施工しても一部改良効果の小さいと考えられる箇所が発生するため、地下水溶存ガスの流入を抑制する坑内からの安全確実な対策として、坑内圧気工法の採用を検討した。

鋼矢板切断撤去箇所では､理論水圧として 0.1MPa 程度が作用することが事前の土質調査で確認されている。坑内圧気計画では、地盤改良効果を考慮して作業気圧を理論水圧の 50%（0.05MPa）に設定した。

圧気設備は、ニューマチックケーソン工事で用いられる設備と同様ではあるが、作業気圧が低く、送気量が少ないため小規模な設備にすることとした。これにより、発進基地用地として借用している足立区公園敷地内に設けた防音ハウス内の限られた用地内で施工を行うことが可能となった。(**図１６，１７**)

今回の圧気設備の特徴としては、気閘室が挙げられる。円筒構造となっており、両端部には圧気扉を設置しており、これは本工事における採用が初めての例となる。気閘室については、他の方法として推進管目地部に圧気扉を設ける方法があり、これは推進管目地部に圧気扉取付金具をアンカー等にて推進管に固定し、本体扉の設置を行うものである。しかし、今回の設備は、立坑内にて簡易的に設置・撤去が可能であり、工程の大幅な短縮、施工や点検の簡易化、安全性の向上を図ることが可能な点が有用である。この設備であれば事前段階では把握できない

図１６　圧気設備全景（地上）

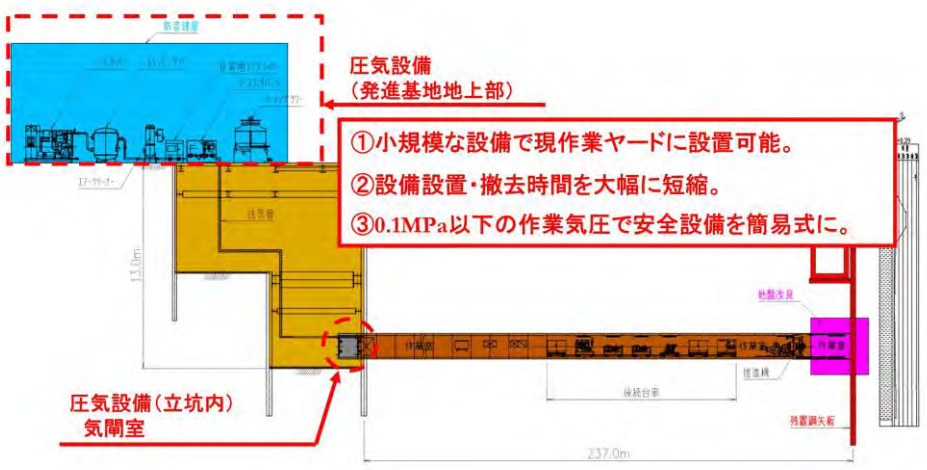


図１７　圧気設備計画図

障害物についても対応が可能である。

坑内圧気工法を併用した結果、計画通りの 0.05MPa 以下の圧気圧にて切羽部での出水、地山の崩壊を起こさず、また坑内での漏気も発生せずに残置鋼矢板切断撤去作業を完了することが出来た。切羽先端部の状態は、地盤改良が十分な効果を発揮し、脆弱な恐れがある箇所についても補助工法である圧気工法により安定した状態であった。地下水溶存ガス発生が考えられるトンネル工事において、坑内圧気工法は有効な補助工法の一つであると考えられる。

５．まとめ

本工事はメタンガス発生箇所において地中障害物切断撤去を行った。本施工は非常に危険を伴うことから、「空気式切断機」や「坑内圧気工法」を採用した。本施工のまとめを以下に示す。

(1) 空気式切断機による残置鋼矢板切断撤去において、計画時間の 52.5 時間に対し、実施工時間は 54.0 時間とほぼ計画通りに作業を完了した。

(2) 空気式切断は通常のガス切断と比較して作業効率が悪いため、切断機や切断方法を改善して作業効率向上させることが重要であると考える。

(3) 地下水溶存ガス流入防止対策として坑内圧気工法を併用した結果、施工中に切羽での出水等が発生せず、安全に作業を完了した。

今後、同じような条件下での推進工事やシールド工事などの類似工事に今回の施工方法が適用できるのであれば、参考にして頂きたいと考える。

1-(2)-1　第二溜池幹線の整備について

（大口径Ｈ＆Ｖシールド工法の設計事例）

建設部設計調整課　岡部　威

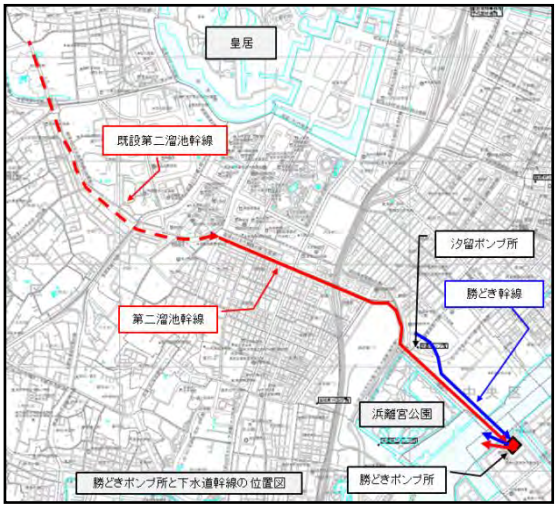
１．はじめに

東京都下水道局では、繰り返し浸水被害が発生している地域において、地形や浸水の発生状況に応じた貯留管やバイパス管の整備を行なうことで、浸水被害の早期軽減に努めている。

一方、抜本的な浸水対策のためには、幹線やポンプ所などの基幹施設の整備が不可欠であり、整備効果を勘案して段階的に整備を進めているところである。今回取り上げる第二溜池幹線流域は、平成１９年度に策定した東京都豪雨対策基本方針の対策促進地区の一つであり、重点的に浸水対策を実施していく地域である。

２．第二溜池幹線の概要

皇居の東から南に位置し千代田区と港区にまたがる番町、溜池、四谷、赤坂地区は、過去浸水被害が多発しており、抜本的な浸水対策が求められていたことから、基幹施設として新たに第二溜池幹線を整備することとした。本幹線は、上流側の延長約２km については既に整備済みであり、既設管きょの能力を超えた雨水 53,000 ㎥を貯留する施設として供用し、浸水被害の軽減に貢献している。（図－１）



図－１

また、本幹線の流域は合流式下水道で整備されており、一定量以上の降雨があった場合には希釈された汚水混じりの雨水の一部が、皇居の内濠や浜離宮公園脇の築地川等の閉鎖性水域へと放流される仕組みとなっている。本幹線の整備により雨水の放流先が隅田川に切り替わることなど、浸水対策としてだけでなく、内濠や築地川の水質浄化に寄与できる。

なお、本幹線については平成 20 年 10 月から立坑工事に着手しており、シールドマシン製作後、平成 23 年度上旬にはシールド掘進に着手する予定である。

３．第二溜池幹線及び勝どき幹線の工事概要

３．１　Ｈ＆Ｖシールド工法の採用

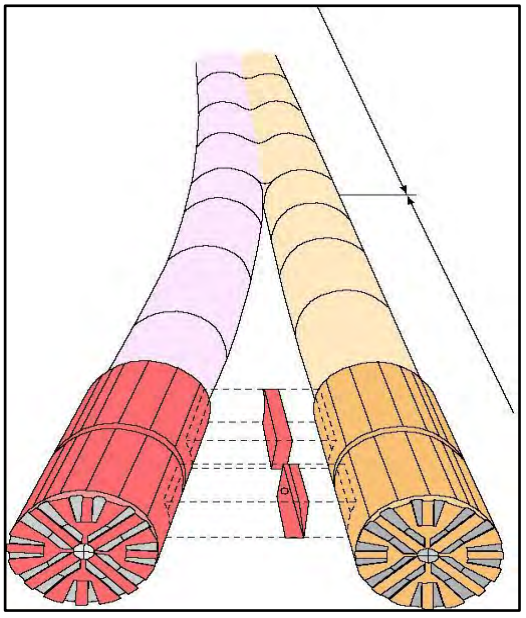
第二溜池幹線のシールド発進立坑は、新たに建設する雨水ポンプ所である勝どきポンプ所（中央区勝どき五丁目５番地内）用地内としたが、当該場所は第二溜池幹線とは別に中央区銀座・築地地区の雨水を収容する勝どき幹線のシールド発進立坑でもあることから、この２幹線の施工法について検討した。

ポンプ所躯体や放流きょとの配置上、幹線の立坑規模を小さくする必要があることから、第二溜池幹線と勝どき幹線は、同一立坑から発進することとした。また、埋設物との離隔等を確保する関係上、両幹線は同等の土被りとなるため、施工法を比較検討し、工期の短縮が可能かつ立坑規模を小さくできるＨ＆Ｖシールド工法により２幹線を同時に施工することとした。

Ｈ＆Ｖシールド工法は、予め２機のシールドマシン同士を結合しておくことで、並列する管きょを超近接して（最小マシン離隔 50 ㎜）敷設することができ、また、シールドを土中で分離することにより、複円形断面から単円形断面へと分岐するトンネルを構築することもできる。（図－２）（図－３）

※H&V…Ｈ：Horizonal variation、Ｖ：Vertical variation

図－２　Ｈ＆Ｖシールドマシン例
※本工事では横２連を使用する



図－３　Ｈ＆Ｖシールド工法概念図

東京都下水道局のＨ＆Ｖシールド工法の採用実績としては、南台幹線（仕上り内径 2,400 ㎜）と南台西幹線（仕上り内径 2,000 ㎜）での施工実績があるが、今回の事例はこれに次ぐ２例目となる。今回は２つの幹線の仕上り内径が 8,000 ㎜と 3,500 ㎜であり、大口径かつ口径比が約 2.5 倍となるシールドマシンの同時発進は全国的にも例のないものである。

今回は、経済性や施工性等を考慮した結果、単円単独施工ではなく、２つの幹線を横２連に配置し、人孔構造を考慮してマシン間離隔を 120 ㎜として同時に発進することとした。また、第二溜池幹線と勝どき幹線は、到達地点が異なることからシールドマシンを発進後約 300m付近で分離することとした。それぞれのシールドマシンは、独立した掘削機構、排土機構を有しており、分離する際には、全胴の連結ピン、後胴の接合ボルトなどをシールドマシン内から取り外すことで､分岐させることができる。

３．２　二次覆工一体型セグメント等の採用

セグメントは二次覆工一体型セグメントを使用するとともに､幅広セグメント（1.5m及び 1.2m）を使用することで、通常のセグメントを採用した場合よりも日進量を大きくし、工期の短縮とコスト縮減を図った。

３．３　仮壁切削工法の採用

シールド発進方法は、マシンビットで切削できる素材を予め発進立坑に設置しておくことで、最小限の補助工法によるシールド発進を可能とした。

３．４　地下埋設物等への影響予測

本幹線の敷設ルートは隅田川の横断などを除くと主に都道下であり、地下鉄や地下埋設物との離隔を確保すると土被りが約 35m～40m程度と施工深度が大きいことから、施工法は泥水式シールド工法を採用した。また、両幹線通過ルート上には、都営地下鉄大江戸線や東京メトロ銀座線のほか、ＪＲ線（山手線等在来線及び東海道新幹線)、ＮＴＴとう道等の主要管路など大規模な地下埋設物や構造物が敷設されている。各管理者と協議を行い、重要構造物に対しては、影響解析による予測変位量を算定して、管理値以内であることを確認している。

３．５　ケーソン立坑の採用

本幹線の発進立坑は、ポンプ所躯体や放流きょなどポンプ所計画との調整を図り配置を検討する必要がある。このため、立坑規模を小さくするとともに工期の短縮を図ることができ、経済性に優れたニューマチックケーソン工法とした。なお、発進立坑は、管きょ敷設後、人孔として利用する。

４．終わりに

第二溜池幹線整備事業は、大口径シールドかつ２幹線同時発進という大規模工事であり､施工にあたっては高度な技術管理に加え､確実な安全対策が必要である｡特に、既設幹線との地中接続については、日本の中枢である霞が関地区に隣接する虎ノ門交差点の地下鉄駅舎直下での施工であることから、安全性の検討を十分に行い、細心の注意を払って施工することが求められる。幹線同士の地中接続は、より安全かつ確実な施工を行うことが今後の検討課題であることから、第１期工事請負者からの技術的な提案を受け、請負者側の視点からの安全検討を加え、最終的に詳細な施工方法を決定していくこととしている。

また、第二溜池幹線を施工した後には、引き続き、日本の中枢機能が集中している永田町や霞が関地区のなどの老朽化施設の再構築や浸水対策を推進していく予定である。

1-(3)-1　光ファイバーを用いた破損管路特定技術

計画調整部　技術開発課　遠藤　和広

１ はじめに

東京都は、人や物資とそれを支えるインフラが高度に集積する都市であり、日本の政治・行政・経済の中心的な機能を担う重要な地域である。その地下には延長 16,000km の下水道管が埋設されており、交通量の多い主要道下に埋設されている場合も多い。

一方、阪神・淡路大震災と同じ規模の地震が東京で今後 30 年間に起きる可能性は 70%と言われており、首都直下地震の発生が懸念される。他の地域よりも格段に高度な集積性を持つ東京で大地震が起きた場合、その被害は甚大となることが予想され、ライフラインの一つである下水道に対する被害も例外ではない。

大地震が発生し、下水道管が被害を受けると、下水道が使用できなくなることにより衛生環境の悪化や避難生活の質の低下が起きる恐れがある。また、人孔の浮上や道路の陥没などにより、救援・復旧活動に影響が生じたり混乱が長期化したりする恐れもある。その対策として、下水道局では管路の耐震化を進めている。しかし、仮に管路が被害を受けた時、即座にその損傷箇所を特定することは難しいのが現状である。

計画調整部技術開発課では、こうした現状に対し、遠隔地から管路の健全性をリアルタイムに把握する技術開発を行っている。本稿では、開発を行っている「下水道管路ヘルスモニタリングシステム」について紹介する。

２ ヘルスモニタリングシステムとは

「ヘルスモニタリング」とは、構造物の健全性を時間軸上で監視・評価し、更にはその結果を基に構造物の適切な維持管理を促すことである。

下水道管路を例にすれば、健全性の監視は従来よりテレビカメラ調査や作業者が管路内に入る目視調査などで行われている。しかし、作業には多くの時間と労力が必要であるため、管路の健全性を常に監視することは現実的には困難である。

ヘルスモニタリングシステムでは、構造物の健全性の監視・評価が連続的・自動的に行われる。また、そのデータを分析することで、構造物の劣化の傾向を把握することも可能である。ヘルスモニタリングシステムを下水道管路に適用することで、大地震時の損傷を早期に発見できるとともに、経年的な劣化などによる損傷を発見することも可能である。また、管路の劣化の傾向を把握し、管路が破損に至る前に更生等の対策を取ることが可能となる。

３ 下水道管路ヘルスモニタリングシステムについて

開発中の下水道管路ヘルスモニタリングシステム（以下、「本システム」という）は、モニタリング対象の管路に設置したセンサと、センサの計測データの解析・表示装置からなる。センサは、光ファイバーを、管路の変状が検知できるよう加工したものを利用している。また、解析・表示装置とセンサ間は、既設の下水道管路内光ファイバーを用いて接続可能である。

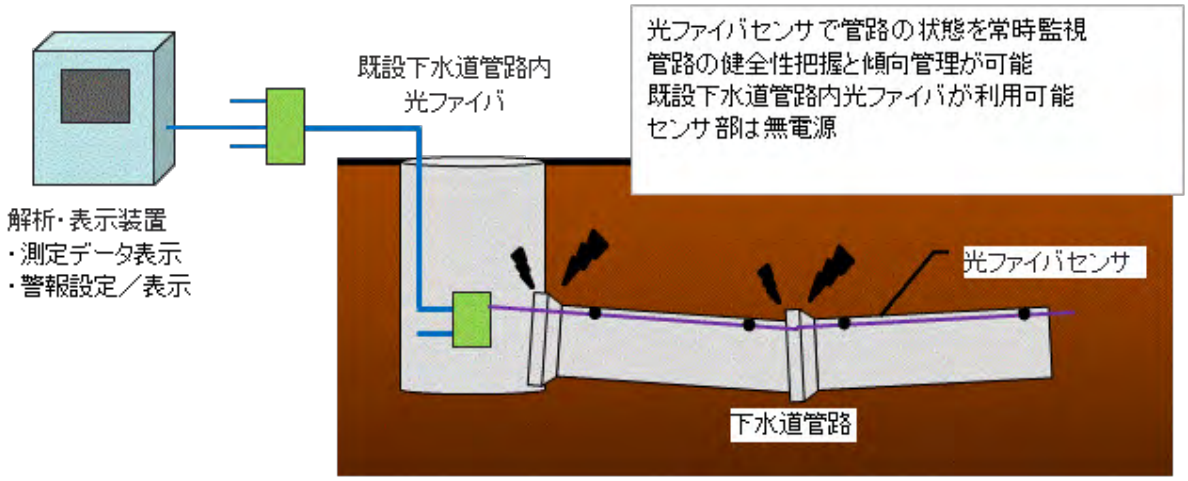


図-1　下水道管路ヘルスモニタリングシステムイメージ図

本システムの設置イメージ図を図-1 に示す。本システムはセンサを管路の内面に設置し、管路の歪みやクラック音を捉えることで管路の破損やその前兆を把握する。

本システムの特長として、以下の点があげられる。

- 管路の健全性の常時把握と、傾向管理が可能
- 既設下水道管路内光ファイバーが利用可能
- センサ部は無電源

本システムに用いる、光ファイバーを使ったセンサにはいくつかの種類があり、種類によって特性に違いがある。以下に、本システムに用いるセンサの種類と、それぞれの特長を述べる。

４ センサ

４．１ FBG（Fiber Bragg Grating）センサ

光ファイバーの反射光波長の違いから光ファイバーの歪みを計測するセンサである。図-2 に FBG センサの原理図を示す。

FBG センサの光ファイバーは、コアに微細加工してグレーティング（屈折率が等間隔で変化する格子）を形成してある。光源から光ファイバーにある波長幅を持つ光を入射すると、グレーティング部で光が反射する。このとき、反射する光が干渉を起こして特定の波長の光が強く反射し、反射光として入射端に戻ってくる。

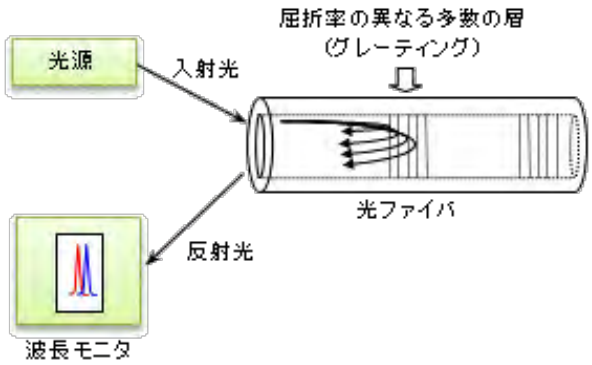


図-2　FBG センサの原理図

反射光の波長はグレーティング間隔によって変化するが、グレーティング間隔はファイバー長手方向の歪みで増減するため、それに応じて反射光の波長も変化することになる。すなわち、反射光の波長を測定することで歪み量を測定するのが FBG センサの原理である。

FBG センサは、グレーティング間隔が精密に製造されるため、正確に歪みを計測することができる。グレーティング部以外は歪みが生じても計測できないが、1 本のファイバー上に複数のグレーティングを形成することが可能である。このため、準分布型（1 本の光ファイバー上に多数の検出端が存在）のセンサである。センサは、光ファイバーを保護するとともに取扱いを容易にするため、金属管の中に光ファイバーを収納した構造となって

おり、歪みが光ファイバーに伝わるよう金属管は等間隔でかしめられている。

４．２ BOTDR（Brillouin Optical Time Domain Reflectmetry）センサ

光ファイバー中を進行する光が受ける散乱現象のうち、ブリュリアン散乱を利用して歪みを計測するセンサである。図-3 に BOTDR センサの原理図を示す。

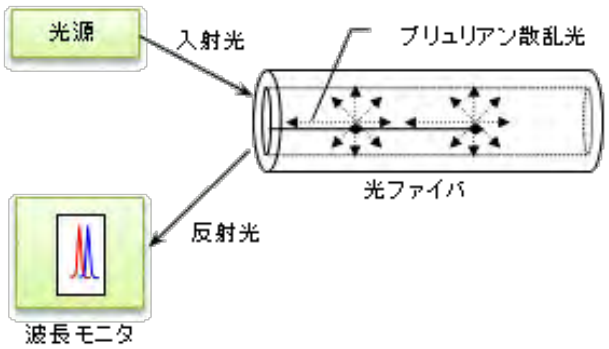


図-3　BOTDR センサの原理図

光ファイバーに光を入射すると、コア材料中の原子や電子とコア中を進む光の相互作用により、光が種々の散乱現象を起こす。

散乱光のうち、ブリュリアン散乱による散乱光の波長は光ファイバーの歪み量に依存性が強く、光ファイバーの歪み量によって波長が変化する。このため、入射端に戻ってきたブリュリアン散乱光の波長分布を調べると、光ファイバーの歪みを計測することができる。これが BOTDR センサの原理である。

光パルスを光ファイバーに入射すると、入射端には光ファイバー全線から連続的に反射光が戻ってくることになる。そこで、反射光の波長分布と時間を連続的に調べることで、ファイバーの全長にわたって歪み量を測定することができる。測定には多数のパルスを入射して平均化する処理が必要なため、数分～数十分の計測時間が必要となる。センサ構造は、FBG センサと同様、光ファイバーを金属管に収納し等間隔で金属管をかしめている。

４．３ PMC（Polarization Mode Converter）センサ

光の偏波面の振動による回転によって、光が減衰するのを計測することで、振動を計測するセンサである。図-4 に PMC センサの原理図を示す。

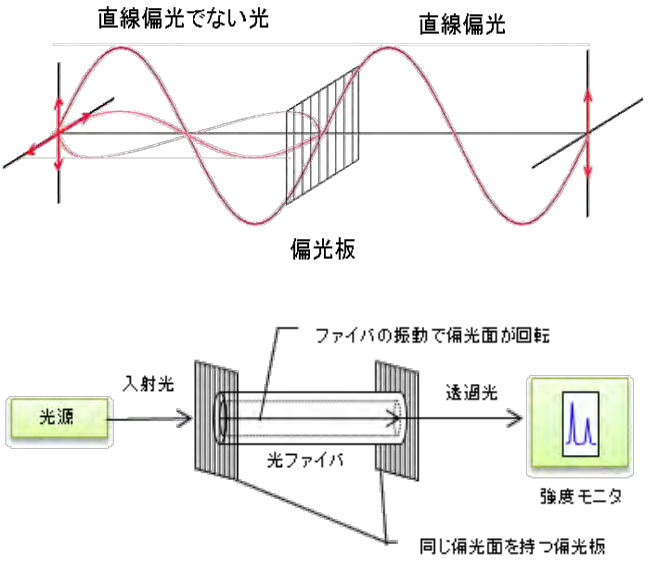


図-4　PMC センサの原理図

自然光は、様々な方向に振動する光の成分を持っている。自然光を偏光板に通すと、振動する光の成分がある方向に限られる直線偏光が得られる。直線偏光を再度偏光板に通すと、直線偏光の偏光面と偏光板による偏光面とが成す角度に応じて、光が減衰する。また、光ファイバー中を進む光は、光ファイバーの振動によって偏光面が回転する性質がある。これらの性質を利用し、光ファイバーの両端を同じ偏光面となる偏光板で挟むと、光ファイバーの振動によってファイバーを進む光が減衰する。この減衰量を測定することで振動を測定するのが PMC センサの原理である。

広帯域の周波数にわたって計測が可能で、低周波から高周波（数 Hz～数百 kHz）まで計測可能である。センサは、管路に聴診器をあてるように密着させて設置し、設置点の振動を

計測する。これにより、管路の破損に至る前のクラック音を捉えることを目的としている。

5 本システムの性能

本システムの性能確認のため、ヒューム管にヘルスモニタリングシステムを設置し、荷重をかけてヒューム管を変形させる実験を行った。図-5 に実験の模式図を示す。

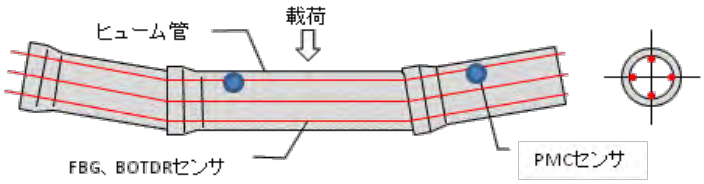


図-5　実験の模式図

ヒューム管を 3 本連結し、ヒューム管内面に FBG、BOTDR センサをそれぞれ、90° ずつ離して 4 方向に 1 本ずつ、設置した。また、PMC センサをヒューム管内面の 2 か所に設置した。FBG、BOTDR センサは、ヒューム管の歪みが確実にセンサに伝わるよう、ヒューム管に強固に固定した。

中央のヒューム管に、荷重試験機を用いてヒューム管が破断するか 5mm の亀裂が見られるまで荷重を段階的に載荷し、ヒューム管の歪み等の変状を各センサで測定した。

そして、各センサの測定値と、ヒューム管接合面の開き量から推定した歪み量とを比較した。

図-6 に、FBG、BOTDR センサの測定例を示す。縦軸は歪み量を、横軸は載荷した荷重を示している。この時の実験では、荷重は 0kN-45kN 程度まで載荷した。

この実験の結果、FBG センサで 10με（100m で 1mm の歪みに相当）、BOTDR センサで 65με の歪みを測定することができた。図では、ヒューム管接合面の開き量から推定した歪み量と各センサの測定値が一致するように表示しているが、歪み量と各センサの測定値には FBG センサで約 0.8 倍、BOTDR センサで約 1.3 倍程度の差が生じている。しかし、図から分かるとおり、歪み量と各センサの測定値は同じ傾向を示しており、信号処理によって管路の歪み量を推定することが可能と考えられる。

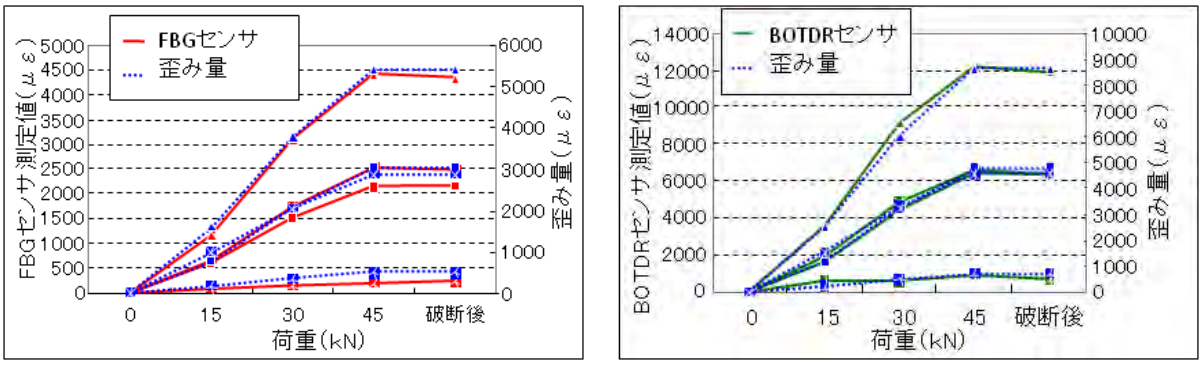


図-6　FBG、BOTDR センサの測定例

図-7 に PMC センサの計測例を示す。横軸は時間を、縦軸は振動の大きさを示している。PMC センサは 2 個設置したため、それぞれのセンサの計測値を上下に並べて表示している。

この図は、ヒューム管に荷重を載荷していた際、音の発生や破損が見られ

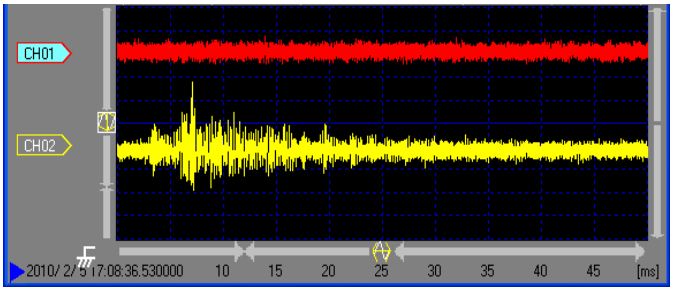


図-7　PMC センサの計測例

ないにも関わらず振動が検出された時の計測例である。破損に至る前に振動を検出しており、ヒューム管の破損の前兆を捉えられる可能性があることが分かる。

６ まとめ

光ファイバーセンサを用いて管路の歪み量・クラック音の計測を行う本システムを開発し、その性能の確認実験を行った。その結果、管路の歪み量の推定や破損の前兆を捉えられることが確認できた。

そこで、今後は実施工や維持管理の効率化のため、以下の開発が必要と考えている。

- 実管路でのセンサ固定方法
- センサ構造の簡略化
- 流水や道路交通等によるノイズ成分と管路のクラック音との判別法
- 経年的な測定値の変化と、管路の健全性との相関性把握

７ おわりに

本システムは、リアルタイムに下水道管路の健全性を把握することを目的に開発しているシステムである。今回の調査や実験の結果を活かし、実用化に向けた開発・検討を進める予定である。

今後、当局の光ファイバー網は再構築の時期を迎えることになるが、再構築と合わせて本システムに光ファイバー網を活用すれば、容易に光ファイバー網に通信と管路ヘルスモニタリングとの機能を持たせることが可能となる。これにより、都市のライフラインである下水道の信頼性向上と、維持管理の効率化が期待できる。

今後も、システムの完成に向けた取り組みを継続し、下水道光ファイバーによる下水道事業への貢献策の検討を進める予定である。

1-（4）-1　放流水中の大腸菌群数低減に向けた調査

流域下水道本部技術部　多摩川上流水再生センター　水質管理係
大瀬　俊之　竹田　裕一
新井　義人（現、北部第二下水道事務所）

１．背景と目的

平成 13 年 3 月の環境基準の改正に伴い、流域下水道本部管内では、放流水中の大腸菌群数低減の取組みとして、管理目標値（100 個/mL）の達成に向けた運用を平成 18 年度より行っている。

しかし、多摩川上流水再生センター（以降「多摩上」という。）では、大腸菌群数の低減に必要な塩素接触槽がないことから、管理目標値の達成率が低い状態が続いていた。

このため、平成 20 年 2 月に、大腸菌群数低減に向けたワーキンググループ（以下、WG）を立ち上げ、各種調査実験を行ってきた。

平成 21 年度は、平成 20 年度の調査で得られた知見を基に、付加的な工事を行うことなしに、既存の施設や設備を用いた、より効果的な低減方法を明らかにすることを目的に調査を実施した。

２．調査期間

平成 21 年 4 月から平成 22 年 3 月まで

３．調査内容

３．１　塩素接触時間及び注入量の影響調査（テーブル実験による検証）

現在の多摩上の放流水水質において、大腸菌群数の低減に必要な塩素注入量、接触時間や撹拌強度等を再確認するため、ジャーテスターを用いたテーブル実験（ジャーテスト）により最適処理条件の調査を実施した。なお、本調査では塩素として次亜塩素酸ナトリウム（有効塩素濃度５％）を用いた。

テーブル実験の結果を実施設の設計に応用できるよう、本調査では、式(1)に示す Camp の式[1)]を用い、テーブル実験での撹拌回転数及び撹拌時間から撹拌強度 G 値及び撹拌強度と撹拌時間の積である GT 値を算出し、効果の検討に用いた。

以下に Camp による撹拌強度 G 値の算出式を示す。

$$G = (\phi m/\mu) \cdots\cdots\cdots\cdots \text{式(1)}$$

$$\phi m = (\rho \times C \times A \times \nu_0^3) / (2 \times V)$$

ϕm：単位体積当たり消費される動力

μ	：動粘性係数	1.0×10^{-3} (kg/m/sec)
ρ	：水の密度	1.0×10^{3} (kg/m^3)
C	：撹拌翼の抵抗係数	1.8
A	：撹拌翼の面積	(m^2)
ν_0	：撹拌翼の撹拌中心速度	(m/sec)
V	：池の容積	(m^3)

なお、撹拌翼の撹拌中心速度（v_0）は、ジャーテストの撹拌回転数、周速及び撹拌羽根外径から算出した。

平成 20 年度調査及び本調査における予備調査の結果、多摩上の放流水では、午前 8 時から 9 時にかけて大腸菌群数が最も高くなることが明らかとなった。そこで、本調査の試料水は 8 時から 9 時の間に採水した高級処理水（塩素注入前の放流水）とした。実験には図１に示す 6 連式ジャーテスターを用い、種々の撹拌強度、撹拌時間、塩素注入量で処理した時の大腸菌群数を測定することで、各因子が大腸菌群数の低減に及ぼす効果を検討した。

図１　ジャーテスター写真

３．２　塩素接触時間の影響調査（実施設を用いた４系二沈からの塩素注入による効果の検証）

多摩上における既設の塩素注入設備による塩素注入地点は、図２に示す地点で、放流口までは公称８分の接触時間を有している。しかし、以前の調査では接触時間が２−３分という報告もあり、大腸菌群数低減のための十分な接触時間は得られていない可能性が考えられる。

そこで、塩素注入後の接触時間の延長を目的に、塩素接触時間が最も長くとれる地点として４系の二沈末端に注目し、そこから塩素注入を行った場合の大腸菌群数低減効果を調査した。

なお、本調査では塩素として次亜塩素酸ナトリウム（有効塩素濃度 12%）を用いた。

調査は、2009 年 12 月 16 日から 18 日の３日間に渡り実施した。３日間ともに表１の処理水量となるように水量調整を行った上、１−２日目は既設の塩素注入設備から、２−３日目は４系二沈から、各水量に合わせて塩素注入を実施した。

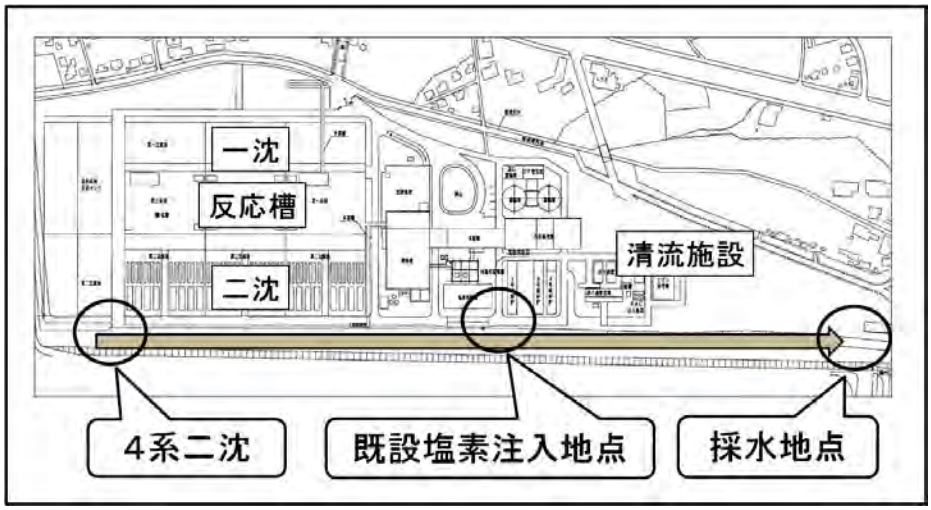


図２　調査地点平面図

表１　調査時の目標高級処理水量及び目標残留塩素濃度

時　間	目標高級処理水量 (m^3/h)	目標残留塩素濃度 (mg/L)
9:00-13:00	8,000	0.7
13:00-18:00	7,000	0.8
18:00-23:00	8,000	0.7
23:00-7:00	6,000	1.0
7:00-9:00	8,000	0.7

なお、４系二沈からの塩素注入は、注入施設がないため、小型の注入ポンプを用い、適宜、入量を確認しながら実施した。

４．調査結果

４．１　塩素接触時間及び注入量の影響調査

まず種々の塩素注入率で実験を行い、大腸菌群数に及ぼす影響を検討した。

ジャーテスト実験条件から換算したGT値を表２に示した。結果を図３に示す。

塩素注入率の上昇に伴い大腸菌群数は低下しており、0.6mg/L以上の注入率があれば大腸菌群数は管理目標値の100個/mLを下回ることが明らかとなった。

0.6mg/Lで100個/mLを下回った時のGT値は約14×10^4であったが、これはジャーテストの実験条件では、120rpmで30分間塩素接触を行った時に相当する。ジャーテスターとの単純比較はできないが、実施設でも、20分を超えて強い撹拌が必要であり、現在の多摩上の実施設でこの条件を満足させるのはかなり難しい。そこで、塩素注入率は、現在の多摩上における通常注入率である0.8mg/Lとし、さらにGT値が大腸菌群数低減に及ぼす影響を検討した。結果を図４－１に示す。

表２　ジャーテスト実験条件からの GT 値換算表（×10^4）

	60rpm	120rpm	140rpm	160rpm
8 分	1.3	3.8	-	-
15 分	2.5	7.1	8.9	11.0
20 分	3.4	9.5	11.9	14.6
25 分	-	11.9	14.9	18.3
30 分	-	14.2	17.8	22.0
40 分	-	19.0	-	-

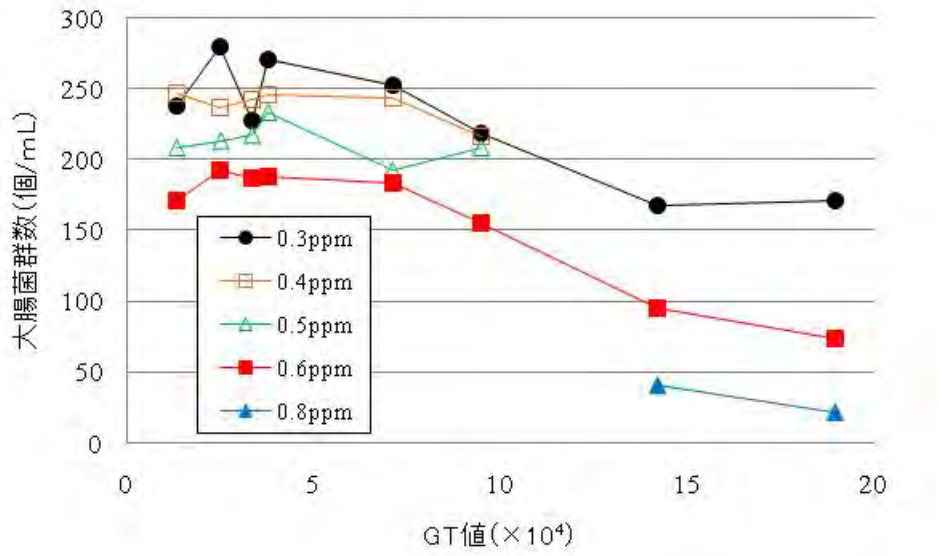


図３　種々の塩素注入率における GT 値が大腸菌群数に及ぼす影響

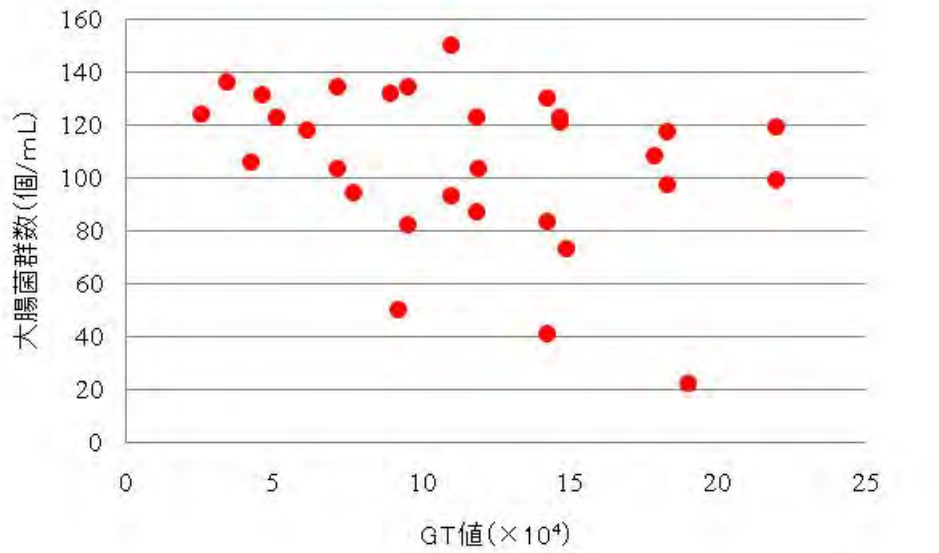


図４－１　GT 値が大腸菌群数に及ぼす影響（塩素注入率：0.8mg/L）

図４－１は、ジャーテストで、60-160rpm の撹拌回転数、15-40 分の塩素接触時間という種々の実験条件を GT 値に換算し、各 GT 値における塩素処理後の大腸菌群数を表わしている（表２）。

この結果、図４－１を見ると、GT 値と大腸菌群数の間には相関は見られなかった。

そこで、図４－１において、浄水処理での緩速撹拌に相当する 90rpm 以下の値と、急速撹拌に相当する 120rpm 以上の値に分け、急速撹拌領域の値のみを記した結果を図４－２に示す。

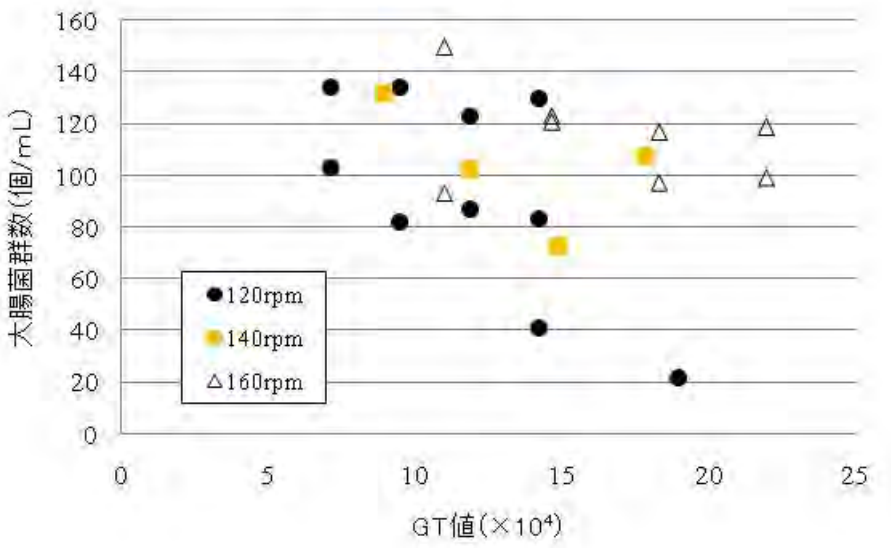


図４－２　GT 値が大腸菌群数に及ぼす影響（塩素注入率：0.8mg/L、高回転数領域）

この結果、撹拌回転数 120rpm では GT 値の上昇に伴い、大腸菌群数に低下の傾向が見られた。一方、140rpm では、120rpm 時と違い、GT 値の違いによる大腸菌群数の差は見られず、より高回転の 160rpm では、GT 値によらず大腸菌群数は 100 個/mL 前後であった。高回転域の 160rpm で大腸菌群数が低下しなかったのは、160rpm では撹拌強度が強すぎ、大腸菌と塩素が十分な時間接触することができないためではないかと考える。

つまり、大腸菌群数低減のための塩素処理での混和は、強すぎても、弱すぎても効果は低く、最適な GT 値が存在し、多摩上の場合は、塩素注入率が 0.8mg/L の時、浄水処理での急速撹拌程度の強度で、GT 値が 10×10^4 程度となるような条件で塩素処理を行うことが必要である可能性が示唆された。

本調査の実験条件では、GT 値が 10×10^4 以上を満足するための接触時間は 25 分を必要とした。下水道施設計画・設計指針では、排水基準である 3,000 個/mL 以下を満足するための条件として、塩素接触槽は塩素注入後 15 分以上の接触時間を標準としている [2)]。このため、25 分という接触時間は、下水道施設計画･設計指針に基づく接触時間の約２倍となり、その分施設規模が大きくなってしまう。また、過去の文献では、大腸菌ではないが、通常の浄水処理を行った表流水中の従属栄養細菌を死滅させるために必要な塩素は 1.3mg/L で 30 分という報告もある [3)]。本調査では、通常の注入率である 0.8mg/L を基に検討を行ったが、塩素接触槽の規模や大腸菌の塩素への抵抗力を考えると、実施設での注入率は、0.8mg/L より高い注入率が必要ではないかと考えられた。0.8mg/L より高い注入率での最適 GT 値の詳細な検討は今後の課題である。

４．２　塩素接触時間の影響調査

調査結果を図５－１に示す。既設（■）及び４系二沈（●）から次亜塩素酸ナトリウムを注入した時の放流水中の大腸菌群数及び、既設（□）及び４系二沈（○）から注入した時の塩素注入率の経時変化を表わしている。

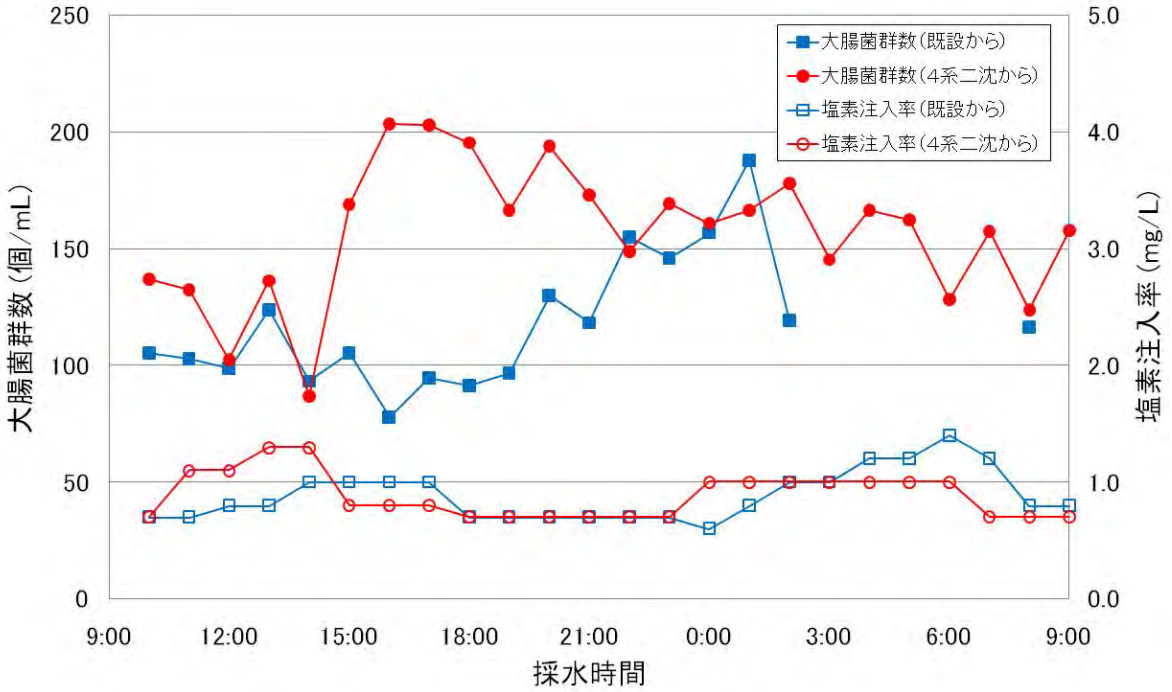


図５－１　塩素接触時間の違いが大腸菌群数の低減に及ぼす効果

４系二沈からの注入について見ると、14 時までの塩素注入率が高い時間帯では、既設からの注入時と同等の大腸菌群数を示したが、注入ポンプの不具合により一時的に塩素注入率が低下した 14 時以降は、大腸菌群数が一気に上昇し、その後も４系二沈からの注入は既設注入に比べ大腸菌群数が高く、既設と同等または既設より高い注入率の時間帯においても、大腸菌群数は低下しなかった。

この結果、接触時間の延長により大腸菌群数の低減が期待されたが、顕著な効果が見られなかった。原因として、４系からの塩素注入後、採水地点に到達する間に流入する３系（3-1 系、3-2 系）、２系（2-1 系）、１系（1-1 系、1-2 系）の高級処理水の影響により、大腸菌よりも塩素との反応速度が速い有機物等が連続して流入したことで、これらと塩素との反応が優先して起こり、塩素が消費されてしまったものと考えられた。

以上の結果、既存の施設を用い塩素接触時間の延長を行う場合、４系からの１点注入においては、既設注入に比べ塩素注入率を高める必要があるが、放流河川での水生生物への影響を考慮すると条件設定にはさらに詳細な検討が必要であると考えられた。また、塩素不足を抑制するため、４系、３系、２系、１系各系列への多点注入も考えられるが、総量としての塩素注入量が多くなることで残留塩素濃度が増加し、放流口付近及び河川中の水生生物への影響が考えられることから、多点注入の条件設定においても、更なる検討が必要と考えられる。

５．まとめ

（１）大腸菌群数低減のための塩素処理には、最適なGT値が存在し、多摩上の場合は、塩素注入率が0.8mg/Lの時、最適GT値は10×10^4程度であることが示唆された。

（２）放流口から最も遠い４系二沈からの注入のように、既存の施設を用い塩素接触時間の延長を行う場合は、既設塩素注入設備からの注入に比べ塩素注入率を大幅に高める必要があり、放流河川での水生生物への影響を考慮した条件設定が必要であると考えられた。

６．参考文献

1） 水道施設設計指針，p.190，日本水道協会，2000.

2） 下水道施設計画・設計指針と解説　後編，p.259-262，日本下水道協会，2001.

3) 水質衛生学，金子光美，p.298-299，技報堂出版，1996.

２．快適性の向上

（１）高度処理技術

１　次世代型高度処理法の開発

２　担体添加ステップ A_2O 法の事後評価（その２）

３　東陽Ⅲ系（ステップ A_2O 法）の稼働状況（続報）

４　多摩川上流水再生センターのステップ A_2O 施設におけるりん除去率向上のための調査について

５　制限曝気 A_2O 法による水質改善効果および処理コストの比較

（２）周辺環境対策技術

１　伏越し施設の改善技術に関する調査

2-(1)-1　次世代型高度処理法の開発

計画調整部技術開発課　本間誠二
塩見 浩

１．はじめに

当局は、窒素・りんに対する規制強化及び流域別下水道整備総合計画(以下、流総計画)の目標水質（全窒素：8mg/L、全りん：0.4mg/L）に対応するために、水再生センターの再構築にあわせて高度処理施設の導入を進めている。

高度処理法は、有機汚濁に加えて、窒素・りんを同時処理する優れた処理法であるが、導入した実施設の維持管理経験等から以下の課題が指摘されている。

1)標準法と比較すると撹拌機、硝化液循環ポンプに起因した消費電力量が増加するので温室効果ガス発生量が多い。

2)時としてりん処理が不安定となり、処理水質が悪化する。そのためのバックアップ施設として、りん処理剤の添加設備を必ず設ける必要があり、りん処理に関する設備が重複している。

3)処理水質の安定には、流入水質、水量の変動を抑え、設計定格負荷に近い運転条件を保つ必要がある。このため、合流処理区域では、降雨時の水量増加分を高度処理施設以外の処理施設で受けることで高度処理施設への負荷変動を抑える運転を余儀なくされている。このことがセンター全体としての処理水質維持を困難にする場合がある。

4)標準法の2倍程度の滞留時間（A_2O 法で 16h 程度）を必要とし、導入を図りたいセンターがあっても、既存敷地面積の制約から積極的な導入を難しくしている場合がある。

滞留時間については、より省スペースな処理法としてステップ流入式 A_2O 法（以下、ステップ A_2O 法、12h 程度）があるが、ステップ A_2O 法をもってしても既存敷地内に高度処理施設が配置できないセンターがある。また、残りの課題についても解決のための技術的検討が十分に行われていないのが現状である。

このような背景から、技術開発課では、省スペース性(窒素処理の効率化等による処理時間の短縮)、バックアップ設備を必要としない安定したりん処理能力の向上を図りつつ、なおかつ温室効果ガスの排出量が少ないという特徴を併せ持つ、次世代型高度処理法の開発に着手した。

21 年度は、主に窒素処理の効率化による省スペース性を図る技術について基礎的検討を進めた。本報は、その基礎検討結果である。

２．調査概要

調査を進めたフローを図１に示す。

1)現状の放流水質等から高度処理施設の導入が必要と考えられるセンターの抽出

2)抽出センターの現有敷地面積範囲内に既存高度処理施設の導入が可能かどうかの検討

但し、センターの計画水量は現状と同一とする。

3)上記 2)で導入困難となったセンターの現有敷地面に高度処理施設を導入すると仮定した場合に、導入する高度処理施設に求められる効率向上度(滞留時間の短縮)の明確化

4)上記 3)で得られた効率向上を実現するための効率化技術の検討

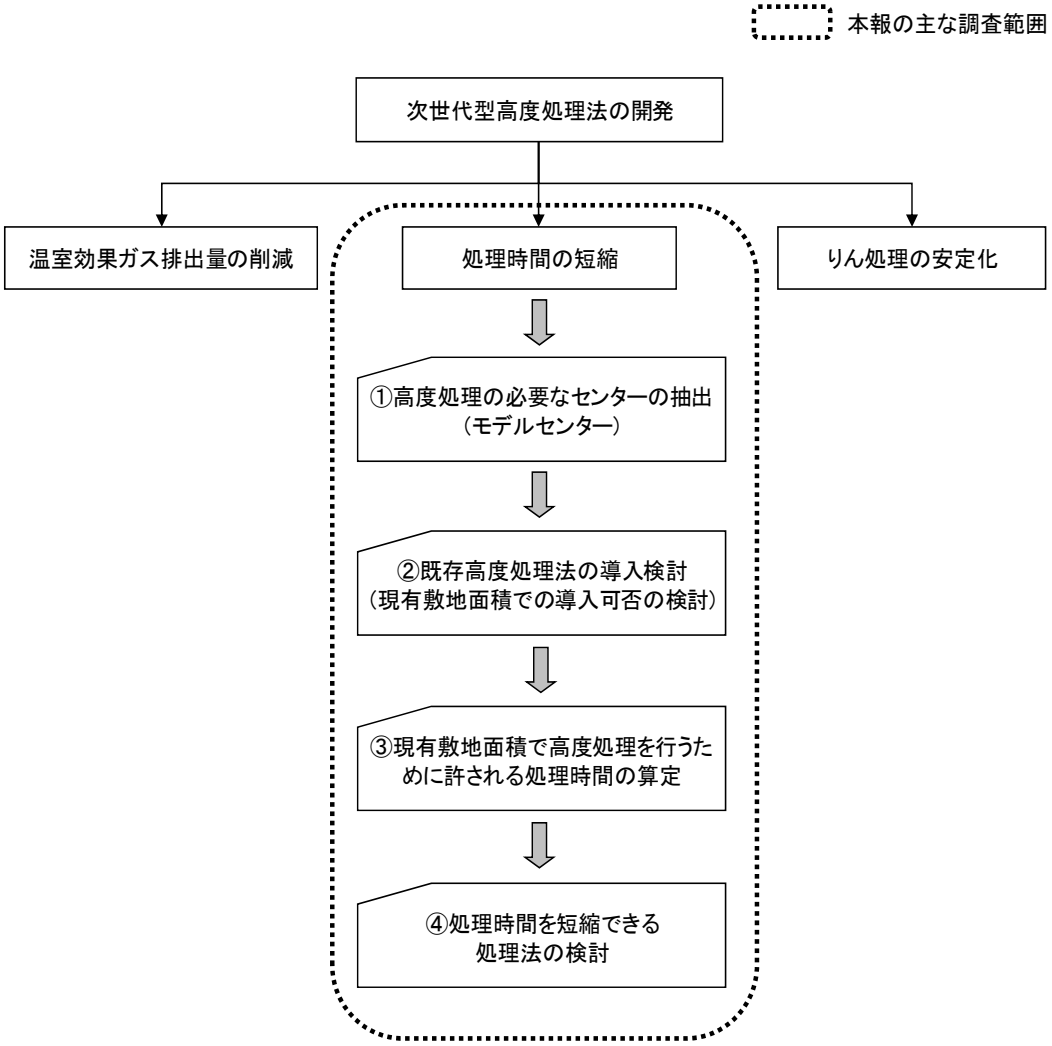


図１　検討フロー

３．検討結果

3.1　高度処理の導入が必要となるセンターの抽出

1)排水基準に対して余裕のないセンターの検討

図２に放流水質(年間最高値)、図３に放流水質の排水基準値比、図４反応槽流入水質、図５に反応槽滞留時間を示す。

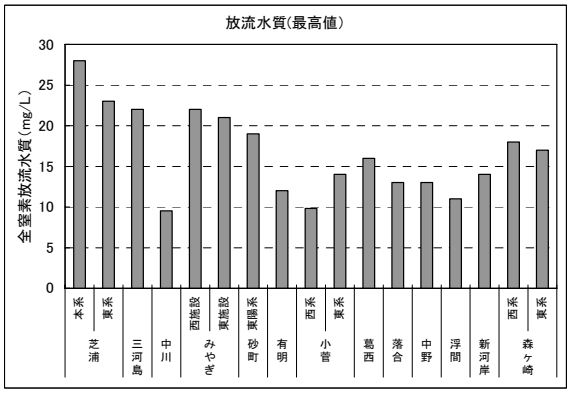


図２　放流水質

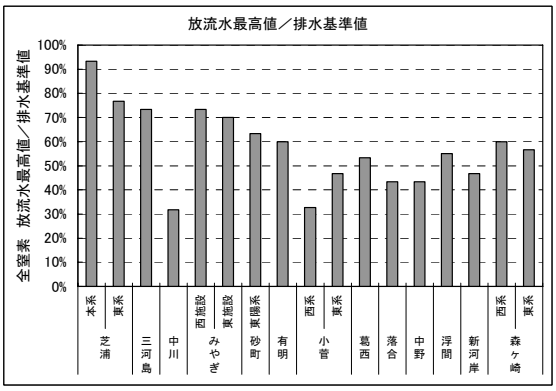


図３　放流水質／排水基準値

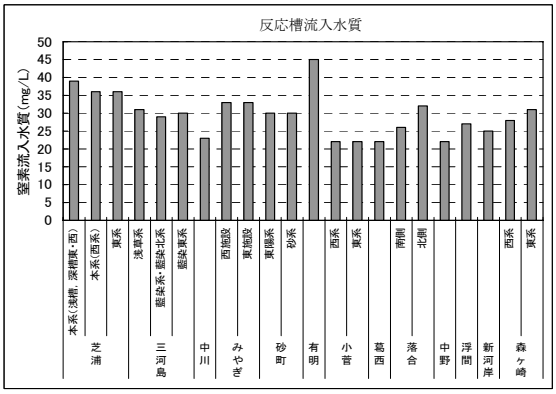


図４　反応槽流入水質

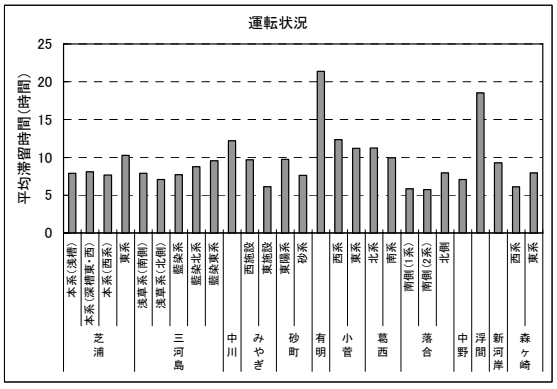


図５　反応槽滞留時間

これらによると、窒素の放流水質は、芝浦水再生センターの本系及び東系が際立って高く、平成 19 年度の最高値は、それぞれ 28mg/L、23mg/L であった。排水基準値に対する比率（放流水質（最高値）／排水基準値）は本系で 93%、東系で 77%であり、他センターに比べると高く、窒素に関する排水基準値に対して最も余裕のないセンターとなっている。反応タンク流入水濃度は、有明水再生センターが突出して高くなっているが、芝浦の本系、東系はそれに次ぐ高さとなっている。有明水再生センターは、既に高度処理施設（A_2O 法）が導入されており放流水質（最高値）／排水基準値が 60%程度であるのに対して芝浦の本系は、標準法であり、処理水質が変動しやすい生物処理の特性を考慮すれば、芝浦水再生センターは、排水基準に対して最も余裕のないセンターといえる。そこで芝浦水再生センターを対象として以後の検討を行った。

2)既存高度処理法での対応検討

検討を行う既存高度処理法の設計手法には、当局が保有している高度技術の中で最も滞留時間が短いステップ流入式 A2O 法を主に用いた。

①処理水量（設計水量）の設定

流総計画の計画水量は、実際値と乖離している部分があるため、実際に則した検討となるよう実績値を基に検討する必要がある。

芝浦水再生センターの処理状況（平成 19 年度実績）を表 1 に示す。高度処理マニュアルでは、実用面において計画 1 日平均流入水量を用いた設計で問題ないとされることから、ここでは、容量計算に用いる処理水量として平成19年度日平均水量の625千m3を用いた。

表 1　芝浦水再生センターの処理状況（平成 19 年度実績）

			処理状況				
			槽容量 (m^3)	下水処理量 (m^3/日)	返送汚泥率 (%)	平均滞留時間 (hr)	実滞留時間※1 (hr)
芝浦	本系	浅槽	52,740	160,240	50%	7.90	5.27
		深槽東・西	101,340	300,220	53%	8.10	5.29
	西系		22,520	70,570	46%	7.66	5.25
	東系		39,300	91,870	59%	10.27	6.46
合　計			215,900	622,900		8.32	
設定値				→ 625,000	（冬季1日最大水量とする）		

※1　実滞留時間は返送汚泥を含む水量をベースとした滞留時間

②水質の設定

芝浦水再生センターの水処理系統を図 6 に示す。水処理系列は、流入水、処理系とも複数の系統に分かれているが、本検討では、水再生センター全体の状況を評価するため、容量計算に用いる水質は、各幹線の加重平均値をセンター代表値とすることで検討を行った。

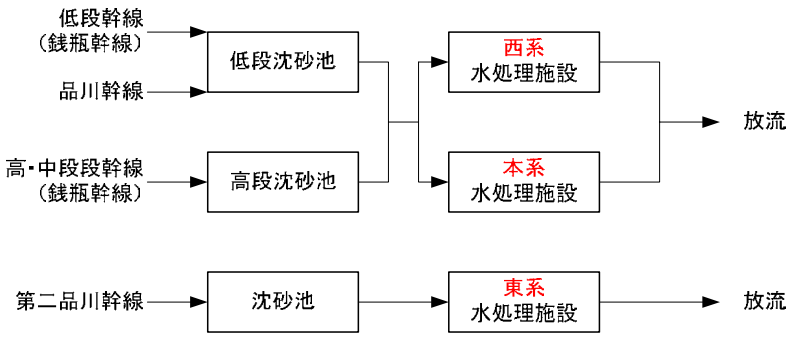


図 6　芝浦水再生センター水処理系統図

(1)反応槽流入水質の設定

流入水量の検討と同様に実績値（平成 19 年度実績）を用いて各処理系列ごとの水量と水質から反応タンク流入水の水量加重平均値を算出した。流入水質の平成 19 年度実績を表 2 に示す。これによるとセンター全体の水量加重平均での全窒素濃度は 38mg/L、全りん濃度

は 4.5mg/L であった。

表２　反応タンク流入平均水質（平成 19 年度実績）

			下水処理量（m3/日）	反応タンク流入水質 全窒素（mg/L）	BOD（mg/L）	全りん（mg/L）	SS（mg/L）	反応タンク流入負荷 全窒素（kg/d）	BOD（kg/d）	全りん（kg/d）	SS（kg/d）
芝浦	本系	浅槽	160,240	39	170	4.5	44	6,249	27,241	721	7,051
		深槽東・西	300,220	39	170	4.5	44	11,709	51,037	1,351	13,210
		西系	70,570	36	150	6.0	45	2,541	10,586	423	3,176
	東系		91,870	36	130	3.4	35	3,307	11,943	312	3,215
合　計			622,900					23,806	100,807	2,808	26,651
平　均				38	162	4.5	43				

(2)処理水質の設定

本調査は、次世代型水処理技術の開発を最終的目標としていることから、目標とする窒素の処理水質（平均レベル）は、流総計画の段階目標である T-N10mg/L とし、NO_x-N は、区部センターの実績を考慮して NO_x-N ＝T-N－1.0mg/L＝9.0mg/L と設定した。

(3)設定水質のまとめ

上記検討から反応槽の容量計算する際に必要となる水質条件を表３のとおりに設定した。

表３　設定した水質

水質項目	反応槽流入水 mg/L	処理水 mg/L	除去率 %
BOD	170	10	－
S-BOD	102	－	－
SS	45	10	－
T-N	40	10	75
NOx-N	－	9.0	－
Org-N	24	－	－
T-P	4.5	－	－
PO4-P	2.6	－	－

＊除去率：(反応槽流入水－処理水)/反応槽流入水

③運転条件の設定

容量計算を行うのに必要な運転条件は、「ステップ A2O 法設計マニュアル」の標準値に準拠して設定した（表４）。ただし、硝化液循環比は、ここで設定した水質、運転条件により施設設計の計算を行い、目標とした処理水質(T-N:10mg/L、NOx-N:9mg/L)を満足するように逆算して求めた。

表４　容量計算条件（運転条件）

項目		単位	設定値
反応槽末端MLSS		mg/L	2,500
返送汚泥濃度		mg/L	7,500
ステップ比	前段	－	0.5
	後段	－	0.5
硝化液循環比		－	＊1
水温		℃	15

＊1：目標 NOx-N 濃度になるように決定する

④試算結果

①～③で設定した水量、水質、運転条件をもとにステップ A2O 法で設計した場合の必要容量の試算結果を表５に示す。

反応タンクの容量に大きく影響してくる硝化に必要な A-SRT は、設定水温が等しいためステップ A_2O 法設計マニュアルに示された例と同値の 10.9 日である。また、得られる脱窒速度（BOD-SS 負荷の関数で算出される）も、概ねステップ A_2O 法設計マニュアルに例示された値と同等であり、設計としては、妥当な値であると評価できる。

表５　ステップ A_2O 法での容量計算結果

		単位	計算結果	Mn計算
必要A-SRT		日	10.9	10.9
硝化液循環比		－	0.17	0.75
脱窒速度	第一無酸素	mg-N/g-SS・h	1.37	1.28
	第二無酸素		1.51	1.38
嫌気槽		h (カッコ内はm^3)	1.00(26,042)	1
第一無酸素槽			0.31(80,73)	1
第一好気槽			2.73(71,107)	3.1
第二無酸素槽			3.97(103,385)	3.4
第二好気槽			3.9(101,494)	4
合計			11.91(310,101)	12.6

※Mn 計算例:ステップ A_2O 法設計マニュアルに示された事例
※()内は、処理対象水量 625,000m3 を処理するのに必要な各プロセス槽の容量

HRT（Qin ベース滞留時間）は 11.9 時間（必要容量：31 万 m^3）と算定されたが、「ステップ A_2O 法設計マニュアル」に示された事例の 12.6 時間よりも若干小さな値となっている。特に第一無酸素タンクの HRT に大きな差が出ているが、これは「ステップ A_2O 法設計マニュアル」で第一無酸素タンクへの硝化液循環率を 0.75 の固定値で設定しているのに対し、本検討では、設定処理水質(NOx-N 濃度を 9mg/L)を満足する硝化液循環率が 0.17 となったこと、第一無酸素タンクの脱窒速度がマニュアルとほぼ同じであったことから､第一無酸素槽の容積が少なくなってためである。

⑤既存高度処理法での導入対応可否の検討結果(敷地余裕の判定)

試算結果をもとに芝浦水再生センターの現有反応槽の敷地内にステップ A_20 法を導入した場合に必要量が収まるかを検討することで敷地余裕を判定した（表６）。

表６　ステップ A_20 法　反応タンク容量の余裕度

必要容積	現有施設		浅槽を深槽に変更		再構築後	
m3	m3	%	m3	%	m3	%
310,101	215,900	70	291,739	94	322,000	104

算定した必要反応槽容量 31 万 m^3(HRT:11.91 時間)に比較すると、現有施設容量 21.5 万 m^3 は、70%であり、容量が不足している。浅槽を全て深槽（有効水深 10m）とした場合の反

応タンク容量は約 29 万 m³（増加容量は約 7 万 6 千 m³）となるが、必要容量の 94%であり約 2 万 m³ が不足する結果であった。再構築後の容量(芝浦水再生センターの再構築計画による)は、約 32 万 m³ となり、必要容量を確保できる結果となった。しかし、確保できる容量は必要量の 104%であり、試算に用いた流入水質や運転条件設定値の変動を考慮すると、104%をもって高度処理施設の容量が足りる（結果的に現有施設内に高度処理施設が収まる）と判断定することはできない。

これまでの検討結果から、芝浦水再生センターは、現況で窒素の排水基準値達成に最も余裕がなく、高度処理による放流水質の改善が望まれるが既存高度処理法では、余裕を持って現有敷地内に収まらない結果となった。

3.2　高効率窒素処理法の検討

前項までの検討結果から、芝浦水再生センターを高度処理化するには、既存高度処理法を高効率化した新しい高度処理法が必要であることが明らかとなった。ここでは、既存処理法を整理して高効率化する手法の検討を行った。

1)生物学的窒素処理法の開発・発展の経緯

生物学的窒素処理法の変遷を図 7 に示す。窒素除去の第一世代として実用化された循環式硝化脱窒法は、窒素除去率に限界があること、反応槽の容量が標準活性汚泥法の 2 倍程度必要なために下水処理能力が半分程度に低下するなどの課題があった。そこで第二世代では、窒素除去率の向上を目標として、硝化内生脱窒法、多段式循環法が開発されてきた。また、第一世代のもうひとつ課題であった施設容量が大きくなることを補う方式として、容量が大きくなる原因である硝化、脱窒処理に担体を活用して施設容積を縮小した処理法（担体添加法）が開発された。ついで第三世代では、硝化率の向上と施設容量の縮小を同時に実現するものとして、ステップ流入式担体添加法が開発されてきている。

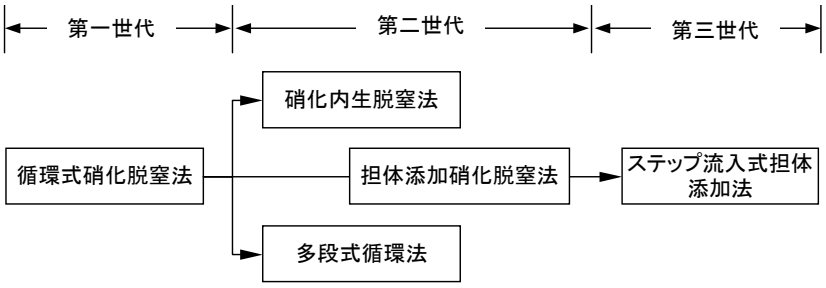


図 7　生物学的窒素処理法開発の経緯

また、近年、膜分離活性汚泥法（MBR）やアナモックス・プロセスが研究開発され、実績は少ないものの一部に導入されてきている。施設基準による MBR 施設の計画放流水質は、本調査で目標としている処理水質の T-N 濃度を達成している。しかし、現状の MBR 法は、膜の目詰まりを予防するために膜下部からエアレーションを行って膜面を洗浄することが必要となるため、生物処理に必要な空気量に膜洗浄に必要な空気量を加えるとばっ気倍率 23 倍(下水道への膜処理技術導入のためのガイドライン［第 1 版］)とされており、本調査

の目的の一つである「温室効果ガス排出量の少ない高度処理法の開発」の観点からは、今後解決すべき課題が残されている。一方、アナモックス・プロセスの現状は、NH_4-N 濃度が高く、水温も比較的高い汚泥硝化脱離液が対象であり、低 NH_4-N 濃度、大水量の下水処理を対象とした処理技術としては、実用段階に至っていないと考えられる。

表７　省スペースでの処理の可能性から絞り込み

	窒素処理法	窒素除去率	反応槽 滞留時間(h)	評価
1	硝化内生脱窒法	原理的に100%	18～24	省スペース化は困難
2	多段式循環法 *1	段数、内部循環比に依存	15程度*2(段数2段)	反応促進との組合わせで可能性あり
3	修正Bardenpho法 (メタノール添加)	原理的に100%	12*2	反応促進との組合わせで可能性あり
4	MBR法	採用する上記窒素処理法 1～3と同じ	MLSS濃度等に依存	電力消費量が多い
5	アナモックス・プロセス	低NH4-N濃度、大水量の下水処理では、実用化段階にない		

※1：多段式循環法には単段、ステップ流入式及び A_2O 法を含む

表 7 は、上記の既存窒素処理法を窒素除去率、HRT の観点から整理したものであるが、省スペースな窒素処理の観点からは、多段式循環法、修正 Bardenpho 法が新しい処理法の基礎的候補となるが、従来のステップ A_2O 法（HRT：12 時間程度）とほぼ同程度の HRT であり、前項のステップ A_2O 法による適用検討結果から、このまま芝浦に適用できる可能性は低いといえる。

一方、表 2 に示した流入水質及び処理目標水質から、導入可能な高度処理法に求められる窒素除去率（硝化に関わる窒素の除去率）は、右式により 70％と算出される。

目標窒素除去率＝（ａ－ｂ）÷ａ
＝（40×0.75－9.0）÷（40×0.75）
＝70％

ａ：流入窒素の内、硝化に関わる窒素
（最初沈殿池流出 T－N（40mg/L）×0.75）
ｂ：目標処理水質（NOx－N＝9.0mg/L）

多段式循環法（A_2O 法、循環式硝化脱窒法は、窒素処理に関しては単段式循環法と同じ）、修正 Bardenpho 法で得られる総合循環比と最大理論除去率の関係は、図 8 で示される。

多段式循環法では、総合循環比を 1.5 と設定すると、目標除去率（70％）を達成できるのは 2 段以上である。一方、修正 Bardenpho 法は、

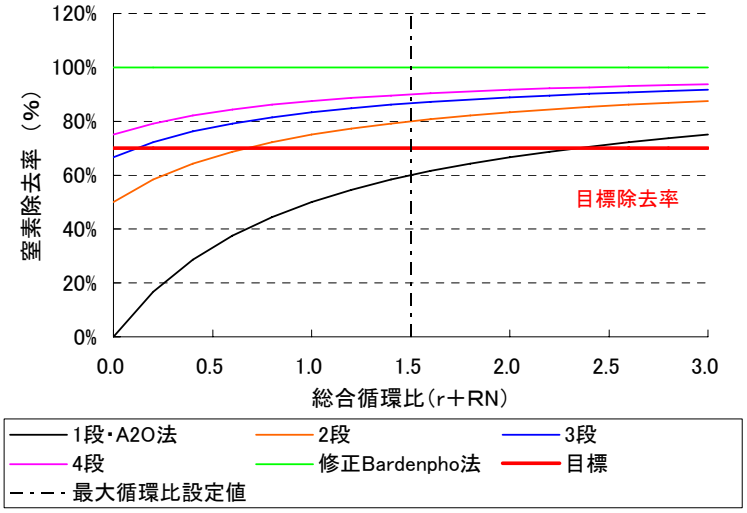


図８　総合循環比と硝化・脱窒に関わる窒素の最大理論除去率の関係

硝化した窒素を第二無酸素タンクで全量脱窒するため、最大理論除去率は 100%となり、目標を達成することができるが、第二無酸素槽での脱窒反応のためのメタノール添加が必要となる等の課題が残る。

以上のことから、多段式循環法に硝化時間を短縮する手法として採用事例のある担体を利用する硝化促進方法とを組み合わせた処理法を検討することとした。

3.3 担体添加多段式循環法の適用検討

当局の実績をもとに、担体添加率 10%前後における担体硝化速度を 100mg-N/L-担体・h として、目標処理水質を達成するための槽容積を試算した結果を表 8 に示した。

表８　担体添加型ステップ A_2O 法の容量計算結果

	容量(m3)	滞留時間(h)		
		担体有	担体無	マニュアル値*1
嫌気槽	26,042	1.00	1.00	1.0
第一無酸素槽	6,510	0.25	0.31	1.0
第一好気槽	37,500	1.44	2.73	3.1
第二無酸素槽	77,344	2.97	3.97	3.4
第二好気槽	37,500	1.44	3.90	4.0
脱気槽	21,745	0.84	−	−
合計	206,641	7.94	11.91	12.60

＊1:ステップ A2O 法設計マニュアル
＊2:嫌気槽滞留時間は、マニュアルの標準値
＊3:試算条件は、処理水量(625,000m3/日)、循環比(0.17)、返送比(0.5)

必要 HRT は 7.9 時間となり、現有施設面積内に十分な余裕を持って配置できる結果となった。また、担体を添加しないMLSSのみとした場合の計算結果と比較すると脱気タンク(酸素溶解効率向上による散気電力の低減を図るため、散気水深＞5m を検討しており、窒素過溶解対策として脱気タンクを検討している)を加えても全体の HRT を 3 割程度削減できる結果となった。特に好気タンクの容量削減効果が大きく、担体を用いることによって MLSS のみの場合に比べると 1/2 程度に削減できる結果となった。

3.4 担体の検討

前項までの検討で担体添加二段式循環法は、芝浦への適用が可能であることから、ここでは、深槽反応槽に適用実績のある担体情報を収集した。

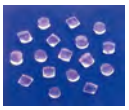
表９　深槽反応槽での担体使用例

導入都市		処理方式	水深(m)	処理能力(m3/日)
1	A	無酸素微好気好気法(凝集剤添加)	9.2	11,800
2	B	循環式硝化脱窒法	8.1	23,750
3	A	無酸素微好気好気法(凝集剤添加)	9.2	11,800
4	A	無酸素微好気好気法(凝集剤添加)	9.2	11,800
5	B	循環式硝化脱窒法	8.1	8,000
6	A	無酸素微好気好気法(凝集剤添加)	9.2	11,800
7	A	無酸素微好気好気法(凝集剤添加)	9.2	11,800
8	B	循環式硝化脱窒法	8.1	8,000
9	C	ステップ流入式多段硝化脱窒法（凝集剤添加）	7.3	20,100
10	D	ステップ流入式多段硝化脱窒法（凝集剤添加）	10	12,220
11	C	ステップ流入式多段硝化脱窒法（凝集剤添加）	7.3	20,100

下水道新技術推進機構の「担体利用処理法技術マニュアル」で取上げられている担体の中から深槽反応槽（水深 7m 以上）への導入実績が

ある担体の情報収集を行ったところ、表9の４都市に表10の４種の担体が導入されていた。

表 10　深槽反応槽での実績を持つ担体

		1	2	3	4
種類		包括	結合	結合	結合
材質		PEG	PP	PU	PU
		ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝｸﾞﾘｺｰﾙ	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ	ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ
形状等		立方体	中空円筒	円柱中実	歯車中実
		3mm角	4Φ×5L	4Φ×4	6Φ×6
					
真比重		1.015	1.01	1.02	1.01
硝化速度		114	121	119.5	100
測定条件	水温	15℃	16℃	17℃	18℃
	DO	3mg/L	4mg/L	－	－
実績*1		27件	12件	3件	2件

＊１：浅槽での実績を含む

４．まとめ

今後の水処理法に求められる省スペース性(窒素処理の効率化による処理時間の短縮)、りん処理の安定性向上、温室効果ガス排出量の削減を図る新たな高度処理技術を開発する第一段階として窒素処理の効率化による省スペース化を図る技術に関する基礎的検討を行い、以下の結果を得た。

① 芝浦水再生センターは、窒素の排水基準に対する余裕がなく、高度処理での対応を必要としているが、既存高度処理法で最も省スペースなステップ A_2O 法でも、現状の流入水量を高度処理するには容量が不足する。

② 窒素処理の効率的処理に関する文献調査を行い、ステップ A_2O 法をベースに硝化担体を活用した処理法が適当であるとの結論を得た。

③ 二段循環法の好気槽に担体を添加することで処理時間を 8 時間以下することが可能となり、この場合芝浦水再生センターを現有敷地面積内に、余裕を持って高度処理施設を導入できる結果となった。

④ 深槽反応槽への担体適用に関する情報収集を行い、4 都市に 4 種類の導入実績が確認された。

22 年度は、担体性能の確認および担体性能に見合った酸素供給を行うための散気方法と消費電力を削減し温室効果ガス排出量を減らすための方策に関する調査を行うことを予定している。

2-(1)-2 担体添加ステップＡ$_2$Ｏ法の事後評価（その２）

計画調整部技術開発課 本間 誠二
河野 里名

１．はじめに

三河島水再生センター藍染北系に導入した担体添加ステップ流入式 A2O 法は、稼動後に実施した事後調査から処理時間を大幅に短縮できる効率的な高度処理システムであることが実証され、平成１８年度の技術管理委員会で事後評価された。その内容は、平成２０年度技術調査年報で既に報告している。一方、本施設は、稼働当初から担体の破損が当初想定していた値よりも大きいという予期せぬ現象が発生していた。平成１８年度の技術管理委員会による事後評価においても担体の破損現象に対する原因解明や対応方法に関する部分が今後の課題として残された。このため、担体の破損原因や実用性の高い代替え担体に関する調査を継続していたが、このたび破損原因や耐久性の高い担体に関する知見が得られたことから、平成２１年３月に技術管理委員会に最終報告を行い「担体添加法導入 PT」としての事後評価を終了したのでその内容を報告する。

２．施設概要等

２．１　計画水質および処理能力

表１に計画流入水質および処理水質と計画処理能力を示す。

表１ 計画水質、処理能力

水質項目	計画流入水質	計画処理水質
BOD (mg/L)	140	10
SS　(mg/L)	120	10
T-N (mg/L)	40	10
T-P (mg/L)	3.5	1.0
計画処理能力(m3/日)	平均	28,000
	最大	35,000

２．２　施設概要

図１は、施設フローである。本処理方式は、嫌気槽に続く無酸素槽－好気槽が 2 段となっている。流入水を 2 段目の無酸素槽にステップ流入させる点、さらに、2 つの好気槽に担体が投入している点に特徴がある。この操作により前段の MLSS 濃度を高め処理時間の短縮を図るとともに、好気槽内の担体に硝化菌を大量に担持させることで、アンモニアを完全硝化する時間を短縮して標準法並みの滞留時間で高度処理を行うことができる。反応槽末端には、脱気槽を設けている。本施設の散気装置（DTA：ドラフトチューブエアレータ）の特性上、曝気液に窒素ガスが過飽和状態まで溶解する。脱気槽は、過飽和状態になった窒素が第二沈殿池で微細気泡化して MLSS に付着することで浮上することを防止する目的で設けている。

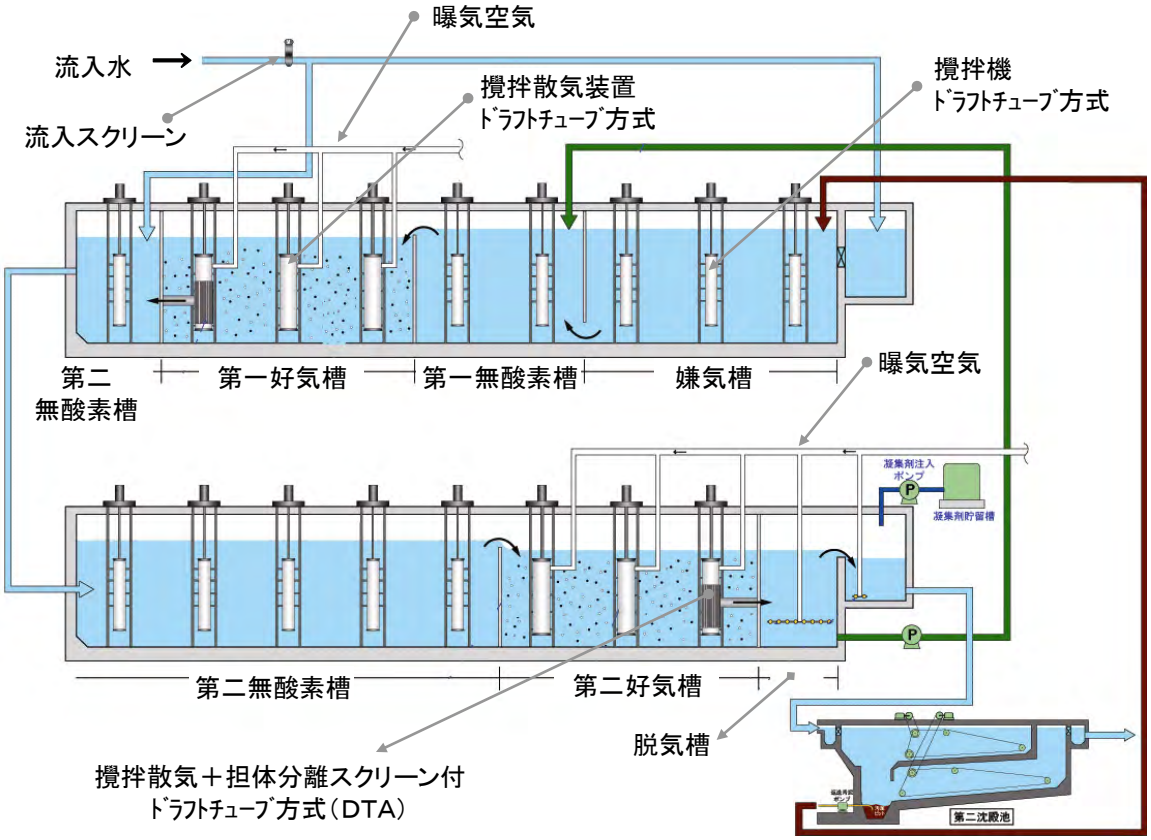


図１　担体添加ステップＡ２Ｏ法処理フロー

反応槽の仕様を表２に、また担体の破損との関係が深いと思われる DTA の仕様を表３に示す。

表２　反応槽仕様

		嫌気槽	第一無酸素槽	第一好気槽	第二無酸素槽	第二好気槽	脱気槽
槽　巾 (m)		9.9					
槽　長 (m)		15	10	15	30	15	5
水　深 (m)		12.6	12.6	12.4	12.3	12.1	11.9
槽容量 (m^3)		1,578	1,052	1,551	3,060	1,500	500
隔壁による槽内分割		3分割	2分割	なし	6分割	なし	なし
担体添加率(対槽容積%)		—	—	12	—	12	—
滞留時間(h)*	平均水量時 (28,000m3/日)	2.8	0.9	1.3	1.7	1.7	0.4
	最大水量時 (35,000m3/日)	2.2	0.72	1	1.4	1.4	0.3
散気方式		—	—	機械攪拌式 (ﾄﾞﾗﾌﾄﾁｭｰﾌﾞ式)	—	機械攪拌式 (ﾄﾞﾗﾌﾄﾁｭｰﾌﾞ式)	散気管式
攪拌方式		機械攪拌式 (ﾄﾞﾗﾌﾄﾁｭｰﾌﾞ式)	機械攪拌式 (ﾄﾞﾗﾌﾄﾁｭｰﾌﾞ式)	—	機械攪拌式 (ﾄﾞﾗﾌﾄﾁｭｰﾌﾞ式)	—	—

＊ステップ流入比を１：１、循環率を 50%とし、返送汚泥を含まない

表３　ＤＴＡ仕様

名　　称	第一好気槽	第二好気槽
形　　式	機械攪拌式	
送気量	13Sm3/min	11Sm3/min
酸素移動量	87kgO2/h	75kgO2/h
酸素移動効率	45%以上	
槽容量／台	約 517m3	約 500m3
電動機出力	75kW	
数　　量	3 台(内 1 台ｽｸﾘｰﾝ付)	3 台(内 1 台ｽｸﾘｰﾝ付)

２．３　担体仕様および投入量

稼働当初に第一好気槽及び第二好気槽に投入した担体（以下、PEG(ポリエチレングリコール)担体という）の仕様等を表４に示す。

表４　PEG 担体仕様および写真

名　　称	第一好気槽硝化担体	第二好気槽硝化担体
形　　式	微生物結合固定化担体	
基準寸法	４ｍｍ	
比　　重	１．０１以下	
材　　質	合成有機高分子	
	(主成分：ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝｸﾞﾘｺｰﾙ、ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝｸﾞﾘｺｰﾙ)	
数　　量	180m^3-担体真容積	180m^3-担体真容積
	見掛け容積530m^3	

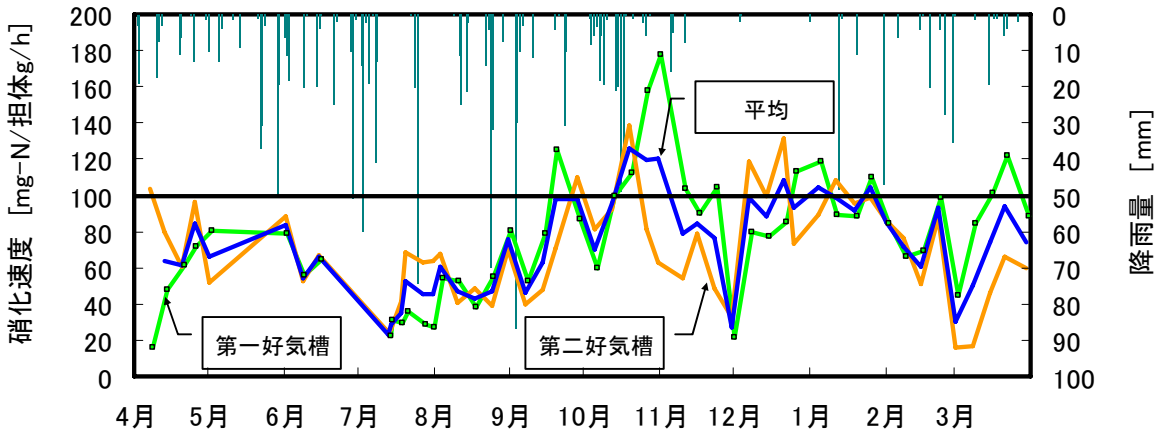
３．ＰＥＧ担体

３．１　硝化速度

好気槽に担体を投入する目的は、担体表面に硝化菌を付着・固定化して槽内に硝化菌を大量に保持することにより、単位時間当たりの硝化量を高めて硝化時間を短縮するためである。完全硝化を計画する場合、好気槽の滞留時間は、通常７～８時間程度に設定するが、本施設では表２に示したように、第一好気槽と第二好気槽の合計滞留時間は、2.4 時間程度である。これは、標準法の好気処理時間を１／３程度に短縮しており、本方式の開発目標である「標準法並みの滞留時間で高度処理を実現する」ためのコア技術である。この滞留時間を実現するためには、担体の硝化速度を 100mg-N/担体 L/h 程度にする必要があり、設計値としても 100mg-N/担体 L/h として投入量（180 ㎥/好気槽あたり）を決定している。

本施設は、平成１６年５月末から担体に硝化菌を付着させる立上操作を開始した。図２は、担体への硝化菌付着が定常状態に達し、かつ担体の破損が顕著となる前の最も安定していた時期である平成１７年４月からの担体硝化速度の推移を示したものであるが、春先 80 mgN/L 担体/h 程度であった硝化速度は、６月末から７月始めにかけて実施した施設停止(DTA の点検)により大きく低下した。しかし、その後の施設の再稼動により徐々に回復し、９月後半からは設計値の１00 mgN/担体 L/h 以上に達している。低水温期である１２月から１月にかけても１00

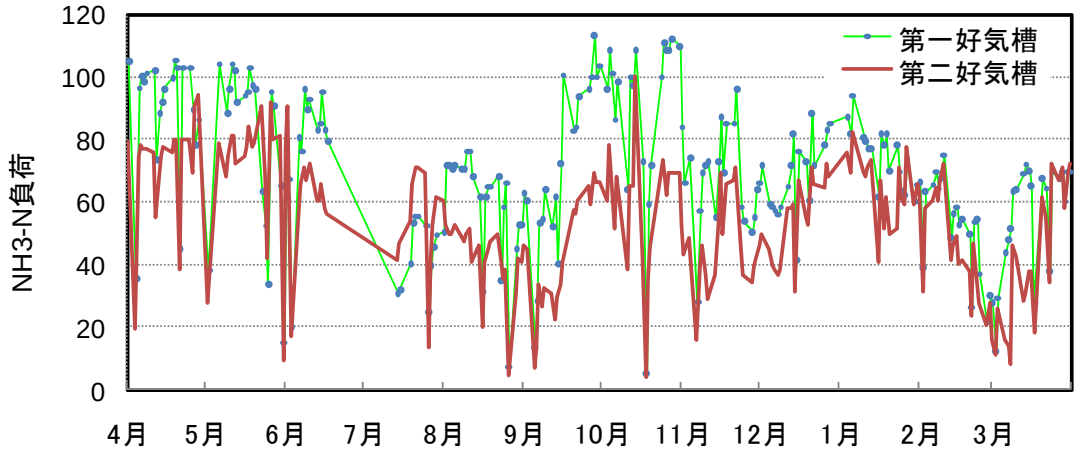
mgN/L 担体/h を確保していた。その後２月中旬と３月初旬に降雨よる流入水の低水温化の影響と見られる硝化速度の低下があった。硝化速度が低下し始める前の１月中旬に処理水質全体が悪化していたことから反応槽内での処理状況の変化が硝化担体(結果的に硝化速度)に悪い影響を与えている可能性もあるが現段階では明らかでない。全体として硝化速度は、設計値に満たない部分もあるが、処理水質は、NH3-N<1mg/L、T-N<10mg/L を満足していたことから、当初の水質目標は達成していた。



平成17年4月1日～平成18年3月31日

図２　担体硝化速度の推移

活性汚泥の硝化速度は、水温、BOD 負荷、アンモニア負荷、MLSS 性状などの運転条件によって変動することが知られているが、担体の硝化速度も大きく変動していた。図３は、同時期の各好気槽におけるアンモニア負荷を示したものである。担体の硝化速度は、おおよそアンモニア負荷の変化につられて変動しているように思われる。つまり、アンモニア負荷の高い状態が継続すると硝化速度も上昇し、負荷が低い状態になると硝化速度も低下している。このことから、今後、設計に使用する担体硝化速度、投入量は、流入アンモニア濃度の年変動を参考に算出することが望ましい。



平成17年3月1日～平成18年3月31日

図３　好気槽のアンモニア負荷の推移

３．２　実績値（硝化速度）から求めた必要担体投入量

担体の役割は、短い滞留時間でアンモニアを完全硝化することにある。この点から必要担体量とは、定格負荷水量を完全に硝化できる担体量と定義できる。担体投入量を適切に試算することは、投入担体にかかるイニシャルコストを最適化するために必要であることから、ここでは、本施設で得られた硝化速度の実績値から本施設に最低限必要な担体量を試算した。
全窒素の中で硝化される割合を 75%とすると、完全硝化に必要な必要担体量は次式で求められる。

最低担体必要量の投入容積比率(%)＝

$$\frac{\text{処理水量}(m^3/\text{日}) \times \text{流入TN濃度}(mg/L) \times 0.75}{\text{硝化速度}(mg\text{-}N/\text{担体}L/h) \times \text{槽容積}(m^3) \times 24} \times 100$$

表５ 流入全窒素濃度および硝化速度

	反応タンク流入全窒素濃度						硝化速度（季節平均）
	最 大 値		平 均 値		H17,18年度の平均		
	H17	H18	H17	H18	最大	平均	(mgN/担体L/h)
春	41.6	39.9	31.2	33.5	40.0	31.9	103
夏	40.0	38.3	28.0	31.0	39.2	29.5	157
秋	48.0	37.5	32.6	30.5	42.8	31.6	145
冬	41.7	39.1	32.7	32.8	40.4	32.8	120

＊流入全窒素濃度の75%を硝化可能な窒素とする

表５は、平成１７～１８年度の反応槽流入水の全窒素濃度と硝化速度の季節平均値である。表から夏・冬季の最低担体必要量を求めたものが下の表６である。

表６ 最低担体必要量

	計画処理水量	T-N	硝化速度	最低担体必要量		:計画初期投入量	
				対好気槽容量比	実体積量	対好気槽容量比	実体積量
	m^3/日	mg/L	mgN/担体L/h	%	m^3	%	m^3
冬季	28,000	32.8	103	9.3	140	12	180
夏季	35,000	29.5	157	6.9	104		

＊冬季の硝化速度については、最低の値を示した春季を採用した

処理水量を冬季 28,000 ㎥、夏期 35,000 ㎥とすると、冬季必要量は、計画投入量の 78%、140 ㎥、夏期は、58%、104 ㎥となった。最も条件の悪い冬季を基準とし、かつ余裕率を考えると計画投入率であった 12%は、妥当な値といえる。

３．３　担体破損の原因調査

１）破損の状況

本施設の本格稼働は、平成 16 年 5 月末からであるが、翌年の 5 月ごろから少ないながらも破損した担体が観察されるようになった。その後破損は急激に進展し平成 19 年度の冬季の破損率は、約 30%に達した。図４は、その経緯を示したグラフである。破損はその後も急速に進み平成 20 年度末には、第一好気槽で 70%に達しており、硝化だけでなく水処理全体に影響が出ていた。

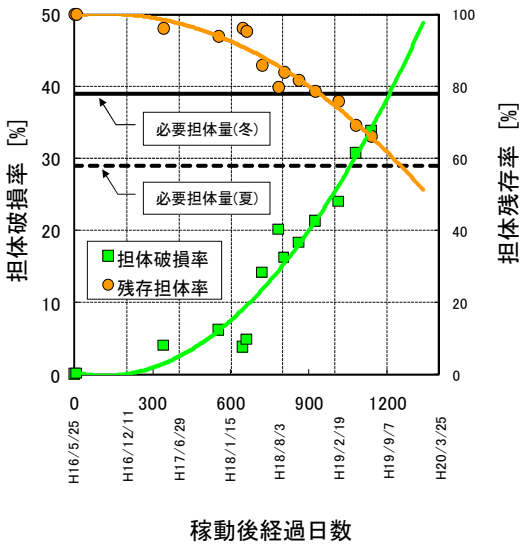


図４　担体破損の経過

２）　破損原因の推定

担体の破損については、担体物性のどのような項目が破損と相関しているのかが不明であった。そこで物性に関する測定(圧縮試験、引張試験、磨耗試験、硬度試験)を行い、圧縮強度が破損と関係していることが明らかとなった。その後は、継続的に圧縮強度を測定し、強度低下に関する追跡調査を実施した。図５は、圧縮強度の経年変化である。実施設の第一、第二好気槽から各１００個の担体を取出し、個々の担体の圧縮強度を測定した結果を 10kgf/㎠ごとに区分した分布として示している。

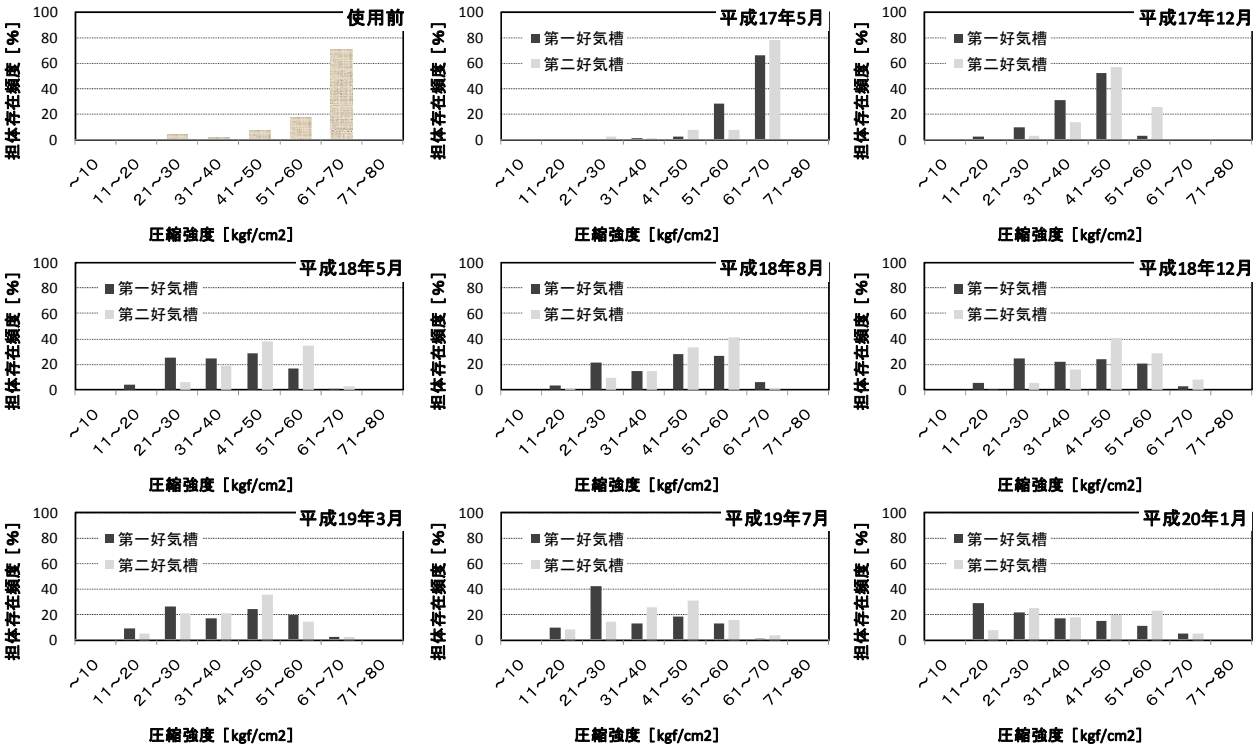


図５　PEG 担体の圧縮強度分布の経過

使用前（新品）の強度分布と比較すると、実使用時間が経過するほど強度の低い担体量の割合が増加し、全体の分布形状もなだらかなものへと移行している。また、強度が低下してきても 10kgf/㎠以下の担体は、ほとんど検知されなかった。このことから担体は、実使用により圧縮強度が徐々に低下し、強度が 10kgf/㎠以下まで低下すると細かく破損していると推定される。また、図６は、圧縮強度の各測定回ごとの平均値と稼働日数の関係であるが、圧縮強度の低下は、施設稼動から一貫して一定の傾向で進んでおり、一定の期間が経過してから始まったものではない。破損原因を生物浸食とすると生物付着までに一定の経過時間を要すと考えられることから、投入当初から強度低下が進むとは考えずらく、強度低下は、実使用条件下で担体に定常的に加えられる一定の繰り返し負荷により起こっていることを推測させる。

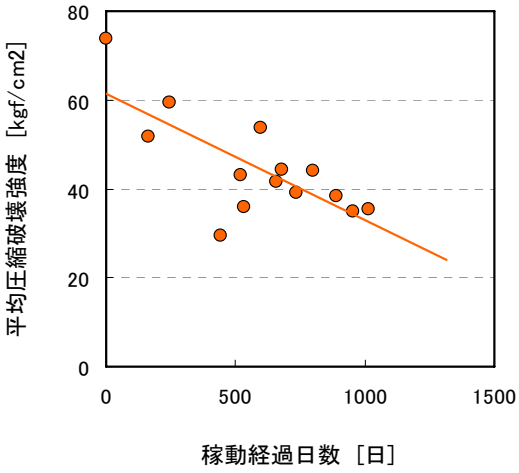


図６　平均圧縮強度の変化

図７の電子顕微鏡写真は、使用前の担体と実機投入後 2.7 年経過したものを半分に切断し、その断面を比較したものである。新品の担体は、表面がなだらかであるのに対して、使用後担体の表面は、削り取られたように変化していた。さらに使用後担体には、表面から内側に向う亀裂が複数本見つかった。これらの変化は、担体に連続して加えられる機械的ストレスにより表面が徐々に削られ、削られる時の衝撃によって内部に亀裂が入ることで起きていると考えられる。一方、担体表面に付着する微生物が担体内部を浸食することによる強度低下も想定して調査を進めたが、この点に関しては明確にできなかった。担体内部（表面付近）の一部に生物の痕跡はあったものの、広い範囲に一様に生物が存在する明確な痕跡は発見できなかった。以上のことから担体の破損は、機械的ストレスの繰返しにより徐々に進行していくものと考えられる。

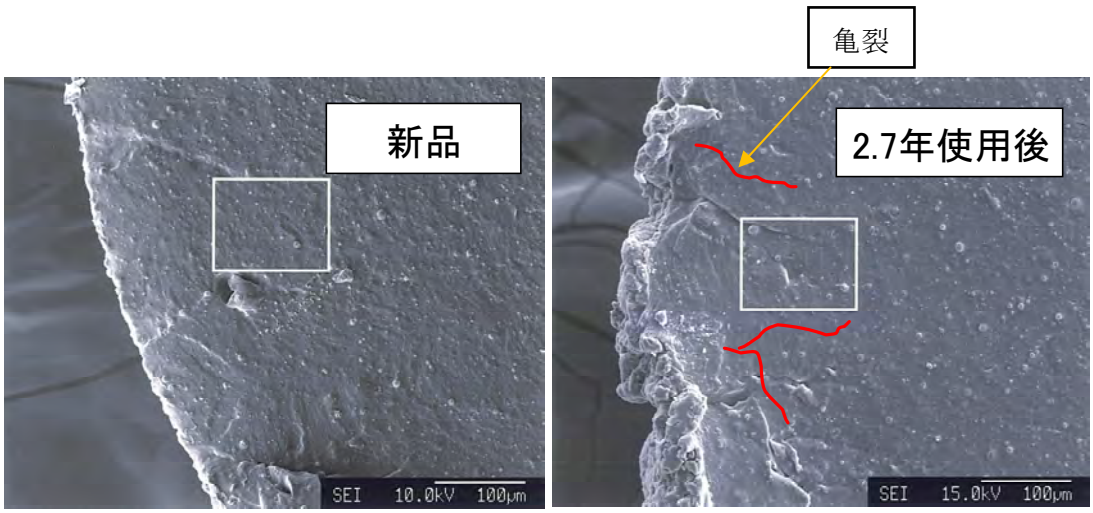


図７　PEG 担体断面写真

３）加速試験

破損原因として機械的ストレスが想定されたことから、小型試験機による加速試験を行い担体が破損する状況の再現を試みた。図８は、加速試験機の断面図である。装置は、小型水槽に実機と同じドラフトチューブ付（担体分離スクリーンは、脱着できる）の撹拌機を設けたものである。撹拌機のインペラを廻すと槽内の担体混じりの水は、ドラフトチューブ上部から吸込まれ、チューブを通過後、槽の底板に衝突して水槽に戻る動きを繰り返す。撹拌機の回転数を可変することでチューブを通過する水量を可変することができる。

加速率は、実機および試験機のそれぞれのドラフトチューブ通過回数の比として定義した。つまり実機、試験機とも槽容積をドラフトチューブ内を単位時間に通過する流量で割ることによりドラフトチューブを通過する回数が求められる。その比（試験機／実機）を加速率としている。

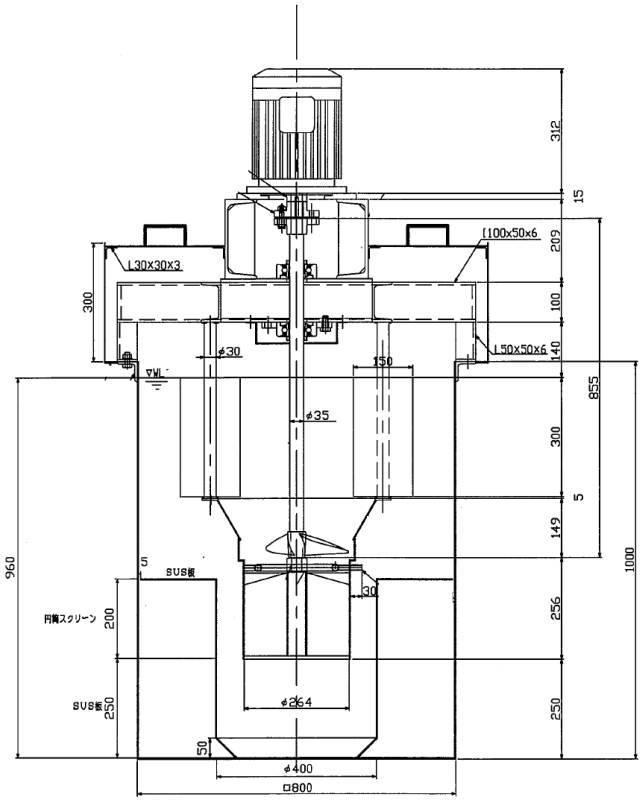


図８　加速試験機

図９は、2.7 年使用した実槽の担体を取り出し、加速試験機を用いてインペラ速度を変えて一定時間試験した時の破損率である。破損率とは、試験機から 100 個の担体を取り出した時の破損していた担体の割合である。インペラの周速を変えた測定では、周速を早くすると（ドラフトチューブ通過回数が多くなり、担体がインペラに衝突する確率が高くなる）破損率が高くなっている。また、スクリーンの影響としては、スクリーン付の方が破損率高い結果となった。図１０は、使用前の新品の担体をスクリーンなし、加速試験換算年 2.7 年の条件で測定したものである。図９の実使用で 2.7 年経過した担体と比較すると破損率は大きく下回っている。このことは、破損原因として周速よりもスクリーンの影響がより大きいことを推測させるが確認はできておらず明確ではないが、少なくとも周速が高くなると破損率が高くなる傾向は同様に

確認された。このことから担体の破損には、周速やスクリーンなど、ドラフトチューブ内の機械的構造が関与していることが確認された。

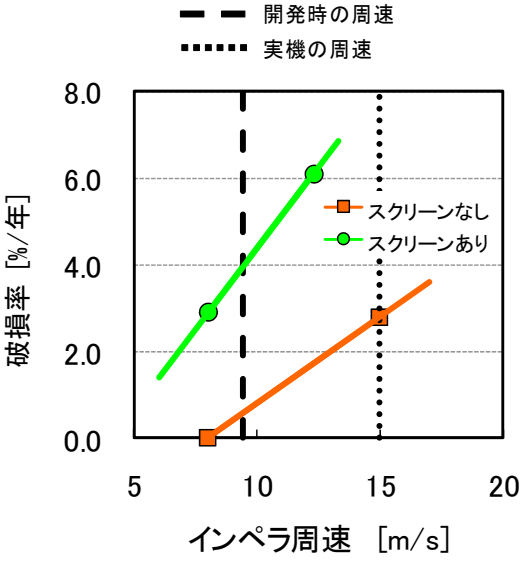


図９　周速と破損の関係(使用担体)

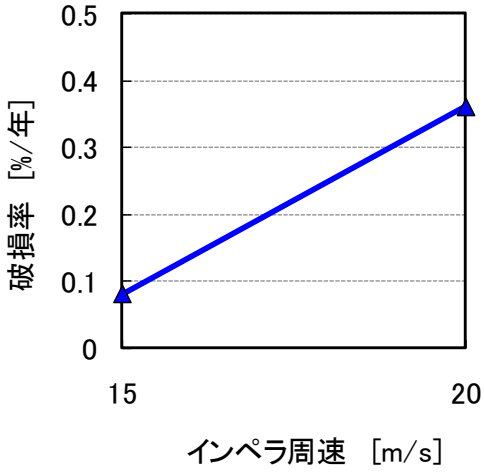


図１０　周速と破損の関係(未使用品)

これら一連の調査から、実機に投入した PEG 担体の破損は、担体が DTA 内を通過するときにインペラや分離スクリーンに衝突することで大きな機械的ストレスを受け、その結果、担体表面が徐々に削り取られ、同時にその衝撃により内部に向かって亀裂が入るために圧縮強度が経年的に低下し続け、圧縮強度が一定値以下に達することで起きていると想定される。

４．代替担体に関する調査

担体破損に関する原因調査の結果から、本システムに使用する担体は、ＤＴＡの機械的ストレスに対して十分な耐久性を持っていることが第一の条件になってくる。その上で、好気槽内での均一分散の条件である比重（1.01 以下)、計画流入水量を完全硝化できる硝化速度（投入量 180m3 担体すると 80mg-N/担体 L）も合わせて確保していることが条件になる。これらの条件を満たし、現状の担体を代替できる担体に関する調査を実施した。

４．１　試作担体

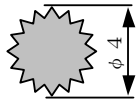
表７は、実施設への導入実績がある担体を改めてスクリーニングしたものである。数多くの担体が実用化され、材質も多岐にわたっている。同一の材質であっても組成・成型法等の違いによりさらに細分化されているようである。表に示した担体で本システムへの採用条件である比重 1.01 以下、かつ材質的に対摩耗・衝撃性を満足する担体は限られている。比重に重点を置いて代替担体をスクリーニングしたところ新たにポリウレタン系（以下、ＰＵ担体）が候補に挙げられた。ポリウレタンは、比重条件を満足できるだけでなく、磨耗、衝撃等に対する耐久性も高く、本システムに求められる担体の条件(機械的ストレスに強い)に合致していることから、ポリウレタンによる代替担体を検討した。検討は、組成・成型条件を変えたポリウレタン担体を複数試作し、ＤＴＡに対する耐久性を加速試験機で確認しながら、最適な組成・成型条件を絞り込むことで進めた。

表７　実機導入実績を有する担体

No.		1	2	3	4	5	6	7	現使用担体
主材質		ポリウレタン(PU)			ポリウレタンフォーム	ポリプロピレン(PP)	ポリエステル繊維	ポリエチレングリコール(PEG)	
形状		円柱形(中実)	円筒形(中空)	円柱形(中実)	直方体	円筒形(中空)	異形断面形状	立方体	球形
		φ4×5mm	φ6×5mm	φ4×4mm	12×12×15mm	φ4×5mm	φ8×6mm	3×3×3mm	直径4mm
微生物固定化法		結合固定化法	結合固定化法	結合固定化法	結合固定化法	結合固定化法	結合固定化法	包括固定化法	結合固定化法
比重		1.006～1.01	1.03	不明	不明	1.01	1.04	1.015	1.01以下
		(カタログ値)	(カタログ値)			(カタログ値)	(カタログ値)	(カタログ値)	
硝化速度		100mgN/L担体/hr以上(15℃)	不明	100～150mgN/L担体/hr(17℃)	20～40mgN/L担体/hr(15℃)	121mgN/L担体/hr(15℃)	33mgN/L担体/hr(15℃)	114mgN/L担体/hr(15℃)	100mgN/L担体/hr以上(15℃)
		カタログ値		第40回下研発要旨集	カタログ値	カタログ値	カタログ値	カタログ値	三河島実績値
深槽適用	実績有無	水深7mへの実績あり	水深8mへの実績あり	あり	不明	あり	不明	なし	三河島
	不具合発生有無	不具合なし	不具合なし	不具合なし	—	不具合なし	—	—	
機械攪拌適用	実績有無	なし	あり	あり	適用不可	なし	適用不可	なし	三河島
			(DTA)	(水中エアレータ)					
	担体破壊の有無	—	破損みられず(約3年間)	破損みられず	—	—	—	—	
強度	新品の強度	扁平率≒100%にても破壊されず		不明	不明	不明	不明	3～4 kgf/cm^2	平均圧縮強度60kgf/cm^{2}以上
	強度経年低下の有無	不明	不明	あり (ただし、機械攪拌にて2年使用後も、圧縮強度10kgf/cm^{2}以上)	不明	不明	不明	あり	強度低下
三河島北系への適応性予想	懸念事項		・中空部への気泡抱込みによる担体浮上			・みかけ投入率大による流動不足 ・中空部への気泡抱込みによる担体浮上		・強度不足による担体破壊	—

表８は、試作したＰＵ担体の組成、形状等である。試作担体は、ポリウレタンを基材として、強度を調整する架橋剤・疎水性樹脂（多くするほど比重は重くなる）、比重の調整剤（同じ添加量であっても製造時の成型条件を変えることにより比重を細かく調整できる）の添加量、成型条件を変えて比重を 1.01 以下としたもの５種類である。形状を歯車としたのは、表面積を大きくすることでより多くの硝化菌を付着させようとしたものである。

表８　試作ＰＵ担体の形状等

試作番号	1	2	3	4	5
識別色	白	黄	緑	ピンク	赤
形状	円柱歯車型 径4㎜×L 4㎜ 				
材質	ポリウレタン				
架橋剤	同量添加				
疎水性樹脂	多			少	
比重調整剤	多	中	小	多	中

４．２　加速試験

試作したＰＵ担体を用いて、加速試験を実施した。なお、インペラの周速条件は、20m/s とし、担体に加わる衝撃条件を実機（15m/s）よりも厳しくすることで破損状況がより早く、明確に現れるように設定している。

図１１に、結果を示す。加速試験開始直後から破損率が高くなっているが、これは、担体の試作を簡易製造機で行うために製造条件に関する製品管理が必ずしも充分にできず、強度に関係する架橋反応などが不十分な担体が一部に含まれるためである。したがって担体の耐久性評価は、測定開始当初の破損率の継続期間の長短で行う。５種類の担体の中で最も高い耐久性を示したのは、架橋剤添加量が多く、比重調整剤が少ない試作番号３、緑色の担体であった。一般的に合成樹脂は、架橋剤・疎水性樹脂を多くすると樹脂を構成する分子同士の架橋割合が多くなるので強度が高くなり、比重調整剤が多くなると分子間に隙間ができるので強度は低下するとされている。図の結果は、合成樹脂の一般的な定説とも一致しており、妥当な結果といえる。

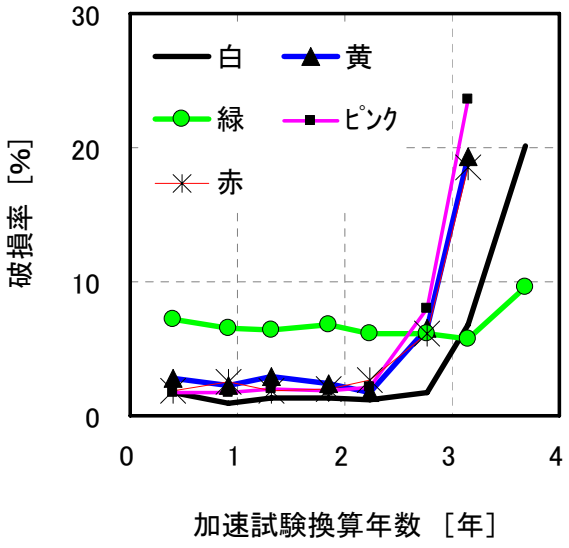


図１１　試作 PU 担体の破損率

破損率は、目視で破損状況の有無を判断している関係上、破損がある程度進行しないと検知

できないという弱点がある。PU 担体の破損、あるいは破損に至るまでの強度低下の現象を事前に検知して客観的に評価するには、劣化・破損現象と相関の強い物理量を指標とする必要がある。そこで、加速試験と並行して合成樹脂の一般的な物理的指標である圧縮強度、引張強度、摩耗試験、硬度試験を実施し、破損との相関を検討した。PEG 担体の破損は、圧縮強度との関係が見られたが、PU 担体の場合は、関係が見られなかった。PU 担体は、扁平率 100%でも破損しないほどの弾力性を有していることが理由と考えられる。測定した物理指標の中で硬度が加速試験の破損状況と良く相関していた。図１２は、初期硬度と加速試験結果の関係を図示したものである。

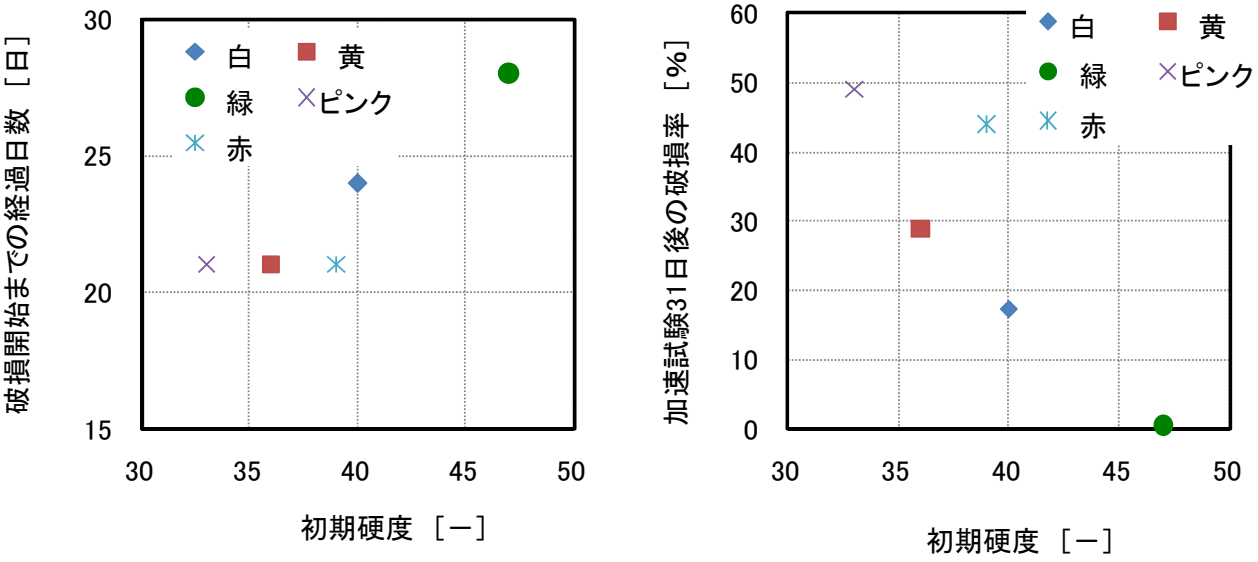


図１２　ＰＵ担体の初期硬度と破損の関係

左図では、破損が早く生じた試作番号２（黄）、４（ピンク）、５（赤）の初期硬度が低い。硬度の最も高い試作番号３（緑）は、破損開始が最も遅くなっており、硬度が両者の中間である試作番１（白）は、破損の開始時期も両者の中間となっている。また、加速試験開始 31 日後の破損率を縦軸とした右図では、初期硬度の低い順に破損率が高く、両者には直線的な相関がみられる。PU 担体の破損は、硬度を指標とすることで客観的に判断できることになる。

４．３　活性炭添加担体

次に耐久性が最も高いと判断された試作番号３の担体組成をベースにして、硝化菌の付着を促進する活性炭を添加した担体を形状を変えて２種類試作し、耐久性を調査した。形状の違うものを追加した理由は、円柱歯車形状は表面積が多くなる利点があるものの歯車状突起の細い部分に耐久性の不安が残ることによる。

表９は、試作担体の性状等と加速試験条件、図１３が結果である。

表９　性状等と加速試験条件

試作番号		３－１	３－２
担体	材質	試作番号３担体＋活性炭	
	形状	円柱歯車型	俵型
インペラ周速		20m/s	
ｽｸﾘｰﾝ		なし	

俵型は、形状的に耐久性に優れていると思われたが、加速試験換算年で２年を越えた時点で急速に破壊が進んだ。一方、円柱歯車型は、換算６年以上の耐久性を示している。4.2の加速試験結果と比較すると、活性炭の添加により耐久性が向上しており、活性炭の添加による悪影響は見られなかった。活性炭の添加により耐久性が向上した原因は、明確でないが、活性炭表面にある凹凸部分に PU 担体の一部が食い込むことで強度が上がっていることが考えられる。

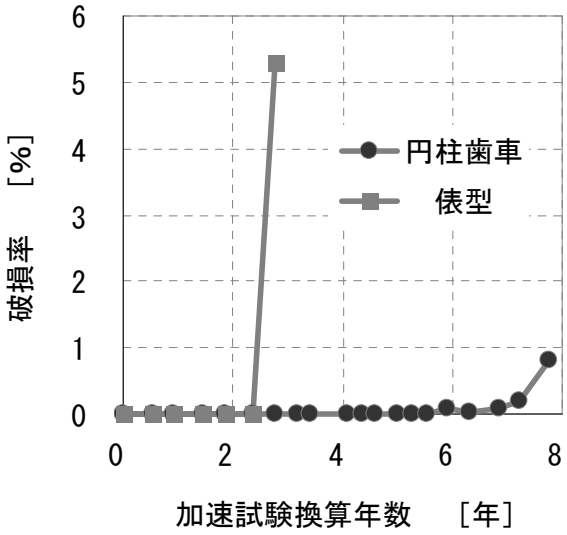
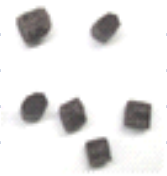


図１３　活性炭添加担体の破損率

４．４　実槽による検証入

これまでの調査結果から、活性炭添加の PU 担体は、ＤＴＡから受ける機械的ストレスに対して十分な耐久性があると想定されたことから実施設の第一好気槽に９㎥(円柱歯車 4.5 ㎥、俵型 4.5 ㎥)の活性炭添加 PU 担体を試験的に投入(H20.1.28)し、実機での耐久性と硝化速度を追跡調査した。表１０は、試験投入した PU 担体の仕様である。

表１０　試験投入した担体の仕様

名　称	円柱歯車型担体	俵型担体
寸　法形状	径4mm 長さ4.3mm 	径3.5mm 長さ4mm
比　重	1.004	1.008
硬　度	54	48
材　質	化学名:吸水性ポリウレタン樹脂(エーテル系)	
	主成分:ポリウレタン樹脂99%以上	
組　成	担体基材	親水性樹脂　85%
	強化材	疎水性樹脂　8%
	強化材	架橋剤(疎水性プレポリマー)　6.5%
	比重調整剤	0.50%
	硝化菌固定材	活性炭　0.5%

１）硬度の推移

図１４は、実槽投入後４００日の硬度の変化を示したものである。図中の予測破損開始硬度とは、前期加速試験時に PU 担体が破損し始めた硬度である。硬度は、円柱歯車、俵型とも実機投入直後から一定の傾向で低下しており、PEG 担体と同様に PU 担体も実使用により強度低下が進行する。担体の硬度が予測破損開始硬度１９に達し、破損が始まるまでの期間は、図中に示した相関直線から予測すると、円柱歯車型 6.4 年、俵型 4.0 年である。PEG 担体の破損が顕著となった２年弱と比較すると２～３倍の耐久性が期待できる。

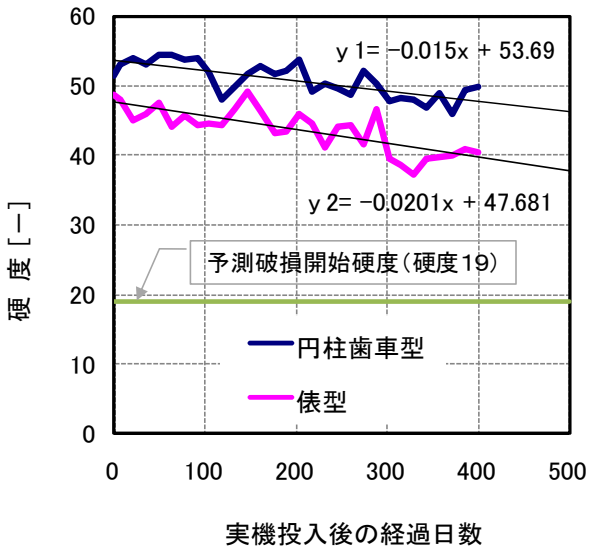


図１４　ＰＵ担体の硬度低下状況

２）硝化速度

図１５は、実槽に投入した担体の硝化速度である。PU 担体を投入してから３００日程度が経過し、硝化菌が付着したと想定される時期の測定値を示している。なお、実槽に残存している PEG 担体の硝化速度も合わせて比較として載せている。１１月頃の硝化速度は、PEG と円柱歯車型が設計値である 100mg-N/担体 L/h を達成しているが、俵型の硝化速度は、半分以下と低くなっている。その後の推移を見ると、PEG と円柱歯車型の硝化速度は、水温の低下する冬季に向かって徐々に低下し 50mg-N/担体 L/h 前後で一定になっている。同時期の俵型の硝化速度は、徐々に上昇し、PEG と円柱歯車型の硝化速度を上回った後、ほぼ同程度に落ち着いている。

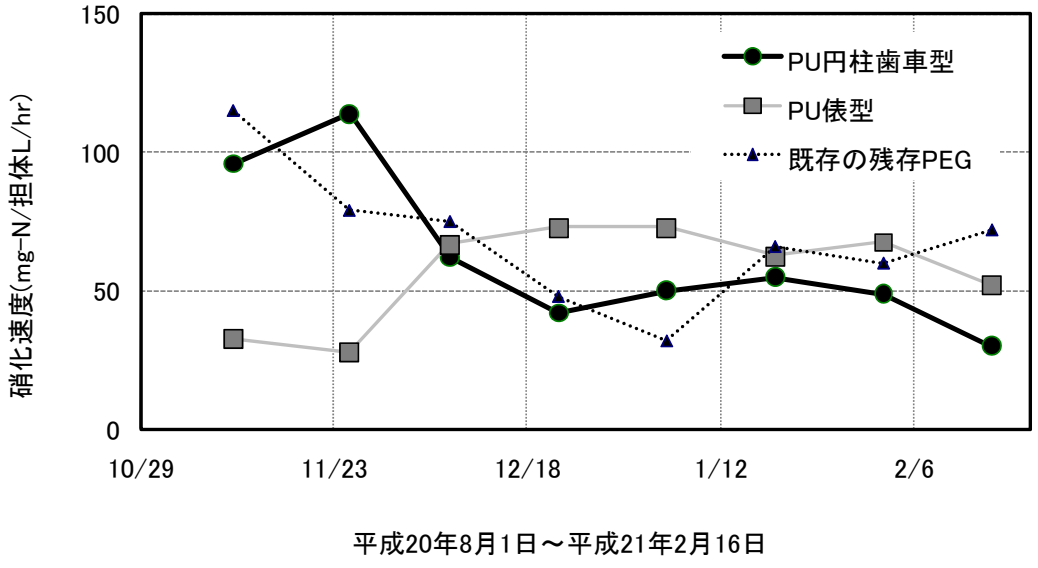


図１５　実槽投入担体の硝化速度の推移（H20.9～H21.2）

試験投入した PU 担体の硝化速度は、設計値とした 100mg-N/担体 L/h 以上という条件を常に満たすことはなかったが、同時期の PEG 担体と同程度の硝化速度を確保していた。硝化速度は、3.1 で述べたように、反応槽の運転条件、降雨等により常に変動していると考えられる。本施設での PEG 担体の硝化速度は、大きく変動しながらも、反応槽出口では、完全硝化を達成していたことから、PEG 担体と同等の硝化速度を示す PU 担体でも PEG 担体同様に完全硝化が行われるものと推測できる。

5　まとめ

１６年度に稼動した担体添加ステップ A2O 法の事後評価を実施してきた。処理システムとしての評価は、20 年度技術調査年報に報告したが、引き続き担体に関する事後評価を継続し、次の結果を得た。

１）PEG 担体の硝化速度は、設計値である 100mg-N/担体 L/h を下回ることもあったが、これは、硝化速度が反応槽の運転条件（アンモニア負荷)、降雨等の条件により変動するためである。処理水質は、設計値である NH3-N>1mg/L、T-N<10mg/L を満足していたことから硝化速度の変動幅は、本処理システムとしての許容範囲に入っていた。

２）計画処理水量を完全に硝化するために必要な担体量は、PEG 担体で得られた硝化速度から求めると硝化速度が高い夏季で対容積比として 6.9%、冬季で 9.3%であった。設計で採用した対容積比 12%の投入量は、硝化速度の変動を考慮すると妥当な値である。

３）PEG 担体の破損は、DTA を通過する際に受ける機械的な衝撃により、担体の圧縮強度が低下することで生じている推測された。

４）PEG 担体を代替する担体として、比重、耐衝撃性等を重視して改めて担体をスクリーニングした結果、担体材質としてポリウレタンが有望であった。

５）ポリウレタンによる担体を試作し、加速試験を行った結果、強度的に優れた組成・成型条件を見つけた。

６）試作した PU 担体を実槽に試験投入し、強度低下、硝化速度を追跡調査した結果、強度的には、6.4 年程度の耐久性を有していると想定された。また、硝化速度は、必ずしも設計値を常時満たしたわけではないが、PEG 担体と同程度ある。PEG 担体では、設計処理水質を満たしていたことを考えると、PU 担体の本処理システムへの採用に支障はないと考えられた。

6　現在の状況等

これらの事後調査結果を技術管理委員会に報告し、了承を受けて事後調査は終了した。

実施設では、第一好気槽に PU 担体 90m3 を新たに補充（平成 22 年 3 月）し、担体硝化速度の立ち上り方や破損の有無等を維持管理の一環として継続実施している。

今後は、継続される調査を活かしつつ、担体添加ステップ流入式 A2O という東京都に適した高度処理法のより一層の完成を図りたい。

最後に、三河島水再生センター藍染北系に導入した担体添加ステップ流入式 A2O 法は、短時間で高度処理が行える優れた理システムであるが、当初採用した担体に想定を超える破損現象が発生した。破損に対する原因究明と対応策を検討してきたが、幸いにも PU 担体という耐久

性の優れた担体を見出すことができた。これは、三河島水再生センターの皆様を始めとする「担体添加法導入 PT」のメンバーの方々や関係者のご協力があってのことである。ここに改めて感謝の意を表します。

【参考文献】

(1) 三河島再生センター藍染北系処理施設特性調査委託報告書(H17～19.3)
(2) ステップ流入式嫌気・無酸素・好気法設計マニュアル(案)(H14.3)

2-(1)-3　東陽Ⅲ系（ステップ A_2O 法）の稼働状況（続報）

東部第一下水道事務所　砂町水再生センター　水質管理係
半沢　修

1　はじめに

ステップ流入式嫌気－無酸素－好気法設計マニュアル（案）[1)]（以下、設計マニュアル）によれば「嫌気・無酸素・好気法を発展させ、さらに窒素・りん除去率の向上が見込める」と記載されている。

当センターに導入されたステップ A_2O 法については、昨年度に水質技術研究発表会において稼働状況について中間報告を行ったが、今年度は、処理水量、負荷の増加と処理水質の関連を設計マニュアルと比較しながら窒素除去を中心としてステップ A_2O 法の特徴、運転上の注意点などその後の処理水量の増大により分かった知見を報告するものである。

2　施設設計値概要

砂町水再生センターのステップ A_2O 法施設の設計値の概要を表に示す。当施設の設計条件をみると、冬季は水温低下を想定した設計水量となっていることがわかる。

表　東陽Ⅲ系設計値

計画日最大汚水量	30,000
反応タンク設計水量	30,000
（冬季における設計水量）	23,079

単位はm^3

反応槽末端MLSS　2500mg/L
ステップ流入条件　50%、50%

	流入水質	処理水質
BOD5	172	10
溶解性BOD5	115	
SS	70	10
T-N	36.1	10
T-P	4.4	0.5

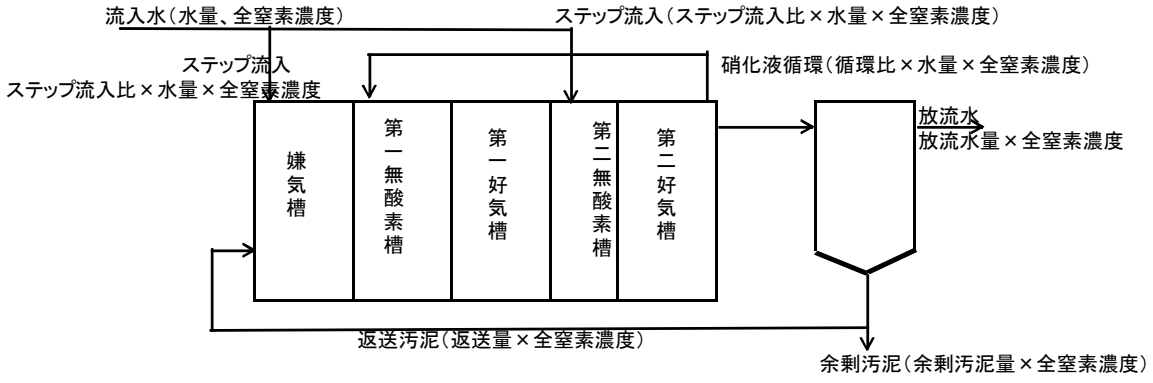
単位はmg/L

3　ステップ A_2O 法施設の窒素理論除去率と実績値

生物反応槽での窒素除去は次の式であらわすことができる。

$$\text{窒素除去率（実績値）} = \frac{\text{生物反応槽流入水全窒素濃度} - \text{処理水全窒素濃度}}{\text{生物反応槽流入水全窒素濃度}}$$

一方、ステップ A_2O 法では前段で流入した全窒素は、第一好気槽で硝化され、第二無酸素槽で脱窒される。ステップ A_2O 法の窒素除去の動きを下に示す。



図－1　ステップ A_2O 法と窒素の動き

ところで、設計マニュアルの式を参考として流入水中の窒素分が全て硝化に関与すると仮定すれば、以下の関係式が導かれる。

$$窒素理論除去率＝\frac{ステップ流入比＋返送汚泥比＋硝化液循環比}{1＋返送汚泥比＋硝化液循環比}$$

また、ステップ流入比と窒素理論除去率・反応タンク滞留時間の関係を図－2 に示す。このグラフから前段ステップ流入比を大きくすると窒素除去率が上がることがわかる。

以上の知見をもとに、ここでは、東陽Ⅲ系の流入比の確認をするとともに、処理水量と処理水質の変化、さらに設計マニュアルを参考にして窒素の理論除去率の算出を試みた。

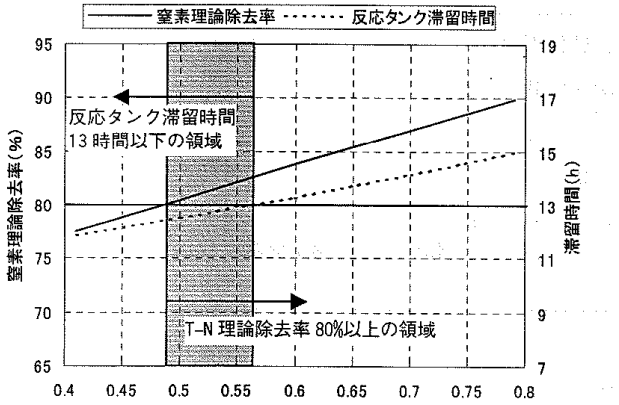
東陽Ⅲ系反応槽流入水量と処理水中の硝酸性窒素濃度の推移を図－3 に示す。

6 月から徐々に水量増加を進め 8 月には処理能力 60,000m^3/日以上の流入水量での処理を行った。7 月、8 月の硝酸性窒素濃度をみると処理水量の増加にもかかわらず、硝酸性窒素濃度が低いことがわかる。

次に、窒素除去率について図－4 に示す。グラフを作成するに当たり、理論除去率で用いるステップ比について、8 月の一週間のステップ流入量平均を確認したところ、前段ステップ比は 0.53、ステップ流量としてはほぼ 50：50 となっていた。

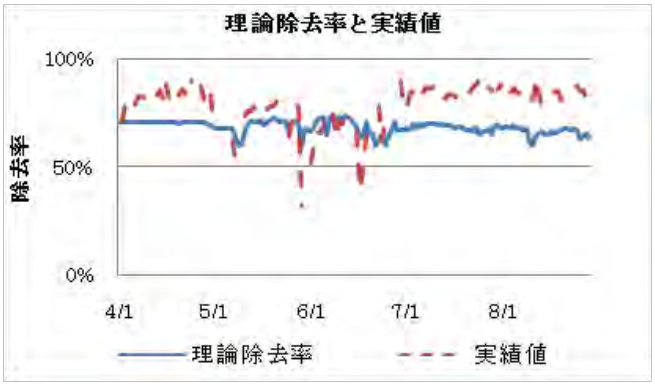
また、実績値については東陽Ⅲ系反応槽流入水の全窒素と同処理水の全窒素より算出した。

グラフをみると反応槽流入水を増やしたにもかかわらず、両者の除去率は一定であることがわかった。このことから、ステップ A_2O 法の窒素除去率については返送汚泥比と循環比を確認することで窒素除去率が想定されることが確認できた。ところで実績値と理論値の関係では実績値が上回る結果となっている。これは反応槽流入水の全窒素には固形物に含まれるものもあるため、見掛け上除去率が高くなったと考えられる。



図－2 ステップ比、滞留時間、理論除去率の関係

図－3　東陽Ⅲ系処理水量と処理水中の硝酸性窒素濃度

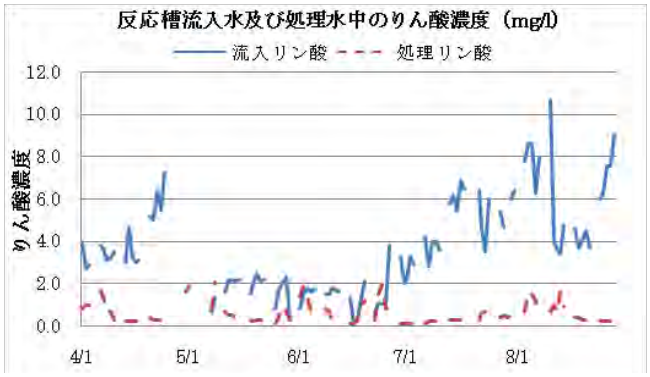


図－4 ステップ比、滞留時間、理論除去率の関係

4　りん除去の安定化とりん除去薬品の使用量削減について

設計マニュアルによれば「窒素の理論除去率は前段へのステップ流入比を大きくするほど高くなる。一方りん除去率についても、前段への流入比を大きくするほど、①生物反応タンク内の平均 MLSS 濃度が下がる。②第二無酸素タンクでの BOD/N 比が低下し、脱窒が不十分となるといった欠点があるが、第一好気タンクで過剰摂取されるりんの割合が増えるため、安定したりん除去が可能となると考えられる。」と記載されている。

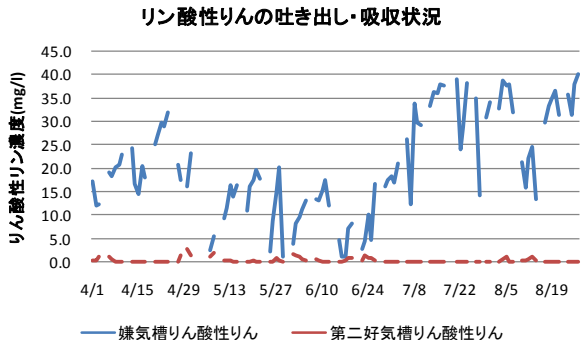
ステップ比 50%として水量を増加させた運転で安定した窒素除去ができたことから、同条件でのりん除去についても検討を試みた。しかし、リン除去については BOD/P 比が一定以上あれば安定して除去できるとされているが理論式がない。また、当センターでは、汚泥処理返水中のりん濃度を削減するために平成 20 年 4 月より汚泥中のりんを固定するため LAC 注入を開始し、汚泥処理返水中のりんの低減に大きな効果を上げきたが、この結果として東陽Ⅲ系ステップ A_2O 施設での十分なりん除去効果について確認が難しくなっていた。



図－5　反応槽流入水及び処理水のりん酸性りん濃度

そこで、LAC 注入量を 1/3 に削減し、ＬＡＣの影響を極力小さくして実測値から判断することとした。

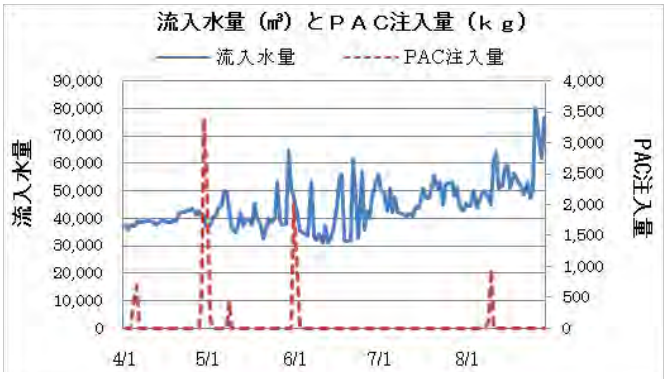
りん酸性りんの反応槽流入水の濃度変化を図－５に、嫌気槽、第二好気槽でのりん酸性りん濃度の変化を図－６に掲げる。



図－6　反応槽内でのりん酸性りんの推移

４月から８月末までの反応槽流入水中のりん酸性りん濃度は雨水や汚泥処理返水により 0.6～11mg/l の間で変化していた。

りんの安定した除去には BOD 負荷が重要であることから７月からは汚泥処理返水を集中して流入させた。ちなみに反応槽流入水の BOD は４月当初は 100mg/l 前後であったが、８月には日平均 190mg/l まで負荷を高めて運転を行った。汚泥処理返水を集中して流入させた結果、反応槽流入水中のりん酸性りん濃度も上昇し、汚泥処理返水にはりん酸性りんが多く含まれていたことがわかる。



図－7　ＰＡＣ注入量の変化

図－５､図－６から嫌気槽での吐き出し、第二好気槽での吸収が、７月以降は安定したことがわかる。汚泥処理返水を集中させることで良好なりん除去が行われた判断できる。

ところで、東陽Ⅲ系は標準法施設と同様にりん除去を安定して行うための PAC 注入施設が設置されている。このため、PAC 注入の有無でも評価ができると考え、反応槽流入水量と PAC 注入の

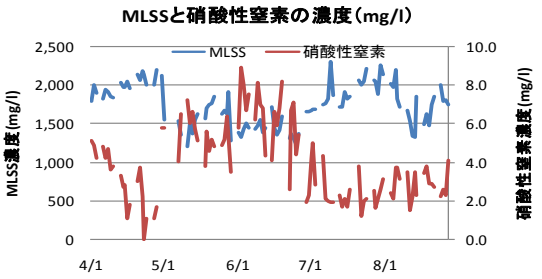
有無について図－7 にグラフ化を試みた。グラフからは、東陽Ⅲ系でも PAC 注入が行われていたことがわかる。しかし、詳細にみてみると、反応槽流入水量の増加とともに PAC 注入回数が減少してきている。

以上のことから、流入水量の増加と汚泥処理返水を集中させることによる BOD 負荷の増大が、りん除去を安定させるとともに、汚泥処理工程でりんの除去のために使用しているＬＡＣ使用量の削減と水処理工程でのＰＡＣ使用量の削減に有効であり、コスト削減にもつながることがわかった。

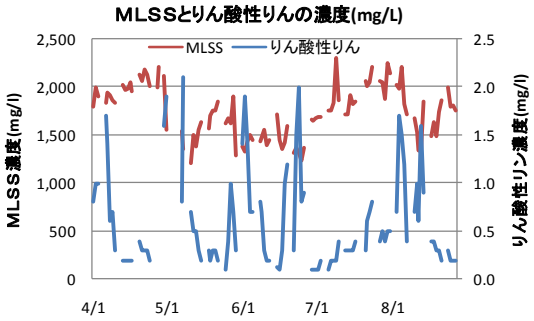
5　MLSS の変動と処理水質

調査期間中の反応槽内の MLSS 濃度の変化と処理水中の硝酸性窒素の関係を図－８に、りん酸性りん濃度との関係を図－９に掲げる。

図－8 では硝酸性窒素濃度が MLSS 濃度の上昇に反比例して低下している。脱窒が MLSS 濃度の上昇により進み減少していると考えられる。一方、りん酸性りん濃度は MLSS 濃度の上昇とともに上昇傾向を示した。流入水の BOD 負荷を確認していないため、確定はできないが MLSS 濃度の上昇により BOD/MLSS 負荷が低下することからりん酸性りんの除去が低下傾向を示したと考えられる。



図－8　ＭＬＳＳと硝酸性窒素濃度



図－9　ＭＬＳＳとりん酸性りん濃度

6　まとめ

本年度、砂町水再生センターステップ A_2O 法施設について、設計値により近づけた運転を行うことで、処理水質がどのように変化していくか確認し以下のことがわかった。

① ステップ A_2O 施設の窒素除去率はステップ前段の流入水量が把握できれば、返送汚泥率及び循環率よりおおよその窒素除去率が算出できる。

② 施設設計値を確認することで、運転条件の検討や処理水質の結果をある程度評価することが可能と考えられる。

③ ステップ A_2O 法でも BOD 負荷が重要であり、BOD 負荷が十分でない場合にはりん除去が不安定となると予想される。

今後、冬場の低水温での処理評価を進め、ステップ A_2O 法の最適運転条件の把握に努めていく。

参考資料

1）ステップ流入式嫌気－無酸素－好気法設計マニュアル（案）　平成 14 年 3 月
東京都下水道局計画調整部

2）流域 A_2O 法施設の最適な運転管理方法　平成 19 年 3 月
流域下水道本部技術部

2-(1)-4　多摩川上流水再生センターのステップ A_2O 施設におけるりん除去率向上のための調査について

流域下水道本部　技術部　多摩川上流水再生センター　水質管理係
大瀬　俊之、竹田　裕一
引地いづみ（現、施設管理部　環境管理課　環境保全係）

1. はじめに

多摩川上流水再生センターでは、りん、窒素対策のため、施設更新にあわせ1系の水処理施設を標準活性汚泥法からステップ A_2O 法処理施設に改良し、平成20年4月から1-1系が、平成21年4月から1-2系が、それぞれ稼働している。

本報告は、1-1系、1-2系の反応槽流入水量や返送汚泥率を変化させ、ステップ A_2O 法における処理水質やりん除去に及ぼす影響について調査したものである。

2. 施設概要

多摩川上流水再生センターは多摩川中流部の昭島市に位置し、周辺の６市２町を処理区とする分流式のセンターである。水処理施設は７系列を有し、そのうち２系列がステップ A_2O 法施設として稼働している。詳細は表１に示す。また、多摩川上流水再生センターに導入されたステップ A_2O 法施設の概略図を図１に、1-1系及び1-2系反応槽の施設概要を表２に示す。

表１　多摩川上流水再生センター施設概要

所在地	東京都昭島市宮沢町（多摩川中流）
関係市町村	立川市、青梅市、昭島市、福生市、武蔵村山市、羽村市、瑞穂町、奥多摩町（６市２町）
運転開始	昭和53年5月
処理能力	248,200 m^3/日
水処理施設	7系列（うちステップ A_2O 法：2系列、A_2O 法：1系列）

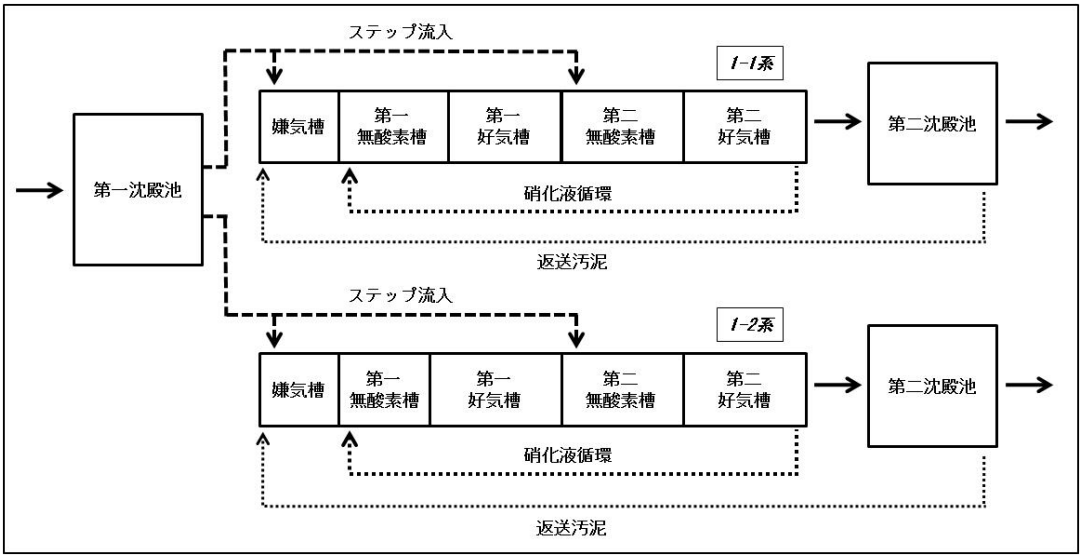


図１　ステップ A_2O 施設概略図（1-1系、1-2系）

表２　1-1 系及び 1-2 系反応槽の施設概要（設計値）

	1-1 系	1-2 系		1-1 系	1-2 系
反応槽流入量 (m^3/h)	850	1,100	反応槽有効容量 (m^3)	12,821	13,394
返送汚泥率 (%)	50	50	嫌気槽 (m^3)	768	855
硝化液循環率 (%)	25	25	第一無酸素槽 (m^3)	1,152	675
後段ステップ流入比	0.5	0.5	第一好気槽 (m^3)	3,073	3,443
			第二無酸素槽 (m^3)	3,457	3,825
反応槽有効容量の合計は浅槽を含む			第二好気槽 (m^3)	4,371	4,596

3. 調査内容

ステップ A_2O 法処理施設の最適運転条件について知見を得るため、次項のように返送汚泥率や反応槽流入水量等の運転条件を変えて調査した。

調査にあたっては、処理性に及ぼす各処理条件の影響を明らかにするため、調査対象とする条件以外は、一定条件で運転した。また、調査は、当該条件に設定後、処理水質が安定した時点で行った。

なお、各槽の試料採水は、1 系一沈出口をスタートとし、各槽の容量、流入水量、返送汚泥率や硝化液循環率から算出した各槽末端までの理論到達時間を基に実施した。

3.1　返送汚泥率の変更

返送汚泥率が処理水質に及ぼす影響を検討するため、返送汚泥率を設計値の 50%から 20%に下げ運転した。調査は平成 21 年 5 月 19 日から 20 日に行った。

3.2　反応槽流入水量の変更

平成 21 年 6 月 3 日から 17 日まで、1-1 系、1-2 系ともに反応槽への流入水量を通常時の 60%に低下させ運転した。そこで、本条件下で調査を行い、通常運転時と比較検討を行うことで、流入水量が処理性に及ぼす影響を検討した。調査条件を表３に示す。

表３　低水量時の調査条件

	低水量運転		通常運転	
系列	1-1 系	1-2 系	1-1 系	1-2 系
反応槽流入水量	510 m^3/h	660 m^3/h	850 m^3/h	1,100 m^3/h
反応槽入口からの HRT				
嫌気槽	1.5h	1.3h	0.9h	0.8h
第一無酸素槽	3.3h	2.1h	2.0h	1.3h
第一好気槽	8.1h	6.3h	4.9h	3.8h
第二無酸素槽	12.0h	9.6h	7.2h	5.8h
第二好気槽	17.3h	14.3h	10.4h	8.6h

3.3　台風による水量増加時（以下、高降雨時）

平成 21 年 8 月 31 日の台風 11 号の接近に伴い、8 月 31 日をピークに受水量が増加した。そこで、高降雨が処理水質に及ぼす影響を検討した。調査は 8 月 31 日から 9 月 1 日に実施した。

3.4　低水温時

平成 22 年 2 月 1 日夜からの降雪に伴い、気温、水温ともに低下した。そこで、低水温が処理水質に及ぼす影響を検討した。調査は 2 月 2 日から 2 月 3 日に実施した。

4.　結果と考察

4.1　返送汚泥率が処理水質に及ぼす影響

運転条件が処理水質に及ぼす影響を明らかにするため、返送汚泥率がりん、窒素の除去性に及ぼす影響を検討した。結果を図２、図３に示す。

りん除去では、返送汚泥率が低い 20%の時、1-1 系、1-2 系ともに、嫌気槽でのりんの吐出しが多く、りん濃度が大きく上昇するなど処理性に違いが見られた（図２）。このとき、一沈出口に対する第二沈殿池の T-P 除去率で比較すると、表４に示すように、返送汚泥率を 50%から 20%に下げると、1-1 系では 63%から 85%、1-2 系では 55%から 70%へ上昇した。このことから、返送汚泥率を下げることでりんの除去性は向上する可能性が示唆された。

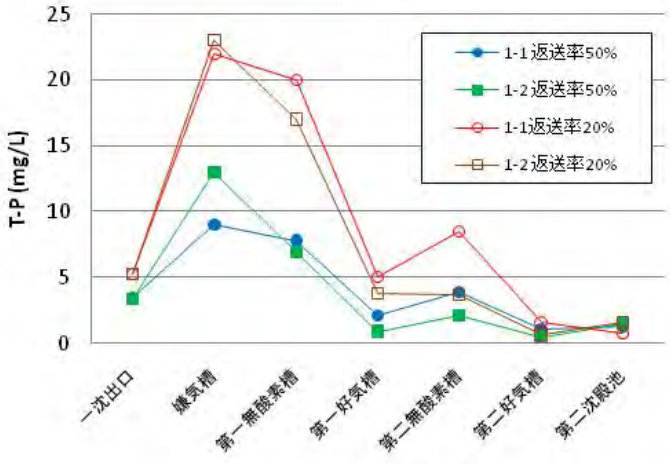


図２　返送汚泥率がりん除去に及ぼす影響（T-P）

表４　一沈出口に対する第二沈殿池の T-P 除去率（%）

	1-1 系	1-2 系
返送汚泥率 50%	63	55
返送汚泥率 20%	85	70

窒素除去においては、1-1 系、1-2 系ともにステップの前段と後段で違いが見られ、返送汚泥率が 20%の時、ステップ前段よりも後段で、窒素の除去性が上がった（図３）。この結果、第二沈殿池では、返送汚泥率が 50%から 20%に下がると、1-1 系では 71%から 83%、1-2 系では 81%から 90%となり、窒素除去性は向上した。

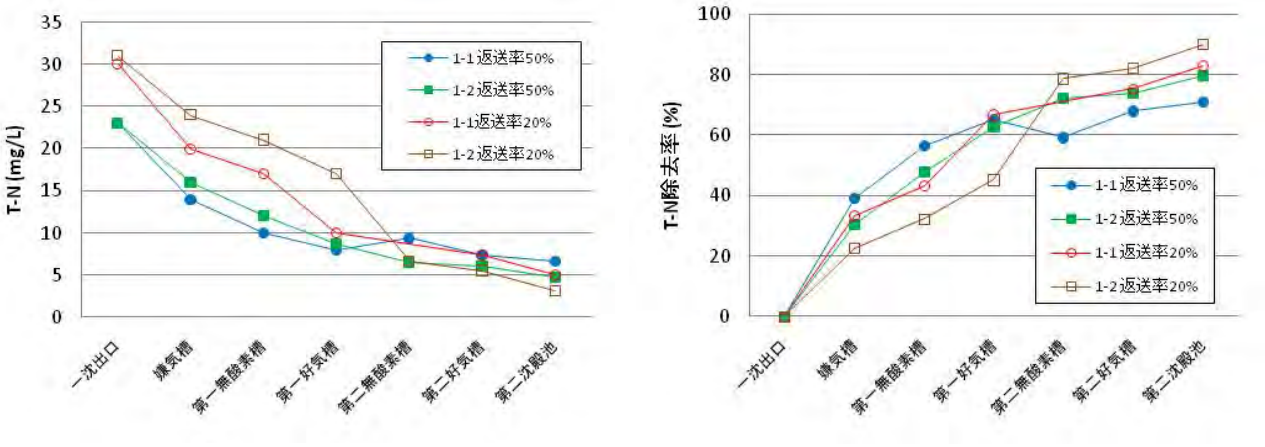


図３　返送汚泥率が窒素除去に及ぼす影響（左図：T-N、右図：T-N 除去率）

りん、窒素の除去性をともに考慮すると、返送汚泥率が低い時、りん除去性が向上したのは、返送される NO_3-N 負荷量が低下したことにより、反応槽前段でりんの吐出しが促進され、りんの取込み量が増加したためと考えられる。

4.2　反応槽流入水量が処理水質に及ぼす影響

次に、反応槽への流入水量が処理水質に及ぼす影響を検討した。結果を図４、図５に示す。

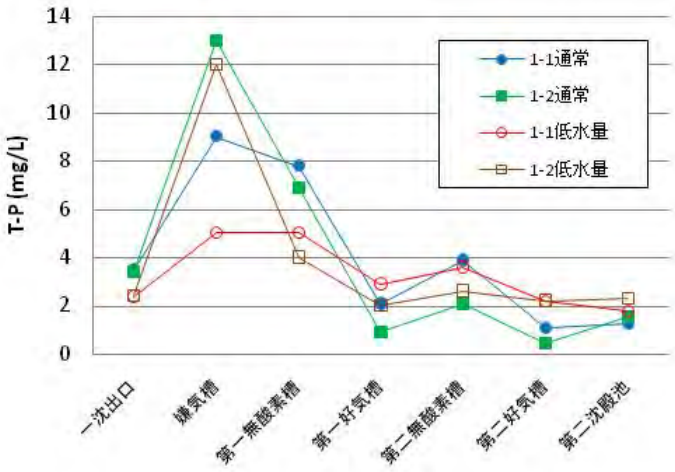


図４　反応槽流入水量がりん除去に及ぼす影響（T-P）

表５　一沈出口に対する第二沈殿池の T-P 除去率（%）

	1-1 系	1-2 系
通常水量	63	55
低水量	25	4

流入水量を低下させた場合、りん除去については違いが見られた。図４の「1-1 低水量」では、嫌気槽でのりん吐出しが顕著に弱くなり、第一好気槽でのりん取込み量も低下した。一方、「1-2 低水量」では、嫌気槽において、通常水量時と同様なりん吐出しを示し、第一好気槽でのりん取込みも通常水量時

と同様であった。これは、1-2 系に比べ反応槽流入水量が少ない 1-1 系では、流入水量が低いことで滞留時間が増加したため、りんの吐出しと取込みが同時に進行してしまう時間ができ、りん除去が不十分になったためと考えられる。一方、1-2 系では、低水量によるりん吐出し低下は見られなかったが、第二沈殿池での T-P 濃度は、通常時の 1.5mg/L に対し、2.3mg/L と上昇していた。さらに、T-P 除去率で見ても、通常時の 55%に比べ 4%と大きく低下していることから、1-1 系とともに低水量時はりん除去性が低下することが明らかとなった。このとき窒素除去では、低水量により反応時間が長くなった影響で、通常時に比べ第二沈殿池での T-N 濃度は低下したが、T-N 除去率で比較すると差は見られなかった（図５）。

以上の結果、反応槽流入水量が処理性に及ぼす影響は系列によって異なり、反応槽流入水量が若干少ない 1-1 系では、水量低下の影響が大きく、1-2 系では、影響が少ないことが明らかとなった。

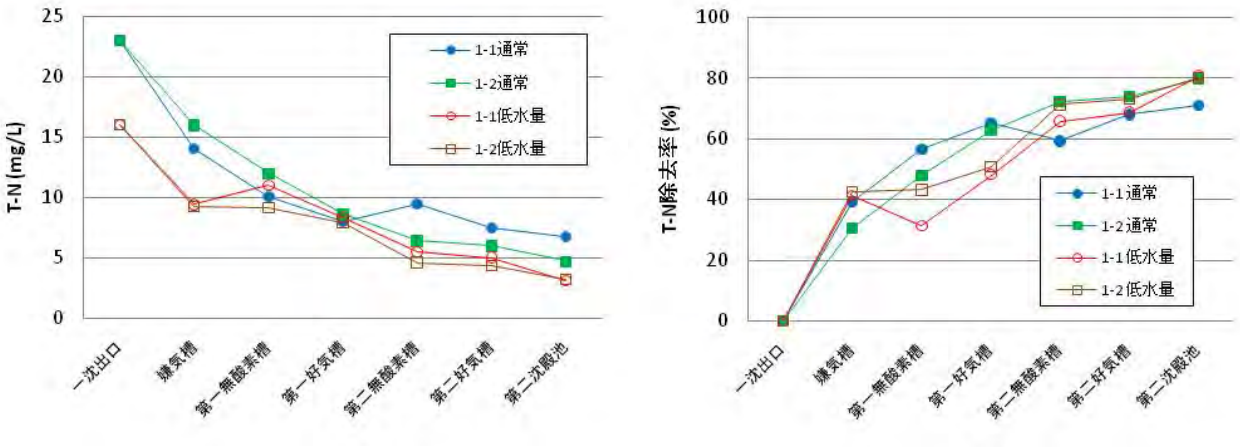


図５　反応槽流入水量が窒素除去に及ぼす影響（左図：T-N、右図：T-N 除去率）

4.3　高降雨が処理水質に及ぼす影響

当センターは、分流処理区域にあるが、台風等の高降雨時は不明水により受水量が増加する。そこで、高降雨時の処理性について、りん、窒素の除去性を調査した。結果を図６、図７に示す。

本調査時は、台風 11 号の影響で気温が 18.0℃となり、一沈流出水の水温も 24.9℃に低下していたため、返送汚泥率や水温が近い５月調査時の値（気温：22.6℃、水温：22.5℃）を通常時とした。

図６に示すように、高降雨時のりん除去性は 1-1 系、1-2 系ともに低下した。1-1 系の場合、台風による高降雨時は第二無酸素槽でのりん吐出しはないものの、第二沈殿池に至る間に、りん濃度の緩やかな上昇が見られ、第二沈殿池での T-P 濃度は通常時の 0.8mg/L に対し、1.7mg/L と大幅に増加した。1-2 系でも、1-1 系と同様に、第二沈殿池での T-P 濃度は通常時の 1.6mg/L に対し 1.9mg/L と上昇した。

また、表６に示すように、一沈出口に対する第二沈殿池の T-P 除去率で比較すると、1-1 系では通常時の 85%に対して 36%、1-2 系では通常時の 70%に対して 23%となり、高降雨時はりん除去性が大きく低下した。

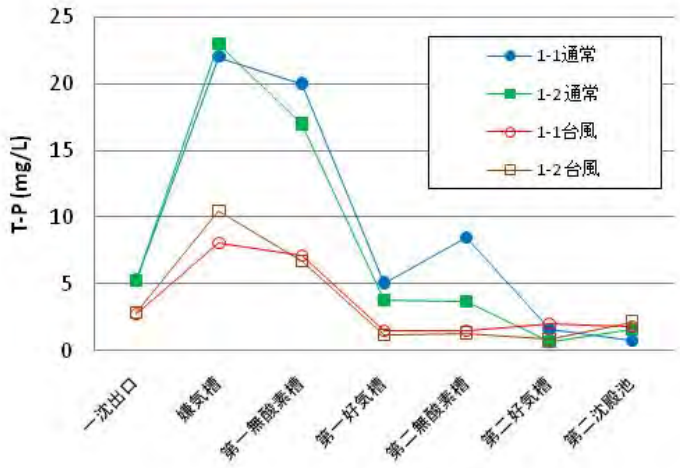


図６　高降雨がりん除去に及ぼす影響（T-P）

表６　一沈出口に対する第二沈殿池の T-P 除去率（%）

	1-1 系	1-2 系
通常時	85	70
台風時	36	23

一方、窒素に関しては、1-1 系、1-2 系ともに台風による高降雨時は、ステップの前段、後段に関わらず、窒素の除去性は低下しており、特に後段で除去性の低下が見られた（図７）。

多摩川上流水再生センターにおける通常時の受水量は約 160,000m^3/日であるが、本調査時の受水量は約 250,000m^3/日であり、通常時の 1.6 倍であった。高降雨時はりん、窒素の除去性が低下することは確認できたが、受水量と処理性の詳細な相関については、今後、降雨時に調査を継続し、検討していく予定である。

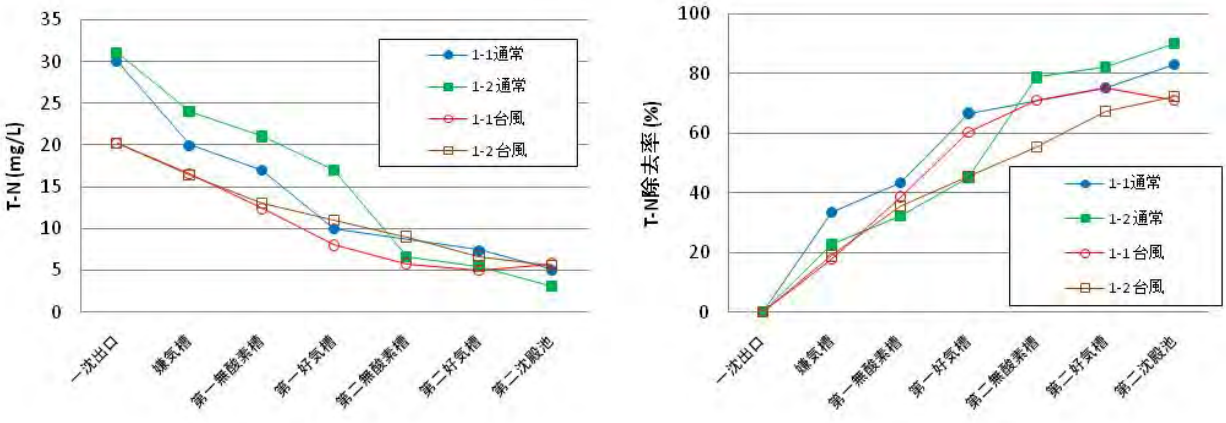


図７　高降雨が窒素除去に及ぼす影響（左図：T-N、右図：T-N 除去率）

4.4　低水温が処理水質に及ぼす影響

一般的に処理性が低下する低水温期の処理性を把握することは重要である。そこで、2 月の低水温期にりん、窒素の除去性を調査した。結果を図８、図９に示す。

本調査時は、降雪があり気温が 3.1℃となり、一沈流出水の水温も 18.8℃に低下していた。

水温の違いが処理性に与える影響を明らかにするため、硝化液循環率が同一である 8 月高水温期の値（気温：28.3℃、水温：25.3℃）を比較対照とした。

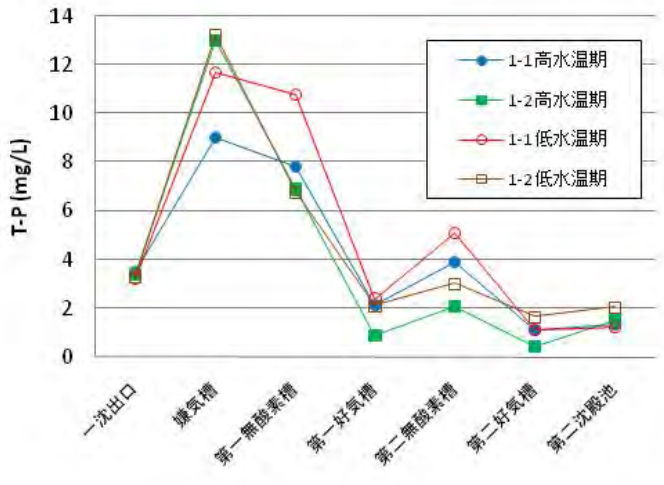


図８　低水温がりん除去に及ぼす影響（T-P）

表７　一沈出口に対する第二沈殿池の T-P 除去率（%）

	1-1 系	1-2 系
高水温期	63	55
低水温期	62	38

図８に示すように、低水温期のりん除去性は低下した。1-1 系、1-2 系ともに、低水温期は第二無酸素槽でのりん吐出しが多くなり、1-2 系では、第二沈殿池に至る間に T-P 濃度があまり低下せず、第二沈殿池での T-P 濃度は高水温期の 1.5mg/L に対し、低水温期は 2.0mg/L と大幅に増加した。1-1 系の場合、第二沈殿池での T-P 濃度は、高水温期の 1.3mg/L に対し低水温期 1.2mg/L と同等であったが、2 月 24 日に実施した第二回目の低水温期調査では、高水温期の 1.3mg/L に対し低水温期 1.6mg/L と T-P 濃度が上昇しており、低水温期はりん除去性が低下することが示唆された。

一方、窒素に関しては、1-1 系、1-2 系ともに低水温期は、ステップの前段、後段に関わらず、窒素の除去性は低下した（図９）。高水温期に比べ、一沈出口の T-N 濃度が低いにも関わらず、二沈での T-N 濃度は高く、窒素除去性は大きく低下した。

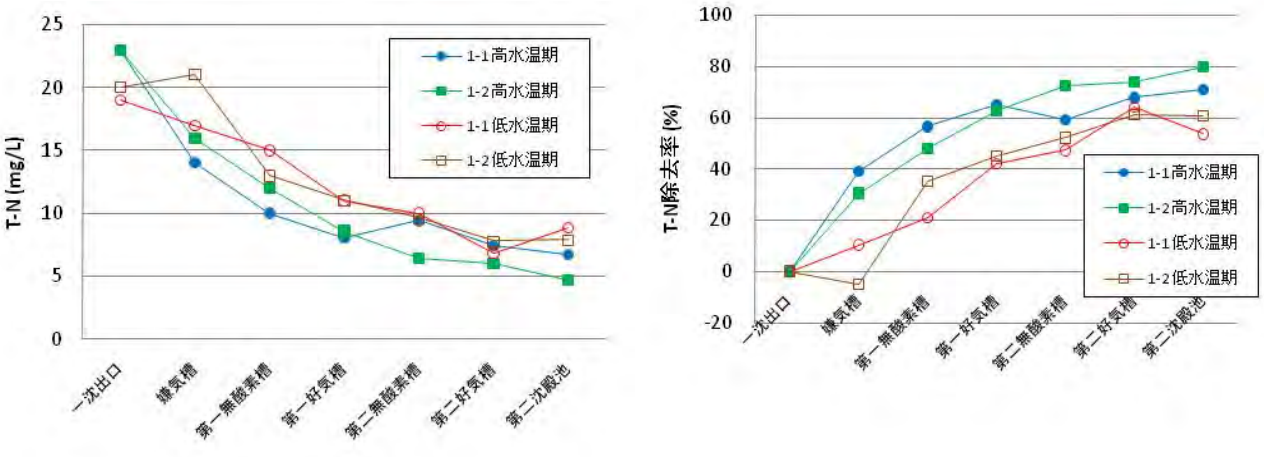


図７　高降雨が窒素除去に及ぼす影響（左図：T-N、右図：T-N 除去率）

多摩西部に位置する多摩川上流水再生センターでは、22 年 2 月の平均気温は 6.3℃、一沈流出水の平均水温は 18.8℃と冬場は温度が大きく低下するため、区部センターに比べ、水温の影響は大きいと考えられる。本調査において、標準活性汚泥法施設同様に、ステップ A_2O 法処理施設においても低水温期はりん、窒素の除去性が低下することが示されたことから、低水温期の運用では、返送汚泥率や反応槽流入水量等の処理条件を適正にするべく、今後、低水温期の運転データを蓄積し、さらに検討していく予定である。

5. まとめ

ステップ A_2O 法処理施設における処理性について、調査の結果以下の知見を得た。

- 返送汚泥率はりんの除去性に影響を及ぼし、返送汚泥率を低下することで、嫌気槽及び第一無酸素槽でのりん吐出しが促進され、りん除去性が向上する可能性が示唆された。
- 反応槽流入水量はりん除去性に影響を及ぼし、反応槽流入水量が減少すると、りん除去性は低下する可能性が示唆された。
- 台風等による高降雨時は、りん、窒素の除去性に影響を及ぼすことが確認されたが、受水量と処理性との相関の把握は今後の課題である。
- 低水温は、りん、窒素の除去性に影響を及ぼし、標準活性汚泥法施設同様に、ステップ A_2O 法処理施設においてもりん、窒素の除去性が低下した。

当センターのステップ A_2O 法処理施設は、平成 20 年 4 月から 1-1 系が、平成 21 年 4 月から 1-2 系が稼働したところであり、収集したデータは未だ少ない。今後は、さらにデータを収集することで、年間を通した最適運転条件の検討を行っていく予定である。

2-(1)-5　制限曝気 A_2O 法による水質改善効果および処理コストの比較

流域下水道本部技術部北多摩二号水再生センター
葛西孝司　池田広数　渡瀬誠司　松下勝一

1　はじめに

2009 年に策定された多摩川・荒川等流域別下水道整備総合計画では、下水処理場の放流水の T-N が 10mg/L、T-P が 0.5mg/L で平成 36 年に達成する目標が定められた。東京都では、従来から高度処理の導入によって放流水の水質改善に取り組んできたが、今後、さらに高度処理の推進が必要である。高度処理施設の整備には、多大な費用と時間を要することに加えて、標準活性汚泥法（標準法）に比べて、処理コストが増大することが多い。

しかし、下水道料金および税収の伸びが期待できない現状では、施設の高度処理化に伴う経費の増大は、できる限り圧縮することが求められる。また、都内で使用される電力のおよそ 1%は、下水処理に使用されており、電力消費量の増大は、CO_2 排出量の増大に直結するため、水質改善のためとはいえ、高度処理化に伴う消費電力の増大を避ける必要がある。特に、東京環境確保条例によって、2010 年度からは、都内事業所での CO_2 排出量の削減が義務化され、水再生センターにおける電力消費量の削減は重要な課題となっている。

高度処理に伴う消費電力の増大は、主として、嫌気槽および無酸素槽に設置する攪拌機動力等によるものである。

このため、高度処理を稼働している多くの施設では、攪拌機の一部停止（間引き運転）および間欠運転によって消費電力の削減を行っている。また、低動力型の攪拌機の導入も進められている。

一方、標準法施設の反応槽前段部分を制限曝気する疑似嫌気好気法によって、嫌気好気法と同様に、りん除去の効果が認められる施設が少なくない。すなわち、攪拌機の代わりに散気板の曝気を制限することで、疑似的に嫌気状態を作ることができる。これを応用して、制限曝気によって嫌気槽と無酸素槽を形成できれば、標準法施設の高度処理化が比較的簡単に行え、加えて、高度処理にかかるコストの中で、攪拌機動力分が削減できることから、CO_2 排出量の増大を抑制することができる。そこで、当センターでは、既存の標準法施設を制限曝気による A_2O 法（以下、制限曝気 A_2O 法と言う。）に改造し、その処理性能と他の処理方式とのコスト比較を行った。

2　制限曝気 A_2O 法への原理

制限曝気による嫌気槽および無酸素槽の形成は、活性汚泥処理での有機物の除去から説明できる。

ビーカー内で、流入下水と活性汚泥（返送汚泥）を混合して、エアレーションしたときの経過時間に対する混合液の酸素利用速度の変化を図 1 に示す。

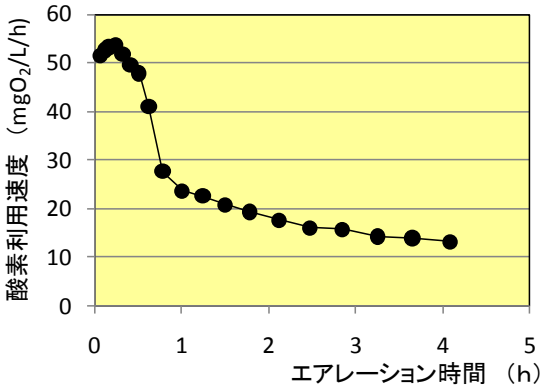


図 1　酸素利用速度の変化

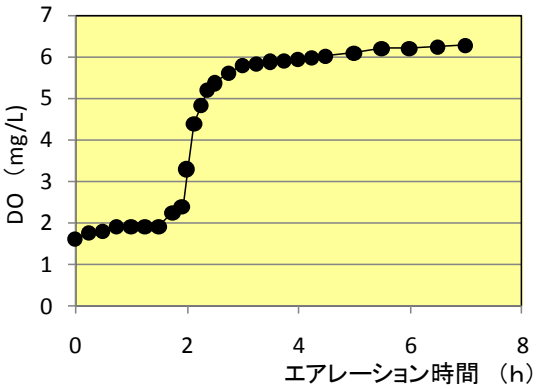


図 2　制限曝気時の DO の変化

また、別の日に、エアレーションの空気量を少なくして、今度は、活性汚泥混合液の DO の変化を調べた結果を図２に示す。図１および図２から、流入下水と返送汚泥を混合してエアレーションを開始すると、その直後は、酸素利用速度が大きいため、制限曝気状態では、DO が上昇しにくいことが分かる。エアレーションを継続すると、ある時間を境に酸素利用速度は急激に低下するため、DO が急上昇する。このときの酸素利用速度の急激な低下は、流入下水に含まれる有機物の中の易分解性有機物が活性汚泥によって吸収分解され枯渇することが原因とされる。すなわち、反応槽入口付近では、活性汚泥混合液の酸素利用速度が制限曝気によって供給される酸素量よりも大きいため、嫌気状態または無酸素状態になることが分かる。実際、本調査では、制限曝気によって供給される空気量は、全体の曝気空気量の数％以下と見積もられ、わずかな空気によって反応槽内での活性汚泥の沈降を抑制しているといえる。

３　制限曝気 A_2O 法への改造

北多摩二号水再生センター水処理施設の概要を図３に示す。

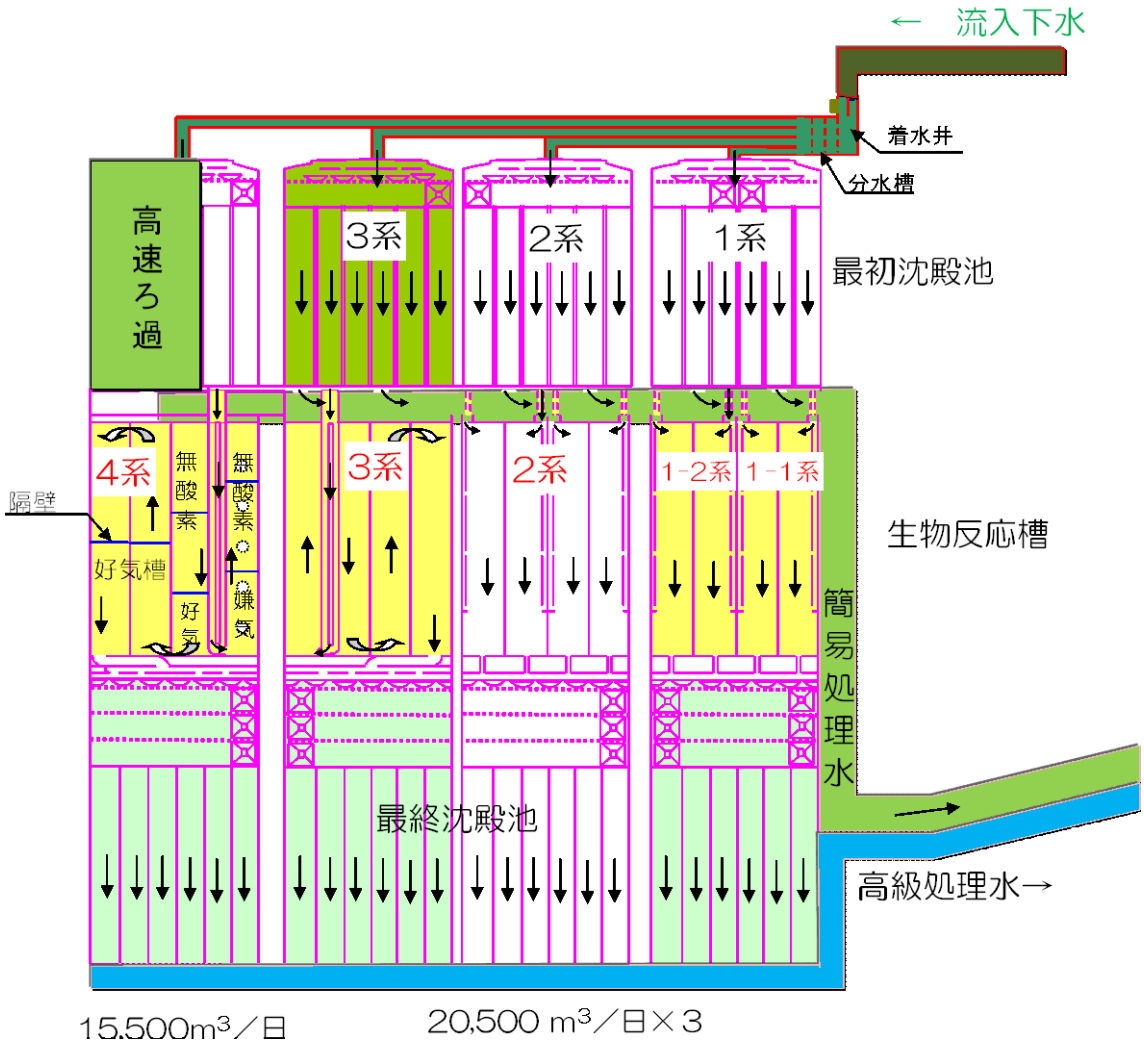


図３　水処理施設の概要図

水処理施設は、標準法３系列（20,500m³/日×3）と A_2O 施設１系列（15,500m³/日）がある。このうち、最初に建設された１系は、１－１系と１－２系の二つに分かれ、それぞれ独立に運転することができるため、制限曝気 A_2O 法の調査を行う施設として、１－１系を制限曝気 A_2O 法に改造し、対照系を反応槽の容積が同じ標準法の１－２系とした。また、４系を A_2O 法の対照系としたが、４系反応槽は、１－１系の２倍の容積である。

当センターは、合流式下水道である。流入下水は、降雨の影響がない状態では、3 系の最初沈殿池のみを使用して、その越流水を各系列の反応槽に分水している。このため、各系列の反応槽流入水は同じものである。

１－１系を標準法から制限曝気への改造したときの概要を図４に示す。

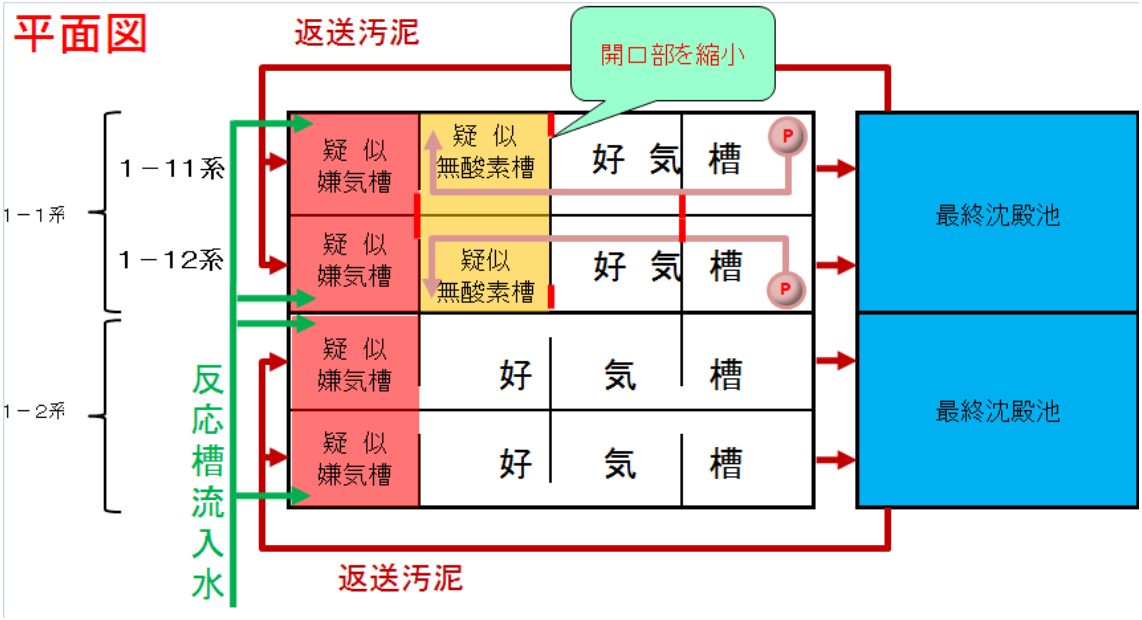


図４　制限曝気 A_2O 法への改造の概要

1 系は、完全混合型の反応槽に 3 枚の隔壁を設置してあり A～D の 4 回路に分離した標準法施設である。1 系は、１－１系および１－２系の反応槽は、ともに 2 水路に分かれているが、2 水路分の活性汚泥混合液が最終沈殿池で合流するため、処理性能を調査するときには 2 水路分同じ条件で運転する必要がある。

１－１系および１－２系の反応槽は、最終沈殿池および返送汚泥ポンプなどが全く同じ状態であることから、運転条件を変えて処理性能を比較することが容易である。

制限曝気 A_2O 法への改造は、反応槽出口付近（D 回路）に水中ポンプを設置して、B 回路に活性汚泥混合液を循環させるための硝化液循環の配管を敷設した。また、反応槽内に設置されている既存の 3 枚の隔壁は、開口部の大きさが２×2.3m で断面積に対する開口率が約 8%と大きいため、逆混合が生じやすい。このため、開口部を縮小してそれぞれの回路での逆流を防ぐようにした。具体的には、嫌気―無酸素槽（A－B 回路間）は、１×0.7m（開口率約１%）に、それ以外の 2 枚は、１×１m（同約 2%）とした。なお、１－２系は、既存のままの２×2.3m である。このことが、標準法の対照系として設定した１－２系の処理性能および処理コストに影響を与えているようである。詳細については、処理性能

および処理コストのところで述べる。また、反応槽および最終沈殿池の大きさが約 2 倍の 4 系を A_2O 法の対照系として、比較することとした。主な施設の改造としては、硝化液循環施設の設置および隔壁開口部の縮小のみで、散気板および返送汚泥ポンプなどは既存のものをそのまま使用した。

調査系および対照系の反応槽の構造および各種ポンプの能力を表 1 に示す。

表 1　各系列の反応槽の構造および各種ポンプの能力

		制限曝気A_2O法 （1－1系）	標準法 （1－2系）	A_2O法 （4系）
反応槽の構造	容積	4，835m^3	4，835m^3	9，310m^3
	幅	6.8m	6.8m	6.8m
	有効水深	7.5m	7.5m	7.5m
	長さ	47.7m	47.7m	47.4m
	池数	2水路	2水路	4回路蛇行
	散気板	336枚×2水路	336枚×2水路	1，100枚(B,C,D回路)
返送汚泥ポンプ		120～200m^3/h 2水路に分配 流量制御のみ可能	120～200m^3/h 2水路に分配 流量制御のみ可能	50～400m^3/h 率制御および 流量制御可能
硝化液循環ポンプ		1-11系:440m^3/h 1-12系:320m^3/h 流量固定	―	1台運転:30～550m^3/h 2台運転:　～900m_3/h 3台運転:　～1000m^3/h

１－１系と１－２系の反応槽は、全く同じ大きさである。これに対して、4 系は容積として約 2 倍の大きさになる。また、4 系の返送汚泥ポンプおよび硝化液循環ポンプの流量は、流入水量に対して、率制御が可能であるが、省エネルギーの観点から、どちらも流量固定で運転している。返送汚泥量は 240m^3/h 程度、硝化液循環量は 900m^3/h 程度で運転している。一方、１－１系の硝化液循環ポンプは同じものが設置されているが、配管の抵抗等によって流量に差が生じている。また、散気板の酸素移動効率は、通気量が多くなるほど低下する傾向がある。制限曝気 A_2O 法化によって曝気空気量が好気槽側に集中するため、結果として、好気槽での酸素移動効率が低下したようである。

4　調査の概要

調査期間は、2009 年 6 月(高水温期)から翌年の 2 月(低水温期)までとした。
試料の採取場所、採取方法、分析項目を表 2 にまとめた。

表 2　試料採取場所、採取方法、分析項目一覧

試料採取場所	採取時刻	採取方法	分析項目
反応槽流入水	11時から1時間ごとに24本採取し、混合	自動採水器	ATU-BOD、T-N、NH_4-N、T-P、PO_4-P
制限曝気A_2O法(1－1系)処理水	11時から翌日11時まで24時間連続で採取	薬注ポンプ	BOD、ATU-BOD、T-N、NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、T-P、PO_4-P
標準法(1－2系)処理水			
A_2O法(4系)処理水			
反応槽B回路(無酸素槽出口)	13時から14時頃	手汲み	硝化速度、脱窒速度

分析用試料は、毎週水曜日の 11 時から翌日の 11 時までを基本に、24 時間分の混合試料を、反応槽流入水、制限曝気 A_2O 法（１－１系）処理水、標準法（１－２系）処理水、A_2O 法（4 系）処理水について、自動採水器または薬注ポンプを用いて採取した。これとは別に、同時期に各系列の B 回路（4 系 A_2O 法では無酸素槽出口）から活性汚泥混合液を採取して、硝化速度および脱窒速度を測定した。

また、処理コストを比較するため、硝化液循環ポンプ、返送汚泥ポンプおよび攪拌機に電力計を設置して消費電力を測定した。

なお、調査期間中、窒素およびりんの除去特性を確認するため、制限曝気 A_2O 法（１－１系）では、処理水量を一時的に増減させた。

曝気空気量の調整は、各系列ともに、DO 制御で行い、DO の設定値は、処理水の NH_4-N の濃度を確認しながら調整した。4 系の A_2O 法施設は、流入水量の時間変動が少ないこと、押し出し流れ構造であることなどから処理水の NH_4-N は比較的安定して低い状況であった。これに対して、１－１系および１－２系では、揚水量の変動を受けやすいこと、反応槽が完全混合型であることなどから時間帯によっては、処理水に NH_4-N が残留しやすい状況であった。なお、12 月から工事等の影響と放流水質の改善のため標準法の対照系である１－２系の運転を停止した。このため、標準法との比較は 6 月から 11 月までの六ヶ月間となったが、処理性能の比較には支障ないと思われる。

調査期間中の各処理方式の運転状況を表 3 に、反応槽流入水質および各系列の処理水質の状況を表 4 に示す。

表 3　調査期間中の運転状況

処理状況			制限曝気A_2O法(1－1系)				標準法(1－2系)				A_2O法(4系)			
			平均	最小	最大	中央値	平均	最小	最大	中央値	平均	最小	最大	中央値
流入水量		(m^3/日)	12,623	5,153	18,856	12,560	13,004	7,465	18,912	12,729	23,271	14,524	28,415	23,000
返送汚泥率		(%)	26	16	57	25	23	15	39	23	25	0	38	26
硝化液循環率		(%)	148	7	355	140	－	－	－	－	82	5	132	84
循環率		(%)	174	23	412	166	23	15	39	23	107	36	164	108
送風比		(倍)	2.9	1.3	4.4	2.9	3.2	1.6	4.4	3.1	3.0	1.6	3.9	2.9
MLSS		(mg/l)	2,020	1,610	2,500	2,000	2,040	1,310	2,630	2,160	1,950	1,430	2,770	1,910
SRT		(日)	10.3	5.0	25.5	9.1	12.2	5.7	36.9	10.1	10.9	6.8	25.5	9.8
ASRT		(日)	5.1	2.5	12.7	4.5	9.1	4.3	27.7	6.9	6.1	3.8	14.4	5.5
HRT	嫌気	(h)	2.3	1.5	5.6	2.3	2.2	1.5	3.9	2.3	0.9	0.7	1.4	0.9
	無酸素	(h)	2.3	1.5	5.6	2.3	－	－	－	－	3.6	2.8	5.4	3.4
	好気	(h)	4.6	3.1	11.3	4.6	6.7	4.6	11.7	6.8	5.7	4.5	8.7	5.5
	全体	(h)	9.2	6.2	22.5	9.2	8.9	6.1	15.5	9.1	9.6	7.9	15.4	9.7

制限曝気による

表 4　反応槽流入水および各処理方式での処理水質

		反応槽流入水				1－1系				1－2系				4系			
		平均	最大	最小	中央値	平均	最大	最小	中央値	平均	最大	最小	中央値	平均	最大	最小	中央値
BOD	(mg/l)	116	176	50	107	5	11	1	4	2	4	1	2	4	7	1	4
ATU-BOD	(mg/l)	89	114	39	89	1	4	0	1	1	1	0	1	2	3	1	2
溶存態ATU-BOD	(mg/l)	35	51	13	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T-N	(mg/l)	23	27	10	24	6.9	9.2	3.6	7.0	9.1	11.0	6.4	9.2	7.2	9.1	5.4	7.3
NH_4-N	(mg/l)	16	20	7	16	1.4	4.7	0.0	1.1	0.6	4.9	0.0	0.2	0.4	1.5	0.0	0.3
T-P	(mg/l)	3.6	5.2	1.6	3.4	1.07	4.29	0.26	0.86	1.23	2.58	0.11	1.14	0.64	1.84	0.24	0.52
PO_4-P	(mg/l)	2.2	3.5	0.9	2.2	0.74	1.76	0.12	0.6	1.13	2.73	0.07	0.8	0.39	1.79	0.05	0.34

５　調査の結果

５．１　余剰汚泥の発生量

調査の結果から、処理性能の評価にあたって、余剰汚泥の発生量が T-N、T-P の除去性能に大きな影響を与えていることが分かったので、最初に余剰汚泥発生量について記述する。施設の設計では、余剰汚泥発生量は、流入水の SS および溶解性 BOD などから計算するようになっている。下水道施設計画・設計指針とその解説に記述されている余剰汚泥発生量の計算式を式 1 に示す。

余剰汚泥発生量（kg/日）＝流入水量(m³/日)×｛a ×溶解性 BOD(mg/L)＋ b ×SS(mg/L)｝－ c × MLSS(mg/L)×好気槽容積(m³)　　式 1

ここで、 a ：溶解性 BOD の汚泥転換率　（0.4～0.6　g MLSS/gs-BOD）

b ：SS に対する汚泥転換率　（0.9～1　：　g MLSS/ g SS）

c ：汚泥の自己分解による減少速度（0.03～0.05　：　1/日）

式 1 は、汚泥の発生源を流入水の溶解性 BOD および SS で、汚泥の減少量を自己分解する割合で表現している。水処理の原理から、様々な処理方式に当てはまる式であるが、一方で、 a ， b ， c の係数が余剰汚泥発生量の予測に大きく影響しているため、これらの係数の設定が重要になる。本調査の結果から、余剰汚泥発生量は、BOD 負荷量によってきまることが分かった。制限曝気 A_2O 法での実績を図 5 に、A_2O 法のそれを図 6 に示す。

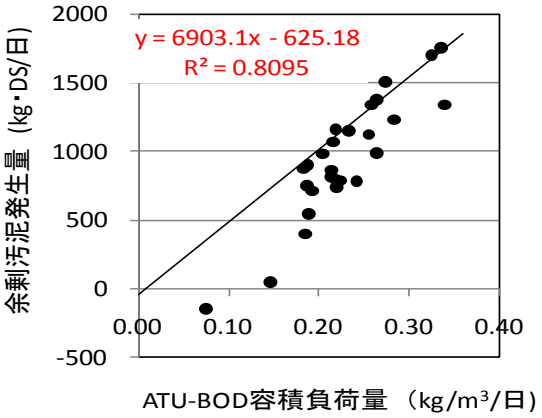


図５　BOD 負荷量と余剰汚泥発生量の関係（制限曝気 A_2O 法）

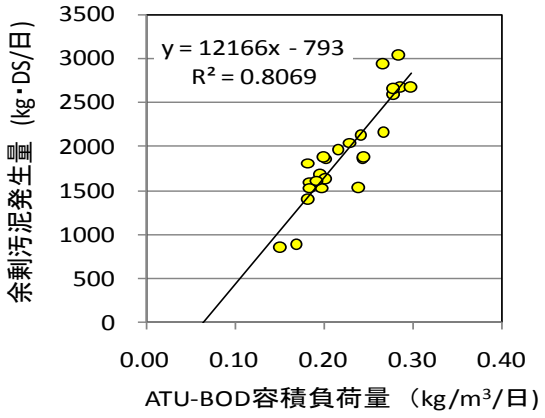


図６　BOD 負荷量と余剰汚泥発生量の関係（A_2O 法）

どちらも ATU-BOD 容積負荷量と余剰汚泥発生量の相関が高く、流入水の BOD と処理水量から余剰汚泥発生量が計算できることが分かる。ここで、他の施設にも適用できるよう縦軸を槽容積 1m³ 当たりの余剰汚泥発生量に変換する。制限曝気 A_2O 法と A_2O 法の両データをプロットしたのが、図 7 である。

制限曝気 A_2O 法、A_2O 法ともに、同一の近似線上に並んでいることから、余剰汚泥発生量は、ATU-BOD 容積負荷量から予測することができる。また、この近似線から、ATU-BOD 容積負荷が約 0.08kg/m³/日以下では余剰汚泥が発生せず、それ以上の負荷では直線的に増大することが分

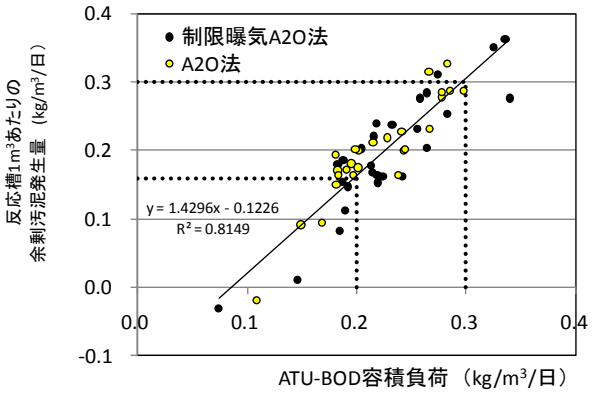


図７　ATU-BOD 容積負荷と反応槽 1m³ あたりの余剰汚泥発生量の関係

かる。すなわち、ATU-BOD 容積負荷を上げた運転では、処理水量当たりの余剰汚泥発生量が増大することになる。A_2O 法施設の設計水量では、BOD 容積負荷は、0.2kg/m³/日程度になる。これに対して、1.5 倍程度の 0.3 kg/m³/日での運転では、余剰汚泥発生量は、約 1.9 倍となる。また、単位処理水量あたりの余剰汚泥発生量は、27%ほど多くなる。見方を変えると、この余剰汚泥発生量の増大によって T-N 除去率および T-P 除去率の向上が見込めるといえる。

５．２　りんの除去性能

反応槽内で除去されたりんは、余剰汚泥として系外に排除されることから、余剰汚泥発生量が多くなるほど、りん除去には有利といえる。余剰汚泥の発生量は、ATU-BOD 容積負荷と相関が高いことから、りん除去について、同様に、ATU-BOD 容積負荷と T-P 除去量の関係を図 8 および 9 に示す。

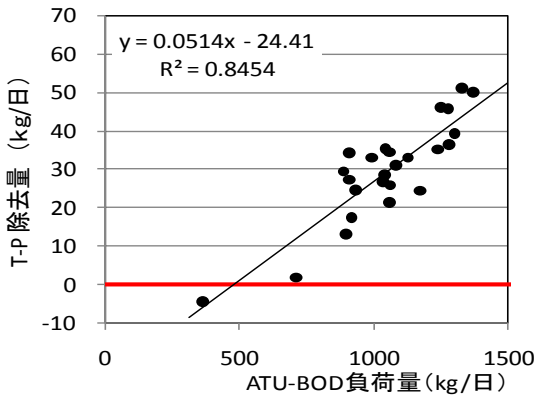


図８　BOD 負荷量と T-P 除去量の関係
（制限曝気 A_2O 法）

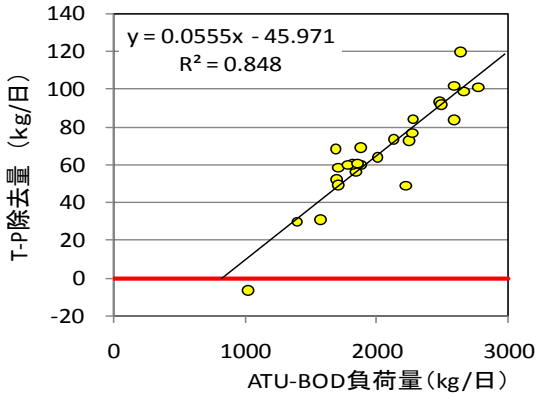


図９　BOD 負荷量と T-P 除去量の関係
（A_2O 法）

制限曝気 A_2O 法と A_2O 法では、反応槽容積が異なるため、上記２つの図を同一条件で比較する。ここでも、他の施設にも適用できるよう縦軸を反応槽 1m³ 当たりのりん除去量で変換したものを図 10 に示す。

制限曝気 A_2O 法と A_2O 法ともに、一つの近似線付近に点が集まっており、両者には、りん除去の性能に大きな差がないといえる。また、図 10 に示した近似線を用いて、ATU-BOD 容積負荷量から T-P の除去量を予測することができる。この近似線は、原点を通過せず、ATU-BOD 容積負荷が一定レベル以上にならないと、りんの放出を引き起こすことが分かる。これは、先の余剰汚泥発生量のところで示した状況と一致する。りんが除去されないこの領域は、活性汚泥が解体する状態と考えられる。

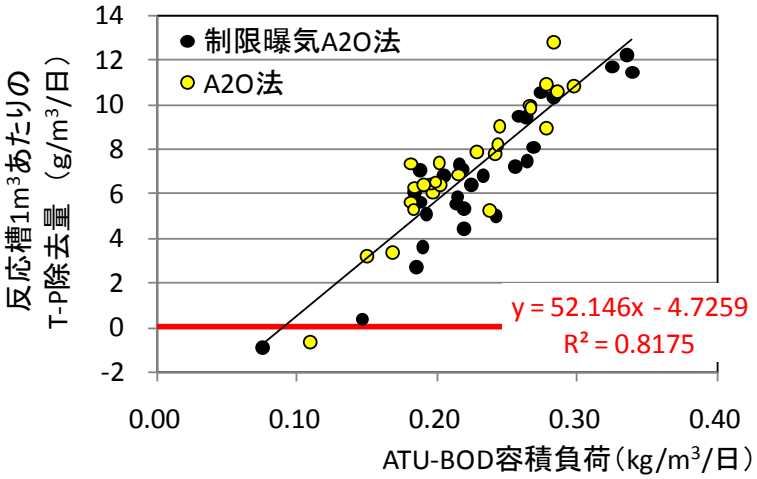


図１０　BOD 容積負荷量と反応槽 1m³ あたりの T-P 除去量の関係

図 10 で、ATU-BOD 容積負荷を上げるほど反応槽 1m³ 当たりの T-P 除去量が上昇することから、一定レベル以上の ATU-BOD 容積負荷で運転することで、りん除去の安定化が望めると考えられる。このことを図 11 に示す。

りん除去量の近似線（実線）は制限曝気 A_2O 法および A_2O 法双方のデータを合わせて得られた ATU-BOD 容積負荷量に対する反応槽 1m³ 当たりの T-P 除去量との関係を示している。りんの流入量（破線）は反応槽流入水の ATU-BOD を 100mg/L、T-P を 3.5mg/L と仮定して、BOD 容積負荷を 0～0.4kg/m³/日にまで変化させたときの反応槽 1m³ 当たりの T-P 流入量との関係を示している。りん除去量の近似線（実線）は原点を通過せず、りんの流入量（破線）よりも傾きが大きいため、一定レベル（図 11 では、BOD 容積負荷量で 0.28kg/m³/日）で交わる。BOD 容積負荷がこれ以上の運転では、『りん除去量』　≧　『りんの流入量』となるため、りん除去が安定すると考えられる。なお、りん除去近似線は、降雨時等のデータが含まれているため、分流式の処理場および降雨の影響のないときの合流式の処理場では、T-P 除去量は若干上昇するようである。原理的には、処理水量を増大させ、BOD 容積負荷の高い運転を行うことで、処理水のりんが安定するといえる。

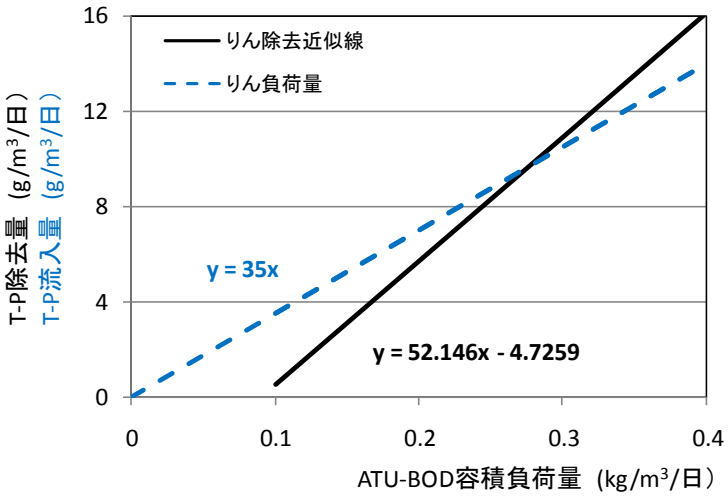


図 11　反応槽容積当たりの ATU-BOD 負荷量とりん除去の関係

５．３　窒素の除去性能

窒素の除去性能を比較するため、本調査では、反応槽以降の窒素の収支を確認した。図 12 にそれを示す。

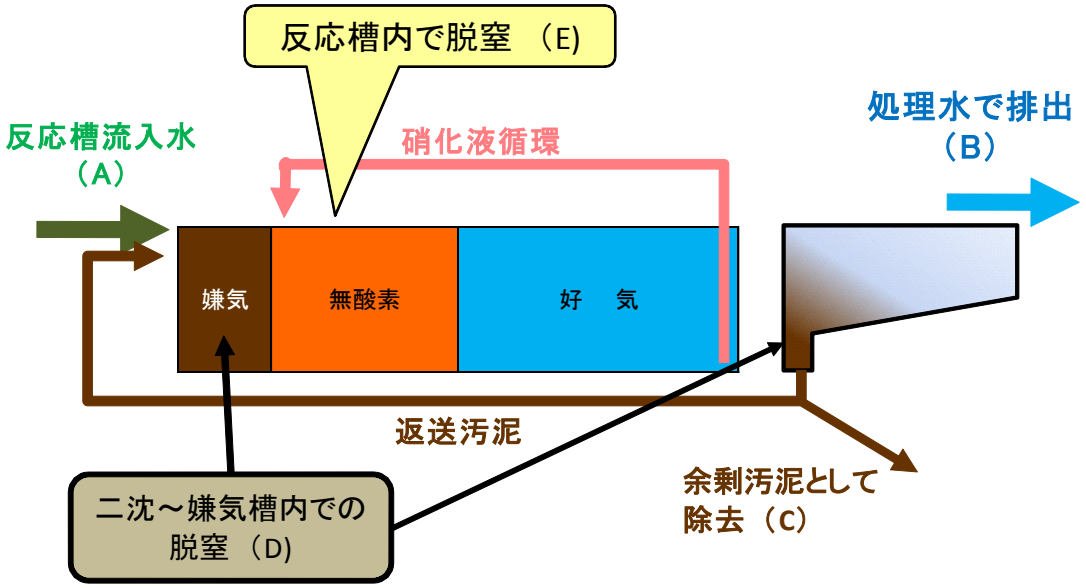


図 12　反応槽以降の窒素の収支

反応槽に流入した窒素（A）は、処理水（B）として排出されるもの、余剰汚泥として除去（C）されるもの、二沈から返送汚泥管を経由して嫌気槽までの間で脱窒（D）されるもの、硝化液循環等によって反応槽内で硝化・脱窒（E）されるものに分類できる。これらは、次の式 2～式 7 によって計算で求めた。

反応槽への流入窒素量（A）＝反応槽流入水 T-N(mg/L)×処理水量(m³/日)　　式 2

処理水での排出量（B）＝処理水 T-N(mg/L)×処理水量(m³/日)　　式 3

余剰汚泥による除去量（C）

＝余剰汚泥発生量（kg/日）×汚泥中の窒素濃度（%）／１００　　式 4

ここで、余剰汚泥発生量（kg/日）

$$= \frac{\{\text{反応槽流入水T-P(mg/L)} - \text{処理水T-P(mg/L)}\} \times \text{処理水量(m3/日)}}{\text{汚泥中のりん濃度（\%）}} \times １００$$

式 5

二沈～嫌気槽内での脱窒量（D）

＝処理水 NO_2-N＋NO_3-N（mg/L）×返送汚泥量(m³/日)　　式 6

反応槽内での脱窒量（E）＝A－B―C－D　　式 7

余剰汚泥による窒素の除去量は、余剰汚泥量（m³/日）と余剰汚泥濃度（%）から算出されることが多いが、余剰汚泥濃度が大きく変動する施設では、誤差が大きくなる。また、余剰汚泥量の日変動が大きくなると、同様に、誤差が大きくなる。このため、本調査では、まず、反応槽以降でのりんの収支から余剰汚泥として排除されるりんの量を求め、汚泥中のりん濃度から余剰汚泥の固形物量を計算したうえで、今度は、汚泥中の窒素濃度をかけることで余剰汚泥によって排除される窒素量を求めることとした。生物学的窒素りん同時除去法では、この方法がより正確に算出できると考えられる。

調査期間中の反応槽以降での窒素収支の平均値を図 13 で比較する。

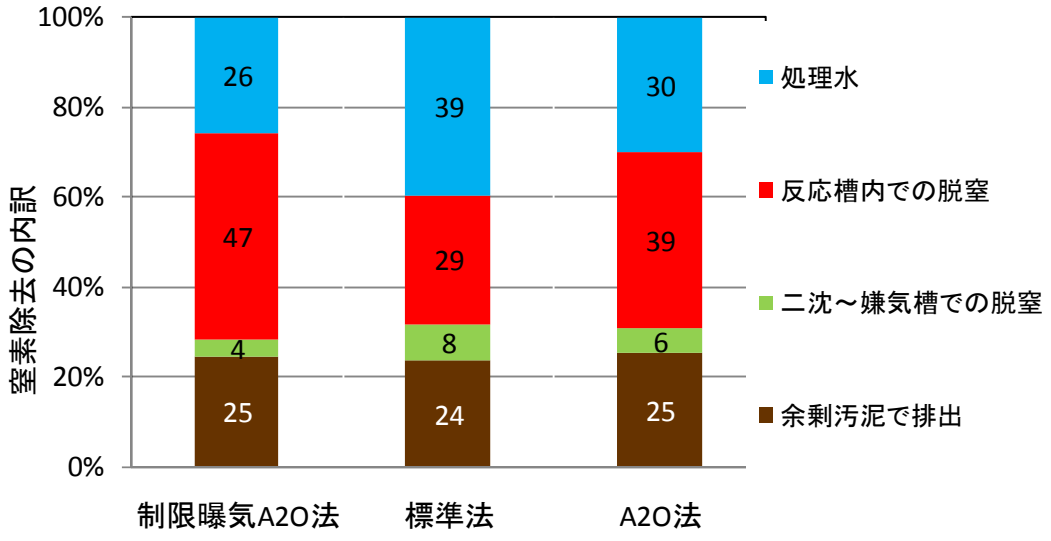


図 13　処理方式別窒素収支の比較

図 13 では、100%の値から処理水の割合分を引いた値が各処理方式での T-N 除去率の平均値に相当する。制限曝気 A_2O の T-N 除去率が最も高く、74%であった。A_2O 法では 70%であったが、この差は、硝化液循環率の違いによるものである（硝化液循環率：制限曝気 A_2O 法が約 150%、A_2O 法が 80%）。A_2O 法は 2 台の硝化液循環ポンプで 100%の能力で運転はしているものの、窒素除去の能力に対して循環量が不足していると考えられるが、基本的には、制限曝気 A2O 法と A2O 法で窒素除去に差はないと考えられる。

余剰汚泥発生量のところで述べたように、ATU-BOD 容積負荷と余剰汚泥発生量は、正の相関が高い。ATU-BOD 容積負荷量と余剰汚泥による T-N 除去率の関係を図 14 および図 15 に示す。

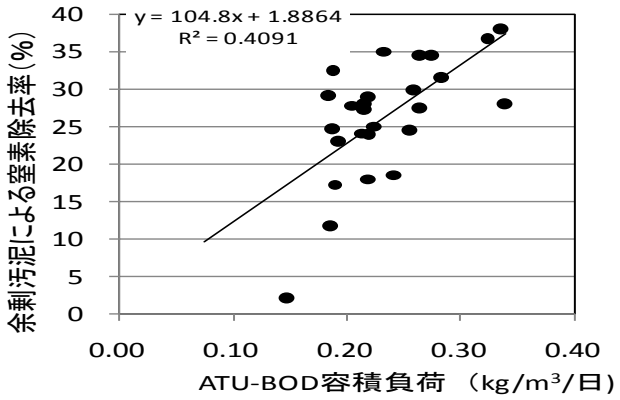


図 14　BOD 容積負荷量と余剰汚泥による T-N 除去率の関係（制限曝気 A_2O 法）

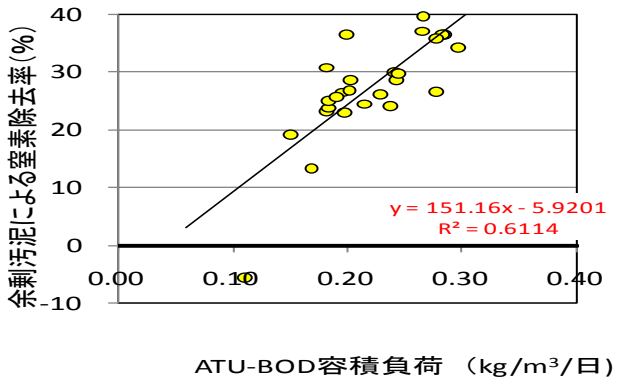


図 15　BOD 容積負荷量と余剰汚泥による T-N 除去率の関係（A_2O 法）

ATU-BOD 容積負荷が高くなるほど余剰汚泥による T-N 除去率が上昇する傾向がみられる。制限曝気 A_2O 法、A_2O 法ともに余剰汚泥による T-N 除去率は最大で 4 割程度にまで上昇し、ATU-BOD 容積負荷の高い運転が T-N 除去率の向上につながると考えられる。

一方、反応槽内での硝化・脱窒による T-N 除去率では、水温の影響を受けやすいことが確認できた。結果を図 16 および図 17 に示す。

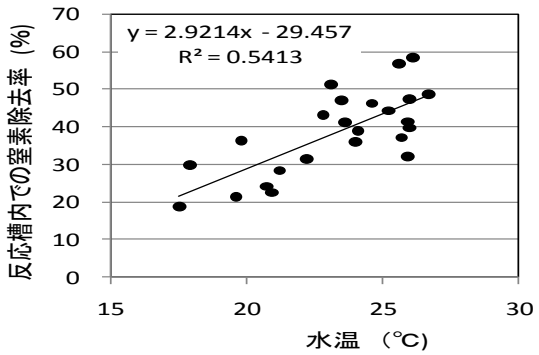


図 16　水温と反応槽内での T-N 除去率（制限曝気 A_2O 法）

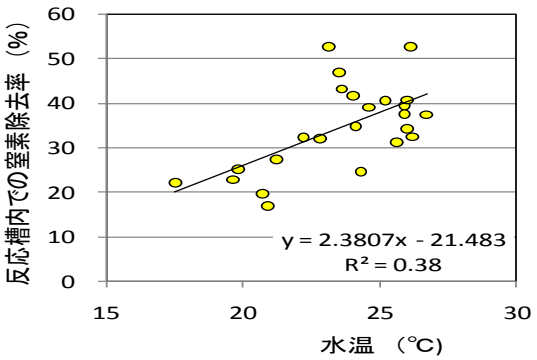


図 17　水温と反応槽内での T-N 除去率（A_2O 法）

反応槽内での硝化・脱窒による窒素除去率は、水温によって、20～60%と大きく変化している。つづいて、水温と全体での T-N 除去率の関係を図 18 および図 19 に示す。

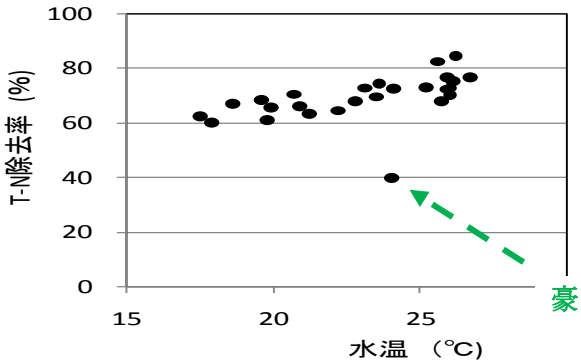


図 18　水温と T-N 除去率との関係（制限曝気 A_2O 法）

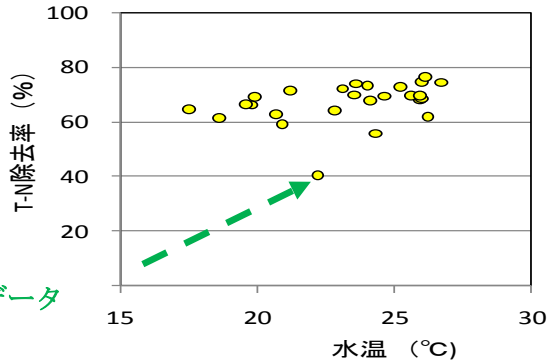


図 19　水温と T-N 除去率との関係（A_2O 法）

高水温期と低水温期の T-N 除去率の差は 20 ポイント程度で、反応槽内での硝化・脱窒による除去率の差の半分以下になっている。これは、水温の低い時期には、BOD 容積負荷の高い運転によって余剰汚泥による T-N 除去率が 40%近くに達したためである。すなわち、BOD 容積負荷の高い運転によって、反応槽内での硝化・脱窒による T-N 除去率の低下を補っていたといえる。

５．４　BOD 容積負荷の上限値

これまでの結果から、BOD 容積負荷の高い運転によって、余剰汚泥発生量を増大させることで、T-N および T-P 除去が改善されることが分かった。しかし、余剰汚泥発生量の増大は、ASRT の短縮につながる。低水温期には、硝化を維持するために、一定レベル以上の ASRT の確保が必要になるため注意が必要である。硝化に必要な ASRT は、次の 2 種類の計算式が使用されている。

好気槽前半部の DO が 1mg/L 以上のとき

硝化に必要な ASRT＝δ・11.0ｅｘｐ（-0.0525T）　　（式 8）

それ以外のとき

硝化に必要な ASRT＝δ・20.65ｅｘｐ（-0.0639T）　　（式 9）

ここで、δ：負荷変動に対する補正係数

当センターにおいて、平成 22 年 2 月の放流水の月平均水温は 18℃であったことから、硝化に必要な ASRT は、δを 1 とすると、式 8 で 4.3 日、式 9 で 6.5 日となる。なお、A_2O 法では、反応槽出口付近において DO が 1mg/L 前後であることから、式 9 が当てはまるが、調査期間中、硝化に不具合は見られず、かつ、次に示す ASRT の実績値で 3～4 日のデータが少なくないことから、式 8 が適用できるといえる。調査期間中の ASRT の実績値を図 20 および図 21 に示す。

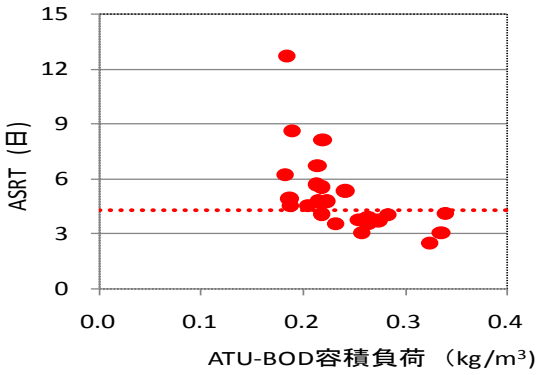


図 20　BOD 容積負荷と ASRT の関係
（制限曝気 A_2O 法）

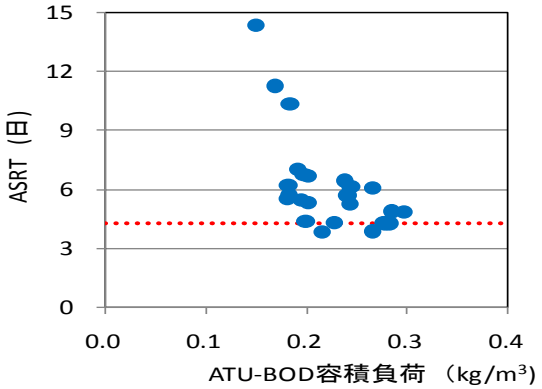


図 21　BOD 容積負荷と ASRT の関係
（A_2O 法）

MLSS をどの程度で運転するかによって、ASRT も変わってくるが、調査期間中の実績では、図 18 および図 19 の状況であった。両者の結果から、水温 18℃で ASRT4.3 日以上をキープするためには、ATU-BOD 容積負荷としては、0.3kg/m³ 程度以下とみられる。このときの BOD-SS 負荷の実績値としては、0.14kg/kgMLSS/日であり、A_2O 法の設計時に用いられる 0.05～0.1 kg/kgMLSS/日に比べて、4 割以上高い負荷であった。（通常、0.08 kg/kgMLSS/日が用いられることが多いので、それに比べると 75%増になる。）ここで示した負荷量は、低水温期のもので、水温が高い時期には、さらに高負荷の運転によって安定した処理水質が得られるといえるが、この場合、最終沈殿池での固液分離の状態で処理水量が制限されことが多くなると予想される。また、好気槽での酸素供給量の限界によって BOD 容積負荷の上限が決まる可能性も考えられる。当センターの A_2O 法がこの状態である。設計水量の 1.5 倍で運転していることから、BOD、NH_4-N の比較的高い時間帯の水を処理している夕方の数時間には、曝

気空気量が能力の 100%近い状態が続いており、この状況では、BOD 容積負荷の上限は 0.3 kg/m³ となっていた。

５．５　コストの比較

コストの比較として反応槽を改造する場合の建設コスト（イニシャルコスト）と処理コスト（ランニングコスト）の２つについて、制限曝気 A_2O 法、A_2O 法、標準法を比較した。結果を図 22 および図 23 に示す。

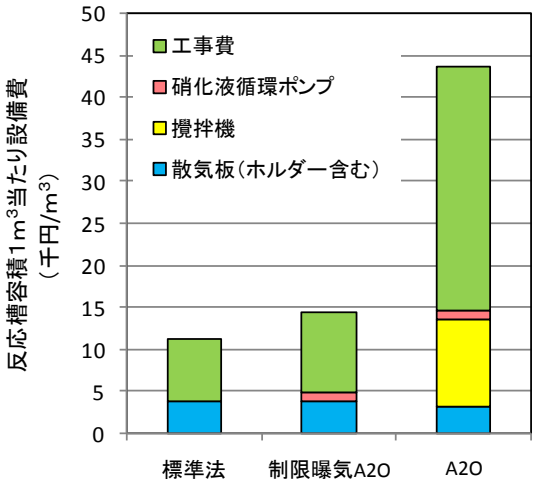


図 22　イニシャルコストの比較

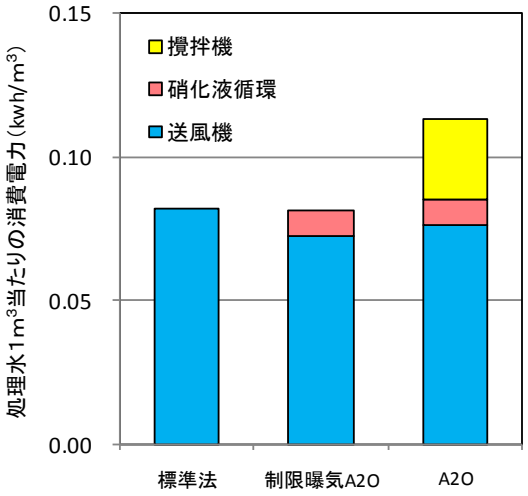


図 23　ランニングコストの比較

コスト試算の結果から、制限曝気 A_2O 法は、標準法に比べるとイニシャルコストがやや高くなるが、ランニングコストでは、同程度であった。なお、標準法のランニングコストのデータは、１－２系の実績値を使用しているが、１－２系の反応槽は完全混合型であり、反応槽内において硝化・脱窒が進行していることが確認された。脱窒反応によって BOD の分解も進行することから、脱窒率が高くなるほど、必要酸素量は低下する。したがって、１－２系の送風機電力は押し出し流れ型の反応槽に比べ低いと考えられる。逆に、押し出し流れ型の反応槽を制限曝気 A_2O 法に改造することで、水質向上に加えて、処理コストの削減が期待できる。

６　まとめ

制限曝気 A_2O 法の性能とコストについて調査して以下の結論を得た。

- T-N、T-P の除去性能は、A_2O 法と同程度である。
- イニシャルコストでは、標準法よりやや高くなるが、ランニングコストでは、標準法と同程度以下である。
- ATU-BOD 容積負荷で 0.3kg/m³/日程度での運転が最適と考えられる。
- ATU-BOD 容積負荷から、除去される T-P 量を予測することができる。
- 反応槽流入水の ATU-BOD および T-P 濃度から、適正な処理水量を求めることができる。

追　記

本調査の結果を踏まえて、既存の A_2O 法の無酸素槽に設置されている水中エアレータ 4 台について、撹拌を停止し、ごくわずかに送気する（処理水 1 m³ あたりで 0.04Nm³ 程度）ことで、処理水質に影響なく消費電力の大幅な削減が可能となった。今後は、これらの技術を活用して、放流水質の改善と省エネ化を両立していく予定である。

2-(2)-1　伏越し施設の改善技術に関する調査

計画調整部　技術開発課　岡本　順

１．はじめに

現在、区部下水道の伏越し施設は 1400 箇所以上に及んでいる。合流式下水道の伏越し施設は、晴天時は流量が少ないため、汚水の滞留や泥の堆積により臭気が発生したり、嫌気的環境が硫化水素の発生を誘発し、コンクリート躯体の硫酸腐食を引き起こしやすい。また、雨天時には伏越し内の堆積物が流出することによって、公共用水域への放流負荷を増加させることがある。これら問題の抜本的解決のために、伏越し構造の解消が求められるが、地上構造物や埋設物の状況等のため、解消が困難な場合が多い。

一方、平成 21 年度中に当局に寄せられた「お客様の声」のうち、その 7 割が臭気に関する苦情であった。雨桝からの臭気等当局施設以外に関するものがほとんどであるものの、都民の臭気対策への要望は強い。

このことから、伏越し施設の改善の一環として、伏越し臭気に特化した調査を行った。

具体的には、都内の臭気発生が顕著な伏越しを抽出し、既存資料から構造的、水理的特徴を整理した。また、臭気が顕著な伏越しを対象に現地調査を実施して、伏越しにおける臭気発生のメカニズムを考察した。

２．既存資料調査

（１）検討対象伏越しの抽出

伏越し調書の分析、出張所への維持管理状況ヒアリング、伏越し清掃受託業者へのヒアリングをもとに、「スカム」等の蓄積が顕著な 18 箇所の伏越し施設を抽出した。

抽出した伏越し施設の一覧を表-1 に示す。

表-1　抽出した伏越し施設一覧

番号	伏越台帳	場所 上流	場所 下流	集水面積 (ha)	最大管径 (mm) 流入 幅・径 ×	最大管径 (mm) 伏越 幅・径 × 高さ × 条	最大管径 (mm) 流出 幅・径 ×	線路延長 (m)	人孔形状 (cm) 上流 縦・径 × 横	人孔形状 (cm) 下流 縦・径 × 横
1	中 - 港 - 23	港区西新橋3-24	港区芝公園3-2	8.17	◎ 1,100	◎ 682	◎ 379	16.25	不明	□ 180 × 180
2	中 - 港 - 84	港区浜松町1-27	港区浜松町2-1	3.24	◎ 1,200	◎ 1,260	◎ 1,260	90.00	□ 315 × 385	□ 200 × 180
3	北1 - 荒 - 3	荒川区東尾久8-25	荒川区東尾久8-25	104.23	◎ 1,800	◎ 1,000	◎ 1,000	13.81	□ 165 × 165	□ 90 × 100
	北1 - 荒 - 4	荒川区東尾久8-25	荒川区東尾久8-25		◎ 1,000	□ 800 × 1,000	◎ 1,000	7.60	□ 100 × 100	□ 100 × 130
4	北1 - 荒 - 21	荒川区荒川3-75	荒川区荒川3-75	1.47	◎ 380	◎ 380	◎ 520	6.30	¢ 90	¢ 120
5	北1 - 豊 - 1	豊島区千早4-9	豊島区千早4-9	0.92	◎ 400	◎ 670	◎ 600	17.20	¢ 120	¢ 120
6	北1 - 文 - 4	文京区目白台1-1	文京区目白台1-1	28.90	◎ 1,200	◎ 900 × 2	◎ 900	30.10	160 × 200	160 × 200
7	北2 - 北 - 27	北区赤羽西1-4	北区赤羽西1-4	0.57	◎ 500	◎ 500	◎ 600	6.85	□ 100 × 100	□ 100 × 140
8	北2 - 足 - 19	足立区新田1-11	足立区新田1-11	14.75	◎ 1,500	◎ 1,500	◎ 1,500	46.00	□ 230 × 455	□ 300 × 470
9	東2 - 葛 - 5	葛飾区堀切7-13	葛飾区堀切7-14	1.10	◎ 450	◎ 740	◎ 600	10.30	¢ 150	¢ 150
10	東2 - 葛 - 6	葛飾区堀切7-22	葛飾区堀切7-21	0.91	◎ 450	◎ 740	◎ 500	14.00	¢ 150	¢ 150
11	東2 - 葛 - 8	葛飾区青戸4-3	葛飾区青戸4-6	2.64	◎ 800	◎ 700	◎ 900	24.00	□ 180 × 465	□ 180 × 180
12	西1 - 杉 - 13	杉並区成田西4-1	杉並区成田西4-1	19.67	◎ 1,000	◎ 300	◎ 250	31.90	図面参照	¢ 120
13	西1 - 杉 - 15	杉並区高井戸東4-8	杉並区高井戸東4-8	2.26	◎ 700	◎ 670	◎ 700	21.60	¢ 120	¢ 120
14	西2 - 板N - 117	板橋区蓮根1-1	板橋区蓮根1-1	4.07	◎ 800	◎ 870	◎ 1,000	23.00	□ 150 × 400	□ 180 × 385
15	南 - 目 - 1	目黒区駒場3-8	目黒区駒場2-2	25.37	◎ 1,200	◎ 1,260	◎ 1,500	26.50	□ 180 × 610	□ 180 × 590
16	南 - 目 - 25	目黒区目黒本町4-13	目黒区目黒本町2-2	3.71	◎ 700	◎ 700	◎ 700	15.00	¢ 200	¢ 200
17	南 - 目 - 40	目黒区東山2-24	目黒区東山3-24	5.45	◎ 700	◎ 800	◎ 800	12.10	□ 160 × 340	¢ 150
18	南 - 世 - S34	世田谷区中町4-32	世田谷区中町3-28	4.44	◎ 300	◎ 300 × 2	◎ 350	23.80	□ 190 × 200	□ 190 × 200

抽出した伏越しについて、臭気発生に関連する清掃回数、晴天時流速、人孔構造の 4 点について整理を行った。

1）清掃回数

伏越し施設は構造上、スカムや土砂が蓄積しやすく、定期的な清掃が必要である。抽出した 18 箇所の伏越し人孔について、3 年以上清掃が行われていない伏越しを抽出した。その結果、4 箇所が該当した。

2）流　速

臭気の原因と考えられるスカムや土砂の堆積を防ぐためには、晴天時にも堆積物等が下流へ掃流されるような伏越し管きょ内の流速を確保できる流量が必要である。そこで、晴天時流量による流速を計算し、スカムおよび堆積物を掃流できる流速に達するか検討した。

平成 9 年度「西部管理事務所管内伏越し施設土砂堆積調査委託」によると、晴天時人孔内流速が 0.1m/s 以上計測された地点においては、スカムの堆積がほとんど見られないという報告がある。また、平成 16 年度「伏越し施設改善調査マニュアル（案)」では、スカムや土砂の比重をもとに堆積を防ぐための必要掃流速を算出しており、スカムを流すために必要な流速は 0.25m/s 以上であるとしている。一方、土砂に関しては、流速を 0.33m/s 以上確保することで粒径 0.425mm 以下の細砂を流すことが可能であり、これは堆積土砂質量の 28.6%に相当すると報告されている。

以上より、ここではスカムの堆積を防ぐための流速を、0.1m/s（実態)、0.25m/s（理論）と設定し、抽出した伏越し施設の晴天時流速、雨天時流速がこれらに達するか比較した。

なお、晴天時流速は、流量表において時間最大汚水量のみによって算出した。ここで、

管きょの設計では、伏越し管内の流速は水勢によって土砂や汚泥の堆積を防止するため、断面を縮小して上流管きょでの流速の 20～30%増としている。しかし、合流式の場合、時間最大汚水量に計画降雨量（50mm/h）を加えた水量で流量計算を実施して必要断面を決めており、晴天時時間最大汚水量による計算は行っていない。このため、設計段階では晴天時時間最大汚水量により発生する流速が土砂堆積を引き起こす流速を超えるかどうかの検討は行っていない。

計算結果を表-2 に示す。抽出した 18 箇所の伏越しのうち 17 箇所で時間最大汚水量の水が流れた場合に発生する流速が 0.1m/s に達していない。このため、晴天時はスカムが堆積していくものと考えられる。一方で、50mm/ｈの降雨に対しては、全ての伏越しで 0.25 m/ｓを超えており、スカムは堆積しないと考えられる。

３）人孔形状

伏越し人孔形状が矩形であると、人孔の隅角部に汚水が滞留し易くスカムが蓄積しやすいと推察される。このため、構造図から人孔形状を調査した。その結果、全 18 箇所のうち、13 箇所の人孔が矩形であった。

以上の検討の結果を表-2 に示す。

表から、全ての伏越しが複数の要因を抱えている。

表－２　既存資料調査結果

番号	伏越台帳	(1)	(2)		(3)
		清掃が3年以上未実施である	晴天時の流速が0.10m/sに満たない。	雨天時でも流速が0.25m/sに満たない。	伏越し上流人孔が矩形である
1	中 - 港 - 23	○	○		○
2	中 - 港 - 84		○		○
3	北1 - 荒 - 3		○		○
	北1 - 荒 - 4		○		○
4	北1 - 荒 - 21	○	○		
5	北1 - 豊 - 1		○		
6	北1 - 文 - 4	○	○		○
7	北2 - 北 - 27		○		○
8	北2 - 足 - 19	○	○		○
9	東2 - 葛 - 5		○		
10	東2 - 葛 - 6		○		
11	東2 - 葛 - 8		○		○
12	西1 - 杉 - 13		○		○
13	西1 - 杉 - 15		○		
14	西2 - 板N - 117	○	○		○
15	南 - 目 - 1		○		○
16	南 - 目 - 25		○		
17	南 - 目 - 40	○	○		○
18	南 - 世 - S34	○			○

３．現地調査

（１）調査内容

表-１の伏越しのうち、現地調査の結果、スカムが顕著に堆積していたり、臭気苦情があった伏越しを３箇所抽出し、現地においてスカム堆積厚、臭気測定、硫化水素連続測定を行った。

調査場所を表-3 に、調査項目を表-4 に示す。なお、調査は 2010 年 3 月 18 日に実施し、直前の 3 月 16 日に 9mm/h の降雨が観測されている。

表-3　調査対象箇所

	伏越し台帳	人孔番号		住所・集水面積	選定理由
		上流	下流		
①	東 2-葛-8	1127-2C-026	1127-2C-033	葛飾区青戸 4-3 0.57ha	・年１回の清掃を行っているが、上流人孔においてスカムの発生が顕著である。
②	東 2-葛-5	1026-2A-034	1026-2A-042	葛飾区堀切 7-13 1.10ha	・年１回の清掃を行っているが、上流人孔においてスカムの発生が顕著である。
③	北 2-北-27	0616-4A-004	0616-4A-007	北区赤羽西 1-4 2.64ha	・年１回の清掃を行っているが、上流人孔においてスカムの発生が顕著である。 ・H21 年 10 月 9 日に近隣住民より臭気苦情があった。

表-4　調査項目・期間

項目		箇所数	回数 期間	日時	試料採取法	分析法
①汚泥堆積厚測定		3 箇所	1 回	3 月 18 日	測量用木製ポールにて測定	―
②臭気調査	臭気濃度				バッグに採取	三点比較式臭袋法
	メチルメルカプタン濃度				バッグに採取	低温濃縮の後、ガスクロマトグラフ(FPD)分析
	硫化水素濃度					
	硫化メチル濃度					
	二硫化メチル濃度					
	アンモニア濃度				ホウ酸吸収液に採取	吸光光度法(インドフェノール法)
③硫化水素濃度（連続）			9 日間	3 月 18 日 ～ 3 月 26 日	拡散式硫化水素測定器 GHS-7A	

（２）調査結果

調査結果を表-5、6 に示す。表-5 には参考に「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」の敷地境界における規制基準（臭気指数）と「悪臭防止法」に定められている敷

地境界線における規制基準（メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、二硫化メチル、アンモニア）のうち、一般住宅地等を想定した一番厳しい基準値を記載している。なお、今回の臭気調査は人孔蓋下 1m の位置における臭気を採取しているため、上記規制基準値は適用されない。

メチルメルカプタン（CH_3SH）は腐ったタマネギのような臭いがする無色の気体である。①東 2-葛-8 上流人孔および③北 2-北-27 上流人孔では比較的高い測定結果となっている。参考として表中に記載した規制基準値を超えている。雨天時など流量が増加し内部の空気が流動した場合に、臭気が人孔蓋より漏出する可能性がある。

硫化水素（H_2S）は腐った卵のような臭いがする無色の気体であり、調査 3 人孔のいずれにおいても参考とした基準値を超過した値となっている。

硫化メチル（CH_3SCH_3）、二硫化メチル（$CH_3S\text{-}SCH_3$）は共に腐ったキャベツのような臭いがする無色の液体であり、3 人孔では不検出（1ppm 未満）であった。

アンモニアは、し尿臭がする無色の気体であるが、3 人孔では不検出（1ppm 未満）であった。

臭気濃度は、臭気のある空気を臭いの感じられなくなるまで希釈した場合の希釈倍数をいい、三点比較式臭袋法により求める。臭気指数とは、臭気濃度の対数値に 10 を乗じた数値である（臭気指数=10×log 臭気濃度）。都民の健康と安全を確保する環境に関する条例では、臭気指数による規制基準を設けており、事業所の敷地境界線における臭気指数を 10～13 と規制している。調査対象 3 人孔のいずれにおいても参考規制基準を超過した臭気濃度が測定された。

臭いの種類としては、②東 2-葛-5 および北 2-北-27 では下水臭・腐敗臭と形容されたのに対して、①東 2-葛-8 は下水臭の他にガソリン臭・油臭と形容された。①東 2-葛-8 の上流を現地調査した結果、上流域には一般住宅に加えて自動車部品工場、ばね工場が存在するため、それらの事業所からの排水に起因する可能性が考えられる。

以上の臭気調査により、スカムが蓄積している対象 3 伏越し人孔からはメチルメルカプタン、硫化水素といった硫黄化合物による臭気が発生していることが明らかとなった。

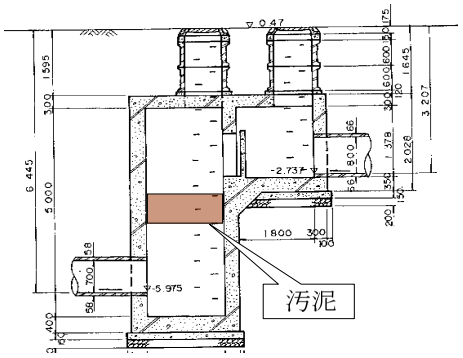
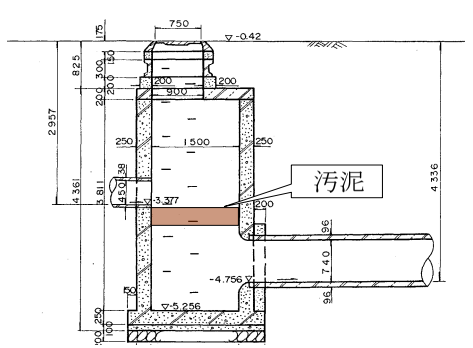
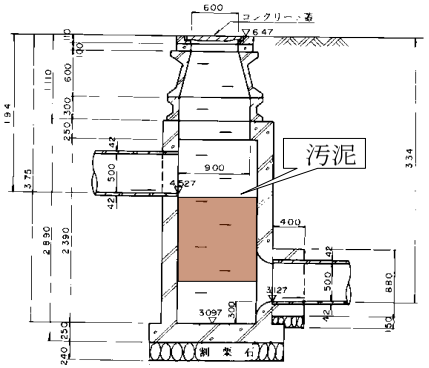
表-6 に示した汚泥堆積厚さは、③北 2-北-27 上流人孔で顕著であり、伏越し管の深さまで堆積している。当該伏越し上流部は飲食店が多く、かつ他の 2 箇所と比較して集水面積が狭い（表-3 参照）ため、流入水量が少ないことに起因すると推察される。また、すべての箇所でスカムは固まっていた。なお、3 人孔ともに毎年 5 月前後に機械清掃を実施している。しかし、降雨によって、堆積したスカムが破壊・流出している場合も想定され、堆積時間に関しては不明である。

表-5　調査結果のまとめ

採取場所 (SEMIS 番号) 調査項目　住所	東 2-葛-8 (1127-2C-026) 葛飾区青戸 4-3	東 2-葛-5 (1026-2A-034) 葛飾区堀切 7-13	北 2-北-27 (0616-4A-004) 北区赤羽西 1-4
気温（℃）	14.7	14.3	19.0
メチルメルカプタン（ppm）	0.079 (0.002)	0.003 (0.002)	0.038 (0.002)
硫化水素（ppm）	1.5 (0.002)	0.04 (0.002)	0.08 (0.002)
硫化メチル（ppm）	不検出 (0.01)	不検出 (0.01)	不検出 (0.01)
二硫化メチル（ppm）	不検出 (0.009)	不検出 (0.009)	不検出 (0.009)
アンモニア（ppm）	不検出 (1)	不検出 (1)	不検出 (1)
臭気指数（東京都規制基準）※	39 (10)	26 (10)	32 (10)
臭気濃度	7900	400	1600
臭い	下水臭・ガソリン臭・油臭	下水臭・腐敗臭	下水臭・腐敗臭

※悪臭防止法及び環境確保条例の規程に基づく規制基準

表 -6 汚泥堆積厚測定結果

	1	2	3
伏越し台帳	東 2-葛-8	東 2-葛-5	北 2-北-27
人孔番号	1127-2C-026	1026-2A-034	0616-4A-004
汚泥堆積厚(mm)	700	300	1100
流域面積	2.62	1.10	0.57
人孔形状	矩形	円形	矩形
汚泥堆積状況			
汚泥堆積模式図			

（３）硫化水素連続測定

１）測定方法

拡散式硫化水素測定器（GHS-7A、ガステック）を対象 3 人孔に設置して、硫化水素濃度の定点連続観測を実施した。表-7 に硫化水素濃度の測定条件を、現場設置状況を写真-1 示す。調査は平成 22 年 3 月 18 日～平成 22 年 3 月 26 日の期間で行った。

表-7　硫化水素濃度の測定条件

項目	測定条件
設置位置	マンホール蓋の直下 1m
測定期間	9 日間
測定範囲	0~100ppm
測定精度	フルスケールの±5% （±5ppm）
測定スパン	1 分間

２）測定結果

人孔内硫化水素濃度の定点連続観測結果を図-1～3 に示す。横軸が日時、左縦軸が硫化水素濃度（ppm）、右縦軸が降雨強度（mm/h）および人孔内気温（℃）を示している。降雨強度は気象庁の観測データのうち対象 3 人孔に最も近いアメダス東京（千代田区大手町、東京管区気象台内）の 10 分値の降雨量を時間換算して求めた。人孔内温度は硫化水素計内蔵の温度計を使用して測定した。

写真-1　　硫化水素計設置状況

・①伏越し上流人孔

①東 2-葛-8 上流人孔では、調査期間内に断続的に硫化水素が測定され、特に降雨強度 6mm/h の降雨が観測された 3 月 21 日には、最大で 7.8ppm の硫化水素が検出された。

ここで、3 月 18 日の硫化水素計設置時に堆積が確認されたスカムが、硫化水素計を撤去した 3 月 26 日には、無くなっていた。このため、設置期間中の降雨によって、スカムが破壊されたものと考えられる。特に、3/21 の硫化水素濃度が上昇した時刻が、降雨が観測された直後であることから、降雨時に流量が増加し、スカムが破壊され、スカム下で滞留し、嫌気状態となっていた汚水から硫化水素が発生したと推察される。降雨時に流量が増加することで、人孔内空気も流動するため、人孔蓋の鍵穴等の隙間よりこの人孔内で発生した硫化水素が地上部へ流出し、臭気発生の原因となる可能性がある。

なお、雨天時以外でも硫化水素の発生が測定されているが、発生時刻は朝、日中、深夜に渡っており、時間的な規則性は見られない。

また、一般的に気温と H_2S 発生量との相関は明確には表れていない。これは気温が比較的低く変化も小さかったため、水温の変化も小さかったと考えられ、硫酸塩還元細菌の活性に変化を及ぼすことが無かったためと考えられる。

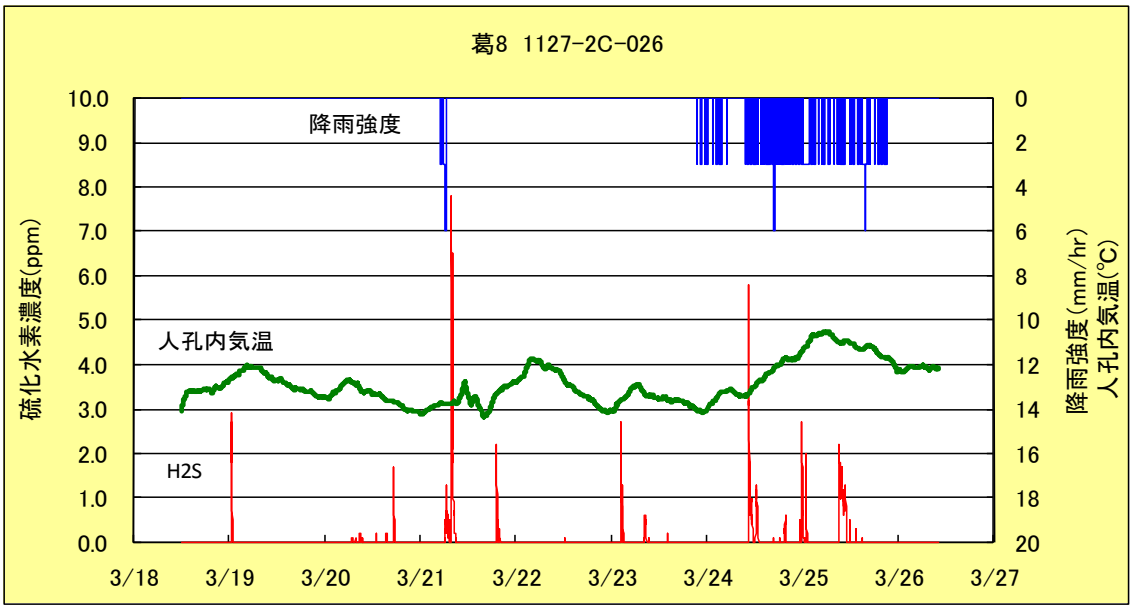


図-1　硫化水素連続測定結果　①東 2-葛-8 上流人孔（1127-2C-026）

・②伏越し上流人孔

②東 2-葛-5 上流人孔でも、①上流人孔と同様に 3 月 21 日の降雨後に最大 1.0ppm の硫化水素が観測された。①伏越しと同様に、硫化水素計設置時に堆積が確認されたスカムが、硫化水素計撤去時には確認されなかった。硫化水素計の測定精度が±5.0ppm であるため、1.0ppm という数値は誤差範囲ではあるが、降雨によって流量が増加することで蓄積したスカムが破壊され、硫化水素が発生したことが推察される。また、①上流人孔と同様に、気温と H_2S 発生量との相関は明確には表れていない。

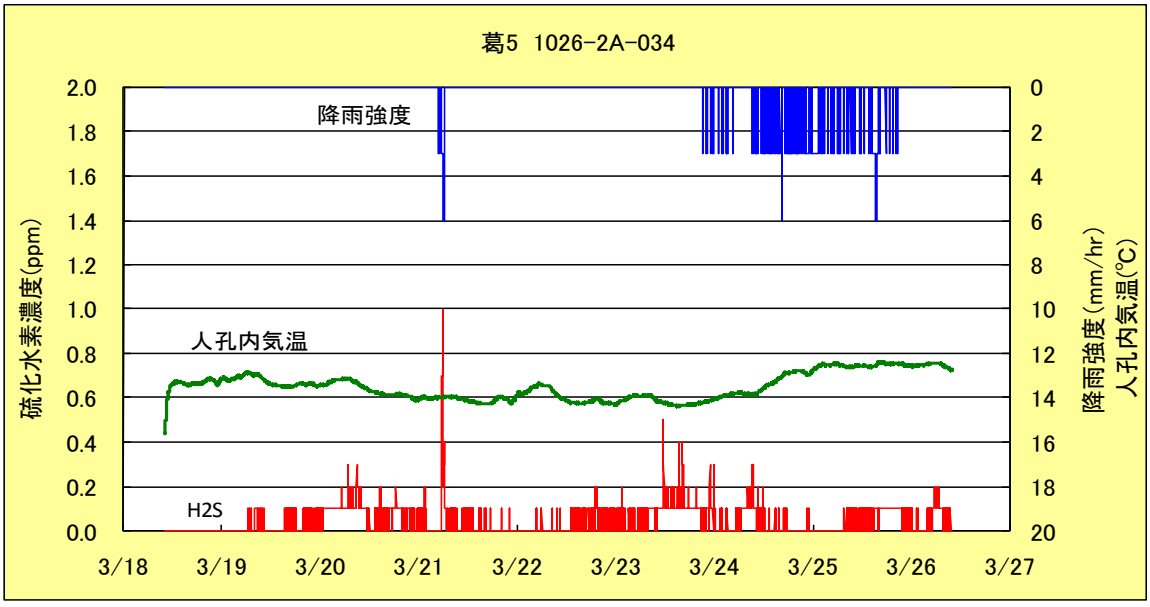


図-2　硫化水素連続測定結果　②東 2-葛-5 上流人孔（1026-2A-034）

・③伏越し上流人孔

③北 2-北-27 上流人孔では、連続測定期間内で硫化水素は検出されなかった。特に、①、②の人孔で流化水素の発生が確認された 3 月 21 日の降雨後も、確認されていない。当該地区のスカム厚は 1,100mm（表-6）と比較的厚いため、6mm/h の降雨では堆積している

スカムは破壊されなかったと考えられる。

一方、表-3 に示したように当人孔では 2009 年 10 月 9 日に臭気苦情があった。苦情のあった日の前日には、84mm/h の降雨があり、この雨でスカムが破壊・撹拌され、スカム下に閉じ込められていた汚水から硫化水素が発生した可能性が考えられる。

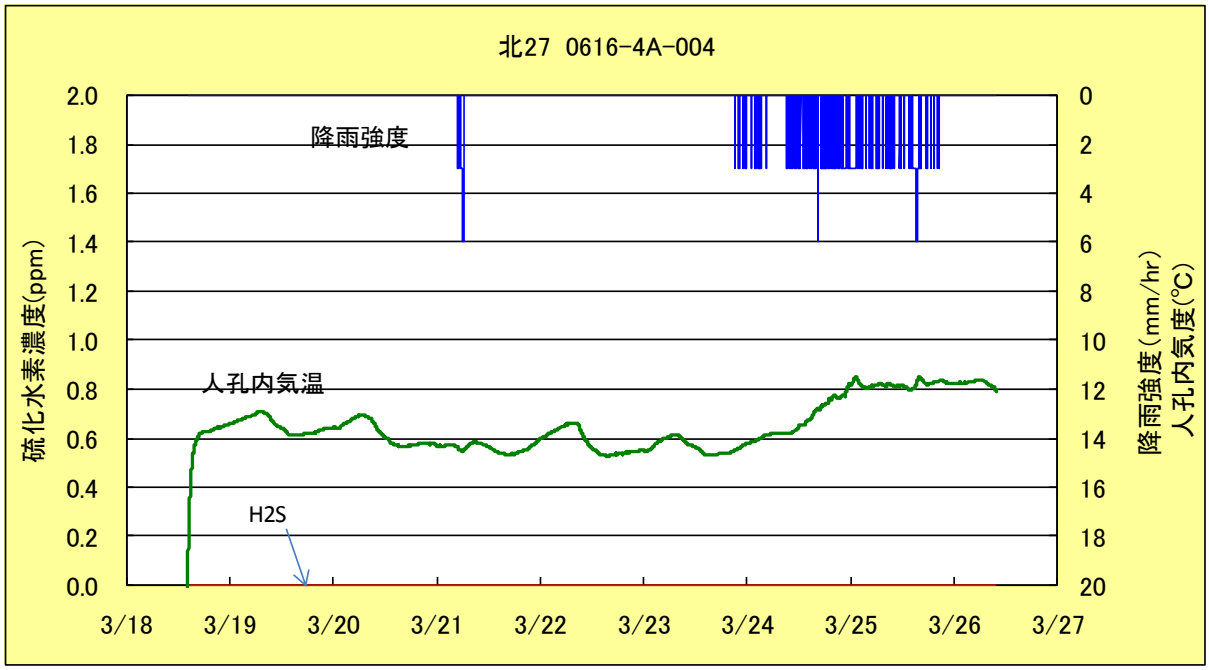


図-3　硫化水素連続測定結果　③北 2-北-27 上流人孔（0616-4A-004）

4．まとめと今後の予定

今回、伏越し施設を対象に既存資料調査、現地調査等を実施し、以下の知見を得た。

①スカムの堆積が顕著な伏越しでは、晴天時最大汚水量により発生する流速では、スカムや汚泥を流下させることができない。

②スカムの堆積が顕著な伏越しでは、矩形人孔の割合が高かった。

③3 箇所の伏越しを対象に臭気調査を行った結果、メチルメルカプタン、流化水素が測定され、硫化メチル、二硫化メチル、アンモニアは定量限界以下であった。

④3 箇所の伏越し上流人孔における硫化水素連続測定の結果、硫化水素発生のピークは、堆積したスカムが降雨によって破壊され、それまでスカムにより空気層と隔離されて嫌気状態にあった滞留汚水が、流入下水によって撹拌されることに起因すると推察された。

また、今後以下の調査を行っていく必要がある。

ア.今後は、スカムの発生・堆積していない人孔の既存資料調査を行って、今回の既存資料調査結果と併せて、スカム堆積要因を特定していく。

イ.晴天時最大汚水量では伏越しにおける流速が不足するため、現況の合流式下水道の伏越し設計手法の課題点を整理し、設計方法の見直しを検討していく。

ウ.④の推察を証明し、有効な対策技術を開発していくため、伏越し上流人孔内のスカムの成長速度、スカム破壊の状況、スカム破壊に必要な降雨量、スカム下の汚水の嫌気状態の変化等を現地調査（撮影、連続測定）によって把握する。

３．地球温暖化対策

（１）温室効果ガス削減技術

１　多摩川上流水再生センターにおける木質系バイオマス混合焼却の初期運転経過について

２　省エネ型流動焼却システム（ターボ型流動焼却炉）による温室効果ガス削減技術の実用化検証

３　水処理から発生する N_2O（一酸化二窒素）の排出抑制技術の開発

４　水処理から発生する N_2O（一酸化二窒素）連続測定計の開発

（２）省エネルギー技術

１　省エネルギー型脱水機の実用導入における検討事例

２　送風機から散気装置までばっ気システム全体での省エネルギー型再構築

3-(1)-1　多摩川上流水再生センターにおける

木質系バイオマス混合焼却の初期運転経過について

流域下水道本部技術部工事課　吉井　鎭英
(現　施設管理部施設保全課)
岩渕　哲人
(現　落合水再生センター)
多摩川上流水再生センター　本田　圭

1　はじめに

流域下水道本部ではアースプラン 2004 に基づき温室効果ガス排出削減のため超微細散気装置の採用、汚泥の高温焼却等数多くの取組を行っている。

こうした中、新たに「カーボンマイナス東京 10 年プロジェクト」の一環として、平成 20 年度工事において多摩川上流水再生センター1 号汚泥焼却炉（150t/日　補助燃料：都市ガス）に日本初の「木質系バイオマス混合焼却設備」を設置した。

図－1　木質系バイオマス混合焼却設備全景

この設備は、多摩地域から花粉症対策等で産出されカーボンフリー資源である木質系バイオマスを補助燃料として活用し、都市ガス使用量削減による温室効果ガス排出削減及び維持管理コスト縮減を目的としたものであり、平成 21 年 4 月から本格稼働した。

今回、木質系バイオマス混合焼却設備の概要と初期運転効果について報告する。

2　導入経緯

流域下水道本部では、水再生センターから排出される温室効果ガスを削減する取組を従前より検討していた。

一方、東京都では平成 18 年度から総合的花粉対策の一環として、大規模なスギ林等の伐採を実施し大量の木材が生産されることとなり、その有効活用策が必要となっていた。

こうしたことを背景に平成 17 年度、木質系バイオマスを焼却炉補助燃料として活用した際の補助燃料削減効果、温室効果ガス削減効果、排気ガスへの影響等について検証するため、木材生産地に最も近い多摩川上流水再生センターの 4 号汚泥焼却炉（100t/日　補助燃料：重油）で実証実験を行った。

その結果、補助燃料削減、温室効果ガス削減に効果があり、排気ガスへの影響もないことが判

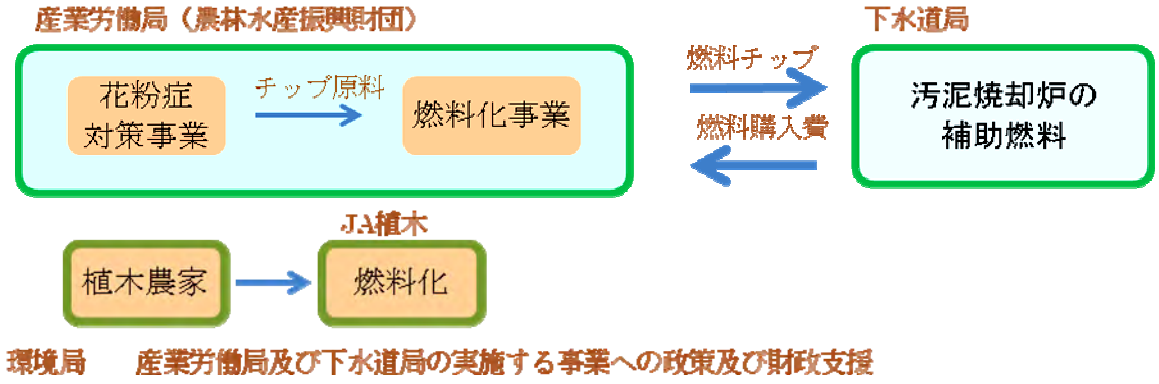
明した。併せて既設焼却炉への木質系バイオマスの供給限界量について確認することができた。

そのため、平成 18 年度に完成した多摩川上流水再生センター1 号汚泥焼却炉に「木質系バイオマス混合焼却設備」を設置することとなった。

3　事業スキーム

本事業で使用する木質系バイオマスは、未利用材や剪定材のままの状態で受入れると、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃掃法）に抵触する。そのため木質系バイオマスは形状、含水率を調整し、燃料として下水道局が購入することになった。

本事業は環境局、産業労働局及び下水道局の共同事業で役割分担について図－2 に示す。



図－2　事業スキーム

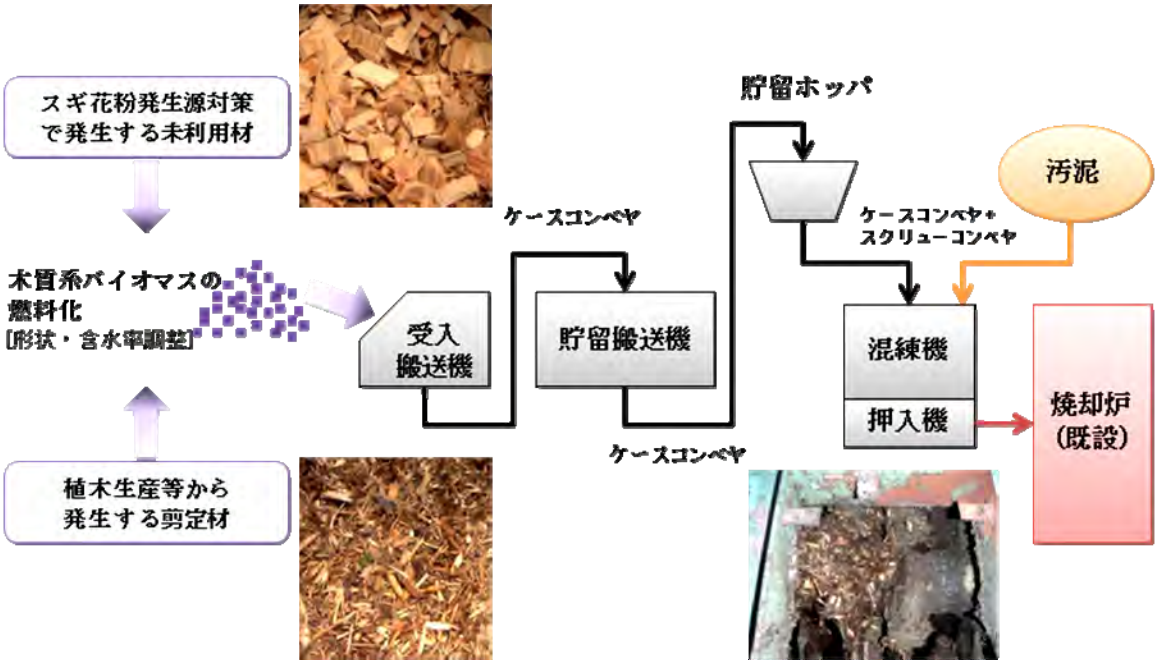
4　設備概要

4.1　基本諸元

木質系バイオマス使用量	約 9.6t／日（約 3168 t／年　稼働日数 330 日／年）
木質系バイオマス含水率	40%　（固形物発熱量　19700kJ／kg）
設置場所	旧汚泥焼却炉 2 号跡地（基礎を改造し設置）
その他	予備設備は無し（故障時等には都市ガスのみで対応）

4.2　設備構成

木質系バイオマス混合焼却設備は、燃料化された木質系バイオマスを受入れて貯留する受入搬送機及び貯留搬送機、一定量切出す貯留ホッパ、汚泥と混合する混練機、焼却炉に汚泥を投入する押込機及び汚泥焼却炉（既設）で構成される。フローを図－3 に示す。



図－3　木質系バイオマス混合焼却設備フロー

4.2.1　受入搬送機

ダンプトラック 1 台分（約 30m³）の木質系バイオマスを 1 度のダンピングで受入れる。

搬送はボトムチェーン方式で木質系バイオマスを排出口に掻き寄せる。排出口上部には拡散機を設置し、木質系バイオマスの圧密及び瞬間的に大量に排出されることを防止する。搬送量 15 m³／h で 2 時間に 1 台の頻度で受入可能となる。

4.2.2　貯留搬送機

受入のない金曜日夕方から月曜日朝までの木質系バイオマスを貯留（約 130m³）出来る。貯留容量を有効に利用するため上部に掻き均し装置を設置した。

搬送方法は受入搬送機と同様ボトムチェーン方式で、搬送量は 6m³／h である。

図－4　左：ボトムチェーン　中：受入搬送機拡散機　右：貯留搬送機

4.2.3　貯留ホッパ

木質系バイオマスの質量を計測し定量（250～400kg／h）で切出す。質量の変化を計測し焼却炉への供給量を制御する。

4.2.4　押込機

木質系バイオマスと汚泥を十分に練り込み焼却炉に投入できるよう 4 台中 2 台の汚泥押込機を改造して混練機を付加した。

4.2.5　コンベヤ

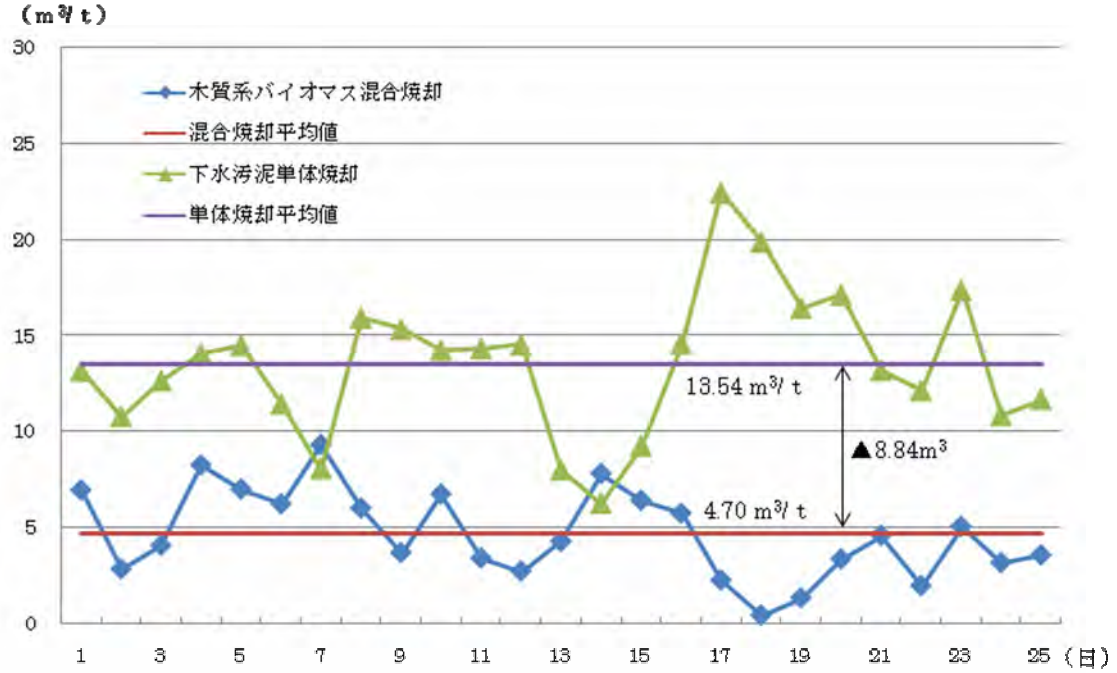
受入搬送機から貯留ホッパまでは、ケースコンベアとし、機長の長いコンベヤについては排出口に閉塞検知センサを取付けた。

貯留ホッパから押込機までは、既設汚泥焼却炉 1 号ヤード内のみ木質系バイオマスの絡みつき防止のためシャフトレス型スクリューコンベヤとし、他はケースコンベヤとした。

5　効果の検証

5.1　下水汚泥単体焼却と木質系バイオマス混合焼却の都市ガス使用量比較

平成 21 年 6 月 15 日から 7 月 9 日まで（25 日間）の木質系バイオマス混合焼却運転と平成 20 年同時期との下水汚泥 1t 当たりの都市ガス使用量の比較を図－5 にまとめた。期間中の木質系バイオマス切出し量は、定格の 400kg／h である。また、下水汚泥 1t 当たりに混合した木質系バイオマスの重量は平均で 66.5kg／t である。



図－5　下水汚泥 1t 当たりの都市ガス使用量比較

図－5 から木質系バイオマスと下水汚泥の混合焼却実施により、都市ガスの使用量が削減されていることが判る。都市ガス削減量を期間中の平均値で算出すると、下水汚泥 1t 当たり 8.84m³ の削減となっている。昨年度の実績から、年間 38,500t の下水汚泥を焼却した場合、年間で 340,340m³ の都市ガスが削減され、約 775tCO_2 の削減効果となる。

5.2　設計値における試算との比較

都市ガス削減量と温室効果ガス削減量について、設計値における試算との比較を表－1 に示す。

表－1　設計値における試算との比較

設計値における試算	ガス削減量	543,000　m^3/年
	温室効果ガス削減量	1,000　tCO_2/年
実績から算出	ガス削減量	340,340　m^3/年
	温室効果ガス削減量	775　tCO_2/年

試算と実績の都市ガス削減量の差については、下水汚泥の性状や木質系バイオマスの含水率による影響が考えられる。今回の木質系バイオマス混合焼却運転期間における木質系バイオマスの含水率については、設計値における試算で使用した含水率より高いものが使用されており、今後含水率が低くなれば、さらに都市ガス使用量の削減が期待できる。

6　維持管理上の留意点

維持管理上の留意点として次のことが挙げられる。

(1) 木質系バイオマスの投入を開始しても、燃焼にその効果が表れるまでに 30 分程度の時間がかかってしまう。これは、木質系バイオマスが供給設備から移送される時間と投入してから実際に燃え始めるまでの時間のずれによるものと考えられる。

(2) 木質系バイオマスの切出し量を一定に保った場合でも、下水汚泥の性状や投入量により燃焼状態が変わってしまう。

(3) 焼却炉の立ち上げ直後は、過剰な入熱量により焼却炉内温度が異常上昇する恐れがあるため、木質系バイオマスは、焼却炉の余熱空気温度が十分に上がってから投入しなければならない。

(4) 木質系バイオマスの引火点は約 200℃、発火点は約 400℃であるため、木質系バイオマスの自然発酵による温度上昇を監視する必要がある。

7　まとめ

(1) 木質系バイオマスと下水汚泥の混合焼却により補助燃料である都市ガスの使用量削減と温室効果ガスの排出削減に一定の効果が見られた。

(2) 木質系バイオマスの切出し量を一定としても、下水汚泥の性状により焼却炉の燃焼が影響を受けるため、都市ガスの使用量にはバラツキが見られる。

8　おわりに

今回、木質系バイオマスと下水汚泥の混合焼却により、当初目的とした補助燃料である都市ガスの使用量を削減させ、温室効果ガスの排出抑制に一定の効果をあげた。しかし、都市ガス使用量には、下水汚泥の性状に起因するバラツキが見られた。今後も各データの蓄積を行い、下水汚泥の含水率や余剰汚泥混合率等との相関関係についても調査し、より効率的な混合焼却運転を確立したい。

3-(1)-2　省エネ型流動焼却システム（ターボ型流動焼却炉）による温室効果ガス削減技術の実用化検証

計画調整部技術開発課　樋田　靖広
清水　大輔
（現　東京都下水道サービス株式会社）

１．はじめに

下水道局では、2004 年に「アースプラン２００４」を策定し、事業活動から発生する温室効果ガス削減に取り組んできた。取組のひとつである汚泥の高温焼却は、汚泥の焼却工程で発生する一酸化二窒素（N_2O）の削減に効果的である一方、補助燃料の使用量が増えるといった課題も明らかになっている。また、焼却炉の高温化が概ね完了したことから、汚泥の焼却工程で発生する温室効果ガスについて、新たな排出量抑制技術が求められていた。

「アースプラン２０１０」（2010 年策定）では、汚泥焼却時に発生する温室効果ガス削減のために、新たな燃焼方式を採用した第二世代型焼却炉を導入していくこととしている。第二世代焼却炉のひとつであるターボ型流動焼却炉は、従来の流動焼却炉に過給機（ターボチャージャー）を組み合わせたもので、高温焼却（850℃）に比べて大幅に温室効果ガスを削減することができる。

今回、実証炉に葛西水再生センターの脱水汚泥を投入し、温室効果ガスの削減効果を検証したので報告する。

２．ターボ型流動焼却炉の特徴

ターボ型流動焼却炉は、流動炉からの燃焼排ガスで過給機を駆動して圧縮空気を生成し、炉の燃焼空気として使用するシステムであり、以下のような特徴がある。

(1) 流動ブロワおよび誘引ファンが不要となり、消費電力が削減できる。
(2) 炉が細く表面積が小さくなることで放熱量が減少し、補助燃料使用量が削減できる。
(3) 圧力下で燃焼速度が速く、従来よりも高い温度領域が形成されて N_2O 分解が促進される。

ターボ型流動焼却炉のシステムフローを図１示す。

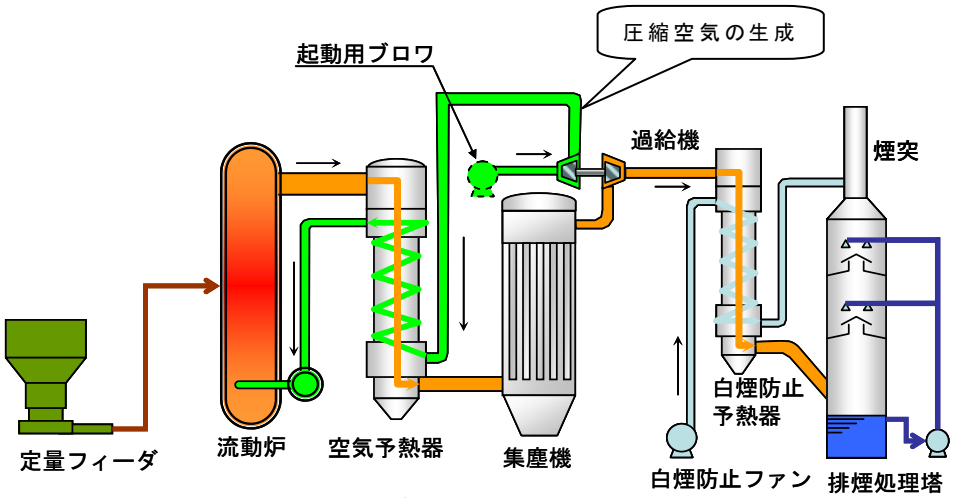


図１　ターボ型流動焼却炉のシステムフロー

なお、ターボ型流動焼却システムは、平成 17～19 年度の新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)補助事業である「都市バイオマス収集システムを活用するためのエネルギー転換要素技術開発」において、(独)土木研究所、(独)産業技術総合研究所、月島機械(株)、三機工業(株)によって共同開発された技術である。

本研究では、この技術を活用し「簡易提供型共同研究」により、東京都の脱水汚泥への適用性と温室効果ガス排出量の削減効果を検証した。研究の概要を下記に示す。また、本研究での目標値を表 1 に示す。

共同研究者：東京都下水道局、月島機械(株)、三機工業(株)

研究期間：平成 21 年 4 月～平成 22 年 5 月

実証設備：処理量 4.3t/日（北海道長万部終末処理場内）

表 1　検証項目、目標値

検証項目	目標削減量 （高温焼却*1) に対して）
電力由来の CO_2	40%以上
燃料由来の CO_2	10%以上
N_2O	50%以上

*1）比較対象は従来型流動炉 850℃高温焼却（葛西水再生センター5 号炉）

3．実証試験概要

試験は、葛西水再生センターで発生した脱水汚泥を、実証炉で燃焼することにより行った。試験の概要を表 2 に示す。また、実証設備のフローを図 2 に示す。

表 2　実証試験の概要

	供試汚泥	焼却方法
テスト①	通常汚泥　（約 79.5~80.5%）	定格運転
テスト②	低含水汚泥（約 74.7~77.6%）	定格運転
テスト③	通常汚泥　（約 78.1~78.4%）	定格運転、低負荷運転

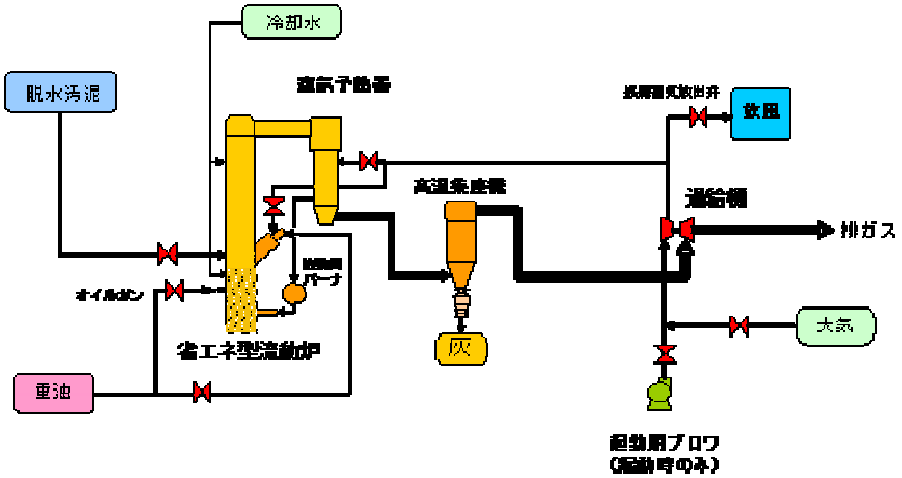


図 2　実証設備フロー

４．試験結果

４．１　テスト①（通常汚泥、定格運転）

通常汚泥の運転状況について、炉内各温度、補助燃料使用量および N_2O 濃度等の経時変化を図 3、各圧力および流量の経時変化を図 4 に示す。

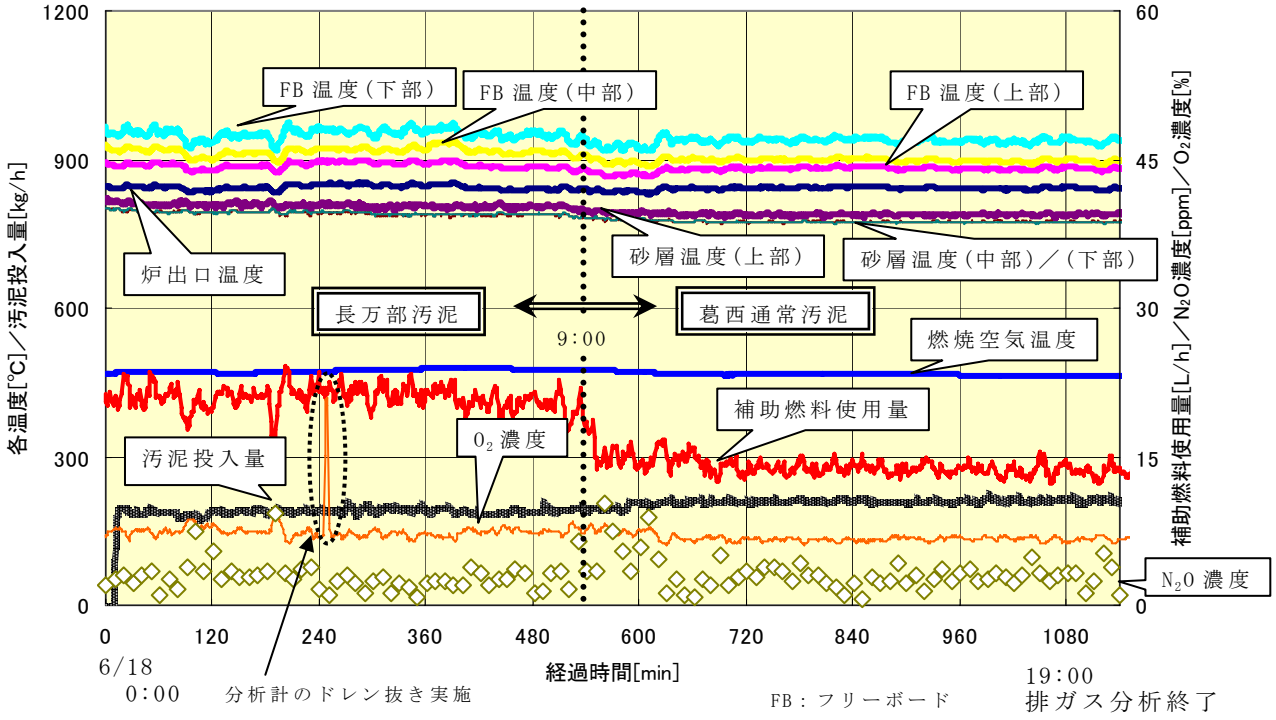


図 3　炉内温度、補助燃料使用量および N_2O 濃度等の経時変化（通常汚泥）

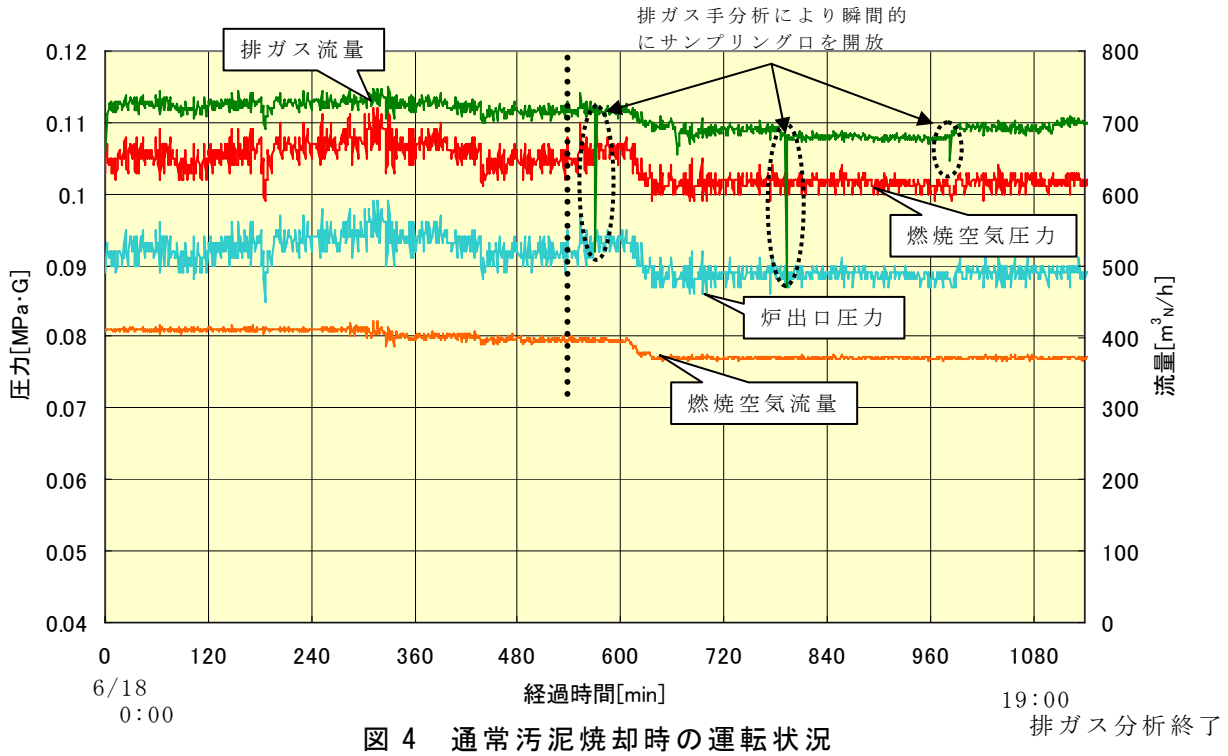


図 4　通常汚泥焼却時の運転状況

6 月 18 日 9:00(540min)より、長万部汚泥に替わって葛西汚泥が炉内に供給され始めた。炉出口圧力は 0.09MPa･G 程度で安定して推移しており、起動用ブロワのアシストなしのシステムで、安定した自立運転が可能であることが確認できた。

炉内温度分布の測定結果を図 5 に示す。分散管から 3,000mm の位置で炉内温度ピークが見られる。NEDO 共同研究時における長万部汚泥でも同様の傾向となり、汚泥の種類に関わらず高温燃焼領域が形成されることが確認できた。

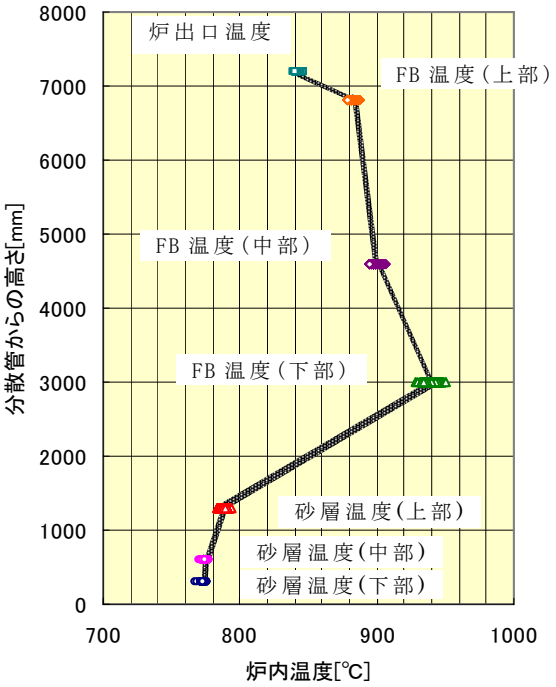


図 5　通常汚泥焼却時の炉内温度分布

テスト①に引き続き 6 月 19 日に実施した低含水汚泥によるテスト②（低含水汚泥、定格運転）においても、テスト①と同様に安定した自立運転が可能であること、および高温燃料領域が形成されることを確認した。

４．２　テスト③（通常汚泥、低負荷運転）

通常汚泥で負荷を変動させた運転における炉内各温度、補助燃料使用量および N_2O 濃度等の経時変化を図 6、各圧力および流量の経時変化を図 7 に示す。

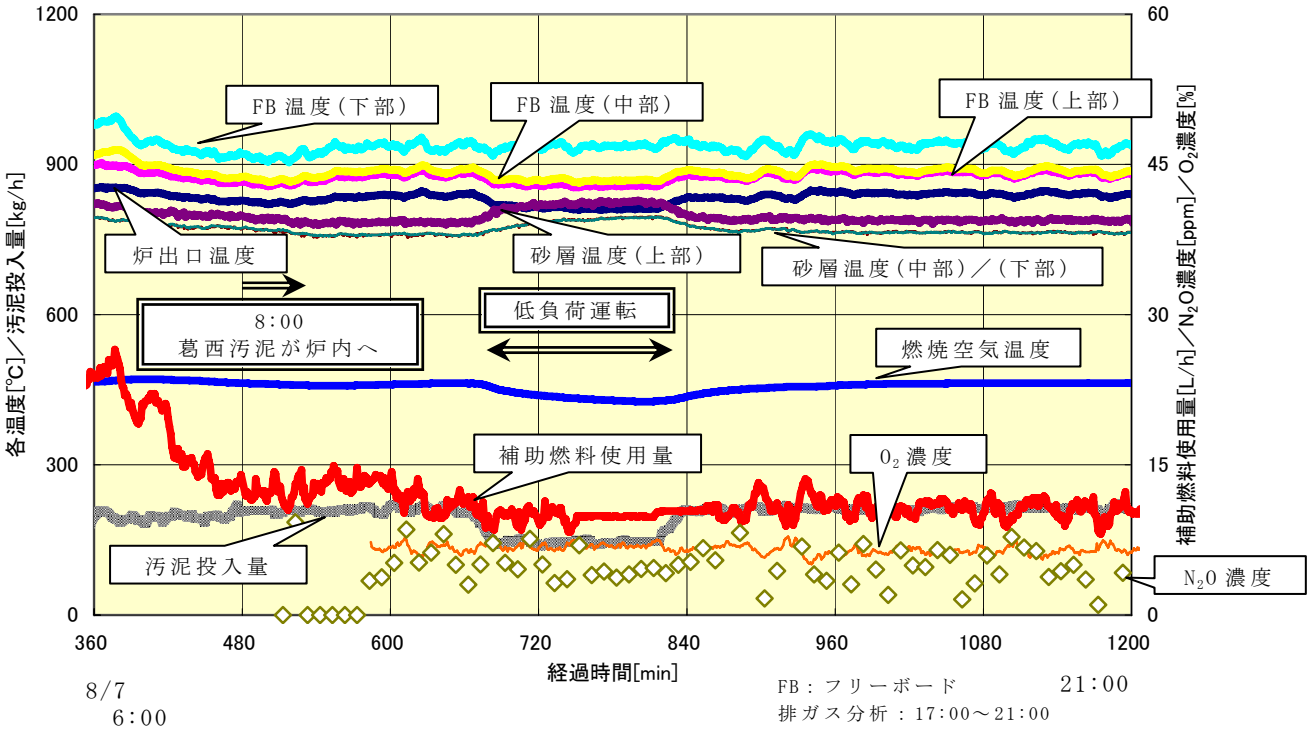


図 6　炉内温度、補助燃料使用量および N_2O 濃度等の経時変化（負荷変動運転）

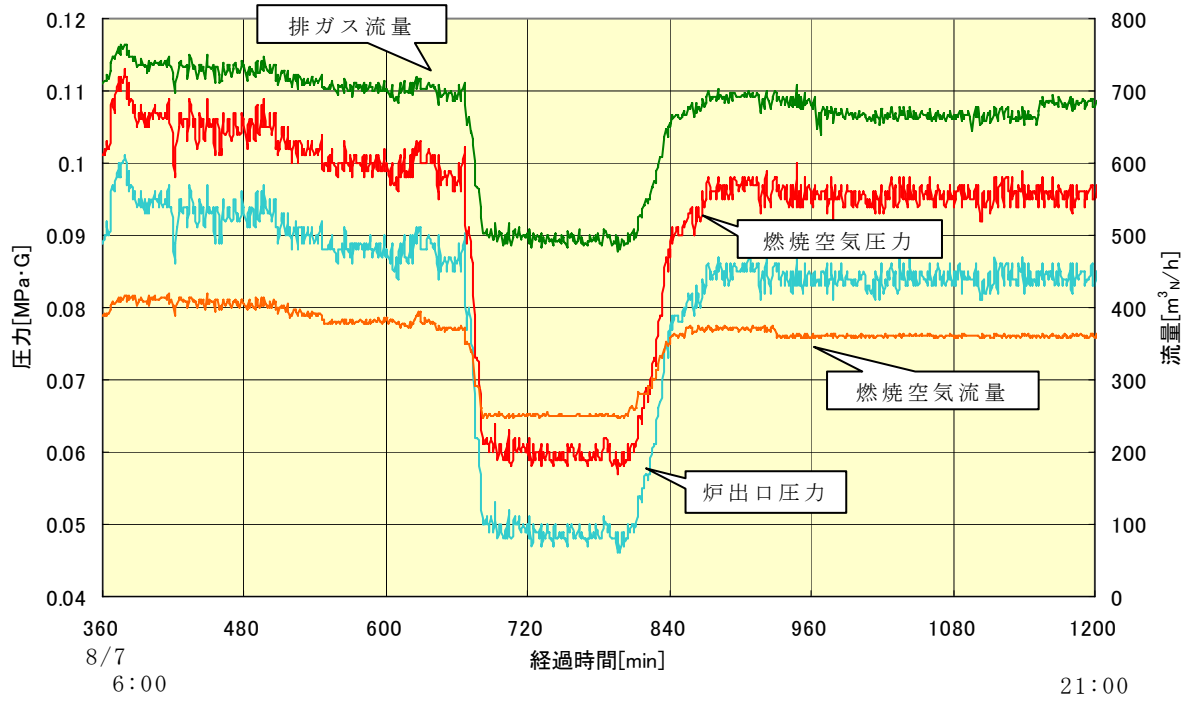


図 7　負荷変動運転時の運転状況

8 月 7 日の 11:00(660min)から徐々に汚泥供給量を下げて、負荷を 70%まで落として焼却運転を行った。負荷低下に伴って排ガス流量、炉出口圧力および燃焼空気圧力が低下したが、自立運転が継続することを確認した。負荷を下げたことで砂層部での水分負荷が低下し砂層温度が上昇するが、その他の炉内温度は安定している。負荷に合わせて燃焼空気量を調整し、O_2 濃度は一定で推移していることから負荷を落としても空気比一定の運転、すなわち低負荷時に燃費が悪化しない運転ができることを確認した。

低負荷運転時および定格運転時の炉内温度分布を図 8、図 9 に示す。低負荷運転時でも定格運転時と同じ炉内温度分布となり、高温燃焼領域が形成される。また、低負荷時においても N_2O 濃度の違いはないことを確認している。

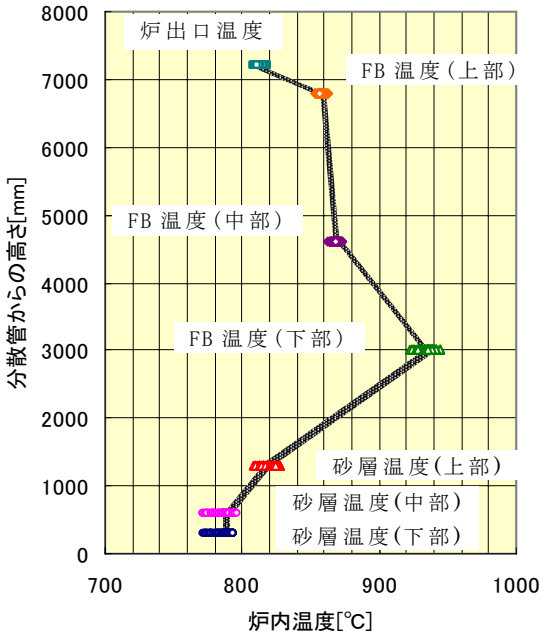


図 8　低負荷運転時の炉内温度分布

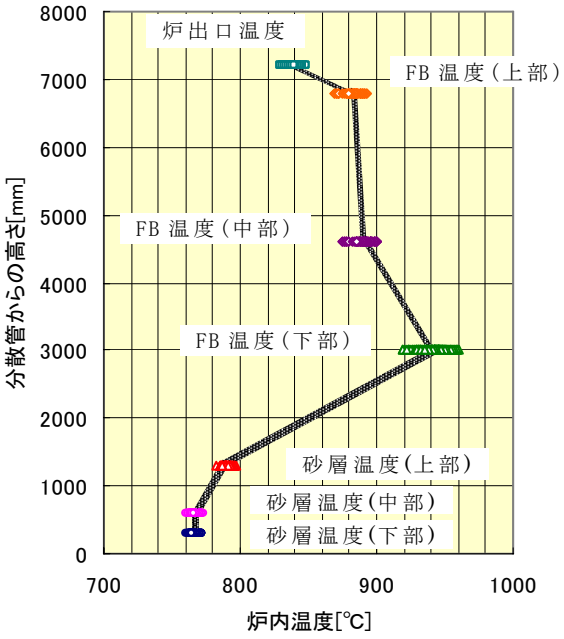


図 9　定格運転時の炉内温度分布

４．３　温室効果ガス削減効果の検証

４．３．１　N_2O 削減効果

葛西汚泥の焼却運転で得られた、実証炉の炉内最高温度と N_2O 排出係数の関係を図 10 に示す。また、実証炉の炉内温度分布を図 11 に示す。ターボ型流動焼却炉では、フリーボード上部（炉出口）温度を 850℃として運転した場合、フリーボード下部に高温燃焼領域が形成される。

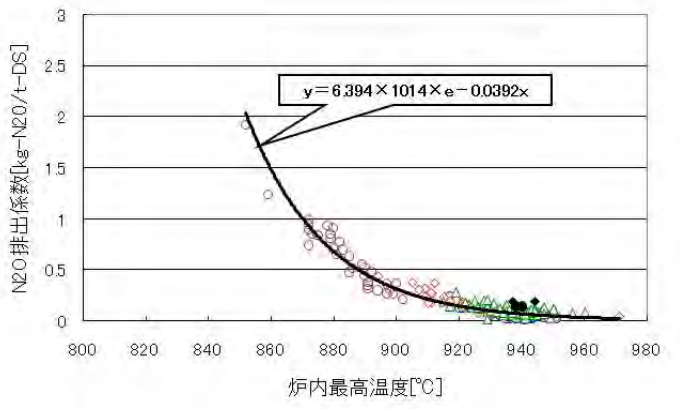


図 10　炉内最高温度と N_2O 排出係数

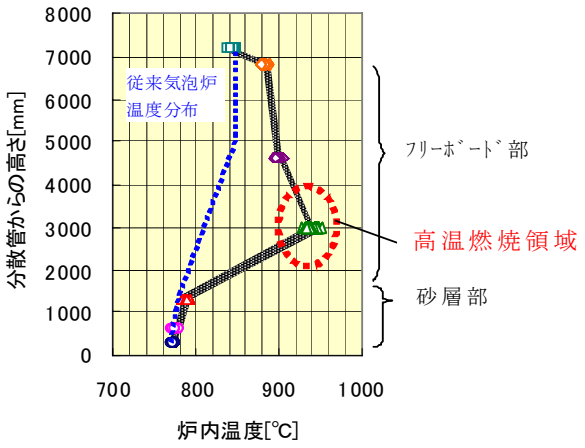


図 11　炉内温度分布（実証炉）

実証炉での試験結果をもとに、以下の手順で 300t/日炉での炉内最高温度を試算し、N_2O 排出係数を求めた。表 3 に焼却処理能力 300t/日規模の N_2O 削減効果を示す。

(1)実証炉において、分散管から 3,000mm の位置で炉内温度が最高となることを確認。（図 11）

(2)300t/日炉でも炉の高さ方向の温度分布は変わらない（空塔速度が同じ）ため、炉内最高温度位置は(1)と同じとなる。

(3)炉内最高温度位置の熱量を A、炉表面からの放熱量を B、炉出口排ガス熱量を C としたとき、熱収支の関係は A=B+C となる。

(4)炉表面積から B を算出し、上式より A を求めると、炉内最高温度は 870℃となる。

(5)炉内最高温度 870℃のときの N_2O 排出係数は、$6.394\times10^{14}\times e^{-0.0392\times870^{\circ}C} = 0.988 kg\text{-}N_2O/t\text{-}DS$ となる。（図 10）

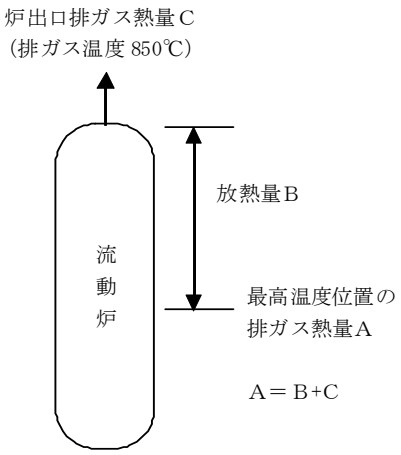


図 12　熱収支の関係

表 3　N_2O 削減効果試算結果

	従来型流動炉（高温焼却）	ターボ型流動炉
固形物処理量[t-DS/年]	19,488	19,488
N_2O 排出係数［kg-N_2O/t-DS］	2.33	0.988
N_2O 排出量[t-CO_2/年]	14,078	5,969
N_2O 削減率[%]	－	57.6（目標:50%以上）

４．３．２　電力由来の CO_2 削減効果

本システムの最大の特徴である過給機で燃焼空気を供給する運転について、脱水汚泥の性状変動や負荷変動に対して安定した自立運転（送風及び排気動力なしでシステムが成立）ができた。これにより、表 4 に示すとおり、流動ブロワ及び誘引ファン等が不要となり大幅な消費電力が削減可能となった。表 5 に焼却処理能力 300t/日規模の電力由来の CO_2 削減効果を示す。

表 4　機器消費電力比較

機器名称	電動機出力［kW］	消費電力［kWh/日］	
		従来型流動炉（高温焼却）	ターボ型流動炉
流動ブロワ	400	6,720	－
誘引ファン	200	3,360	－
ガスガン用ブロワ	45	756	－
冷却塔	14	235	－
集塵機（バグフィルタ）	39	655	－
集塵機（ｾﾗﾐｯｸﾌｨﾙﾀ）	40	－	672（追加）
都市ガス昇圧ファン	55	－	924（追加）
その他	－	9,433	9,433
消費電力合計	－	21,159	11,029

表 5　電力由来の CO_2 削減効果試算結果

	従来型流動炉（高温焼却）	ターボ型流動炉
総消費電力[kWh/日]	21,159	11,029
CO_2 排出量[t-CO_2/年]	2,344	1,222
CO_2 削減率[%]	－	47.9（目標:40%以上）

４．３．３　燃料由来の CO_2 削減効果

ターボ型流動焼却炉では、圧力下で燃焼を行うため炉内径が細くなる。これにより、従来型流動炉より放熱量が減少し補助燃料使用量の削減が可能となる。既設炉（300t/日）の補助燃料使用量をベースとし、放熱量の差からターボ型流動焼却炉の補助燃料使用量を試算した。表 6 に焼却処理能力 300t/日規模の燃料由来の CO_2 削減効果を示す。

表 6　燃料由来の CO_2 削減効果試算結果

	従来型流動炉（高温焼却）	ターボ型流動炉
炉内径［mm］	φ8,200	φ4,800
放熱量［MJ/h］	1,960	1,308
都市ガス[m^3_N/h]	189.4	163
CO_2 排出量[t-CO_2/年]	3,002	2,583
CO_2 削減率[%]	－	14.0（目標:10%以上）

５．過給機の消耗部品（軸受）の寿命予測

ターボ型流動焼却炉は、従来の流動焼却炉に過給機を組み合わせたものである。実証炉で連続運転を行い、潤滑油への排ガス混入状況と軸受摩耗量を確認することで、新しい機器である過給機の消耗部品（軸受）の寿命予測を行った。

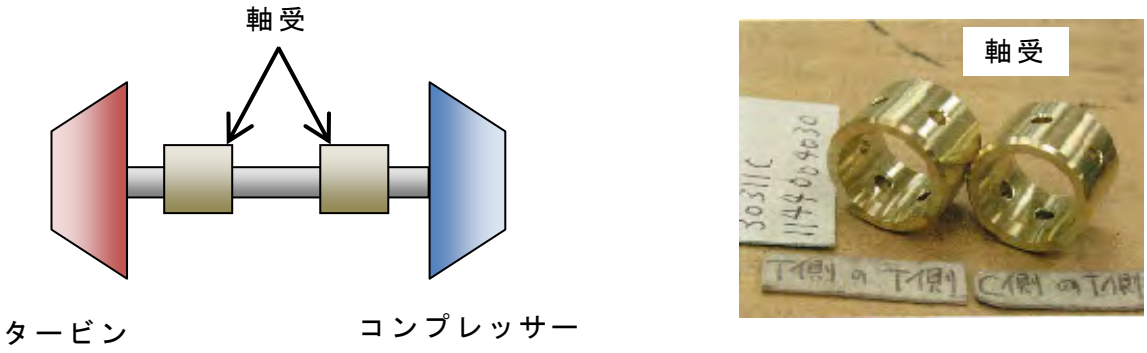


図 13 過給機軸受部の構成と軸受写真

過給機の軸受は流体潤滑のため摩耗量は運転時間に比例する。過給機メーカーへのヒアリングより、摩耗量 20μm を交換の目安とした。

潤滑油中の排ガス主要元素濃度を確認した結果、運転開始時から大きな変化は見られず、排ガスの混入がないことを確認できた。（図 14）

軸受の摩耗量測定結果を図 15 に示す。摩耗量は、交換時間 8,000 時間（軸受は年 1 回の定期補修で交換することを想定：8,000 時間≒24 時間×333 日）とした場合の摩耗ペース以下（図 15 中の●、■とも直線の下側）であった。

これらの結果より、軸受の寿命は、8,000 時間以上と判断した。

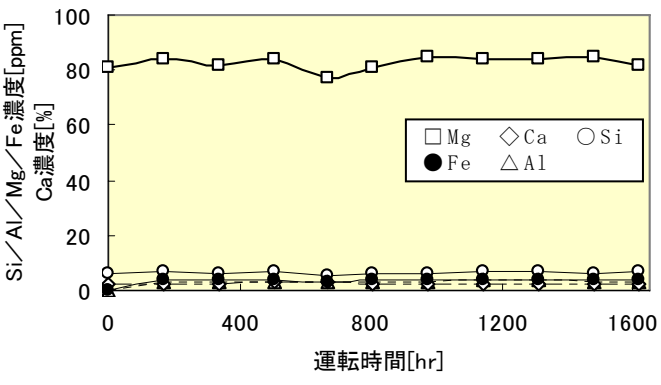


図 14 潤滑油中の排ガス主要元素濃度の変化

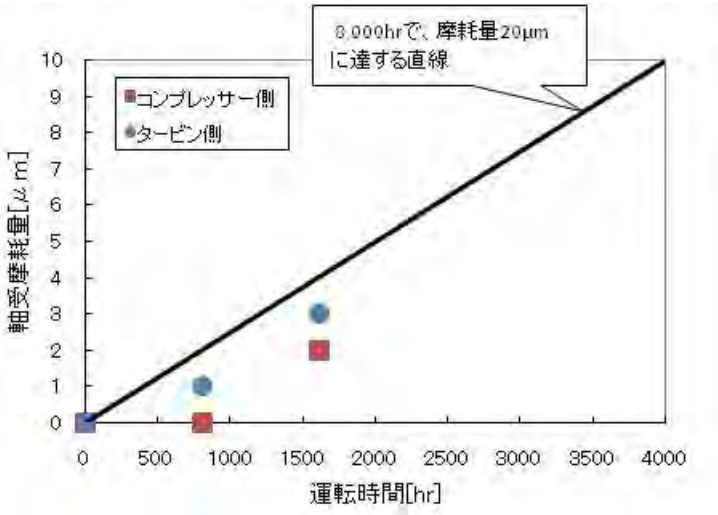


図 15 軸受の摩耗量

６．まとめ

葛西水再生センターの脱水汚泥で、ターボ型流動焼却炉の実証設備が安定して運転できることを確認した。

温室効果ガスの削減効果を検証した結果、従来型流動炉（高温焼却）に対する削減率は以下のとおりとなり研究目標を達成した。温室効果ガス排出量試算結果を表 7 に示す。

1) 炉内最高温度が 870℃になることで、N_2O を削減（約 58%）

2) 誘導ブロワ及び誘引ファン等が不要になることで、電力由来 CO_2 を削減（約 48%）

3) 炉の小型化による燃費向上（放熱量減少）で、燃料由来 CO_2 を削減（約 14%）

また、過給機の消耗部品（軸受）の寿命予測は 8,000 時間以上となり、年 1 回の定期補修で交換すればよいことが確認できた。

表 7　温室効果ガス排出量試算結果

[t-CO_2/年]

	従来型流動炉（高温焼却）	ターボ型流動炉	削減率（目標）
CO_2 排出量	5,346	3,805	28.8%
電力由来	2,344	1,222	47.9%（40%以上）
燃料由来	3,002	2,583	14.0%（10%以上）
N_2O 排出量	14,078	5,969	57.6%（50%以上）
GHG 排出量合計	19,424	9,774	49.7%

温室効果ガス排出量試算条件は、以下のとおり

- 年間稼働日数：290 日（稼働率約 80%）×300t-wet/日＝87,000 t-wet/年
- 電力由来 CO_2 排出係数：0.382kg-CO_2/kWh、
- 都市ガス由来 CO_2 排出係数：2.277kg-CO_2/m^3_N、N_2O 温暖化係数：310
- 脱水ケーキ性状は含水率 77.6%、炉出口排ガス温度 850℃、空気比 1.3 で試算（比較対象は葛西 5 号炉）

3-(1)-3　水処理から発生する N_2O（一酸化二窒素）の排出抑制技術の開発

計画調整部技術開発課　塩見　　浩
河野　里名
本間　誠二

１．はじめに

近年、地球規模での環境破壊が問題となっており、その対策を協議する国際会議が頻繁に開催されている。中でも地球温暖化問題が大きな課題として挙げられている。

東京都では、平成 18 年に世界で最も環境負荷の少ない都市の実現を目指した「カーボンマイナス東京 10 年プロジェクト」を策定し、2020 年度までに対 2000 年度比で、25%の温室効果ガス削減という目標を達成するための具体的な行動を進めている。

下水道局においても、2004 年に「アースプラン 2004」を策定し、電力消費量の削減や焼却炉からの一酸化二窒素（N_2O）削減対策等を行ってきた。結果、目標として掲げていた、“2009 年までに 2000 年を基準年として、6%の温室効果ガスを削減する”とした目標は前倒しで達成した。しかしながら、2010 年に策定された「アースプラン 2010」では、さらに意欲的である“2000 年を基準年として、2020 年までに 25%の温室効果ガスを削減する”といった目標を掲げている。そのため、今後は、さらなる温室効果ガスの削減に向けた取り組みが必須となってくる。

しかしながら、すでに様々な対策を実施してきたこともあり、大きな削減効果が期待できる余地は決して多くない。こうした中、新たに削減が見込めるものとして、水処理から排出される N_2O の削減が注目されている。この項目は、N_2O が水処理過程でどのような挙動を示すかが分からないこともあり、これまでほとんど削減のための手が付けられていなかった。水処理由来の N_2O は、2009 年度に当局が排出する温室効果ガスの約 17%を占めていることから、削減手法を開発することで、大きな削減の効果を得られる可能性がある。

２．調査の全体像

技術開発課では、2007 年度より水処理から発生する N_2O の排出抑制技術の開発を目指して調査を開始した。開発に向けての全体像を図 1 に示す。当初は、調査を進める上で最も重要となる N_2O の生成機構の解明を目指した基礎調査(東京工業大学との共同研究)から着手し、合わせて排出量の正確な把握や調査を進める上で必要となる計測機器の開発を行った。その後、今回の報告する N_2O 生成に影響を与える因子等の特定する調査を実施するとともに、制御に必要不可欠な測定計器の開発を同時進行的に進めてきた。今後は、各々の調査から得られた知見を統合して N_2O の排出抑制と、N_2O 分解を上手に活用した排出抑

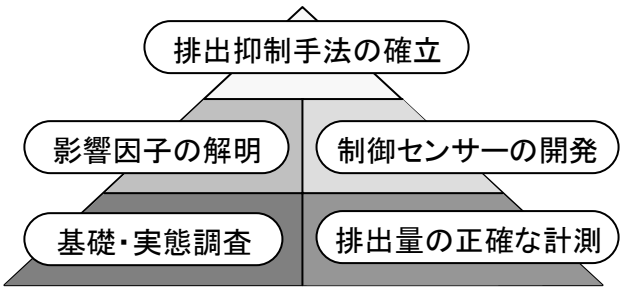


図 1　N_2O 排出抑制手法開発の全体像

制手法の確立等に向けた技術開発を進める予定である。

３．調査概要

本調査は、砂町水再生センターに設置した水処理実験プラントを用いて N_2O 生成に影響を与えると考えられている因子を変動させ、各処理工程の水質及び N_2O（排ガス及び溶存）の測定を行い、両者の相互関係の解明を目的とした。水処理プラントの詳細については、昨年度の報告書[1)]に記載した。水処理実験プラントの標準運転値を表１に示す。調査では、標準運転値から、各 RUN で設定した負荷条件等に合わせて設定値の変更を行った。

表１　各系列の標準負荷運転値

項目	単位	第1系列*1 (S-A_2O法)	第2系列 (標準法)	第3系列 (A_2O法)
水量	m3/日	1.2	2.0	1.0
嫌気槽	h	0.88	—	1.00
第一無酸素槽	h	0.58	—	3.00
第一好気槽	h	3.08	7.00	10.00
第二無酸素槽	h	3.00	—	—
第二好気槽	h	4.17	—	—
合計	h	11.7	7.0	14.0

*1：S-A_2O(ステップ流入式A_2O法)

3.1 調査条件(RUN)の設定

これまでの調査等から N_2O の生成機構は図２に示す経路であることが明らかになっている。N_2O は、硝化、脱窒の両過程から生成され、硝化では、NH_4-N から生成した NH_2OH がさらに硝化される段階で、亜硝酸生成反応との競合反応により生成されている。この反応では、溶存酸素濃度（DO）が大きく影響していることが示唆されている。一方、脱窒では、硝酸から窒素まで段階的に還元される。この反応では中間物質として N_2O が必ず生成する。N_2O から N_2 への反応阻害が N_2O 蓄積量(溶存 N_2O 濃度)を左右し、N_2O 蓄積量が排出量を左右していると考えられる。N_2O 蓄積は、硝化、脱窒反応に影響を与える有機分濃度、窒素負荷量や DO、ORP が影響因子と考えられるが定量的な解析は進んでいない。

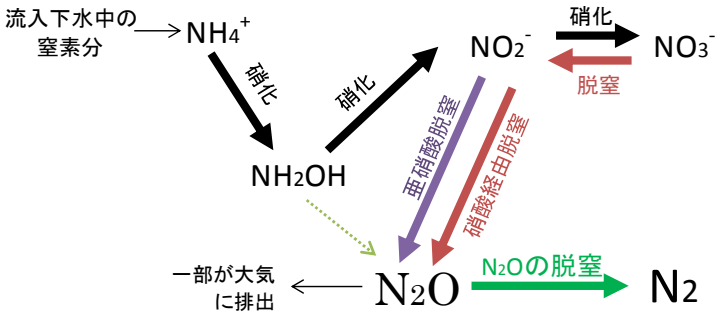


図２　N_2O の生成機構

そこで、調査条件は、想定される N_2O 生成条件を考慮して、主に MLSS に対する窒素負荷を変化させる設定とした(表 2)。各 RUN の測定は、条件設定後、処理状況が安定した段階で精密試験として実施した。

表２　各 RUN の運転条件

RUN No	S-A2O法	標準法	A2O法
RUN1	標準負荷		
RUN2	高負荷 (標準×1.5)	標準負荷	低負荷 (標準×0.5)
RUN3	低負荷 (標準×0.5)	標準負荷	高負荷 (標準×1.5)
RUN4	ほぼ未硝化	亜硝酸型硝化	MLSS濃度の急変
RUN5		MLSS濃度の急変	
RUN6	返流水添加による高窒素負荷		

RUN1～3 は、水量負荷を変えて窒素負荷を変動させる条件である。ただし、標準法(2 系)は、標準水量とすることで比較基準とした。RUN1 は、全てが標準水量負荷、RUN2 は、1 系(S-A_2O)が高水量負荷、3 系(A_2O)が低水量負荷、RUN3 は、RUN2 と反対に 1 系が低負荷で 3 系を高負荷とした。

RUN4 では、流入 NH_4-N 濃度を高めて窒素負荷を変動させることを意図した条件で、汚泥処理返流水を流入水に添加したが処理状況が著しく悪化したため返流水の添加を停止

したところ、１系が一部硝化型（好気槽出口、NH_4-N:15.9mg/L、NOx-N:2.0mg/L）、２系が亜硝酸型硝化となったため、亜硝酸と N_2O との関係を確認するための調査に変更した。処理状況が回復した３系は、MLSS 濃度を定常状態から急激に半減することで窒素負荷を急変させ、その変化の前後で測定を行った。

RUN5 は、未硝化状態であった１系を調査対象から除外し、２系と３系で MLSS 濃度を急激に半減させることで NH_4-N 負荷を急変させた前後（測定間隔１日）で測定を行った。

RUN6 では、流入水に返流水を 1/3 程度添加した高濃度窒素負荷条件として調査を行った。

3.2 測定内容

3.2.1 測定項目

水質分析項目を表３に示した。NH_4-N、NO_3-N、NO_2-N といった窒素関連の項目と、生物化学的酸素要求量（BOD）を測定した。N_2O は、生成、分解、排出の挙動を収支として捉えること目的にして、ガス態と溶存態を測定した。

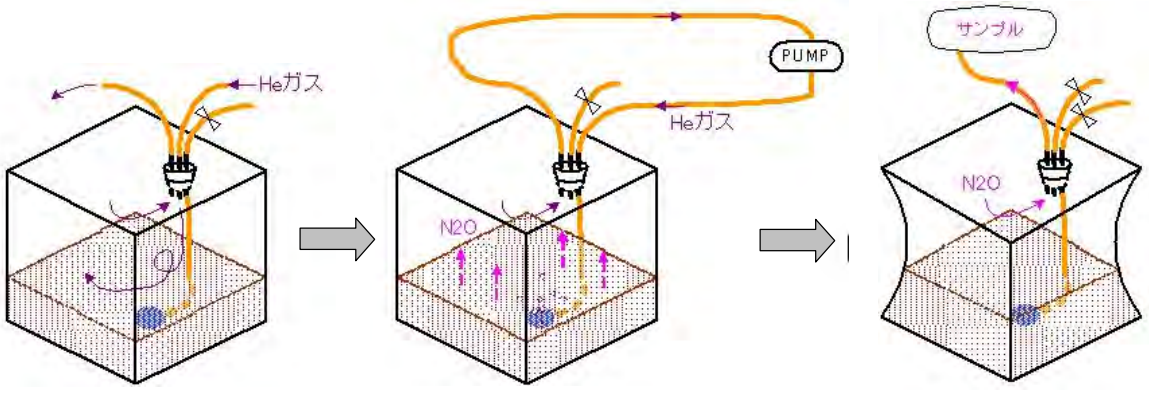
表３　各箇所における分析項目

測定箇所	測定項目
流入水	BOD、NH_4-N、NO_3-N、NO_2-N、N_2O(溶存態)
反応槽	NH_4-N、NO_3-N、NO_2-N、N_2O(溶存態、ガス態)
第二沈殿池	
返送汚泥	NH_4-N、NO_3-N、NO_2-N、N_2O(溶存態)

3.2.2 N_2O 測定方法

1)溶存態

溶存態 N_2O は、図４に示す方法で測定した。



コンテ(20L)に試料 10L を投入し、気相部を He ガスで置換する

液相部を He ガスで循環ばっ気して、溶存 N2O を気化させる

コンテナ気相部のガスをガスパックに採取する

図４　溶存 N_2O 試験におけるガス採取方法

反応槽混合液を 10L 採取し、ここに硫酸銅溶液（32g/L）を 1%添加して、活性汚泥中の微生物の活性を抑えた。返送汚泥については、汚泥濃度が濃いため、同溶液を 2%添加した。この溶液を、ガス化装置に投入し、気相部をヘリウム（He）ガスに置換して、空気中の N_2O の影響を排除した。その後、液相部を He ガスで循環ばっ気し、溶存 N_2O を気液平衡に達するまで気化させた後、ガス部分の N_2O 濃度を DX-4000（Gasmet 社製）で測定した。これまでの報告[2)]によると、混合液中の溶存 N_2O 濃度と平衡後の気相部の N_2O ガス濃度との間には、次式が成り立ち、平衡後の気相部ガス濃度を測定することにより、溶存して

いた N_2O の濃度を算出することができる。そこで、この関係式を用い、気化させた N_2O を測定することで、溶存 N_2O 濃度を算出した。

$$Cl \times Vl + Cn \times Vg = Cg' \times (Vg + \beta \times Vl)$$

Cl ：気液平衡前の液中N20濃度（ng/mL）
Vl ：液相体積（mL）
Cn ：大気中N20濃度（ng/mL）
Vg ：気相体積（mL）
Cg´ ：気液平衡後の気相中のN20濃度（ng/mL）
β ：オストワルド溶解度係数（mL/mL）

2）ガス態

排出ガス中の N_2O は、各槽や第二沈殿池から発生するガスを収集し、それをガスバックに採取して測定した。

嫌気槽、無酸素槽のガス採取は、平成 20 年度調査[1)]で確立した、図 5 に示す方法を用いた。ガス採取装置を各採取箇所に設置して 4 時間静置した後に、気相部をガスバック採取して測定した。4 時間とした理由は、ガス採取装置内が気液平衡に達するには不十分であるが、排出されるガスを収集するには十分な時間であるためである。

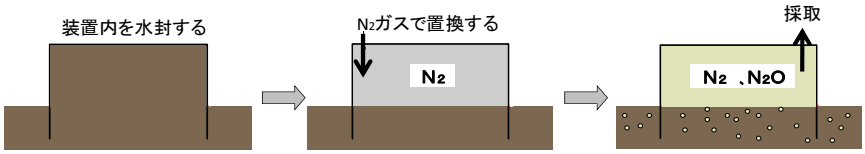


図 5　反応槽からの N_2O ガス採取方法

好気槽のガス態測定は、嫌気槽、無酸素槽と同様にガス採取容器を反応槽に設置した後、ガスバックにガスを採取して行った。好気槽では、曝気空気が直接容器に収集するようになるため、ガスの採取時間は数分程度の短時間で行った。

第二沈殿池では、嫌気槽、無酸素槽と同様の方法にて採取した。この時、汚泥かき寄せ機を汚泥浮上の起こらない範囲（30 分）で停止し、ガスの採取を行った。

測定した N_2O 発生量は、以下に示す方法で算定した。

① 嫌気槽・無酸素槽・第二沈殿池

ガス採取容器に採取したガス濃度の分析結果から算定される N_2O 発生量（a1）

$$= \frac{N_2O\text{濃度[ppm]} \times 10^{-6} \times \text{採取容器容積[m}^3\text{]} \times 44 \times 10^3\text{[mg/moL]}}{22.4 \times 10^{-3}\text{[m}^3\text{/moL]} \times \text{採取時間[hr]}}$$

各槽における N_2O 発生量

＝（ a1）[mgN_2O/hr] / ガス採取容器底面積※[m^2] × 反応槽底面積※[m^2]

② 好気槽

各槽における N_2O 発生量

＝N_2O 濃度[ppm]$\times 10^{-6} \times$採取容器容積[m^3]$\times 44 \times 10^3$[mg/moL]/22.4×10-3[m^3/moL]

この算出値から、系列全体の排出量や、処理水量当たりの排出量等を算定している。

4．　調査結果

N_2O の生成には、窒素の硝化・脱窒の状況が大きく関わっている。RUN1～3 までは、完全硝化の状態であり、流入 NH_4-N のほとんどが NO3-N へと硝化されていた。しかし、RUN4 で窒素負荷をあげる目的で行った返流水の添加により、想定した以上に負荷が上昇

してしまい、処理に著しく影響を受けて硝化状況が悪化した。添加中止により、徐々に回復はしたものの、調査終了時まで完全硝化状態には至らなかった。

4.1 N_2O の生成、排出状況の概要

各 RUN 結果をまとめたものを表 4、5 に示す。ここで、N_2O 生成量は、

【N_2O 生成量 ＝（ N_2O 流出量 ＋ N_2O 排出量 ）－ N_2O 流入量】で算出している。N_2O 排出量は、排ガス中の N_2O 測定値から一日当たりの排出量を算出したものである。

表 4　各箇所における N_2O 生成量結果の一覧

		N_2O生成量(gN_2O/日)						
		RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5		RUN6
						処理前	処理後	
第1系列 ｽﾃｯﾌﾟA_2O法	嫌気槽	-1.72	-0.70	-0.23	0.28	---	---	-0.11
	第1無酸素槽	0.54	2.26	0.93	0.17	---	---	1.01
	第1好気槽	2.47	-0.49	-0.58	9.72	---	---	1.77
	第2無酸素槽	1.38	1.67	1.03	-1.76	---	---	-0.09
	第2好気槽	0.71	-0.49	-0.71	7.11	---	---	3.46
	第2沈殿池	1.48	0.29	0.16	-1.06	---	---	-0.60
	合計	4.86	2.54	0.60	14.46	---	---	5.44
第2系列 標準法	第1好気槽	6.44	-0.17	-0.61	23.08	0.11	2.13	-0.21
	第2好気槽	4.53	0.11	29.18	22.23	6.35	2.75	0.53
	第3好気槽	0.18	-0.07	1.30	32.63	6.13	7.20	3.04
	第2沈殿池	4.29	1.10	3.22	81.94	2.82	7.47	1.45
	合計	15.44	0.97	33.09	159.88	15.41	19.55	4.81
第3系列 A_2O法	嫌気槽	0.02	-0.19	-0.58	0.51	-1.15	0.49	0.25
	無酸素槽	-0.14	1.40	-0.10	-1.35	0.15	-0.72	-0.71
	好気槽	1.61	-1.23	1.54	9.64	14.54	8.80	8.50
	第2沈殿池	-0.15	0.26	0.99	-0.37	1.14	0.51	-1.65
	合計	1.34	0.24	1.85	8.43	14.68	9.08	6.39

※表中の網掛けは、“N_2O分解量＞N_2O生成量”であることを示す

表 5　N_2O 排出量結果の一覧

		N_2O排出量(gN_2O/日)						
		RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5		RUN6
						処理前	処理後	
第1系列 ｽﾃｯﾌﾟA_2O法	嫌気槽	0.02	0.00	0.00	0.00	---	---	0.00
	第1無酸素槽	0.01	0.01	0.00	0.00	---	---	0.00
	第1好気槽	3.07	1.42	0.36	8.73	---	---	3.35
	第2無酸素槽	0.02	0.02	0.01	0.00	---	---	0.00
	第2好気槽	1.49	0.80	0.19	4.21	---	---	2.07
	第2沈殿池	0.01	0.01	0.00	0.04	---	---	0.02
	合計	4.62	2.26	0.56	12.98	---	---	5.44
第2系列 標準法	第1好気槽	8.38	0.15	0.16	68.28	0.26	4.15	0.21
	第2好気槽	6.14	0.46	25.33	40.36	5.41	5.16	1.57
	第3好気槽	0.66	0.23	5.24	29.48	5.80	6.11	2.72
	第2沈殿池	0.00	0.01	0.04	0.29	0.06	0.07	0.02
	合計	15.18	0.85	30.77	138.41	11.53	15.49	4.52
第3系列 A_2O法	嫌気槽	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
	無酸素槽	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
	好気槽	1.21	0.20	1.54	6.86	12.03	7.46	6.23
	第2沈殿池	0.00	0.00	0.01	0.04	0.07	0.04	0.02
	合計	1.25	0.21	1.56	6.92	12.13	7.53	6.26

表 4 中の N_2O 生成量がマイナスの箇所は、生成された量に比べ分解により消失した量が多いことを示している。マイナスとなることは、N_2O 生成機構の反応式から十分に考えられることで、排出抑制技術を開発していくひとつの方向性を示していると考えられる。

RUN1～3 までの水量負荷を変えて行った結果では、1、3 系とも高負荷時のほうが、低負荷時に比べて N_2O 生成量、排出量とも多くなっていた。高水量負荷時は、1 系で低負荷時の約 4 倍、3 系で約 8 倍程度高くなっていた。しかしながら、基準系列である 2 系は、曝気風量の変動や硝化状況が安定しなかったことから非常に大きく変動しおり、比較対象としては、不安定な結果となった。

RUN4 の 1 系は、一部硝化型（好気槽出口、NH_4-N:15.9mg/L、NOx-N:2.0mg/L）であったが、好気槽でのみ N_2O が生成されていた。図 2 の生成機構から完全な未硝化は、N_2O を生成しないと考えられるが、1 系は、僅かながら硝化が進んでいたために N_2O が生成していたと考えられる。硝化処理をするのであれば適正に硝化できる NH_4-N 負荷の範囲内で確実な硝化を行うことが N_2O の蓄積を抑制する重要な条件であることが示唆される。また、第二無酸素槽では、N_2O 生成量がマイナスとなっており、第一好気槽から持ち込まれた N_2O が分解していた。

2 系は亜硝酸型硝化時の調査であるが、大量の N_2O 生成、排出が測定された。これまでにも NO2-N の蓄積と N_2O 排出との関係が報告されているおり、好気槽での大量生成、排出は予測されたことであった。しかし、第二沈殿池での大量生成は予測外のものであった。反応槽出口から持ち込まれた NOx-N が第二沈殿池底部の嫌気雰囲気で脱窒される過程で N_2O が生成されることは十分に考えられることである。第二沈殿池から返送汚泥と共に好気槽入口に戻された N_2O 量は、入口部での生成量を上回っている。この部分からの排出量が生成量を上回っているもの第二沈殿池からの N_2O が一緒に排出されているための現象と考えられた。このことは、N_2O の生成場所と排出場所が必ずしも一致していないことを意味しており、排出削減対策の実施内容や対策場所を考える上で慎重な対応が必要になることを示している。

RUN5 は、MLSS を急変させることで、NH_4-N/MLSS 負荷を大幅、かつ急激に変動させたときの N_2O の挙動を調査したものである。表 6 が結果であるが、2 系は処理後の N_2O 排出量が上昇し、3 系では減少という反対の結果となった。2 系は、MLSS を 30%程度、3 系は、45%下げた条件であった。2 系の窒素態の流入濃度および処理状況と硝化速度は、ほとんど変わっていない。好気槽での N_2O 生成量が同程度なのは、窒素態処理状況が同程度あったためと考えられる。一方、第二沈殿池での生成量は、変更後に 2.6 倍程度増加している。反応

表 6　MLSS 濃度変更前後の N_2O の挙動

系列			2系		3系	
MLSS変更			前	後	前	後
水量(m3/h)			2		1	
MLSS(m3/L)			2780	1998	2188	1202
好気槽入口出口の窒素態濃度(mg/L)	NH4-N	入口	22.1	20.8	12.5	14.5
		出口	10.2	10.3	3.3	7.3
	NO2-N	入口	0	0.4	0	0.2
		出口	1.1	1.3	0.7	1.3
	NO3-N	入口	0	0	0.1	0.1
		出口	12.3	12.3	9.6	7.2
硝化速度(mg/g･h)			1.21	1.39	2.21	1.63
N2O生成量と排出量(gN2O/日)	好気槽	生成量	12.59	12.08	14.54	8.8
		排出量	11.47	15.42	12.03	7.46
	二沈	生成量	2.82	7.47	1.14	0.51
		排出量	0.06	0.07	0.07	0.04

槽出口から第二沈殿池に流入した NOx-N 負荷は同程度であるが、MLSS 濃度の差が第二沈殿池底部の汚泥量の差となって(前後で返送汚泥率は同一)、NOx-N の脱窒状況に影響していたことが考えられる。MLSS 量が多い変更前の N_2O 生成量が少ないのは、持込まれた NOx-N の N_2O 経由した N_2 までの脱窒がより多く進んだためと考えられるが、詳細は不明である。MLSS 変更前後の N_2O 生成量が同程度にも関わらず、変更後に排出量が多くなっているのは、第二沈殿池で生成した N_2O が返送汚泥とともに反応槽に持ち込まれ、その部分が好気槽での生成分に上乗せされて排出されると考えられる。

3 系では、窒素態の流入濃度、処理状況に若干の差が認められ、もともと硝化があまり進んでいない状況であったが、変更後は、より硝化状況が低下している。このことは、硝化速度の低下からも明らかである。これは、MLSS を大きく下げたためと考えられるが、このために N_2O 生成量は、好気槽、第二沈殿池の両方で低下し、そのことが排出量の差となって表れているといえる。

RUN6 は、返流水を添加することで NH_4-N/MLSS 負荷を急変したことによる N20 の挙動調査を意図した調査であったが、結果的に NH_4-N 濃度は数 mg/L 程度の上昇しか得られなかった。そのため、高負荷の特徴的な結果を得ることができず、通常状負荷でのデータを蓄積するものとなった。

4.2 排出係数

N_2O 排出係数を算出した結果を表 7 に示す。N_2O 排出係数とは、下水 $1m^3$ を処理したときに、反応槽から発生する N_2O 量を表す係数であり、法令値は、$0.16g/m^3$ である。この法令値との比較では、RUN1～3 の RUN1(2 系)を除いて下回っていた。RUN4 以降では、ほとんどの条件で上回っており、特に亜硝酸型硝化となっていた RUN4(2 系)は、法令値の 18 倍であった。前半の RUN において硝化は完全硝酸型で、嫌気、無酸素槽では完全脱窒状態が保たれていた。このような完全硝化、脱窒状況下では、N_2O の排出量は少なくなるといえる。反対に、後半の RUN では、硝化の状況が必ずしも十分でなく、亜硝酸型硝化や一部硝化型（処理水に、NH_4-N、NOx-N が混在している状況）となっていた。このような硝化状況では、N_2O の排出量が多いといえる。

表 7　各 RUN における N_2O 排出係数　　単位:g-N_2O/m^3

RUN No	排出係数等	S-A2O法(1系)	標準法(2系)	A2O法(3系)
RUN1	RUN条件	標準水量負荷		
	排出係数	0.160	0.316	0.052
RUN2	RUN条件	標準水量×1.5	標準水量負荷	標準水量×0.5
	排出係数	0.052	0.018	0.018
RUN3	RUN条件	標準水量×0.5	標準水量負荷	標準水量×1.5
	排出係数	0.039	0.641	0.043
RUN4	RUN条件	ほぼ未硝化	亜硝酸型硝化	MLSS濃度の急変
	排出係数	0.451	2.884	0.289
RUN5	RUN条件	ー	MLSS濃度の急変	MLSS濃度の急変
	排出係数	ー	0.240 ⇒ 0.323	0.505 ⇒ 0.314
RUN6	RUN条件	返流水添加による高窒素負荷		
	排出係数	0.189	0.094	0.261

*:RUN4の3系は、MLSSを急激に低下させた後の値
*:RUN4の2、3系は、前段が定常時、後段がMLSS濃度を急激に下げた後の値

4.3 N_2O の生成・排出に特徴のある RUN 条件

4.3.1 生成の多い RUN

図 6 は、反応槽内に高濃度の亜硝酸が検出された RUN4 における、2 系(標準法)反応槽末端の各窒素態濃度を示したものである。流入水中に NOx-N が検出されていないことから、流入した NH_4-N は、第 1 槽からすでに硝化が始まっており、第 3 槽末端では、NH_4-N

の多くが硝化されていた。しかしながら、硝酸性窒素はあまり検出されずに、ほとんどが亜硝酸窒素であった。これは、亜硝酸酸化細菌の活性が低く、NH_4-N の酸化により生成した亜硝酸窒素を十分に酸化できずに、結果的として亜硝酸窒素の蓄積が引き起こされたものと考えられた。

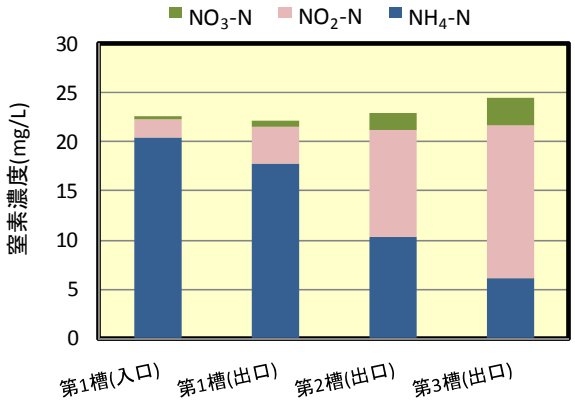


図 6　窒素濃度の変動

N_2O の収支図を図 7 に示す。

移送量は、溶存 N_2O 濃度の測定値から算出した。流入水による持ち込みは、0.3gN_2O/日であり、反応槽内の生成量と比べると問題とならない量である。反応槽では好気第一槽で 25gN_2O/日の生成があり、その後の槽でも同程度以上の生成がみられた。排出は、第一槽からの 68gN_2O/日が最大であった。

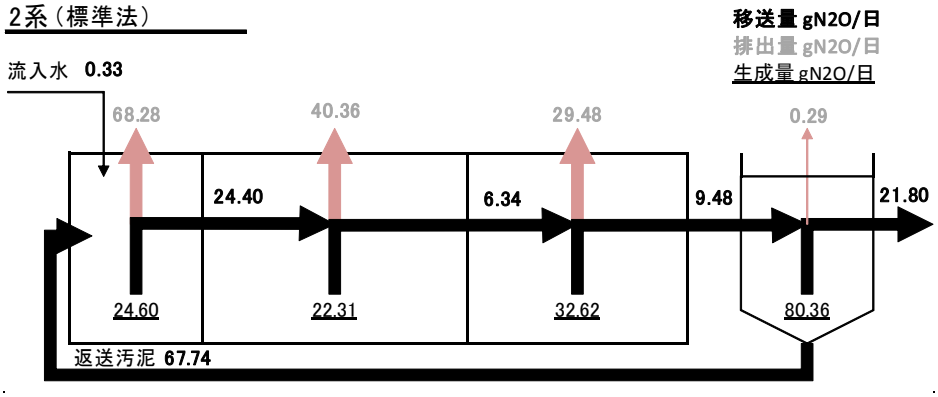


図 7　N_2O 収支図（RUN4 標準法）

特徴的なのは、第二沈殿池での N_2O の大量生成と反応槽前段への移送である。生成量 80gN_2O/日は、各測定点の中でも著しく高い値である。第二沈殿池に流入した NOx-N が底部汚泥層で脱窒して N_2O を生成し、生成した N_2O が返送汚泥と一緒に反応槽に戻っている状況が見えている。排出総量は、140gN_2O/日であり、排出係数に換算すると 2.88gN_2O/m3 と非常に高い値となっており、NO2-N の存在と N_2O 排出量の強い関連を改めて確認する結果となった。

4.3.2 N_2O の分解がみられる条件

図 8 は、流入水量負荷を 1.5 倍に設定した RUN3 の 3 系(A_2O 法)の NOx-N 濃度を示している。流入してきた NH_4-N は、好気槽で NO_2-N を速やか通過し NO_3-N まで硝化されているため、NO2-N の蓄積は見られない。生成した NO_3-N は、第二沈殿池を経由して返送汚泥と一緒に嫌気槽に、または硝化液循環液として無酸素槽にそれぞれ流入するが、戻された先の槽末端では、NOx-N 濃度が低いことから、ほぼ完全に脱窒していたといえる。これらのことから、RUN3(3 系)の処理状況は、A_2O 法本来の硝化、脱窒が確実に行われている運転が確保されていたといえる。

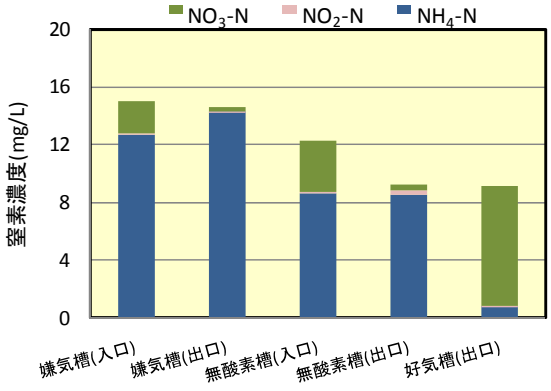


図 8　窒素濃度の変動

この時の N_2O 収支図を図 9 に示す。無酸素槽や嫌気槽で NOx-N の脱窒が行われ、NOx-N の脱窒にあわせて N_2O が生成していたと思われるが、N2O から N2 への脱窒も素早く行われる中で、第二沈殿池から持ち込まれた N2O 部分も合わせて脱窒され生成を上回る分解が起きていたと考えられる。N_2O の排出は、そのほとんどが好気槽からのものであったが、総量で 1.56gN_2O/日、排出係数で 0.043 gN_2O/m³ と低い値であった。

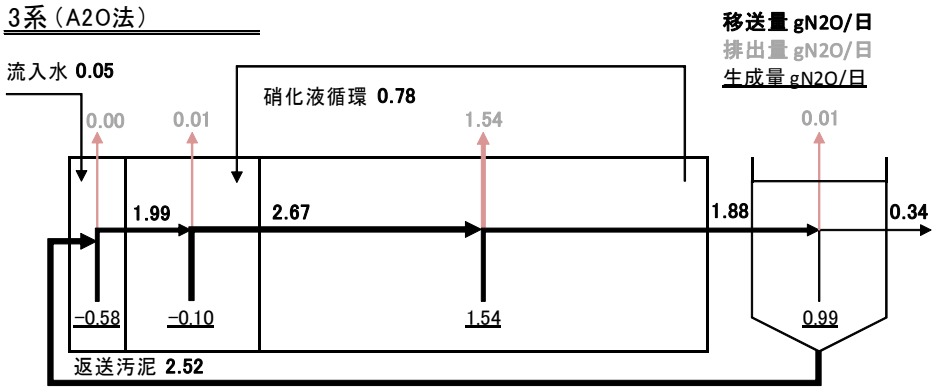


図 9　N2O 収支図（RUN3 A2O 法）

５．考察

5.1　生成と排出の関係

N_2O の生成と排出は、処理方法や水処理状況によって変動するが、定常的な通常運転下での N_2O の主要生成場所は、好気槽（硝化由来）と第二沈殿池（脱窒由来）である。排出は好気槽からが大部分を占めており、好気槽の曝気作用が大きく影響していることが想定される。

各槽の N_2O 生成量と、N_2O 排出量の関係をプロットした結果を図 10 に示す。図中の太線は、生成量と排出量が 1 対 1 となる点を結んだもので、この線上のプロットは、その槽からの生成量と排出量が一致していることを表している。各槽の結果をプロットしたところ、ほとんどがこの直線上に乗っており、生成されたもののほとんどがそのまま排出されていることが確認できる。そのため、N_2O の削減を行ううえでは、生成量（水中への蓄積量）を減らさなければならないことを示している。

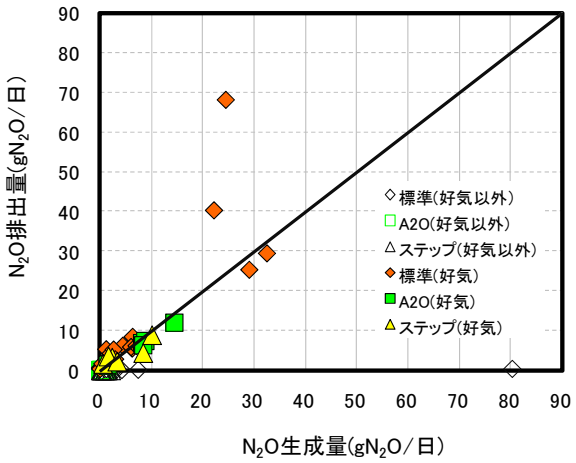


図 10　N2O 生成量と排出量の関係

5.2　N_2O 発生の関係因子

N_2O の生成に影響を及ぼすと考えられる、NO_2-N 濃度、好気槽の DO 値、NH_4-N 硝化量、A-SRT との相関関係を確認した。処理水中の NO_2-N と N_2O 発生量との関係を図 11 に示す。どの系列においても、NO_2-N の上昇とともに、N_2O 発生量が上昇している。予想されたとおり、両者の間には深い関係性があることが再確認できた。

処理水中の NO_2-N と N_2O 発生量との関係を図 11 に示す。どの系列においても、NO_2-N の上昇とともに、N_2O 発生量が上昇している。予想されたとおり、両者の間には深い関係性があることが再確認できた。

図 12 は、酸化された NH_4-N 量と N_2O 生成量の関係を DO 濃度別に図示したものである。DO 値が 2mg/L 以上あれば、N2O の生成に大きな影響は見られず、N2O の生成は、NH_4-N 硝化量との関係が強いようである。これは、DO 値は 2mg/L 以上あれば、硝化反応を左右する律速条件とはなっていないことをうかがわせる。流入負荷、NH_4-N 負荷変動による明確な差は確認できなかったが、図 12 に示した NH_4-N 硝化量と N_2O 発生量の間に正の関係がみられたことは、より多くの NH_4-N を酸化する条件が、より多くの N_2O を発生する危険性を示しており、流入水の NH_4-N 濃度が高いほうが、生成量を高くする可能性が高いことを示している。

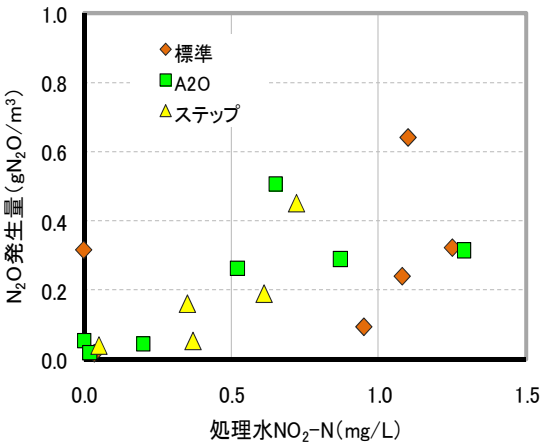


図 11　N_2O 発生量と処理水 NO_2-N の関係

図 13 は、A-SRT/必要 A-SRT と N_2O 発生量の関係である。通常言われている硝化に必要な A-SRT を太線で示してあるが、この付近でも多くの N_2O が発生する可能性を示している。N_2O の発生をより少なくするには、A-SRT をこれまで以上に長く取る必要がある。

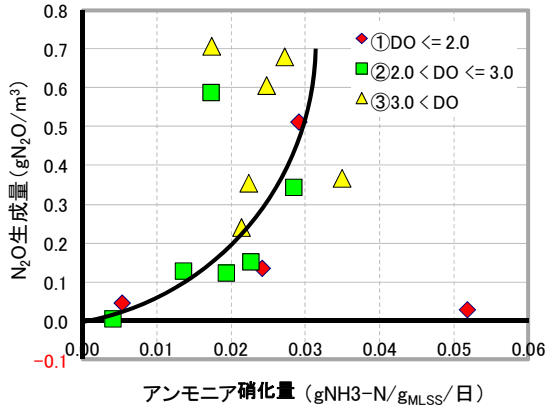


図 12　NH4-N 硝化量と N_2O 生成量の関係

5.3 排出抑制への対応

5.3.1 硝化過程への対応

硝化過程からの N_2O 生成を左右する主要因は、NH_4-N 負荷（または NH_4-N/MLSS 負荷）や A-SRT 値、また亜硝酸の蓄積があげられる。

NH_4-N 負荷については、図 12 にもある通り、硝化量が増えれば生成量も増えるといった関係にあり、加えて汚泥の硝化能力を超えるほどの濃度の流入により、さらに生成量が多くなる傾向となっていた。そのため、N_2O 生成の抑制に向けては、汚泥の持つ硝化能力を超えない負荷とすることが必要となる。具体的には、NH_4-N 負荷量の上昇に対応して、MLSS 濃度を上昇させるなどの対応を行うことが必要になると考える。

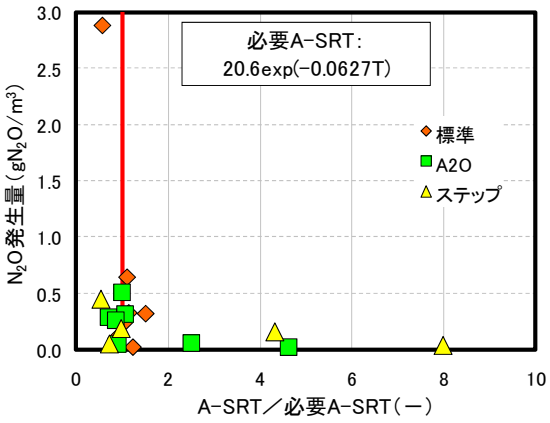


図 13　A-SRT と N_2O 発生量の関係

また、A-SRT では、より長く設定することにより、抑制に持っていくことができる。図 13 の結果から、一般的にいわれている「必要 A-SRT」では不十分であり、少なくとも 2 倍程度を確保することが必要であることがわかる。NH_4-N 負荷と同様ではあるが、余裕のある硝化が進められる状況を作り出すことが求められる。

亜硝酸の蓄積に関しては、硝化が亜硝酸型にならないように窒素処理の状況を管理することが必要であるが、硝化が亜硝酸型になる要因について完全な解明には至っておらず、改善の手法も明らかになっていない。そのため、対策をとることが現段階において難しい面もあるが、頻繁な亜硝酸濃度の測定により監視を行い、兆候がみられた場合は必要空気量の確保や SRT を長くするなど、硝化を進めるのに必要な対策を実施していくことが必要になる。

5.3.2　脱窒過程への対応

第二沈殿池での脱窒は、意図して起きているものではなく、脱窒するために必要な嫌気状態と有機物などの環境も、十分に整っているわけではない。図 14 に嫌気、無酸素槽での、N_2O 生成量と ORP 値の関係を示した。この図から、ORP 値で-150mV を境に N_2O が分解側から生成側にシフトしていることが示されており、脱窒時の嫌気度の深さが N_2O 生成に影響を与えていることの確認ができる。

一方、第二沈殿池での N_2O 生成量を左右する要因は、流入する NOx-N 量が疑われる。ここで、第二沈殿池に流入する NO_3-N と N_2O 生成量の関係を図 15 に、第二沈殿池での脱窒量と N_2O 生成量との関係を図 16 に示す。図 15 から、流入する NO_3-N 量が増加すると N_2O 生成量が増加していることが、また図 16 から、第二沈殿池での脱窒量が増加することで N_2O 生成量が増加している。第二沈殿池に多量の NO_3-N が流入して、脱窒されることにより、多くの N_2O が生成されることが推測される。

これら結果より、第二沈殿での N_2O 蓄積を抑制するためには、流入する NOx-N 量を低く抑えるとともに、不十分な脱窒を引き起こすような嫌気状態が形成されないよう、ORP 計等の計測機器で確認しながら、汚泥界面を調整する等の操作をすることが必要である。

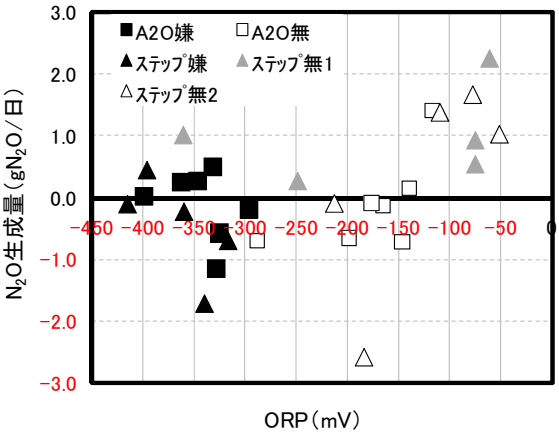


図 14　N_2O 生成量と ORP 値の関係

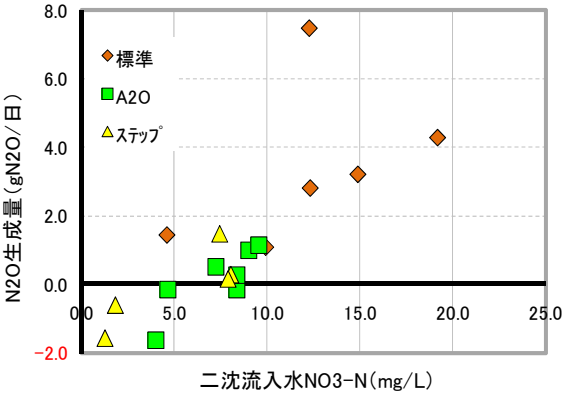


図 15　流入 NO_3-N と N_2O 生成量の関係

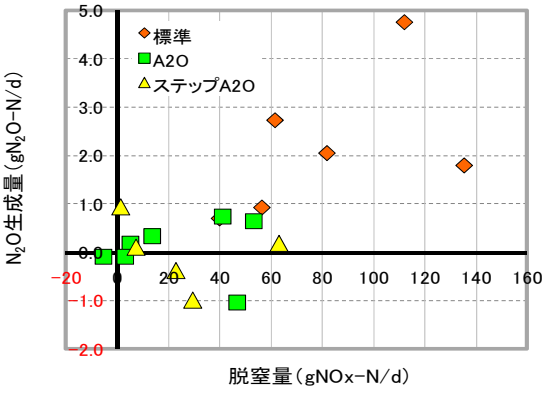


図 16　脱窒量と N_2O 生成量の関係

６．まとめ

N_2O 生成や排出に影響を与える因子や運転条件等を特定するための調査を行い以下の結果が得られた。

1)反応槽内の N_2O 蓄積量は、硝化、脱窒状況に大きく左右される。
2) N_2O が生成される主要場所は、通常運転であれば、好気槽(硝化由来)と第二沈殿池(脱窒由来)である。
3) N_2O が排出される主要場所は好気槽であるが、これは好気槽のばっ気操作に起因していると想定された。
4)亜硝酸型硝化、一部硝化型(処理水に NH_4-N、NOx-N が混在している状況)は、N_2O 蓄積量や排出量が多くなる。特に、亜硝酸型硝化は、この傾向が著しい。
5)嫌気、無酸素槽では、脱窒による N_2O の生成がみられるが、生成量以上に第二沈殿池からの返送汚泥、あるいは硝化液循環により持ち込まれた N_2O を脱窒(分解)していることが確認された。これは、脱窒余裕度と関係しているように思われる。
6) N_2O 生成量(蓄積量)と排出量は、ほぼ一致しており、排出を削減するには、蓄積量を低減する必要がある。
7)DO 値は 2mg/L 以上あれば N_2O 生成量への影響は少ない。
8)NH_4-N 硝化量と N_2O 生成量の間には、正の関係がみられる。
9) N_2O の生成からみると A-SRT は、より長いほうが有利である。
10)脱窒を確実に行い N_2O の蓄積を抑制するには、ORP 値を-150mV 以下とすることが有効である。

調査の結論として、N_2O の排出抑制には、硝化、脱窒工程を余裕を持って確実に行うことで N_2O の蓄積を少なくすることが有効である。また、脱窒工程を利用した分解(N_2O)の N_2 への脱窒除去を上手に活用していくことが有効である。

今後は、今回の調査結果を十分に活かして、抑制手法を組み込んだ反応槽の構造や制御のシステムの確立を目指した調査をすすめ、最終的な目標である「排出抑制手法の確立」に向けた調査を進める予定である。

参考文献

１）水処理実験プラント水理特性把握調査：東京都下水道局技術調査年報（2009）
２）土壌を含む気液平衡系における亜酸化窒素溶解度：日本土壌肥料学雑誌 70（1999）

3-(1)-4　水処理から発生する N_2O（一酸化二窒素）連続測定計の開発

東京都下水道局　　河野　里名
塩見　浩
本間誠二

１．はじめに

東京都下水道局は、温室効果ガスの排出削減を計画的、効果的に進めるため平成 16 年 9 月に「アースプラン 2004」を策定して排出削減に努めた結果、計画目標とした 1990 年度比 6%以上の削減を達成してきた。一方、東京都は、2006 年 12 月「カーボンマイナス 10 年プロジェント」を公表し、温室効果ガスを 2020 年までに 2000 年度比 25%の削減を目指している。これを受けて下水道局は、温室効果ガスの削減を進める新たな指針として、平成 22 年 2 月に「アースプラン 2010」を策定し、温室効果ガスのさらなる削減（2020 年度末までに 2000 年度比 25%削減）に取り組んでいる。「アースプラン 2004」では、主に電力使用に伴う CO_2 と汚泥焼却時に発生する N_2O を削減してきたが、25%削減という新たな目標に向けて更に対策の水準を上げていくには、これまでの対策に加えて、削減対策が行われていない、大きな削減効果が期待できる発生源に目をむけることが必要となっている。こうした中で図 1 に示す水処理に伴って発生する N_2O は、これまで有効な対策がなかったことから削減の対象となっていないが、総排出量の 16%以上を占めており、今後の新たな削減方策として期待される。

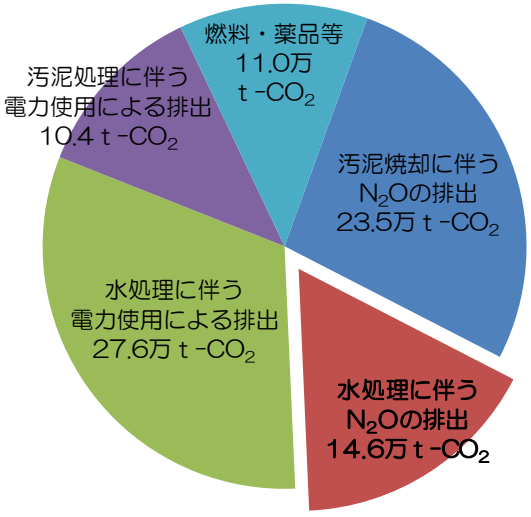


図１　排出量の内訳（2009 年度見込値）
総排出量（87.1 万 t-CO2）

しかし、生物反応槽から排出される N_2O に関しては、積極的な実態調査や削減のための技術開発が行われていない。これは、生物反応槽内で N_2O が生成する詳細な機構が十分に解明されていなかったことが大きな原因と考えられるが、過去の限られた調査結果から N_2O の発生は、硝化状況の変化、特に NO_2-N 濃度の変化や滞留時間の増減などにより大きく変動することが知られている。[1)] このことは、下水の処理法や運転条件、制御方法などを工夫することで排出削減が可能であることを示唆しているように思われる。今後、排出抑制技術の開発を効率的に進めるには、水処理過程における排出実態の詳細な把握や精度の高い排出係数の算出などが必要であるが、そのためには、N_2O 連続測定計の開発が欠かせない状況となっている。しかし、水処理過程から発生する N_2O を連続かつ安定的して測定できる連続測定計は、水処理排ガス特有の性状（H_2S や湿度などの測定妨害物質等の存在）等により、これまで実用化されていなかった。このことから、技術開発課では、水処理排ガスを安定的に連続測定できる計器の実用化に取り組んだ。ここでは、実用化した連続測定計の内容と開発の過程で得られた N_2O の排出状況に関する知見について報告する。

なお、本調査は、メタウォーター㈱と簡易提供型共同研究として実施したものである。

2．連続測定計の開発

（1）概要

開発を進めた N_2O 連続測定計の概要を図 2 に示す。計器の測定精度を左右する検出部には、焼却炉排ガスの SOx、NOx 等の測定で実績のある非分散型赤外線（NDIR）方式を採用している（測定レンジ 0～500ppm、分解能 0.05ppm、繰返精度±0.5%F.S.）。

今回の開発では、水処理用連続測定計として安定した計測を実現するために、測定妨害物質を除去する前処理装置の部分を主に検討した。

なお、実用化調査は、東京都下水道局芝浦水再生センターの反応槽実排ガスを用いて進めた。

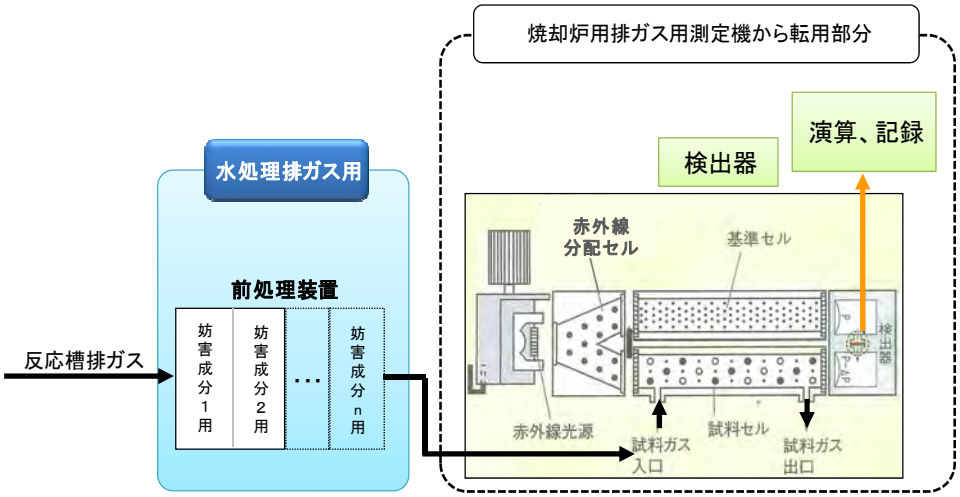


図２　N_2O 連続測定計の概要

（2）測定妨害物質の特定と前処理装置

前処理装置の構成を検討する目的で反応槽排ガスの成分分析を行い、妨害成分の特定と存在濃度を明らかにした。成分分析は、反応槽流入側、出口側において、反応槽覆蓋部の脱臭ダクトからサンプリングした試料ガスに対して、夏季２回、冬季４回実施した。表１に結果を示す。

表１　妨害物質の種類、濃度範囲

測定位置	H_2S(ppm)		CO_2(%)		H_2O(%)		CO(ppm)		SO_2(ppm)	
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
流入側	10	16	0.83	1.2	2.7	3.5	<1	<1	<0.1	<0.1
放流側	<0.01	<0.01	1.6	2.0	2.8	3.6	<1	2	<0.1	<0.1

分析の結果、N_2O の赤外線吸収に干渉影響がある CO、検出器に腐食影響のある SO_2 は、影響のない範囲であったが、腐食影響のある H_2S、赤外線吸収に干渉する CO_2、H_2O の３成分は、なんらかの前処理が必要な濃度であった。

前処理が必要な３成分について、H_2O の除去は、電子冷却器＋ガスドライヤ（膜分離法）、CO_2 対策として、N_2O と同時に測定して内部演算によって補正する方式をこれまでの実績を参考にして採用した。H_2S については、活性炭吸着法による除去を検討した。図３は、反応槽入口部の排ガスを対象にして、活性炭吸着装置前後の H_2S 濃度から除去効果を確認したものである。吸着装置出口での濃度は、ほぼゼロとなっており、H_2S の前処理としては充分な特性であった。

なお、N_2O の排出総量を把握する目的等で活性炭吸着塔の後段に本装置を設置する場合には、前処理装置としての活性炭処理は必要ない。

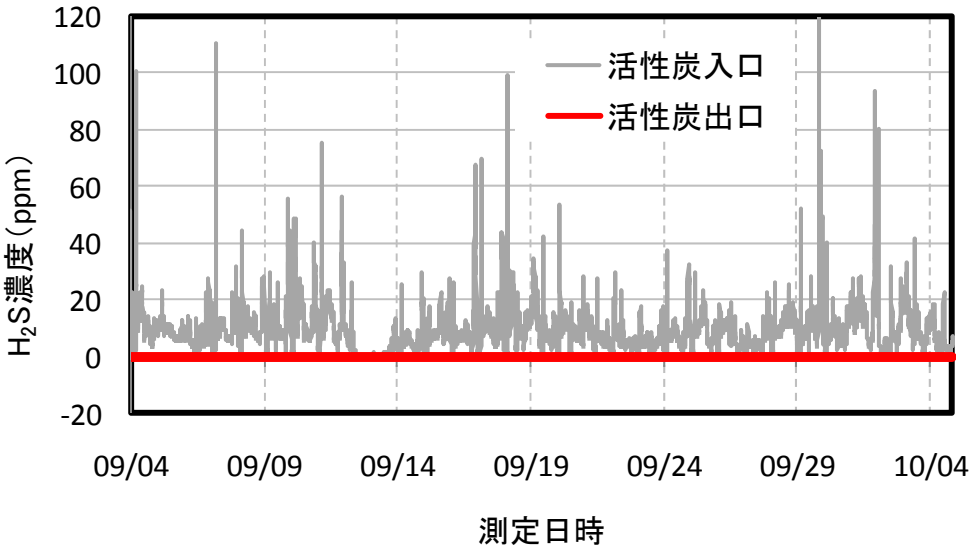


図3　活性炭による H_2S の前処理特性

（3）測定精度等

前処理装置を付けた状態での測定精度を検討するため、公定法であるガスクロマトグラフ法とのクロスチェクおよび自動校正周期とドリフト特性の関係について検討した。

図４は、反応槽覆蓋部の様々な脱臭ダクトからスポット採取した排ガスを連続測定計およびガスクロマトグラフ法で測定したときの両者の相関を示している。ここでは、両軸ともそれぞれの実測値をフルスケールで割った値を採用している。両測定値は、極めて良く一致している。また、図５は、自動校正周期とドリフト特性の関係であるが、変動幅が最も大きい一週間に一回の自動校正であっても、ゼロドリフトおよびスパンドリフトは、フルスケールの±２%の範囲に収まっている。

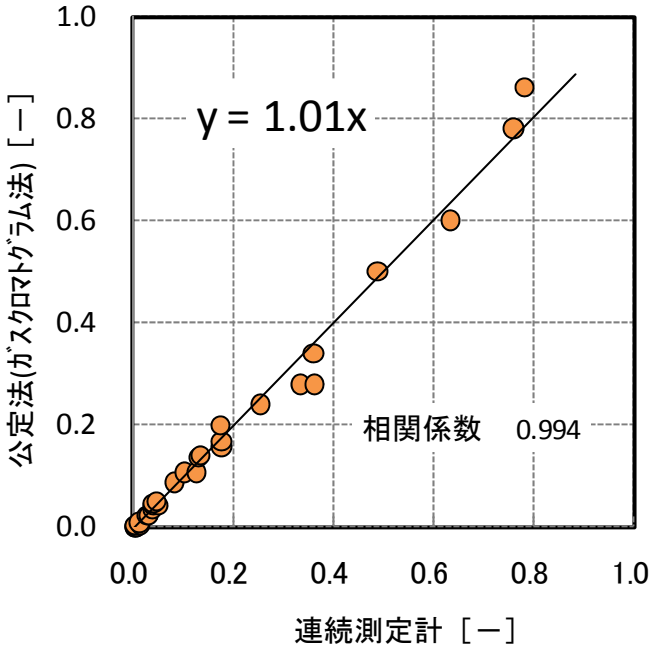


図4　公定測定法との相関関係

燃焼排ガス中の N_2O を NDIR 方式で連続測定計する機器に適用される JIS 規定(B7988)は、ドリフトを最大目盛値の±２%以下としていることから、開発した機器は、規定を満足しており、測定精度は、十分に高いといえる。

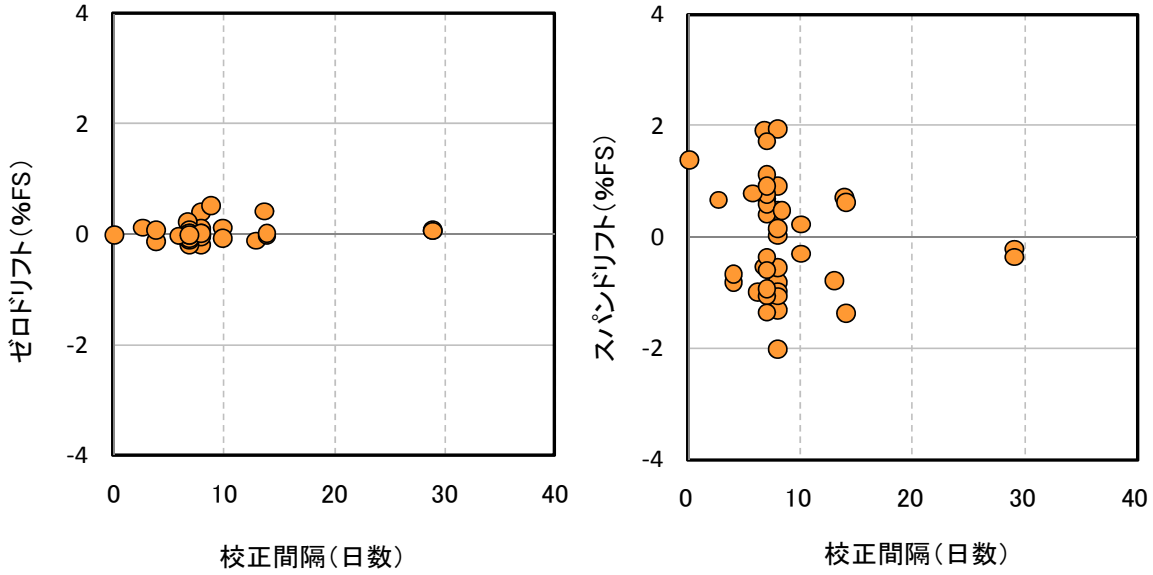


図５　ドリフト特性

（４）連続測定

前述の前処理装置を付加し、週に一回の自動校正で反応槽出口側の排ガスを連続測定した結果の一部が図 6 である。縦軸は、図で表示した期間の平均 N_2O 濃度を 1.0 とした時の、N_2O 濃度の比率として示している。スポット採取・分析では判らなかった大きな日変動や経時的変化を確実に捉えることができている。

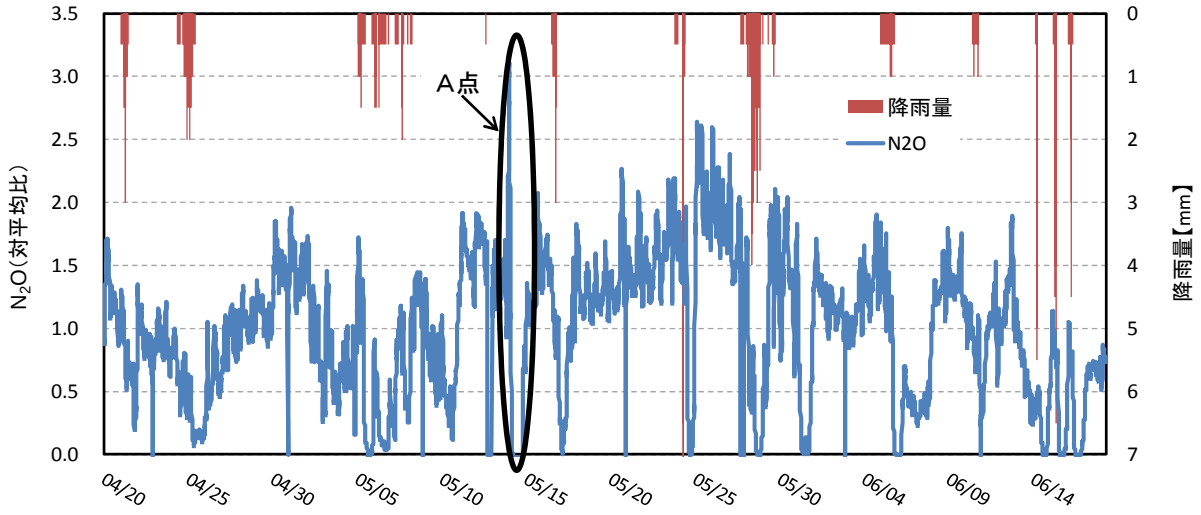


図６　反応槽排ガスの N20 連続測定結果

これらの結果から、本 N_2O 連続測定計は、生物反応槽から排出される N_2O 濃度を精度よく、長期間安定して測定できる計器として、実用化が可能なことを確認した。

３．連続測定結果の解析

図６からは、N_2O 濃度が経時的に大きく変動していることが判る。変動には、いくつかの特徴がみられ、第一の点は、降雨時の変動である。図６でみられる N_2O 濃度の低下個所は、Ａ点を含む一部の例外を除いて降雨時と良く一致している。大きな降雨ほど N_2O 濃度の低下が大きく、かつ低濃度状態が長期間続く傾向が見られる。図７は、現在知られているアンモニアの硝化、脱窒と N_2O 生成の関係を示したものであるが、N_2O の生成が、アンモニアの処理と密接な関係にあり、アンモニアの硝化処理が止まれば、N_2O の生成が抑制されることが想定される。

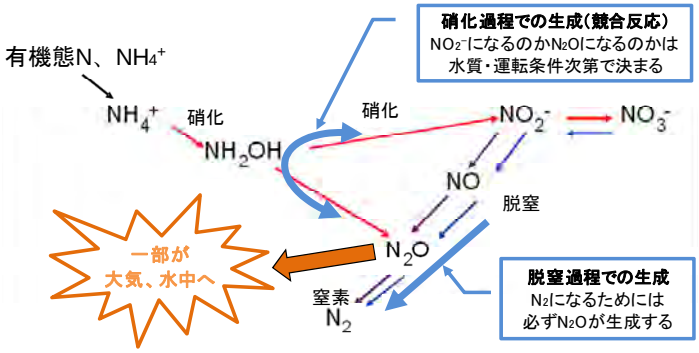


図７　N_2O の生成機構

本調査では、反応槽内の各窒素態濃度の変化を連続測定していないので、降雨時の低下原因を硝化・脱窒状況の変化と生成機構とを関連付けて、高い精度で解析することができないが、一例として各窒素態のスポット測定(AM10:00 に測定)値からの関係解析を５月 28 日から 29 日の降雨前後について行った。測定水質等を表２に示した。27 日の晴天時は、高い NH_4-N の流入があり、反応槽の NH_4-N/MLSS 負荷は、高い状況にあった。この条件下で処理水に NOx が検出されていることから、硝化はある程度進行していたと推測されるが、処理水中に NO_2-N が検出されているので、その硝化過程は必ずしもスムースに進んでいなかったことが推測される。降雨(28 日：39mm、29 日：46mm)の影響で流入 NH_4-N は大きく低下し、NH_4-N/MLSS 負荷も低下している。処理水には、不十分な硝化状況を示す NO_2-N が検出されないことから、硝化はスムースに進んでいたことがうかがわせる。このことから、降雨時に N_2O 濃度の低下が起こる原因は、降雨による流入基質の希薄化で窒素負荷が低減したことによる硝化の適正化、あるいは、滞留時間の短縮による硝化量の低下と推測される。大きな降雨ほどより長い期間 N_2O 濃度の上昇が抑えられることも同様に考えることで説明がつくように思われる。

表２　降雨時の水質等

日付	水質(単位:mg/L)				運転項目等		
	流入水	処理水			NH_4-N/MLSS	流入水量	滞留時間
	NH_4-N		NO_2-N	NO_3-N	mg-NH_3/g-MLSS	m^3/h	h
5/27	31.8	16	3.3	1.8	3.98	3,300	4.0
5/29	3.5	1.6	0	2.5	0.63	4,500	3.1

一方、図６のＡ点は、降雨が無いにも関わらず大きな落込みを見せている。この期間を拡大し、送風量等と合わせて表示したものが図８(N_2O 値は、図６の縦軸と同様に対平均比である。)、その時の水質が表３である。

表３で N_2O 濃度が急激に上昇した５月 14 日は、前日と比較して流入水 NH_4-N 濃度に変化がないものの、処理水質と比較すると NH_4-N 濃度が下がり NO_3-N が増加していることから、この間に硝化が急激に進んだと判断できる。しかし、NO_2-N も同時に増加していることから、その硝化過程は、必ずしもスムースに行われていないかったことをうかがわせる。この時、第二沈殿池では、硝化が進んだことで脱窒現象による汚泥浮上が発生して処理水の透視度が急激に低下する

懸念があった。このため維持管理上の対策として反応槽の硝化を停止させる運転操作として、図 8 に示されるように反応槽への曝気量を急減に絞った。この操作によって溶存酸素濃度は、3.0mg/L から 1.0mg/L へ急激に低下した。これら運転操作とそれに伴う槽内状況の変化に追随して N_2O 濃度が急激に上昇している。

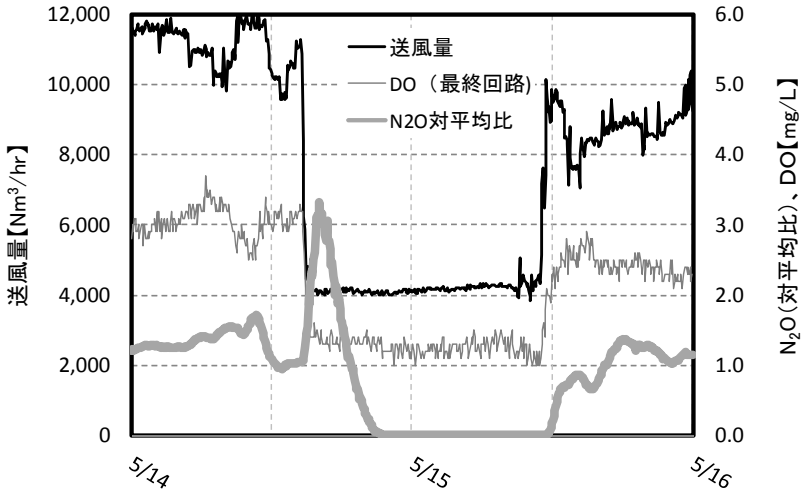


図８　N_2O 等の経時変化

これらの水質変化、運転状況と図 7 の生成機構から推測すると、N_2O の急上昇は、不十分な硝化により NO_2-N の蓄積が進んでいる状況のなかで、溶存酸素濃度が低下したことで蓄積していた NO_2-N、NO_3-N などの脱窒が急速に進み、その結果として N_2O が急激に生成していたものと考えられる。また、低酸素域での硝化により、図 7 で示た NH_4-N→NH_2OH→N_2O 経路で N_2O が生成していた可能性も考えられるが、その後の N_2O 濃度は、ほとんどゼロ付近で推移していることから、その可能性は低いと考えられる。その後の急激な低下は、送風量が低下したことで硝化が停止(5 月 15 日の水質データ)したことで、N_2O の生成が抑制されたことが原因であろう。

表３　Ａ点における水質

単位 mg/L

日付	流入水	処理水		
	NH_4-N		NO_2-N	NO_3-N
5/13	29.5	14.4	3.1	2.9
5/14	30.4	7.4	5.5	5.9
5/15	36	26.3	0.2	0.0

図 6 からは、ここで取り上げた大きな変動以外にも細かな変動が繰り返されている。図 9 は、降雨がなかった月～金（土日は、水量が極端に下がるため通常と異なる）の N_2O 濃度等を示したものである。

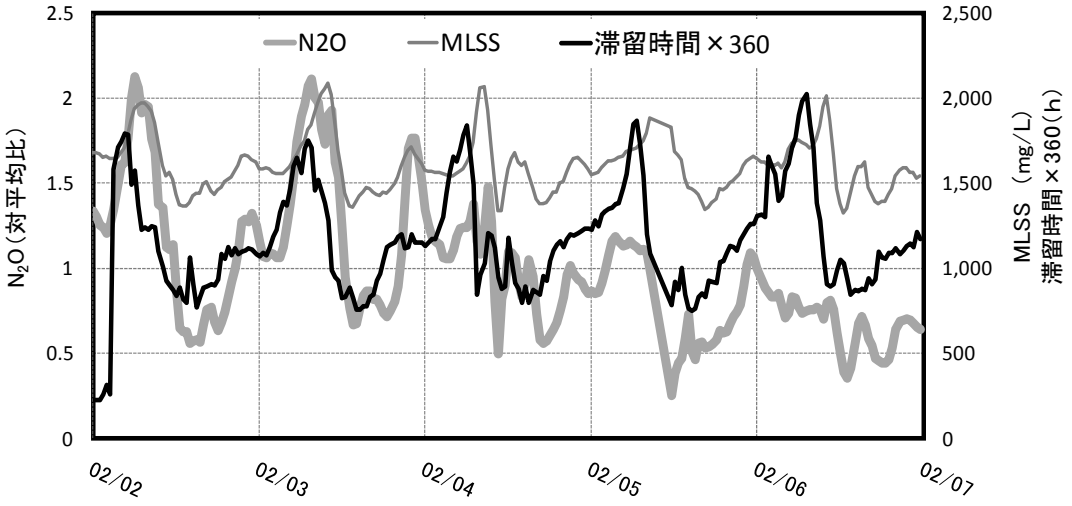


図９　降雨のない定常時における N_2O 濃度の変動

N_2O 濃度は、滞留時間が長くなると上昇し、短くなると低下している。また、MLSS 濃度が高くなると上昇し、低くなると低下している。滞留時間が長くなること、MLSS 濃度が高くなることは、一般的に硝化がより進みやすい条件であることから、本施設のように通常時の硝化が必ずしも十分に進んでいない場合は、硝化が進む条件が不十分ながらも一部整うことにより NH_4-N の硝化が不十分に進んだことが、結果として N_2O 濃度の急上昇につながったと考えられる。

水処理での N_2O の生成起因は、アンモニアの硝化、脱窒処理することにあるが、その硝化、脱窒処理には、反応槽内の微生物が関与している。一般に微生物にたよる処理法は、生物学的りん処理でも経験しているように、物理化学的な処理と比較すると、流入水質・水量、温度、運転制御値等の諸条件の変化に敏感に反応して処理が不安定になり易いといえる。連続測定計の開発過程で得られた短時間内での大きな変動現象は、生物学的窒素処理のわずかな状況変化が直接的に N_2O の生成に大きく影響している可能性を示唆している。一方で、ここで示した本施設での N_2O 濃度の変動要因や図 7 に示した N_2O の生成機構、さらには硝化が起こるとされる一般的な条件から推察すると、通常時に硝化が十分に行われている施設では、滞留時間の短縮や MLSS 濃度の低下によって安定していた硝化状況が崩れ、それを起因として N_2O 濃度が上昇するという、本施設とは反対の結果になることも十分にあり得ることのように思われる。このようなことから、水処理から発生する N_2O の実態把握、あるいは生成・排出と運転状況とを関連付けて解析を行うには、排出濃度や水質状況を連続して把握する必要があると考えられ、スポット測定による解析では実態を十分に反映していない恐れがある。

図 9 からは、滞留時間、MLSS 濃度が N_2O の発生に密接に関係する運転因子といえる。MLSS、滞留時間を説明変数として、信頼水準 95%で重相関をとり有意との結果が得られた。重相関係数は 0.72 であった。比較的高い相関関係が得られている。説明変数とした MLSS は、直接の関係因子でなく、実際には MLSS 中の硝化菌が真の関係因子と考えられる。硝化菌数を説明変数とすることができれば、相関係数の更なる向上と、反応槽内の状況と N_2O 排出との関係解明をより実態を反映して行うことが可能になると期待される。図 10 は、重相関式による予測値から実測値を差引いた誤差と N_2O の関係を示している。両者の間にまだ一定の規則的な関係があることを想定させ、未知の関係因子の存在を推測させる。未知因子の候補としては、反応槽の中で硝化が進行している箇所での送風量や溶存酸素濃度などが考えられるが、現時点では確認できていない。

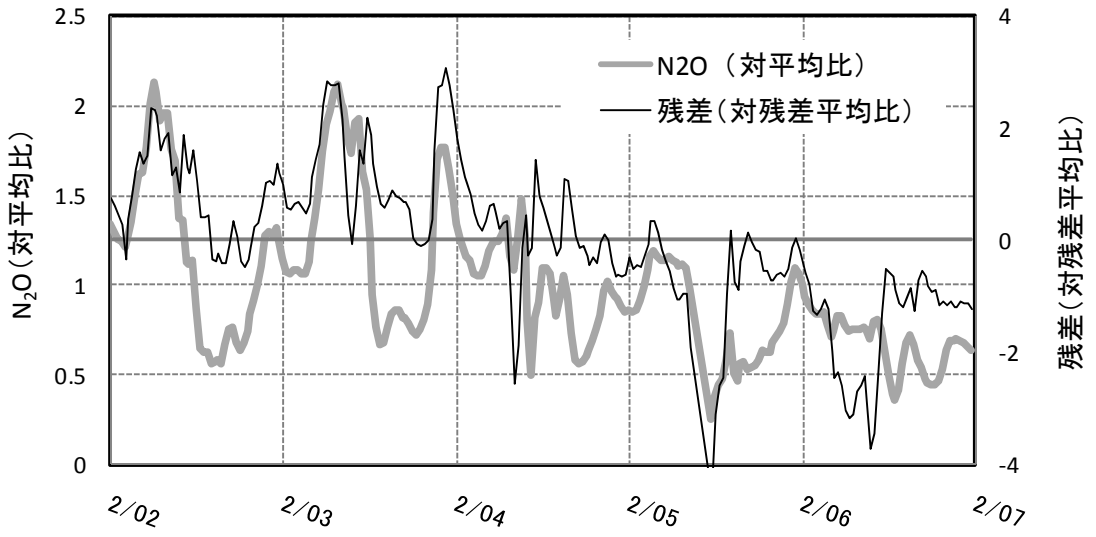


図１０　重相関の残差と N_2O 変動

４．おわりに

水処理過程から排出される N_2O について、実態把握や排出抑制技術の開発を効率的に進めるため、連続測定計の実用化を図り、安定した連続測定が可能な機器を開発した。また、得られた連続測定結果と水質データを統合して解析することで、N_2O 濃度の変動に関する有用な知見も合わせて得ることができた。開発した連続測定計は、モニタリング計器として、また N_2O の年間総排出量を把握する計器などとして活用することで、水処理からの N_2O 発生の削減に向けた調査研究の効率的な進展に寄与できるものと考えている。

技術開発課では、反応槽で生成、排出する N_2O に関して、「排出抑制技術の開発」を最終的な目標として研究開発を進めており、ここで報告した連続計の開発以外にも、生成機構の解明や生成と運転因子との関係解析等の調査を同時並行して進めている。本計器を活用しつつ、今後これら調査が進捗することにより、運転状況と N_2O の生成、発生の関係がより明確にできるものと期待している。

なお、処理条件、運転条件と N_2O 生成の関係については、本年報 3-(1)-3 で報告しており、そちらを参照いただければ幸いである。

参考文献　1）宮本ら、下水道施設における温室効果ガス排出量実態調査、東京都下水道局技術調査年報（2002）

3-(2)-1 省エネルギー型脱水機の実用導入における検討事例

建設部設備設計課　目黒　紀彦

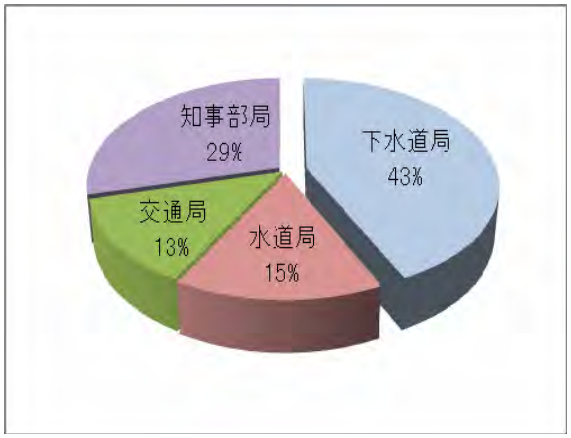
1．はじめに

東京都の下水道事業は、都内で消費される電力の約 1%を消費する最大の需要家である。

また、東京都の事務事業活動で排出される温室効果ガスの約 43%を下水道事業が排出しており、地球温暖化防止に対する取り組みは重要である。（図－1 参照）

脱水機の再構築にあたり、省エネ型の圧入式脱水機と、技術革新によりエネルギー効率が向上した遠心式脱水機について、従来型遠心式脱水機と比較し、両省エネ型脱水機のメリットについて、汚泥性状を考慮した上での電力削減効果、カーボンマイナス効果の比較に加え、建設費、維持管理費等、多面的な検討を行ったので報告する。

図－1　東京都における事務事業別の温室効果ガス排出割合



2．省エネ型脱水機の機種検討

東京都 23 区内にある葛西水再生センター及び新河岸水再生センターにおいて、汚泥脱水機の老朽化が著しいため、これらの再構築が計画された。

近年、維持管理が容易な遠心式脱水機が多く採用されてきた。しかし、従来型遠心式脱水機は、高速回転により遠心力を得るため、駆動用の電動機出力が大きく、消費電力も多く、電力消費に伴う温室効果ガスの発生も多かった。このため温室効果ガスを削減できる省エネ型脱水機導入の検討が必要となった。

東京都下水道局では、経営計画 2010 を策定し、その中で地球環境保全への貢献として、温室効果ガスの削減に積極的に取組むこととし、一施策として、濃縮、脱水、焼却などの汚泥処理システムの省エネ化技術の開発及び導入を掲げている。そのため、民間企業に下水道局が研究フィールドとノウハウを提供し、共同研究で技術開発を進めてきた。

今回、汚泥脱水機の再構築を行うにあたり、東京都下水道局と脱水機メーカーによる共同研究により、実用化可能評価を得た圧入式脱水機を実機導入できるか検討を行った。

また、多くの動力を要するといわれてきた遠心式脱水機について、従来型遠心式から技術革新によりエネルギー効率が向上した新機種の省エネ型遠心式が開発されたため、合せて検討した。

調査方法は、圧入式及び省エネ型遠心式からそれぞれ抽出したメーカー数社に対し、調査票による質問を行い、回答及びヒアリングの実施で調査した。調査した結果等を基に、電気料金や薬品購入費等の実績値を用い、脱水方式ごとに評価を行った。

３．脱水機の比較検討

圧入式脱水機と遠心式脱水機の両省エネ型脱水機の比較検討項目として脱水機の性能、CO_2排出量、建設費、維持管理費、維持管理性について、個別及び総合的に評価を行った。

性能については、処理量、含水率等を、CO_2排出量については、電力使用量、薬品使用量、ユーティリティ使用量を、維持管理費については、電力使用量、薬品使用量、補修費用などを、維持管理性については、汚泥性状変動への対応、点検・補修を比較した。

評価項目について、有利な方を○、やや劣っている方を△、評価が同等なものについて同等と評価した。（表－１参照）

表－１　省エネ型脱水機比較

		圧入式	省エネ型 遠心式	備考
性能		同　等		
CO_2 排出量	電力使用量	○	△	
	薬品使用量	△	○	薬品は、高分子凝集剤の消費による
建設費		同　等		
維持 管理費	電力使用量	○	△	圧入式：低速回転 遠心式：高速回転
	薬品使用量	△	○	圧入式：ろ過・圧搾脱水 遠心式：遠心力で固液分離 ・圧密脱水
	補修	同　等		
維持 管理性	汚泥性状変動への対応	△	○	
	点検、補修	○	△	圧入式：現場での整備可能 遠心式：工場持込みによる整備
総合評価		同　等		

評価について、以下に説明する。

性能は、圧入式と省エネ型遠心式の処理量、含水率等の脱水性能は、同等であった。

CO_2排出量について、電力使用量では圧入式が脱水の基本方式がろ過であり、低速回転となることから消費電力の少なさで有利になり、薬品使用量では薬注率の差により省エネ型遠心式が有利となった。

建設費は、圧入式と省エネ型遠心式がほぼ同等であった。

維持管理費について、CO_2排出量と同じ理由から、電力使用量では圧入式が有利になり、薬品使用では省エネ型遠心式が有利となった。補修費用は同等であった。

維持管理性について、汚泥性状変動への対応では、省エネ型遠心式が遠心力を容易にコントロール可能であり、応答性で有利となり、点検、補修では、現地補修の可否に伴う整備停止期間の長さから圧入式が有利であった。

以上の項目について総合的に評価すると、双方とも同等であるとの評価になった。

４．考察

この検討を始めた目的は、汚泥処理における CO_2 排出量を削減するため、電力消費が少ない圧入式脱水機を導入することを検討していたが、検討過程において、薬品の CO_2 排出量への影響が大きいことが判明し、詳細な検討を実施することとなった。

まず、電力使用量の削減効果については、圧入式を導入した場合、省エネ型遠心式と比べ消費電力が（圧入式平均）約 7 割減少していた。各脱水機の CO_2 排出量及び維持管理費の電力使用量は、消費電力量と稼働時間から算出しているため、電力使用に係る項目では、圧入式が動力の小さなことで有利であった。

しかし、省エネ型遠心式も従来型遠心式に比べると機内滞留時間の延長や汚泥圧密力の増大等の改善により処理効率が向上し、消費電力は減少していた。

薬品使用量等については、想定される汚泥性状に対する薬注率を脱水機メーカーより提示してもらい、その薬注率と汚泥濃度、処理量等から薬品使用量を算出した。

また、その薬品使用量をもとに薬品購入費用、薬品消費に伴う CO_2 排出量を算出し、検討を行った。各脱水機メーカーが提示した薬注率は、圧入式が省エネ型遠心式よりやや高い傾向を示していた。そのため、薬注率の差が維持管理における薬品購入費用、CO_2 排出量の差に直結し、薬品使用量では省エネ型遠心式が有利となった。薬品購入費用は、薬品の使用量が平均で年約 20t と多く、単価も比較的高価なため、他のコストに比べ高くなり、トータルコストへの影響も大きくなった。

また、薬品として使用している高分子凝集剤の消費に係る CO_2 排出係数は、約 6.5t-CO_2/t と大きく、それが使用量に掛ってくるので CO_2 排出量も大きくなり、総 CO_2 排出量に占める薬品使用量の割合が全体の約 7 割となった。

汚泥性状変動への対応について圧入式は、ろ体の回転速度等を変化させて対応が可能であり、省エネ型遠心式は、外胴ボウルと内胴スクリューの回転差（差速）を変化させて脱水機内からの脱水汚泥の排出量を変えることで対応できる。圧入式と省エネ型遠心式を比較すると汚泥濃度の変動に対し、応答性の速さで省エネ型遠心式が有利となった。

点検、補修については、圧入式が現場で整備することが可能なことから、停止期間が約 5 日間であるのに対し、省エネ型遠心式は工場へ持ち込んで整備する必要があり、期間が約 1 カ月と長期にわたる停止が必要である。

検討結果は、CO_2 排出量、トータルコスト、維持管理性等を総合的に評価すると、各機種一長一短あり、さらにその機場の特異性を考慮し、機種の選択も加味すると、圧入式も省エネ型遠心式とほぼ同等の評価が得られたため、どちらの脱水方式でも採用できることとなった。

また、多摩地域にある清瀬水再生センターにおいて、同様に脱水機の検討を行ったところ、濃縮工程において凝集剤を注入しており、その効果が脱水工程においても期待できるため、圧入式が有利と評価された。このように水再生センターの処理工程により評価には差異があった。

５．今後の展望

東京都では、「10 年後の東京」計画、東京都下水道局では、「経営計画 2010」等、施策の中で温室効果ガスの排出を削減する取り組みに力を入れている。このような中で、設備の再構築等の機会を捉え、省エネ機器や高効率システムの導入を図ることが求められている。

今回、どの脱水方式においても、従来型遠心式脱水機に比べ、CO_2排出量を削減できることが判明した。

現在、圧入式脱水機も多様にあり、また、新しい技術であるため、導入された脱水機が検討結果通りの成果が上がるか、さらに検証していく必要がある。

今回は、脱水機の再構築に伴う、比較検討の手法であったが、これからは、脱水機単体を考えるだけではなく、前段の濃縮機、後段の脱水ケーキ搬送設備、焼却炉等を含めた汚泥処理システム全体の省エネ化、高効率システム化を創出することが求められている。

3-(2)-2 送風機から散気装置までばっ気システム全体での省エネルギー型再構築

建設部設備設計課　大塚　克司

１．はじめに

東京都では、「世界で最も環境負荷の少ない都市の実現」を目指す「10年後の東京」計画を公表し、「先進的な省エネルギー技術による低CO_2型都市づくり」など施策の実現に向け取り組んでいるところである。こうした状況の下、東京都下水道局では、「経営計画2010」を策定し、「カーボンマイナス東京10年プロジェクト」に沿った、温室効果ガス排出量の削減に向けた様々な取り組みを積極的に推進している。

東京都区部における下水処理状況は、1日平均で約450万m^3/日の下水を処理しており、その過程で消費される電力使用量は、東京都内の電力の約1%を占めるほど大量のエネルギーを消費している。その中で、送風機電力は全体の約1/4であり、芝浦水再生センターのように汚泥処理施設のない水再生センターの送風機電力は、センター全体電力の約1/2と大きな割合を占めている。

一方、温室効果ガス排出量は、東京都区部の水処理と汚泥処理で約86万t-CO_2となっており、そのうち芝浦水再生センターでは、4万2千t-CO_2を占め、さらにそのなかでも電気使用による温室効果ガス排出量は2万5千t-CO_2となっている。

このような現状の中、エネルギー消費割合の多い送風機の消費電力の削減を講じていくことは、温暖化対策としても効果的である。

２．これまでの送風機システムの現状

送風機の設計においては、イニシャルコストの最少化を図るため、大型の送風機を小数台数、集約化し、複数の水処理系列に同じ送風圧力で送風するシステムを採用してきた。

この設計手法では、地球温暖化防止施策として進めている高効率型散気装置との組み合わせを考えたときに、散気装置に必要な送風圧力の不足から、散気装置を最適な水深に設置できないなどの課題がある。

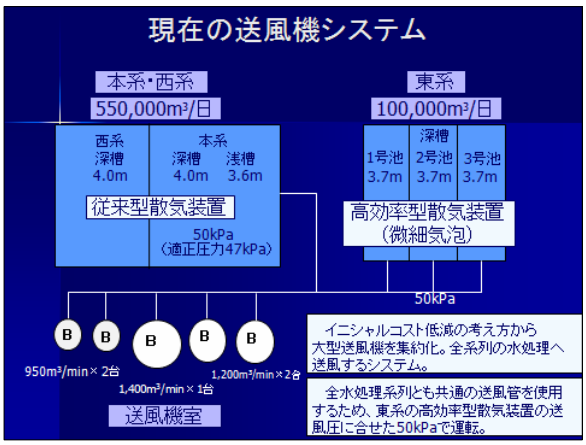
また、送風機の省エネルギー化は、これまで地球環境保全への貢献対策として、反応槽散気装置の高効率化を行い、酸素の溶け込みを良くすることで送風量を減少させ、送風機使用電力を削減させる取り組みで行われてきた。

今回、芝浦水処理センターにおいて、新しい考え方に基づき送風機から散気装置までシステム全体での省エネルギー型再構築を推進したので報告する。

３．芝浦水再生センターにおける送風機システムの現状

芝浦水再生センターは、本系・西系・東系といった3系列の水処理系列があり、集約化した大型送風機で全ての水処理系列へ送風されるシステムである。（図－１）

当センターの1時間当たり汚水流入量の変動が大きく、一日の間の最大と最小で3倍ほどの変動があり水量に合わせて、送風機の運転台数等をこまめに調整せざるを得ないことである。当センターの送風機は5台中2台がインレットベーン付きであり、その他の送風機は流入弁制御である。送風量制御は、運転台数・インレットベーン・流入調整弁で行っているが、送風量を絞りながらの運転になるため、無駄が生じやすくなっている。



図－１　芝浦水再生センターの送風機システム

次に、高効率型散気装置と従来型散気装置が並列に設置されている問題である。高効率型散気装置は、従来型に比べ圧力損失が大きく、高効率型と従来型が混在化した条件で共通の送風機を使用する場合、高効率型に合わせた高い圧力で送風圧力を設定する事になり、従来型散気装置では、効率が悪くなっている。送風圧力は水処理系列全体で一定なため、東系水処理施設の高効率型散気装置は、従来型散気装置に比べ圧力損失が高い分だけ高効率型散気装置の散気水深を、既設ブロワ能力の制約から浅く設定している。散気装置を浅く設定したことで、酸素移動効率が低下し、高効率型散気装置が本来持っている性能が十分に発揮できていない。さらに、当センター東系水処理施設の流入水質は、アンモニア性窒素などの有機物濃度が上昇傾向にあり、放流水質基準を順守するため有機物の酸化や硝化による酸素消費量が増加し、効率的な処理が求められている。

４．送風システムの改善策について

芝浦水再生センターの送風システムの改善策として「ばっ気システム」全体で省エネルギー型再構築を検討した。

省エネルギー型再構築の特徴は、以下のとおりである。

(1) ばっ気システムは、送風機、送風管、散気装置、制御装置等の各機器で構成されるシステムである。従来型の機器単体で行う送風機再構築から脱却して、送風機から散気装置までシステム全体を考えた再構築とした。

(2) 高効率型散気装置と送風機の最適な組み合わせなど、システム全体の最適化を目指す再構築を実施した。

(3) 反応槽の近くに最適な規模と台数の送風機を配置し、流入水質や水量変動に対してきめ細かな対応可能とした。

また、以下に改善内容の詳細を示す。

①　従来の多段送風機、単段送風機と比較して、小型で部分負荷特性に優れ、給水装置、給油装置などの補機類が不要な送風機が開発されたことで、反応槽の直近に1槽1台対応の専用の送風機を設置することが可能になった。

それにより、各槽で最適な送風圧力と送風量のきめ細かな制御ができる様になり、消費電力の削減が図れる。

本再構築で採用した送風機は「高速電動機直結単段ターボブロワ」である。

インレットベーンの効果は一段目の羽根車にしか効果がないので、従来の多段送風機と比較してインレットベーンの効率が良い。

また、回転数制御（VVVF）を組み合わせることで、きめ細かな風量制御ができるため、消費電力の削減が図れる。

② すでに高効率型散気装置を導入している東系水処理と従来型散気装置のままの本系・西系水処理を分離したことで（STEP-1）、本系・西系の送風圧力を適正な圧力（47kPa）に下げることができ、消費電力の削減が図れる。（図－２）。

高効率型散気装置は、圧力損失上昇を防止するため定期的に散気装置のブローダウン・ブローアップを行う必要がある。

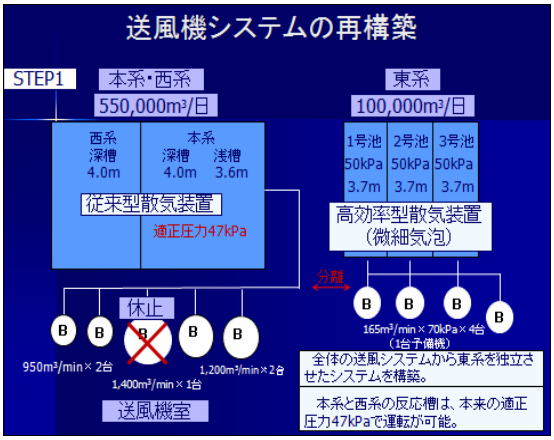
再構築後は、東系は高効率型散気装置、本系・西系は従来型散気装置というように散気装置ごとに送風機システムが設定されたことで、本系・西系の送風圧力と送風量が東系の影響を受けることがなくなる。

③ 送風機の再構築は東系の高効率型散気装置の更新に先駆けて行い（STEP-1）、高効率型散気装置は、後年の整備に合わせて最適な散気水深で更新する。（STEP2-1~STEP2-3）

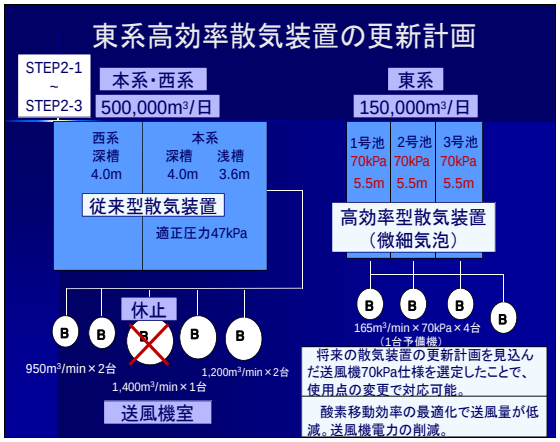
これにより、散気装置の酸素移動効率が上昇し送風量が低減することで、消費電力の削減が図れる。（図－３）

従来の送風機は圧力の変更ができないため、今回のような送風圧力の変更は、反応槽散気装置と送風機を同時に施工する必要がある。

今回採用の送風機は、あらかじめ将来の散気水深5.5mを見込んだ70kPa仕様を選定したことで散気水深の変更後は、使用点を変更することで対応が可能である。



図－２　送風機システムの更新



図－３　送風機システムの更新ステップ

５．省エネルギー型再構築の効果予測

東系の送風システムを本系・西系から分離することで、本系・西系の送風圧力を本来の適正な圧力である47kPaで運転できる。

東系の高効率型散気装置は、更新計画のとおり順次、適正な散気水深5.5mで更新する。

STEP2-3が完了した段階で、現状の当センターで消費される電力の約6%が削減され、事業効果として年間3,000万円を超える電気従量料金を削減できると予測される。

さらに、電力削減の伴う温室効果ガスは、現状の当センター排出量に対して年間約3%の削減と予測できる。（表－１、２）

表－１　省エネルギー効果予測

	センター全体 電力（kWh/年）	送風機全体 電力（kWh/年）	削減電力 （kWh/年）	センター 全体比率
現状	66,068,782	34,517,323	－	
STEP-1		32,228,000	2,289,323	3.5%
STEP-2-1		31,540,000	2,977,323	4.5%
STEP-2-2		30,959,000	3,558,323	5.4%
STEP-2-3		30,377,000	4,140,323	6.3%

表－２　二酸化炭素削減効果予測

	センター全体 CO_2（t/年）	送風機全体 CO_2（t/年）	削減 CO2 （t/年）	センター 全体比率
現状	41,987	11,701	－	
STEP-1		10,925	776	1.7%
STEP-2-1		10,692	1,009	2.4%
STEP-2-2		10,495	1,206	2.9%
STEP-2-3		10,298	1,404	3.3%

６．おわりに

今回の省エネルギー型再構築の効果等が確認できれば、省エネルギーやカーボンマイナスを目指す施策を他の水再生センターへ拡大していくことが可能である。

今後の展開として、「経営計画2010」に基づき計画的にすすめている他の水再生センターの高効率型散気装置の導入時に、送風機システムの最適化を検討していく。

また、今後は、反応槽の近くに送風機が設置できるかなど、土木施設を含めた検討も必要となってくることから、今回の再構築モデルを契機として省エネルギー型の水再生センターへの転換を目指していく。

４．資源の有効利用

（１）処理水再利用技術

１　再生水造水技術の開発、実用化

２　流域下水道オゾン処理設備調査

4-(1)-1　再生水造水技術の開発、実用化

建設部設備設計課　　片桐　吾郎
計画調整部技術開発課　代田　吉岳
（現施設管理部環境管理課）

1．はじめに

東京の水道水源は、多摩川などの地域内水源だけでなく、利根川水系などにも大きく依存していることから、河川の流況悪化により他県に先駆けて取水削減を受けるなどの不安定な要素を抱えている。

一方、下水処理水は量的に豊富で、質的にも安定しているため、水源として、水再生センターやポンプ所内において洗浄用水や冷却水などに活用している。

また、処理水をさらに高度処理した再生水は、都市における新たな水資源として高い利用価値を有し、水洗トイレ用水や車両洗浄水などとして利用されるほか、保水性舗装への散水によるヒートアイランド現象の緩和に貢献している。この再生水の利用は、昭和59年度に西新宿地区への供給事業として始まり、年々供給地区を拡大し、供給量も増加している。平成19年度末では、8地区147施設へ供給されている。（表－1参照）。

表－1：処理水・再生水の供給先と利用状況(局外のみ)　（平成19年度実績）

水再生センター	種別	主な供給先	主な用途	供給量（m^3）
芝浦	処理水	千代田・品川区役所・国土交通省等	路面洗浄水用等	12,268
森ケ崎		清掃工場（大井・大田）羽田空港工事等	冷却・洗浄水用・防塵用等	496,452
各水再生ｾﾝﾀｰ		公共団体等	防塵用・渇水時散水用等	281,689
小計				790,409
芝浦	再生水	品川駅東口・大崎・汐留・永田町及び霞ヶ関地区再生水利用事業	地域内ビル等の水洗トイレ用	1,267,332
		御成橋	修景用水	44,082
落合		西新宿及び中野坂上地区再生水利用事業	地域内ビル等の水洗トイレ用	1,171,472
		環境局（城南三河川）	清流復活用水	27,329,380
有明		臨海副都心地区再生水利用事業	地域内ビル等の水洗トイレ用	823,116
小計				30,635,382
合計				31,425,791

東京都は、「10年後の東京」計画で豊かな都市生活を送るために限られた水資源を有効活用し、都市の様々な場面で下水を高度に処理した再生水の導入を進めると述べており、今後も積極的に再生水の活用を進めていく予定である。

2．再生水処理技術の開発

（1）開発経緯

本システムは、①生物処理、②オゾン接触、③凝集、④セラミック膜ろ過の4工程から成り立っている(図－1参照)。当局では既にオゾン接触とオゾンに耐性のある精密膜（以下「オゾン耐性膜」）を使用したシステムを平成16年に稼働させているが、膜の交換頻度が高いことで維持管理費の負担が大きく、苦慮していた。そこで、浄水処理では多く使用されており、12年程度の実績があるセラミック膜を使用した

再生水造水システムを開発することとなった。

（２）システム概要

本システムの各工程の役割は以下のとおりである。

① 生物処理工程

生物処理により亜硝酸を除去し、次工程での亜硝酸によるオゾン消費を抑制する。

② オゾン接触工程

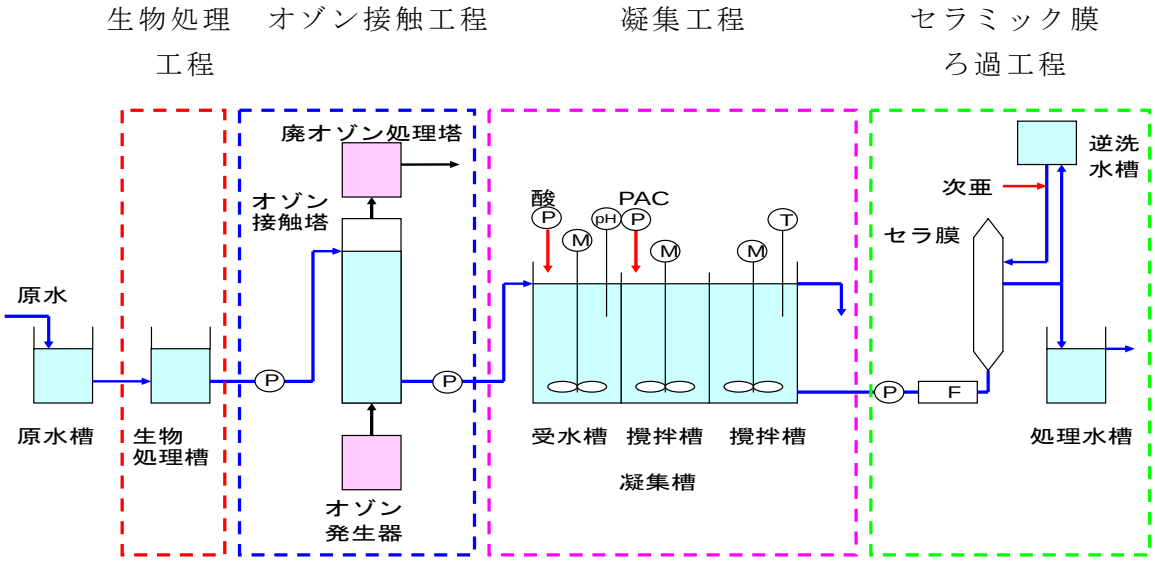
原水にオゾンガスを接触させることで、原水中の微細固形物を改質し、色度・臭気・有機物を除去する。また、大腸菌やウイルスなどの消毒効果もある。

③ 凝集工程

オゾン接触後の水に凝集剤を加え、原水中の微細固形物を粗大化し、膜内部の閉塞を防止する。後段のセラミック膜との組み合わせにより、有機物・リン・ウィルスが除去できる。

④ セラミック膜ろ過工程

凝集後、膜孔径 0.1μｍのセラミック膜によりろ過し、原水中の濁度・微細固形物を除去する。



図－１：システム概略フロー

（３）セラミック膜の特徴

セラミック膜には次の特徴がある。

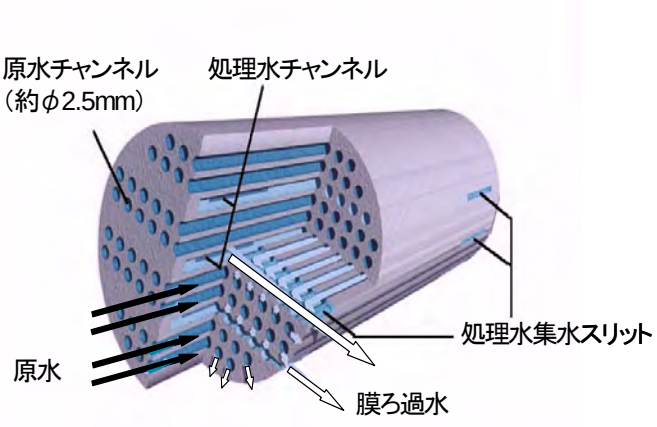
① 機械的強度が強い

② 化学的安定性が高い

③ 膜交換周期が長い

④ 透水能力が高い

⑤ 使用済みの膜の再利用が可能。



図－２：セラミック膜の膜ろ過経路模式

セラミック膜は強度、耐オゾン性及び耐薬品性が高いため、強力な逆洗を行えることにより、膜面に蓄積したケーキ層も簡単に除去可能である(図－2 参照)。

３．研究開発成果と他のシステムとの比較

今回の共同研究で明らかになった内容を以下に示す。

（１）生物処理の必要性

- 原水に亜硝酸が存在すると、オゾン接触工程でのオゾン消費量が大きくなるため、必要とされるオゾン発生機の容量が大きくなる。これによりトータルコストが高くなるため、原水中の亜硝酸を除く必要がある。
- 亜硝酸除去プロセスは、①生物処理、②次亜塩素酸ナトリウム、③オゾンの 3 種類が考えられたが、LCC(ライフサイクルコスト)の最も安い生物処理とした。生物処理の中では担体法と生物膜ろ過法を比較したが、生物膜ろ過法の方が濁度除去性能が高く、有利なことがわかった。

（２）オゾン接触工程の必要性と最適注入率

- 膜ろ過を安定して行うためには、オゾン接触が必要であり、オゾン消費量として 10mg-O_3/L で運転するのが望ましいことがわかった。また、溶存オゾン一定制御も有効であることがわかった。

  なお、色度の除去は、10mg-O_3/L 以上の注入率にしても効果はあまり変わらないこともわかった。

（３）凝集剤注入設備の有効性

- 凝集剤の注入は、膜差圧上昇抑制に有効であることがわかった。
- 芝浦水再生センターの原水は、pH が 6.2～7.0 まで変動するため、PAC の最適凝集 pH 範囲を越えることがあった。pH 調整をしない場合には膜差圧が急上昇し、膜ポンプの動力が増加することがわかったため、pH 調整を行った方が低コストで安定した運転が可能なことがわかった。

（４）長期間の安定運転

- 120 日間の安定運転実験では、溶存オゾン濃度制御と、1～3 週間程度に 1 回酸洗浄を併用することにより、長期間の安定運転が可能なことがわかった。

さらに、他の処理システムとの比較による総合評価を示す（表－2 参照)。

表－2：総合評価　（○：適合、△：一部不適、×：不適合）

	オゾン＋凝集 ＋セラミック膜	オゾン ＋オゾン耐性膜	オゾン ＋繊維ろ過	オゾン＋凝集 ＋繊維ろ過
総コスト※1	92	100	84	96
水質	○	○	△色度不適	△色度不適
親水用水基準	○	○	×	○
総合評価	◎	○	×	○

※1：　総コストは、建設費及び維持管理費を含み、「オゾン＋オゾン耐性膜」を 100 とした指数としている。

以上により、本再生水造水システムが実用可能であることが、当局の技術管理委員会で確認されている。

４．実施設への技術展開

当局では、共同研究の成果を基に、平成21年度末の完成を目指して本再生水造水システム（7,000 m^3/日）の工事を発注した。設計にあたって、研究成果を反映させた結果、従来のオゾン耐性膜システムに比べてオゾン発生機の能力低減によるイニシャルコスト及び電力費の削減を図ることができた。さらには、今後精密膜の交換回数の減少により、従来のシステムよりも維持管理費の低減が図れるものと考えている。

なお、今回オゾンとの接触部は耐食性を考慮し、材質をSUS316としている。

今後の再生水造水設備については、水再生センターの水質状況や特性などを踏まえ、検討していく予定である。

4-(1)-2　流域下水道オゾン処理設備調査

流域下水道本部技術部施設管理課　濱本亜希
富田雅昭

1　はじめに

下水道局は環境局と協力し、昭和 59 年から、水が枯渇した野火止用水、玉川上水、千川上水に多摩川上流水再生センターの下水処理水を順次送水することで清流を復活させた（以下清流復活事業という）。当初は二次処理水を砂ろ過した水を送っていたが、近隣住民から臭気、色等の改善を求められたことから、平成 3 年からは凝集剤（PAC）を添加し、砂ろ過後にオゾン処理を施した水を 1 日 24,800m^3 送水している。しかし、当該オゾン処理設備は、稼働後 19 年を経過し更新時期を迎えている。そこで、清流復活事業におけるオゾン処理の必要性および適正なオゾン注入率の確認を目的として調査を実施した。なお、本調査は、環境局の依頼により実施したものである。

2　清流復活事業に係る水処理施設の概要

多摩川上流水再生センター内にある清流用の水処理施設について、処理フローを図 1 に、オゾン処理設備の概要を表 1 に示す。

二次処理水は PAC 添加（注入率 3～6mg/L）の後、砂ろ過、オゾン処理されて玉川上水等に送水される。砂ろ過施設は、処理能力 900 m^3/日/槽の移床式上向流連続式ろ過槽（ろ過面積 5 m^3）48 基から成る。またオゾン反応槽は、直列 2 槽方式で、発生したオゾンを、はじめに後段の反応槽で曝気し、その排オゾンを前段の反応槽に戻して曝気することで、吸収効率を高めている。オゾン発生量は、後段から前段に戻された循環オゾン濃度を指標に制御している。現在は、循環オゾン濃度 1.3gO_3/Nm^3 を目標とした制御を行っているが、オゾン注入率に換算すると 3mgO_3/L に相当する。

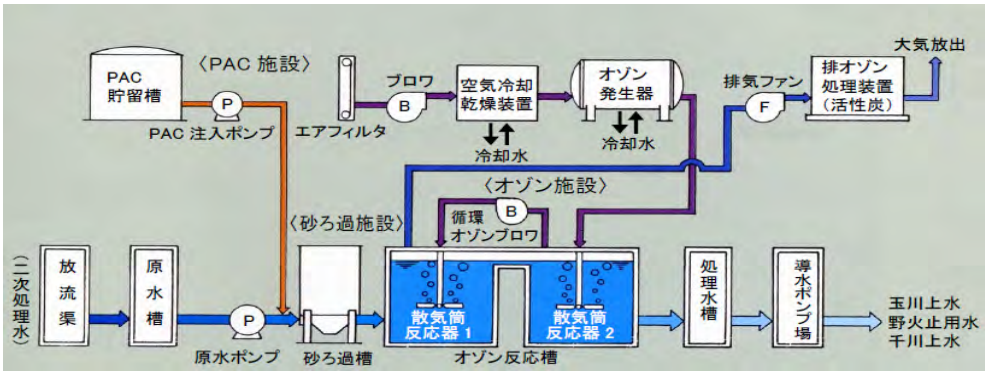


図 1　処理フロー

表 1　オゾン処理設備の概要

オゾン発生装置	発生方式			無声放電
	能力	発生量	kgO_3/h	10
		濃度	g/m^3	20
		オゾン化空気量	m^3/h	500
オゾン反応槽	曝気方式			全面曝気（散気水深4.2m）
	有効容量		m^3	480（2槽）
	処理能力	有効水深		4.7m
		散気筒		気孔径100μm　筒数276本
		処理水量	m^3/日	38,200
		接触時間	分	18

3　オゾン処理による水質改善効果調査

3.1　調査内容

オゾン注入率については、設備上の制約から最大 6.5mgO_3/L として調査を実施した。

注入率を段階的に増やし、各注入率において処理工程の水を採取して、水質および臭気を測定した。処理水量は一定量 1,000m^3/時（オゾン反応槽滞留時間 30 分）とした。

3.2　調査期間と運転条件

調査は平成 21 年 10 月 29 日から 11 月 6 日までのうち 4 日間で行った。オゾン注入率は 1 日 1 条件とし、1、3、5、6.5 mgO_3/L の 4 段階について調査を実施した。

3.3　試料採取箇所と採水タイミング

試料採取箇所を図 2 に示す。（Ⅰ）二次処理水、（Ⅱ）オゾン注入前原水（砂ろ過（PAC 添加））、（Ⅲ）オゾン処理水、（Ⅳ）玉川上水放流口の 4 箇所で採取した。採水時刻は、オゾン反応槽の HRT（約 30 分）、導水ポンプ所の HRT（約 90 分）、導水ポンプ所から玉川上水放流口までの距離（約 8.55km）を考慮して設定した。

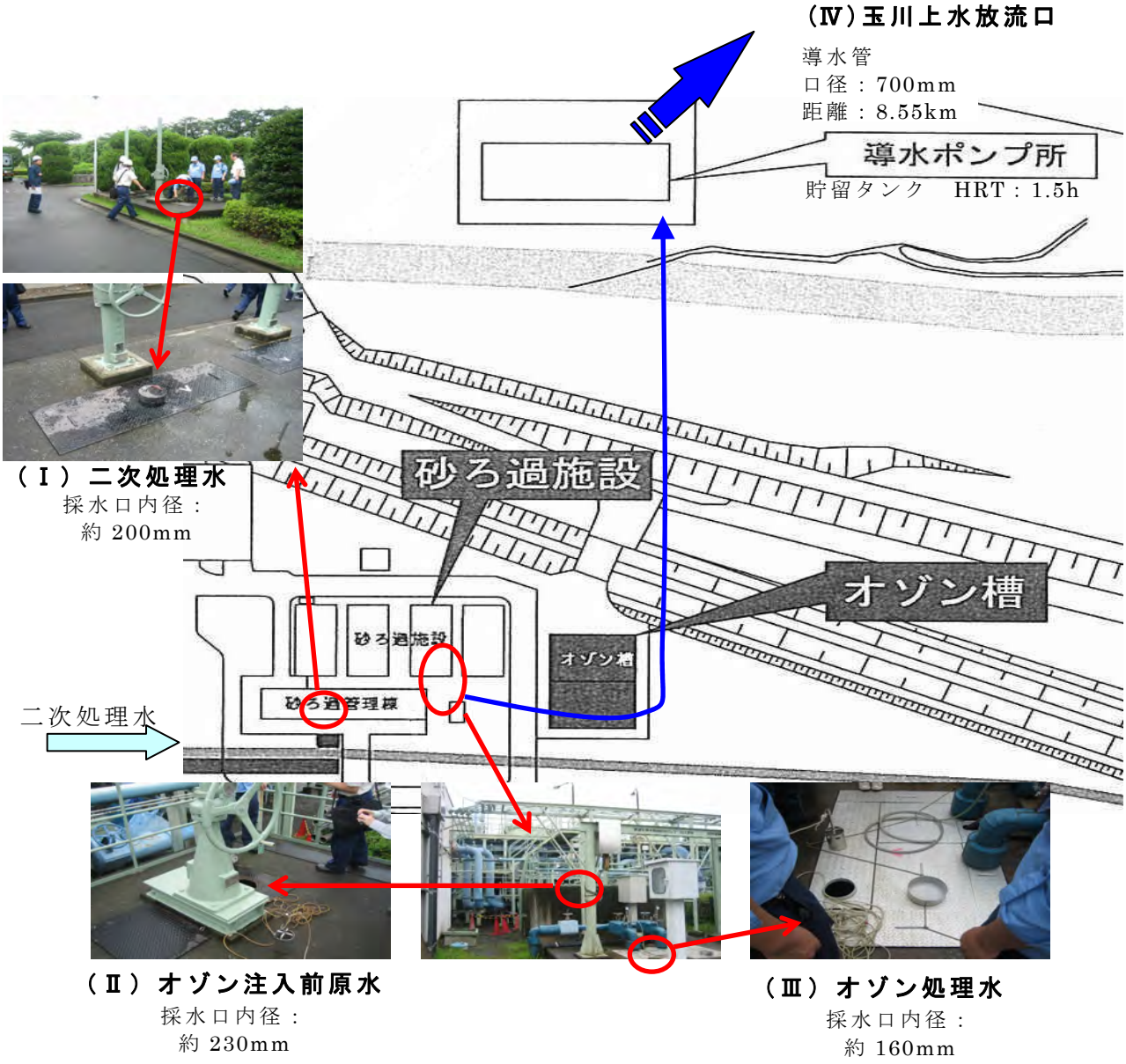


図 2　試料採取箇所

3.4 分析項目

採取した試料の分析項目および分析方法を表 2 に示す。国土交通省「下水処理水の再生水利用水質基準マニュアル 平成 17 年 4 月」[2] において、下水処理水を修景用水として再利用する場合の水質基準項目および放流水中の残留が指摘される微量化学物質を分析した。

表 2 分析項目と分析方法

分析項目	分析方法	定量下限値
臭気指数	平成 7 年環境庁告示第 63 号 「臭気指数及び臭気排出強度の算定の方法」	－
水温	JIS K0102-7.2：棒状温度計	－
pH	JIS K0102-12.1：ガラス電極法	－
濁度	下水試験方法 2 編．2 章 5 節．3	－
色度	下水試験方法 2 編．2 章 4 節．2	－
電気伝導率	JIS K0102-13：電気伝導度計	－
COD(Mn)	JIS K0102-17	0.5mg/L
TOC	JIS K0102-22	C 0.5mg/L
大腸菌群数(デソ法)	JIS K0102-72.3	1CFU/mL
大腸菌群数（LB 法）	昭和 46 年環境庁告示 59 号別表 2	－
大腸菌	上水試験方法―Ⅷ.2.2	－
残留オゾン	下水試験方法 2 編．2 章 39 節	0.01mg/L
PFOS	ISO/DIS 25101	0.01μg/L
PFOA	ISO/DIS 25101	0.01μg/L
1,4-ジオキサン	平成 16 年 3 月 31 日 環水企発第 040331003 号・環水土発第 040331005 号環境省環境管理局水環境部長通知	0.5μg/L
トリハロメタン	JIS K0125-1995	0.001 mg/L

4 調査結果

4.1 処理状況

調査期間中、処理水量、発生オゾン濃度、オゾン化空気量の変動はほとんどなく、オゾン注入率も安定していた。また、オゾン吸収効率は 95～100%であった。

4.2 脱臭効果

オゾン処理による臭気の低減状況の結果を表 3、図 3 に示す。

臭気指数は、砂ろ過（PAC 添加）では除去されないが、オゾン処理ではオゾン注入率に応じて除去率が上昇した。しかし、注入率が 1 mgO_3/L では低減していないだけでなく、臭気指数測定時にパネラーが記録する臭質結果によると、注入率 1 mgO_3/L においてのみ、「下水臭」が知覚されていた。そのため、二次処理水の下水臭を除去するためには、最低 3mgO_3/L 程度のオゾン注入率（滞留時間 30 分）が必要と考えられた。また、オゾン注入率と臭気指数の除去量(率)との関係を図 5 左に示す。除去量はオゾン注入前後の分析値の差を表すが、関係式の傾きから、1mgO_3/L 上昇により、臭気指数は 1.7 減少していた。

4.3 脱色効果

オゾン処理による色度の低減状況の結果を表 4、図 4 に示す。

色度は、砂ろ過（PAC 添加）で 50～59%除去され、オゾン処理によりさらに 62～89%まで除去された。通常、色度は砂ろ過では除去されない[3] ことから、砂ろ過による色度の低減は PAC 添加の効果と考えられる。なお、夏季に実施した予備調査では、砂ろ過による除去率は 32%であった。また、オゾン注入率と色度の除去量(率)との関係を図 5 右に示す。関係式の傾きから、注入率 1mgO_3/L 上昇により、色度は 1.1 度減少していた。

表 3　注入率毎の除去率（臭気指数）

オゾン注入率	除去率（%）	
	砂ろ過後（PAC添加）	オゾン処理後
1mgO_3/L	4.5	6.7
3mgO_3/L※	2.4	11
5mgO_3/L	4.5	32
6.5mgO_3/L	3.0	41

※現行注入率

表 4　注入率毎の除去率（色度）

オゾン注入率	除去率（%）	
	砂ろ過後（PAC添加）	オゾン処理後
1mgO_3/L	59	64
3mgO_3/L※	50	62
5mgO_3/L	59	86
6.5mgO_3/L	53	89

※現行注入率

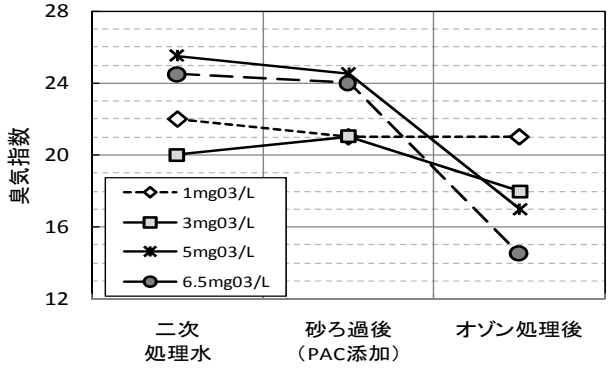


図 3　各処理工程の臭気指数

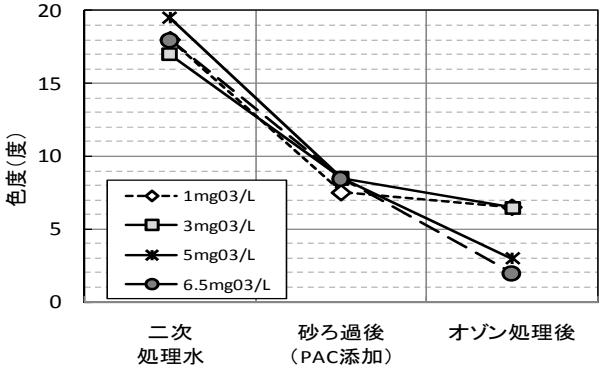


図 4　各処理工程の色度（度）

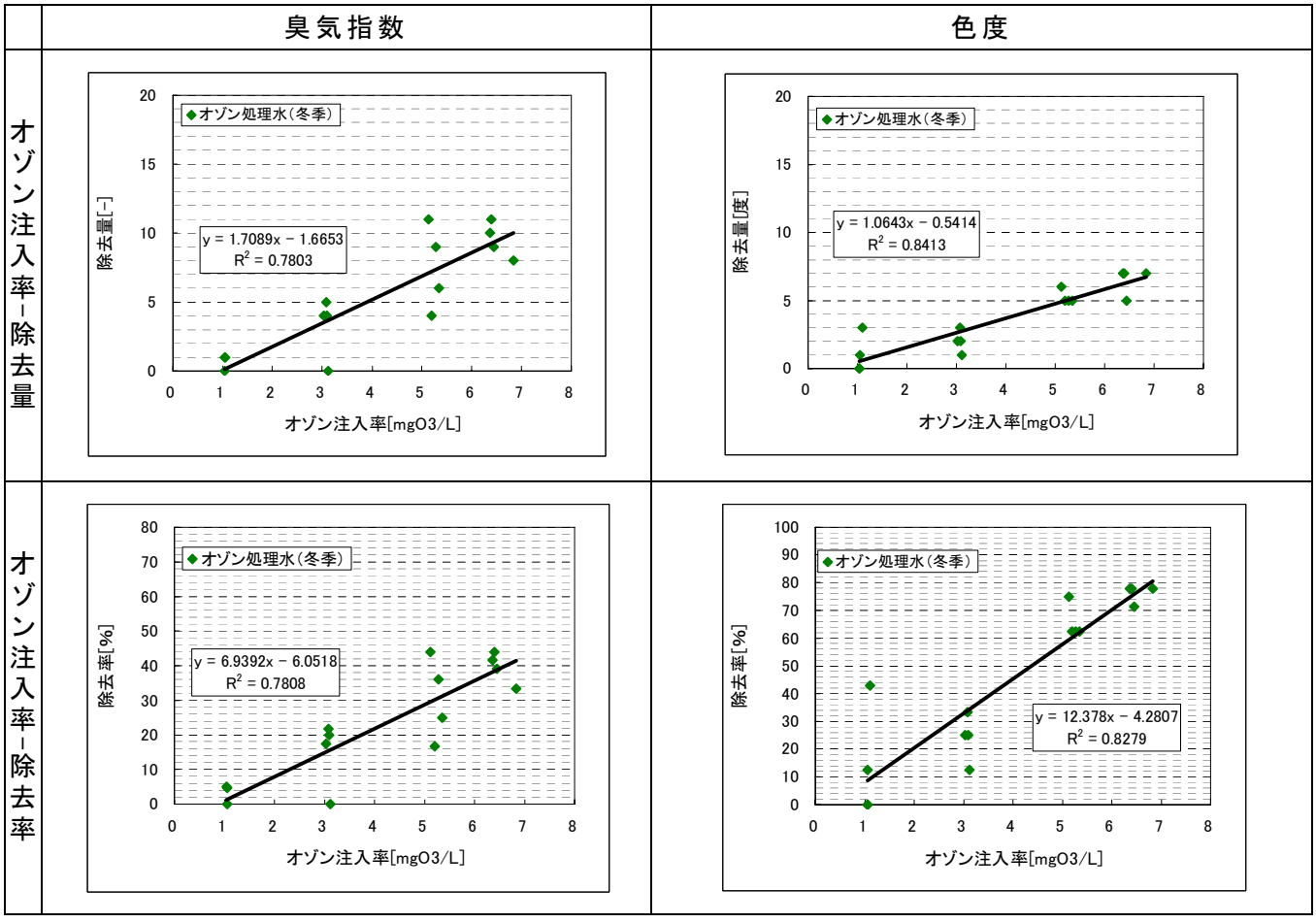


図 5　オゾン処理と除去効果（左：臭気指数　右：色度）

4.4 消毒効果

オゾン処理による大腸菌群（デソ法）の低減状況の結果を表 5、図 6 に示す。

大腸菌群は、二次処理水において 1mL 中 10^3 オーダーで検出され、砂ろ過（PAC 添加）により 10^1～10^2 オーダーにまで低減し、さらにオゾン処理により全ての注入率において、10CFU/mL 未満にまで低減した。

表 5　注入率毎の除去率（大腸菌群）

オゾン注入率	除去率(%)	
	砂ろ過後（PAC添加）	オゾン処理後
1mgO_3/L	98	99.9%
3mgO_3/L*	96	99.9%
5mgO_3/L	98	100%
6.5mgO_3/L	91	100%

※現行注入率

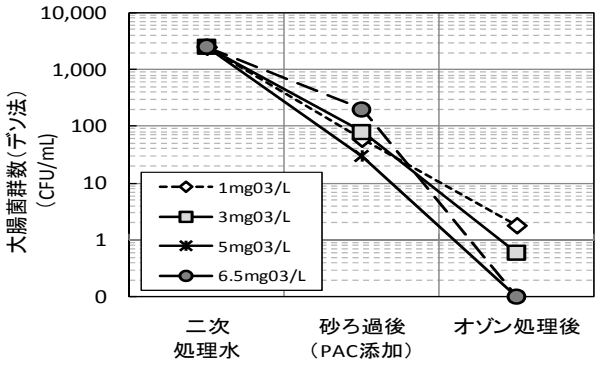


図 6　各処理工程の大腸菌群数（デソ法）

4.5 現行オゾン注入率における水質改善効果

現行のオゾン注入率（3mgO_3/L）における各水質項目の除去率および各処理工程における水質を表 6、図 7-1～2 に示す。

臭気指数、色度、COD（Mn）、TOC、大腸菌群、大腸菌について、砂ろ過水（PAC 添加）を更にオゾン処理することによって、より高度に除去される傾向が確認できた。

PFOS、PFOA は、いずれの地点においても、0～0.2μg/L、0.01～0.03μg/L で砂ろ過（PAC 添加）処理においてもオゾン処理（3mgO_3/L）においても除去されなかった。国立環境研究所は、都内河川（江戸川、荒川、隅田川、多摩川）の汚染状況を調査し、多摩川流域の処理場において、PFOS 濃度は 0.36～0.42μg/L、PFOA 濃度は 0.012～0.013μg/L と報告しており [1)]、今回の分析値はそれと近い値であった。

1,4-ジオキサンは、二次処理水においては、砂ろ過（PAC 添加）による除去効果はほとんどないのに対し、オゾン処理水においては 0～2.8μg/L となり、平均して 80%程度除去された。

表 6　各項目の除去率（O_3 注入率条件：3mgO_3/L）

	除去率[%]	
	砂ろ過	オゾン処理
臭気指数	2.4	11
濁度	66	74
色度	50	62
COD(Mn)	16	36
TOC	13	24
大腸菌群数(デソ法)	96.5	99.9
大腸菌群数(LB法)	97.8	99.8
大腸菌	93.8	99.9
1,4-ジオキサン	7.2	78.1
トリハロメタン	-	12.5

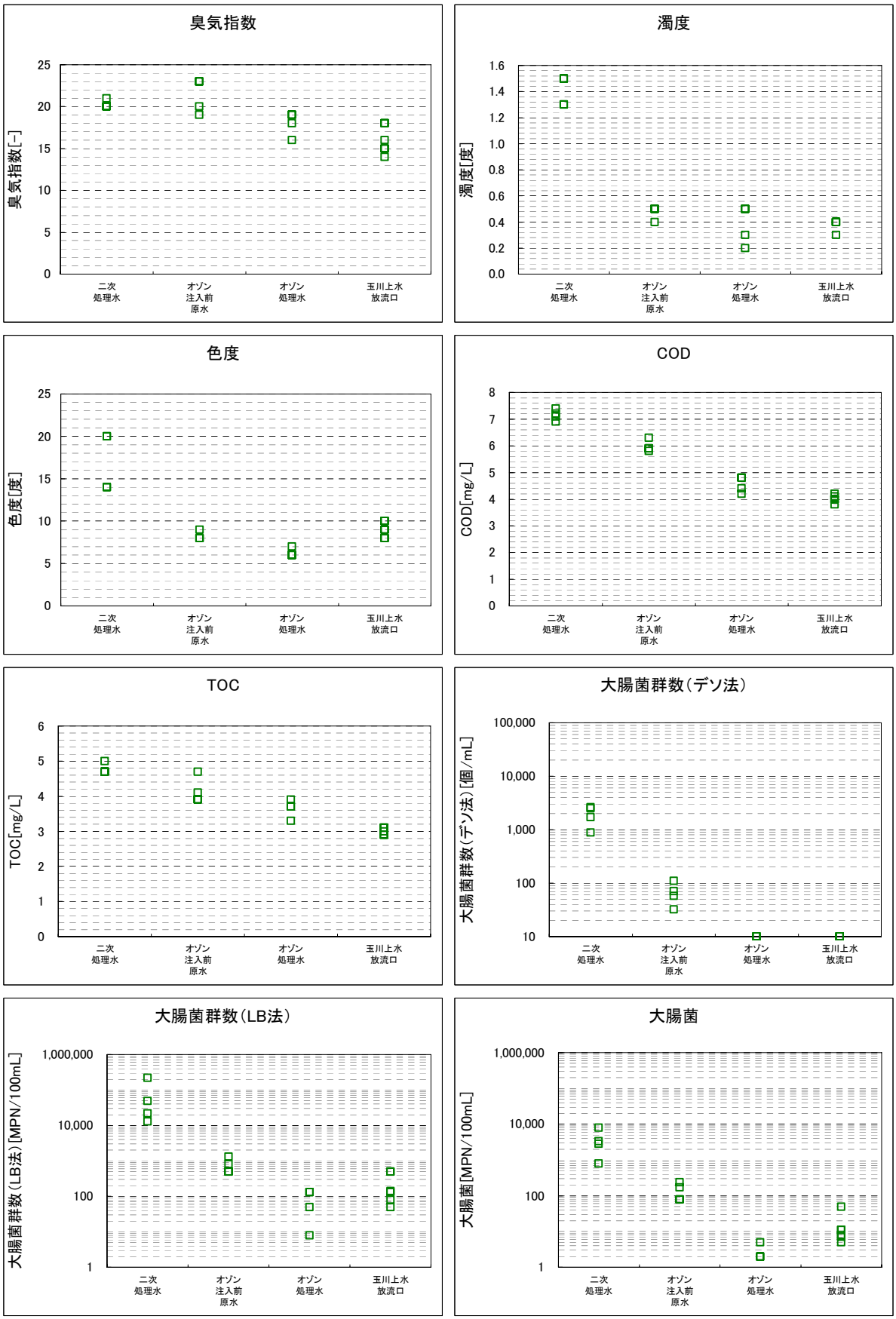


図 7-1 各箇所での濃度（O_3注入率条件：3mgO_3/L）

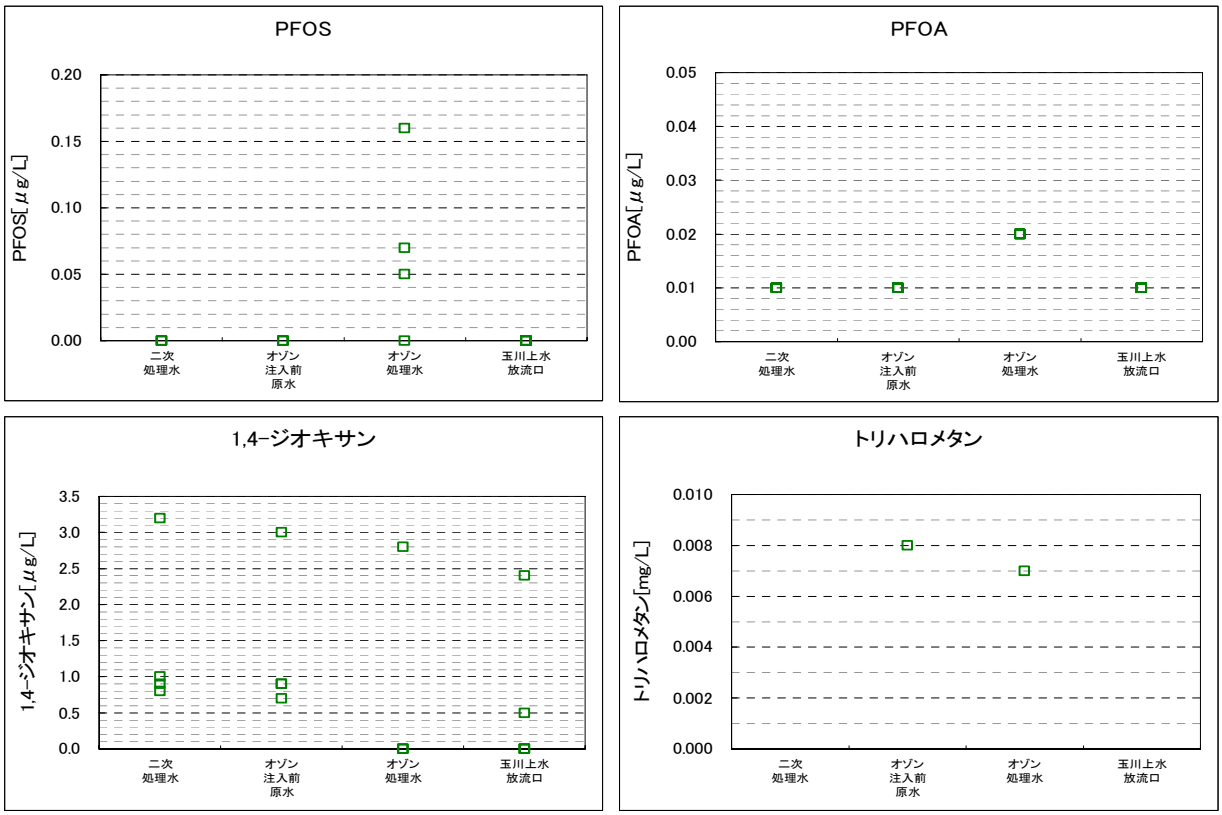


図 7-2　各箇所での濃度（O_3注入率条件：3mgO_3/L）

5　オゾン処理の効果検証

5.1 下水処理水の再生水利用水質基準等マニュアルに基づく効果検証

「下水処理水の再生水利用水質基準マニュアル　平成 17 年 4 月　国土交通省」[2)]における修景用水の水質基準を表 7 に示す。

本調査結果から、pH および濁度については、砂ろ過（PAC 添加）処理のみで十分基準値を満たしていたが、大腸菌群および色度については、砂ろ過処理のみでは不十分であり、オゾン処理の必要性が確認された。

表7　修景用水の水質基準

項目	基準値
pH	5.8～8.6
外観	不快でないこと
濁度	2度以下
色度	10度以下*1
臭気指数	不快でないこと
大腸菌群	10CFU/mL

*1　上乗せ基準（環境局との協定）

大腸菌群については、4.4 で述べたように、砂ろ過（PAC 添加）後の水 1mL 中に 10^1～10^2 オーダーで存在する。そのため、そのままでは修景用水としての利用はできないが、オゾン処理により、注入率 1mgO_3/L でも除去率 99.9%で、10CFU/mL 未満にまで除去されることがわかった（図 6）。しかし、注入率 3mgO_3/L でも大腸菌は検出されることから、親水用水の水質目標は、「大腸菌不検出」をみたす場合には、少なくとも 3mgO_3/L 以上の注入率が必要となる（図 7-1）。

また色度については、二次処理水の最高値を過去 2 年の水質年報値における平均値+3σで設定した場合、18 度となるが、本調査および予備調査から得られた砂ろ過（PAC 添加）による平均除去率（43.5%）を用いると、色度の目標値である 10 度を超過する。オゾン処理によりこれを 10 度以下にまで低減するためには、4.3 で得られた関係式の傾きを用いると、1～2mgO_3/L 程度注入率が必要となる。

5.2 多摩川の水質結果に基づく効果検証

野火止用水や玉川上水が枯渇する前は、羽村取水所から引き込まれた多摩川河川水が流れていた。そこで、多摩川河川水に近い水質を目標とした場合にどの程度のオゾン注入が必要であるかについて評価を行った。多摩川の水質は、平成 17 年 8 月に国土交通省の京浜河川事務所が実施した多摩川の 4 地点と野川 1 地点における水質の現地感覚調査結果を利用した[4)]。その際、多摩川の水質測定結果の臭気強度は、以下の式により臭気指数に換算し、本調査の結果と比較した（臭気指数＝10 × Log（臭気強度））。

（１）玉川上水放流口の色度および臭気について、下水処理水混入後の多摩川（多摩大橋付近）における水質（色度 13、臭気指数 19（臭気強度 81））を目標値とする場合は、現行のオゾン注入率 3 mgO_3/L 以上、下水処理水混入前の多摩川（多摩大橋付近）における水質（色度 6.5、臭気指数 16(臭気強度 40.5))を目標値とする場合は、オゾン注入率 6.5 $mg\ O_3/L$ 以上が必要であることがわかった。

（２）玉川上水放流口の色度および臭気について、多摩川の永田橋における水質（色度 2、臭気指数 9（臭気強度 8））を目標値と場合、臭気指数の除去が課題となり、本調査におけるオゾン注入条件では目標をみたすことは出来なかった。4.2 の結果（オゾン注入率 1 $mg\ O_3/L$ の増加により臭気指数は 1.7 減少）を参考に、臭気指数 25（オゾン注入前原水の最高値）を 9 まで下げるためのオゾン注入率を算出すると、多摩川の永田橋における水質を目標値とした場合、オゾン注入率 9.4 mgO_3/L 以上が必要であると推定された。

6 まとめ

本調査結果から、清流復活用水として下水処理水を利用する場合について、以下のことがわかった。

・臭気については、下水臭を除去するためにはオゾン処理が有効であり、その場合、最低現行のオゾン注入率 3mgO_3/L（滞留時間 30 分)程度が、必要となる。

・大腸菌群については、修景用水の基準値 10CFU/mL 以下を確保するためには、砂ろ過（PAC 添加）では不十分であった。オゾン処理ではオゾン注入率（滞留時間 30 分）1mgO_3/L で除去率 99.9％であり、本調査では十分除去されていた。

・色度については、PAC を添加すれば砂ろ過処理でもある程度除去が可能であるが、修景用水の基準値 10 度以下を安定的に確保するためには、オゾン注入率 1～2mgO_3/L のオゾン処理が必要となる

・PFOS、PFOA については、現行のオゾン注入率 3mgO_3/L 程度で、オゾン処理による除去はみられなかったが、1,4-ジオキサン、トリハロメタンについては、オゾン処理による除去効果が確認できた。

7 参考文献

1) 有機フッ素化合物等 POP s 様汚染物質の発生源評価・対策並びに汚染実態解明のための基盤技術開発に関する研究、2006 年、国立環境研究所

2) 下水処理水の再生水利用水質基準等マニュアル、平成 17 年 4 月、国土交通省

3) 平成 21 年 4 月　日本下水道事業団「オゾン処理技術の技術評価に関する報告書」

4) 多摩川水流解明キャラバン、国土交通省　京浜河川事務所
http://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/tama/project/stream/history/caravan/

5. 事業の効率化

（１） 建設技術

１　シールド工事における腐植土層（ピート層）対策について

２　多摩川上流幹線延伸事業

（２） 維持管理技術

１　光ファイバーケーブル断線予防技術調査その２

２　大口径管きょ調査用カメラシステムの調査事例について

３　多重円板スクリュープレス脱水機の実用化検証

４　三河島水再生センターにおけるスカム除去の取組み

５　光水位検出器を利用した簡易型管きょ内水位検出システムの開発

６　汚泥調質における凝集制御技術の開発

７　イベント時における高濃度窒素流入水への対応について

８　蛍光Ｘ線分析装置の効果的な活用について

９　浸漬型有機物濃度計を活用した流入水連続測定法の開発

10　硫化物が嫌気処理に与える影響について

11　芝浦水再生センターにおける亜硝酸型硝化の発生原因に関する検討

12　Rr（呼吸速度）からみた芝浦水再生センター各系列の硝化特性

5-(1)-1　シールド工事における腐植土層（ピート層）対策について

基幹施設再構築事務所　工事第二課　西　秀樹
（現　建設部土木設計課）
基幹施設再構築事務所　工事第二課　小峯　豊
（現　西部第二下水道事務所新河岸水再生センター）

1．　はじめに

本工事は、大田区馬込地区の浸水対策として、馬込西二号幹線を泥土圧シールド工法により整備し、既設馬込西幹線の能力不足を補完するものである。この幹線は、当地区の雨水の一部を収容し馬込幹線に流下させる計画となっており（図２）、下流側の整備が完了するまでは暫定的に雨水貯留管として使用し、浸水被害の早期軽減を図ることとした。

シールドの仕上り内径は 2200 ㎜、延長 1104m、土被り 15.6～17.8m で（図３）、発進立坑は、内法 7.7×10.4m、深さ 20.8mである。掘進ルート上は、ほぼ全域にわたりマンション、戸建住宅および商店が密集した地域で、幅員が狭い道路の地下での施工となった。

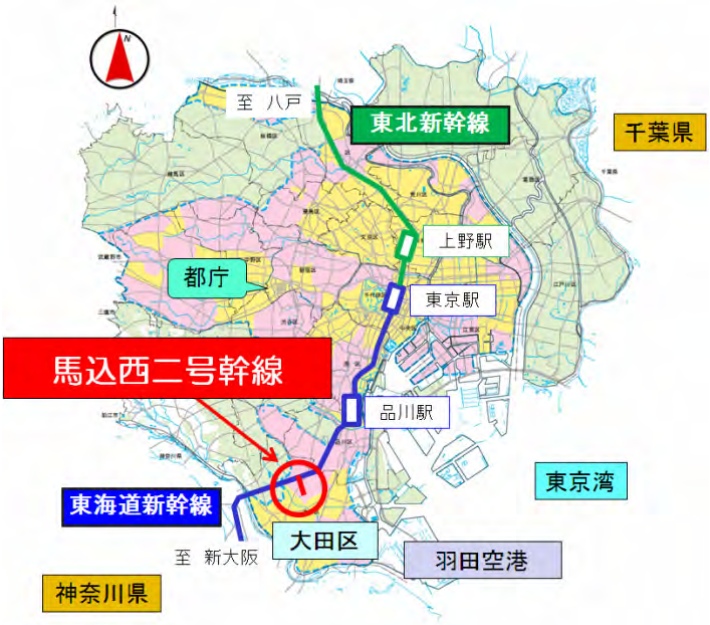


図１　位置図

2．　腐植土層に対する課題

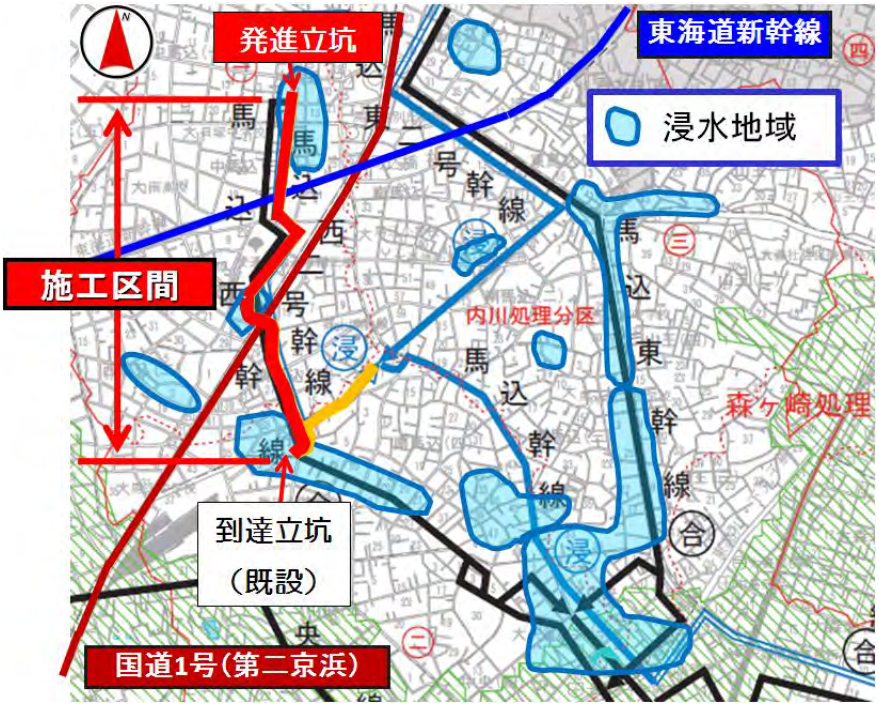


図２　周辺案内図

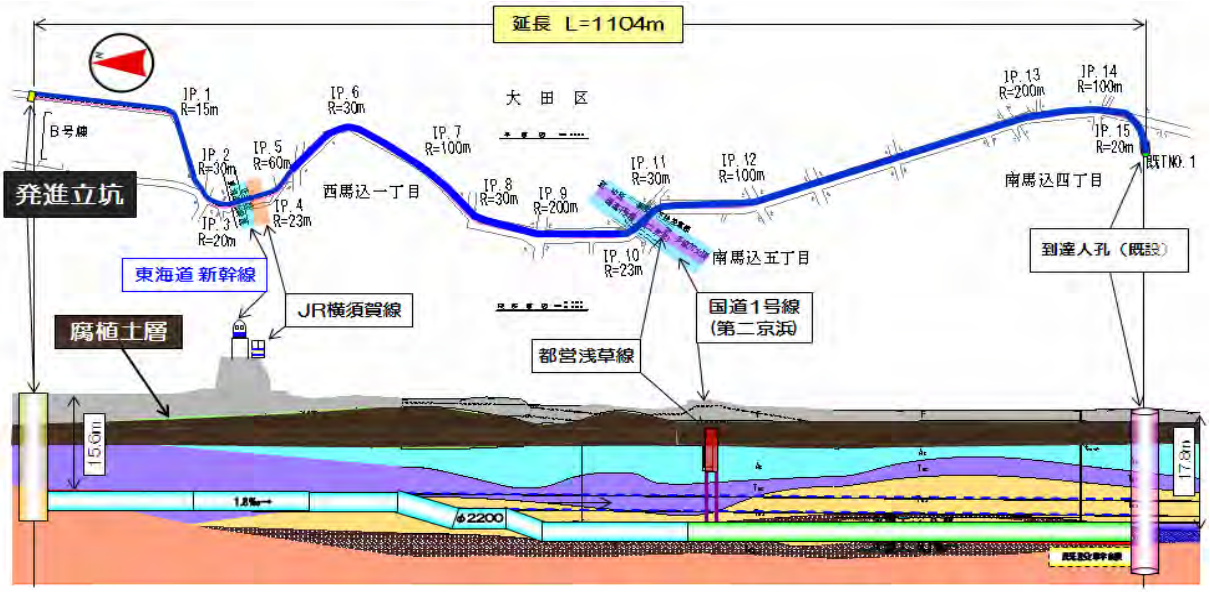


図３　平面図　縦断図

当地区では、昭和 40 年代に下水道を整備しているが、地盤沈下による家屋被害が多く発生し、腐植土層が大きく影響したとの報告がある。シールド発進基地となる立坑は沖積低地にあり、付近の土質構成は上部より埋土層（F）、沖積層腐植土（Aq）、沖積層粘性土（Ac）、東京層粘性土（Toc）、東京層砂質土（Tos）、東京礫層（Tog）、上総層郡（Ka）である。このうち、深さ 3.7～12.6mに存在する沖積層腐植土（Aq）および沖積層粘性土（Ac）は、N値 0～2 の非常に軟弱で圧縮性が高い性状の腐植土層である。

本工事のシールドは、この腐植土層の下を掘進するため直接の影響を受けないが、シールド発進基地となる立坑は、腐植土層を通過して深さ 20.8m まで掘り下げるため、対策が必要になった。次項からは、実施した腐植土層対策について事例を紹介する。

３．　腐植土層対策

３．１　立坑構築時の対策

立坑施工に当たっては、止水性や経済性を総合的に検討し、地中連続壁（SMW）工法を採用した。しかし、軟弱地盤での孔壁の崩壊が考えられること、漏水による周辺地盤の圧密沈下が予測されることから、補助工法の検討を行った（**表１**）。その結果、薬液注入工法では所定の強度を満たすことができないこと、原位置攪拌改良工法では、強度が過剰になり地中連続壁の構築に支障となることが問題となっ

表１　補助工法比較表

	置き換え工法	薬液注入工法	原位置攪拌改良工法
工法概要	鋼製ケーシングを腐植土層部に建込み、ケーシング内の腐植土をハンマーグラブで掘削撤去し、流動化処理土で充填し置き換える。	腐植土層部に薬液（硬化剤）を注入し、腐植土層を強固にする。	セメント及びセメント系固化材と、腐植土層部の原位置土とを強制的に攪拌混合し、地盤を改良する。
問題点	置き換えを行う施工日数分の工期が余分にかかる（約35日）。	腐植土の粒土が薬液注入の適用限界を超えている。注入形態として、浸透注入にも割裂注入にもならず、空洞を埋める状態の充填注入になると考えられる。	低強度に改良するのが困難で、改良強度が大きくなる傾向がある。SMW壁杭を施工するためには、更に先行削孔を行って地盤をゆるめる必要がある。
補助効果	地中連続壁を施工するために、必要な改良ができる。	地盤強度の増加量を予測できない。	地中連続壁を施工するには、改良後の地盤の強度が過剰である。
経済性	○	△	△
総合評価	○	×	△

た。そこで地中連続壁を施工する部分を、ケーシングによって施工基面から腐植土層下面より1.0m深い位置（深さ13.6m）まで流動化処理土に置き換える工法を採用した（**図４**）。この工法では、ケーシング引抜き時に流動化処理土に置き換えるため、地山に対する影響も低減することができた。

３．２　シールド発進時の対策

シールド発進時は、通常、山留を撤去するための鏡切りを行うが、地下水が鏡切り部分を通じて立坑内に浸入し、周辺地盤の圧密沈下を引き起こすことが考えられた。このため、山留材を設置したままシールド掘削が可能な、シールド直接発進到達（SEW）工法を採用した。シールド機による掘削を容易にするため、シールド開口部の山留材には樹脂補強発泡ウレタン材を用いた（**図５**）。同工法を採用する場合、発進防護のための地盤改良は不要であるが、本工事ではシールド掘進時の出水防止のため地盤改良を行い、万全を期した（**図６**）。また、エントランスのパッキンは二重構造にし出水・漏水の防止を徹底した（**図７、図８**）。

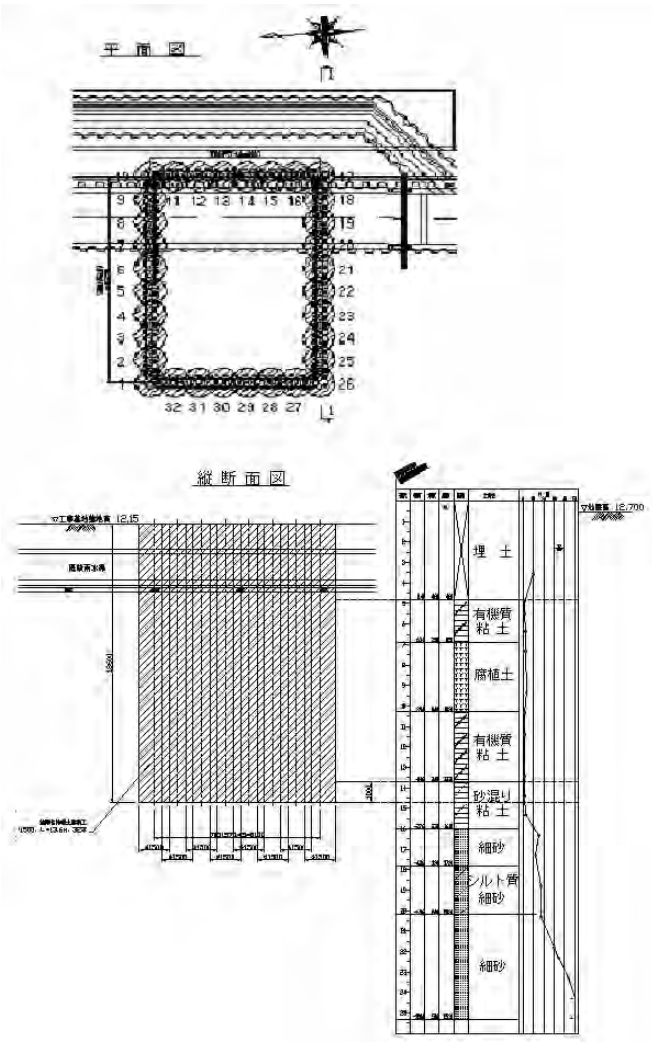


図４　立坑部置き換え工法

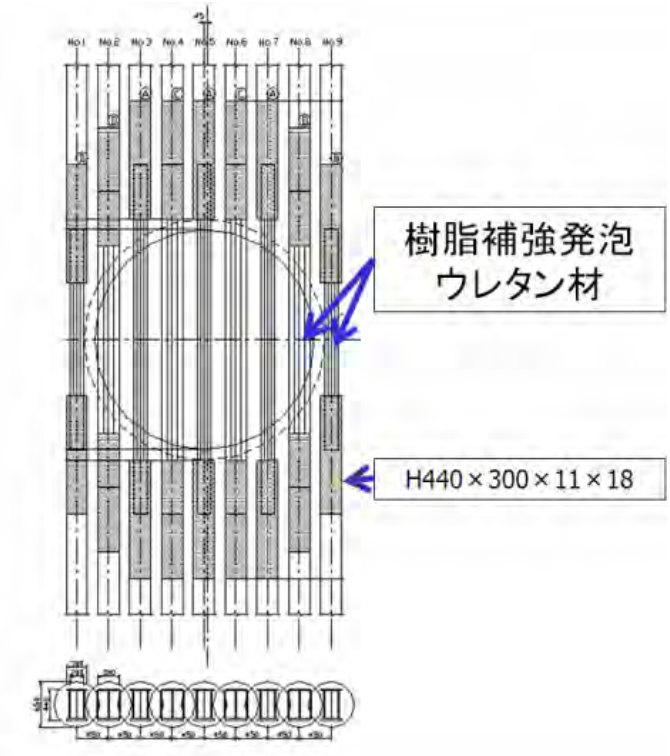


図５　シールド開口部

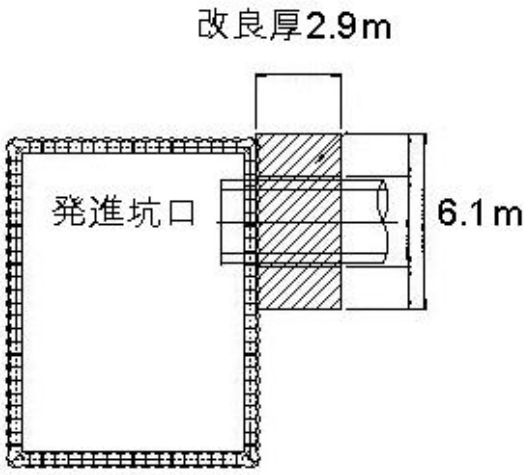


図６　地盤改良範囲

通常、仕上り内径 2200mm の場合、発進方向の立坑寸法は 8.8mとし、シールド機の据付に十分なスペースを確保するが、本立坑は、地下水の浸入対策として、内法の表面積を少なくしたため発進方向の寸法が 7.7mと短い縮小立坑とした。そのため、シールド機の前胴部分を地山に挿入後、後胴部分を接続する二分割組立方式により、シールド機の据付を行った。

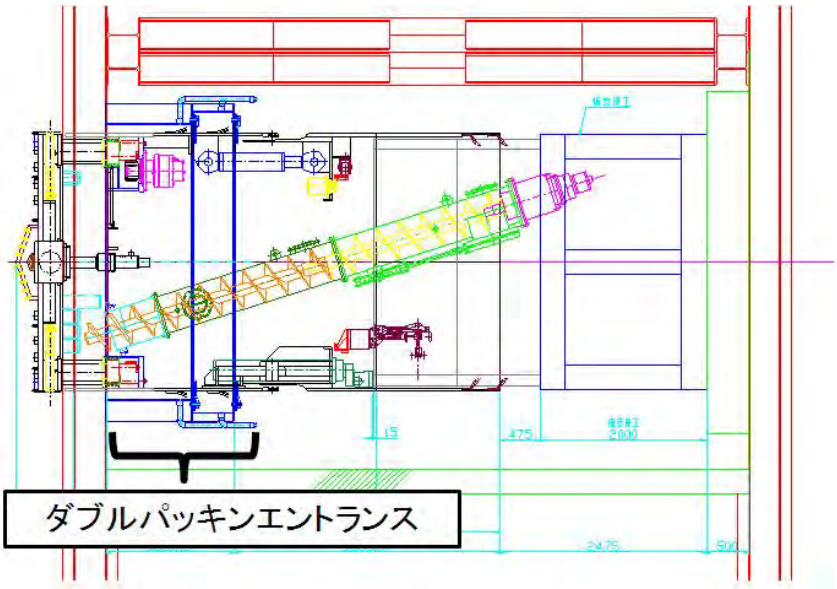


図７　シールド機断面

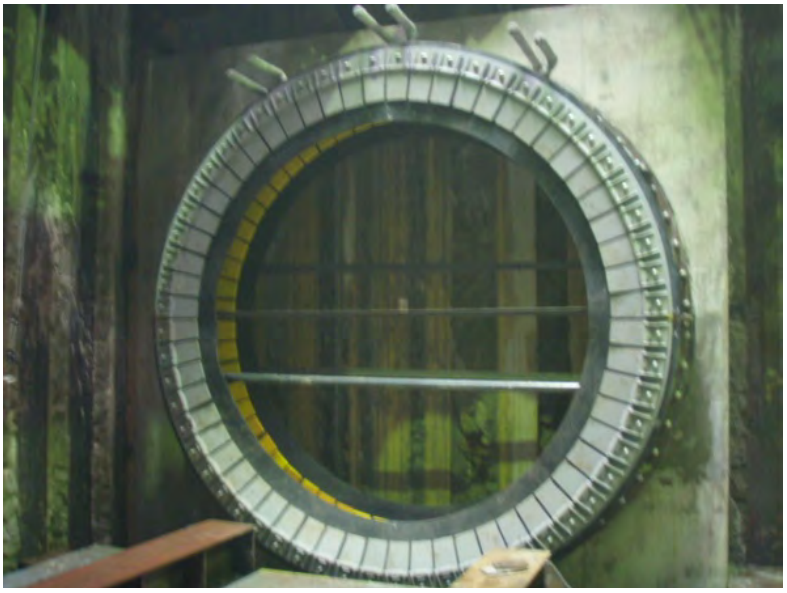


図８　ダブルパッキンエントランス

３．３　地盤沈下対策

３．３．１　復水工（リチャージ）

立坑内に浸入した地下水は 5.5kw のポンプ１台でくみ上げたが、このままでは土中の地下水が失われ、圧密沈下を引き起こすことが懸念された。これを防止するため、くみ上げた地下水を一旦タンクに溜め、立坑周りに復水（リチャージ）することにした（**図９、図 10**）。復水は、上部の腐植土層と下部の砂層に分けて行っている。上部復水は直径 80mm、深さ約 6m の立て孔 5 箇所を通して、毎分 5 リットルを腐植土層に戻している（**図 11**）。下部復水は直径 100mm、深さ約 26m の立て孔 1 箇所で、毎分 4 リットルを砂層に戻している。

３．３．２　土砂ピットへの地下水浸入防止

一般的な土砂ピットは、鋼矢板で囲った中に底盤コンクリートを打設して設けるが、当現場の地下水位が GL-1.2mの位置にあるため、地下水の浸入防止が課題となった。地上に土砂ホッパーを設置することも検討したが、以下の理由により断念した。

① 近隣住民との約束により防音建屋の天井高さが９mに制限されたため、十分な作業空間が確保できない。

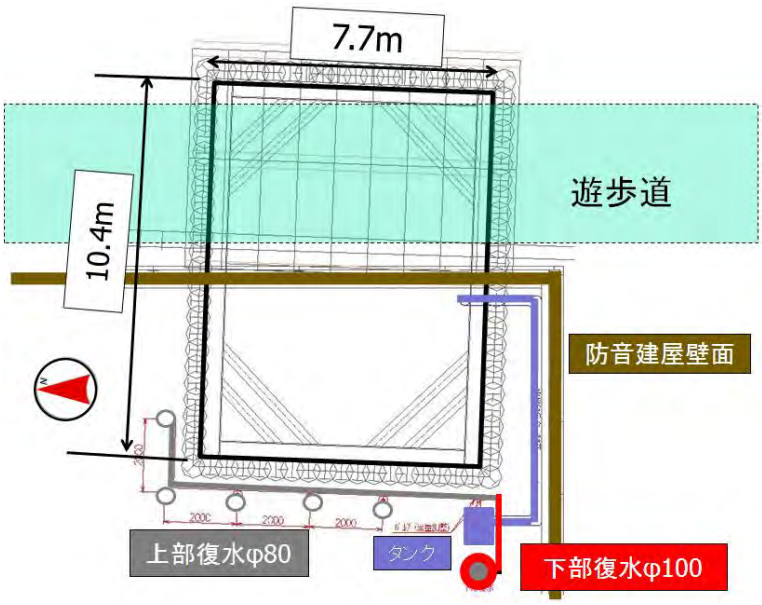


図９　立坑平面図

図 11　リチャージ設置状況

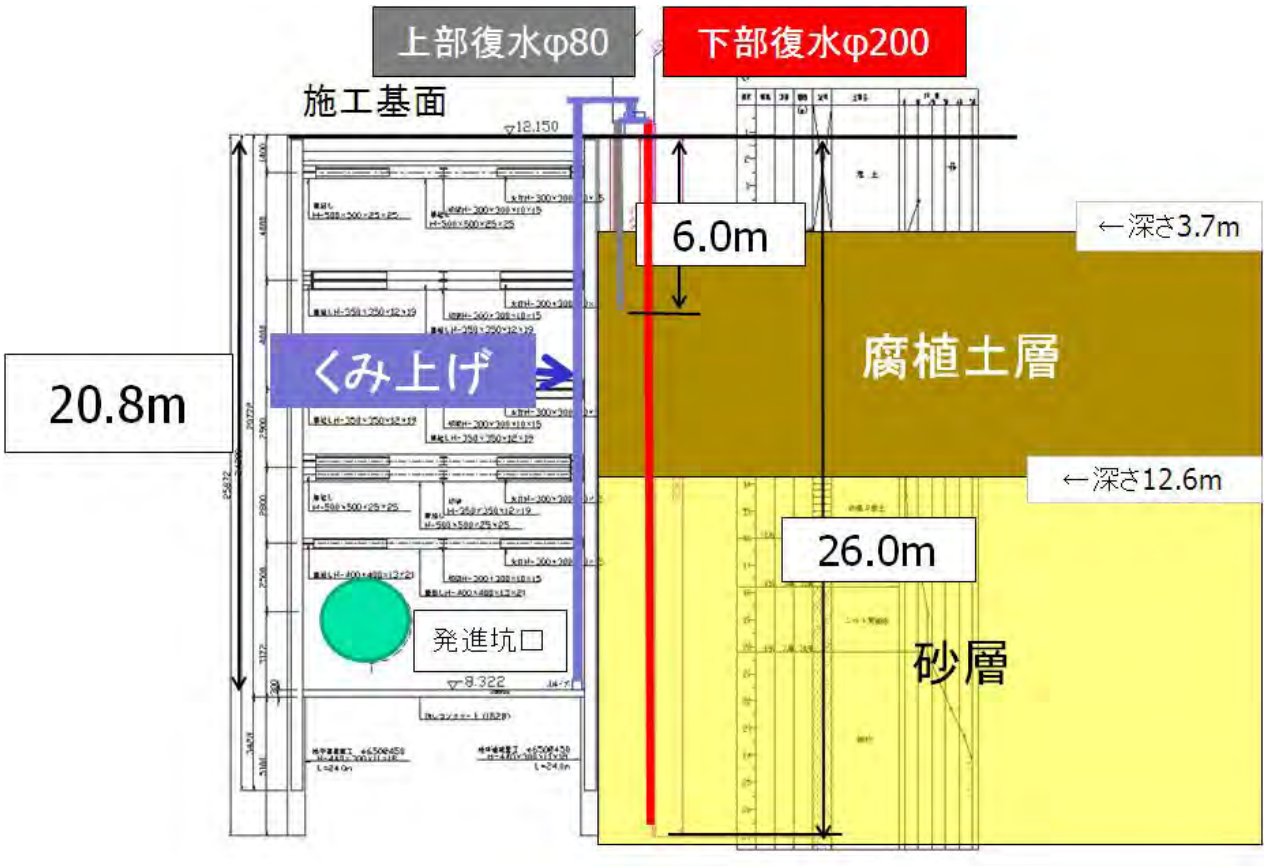


図 10　立坑断面図

②　土砂ホッパーからダンプトラックへ残土が落下した時の振動が、腐植土層を通じて広範囲に伝わる。

このため、以下の対策を講じたうえで、土中に土砂ピット（10.8×4.4m、深さ 3.0m）を設置することにした。

① 鋼矢板の継目からの漏水を防ぐため、継目に膨潤止水材を塗布する。

② 土砂ピットの内側全面に鉄板を溶接し、完全な水密状態とする（図 12、図 13）。

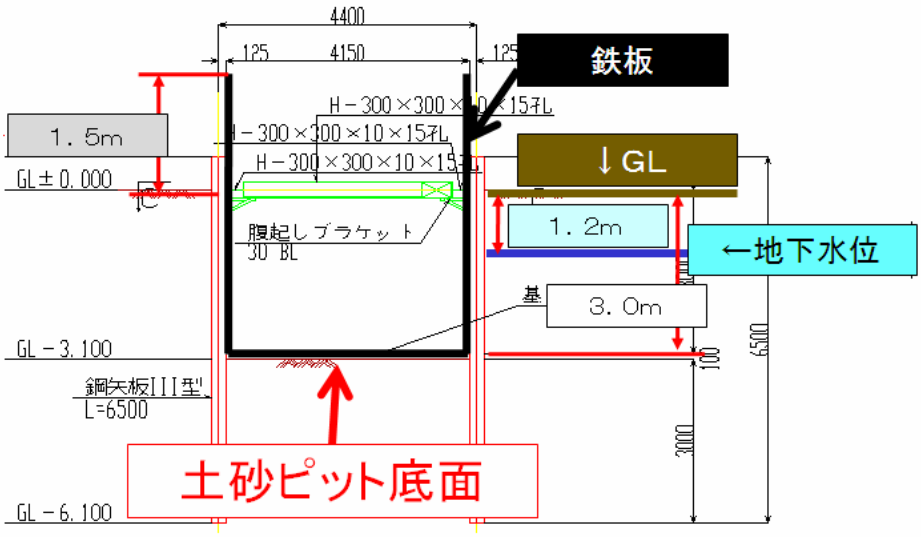


図 12　土砂ピット断面図

３．４　振動対策

立坑周辺の道路は、積載重量 3.5ｔ以上の車両の通行が規制されていたが、工事資材の搬入のためには大型車両の使用が不可欠なため、警察との協議により大型車両の通行許可を得た。しかし、大型車の走行に当たっては交通安全および腐植土層に影響を与えないよう、一定区間をガードマン先導により最徐行（10km/h 以下を厳守）で走行するとともに（図 14）、ターンテーブルを設置し、大型車両の発進停止や切り返しを削減した（図 15）。

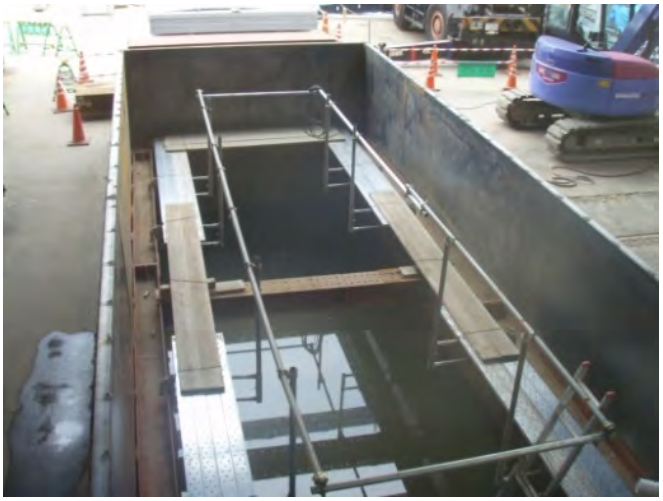


図 13　土砂ピット内鉄板張り

また、発進基地の防音建屋内での作業には天井クレーンを使用するため、周辺住民と協議

図 14　ガードマンによる先導

図 15　ターンテーブル

図 16　天井クレーンの
ウレタン車輪

図 17　天井クレーン全景
（防振ゴム設置箇所）

し、天井クレーンの走行車輪を鉄車輪からウレタン車輪に変更するとともに（図 16）、天井クレーンの走行レールの架台下に防振ゴムを敷設した（図 17）。

これらの対策の結果、工事による振動を低減することができ、かつ騒音に対しても抑制することができた。

３．５　計測管理

これまで述べた腐植土層対策の実効性を検証するため、立坑山留壁の変位と周辺軟弱層の変位を計測中である（図 18）。

３．５．１　立坑山留壁の水平変位計測

立坑山留壁の水平変位を計測するため、山留壁の長辺側と短辺側の２地点を多段式傾斜計の設置箇所に選定した。この多段式傾斜計は、切梁配置深度が２～４ｍ間隔であることから、２地点それぞれについて深さ２ｍごとの 12 深度に設置した（12 深度×２地点＝合計 24 箇所）。

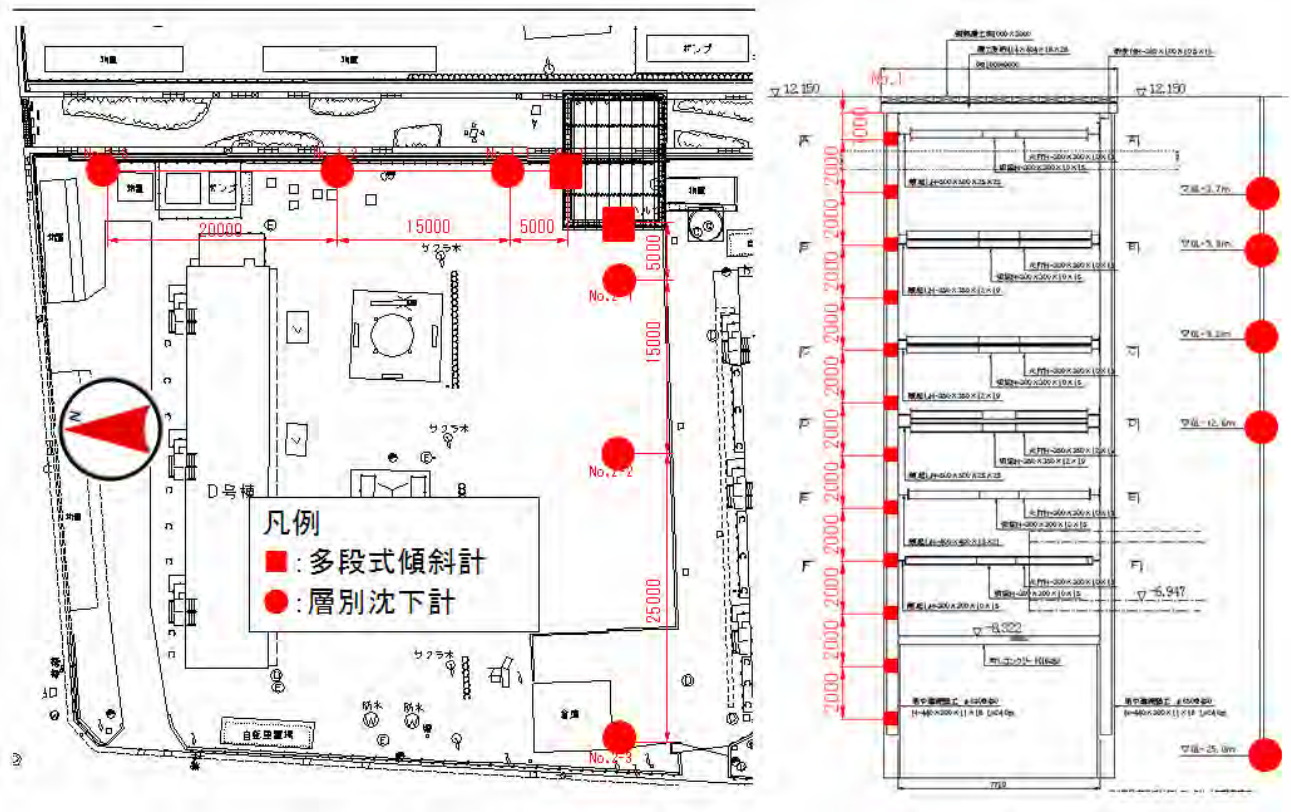


図 18　計測位置図

計測の結果、立坑施工期間内に、表面付近で立坑外側へ最大約 17mm、深さ 10～15m付近で立坑内側へ約 50mm の水平変位が見られたが、最大たわみ量の計算値である 100 ㎜以下に収まっている（**図 19、図 20**)。また、立坑工事終了後も著しい変位は現れず、安定した状態が保たれている。

３．５．２　周辺地盤の層別沈下計測

周辺軟弱層の変位を計測するため、山留壁の北側と西側の２方向について、それぞれ３地点（山留壁から５ｍ、20m、40ｍまたは 45m）の計６地点を、層別沈下計の設置箇所に選定した。各地点では、地層が変わる５深度（GL - 3.7m, - 5.8m, - 9.2m, - 12.6m, - 25.0m）に層別沈下計を設置した（６地点×５深度＝合計 30 箇所)。

計測の結果、立坑施工期間内に最大約 12mm の沈下が見られたが、立坑工事終了後は、これ以上の変位は現れていない（**図 21**)。また、これとは別に、立坑から離れた道路の地表面も定期的に測量したが、変位は観測されなかった。

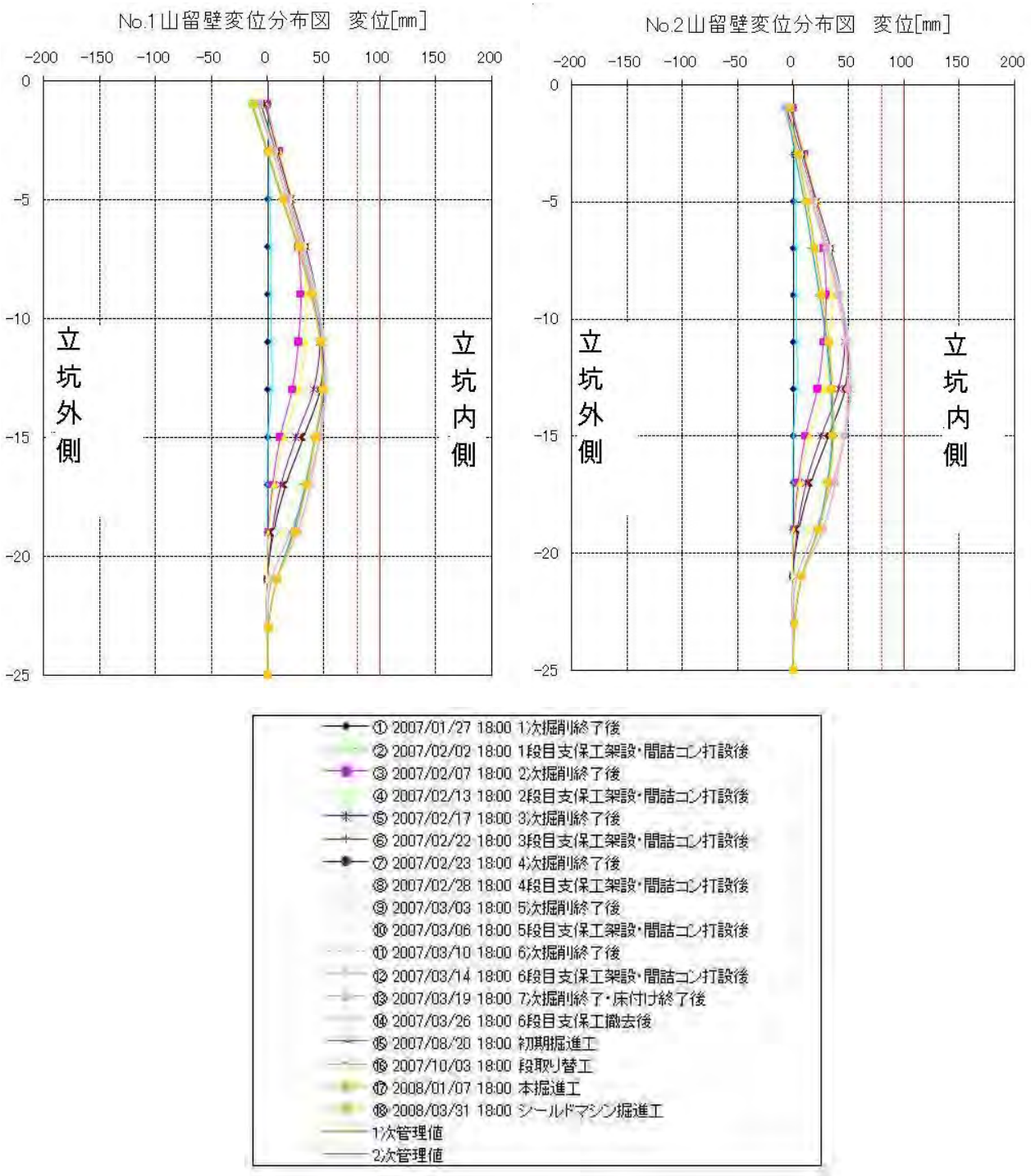


図 19　山留壁変位分布図

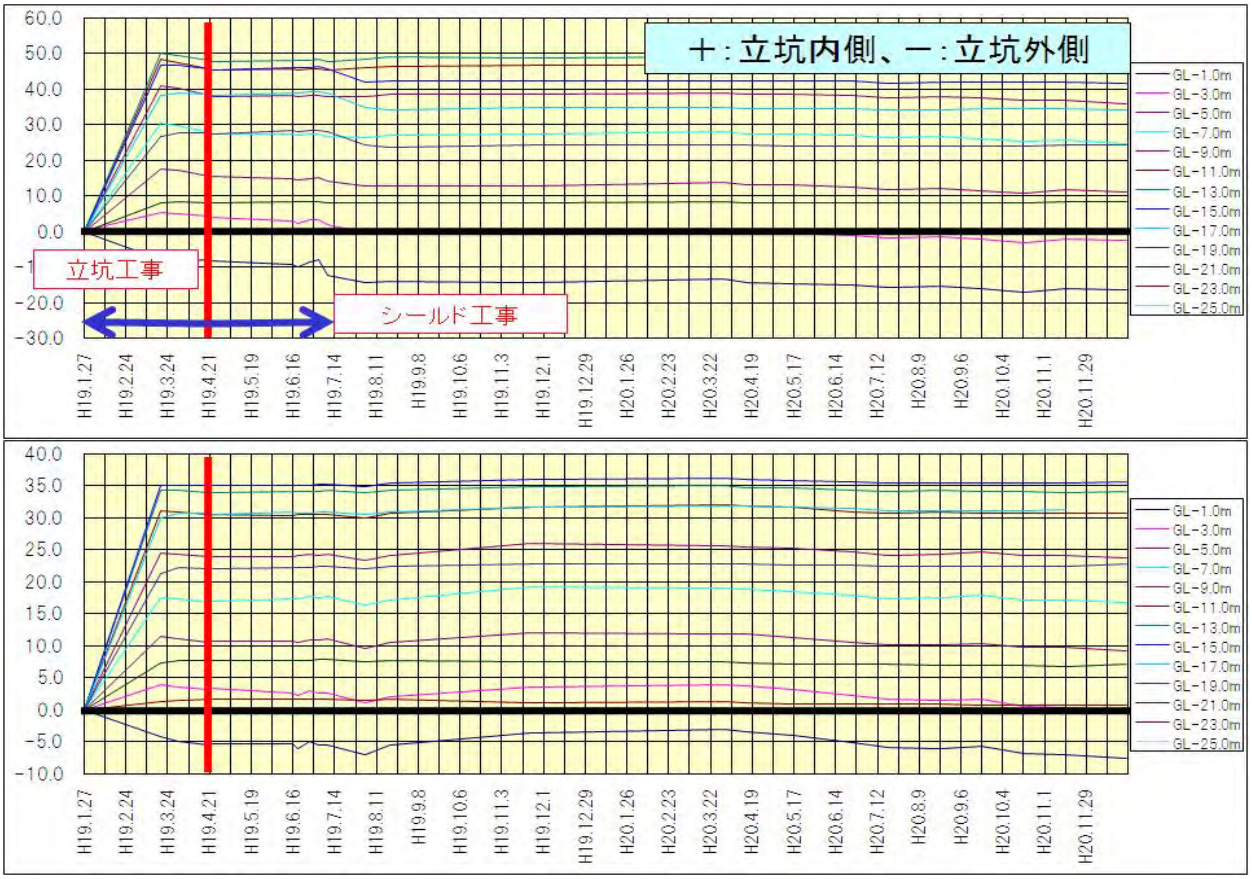


図 20　山留壁変位計測結果（上段 NO.1、下段 NO.2）

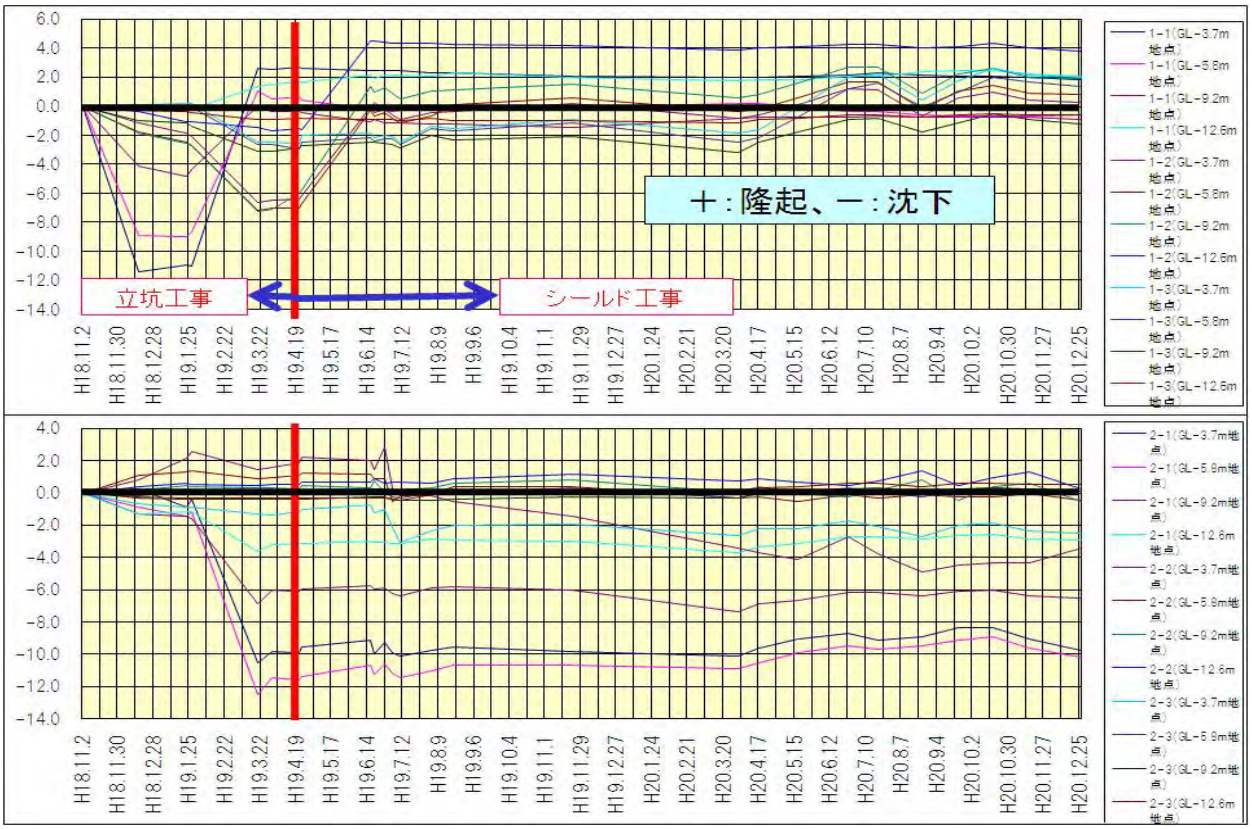


図 21　層別沈下変位計測結果（上段 NO.1、下段 NO.2）

４．　おわりに

本工事では、腐植土層対策として、地盤沈下対策や振動・騒音対策など、施工段階で考えられることを検討し実行してきた。

この結果、著しい地盤変位はなく、対策の有効性が確認できた。

本工事は平成 21 年度にシールド二次覆工を、既設下水管から雨水を取り込む施設および本立坑内のマンホールも平成 22 年 8 月に施工を終え、安全に完成することができた。

引き続き、これを一つの事例として今後の腐植土層対策に活かしていきたい。

5-(1)-2　多摩川上流幹線延伸事業

流域下水道本部技術部工事課　渡部　和寛

１．はじめに

東京都多摩地域の下水道は、昭和４３年に流域下水道の導入が決まって以降、急速に整備が進み、平成２０年度末には普及率９８％に達している。

しかしながら、多摩川の水源地に位置する奥多摩町の下水道普及率は３０％に満たない状況にあり、多摩地域の良好な水環境を形成するためには、下水道の整備が喫緊の課題となっている。

本事業、「多摩川上流幹線延伸事業」は、未普及地域の解消を図ることを目的として、奥多摩町と青梅市の一部の汚水を収容する「多摩川上流幹線」を延伸する事業である。

２．事業の概要

現在、多摩川上流幹線は青梅市内まで整備されており、青梅市、羽村市等の汚水を収容した後、昭島市にある多摩川上流水再生センターで処理されて多摩川に放流している。今回奥多摩町を流域下水道区域に編入するため、当幹線を約１５ｋｍ延伸することとした。このうち約１２．１ｋｍについては、既設の青梅市既設の青梅市公共下水道幹線を青梅市から無償移管を受け流域下水道幹線として位置づけることで整備し、それより上流側の区間約２．９ｋｍについては、下水道管を新設して整備することとした。

図１　多摩川上流幹線延伸事業概略図

事業概要は下記のとおり。

○流域面積　　243.35ha（青梅市 68.35ha、奥多摩町 175.0ha）
○全体延長　　約 15km（移管区間約 12.1km、新設区間約 2.9km）
○排除方式　　分流式
○下水道管径　φ250mm～φ400mm（新設区間）
○事業期間　　平成 18 年度から平成 20 年度まで
○事業費　　約５億４千万円

３．新設区間の概要

新設区間は以下の三工事に分かれている。

○多摩川上流幹線その１５工事　開削５８０ｍ　小口径推進７９０ｍ
○多摩川上流幹線その１６工事　開削９１０ｍ
○多摩川上流幹線その１７工事　開削５４０ｍ

全区間の大半は開削により下水道管を布設することにしているが、「多摩川上流幹線その１５工事」の下流部については、土被りが深くなることから小口径推進工により管を布設することとした。

また、小口径推進工については、当局が設計で採用している工法が「泥土圧方式」と「泥水方式」の二つあり、地質及び曲線の有無等の条件により使い分けている。それぞれの工法の特徴については表１のとおりである。

本稿では、特に困難であった小口径推進の施工について説明する。

表１　小口径推進工法の比較

工法名	エースモール工法	ミクロ工法
分類	泥土圧方式・一工程式	泥水方式・二工程式
対応地質	普通土・硬質土・礫質土・ 玉石混じり土・岩盤	普通土・砂礫土・土丹・ 固結土・岩盤
推進距離	１スパン最大約１５０ｍ	１スパン最大約４００ｍ
曲線対応	最大Ｒ＝７５ｍ	最大Ｒ＝３０ｍ

４．掘進機停止による工事中止と再開への取組み

４．１　掘進機の停止

推進工事は、まず泥水工法の区間から開始された。当初は掘進の状況は順調と思われたが、掘進開始後４ｍの地点において、掘進機がオーバートルク状態に陥り、掘進不能となった。

掘進停止の原因を究明し、今後の方針を検討するため、緊急的に薬液注入工を実施し、

停止した推進機を引き抜いた後、推進工事を一時中断した。以下工事再開に向けポイントとなった取組みについて紹介する。

４．２　掘進停止の原因究明

まず、掘進機の停止原因を究明するため、回収した掘進機を工場に持ち帰り調査した結果、以下のことが明らかとなった。

(1)停止地点の土質は当初想定していた岩盤ではなく、玉石混じり砂礫層

(2)礫径は４００ｍｍ以上、１ｍあたり２～３個存在

(3)掘進機回収後の点検により、各機構には異常なし

このことから、今回の掘進停止の原因は、想定以上のレキが掘進機に入り込んだことによる「礫づまり」現象によるものと推測された。

４．３　詳細な地層の把握

2 つ目の取組みとしては、今回の施工区域の詳細な地層データの把握に努めた。具体的には、各推進用の立抗の掘削時に、地質が分かるよう写真で記録しておき、立抗ごとに柱状図としてまとめる作業を行なった。

また、立坑箇所以外のところでは追加ボーリングを実施した。

写真１　岩盤・玉石混じり土掘削状況

写真１のとおり、当該地質は強固な岩盤と礫質土により構成されている。岩盤は堆積岩の一種で「頁岩（けつがん）」と呼ばれている。礫質土については、径 500mm を超える巨礫が出現していた。

また、圧縮強度試験を実施したところ、一軸圧縮強度１１９Ｎ／ｍｍ2 と、数値においても極めて硬質な岩盤であることが確認された。追加ボーリング調査と合わせて、整理・検討した結果、当該施工区間の地層は、当初想定していた、礫層と頁岩とが明確に区別できるような一様な地層ではなく、頁岩と礫層が幾重にも重なった互層の地層であることが判明した。（図２）

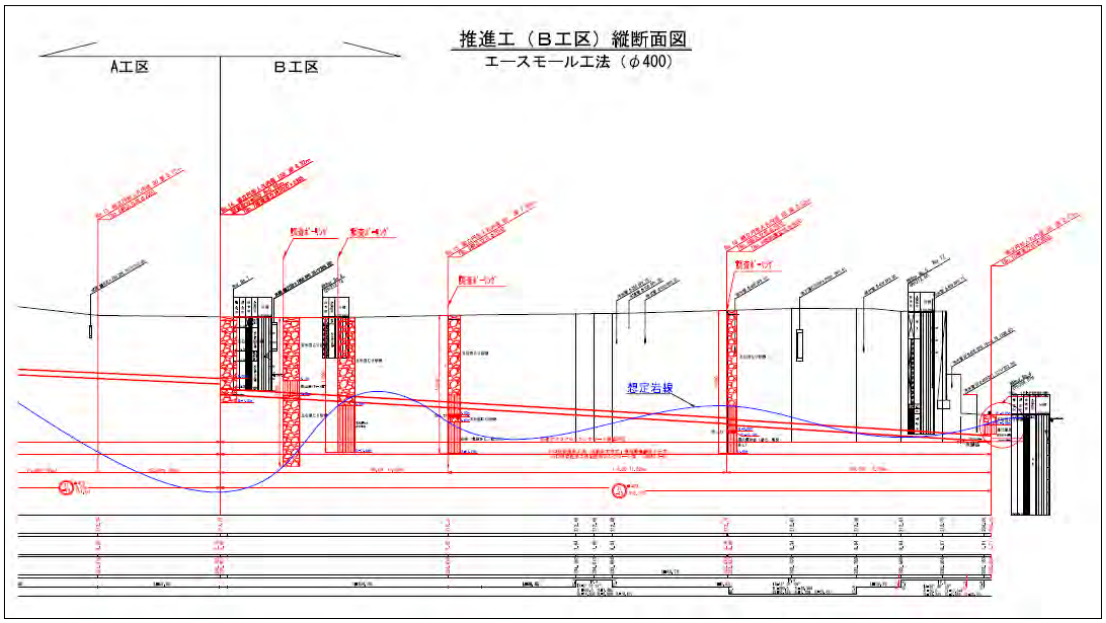


図２　地質調査結果

４．４　掘進可能な推進工法の検討

上記推進機停止の原因及び詳細な地層の把握の結果、今回の設計で採用されていた二つの推進工法では施工は困難と判断された。そのため、供用開始までのスケジュール、将来の維持管理の観点、工事費の増大を抑える、といった点について考慮のうえ、掘進可能な工法について検討を行った。

検討の結果、今回設計で採用していた泥土圧推進の１ランク上の規格での施工を行うこととなったが、当初泥水工法で推進する区間については、３００ｍかつ最大５０Ｒという長距離かつ急曲線の路線であり、検討中の工法では掘進が困難であったため、これを両側からの発進とすることで推進距離を短くし、また線形を見直すことで対応可能な曲線線形とした。

このような検討を経て、推進全区間を設計工法の１ランク上の泥土圧方式の推進工法に変更することに決定し、推進工事の再開に至った。

５．本工法の特徴

今回使用した泥土圧方式の小口径推進は、エースモール工法と呼ばれ、（社）日本下水道管渠推進技術協会の工法分類によると、高耐荷力方式－泥土圧方式－一工程式に分類される。掘削・排土方式に特徴があり、泥土化した掘削土を先導体後方の泥土圧取り込み口から取り込み、土砂圧送ポンプにより立坑外へ排土する「圧送排土方式」を採用している。

本工事にて使用した、「ＤＬ５０型」は、使用する推進管の径は４００ｍｍから５００ｍｍまで対応しており、本現場では４００ｍｍを使用した。対応土質については、前面のカッタヘッドを交換することで、普通土から礫・玉石混じり土、岩盤まで幅広く対応している。具体的には、礫・玉石混じり土については、玉石径８００ｍｍ以下、一軸圧縮強度２５０Ｎ/ｍ㎡以下、個数は１ｍあたり３～４個まで対応できる。岩盤については、一軸圧縮強度１００Ｎ/ｍ㎡まで掘進可能となっている。

推進距離については、土質に大きく左右されるが、一軸圧縮強度８０～１００N/m㎡の岩盤においては、約１００m程度である。

写真２　推進機全景

６．施工にあたり工夫した点

６．１　岩盤・玉石掘進の対応

使用した掘進機は岩盤の圧縮強度が１００Nまで対応可能という仕様になっているが、施工区域の地質は最大で１２０N近い箇所があるため、最も硬い岩盤の路線を掘進する前に、他の路線の掘進し、その結果を次の区間にフィードバックしていく方法を採用した。具体的には発進前と到達後のカッタヘッドの磨耗具合を詳細に点検、検証し、ビット形状を改良したもので次の区間の掘進を行っていった。こうした工夫により、安定した推進量を確保することができた。

写真３　発進・到達後のビット形状

６．２　高深度推進の位置検知

小口径推進工法の場合、掘進中の先導体の位置検知の方法としては、直線区間は「レーザーターゲット方式」であり、レーザーの届かない曲線区間については、掘進機から発信する電磁波を道路上で受信することで位置検知を行う「電磁法」が一般的である。

しかしながら、土被りが深い曲線区間の場合、または鋼管等の埋設物が近接している場

合は、電磁波の受信が困難な場合がある。そこで、今回は土被りが深い区間は「プリズムシステム」による位置計測を実施した。

プリズムシステムの概略図を図３に示した。図中左側の発進立坑側に基準プリズムユニットを取り付ける。基準プリズムユニットから放射したレーザー光は、曲線部分の中間プリズムユニットで屈曲し、先導体に取り付けた受光器ユニットで受光し曲線路線の位置計測を行う。

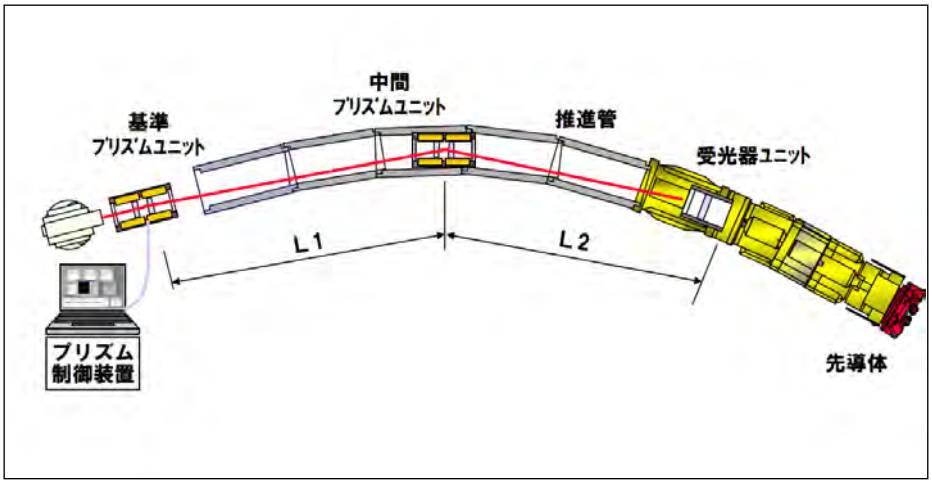


図３　プリズムユニット概念図

６．３　Web カメラによる現場管理

今回の工事現場は青梅市と奥多摩町の境であるため、庁舎のある立川市からは車で片道１時間半程度かかっていた。よって、監督業務の効率化を目的として、事務所にいながら現場の様子を見ることができるよう、インターネット回線で結ばれた web カメラを現場に設置した。

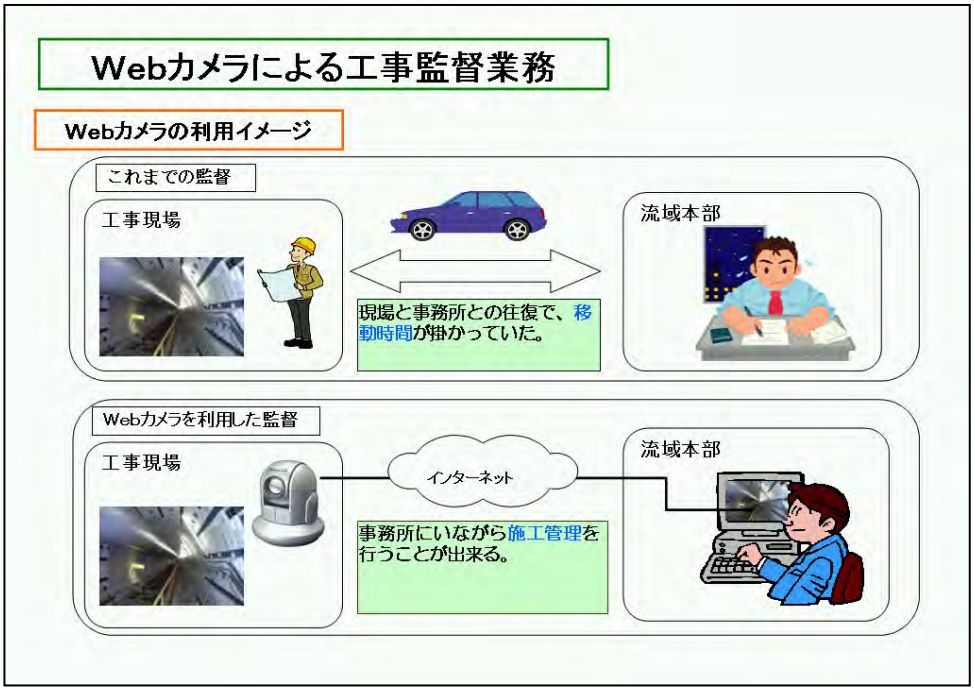


図４　Web カメラによる工事監督業務

各工区ごとに３台設置した Web カメラは、撮影した動画データをインターネット回線を

通じてサーバーに送信する。執務室内では大型スクリーンによって常時複数の現場を確認できるようになっており、現場に行くことができない日においても、作業帯が適正にできているかどうかといった安全管理や、開削工事部分では進捗状況等などの確認を行うことができた。

７．施工結果

推進工事の施工結果としては、全７区間、総延長７９０ｍというものであった。途中推力が上昇し一時掘進を停止するといったアクシデントもあったが、最終的には無事全区間掘進を完了することができた。

また、到達立坑での施工誤差については、全区間最大でも４０ｍｍと、良好な結果を得ることができた。このことから、前述の掘進機のビット改良や、プリズムシステム等の位置検知といった取組みに対して、一定の成果を得ることができたと考えられる。

表２　各区間の施工条件一覧

区間No.	線路延長	土質条件	曲線半径	位置検知	備考
No.1	85.0m	岩盤 87N/mm2	95R	電磁法	
No.2	83.9m	岩盤 119N/mm2	直線	レーザー	
No.3	100.0m	岩盤 70N/mm2	150R	電磁法	
No.4	100.0m	岩盤 35N/mm2	直線	レーザー	
No.5	121.0m	玉石 175N/mm2	直線	レーザー	
No.6	207.0m	岩盤 44N/mm2	直線	電磁法	※中間立坑有
No.7	108.1m	岩盤 30N/mm2	90R	プリズム	

８．事業の成果

新設区間２．９ｋｍの全工事が完了し、平成２１年３月に多摩川上流幹線として供用を開始した。合わせて奥多摩町の公共下水道が流域幹線に接続し、平成２１年７月に供用開始した。

この結果､多摩３０市町村すべての公共下水道が流域下水道に接続されることとなった。

今後奥多摩町の公共下水道整備が促進され、多摩川上流域の水質改善と合わせて地域の持つ魅力がより一層増していくものと期待される。

5-(2)-1 光ファイバーケーブル断線予防技術調査その２

計画調整部　技術開発課　大岡　隆志

１．はじめに

東京都の下水道管きょ内の光ファイバーケーブルは昭和 63 年度から敷設し、平成元年に供用開始されてから約 20 年が経過している。この間、伝送通信網にとって最も回避しなければならない断線事故による伝送障害が 47 件発生している。重要な通信網である光ファイバーケーブルがひとたび損傷を起こすと、遠制ポンプ所の安定運転やネットワーク機能が保持できなくなる。このため、現在敷設されている光ファイバーケーブルの断線を予防する技術を開発するため、平成 20 年度から本調査を実施しており、断線原因の特性を分析し、対策必要箇所の抽出、対策技術を検討している。[1] これを受け、平成 21 年度は光ファイバーケーブルの断線を予防する最適な技術として防護方法に着目し、現在実施している防護方法での欠点を克服する防護カバーを開発し、これを実際の管きょに取付け、その施工性を確認しており、既存技術と比較をしている。この防護材は、施工性が良く、様々な状況に対応できるものとして、今後の現場での使用にあたり性能が期待できるものとしてここに紹介する。[2]

２．調査内容

本調査の内容は、以下のとおりである。

（１）断線予防対策技術の整理
（２）対策技術（防護材）の製作及び性能検証
（３）実管きょでの設置及び検証
（４）既存技術との比較及び評価

３．断線予防対策技術の整理

平成 20 年度調査では、断線予防対策箇所の選定を行い、危険箇所における防護方法をカバー方式及びカバー方式以外の方法で提案している。ここでは、主に防護カバーによる対策技術について述べる。

現行の人孔管口上部の防護カバー（図１）は、管口状況により個別の形状設計が余儀なくされる。この課題を解消する方式として、自在型カバーによる防護を検討している。この自在型カバーの有利さは、防護管自体を自在に変形させることで既存の壁面形状、ケーブル経路に対応できることである。また、FEP 管に比較して腐食、劣化に強く、一定レベルの強度も有している。

断面の形状については、円形の場合、側方からの振動、押圧に対して脆弱な面も見られることから、断面を円形でなく自在変形性を抑えた矩形にして側圧に抵抗するようにした。また、強度を増すために矩形材料の厚みを増し、各継ぎ手パーツの強度を向上させている。現時点では、光ファイバーケーブルを切断することなく矩形カバーに内装でき、長さ調節が可能な市販品は見当たらない。そこで今回新しい防護カバーの開発に着手し、以下にその試作品を提示する。

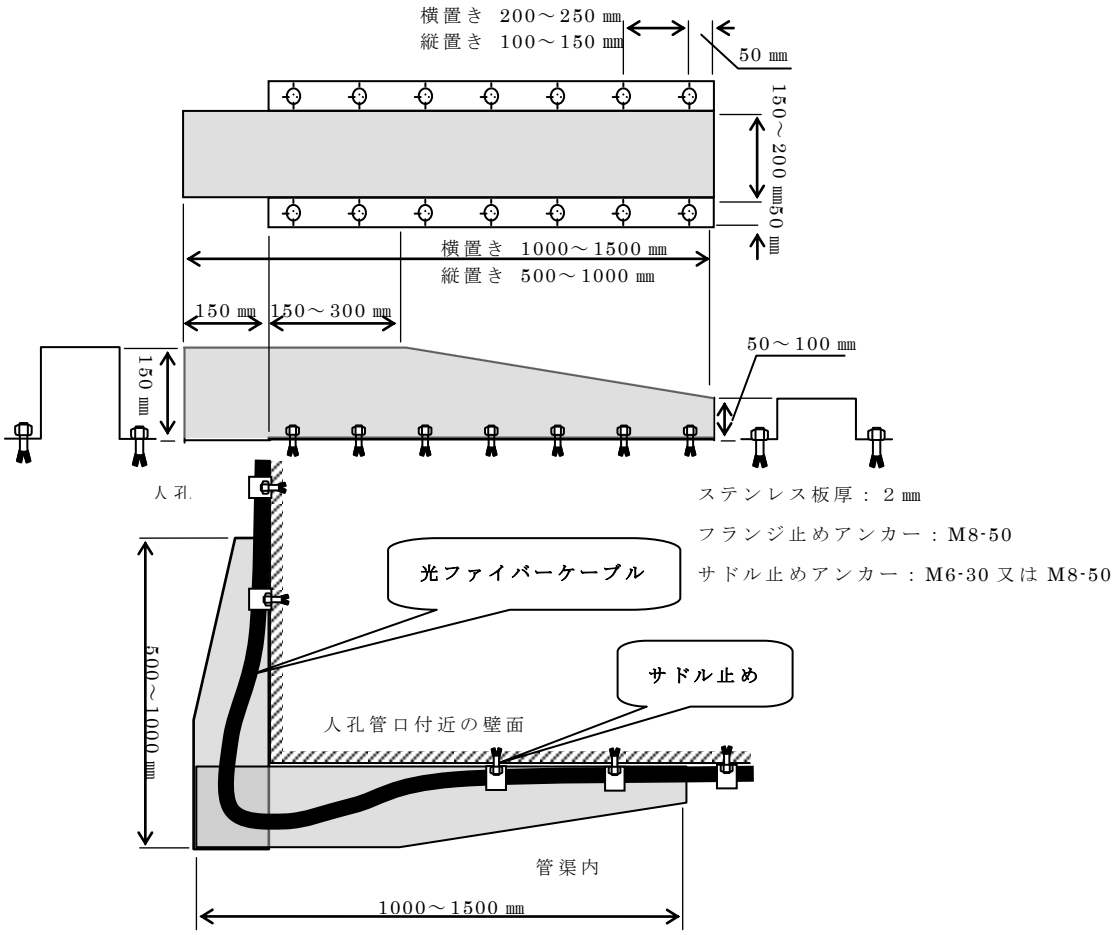


図１　現行方法での防護カバー

４．対策技術（防護カバー）の製作及び性能検証

昨年度考案した防護カバーについて、今後、断線予防対策を実施していく上で効率的に施工することができるか以下の事項について検討した。

ここで、検討を進める際の基本要件として、この防護カバーについては、現行実施されている従来型の防護カバーと比較して、施工性、安全性等で同程度またはそれ以上の評価**が期待できるものを対象とした。**

４．１　防護カバーの標準的な形態について

対象としている防護カバーは、人孔管口部の既設の光ファイバーケーブルに対して施工するもので、開放形のカバー方式が基本的な形態となるこのため、閉鎖型（筒状）の防護であれば、光ファイバーケーブルを通線する必要が生じて接続箱間の対応となり適切な形態ではない。

４．２　防護材（金属製可とう矩形管）の開発と検討事項

防護カバーは、光ファイバーケーブルに対する水流等の衝撃から防御するために設置するもので、耐衝撃性は必要条件であり、基本的には光ファイバーケーブルの耐用年数に整合させることから、耐久性、耐摩耗性、耐腐食性能が条件として加わる。

これらをクリアする材質と形状が開発にあたっての検討事項である。

４．３　効率的な防護材の製作

防護カバーが必要となる箇所は、現在 300 箇所以上あり、その都度の設計、施工では不効率であり、コスト的にも問題が生ずる。また、効率的な施工を前提とすると、剛性を高

めるために材料重量が大きくなることは、施工面で作業員や作業機器類の増となり、狭小空間である人孔内作業としては不適である。

したがって、可能な限り標準化を図ることと、既製品で対応が可能かの検討も必要になる。この点については、現在、対応できる製品が無い状況である。

４．４　開発した防護カバーの概要

実管きょで設置する防護カバーは、従来型を含む３タイプである。屈折型及び蛇腹型を今回開発し、従来型（図１）と合わせて現場に設置した。

従来型の防護カバーの仕様を図２、屈折型の防護カバーの仕様を図３、蛇腹型の防護カバーの仕様を図４にそれぞれ示す。

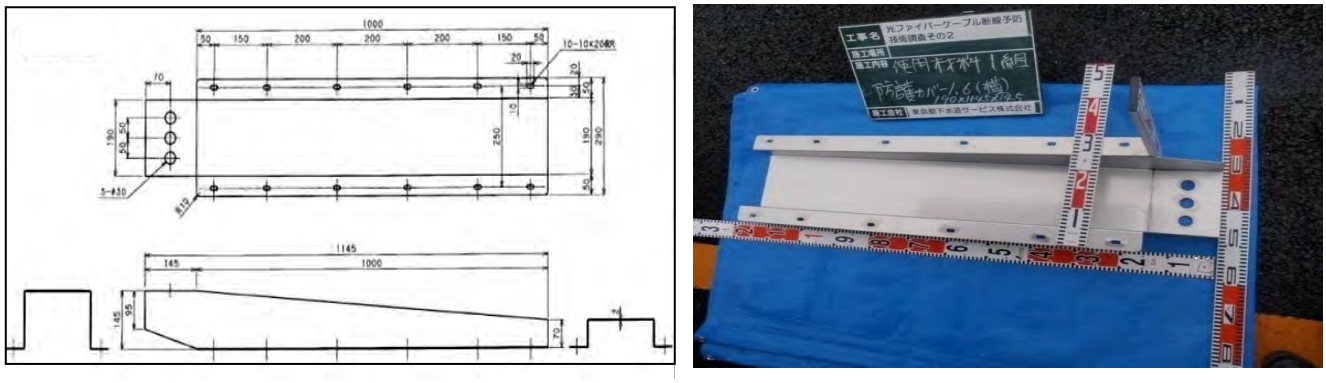


図２　従来型防護カバーの仕様

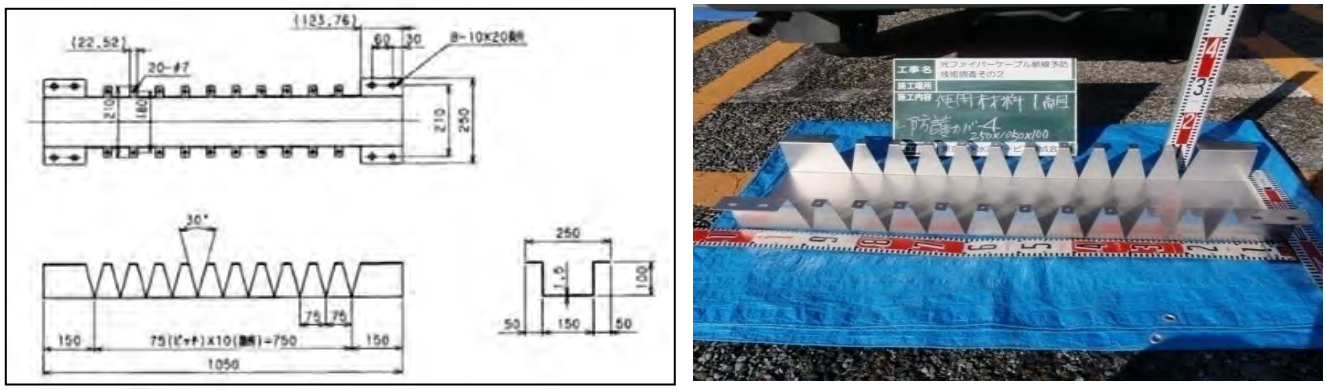


図３　屈折型防護カバーの仕様

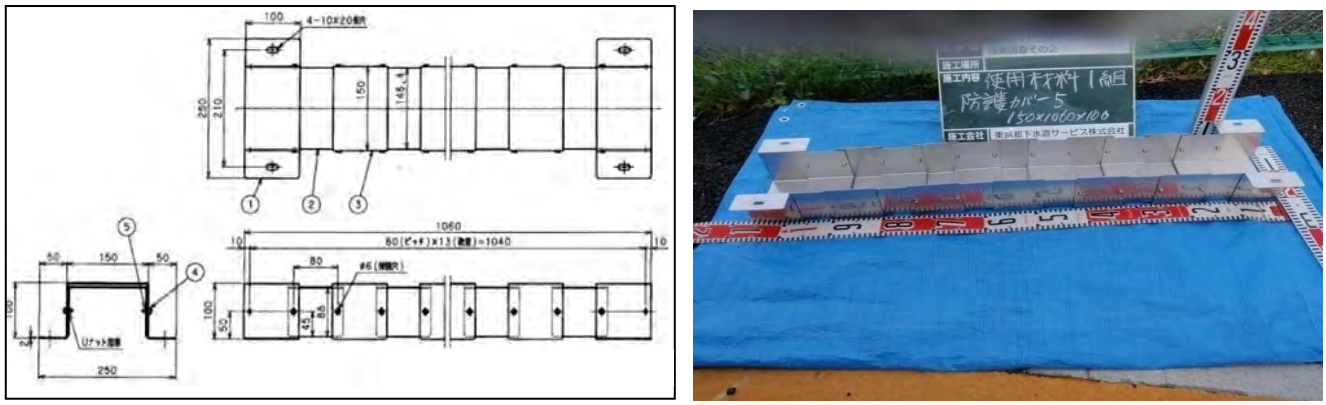


図４　蛇腹型防護カバーの仕様

５．実管きょでの施工実態調査

５．１　施工実態調査の概要

実管きょでの設置における施工実態調査を行い、施工性の評価を行った。なお、設置箇所は６箇所で、従来型、屈折型及び蛇腹型の３タイプに対して、各々に施工環境の異なる２箇所（管径 2500mm 未満、2500mm 以上[設置に伴う足場の有無による区分]）を選定した。

６つの防護カバー設置箇所は表１のとおりである。

表１　防護カバー設置箇所一覧

	タイプ	管径	光ファイバーケーブルルート	人孔番号
1	従来型	2200mm	加平 P～足立（出）	0421-4B-402
2	屈折型	1100mm	千住 P～千住西 P	1124-4B-014
3	蛇腹型	2000mm	中川（セ）～東金町 P	0628-3A-401
4	屈折型	4000mm	三河島（セ）～湯島 P	1620-3B-021
5	蛇腹型	3500mm	山谷 P～白鬚西 P	1323-3D-002
6	従来型	3500mm	山谷 P～白鬚西 P	1323-4D-007

実態調査にあたっては現場ごとの施工条件、作業員構成、使用する主要機器及び各工種ごとの計時記録を調査記録表にとり、実態把握を行った。

５．２　施工実態調査結果

防護カバー敷設施工に関する実態調査記録から計時記録等を整理した。「施工条件・作業員構成・主要機材」を整理したものが表２、計時記録を整理したものが表３である。

これらの情報は、今後防護カバー敷設工事の歩掛り検討資料となるもので、今回の防護カバーについての施工においては、以下のとおりにまとめることができる。

【足場なし施工】

①作業員構成　　現場代理人（世話役）：１名
　　特殊作業員：２名
　　普通作業員：２名
　　交通誘導員：２～４名（道路条件による）

②施工時間　　４時間／箇所

【足場あり施工】

①作業員構成　　「足場なし」に同じ

②施工時間　　５時間／箇所

表２　施工条件・作業員構成・主要機材実態調査結果

調査番号	ルート	人孔No	実施日			防護カバー種類	施工区分	管径 mm	人孔深さm	道路			バス運行有無	車輌		作業員数（人）					主要機材							備考
			月	日	曜日					区分	形態	幅員m		作業	保安	代理人	世話役	特殊	普通	誘導	発電機	保安施設	安全施設	ガス検知	送風機	仮設足場	電動工具	
①	加平Ｐ～足立（出）	0421-4B-402	3	3	水	従来型	昼間	2,200	14.5	車道	十字	6.2	有	1	1	1	1	2	2	3	1.6kVA	作業帯一式	安全吊り具等	酸欠・有害ガス	Φ300		ドリル等一式	
②	千住Ｐ～千住西Ｐ	1124-4B-014	3	4	木	屈折型	昼間	2,400	3.8	車道	十字	8.2	無	1	1	1	1	3	1	4	1.6kVA	作業帯一式	安全吊り具等	酸欠・有害ガス	Φ300		ドリル等一式	紙業会社前
③	中川水セ～東金町Ｐ	0628-3A-401	3	5	金	蛇腹型	昼間	2,000	17.3	車道	十字	5.8	有	1	1	1	1	2	2	3	1.6kVA	作業帯一式	安全吊り具等	酸欠・有害ガス	Φ300		ドリル等一式	
④	三河島水セ～湯島Ｐ	1620-3B-021	3	11	木	屈折型	昼間	4,000	21.5	歩道	十字	6.5	無	1	1	1	1	1	3	4	1.6kVA	作業帯一式	安全吊り具等	酸欠・有害ガス	Φ300	3ｍ	ドリル等一式	池之端児童公園内
⑤	山谷Ｐ～白鬚西Ｐ	1323-3D-002	3	8	月	蛇腹型	昼間	3,500	9.0	車道	丁字	6.0	無	2	1	1	1	2	2	3	1.6kVA	作業帯一式	安全吊り具等	酸欠・有害ガス	Φ300	3ｍ	ドリル等一式	JR貨物ﾄﾗｯｸ出入口
⑥	山谷Ｐ～白鬚西Ｐ	1323-4D-007	3	10	水	従来型	昼間	3,500	8.8	車道	丁字	5.0	有	1	1	1	1	2	2	2	1.6kVA	作業帯一式	安全吊り具等	酸欠・有害ガス	Φ300	3ｍ	ドリル等一式	

表３　実態調査計時記録結果

調査番号	ルート	人孔No	施工時間			工種毎の作業時間												
			開始	終了	経過時間	KY等ﾐｰﾃｨﾝｸﾞ	作業帯設置	安全確認	資材搬入	足場組立	既設仮移設	墨出し	カバー敷設	ケーブル本設	検査工	足場解体	資材搬出	後片付け	合計
①	加平Ｐ～足立（出）	0421-4B-402	8:45	12:30	3:45	0:10	0:15	0:25	0:15		0:30	0:10	0:40	0:40	0:15		0:10	0:15	3:45
②	千住Ｐ～千住西Ｐ	1124-4B-014	8:30	12:30	4:00	0:10	0:30	0:15	0:15		0:30	0:15	0:45	0:45	0:15		0:10	0:10	4:00
③	中川水セ～東金町Ｐ	0628-3A-401	8:45	12:30	3:45	0:10	0:15	0:15	0:30		0:30	0:15	1:00	0:15	0:10		0:10	0:15	3:45
防護カバー設置工（足場なし）						0:10	0:20	0:18	0:20		0:30	0:13	0:48	0:33	0:13		0:10	0:13	3:50
④	三河島水セ～湯島Ｐ	1620-3B-021	8:30	15:30	6:30 休憩30分有	0:10	0:15	0:15	0:30	0:30	1:00	0:20	1:35	0:20	0:20	0:45	0:15	0:15	6:30
⑤	山谷Ｐ～白鬚西Ｐ	1323-3D-002	8:45	13:00	4:15	0:10	0:10	0:15	0:15	0:20	0:40	0:15	1:00	0:15	0:10	0:15	0:15	0:15	4:15
⑥	山谷Ｐ～白鬚西Ｐ	1323-4D-007	8:45	12:15	3:30	0:10	0:10	0:15	0:20	0:20	0:35	0:10	0:30	0:15	0:05	0:20	0:10	0:10	3:30
防護カバー設置工（足場有り）						0:10	0:11	0:15	0:21	0:23	0:45	0:15	1:01	0:16	0:11	0:26	0:13	0:13	4:45

６．既存技術との比較及び評価

６．１　既存技術（既設防護カバー）の状況調査

既設防護カバーの現状を確認するために、設置状況調査を行った。

従来型の防護カバー調査箇所と調査手順を表４及び図５に示す。

表４　従来型防護カバー調査箇所

	管径	光ファイバーケーブルルート	人孔番号
1	5000×5000mm	梅田Ｐ～中川（セ）	0922-2C-201
2	4500mm	新小岩Ｐ～西小松川Ｐ	1729-3A-036
3	4000mm	本田Ｐ～亀有Ｐ	1427-3A-006
4	3500×3240mm	小菅（セ）～堀切Ｐ	1025-3B-010
5	4500mm	足立（出）～熊の木Ｐ	0520-2B-201

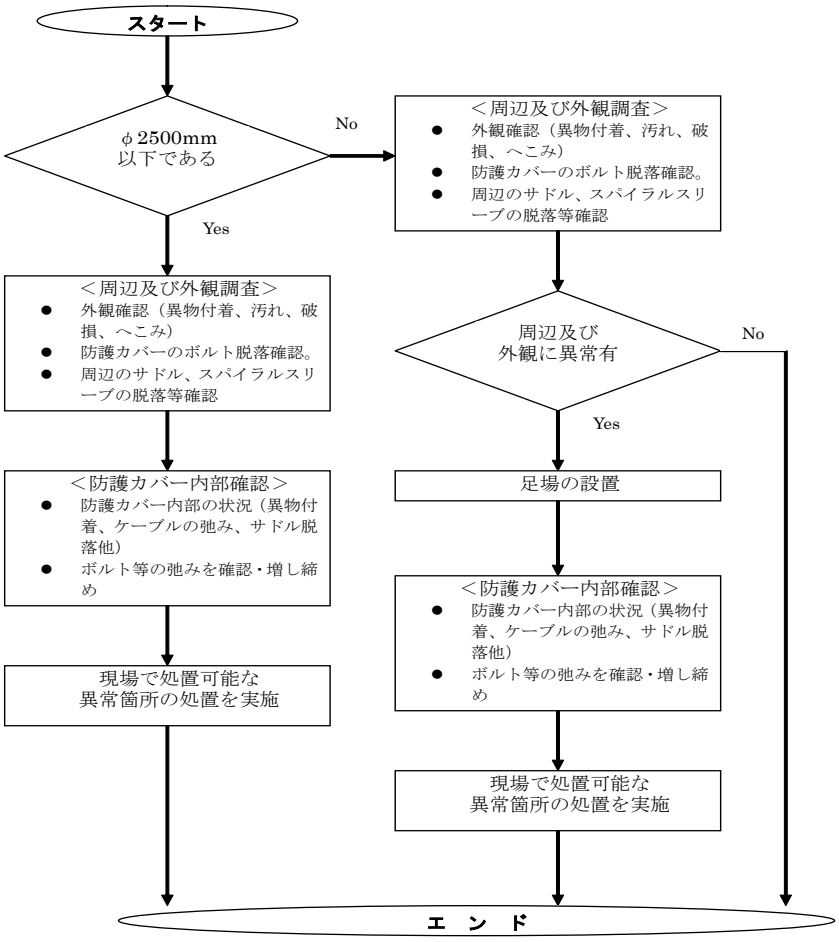


図５　防護カバー調査手順

従来型防護カバーを設置した上記５箇所について、①異物付着、破損、へこみ等の外観確認②防護カバー固定ボルトの確認③周辺サドル､スパイラルスリーブ等の確認を行った。現況調査の結果、一部汚れ等が確認された。また、ケーブルの固定間隔が広く、サドルの増設が必要な箇所があった。いずれも機能上問題はなく、設置状況は良好であった。

６．２　既存技術との比較及び評価

従来方法の断線予防対策の状況を確認、整理し、今回開発された技術による対策とのコスト、施工性、維持管理性、安全面から既存技術との比較を行った。

防護カバータイプ別の、設置前後の状況写真を図６～図 11 に示す。

従来型(0421-4B-402)

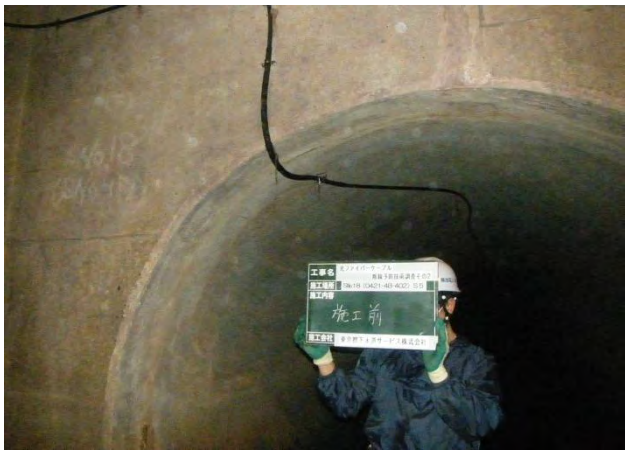


図６　従来型施工前

図７　従来型施工後

屈折型（1124-4B-014）

図８　屈折型施工前

図９　屈折型施工後

蛇腹型（0628-3A-401）

図 10　蛇腹型施工前

図 11　蛇腹型施工後

今回設置した防護カバー３タイプについて整理した結果を表５に示す。

表５　防護カバーの比較

	①従来型		②屈折型		③蛇腹型	
タイプ別特徴	標準的なケースでの適用が考えられる		コンパクトであるため、小口径で有利である		パーツに分解が可能であるため、標準化が可能である	
使用材質	SUS304	○	SUS304	○	SUS304	○
材料厚さ	2.0mm	○	1.5mm	△	2.0mm	○
カバー重量	190W（幅)タイプ 縦　部：4.1kg 水平部：9.0kg 合計　：13.1kg	○	150W（幅）タイプ 曲　部：3.4kg 水平部：6.6kg 合計　：10.0kg 250W（幅）タイプ 曲　部：4.7kg 水平部：8.2kg 合計　：12.9kg	◎	150W（幅）タイプ 曲　部：7.2kg 水平部：6.6kg 合計　：13.9kg 250W（幅）タイプ 曲　部：9.3kg 水平部：8.2kg 合計　：17.5kg	○
アンカー数	垂直：6箇所 水平：12箇所		曲部：28箇所 水平：12箇所		曲部：4箇所 水平：12箇所	
経済性	190W：58,500円	○	150W：53,000円 250W：58,000円	◎	150W：65,000円 250W：72,000円	△
発展性	現在の形でほぼ完成形となっている		屈折箇所の数などの再検討で、強度及び施工性の向上が見込まれる		据付フランジの追加などで、強度および施工性の向上が見込まれる	

各防護カバーの特徴として、蛇腹型はパーツごとに分解ができるため、現場の状況によりパーツの増減などが可能である。屈折型はコンパクトで軽量であるため、小口径などで有利である。また、仕様材質は、従来型と同じ材質で製作しており、腐食などに対する耐性は従来型と同等であると評価できる。材厚は、屈折型は現場で変形させるため他より肉薄になっている。そのため強度は低下するが、コーナー部分が従来型より円に近づくため衝撃の分散が期待できる。

防護カバーの重量については、屈折型、蛇腹型は２つのパーツに分割されており、分割後の各パーツ重量は 10kg 以下となり、従来品と大きく変わらない。そのため、据付上の問題はないと考えられる。なお、屈折型は一番軽量であり、作業は容易となる。

設置の信頼性は、蛇腹型は蛇腹部分に固定用アンカー取付穴を設けていないため、この部分での躯体との一体が図れないおそれがあるが、必要に応じて別途固定具を設けることで改善が可能である。

経済性では、屈折型が一番安価となっている。しかし、この屈折型、蛇腹型については、

実施工を行う中で改善点が明確になっており、改善を重ねることで現在より強度及び施工面の改善を見込むことができると考えられるため、従来型より蛇腹型は高価ではあるが総合的に優れていると言える。

６．２　提案技術の改良

上記の評価から、開発された技術について今回現場での設置を通して、問題点や改良すべき事項を抽出した。

６．２．１　屈折型

①問題点

コーナー部分が躯体とフィットせず、アンカーが設置できない箇所があった。屈折させない部分に三角形の隙間が生じてしまい、ゴミなどが入る可能性がある。よって可動の必要性があったのは、コーナー部分の 3 箇所（ブロック）程度であった。

②改善提案

可動する部分を中央の 3 箇所程度にする。また、コーナー部分のアンカー打設が可能となるよう形状を再検討する。(図 12)

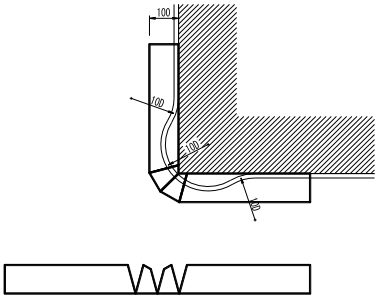


図 12　屈折型の改良

６．２．２　蛇腹型

①問題点

蛇腹部分に固定用のアンカー取付孔がないため、躯体より浮き上がりがみられた。コーナー部分で隙間が生じるため、カバー内にゴミが入る可能性がある。よって可動の必要性があったのは、コーナー部分の 3 箇所（ブロック）程度であった。

②改善提案

可動する部分を中央部分の 3 箇所程度にする。固定用アンカー取付孔の数を増やす。また、コーナー部分に隙間が生じないよう、形状を再検討する。(図 13)

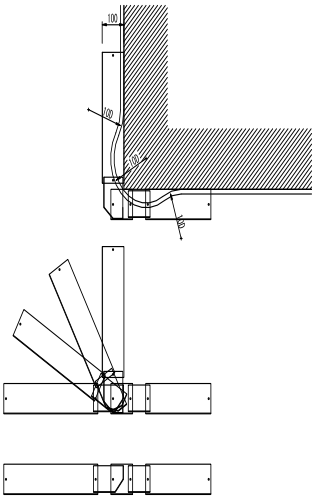


図 13　蛇腹型の改良

今回製作及び取付はしていないが、蛇腹型防護カバーの変法として既設ケーブルの敷設状況に合わせて図 14 にあるフランジ付パーツと蛇腹構成パーツの各々を組み合わせて必要な部分に必要な長さで使用する方法がある。

人孔管口の人孔部から管きょ部までの防護区間を連続でカバーすることなくケーブルの曲がりや屈折に沿った各パーツ構成によってカバーするものである。

この方法の利点は、防護カバーの各パーツを規格化しても種々の管口形状に対応が可能となることである。

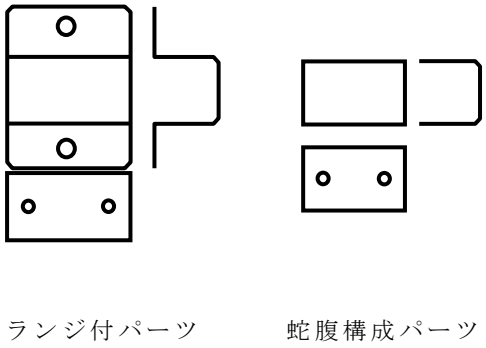


図 14　フランジ付きパーツと蛇腹構成パーツ

７．まとめ

２年間にわたり、光ファイバーケーブル断線原因の分析、断線予防対策箇所の選定、対策の検討を経て、断線予防技術として従来型の防護カバーより汎用性があり施工性の良い新しい防護カバーを製作し、実際の設置を通して従来型との比較評価を行った。

今回開発した防護カバーは、従来型の課題を解消できるものとして２タイプを製作し、耐久性や施工性等を工場試験や実現場での設置により従来品と比較を行い、優位性を確認している。しかし、評価では実現場での施工を通して改善点も挙げられており、改良を重ねていくことで性能や施工性がさらに良くなることが見込まれる。また、今回設置した防護カバーについては、毎年実施されている光ファイバーケーブルの保守点検で、その状況を調査し性能を評価していくこととしている。今後、予防保全の観点から計画的な断線予防に本技術が幅広く使用されること願う。

参考文献

１）東京都下水道局計画調整部、東京都下水道サービス株式会社：光ファイバーケーブル断線予防技術調査　平成 21 年 3 月

２）東京都下水道局計画調整部、東京都下水道サービス株式会社：光ファイバーケーブル断線予防技術調査その２　平成 22 年 3 月

5-(2)-2　大口径管きょ調査用カメラシステムの調査事例について

計画調整部　技術開発課　大岡　隆志

１．はじめに

東京都区部の下水道管きょ管理延長は、平成 20 年度末で約 15,800km である。このうち、これまでに建設されてきた管きょの約 10%にあたる約 1,500km が法定耐用年数の 50 年を超えている。管きょの劣化や損傷は道路陥没を引き起こす原因となり、また、管径の大きな幹線は都市活動を支える根幹的な施設であり、その機能に支障が生じた場合、都民生活や社会経済活動に与える影響は計り知れないものである。そのため、下水道局では幹線の老朽化調査を実施してきている。過去の調査では、大口径管きょの一部区間には、高水位、高流速、硫化水素などの発生により人が調査を行うことができない箇所が多くあった。このため、このような箇所に対応できる調査機を平成 18 年度から平成 19 年度にかけて簡易提供型共同研究にて開発し、実用化することができた。[1) 2)]

本稿では、開発した調査機による平成 19､20 年度の幹線現況調査での調査事例を紹介するとともに、調査機の機能と能力について報告する。[3)4)5)6)]

２．調査機の概要

２．１　調査機の特徴

これまでの大口径管きょの調査は、目視による調査を基本とし、水位や流速等の管内状況により目視での調査が困難な場合には、必要に応じて自走式カメラ調査機､ゴムボートや船体式の調査機、潜水士による調査等の方法が採られていた。しかし、調査中の水位や流速の低下、土砂の堆積、人孔間距離の長い幹線での対応ができない等により実用性が低いのが現状であった。

本調査機（図１）は、大口径管きょにおいて調査不能区間の解消と調査員の安全確保及びより多くの情報収集、調査精度の向上等を目的として開発された。

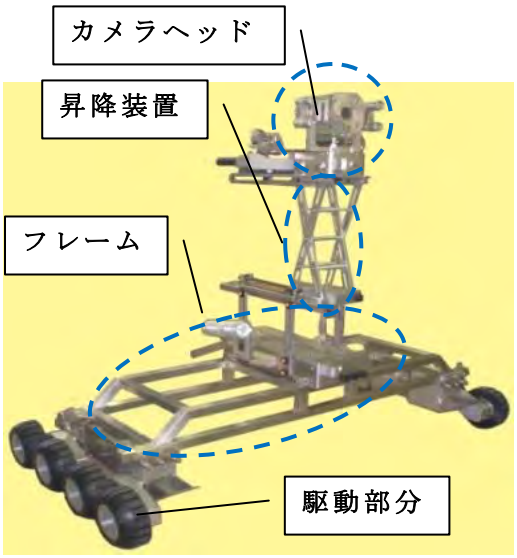


図１　大口径管きょ調査用カメラ（自走式）

主な特徴としては、①人孔間距離が長いシールド幹線への適応②たるみ・曲がり・土砂の堆積等の調査困難箇所や高流速、高水位等の流水への影響への対応③硫化水素や酸素濃度測定等の予備調査・安全確認機能などを併せ持っていることである。

２．２　調査機の性能

調査機は、様々な管径を調査できるようにフレームを大中小の３種類用意した。カメラヘッド、昇降装置、車輪や駆動部は共通で、フレームを取り替えることにより３種類の幅に対応できるものになっている。（図２）また、調査機のカメラヘッド部を船体に換装させることで自航式として調査することができる。（図４）

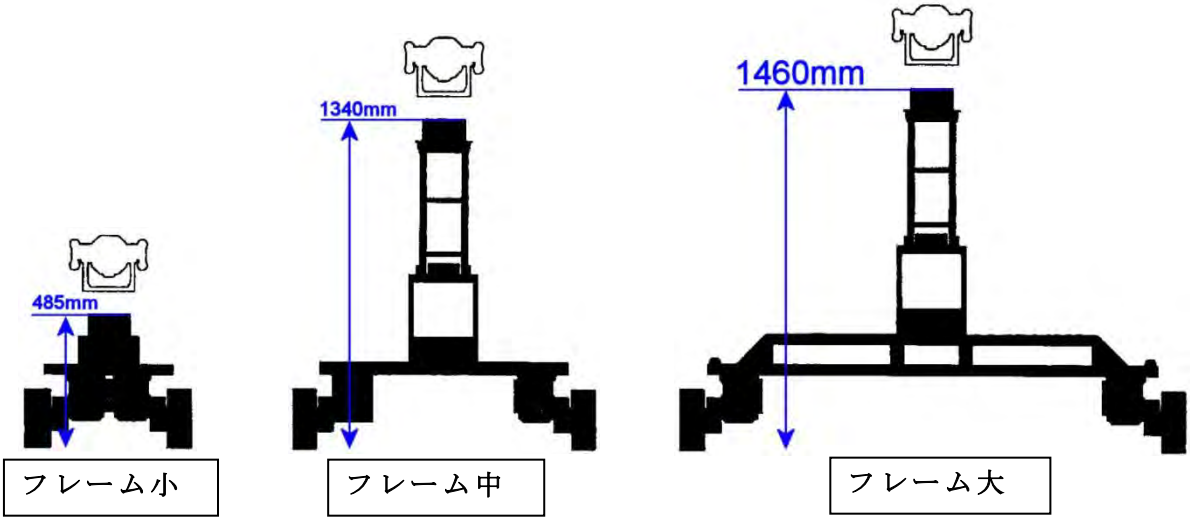


図２　大口径管きょ調査用カメラ（自走式）の種類

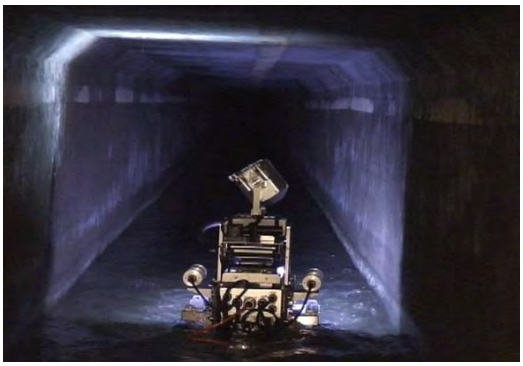


図３　大口径管きょ調査用カメラ（自走式）調査状況

図４　大口径管きょ調査用カメラ（自航式）調査状況

本調査機は、以下のような能力を有していることが実証されている。

①φ600mm の人孔蓋からの搬入を考慮して、調査機本体を 4 分割構造とした。（図５）②調査可能な管径は、φ800mm～□8000mm×4500mm であり、形状は、円形、矩形渠、馬蹄渠に対応している。③対応可能な流速は、水位 60cm で 1.5m/秒以下である。④調査可能な水位は、自走式で 0cm～1.5m 程度である。⑤ケーブル延長 2000m までは調査可能であるが、下流から上流方向へ 1700m の実績がある。⑥急曲線への対応は、30R を 1 箇所、40R～140R を 5 箇所の通過実績がある。⑦管路内の環境情報を得るために、酸素・硫化水素濃度測定装置を搭載した。（図６）⑧4 点レーザー式計測装置を搭載し、壁面等の損傷幅、長さの計測が可能である。（図７）⑨光学 10 倍ズームレンズの搭載により、必要箇所を詳細に確認可能である。⑩8 輪駆動であり、20cm 程度の土砂堆積箇所の走行が可能である。（図８）⑪高水位箇所の対応には、調査機を船体式に換装して調査ができる。

図５　調査機分割搬入状況

（図９）⑫船体式調査機は、スクリューを装備し、帯水箇所の調査が可能であり、自航能力は約 300m である。

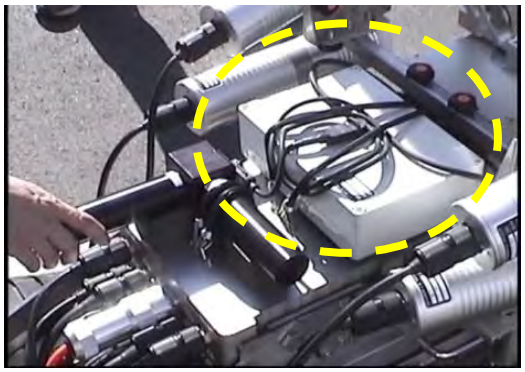


図６　酸素・硫化水素濃度測定装置

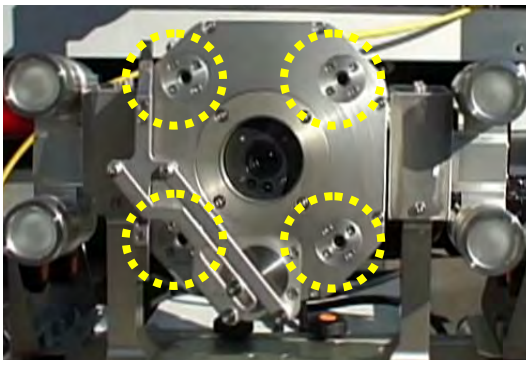


図７　４点レーザー搭載

図８　８輪駆動実験状況

図９　大口径管きょ調査用カメラ（自航式船体型）

大口径管きょ調査用カメラの能力をまとめると表１のとおりである。

表１　大口径管きょ調査用カメラの能力

項　　目	共同研究時の目標	調査機の能力(調査実績より)
適応管径	φ1200～4000mm	φ800～□8000×4500mm までは対応を確認
調査延長	最大 2000mm	1700m までは実証済み（下流からの調査）
曲がり	これまでの調査困難箇所への対応	30R 程度の曲がり１箇所は通過を確認
		40R～140R 程度の曲がり５箇所は通過を確認
水深	1.0m 以上	1.0m 以下では調査可能を確認
		1.8m 程度では調査が困難であることを確認
土砂の堆積	10cm 程度	20cm 程度は可能、30cm 程度は不可を確認
流速	流速の速い部分や乱流での、ぶれ防止	1.5m/秒以上では調査が困難であることを確認

３．調査事例

３．１　平成 19 年度調査事例

平成 19 年度の調査実施延長は、区部の約 10km を含む全国で約 45km である。

①管径

円形管きょφ1200mm から馬蹄きょ 4400mm×4400mm の管きょを調査した。馬蹄きょ調査時は照度の不足が懸念されたが、直視の状態でも問題なく調査することができた。（図 10）

図 10　馬蹄きょの状況

②水位

調査機のカメラヘッドが水面から出ていれば、最大で 1.0m 程度の高さにおいても調査が可能である。しかし、自走車本体が水面下にあることから、水位 1.8m 程度の場合には自走車が水圧を受けるため、調査が困難となる。（図 11、図 12）

図 11　流速 1.5m/s、水位 60cm の状況

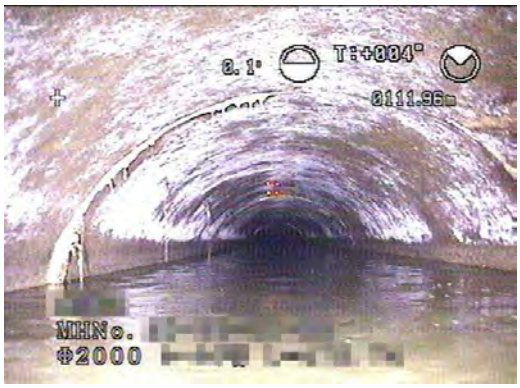


図 12　水位 1m 時の状況

③調査延長

１スパンの調査延長は、下流から調査で 1700ｍであった。下流からの調査で流水の影響を受けながらであったが、このような条件下で問題なく調査できたことから、ケーブル延長である 2000m の走行性能はあるものと推測できる。（図 13）

図 13　調査延長 1700m の状況

④環境調査

管きょ内の事前調査として、酸欠空気や硫化水素等の発生状況を確認するため、搭載されている酸素・硫化水素濃度計により測定した。土砂堆積部において硫化水素ガスの発生を濃度計にて確認できた。

⑤撮影及び測定解析

基本的には、調査機が走行できる状況であれば問題はなく、安定した撮影ができる。異常箇所測定用に装備された 4 点レーザーにより異常が認められる箇所に照射し、その画像をパソコンに取り込み、クラックの幅などを解析できるものである。(図 14)

図 14　4 点レーザー測定

⑥堆積箇所走行性能

当初、10cm 程度の土砂堆積箇所の走行を目標としていたが、実際は 20cm 程度でも走行できた。しかし、土砂が 30cm 堆積している箇所では走行できなかった。

⑦準備作業状況

人孔内部で、足場を設置してから調査機を組み立てた。事前調査により必要部材や投入方法を検討したことにより、比較的短時間に準備が完了し作業を開始することができた。(図 15)

図 15　人孔内調査機組立状況

３．２　平成 20 年度調査事例

平成 20 年度は、区部の約 60km を含む全国で約 120km 調査を実施した。

①管径

円形管きょでは、φ4500mm～6500mm、矩形きょでは、□8000mm×4500mm の管きょを調査した。調査時には、照度も十分に確保され、問題なく行えた。(図 16)

図 16　矩形きょの状況

②調査状況

管きょ内の状況を的確にとらえ、記録することができた。(図 17)

図 17　管きょ内調査状況(浸入水 C、クラック C)

③走行性能

20cm 程度までの土砂の堆積は走行可能であるが、それ以上では走行困難であり、下流より調査を行った。土砂が多く堆積している箇所では車輪が空転して前進できなかった。(図 18)

図 18　堆積物の状況

④準備作業状況

調査機が作業を開始できるまでの時間は、人孔深さ、形状等により変わってくるが、概ね 1 時間 30 分程度である。(図 19)

図 19　足場資材、調査機搬入状況

３．３　自航式船体型調査機での調査事例

平成 20 年度から、帯水箇所の調査を目的に船体型の調査機にスクリューを搭載した自航式船体型調査機を運用した。（図 20）

これは、自走式の部材を船体に載せたものであり、4 点レーザーや各種ガス測定の機能を保持している。調査延長は約 3.6km であった。使用箇所として選定したのは、水位が高く流速が無いまたは低流速の箇所や水面下に土砂の堆積が推定される箇所である。（図 21）

図 20　自航式船体型調査状況

図 21　高水位、土砂堆積箇所

①管径

円形管きょφ1200mm から適用可能である。

②水位

45cm から適用可能である。

③調査延長

帯水箇所の自航能力は最大 800m である。（図 22）

④調査状況

調査時間は 6 時間程度を要した。この時、300m 程度まではスムーズに自航することができたが、それ以降は速度が低下した。

図 22　800m 調査状況

４．おわりに

本調査機を開発してからこれまでに様々な管きょの条件下で多くの実証、成果の確認をすることができた。

本調査機を使用することによりこれまで調査が不可能であった高流速や高水位の箇所を安全に行うことができ、かつ、調査結果を正確に記録できるようになった。また、船体型の自航式調査機により調査困難箇所が一層減少したことから、調査結果をもとに計画的な補修や再構築を推進していくことが期待できる。今後も本調査機の運用により調査で得られた情報から、効率的な維持管理に寄与することができる。

しかし、これで全ての管きょが調査できるわけではなく、未だに調査ができない環境にある施設が存在する。このように、人が入ることが困難な箇所の調査技術や作業の安全や効率性の観点から、今後、無人化技術等の開発を推進していく必要があると考える。

参考資料

１）東京都下水道局・管清工業株式会社：大口径管きょ調査用カメラシステムの開発
平成 19 年 7 月
２）東京都下水道局：技術調査年報２００７　平成 20 年 2 月
３）田村司郎　管清工業株式会社：第 45 回下水道研究発表会論文　平成 20 年 7 月
４）東京都下水道局：下水道新技術　平成 21 年 3 月
５）NSC エンジニアリング：墨田幹線外 37 幹線現況調査報告書　平成 21 年 3 月
６）田村司郎　管清工業株式会社：第 46 回下水道研究発表会論文　平成 21 年 7 月

5-(2)-3　多重円板型スクリュープレス脱水機の実用化検証

流域下水道本部　技術部設計課　根本　竜弥

1　目的

当局では、水処理過程で発生する汚泥について、濃縮、脱水工程を経た後、焼却を行っている。余剰汚泥の濃縮については主に遠心濃縮機により行っているが、大型の遠心濃縮機は駆動に要する動力が大きく、維持管理コスト縮減や地球温暖化防止の観点から動力の大幅な削減が求められている。

近年、オキシデーションディッチ法の反応槽で発生する余剰汚泥を対象に、直接脱水できる多重円板型スクリュープレス脱水機が実用化されている。本研究では、この脱水機を当局の標準活性汚泥法の反応槽から発生する汚泥へ適用することを目標に、機械濃縮工程を省略した余剰汚泥と重力濃縮した初沈汚泥とを混合した低濃度の混合汚泥を濃縮、脱水し、脱水性能の把握、省エネルギー・省コスト性、維持管理性の検証を行ったので報告する。

2　構造と原理

本脱水機は、スクリュー、固定板と遊動板の積層、及び背圧板で構成されている。その外観を**写真－１**に、構造を、**図－１**に示す。

ろ過部は、「固定板、スペーサー、固定板」の積層に、そのスペーサーより厚さの小さい遊動板を入れることで空隙が生じ、その空隙は濃縮部から脱水部へ向かって狭くなっているので、濃縮工程と脱水工程を１本の積層構造の中で行なうことが可能である。

写真-1　多重円板型スクリュープレス脱水機外観

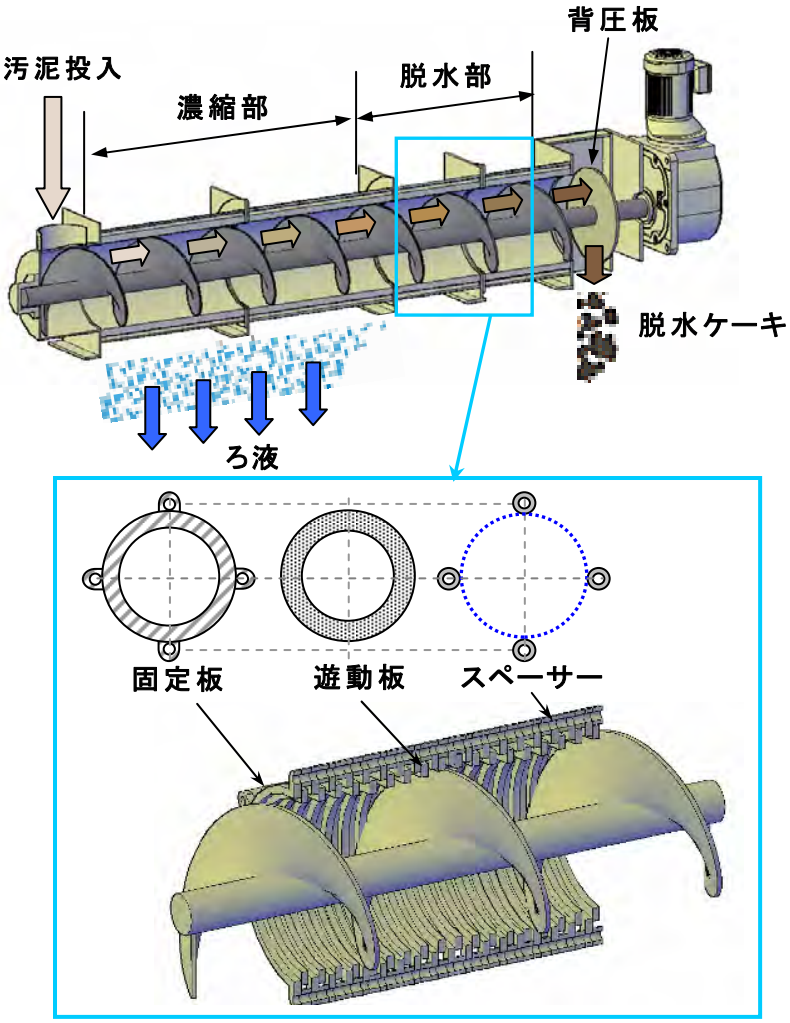
以下に、脱水の流れを示す。

(1) 汚泥混和槽に供給された汚泥は、高分子凝集剤と反応して凝集汚泥となり、脱水機本体へ供給される。

(2) 脱水機本体に供給された凝集汚泥は、スクリューによって搬送される過程で、固定板間にある遊動板との板厚の差による空隙から脱水ろ液を排出する。また、その固定板間にある遊動板がその径より大きいスクリューによって可動することでセルフクリーニング効果が生まれ、効率よく固形物以外のろ液を機外に排出する。

(3) 汚泥は脱水機シリンダー前段の濃縮部で濃縮され、濃縮部より空隙の狭い後段の脱水部で脱水される。その後、容積が脱水部へかけて小さくなるスクリューと背圧板により圧搾され脱水ケーキとなる。

(4) スクリューの回転数を増減させることで、含水率及び汚泥処理量を変化させることが可能である。



図－１　脱水機構造

3　実験方法

(1) 概要

実験は、当局北多摩二号水再生センター（国立市）内に実験機を設置して実施した。実験機能力は 90 kg-DS/h であり、4 台設置することで既存の脱水機と同一の 360kg-DS/h を確保した。**表－１**に実験機仕様、**図－２**に汚泥処理フローを示す。

北多摩二号水再生センターでは、遠心濃縮機で濃縮した余剰汚泥と重力濃縮した第一沈殿池から引き抜いた汚泥（以下一沈汚泥という）を混合し、ベルトプレス脱水機にて脱水している。本実験では、機械濃縮を省略した余剰汚泥と、重力濃縮した一沈汚泥とを混合し、脱水を行った。

年間を通じて脱水機の性能を検証するため、実験は平成 19 年 10 月～平成 20 年 9 月の期間で実施した。**表－２**に季節変化における汚泥性状の一例を示す。冬期汚泥は夏期汚泥に比べ、VTS、Mアルカリ度、アニオン度が高く、繊維状物質が低い傾向にあり、難脱水性の傾向を示していた。

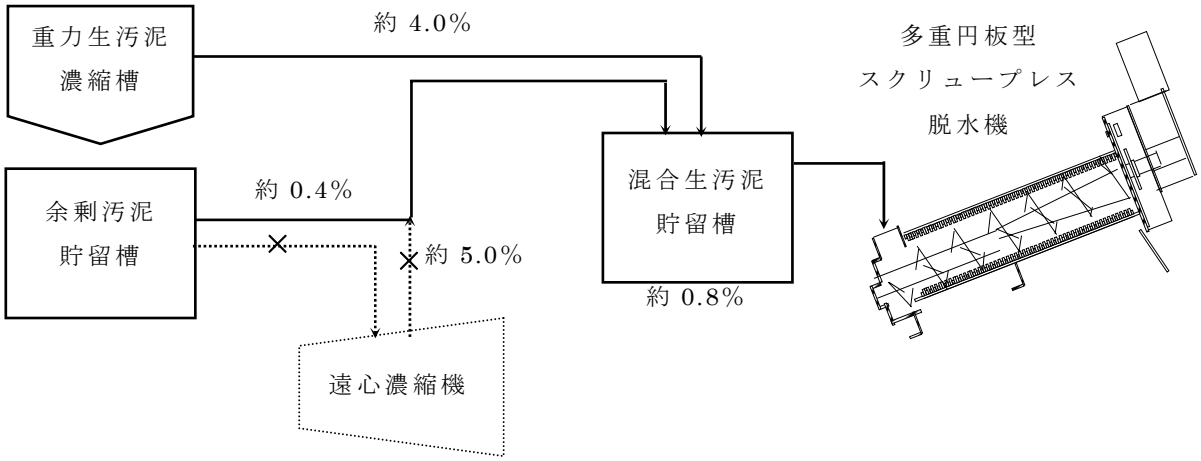
写真－２に実験機の状況を示す。

表－１　実験機仕様

項目		仕様
	脱水機用電動機	1.5kW
	凝集混和槽	0.75kW
	自動制御装置	0.2kW
実験機総合動力		2.45kW
実験機処理能力		90kg-DS/h×4 台

表－２　季節変化における汚泥性状の一例

時期	TS（%）	pH	VTS（%TS）	Mアルカリ度（mgCaCO3/L）	アニオン度（mEq/g-TS）	粗蛋白（%）	繊維状物質 200mesh（%TS）
夏期(5 月～10 月)	0.73	5.9	77.4	151	0.27	41.8	39
冬期(11 月～4 月)	1.05	6.5	84.8	275	0.3	35.0	25



図－２ 汚泥処理フロー

(2) 目標並びに検証項目

ア　処理性能

(ｱ) 脱水ケーキ含水率 78%以下を確保すること

(ｲ) 固形物回収率 95%程度を確保すること

(ｳ) 薬品添加率は 0.4～0.8%であること

イ 省エネ性・省コスト性

(ｱ) 消費電力量は、「遠心濃縮機（30 ㎥/h）＋ベルトプレス脱水機（ろ布幅 3m)」（約 80kWh）と比較して 80%以上削減できること

(ｲ) 「遠心濃縮機＋ベルトプレス脱水機」と比較し、トータルコストでは優位なこと

ウ　処理能力

汚泥処理量 360kg - DS/h 程度を確保できること

エ　設置条件及び維持管理性

(ｱ) 既存の「遠心濃縮機＋ベルトプレス脱水機」と同程度の設置スペース及び荷重で納まること

(ｲ) 「ベルトプレス脱水機」と比較し、点検方法、消耗部品の取替え頻度、臭気、騒音等の維持管理性が優位なこと

設置状況

脱水シリンダー部

汚泥フロック

脱水ケーキ

脱水ろ液

ろ液（回収率 96%）

写真－２　実験機の状況

４　実験結果と考察

４－１　脱水性能

図－３に年間を通した脱水性能の結果を示す。本脱水機への供給汚泥濃度は約 0.7～2.0%となった。

脱水ケーキ含水率は、76.2～78.6%の範囲で推移し、年間平均では 77.7%となり性能目標値を満足した。

薬品添加率は 0.34～0.82%の範囲で推移し、年間平均では 0.58%、固形物回収率は 96～98.5%の範囲で推移し、年間平均では 97.1%となり、ともに性能目標値をほぼ満足した。

固形物処理量（実験機 4 台分）は 380～688kg-DS/h の範囲で推移し、年間平均で 500kg-DS/h となった。

よって、処理性能については、目標値を満足することができた。

４－２　省エネルギー・省コスト比較

本脱水機を実規模設備に導入した場合の消費電力量、ライフサイクルコスト及び温室効果ガス削減効果を実証試験結果に基づき算出した。その結果を既存設備（「遠心濃縮機＋ベルトプレス脱水機」）と比較し、**表－４**、**表－５**、**図－４**に示す。

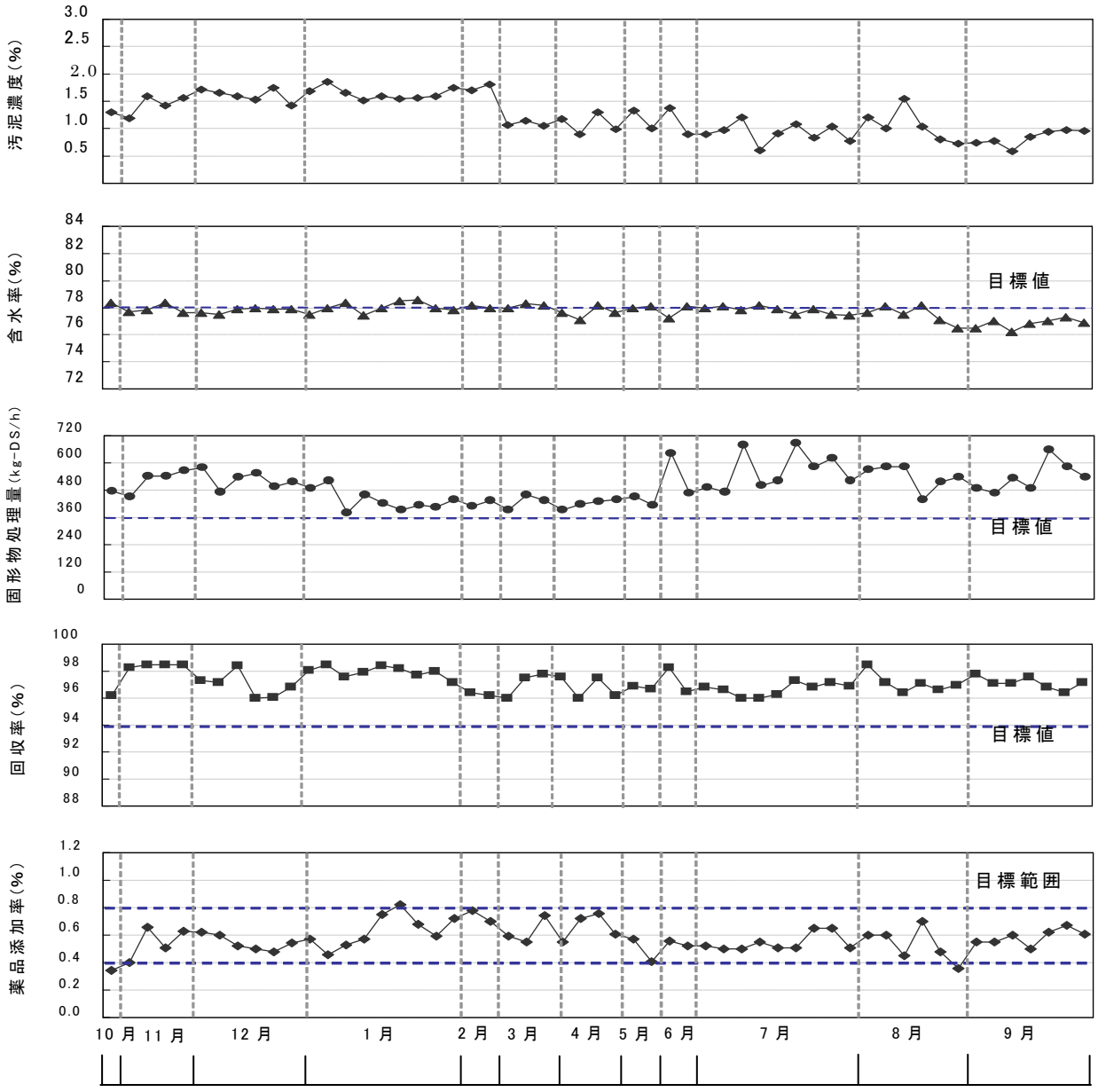
処理量あたりの消費電力量は、既存設備の 0.11kWh/kg-DS に対し、本脱水機では 0.009 kWh/kg-DS であり、0.101 kWh/kg-DS（既存設備の 91.8%）が削減できることが確認できた。

また、温室効果ガスについては、既存設備の年間総排出量が CO_2 換算で 253ｔ/年であるのに対し、本脱水機は 100ｔ/年であり、約 153ｔ/年（約 60%）の削減が見込まれることがわかった。

ライフサイクルコストについては、イニシャルコストが-55%、ランニングコストが-16%であり、トータルで 36%が削減できると試算した。ランニングコストについては、洗浄水がほとんど不要であること、電力費が大幅に削減できることが寄与している。消耗品の寿命は、メーカー実績から、脱水部遊動リングは 10,000 時間、濃縮部遊動リングは 30,000 時間、スクリューは 30,000 時間と想定したが、補修費は既存設備とほぼ同額であった。

維持管理性については、日常点検としては異音、振動の有無、モーターの発熱の有無、電流池の確認、脱水状況確認程度である。遊動部の摩耗については、時間管理を行うことで脱水機の性能を維持できるものと考えられる。

設置条件については、処理能力や機器配置にもよるが、今回の設備に関しては、設置面積、設置荷重共に既存設備を十分に下回ることができた。



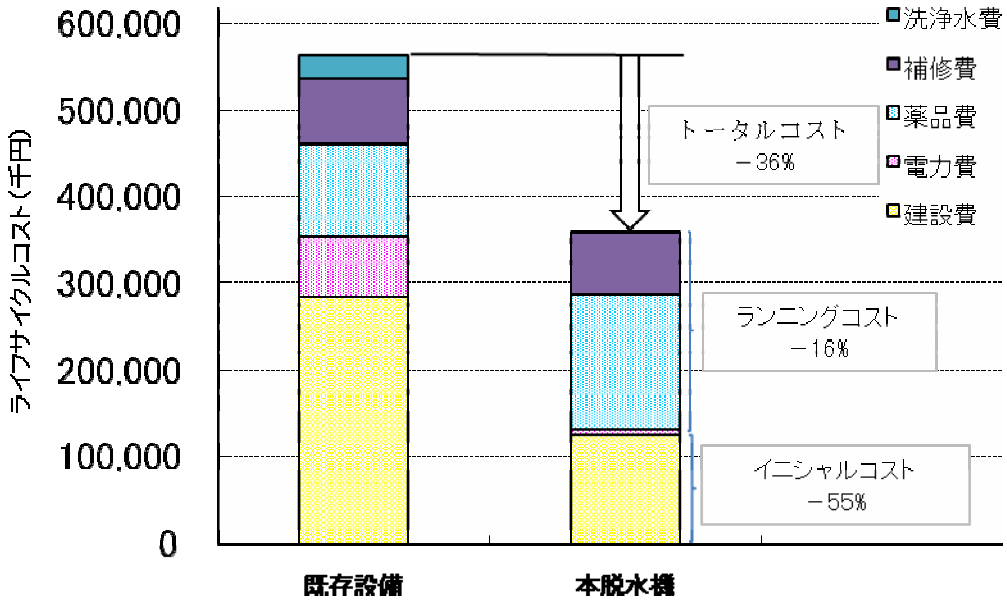
図－３　１年間を通した脱水性

表－４　消費電力量比較

項目	単位	既存設備	本脱水機
処理規模	kg-DS/h	360	360
遠心濃縮機出力	kW	58.5	－
脱水機出力	kW	23.3	6.95
出力合計（端数処理）	kW	82	7
処理量あたりの消費電力量	kWh/kg-DS	0.11	0.009

表－５　温室効果ガス削減効果比較

項目		単位	既存設備	本脱水機
	電力由来	t /年	195	16.6
	薬品由来	t /年	57.7	83.7
	CO_2 温暖化ガス	t /年	253	100



図－５　ライフサイクルコストの比較

※耐用年数20年にて算出

４－３　騒音、臭気の比較

「本脱水機」と「ベルトプレス脱水機」の騒音、振動、臭気の比較を行なった。**表－６、表－７、表－８、表－９**に結果を示す。

本脱水機は電動機や脱水機本体の振動・騒音が少ないばかりではなく、洗浄水による洗浄音が無いことも、騒音値が低い原因と考えられる。

臭気については、本脱水機を密閉するように囲み、ベルトプレス脱水機の脱臭風量と同じ風量を排出することで両脱水機の臭気条件を揃えた上で測定した。その結果、臭気指数はベルトプレス脱水機の 47 であるのに対し、本脱水機は 42 であった。

脱水機より排出された分離液のリン濃度についても調査した。その結果を**図－５**に示す。既存設備から排出される分離液のリン濃度と比較して、リンの流出が 1/2 に低減したことが確認できる。「本脱水機」では濃縮工程を経ないため、汚泥のリン放出が少ないことが影響していると考えられる。

表－６　臭気測定比較

項目	ベルトプレス脱水機	本脱水機
臭気指数	47	42
臭気濃度	79,000	16,000

表－７　悪臭物質測定結果

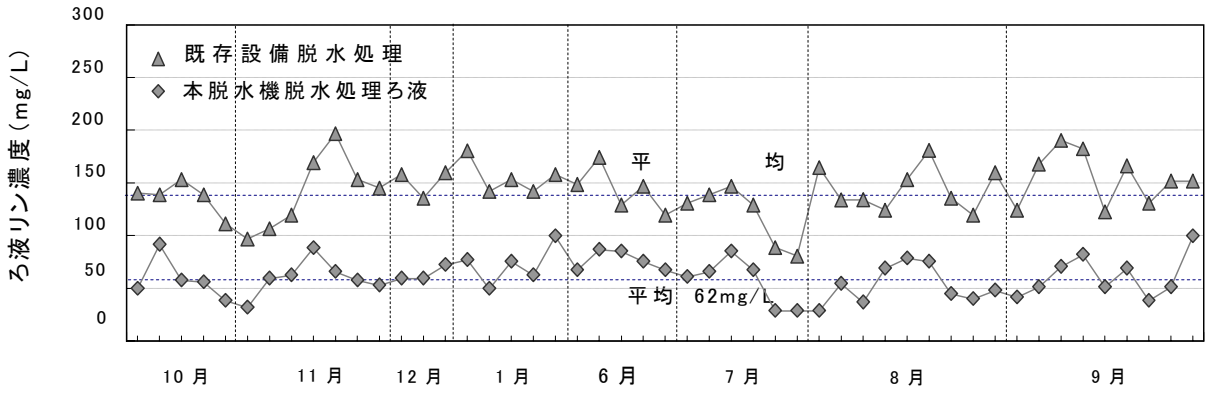
	硫化水素 (ppm)	ﾒﾁﾙﾒﾙｶﾌﾟﾀﾝ (ppm)	硫化メチル (ppm)	二硫化メチル (ppm)	アンモニア (ppm)
本脱水機	4.4	0.43	0.075	0.0017	0.6
ベルトプレス脱水機	20	2.1	0.25	0.0086	0.2

表－８　騒音比較

測定場所	騒音（dB）		測定場所
	BP 脱水機	本脱水機	
A	67	63	B 脱水機 投入側 A　排出側 C D
B	72	63	
C	70	62	
D	74	65	
平均	71	63	

表－９　振動比較

測定場所	振動（dB）						測定場所
	BP 脱水機			本脱水機			
	X	Y	Z	X	Y	Z	
A	40	40	54	43	37	45	B 脱水機 投入側 A　排出側 C D
B	39	48	49	44	42	46	
C	35	41	54	45	42	45	
D	44	37	48	46	45	48	
平均							



図－５　脱離液のリン濃度変化

５　まとめ

本実験により、以下のことが確認できた。

①本脱水機は標準活性汚泥法の下水処理場（合流式）で発生する低濃度混合汚泥の脱水に対して、 含水率 78%以下、回収率 95%以上、固形物処理量 360kg-DS/h 以上を確保することができた。

②「遠心濃縮機＋ベルトプレス脱水機」と比較して、消費電力量及び CO_2 排出量を約 90%以上、ライフサイクルコストを約 36%削減できた。

③ベルトプレス脱水機と比較して、発生する騒音、臭気濃度とも低減できた。

④本脱水機では余剰汚泥の濃縮工程が省略されるため、排出される分離液のリン濃度が低減された。

⑤今回の実験では、総稼働時間が約 500 時間であり、脱水機の耐久性については今後の検証課題である。

5-(2)-4　三河島水再生センターにおけるスカム除去の取組み

北部第一下水道事務所三河島水再生センター　髙際　千映

1　はじめに

汚水処理をおこなう水再生センターにおいて、効率の良いスカム回収・除去方法を追求していくことは、永遠のテーマである。

沈殿池や導水渠で発生するスカムは、既設のスカム回収・除去設備だけで全てを処理するのは困難である。そのため、運転管理係の職員が直接現場で手作業によるスカム処理に、多くの時間と労力を費やしている現状がある。今後、職員数が減少していく中で水再生センターを維持管理していくために、現場作業の省力化、環境改善、安全性の向上を図らなければならない。

スカム回収・除去の効率化に関する取組みについては過去にいくつかの提案がされている。

三河島水再生センター運転管理係では、過去の事例も参考にし、施設の実態に即して以下のような装置を導入し効果を上げているので報告する。

2　スカム対策その１「第一沈殿池導水渠の浸水式スプレーノズル」

2.1　第一沈殿池導水渠の問題点

下水道幹線から水再生センターに流入した汚水は、沈砂池で比較的大きな夾雑物が取り除かれたのちポンプで揚水され、最初の水処理施設である第一沈殿池に導水渠から流入する。

この第一沈殿池導水渠の終端部には、大量のスカムが浮上し滞留するという問題点がある。この対策にスプレーが設置されているが、効果は局所的なものとなっている。

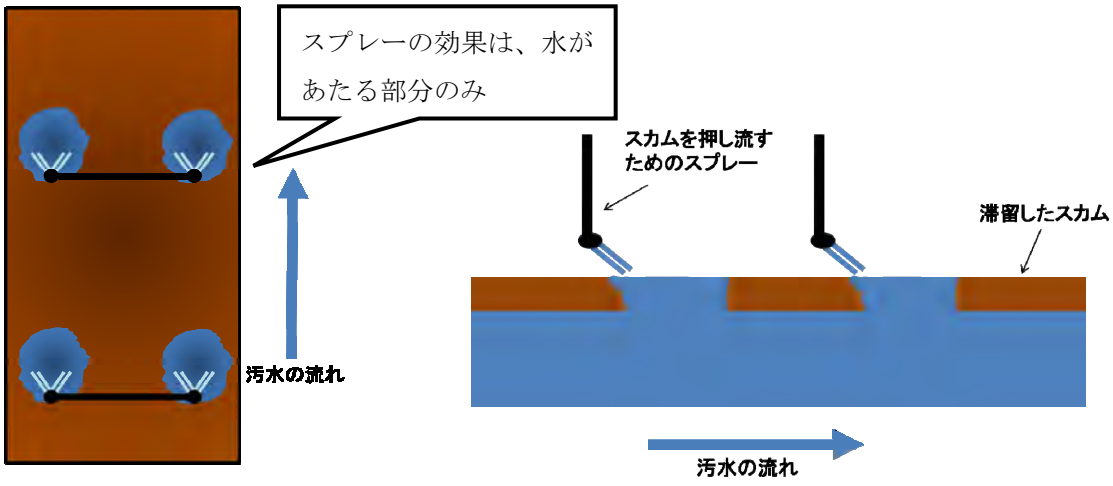
以下に、第一沈殿池導水渠のスカム浮上の原因と問題点を列挙する。

〔原因〕

(1) 第一沈殿池導水渠の流速が遅いため、スカムが発生・浮上し、成長して滞留する。

(2) 導水渠一面に厚さ数十cmにまで成長したスカムは、固着して導水渠末端部に設置されているスカム可動堰を開けても流れ出ない。

(3) 導水渠の上部にはスカムを押し流すためのスプレーが設置されているが、効果のある範囲は水があたる部分のみで、スプレーの水が届かない箇所からスカムが浮上し滞留する。



図－1　対策前の第一沈殿池の概念図（左：平面図　右：断面図）

〔問題点〕

(1)　導水渠水面上に浮上し滞留したスカムの塊は、臭気や害虫発生の原因になるため、除去する必要がある。

(2)　除去作業は、職員が週 1～2 回 1 時間程度 2 人で、図－3 の道具を用いて人力作業で行なっている。

図－2　第一沈殿池導水渠のスカム滞留の様子

図－3　スカムを掻き寄せるせる道具

2.2　第一沈殿池導水渠スカム浮上への対策案

上記の第一沈殿池導水渠の問題点を解決するため、次のような対策を挙げた。

〔対策〕

(1)　導水渠内を流れる汚水表面の流速を速く保つこと。

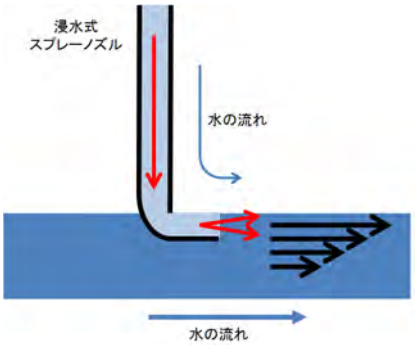
(2)　スカムが大きな塊に成長する前に、スプレーから水を噴射させてスカムを破壊すること。

(3)　現在は、効果が局所的であるスプレーの改善を図ること。

2.3　浸水式スプレーノズルの設置

そこで、三河島水再生センターでは、既設のスカムを沈殿させるためのスプレー（図－1）にかえて、図－4,5 に示すような浸水式スプレーノズルを製作して、第一沈殿池導水渠に設置した。この浸水式スプレーノズルは、平成 13 年の技術発表会で中川水再生センターから報告され、通称「中村式スカムスプレー」と呼ばれているものを当センターにも導入した。

このスプレーノズルの特徴は、既設のスプレーノズルが汚水の水面の上部から水を噴射するのに対して、浸水式スプレーノズルを汚水の水面と同水位から汚水の流れと平行に水を噴射することである。



図－4　浸水式スプレーノズルの概念図

2.4　浸水式スプレーノズルの導入効果

第一沈殿池導水渠に浸水式スプレーノズルをした結果、図－5 に示すようにスカムの浮上・滞留がなくなった。以下に動作状況・導入効果を記す。

〔動作状況・導入効果〕

(1)　汚水の流れと平行に水を噴射することで、スプレーの前方にあるスカムを壊すだけでなく、後方に浮上しているスカムも破壊しながら前に押し流すことが可能となる。

(2)　導水渠内の汚水水面上の流速を速く保つことで、スカムの発生・成長を抑制し、滞留を防止することができる。

(3)　既設スプレーは、ノズルを数多く設置（1 配管に 4 ノズル）することでスプレーできる範囲を広げたが、その分スプレーの水圧が低い。浸水式スプレーノズルは、設置本数を限定（1配管に1ノズル)することで高い水圧を維持し広範囲のスカムを破壊することができる。

以上のような導入効果を得ることによって、第一沈殿池導水渠にはスカムの浮上・滞留がなくなり、職員の人力によるスカム除去作業は削減された。

3　スカム対策その 2「パイプスキマ水位検知器のスカム混入防止装置」

3.1　三河島水再生センターにおける第一沈殿池パイプスキマ

第一沈殿池に浮遊するスカムを回収するために、パイプスキマ設備が設置されている。三河島水再生センター藍染系第一沈殿池のパイプスキマは、転倒角度を決める水位検知に圧力空気式水位検知器を採用している。

この動作原理は、反応槽曝気用空気の一部を差圧計等を含む水位検知ユニットに取り込み、パイプスキマに固定されたエアパージ管から吐出させる。パイプスキマの転倒にあわせエアパージ管の吐出口を水中に水没させ、大気圧との差圧を測定することによって水位を検知するシステムである。

3.2　パイプスキマの水位検知器の問題点

パイプスキマの水位検知器には、次のような問題点がある。

〔問題点〕

(1)　エアパージ管の吐出口が着水する水面上にスカムの塊が滞留している場合、転倒したエアパージ管がスカムの塊に突き刺さることにより閉塞し、水位検知器として機能しなくなる。(検知機能低下)

(2)　エアパージ管内にスカムが混入すると、エアパージ管が取り付けられているフレキシブルチューブをパイプスキマから取り外してスカムを除去する。フレキシブルチューブは、パイプスキマと覆蓋との間の狭小な空間に設置されているため、作業性が悪く慣れた職員でも１回の作業に１～２時間を要する。（劣悪環境）

(3) エアパージ管・フレキシブルチューブの取外しは、第一沈殿池の水面上での作業であり、作業環境が劣悪で、かつ危険が伴う。（危険作業）

3.3　スカム混入防止装置の設置

圧力空気式水位検知器を効率よく機能させるため、中川水再生センターでの取組みを参考に、

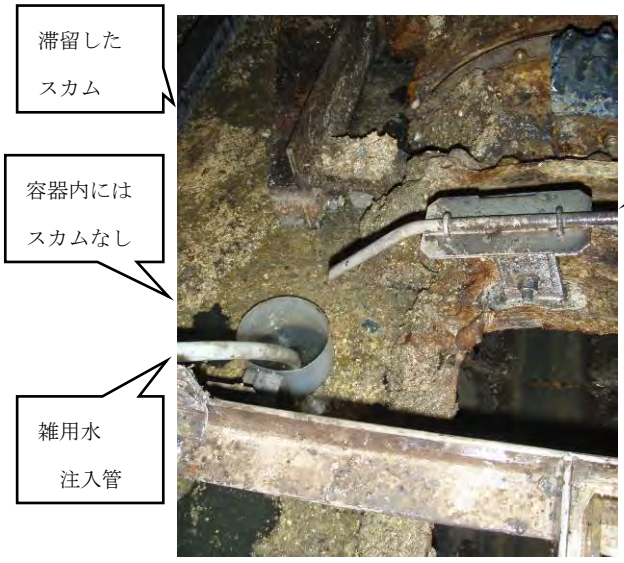
下記に示すスカム混入防止装置を作成し設置した。

以下にスカム混入防止装置の動作原理を示す。

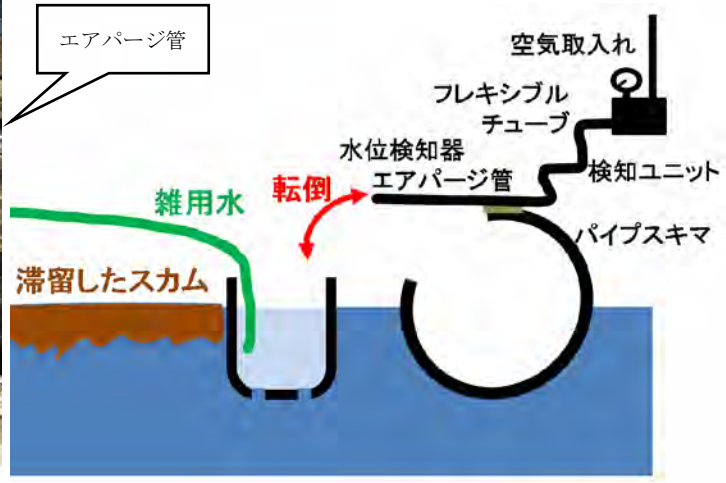
〔動作原理〕

(1) 直径約 10 ㎝、高さ約 20 ㎝のプラスチック容器を、水位検知器のエアパージ管が着水する水面上に設置し、スカムがその位置に滞留するのを防止する。

(2) 容器下部に約 1 ㎝の穴を数個あけ、第一沈殿池と容器内部との水位を一致させる。さらに容器に雑用水を常時注水することにより、容器内部にスカムが混入するのを防止する。



図－6　スカム混入防止装置の様子



図－7　スカム混入防止装置の概念図

3.4　スカム混入防止装置の導入効果

(1) 年数回発生していたエアパージ管へのスカム混入が、スカム混入防止装置の導入以後、全くなくなった。（機能性向上）

(2) 今まで、数時間を要していたエアパージ管内のスカム除去作業が、スカム混入防止装置を取り付けた結果、年 1 回 10 分程度の水洗浄の作業のみへと改善された。（効率化・安全性向上）

図－8　スカム混入防止装置の外観

4　スカム対策その３「雑用水の水圧を利用した浮上汚泥（スカム）処理装置」

4.1　藍染系第二沈殿池の現状と問題点

現在、三河島水再生センターでは、放流水質向上のために硝化促進運転をおこなっているが、流入汚水の水質や気象条件によって、第二沈殿池では以下のような問題点が生じている。

〔問題点〕

(1)　硝化が進み過ぎてしまうと第二沈殿池で無酸素状態になり、脱窒で発生した窒素ガスとともに沈殿すべき汚泥（スカム）が浮上してしまう。

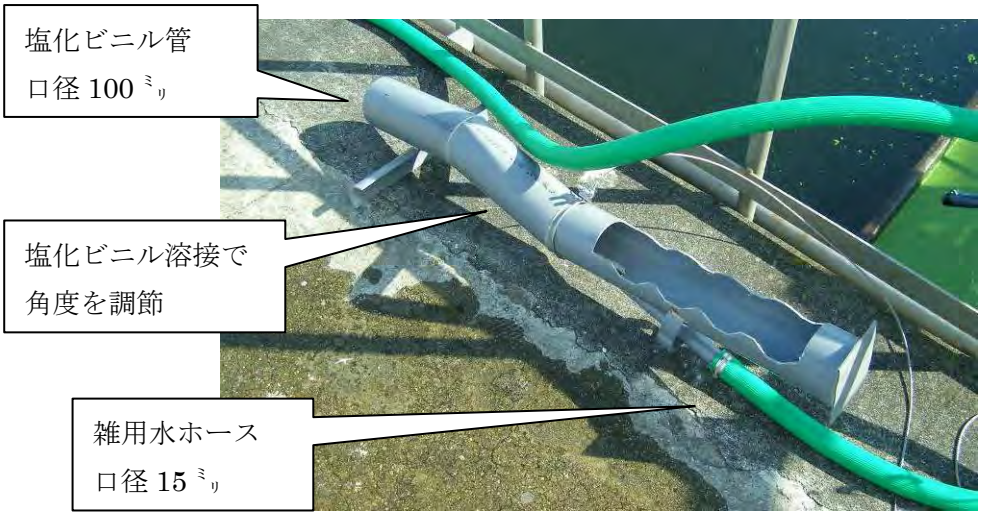
(2)　第二沈殿池流入側（上流側）には、浮上した汚泥を沈殿させるスプレーが設置されているが、沈殿部（下流側）で浮上汚泥が発生すると除去する方法がない。

(3)　第二沈殿池で発生し浮上した汚泥は、放流水質の悪化や臭気発生などの悪影響を及ぼす。

(4)　職員が週３回程度 1～2 時間雑用水を散水して、浮上した汚泥を破壊・沈殿させる作業をおこなっていた。

4.2　浮上汚泥処理装置の開発

第二沈殿池下流部分で発生する浮上汚泥を除去設備のある上流側に効率よく返水するため三河島水再生センターでは、以下に示す雑用水の水圧を利用した浮上汚泥処理装置を製作し設置した。



図－9　浮上汚泥処理装置の外観

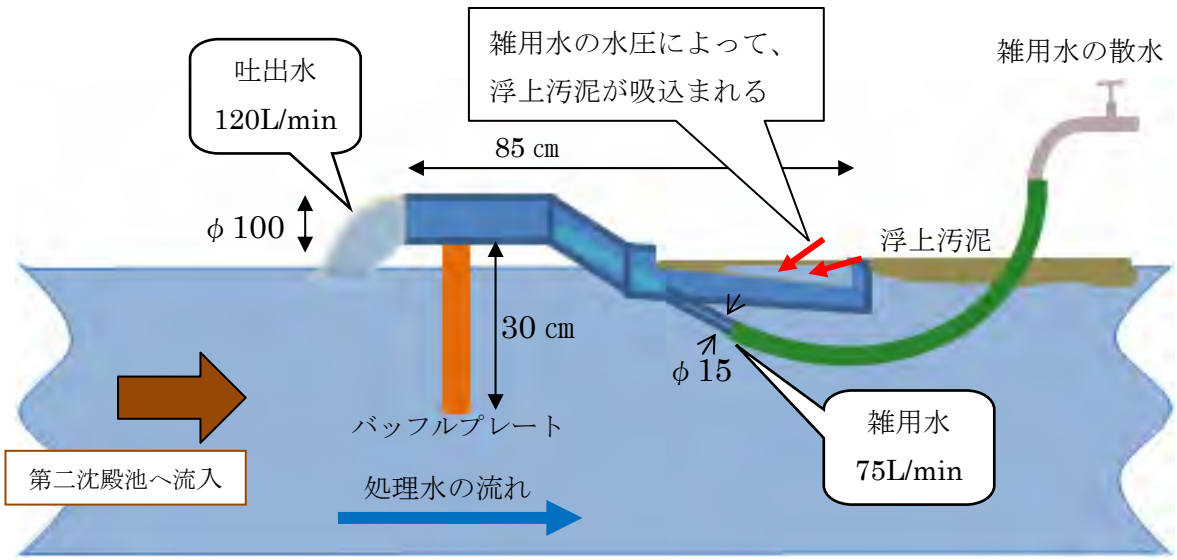
以下に、浮上汚泥処理装置の特徴を挙げる。

(1)　小口径（15 ㍉）のから雑用水を噴出させることにより、周囲の水とともに池の表面部に浮上する汚泥を吸込み、大口径（100 ㍉）の吐出口から一気に吐出して浮上汚泥を破壊する。

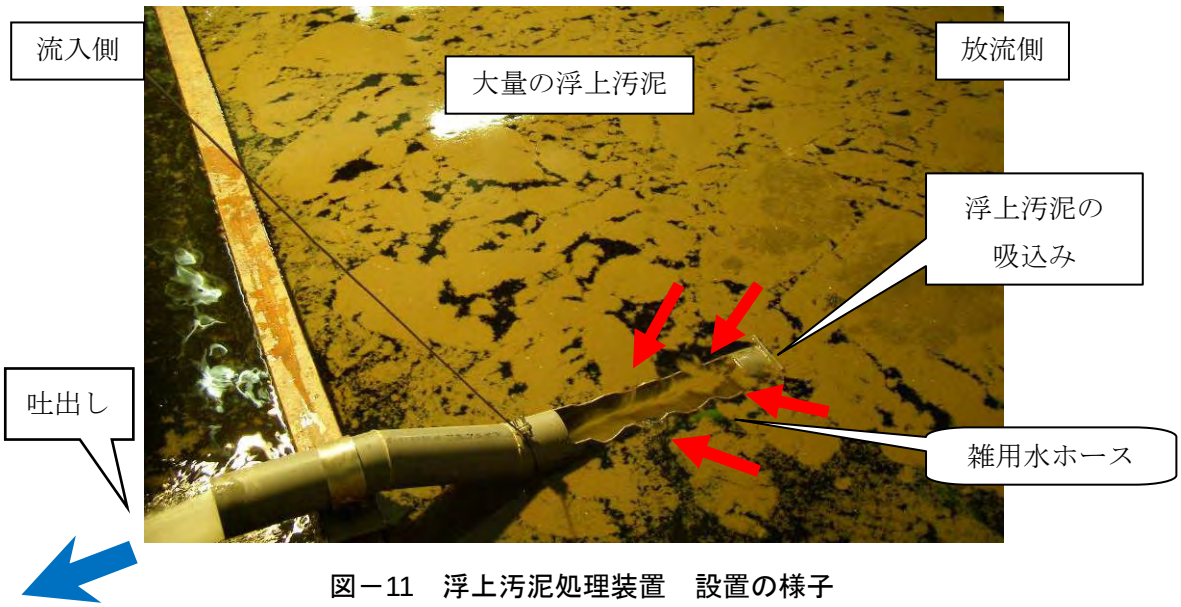
(2)　装置の駆動動力は、散水栓からの雑用水の水圧のみであり、ランニングコストに優れている。

(3)　製作に用いた主な材料は、センター内にある残材を使用した。

(4)　塩化ビニルパイプ製のため、溶接によって角度や形状を容易に調節できるため、各池の設置条件に対応できる。



図－10　浮上汚泥処理装置　動作概念図



図－11　浮上汚泥処理装置　設置の様子

4.3　浮上汚泥処理装置の導入効果

浮上汚泥処理装置を導入したことで、次のような効果が得られた。

〔導入効果〕

(1)　浮上汚泥処理装置を導入した沈殿地では、浮上する汚泥が効率よく除去され、職員による散水作業が削減された。装置のメンテナンスは、月 1 回 20 分程度の清掃・点検のみである。（作業の効率化・安全性向上）

(2)　浮上汚泥処理装置から破壊されて吐出された汚泥は、浮上することなく沈殿させることができる。（水処理の改善）

4.4　浮上汚泥処理装置の他施設への水平展開

浅草系第二沈殿池では、沈殿池上部に覆蓋がないことから毎年５月頃、流入部に水草（藻）が発生しやすく、臭気や水質悪化の原因となっており、除去作業に多くの手間を費やしていた。

主に水草（藻）が発生するのは、流入側（上流側）であった。そこで浮上汚泥処理装置にスカムが破壊されて吐出される能力を活かし、沈殿側（下流側）に水草（藻）を吐き出すように設置した。吐出された水草（藻）は沈殿し、放流水質の向上が図れている。

図－12　浅草系第二沈殿池

図－13　浮上汚泥処理装置　設置の様子

5　おわりに

各種のスカム対策装置を導入することによって､現場作業の大幅な効率化･安全性が向上した。導入効果の大きい装置は、順次増設していく予定である。

今後も、水再生センターの維持管理の効率化に向けて、業務改善に取組みます。

5-(2)-5　光水位検出器を利用した簡易型管きょ内水位検出システムの開発

計画調整部　技術開発課　遠藤　和広

１ はじめに

近年、都市化の進展による下水道への雨水流入量の増大、地球温暖化やヒートアイランドによる局所的な集中豪雨の多発などによって、都市型水害のリスクが高まっている。東京都下水道局では浸水への対策として、幹線や雨水ポンプの能力増強などハード面の対策とともに、東京アメッシュによるお客さまへの降雨情報の提供や区への幹線水位情報の配信などリスクコミュニケーションの充実を図っている。

幹線水位情報の計測に使用している光ファイバー水位計は、管きょ内光ファイバーを用いて管きょの現在の水位を遠隔地から計測することが可能であり、浸水対策に有効な設備である。しかし、広範囲な導入にはコストの低減が課題となっている。

そこで当課では、連続した水位ではなく、ある任意の高さに水位が達しているかどうかを把握することに機能を限定し、コストの低減を図る技術の開発を行ってきた。その結果、光ファイバーを用いて、遠隔地からある点の水位を検出できる「管きょ内水位検出システム」を開発した。「管きょ内水位検出システム」は、下水道管きょ内の光ファイバー1心に複数の検出器を接続し、遠隔地から互いに離れた多点の水位を検出できるシステムである。

今回、更なる低コスト化を図り、共同研究によって「簡易型管きょ内水位検出システム」（以下、「本システム」という）を開発した。本システムは、光ファイバー1心で1点の水位検出を行うことに機能を限定し、低コスト化を図ったものである。

本報告では、本システムの概要と、本システム開発のために行った共同研究について紹介する。

２ システムの概要

２．１ 特徴

本システムは、「水位を、入射光に対する反射光の強弱で出力する光水位検出器」及び「光源と受光部、信号処理装置とを一体化した変換器」及び「両者を接続する光ファイバーケーブル」からなる。本システムは、下水道管路に敷設された光ファイバーを伝送路として用い、遠隔地から水位を検出するシステムであり、以下のような特長を有する。

(1) 水位の検出が早い
(2) 光水位検出器には電源が不要
(3) 変換器⇔光水位検出器間の信号の長距離伝送が可能
(4) 落雷や電磁誘導による影響を受けない

以下に、光水位検出器及び変換器の仕様、光水位検出器の特徴と構造及び本システムの構成について述べる。

２．２ 光水位検出器及び変換器の仕様

表１に変換器の仕様を、表２に光水位検出器の仕様を示す。

表１　変換器仕様

項目	仕様
チャンネル数	2ch
光出力波長	1550±20nm
測定周期	常時（2秒以下）
検出器接続台数	1台/ch
外部出力	接点出力：DC30V以下、50mA以下　警報時「閉」 端子形状：M3端子台
接点出力数	3点（1ch ON・2ch ON・装置異常）
外形寸法	EIA1U
	約W410mm×D100mm×H43mm（突起物含まず）

表２　光水位検出器仕様

項目	仕様
外形寸法	約φ34mm×233mm（突起物含まず）
測定液温度	5～30℃
材質	SUS316,304（フロート、リードケーブルを除く）
重量	600g以下（リードケーブル含まず）

２．３ 光水位検出器の特徴と構造

２．３．１ 特徴

図１に、光水位検出器の外観写真を示す。

光水位検出器は、設置した場所の水位を検出するものである。水位を検出したい高さに光水位検出器を固定し、変換器と光水位検出器を光ファイバーで接続することにより、遠隔地からその位置の水位を検出することが可能である。

光水位検出器は､信号伝送路である光ファイバーに直接接続できる構造となっており、電源が不要である。また、信号伝送路として光ファイバーを利用するため、信号の長距離伝送が可能となっている。

図１　光水位検出器の外観

２．３．２　構造

図２に、光水位検出器の構造図を示す。

光水位検出器は、水位の検出にファラデー近接センサを使用している。

ファラデー近接センサとは、ファラデー素子を利用した磁界センサである。ファラデー近接センサに光を入射すると、周囲の磁界の強弱に応じて、反射光の強弱が変化する。磁界が弱いときには反射光は弱く、磁界が強くなると反射光は強くなる。

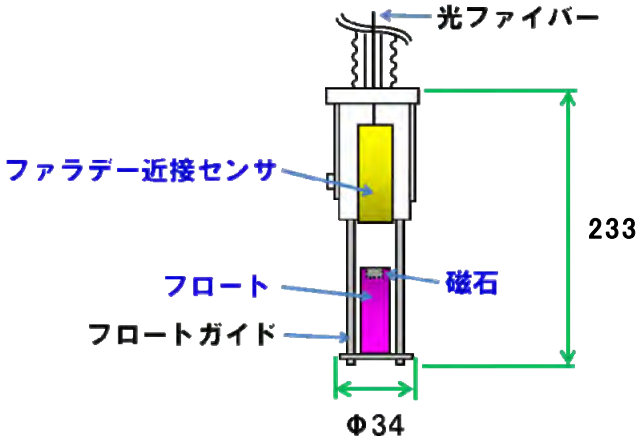


図２　光水位検出器の構造図

光水位検出器はこの特性を利用している。ファラデー近接センサの下には、磁石を内蔵したフロートが置かれている。このフロートは、周囲の水位により上下に動くようになっている。フロートの上下によって、磁石がファラデー近接センサに近付いたり離れたりすると、ファラデー近接センサの反射光の強弱が変化する。光水位検出器に接続された光ファイバーは、内部でファラデー近接センサに接続されており、その反射光の強弱から、水位を検出することができる。

２．３．３　設置状況

図３に光水位検出器の設置状況例を示す。

図３　光水位検出器の設置状況例

光水位検出器は、水位を検出したい高さにアンカーなどを用いて固定する。水位検出高さは、検出器底部から+50mm 程度である。

２．４　システム構成

本システムの構成図を図４に示す。

本システムは、光ファイバー1 心に１台の光水位検出器を接続可能であり、変換器１台当たり最大で２心の光ファイバーを接続することができる。

変換器は、光ファイバーに光を入射し、入射端に戻ってくる反射光の強度を測定することで光水位検出器設置場所の水位を検出する。測定は常時行われるため、水位を瞬時に検出可能である。

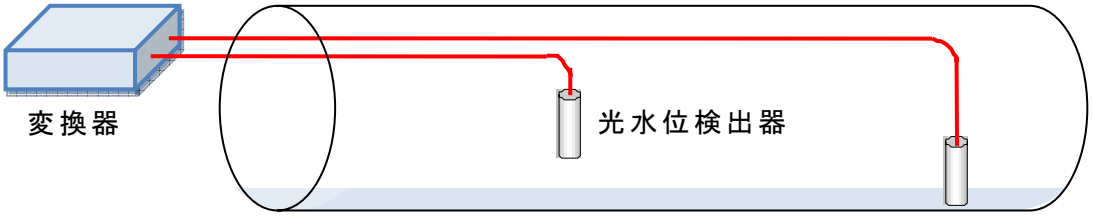


図４　簡易型管きょ内水位検出システム構成図

図５に変換器の外観を示す。

図５　変換器の外観

３ 研究概要

３．１ 概要

本研究は、当局の共同研究形態の一つである「簡易提供型共同研究」で実施した。

（１）共同研究者

社団法人日本下水道光ファイバー技術協会

東京都下水道サービス株式会社

古河電気工業株式会社

（２）目的

安価に水位検出システムを構成するため、ファラデー近接センサを用いた光水位検出器と、新たに開発した簡易型変換器を組み合わせ、簡易型管きょ内水位検出システムとして実フィールドでの実証試験を行い、その性能を確認する。

（３）試験場所

田柄川幹線

（４）試験内容

以下の点について試験を行った。

１） システムの性能

２） システムの設置方法

試験場所として、通常の光水位計が設置されており、そのデータを活用することでシステムの性能確認が容易となる田柄川幹線内を選定した。試験条件を表３に示す。

なお、光水位検出器設置場所は、普段は水がない雨水きょであり、降雨時のみ雨水が流れる場所である。

表３ 試験条件

検出器設置台数	２台
検出水位	水位計零点＋ 0cm（下部検出器） 水位計零点+10cm（上部検出器）

（５）試験期間

平成 21 年 12 月～平成 22 年３月

３．２ 試験システム構成

図６に試験システムの構成を示す。

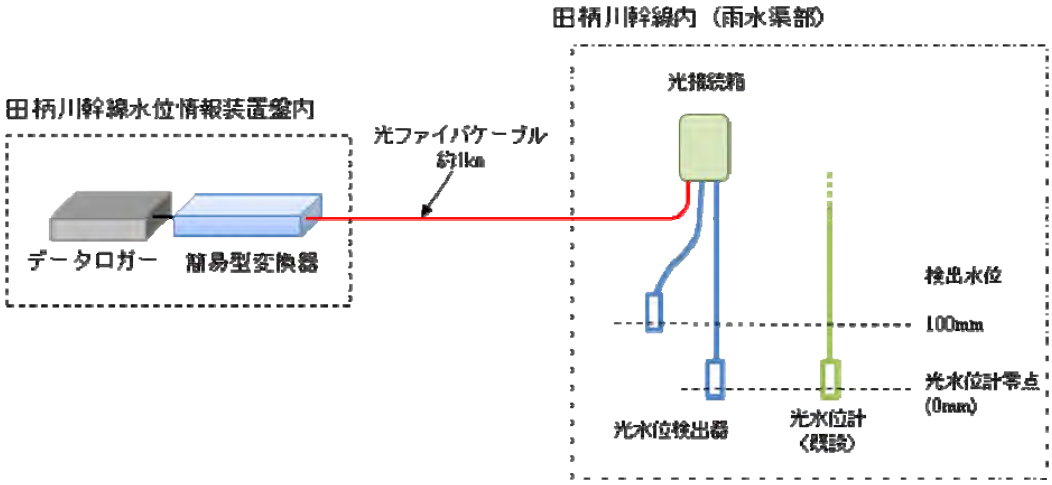


図６ 試験システム概要図

図 7 に光水位検出器の設置状況を示す。

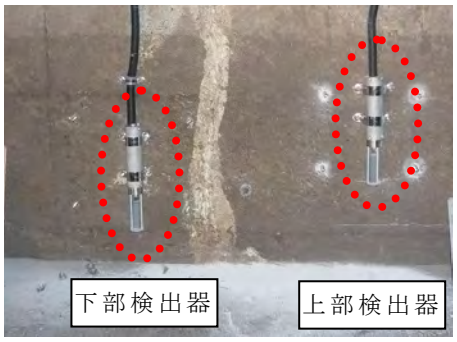


図 7　光水位検出器設置状況（防護カバーなし）

4　試験結果

4．1　システムの性能

本システムの検知データと、動作確認用の光水位計の測定状況一例を、図 8 に示す。

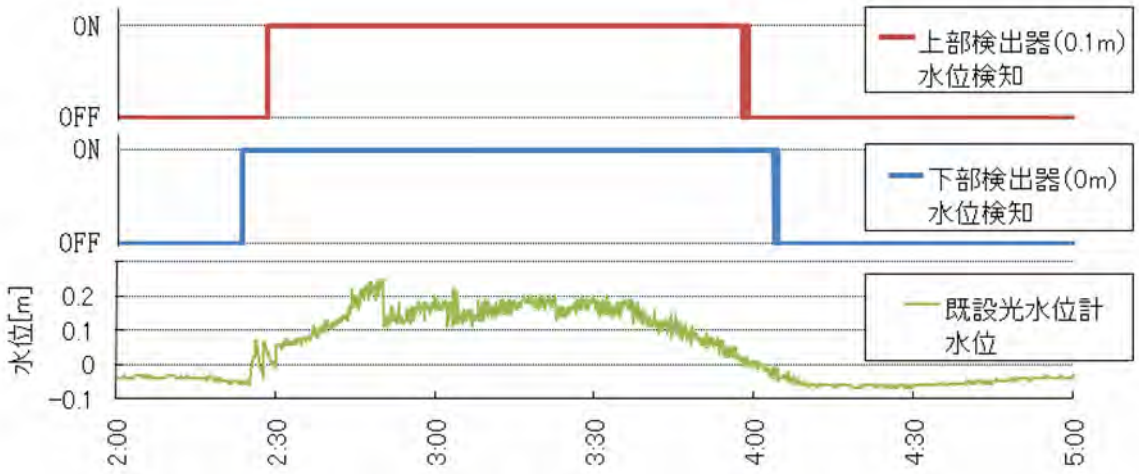


図 8　測定状況（H21.3.16）

図 8 において、上段の線は上部検出器の水位検出状況を、中段の線は下部検出器の水位検出状況を示している。下段の線は、既設の水位計による実測水位データである。

図から分かるとおり、水位の上昇と下降に伴い、それぞれの検出高さと実測の水位に応じて検出器の検出状態が変化している。このことと、試験室で別途行った試験から、水位の検出精度は約±10mm と非常に高精度であることが確認できた。

４．２ システムの設置方法

光水位検出器は管きょ内に設置するため、しさやスカム、流下物などによる障害を受ける恐れがある。そこで、そのような障害を避けるため、検出器の周囲に半円形の SUS 製防護カバーを設けた。防護カバーを設置した状況を図 9 に示す。

図 9　防護カバー設置状況

この結果、12 月から 3 月末までの試験期間中、ゴミ等の詰まりや夾雑物の引っ掛かりなどの不具合は発生しなかった。また、同様の構成における他の場所での調査では、2 月から 12 月の雨期を含む期間に試験を行ったが、同様に不具合は発生しなかった。長期間降雨がなかったあとの降雨においても不具合は発生せず、本設置形態が管きょ内設置に有効であることが確認できた。

また、本システムのメンテナンスについては、変換器は定期的な部品交換や校正作業等は必要なく、光水位検出器は管きょ内設置の場合でもフロート部のゴミ詰まりチェックのみで問題ないことを確認した。また、検出器のメンテナンス周期は、実証試験結果等を踏まえ、既存の光水位計と同等の 1 年が妥当であると評価した。

５ まとめ

当課では平成 19 年から、光ファイバーを伝送路とし、ファラデー近接センサを用いた光水位検出器からなる、水位検出システムの開発に取り組んできた。

実際の下水道施設内での実証試験において、両システムは、水位を遠隔地から即座に検出できること、長期間にわたって安定的に動作することが確認できた。

また、変換器 1 台＋検出器 1 台の構成での試算では、簡易型管きょ内水位検出システムは既存の管きょ内水位検出システムに比べ､大幅に安価に構築できる見込みとなっている。そのため、検出器の台数が少ない場合には簡易型管きょ内水位検出システムが価格的に有利であり、多数の検出器が必要な場合や光ファイバーの心線に限りがある場合には多点型の管きょ内水位検出システムが適している。

本システムは、浸水の起こる可能性の高い地域のマンホール内水位検出や、下水道管きょ内水位検出などに適用することで、浸水対策の一つとして都民の安全・安心な暮らしに貢献できるものである。また、浸水対策以外にも、越流の検知などによる合流式下水道の改善や、管きょ内作業時の安全管理への適用も考えられ、今後、幅広いフィールドへの適用を検討していく予定である。

5-(2)-6　汚泥調質における凝集制御技術の開発

計画調整部技術開発課
廣繁　直治

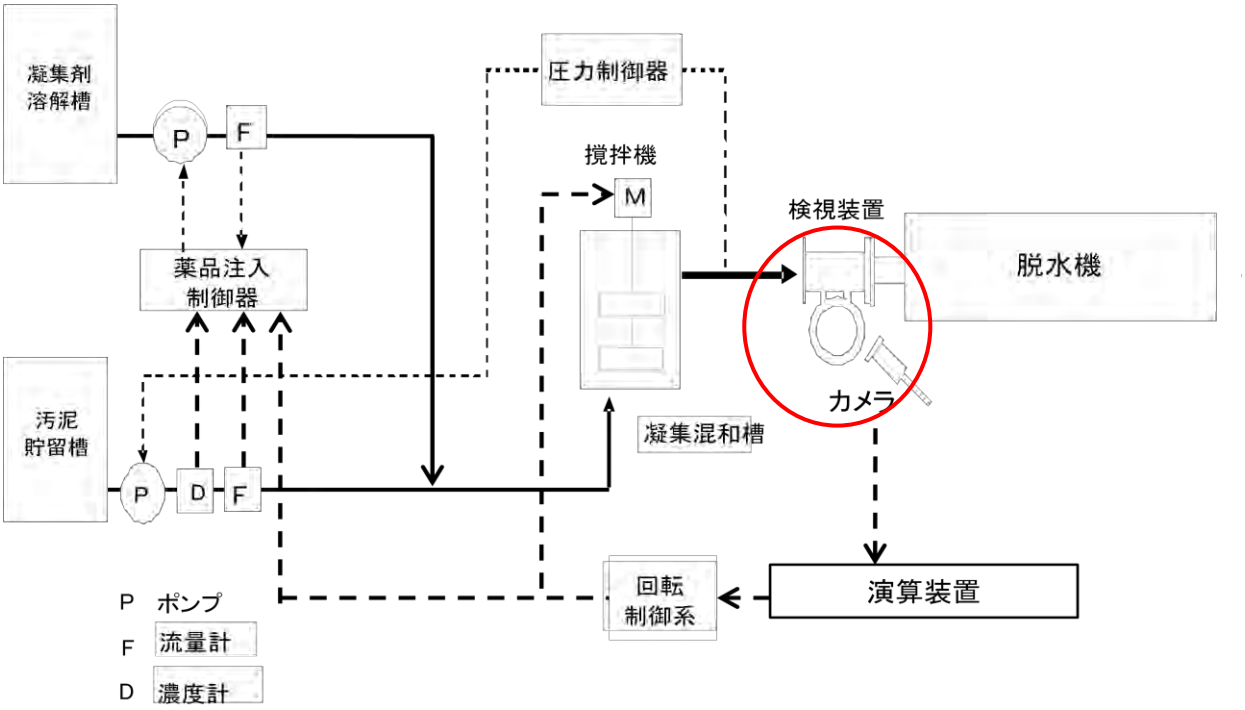
１．開発の目的

汚泥の脱水工程における高分子凝集剤の注入率の制御は、脱水ケーキ含水率や処理量、固形物回収率等の脱水機の能力に影響を与える重要な運転管理のポイントである。脱水工程ならびに後段の焼却工程等の省エネルギー化、効率化を進めるために、高分子凝集剤の注入率制御の精密化、自動化が求められている。

本技術は、脱水工程における高分子凝集剤混和後のフロック形状の画像を取得し、画像解析することによって、リアルタイムでの凝集状態の監視を行いながら、薬注制御に対するフィードバック手法を確立することを目的として開発したものである。

２．開発した技術の概要

今回開発した技術の概要を図－１に示す。

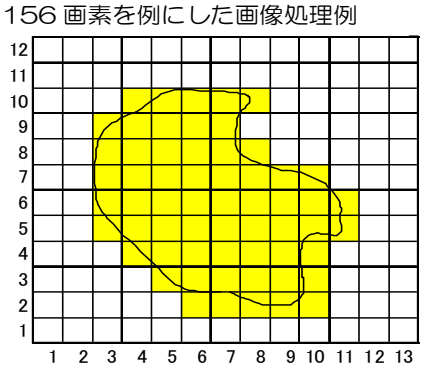


図－１

本技術では、凝集混和槽から脱水機に凝集汚泥を供給する配管に検視装置を組み込み、フロックの状態を撮影して画像を取得する。得られた画像について二値化処理*を行って数値化し、この情報から高分子凝集剤の注入率を最適化するとともに、汚泥供給量、凝集混和槽における撹拌強度等を調整することで、安定した汚泥含水率での運転を可能にするものである。

＊二値化処理

画像の各画素の輝度（明るさ）に対して、ある「しきい値」を設定する。ある画素がこのしきい値より小さい輝度であれば“０”、大きければ“１”とし、設定したしきい値以上の画素数を求める方法である。図－２に二値化処理のイメージを示す。



図－２　二値化処理の例

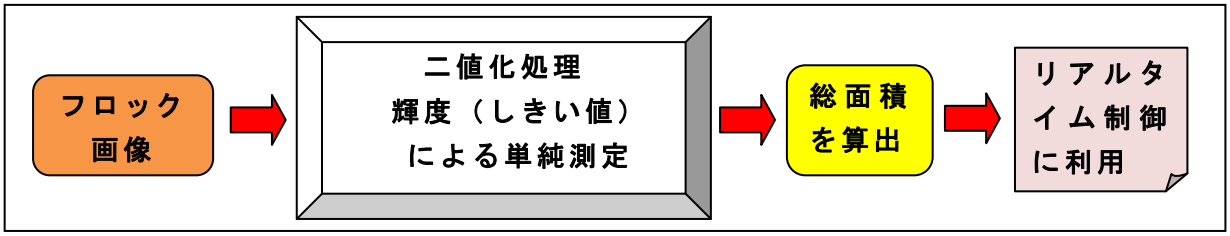
ここでは、曲線で囲まれた部分がフロックを表し、総画素数１５６のうち、設定したしきい値以上の６０画素（着色部分）がフロックの面積となることを示している。

３．二値化処理と制御方法

（１）開発当初の技術内容

本技術の開発は、高分子凝集剤で調質した凝集汚泥を撮影して、この画像を二値化処理して数値化し、人による経験値によらずに凝集剤の注入率設定を最適化することを目的としてきた。

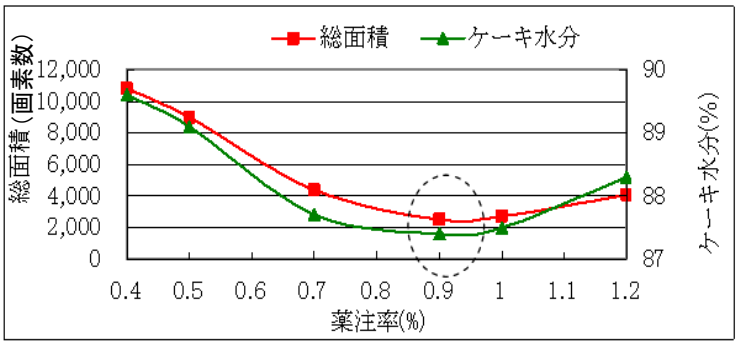
開発当初の画像処理のフローを図－３に示す。



図－３　画像処理のフロー

このフローでは、撮影したフロックの画像を二値化処理してフロックが占める全体の面積(総面積､単位:画素数)を算出し､リアルタイムで注入率制御を行うものである。

ビーカーテストにより、しきい値による二値化処理で得られた総面積と凝集剤注入率との関係および凝集剤注入率とケーキ含水率との関係を図－４に示す。



図－４

このグラフから、次のことが確認できる。

① 凝集剤の注入率が上がるにつれて総面積ならびにケーキ含水率が減少していくこと

② 総面積が最小になる凝集剤注入率においてケーキ含水率が最低になっていること

③ さらに凝集剤注入率が高くなると総面積、ケーキ含水率ともに上昇すること

これらのことから、総面積から薬注率と汚泥含水率を制御できる可能性を見出した。

しかしながら、開発を継続する中で次の問題が明らかになった。

① 総面積と薬注率の関係は図－４に図示したように、谷型の曲線となっているため、運転の途中で総面積が変動した場合に、薬注不足によるものなのか、薬注過多によるものなのかを迅速に判断できないこと。

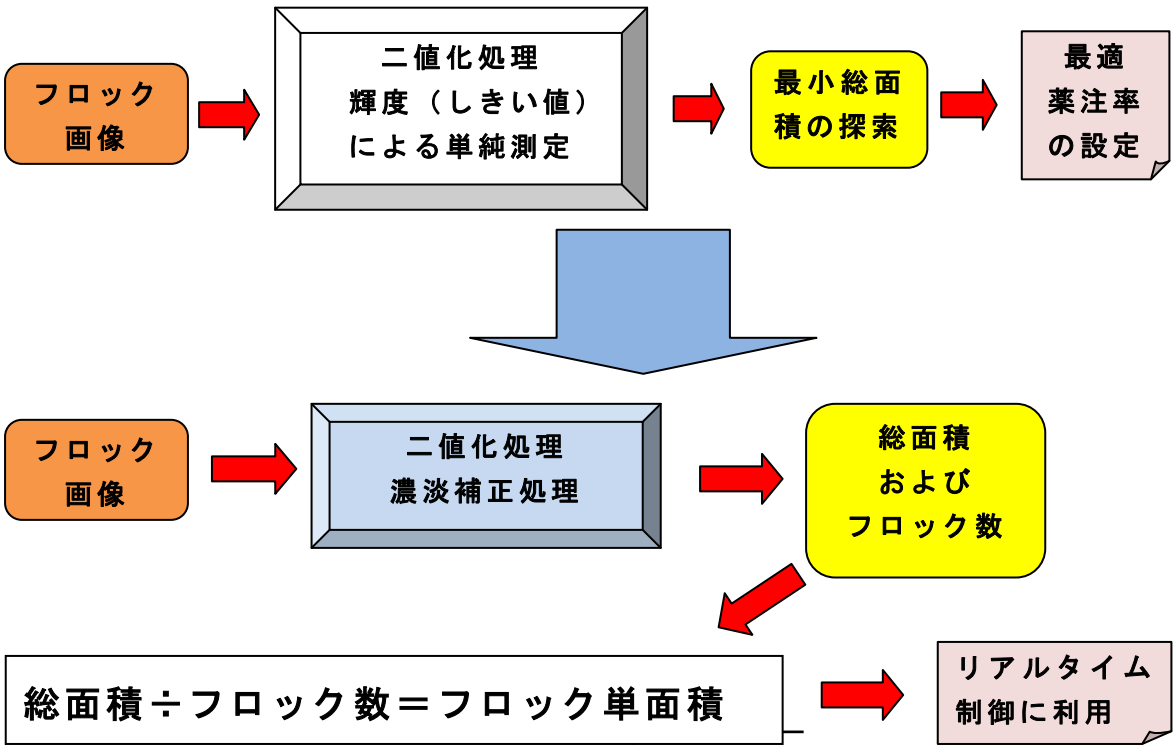
② 最小総面積を決定するには７点以上の探索が必要であり、一点の探索に約２分必要であることから、１４分以上の時間がかかること。そのため、この間に最適状態でない凝集汚泥が脱水機に投入されてしまうこと。

以上の理由から、二値化処理で算出した総面積だけでは、リアルタイム制御への利用は困難であると結論した。

（２）リアルタイム制御の確立に向けて、新たに開発した技術内容

課題解決のため、個々のフロックの大きさに着目したリアルタイム制御の検討を行なった。

考案した制御方法は、まず「しきい値」方式で二値化をおこなって最小総面積となる薬注率を探索する。つぎに、濃淡補正による画像処理方法でフロック単面積を算出（総面積／フロック数、単位：画素数）し、これを制御因子として用いるものである。（図-５）

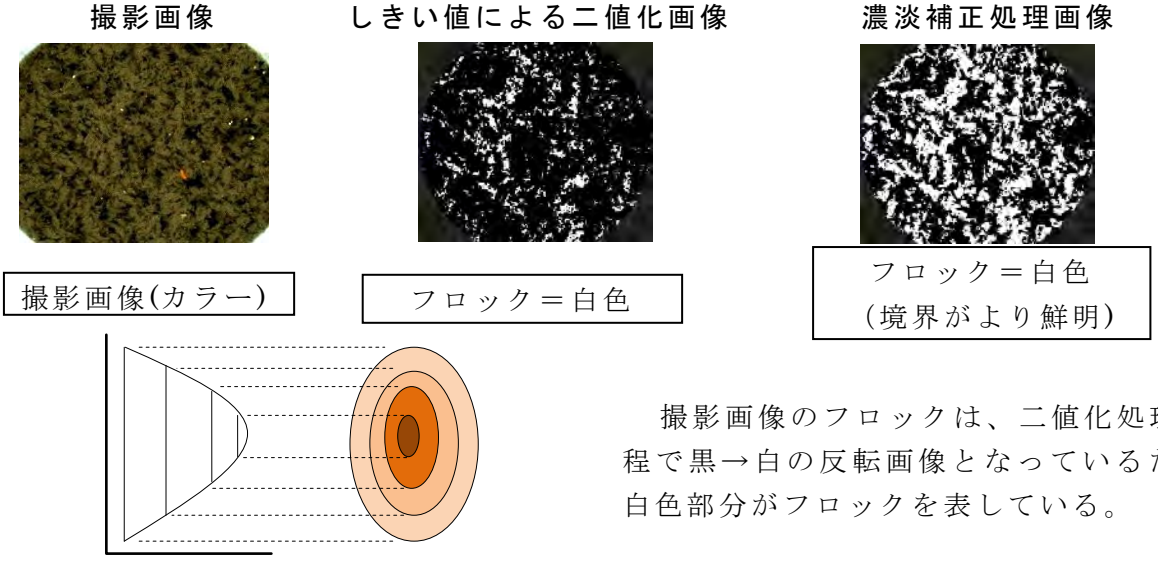


図－５

1）フロック数の精密な測定方法の開発

しきい値方式は、カラー画像を白黒画像に変換したのち、１つの輝度（しきい値）で区別する方法である。

これに対して、濃淡補正処理方式では、変換した白黒画像をあらかじめ数段階で設定した輝度（濃淡度）にグループ分けし、このグループ毎に再度しきい値処理をおこなう。凝集したフロックは中央部と周縁部では色調に差があるが、この段階的なしきい値による処理を行うことで、フロックの境界をより鮮明に判別することが可能になり、フロック数を精密に計測できることが確認できた。（図－６）

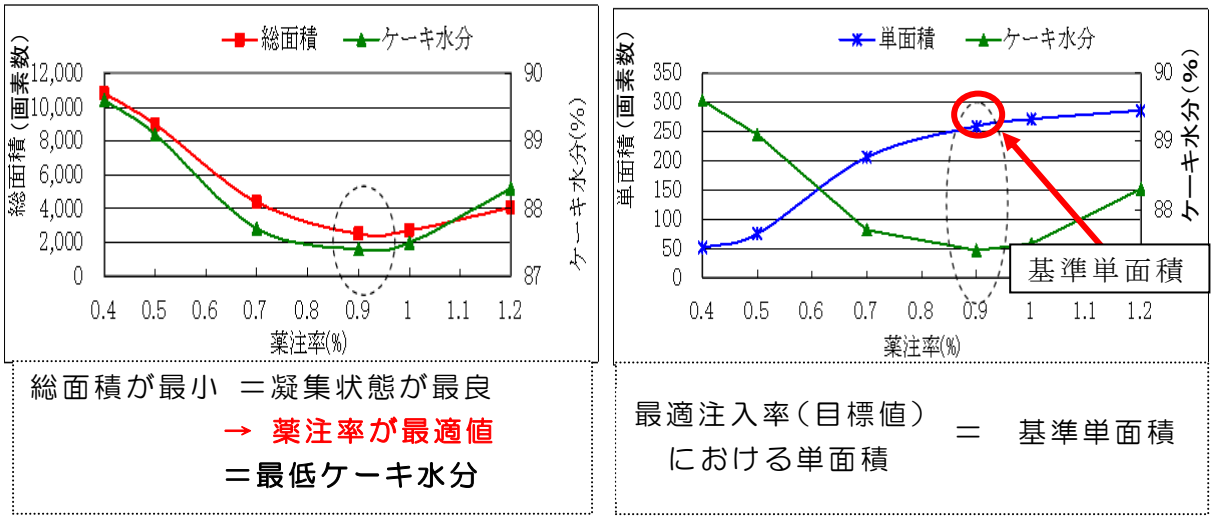


撮影画像のフロックは、二値化処理の過程で黒→白の反転画像となっているため、白色部分がフロックを表している。

図－６　処理法別の画像

2）制御方法の確立

二値化処理で得られた総面積と薬注率の関係（前出、図－４中）と、フロック単面積と薬注率の関係を図－７に示す

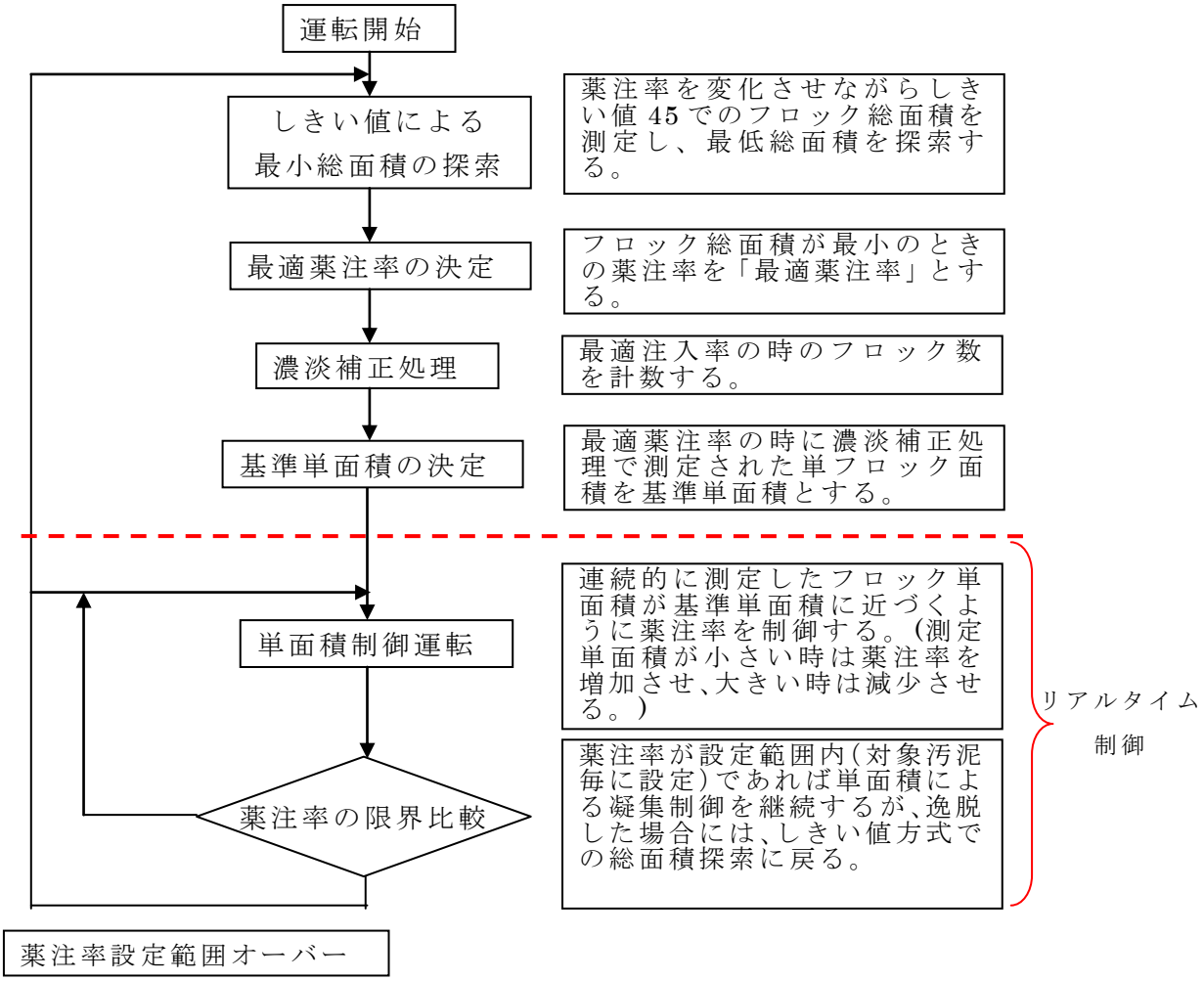


図－７　薬注率と総面積（しきい値法）および単面積（濃淡処理法）の関係（ビーカーテスト）

リアルタイム制御では、総面積が最小となる薬注率の時に得られたフロック単面積を基準単面積とし、計測したフロック単面積が基準単面積より大きい場合は薬注率が過剰と判断して、薬注率を減少させる。逆に基準単面積より小さい場合には、薬注率が低いと判断して薬注率を増加させる制御を行う。

（３）制御方法

以上をまとめると、制御方法は次のフローとなる。（図－８）



図－８　構築した制御フロー

４．研究目標と結果

目標１：既存設備に影響を与えず、かつ保守点検が容易な画像処理装置の開発

本技術の開発にあたっては、常に流動している汚泥フロックの画像を、安定して取得できる検視装置が必要となる。このため、以下の項目について検討をおこなった。

（1）検視装置の仕様
（2）検視窓洗浄用スクレーパー装置
（3）撮影装置の仕様

（１）検視装置の仕様

設置箇所として、凝集混和槽と脱水機を連絡している配管に直接設置する方法と、同配管から分岐配管を用いて検視装置に試料を導入する二つの方法について検討した。その結果、分岐配管方式を採用することとした。

１）連絡配管に直接設置した場合

①流速と被写体深度が大きいためフロックの画像が安定しなかったこと、②流量の低下や汚泥濃度の上昇があった場合、検視窓内部のわずかなデッドスペースにフロックが滞留し、誤差を生じることがわかった。

２）分岐配管を用いて設置した場合

適切な分岐配管形状とすることでフロックの形状を損なわずに試料を検視室に導入でき、制御に利用できる安定した画像を得ることができた。

検視窓は耐久性と透明度を勘案して、厚さ 10mm のアクリル樹脂製とした。

（２）検視窓洗浄用スクレーパー装置

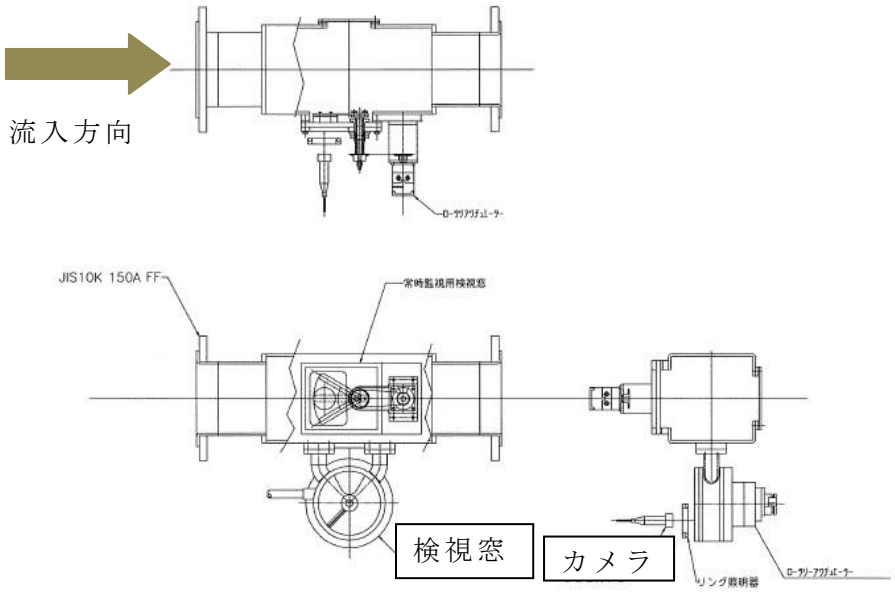
回転パドル式とした。材質については検視窓への密着性と、硬さ、耐久性から、軟質天然ゴムが最良と判断し、テーパー状の形状とすることで洗浄効率を高めた。1日１回洗浄することで検視窓を清浄に保ち、鮮明な画像取得が可能であることを確認した。

脱水終了時に検視窓内部を洗浄するために、洗浄水の注入口を２か所設置した。

（３）撮影装置の仕様

工業用として市販されているキーエンス社製 CV5000 型 CCD カメラ（24 万画素、カラー仕様）をテーブル実験から使用してきたが、実機導入に際しての問題は生じなかった。（図－９）

解析には、シャッタースピード 1/120～1/240 秒で取得した静止画像を用いた。



図－９　検視装置の詳細

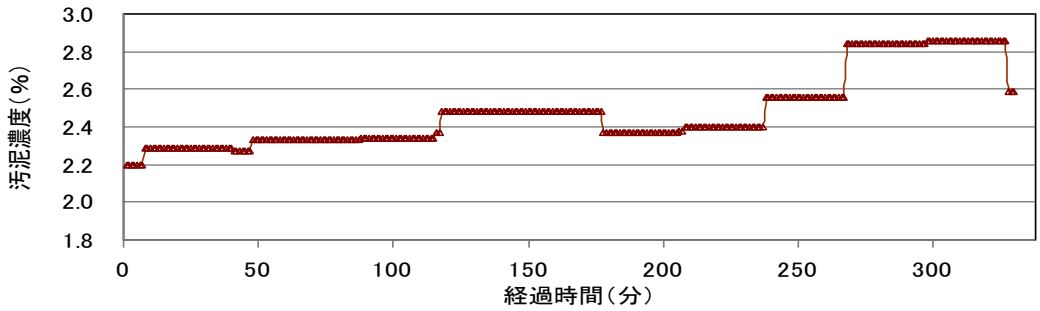
目標２：汚泥性状の変化に追随できる凝集剤注入制御の方法の開発

供給汚泥濃度の変化と、開発した制御システムによって制御目標値（基準単面積）に追随する状況、ならびにケーキ含水率と薬注率の変化を次に示す（図－１０～１２）。

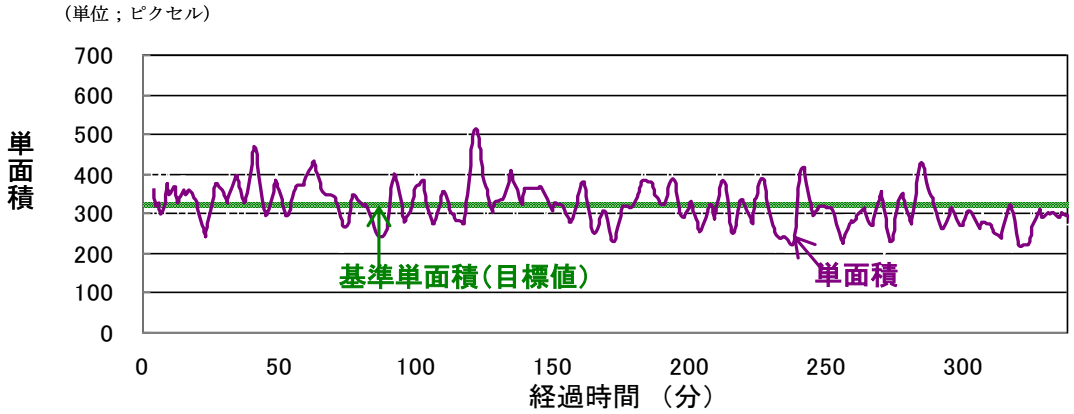
供給汚泥濃度は 2.2～2.8%の間で変動していた（図－１０）。このとき、基準単面積を 321 画素に設定し、フロック単面積をもとに薬注率の制御（フィードバック間隔 3 分/回）を行った結果、フロック単面積が基準単面積（目標値）に追随できていることが確認できた（図－１１）。

薬注率は、ほぼ 0.4～0.5%で推移しており、この制御の結果、脱水ケーキ含水率が安定していたことも確認できた（図－１２）。

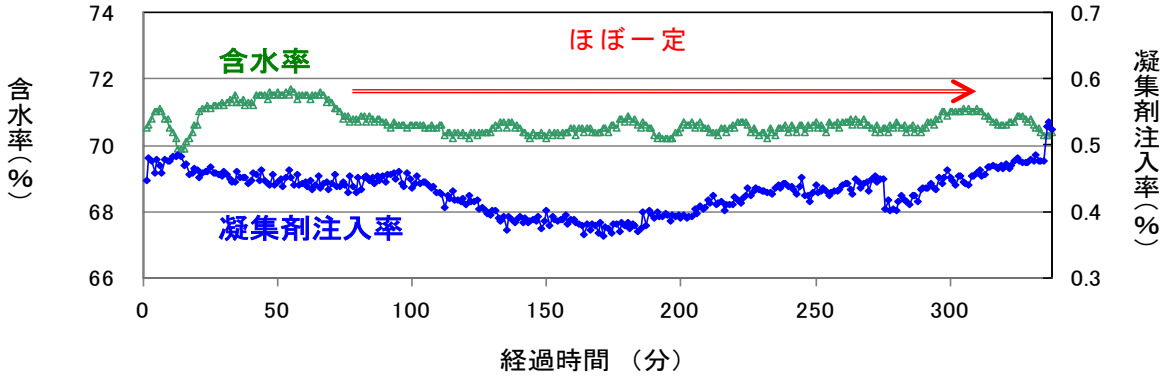
なお、起動後約 1 時間の含水率の変動は、投入された汚泥が脱水機から脱水ケーキとして排出されるまでの滞留時間の影響と考えられた。



図－１０　供給汚泥濃度の経時変化



図－１１　計測単面積の基準単面積への追随性



図－１２　脱水ケーキ含水率と凝集剤注入率の経時変化

目標３：既存含水率計を用いた薬注制御方式と比較して優位となるシステムの開発

ケーキ含水率の目標を７４％以下程度として設定し、脱水ケーキ含水率の標準偏差と脱水ケーキ含水率とを比較するために調査を実施した（表－１）。

同一汚泥での調査が不可能であるため、必ずしも同一条件下での結果ではないが、今回開発した凝集制御方法は、含水率計による制御方法と比較しても、ケーキ含水率を安定化させることができることを確認した。

運転条件	ケーキ含水率 標準偏差	ケーキ含水率	供給汚泥濃度	高分子凝集剤 注入率
凝集制御(本技術)	0.33	73.2%	2.29%	0.43%
含水率計による制御	0.54	71.9%	1.92%	0.37%
目視による状態監視	0.81	71.4%	2.10%	0.48%

表－１　各制御方法の脱水ケーキ含水率の標準偏差（平均値）と処理状況

５．コスト比較

今回開発した凝集制御と、既に実用化されている含水率計を用いた含水率制御について、付帯設備として脱水機とともに新規導入する場合のイニシャルコスト比較を表－２に示す。

凝集制御はコスト面で優れていることが確認できた。

項目	凝集制御	含水率計制御
価格	約400万円	約1000万円

表－２　凝集制御と含水率計制御とのコスト比較

凝集制御の導入は、凝集混和槽から脱水機に汚泥を供給する配管に設置するため、既設設備へ比較的簡単に導入できる。

一方含水率計制御では、必要な含水率計を設置するために脱水機本体の改造が必要となるため、既設設備の改良による導入は難しい。

６．期待される効果等

凝集制御の導入により、以下の効果が期待できる。

- 安定した含水率の脱水汚泥が供給できるため、焼却炉等の運転が安定的に実施できる。また、これにより、焼却炉等で使用する補助燃料の削減も期待できる（特に炭化炉やガス化炉における効果が期待できる)。
- 凝集剤の過剰注入等を抑制でき、凝集剤使用量の削減が期待できる。
- 自動制御であることから、現場作業量の低減が期待できる。
- 常時、汚泥性状や脱水機等を監視できることから、安全対策の向上につながる。

本開発は、平成２１年度のノウハウフィールド共同研究として、東京都下水道サービス株式会社と、株式会社　石垣との３者によって行われた。

5-(2)-7　イベント時における高濃度窒素流入水への対応について

東部第一下水道事務所有明水再生センター　　高橋昌史
（現 森ヶ崎水再生センター）
丸吉秀次　　小林克巳
（現 東部第一下水道事務所砂町水再生センター）

１．有明水再生センターの特徴

有明水再生センター（以下、「当水再生センター」という）は、砂町処理区の南西端に位置し、臨海副都心地区の汚水を処理している。当水再生センター処理区域の概要を図１に示す。

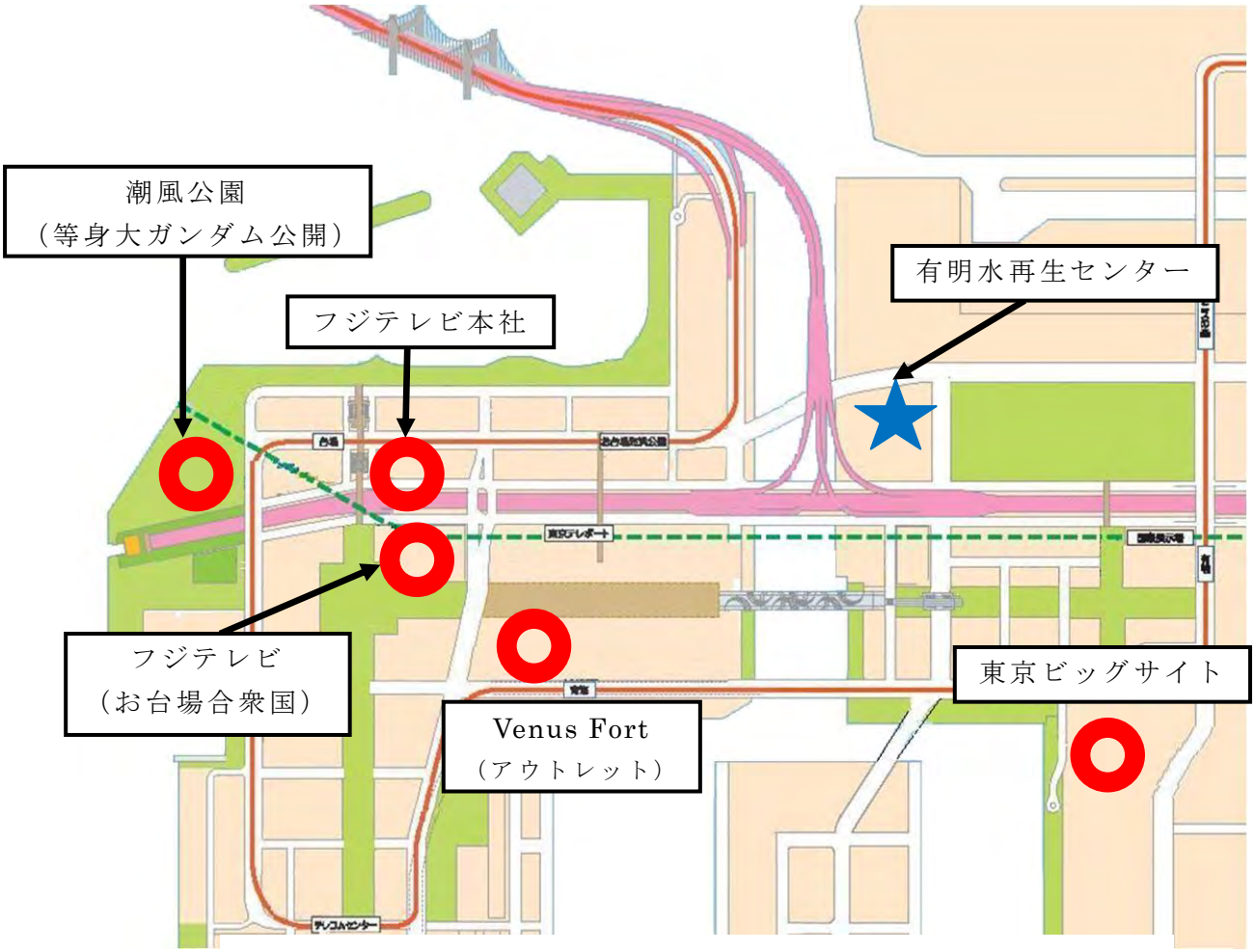


図１　有明水再生センターの処理区域

汚水は、A_2O 法-生物膜ろ過処理した後、東京湾へ放流している。また、高度処理水の一部は、オゾン処理を施し、再生水として臨海副都心地区へ供給している。当水再生センターの処理フローを図２に示す。また、当水再生センター流入水および放流水の水処理状況、放流水の規制基準値を表１に示す。

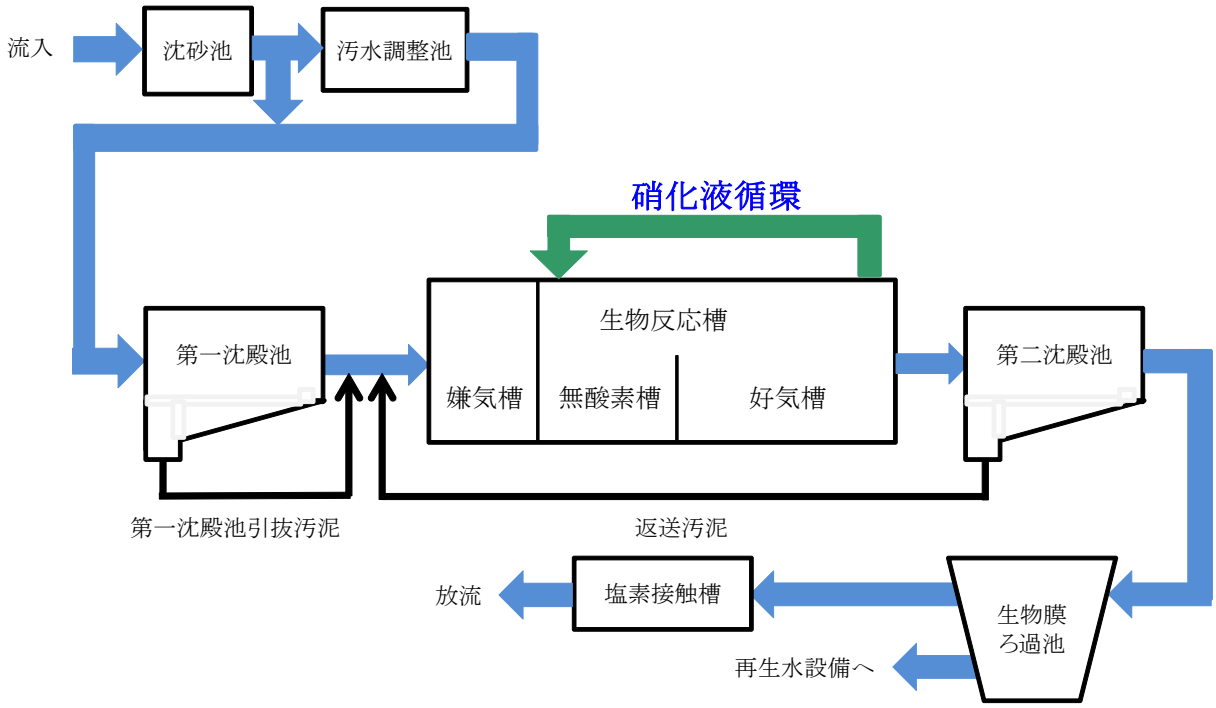


図２　有明水再生センターの処理フロー

表１ 有明水再生センターの処理状況及び放流水質の規制基準値

	流入水	放流水	放流水の規制基準値		放流水の自主管理値
			水質汚濁防止法	環境確保条例	
水量　[m^3/日]	13,500	10,380	―	―	―
COD　[mg/L]	88	9	160(日間平均 120)	15	13
全窒素　[mg/L]	39.4	11.6	120(日間平均 60)	20	15
全リン　[mg/L]	4.0	0.3	16(日間平均 8)	1	0.7

※ 流入水・放流水の水量及び水質は平成20年度の平均値

当水再生センターは、分流式であるため、雨水による流入水量の増加は比較的少ない。処理区域内各ポンプ所から圧送された流入水の一部を汚水調整池で流量調整し、生物反応槽流入水量をほぼ一定にして、水処理の安定化を図っていることが特徴である。また、処理水の一部を再生水として供給しているため、流入水量と放流水量の差が大きい。

通常、A_2O 法の処理施設では、硝化液循環を生物反応槽流入水量に対する水量比（循環率）で制御している。当水再生センターの硝化液循環は、循環率制御ではなく、循環量一定で制御している。これは、生物反応槽内の水量変動を小さくするためであり、窒素除去ばかりでなく、リン除去にも効果を上げている。通常時の硝化液循環量は省エネルギーを考慮して 600～700m^3/時（流入水量に対し約 100%）に設定している。

当水再生センターの処理施設における窒素除去率は流入水に対して 70%程度であり、流入水中の全窒素濃度が 50mg/L を超えると、放流水中の全窒素濃度が自主管理値の 15mg/L を遵守できなくなる恐れがある。流入水中の全窒素濃度が高い場合には、硝化液循環量を

増加させて、脱窒を促し、処理水中の全窒素濃度の上昇を防ぐことにしている。

当水再生センターの処理区域内には、フジテレビ本社や東京ビッグサイトをはじめ多くの商業施設や行楽施設があり、観光客等の多い時期には流入水中の窒素濃度が上昇し、通常期とは異なった水質になる。

例年、お盆と年末の2回、東京ビッグサイトで毎日20万人以上もの来場者がある大イベントが開催され、当水再生センターでは、その対応に追われている。今回は、夏休み期間中の平成21年8月14日～16日および年末の平成21年12月29日～31日に東京ビッグサイトで開催されたイベント時における高濃度窒素流入水への対応について報告する。

2．平成21年8月の処理対応について

2．1　平成21年8月のイベント

夏休み期間中である7月下旬より8月末までフジテレビ本社及びその周辺地区で「お台場合衆国」が、潮風公園では「等身大ガンダム公開」と、大きなイベントが2件開催されていた。また、8月14日～16日の3日間、東京ビッグサイトでは「コミックマーケット」を開催していた。平成21年8月のコミックマーケット来場者数は3日間で約62万人であった。通常、東京ビッグサイトのイベント来場者数は最大でも1日約10万人程度であり、コミックマーケットは、他のイベントの2倍以上の来場者である。

2．2　平成21年8月の水質

平成21年8月における水質を図3に示す。流入水中の全窒素、全リンはほぼ同様の挙動を示していた。放流水中の全窒素濃度は流入水中の全窒素と同様の挙動を示していたが、放流水中の全リン濃度は、0.2mg/L程度とほぼ一定であった。

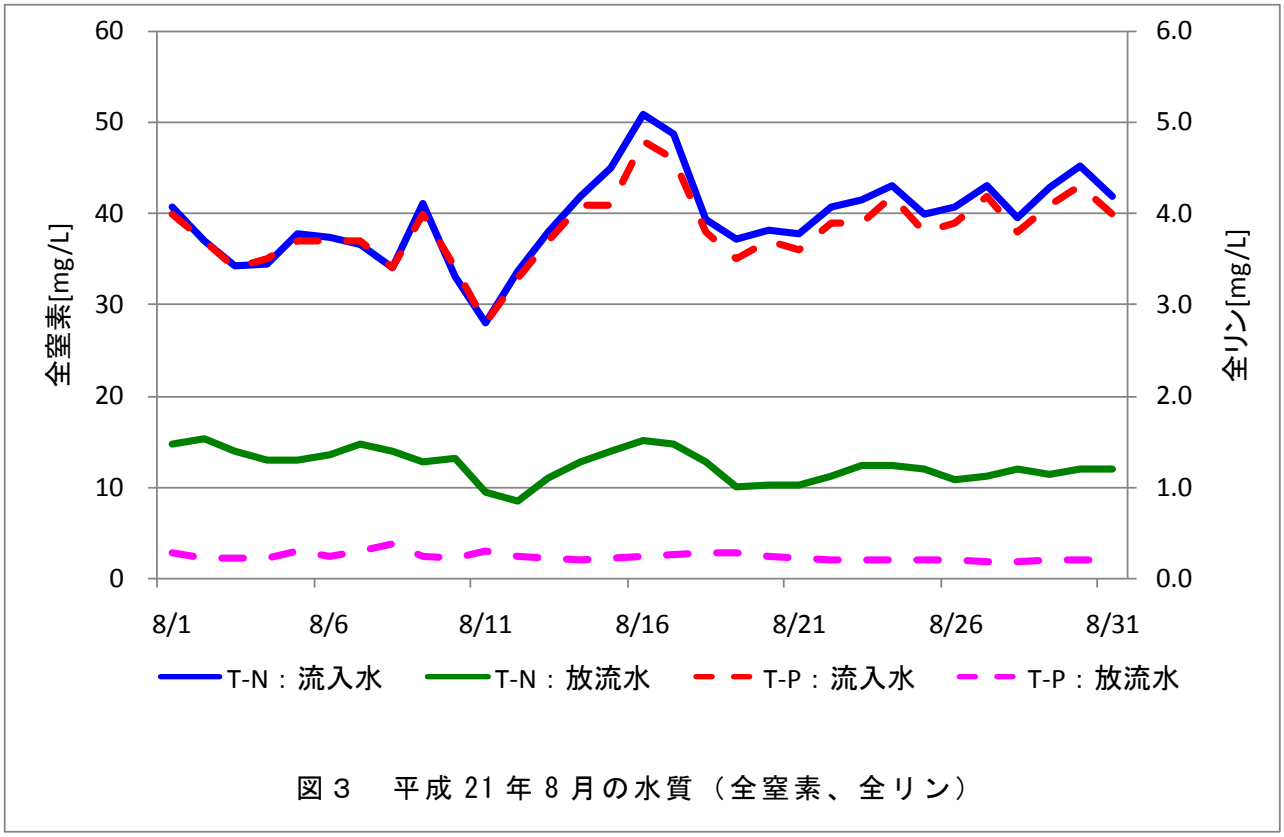


図3　平成21年8月の水質（全窒素、全リン）

8月14日～17日頃、流入水中の全窒素濃度が50mg/L以上となった。8月初旬から月末まで、お台場合衆国やガンダム等の大きなイベントが開かれていたにもかかわらず、コミックマーケット開催期間以外の流入水中全窒素濃度は30～45mg/L程度であった。

表５　有明南その１ポンプ所の水質測定結果

採水日時	全窒素 [mg/L]	アンモニア性窒素 [mg/L]
8月14日　9：00	67.0	53.5
8月14日　14：40	96.4	67.1
平成20年度平均	72.5	70.3

東京ビッグサイト内にある有明南その１ポンプ所（P5）の水質測定結果を表２に示す。当水再生センター流入水質と比較して、平成20年度平均値でも有明南その１ポンプ所（P5）の全窒素濃度は高い。特に、イベント開催の影響が現れる8月14日午後の有明南その１ポンプ所(P5)の全窒素濃度は96.4mg/Lとなり、当水再生センター流入水と比較して極めて高くなっていた。そのため、8月14日～17日頃の流入水中全窒素濃度の上昇は、東京ビッグサイトのイベント開催による影響が大きいと思われる。

平成21年8月及び東京ビッグサイトのイベント期間中における処理状況を表３に示す。水量、COD、全リン濃度は、イベント期間中でも月平均値とほぼ同じであった。一方、全窒素濃度だけは、東京ビッグサイトのイベント期間中、高濃度になる傾向があった。

表３　夏季イベント期間中の水処理状況

		水量		COD	全窒素		全リン	
		流入水 [m^3/日]	放流水 [m^3/日]	放流水 [mg/L]	流入水 [mg/L]	放流水 [mg/L]	流入水 [mg/L]	放流水 [mg/L]
平成21年8月平均		16,430	12,540	8.8	39.4	12.3	3.8	0.24
イベント	8月14日	19,480	14,650	8.6	41.8	12.7	4.1	0.20
	8月15日	18,370	13,960	8.8	44.9	13.9	4.1	0.22
	8月16日	16,090	12,060	9.0	50.8	15.2	4.8	0.25

※ COD、全窒素、全リンは汚濁負荷量計（UV計、T-N計、T-P計）による測定値

２．３　夏季イベント対応について

東京ビッグサイトのイベント期間中における全窒素濃度と硝化液循環量の推移を図４に示す。イベント初日の8月14日夜から流入水中の全窒素濃度が上昇し、延べ36時間にわたって50mg/L以上となり、その最大値は60.4mg/Lであった。

当水再生センターでは、生物反応槽出口において完全硝化しているため、放流水中の窒素濃度を減少させるためには硝化液循環による脱窒を促進させる必要がある。そこで、流入水中の全窒素濃度が高濃度になった場合、硝化液循環量を順次増加させ、最大990m^3/時の循環量で対応した。イベント開催期間中、延べ28時間にわたって放流水中の全窒素濃度が15mg/Lを超過した。しかし、このような対応をとった結果、放流水中の全窒素濃度の最大値は17.2mg/Lであり、環境確保条例に定める全窒素濃度20mg/Lを超過することはなかった。

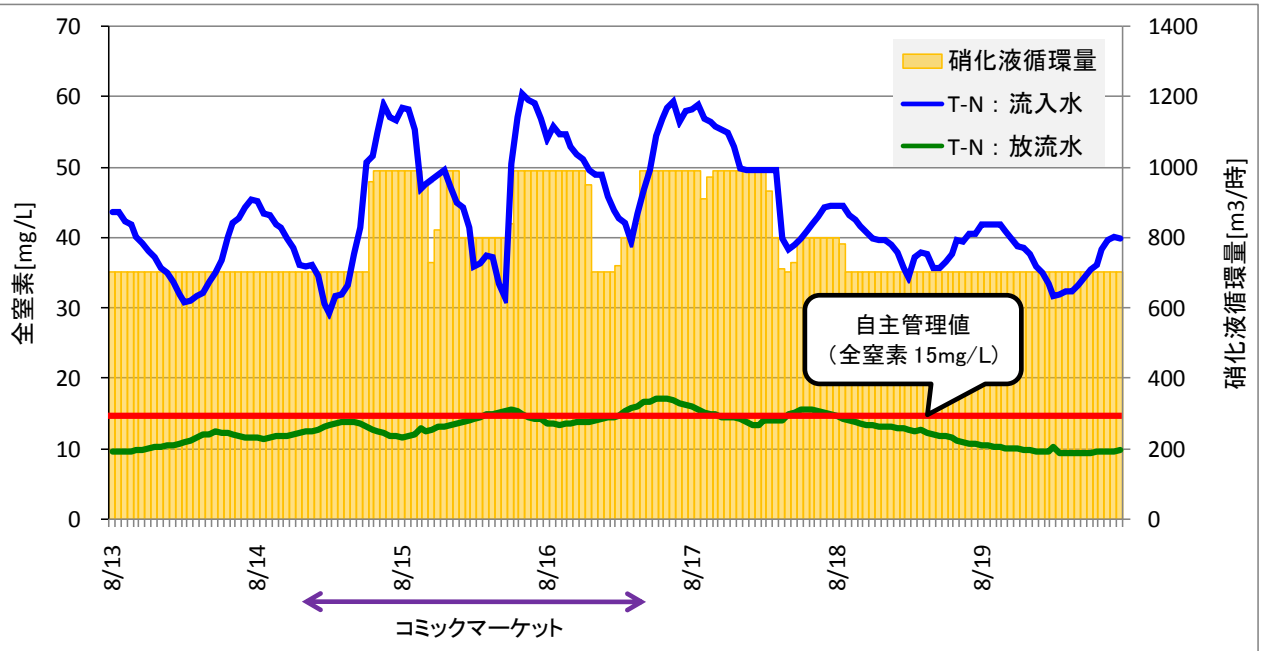


図４　夏季イベント期間前後における水処理状況（8/13～8/19）

３．平成 21 年 12 月～1 月の処理対応について

３．１　平成 21 年 12 月～1 月のイベント

年末の 12 月 29 日～31 日の 3 日間、東京ビッグサイトで「コミックマーケット」が開かれた。平成 21 年 12 月のコミックマーケット来場者数は 3 日間で約 64 万人であった。また、12 月中旬に近隣の商業施設（Venus Fort）が改装オープンし、ここへ来た観光客も多かった。更に、12 月 31 日～1 月 1 日は、フジテレビ本社をはじめ臨海副都心地区内の各所で年越しのイベントが開催されていた。

３．２　平成 21 年 12 月～1 月の水質

平成 21 年 12 月～平成 22 年 1 月における水質を図 5 に示す。全窒素、全リンの挙動は 8 月とほぼ同じであったが、東京ビッグサイトでイベントが開催された前後の 12 月 30 日～1 月 2 日にかけて流入水中の全窒素濃度が 50mg/L 以上となっていた。東京ビッグサイトでのイベント終了後も流入水中の全窒素濃度が高かったのは、近隣商業施設や行楽施設等へ多数の観光客が来場していたためと考えられる。

平成 21 年 12 月及び東京ビッグサイトのイベント期間中における処理状況を表 4 に示す。夏季と同様、イベント期間中は、全窒素濃度が高濃度になる傾向にあった。一方、水量やその他の水質は、12 月の月平均値とほぼ同じであった。

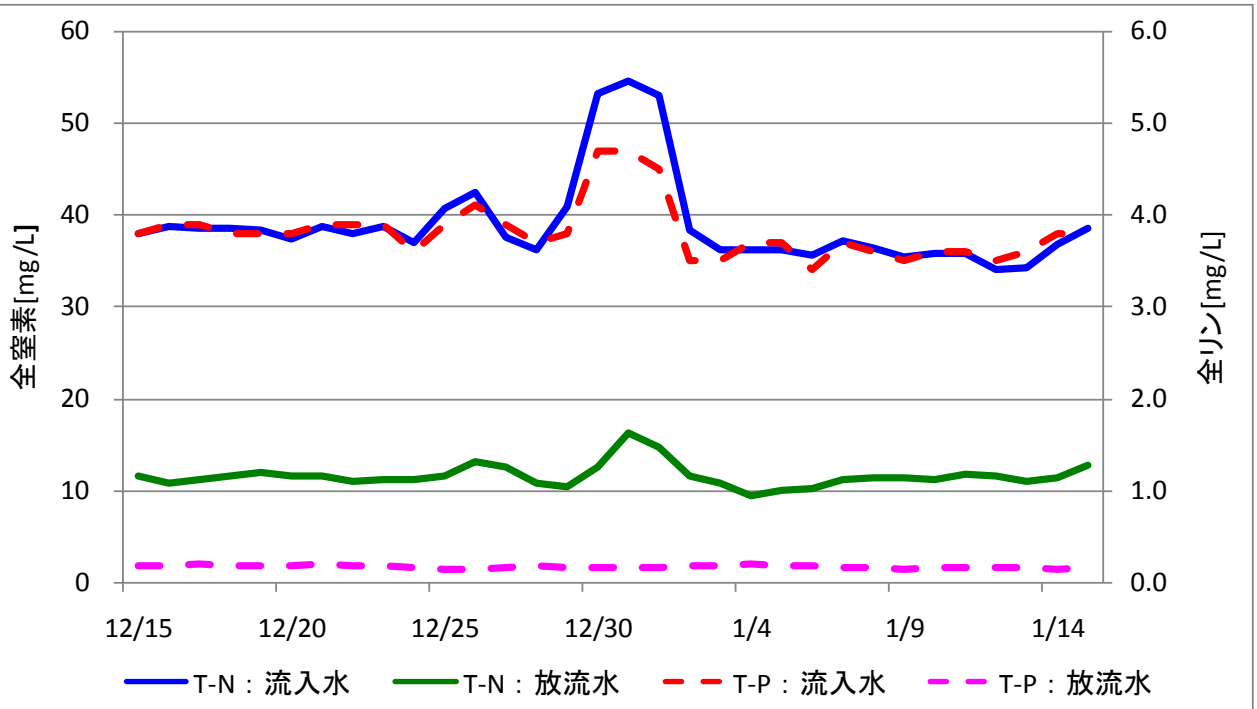


図５　平成 21 年 12 月～平成 22 年 1 月の水質（全窒素、全リン）

表４　冬季イベント期間中の水処理状況

		水量		COD	全窒素		全リン	
		流入水 [m^3/日]	放流水 [m^3/日]	放流水 [mg/L]	流入水 [mg/L]	放流水 [mg/L]	流入水 [mg/L]	放流水 [mg/L]
平成21年12月平均		13,530	10,260	8.6	39.6	11.8	3.9	0.16
イベント	12月29日	15,130	11,640	8.3	40.9	10.3	3.8	0.16
	12月30日	14,540	11,060	8.4	53.3	12.5	4.7	0.15
	12月31日	14,020	10,200	8.6	54.6	16.3	4.7	0.15

※ COD、全窒素、全リンは汚濁負荷量計（UV 計、T-N 計、T-P 計）による測定値

３．３　冬季イベント対応について

東京ビッグサイトのイベント期間中における全窒素濃度と硝化液循環量の推移を図６に示す。イベント初日の 12 月 29 日夜から流入水中の全窒素濃度が上昇し、延べ 57 時間にわたって 50mg/L 以上となり、その最大値 61.4mg/L であった。

流入水中全窒素濃度に対応して、硝化液循環量を 990m^3/時まで増加させたが、放流水中の全窒素濃度が 15mg/L 以下に下がらなかった。そこで、硝化液循環量を 1200m^3/時まで増加させるとともに、硝化液を脱窒させる無酸素槽の容量を増加させるため嫌気槽中間にも硝化液を注入することにした（図 7 参照）。嫌気槽、無酸素槽への硝化液循環注入量は各 600 m^3/時である。

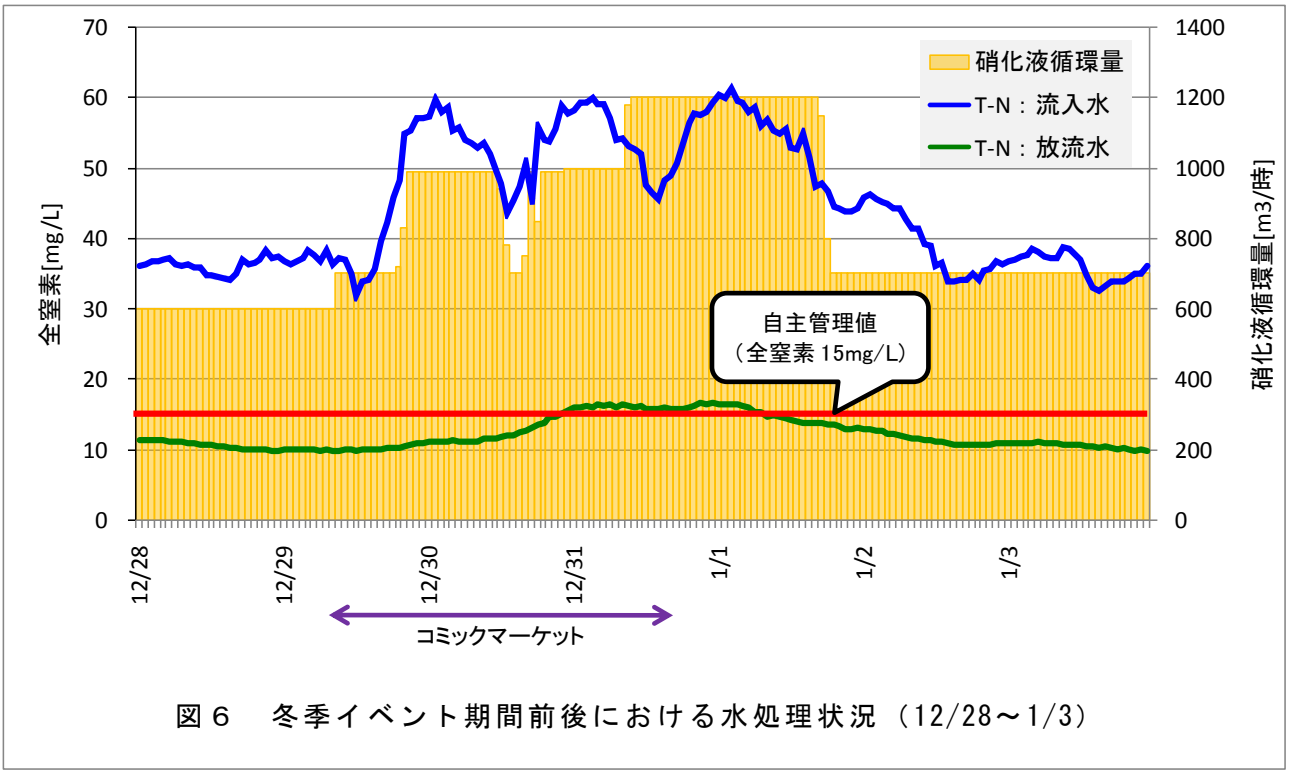


図６　冬季イベント期間前後における水処理状況（12/28～1/3）

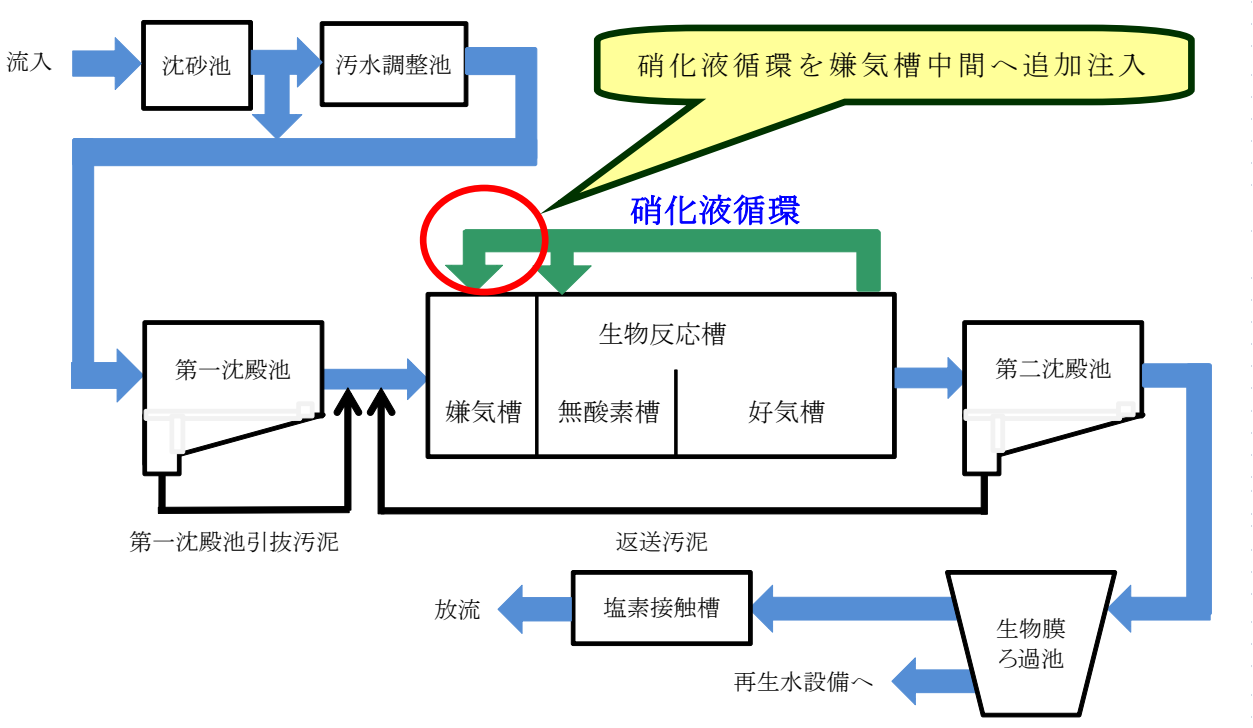


図７　有明水再生センターの処理フロー（冬季イベント時）

硝化液循環を嫌気槽中間へ追加注入した結果、脱窒効率が高まり放流水中の全窒素濃度が 15mg/L 以下となった。その後、流入水中全窒素濃度の低下とともに通常の運転状態へ戻した。年末年始期間中において、自主管理値である 15mg/L を超過したのは延べ 35 時間であった。しかし、放流水中全窒素濃度の最大値は 16.8mg/L であり、環境確保条例に

定める全窒素濃度 20mg/L を超過することはなかった。

なお、嫌気槽へ硝化液循環を注入したことによるリン処理への悪影響はなかった。

当水再生センターでは、これまでの高濃度窒素流入水への対応をもとに運転対応マニュアルを作成し、運転管理に活用している。

４．今後の課題

当水再生センターでは、東京ビッグサイトのイベント開催予定の情報を入手し、水処理施設の運転管理に活用している。しかし、近隣にはフジテレビ本社や Venus Fort 等、多数の商業施設・行楽施設があり、これらの施設のイベント開催予定や予想来場者数等に関する情報を入手していない。当水再生センターの流入水質の変動は、処理区域内にある商業施設・行楽施設等へ流入する人口に比例して変化しており、安定した水処理を進める上で、各施設におけるイベント開催予定や予想来場者数等の情報を入手する必要がある。

また、冬季イベント時の対応で実施した、嫌気槽中間と無酸素槽入口の両方へ硝化液循環を注入した場合の水処理への影響について、調査を継続する必要がある。

5-(2)-8　蛍光 X 線分析装置の効果的な活用について

施設管理部環境管理課
小林　貢※、市川　豊※、宮澤　敬夫、三浦　美穂、
伊藤　喜代志※※、保々　旭※※※、持田　哲宏
(※現水道局、※※現みやぎ水再生センター、※※※現環境局)

1　はじめに

蛍光 X 線分析は、非破壊的に分析対象の元素組成についての知見を得ることができることから、古美術品の鑑定や工業製品の原材料の品質評価などに利用されている。また、最近は土壌中の有害元素測定において、屋外で使用可能な小型の X 線分析装置が実用化されるなど、環境分野での使用が注目されている[1),2),3),4),5)]。平成 20 年には JIS K0470 に土壌中の重金属簡易分析法として蛍光 X 線分析が採用されている。

下水道局では、水質検査業務の迅速化・効率化及び精度の向上を目標に、これまでも様々な取組みを進めている。今回、その一環として、焼却灰の成分試験に使用してきた蛍光X線分析装置の効果的な活用方法について検討したので報告する。

2　蛍光 X 線分析の概要[6)]

2.1　原理

試料表面に X 線を照射すると、試料中に含まれる元素の種類に応じて固有波長の X 線が発生する（**図 1**）。この X 線を蛍光 X 線という。蛍光 X 線分析は、この蛍光 X 線の波長と強度を測定して、発生する波長の種類から定性分析を行い、強度から定量分析を行う。

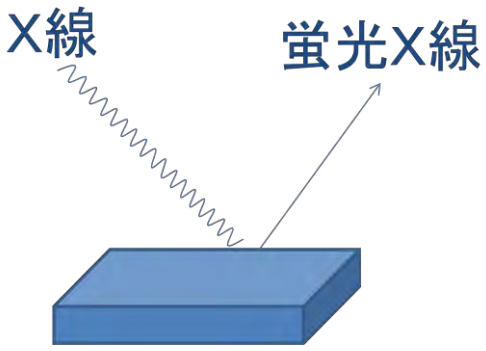


図 1 蛍光 X 線発生の原理

図 2 蛍光 X 線分析装置

2.2　装置

当局で使用している蛍光 X 線装置の外観を図 2 に示す。

装置名：PANalitycal 社製 Epsilon5
測定方式：エネルギー分散型
X 線源：タングステン

2.3　特徴

蛍光 X 線分析では試料表面にX線を照射するため、試料表面の均一さと滑らかさが測定精度を左右する重要な要素である。当局では、固体試料の場合、試料を数 g とり、細かく粉砕してから押し固めて、ディスク状に加工して測定する方法を採用している。前処理を含めて 1 検体 2 時間程度で分析が可能である。

液体試料の場合は、専用のサンプルカップに 5mL 採取して蛍光 X 線分析装置にセットするだけで、1 検体 30 分程度で分析が可能である。分析は非接触で行うため、コンタミネーションがなく、高濃度範囲まで測定が可能である。

3　固体試料の成分試験における精度管理の検討

3.1　検討内容

当局では、蛍光 X 線分析装置を使用して、資源化のための調査検討のため焼却灰の主要成分の割合を測定する成分試験を実施している。平成 21 年度は、焼却灰以外にも水再生センターの施設内で発生した析出物やりん回収実験で採取された固形物などを分析した。

蛍光 X 線分析装置は定期的な校正を必要とするが、感度変化が少ないことや、校正作業には長い時間を要することから、一般に頻繁には校正を行わない。今後、より信頼性の高い測定を行っていくためには、測定の都度、機器の分析精度を確認することが望ましい。そこで、成分濃度が保証された固体標準物質を使用し、より効果的な精度管理を実施していく必要があると考えた。

今回、米国国立標準技術研究所(NIST：National Institute of Standards and Technology)が提供している、成分濃度が保証された標準試料（以下、「NIST 標準試料」という）の活用により、蛍光 X 線分析装置の精度を確認するとともに、精度管理の方法について検討した [7]。この NIST 標準試料を蛍光X線分析装置で測定し、測定値と NIST が保証する値（以下、「保証値」とする）とを比較した。

蛍光 X 線分析では、測定対象以外の成分の影響により蛍光 X 線の発生強度が変化するため、この検討では、様々な NIST 標準試料の中で当局の施設で発生する焼却灰に組成が類似した NIST2691 を使用した。

3.2　検討結果

NIST 標準試料をディスク状に加工して、蛍光 X 線分析装置で 5 回の繰り返し測定をした結果を表 1 に示す。変動係数は、すべての成分で 2%未満であった。保証値に対する測定結果のずれを表す回収率は、当局の焼却灰の主要成分であるケイ素、カルシウム、アルミニウム、鉄、りんなどについて、保証値の概ね 90%から 110%の範囲内であった。

以上から、当局の蛍光 X 線分析装置による、焼却灰の主要成分の分析精度は概ね良好であると確認することができた。

NIST 標準試料を測定するだけで装置の分析精度を確認できるため、今後は焼却灰等の成分試験を行うたびに、NIST 標準試料を活用した効果的な精度管理の方法を導入することとした。

一方で、今回検討した成分の中には、硫黄のように、回収率が 130%を超える成分がある。これら成分の回収率の向上が今後の課題となっている。また、当局の施設に関係する様々な固体試料に対応するためには、NIST2691 以外の標準物質を活用して、さらなる検討を実施していく必要がある。

表 1 NIST 標準試料の測定結果

成分	保証値 %	測定値 %	変動係数 %	回収率 %
SiO_2	36.0	39.2	0.17	108.8
CaO	25.8	25.4	0.16	98.2
Al_2O_3	18.5	17.0	0.49	91.7
Fe_2O_3	6.32	6.47	0.20	102.4
MgO	5.17	4.21	1.00	81.3
SO_3	2.07	2.76	0.40	133.3
TiO_2	1.50	1.42	0.23	94.5
P_2O_5	1.17	1.29	1.17	110.7
K_2O	0.41	0.42	0.20	103.3

4　焼却灰等の含有試験における効率化

4.1　検討内容

焼却灰等の固体試料に含まれる有害金属の微量成分分析を含有試験といい、当局では、焼却灰の含有試験を定期的に実施している。一般に、固体試料の含有試験は、酸分解による煩雑な前処理を行った後、ICP 発光分光分析装置により測定する（以下、「従来法」とする）[8),9)]。そのため、結果を出すのに 2 日間を要することから、資源化に向けた調査検討を効率的に行うことや、悪質排水の流入による焼却灰への影響調査を迅速に行うことなどが課題になっている。

今回の検討では、当局の焼却灰に比較的高い濃度で含まれる重金属であるクロム、銅、亜鉛、マンガンに関して、さまざまな焼却灰を用いて、従来法と蛍光 X 線分析法による測定結果を比較した。

4.2　検討結果

従来法と蛍光 X 線分析法による重金属測定結果の比較を図 3 に示す。両測定結果の比較から、重金属の含有量数十 mg/kg ～ 数千 mg/kg の範囲において、検討したいずれの重金属においても高い相関が得られた。このことから、蛍光 X 線分析装置を用いると、今回検討した濃度範囲において、試料の粉砕、プレスから約 2 時間で含有量の測定ができると考えられた。

ただし、全体的に蛍光 X 線分析の結果が従来法に比べて、若干大きな値を示し、切片も大きな値を示した。これらの原因について、今後さらなる検討を行う必要がある。また、これら以外の重金属類についての適用可能性についても検討していきたい。

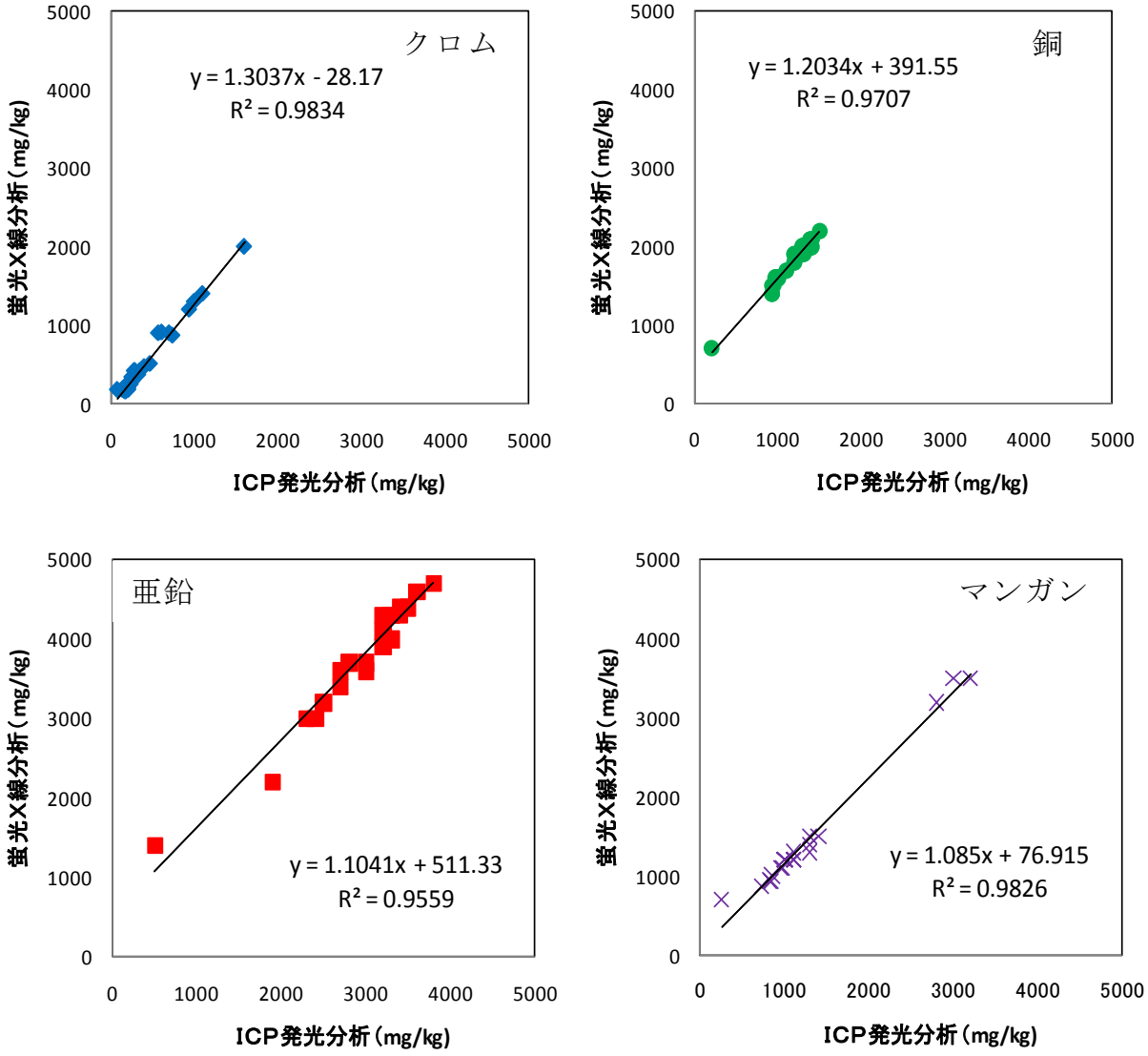


図 3　焼却灰中の重金属測定結果比較

5　液体試料への適用可能性 [6)]

5.1　検討内容

一般に、高濃度の重金属類を含む液体試料を測定する場合、公定法で定められている ICP 質量分析装置などの精密機器のコンタミネーション等を考慮して、試料を適切に希釈して測定を行う必要がある。そのため、安全を勘案して段階的に希釈操作を行い、低い濃度から順に測定しなければならない。この希釈操作に伴う作業量や段階希釈した検体の測定に要する時間の縮減が課題になっている。また、水質事故時には、高濃度の重金属を含む事業場排水を可能な限り迅速に測定し、状況を把握することが求められている。

そこで、コンタミネーションのおそれがなく、高濃度範囲まで迅速に測定が可能な、蛍光 X 線分析装置を公定法における測定試料の希釈倍率の決定や水質事故時の対応に活用できるか検討した。検討では、10mg/L を超える重金属を含む事業場排水を公定法と蛍光 X 線分析装置とで測定し、両測定結果の比較を行った。

5.2　検討結果

10mg/L を超える重金属類を含む事業場排水について、両分析方法から得られた結果の比較を図 4 に示す。その結果、データ数が少ないものの、高い相関があることが示唆された。このことから、蛍光 X 線分析装置により、高濃度の重金属類を含む液体試料の濃度を、迅速に把握することが可能となることが期待できる。

この方法を、事業場排水中の重金属分析時の希釈倍率の決定に活用できれば、分析作業量が軽減され、検査業務の一層の効率化が期待できると考えられる。さらに、特に迅速性が求められる、高濃度の重金属類を含む排水が流入する水質事故時の対応にも蛍光 X 線分析が有効であると考えられる。今後、さらにデータを蓄積し、蛍光X線の事業場排水への適用を検討していきたい。

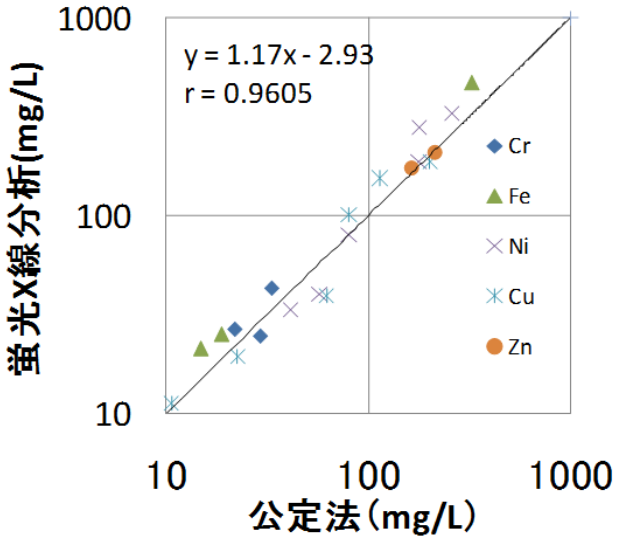


図 4　液体試料の測定結果

6　結論

焼却灰の成分試験に使用してきた蛍光X線分析装置の効果的な活用方法について検討し、以下の知見等が得られた。

(1) NIST 標準試料の測定結果から、焼却灰等の固体試料の主要成分の試験においては、蛍光 X 線分析装置の分析精度は概ね良好であることが確認できた。また、試料の測定前に NIST 標準試料を測定して、分析精度を確認することにより、効果的な精度管理ができると考えられた。

(2) 焼却灰等の固体試料の含有試験について、現在は試料搬入後、結果を出すのに 2 日を要している。焼却灰中に比較的高濃度で含まれる重金属類について、数十 mg/kg～数千 mg/kg の重金属含有量であれば、2 時間に短縮することができ、迅速かつ効率的な対応が可能と考えられた。

(3) 高濃度の重金属類を含む液体試料の測定によって、重金属濃度をあらかじめ把握することで、公定法を行うための段階希釈をする必要がなくなり、検査業務の一層の効率化が期待できる。また、水質事故時の対応のさらなる迅速化が図られるものと考えられる。

7　今後の課題

今後、焼却灰等の固体試料の含有試験に蛍光 X 線分析装置を幅広く活用していく。そのためには、クロムなど当局の焼却灰に比較的多く含まれる物質を含む NIST 標準試料での精度確認を行い、分析精度を確保した検査体制の確立に向けて検討する必要がある。

蛍光Ｘ線分析とＩＣＰ発光分析による重金属測定結果のずれの原因を調査するとともに、様々な重金属類の分析に蛍光Ｘ線による測定データを蓄積する必要がある。

また、事業場排水などの液体試料への蛍光Ｘ線分析の適用についてはデータが不十分であるため、さらなる調査と検討が必要である。

8　参考文献

1) 北出ら：土壌中の鉛含有量の簡易分析方法について、第 11 回地下水・土壌汚染とその防止に関する研究集会、日本地下水学会、日本水環境学会、地盤工学会、土壌環境センター
2) 最近の蛍光 X 線分析技術、岡山県工業技術センター、技術情報 No.472
3) 丸茂ら：小型エネルギー蛍光 X 線分析装置(EDXRF)を用いた汚染土壌地の現場迅速分析事例、X 線の分析の進歩、38、2007、p235-247
4) 東京都環境局：東京都土壌汚染対策指針、平成 15 年 2 月
5) 東京都環境局：土壌汚染調査における簡易分析法採用マニュアル（重金属編）、平成 18 年 3 月
6) 中井ら：蛍光 X 線分析の実際、日本分析化学会 X 線分析研究懇談会　監修
7) 今井：トコトンやさしい計量の本、日本工業新聞社
8) 松本：難溶解性物質の分解法、ぶんせき、2、2002、p60-66
9) 下水試験方法(下巻)1997 年版、社団法人日本下水道協会、p213-227

5-(2)-9　浸漬型有機物濃度計を活用した流入水連続測定法の開発

西部第二下水道事務所　施設課　浮間水質管理係
木下修　○樋口和也　武藤美紀　高岡直之

1　はじめに

浮間水再生センターでは、高濃度有機物の流入が毎年のように発生し処理水質への影響を受けている。事業場からの流出事故の場合は、通報を受けてから高濃度流入水を雨天時貯留池に貯留し、一部を新河岸水再生センターへ送水することで、総量規制値を遵守してきた。しかし状況によっては、通報を受けたときすでに第一沈殿池を通過して反応槽に流入していることもある。また、高濃度有機物の流入・終了を監視するには、現場で採水・パックテストの分析作業を頻繁に行う必要がある。夜間・休日には、運転職員が分析作業も行わなければならないなど、処理水への影響だけでなく作業量増大の課題もある。

このような状況を改善するために、第一沈殿池流入導水渠に「浸漬型有機物濃度計」（図-1）を設置して高濃度有機物の流入を連続して監視する測定法の開発に取り組んだ。連続測定が可能になれば、現場に出向いての測定作業が不要となるだけでなく、貯留や送水の目安となる有機物濃度を事前に設定しておけば、昼夜、休祭日を問わず測定値に基づいて貯留や送水を遅延なく、確実に行えることで、処理水質への影響防止や分析作業の省力化が期待できる。

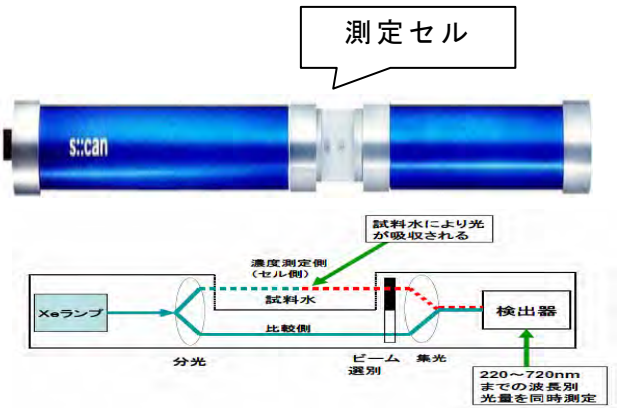


図-1　浸漬型有機物濃度計の構成

2　調査目的

本研究は、浸漬型有機物濃度計を当センターの第一沈殿池流入導水渠に設置して、連続測定条件下による測定の精度と安全性、および測定精度を保つためのメンテナンス手法、頻度を明らかにして下水道施設での実用化を図ることを目的に実施した。

実用化を確立したうえで、測定値に基づき異常な高濃度流入水があった場合に貯留するか、反応槽へ送るかを判断するシステムについても検討する。

図-2　設置状況

3　調査期間・場所

調査期間：

平成 20 年 2 月 21 日～平成 21 年 3 月 31 日

調査場所：

浮間水再生センター

北側施設　第一沈殿池流入導水渠（図-2）

4　技術内容

有機物は紫外線を吸収するため、有機物濃度と紫外線吸収量の関係をあらかじめ把握しておけば、紫外線吸収量から有機物濃度を推定することができる。有機物濃度の連続測定は難しいが、紫外線吸収量は連続測定が可能なことから、紫外線吸収量の連続測定で有機物濃度の連続測定が可能となる。ただし、有機物の内容により紫外線吸収の程度が変わるため、測定しようとする有機物（センター流入水）ごとに両者の関係を事前の測定で把握しておく必要がある。

5　調査概要

(1)手分析値と浸漬型有機物濃度計測定値の相関関係が 0.8 以上であること。

(2)測定精度を維持するための手動メンテナンス頻度が月 1 回程度に収まるような自動洗浄パターンを明らかにする。

(3)流入水質が異常な高濃度であるかどうかを浸漬型有機物濃度計の連続測定パターンから推定し、貯留するか反応槽に入れるかを自動で判断するシステムを検討する。

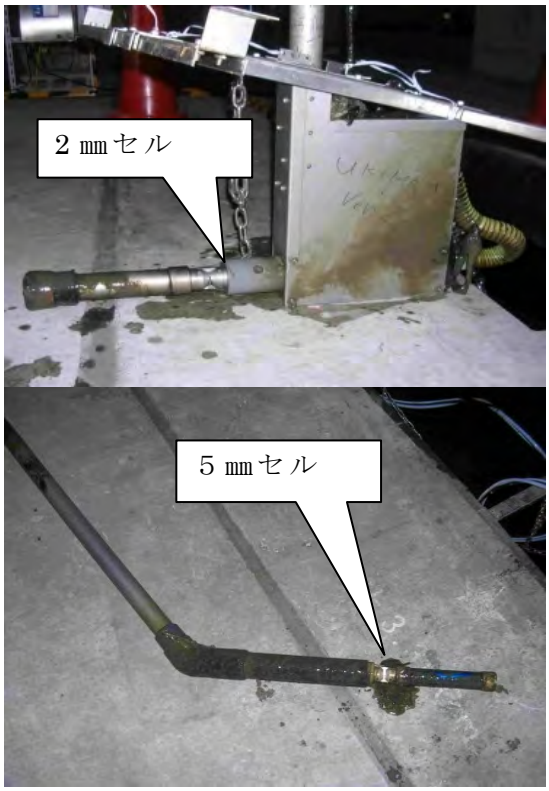


図-3　　浸漬型測定器 2 種

6　調査結果

6.1　測定精度

手分析値と浸漬型測定器 2 種（セル幅 2mm、5mm）（図-3）の測定値との相関関係を調べた。セル幅 2mm の測定器では図-4 のように 1 週間程度ではセル部分への汚れなどの付着もなく相関関係は良好である。

しかし、図-5 に示すように 3 週間程度経過すると汚れの付着などに起因していると思われる測定差が生じることで相関関係が悪化している。

一方、セル幅 5mm の測定器は、図-6 のように 4 週間程度経過しても良好な相関関係を維持していることがわかる。

以上のことから、セル幅 5mm の測定器は、測定精度として相関係数 0.8 以上の目標を達成し、月 1 回程度の手洗浄で良好な結果を得ることが確認された。検出セル幅として 2mm、5mm の 2 種類を検討したが、5mm 幅セルの方が長期間安定した測定が可能であった。

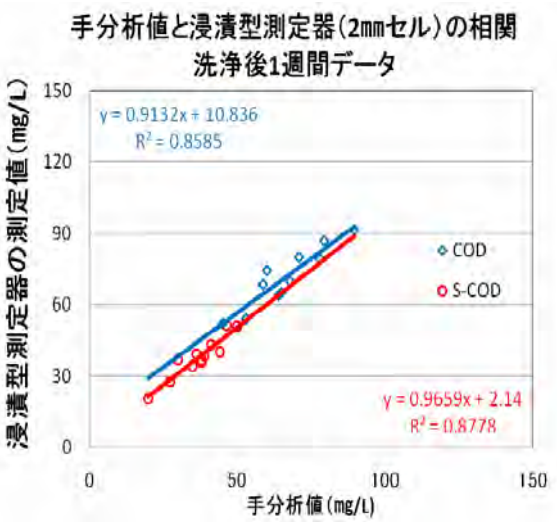


図-4　2 mmセル洗浄後 1 週間

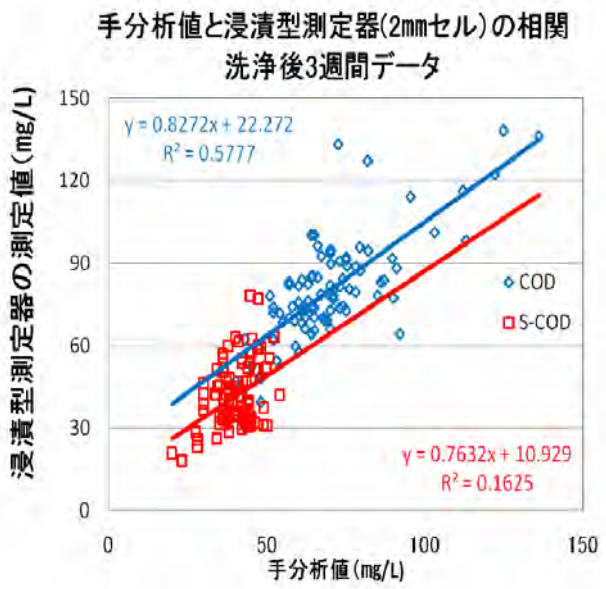


図-5　2㎜セル洗浄後3週間

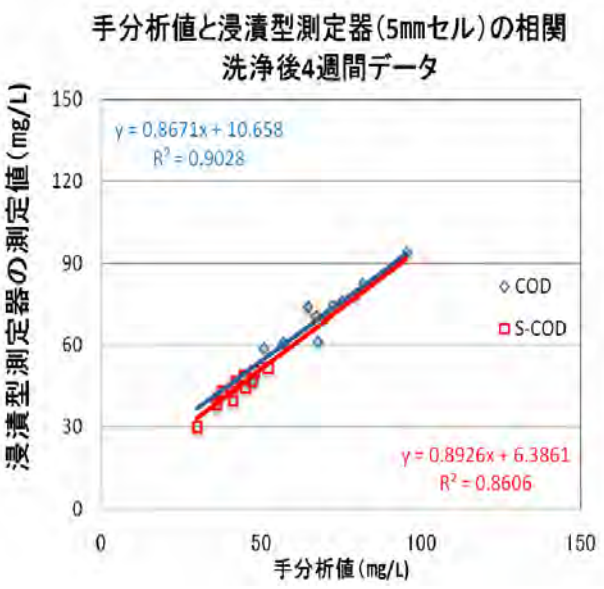


図-6　5㎜セル洗浄後4週間

5㎜幅セルの測定が安定している理由として、自動洗浄内容の違いが考えられる。自動洗浄は、紫外線光路の光学窓に洗浄空気等を吹き付けることで行っているが、浸漬型測定器2㎜幅セルと5㎜幅セルでは、内容が若干異なっている。図-7は、自動洗浄の模式図であるが、2㎜セルでは、1つの洗浄ノズルで対向する2つの光学窓の間に気泡を通過させる構造になっているのに対して、5㎜セルではそれぞれの光学窓に対して2つの洗浄ノズルがそれぞれ個別に配置され光学窓に直接吹き付ける方式になっているため、5㎜セルの方が洗浄効果が高いと考えられる。

6.2　最適自動洗浄方式の検討

溶解性COD測定値を指標として、圧縮空気、水洗浄（処理水・蒸留水）、薬液洗浄（次亜塩素酸ナトリウム0.5%・希塩酸2%）の各洗浄方法について自動洗浄方法の違いによる効果を比較した。結果を図-8に示す。

圧縮空気によるこまめな洗浄が最も効果が高いことが判明した。純水や薬剤を使用する方法は、薬剤貯留タンクの容量や薬剤の水質への影響を考えると、こまめな洗浄間隔を設定することが難しく、洗浄効果の低い理由と思われる。

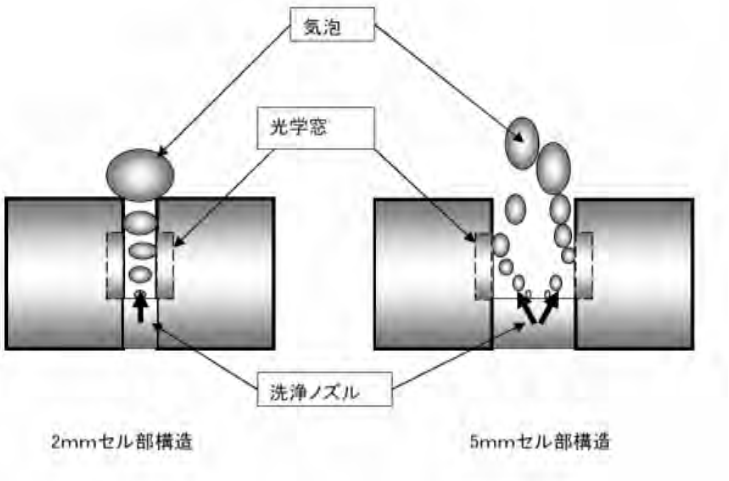


図-7　測定セル部の洗浄方法

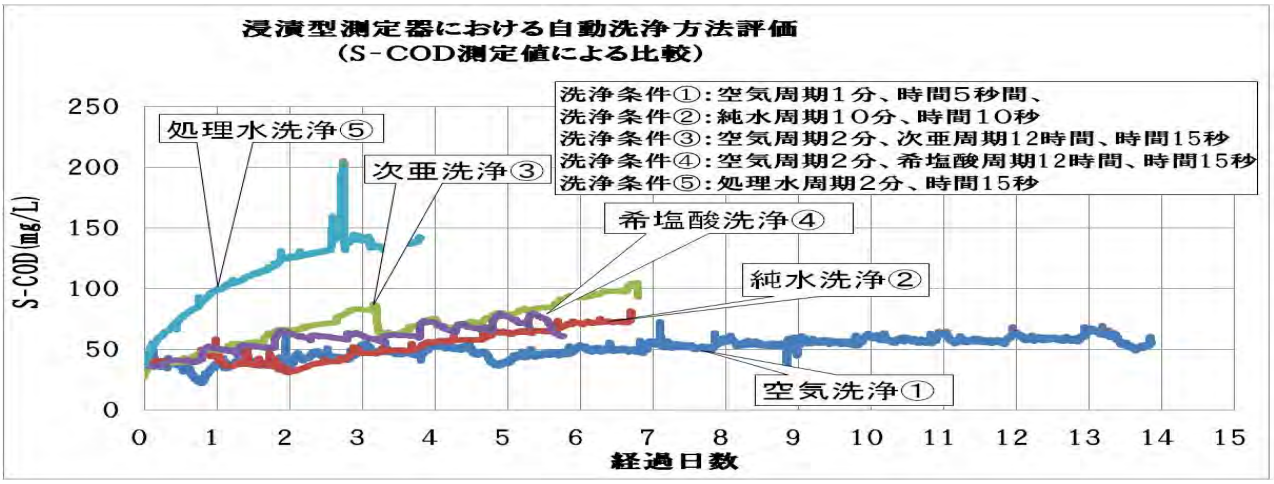


図-8　浸漬型測定器の自走洗浄方法評価

効果の最も高かった圧縮空気を用いた方法について、さらに洗浄圧・洗浄時間・洗浄間隔を変更した検討を行い（図-9)、洗浄条件①の洗浄圧 5 kg/cm ^{2}、洗浄間隔 5 秒間/分が最も効果的であることを確認した。

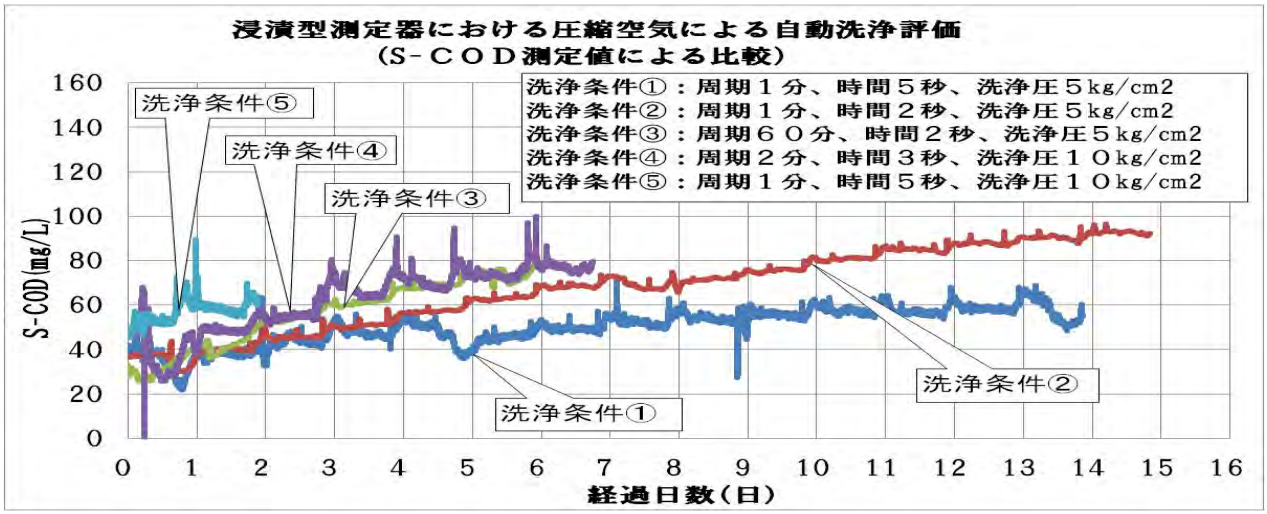


図-9　圧縮空気による自動洗浄評価

6.3 判断システムの開発

本研究においてシステム完成時のイメージを図-10 に示す。

測定器は第一沈殿池流入導水渠に直接設置し、有機物等の測定結果は現場及び中央監視に常時表示する。貯留を必要とする濃度に達した場合は直ちに警報を発し、その後、濃度の上昇傾向を画面上で確認し貯留の必要性を判断する。このようなシステム開発の研究をはじめたが、調査期間中に高濃度有機物流入の原因と思われる事業場等の移転や水質規制の徹底による排出水の水質が改善されたことにより、異常流入水の現象が終息し、調査期間中に高濃度流入水がなく判断システム部分の開発は途中で中止した。

7　まとめ

流入水を連続測定することで高濃度有機物の流入を早期に検知して処理水への影響を未然に防ぐ手法を検討し、以下の結論を得た。

(1) 測定精度を維持するには、セル長 2 ㎜の測定器で週 1 回程度、5 ㎜測定器で月 1 回程度の手洗浄等のメンテナンスが必要である。

(2) メンテナンス実施時に校正を行うことでより精度の高い測定をあうことができる。

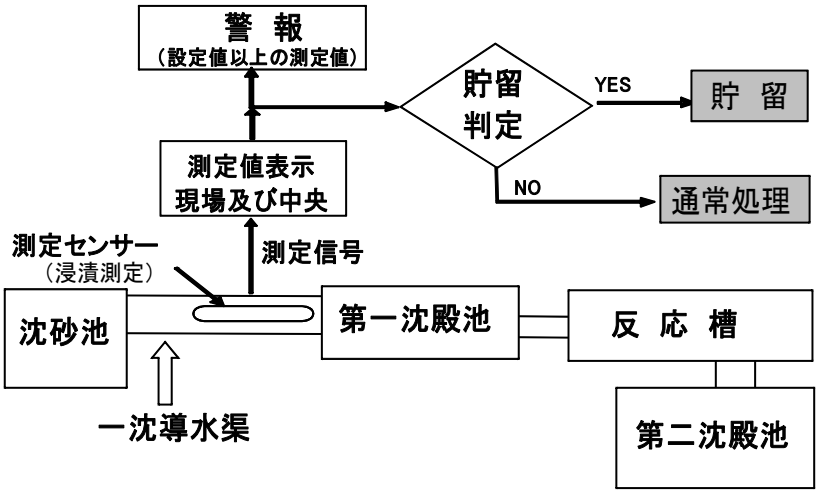


図-10　システム完成イメージ

(3) 浸漬型有機物濃度計は、メンテナンス・洗浄・校正を定期的に行うことで、良好な結果を得ることが可能であり、調査結果からセル長 5 ㎜の測定器が有利である。

(4) イニシャルコストは、メンテナンスを含めて 2 ㎜セルは約 400 万円/年、5 ㎜セルは約 280 万円/年程度必要になる。

(5) 高濃度 COD の流入がなかったことから、検証のため高濃度廃液（COD 約 200 ㎎/L）を作成して測定を行った結果、2 ㎜・5 ㎜ともに良好な結果を得ることができた。

今回の調査結果をふまえて、本装置の活用範囲として降雨初期流入水や簡易放流水の連続測定から、雨天時の BOD 負荷量の推定に利用することが考えられる。それにより効果的な合流改善の評価に活用できる可能性がある。ただし、実際に適用する場合は、さらなる検証が必要である。

5-(2)-10　硫化物が嫌気処理に与える影響について

中部下水道事務所　芝浦水再生センター　水質管理係
○長　健太、山本　央、太田裕誌、石井　英俊

1　概要

下水中の硫化物は､還元性物質として酸素を消費し反応槽での必要空気量を増加させる一方、嫌気条件下で行われる脱窒やりんの吐き出しを速めるという効果もある。本研究では、特に脱窒に関して硫化物や有機物の影響を調査するため、反応槽出口の混合液を密閉し嫌気条件として脱窒状況を測定した。脱窒が行われている間、ORP は-150 mV 前後であり、脱窒前後に比べ緩やかに低下した。硝酸の存在下では硝酸脱窒が亜硝酸脱窒より優先される傾向があり、亜硝酸の一時的な増加もみられた。一方、今回の実験では、硫化物が脱窒の進行を速やかにする効果は特に認められなかった。

2　背景と目的

芝浦水再生センター（以下芝セ）が抱える課題の一つに、窒素の処理があげられる。都心である処理区内での活発な再開発に伴って流入全窒素濃度が年々増加しているのに対し、処理施設が高度処理に対応しておらず、窒素処理については常に厳しい状態が続いている。窒素処理を向上させるためには、硝化と脱窒の両段階がともに促進されるような運転を行っていく必要がある。

一方芝セでは、第一沈殿池の一部として高速ろ過を利用している。この高速ろ過について、処理の過程で硫化水素が発生していることが確認されている。下水中の溶存硫化物は、還元性物質として下水中の酸素を消費し反応槽での必要空気量を増加させるという悪影響がある一方、嫌気処理においては ORP を低下させ脱窒やりんの吐き出しを速やかにする効果があることが、沈殿下水と返送汚泥の混合液に硫化ナトリウムを添加した実験によって確かめられている。

本研究では、特に嫌気条件下での脱窒に着目し、硫化物や有機物が嫌気処理に与える影響や亜硝酸と硝酸の脱窒状況の違いなどについて調査を行った。

3　実験手法

芝セ浅槽系反応槽 2 号池の最終回路出口混合液を採水し、図１のように密閉フラスコに満たし、マグネチックスターラーによって攪拌した。サンプリングロをシリコン栓で密閉し、フラスコ内を嫌気状態に保った。ORP メーターによって ORP を測定し、サンプリングロから試薬の添加と混合液の採取を行った。採取した分の混合液は同じ混合液を入れた三角フラスコから補充されるようにし、密閉フラスコ内の嫌気状態を保った。採取した混合液は 5A ろ紙でろ過してから NO_2-N と NO_3-N の分析を行った。

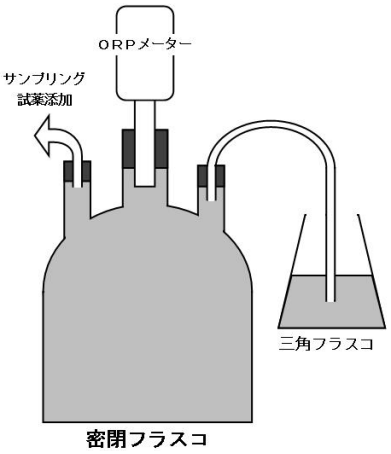


図 1　実験装置

4　実験結果

4.1　硫化物・有機物の添加

まず、硫化物と有機物の脱窒への影響を調べた。

結果を図 2 に示した。硫化物を添加したところ、ORP は添加から 5 分ほどで-150 mV 付近にまで低下したが、その後徐々に上昇し、-100 mV 付近で安定した。硝酸性窒素は徐々に減少し、亜硝酸性窒素が若干検出された。一方有機物を添加したところ、硝酸性窒素は急激に減少し、添加後 30 分でほとんど 0 になった。しかし、亜硝酸性窒素が一時検出され、亜硝酸が完全に無くなるまでにはさらに一時間以上を要した。亜硝酸性窒素が存在している間、ORP は-130 mV 付近で一時安定したが、亜硝酸性窒素が無くなると再び低下した。

速やかな脱窒には硫化物よりも有機物のほうが効果的であった。硝酸は速やかに亜硝酸へと変換される一方、亜硝酸の脱窒は硝酸に比べ遅く、特に硝酸存在下でその傾向が顕著であった。

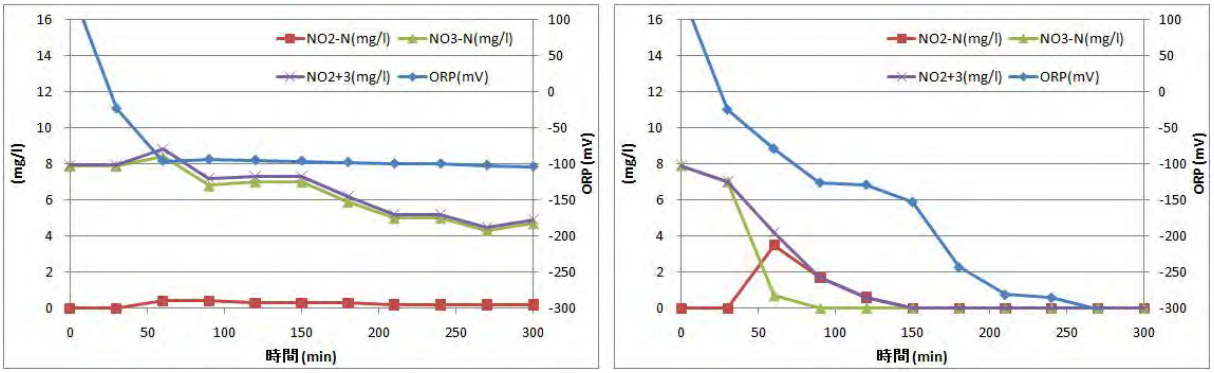


図 2　硫化物・有機物の添加
左：30 分後 Na_2S 10 mg-S/l 添加
右：30 分後 CH_3COONa 100 mg /l 添加
NO2+3：NO_2-N と NO_3-N の合計（以下同じ）

4.2　硫化物の影響

有機物存在下での硫化物の影響を調べた。

結果を図 3 に示した。4.1 での硫化物添加時と同様に、硫化物の添加直後に ORP が一時-150 mV 付近にまで低下したが、その後徐々に上昇し、硫化物無添加との差異は認められなくなった。硝酸性窒素・亜硝酸性窒素は 4.1 での有機物添加時と同様の傾向を示し、硝酸性窒素が実験開始直後から急激に減少した一方、亜硝酸性窒素は無くなるまで時間を要した。ORP の低下は亜硝酸性窒素の減少が終わると加速した。

硫化物の影響は特に認められなかった。また 4.1 と同様に亜硝酸の蓄積が見られ、硝酸存在下で亜硝酸の脱窒が遅くなった。

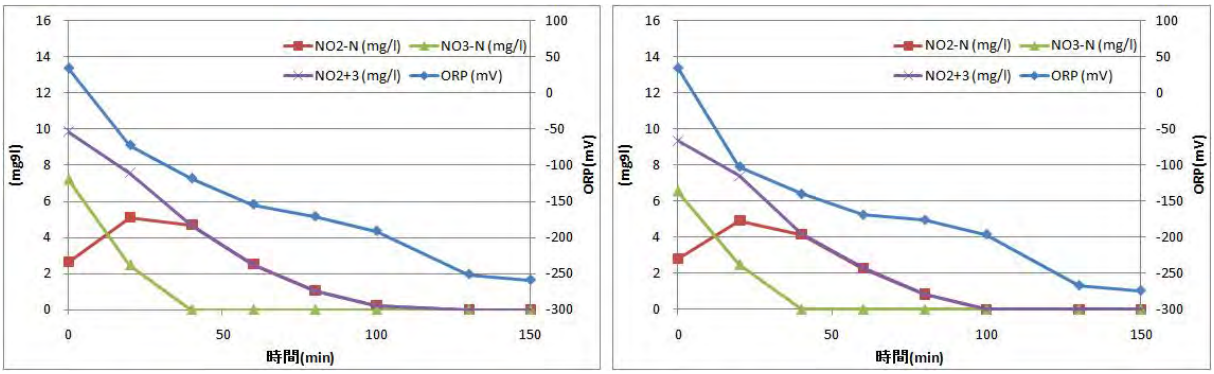


図 3　硫化物の影響
左：開始時 CH_3COONa 10 mg/l 添加
右：開始時 CH_3COONa 10 mg/l と Na_2S 5 mg-S/l 添加

4.3　硝酸脱窒と亜硝酸脱窒の違い

次に硝酸と亜硝酸とで脱窒状況に差異が生じるかを調べた。

結果を図 4 に示した。亜硝酸を添加した方は、実験開始後 60 min 前後から硝酸性窒素が減少し始め、140 min 前後で 0 になった。亜硝酸性窒素は少し遅れて 100 min ごろから減少をはじめ、240 min ごろ完全に消費された。ORP の低下は硝酸性窒素が減少する少し前から始まり、亜硝酸性窒素が無くなるにつれて速くなった。一方硝酸を添加した方は、100 min ごろから硝酸の減少が始まり、200 min ごろ完全に消費された。亜硝酸性窒素は硝酸性窒素の減少とともに増加し、硝酸性窒素が無くなると急激に減少した。ORP は-150 mV まで徐々に低下し、脱窒が終わると低下速度が上がった。

4.2 と同様に、硝酸存在下では亜硝酸の脱窒速度は硝酸に比べ遅かった。一方、硝酸の脱窒が完了した後は、亜硝酸は速やかに脱窒された。

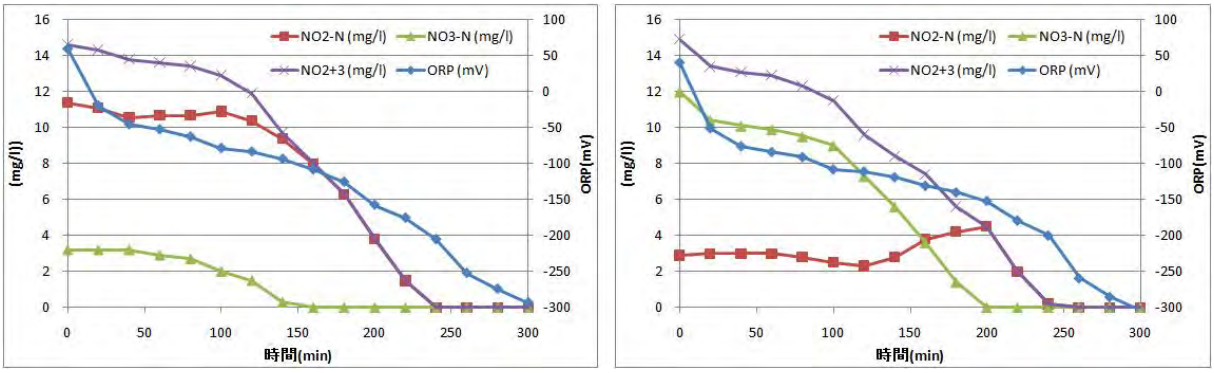


図 4　硝酸脱窒と亜硝酸脱窒の違い
左：開始時 CH_3COONa 10 mg/l と $NaNO_2$ 8 mg-N/l 添加
右：開始時 CH_3COONa 10 mg/l と KNO_3 8 mg-N/l 添加

4.4　返送汚泥と沈殿下水の混合

高段流入水をしばらく静置し、上澄みを返送汚泥と水量比１：１で混合して実験に供した。沈殿下水を用いなかったのは、第一沈殿池でも硫化水素が発生している可能性があるからである。

結果を図 5 に示した。硝酸性窒素は実験開始直後から減少をはじめ、100 min ごろに完全に消費された。亜硝酸性窒素については、双方ともにわずかに検出されたが、硫化物を添加した方で若干多いようであった。そのため硫化物を添加した方が脱窒が遅いように見えるが、この差が有意であるかは分からない。ORP は-150 mV 前後で安定しており、硝酸性窒素が無くなった後に減少した。硫化物を添加した方が ORP の低下が若干早く始まった。

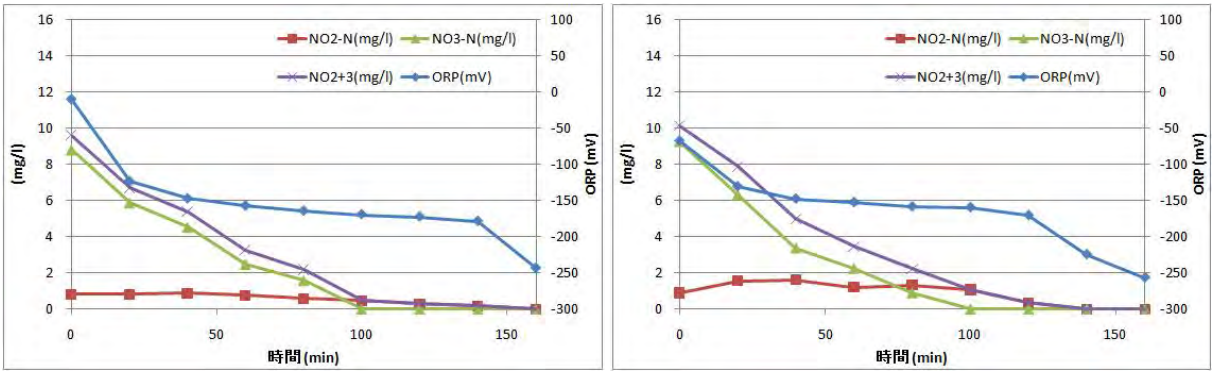


図 5　返送汚泥と沈殿下水の混合
左：開始時 KNO_3 8 mg-N/l 添加
右：開始時 KNO_3 8 mg-N/l と Na_2S 10 mg-S/l 添加

5　考察・まとめ

今回の実験では以下のようなことが分かった。

- 脱窒反応中の ORP は-150 mV 前後で、その前後に比べ低下速度は緩やかだった。
- 硝酸が存在している間は硝酸脱窒（$NO_2 \rightarrow NO_3$）が亜硝酸脱窒より優先される傾向があり、そのため亜硝酸が一時的に増加することもあった。
- 今回の実験では硫化物が脱窒の進行を速やかにする効果は特に認められなかった。

今回の実験では、硫化物の脱窒への影響を確認することはできなかった。4.4 で亜硝酸の若干の蓄積が見られるが、実施設よりかなり高い濃度の硝酸が添加されていることから、実施設での硫化物の影響を考えるためにはさらなる検証が必要である。

今回の実験では亜硝酸が比較的残存しやすいことが分かった。一般的に亜硝酸は生物処理に悪影響を与えるとされている。芝セ全処理水量の半分を占める深槽反応槽では硝化が進みにくく、また亜硝酸型硝化になりやすい。亜硝酸型硝化と脱窒との関連などについて調査していきたい。

また、今回は脱窒に注目したが、脱窒にひき続いて起きるりんの吐き出しについても調査を進め、硫化物が反応槽に与える影響についてさらに検証していく必要があると考える。

5-(2)-11　芝浦水再生センターにおける亜硝酸型硝化の発生原因に関する検討

中部下水道事務所　芝浦水再生センター　水質管理係
○山本　央、吉野喜春、太田裕誌、長　健太、竹尾義久、大江修平、石井英俊

1　はじめに

芝浦水再生センター（以下、「芝セ」）では、処理区内における都市開発や近年の人口流入に伴って流入下水中の全窒素濃度が年々増加する傾向となっている。一方で、芝セの水処理施設は高濃度の窒素除去を想定した施設として作られていないことから、処理系統によっては水処理の悪化が恒常的に見られ、放流水質中における窒素濃度の上昇が起こりやすい状況となっている。特に処理の大部分を担う本系処理施設では、年間を通して亜硝酸型の硝化が繰り返されており、窒素濃度の低減化を阻む一因となっている。亜硝酸型の硝化が発生する原因として、水温の低下、DO（溶存酸素）不足、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素、有機物負荷、硫化物等の存在が挙げられ、これら相互の働きによって引き起こされる硝化細菌のアンバランスが原因と考えられている。実施設でたびたび見られる亜硝酸型の硝化を実験室内において再現することは、処理施設特有の構造上の問題や実験方法等の面から難しく、詳細についてはこれまで明らかにされていない。そこで、本調査では芝セにおける安定的な窒素除去対策を進めるために、亜硝酸型硝化を引き起こす原因について検討を行った。

2　方法

2.1　実験条件

本調査は全てバッチ式のテーブル実験によって行った。実験には 5L のプラスチックビーカーを用い、年間を通じて硝化状況が良好な東系の返送汚泥 1L と東系の反応槽流入水（または二次処理水）4L を合わせた溶液を混合液として調製した。

検討した実験条件を表 1 に示した。アンモニア性窒素（以下、「NH_4-N」）と亜硝酸性窒素（以下、「NO_2-N」）による硝化への影響については、混合液中において各成分の濃度が一定となるよう試薬を連続的に添加して調整しながら曝気・撹拌を行った。硫化物と有機物負荷の影響については、予め NH_4-N を 30～50mg/L 添加した混合液にそれぞれ硫化ナトリウム及びスクロースを所定の濃度で添加して曝気を行った。さらに、芝セの処理状況を考慮し、硝化が継続的に抑制される運転が亜硝酸型硝化に与える影響について検討を行っ

表 1　検討した内容と実験条件

検討項目	添加濃度	方法	曝気時間	空気倍率	DO 目標値
アンモニア性窒素	30～90mgN/L	継続添加	7 時間	4～5 倍	－
亜硝酸性窒素	10～70mgN/L	継続添加	10 時間	4～5 倍	－
硫化物	0.2～20mgS/L	初期添加	4 時間	4～5 倍	－
有機物負荷[a]	100, 200mg/L[a]	初期添加	4 時間	2 倍, 5 倍	低 DO: 0.1- 0.2mg/L 高 DO: 0.4mg/L 以上
硝化抑制	－	4 時間×6 サイクル[b]		1～2 倍	0.1mg/L 以下

[a]COD で 80mg/L および 160mg/L に相当。
[b]1 サイクルは 1 回の曝気終了後に汚泥を沈降させ上澄み交換を行う過程を示す。

た。硝化の抑制効果に関する実験は、4 時間を 1 サイクルとして低風量（送風倍率で 1 倍程度、DO で 0.1mg/L 前後を想定）による硝化の進行を抑えた曝気運転を行った。4 時間経過後に曝気と撹拌を停止して二沈を想定した汚泥の沈殿と上澄み液の交換、汚泥の引き抜きを行った後に再度処理を繰り返した。各サイクルで操作を行った後に活性汚泥を再度沈殿させて上澄み液の交換を行い、NH_4-N を 30～40mg/L 添加して十分な空気量で曝気を行って硝化の進行を確認することで硝化能力を評価した。なお、実験は全て室温において行った。

2.2 試料調製及び分析

曝気を行った混合液の一部を 0.8μm のフィルターシリンジを用いてろ過し、NH_4-N の測定用試料とした。また、そのうち一部は 0.2μm のフィルターでさらにろ過を行い NO_2-N と硝酸性窒素（以下「NO_3-N」）の測定用試料とした。NH_4-N は電量滴定式のアンモニアメーター（MT-1:セントラル科学社製）、NO_2-N と NO_3-N についてはイオンクロマトグラフ（Dionex 社製）により測定を行った。その他の水質成分として DO、pH、MLSS、溶存硫化物、溶解性 COD、酸素利用速度（Rr、ATU-Rr）を下水試験方法等に準拠して行った。

3 結果及び考察

3.1 アンモニア性窒素の影響

NH_4-N の添加濃度は現在の流入水レベル、冬季の濃度レベル、さらに今後継続的な濃度増が見込まれる場合を考慮して 30～90mg/L とした。

図 1 に NH_4-N 添加濃度段階別の硝化状況を示した。時間経過に伴って NO_2-N 及び NO_3-N ともに徐々に増加する傾向を示したが、添加濃度の違いによる差は見られなかった。NH_4-N 無添加（初期 NH_4-N: 10.9mg/L、継続添加なし）では、NO_2-N にやや増加が見られたが NH_4-N の減少とともに NO_3-N への移行が進んでおり、他の高濃度添加条件についても硝化によって NH_4-N 濃度が低下することで同様な傾向を示すと考えられた。このことから、アンモニア性窒素そのものが高いことで亜硝酸型硝化が引き起こされることはないと考えられた。

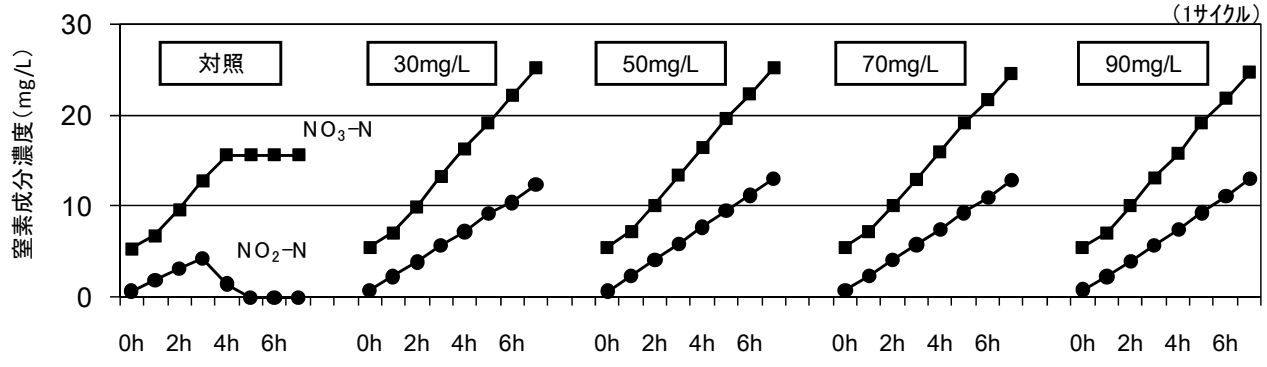


図 1 アンモニア性窒素の硝化への影響

3.2 亜硝酸性窒素の影響

図 2 に異なる濃度の NO_2-N を添加して硝化を進めた時に生成される NO_3-N 濃度の変化を示した（原水中に含まれる NH_4-N から生成する NO_2-N の影響を除くために ATU を予め混合液に添加）。NO_2-N の添加濃度に依存して曝気開始直後から硝化の進行度に差が見られた。NO_3-N の生成速度で見ると、10mg/L 添加時で 4mgN/gMLSS/h、70mg/L では

1.5mgN/gMLSS/h まで低下した。芝セ（東系）の平均的な NO_3-N 生成速度（3～5mgN/gMLSS/h）から見ると、10～30mg/L 程度の NO_2-N による硝化への短期的な影響はないと考えられる。一方で NO_2-N を 50～70mg/L 添加したケースでは、Rr や硝化速度の低

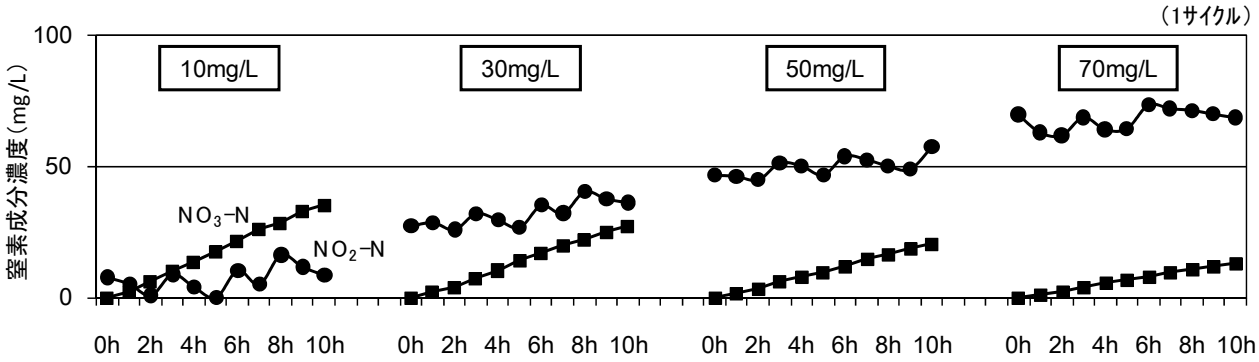


図 2　亜硝酸性窒素の硝化への影響

下が顕著に起こっており、有機物酸化細菌と硝化細菌のいずれに対しても悪影響を及ぼすことが確認された。

3.3　硫化物の影響

図 3 に硫化物添加時の硝化における窒素成分の変化を示した（初期 NH_4-N: 50mg/L）。無添加と 0.2mgS/L 添加のケースでは差が見られなかった。2mgS/L では NO_3-N の生成がやや緩やかとなり、その結果 NO_2-N の蓄積が確認された。他の条件と比較して 20mgS/L で NO_2-N の生成が遅れて始まったのは硫化物の毒性によると考えられ、その後 NO_2-N 濃度は徐々に増加したのに対し、NO_3-N の濃度に増加は見られなかった。20mgS/L を添加した混合液中の曝気開始から 1 時間後に溶存硫化物が検出されなかったことや、上澄み液を交換して再度曝気しても同様に NO_2-N の蓄積が見られたことから、溶存硫化物は短時間で活性汚泥の硝化能力を低下させ、特に NO_3-N の発生に関与する細菌の働きを抑制する効果があると考えられた。また、曝気を進めることで NO_2-N は徐々に増加し、最大で窒素成分全体（NH_4-N + NO_2-N + NO_3-N）の 33%を占めた。

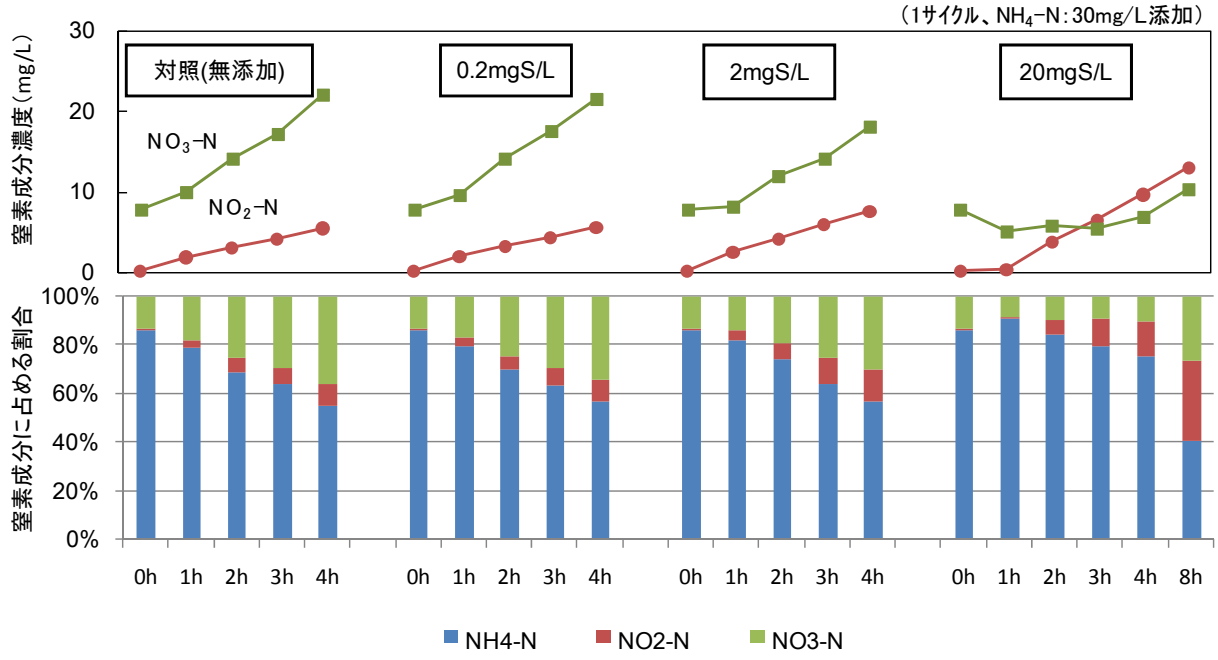


図 3　溶存硫化物が硝化に与える影響

図 4 に溶存硫化物を低濃度範囲で添加した際の硝化への影響を示した。1 サイクルでは 0.2mgS/L では影響がほとんど見られず 2mgS/L でも影響は小さかったが、サイクル数の増加と伴って徐々に NO2-N の蓄積が確認され、0.2mgS/L の添加濃度でも亜硝酸型硝化に移行していくことが確認された。H21 年度の調査では、センターの第一沈殿池出口で 3～9mgS/L の溶存硫化物が検出されており、同様な濃度レベルであっても反応槽への長期間の流入があった場合亜硝酸型硝化の一因になり得ると考えられた。

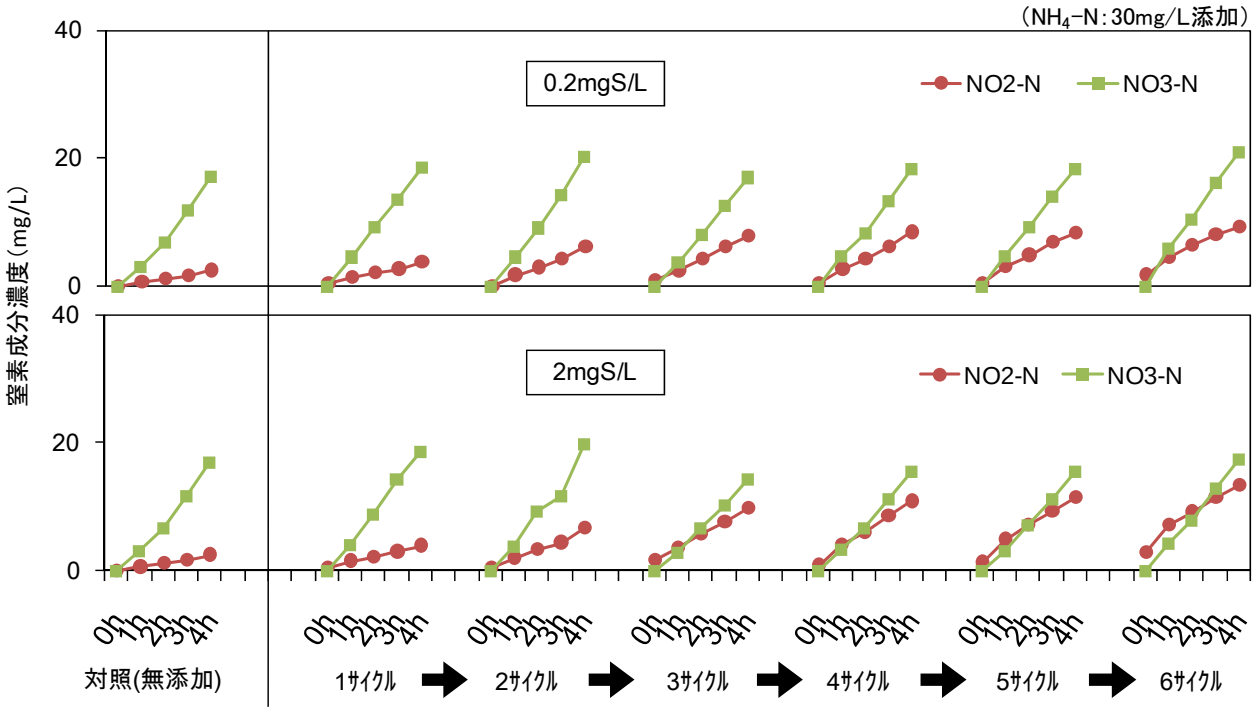


図 4　溶存硫化物の長時間暴露による影響

3.4　硝化抑制運転による影響

亜硝酸型の硝化が起こりやすい処理の特徴として、流入下水量の変動等による好気時間の相対的な不足、流入水の有機物濃度の上昇やそれに伴う DO の低下が挙げられる。モデル物質としてスクロースを用いてこれらの影響を調べた結果、有機物負荷が低い場合には十分な空気量で曝気を行うことによって良好に硝化が進む一方、DO が低い場合や有機物負荷が高まる条件では硝化速度の低下や硝化開始の遅れが生じる傾向が見られた。本系処理施設はこれに類似した状況に曝されており、NH_4-N や NO_2-N が残存する処理が連続的に行われることが、硝化に及ぼす影響について検討した。

図 5 に硝化を抑制しながら処理を行った時の各窒素成分の割合を示した（平均的な運転実施時の NH_4-N は開始時が 30mg/L、処理終了時が 28mg/L、溶解性 COD は同様に 28mg/L から 16mg/L に低下）。硝化が良好な通常の東系汚泥（対照汚泥）では、6 時間程度で NH_4-N が NO_3-N に完全硝化する一方、2 サイクル経過の汚泥ではやや硝化の進みに遅れが見られた。4 サイクル経過の汚泥では、NO_2-N の濃度に増加が見られ、6 サイクルでは NO_2-N の窒素成分全体（NH_4-N + NO_2-N + NO_3-N）に占める割合が 40%を占めた。また、実際の水処理運転を考慮した汚泥の引き抜き（曝気 24 時間に対し 2 割相当：SRT5 日）の有無による硝化への影響に差は見られなかったことから、継続的な硝化の抑制が硝化細菌のバラン

スを崩す一因になることが確認された。一方、送風倍率を 5 倍程度に設定した運転で汚泥引き抜きの有無を比較したところ、引き抜きありの条件において NO2-N の蓄積が確認された。

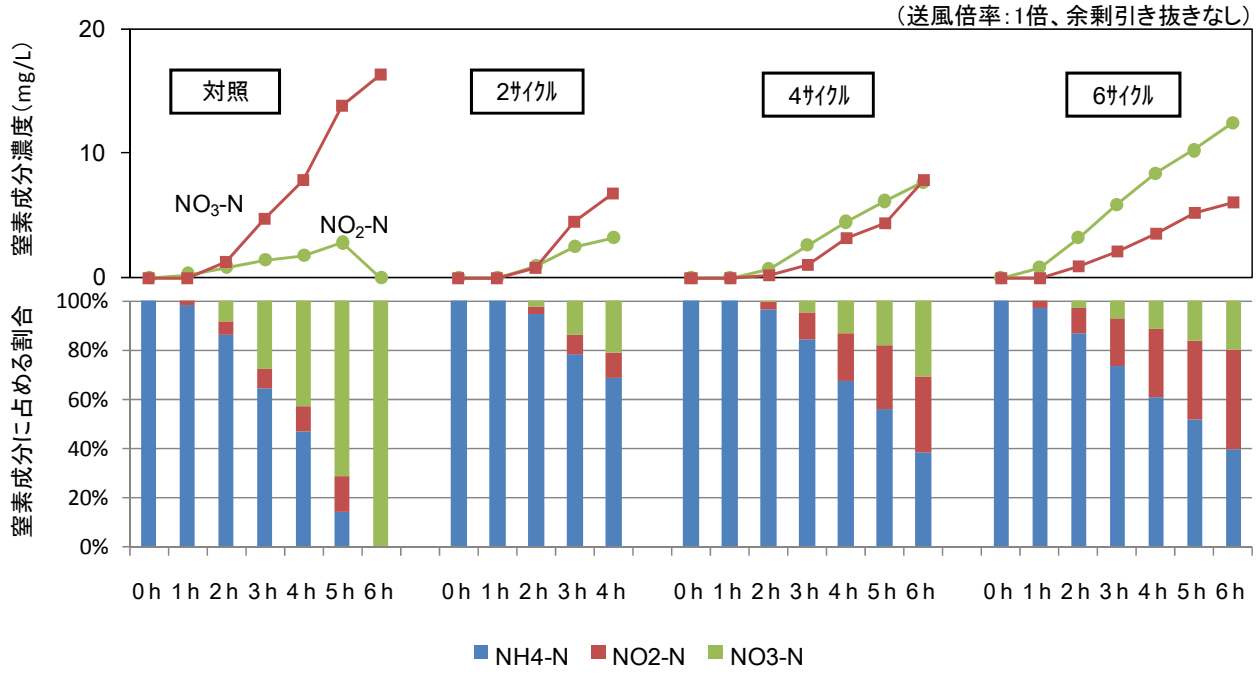


図 5　低風量の連続運転による硝化への影響

表 2 にセンターの処理施設と今回の実験から得られた硝化速度の比較を示した。汚泥性状が良好な東系では、流入下水中のアンモニア性窒素濃度の高低にかかわらず、NO_3-N の生成速度が NO_2-N を途中で逆転して完全硝化に至る。一方で亜硝酸型の硝化が起こりやすい深槽東や今回実験から得られた硫化物添加や硝化抑制のケースでは、処理開始直後から NO_3-N の生成速度が低く、好気時間を長くしてもこの状態が継続する。そこで、各実験の結果を亜硝酸型硝化の大きさとして表わすために、NH4-N から NO2-N に変化する時の硝化速度と NO2-N から NO3-N へ変化する時の硝化速度をそれぞれ求め、その差を見ることで亜硝酸型硝化の大きさを比較した。

表 2　芝セの処理施設と実験で得られた硝化速度の比較

(mgN/gMLSS/h)

	芝セ(東系[a])		芝セ(東系[b])		芝セ(深槽		硫化物 20mg/L		硝化抑制[c]	
時間(h)	NO_2-N	NO_3-N	NO_2-N	NO_3-N	NO_2-N	NO_3-N	NO_2-N	NO_3-N	NO_2-N	NO_3-N
1	2.7	1.5	1.0	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	4.1	2.8	3.9	3.5	3.6	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0
3	4.3	3.2	5.0	4.0	5.0	0.3	4.2	0.9	3.3	1.0
4	0.0	2.8	5.6	4.4	3.8	0.0	2.2	0.0	4.0	1.3
5	0.0	0.0	4.6	3.8	4.2	1.5	4.7	1.6	3.9	1.4
6	0.0	0.0	3.2	5.0	5.0	0.7	—	—	3.6	1.7
7	0.0	0.0	0.4	2.5	4.2	0.6	—	—	3.0	0.8

[a] 開始時のアンモニア性窒素濃度：10.9mg/L、8/18 に調査実施
[b] 開始時のアンモニア性窒素濃度：22.1mg/L、5/12 に調査実施
[c] 6 サイクル終了時

3.5　硝化速度の差による各要因の影響度比較

図 6 に各要因の影響度を示した（サイクルと記載のない場合は全て 1 サイクルを示す）。

溶存硫化物による影響は相対的に大きく、送風倍率の低い運転の継続も同様に亜硝酸型硝化を顕著に誘発する大きな要因であることがわかる。一方で芝浦水再生センターの実施設で恒常的に見られる亜硝酸型の硝化は、こうした単独の要因の値と比べてさらに大きい値であることが確認された。今回実施した実験は最長で 6 サイクル（4 時間×6＝24 時間）の連続運転であり、実施設では数日から 1 週間近い単位で今回の実験条件と同様な処理条件が続くことや、各要因の相加効果などが実施設で高い値が見られる原因と考えられる。

また、本実験の結果から亜硝酸型硝化を引き起こさずに硝化を進める条件としては、硝化速度の差が 1mgN/gMLSS/h 程度を維持することが限界ラインであることが確認された。

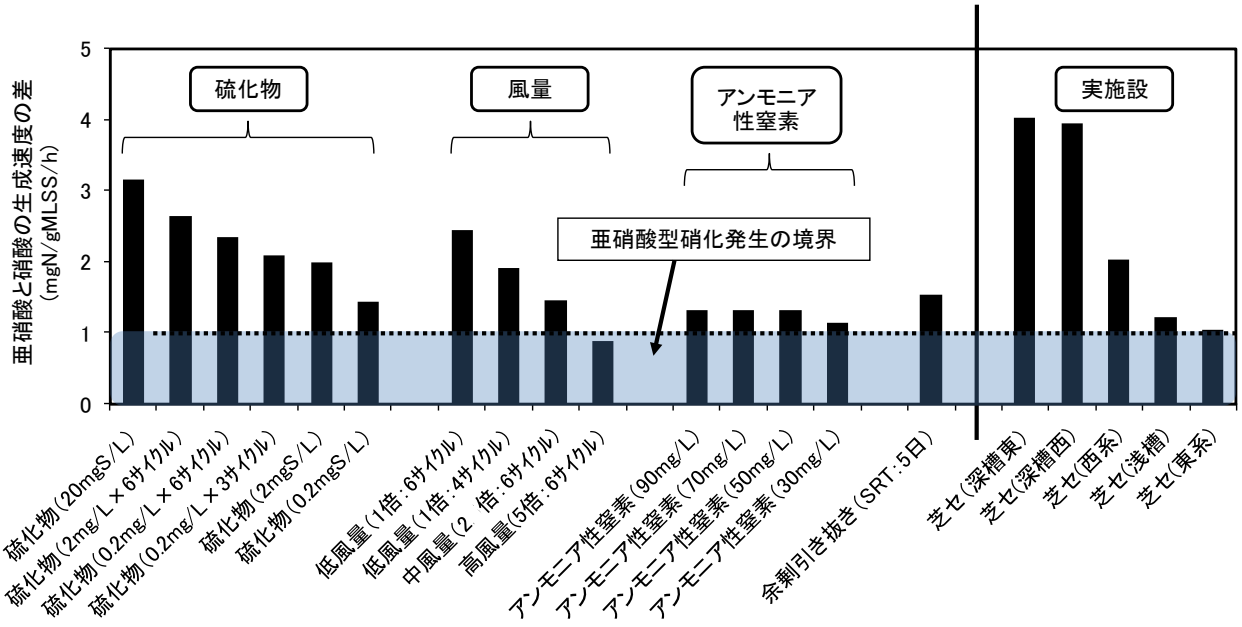


図 6　亜硝酸型硝化を引き起こす各要因の影響度比較

3.6　亜硝酸型硝化を防止する施設機能について

亜硝酸型硝化を防止していくためには、硝化をある程度のレベルで維持していく必要があることが今回の実験から予想された。

したがって今回の実験結果をセンターの水処理運転に反映させていくために、アンモニア性窒素の硝化率と硝化速度の関係を余剰汚泥引き抜きの有無別に図 7 に示した。

通常の処理施設では引き抜きを考慮する必要があるため、点線のグラフに示した関係となり、硝化の度合いをある程度まで引き上げることによって亜硝酸型亜硝酸型硝化を防止することが

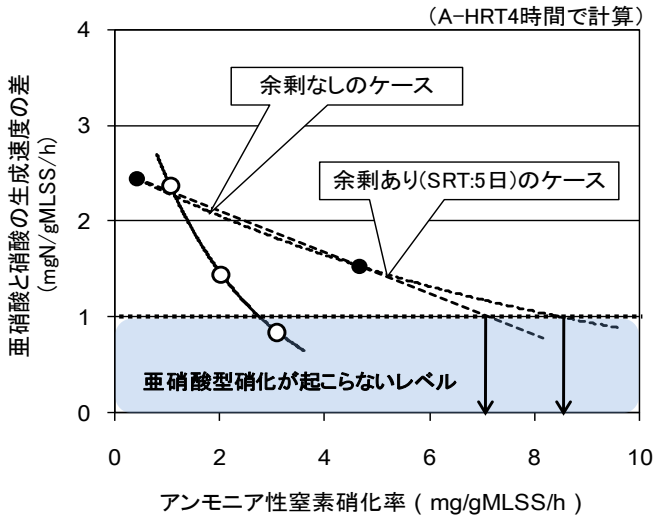


図 7　亜硝酸型硝化の防止に必要な施設機能

できると考えられた。この関係から、現有の芝セの処理施設を使用する場合には硝化速度を 7～9mgN/gMLSS/h で維持していく必要があることが確認された。この値は比較的処理状況の良い夏季の活性汚泥が持つ硝化速度の 2 倍程度となり、現在の施設の規模や性能では亜硝酸型の硝化は避けられないことがわかる。

4 まとめ

種々の要因が亜硝酸型の硝化を引き起こす要因となることが確認された。また、現在の芝セは施設規模や処理設備の性能から見ると、亜硝酸型の硝化を防止するためには不十分であることが定量的な観点から明らかとなった。

今回ビーカー実験によってある程度の条件が整理されたことから、今後はパイロットプラントや実施設を活用した実証実験や、亜硝酸型の硝化を起こしている処理状況を改善するための手法の検討などが課題と考えられる。

5-(2)-12　Rr（呼吸速度）からみた芝浦水再生センター各系統の硝化特性

中部下水道事務所　芝浦水再生センター
石井英俊　大江修平　島田祐介　太田裕誌

１．はじめに

芝浦水再生センターでは流入アンモニア性窒素濃度が年々上昇し、窒素除去が重要な課題となっている。そのために年間を通じて硝化促進運転を行い窒素の除去に努めている。センターには流入特性、処理性能の異なる５系統があるが、処理状況は各系統で異なっている。表１に各系統の２０年度の硝化処理状況をまとめた。

表1　各系統の硝化処理状況

浅槽	冬季亜硝酸型、春～秋は硝酸型硝化、NH4-Nが残存することもあり。
深槽東系	通年亜硝酸型、冬季工事で1槽停止時は亜硝酸が若干生成するのみ。
深槽西系	通年亜硝酸型、1mg/L程度の硝酸は生成していた。
西系	11月末に運転上のトラブルから亜硝酸型に、それまでは順調に硝化。
東系	冬季NH4-Nが残存することはあったが、通年硝酸型の安定した硝化。

平成１９年度から定期の反応槽試験で各系統、各回路の Rr、ATU-Ｒｒを測定してきた。平成２０年度までのデータをまとめ、各系統の硝化の状況などと照合し、各系統の汚泥の硝化活性を検討・評価した。その結果から、活性汚泥の硝化活性の系統による違いが、アンモニア性窒素、硫化物などの流入水質、HRT 等の運転状況などで変わっていることがわかった。また、亜硝酸型硝化との関係についてもいくつかのヒントを得ることができたと考えている。

２．調査方法

芝浦水再生センターでは、毎月 2 回に分け 5 系統の反応槽試験を行っている。反応槽試験での Rr 測定は最終回路出口でのみ行っているが、芝浦では各回路出口で Rr、ATU-Ｒｒを測定した。これは Rr と ATU-Ｒｒの差が硝化反応の酸素消費であることから、各回路での硝化活性を把握できると考えたためである。

Rr－ATU-Ｒｒを N-Rr（窒素に係わる呼吸速度）と定義した。また、1g の MLSS 当りの呼吸速度を算出し、それぞれ Kr、ATU-Ｋｒ、N-Ｋｒとし、各結果の比較に用いた。N-Rr は窒素酸化の酸素消費量であるので、亜硝酸、硝酸への酸化に必要な酸素量から硝化速度を算出した。アンモニア 1g を亜硝酸へ酸化するのに必要な酸素量は 3.43g、硝酸まで酸化するには 4.56g とした。

そのほか反応槽試験でのアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素等のデータを用いて、検討・評価を行った。

３．調査結果と検討

芝浦では返送汚泥量を一定で運転しており、また水量変動が大きいことから各反応槽の MLSS 濃度の変動幅が大きい。このため比較・検討は Kr の値を用いて行った。

３．１　Kr、ATU-Ｋｒ、N-Kr について

平成１９、２０年度の各系統A～D回路の平均値（各24回）として、図１にKrを、図２にATU-Krを、図３にN-Krを示した。

図１から全系統ともAからDにかけてKrは低くなっている。その中で浅槽、深槽東はA→Bでの低下が大きく、C→D回路で低下の著しいのは深槽西系、西系であった。東系ではA→Bでの低下は小さいがB→C→Dでの低下が大きく最終回路のKrが10mgO_2/L/hr/gss近くまで下がっていた。また西系、東系ではA→Bの低下は小さいのに対し他の3系統ではA→Bの低下が大きい。これは溶存硫化物の影響があることも考えられる。

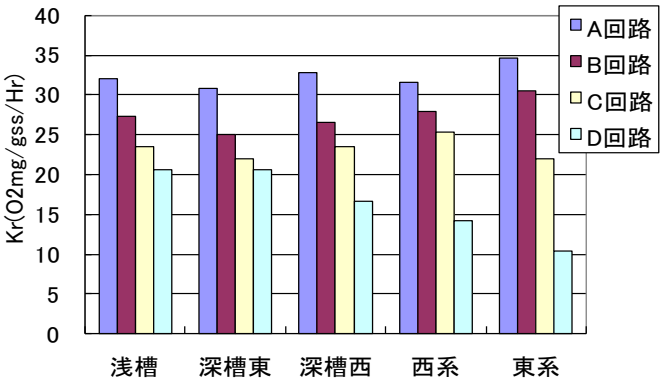


図１　各系列の回路毎Kr（平均値）

図２のATU-Krは硝化反応(アンモニア酸化)を抑制しているので、BOD酸化と内生呼吸分であると考えることができる。全体的にはA→Dで次第に低下し、その幅は狭まっていくが、深槽西系ではC→Dで低下の幅が大きくなっている。運転の条件は深槽東と大差なく、この低下が有機物酸化がより進んだとは考えにくい。西系、東系でA回路出口での値が低いのは、A回路での有機物の酸化が他系統よりも進んでいることが考えられる。西系では硫化物の流入が他より少ないこと、東系ではA回路は機械撹拌による嫌気ゾーンであるが、返送汚泥から持ち込まれる硝酸が脱窒されることで有機物負荷が下がっていると考える。

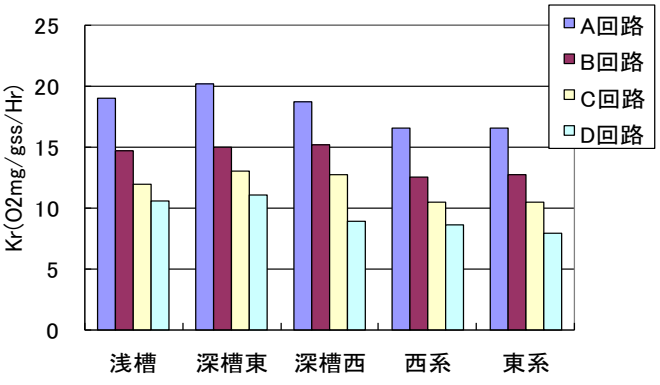


図２　各系列の回路毎ATU-Kr（平均値）

図３のN-Krをみると、浅槽、深槽東西はA→Dで漸減しているが、西系、東系ではD、あるいはC、Dで急減し、それまではほぼ等しいN-Krになっている。西系のD、東系のC、D回路でN-Krが下がるのは残存するNH4-N濃度が下がっているためで、西系D回路では4.1mg/L、東系C回路2.1、D回路0.2mg/Lであった。図４にN-KrとNH4-N濃度の関係図を示したが、N-KrがNH4-Nの濃度に依存するのは5mg/L以下であるように見ることができる。それ以上であればN-KrはNH4-N濃度に依存せず、硝化に必要な酸素消費量を示していると考える。図３の西系A～C、東系A、BのN-Krはほぼ同じ値であって、硝化による酸素消費は回路による違いがないことがわかる。西系A回路では特に制限曝気を行っていないが、りんの吐き出しが見られ嫌気条件であると推定できるし、東系A回路は嫌気条件で

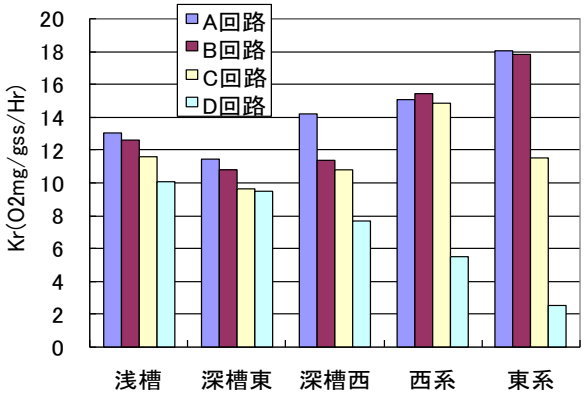


図３　各系列の回路毎N-Kr（平均値）

運転しているが、両者とも汚泥の N-Kr に変化がないことから、嫌気条件は硝化細菌の活性に影響を及ぼさないことがわかる。

図 5 に各系統、各回路の亜硝酸性窒素を示した。深槽西系の D 回路の亜硝酸が飛びぬけて高い。これが同回路の ATU-K r 、N-Kr の低下の原因になっているのではないかと考える。東系を除く各系統は、表 1 に示した通り冬季を中心に亜硝酸型の硝化になることが多く、その時期には亜硝酸性窒素の高い回路では ATU-Kr、N-Kr の低下が著しい。深槽西系では通年亜硝酸型であったため、図 2、図 3 で示した通り D 回路での低下がはっきりした形で表れたものとみている。

３．２　硝化速度と窒素除去

図 6 に N-Kr から算出した硝化速度を示した。浅槽、深槽東西は各回路平均でおよそ 2.5mgN/gss/hr であるが、西系、東系で NH4-N 濃度低下による制約を受けない部分では、それぞれ 3.3、3.9 mgN/gss/hr と高い値になっている。それぞれの夏季における数値を見ると西系では 4～5、東系では 4～6 mgN/gss/hr という値も得ている。この高い硝化速度は芝浦の高い NH4-N 流入濃度によると考えている。有機物の分解がほぼ終了した時点でもまだ NH4-N が残っており、供給される酸素のほとんどを硝化細菌が利用できるため、硝化細菌の増殖が進むことが考えられる。

冬季は両者とも 2 mgN/gss/hr 程度までは低下するが、MLSS 濃度を高く維持することで 3 mgN/gss/hr 近い値で運転することができる。東系では空気量の不足で一部 NH4-N が残存することはあるが、通年硝酸型硝化を維持することができている。今回のデータからは西系も高い硝化速度を持っていることから、東系同様通年の硝酸型硝化も可能であることが予想される。どの程度の MLSS を維持することで、流入 NH4-N に対して硝化を維持できるのかをあらかじめ予測し、亜硝酸型硝化へ移行しないよう

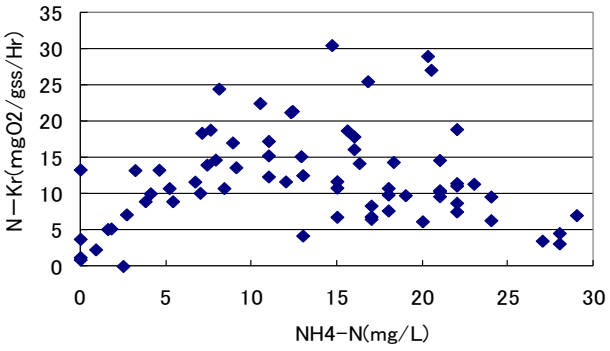


図 4　N-Kr と NH4-N の関係

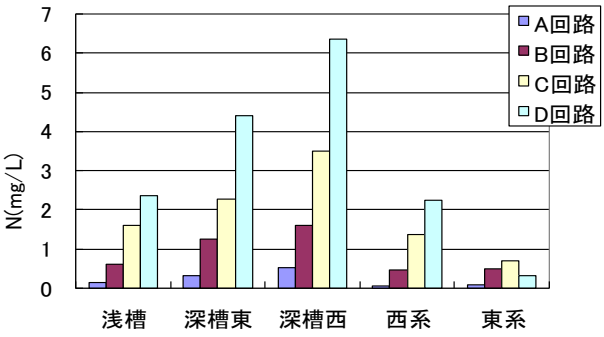


図５　各系列の回路毎 NO2-N（平均値）

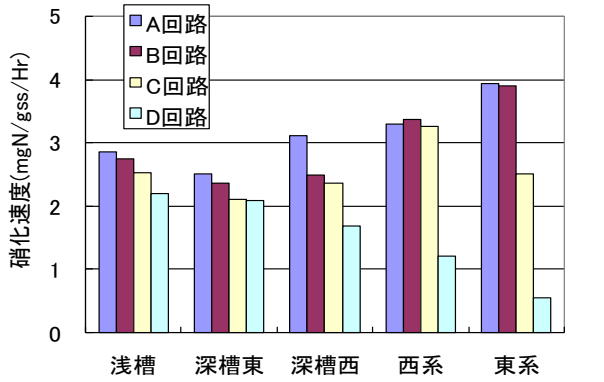


図６　各系列の回路毎硝化速度（平均値）

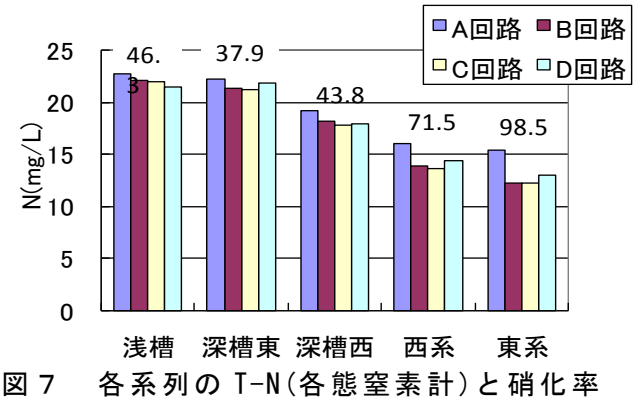


図７　各系列の T-N(各態窒素計)と硝化率

注意深い運転管理を行いたい。

図 7 に各回路ごとの各態窒素の合計を示した。各系統のグラフ上の数値は D 回路における硝化率（NOx－N/合計値）である。浅槽、深槽東は 20mg/L を超えているが、西系、東系は 15mg/L を下回っている。この差は硝化率と返送率によるものである。浅槽は深槽西と同等の硝化率であるが、返送率が低いため脱窒量が小さいためである。窒素除去を進めるためには硝化率を上げることももちろんであるが、硝化液の循環量、芝浦の現状では返送汚泥量になるが、これを高めないと窒素除去量は増加しない。深槽西は亜硝酸型であったが、それでも脱窒は硝化した分は行われたと見ることができる。

西系、東系で A 回路と他回路で 2～3mg/L の差があるが、これは流入水の NH4-N の時間変動が大きく、A 回路にのみ高くなった NH4-N 濃度の影響が表れているためである。

４．まとめと今後の課題

今回反応槽試験で行った Rr 測定の結果をまとめて、日常管理に行っている試験結果を解析してみることの重要性を改めて認識した。以下に結果のまとめと今後の課題を述べる。

① ATU-Rr（BOD の酸化に係わる酸素消費速度）は A→D 回路で次第に小さくなる。これは BOD の酸化が進み基質が減少するためであろう。一方 N-Rr（窒素の酸化に係わる酸素消費速度)は NH4-N 濃度がある程度あれば､汚泥によりほぼ一定の速度になる。このときの NH4-N 濃度は 5mg/L 前後で、これ以下になると N-Rr は低下する。

② NH4-N 存在下での N-Rr は汚泥の硝化能力を示している。今回の調査で季節変化も把握できた。その時々の硝化能力を測定することで、硝化完了のために必要な好気 HRT を知ることができる。

③ 亜硝酸が多く生成している場所では ATU-Rr、N-Rr も低下する傾向がある。亜硝酸性窒素は、これらの活性に何らかの影響を与えていることが考えられる。

④ 現在行っている最終回路の Rr 測定では硝化能力の測定ができない場合があるので、硝化能力の把握のためには反応槽前段での測定も行うべきである。

また、硝化はアンモニア酸化、亜硝酸酸化の 2 段階で行われる。この両者を分けて測定する手法を提案したが、今後の Rr 測定に生かすべく検討を行っている。

6. 国際論文

1 Stormwater Control Measures for Tokyo

2 Utilization of stormwater runoff models for flood control in Tokyo

3 Mitigation of Greenhouse Gas Emission from Sludge Incinerators -Innovative Approach by Multilayer Incineration-

4 Outline and Problem of Rclaimed Water Supply Business in Tokyo

5 Effective Operation and Management of Anaerobic-Anoxic-Oxic (A^2/O) Process

6 Availability of CSO Control and Flood Control of Real-Time Control System in Urban Pumping Station

6-1 **Stormwater Control Measures for Tokyo**

M. Sugai*

**Planning Section, Planning and Coordination Division, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, 2-8-1 Nishi-Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 163-8001 Japan (E-mail:Masayuki_Sugai@member.metro.tokyo.jp)*

ABSTRACT

KEYWORDS
Infrastructure improvement, intense rainfall, flooding, stormwater runoff model, design rainfall

1. Introduction

Tokyo has been steadily moving forward with construction of trunk sewers, pumping stations and other infrastructure so that the sewer system can handle rainfalls of 50 millimetres per hour.

However, in recent years there has been an increase in the frequency of localized intense rainfalls greatly in excess of 50 millimetres per hour. A review of data from the 117 precipitation stations in Tokyo show that in 1990 only a dozen or more places recorded hourly rainfall of more than 50 millimetres; in 2005, this number grew to 66. (Fig. 1)

On September 4, 2005, a torrential downpour of more than 100 millimetres per hour inundated the western part of Tokyo's Ward area. More than 5000 households suffered flood damage, the subway system and expressway interchanges were temporarily closed, and urban functions and the lives of citizens were seriously affected. Given the ongoing trend to effectively use urban space by building subways and underground shopping complexes as well as an increase in the number of owners building homes with basement/semi-basement rooms or parking spaces, measures to protect against such intense rainfalls became a topic of rapid interest.

2. Basic Policy for Tokyo's intense rainfall

Tokyo Metropolitan Government instituted its Basic Policy for Intense Rainfalls in August 2007. The policy has three core goals: to protect lives during flood disasters, to secure indispensable urban functions during inundations and to reduce property damage caused by flooding. The policy strikes a balance between implementing measures to protect against the intense rainfalls seen in recent years and remaining compatible with previous plans.

The long-term (30-year) plan for whole area of Tokyo is to:

1. Eliminate flood damage during rainfalls of up to 60 millimetres per hour.
2. Protect to the maximum extent possible against above-floor flooding and underground flooding during rainfalls of up to 75 millimetres per hour.
3. Secure lives and safety during past maximum levels of rainfall.

Within the next 10 years, the following measures will be applied in priority areas/zones:

1. Protect to the maximum extent possible against above-floor flooding and underground flooding during rainfalls of up to 55 millimetres per hour.
2. Secure lives and safety during past maximum levels of rainfall.

3. Steps being taken under the Basic Policy for Intense Rainfall

The most fundamental measure is to improve river and sewage facilities to eliminate flooding from rainfalls of up to 50 mm per hour. Another measure is to construct retention facilities to reduce flood damage in areas where serious flood damage can be expected.

To accomplish the entire policy for whole area of Tokyo requires a great deal of time and money. An effective and efficient way to move forward with efforts is through a 10-year plan that identifies rainfall characteristics and vulnerability to flooding, selecting priority areas at the watershed, zone and facility level and accelerating the implementation of measures.

After 10 years, these priority areas will be protected to the maximum extent possible against above-floor flooding and underground flooding during rainfalls of up to 55 millimetres per hour. Of these 55 millimetres, approximately 5 millimetres will be handled through watershed measures such as infiltration inlets, while the other 50 millimetres will go through the sewage system. (Fig. 2)

In addition, sewer facilities in places highly susceptible to flood damage (such as locations with underground shopping complexes) will be upgraded to handle rainfalls with an intensity exceeding 50 millimetres per hour. (Fig. 3)

4. Effective measures that consider geographical characteristics

(1) Stormwater runoff models

Runoff from heavy rainfalls flows down hills and into lower area, rapidly raising water levels around rivers and making it difficult for sewers to discharge stormwater. Moreover, flooding can easily occur in drainage area where trunk sewers are at a shallow depth, as heavy rains raise the water level in the trunk sewer so branch sewers have difficulty discharging stormwater into the trunk sewer. (Fig. 4)

Therefore, sewer design methods that use rainfall runoff analysis, which take into account detailed geographical characteristics, should be considered for implementation in addition to the current rational methods of design. The use of runoff models allows appropriate measures to be taken for construction of relief sewer and increase sewer diameter.

Moreover, by verifying such runoff models, the focus on traditional output-based programs for increasing stormwater flow capacity will shift to outcome-based programs, which are seen as an effective way of reducing flood damage. (Fig. 5)

(2) Verify the effectiveness of measures against intense rainfall

At least one year after the completion of improvements in a given zone, we carry out a follow-up evaluation by comparing the reduction in flood damage against actual rainfall.

Two methods are used to analyze project effects:

(a) A before-and-after comparison of rainfall and the occurrence of flood damage.
(b) Simulation using a design rainfall (50 mm/h) to provide a comparison of the flooded area before and after the project.

In places where projects have been completed, a before-and-after comparison of flood damages according to the amount of rainfall is carried out in addition to an evaluation by simulation.

Looking at the example of the Naka-Ochiai area of Shinjuku ward, there were 47 cases of flood damage during nine intense rainfalls between 1993 and 2000. After the completion of the project which employs measures such as increasing sewer pipe diameters and looping sewers, no flooding

damage occurred in 2002 and 2003 even though there were four intense rainfalls during this period. (Fig. 6)

Incidences of flood damage were also reduced in other zones where similar measures were implemented.

5. Ongoing and future efforts

(1) Strengthening risk communication

Given the increased frequency of rainfalls over 50 millimetres per hour, there are limits to what can be done in terms of improving river and sewage facilities in order to reduce flood damage. From the perspective of individuals being able to help themselves and others, it is also crucial that we be able to transmit vital information, report changes to evacuation procedures and communicate other important matters when rainfall will exceed the capacity of rivers and sewers.

We have been strengthening risk communications with metropolitan residents so they can protect themselves against flooding. We also provide flood risks maps (Fig. 7) and trunk sewer water level information to each ward to support disaster-prevention activities and early evacuation efforts. We are also developing a low-cost optical fiber system that can be used in manholes to gauge water levels, and will expand the number of locations to which that information is delivered.

The Bureau of Sewerage also runs Tokyo Amesh (Fig. 8), an online rainfall information system that can be accessed through a computer or cellular phone. The system is very popular and is accessed 15.7 million times annually. We are also working with neighboring cities and prefectures to share precipitation radar data in order to provide more accurate rainfall information, thus providing better service to our customers.

(2) Early-stage reduction of flood damage

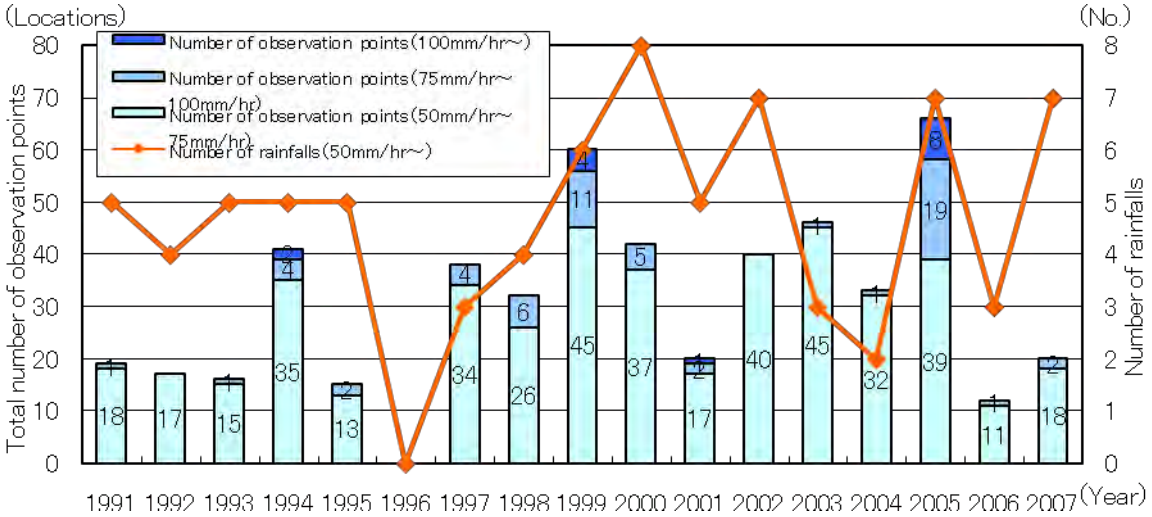
Ensuring the ability of Tokyo to withstand disasters is of the utmost importance to protect the lives and property of its citizens and to strengthen the urban functions and advanced technologies that keep the metropolis internationally competitive.

We expect that localized intense rains with an intensity of more than 50 millimetres per hour will continue to occur regularly due to the effects of global warming and the heat island phenomenon. Tokyo’s Basic Policy for Intense Rainfall aims to realize an urban environment that can effectively deals with flooding through individual, mutual and public action. Since the role of drainage facilities and retention facilities play a large part in the plan, it is necessary to steadily implement the improvement of such facilities.

While keeping the goals of the long-term plan in sight, we are working to realize the 10-year plan for priority zones by focusing efforts on improving trunks sewers and pumping stations, which are the core infrastructures in flood prevention programs, while coordinating with the River division and City Planning division on matters of urban development.

Stormwater Control Measures for Tokyo

（Graphic Charts）



Source：Tokyo Metropolitan Construction Bureau *Flood Records*

Figure 1. Frequency of intense rainfalls in Tokyo over 50mm per hour

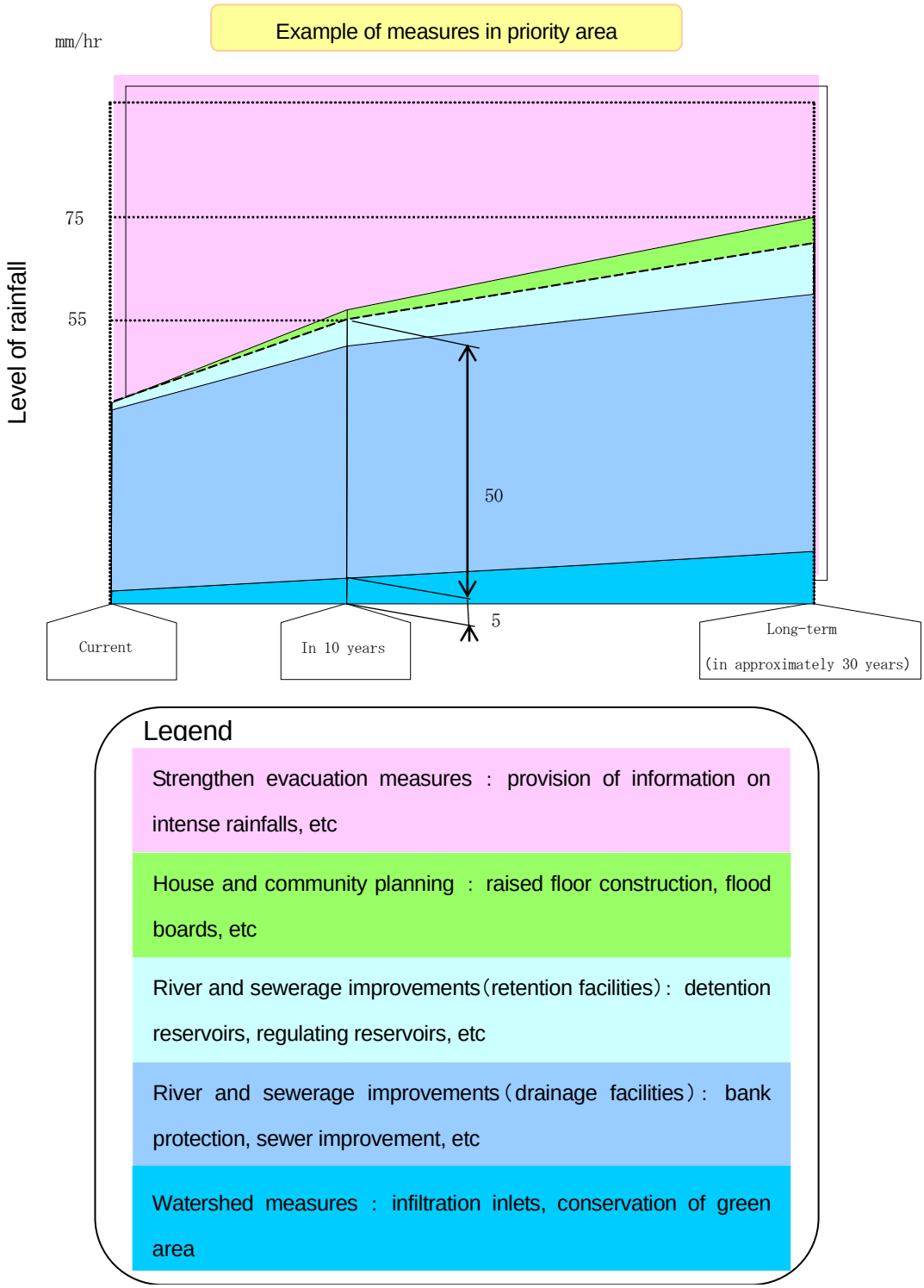


Figure２. Role-sharing of measures.

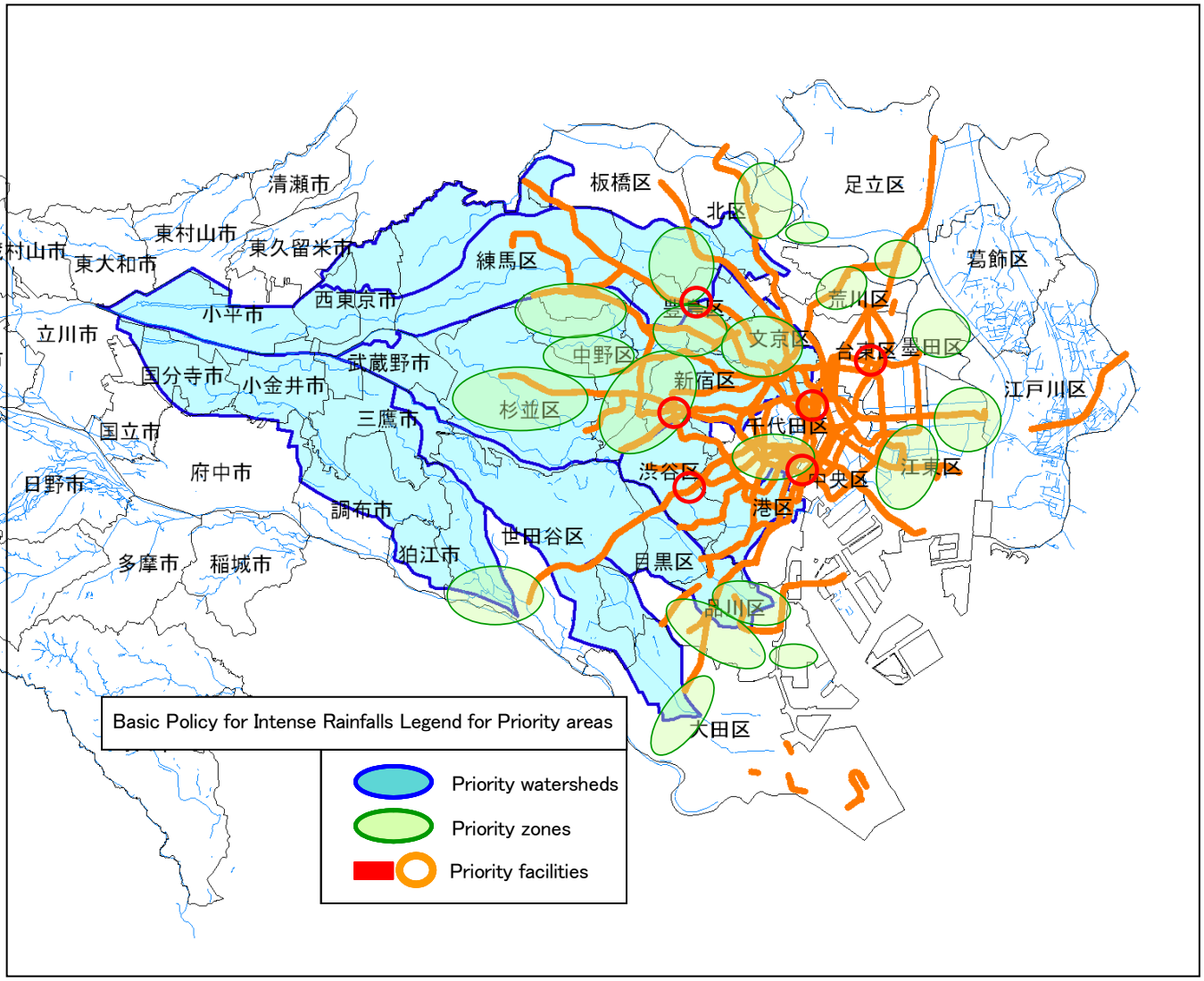


Figure３.　Map of priority areas for the Basic Policy for Intense Rainfalls.

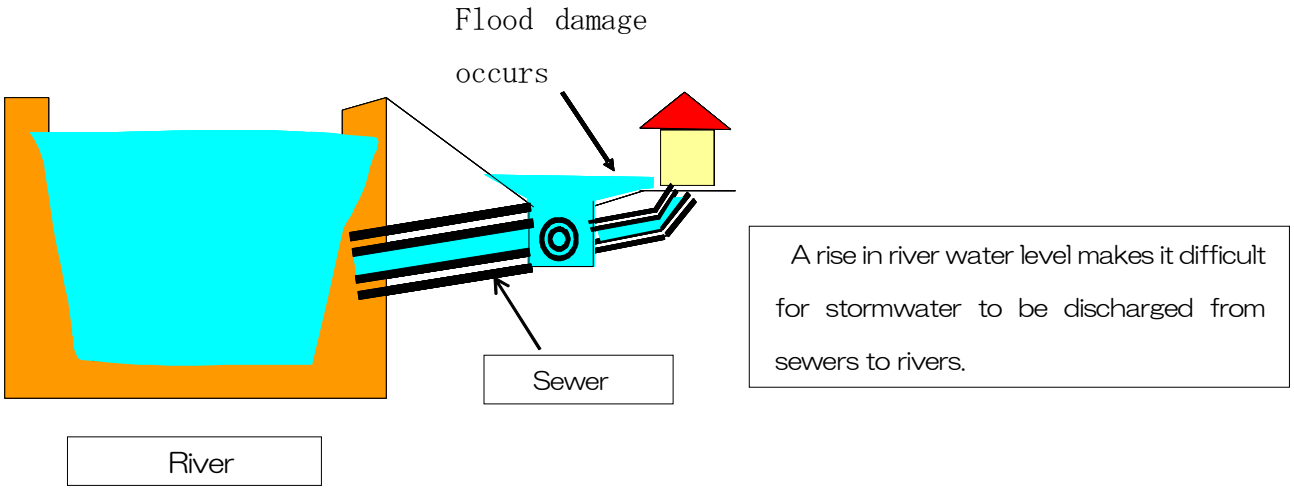


Figure4. Illustration of flood damage resulting from increased river water levels.

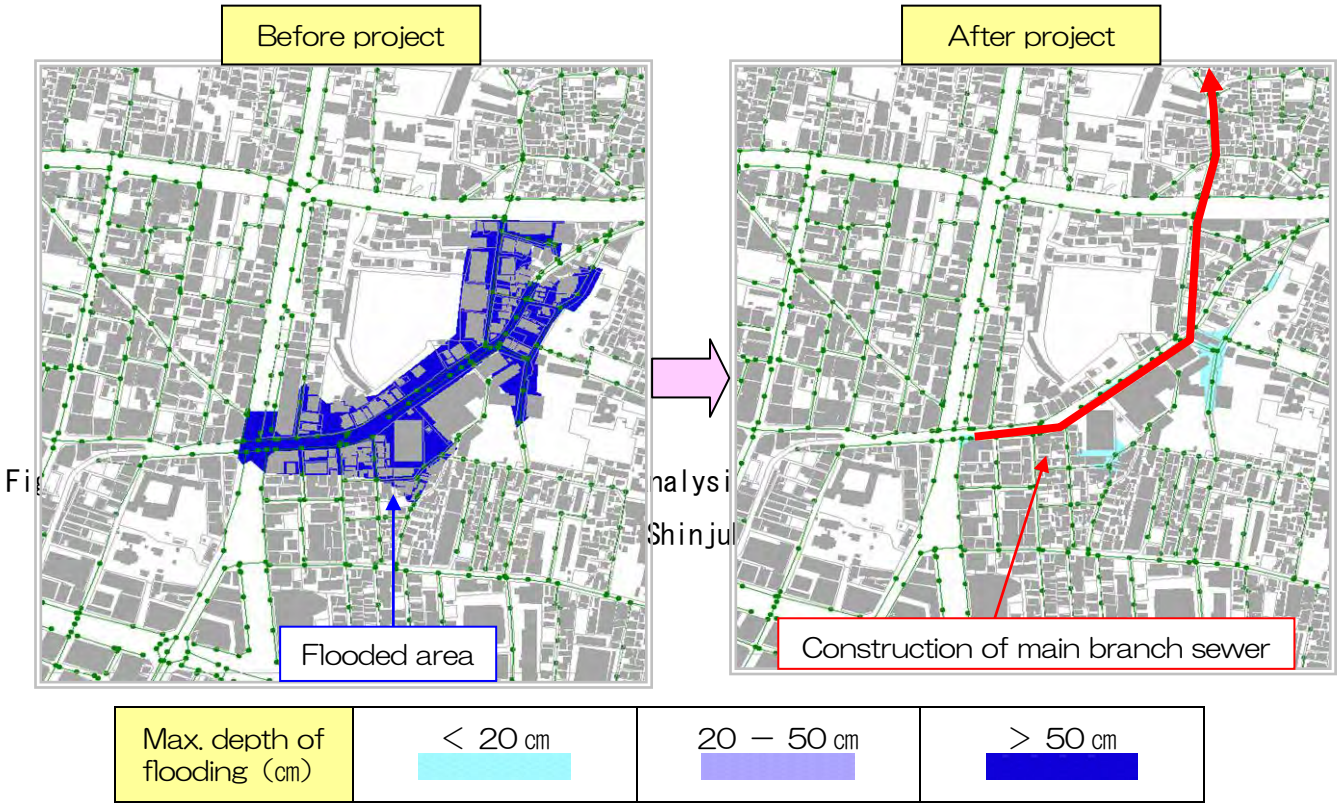
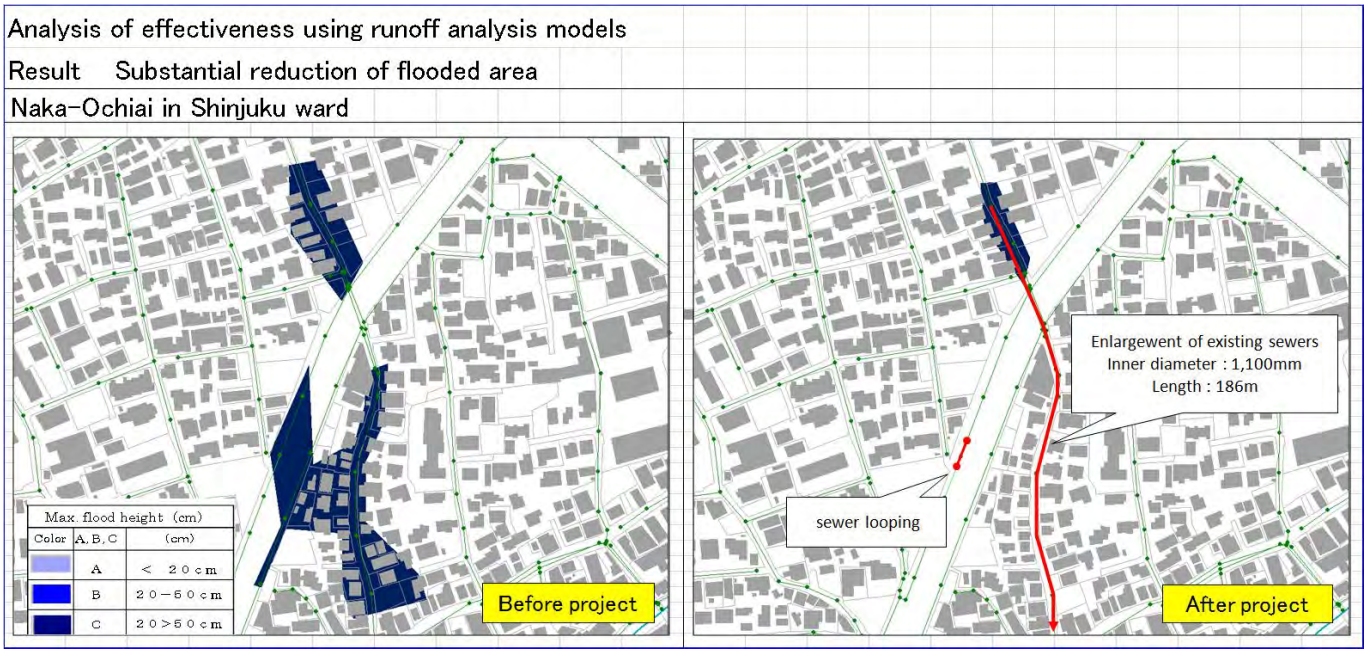


Figure５. Prior evaluation of project by runoff analysis model
(Shinjuku and Toyama areas, Shinjuku City)



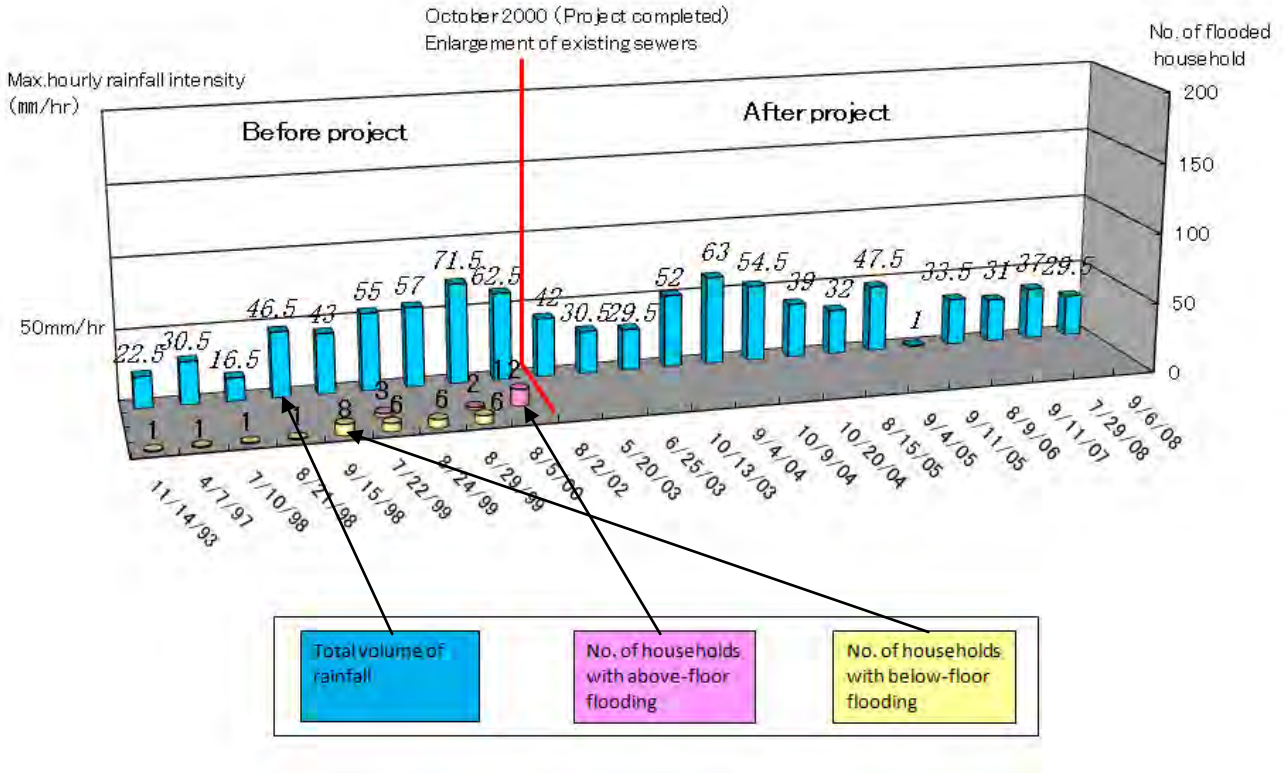
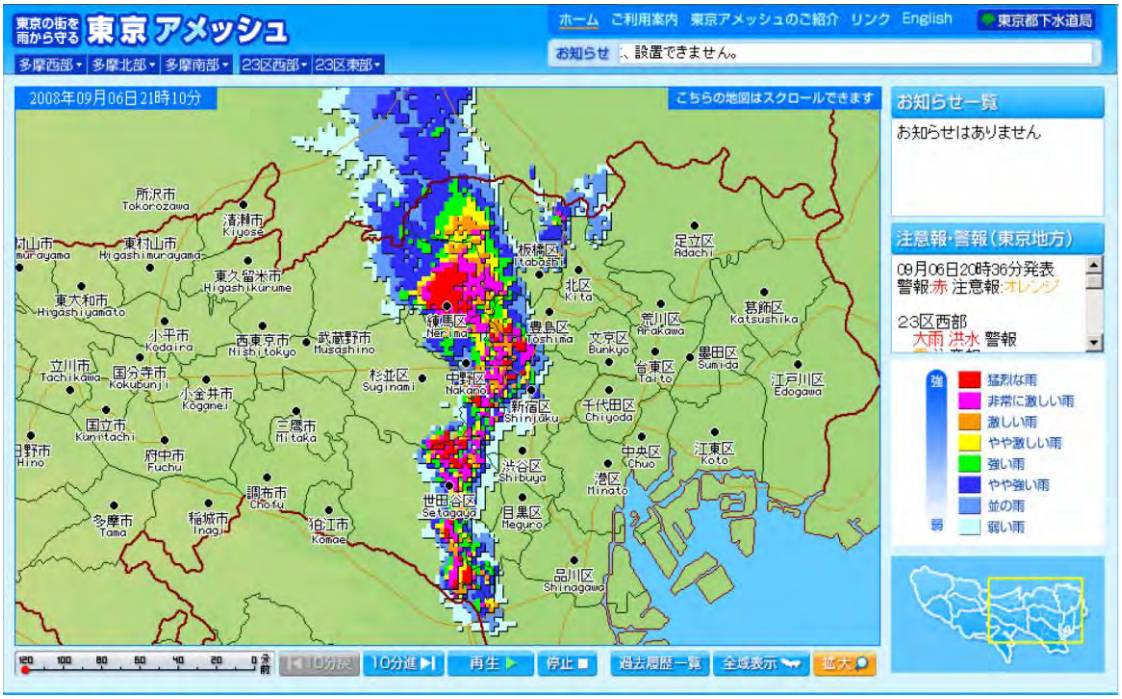


Figure 6. Verification of effects with runoff analysis models
(Naka-Ochiai area, Shinjuku City)

Figure7.　Expected flood area for the Kanda River watershed



http://tokyo-ame.jwa.or.jp/

Figure8. Tokyo Amesh online rainfall information system.

6-2 Utilization of stormwater runoff models for flood control in Tokyo

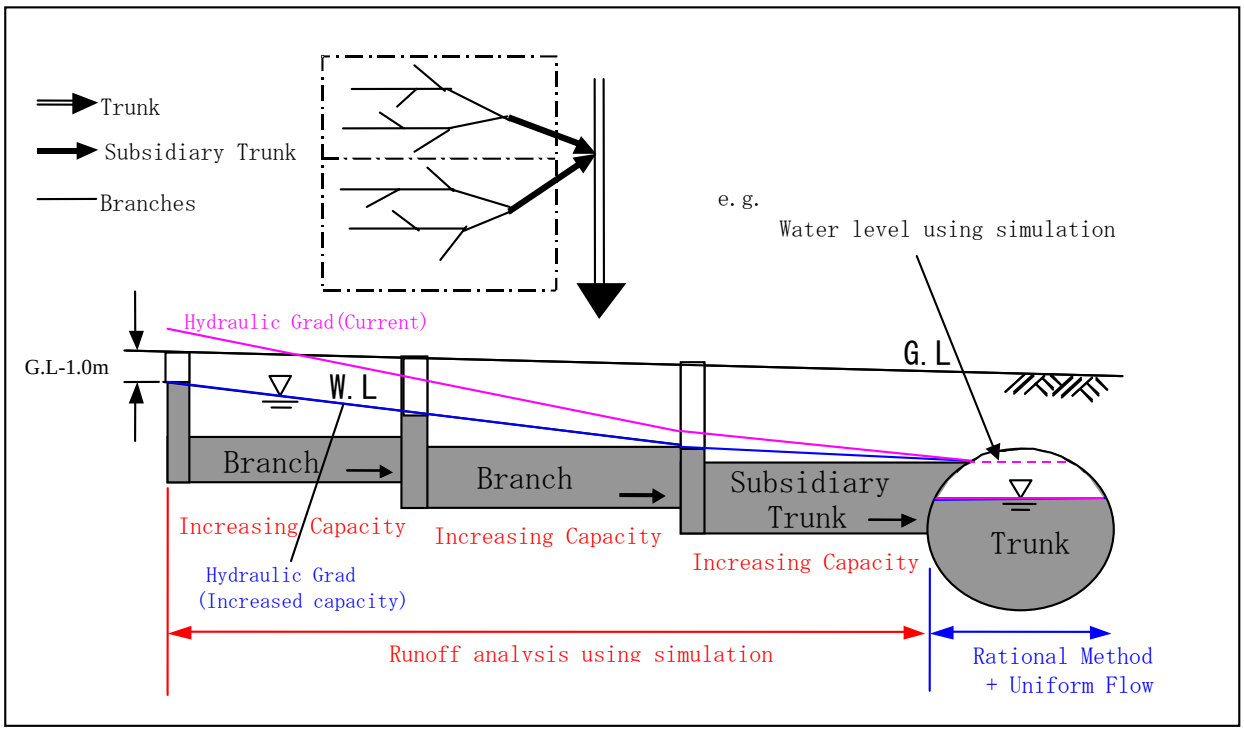
Masayuki Sugai,Jun Okamoto

Tokyo metropolitan government(TMG), Nishishinjuku 2-8-1, Shinjuku-ku, Tokyo 163-8001, Japan

Tokyo Metropolitan Government (TMG) improved the design method enabling the hydraulic gradient keep under ground level in consideration of the topography or backwater influence, TMG examined effective model technique for utilization of runoff analysis simulation and made design manuals for staffs.
TMG has sewerage ledger called SEMIS (SEwerage Mapping and Information System). A lot of data necessary for the model are prepared for SEMIS, and effective model can be made effectively by utilizing them.

Table 1. Decision making of sewer dimensions

Sewer	Rational method + Uniform Flow	Runoff analysis using simulation
Trunk	- Section determination (20% margin)	- Only as for the evaluation (Is free surface secured?)
Subsidiary trunk	- Initial sectional setting - An outline check of capacity	- Section determination (Peak hydraulic gradient line do not exceed 1.0m below ground level)
Branches	- Initial sectional setting - An outline check of capacity	- Section determination (Peak hydraulic gradient line do not exceed 1.0m below ground level)



*Trunk sewer was already finished in condition of rainfall intensity 50mm/hr-coefficient of discharge 80%, and branches are constructed in condition of 50mm/hr-80%

Figure 1. Illustration of the design result of runoff analysis using simulation

6-3 Mitigation of Greenhouse Gas Emission from Sludge Incinerators - Innovative Approach by Multilayer Incineration – (Abstract)

Kiyohito Kuno[1], Masahiro Nagano[1], Takashi Ozawa[1]*

[1]Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

*To whom correspondence should be addressed

Email: Takashi_1_Ozawa@member.metro.tokyo.jp

KEYWORDS: Multilayer Incineration, Reduction in N_2O emission, High temperature reaction zone.

1 Introduction

An annual amount of greenhouse gases exhausted by sewerage facilities in the 23 special wards area of Tokyo Metropolis is about 710,000t, and the emission through the sludge incineration process accounts for 29.7% of it.

As measures to reduce greenhouse gas emission from sludge incinerators, High-Temperature incineration at 850°C, by which about 70%-N_2O can be reduced compared with the incineration at 800°C, has been introduced. However, High-Temperature incineration causes the increase in the fuel use as shown in Figure 1.

Therefore, we researched multilayer incineration to solve this problem.

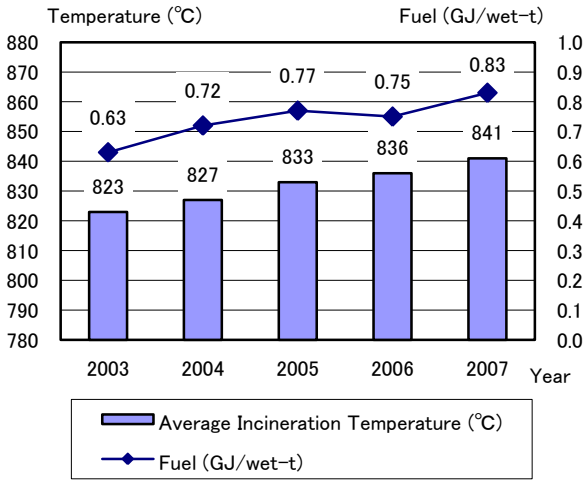


Figure 1. Relation between Average Incineration Temperature and Fuel

2 Principle of Multilayer Incineration

Figure 2 shows the fluidized bed incinerator in use. Air blows into the incinerator from sandbox where sludge is incinerated.

Figure 3 shows the outline of the multilayer incinerator, which air blows into from several points.

The generation of N_2O is suppressed by reducing the amount of air into sandbox. In addition, N_2O generated through sandbox is decomposed by high temperature at freeboard. Thus, N_2O emission can be reduced synergistically.

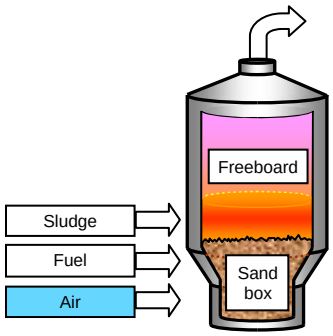


Figure 2. Fluidized Bed Incinerator

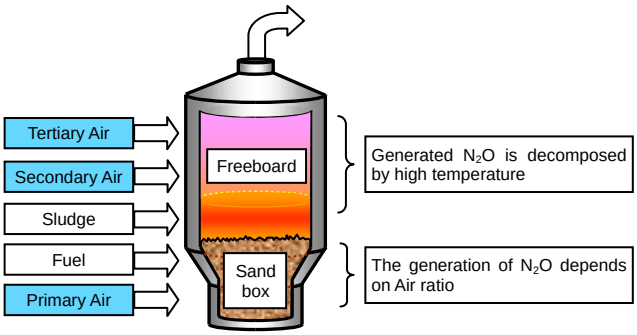


Figure 3. Outline of the Multilayer Incinerator

3 Effect of Multilayer Incineration

Table 1 shows the result of multilayer incineration in Nanbu Sludge Plant.

The amount of fuel of the multilayer incineration was regulated to the same value as that of High-Temperature incineration. The value of incineration at 800°C and 850°C was obtained by our past investigation.

And, we tried to decrease both the amount of fuel and N_2O emission compared with High-Temperature incineration. As a result, we decreased about 12%-fuel and 27%-N_2O compared with the High-Temperature incineration at the same time.

Table 1. N_2O emission in Nanbu Sludge Plant

	Amount of incineration (t/day)	Hydrous ratio of sludge (%)	Air Ratio(*1)			N_2O Emission
			Primary Air	Secondary Air	Tertiary Air	kg-N_2O/t – Dewatered Sludge
Incineration at 800°C	300	77.5	1.36	—	—	8.19
Incineration at 850°C			1.36	—	—	2.33
Multilayer Incineration			1.26	0.03	0.07	1.36

*1 practical amount of air blown into the incinerator/ theoretically required amount of air

4 Conclusion

The multilayer incineration can decrease both the amount of fuel and N_2O emission compared with the High-Temperature incineration. In this research, about 83%-N_2O reduction compared with the incineration at 800°C and about 12%-fuel reduction compared with that at 850°C were obtained by the multilayer incineration.

6-4 Outline and Problem of Reclaimed Water Supply Business in Tokyo

Hirofumi YAMASHITA[1*]**, Takashi KAYANO**[2]
[1]Accounting and Contracting Division, Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government
[2]General Affairs Division, Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government
*Email: Hirofumi_Yamashita@member.metro.tokyo.jp

ABSTRACT
Tokyo Bureau of Sewerage (TBS) of Tokyo Metropolitan Government (TMG) is proceeding to the advanced treatment and recycling the treated wastewater for various uses in urban areas.
Results of the amount of the reclaimed water supply in 2007 were 30,635,400m3/year. This corresponds to 1.9% of the amount of the authorities total discharged water.
In the main usage, flush toilet water was 3,261,900m3/year, and discharge for a river basin environmental recovery to the river where the flow of the river had decreased was 27,329,400m3/year. Besides this, it is used to the road watering for mitigation of the heat island phenomenon, and sprinkling the plant, etc.
This business has the problem concerning the supply volume of water, the water quality, crisis control.
The problem of the supply volume of water is shortage of make water ability at the peak of use. We cope with this problem by a fine operation management and by the reinforcing ability of make water.
The problem of the water quality is a disappearance of the residual chlorine, the incorporation of the chironomidae larvae, and the establishment of the risk management technique to a pathogenic chlorine resistant microorganism. The countermeasure concerning chlorine is to improve the nitrification efficiency on the sewage treatment process. Pathogenic microorganisms and chironomid countermeasures is the installation of equipments that can remove them and of the disinfections by ozone and ultraviolet rays.
Deterioration of piping and partition valve and the risk management at the earthquake are problem on the facilities side, it is necessary to settle on short-term and a long-term facilities planning, and to execute it steadily.

KEYWORDS: reclaimed water, residual chlorine, chironomid, ceramic filtration

INTRODUCTION

The water consumed in Tokyo is conveyed from distant sources which are not necessarily capable of providing sufficient amount of water every year.
Now that the stable water supply is conceived to be even threatened by the climate change of

global scale, the risk of water scarcity is the critical challenge of Tokyo Metropolitan Government (TMG). Thus, TMG addresses not only the development of new water resources but also the reuse of wastewater and harvested rainwater. Actually, citizens are getting aware that the municipal effluent could be a new water source in Tokyo.

TBS of TMG is proceeding to the advanced treatment and recycling the treated wastewater for various uses in urban areas. In this paper, I report the outline of a reclaimed water supply business, and a problem, and its countermeasure.

1. Guideline for water reclamation and reuse businesses

TBS established the guideline for water reclamation and reuse businesses. The contents are as follows.

1.1 Water supply area

The supply areas are the following seven areas.

①Nishi Shinjuku and Nakano Sakaue area, ②Tokyo Waterfront City area, ③Shinagawa Station east entrance area, ④Osaki area, ⑤Shiodome area, ⑥Nagatacho and Kasumigaseki area, ⑦Yashio and Higashi Shinagawa area

1.2 Water supply object

Building that has the total floor space of over 10,000 m^2 or the amount of wastewater over 50m^3/day (except housing part).

1.3 Supplied water quality and supply hydraulic pressure

The standard of the supply water quality and supply hydraulic pressure is Table 1.

Table1. Standard of the reclaimed water supply

ITEM	STANDARDS
E.coli	Not detect
pH	5.8 ～ 8.6
Residual chlorine	Maintain
Odor	Not discomfort
Appearance	Not discomfort
Hydraulic pressure	More than 0.05MPa

1.4 Charge

The charge of the reclaimed water is 260 yen/m^3. The basic rate system is not employed. In addition, the charge is not calculated to rise by increasing the consumption.

1.5 Facility criterion

Pursuant to the standard of customer's facilities, the receiving water tank should be set up without fail, and misconnection to the potable water supply system is strictly prohibited.

2. Outline of reclaimed water supply business

2.1 Water reclamation process

The reclaimed water is produced in three water reclamation centers; Ochiai, Ariake, and Shibaura. As shown in Table 2, the three reclamation centers adopt different types of treatment processes.

In the Shibaura Water Reclamation Center, which mainly supply good quality water processed by ozone and microfiltration. In the time when demand increases greatly, the sand filtration

Table 2. The processing system of a water manufacture institution

Water reclaimed center	processing system
Ochiai	Secondary effluent → Sand filtration → Chlorine disinfection → Water supply
Ariake	Secondary effluent → Biological filtration → Ozonation → Chlorine disinfection → Fiber filtration → Water supply
Shibaura	Secondary effluent → Biological filtration → Ozonation → Microfiltration ⟶ Chlorine disinfection → Water supply Secondary effluent t→ Sand filtration → Fiber filtration

(fiber filtration) water is added to the microfiltration water to make up for the lack of the make water ability. The blend rate makes 50% the upper limit to restrain a rise of the chromaticity.

The main reason why the treatment process is different at each center is that the water quality of the second effluent is different and the annual that constructs facilities is different.

It is scheduled to change to the method to process the whole water by biofilm filtration → ozonization → microfiltration one by one to assume a hygienics risk to be the minimum one and to expand the usage in the future.

Here, the fiber filtration device is filter with the screen of fiber material and 30μm of meshes of a net. And the high-speed processing that filtration speed is 1,000m/ day is possible. This device was introduced for removal of the egg of a chironomid, and of a larva.

2.2 Usage

The main usage of the reclaimed water is the rest room washing water, and, besides this, is used for watering planting, the rinse water of the railroad vehicle, and the road sprinkling as countermeasures for the heat island.

Although it is outside the range of this business, it has been contributing to the creation of the waterside space by supplying the reclaimed water at the Ochiai water reclaimed center to the river that dries up.

2.3 Supply results

The reclaimed water supply business was begun as a model business. That supplied the sand filtration water at the Ochiai water reclaimed center to the building of the Nishi Shinjuku area in six places in October, 1984.

Table 3 shows the supply results in 2007. Transition of the past number of institutions is shown in Fig. 1.

On the other hand, the amount of the water supply has increased as the number of supply facilities increases. The entire results in fiscal year 2007 were 3 million 258 thousand m3 during year. Figure 2 shows the transition of the amount of the water supply from beginning of water supply.

In the area that has been supplied since as early as the Nishi Shinjuku area, there is no too

Table3. Outline of reclaimed water supply business

Water Reclaimed Center	Name of Supply area	Supply beginning	Supply area (ha)	Supply number	Water supply Results (m^3)
Ochiai	Nishi Shinjuku and Nakanosakaue	1984.10 1996.03	80	29	1,171,472
Ariake	Tokyo Waterfront City area	1996.02	681	74	775,013
Shibaura	Shinagawa Station east entrance	1997.10	83	19	645,168
	Osaki	1998.11	67	7	163,366
	Shiodome	2002.11	31	16	417,385
	Nagatacho and Kasumigaseki	2007.10	138	3	37,982

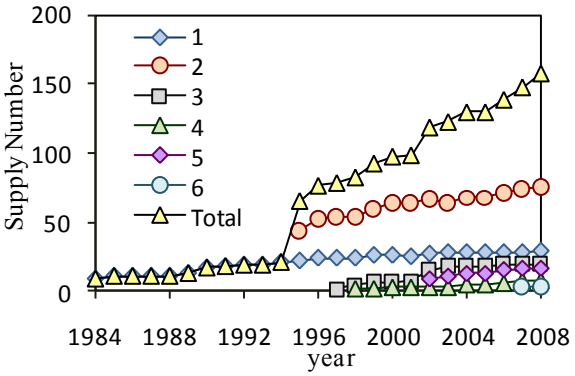


Figure1. Transition of number of reclaimed water supply facilities

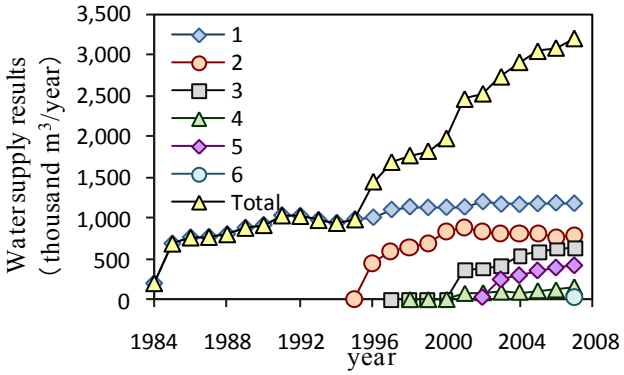


Figure2. Transition of amount of reclaimed water supply

big expansion. On the other hand, since it is carried out by construction of a building continuing, a pace of expansion is high in areas, such as the Osaki area and the Shiodome area, while redevelopment is advancing.

2.4 Supply water quality

The water quality of the supply water in the 2007 fiscal year is shown in Table 4.

Every item was within the limits of the "technical standard of the reuse water quality of sewage disposal water" which the Ministry of Land, Infrastructure and Transport defined.

Table4. Reclaimed water quality in 2007

		Shibaura		Ariake		Ochiai		Standard in technology
		average	range	average	range	average	range	
pH		7.0	6.7-7.3	7.4	7.3-7.6	6.7	6.5-6.9	5.8-8.6
Free residual chlorine	mg/L	1.5	0.13-4.1	0.31	0.18-0.58	0.70	0.15-2.0	0.1mg/L or less
Combined residual chlorine	mg/L	1.2	0.07-2.6	0.54	0.30-0.76	0.63	0.21-2.1	0.4mg/L or less
Chromaticity	deg	3	1-5	3	2-4	3	3-8	10deg or less
Turbidity	deg	0.4	0.1-0.7	0.4	0.1-0.9	0.4	0.2-0.9	2deg or less
E.coli	-	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	-	Not Detect
Chlorine ion	mg/L	174	66-291	161	47-211	57	45-70	
TOC	mg/L	5	3-6.8	5.8	5.2-7.4	4.3	3.3-4.9	
Phosphate ion	mg/L	1.5	0.37-3.6	0.48	0.24-0.6	4.1	2.8-4.9	
Total solids	mg/L	556	270-790	550	470-640	282	220-330	

3. Problem and countermeasure of reclaimed water supply business industry

It has the problem concerning the volume of water, the water quality, and facilities, and an appropriate action is needed for a further supply expansion.

3.1 Supply volume of water

Problem

The main usage of the reclaimed water is the flush toilet water, so the use peak overlaps everywhere. Therefore, the processing performance might be temporarily exceeded, and the facilities ability should be made proper for the stable supply.

Countermeasure

This phenomenon occurs in Shibaura Water Reclamation Center. So, the microfiltration facilities are scheduled to be constructed in the Shibaura Water Reclamation Center by March, 2010. As a result, the make water ability of ozone + microfiltration facilities is improved from 3,000 to 9,000m3/day. After facilities are completed, the blend rate of the sand filtered water to microfiltered water is scheduled to be lowered to 10% or less.

3.2 water quality

3.2.1 residual chlorine

Problem

As for the water for miscellaneous use of the building, observance of residual chlorine standard value is obligated in the law. Therefore, disappearance of residual chlorine is great concern for the building user who is the customer and there are a lot of complaints, too.

To calculate the designed value of the amount of water used excessively in a lot of buildings, the water receiving tank becomes excessive. Therefore, the retention time of the water receiving tank becomes long, and the residual chlorine disappears in the meantime.

The disappearance speed of the residual chlorine depends on the water quality of the reclaimed water. Therefore, the concentration of the residual chlorine of the supplied reclaimed water changes greatly with 0.1-3.0mg/L. The concentration control of residual chlorine in the customer facilities is very difficult.

Countermeasure

The reclaimed water contains a lot of materials that react with the residual chlorine such as ammonia nitrogen and the organism, compared with tap water.

As for the residual chlorine, the concentration control is very difficult; following countermeasures for stabilization of residual chlorine are examined.

- Ammonia nitrogen exerts the most influences on the disappearance of the residual chlorine. Operation of accelerating the nitrification is executed for reducing ammonia nitrogen.
- Chlorine inject before service reservoir. Chlorine reacts with the chlorine consumption material in the service reservoir; as a result the chlorine consumption material in reclaimed water decreases. The concentration of the residual chlorine in reclaimed water is steady by the additional chlorine injection at the time of the water supply.

・ Because ozonization oxidizes and resolves the organic compound that is the chlorine consumption material, it is effective for the stabilization of the concentration of the residual chlorine.
・ At the consultation before contracts, consult in detail with customer about the size of receiving tank and the chlorine injection equipment.

3.2.2 Chironomid

Problem

The chironomid lives in the sand layer of the sand filtration and the biofilm filtration. Because chironomidae egg easily goes through the sand layer, the possibility that the chironomid mixes into filtered water is high. The egg in the supplied reclaimed water hatched in the receiving tank, and there was a case where the larva was seen in the toilet in customer's building. The chironomid causes the lowering reputation of the building and it leads to the reduction of the reclaimed water use.

Countermeasure

There are two kinds of measures.

The first measure is a method of filtering by the filter media of the small diameter, and removing the egg and the larva physically. The example is the fiber filter device introduced into both the water reclamation center in Ariake and Shibaura.

The second measure is addition of a medicine. The medicine used is disinfectant such as chlorine and ozone, or is pesticide that annihilates a chironomid directly. As for a medicinal effect, the direction of pesticide excels. However, probably, it will be better to use an antiseptic, if safety is taken into consideration. Furthermore, an antiseptic is contributed also to stabilization of residual chlorine.

3.2.3 Hygienic risk management

Problem

There is possibility of pathogenic microbe mixing of the human waste origin in the water which blended sand filtration water and sand filtration water. Since reclaimed water is chlorinating, many bacteria have become extinct. However, chlorine disinfection is not effective to some of viruses (Norovirus etc.) or protozoans (Cryptosporidium etc.) which are pathogenic microbes. Hygienic risk management including those measures is important.

Countermeasure

Norovirus was detected to sand filtration water and biofilm filtration water in several times investigation by the PCR methods. Since the number of times of investigation is a little, the significance of results cannot determine. We conduct detailed investigation, in order to grasp the actual condition.

TBS is planning to perform whole-quantity ozonization + microfiltration treatment in order to prevent mixing of the pathogenic microbe and hazardous chemicals to reclaimed water.

3.3 Deterioration of piping

Deterioration of piping and partition valve and the risk management at the earthquake are

problem on the facilities side, it is necessary to settle on short-term and a long-term facilities planning, and to execute it steadily. TBS decides upon and carries out the repair plan of piping.

4. New technologies in reclaimed water manufacturing

The combining system of ozonation and micro filtration was installed and operated in Shibaura Water Reclamation Center to cope with the problems of water quality such as color, odor, pathogens etc (since 2004).

The present microfiltration is using the hollow fiber membrane of high crystallinity polyvinylidene fluoride (PVDF) with ozone tolerance. In the Shibaura water reclamation center, since water quality is not good, the injection rate of ozone has been set up highly. For this reason, the life of the hollow fiber membrane became short sharply, so the cost of making water was rising.

Then, we did research on making of reclaimed water by ceramic filtration. This new system produces reclaimed water in Shibaura water reclamation center (Treatment capacity is 4,300 m^3/day). Durability against ozonation is improved, compared with ordinal polymer membrane.

We are developing new system to make micro filtration cheaper and more durable.

Durability improvement and cost reduction will be realized by use of Ceramic membrane.

The features of the ceramic membrane system are as follows;

① There is neither chemical deterioration nor changing in performance against heat and pressure, and everlasting endurance is expected.

② It excels in heatproof and corrosion resistance, and there are no elutions of impurities.

③ Mechanical strength is high, and there is no film damage.

④ It excels in chemical resistance, and the recovery of the film performance by the medicine washing is easy.

⑤ As for a used film, the material recycle is possible as the ceramic raw material

There is an advantage.

The photograph of the ceramic module is shown in Figure 3 and the construction drawing of the ceramic module is shown in Figure 4.

Figure3. Ceramic module (The outer diameter of 180mm, and 1,500mm in length)

Processing consists of biological filtration, oxidation by ozone, coagulation and microfiltration.
In the water manufacturing facility at the Shibaura water reclaimed center that operates in 2010, the ceramic membrane is supposed to be used for microfiltration.

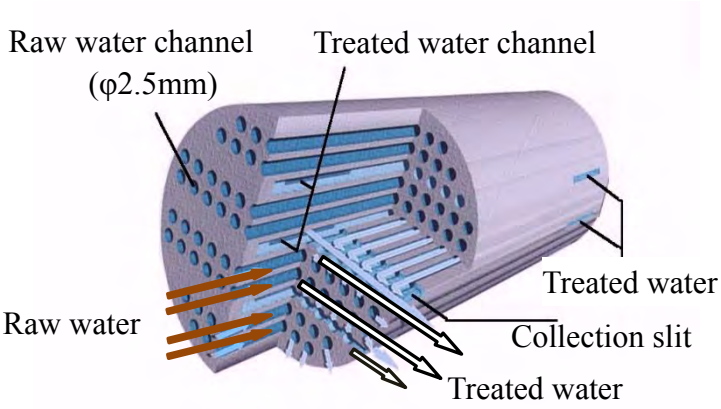


Figure4, Structure of ceramic membrane module

5. Future Directivity

In the ward area of Tokyo, the sewer of 4,806,000m^3 per day has treated, and it has discharged to the public water. On the other hand, quantity of total reclaimed water was 86,098m^3, it is only about 2% of discharged water. It is necessary to make an effort for a further supply in the future.

For increase of the amount of the supplied water, it is necessary to find out a new use. We will carefully review the hygienic risk of reclaimed water, to find new uses such as cooling tower water in the building.

Concentration of the chloride ion of the reclaimed water is high, so the pitting corrosion in stainless piping is feared. Therefore, in the principle TBS prohibits using the stainless steel to piping of the reclaimed water. We will investigate the relation between chloride ion concentration and piping corrosion, and grasp the concentration which does not cause piping corrosion. As a result, it becomes possible to supply also to buildings other than new building, and the demand for the reclaimed water will rise.

6-5 Effective Operation and Management of Anaerobic-Anoxic-Oxic (A^2/O) Process

Koichi Tsurushima*, Kouji Kassai, Osamu Hanzawa
Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government
Kouichi_Tsurushima@member.metro.tokyo.jp

ABSTRACT

Previous studies show that PHA (poly hydroxy alkanoate) in activated sludge participates in the biological phosphorus removal on the wastewater plant. We examined the relationship between phosphorus removal and PHA concentration under anaerobic, anoxic and oxic conditions in the laboratory.

After we arranged the actual operating data, such as ratio of return sludge, influence of rainfall and ratio of nitrate feed and so on, we examined the best operation for phosphorus removal from principal of management, and drew up effective operation and management of A^2/O process.

KEYWORDS : Phosphorus removal, PHA shortage, Optimization Method of Influent Load

INTRODUCTION

Tokyo, the capital of Japan, is divided into two districts, western Tama Area and 23 Ward Area (Fig.1).

Figure 1 Wastewater Treatment Plant in Tama area

Seven all wastewater treatment plants in Tama Area have introduced A^2/O process that is effective for removal of nitrogen and phosphorus. However, in some cases, for example after heavy rainfalls, phosphorus removal becomes unstable.

A^2/O process costs more than conventional activated sludge process. Therefore, we examined the mechanism of biological phosphorus removal in the laboratory and determined the effective operation for the both water quality and the cost.

METHODOLOGY

1. Examination of management from experimentation

Previous studies show that PHA (poly hydroxy alkanoate) in activated sludge participate stability of management in biological phosphorus removal. Because of drawn up the suitable management, we examined the relationship between PO_4-P and PHA concentration in each anaerobic, anoxic and oxic condition.

1.1 How to measure PHA

Figure2 shows the flow chart of PHA measurement. We use benzoic acid for internal standard in analysis. After activated sludge was freeze-dried, PHA in it was methyl esterified with methanol sulfate and extracted with chloroform. In addition, this extracted PHA was measured with FID-GC. Standard solution was made from, 3-hydroxy sodium butyric acid, with the same procedure as the pretreatment of samples.

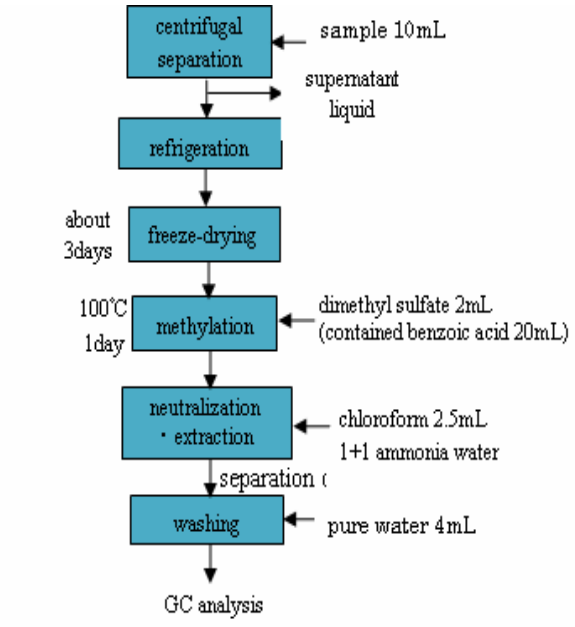


Figure2. Flow chart of the examination of PHA

Table1. Condition of GC analysis

Kind of column	GL sciences Inc. NEUTRA BOND-1 30m×0.25mm
Carrier gas	Helium
Ratio of split	1:20
Temperature of injection	250 degrees
Temperature of detector	280 degrees
Temperature of column	From 60 degrees to 260degrees

Table1 shows analysis condition of GC.

Figure3 shows structural formula of PHA. The composition of influent water would vary at the actual facilities and PHA except 3HB in the influent water was assumed existence. We, therefore, compared the chromatograms at the start and at the end both of the anaerobic condition and the oxic condition, examining the existence of the peak acting the same way as 3HB.

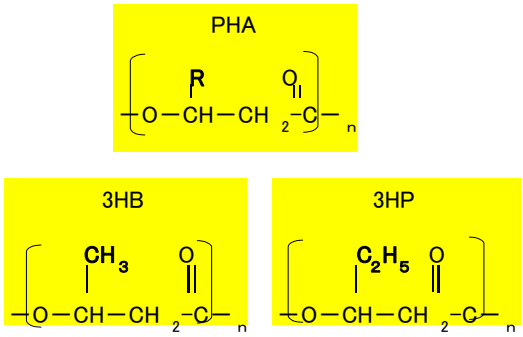


Figure3.structure type of PHA

Figure4 shows the chromatogram of activated sludge, the beginning and the end of anaerobic condition.

On the chromatogram of activated sludge, the same pattern of peak as 3HB existed around 9.1 minutes of GC retention time. Moreover, it was the same change as 3HB in aerobic, so we concluded that it was PHA. This peak was estimated to be 3-hydroxy valerianic acid (3HP). We applied calibration gradient and intercept of 3HB to quantitate it. We expressed corresponding peak of 3HB about 5.4minutes on chromatogram, and other peak is about

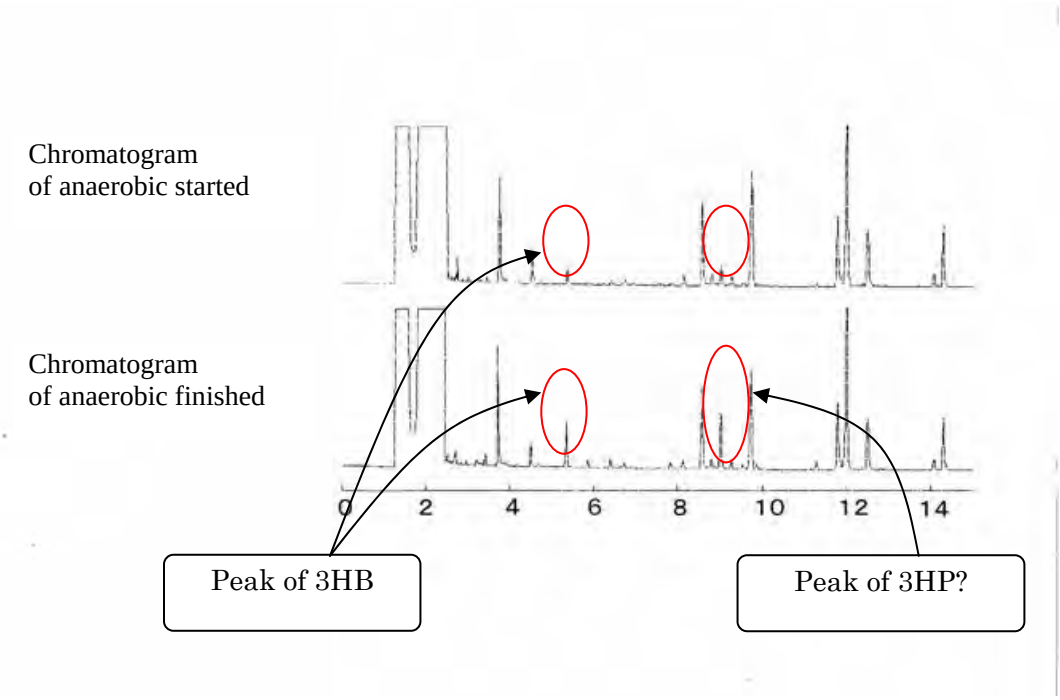


Figure4. Chromatogram of PHA analysis (started and finished in anaerobic condition)

9.1munuites. Moreover, it was the same change with 3HB in aerobic, so we conclude that it was PHA. We guess that this peak is 3-hydroxy valerianic acid (3HP). We applied calibration gradient and intercept of 3HB. We expressed PHA (3HB+3HP) concentrations that are reduced as carbon concentration.

1.2 Confirmation of principle of biological phosphorus removal

We examined both behaviors of PO_4-P concentration and PHA concentration in activated sludge at each processes in the laboratory, with mixed influent water and return sludge.

Under the anaerobic condition, after return sludge of A^2/O process and influent water are mixed in the ratio 3:10(return sludge rate 30%) in beaker of 2L, we covered on the surface of the water by bag of polyethylene which cut off in a circle in the same size of the inside diameter (This work was for contact to get fewer mixing liquid and air, decrease dissolution of oxygen), and mixed by stirrer. We made a hole of 1cm square in the cover, sucked up it by pipet. In oxic condition, we remove the cover and aerate mixing liquid, suck up as anaerobic, we compare PO4-P concentration with PHA concentration in activated water.

1.3 Evaluation of actual treatment capacity

In actual A^2/O process plants, we regard maximum the volume of water of treatment at perfect nitrification as the capacity of treatment.

We measured nitrification velocity in the laboratory and examined mixture specific characteristic in the oxic condition, and calculated average of NH_4-N concentration of effluent water from ratio of tracer outflow in average of retention time. When average of NH_4-N concentration of effluent water is almost zero, we evaluated the capacity of treatment about each A^2/O process plants in wastewater treatment plants.

Mixture specific characteristic was examined as follow. Each volume of influent water, return sludge and nitrate feed was fixed, from started examination before few hours to finished getting the aeration tank water. After lithium chloride was thrown in the entrance of the oxic tank instantaneously, we took samples exit of the oxic tank as regular interval by autosampler (Fig.5).

We poured the lower 50mL of samples into centrifugal precipitation tubes except for floating sludge. It added hydrochloric acid of two drops in sample, be standing condition before measurement. To add hydrochloric acid prevent from floating sludge and prevent

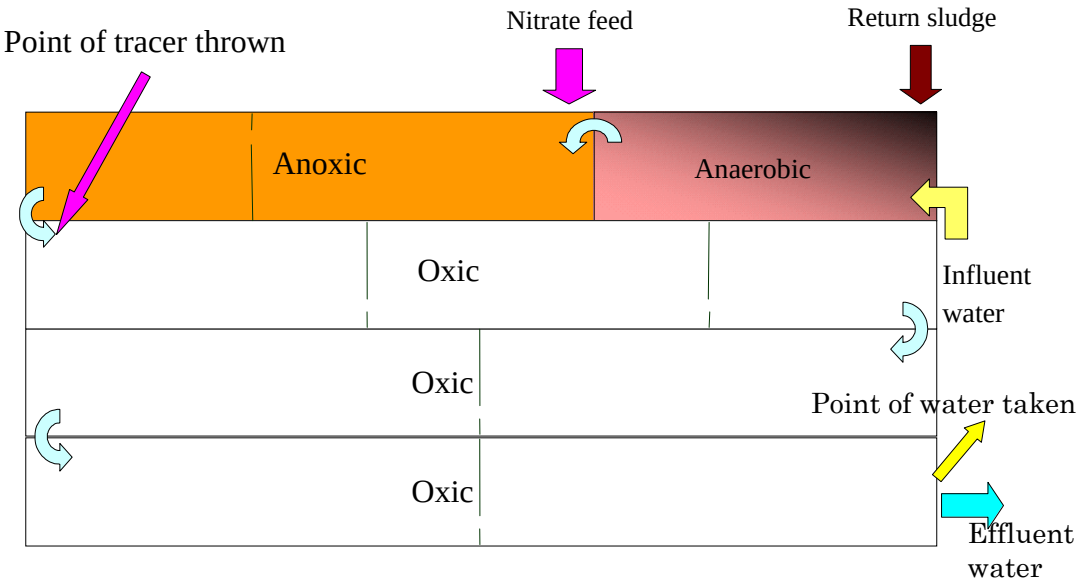


Figure5. Examination of mixture specific characteristic

from adsorbing lithium ion to centrifugal precipitation tube. We measured supernatant liquid by atomic absorption spectrophotometer.

2. Examination of effective operation for arrangement of data of operation result

It became stable nitrogen removal, but phosphorus removal often became unstable. Therefore, we examined stable phosphorus removal and the cost of management decrease.

We examined influence of rainfall, effect of dosing primary sludge in anaerobic tank, effect of bypass of primary sedimentation tank and effect of the cost of management.

RESULTS

1. PHA measurement

1-1 Behavior of PO_4-P concentration and PHA concentration in anaerobic and oxic conditions.

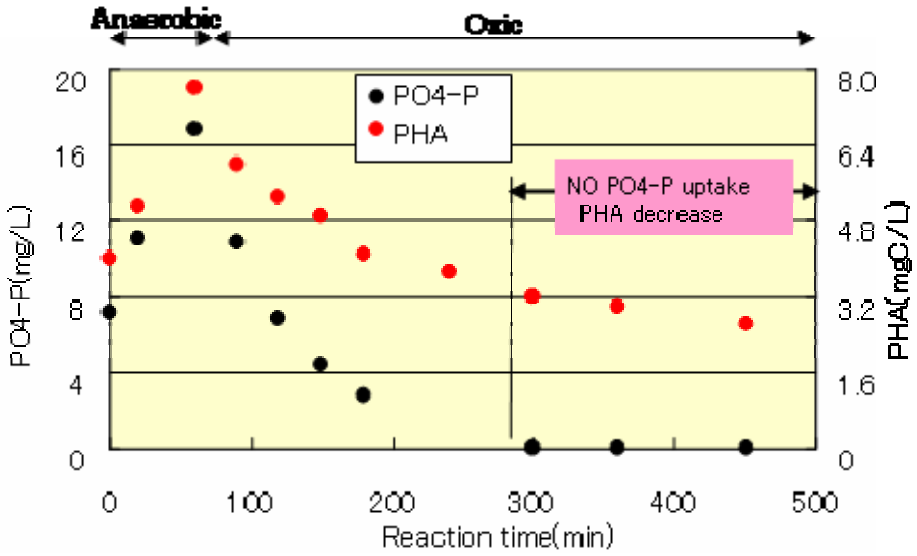


Figure6. Relationship between PO_4-P concentration and PHA in activated sludge under anaerobic and oxic conditions

In beaker, PHA concentration in activated sludge and PO_4-P concentration in the mixed liquor were examined under anaerobic and oxic conditions.

PHA concentration and PO_4-P concentration showed almost same behavior, increased under the anaerobic condition and decreased under the oxic condition (Fig.6).

1-2 Relationship between PHA concentration in activated sludge and phosphorus absorption rate

We examined relationship between PHA concentration in activated sludge at the start of aeration and phosphorus absorption. The more PHA in activated sludge holds at the start of aeration the faster the activated sludge absorbs phosphorus (Fig.7).

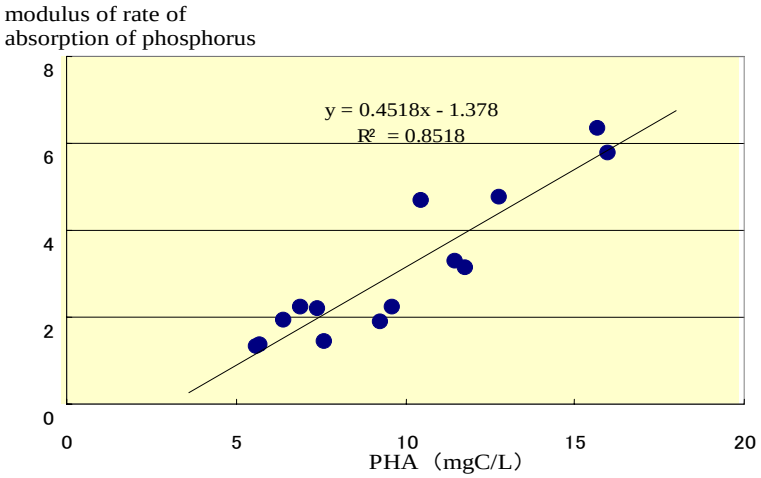


Figure7. Relationship between PHA concentrations in activated sludge and the modulus of phosphorus absorption rate

1-3　Phosphorus absorption rate in oxic condition

Figure8 shows relationship between aeration time and PO_4-P concentration in oxic tank.

If aeration time was transformed logarithmically, phosphorus absorption can be approximated by straight line, and we can calculate the modulus of phosphorus absorption rate.

Figure9 shows behavior of PHA concentration in activated sludge in oxic condition. Immediately after the aeration started, PHA decrease rate is low but after that PHA decrease rate is higher immediately after aeration started, and then decrease like straight line.

Figure10 shows the result of examination of relationship between acetic acid concentration and PHA concentration for one of the method of knowing behavior of PHA in oxic condition. Both condition

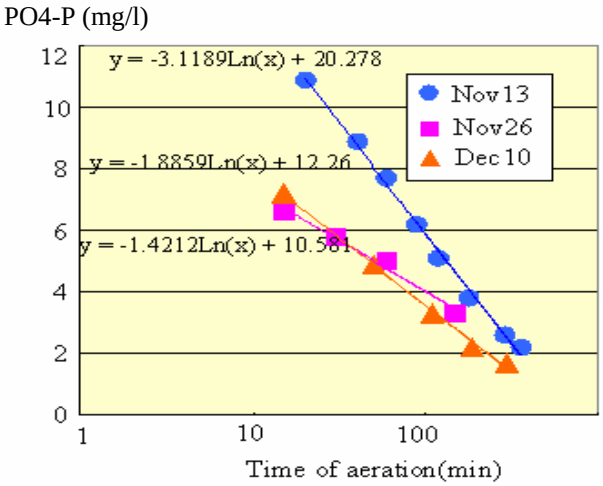


Figure8. Relationship between aeration time and PO_4-P concentration in oxic tank

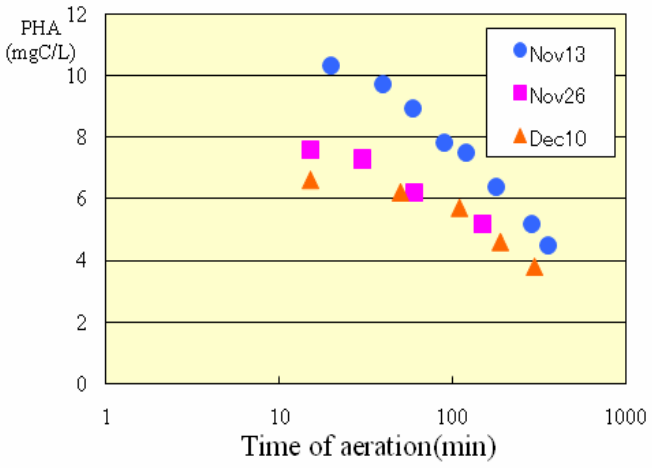


Figure9. Relationship between treating time and PHA concentration in activated sludge in oxic tank

in anaerobic and oxic, storage bacteria of phosphorus was absorbed acetic acid, it synthesize PHA. We guess the gradient of graph to be small because of another bacteria spend acetic acid and likewise storage bacteria of phosphorus in oxic condition.

So we guess because decrease of quantity of PHA immediately after aeration started was small, it absorbed remaining organic acid in mixed liquor and absorbing PO_4-P and synthesizing PHA at the same time, the balance of quantity of PHA consumption and quantity of PHA synthesis shows. After useful organic acid is nothing, PHA is only consumption and it decrease like straight line per logarithm of aeration time.

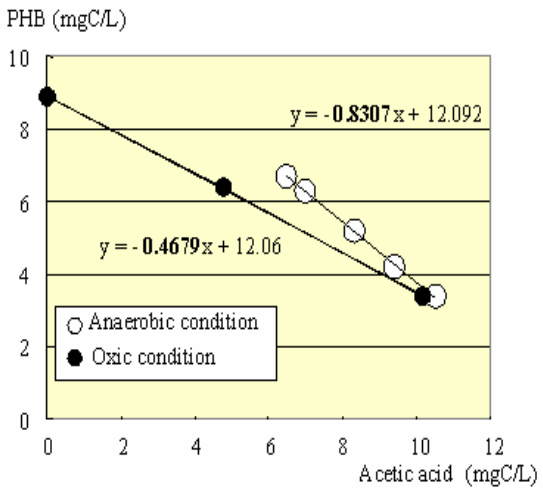
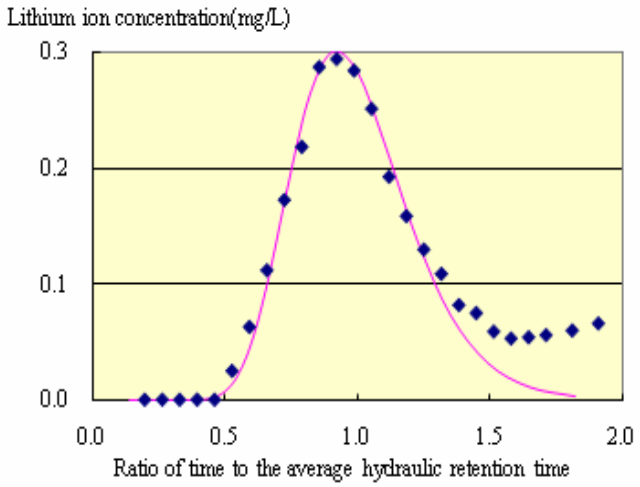


Figure10. Relationship between acetic acid concentration and PHB concentration in activated sludge

1-4 Evaluation of actual treatment capacity of oxic tank

Figure11 shows the tracer concentration of the outflow on the ratio of time to the average hydraulic retention time and the approximate lognormal curve.



The volume of influent water 650 m^3/day
The volume of return sludge 80 m^3/day
The volume of nitrate feed 650 m^3/day
Time to the average hydraulic retention time 317min
Capacity of oxic tank 6122 m^3
Cross section of reaction tank 51 m^3
Hole of partition of square measure 1×1 m^3
Place of peak 0.92
Standard deviation 0.228

$$y = \frac{\exp\left\{-(\ln x + 0.083)^2 / 2(0.228)^2\right\}}{0.228\ \sqrt{2\pi}}$$

Figure11. Outflow characteristic curve of the oxic tank

First, we made graph of result of mixture specific characteristic examination from lithium ion concentration of effluent water and ratio of time to the average hydraulic retention time. In addition, we made the approximate curve from this graph purpose of knowing the volume of

effluent any time. The best approximate curve is logarithmic normal distribution curve.

The result is almost the same it to pass of peak. However, there is the difference by inches because nitrate feed reached the end of oxic tank. Therefore, outflow characteristic curve is higher than approximate curve. We need the outflow characteristic curve only from the start to peak for calculating the actual treatment capacity of aerobic tank, so we use the approximate curve to calculate.

In the case of A^2/O process, it needed finishing nitrification in oxic tank. However, it was difficult to know maximum volume of outflow to be 0mg/L NH_4-N concentration of the end of oxic tank, we calculated it to be 0.1mg/L NH_4-N concentration of the end of oxic tank.

Table3. Calculated NH_4-N concentration in effluent water

Ratio of the average retention time	Ratio of outflow (%)	Calculated NH_4-N concentration in effluent water (mg/L)	
0.37	0.01	0.00	
0.41	0.03	0.00	
0.45	0.10	0.00	
0.50	0.30	0.01	
0.55	0.78	0.02	
0.61	1.72	0.03	
0.67	3.18	0.03	
0.74	4.99	0.01	
0.82	6.62	-0.06	→0
0.90	7.42	-0.15	→0
1.00	7.02	-0.24	→0
・・・	・・・	・・・	
Total	100	0.10	

Table3 shows calculated NH_4-N concentration in effluent water.

Ratio of the average retention time and ratio of outflow (%) in Table3 was calculated by outflow characteristic curve. NH_4-N concentration in effluent water was calculated by rate of decrease of NH_4-N and ratio of circulation.

Table4 shows result of calculated about each wastewater treatment plants. This was calculated in case of the minimum value of rate of nitrification.

Table4. Evaluation of actual treatment capacity of each plant

					***Unification of condition	
	*Rate of nitrification (mg/L· min)	**Influence concentration of NH_4-N (mg/L)	Treatment capacity (m^3)	Ratio of treatment capacity	Treatment capacity (m^3)	Ratio of treatment capacity
A	0.08	19	32,530	1.2	28,488	1.0
B	0.07	22	21,259	1.0	22,497	1.0
C	0.08	22	28,428	1.8	28,428	1.8
D	0.065	22	12,843	0.7	17,820	1.0
E	0.05	19	32,940	0.7	54,545	1.1
F	0.08	24	11,584	0.8	11,568	0.8
G	0.08	21	51,629	1.5	49,484	1.4

*used minimum value each wastewater treatment plants

**used maximum value of effluent of the primary sedimentation tank

***Calcurated Rate of nitrification(0.08),NH_4-N concentration(22mg/L),Ratio of circulation(1.2)

Average of treatment capacity for a year is calculated to replace rate of nitrification with average of it. Treatment capacity and ratio of treatment capacity in unification of condition was calculated to compare with treatment capacity each wastewater treatment plants.

In this result, C wastewater treatment plant has the best capacity, proved to maintain stable quality of treated water, because of load of 1.8 times influent water.

2. Examination of effective operation for arrangement of data of operation result

2-1 Adjustment of rate of return sludge

Influent water and return sludge flow in anaerobic tank in A^2/O process. Return sludge contain hardly useful organic matter which activated sludge can use. Therefore, we guess if

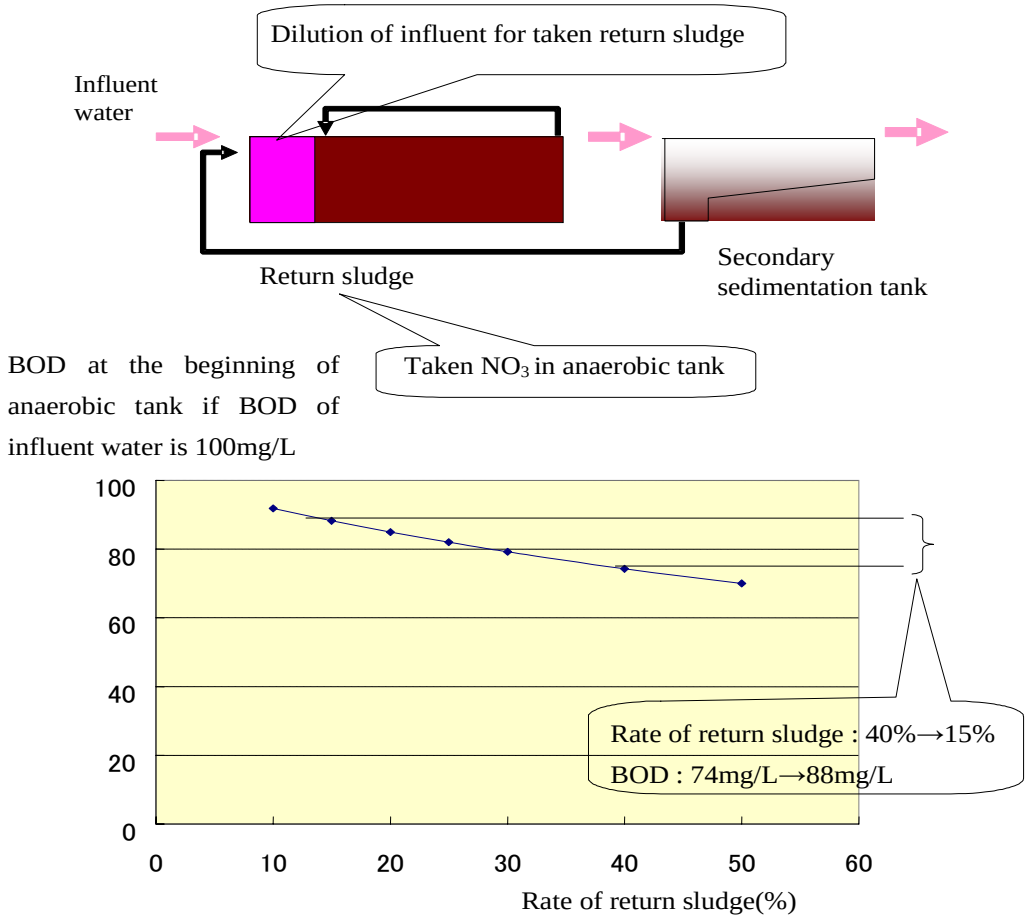


Figure12. Effect of rate of return sludge lowered

rate of return sludge is low, organic matter concentration in mixed liquor in anaerobic tank is increase, so dilution of influent water is decrease. In addition, nitric acid that is obstacle to release phosphorus is decrease in anaerobic tank.

Therefore, we inspected BOD in anaerobic tank, when rate of return sludge was lower from

40% to 15%. In addition, we examined quantity of surplus sludge and quantity of various electric power when rate of return sludge decrease actually, we checked effect rate of return sludge lowered.

Figure12 shows inspection of BOD change as BOD of influent water is 100mg/L when rate of return sludge changed.

When rate of return sludge decrease 40% to 15%, BOD in anaerobic tank increase 19% (((88mg/L-74mg/L)/74mg/L)×100=19%). It has the same effect bypass of primary sedimentation tank or dosing primary sludge in anaerobic tank constantly that has the difference quantitatively. In addition, it has cut of cost of sludge treatment to decrease rate of return sludge. We conceive that quantity of solid of surplus sludge is almost the same if quantity and quality of influent water do not change. In this condition, rate of return sludge decreases, quantity (the capacity) of surplus sludge decreases for concentration of sludge in secondary sedimentation tank. For this result, operation time of centrifugal thickener is shortened.

Table5 shows the concrete example of data that compared with two wastewater treatment plants in two years.

Table.5 Effect of cut of cost for decreased rate of return sludge

Name of plant	Business year	Period of comparison	Sewage volume (m^3/day)	Quantity of solid (t/day)	Rate of return sludge (%)	Quantity of surplus sludge(m^3/day)	Electric power of thickener and dewatered(kWh/day)	Electric power of sedimentation tank(kWh/day)	Electric power of amount of blast(kWh/day)
C	2005	May.-Oct.	61,780	8.7	32%	662.9	1,446	3,232	6,704
	2004		61,167	8.0	45%	930.9	1,872	3,365	6,861
	Ratio of the year before to theyear		101%	108%		71%	-426	-133	-157
F	2005	May.-Oct.	231,493		25%	3648.3	6,499	17,850	33,842
	2004		231,318		44%	4757.0	6,704	19,471	31,555
	Ratio of the year before to theyear		100%			77%	-205	-1,621	2,288

Both of it was the same operation about aeration tank at 2004 and 2005 (Same aeration tanks are in operation), we can compare kinds of electric power and so on. In this result, we proved to decrease surplus sludge for rate of return sludge lowered. So electric power of thickener, dewatered and sedimentation tank was lowered.

However, F wastewater treatment plant increased electric power of aeration volume. The data of quality of solid for F wastewater treatment plant was nothing, we could not compare quality of influent water (compare pollutant load), but influx volume of bonding oxygen (NO_3-O) in anaerobic tank decreased, so we guessed aeration volume was increased. We conclude to have at least effect of the lower cost of sludge treatment for rate of return sludge lowered.

2-2 Stopped operation recycled nitrate feed in case of primary effluent

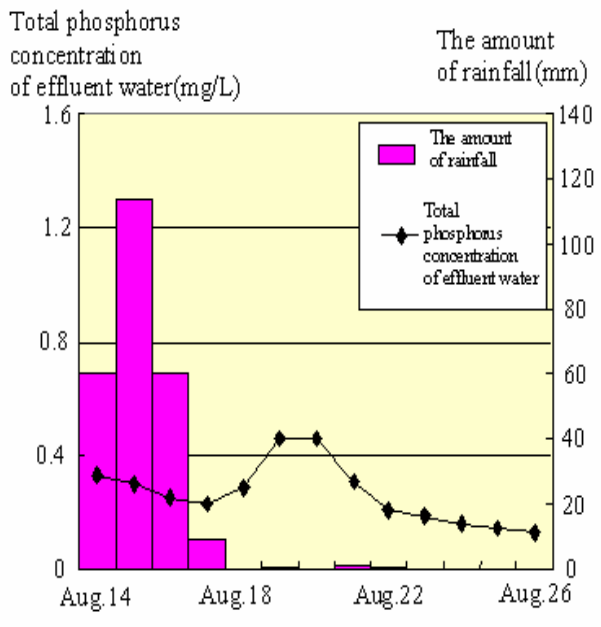


Figure13. Continued operation of A^2/O process (D wastewater treatment plant)

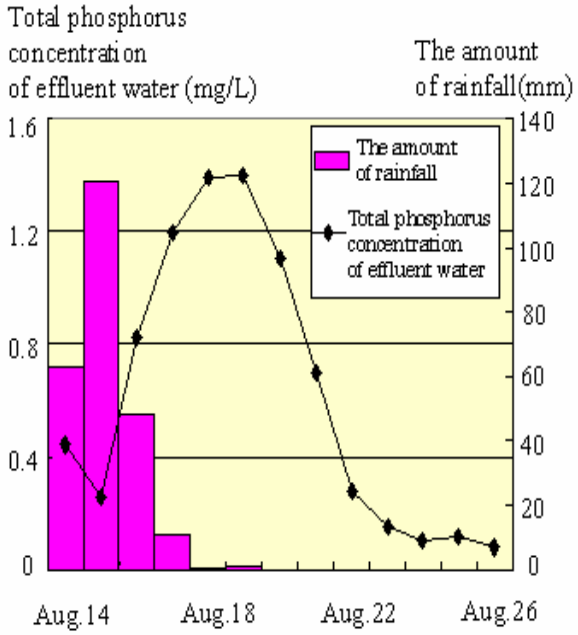


Figure14. Changed operation of AO process (E wastewater treatment plant)

Figure13 and Figure14 show comparison total phosphorus concentration of effluent water between continued operation of A^2/O process and changed operation of AO process for inspection of effect of stopped operation recycled nitrate feed in case of primary effluent. Both wastewater treatment plants were almost the same rainfall because of rainfall for typhoon. D wastewater treatment plant continued operation of A^2/O process because of examination of dosing primary sludge. On the other hand E wastewater treatment plant did bypass primary sedimentation tank while changed operation of AO process, made efforts stability of quality of effluent water. D wastewater treatment plant required 7days to recover it and total phosphorus concentration in effluent water was high, 1.5mg/L. On the other hand, increase of it in E wastewater treatment plant was not so high 0.5mg/L at peak. In this result,

we conclude stopped operation recycled nitrate feed in case of primary effluent has an effect shortening of recovering time of phosphorus concentration in treated water and control of peak of it.

2-3 Effect and cost of bypassing primary sedimentation tanks and primary sludge dosing

Adding solids into reaction tanks, which would be removed at the primary sedimentation tanks, bypassing primary sedimentation tanks and primary sludge dosing can increase aeration volume and sludge treatment volume. Aeration volume in reaction tank changes for quality of influent water and so on, it is difficult to inspect, but we can inspect it to a certain degree, because separate sewerage system is not so influenced by rainfall and we examine in the long term.

Figure15 shows ratio of A^2/O process to conventional activated sludge process about aeration volume in reaction tank with dosing primary sludge.

In this examination, A^2/O process operates to stop nitrate feed as AO process in this year because of stability of phosphorus removal. That is to say, nitric acid did not supply in reaction tank from recycled nitrate feed in this year. Ratio of A^2/O process to conventional activated sludge process about aeration volume in reaction tank was less than 1 before dosing primary sludge, but dosing primary sludge day after day, it was over 1, and we prove to be increased aeration volume in reaction tank.

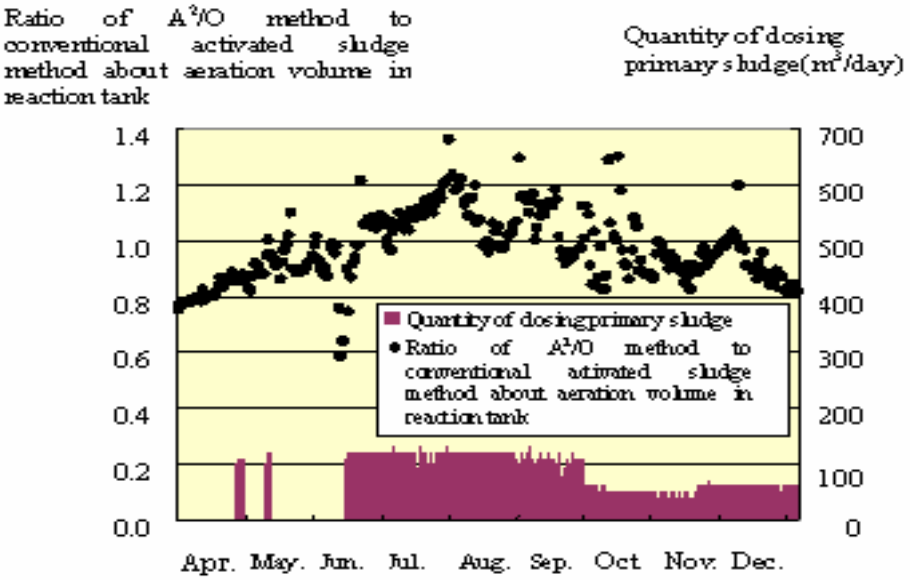


Figure15. Ratio of A^2/O process to conventional activated sludge method about amount of blast in reaction tank with dosing primary sludge

DISCUSSION

Activated sludge synthesizes PHA using organic substance in influent water under anaerobic condition and consumes PHA under oxic condition. If the consumption of PHA in an oxic tank exceeded the synthesis of it, PHA in activated sludge is decreased during the circulation between the reaction tank and the secondary sedimentation tank (Fig.16).

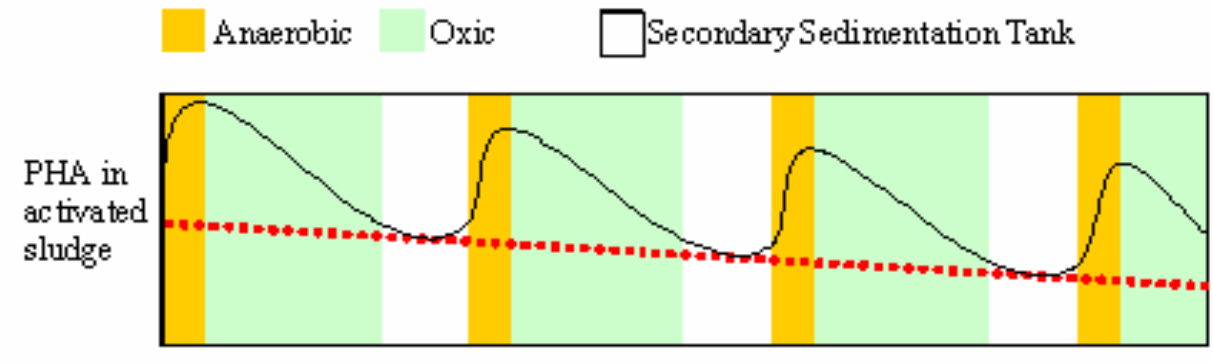


Figure16 Transition of PHA in activated sludge (Deterioration of phosphorus removal)

As PHA in activated sludge decreases, phosphorus absorption rate also decreases. If PHA in activated sludge continues to decrease and reached certain level, it is thought to be unable to absorb all phosphorus of influent water, and phosphorus concentration gradually rises in treated water.

Phosphorus removal appears to be easy to unstable when treatment volume is much less than the capacity because PHA is exhausted by excess aeration after finishing nitrification.

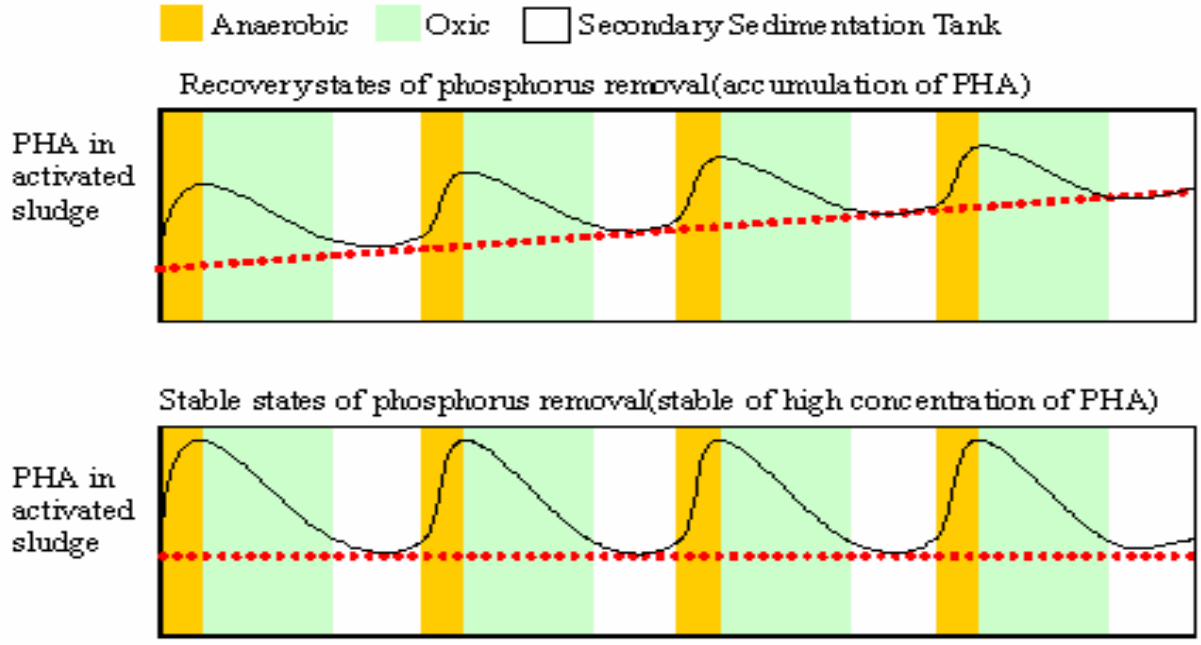


Figure17 Transition of PHA in activated sludge (Recovery and stable conditions of phosphorus removal)

On the other hand, if treated water volume is increased so much that nitrification is finished at the end of the oxic tank, PHA in activated sludge gradually increases and keeps a high level (Fig.17). On this condition, phosphorus concentration in treated water settles low level.

In examination of stopped operation recycled nitrate feed in case of primary effluent, we proved it had an effect to recover phosphorus removal. If influent water dilute until come to primary effluent for rainfall, anaerobic tank cannot keep in anaerobic condition because of organic substance shortage in influent water, carrying in dissolved oxygen and nitric acid in anaerobic tank, and so on. In this condition, if it is stopped operation to recycle nitrate feed, anoxic condition changes anaerobic condition in anoxic tank, so quicken to release phosphorus in anoxic tank (Fig.18).

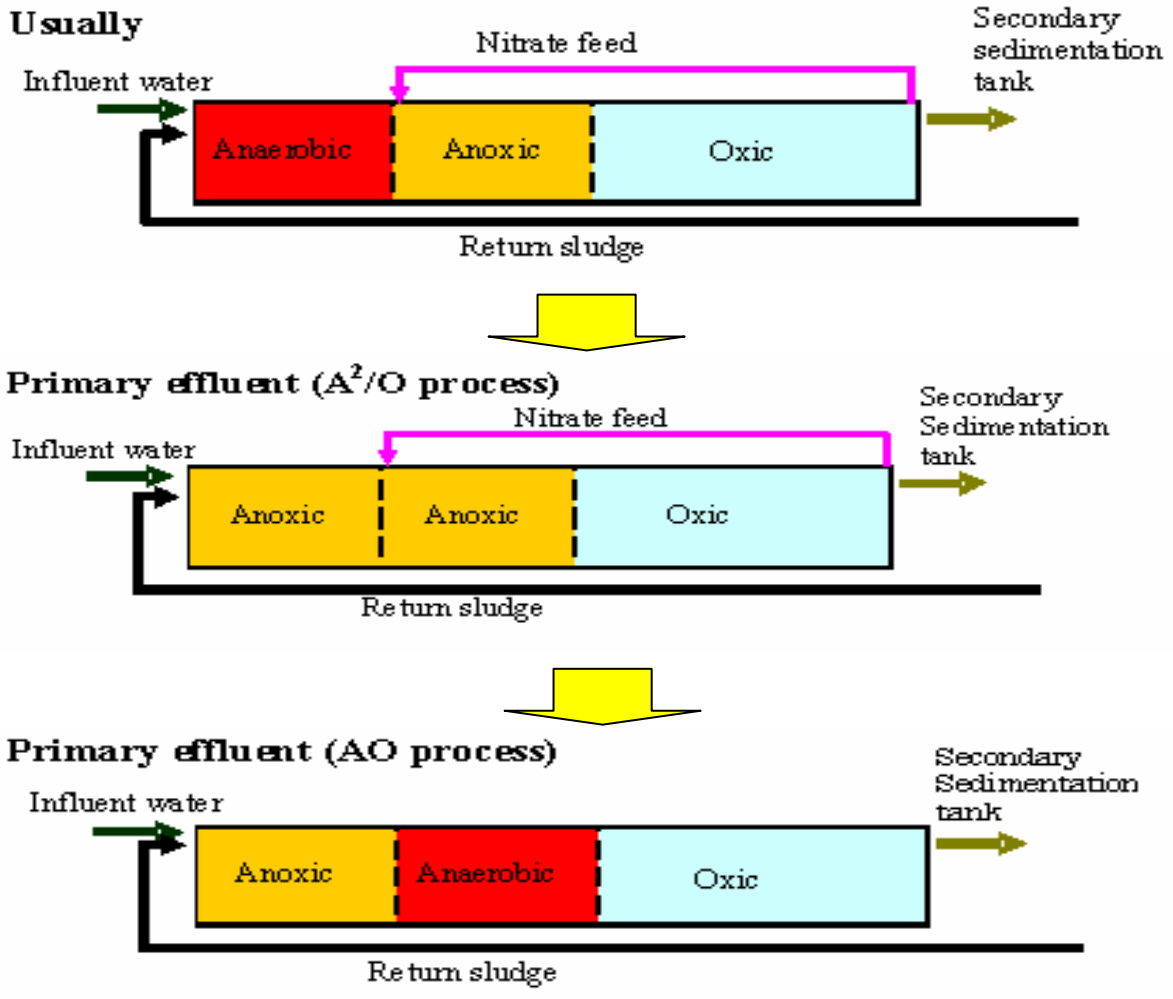


Figure18 Conditions of reaction tank for influent water and operation condition

CONCLUSIONS

As a result of these studies, we drew up a manual regarding effective operation and management of A^2/O process. Table6 shows conditions of operation under no influence of rainfall on influent water.

Phosphorus removal appears to be easy to unstable when treatment volume is much less than the capacity. That is because PHA in activated sludge is exhausted, if no ammonia nitrogen keeps remaining in treated water.

Therefore, in actual facilities, we determined that treatment water volume is as maximum as possible that satisfies perfect nitrification. If it is difficult to increase treatment water volume, we can restrict aeration and nitrification on the former part of the oxic tank.

Table7 shows conditions of operation and management at rainfall for reference.

Table6 Effective operation and management at no influence of rainfall

Heading	The most suitable operation	Standard of change of operation
Volume of treated water	Maximum treated water volume of finished nitrification	Institute from Temperature of influent
Rate of return sludge	About 15-25%	As little as possible(extent of phosphorus does not elute in secondary sedimentation tank)
Rate of nitrate feed	About 85-120%	Institute to check NO_3-N concentration in anoxic tank
MLSS in oxic tank	About 1,000～1,500mg/L	1,500mg/L in low temperature of influent
DO in oxic tank	About 1-3mg/L (Differ in facilities)	NH_4-N concentration in treated water is less than 1mg/L
NH_4-N concentration in oxic tank	About 0.5-1.0mg/L Average in a day	

Table7. Effective operation and management at influence of rainfall

Heading	The most suitable operation	Standard of change of operation
Volume of treated water	As greater as possible	Confirm secondary sedimentation tank
Rate of return sludge	Standard as about 15%	May fix minimum volume
Rate of nitrate feed	Same as usual	Do not change in usual rainfall
Bypass of primary sedimentation tank and thrown raw sludge	No enforcement	Increase of cost of management Effect is small if it does not execute it
Addition of PAC1(Poly Aluminum Chioride)	Execute if in case of law violation	

6-6
Availability of CSO Control and Flood Control of Real-Time Control System in Urban Pumping Station

Kiyohito Kuno[1], Tadao Suzuki[1*]

[1]Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government
*To whom correspondence should be addressed
Email: Tadao_Suzuki@member.metro.tokyo.jp

ABSTRACT

In 2004, Bureau of Tokyo Sewerage has installed real-time control system (RTC system) to Umeda pumping station. RTC system in Umeda pumping station differs from the one in Shinozaki pumping station, which installed RTC system first of all plants of Bureau of Tokyo Sewerage in that its equipments are not only CSO control but also flood control by operating pumps according to the inflow increase. The purpose of this thesis is to evaluate the RTC system in Umeda pumping station by the field test.

The field test, which was done from 2005 to 2006, showed that the RTC system reduced 19.2 % of discharged stormwater, 27.3 % of BOD, 27.6 % of COD, and 24.3 % of SS compared to before. And RTC system operates pumps precisely to match the downpour, therefore there are no disasters such as inundation around the basin of Umeda pumping station.

As shown above, we confirmed the availability of RTC system.

KEYWORDS: Real-Time Control System, RTC, CSO control, flood control, MOUSE

INTRODUCTION

The 23 special ward area is the “central” area of Tokyo Metropolis. Separated sewer system is superior to the combined sewer system in the point of the preservation of water quality, but 82 % of Sewer system inside 23 wards is maintained by combined sewer system, and the rest is by separated sewer system.

Combined sewer system has the problem which causes the contamination in public water area. Furthermore, the downpour in local area caused by the result of urbanization and heat island frequently occurs these days. Therefore, we should take preventive measures against inundation more than before.

To solve these problems, we must expand hardware system of sewer system, such as stormwater

storage reservoir and reconstructing the present combined sewer system to separated sewer system. However, these measures are not readily achievable and bring about high cost-increase. Therefore, in 2001, Tokyo metropolitan government established “Sewerage Plan 2001” and took measures to combined sewer system. And it also established “Quick Plan for combined sewer system” as short-term program for improvement of combined sewer system. In this “quick plan”, in purpose of CSO control and flood control we installed Real-Time Control System (RTC System), which makes the best use of capacity of present pumping station without stormwater storage reservoir.

General RTC system operates pumps by storing stormwater by using the capacity of inflow canal and it keeps the water level high, so it has a risk of inundation around grit chamber. But RTC system in Umeda enables not only CSO control but also flood control by operating stormwater pumps according to the inflow increase. The purpose of this thesis is to evaluate the RTC system in Umeda pumping station by the field test.

Selecting pumping station for installing RTC system

As installing RTC system to present pumping station, we selected Umeda pumping station for the condition as follows. Under these conditions, installing RTC system to Umeda pumping station was expected to have more effect in the point of CSO control than other pumping stations.

1. inflow canal has large capacity of water reservoir (large in diameter)
2. inflow canal is almost straight (the estimated amount of inflow has less error)
3. not remote-controlled system

The Outline of RTC System in Umeda Pumping Station

Figure 1 shows the outline of RTC system in Umeda pumping station. This system estimates the inflow to the pumping station by using the precipitation data obtained by the ground gauge placed in this pumping station, the inflow canal level data obtained by the optical water level gauge which uses optical fiber placed inside the inflow canal, and the rainfall information system (Tokyo Amesh) which can grasp rainfall inside Tokyo by 250 m square mesh. Furthermore, in this estimation process, the system takes the starting time of pumps and the Pump-characteristic curve into consideration and it uses Sewerage Mapping and Information System as sewer network data. According to the estimation it controls CSO by using storage capacity of the inflow canal.

As mentioned above, this RTC System estimates the inflow by using the precipitation data. Therefore, when heavy rain occurs, it operates stormwater pumps in order to avoid the inundation. Thus, this RTC System enables not only CSO control but also flood control by operating pumps according to the inflow increase.

Figure 2 shows the components of RTC system in Umeda pumping station. RTC system consists of RTC data processing unit for real-time condition analysis, RTC data base unit, DIMS server

(Dynamic Integrate Monitoring System), DIMS terminal.
Data processing unit forecasts 10 minutes ahead condition by hydraulic analysis model and data base unit save the data from data processing unit and other interfaces. DIMS server intermediates between RTC system and external units, and we can know the present condition by DIMS terminal.
PIO unit receives the inflow canal water level data through fiber placed inside the inflow canal and sends it to the DIMS server with other monitoring data of Umeda pumping station. However, Amesh Data Converter sends precipitation data from the rainfall information system directly to DIMS server. RTC systems send the on/off command of pumps and generators through PIO unit.

Outline of Umeda pumping station

There are 3 trunk sewers to Umeda pumping station. Umeda trunk sewer and Hokima trunk sewer are connected to main building and Aoi Stormwater trunk sewer is connected to Aoi building. Aoi Stormwater trunk sewer is constructed by separated sewer system, so RTC system in Umeda pumping station does not control Aoi building. Table 1 shows the details of sanitary district of Umeda pumping station.

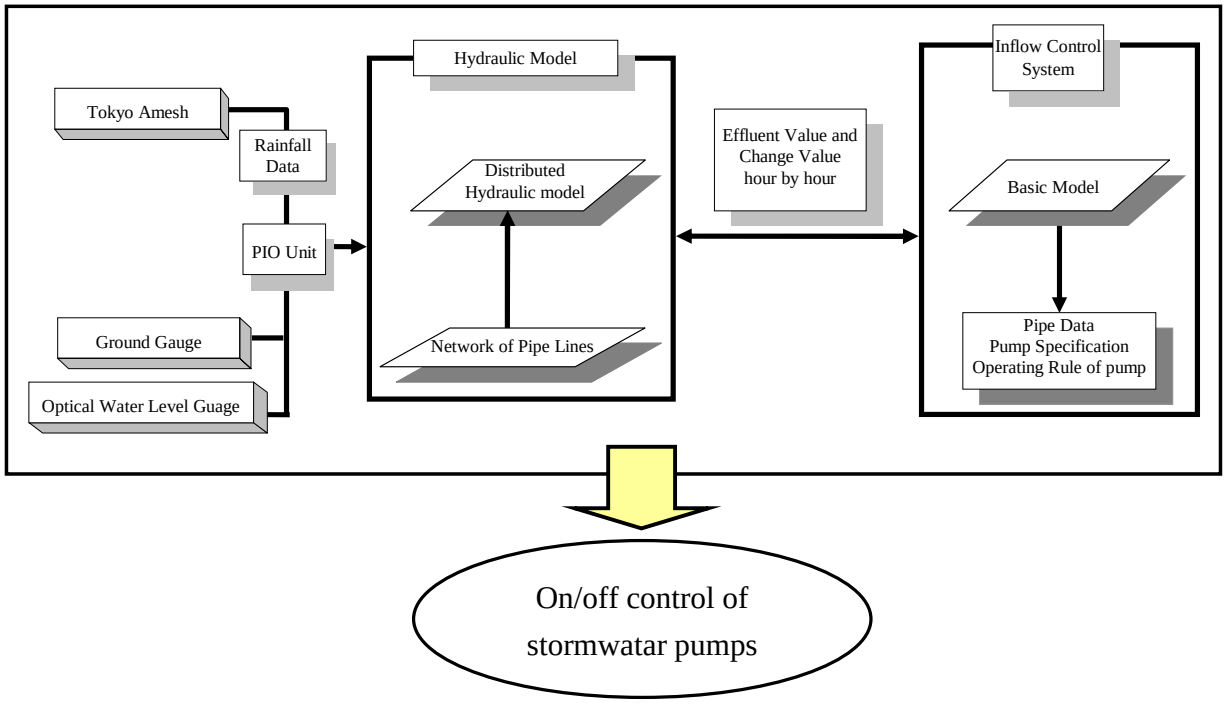


Figure 1. Outline of RTC System

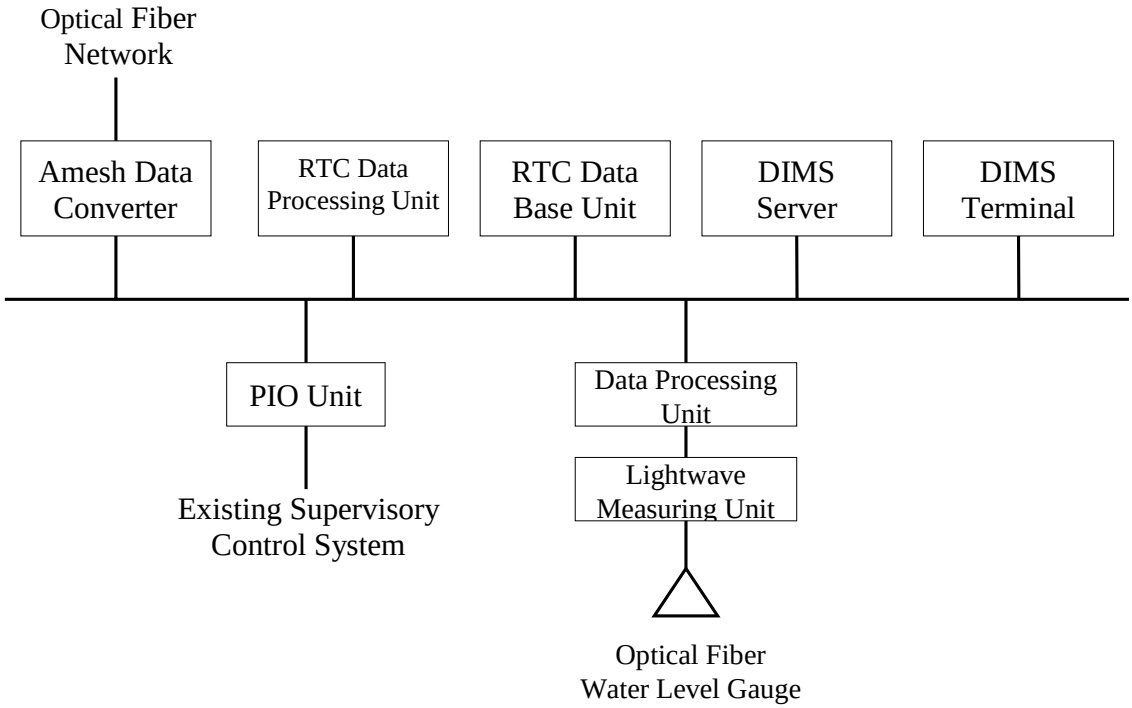


Figure 2. Components of RTC System in Umeda pumping station

Table 1 Details of sanitary district of Umeda pumping station (main building)

item			Data
Design Drainage Area	Sanitary Sewage (ha)		539.20
	Storm Sewage (ha)		1,113.1
Design Drainage Volume	Sanitary Sewage (m^3/s)	Dry Weather	1.778
		Wet Weather	4.704
	Storm Sewage (m^3/s)		102.420
Honkan Trunk Sewer	Umeda Trunk Sewer (mm)		φ5,750
	Hokima Trunk Sewer (mm)		φ4,500

6 Stormwater Pumps by Electric (7 m^3/s)

3 Stormwater Pumps by Diesel Engine (15 m^3/s)

Installing RTC system to Umeda pumping station

We had done prior investigation in 2003 and began to install RTC system in 2004. After that, we started experimental operation in 2005. And in 2005 we built up it by increasing the number of water level gauges in trunk sewer and from 10th May 2006, we put RTC System to practical use. Since then, RTC system keeps nonstop operation.

Table 2. Installing RTC system to Umeda pumping station

Year	Outline	Contents
2003	prior investigation	Drainage Basin Survey Hydraulic Modelling
2004	Installing	Set Up RTC System Set Up Water Level Gauges in Trunk Sewer (Total 3 Umeda Trunk Sewer 2, Kouya Trunk Sewer 1)
2005	Practical Use Start Full Use Start	Evaluation of CSO Control (13 case of rainfall from August to March) Increasing the number of Water Level Gauges (Hokima, Nishiarai, Motoki Trunk Sewer 1 for each) Exchanging Diesel Engine Stormwater Pump Full Speed Stand by Pump Starting Non-Stop Operation
2006	Full Use	Evaluation of CSO Control (21 case of Rainfall from April to October)

CSO control and flood control

General RTC system operates pumps by storing stormwater by using the capacity of inflow canal and it keeps the water level high. This operation has a risk of inundation around grit chamber. This is the main problem of the RTC system. As expected, We had faced this problem in installing RTC system to Umeda pumping station.

We are in charge of the speedy removal of rainwater from land surface to public water bodies by stormwater pumps. Therefore, operators are required to operate stormwater pumps to avoid inundation in his instant and right judgement. CSO control and flood control are contrary to each other, so it had not been tried long time by using RTC system.

Prior investigation in 2003 reports that in case rainfall intensity is under 7mm/h and total amount of rain is under 25mm, RTC system can operate pumps precisely. But as a matter of course, during the rain, we cannot know total amount of rain. And if sudden change of rainfall intensity happens, operators should change RTC system to manual operation and operate stormwater pumps promptly. If we would install such RTC system to pumping stations, it could not be used actually.

Therefore, RTC System in umeda pumping station estimates the inflow by using the precipitation

data and operates stormwater pumps according to amount of inflow in estimation. Thus, this RTC System enables not only CSO control but also flood control by operating pumps according to the inflow increase without manual operation.

How RTC System operates pumps

RTC system receive the measuring data such as precipitation data and water level data in some points and the number of operating pumps in real time and estimate the amount of inflow to grit chamber and water level in inflow canal by using “MOUSE” which is made by DHI. “MOUSE” is often used in simulating the inflow mainly in USA and some countries. General RTC system uses it and our former RTC system in Shinozaki pumping station uses “MOUSE”. For that reason, we adapt “MOUSE” to Umeda pumping station. The system control pumps according to the estimation by “MOUSE”.

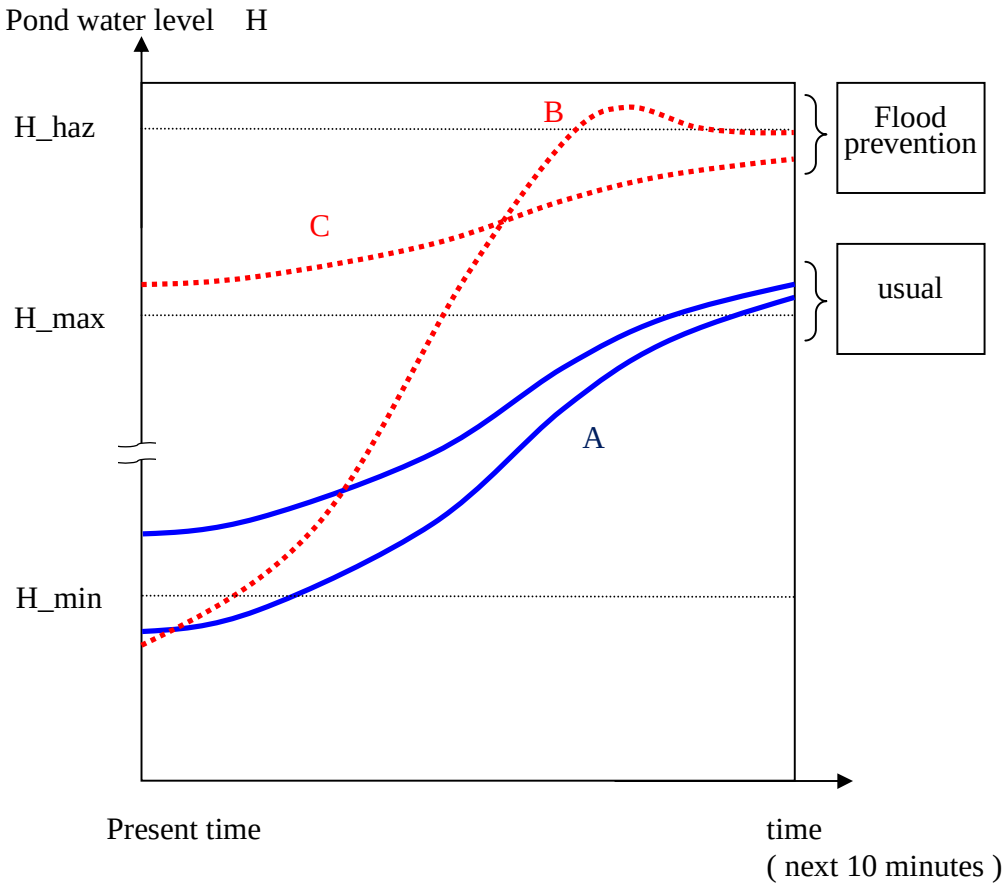
The judge of the on/off control of pumps occurs every 1 minute, and the system also expect 10 minutes ahead in this 1 minute cycle. In case of downpour, downpour causes immediate rush-in to pumping station and speedy rise of water level in inflow canal. Preparing for downpour, RTC system operates DE Full speed Stand by stormwater pumps before rush-in by judging precipitation data.

On/off control of stormwatar pumps

Pond water level and 2 modes

We define H_min, H_Max, H_haz for controlling Pond water level (cf. figure 3).

And there are 2 modes in this control system according to the pond water level in estimation. One is “usual mode” and the other is “flood prevention mode”. Figure 3 shows estimation of pond water level from the present to 10 minutes ahead.



If pond water level beyond H_haz,Umeda pumping station is in danger of inundation.
We should keep pond water level between H_min and H_max for safety operation.

Figure 3. water level and mode

The system controls only sewer pumps in usual mode. But in flood prevention mode, it controls sewer pumps and stormwater pumps. Figure 3 shows how these two modes behavior. X axis shows the time, and Y axis shows the pond water level.

In usual mode (line A), the pond water level is below H_max at the estimation time, and it prospects the pond water level will be below H_haz in next 10 minutes. Then it decides there is bare possibility of inundation and operates sewer pumps only.

On the other hand, in flood prevention mode (line B, C) the system prospects the pond water level will be above H_haz in next 10 minutes (line B). The pond water level is above H_max at the estimation time (line C). Then the system judges there will be high possibility of inundation and operates stormwater pumps according to the inflow estimation.

In flood prevention mode, the system tries to keep pond water level between H_min and H_max by judging on/off control of pumps in 10 minutes ahead in 1 minute cycle.

We calculate amount of water in need of pumping as shown below. T is the constant of revision.

Maximum amount = amount of inflow in estimation
+ (present storage amount – amount of water in H_min level)/T …(A)
Variable value 1
Minimum amount = amount of inflow in estimation
+ (present storage amount – amount of water in H_max level)/T …(B)
Variable value 2
T: 1800s
amount of water in H_min level: 6,500m^3
amount of water in H_max level: 34,000 m^3

In case the amount of pumped water equals to the amount of inflow in estimation, pond water level keeps the present condition. So while pond water level keeps between H_max and H_min, the system keeps the present operation.
In case the present pond water level is H_min, Maximum amount (shown in equation (A)) will be amount of inflow in estimation. Minimum amount (shown in equation (B)) will be below amount of inflow in estimation.
On the contrary, in case the present pond water level is H_max, Maximum amount (shown in equation (A)) will be more than amount of inflow in estimation. Minimum amount (shown in equation (B)) will be amount of inflow in estimation.
In short, Maximum amount and Minimum amount are based on amount of inflow in estimation and affected by the difference between present storage amount and amount of water in H_min level or amount of water in H_max level(Variable value 1, 2). Because the larger constant of revision T gets the smaller Variable value 1, 2 gets, the response to the amount of inflow will be slow. And Because the smaller constant of revision T gets the larger Variable value 1, 2 gets, the response to the amount of inflow will be fast. T which relates to the intensity of revision is set as 1800 after some trial and error. And amount of water in H_min level and amount of water in H_max contain capacity of grit chambers, pond and trunk sewer.

On/off control of stormwater pumps

RTC system judges on/off control of stormwater pumps as shown below.

Case 1: amount of pumped water at present < Minimum amount
The system operates additional pumps.

Case 2: amount of pumped water at present > Maximum amount
The system stops one of running pumps.

Case 3: Minimum amount < amount of pumped water at present < Maximum amount The system keeps the present operation.

RTC system operates pumps considering the start time and stop time. And in case the number of running pumps increases, it operates generators if needed.

Method of Evaluation of CSO control

We evaluate the RTC system's effect for CSO control by the method shown in Figure 4.

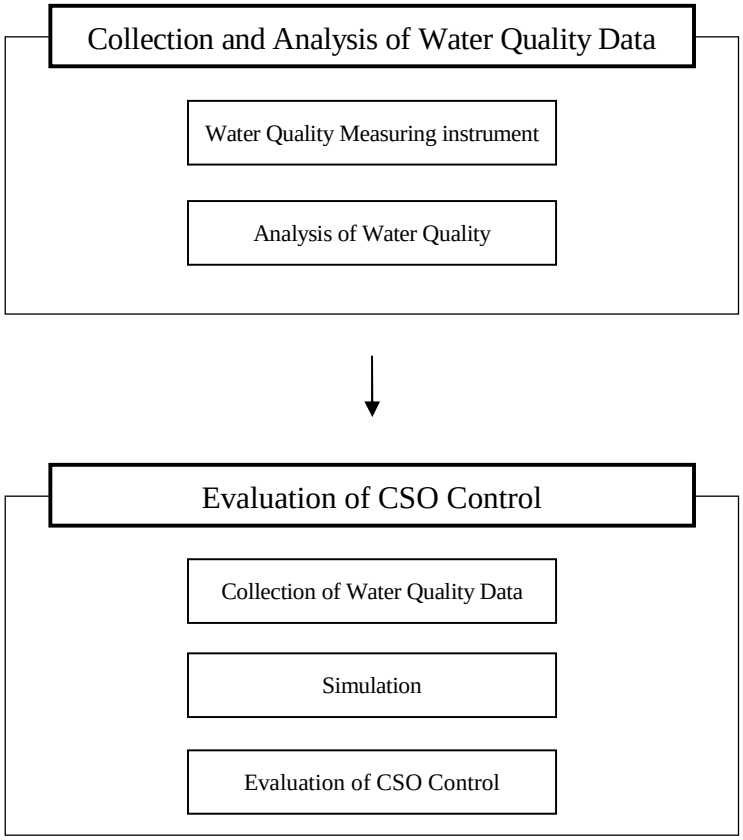


Figure 4. Evaluation method of CSO control

Analysis of pumped water quality

We set up automatic water-quality measurement instruments in grit chamber in Umeda pumping station and evaluate RTC on a rainy day. By Wastewater examination method, we analyzed concentration of BOD, COD (COD_{MN}) and SS of inflowing water.

At the beginning of the rain, there is the possibility of sudden changes of water quality of inflowing water. So we set measuring interval as shown below. RTC system judges the end of the rain at TP -11.7m and stops sampling. Water sampling was done from August 2005 to October 2006.

0-1 hours after first sampling every 5 minutes
1-2 hours after first sampling every 10 minutes
2-3 hours after first sampling every 20 minutes
3-4 hours after first sampling every 30 minutes

Evaluation of CSO control

There are two methods to operate stormwater pumps. One is by pond water level control at grit chamber and the other is by RTC system. It is impossible to compare them by field test at the same time, so we evaluate them by simulating the one which is not operating at the same condition. By multiplying BOD, COD, SS concentrations with the total amount of discharged stormwater, we calculate total amount of contamination load and relative improvement level between Water level control and RTC system.

Results

Effect for CSO Control

During the practical use rainfall occurs 34 times. The amount of discharged stormwater and total amount of contamination load are shown in Table 3. In these 34 times, pond water level control operated at 17 times and RTC system operated at 17 times.

The result was that RTC system reduced 19.2 % of discharged stormwater, 27.3 % of BOD load, 27.6 % of COD load and 24.3 % load of SS load compared with pond water level control system (Table 3).

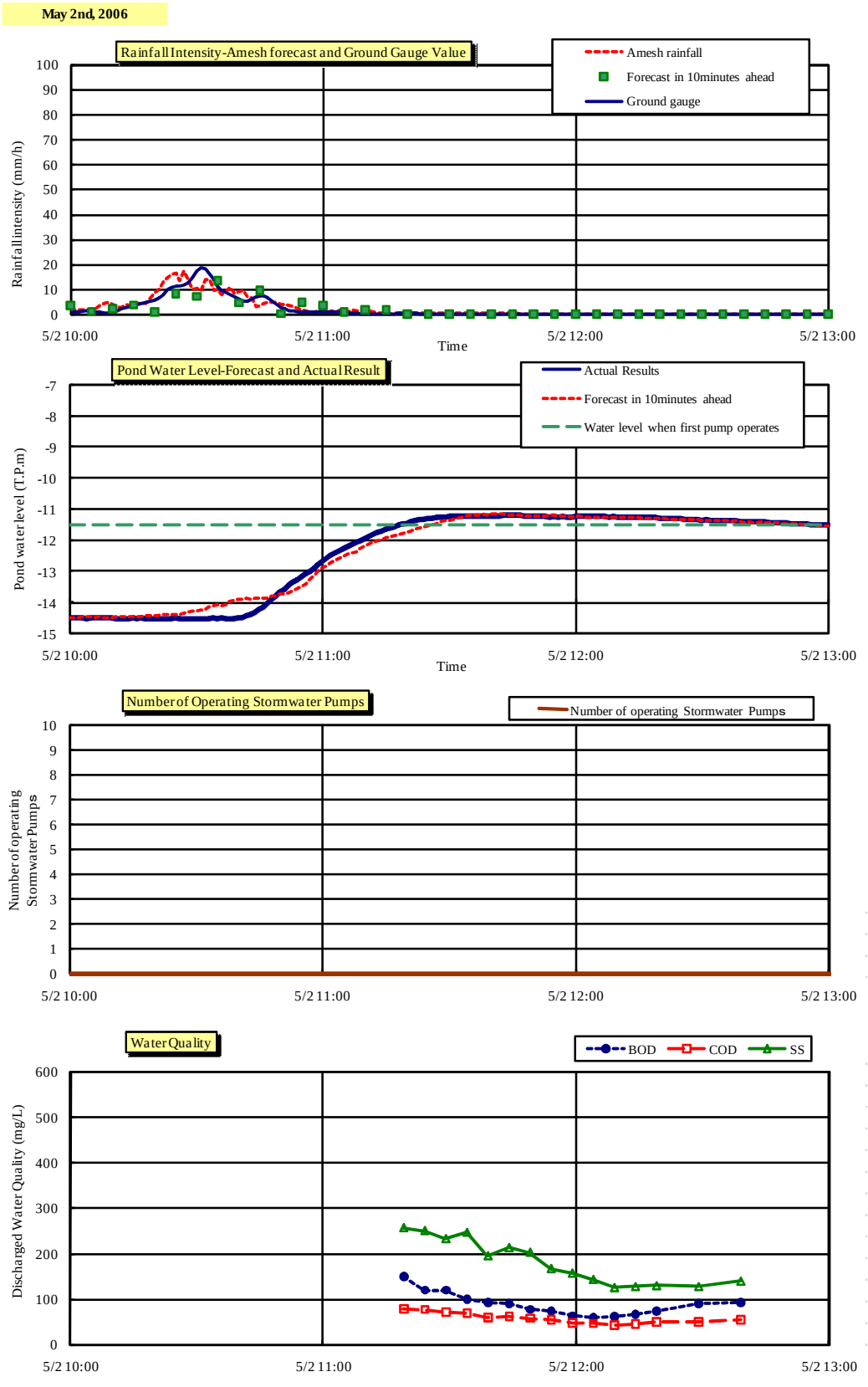
Table 3. Effect of CSO Control by RTC System

Evaluation item	Pond Water level control system (A)	RTC System (B)	Amount of reduction by RTC System (C)= (A)– (B)	Relative improvement level (%) (D)=(C)/(A)×100
discharged stormwater (m^3)	2,706,464	2,186,043	520,421	19.2
BOD load (kg)	135,026	98,202	36,824	27.3
COD load (kg)	89,161	64,586	24,575	27.6
SS load (kg)	303,407	229,599	73,808	24.3

Reduction of storm water discharge

RTC system control stormwater pumps by using storage capacity of inflow canal, RTC System operates few stormwater pumps compared to pond water level control. So amount of discharged stormwater decreases in moderate rain. In 8 cases of rainfall out of 34, RTC System operates only sewer pump. For example, we show how RTC System operates May 2nd, 2006 (Figure 5). At that time, total amount of rain was 5.5mm and maximum rainfall intensity was 5.0mm/h. Figure 5 shows that though pond water level was beyond TP -11.5m at 11:18 pm, RTC system did not operate stormwater pumps by judging rainfall information.

Like this, in moderate rain RTC system operates few stormwater pumps and amount of discharged stormwater decreases.



	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	FTU
Maximum	150	79	258	368
Minimum	59	42	126	222
Average	89	57	182	276

T.P.-10.0m means 10.0m below Average Sea Level in Tokyo Bay.

Figure 5. Driving Record of RTC System (May 2nd, 2006)

Decreasing First Flush (high contaminated water)

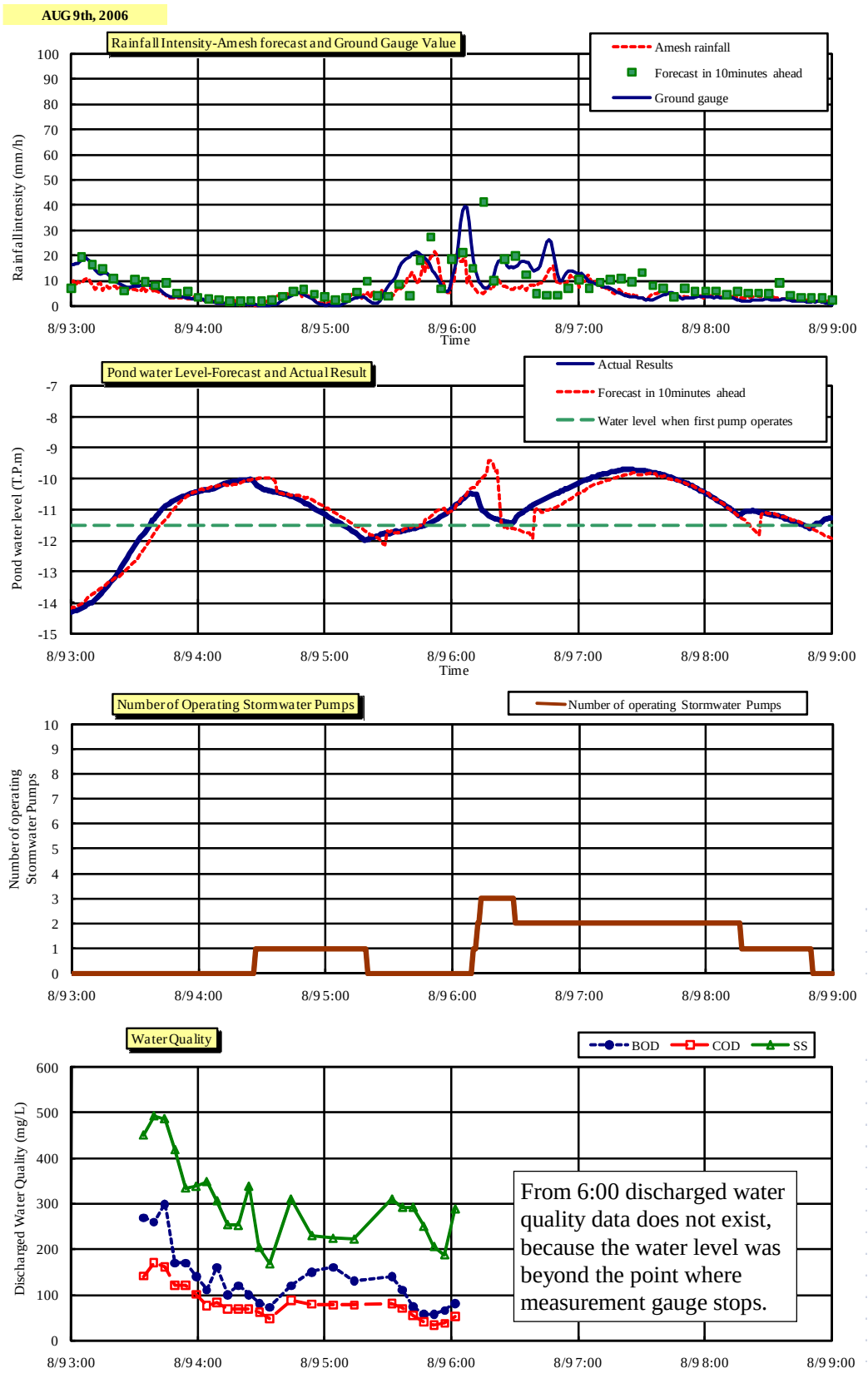
RTC system reduced 19.2 % of discharged water. But when it comes to BOD load and COD load, RTC system reduced 27.3 % and 27.6 % more than that of discharged water. This is because even though RTC system operates stormwater pumps, it can delay the starting time of them by using storage capacity of inflow canal and send it to waste water treatment plant by sewer pumps. So it can dilute first flush and decrease total amount of contamination load.

For example, we show how RTC System operates Aug. 9th, 2006 (Figure 6). At that time, total amount of rain was 45.0mm and maximum rainfall intensity was 16.0mm/h.

Pond water level control system was set to start operating stormwater pumps when pond water level was beyond TP -11.5m. So if conventional system had controlled the pumping station then, it would have started operating stormwater pumps at 3:38am. But in reality RTC System started operating stormwater pumps at 4:25am(Table 4). These data shows RTC System has good effect in the case of operating stormwater pumps in addition to the case of moderate rain by delaying starting time of stormwater pumps.

Table 4. Water Quality (Aug. 9th, 2006)

item	3:38	4:25
BOD (mg/L)	260	100
COD (mg/L)	170	69
SS (mg/L)	492	338



	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	FTU
Maximum	300	170	492	489
Minimum	56	33	168	120
Average	133	82	300	256

Figure 6. Driving Record of RTC System (Aug. 9th, 2006)

Operating pumps considering the rain fall condition

RTC system changes its mode to “Flood prevention mode” and operates stormwater pumps when it infers the danger of inundation. Figure 6 shows an example of this operation. From 6:00 am, rain had got heavier to 40mm/h and according to the rainfall intencity it operates stormwater pumps. At first it did not operate stormwater pumps, but a few minutes later it operates 3 stormwater pumps and later 2 stormwater pumps.

AUG. 4th, 2008 (this day is not included in 34 examples), downpour happened and rainfall intensity rose to 53.0mm/h and total amount was 69.5 mm. Figure 7 shows the example of this operation. 5 electric stormwater pumps and 2 Diesel Engine stormwater pumps had operated but it had no trouble such as inundation around grit chamber. RTC system had established its trust in the case of 50 mm/h rain.

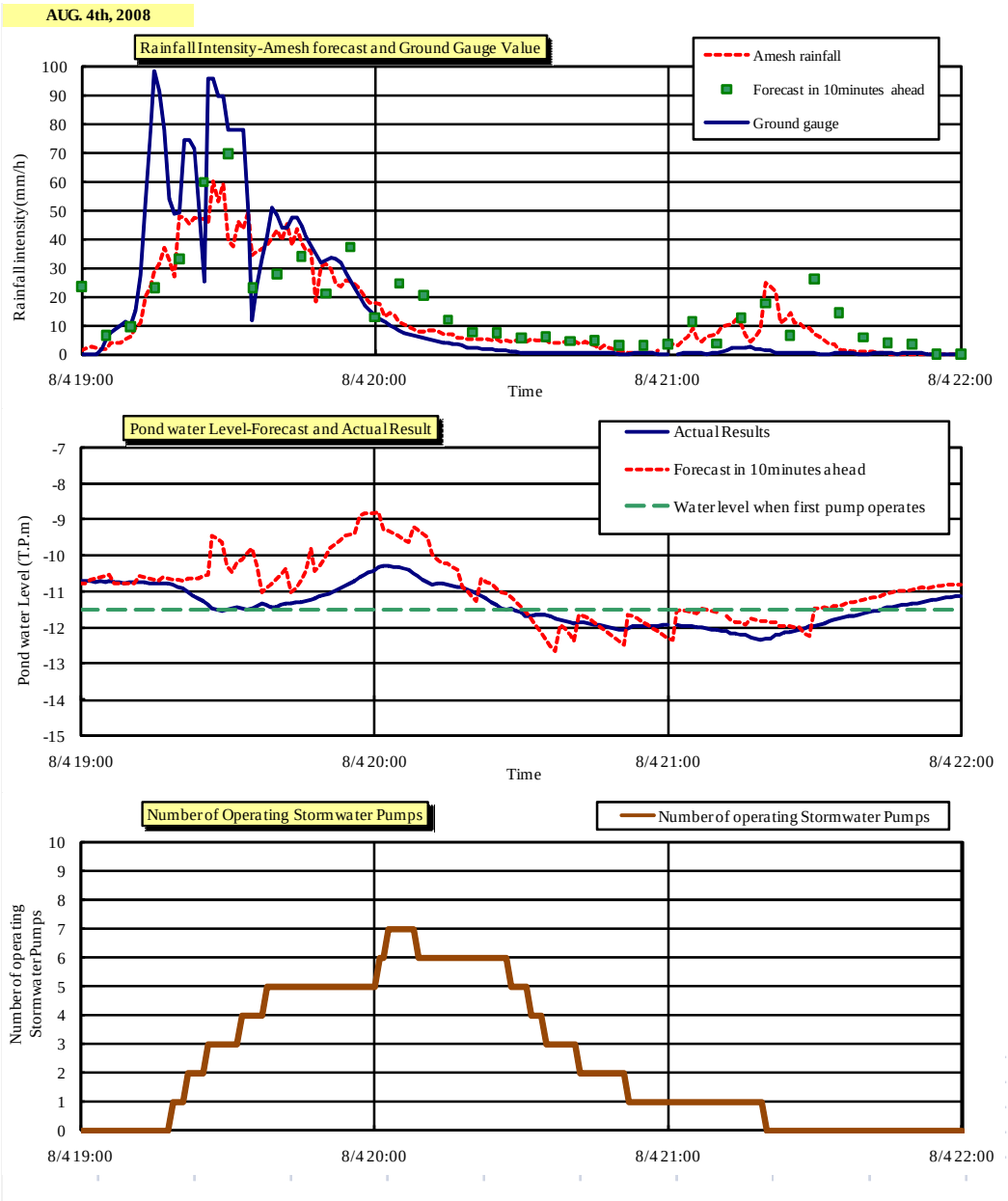


Figure 7. Driving Record of RTC System (Aug. 4th, 2008)

Relation between, total amount of rain rainfall intensity and CSO control

About sampling data obtained by 34 cases of rainfall, figure 8 shows the relation between total amount of rain and BOD relative improvement level. And figure 9 shows the relation between rainfall intensity. and BOD relative improvement level. From figure 8 and 9, if total amount of rain is small and rainfall intensity is weak, BOD relative improvement level had decreased. And if total amount of rain is large and rainfall intensity is heavy, BOD relative improvement level had decreased. This is because in moderate rain RTC system control pumps by using storage capacity of inflow canal rain and operates few stormwater pumps compared to before. And in downpour, it operates stormwater pumps for the risk of inundation.

Rainfall intensity has more relation to BOD relative improvement level compared to total amount of rain. This is because RTC system estimates the amount of inflow by using the amount of rainfall in next 10 minutes from precipitation forecasting system. And in case of heavy rain, RTC system controls pumps by using storage capacity of inflow canal and does not operates stormwater pumps if it is expected to stop in short time. So it can decrease operating time of stormwater pumps and the amount of discharged water.

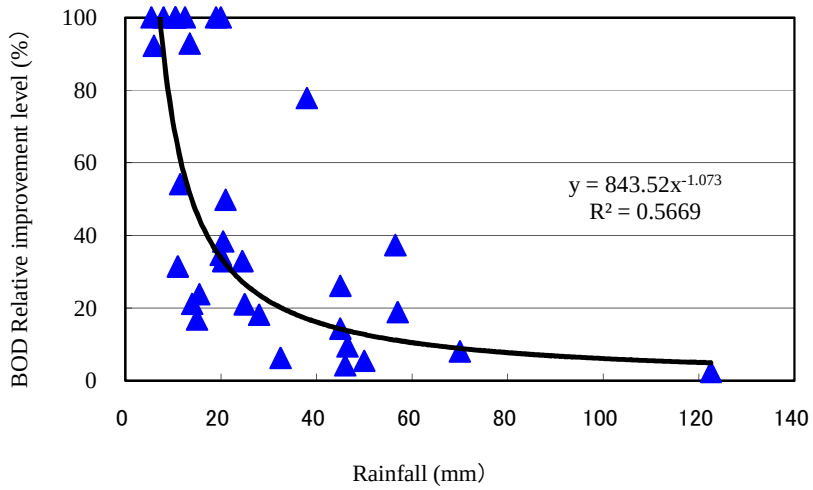


Figure 8. Total amount of rain and BOD load Relative improvement level

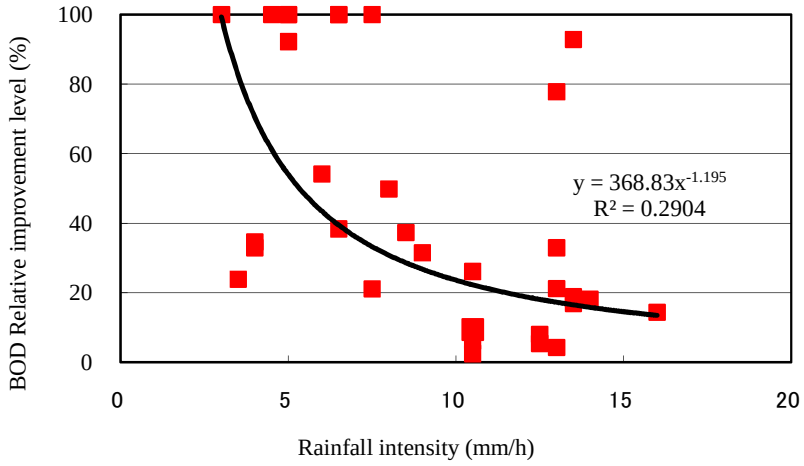


Figure 9. Rainfall intensity and BOD load Relative improvement level

Apply RTC system to Waste Water Treatment Plant

Even if RTC system in Umeda pumping station reduced the amount of discharged water by sending it to Kosuge Waste Water Treatment Plant (WWTP), it is no worth if the amount of discharged water increases in Kosuge WWTP.

In 8 cases (7 days) of rainfall out of 34, RTC system operates only sewer pumps so we researched Kosuge WWTP's operation data. Table 5 shows precipitation data of these 7 days. Total amount of discharged stormwater in Kosuge WWTP in SEP. 11st, 2005 is 35,250m^3. At this day the rain in Kosuge WWTP was relatively heavy (rainfall intensity 10.5 mm/h and total amount 14.5 mm) and it causes discharging water in Kosuge WWTP. Figure 10 shows the precipitation data around Kosuge WWTP from Tokyo Amesh. It shows that it rains heavier around Kosuge WWTP than Umeda pumping station.

All these 7 days except for SEP. 11st, 2005, Kosuge WWTP did not discharge stormwater, so stormwater sent from Umeda pumping station to Kosuge WWTP was treated. The distance between Umeda pumping station and Kosuge WWTP is 3.0 km and condition of the rainfall and inflow is not the same so we can say wastewater sent from Umeda pumping station will be treated if rainfall intensity around Kosuge is below 7.5mm/h. This is because WWTP is larger in its capacity than pumping station, so it can absorb the increasing amount of inflow by RTC system.

As mentioned above, RTC system has effect for CSO control considering both Umeda pumping station and Kosuge WWTP.

Table 5. Precipitation data of the 8 cases (7 days) rainfall

Date	Umeda pumping station			Kosuge WWTP		
	Total amount of rain (mm)	Rainfall intensity (mm/h)	Discharged stormwater (m^3)	Total amount of rain (mm)	Rainfall intensity (mm/h)	Discharged stormwater (m^3)
SEP. 6th, 2005	12.5	5.0	0	7.5	2.0	0
SEP. 11st, 2005	8.0	6.5	0	14.5	10.5	35,250
SEP. 25th, 2005	10.5	6.5	0	11.0	7.5	0
OCT. 10th, 2005	19.0	7.5	0	20.5	7.0	0
NOV. 6th, 2005	15.5	4.5	0	17.0	4.0	0
MAY 2nd, 2006	5.5	5.0	0	6.0	5.5	0
JUN. 15th, 2006	10.5	3.0	0	14.0	4.5	0

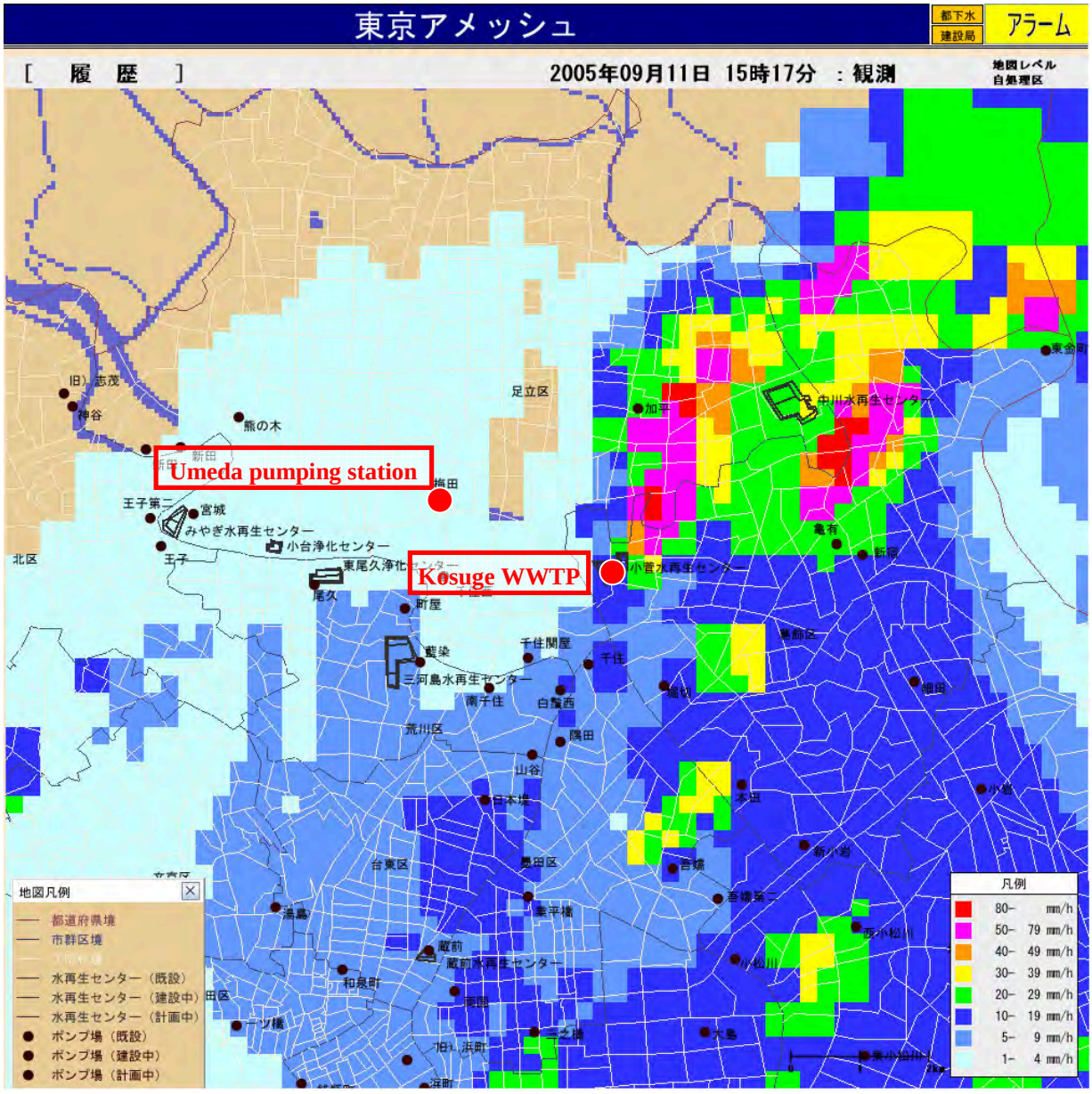


Figure 10. Tokyo Amesh(SEP. 11st, 2005)

Conclusion

- Practical use showed that the RTC System reduced 19.2 % of discharged stormwater, 27.3 % of BOD load, 27.6 % of COD load and 24.3 % load of SS load compared to pond water level control.
- Even if RTC system operates stormwater pumps in case of heavy rain, we can decrease total amount of contamination load by diluting first flush and sending it to WWTP.
- In the case of moderate rain, by using storage capacity of inflow canal, RTC System operates few stormwater pumps compared to pond water level control and by decreasing the amount of discharged water, it has the effect for CSO control.
- RTC System operates pumps precisely to the downpour, so there are no disasters such as inundation around the grit chamber of Umeda pumping station. Therefore we appreciate RTC System as preventive measures to inundation.
- BOD load relates to the rainfall intensity rather than total amount of rainfall, so we can say Tokyo Amesh data has much to do with the estimation of inflow.
- Though RTC operates stormwater pumps and sends it from pumping station to WWTP, it can absorb the increasing amount of inflow by RTC system.

Future Work

Some problems had taken place since we put RTC System to practical use.

- We cannot know the process of hydraulic accounting in display, so we cannot know how RTC system judges its operation.
- 100 mm/h rain has not occurred around Umeda pumping station, so we should verify how RTC system operates.
- In case of downpour RTC system directs operators to shut inflow gate in the last resort. Until the present, this case has not happened yet, so we cannot evaluate this function. If capacity of pumps and civil structure are modified, we should correct software in order to improve accuracy. We should keep trying to solve these problems.

As mentioned before, we should consider these conditions to install RTC system.

1. inflow canal has large capacity of water reservoir (large in diameter)
2. inflow canal is almost straight (the estimated amount of inflow has less error)
3. not remote-controlled system

To apply this system to other basins as a method of CSO control, we should consider costs, accuracy, risk of inundation and intelligibility for operators to handle.

平成23年2月発行

技術調査年報
２０１０

平成22年度
規格表第5類
登録第96号

編集・発行　東京都下水道局 計画調整部 技術開発課
所在地　東京都新宿区西新宿二丁目８番１号
電話　（5320）6606　（内）51-781
印刷　東海電子印刷株式会社