

# **東京都下水道局技術調査年報**

## **-2007-**

**平成 20 年 2 月**  
**東京都下水道局**

# 技術調査年報の発刊にあたって



東京の下水道は早くから事業に着手したため、初めての課題に直面することが多く、その解決に先人たちちは果敢に取り組んできました。これからも新たな課題の解決に向けて着実に技術開発を進めていかなければなりません。

昨年12月に東京都が策定した、「10年後の東京」への実行プログラム2008の中でも、世界で最も環境負荷の少ない都市を実現する温暖化ガスの排出削減

対策をはじめとし、災害に強い都市をつくるための浸水対策やインフラの耐震化、美しいまち東京を復活させるための高度処理施設の整備や合流式下水道の改善など、「10年後の東京」の実現に向けて下水道局の技術の果たすべき役割が期待されています。

また、目を地球規模の問題に転ずれば、現在、最大の問題の一つである、地球温暖化については、それを緩和(Mitigation)するための温暖化ガス排出量の削減には、再生可能エネルギーの利用や二酸化炭素の回収・貯留といった新技術が鍵をにぎると言われており、技術開発の重要性が認識されています。

今年の春には、現在、砂町水再生センターに整備中の研究開発センターも完成する予定です。この拠点を活用して民間企業、大学等と連携した共同研究を実施することにより新技術の開発を進めて局事業、下水道事業の進展に資するとともに、企業、大学の技術開発の機運が高まるることを期待しています。

本技術調査年報は、日常業務で生じた課題をはじめ、局事業の推進のために各部所で平成18年度に実施された調査研究・技術開発を取りまとめたものです。この成果は、今日の下水道事業に求められている課題に深く関わりを持つものです。

本調査年報を、職員の技術力の維持向上と技術継承に役立てるとともに、技術開発を進める上で共同研究などのパートナーである、民間企業、大学・研究機関、監理団体の方々への技術開発ニーズなどの情報発信ツールとして、また、国、地方公共団体の方々の業務の参考として活用していただければ幸いです。

平成20年2月

下水道局長 前田 正博

## 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)震災対策技術

1 非開削マンホール浮上抑制工法の開発	33
---------------------	----

#### (2)微量物質・病原性微生物等対策技術

1 G C / M S 法によるエストロゲン抱合体の分析	41
------------------------------	----

2 下水処理におけるエストロゲンの挙動～処理方式による比較～	49
--------------------------------	----

### 2 快適性の向上

#### (1)合流改善技術

1 大断面管渠における水面制御装置の適用について	57
--------------------------	----

2 分水人孔用電動式円弧型スクリーン	69
--------------------	----

#### (2)高度処理技術

1 流域 A20 法施設の最適な運転管理方法	87
------------------------	----

2 PAC 添加によるりん除去効果	93
-------------------	----

3 葛西水再生センターにおけるりん処理の実態と対策	97
---------------------------	----

#### (3)周辺環境対策技術

1 伏せ越し管きよ空気抜き施設に関する調査	109
-----------------------	-----

### 3 地球環境保全への貢献

#### (1)温室効果ガス削減技術

1 高効率散気装置の運転指標の経年変化と課題の評価について	121
-------------------------------	-----

2 省エネルギー型ハニカム濃縮機に関する共同研究	133
--------------------------	-----

3 下水道事業における木質バイオマスの有効活用策の検討	145
-----------------------------	-----

4 バイオマスを利用した高効率ガス化・利用技術の開発	155
----------------------------	-----

#### (2)汚泥資源化技術

1 粒度調整灰を利用した高流動セグメントに関する共同研究	167
------------------------------	-----

2 防菌コンクリートに粒度調整灰を加えたコンクリート製品の耐久性確認に関する共同研究	171
--	-----

### (3)エネルギー・熱利用技術

- |                         |     |
|-------------------------|-----|
| 1 下水汚泥ガス変換発電システムの実用化検証  | 179 |
| 2 下水熱を利用したオフライン熱供給技術の開発 | 187 |

## 4 事業の効率化

### (1)建設技術

- |                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 1 二次覆工一体型シールド工法の急曲線セグメントの開発に関する共同研究 | 201 |
| 2 硫黄固化体の後貼りボード工法の開発                 | 207 |

### (2)維持管理技術

- |                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 1 大口径管きょ調査用カメラシステムの開発について            | 215 |
| 2 工業計器データの解析と活用                      | 229 |
| 3 三河島水再生センターにおける第二沈殿池汚泥沈降の改善について     | 235 |
| 4 砂ろ過池砂層測定の効率化                       | 241 |
| 5 硝化制御システムと従来法(DO制御)の水質比較調査経過報告      | 247 |
| 6 汚泥処理動力削減のための重力濃縮をベースとした汚泥処理システムの構築 | 257 |

## 5 国際論文

- |                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 1 【WEF 英文】レーダー雨量情報を利用した雨天時不明水の調査について | 267 |
| 2 【WEF 英文】運転ナビゲーションシステムの開発           | 279 |

Copyright©(2006) by the Bureau of Sewerage in Tokyo Metropolitan Government

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

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

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

# 本書をご利用いただく前に

## ■目的

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

- ① 局内の技術情報を網羅し、技術情報の共有による職員相互の技術力の維持向上と技術の継承及び技術的課題の糸口となること
- ② 下水道事業に関わる課題と課題解決への取組みの成果について、先駆的に情報発信を行ない、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18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17年3月に策定した「技術開発推進計画2005(東京都下水道局)」における4つの技術開発テーマ(安全性の向上、快適性の向上、地球環境保全への貢献、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5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」 : 3編
- ・第2章「快適性の向上」 : 6編
- ・第3章「地球環境保全への貢献」: 8編
- ・第4章「事業の効率化」 : 8編
- ・第5章「国際論文」 : 2編

## ■お知らせ

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

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

なお、都民情報ルーム(都庁第一本庁舎3階)、都立多摩図書館、都立中央図書館、都立日比谷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	非開削マンホール浮上抑制工法の開発
内 容	<p>地震によって地盤が液状化すると下水道マンホールが浮上し、下水の流下機能や道路交通に大きな支障をきたす。このような地震による液状化現象は、地盤の震動によって土中の間隙水圧が上昇することが原因といわれている。</p> <p>そのため、地震時に上昇する間隙水圧(過剰間隙水圧)を即時にマンホール内に消散させ、地盤の液状化を防ぐことにより、マンホールの浮上を抑制させる工法を開発するものである。</p> <p>開発の結果、非開削工法でマンホール側壁に消散弁を設置して過剰間隙水圧を消散させることができ、マンホール浮上の抑制に有効な対策であることが確認された。</p>		
キーワード	液状化、過剰間隙水圧、マンホールの浮上		
処理区名	中川処理区		
職種区分	土木		
状態区分	調査 研究		
実施年度	平成17年度		
担当部所	北部第二管理事務所 施設課		
出 展 等	局技術管理委員会資料		
調査方法	簡易提供型共同研究		
関連情報			

番号	1- (2) -1	件名	GC/MS 法によるエストロゲン抱合体の分析					
内 容	都市河川に生息する魚類等の生殖異変の原因物質として指摘されている女性ホルモン(エストロゲン)には、遊離体と抱合体が存在し、水環境に対する下水の影響を把握するには、遊離体と抱合体の両者を測定する必要がある。しかし、GC/MS 法によるエストロゲン分析の報告例は、主に遊離体に関するものであり、抱合体については極めて少ない。そこで、塩酸/メタノールを用いた抱合体分解操作を前処理に追加し、NCI-GC/MS 法による抱合体の分析条件について検討した。抱合体分解操作による回収率は硫酸抱合体では良好であったが、グルクロン酸抱合体では悪く、GC/MS 法による抱合体の分析には限界があることがわかった。							
キーワード	エストロゲン GC/MS 法 ガスクロマトグラフー質量分析法 抱合体							
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター、処理水放流水					
職種区分	水質	施策区分	微量物質・病原性微生物等対策技術					
状態区分	調査 研究	技術区分						
実施年度	平成 18 年度	全体期間	平成	年度	～ 年度			
担当部所	施設管理部環境管理課							
出 展 等	平成 18 年度水質管理研修、第 44 回下水道研究発表会							
調査方法	直営							
関連情報								

番号	1- (2) -2	件名	下水処理におけるエストロゲンの挙動～処理方式による比較～					
内 容	<p>本調査では、水再生センターの処理水について、エストロゲン類濃度の把握及び、その低減手法を検討することを目的とした。</p> <p>まず、エストロゲンのなかで、作用は小さいものの、分解の過程で作用の大きな遊離体に変化するエストロゲン抱合体に注目し、抱合体を遊離体にした後、ガスクロマトグラフ質量分析法により分析するための操作条件について検討した。その結果、操作に用いる塩酸／メタノール溶液を0.1Mに設定すれば、試料中にすでに含まれている遊離体を分解せずに、硫酸抱合体が遊離体になることがわかった。しかしながら、グルクロロン酸抱合体については、回収率が低いため、分析が困難であった。</p> <p>次に、水処理条件と処理水中の濃度との関係を探るため、実施設で処理方式の異なる系列についてエストロゲン類の実態調査を行った。実態調査では、機器分析により遊離体のエストロゲンを分析するとともに、遺伝子組換え酵母によるエストロゲン様活性を測定して、処理水の評価を試みた。その結果、A<sub>2</sub>O系列は、標準系列と比べてエストロゲン濃度が低減することがわかった。</p>							
キーワード	エストロゲン ガスクロマトグラフ質量分析法 エストロゲン様活性 遺伝子組換え酵母							
処理区名			位置区分	処理場 水再生センター、処理水放流水				
職種区分	環境検査		施策区分	微量物質・病原性微生物等対策技術				
状態区分	調査 研究		技術区分					
実施年度	平成 18 年度		全体期間	平成 年度～ 年度				
担当部所	施設管理部環境管理課							
出 展 等	平成 18 年度水質管理研修							
調査方法	直営							
関連情報								

番号	2-(1)-1	件名	大断面管渠における水面制御装置の適用について
内 容		<p>1. 概要</p> <p>区部では、夾雑物対策として水面制御装置が数多く設置されているが、枝線管渠に限られた施工実績である。今回、水面制御装置を設置する北多摩一号幹線は、幅 8.0 m × 高 4.5m × 2 連の矩形渠で、神田川中流域の計画流量に匹敵する約 <math>240 \text{ m}^3/\text{s}</math> の流下能力を備えた大規模幹線である。このため、水理模型実験を実施し、水面制御装置の規模や形状を決定することとした。</p> <p>2. 現地事前調査</p> <p>実験に先立ち、幹線内に水位計、赤外線カメラ、夾雑物の補足籠を設置し、以下の調査を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 降雨量と水位変動調査</li> <li>(2) 流況把握、夾雑物流出状況把握</li> </ul> <p>3. 水理模型実験</p> <p>縮尺 1/18 のアクリル製の模型を制作し、2種類の流量条件 (10mm/h 及び 50mm/h 降雨時)において、以下の検討を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 水面制御装置の構造諸元 (形状、設置角度、高さ) の設定</li> <li>(2) 計画流量流下時における水面制御装置による背水の影響確認</li> <li>(3) 水面制御装置の荷重条件 (材質、構造) の設定</li> </ul> <p>4. おわりに</p> <p>水理模型実験の結果、計画流量の流下時でも幹線が圧力状態にならず、背水影響による溢水がないことを確認した。また、一般夾雑物の捕捉率が現状 55~78%であるのに対して、対策後は 85~95%まで向上することが判明した。</p> <p>上記の成果を基に平成 19 年 8 月に工事を起工し、平成 19 年度末までに水面制御装置を完成させる予定である。また、同じく大断面管渠の北多摩二号幹線においても本成果を活用し、水面制御装置を設置する予定である。</p>	
キーワード	大断面管渠、水面制御装置（北多摩一号幹線）		
処理区名	北多摩一号処理区		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	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 設計課		
出 展 等	平成 18 年度 第 2 回設計・工事事例発表会		
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	2-(1)-2	件名	分水人孔用電動式円弧型スクリーン
内 容	<p>本調査は、管渠分水人孔の合流改善対策技術として、従来の直線タイプのろ過スクリーンよりも機能性・施工性・維持管理に優れた技術を開発したものである。</p> <p>従来のろ過スクリーンは、油圧式であり制御盤が大型なものである。また、スクリーン本体も直線タイプのみであり、円弧堰に設置する場合は大規模な人孔内の改造が必要である。</p> <p>この円弧型スクリーンは、電気駆動設備のみのため制御盤が油圧式より小型化・遠隔化及び地下化が可能であり、また、スクリーン設置には人孔改造の必要性も無く円弧堰に沿った設置が可能である。</p>		
キーワード	合流改善、分水人孔、円弧型スクリーン、箱崎ポンプ所、港区白金5丁目13番		
処理区名		位置区分	管きよ
職種区分	土木	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16～17年度	全体期間	平成16～17年
担当部所	中部管理事務所 管路施設課		
出 展 等			
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	2-(2)-1	件名	流域 A20 法施設の最適な運転管理方法
内 容		<p>流域の全ての水再生センターでは水処理施設と汚泥処理施設を合わせ持ち、かつ、水処理施設に標準法と高度処理法が導入されている。このため、汚泥処理返水による高度処理への影響や、高度処理で除去したりんを含む汚泥処理返水による標準法処理水質の低下などが見られる。そこで、処理コストの低減と安定した処理のための運転方法を以下の5点を考慮して検討し、流域版高度処理運転管理方法（マニュアル）を作成した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 汚泥返送率は、通常 15～25% 程度とする</li> <li>② 硝化除去の条件は、（汚泥返送率） + （硝化液循環率） ≥ 100% で判断する</li> <li>③ 反流水の種類ごとに水質の推奨値を設定し、汚泥管理を徹底する</li> <li>④ 『一沈バイパス』、『生汚泥投入』、『PAC 添加』は原則として行なわない</li> <li>⑤ 簡易放流実施時には硝化液循環を停止し、りん除去の安定化を優先させる</li> </ul> <p>マニュアルの内容</p> <p>(1) 通常時（雨の影響を受けないとき）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 完全硝化を確保しつつ処理水量をできる限り増大させる（処理負荷を高める）</li> <li>② 二沈でりんが溶出しない状態を維持しながら汚泥の返送率をできる限り下げる</li> </ul> <p>(2) 降雨時</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① A20 施設への流入水量を増大させることによってBOD-S/S負荷の低下を抑制する。</li> <li>② 汚泥の返送率をさらに低下させ、嫌気槽への硝酸の持込量等を抑制する。</li> <li>③ 簡易放流時には、硝化液循環を停止する。</li> </ul>	
キーワード	A20 法施設、マニュアル、雨天時、循環停止、りん除去安定化		
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	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14年度～平成17年度
担当部所	流域下水道本部 技術部 施設管理課		
出展等	18年度 下水道水質技術研究発表会		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	2-(2)-2	件名	PAC 添加によるりん除去効果
内 容	<p>下水処理におけるりん処理方法は、AO法等の高度処理を用いることで、十分に処理することができる。しかし、反応タンクへの流入水の基質や水量などの変動により、処理が不安定になることがある。そのため、金属塩凝集沈殿法を併用することで、安定的なりん処理に努めている。</p> <p>当局では、金属塩凝集沈殿法での無機凝集剤に、ポリ塩化アルミニウム（以下、PAC）を用いている。PACは、浄水用の凝集剤として開発・使用されていたため、浄水用の凝集剤としての調査・研究の報告は数多くある。しかし、下水処理工程、特にりん処理を目的としたPACの調査・研究の報告事例は少ない。そこで、PACによるりん処理について調査したところ、以下のようないくつかの結論となった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 影響を与える要因はpHであり、最適なpHの範囲は6.5～7.5である。</li> <li>・ 硝化によりpHが6.2程度まで下がると、添加したPACにより更に低下するため、りんを十分に処理ができない。また、放流水質基準(5.8～8.6)にも注意が必要である。</li> <li>・ PAC注入後、十分な攪拌することが必要である。</li> <li>・ りん処理に必要なモル比は4程度である。</li> </ul>		
キーワード	ポリ塩化アルミニウム、PAC、りん酸、金属塩凝集沈殿法		
処理区名	位置区分 処理場 水再生センター		
職種区分	高度処理		
状態区分	水質 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	中部管理事務所 芝浦水再生センター		
出展等	平成18年度水質管理研修		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	2-(2)-3	件名	葛西水再生センターにおけるりん処理の実態と対策
内 容	<p>葛西水再生センターは放流水りん濃度の変動が大きく、瞬間的には3mg/Lを超えることがあり、従来から擬似嫌気好気法の実施、本格的嫌気好気法への順次更新、PAC注入装置の設置・運用などにより放流水りん濃度の低減を図ってきている。</p> <p>りん対策の様々な取組の中で、当センターのりん濃度変動要因の解明を行なった結果、良好なりん除去を確保するためには流入水及び返流水中の有機分が大きく関与していること、特に返流水中の有機酸濃度の寄与が大きいことが示唆された。</p> <p>今回、安定したりん除去手法の確立に向けた、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PACの最適な注入条件の検討 注入率4モル、注入開始濃度2.6mg/L、停止濃度2.4mg/Lとした。</li> <li>・ 汚泥発酵による有機酸生成実験</li> <li>・ ポリ硫酸第二鉄の重力濃縮槽への注入実験</li> </ul> <p>等の様々な取組状況について報告する。</p>		
キーワード	りん対策 PAC 反流水 ポリ鉄 有機酸		
処理区名	葛西処理区		
職種区分	水質		
状態区分	調査 研究		
実施年度	平成18年度		
担当部所	東部第二管理事務所 葛西水再生センター		
出展等	平成18年度東部第二管理事務所業務研究発表会 平成18年度水質管理研修		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	2-(3)-1	件名	伏せ越し管きょ空気抜き施設に関する調査
内 容	<p>本調査は、長大伏せ越し管きょ等の管内空気を排出するために設置している空気抜き施設について、排気騒音の低減や施設の最適化を図ることを目的に、現地において騒音及び臭気の調査を行ったものである。</p> <p>現地調査では、第二妙正寺川幹線、本田幹線、神谷幹線に設置されている空気抜き施設を対象とし、雨天時に騒音及び臭気（アンモニア、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル）の調査を行った。</p> <p>現地調査の結果、空気抜き施設の騒音については、年間の降雨の大半を占める中～小規模の降雨では、雨音及び周辺の交通騒音の状況を考慮すると許容できる範囲であり、対策の必要性は無いことを確認した。また、臭気については、特殊な状況下（ビルピット等による臭気苦情人孔の直近等）でない限り、雨天時に噴出する空気に対して臭気対策をを講じる必要が無いことを確認した。</p>		
キーワード	空気抜き施設、騒音、臭気		
処理区名		位置区分	管きょ
職種区分	土木	施策区分	周辺環境対策
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 18 年度	全体期間	平成 18 年度
担当部所	計画調整部 技術開発課		
出 展 等	伏せ越し管きょ空気抜き施設に関する調査報告書		
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	3-(1)-1	件名	高効率散気装置の運転指標の経年変化と課題の評価について
内 容			<p>メンブレン散気装置は、散気板と比較して気泡径が小さく酸素移動効率が高いことから散気動力の削減に大きく寄与する。しかし、開発されてから間もなく維持管理上のノウハウも明確でなく、導入した水再生センターで目詰まり等の問題が発生した。</p> <p>このため安定的活用手法の確立と導入効果の検証のため、酸素移動効率や散気における圧力損失等の運転諸元の経年変化と、膜のおおよその耐用年数、目詰まり対策等に関する調査を平成17年度より継続的に実施した。</p> <p>その結果、導入してから6年経過した清瀬水再生センターの酸素移動効率は平均で22%、5年経過した芝浦水再生センターでは24%と散気板の設計指針値である17%を上回った。また、散気板は0.25%/年程度の酸素移動効率の低下がみられるが、メンブレン散気装置では変動はあるものの低下傾向はみられなかった。</p> <p>また、圧力損失は散気風量で増減するが、風量で割戻した圧力損失の値は一定の範囲に入っており、上昇傾向は見られなかった。</p> <p>膜強度では、米国で9.5年使用した膜と国内で5年使用した膜の強度を測定したところ、9.5年使用した膜は2割程度引張り強度が低下していたが、実際の散気で膜にかかる応力は0.7MPa程度で膜強度の1/20以下であるため使用には問題が無く、おおよそ10年程度は十分に使用可能と考えられる。</p> <p>目詰まりに関しては、膜表面に付着するスライムが原因と考えられるものと、散気空気に含まれる粒子状物質が原因と考えられるものがある。前者に関しては、1回/日程度のフレキシング（ブローダウン）が有効であるが、後者に関してはブローダウンでは解決できず、一時的に散気風量を増加させるブローアップが有効である。</p> <p>メンブレン散気装置は酸素移動効率が高く、また効率低下がないという大きな長所を有するが散気時の圧力損失が大きく、同じプロワーに散気板とメンブレンが共存する場合には吐出圧調整のため30~50cm散気板より浅く設置しなければならず、その分酸素移動効率は低下する。メンブレン散気装置の能力を十分に活かすためにはメンブレン散気装置だけを単独のプロワーに接続し、そのプロワーは必要風量に見合った能力と高圧対応であることが最も望ましい。</p>
キーワード	メンブレン散気装置、散気板、酸素移動効率、圧力損失、膜強度		
処理区名		位置区分	水処理
職種区分	汚泥処理技術担当	施策区分	温室効果ガス削減
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15年度～平成18年度
担当部所	計画調整部 技術開発課		
出展等	高効率散気装置の開発に関する調査 H19新技術研修資料		
調査方法	委託調査		
関連情報			

番号	3-(1)-2	件名	省エネルギー型ハニカム濃縮に関する共同研究
内 容	<p>汚泥濃縮設備については、従来、広範囲な汚泥性状に対応可能で、維持管理に優れる遠心型の濃縮機を採用してきた。しかし、これらの機器は消費電力が大きいため、新しいタイプの省エネ型機器の開発を進めてきた。従来の遠心濃縮機に比べ、低濃度汚泥へ対応可能のことや、低動力での運転・機器の小型軽量化等により、建設費、維持管理費の大幅な削減及び省エネルギー化が可能な装置である。</p> <p>新河岸水再生センター内に、処理量 20m<sup>3</sup>/h の実証試験設備を設置し、運転データからその研究成果をまとめた。</p> <p>(ハニカム濃縮機の原理は、汚泥に高分子凝集剤を添加し、凝集混和槽で均一に攪拌することによって汚泥をフロック化させる。その後、フロック化した汚泥を、円板状のスクリーンにより固液分離することで濃縮効果を得る装置である。)</p>		
キーワード	省エネルギー、機械濃縮設備、ハニカム、濃縮機		
処理区名	新河岸処理区	位置区分	処理場 水再生センター、汚泥
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、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	全体期間	平成16年度～平成18年度
担当部所	施設管理部 施設保全課		
出 展 等	省エネルギー型ハニカム濃縮に関する共同研究報告書		
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	3-(1)-3	件名	下水道事業における木質バイオマスの有効活用策の検討			
内 容	<p>剪定枝等の木質系バイオマスを、汚泥焼却炉の補助燃料（重油）の代替として、下水汚泥と混合焼却し、購入エネルギーや温室効果ガスを削減する技術の検討を行った。</p> <p>既存焼却炉での実証試験では、エネルギー使用量及び温室効果ガスを大幅に削減できるなど、大きな効果があることを確認した。</p>					
<p>実証試験炉 : 沈砂・し渣混合焼却炉（焼却能力：100t/d）</p> <p>木質バイオマス : 端材（チップ）、木皮、剪定枝の3種類</p> <p>試験結果 : 重油使用量 △40%</p> <p>温室効果ガス排出量 △40%</p> <p>排気ガス分析 : 影響なし（全ての項目が基準値の1/10～1/100程度）</p>						
キーワード バイオマスエネルギー、温室効果ガス						
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター			
職種区分	設 備	施策区分	温室効果ガス削減対策、汚泥処分、エネルギー			
状態区分	計 画	技術区分	新規知見あり			
実施年度	平成 17～18 年度	全体期間	H17. 10～H18. 3			
担当部所	流域下水道本部技術部計画課					
出 展 等	平成 18 年度 第 2 回設計工事事例発表会					
調査方法	直営調査					
関連情報	経営計画 2007					

番号	3-(1)-4	件名	バイオマスを利用した高効率ガス化・利用技術の開発
内 容	<p>平成 17 年度に行った、「バイオガスによる反応タンク用送風機の直接駆動に関する研究」の成果を基に、剪定枝などの木質系バイオマスを下水汚泥に混合・ガス化し、ガス化性能を更に向上去させる。木質系バイオマスは下水汚泥よりも含水率が低く高発熱量であり、それをガス化原料に混合すれば、下水汚泥単独ガス化時と比較してより多くのバイオガスを得られるためシステム効率の向上、更なる省エネルギー化及び温室効果ガスの削減を図る。</p> <p>2006 年 6 月から 7 月にかけての約 1 ヶ月間の試験運転を実施し、514t の脱水ケーキ及び 24t の木質バイオマスを処理した。木質系バイオマス混合による連続運転を阻害するトラブルも無く、木質バイオマスと乾燥汚泥の混合原料を安定してガス化することができ、また下水汚泥単独ガス化時よりもバイオガスの回収量（冷ガス効率）が大幅に向上することを確認した。</p> <p>温室効果ガス排出量は、既存の焼却炉（焼却温度 800°C）と比較してガス化+バイオマス供給システムでは 91% 削減（850°C 焼却との比較では 79% の削減効果）となり、大幅な削減効果が確認され、本技術の有効性が確認できた。</p>		
キーワード	バイオマス、バイオガス、汚泥、温室効果ガス、ガス化炉、ガスエンジン		
処理区名	荒川右岸処理区	位置区分	処理場 水再生センター
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、汚泥処分 汚泥資源化、エネルギー 熱利用
状態区分	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 16~18 年度
担当部所	流域下水道本部技術部計画課		
出 展 等	平成 18 年度第 1 回設計・工事事例発表会		
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	3-(2)-1	件名	粒度調整灰を利用した高流動セグメントに関する共同研究																																				
内 容		<p>本共同研究は、高流動コンクリートに粒度調整灰を利用する技術を確立して、粒度調整灰の利用拡大を図るため実施した。</p> <p>研究結果は、高流動コンクリートの特性である流動性、施工性を確保する必要から、下表のような示方配合によるコンクリート性能を確認した。</p> <p>また、本技術は平成19年度6月からシールド工事用セグメントに適用した。</p>																																					
表 - 1 高流動コンクリート+粒度調整灰の配合表																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">W/C (%)</th> <th rowspan="2">減水剤 混入率 (%)</th> <th rowspan="2">粒度調整 灰 使用量 SA/C (%)</th> <th rowspan="2">単位 粉体量 (%)</th> <th colspan="7">単位量 (Kg/m<sup>3</sup>)</th> </tr> <tr> <th>水 W</th> <th>セメント C</th> <th>粒度調整 灰 SA</th> <th>細骨 材 S</th> <th>粗骨 材 G</th> <th>減水 剤</th> <th>消泡剤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>35.7 (32.1)</td> <td>1.25</td> <td>11.2</td> <td>0.176</td> <td>175</td> <td>490</td> <td>55</td> <td>927</td> <td>778</td> <td>6.81</td> <td>0.0327</td> </tr> </tbody> </table>											W/C (%)	減水剤 混入率 (%)	粒度調整 灰 使用量 SA/C (%)	単位 粉体量 (%)	単位量 (Kg/m <sup>3</sup> )							水 W	セメント C	粒度調整 灰 SA	細骨 材 S	粗骨 材 G	減水 剤	消泡剤	35.7 (32.1)	1.25	11.2	0.176	175	490	55	927	778	6.81	0.0327
W/C (%)	減水剤 混入率 (%)	粒度調整 灰 使用量 SA/C (%)	単位 粉体量 (%)	単位量 (Kg/m <sup>3</sup> )																																			
				水 W	セメント C	粒度調整 灰 SA	細骨 材 S	粗骨 材 G	減水 剤	消泡剤																													
35.7 (32.1)	1.25	11.2	0.176	175	490	55	927	778	6.81	0.0327																													
表 - 2 性能試験結果																																							
配合 (粒度調整灰利用量)			圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )																																				
			養生 A パーチン(60°C-2.5 h)				養生 B パーチン(60°C-3.5 h)																																
			7 h	7 日	28 日	7 h	7 日	28 日																															
			A (55Kg/m <sup>3</sup> )	14.1	41.7	46.5	19.2	44.2	47.7																														
キーワード	高流動コンクリート、粒度調整灰、流動性、シールド工事用セグメント																																						
処理区名					位置区分	管きよ																																	
職種区分	土木				施策区分	再構築																																	
状態区分	工事				技術区分	新規知見あり																																	
実施年度	平成19年度				全体期間	平成18年度～平成19年度																																	
担当部所	建設部設計調整課																																						
出展等	粒度調整灰を利用した高流動セグメントに関する共同研究報告書 (2007.6)																																						
調査方法	簡易提供型共同研究																																						
関連情報																																							

番号	3-(2)-2	件名	防菌コンクリートに粒度調整灰を加えたコンクリート製品の耐久性確認に関する共同研究			
内 容	<p>抗菌コンクリートは、普通コンクリートに防菌剤（ニッケル、タンゲステン）を混入した耐腐食性に富む技術である（下水道新技術推進機構の建設技術審査証明事業）。また、粒度調整灰入りコンクリートは、管路、人孔のコンクリート二次製品として当局標準となっている。</p> <p>本研究は、「粒度調整灰入り防菌コンクリート」の耐腐食性について、供試体を硫化水素中に暴露し、従来の防菌コンクリートと粒度調整灰入り防菌コンクリートの耐腐食性能の相違を確認し、粒度調整灰の利用拡大を図るものである。</p> <p>研究結果は、防菌コンクリートに粒度調整灰を混合させても外圧強度の低下は見られなかった。また、粒度調整灰の添加が、防菌コンクリートに対する腐食性能への影響がないことを確認した。</p> <p>管路、人孔の二次製品における粒度調整灰入り防菌コンクリートは、腐食環境における躯体の長寿命化に寄与するとともに、粒度調整灰の利用拡大が考えられる。</p>					
キーワード	粒度調整灰、抗菌コンクリート					
処理区名			位置区分	管きょ		
職種区分	土木	施策区分	再構築、腐食対策 防食対策、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16～18年度	全体期間	平成16～18年			
担当部所	建設部 設計調整課					
出 展 等						
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	3-(3)-1	件名	下水汚泥ガス変換発電システムの実用化検証
内 容	<p>下水汚泥ガス変換発電システムは、下水の汚泥を乾燥させ、低酸素状態で熱分解・ガス化、改質し、発生する可燃ガスを燃料としてガスエンジン発電を行い、使用電力の一部を賄うものである。平成15～17年度にかけ当局においてノウハウ+フィールド提供型による基礎研究を行い、一定の成果を上げている。</p> <p>今回は実用化するに当たり、必要となる問題点やシステムの安定性の向上、スケールアップした場合の評価などを目的に実証実験を行い、そのデータから研究成果を取りまとめた。</p>		
キーワード	バイオマスエネルギー、汚泥のガス化、発電、温室効果ガス		
処理区名		位置区分	処理場 水再生センター
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、汚泥処分 汚泥資源化、エネルギー 熱利用
状態区分	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18～19年
担当部所	計画調整部技術開発課		
出 展 等			
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	3-(3)-2	件名	下水熱を利用したオフライン熱供給技術の開発
内 容			
			<p>下水処理過程で生じる中・低温域の排熱（70°C～350°C程度）は熱供給などで一部利用しているが、その多くは未利用のまま大気中に放出されている。本研究は、水再生センター内にある膨大な賦存エネルギーを 200°C以下でコンテナ車載の潜熱蓄熱材（PCM）に効率よく回収・貯蔵し、冷房・給湯・暖房用熱源等として広域に供給する熱供給技術の開発を目的とした。</p> <p>本システムにおける蓄放熱に要した消費電力量や熱輸送に要した消費燃料と、既存設備（都市ガス焚き温水ボイラー）にて同様の熱供給を行う場合を比較した。消費エネルギー削減効果としては、比較的温度の高い熱源である白煙防止空気（350°C程度）のケースでは、96%程度の高い削減効果が得られた。一方、排煙処理排水（70°C程度）では、86%程度の削減効果が得られた。</p> <p>また、CO<sub>2</sub>排出量の削減効果は、熱源が白煙防止空気のケースでは、90%程度の高い削減効果が得られた。一方、排煙処理排水では、65%程度の削減効果が得られた。コンテナ 1台（2 MWh/台）で、499kg-CO<sub>2</sub>の温室効果ガスが削減される結果が得られた。</p> <p>本システムを用いることにより、未利用エネルギーが効率的に活用できることや、温室効果ガス排出の削減及び省エネルギー化が図られ環境負荷低減が可能となる。</p>
キーワード	熱供給、排熱、潜熱蓄熱材、PCM、温室効果ガス、省エネルギー		
処理区名	荒川右岸処理区	位置区分	処理場 水再生センター
職種区分	設備	施策区分	温室効果ガス削減対策、汚泥処分 汚泥資源化、エネルギー 熱利用
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 16～19 年度	全体期間	平成 16～18 年度
担当部所	流域下水道本部技術部計画課		
出 展 等			
調査方法	ハウ+フィールド 提供型共同研究		
関連情報			

番号	4-(1)-1	件名	二次覆工一体型シールド工法の急曲線セグメントの開発に関する共同研究
内 容		<p>本共同研究は、二次覆工一体型セグメントの導入に伴い、曲線部特有の偏荷重によるコンクリートのひび割れが防止できる曲線用セグメントの技術開発である。</p> <p>その内容は、大きな曲線半径に適用するRCコンクリートを鋼板で側面を補強した(I型)と、直線用セグメントと同じ製作技術の鋼製セグメントの縦リブ付近に緩衝材を設置し、曲線の偏荷重を吸収してコンクリートのひび割れを防止する急曲線用の(II型)を開発した。さらに、開発したセグメントを実際の現場で試行し、実用化を図った。</p>	
<p><b>1、I型（鋼板で側面を補強したRCセグメント）</b></p> <p>RCセグメントの曲げ応力を増強するため、側面を鋼板で補強した構造である。なお、製造方法はコスト縮減のため、直線用型枠内に仕切枠を曲線形状に合わせて設置し、かつ、鋼板を設置後コンクリートを打設して製作する。</p>			
<p><b>2、II型（コンクリートを緩衝材でブロック状に中詰した鋼製セグメント）</b></p> <p>鋼製セグメントの縦リブに緩衝材を設置して中詰コンクリートをブロック化するコンクリート中詰セグメントである。緩衝材により、コンクリートに作用する歪みを各ブロックに分散させると共にブロック自体がずれることでひび割れを防止する方式である。</p>			
キーワード	二次覆工一体型セグメント、急曲線用セグメント、補強鋼板、緩衝材		
処理区名		位置区分	管きよ
職種区分	土木	施策区分	再構築
状態区分	工事	技術区分	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	建設部設計調整課		
出 展 等	二次覆工一体型シールド工法の急曲線部セグメントの開発報告書(I型)、(II型)		
調査方法	公募型共同研究		
関連情報			

番号	4-(1)-2	件名	硫黄固化体の後貼りボード工法の開発			
内 容	<p><b>1. 調査内容</b></p> <p>清瀬水再生センターの汚泥処理施設からの排水を受ける場内返水管施設の円形人孔を選定し、硫黄固化体の後貼りボード（厚 12 mm×幅 25cm×長 50cm、メッシュ状の炭素繊維で補強）を用いて円形構造物に対する更生工法の実証実験を行い、設計方法及び施工方法について検討した。</p> <p>以下の 5 点を検討目標とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 非開削工法での施工</li> <li>② 速やかな施工が求められる公道等での施工も視野に入れ、H=2.0m、内径 120cm 規模の防食被覆を 2 日間で施工する。</li> <li>③ 既存の工法と比較し、経済性に優れていること。</li> <li>④ 少少の湿潤状態でも施工できること</li> <li>⑤ 円形形状における後貼りボードの設計方法の確立</li> </ul>					
	<p><b>2. 調査結果と考察</b></p> <p>目標とした非開削工法での施工や、多少の湿潤状況での施工は可能であったが、H=2.0m、内径 120cm 規模の防食被覆の施工日数は、目標とする 2 日間を上回った。また、円形人孔（内径 120cm 及び 150cm）を対象とした既存更生工法との施工費比較では、深さ 2.4m までは同等であった。</p> <p>以上の結果から本工法は、水再生センターに設置している返水管人孔での更生工法に適するという局技術管理委員会の評価となった。</p>					
キーワード	コンクリート防食、硫化水素、硫黄固化体、円形構造物					
処理区名		位置区分	管きょ、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	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						
調査方法	簡易提供型共同研究					
関連情報						

番号	4-(2)-1	件名	大口径管きょ調査用カメラシステムの開発について
内 容	<p>1 開発の経緯</p> <p>管きょ調査に際して、水位が高い、流れが速い等から、人による調査が行えない場合がある。こうした場合に対応するため、船体型調査機が開発されているが、使用できる条件が限定されている。このため、既存調査機で調査困難な路線に対応する別種の管きょ調査機を開発し、対象範囲の拡大を図った。開発は、管清工業㈱との簡易提供型共同研究で実施した。</p> <p>2 調査機の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 可動式の8輪駆動による自走型とし、堆積物等に対応しながら駆動力を確保する。</li> <li>・ カメラ上昇機構により高水位に対応</li> <li>・ 分割投入型とし、人孔上部からの搬入を可能とする。</li> <li>・ 2kmのケーブルを装備し、シールド幹線に対応</li> </ul> <p>3 実証</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工場試験－走行試験、障害物走破試験、照度試験（4000mm相当）</li> <li>・ 実証調査－実人孔での投入・組立て・回収、走行能力を4路線で確認</li> </ul>		
キーワード	管きょ、調査、TVカメラ、幹線調査		
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	新規知見なし
実施年度	平成18年度～19年度	全体期間	平成18年度～19年度
担当部所	計画調整部技術開発課		
出 展 等	<p>平成19年度 第1回 設計・工事事例発表会</p> <p>「大口径管きょ調査用カメラシステムの開発について 報告書」</p>		
調査方法	簡易提供型共同研究		
関連情報	経営計画2007の技術開発テーマ		

番号	4-(2)-2	件名	工業計器データの解析と活用					
内 容	<p>水再生センターやポンプ所には工業計器類が多数設置されており、そのリアルタイムデータについては、運転管理で有効活用されているが、過去のデータについては、抽出が困難なため、ほとんど活用されてこなかった。そこで、データ抽出に要する時間を短縮して解析を容易にするために、既存のデータベースを Excel 形式のデータベースに変換し、変換と同時にグラフ化されるような加工も行った。</p> <p>本報告では、データベースを利用したデータ解析の一事例として、平成 18 年度上半期の水処理電力量の増加の原因について解析を行ったので、その内容を紹介する。</p> <p>水処理電力量増加は、送風量増加に起因していた。解析の結果、反応タンク内の活性汚泥量が多かったために、例年の送風方法では送風量が増加してしまったことが推察された。10 月以降、送風倍率を下げる等の送風方法変更の影響もあり、送風量、水処理電力量はともに減少している。</p> <p>本事例から、適正な処理水質維持と省エネを両立させる運転が厳しく求められるなか、長期にわたるデータの解析や項目間の関連性の分析は必要になると思われる。</p>							
キーワード	データベース、省エネ、送風量							
処理区名			位置区分	処理場 水再生センター				
職種区分	水質		施策区分	効率化				
状態区分	維持管理		技術区分					
実施年度	平成 18 年度		全体期間	平成 年度	～ 年度			
担当部所	中部管理事務所芝浦水再生センター							
出 展 等	平成 18 年度水質管理研修							
調査方法	直営調査							
関連情報								

番号	4-(2)-3	件名	第二沈殿池汚泥沈降の改善について
内 容		<p>藍染系第二沈殿池での汚泥浮上による水質悪化の原因を調査するため、シミュレーション等で解析を行った結果、流入する活性汚泥混合液により整流壁周辺で乱流が発生し、コレクタによる汚泥かき寄せを阻害していることが判明した。</p> <p>また、この汚泥浮上対策として、既存の整流壁を撤去し整流効果のあるバッフルボックスを設置することが、最も効果的であることが明らかになった。</p> <p>この結果から、平成17年度工事にて6池ある沈殿池の1池に改善対策を施し、他の池との汚泥沈降効果の比較を行った。</p> <p>調査結果から、改善対策を施した槽においては、乱流による汚泥の巻き上がりがなくなり、第二沈殿池内での汚泥の沈降と濃縮効果が上がり、水質改善されていることが確認できた。</p>	
キーワード 第二沈殿池、汚泥浮上、水質改善、汚泥沈降			
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	
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成17年度	全体期間	平成17年～平成18年
担当部所	北部第一管理事務所 三河島水再生センター		
出 展 等	平成18年度下水道設備技術研究発表会		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	4-(2)-4	件名	砂ろ過池砂層測定の効率化
内 容	<p>落合水再生センターには上向流砂ろ過方式の砂ろ過設備が 33 池あり、1 日当たり 45 万 m<sup>3</sup> の二次処理水が高度処理され、神田川に放流される。</p> <p>処理水中の微細な汚れは砂ろ過池に捕捉されるため、一定周期でろ過砂の洗浄を行うが、この際、ろ過砂の流出が起こるため砂層が不均一となる。よって、砂ろ過の性能を均一にするため、砂層の管理が必要となる。</p> <p>従来は通水中の砂ろ過池を一池づつ排水し、砂層の高さを金尺で実測していたが、この作業方法はいくつかの問題点があった。このため、通水中の池の砂層に水位検出器（ダイアフラム圧力式水位計）を着地させて水位を測定し、砂層の高さを間接的に測定できる方法を発案した。これにより、従来抱えていた問題点は全て解決された。</p>		
キーワード	砂ろ過池、砂層測定		
処理区名	落合処理区	位置区分	処理場 水再生センター
職種区分	設備	施策区分	効率化
状態区分	維持管理	技術区分	
実施年度	平成 16 年度	全体期間	平成 16 年度～平成 17 年度
担当部所	西部第一管理事務所 落合水再生センター		
出 展 等	平成 18 年度 下水道設備研究発表会		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	4-(2)-5	件名	硝化制御システムと従来法（D O制御）の水質比較調査経過報告
内 容		<p>硝化制御システムが平成 15 年 6 月より導入された。16 年度までの導入前年度との比較調査では送風倍率で 17% 程度削減となった。また、窒素リン濃度については、水質年報等から処理水質に悪化は見られなかった。16 年度報告の主旨は、エネルギー削減効果の検証が主に行われたものであるため、今回の調査は、処理水質について高水温期での検証を行った。調査法は、反応タンクを硝化制御系と D O 制御系の並列制御で同時運転水質比較検討を行った。</p> <p>高水温期での結果は、硝化制御値 NH4-N 濃度 2.5mg/l で全窒素除去は良好であり、D O 制御より全窒素濃度が 1mg/l 程度低く抑えられた。このときの送風倍率の削減は、NH4-N 濃度 2.5mg/l 制御で 12~13% 程度となった。硝化制御を行うと継続的に最終回路 D O が 0.5mg/l 以下に低下する、リン処理への影響が懸念されたが D O 制御と比較して影響は見られなかった。今回の調査では、D O 制御と比較して硝化制御の優位性が証明された。また、硝化制御によるいくつかの課題があり改善の必要もあることがわかった。今後は低水温期での同様な比較による調査を実施する計画である。</p>	
キーワード 硝化制御システム アンモニア 窒素除去 風量削減			
処理区名	小菅処理区	位置区分	処理場 水再生センター
職種区分	水質	施策区分	温室効果ガス削減対策 効率化
状態区分	調査 研究	技術区分	新規知見あり
実施年度	平成 18 年度	全体期間	平成 18 年度から平成 19 年度
担当部所	東部第二管理事務所 小菅水再生センター		
出 展 等	平成 18 年度小菅水再生センター業務成果発表会		
	平成 18 年度水質管理研修		
調査方法	直営調査		
関連情報			

番号	4-(2)-6	件名	汚泥処理動力削減のための重力濃縮をベースとした汚泥処理システムの構築
内 容			<p>重力濃縮は動力もほとんどかかりず、緊急時にバッファータンクとして機能するなど多くのメリットを有する反面、送泥の長距離化や汚泥有機分の上昇で濃縮汚泥濃度が2.0～2.5%程度と低い。このため、当局では沈降性の良い初沈汚泥を除いて機械濃縮を適用する方針となっている。</p> <p>しかし、重力濃縮の処理動力は遠心濃縮の1/30程度であること、重力濃縮汚泥の1.5～2.5%は機械濃縮汚泥の3.5%とほぼ同等の脱水性を有しており脱水機投入汚泥量の増加以外は低濃度であることが弊害とはならないことから、遠心脱水機と異なり投入汚泥量の増加が処理動力の上昇に繋がらない水排除能力の高い脱水機を組合わせることで、濃縮・脱水に係わる動力の大幅な削減が可能となる。</p> <p>ここでは、重力濃縮と水排除能力の大きな高効率スクリュープレス脱水機を併用した汚泥処理システムを構築し、その有用性に関する調査を実施した。</p> <p>その結果、脱水機投入汚泥は平均1.48%と低かったが、目標薬注率0.8%を下回る0.76%で含水率76.5%の脱水ケーキが得られた。さらに固形物回収率も97.2%と従来と変わらない脱水が可能であった。この時の処理動力は、遠心濃縮-遠心脱水における動力のわずか5%程度で、重力濃縮-高効率スクリュープレスという組合せが処理動力の削減に大きく寄与する処理システムであることが確認された。また、スクリュープレス脱水機は単体でも遠心脱水機の1/10以下の動力で脱水可能な低動力機器である。</p> <p>スクリュープレス脱水機の欠点として、脱水ケーキ含水率の変動が大きいという指摘があるが、今回の調査で用いた脱水機は投入汚泥濃度計による薬注制御に加えてマイクロ波含水率計によるフィードバック制御が可能で、今回の調査で脱水機投入汚泥濃度が0.5～3.0%と大きく変化したにもかかわらず、ケーキ含水率は平均を中心に±1.5%の範囲内に入っており安定した脱水が可能であった。</p>
キーワード	重力濃縮、高効率スクリュープレス脱水機、動力削減、低濃度脱水	位置区分	汚泥処理
処理区名		施策区分	維持管理
職種区分	汚泥処理技術担当	技術区分	新規知見あり
状態区分	調査 研究	全体期間	平成17年度～平成19年度
実施年度	平成18年度	担当部所	計画調整部 技術開発課
担当部所		出展等	「無濃縮および低濃縮汚泥の脱水技術の開発」最終報告書
調査方法	ノウハウ+フィールド提供型共同研究	関連情報	

## **5-1 INVESTIGATION OF RAINFALL-DERIVED INFILTRATION & INFLOW WITH THE USE OF RADAR RAINFALL VOLUME DATA**

Wataru Amano\*

\* Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government

2-8-1 Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku,

Tokyo-to, Japan 163-8001

### **ABSTRACT**

This paper describes an analytical approach to estimating areas with rainfall-derived infiltration & inflow (RDI&I) to an area of several hundred square meters, with the use of historical data of the wastewater treatment plant, and meteorological data. It also presents an application of this method for estimating areas with RDI&I in the Asakawa Treatment Area by analyzing past data of sewage inflow volume to the Asakawa Water Reclamation Center, and radar rainfall volume data.

### **KEYWORDS**

Rainfall-derived infiltration & inflow, Analytical approach, Operation management

## 5-2 DEVELOPMENT OF OPERATION NAVIGATION SYSTEM

Y. Maeda, H. Oohashi, T. Saitou  
Sewerage Bureau, Tokyo Metropolitan Government  
Hideo\_Oohashi@member.metro.tokyo.jp  
2-8-1, Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8001, Japan.

### ABSTRACT

Bureau of Tokyo Sewerage has 13 wastewater treatment plants and 82 pumping stations.

In order to manage these facilities efficiently, collective operation in each treatment area is being promoted by making use of remote-control system.

Promotion of remote control system leads to concentration of facilities monitored or controlled from the master facility, and, therefore, increases tasks of each operator, enhancing possibility of his human error.

Also, due to pressing increase of age-limit retirees and strict restraint of employment, the number of operational staff is decreasing and, consequently, operational skills are being lost with veteran operators.

Automatic operation can save some load of operation, but it is limited in use because WWTP deals with uncontrollable materials, rainfall and sewerage.

As a solution to the problems, Operation Navigation System (ONS) was developed.

ONS, a computer system to make use of its performance and capacity, is a guidance system that has human-friendly interface and flexibility.

Developed ONS reduces operational tasks, functioning like car navigation. An operator can give operational instruction or action according to guidance message that is timely and pertinently shown on supervisory monitoring device.

The target of ONS is to establish safe and stable plant operation by inexperienced operational staff.

ONS uses data of the supervisory system to deduce the next action. The decision is shown as a guidance message or messages with other related information.

In contrast with automatic operation, which has restriction that it can be applied only to fixed operations, ONS can deal with operations that require operator's judgment.

To evaluate ONS, prototype ONS was installed in the Morigasaki WWTP. The field test, which was done from July 2005 to March 2006, demonstrated practicality of the guidance message system. We confirmed good consistency between ONS guidance and actual operation. For operations of indefinite timing, additional data from operator works.

For ONS, operation know-how expressed in a form, such as document, manual, or flowchart is vital. ONS also asks for substantial improvement of operational data.

Preparing the documented know-how and improving operational data is the key to introduce ONS to our WWTP.

### KEYWORDS

Human interface, WWTP operation, Operation guidance system, Logic table expression, Guidance message

# 1. 安全性の向上

## (1) 震災対策技術

### 1 非開削マンホール浮上抑制工法の開発

## (2) 微量物質・病原性微生物等対策技術

### 1 GC/MS法によるエストロゲン抱合体の分析

### 2 下水処理におけるエストロゲンの挙動

～処理方式による比較～

## 1- (1) -1 非開削マンホール浮上抑制工法の開発

北部第二管理事務所施設課 服部 弘司（北部建設事務所）  
三嶋 史寛

### 1. はじめに

都市部では埋設されているガス、電気、電話、上下水道等のライフラインが、地震で断絶されると住民生活に多大な影響を与えるため、必要な対策を講じていかなければならぬ。

下水道においては、平成7年の阪神大震災を契機として下水道施設の耐震対策の指針の見直しが行われ、地震対策の強化が行われているところである。しかし、地震による下水道施設の被害のうち、地盤の液状化によって引起されるマンホール浮上については、これまで有効な対策が講じられてこなかった。

こうした地震時の液状化現象によって発生するマンホール浮上を抑制する有効な対策について研究を行ったので報告する。



図1 液状化によるマンホール浮上

### 2. マンホール浮上の原因とその対策

#### 2. 1 液状化によるマンホール浮上現象

粘着力が少ない砂質土や締固めが不十分な地盤では、土粒子の構造が崩れやすく、地震時は沈下が発生する。地下水がある場合、間隙水の排出が間に合わないため、間隙水圧が上昇し、土粒子の有効応力が失われ泥水化する。これが液状化である。液状化した地盤では、泥水より比重が軽いものが浮上するため、内部が中空で見掛け比重が軽いマンホールの浮上現象が発生する（図2）。

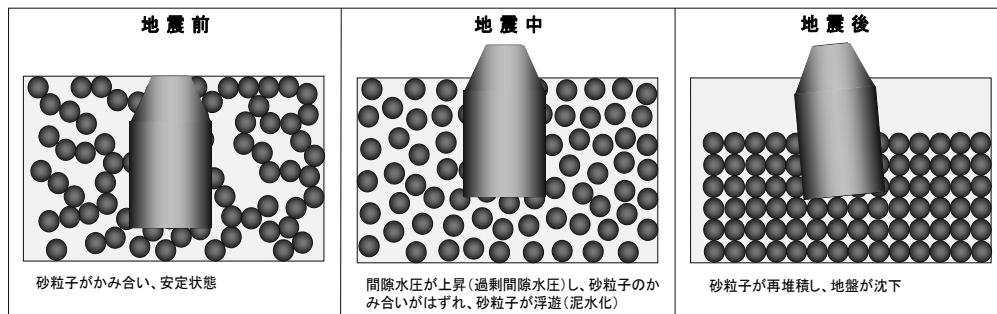
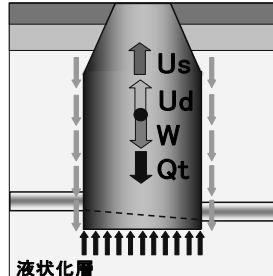


図2 地盤の液状化とマンホールの浮上

地盤中のマンホールは、マンホール重量（W）と静水圧による揚圧力（U<sub>s</sub>）、地盤からの反力、マンホール側面と地盤間のせん断抵抗（Q<sub>t</sub>）が釣り合っている。地震により地盤が液状化すると、図3のように液状化に伴う揚圧力（U<sub>d</sub>）が発生する。揚圧力（U<sub>s</sub>+U<sub>d</sub>）がマンホール重量（W）より大きくなると、浮上が始まる。本来は、浮上を抑制する方向にせん断抵抗（Q<sub>t</sub>）が発生するが、液状化した場合大幅に減少する。



★マンホールが浮上する場合

$$W + Q_t < U_s + U_d$$

W : マンホール重量

Us: 静水圧による揚圧力

Ud: 液状化による揚圧力

Qt: マンホール側面と地盤間のせん断抵抗

図3 マンホールに働く応力

## 2. 2 既存のマンホール浮上対策

マンホールの浮上は、地震によって土粒子の構造が崩れることや、見掛け比重が泥水よりも軽いことから発生する。このため、これまでのマンホールの浮上防止対策は、地盤の土粒子構造を崩れにくくしたり、相対的な比重を重くする対策が考えられてきた。

例えば、図4のような改良土で埋戻す、十分な締固めを行う、地盤改良や置換工法等地盤を非液状化層とするといった方法やマンホールを重量化する等の方法がある。開削工事や長期間の道路占用が必要なこうした対策は、新設マンホールでは比較的容易だが、道路交通の激しい都市部では、既設マンホールに実施することは難しい面がある。

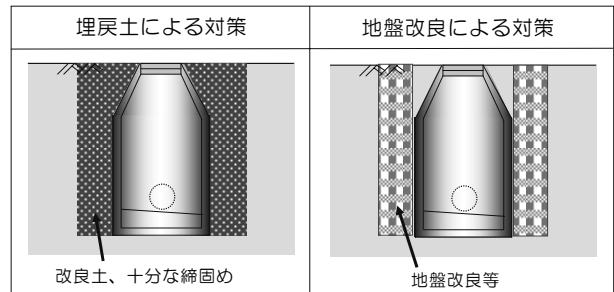


図4 マンホールの浮上対策

## 2. 3 フロートレス工法の原理

こうした課題を受け新たな工法として、「フロートレス工法」を開発した。

「フロートレス工法」は、地震時に発生する過剰間隙水圧の低減を行うことにより、液状化を抑制し、マンホールの浮上を抑えるものである。機構としては、マンホール側面部に压力調整装置（以下

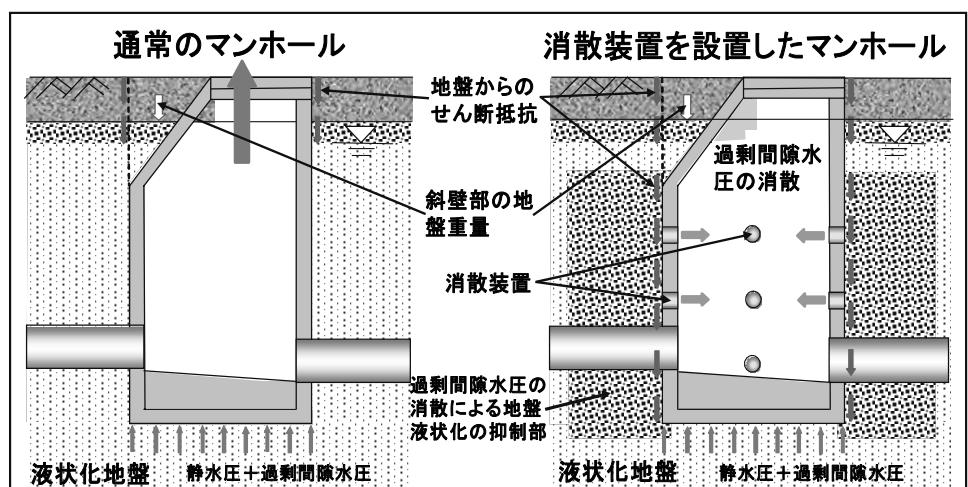


図5 フロートレス工法の概念図

「消散弁」という。)を設置し、地震時に周辺地盤の間隙水圧が上昇した際に、その圧力をマンホール内に消散させ、間隙水圧の上昇を抑えるというものである(図5)。消散弁の設置を、人孔内部から行う非開削工法であるため、道路交通への影響が小さく、施工時間や施工費も開削工事より低減できるという特徴を持っている。

### 3. 遠心載荷模型実験

#### 3. 1 実験の概要

消散弁の効果の検証には、地盤の液状化を再現し、マンホールの浮上量の違いを確認する必要がある。このため、図6及び図7に示す遠心載荷実験装置で模型実験を行った。

遠心載荷模型実験は、実物大規模で実験が難しい場合に用いられ、 $1/n$  模型に  $nG$  の遠心力を与えることで、実物大規模の実験とほぼ同等の応力状態を再現するものである。特に、起震機で地震を発生させ、地震時の構造物の挙動を再現する手法は広く行われている。本研究では、マンホールの  $1/20$  倍の縮小模型を用い、20Gの遠心加速度状態で地震波を与えることで、地盤を液状化させマンホールの挙動を確認した。

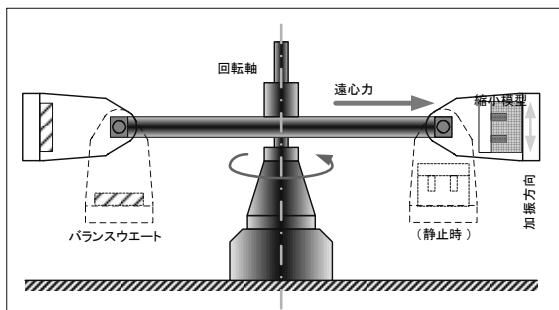


図6 遠心載荷模型実験装置



図7 遠心載荷模型実験装置

#### 3. 2 地盤条件の確認

遠心載荷模型実験で、確実に液状化が発生する地盤条件を求めるため、相対密度の異なる3ケース( $Dr=55\%、65\%、75\%$ )の地盤で予備実験を行った。実験は、 $1/20$ 倍の小型模型土槽( $\phi 200\text{mm} \times H250\text{ mm}$ )にそれぞれの条件の地盤(豊浦珪砂)を作成し、20Gの遠心加速度状態で図8の地震波(神戸海洋気象台記録波形)で加振した。表1に示すとおり、地盤が液状化したと推定できる最大発生過剰間隙水圧がほぼ有効上載荷重と同等になった相対密度は55%であったため、実験は、相対密度55%の地盤で行うこととした。

表1 地盤条件

ケース	相対密度 (Dr : %)	最大過剰間隙水圧 $P (\text{kN}/\text{m}^2)$	有効上載荷重 $\sigma_v' (\text{kN}/\text{m}^2)$	$P/\sigma_v'$ (%)
CASE 1	55	35.32	36.09	97.7
CASE 2	65	20.48	36.87	55.5
CASE 3	75	13.63	37.85	36

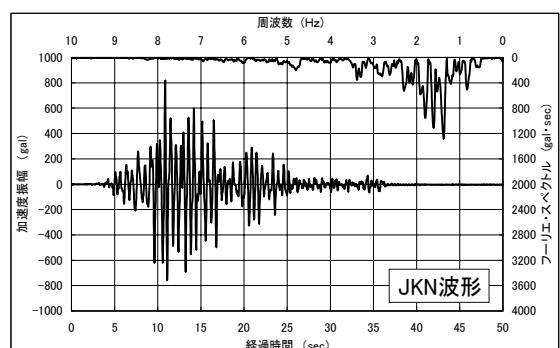


図8 入力地震波

#### 3. 3 消散弁の機能確認実験

最初に、消散弁の効果を確認する実験を行った。図9に示す内寸法 L700mm×B270mm×H460mm の模型土槽に相対密度 55% の模型地盤を作成し、所定の位置に、1/20 倍のアルミ製模型マンホール（ $\phi$  60mm×H100mm）をセットし、20G の遠心載荷状態で図8の地震波を加えた。なお、模型土槽による地盤の拘束の影響を避けるため、図10のように地震波の地面の揺れに応じて容器壁が変形する「せん断土槽」と呼ばれる特殊な容器で実験を行った。模型マンホールは、図11に示すとおり、過剰間隙水圧消散用の $\phi$  4mm の排水管を底面に 10 箇所設けたもの（以下「対策マンホール」という）と、開孔が無いもの（以下「無対策マンホール」という。）について、液状化時の過剰間隙水圧、浮上量（鉛直変位）を測定した。

マンホール底面の間隙水圧の変化は図12に示すとおり、対策マンホールは、無対策マンホールに比べ約 1/3 程度となっている。これは、過剰間隙水圧の消散が有効に働いていることを示している。加振後、間隙水圧は数秒の間にピークに達したが、マンホールは、200 秒程度かけてゆっくりと上昇を続けており、間隙水圧がすぐに解消されないことがわかる。

浮上量は明らかに抑制され、消散弁の効果が確認された。

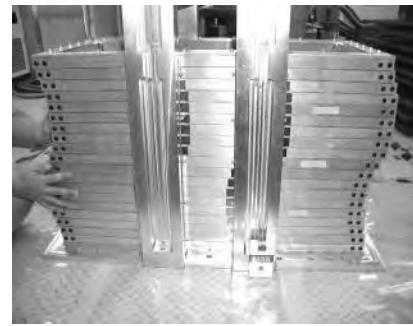


図10 模型土槽の容器

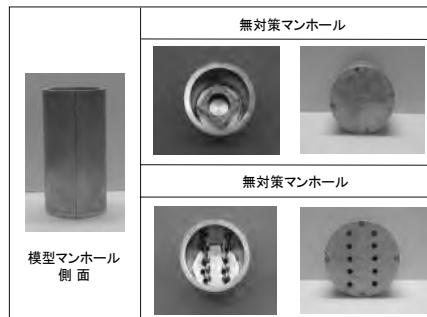


図11 模型マンホール

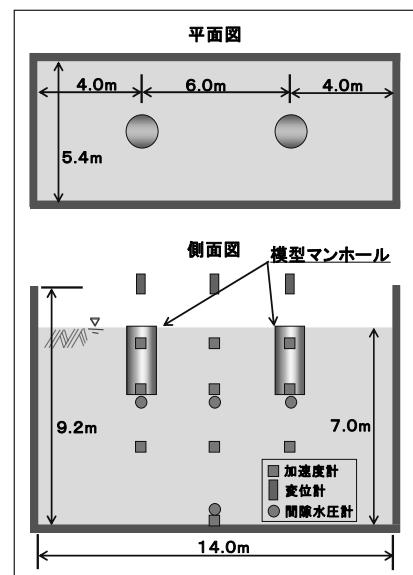


図9 模型実験配置図

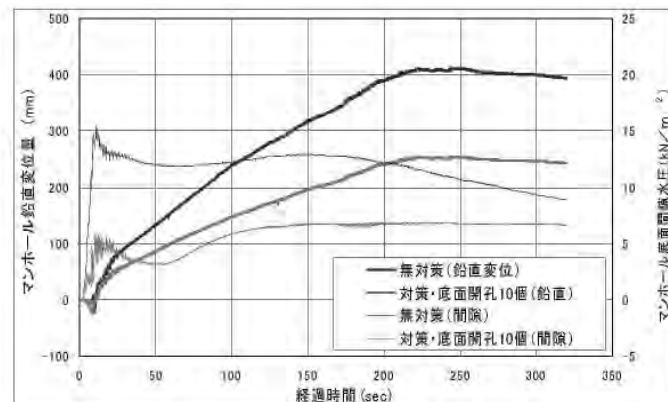


図12 マンホール浮上量と間隙水圧の経時変化

### 3. 4 開孔位置とマンホール浮上の関係

続いて、浮上抑制に効果的な消散弁の設置位置を確認するため、開孔位置を変えた 4 パターンの模型で実験を行った。その結果、底面 10 箇所の場合より、側面 8 箇所の方が浮上量が少なく、また、底面に 10 箇所の開孔部を追加した場合でも、効果にはほとんど差がなかった（図13）。このことから、底面より側面に設置した方がより大きな効果が得られ、側面に設置した場合は、底面に設置する必要はないことがわかる。つまり、マンホール側面の間隙圧を消散させて、マンホール周辺の地盤の液状化を低減し、周辺地盤とのせん断抵抗力を維持する方が、効果的という結果だった。

次に側面の開孔パターンによる効果の違いを確認するため、図14の4パターンで実験を行った。マンホールの開孔は4箇所よりも6箇所の方が抑制効果が大きいが、同じ6箇所でも中央4箇所、下部2箇所と分散させた方がより大きな効果が得られた。以上のことから、円周方向への消散弁設置個数は、4箇所程度が最も効率的であり、追加する場合は高さを変更したほうが効果があると判断した。



図15 マンホールの浮上

効果を確認するため、模型マンホール ( $\phi 60\text{mm} \times H115\text{mm}$ ) に側面上部2箇所、側面中央部4箇所、側面下部2箇所の開孔を設け、遠心載荷模型実験を行った。結果は、図15及び図16のとおり、無対策のマンホール浮上量は547mm、対策マンホールは80mmとなった。図17は絶対的な変位量を示したものである。液状化により地盤沈下も生じるため、地盤からのマンホール突出量は値が大きくなるが、無対策マンホール 672mmに対して対策マンホール 135mmであり十分に効果があることが確認できた。

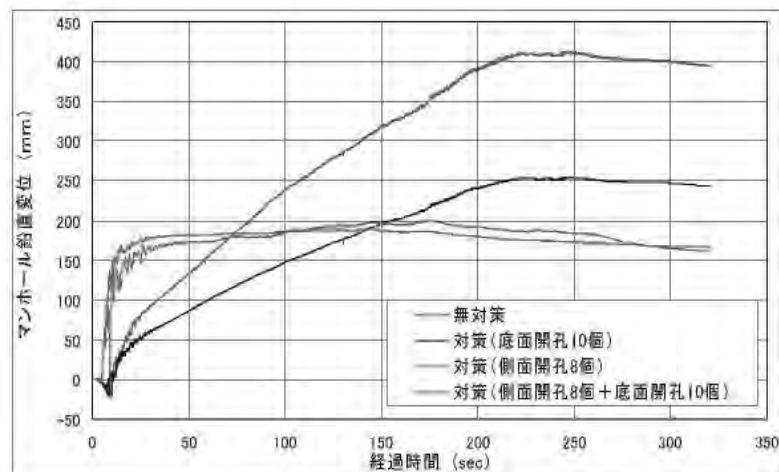


図13 マンホール浮上量と開孔位置の関係

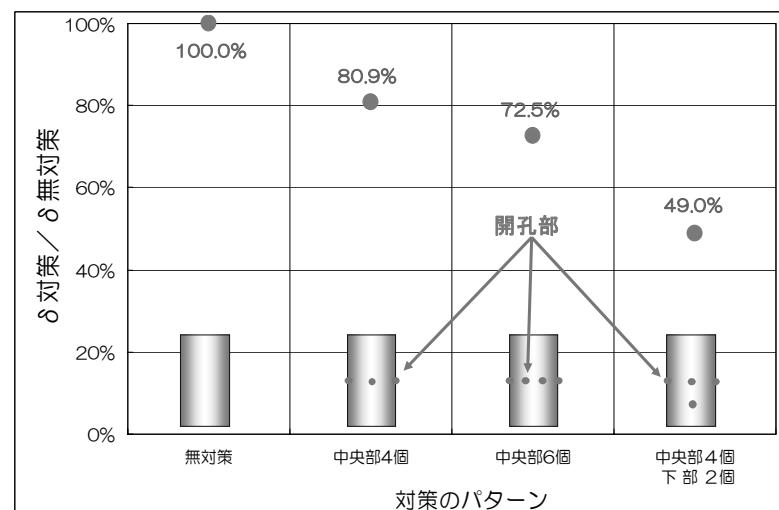


図14 開孔パターンによるマンホール浮上量

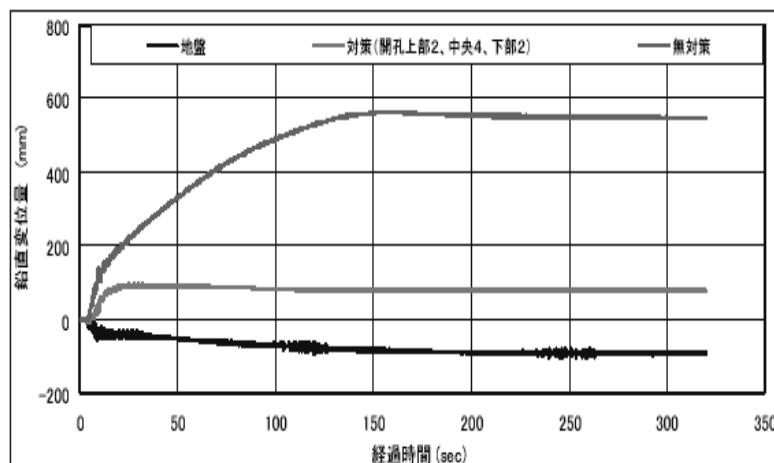


図16 マンホールと地盤の鉛直変位

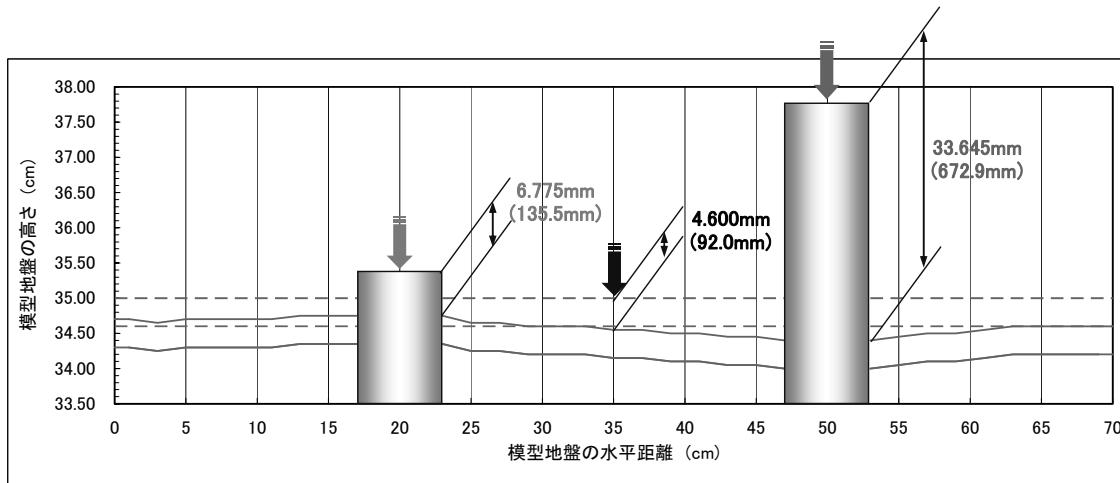


図 17 マンホールの突出量

### 3. 5 マンホール浮上量の算定

液状化発生時のマンホールの作用荷重による運動方程式から、浮上量に関して以下のようない解が得られる。

$$A_0 = \frac{(H_1 \gamma_t A + H_2 \gamma_{sat} A) - W - Q_t}{\gamma_{sat} A}$$

ここに、

$A_0$  : マンホールの浮上量

$\gamma_{sat}$  : 液状化層の飽和単位体積重量

$$\gamma_{sat} = \gamma' + \gamma_w$$

$\gamma_t$  : 非液状化層（舗装部）の湿潤単位体積重量

$A$  : マンホールの断面積

$H_1$  : 非液状化層（地下水位まで）の厚さ

$H_2$  : 液状化層のマンホール高さ

$W$  : マンホール軸体および斜壁部土被り等の重量

$Q_t$  : マンホール周辺地盤のせん断抵抗

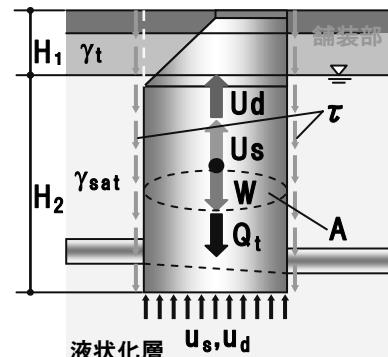


図 18 マンホール浮上現象モデル

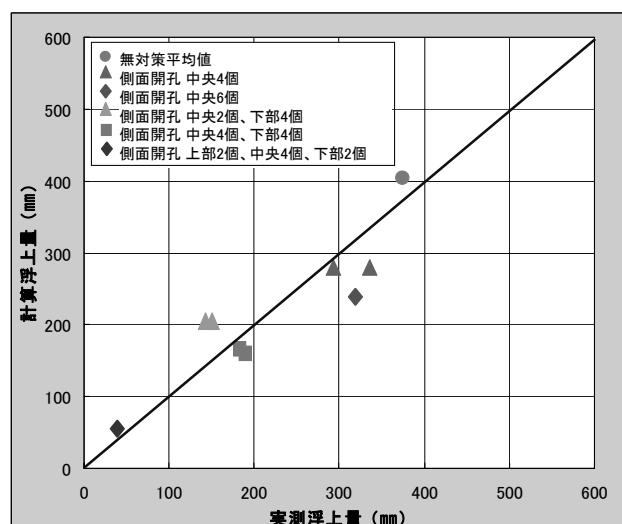


図 19 マンホール浮上量と計算値の関係

## 4. 消散弁の開発

### 4. 1 消散弁の構造

地盤が液状化する際に発生する間隙水圧の上昇を抑えるための消散弁の構造は、図20のとおりである。地盤内に発生した過剰間隙水圧により、圧力調整爪が折れて受圧板がはずれ、過剰間隙水圧がマンホール内に開放される仕組みである。消散弁は、図21に示すとおり圧力調整爪、受圧板、受圧板支持リング、メッシュ、ソケット、グリップリング、押込み金具、開閉蓋等から構成されている。

メッシュは、土砂がマンホール内に流入することを防止し、開閉蓋は消散弁の開放後にマンホール内へ地下水が流入することを応急的に止めるために使用する。圧力調整爪、メッシュ及び押込み金具はステンレス製、受圧板、受圧板支持リング、ソケットおよび開閉蓋はポリプロピレン製である。

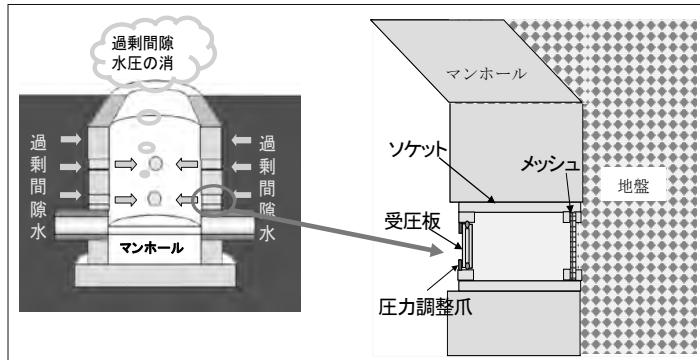


図20 消散弁

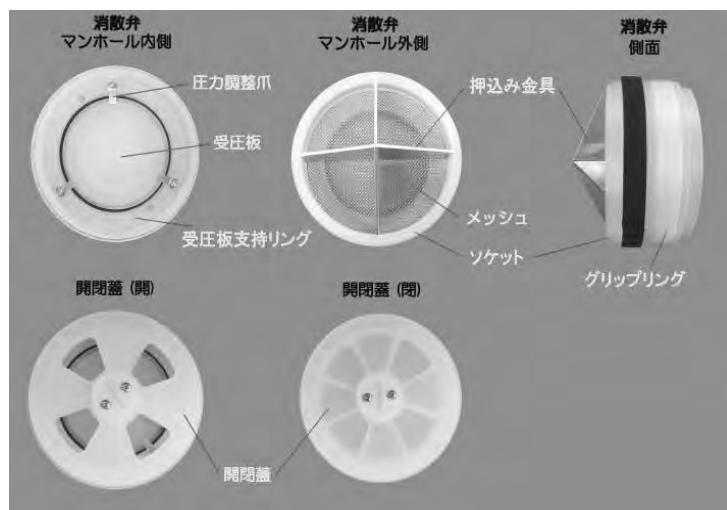


図21 消散弁の構造

### 4. 2 消散弁の種類

過剰間隙水圧の大きさは、マンホール深さや地下水位により異なるため、フロートレス工法では開放圧力の異なる消散弁を4種類（0.02MPa、0.03MPa、0.04MPa、0.05MPa）を開発し、現場状況及び設置箇所に応じて使い分ける。それぞれの圧力調整爪の仕様は表2に示すとおりである。

表2 消散弁の種類

開放圧力	0.02MPa	0.03MPa	0.04MPa	0.05MPa
圧力調整爪	5×0.4mm	4.5×0.5mm	4.5×0.6mm	6×0.6mm

### 4. 3 消散弁の施工手順

施工方法を、図22に示す。最初に、ダイヤモンドビットを備えた消散弁取付装置をマンホール内に設置して、消散弁をマンホール側壁に取付けるための削孔を行う。削孔が完了したらコアを抜取り、その削孔穴に消散弁取付装置で消散弁を押し込んで取付け、仕上げを行う。

消散弁取付装置は、内径600mm以上のマンホールで施工可能であり、消散弁はマンホールの壁厚に合わせて対応可能な機構を検討している。

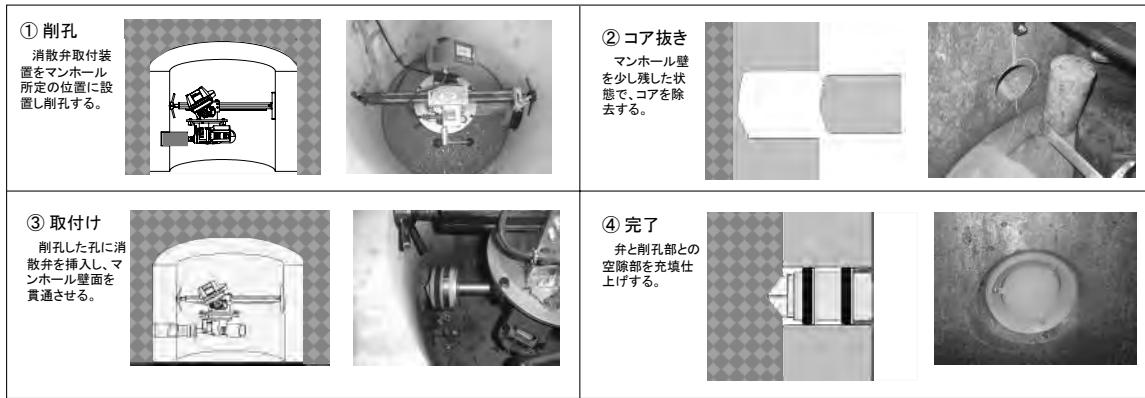


図 2 2 消散弁設置の手順

## 5. おわりに

本研究では、これまで効率的な対策がなかった既設マンホールに対する液状化による浮上防止対策について、市街地で施工しやすい非開削の工法とすることを目標に開発を行った。開発された「フロートレス工法は」、マンホール側壁に人孔内から消散弁を設置するため、開削が不要であり、施工時間が短く施工費も低廉である。また、実験により、地震時にマンホール周辺地盤で発生した過剰間隙水圧を消散させる機構が、マンホール浮上の抑制に有効な対策となることが確認できた。

本装置を既設人孔（足立区内のマンホール 2 箇所）内に平成 18 年 3 月に設置した。消散弁の圧力調整爪は、当初ポリプロピレン製だったが、設置 3 ヶ月後に受圧板の漏水が発生したため、ステンレス製に変更し再設置した。その結果、一年半を経過した平成 19 年 10 月時点でも漏水等は発生していない。

今後も継続して、地下水圧や交通量の多い場所での振動の影響など、消散装置の誤作動と耐久性を確認し、マンホール浮上抑制に寄与できる工法として確立していきたい。

## 1 - (2) - 1 GC/MS 法によるエストロゲン抱合体の分析

施設管理部環境管理課 今井美江、関口郁子、宮島潔、石井実

### 1. はじめに

環境庁による SPEED'98(平成 10 年)の公表以来、内分泌かく乱化学物質に関する様々な調査研究が行われた結果、河川水が持つホルモン活性の大部分は、人工化学物質ではなく、ヒトや家畜を排出源とする天然由来の女性ホルモン(エストロゲン)が占めていることが明らかになってきた<sup>1)</sup>。天然エストロゲンには、 $17\beta$ -エストラジオール(E2)の他に、エストロン(E1)やエストリオール(E3)等が存在する。当課では、平成 10 年から行っている ELISA 法による E2 の測定の他に、平成 16 年度から負イオン化学イオン化ガスクロマトグラフ質量分析法(以下、GC/MS 法)によるエストロゲン 4 物質(E1、E2、E3 及び合成避妊薬の主成分であるエチニルエストラジオール(EE2))の同時分析を行っており、下水放流水中のエストロゲンの実態を調査しているところである。

しかし、エストロゲンの大部分は、グルクロロン酸や硫酸等と結合した抱合体という不活性化した形態で排出された後、環境水中でその一部が脱抱合されて活性の高い遊離体に戻ることが指摘されている<sup>2)</sup>。水環境に対する下水放流水の影響を正確に把握するためには、遊離体だけでなく、抱合体についても調査する必要がある。

そこで、これまで行ってきた GC/MS によるエストロゲン遊離体の分析法を応用し、抱合体の測定が可能かどうかについて検討を行った。

### 2. 分析フロー及び検討対象物質

分析フローを図 1 に示す。この分析フローは「外因性内分泌攪乱化学物質調査マニュアル(環境庁)<sup>3)</sup>」を参考にして、当課で行ってきたエストロゲン遊離体の分析手順に、塩酸／メタノールを用いた抱合体分解操作を加えたものである。抱合体分解操作により、エストロゲン抱合体は遊離体に加水分解され、遊離体との含量として定量される。

検討対象としたエストロゲン抱合体は、国内の下水放流水から検出事例のある<sup>4)</sup> 4 種類の硫酸抱合体及び 3 種類のグルクロロン酸抱合体とした(表 1、図 2)。

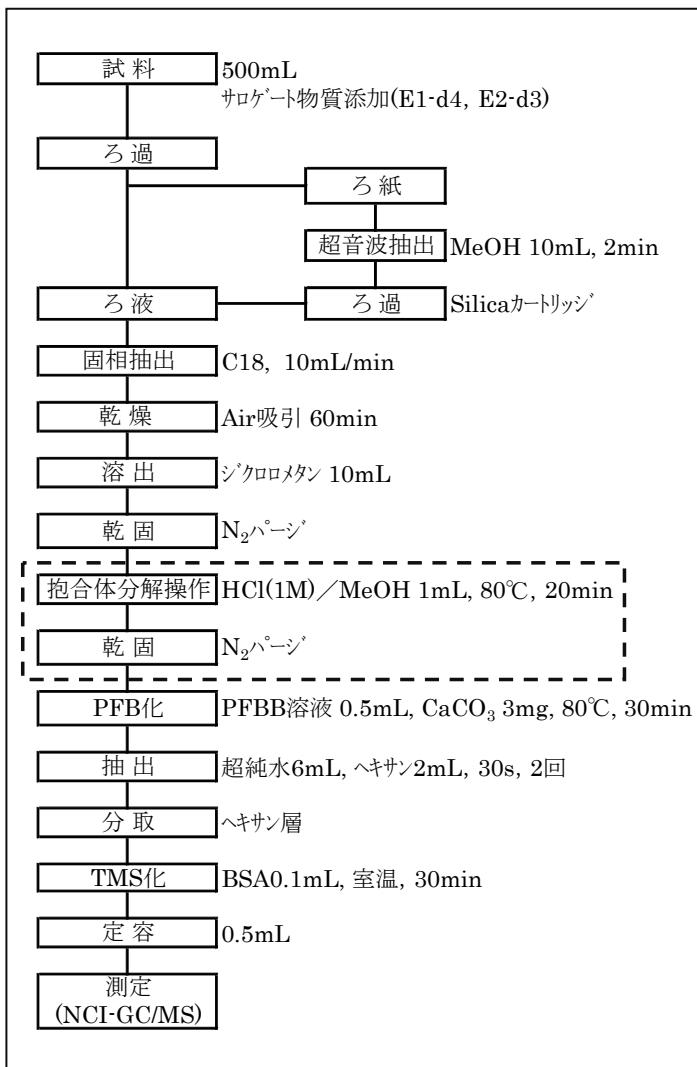


図 1 分析フロー(点線で囲まれた部分が今回加えた操作)

表 1 検討対象としたエストロゲン抱合体

硫酸抱合体	
Estron 3-sulfate	E1-3S
$\beta$ -Estradiol 3-sulfate	E2-3S
Estriol 3-sulfate	E3-3S
$\beta$ -Estradiol 3,17-disulfate	E2-diS
グルクロン酸抱合体	
Estron 3-Glucuronide	E1-3G
$\beta$ -Estradiol 3-Glucuronide	E2-3G
Estriol 17-Glucuronide	E3-17G

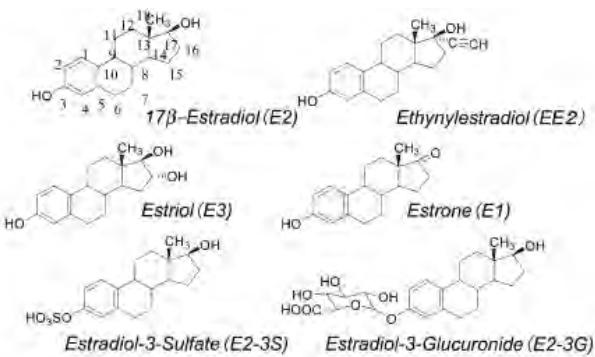


図 2 エストロゲン遊離体及び抱合体の構造式

### 3. 検討内容及び結果

#### 3. 1 抱合体分解操作のサロゲート物質への影響

GC/MS 法によるエストロゲン遊離体の分析には安定同位体をサロゲート物質として用いるが、塩酸／メタノールによる抱合体分解操作を行う場合、重水素安定同位体の中には水素一重水素交換反応により測定対象エストロゲンに変化するものがあることが報告されている<sup>5)</sup>。そこで、当課で使用している 2 種類の安定同位体(Estron 2,4,16,16-d4; E1-d4、 $\beta$ -Estradiol 16,16,17-d3; E2-d3)が、抱合体分解操作により測定対象エストロゲンに変化しないか検討を行った。

##### (1) 方法

E1-d4 及び E2-d3 標準液(20  $\mu$  g/L 及び 5  $\mu$  g/L)を用い、塩酸／メタノール(表 2 等のなかでは HCl/MeOH と表記)処理を行ったものと行わないものについて、測定面積値及び E1、E2 濃度を比較した。

##### (2) 結果

E1-d4 標準液では、塩酸／メタノール処理を行った場合、クロマトグラム上に E1-d4 のピークは検出されず、E1 濃度は塩酸／メタノール処理をしない場合より 5 倍程度高くなった(表 2)。E1-d4 は塩酸／メタノール処理過程で分解されやすいと考えられ、一部は水素一重水素交換反応により、E1 に変化しているものと考えられた。抱合体分解操作を行う場合、E1-d4 はサロゲート物質として不適当であることが分かった。

一方、E2-d3 標準液の測定面積値は、塩酸／メタノール処理を行ったものは、行わないものの半分程度に低下したが、E2 濃度に増加は認められなかった。塩酸／メタノール処理で E2-d3 も一部は分解するが、測定対象エストロゲンには変化しないことが分かった。塩酸／メタノール処理によりサロゲート物質の回収率が下がることは好ましくはないが、低下の程度が安定

していること(測定面積値の変動係数が 10% 未満)、また、測定対象エストロゲンを生成しないことから、E2-d3 はサロゲート物質として使用可能と考え、以下

表 2 塩酸／メタノール処理の有無によるサロゲート物質(E1-d4, E2-d3)の測定面積値と E1 及び E2 の生成量

	E1-d4		E2-d3	
	測定面積値	E1生成量	測定面積値	E2生成量
HCl/MeOH処理なし	313,013	1.2 $\mu$ g/L	252,102	0.35 $\mu$ g/L
HCl/MeOH処理あり		0	5.9 $\mu$ g/L	138,189 0.05 $\mu$ g/L

※各回収率は併行回数3回の平均値

の検討は E2-d3 のみを用いて行った。

### 3. 2 抱合体分解操作による遊離体及び抱合体の回収率

GC/MS 法による抱合体の分析は、抱合体分解操作で抱合体を遊離体に加水分解し、遊離体との含量として測定を行うが、この操作に塩酸／メタノールを用いる場合、抱合体が加水分解されるだけでなく、遊離体本体までもが分解・消失してしまう現象が報告されている<sup>6)</sup>。そこで、塩酸／メタノール処理による遊離体の分解の度合いを把握した後、遊離体の分解を抑制しつつ、抱合体の加水分解を適性に行える条件を検討した。

#### 3.2.1 遊離体標準液の回収率

塩酸／メタノールによる抱合体分解操作による、遊離体の回収率低下の有無を確認した。

##### (1) 方法

E1、E2 及び E3 標準液(200 μg/L)について、塩酸／メタノール処理以降の回収率を確認した。回収率は、サロゲート物質(E2-d3)による補正を行ったものと、補正を行わず測定面積値から求めたものの両者を比較した。

##### (2) 結果

サロゲートによる補正を行った回収率は、E1 では 127%、E2 及び E3 ではほぼ 100% であったが、補正をせずに測定面積値から求めた回収率は、どの物質でも 35% 以下であった(表 3)。本条件による塩酸／メタノール処理では、遊離体がかなりの割合で分解してしまうことが分かった。面積値による回収率は 1 回目と 2 回目で値が異なっていたが、その原因については不明である。

塩酸／メタノール処理を行っても、定量を行う際にはサロゲート補正を行うため、定量値に支障を来たすことはないが、測定面積値が著しく低下するため、遊離体のみの分析における定量下限値(E1, E2 は 0.5ng/L、E3 は 1.0ng/L)を確保することが難しくなると考えられた。

表 3 塩酸／メタノール処理による遊離体標準液の回収率

	サロゲート補正した回収率(%)			測定面積値による回収率(%)		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3
1回目	128	97	96	33	25	25
2回目	126	102	102	10	8	8

※ 各回収率は併行回数3回の平均値

#### 3.2.2 塩酸／メタノール処理における遊離体分解の抑制方法に関する検討

塩酸／メタノール処理で遊離体が分解する現象への対処法として、シリル化剤で不活化処理したガラス器具を使用する方法<sup>6)</sup>、塩酸／メタノール処理後の窒素ページを行わず、蒸留水に希釈して pH 調整し、固相抽出を行う方法(この報告では、遊離体の分解は塩酸／メタノール処理後の濃縮の際に起こると書かれている)<sup>7)</sup>が報告されている。これらの方法について検討した結果、ガラス器具不活化法では回収率に若干の改善が認められたが、両者とも、遊離体の分解に対する大きな抑制効果は認められなかった(表 4)。

そこで次に、塩酸／メタノールの塩酸濃度を下げることで、分解を抑制できるかを検討した。

表 4 遊離体標準液分解の抑制方法の検討

	測定面積値による回収率(%)		
	E1	E2	E3
不活化処理したガラス器具の使用	50	40	42
固相を使用	3	2	2

※ 各回収率は併行回数3回の平均値

### (1) 方法

塩酸／メタノールの塩酸濃度を 1M(環境庁マニュアルの条件)、0.5M 及び 0.1M とした条件で遊離体標準液(200 μ g/L)に対して抱合体分解操作を行い、遊離体の分解の度合いを比較した。

### (2) 結果

塩酸(1M)／メタノールでは、どの遊離体でも 63%以下に測定面積値が低下しているのに対し、塩酸(0.5M)／メタノールでは 63～90%、塩酸(0.1M)／メタノールでは 77～127%と、塩酸濃度が低いほど遊離体は分解しにくいことが分かった(表 5)。塩酸／メタノールの塩酸濃度を 0.1M と低くすることで、遊離体の分解を抑制できると考えられた。

表 5 塩酸/メタノール濃度による遊離体の回収率

	測定面積値による回収率(%)		
	E1	E2	E3
HCl (0.1M)/MeOH	94	77	127
HCl (0.5M)/MeOH	78	63	90
HCl (1M)/MeOH	48	40	63

※ 各回収率は併行回数2回の平均値

### 3.2.3 抱合体の回収率と塩酸／メタノール処理の塩酸濃度

遊離体の分解を抑制しつつ、抱合体では高い回収率を得ることのできる塩酸／メタノール処理条件を見つけることを目標に、3 段階の塩酸濃度による抱合体標準液の回収率を検討した。

### (1) 方法

4 種類の硫酸抱合体、及び 3 種類のグルクロン酸抱合体(200 μ g/L)について、塩酸濃度 1M、0.5M 及び 0.1M の塩酸／メタノールを用いて抱合体分解操作を行い、抱合体の回収率を確認した。

### (2) 結果

硫酸抱合体、グルクロン酸抱合体とともに、回収率は塩酸／メタノールの塩酸濃度による差は認められず、塩酸濃度は 0.1M で十分であることが分かった(表 6)。

ただし、硫酸抱合体では回収率 64～89%、変動係数 11%未満と、ある程度良好な結果であるのに対し、グルクロン酸抱合体では回収率が 6～24%と低く、変動係数も 20%を超えたものがあった。抱合体の回収率に塩酸濃度への依存性がないことから、グルクロン酸抱合体に対しては、塩酸／メタノールで抱合体分解処理することは難しいと考えられた。

表 6 塩酸/メタノール濃度による抱合体標準液の回収率と変動係数

	回 収 率 (%)						
	E1-3G	E2-3G	E3-17G	E1-3S	E2-3S	E3-3S	E2-diS
HCl (0.1M)/MeOH	10	6	12	76	68	68	89
HCl (0.5M)/MeOH	8	6	11	79	64	69	86
HCl (1M)/MeOH	10	8	24	78	64	86	88
	変 動 係 数 (%)						
	E1-3G	E2-3G	E3-17G	E1-3S	E2-3S	E3-3S	E2-diS
HCl (0.1M)/MeOH	23.4	10.6	35.1	2.3	3.6	10.7	2.2
HCl (0.5M)/MeOH	5.1	4.2	5.9	9.4	0.7	2.3	0.4
HCl (1M)/MeOH	20.3	7.1	10.4	10.4	1.1	7.1	0.7

※ 各回収率は併行回数3回の平均値

また、抱合体分解操作に用いる試薬としては、塩酸／メタノールの他にグルクロニターゼが知られているが、グルクロニターゼを用いた場合、硫酸抱合体の回収率が低くなることが報告されている<sup>7)</sup>。これらのことから、抱合体分解—GC/MS 法では全ての抱合体を精度良く測定することは難しいと考えられた。

そこで、本検討では、現有機器で測定可能と考えられた硫酸抱合体を対象として検討を進めることとした。

### 3. 3 硫酸抱合体標準液の固相抽出

当課の遊離体の分析手順では、pH 無調整で固相抽出を行うことになっていたが、水溶性の高い抱合体の場合、固相への吸着性を高めるために非解離型にしておく必要があると考えられる。そこで、固相抽出時の溶液 pH による硫酸抱合体の回収率について検討した。

#### (1) 方法

硫酸抱合体標準液(200ng/L)を、pH3、5、7 に調整して固相抽出—塩酸(0.1M)/メタノール処理—パーフルオロベンジル化(PFB 化)を行い、各分析工程の回収率を求めた。

#### (2) 結果

固相抽出から PFB 化までの全工程の回収率は、E1-3S ではどの pH でも 100% 近い結果が得られたが、他の硫酸抱合体では pH3 及び 5 の方が pH7 よりも高く、回収率に pH 依存性が認められた(表 7 ③)。しかし、E1-3S 以外の抱合体については回収率の値自体が低く、E2-3S では 56%、E3-3S 及び E2-diS では 10% 以下で、水溶性の高い抱合体ほど回収率は低い値であった。

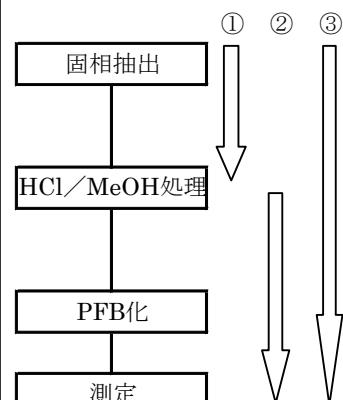
工程別の回収率は、塩酸／メタノール処理以降は 70～105% のある程度良い結果であるのに対し(表 7 ②)、固相抽出のみの回収率は E1-3S 以外の硫酸抱合体は回収率が低く(表 7 ①)、問題のあることが分かった。抱合体の分析には、使用する固相の種類及び溶出溶媒を再検討する必要があると考えられた。

表 7 抱合体標準液の超純水添加回収実験 ~ 固相抽出の pH による回収率と変動係数 ~

	回 収 率 (%)				変動係数(%)			
	E1-3S	E2-3S	E3-3S	E2-diS	E1-3S	E2-3S	E3-3S	E2-diS
固相抽出 ①				固相抽出 ①				
pH=3	106	62	8	2	—	—	—	—
pH=5	121	79	4	0	—	—	—	—
pH=7	108	24	0	0	—	—	—	—
HCl／MeOH処理 ②				HCl／MeOH処理 ②				
	90	71	105	100	3.7	0.1	1.5	1.5
固相抽出～測定 ③				固相抽出～測定 ③				
pH=3	95	44	9	4	3.1	8.1	8.8	55.7
pH=5	108	56	4	0	7.7	7.7	1.3	—
pH=7	96	17	0	0	12.7	12.3	—	—

※ 回収率は、併行回数 3 回の平均値。

ただし、「固相抽出①」の回収率は、「HCl/MeOH 処理②」の回収率に対する「固相抽出～測定③」の比率として求めた。



### 3.4 放流水への添加回収

前項では抱合体標準液について回収率の検討を行い、抱合体によっては良好な回収率が得られることがわかった。ここでは、実試料への適用を検討するため、下水処理水に抱合体標準液を添加して実試料における回収率を求めた。

#### (1) 方法

水再生センター放流水に硫酸抱合体標準液を 100 ng/L 添加し、pH5 に調整して前処理及び測定を行った。

#### (2) 結果

回収率はどの抱合体でも超純水の結果(3.3)と同程度であり、E1-3S は良好であったが、E2-3S、E3-3S は悪い結果であった(表 8)。

表 8 放流水への添加回収実験

	回収率(%)	変動係数(%)
E1-3S	75	1.3
E2-3S	54	6.9
E3-3S	2	173.0

※回収率は併行回数3回の平均値

### 4. 放流水の全エストロゲン及びエストロゲン遊離体の測定

今回検討を試みた塩酸／メタノール処理—GC/MS 法で精度よく測定できたのは、検討対象とした 7 種類の抱合体の中で、E1-3S、1 物質のみであったが、この方法による測定でも抱合体の挙動の推定を行うことは可能と考えられる。

そこで、4箇所の水再生センターの放流水(24 時間混合試料)について、抱合体を含めた全エストロゲンとエストロゲン遊離体を測定した。

その結果、遊離体の中で検出されたのは E1 のみで、検出濃度はこれまでの調査結果と同程度であった(表 9)。全 E1(遊離体 + 抱合体)の濃度は、どの放流水でも E1 遊離体の 2 倍弱程度の値で、E1 遊離体と E1 抱合体(E1-3S)は同レベルで存在した。抱合体分解—GC/MS 法で検出可能な E1-3S 以外にも、種々の硫酸抱合体及びグルクロン酸抱合体が遊離体よりもかなり高濃度で存在していると考えられた。

なお、独立行政法人土木研究所が行った LC/MS/MS 法による国内 20 箇所の下水処理場でのエストロゲン実態調査では<sup>4)</sup>、放流水から E1-3S の他に E1-3G も高濃度で検出されており、その濃度は E1 遊離体の 6 倍高い値であった(表 10)。また、遊離体ではほとんど検出されない E2 及び E3 も抱合体では高い濃度で検出されたと報告されている。このことから、グルクロン酸抱合体を含めた抱合体の実態について把握、検討していくためには、LC/MS/MS 分析装置を導入して分析を進めることが必要である。

表 9 水再生センター放流水中のエストロゲン及び抱合体エストロゲン濃度(平成 18 年 10 月採取)

センター名	濃度 (ng/L)				
	E1		E2	E3	
	全エストロゲン (遊離体 + 抱合体)	遊離体 (抱合体)	遊離体	遊離体	
A	69	42	(27)	1	0
B	50	29	(21)	0	0
C	15	10	(6)	0	0
D	2	1	(1)	0	0

表 10 土木研究所によるエストロゲン測定結果(国内 20 箇所の放流水の平均濃度<sup>4)</sup>)

平均濃度(ng/L)					
E1	12	E2	nd	E3	1.5
E1-3S	13	E2-3S	52	E3-3S	69
E1-3G	74	E2-3G	91	E3-3G	72
		E1-diS	360		

## 5. まとめ

- NCI-GC/MS によるエストロゲン遊離体の分析法を応用した、抱合体分解 - GC/MS 法によるエストロゲン抱合体の分析について検討を行ったところ、以下のことが分かった。
- ① 塩酸／メタノール処理を行う場合、E1-d4 は一部が水素 - 重水素交換反応により E1 に変化するため、サロゲート物質として使用できないが、E2-d3 は測定対象エストロゲンに変化しないため、使用可能である。
  - ② 抱合体の分解方法として環境庁水質保全局 外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアルに記載されている塩酸(1M)／メタノール処理では、エストロゲン遊離体自身も分解してしまう。抱合体分解操作で使用する塩酸／メタノールの塩酸濃度は 0.1M 程度まで低くすることが必要である。
  - ③ エストロゲン抱合体のうち、硫酸抱合体については塩酸／メタノール処理 - GC/MS 法で測定可能であるが、グルクロロン酸抱合体は回収率が低く、全ての抱合体を精度よく測定することは困難である。
  - ④ 硫酸抱合体の固相抽出操作の回収率は、E1-3S については良好な結果が得られたが、E2-3S、E3-3S 及び E2-diS では回収率が低く、固相の種類及び溶出溶媒について再度検討する必要があることが分かった。
  - ⑤ 4箇所の水再生センター放流水中のエストロゲンを測定した結果、E1 抱合体が E1 遊離体と同レベルで検出された。下水放流水中には、エストロゲン抱合体がかなりの濃度で存在していると考えられた。

## 参考文献

- 1) 島津暉之ら, 多摩等の環境ホルモン問題に関する研究(その 3), 東京都環境科学研究所年報, pp.165-175 (2000)
- 2) T. A. Ternes, *et. al.*, Behaviour and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants-II. Aerobic batch experiments with activated sludge, *The Science of the Total Environment*, Vol. 225, pp. 91-99 (1999)
- 3) 環境庁水質保全局, 外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル (1998)
- 4) K. Komori *et. al.*, Analysis and occurrence of estrogen in wastewater in Japan, *Water Science & Technology*, Vol.50, pp. 93-100 (2004)
- 5) 鳥貝真ら, 環境試料中  $\beta$ -エストラジオールの定量における内部標準物質の検討, *分析化学*, Vol. 48, No. 7, pp. 725-729 (1999)
- 6) 伊藤伸一ら, 固相抽出 - GC/MS 法を用いたエストロゲンの分析, *水道協会誌*, Vol. 69, No. 12, pp. 41-48 (2000)
- 7) 山辺真一ら, エストラジオール抱合体の分析条件の検討, *岡山県環境保険センター年報*, pp. 35-37 (2003)
- 8) 白石寛明ら, 環境中エストラジオール関連物質の LC/MS/MS 分析における HPLC 条件の最適化, 第 10 回環境化学討論会講演要旨集, pp. 320-321 (2001)

## 1 - (2) - 2 下水処理におけるエストロゲンの挙動

### ～処理方式による比較～

施設管理部環境管理課 宮島潔、今井美江、相馬英雄、関口郁子、石井実

#### 1. はじめに

平成9年9月、シーア・コルボーン博士らの著した『奪われし未来』が日本語に翻訳、刊行された。これを契機として、内分泌かく乱化学物質、いわゆる環境ホルモンによる生態系への影響に関する話題が新聞等のマスメディアに取り上げられるようになり、社会問題化した。下水道分野においても精力的な調査が行われ、調査対象とした物質の多くについて、下水処理場は、ある程度の低減効果を有していることが明らかになった<sup>1)</sup>。しかしながら、環境ホルモンを下水処理過程で完全に除去できるわけではないので、流入した物質の一部は、放流水に含まれ河川等の公共用水域に移動している。

和波らは、多摩川等での調査研究により、内分泌かく乱化学物質のなかで魚類の生殖異変を起こす可能性の高い物質は天然エストロゲン（女性ホルモン）であって、そのほとんどは下水処理場（水再生センター）から排出されていることを報告した<sup>2)</sup>。また、塩田らは、下水処理水を2倍濃縮した試験区において遺伝的オスメダカの60%が機能的なメスに性転換した実験結果を報告している<sup>3)</sup>。

現在、環境ホルモンに関する社会的関心は沈静化した状況となっている。しかし、近年、水生生物の生息環境を保全する機運が高まりつつあり、放流水中の微量物質を考慮した維持管理が求められる可能性がある。このような背景から、エストロゲン様物質の除去と水処理条件について把握することを目的として、本調査を実施した。

#### 2. エストロゲンの経時変化

天然のエストロゲンには、 $17\beta$ -エストラジオール(E2)、エストロン(E1)、及びエストリオール(E3)がある。これらのエストロゲンは、大部分がグルクロン酸や硫酸等の抱合体として不活性化された形態でヒトから排泄される<sup>4)</sup>。図1に、遊離体のエストロゲン(E1、E2、E3)及び主な抱合体の構造式を示した。抱合体では、3位または17位等に、グルクロン酸などが結合している。これらの抱合体、遊離体については、遺伝子組換え酵母を用いる検査方法により、女性ホルモンとしての作用強度（エストロゲン様活性）が報告されている<sup>5)</sup>。その中で、E2の活性値を1としたときの抱合体の比活性値は、1000分の1未満の値とされている。

下水に含まれるエストロゲンは、下水管渠内の流下過程においてその一部が脱抱合されて活性の高い遊離体に戻ると考えられている。E2のグルクロン酸抱合体に関しては、活性汚泥処理により一部が脱抱合されてE2を生成し、その後E2の一部はE1に、さらに生成したE1は他の未知物質に分解することが報告されている<sup>4)</sup>。また、当局の調査においては、第二沈殿池での固液分離後にE1が増加する現象が観測されている<sup>6)</sup>。

本来、エストロゲンの水処理過程での挙動を探るためには、遊離体だけでなく抱合体を含めて分析し、評価することが望ましい。当課では、「外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル 環境庁水質保全局水質管理課 平成10年10月（以下、マニュアルと記す）」に準拠して抱合体分析の検討を行ったところ、本法では十分な回収率が得られないことを

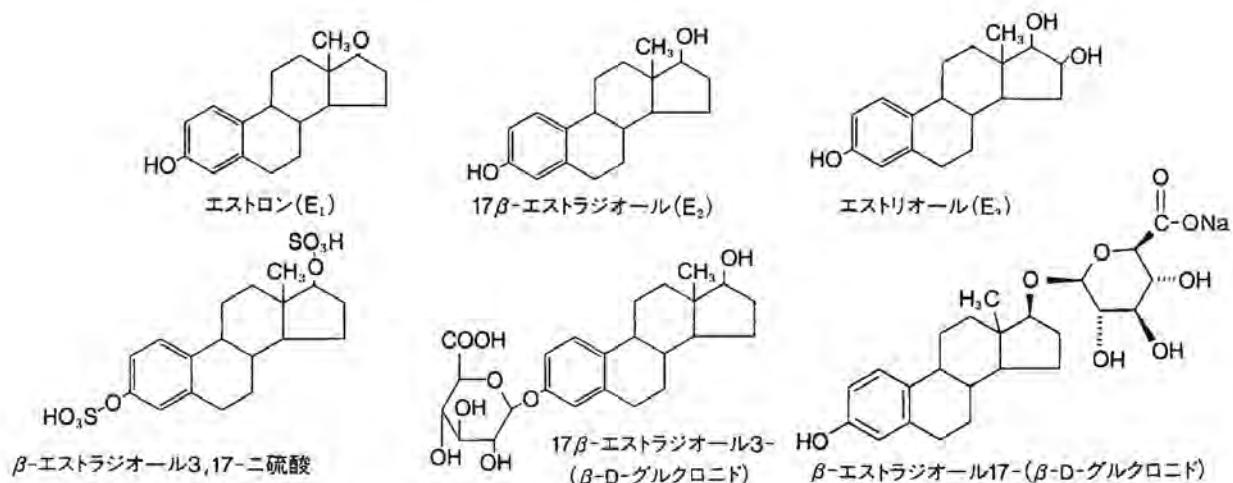


図1 エストロゲン遊離体、及び主な抱合体の構造式

確認することができた<sup>7)</sup>。ただし、分析方法を確立するまでには至っていない。

そこで、エストロゲン遊離体だけの分析結果により、放流水の影響を大まかに把握できるかどうかを検討した。下水管渠内で起こるといわれている、エストロゲン抱合体から遊離体への脱抱合反応が、処理過程及び処理水についてもみられるのかどうか机上実験を行った。

## 2.1 実験方法

中野水再生センター第二沈殿池越流水を遮光性のガラスねじ口瓶（容量3リットル）にほぼ満水とし、アスピレーターにて5分間、脱気処理を行った。その後、密栓してマグネットクリスターラーによる攪拌のみの放置条件と、試料をステンレス容器（容量5リットル）に移してボールフィルターにより曝気する（酸素供給）条件の2条件を設定した。実験開始時、5時間経過後及び24時間後の試料を得るために、ねじ口瓶及びステンレス容器を試料数と同じ数量だけ準備して、各時間経過後のエストロゲン濃度（E1、E2、E3）を測定した。なお、分析手順はマニュアルに準拠し、ガスクロマトグラフ質量分析計を用いて分析を行った。

また、反応槽最終回路で採取した活性汚泥混合液について、攪拌のみの放置による経時変化を調べた。なお、実験に用いた活性汚泥混合液は、各時間経過後に遠心分離、及びろ過を行い、得られたろ液を測定対象とした。

## 2.2 結果及び考察

各時間経過後のエストロゲン測定結果を図2に示す。処理水の試料では、攪拌のみで酸素供給のない条件、曝気条件のいずれも、濃度の総量は上昇せず、5時間経過までに1割程度減少した後、安定していた。ここには示していないが、別報<sup>7)</sup>において処理水中の硫酸抱合体1物質（E1-3S）が遊離体（E1）とほぼ同量含まれることを確認している。

一方、活性汚泥混合液の場合、攪拌のみの条件においてろ液中のエストロゲン濃度が増加した。これは、第二沈殿池での固液分離後にE1が増加する現象<sup>6)</sup>と類似している。

処理水と活性汚泥混合液との結果から、放置によりエストロゲンが増大する反応は、活

性汚泥に起因していると考えられることから、活性汚泥をほとんど含まない処理水に関しては、24時間の範囲内でエストロゲンの増加は起こらないと推測された。

水再生センター放流口周辺は、一般にコンクリート水路である。コンクリート水路においては、放流水のごく一部が付着藻類等の微生物と接触するだけであり、微生物の働きによる脱抱合反応は顕著でないと考えられる。このことから、放流口周辺では、放流水中のDOが運転条件等により低下したとしてもエストロゲンが増大する可能性は低い。

したがって、遊離体だけの測定であっても放流口周辺に生息する生物へ与える影響を表現できる可能性があると考え、次項の実態調査を行った。

### 3. 処理方式の異なる系列におけるエストロゲン濃度

エストロゲンの除去率は、生物反応槽での滞留時間と関係があり、処理時間が長くなると除去が進む傾向にあると報告されている<sup>1)</sup>。

そこで、同じ沈殿下水が、処理方式の異なる生物反応槽に分配される水再生センターを選定し、水処理条件の違いによりエストロゲン濃度に差があるのかどうか調べた。

#### 3.1 調査方法

##### (1) 調査施設、及び調査日

- ・中川水再生センター

調査日：平成18年12月18～19日

試料：沈殿下水、標準系列処理水、A<sub>2</sub>O系列処理水

- ・多摩川上流水再生センター

調査日：平成19年1月15～16日

試料：沈殿下水、標準系列処理水、A<sub>2</sub>O系列処理水

- ・三河島水再生センター

調査日：平成19年1月15～16日

試料：沈殿下水、AO系列処理水、担体添加ステップA<sub>2</sub>O系列（以下、「担体系列」と略す）処理水

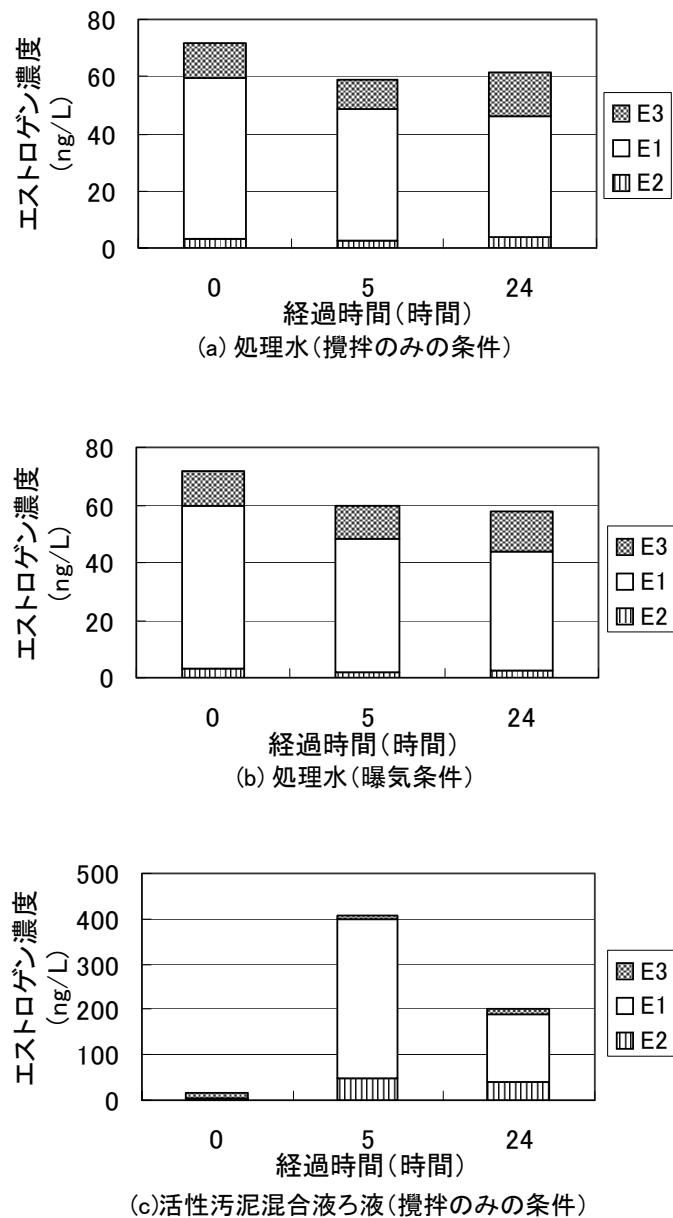


図2 放置時間とエストロゲン濃度との関係

## (2) 採取方法、及び測定手順

各試料は、自動採水装置により、調査第1日目の午前11時から2時間ごとに12回採水した後、流量比例となるように必要量を混合した。調製した混合試料は、クーラーボックスに入れて速やかに中野水再生センター内の試験室に持ち帰り、前処理作業を行った。なお、事前に自動採水装置のサンプル瓶（ポリプロピレン製）からエストロゲンが溶出していないことを、ガラス容器との比較試験（各容器に超純水を満たして24時間放置後に分析）により確認している。測定項目には、遊離体のエストロゲン（E1、E2、E3）だけでなく、試料のエストロゲン作用を総合的に測定できるエストロゲン様活性（遺伝子組換え酵母 Two-Hybrid 株）を併用することとした。エストロゲン様活性の測定方法は、標準プロトコル<sup>8)</sup>にしたがった。

## 3.2 結果及び考察

各センターの運転状況、エストロゲン測定結果をそれぞれ表1、図3に示す。エストロゲン濃度の総量に注目すると、いずれのセンターにおいても、沈殿下水に比べて処理水の方が大きかった。これは、生物反応槽において脱抱合したエストロゲンが処理水中で検出されたと推測されるが、詳細な検討を行っていないため原因は不明である。

各センターにおいて系列の異なる処理水を比較すると、中川、多摩川上流のどちらも、エストロゲン濃度は反応槽滞留時間の長いA<sub>2</sub>O系列の方が標準系列に比べて低濃度であった。このことから、反応槽の滞留時間がエストロゲンの低減効果に寄与していると考えられた。一方、三河島については、担体系列のエストロゲン濃度が対照となるAO系列のそれに比べて高濃度であった。担体系列では、硝化担体によって反応槽内の生物量をAO

表1 調査時の運転状況、及び一般項目の水質分析結果

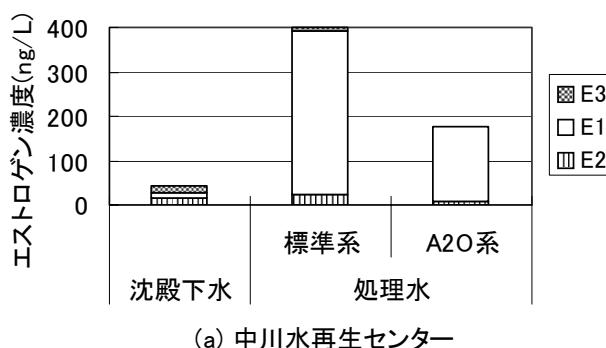
中川水再生センター							
	最終回路(計測器)		反応槽滞留時間(hrs)	好気槽滞留時間(hrs)	水質 <sup>*2)</sup>		
	平均MLSS (mg/L)	平均DO (mg/L)			NH3-N (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
対照系列	標準系列	1490	1.2	9.8	9.8	1.9	6.8
調査系列	A <sub>2</sub> O系列	1540	1.7	14.3	7.2	0.6	4.8
多摩川上流水再生センター							
	最終回路(計測器)		反応槽滞留時間(hrs)	好気槽滞留時間(hrs)	水質 <sup>*2)</sup>		
	平均MLSS (mg/L)	平均DO (mg/L)			NH3-N (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
対照系列	標準系列	1870	3.1	7.8	7.8	1.5	12
調査系列	A <sub>2</sub> O系列	1780	1.0	12.8	7.1	0.3	7.2
三河島水再生センター							
	最終回路(計測器)		反応槽滞留時間(hrs) <sup>*1)</sup>	好気槽滞留時間(hrs) <sup>*1)</sup>	水質 <sup>*2)</sup>		
	平均MLSS (mg/L)	平均DO (mg/L)			NH3-N (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
対照系列	AO系列	1180	2.5	7.8	6.8	1.9	13
調査系列	担体系列	1250	3.5	8.0	2.7	1.5	8.2

\*1) 担体添加系列では沈殿下水をステップ流入させているが、滞留時間の欄には、槽の容量を処理水全量で除して求めた値を記載した

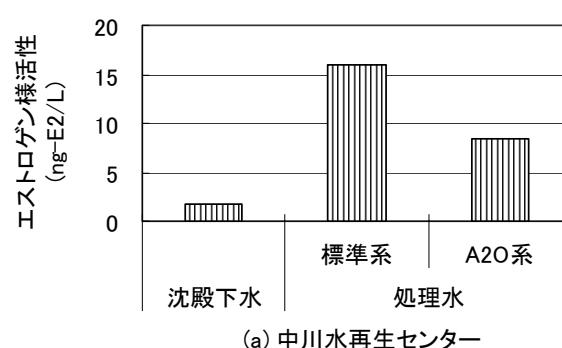
\*2) NH3-N、T-N、T-Pは、それぞれアンモニア性窒素、総窒素、総りんを表す

系列よりも高めて処理時間の短縮を図っている。採水日の処理水量と反応槽の容量から計算した担体系列の反応槽全体の滞留時間（8.0 時間）は、AO 系列のそれ（7.8 時間）とほぼ同じであったものの、好気槽滞留時間（2.7 時間）は AO 系列のそれ（6.8 時間）に比べると小さかった。担体系列は、アンモニア性窒素、総窒素が AO 系列よりも低く（表 1）、短い処理時間で硝化脱窒を促進できる処理法である。窒素等の分析結果だけでは明確なことはいえないが、硝化担体に由来する生物は硝化を効率良く促進する働きがあるものの、エストロゲン除去に関しては効果的に働くわけではない、ということが示唆された。

遺伝子組換え酵母を用いたエストロゲン様活性の測定結果を図 4 に示す。センターごとに結果を見ると、各試料の相対的な大小は、GC/MS で測定したエストロゲンの合計値と同様の傾向を示していた。しかしながら、このエストロゲン様活性値は、GC/MS により得た E2、E1、及び E3 濃度とそれぞれの比活性値（E2 :1、E1 :0.4、E3 :0.001）<sup>9)</sup> から算出したエストロゲン強度の総和とは隔たりがあった。酵母法（Two-Hybrid 株）では、下水試料の場合、酵母の増殖阻害による測定妨害の事例が報告されており<sup>10)</sup>、これが GC/MS の結果から算出した値よりも小さくなつた一因ではないかと推測した。



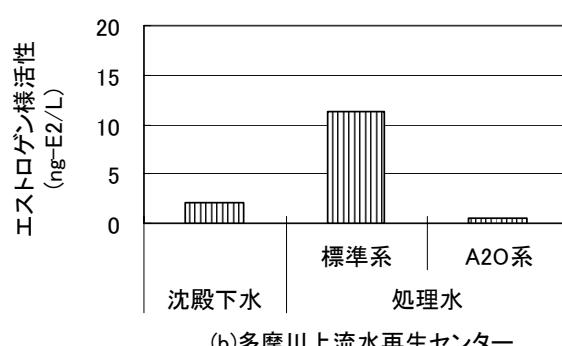
(a) 中川水再生センター



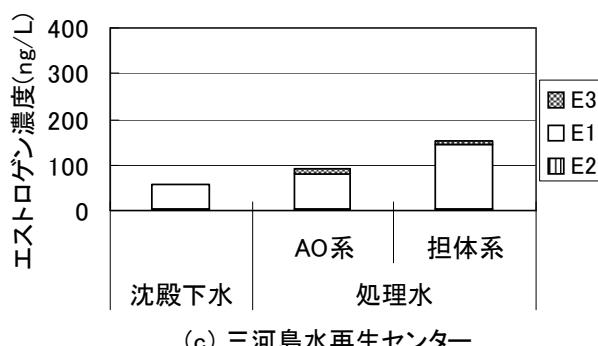
(a) 中川水再生センター



(b) 多摩川上流水再生センター

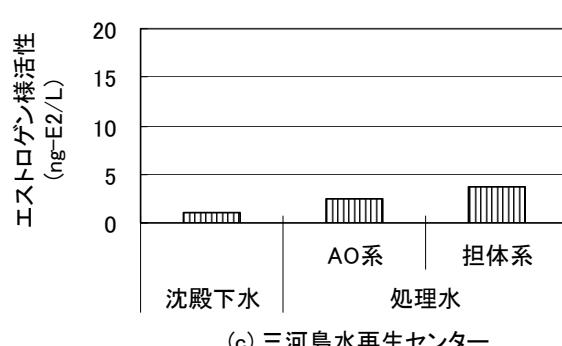


(b) 多摩川上流水再生センター



(c) 三河島水再生センター

図3 生物処理前後のエストロゲン濃度



(c) 三河島水再生センター

図4 生物処理前後のエストロゲン様活性

#### 4. まとめ

処理水中のエストロゲンの経時変化について机上実験を行った後、水再生センターにおいて実態調査を行った。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 処理水中の遊離エストロゲンは、曝気条件下、酸素供給のない攪拌条件下のいずれの場合も、実験開始から 24 時間経過後までに濃度の上昇は認められなかった。
- (2) 反応槽滞留時間の長い A<sub>2</sub>O 系列では、標準系列と比べて処理水のエストロゲン濃度が低下していた。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省都市・地方整備局下水道部, 平成 12 年度 下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査報告書(案), 平成 13 年 3 月.
- 2) 和波一夫ら, 多摩等の環境ホルモン問題に関する研究(その 10), 東京都環境科学研究所年報 2002, pp.66-73, 平成 14 年 12 月.
- 3) 塩田勉ら, 下水処理水中の化学物質がメダカに及ぼす影響, 東京都環境科学研究所年報 2002, pp.90-96, 平成 14 年 12 月.
- 4) 松井三郎ら, 天然および人工エストロゲンの下水道と環境中での挙動, 化学総説, NO.50, pp.86-92, 2001.
- 5) 中田典秀ら, 下水および河川水試料に含まれるエストロゲン様物質の探索手法の検討, 環境化学, Vol.16, No. 3, pp. 389-401, 2006.
- 6) 松木正浩, NCI-GC/MS を用いた下水中のエストロゲン分析法の検討及び実態調査, 東京都下水道局技術調査年報 2005 (CD-ROM).
- 7) 今井美江ら, GC/MS 法によるエストロゲン抱合体の分析, 東京都下水道局技術調査年報 2007 (CD-ROM).
- 8) 西川淳一, エストロゲン様物質の検出系, ファルマシア, 35, 3, pp.241～245 (1999).
- 9) 島津暉之ら, 多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究(その 3), 東京都環境科学研究所年報 2000, pp.165-175, 平成 12 年 12 月.
- 10) 宮本宣博ら, 遺伝子組み換え酵母法による下水中のエストロゲン様活性の測定, 土木技術資料, 44, 7, pp.22～27 (2002).

## **2. 快適性の向上**

### **(1) 合流改善技術**

- 1 大断面管渠における水面制御装置の適用について**
- 2 分水人孔用電動式円弧型スクリーン**

### **(2) 高度処理技術**

- 1 流域 A20 法施設の最適な運転管理方法**
- 2 PAC 添加によるりん除去効果**
- 3 葛西水再生センターにおけるりん処理の実態と対策**

### **(3) 周辺環境対策技術**

- 1 伏せ越し管きょ空気抜き施設に関する調査**

## 2-(1)-1 大断面管渠における水面制御装置の適用について

### ～北多摩一号幹線での夾雑物流出抑制対策の取り組み～

流域下水道本部 技術部 設計課

土木設計係 平川 真

#### 1. はじめに

##### (1) 北多摩一号幹線<sup>\*1</sup>の概要

北多摩一号幹線（図-1）は、主に府中市、国分寺市及び小平市の 5,123ha を処理区とする全長 22,073m の合流幹線である。

当幹線には流下途中に雨水吐がなく、水再生センター流入部にある分水堰が当処理区での唯一の夾雑物対策箇所となる。

当該箇所は、幹線最下流部であることから管渠断面が大きく、大規模な水面制御装置の設置が必要となる。

また、流下能力（計画流量 238.396m<sup>3</sup>/s）は、神田川中流域の計画流量に匹敵する大規模なものとなっている。

当該箇所の構造は、2 連のボックスカルバート（8.0m×4.5m×2 連-東幹線・西幹線）で、横越流により流入渠に取り込まれる構造となっている（図-2）。雨天時には、堰を越えた夾雑物が多摩川に直接放流されている（図-3）。

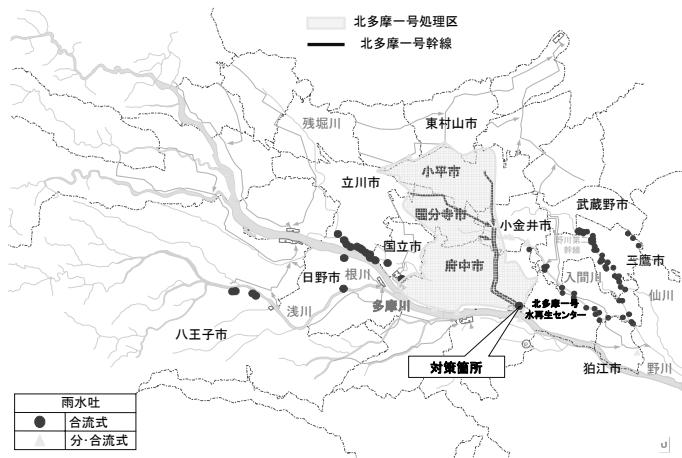


図-1 北多摩一号処理区平面図

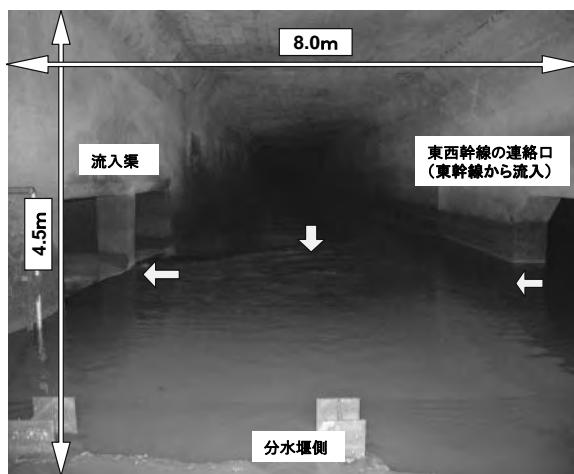


図-2 幹線断面図（2連のうち片側）



図-3 雨水吐からの流出状況

## (2) 大断面管渠への適用における課題

水面制御装置は、雨水吐口における夾雑物の流出抑制対策<sup>※2</sup>を目的とし、区部では、平成17年度末で230箇所もの数多くの施工実績がある(図-4)。

しかし、枝線管渠の比較的小規模な施工実績しかなく、幹線など大断面管渠への設置事例がないため、適用にあたっては背水影響、夾雑物の捕捉効果及び装置への作用荷重について十分検証する必要がある。

以上の課題について、水理模型実験を実施し、水面制御装置の大断面管渠への適用性を検証することとした。



図-4 区部での設置例(石神井川)

## 2. 現地事前調査

### (1) 現地事前調査の概要

現地事前調査では、夾雑物対策規模の設定、夾雑物のモデル化に必要な基礎資料の収集及び水面制御装置の概略形状を設定した。

幹線内にCCDカメラ、水位計及び夾雑物捕捉籠を設置し、降雨量と水位変動調査及び夾雑物流出状況を把握した。なお、調査期間は平成18年9月28日から平成18年11月28日までの2ヶ月間である。

### (2) 対策規模の設定

過去5カ年(H12～H16府中アメダスデータ)の全降雨日数の91%の降雨強度が10mm/hr以下であることから、対策目標とする降雨強度を10mm/hrに設定した。また、2ヶ月間の実降雨と幹線水位の測定結果から、降雨強度と水深の関係を整理し(図-5)、線形近似直線式を用いて、10mm/hr降雨時の水深を1.5mに設定した。

この対策規模は、過去5カ年(H12～H16北多摩一号水再生センター)の降雨日水位データの82%が1.5m未満であることからも妥当であると判断した。

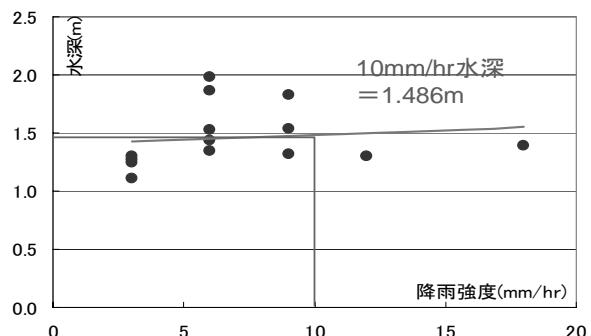


図-5 降雨強度と水深との関係

### (3) 夾雜物調査

堰の下流側に捕捉籠を設置し、多摩川へ放流される夾雜物の分布状況を調査した。捕捉された夾雜物は、草木、紙、布、ビニール類が多く、その乾燥重量を計測した(図-6)。水理模型実験では縮尺をあわせた擬似夾雜物を作成し捕捉効果を検証した。

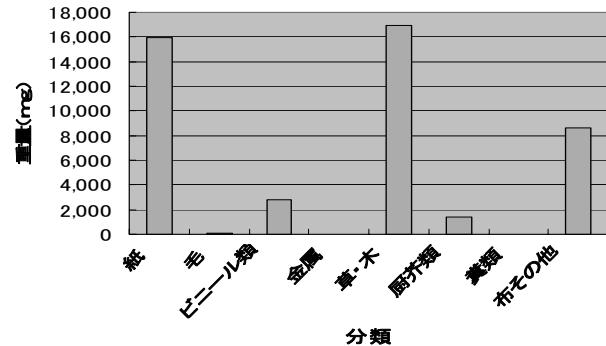


図-6 夾雜物の分布状況

### (4) 水面制御装置の概略形状

#### ①水面制御装置の概要

雨天時に雨水吐室内の水位が上昇し、遮集管が水没すると、浮遊性夾雜物は遮集管に取り込まれず、河川等に直接放流されることとなる。

水面制御装置(図-7)は、分水堰前面のガイドウォールにより、遮集管に取り込まれずに漂っている浮遊性夾雜物を越流させることなく遮集管呑口付近に導き、遮集管前面の制御板で発生させた渦流により、強制的に遮集管へ取り込むものである。

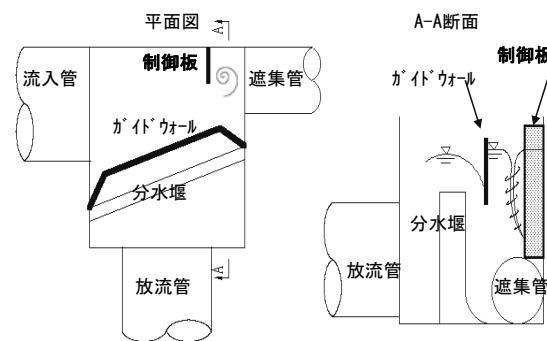


図-7 標準的な水面制御装置

#### ②概略形状の設定

今回の対策箇所では、遮集管に相当する流入渠の開口高さは、管底から1.5mで対策水深と同じ高さであり、流入渠は水没することなく自由水面を確保している。このことから、浮遊性夾雜物を渦流により強制的に流入渠に取り込む必要はなく、今回は制御板を設置しないこととした。

また、捕捉した浮遊性夾雜物を東幹線から連絡口を経て西幹線へ取り込み、さらに流入渠まで誘導する必要があることからガイドウォールの平面配置をこのように設定した(図-8)。

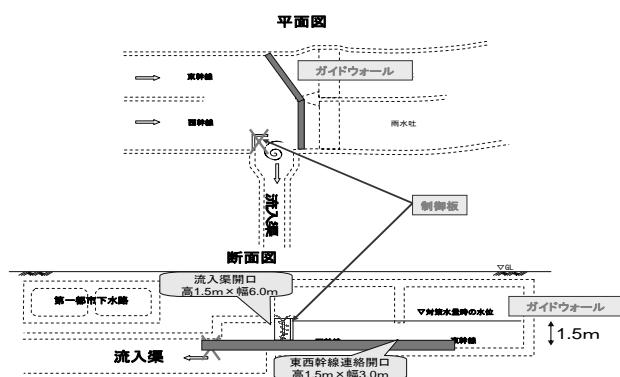


図-8 ガイドウォールの概略形状

ガイドウォール天端の設定は  
10mm/hr 降雨時の水深をもとに  
水路底面から 1.5m とした。

また、下端の設定については、  
水流による水面の乱れが生じた  
際に浮遊性夾雑物がガイドウォ  
ール下端を通過し越流すること  
を防止する目的で堰頂よりも  
0.05m 下げ、ガイドウォール  
の高さを 0.35m に設定した (図-9)。

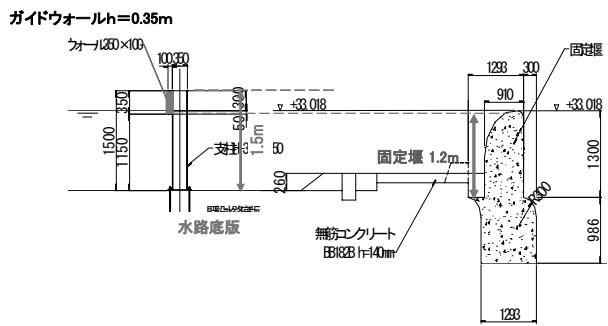


図-9 ガイドウォール設置高さ

### 3. 水理模型実験

#### (1) 水理模型実験の概要

##### ①背水影響の確認

計画 50mm/hr 流量時における管内水位を実験により求め、水面と管頂との余裕高の確認や背水の影響を確認した。また、東幹線の中央から左壁（側壁）に向って 4 本目の支柱と左壁との間のガイドウォールの角度（以下「設置角」とする。）を  $60^\circ$  、  $45^\circ$  、  $30^\circ$  と変化させ背水の影響を確認した。（図-10）

【流量条件】 計画 50mm/hr 流量 ( $Q=238.396\text{m}^3/\text{s}$ )

##### ②夾雑物捕捉効果の確認

概略形状案をもとにガイドウォールの最終形状を決定し、夾雑物（一般夾雑物、大型夾雑物）の捕捉効果を確認した。また、設置角を  $60^\circ$  、  $45^\circ$  、  $30^\circ$  と変化させ捕捉効果を確認した。

【流量条件】 現場 10mm/hr 流量（対策水深 1.5m 相当流量： $Q=12.780\text{m}^3/\text{s}$ ）

##### ③作用荷重の算定

実験で計測した流速、水深から、ガイドウォールに作用する静水圧及び流体力を設定した。

【流量条件】 計画 50mm/hr 流量 ( $Q=238.396\text{m}^3/\text{s}$ )

	形状 1：設置角 $60^\circ$	形状 2：設置角 $45^\circ$	形状 3：設置角 $30^\circ$
流況			

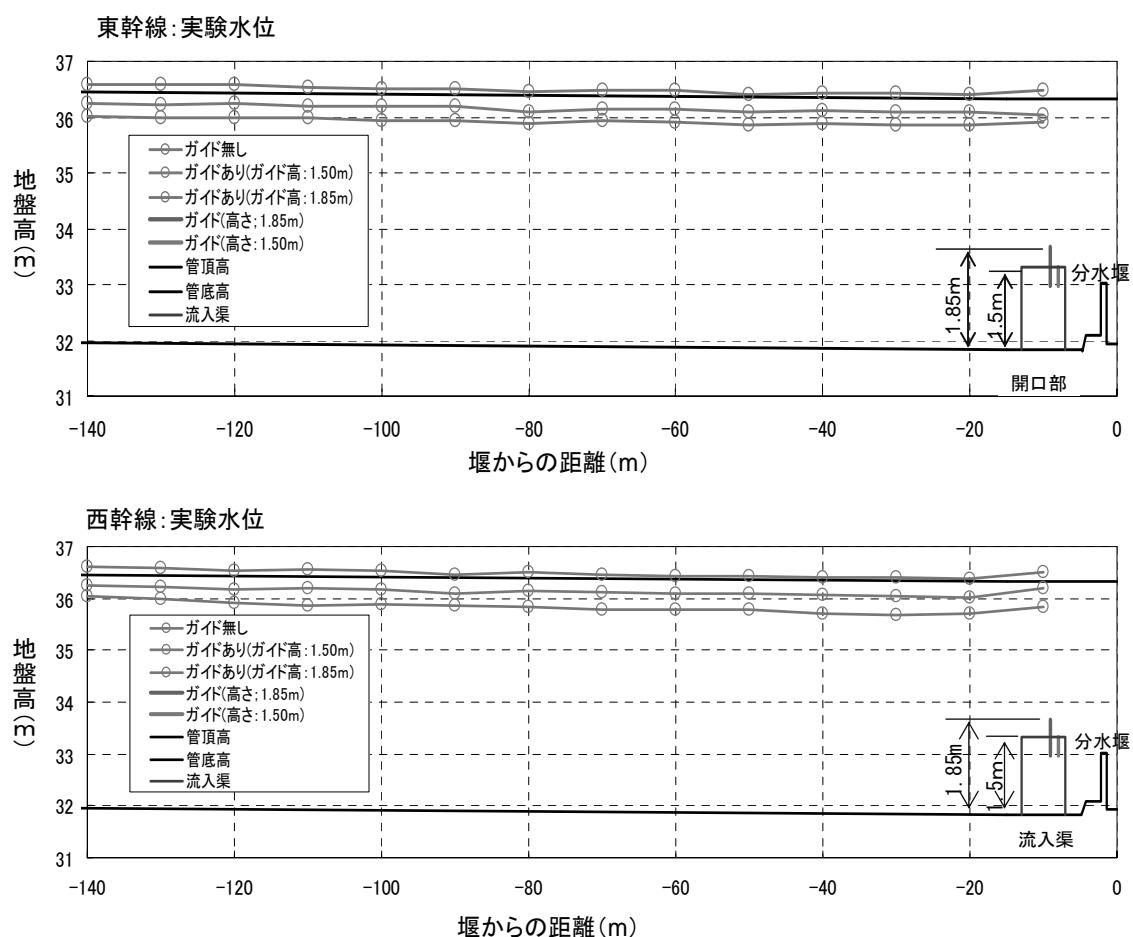
図-10 設置角と流況

## 2) 背水影響の確認

### ①ガイドウォール設置による水面形状

ガイドウォールがない場合の管頂との余裕高さは、東幹線で45cm程度、西幹線で55cm程度であり、満管時の9割水深程度となっている。また、ガイドウォール（対策高1.5m）を設置したことによる背水の影響は、東幹線で20cm、西幹線で30cm程度であり、管頂との余裕高さは東西幹線ともに20~30cm程度となった。なお、満管状態となるガイドウォールの高さは1.85mであった（図-11）。

このため、対策高1.5mのガイドウォールを設置した場合、背水の影響を受けるが満管状態にはならないことを確認した。



※上段：ガイドあり（ガイド高1.85m）

中段：ガイドあり（ガイド高1.50m）

下段：ガイドなし

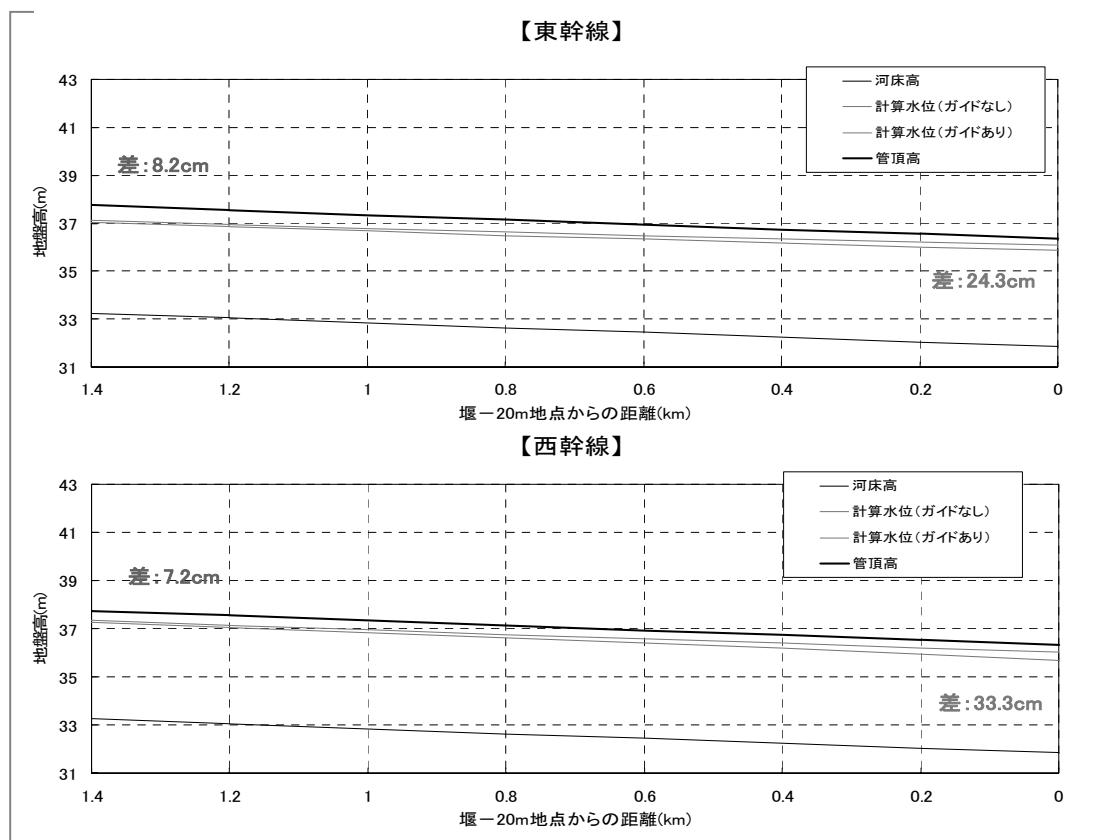
**図-11 計画50mm/hr流量における水面形状**

## ②背水影響の確認

水理模型実験によりガイドウォール（対策高 1.5m）を設置した状態で計画 50mm/hr 流量が流下した場合の水面形状を計測し、その結果をもとにして、以下の条件で不等流計算を行った。

この結果から、対策地点においてはガイドウォールによって、30cm 程度水位が上昇するものの、1.4km 上流ではその差は 7~8cm にとどまることが分かった（図-12）。なお、1.4km 上流地点（甲州街道・国道 20 号線）では、幹線の断面が矩形から円形に変わり、管底高に 77.8cm の落差がある。このことから、ガイドウォール設置に伴う背水影響は、この地点より上流に波及しないことを確認した。

また、この 1.4 km の間に接続する 4 本の府中市公共幹線<sup>※3</sup>への背水の影響についても検証し、溢水しないことを確認した。



(条件) 下流端水位：堰から-20m 位置水位

粗度係数 :  $n=0.013$

断面形状 : 幅 8.0m × 高さ 4.5m 矩形断面

勾配 : 1/1000

※上段：計算水位（ガイドあり）

下段：計算水位（ガイドなし）

**図-12 上流への背水の計算結果**

### ③設置角を変化させた場合の背水影響

計画 50mm/hr 流量時において、東西幹線水位を実験により求め、管頂との余裕高の確認を行った。

#### 1) 設定条件

【流量の条件】 50mm/hr 流量

#### 2) 実験結果

計画 50mm/hr 流量時において、管内および流入渠水路水位を実験により求め、管頂との余裕高の確認を行った。東幹線での水面形を図-13、図-14 に、西幹線での水面形を図-15、図-16 に示す。設置角を  $45^\circ$  とした場合、設置角  $60^\circ$  に比べ、最大で東幹線 5cm、西幹線 11cm の水位の低下が生じることを確認した。さらに、設置角を  $30^\circ$  とした場合、設置角  $60^\circ$  に比べ、最大で東幹線 5cm、西幹線 13cm の水位の低下が生じることを確認した。

以上のことから背水の影響面において、設置角  $30^\circ$  案が妥当であると判断した。

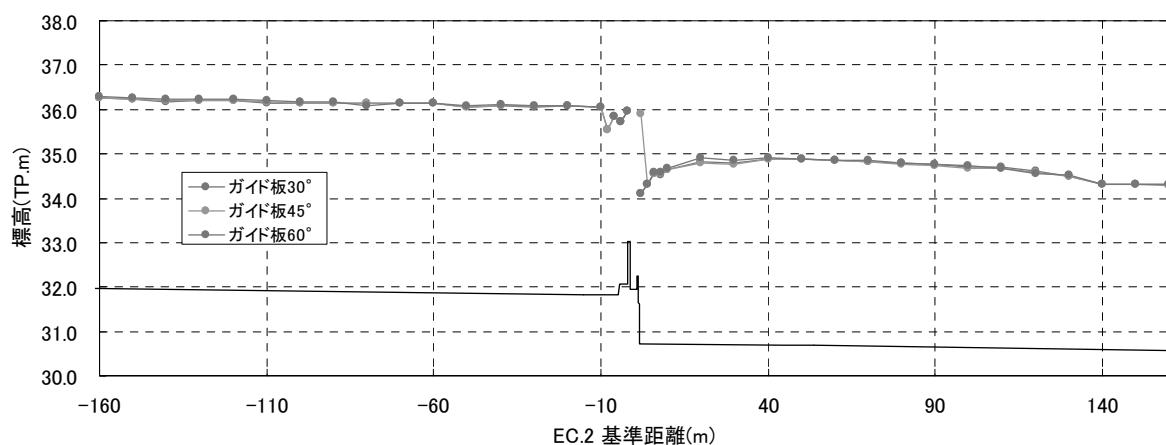


図-13 東幹線の水面形

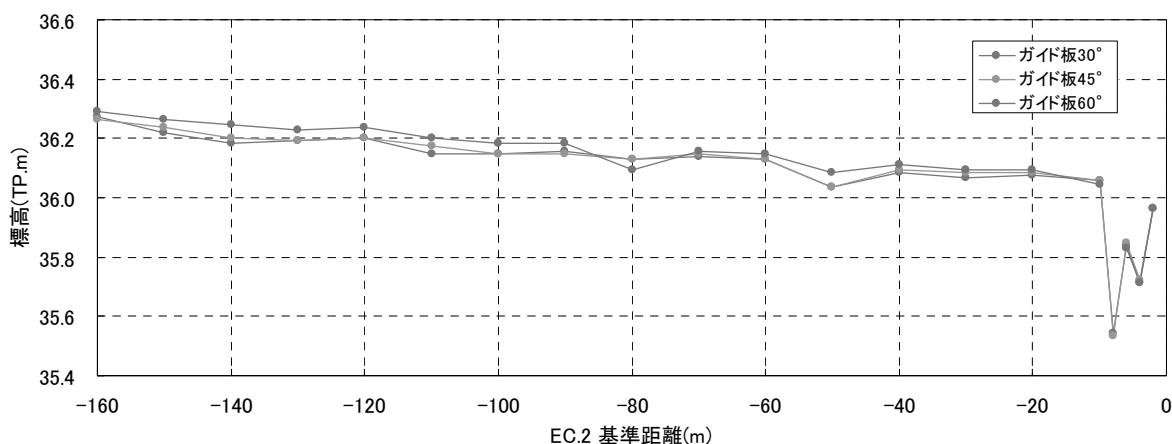


図-14 東幹線の水面形(堰上流部)

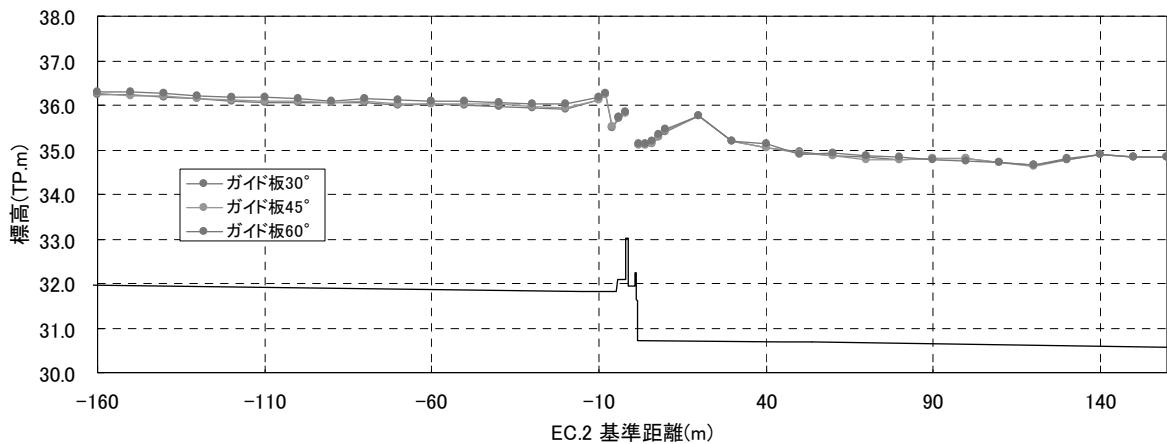


図-15 西幹線の水面形

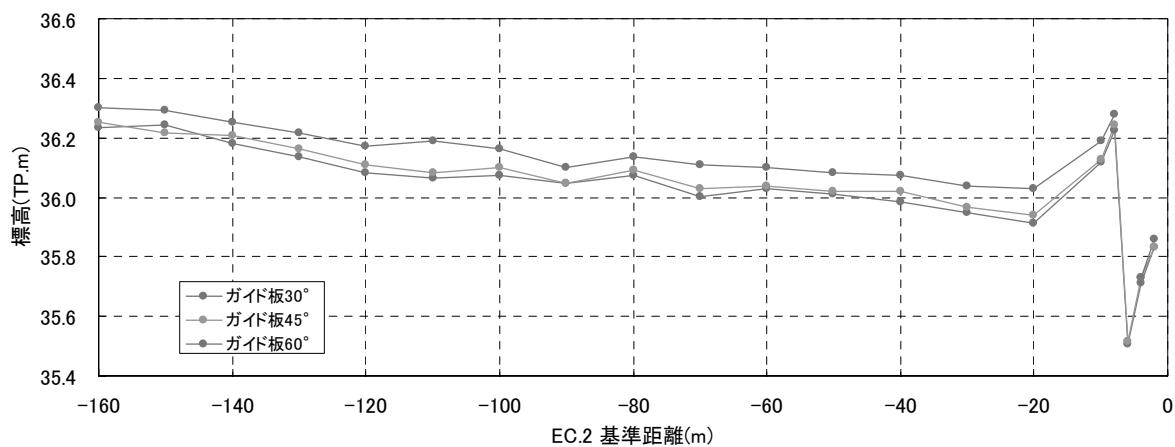


図-16 西幹線の水面形(堰上流部)

### (3) 夾雑物捕捉効果の確認

#### ①夾雑物のモデル化

捕捉効果を確認する夾雑物モデルは、現地調査結果をもとに4素材及びオイルボールの計5素材を対象とした（表-1）。また、ガイドウォールに引っかかり、流れを閉塞する可能性のある大型夾雑物として、畳と農業用の長めのビニールについても流況の確認を行った。

表-1 モデル化した夾雑物

実夾雑物	実寸法	モデル素材	モデル寸法	備考
オイルボール	D=20cm	ゴムボール	D=1.2cm	一般夾雑物
新聞紙	80×55cm	紙	4.4×3.1cm	
タオル	80×30cm	布	4.4×1.7cm	
コンビニ袋	60×35cm	ビニール	3.3×1.9cm	
草・木	50cm×φ4cm	木	2.8cm×φ0.2cm	
畳	1.8×0.9m	木片	10.0×5.0cm	大型夾雑物
農業用ビニール	8×0.5m	長めのビニール	44×1.4cm	

## ②夾雑物捕捉効果の検証

概略形状案でのガイドウォールによる捕捉効果を確認するため、5つの一般夾雑物を素材ごとに流下させ、ガイドウォール前面に滞留するもの、下流へ通過するもの、流入渠へ流下するものの数を計測し捕捉率を算定した。その結果、ゴムボール、ビニール、木の浮遊性夾雑物の捕捉率は95%以上であるが、紙、布の沈降性夾雑物の捕捉率は浮遊性夾雑物よりやや劣る結果となった。しかし、いずれの夾雑物も85%以上の捕捉率となり、ガイドウォール設置による捕捉効果は大きいことを確認した（表-2）。

捕捉状況を図-17に示す。

**表-2 素材ごとの捕捉率**

夾雑物	捕捉 (%)
	流入渠
ゴムボール	95.0
紙	84.5
布	90.0
ビニール	98.5
木	97.0

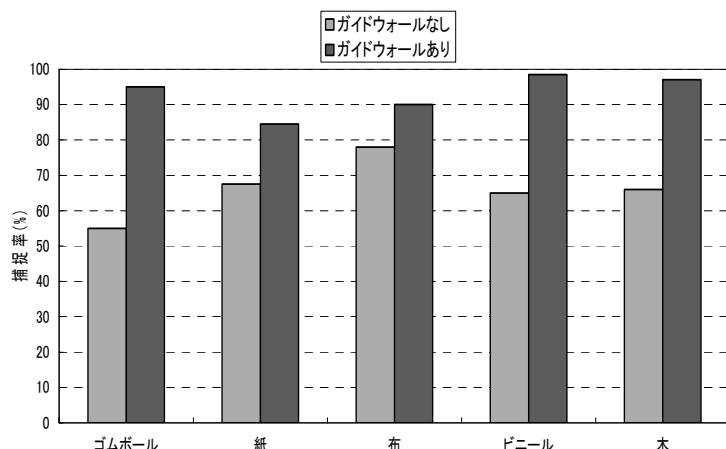


**図-17 ガイドウォールによる捕捉状況**

また、ガイドウォールの設置効果を検証するためにガイドウォールのない状態での捕捉率の確認を行った（表-3）。ガイドウォールを設置することで素材によっても異なるが、12～40ポイント程度捕捉率を向上できることを確認した（図-18）。

**表-3 ガイドなし捕捉率**

	捕捉 (%)
	流入渠
ゴムボール	55.0
紙	67.5
布	78.0
ビニール	65.0
木	66.0



**図-18 ガイドウォールなし、ありでの捕捉率比較**

### ③大型夾雑物による遮蔽の影響評価

実際の幹線内には一般夾雑物以外にも大型夾雑物が流下してくることが考えられるため、表-1に示す大型夾雑物をモデル化し、ガイドウォール地点での閉塞の可能性を検証した。畳、農業用ビニールとともにガイドウォールに引っかかり、幹線の流下断面を遮蔽する現象は見られなかった。ただし、畳については流入渠に入った直後の急縮部及びゲート室で滞留し、農業用ビニールについては、流入渠呑口部の支柱に引っかかる現象が見られた。

### ④設置角を変化させた場合の夾雑物捕捉効果

ガイドウォールの設置角を  $60^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $30^\circ$  と変化させた場合の夾雑物の捕捉効果の検討を行った。

#### 1) 設定条件

【流量の条件】現場 10mm/hr 流量

#### 2) 実験結果

実験により得られた、ガイドウォール形状を変化させた場合の捕捉率を表-4に示す。図-19に表-4の流下、滞留、捕捉の説明図を示す。実験結果から、設置角  $60^\circ$  に比べ設置角を  $30^\circ$  とした方が、東幹線滞留率が改善され、トータルの捕捉率も改善されることが確認された。この要因としては、設置角を  $30^\circ$  とした方が、設置角  $60^\circ$  に比べ左壁とガイドウォールとの接続部にできる死水域面積が減少するためと考えられる（図-20）。

一方、設置角を  $30^\circ$  とした場合、 $60^\circ$  や  $45^\circ$  の場合と異なり、夾雑物が東幹線ガイドウォールをくぐり流下してしまう現象が見られた。この要因としては、他の設置角の時に比べ  $30^\circ$  とした場合、いくぶんではあるが、ガイド前面に沿って幹線中央部に向かう流れの流速が大きくなり、東幹線ガイドウォールと幹線中央部の接合部での水面の乱れが大きくなつたため、その乱れた部分からガイドウォールをくぐってしまう夾雑物が存在するようになったためと考えられる。

以上の比較検討から、設置角を  $30^\circ$  した場合、 $60^\circ$  や  $45^\circ$  に比べ、東幹線からの流下率が増加してしまうことが確認されたが、それ以上の効果として、東幹線での滞留率が低くなることが分かった。そのため、流入渠への夾雑物捕捉効果が最も高いのは設置角を  $30^\circ$  とした場合であることが確認された。よって、最適な設置角は  $30^\circ$  が妥当であると判断した。

**表-4 各形状での捕捉率**

	設置角 $60^\circ$ (原案)	設置角 $45^\circ$	設置角 $30^\circ$
東幹線流下(%)	0.0	0.0	1.1
西幹線流下(%)	2.3	2.7	0.3
東幹線滞留(%)	2.6	1.2	0.7
西幹線滞留(%)	0.4	0.3	0.3
捕捉率(%)	94.7	95.9	97.7

↓  
採用

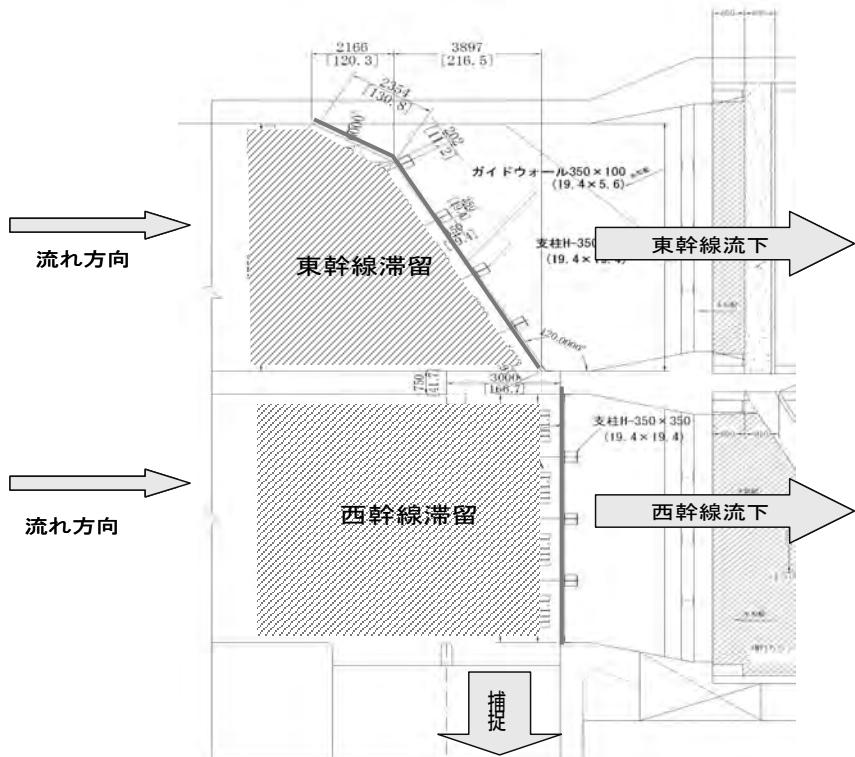


図-19 流下、滞留、捕捉の説明図

■ :死水域

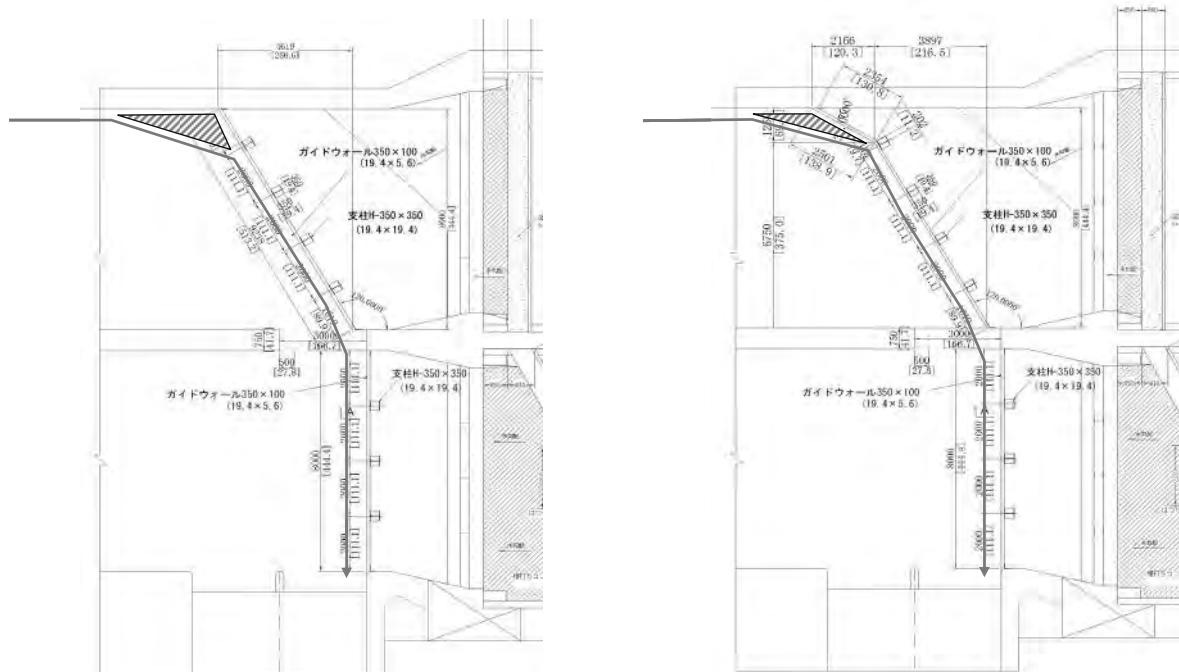


図-20 設置角 60° 及び 30° の場合の死水域面積のイメージ図

#### (4) 作用荷重の算定

標準的な水面制御装置の場合は、堰の直上流にガイドウォールが設置され、下流側の水深が見込めず片水圧となることから、作用荷重は上流側から受ける静水圧と流体力の合力としている。

今回の場合、堰とガイドウォールが離れており、ガイドウォール上下流の水位差が見られなかったので、作用荷重としては流体力のみを考慮し、ガイドウォールに作用する設計荷重を算定した（表-5）。設計荷重は、計画 50mm/hr 流量時の荷重を採用した。

この結果から、ガイドウォール部材を [-350×100×20 (SUS304)、支柱部材を H-250×250×9×14 (SUS304) とした。

表-5 作用荷重

	計画 50mm/hr		現場 10mm/hr	
	東幹線	西幹線	東幹線	西幹線
流量 (m <sup>3</sup> /s)	111.83	126.57	5.80	6.98
水深 (m)	4.26	4.19	1.48	1.32
荷重 (KN)	30.2	39.8	0.7	0.6

## 4. おわりに

### (1) まとめ

水面制御装置を大断面管渠へ設置するために、背水影響、夾雑物の捕捉効果、作用荷重等について水理模型実験により検討を行ってきた。

その結果、計画流量時でも幹線が圧力状態になることはなく、背水影響による溢水がないことを確認した。また、現状での一般夾雑物の捕捉率が 55～78%であるのに対して対策後は 85～95%まで向上することが判明し、ガイドウォールの設置効果を検証できた。以上のことから、水面制御装置の形状は概略形状案のとおり設定することが妥当であると判断した。また、ガイドウォールの設置角は、実験結果から、設置角を 30° とした場合が、捕捉率が最も大きく、背水の影響も最も少ないことが確認できた。

大断面管渠への水面制御装置の適用については、断面形状の特殊性や対策規模の設定など現場条件を考慮する必要があるが、十分な夾雑物対策効果が得られることが確認できた。

### (2) 今後の予定

今回の実験結果を基に、平成 19 年度末までに設置を完了する予定です。同じく大断面管渠である北多摩二号幹線においてもこの成果を活用し、平成 21 年度末までに設置を完了する予定です。

※1 北多摩一号幹線

北多摩一号西幹線、北多摩一号東幹線、北多摩一号北幹線、恋ヶ窪幹線、国分寺幹線の総称

※2 令第 5 条の 5 (排水施設の構造の技術上の基準)

6. ロ 「雨水吐殻の起用雑物の流出を最少限度のものとするように、スクリーンの設置その他の措置が講ぜられていること。」

※3 府中市公共幹線

東部第一幹線、北多摩一号第 7 幹線、北多摩一号第 6 幹線、北多摩一号第 4 幹線

## 2-(1)-2 分水人孔用電動式円弧スクリーン

中部管理事務所管路施設課

菅原久勝

(旧) 同

山本常治

(現) 南部建設事務所設計課

### 1. 調査目的

当局は、合流改善策として、野川・善福寺川等の分水人孔の越流堰にろ過スクリーンを設置してきた。

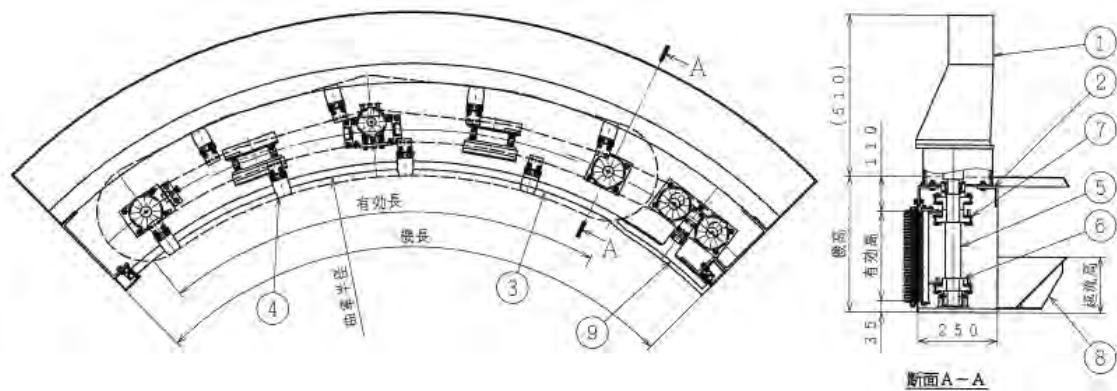
ただし、分水人孔の越流堰の形状は非常に多様なことから、従来の直線形のスクリーンを設置できる分水人孔は限られていた。また、油圧駆動による特性から設置制限等もあった。

そこで、従来型のスクリーンより適用範囲が広く、より機能性、維持管理性の向上したスクリーンを開発することを目的としてた「ノウハウ+フィールド提供型共同研究」を実施したので報告する。

- ① 駆動方式を電動とし動力系統を単純化することにより維持管理性の向上を図る。
- ② 制御盤を小型化・遠隔化又は地下埋設を可能とすることにより、設置場所の制約条件の緩和を図る。
- ③ 分水人孔の越流堰形状で4割程度を占める「円弧堰」に沿って設置する。

### 1.2 装置概要

装置概要図を図1-1に示す。



記号	名称	記号	名称	記号	名称
1	電動機	4	レーキ	7	走行チェーン
2	フレーム	5	シャフト	8	越流板
3	スクリーンバー	6	スプロケット	9	横送り機構

図1-1 円弧形スクリーン 概略図

## 1. 3 特徴

### 1. 技術の特徴

#### ① 円弧形

従来のスクリーンは直線形であるため、図1-2に示すように円弧堰に対して、弦で設置するか、2台に分割して設置する必要があったが、本提案技術はスクリーン本体を円弧形に製造可能であるため、円弧堰であっても堰形状に沿った設置が可能である。（※曲率半径1000mm以上で任意に製作可能）。

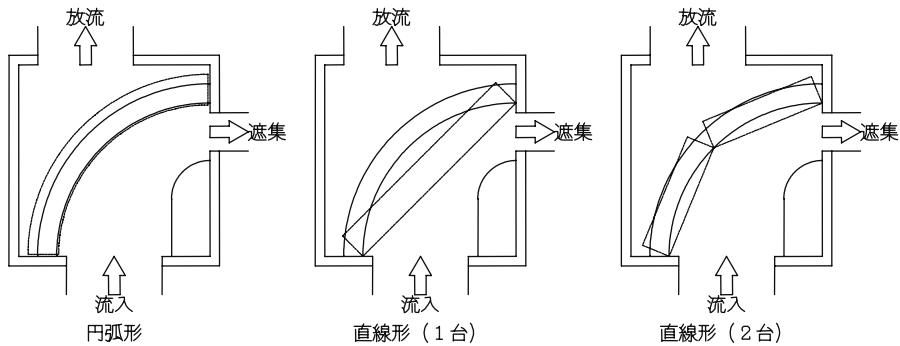


図1-2 円弧堰へのスクリーン設置イメージ

また、円弧形にすることにより、同一設置幅の直線形スクリーンと比較し、有効スクリーン長（面積）を大きくすることができます、圧力損失によるスクリーン上流側の水位上昇を抑えることができる。（図1-3参照）

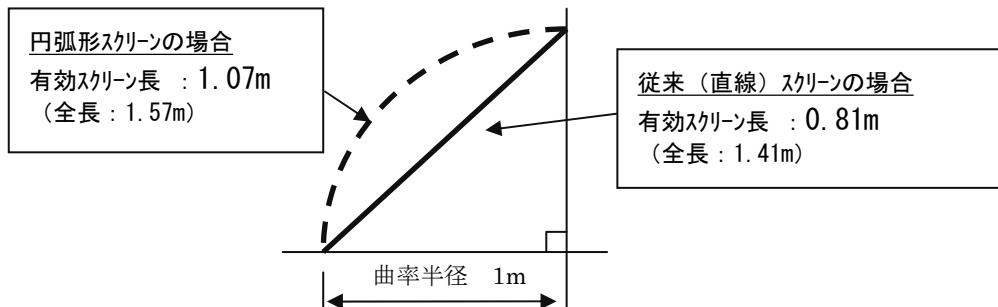


図1-3 円弧形と直線形の有効スクリーン長比較例（曲率半径1mの場合）

#### ② 電気駆動

駆動方式が電動であるため、油圧駆動と比較し以下のメリットがある。

- ・ 油圧制御器が不要となるため制御盤がコンパクトになる。
- ・ 油圧配管が不要であるため、設置条件の制約を小さくできる。
- ・ 油圧導管（埋設部等）からの油漏れ等のリスクが無くなる。
- ・ 作動音が非常に小さくなる。

#### ③ チェーンによるレキ駆動

チェーン駆動の裏かき方式を採用しており、レキのかき取り方向は遮集側一方向であるため、スクリーン面に捕捉されたきょう雜物を安定して遮集管方向へかき取れる。

表1-1に本技術と従来技術の特徴の比較を示す。

表 1-1 円弧形スクリーンと従来技術の比較

番号	提案技術の特徴	従来技術（油圧駆動式）
1	円弧形である ・曲率半径が任意で設計可能 (最小 R=1m) ・有効面積を大きくでき損失水頭を低減	直線形である ・堰長は最大長で 8m 程度である
2	電気駆動である ・設備全体が簡略化 ・低動力 ・制御盤が地下埋設可能なので、地上構造物が電源引き込み盤のみ ・本体と駆動装置とを遠くに設置することが可能	油圧駆動である ・油圧設備 (ポンプ、配管) が必要 ・高圧力が必要 (約 6MPa) ・油漏れの心配がある ・地上構造物が大きくなる ・本体と駆動装置を近くに設置する必要がある
3	レキの駆動がチェーンである ・かき寄せが一方向になり、きょう雜物搬送が安定	レキの駆動が油圧シリンダである ・かき寄せが往復運動であるため、きょう雜物搬送が不安定

## 2. 基礎実験

### 2.1 実験目的

円弧形スクリーンが分水人孔からのきょう雜物流出削減技術としてその基本的性能を満足しているか検証することを目的とする。

- ① きょう雜物除去性能の確認
- ② きょう雜物除去性能の向上検証
- ③ 水理特性の評価及び上流水位上昇との関係確認

### 2.2 実験概要

#### (1) 実験場所

箱崎ポンプ所 沈砂池室

#### (2) 実験期間

2005 年 3 月～2006 年 3 月

### 2.3 実験設備概要

#### (1) 設置場所

箱崎ポンプ所沈砂池室

実験水路 : 1 系ろ格機前スペース

原水ポンプ : 原水流入渠内

### 実験装置仕様

図 2-1 および表 2-1 に実験装置の概略を示す。

基礎実験では、円弧形スクリーンの基礎的性能を検証することが目的であるため、実機と同等の試験機を用いて実験を行った。

試験機の形状は、65° 円弧とし、曲率半径は円弧形スクリーンの製作範囲の中で最も曲率の大きい曲率半径 1m として円弧形であることによる水理特性が把握しやすいものとした。

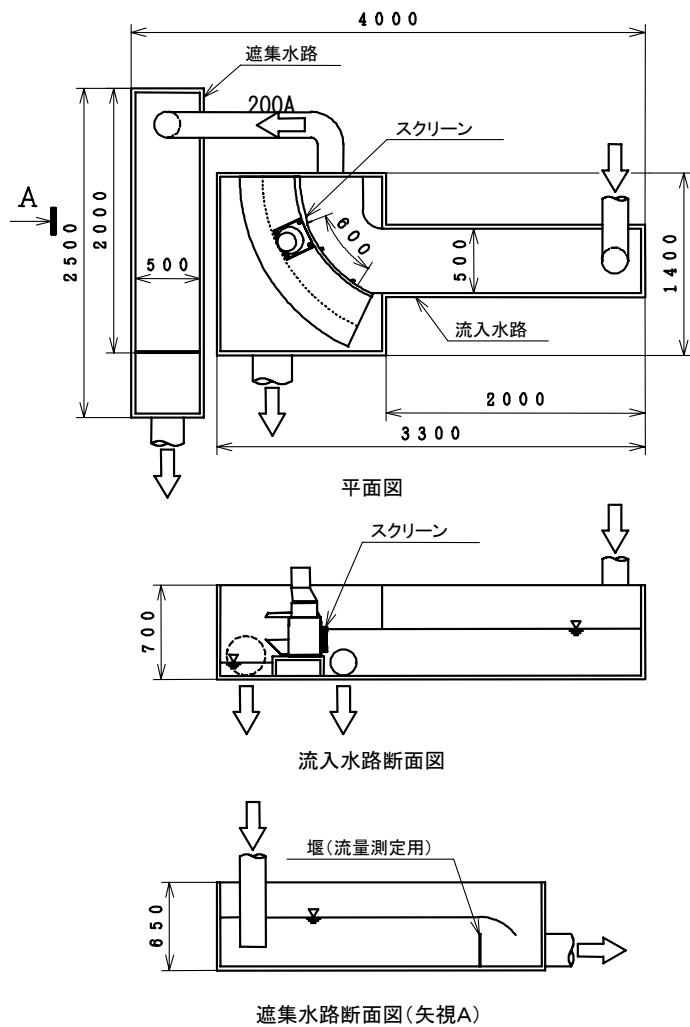


図 2-1 実験装置 概略図

表 2-1 実験装置仕様

実験水槽	流入水路 : 3300mm(L) × 1400mm(W) × 1800mm(H) 遮集水路 : 2500mm(L) × 500mm(W) × 1100mm(H)
円弧形スクリーン	寸法 : 1100mm(機長) × 470mm(奥行) × 310mm(機高) 曲率半径 : 1000mm スクリーン有効寸法 : 600mm 長 × 188mm 高 目幅 : 4mm および 3mm 電動機出力 : 0.2 kW

## 2.4 実験方法

実験により、円弧形スクリーンに関する以下の項目を検証した。

### (1) きょう雜物除去性能の確認

#### ① きょう雜物採取方法

模擬水槽の遮集管及び放流管に目開き 2mm のきょう雜物回収ネットを設置し、遮集側、放流側のきょう雜物を捕捉回収した。

#### ② きょう雜物分類

捕捉したきょう雜物を 2mm、4mm、5.6mm のふるいで分級後、下記 9 項目に分類し、それぞれ

を乾燥後に測定した重量をきょう雜物量とした。

- |            |           |        |        |        |                |
|------------|-----------|--------|--------|--------|----------------|
| 1. 紙類      | 2. 人糞     | 3. 廉芥類 | 4. 草木類 | 5. 毛髪類 | 6. ビニル・プラスチック類 |
| 7. 金属・ガラス類 | 8. オイルボール | 9. その他 |        |        |                |

### ③ きょう雜物除去率の算定方法

円弧スクリーンのきょう雜物除去性能は、下記の式を用いて、除去率、およびSRV（きょう雜物捕捉値）により評価した。

$$\text{除去率} (\%) = \frac{\text{遮集側きょう雜物量}}{\text{放流側きょう雜物量} + \text{遮集側きょう雜物量}} \times 100$$

$$\text{SRV} (\%) = \frac{\text{スクリーン設置時の除去率} - \text{スクリーン設置前の除去率}}{1 - \text{スクリーン設置前の除去率}} \times 100$$

※ SRV（きょう雜物除去率）の定義は、SPIRIT21に準拠した。

## (2) 水理特性の評価および上流水位上昇との関係確認

スクリーン目幅4mm及び3mmについて、実験スクリーンの一部に目張りをする等により、有効面積を変化させて、有効長（円弧長）あたりの処理量、及び上流側水深への影響を評価した。

## 2.5 実験結果

### (1) きょう雜物除去性能及び性能向上試験結果

以下に、きょう雜物除去性能の確認 及びきょう雜物除去性能の向上確認 に関する実験結果を示す。

#### ① 晴天時実験（きょう雜物除去性能確認）

晴天時の下水では期待した程のきょう雜物が含まれておらず、評価に値するデータが得にくくないと判断された。このため、晴天時実験ではきょう雜物を人為的に投入した実験も行った。

ここでは、きょう雜物を人為的に投入した晴天時下水での実験結果と、雨天時の実験結果の双方について評価することとする。

#### 1) 除去率

表2-2にきょう雜物粒径毎の除去率を示す。

尚、除去率は以下の式で算出した。

$$\text{除去率} (\%) = \frac{\text{遮集きょう雜物量}}{\text{遮集} + \text{放流きょう雜物量}} \times 100$$

表2-2 晴天時実験（きょう雜物投入）除去率

実験項目	スクリーン	きょう雜物除去率 (%)			
		粒径2mm以上 4mm未満	粒径4mm以上 5.6mm未満	粒径5.6mm 以上	粒径2mm以上 (全量)
晴天時実験 (きょう雜物 投入)	無し	16.2 (12.6～ 19.8)	18.2 (16.6～ 19.8)	19.0 (15.5～ 22.5)	18.6 (15.3～ 21.9)
	目幅 4mm	34.1 (31.6～ 36.6)	28.2 (11.0～ 45.5)	96.9 (95.9～ 97.9)	91.6 (85.9～ 97.3)

	目幅 3mm	64.8 (51.2~ 78.4)	92.1 (91.1~ 93.1)	99.6 (99.4~ 99.8)	97.6 (97.1~ 98.1)
--	-----------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

※表中の( )は除去率の範囲を示す。

## 2) SRV

表 2-3 に本試験の SRV 算出結果を示す。

SRV とは 1) での除去率からスクリーン自体のきょう雜物除去性能を表す指標であり以下の式を用いる。(※SRV は SPIRIT21 で採用された指標)

$$SRV (\%) = (\text{スクリーン有りの除去率} - \text{スクリーン無しの除去率}) \div (1 - \text{スクリーン無しの除去率}) \times 100$$

表 2-3 晴天時実験(きょう雜物投入) SRV

実験項目	スクリーン	SRV (%)			
		粒径 2mm 以上 4mm 未満	粒径 4mm 以上 5.6mm 未満	粒径 5.6mm 以上	粒径 2mm 以上 (全量)
晴天時実験 (きょう雜 物 投入)	目幅 4mm	21.3 (18.4~ 24.3)	12.3 (0~33.3)	96.2 (95~97.4)	89.6 (82.6~ 96.6)
	目幅 3mm	58.0 (41.8~ 74.3)	90.3 (89.2~ 91.5)	99.5 (99.2~ 99.8)	97.1 (96.5~ 97.6)

※ 表中の( )は除去率の範囲を示す。

## ② 雨天時実験(きょう雜物除去性能確認)

雨天時実験は、原則として標準目幅である目幅 4mm で行なった。

ただし、目幅 3mm においても晴天時実験期間中に降雨があったため、1 点ではあるが雨天時データを採取できたので参考に評価する。

### 1) 除去率

表 2-4 にきょう雜物粒径毎の除去率を示す。

表 2-4 雨天時実験除去率

実験項目	スクリーン	きょう雜物除去率 (%)			
		粒径 2mm 以上 4mm 未満	粒径 4mm 以上 5.6mm 未満	粒径 5.6mm 以上	粒径 2mm 以上 (全量)
晴天時実験 (参考値)	無し	16.2 (12.6~19.8)	18.2 (16.6~ 19.8)	19.0 (15.5~ 22.5)	18.6 (15.3~ 21.9)
	目幅 4mm	56.8 (43.1~70.4)	61.2 (32.3~ 78.1)	90.0 (81.9~ 96.5)	77.5 (67.2~ 85.4)
雨天時実験	目幅 3mm	67.3 (1 点のみ)	80.8 (1 点のみ)	96.7 (1 点のみ)	86.6 (1 点のみ)

## 2) SRV

表 2-5 に本試験の SRV 算出結果を示す。

表 2-5 雨天時実験 SRV

実験項目	スクリーン	SRV (%)			
		粒径 2mm 以上 4mm 未満	粒径 4mm 以上 5. 6mm 未満	粒径 5. 6mm 以上	粒径 2mm 以上 (全量)
雨天時実験	目幅 4mm	48. 4 (32. 1～ 64. 7)	52. 5 (17. 2～ 73. 3)	87. 7 (77. 6～ 95. 7)	72. 4 (59. 7～ 82. 1)
	目幅 3mm	61. 0 (1 点のみ)	76. 6 (1 点のみ)	95. 9 (1 点のみ)	83. 5 (1 点のみ)

※表中の ( ) は除去率の範囲を示す。

### (2) 水理特性の評価および上流水位上昇との関係確認

#### ① 放流水量と上流側水深の関係

図 2-10 に目幅 4mm、及び目幅 3mm において有効長を 600mm、450mm、300mm に変化させた場合と、「スクリーン無し」及び「越流板水深」について、放流水量と上流側水深の関係を示す。

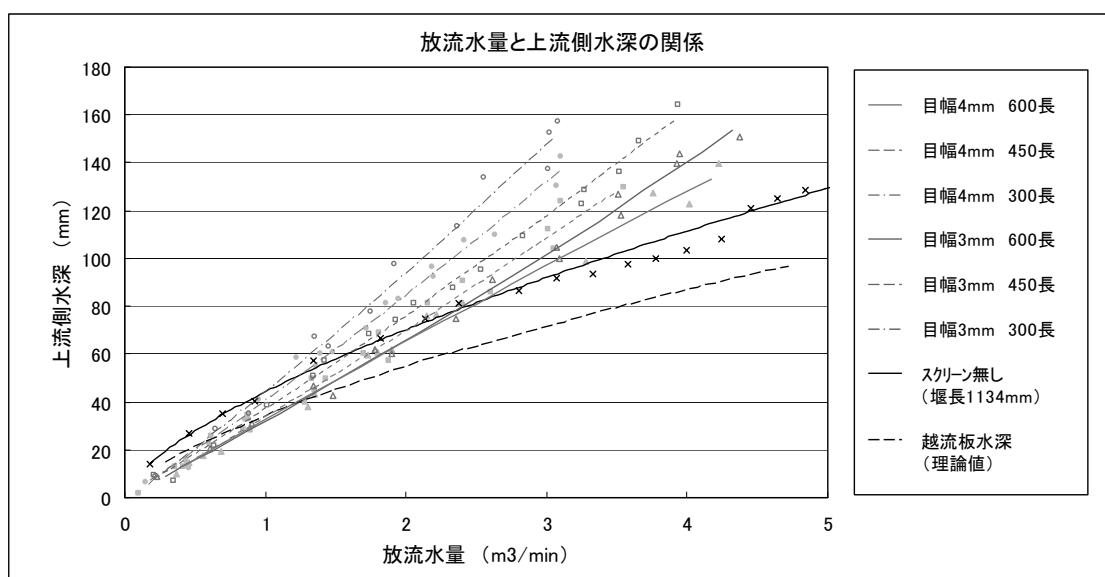


図 2-3 放流水量と上流側水深の関係

表 2-6 各条件別の放流水量毎上流側水深

放流水量	1m³/min		2m³/min		3m³/min		4m³/min	
	スクリーン目幅 有効スクリーン長	4mm	3mm	4mm	3mm	4mm	3mm	4mm
600mm	34	32	66	66	98	102	129	140
450mm	34	37	71	76	109	118	-	-
300mm	41	46	85	95	133	149	-	-
スクリーン無し (堰長=1134mm)		44		70		92		111

## ② 放流水量とスクリーン圧力損失の関係

図2-4に放流水量とスクリーン自体の圧力損失の関係を示す。本図は、図2-2のデータから越流板の越流水深を引いた値をスクリーン自体の圧力損失とした。

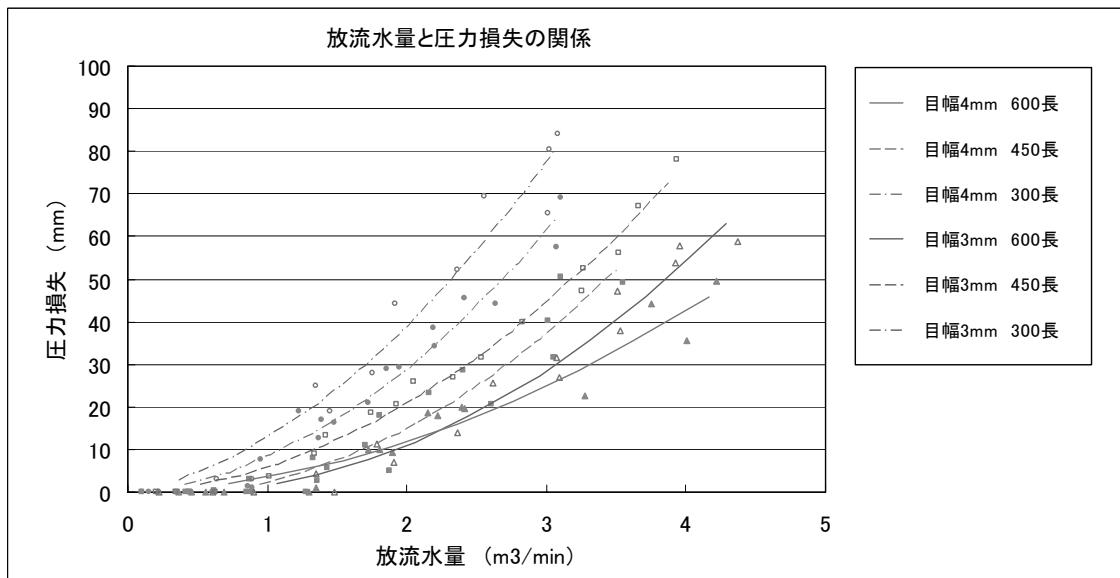


図2-4 放流水量とスクリーン圧力損失の関係

## ③ 単位有効スクリーン長通過流量とスクリーン圧力損失の関係

図2-3を更に一般化するために、これまでの実験結果を「単位有効スクリーン長当たりの通過流量」と「スクリーン自体の圧力損失」の関係に整理した。その結果を図2-4に示す。

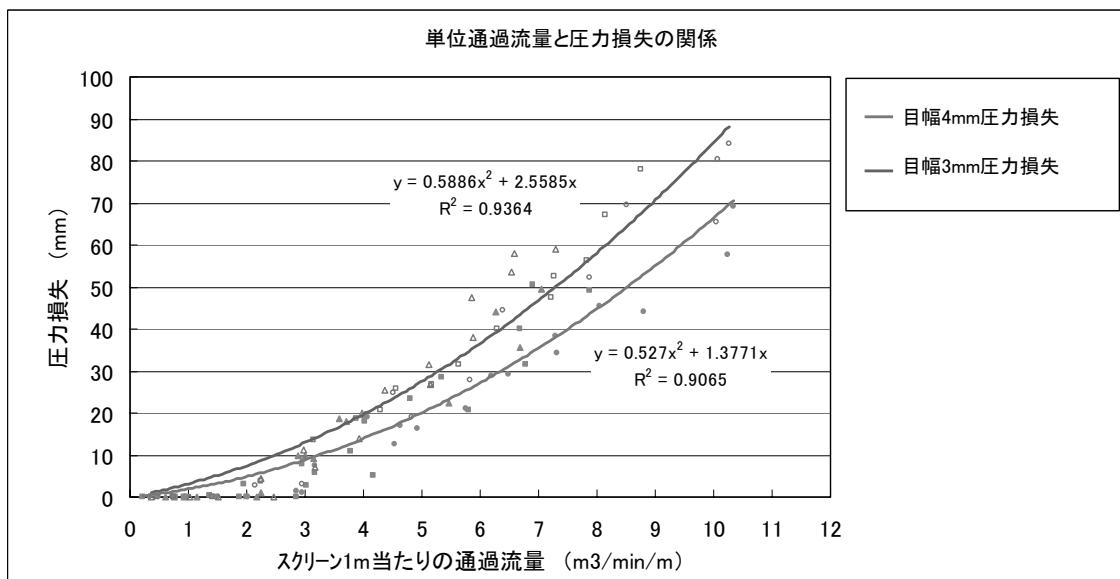


図2-4 単位通過流量とスクリーン圧力損失の関係

## 2.6 基礎実験まとめ

以下に基礎実験の結果をまとめる。

### (1) きょう雜物除去性能の確認

標準型である目幅 4mm スクリーンのきょう雜物除去性能を確認した。

本実験結果では晴天時下水の方が雨天時下水と比較して、きょう雜物除去率が高い結果となつた。これは原水中のきょう雜物性状の違いや、雨天時下水中のきょう雜物が実験設備の原水ボンブ<sup>®</sup>通過時に破碎され微細化した影響と考えられる。

### (2) きょう雜物除去性能の向上検証

より高度にきょう雜物を除去することを目的として、目幅 3mm のスクリーンによるきょう雜物除去性能の確認試験を行なつた。

実験結果より、スクリーン目幅を 3mm にすることできょう雜物除去性性能が向上し、微細なきょう雜物に対してもより高度な除去が可能となることが確認された。

### (3) 水理特性の評価および上流水位上昇との関係確認

目幅 4mm および 3mm のスクリーンについて上流側水深への影響について確認を行なつた。

#### ① スクリーン形状と上流側水深の関係

- 放流水量の増加に伴い、「スクリーン有り」の方が「スクリーン無し」よりも上流側水深は大きくなつた。
- 本実験装置において目幅 3mm と目幅 4mm では 1.0~1.1 倍程度目幅 3mm の方が上流側水深が大きくなつた。
- また、同じ目幅のスクリーンにおいて、有効スクリーン長を変化させたとき、有効スクリーン長が小さい方が上流側水深は高くなつた。
- 放流水量がある程度小さい範囲においては「スクリーン無し」の方が、「スクリーン有り」よりも上流側水深が高くなる範囲があった。これは本実験設備のように凹型の越流堰の場合、設置した円弧形スクリーンの越流板の方が本来の越流堰よりも堰長が大きくなる状況で、スクリーン自体の圧力損失の影響が小さい場合に発生する状況と考えられる。

#### ② スクリーン目幅とスクリーン圧力損失の関係

- スクリーン自体の圧力損失は、単位有効スクリーン長当たりの通過流量 ( $m^3/min/m$ ) に対して二次関数的に増加する結果となつた。
- 目幅 3mm の圧力損失は、目幅 4mm と比較しおおよそ 1.3~1.4 倍程度となつた。
- 円弧形スクリーンの上流側水深の算定は以下となる。

$$\text{上流側水深} = \text{スクリーン圧力損失} + \text{越流板越流水深}$$

### 第3章 実地実験

#### 1. 実験目的

円弧形スクリーンの分水人孔のきょう雜物流出削減技術としての基本的性能に関して、実際の使用環境における「耐久性」、「施工性、メンテナンス性」、「運転状況」および「きょう雜物除去性能」について検証することを目的とする。

- ① 総合運転試験（運転状況確認、きょう雜物除去性能再確認）
- ② 実環境での腐食・磨耗等の耐久性確認
- ③ 施工性・メンテナンス性の確認

#### 2. 実験概要

##### (1) 実験場所

港区白金5丁目13 分水人孔公称「港32」

図3-1に実験設備設置位置図を示す



図3-1 実験設備設置位置図

##### (2) 実験期間

2006年6月～2006年8月

#### 3. 実験設備概要

##### (1) 設置場所

円弧形スクリーン本体：港32 分水人孔内

制御盤及び記録装置：港32 分水人孔 直近の公園内

## (2) 実験装置構成

図 3-2 に実験装置の装置構成図を示す。

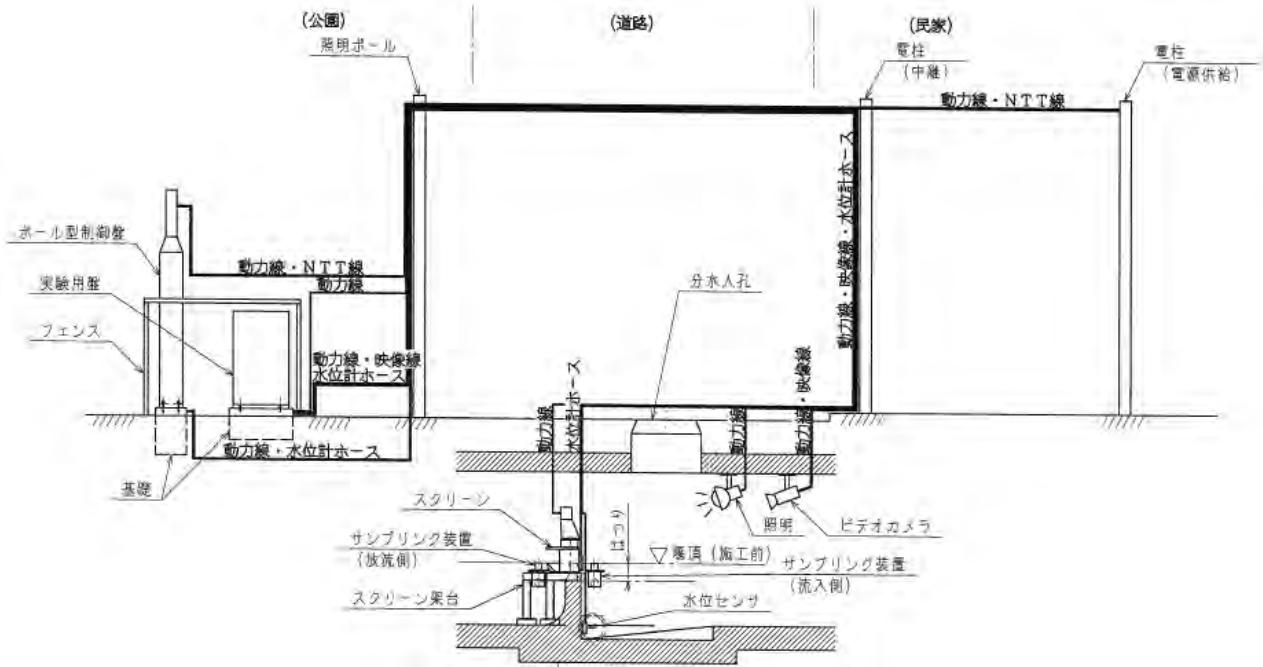


図 3-2 実験装置構成図

## (3) 実験装置仕様

表 3-1 に実地実験装置の概略仕様を、図 3-3 に実験装置の概略図を、図 3-4 に円弧形スクリーン設置図を示す。また写真 3-1、3-2 に装置の写真を示す。

円弧形スクリーンは、実施設と同様に実際の越流堰に合わせた形状で製作した。 $(R=3000\text{mm}$ 、有効スクリーン長 $=1400\text{mm}$ ) ただし、有効スクリーン高さについては、本分水人孔での越流水量が不明であり、適正な設定ができなかったため、上流側水深への影響等が少ないと思われる比較的小型の選定とした。  
(有効スクリーン高さ $=188\text{mm}$ )

また、人孔内には円弧形スクリーンの運転状況を記録するためのビデオカメラと照明を設置した。

表 3-1 実地試験設備 概略仕様表

	機器名称	数量	仕様
1	円弧形スクリーン	1	本体：機長 1900mm × 奥行 425mm × 機高 333mm スクリーン：有効長 1400mm × 有効高 189mm 電動機出力：0.2kW
2	動力制御盤	1	ポール型制御盤 □300mm × 高 2800mm
3	ビデオカメラ、照明	1 式	ビデオカメラ、記録用ディスク (ハードディスク)
4	採水ポット	2	スクリーン前後 各 1 台

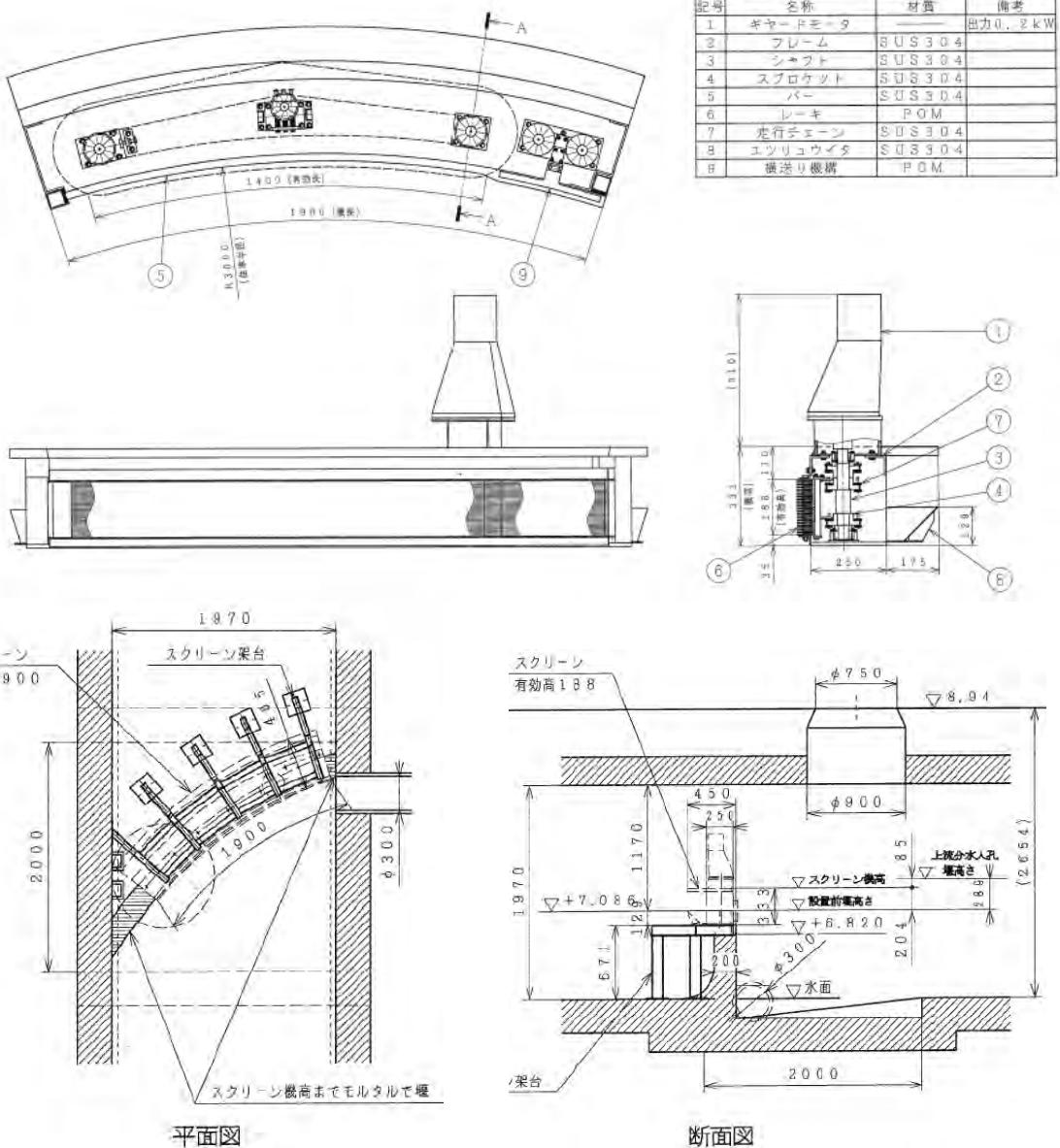


図 3-4 円弧形スクリーン 設置図



写真 3-1 円弧形スクリーン設置状況

写真 3-2 ポール型制御盤

## 4. 実験方法

実験により、円弧形スクリーンに関わる以下の項目を検証した。

### (1) 総合運転試験

円弧形スクリーンの実際の分水人孔内での運転状況をビデオ映像等で確認すると共に、きょう雜物除去性能の再確認を行なう。

主な確認項目は以下の通り。

#### ① 運転データ、ビデオ映像による運転状況確認

- ・ 人孔内水位による円弧形スクリーンの自動発停の確認
- ・ ビデオ映像による起動から停止までの運転状況確認

#### ② きょう雜物除去性能の確認

円弧形スクリーン前後に採水ポートを設置し、スクリーン前後の試料を採水し、各々のきょう雜物量を計測してきょう雜物除去率を測定した

### (2) 実環境での腐食・磨耗等の耐久性確認

約3ヶ月の実地試験終了後に円弧形スクリーン各部の劣化状況を確認した。

主な確認項目は以下の通り。

- ・ 各部（金属材質部分）の腐食
- ・ スクリーン面の変形、破損等
- ・ チェーン、軸受け等の駆動部の磨耗及び異物噛み込み等

### (3) 施工性、メンテナンス性の確認

円弧形スクリーンを分水人孔内に設置するにあたり、搬入、据付等の施工性についての確認も行なった。また、実負荷運転を重ねることにより、円弧形スクリーンの維持管理上の留意点等についての確認を行なった。

## 5. 実験結果

### (1) 運転状況概要

表3-2に実地実験期間における降雨状況と円弧形スクリーンの運転状況の概要を示す。

尚、降雨状況に関しては、気象庁ホームページで公開されている東京の観測データを参照した。

実地実験期間中において、円弧形スクリーンの運転は累積日数16日、累積運転回数35回、累積運転時間約43時間であった。一回の降雨期間中であっても、その中の降雨の状況により複数回の運転が行われる場合多かった。

また、本表には円弧形スクリーンが自動起動した時の情報のみを記載しているが、実際には円弧形スクリーンが起動しない（分水人孔内水位が越流堰高さまで到達しない）程度の降雨も多数確認された。

表3-2 円弧形スクリーンの稼動状況概要

日時（概略）	降雨状況		運転回数 (回)	概略合計 運転時間 (hr)	採水
	総降雨量 (mm)	最大時間降雨 (mm/H)			
6月9日	8.5	8.5	2	5.5	実施
6月11日	14.5	3.5	1	2.0	—
6月15日	15.5	4.5	3	3.0	—
6月16日	47.5	12.0	3	2.0	—
6月17日	15.0	11.0	1	2.3	—
7月5日	27.5	8.0	3	3.5	実施

7月15日	4.0	4.0	1	0.5	—
7月17日	23.5	5.5	1	1.8	—
7月18日	45.0	14.0	6	6.3	—
7月19日	29.5	9.0	2	1.0	—
7月21日	13.5	3.5	2	1.3	—
8月9日	76.0	33.0	3	7.8	—
8月12日	10.5	10.5	1	0.6	—
8月16日	14.0	8.5	1	1.1	実施
8月17日	7.5	3.0	3	2.2	—
8月25日	6.5	4.5	2	1.6	実施
合 計	—	—	35回	約43hr	—

## (2) 総合運転試験

### ① 運転状況の確認

図3-5に降雨状況と分水人孔内水位および円弧形スクリーンの運転状況の一例を示したグラフを示す。(本図は2006年7月18日のデータ)

尚、本図に示した水位の値は水位計の設置レベルを基準とした値であり、水位計は円弧形スクリーンの越流板レベル(元々の越流堰天端レベルと同等)から-0.54mである。よって、本図において円弧形スクリーンの起動水位は0.54mであり、円弧形スクリーンの天端高さは0.744mとなる。

本結果より、実地実験を行なった本分水人孔では降雨強度が2~2.5mm/H以上で越流水位に達し円弧形スクリーンが起動し、3mm/H以上となると円弧形スクリーンも越流している結果となっている。本分水人孔の特性として2~2.5mm/Hを境としてそれ以上の降雨があると急激に水位が上昇する傾向にあった。

一方円弧形スクリーンは、設定された規定水位に達すると自動運転を行い、分水人孔内水位が上昇しモーターが全水没してもその後の運転に支障をきたすなどの問題も無く良好に運転された。

また、ビデオ映像による確認においても良好な運転状況が確認された。

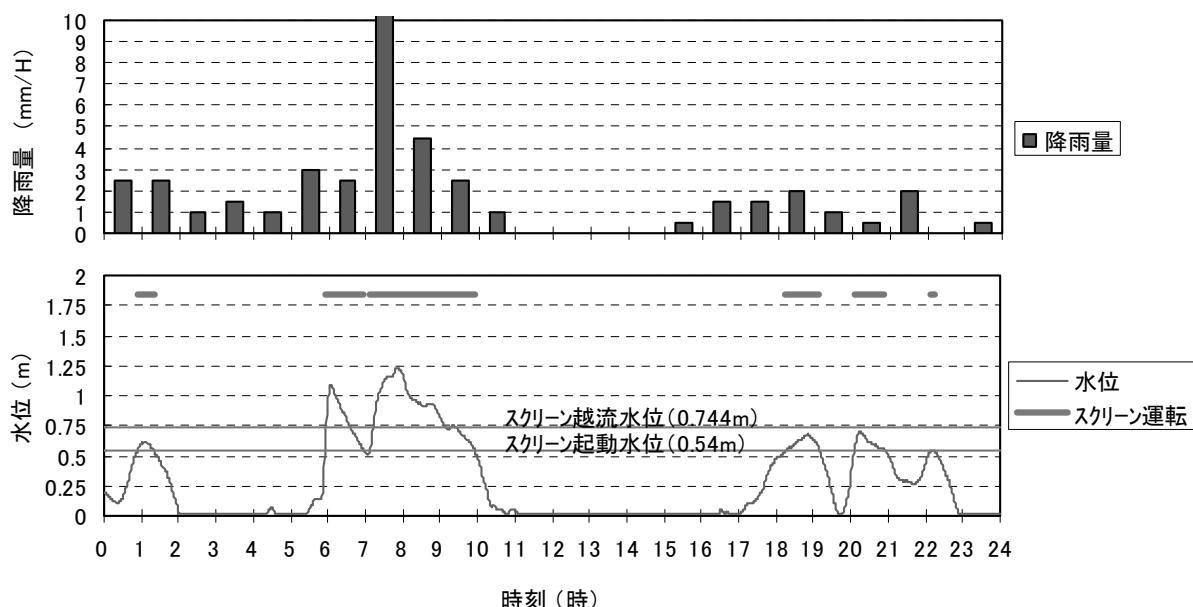


図3-5 円弧形スクリーン運転状況(7月18日データ)

## ② きょう雜物除去性能の確認

表 3-3 および図 3-6 に実地実験におけるきょう雜物除去結果を示す。

表および図中のきょう雜物濃度の定義は、採水を行なった試料を目開き 2mm の篩いにかけ、篩いに捕捉されたものの乾燥重量をきょう雜物量とし、それを際水量で除したものとした。

$$( \text{きょう雜物濃度} (\text{mg/L}) = \frac{\text{きょう雜物乾燥重量} (\text{mg})}{\text{採水量} (\text{L})} )$$

表 3-3 実地実験きょう雜物除去結果

	試料-1 (6月9日)	試料-2 (7月5日)	試料-3 (8月16日)	試料-4 (8月25日)	平均
原水きょう雜物濃度 (mg/L)	394.4	13.1	82.5	19.0	127.3
放流水きょう雜物濃度 (mg/L)	7.5	1.6	5.9	2.3	4.3
きょう雜物除去率 (%)	98	88	93	88	92

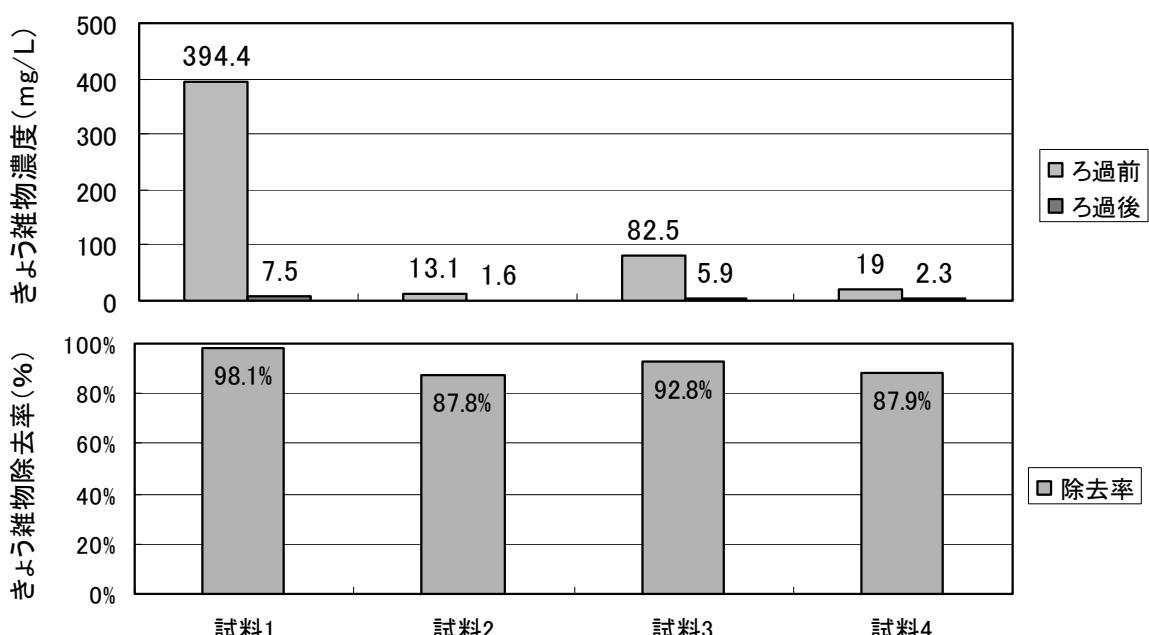


図 3-6 実地実験きょう雜物除去結果

## (3) 実環境での腐食・磨耗等の耐久性確認

写真 3-3 に実地実験終了後の円弧形スクリーンの状態を示す。

また、写真 3-4～5 に円弧形スクリーン各部の状態を示す。

装置全体の状態としては、装置表面への泥、油等の付着はあるものの、鋸等も認められず良好な状態を維持していた。

円弧形スクリーンを構成する各主要部について個別に観察すると、スクリーンバー、かき取りレギ、駆動軸、軸受け等は、耐久性の低下を示すような磨耗、腐食等は無く、また駆動部への異物噛み込み等も認められず非常に良好な状態を維持していた。

横送り機構については、レギ末端部分にきょう雜物巻き込みが原因と見られる破損が確認された。



写真 3-3 実地実験終了後 全景

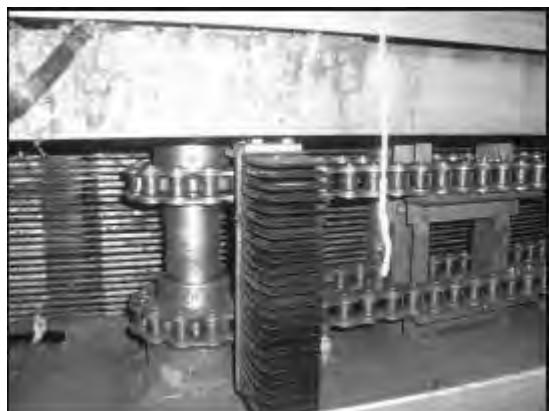


写真 3-4 チェーン、駆動軸、レギ  
(状態良好)



写真 3-5 横送りレギ駆動軸  
(状態良好)

#### (4) 施工性・メンテナンス性の確認

この実地実験は、円弧形スクリーンのきょう雜物除去性能や耐久性の確認と併せて、実際の分水人孔に円弧形スクリーンを設置する際の留意事項や、良好な運用を行うにあたっての特別なメンテナンスの必要性の有無等を検証する意味でも行なわれた。

以下に、実地実験装置の設置工事状況やメンテナンス状況等についてまとめる。

##### ① 施工性の確認

図 3-7 に実地実験で行なった円弧形スクリーン設置までの概略の施工手順を示す。

写真 3-6～3-8 に主な工程の作業状況を示す。

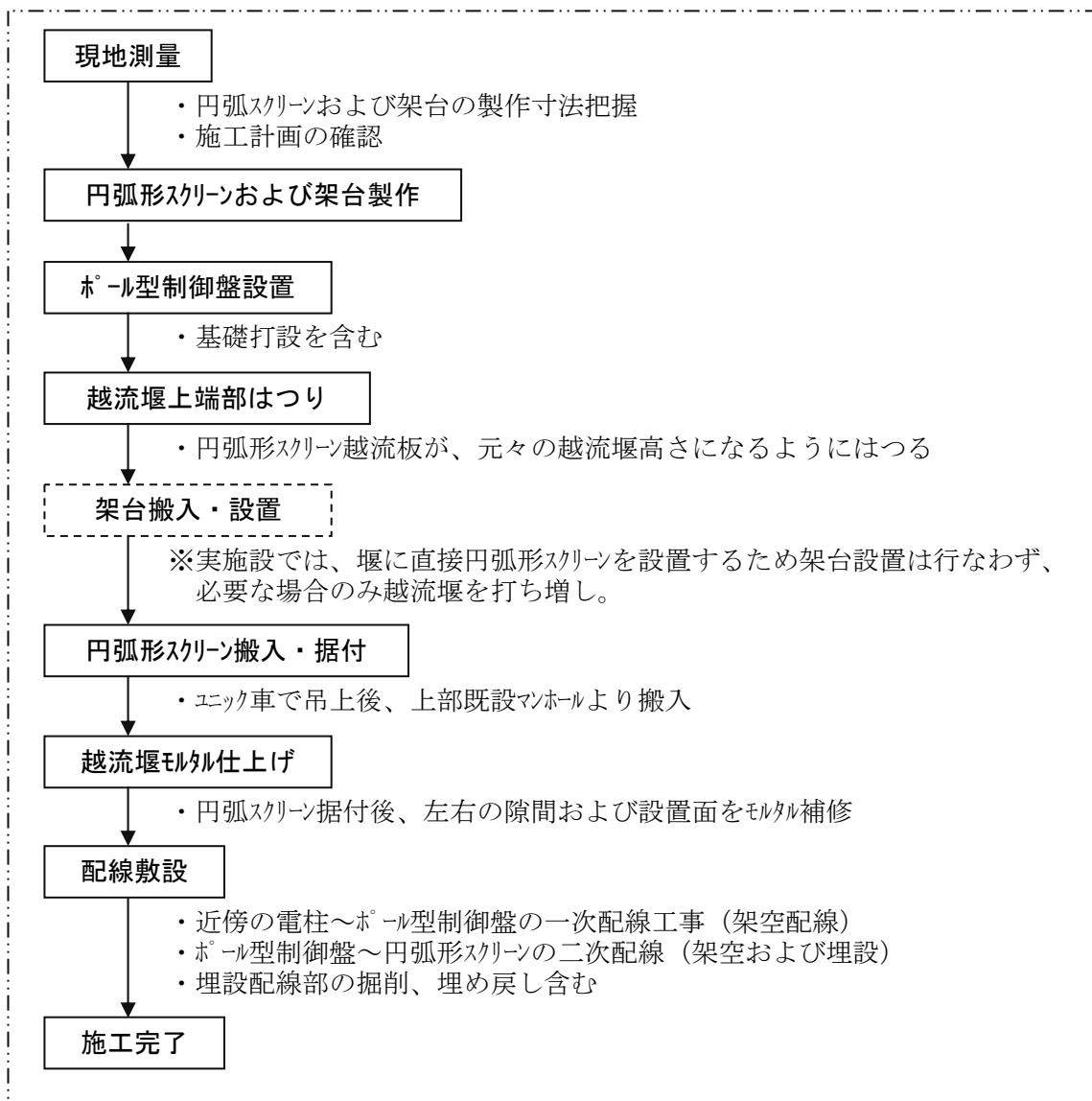


図 3-7 円弧形スクリーン実地実験装置 設置手順



写真 3-7 円弧形スクリーン搬入

写真 3-6 円弧形スクリーン吊上げ



写真 3-8 円弧形スクリーン据付

円弧形スクリーンの搬入は、電動機部分を取り外した状態の円弧形スクリーンをユニック車で吊下げ、既存マンホールより搬入可能であった。

円弧形スクリーンの据付については、円弧形スクリーン越流板高さを既存越流堰天端と同レベルにする必要があるため、一旦越流堰天端を所定量はつた後に円弧形スクリーンを設置した後、円弧形スクリーン左右の隙間をモルタルで補修した。

分水人孔用スクリーンの設置にかかる留意点として、人孔内作業については降雨の無い日を選定する必要があるが、今回の施工において施工上の問題点等は発生せず、施工性に問題はないとの判断された。

ただし、既存マンホールから搬入できない大きさの円弧形スクリーンを設置する際は、放流口から横引きで搬入するなど、当該分水人孔にあった施工計画を都度検討する必要はある。

## ② メンテナンス性の確認

本実地実験期間（約 3 ヶ月）において、円弧形スクリーンのメンテナンスは実施しなかったが、装置は良好に運転され機能低下の兆候なども見受けられなかった。

また、円弧形スクリーンは、チェーンや軸受け等の摺動部への給油・給脂を不要とする設計がされており、これについても問題なく運用可能であることが確認された。

ただし、円弧形スクリーンも一般の機器と同程度の点検およびメンテナンスは必要となる。

以下に円弧形スクリーンの代表的な点検・メンテナンスの内容（例）を示す。

表 3-4 円弧形スクリーン点検・補修例

項目	頻度	内容
定期点検	6 ヶ月～1 年毎	全体清掃（付着物などの除去） チェーンの張り確認（必要な場合調整） 動作チェック（異音、異常振動の有無確認） レキの磨耗、破損状況確認 等
定期補修	数年毎	消耗品類の交換 (チェーン、レキ、軸受け等) 減速機への給脂 等

## 2-(2)-1 流域 A2O 法施設の最適な運転管理方法

流域下水道本部 技術部 施設管理課 水質保全係

齊藤慎哉、伊藤正宏、○蝶野詩織、葛西孝司（現、日本下水道事業団）、

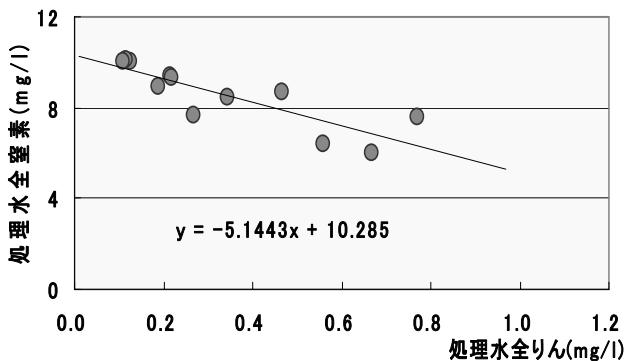
渡邊三雄（現、東部第二管理事務所）、八巻健二（現、北部第一管理事務所）、半沢修

### 1. はじめに

流域の水再生センターの特徴は、全ての水再生センターが水処理施設と汚泥処理施設を合わせ持ち、かつ、水処理施設に標準法と高度処理法が導入されていることである。このため、汚泥処理返水による高度処理への影響や、高度処理で除去したりんを含む汚泥処理返水による標準法処理水質の低下などが見られることから、安定した運転を行うためのマニュアルの整備が求められていた。そこで、処理コストの低減と安定した処理のための運転方法を検討し、流域版高度処理運転管理方法（マニュアル）を作成した。

### 2. A2O 法の基本的な運転条件の検討

従来の標準法における処理は、流入水質、活性汚泥濃度、溶存酸素濃度などの項目について、適正な運転条件を把握した上で運転を行っている。A2O 法は、窒素・りんを同時に処理する方法であるが、窒素除去とりん除去の運転方法は相反する部分が多いことから、安定した除去を行うためには、標準法以上に詳細な運転条件の検討が必要である。



図－1 A2O 法処理水の全窒素と全りんの関係

具体的な例として、図－1に平成 15 年度の清瀬水再生センターの A2O 法処理水質を示した。処理水の全窒素が低いときは全りんが高く、全窒素が高いときは全りんが低いことが分かる。つまり、窒素除去率を上げようとする運転（放流水の全窒素濃度の低下）を行えば、りん除去が不安定（全りん濃度の上昇）になることを意味している。一般的に言われている A2O 法の運転条件は、返送率 50%、循環率 150% 以上とされている。しかし、りんを安定的に除去

しようとすると、循環率を低くするために窒素除去が不十分になるなど、現状のマニュアルだけでは良好な処理が難しいことから、流域 A2O 法施設における最適な運転方法を確立するために以下の検討を行った。

#### (1) 返送率の検討

嫌気槽において、りんの吐き出しを促進するためには嫌気度を高め、反応槽流入水の有機物濃度を高く保つことが重要である。

嫌気槽に戻る返送汚泥中には、活性汚泥が短時間で利用可能な有機物がほとんどなく、返送率をあげた場合には、硝酸も多く含まれていることから嫌気度が低下する結果となる。このため、返送汚泥の濃度を高くし、硝酸の持込を少なくする運転が重要である。

調査の結果、返送率 15% で良好な結果が得られたが、冬場に、第二沈殿池に滞留した汚泥により処理水中のりん酸性りんの上昇が発生したため、返送率を 25% とした。以上のことか

ら、流域 A2O 法施設における返送率は 15~25% で十分と判断した。

#### (2) 硝化液循環率の検討

りん除去が安定した状態で窒素除去を行うためには、硝化液循環率も重要なポイントである。調査の結果、循環率を 85% として無酸素槽の硝酸濃度を確認し、好気槽の残留アンモニア濃度を 0.5~1 mg/l 程度で運転した条件において、窒素除去も良好な結果が得られたことから、硝化液循環率は 85% 以上とした。

#### (3) 汚泥処理の管理

りん除去の安定化には、返流水に高濃度のりんが戻らないよう汚泥管理を行うことが重要である。具体的な返流水の種別ごとの水質管理項目と推奨値を表 1 に示した。

表 1　返流水の管理項目と推奨値

返流水の種類	水質管理項目	推奨値
総合返水	P O <sub>4</sub> - P	4mg/l 以下
	S S	400mg/l 以下
遠心濃縮分離液	P O <sub>4</sub> - P	3mg/l 以下
脱水分離液	P O <sub>4</sub> - P	50mg/l 以下
	S S	100mg/l 以下

なお、この推奨値は、反応タンク流入水量に占める割合から過去の実績をもとに、経験値として定めたものである。

#### (4) 一沈バイパス、生汚泥投入、PAC 添加の扱い

りん除去対策として一般的に行われている一沈バイパス、生汚泥投入および PAC 添加については、処理水質の安定とコストの両面を考慮し基本的に実施しないこととした（ただし例外として、全りんの排出基準を超過するおそれが生じた場合に限り PAC を添加することとした）。

その理由は、一沈バイパスや生汚泥投入の目的は、反応槽内の有機物濃度を高めてりん除去を促進させることであるが、一方で好気槽での空気量の増大や余剰汚泥の増加に伴う脱水性の低下により、処理コストや CO<sub>2</sub> 排出量が増大すると考えられるからである。実例として、送風倍率の増大について図-2 に、ケーキ含水率の変化について図-3 に示した。

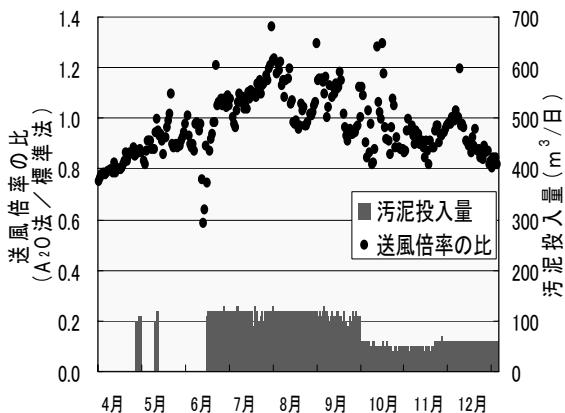


図-2 生汚泥投入による送風倍率の増

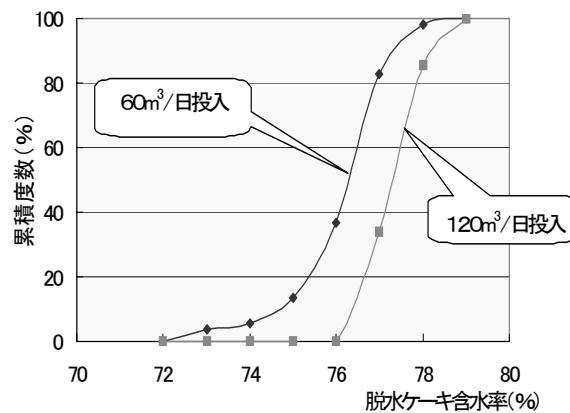


図-3 生汚泥投入によるケーキ含水率変

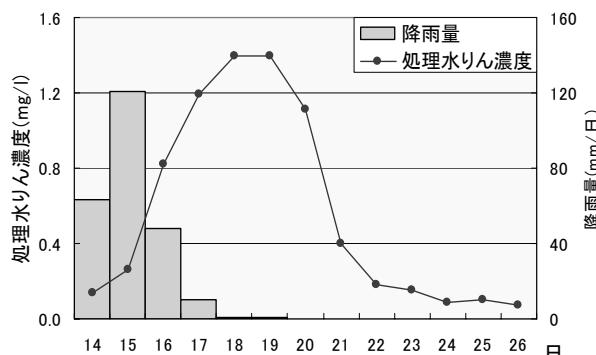
図-2 は、流域内の分流地域の水再生センターにおいて A2O 法施設に生汚泥を投入し、

そのときの A2O 法と標準法との送風倍率の比の推移を示したものである。図－3 は、図－2 とは別の水再生センターにおいて生汚泥の投入量を変え、そのときに発生した脱水ケーキの含水率を累積度数分布で示したものであるが、一沈バイパスや生汚泥投入を行うことにより、共に処理コストが増大することを確認した。

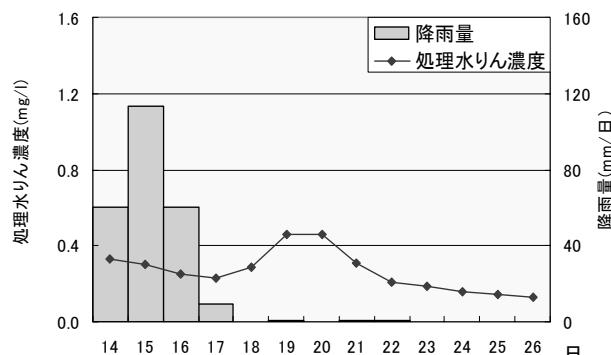
#### (5) 簡易放流時の対応

簡易放流を実施する状態にまで流入下水が希釀されると、A2O 法運転のままでは十分な嫌気状態を維持できない。このような場合には硝化液循環を停止し、りん除去を優先させることとした。

降雨によって流入下水が希釀され、溶存酸素を含んだ状態で反応槽に流入すると、本来の嫌気槽は嫌気状態から無酸素状態になる。これに対して、硝化液循環を停止した場合、好気槽から無酸素槽への酸素や硝酸の供給がなくなり、かつ、機械攪拌での滞留時間が増大することによって、若干ではあるが、無酸素槽が嫌気状態となる。結果として、嫌気・好気法処



図－4 A2O 法運転を継続



図－5 硝化液循環ポンプ停

理となり、りん除去についてはある程度の維持が可能になる。

図－4 および図－5 に、A2O 法での運転を継続した水再生センターと、硝化液循環を停止して AO 法運転に変更した水再生センターの処理水のりん濃度の変化を示した。両者は、同一期間のデータである。A2O 法運転を継続した水再生センター（図－4）では、処理水のりん濃度が上昇してから回復するまでに 7 日間要した。一方、硝化液循環を停止した水再生センター（図－5）では、処理水のりん濃度の上昇は小さく、かつ、短い期間での回復が可能であった。

### 3.まとめ

調査結果をもとに、流域水再生センター A2O 法施設の運転管理マニュアルは以下の 5 点を考慮して作成した。

- ① 汚泥返送率は、通常 15~25% 程度とする
- ② 窒素除去の条件は、(汚泥返送率) + (硝化液循環率)  $\geq 100\%$  で判断する
- ③ 反流水の種類ごとに水質の推奨値を設定し、汚泥管理を徹底する
- ④ 『一沈バイパス』、『生汚泥投入』、『PAC 添加』は原則として行なわない
- ⑤ 簡易放流実施時には硝化液循環を停止し、りん除去の安定化を優先させる

#### 4. マニュアルの運用状況について

作成した流域 A2O 法マニュアルが、流域 7 センターにおいてどのように運用されているのかを、通常時と降雨時における運転対応の状況について紹介する。

##### (1) 通常時（雨の影響を受けないとき）

通常時の運転（少量の降雨を含む）のポイントとして、処理水の全りん濃度に影響を及ぼさないよう、活性汚泥のりん除去能力を高めた状態を維持することとした。活性汚泥のりん除去能力が高い状態では、りん除去に不利な状況になっても活性汚泥内の余力（利用できる有機物）によって、短期間ならば見かけ上影響を受けない。この状態を維持するために、次の 2 点に留意した運転を行なっている。

- ① 完全硝化を確保しつつ処理水量をできる限り増大させる（処理負荷を高める）
  - ② 二沈でりんが溶出しない状態を維持しながら汚泥の返送率をできる限り下げる
- ①については、過去の経験から導き出された結論である。

②の汚泥の返送率については、前述したように、汚泥の返送率が低いほどりん除去に有利である。しかし、極端に低くすると、二沈でりんの溶出を招き処理水中のりん濃度が上昇する。目安として、（処理水のりん酸性りん濃度） – （好気槽末端でのりん酸性りん濃度） < 0.2 を確認しながら返送率を下げていくこととした。7 水再生センターでの具体的な値は、通常時で 15~25%程度、低水温期のみ 25~30%と若干上げることとしている。低水温期は、降雨の頻度が減少すること、好気槽内での有機物の酸化分解が進行しにくいため二沈で脱窒やりんの溶出が生じやすくなることなどからやや高めで運転することとした。

表 2 雨の影響がない場合の運転条

項目	最適な運転状況	運転変更の目安
処理水量	硝化が完了する上限水量	水温を考慮しながら設定する
返送汚泥率	15~25% 程度	二沈でりんが溶出しない程度で、なるべく量を少なくする
硝化液循環率	85~120% 程度	無酸素槽 NO3-N を確認しながら設定する
MLSS 濃度	1,000~1,500mg/L 程度	低水温期のみ 1,500mg/L とする
最終回路 DO 濃度	1~3mg/L 程度（施設ごとに異なる）	処理水 NH4-N 濃度 1mg/L 以下を維持する
最終回路 NH4-N 濃度	日平均 0.5~1mg/L 程度	

##### (2) 降雨時

降雨によって嫌気槽の嫌気度が低下し、りん除去が不安定になることがわかっている。そこで活性汚泥が持つりん除去能力の低下を抑制するために、特に反応タンク内への有機物流入量を少しでも多くすることや、雨天時の放流水質を改善することを目的として、以下の方法を実施している。

- ① A2O 施設への流入水量を増大させることによって BOD-S-S 負荷の低下を抑制する。
- ② 汚泥の返送率をさらに低下させ、嫌気槽への硝酸の持込量等を抑制する。
- ③ 簡易放流時には、硝化液循環を停止する。

表3 雨天時の運転条件

項目	運転方法	備考
処理水量	可能な範囲で増大させる	二沈での状況を確認
返送汚泥率	15%程度を目安に低下させる	最低流量で固定しても良い
硝化液循環率	通常運転のまま	通常の降雨では変更せず
一沈バイパス および生汚泥投入	実施しない	処理コストが増大 常時実施しないと効果が小さいため
PAC添加	法令に違反するおそれがある場合に限り実施する	実施によって汚泥の脱水性の悪化が懸念される

## 5. 今後の課題

今回のマニュアルの導入によって、処理コストはある程度の削減が見込めるものの、標準法に比べると高い状態にある。最大の原因は、嫌気槽や無酸素槽に設置されているプロペラ式水中攪拌機の動力費であり、処理コスト全体の40%を占めている。流域では、今後、標準法から高度処理法への施設改良が計画されているため、さらなるコストの低減が求められている。そこで、現在流域では、攪拌方法を機械方式から空気攪拌方式を採用した新たなA2O法の処理について検討を行っているところである。

参考文献： 嫌気－無酸素－好気法運転管理マニュアル 東京都下水道局計画部（H8.4）

## 2-(2)-2 PAC 添加によるりん除去効果

中部管理事務所 芝浦水再生センター

太田 裕誌

### 1 はじめに

当局におけるりん\*除去法は、AO 法や A20 法などの生物学的方法が用いられている。しかし、反応タンク流入水の基質や水量などの変動により、除去が不安定な面がある。そこで、化学的方法である金属塩凝集沈殿法を併用することで、安定的なりん除去を行っている。

当局では、金属塩凝集沈殿法での無機凝集剤にポリ塩化アルミニウム（以下、PAC）を用いている。芝浦水再生センター（以下、芝セ）では平成 13 年度から運用しているが、りん除去効果に問題がある。そこで、PAC 添加によるりん除去効果について調査を行ったので報告する。

\*この報告書の『りん』とは、特に断りのない場合、モリブデン青吸光光度法で測定した物質(りん酸性りん・ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )である。

### 2 調査方法

調査は全て机上実験である。試料は活性汚泥によるりん摂取の影響がないよう、摂取が不完全な反応タンク流出水を用いた。また、りん酸二水素カリウム溶液を用いてりん濃度を調整した。

実験の手順は次のとおりである。

- ① 調査項目以外の条件が同一になるよう試料を調整
- ② 調整済の試料に PAC を添加・攪拌し、数分間静置
- ③ 上澄水のりん濃度をモリブデン青吸光光度法により測定\*

\* 3.3 攪拌強度は、PAC 添加後の経過時間毎に試料を濾紙 5A でろ過を行ったものを測定

### 3 調査結果及び考察

#### 3.1 PAC の経時劣化

PAC は各人の経験により異なるが 3 ヶ月～1 年で劣化すると言われている。しかし、これを裏付ける資料等を見付けられなかった。そこで、PAC の製造メーカー数社に劣化について問い合わせをしたところ、各社の共通した回答を要約すると以下の 3 点であった。

- ① 屋外の貯蔵タンク（数 m3）で保管しても 1 年程度では劣化は起きない。
- ② 酸化アルミの結晶が生じた場合、それを核にして固形化が促進される。
- ③ ②の予防として、貯蔵タンクの清掃を 1～2 年間に 1 回、定期的に行う。

のことから、PAC の経時劣化は無いものと思われるが、経験則を無視することはできない。そこで、表 3.1 の PAC を用いて調査した結果を図 3.1 に示す。

表 3.1 PAC (A～D) の納入日と保管方法について

記号	A	B	C	D	E
納入日	H18. 1. 10	H18. 4. 9	H18. 1. 10	H18. 4. 9	H19. 1. 20
保管方法	実験室内(南向窓脇)		冷暗所(冷蔵庫)		新品

期間 : H18. 4. 10～H19. 1. 22, 保管容器 : ポリプロピレン製 250mL

図 3.1 から、室内保管の A, B は、冷暗所保管の C, D と比較し最大 12% の差があり、冷暗所保管の C, D は新品 E との差が無かった。A, B の保管場所が南向窓脇（直射日光&昼夜間の温度変化大）であったことから、屋外の貯蔵タンク（遮光&数 m3 規模のため温度変化が少ない）の場合であれば、経時劣化による影響は無視できるものと考えられる。

### 3.2 溫度（水温）

一般的に化学反応と温度の関係は密接で、温度が10°C上昇すると化学反応は約2倍になると言われている。反応タンクの水温は、夏季～冬季での10°C以上の差があることから、調査してみたところ、図3.2に示すとおり、りん除去への影響はなかった。

### 3.3攪拌強度

懸濁物質と凝集剤の接触頻度を増し、十分な荷電中和を行うためには強い攪拌が必要である。PACも凝集剤であることから調査した結果を図3.3に示す。この結果、りん除去のためには、回転翼の周辺速度が1m/sec以上であれば十分であることが確認できた。

### 3.4 pH

反応タンク内のpHは、硝化の具合により変動する。芝セの場合、平成17年度の日常試験結果で6.1～7.0の範囲である。また、PACを添加することでもpHが低下する。そこで、pHの異なる試料を用意し調査した結果を図3.4.1に示す。次に、この結果の傾きをモル濃度で扱わしたもののが図3.4.2である。図3.4.3は、今回、他に調査した結果から、pH毎のモル比を示したものである。

図3.4.2から、りん除去に適したpHの範囲は6.5～7.5である。図3.4.3から、この範囲におけるモル比の平均は4であり、データの85%がモル比3～5に分布している。

モル比の平均である4の時に、1mg-P/Lのりん除去に必要なPAC添加率は50ppmである。

### 3.5妨害物質(陰イオン)

アルミ( $\text{Al}^{3+}$ )とりん酸( $\text{PO}_4^{3-}$ )の反応を妨害する物質は、陰イオンと考えられる。そこで、下水処理水に多量にある陰イオンの内、塩化物( $\text{Cl}^-$ )と硫酸( $\text{SO}_4^{2-}$ )は、PACの成分であるため除外し、また、炭酸類( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ )は、活性汚泥の呼吸により生成されるため除外した。そこで、調査するイオンを亜硝酸( $\text{NO}_2^-$ )と硝酸( $\text{NO}_3^-$ )の2種類とし、この二つについて実験をした結果が、図3.5.1及び図3.5.2である。

図3.5.1及び図3.5.2から、亜硝酸・硝酸共に濃度に関係なくりん除去が出来ているのが判る。よって、亜硝酸・硝酸イオンは、妨害物質でないことが判明した。

### 3.6 塩効果

塩効果とは、共存塩の影響によってイオンの活量係数が小さくなると、溶解度が大きくなる現象である。この効果は、難溶性塩が多価のものほど、イオン強度の増加に伴う溶解度の増大が著しい。下水中には電解質が多量に含まれているため、この塩効果によってりん除去に影響を与えていることも推測できる。そこで、塩効果を弱めるために、試料の上澄水を蒸留水に置き換えて調査した結果が、図3.6.1である。

図3.6.1では、蒸留水の割合が高い試料、すなわち塩効果を弱めた筈の試料がりん除去が悪化し、当初の推測とは反対の結果になった。この調査のpH変化を図3.6.2に示すが、蒸留水に置き換えたことでアルカリ度の低下が起り、PAC添加によるpHの低下が過剰に起きたことが原因と考えられる。

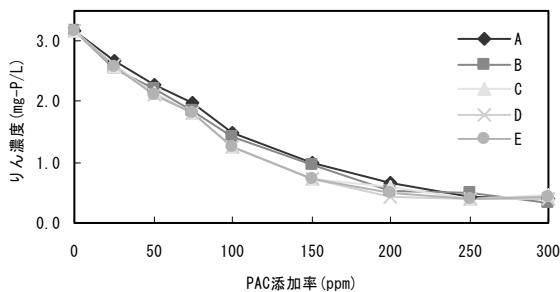


図 3.1 PAC の保管方法別、PAC 添加率とりん除去の関係

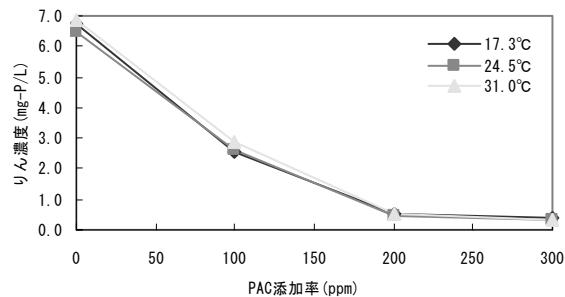


図 3.2 温度(水温)別、PAC 添加率とりん除去の関係

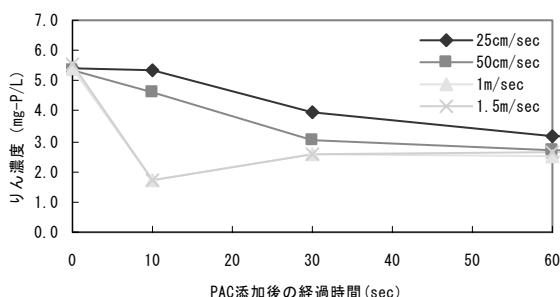


図 3.3 搅拌強度別、PAC 添加率とりん除去の関係

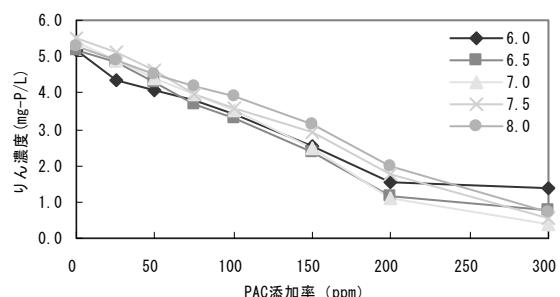


図 3.4.1 pH 別、PAC 添加率とりん除去の関係

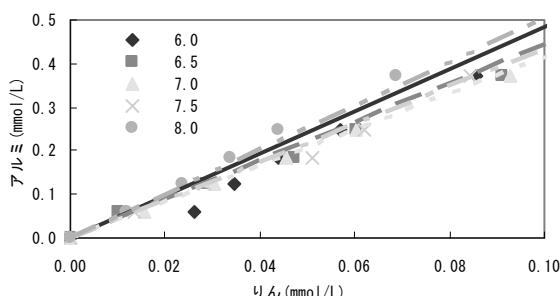


図 3.4.2 pH 別、りん除去と添加アルミの関係(モル濃度)

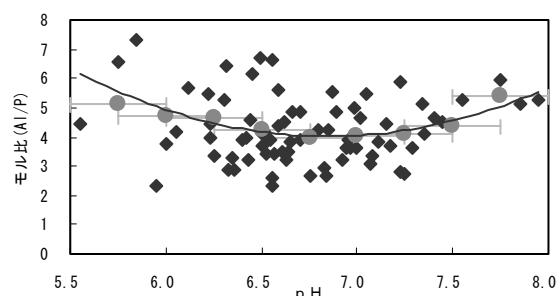


図 3.4.3 pH とモル比の関係

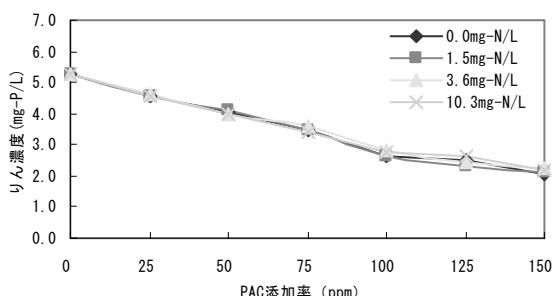


図 3.5.1 亜硝酸性窒素別、PAC 添加率とりん除去の関係

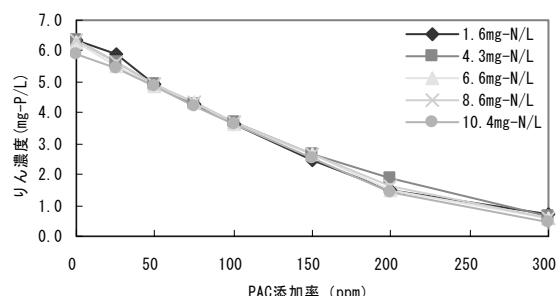


図 3.5.2 硝酸性窒素別、PAC 添加率とりん除去の関係

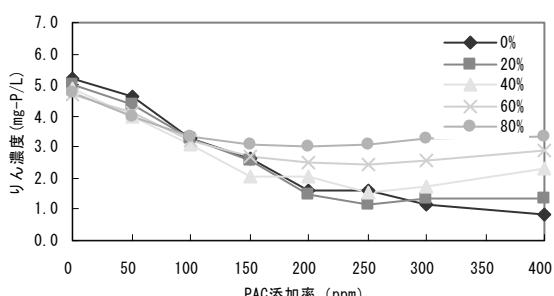


図 3.6.1 希釀率別、PAC 添加率とりん除去の関係

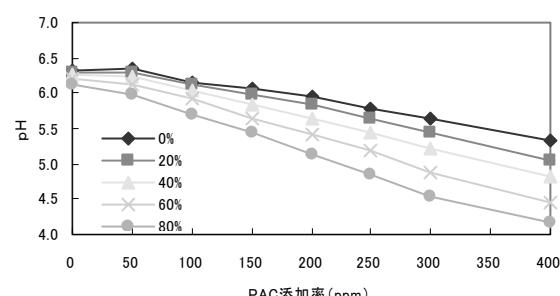


図 3.6.2 希釀率別、PAC 添加率と pH の関係

#### 4 施設の評価

調査結果を元に、芝セにおける各系統の PAC 添加施設の概略と評価したものを表 5 に示す。なお、3.4 の調査結果から、りん 1mg-P/L の除去に必要な PAC は添加率 50ppm で評価する。

表 5 芝浦水再生センターにおける PAC 添加施設の概略と評価

系統名	施設 有無	概略			評価		
		晴天時最大水量 (返送汚泥を含む)	タンク 容量	最大添加量	最大水量時 最大添加率	推定りん 除去量 <sup>※1</sup>	連続添加 可能時間 <sup>※2</sup>
深槽 東西	有	15,000 · / 時 15,000 · / 時	各 16 ·	864 · / 時 (1,728 · / 時) <sup>※3</sup>	58ppm (115ppm) <sup>※3</sup>	1.2mg-P/ · (2.3mg-P/ · ) <sup>※3</sup>	18.5h (9.25h) <sup>※3</sup>
浅槽	無	15,000 · / 時					
西系	有	5,000 · / 時	20 ·	432 · / 時	86ppm	1.7 mg-P/ ·	46.3h
東系	有	9,000 · / 時	20 ·	324 · / 時	36ppm	0.7 mg-P/ ·	61.7h

※1：推定りん除去量とは、最大水量時の最大添加率を 50 で除したもの

※2：連続添加可能時間は、タンク容量を最大添加量で除したもの

※3：()内の数値は、添加ポンプを 2 台運転した場合の能力

この表から、以下の事が判明した。

- ① 深槽東西は、晴天時最大水量が最も多い系統であるのに、PAC の貯蔵タンクが最も小さいため、長時間(24h 以上)の添加が不可能である。
- ② 反応タンク出口のりん酸濃度が最大 7.4 mg-P/ · の事例(H18/4/7・東系)がある。この濃度を放流水質基準である 3mg-P/L 以下にするために、基準値の 80% (2.4mg-P/L) まで除去するには、りん酸を 5.0 mg-P/ · 除去しなくてはならない。この場合、PAC の添加率は、調査の結果から 250ppm である。しかし、全系統共にこの添加率を満たしておらず、特に東系はりん除去の効果をほとんど期待できない。
- ③ PAC の添加率を 250ppm 確保した場合、連続添加可能時間は、深槽が 4.25h、西系が 16h、東系が 8.9h となり、全ての系統において長時間(24h)を下回る。

#### 5 まとめ

調査結果及び評価をまとめると以下のとおりである。

- ① PAC 添加によるりん除去に影響を与える主要因は pH である。りん除去に適した pH 範囲は、PAC 添加前の値で 6.5~7.5 であり、その時のモル比(A1/P)は約 4 である。
- ② 硝化による pH の低下は、りん除去に悪影響を与えるばかりでなく、添加した PAC により更なる pH 低下をもたらし、放流水質基準の 5.8 未満になる危険性がある。雨天等によりアルカリ度が低下した場合においても同様である。
- ③ PAC 添加後に攪拌すると短時間でりん除去の効果があるため、PAC の添加位置は反応タンク等の攪拌が行われている位置が望ましい。
- ④ 芝セの施設は、全系統の PAC 添加量の能力が不足している。このため、りん除去を十分に行えないことが判明した。
- ⑤ りん除去を十分に行うために、添加能力を増強する場合、薬品タンク容量の不足が考えられるので、タンク容量についても増設が必要である。

## 2-(2)-3 葛西水再生センターにおけるりん処理の実態と対策

東部第二管理事務所葛西水再生センター  
曾根啓一 海部 舞 田中武志

### 1. はじめに

葛西水再生センター（以下葛西（セ））のように、中川、小菅水再生センターから汚泥を受けて処理している水再生センターは、平成 20 年 4 月 1 日から環境確保条例の暫定基準が失効し、本則に基づき放流水全りん濃度は、4.5mg/L から 3.0mg/L へと厳しい基準が適用される。

また、第五次水質総量規制において目標年度である平成 16 年度から窒素、りんが新たな規制項目として付け加えられ、平成 17 年度から開始した第六次水質総量規制においては、りんの排出総量を算定する放流水全りん濃度 C p 値を 3.5mg/L から 3.0 mg/L へとこれも厳しい基準が適用されることになる。

このように、法規制が厳しくなるなかで、各水再生センターでは、基準の順守と安定した放流水質が求められている。しかし、葛西（セ）の放流水全りん濃度は従来から変動が大きく、その要因として降雨や返流水中のりん負荷、流入水質、特に有機酸の濃度変化等が複雑に影響していることが今までの調査から判明している。

ここでは葛西（セ）におけるりん処理の実態と規制強化へ向けた取り組みについて報告する。

### 2. りん処理の実態

#### 2. 1 放流水全りん濃度の変動とその要因

葛西（セ）では窒素、りんの総量規制が導入された平成 16 年度から窒素・りん計による放流水の時間毎の自動計測を行っている。図 1 に平成 18 年度の放流水全りん濃度の年間変動を示す。これをみると放流水全りん濃度は 0.5mg/L 以下の良好な時から新基準値である 3 mg/L 付近までの間で不規則に変動している。

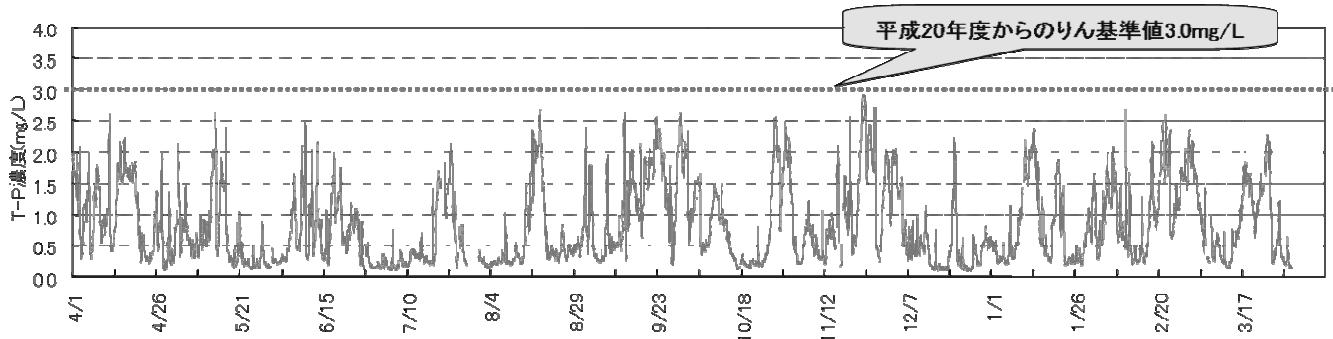


図 1 平成 18 年度の放流水りん濃度の推移

図 2 に平成 19 年度上期の放流水全りん濃度と、りん除去に影響する因子として降雨量、反応槽流入水中の有機酸濃度、活性汚泥中のりん濃度を示した。

これから、降雨時に放流水全りん濃度は上昇している傾向がみえるなかで、全て降雨の影響を受けているわけではなく、30mm 以上の降雨でも良好なりん除去ができている時が散見された。（6 月 10、11 日、7 月 30 日）

次に、19年度当初の放流水全りん濃度の変動に比較して、7月末から8月末にかけて良好なりん処理が継続している。これに伴い、活性汚泥中のりん濃度は6%近くまで上昇している。また、データー数は少ないが反応槽流入水中の有機酸濃度と放流水全りん濃度をみると、有機酸濃度が高い時はりん処理は良好であり、有機酸濃度が低い時は放流水全りん濃度が高くなる傾向が伺えた。

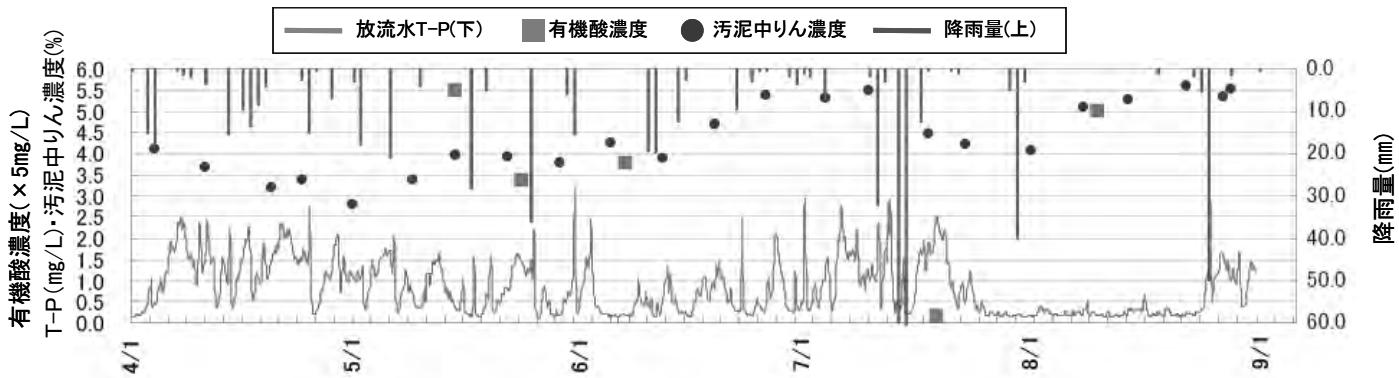


図2 平成19年度の放流水りん濃度の推移

## 2. 2 りんの物質収支

葛西(セ)のりん収支(平成18年度日平均)を図3に示した。

流入水中のりん量は1,030kg/日であり、これとは別に小菅(セ)、中川(セ)からの受泥に1,040kg/日のりんが含まれている。

水処理系には汚泥処理返流水から750kg/日のりんが戻っていて水処理系へのりん負荷を押し上げている。

図3から返流水中のりんの内訳を見ると、重力濃縮槽越流水430kg/日、脱水ろ液240kg/日、遠心濃縮分離水80kg/日で大部分が重力濃縮槽、脱水機回りの廃液で占められている。

葛西(セ)の遠心濃縮機は専ら余剰汚泥のみを濃縮しており、水処理で発生した余剰汚泥を速やかに濃縮・脱水することにより、分離水からのりんの返流は極めて少ないものとなっている。

この返流水中のりん、特に重力濃縮槽で溶解性りんを沈殿・固定できれば脱水ろ液を含めて返流水りん負荷の大幅な削減が可能となり、放流水りん濃度の低減と安定化が期待できる。

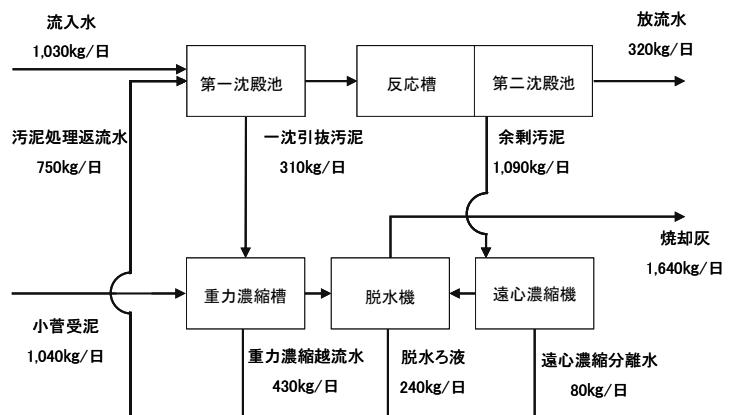


図3 りん収支図(平成18年度平均)

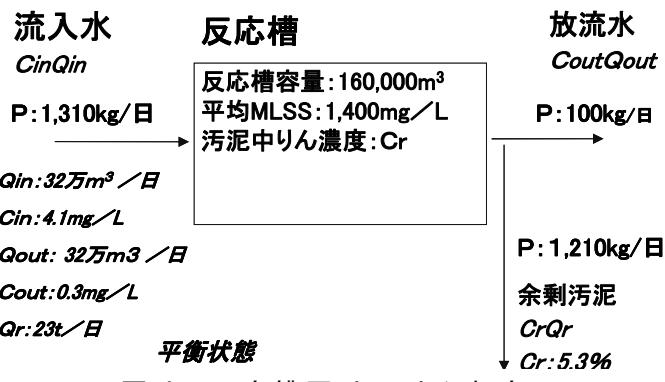


図4 反応槽回りのりん収支

## 2. 3りん収支と汚泥中りん濃度

葛西（セ）の活性汚泥中のりん濃度は4%前後で推移しているが、りん除去が良好で、放流水全りん濃度の低い状態が続くと、瞬間に6%を超えることがある。実施設の活性汚泥法において、どこまで汚泥中のりん濃度を高めることができるかは興味のあるところである。

ここでは、りんの物質収支から汚泥中のりん濃度の変化について考察する。

図4はりん除去が良好な時の反応槽回りのりん収支を示している。

ここで、流入水、放流水、余剰汚泥中のりん濃度をそれぞれ  $C_{in}$ 、 $C_{out}$ 、 $C_r$ 、水量を  $Q_{in}$ 、 $Q_{out}$ 、 $Q_r$ 、とするときりんの物質収支が平衡状態のときは次式となる。

$$C_{in}Q_{in} = C_{out}Q_{out} + C_rQ_r$$

りん収支を考えるにあたり、流入負荷  $C_{in}Q_{in}$ 、放流負荷  $C_{out}Q_{out}$ 、余剰汚泥発生量  $Q_r$  を一定とする。

活性汚泥中のりん濃度と余剰汚泥中のりん濃度は同じ  $C_r$  で表され、反応槽におけるりん除去量  $C_{in}Q_{in} - C_{out}Q_{out}$  と余剰汚泥中のりん量  $C_rQ_r$  が同じになった時点で汚泥中りん濃度  $C_r$  は平衡濃度に達する。

実際に葛西（セ）のりん除去の良好なときの活性汚泥中りん濃度の平衡点を図5から考える。運転条件として反応槽流入水量  $Q_{in} = Q_{out} = 32$  万m<sup>3</sup>/日、反応槽流入全りん濃度  $C_{in} = 4.1\text{mg/L}$ 、放流水全りん濃度  $C_{out} = 0.3\text{mg/L}$ 、反応槽 MLSS 濃度は一定で 1,400mg/L、余剰汚泥引抜量は DS 換算で 23 トン/日とする。

汚泥中のりん濃度  $C_r$  が低い場合、流入りん量と放流りん量の差  $C_{in}Q_{in} - C_{out}Q_{out} = 1,210\text{kg}/\text{日}$  は余剰汚泥とともに引き抜かれる分と活性汚泥に蓄積される分となる。

活性汚泥へのりんの蓄積が進んで汚泥中りん濃度  $C_r$  が上昇し、余剰汚泥引抜りん量  $C_rQ_r$  が  $C_{in}Q_{in} - C_{out}Q_{out}$  と同じになった時点で  $C_r$  は平衡濃度となる。

このときの汚泥中りん濃度  $C_r$  は  $1,210\text{ kg}/\text{日} \div 23\text{ トン}/\text{日} = 5.3\%$  と試算された。

活性汚泥中のりん濃度の上昇限界は不明であるが、理論的にはりん流入負荷が高くなり、放流水質が安定していくと余剰汚泥発生量が変わらなければ汚泥中りん濃度はいくらでも高くなる。

下水処理におけるりん処理はりん蓄積細菌群の働きによるもので、この細菌群は、ほんの少しの運転条件の変動にも敏感に反応し、りん処理の不安定さをもたらしているのが現実である。しかしながら、条件さえ揃えば生物学的りん除去法は、ローコストで有効なりん除去法であることに変わりなく、葛西（セ）の事例でその可能性の大きさを示している。

## 3. 活性汚泥のりん取込速度

処理水りん濃度の変動は、活性汚泥のりん取込速度が律速になっているので、本来の活

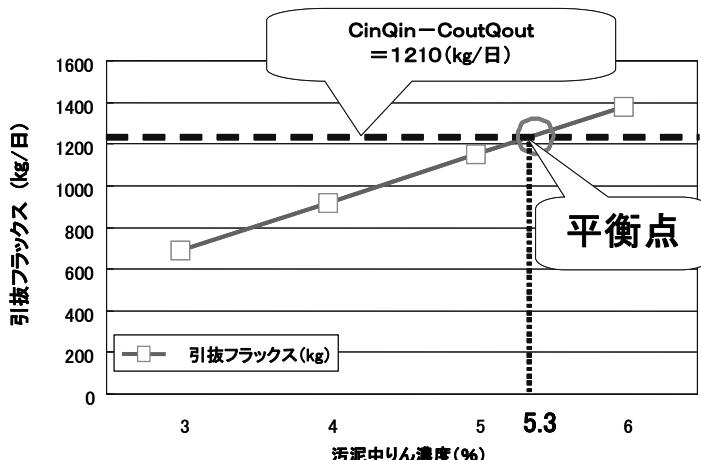


図5 汚泥中りんの平衡濃度

性汚泥の持っているりん取込速度の測定を室内で行った後、実施設におけるりんの取込状況の調査を行った。これから、りんの取り込みに必要な好気槽滞留時間を考察した。

### 3. 1 活性汚泥のりんの取込速度（室内実験）

実施設の反応槽前段嫌気部の混合液を15L容器に採取し、室内で直ちに空気を吹き込んだ。経過時間毎の上澄液のりん酸性りん濃度を測定し、りんの取り込み速度を算出した。図6に結果を示す。

りん処理の良好だった8月8日の試料は、スタート時のりん酸性りん濃度は14mg/L、水温29°Cであった。りん初期取り込み速度は9.5mg/gss·hと極めて早く、約180分でりんの取り込みは終了した。

この結果を受け、活性汚泥のりん酸性りんの取込限界量を確認するため、試料にりん酸性りんと酢酸を添加し、10/4、10/10、11/5に取込速度の調査を行った。

表1にりん取込速度

試験の結果を示す。

この時の放流水りん濃度は比較的高く、室内実験の結果、りん酸性りん取込速度は時間の経過とともに遅くなり、上澄液の最終りん酸性りん濃度も期待したほど

低減しなかった。この結果から、りん処理の良好な時と悪い時の活性汚泥では取込速度に差があり、悪いときは液中のりん酸性りんを吸収しきれず、これに酢酸を添加してもすぐにその効果を発揮することが無く、りん蓄積細菌群の生理活動の複雑さが推察された。

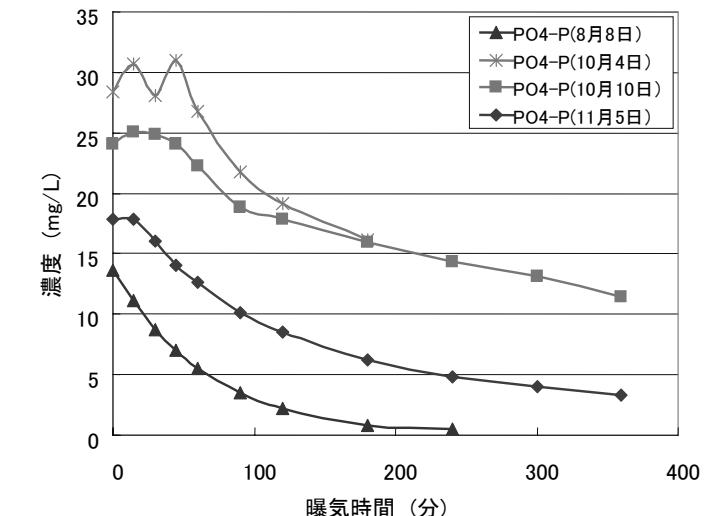


図6 りん取込速度

表1 りん取込速度試験結果

実施月日	PO <sub>4</sub> -P 添加量 (mg/L)	酢酸添加 量 (mg/L)	スタート時 PO <sub>4</sub> -P 濃度 (mg/L)	初期 PO <sub>4</sub> -P 取込 速度 (mg/(gss · h))	上澄液最終 PO <sub>4</sub> -P 濃度 (mg/L)/分
8/8	0	0	14	9.5	0.0/180
10/4	10	30	28	7.6	16.1/180
10/10	10	40	24	4.6	11.4/360
11/5	5	15	18	7.8	3.3/360

### 3. 2. 実施設におけるりんの取り込み状況

実施設におけるりんの取り込み状況を把握するため、北系4、6号槽のりん酸性りんの濃度分布を測定した。測定は平成19年8月21日の午前と午後の2回行った。この日のりん処理は良好であった。

葛西(セ) 北系の反応槽はA、B、Cの3回路方式で、平成18年度の調査時、3、4号槽は嫌気好気運転が可能なようにA回路の2/3に攪拌機を設置し、A回路末端以降はメンブレン式散気装置を用いた好気槽になっている。また、A回路には2枚の阻流壁を設置している。6号槽は擬似嫌気好気法で運転しており、阻流壁は設置しておらず、散気は通常のセラミック散気板を用いている。両槽とも返送率は30%で運転していた。

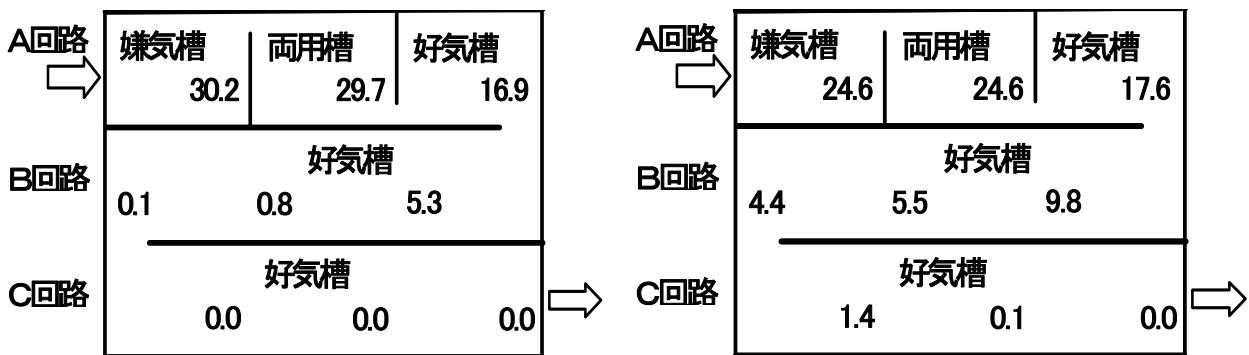


図 7 反応槽におけるりん酸性りんの分布

図 7 に反応槽各ポイントのりん酸性りん濃度分布を示した。左図は 10:00 時に測定したもので、りんの取込は B 回路末端で終了している。一方、右図の 13:30 時になると、水量の増加に伴い、りん除去の終点は C 回路の中間点まで延びている。

この結果をもとに、各測定ポイントの実滞留時間とりん酸性りんの濃度の関係を図 8 に示す。図中の＊＊＊は室内回分実験のりん取り込みを示している。実滞留時間は流入水量と返送汚泥量の積算水量から算定したものである。

これから、りん処理が良好なときには、実際の反応槽内における見かけのりん取り込み速度は室内回分試験における取り込み速度とほぼ同じ速度であり、りんの取り込みが完了するのに実滞留時間で 5 時間程度必要であることが判明した。この時の反応槽の実滞留時間は約 8.3 時間であり、返送汚泥を除いた流入水量から算出した滞留時間は 10.8 時間であった。

#### 4. 流入水質とりん除去

生物学的りん除去が良好に機能するには、一定量の有機物が必要であるといわれている。葛西（セ）の平均流入水質は BOD110mg/L、T-P3.0mg/L と一般的な下水に比べて低く、この要因として葛西処理区が合流式下水道を採用し雨水の流入があること、幹線管渠径が太く管渠内での S S 堆積があり、晴天時には低濃度の流入水質になることが多いと考えられた。

また一方で、葛西（セ）では重力濃縮槽越流水濃度が高い時や、適度の降雨で幹線の堆積物が掃流された時に、流入水質濃度が上昇し、放流水全りん濃度が安定して低い状態になることが確認されている。

ここでは、重力濃縮槽越流水質と放流水りん濃度の関係を検証するとともに、りん処理に必要な有機物として有機酸（酢酸、プロピオン酸、酪酸）に着目して有機酸の分析を開始し、有機酸と放流水りん濃度についても検証した。

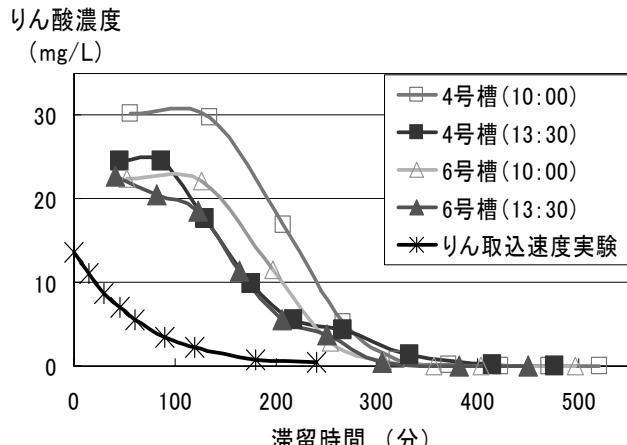


図 8 反応槽滞留時間とりん酸性りん濃度

#### 4. 1 重力濃縮槽 COD 上昇時のりん処理の安定

図9に平成18年5月の処理水りん酸性りん濃度と重力濃縮槽越流水のCODの推移を示した。5月中旬以降、重力濃縮槽の汚泥界面が上昇し、越流水のCODが最高1,800mg/Lまで上昇した。この期間、処理水りん酸性りん濃度は安定して低い状態が継続し、5月24日の24mmの降雨時でもりん処理能力の低下は認められなかった。

この間、重力濃縮槽では汚泥が滞留し、水温の上昇と相まって汚泥の腐敗・発酵が進み、相当量の有機酸が水処理系に戻っていたものと推察された。

また、この期間の汚泥中りん濃度は3.5%から5%まで上昇している。

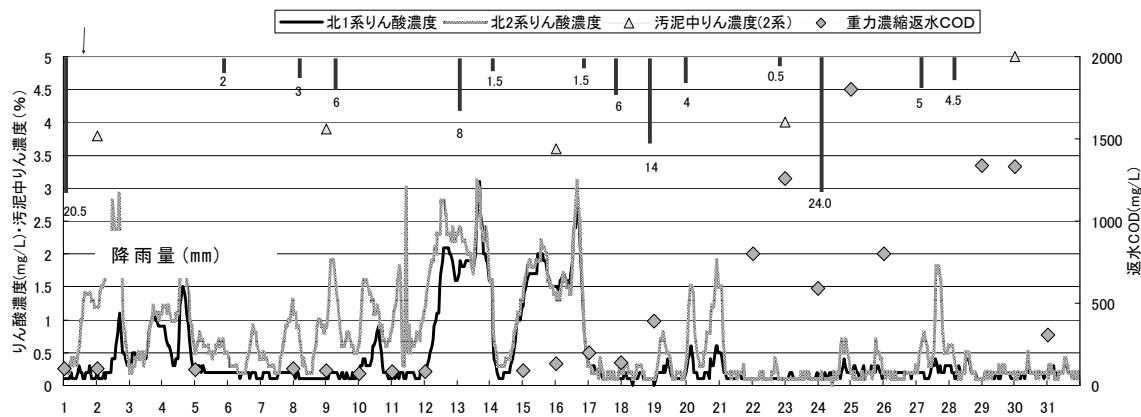


図9 重力濃縮槽越流水質の低下と処理水りん酸性りん濃度（H18.5）

#### 4. 2 重力濃縮槽汚泥の腐敗・発酵実験

4.1で重力濃縮槽越流水のCODが上昇した時にりん処理が安定したことから、実施設において重力濃縮槽の汚泥引抜を抑制し、汚泥を腐敗・発酵させ、水処理系に返流することでりん処理に与える効果の調査を行った。

平成19年1月15日から21日まで重力濃縮槽1号の汚泥の引抜時間を短縮し、21～24日は引抜を完全に停止した。その後投入と引抜を再開して、26日以降は元通りの運転を行った。この間、重力濃縮槽2、3、4号槽は通常の運転を行った。

図10に調査期間中の処理水りん酸性りん濃度と返流水CODの推移を表す。

汚泥の引き抜き時間を短縮していた15～21日までの期間、重力濃縮1号槽内に汚泥が滞留せず、濃縮槽越流水溶解性COD及び返流水CODは低い状態が続いた。途中19～21日にかけて処理水りん酸性りん濃度は2mg/Lを超えるまで上昇した。21日以降は濃縮1号槽越流負荷を増やすため、汚泥の引抜を停止したところ、濃縮槽越流水溶解性COD及び返流水CODが上昇し、これに伴い、処理水りん濃度は安定して低い状態が継続した。

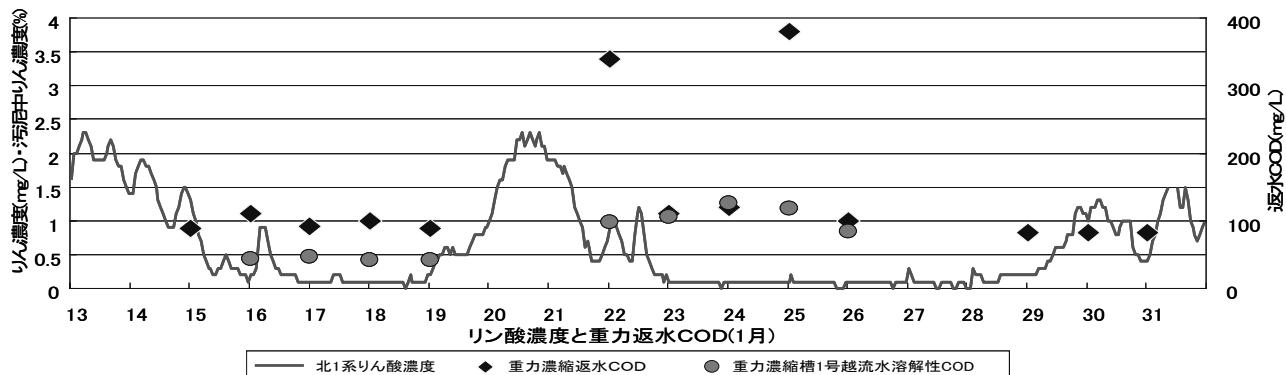


図10 重力濃縮槽汚泥引き抜き停止の影響

本調査において、汚泥の腐敗・発酵によってどの程度有機酸が生成するかその成分分析を行った。図 11 に引抜を停止していた重力濃縮槽 1 号と通常の引抜を行っていた重力濃縮槽 4 号の越流水の有機酸と COD を示した。

引抜を停止していた重力濃縮槽 1 号では腐敗・発酵が進み、4 号と比較して越流水有機酸、COD 共に高い値を示した。

次に、実験期間中の 1 月 23 日、25 日と実験終了後の 2 月 7 日の返流水中の有機酸測定結果を図 12 に示す。

これをみると、腐敗・発酵実験中の返流水有機酸濃度は高く、特に引き抜きを停止した 1/25 は酢酸、プロピオン酸とともに高い値を示した。

実験の終了した 2/26 以降、濃縮槽の運転を通常に戻したことから清澄な越流水が得られるようになり、返流水の有機酸濃度も低下した。これに伴い、処理水りん酸性りん濃度は上昇してきた。

これらの結果より、反応槽流入水への有機物（有機酸）の供給は良好なりん処理に有効であることが示唆された。

#### 4. 3 反応槽流入水中の有機酸濃度と処理水りん濃度

4.1、4.2 で示した重力濃縮槽越流水のりん処理に与える影響調査から、反応槽流入水中の有機酸がりん処理の大きな要因になると予測された。そこで、環境管理課水質検査係に依頼し、流入水や返流水中の有機酸濃度の測定を開始した。有機酸の分析はイオンクロマトグラフで酢酸、プロピオン酸、酪酸を測定した。プロピオン酸、酪酸は分子量比から酢酸換算し、以下の式より有機酸濃度とした。

$$\text{有機酸濃度} = \text{酢酸} + \text{プロピオン酸} \times 0.81 + \text{酪酸} \times 0.68$$

反応槽流入水中の有機酸濃度と放流水全りん濃度を比較した結果を図 13 に示す。これから、流入水の有機酸濃度が 20mg/L 程度（有機酸／りん比が 6 程度）以上あれば、良好で安定したりん除去が得られる事を確認した。

また、図 14 から反応槽流入水の有機酸濃度と溶解性 COD の間には比例関係が無いことが確認できた。

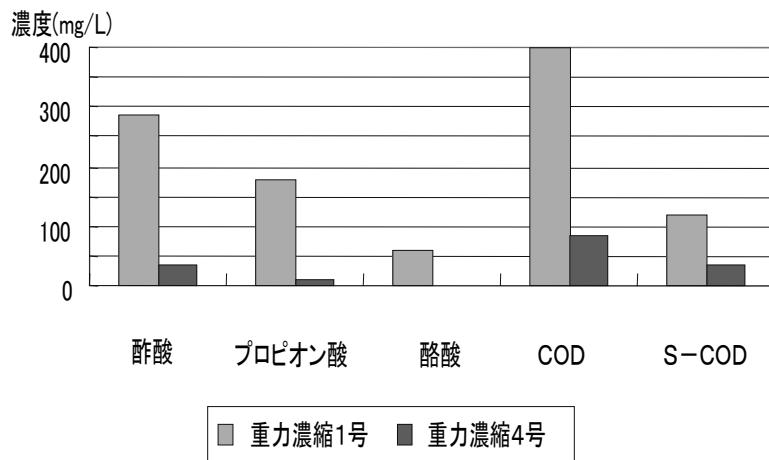


図 11 重力濃縮槽越流水中の有機酸濃度

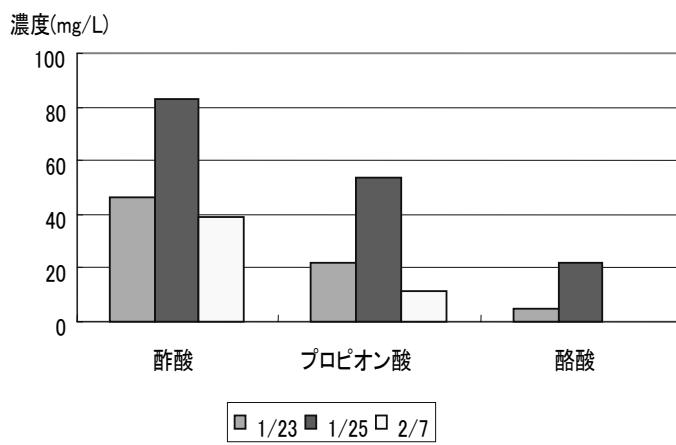


図 12 腐敗・発酵実験前後の返流中有機酸濃度

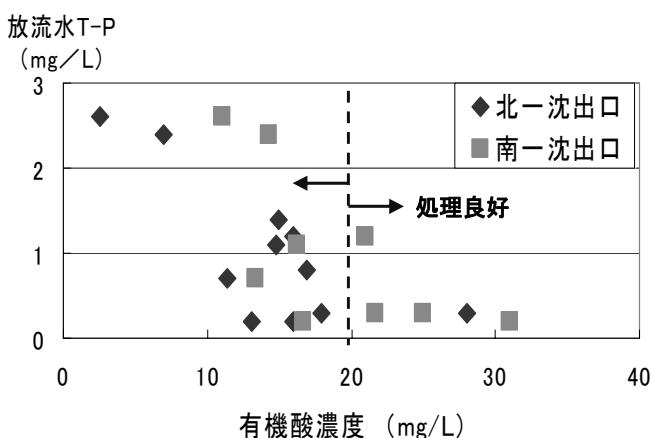


図 13 反応槽流入水有機酸濃度と放流水りん濃度

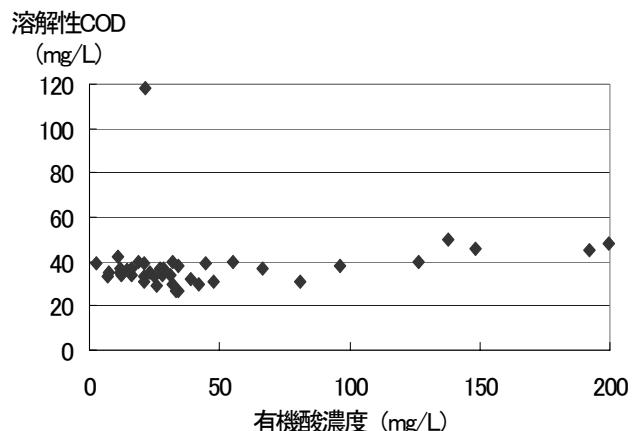


図 14 有機酸濃度と溶解性 COD の関係

反応槽流入水中の有機酸濃度の変動要因を運転状況からみると、フラッシング等により沈砂池水位を下げ幹線底部の堆積物を引き込んだ時や、重力濃縮槽の越流水濃度が高い時に有機酸濃度が高い傾向があった。逆に、沈砂池水位が一定で流入水質濃度の低い時や重力濃縮槽越流水の清澄な時には、有機酸濃度は低い傾向が認められた。

これを降雨状況からみると、降雨により幹線底部の堆積物が掃流され、幹線内で生成している有機酸が流入して、反応槽の嫌気状態が保持されている条件下では、良好なりん除去が可能であること、また、晴天が続いている場合、運転状況によって流入水中の有機酸濃度が低い場合（有機酸／P 比が 6 以下）、良好なりん除去が期待できないことを示している。

## 5. 反応槽末端への無機凝集剤 PAC（ポリ塩化アルミニウム）の注入効果

葛西（セ）では放流水りん濃度の急激な上昇に対応し、平成 20 年度からの新基準値 3.0mg/L を満足するため、反応槽末端に無機凝集剤 PAC の注入設備を設置し、平成 17 年度 6 月から稼動している。

PAC の注入制御は第二沈殿池入口に設置しているりん酸濃度計が 1 時間毎にりん酸性りん濃度を測定し、一定の濃度を超過すると、反応槽内に自動的に PAC が注入されるシステムになっている。

また、処理水りん酸性りんの低減濃度と反応槽流入水量に比例して PAC を注入するよう設定されている。

設定項目は①りん酸性りん低減濃度、②りん 1 モル削減するのに有効な凝集剤のモル数であり、当初はりん酸性りん低減濃度 1mg/L、凝集剤添加モル比をアルミ：りん = 2 : 1 と設定した。

しかし、稼動後にりん濃度が一時的に 3.0 mg/L を超過する事があったため、平成 17～18 年度に適切な注入方法の検討を行った。

### （1）PAC 注入位置の変更

設置当初は反応槽出口水路に注入していたが、ここでは PAC が十分に混合攪拌されなかった。そこで、反応槽末端に注入点を変更したところ、十分混合攪拌されるようになり、PAC 注入効果によりりん濃度の低下が見られるようになった。

## (2) 注入率の変更

当初の机上実験結果から、りん1モル削減するのに必要なアルミのモル比は、2:1となったのでその比率で注入していた。しかし、反応槽内で拡散することと、さらに、返送汚泥量を考慮してなかったので、その効果が出難かった。そこでモル比を4:1に変更した。また、りん酸性りん低減濃度設定値も当初の1mg/Lから1.5mg/Lへ変更している。

以上の変更により、平成18年度からPAC注入施設は効果的に作動するようになり、放流水りん濃度は3.0mg/Lを超過することは極めて少なくなった。

現在、PAC注入開始濃度を、第二沈殿池入口のりん酸性りん濃度2.6mg/Lとし、停止濃度を2.4mg/Lで運転している。

図15にPAC注入効果の実例を示した。

この時は第二沈殿池1池を停止し、池排水を行った影響で、処理水のりん酸性りん濃度が上昇して、2.6mg/Lを超えそうになった。この時点でPACが自動的に注入され、直ちに、りん酸性りん濃度は低下し、2.4mg/Lになった時点でPACが停止した。その後もりん酸性りん濃度は低下し、PACの注入効果を確認している。

表2 PAC注入率の変更

	変更前	変更後
りん酸低減濃度(mg/L)	1	1.5
凝集剤モル比(AI/P)	2	4

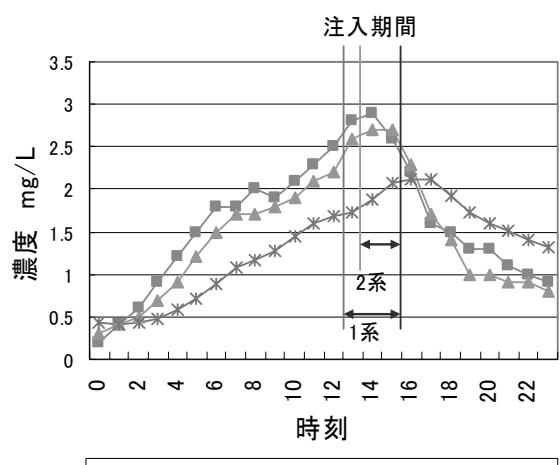


図15 PAC注入効果の実例

## 6. 汚泥返流水からのりん負荷削減

りん除去の良好なときは、理論的に余剰汚泥中のりん濃度は限りなく上昇し、水処理系から排除されれば、良好な放流水質が維持できる。しかしながら、現状みられる通り、常にりん除去が安定して良好であるとは限らない。

安定して良好なりん除去を維持するには、流入するりん負荷を削減する必要がある。それには流入りん負荷の大きな部分を占める汚泥処理工場からの返流水りん負荷を削減することが対策として講じやすく、有効である。

2.2で述べたように葛西(セ)の流入水りん負荷は1,030kg/日、これに加えて汚泥返流水からのりん負荷が750kg/日あり、この返流水中のりん負荷を削減することを考えた。

返流水中のりん酸性りんは、無機凝集剤を添加し固定化することで除去できる。従来から、葛西(セ)では臭気対策として、重力濃縮槽にポリ硫酸第二鉄(ポリ鉄)を添加している。本来は臭気対策として注入しているこのポリ鉄をりん固定剤として使用することにより、返流水中のりんの削減効果を検討した。

## 6. 1 机上実験によるポリ鉄の注入効果

葛西(セ)の重力濃縮槽には小菅受泥と第一沈殿池引き抜き汚泥を投入している。この重力濃縮槽投入汚泥にポリ鉄を添加し、鉄とりんの反応モル比と、ポリ鉄添加後のりんの再溶出の挙動を調査した。

### 6. 1. 1 鉄・りんの反応モル比

重力濃縮槽投入汚泥をビーカーに 1L ずつ分取し、ポリ鉄を 100~700mg/L の注入率で添加した。10 分間攪拌後、1 時間静置し（図 16）、上澄みを 5C ろ紙でろ過した後、りん酸性りん濃度を測定した。調査は平成 19 年 4 月 26 日、5 月 24 日、8 月 15 日、8 月 23 日に行った。

ポリ鉄添加量とりんの濃度の関係を図 17 に示す。これより、りん 1 モル削減するのに必要な鉄のモル比は、春期 1.5~1.7、夏期 3.0~3.3 となった。春期と比較して夏期の汚泥は腐敗が進み、硫化水素臭が強かった。ポリ鉄は硫化水素の存在下では硫化水素と反応することが知られており、夏期には汚泥中の硫化物が増加して、りん削減に必要なポリ鉄量は増加した。

### 6. 1. 2 りんの再溶出

りんの再溶出調査は平成 19 年 8 月 15 日、8 月 23 日に行った。ポリ鉄を注入後に、汚泥の経過時間毎に液中のりん酸性りん濃度を測定し、固定後のりんの挙動を調べた。

りんの再溶出の結果を、図 18 に示す。一度固定したりんの再溶出は、ポリ鉄添加濃度が低い場合（100~300mg/L）では、24 時間経過してもほとんどみられなかつたが、ポリ鉄添加濃度が高い場合（400~500mg/L）では 3 時間後には再溶出が見られた。

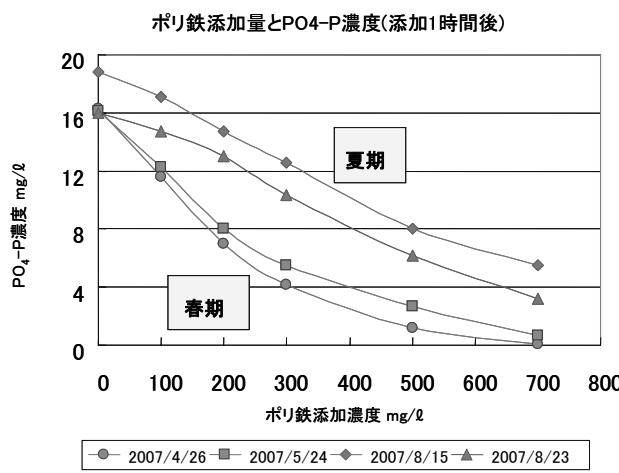


図 17 りん酸性りんの固定に必要なポリ鉄量



図 16 ポリ鉄の注入効果

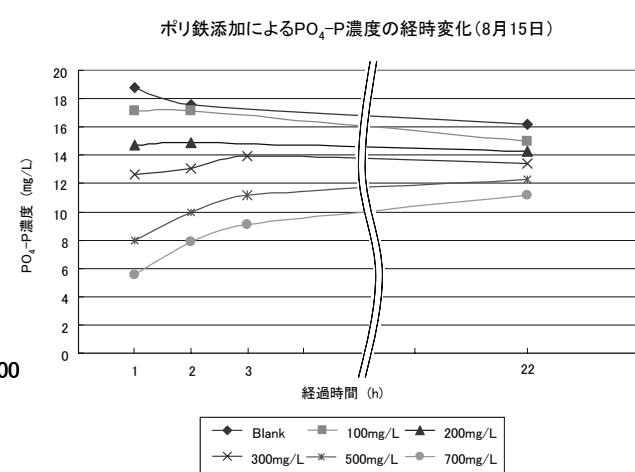


図 18 ポリ鉄添加後のりんの再溶出

### 6. 1. 3 液体塩化アルミニウム LAC の注入効果

無機凝集剤として、ポリ鉄とは別にアルミニウム系の液体塩化アルミニウム LAC を用いた調査も行った。

調査は平成 19 年 9 月 19 日に行つた。LAC を添加後、汚泥の経過時間毎にりん濃度を測定し、固定後のりんの挙動を調べた。LAC の添加濃度とりんの関係を図 19 に示す。りん 1 モル削減するのに必要なアルミニウムモル比は 1.9 となった。

また、LAC 使用時のりんの再溶出の結果を、図 20 に示す。LAC で一度固定したりんは 24 時間経過してもほとんど再溶出しなかった。LAC は硫化水素とは反応しないため臭気対策にはならないが、りん除去には安定した効果を発揮することがわかつた。

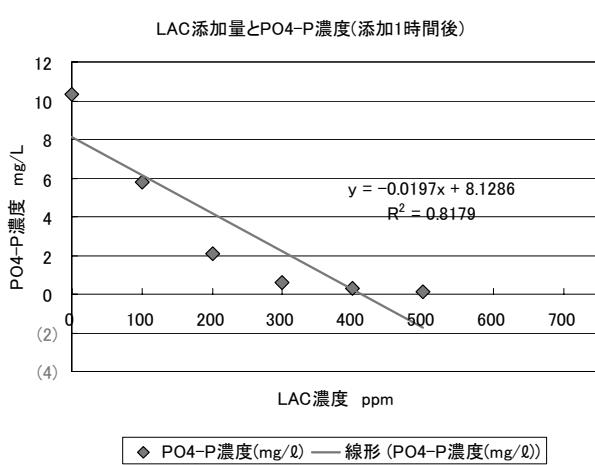


図 19 りん酸性りんの固定に必要な LAC 量

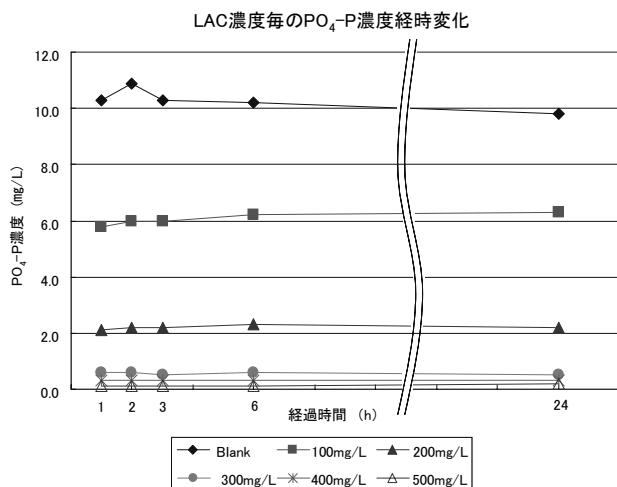


図 20 LAC 添加後のりんの再溶出

## 6. 2 実施設におけるポリ鉄の注入効果

重力濃縮槽にポリ鉄を添加したときの、返流水中の溶解性りん濃度の変動調査を行つた。図 21 にポリ鉄の注入率とそのときの返流水中の溶解性りん濃度の平均値を示す。ポリ鉄注入量に比例して返流水中のりん酸濃度が減少した。この結果から、実施設ではりん 1 モル削減に必要な鉄のモル数は 3.1 となった。

ポリ鉄注入によるりん除去の効果が認められたことから、葛西（セ）ではりん除去用のポリ鉄注入施設の増強を予定しており、返流水のりん対策として効果が期待される。

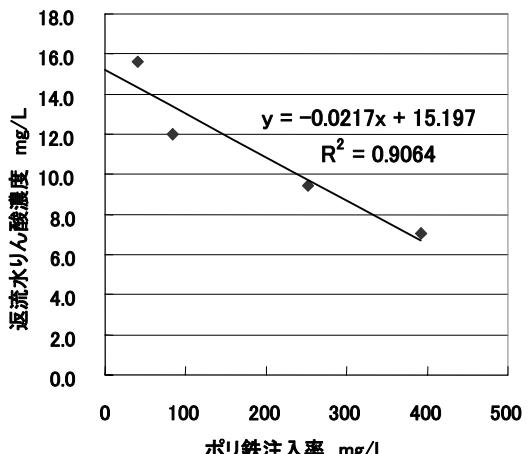


図 21 重力濃縮槽へのポリ鉄注入効果

## 7.まとめ

本報は平成 17 年度から 19 年度にかけて、葛西（セ）のりん処理の実態の解明と、規制強化に向けた取り組みについてまとめたもので、以下のようないくつかの知見が得られた。

- ①葛西（セ）の放流水全りん濃度は変動が大きく、その要因として、降雨、返流水りん負荷、流入水質の等が複雑に影響している。
- ②活性汚泥中のりん含有量は、流入りん量と放流りん量によって、平衡濃度に達し、葛西（セ）では瞬間的に 6%を超えることがある。

- ③りん除去には流入水中の有機酸が必須であり、有機酸濃度で 20mg/L 以上、有機酸/P 比で 6 以上あれば安定して良好な放流水りん濃度を維持できる。
- ④活性汚泥の初期りん除去速度は、りん処理が良好な時で 9.5mg/gss・h 程度であり、りんの取込が完了する。しかし、りん処理の思わしくないときは初期りん除去速度が時間の経過とともに減少し、りんの取り込みは不完全であった。
- ⑤実際の反応槽においてりん除去が完了するためには流入水量と返送汚泥量を合わせた実滞留時間で 5 時間以上必要である。
- ⑥反応槽末端への PAC 注入設備は緊急避難的な放流水りん濃度の低減に有効に機能している。
- ⑦重力濃縮槽に無機凝集剤（ポリ鉄、LAC）を添加して返流水りん負荷を削減することは安定して良好な放流水りん濃度を確保するのに有効である。

## 8 結論

嫌気好気法や嫌気無酸素好気法などの生物学的りん除去法はりん蓄積細菌群の生理活性に依拠している。りん蓄積細菌群は BOD 資化細菌群や硝化・脱窒菌群に比べて、生息環境のわずかな変化にも敏感に反応し、りんの処理機能を停止することが多い。

生息環境の変化として、例えば反応槽の溶存酸素の過不足、反応槽滞留時間、降雨や返送汚泥の溶存酸素や硝酸性窒素の持込による嫌気槽嫌気度の破壊、流入水の有機物（有機酸）の不足などがあり、これらの要件が 1 つでもあると良好なりん処理が困難となる。

今後、法規制が厳しくなり、また、住民の水環境に対する意識が向上する中で、放流水質の改善は局の使命である。

水質を改善するには、施設の高度処理化を進めなければならないが、その施設が十分に機能するように、日常管理をきめ細かく行う必要がある。

## 2-(3)-1 伏せ越し管きよ空気抜き施設に関する調査について

計画調整部 技術開発課 千葉 正孝  
森田 巖（東部第二管理事務所）  
成島 道清（総務部）

### 1. はじめに

本調査は、長大伏せ越し管きよ等の管内空気を排出するために設置している空気抜き施設について、排気騒音の低減や施設の最適化を図ることを目的に、実施設において騒音及び臭気の調査を行ったものである。

空気抜き施設の排出口の形状は、既存の多くはステッキ型（煙突型）が多いが、近年設置された施設には比較的大規模なものが多く、空気の排出口にガラリやグレーチングを設置している事例が多くなっている。現地調査対象か所は、これらの形状を考慮して選定し、第二妙正寺川幹線、本田幹線、神谷幹線に設置されている空気抜き施設とした。

### 2. 調査方法

#### 2.1 調査期間

主として雨天時の調査を目的とし、下記の期間で調査を実施した。

平成 18 年 9 月 15 日～平成 18 年 12 月 27 日（概ね 3.5 ヶ月間）

#### 2.2 調査箇所

調査箇所は、施設の特徴、現地調査の状況等から次の 3 地点とした。

##### (1) 第二妙正寺川幹線空気抜き施設

グレーチング型の典型的な事例であり、近年検討されている空気抜き施設には、比較的この形式が多く、今後、この形式が増加することが想定される。この形式は、グレーチングにより風切り音が増幅される可能性があることと、開口が比較的大規模なため、臭気が発生した場合には拡散し易い構造が特徴となっている。

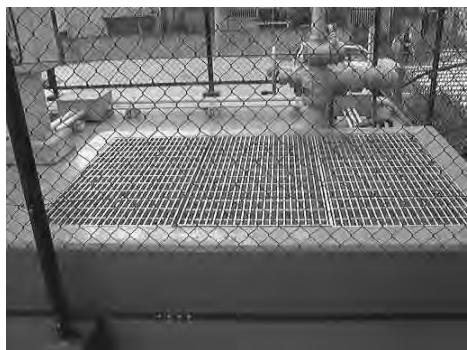


図-1 グレーチング型空気抜き施設



図-2 ステッキ型空気抜き施設

## (2) 本田幹線空気抜き施設

ステッキ型の事例として調査対象とした。

## (3) 神谷幹線空気抜き施設

ふかし上げポンプ所流入管きょに接続する施設であり、他の施設と組み合わせて設置することで、大きな開口を確保する典型的な事例である。ガラリにより開口を上部に確保する形式であり、モニュメントやトイレ等に併設されているため、雨天時に周辺の往来がある可能性が他の施設に比べて高い。また、グレーチング形式と同様に比較的大きな開口を有しているため、臭気が発生した場合には拡散し易い構造である。



図-3 モニュメント型空気抜き施設

### 2.3 調査内容

#### 2.3.1 雨天時調査

##### (1) 騒音等調査

###### 1) 測定回数

降雨時に3回の調査を行うこととし、降雨1回あたり1回の計測を行った。なお、測定の対象とする降雨は、原則として時間最大降雨量5mm/hr以上の降雨とした。

###### 2) 測定箇所及び測定項目

測定箇所及び測定項目は次表のとおりとした。

表 1 測定箇所及び測定項目

測定箇所	音量	周波数	風速	風量	備考
①排気口	○ 排気騒音	○	○	○	
②空気抜き施設内	○ 排気騒音	○	---	---	
③音源の影響を受けない場所	○ 暗騒音	---	---	---	無降雨時にも1回測定
④施設付近で歩行者往来のある場所	○ 排気騒音 (暗騒音)	---	---	---	

なお、図-4に測定位置関係の例（第二妙正寺川幹線）を示す。

###### 3) 測定時間

騒音調査を行う時間は、調査対象降雨期間内の2~3時間を目安に、現地状況を確認しながら行った。



図-4 測定位置関係図

## (2) 臭気調査（スポット調査）

### 1) 測定回数

降雨毎に1回の調査を行うこととし、降雨1回あたり3回(3検体)の測定を行った。なお、測定の対象とする降雨は、騒音等調査と同様に原則として時間最大降雨量5mm/hr以上の降雨とした。

### 2) 測定箇所及び測定項目

測定箇所は、排気口1箇所とし、測定項目はアンモニア、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチルの計4項目とした。

### 3) 測定時間

臭気調査は、前述の騒音調査の状況、及び現地の状況を加味して、騒音調査の実施時間内に検体を採取するものとした。

## 2.3.2 硫化水素連続調査

### (1) 測定期間

測定を行う期間は、降雨時の調査を実施する期間内とし、期間内においては、天候にかかわらず常時連続して計測するものとした。

### (2) 測定箇所及び測定項目

測定箇所は排気口1箇所とし、測定項目は硫化水素とした。

### 3. 調査結果

#### 3.1 雨天時調査

##### 3.1.1 調査実施降雨と調査状況

雨天時調査は、次表に示す4期間において実施した。次表に調査実施時の降雨量、及び調査状況を示す。

表 2 調査実施時の降雨量状況

調査個所 調査日時	第二妙正寺川 幹線		本田幹線		神谷幹線	
	総降雨量 (mm)	時間最大 (mm/hr)	総降雨量 (mm)	時間最大 (mm/hr)	総降雨量 (mm)	時間最大 (mm/hr)
1)平成 18 年 9 月 27 日	10.5	6.0	12.5	5.5	15.0	6.0
2)平成 18 年 10 月 5 日 ～10 月 6 日	155.0	11.0	116.0	9.5	128.0	9.0
3)平成 18 年 12 月 21 日 ～12 月 22 日	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4)平成 18 年 12 月 26 日	150.0	17.0	154.5	17.0	135.5	14.5
降雨観測地点	中野水再生センター		本田ポンプ所		神谷ポンプ所	

なお、第3回調査については、0.5mm以上の降雨量が確認されていないが、現地では降雨が確認されており、特に神谷幹線流域では、当日の朝方と正午に短時間で水溜りができる程度の降雨があったため調査を実施した。

次に各降雨における調査実施状況を次表に整理する。

表 3 調査実施状況

調査個所 調査日時	第二妙正寺川 幹線		本田幹線		神谷幹線	
	騒音	臭気	騒音	臭気	騒音	臭気
1)平成 18 年 9 月 27 日	○	—	○	—	○	—
2)平成 18 年 10 月 5 日 ～10 月 6 日	○	○	○	○	○	—
3)平成 18 年 12 月 21 日 ～12 月 22 日	○	—	○	—	○	○
4)平成 18 年 12 月 26 日	○	—	○	—	○	—

##### 3.1.2 騒音等調査結果

騒音等調査については4降雨について調査を実施したが、その中でも第2回及び第4回調査において空気噴出の状況が顕著であった。第2回調査では、排気口と空気抜き施設内について、空気噴出を伴う騒音と通常時を比較すると、各施設で音量が増加することが確認された。また、第4回調査でも、第2回調査と同様に空気噴出を伴う騒音では、

音量が増加することが確認された。なお、本田幹線については、各回において空気噴出による騒音を確認することはできなかった。

表 4 騒音の調査結果

調査回	対象施設	1.排気口					2.空気抜き施設内					3.音源の影響を受けない場所		4.歩行者の往来の有る場所	
		排気騒音				風速 (m/s)	風量 (m <sup>3</sup> /s)	排気騒音				暗騒音		暗騒音	
		L <sub>5</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>eq</sub>	周波数			L <sub>5</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>eq</sub>	周波数	L <sub>50</sub>	L <sub>eq</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>eq</sub>
第2回	第二妙正寺川幹線	78 (77)	75 (71)	71.8 (69.1)	有	1.2	0.79	87 (85)	81 (79)	78.7 (77.8)	有	62	62.6	61	61.7
	本田幹線	(65)	(62)	(59.3)	無	0.0	0.00	(68)	(65)	(61.7)	無	46	58.3	50	50.2
	神谷幹線	80 (72)	76 (68)	73.6 (65.5)	有	1.5	0.69	92 (80)	88 (77)	85.6 (73.8)	有	50	50.3	50	50.9
第4回	第二妙正寺川幹線	70 (64)	66 (60)	66.5 (60.2)	無	0.8	0.53	72 (66)	71 (65)	70.5 (64.3)	有	64	64.0	66	67.0
	本田幹線	(61)	(58)	(58.9)	無	0.0	0.00	(51)	(48)	(48.3)	無	57	56.7	60	60.8
	神谷幹線	68 (56)	67 (55)	66.8 (54.7)	無	0.7	0.32	81 (66)	80 (65)	80.1 (65.5)	有	52	52.5	61	61.1

※()内の数値は暗騒音、周波数は空気噴出による周波数の変化の有無を示す。

※暗騒音：ある場所において特定の音を対象として考える場合、対象の音がないときのその場所の騒音を、対象の音に対して暗騒音という。

※L<sub>5</sub>、L<sub>50</sub>：時間率騒音レベルのことと、騒音発生時間の50%を占める騒音レベルがL<sub>50</sub>（中央値）、5%を占めるのがL<sub>5</sub>（90%レンジ上端値）である。

※L<sub>eq</sub>：等価騒音レベルといい、一定時間内の騒音の総エネルギーの時間平均値を表す。

次に、周波数分析の結果については、第2回調査では、第二妙正寺川幹線で、施設内の騒音が1600Hz程度、排気口の騒音が2500Hz程度で卓越しており、暗騒音に比べ各周波数で約10dB程度高い値を示した。神谷幹線では、施設内の騒音が800～1250Hz、排気口の騒音が1600Hz程度で卓越しており、暗騒音時に比べ各周波数で約15～20dB高い値を示した。また、第4回調査では、第二妙正寺川幹線では、第2回調査と同様の傾向となり、特に100Hz付近で顕著な差が認められた。なお、本田幹線では、空気噴出による変化は確認できなかった。

調査地点名	AP	1/3オクターブバンド中心周波数 (Hz)																		特性：A特性 単位：dB							
		25.0	31.5	40.0	50.0	63.0	80.0	100.0	125.0	160.0	200.0	250.0	315.0	400.0	500.0	630.0	800.0	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
排気口(暗騒音)	57.4	4.9	9.5	12.4	14.5	25.0	28.2	32.8	33.7	34.1	37.7	38.6	37.3	41.0	44.3	43.2	45.4	46.7	46.9	47.6	48.1	47.4	49.4	45.6	42.0	38.8	34.2
施設内(暗騒音)	62.4	12.4	31.2	39.1	29.4	24.5	29.3	36.7	41.0	41.2	36.8	46.9	45.3	49.0	50.8	50.5	54.2	54.6	51.8	51.4	49.2	49.9	51.9	48.3	44.6	41.7	35.7
排気口(強雨時)	67.2	19.2	22.2	28.0	32.9	37.0	32.2	35.7	39.3	31.41	44.8	47.1	47.4	49.8	51.8	52.1	54.6	57.5	57.5	57.5	58.4	57.4	54.9	53.3	49.9	45.3	
施設内(強雨時)	68.0	21.7	39.8	36.9	37.6	38.5	42.9	39.4	42.3	41.5	41.8	51.7	50.6	54.6	56.0	56.7	57.2	57.6	59.1	61.3	58.6	56.9	53.3	48.1	41.6	39.6	

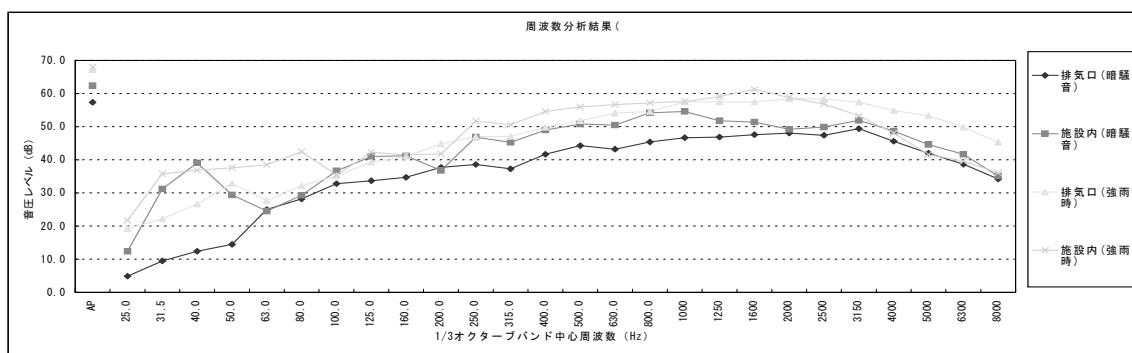


図 5 周波数分析結果（第2回調査、第二妙正寺川幹線）

調査地点名	1/3オクターブバンド中心周波数 (Hz)																											特性：A特性 単位：dB	
	AP	25.0	31.5	40.0	50.0	63.0	80.0	100.0	125.0	160.0	200.0	250.0	315.0	400.0	500.0	630.0	800.0	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000		
排気口(暗騒音)	54.3	9.1	14.3	28.0	26.8	30.8	36.6	37.3	37.9	40.5	37.1	40.0	40.7	42.1	42.3	44.8	42.6	43.2	43.5	43.1	42.9	41.7	41.4	39.4	37.9	35.4	31.5		
施設内(暗騒音)	61.8	24.6	25.5	24.4	36.8	33.9	46.5	47.5	50.1	48.7	50.5	54.2	54.2	47.2	49.9	48.7	49.4	50.1	48.0	44.3	43.6	43.2	42.7	41.0	39.5	36.8	32.5		
排気口(強雨時)	66.0	22.0	21.7	19.7	28.9	32.0	45.0	46.9	44.1	49.5	50.3	49.4	52.0	53.2	53.3	55.2	55.6	54.7	56.2	56.9	55.0	55.2	54.1	50.6	47.6	44.6	41.3		
施設内(強雨時)	77.5	33.5	29.3	36.4	39.0	41.3	55.7	59.8	62.5	60.4	62.0	64.3	66.0	62.1	64.8	65.0	67.4	67.4	67.2	64.2	64.9	65.0	65.8	64.8	63.3	60.5	56.0		

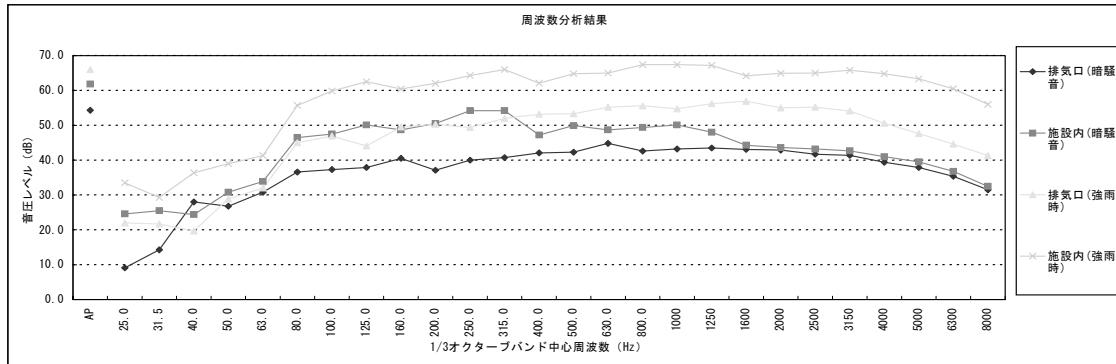


図 6 周波数分析結果（第2回調査、神谷幹線）

調査地点名	1/3オクターブバンド中心周波数 (Hz)																											特性：A特性 単位：dB	
	AP	25.0	31.5	40.0	50.0	63.0	80.0	100.0	125.0	160.0	200.0	250.0	315.0	400.0	500.0	630.0	800.0	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000		
排気口(暗騒音)	57.4	15.1	13.5	20.3	29.2	23.3	28.3	28.3	29.7	33.3	39.2	40.0	41.9	43.2	44.7	44.9	47.8	50.2	53.0	54.4	54.0	53.9	50.5	46.0	41.1	35.6			
施設内(暗騒音)	62.4	30.6	37.7	31.5	30.0	32.2	40.6	40.4	42.8	40.8	42.6	47.1	47.5	52.0	50.1	49.0	49.6	52.6	52.4	52.4	51.5	50.2	50.3	49.0	46.1	41.1	37.5		
排気口(強雨時)	67.2	23.8	16.0	26.9	30.8	33.3	34.3	35.3	36.3	38.8	41.4	43.8	46.9	49.6	49.5	52.0	53.7	55.1	57.0	55.9	55.3	53.5	54.3	55.3	47.9	42.6			
施設内(強雨時)	68.0	22.0	30.6	29.8	39.9	35.7	35.7	55.7	48.6	50.8	46.3	53.6	56.1	61.5	60.8	62.2	62.4	64.1	63.3	63.3	61.2	59.0	57.4	55.7	53.4	48.7	42.0		

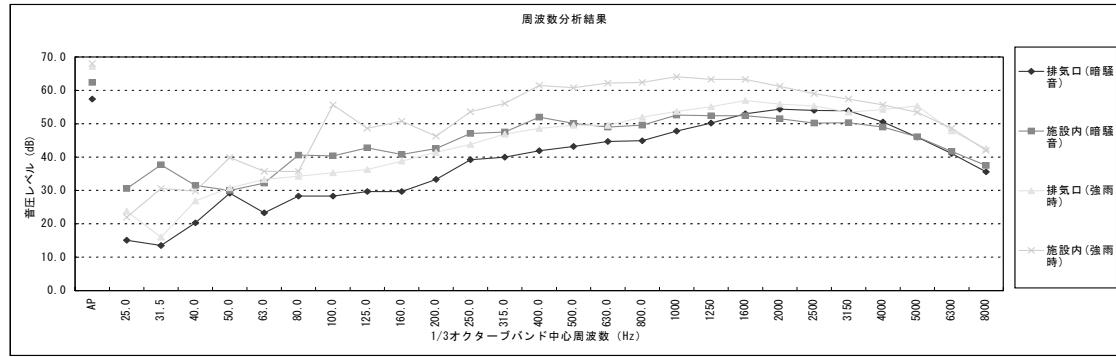


図 7 周波数分析結果（第4回調査、第二妙正寺川幹線）

### 3.1.3 臭気調査結果

臭気調査では、雨天時に空気抜き施設から排気される空気を対象にアンモニア、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチルを各3回ずつサンプリングして分析を行った。

次表は、各調査個所における調査結果を整理したものである。調査結果では、いずれの項目でも定量下限値を下回る結果となっており、空気抜き施設から排出される臭気は、非常に低い値であるといえる。

表 5 臭気調査結果

施設名称	サンプル番号	アンモニア v/v ppm	メチル メルカプタン v/v ppm	硫化メチル v/v ppm	二硫化メチル v/v ppm	備考
第二妙正寺川幹線空気抜き	No.1	0.2未満	0.001未満	0.0005未満	0.0005未満	平成18年10月6日実施
	No.2	0.2未満	0.001未満	0.0005未満	0.0005未満	
	No.3	0.2未満	0.001未満	0.0005未満	0.0005未満	
本田幹線空気抜き	No.1	0.2未満	0.001未満	0.0005未満	0.0005未満	平成18年10月6日実施
	No.2	0.2未満	0.001未満	0.0005未満	0.0005未満	
	No.3	0.2未満	0.001未満	0.0005未満	0.0005未満	
神谷幹線空気抜き	No.1	0.2未満	0.001未満	0.0005未満	0.0005未満	平成18年12月22日実施
	No.2	0.2未満	0.001未満	0.0005未満	0.0005未満	
	No.3	0.2未満	0.001未満	0.0005未満	0.0005未満	

### 3.2 硫化水素連続調査

#### 3.2.1 空気抜き施設における調査

本調査では、雨天時の実態調査を実施した空気抜き施設3箇所において、連続測定器による硫化水素の連続調査を実施した。次表に調査結果を示す。

ここで、第二妙正寺川幹線、及び本田幹線では、全期間を通じて計測された硫化水素濃度が0.1ppm以下(定量下限値以下)であった。また、神谷幹線では、一部期間(H18.12.17 4:21~5:41)で1.0~4.9ppmを計測したが、それ以外の大部分で硫化水素濃度が0.1ppm以下(定量下限値以下)であった。前者については、後述する管きょ内に滞留した雨水の影響が考えられるが、いずれにしても、本調査で対象とした空気抜き施設で発生している硫化水素濃度は極めて低いものと考えられる。

表 6 硫化水素連続計測調査の状況

調査地点	調査状況
第二妙正寺川幹線	全期間を通じて計測された硫化水素濃度は0.1ppm以下
本田幹線	同上
神谷幹線	H18.12.17 4:21~5:41にかけて1.0~4.9ppmを計測。 上記以外では、全期間を通じて0.1ppm以下

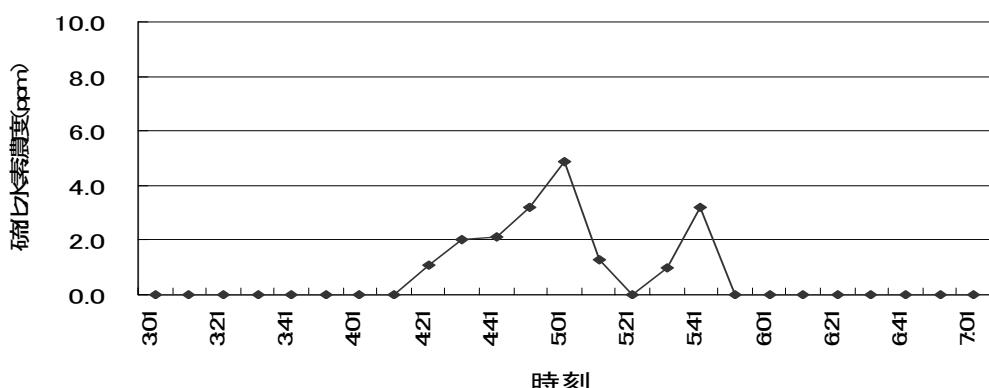


図 8 神谷幹線における硫化水素の計測状況 (H18.12.17 4:21~5:41)

### 3.2.2 臭気苦情実績箇所における調査

本調査では、参考として、当局における臭気苦情の実績を有する個所においても硫化水素の連続調査を実施した。

#### 【調査実施箇所】

- 品川区北品川二丁目 28 番地先 (SEMIS 管理番号 : 3218-1B-032)
- 港区西麻布 1 丁目 8 番地先 (SEMIS 管理番号 : 2516-1C-039)

ここで、北品川二丁目地先では、全期間を通じて計測された硫化水素の濃度が 0.1ppm 以下（定量下限値以下）であった。また、西麻布一丁目地先では、計測期間の全期間にわたり硫化水素が計測されており、周期的にピーク値が発生していることを確認した。

表 7 硫化水素連続計測調査の状況

調査地点	調査状況
北品川二丁目地先	全期間 (H18.11.17～12.1) にわたり計測された硫化水素濃度は 0.1ppm 以下であったが、H18.11.21 11:23 において 1.1ppm を計測した。
西麻布一丁目地先	全期間 (H18.12.6～12.25) において、周期的に硫化水素が発生していることを確認した。

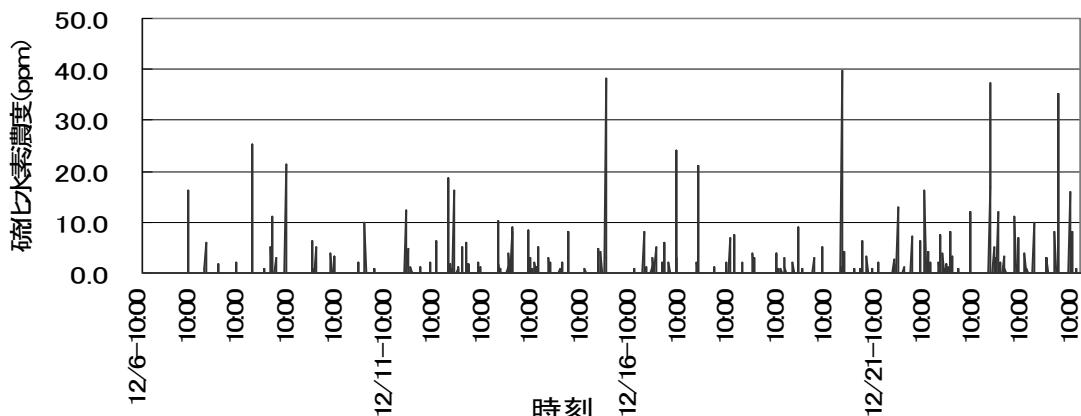


図 9 西麻布一丁目地先における硫化水素の計測状況

## 4. まとめと考察

### 4.1 まとめ

本調査から得られた知見を以下に整理する。

#### 【騒音等調査】

- 空気抜き施設において今回確認された騒音は、管路内を流下する水音も含めて概ね 70～90db で推移している。
- 空気抜き施設における騒音については、施設内での音量が排気口付近での音量を上回っており、施設外に開放されたことによる拡散効果で音量が低減していることがわかる。
- 空気噴出による騒音が発生した場合には、空気抜き施設内での特有の周波数が確認されるが、排気口付近では、一般的な交通騒音と同様の 1000Hz 程度となっている。

- 風速 1.5m/s 程度では、空気抜き施設内の音量が約 85db 程度であるが、降雨時の現地状況を考慮すると、空気噴出時に発生する騒音は、雨音及び周辺の交通騒音の影響を考慮すれば、許容できる範囲であると考えられる。
- 調査を実施した降雨は、年間において比較的発生頻度の高い降雨であり、このような降雨時に発生する騒音は許容できる範囲であると考えられるため、騒音に対する対策は特段必要ないものと考えられる。

#### 【臭気調査】

- 雨天時に空気抜き施設から発生する臭気については、典型的な下水臭ではあるが、雨水流入を伴い発生源が希釈され、数値として検出されるまでには至らない。
- ただし、ビルピット排水などの臭気苦情の実績が有る特殊な箇所においては、当該人孔の下流側の人孔でも臭気（硫化水素）の発生が確認されたため、このような場所に空気抜きを設置する場合には臭気対策を考慮する必要がある。
- 以上から、特殊条件（ビルピット等による臭気苦情多発人孔の直近等）が無い限り、雨天時の空気噴出に対する臭気対策を講じる必要はないものと考えられる。

## 4.2 騒音等調査結果に対する考察

長大伏せ越し管きよから管内空気の噴出が発生する場合は、豪雨時であることが考えられ、空気抜き施設から発生する騒音の評価には、雨天時の雨音の把握が必要である。

一般に、降雨時の雨音については、時間 10~20 ミリ程度の場合には会話が困難になることが示されており（気象庁 Web サイトより）、時間 20 ミリ以上では、屋内で寝ている人の半数ぐらいが雨に気がつく規模であることが示されている。また、日常生活における騒音に着目すると、次表に示すとおり、普通の会話で 60db 程度、騒々しい事務所内で 70db 程度であることが示されている。

以上の事項を踏まえると、本調査で対象とした降雨では、概ね 60~70db 程度の雨音になっていることが想定できる。

表 8 騒音の目安

デシベル	騒音の目安
0	(最小可聴音)
10	
20	
30	郊外の深夜
40	市内の深夜・図書館内
50	静かな事務所内
60	普通の会話
70	騒々しい事務所内 地下鉄・JR の車内
80	
90	騒々しい工場内
100	電車が通る時のガード下
110	自動車の警笛
120	飛行機のエンジンの近く
130	(最大可聴音)

資料出典：「数字でみる環境」1994 年版 平成 7 年 4 月発行

編集 東京都環境科学研究所

発行 東京都情報連絡室都政情報センター

今回の調査結果では、空気抜き施設から発生する騒音を評価する上では、周辺の交通騒音も重要な要素となると考えられる。都内幹線道路での既往調査（東京都環境保全局「道路交通騒音振動調査報告書」）によれば、概ね 60～80dB の交通騒音が確認されており、夜間であってもほぼ 60dB 台以上を記録している。このような状況を踏まえると、本調査で確認した騒音程度であれば、交通騒音によっても緩和されると考えられる。

長大伏せ越し管きょやそれに付随する施設で、空気が噴出するような降雨規模は、管きょ規模、貯留容量規模、及び接続するポンプ所の状況等により異なるので一概に規定できない。しかし、降雨規模が概ね時間 10～20mm 程度の場合において空気抜き施設から発生する騒音については、日常生活の中では許容できる範囲であると考えられる。

#### 4.2.1 臭気調査に対する考察

臭気調査については、今回の調査で臭気の発生を実証するような顕著な値は確認されなかった。この原因としては、空気抜き施設から空気が排出されるような状況下においては、大量の雨水流入を伴うため、臭気の発生源が希釈されていることが考えられる。以上から、今回の調査結果では、流域内において特殊条件（ビルピット等による臭気苦情多発人孔の直近等）が無ければ、臭気対策を要するほどの臭気は発生しないと考えられる。

### 5. おわりに

本調査においては、空気抜き施設での騒音及び臭気に対する対策としては特段必要なことが明らかになった。ただし、空気抜き施設の規模や設置環境が同一なものはないことから、今後とも注視していく必要がある施設と考えている。

### **3. 地球環境保全への貢献**

#### **(1) 温室効果ガス削減技術**

- 1 高効率散気装置の運転指標の経年変化と課題の評価について**
- 2 省エネルギー型ハニカム濃縮機に関する共同研究**
- 3 下水道事業における木質系バイオマスの有効活用策の検討**
- 4 バイオマスを利用した高効率ガス化・利用技術の開発**

#### **(2) 汚泥資源化技術**

- 1 粒度調整灰を利用した高流動セグメントに関する共同研究**
- 2 防菌コンクリートに粒度調整灰を加えたコンクリート製品の耐久性確認に関する共同研究**

#### **(3) エネルギー・熱利用技術**

- 1 下水汚泥ガス変換発電システムの実用化検証**
- 2 下水熱を利用したオフライン熱供給技術の開発**

### 3-(1)-1 高効率散気装置の運転指標の経年変化と課題の評価

計画調整部技術開発課 山下 博史

#### 1 はじめに

メンブレン散気装置は、従来の散気板と比較して吐出する気泡の径が小さいことから酸素移動効率が高く、曝気動力の削減に大きく寄与する技術として期待されている。東京都下水道局でも水処理動力削減を目的として積極的に導入が図られてきた。しかし、曝気における圧力損失が散気板と比較して大きいことから、同じプロワーに散気板とメンブレン散気装置を共存させる場合には吐出圧調整のため散気板より浅く設置する必要があり、その分酸素移動効率が低下し本来の性能を発揮できない場合や、メンブレン樹脂表面へのスライムの付着等で目詰まりが進行し曝気が困難となるケースもあった。

また、メンブレン自体が高分子材料であり経年使用で劣化が進行するため破損のリスクは散気板より大きく、素材としての寿命も明確ではないことからライフサイクルコストの算出が困難で、装置導入によるコスト効果の評価が困難という側面も持合わせている。

一方、メンブレン散気装置はブローダウンやブローアップというフレキシング操作を行うことで目詰まりを防止すれば経年的な酸素移動効率の低下がほとんど無いと言われており、目詰まりの進行により経年に酸素移動効率が低下する散気板<sup>1)</sup>と比較してメリットも大きい。

ここでは、メンブレン散気装置の機能評価と維持管理性向上を目的に調査を行い一定の成果を得たので報告する。

#### 2 調査目的

散気装置を評価する上で重要な運転指標である酸素移動効率、圧力損失といった因子の経年変化を把握し、今までに生じたトラブル等とその対応策を明確にすることで、メンブレン散気装置の維持管理の適正化とメンブレン散気装置の特性に応じた曝気システムの構築を目的とした。

さらにライフサイクルコスト算出の基礎項目であるメンブレン樹脂の寿命に関して、ある程度の目安をつけることによりメンブレン散気装置の導入によるコスト効果を明確にすることを目的とした。

#### 3 調査対象および調査内容

本調査は、最終調査時点で稼動から5年経過したK水再生センター(幅広タイプP型メンブレン散気装置<sup>2)</sup>)と稼動から4年経過したS水再生センター(細長タイプA型メンブレン散気装置<sup>3)</sup>)を対象とした。各センターの反応タンク諸元を表1に示す。

表1 調査対象反応タンクの諸元

槽 形 状	単 位	水再生センター	
		K	S
長さ	m	73	65
幅	m	7.0	9.0
有効水深	m	10.0	11.2
有効容量	m <sup>3</sup>	22,050	13,100
散気水深	m	4.3	3.7

調査内容は以下のとおりである。

- ① 酸素移動効率及び圧力損失の経年変化
- ② 空気倍率からの酸素移動効率の考察
- ③ メンブレン樹脂の物理強度劣化
- ④ 曝気風量と酸素移動効率の関係把握
- ⑤ 微細気泡散気装置の課題と対応策
- ⑥ 導入コスト効果の試算

## 4 結果および考察

### 4.1 酸素移動効率及び圧力損失の経年変化

#### 4.1.1 酸素移動効率

K水再生センターでは平成13年4月からP型メンブレン散気装置が稼動し、S水再生センターでは平成14年4月からA型メンブレン散気装置が稼動している。

装置評価のために酸素移動効率に関する調査を平成14年10月から実施した。その結果を図1,2に示す。

ここで、移動効率はオフガス法<sup>4)</sup>により測定した。図中のη1は表1の散気水深における酸素移動効率を表し、η2は水深5mに換算した酸素移動効率を表している。

図1より、測定ごとのバラつきは大きいが移動効率が経年的に下降している傾向は見られない。バラつきが大きいのは、通気風量等オフガス法の測定条件を毎回の測定ごとに常時一定にすることは困難であるためと考えられる。

通常の散気板は目詰まりのため0.25ポイント/年の割合で酸素移動効率が低下する傾向がみられる<sup>5)</sup>が、メンブレン散気装置の場合はこの傾向は認められなかった。メンブレン散気装置は、散気停止時に散気口が閉まるため、閉塞による移動効率の低下のリスクは散気板よりも小さいと考えられる。

また、A型メンブレン散気装置が平成15年から導入されているSセンターにおける酸素移動効率の経年変化を図2に示す。ここでもバラつきはあるものの経年的な低下傾向はみられなかった。

期間中の酸素移動効率の平均は、Kセンターでη1が19.8%、η2が22.1%であった。一方、S水再生センターではη1が20.6%、η2が24.1%であった。両者の違いは、散気装置の違いではなく槽形状の違いが大きく影響している<sup>6)</sup>。Kセンターは槽幅が7mとSセンターの10mと比較して狭く、幅の狭い分滑らかな旋回が困難なため酸素移動効率が低くなつたと考えられる。

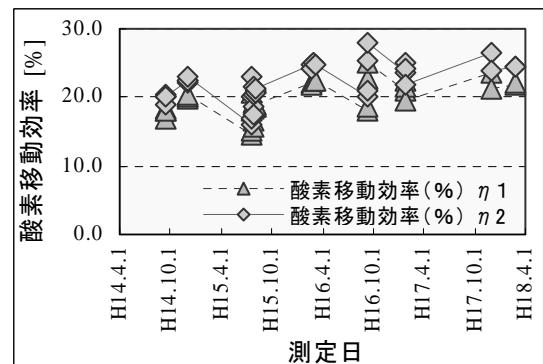


図1 K水再生センターにおけるメンブレン散気装置の

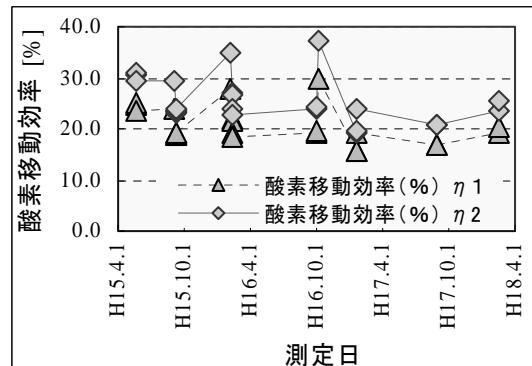


図2 S水再生センターにおけるメンブレン散気装置の酸

当局におけるメンブレン散気装置の導入では、同じプロワーに既存の散気板とメンブレン散気装置が接続される場合が多く、吐出圧を調整するためメンブレン散気装置は散気板より 30cm から 50cm 程度浅く設置される。したがって、設置位置が深い分酸素移動効率が低下し、S センターを例にとると水深 5m に設置すれば装置能力として 24% 程度の効率は期待できるはずが、実際は 20% 程度の効率となっている。

また、S センターの反応タンクは設計段階で硝化抑制の場合の必要風量を標準散気風量 ( $40\text{Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ) で割り戻して散気装置の枚数を決定しているが、実情は硝化促進型で運転されており、酸素要求量が大きい分通気風量が  $45\sim75\text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$  と標準風量を超えており、仮に調査時の散気風量を  $50\text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$  とすれば、硝化に必要な酸素消費量を見込んだ散気装置枚数を設置した場合と比較して酸素移動効率  $\eta_2$  は 3% 程度低下しているものと考えられる(4.4 章参照)。

#### 4.1.2 圧力損失

メンブレン散気装置の特徴は、散気板に比べて散気における圧力損失が大きいことである。圧力損失が高いということは散気におけるプロワー吐出圧の上昇を招く。

同じプロワーに散気板とメンブレン散気装置が混在し、しかもメンブレン散気装置の比率が散気板に比べて小さい場合には、メンブレン散気装置に必要な吐出圧で散気板にも送風を行うため、全体の散気に関わる動力(風量×吐出圧)がメンブレン散気装置の導入によりかえって動力が上昇する場合も考えられる。

このように散気装置の圧力損失は散気動力に大きく影響するため、目詰まりやメンブレン膜自体の劣化による硬化等の進行で圧力損失が経年的に上昇しないか把握する必要がある。

ここでは、メンブレン散気装置につながるライザー管に圧力計を設置し、圧力損失の経年変化の把握を目的とした調査を実施した。

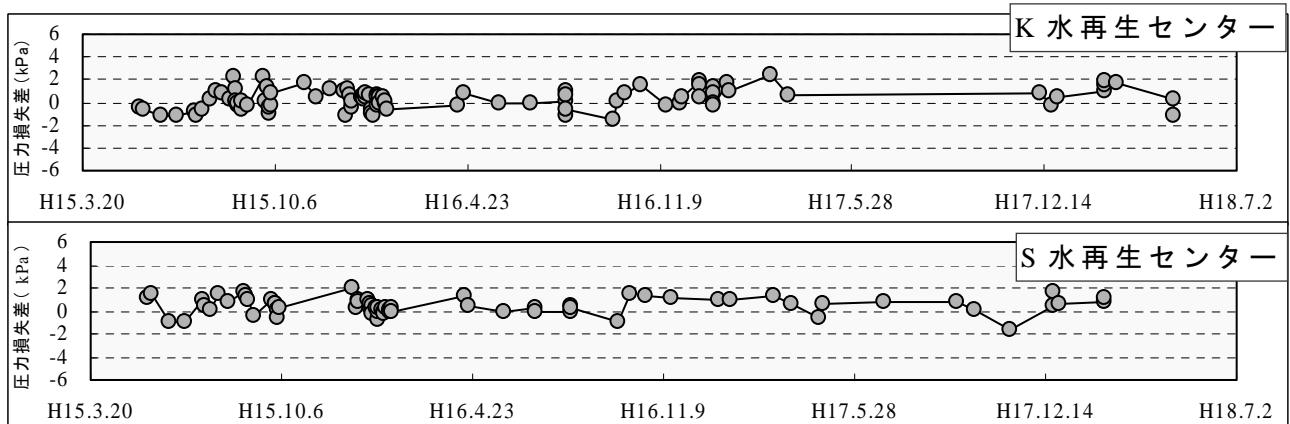


図 3 圧損の経年変化

図 3 に K センターと S センターの圧損の経年変化を示す。図は測定時の圧損から初期圧損を引いたもので、図を見ると分かるように  $\pm 2$  の範囲で変動しており経年的な上昇傾向は見られなかった。

両センターとも 1 日に 1~4 回のプローダウン操作を実施しており、膜表面に繁殖する生物性のスライム<sup>7)</sup>による散気孔の閉塞は防止されているものと考えられる。

#### 4.2 空気倍率からの酸素移動効率の考察

実施設の酸素移動効率測定は、通常 Rr 法やオフガス法で測定する。この場合タンク内の DO 変化がないことが測定の前提条件となるが、タンク内は大なり小なり DO 勾配があり、しかも微小時間の送風量も変化が激しいため DO は時々刻々変動しており測定データはバラつきが大きくなる。そこで、メンブレン散気装置の効率を相対的に評価する目的で、実槽で曝気空気量から送風倍率を求め、既設散気装置（散気板）と比較することにより、酸素移動効率を推定した。

K センターと S センターにおける送風倍率の経年変化を図 4、5 に示す。

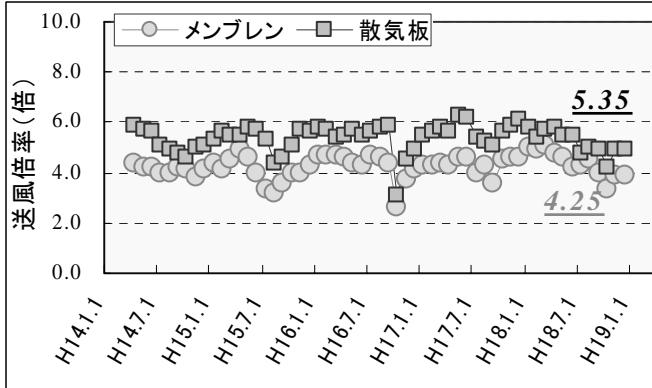


図 4 K センターの送風倍率の経年変化

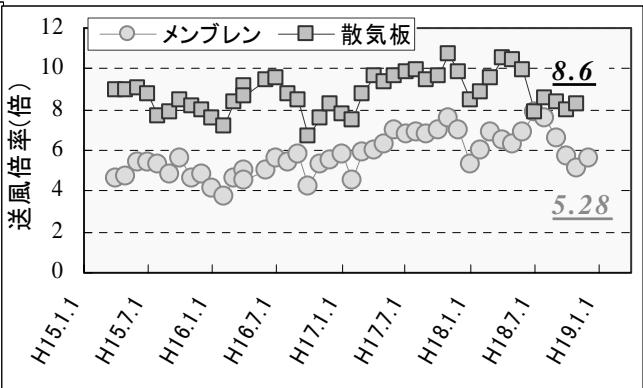


図 5 S センターの送風倍率の経年変化

図を見ると、どちらのセンターも散気板に比べてメンブレン散気装置の方が送風倍率が低いのは明確で、K センターでは 20% 程度低く、仮に散気板の酸素移動効率を 17% とするとメンブレンの効率は 21.4% 程度と計算された。一方、S センターではメンブレンの方が 39% 程度送風倍率が低く、この結果酸素移動効率は 27.7% と推定された。両センターの推定値もオフガス法の測定値の範囲に入っており、日常の維持管理では、測定器具も多数の測定員もいらない送風倍率を把握することが重要である。

#### 4.3 メンブレン樹脂の物理強度劣化

メンブレン散気装置の散気部分の膜はポリウレタン系の樹脂を多層に重ねたもので、新品のうちは弾性も大きく破損の可能性は低い。しかし、経年使用により樹脂の結合が解離して硬化していくため、一挙に弾性が低下し、通常の曝気に伴う応力でも膜が破損する場合も想定される。

技術開発課のメンブレン散気装置機能調査<sup>8)</sup>における試算では、散気板更新時にメンブレン散気装置に交換する場合、酸素移動効率が 22% あれば膜寿命が 8 年以上あれば散気板に交換した場合よりコストメリットを生じる（5 章参照）。このことから、9.5 年現場（米国）で使用したメンブレン樹脂の強度試験を実施した<sup>9)</sup>。その結果を表 2 に示す。ここで MD（縦）とは散気装置の長手方向で、TD（横）とは MD と直角の方向である。

米国の 9.5 年使用膜は引張試験において約 20% 程度の低下の可能性があるが、引裂

表 2 使用パネルの膜物性試験結果

試験	項目	単位	測定結果		
			未使用	3年使用 (国内)	9.5年使用 (米国)
引張 試験	引張り 強さ	MD(縦)	MPa	19.6	19.5
		TD(横)		17.6	18.9
	伸び	MD(縦)	%	570	580
		TD(横)		590	600
引裂き 試験	引裂き 強さ	MD(縦)	N/mm	76.3	85.1
		TD(横)		73.9	84.1

き強さはほとんど未使用膜と同強度である。曝氣で膜にかかる実際の応力は、0.71MPa程度であることから、9.5年経過した膜でも実用上強度的には問題ないと考えられる。

また、別途 A 型散気装置のメーカーに依頼して行った、膜を 5%、20% 硫酸中に浸漬した場合の強度試験では、調査開始前と約一年経過した時の膜の引張強度はほとんど変化がなく、膜素材の化学強度も高いことが分かった<sup>10)</sup>。

#### 4.4 通気風量（散気面積）と酸素移動効率の関係把握

酸素移動効率は反応タンクに供給した空気中の酸素がどの程度曝氣液に溶解したか表す指標で、曝氣液に溶解した酸素量と供給した空気中に含まれる全酸素量の比率で表される。従って、酸素の気液平衡定数に影響の大きな曝氣液の水温や供給空気の温度、気泡径、気泡と曝氣液の接触時間、曝氣液の水質等に大きく左右される変数であり、定数ではない。

単位面積あたりの通気風量も酸素移動効率に影響を与える因子で、散気板では通気風量の増加で酸素移動効率が低下する現象が認められているが、メンブレン散気装置においても同様の傾向があるか調査を実施した。

図 7 は、S センターにおけるメンブレン散気装置単位面積あたりの通過風量と酸素移動効率の関係を表したものである。通気風量が増加すると移動効率が低下する傾向がみられる。清水においても同様の傾向がみられることから、メンブレン散気装置も散気板と同様、酸素移動効率は単位面積あたりの通気量に左右される値であることが分かる。相関式から移動効率を算出すると、A 型装置の設計風量である上限である  $43\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$  ではおおよそ 22% 程度あるのに対し、下限である  $27\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$  では約 27% と 5 ポイント以上も高くなる結果となる。このことから、散気装置の枚数を減らせば、イニシャルコストは低下するが、散気装置単位面積あたりの風量が増加するため散気にかかる動力コストは上昇することになる。一方、枚数を増やせば、イニシャルは増加するが、動力は低下する。このイニシャルと動力のバランスが一番良いポイントを選択して散気装置の枚数を決定する必要がある。

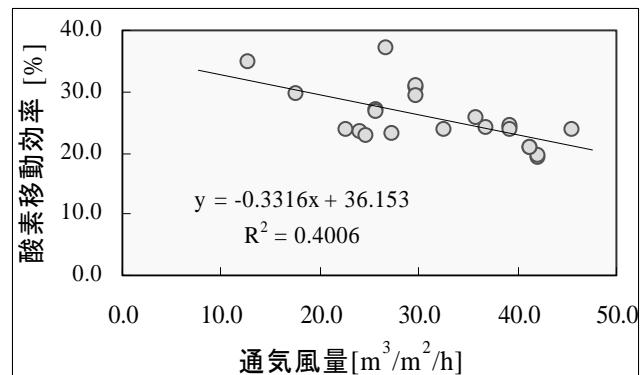


図 7 散気装置通気風量と酸素移動効率

#### 4.5 メンブレン散気装置の課題と対応策

メンブレン散気装置は、発泡面積を十分に確保し設計風量以下で運転すれば、幅が 8m 以上ある槽では 25% 以上の酸素移動効率を得ることができ、30% 程度は送風動力を削減することが可能となる。

一方、メンブレン散気装置は目詰まりの進行で圧損が上昇し曝氣不能となる場合がある。曝氣槽でメンブレン外側表面に付着するスライム（マイクロバクテリウム）<sup>11)</sup>については、1 日 1 回以上のプローダウン（あるいはプローアップ）を実施すれば孔の閉塞のリスクはほぼ解消されるが、散気空気に混入した粒子状の物質による内側から

の閉塞はブローダウンのような操作でも解消されない。

Sセンターにおいても調査対象池の1年後にメンブレン散気装置を導入した池において、圧力損失が上昇する現象が見られた。原因の特定は困難であるが、稼動当初にブローダウン操作がうまく行われていなかったこと、メンブレンパネル内部に黒色の煤状の物質が蓄積していたことなど、散気孔の閉塞による可能性も否定できない。

また、他のセンターにおいても急激な圧力損失の上昇が起こったことがあり、Sセンターの場合と同じようにパネル内部に黒色の煤状物質の蓄積が見られた。この煤状物質を化学分析したところ、主成分は高沸点の脂肪族炭化水素および脂環式炭化水素の混合物で比較的鉛油に多く見られる成分であった。一方、散気空気中の粒子状物質を捕捉して分析したところ、主成分はガソリン由来と考えられる比較的低沸点の成分が多く、このセンターが交通量の多い高速道路の真下にあることから、自動車排気ガス中の粒子状物質の影響と考えられた。この粒子状物質とメンブレンパネル中の黒色物質とは成分が異なっており、散気管の内部に付着したタール状の物質が何らかの影響で剥離しメンブレンパネルに到達した可能性も考えられる。

いずれにせよ散気空気中の粒子状物質はメンブレンパネルの目詰まりの原因となる可能性があり、メンブレン散気装置の導入にあたっては、フィルターによる散気空気中の粒子状物質の除去が必要で、さらに送風配管に錆や付着有機物が多く見られる場合には配管の交換も必要となる。また、汚泥処理の臭気などの有機物を多量に含む空気は散気管内部に付着物を増加させる原因ともなるため散気に絶対に使わないなどの注意が必要となる。

ブローダウンを1回/日以上行っていても圧力損失が上昇する場合は、ブローダウンの回数を増やしても改善効果はあまり認められない。この場合は、ブローダウンより散気風量を一時的に上げるブローアップの方が改善効果は高い。その場合には、プロワーの吐出圧にある程度余裕が必要であることから、メンブレン散気装置の圧力損失に対し吐出圧に余裕があまりないプロワーにメンブレン散気装置を接続する場合は、プロワーの吐出圧を考慮して散気水深を決定する必要がある。また、プロワー諸元から散気水深をあまりにも浅く設置しなければならない場合には、酸素移動効率が低下するため導入を控えた方が良い場合もあり、導入にあたっては散気システム全体における評価が必要である。

また、当局の多くの導入事例のように、同じプロワーにメンブレンと散気板が接続されている場合には、メンブレンの吐出圧に合せてプロワーを運転しなければならず、酸素移動効率上昇による動力削減がプロワー圧の上昇による動力上昇に相殺され導入効果があまり認められない場合もある。メンブレン散気装置の導入が進めばこのような問題はいずれ解消されるが、その場合でも散気板を想定した風量と吐出圧のプロワーを使い続けるよりも、メンブレン散気装置の必要風量と圧力損失に適合したプロワーを耐用年数前の既存プロワーと交換した方が大きな省エネ効果が得られることもあることから慎重な検討が必要である。

さらに、Sセンターのように散気板の系列が圧倒的に多く、しかもメンブレン散気装置を導入した池がプロワーからかなり離れている場合には、メンブレン散気装置と散気板のプロワーを分離し、メンブレン散気装置の必要送風量と吐出圧に見合ったブ

ロワーの新たに設置すること、最も効率的な水深(5m程度)にメンブレンを設置すること、などが好ましい。

## 5 導入コスト効果の試算

メンブレン散気装置の酸素移動効率は、その発泡原理と溶解平衡に関する理論的考察から考えると、既存散気板より確実に高いといえる。このため、曝気に必要な空気量は散気板の場合より少なくて済むことから、エネルギー削減としては排出二酸化炭素の削減や処理コストの削減に寄与する技術として注目されている。

しかし、曝気における圧力損失が大きくプロワーの吐出圧の上昇につながりその分プロワー動力を上昇させる。従ってエネルギー削減の評価では、風量の減少による効果から吐出圧上昇による動力上昇を差引く必要がある。

さらに、メンブレン散気装置は日本の処理場に導入されてまだ10年程度しか経過していないことから、物理的・性能的耐用年数が必ずしも明確になってはいない。このため、動力削減による経費の縮減と装置の耐用年数で決まる減価償却費の関係から算出される導入のメリットに関する検討がほとんどなされていない。

ここでは、経年的な酸素移動効率の低下や圧力損失の上昇が起きないと仮定し、性能や寿命が確立されている散気板とコスト(イニシャル+ランニング)が同等となるのに必要な耐用年数と酸素移動効率の関係を試算した。

試算に使用した基本的条件は以下のようである。

- ・イニシャルコスト

メンブレン散気装置および散気板の導入実績値を水量10,000m<sup>3</sup>/日あたりの原単位換算し、散気板に対するメンブレン散気装置のコスト比で検討する。

- ・散気板耐用年数は10年

- ・減価償却費は、 $Y=X/N$

- ・残存価格は、下記の定額法とする。

$$Y_n = X - ((X - 0.1X)/N) \times n$$

償却率 =  $1/N$  年

ただし、

X : 当初取得価格(円)

Y<sub>n</sub> : n年目の残存価格(円)

N : 耐用年数(年)

n : 導入後の経過年数(年)

- ・散気水深 : 5.0m

散気板、メンブレン散気装置とともに同じ散気水深とする。ただし、両者の圧力損失の差を5kPaとし、これによる消費動力の差を考慮する。

- ・酸素移動効率  $E_A$  (清水、20°C、101.3kPa)

散気板の移動効率は17%とする。

- ・必要風量

槽の構造、水質が同一の条件では下記に示すように「効率の差 = 風量の差」となる。

$G_1$  : 散気板必要風量 [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]

$G_2$  : メンブレン散気装置必要風量 [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]

$$G_1 = \frac{SOR \times (273+T)}{81.7 \times E_A \times 10^{-2}} = \frac{SOR \times (273+20)}{81.7 \times 17 \times 10^{-2}}$$

$$G_2 = \frac{SOR \times (273+T)}{81.7 \times E_A \times 10^{-2}} = \frac{SOR \times (273+20)}{81.7 \times E_A \times 10^{-2}}$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{17}{E_A}$$

#### ・ 所要動力

大気条件や反応タンクの水温等の条件が同じであれば送風機の所要動力は、下記に示すように、風量と圧力損失の積に比例しその差が所要動力の差となる。

#### ① 理論断熱空気動力 LAD[kW]

$$L_{AD} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \times \frac{P_S \times Q_S}{60} \times \left\{ \left( \frac{P_D}{P_S} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right\}$$

$\kappa$  : 空気比熱比  $C_P/C_V$

$P_S$  : 吸込み空気の絶対圧力 [kPa]

$Q_S$  : プロワ吸込み空気量

$P_D$  : 吐出空気の絶対圧力 [kPa]

#### ② 所要動力 LS[kW]

$$LS = \frac{L_{AD}}{\eta}$$

$\eta$  : 全断熱効率 [%]

### 5.1 試算ケース

比較ケースとして、新設の場合と既設更新の場合を考える。

各方式は以下の考え方とする。

新設 : 新規にメンブレン散気装置を設置する場合

既設更新 : 既設に散気板が設置されており、耐用年数に達していないものとする。なお散気板は残存価値が 1 年、3 年及び散気板耐用年数の 1/2 にあたる 5 年である場合を想定する。

図 8 に試算手法の全体フローを図 9 に試算結果を示す。

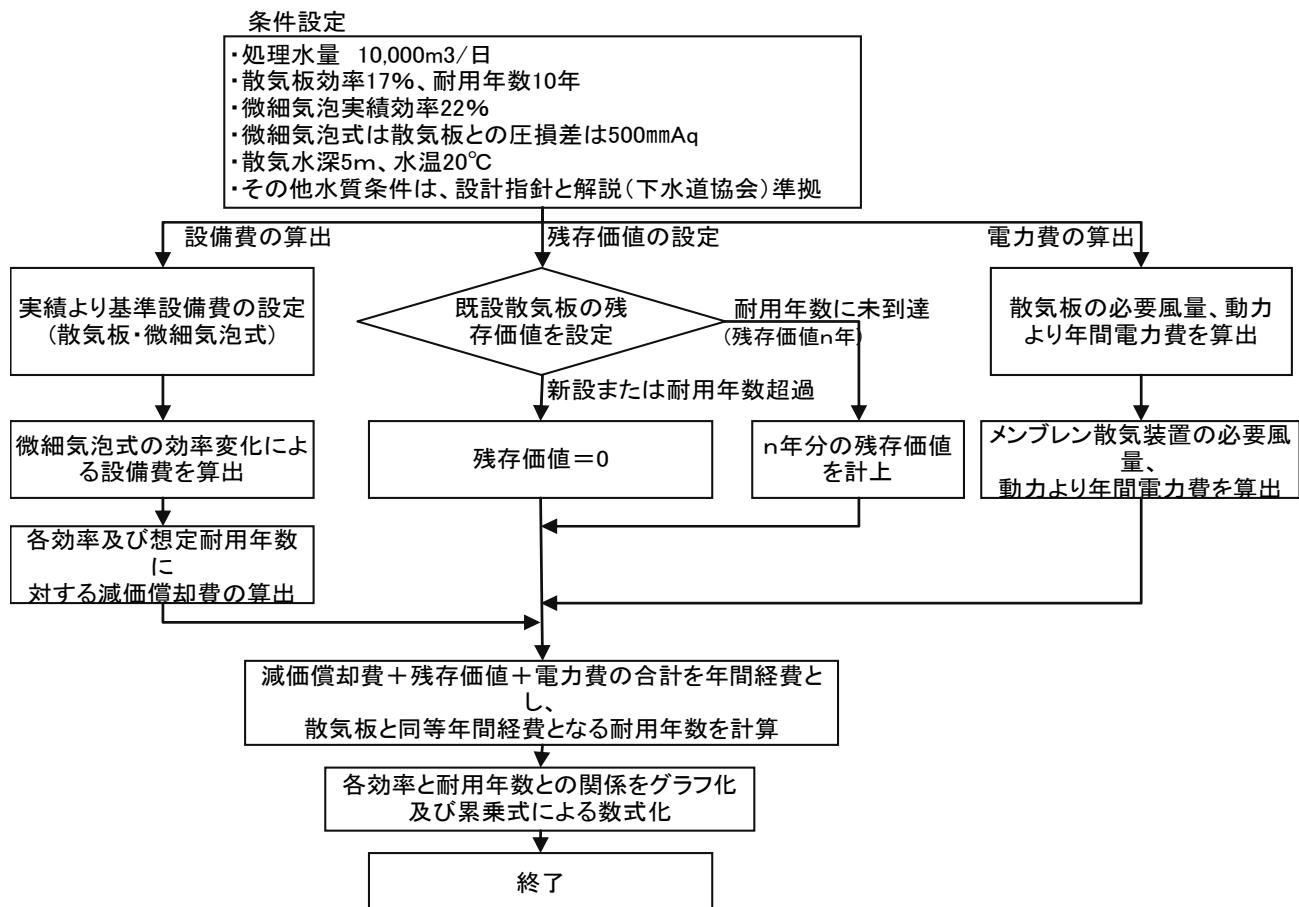


図 8 経済性検討試算フロー

試算結果を図 9 に示す。

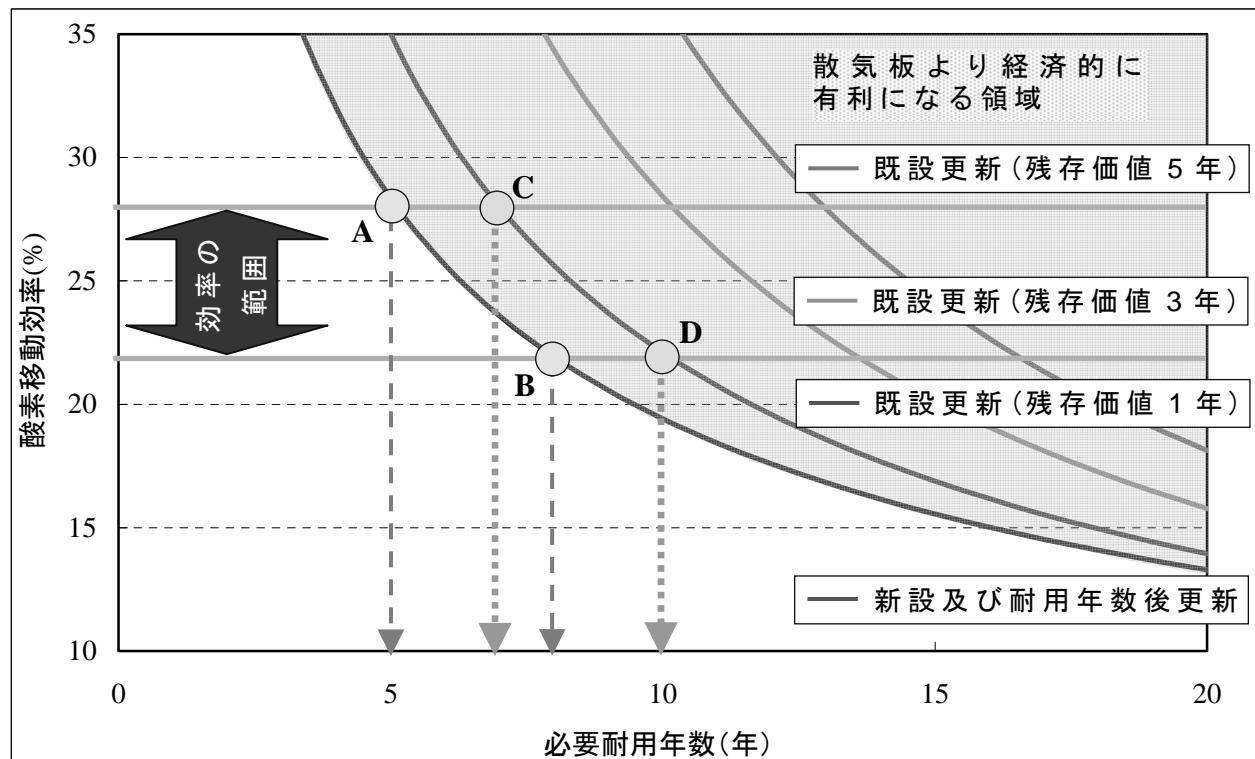


図 9 メンブレン散気装置の経済的効果

図9は散気板と同等のライフサイクルコストとなるために必要なメンブレン散気装置の寿命と酸素移動効率の関係を表し、図中の曲線は左から新設及び耐用年数経過後に更新した場合、耐用年数1年前に更新した場合、耐用年数3年前に更新した場合、耐用年数5年前に更新した場合を表している。

残存期間が長いほどメンブレン散気装置のイニシャルコストに残存価値が上乗せされるので、より長寿命か酸素移動効率が高くないと散気板と同等の経費とならないことが分かる。

図中の二本の横線は、これまでの反応タンク実測値から想定されるメンブレン散気装置の実質的な酸素移動効率の範囲を示している。

新設の場合や耐用年数を超えた散気板の更新では、移動効率が28%を確保できれば図中のA点の寿命である5年で散気板のコストと同等となり、それ以上の寿命であればコストメリットを生じることになる。同様に22%の場合には図中のB点である8年程度の寿命が必要となる。

一方、残存価値を残した状態で前倒しの更新を行う場合コストメリットを確保するためには、より長寿命であることが必要となる。例えば、1年の前倒しでは28%の効率であっても7年以上(C点)の、22%であれば10年以上(D点)の寿命が必要となる。

メンブレン散気装置の国内における稼動実績で最長は9年を経過していることや海外での実績から、装置の寿命は8年程度以上であると考えられる。従って、新設か耐用年数後の更新ではコストメリットは確保できる。さらに、移動効率の最低ラインである22%は、主に槽幅が7mと狭い反応タンクの実績値で槽幅が8m以上の反応タンクで設計風量程度の曝気であれば24%程度以上の移動効率は確保可能と考えられるためコストメリットが大きくなる。

ただし、4.1.2にも記述したとおり同じプロワーに散気板とメンブレン散気装置が繋がっており、しかも散気板の比率が多い場合には、プロワーの吐出圧がメンブレン散気装置に合せて高くなるため、既存の散気板の系列の動力が上昇するためメンブレン散気装置の風量削減効果を相殺し反って動力が上昇してしまう場合もある。メンブレン散気装置の導入にあたっては、風量計算に加えて圧力損失の効果も慎重に検討し、計画的な導入が必要である。

## 6 まとめ

- ・オフガス法で測定した酸素移動効率の経年変化は、バラつきはあるものの経年的な低下は見られなかった。また空気倍率から推定した移動効率もほぼオフガス法のレベルで低下傾向は認められなかった。
- ・圧力損失は送風量により増減するが、送風量で除した圧力損失は一定の範囲内で上昇は認められず、4~5年の使用では顕著な目詰まりや膜の劣化(硬化)は生じていなかった。
- ・酸素移動効率と単位面積あたりの通気風量の間には負の相関が認められた。散気装置数の増加は単位面積風量の低減につながり移動効率の上昇に寄与するが、イニシャルコストの上昇を招く。イニシャルと動力のバランスが一番良いポイントを選択して散気装置の枚数を決定する必要がある。

- ・ 9.5 年使用したメンブレン装置の膜強度は引張強度で 2 割程度低下していたが、曝気にかかる応力は強度の 1/20 程度であり、この段階では使用に問題がない。
- ・ メンブレン散気装置の経済的導入効果の試算では、新設及び耐用年数後更新では酸素移動効率が 22% 程度でも装置寿命が 8 年以上であればコストメリットを生じる結果であった。ただし、この試算は散気板とメンブレン散気装置が混在し共通のプロワーで散記している場合を想定していない。このような場合には、散気板の系列における動力上昇で試算より長い寿命が必要となる。その程度は散気板とメンブレン散気装置の比率によって異なる。

#### 謝 辞

本研究は、三機工業株式会社、月島機械株式会社、株式会社 NGK 水環境システムズの多大な協力の下実施した。関係各位に深く感謝する。

#### <参考文献>

- 1),5) 東京都下水道局 施設管理部(1999) 区部処理場 酸素移動効率調査報告書
- 2),3) (財)下水道新技術推進機構(2005) メンブレンパネル式散気装置技術マニュアル, PP6
- 4) 東京都下水道局 計画調整部(2004) 高効率散気装置の開発に関する調査委託報告書, 資料編 2
- 6) (財)下水道新技術推進機構(2005) メンブレンパネル式散気装置技術マニュアル, PP27
- 7) 東京都下水道局 計画調整部(2004) 高効率散気装置の開発に関する調査委託報告書, PP6-57~6-66
- 8) 東京都下水道局 計画調整部(2004) 高効率散気装置の開発に関する調査委託報告書, PP6-40~6-44
- 9) 月島機械株式会社 技術資料
- 10) 三機工業株式会社 技術資料

### 3-(1)-2 省エネルギー型ハニカム濃縮機に関する共同研究

施設管理部 施設保全課 椿野 貴史

#### 1. はじめに

当局では、区部の水再生センターで発生する汚泥を効率的に処理するため、臨海部の汚泥処理施設への集約化を進めている。しかし、集約処理では汚泥の長距離輸送が必要となり、汚泥が長時間かけ嫌気性雰囲気の中を輸送されることで腐敗・変質を生じ、処理を困難にすることがある。

また、当局は都内の約1%の電力を使用する大口の使用者であり、電力使用により多くの二酸化炭素を排出している。一方で、今後も公共用水域の一層の水質向上を図ることで多くの電力を使用し、それに伴い、二酸化炭素排出量の増加が見込まれているため、これまで以上に自然エネルギーの導入や省エネルギー施策の推進などによるエネルギーの有効活用を図り、二酸化炭素の排出量を抑制することが求められている。

このような背景により、広範囲な汚泥性状に対応した処理性能に加え、地球温暖化防止及びコスト縮減の観点から省エネルギー型の濃縮機の開発を行うため、新河岸水再生センターに実証試験機を設置して、調査・研究を行ってきた。

昨年度、研究期間を終了し、一定の成果が確認できたので報告する。

#### 2. 開発の目標

開発目標は、既存の機械濃縮機以上の処理性能及び低コスト、低環境負荷を有する機械濃縮機の開発である。この要件を満たす機器として、本研究では回転円盤式汚泥濃縮機（以下、ハニカム濃縮機という。）を用いて調査を行った。

#### 3. ハニカムスクリーンを用いた濃縮技術

汚泥濃縮は汚泥の固液分離であり、汚泥の濃縮が不十分なときは、後段の汚泥処理の効率低下を招くばかりでなく、懸濁物を多量に含んだ分離液が水処理施設に戻り、処理水の水質悪化の原因となることがある。従来の濃縮技術である重力濃縮、遠心濃縮、浮上濃縮は、汚泥と分離液の比重差を主に利用している。

一方、ハニカムスクリーンを用いた濃縮技術は、高分子凝集剤の架橋吸着作用によりフロックを形成し、スクリーンにより固液分離をする技術である。高分子凝集剤は有機系の化合物であり、疎水性のポリマー鎖の末端に親水基が結合したものである。高分子凝集剤が持つ架橋吸着作用により微細な粒子の結合が可能であり、汚泥は数mm～数十mmのフロックとなる。分離液には懸濁物が少なく、固体物の回収率が高くなるとともに、濃縮汚泥との分離が容易である。

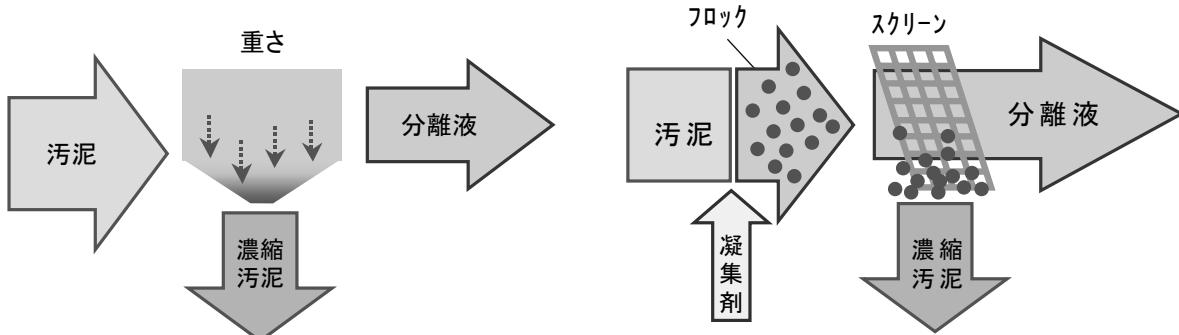


図1 従来の濃縮技術

図2 ハニカム濃縮機

## 4. 技術内容

### (1) ハニカムスクリーンの構造

ハニカムスクリーン（図3）は、特殊ステンレス鋼（SUS316L相当）を、円盤状に平板と波板を交互に積層させたハニカム構造体とし、ろ過方向に10~20mm厚の円板体に形成したものである。ハニカムスクリーンは、ろ過方向に厚みを大きくとれるため、必要な強度、耐摩耗性を確保しながら開孔率を大きくすることが可能で、ろ液の排除能力が高い。

また、繊維状物の巻き付きによる閉塞が生じにくく、付着した汚泥フロックの剥離性が良いため、連続処理に適している。

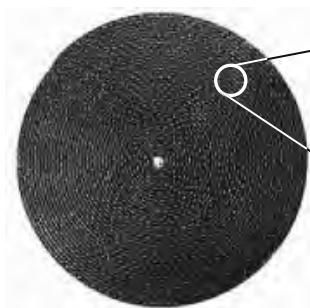


図3 ハニカムスクリーン

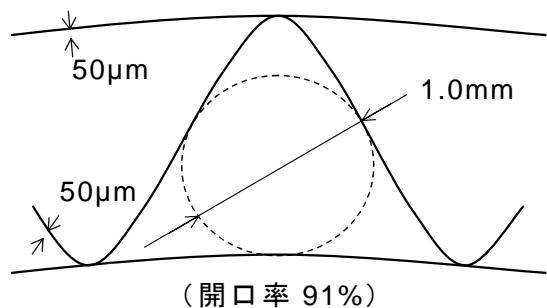


図4 スクリーンの構造

### (2) ハニカム濃縮機の原理

ハニカムスクリーンによる汚泥濃縮の原理を、図5に示す。汚泥に高分子凝集剤を添加し、フロックを形成する。フロック化した汚泥は、スクリーンにより濃縮汚泥と濃縮分離液に固液分離される。スクリーンは中心を軸として低速回転（10rpm程度）しており、水洗浄によりスクリーンに付着した汚泥を容易に剥離することが可能である。

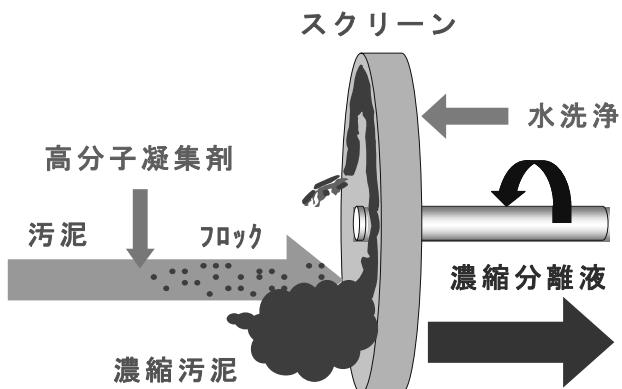


図5 汚泥濃縮の原理

## 5. 濃縮機の構造

濃縮機の動作区分を図6に示す。汚泥は、高分子凝集剤の注入により調質され、フロックを形成し濃縮機に投入される。2枚で1ユニットとなる円盤状のスクリーンは、低速で連続回転しながら、①ろ過 ②濃縮 ③排出 ④洗浄の工程を繰り返す。スクリーンは、下半分が汚泥に浸漬しており、水頭差がろ過の推進力として作用する。フロック化した汚泥は、ろ過に伴いスクリーンに付着したまま移動する。流下方向に汚泥の濃度差が形成され、濃縮された汚泥は排出トラフを越流しホ

ツバに貯留される。スクリーンは装置の上流側で圧力水により洗浄され、ろ過面が連続的に更新される構造である。

濃縮機の構造を図7に示す。直径1,000mmのスクリーンを複数枚用いており、汚泥はスクリーンの間に投入される。汚泥は10rpm前後で低速回転するスクリーンの回転に連動してろ過され、流下方向に移動して濃縮され、排出トラフを越流しホッパに貯留される。スクリーンを通過した濃縮分離液は、ろ液排出管より排出される。

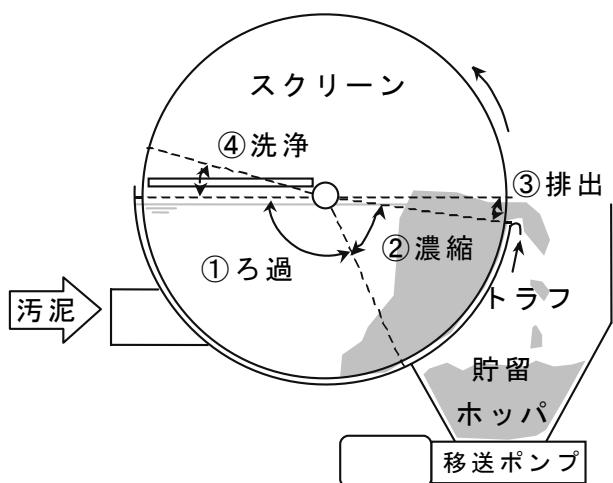


図6 濃縮機の動作区分

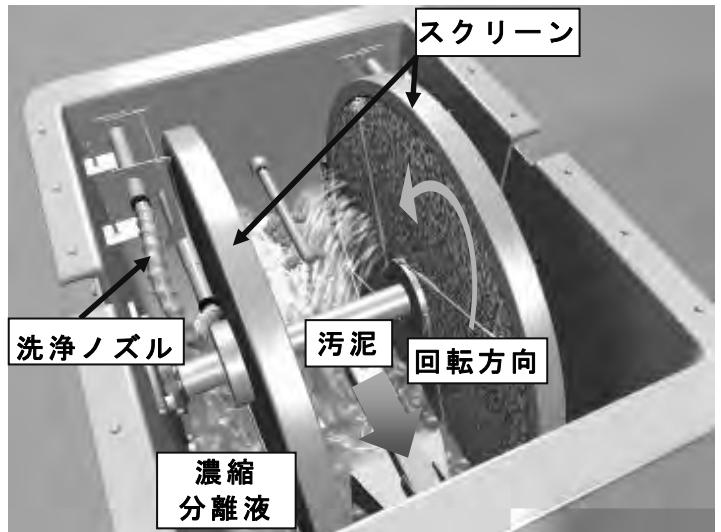


図7 濃縮機の構造

## 6. 濃縮機の特長

ハニカム濃縮機の特徴として、以下のようなものが挙げられる。

### (1) 所要動力が少ない

汚泥処理量 100m<sup>3</sup>/h の最大機種においても、本体駆動装置用で 1.5kW×2 台、凝集装置用で 3.7kW と非常に小さい。

### (2) 汚泥の剥離が容易でろ過性能が高い

ろ液がスクリーン内部に含水されることから、背面からの洗浄で容易に汚泥フロックを剥離でき、スクリーンの閉塞を防止できる。洗浄によりスクリーンの 1 回転ごとにろ過面が更新されるのでろ過性能が高い。

### (3) スケールアップが比較的容易

スクリーンの枚数（ユニット数）を並列に構成することで、大容量処理が可能となる。

### (4) 構造がシンプル

構成部品が少なく構造がシンプルで、運転・維持管理が容易である。

### (5) 濃縮汚泥濃度を任意に調節可能

凝集剤注入率やスクリーン回転数等の操作因子で、濃縮汚泥濃度を任意に調節できる。

### (6) 騒音・振動が少ない

スクリーン回転数の操作域は 10~20rpm 程度の低速のため、振動・騒音が少ない。そのため防振装置や防音カバーが不要で、回転体の寿命が長くなる。

### (7) 臭気対策が容易

濃縮機本体が密閉構造のため、臭気漏れが少なく作業環境が良好になる。

### (8) 凝集剤注入率が高い（デメリット）

凝集剤の作用を利用した濃縮技術であるため、遠心濃縮機に比べ濃縮機単体での凝集剤注入率は高い。

## 7. 実証試験

### 7.1 試験内容

#### (1) 実証試験に向けた基本性能試験

スクリーン直径 1,000mm×4 枚タイプの濃縮機を使用し、安定した自動運転ができるよう、設備の運転操作因子を把握する。

#### (2) 濃縮システムの実規模実証試験

表 1 に示す性能目標値に対して、四季変動を満たしたデータを採取し、実用性を実証する。

表 1 性能目標値

凝集剤注入率	0.5%-TS 程度
濃縮汚泥濃度	4.0%程度
固体物回収率	95%以上

#### (3) スケールアップ時の汚泥分配誤差の影響評価

本濃縮機は、スクリーンを並列に連結することでスケールアップを行う。スケールアップの際には、本体に汚泥を均等分配する必要があるため、均等分配方法について検証する。

### 7.2 実証試験設備の概要

実証試験設備の設置状況を図8に、稼動時の濃縮機内状況を図9に、設備フローを図10に示す。

高分子凝集剤を注入し調質した汚泥を凝集混和槽でフロック化した後、ハニカム濃縮機に投入し、ハニカムスクリーンにより、ろ液と濃縮汚泥に分離する。



図 8 実証試験設備設置状況

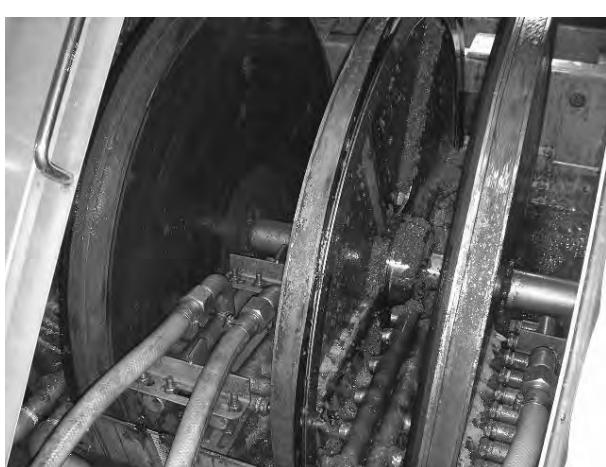


図 9 稼動時の濃縮機内状況

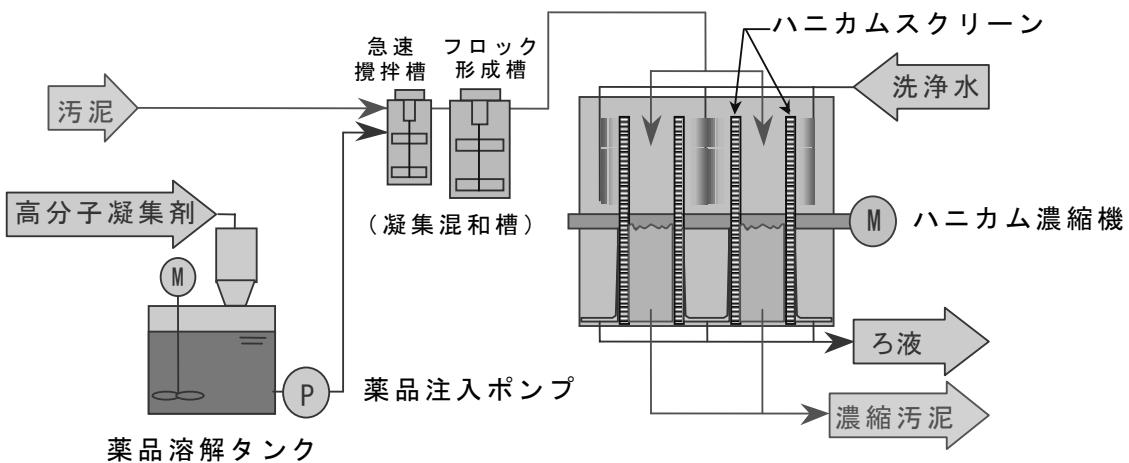


図 10 設備フロー

表 2 試験設備仕様

名 称	仕 様
ハニカム濃縮機	汚泥処理量 : 20m <sup>3</sup> /h 外形寸法 : W1,390mm×L1,750mm×H1,640mm スクリーン直径 : φ1,000mm×厚さ 10mm×4枚 ろ過面積 : 2.6m <sup>2</sup> 電動機出力 : 0.4kW
急速攪拌槽攪拌機	形 式 : 減速式攪拌機 回転数 : 180rpm 電動機出力 : 0.4kW
急速攪拌槽	外形寸法 : φ300mm×H800mm 容 量 : 0.056m <sup>3</sup>
フロック形成槽攪拌機	形 式 : 減速式攪拌機 回転数 : 180rpm 電動機出力 : 0.4kW
フロック形成槽	外形寸法 : φ600mm×H1,000mm 容 量 : 0.282m <sup>3</sup>
薬品溶解タンク	外形寸法 : φ1,500mm×H1,680mm 容 量 : 3.0m <sup>3</sup>
薬品注入ポンプ	形 式 : 一軸ネジ式ポンプ 仕 様 : 20A×12L/min×20m 電動機出力 : 0.4kW

### 7.3 基本性能試験（運転操作因子の把握）

#### (1) 急速攪拌槽攪拌機回転数

標準負荷条件（処理量 20m<sup>3</sup>/h、流入汚泥濃度 0.5~1.5%）において、流入汚泥と凝集剤の急速攪拌条件を最適化するための試験を行った。

実証試験機では、流入汚泥と凝集剤の凝集混和を二段階の攪拌槽（急速攪拌槽とそれに続くフロック形成槽）を用いて行った。凝集混和によって得られるフロックの性状は急速攪拌槽とフロック形成槽それぞれにおける攪拌機回転数の組み合わせによって決定する。ここでは、フロック形成槽攪拌機回転数が大きいとき（図 11A）と同回転数が小さいとき（図 11B）において、急速攪拌槽攪拌機回転数を変化させ最適値を探査した。

結果、フロック形成槽における回転数が大きい場合、急速攪拌槽の回転数は濃縮性能に影響

を与えない。一方で、フロック形成槽の回転数が小さいときは、急速攪拌槽の回転数と濃縮性能に正の相関が認められた。

凝集混和における急速攪拌の役割は、流入汚泥と凝集剤を速やかに完全混合することにある。したがって、その攪拌機の回転数は大きくする必要がある。しかし、フロック形成槽の回転数が十分に大きいときは、急速攪拌槽における混合が不十分な場合にも、フロック形成槽で最終的に完全混合されることが確認されたといえる。

結論として、急速攪拌槽の攪拌機回転数は 150rpm 以上が適正と考えられる。(150rpm は、本実証試験機の攪拌機仕様の上限値、180rpm は仕様範囲外での試行である。)

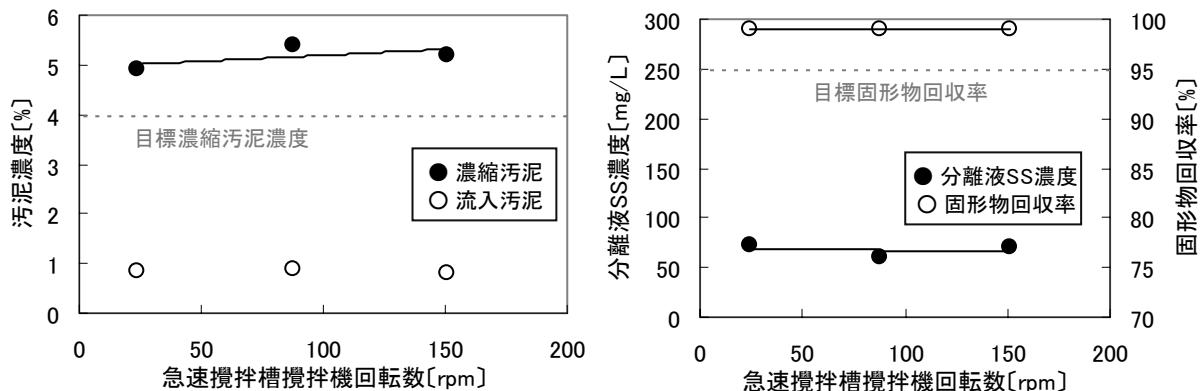


図 11A 急速攪拌槽攪拌機回転数による性能変化  
(フロック形成槽攪拌機回転数 111rpm)

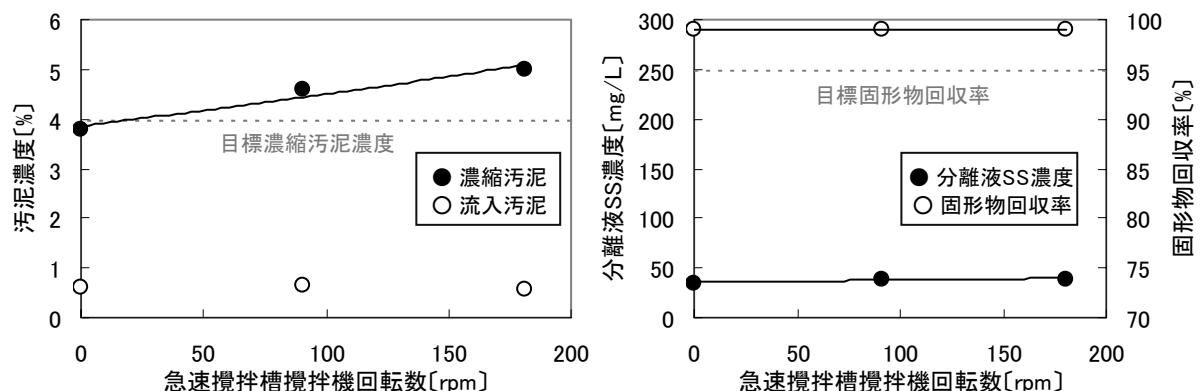


図 11B 急速攪拌槽攪拌機回転数による性能変化  
(フロック形成槽攪拌機回転数 0rpm)

## (2) フロック形成槽攪拌機回転数

標準負荷条件（処理量 20m<sup>3</sup>/h、流入汚泥濃度 0.5~1.5%）において、フロック形成条件を最適化するために、フロック形成槽攪拌機回転数を検討した。

フロック形成槽では、前段の急速攪拌槽で完全混和された流入汚泥と凝集剤を比較的緩やかに攪拌することで凝集作用を促進し、ハニカム濃縮に適したフロック径に調整する。ここでは、凝集剤注入率を低めに設定した場合（図 12A）と高めに設定した場合（図 15B）においてフロック形成槽攪拌機回転数を変化させた。

凝集剤注入率が低めのときは、フロック形成槽の回転数と濃縮汚泥濃度は負の相関を示した。

一方で、凝集剤注入率が高めのときは、フロック形成槽の回転数と濃縮汚泥濃度には正の相関が認められた。

凝集剤注入率が低めのときは、フロック形成槽攪拌機回転数を大きくしすぎるとフロックが微細化され、目標濃縮汚泥濃度を達成しにくいといえる。また、フロックの微細化に伴い分離液中の浮遊物質濃度が大きくなることが確認された。反対に、凝集剤注入率が高めの場合、フロック形成槽攪拌機回転数が小さいと固液分離の難しい粗大フロックが形成されるために十分な濃縮濃度を得にくいことが分かった。

結論として、フロック形成槽攪拌機回転数は、濃縮濃度の極端な低下を招かないよう、試験範囲である 0~150rpm の中間 75rpm 付近が妥当と考えられる。

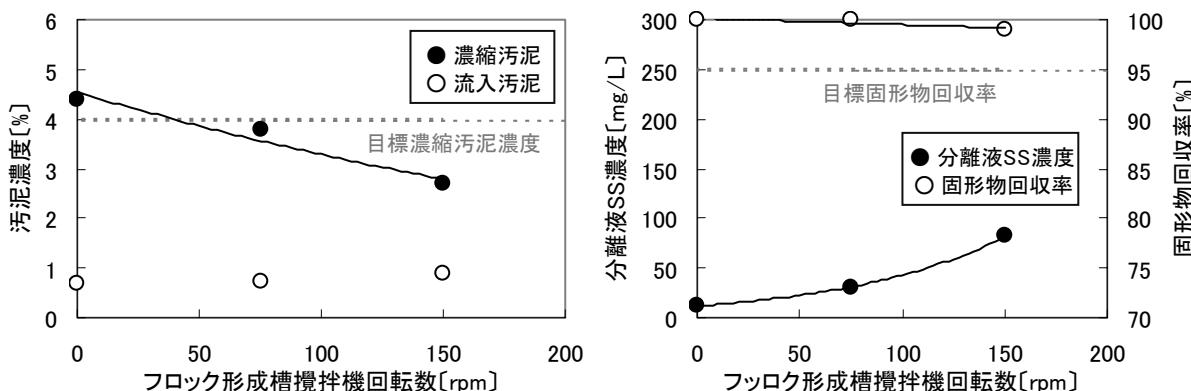


図 12A フロック形成槽攪拌機回転数による性能変化（凝集剤注入率：0.42~0.44%）

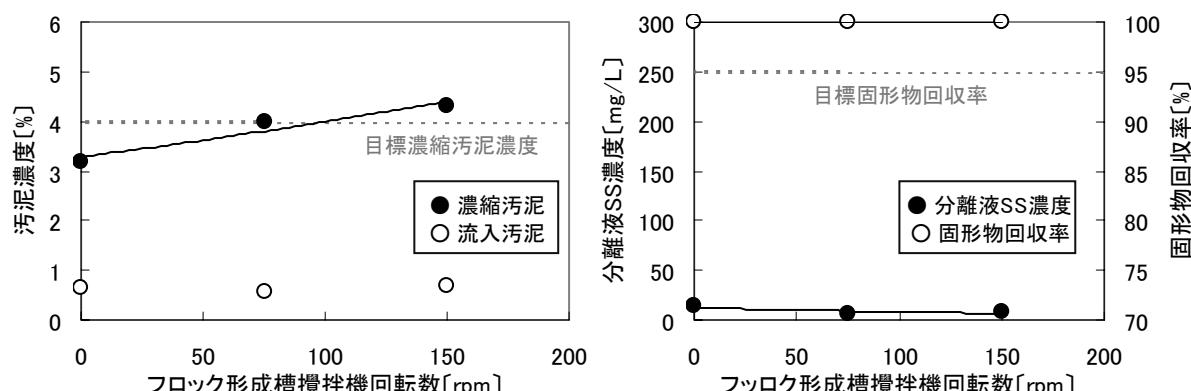


図 12B フロック形成槽攪拌機回転数による性能変化（凝集剤注入率：0.53~0.55%）

### (3) 凝集剤注入率

標準負荷条件（処理量 20m<sup>3</sup>/h、流入汚泥濃度 0.5~1.5%）において、フロック形成条件を最適化するために、凝集剤注入率を検討した。

試験後半では、流入汚泥濃度の低下（流入汚泥濃度 0.5%以下）の影響を受けたことが懸念されるが、低濃度汚泥でのデータ採取が行えたことから合わせて表記する。

結果として、凝集剤注入率 0.5~0.7%付近で濃縮汚泥濃度がピークに達することが示された。固体物回収率は、0.34%以上の凝集剤注入率で目標性能を上回った。

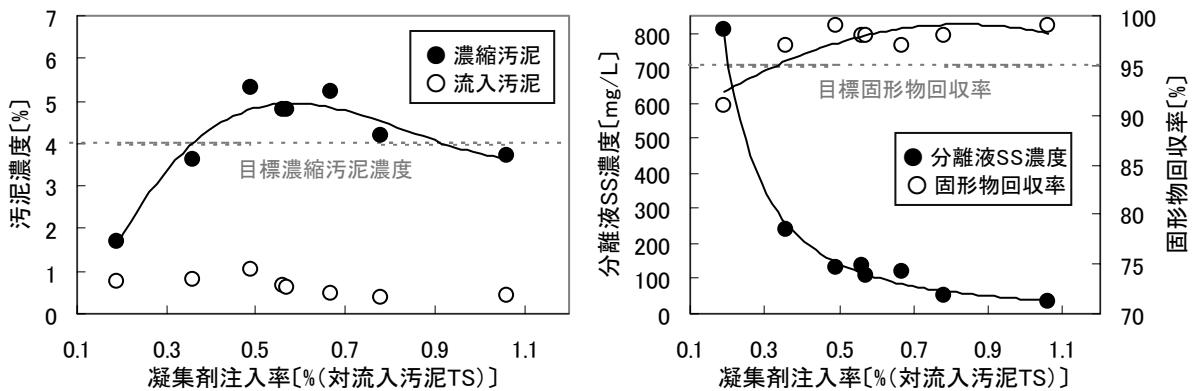


図 13 凝集剤注入率による性能変化

#### (4) スクリーン回転数

標準負荷条件 ( $20\text{m}^3/\text{h}$ 、流入汚泥濃度  $0.5\sim1.5\%$ )において、スクリーン回転数を検討した。

スクリーン回転数  $4.5\text{rpm}$  以上で目標濃縮汚泥濃度を達成した。一方で、スクリーン回転数が小さくなると、スクリーン前後水位差が大きくなる傾向が得られた。これは、濃縮汚泥の排出効率の低下によるものである。また、スクリーン回転数の増大に伴い分離液 SS 濃度が上昇し、固体回収率が低下する傾向が見られた。

結論として、スクリーン回転数  $7.0\text{rpm}$  以上が適当と考えられる。なお、試験範囲上限である  $17\text{rpm}$  まで濃縮性能は保たれることから、スクリーン回転数の範囲は  $7\sim17\text{rpm}$  が適当と考えられる。

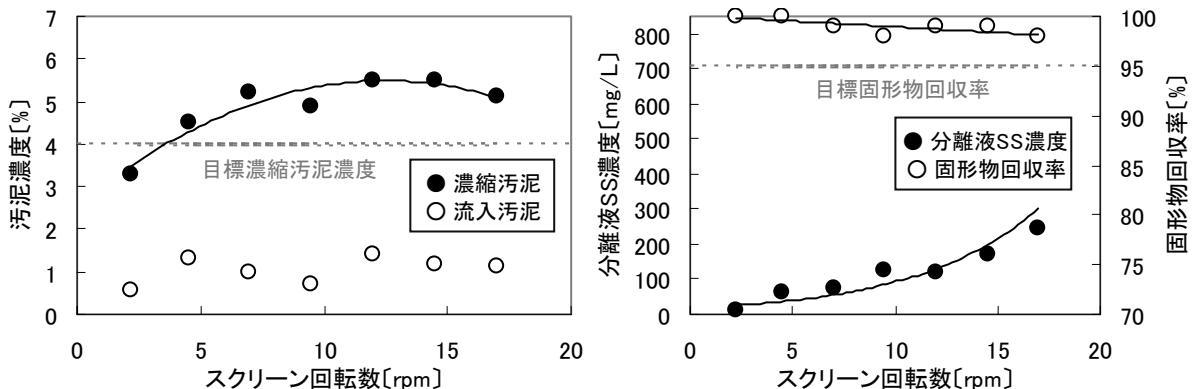


図 14 スクリーン回転数による性能変化

### 7.4 実規模実証試験

#### (1) 試験内容

四季の汚泥変動に対し装置の安定性を確認するため、春季・夏季・秋季の 30 時間連続運転試験、冬季の 1 週間連続運転試験（夜間運転を含む）を実施した。

試験データは、装置の運転中に 1 時間毎の試料採取を行い、分析を実施した。

#### (2) 試験条件

混合汚泥を対象に、汚泥供給量を  $20\text{m}^3/\text{h}$ 、凝集剤注入率  $0.5\% \text{- TS}$  に設定し、濃縮汚泥濃度、固体回収率を測定した。なお、凝集混和槽攪拌機回転数・スクリーン回転数は、前項の基本性能試験のデータを基に最適条件を設定し、凝集剤はカチオン系の高分子凝集剤を使用した。

### (3) 実証試験結果

図15に濃縮汚泥濃度、図16に固体物回収率の試験結果を示す。凝集剤注入率を0.5%-TS程度にすると、性能目標値である濃縮汚泥濃度4.0%以上、固体物回収率95%以上を安定して確保できる結果となった。また、流入汚泥の変動に対しては、本試験の結果から、汚泥濃度0.2%～2.0%までの変動に対しても、十分に性能目標値を上回ることを確認した。特に、凝集剤を使用した濃縮技術であるため、従来の濃縮機では達成しにくい低濃度域においても目標性能を発揮できる傾向が見られる。

のことより、四季を通じた運転を行い、季節の違いによらず安定した処理が可能なことを実証した。

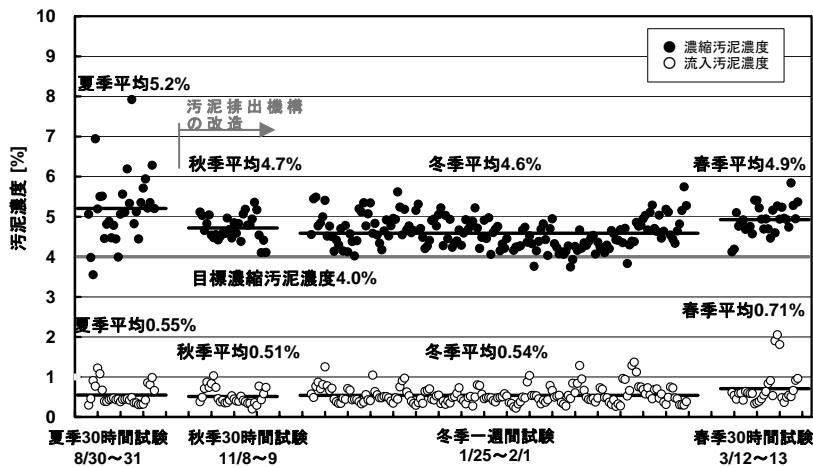


図15 汚泥濃度

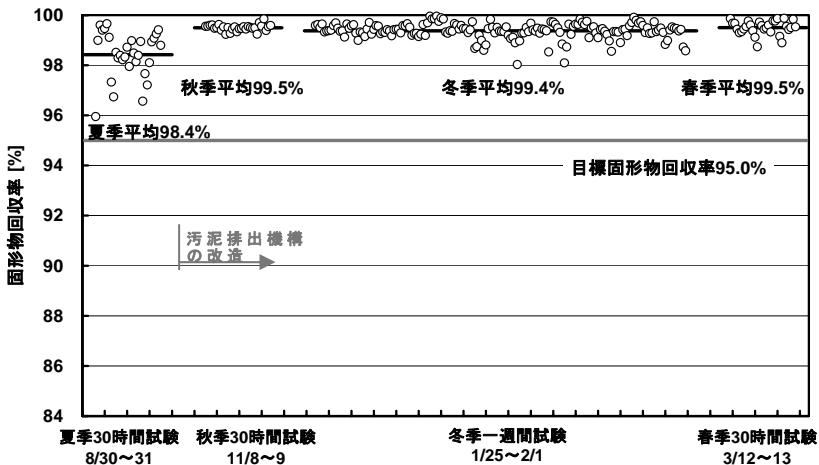


図16 固形物回収率

## 7.5 スケールアップ時の汚泥分配誤差の影響評価

ハニカム濃縮機では、スクリーンを並列に連結することで処理量のスケールアップを行う。スケールアップの際には、濃縮機本体に汚泥を均等分配する汚泥分配機構が必要となるため、均等分配試験を実施し、影響評価について検証した。

汚泥の均等分配試験を行うに当たり、スケールアップ規模 $100\text{m}^3/\text{h}$ の濃縮機を想定し、1/5規模(汚泥処理量 $20\text{m}^3/\text{h}$ )の試験機を作成して、実際に汚泥を用いた試験を実施した。分配チャンネル数は10チャンネルであり、各チャンネルへの分配流量は $20\text{m}^3/\text{h} \times 1/10 = 2\text{m}^3/\text{h}$ となる。

試験機の構造としては、各チャンネルへの流入量を均一にするため、スリット付きの流入管（図17）を用いて閉水路の片側流入におけるバラツキを抑える構造とし、三角堰を設置して各チャンネルへの流入量を測定した。（図18,19）



図 17 スリット付き流入管  
(スリット幅 3 種類)



図 19 汚泥均等分配試験状況

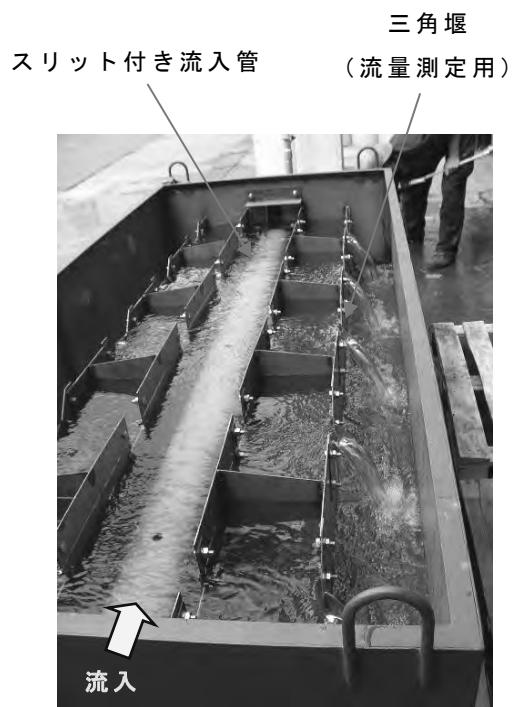


図 18 清水での均等分配試験状況

試験結果から、表3中の汚泥処理量に対する分配誤差が得られた。なお、スリット付流入管の使用後の確認では、し渣等の纖維状物の付着は認められなかった。

次に、分配誤差での汚泥処理量で性能に影響しないか、汚泥処理量の影響を実証試験機で確認した。

表3 汚泥分配槽の分配誤差

スリット幅 [mm]	汚泥処理量に 対する分配誤差 [%]	汚泥処理量 20m <sup>3</sup> /h の場合の分配誤差範囲 [m <sup>3</sup> /h]
スリット管なし	±10.2	18.0～22.0
60	±8.7	18.3～21.7
45	±7.5	18.5～21.5
30	±6.7	18.7～21.3

汚泥処理量 16~24m<sup>3</sup>/h における濃縮性能を、図 20 に示す。表 3 中のスリット管なしの場合には 18.0~22.0m<sup>3</sup>/h の分配誤差の生じる可能性があり、22.0m<sup>3</sup>/h で目標濃縮汚泥濃度 4.0% をごく僅かに下回る以外は、概ね目標値を上回ることを確認した。スリット管を設けることで分配誤差範囲が縮小し、目標濃縮汚泥濃度を上回る状態となることが予想される。導入時には適切なスリット管を配備するため、目標濃縮汚泥濃度 4.0%以上を確保できる見込みである。固体物回収率においては問題なく目標値を上回っていることも確認した。

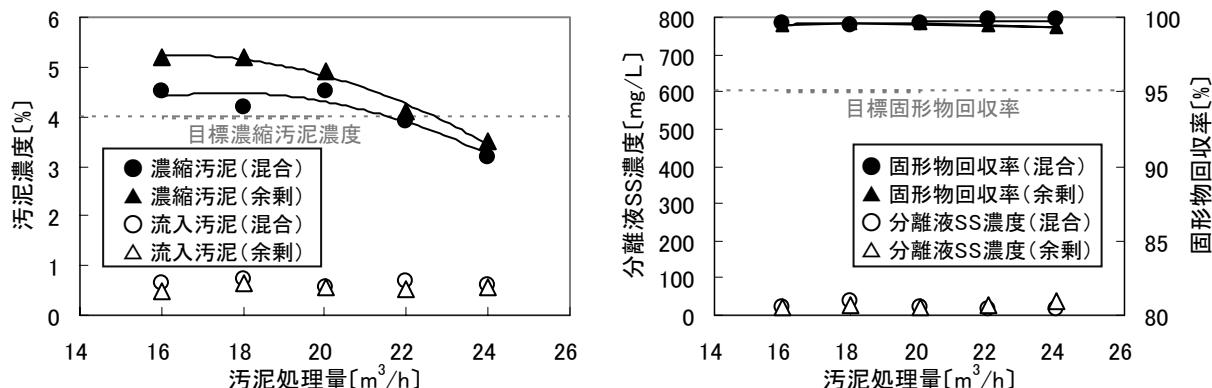


図 20 汚泥処理量と濃縮性能

結論として、本試験によりスケールアップ時に設ける汚泥分配機構の均等分配性能を確認し、その分配誤差範囲の汚泥処理量をハニカム濃縮機が許容できる見込みを得た。

## 8. 省エネ型濃縮機導入メリット

ハニカム濃縮機は、汚泥の濃度変動に対して安定した処理性能を有している。特に、遠心濃縮機では達成できない低濃度汚泥に対して高濃度の濃縮汚泥が得られる。また、この装置の特徴でもある高い固体物回収率により、水処理への返流水負荷の低減が図れる。

図 21 に、同規模の遠心濃縮機と比較（汚泥処理量 100m<sup>3</sup>/h での比較）した温室効果ガス排出量の試算結果を示す。開発の経緯でもあるように、省エネルギー性としては濃縮機本体の電動機出力を 90%以上削減可能であることから、補機などの周辺設備を含めた電気及び薬品由来の温室効果ガス排出量については 50%以上削減可能なことを確認した。

コスト面では、建設費 60%以上、維持管理費 50%以上の削減が可能である。維持管理面では、低回転機器であるため現場での分解整備が可能となり、補修期間が短縮でき維持管理負担が軽減できる。

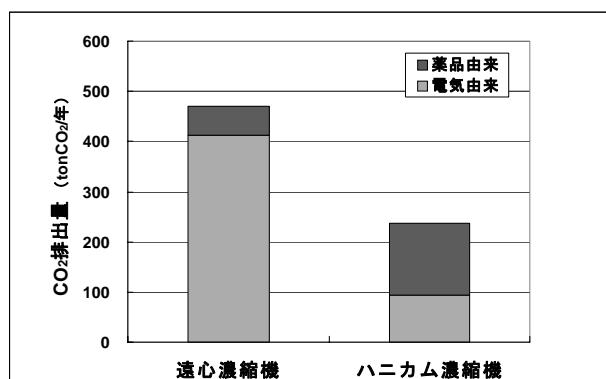


図 21 温室効果ガス排出量

## 9. 実機導入時への課題

ハニカム濃縮機は、濃縮機の入口側の濃度計及び流量計の値で、必要とする凝集剤注入量を決定している。従来の遠心濃縮機では、出口側の汚泥濃度により管理をしているのに比べ、実際にどの程度の濃縮汚泥が得られているかは、目視や手分析によって把握することとなる。また、凝集剤の作用により汚泥を濃縮させていることから、いかに誤差を少なく適正な値で凝集剤を注入できるかが、この機器の精度を決定する要因となる。よって、実証試験機レベルでも目標とする性能は達成できているが、実機導入時には、より測定誤差の少ない計器の選定や薬注設備の制御方法等を検討することが望ましい。

## 10. まとめ

ハニカム濃縮機の実証試験機を用いた研究において、運転条件やシステムの最適化、汚泥処理量の確認、季節変動での対応性及び導入効果の検証を行い、以下の知見を得た。

- (1) 性能目標値である、凝集剤注入率 0.5%-TS 程度で、濃縮汚泥濃度 4.0%以上、固形物回収率 95%以上を達成できる。
- (2) 投入汚泥の日変動・季節変動に対しても安定した処理が可能である。特に、低濃度域（投入汚泥濃度 0.2%程度）での運転においても、性能目標値を確保した運転が可能である。
- (3) 濃縮機本体の省エネルギー性能では、同規模の遠心濃縮機に比べて 90%以上の電力量を削減可能である。
- (4) 補機を含めた電気及び薬品由来の温室効果ガス排出量については、遠心濃縮機に比べ薬注率が増えることにより薬品由来の温室効果ガスは増大するが、大幅な電力量の削減により、システム全体で 50%以上の温室効果ガスを削減可能である。
- (5) 汚泥分配機構の実証試験から、汚泥処理量 100m<sup>3</sup>/h までのスケールアップが可能である。
- (6) 建設費の大幅な削減、省スペース化が可能である。

本装置の研究では、実用規模の濃縮機を用いた実験で、所定の研究目標を達成しその有用性を確認した。本技術は汚泥処理の安定性、省エネルギー対策として大きく寄与する技術である。

### 3-(1)-3 下水道事業における木質バイオマスの有効活用策

#### の検討について

流域下水道本部技術部計画課 泉谷 信夫

##### 1. はじめに

豊かな緑を有する多摩地域は、剪定枝や間伐材、製材過程で発生する端材など、大量の木質バイオマスを排出している。また、18年度からは総合的花粉症対策の一環として、年間120haのスギやヒノキの伐採が行われており、その量は更に増加する見込みである。

しかし、これらの木質バイオマスは、ストーブ・ボイラー用燃料、合板材料等として利用されているが、その量は少なく、利用拡大に向けた取組が必要となっている。

こうした背景を踏まえ、剪定枝等の木質バイオマスを、汚泥焼却炉の補助燃料（重油）の代替として、下水汚泥と混合焼却し、購入エネルギー量や温室効果ガスを削減する検討を行った。



図1 木質バイオマスの有効活用概念図

##### 2. 実証試験

###### 2. 1 目的

木質バイオマスを焼却炉の補助燃料として使用した際の、重油削減効果、温室効果ガスの削減効果、並びに排気ガスへの影響等について検証するため、既存焼却炉での実証試験を行った。

###### 2. 2 実験場所及び日時

多摩川上流水再生センター 汚泥焼却炉4号（沈砂・し渣混合焼却炉）  
焼却能力：100t/d

表1 実験日時

	日 時
事前実験	平成17年10月18日
本実験	平成17年10月26日～27日

## 2. 3 実験方法

沈砂・し渣受槽に木質材を供給し、混練機で汚泥と混合して混合焼却実験を行った。実験フローを図2に示す。

また、沈砂・し渣受槽からの供給で足りない場合は、追加投入として混練機に直接投入した。

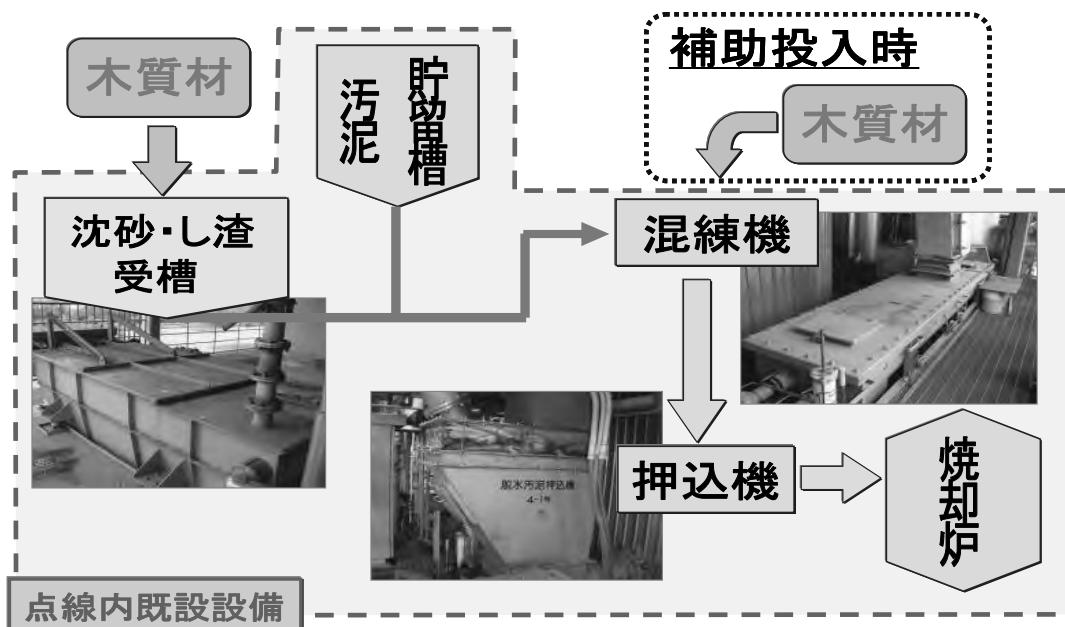


図2 実験フロー

## 2. 4 実験条件

脱水汚泥：試験に用いた脱水汚泥の性状（表2）

木質材：チップ、木皮、剪定枝の3種類

試験に用いた木質バイオマスの性状（表3）

表2 脱水汚泥の性状

	含水率	強熱減量	高位発熱量	C	H	N	O	S	Cl
	%	%-Ds	kcal/kg-Ds	%-Ds	%-Ds	%-Ds	%-Ds	%-Ds	%-Ds
脱水汚泥	78.5	84.2	4,490	43.1	7.25	4.46	29.7	0.42	0.30

表3 木質材の性状

		含水率	強熱減量	高位発熱量	C	H	N	O	S	Cl	見掛比重
		%	%-Ds	kcal/kg-Ds	%-Ds	%-Ds	%-Ds	%-Ds	%-Ds	%-Ds	kg/L
木質材	チップ	40.9	97.1	4,780	49.2	7.42	1.32	41.4	<0.01	0.36	0.220
	木皮	69.8	95.9	4,710	43.1	6.75	1.01	39.4	0.01	0.24	0.387
	剪定枝	38.2	96.5	4,630	48.1	7.33	0.79	41.6	<0.01	0.16	0.264

※ 計画時の含水率は40%と想定。

※ 使用した木皮は、降雨の影響等により含水率が高かった。



図 3 チップ



図 4 木皮



図 5 剪定枝

## 2. 5. 事前実験（10月18日）

木質材の供給の確認と沈砂・し渣受槽の切出機の能力を確認するために、事前実験を行った。

木皮、チップ、剪定枝の3種類の木質材を一定量供給し、切出機、搬送コンベヤ等で搬送状態を確認したところ、切出機や搬送コンベヤで木質材の噛み込みによる供給停止は認められなかった。また、切出機の最大切出量は約180kg/hであった。

## 2. 6 本実験（10月26～27日）

### 2. 6. 1 実験ケース

事前実験の結果を基に、以下のとおり実験ケースを設定した。

#### A-1：投入設備の最大供給量（木質材3種混合）

目的：現状設備での最大供給時（事前実験結果より180kg/h）の重油削減量の把握

#### A-2：投入設備の最大供給量+手投入（木質材3種混合）

目的：下水汚泥を自燃時（重油使用量をゼロ）にする際の木質材投入量の把握

#### B-1：投入機の最大供給量（剪定枝のみ※）

目的：ダイオキシン類測定のための安定供給

※供給木材を剪定枝のみとしたのは、3種類の木質材の中で発生量が一番多く、長期かつ安定して供給可能であることから、本実験の主旨に相応しいと判断した。表4の実験条件を設定した。

表4 実験条件

	炉床温度	汚泥供給量		木質材供給量		木質材 種類
	°C	t/h	t/d	kg/h	t/d	
A-1	約800	3.7	89	180※	4.3	チップ、木皮
A-2	約800	3.3	79	240※	5.9	剪定枝の混合
B-1	約800	3.5	84	120※	2.9	剪定枝のみ

※ 実験中の平均供給量(供給停止時間を除く)

表 5 本実験の詳細日時

	日 時	
A-1	平成 17 年 10 月 26 日	10 時 40 分～13 時 30 分
A-2	平成 17 年 10 月 26 日	13 時 30 分～16 時 30 分
B-1	平成 17 年 10 月 27 日	11 時 30 分～16 時 20 分

## 2. 6. 2 本実験の結果

## (1) 実験時の経時変化

焼却炉への汚泥と木質材の投入量、重油使用量、排ガスの経時変化を図 6 に示す。

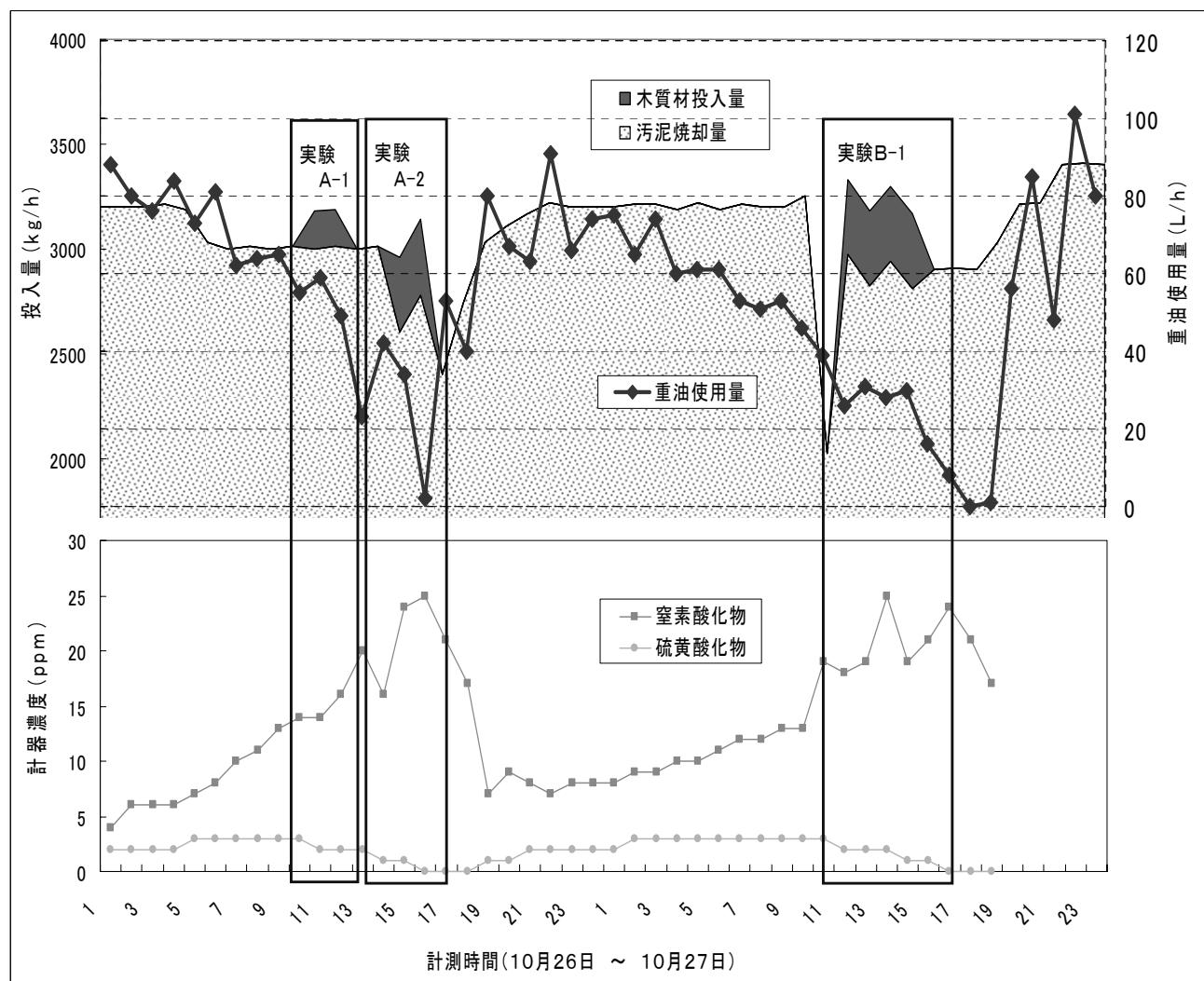


図 6 汚泥と木質材の投入量、重油使用量、排ガスの経時変化

(2) 重油削減量

各実験時の重油削減量の測定結果を表6に示す。

表6 重油削減量の測定結果

	汚泥供給量		木質材供給量		重油使用量		重油削減量
	t/h	t/d	kg/h	t/d	L/h	m3/d	L/h
混合焼却前	3.7	89	0	0	59	1.4	0
実験A-1	3.7	89	180	4.3	38	0.9	21
実験A-2	3.3	79	240	5.9	34	0.82	25
混合焼却前	3.4	82	0	0	47	1.1	0
実験B-1	3.5	84	120	2.9	25	0.6	22

(3) 排ガス分析

公定分析の煙突排ガスの測定結果を表7に示す。

ただし、ダイオキシン類の測定は、B-1の測定のみとした。

表7 排ガス測定結果

項目		混合 焼却前	A-1	A-2	B-1-①※	B-1-②※
実験日		H17年10月26日			H17年10月27日	
ばいじん 濃度	g/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	測定値	—	—	<0.001	<0.001
		基準値	0.08	0.08	0.08	0.08
硫黄酸化物 排出量	m <sup>3</sup> /h	測定値	0.01	0.02	0.02	0.02
		基準値	4.0	4.0	4.0	4.0
窒素酸化物 濃度	ppm	測定値	11	19	21	24
		基準値	250	250	250	250
塩化水素 濃度	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	測定値	<2.6	<2.1	<2.6	<2.4
		基準値	700	700	700	700
ダイオキシン類 毒性等量	Ng-TEQ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	測定値	—	—	0.000014	
		基準値	1	1	1	1

※ B-1のばいじん、硫黄酸化物、窒素酸化物、塩化水素は、2回測定。

## 2. 6. 3 CO<sub>2</sub>削減量の試算

実験結果を基に、汚泥を800°Cで自燃させた場合と850°Cで自燃させた場合の、木質材供給量、重油使用量、CO<sub>2</sub>削減量の試算を行った。試算結果を図8に示す。

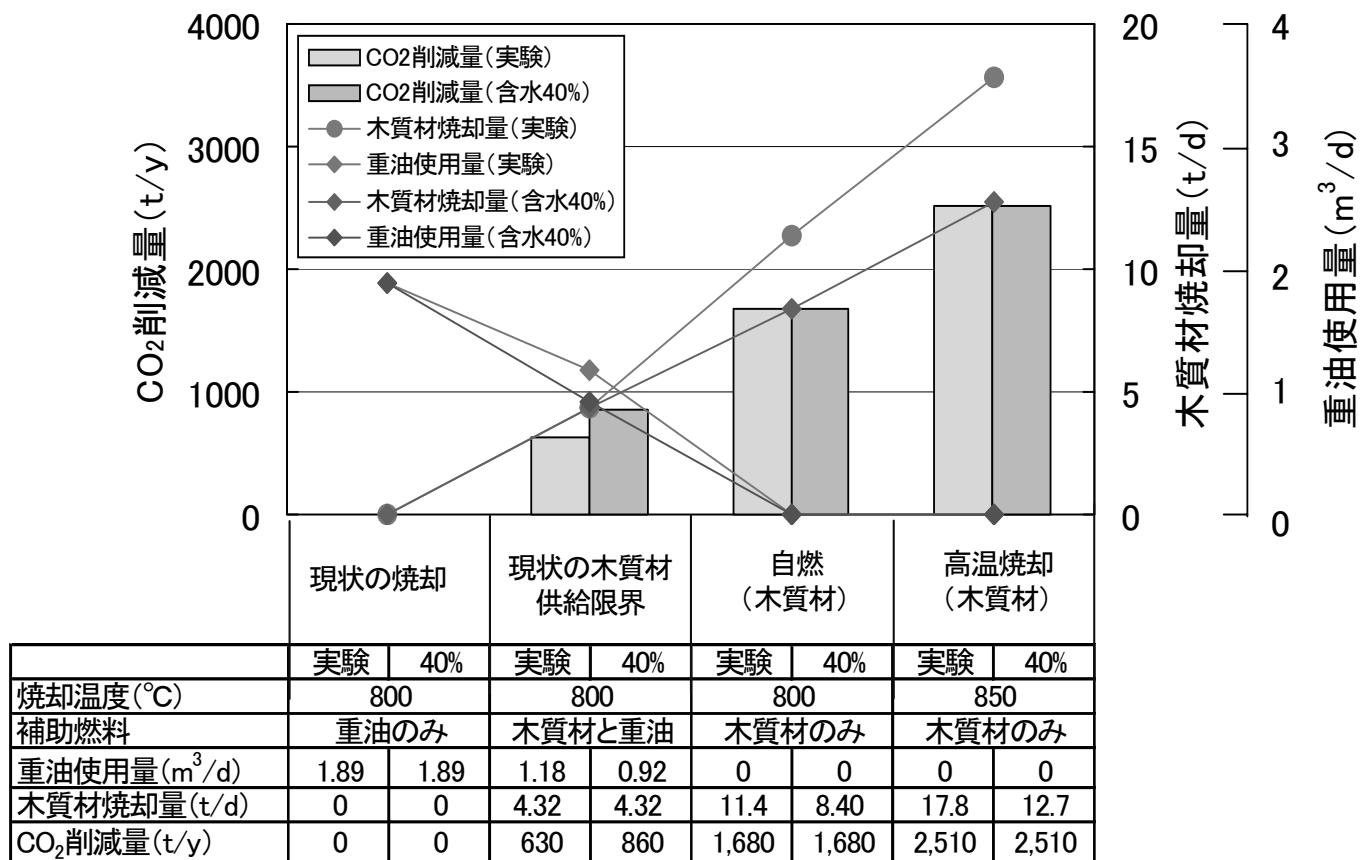
試算条件は、汚泥含水率を実験値(78.5%)とし、汚泥焼却量は100t/d、焼却炉の年間の稼働日数は330日/年とした。

また、木質材の含水率は実験値(49.6%)としたケースと、40%としたケースを試算した。

(実験時の木皮の含水率が69.8%と高すぎたため。)

### (1) 木質材(3種混合)

汚泥が自燃するまで木質材を供給した場合、800°C燃焼時で1,680t-CO<sub>2</sub>/y、850°C燃焼時で2,510t-CO<sub>2</sub>/yのCO<sub>2</sub>削減効果があった。



現状の焼却 : 現状の重油のみの運転での試算

木質材供給限界 : 供給限界(180kg/h)での試算

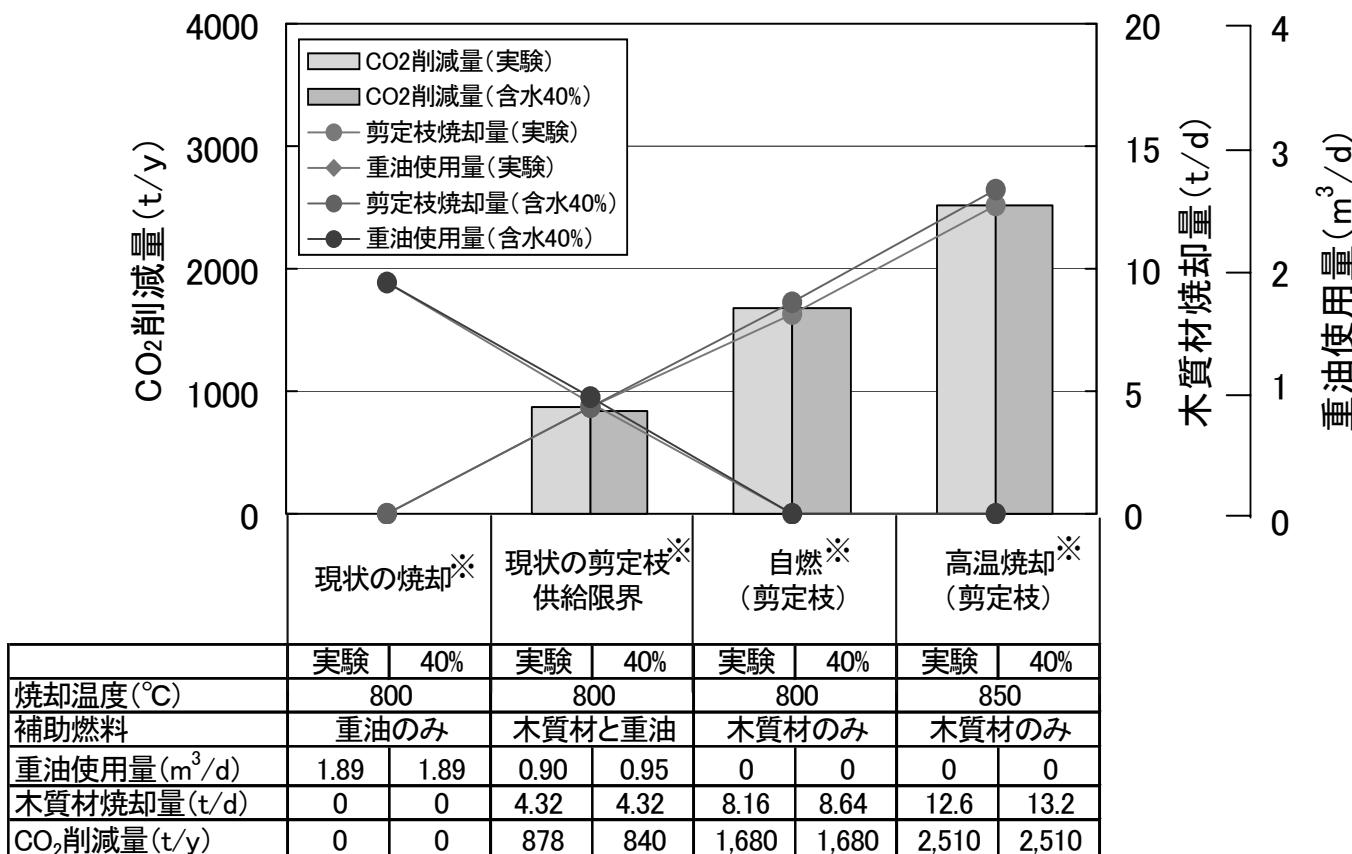
自燃(木質材) : 800°Cで木質材により自燃した場合の試算

高温焼却(木質材) : 850°Cで木質材により自燃した場合の試算

図7 木質材焼却量と重油使用量、CO<sub>2</sub>削減量効果(3種混合)

## (2) 木質材（剪定枝のみ）

汚泥が自燃するまで木質材を供給した場合、800°C燃焼時で 1,680t-CO<sub>2</sub>/y、850°C燃焼時で 2,510t-CO<sub>2</sub>/y の CO<sub>2</sub>削減効果があつ



現状の焼却 : 現状の重油のみの運転での試算

木質材供給限界 : 供給限界(180kg/h)での試算

自燃(木質材) : 800°Cで木質材により自燃した場合の試算

高温焼却(木質材) : 850°Cで木質材により自燃した場合の試算

図 8 木質材焼却量と重油使用量、CO<sub>2</sub>削減量効果（剪定枝）

## 2. 6. 4 実証試験まとめ

実証試験により、以下の効果や課題等を確認した。

### (1) 効果

- 木質材を供給することで重油使用量の低減が確認できた。  
→ 維持管理費の低減や温室効果ガスの削減が可能
- 現状設備での木質材供給限界は、約 180kg/h。
- 木質材を 4.32 t/d 投入することで、重油使用量を 0.71～0.99 m<sup>3</sup>/d 削減  
→ 630～878t-CO<sub>2</sub>/年の CO<sub>2</sub>削減効果

- ・ 設備の改造により、木質材の供給を増大させた場合
  - 1) 800°C燃焼：木質材供給量 (8.40~11.40t/d)  
→ 約1,680t-CO<sub>2</sub>/年のCO<sub>2</sub>削減効果
  - 2) 850°C燃焼：木質材供給量 (530~740t/d)  
→ 約2,500t-CO<sub>2</sub>/年のCO<sub>2</sub>削減効果

## (2) 排ガス分析

測定値は、基準値の1/10~1/100程度と低い値であり、木質材の混合焼却による排ガス基準への影響は、ほとんど見られなかった。

- ・ ばいじん、硫黄酸化物、塩化水素、ダイオキシン類  
→ 基準値の1/10~1/100程度と低い値
- ・ 室素酸化物濃度  
→ 混合焼却前と比較して、約2倍とやや高い傾向であるが、基準値の1/10と低く、公害防止対策上問題のない値

## (3) 課題

- ・ 木質材により自然させるには、木質材の供給量を増大させるための施設改造が必要
- ・ 焼却炉の安定運転を確保には、木質材の自動投入施設等の増設が必要

## 3 システム検討

実証試験での課題を踏まえ、木質材による自燃と焼却炉の安定運転を行うための混合焼却システムの検討を行った。

既存焼却炉の改造による混合焼却のシステム概要を図9に示す。

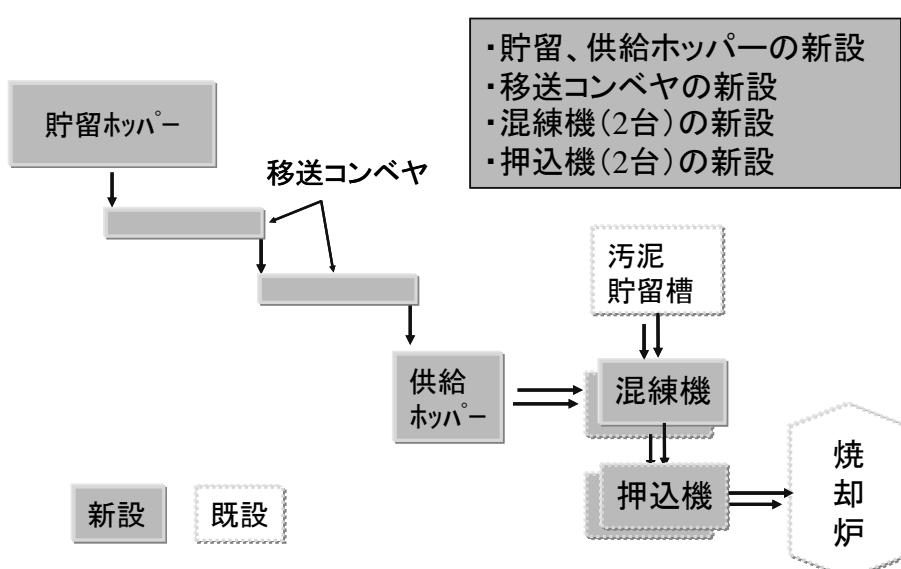


図9 混合焼却システム概要

#### 4 おわりに

本検討により、これまで低利用であった木質バイオマスを有効活用することができ、最大で年 2,500 t の温室効果ガスを削減することができるこことを確認した。

今後は、木質バイオマスの購入価格や安定供給体制などについて、関係機関との協議を進め、本取組の早期事業化を図り、温室効果ガスの削減に取り組んでいくことで、「10 年後の東京」が目指す「世界で最も環境負荷の少ない都市の実現」に貢献していく所存である。

### 3-(1)-4 バイオマスを利用した高効率ガス化・利用技術の開発

流域下水道本部技術部計画課 粕谷 誠  
高橋 肇

#### 1. はじめに

近年、地球温暖化をはじめとする環境問題への対応が求められる中、様々な分野でバイオマスに含まれる有機分を有効活用するための研究・開発が行われている。

一般的に、バイオマスは季節による発生量及び質の変動や、散在する小規模発生源からの収集の難しさなどがデメリットとして挙げられる。しかし、下水道事業分野において年間を通じ大きな変動はなく、日々莫大な量の下水汚泥が発生しており、それを集約する下水処理場は都市・郊外を問わず多数稼動しているため、下水汚泥はエネルギー回収源として非常に有望なバイオマス資源であると言える。

現在、下水道事業分野においても省資源、省エネルギー対策を積極的に推進しているが、下水道普及と高度処理の推進に伴い年々増加する下水汚泥処理のために、多量のエネルギーが必要となっている。

#### 2. 研究の目的

上記背景のもと、東京都下水道局は平成17年度から18年度にかけて清瀬水再生センター内に建設した実証試験設備を用い、下水汚泥をガス化して再生可能エネルギーを創出し回収・活用する研究を行った。ガス化とは低酸素雰囲気でガス化原料（下水汚泥）を加熱することで、下水汚泥中の有機分を燃焼させずに水素やメタンなどの熱分解ガス（以下バイオガス）として抽出する技術である。本研究においては、下水汚泥から回収したバイオガスをガスエンジンの燃料として利用し、水再生センター内の動力及び電力の一部代替を行う事で下水処理における外部からの購入エネルギーの削減と、それに伴う温室効果ガスの削減を目的とした。

なお、本研究はノウハウ+フィールド提供型共同研究として東京都下水道局、株式会社荏原製作所、東京ガス株式会社の3者で行ったものである。



図1 実証設備外観

## 2. 1 平成 17 年度研究

平成 17 年度は下水汚泥ガス化発電システムの基礎データ収集とシステム運用の安定性を確認した。延べ 2,404 時間、通算汚泥処理量 1,244 トンにわたる実証試験により、システム運用の安定性を実証し、下水汚泥由来のバイオガスがガスエンジン燃料として十分に利用可能であることを確認した。そのデータを基に脱水汚泥処理規模 100 トン／日の水再生センターにガス化発電システムを導入した場合の効果を試算した結果、既存の焼却炉を用いて焼却処理を行っている水再生センターと比較した場合、購入エネルギー量は約 25% 削減可能であり、温室効果ガスは約 45% 削減可能であることが示された。

## 2. 2 平成 18 年度研究

平成 18 年度に行った本研究は、平成 17 年度の研究成果を基に剪定枝などを想定した木質系バイオマスを下水汚泥に混合・ガス化し、ガス化性能を更に向上させることを目的とした。剪定枝などの木質系バイオマスは下水汚泥よりも含水率が低く高発熱量となる。それをガス化原料に混合すれば、下水汚泥単独ガス化時と比較してより多くのバイオガスが得られるためシステム効率は向上し、省エネルギー化及び温室効果ガス削減への更なる貢献が可能となる。

ほかに、木質系バイオマスに含有されるナトリウム (Na)、カリウム (K) がもたらすと考えられる影響（低融点物質形成によるトラブル）の検証と、バイオガスによるガスエンジン長期連続運転の実証も行った。

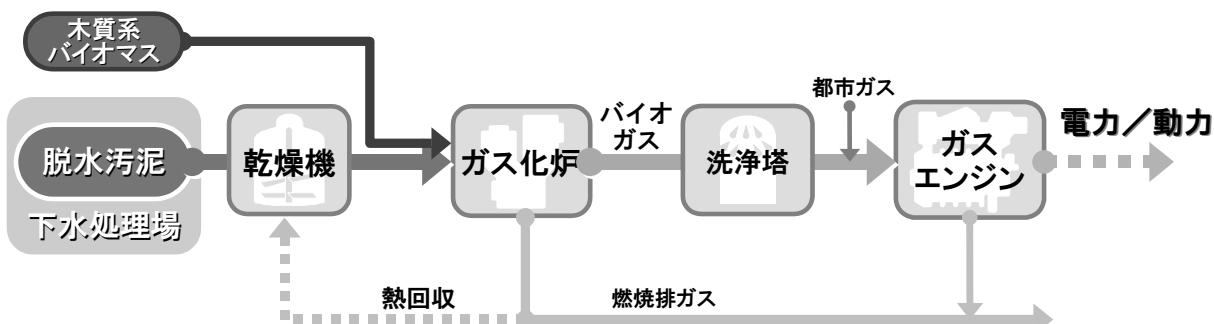


図 2 システム概念図

## 3. 実証設備

研究は、平成 17 年度に清瀬水再生センター内に建設した処理規模 15 トン／日の下水汚泥ガス化発電設備に、木質系バイオマス混合設備を増設して行った。

表 1 実証試験設備概要

試験期間	自 平成 18 年 6 月 1 日 至 平成 18 年 12 月 27 日 (平成 19 年 3 月 14 日設備撤去完了)
所在地	東京都清瀬市清瀬水再生センター敷地内
設備規模	15 トン／日 (脱水汚泥)
ガス化炉	内部循環型流動床ガス化炉
ガス化原料	下水汚泥※ + 木材ペレット (剪定枝を想定) ※脱水ケーキをシステム内乾燥機で乾燥して使用
バイオガス利用設備	ガスエンジン発電機 (定格 200kW)

### 3. 1 システム概要

本システムの大きな特徴として、新たな概念の内部循環型流動床ガス化炉を採用したことが挙げられる。それにより下水汚泥のような高含水率・低発熱量の原料からでも、従来の部分燃焼式流動床ガス化炉と比較して水素やメタンなどの濃度が高いバイオガスを容易に得ることが出来るため、合理的なエネルギー回収システムを構築することが可能となつた。本システムの特長をまとめると以下となる。

- ・ 内部循環型流動床ガス化炉による効率的なバイオガス回収
- ・ 水再生センターの持つポテンシャル（脱水ケーキ、下水処理水）の有効活用
- ・ 排熱のカスケード利用によるシステム総合効率の向上
- ・ ガス化炉燃焼室を利用した洗浄排水の焼却処理

### 3. 2 内部循環型流動床ガス化炉

従来の多くの流動床式ガス化炉では、一定量の酸素を供給することでガス化原料を部分的に燃焼させ、ガス化熱源としている。（図3）

その場合、回収されるバイオガス量は部分燃焼した分減少し、その燃焼排ガスによりバイオガスは希釈され、可燃分濃度が低下する。加えて酸素源として空気を使用すれば、空気中の窒素によりバイオガスは更に希釈されるので、それを避けるためには高コストな純酸素の使用が必要となる。そのほかガス中のダストには未燃炭素分が含まれるため、その処理には十分に留意する必要が生じる。

これに対し、内部循環型流動床ガス化炉は炉内を仕切壁で燃焼とガス化に特化した2室に分割したことが最大の特徴となる。（図4）

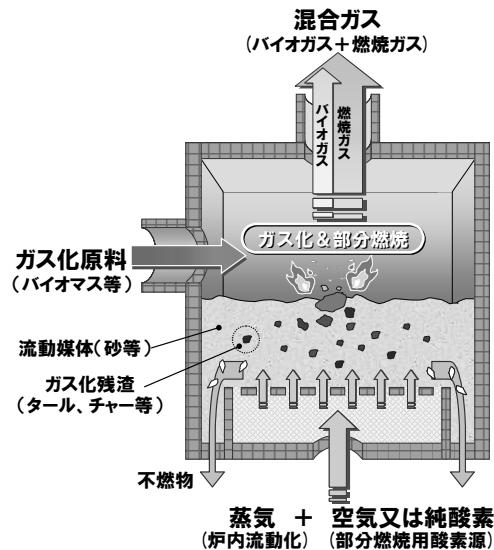


図3 部分燃焼型流動床ガス化炉

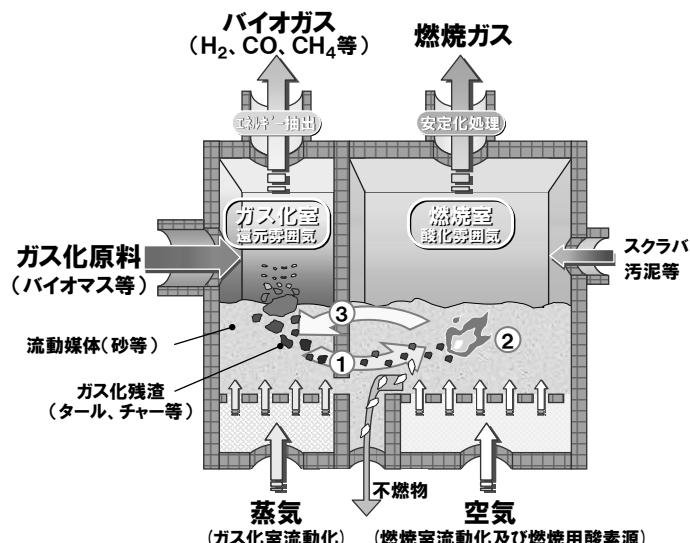


図4 内部循環型流動床ガス化炉

内部循環型流動床ガス化炉では、ガス化原料（以下原料）はガス化室に投入される。ガス化室には流動化用の蒸気のみが供給されるため、発生するバイオガスを燃焼させずに濃度が高いまま抽出可能である。ガス化の際にはガス化し難い残渣類（タール、チャー）が発生するが、本ガス化炉ではガス化反応により温度の低下した流動媒体と共に空気を供給した燃焼室へと移動させ、燃焼処理している（図4の①、②）。ガス化残渣の燃焼により加熱された流動媒体は再度ガス化室へと移動し、ガス化熱源として循環利用される（図4の③）。

③)。燃焼室とガス化室は仕切壁と流動媒体で分離されているため、燃焼室で生じる燃焼排ガス及び酸素源として供給する空気はバイオガスに影響を与えない。加えて燃焼室にはガス洗浄プロセスで生じる汚泥などを投入して完全燃焼処理することが可能である。燃焼室から排出される燃焼排ガス及びガス中ダスト成分は既存の焼却炉と同等となるため、後段の灰処理には既存の設備を使用可能である。

また、本ガス化炉は流動床炉の特長である温度制御の容易さ、原料の攪拌・破碎効果、比重差を利用した不燃物の分離機構なども併せ持っている。

次に、本システムの各構成機器の概要を述べる。

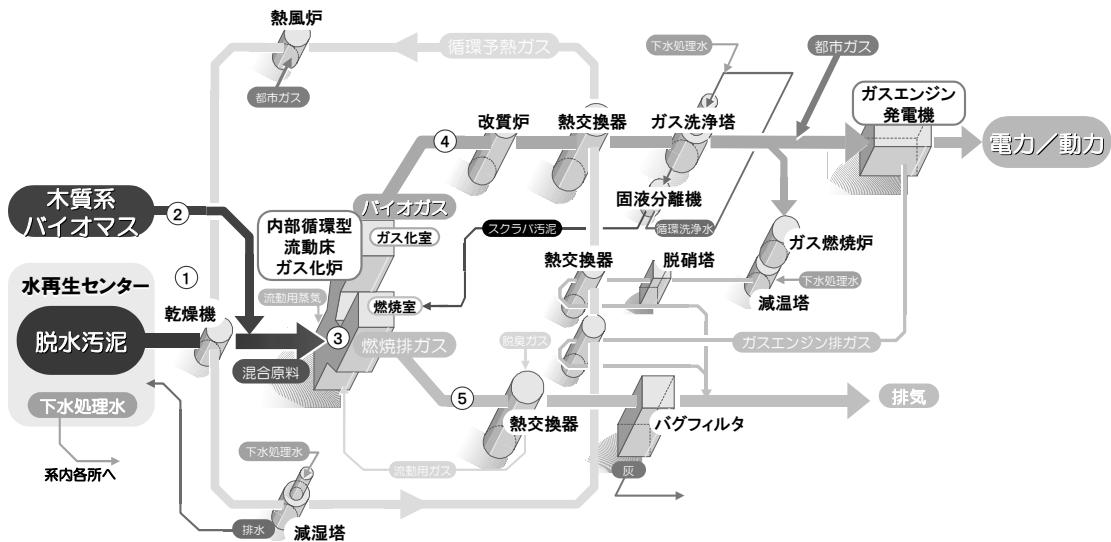


図 5 システムフロー詳細

### ① 脱水汚泥受入～汚泥乾燥設備

ガス化原料である下水汚泥には、水再生センターで現在焼却用に生成されている脱水ケーキを、水再生センターより受け入れて使用した。ただし、脱水ケーキは含水率が約 80% と高いため、システム内の乾燥機により含水率約 20% まで乾燥させたのち、ガス化炉に投入している。

乾燥熱源にはガスエンジン排ガスをはじめ、システム内の各所で発生する熱を回収する循環予熱ガスを使用し、システムの総合的な効率向上を図っている。排熱回収により 250 ~ 300°C 程度まで昇温された循環予熱ガスは、熱風炉バーナで最終的に約 400°C まで加熱されたのち乾燥機に供給される。

なお、本システムでは乾燥機に造流乾燥式を採用している。造粒乾燥式では脱水汚泥を攪拌しながら約 400°C の予熱ガスを吹き付けることで、乾燥と同時に直径 10mm 弱の球体状に造粒している。均質化された造粒乾燥汚泥は搬送を容易にするとともに、安定したガス化を可能としている。

加えて乾燥後の循環予熱ガスの冷却（除湿）・洗浄には、水再生センターから受け入れた下水処理水を利用している。そこで発生する排水は、そのまま水再生センターへ返送可能な水質であることを確認している。



図6 造粒乾燥汚泥サンプル

#### ②木質系バイオマス供給設備

本研究では、ペレット状に成形された木材を乾燥汚泥に混合し、ガス化原料とした。木材ペレットの材質は樹木の幹部分を主原料としたホワイトペレットと、樹皮部分を主原料としたバークペレットの2種類を用いた。木材ペレットは乾燥機出口において造粒乾燥汚泥に混合した。



図7 ホワイトペレット（幹）



図8 バークペレット（樹皮）

#### ③ガス化設備

混合ガス化原料（乾燥汚泥+木材ペレット、以下混合原料）は、計量したのちガス化炉のガス化室に供給される。混合原料はガス化室で 500°C～800°Cに熱せられた流動砂と接触し、水素やメタンを主成分とするバイオガスとして抽出される。同時に発生するガス化し難い熱分解残渣（タール、チャー）は、ガス化により温度の低下した流動砂と共に燃焼室に移動し、燃焼することで流動砂を 800°C程度に加熱する。加熱された流動媒体は再度ガス化室へ移動し熱源として循環利用され、燃焼室からは完全燃焼した燃焼ガス及び飛灰が排出される。

#### ④バイオガス精製～動力回収設備

ガス化室から排出されたバイオガスは、まずガス改質炉で加熱することでガス中のタル分などを分解し、より軽質なガスへと改質される。改質されたバイオガスは汚泥乾燥用の循環予熱ガスと熱交換して温度をある程度下げたのち、ガス洗浄塔で冷却・洗浄される。次にバイオガスは脱硫工程を経て、都市ガスと混合されたのちガスエンジン発電機にガス燃料として供給される。

なお、ガス洗浄塔で使用する洗浄水は下水処理水を利用しておらず、洗浄後に排出されるスクラバ排水は固液分離して循環洗浄水とスクラバ汚泥（汚泥状のタールや灰）となり、スクラバ汚泥はガス化炉燃焼室へ供給して完全燃焼処理を行っている。このように、本システムではスクラバ排水の処理を系内で完結させることができるので、専用の高度な排水処理設備は必要ない。

## ⑤排ガス処理設備

ガス化炉燃焼室からの燃焼ガスは、乾燥熱源として熱回収されたのちバグフィルタで除塵され、大気に放出される。ガスエンジンからの排ガスも同様に熱回収ののち大気に放出している。ガスエンジン発電機停止時などに生じる余剰バイオガスは、ガス燃焼炉で燃焼したのち減温、脱硝、熱回収工程を経て大気に放出される。

## 4. 研究成果

本研究においては、平成 18 年 6 月 13 日から 7 月 26 日にかけて 42 日間の試験運転を実施し、その間の脱水ケーキ処理量は 514 トンであった。そのうち木質バイオマスを供給した期間は 31 日間となり、計 24 トンの木質バイオマスを処理した。試験を通じ、システムには連続運転を阻害するトラブルも無く、本システムにおいて木質バイオマスと乾燥汚泥の混合原料を安定してガス化出来ることを確認した。

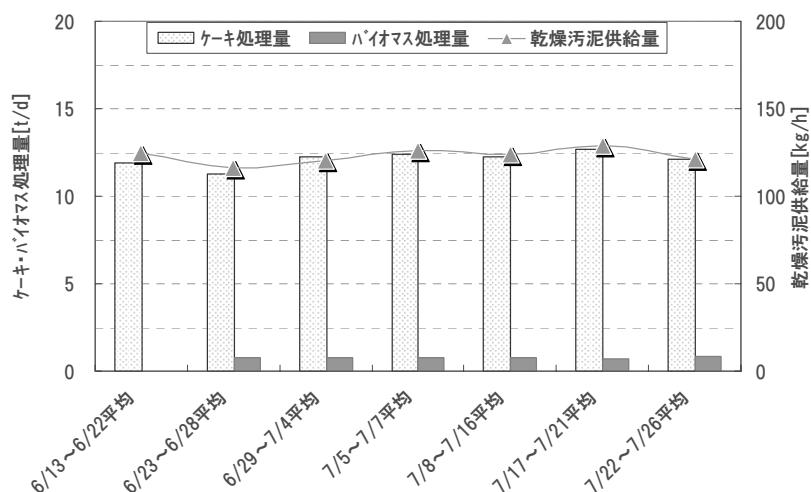


図 9 平成 18 年度 脱水ケーキ、乾燥汚泥、バイオマス処理量

### 4. 1 木質系バイオマスと下水汚泥の混合

木質系バイオマスは熱量比で約 20%となるように混合を行った。（熱量比 = 木質系バイオマス熱量 / 乾燥汚泥熱量、熱量 = 発熱量 × 投入量）

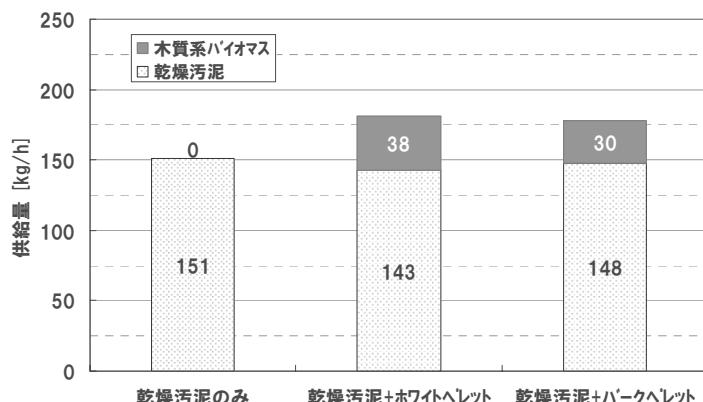


図 10 原料混合割合

#### 4. 2 バイオガス

各混合原料より得られたバイオガスの組成を以下に示す。

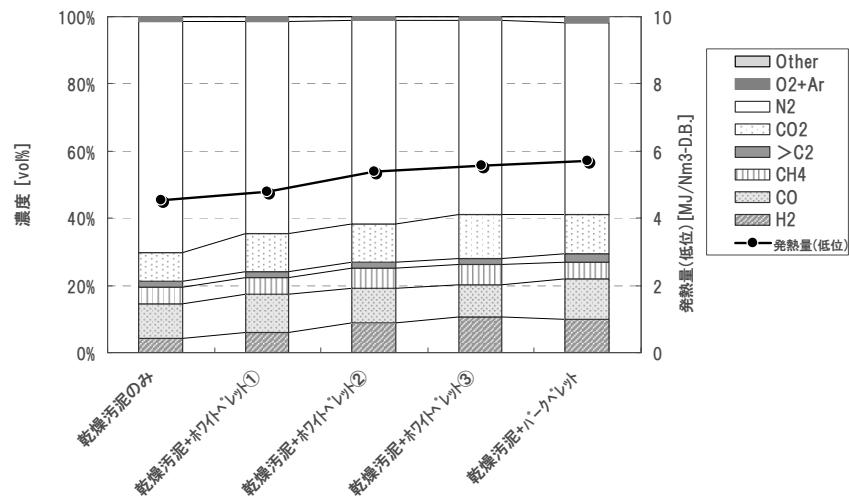


図 1-1 バイオガス組成

図 1-1 に示したように、木材ペレット混合によりバイオガス発熱量が増加したことが確認された。次に冷ガス効率の変化を図 1-2 に示す。

(冷ガス効率 = バイオガス熱量 / ガス化原料熱量)

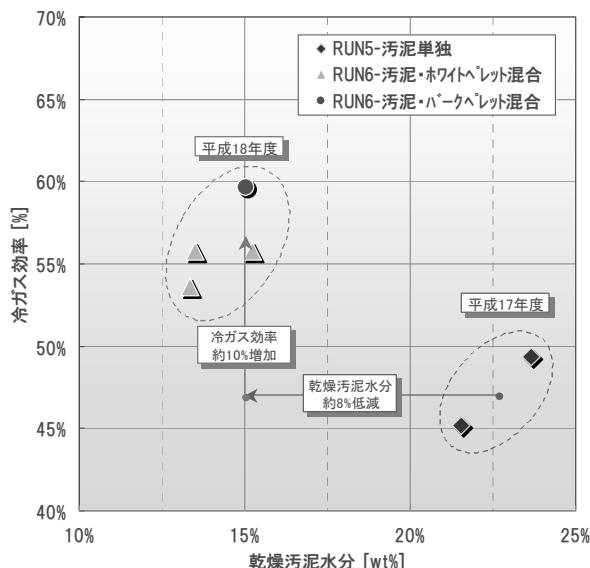


図 1-2 木材ペレット混合による冷ガス効率の変化

冷ガス効率は木材ペレットを混合することで約 10% と大幅に向上し、同時に乾燥汚泥の水分は約 8% 低下したことが確認された。これは下水汚泥と比較して発熱量の高い木材ペレットの混合によりバイオガス発生量が増加した結果、バイオガスからの熱回収量 (= 汚泥乾燥用熱源) が増加し、汚泥乾燥度が向上したためである。

汚泥乾燥度の向上 (= ガス化原料発熱量の上昇) は、更なるバイオガス熱量の増加につながるという相乗効果により、冷ガス効率は平成 17 年度の汚泥単独試験時と比較して大

幅に向上的結果となった。

#### 4. 3 ガスエンジン

次に、ガスエンジンにおける運転状況を以下に示す。本システムではバイオガスに都市ガスを混合し、発熱量を高めた上でガスエンジンに供給する。これは、バイオガス単独よりもバイオガスに都市ガスを混合してエンジン規模を大きくし、ガスエンジン排ガスから回収する熱量（汚泥乾燥用熱源）を増加させることで、システム総合効率の向上を図っているためである。平成 17 年度は設備スペックの都合上、バイオガスの都市ガスへの混合比率（熱量比）は約 27% であったが、平成 18 年度試験では設備を改造し、熱量比 50% 以上での連続運転を目標に試験を行った。

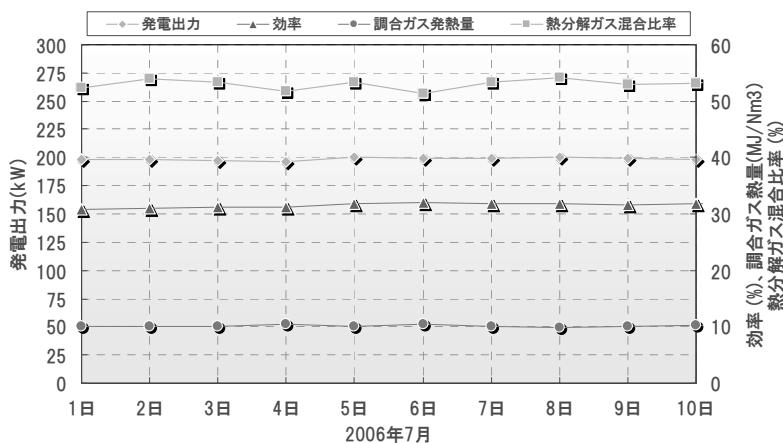


図 13 ガスエンジン運転状況

図 13 に示したように、ガスエンジンはバイオガス混合比（熱量比）50%以上で安定して定格連続運転が可能であった。

なお、その際の発電効率は 31~32%程度、調合ガス（バイオガスと都市ガスの混合ガス）発熱量は 10MJ/Nm<sup>3</sup> 程度であった。

また、下水汚泥由来のバイオガスに特徴的に含まれるシロキサンは、ガス改質炉の温度を 800°C 以上に保つことで、ガスエンジンメーカーが示す許容値の 1/3~1/4 程度まで低減されることも確認している。これは専用のシロキサン除去装置を設置することなく、ガスエンジンへのバイオガス供給が可能であることを示唆するものである。

#### 4. 4 木質系バイオマスに含有されるNa、Kの影響

下水汚泥中には P、Na、K 等が含まれ、ガス化温度の低下する箇所においては低融点の共晶物※が生成する可能性が考えられる。下水汚泥に Na、K が比較的多く含まれる木質バイオマスを更に混合することで、この低融点の共晶物の生成が助長され、ダクト内壁等に共晶物が付着・成長して運転を阻害（ダクト閉塞）する可能性が考えられる。

※例えば次においては、ガス化炉内温度は共晶物生成温度（共晶点）を超えている。

- K20-P205 : 614°C、Na20-P205 : 546°C、Na20-CaO-P205 : 448°C、
- Na20-MgO-P205 : 738°C、Na20-CaO-P205 : 448°C

本研究では、バイオガス温度が低下して共晶物付着の可能性があるガス改質炉出口ダクトにおいて通風抵抗を測定し、付着物生成の有無を確認した。

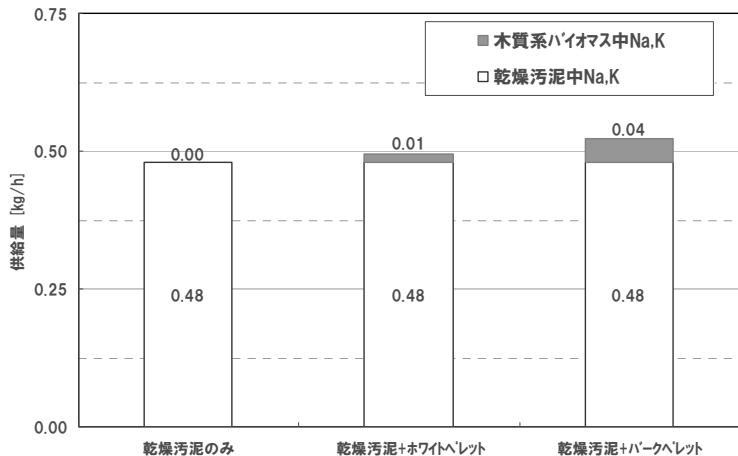


図 14 ガス化原料中のNa、K含有量

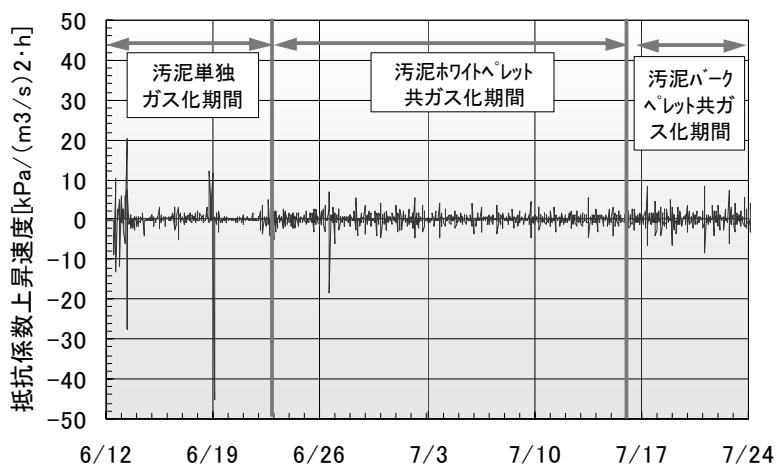


図 15 ガス改質炉出口における通風抵抗の経時変化

図15に示されたように、長期間の連続運転において通風抵抗に変化は認められず、本研究における混合率の範囲においては、木質バイオマスに含有されるNa、Kはガス化運転の阻害要因とはならないことが確認された。また、上記試験項目を通じ、木材種（幹、樹皮）の違いによる試験結果への影響は認められなかった。

#### 4.5 試算例

本研究で得られたデータを基に、100トン／日規模の設備における各種効果を試算した。試算ケースではバイオガスを汚泥乾燥のためのバーナ用ガス燃料として利用し、余剰のバイオガスでガスエンジン発電を行うものとした。木質系バイオマス混合量は、バイオガスによるガスエンジン発電量が設備全体の所用電力をまかなく事が計算上、可能となる量※に設定した。（※バイオガスへの都市ガス混合は行わず、バイオマスは約13t／日（乾燥汚泥に対する熱量比で約35%）混合と設定）

比較対照は既存の焼却システム（800℃焼却）及びN<sub>2</sub>O低減を目的とした高温焼却システム（850℃焼却）及び平成17年度に試験を実施した下水汚泥単独ガス化発電システムとした。図16にシステム概念図を、図17～18に各システムの省エネルギー効果及び温室効果ガス削減効果を示す。

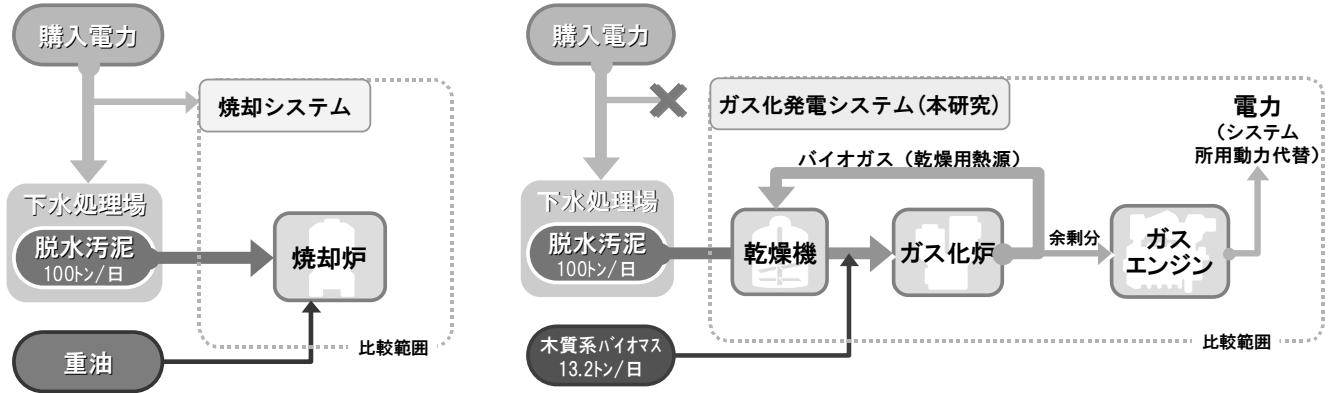


図 1-6 システム概要

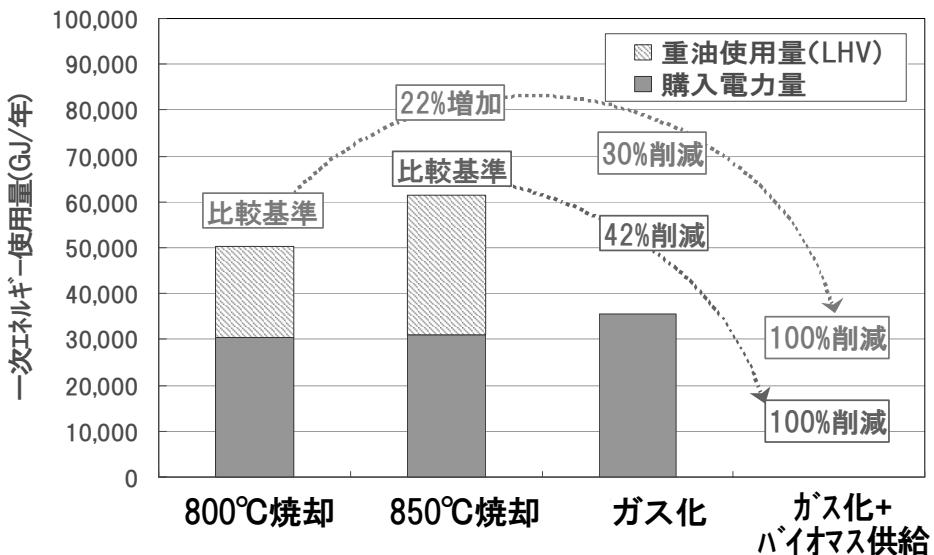


図 1-7 省エネルギー効果（一次エネルギー使用量）

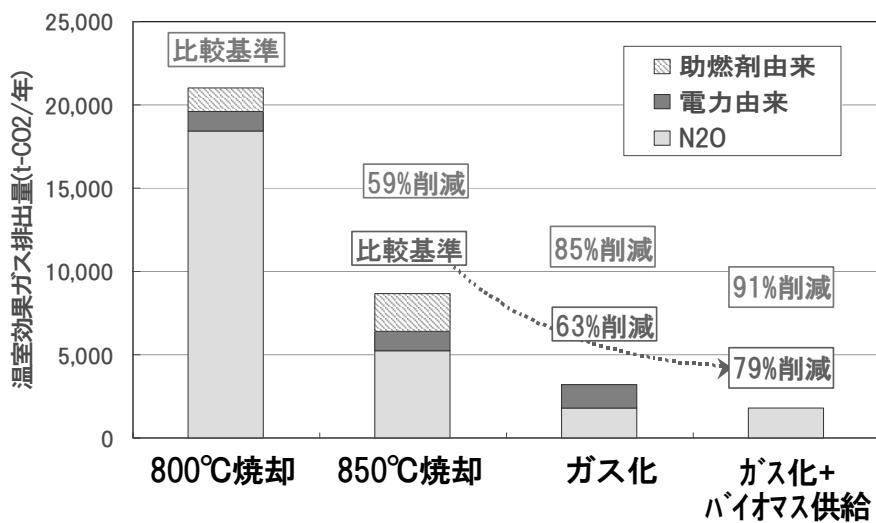


図 1-8 温室効果ガス排出量

一次エネルギー使用量（汚泥処理設備に外部から導入する一次エネルギー量）は、既存の焼却炉と比較してガス化システムでは 30%削減され、ガス化+バイオマス供給システム

では 100% 削減される試算結果となった。これは、これまで述べてきたように木質系バイオマスの供給によりガスエンジンの燃料となるバイオガス熱量が増加するためであり、化石燃料由来エネルギーに依存しない※、エネルギー自立型ガス化システムの可能性を示唆している。（※設備起動用補助燃料（都市ガス等）を除く）

温室効果ガス排出量は、既存の焼却炉（焼却温度 800°C）と比較してガス化+バイオマス供給システムでは 91% 削減（850°C 焼却と比較しても 79% の削減効果）となり、大幅な削減効果が見込まれる結果となった。これは平成 17 年度研究で明らかにしたように、還元雰囲気下にあるガス化炉ガス化室において、窒素の酸化反応が極端に抑制されることで高い温室効果がある N<sub>2</sub>O 発生量の減少が大きな要因となっている。

## 5. まとめ

下水汚泥に木質系バイオマス（剪定枝を想定した木材ペレット）を混合した原料を用いて、ガス化発電システムの実証運転を行った。その結果、木質系バイオマス混合により、下水汚泥単独ガス化時よりもバイオガスの回収量（冷ガス効率）が大幅に向上的ことが確認できた。また、木質系バイオマス中の微量成分（Na、K）の挙動を調査した結果、ガス化運転には支障をもたらさず、安定して連続運転が可能である事を確認した。

試験結果を基に 100 トン／日規模の設備を実用化した場合の効果を計算した結果、購入エネルギー量は既存の下水汚泥焼却システムと比較して 100% 削減が可能であり、温室効果ガスは約 91% 削減可能である事が示され、平成 17 年度に試験した下水汚泥単独ガス化発電システムと比較して、その効果は向上することが確認できた。

今後はまず下水汚泥単独でのガス化発電システムを実用化し、省エネルギー化や温室効果ガスの削減を図ると共に、来る将来の複合バイオマス利用設備に向けての検討も進めてゆく予定である。

# 3-(2)-1 粒度調整灰を利用した高流動コンクリートセグメントに関する共同研究について

建設部 設計調整課 高久 節夫

## 1. 共同研究の目的

東京都下水道局は、下水道の水処理過程で発生する汚泥の焼却灰の有効活用の一環として、普通コンクリートを用いる二次製品に粒度調整灰（スーパー・アッシュ）（以下粒調灰という）コンクリートとして、遠心力鉄筋コンクリート管、組立て人孔、ボックスカルバート、シールド工事用セグメントと順次技術開発を行い活用してきた。

しかし、シールド工事用セグメントには普通コンクリートに粒調灰を利用したコンクリートが用いられている。このシールド工事用セグメントに高流動コンクリートが採用されたため、普通コンクリートと同様に粒度調整灰を利用した高流動コンクリートの技術を確立するため民間会社4社と簡易型共同研究で実施した。

なお、粒度調整灰の利用量は可能な限り上限を求めるとした。

## 2. 共同研究について

この共同研究は、既に技術開発が行われた普通コンクリートに粒調灰を利用した研究の類似研究として、東京都下水道局の共同研究形式の一つである簡易提供型共同研究で実施された。共同研究の研究者及び研究期間は、つぎのとおりである。

### 2. 1 共同研究者

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1) 東京都下水道サービス株式会社 | 2) 日本コンクリート工業株式会社 |
| 3) 石川島建材工業株式会社    | 4) 大成ユーレック株式会社    |

### 2. 2 共同研究期間

平成18年10月2日～平成19年6月30日

## 3. 高流動コンクリートによるセグメントの製造過程

高流動コンクリートのフレッシュコンクリートの要求品質は表-1で、硬化後のコンクリート要求品質は表-2のとおりである。

表-1 フレッシュコンクリートの要求品質

項目	目標品質	方法
スランプフロー試験	650±50mm	JIS A 1101
空気量試験	2.0±1.0%	JIS A 1128
塩化物量	0.3Kg/m <sup>3</sup>	JIS A 1144
コンクリート練り上げ温度	35°C以下	JIS A 1156

表 - 2 硬化後のコンクリート要求品質

項目	目標品質
コンクリートの圧縮強度（材齢 28 日）	42N/mm <sup>2</sup> 以上
コンクリートの圧縮強度（脱型時）	12N/mm <sup>2</sup> 以上

また、高流動コンクリートによるセグメントの製造は、固定型枠に流動性の高いコンクリートを打ち込み、型枠振動器により締め固めを行う。したがって、普通コンクリートを用いた場合の型枠ごと振動器に載せて固める工程より、型枠が簡易で低価格である。

#### 4. 粒調灰を利用した高流動コンクリートの配合

高流動コンクリートの流動性を失うことなく要求品質を満足し、かつ、可能な限り粒調灰を利用する配合について、各配合とも数種類の試験練りを行い、表-1のフレッシュ性能を満足するものの中から最適と思われる配合を選定し、表-3のよう決定した。

表 - 3 示方配合

配合 (粒調灰 利用量)	W/C (%) W/B (%)	減水 剤混 入率 %	粒調 灰使 用量 SA/C %	単位 粉体量 %	単位量 (Kg/m <sup>3</sup> )						
					水 W	セ メ ン ト C	粒調灰 SA	細骨 材 S	粗骨 材 G	減水 剤	消泡剤
55Kg/m <sup>3</sup>	35.7 (32.1)	1.25	11.2	0.176	175	490	55	927	778	6.81	0.0327
61Kg/m <sup>3</sup>	35.7 (31.8)	1.20	11.0	0.180	177	496	61	868	846	6.68	0.0000
68Kg/m <sup>3</sup>	34.2 (30.2)	1.25	13.1	0.190	177	518	68	839	807	7.33	0.0000
高流動 (参考)	35.0 31.2	0.75 12.31	LS 12.31	0.183	177	506	LS 62	897	785	4.26	0.000

注：B:結合材（セメント+粒調灰）、粒調灰=粒度調整灰、LS=石粉

#### 5. 圧縮強度の確認

表-3の示方配合に基づき、4種類の配合の各々の供試体を製作し、養生を2通りの方法で行い、脱型強度と材齢7日・28日の圧縮強度を確認した。その結果は表-4のとおりである。

なお、養生は2通りの方法で行った。A養生は通常用いる方法であり、B養生は初期強度（脱型強度）発現の促進を図るため行うものである。

A養生：前置き20°Cで2h→昇温2h→60°C保持2.5h→降温0.5h→脱型後恒温室養生

B養生：前置き20°Cで2h→昇温2h→60°C保持3.5h→降温0.5h→脱型後恒温室養生

表 - 4 測定結果

配合 (粒調灰利用量)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			
	養生 A ハーフ (60°C - 2.5 h)		養生 B ハーフ (60°C - 3.5 h)	
	7 h	28 日	7 h	28 日
55Kg/m <sup>3</sup>	14.1	46.5	19.2	47.7
61Kg/m <sup>3</sup>	8.36	38.0	確認せず	
68Kg/m <sup>3</sup>	9.38	38.2	14.1	38.6
石粉 (参考)	21.6		26.4	
要求品質	12≤	42<	12≤	42<

## 6. 結論

粒調灰を可能な限り多量に利用した高流動コックリートによるセグメントの開発であったが、粒調灰の持つ吸水性の効果がコンクリートフレッシュ性状の確保を困難にし、かつ、粒調灰に含有するリン成分 ( $P_2O_5$  約 20%) が強度の発現を妨げる<sup>1)</sup> ことが判明した。

その結果、最終的な配合は、粒調灰に含まれるリンのバラつきなどを考慮して 7 h の脱型及び材齢 28 日の両基準強度を 2 通りの養生方法で満足する表 - 5 の粒調灰 55Kg/m<sup>3</sup> 利用の配合を最適な配合と決定した。

表 - 5 粒調灰を利用した高流動コンクリートの配合

配合 (粒調灰 利用量)	W/C (%)	減水 剤混 入率 (%)	粒調 灰使 用量 SA/C (%)	単位 粉体量 (%)	単位量 (Kg/m <sup>3</sup> )						
					水 W	セ メ ン ト C	粒調灰 SA	細骨 材 S	粗骨 材 G	減水 剤	消泡剤
55Kg/m <sup>3</sup>	35.7 32.1	1.25	11.2	0.176	175	490	55	927	778	6.81	0.0327

## 参考文献

- 1) (社) 日本コンクリート工学協会 : コンクリート技術の要点 98, 1998

### 3-(2)-2 防菌コンクリートに粒度調整灰を加えたコンクリート

#### 製品の耐久性確認に関する共同研究

建設部 設計調整課 橋本 勝浩

##### 1 研究目的

本研究は、粒度調整灰（スーパー・アッシュ）入り防菌コンクリートの耐腐食性について、コンクリート供試体を硫化水素中に曝露し、従来の防菌コンクリートと粒度調整灰入り防菌コンクリートとの耐腐食性能を比較することで、粒度調整灰の添加が従来の防菌コンクリートに影響を及ぼさないことを確認し、粒度調整灰の利用拡大を図るものである。

##### 2 研究形態

###### (1) ノウハウ+フィールド提供型

提供フィールドは、新河岸水再生センター汚泥濃縮槽とした。

###### (2) 共同研究者

日本ヒューム株式会社

###### (3) 研究期間

平成 17 年 2 月 28 日～平成 19 年 3 月 30 日

##### 3 研究項目

防菌コンクリートは、イオウ酸化細菌の活動を阻害し、コンクリート表面での硫酸生成を抑制するものとして開発され、普通コンクリートに防菌剤（ニッケル、タンクスチタン等）を混入した耐腐食性に富む技術であり、平成 16 年 3 月に下水道新技術推進機構の建設技術審査証明書を取得しており、防菌剤入り鉄筋コンクリート管は、日本下水道協会の II 類認定資機材に指定されている。

また、粒度調整灰入りコンクリートは、鉄筋コンクリート管、組立人孔などのコンクリート二次製品として当局標準となっている。

本研究は、防菌剤入りコンクリートに粒度調整灰を添加した鉄筋コンクリート管（供試管）の強度確認と、粒度調整灰入り防菌コンクリート（供試体）の耐腐食性の確認として曝露試験を行った。

### (1) 供試管の外圧試験

以下①～③の供試管により外圧試験を行った。

- ①粒度調整灰入り鉄筋コンクリート管（外圧管及び、推進管）
- ②粒度調整灰+防菌剤入り鉄筋コンクリート管（外圧管及び、推進管）
- ③防菌剤入り鉄筋コンクリート管（外圧管及び、推進管）

### (2) 供試体の暴露試験

以下①～③の供試体により暴露試験（重量測定、中性化試験、硫黄侵入深さ測定）を行った。

- ①粒度調整灰入りコンクリート供試体
- ②粒度調整灰+防菌コンクリート供試体
- ③防菌コンクリート供試体

## 4 研究方法

### 4. 1 供試管の外圧試験

#### (1) コンクリート配合

鉄筋コンクリート管（外圧管及び推進管）の配合を表1～表6に示す。

粒度調整灰は、細骨材の代替としてセメントの5%を添加した。防菌剤は、コンクリート1m<sup>3</sup>当たり4kg外割り添加した。

①外圧管の配合（B形管1種 φ250mm）

表1 粒度調整灰入り

水セメント比 W/C [%]	細骨材率 S/A [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]					
		水	セメント	細骨材	粒度調整灰	粗骨材	混和剤
42	57	189	450	931	23	747	1.13

表2 粒度調整灰+防菌剤入り

水セメント比 W/C [%]	細骨材率 S/A [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]						
		水	セメント	細骨材	粒度調整灰	粗骨材	混和剤	防菌剤
42	57	189	450	931	23	747	1.13	4

表3 防菌剤入り

水セメント比 W/C [%]	細骨材率 S/A [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]					
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	防菌剤
42	57	189	450	954	747	1.13	4

②推進管の配合 (E形管1種 φ400mm)

表4 粒度調整灰入り

水セメント比 W/C [%]	細骨材率 S/A [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]					
		水	セメント	細骨材	粒度調整灰	粗骨材	混和剤
35.4	44.4	170	480	730	24	960	1.80

表5 粒度調整灰+防菌剤入り

水セメント比 W/C [%]	細骨材率 S/A [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]					
		水	セメント	細骨材	粒度調整灰	粗骨材	混和剤
35.4	44.4	170	480	730	24	960	1.80

表6 防菌剤入り

水セメント比 W/C [%]	細骨材率 S/A [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]					
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	防菌剤
35.4	44.4	170	480	754	960	1.80	4

## (2) 外圧試験方法

外圧試験は、JIS A5372「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」に準じて行った。



外圧試験の状況

## 4. 2 供試体の暴露試験

### (1) 供試体の配合

暴露供試体の配合を表7～表9に示す。

粒度調整灰は、細骨材の代替としてセメントの5%を添加した。防菌剤は、セメントの1%を添加した。

表7 粒度調整灰入り

水セメント比 W/C [%]	砂セメント比 S/C [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]			
		水	セメント	細骨材	粒度調整灰
50	200	315	630	1228	32

表8 粒度調整灰+防菌剤入り

水セメント比 W/C [%]	細骨材率 S/A [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]				
		水	セメント	細骨材	粒度調整灰	防菌剤
50	200	315	630	1228	32	6.3

表9 防菌剤入り

水セメント比 W/C [%]	細骨材率 S/A [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]			
		水	セメント	細骨材	防菌剤
50	200	315	630	1260	6.3

### (2) 暴露方法

新河岸水再生センターの汚泥濃縮槽排水ピット内に、供試体を入れたステンレス製の箱を吊り下げ、約7ヶ月間暴露を行った。暴露期間中における硫化水素の測定を目的とし、拡散式連続硫化水素測定器を設置した。



供試体設置状況



拡散式連続化水素測定器

## 5 研究結果

### 5. 1 外圧試験結果

外圧試験の結果を表 10 に示す。

表 10 外圧試験結果

呼び径	供試管	区分	外圧強さ				合否判定	
			ひび割れ荷重		破壊荷重			
			[KN/L]	[KN/m]	[KN/L]	[KN/m]		
$\phi 250 \times 2000$		(規格値)	(33.4)	(16.7)	(51.2)	(25.6)		
		試験値	39.0	19.5	72.5	36.3	合格	
			43.5	21.8	85.5	42.8	合格	
			41.0	20.5	74.0	37.0	合格	
$\phi 400 \times 2430$		(規格値)	(95.5)	(39.3)	(143.2)	(58.9)		
		試験値	125.0	51.4	271.0	111.5	合格	
			134.0	55.1	274.0	112.8	合格	
			140.0	57.6	283.0	116.5	合格	

全ての配合の供試管において、規格値を満足しており、配合の違いによる強度の差は見られなかった。

### 5. 2 暴露試験結果

#### (1) 暴露環境

供試体の設置日、採取月日及び、そのときの暴露環境測定結果を表 11 に示す。

表 11 供試体の暴露環境

	日 付	硫化水素濃度 [ppm]
供試体設置	平成17年9月14日	60
1回目採取	平成17年11月8日	75
2回目採取	平成18年1月25日	20
3回目採取	平成18年4月6日	70

暴露期間中の硫化水素濃度の変化を図 1 に示す。

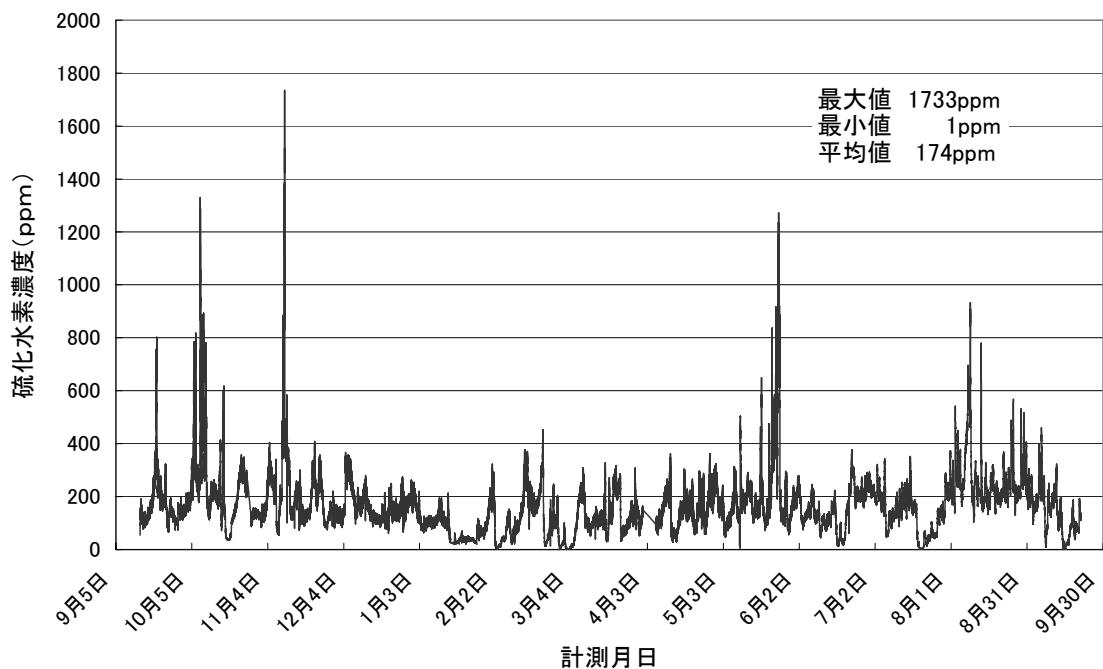


図1 暴露期間中の硫化水素の経時変化

暴露期間中の硫化水素の最大値 1733ppm、最小値 1ppm、平均値は 174ppm であった。

## (2) 暴露供試体の重量変化

暴露供試体の重量変化を図2に示す。

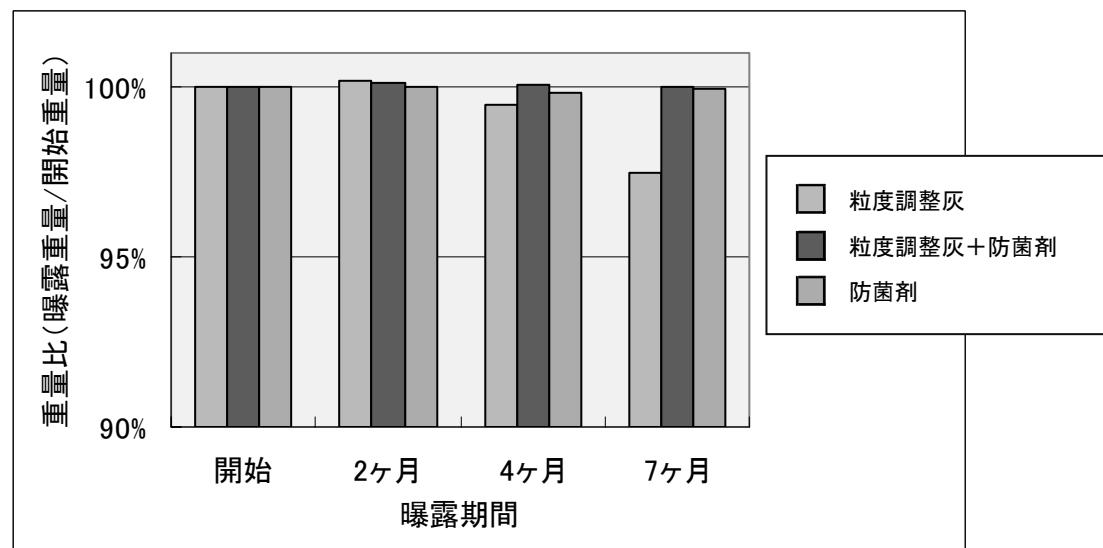


図2 暴露供試体の重量変化

暴露期間4ヶ月までは、多少の変化は見られるものの、あまり顕著な差は確認できなかったが、7ヶ月で粒度調整灰入りコンクリートの重量変化率が大きいことが分かった。

7ヶ月での重量比（暴露後の供試体重量／暴露前の供試体重量）は、①粒度調整灰入りコンクリート（85%）、②粒度調整灰＋防菌コンクリート（97%）③防菌コンクリート（96%）となり、①のみの腐食が顕著であり、②と③との腐食の差は見られなかった。

### （3）中性化試験

暴露供試体の中性化試験の結果を表12に示す。

表12 中性化試験結果

供試体	暴露期間	最大中性化深さ [mm]
①粒度調整灰	4ヶ月	0
	7ヶ月	6.0
②粒度調整灰＋防菌剤	4ヶ月	0
	7ヶ月	1.0
③防菌剤	4ヶ月	0
	7ヶ月	0.5

暴露期間4ヶ月までの供試体に中性化は見られなかったが、暴露期間7ヶ月では、各供試体に中性化が見られ、粒度調整灰入りコンクリートでは腐食と同時に最大中性化深さは6mmに達した。なお、最大中性化深さの数値は、腐食して欠損した部分も含まれている。

### （4）硫黄侵入深さ測定試験

電子線マイクロアナライザ（EPMA）により測定し、硫黄の侵入深さを図3～図5に示す。

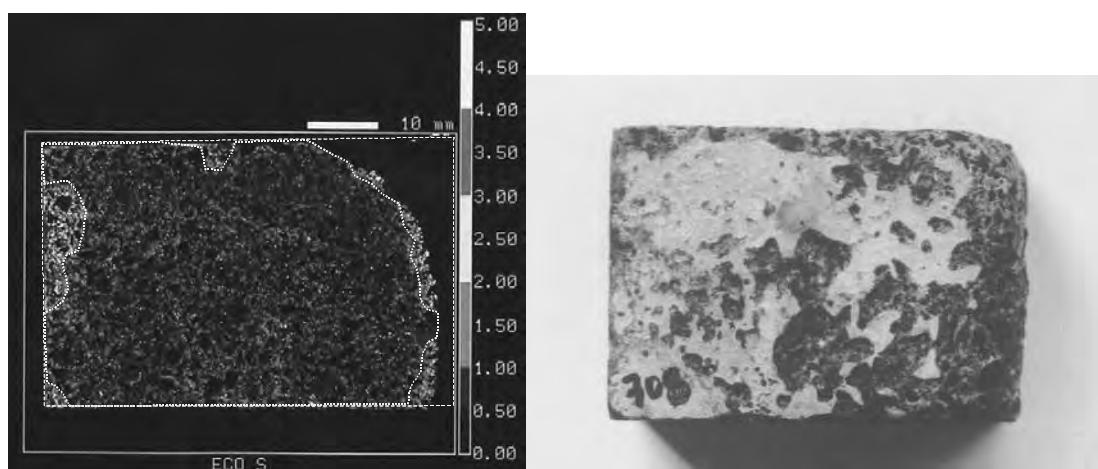


図3 粒度調整灰入りコンクリート

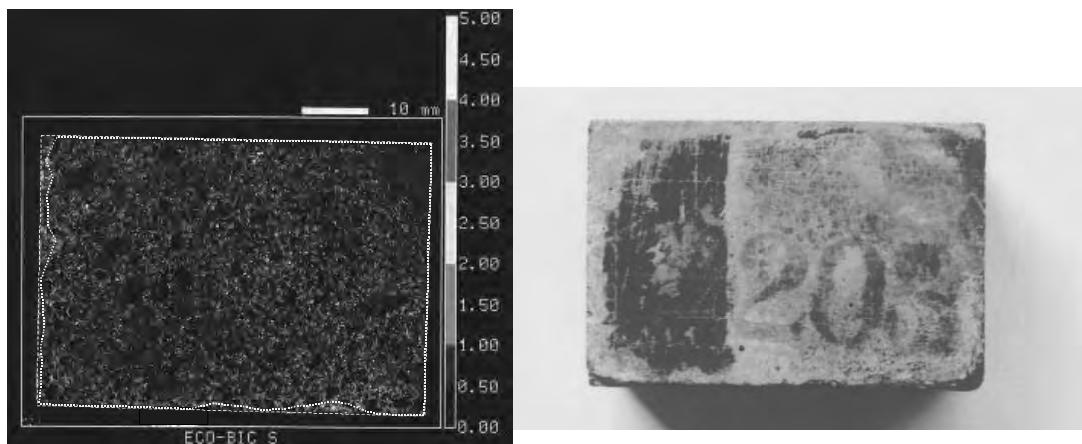


図4 粒度調整灰入り+防菌コンクリート

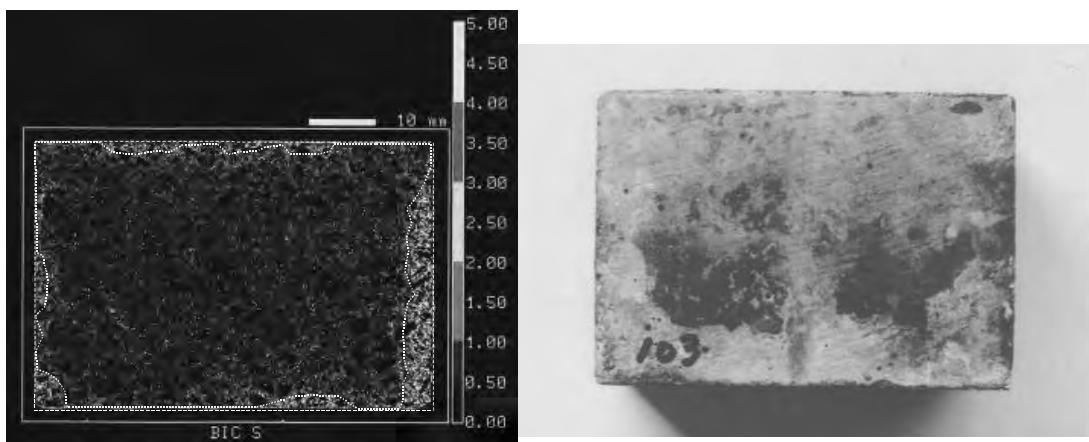


図5 防菌コンクリート

表13 硫黄侵入深さ

供試体	暴露期間	最大硫黄侵入深さ [mm]
①粒度調整灰	12ヶ月	8.5
②粒度調整灰+防菌剤	12ヶ月	2.2
③防菌剤	12ヶ月	4.3

## 6 まとめ

- ・防菌コンクリートに粒度調整灰を添加しても、外圧強度の低下は見られなかった。
- ・粒度調整灰の添加が、防菌コンクリートに対する腐食性能への影響が無いことを確認した。

これらのことから、本技術は、従来の防菌コンクリートと同等の性能が確認できたことから、耐腐食対策として、防菌コンクリート（鉄筋コンクリート管、組立人孔の二次製品）に粒度調整灰を添加したものを利用し、粒度調整灰の利用拡大を図ることのできる技術である。

### 3-(3)-1 下水汚泥ガス変換発電システムの実用化検証

計画調整部技術開発課 永野雅博 並木圭治 田崎敏郎

#### 1 はじめに

下水汚泥ガス変換発電システム（以下「本システム」という）は、下水汚泥中の可燃分をガス化後、酸素と反応させ、一酸化炭素や水素などの燃料ガスに改質し、ガスエンジンにより発電するシステムである。自らの運転に必要な電力の一部を賄うことができ、低酸素状態で汚泥を熱分解・ガス化することから、N<sub>2</sub>Oの発生が少なく、温室効果ガス排出量の削減に大きく貢献できる技術である。

平成15年度から平成17年度にかけて、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が公募したテーマ「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」に参加し、委託を受けた日本ガイシ株式会社、三菱重工業株式会社及び財団法人エネルギー総合工学研究所と、東京都下水道サービス株式会社及び東京都下水道局が「ノウハウ+フィールド提供型共同研究」の制度により、一定の成果を上げている。

今回、実用化するに当たり必要となる問題点やシステムの安定性向上、実施規模へのスケールアップした場合の評価などを目的に、株式会社 NGK 水環境システムズ、東京都下水道サービス株式会社及び東京都下水道局により本システムの実用化検証を行ったので、報告する。

#### 2 研究目的

- (1) システムの安定性評価
- (2) 触媒によるシアン（HCN）分解性能の評価
- (3) N<sub>2</sub>O 排出量調査
- (4) スケールアップした場合の評価
- (5) 導入効果

#### 3 本システムの概要

本システムのフローを図1に示す。

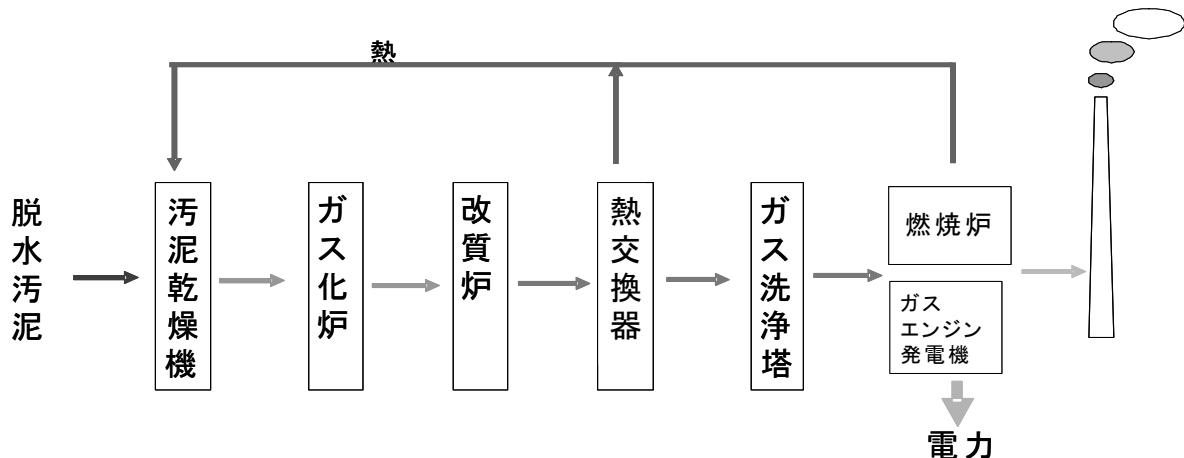


図1 システムフロー

本システムは、乾燥設備、ガス化炉、改質炉、熱交換器、ガス洗浄塔、発電設備、燃焼炉より構成される。ガス化のための補助燃料を用いないで可燃性ガスへの変換が可能である。

#### 4 実証設備フロー

実証設備のフローを図 2 に示す。

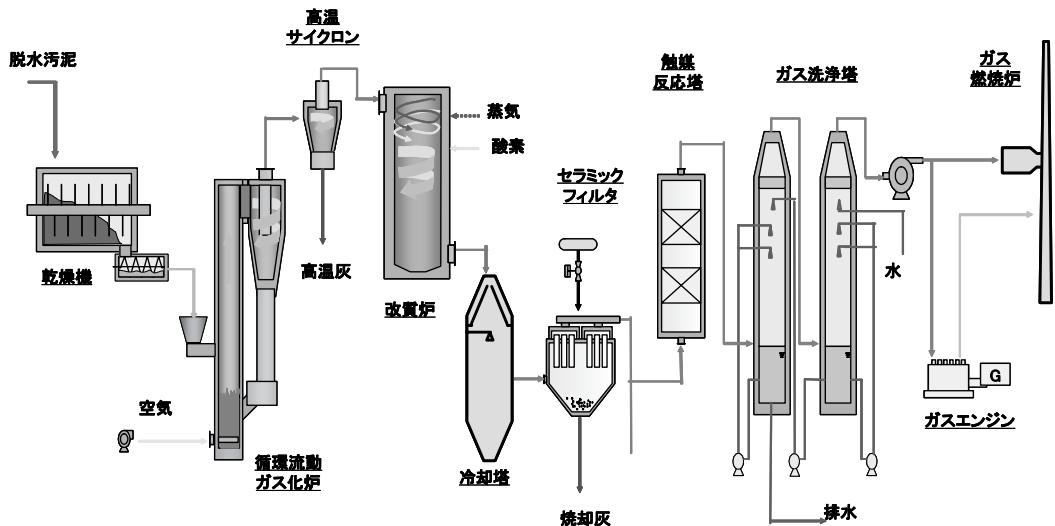


図 2 実証設備フロー

脱水汚泥を水蒸気乾燥機にて含水分 30%程度に乾燥した後、ガス化炉で約 800°Cにて乾燥汚泥を部分燃焼し、ガス化する。ガス化ガスは高温サイクロンで灰分を粗取りした後、改質炉で 1,000°Cにて酸素と水蒸気により分解する。燃料ガスは冷却塔で約 400°Cまで冷却後、セラミックフィルタで灰分を除去し、触媒反応塔へ供給する。触媒反応塔では、HCN 等の有害物質を分解し、ガス洗浄塔により有害成分を除去する。精製された燃料ガスは、ガスエンジン発電もしくはガス燃焼炉で燃焼して大気へ放出される。本システムは、汚泥を低酸素下で分解するため  $N_2O$  の発生が少ないという特徴を有する。

#### 5 循環流動ガス化炉+改質炉の特徴

本システムの主要機器である循環流動ガス化炉と改質炉の概念図を図 3 に示す。

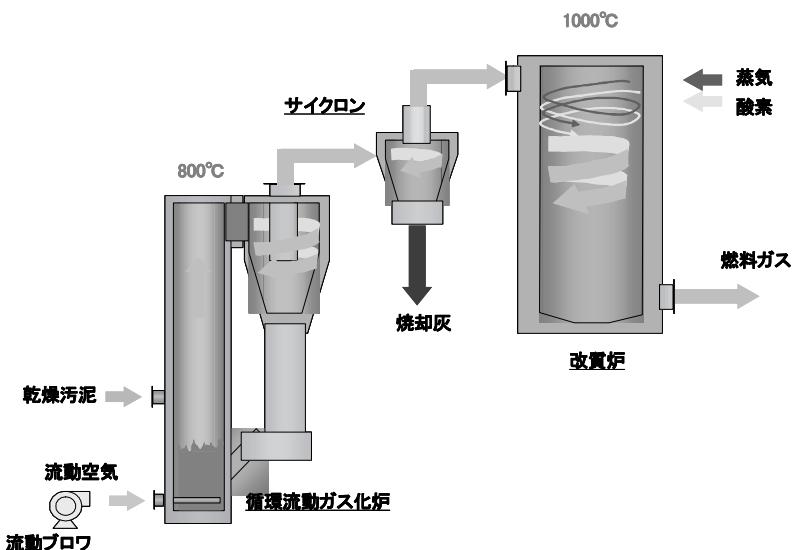


図 3 循環流動ガス化一改質炉概念図

循環流動ガス化炉は、空気を流動ガスとし、投入された乾燥汚泥を800°Cの高温下において、水素・一酸化炭素・炭化水素とタール分を含有する熱分解ガス、残渣とに分解する。循環流動ガス化炉は、流動媒体と乾燥汚泥が高速で拡散しながらガス化するため均一温度下で安定したガス化が達成できる。

ガス化炉で生成した残渣は、サイクロンにより高温下で捕集し焼却灰を回収する。

改質炉では熱分解ガス中の炭化水素とタール分を十分に低分子化（改質）するため、酸素と蒸気の混合ガスを供給し、1,000°Cにおいて燃料ガスに改質する。

## 6 実証試験

試験は、システムの安定性の確認と信頼性向上を目的に調査項目を設定し、5回に分け延べ91日間の実証運転を行った。

実証試験の緒元を表1、表2に示す。

表1 乾燥汚泥の性状

乾燥汚泥性状	粒状
灰分	17% (D.B.)
含水率	30% (W.B.)
炭素	43% (D.B.)
低位発熱量	18MJ/kg-DS

表2 ガス変換実証実験条件

汚泥投入量		脱水汚泥 5t/日
ガス化	ガス化温度	800°C
	ガス化剤	空気+酸素
改質	改質温度	1,000°C
	改質炉供給ガス	酸素+水蒸気

## 7 試験結果

### (1) システムの安定性評価

図4に汚泥処理量とガス化炉、改質炉温度、図5に連続分析計での燃料ガス性状を示す。

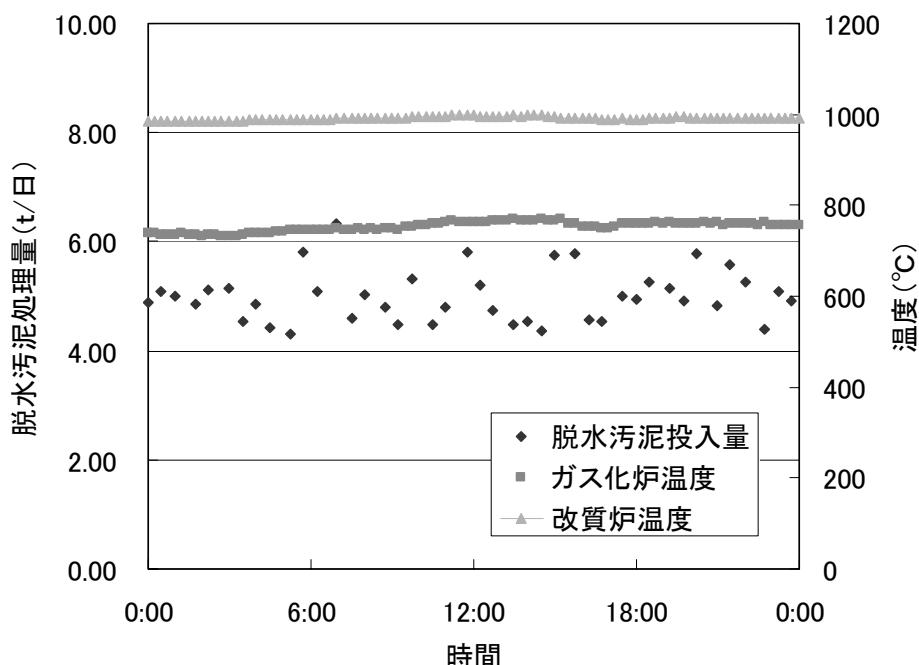


図4 汚泥処理量とガス化炉、改質炉温度

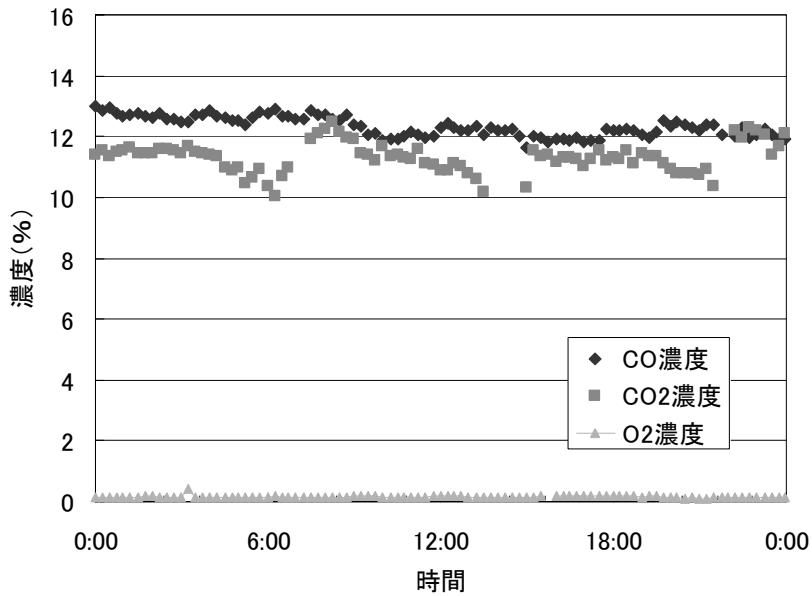


図 5 燃料ガス性状

図 4 から分かるように、ガス化炉の温度が 800°C 程度、改質炉の温度が 1,000°C 程度で安定していることが確認できた。また図 5 からガス組成は、一酸化炭素 13% 程度、二酸化炭素 11% 程度と安定していた。

なお、燃料成分である水素は約 10% で推移しており、ガス量も 800kcal 前後と安定したガスの回収が可能であった。

## (2) 触媒によるシアン (HCN) 分解性能評価

下水汚泥には、窒素と硫黄分が比較的多く含まれているため、ガス化・改質反応においてシアンや硫化水素 ( $H_2S$ )、アンモニア ( $NH_3$ ) が副生する。そこでシアンについては、触媒を用い、350~400°Cで反応させ、アンモニアに分解し、処理することとしている。

図 6 に触媒反応塔での HCN 分解率を示す。

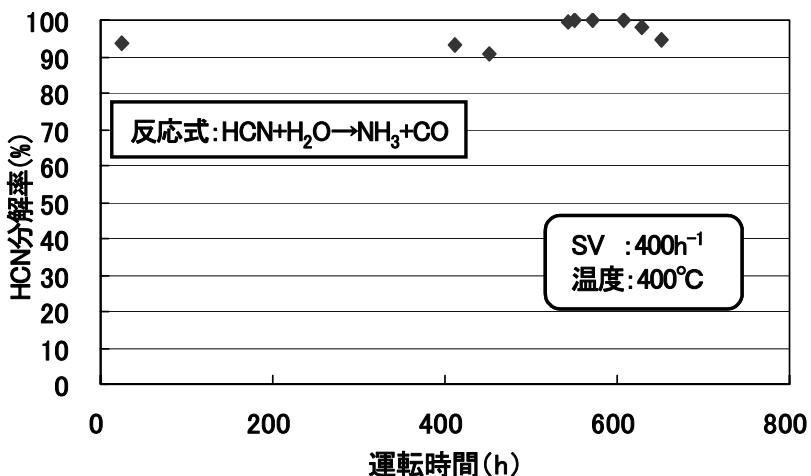


図 6 触媒活性の経過

触媒反応塔での HCN 分解率は、濃度の変動に係らず 90%以上で、安定した分解率であった。

また、約 700 時間経過しても触媒の劣化がみられないことから、燃料ガス中に含まれる HCl や S 分等の成分に対しても耐性を有していることが確認できた。

### (3) N<sub>2</sub>O 排出量調査

表 3 に実証設備における精製ガス燃焼炉排ガス中の N<sub>2</sub>O 濃度を示す。当初 8ppm であった N<sub>2</sub>O 濃度は、ガス精製系における洗浄機能の増強により、燃料ガス中の N 分が十分除去されたため、検出限界である 5ppm 以下であることが確認できた。

表 3 N<sub>2</sub>O 濃度

測定日	精製ガス燃焼炉灰ガス
H18. 5. 17	8ppm
H18. 9. 26	7ppm
H18. 10. 27	<5ppm
H18. 12. 20	<5ppm
H18. 12. 21	<5ppm
H18. 12. 22	<5ppm
H19. 2. 6	<5ppm
H19. 2. 7	<5ppm
H19. 2. 8	<5ppm
H19. 2. 9	<5ppm

### (4) スケールアップした場合の評価

実証設備は、脱水汚泥 5t/日の処理に対する設備として設計したものだが、平成 17 年度までの実験結果から炉本体の処理能力に余裕があることが分かったため、スケールアップの評価を行うに当たり脱水汚泥 10t/日をガス化処理した場合の調査を行った。図 7 に汚泥処理量とガス化炉、改質炉の温度、図 8 に燃料ガス性状を示す。

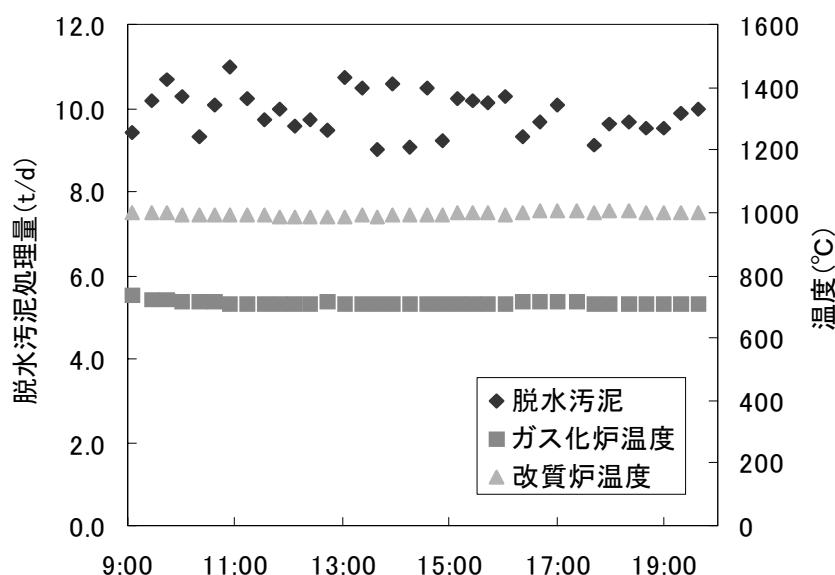


図 7 汚泥処理量とガス化炉・改質炉温度

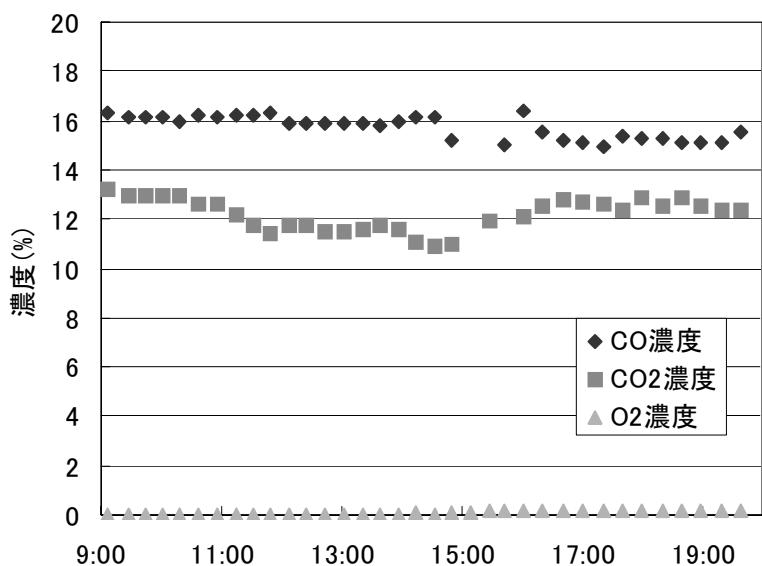


図 8 燃料ガス性状

図 7 から分かるように、ガス化炉の温度が 750°C、改質炉の温度が 1,000°C でほぼ一定となっていることが確認できた。また図 8 からガス組成は、一酸化炭素 15% 程度、二酸化炭素 13% 程度と安定していた。調査により得られたガス化効率を表 4 に示す。また、この結果を基に脱水汚泥 300 t/日規模の循環流動ガス化炉と流動焼却炉の比較図を図 9 に示す。

表 4 ガス化効率

脱水汚泥(t/日)	5	10
燃料ガス量(m <sup>3</sup> N/h)	143.5	142.2
燃料ガス発熱量(kcal/m <sup>3</sup> N)	778	1,226
ガス化効率(%)	44.1	48.1

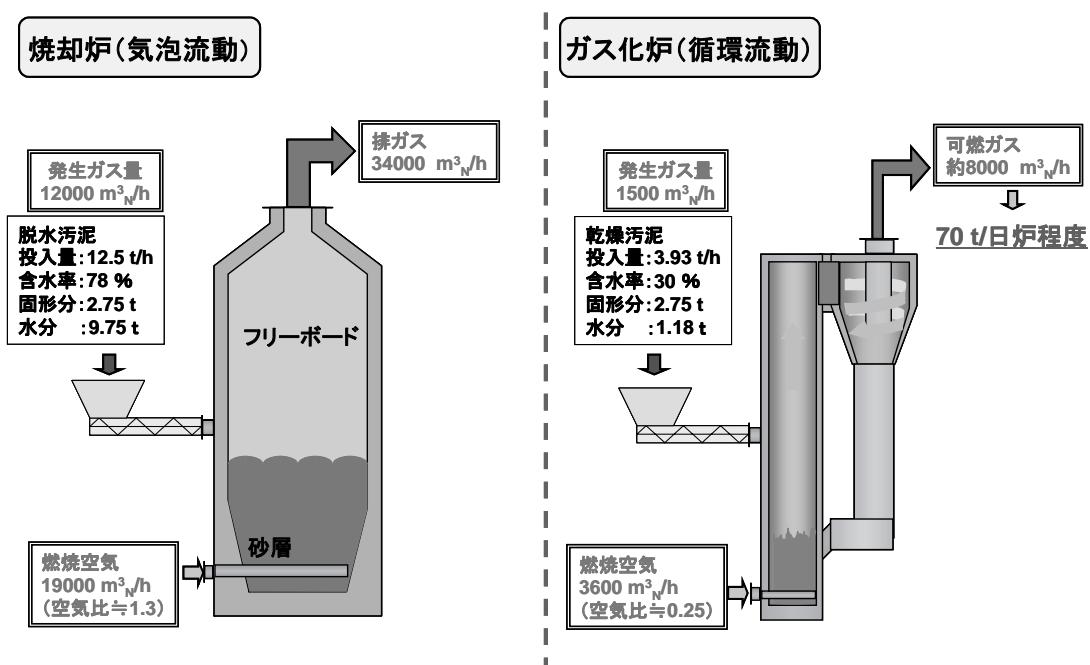


図 9 焼却炉とガス化炉の比較

ガス化炉は、乾燥機により含水率を30%まで乾燥した汚泥を投入するため、水蒸気量が少ないうえ、部分燃焼条件で運転するため燃焼空気の供給量もすくなくなることから、流動焼却炉に比べガス量が少くなり炉床負荷も大きく取れる。したがって、脱水汚泥300 t/日の処理をするには、70 t/日規模の循環流動焼却炉と同程度の大きさとなる。

### (5) 導入効果

実証試験で得られた結果を基に、脱水汚泥300 t/日から得られた燃料ガスを汚泥乾燥機の蒸気製造燃料（乾燥燃料）として用い、残りの燃料ガスでガスエンジン発電する場合について試算した。図10に示すとおり、従来の流動焼却炉（焼却温度800°C）と比較して、温室効果ガス排出量は90%以上削減されると試算された。

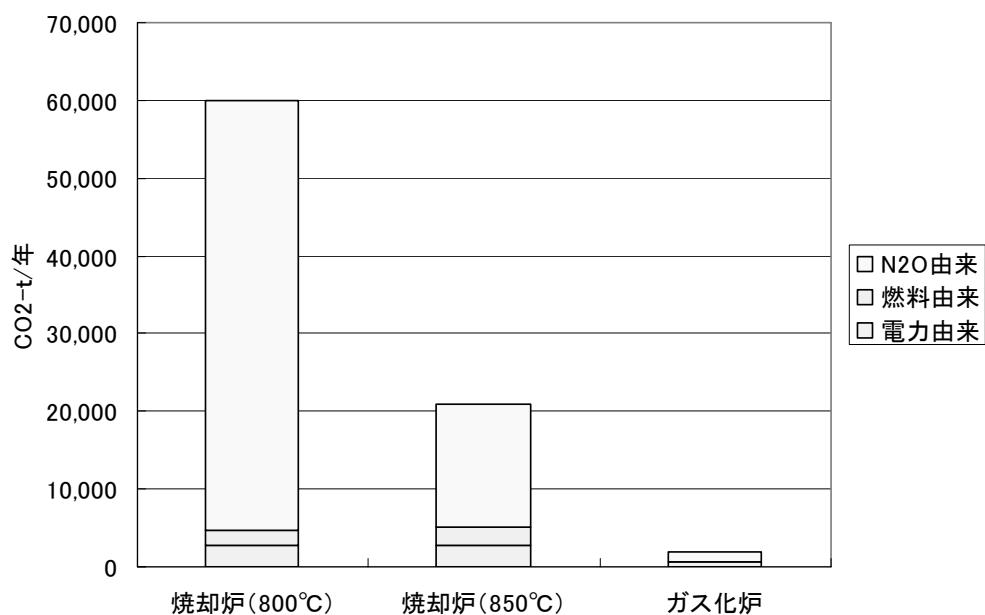


図10 温室効果ガス排出量

## 7 おわりに

今回の実証試験の結果に基づき、処理量300 t/日の実規模設備においても安定した処理と燃料ガスの回収が可能であることが判明した。また本システムの導入により、従来の焼却炉に比べ大幅に温室効果ガスの削減が可能であり、地球温暖化防止に寄与することが期待されることから、実用化を目指していく。

### 3-(3)-2 下水廃熱を利用したオフライン熱供給技術の開発

流域下水道本部技術部計画課 粕谷 誠  
高橋 肇

#### 1. はじめに

##### 1. 1 目的

下水処理過程で生じる中・低温域の排熱（70°C～350°C程度）は熱供給などで一部利用しているが、その多くは未利用のまま大気中に放出されている。

本研究は、水再生センター内にある膨大な賦存エネルギーを200°C以下でコンテナ車載の潜熱蓄熱材（PCM）に効率よく回収・貯蔵し、冷房・給湯・暖房用熱源等として広域に供給する熱供給技術の開発を目的とする。

この開発により、熱供給配管の敷設が不要になるとともに、大幅な温室効果ガスの排出削減及び省エネルギー化が図られ、環境負荷低減が可能となる。

また、本技術を活用することで、熱供給事業の危機管理能力の向上を図る。



図1 コンテナの搬送風景

##### 1. 2 研究内容

低温排熱の効果的な利用を図るために、また、本システムの実用化のために、下記4つの項目について取り組んだ。

###### (1)ハイブリッド型熱利用システムの開発

温度レベルの異なる複数の熱源及び単一の熱源を極力低温まで利用するために、複数の熱交換器を組み合わせて、高温の熱を効果的に蓄熱する「ハイブリッド型熱交換器」や、蓄熱温度の異なる複数のPCMを組み合わせて効果的に蓄熱し、高温の熱を供給する「ハイブリッド型PCMタンク」の検討・開発を行う。

###### (2)冷房用潜熱蓄熱材の開発

回収熱の冷房利用への拡大を図るために、現在実用化レベルにある蓄熱温度（PCM融解温度）よりも高温で蓄熱可能なPCMの実用化開発を行う。

###### (3)ドリーム型熱回収装置の基礎研究

水再生センター内の潜在エネルギーを利用してヒートポンプシステムの机上検討を行

う。(センター内の運動エネルギーや熱エネルギーの活用)

#### (4) エネルギー供給に関するデータ蓄積

本システムを下水汚泥焼却施設の実機に適用し、実証機を用いて、廃熱の熱回収・供給を行う実証試験を実施し、経済性・事業性の検討を行う。

### 1. 3 システム概要

本システムの概要図を図2に示す。

本システムは、下水汚泥焼却施設やごみ焼却施設等の熱源側で発生する未利用エネルギーを蓄熱タンクに貯め、これをトラックによりオフライン熱供給し、病院や庁舎等の熱利用側で暖房・冷房・給湯用等の熱源として利用するものである。

今回の研究では、熱源側を清瀬水再生センター、熱利用側を清瀬市民センターに選定した。

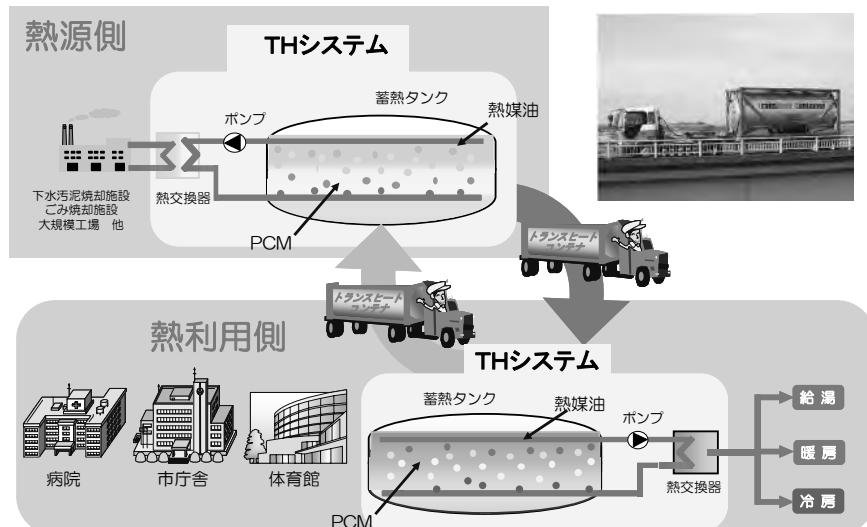


図2 システム概要

## 2. 研究結果

以下に、各研究内容について結果をまとめるとする。

### 2. 1 ハイブリッド型熱利用システムの開発

#### 2. 1. 1 目的

汚泥焼却炉からの排熱には、高温のものと低温のものがあるが、高温排熱は蓄熱速度を上げられるが利用可能量は少ない。低温排熱は、蓄熱速度は遅いが排熱量が多い、という課題がある。そこで、高温排熱と低温排熱とを組み合わせることにより、蓄熱時間の短縮及び高温での熱回収量の増加を可能とする「ハイブリッド型熱利用システムの開発」を行うことを目的とする。

その方法としては、熱交換器の組み合わせにより、熱源①（低温熱源）からの回収熱で予熱して、熱源②（高温熱源）で目標温度に加温する「ハイブリッド型熱交換器」の開発（図3）や蓄熱温度の異なる複数のPCMを組み合わせて蓄熱し、利用側において、温度レベルの低いPCM1から段階的に熱媒油を昇温する「ハイブリッド型PCMタンク」の開発を考えた。

なお、ここでの熱源は下水汚泥焼却施設の排煙処理排水（熱源①：70°C程度）や白煙防止空気（熱源②：350°C程度）を想定する。

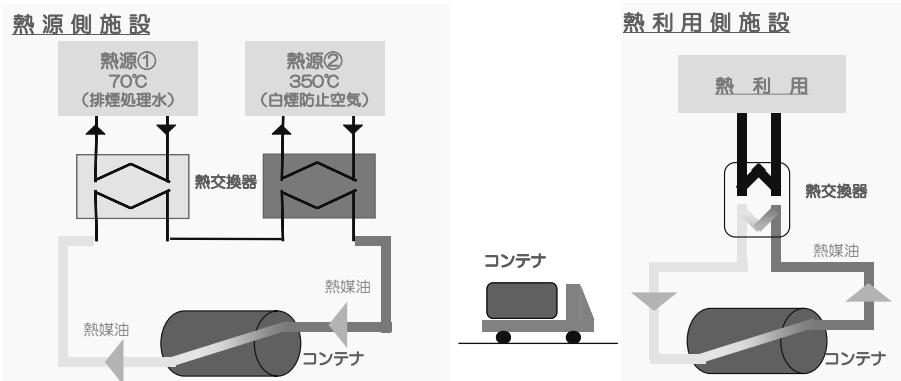


図3 ハイブリッド型熱交換器のイメージ

## 2. 1. 2 実験方法

検討の結果、「ハイブリッド型 PCM タンク」の開発は、タンクの構造や熱媒油の循環方法等に難があると判断し、「ハイブリッド型熱交換器」の実証を行うこととした。

熱源①及び熱源②の回収用として、図4に示す位置に熱交換器を設置し、熱回収を実施した。

- ・熱源① 低温用熱交換器：汚泥焼却設備3号炉・4号炉の排煙処理排水
- ・熱源② 高温用熱交換器：汚泥焼却設備3号炉の白煙防止空気

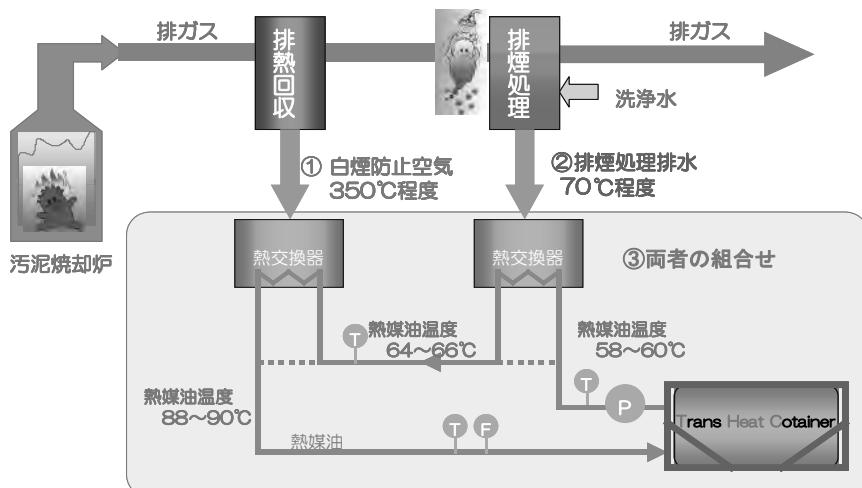


図4 ハイブリッド型熱交換器の実験方法

上記熱交換器を設置し、ハイブリッド型熱交換器の開発として RUN 1 ~ RUN 3 の蓄熱実験を実施し、蓄熱時間や回収熱量を確認した。

- ・RUN 1 : 高温用熱交換器のみを用いた蓄熱実験
- ・RUN 2 : 低温用熱交換器のみを用いた蓄熱実験
- ・RUN 3 : 高温用と低温用を共に用いたハイブリッド型蓄熱実験

## 2. 1. 3 実験結果

表1に実験結果をまとめた。ここで、高温での回収可能熱量の数値は、白煙防止空気単独で回収できる可能熱量を100とする。

表 1 実験結果

RUN No.	熱源	蓄熱時間	高温(90°C)での回収可能熱量		合計 (蓄熱温度)
			白煙防止空気	排煙処理排水	
RUN1	白防単独 (350°C)	約5時間	100	-	100 (約90°C)
RUN2	排水単独 (70°C)	約8時間	-	0	0
RUN3	白防+排水 (350°C 70°C)	5時間弱	100	16	116 (約90°C)

表にあるように、高温（実験では90°C程度）で熱回収したい場合、排煙処理排水単独では、熱源温度が足りず、回収可能熱量は0となる。一方、高温の熱源と低温の熱源とを組み合わせた場合は、低温の熱源からも回収可能となり、その回収可能熱量は、白煙防止空気単独の場合に比べ16%程度増加する。

また、蓄熱時間に関しても、熱源の組み合わせにより短縮できることが確認され、効率的な蓄熱が可能となる。

## 2. 2 冷房用潜熱蓄熱材の開発

### 2. 2. 1 目的

回収熱の冷房利用への拡大を図るため、現在実用化レベルにある蓄熱温度（融解温度）116°Cよりも高温で蓄熱可能なPCMの実用化開発を行う。

### 2. 2. 2 冷房用潜熱蓄熱材の選定

冷房用潜熱蓄熱材の選定にあたっては、下記4点にポイントを置き調査を進めた。

- (1)融点が高い
- (2)潜熱量が大きい
- (3)安全性が高い
- (4)熱安定性が高い

以上の観点から調査を進め、候補として挙げたPCMの物性値等を表2に示す。

表 2 PCM の物性値

種類	酢酸ナトリウム 三水和物	塩化マグネシウム 六水和物	エリスリトール	マンニトール	グラニュー糖
融点 [°C]	58	116	118	166	179
潜熱量 [kJ/kg]	265	165	340	286	119
価格 [¥/kg]	220	500	1,000	1,200	—
周辺機器 との相性	◎	△	○	×	×
対応可能 冷凍機種類 (COP)	なし	・低温水式 (0.7) ・排熱併用式 (1.3)	・低温水式 (0.7) ・排熱併用式 (1.3)	・高温水式 (1.2) ・排熱併用式 (1.3)	・高温水式 (1.2) ・排熱併用式 (1.3)
冷房利用への 総合評価	×	△	◎	○	△

上記検討より、本研究ではエリスリトールを第1候補として選定した。

### 2. 2. 2 ベンチテスト

選定したPCMを用いて熱媒油との分離性や熱の授受の再現性等の確認を行ったところ、良好な結果が得られたため、実規模タンクによる実証機へ展開することとした。実証実験については、2. 4節で報告する。

## 2. 3 ドリーム型熱回収装置の基礎研究

### 2. 3. 1 目的

2. 1 節の「ハイブリッド型熱利用システム」は、複数の熱源の組み合わせによる高温熱回収量の増加が目的であった。一方、本研究では、低温排熱の温度レベルそのものを、ヒートポンプを用いて本システムでの効率的な熱回収が可能な温度まで上げ、利用用途の拡大を図ることを目的とした基礎研究である。

この中で、ヒートポンプの動力源としては、水再生センター内の風力や太陽光、処理水、焼却炉といった潜在エネルギーの活用を検討し、その環境性を高めるよう図った。

### 2. 3. 2 潜在エネルギーの利用による効果

潜在エネルギーとしては、風力・太陽光・処理水・焼却炉等が考えられるが、量や時間面の安定性を考慮し、「処理水」に注目することとした。この処理水から得られる小水力エネルギーを利用して、「小水力ヒートポンプ」を動かす場合と、「小水力発電」から「電動式ヒートポンプ」を動かす場合について検討する。(図 5 参照)

対象としては、清瀬水再生センターを例に取る。

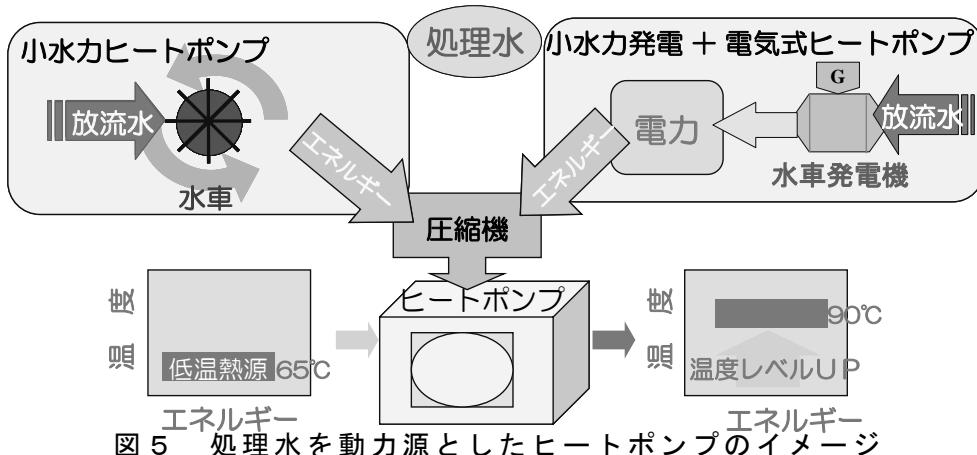


図 5 処理水を動力源としたヒートポンプのイメージ

#### <潜在エネルギー量>

清瀬水再生センターの下水処理量 : 219,000m<sup>3</sup>/日

有効落差 : 2.5m があると仮定

(森ヶ崎水再生センターの小水力発電の事例を参考)

潜在供給可能エネルギー :  $2.53\text{m}^3/\text{s} \times 2.5\text{m} \times 9.8\text{m/s}^2 = 62.0\text{kW}$

#### <小水力発電+電動式ヒートポンプを利用する場合>

発電出力 :  $62.0\text{kW} \times 0.75^{*1} = 46.5\text{kW}$

<sup>\*1</sup> 小水力発電の発電効率 (メーカーヒアリング値より想定)

COP : 1.8 (熱源水温度 65°C) <sup>\*2</sup>

<sup>\*2</sup> メーカーヒアリング値

加熱能力 :  $46.5\text{kW} \times 1.8 = 83.7\text{kW} \Rightarrow 1\text{日で } 2\text{MWh}\text{ コンテナ }1\text{台分の熱量}$

#### <小水力ヒートポンプを利用する場合>

加熱能力 :  $62.0\text{kW} \times 4.08^{*3} = 253\text{kW} \Rightarrow 1\text{日で } 2\text{MWh}\text{ コンテナ }3\text{台分の熱量}$

<sup>\*3</sup> 水力エネルギー利用効率 (メーカーヒアリング値)

このように、水再生センター内の賦存エネルギーをうまく活用することで、排熱の付加価値を高めることが可能となる。

## 2.4 エネルギー供給に関するデータの蓄積

### 2.4.1 目的

トランシスヒートコンテナを下水汚泥焼却施設の実機に適用し、実証機を用いて排熱の熱回収・熱供給を行い、実用化にあたってのデータ蓄積を行う。

また、それらを用いた環境性の検討も行う。

### 2.4.2 実験スケジュール

今回行った熱輸送実験のスケジュールを表3に示す。平成18年2月～4月にかけて暖房実験を計15回、平成18年8月～9月にかけて冷房実験を計17回行った。

表3 熱輸送実験スケジュール

期間	実験内容
H18年2月	暖房実験 RUN1(:熱源が白煙防止空気単独の場合)
H18年3月	暖房実験 RUN2(:熱源が排煙処理排水単独の場合)
H18年4月	暖房実験 RUN3(:熱源が白防+排水の組合せ実験)
H18年8～9月	冷房実験 (:吸収式冷凍機との組合せ実験)

### 2.4.3 暖房実験概要

#### (1) 実施概要

熱源及び熱利用先の対象施設は、各々下記とし、両者間の熱輸送実験を行った。

##### 1) 热源

- 施設名 東京都下水道局清瀬水再生センターアンダ下水汚泥焼却施設
- 熱源 ①：白煙防止空気（約350°C）  
②：排煙処理排水（約70°C）
- 熱回収方法 ①・②の単独及び組み合わせ

##### 2) 热利用

- 施設名 清瀬市民センター
- 熱利用方法 温水循環による暖房

##### 3) 热輸送

- 輸送距離 片道約2.5km

##### 4) 実験設備外観

外観の様子を図6に示す。



図6 暖房実験設備の外観

## (2) PCM 及び熱媒油

### 1) PCM

- ・種類 酢酸ナトリウム三水和物
- ・重量 約 13.5 t
- ・物性 融点 : 58°C

### 2) 热媒油

- ・種類 潤滑油
- ・重量 約 2.5 t

## 2. 4. 4 暖房実験方法及び条件

### (1) 実験方法

#### 1) 蓄熱 (熱源)

2つの熱源（白煙防止空気、排煙処理排水）から単独及び同時に熱回収を行った。2つの熱源から同時に熱回収した場合は、熱媒油温度の上昇に伴い白煙防止空気のみからの熱回収へ切り換えた。

#### 2) 热輸送

#### 3) 放熱 (熱利用)

コンテナ内の熱がなくなり次第、供給を終了し、既存設備の温水ボイラによる運転に切り替えた。

## 2. 4. 5 暖房実験結果及び考察

### (1) チャート

利用側施設（清瀬市民センター）では暖房需要に応じた形での熱供給を行った。放熱実験のチャートの一例を図7に示す。

本放熱実験では、暖房需要（温水流量）に対応して、温水を暖房に必要な温度である40~50°Cで終始供給可能であったことを確認した。

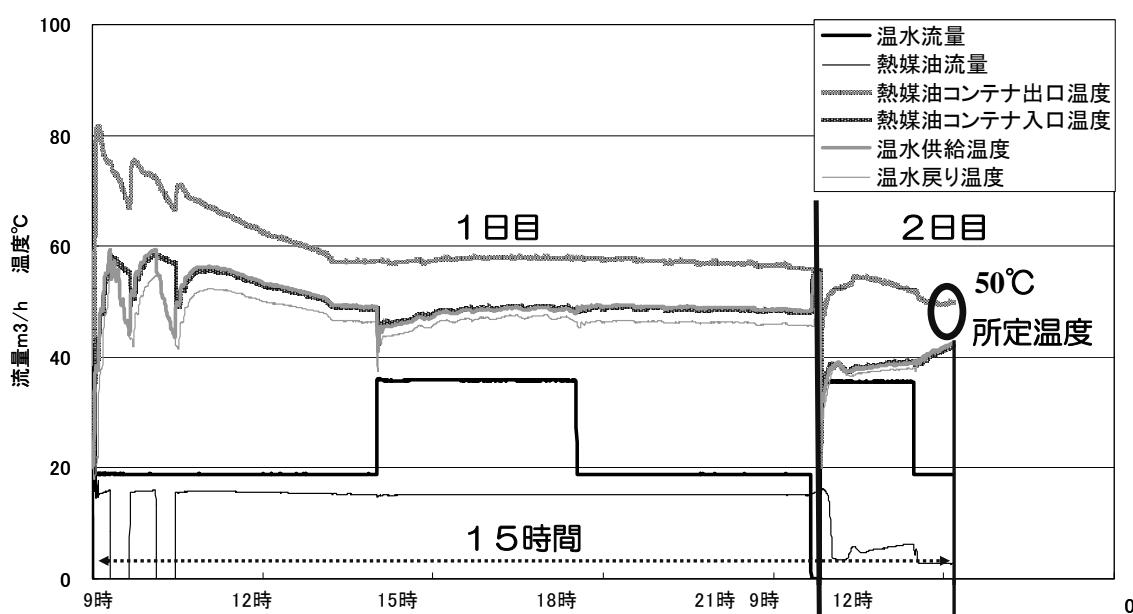


図7 放熱実験チャートの一例 (H18.4.11~4.12 データ)

## (2)消費エネルギーの削減効果

RUN 1～RUN 3 の 3 パターンについて、それぞれ安定的に蓄放熱運転ができた 8 回分のエネルギー削減効果を図 8 にまとめる。ただし、グラフ中の①～③は RUN 1 の結果を、④～⑥は RUN 2 の結果を、⑦～⑧は RUN 3 の結果を示す。

本熱輸送実験により消費するエネルギーは、熱源及び熱利用での消費電力（ポンプ動力）、熱輸送での消費燃料（軽油）である。これらを加味したエネルギー削減効果についてまとめる。ここで、下記のグラフ内にある有効率とは、トランシスヒートからの供給熱量（温水熱量）と同量の熱を、都市ガスだき温水ボイラー（効率を 0.9 とする）で供給するために必要な熱量を 100% と考え、熱源、熱輸送、熱利用に要する消費エネルギーの割合を差引いたものである。ただし、100% を「トランシスヒートからの供給熱量（温水熱量）と同量の熱を、都市ガスだき温水ボイラー（効率を 0.9 とする）で供給するために必要な熱量」とする。

この結果、熱源が白煙防止空気単独の場合の RUN 1 や組み合わせた場合の RUN 3 は、96% 程度の高い有効率が得られた。一方、排煙処理排水単独の場合は、87% 程度と若干劣る結果となった。これは、熱源側において、熱源温度が低いために熱交換効率が下がり、蓄熱に時間を要したためであると考える。

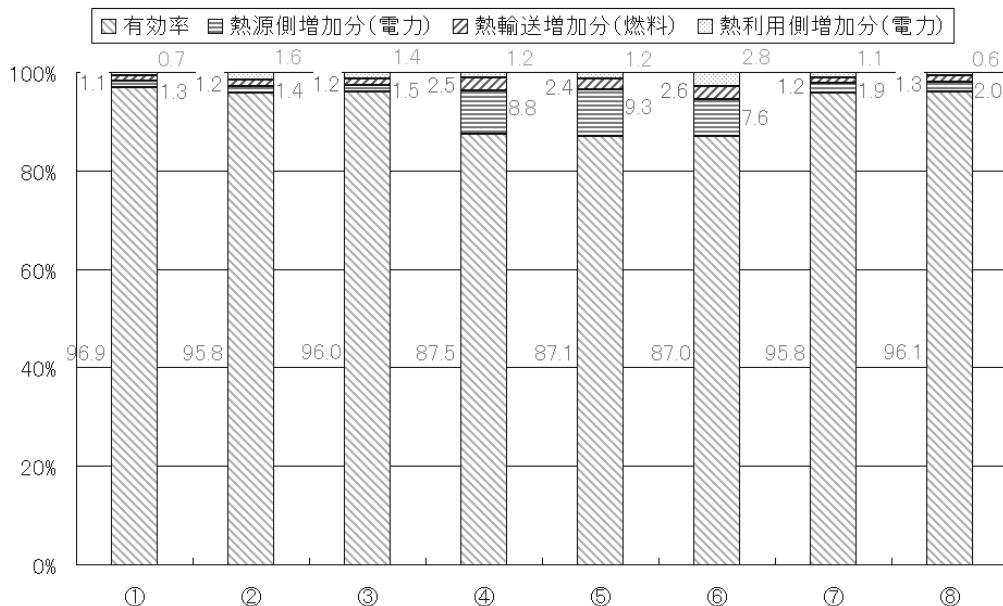


図 8 消費エネルギー削減効果

## (3)CO<sub>2</sub>排出量の削減効果

上述「消費エネルギーの削減効果」試算時と同じベースで考えた CO<sub>2</sub> 排出量削減分に対して、本システムを動かすことにより増加分となる熱源、熱輸送、熱利用での CO<sub>2</sub> 排出量増加分を差し引いたものの割合を有効率と考え図 9 にまとめる。

この結果、RUN 1 や RUN 3 の場合は、90～93% 程度の高い有効率が得られた。一方、RUN 2 の場合は、65% 程度と若干劣る結果となった。これは、エネルギー削減効果の場合と同様、熱源側において、熱源温度が低いために熱交換効率が下がり、蓄熱に時間を要したためであると考える。

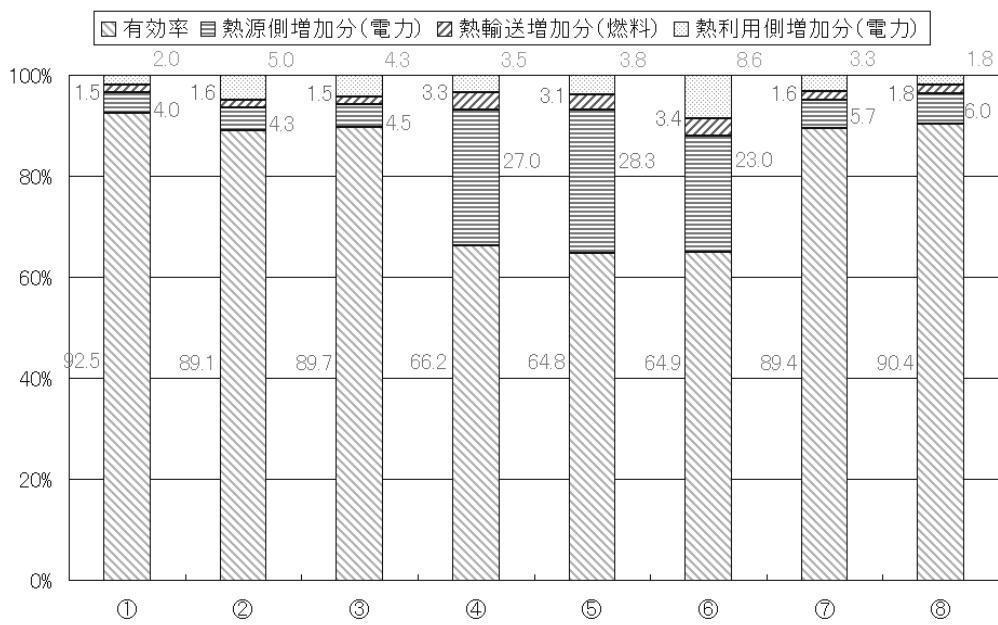


図 9 CO<sub>2</sub> 削減効果

## 2. 4. 6 冷房実験概要

### (1) 実施概要

熱源及び熱利用先の対象施設は、暖房実験時と同様、各々下記とし、両者間の冷房供給熱輸送実験を行った。

#### 1) 热源

- ・施設名 東京都下水道局清瀬水再生センターや下水汚泥焼却施設
- ・熱源 白煙防止空気（約 350°C）

#### 2) 热利用

- ・施設名 清瀬市民センター
- ・熱利用方法 冷水循環による冷房

#### 3) 热輸送

- ・輸送距離 片道約 2.5km

#### 4) 実験設備外観

外観の様子を図 10 に示す。



図 10 実験設備の外観

## (2) PCM 及び熱媒油

### 1) PCM

- ・種類 エリスリトル
- ・重量 約 13.0 t
- ・物性 融点 : 118°C

### 2) 热媒油

- ・種類 潤滑油
- ・重量 約 2.5 t

## 2. 4. 7 冷房実験方法及び条件

### (1) 実験方法

#### 1) 蓄熱 (熱源)

実験は、白煙防止空気を熱源とし、熱回収を行った。

また、実験は熱媒油流量を条件とし行った。

#### 2) 热輸送

#### 3) 放熱 (熱利用)

コンテナ内の熱がなくなり次第、供給を終了し、既存設備のチラーによる運転に切り替えた。トランシヒートからの熱により温水を作り、この温水を「吸収式冷凍機」の熱源として利用し、冷水を作る。

## 2. 4. 8 冷房実験結果及び考察

### (1) チャート

放熱実験では、利用側施設（清瀬市民センター）の冷房需要に対応させる形ではなく、地下貯水槽へ冷水を全量供給する形で行った。放熱実験のチャートの一例を図11に示す。

冷房用の本システムは、トランシヒートコンテナからの放熱運転と、吸収式冷凍機からの冷水発生運転を安定的に行うことができ、冷房に必要な温度の冷水を安定的に取出すことができる事を確認した。

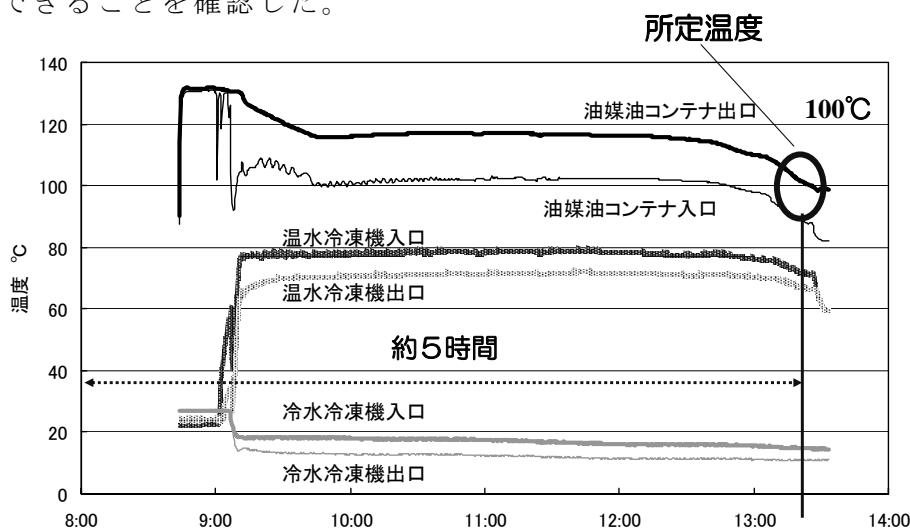


図11 放熱実験チャートの一例 (H18.9.12 データ)

### (2) 消費エネルギーの削減効果

熱輸送実験のうち、安定的に蓄放熱運転ができた4回分について、熱源及び熱利用で

の消費電力（ポンプ動力他）、熱輸送での消費燃料を加味したエネルギー削減効果の結果を図12にまとめる。ここで有効率とは、トランシスヒートからの供給熱量（温水熱量）と同量の熱を、都市ガスだき温水ボイラー（効率を0.9とする）で供給するために必要な熱量を100%と考え、熱源、熱輸送、熱利用に要する消費エネルギーの割合を差引いたものである。この結果、約96%という高い有効率が得られた。

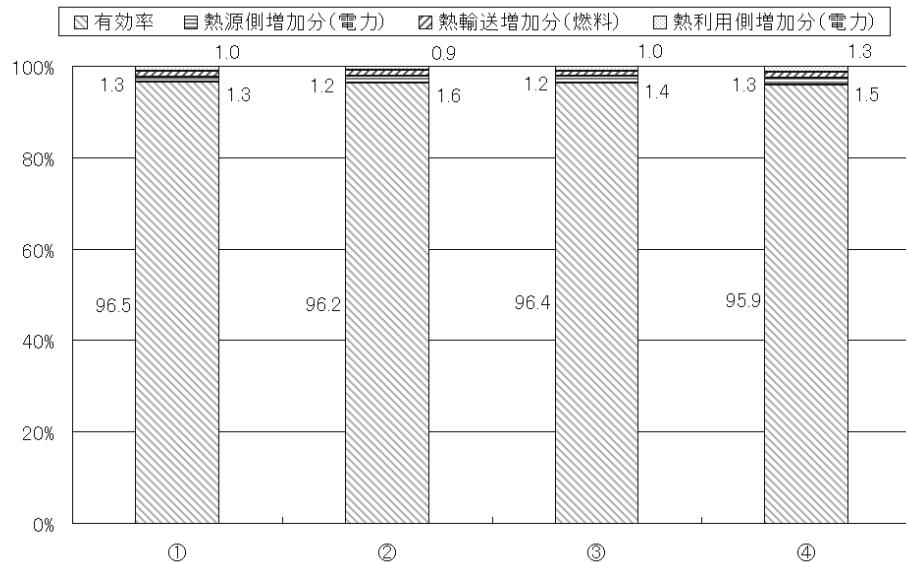


図12 消費エネルギー削減効果

### (3)CO<sub>2</sub>排出量の削減効果

続いて、上記4回分のCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を図13にまとめる。ここで、有効率とは、上述「消費エネルギーの削減効果」試算時と同じベースで考えたCO<sub>2</sub>排出量削減分に対して、本システムを動かすことにより増加分となる熱源、熱輸送、熱利用でのCO<sub>2</sub>排出量を差し引いたものの割合である。この結果、90~91%程度という高い有効率が得られた。

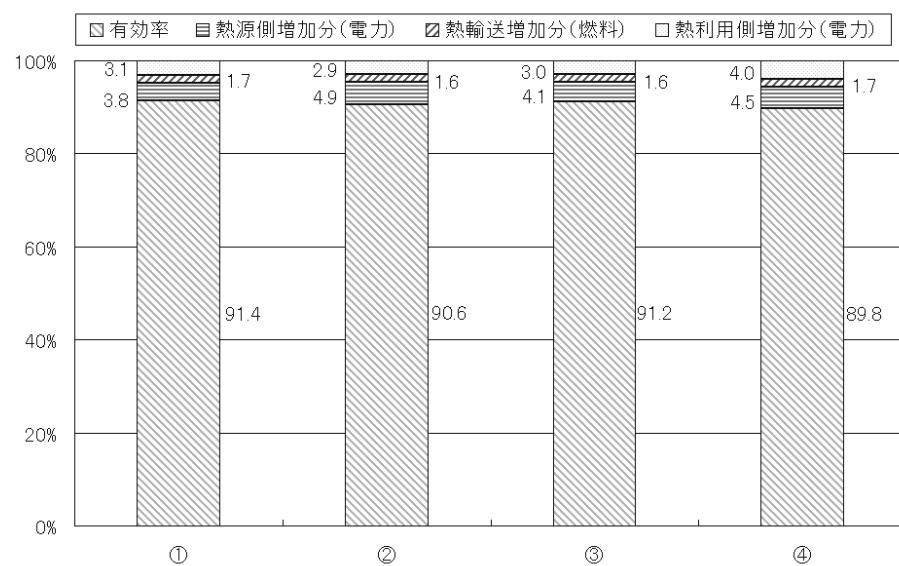


図13 CO<sub>2</sub>削減効果

## 2. 4. 10 热输送実験考察

### (1)今回の実験時のコンテナ1台から利用できた熱量

- ・暖房実験時 (PCM : 酢酸ナトリウム三水和物) . . . 約 1.1MWh
- ・冷房実験時 (PCM : エリスリトール) . . . 約 1.2MWh

### (2)コンテナ1台当たりの省エネ効果・CO<sub>2</sub>削減効果

今回の実験結果より求めた、各コンテナ1台当たりの省エネ効果・CO<sub>2</sub>削減効果を表4に示す。また、国内最大規模のコンテナを使用した場合の省エネ効果・CO<sub>2</sub>削減効果についても併記する。

表4 各コンテナの省エネ効果・CO<sub>2</sub>削減効果

		酢酸ナトリウム三水和物 実験タンク (暖房実験時)	エリスリトール 実験タンク (冷房実験時)	2.5MWh級タンク	
放熱量		MWh	1.1	1.2	2.5
A重油 換算	重油量	L/台	101	110	230
	CO <sub>2</sub> 発生量	kg-CO <sub>2</sub> /台	274	299	624
都市ガス 換算	ガス量	m <sub>N</sub> <sup>3</sup>	96	105	219
	CO <sub>2</sub> 発生量	kg-CO <sub>2</sub> /台	200	219	455
一般家庭の使用相当量 <sup>※1</sup>	世帯相当/台		30	33	69
都庁6・7階へ供給した場合 <sup>※2</sup>	時間/台		7.6	8.2	17.2

\*<sup>1</sup>：一般家庭 1世帯/1日当たりのエネルギー使用相当量

(一般家庭のエネルギー消費原単位：36.1kWh/世帯・日とする)

\*<sup>2</sup>：都庁第2庁舎の6・7階へ暖房供給した場合(約10,000m<sup>2</sup>)

(都庁の暖房負荷原単位：12.5kcal/h·m<sup>2</sup>とする)

## 3. 今後の課題

以上のように、本技術の導入により、高い環境性が実現できることが確認できた。今後は、本技術の事業化に向け水再生センターの未利用排熱を広く活用できる熱利用先の確保が必要となる。

## 4. 事業の効率化

### (1) 建設技術

- 1 二次覆工一体型シールド工法の急曲線セグメントの開発に関する共同研究
- 2 硫黄固化体の後貼りボード工法の開発

### (2) 維持管理技術

- 1 大口径管きょ調査用カメラシステムの開発について
- 2 工業計器データの解析と活用
- 3 三河島水再生センターにおける第二沈殿池汚泥沈降の改善について
- 4 砂ろ過池砂層測定の効率化
- 5 硝化制御システムと従来法（D O制御）の水質比較調査経過報告
- 6 汚泥処理動力削減のための重力濃縮をベースとした汚泥処理システムの構築

# 4-(1)-1 二次覆工一体型シールド工法の急曲線部セグメントに関する共同研究について

建設部 設計調整課 高久 節夫

## 1. はじめに

東京都では老朽管きょを造り替える再構築事業を推進している。再構築は、新たな施設に造り替えるとともに能力増にも対応するなど、将来のニーズを見据えながら進めている事業である。

この再構築事業で必要とされる幹線や主要枝線の建設は、土地の高度利用化、地下埋設物の輻輳化などから、周辺地盤や環境などへの影響が少ないシールド工法で施工される傾向にある。このため、シールド工法のセグメント構造や作業工程の改善等による下水道管きょの建設コストの縮減と工期短縮への取り組みが進められ、平成13年度より、従来の二次覆工に代わり、二次覆工機能を保持できるセグメントとして、標準セグメントに予め二次覆工の機能の一部の防食機能として無筋コンクリート500mm(防食層)を付加した図1の二次覆工一体型セグメントを開発し、直線部での実用化に至った。

しかし、曲線部では、曲線特有の偏荷重が作用してコンクリートのひび割れが危惧され、このセグメントの使用が制限されている。このため、設計時ごとに曲線部の二次覆工が検討され、従来の二次覆工方式、高合成コンクリート中詰め鋼製セグメント(SSPC)、内面被覆工の採用など様々な工法が用いられている。

このことは、設計が煩雑になると共に工期の長期化やコストアップになり、さらに施工管理技術の確保が困難な状況を招いている。

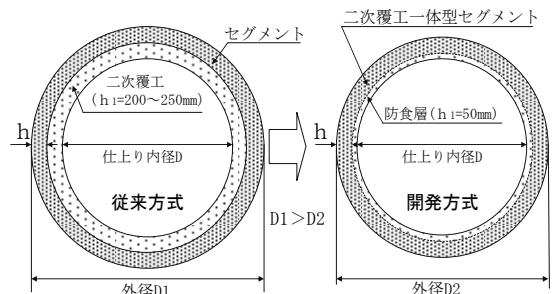


図1 二次覆工一体型セグメント概要図

## 2. 技術開発へ方向性

このような状況を整理する必要から、工法の標準化が可能かどうかの検討をした。その結果、二次覆工一体型セグメントの開発時に行った諸実験により、二次覆工一体型に付加した防食層コンクリートがジャッキ推力の応力伝搬に大きな効果があることが判明した。一方、曲線部に作用する偏荷重は、シールドジャッキによる推力の影響が大きいことも判明している。特に、シールドジャッキ推力により、シールドの掘進方向とセグメントの組立て軸方向の角度の差によるセグメントへの応力作用等は明確でない。

そこで、この課題を解決するため、施工時荷重におけるセグメントの挙動計測を現場にて実施した。計測方法は、セグメントに無線式計測機器を埋め込み、セグメントの坑内搬送時からセグメント組立て時、セグメント組立て後の2リング組立て時まで継続して計測し、整理分析した。そして、防食層の性能に関する実験<sup>1)</sup>の知見と、直線用二次覆工一体型コンクリートセグメントと曲線で使用する縮径セグメント及び調整リングなどのあり方

を改善することで、コンクリートを主体とした二次覆工一体型急曲線用セグメントの開発が可能であると判断した。

### 3. 技術開発の方式

二次覆工一体型急曲線用セグメントの開発方式は、「二次覆工一体型シールド工法の急曲線部セグメントの開発」として、東京都下水道局が公募する公募型共同研究方式を用いた。公募の結果、公募者数グループの中から、コンクリートセグメントを主体とした技術内容（I型）と鋼製セグメントを主体とした技術内容（II型）を開発目的に沿った適切な技術と判断して採用した。

なお、I型を開発するグループとII型を開発するグループの共同開発者名は次のとおりである。

#### 3-1 I型グループの共同研究者

- 1) 新日鉄（株）
- 2) （株）熊谷組
- 3) 前田建設工業（株）
- 4) フジミ工研（株）
- 5) ジオスター（株）

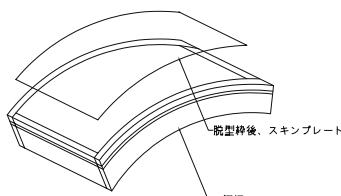


図2 I型 A案概要

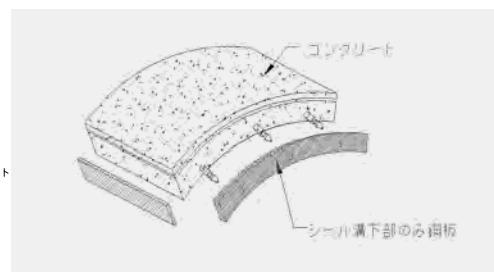


図3 I型 B案概要

#### 3-2 II型グループの共同研究者

- 1) 石川島建材工業（株）
- 2) （株）大林組
- 3) 佐藤工業（株）
- 4) 積水化学工業（株）
- 5) （株）小松製作所
- 6) JFE建材（株）

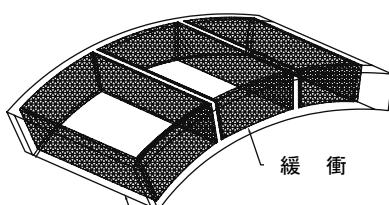


図4 II型 A案概要



図5 II型 B案概要

#### 3-3 提案技術の概要

提案された技術概要は、

I型グループ：RCセグメントの直線用型枠の中に幅を狭くするための仕切り型枠と、4側面を補強する鋼板を設置してコンクリートを打設し、その後スキンプレートを溶接する図2のA案と、A案で製作する過程からスキンプレートの溶接を省略した図3のB案である。

II型グループ：発生する歪みを吸収するため、鋼製セグメント内側の主桁及び縦リブに緩衝材を設置し、コンクリート中詰する図4のA案（緩衝材方式）と、歪みをターンバックルで調整（鋼枠矯正方式）し、コンクリートを中詰する図5のB案である。

### 4. 技術開発期間

I型グループ 平成17年5月26日～平成19年3月31日

II型グループ 平成17年6月21日～平成19年3月31日



写真1 A案セグメント

## 5. I型グループの技術開発手順と結果

I型グループの開発手順は、①供試体の製作、②単体曲げ試験、③継手の強度試験、④ジャッキ推力試験、⑥軸方向の耐力試験、⑦コストの試算、⑧現場での組立試行工事で実施した。

### 5-1 供試体の製作

I型はRCセグメントを主体とするため、コンクリートの弱点である引張りや曲げ荷重に対する補強を主眼に、写真1の4側面+背面を鋼板で補強するA案と、写真2の4側面のみを補強するB案の2つのピースを供試体として製作し、単体曲げ試験で強度を確認した。

### 5-2 単体曲げ試験

単体曲げ試験では、急曲線部に作用する裏込め注入圧の偏圧やシールドのテールのせり等の不足の荷重に対しての安全性を確認した。その結果は表1のとおりである。

### 5-3 継手の強度試験

試設計で継ぎ手に必要強度を求め、その強度の発現と安全性を確認した。その結果は表2のとおりである。

### 5-4 ジャッキ推力試験

シールドジャッキがセグメントの端部に集中的に作用した場合の耐力を確認した。

試験方法は、セグメント端部より100mm内側を中心に $120 \times 120\text{mm}$ のプレートに1点にて載荷した。

その結果、950kNでひび割れが発生し、シールドジャッキ1本当りの800kNを上回り、十分な耐力を確認した。

### 5-5 軸方向の耐力試験

急曲線部においては図6のような軸方向の曲げ荷重が発生する。このため、荷重に対する耐力を確認した。

試験結果は、表3のとおりで、十分な耐力を確認した。

### 5-6 コストの試算

$\phi 2950\text{mm}$ のトンネルを対象にコス



写真2 B案セグメント

表1 単体曲げ試験

試験タイプ	計算値(kN·m)		実験値(kN·m)
	許容時	終局時	
SSPC	16.71	39.15	57.0 以上
A案	4.2 (12.3) ※1)	9.42	45.0 以上
B案	4.2 (11.49) ※1)	9.42	43.2

※1) 4.2は鉄筋のみ考慮。( )内は側面の鋼板を考慮した計算値

- ・強度・剛性は使用鋼材量の違いにより SSPC>A案>B案
- ・B案は、RCの鉄筋のみ有効として設計値の10倍の耐力

表2 継手の強度試験

	せん断試験	引張試験結果
必要強度	148.5kN	23.3kN
SSPC	460kN(ヒン破断)	230kN
A案	408kN(ヒン破断)	230kN
B案	277kN(コンクリート圧壊)	315kN(コーン破壊)

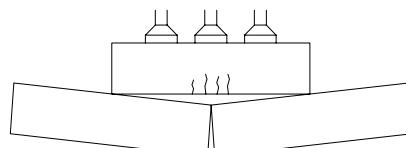


図6 現場施工イメージ

表3 軸方向耐力試験

	実験値	計算値	
		許容	終局
A案	127.5kN	90kN	143kN
B案	147.0kN	61kN	97.2kN

トの比較をした結果、A案は従来品より高くなり、B案は、一定数以上製作すれば、従来品よりコストが縮減できることが判明した。

### 5-7 開発結果

A案及びB案の試作品にて前述の確認試験をし、コストの比較をした結果、A案はスキンプレートの後付溶接の熱によるコンクリートの変質、材料費及び手間が多い反面、性能効果が少ないとこと、などから鋼板により4側面を補強するB案をI型の開発品と決定した。

## 6. II型グループの技術開発手順と結果

II型グループの構造の基本は、通常の曲線用鋼製セグメントに緩衝材を設置してコンクリートを中詰するものと、鋼枠の歪みをターンバックルで矯正してコンクリートを中詰する形状である。開発手順は①鋼枠の歪み試験、②コンクリートを中詰した場合の推力試験、③緩衝材を設置し、コンクリートを中詰した場合の推力試験、④千鳥組による推力試験、⑤単体曲げ試験、⑥現場での組立試行工事で実施した。

### 6-1 鋼枠の歪み試験

緩衝材の材質・厚さ・設置位置を決定するため、鋼製セグメントに軸方向荷重を載荷して歪みの状況（主桁面の不陸、対角差）を計測すると共に歪みの特性を把握した。

### 6-2 コンクリートを中詰した場合の推力試験

設計基準強度  $42\text{N/mm}^2$  のコンクリートを中詰した鋼製セグメントに軸方向荷重を供試体の全幅に  $1200\text{kN}$  ( $600\text{kN}$  ジャッキ2本を想定) 載荷し、コンクリートのひび割れ発生状況と歪みを計測した。その結果、供試体1は  $700\text{kN}$  時に、供試体2では  $1200\text{kN}$  時にひび割れを目視確認した。また、変位はスキンプレート側に大きく発生し、その原因是鋼枠の製作精度に依存する傾向が強いことが判明した。

### 6-3 緩衝材を設置し、コンクリートを中詰した場合の推力試験

緩衝材の効果を確認するため、前述の6-2と同じ試験方法で行った。載荷荷重は最大  $1400\text{kN}$  で  $10\text{kN}$  ピッチに載荷した。結果は表-4のように緩衝材の効果を確認した。

また、鋼枠矯正方式は既に営団地下鉄の直線部では実績があるため、軸方向載荷試験は省力化した。

### 6-4 千鳥組による推力試験

急曲線部にジャッキ推力が作用すると、鋼枠の歪みによる軸方向の曲げ応力が働き、コンクリートにひび割れを発生させる。この推力に対する耐力及びコンクリートのひび割れを確認するため、写真3により2ピースの上に4タイプのテーパーセグメントを設置し、3点で載荷して( $800\text{kN}/\text{台}$ )確認をした。

表-4 緩衝材設置位置による推力試験

タイプ	緩衝材の設置位置	ひび割れ発生荷重
A	なし	$1000\text{kN}$
B	スキンプレート、主桁、縫手板	$800\text{kN}$
C	縦リブ	$1400\text{kN}$

※コンクリート設計基準強度  $42\text{N/mm}^2$

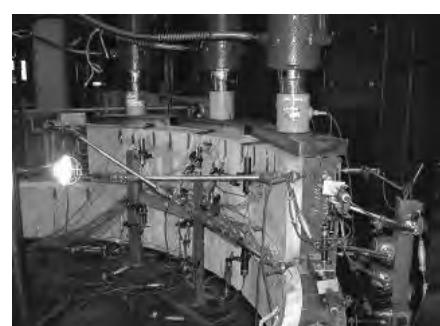


写真-3 千鳥組推力試験

結果は、表-5で、縦リブに設置した緩衝材の働きにより、ねじれを吸収することが計測上でも把握できた。

#### 6-5 単体曲げ試験

緩衝材を縦リブに設置したコンクリート中詰鋼製セグメントとターンバックルで矯正した2供試体のセグメントを用いて、鉛直2点載荷、両端可動支持で全塑性モーメントまで載荷した。緩衝材を設置したタイプの結果を表-6に示す。

#### 6-6 開発結果

緩衝材方式と鋼枠矯正方式の諸実験の結果、鋼枠強制方式は歪みの微調整に手間がかかること、ねじれ（対角差）の矯正が不可能なこと、緩衝材は設置が容易なことなどから判断して、緩衝材を縦リブに設置するタイプをII型の開発品と決定した。

### 7. 試行工事

I型、II型の施工性やひび割れ発生状況などを確認するため、実際の現場で試行した。

#### 7-1 I型の試行内容と結果

R=60m (CL8.84m) セグメント形状:  $\phi 3000 \times 200 \times 500$ mm, セグメント継手: セグメント間コーンコネクター、リング間ピン式、セグメント配筋: 主筋 D16×3本 (一般部の1/2を配筋), 製作数: S=4R, T=14R, 計 18R (テーパー量: 35mm 片テーパー) である。

施工結果は、組立時間が20~30分程度かかり、一般部と同程度であった。また、目違い、目開きは1~2mm程度で問題はなかった。しかし、リングの片押作用と思われる継手部のコンクリートの剥離と、BC部のセグメントに軽微な漏水が発生した。原因を分析した結果、この問題は、工事中の曲線部に割り込んで試行したため、設計当初から曲線部セグメントの幅や調整リングの割付を調整して適切に配置すれば防止可能と判断した。

#### 7-2 II型の試行内容と結果

R=30m (CL18.949m) セグメント形状:  $\phi 2600 \times 175$ (主桁 122mm)  $\times 300:500:1000$ mm, セグメント継手: 切羽側面のボルト式、リング間プッシュグリップ、製作数 B=300mm: S=14R, T=26R (テーパー量: 52mm), B=500mm: S=12R, B=1000mm: 2R 計 54R である。また、その内のB=300mmのS=1RとT=3Rに計測用機器を設置してコンクリートブロックのズレ量、縦リブの発生歪み量やコンクリートの歪み量などを計測した。

施工結果は、組立時間は一般部と同程度である。ひび割れ（幅0.2mm以上）の発生率は2%以下で、そのひび割れは緩衝材で仕切られたブロックのずれによる表面のひび割れと確認できた。また、残留目開きが確認されたが漏水は無かった。さらに、計測したことにより、ジャッキ推力は中詰コンクリートが負担し、縦リブの緩衝材ではセグメントのねじれ変形を吸収することも明解に確認でき、施工性、性能とも必要性能を満足するものと判断

表-5 千鳥組推力試験

タイプ	緩衝材の設置位置	ひび割れ発生荷重
A	なし	480kN
B	主桁、縦リブ	856kN
C	縦リブ	2215kN
D	ターンバックル	1250kN

※各ピースの圧縮強度は 52.06~64.3N/mm<sup>2</sup>

表-6 単体曲げ試験

項目	荷重 (kN)		モーメント (kN·m)	
	計算値	実測値	計算値	実測値
許容	48	48	16.0	16.0
破壊	120	140	37.5	43.5

できた。

## 8. 今後の課題

開発したⅠ型、Ⅱ型の急曲線用セグメントを実際の現場に採用するには、要求性能または要求仕様などを明確にし、かつ、適切な価格の設定を行う必要がある。早急に必要項目を整理し、下水道シールド工事用二次覆工一体型セグメント設計・施工指針に記載して採用する予定である。

## 9. 終わりに

シールド工事の施工技術や直線部のセグメント及び継手の技術開発は著しい。また、種類や形状も多種多様である。しかし、曲線部に対応できるセグメントは高合成のコンクリート中詰鋼製セグメントなど、その数は少なく高価である。今回開発した曲線用の4側面鋼板による補強のRCセグメントは、直線用の型枠を活用する方式であり、型枠代などの縮減につながる。また、緩衝材により中詰コンクリートをブロック化したセグメントは、通常の曲線用セグメントに緩衝材を加え、コンクリートを中詰したもので、その製作技術及び工程は既に確立された技術の積み重ねであり、従来の一次覆工+現場打ち二次覆工の価格とほぼ同程度の価格になるもの思われる。以上の結果から、今回共同開発方式により開発した二次覆工一体型急曲線用セグメントは、シールド工法の大きな技術革新であり、東京都下水道局の今後の再構築工事の工期短縮とコスト縮減に大いに寄与するものと思われる。

## 参考文献

- 1) 東京都下水道局；二次覆工一体型セグメント防食層コンクリートの性能等の確認実験報告書，平成16年3月
- 2) 東京都下水道局；施工時荷重におけるコンパクト用セグメントの挙動計測報告書，平成18年6月

## 4-(1)-2 硫黄固化体の後貼りボード工法の開発

流域下水道本部技術部施設管理課 角館 善治  
(現 北部第二管理事務所施設課)

### 1. 硫黄固化体の概要

下水道施設では硫化水素ガスに起因するコンクリート構造物の腐食劣化がみられ、対策として耐酸性のある材料でコンクリート面を被覆する防食工事を行っている。

当局では平成 13 年度から、防食被覆材の候補として硫黄固化体の調査を行ってきた。

硫黄固化体は、溶融硫黄に添加剤を混入し耐酸性を高めた改質硫黄と骨材を練り混ぜ冷却固化したもので、セメントコンクリートと同等以上の約  $50\text{N/mm}^2$  の圧縮強度を持つ。硫黄固化体の製造過程を図 1 に示す。<sup>1)</sup>

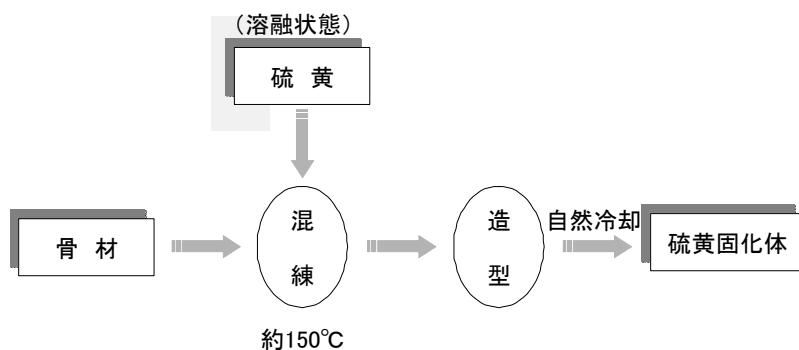


図 1 硫黄固化体の製造過程

平成 18 年度に、硫黄固化体のメーカー等 3 社と簡易提供型共同研究として、清瀬水再生センターの場内返水管円形マンホールで防食被覆の試験施工を実施したので報告する。

### 2. 後貼りボード工法の開発概要

平成 18 年度に、株大林組、新日本石油㈱、足立建設工業㈱の 3 社と簡易提供型共同研究を締結し、清瀬水再生センターの汚泥処理工程から排水を受ける場内返水管施設の No. 1 円形マンホール、内径 120cm を対象に、硫黄固化体の後貼りボード工法の円形構造物に対する実用性を評価することを目的にした防食被覆試験施工を行った。

件 名 硫黄固化体の後貼りボード工法の開発に関する簡易提供型共同研究

実施場所 清瀬水再生センター

実施期間 平成 18 年 5 月～平成 19 年 3 月 うち試験施工 平成 18 年 11 月

防食工法 硫黄固化体防食工法 後貼り

開発目標 ①非開削工法での施工

②速やかな施工が求められる公道での施工も視野に入れ、H=2.0m、内径 120cm 規模の防食被覆を 2 日間で施工する

③既存の工法と比較し、経済性に優れていること

④多少の湿潤状況でも施工できること

⑤円形形状における後貼りボード方法の設計方法の確立

実施場所の清瀬水再生センターの外観及び試験施工場所をそれぞれ図 1 及び図 2 に示す。



図 1 清瀬水再生センター

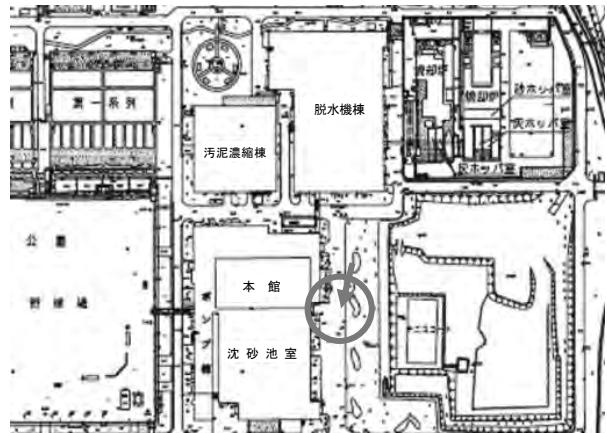


図 2 試験施工場所

硫黄固化体の後貼りボードは、日本下水道事業団の「下水道コンクリート構造物の腐食制御技術及び防食技術指針・同マニュアル（平成 14 年 12 月）」で規定するシートライニング工法の規格 D2 種に相当する。矩形構造物における施工例を図 3 に示す。



図 3 矩形構造物における施工例（写真）<sup>2)</sup>

マンホール更生用の後貼りボードの仕様を図 4 に、側壁及び天井部の構造図を図 5 及び図 6 に、目地構造を図 7 にそれぞれ示す。

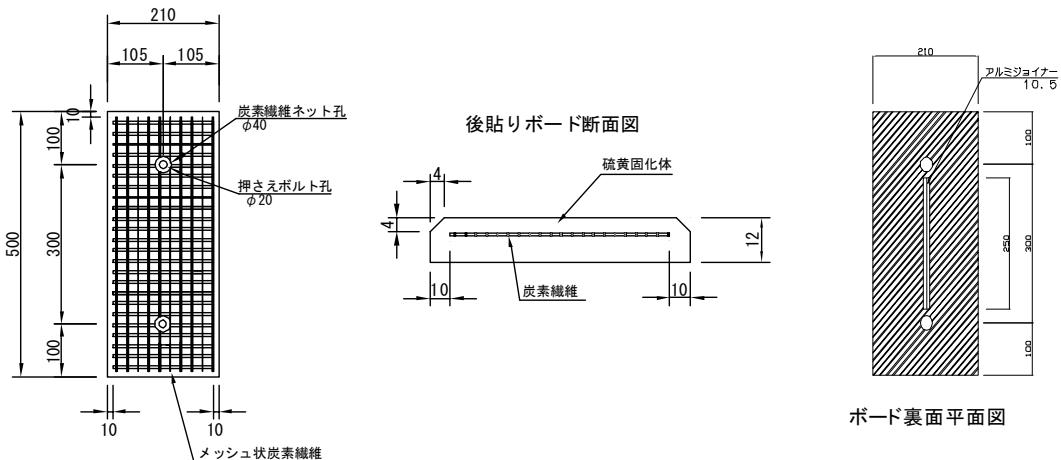


図 4 マンホール更生用後貼りボードの仕様

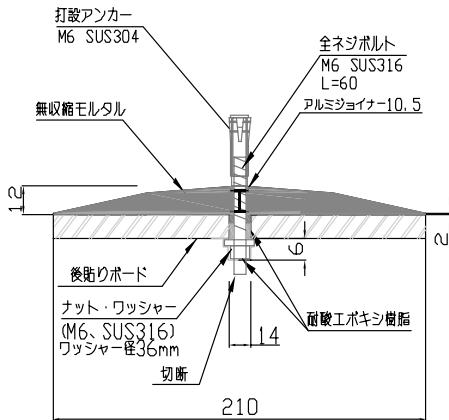


図 5 側壁部構造図

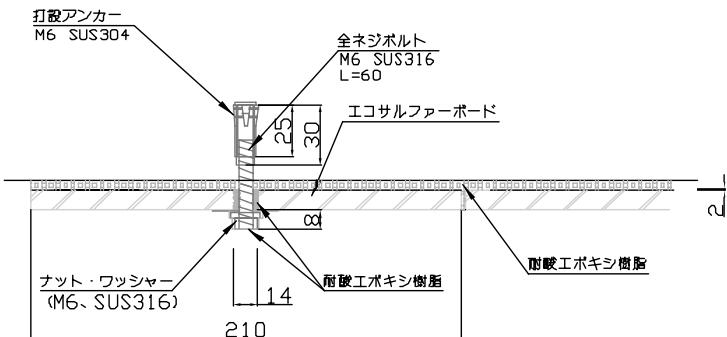


図 6 天井部構造図

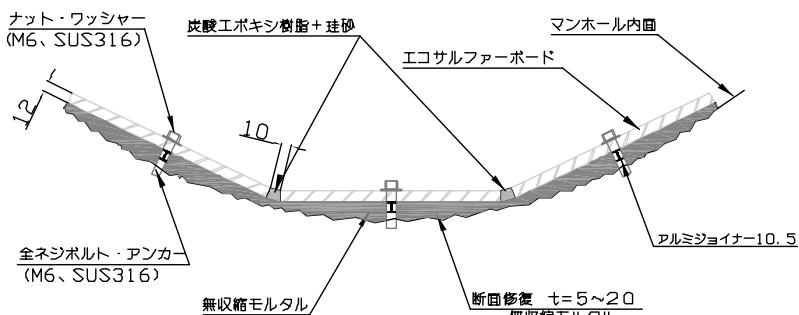


図 7 目地構造図

ボードの圧着前に、コンクリート面の劣化部を除去し水洗浄したコンクリート面へSUS304製のアンカーボルトを打設する。その後、側壁部のボードは無収縮モルタルを塗布して、天井部のボードは耐酸エポキシ樹脂と珪砂を混合した接着剤を塗布して、治具を用いてコンクリート面へ圧着する。

ボード間の目地は、耐酸エポキシ樹脂と珪砂を混合した目地材を充填する。ボルトの天端を切断後、ナット、ワッシャー部に耐酸エポキシ樹脂を塗布する。

使用材料及び仕様を表1に示す。

表 1 使用材料及び仕様

名 称	仕 様	備 考
アンカーボルト	SUS304 M-6 用	
ナット・ワッシャー	SUS316 M-6 用 L=60mm	
ナット・ワッシャー	SUS316 M-6 用	
裏込アンカーボルト	アルミジョイナー 10.5mm L=300mm	
裏込材	無収縮モルタル	ハート SPR 用
接着剤	エポキシ樹脂系接着剤	防食マニュアルに規定
接着剤増粘材	珪砂 7号	
防食ボード	炭素繊維メッシュ入り硫黄固化体	

### 3. 硫黄固化体後貼りボード工法の試験施工

清瀬水再生センターの場内返水管 No.1 人孔で行った硫黄固化体後貼りボード工法による円形構造物コンクリート補修の試験施工フローを図 8 に示す。

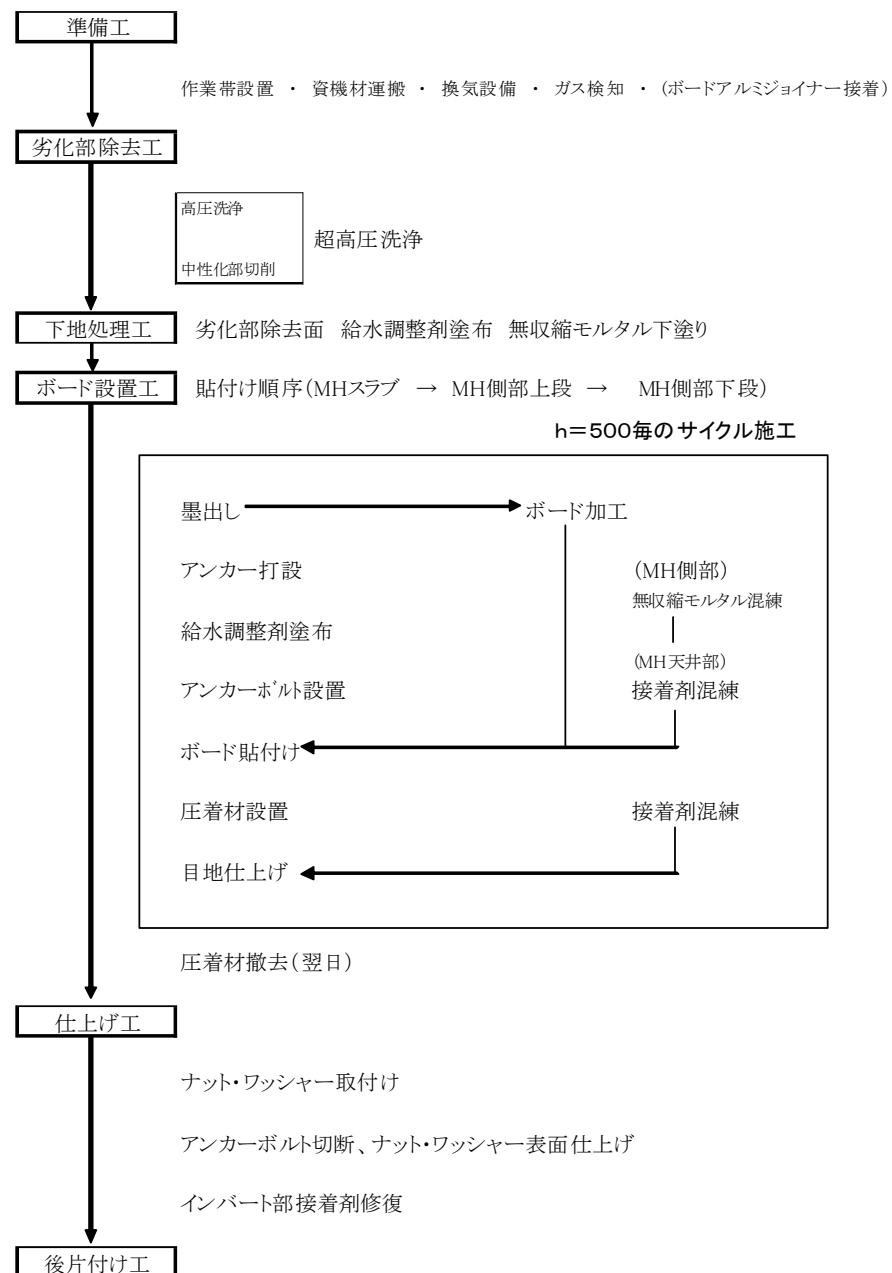


図 8 試験施工フロー

硫黄固化体の後貼りボードの詳細施工フローは以下のとおりである。

① 墨出し

後貼りボード割付墨及びアンカー位置の墨出しを行う。

② アンカー打設

墨出し位置にホークヘッドインアンカーを打設し打設棒で固定する。

③ 吸水調整剤塗布

無収縮モルタルの吸水調整剤としてエマルジョンを刷毛で塗布する。

④ アンカーボルト設置

⑤後貼りボード加工

墨出し線から管口及び足掛け金物までの距離を測定し、その形状に合わせて定尺の後貼りボードをサンダーにより切断加工する。

⑥後貼りボードの側壁部貼り付け

マンホール側壁への固着は、無収縮モルタルを使用する。

⑦後貼りボードの天井部貼り付け

マンホール天井部への固着は、耐酸エポキシ樹脂と珪砂の混合物を使用する。

⑧圧着材設置

アンカーボルトに圧着材を押し付けナット・ワッシャーで固定する。四隅からはみ出るモルタル及び接着剤をけれん棒で除去する。

⑨目地スペース確保

ボードは約 10mm の目地幅を確保して貼り付ける。目地部にはみ出したモルタル及び接着剤が固着する前に除去し、目地を確保する。

⑩圧着材撤去

貼り付けの翌日に圧着材を撤去し、ナット・ワッシャーを締め付ける。ナットの天端でボルトを切断する。

⑪目地仕上げ

耐酸エポキシ樹脂と珪砂を混合した目地材を充填する。

⑫ナット・ワッシャーの表面仕上げ

ナット・ワッシャーの表面に耐酸エポキシ樹脂を塗布する。

⑬既設取り付け部仕上げ

既設ヒューム管取り合い部及び足掛け金物の根元部を耐酸エポキシ樹脂及び珪砂の混合物を塗布する。

## 4. 施工結果

### 4. 1 施工結果

清瀬水再生センターでの試験施工は、平成 18 年 11 月 13 日から 22 日にかけて実施した。目地施工状況を図 9 に補修結果を図 10 に示す。



図 9 目地施工状況



図 10 補修結果

マンホール内の劣化状況調査結果から、コンクリート表面から 5~10mm のコンクリート

の中性化が認められた。足掛け金物はほとんど劣化していないため、再利用した。

主として硫黄固化体の後貼りボードの施工状況は以下のとおりである。

#### ①天井部の硫黄固化体ボード加工方法

天井部は $\phi 120\text{cm}$ の床版に $\phi 90\text{cm}$ の開口部が偏心して床版の外周部に接している。硫黄固化体ボードは、あらかじめ図面上行った計画割付とおりに加工した。加工したボードを現地で仮合わせした上で取り付けた。

#### ②管路取り付け部の硫黄固化体ボード加工方法

マンホール下部の墨出し後に、管路取り付け部にかかる部分のボードをアンカーに差し込んだ状態で仮合わせした上で取り付けた。

#### ③硫黄固化体ボード裏面の無収縮モルタルの混練り方法と盛り付け

SPR 裏込めモルタルを使用した。配合を表 2 に示す。

表 2 SPR モルタル配合 単位 ; kg

名称	計画	実施
SPR モルタル	20	20
エマルジョン	0.6	0.6
水	3	2.6

配合結果は、23.2kg、約 12ℓである。

硫黄固化体ボードの定尺物、250mm×500mm では、1枚あたり 2~2.5ℓを使用した。

#### ④ボード貼り付け状況

SPR 裏込めモルタルを使った硫黄固化体ボードのマンホール側壁コンクリート面への圧着は、ゴムハンマー等を使用した。施工性は良好であった。

硫黄固化体ボードのマンホール天井コンクリート面への圧着は、天井部下地コンクリート面の不陸を生成するため、接着剤を約 80kg/m<sup>2</sup> 必要とした。この量は、天井部コンクリート面に対し平均厚さ約 6mm であった。

#### ⑤圧着材について

マンホールコンクリート面の劣化部除去後に不陸を生じており、アンカーボルトの打設位置の精度を確保するため、アンカーボルト 1 本当たり平鋼(30mm×200mm, t=4.5mm) 1 枚を取り付けた。

### 4. 2 施工結果の評価

「2. 後貼りボード工法の開発概要」で示した共同研究の目標に対する試験施工の結果の評価は以下のとおりである。

- ①既設マンホール出入口のみを利用し、非開削で施工できた。
- ②1日 8 時間作業として 2.6 日かかった。
- ③既存更生工法と比較し、施工深さ 2.4m まではほぼ同等の経済性であった。
- ④多少の湿潤状況であっても施工できた。
- ⑤試験施工結果等のデータを使い、設計マニュアル案及び積算要領案をまとめた。  
目標の②については、達成できなかった。

## 5. 今後の展開

平成19年度第1回の技術管理委員会に簡易提供型共同研究の終了報告を行い、硫黄固化体の後貼りボード工法は、条件付で実用化すべきものという評価を得た。今後は、水再生センターの汚泥処理工程から排水を受ける場内返水管の円形マンホールのコンクリート防食補修材として活用を見込んでいる。

なお、現在、硫黄固化体の後貼りボード工法については、発明審査会の決定を受け、共同研究の相手方3社と合同で特許の出願を準備中である。

## 参考文献

- 1) 鈴木 建、藤橋 知一、井上 尚武、石本 幸裕、斎藤 進：硫黄固化体の耐腐食性能調査、東京都下水道局技術調査年報2003
- 2) 森田 巖、成島 道清：硫黄を用いた新たなコンクリート防食工法の開発、東京都下水道局技術調査年報2006

## 4-(2)-1 大口径管きょ調査用カメラシステムの開発について

計画調整部 技術開発課 須藤 賢

### 1. 開発の背景

#### 1. 1 これまでの幹線調査

東京都下水道局では、これまで幹線の維持管理として、主に戦前に敷設されたものを中心に行なっており、平成17年度末で46幹線中39幹線の調査が行われている（調査率 85%）。しかし、実施した幹線の全ての部分を調査できたわけではなく、距離ベースでは64%程度にとどまっている。幹線全体としては、384幹線中78幹線を実施（20%）しているが、距離ベースでは、13%程度である。特に比較的新しいシールド工法により敷設された幹線は、多くが未調査となっている。

調査していない理由は、①伏越しで排水できない、②水位が高い・流れが速いなど危険、③硫化水素の発生、④人孔間の距離が長く危険、などが挙げられている。対応策としては、①ゴムボートでの調査、②大口径管きょ用TV調査機の活用、③潜水士、④水位を低下させる、などの方法があるが、適用できる範囲は限定されている。

#### 1. 2 幹線調査

本来は、全幹線を定期的に調査するのが理想であるが、優先順位の高い古い管きょの調査が進まない中では、新しいものは後回しとなってきた。しかし、比較的新しいとされてきたシールド工法で敷設された幹線も、最初の建設から既に40年近く経過している。その後の爆発的な建設を考えると、今後、未調査の経年管が急激に増加することになる。

口径の大きな幹線が破損し陥没が発生した場合、その影響は計り知れない。これまでの調査ペースでは、経年化の進行に追いつかないことから、施設管理部では平成17年度から3年間で全ての幹線を対象とした調査を集中的に実施することになった。完了後も、定期的に調査を継続していく。未調査の幹線には、シールド工法で敷設され、大口径で延長が長いものが多数含まれる。当然水位が高いなど、これまで以上に調査が困難と予想される。

こうしたことから、少しでも調査可能範囲の拡大に取組んでいく必要がある。

### 2. 新しい大口径管きょ調査機の開発

#### 2. 1 簡易型共同研究

調査可能範囲を拡大するため、探査技術として、①超音波、②振動、③電磁波、④紫外線、⑤赤外線、⑥X線、⑦磁気、⑧画像等について検討したが、水面下については探査が可能なものはあるが、実用レベルに達していないと判断した。

水面下の劣化状況がわからなくても、陥没の原因となるような上部の劣化や、腐食環境による劣化傾向等は判断できることから、管きょ上部の劣化にターゲットをしぼり、既存のTVカメラ方式を改良することが現実的と判断した。このため、既存の調査機の改良を検討していたが、既存調査機の開発者である管清工業株式会社から、当局のフィールドを使用した新型の管きょ調査システムの共同研究の申し出があったため、平成18年7月から1年間にわたり、簡易型共同研究を行った。

## 2. 2 開発方針

開発に当っては、既存機器の調査困難箇所に対応することを目指した。通称メトロビーバーと呼ばれる既存の調査機は、TVカメラ方式ではあるが、小口径用の調査機とは異なり汚水の流下させながら調査を行うもので、以下の特徴を持っている。

- ・ 船体型であるため、水位が高くても調査可能
- ・ 1km のケーブル長があり、延長の長いシールド幹線に対応可能
- ・ 牽引での運行により下流から上流や流速が遅い場所でも調査可能
- ・ ズームレンズや計測装置により 1mm まで計測可能

調査機は、水位が高くゆったりと安定して流れている管路では有効であるが、以下のようなことから、これまでほとんど使用されてこなかった。

### ① 水位や流速の低下に対応できない

調査には最低 50cm の水位が必要であるが、最初は水位が高くて途中で水位が低下する場合もあり、前進しなくなる。流速も同様である。

### ② 安定した画像が撮れない

流れが速かったり、乱流が発生している場所では船体が揺さぶられて画像がぶれ、調査ができなくなる。曲線部では片側に寄ってしまうなど、水流による影響も受ける。

問題点の多くは、水流に影響される船体型という形式に原因がある。このため、新型調査機は自走型が有効と判断した。多種の管径・水位に対応するためには、多数の機材の開発が必要となるが、既存の船体型で対応できる場合もあることから、両者が棲み分けることで開発範囲が縮小できると考えられる。



ビーパーシステム

図 1 船体型管きょ調査機

## 2. 3 目標性能

800mm 以上の管きょを対象とした自走型調査機は既に存在するが、当局で使用するには、能力が不足しているため活用されていない。こうした点を踏まえ目標性能を設定した。

### ① 最大 4000mm の管きょまで対応

円形、矩形きょ等を含め、内径 4000mm までの管きょに対応する。これは、局幹線の約 80% に相当し、これ以上の大きさの管きょは比較的新しい。

### ② 1m までの水深に対応

深いほど望ましいが、4000mm の遮集管きょの晴天時水位を想定した。

### ③ 片道 2km までの延長を調査可能

シールド管きょでも人孔間距離は、通常 1km 以下であり、長い場合は中間に管理用人孔を設けている。しかし、内部で作業ができない狭小なものや交通量が多いなど周辺環境から開けられない場合もある。こうしたことから、既存の調査機の倍の延長を確保する。

### ④ 10cm 程度の土砂堆積、不陸に対応

堆積状況は前回降雨からの期間で変化し、どの程度の能力が必要かについても定まったものは無いが、人間の場合、ぬかるみがくるぶしを超えると歩行が困難になってくるため、その程度を想定した。

### ⑤ 1 mm までのクラックの判定能力

「幹線管きよ調査マニュアル 平成18年3月 東京都下水道局 施設管理部」に基づき設定したが、当局が共同開発した4点レーダーの搭載で可能となる。

## 2. 4 開発仕様

### (1) 8輪駆動による自走型

水流に負けず安定した走行を行うためには、重い方が有利だが、それを支える高い駆動力も必要となる。しかし、軟弱な泥土の堆積部分では、大きな駆動力を伝えることはできない。

こうしたことから駆動力を分散させた8輪駆動とし、2輪ずつ上下に可動させることで、不陸部分に対応できる構造とした。

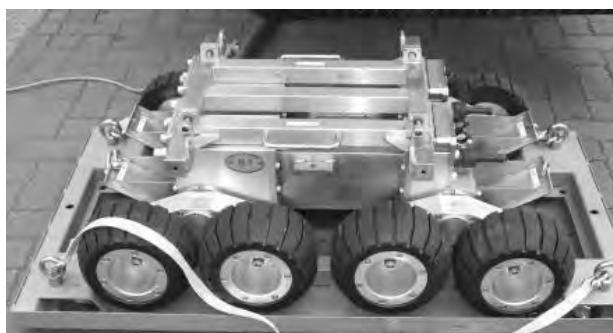


図2 駆動部分



図3 カメラヘッド

### (2) 4000mmに対応の照明システム

### (3) カメラ位置昇降システム（リフター）

本来はカメラを管中心にするための機構であるが、水位が高い場合にも対応できる。実能力としては、水位1.5m近くまで対応可能である。（図4）

### (4) 分割型

調査機は大型となり、一体での人孔投入は困難である。このため、人孔内での組立てやすさを考慮した構造とした。カメラ部、駆動部、昇降装置等の基幹部品は共通で、管径に応じ接続フレームを変更することで、幅を広げ安定性を向上させる。組立てた中型機を 図5に示す。



図4 昇降システム



図5 調査機（中型）

(5) 硫化水素センサ・酸素濃度センサ

人が入る前の予備調査や腐食環境など劣化危険性の指標として活用できる。

### 3. 検証項目

共同研究での検証項目を整理したものを表1に示す。

表1 検証項目

検証項目	工場試験	実管きよ	備考
硫化水素センサ・酸素濃度センサ	○	△	
クラック測定能力の確認	○	△	
障害物への対応力	○10cm程度	△	
照度	○	△	内径4000mm
人孔内での組立の検証		○	
深い人孔での投入・組立て		△	
段差への対応力	○傾き限度を確認	△	
走行能力	矩形きよ ○路上走行	○	
	円形管 ○	○	
	馬蹄きよ △	△	
	逆走行 ○	○	
堆泥部分への対応	○模擬泥土で確認	△	
曲線部への対応		△	S字カーブ等
複数の曲線		△	
故障等の対応		○	ケーブルでの牽引
延長2kmの対応	○延長を確認	△	出来るだけ長く
水位の高い管きよ		○	1m程度
流れの速い管きよ		△	3m/s程度

○は検証対象項目であり、△は可能であれば検証する、あるいは定性的な項目である。

例えば硫化水素センサやクラック測定能力は工場で確認した能力が、実際の管きよでも、発揮できると考えられ、管きよ内で精度を再確認する必要はそれほど無い。矩形きよと円形管で調査可能であれば、馬蹄きよで確認する必要性は薄いと思われる。

段差、不陸、堆泥、曲線等は、必要能力の設定が困難なため、定量的な目標値は設定していない。設定しても、検証が難しくあくまで定性的な確認となる。

能力は、基本的なものを工場試験で確認した後、実管きよでの調査によって検証する。しかし、検証に適した条件の場所を選定することは以下の理由から困難である。

- ① 実管きよでの検証は、安全管理を考慮し、調査場所を選定して単独に行うのではなく、幹線調査の対象幹線から選定する。
- ② 管きよの状況が良く分かっているものは、人間が調査できるものであり、ほとんどが

本調査機の調査対象外である。

- ③ 調査されていない場所が大部分であることから、管内の状態が不明である。水位や流速も人孔の状況からの推定となる。
- ④ 延長や曲線は、完了図等で確認できるが、水位が高いとは限らない。
- ⑤ 不陸や堆泥の状況も事前には不明であり、現地でも水面下の状況を確認できない。

#### 4. 工場試験

調査機完成後、工場試験を実施した。以下に、主な試験内容と結果を述べる。

##### (1) 段差への対応能力

高さ 15cm のパレットを 3 段（最下段 3 枚、中段 2 枚、上段 1 枚）積重ね、乗り越え走行を実施した。傾斜箇所の走行は小型と中型で実施したが、小型では 45 度近くまで傾いたが横転しなかった。



図 6 段差箇所乗越え状況



図 7 傾斜箇所走行状況

##### (2) 堆積物への対応能力

幅 2m × 長さ 7m の地盤に砂・碎石・ガラを敷き詰め走行させた後、散水し泥状にして走行させたが、いずれも問題なく走行可能だった。

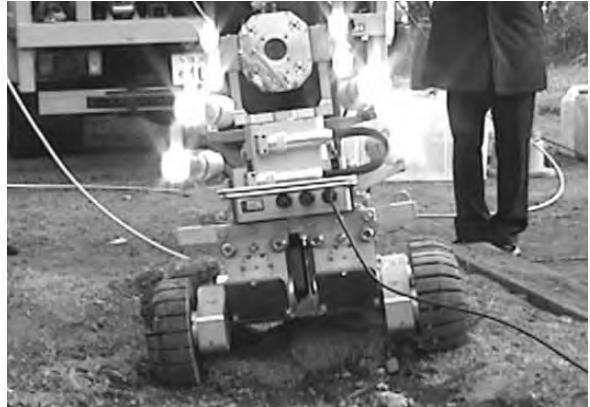


図 8 土砂等堆積箇所走行状況

## 5. 現場実証

4回に亘り実管路内で能力を検証した。それぞれの路線の状況と特徴を述べる。

### (1) 第1回 人孔水位・流速状況

上流人孔		管きよ			下流人孔	
水位 (cm)	流速 (m/s)	調査対象 幹線	内径 (mm)	延長 (m)	水位 (cm)	流速 (m/s)
30	1.0	石神井川下	1500×1650	271.84	30	1.0

## ○ 路線の特徴

最初の実管路調査であり、安全性を考慮し水位が低い路線を選定した。人孔内で投入・組立て・発進・回収が可能であることと走行・調査能力を確認した。



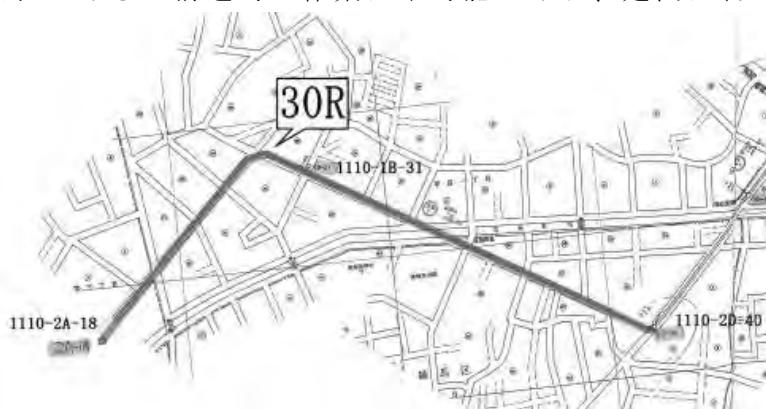
## 図9 平面図

## (2) 第2回 人孔水位・流速状況

上流人孔		管きよ			調査終了人孔	
水位 (cm)	流速 (m/s)	調査対象 幹線	内径 (mm)	延長 (m)	水位 (cm)	流速 (m/s)
60	1.2～1.5	練馬幹線	2000	792.20	計測不能	計測不能

## ○ 路線の特徴

- ・発進人孔から 250m 程下流に  $R=30\text{m}$  の急曲線がある。
  - ・発進人孔の水位は  $0.6\text{m}$  とやや高く、流速が  $1.5\text{m/s}$  と比較的早い。
  - ・途中に人孔があるが構造的に作業は不可能であり、延長は約  $800\text{m}$  とやや長い



## 図 10 平面図

(3) 第3回 人孔水位・流速状況

上流入孔		管きよ			下流入孔	
水位 (cm)	流速 (m/s)	調査対象 幹線	内径 (mm)	延長 (m)	水位 (cm)	流速 (m/s)
100	0.7~0.9	練馬幹線	2000	887.35	計測不能	計測不能

○ 特徴

- 曲線部が複数箇所 ( $R=60, 40, 40, 140, 40m$ ) ある。
- 発進人孔の水位は目標値である 1m と高く、流速は 0.7~0.9m/s と比較的遅い。
- 地上から管底まで 30m 近い高さがある。
- 中間の人孔は作業不能であり、延長は約 900m で今回の調査路線で最も長い。

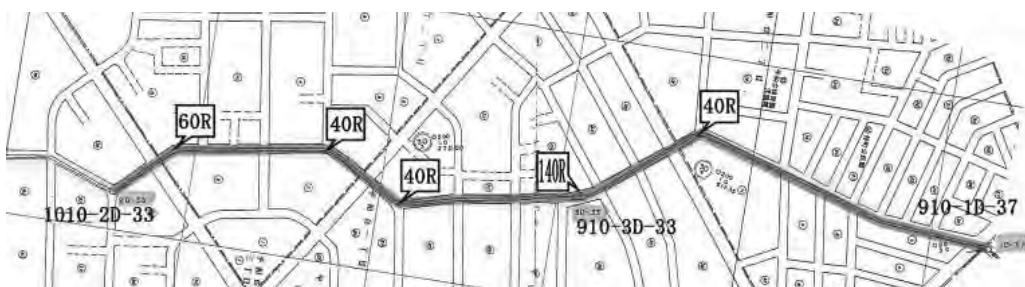


図 1-1 平面図

(4) 第4回 人孔水位・流速状況

上流入孔		管きよ			下流入孔	
水位 (cm)	流速 (m/s)	調査対象	内径 (mm)	延長 (m)	水位 (cm)	流速 (m/s)
55	1~1.2	石神井川下幹線	1800	569.00	35	1.2~1.5

○ 特徴

上流入孔付近は他工事の迂回路となっており、投入できないため、下流からの調査となる。

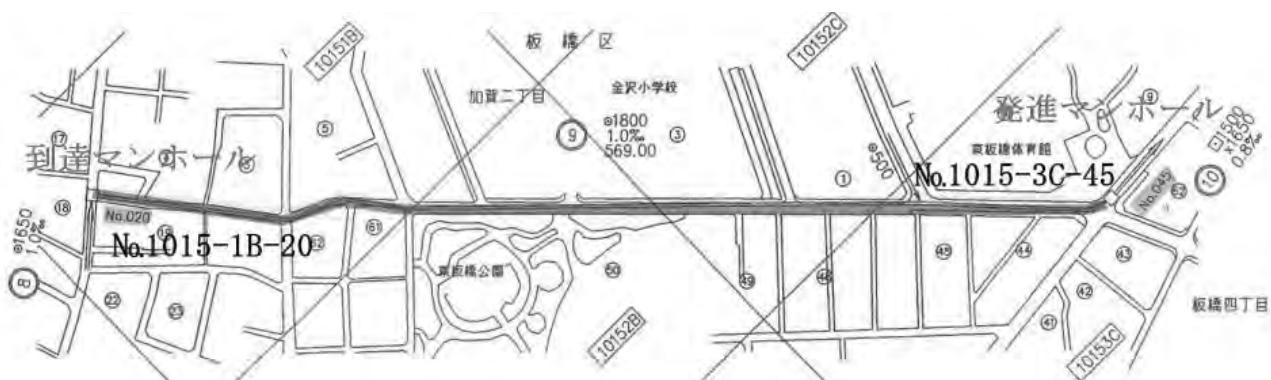


図 1-2 平面図

## 6. 現場実証結果

### 6. 1 調査機の投入・回収

#### (1) 調査機の投入と回収方法

調査機は、管径の大きさによって、フレームを選定するが、今回は最大 2000mm だったため、小型及び中型フレームを使用した。発進及び回収の手順は、以下のとおり。

##### ① 足場の設置

人孔上部から人孔内へ足場用の部材を投入し、インバート上に調査機組立用の足場を設置する。



図 13 調査機部材投入状況



図 14 インバート上での組立て状況

##### ② 調査機組立て

足場完成後、調査機の部材を投入し足場上で組立てる。

主な部材は、駆動部（4輪×2）、接続フレーム（駆動部の連結）、制御部（テレメトリー）、カメラヘッド、補助ライト（複数）、酸素・硫化水素センサユニット、接続ケーブル等である。

##### ③ 管路への投入

調査機が完成したら、人孔上部から調査機を吊上げ、管路に投入する。



図 15 調査機部組立完了



図 16 着水状況

#### ④ 調査機の回収

回収は投入と逆の手順で行う。



図 17 足場上での分解状況



図 18 部材の搬出

#### (2) 結果

- ① 今回最も水位の高い場所は、管路水位が 1m であったが、インバート上は 40cm 程度であり、作業が可能だった。
- ② 足場設置や人孔上部から管路への吊上げが全て可能であったが、それぞれの人孔状況による為、事前調査を行い効率的な方法を検討する。
- ③ 調査機の回収は到達人孔側の高低差があることなどから、今回は全て投入人孔から行った。調査到達人孔で調査機を回収しても、接続ケーブルは投入人孔側まで戻す必要があり、途中で巻付き等のトラブルが発生する可能性がある。こうしたことを見考慮すると、投入した人孔から回収する方が望ましい。

## 6. 2 撮影能力・計測システム

#### (1) 検証方法

撮影能力は実際の撮影画像によって、計測システムの精度は、第 1 回の調査時に実際の計測結果と比較して検証した。

#### (2) 結果



図 19 管内調査画像及び計測画像

撮影画像は鮮明であり、管内状況を把握するのには十分な能力を持っていました。実測結果と算出された数値は一致しており、1mm単位の計測が可能であった。

### 6. 3 走行能力

#### (1) 検証内容

複数の管路での調査状況から評価した。

#### (2) 結果

- ① 走行性能は良好であり、偏向性もない。土砂などに乗上げた際の安定性も良好であった。また、操作性もよく方向軸の修正も容易だった。投入した路線では全て走行及び調査可能であった。
- ② 円形管（内径 1800、2000mm）での走行、矩形きょ（1500×1650mm）とともに、走行に支障はなく、挙動にも大きな違いは見られなかった。調査対象に馬蹄きょは無かったが、特に問題が生じることは無いと思われる。
- ③ 管径が 2000mm までだったため、中型フレームまでの検証となつたが、口径が大きいほど、曲率が緩やかになることから、走行性能に影響が出る可能性は少ない。
- ④ 緩曲線部だけでなく、急曲線（R=20m）部分がある路線や複数の曲線がある路線でも安定して走行した。
- ⑤ 第4回調査で下流人孔からの発進を行った。それ以外にも調査完了後は、後退走行で発進人孔に帰還している。したがって、正対、後退とも下流から上流に向けて調査可能と言える。
- ⑥ 第2回調査では、調査機の組立開始時は 1 m 近い水深があったが、組立中に水位が下がり、発進時は 60cm 程度まで低下したが、流速は 1.5m/s 程度あった。  
走行は問題なく行え、画像のブレも発生せず、調査可能だった。しかし、更に流れが速くなると影響が出てくる可能性もあり、検証が必要である。



図 20 流速 1.5m/s での投入状況

⑦ 第3回調査は、発進人孔の水位が高く、途中で1m以上の水位が確認されたが、問題なく調査できた。しかし、進むに従い水位が下がり、最も低い地点では50cm程度となった。この条件では、船体型では途中で進行しなくなるが、人孔の高低差があるため、下流人孔からの牽引も行えず調査不能である。

このように、水位変動への対応性は高いが、調査機の仕様として、最大1.5m程度までという制限がある。流れが速くない場合はこの範囲までは十分に調査できると思われる。



図21 水位1mでの調査画像

⑧ 第2回が約800m、第3回が約900mの距離を順調に走行可能であった。しかし、長距離になるほど、回収時のケーブルへの負荷が高くなるため、回収に必要な時間が長くなる傾向があった。1km程度までは問題ないと思われるが、目標の2kmが可能であるかは、検証が必要である。

⑨ 故障時や堆泥によるスリップ発生時の対応策として、ケーブルドラムによる牽引が可能かを確認するため、第1回調査の際に約40mほど牽引を実施した。調査機総重量は、300kg程度であり、ケーブルの引張高度は約800kgfである。スリップ時には、自走クラッチを切ることができるため、こうした対応も可能と思われる。

## 7. 評価

### 7.1 今回の検証結果

今回の共同研究での検証結果一覧を表2に示す。能力確認については、今回の路線条件での結果の範囲であり、複数の条件が重なったり、更に条件が悪い場合についての能力が確認できたわけではない。

照明やセンサのように、実管路での能力がある程度保証できるもの、流速のように実施条件での能力は確認できるが、それを超えた場合については能力が不明確なもの、堆泥や投入条件の様に、目標設定や確認方法が明確でなく、定性的な確認に過ぎないものがあり、今回の結果を持って、明確な適用条件は示せないが、調査範囲の拡大が可能であることは確認できた。

表2 検証結果一覧表

対応すべき調査項目	工場試験	実管きよ			今後の検証
		第1回 低水位 (30~50cm程度)	第2回 中水位 (60cm程度)	第3回 高水位 (1m程度)	
硫化水素センサ・酸素濃度センサ	○				中水位(30cm程度) 逆方向調査
クランク測定能力の確認	○	工場検査	○ 1mm		
障害物への対応力	○	10cm程度			
照度	○	模擬管路	○ 1650mm×1500mm	○ 2000mm	△ 4000mm
人孔内への上部投入・組立・回収	○		○	○	○ 様々な条件
深い人孔での投入・組立て				○ 30m	
段差への対応力	○	傾き限度を確認			△
走行能力	矩形きよでの走行	○ 1650mm×1500mm			
	円形管での走行	○ 2000mm	○ 2000mm	○ 1800mm	
逆走行	馬蹄きよでの走行				△
	○	○	○	○	
堆泥部分への対応	○	模擬泥土で確認			○ 下流から調査
曲線部への対応	○	ゆるい 矩形きよ	○ R=30m	堆泥あり ガラあり	△
複数の曲線			○ 5箇所の緩曲線		△ S字カーブ等
故障等での対応策	○	牽引試験を実施			
延長2キロメートルの対応	○	延長を確認	△ 約800m	△ 約900m	○ 2km
水位の低い管きよでの安定撮影	○		○ 60cm	○	△ 1.5m程度
水位の高い管きよでの安定撮影			○ 1m		
流れの速い管きよでの安定撮影			○ 1.5m/s程度	○ 1.5m/s程度	○ 3m/s程度
水位が高く流速の早い管きよでの安定撮影					△

## 7. 2 課題

調査機の課題としては、以下の事項が挙げられる。

### (1) 実管きょで実証が少ない

下水道技術は経験工学の面が強いが、特に当局の管路は種類・規模など条件が幅広く、他の事業体での実績が参考とならない部分がある。

今回の実証で、調査機の有効性は確認できたが、適用できる条件の確定までには更なる調査の積上げが必要である。今後、たくさんの調査事例を通して、能力確認や能力改善が継続されて行われていくことになる。

### (2) 発進に時間要する

分割を考慮した構造ではあるが、流水がある中での組立足場作りも含め、部材の吊降ろしにかなりの時間を要する。また、人孔構造によっては、組上がった調査機の管路への投入が難しい場合も考えられる。

今後は、調査機組立て用の専用足場や人孔内吊上げ用機材の開発などにより、発進までの時間短縮や対応能力の拡大を行うことが望ましい。

### (3) 回収時間が長い

延長が長いほど調査機の回収に時間を要するため、作業時間の確保が重要となる。

## 7. 3 今後の活用

これまで、幹線級の管路は、人による調査が基本であったが、劣化判定された部分の情報のみ記録するため、劣化箇所と判定されない場合、データがほとんど残らなかった。調査機では画像データが残るため、後日陥没等が起こった場合や調査内容の妥当性の検証も行いやすい。

費用的な問題はあるが、安全性が高く、今後は調査作業員の確保が難しくなることが予想されることから、こうした調査機の活用範囲が拡大していくと思われる。

実施中の幹線調査の中でも、採用が見込まれているが、今後とも、幹線の維持管理に本調査機が活用されることを期待している。

## 4-(2)-2 工業計器データの解析と活用

中部管理事務所芝浦水再生センター水質管理係

○濱本 亜希 野口 廣

### 1. はじめに

芝浦水再生センターにはポンプ所を含め、830台もの水位計・流量計・濃度計等の工業計器類が設置されており、これらのリアルタイムデータは、運転管理に不可欠な情報として、十分に活用されている。しかし、過去データについては、月報等を作成する帳票作成システム上に保存されてはいるものの、データ抽出上の問題もあり、月報等作成以外の活用は十分でない面があった。

一方、水再生センターでは現在「地球環境への貢献」事業の一環として、「快適な水環境の創出」と「電力量削減」を両立させた効率的な運転が求められている。効率的な運転を進めるには、処理状況を客観的に評価した上で運転を最適化していく必要があり、そのためには、工業計器による連続測定データの活用は有効と考えられる。そこで当センターでは、全帳票データをExcel形式に変換して、データ抽出と解析を容易にした。

本報告では、当センターで実施した工業計器データ活用事例について一部紹介する。特に、水処理電力量が平成18年度上半期に高くなった際、上記データを用いて行った原因解析と対応策の検討について詳しく報告する。

### 2. 工業計器データ（帳票データ）の概要

全工業計器データのうち、帳票作成に必要な一部の項目に関するデータ（帳票データ）については、帳票作成システム上に保存されている。

2.1 保存期間：平成13年（2001年）4月～

2.2 項目数：1,225項目

2.3 項目内容

水質（MLSS・DO・ORP等）、水位、水量、汚泥量、電力量、設備稼働時間、薬品注入量等

#### 2.4 データの種類

- 時データ：瞬時値もしくは、計測値の1時間分の積算値、平均値
- 日データ：時データの1日の集計値
- 月データ：日データを1ヶ月分の集計値
- 年データ：月データの1年分集計値

#### 2.2. 帳票データのExcel化

帳票データはその目的上、データ抽出範囲が時データについては1日単位、日データについては1ヶ月単位となっており、長期間にわたるデータ抽出が困難であった。そこで、Access形式で保存されている全帳票データをExcel形式に変換して、抽出・解析を容易にした。

まず、Access上のデータをExcelファイルにエキスポートし、その後解析しやすいように配列を変えた別の雛形ファイルに該当するデータを移し替え、その上で保存した。データ量が莫大なため、移し替えについてはマクロを作成して、作業を自動化した。さらに、水質・処理水量等、水質・コスト管理に必要な項目については状況を瞬時に把握できるようにグラフ化し、データ抽出の度に更新されるような加工を行った。

### 3. データ活用事例

#### 3.1 時データの活用事例

##### 3.1.1 平常時の時間変動把握

当センターは、処理水量、流入水質の日内、週内変動が大きい。そのため、処理状況を判断する上で、平常時の変動幅を把握しておくことは重要である。

図1は当センター5系統のうち、2系統における晴天日の高級処理水量に関する時データの週変動をグラフ化したものである。浅槽系は、平日と週末の差が大きく、週内変動が大きい。一方東系は、明け方に流入量が著しく減少し、日内変動が大きい傾向が認められる。以上のような傾向から、水量が減少する週末は、余剰汚泥量を減少し、MLSSが一様になるような運転対応を行った。

##### 3.1.2 処理状況の視覚化

リアルタイムデータは、水質異常発生時には、迅速な現状把握と対応策決定、対応終了判断に非常に有用な情報である。しかし、①保存日数が数日間と非常に短い ②データやグラフの加工が困難である ③同時にグラフ化できる項目を選べない といった問題があり、事故後の報告や、水質異常の原因解析には、時データの活用が有効といえる。その事例を紹介する。

平成18年9月21～22日、60tもの次亜塩素酸ナトリウム(以降「次亜」)が漏洩し、東系流入幹線に混入する事故が発生した。図2は、9月10～30日における反応タンク出口におけるりん酸イオン態りん濃度( $\text{PO}_4\text{-P}$ )の時間変動を示したものである。混入した次亜が反応タンク出口に到達する22日未明から $\text{PO}_4\text{-P}$ が上昇し、最終的に4.0mg/L近くまで上昇したものの、対応の結果23日夜には収束した。時データを活用することで、こうした状況を容易に把握できる。

#### 3.2 日データの活用事例

日データは、項目間の相関や、長期にわたる現象の原因解析に有効である。一事例として、平成18年度上半期における水処理電力量増加の原因解析と実施した対策を紹介する。

##### 3.2.1 水処理電力量増加の原因解析

経営管理指標や環境マネジメントシステムでは、電力のコスト管理の原単位として、高級処理水量 $1,000\text{m}^3$ あたりの水処理電力量(kWh/ $1,000\text{m}^3$ )を用いている。図3は、平成13年度から18年度上半期までの水処理電力原単位(高速ろ過施設と再生水施設の電力量は除く)を示したものだが、18年度上半期は、 $176\text{kWh}/1000\text{m}^3$ と高くなつた。

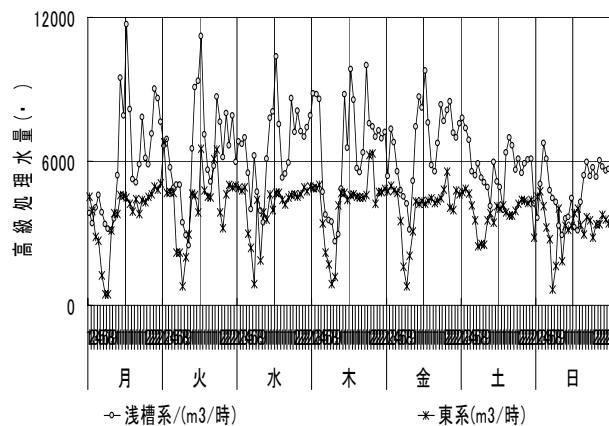


図1：高級処理水量の週変動

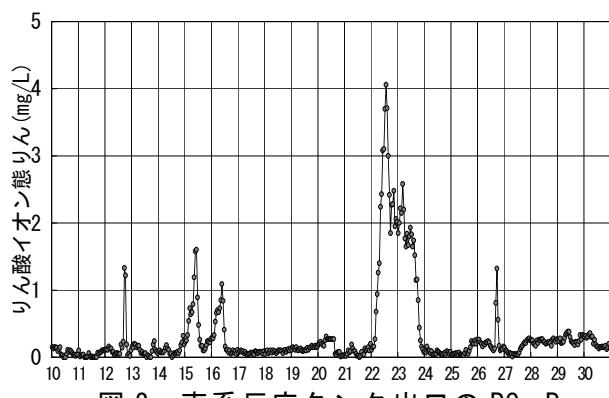


図2：東系反応タンク出口の $\text{PO}_4\text{-P}$

水処理電力量の約 75%を送風機電力量が占めていたが、実際、18年度上半期の送風量は最も多くなっていた（図4）。

そこで次に、送風量が増加した原因について、日データを用いて解析した。送風量の増加は、漏洩を除くと有機物の分解等、処理に要する空気量増加によると考えられる。反応タンク内の必要空気量は、DO維持に必要なものと除くと、

- ① 微生物が生命維持に必要な空気量（内生呼吸）
- ② 従属栄養細菌がBOD（有機物）酸化に必要な空気量
- ③ 硝化細菌がアンモニア性窒素を硝酸性窒素に酸化するために消費する空気量の3つの合計値となる。

そこで、いずれの項目が送風量の増加に寄与しているかを調べるために、

- ① 微生物量（活性汚泥量）
- ② BOD（有機物）除去量
- ③ ケルダール窒素除去量

を日データから算出し、当該期間におけるこれらの増加の有無を確認した。また同時に、送風量との相関も調べた。

なお、区部水再生センターの年間水処理電力量とBOD等主要水質項目の除去量との間に高い相関があることが分かっている（図5[H17年度水質管理年報]）。

### 3.2.2 データを用いた原因解析

#### 1) 活性汚泥量

各系統のMLSS濃度データに、反応タンク容量を掛けて、当センター全体の活性汚泥量を算出し、その月平均値を比較した。

#### 活性汚泥量（t）

$$= \Sigma (\text{MLSSの日平均値} \times \text{反応タンク容量})$$

平成17年11月以降は湯島幹線改良工事に伴う受水量増加への対応として高MLSS運転を実施しており、それに伴う活性汚泥量増加が送風量増加に影響したと推察された（図6）。しかし、送風量との相関は決定係数  $R^2 = 0.44$  と低かった。

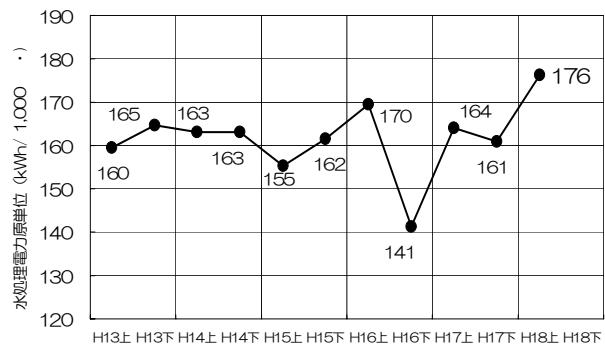


図3：水処理電力原単位の変動

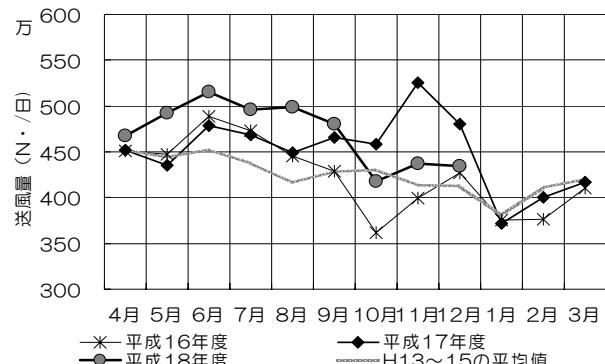


図4：送風量の月変動

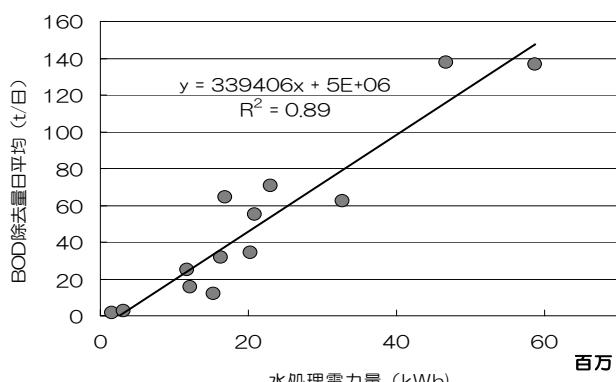


図5：水処理電力量とBOD除去量との相関

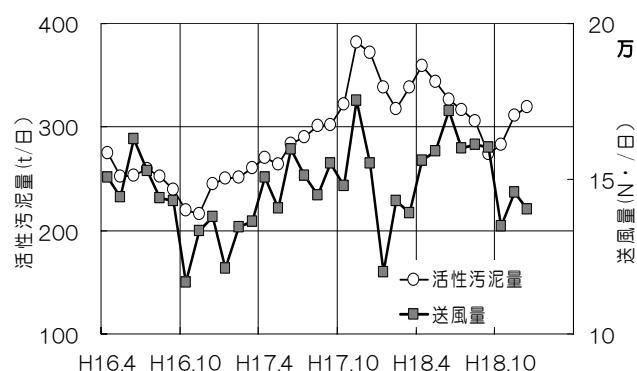


図6：活性汚泥量と送風量の変動

## 2) BOD 除去量との相関

水処理状況の指標として、「除去率」が用いられることが多い。

しかし、当センターは処理水量や流入水における濃度変動が大きいため、送風量増加の因子として「除去量（下記参照）」で比較した（図7）。

$$\text{BOD 除去量} = \text{流入水負荷量} - \text{処理水負荷量}$$

その結果、除去量は平成18年度上半期に特に増加している傾向はなかった。

また、BOD 除去量と送風量との間に相関関係はなかった（決定係数  $R^2=0.06$ ）。

## 3) ケルダール窒素除去量との相関

ケルダール窒素除去量についても、BOD と同様に算出したが、平成18年度上半期に特に増加している傾向はなかった（図8）。

しかし、BOD の場合と異なり、増減傾向が非常に類似しており、決定係数  $R^2=0.54$  の高い相関関係が認められた。すなわち、送風量の増減は、ケルダール窒素除去量の増減が影響していることが分かった。

さらに平成17、18年度で層別化して、それぞれの決定係数を求めるとき、 $R^2=0.86, 0.77$ と非常に高い相関を示した。このことから、ケルダール窒素と送風量増加の関連を疑い、さらに解析を行った。

回帰直線の傾きから、18年度は、単位送風量あたりの窒素除去量が、前年度よりも小さくなってしまっており、処理効率が悪化していた。すなわち、同じケルダール窒素除去量であっても、18年度は処理効率の悪化から、送風量が増加した可能性が示唆された。

### 3.2.3 データを活用した対応策の検討

送風量を処理系統別にみると、深槽西系が全体に占める割合が大きく、かつ平成18年度上半期に送風量の増加が認められた。そこで、深槽西系について、前半部AB回路と後半部CD回路の空気量を前年度と比較した（図10）。

なお、深槽西系の送風方法は、AB回路で送風倍率3～4倍の流量比例制御、CD回路でD0制御となっている。

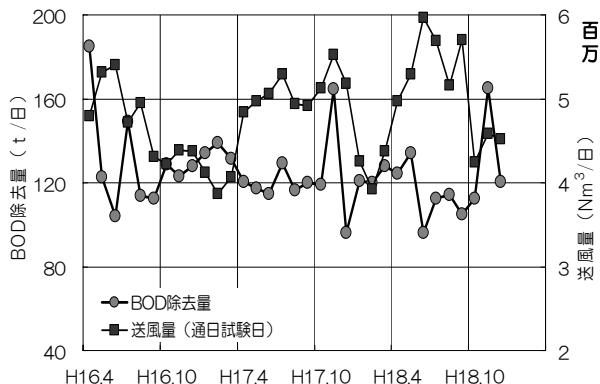


図7：BOD 除去量と送風量の変動

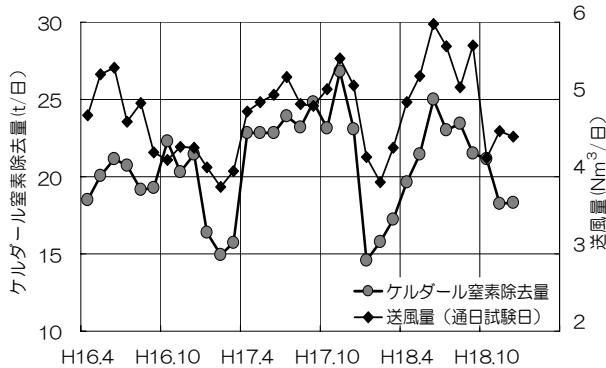


図8：窒素除去量と送風量の変動

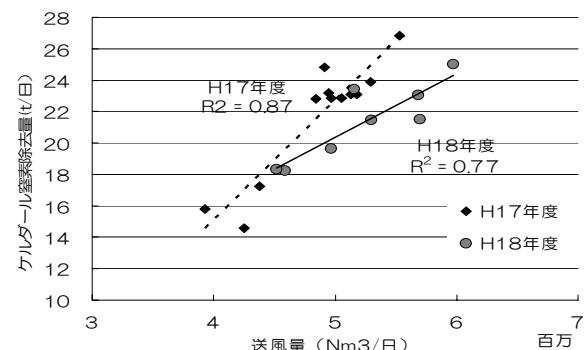


図9：窒素除去量と送風量との相関

CD回路において、前年度上半期の送風倍率が3~4倍とAB回路と同程度で推移していたのに対し、平成18年度は4~7倍と非常に高くなってしまっており、前半と後半で送風量のバランスが悪くなっていた。7、8月に、AB回路の送風倍率を3倍から4倍に上げたが、CD回路の送風倍率が下がらず、全体の空気量が増加した。

そこで9月下旬以降、全体の放流水質を維持しつつ、AB回路の吹込み最大量を下げ、さらに最終回路のDO設定値も下げて、送風量の減少を図った。それに伴い、水処理電力原単位も減少した。

#### 4. おわりに

工業計器データについて、当センターで実施した活用事例について紹介した。本事例からも、センターの処理特性の把握、異常時の原因把握と対応策の検討、放流水質を維持した運転方法の最適化を目的とした、データの解析や項目間の関連性の分析は有効といえる。

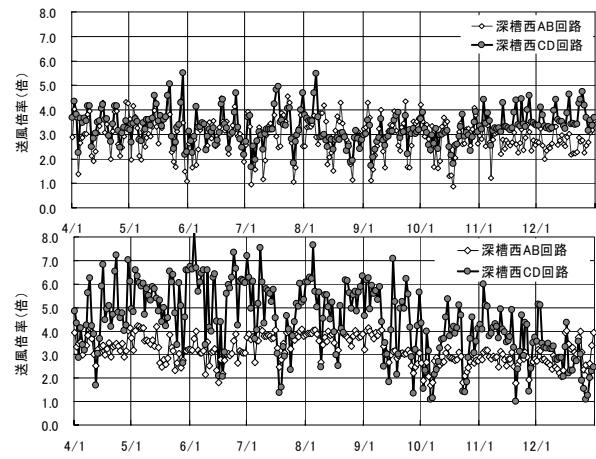


図10：深槽西系の送風倍率  
(上図：H17年度 下図：H18年度)

## 4-(2)-3 三河島水再生センターにおける第二沈殿池汚泥沈降の改善について

三河島水再生センター 整備第二係 斎木 利之

### 1. はじめに

三河島水再生センターは、浅草系、藍染系、藍染東系、藍染北系の4系列の水処理施設を有する施設能力70万m<sup>3</sup>/日（晴天時処理水量約39万m<sup>3</sup>/日）の施設である。

4系列の1つである藍染系は、処理能力19.2万m<sup>3</sup>/日のAO法（浅槽）の施設であるが、第二沈殿池における汚泥の沈降が悪く、汚泥の浮上や流出による水質悪化が生じていた。

このため、今まで第二沈殿池への流入バランスの調整や、返送汚泥量や余剰汚泥量等きめ細かな運転で対応してきたが十分ではなかった。

今回、シミュレーション等の調査を実施することによりその原因を特定し、対策として「バッフルボックス」の設置と「整流壁」の撤去を実施したので、その内容を発表する。

### 2. 調査内容

#### 2. 1 藍染系施設の水の流れと運転方法

藍染系施設の水の流れは、第一沈殿池8池で沈殿処理を行った沈殿下水を反応槽4槽でAO法処理したのち、第二沈殿池で沈殿処理し、消毒後処理水を隅田川へ放流している。

第二沈殿池で沈殿した活性汚泥はチェーンフライト式汚泥かき寄せ機により回収されたのち、返送汚泥ポンプにて反応槽へ戻すほか、余剰汚泥ポンプで引抜を行っている。

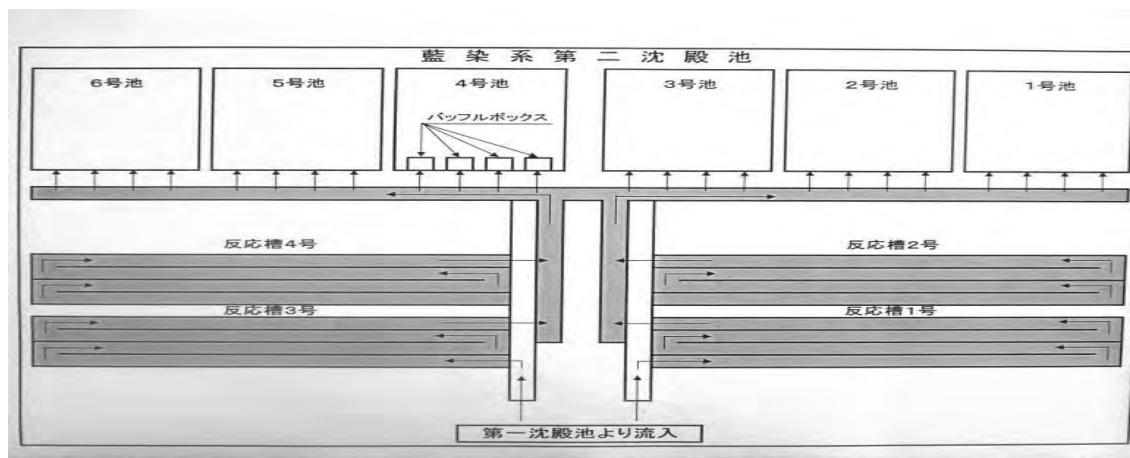


図-1 藍染系第二沈殿池フロー図

#### 2. 2 対策前の運転方法

藍染系第二沈殿池は、各沈殿池の流量把握ができないため、流入バランスの調整が難しく汚泥の巻き上がりによる処理水質の悪化が起こりやすい。

このため、水質悪化する度に流入扉の開度調整で処理水の調整や送水量の制限等を行い、今まで対応してきた。

### 3 問題点と対策の策定

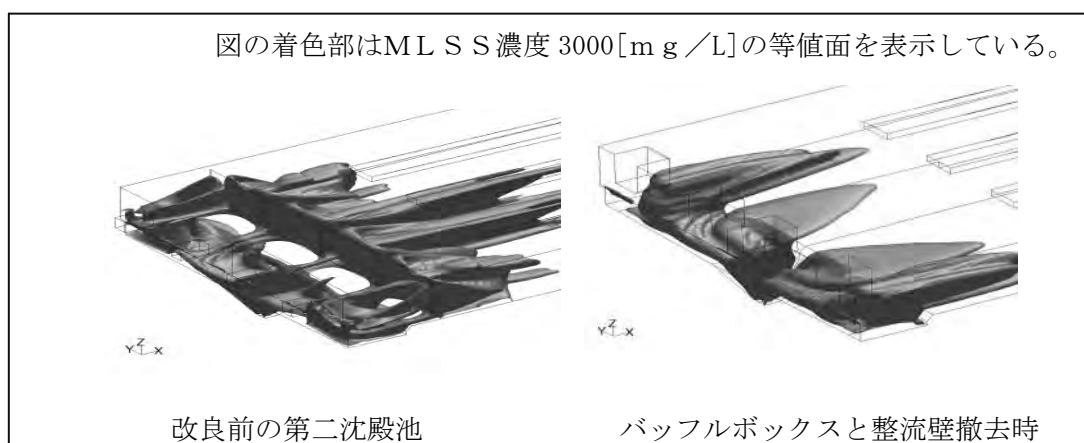
この汚泥の巻き上がりが実際に、どのような原因により発生しているのかを調査した。

第二沈殿池に流入した活性汚泥混合液が整流壁に衝突した際の水流により、掻き寄せた汚泥は整流壁付近で巻き上げられ、汚泥沈降の悪化を招いていることがシミュレーション結果（図－2参照）でわかった。

この汚泥沈降の悪化を改善させるために、17年度改良工事で第二沈殿池4号池の流入扉後にバッフルボックス（図－3、4参照）を設けることとした。《解決策1》

また、既設整流壁についても機能検証した結果、整流壁をなくしたほうが汚泥沈降効果があり、汚泥の巻き上がりもほとんど生じないことが判明したため、整流壁の撤去も同時に実行することとした。《解決策2》

以上の結果から、17年度改良工事対象池の第二沈殿池4号池に改善対策を施した。



図－2 汚泥沈降状態シミュレーション



図－3 バッフルボックス

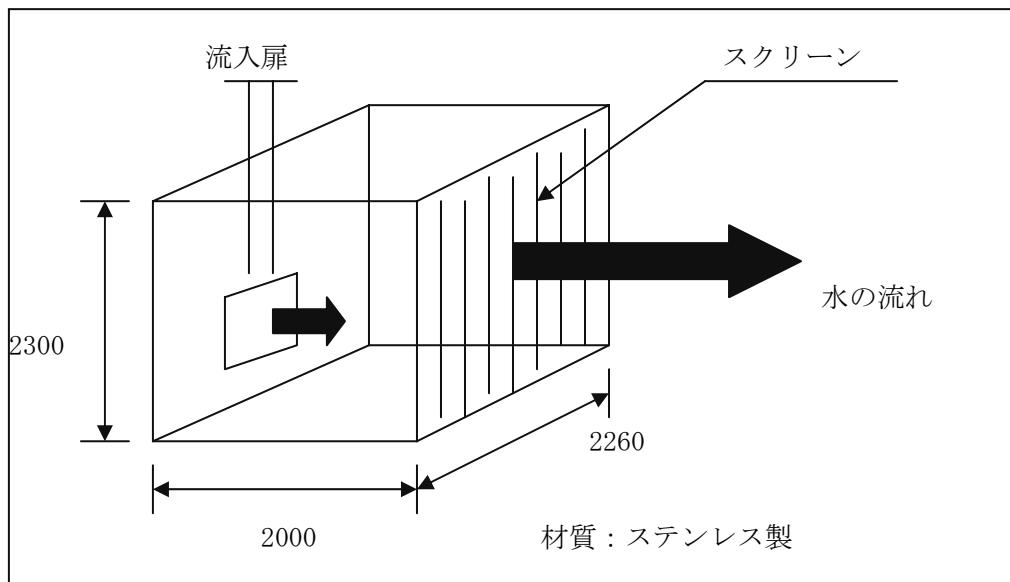


図-4 バッフルボックス詳細図

#### 4 効果の検証

##### 4. 1 改良完了後の調査

平成18年5月30日（火）～6月1日（木）

##### 4. 2 対照池の選定

対策の効果を同等の条件において比較する必要があるため、第二沈殿池の改良池（4号池）及び条件の近い3号池の流入口よりサンプリングを行い活性汚泥混合液の性状を調査した。

この結果、活性汚泥混合液の性状に差はなかったため、3号池を比較対照池とした。

分析結果は表-1のとおりである。

表-1 活性汚泥混合液の性状調査

池名	採取日と天候	採取時間	MLSS濃度 (mg/L)	SV (%)
4号池	5月31日（晴）	8時	1300	16.5
3号池	5月31日（晴）	8時	1300	16.5

##### 4. 3 調査方法及びその結果

調査方法及びその結果

###### （1）汚泥濃度

汚泥の濃縮性を確認するため、汚泥ピットの上部、下部でサンプリングを行い汚泥濃度を測定した。測定結果は、改良池（4号池）の汚泥が対照池（3号池）よりも汚泥濃度が濃く、汚泥の濃縮効果が向上していることが確認できた。

表－2　返送汚泥濃度の測定

池名	採取日と天候	採取時間		返送汚泥濃度 (mg/L)
4号池	6月1日(曇)	上部	14時	440
		下部	14時	4600
3号池	6月1日(曇)	上部	13時	510
		下部	13時	3300

### (2) 流入水の流速

調査池（3・4号池）への流入水量が均等に入っているかを確認するために、各池の水路方向の流速測定を行ったが、導水渠方向の流れが強く、また流入扉の呑口に流速計センサーが設置できなかつた。

このため、代替策として、流入導水渠の入側・出側の流速、水位等を測定し、各池への流入確認を行つた。

調査結果より、（4号池）への流入量が（3号池）に比べ、約1.2倍流量の多いことがわかつた。

表－3　流速・流量測定

池名	水位(m)	水路幅(m)	面積(m <sup>2</sup> )	流速(m/h)	流量(m/h)	比率
4号池	2.2	1.2	2.4	458	1191	1.2
3号池	2.2	1.2	2.4	377	980	1

### (3) 各地点の汚泥状況

- ① 改良池（4号池）の流入量が1.2倍のため、流速も（3号池）に比べ全体的に速くなっていることを再確認した。
- ② 流速比率1.2で4号池の流速補正を行つた結果、以下の傾向が見られた。
  - ・流入部～整流壁手前については対照池（3号池）と同様な流れになっていた。
  - ・整流壁後方については、改良池（4号池）の流速が遅く安定していた。
- ③ 流速が10cm/s以上の地点では、汚泥が沈降しない傾向が見られた。

### (4) 汚泥沈降状態の比較

表－4より、改良池（4号池）は対照池（3号池）と比較し流入量が多いが、汚泥の堆積が殆どなく汚泥かき寄せ機により順調にピット側へ搬送されているのに対し、3号池では、クロスピット周辺及び整流壁付近での汚泥の巻き上がりと汚泥流出があつた。

また、改良池（4号池）においては汚泥の流出や巻き上がりの発生が減少したことが、日常の点検や表－4の測定結果をもつて確認できた。

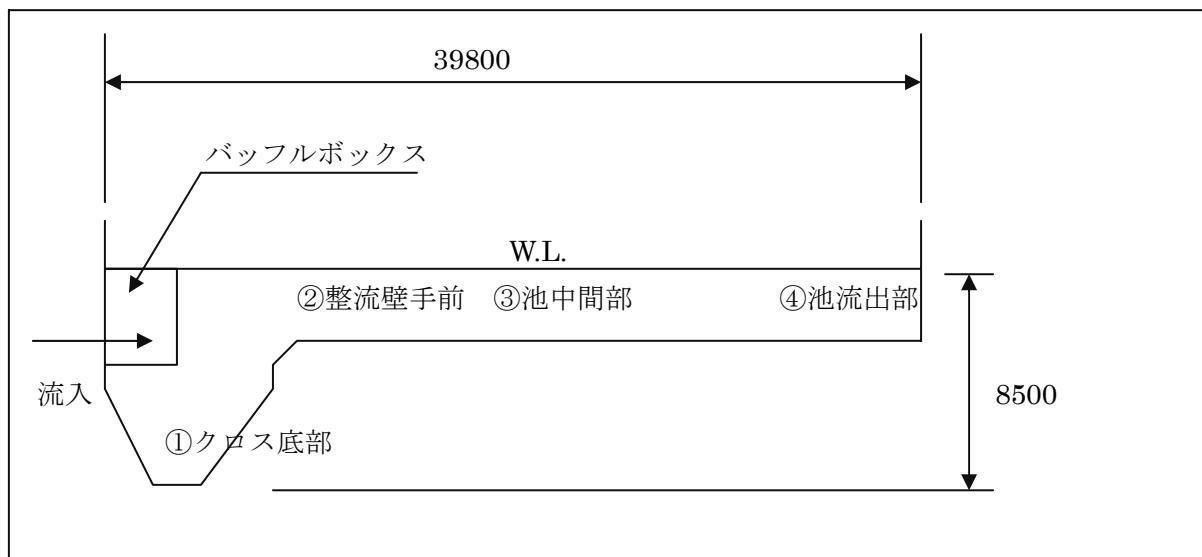


図-5 測定地点参考図（4号池）

表-4 汚泥濃度測定結果

4号池測定結果 単位 (mg/L)								
池底から高さ	4-1号池				4-4号池			
	①	②	③	④	①	②	③	④
0.0m	5300	6000	3000	3000	6200	6600	1400	無
0.5m	無	無	無	無	無	無	無	無
3号池測定結果 単位 (mg/L)								
池底から高さ	3-1号池				3-4号池			
	①	②	③	④	①	②	③	④
0.0m	7500	7700	無	無	8000	8300	7600	無
0.5m	8400	5400			5100	7700	6300	無
1.0m	無	無			2100	600	無	
1.5m					無	無		

## 5 結果及び考察

以上の調査結果から、次のとおり改良池の効果を確認した。

①改良池（4号池）においては、対照（3号池）と比較し流入量が1.2倍と多いが、対照池（3号池）以上の汚泥沈降効果を、表-4の調査結果により確認した。

②改良池（4号池）クロス部での返送汚泥の濃縮効果が確認でき、流出部での汚泥堆積が減少した。

③調査池（3・4号池）では、改良前は水量が多くなると整流壁付近での汚泥の巻き上がりと汚泥流出があったが、今回改良池（4号池）においては汚泥流出する現象が改善されたことが、日常の点検

や表-4の測定結果をもって確認できた。

## 6 今後の課題

工事完了後、改良池（4号池）では他の池と比較し汚泥の巻き上がりが減少したことからも改良の効果が確認できた。

しかし、バッフルボックス内でスカムが堆積するため、これに対しても対応策を今後検討し、完全なものにしていく。

なお、今回は第二沈殿地6池中1池について行った工事であり、残りの池についてもさらに詳細なデーター収集及び分析をしたうえで能力の確認をし改良を図っていく。

## 4-(2)-4 砂ろ過池砂層測定の効率化

西部第一管理事務所 落合水再生センター 野末 祥太郎  
(現所属 建設部 設備設計課)

### 1 概要

処理水中の微細な汚れは砂ろ過池に捕捉されるため、一定周期でろ過砂の洗浄を行うが、この際、ろ過砂の流出が起こるため砂層が不均一となる。よって、砂ろ過の性能を均一にするため、砂層の管理が必要となる。

従来は通水中の砂ろ過池を一池づつ排水し、砂層の高さを金尺で実測していたが、この作業方法はいくつかの問題点があった。このため、通水中の池の砂層に水位検出器（ダイアフラム圧力式水位計）を着地させて水位を測定し、砂層の高さを間接的に測定できる方法を発案した。これにより、従来抱えていた問題点は全て解決された。また、今回の発案方法で測定した結果と実測した結果の誤差は僅かであり、この発案方法の有効性が認められた。

また、水位検出器が砂層に潜ってしまうのを防止したり、測定器の柄が伸縮するようにするなど、作業性を良くするための工夫も施した。

### 2 砂ろ過設備について

#### 2.1 仕様

落合水再生センターには上向流砂ろ過方式の砂ろ過設備が 33 池ある。ここでは 1 日当たり 45 万 m<sup>3</sup> の二次処理水が高度処理され、神田川に放流される。また、処理水の一部は落合水再生センター内の雑用水としても使用される。

高度処理水の浄化目標値は SS : 8mg/L 以下、BOD : 10 mg/L 以下である。ちなみに、落合水再生センターの二次処理水の水質は SS : 30mg/L 以下、BOD : 20 mg/L 以下である。

ろ過面積は 1 池当たり約 68m<sup>2</sup> であり、晴天時日最大時のろ過速度は 1 日当たり 200m である。

これらの仕様を表-1 にまとめた。

表 1 砂ろ過設備仕様

池数	33 池
高度処理量 (晴天時日最大水量)	450,000m <sup>3</sup> /日
ろ過面積	約 68m <sup>2</sup> /池
ろ過速度 (晴天時日最大時)	200m/日
SS (二次処理水)	30mg/L 以下
SS (処理水浄化目標値)	8 mg/L 以下
BOD (二次処理水)	20 mg/L 以下
BOD (処理水浄化目標値)	10 mg/L 以下

## 2.2 構造

砂ろ過池の概略構造を図-1に示す。ろ過層は大きく二段階構造になっており、砂利層と砂層に大別される。二次処理水は砂利層から砂層に向かって流れ、大きい浮遊物質は砂利層で捕捉され、小さい浮遊物質は砂層で捕捉される。水位はグリッド面を基準位置とすると常に1.22mを保っている。

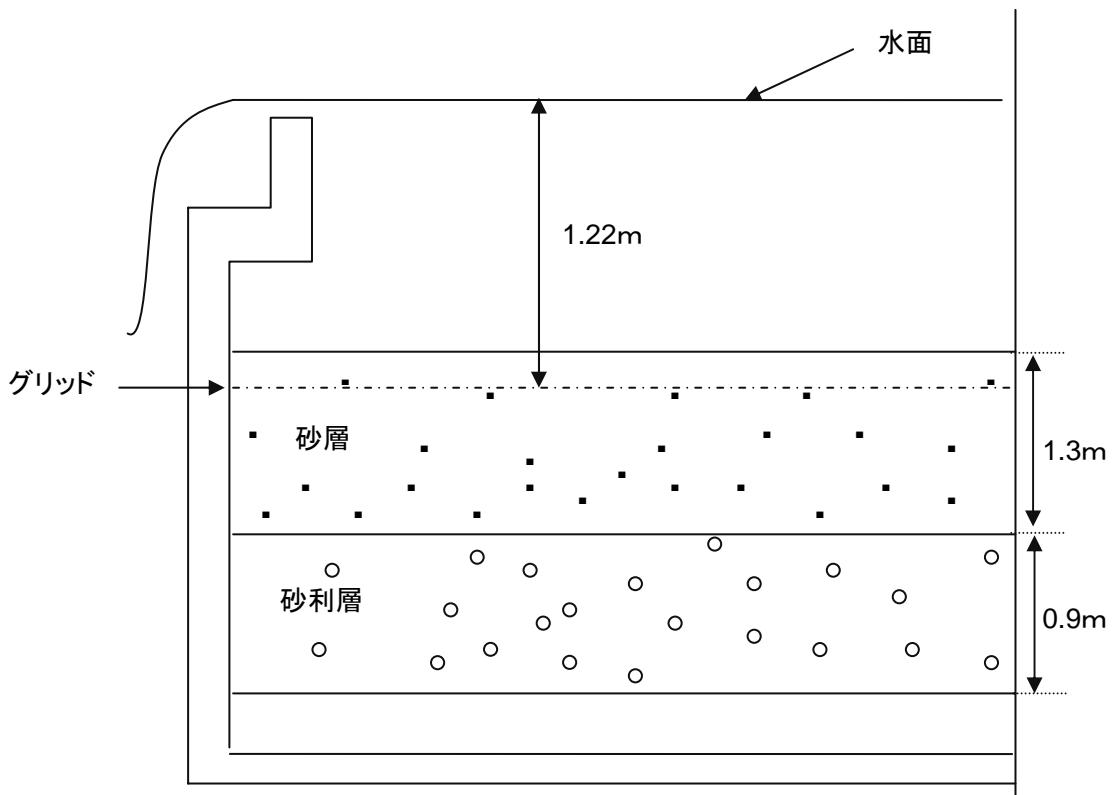


図1 砂ろ過池概略構造

## 2.3 洗浄

砂ろ過の運転を継続していると砂層に捕捉された浮遊物質が多くなり、ろ過能力が低下してくるため一定周期で砂層を洗浄する必要がある。夏季は48時間、冬季は24時間周期で洗浄を行う。

洗浄工程は、まずろ過池の水抜きを行う。次に、空気と水を混合して砂層に送り、砂層を攪拌しながら洗浄する。その後、洗浄水を上向流に流し、攪拌された浮遊物質を洗い流す。これらの工程は2回行われ、洗浄後ろ過池の下部より水を抜き、砂を締める。

## 2.4 砂層管理の必要性

洗浄は砂層を攪拌するため、ろ過砂の一部が洗浄排水層に流出してしまう。流出したろ過砂は砂回収設備により回収され、各池に分配される。しかし、砂の流出量は池によって不均一なため、回収砂の分配が均一にされても砂層の厚さはそれぞれ異なってくる。よって、各池の高度処理能力を均一にするため砂層の管理が必要になる。管理対象はグリッド面から砂層上面の厚さで、管理基準値は0.2mである。

### 3 従前の砂層測定

#### 3.1 作業手順

今回の発案装置使用以前に行っていた砂層測定の作業手順は大別して 7 つある。その手順を以下に記す。

##### (1) 運転管理係との事前連絡及び調整

設備停止を伴うため、事前に運転管理係と作業の手順や時間帯を連絡・調整しあう。

##### (2) 砂ろ過池の水抜き

##### (3) 砂ろ過設備の停止

##### (4) 砂層測定（24箇所／池）

砂層面の 24 箇所に金尺を差込み、その厚さをそれぞれ測定する。

##### (5) 砂ろ過設備の復帰

##### (6) 運転管理係への事後連絡

##### (7) 現場清掃

砂層測定者の長靴に付着した砂が池間に移動時に池の外に出てしまうため、これらを回収する。

#### 3.2 作業時間

17 名の職員で 3 時間を要する。

#### 3.3 問題点

従前の作業方法だといいくつかの問題点があった。一番の問題点は、プラントの停止である。二番目の問題点は、作業環境の悪さである。水抜き後のろ過池は湿度が多いため体感温度が高く、不快な臭気も充満している。また、水抜き後の池に降りるのに梯子を使うなど危険な作業も発生する。三番目の問題点は、多くの人手と時間を要することである。

これらの問題点を解決する方法を平成 15 年度から平成 16 年度にかけて考案した。

### 4 発案装置について

#### 4.1 要求される能力

作業改善のためには、3.3 の問題点を解決する測定方法または測定装置が必要になるが、それらに要求されるものは次の 3 点である。

##### (1) プラント停止を伴わないで測定可能であること

##### (2) 不快な作業や危険な作業を削減できること

##### (3) 作業人数、作業時間を削減できること

これらの問題点を解決するために考案した砂層の測定原理と装置を以下に記す。

#### 4.2 測定原理

2.2 で述べたように、砂ろ過池のグリッド面から水面までは常に 1.22m である。つまり、砂層上部から水面までの水位が分かれば、この水位を 1.22m から引くことでグリッド面からの砂層を間接的に測定できる。

砂層=1.22—砂層上部から水面までの水位（m）

#### 4.3 装置説明

水位測定を行う装置（以下、砂層測定器と呼ぶ）を図-2に示す。図の右側にあるものが水位センサーであり、ダイヤフラム圧力式水位計を使用している。柄の部分は伸縮が可能であり、作業性を良くしている。また、測定時にセンサーが砂に埋もれることを防ぐための工夫（着砂板の取り付け）を行っている。左側にあるものが水位表示部であり、デジタル式表示である。

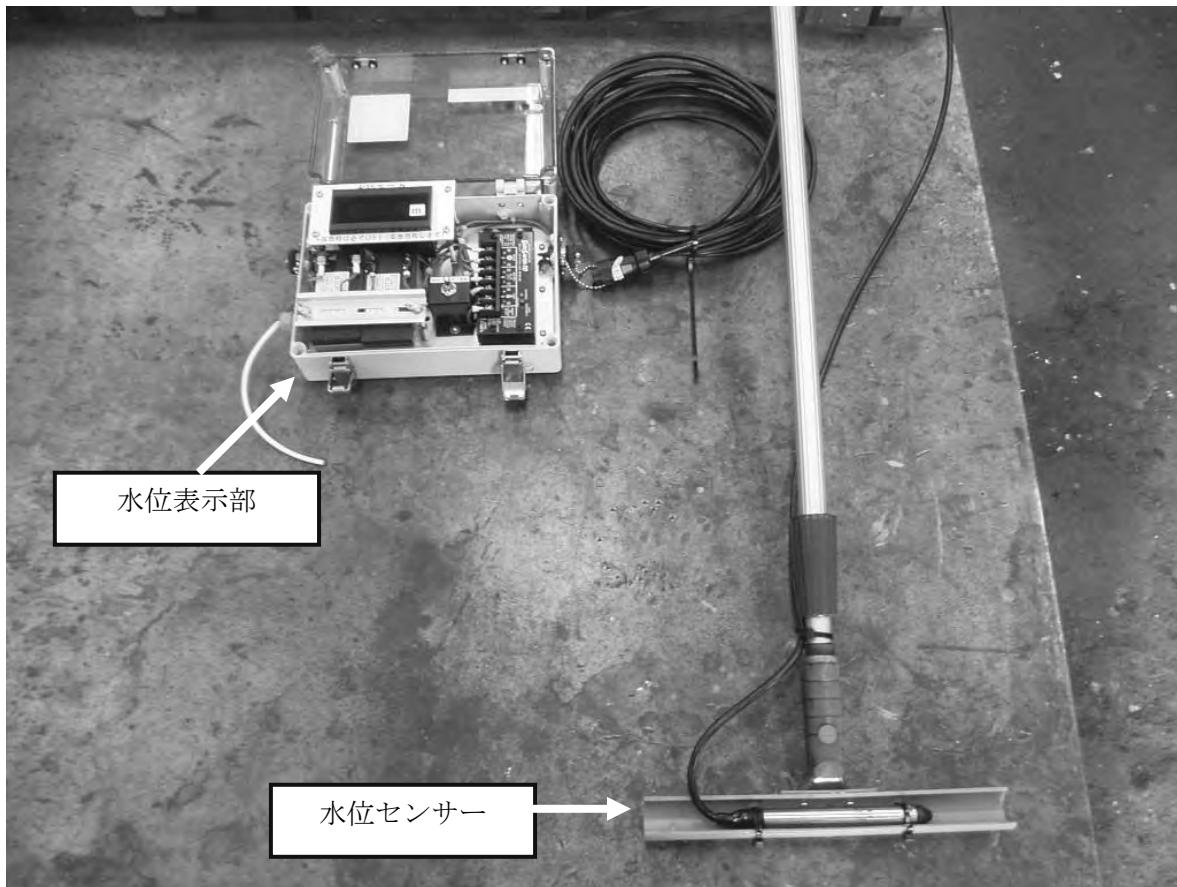


図2 砂層測定器

この砂層測定器を使った測定概略図を図-3に示す。

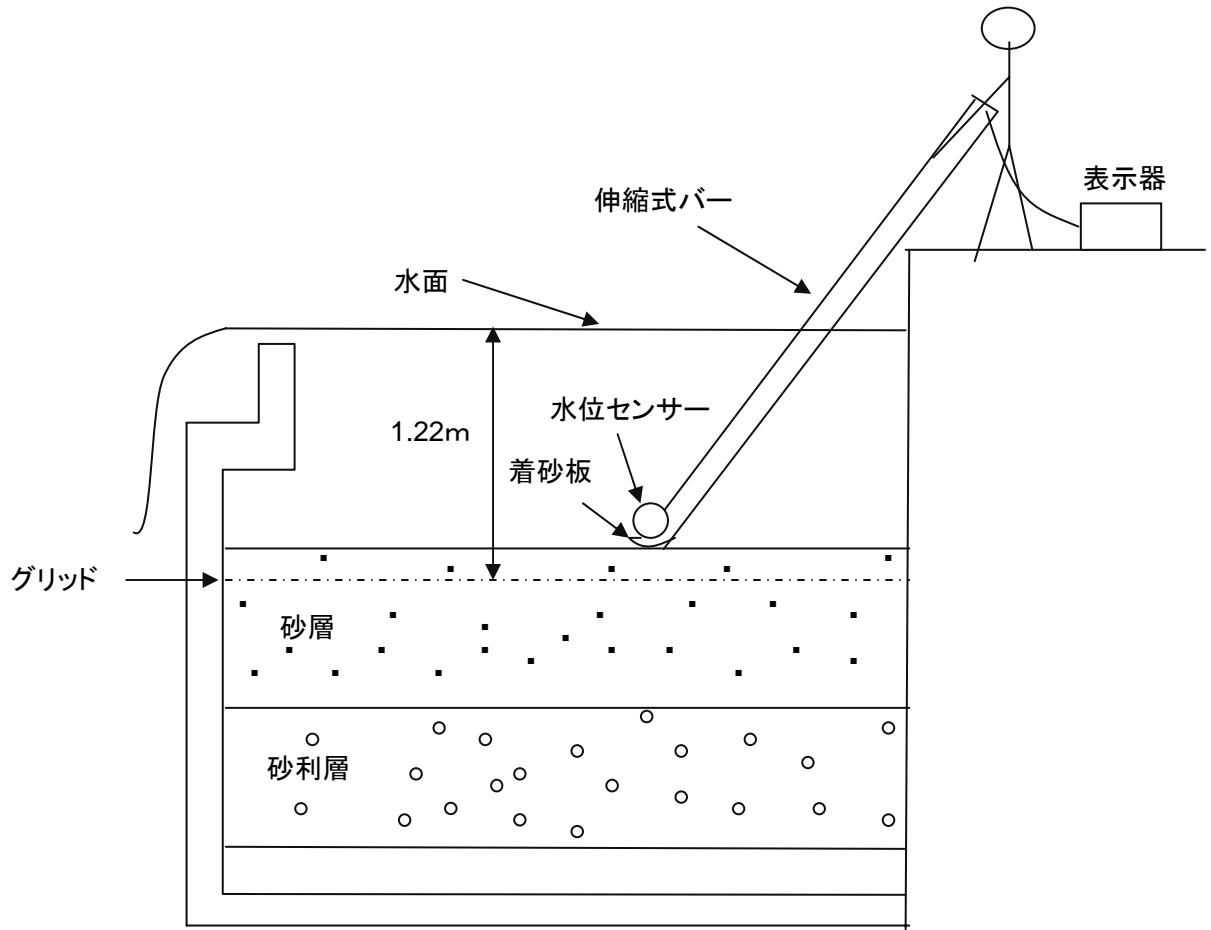


図3 砂層測定の概略図

#### 4.4 性能検証

砂層測定器によって得られた測定値と、実測によって得られた測定値の差を検証する。検証には、33池ある砂ろ過池のうちの1池（15号池-1、15号池-2）の測定値で検証した。

測定値を表-2に示す。値は砂層面上の9箇所の平均値である。

表2 性能検証結果

	実測値(A)	砂層測定器による測定値(B)	Aに対するBの差
15号池-1	12.4cm	11.8cm	-0.6cm
15号池-2	11.5cm	10.6cm	-0.9cm

砂層測定器による測定値と実測値との差は1cm未満であり、砂層管理においてこの程度の差は問題ない。よって、砂層測定器の性能は十分に要求を満たす。

#### 5 発案結果

砂層測定器を考案したことによって3.3で述べた問題点は全て解決され、砂層測定の効率が著しく上昇した。この結果、平成17年度からの砂層測定は今回の発案方式で行うことになった。実績例として、平成17年度の砂ろ過設備補修工事の設計時に行う砂層測定には、今回の砂

層測定器を使用している。

以下では、今回の発案結果を従前作業時の問題点と照らして検証する。

### 5.1 設備影響

砂層測定器による測定は、水位のみ測定すればよいので設備の停止は発生しない。このため、設備停止・復帰時の操作ミスの可能性や運転管理係との事前事後の連絡・調整は無くなった。さらに、設備停止を行わないことにより職員の精神的な緊張も緩和された。今回の発案の結果、従前の砂層測定時に最も懸念されていた問題は解決した。

### 5.2 作業環境

砂ろ過池の水抜きを行わずに砂層を測定するため、池内に降りる作業は無くなった。このため、蒸暑い環境下での作業や、悪臭が充満した環境下での作業は無くなった。さらに、梯子を使うなどの作業も無くなつたため、危険作業も無くなつた。これにより、二番目の問題点も解決された。

### 5.3 作業時間

砂層測定を行う場合、従前の作業方法では職員 17 名で 3 時間を要していたが、砂層測定器を使用する方法では職員 2 名で 2 時間を要するだけとなつた。従前作業を  $17 \times 3 = 51$  時間、砂層測定器を使用した作業を  $2 \times 2 = 4$  時間と単純に時間換算した場合、47 時間の削減を可能にした。作業に要する人数は 15 人削減され、作業時間は約 92% 削減できた。この結果から、三番目の問題点は解決されたといえる。

## 6 今後の課題

今回の発案によって従前の問題は解決できが、まだ実績が不十分である。よって、継続的に砂層測定器を使用した実績を積み、砂ろ過設備の維持管理に役立てていくことが必要である。また、他のプラントに応用利用が可能であるか模索する。

砂層測定器の改善としては、砂層測定器の水位表示部の改善を考えている。現在の表示は水位の値を示しており、その値を 1.22m から引くことで砂層の値を算出していた。これでは手間がかかるため、砂層の値を直接表示出来るように改良しようと考えている。

## 4-(2)-5 硝化制御システムと従来法（DO制御）の 水質比較調査経過報告

東部第二管理事務所 小菅水再生センター  
木下 修  
(現 水道局)青木 久子

### 1 はじめに

近年環境への関心が高まっており、水環境面からは、東京湾の富栄養化を防止・改善するため、窒素・りんの排出削減対策が求められている。一方、地球環境面あるいは大気環境面からは地球温暖化防止のため、CO<sub>2</sub>排出量の一層の削減が求められている。当局においても、経営計画2007、アースプラン2004(追補版)において、取組みを推進することとしている。

しかし、水再生センターにおいて窒素・りんの排出を削減し水質の向上を図る運転とCO<sub>2</sub>排出量を削減する運転とは、一般的に相反する条件となることが多く、両立を図るには、新たな取組みが必要である。

当センターでは、これらの課題に対応するため、反応槽の送風制御方式に従来からのDO制御に替えて反応槽内のアンモニア濃度を指標とする制御(以下、硝化制御システム)を平成15年6月に導入した。硝化制御導入前後の送風量比較調査から、硝化制御は、DO制御と比較して送風倍率で13～17%程度削減できたとの報告<sup>1)</sup>を行ってきた。これまでの報告の主旨は、エネルギー削減効果、すなわち経費の縮減、あるいは、地球温暖化防止の観点からの検証に主眼を置いており、硝化制御システムを導入したもうひとつの目的である水環境面からの評価が残されていた。これは、硝化制御システムの導入時に設置したアンモニア計は1台のみであり、この1台を設置した代表槽のアンモニア計測値で4槽の反応槽を制御する方式をとったため、槽ごとの流入水量、送風量のバラツキがありこれを補正できず、DO制御槽との運転条件を同一にできないことから水質面からの評価ができなかった。このため、17年度に各反応タンクの水量と風量の調整を行ない、運転条件をほぼ均一化させた。このことにより水質面の評価を行う準備が整い18年度には、高水温期において硝化制御とDO制御の水質について比較調査を行い、幾つかの興味ある知見が得られたので報告する。

### 2 施設概要と水質的課題

当センターの水処理施設は、図1に示すように西・東二系に分かれており放流口も個別に設置されている。西系処理施設は、反応タンク全4槽中の2槽がAO法、残りは、標準法(制限曝気)で運転している。硝化制御システムを導入した東系は、反応タンクの4槽の全てがAO法で整備されている。つまり、東系は、流入水の全量を制限曝気などの運転対応ではなく設備的対応でりん処理を行い、かつ単独で放流するシステムとなっている。これは、区部の水再生センターの中でも極めて特徴的な施設であり、放流水質はAO法の特徴が強く反映されたものとなる。特に、雨天時の東施設に合流改善対応として水量負荷をかけると処理水のりん濃度は、異常に高い値を示すことがあり、当センターの水質上の課題となっている。このため、硝化制御システムを安定に稼動させることがさしあたっての課題である。

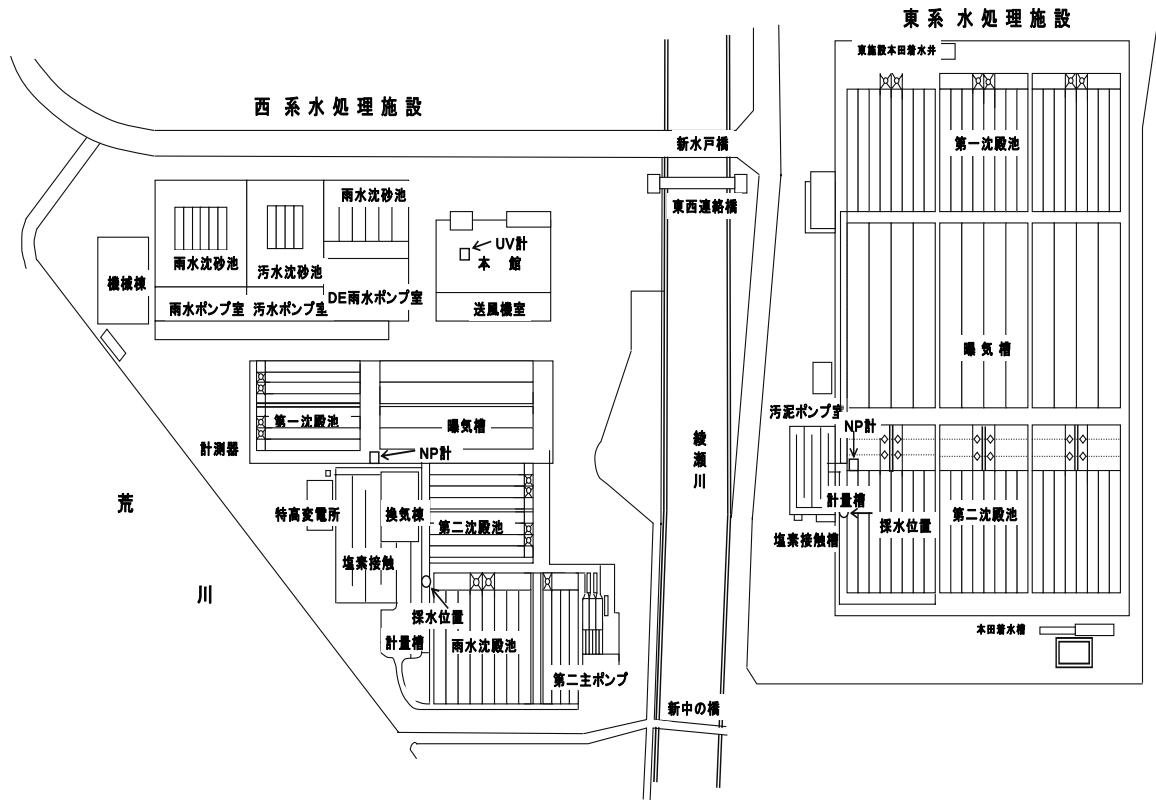


図1 小菅水再生センター平面図

### 3 硝化制御システムの概要

#### 3.1 硝化制御システムの原理

流入下水中に含まれるアンモニア性窒素は、好気状態で活性汚泥中の硝化菌により、硝化され硝酸性窒素になる。硝酸性窒素は、無酸素状態の嫌気槽で脱窒菌により還元されて窒素ガスとなり、大気中に放出され水中から除去される。この除去メカニズムは図2のように説明されている。

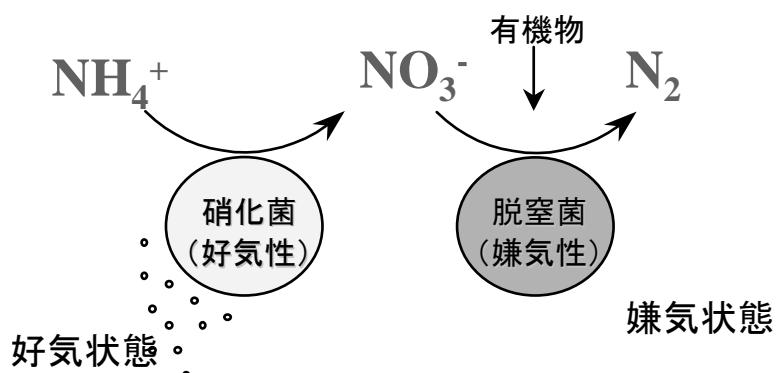


図2 窒素の除去メカニズム

この窒素除去プロセスでエネルギーを大きく消費しているのは、硝化プロセスにおける空気曝

気の動力である。この硝化プロセスで過剰な空気曝気を行うと嫌気槽の嫌気度を悪化させ脱窒による窒素除去量を減少させる。このため硝化プロセスに対して過不足のない空気量の供給を行うことは、曝気動力削減の観点および窒素除去の観点から重要な要因と考えられる。

硝化制御システムでは、反応槽内のアンモニア性窒素濃度を直接測定し、反応槽内の硝化状況に応じた過不足のない空気を供給することで、送風空気量の削減を図ろうとするものである。

硝化制御システムによる送風空気量の削減を他の制御方法と比較したものが図3である。DO制御はアンモニア性窒素を目標値以下に維持するために、最も負荷の高い時間帯に合わせてDO値や風量を設定するのでアンモニア負荷が低いときは過曝気になる可能性がある。硝化制御方式はアンモニア性窒素濃度を直接計測し風量を調節するので過不足のない曝気を行う。

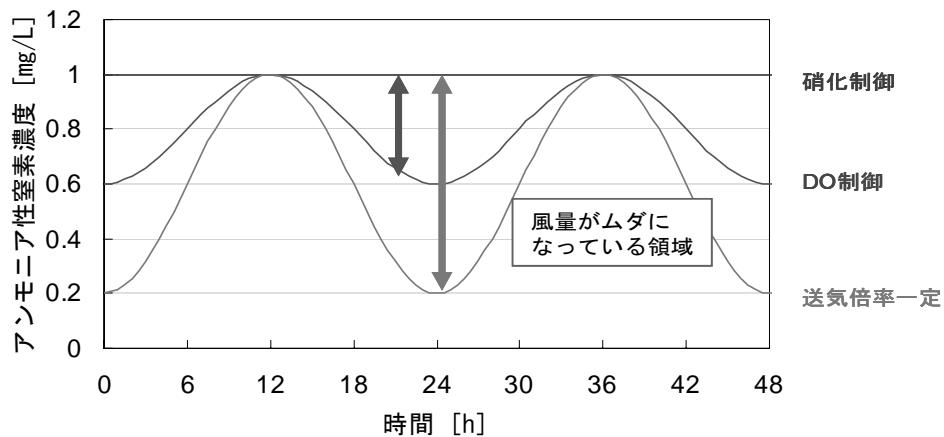


図3 硝化制御との比較

### 3.2 制御フロー

導入した硝化制御フローを図4に示す。

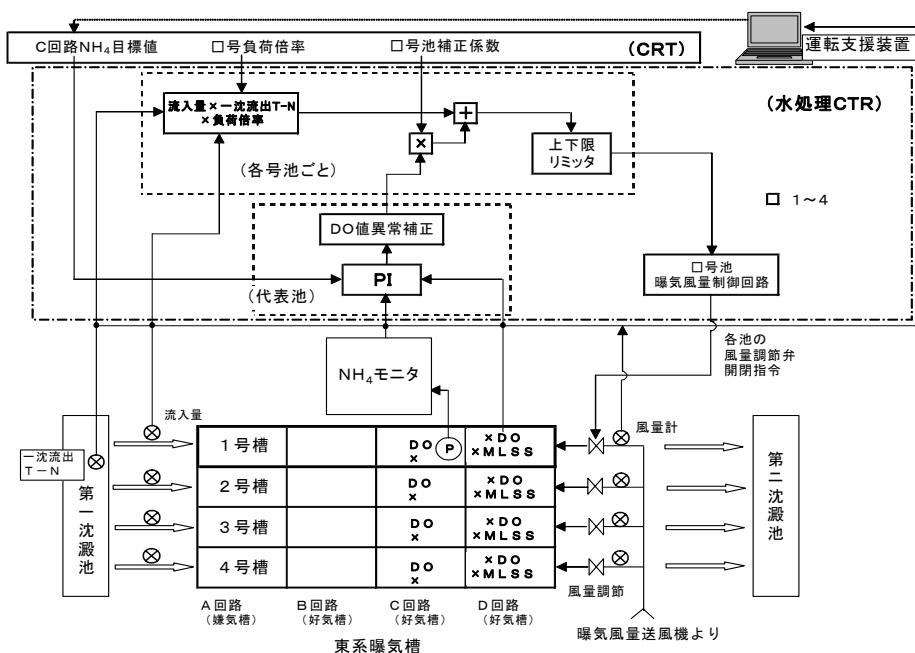


図4 制御フロー

アンモニア計は、1号槽のC回路出口に設置している。送風量の基本量は、下記の式で決定している。

**基本送風量 =**

$$\text{流入全窒素負荷倍率} + \text{代表池 C回路出口アンモニアモニタ補正 (PI制御)} \times \text{池特性係数}$$

池特性係数： 代表池に対する各池の特性補正係数

DO値異常補正： 代表池D回路出口DOが異常に低い(設定値0.5mg/L)が継続した時、曝気風量の増分の補正を行なう。

アンモニア測定値は、アンモニア目標値との偏差を元に基本送風量を補正する形で利用されており、これにより全体の送風量を制御するフローとなっている。

#### 4 硝化制御の課題

硝化制御は、反応タンク中段(C回路)でのアンモニア性窒素濃度が一定となるように風量を調整するシステムであるため、DOについては変動することが前提となる。槽内DOの下限リミットがいくつであるのかは、必ずしも明確になっていないが、常識的に1.0mg/L以上は必要であろう。硝化制御では、実際に反応タンク末端で低DO(1mg/L以下)が数時間続くことがしばしばあり、透視度の悪化やりんの上昇が観察されることがある。しかし、この処理水質の悪化が硝化制御運転による影響であるのかどうかは明確ではないが、硝化制御の評価として、このDOの大幅な変動と処理水質の関係を明らかにしておく必要がある。これまでの経験では、DOが大きく低下するのは次のような場合であった。

- ① 雨天時に、D回路においてDOが低くなる現象が見られた(図5)。これは、流入基質濃度が低くなり、硝化が起きなくてもC回路のアンモニア計の指示値も低くなるために、有機物の分解のために必要な風量が供給されないことが理由であると考えられる。

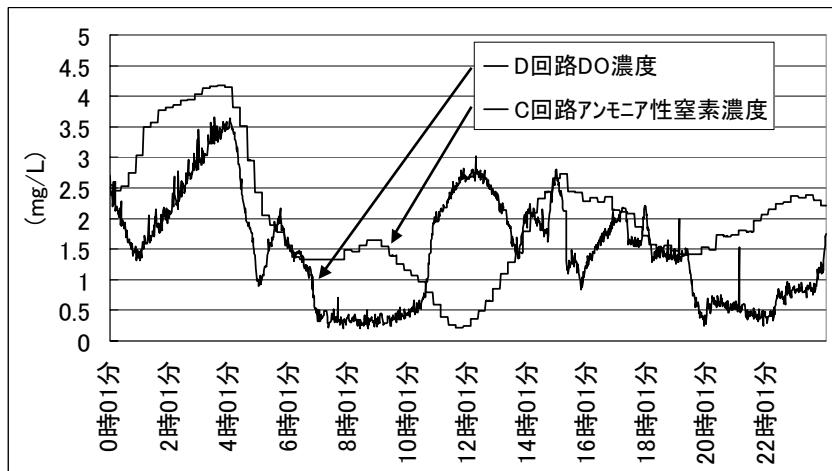


図5 雨天時における風量不足

- ② 上記問題やアンモニア計に故障が生じると一旦 DO 制御に切り替えるが、再び硝化制御に戻す際に、C 回路のアンモニア濃度が低いと反応槽内で要求している風量が少ないと判断し、送風量を極端に絞り込むため DO 低下（図 6）が見られた。

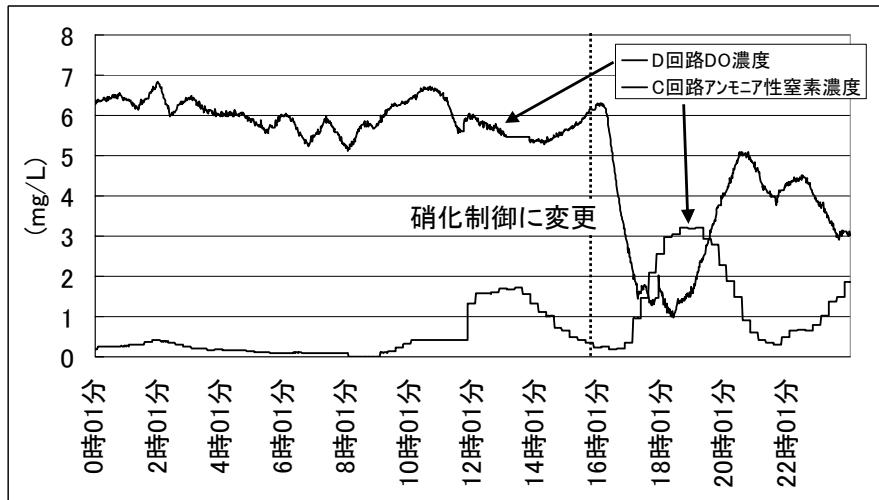


図 6 制御方式切り替え時の不安

- ③ 硝化制御は、代表槽のアンモニア濃度により 4 槽全てを制御する方式のため、槽ごとの運転条件ばらつきにより、槽ごとの DO に大きなばらつき（図 4 参照のこと）が見られる。このことによる水質の悪化が一時見られた。

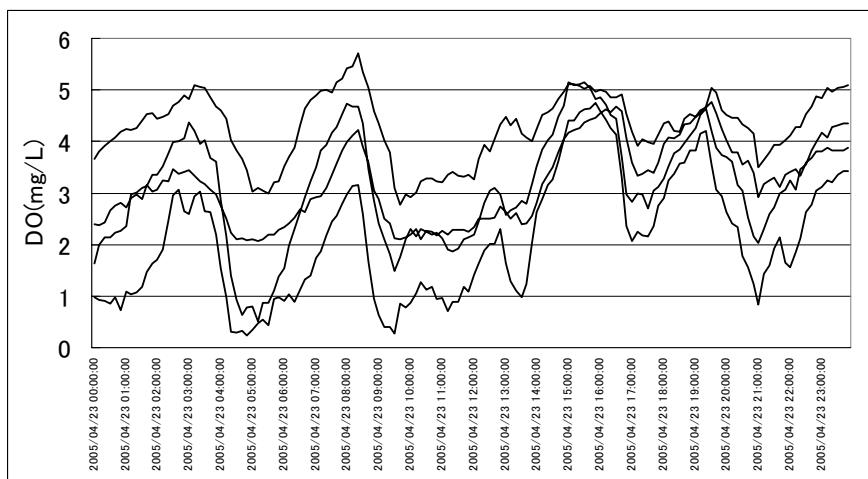


図 7 槽ごとの DO のばらつき

## 5 調査方法

4 槽ある反応タンクを硝化制御系(1, 4 号)と DO 制御系 (2, 3 号) に分けて並列に運転し、各制御系列間の処理水質に差が生じているのかを比較検討した。水質比較は、反応タンク出口 (D 回路末端) の混合液を 2 時間ごとに 24 時間連続採取し、ろ液を測定することで行った。測定は、全 4 回 (8/2, 8/7, 8/24, 9/21 調査時水温 25~27°C) 実施し、その他、現場計装データ等を用

い比較検討した。また、各槽の運転条件は、以下のとおりである。

反応タンク 1・4 号・・硝化制御 NH<sub>4</sub>-N 設定値 2.5mg/L(第 1 回のみ 1.5mg/L)

反応タンク 2・3 号・・DO 制御 DO 設定値 1.2mg/L

## 6 調査結果

### 6.1 各槽の運転条件等の比較

比較を行うためには、硝化制御系、DO 制御系への流入水量負荷と MLSS 濃度とが同一条件であることが前提として必要である。このため、両系列の流入水量、MLSS 濃度を確認した。図 8、図 9 は 8/24 の調査時のデータであるが、両系列の流入水量と MLSS は、極めてよく一致していた。この結果は、他の調査日でも同様であり、17 年度に実施した各反応タンクの水量と風量の調整が時間を経過しても良好に保たれていることが改めて確認された。

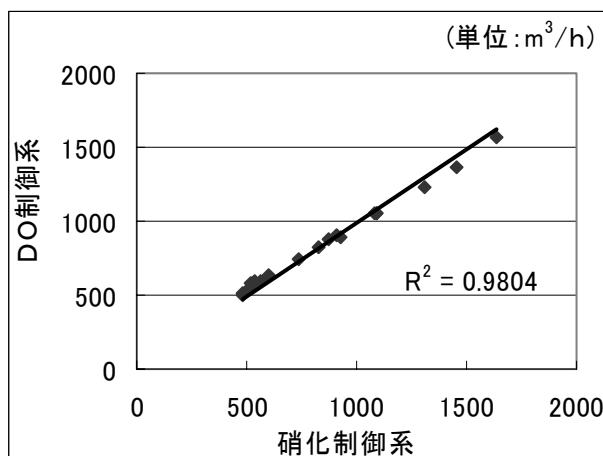


図 8 流入水量の相関

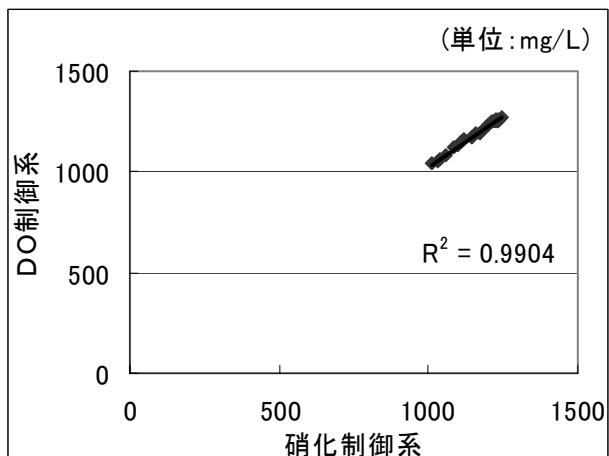


図 9 MLSS の相関

### 6.2 送風倍率、処理水質の比較結果

2 時間ごと 24 時間測定の平均値を表-1 に示す。また、図 10 は、8/24 第 3 回調査時の槽内 DO の変化を示したものである。

表 1 比較調査結果

単位 : mg/L(送風倍率削減率以外)

NH <sub>4</sub> -N 設定値	送風倍率 削減率(%)	りん酸性りん		全窒素		アンモニア性窒素		硝酸性窒素		DO		
		硝化制御	DO 制御	硝化制御	DO 制御	硝化制御	DO 制御	硝化制御	DO 制御	硝化制御	DO 制御	
第1回	1.5	7	0.03	0.07	-	-	0.04	0.04	7.2	7.6	0.8	1.3
第2回	2.5	14	0.04	0.05	10.9	12.1	0.08	0.03	6.8	7.3	0.7	1.2
第3回	2.5	11	0.06	0.07	9.1	10.8	0.25	0.11	6.8	9.0	0.6	1.2
第4回	2.5	6	0.16	0.13	9.7	10.9	0.28	0.02	8.0	9.2	0.8	1.2

\* 第 4 回は降雨の影響がある

表 1 の対 DO 制御送風倍率削減率に示すように硝化制御は、DO 制御に比較して NH<sub>4</sub>-N 設定値 1.5mg/L 制御の場合で 7% 程度、2.5mg/L 制御で 11~14% 程度の削減が達成されている。(降雨の影響のある第 4 回を除く)

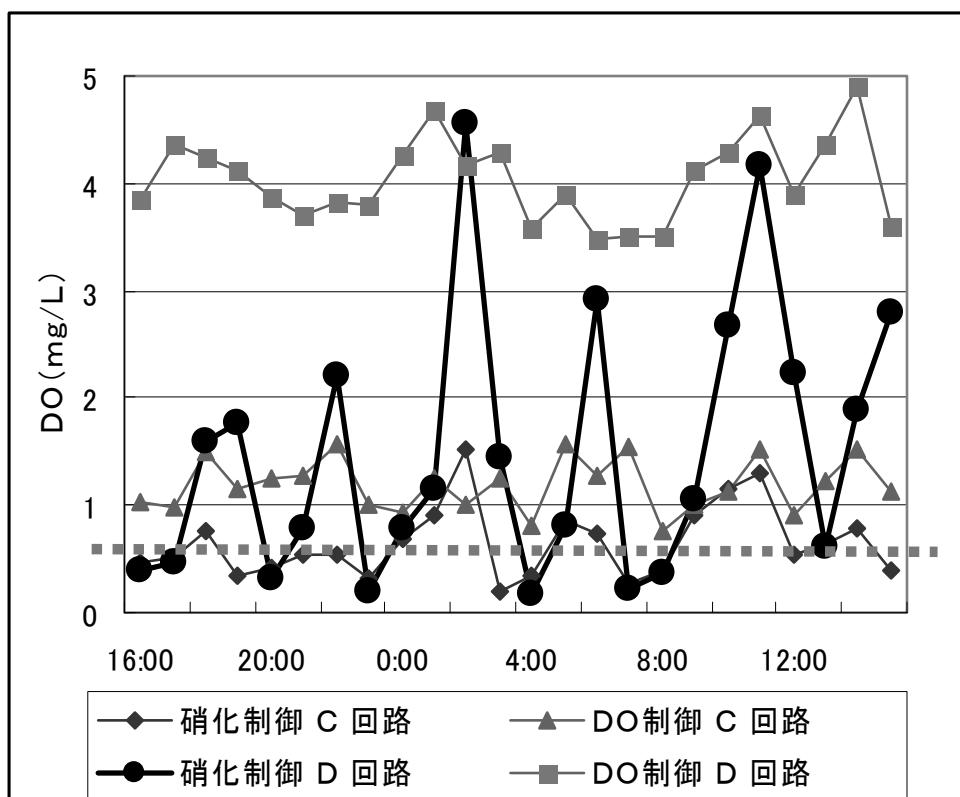


図 10 槽内DO変化

一方、図10に示すように両系列のDO値の動きには大きな差が見られた。すなわち、硝化制御系は、反応槽末端D回路での変動が特に大きいこと、また1.0mg/Lを大きく割り込み0.5mg/Lとなる時間帯が頻繁に起こり、供給過剰、供給不足が繰り返し発生し、振動しているよう見える。このことは、制御パラメータの設定、あるいは、制御フローそのものが不適切であることを類推させる。しかし、表1からは、影響が懸念されたりん処理への影響は見られなかった。時間ごとのりん濃度の変化を示した図11でも、硝化制御系に特異な異常は見られず、20時前後には、DO制御系よりもかえって低く抑えられていることがあった。ただし、表1のアンモニア性窒素については、硝化制御系の槽内DOが低いせいかDO制御に比較して若干残存量が多くなっている。

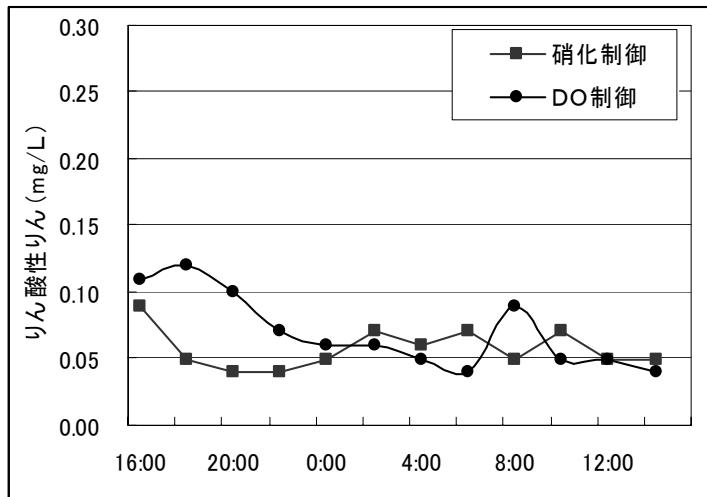


図11 りん濃度の時間変化

同様に、窒素除去の時間変化を図12に示した。硝化制御系は全窒素濃度がDO制御より1mg/L程度低く抑えられており、明らかに硝化制御系に優位性が見られた。明確な理由はわからないが、通常は、嫌気槽、無酸素槽で起こる脱窒現象が、好気槽内でも一部起きていることが言われていることなどから類推すると、硝化制御は、好気槽内DOが通常に比較して著しく低下することから好気槽内で硝酸性窒素の脱窒がより一層促進された結果と推測することができ、硝化制御の一つの特徴といえる。

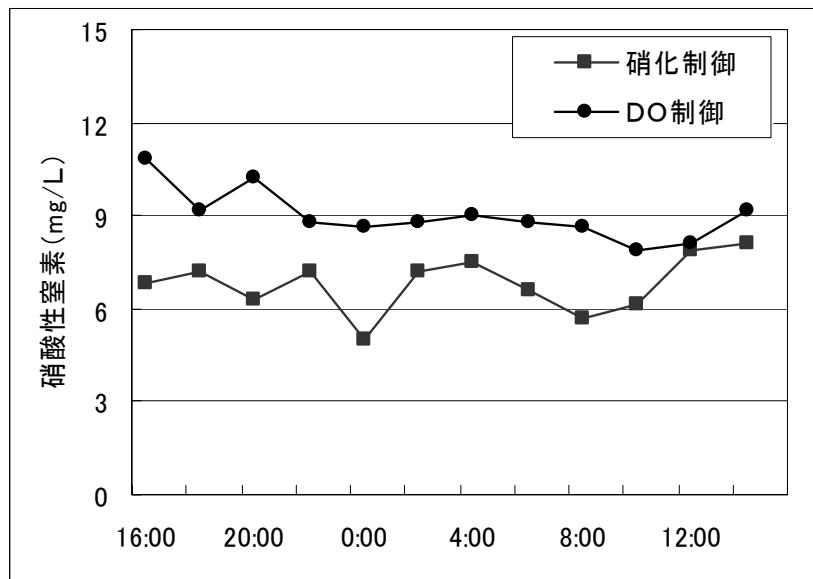


図12 D回路硝酸性窒素濃度

## 6まとめと今後の課題

今回の夏期調査では、送風量の削減が確認でき、DO低下によるりん処理の悪化も見られなかつたことから、この二点については、硝化制御のDO制御に対する優位性が証明されたと考える。一方、窒素除去において見られた除去率の向上が利点となるかどうかは、地球温暖化ガスとして近年報告されつつある反応槽からのN<sub>2</sub>Oの発生メカニズムとの関係も考慮して検討することが必要と考えられる。反応槽からのN<sub>2</sub>O発生は、硝化、脱窒両過程で起こっているといわれ、硝化過程での発生には、DO濃度が関係していると言われている。一般にDO濃度が低く硝化がゆっくり進むとN<sub>2</sub>Oの発生が多くなると言われている。このことから硝化制御によるDO濃度の変動やアンモニア性窒素の残存を考えると硝化制御は、DO制御よりも多くのN<sub>2</sub>Oを発生している可能性があり、送風空気量の削減による電力量の削減、CO<sub>2</sub>発生量の削減に目を奪われることなく今後N<sub>2</sub>Oの発生にも配慮したうえでの評価が必要であろう。また、硝化制御を安定的に稼動させるためにはハード面でもいくつかの課題が残されている。硝化制御のキーポイントであるアンモニア計の精度・耐久性を向上させ、分析薬品に毒物であるシアン化合物を使用していることの改善や流入水量、水質の変化に対する空気の供給を的確に行うために空気量調節弁用コントローラーの調整をさらに向上させる必要がある（急激な制御量変化に対し追随性が悪い）。これらの課題の解決に引き続き取組み、今後もさらなるコスト縮減と水質向上に向け、硝化制御の適正な運用に努めて行きたい。

次回は、水質が不安定な冬季に同様な比較調査を実施する予定である。

#### 参考文献

- 1) 小菅水再生センターにおける硝化制御システムの運用実績と今後の課題  
東部第二管理事務所小菅水再生センター運転管理係  
(平成 16 年度下水道設備研究発表会予稿集)
- 2) 硝化制御の問題点について  
東部第二管理事務所小菅水再生センター水質管理係 北村清明
- 3) 合流式下水道におけるりん処理の課題と対策  
東部第二管理事務所小菅水再生センター水質管理係 青木久子  
(平成 16 年度環境行政交流会予稿集)

## 4-(2)-6 汚泥処理動力削減のための重力濃縮をベースとした 汚泥処理システムの構築

計画調整部技術開発課

山下 博史

### 1. はじめに

東京都では、処理の効率化と省スペース化のため、汚泥処理の集約化を行なっている。この場合、下水汚泥は汚泥輸送による腐敗により凝集性や沈降性が著しく低下し、汚泥処理における多くの問題を引起している。その上、食生活の変化により汚泥自体の有機分も上昇しており、腐敗の進行や沈降性の低下に拍車がかかっている。このような変化を受け、汚泥処理形態もかなり変化してきている。

濃縮工程を例にとると、今まで濃縮の主要機器であった重力濃縮が沈降性の低下によりの濃縮汚泥濃度が低下しており、東京都においては沈降性の良い初沈汚泥を除いて遠心濃縮機などの機械濃縮を適用する方針となっている。しかしながら、機械濃縮は重力濃縮槽に比べて所要動力が大きく、遠心濃縮機の場合実績ベースで重力濃縮の30倍以上となっている。

昨今の地球温暖化の防止や維持管理コスト縮減の観点からも、処理動力の大幅な削減が下水道事業者に求められていることから、汚泥の性状や汚泥処理機器の特性を考慮し、汚泥処理単位操作単独の評価に加えて、汚泥処理全体システムから見た単位操作の評価や処理機器同士の適合性について評価を行い、最も効率的な処理設備のレイアウトを構築していく必要がある。

ここでは東京都の現状を踏まえ、特に濃縮と脱水における機器導入の考え方を整理したので報告する。

### 2. 東京都の現状

東京都区部では水処理で発生した汚泥を集約化し、汚泥処理の効率化を図っている。現在、23区には13の水再生センター(以下センター)があり、ここで発生する汚泥を5箇所の施設に集約しており、将来は臨海部の3箇所の施設で集約処理する方針である。

発生汚泥量は18年度実績で $181,100\text{m}^3/\text{日}$ であり、固形物量は $690\text{t}/\text{日}$ であった。脱水ケーキ発生量は $2,730\text{t}/\text{日}$ 、ケーキ含水率は77%であった。

処理形態としては、濃縮→脱水→焼却が主で、2施設では一部の汚泥を消化工程に投入しており、発生したメタンガスを利用して消化ガス発電を行っている。

濃縮工程では、重力濃縮、加圧浮上濃縮、遠心濃縮が用いられており、各々の処理量は63%、6%、31%の比率である。一方、脱水工程ではベルトプレス(以下BP)、ベルトフィルター(真空脱水機、以下BF)、遠心脱水があり処理の比率は26%、5%、69%となっている。

### 3. 汚泥処理動力削減の考え方

#### 3-1 単位操作の評価

##### 3-1-1 送泥

通常、送泥は汚泥濃度が高いほど送泥量が少なく、輸送に関する動力が削減できる。また、着泥先の処理施設でも、処理量が減少すれば処理に係わる動力は低減が図れる。特に遠心濃縮のような機械濃縮では、処理動力は処理量に比例して大きくなるため削減効果が大きくなる。

しかし、送泥で最も気をつけなければならないのは汚泥の腐敗で、特に送泥距離の増加は嫌気的条件に曝される時間の延長を意味し、その分汚泥腐敗が進行する。

腐敗により、硫化水素が大量発生し、また有機固体分の可溶化及び有機酸の生成によって汚泥粒子の微細化、汚泥表面電荷量の増加が引き起こされる。それによって、汚泥沈降性の低下や電荷反発による凝集性の低下など処理にとってマイナスの要素が顕在化する。さらに、汚泥の脱水性を左右する因子として汚泥の纖維分があるが、嫌気性細菌の作用で分解が進行するため、著しく脱水性が低下する場合がある。特に、送泥濃度の上昇はこのような現象に拍車をかけるため、条件によっては汚泥処理性の低下が汚泥処理量削減効果を相殺し、かえって処理能力の増加を招く場合もある。

表1は、長距離送泥の脱水性について遠心分離器を用いた脱水性の評価(脱水セル法遠沈管試験)<sup>1)</sup>を行った結果を表している。

表1 送泥脱水試験におけるケーキ含水率と脱水分離液

	送泥濃度 %	薬注率 %	ケーキ含水率 %	分離水水質						
				SS mg/L	COD mg/L	S-COD mg/L	T-P mg/L	PO <sub>4</sub> -P mg/L	T-N mg/L	NH <sub>4</sub> -N mg/L
芝浦・森ヶ崎送泥	0.72	0.54	80.0	374	183	129	40.1	31.5	108	58.6
三河島送泥	0.35	0.50	78.8	121	109	40.7	33.9	7.2	28.6	27.4
中川・小菅送泥	0.32	0.50	78.9	28	22.8	12.6	21.4	19.7	20.2	11.6

データ数は少ないが、送泥濃度の高い汚泥ほど凝集性が悪く、ケーキの含水率や分離水水質が高くなっている。芝浦・森ヶ崎送泥は他の送泥に比べ滞留時間が3時間と短いにも拘らず汚泥の凝集性が悪い。この原因の一つには森ヶ崎送泥に凝集性の悪い消化汚泥が一部入っていることが挙げられるが、その割合は全送泥の6%程度で寄与はそれほど大きくない。それ以外の凝集性悪化の原因を特定することは困難であるが、送泥濃度が0.7%程度と他の送泥の2倍以上であることから、凝集性と送泥濃度の間には負の相関がある可能性が考えられる。

### 3-1-2 濃縮

濃縮には大別して、重力濃縮と機械濃縮がある。

重力濃縮は水と汚泥の比重差で汚泥を沈降・濃縮する技術であるが、汚泥の有機分上昇等に起因して比重が限りなく1.0に近いことから沈降速度が遅く、濃縮汚泥濃度が低下する傾向にある。下水道設計指針<sup>2)</sup>では重力濃縮汚泥の濃度を2.0~4.0%としているが、東京都区部のH18年度平均で2.5%であり、重力濃縮における3.0%以上の高濃度の濃縮は困難な状況にある。

ただし、自然沈降を利用した濃縮法であり、動力をほとんど必要としないという大きな長所を有している。

一方、機械濃縮は外部から応力をかけて強制的に汚泥を濃縮する手法で、遠心濃縮や浮上濃縮などがある。ともに4%程度の濃縮は可能であり、濃縮倍率に限定すれば重力濃縮よりも優れている。しかし、電力、薬品等の消費が大きく、遠心濃縮を例に挙げれば汚泥1m<sup>3</sup>あたりの消費電力は重力濃縮の30倍以上であり、動力・コスト上昇の一因となっている。

濃縮という単位操作を評価する場合には、濃縮倍率と所要動力さらに固形物回収率が重要となる。固形物回収率は、濃縮工程で回収されなかった固形物が水処理に戻り曝気槽の負荷となって水処理動力を上昇させる原因となることから、非常に重要なファクターである。

各濃縮法の特徴を表2に示す。ここで用いた数値は、東京都区部水再生センターのH18年度実績値である。表2より、動力的には重力濃縮、濃縮倍率は遠心と浮上、動力費以外のコスト

を含めた維持管理性なら遠心が最も優れている結果であった。ここで重力濃縮の維持管理性を△としたが、汚泥界面を水面より2m以上低いレベルに保てば維持管理性は格段に向かうし、回収率も安定して95%を上回る。ただしこの場合、濃縮汚泥濃度は低下する。

さらに、濃縮汚泥の脱水性を考えると、重力濃縮汚泥の1.5~2.5%は遠心濃縮汚泥の約3.5%に相当し<sup>3)</sup>、重力濃縮では濃縮汚泥濃度の低下が必ずしも脱水性の低下にはつながらない。これは、わずかな比重差の粒子でも強制的に濃縮する機械濃縮と比べて、重力濃縮では纖維分などの沈降性の良い汚泥成分の比率が多くなるためと考えられる。

濃縮という機能だけを評価すれば、機械濃縮の方が優れていると結論付けられるが、消費動力や脱水性を評価軸に入れると結論は異なってくる。最終的には、濃縮工程だけではなく送泥工程と脱水工程まで考慮に入れた全体システムの一部としての評価が必要となる。例えば、後段の脱水が遠心脱水の場合には濃縮汚泥濃度の低下は処理量の増加につながり、処理動力の上昇を招くことから、機械濃縮の評価が高くなる。一方、脱水が水排除能力の高い機器の場合は、濃縮汚泥濃度より汚泥凝集性の良否が重要となることから、重力濃縮の方が有利な場合もある。

### 3-1-3 脱水

脱水も濃縮と同様、汚泥の有機分の上昇や送泥による腐敗の影響で、汚泥の脱水性が低下傾向にある。脱水機には、真空脱水機、BP脱水機、遠心脱水機、加圧脱水機、スクリュープレス、ロータリープレスなどあるが、脱水の良し悪しを決定する因子はある程度共通している。

脱水性に影響の大きな因子として汚泥の表面電荷量と纖維分がある。

汚泥粒子表面は通常負に帯電しており、脱水では薬品で表面電荷を中和して汚泥を凝集させる。汚泥の腐敗は表面電荷を増加させることより、腐敗の進行は薬品使用量の増加につながる。

纖維分は汚泥中の間隙水が抜けるときの水みちとなるため、多ければ多いほど脱水性は向上する。この纖維分も腐敗である程度分解することから、汚泥腐敗により脱水性は低下する。顕著な例が消化汚泥で、消化の工程で汚泥の纖維分は嫌気性菌の作用でほぼ分解てしまい、消化汚泥単独脱水と混合汚泥(生汚泥と余剰汚泥の混合)脱水では、消化汚泥の方が高分子凝集剤の注入率で0.7%程度高く、含水率で5%程度高くなる<sup>4)</sup>。

これらの因子は送泥により大きく変化すると考えられることから、変化の少ない送泥手法の確立や例えば無機凝集剤の併用など送泥に応じた汚泥調質手法の確立<sup>5)</sup>などが、効率的な脱水を行なう上で重要な要素となる。

表3にH18年度の区部における脱水機の現状と評価を示す。

薬注率や水処

表2 濃縮法の現状と評価

濃縮法	濃縮汚泥濃度		消費動力			固形物回収率		維持管理
	%	評価	汚泥 1m <sup>3</sup> kWh/m <sup>3</sup>	固形物 1t kWh/t	評価	平均 (変動幅)	評価	
重力濃縮	2.5	△	0.043	12	◎	94.7 (59.4~99.4)	○	△
機械遠心濃縮	4.0	○	1.3	259	×	81.9 (31.1~97.6)	×	◎
濃縮浮上濃縮 (加圧法)	4.0	○	0.58	87	△	96.7 (93.7~98.8)	◎	×

表3 脱水法の現状と評価

脱水機	脱水ケーキ		高分子凝集剤		消費動力			分離水 SS		維持管理
	含水率 %	評価	薬注率 %	評価	汚泥 1m <sup>3</sup> kWh/m <sup>3</sup>	固形物 1t kWh/t	評価	SS mg/L	評価	
BP	M型	74.2	◎	0.36	◎	4.8	184	×	148	○
	K型	77.6	△	0.33	◎	4.8	188	×	157	○
遠心	E型	76.6	△	0.62	△	4.8	174	×	315	△
	K型	75.9	○	0.46	○	2.9	85	○	958	×
	S型	77.2	△	0.38	◎	2.2	85	○	214	△

理負荷につながる分離水 SS は、BP の方が優れているが、消費動力、維持管理性の面では遠心の方が優れている。

通常 BP の方が遠心より動力が低いはずである。しかし、BP 脱水機では稼動している間は高圧水によるろ布の洗浄が必要で、高圧水を供給する洗浄ポンプの動力が BP 脱水機の消費動力を押上げている。

含水率に関しては、全体で 77% 前後という結果であった。ただし、M 型の BP は 74.2% と他より 3 ポイントほど低く、しかも投入汚泥には難脱水性の消化汚泥も入っていたことを考えると、脱水機としては非常に優れている。BP の場合、臭気対策が困難なことと維持管理が煩雑という欠点があるが、例えば難脱水性であるが汚泥臭がない消化汚泥のみを脱水する場合にこの機種を使用すれば、焼却ケーキ量の削減と焼却補助燃料の削減につながる。

また、遠心で E 型と K,S 型の消費動力の差は、後者の方は型式が新しく低動力型であるためである。

### 3-2 汚泥処理低動力化のための濃縮一脱水システムの構築

処理システムを考える場合、個々の単位操作の評価とともに単位操作同士の整合性を考えた全体システムの評価が必要となる。

現状では濃縮・脱水ともに遠心方式が主流となっている。しかし、遠心方式は多量の汚泥を高速回転させるため動力消費が大きく、昨今の地球温暖化防止の観点ではマイナス要因となる。

ここでは、処理プロセス全体の動力削減を最小となり、しかも維持管理性の良いシステムを構築するための検討を行った。このシステム要件を満たすためには、濃縮・脱水ともに低動力であること、薬注率、含水率が現状と同等以下であることが必要となる。また、一日のうちで 0.2~1.0% と 5 倍程度の大きな濃度変動のある送泥を処理対象と考えると、この濃度変動に対して含水率の変動を ±2% の範囲で脱水できることも重要となる。

以上の条件のうち、ここで最も重視したのが処理動力の最小化である。そのため、動力をほとんど必要としない重力濃縮を濃縮の主要機器と考え、動力最少化以外の条件も満足できるシステム構成について検討を行った。

重力濃縮の最大の欠点は濃縮倍率が低いことである。濃縮汚泥濃度の低下は、脱水動力の上昇や薬注率の上昇、脱水ケーキ含水率の上昇など動力とコストの上昇の原因となるが、濃縮の項にも書いたように、脱水性や薬注率については 3.5% と高濃度の機械濃縮汚泥と遜色がない。

重力濃縮を濃縮の主要プロセスとした場合には、濃縮汚泥の低濃度化による汚泥処理量の増加をどのように克服するかが重要となる。この対処法として

- ① 負荷の調節や薬品の添加で重力濃縮の濃縮倍率を向上させる。
- ② 水排除能力が高く、低濃度の汚泥でも効率良く脱水できる脱水機を重力濃縮の後段に設置する。

の 2 通りの方法が考えられる。

①の対処において負荷の削減には限界があり、薬品注入では汚泥のフロック形成により沈降性は高まるが圧密性は低下し、濃縮倍率は無添加より低くなる<sup>6)</sup> 傾向があるため有効な手法とはなり得ないことから、②のケースについて詳細な検討を行った。ここで脱水機には、他機種より水排除能力の高く、遠心脱水機より低動力の高効率スクリュープレス脱水機を用いることとした。

### 3-2-1 重力濃縮槽維持管理の考え方

重力濃縮で濃縮倍率に寄与の大きな因子は、投入汚泥濃度と滞留時間である<sup>7)</sup>。汚泥粒子同士の干渉の少ない低濃度汚泥の方が沈降速度も速く圧密性も上昇する。また、滞留時間は長い方が圧密時間を十分に取れるため濃縮倍率は上昇するが、槽内での腐敗の進行によりその後の脱水処理へマイナスに作用する。また、維持管理上重要なのは汚泥の界面管理で、槽からの汚泥のキャリーオーバーを防止する上では汚泥界面は低く管理することが望ましい。

以上のことから考慮すると、投入汚泥はなるべく低濃度(希釀も考慮する)で、滞留時間は腐敗防止の観点から10時間を超えないように設定し、汚泥界面は水面から2mより下で管理する。また、下水道設計指針<sup>7)</sup>では重力濃縮槽の適正な固体物負荷を60~90kg·DS/(m<sup>2</sup>·d)としているが、これは濃縮汚泥をある程度の濃度(2.5%程度)に濃縮することを考慮した値であり、固体物負荷を30~50 kg·DS/(m<sup>2</sup>·d)程度にする方が固体物回収率の点から有利になる。この場合、濃縮濃度は1.5~2.0%程度と低くなるが、後段の脱水工程において速やかな分離水の排除が可能な脱水機を使用する場合には問題とならない。

### 3-2-2 高効率スクリュープレス脱水機

高効率スクリュープレス脱水機の脱水機構と外筒ろ過スクリーンを図1,2に示す。

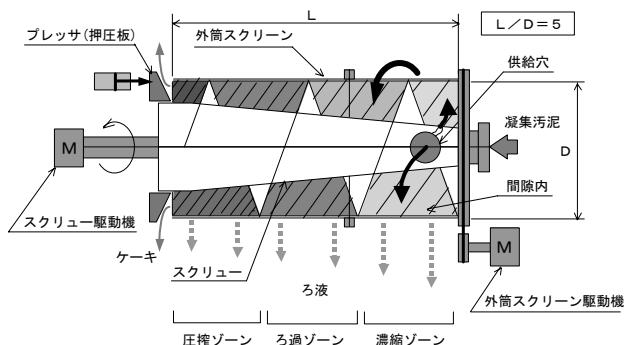


図1 脱水機の脱水機構

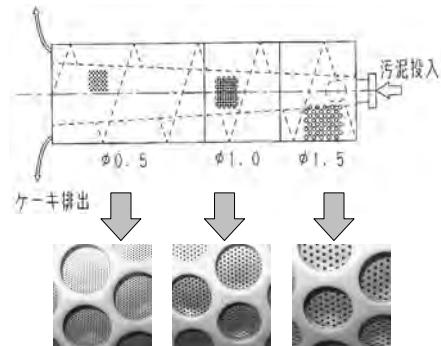


図2 脱水機外筒のろ過スクリーン

スクリューと外筒スクリーンの間に充填された汚泥は、徐々に空間が狭まることで圧力を受け、間隙水を外筒スクリーンから排出しながら脱水されます。本装置は、濃縮ゾーンの外筒スクリーンがスクリューと逆に回転することでスクリュー刃先による外筒の自己洗浄が行なわれ、ろ過面が常に洗浄された状態で汚泥と接触するため水排除能力が大きく、多量の水の排除が必要な低濃度汚泥の脱水に有効な技術である。また、スクリュー回転数は2rpmと遅いため消費動力も遠心脱水機の1/10以下である。

## 4. 低濃縮汚泥の脱水調査

今回の調査は、Mセンターからの長距離送泥(送泥時間5.1hr、平均濃度0.28%)について、遠心濃縮処理量を1/3~1/5程度に削減するため重力濃縮槽を使用して実施している前濃縮汚泥を対象とし、遠心濃縮を行わず直接脱水した。使用した高分子凝集剤は分子量600万の高カチオン系で、処理量は20m<sup>3</sup>/hとした。

調査目標と結果を表4に、投入汚泥、薬注率と含水率の経日変化を図3に示す。

表4 低濃縮汚泥の脱水結果

	投入汚泥濃度%	薬注率%	ケーキ含水率%	固体物回収率%
目標	1.0~2.0	0.8≥	78≥	95≤
全体	1.48	0.76	76.5	97.2
平均	(0.46~3.0)	(0.35~1.06)	(73.6~78.8)	(94.7~99.0)

前濃縮の主目的は遠心濃縮機の流量負荷の削減であり、濃縮倍率を上げることを目的としている。さらに固形物負荷を  $39 \text{ kg-DS}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  と低く保ち、汚泥滞留時間を 8 時間程度に抑えることで汚泥腐敗による処理性の低下を防止することも目的としている。これにより、重力沈降し易く脱水性の良い汚泥を遠心濃縮でさらに高濃度にでき、脱水での薬注量の削減や脱水ケーキ含水率を低減できるなど遠心濃縮処理量削減以上の効果が見込まれる。

表 2、表 4 にあるように H18 年度の区部の重力濃縮汚泥濃度の平均は 2.5% であったが、前濃縮汚泥濃度は平均の 1.48% と 1% 程度低い。それにもかかわらず、含水率は 76.5% とほぼ区部平均レベルであった。また、脱水の安定性を測る尺度として含水率を 75~78% の範囲内(破線の範囲)に入る事を最大の目標としたが、図 3 のように含水率が 75% を下回ることはあっても、78% を上回ることはほとんど無かった。スクリュープレス脱水機は、脱水性能は優れているが含水率のバラつきが大きいとの指摘もあるが、本装置ではマイクロ波含水率計を装備しており、ケーキ含水率情報の薬注制御へのフィードバックが可能であり、含水率の高い安定性が保たれていた。

## 5. システムの動力、コスト及び LC-CO<sub>2</sub>

調査結果から、濃縮-脱水システムの動力について試算を行なった。その結果を表 5 に示す。ここで、遠心濃縮は平成 18 年の区部実績値、遠心脱水機は低動力型の数値を用いた。一方、スクリュープレス脱水機は今回の調査の実績値を用いた。

表 5 からも分かるように総消費電力は、今回の提案システムは、遠心・遠心の場合の 95% 程度の削減が可能であることが分かる。

各々のシステムにおける LC-CO<sub>2</sub> を表 6 に示す。高分子凝集剤による CO<sub>2</sub> も含めても 1/3 程度に削減できると試算された。ここで、各々の薬注率は平成 18 年度の実績及び調査における実績を用いた。

さらにコスト評価では、高分子凝集剤の費用と電力費の合計は 3 割程度削減が可能である。さらに高速回転機器である遠心脱水機と比較して低速回転のスクリュープレス脱水機は、補修に関わる費用

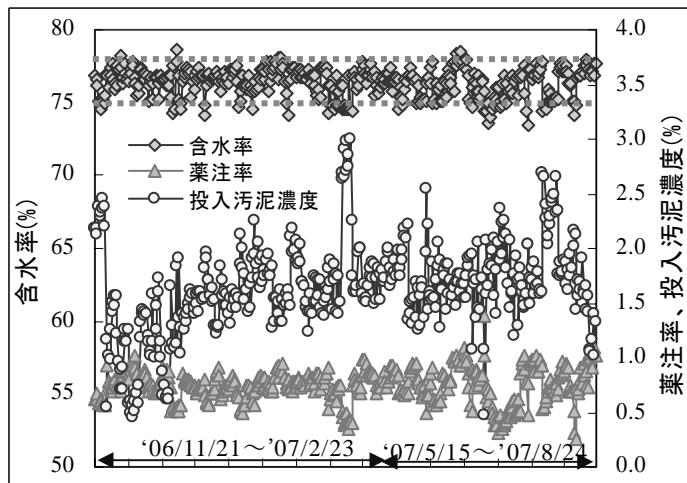


図 3 低濃縮汚泥の連続脱水調査結果

表 5 濃縮-脱水システムの消費電力

濃縮脱水 システム	消費電力 汚泥 1m <sup>3</sup> 当たり kWh/m <sup>3</sup>				消費電力 固形物 1t 当たり kWh/t-DS			
	濃縮	脱水	計	比率	濃縮	脱水	計	比率
遠心濃縮 遠心脱水	1.3	2.2	3.5	100	259	85	344	100
重力濃縮 高効率 SP	0.043	0.10	0.14	4.1	12	5.4	17.4	5.1

表 6 濃縮-脱水システムの LC-CO<sub>2</sub>

濃縮・脱水 システム	薬注率 %	消費 電力 kWh/t-DS	LC-CO <sub>2</sub> 固形物 1t 当たり			比率
			凝集剤 <sup>*1</sup>	電力 <sup>*2</sup>	計	
遠心濃縮 遠心脱水	0.62	344	40.5	132.1	172.6	100
重力濃縮 高効率 SP	0.76	17.4	49.7	6.7	56.3	33

\*1 高分子凝集剤 1kg 当りの排出 CO<sub>2</sub> は 6.534kg とした

\*2 電力 1kWh 当りの排出 CO<sub>2</sub> は 0.384kg とした

も大幅に低減できる利点がある。

このように重力濃縮を積極的に利用し、高い水排除能力を有する脱水機を導入することで大幅な動力削減ばかりでなく、LC-CO<sub>2</sub> 及びコストの縮減が可能となる。

## 6. まとめ

汚泥処理全体の動力削減のため、特に濃縮、脱水工程の単位操作及び濃縮・脱水システムの評価を行なった。濃縮工程では重力濃縮は濃縮倍率的に課題が大きいが、低濃度の汚泥も低動力で脱水できる高効率スクリュープレス脱水機を重力濃縮の後段に設置することで、従来の 5% 程度の動力で低含水率の脱水が可能であった。

今回の例のように、単位操作の評価で最も優れた機器の組合せが必ずしも最良の結果をもたらすわけではなく、単位操作ごとの機器特性を十分に把握し、機器の持つ能力をお互いに補完し合うような機器構成のシステムを構築することが大きな動力削減につながる。

謝辞 本研究の低濃縮汚泥の脱水は株石垣との共同研究で実施した。関係各位に深く感謝する。

### <参考文献>

- 1) 平松ら (1994) : 脱水セル法遠沈管試験による遠心脱水機のケーキ含水率推定、第 31 回下水道研究発表会講演集、P604
- 2) 日本下水道協会 : 2001 年版 下水道施設計画・設計指針と解説、P363
- 3) 日本下水道協会 : 2001 年版下水道施設計画・設計指針と解説、P431
- 4) 日本下水道協会 : 平成 16 年度版 下水道統計
- 5) 東京都下水道局計画調整部技術開発課 : 無機系凝集剤とポリマー併用による汚泥調質に関する基礎調査、P40~71
- 6) 東京都下水道局計画調整部技術開発課 : 無機系凝集剤とポリマー併用による汚泥調質に関する基礎調査、P40~71
- 7) 日本下水道協会 : 2001 年版 下水道施設計画・設計指針と解説、P362

## **5 . 国際論文**

- 1 Investigation of Rainfall-derived Infiltration & Inflow  
with the Use of Radar Rainfall Volume Data**  
(レーダー雨量情報を利用した雨天時不明水の調査について)
- 2 DEVELOPMENT OF OPERATION NAVIGATION SYSTEM**  
(運転ナビゲーションシステムの開発)

## **5-1 INVESTIGATION OF RAINFALL-DERIVED INFILTRATION & INFLOW WITH THE USE OF RADAR RAINFALL VOLUME DATA**

Wataru Amano\*

\* Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government

2-8-1 Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku,

Tokyo-to, Japan 163-8001

### **ABSTRACT**

This paper describes an analytical approach to estimating areas with rainfall-derived infiltration & inflow (RDI&I) to an area of several hundred square meters, with the use of historical data of the wastewater treatment plant, and meteorological data. It also presents an application of this method for estimating areas with RDI&I in the Asakawa Treatment Area by analyzing past data of sewage inflow volume to the Asakawa Water Reclamation Center, and radar rainfall volume data.

### **KEYWORDS**

Rainfall-derived infiltration & inflow, Analytical approach, Operation management

### **1. INTRODUCTION**

For the maintenance of sewerage facilities, rainfall-derived infiltration & inflow (RDI&I) has become a problem in terms of increasing the cost of treatment at wastewater treatment plants, and also in the plant's operation management. However, actual conditions have not been understood in detail.

In particular, RDI&I that enter the sanitary sewers of separate sewer systems have been a problem in many cities because RDI&I are basically not taken into account at the stage of facilities planning.

In the Tama area situated in the west part of Tokyo, the regional sewerage system is composed of 8 treatment districts, of which five are serviced by a separate sewer system. At the wastewater treatment plants (called Water Reclamation Centers from hereon) in districts with separate sewer systems, the volume of sewage inflow in wet weather can increase to more than five times the sewage inflow in dry weather, and is thus becoming a major issue in terms of the facilities' capacity as well as operation management. However, no satisfactory measures have been taken due to the difficulty in taking measures.

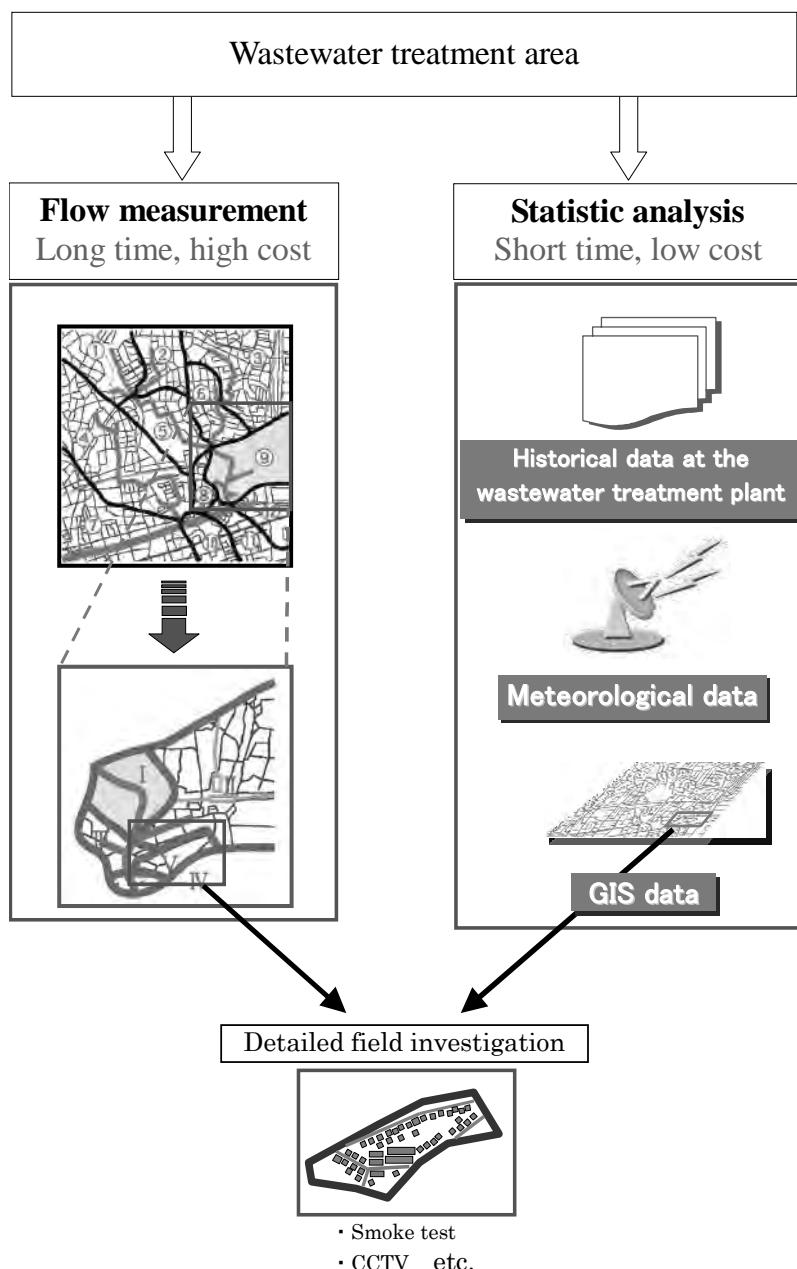
One of the factors is how to narrow down and locate areas with RDI&I, a process requiring a tremendous amount of time and cost. First, the treatment area, where large volumes of sewage inflow or accidents have occurred, is divided into cells. Next, field investigations, including

flow volume measurements, are conducted by cell and repeated in stages until RDI&I are identified.

In this study, we narrowed down areas with RDI&I by statistically analyzing existing data, such as radar rainfall volume and sewage inflow volume to the Wastewater Reclamation Center. It also enabled us to locate areas with RDI&I in less time than the conventional method of repeated investigations.

This study reports a method of narrowing down areas with RDI&I through data analysis, and the results of its application at a regional sewerage system in the Asakawa Treatment Area.

**Figure 1. Infiltration & inflow investigation methods  
using conventional flow measurement and statistical analysis**



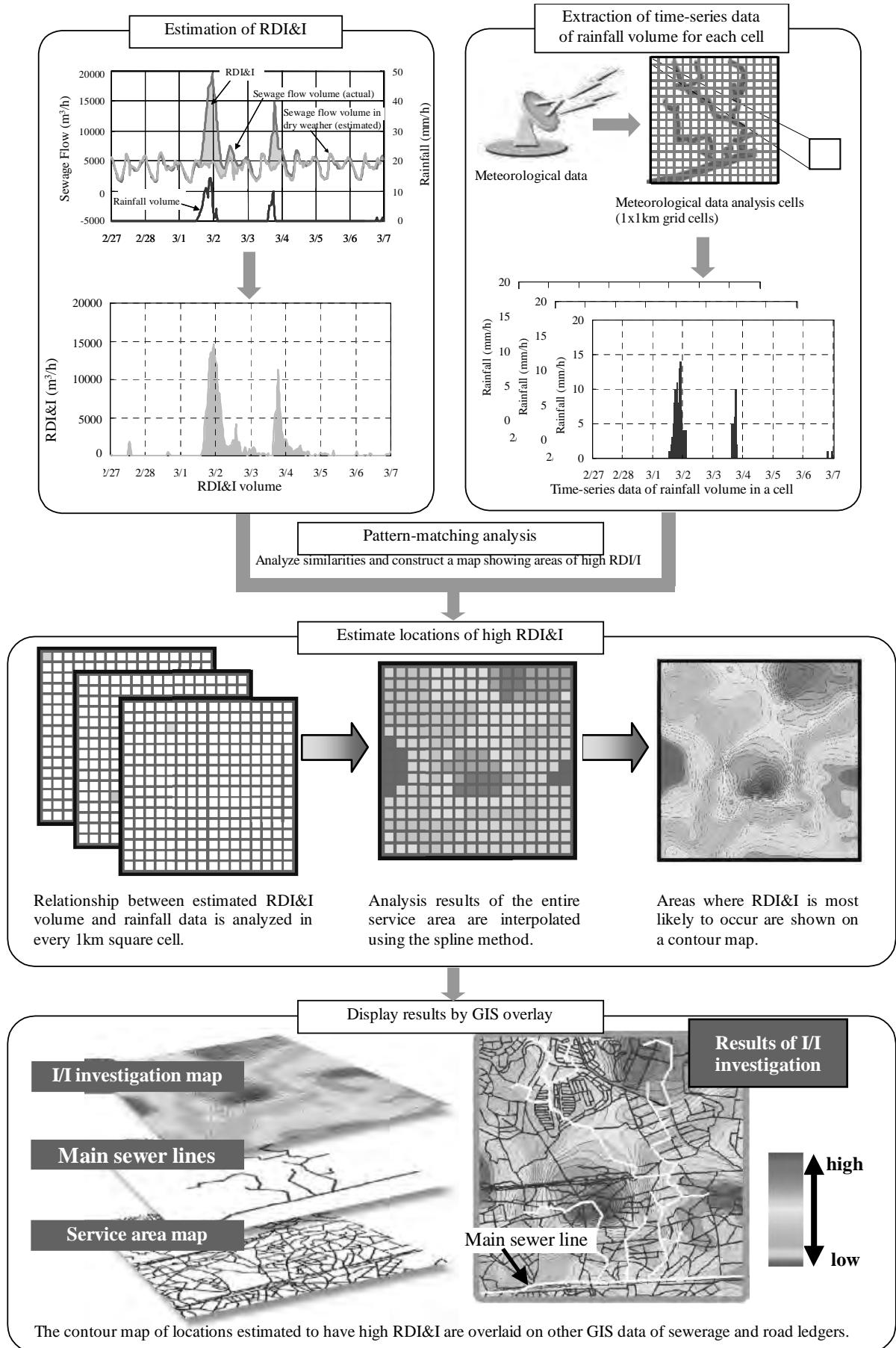
## **2. INVESTIGATION METHOD**

A contour map of RDI&I is made, using the following procedure (Figure 2):

- 1) The volume of sewage inflow to the Asakawa Water Reclamation Center is organized in a time series. Data used for this investigation are hourly measurements of sewage inflow volume recorded from July 1, 2002 to February 12, 2005.
- 2) To estimate sewage inflow volume in dry weather with the accuracy for practicable use, it searches past data for sewage inflow volume in dry weather that most closely resembles the present status. To calculate RDI&I volume, the estimated sewage inflow volume in dry weather is subtracted from actual sewage inflow volume in wet weather.
- 3) The treatment area is divided into analytical cells used for meteorological data, and the rainfall volume measurements are arranged chronologically by cell. The meteorological data used are observed by the Japan Meteorological Agency, and are for the same intervals and term as the historical data in 1).
- 4) Time-series RDI&I volume and time-series rainfall volume are analyzed through a pattern-matching process for each cell in the entire treatment area. A contour map showing the degree of similarity by color for each cell is made, and the areas with RDI&I are narrowed down.
- 5) Using latitude and longitude information from GIS (Geographic Information System), sewerline data and topographic features are layered to create a contour map showing areas with high levels of RDI&I.

Following the analysis method above, the process of narrowing down areas with RDI&I in the Asakawa Treatment Area is outlined.

**Figure 2. Investigation method**



### 3. AREA FOR INVESTIGATION

Figure 3 shows the Asakawa Treatment Area, where the investigation was carried out. Table 1 indicates the current status of the Asakawa Treatment District, an area that lies in part of Hachioji City and Hino City, respectively. Its wastewater treatment plant is the Asakawa Water Reclamation Center near the Tamagawa River, in the northeastern part of the treatment district.

**Figure 3. Area for investigation (Asakawa Treatment Area)**



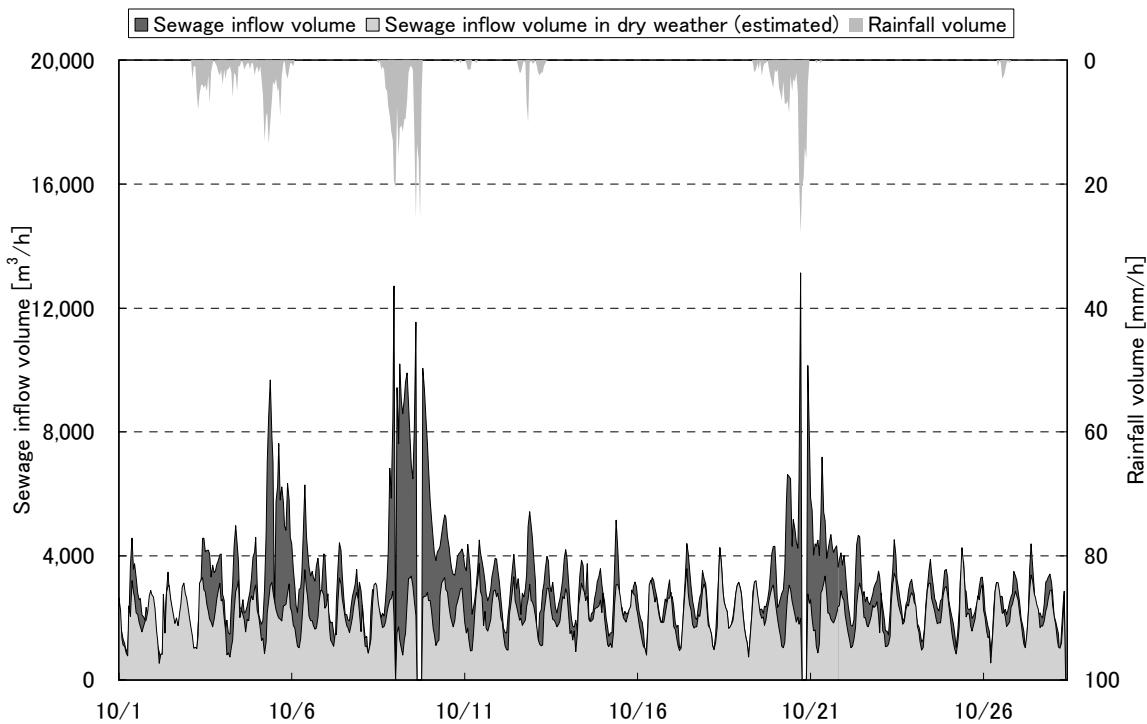
**Table 1. Current Status of Sewerage in Asakawa Treatment Area (as of 2004)**

Total population	247,000
Population with sewerage facilities	220,000
Diffusion rate (in proportion to population)	89%
Area covered	3,045ha
Average wastewater treatment volume	104,900m <sup>3</sup> /day

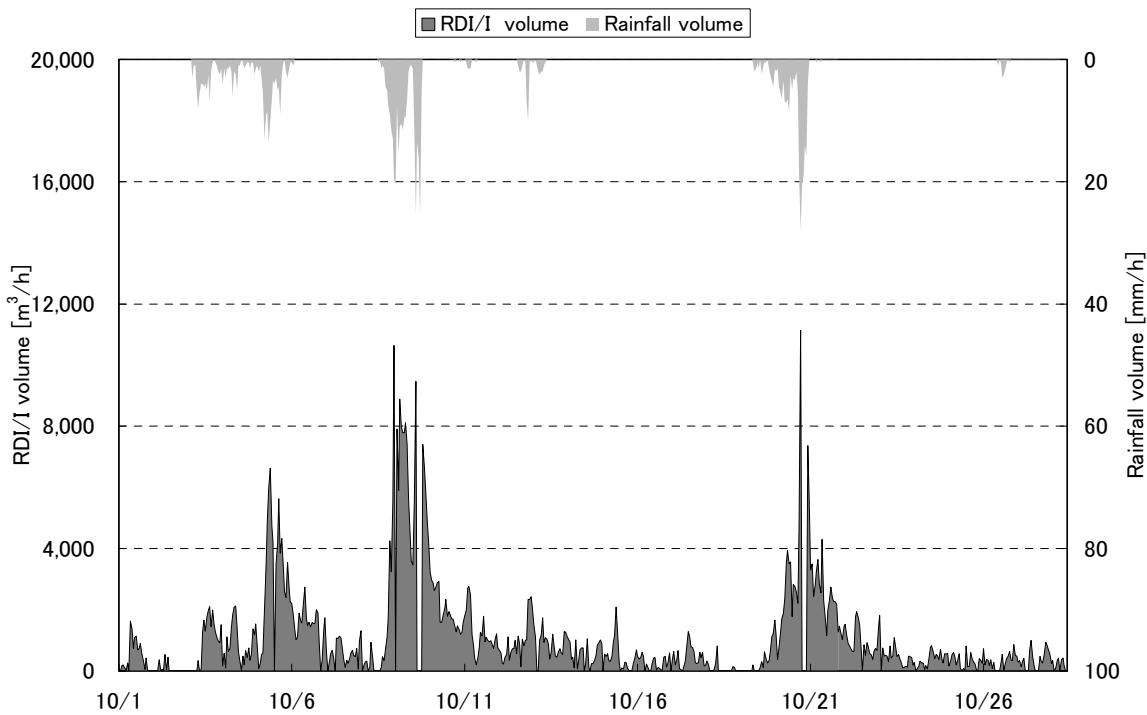
#### 4. RESULTS OF THE INVESTIGATION BY DATA ANALYSIS

The investigation was conducted according to the analytical approach in Figure 2 and Section 2, and the results of the investigation are outlined. Figure 4 indicates the hourly change in sewage inflow volume and the estimated sewage inflow in dry weather through analysis in the Asakawa Water Reclamation Center. It indicates that, with rainfalls of 20mm or more, sewage inflow volume is approximately five times the sewage inflow volume in dry weather. To estimate sewage inflow volume in dry weather, Topological Case-Based Modeling is applied. This technology handles past data such as time, temperature and hours of daylight, which are accumulated in a case-base, and then makes estimations by finding the most similar past case to the current status. For example, Figure 6 illustrates that at 12 noon and a temperature of 22°C, the estimated volume of sewage inflow in dry weather is approximately 3,000m<sup>3</sup>/h. RDI&I volume is calculated by subtracting the estimated sewage inflow volume in dry weather from actual sewage inflow, as shown in Figure 5.

**Figure 4. Actual sewage inflow volume and estimated sewage inflow volume in dry weather to the Asakawa Water Reclamation Center (in October 2004)**



**Figure 5. RDI&I volume in the Asakawa Water Reclamation Center (in October 2004)**



**Figure 6. Sewage flow volume model in dry weather**

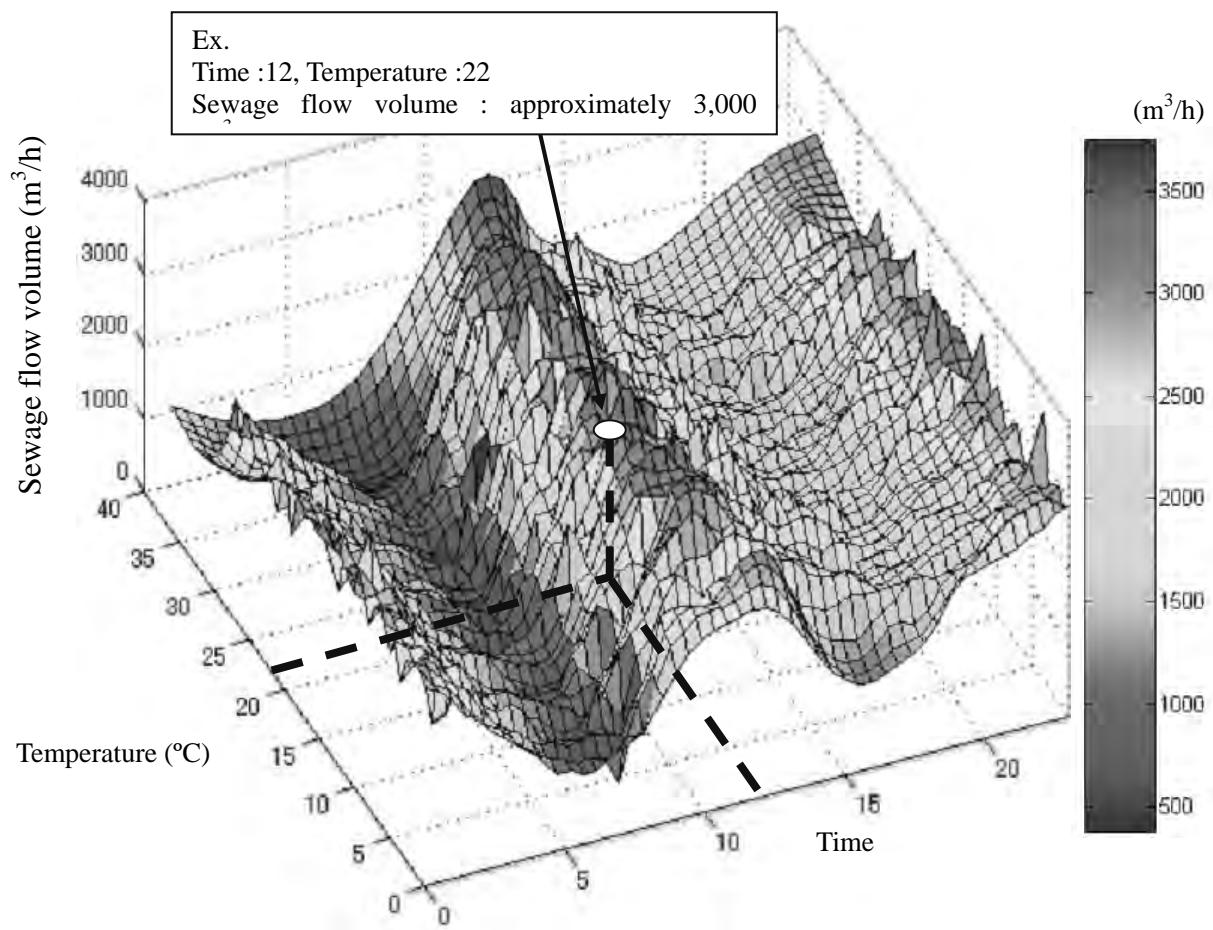
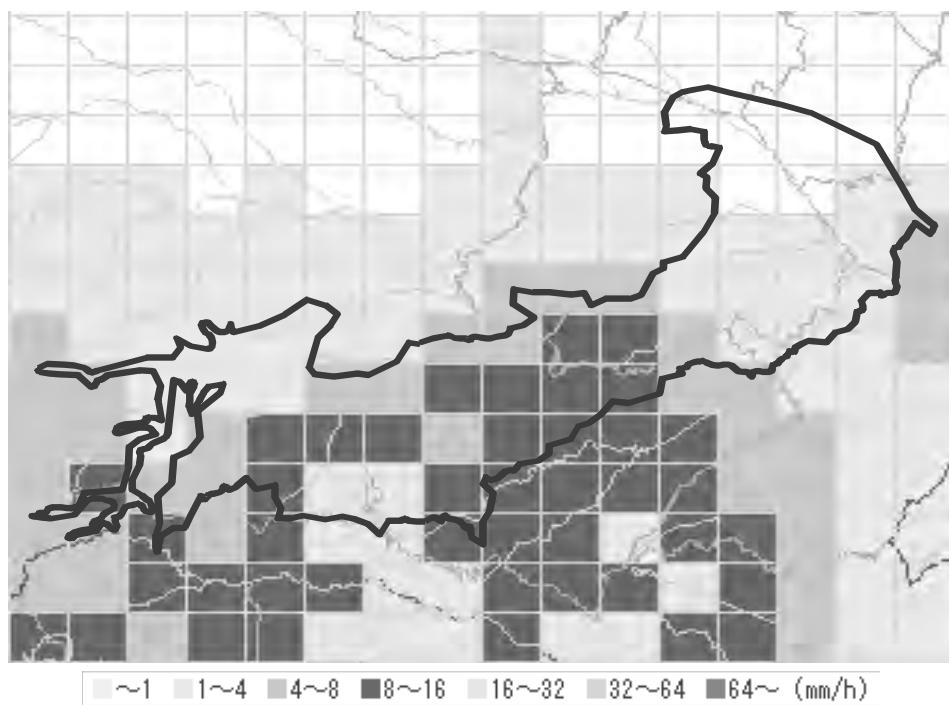
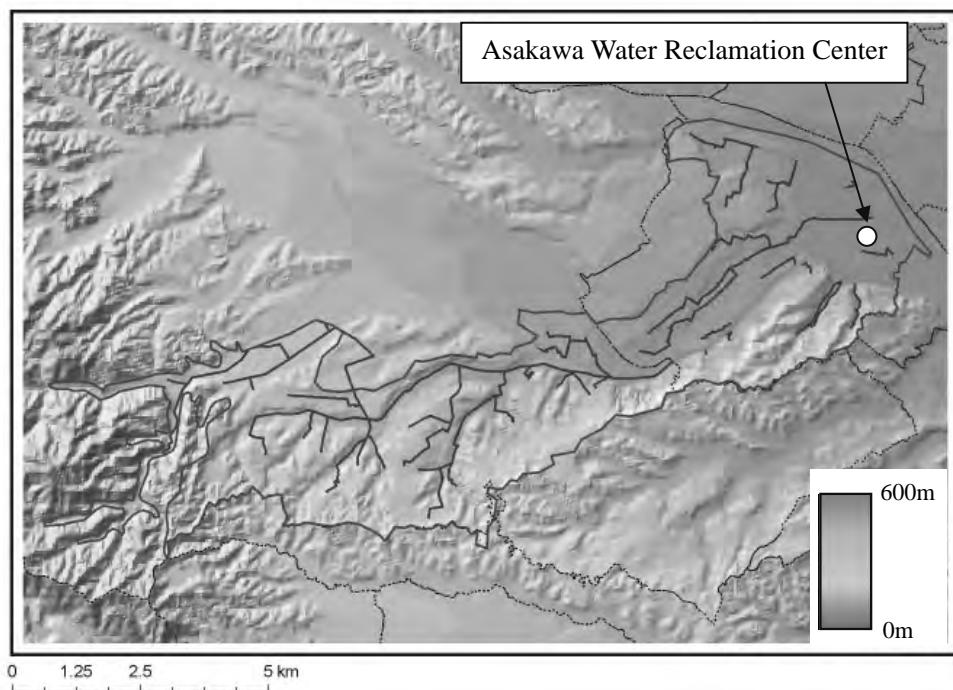


Figure 7 shows an example of the rainfall volume distribution lines in the treatment area and its vicinity. Figure 8 shows the elevation and sewer lines in the treatment area and its vicinity.

**Figure 7. Rainfall volume distribution (in October 9th 2004 13:00, 1km meshes)**

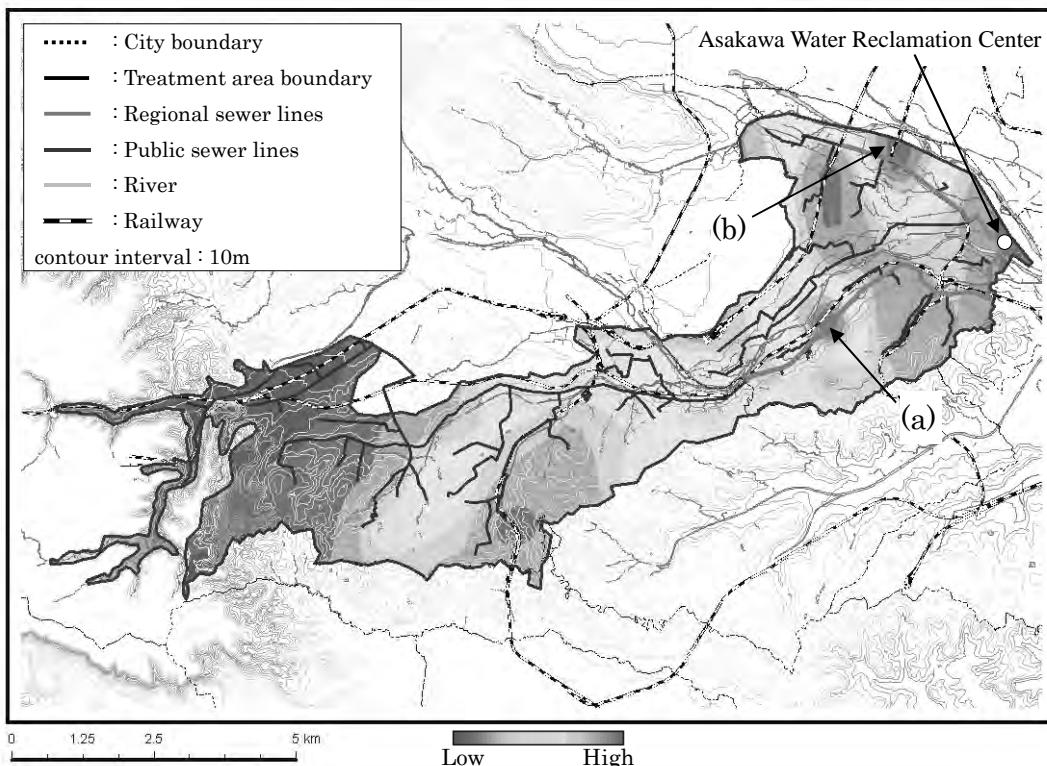


**Figure 8. Elevation and sewer lines**

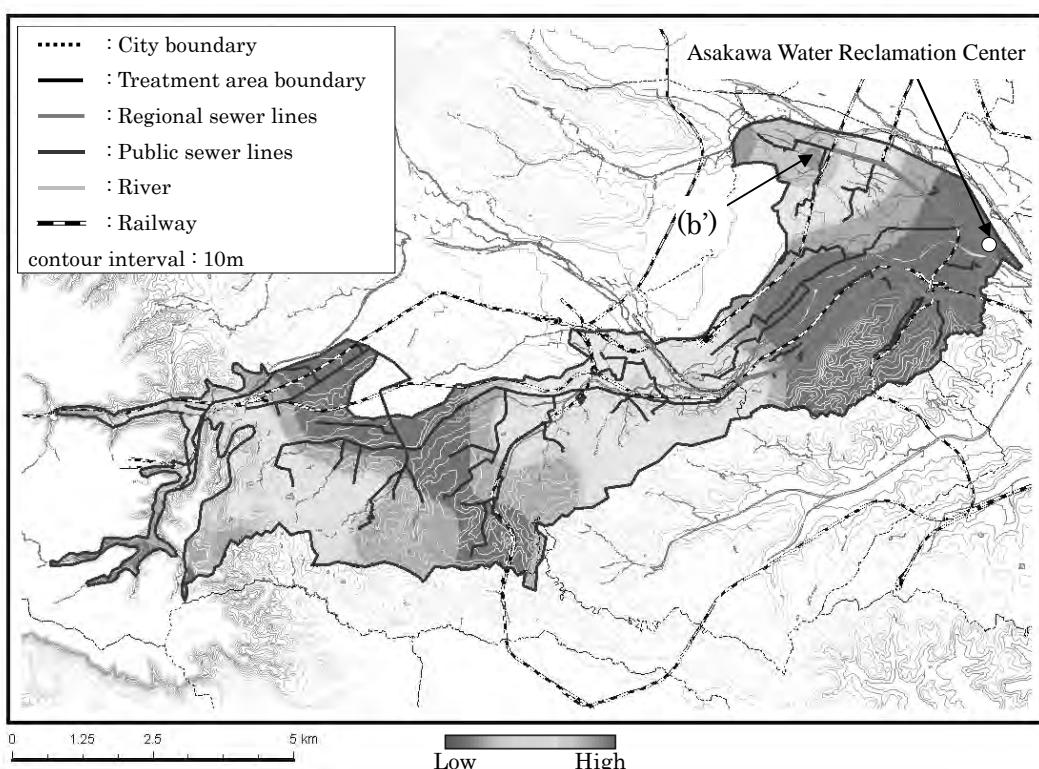


Figures 9-1 and 9-2 are contour maps displaying areas with high levels of RDI&I. It was possible to narrow down areas estimated to have high levels of RDI&I to an area of several hundred square meters. Figure 9-1 indicates the severity of surface inflow, Figure 9-2 shows the severity of groundwater infiltration.

**Figure 9-1. Severity of surface inflow**

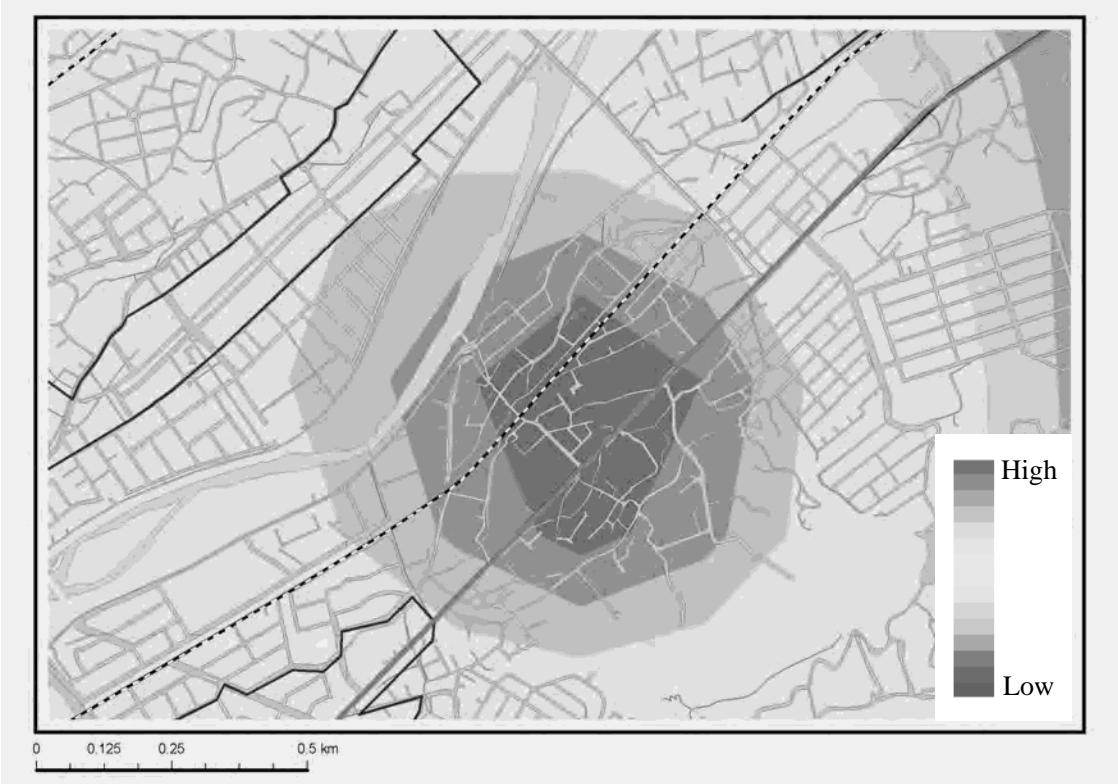


**Figure 9-2. Severity of groundwater infiltration**

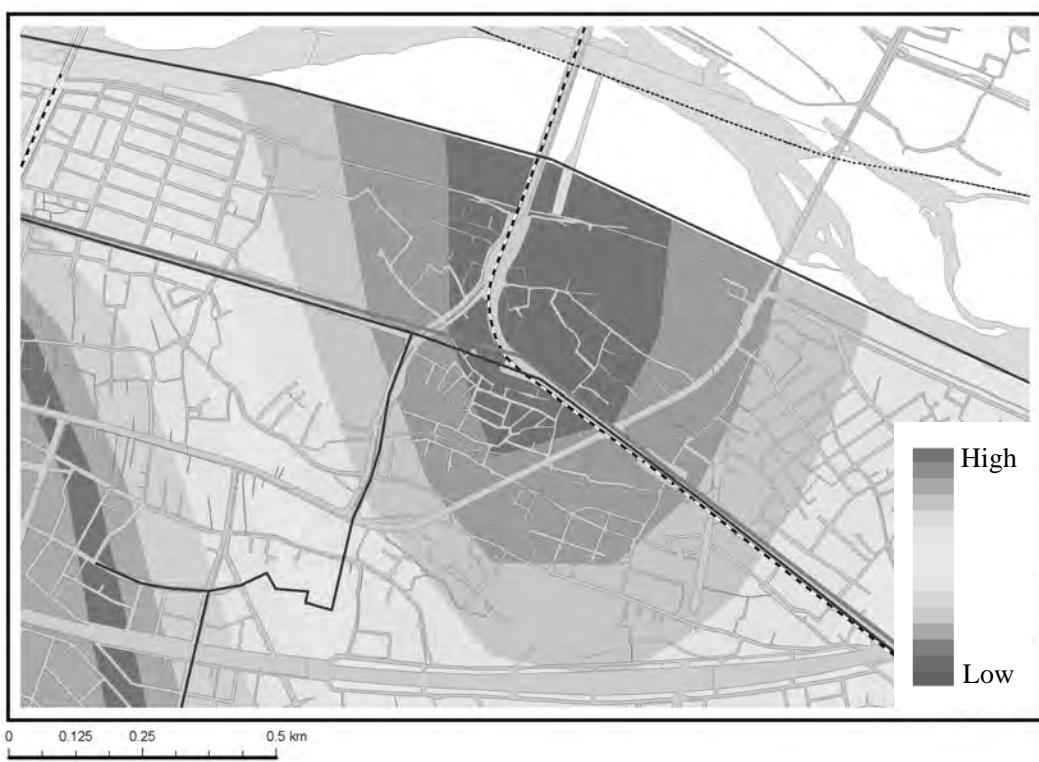


Figures 10-1 and 10-2 show detailed views of two areas estimated to have high levels of RDI&I in Figure 9-1 (a) and (b), respectively.

**Figure 10-1**



**Figure 10-2**



## **5. CONCLUSION**

In this study, it was possible to narrow down areas estimated to have high levels of RDI&I in the Asakawa Treatment Area by utilizing sewage inflow volume and other historical data gathered at the Asakawa Water Reclamation Center, and radar rainfall volume data.

Future activities will focus on how to improve the effectiveness of RDI&I investigation method, such as utilizing the Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government's rainfall data system, "Tokyo Amesh" (radar rainfall gauge), to narrow down even further the areas with high levels of RDI&I. Sewage flow will be measured to obtain more accurate estimations of RDI&I volume. It is also necessary to actually take measures to reduce RDI&I.

## **REFERENCES**

Oka, T., Ishihara, T., Tsutsui, H. and Konda, T. (2005) Cost-effective Investigation of Infiltration & Inflow. WEF 2005 TECHNOLOGY CONFERENCE – 2<sup>nd</sup> Joint Specialty Conference for Sustainable Management of Water Quality Systems for the 21st Century: Working to Protect Public Health, CD-ROM, pp.399-403.

Tokyo Amesh, Website of Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government, <http://tokyo-ame.jwa.or.jp/en/index.html>

## 5-2 DEVELOPMENT OF OPERATION NAVIGATION SYSTEM

Y. Maeda, H. Oohashi, T. Saitou  
Sewerage Bureau, Tokyo Metropolitan Government  
Hideo\_Oohashi@member.metro.tokyo.jp  
2-8-1, Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8001, Japan.

### ABSTRACT

Bureau of Tokyo Sewerage has 13 wastewater treatment plants and 82 pumping stations. In order to manage these facilities efficiently, collective operation in each treatment area is being promoted by making use of remote-control system.

Promotion of remote control system leads to concentration of facilities monitored or controlled from the master facility, and, therefore, increases tasks of each operator, enhancing possibility of his human error.

Also, due to pressing increase of age-limit retirees and strict restraint of employment, the number of operational staff is decreasing and, consequently, operational skills are being lost with veteran operators.

Automatic operation can save some load of operation, but it is limited in use because WWTP deals with uncontrollable materials, rainfall and sewerage.

As a solution to the problems, Operation Navigation System (ONS) was developed.

ONS, a computer system to make use of its performance and capacity, is a guidance system that has human-friendly interface and flexibility.

Developed ONS reduces operational tasks, functioning like car navigation. An operator can give operational instruction or action according to guidance message that is timely and pertinently shown on supervisory monitoring device.

The target of ONS is to establish safe and stable plant operation by inexperienced operational staff.

ONS uses data of the supervisory system to deduce the next action. The decision is shown as a guidance message or messages with other related information.

In contrast with automatic operation, which has restriction that it can be applied only to fixed operations, ONS can deal with operations that require operator's judgment.

To evaluate ONS, prototype ONS was installed in the Morigasaki WWTP. The field test, which was done from July 2005 to March 2006, demonstrated practicality of the guidance message system. We confirmed good consistency between ONS guidance and actual operation. For operations of indefinite timing, additional data from operator works.

For ONS, operation know-how expressed in a form, such as document, manual, or flowchart is vital. ONS also asks for substantial improvement of operational data.

Preparing the documented know-how and improving operational data is the key to introduce ONS to our WWTP.

### KEYWORDS

Human interface, WWTP operation, Operation guidance system, Logic table expression, Guidance message

## 1 INTRODUCTION

Bureau of Tokyo Sewerage, with 13 wastewater treatment plants and 82 pumping stations, contributes to the preservation of water quality in public water areas and the protection of Tokyo urban districts from rainfall inundation. (Fig.1)

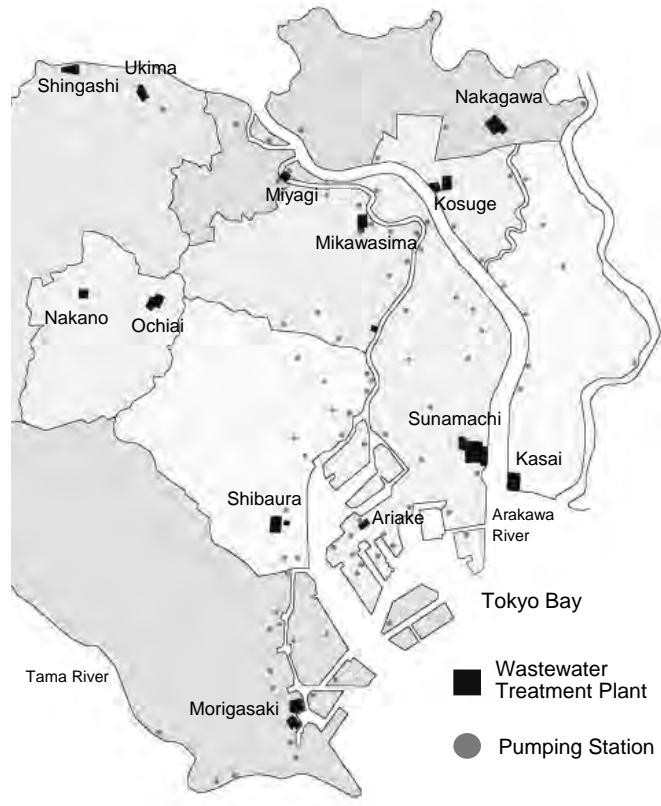
In order to manage these facilities efficiently, collective operation in each treatment area is being promoted by making use of remote-control system. At present, 62 pumping stations and 1 wastewater treatment plant are remote-controlled from master pumping stations and wastewater treatment plants.

Promotion of remote control system increases the efficiency of operation, but leads to concentration of facilities monitored or controlled from the master facility, and, therefore, increases tasks of each operator, enhancing possibility of his human error.

Automatic operation can save some load of operation, but it is limited in use because it is applicable only to conditional operation that follows measured or processed value.

Also, due to pressing increase of age-limit retirees and strict restraint of employment, the number of operational staff is decreasing and, consequently, operational skills are being lost with veteran operators.

As a solution to the problems, Operation Navigation System (ONS) was developed.



**Fig.1 -Tokyo's WWTP & Pump stations**

## 2 Operation Navigation System (ONS)

### 2.1 Overview

WWTP operation can be said to be a sequential chain of plant status. Each status covers certain range of operation and, by balancing in the range, provides certain margin of time. An operator determines his next action in the present status by sensing tightness (or looseness) of the situation and considering margin allowed for him.

All operational actions can be classified by their object as follows.

#### (1)Regulation or adjustment

These actions are defined as tuning or control of each machine or system within the present plant status.

#### (2)Confirmation or justification

Actions such as checking the value of determinant factors on a supervisory panel, or CRTs are classified as verification of facts. These actions don't involve actual drive of a machine or a system.

### (3) Status-transferring

When an operator determines that the situation is about to go beyond the present status, he takes some responsive actions to move the status into another appropriate one.

These actions are carried out:

-By automatic sequence

or -By manual setting or switching

Factors that trigger next actions are external or internal change of condition, occurrence of abnormality or trouble, or early sign of them.

Automatic sequence is surely ideal solution to reduce or remove some load of operation, but it is limited in application. It is not usable as far as operator's judgment is involved.

Actually, most of operational actions need some human judgment and are being done by operator's manual setting or switching.

This indicates that automation is surely the final goal of WWTP operation, but considering that actual operation largely depends on operator's professional judgment and is done through manual action, a computer-aided guidance system that suggests recommendation and commits final judgment to human operator is reasonable.

Developed ONS reduces operational tasks, functioning like car navigation. An operator can give operational instruction or action according to guidance message that is timely and pertinently shown on supervisory monitoring device.

ONS uses data of the supervisory system to deduce the next action. The decision is shown as a guidance message or messages with other related information.

In contrast with automatic operation, which has restriction that it can be applied only to fixed operations, ONS can deal with operations that require operator's judgment.

## 2.2 System function

Until now, experienced veteran staffs secure operational skill or knowledge.

They give guidance to inexperienced staff mostly through actual operation and, thus, by way of humans, technical know-how has been inherited to next generation.

As of April, 2006, the number of staffs who work for management of WWTP and pump station is approx. 1300 except headquarter members.

Among them, approx. 600 personnel are engaged specially in operation, and approx. 500 personnel are maintenance staff. Almost all of operational and maintenance staffs are of mechanical, electrical, or technical specialty.

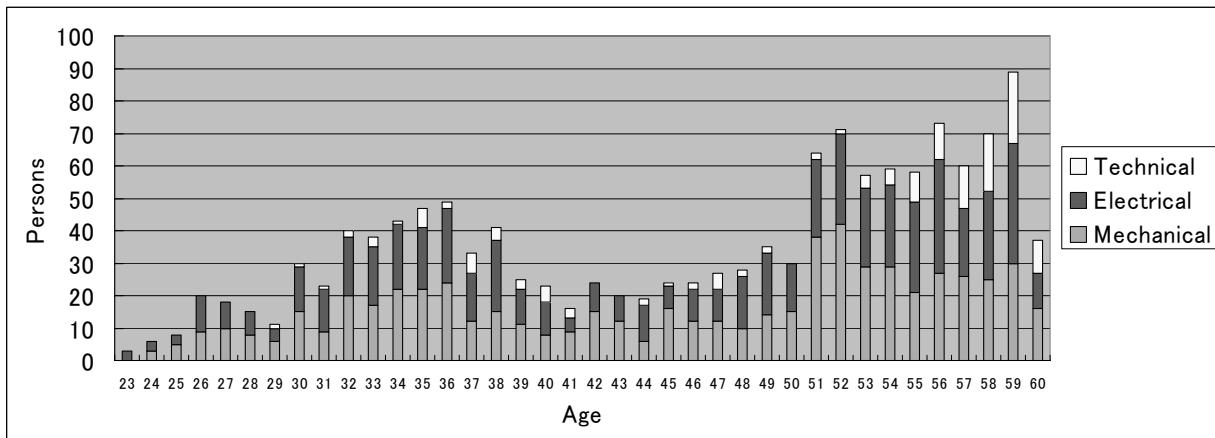
Fig.2 shows number of personnel of those specialties by age. Shown in the figure, age-limit sixty awaits many veteran staffs. Into them, many operational staffs are included.

Also, short-term of personnel change or rotation, which is three years in average, blocks the time-taking on-the-job training.

The key to respond this pressing crisis is to establish a system that enables inexperienced staff to learn necessary operational skills in a short time and to accumulate and transfer plant-inherent operational know-how via non-human vessel.

ONS is a computer system to make use of its performance and capacity.

The target of ONS is to establish safe and stable plant operation by inexperienced operational staff.



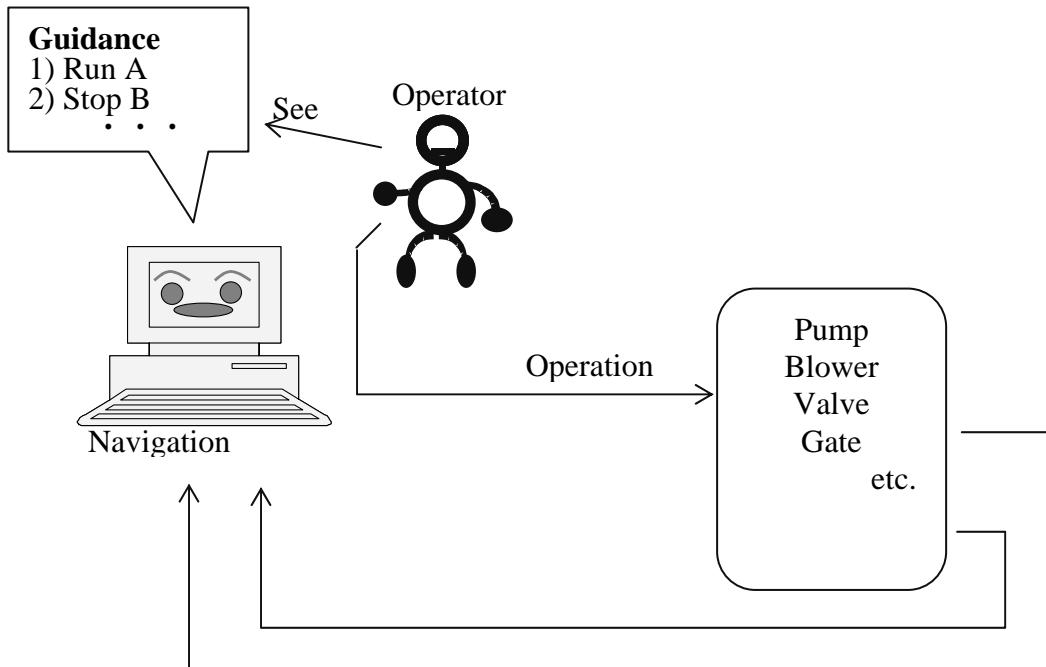
**Fig.2 Sum of mechanical or electrical staff by age (as of 2006/April)**

In the development of ONS, we put the priority on the interface of operator and computer. Firstly, we use existing supervisory CRT as the media by which ONS information is offered.

Also, the information given by ONS should be sufficient enough for an operator to act with confidence. The selected information is as follows.

#### (1) Guidance message

Message shows the object to act on and what to do as “Run Discharge-pump A.” or “Set Valve B 30% open.” Message appears when an AND-OR logic set of requirements is “true” and it disappears when the requirement logic gets “not true” after the action is completed. (Fig.3)



**Fig.3 Operation guidance message**

#### (2) Related data

Related information, which assists an operator to take the action or to confirm its correctness, is shown with guidance message.

In the case of “Run Discharge pump A.”, a window for the ‘run’ order is popped up side by side with the message. After the order is done, some process values or states to follow the effect or to prepare for the next action are shown in a trend window.

Pop-up way of a window is selectable from automatically or on operator’s request.

#### (3) Intensive expression

When there is no guidance message to display, an intensive overview window is shown on screen.

With hierarchically arranged data and symbolic expression, the intensive overview window enables an operator to monitor overall facilities simultaneously and notice change of the situation, or occurrence of emergency speedily.

The intensive data expression helps intuitive understanding.

#### (4) Interactive alteration

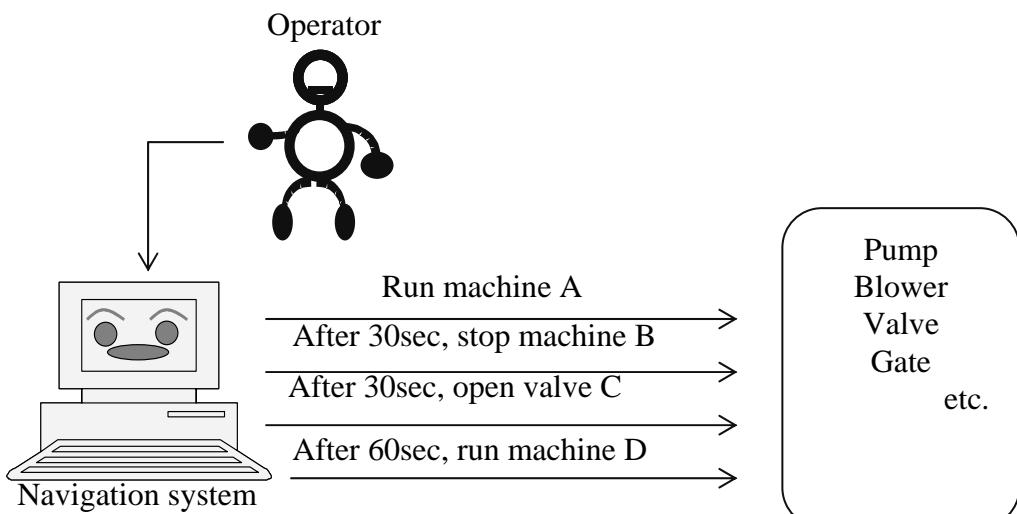
WWTP operation responds to various external or internal changes such as inflow fluctuation, capacity extension, or application change and so on. This explains why automatic operation of WWTP is difficult. As WWTP deals with uncontrollable materials, rainfall and sewerage, it is fundamentally unsuitable for automation.

To answer this, ONS, one of its features is flexibility, prepares interactive table-form alteration function for contents (1) and (2). Alteration can be done on-line without computer rebooting.

#### (5) Macro-operation function

The Macro-operation function is applied to a set of manual sequential operations which proved to be fixed. When a set of operations is always done sequentially and fixedly, and confirmation or judgment of operator for them can be omitted, this function works. By grouping them into one macro-group, these operations can be dealt with as one operation. Macro-operation runs automatically to its finish after “one action” of initial permission. (Fig.4)

Macro-operation function is ready for alteration or addition as (4). The function can substitute for automatic sequence and is applicable to broader operations in virtue of its flexibility.



**Fig.4 Macro-operation function**

### 3 Human Interface

In studying human interface, we picked up a WWTP that has three remote-control pump stations as the model.

#### (1)Intensive data expression

Fig.6 shows an example of intensive data expression. Essential data, such as rainfall intensity, inflow, receiving electricity, pond level, pump state, stored fuel, are all arranged in a window, shown in symbolic expression like bar-graph or indication arrow. Colors show degree of caution.

When an event happened and operation is needed, the guidance message appears in red on the event message area. (Shown encircled in Fig.5) As the area is placed on upper part of the screen, the message arouses operator's attention effectively.

#### (2)Guidance message & Decision table

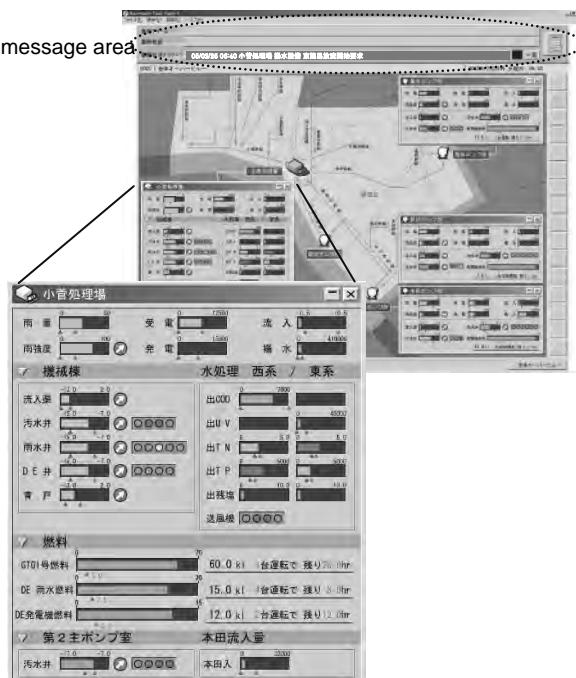
By clicking the message area, operation guidance window is shown. On the window, actions to respond to the event are listed. (Fig.6)

The operator proceeds with his operation sequentially according to the guidance. Selection of an action brings the related window on which the operation is carried out.

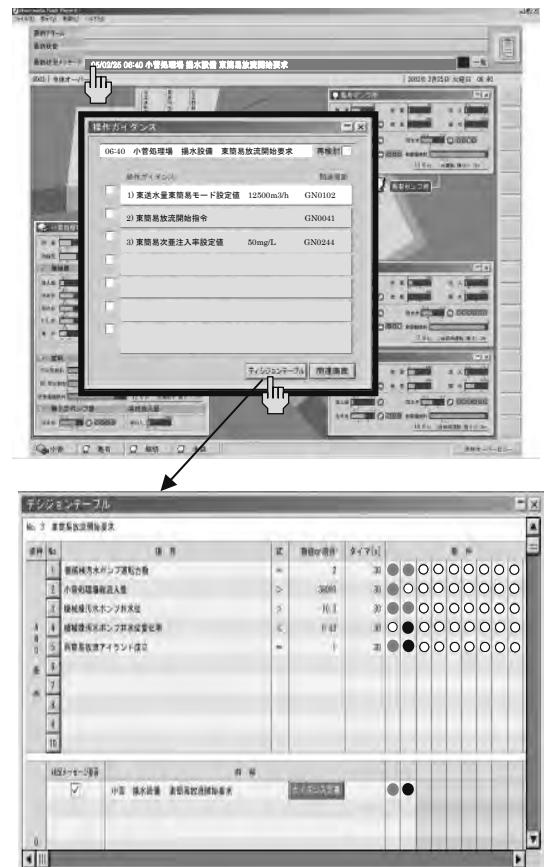
As described in 2.2, to confirm that the message is appropriate, the operator can look Decision table, by which AND-OR deduction logic is composed. In Decision table, difference of color tells plant status. Red is state-On and black is state-Off.

Example of Fig.6 is the start of primary treatment discharge from the east facility.

Event message area



**Fig.5 Intensive data expression**



**Fig.6 Guidance message (top)  
& Decision table (above)**

In the operation, three actions, “Increase water to the east from xxx m<sup>3</sup>/h to yyy m<sup>3</sup>/h.”, “Drive the east facility gate sequence.”, “Set sodium-hypo injection rate at zzz mg/L”, are to be done.

“The west line is discharging.” and “Inflow is still increasing” are requisite for the primary treatment discharge from the east facility. “Increase rate of water level is above the threshold.” can substitute for the inflow increase.

In the Decision table, these two AND-logics are connected with one OR logic. Set-Timer is used to ensure “On” status of each requirement. When the status continues for the designated time, it is regarded as “On”. If timing gap or lack of some requirement is found, the contents of the table can be modified on-line. Message description is changed as well in the table.

### (3) Macro-operation

Fig.7 is an example of Macro-operation. For a Macro-operation, by clicking the message area, registered Macro-operation windows appears.

After confirming the steps of the Macro, the operator gives permission for the Macro to proceed. He may keep watching the proceeding. The right window shows that the first step is going on. The window allows temporary-halt order or total cancellation from the operator.

### (4) Interactive alteration function

ONS contents are expected to improve via frequent alteration. Therefore, in order to make the best use of ONS, the interface of registration function of Decision table and Macro operation must be human-friendly.

Fig.8 shows alteration of Decision table. By designating table and place, an alteration window is shown in the foreground. On the window, selection of point identification number, reset of threshold value can be done.

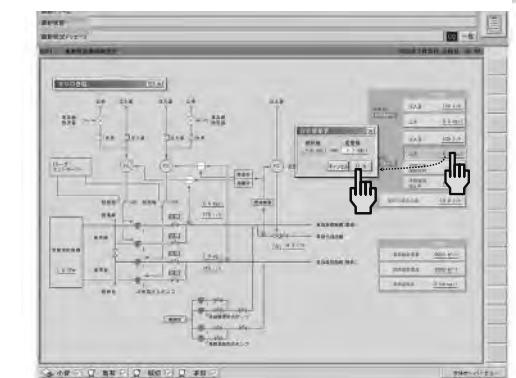
To register a Macro-operation, trace the set of operations in the same way as actual operation. The tracing operations never emit signals out of the computer system and a red frame surrounding the registration window tells that all operations on the window are invalid. Similarity between the interactive registration and actual operation can save additional training. (Fig.9)



**Fig.7 Macro-operation**



**Fig.8 Alteration of Decision table**



**Fig.9 Macro-operation registration**

## 4. Evaluations of ONS

## 4. Evaluations of ONS

### 4.1 Evaluation items

Morigasaki, facing Tokyo Bay in the south of Tokyo, is one of the largest WWTP in Japan, boasting total treatment capacity of 1,540,000m<sup>3</sup> per day. (West treatment facility: 480,000 m<sup>3</sup>, East treatment facility: 1,060,000 m<sup>3</sup>)

Inflow comes into Morigasaki through two main lines, Oomori line and Oota line. Inflow of Oomori line is distributed to West treatment and East treatment by pumps, but inflow of Oota line, which is sent from Higasi-Kojiya pump station, goes into East treatment directly. Thus, to keep East treatment stable, constant adjustment of water distribution by operation is necessary. But since Tokyo sewerage is mostly constructed on combined sewer system, inflow to WWTP is greatly influenced by rainfall.

Morigasaki operators are making great efforts to avoid or minimize combined sewer overflow (CSO), so they withstand as much as they can before starting primary treatment discharge or direct discharge.

To demonstrate that ONS is of practical use, prototype ONS (Proto-ONS) was installed in the Morigasaki WWTP. The field test, which was continued from July 2005 to March 2006, evaluated practicality of the guidance message system. To avoid operational mistake resulting from new interface, we introduced a new CRT of Proto ONS beside existing ones, and all orders from the CRT were invalid.

Proto-ONS uses data of the existing supervisory computer system covering operation from primary treatment discharge to direct discharge. By restricting ONS data to conventional ones, we tried to see whether additional data are needed for a practical ONS system, or, to grasp what information operators refer to in rainfall operation other than the data the existing computer system offers.

Operational chart, the fruit of long-time efforts by Morigasaki staffs, was the source of Proto-ONS. We converted the chart into Decision table through interpretation.

Evaluation of Proto-ONS was done by comparing ONS guidance with real operations, especially its timeliness and accuracy.

Evaluation items are as follows.

- (a) Contents of guidance
- (b) Timing of guidance indication
- (c) Improvement of (a) and (b)

### 4.2 Operation guidance (Example)

One example of operational guidance is shown here.

We take “Primary treatment discharge from East facility”.

Either of three conditions should be satisfied to start the Primary treatment discharge from East facility.

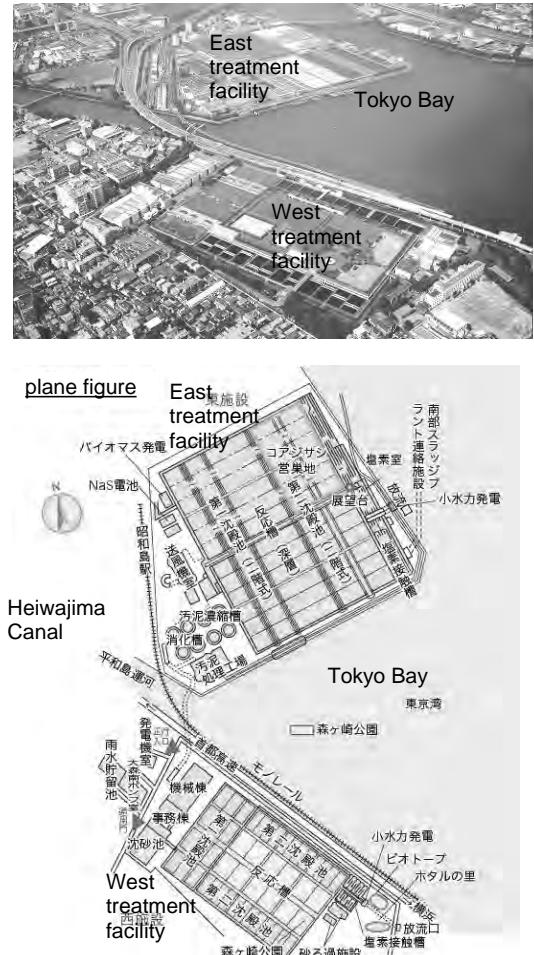


Fig.10 Morigasaki WWTP

Those are:

“Oomori Minami reservoir being stored” and “Oomori inflow canal level is over –7.0m T.P. (i.e. Tokyo Bay Peil)”

or “Higashi Kojiya #4 pump is standby” and “More than four pumps in Morigasaki and Higashi Kojiya are sending to East facility.”

or “Higashi Kojiya #4 pump is in service” and “More than five pumps in Morigasaki and Higashi Kojiya are sending to East facility.”

Since Higashi Kojiya #4 pump is smaller in capacity, almost half of other pumps, it changes the maximum total number of pumps that are permitted to send water to East facility.

When either of them is satisfied, operation guidance messages shown below are presented.

-Start auto-control of East facility primary treatment discharge gate 1-1 to 2-2.

-Set East facility primary treatment discharge sodium-hypo injection rate 15mg/L or injection volume 5,000L/hour.

-Confirm East facility primary treatment discharge sodium-hypo injection pump auto-control on.

-Increase East facility miscellaneous water pump from one to two (for diluting sodium-hypo).

-Inform sludge treatment staff of the increase of East facility miscellaneous water pump

-Inform water quality management section staff of the start of the Primary treatment discharge from East facility.

-Discharge foam-off equipment service in, if foaming is seen on ITV.

-Set East facility secondary treatment discharge sodium-hypo injection rate 2mg/L.

-Halt East primary sedimentation tank scum skimmer.

-Halt East secondary sedimentation tank scum skimmer.

Some of the guidance messages are carried out on CRT screen; some are done by other means.

In this example, many tasks must be done speedily and precisely. Therefore, clearly, additional information is necessary for an inexperienced operator to fulfill each of them. ONS can solve this demand by offering related information with selection of the message, though we didn't include them into Proto-ONS.

#### 4.3 Method of evaluation

We evaluated effectiveness of operational guidance message system in operation of primary treatment discharge to direct discharge.

The methods are:

(1) Compare the operation guidance of Proto-ONS with actual operation in the scene of primary treatment discharge to direct discharge. Gap of time between the two occurrences is focal point.

(2) Analyze the timing gap resulting from difference in plant conditions or other operational conditions to see factors and consider counter plan.

These (1) & (2) are done by using operational history data stored in the supervisory system and the guidance history in Proto-ONS.

The period of data collection was from July to November, the rainy season in Japan.

Rainfalls during the period are shown in Table.1. In total, we collected data of twenty-four rainfalls.

Table.1 Rainfalls from July to November in 2005

No.	Date	Precipitation (mm)	Intensity (Max. mm/h)	Duration (hour)	Type (see notes)	Remarks
1	3 <sup>rd</sup> &4 <sup>th</sup> , Jul.	66.4	19.4	20	C	
2	5 <sup>th</sup> &4 <sup>th</sup> , Jul.	44.9	50.7	13	E	
3	9 <sup>th</sup> &10 <sup>th</sup> , Jul.	32.4	62.3	4.7	B	
4	25 <sup>th</sup> &27 <sup>th</sup> , Jul.	73.4	68.8	23.6	D	Typhoon#7
5	12 <sup>th</sup> &13 <sup>th</sup> , Aug.	6.9	30.9	7	A	
6	13 <sup>th</sup> &14 <sup>th</sup> , Aug	4.0	18.9	5	A	
7	23 <sup>rd</sup> &24 <sup>th</sup> , Aug.	110.9	100.0	12	D	Typhoon#11
8	25 <sup>th</sup> &26 <sup>th</sup> , Aug.	72.4	64.2	27	D	Typhoon#11
9	30 <sup>th</sup> , Aug.	6.5	58.2	0.5	A	
10	4 <sup>th</sup> &5 <sup>th</sup> , Nov.	47.8	100.0	6	D	Typhoon#14
11	5 <sup>th</sup> &6 <sup>th</sup> , Nov.	16.0	24.4	20	C	
12	7 <sup>th</sup> , Nov.	4.9	30.9	1.5	A	
13	11 <sup>th</sup> , Nov.	9.5	45.3	1	A	
14	4 <sup>th</sup> &6 <sup>th</sup> , Oct.	17.8	6.9	36	C	
15	7 <sup>th</sup> &8 <sup>th</sup> , Oct.	19.0	51.7	9	B	
16	9 <sup>th</sup> , Oct	4.5	15.0	6	A	
17	10 <sup>th</sup> , Oct.	15.4	26.4	7	B	
18	10 <sup>th</sup> &11 <sup>th</sup> , Oct.	6.6	3.8	15	A	
19	15 <sup>th</sup> &16 <sup>th</sup> , Oct.	25.9	23.3	8	B	
20	16 <sup>th</sup> , Oct.	2.5	3.9	5	A	
21	17 <sup>th</sup> &19 <sup>th</sup> , Oct.	51.3	12.3	44	C	
22	27 <sup>th</sup> , Oct.	8.0	5.8	5	A	
23	6 <sup>th</sup> &7 <sup>th</sup> , Nov.	29.4	28.3	14	E	
24	12 <sup>th</sup> , Nov.	6.5	5.3	7	A	

(Notes)

Rainfall type (P: precipitation, I: intensity, D: duration)

A: light (P: less than 10mm)

B: heavy but short-time (P: more than 10mm, I: more than 20mm, D: less than 12hours)

C: light and long-time (P: more than 10mm, I: less than 20mm, D: more than 12hours)

D: heavy (P: more than 50mm, I: more than 20mm or typhoon)

E: medium (rains other than A to D)

#### 4.4 Result of analysis

##### (1) Gap of time between guidance and actual operation

Fig.11 shows the ratio by gap of time for “Primary treatment discharge from East facility”. In the figure, plus (+) means that actual operation was done later than guidance.

When the gap is within plus or minus 5min, we can say that guidance timing is almost consistent with the actual operation

As for primary treatment discharge from East facility, good consistency was observed. As described before, operators tend to delay primary treatment discharge to the limit. That explains

why some operation was done later than guidance.

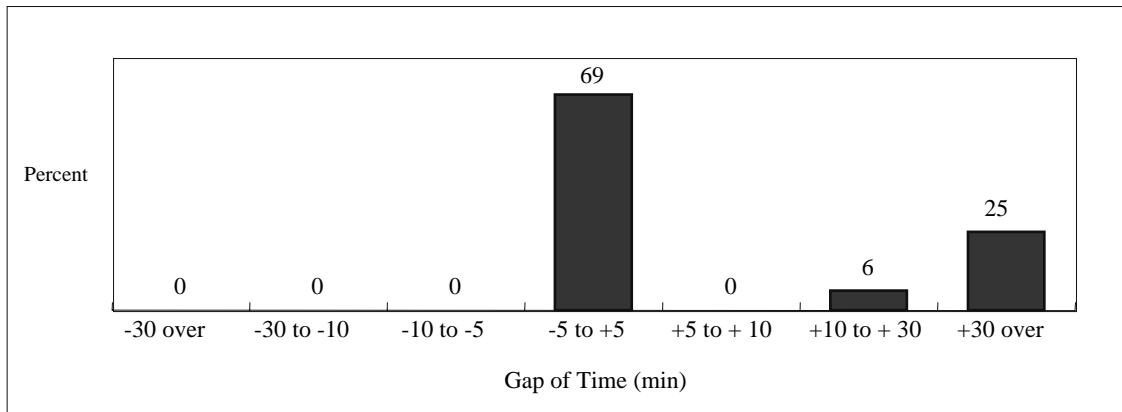


Fig.11 Gap of time for Primary treatment discharge from East facility

Fig.12 shows the ratio by gap of time for “Main transformer additional in-service”. The condition for addition of main-trans is “more than five pumps of Oomori line in operation”. Unlike the East Primary treatment discharge, the transformer operation was not very consistent. Morigasaki receives electricity through two lines. To save energy cost, normally one transformer is in service. With the increase of electricity demand to drive pumps, another transformer is put in service. The result shows that though the timing of the operation is defined, it greatly depends on operator’s discretion.

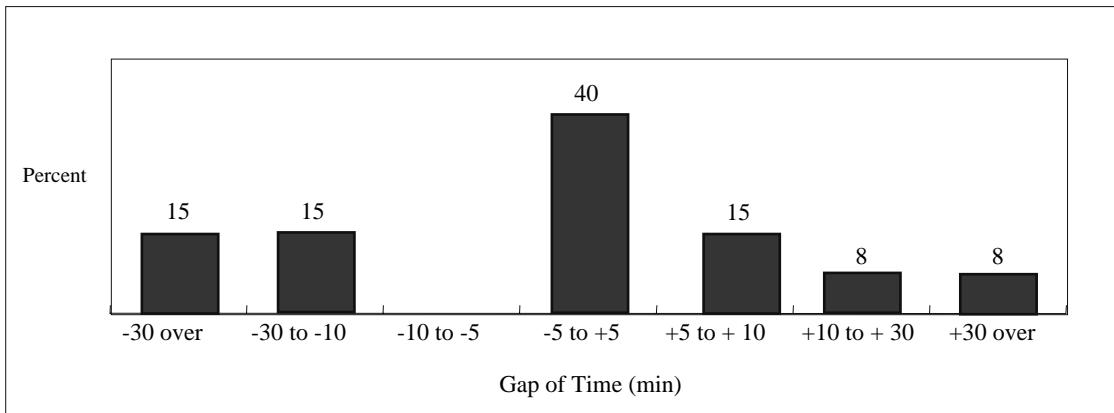


Fig.12 Gap of time for main transformer in service

By classifying operations according to the time gap, we can assume that the operational chart, our source for ONS, is a norm. Each operation has its own margin depending on urgency. Operator passes final judgment for the operation based on his professional knowledge. Skillful operator decides the optimum timing from his experience taking difference in plant conditions or other operational conditions into consideration.

## (2) Analysis of operator’s judgment

As for operations of different timing from guidance, we analyzed the reason. We can classify them into three categories.

### (a) Fine adjustment

Fine adjustment is permitted for operators.

-Operation that has span of time (ex. Do within ten to twenty minutes)

-Operation that has some conditional range (ex. Start at level -7.7m to -8.0mT.P.)

-Overlapping of operations

These operations should be entrusted to operators' judgment.

ONS can cover these operations by offering guidance message at the earliest timing within the given span or range.

### (b) Difficult to define in ONS

Some conditions are difficult to define. Also, some are unclear in their end.

Examples:

“Just after rainfall start”

“End of rainfall”

“In case rainfall is expected to come.”

“Intense rainfall had come.”

“Rainfall is weakening”

Since these conditions have some ambiguity, we cannot define them clearly in ONS.

To compensate for the lack of their clarity, we propose that operator define them on the spot.

When operator decides now is “Just after start of rainfall”, he enters “On” for the condition. We call this additional function “Dialogue selection function”. (Fig.13)

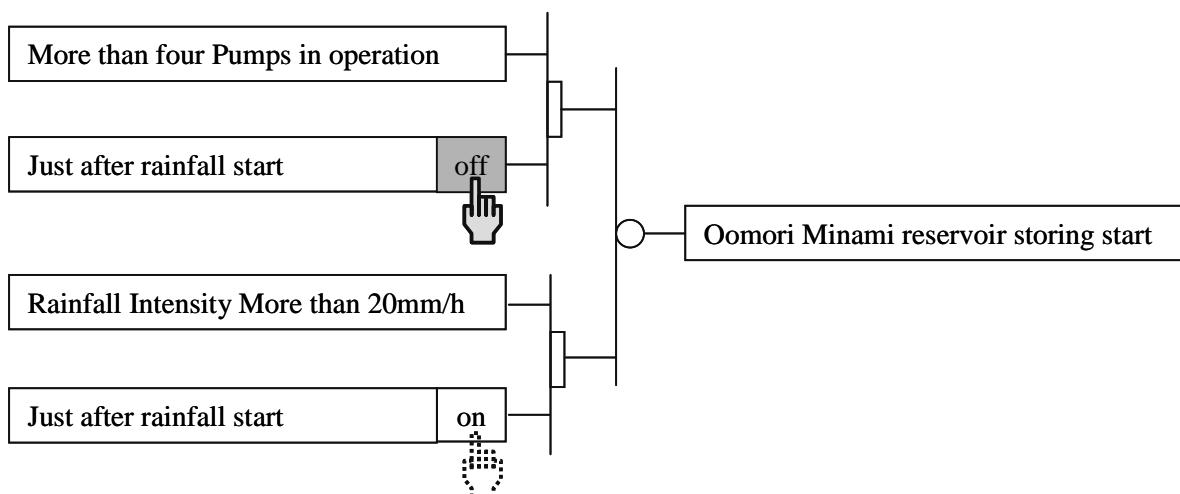


Fig.13 Dialogue selection function

### (c) Experiential operation

Some operations are experiential, not expressed definitely on the operational chart

Operator often uses the effect of an operation as a condition for the next operation.

When the effect varies, some variations are not described on the operational chart.

For example,

-After starting a pump, pond water level kept increasing instead of decreasing. Therefore, operator added another pump into operation.

Similarly,

-After starting a pump, pond water level kept the same level for more than 20 minutes instead of decreasing or increasing. Therefore, operator added another pump into operation.

Proto-ONS logic wasn't able to respond to those continuous countermeasure operations. To solve this inaction of ONS-logic, we propose a chain of Decision table. By making the effect of one operation as a condition of another one, continuous follow-up is possible. A solution is shown in Fig.14 and Fig.15 for the examples of pump operation.

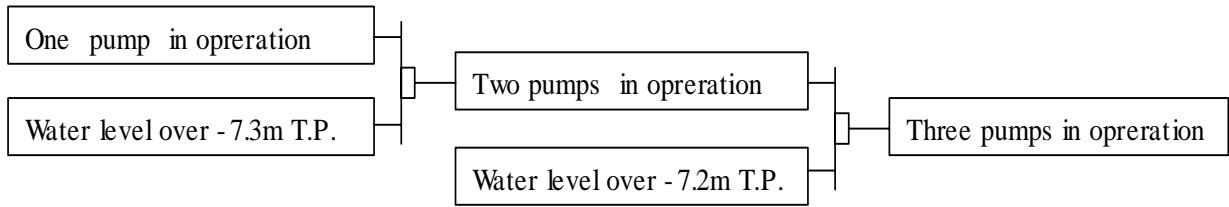


Fig.14 A chain of guidance logic for pump operation Example 1

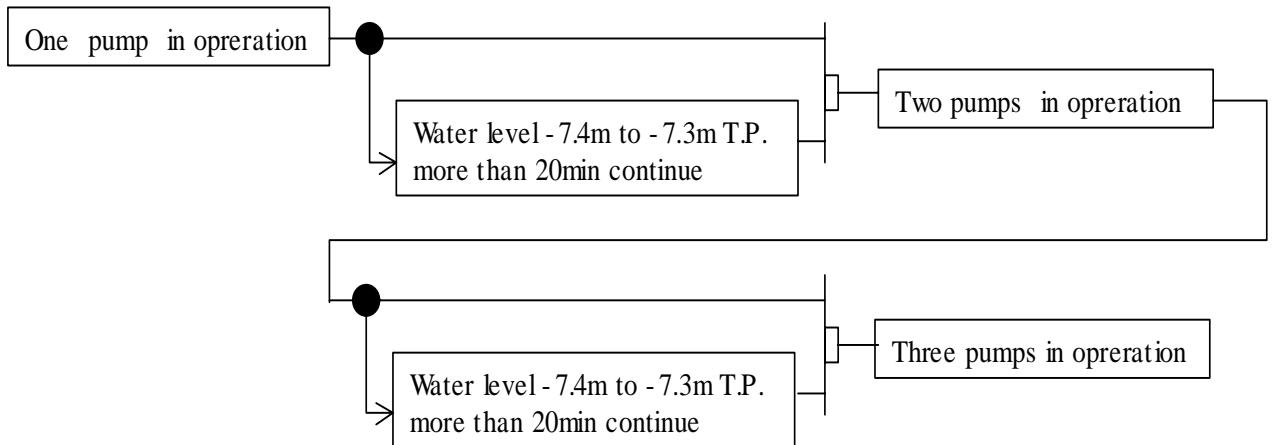


Fig.15 A chain of guidance logic for pump operation Example 2

#### 4.5 Evaluation summary

The analysis is summarized below.

##### (1) ONS has real-time response for principle operations.

Morigasaki has fixed operational rules for response to rainfall inflow.

Those are operations such as “draw rainfall inflow into reservoir”, “start primary treatment discharge”, “start direct discharge”, and “restrict inflow”.

The timing of those operations is decided physically in relation to the capacity of pumps, treatment facility, and receiving electricity.

ONS has real-time response for the operations of definite timing.

##### (2) With additional data from operator, ONS can cover operations of indefinite timing.

For operations conditions of which have some span or range, the exact timing to carry out is committed to operator. ONS can cover these operations by offering guidance message at the earliest timing within the span or range.

For operations that include indefinite condition, dialogue selection function through which operator add his judgment to ONS is effective.

#### 5 Conclusions

Bureau of Tokyo Sewerage need to respond to the drastic change of working environment such

as intensive control of facilities, loss of skillful veteran operators.

As a solution, Operation Navigation System (ONS) was developed.

Since WWTP deals with uncontrollable materials, rainfall and sewerage, automatic operation has its limit for application. ONS is a guidance system that makes use of the power of computer and can keep on improving.

Logic AND-OR form is selected as the form of knowledge of ONS. This selection is reasonable because most of our operational decision is deduced using a combination of plant data.

In the development of ONS, we put the priority on the human-interface. Since flexibility is also essential, ONS has on-line alteration or registration function.

To demonstrate that ONS is of practical use, prototype ONS was installed in the Morigasaki WWTP. The field test, which was continued from July 2005 to March 2006, evaluated practicality of the guidance message system.

Through the field test, we confirmed good consistency between ONS guidance and actual operation. For operations of indefinite timing, additional data from operator works.

For ONS, operation know-how expressed in a form, such as document, manual, or flowchart is vital. However, as our staffs have learned their skill in actual operation, most of their knowledge hasn't been stored into non-human media.

Also, ONS asks for substantial improvement of operational data.

One of the reason we selected Morigasaki as the test-field is that it has the operational chart for rainfall inflow that can be interpreted into ONS logic. To introduce ONS to WWTP, preparing the documented know-how and improving operational data are our pressing first task

## **5-2 DEVELOPMENT OF OPERATION NAVIGATION SYSTEM**

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

Hideo OHASHI

Kazuki TAKAHASHI

### **1 Introduction**

Bureau of Tokyo Sewerage, with 13 wastewater treatment plants and 79 pumping stations, contributes to the preservation of water quality in public water areas and the protection of Tokyo urban districts from rainfall inundation.

In order to manage these facilities efficiently, collective operation in each treatment area is being promoted by making use of remote-control system.

At present, 57 pumping stations and 1 wastewater treatment plant are remote-controlled from master pumping stations and wastewater treatment plants.

Promotion of remote control system leads to concentration of facilities monitored or controlled from the master facility, and, therefore, increases tasks of each operator, enhancing possibility of his human error.

Automatic operation can save some load of operation, but it is limited in use because it is applicable only to conditional operation that follows measured or processed value.

Also, due to pressing increase of age-limit retirees and strict restraint of employment, the number of operational staff is decreasing and, consequently, operational skills are being lost with veteran operators.

As a solution to the problems, Operation Navigation System (ONS) was developed.

### **2 Characteristics of ONS**

#### **(1)Overview**

ONS reduces operational tasks, functioning like car navigation.

Operator can give operational instruction according to guidance messages timely and pertinently shown on supervisory monitoring device.

ONS indicates the guidance messages by logical deduction using information of the supervisory system.

In contrast with automatic operation, which has a restriction that it can be applied only to fixed operations, ONS can deal with operations that require operator's

judgment.

## (2) Functions

### (a) Operation guidance

Operation guidance indicates operational decisions based on the logic constructed on “Decision Table” using plant input signals. Logics on the Decision Table can be modified easily so as to correspond with operator’s decision. The flexibility is effective in reflecting knowledge or know-how of skilled and experienced operator. Fig.1 shows ONS functioning as an agent for a skilled operator.

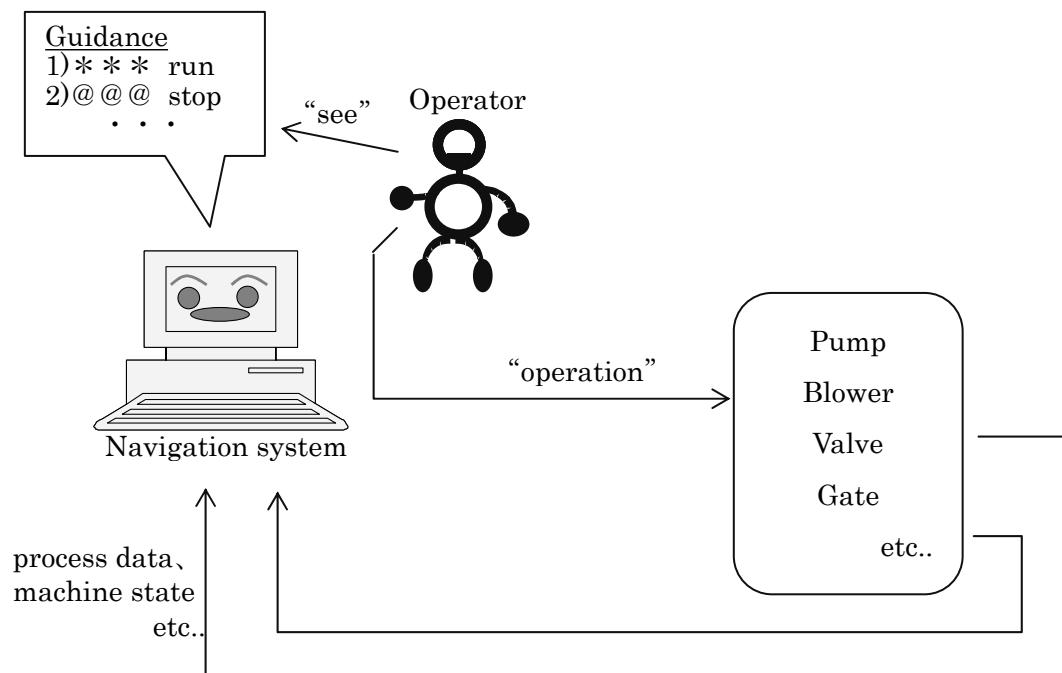


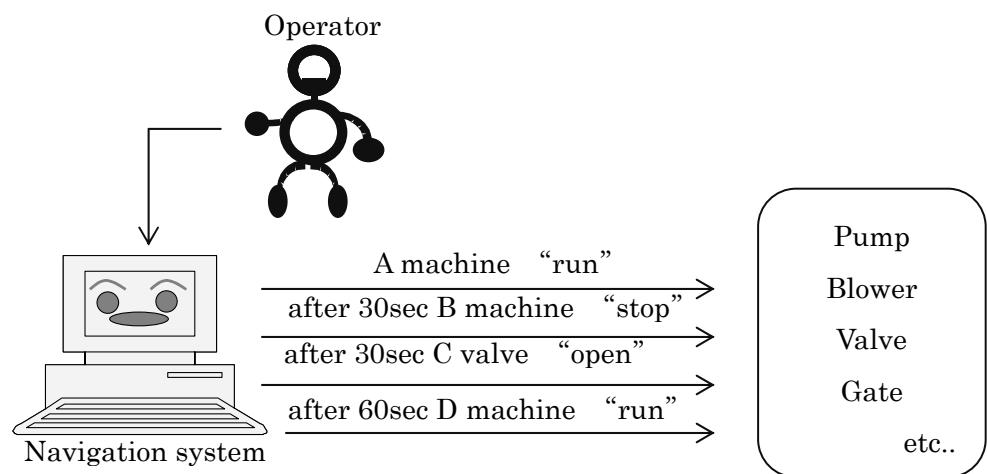
Fig.1 Operation guidance function

### (b) Macro-operation function

By registering a set of sequential operations as ‘one action’, the operations run automatically with initial permission of operator.

Macro-operation function can convert multiple operations to one automatic operation.

The function is applicable to a set of manual sequential operations which proved to be fixed. Fig.2 shows automatic operation using Macro-operation function.



※A,B,C,D : various equipments machines

Fig.2 Macro-operation function

### (c) Rationalized indication

In order for an operator to grasp the situation speedily even in emergency, indication data of facilities are hierarchically arranged on a display.

Also, symbolic indications to assist intuitive understanding are introduced.

### (3) Effects

- (a) To reduce operation tasks by guidance and rationalized indication
- (b) To guide inexperienced operator with guidance appropriate to plant conditions
- (c) To respond promptly in case of emergency

## 3 Evaluations of ONS

Guidance function of ONS is now under evaluation through a field test on Morigasaki wastewater treatment plant. The period of the test is from July 2005 to March 2006.

### (1) Performance verification by prototype system

- (a) Design and coding of Decision Table and Guidance consistent with pumping operation flow
- (b) Installation of a proto ONS system by connecting to the supervisory system
- (c) Running the proto system using input signals of the supervisory system

### (2) Evaluation of guidance function

Based on comparison with real operations, ONS are evaluated.

Evaluation items are;

- (a) Contents of guidance
- (b) Timing of guidance indication
- (c) Improvement of (a) and (b)
- (d) Human interface

At present, the field-test shows good coincidence of guidance contents and timing with actual operation taken by operators.

#### 4 Conclusions

In the background of concentration of operational tasks due to promotion of remote-control and impending loss of technical skills accompanied with retirement of many veteran technical staff, we have developed a navigation system ONS that stores operational knowledge, which can be modified, and shows directions timely.

ONS, being effective in wastewater treatment process and pumping discharge, is being evaluated in a field test.

After reflecting the result of the evaluation to improve ONS, we are planning to introduce ONS to real plants.

平成20年2月発行

技術調査年報  
2 0 0 7

平成19年度  
規格表第5類  
登録第148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