

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1056

February 2019

平成29年度下水道関係調査研究年次報告書集

FY2017 Annual Report of Wastewater Management and Water Quality Control

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan



# 平成29年度下水道関係調査研究年次報告書集

国土技術政策総合研究所 下水道研究部

下水道研究室  
下水処理研究室

## FY2017 ANNUAL REPORT OF WASTEWATER MANAGEMENT AND WATER QUALITY CONTROL

WASTEWATER SYSTEM DIVISION  
WASTEWATER AND SLUDGE MANAGEMENT DIVISION  
OF WATER QUALITY CONTROL DEPARTMENT

NATIONAL INSTITUTE FOR LAND AND INFRASTRUCTURE MANAGEMENT,  
MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE, TRANSPORT AND TOURISM, JAPAN

### 概要

本報告書集は、平成29年度に国土交通省国土技術政策総合研究所において実施された下水道に関する調査研究の成果を集約して資料としてとりまとめたものである。

キーワード：下水道、下水処理、ストックマネジメント、浸水対策、災害対策、  
温室効果ガス、省エネルギー

### Synopsis

This Annual Report introduces researches on wastewater management and water quality control carried out in Fiscal 2017 by National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan .

Key words: wastewater system, wastewater treatment, stock management, stormwater management, green house gases (GHG), energy saving

## 序 文

本報告書集は、平成29年度に国土交通省国土技術政策総合研究所（国総研）が実施した下水道関連の調査研究の成果をとりまとめたものであり、全10編の報告書から構成されています。

これらの調査研究は、下水道研究部の下水道研究室と下水処理研究室が担当し、予算費目としては下水道事業調査費、行政部費、総合技術開発プロジェクトです。調査研究の範囲は、国の重点課題や時代のニーズに応えるため、下水道管路のストックマネジメント、浸水対策、災害対策、温室効果ガス、省エネルギー等多岐にわたっています。これらの研究成果は、下水道施設を管理する地方公共団体や、コンサルタント及びメーカー、維持管理業者等の関係団体、大学等研究に役立つ情報を多く含んでおり、これを公表することで、下水道事業の更なる発展を期待するものです。

また、国総研では、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）を実施しています。B-DASH プロジェクトの実証技術については、別途、技術導入ガイドラインを作成しております。本報告書付録1にガイドラインも含めて直近に刊行した報告書一覧を示しています。

下水道関係調査研究課題10課題のうち平成29年度に終了したものは、以下の3課題です。

- ① 中小都市の持続可能な下水道事業実施に関する基礎研究  
(下水道研究室；試験研究費、H28年度～H29年度)
- ② 下水道由来のアンモニアのエネルギー利用システムに関する研究  
(下水処理研究室；試験研究費、H28年度～H29年度)
- ③ 下水処理場の既存施設能力を活用した汚水処理システムの効率化に関する研究  
(下水処理研究室；試験研究費、H27年度～H29年度)

また、平成29年度から新たに開始した課題は以下の4課題です。

- ① 下水道災害発生時の迅速な初動体制構築に関する調査  
(下水道研究室；下水道事業調査費、H29年度～H31年度)
- ② 処理水の衛生的リスク制御技術および水再生処理の評価に関する調査  
(下水処理研究室；下水道事業調査費、H29年度～H31年度)
- ③ 下水道における温暖化ガス排出量削減に関する調査  
(下水処理研究室；下水道事業調査費、H29年度～H31年度)
- ④ 下水道資源の活用を考慮した水環境マネジメント推進に関する調査  
(下水処理研究室；下水道事業調査費、H29年度～H31年度)

国総研では行政ニーズに対応するとともに、国民の視点に立った調査研究を更に進めてまいります。これからも引き続きご意見等をいただければ幸いです。

平成31年2月

国土技術政策総合研究所 下水道研究部長 井上 茂治

# 目次

頁

## I. 下水道事業調査費による調査研究

1. 下水道管路の持続可能なストックマネジメントに関する調査……………（下水道研究室）… 1  
（H28年度～H30年度）
2. 既存ストックを活用した浸水対策手法の確立に関する調査……………（下水道研究室）… 9  
（H28年度～H30年度）
3. 下水道新技術の導入支援に関する調査……………（下水道研究室）…17  
（H26年度～）
4. 下水道災害発生時の迅速な初動体制構築に関する調査……………（下水道研究室）…31  
（H29年度～H31年度）
5. 処理水の衛生的リスク制御技術および水再生処理の評価に関する調査……………（下水処理研究室）…45  
（H29年度～H31年度）
6. 下水道における温暖化ガス排出量削減に関する調査……………（下水処理研究室）…51  
（H29年度～H31年度）
7. 下水道資源の活用を考慮した水環境マネジメント推進に関する調査……………（下水処理研究室）…59  
（H29年度～H31年度）

## II. その他の予算による調査研究

### [下水道研究室]

1. 中小都市の持続可能な下水道事業実施に関する基礎研究……………（試験研究費）…67  
（H28年度～H29年度）

### [下水処理研究室]

2. 下水道由来のアンモニアのエネルギー利用システムに関する研究……………（試験研究費）…71  
（H28年度～H29年度）
3. 下水処理場の既存施設能力を活用した汚水処理システムの効率化に関する研究…（試験研究費）…77  
（H27年度～H29年度）

## 付録

- 付録1 直近の下水道関係刊行報告書一覧…………… 89
- 付録2 平成29年度 下水道関係調査研究課題表…………… 93

## I. 下水道事業調査費による調査研究

# 1. 下水道管路の持続可能なストックマネジメントに関する調査

下水道研究室 室長 岩崎 宏和  
主任研究官 深谷 渉  
研究官 川島 弘靖  
交流研究員 野田 康江

## 1. はじめに

平成 28 年度末現在、全国の下水道管路総延長は約 47 万 km に達しており、そのうち標準耐用年数 50 年を超える老朽管は約 1.3 万 km である。また、平成 28 年度に発生した下水道管路起因の道路陥没件数は約 3,300 件にのぼり、その原因の 65% が管路施設の老朽化によるものである。今後、老朽管は急激に増加することが見込まれ、下水道管路施設の老朽化等に起因する重大事故の発生リスクはますます高まっていくと予測される。下水道の機能を持続的に確保するため、老朽管の劣化特性を把握した上で維持管理の効率化につなげていくことが重要である。

国総研では、これまでに下水道管路に用いられる硬質塩化ビニル管（以下、「塩ビ管」という）の劣化特性を明らかにしてきた<sup>1)</sup>。今年度は、オイルショック時に一時的に全国に普及した硬質瀝青管の特性に関する調査を行う。

## 2. 平成 29 年度研究内容

下水道管路に用いられる主たる管材はコンクリート管、陶管、塩ビ管であり、国総研では過年度の研究で塩ビ管の劣化特性を明らかにした。平成 29 年度は、昭和 40 年代のオイルショック時に一時的に全国に普及した硬質瀝青管を対象に特性等に関する調査を行った。硬質瀝青管は、紙製パイプにコールタールを含浸させ防水性を持たせた管であるが、長年の使用により、コールタールが洗い流され水ぶくれが発生し、管を閉塞させる事例が全国で発生している。硬質瀝青管は既に製造が中止されているとともに、劣化に関する情報が少ないため、全国の布設実態を明らかにするとともに、現場で使用されていた管材を入手し耐久性等に関する試験を実施した。以下に、調査・試験結果を示す。

## 3. 硬質瀝青管の布設状況等に関する実態調査

全国に布設されている硬質瀝青管の布設実態と不具合発生状況等を把握するため、全国の自治体にアンケート調査を実施した。また、過去に同様の紙製パイプを使用していたアメリカ、カナダ、イギリスの 3 か国での使用状況、不具合発生状況等についても整理した。

### 3.1 アンケート調査結果

硬質瀝青管の実態を把握するため、下水道を供用中の全国の自治体にアンケートを配布し、硬質瀝青管の布設状況（過去に布設されていた場合も含む）及び、不具合発生状況、対策実施状況等を回答いただいた。以下に、アンケート調査の結果を述べる。

### 3.1.1 硬質瀝青管の布設状況

アンケートより、硬質瀝青管は約 80 の自治体に布設されていたことがわかった。自治体の人口規模別で見ると、10 万人以上 30 万人未満の自治体で最も多く布設されていたが、人口 1 万人未満の自治体でも布設されており（図-1）、人口規模に関わらず全国的に使用されていた。また、硬質瀝青管の採用時期については、オイルショック前後という回答が最も多かったが、昭和 60 年代まで採用が続いていた自治体もあった。さらに、硬質瀝青管は主に取付管として使用されているが、本管として使用（総延長約 1km）している自治体もあった（図-2）。一部の自治体では、污水取付管だけではなく、雨水取付管としても使用されていた。今回のアンケート調査では污水と雨水を区別しなかったため、雨水取付管としての使用状況等は不明である。アンケートから、硬質瀝青管は、宅地造成時に取付管として採用され、その後民間開発業者から自治体に移管された下水道施設で使用されているケースが多いことが確認できた。そのような自治体では、布設記録がないため布設箇所や本数が把握できず、対策に苦慮していた。

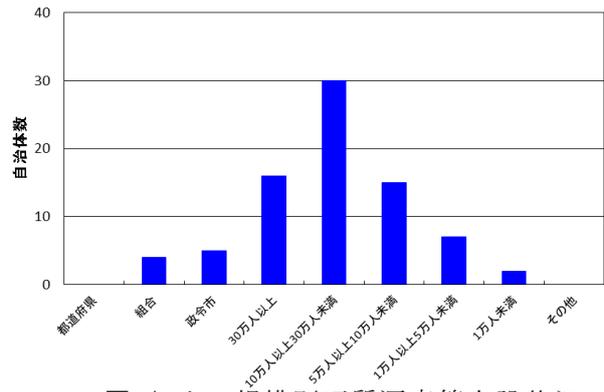


図-1 人口規模別硬質瀝青管布設状況

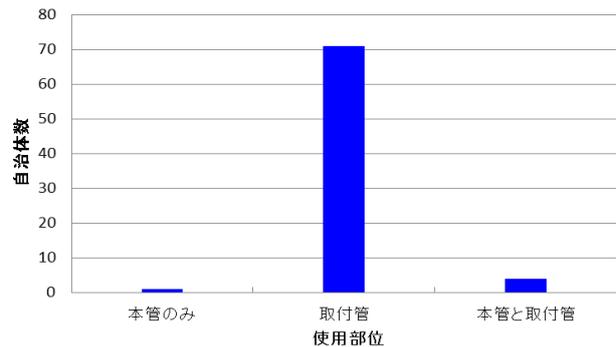


図-2 硬質瀝青管の使用部位

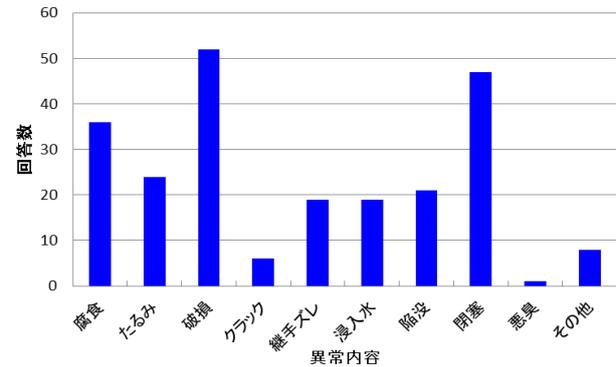


図-3 異常内容

### 3.1.2 硬質瀝青管の不具合発生状況

アンケートによると硬質瀝青管が布設されていた自治体のうち、9 割以上で不具合が発生していた。硬質瀝青管に発生した不具合で最も多いのは破損であり、次いで閉塞であった（図-3）。さらに、硬質瀝青管による道路陥没も発生しており、事故を未然に防止するために、早急な対策を行う必要があると言える。

また、アンケート結果から不具合が発生しているのは主に污水用の硬質瀝青管であり、雨水用の硬質瀝青管の不具合は少なかった。

### 3.1.3 自治体の対策状況

硬質瀝青管の劣化状況を把握するための調査として、主に取付管 TV カメラ調査が実施されている。しかし水ぶくれが発生している場合、水ぶくれの程度によってはカメラが途中で挿入不可となり、調査不可となる場合も数多く確認された。

布設替え等の対策は、約 8 割の自治体で実施していた（図-4）が、その中でも計画的に対策を実施しているという自治体は少なく、ほとんどの自治体で不具合発生時に対策を行っていた。また、布設状況が把握できていない、対策方法が不明であるといった理由から、約 2 割の自治体では対策を実施していなかった。対策を実施している自治体の対策方法としては、更生より布設替え（硬質瀝青管→塩ビ管）を採用している自治体が多かった。日本においては、硬質瀝青管の更生工法が確立されていない、水ぶくれにより更生時にシワや断面縮径が生じ、十分な流下能力が得られない可能性があるという理由から、確実な対策が可能な布設替えが採用されていると考えられる。

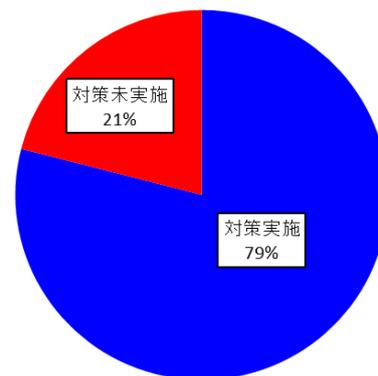


図-4 対策実施状況

### 3.2 海外での問題発生状況及び対策状況

海外の 3 か国（アメリカ、カナダ、イギリス）でも、過去に硬質瀝青管のような、紙製パイプにコールタールを含浸させた管が使用されていた。イギリスでは Pitch fibre pipe、アメリカ、カナダでは Coal Tar Impregnated Wood Fibre Pipe や Orangeburg pipe といった名称で知られている。各国での明確な使用量は不明であるが、アメリカの Orangeburg 社は、1950 年代～1960 年代にアメリカ全域に 500t/週 出荷しており<sup>2)</sup>、イギリスの Key Engineering 社は 3,400 t/年（1964 年）生産していた<sup>3)</sup>。また、カナダでは少なくとも数千 km、数 10 万戸の住宅で採用された<sup>4)</sup>。

表-1 イギリスの年間の事故件数（2003）<sup>6)</sup>

| Problem Type                                           | Number of incidents per annum |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Problems with ownership                                | 45,000                        |
| Flooding due to surcharging from public sewers         | 42,000                        |
| Flooding due to structurally defective private sewers  | 46,000                        |
| Flooding due to hydraulic inadequacy of private sewers | 20,000                        |
| Premature failure of pitch fibre pipes                 | 50,000                        |
| Problems with lateral drains                           | 58,000                        |

現在、日本と同様破損、閉塞といった不具合が発生しており、時限爆弾と呼ばれ<sup>5)</sup> 社会問題となっている。イギリスでは、2003 年に硬質瀝青管による事故が 50,000 件発生していた（表-1）。また、アメリカ、イギリスでは過去に規格が制定されており、下水取付管だけでなく、灌漑用水管、雨水排水管等に幅広く使用されていた。しかし、硬質瀝青管による不具合が顕在化したため、1990 年頃に全ての規格が廃止されている。

海外での対策方法は日本と変わらず布設替えか更生であるが、更生が推奨されている。海外では、硬質瀝青管の更生工法（管を拡幅後更生を行う）が確立されている（図-5）ため、水ぶくれや閉塞等が発生していても問題なく更生が可能なのである。日本では、硬質瀝青管の問題が出始めたのが海外と比較すると遅いため、更生工法がまだ確立されていない。

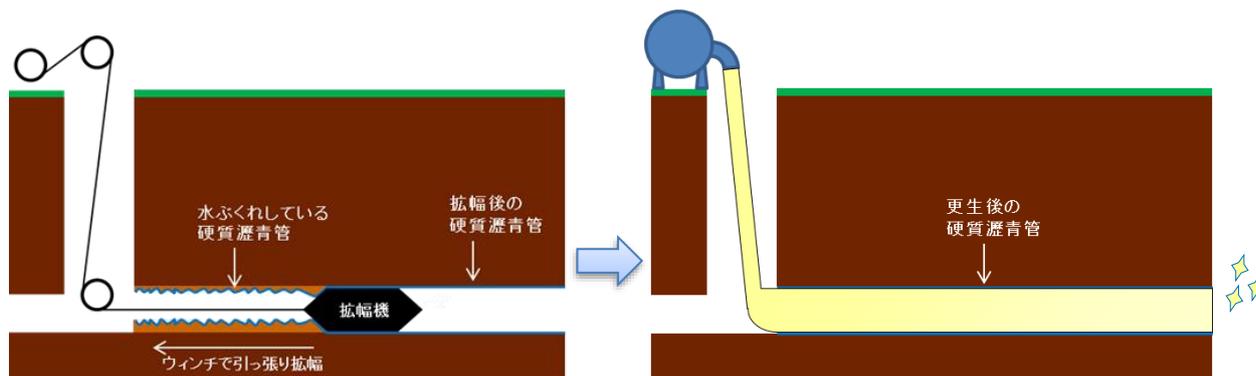


図-5 海外の硬質瀝青管の更生イメージ (左：拡幅、右：更生)

#### 4. 硬質瀝青管の特性等に関する調査

硬質瀝青管は、関連する資料や当時の資料がほとんど残っていないため、特性等不明な点が多い。そこで、特性等を把握するため偏平試験、成分分析、洗剤浸漬試験を実施した。試験には、水ぶくれ程度の異なる A～D 市の 4 つの硬質瀝青管を使用した (表-2)。

表-2 試験に使用した硬質瀝青管

| A市                                                                                  | B市                                                                                  | C市                                                                                   | D市                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |
| φ150<br>污水管<br>水ぶくれなし<br>供用年数：不明                                                    | φ150<br>污水管<br>円周約1/2に水ぶくれ有<br>供用年数：43年程度                                           | φ150<br>污水管<br>全円周に水ぶくれ有<br>供用年数：43年                                                 | φ200<br>污水管<br>円周約1/8に水ぶくれ有<br>供用年数：44年                                               |

##### 4.1 偏平試験

硬質瀝青管の強度は、当時のカタログ値でコンクリート管と同程度とされているが、年数を経過した硬質瀝青管の残存強度や耐用年数に関する知見はない。このため、塩ビ管の下水道協会規格である JSWAS K-1<sup>7)</sup> に準じた偏平試験を実施し、強度の確認を行った。試験は、乾燥状態と湿潤状態 (布設されている状態と仮定。管断面半分程度を水道水に 96 時間浸漬したもの) の 2 種類行った。試験結果を表-3 に示す。

表-3 偏平試験結果

| φ150                        | 線荷重 (kN/m) |       | 破壊荷重 (kN/m) |       |                     | 備考           |
|-----------------------------|------------|-------|-------------|-------|---------------------|--------------|
|                             | 乾燥         | 湿潤    | 乾燥          | 湿潤    | カタログ値との比較<br>(湿潤状態) |              |
| カタログ値                       | -          |       | 28.42       |       | -                   | 乾燥湿潤の記載なし    |
| A市                          | 20.34      | 18.1  | 31.87       | 25.12 | 88%                 | 水ぶくれなし       |
| B市                          | 10.12      | 4.89  | 19.93       | 21.78 | 77%                 | 円周約1/2に水ぶくれ有 |
| C市                          | 11.41      | 10.42 | 14.24       | 14.46 | 51%                 | 全円周に水ぶくれ有    |
| 規格値(CS116-44) <sup>8)</sup> | -          |       | 19.27       |       |                     |              |

線荷重は、乾燥状態に比べ湿潤状態の方が低下することが確認できた。また、破壊荷重については、布設当初の値（カタログ値と仮定）と比較すると、水ぶくれの発生していない A 市では、乾燥状態はカタログ値を上回ったが、湿潤状態はカタログ値の 88%であった。円周の約 1/2 に水ぶくれが発生している B 市では、湿潤状態でカタログ値の 77%であり、全円周に水ぶくれが発生している C 市は、湿潤状態で 51%まで低下していた。

アメリカの規格値（CS116-44）と比較すると、A 市、B 市の値は規格値を上回っていたが、C 市は規格値よりも低く十分な強度がないことが確認できた。水ぶくれの程度が高いほど、破壊強度が低下していることが確認され、水ぶくれが進行している方が壊れやすくなっていると考えられる。

## 4.2 成分分析

イギリスの硬質瀝青管の成分を参考<sup>3)</sup>に、アスベストとコールタールについて分析を行った。

### 4.2.1 アスベスト分析

硬質瀝青管の海外製品には強度を向上させるため、発がん性物質であるアスベストが含まれている<sup>3)</sup>。アスベストが含有されている場合、改築時に粉じんが舞い上がるため、取り扱いに十分注意する必要がある。アスベストの分析は、B 市と D 市の硬質瀝青管を用いて行った。アスベストは JIS A 1481-2 (2016)<sup>9)</sup>に準じ、X 線回折分析法と分散染色分析法を用いて含有の有無を確認した。X 線回折分析法は、主に、10°付近と 30°付近に発生する特徴的なアスベストの回折ピークが認められるか否かを確認した。また、分散染色分析法では、位相差顕微鏡で計測した 3,000 粒子中に確認されたアスベストの繊維状粒子数が 4 繊維状粒子未満か以上かを確認した。

結果を表-4 に示す。硬質瀝青管の X 線回折分析の結果、10°付近、30°付近に特徴的なピークは現れなかった。また、分散染色分析法においても、アスベストの繊維状粒子は確認されなかった。国内では硬質瀝青管は 1 社しか製造しておらず、現在布設されている硬質瀝青管は、全てその会社の製造と考えられることから、全国に布設されている硬質瀝青管にアスベストは含有されていないと判断した。国内製品は海外製品よりも管厚が若干厚いことから、管厚を厚くすることで、アスベストを含有することなくコンクリート管同等の強度を持たせている

と考えられる。

表-4 アスベスト分析結果

| 試料名                |      | B市               | D市               |
|--------------------|------|------------------|------------------|
| クリソタイル             | 分散染色 | 4繊維状粒子未満         | 4繊維状粒子未満         |
|                    | X線回折 | ピーク無             | ピーク無             |
| アモサイト              | 分散染色 | 4繊維状粒子未満         | 4繊維状粒子未満         |
|                    | X線回折 | ピーク無             | ピーク無             |
| クロシドライト            | 分散染色 | 4繊維状粒子未満         | 4繊維状粒子未満         |
|                    | X線回折 | ピーク無             | ピーク無             |
| トレモライト<br>アクチノライト  | 分散染色 | 4繊維状粒子未満         | 4繊維状粒子未満         |
|                    | X線回折 | ピーク無             | ピーク無             |
| アンソフィライト           | 分散染色 | 4繊維状粒子未満         | 4繊維状粒子未満         |
|                    | X線回折 | ピーク無             | ピーク無             |
| <b>アスベスト含有判定結果</b> |      | <b>アスベスト含有なし</b> | <b>アスベスト含有なし</b> |

#### 4.2.2 コールタール分析

硬質瀝青管には防水性を持たせるためにコールタールが含有されている。コールタール含有率が低下すると水ぶくれが発生すると考えられることから、水ぶくれが発生する閾値の推定をするため、水ぶくれ発生部分と水ぶくれ未発生部分のコールタール含有率を比較した。コールタール含有率はソックスレー抽出-重量法で分析した。

試験結果を図-6に示す。コールタール含有率は、水ぶくれ部分で低い値（①、③、⑦）となっており、50%以上の部分では、水ぶくれは発生していなかった。また、コールタール含有率の最も高い値は64.5%であった（⑪）。これらのことから、コールタールは本来65%程度含まれており、管を流れる下水、土壌、地下水、雨水等の影響で徐々に流れ出し、含有率が低下していくと推測された。さらに、コールタール含有率が50%を下回ると徐々に防水性が失われ、水ぶくれが発生すると考えられる。なお、「上内側」部分（④、⑩）は常時水と接触しているわけではないため、コールタール含有率が50%以下であっても水ぶくれが発生していないと考えられる。

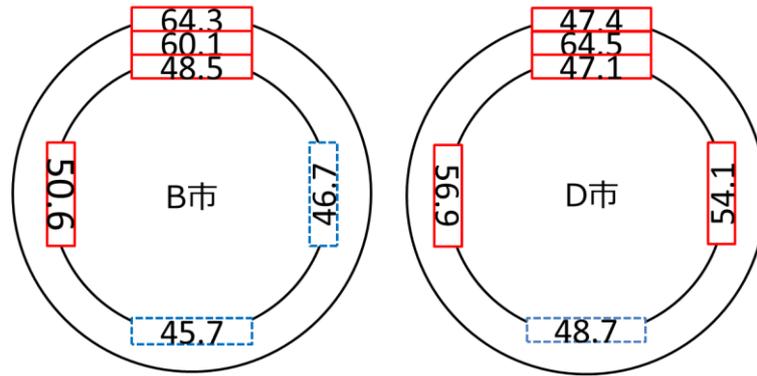


図-6 各試験片のコールタール含有率（単位：％）

※点線は水ぶくれ発生部分

### 4.3 洗剤浸漬試験

前述の通り、不具合が発生しているのは污水管として使用される硬質瀝青管であり、雨水管における不具合発生事例は少ないようである。これは、温水や洗剤（界面活性剤）の使用により、流水面のコールタールが洗い流され、防水性が失われ水ぶくれが発生するためであると考えられている<sup>10)</sup>。そこで、污水特有の成分である洗剤（界面活性剤）に着目し、洗剤が硬質瀝青管に及ぼす影響を確認するため、硬質瀝青管の洗剤への浸漬試験を実施した。

試験は、硬質瀝青管試験片（D市、3cm×3cm）を台所用洗剤液（洗剤濃度 0.1％、1.2％、12.2％、36.5％、60.9％）に浸漬（平均水温 20℃）させ、1ヶ月後の試験片の変化と、コールタール含有率の変化を確認した。なお、試験片は水ぶくれが発生していない上部から切り出した（図-6 の⑪の部分）。

表-5 残存コールタール含有率

| 洗剤濃度  | コールタール含有率(%) |
|-------|--------------|
| 0.1%  | 46.5         |
| 1.2%  | 47.6         |
| 12.2% | 46.8         |
| 36.5% | 46.7         |
| 60.9% | 46.4         |

試験後の試験片は、試験前の試験片と外観、硬さは変化せず、洗剤濃度の違いによる外観、硬さの差異もなかった。また、試験後の試験片の残存コールタール含有率は、どの濃度でも大きく変わらなかった（表-5）。これは、界面活性剤の「洗浄力はある一定の濃度で頭打ちになり、それ以上は洗浄力は変化しない」という特徴のためであると考えられる。試験前のコールタール含有率を図-6の64.5％とすると、1ヶ月で約20％ものコールタールが溶出したこととなる。洗剤によるコールタールの溶出は、試験後の洗剤液が黄色く変色していたこと、試験後の0.1％、1.2％洗剤液から油のような臭いがしていたことから推測できた。12.2％以上の洗剤液では、洗剤の濃度が濃かったため洗剤臭の方が強く、油のような臭いは感じなかった。なお、コールタールの溶出速度、水温等による影響については、さらなる試験が必要である。

### 5. まとめ

本研究で実施したアンケート調査より、布設されている硬質瀝青管の実態や各自治体の対策状況を把握することができた。また、硬質瀝青管の特性等に関する調査より、硬質瀝青管の特

性及び劣化機構が一部明らかとなった。しかし、劣化の判定方法や工法の選定方法等、維持管理方法を提案するには、今回の結果のみからはデータ不足であり困難である。更生可否、洗浄可否、さらには洗剤や温水による長期の硬質瀝青管への影響等を、引き続き調査する必要がある。

硬質瀝青管は対策に苦慮している自治体が多い。硬質瀝青管の耐用年数は規定されていないが、オイルショックから 45 年経過していることから、耐用年数に近いが、すでに超えている可能性もある。今後発生すると考えられる不具合や道路陥没事故等を未然に防止するために、早急な対策が求められる。判定基準や対策優先度等を提案できるよう、引き続き試験を実施していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 横田敏宏・小川文章・深谷渉・末久正樹・宮本豊尚・野澤正裕・賀屋拓郎、塩化ビニル管に適した異常判定・緊急度診断基準に関する研究、国土技術政策総合研究所資料、No.878、2015 年 12 月
- 2) Coal Tar Impregnated Wood Fibre Pipe : <https://www.sewerhistory.org/articles/compon/orangeburg/orangeburg.htm>
- 3) 石野紀元、英国 Key Engineering 社のピッチファイバーパイプ、アロマティックス、第 20 巻第 2 号、pp.92～100、1968 年
- 4) After the Second World War, Canada thought it would be a good idea to install cardboard sewer pipes : <https://nationalpost.com/news/canada/after-the-second-world-war-canada-thought-it-would-be-a-good-idea-to-install-cardboard-sewer-pipes>
- 5) Pitch Fibre Pipe Work : <http://www.draindomain.com/pitch%20fibre.html>
- 6) Review of Existing Private Sewers and Drains in England and Wales : <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20080306220229/http://www.defra.gov.uk/corporate/consult/sewers/response.pdf>
- 7) (公社) 日本下水道協会 : JSWAS K-1 下水道用硬質塩化ビニル管、日本下水道協会規格、2010 年
- 8) US Department Commerce、CS116-44 Bituminized-fibre drain and sewer pipe、National Bureau of Standards、1944
- 9) (一社) 日本規格協会 : JIS A 1481-2 建材製品中のアスベスト含有率測定方法 - 第 2 部、日本工業規格、2016 年
- 10) Why Call Edmonton Plumbers to Replace Your Cardboard Sewer Lines : <http://capitalplumbing.ca/why-call-edmonton-plumbers-to-replace-your-cardboard-sewer-lines/>

## 2. 既存ストックを活用した浸水対策手法の確立に関する調査

下水道研究室 室長 岩崎 宏和  
主任研究官 松浦 達郎  
研究員 中村 裕美  
交流研究員 近藤 浩毅

### 1. はじめに

近年、下水道施設の能力を超える局地的な大雨等が頻発し、内水氾濫による被害リスクが増大している。一般に浸水対策施設の整備には多くの費用・時間を要することから、早期に被害リスクの軽減を図るためには、既存施設等のストックの能力を適切に評価した上でその機能を最大限に活用できる浸水対策手法を確立することが必要である。

平成 29 年度は、既存ストックを活用した浸水対策手法の確立を目的とし、以下を実施した。

- ・ 下水管路内の水位情報を用いて雨水ポンプを制御する際の水位観測地点設定手法の検討
- ・ 落葉等が雨水枳蓋の排水能力に与える影響の分析

### 2. 下水管路内の水位情報を用いて雨水ポンプを制御する際の水位観測地点設定手法の検討

#### 2.1 研究の目的

一般的な雨水ポンプ場ではポンプ井の水位に基づいた運転を行っているが、降雨の偏在や突発的な豪雨に起因する急な流入量増加への対応が困難な場合がある。通常、ポンプの起動には一定の時間を要することから、急な流入量増加に対する浸水被害を軽減するためには、起動水位を低く設定してポンプの起動遅れを防ぐことが効果的と考えられるが、常時低い水位で起動すると、浸水対策が不要な降雨時における運転の増加等の影響が懸念される。そこで、既存施設の能力を活用した上で、より柔軟で効果的な制御により浸水被害の軽減を図るためには、ポンプ地点以外の下水管内の水位情報を利用することが重要である。

しかし、下水管内の水位は流入変動に伴い急激に変化し、さらに満管状態と自由水面状態で水理的な挙動が異なるため、水位情報の活用は容易ではなく、情報活用に関する定まった手順が存在していない。このため本研究では、上流の水位情報を用いて雨水ポンプの起動水位制御を行う際の、水位観測地点の設定手法を明確にすることを目的とした。

#### 2.2 水位観測地点に求められる要件

ポンプ運転条件の切替えにおいては、運転開始条件に相当する流入がポンプ場へ到達するよりも前に判断が求められることから、水位観測地点の要件として、ポンプ制御のための「リードタイムが確保できる」ことが挙げられる。さらに、余裕を持った制御のためには判断のタイミングは早い方が望ましいことから、「水位上昇タイミングが早い」地点であることも要件として求められると考えられる。また、豪雨と通常運転で排水可能な降雨を判別可能なことや、急曲線や段差等の局所的な水流の乱れや、施工・維持管理上の問題が少ない等も要件として考えられるが、これらの要件については、本研究では取り扱わないものとする。

なお、水位観測地点がポンプ場に近い場合は、流下時間が短くリードタイムの確保が困難である。逆に遠い場合においては、流達時間を長く確保できる代わりに、下流側から先に降雨が強まる場合など、降雨の移動状況や位置によっては水位観測地点における水位上昇が遅れ、リ

ードタイムが確保できない可能性が生じると考えられる。そのため、制御の複雑化を避ける等の観点からは、観測地点数を絞り込むことが望ましいが、その場合には移動降雨による影響についても確認が必要であると考えられる。

## 2.3 水位上昇タイミングの早さの検証

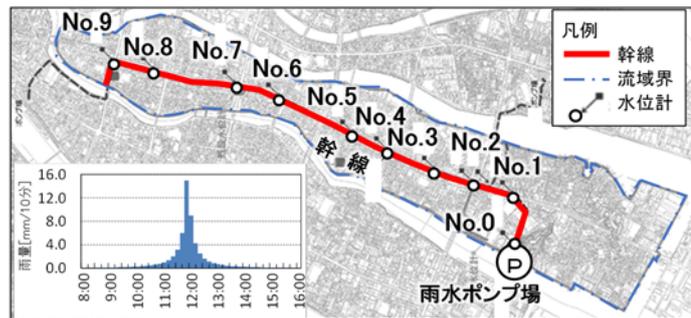
### (1) 検証方法

先に挙げた水位観測地点の要件について、モデル排水区を対象とした解析を行い、「水位上昇タイミングが早い」地点を抽出した。さらに、その地点の流域面積や管路諸元等の特徴を分析し、水位観測地点設定手法を整理した。

解析には下水道施設の計画、設計に一般的に用いられる InfoWorks ICM を使用した。過去にキャリブレーション済みの解析モデルを用い、解析時間間隔 1 秒、結果出力 1 分間隔とした。

### (2) モデル排水区と対象降雨

モデル排水区は面積 329ha の合流式排水区であり、幹線（管径  $\phi$  1.1~馬蹄形 2.3×2.07m、延長 3.8km）および雨水ポンプ場（雨水ポンプ 5 台、起動時間 70 秒、合計排水量 11.55m<sup>3</sup>/s）により雨水を排除している。なお、幹線内



には、No. 0~No. 9 の水位計が既設済みである。検討対象降雨は、モデル排水区の計画降雨を元に、既存施設能力を上回る中央集中降雨（時間雨量 39.9 mm、総雨量 58.6 mm）とした。図-2.1 にモデル排水区平面図および検討対象降雨を示す。さらに、降雨域の移動による水位上昇タイミングへの影響を検証するため、流域一様な降雨の他、流域を上流・中流・下流に 3 分割し、分割した流域毎に 15 分または 30 分の時間差をもって降雨を開始させる 6 パターン（内訳は表-2.1 参照）の降雨を解析に用いた。

### (3) 水位上昇タイミングの確認

表-2.1 に、管内水深上昇時刻からポンプ起動時刻を差し引いた時刻差を示す。管内水深上昇時刻は、中・下流側の No. 1~6 地点において 5、6 割の水深に到達した時刻とし、ポンプ起動時刻はポンプ井の水位が現状運転での起動水位に到達した時刻とする。

水深が大きくなるほど、また特に下流から上流へ移動する降雨において、水位上昇が遅れる地点が増加する。その中で No. 3 地点は、水位上昇が遅れるケースが最も少なく、かつポンプ起動までの時間の余裕も最大であることから、水位上昇のタイミングが早いことが確認された。なお、本研究では、管内水位到達時刻とポンプ起動時刻の差を、ポンプ制御のためのリードタイムとして取り扱う。

### (4) 水位上昇タイミングの早い地点の特徴

表-2.2 に、各水位観測地点における管路の特徴として、一般的な流量計算表に示される諸元の一部と、下流端からの平均勾配を示す。このうち、前項で水位上昇のタイミングが早いとさ

表-2.1 管内水深到達時刻とポンプ起動時刻の差 (分)

| 降雨の移動パターン     |               | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | No.6 |
|---------------|---------------|------|------|------|------|------|------|
| 5割水深到達        | 一樣降雨          | -5   | 8    | 20   | 15   | 10   | 6    |
|               | 下流→中流→上流15分間隔 | -9   | -2   | 7    | 1    | -5   | -13  |
|               | 下流→中流→上流30分間隔 | -11  | -9   | -6   | -13  | -20  | -29  |
|               | 上流→中流→下流15分間隔 | 2    | 16   | 29   | 25   | 22   | 22   |
|               | 上流→中流→下流30分間隔 | 8    | 22   | 35   | 33   | 31   | 34   |
|               | 中央→上下流両端15分間隔 | 0    | 13   | 25   | 20   | 14   | 6    |
| 6割水深到達        | 中央→上下流両端30分間隔 | 4    | 16   | 28   | 23   | 17   | 6    |
|               | 一樣降雨          | -11  | -2   | 6    | 4    | 1    | -3   |
|               | 下流→中流→上流15分間隔 | -14  | -11  | -6   | -10  | -13  | -20  |
|               | 下流→中流→上流30分間隔 | -14  | -15  | -15  | -21  | -25  | -30  |
|               | 上流→中流→下流15分間隔 | -7   | 6    | 15   | 14   | 12   | 13   |
|               | 上流→中流→下流30分間隔 | -4   | 12   | 22   | 22   | 22   | 26   |
| 中央→上下流両端15分間隔 | -7            | 3    | 12   | 9    | 6    | -1   |      |
| 中央→上下流両端30分間隔 | -3            | 7    | 15   | 13   | 9    | 0    |      |

※注釈：色の濃さは、時間的な余裕の大きさ、または遅延の大きさを示す

れた No. 3 地点は、下流端から平均した管路勾配が小さい地点の上位、および下流端から平均した動水勾配が大きい地点の上位の両方に該当する。このことは、管路勾配が小さいほど、また動水勾配が大きいほど水位が上昇し易いことを示している。モデルとして用いた雨水幹線のように勾配や管径が一様でなく、途中で逆勾配区間を持つ路線において水位上昇タイミングを正確に算出するためには不等流・非定常計算が必要であるが、管路勾配や動水勾配に着目することで、簡易的に水位上昇のタイミングが早い地点を抽出できると考えられる。

表-2.2 モデル雨水幹線諸元

| 観測位置        | 追加面積 (ha)    | 最長延長 (m)      | 流達時間 (分)    | 勾配 (%)     | 下流端(ポンプ場)からの勾配 |               |
|-------------|--------------|---------------|-------------|------------|----------------|---------------|
|             |              |               |             |            | 平均管路勾配 (%)     | 平均動水勾配 (%)    |
| No.9        | 186.3        | 1309.5        | 19.1        | -5.5       | 0.0010         | 0.0119        |
| No.8        | 217.8        | 1701.0        | 22.1        | -0.2       | 0.0010         | 0.0119        |
| No.7        | 260.9        | 2333.9        | 26.2        | 1.7        | <b>0.0009</b>  | 0.0114        |
| No.6        | 273.9        | 2745.3        | 28.9        | 1.4        | <b>0.0009</b>  | 0.0123        |
| No.5        | 310.1        | 3417.7        | 33.4        | 1.4        | <b>0.0009</b>  | 0.0137        |
| No.4        | 338.9        | 3726.4        | 35.4        | 0.8        | <b>0.0008</b>  | <b>0.0148</b> |
| <b>No.3</b> | <b>362.9</b> | <b>4137.4</b> | <b>38.1</b> | <b>0.7</b> | <b>0.0009</b>  | <b>0.0157</b> |
| No.2        | 370.6        | 4380.7        | 39.8        | 1.3        | 0.0011         | <b>0.0156</b> |
| No.1        | 612.3        | 4736.2        | 42.1        | 0.3        | 0.0015         | 0.0143        |
| No.0        | 653.5        | 5127.8        | 44.8        | 0.0        | <b>0.0008</b>  | 0.0144        |

## 2.4 対策運転効果の確認

水位上昇タイミングが早い No. 3 地点を用いた対策の効果、氾濫解析による浸水面積を用いて評価した。対策運転は、豪雨時にのみポンプの早期運転を行うことを目的に、水位観測地点の水深が、表-2.1 に基づきポンプ制御のリードタイムが確保可能な 5 割まで上昇した時に、ポンプの起動水位を現況より 0.2m 下げるものとした。また、水位観測地点は No. 3 の他、比較として No. 5 と No. 1 を用いた。

表-2.3 浸水面積削減量 (単位:ha)

|                |      | 現況    | No. 1 地点 | No. 3 地点     | No. 5 地点 |
|----------------|------|-------|----------|--------------|----------|
| 一様降雨           | 浸水面積 | 62.01 | 62.00    | 61.79        | 61.80    |
|                | 削減面積 | —     | 0.01     | 0.22<br>効果最大 | 0.21     |
| 下流→上流<br>15分間隔 | 浸水面積 | 60.04 | 60.01    | 59.95        | 60.04    |
|                | 削減面積 | —     | 0.03     | 0.09<br>効果最大 | 0        |
| 上流→下流<br>15分間隔 | 浸水面積 | 59.63 | 59.63    | 59.01        | 59.02    |
|                | 削減面積 | —     | 0        | 0.62<br>効果最大 | 0.61     |

氾濫解析結果を表-2.3 に示す。水位観測位置毎の結果を比較すると、No. 3 地点は、どの降雨に対しても最大の効果が得られており、水位上昇タイミングの早い地点の水位を元にポンプの運転を制御することが有効であることがわかった。また、No. 1 地点は上流から下流へ移動する降雨に対して、No. 5 地点は下流から上流に移動する降雨に対して、対策効果が得られなかった。このことから、No. 3 地点は No. 1、No. 5 よりも移動降雨の影響を受けなかったものと考えられる。

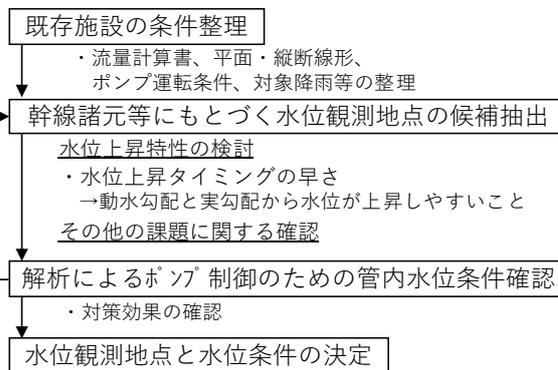


図-2.2 水位観測地点設定手順案

さらに、平成 29 年 6 月 30 日 (時間雨量 48.0mm、総雨量 96.9mm) および平成 29 年 10 月 7 日 (時間雨量 24.2mm、総雨量 24.2mm) の実績降雨に対する効果を比較した結果、No. 3 地点での水位観測を用いた対策は、検討降雨の場合と同様に、他点より大きな効果が得られた。

## 2.5 設定手順案の提案

水位上昇の早さに着目した水位観測地設定手順の案を図-2.2 に示す。なお、本研究で確認した要件以外にも検討が必要となる、局所的な水流の乱れや施工・維持管理上に関する要件については「その他の課題に関する確認」として示した。

## 2.6 結論

雨水ポンプの制御のための水位観測地点の設定について検討した結果、モデル排水区においては、水位上昇タイミングの早い地点の水位情報の活用が有効なことを確認した。さらに、管路勾配と動水勾配から水位上昇タイミングの早い地点を抽出できる可能性が示された。

### 3. 落葉等が雨水枺蓋の排水能力に与える影響の分析

#### 3.1 研究の目的

道路冠水発生の原因の一つとして、雨水枺蓋上及び枺内部への落葉等の堆積によって下水管内への雨水流入が阻害されていることが考えられる。道路冠水の発生頻度軽減に向けた方策を検討する上で、落葉が雨水枺蓋及び枺内の排水能力に与える影響を把握することが重要である。過去の研究より、雨水枺内の落葉堆積量より側溝上及び枺蓋上の落葉堆積量が排水能力に大きく影響している可能性が示唆されたため<sup>1)</sup>、実験により落葉の堆積が枺蓋の排水能力に与える影響を確認することを目的とした。

#### 3.2 実験概要

図-3.1 に示す実験模型を用いて枺蓋の排水能力の確認実験を行った。枺蓋は写真-3.1 に示す3種の枺蓋を用いた。実験条件及び測定項目は表-3.1 の通りである。落葉は事前に総落葉堆積量の半分を雨水枺の上流 4.5m の側溝上に均等に敷き詰めるとともに、残りの半分は給水開始から1分経過後から追加投入した。

総落葉堆積量は、過去に冠水した道路の側溝上の落葉量調査<sup>1)</sup>から、堆積量のうち最大と冠水箇所の平均に基づき、5kg と 1kg、さらに中間値として 3kg を設定した。

枺蓋の排水能力は、落下率で評価することとした。なお落下率は図-3.2 に示すとおり、雨水枺蓋からの排水量が、90 秒間ほぼ一定となった時点の枺蓋からの排水量

( $l/s$ ) を給水量 ( $l/s$ ) で除した値と定義し、各条件の落下率を算出した。

#### 3.3 実験結果と考察

##### 3.3.1 落下率

実験結果（一部平成 28 年度の実験結果を含む。）から得られた落下率を表-3.2 に示す。実験条件の一項目に着目し、その実験条件が変化した場合の落下率の変化について以下に整理する。

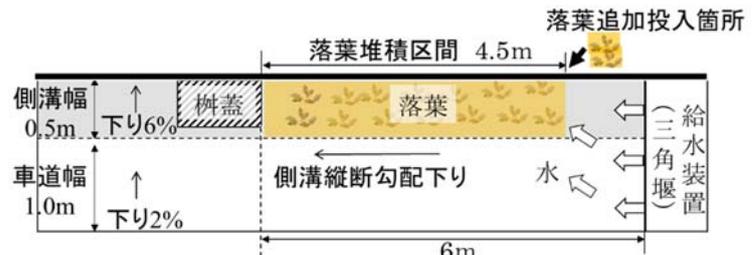


図-3.1 模型平面図

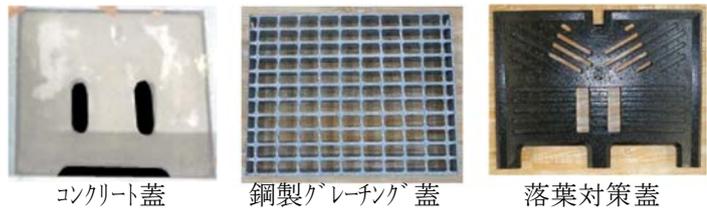
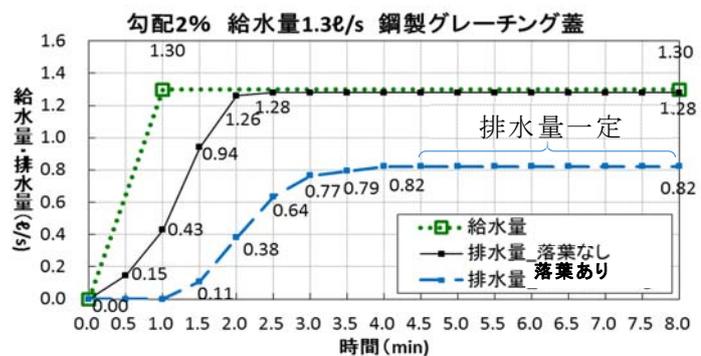


写真-3.1 枺蓋種類

表-3.1 実験条件及び測定項目

| 実験条件      | 詳細                                                                |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|
| 側溝縦断勾配    | 0.5%, 2%, 6%                                                      |
| 枺蓋種類      | コンクリート蓋, 鋼製グレーチング蓋, 落葉対策蓋<br>※蓋寸法は 460×400 mm 共通                  |
| 給水量       | 1.3 l/s, 2.6 l/s, 4.3 l/s<br>(30 mm/hr, 60 mm/hr, 100 mm/hr 降雨相当) |
| 落葉種類      | イチヨウ(8cm), ケキ(7cm), プラタナス(18cm)<br>(葉及び茎の合計最大長)                   |
| 総落葉堆積量    | 落葉湿潤重量 1, 3, 5 kg                                                 |
| 測定項目      | 計測方法                                                              |
| 給水量および排水量 | 枺外に設置した三角堰で 30 秒毎に計測                                              |



落葉ありの落下率 (%) =  $0.82 / 1.30 \times 100$   
 落葉なしの落下率 (%) =  $1.28 / 1.30 \times 100$

図-3.2 計測結果と落下率の求め方

### ① 樹蓋種類が落下率に与える影響

樹蓋種類の違いが落下率に与える影響を確認するため、樹蓋種類毎のケースについて落下率を比較した。

落葉なしの場合、コンクリート蓋、鋼製グレーチング蓋と落葉対策蓋のそれぞれの落下率を比較した。その結果、コンクリート蓋は全9ケースのうち、2ケースで落下率が最も大きく、7ケースで落下率が最も小さかった。鋼製グレーチング蓋の落下率は全9ケースすべてで落下率が最も大きかった。落葉対策蓋は全9ケースのうち、7ケースで落下率が最も大きく、落下率が最も小さいケースはなく、2ケースはそれ以外だった。このことから落葉がない場合は、コンクリート蓋の落下率は、落葉対策蓋と鋼製グレーチング蓋の落下率より小さくなりやすい傾向が確認された。

落葉がある場合、コンクリート蓋、鋼製グレーチング蓋と落葉対策蓋のそれぞれの落下率を比較した。その結果、鋼製グレーチングは全69ケースのうち、約1割の8ケースで落下率が最も大きく、約6割の38ケースで落下率が最も小さく、約3割の23ケースはそれ以外だった。コンクリート蓋の落下率は全69ケースのうち、約1割の5ケースで落下率が最も大きく、約4割の30ケースで落下率が最も小さく、約5割の34ケースはそれ以外だった。落葉対策蓋の全69ケースのうち、約9割の60ケースで落下率が最も大きく、1割未満の2ケースで落下率が最も小さく、約1割の7ケースはそれ以外だった。このことから、落葉がある場合は、コンクリート蓋より鋼製グレーチング蓋の方が落下率が小さくなりやすい傾向が確認された。これは、落葉がない場合にコンクリート蓋の落下率が鋼製グレーチング蓋の落下率以下となる傾

表-3.2 実験結果

| 側溝縦断勾配 (%) | 給水量 (ℓ/s) | 蓋種別      | 落下率(%) |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|------------|-----------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|            |           |          | 落葉無し   | ケヤキ   |       |       | イチョウ  |       |       | プラタナス |      |      |      |
|            |           |          |        | 1kg   | 3kg   | 5kg   | 1kg   | 3kg   | 5kg   | 1kg   | 3kg  | 5kg  |      |
| 0.5        | 1.3       | コンクリート蓋  | 97.1   | 75.9  | 75.9  | 64.1  | 94.3  | 47.8  | 47.8  | 80.9  | 83.5 |      |      |
|            |           | 鋼製グレーチング | 100.0  | 68.7  | 59.8  | 75.9  | 66.4  | 49.7  | 57.7  | 91.5  | 91.5 |      |      |
|            |           | 落葉対策蓋    | 100.0  | 100.0 | 91.5  | 75.9  | 100.0 | 100.0 | 68.7  | 86.1  | 83.5 |      |      |
| 0.5        | 2.6       | コンクリート蓋  | 100.0  | 72.1  | 41.3  | 45.2  | 95.7  | 52.4  | 35.1  | 63.4  | 53.9 |      |      |
|            |           | 鋼製グレーチング | 100.0  | 58.5  | 41.3  | 41.3  | 63.4  | 33.9  | 41.3  | 73.9  | 66.8 |      |      |
|            |           | 落葉対策蓋    | 100.0  | 100.0 | 91.5  | 46.6  | 100.0 | 100.0 | 95.7  | 66.8  | 72.1 |      |      |
| 0.5        | 4.3       | コンクリート蓋  | 76.8   | 75.3  | 32.2  | 23.9  | 75.3  | 58.5  | 21.7  | 37.9  | 41.0 |      |      |
|            |           | 鋼製グレーチング | 100.0  | 54.7  | 35.0  | 33.1  | 79.9  | 37.9  | 21.0  | 61.2  | 40.0 |      |      |
|            |           | 落葉対策蓋    | 100.0  | 100.0 | 83.1  | 27.9  | 100.0 | 100.0 | 83.1  | 51.1  | 54.7 |      |      |
| 2.0        | 1.3       | コンクリート蓋  | 100.0  | 78.3  | 55.6  | 55.6  | 83.5  | 66.4  | 53.6  | 78.3  | 59.8 |      | 71.0 |
|            |           | 鋼製グレーチング | 100.0  | 71.0  | 59.8  | 71.0  | 51.6  | 55.6  | 57.7  | 68.7  | 86.1 |      | 64.1 |
|            |           | 落葉対策蓋    | 100.0  | 100.0 | 100.0 | 97.1  | 100.0 | 88.8  | 100.0 | 71.0  | 94.3 |      | 97.1 |
| 2.0        | 2.6       | コンクリート蓋  | 87.4   | 85.3  | 52.4  | 48.0  | 100.0 | 41.3  | 46.6  | 77.6  | 72.1 | 60.1 |      |
|            |           | 鋼製グレーチング | 100.0  | 75.7  | 45.2  | 38.7  | 50.9  | 33.9  | 30.6  | 60.1  | 35.1 | 56.9 |      |
|            |           | 落葉対策蓋    | 100.0  | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 95.7  | 65.1  | 43.9 | 66.8 |      |
| 2.0        | 4.3       | コンクリート蓋  | 72.4   | 63.8  | 41.0  | 36.0  | 68.0  | 37.9  | 41.0  | 48.7  | 33.1 | 37.9 |      |
|            |           | 鋼製グレーチング | 100.0  | 72.4  | 38.9  | 27.1  | 70.9  | 65.2  | 72.4  | 41.0  | 45.3 | 45.3 |      |
|            |           | 落葉対策蓋    | 100.0  | 100.0 | 96.5  | 86.3  | 96.5  | 96.5  | 93.0  | 76.8  | 28.7 | 48.7 |      |
| 6.0        | 1.3       | コンクリート蓋  | 78.3   | 73.4  | 78.3  | 78.3  | 100.0 | 97.1  | 64.1  |       |      |      |      |
|            |           | 鋼製グレーチング | 100.0  | 57.7  | 57.7  | 68.7  | 100.0 | 68.7  | 35.8  |       |      |      |      |
|            |           | 落葉対策蓋    | 100.0  | 100.0 | 94.3  | 94.3  | 100.0 | 100.0 | 91.5  |       |      |      |      |
| 6.0        | 2.6       | コンクリート蓋  | 63.4   | 87.4  | 55.4  | 45.2  | 68.5  | 49.4  | 46.6  |       |      |      |      |
|            |           | 鋼製グレーチング | 97.8   | 75.7  | 63.4  | 61.7  | 55.4  | 58.5  | 63.4  |       |      |      |      |
|            |           | 落葉対策蓋    | 95.7   | 91.5  | 97.8  | 91.5  | 95.7  | 97.8  | 97.8  |       |      |      |      |
| 6.0        | 4.3       | コンクリート蓋  | 54.7   | 59.8  | 28.7  | 32.2  | 75.3  | 36.0  | 30.4  |       |      |      |      |
|            |           | 鋼製グレーチング | 98.2   | 56.0  | 54.7  | 48.7  | 61.2  | 47.6  | 45.3  |       |      |      |      |
|            |           | 落葉対策蓋    | 89.6   | 86.3  | 93.0  | 83.1  | 83.1  | 89.6  | 86.3  |       |      |      |      |

向がみられた結果と逆の結果が示されたことになる。落葉対策蓋ほどの樹蓋よりも落下率が大きくなりやすい傾向が確認された。

### **②給水量が落下率に与える影響**

落葉がない場合の落下率は、給水量 1.30/s と 2.60/s の時の落下率を比較すると、全 9 ケース中 8 ケースで 2.60/s のほうが落下率が小さい又は同値だった。給水量 2.60/s と 4.30/s の時の落下率を比較すると、9 ケース中 8 ケースで 4.30/s の方が落下率が小さい又は同値だった。このことから落葉が無い場合は、給水量が大きい時の落下率が、給水量が小さい時の落下率以下となる傾向がみられた。

落葉がある場合は、給水量 1.30/s と 2.60/s を比較すると 69 ケースのうち、約 8 割の 54 ケースで 2.60/s の方が落下率が小さい又は同値だった。2.60/s と 4.30/s では 69 ケースのうち、約 8 割の 58 ケースで 4.30/s の方が落下率が小さい又は同値だった。このことから落葉がある場合も、給水量が大きい時の落下率が、給水量が小さい時の落下率以下となる傾向がみられた。

### **③側溝縦断勾配が落下率に与える影響**

落葉がない場合、側溝縦断勾配 0.5%と 2%を比較すると、全 9 ケースのうち 8 ケースで 2%の方が落下率が小さい又は同値だった。2%と 6%を比較すると、全 9 ケースのうち 8 ケースで 6%の方が落下率が小さい又は同値だった。このことから、落葉がない場合は、側溝縦断勾配が大きい時の落下率が、側溝縦断勾配が小さい時の落下率以下となる傾向がみられた。

落葉がある場合、0.5%と 2%を比較すると、全 72 ケースのうち約 6 割の 43 ケースで 0.5%の方が落下率が小さい又は同値だった。また、2%と 6%を比較すると、全 54 ケースのうち約 6 割の 34 ケースで 6%の方が落下率が小さい又は同値だった。このことから、落葉がある場合は、側溝縦断勾配が 0.5%と小さい時又は側溝縦断勾配が 6%と大きい時の落下率が、側溝縦断勾配が 2%の時の落下率以下となる傾向がみられた。

### **④落葉堆積量が落下率に与える影響**

落葉がない場合と落葉が 1、3、5kg 堆積した場合の落下率を比較した全 207 ケースのうち約 9 割の 196 ケースで落葉が堆積したほうが落下率が小さい又は同値だった。落葉量の増加が落下率に与える影響について、落葉がない場合と落葉 1kg を比較すると、全 72 ケースのうち 9 割程度の 66 ケースで落葉 1kg の方が落下率が小さい又は同値だった。落葉 1kg と落葉 3kg を比較すると、全 72 ケースのうち 8 割程度の 58 ケースで落葉 3kg の方が落下率が小さい又は同値だった。落葉 3kg と落葉 5kg を比較すると、全 63 ケースのうち 7 割程度の 44 ケースで落葉 5kg の方が落下率が小さい又は同値だった。上述のことが過半数以上のケースで確認されたことから、落葉堆積量が大きい時の落下率が落葉堆積量が小さい時の落下率以下となる傾向がみられた。

### **⑤落葉種類が落下率に与える影響**

ケヤキとイチョウの落下率を比較すると、全 81 ケースのうち約 6 割の 47 ケースでイチョウの方が落下率が小さい又は同値だった。このうちケヤキとイチョウが同値なケースは 11 ケースあり、この同値を除くと過半数を占めるようなケヤキとイチョウの違いはなく、落下率への明確な影響はみられなかった。

プラタナスは、他のケヤキやイチョウと比較すると、特に落葉対策蓋において落下率が小さくなる傾向がみられた。

### 3.3.2 落葉堆積形状

実験の中で、上記以外に給水終了後の柵蓋周辺における落葉堆積形状によって、落下率が異なる傾向が確認された。そこで、特徴的な落葉堆積形状を形状 A とし、それ以外の落葉堆積形状をその他として、落下率の違いについて分析した。今回落葉種類がケヤキの場合についてのみ整理した。形状 A は図-3.3 に示すように、柵蓋の上には堆積せず蓋の上流側から道路側の蓋末端まで連続して落葉が堆積する形状である。表-3.3 に示すとおりケヤキの場合、全 81 ケース中 10 ケースあり、流量が 2.6 l/s 以上、勾配が 2%以下、さらに落葉堆積量が 3kg 以上の場合に生じやすい傾向を示すことが確認できた。図-3.4 に落葉堆積形状ごとの落下率を示す。形状 A とその他の落下率を確認すると、実験条件に係わらず形状 A がその他に比べて落下率が小さいことがわかった。

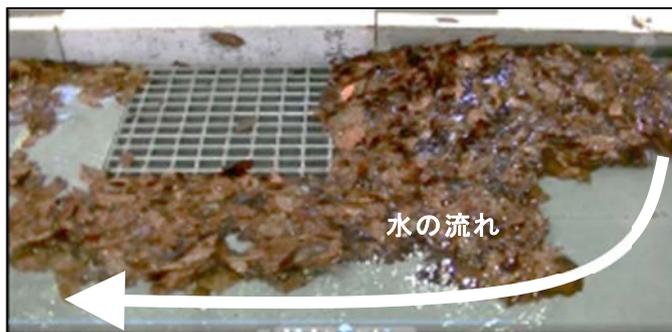


図-3.3 落葉堆積形状 A

表-3.3 形状 A が生じた実験条件 (ケヤキ)

| 側溝縦断勾配 (%) | 落葉堆積量(kg) | 1        |     |     | 3        |     |     | 5        |     |     |
|------------|-----------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|
|            |           | 給水量(l/s) |     |     | 給水量(l/s) |     |     | 給水量(l/s) |     |     |
|            |           | 1.3      | 2.6 | 4.3 | 1.3      | 2.6 | 4.3 | 1.3      | 2.6 | 4.3 |
| 0.5        | コンクリート蓋   |          |     |     |          |     |     |          | A   | A   |
|            | 鋼製グレーチング蓋 |          |     |     |          | A   | A   |          | A   | A   |
|            | 落葉対策蓋     |          |     |     |          |     |     |          | A   | A   |
| 2.0        | コンクリート蓋   |          |     |     |          |     |     |          |     |     |
|            | 鋼製グレーチング蓋 |          |     |     |          |     |     |          | A   | A   |
|            | 落葉対策蓋     |          |     |     |          |     |     |          |     |     |
| 6.0        | コンクリート蓋   |          |     |     |          |     |     |          |     |     |
|            | 鋼製グレーチング蓋 |          |     |     |          |     |     |          |     |     |
|            | 落葉対策蓋     |          |     |     |          |     |     |          |     |     |

形状 A の落下率が小さい理由については、水が蓋の周りに堆積した落葉を迂回して下流側に流下し、水が柵に落下しなかったためと考えられる。ケヤキ以外の落葉種類については今後検討する予定である。

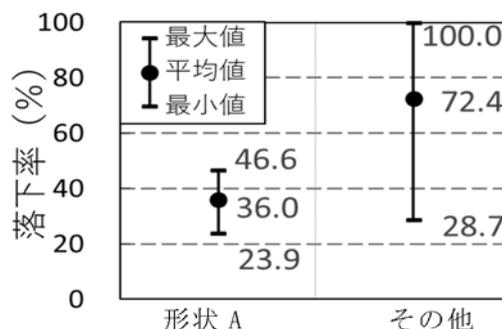


図-3.4 落葉堆積形状と落下率 (ケヤキ)

### 3.3.3 結論

本研究よりわかったことを以下に記す。

- ・ 落葉によって柵蓋の排水能力は低下する。実際に観測された 5kg 程度の落葉量で落下率が半分以下に低下するケースが確認され、最小値は 21.0%であった。
- ・ 柵蓋種類、落葉堆積量、落葉種類、給水量、側溝縦断勾配に加えて、柵蓋周辺における落葉の堆積形状が柵蓋の排水能力に影響を及ぼすと考えられる。
- ・ 落葉対策蓋はどの実験条件においてもコンクリート蓋及び鋼製グレーチング蓋に比べて排水能力が低下しづらいが、葉が比較的大きいプラタナスに対する効果は限定的である。

## 4. まとめ

平成 29 年度は、既設雨水ポンプを対象に、ポンプ地点以外の下水管内水位を用いた制御を

行う際の水位観測地点の設定手法について検討するとともに、落葉等が雨水柵蓋の排水能力に与える影響について、模型実験と分析を行った。平成 30 年度も引き続き研究を行うことで、本研究で得られた成果及び知見は、雨水管理計画策定のための基礎情報として活用するとともに、今後、地方自治体において都市浸水対策を進める際の参考資料としての活用が期待できる。

#### 参考文献

- 1) 中村裕美、横田敏宏、松浦達郎、麦田藍：現地調査からみた雨水柵の排水性能に影響を及ぼす要因に関する分析について、H28 年度下水道研究発表会、pp.452-454

### 3. 下水道新技術の導入支援に関する調査

下水道研究部 下水道研究官 南山 瑞彦  
下水道研究室 研 究 官 川島 弘靖

#### 1. はじめに

下水道の中長期的な方向性や未来像を示すものとして、平成 26 年 7 月に、国土交通省及び公益社団法人日本下水道協会により「新下水道ビジョン」<sup>1)</sup>が作成、公表された。これを受け、国総研では、新下水道ビジョンで示された長期ビジョンや中期目標を達成するために必要な技術開発の中長期的な方向性示すものとして、平成 27 年 12 月に「下水道技術ビジョン」<sup>2)</sup>を策定した。また、下水道技術ビジョンのフォローアップと技術開発の推進方策を検討するための場として、平成 28 年 1 月に下水道技術開発会議（事務局：国総研）を設置し、定期的に下水道技術ビジョン・ロードマップ重点課題の選定やロードマップの一部改定等を実施している。

平成 29 年度の本調査では、下水道技術ビジョンのフォローアップの一環として、下水道事業の技術的課題・ニーズに関する分析、ロードマップ重点課題の選定、ロードマップの一部改定、下水道技術の開発・導入促進に向けた課題に関する検討を行った。また、その結果を「下水道技術開発レポート 2017」<sup>3)</sup>としてとりまとめ、平成 30 年 6 月に公表した。本稿では、下水道技術開発レポート 2017 の内、下水道事業の技術的課題・ニーズに関する分析結果と、下水道技術の開発・導入促進に向けた課題に関する検討内容について示す。

#### 2. 下水道事業の技術的課題・ニーズに関する分析

下水道技術開発会議の検討課題である「技術ニーズの把握と発信」のため、平成 28 年度に引き続き、下水道事業者へのアンケート調査と、複数の地方公共団体へのヒアリング調査を行った。さらに、各地方における課題が集約される会議の議題を収集し、技術的課題を抽出した。

##### (1) 下水道事業者へのアンケート調査

全国の下水道事業を実施中の市町村（一部事務組合を含む）及び都道府県を対象に、アンケート方式による調査「下水道技術ビジョンにおける技術的課題（技術ニーズ）等に関する調査」を実施した。アンケートは、平成 29 年 5 月に発出、6 月に回収（回答数：1464 団体）し、以下の内容について情報を収集した。

##### 調査 1 今後の新技術導入の可能性について

下水道技術ビジョンのロードマップに掲げられた技術開発分野①～⑪の主な技術開発項目について、今後 5 年（10 年）程度での導入・活用の可能性として、以下 1～6 の選択肢の中から最もあてはまる項目を選択。

- 1：可能性は比較的高い
- 2：可能性は中程度（五分五分）
- 3：可能性は中程度だが、10 年先には可能性は高まると考えられる
- 4：可能性は低い（概ね 30% 以下）
- 5：可能性は低い、10 年先には可能性は高まると考えられる
- 6：不明（現状では判断ができない。技術の内容が不明）

なお、本調査は平成 28 年度から実施しており、平成 29 年度の調査では、平成 28 年度に選定した下水道技術ビジョン・ロードマップ重点課題や、国土交通省の i-Gesuido の取組みに関する技術開発項目で、平成 28 年度に未調査であった 14 項目（表 2-1）を追加し、合計 63 の技術開発項目に対する技術ニーズ調査を実施した。

表 2-1 今回のアンケート調査で追加した技術開発項目

| 技術開発項目番号 | 技術開発項目                                                | H28年度<br>ロードマップ<br>重点課題 | i-Gesuido |
|----------|-------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|
| ②1-1     | 低コストで使いやすいデータベースシステムの構築                               |                         | ○         |
| ②1-2     | 研究成果の政策分野等への活用技術                                      |                         | ○         |
| ②2-1     | 調査優先度判定技術、劣化予測技術等の開発・向上(ソフト)                          | ○                       | ○         |
| ②2-4     | 異常時通報可能な状態監視システムの開発(処理水質、MH蓋、異臭、陥没等)                  | ○                       | ○         |
| ④2       | 下水道と河川の一体的な計画策定と解析手法の確立を支える技術の開発                      |                         | ○         |
| ④3       | 施設情報と観測情報を起点とした既存ストックの評価・活用に関する技術の開発                  |                         | ○         |
| ④4       | 自助を促進するための技術開発                                        |                         | ○         |
| ④5       | 都市計画や住宅分野における雨水流出量の制御を実施する技術開発                        |                         | ○         |
| ⑨1-1     | 地域の草木質の脱水助剤への活用技術                                     | ○                       |           |
| ⑨3-2     | メタン発酵消化液からのリン回収技術                                     | ○                       |           |
| ⑪1-2     | 水処理・汚泥処理の全体最適化による省エネ技術(流入有機物の回収による水処理負荷軽減、担体利用技術等)    | ○                       |           |
| ⑪1-4     | 送風プロセス(送風機、制御システム、散気装置等)の最適化による省エネ技術                  | ○                       |           |
| ⑪1-5     | 活性汚泥法代替の曝気を行わない省エネ型水処理技術(散水ろ床タイプ、嫌気性処理、湿地処理等)         | ○                       |           |
| ⑪1-7     | 汚泥のエネルギー化により、省エネと創エネを同時に行う技術の高度化(低含水化、汚泥移送、燃料化、焼却発電等) | ○                       |           |

調査 1 の技術ニーズに関するアンケート調査結果（全体のまとめ）を図 2-1 に示す。

全体で技術ニーズを「比較的高い」または「中程度」とする割合が多かった技術開発分野※1は、「③地震・津波対策」であった。それ以外で技術ニーズを「比較的高い」、「中程度（将来高）」または「低い（将来高い）」とする割合が多かった技術開発分野は、「①持続可能な下水道システム-1（再構築）」と「②持続可能な下水道システム-2（健全化・老朽化対策、スマートオペレーション）」であった。また、図 2-2 の平成 28 年度のアンケート調査結果（全体のまとめ）と平成 29 年度の調査結果を比較したところ、ニーズの傾向に特に大きな変化は無かった。

※1 技術開発分野別のニーズ回答比率は、調査対象とした技術開発項目の回答比率を技術開発分野別に平均したものであり、分野全体でのニーズを調査したものでは無い。

※2 以下に述べる都市規模の分類は、大都市：行政人口 30 万人以上、中都市：同 5 万人～30 万人、小都市：同 5 万人未満とした。

※3 回答の比率は、全ての回答数に占める割合であり、個別の技術ニーズに関係しない下水道事業者（例. 雨水管理を実施していない団体、処理場を有さない団体等）の回答数も含まれる。

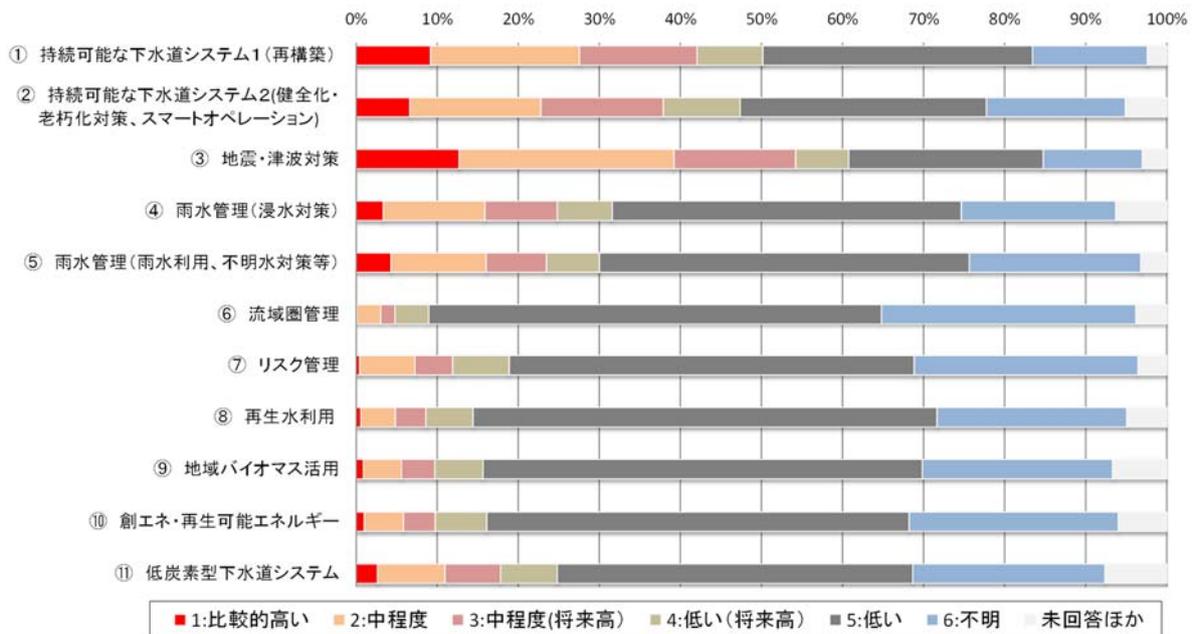


図 2-1 平成 29 年度技術ニーズアンケート調査結果（全体）

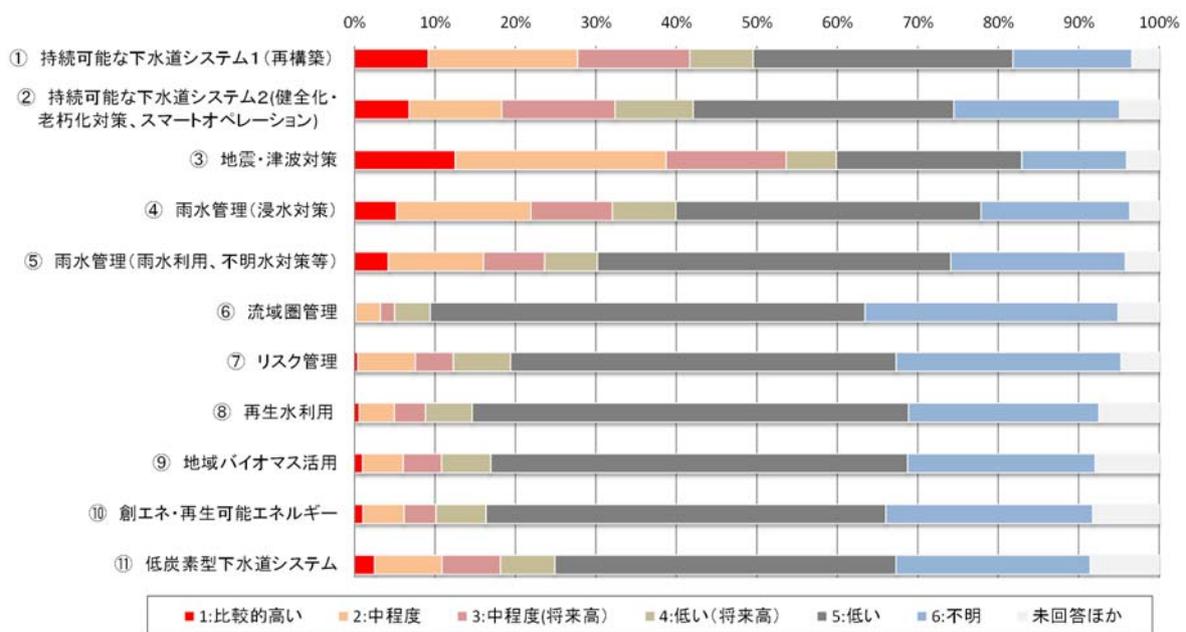


図 2-2 平成 28 年度技術ニーズアンケート調査結果（全体）

なお、平成 29 年度調査で新たに追加した技術開発項目で、ニーズの回答傾向に特徴のあった主なものについて以下に示す。

②持続可能な下水道システム 2（健全化・老朽化対策、スマートオペレーション）

新たに調査した技術開発項目に共通する傾向として、大都市ほどニーズが高いとする回答が多かった。また、早期に合流式下水道による整備を始めた都市では、老朽化施設が多いためか、合流式下水道を採用している都市でニーズが高いとする回答が多かった。特に、「②2-1 調査優先度判定技術、劣化予測技術等の開発・向上（ソフト）」については、技術導入可能性を高いとする回答が多く（図 2-3）、既に建設からマネジメント時代に移行していること、平成 27 年

の下水道法改正において維持修繕基準が創設されたこと等から、管路管理に関する技術開発が求められていると考えられる。

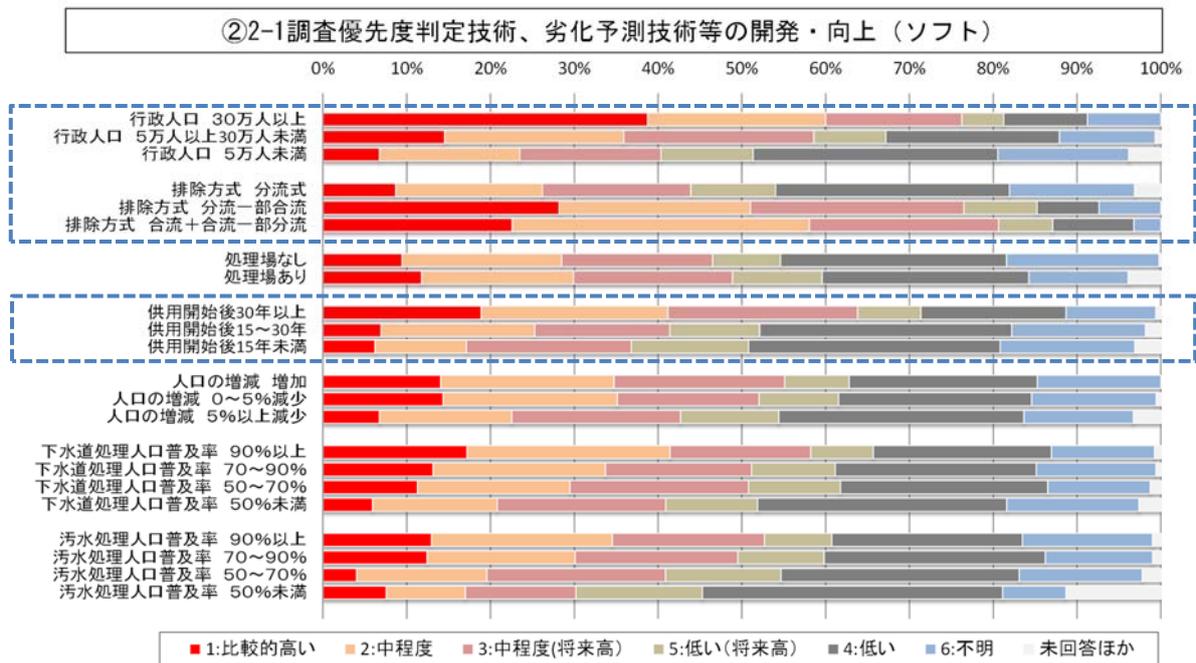


図 2-3 調査優先度判定技術、劣化予測技術等の開発・向上（ソフト）

#### ④雨水管理（浸水対策）

浸水対策については、技術開発項目全てにおいて、大都市や合流式下水道を採用している都市では、技術の導入可能性を「比較的高い」～「中程度（将来高）」とする回答割合が合計 50%を超える、もしくは 50%程度の結果となり、浸水対策のニーズの高さが明らかとなった。

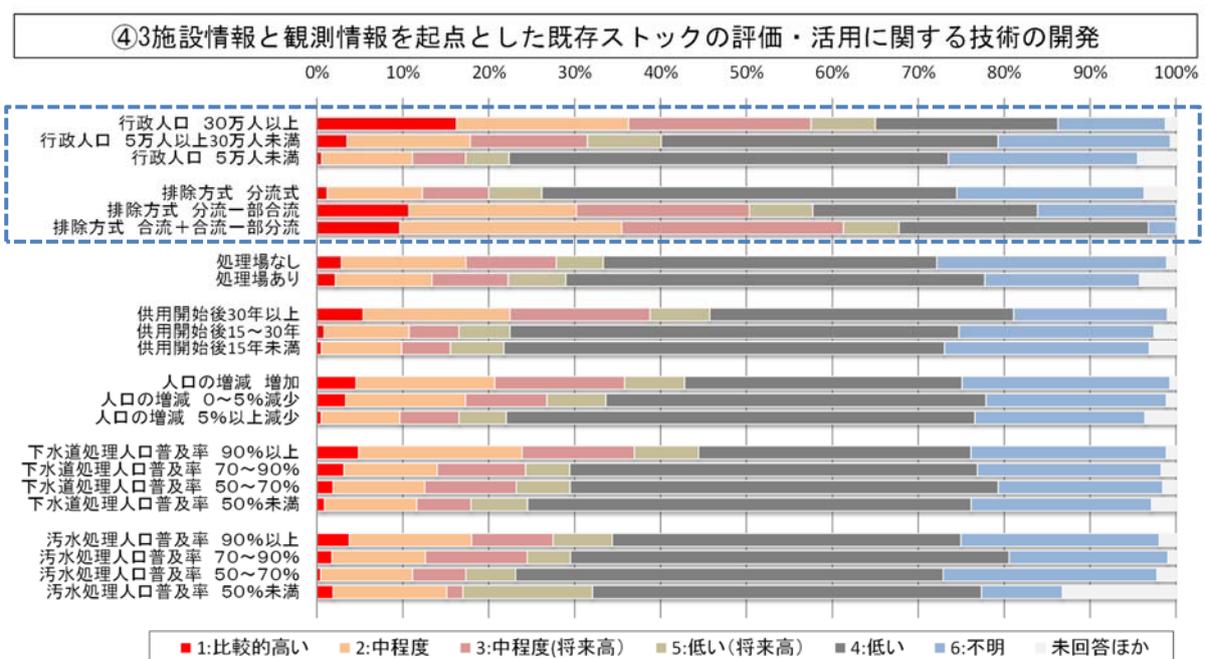


図 2-4 施設情報と観測情報を起点とした既存ストックの評価・活用に関する技術の開発

### ⑨地域バイオマス活用

全体的な技術ニーズはさほど高くないが、大都市では、ニーズが将来高まるとする回答が10%程度だった。

### ⑩低炭素型下水道システム

新たに調査した技術開発項目の内、「⑩1-5 活性汚泥法代替の曝気を行わない省エネ型水処理技術（散水ろ床タイプ、嫌気性処理、湿地処理等）」を除く3項目については、大都市及び下水道処理人口普及率が高い都市でニーズが高いとする回答が多かった。特に、「⑩1-4 送風プロセス（送風機、制御システム、散気装置等）の最適化による省エネ技術」については、技術開発分野⑩の中でも技術導入可能性を高いとする回答が多く（図2-5）、下水処理場のエネルギー消費量の大半を占める送風プロセスの省エネ化が特に求められていると考えられる。

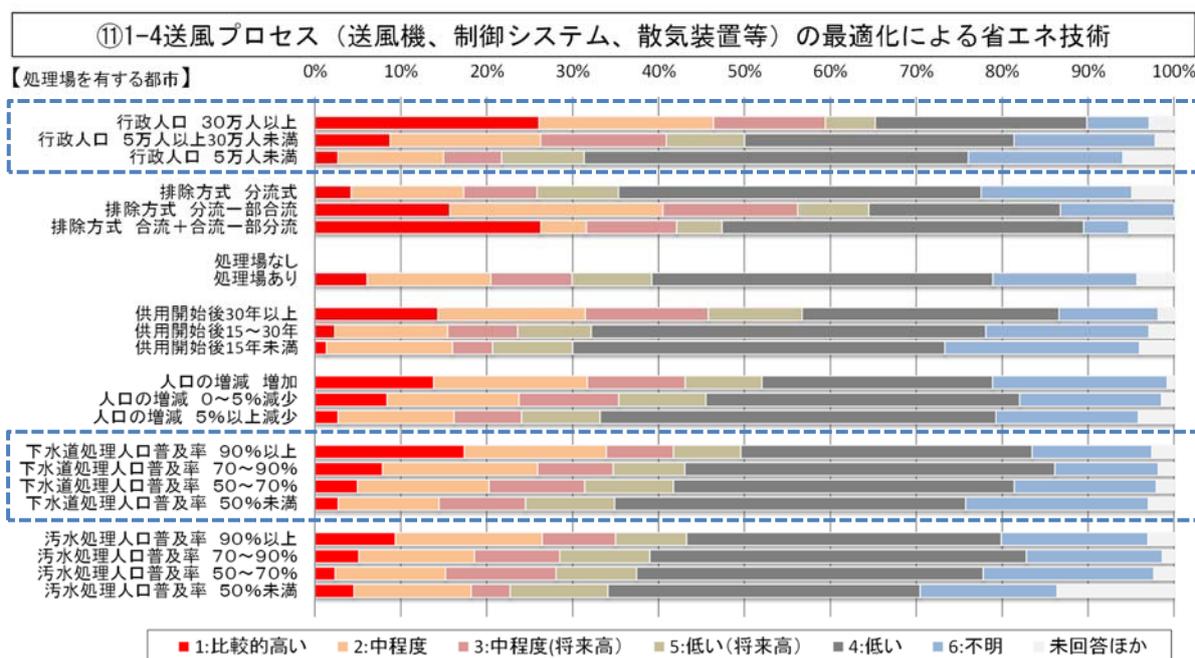


図2-5 送風プロセス（送風機、制御システム、散気装置等）の最適化による省エネ技術

なお、本文中に示した下水道技術ビジョンにおける技術開発項目に対するニーズ調査結果（図2-1～図2-5）以外の集計結果は参考文献<sup>3)</sup>に示している。

### （2）中小都市における技術ニーズや課題の抽出

中小都市における技術ニーズや課題の抽出を目的として、複数の地方公共団体へのヒアリング調査を実施した。ヒアリング先は、都道府県から4団体、市町村から3団体の合計7団体に対して実施した。表2-2に技術的課題、技術ニーズに関する主な意見等を整理した。

上述した全体の技術ニーズ調査結果と同様に、「①持続可能な下水道システム-1（再構築）」と「②持続可能な下水道システム-2（健全化・老朽化対策、スマートオペレーション）」に関する技術開発が必要という意見が多かった。また、複数の地方公共団体より、施設規模が小さい中小都市向けの技術開発を望むという意見があった。

表 2-2 ヒアリング調査における主な意見

| 対象施設          | 技術的課題・ニーズ                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 管きよ           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ◎未普及解消のため、低コスト面整備技術のニーズがある</li> <li>・ ◎圧送管における硫化水素対策と調査方法の確立が必要である</li> <li>・ ◎低コストかつ施工時間が短く、狭小な施工スペース等でも施工可能な管更生技術があると良い</li> <li>・ 低コストで短工期の管路調査技術があると良い</li> </ul> ※ その他、軟弱地盤等で沈下した管渠を復旧方法、老朽管の強度確認方法、効率的な合流改善と浸水対策の実施等についての要望あり |
| 処理場<br>(水処理)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ◎人口減少に対応する、処理場のダウンサイジング技術のニーズがある</li> <li>・ 小規模処理場向けの省電力・省メンテナンスの水処理技術があると良い</li> <li>・ 1系列しかない(代替施設のない)施設の改築更新手法や、大型施設改築の際の代替手法の確立が必要である</li> </ul> ※ その他、し尿の下水処理場への直接投入に起因する放流水の脱色技術についての要望あり                                     |
| 処理場<br>(汚泥処理) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ エネルギー利用を目的とした消化槽建設を導入したが、インシヤルコストが高い上、維持管理費の負担が大きい(浚渫清掃費の平準化が難しいため)</li> </ul> ※ その他、消化槽・貯留槽の汚泥等蓄積状況の確認手法、閉塞しづらい脱水ケーキの移送方法について要望あり                                                                                                  |
| その他全般         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ◎今後、改築更新が財政的な負担となるため、低コストな改築更新技術が必要</li> <li>・ ◎不明水対策が課題である(調査・対応方法、経営への影響)</li> <li>・ ◎省力・低コストな遠隔監視技術があると良い</li> <li>・ ◎中小自治体向けの技術開発を期待する</li> </ul> ・ 機械設備工事の更新や増築時など、耐震に関する検討が煩雑かつ時間を要するため、簡易的な検討方法を確立してほしい                      |

[表中の◎は複数団体からの意見]

### (3) 各種会議における議題の収集・分析

下水道分野では、地方ブロック毎の会議、政令市を中心とした会議、中核市を中心とした会議等、様々なレベルにおいて各種会議が開催されている。会議では、各都市における課題と解決策等を共有する等の取組が行われているため、今年度は、複数の会議における議題を収集し、技術的な課題の抽出及び分析を試みた。収集した議題数は合計 115 あり、その内、技術的な課題に関する議題数は 12 だった。表 2-3 に技術的な課題に関する内容を整理した。

「②持続可能な下水道システム-2 (健全化・老朽化対策、スマートオペレーション)」の内、管路管理に関する技術的な課題が最も多く、次いで、浸水対策、資源利用及び ICT 技術に関する課題があった。また、技術的課題を解決するための方策として、技術開発だけでなく、他都市の好事例の共有を求める傾向があった。

表 2-3 技術的な課題に関する議題の概要

| テーマ                                  | 概要                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ストックマネジメント計画の策定支援                    | 塩化ビニル管採用先進都市の劣化予測事例や研究機関による健全度評価を踏まえた上での「塩化ビニル管の経過年数に対する劣化予測式」の作成                                                                                   |
| 圧送管等の点検調査                            | 圧送管及び伏越し部における効率的な点検・調査事例                                                                                                                            |
| 管路維持管理に必要な点検方法、点検で見つけるべき劣化要因の分析、劣化評価 | 管路維持管理を適切に行っていくには、どのような点検をしていけば良いのか、また、点検で見つけるべき劣化要因の分析や劣化評価をどのように行い、ストックマネジメント計画に反映していくのか                                                          |
| スクリーニング調査導入時の基本的な考え方                 | スクリーニング調査の基本的な考え方(調査地区の選定、調査技術の選定、データの蓄積方法、詳細調査の必要性判断など)                                                                                            |
| 下水道施設鋼管等の補強方法                        | 処理場内の鋼管の補強方法の技術開発や対応方法として、既存技術(紫外線硬化方法等)について評価し、口径及び圧力、補強範囲、単位コスト等を整理して最適な選定フロー等をマニュアル化                                                             |
| 下水道施設におけるCO2の有効利用方法                  | 膜分離方式による消化ガス精製において、精製したメタンのほか分離したCO2の有効利用事例                                                                                                         |
| 汚泥処分費の削減                             | 汚泥処分費の削減に着眼した際の新技術導入または維持管理上の工夫                                                                                                                     |
| 雨水貯留施設(貯留管)の設計手法                     | 雨水貯留施設の具体的設計手法(シミュレーション技術の向上及び水と空気の流れの解析)の確立                                                                                                        |
| 雨天時における情報収集                          | 計画降雨以上の雨水による内水氾濫リスクを軽減するためには、ハード及びソフト対策のいずれを実施するとしても、浸水シミュレーションの精度向上が課題<br>効果検証を実施するためには、雨天時における現地の情報収集が必須であるが、雨水管内での水位観測のみならず、地上での情報収集も検討していく必要がある |
| ICTを積極的に活用した施設維持管理システム等の支援           | 急激かつ膨大に老朽化していく下水道施設を適切に維持管理し、改築更新を進めていくため、また、近年、多発しているゲリラ豪雨等に対応するため、ICTを積極的に活用した施設維持管理システム等の構築などについて、技術的支援や先進事例等の積極的な情報発信を行うことを要望                   |
| ICT技術の導入                             | 下水道事業の抱える様々な課題に対して、ICTの活用により下水道事業の質・効率性の向上を図る「i-gesuido」の取組を推進しているが、他都市のICT導入状況(ICT関連技術・システム、活用用途、課題)                                               |
| 代替機能の無い水槽構造物の防食等改築工事の効率化             | 代替機能の無い(複数系列化していない)水槽構造物防食工事等の改築工事において、その機能を確保しながら当該構造物をドライ化する技術(代替機能を確保する仮設構造物の設置には多額の費用を要するケースが多いため)                                              |

### 3. 下水道技術の開発・導入促進に向けた課題に関する検討

下水道の事業主体が抱える技術的課題に対応しうる新技術は、できるだけ早期に実装されることが望ましい。しかしながら、開発された技術が実装されるまでには相当の年月を要するという声も聞かれる。このため、有用な新技術の実装が円滑に進むように、事業主体が抱える新技術導入上の課題を把握し、新技術の導入促進方策を検討する必要がある。(1)には、平成29年度のアンケート及びヒアリング調査結果に基づく新技術導入上の課題の分析結果を示す。また、(2)には、新技術の開発・導入促進に関する検討内容について示す。

#### (1) 技術開発・導入に関する課題分析

##### 1) 下水道事業者へのアンケート調査

アンケート調査は、2(1)の調査と同時に行い、以下の情報について収集した。

調査 2 新技術導入の際の不安材料、ネックとなる事項として、以下1～7の選択肢の中からあてはまる項目を選択(3項目まで選択可)

- 1 : 新技術の性能への信頼性に不安がある
- 2 : 現状の課題に適応可能な新技術が存在するのかどうか自体が不明
- 3 : 類似の技術・手法がある中で最適なものを選択することが困難
- 4 : 既存技術と比べて導入時の初期コストが高くなる
- 5 : 新技術に関する積算基準・技術指針等の整備が不十分
- 6 : 特定企業の開発技術は入札等の手続き上、導入が難しい
- 7 : その他 ⇒自由意見の記入

アンケート調査の集計結果を図 3-1 に示す。都市規模別の回答傾向を見ると、大都市では、「新技術に関する積算基準・技術指針等の整備が不十分 (5:積算・技術基準)」とする回答が多く、技術の調達に関する具体的な懸念が高いことが分かる。また、中小都市と比較すると、「新技術の性能への信頼性に不安がある (1:信頼性に不安)」の回答も多い。一方、中小都市では、「適用可能な新技術が存在するかどうか自体が不明 (2:情報不足)」、「類似の技術・手法がある中で最適なものを選択することが困難 (3:技術選択困難)」とする回答が多く、導入検討の入口がハードルとなっていると言える。全体的に、積算基準・技術指針等の整備不十分に対する懸念は多く、新技術導入の上で、基準類の整備が重要であることが分かる。

また、新技術導入上の課題についての自由意見の主な回答の整理結果を表 3-1 に示す。自由意見では中小都市からの回答が多く、「中小都市に適用できる新技術が見当たらない」(60 件)、「技術職員の不足により新技術導入の検討が出来ていない」(31 件) など、中小都市の抱える課題が明らかになった。また、新技術のコストや財源確保などの課題もあり、低コストな技術へのニーズが高いことが分かる。

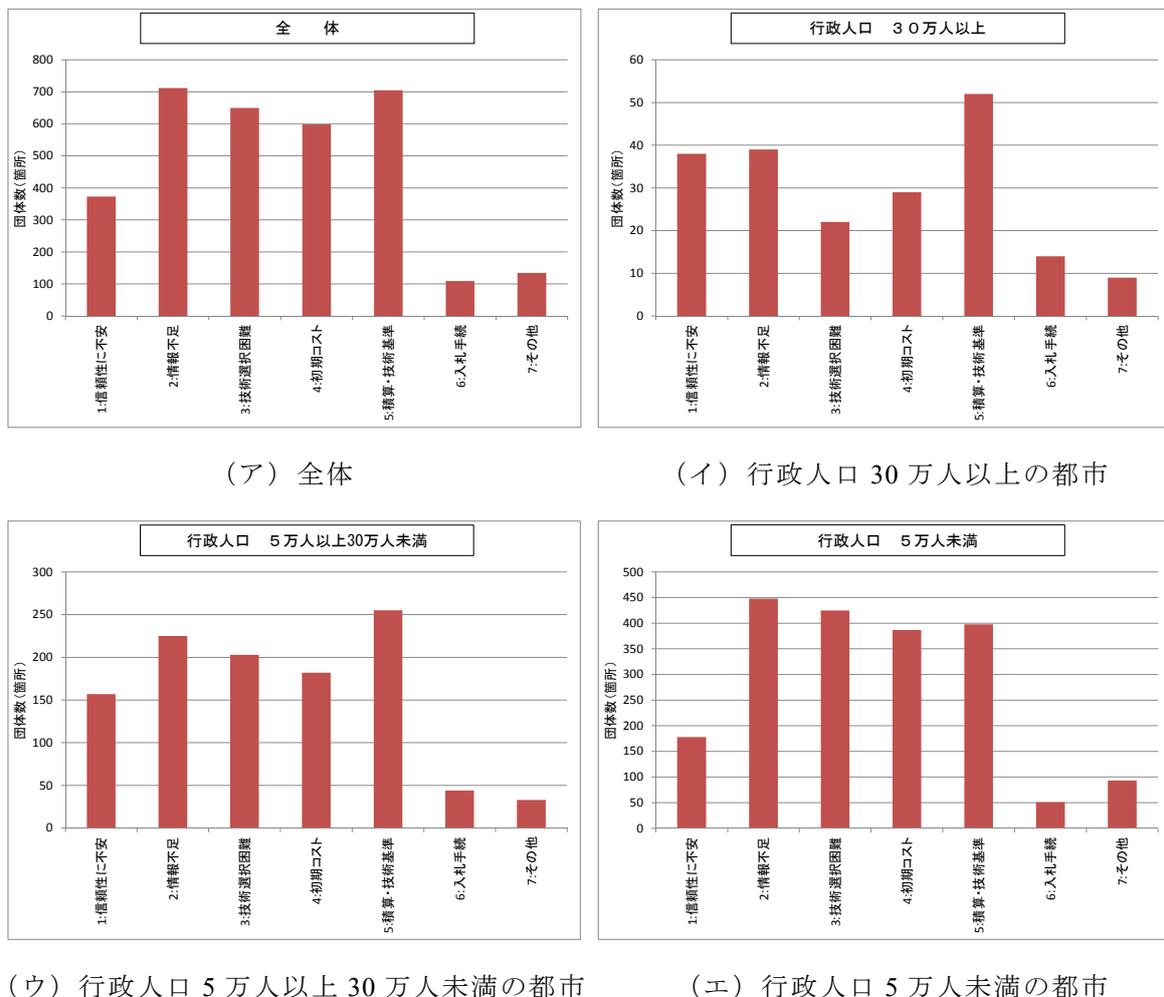


図 3-1 新技術導入上の課題 (都市規模別)

表 3-1 新技術導入上の課題（自由意見の概要）

| 主な回答(趣旨)                    | 該当数 |
|-----------------------------|-----|
| 1 適用できる新技術が見当たらない           | 60  |
| 2 技術職員の不足により新技術導入の検討が出来ていない | 31  |
| 3 新技術のコストが高い、費用対効果が不明       | 13  |
| 4 新技術に関する情報不足のため、適用できるか不明   | 10  |
| 5 当該技術が実績不足・評価不十分のため手が出せない  | 5   |
| 6 会計検査において説明できない            | 3   |
| 7 維持管理性(故障・不具合対応)が不安        | 3   |
| 8 住民の理解が得られない               | 3   |
| 9 財源の確保が難しい                 | 9   |
| 10 その他                      | 18  |
| 合計                          | 155 |

今回の調査では、新技術の情報不足、技術選択困難等の技術導入の際の入り口の課題が解決された場合、その後の入札契約手続きの際に考えられる課題についても調査を行った。

主な回答の整理結果は表 3-2 のとおりであり、回答で最も多かったのは、「新技術のため、特定企業に限定され競争性が働かない」や「公平性・透明性が担保されない」(39 件)であり、競争入札を基本としている中で特定企業に限定されることを懸念している自治体が多かった。また、「入札参加資格や技術仕様の設定が困難」や「入札参加者の実績、技術の確認が困難」(17 件)、「積算基準が無く予定価格の設定が困難」(7 件)という意見が多く、入札参加条件・仕様書を作成する上で基準類が必要であると考えている自治体が多かった。さらに、「地元企業での対応が困難」(7 件)という回答も多く、地元企業への配慮が見受けられた。

表 3-2 入札契約手続きの際に考えられる課題（自由意見の概要）

| 主な回答(趣旨)                           | 該当数 |
|------------------------------------|-----|
| 1 特定企業に限定され競争性が働かない、公平性・透明性が担保されない | 39  |
| 2 入札参加資格や技術仕様の設定・確認が困難             | 17  |
| 3 積算基準等が無く、予定価格の設定が困難              | 7   |
| 4 地元企業での対応が困難                      | 7   |
| 5 技術力不足により技術を評価できない                | 6   |
| 6 会計検査対応に不安                        | 1   |
| 7 その他                              | 9   |
| 合計                                 | 86  |

## 2) 下水道事業者へのヒアリング

2 (2) の下水道事業者へのヒアリング調査と併せ、新技術導入上の課題について以下の視点で聞き取りを行った。ヒアリング結果の概要を表 3-3 に示す。

- 要素技術導入の際の下水処理システム全体への影響
- コスト（イニシャルコストとライフサイクルコスト）
- 入札契約手続きに関する課題
- 新技術導入の背景 ※今回の調査では、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の実証技術を対象とした。

表 3-3 新技術導入上の課題に関するヒアリング調査における主な意見

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>【要素技術導入の際の下水処理システム全体への影響】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・要素技術導入後に、システム全体で見れば運転管理の調整の難しさは生じると思う。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>【コスト(イニシャルコストとライフサイクルコスト)】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・◎新技術導入にあたり、イニシャルコストだけでなく、LCCも重視している。</li> <li>※但し、LCCが良くてもイニシャルコストが高ければ導入を躊躇するという自治体もある。</li> </ul>                                                                                                                                                                           |
| <p><b>【入札契約手続きに関する課題】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・◎職員による技術評価や価格の妥当性の判断が困難であるため、新技術の導入を前提とした総合評価落札方式や技術提案・交渉方式は実施できていない。</li> <li>・◎OEMでの複数者による応札が可能ではあるが、実際には1社の応札となり、競争原理が働かない傾向があると感じている。</li> <li>・評価されている新技術ではあっても、対外的な説明では実績と安定性が問われるため、学識者を含む第三者委員会で評価する手続きが必要である。</li> </ul>                                                        |
| <p><b>【B-DASH技術の導入背景】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・県の経営健全化検討、国の検討支援や学識者からの提案を経て、B-DASH技術の実証に至った。</li> <li>・外部有識者の検討委員会において最適な水処理方式を比較検討した結果、維持管理性・経済性(LCC含む)・エネルギー利用の観点から有利となり採用することとなった。</li> <li>・長寿命化計画において施設の更新計画があり、省スペースかつ合流改善の機能の両立を求めており、コンサルタントからの数ケースの提案の中でB-DASH技術の採用に至った。</li> <li>・◎首長が民間出身であり、新しいことに前向きという面があると思う。</li> </ul> |
| <p><b>【全般】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・◎新技術の導入検討のタイミング(計画段階、設計段階等)や、改築更新の際に適用可能な技術であるかといった点を中小自治体では判断できない。</li> <li>・◎新技術導入後に、メーカーからのアフターフォロー(維持管理のノウハウ継承等)が必要である。</li> <li>・中小自治体の場合、費用対効果と実績がないと導入が困難である。</li> <li>・積算基準や技術基準が無いと採用しにくい。</li> <li>・特殊な技術は、他社での管理が困難となり、その後の官民連携検討の課題となる可能性がある。</li> </ul>                                |

[表中の◎は複数団体からの意見]

要素技術導入の際の下水処理システム全体への影響については、システムの中の一部の更新であっても、システム全体の運転管理方法の調整が必要となる場合がある点についての懸念があった。また、その懸念を解消するために、新技術導入後の一定期間は、維持管理のノウハウ継承等のメーカーからのアフターフォローが必要という意見があった。

コストに関しては、ライフサイクルコストの考え方が浸透しており、どの事業者もイニシャルコストだけでなく、ライフサイクルコストも重視しているという回答であった。ただし、一部自治体では、財政的な面から、イニシャルコストが高ければ新技術の導入を躊躇するという意見があった。

入札契約手続きに関する課題については、技術職員が不足していることから、総合評価落札方式などの技術提案の評価や価格の妥当性を判断するような発注方式の実施は困難であるという回答があった。また、競争性の確保や、採用する技術の実績と安定性が必要であるという回答があった。

全般としては、新技術の導入検討のタイミングや改築更新の際に適用可能な技術であるか判断することができないなど、アンケート調査結果と同様に、新技術に関する情報不足や技術選択困難といった回答があった。また、積算基準や技術基準が無いと採用しにくいという回答もあった。

さらに、ヒアリングでは、新技術の開発・導入促進に関して国等に期待する支援内容についても聞き取りを行った。ヒアリング結果の概要を表3-4に示す。期待する支援内容については、新技術の体系的な整理やメリット・デメリットの整理など、新技術に関する情報整理に関するものが多かった。さらに、下水道事業主体の技術相談先であるコンサルタントや日本下水道事

業団への新技術情報の周知も求められていることが分かった。また、都市の状況に応じた最適な汚泥利活用技術の選択手法の確立に関する要望もあった。

表 3-4 新技術の開発・導入促進に関して国等に期待する支援

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>【技術情報の共有、地方の技術開発・技術導入の支援に関する事項】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ◎全国の導入事例や、新技術の体系的な整理がされていると技術を検討しやすい。</li> <li>・ ◎新技術導入に関するメリット、デメリットやリスクといった情報を開示してほしい。</li> <li>・ ◎改築更新に係る技術的な相談を、コンサルタントやJSにするため、コンサルタントやJSから自治体に新技術の情報を周知する仕組みがあれば良い。</li> <li>・ 地方整備局単位でB-DASH説明会などがあれば情報を得やすい。</li> </ul> |
| <p><b>【技術開発の戦略・方針の提示に関する事項】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ◎汚泥利活用方法の最適解を見出す選択手法があると良い。</li> <li>・ 新技術(LCCやCO2削減効果が高いもの)導入に関して予算的な支援があれば良い。</li> <li>・ B-DASH技術は特別なイメージがあり、B-DASH技術の普及展開事例(2例目・3例目)があれば、自治体で採用する余地があると思うため、2例目・3例目への支援があれば良い。</li> </ul>                                              |

[表中の◎は複数団体からの意見]

## (2) 技術開発・導入促進に関する検討

技術開発・導入促進を円滑に進めるため、技術ニーズ・シーズや、下水道事業者が抱える新技術導入上の課題等の把握及び分析とともに、課題を解決するための方策検討にも取り組んでいく必要がある。以下に、技術開発・導入促進方策に関する検討内容を示す。

### 1) B-DASH 技術に関する導入状況の把握

新技術の導入にあたっては、実績や安定性が求められるため、下水道事業者の導入検討の際には他都市の導入事例が参考となる。このため、国土交通本省にて調査した B-DASH 技術の普及展開状況について、下水道技術開発会議資料として国総研 HP にて公表している。なお、調査対象は、平成 28 年度末までに B-DASH 技術導入ガイドラインが発刊された 18 技術である。

B-DASH 技術の普及展開状況を表 3-5 に示す。

表 3-5 B-DASH 技術の普及展開状況（平成 29 年 4 月時点）

| 採択年度                                     | 実証技術                                                      | 要素技術              | 導入先自治体等      | 処理場名、処理区 等                      | 規模<br>例:kW、m3、台数 等                   | 導入年度    | 備考  |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------|--------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------|-----|
| H23                                      | 超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム                             | 超高効率固液分離          | 小松市(石川県)     | 中央浄化センター                        | ろ過面積 72m2                            | -       | 建設中 |
| H23                                      | 神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・革新的技術(バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産システム) | 高機能鋼板製消化槽         | 愛知県          | 矢作川浄化センター                       | 5800m3×1槽                            | H28     |     |
|                                          |                                                           |                   | 埼玉県          | 元荒川水循環センター                      | 5000m3×3槽                            | -       | 建設中 |
|                                          |                                                           | 新型バイオガス精製装置       | 神戸市          | 西部処理場                           | 300m3N/h×2基、円筒形ガスホルダ3基               | H27     |     |
|                                          |                                                           |                   | 京都市          | 鳥羽水環境保全センター                     | 600m3N/h×2基                          | H28     |     |
| 高効率ヒートポンプ                                | 愛知県                                                       | 矢作川浄化センター         | 加温能力330kW×1基 | H28                             |                                      |         |     |
| H24                                      | 管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用技術実証事業                                | 下水熱採熱技術           | 仙台市          | 南小泉幹線(若林区)                      | φ1200×44.5m<br>26kW                  | H25     |     |
|                                          |                                                           |                   | 新潟市          | 白山幹線                            | □2400×1700mm×50.4m<br>13.3kW(HP無し融雪) | H27     |     |
|                                          |                                                           |                   | 新潟市          | 小須戸処理分区幹線                       | φ800×54.3m<br>24.4kW                 | H27     |     |
|                                          |                                                           |                   | 大津市(滋賀県)     | 大津市水再生センター                      | W2000×22m<br>10kW                    | H28     |     |
|                                          |                                                           |                   | 豊田市(愛知県)     | 喜多町                             | φ1000×175m<br>45kw                   | H29     |     |
| H25                                      | 管口カメラ点検と展開広角カメラ調査及びプロファイリング技術を用いた効率的な管渠マネジメントシステム         | 管口カメラ点検と展開広角カメラ調査 | 向日市(京都府)     |                                 | 管口カメラ2,800箇所<br>展開広角カメラ未定            | H25~H30 |     |
|                                          |                                                           |                   | 大阪狭山市        |                                 | 管口カメラ1,300箇所<br>展開広角カメラ10,000m       | H26     |     |
|                                          |                                                           |                   | 豊田市(愛知県)     | 豊田市内                            | 管口カメラ625箇所<br>展開広角カメラ3,252m          | H27     |     |
|                                          |                                                           |                   | 高浜市(愛知県)     | 市内全域                            | 延長 L≒17,000m                         | H27~H28 |     |
|                                          |                                                           |                   | 八王子市(東京都)    | 市内全域                            | 管口カメラ6,000m<br>展開広角カメラ1,800m         | H27     |     |
|                                          |                                                           |                   |              |                                 | 管口カメラ8,000m<br>展開広角カメラ2,400m(予定)     | H28     |     |
|                                          | 管口カメラ点検と展開広角カメラ調査及びプロファイリング技術を用いた効率的な管渠マネジメントシステム         | 管口カメラ点検と展開広角カメラ調査 | 行方市(茨城県)     | 麻生、玉造処理区                        | 管口カメラ 1,200箇所                        | H28     |     |
|                                          |                                                           |                   | 春日部市(埼玉県)    | 長寿命化実施計画策定に伴う絞り込み               | 管口カメラ 216基                           | H28     |     |
|                                          |                                                           |                   | 広島市          | 太田川処理区                          | 管口カメラ1,400箇所                         | H28~    |     |
|                                          |                                                           |                   | いわき市(福島県)    | 東部処理区                           | 管口カメラ1,200箇所                         | H28~29  |     |
|                                          |                                                           |                   | 西尾市(愛知県)     | 市内全域                            | 管口カメラ10,400箇所                        | H28~H31 |     |
| 変則・類似手法<br>管口カメラのみ<br>または管口カメラ点検+直側カメラ調査 | 変則・類似手法<br>管口カメラのみ<br>または管口カメラ点検+直側カメラ調査                  | 瑞穂町(東京都)          | 市内           | 管口カメラH27 N=600箇所<br>H28 N=852箇所 | H27~H28                              |         |     |
|                                          |                                                           | 村田町(宮城県)          | 村田第一処理分区     | 管口カメラ109箇所<br>直側TVカメラ2,050m     | H27                                  |         |     |
|                                          |                                                           | 富谷市(宮城県)          | 黒川処理区        | 管口カメラ 172箇所                     | H28                                  |         |     |

## 2) プロジェクト GAM との連携

国土交通本省では、土木学会環境工学委員会と連携して、研究をより社会実装していくために、“水環境分野の学の研究内容を体系的にマッピング”し、産官学の連携を強化することを目的としたプロジェクト「プロジェクト GAM (GAM: Gesuido Academic Mapping)」を実施している。平成 29 年 3 月から、学と官における情報を登録し、互いの状況を把握するとともに、連携を図るためのデータベース (DB) を構築し、運用を開始しており、DB の更なる活用及び普及に向けて、産業界の参画や、ニーズとシーズの効果的なマッチング方法等について検討を進めている。DB で閲覧可能な情報は以下のとおりであり、平成 30 年 5 月時点の登録状況は、研究者で 127 件、自治体で 392 件である。

#### ① 学の情報(研究者情報、研究テーマ情報)

研究者情報 : 氏名、生まれ年、所属、所属機関の所在地、役職、連絡先、経歴、委員等の履歴、自由コメント

研究テーマ情報 : 研究テーマ、研究者氏名(代表者、共同者)、分類、キーワード、規模(実績、今後の可能性)、段階(実績、今後の可能性)、研究のPRコメント、自治体への要望コメント等、共同研究機関の有無とその情報、論文名、発表年、研究情報へのリンク

#### ② 自治体のニーズ情報(共同研究の募集等、抱えている課題)

都道府県市町村名、共同研究に関するキーワード、協力可能な内容(フィールド、試料、データなど)・具体内容、下水道事業に関する課題のキーワード・具体内容、連絡窓口

#### ③ 学情報を可視化(マッピング)した図(表)

#### ④ 学情報の閲覧者数とその属性

DB を利用することにより、技術ニーズ・シーズの把握とマッチング、技術シーズの情報確認が可能となるため、下水道技術開発会議で得た情報(技術ニーズ情報、関連団体の技術情報、新技術の普及展開情報等)を DB に取り込むなど、プロジェクト GAM との連携を図っていくこととしている。

### 3) 技術開発・導入促進に関する制度的枠組み等の検討

平成 29 年度の新技术導入上の課題の把握において、新技术に関する情報不足・技術選択困難や、入札手続きの際の競争性の確保が課題であることが明らかとなった。これらの課題解決については、技術開発段階から取り組んでいくことが重要であるため、平成 30 年度に当会議の下に分科会を設置し、新技术導入上の課題や解決策を深掘りしていくこととした。具体的な検討対象分野は、主に下水道資源・エネルギー分野を念頭に置くこととなった。

### 4. 今後の検討事項

平成 30 年度の下水道技術開発会議における検討事項を表 4-1 のとおり整理した。

下水道技術ビジョンのフォローアップの一環として、下水道事業における技術的な課題・ニーズの分析、ロードマップの一部改定や重点課題の選定等を引き続き実施する他、下水道技術開発会議の役割である「技術開発の進捗度の確認と推進方策の評価」、「新技术に対する需要と要求性能の検討」を実施する予定である。

「技術開発の進捗度の確認と推進方策の評価」については、平成 27 年 12 月の下水道技術ビジョンの策定から 3 年目となるため、ロードマップの進捗確認作業を開始し、下水道技術ビジョンに位置づけた技術の開発状況を把握するとともに、今後取り組んでいくべき技術開発項目等の検討を行う。

「新技术に対する需要と要求性能の検討」については、民間企業等の技術開発意欲を促すため、下水道事業者が求めているいくつかの技術について、その要求性能を確認するとともに、全国的な需要量を把握する予定である。

表 4-1 検討課題別の平成 30 年度の検討事項

| 検討課題                                                                     | 平成30年度の検討事項                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 柱①「技術ニーズの把握と発信」                                                          | 技術ニーズ調査は、下水道事業者へのヒアリング調査と各種会議における議題収集を継続して実施(全国アンケート調査の実施は一旦休止)                                                                                                                                         |
| 柱②「技術シーズの把握と発信」                                                          | 各種会議における議題の情報共有方法について検討<br>技術シーズ調査は、平成29年度と同様に実施<br>新技術の要求性能の確認と需要量の把握                                                                                                                                  |
| 柱③「ニーズとシーズの架け橋」                                                          | プロジェクトGAMと連携し、GAMデータベースの充実を図る                                                                                                                                                                           |
| 柱④「国などの技術情報の共有(グローバルとローカルの架け橋(1))」                                       | B-DASH技術の普及展開状況調査を平成29年度と同様に実施し、結果を公表<br>B-DASH技術について、分かりやすい技術情報の提示(技術概要、メリット、デメリット、導入検討のタイミング、導入事例)を進め、自治体、民間企業等への情報共有方法を工夫<br>B-DASH技術のフォローアップ(効果、安定性、維持管理性)と情報の提示<br>他団体が保有する技術情報について情報収集し、情報共有方法を検討 |
| 柱⑤「地方の技術開発・技術導入の支援(グローバルとローカルの架け橋(2))」<br>1) 情報、ノウハウの共有による技術導入支援         | B-DASH技術の普及展開状況を平成29年度と同様に実施し、結果を公表【再掲】<br>プロジェクトGAMと連携し、GAMデータベースの充実を図る【再掲】<br>分科会において、新技術導入上の課題や解決策を深掘り(競争性の確保を目的とした技術性能の明確化のための技術開発スキームの検討等)                                                         |
| 柱⑤「地方の技術開発・技術導入の支援(グローバルとローカルの架け橋(2))」<br>2) 小都市等の下水道事業をサポートする技術の開発・普及方策 | 下水道事業者へのヒアリング調査を継続して実施                                                                                                                                                                                  |
| 柱⑥「技術開発の戦略・方針の提示」                                                        | ロードマップの改定検討<br>ロードマップ重点課題の検討・公表<br>ロードマップの進捗確認作業開始                                                                                                                                                      |

## 5. まとめ

下水道技術ビジョンのフォローアップの一環として、下水道事業における技術的な課題・ニーズを分析し、技術開発が求められている技術開発分野の傾向を把握した。また、事業主体の技術導入に向けた課題の分析結果を踏まえ、技術開発・導入促進方策の検討を行った。

今後も、下水道技術ビジョンのフォローアップとして、下水道技術開発会議等を通じて、下水道に求められるニーズを把握するとともに、必要な技術開発・導入促進方策について検討していく。

## 参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：  
[http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/mizukokudo\\_sewage\\_tk\\_000307.html](http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/mizukokudo_sewage_tk_000307.html)
- 2) 国総研下水道研究部ホームページ：<http://www.nilim.go.jp/lab/eag/gesuidougijyutsuvison.html>
- 3) 井上茂治・南山瑞彦・横田敏宏・岩崎宏和・山下洋正・川島弘靖、国土技術政策総合研究所資料 No.1033 下水道技術開発レポート 2017、151p、国土技術政策総合研究所、平成 30 年 6 月

## 4. 下水道災害発生時の迅速な初動体制構築に関する調査

下水道研究室 室長 岩崎 宏和  
主任研究官 深谷 渉  
研究官 平出 亮輔

### 1. はじめに

近年大規模地震が頻発しており、南海トラフ地震等の広域的な被害が予想される巨大地震の発生も危惧されている<sup>1)</sup>。重要なライフラインである下水道の被災は市民生活や都市活動等に大きく影響を及ぼし、かつ、地震災害は台風等と異なり発生時期や場所の予測ができない自然災害である。このため、被害の拡大及び二次被害の抑制には、発災後の速やかな初動体制構築と的確な行政判断・情報発信が極めて重要となる。現在、下水道 BCP マニュアル等に基づき、各自治体等で下水道 BCP 策定及び計画に沿った準備等が進みつつあるものの、防災組織上の下水道関係部署の位置づけや職員規模等は都市ごとに異なるため、計画の実効性を高めるには都市の実情に合わせて計画をカスタマイズしていくことが重要である。また、発災直後の情報空白期の短縮及び効果的活用を図り、適正な情報を確実に住民に発信していくことも必要である。本調査では、下水道施設における地震災害発生時の迅速な初動体制構築及び効果的な行政サービスの提供に向けた情報発信のあり方、情報空白期への対応手法に関する検討を行った。具体的には、下水道施設が地震により被災した場合、交通障害等の発生により関係機関との連携が必要不可欠であり、迅速な初動体制構築・効果的な行政サービスの提供のためには組織横断的な視点が必要となる。このため、横断的な組織調整に優れたタイムラインの視点を下水道分野に導入すべく、基礎的知見の収集整理、モデル地域における発災後タイムラインの作成、発災後タイムラインの自治体適用・課題等整理を踏まえ、下水道分野へのタイムライン的視点の導入に関する考え方を作成した。情報空白期への対応手法としては、本研究室の過去の調査研究により開発した「下水道地震被害即時推定システム」のさらなる利便性・精度の向上を目的としたシステムの改良及び利用者マニュアルの作成等について検討した。

### 2. 調査内容

#### 2.1 下水道分野へのタイムライン的視点の導入に関する検討

##### 2.1.1 目的

下水道施設が地震により被災した場合、汚水の流出・マンホールの浮き上がり・路面の沈下等の交通障害や衛生問題が発生する(図-1 参照)。被災規模が大きい場合には、道路の通行規制や、一時的な下水道の使用制限に伴う仮設トイレ等の衛生施設の整備が必要な場合もあるため、下水道施設の復旧を進めるには、道路・上水道・衛生・河川を管理する部署や避難所・住民等の数多くの関係者との連携が必要不可欠である。タイムラインは、対象とする機関が「いつ」「何をするのか」を一覧表に整理したものであるとともに、関係機関との調整時に責任分担を明確にすることで協力体制強化の効果があり、横断的な組織調整に優れた手法であるため、BCP の組織調整を円滑に実行する手法として有



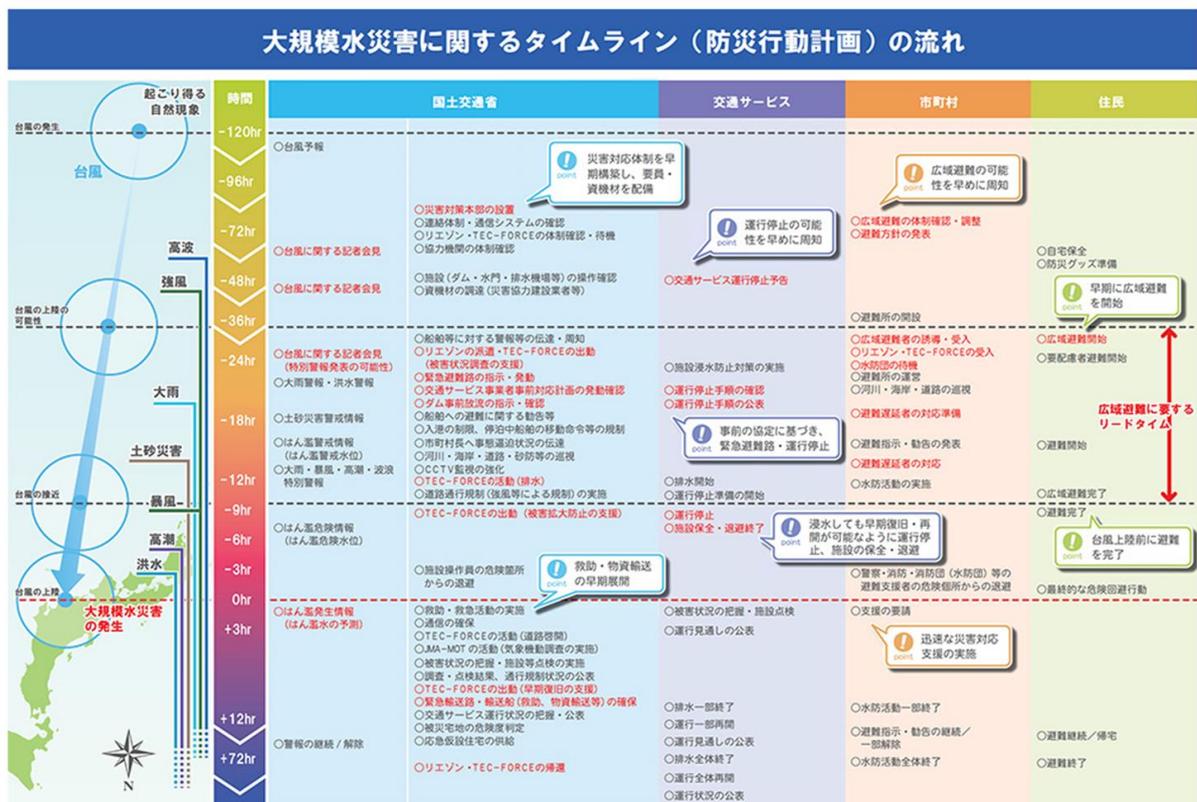
図-1 下水道施設被災時の例

効である。このため、下水道分野へのタイムライン的視点の導入に関する検討を行うものとし、調査初年度にあたる平成 29 年度は、関係する既存文献の収集・基礎的知見の整理を行った上で、モデル地域として被災市町村・被災都道府県・支援市町村を想定し、それぞれの下水道施設を対象とした発災後タイムラインの作成、作成時の課題整理やその対応について検討した。

### 2.1.2 タイムラインの基礎的知見の収集整理

タイムラインは、平成 24 年に米国を襲ったハリケーン・サンディの対応で、ニュージャージー州が採用して効果を発揮したことで知られ、平成 27 年 5 月に国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所が台風による風水害に備えたタイムライン（試行案）を国内で初めて取りまとめ・運用している。以下に、既存文献調査により得られた基礎的知見を紹介する。

タイムラインとは<sup>2,3,4)</sup>、災害の発生を前提に、関係機関が連携して災害時に発生する状況を予め想定し共有した上で、「いつ」、「誰が」、「何をするか」に着目して、防災行動とその実施主体を時系列で整理した計画をいう（図-2 参照）。さらに、タイムライン策定過程において、関係機関の責任分担を明確にするとともに、災害対応時は関係機関の連携が特に重要なことから、その協力体制を強化していくことが必要であり、これにより迅速かつ効率的な防災行動の実施を目指すものである。米国では、災害発生前の取り組みとしてタイムラインが活用されている。タイムラインは、ハリケーンによる高潮災害に備え、ハリケーンの進行状況に応じて、どのような対応を実施するか等の防災行動を予め計画として策定したものであり、それにより被害を最小限に食い止める工夫をしている。平成 24 年に発生したハリケーン・サンディでは、ニュージャージー州を中心にタイムラインを活用した交通機関による住民の避難支援や、その



※タイムラインに関わる関係機関、防災行動は多岐にわたりますが、本イメージ図は国土交通省の対応や広域避難と交通サービスに着目して整理したものであり、時間軸の設定、対応の実施などにあたっては、今後の検討、調整が必要になります。また、赤字は特に対応強化の必要と考えられる項目です。

国土交通省 水防災意識社会再構築ビジョン タイムライン ホームページ  
<http://www.mlit.go.jp/river/bousai/timeline/index.html>

図-2 大規模水災害時のタイムラインの流れ

後の交通機関の運行停止等の防災行動を実施し、人命や社会経済的な被害の軽減を図った。この時、ニュージャージー州のバリアアイランドでは、タイムラインの実践による早めの防災行動が功を奏し、死者数を 0 人に抑えた。日本においては、荒川下流河川事務所が中心となり、荒川下流域の東京都北区・板橋区・足立区をモデルエリアとして、平成 26 年 8 月から全国に先駆けて検討を行い、平成 27 年 5 月に全国初の本格的なタイムライン（試行案）を取りまとめ、運用した。その後も、運用及び机上演習の結果等を踏まえ、検討会やワーキンググループによる検討を行い、平成 28 年 3 月に荒川下流タイムライン（試行版）を取りまとめ、台風の際に運用を行っている。さらに河川分野では、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の鬼怒川の決壊を受けて策定された「水防災意識社会 再構築ビジョン 平成 27 年 12 月 11 日 国土交通省水管理・国土保全局」において、タイムラインが住民目線のソフト対策のひとつと位置づけられ、全国の大規模河川の流域で積極的に導入が進んでいる。

次に災害の形態とタイムラインの効果について説明する。タイムラインは、それ自体が防災行動や実施主体を時系列に整理したものであるため、災害発生までの現象が長時間にわたり、事前に災害や被害の規模等が想定できる進行型災害である水災害での導入事例が多い。逆に地震等の短時間の現象で予測や準備が困難な災害である突発型災害では、タイムラインではなく、事業継続計画である BCP の整備が進められることが多く、現在下水道分野においても BCP の整備が進められている。しかし、突発型災害であっても、災害発生後の対応を時系列にまとめた行動計画の作成や、災害発生後の対応の強化に利用が可能である。例えば、消防庁における「地震発生後の人命救助のために重要な「72 時間」を意識したタイムライン」等は発災後タイムラインと言える。さらに下水道分野においては、交通障害・衛生問題・下水道利用制限等の対応により、横断的な組織調整が必要になるため、タイムライン的視点の導入が効果的であると考えられる。

### 2.1.3 モデル地域における発災後タイムラインの作成

下水道分野における発災後タイムラインの自治体適用時の考え方の基本として、被災市町村・被災都道府県・支援市町村をモデル地域と想定し、それぞれの発災後タイムラインを作成した。詳細は以下のとおりである。

#### (1) 前提条件

下水道施設が地震により被災した際、被災機関の行動は「下水道 BCP 策定マニュアル 2017 年版（地震・津波編）」（以下、下水道 BCP と記載）<sup>5)</sup>を踏まえた被災機関の BCP が基本となる。また、災害時にはすべての下水道施設の点検を目視で行う必要があり、多くの人員が必要のため、災害時の支援ルールが定められており、それぞれ「下水道災害時における大都市間の連絡・連携体制に関するルール」（以下、大都市ルールと記載）<sup>6)</sup>と「下水道における災害時支援に関するルール」（以下、全国ルールと記載）<sup>7)</sup>がある。このため、今回の発災後タイムラインの作成に際しては、上の 3 つの資料をベースとし、関係機関の行動を決定した。

#### (2) 対象期間と目標時間

今回の対象期間は、下水道 BCP と同様に「地震発生」から「応急復旧」までとした。なお、応急復旧まで完了すれば、暫定的な下水道機能が確保され、下水道機能喪失による疫病等の蔓延を防ぐことができ、地域住民への被害拡大を防止することが可能となり、初期対応としては概ね完了となる。次に、被災市町村の対応目標時間としては、下水道 BCP の非常時対応計画を基本として表-1 のとおり設定した。なお、災害発生時刻は勤務時間内とし、災害規模は単一

県で災害が発生したものとした。

表-1 目標時間の設定

| 時間                  | (標準的な) 行動内容                                                  |
|---------------------|--------------------------------------------------------------|
| 直後                  | 来訪者・職員の負傷者対応・避難誘導                                            |
|                     | 職員の安否連絡                                                      |
|                     | 処理場との連絡調整                                                    |
| ～3 時間               | 下水道対策本部の立上げ                                                  |
| ～6 時間<br>以降<br>随時実施 | 処理場との連絡調整                                                    |
|                     | 被害状況等の情報収集                                                   |
|                     | 浸水対策（降雨予報の確認）                                                |
|                     | 市災害対策本部との連絡調整                                                |
|                     | 都道府県（下水道）との連絡調整                                              |
| ～1 日                | データ類の保護                                                      |
|                     | 関連行政部局との連絡調整                                                 |
| ～2 日                | 緊急点検                                                         |
|                     | 緊急調査                                                         |
|                     | 避難所等のトイレ機能の確保                                                |
| ～3 日<br>適宜実施        | 緊急措置（被害がある場合）<br>【汚水溢水への緊急措置】<br>【緊急輸送路における交通障害対策】<br>【浸水対策】 |
| ～3 日                | 支援要請及び受援体制の整備                                                |

### (3) 想定する関係機関と住民への情報提供

下水道 BCP・大都市ルール・全国ルールから表-2 のとおり関係機関を想定した。次に住民への情報提供に関しては、基本の 3 つの資料及び既存文献の「平成 28 年 熊本地震 迅速な復旧へ、経験を活かせ！！」<sup>8)</sup>を参考に【下水道使用の自粛／自粛解除】【自宅の下水道の使用可否の確認方法】【避難所のトイレ使用可否】【下水道施設の復旧見込み】【避難所等のトイレ機能の状況】【下水道施設の復旧】【支援の取組みについて】を想定することとした。

### (4) 発災後タイムラインの作成と作成時の課題整理

(1)～(3)を踏まえ、被災市町村の下水道課を中心に他機関とのやり取りを基本としたシンプルな発災後タイムラインを、被災市町村・被災都道府県・支援市町村別に作成した（図-3～図-5 参照）。また、作成にあたって以下の課題が抽出された。

- ① 下水道施設の被災の際には交通障害、衛生問題、下水道使用制限等について関係機関との連携が必要である。
  - どの時点で関係機関と情報共有等を実施するのか明確にする必要があり、なるべく早い段階で実施することで、その後の対応を円滑に行うことが可能となる。
- ② 住民への下水道に関する情報提供は、避難者の帰宅の判断等、非常に重要な情報であるため、遅滞なく、正確な情報が求められる。
  - 住民へ提供できる情報は早い段階で公表資料を作成し、早急に対応する。
- ③ 支援要請を行うためには、被災市町村自ら被災状況を把握した上で支援者数等の要請内容

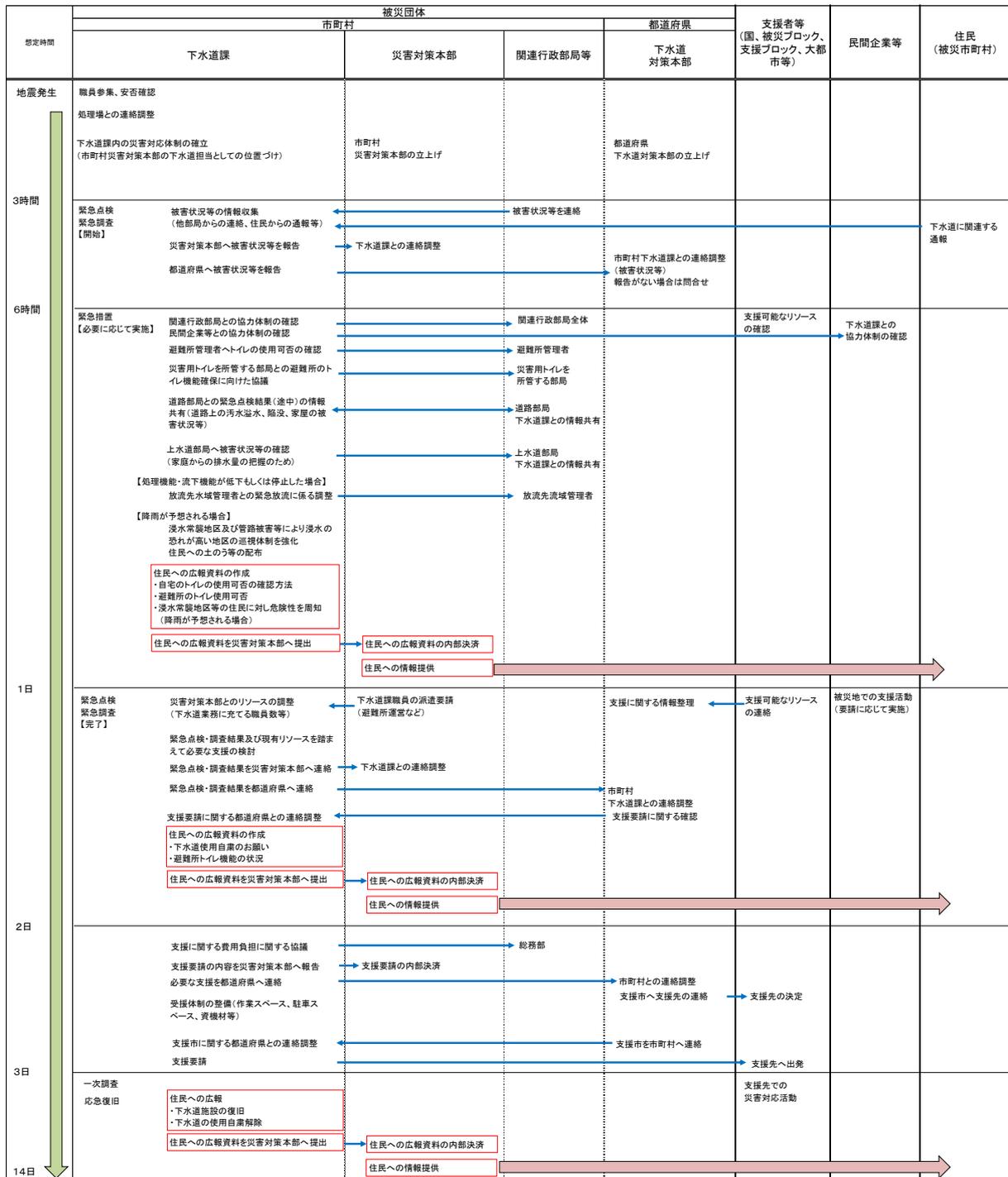
を決定する必要がある、迅速な対応が必要であるため、被災状況把握の想定が重要である。  
 → 職員自体が被災して参集できない、住民対応等の他の仕事が優先される等、緊急点検等をスタートできない場合もある。様々なパターンを踏まえ、人員調整等、関係機関で事前に調整が必要である。

表-2 想定する関係機関一覧

| 区分     | 関係機関      |                                                                                                         |
|--------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 被災団体   | 市町村（被災市）  | 下水道課（下水道対策本部）                                                                                           |
|        |           | 災害対策本部                                                                                                  |
|        |           | 関連行政部局                                                                                                  |
|        | 都道府県（被災県） | 下水道対策本部                                                                                                 |
| 非被災団体  | 国         | 国土交通省<br>水管理・国土保全局下水道部                                                                                  |
|        | 被災ブロック    | 支援自治体                                                                                                   |
|        |           | 都道府県・大都市                                                                                                |
|        | 支援ブロック    | 支援自治体                                                                                                   |
|        |           | 都道府県                                                                                                    |
|        | 大都市       | 支援大都市                                                                                                   |
|        | 支援調整隊     | 国土交通省、日本下水道事業団、被災ブロック連絡会議幹事、被災ブロック内大都市、被災ブロック内都道府県、被災ブロック内市町村、日本下水道協会、関連団体※、支援ブロック連絡会議幹事、大都市窓口、アドバイザー都市 |
| 民間企業等  | 支援協定等の締結先 |                                                                                                         |
| 避難所管理者 |           |                                                                                                         |

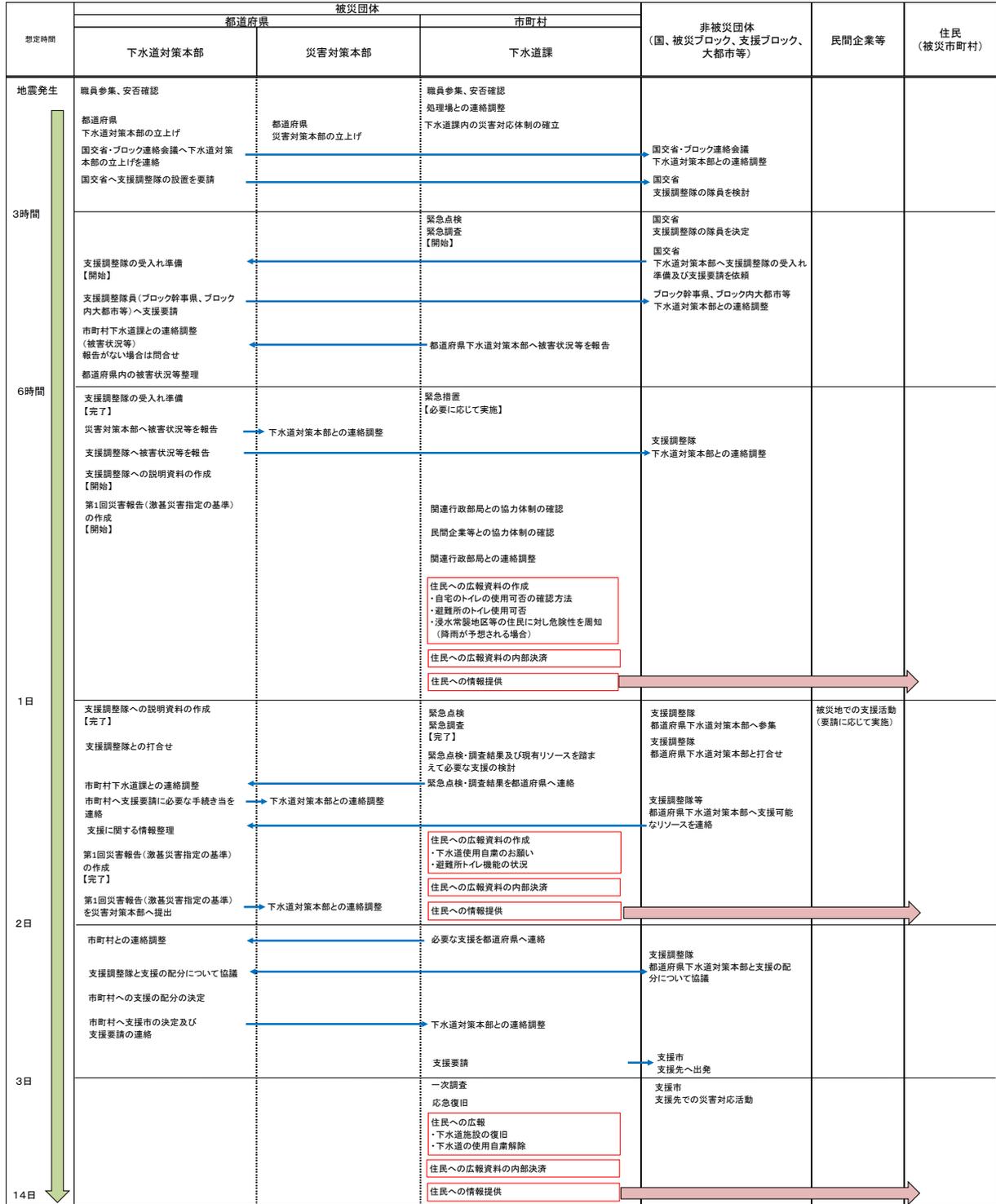
※：日本下水道新技術機構、全国上下水道コンサルタント協会、日本下水道施設業協会、日本下水道施設管理業協会、日本下水道管路管理業協会、全国管工事協同組合連合会

以上の結果を踏まえ、次の段階となる発災後タイムラインの自治体への適用・課題等の整理を次年度に実施し、考え方の取りまとめに向けて調査を進める予定である。



※タイムライン(案)は、想定被害や訓練等を通じて見直しを行っていくべきものである  
 ※上記はあくまでも災害を想定した上での行動のモデルケースであり、実際の災害時には状況に合わせた適切な行動を行うものである

図-3 地震災害時の下水道施設を対象とした発災後行動に着目したタイムライン(案)  
被災市町村版



※タイムライン(案)は、想定被害や訓練等を通じて見直しを行っていくべきものである  
 ※上記はあくまでも災害を想定した上での行動のモデルケースであり、実際の災害時には状況に合わせた適切な行動を行うものである

図-4 地震災害時の下水道施設を対象とした発災後行動に着目したタイムライン(案)  
被災都道府県版

| 想定時間 | 非被災団体                                                                                                                                             |                                             |                                                  | 被災団体                    |                                                                                     | 民間企業等                       | 住民<br>(支援市) |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------|
|      | 支援市町村                                                                                                                                             | 都道府県                                        | 支援調整隊<br>(国土交通省等)                                | 都道府県                    | 市町村                                                                                 |                             |             |
|      |                                                                                                                                                   |                                             |                                                  | 下水道対策本部                 | 下水道課                                                                                |                             |             |
| 地震発生 | 支援体制の確立<br>(指揮命令系統、連ら聴窓口など)                                                                                                                       |                                             |                                                  | 都道府県<br>下水道対策本部の立上げ     | 下水道課内の<br>災害対応体制の確立                                                                 |                             |             |
| 3時間  | 被災ブロック都道府県へ連絡<br>(被災地の被害状況、支援体制等)                                                                                                                 | 都道府県<br>下水道対策本部へ連絡<br>(被害状況等)               |                                                  | 被災ブロック都道府県との<br>連絡調整    |                                                                                     |                             |             |
|      | 支援可能なリソースの確認<br>・派遣職員の人選<br>・連絡先等名簿の作成<br>・資機材リストの作成                                                                                              |                                             | 支援調整隊の<br>隊員を決定<br>都道府県<br>下水道対策本部へ<br>支援調整隊員を連絡 | 国土交通省との連絡調整             | 緊急点検<br>緊急調査<br>【開始】                                                                |                             |             |
| 6時間  | 支援調整隊との連絡調整                                                                                                                                       |                                             | 支援調整隊員へ支援<br>を要請                                 |                         |                                                                                     |                             |             |
|      | 被災ブロック都道府県へ支援可能な<br>リソースを連絡                                                                                                                       | 被災ブロック支援市との<br>連絡調整                         |                                                  | 都道府県内の被害状況等整理           |                                                                                     |                             |             |
| 1日   | 支援のための準備<br>・食料、食器、事務用品等の確保<br>・移動手段(車)の確保<br>・必要な工具類の準備<br>・IT関係の準備<br>・資金前渡金の準備(駐車場、ガソリン代等)<br>・ETCカードと使用簿の準備<br>・緊急車両通行申請の準備<br>・高速道路通行許可申請の準備 |                                             |                                                  | 支援調整隊の受け入れ準備等           | 緊急措置<br>【必要に応じて実施】<br>関連行政部局との<br>協力体制の確認<br>民間企業等との<br>協力体制の確認<br>関連行政部局との<br>連絡調整 |                             |             |
|      | 都道府県下水道対策本部へ参集<br>※支援調整隊員のみ                                                                                                                       | 都道府県<br>下水道対策本部へ参集<br>※支援調整隊員のみ             | 都道府県<br>下水道対策本部へ参集                               | 支援調整隊との打合せ              | 緊急点検<br>緊急調査<br>【完了】                                                                | 被災地での<br>支援活動<br>(要請に応じて実施) |             |
| 2日   | 支援に関する市内部での手続き等の確認                                                                                                                                | 都道府県<br>下水道対策本部及び<br>支援調整隊へ<br>支援可能なリソースを連絡 | 支援ブロック都道府県等<br>との連絡調整                            | 被災ブロック都道府県との<br>連絡調整    | 緊急点検・調査結果及び<br>現有リソースを踏まえて<br>必要な支援の検討                                              |                             |             |
|      |                                                                                                                                                   |                                             | 都道府県下水道対策本部<br>と支援配分を協議                          | 市町村との連絡調整               | 必要な支援を<br>都道府県へ連絡                                                                   |                             |             |
| 3日   | 支援に関する市内部での手続き等を実施                                                                                                                                |                                             |                                                  | 支援調整隊と支援配分を協議           |                                                                                     |                             |             |
|      | 支援先での宿泊先を確保                                                                                                                                       |                                             |                                                  | 市町村への支援の配分の決定           |                                                                                     |                             |             |
| 3日   | 支援先までの移動方法を検討<br>(交通情報の収集)                                                                                                                        |                                             |                                                  | 市町村へ支援市の決定及び<br>支援要請の連絡 | 都道府県<br>下水道対策本部との<br>連絡調整                                                           |                             |             |
|      | 出動命令(支援先へ出発)                                                                                                                                      |                                             |                                                  |                         | 支援要請                                                                                |                             |             |
| 3日   | 支援先での災害対応活動                                                                                                                                       |                                             |                                                  |                         | 一次調査                                                                                |                             |             |
|      | 住民への広報<br>・支援の取組みについて                                                                                                                             |                                             |                                                  |                         | 応急復旧                                                                                |                             |             |
| 14日  | 住民への広報資料の内部決済                                                                                                                                     |                                             |                                                  |                         |                                                                                     |                             |             |
|      | 住民への情報提供                                                                                                                                          |                                             |                                                  |                         |                                                                                     |                             |             |

※タイムライン(案)は、想定被害や訓練等を通じて見直しを行っていくべきものである  
 ※上記はあくまでも災害を想定した上での行動のモデルケースであり、実際の災害時には状況に合わせた適切な行動を行うものである

図-5 地震災害時の下水道施設を対象とした発災後行動に着目したタイムライン(案)  
 支援市町村版

## 2.2 情報空白期への対応手法に関する検討

### 2.2.1 目的

大規模な地震が発生した際、基本的にすべての下水道管の点検を行い、被災の有無を確認する必要があるため、発災後には多くの人員が必要になる。このため、下水道の関係機関の間では、支援体制のルールを事前に定め、円滑に支援を行うための体制を整備している。しかし、支援機関が初動体制を構築するために必要な被災現場の情報は、発災後の混乱の中、被災機関が自ら収集しなければならず、さらに受援体制を確認した上で、支援機関へ支援要請を行うことになる。発災直後は、人命救助が最優先であり、さらに被災機関の職員は住民対応や自身の被災等により、下水道施設の点検に必要な人員を確保できず、被災情報の把握が難しい状況が続く可能性がある。このため、発災直後には、支援機関等へ被災現場の情報が届かない「情報の空白期」が発生する。下水道地震被害即時推定システム（以下、本システム）は、情報の空白期において、支援の目安となる概算被災量を算定すること（被害の相場観の把握）で、支援機関の初動体制をサポートするものである。本システムは過去の調査研究により開発したものであるが、開発後の試験的な運用を行う中で、操作性の課題等が明らかになった。このため、今年度は「利用者の利便性向上を目的としたシステム改良」「利用者マニュアルの作成」を実施した。合わせて、情報空白期への対応のひとつとして、災害時の防災拠点として整備が進んでいる「守谷サービスエリアの防災拠点施設」の現地調査を行ったため報告する。

### 2.2.2 下水道地震被害即時推定システムの改良及び利用者マニュアルの作成

#### (1) 下水道地震被害即時推定システムの概要

本システムは、「計算シート」「地震情報取得プログラム」「マッピングシステム」の3つの要素で構成されている。1つ目の要素である計算シートでは、地震の規模（震度階）、液状化し易さ（PL値）、管の属性（管種、布設年度）による平均被害率、単位被害延長あたりの必要点検調査人員数により、推定被害延長、総延長あたりの推定被害率、推定点検調査人員数を算定する。2つ目の要素である地震情報取得プログラムでは、計算シートに必要な地震情報を、防災科学研究所ホームページ上の強震観測網（K-NET, KiK-net）から取得する。3つ目の要素であるマッピングシステムでは、計算シートで算出した推定被害延長、推定被害率、推定点検調査人員数を、地理情報システムプラットフォーム（ArcGIS）を用いて地図上に表示する。なお、本システムの詳細に関しては、国土技術政策総合研究所資料に記載されている<sup>9)</sup>。

#### (2) 改良のポイントと利用者マニュアルの視点

今回の本システムの改良のポイントは、緊急時に遅滞なく、的確に使用するための利用時のわかり易さや操作性の向上、及び、利用想定者の視点の導入である。このため、本調査での検討に加え、利用想定者である自治体へのヒアリングを行い、以下の課題を抽出した。なお、利用者マニュアルに関しては、本課題への対応を踏まえた上で、初めて利用する人用の簡易版取扱説明書及びすべての機能を記載した通常版取扱説明書の2種類の視点で作成することとした。

- ① 3つの要素が別システムのため操作性が悪い
- ② ArcGISの導入が難しい場合がある
- ③ 計算シート自体が重く、動きが鈍い
- ④ ブロック単位で支援する視点がない

#### (3) 課題に対応する本システムの改良内容

(2)の課題等を踏まえ、本システムの改良及び利用者マニュアルを作成した。以下に各課題

への対応を記載する。

課題①：これまでの利用時には3つの要素の連動性がなく、利用者の手動操作が必要となる構成になっていた。このため、操作の一元化を目的にメニュー画面の設定（図-6 参照）及び取扱説明書の作成で対応することとした。改良後、基本的な操作はメニュー画面のボタンをクリックすることで、計算結果の表示やデータ保存等の操作が自動で行われ、またメニュー画面等の一連の操作の取扱説明書を作成（簡易版取扱説明書も含め）し、緊急時に遅滞なく、的確に操作が行えるようにした。

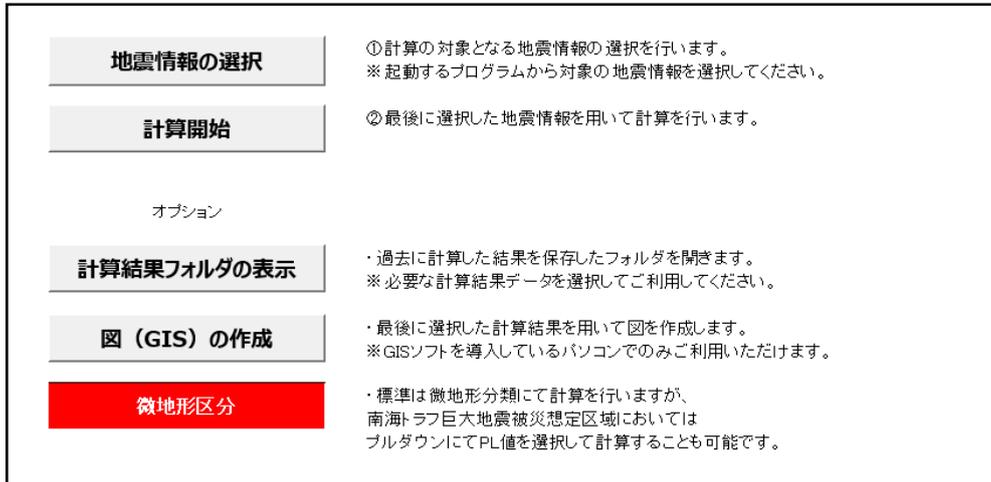


図-6 本システムのメニュー画面

課題②：組織によってはセキュリティや予算的な問題から継続的なソフトの導入が難しい場合がある。本システムの導入のし易さからも汎用ソフトである Microsoft Excel を活用することが重要であると判断し、計算シートに簡易的な地図を作成し、計算結果を表示する機能を追加した（図-7 参照）。

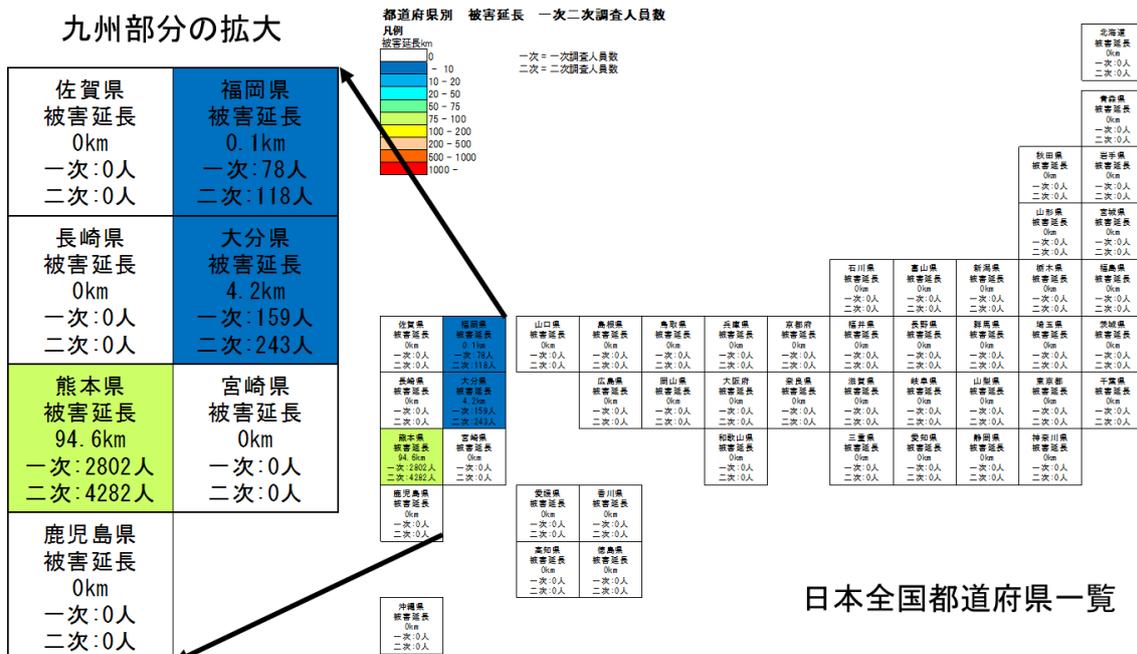


図-7 熊本地震情報を選択して計算した結果の簡易地図

課題③：計算シートの起動・データ保存の際に十秒程度の時間を要するため、緊急時に早急な対応の確保を目的に、計算シートの軽量化を行うこととした。改良後、同操作に要する時間は数秒程度となった。

課題④：災害時に大都市間では関東等のブロック割で連携することがルール化されており、本システムにもその視点が必要であるためブロック単位の結果を表示するシートを追加した。

なお、本システムのシステム構成と今回の改良内容は以下のとおりである（表-3 参照）。

表-3 システム構成と改良内容の一覧

| ファイル名                                         | 改良内容                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 下水道被害予測地震情報取得プログラム                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現行のまま使用</li> <li>・ 修正なし</li> </ul>                                                                                                                       |
| 管理エクセルファイル<br>★地震被害推定システム_管理.xlsx             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新規作成</li> <li>・ xlsx ファイル VB（マクロ）処理可能ファイル</li> </ul>                                                                                                     |
| 簡易版計算用エクセルファイル<br>01_管路施設即時判定用シート.xlsx        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新規作成</li> <li>・ 計算用エクセルのファイルが非常に重いため、軽量化ファイルを作成</li> <li>・ 更新処理ごとに「過去取得分即時判定用シート」フォルダへファイルを蓄積</li> <li>・ 蓄積されるファイルには GIS と同内容のものが参照できる簡易地図を追加</li> </ul> |
| GIS 参照用エクセルファイル<br>01_管路施設即時判定用シートview.xls    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 参照元を計算用エクセルから簡易版計算用エクセルへ変更</li> </ul>                                                                                                                    |
| GIS                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基本的には現行のまま使用</li> <li>・ ブロック範囲を追加</li> </ul>                                                                                                             |
| マスター計算用エクセルファイル<br>★マスター_01_管路施設即時判定用シート.xlsx | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現行のまま使用 マスターファイルとする</li> <li>・ マスター更新時は、簡易版も更新されるように管理エクセルにボタンを設置</li> </ul>                                                                             |

以上の本システムの改良等により、緊急時に遅滞なく、的確に使用するための利用時のわかり易さや操作性の向上が図れた。しかし、さらに詳細な地形条件の反映（管単位等）、調査人員数ではなく支援必要人員数への対応等のさらなる精度向上に関する課題があり、次年度以降に検討を進める予定である。

### 2.2.3 守谷サービスエリアの防災拠点施設の現地調査

守谷サービスエリア（以下、守谷 SA と記載）は、東日本高速道路株式会社（以下、NEXCO 東日本と記載）が管理する常磐自動車道のサービスエリア（以下、SA と記載）であり、上り線では東京方面の最後の SA である。施設概要は、表-4 のとおりである。

表-4 守谷サービスエリアの施設概要

|          |                                                |
|----------|------------------------------------------------|
| 所在地      | 茨城県守谷市大柏<br>常磐道（柏 IC～谷和原 IC 間） 守谷 SA（上り線）      |
| 商業施設敷地面積 | 約 17,500 m <sup>2</sup>                        |
| 商業施設延床面積 | 約 2,800 m <sup>2</sup>                         |
| 駐車場      | 大型 約 100 台、小型 約 260 台                          |
| トイレ      | 男性 小：36 基・大：14 基、女性 73 基、子供トイレ 6 基、<br>多機能 2 基 |

NEXCO 東日本では、東日本大震災時に高速道路の SA が被災地へ向かう前線基地として活用された経験から、首都直下地震を想定した防災拠点化事業のモデル事業として、守谷 SA の防災機能の強化や関係機関との訓練を実施している。NEXCO 東日本としては、災害時に自身の高速道路復旧等の災害対応があるため、基本的なスタンスとしては「防災拠点本部としての場所の提供」ではあるものの、関係機関との訓練を踏まえ、施設の強化の要望や情報の集約・共有化に関して、人員負担が少ない形での対応を検討している。基本的には人命救助の 72 時間を基準としており、自衛隊・消防・警察・医療機関（DMAT）、携帯電話会社等と協力して訓練や会議を行っている。防災拠点施設としては以下のとおりである。

- 参集場所（駐車場）：既存の駐車場区域内を利用
- 防災拠点本部：商業施設エリアを利用（簡易ベッド等の休憩所あり）
- 給油所：災害時の支援部隊車両の燃料確保（110kL）
- 自家発電装置：72hr 連続運転（一部、商業施設屋上の太陽光発電も活用）
- 井戸：断水時の備えとして設置（常時、トイレ洗浄に使用）
- 防災倉庫：備蓄品等の防災関係の準備
- ヘリポート：中型機の離着陸が可能（夜間照明あり）
- 通信環境：通信キャリア会社が移動基地局を配備（多重化のため固定衛星設備あり）
- 緊急開口部：緊急時の一般道へのアクセスのため設置



写真-1 施設概要パネル



写真-2 自家発電装置



写真-3 緊急開口部



写真-4 井戸設備



写真-5 ヘリポート



写真-6 防災倉庫

災害時、下水道関係者が利用可能な施設として現地調査を実施した。基本的なスタンスとしては、人命救助の 72 時間を優先した施設ではあるものの、下水道関係者に関しても先遣隊等の現地入りの際には、給油の最終地点であり、かつ、現地入り前に現地の交通状況等の重要な情報が入手可能であり、その後の現地入りがスムーズになると考えられる。なお、現在は NEXCO 東日本の守谷 SA で先行的に導入を進めているが、今後、他の地域への拡大等も含め、積極的な導入が期待される取組みである。

### 3. まとめ

本調査では、下水道分野へのタイムライン的視点の導入、情報空白期への対応手法に関する検討を実施した。タイムライン的視点の導入に関しては、関係する既存文献の収集・基礎的知見の整理を踏まえ、モデル地域として被災市町村・被災都道府県・支援市町村を想定し、それぞれの下水道施設を対象とした発災後タイムラインの作成・課題を整理した。今後、作成した発災後タイムラインを用いて、自治体への適用を実施し、自治体導入時の課題を整理した上で、下水道分野へのタイムライン的視点の導入に関する考え方を取りまとめる予定である。情報空白期への対応手法に関しては、下水道地震被害即時推定システムを緊急時に遅滞なく、的確に使用するための利用時のわかり易さや操作性の向上を目的に、メニュー画面の作成・簡易地図による結果表示・計算用軽量化ファイルの作成・支援ブロック単位の結果表示シートの作成の改良と利用者マニュアルの作成を実施した。しかし、さらに詳細な地形条件の反映(管単位等)、調査人員数ではなく支援必要人員数への対応等のさらなる精度に関する課題があるため、次年度以降に精度向上に向けた検討を進める予定である。なお、その他の情報空白期への対応手法として、常磐道の守谷サービスエリアの防災拠点化事業の現地調査を実施し、下水道関係者の利用が可能であることを確認した。

## 参考文献

- 1) 内閣府 防災情報のページ 南海トラフ地震対策 ホームページ：  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/>
- 2) 国土交通省 水防災意識社会再構築ビジョン タイムライン ホームページ：  
<http://www.mlit.go.jp/river/bousai/timeline/index.html>
- 3) 国土交通省 水災害に関する防災・減災対策本部 防災行動計画ワーキング・グループ：タイムライン（防災行動計画）策定・活用指針（初版）、平成 28 年 8 月
- 4) 国土交通省 関東地方整備局 荒川下流河川事務所 ホームページ：  
<http://www.ktr.mlit.go.jp/arage/arage00385.html>
- 5) 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部：下水道 BCP 策定マニュアル 2017 年版（地震・津波編）、平成 29 年 9 月
- 6) 災害時支援大都市連絡会議：下水道災害時における大都市間の連絡・連携体制に関するルール、平成 29 年 1 月
- 7) 公益社団法人 日本下水道協会：下水道事業における災害時支援に関するルール、平成 28 年 12 月
- 8) 公益社団法人 日本下水道協会：平成 28 年 熊本地震 迅速な復旧へ、経験を活かせ！！、平成 29 年 3 月
- 9) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：プロジェクト研究報告第 59 号 下水道管路の耐震化優先度評価に関する研究 参考資料-4 下水道即時地震被害推定システム、平成 30 年 1 月

## 5. 処理水の衛生学的リスク制御技術

### および水再生処理の評価に関する調査

下水処理研究室 室長 山下 洋正  
研究官 松橋 学

#### 1. はじめに

環境基準の衛生学的な指標を大腸菌群数から大腸菌数へ変更することが議論されていることから、下水処理場の放流水の指標も現在の大腸菌群数からの変更について検討が必要である。また、再生水利用に関する国際規格が策定される予定であり、国内においても従来技術によるリスクと性能を評価した上で再生水利用の効果も踏まえた技術基準の検討が必要である。そのため、大腸菌について、下水処理場における除去特性や現在の基準である大腸菌群数との関係性を整理し、基準の変更の必要性や新たな基準値の設定、基準達成に必要な技術の評価手法を確立することが求められる。また、再生水利用については、下水処理水を直接摂取する可能性があることから衛生学的リスクの指標となりうる指標生物を選定すると共に、新たな指標生物の評価手法を確立し、実態調査をした上で、衛生学的リスクがどの程度に制御されるのかといったリスク評価の観点から踏まえた基準値設定の考え方を確立することが求められる。

このことから、本研究において平成 29 年度は、評価手法の確立や基準値の設定のために必要な下水処理場における水処理・消毒工程での大腸菌群数及び新たな指標生物となりうる微生物等の現状把握を目的に、大腸菌群、大腸菌、及びウイルス等を測定し、冬季の水処理・消毒工程での除去特性について調査した。

#### 2. 調査方法

##### 2.1 調査概要

平成 29 年 12 月から平成 30 年 3 月の期間に 4 回の調査を実施した。調査対象の処理場は A 処理場（分流式、OD 法、塩素消毒、処理量約 17,800m<sup>3</sup>/日）及び B 処理場（分流式、標準活性汚泥法、生物膜を用いたろ過、UV 消毒、処理量約 29,000m<sup>3</sup>/日）を選定した。採水及び水質測定は表 1 に示す箇所で行った。また採水はスポットサンプリングにより行い、採水時間は処理場における滞留時間を考慮した。なお、塩素消毒後の放流水については、測定への影響を防ぐため、残留塩素濃度の測定を実施し、チオ硫酸ナトリウムで中和した。調査対象とした各処理場の消毒施設の緒元を表 2 に示す。

表 1 採水箇所一覧

| 処理場<br>(処理/消毒)方式   | 流入水 | 処理水<br>(消毒前) | ろ過後の水<br>(消毒前) | 放流水<br>(消毒後) |
|--------------------|-----|--------------|----------------|--------------|
| A処理場<br>(OD/塩素消毒)  | ○   | ○            | -              | ○            |
| B処理場<br>(標準法/UV消毒) | ○   | ○            | ○              | ○            |

表 2 消毒施設緒元

| 処理場                | 消毒方法                                       |
|--------------------|--------------------------------------------|
| A処理場<br>(OD/塩素消毒)  | 次亜塩素酸ソーダ（有効塩素12%）<br>注入率 1 mg/L<br>接触時間15分 |
| B処理場<br>(標準法/UV消毒) | 密閉方式<br>中圧紫外線ランプ<br>照射量250J/m <sup>2</sup> |

## 2.2 測定項目

### (1) 水質測定項目

水質測定は、水温、pH、浮遊物質（SS）、残留塩素を下水試験方法<sup>1)</sup>に準じて測定した。

### (2) 大腸菌群数及び大腸菌数の測定

大腸菌群数及び大腸菌数は下記の方法により測定した。

- ・デソキシコール酸塩培地を用いた平板培養法（大腸菌群数のみ）
- ・コリラート培地 QT トレイを用いた最確数法
- ・クロモアガーECC 培地を用いた平板培養法
- ・クロモアガーECC 培地を用いたメンブレンフィルター法（MF 法）
- ・クロモアガーECC 培地を用いた格子付きメンブレンフィルター法（HGMF 法）

### (3) 嫌気性芽胞菌の測定

嫌気性芽胞菌は、上水試験法に準じてハンドフォード改良寒天培地を用いたパウチ法により測定し、培養後3枚のパウチの1mm以上の黒色集落数を計数し、その平均値より算出した。<sup>2)</sup>

### (4) ノロウイルス G1、G2 の測定

試料水に PEG が濃度 8%、NaCl が終濃度 0.4 (mol/L) になるように添加し、静置後、濃縮液から RNA を抽出した。

RNA の抽出効率には抽出カラムへの SS 負荷量に影響されるため、既往文献<sup>3)</sup>を参考に RNA の抽出に供する試料を 0.1 (mg-

SS) 以下になるように調整した。また試料の濃縮液からの RNA の精製は、1 試料につき 1 回実施した。精製した RNA 試料をリアルタイム PCR により定量した。なお検出用プライマー及びプローブは表 3 を用いた<sup>4)</sup>。

### (5) 大腸菌ファージの測定

大腸菌ファージはプラーク法を用いて測定した。流入水については重層法により測定し、消毒工程の前後及び B 処理場のろ過行程の前は単層法により測定した。また、宿主は大腸菌 *Escherichia coli* K-12 株 (NBRC3301) を用いた。

表 3 ノロウイルス測定のパライマー及びプローブ

| 標的 | 種類    | 名称             | 塩基配列 (5'-3')                       |
|----|-------|----------------|------------------------------------|
| G1 | プライマー |                | CGY TGG ATG CGN TTY CAT GA         |
|    |       | COG1R          | CTT AGA CGC CAT CAT CAT TYA C      |
|    | プローブ  | RING1 - TP (a) | AGA TYG CGA TCY CCT GTC CA         |
|    |       | RING1 - TP (b) | AGA TCG CGG TCT CCT GTC CA         |
| G2 | プライマー | COG2F          | CAR GAR BCN ATG TTY AGR TGG ATG AG |
|    |       | ALPF           | TTT GAG TCC ATG TAC AAG TGG ATG CG |
|    |       | COG2R          | TCG ACG CCA TCT TCA TTC ACA        |
|    | プローブ  | RING2 - TP     | TGG GAG GGC GAT CGC AAT CT         |

Y=C or T N=A, T, G or C R=A or G

表 4 水質項目分析結果

## 3. 結果及び考察

### 3.1 水質測定の結果

各処理場における水質項目測定結果を表 4 に示す。水温、pH、SS については、調査期間を通じてほぼ一定の値を示した。

|      |       | 水温<br>℃   | pH      | SS<br>mg/L | NH4-N<br>mg/L |
|------|-------|-----------|---------|------------|---------------|
| A処理場 | 流入水   | 15.5~18.3 | 7.8~8.0 | 160~180    | -             |
|      | 処理水   | 16~17.9   | 6.6~6.7 | 3.2~11.0   | 0.6~1.5       |
|      | 放流水   | 16~17.7   | 6.5~6.7 | 0.8~1.8    | 0.5~0.8       |
| B処理場 | 流入水   | 17.7~19.2 | 7.1~7.2 | 120~160    | -             |
|      | 処理水   | 18.5~19.7 | 6.2~6.7 | 0.8~1.8    | -             |
|      | ろ過槽後水 | 18.5~20.5 | 6.4~6.5 | (0.1) ~0.5 | -             |
|      | 放流水   | 18.8~20.4 | 6.4~6.7 | (0.1) ~0.5 | -             |

※B処理場のSSについて括弧書きは定量限界 (0.5mg/L) 以下のため参考値

B 処理場の処理水の SS については、ろ過後の SS 濃度が定量限界下限値である 0.5 (mg/L) またはそれ以下であった。また塩素濃度について A 処理場の放流水において遊離塩素 0.02~0.19 (mg/L)、結合塩素 0.05~0.25 (mg/L) であった。A 処理場における消毒前アンモニア濃度は 0.6~1.5 (mg/L) 消毒後は 0.5~0.8 (mg/L) であった。

### 3.2 大腸菌群数及び大腸菌数の測定結果

対象処理場の放流水中の大腸菌群数は、A 処理場で  $10^1 \sim 10^2$  (CFU/mL)、B 処理場では、定量下限値 0.03 (CFU/mL) 又はそれ以下の値で放流水質基準を満たす良好な処理が行われていた (図 1)。次に各工程の大腸菌群数及び大腸菌の除去率について説明する。除去率は下記の式 (1) で算出される対数除去率を用いた。

$$\text{対数除去率}(\log) = \log(\text{処理前の濃度}) - \log(\text{処理後の濃度}) \dots (1)$$

例: 除去率99.00%: 対数除去率2.0log、  
除去率99.90%: 対数除去率3.0log

A 処理場の水処理工程及び消毒工程での平均の除去率はそれぞれ大腸菌群数 (特定酵素培地 (平板法)) で 2.19log 及び 0.57log、大腸菌数 (特定酵素培地 (平板法)) で 2.34log 及び 0.55log であった。B 処理場では、水処理工程、ろ過工程では、それぞれ大腸菌群数 (特定酵素培地 (平板法)) で 2.87log 及び 0.34log、大腸菌数 (特定酵素培地 (平板法)) で 3.23log 及び 0.46log (図 2) であった。B 処理場の消毒工程の除去率は平板法の測定結果が定量下限値以下であることから MF 法での検討を行った。大腸菌群数 (特定酵素培地 (MF 法)) で 2.66log、大腸菌数 (特定酵素培地 (MF 法)) で定量下限値を含む一点を除き 2.97log であった。次に、大腸菌群数、大腸菌数の測定法の比較結果について説明する。大腸菌群数、大腸菌数ともに測定法による差はほとんど見られなかったが、処理水において A 処理場の 12 月の MF 法を用いた大腸菌群数、大腸菌数及び 2 月の最確数法を用いた大腸菌群数、大腸菌数がそれぞれ

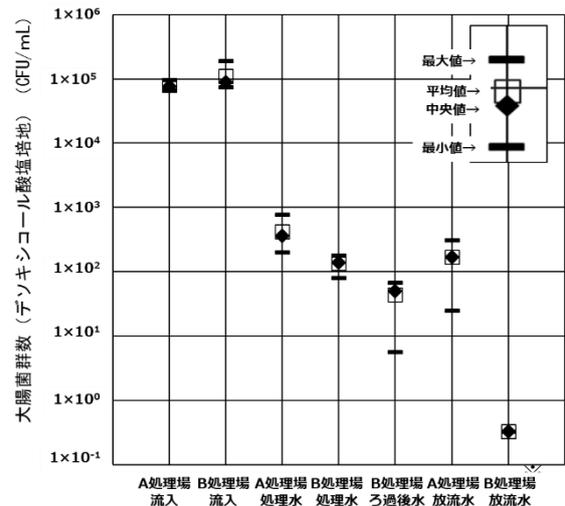


図 1 各工程の大腸菌群数 (デソキシコール酸塩培地) (※1 点除き定量下限値以下)

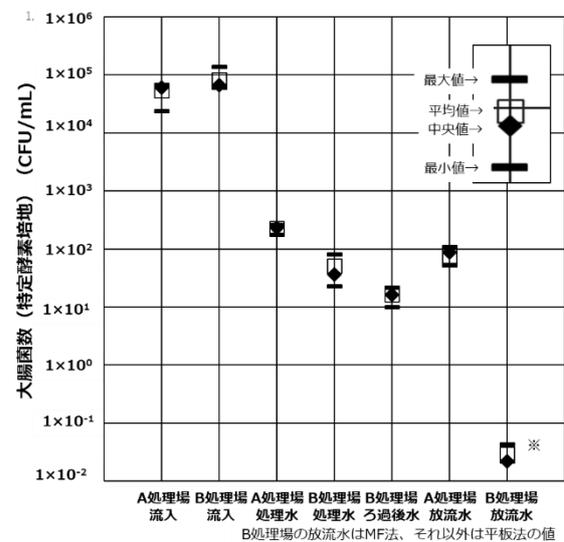


図 2 各工程の大腸菌数 (特定酵素培地) (※は MF 法、それ以外は平板法)

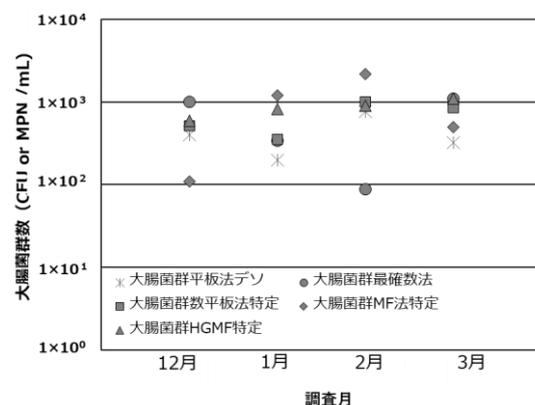


図 3 A 処理場における処理水中の測定法別の大腸菌群数

10<sup>-1</sup> から 10<sup>-2</sup> (CFU/mL)程度他の測定法に比べ低い値となった (図 3、4)。

次に測定法別の処理水中の大腸菌群に占める大腸菌の割合の平均値を図 5 に示す。処理水中の割合は、特定酵素基質培地を用いた A 及び B 処理場でそれぞれ平板法では 37%及び 29%、MF 法では 29%及び 13%、HGMF 法では 23%及び 14%、最確数法では、25%及び 32%となった。過去の調査<sup>5)</sup>では、処理水では概ね 20~40%の割合との報告がされており、本調査においてもやや低い値を示す測定方法があったものの同様の結果となった。また、流入水では処理水に比べ全体的に大腸菌の割合が高い結果となり、最確数法、平板法では平均値が 50%を超える割合のものもあった (図 6)。前述の除去率等から水処理工程において大腸菌群に含まれる大腸菌以外の菌に比べ大腸菌の除去率が大きいことが原因であると考えられる。例えば大腸菌群数に含まれる大腸菌以外の菌として *Klebsiella* 属は消毒抵抗性をもつなど大腸菌とは違う消長を示すものが含まれている。

### 3.3 嫌気性芽胞菌の測定結果

嫌気性芽胞菌は大腸菌等の細菌よりも消毒抵抗性が高く上水道では糞便性指標と合わせて消毒効果指標として用いられている<sup>5)</sup>。各工程の嫌気性芽胞菌濃度を図 7 に示す。A 及び B 処理場の流入濃度は 10<sup>3</sup> (CFU/mL) 程度であり、放流水の濃度は A 処理場で 10<sup>1</sup> (CFU/mL) 程度、B 処理場では 10<sup>0</sup> 程度 (CFU/mL) まで除去されていた。除去率は A 処理場の消毒工程及び放流水の平均で 1.78log 及び 0.17log であった。B 処理場の水処理工程、ろ過行程及び消毒工程ではそれぞれ 1.88log、0.63log 及び 0.64log であった。除去傾向は A 及び B 処理場の水処理工程における除去率の差はほとんどないが、水処理工程より後段では、塩素消毒を実施している処理場 A に比べ、ろ過+UV 消毒を実施している処理場 B の方が高い除去率であった。

### 3.4 ノロウイルスの測定結果

ノロウイルスによる感染性胃腸炎は毎年国内報

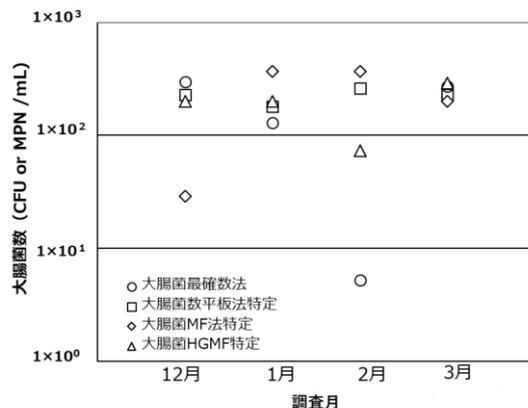


図 4 A 処理場の処理水中の測定法別の大腸菌数

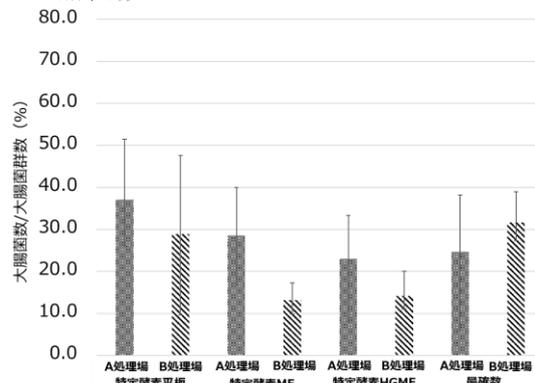


図 5 処理水の大腸菌群中の大腸菌の割合

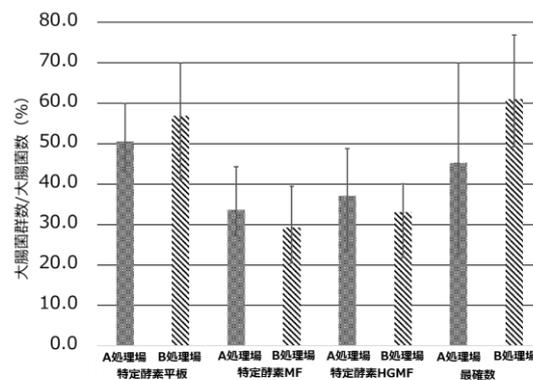


図 6 流入水の大腸菌群中の大腸菌の割合

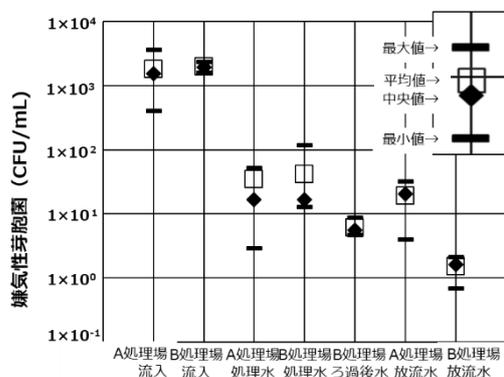


図 7 各工程の嫌気性芽胞菌濃度

告され、原因別の食中毒の患者数が最も多いといわれている<sup>6)</sup>。本調査におけるノロウイルス G2 濃度を図 8 に示す。A 及び B 処理場の流入濃度は  $10^9$ (copies/L)程度で放流水では  $10^6$  及び  $10^5$ (copies/L)程度まで除去された。除去率について、A 処理場の水処理工程及び消毒工程でそれぞれ  $2.22\log$ 、及び  $0.28\log$  であった。B 処理場の水処理工程、ろ過工程及び消毒工程ではそれぞれ  $3.02\log$ 、 $0.35\log$  及び  $0.22\log$  であった。除去傾向は、水処理工程より後段では A 処理場の塩素消毒のみに比べ B 処理場のろ過+UV の方が除去効果は高い結果となった。なお UV 消毒により不活化したウイルスであっても PCR で検出されてしまうため消毒効果の評価をする際は安全側の評価となることに留意する必要がある。

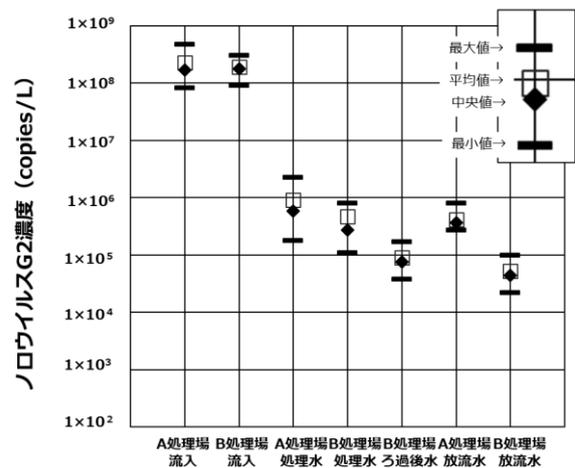


図 8 各工程のノロウイルス G2 の濃度

### 3.5 大腸菌ファージの測定結果

大腸菌ファージは水中における挙動がウイルスに似ていると想定され、様々な研究が行われている。また、ノロウイルスは培養法による測定法が確立されていないが大腸菌ファージは培養法による測定法が確立されている。そのためノロウイルスと大腸菌ファージの除去効果の違いをより詳細に検討することにより、ノロウイルスに対するリスク制御技術の評価に向けて大腸菌ファージの活用が期待される<sup>7)</sup>。本調査における大腸菌ファージ濃度を図 9 に示す。A 及び B 処理場の流入濃度は  $10^5$  及び  $10^6$ (PFU/L)程度で放流水では  $10^2$  及び  $10^1$ (PFU/L)程度まで除去された。除去率について、A 処理場の水処理工程及び消毒工程ではそれぞれ  $2.17\log$  及び、 $0.44\log$  であった。B 処理場の水処理工程及びろ過工程ではそれぞれ  $3.51\log$ 、 $-0.1\log$  であり、消毒工程では放流水の定量下限値以下の値を除いた除去率が  $1.88\log$  であった。除去の傾向は A 処理場においては他の生物と同様の傾向を示した。また B 処理場では、ろ過槽での除去効果がほとんど確認されず多くが UV 消毒により除去されていた。ノロウイルスと大腸菌ファージを比較すると A 処理場では各工程の除去率はほぼ同程度であった。B 処理場では、ろ過工程においてノロウイルスの除去は確認されたが大腸菌ファージの除去はほとんど確認できなかった。一方で全体の除去率については、ノロウイルスに比べ大腸菌ファージの方が大きくなっていった。B 処理場の比較についてノロウイルスを PCR 法、大腸菌をブランク法(培養法)で測定しており PCR 法による不活化したウイルス検出の可能性があるので、評価の際は安全側の評価になることについて考慮する必要がある。

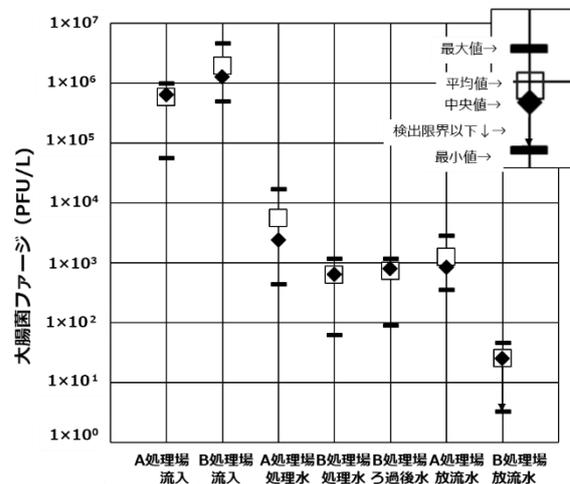


図 9 各工程の大腸菌ファージ濃度

#### 4. まとめ

本調査では、大腸菌群、大腸菌及び指標生物となりうる微生物等について OD 法、標準法の 2 つの処理方式及び塩素消毒、ろ過+UV の 2 つの異なる消毒等の工程における挙動を把握した。調査期間中の 2 つの処理場の大腸菌群及び大腸菌数の流入水濃度は  $10^4 \sim 10^5$ (CFU/mL)程度、水処理工程（B 処理場においてはろ過前まで）の除去率は 2 処理場とも 2~3log で水処理方法による大きな違いはなかった。一方、水処理以降のプロセスにおいては、除去率で 1log 程度差があった。また、大腸菌群に占める大腸菌の割合は処理水では概ね 20~40%の割合であり過去の知見と同様の結果であった。

その他の指標生物となりうる微生物等については、調査期間中の流入水濃度は、両処理場ともに、嫌気性芽胞菌で  $10^3$  (CFU/mL) 程度、ノロウイルス (G2) で  $10^9$ (copies/L)程度、大腸菌ファージ  $10^5 \sim 10^6$ (PFU/L)程度であった。除去率については、A 処理場における各工程で調査期間中ほぼ同様の除去率で処理場全体の除去率も 2.9~2.5log 程度で、嫌気性芽胞菌は他の微生物に比べ 1 log 程度低い除去率であった。また、B 処理場における除去率は、A 処理場とほぼ同様の傾向となったが、ろ過工程で嫌気性芽胞が多く除去される一方、大腸菌ファージがほとんど除去されないこと、消毒工程において大腸菌ファージが他の微生物等より多く除去されるなどの差異があった。

今後も通年の調査を実施し、大腸菌等に関する過去の知見の確認及び下水道の放流水の適切な基準となりうる指標微生物についての実態を把握したいと考えている。

#### 【参考文献】

- 1) 下水試験方法 2012 年度版上巻、公益社団法人日本下水道協会 P229,P245,p251,
- 2) 上水試験法 2011 年度版 V 微生物編、公益社団法人日本水道協会、P81
- 3) 諏訪守、尾崎 正明、岡本誠一郎、陶山明子：下水処理のノロウイルス除去効果とその検出濃度に及ぼす濃縮法の影響, 下水道協会誌 Vol.46、 No.561、 pp.91-100、2009
- 4) 厚生労働省：ノロウイルスの検出方法について、食安監発第 0514004 号最終改定、平成 19 年 5 月
- 5) 原田一郎、藤井都弥子他：下水処理施設への新たな衛生学的指標導入に関する検討、平成 24 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料、No.773、pp59-66、2014
- 6) 渡邊渡：好きになる微生物学、講談社、p84、2015
- 7) 片山浩之：水環境とウイルス、ウイルス第 66 巻第 2 号、pp.163-170、2016

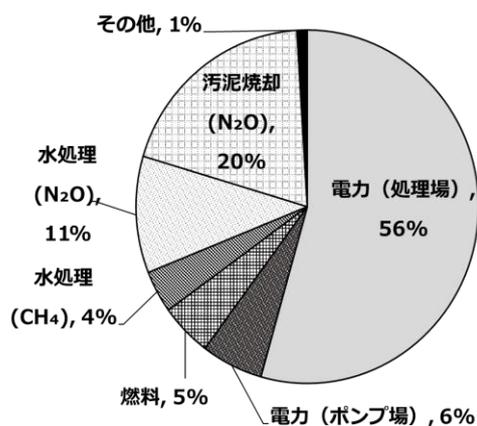
## 6. 下水道における温暖化ガス排出量削減に関する調査

下水処理研究室 室長 山下 洋正  
 研究官 道中 敦子  
 研究官 栗田 貴宣

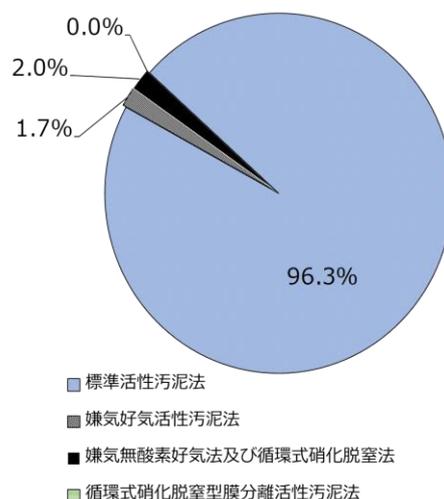
### 1. はじめに

地方公共団体の事業活動に伴う温室効果ガス（以下、GHG）の中でも、下水道事業に伴う GHG 排出量は年間で約 630 万 t-CO<sub>2</sub> と、大きな割合を占めており地球温暖化防止対策の一環として排出量の削減に取り組むことが求められている<sup>1)</sup>。排出量の約半分は電力消費に起因する二酸化炭素（以下、CO<sub>2</sub>）に由来するものだが、生物反応を利用した下水処理プロセスでは、そのほかに、メタン（以下、CH<sub>4</sub>）や一酸化二窒素（以下、N<sub>2</sub>O）が発生することが特徴である（図 1 下水道部門の GHG 排出実態）。中でも N<sub>2</sub>O は、CO<sub>2</sub> の約 300 倍の温室効果を有するため無視できないが、その生成過程には、関与する微生物と環境因子が複数存在することから、メカニズムや排出実態については依然として不明な点が多く、未だ明確な対応策が講じられていない。そこで、本研究では下水処理プロセスにおける N<sub>2</sub>O 排出量の実態把握と発生抑制手法の検討を目的としている。

これまでの現地調査の結果<sup>2)</sup>から、処理方式の違いにより N<sub>2</sub>O 排出量が異なることがわかっている。特に窒素やりん除去を目的とした高度処理は標準活性汚泥法（以下、標準法）に比べて排出量が低いことが示された。一方で、水処理から排出される N<sub>2</sub>O の 9 割以上が標準法から排出されており（図 1 水処理からの N<sub>2</sub>O 排出量内訳）、さらに国内の処理水量のうち約 7.5 割が標準法により処理されていることから標準法への対応が急務である。そのため、本研究では標準法に着目し、異なる運転方法における N<sub>2</sub>O 排出量の実態を把握することを目的として、ベンチスケールリアクターを用いた実験を行うとともに、既設の標準法施設を活用し運転方法の工夫により窒素除去等の水質向上を図



下水道部門のGHG排出実態 (CO<sub>2</sub>換算, 2012年度)<sup>1)</sup>



水処理からのN<sub>2</sub>O排出量内訳 (CO<sub>2</sub>換算, 2015年度)<sup>3)</sup>

図 1 下水道部門の GHG 排出実態と水処理からの N<sub>2</sub>O 排出量内訳

る段階的・高度処理運転を実施している処理場を対象として現地調査を実施した。

## 2 研究内容

### 2.1 現地調査による N<sub>2</sub>O 排出量の実態把握

高度処理への更新は多額の設備投資が必要であることから容易に進まないのが現状である。このことから、処理場によっては、改築更新を待たずに、既設の標準活性汚泥法施設を活用し運転方法の工夫により、環境基準の早期達成や処理性能の安定化を図る取り組みがなされている。これまで、段階的・高度処理運転の中でも導入のしやすさから広く取り組まれている運転方法の工夫の一つである疑似嫌気好気運転を実施している処理場を対象に現地調査を実施してきた<sup>5)</sup>。本年度は、窒素除去を目的として擬似的な硝化脱窒運転や AOA 運転を実施している処理場を対象に調査を実施した。

#### (1) 方法

調査対象処理場において、処理過程における N<sub>2</sub>O 排出量の実態を把握するため、流入水から処理水まで、各反応槽から排出される N<sub>2</sub>O 量を調査した。調査は 24 時間調査とし、同採取地点において 24 時間コンポジット（4 時間に 1 回）でガス採取及び採水を実施し（計 7 回）、平均値を各調査時の値とした。反応槽の水面から発生するガスを、ガス捕集器を用いて採取し、ガス態 N<sub>2</sub>O 濃度の測定に用いた。嫌気槽からのサンプリングはガス発生量が小さいことから、0 および 20 分後のガスを測定し、0 分のをバックグラウンドとした。また、反応阻害剤としてグルコン酸クロルヘキシジン溶液を添加したヘッドスペース用のバイアル瓶に（最終濃度：0.26%）、各反応槽内の液体試料を採取し密閉したものを、溶存態 N<sub>2</sub>O 濃度測定に用いた。N<sub>2</sub>O ガス分析は、電子捕獲検出器（ECD）付ガスクロマトグラフ（ガスクロマトグラフ GC-8A、SHIMADZU 社）を用いて濃度の測定を行った。ECD では導入部および検出部温度を 250℃、カラム温度を 80℃に設定した。カラムは PORAPAK-Q（1m、80/100 メッシュ、Waters 社）を用い、キャリアガスに Ar+CH<sub>4</sub>(5%)を使用した。溶存態 N<sub>2</sub>O 濃度は、ヘッドスペース法（温度 40℃、恒温時間 150 分、HEADSPACE Autosampler tekmar 7000（Tekmar-DOHRMANN 社））により分析を行った。採水後 MLSS 濃度の測定を行った。また、速やかにガラス繊維ろ紙にてろ過し、溶存態有機物、溶存無機態窒素濃度の測定を行った。溶存態有機物濃度については、TOC-5000（SHIMADZU 社）にて測定した。溶存無機態窒素（NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N）及び全窒素濃度は、自動比色分析装置 QuAAtro2-HR（BL-TEC 社）を用いて測定した。

#### (2) 調査時における各処理場の運転状況

調査は異なる処理場 4 か所、それぞれ 1 系列にて実施した。いずれも既設の標準法躯体を用いて処理している。それぞれ調査した系列は以下の通りである。D、E 処理場では、放流先の環境基準が設定されたことから窒素除去の必要性が高まり、疑似的な硝化脱窒運転を実施している。どちらも隔壁があり、反応槽の第 1 槽（1/5 槽）が機械攪拌による無酸素運転、第 2 槽（2/5 槽）では微曝気攪拌による無酸素運転、第 3 槽～第 5 槽（3/5～5/5 槽）は好気運転にて管理している。F 処理場では、窒素除去を行うことを目的に疑似的な硝化脱

室運転を実施している。隔壁はなく、反応槽前段 2/5 部分（1/5 区画～2/5 区画）が微曝気攪拌による無酸素運転、後段 3/5 部分（3/5 区画～5/5 区画）を好気運転として管理している。G 処理場は、冬場に N-BOD が高くなることからその対策のため、疑似的な AOAO 運転を採用している。隔壁があり、反応槽第 1 槽（1/4 槽）を機械攪拌による無酸素運転、第 2 槽（2/4 槽）を好気運転、第 3 槽（3/4 槽）を微曝気攪拌による無酸素運転、第 4 槽（4/4 槽）を好気運転として管理している。いずれの処理場も、返送汚泥ラインを循環ラインとして活用し、返送比を上げることで脱窒を促進する運転を行っている。各処理場における無機態窒素および溶存有機物濃度の推移を図 2 に示す。

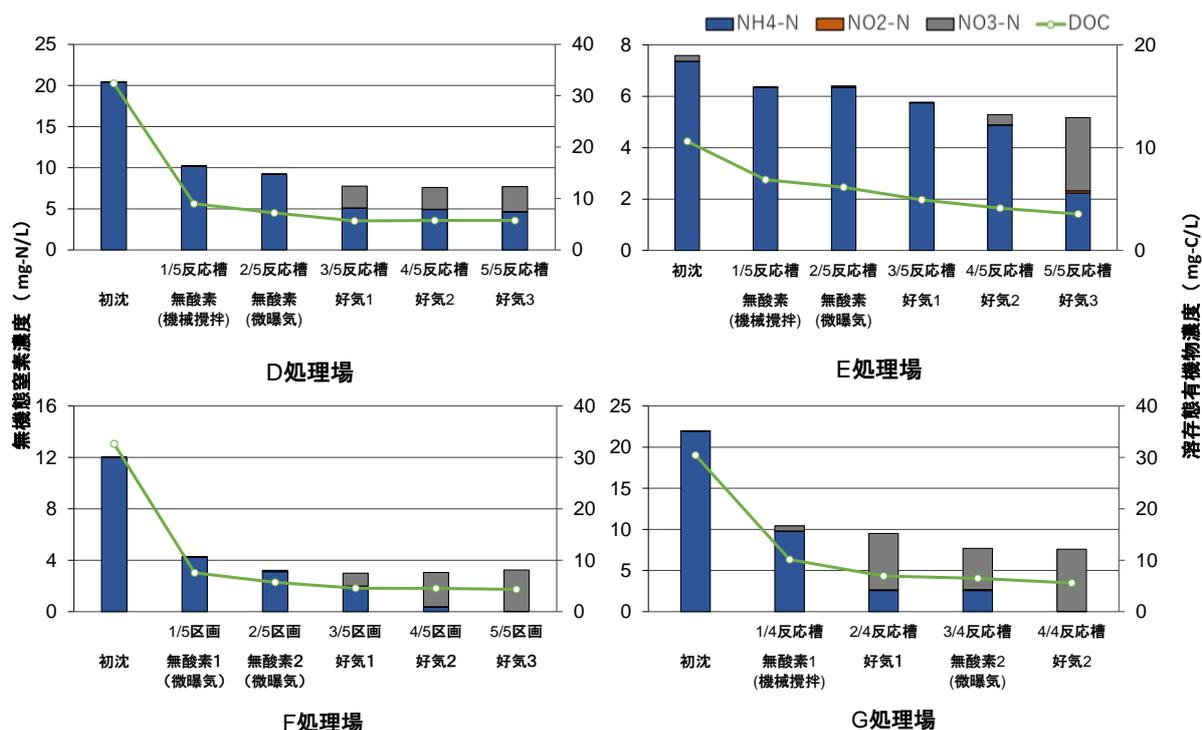


図 2 各処理場における無機態窒素および溶存有機物濃度の推移

E 処理場については、流入水の溶存有機物濃度が平均 11.3mg/L、NH<sub>4</sub>-N 濃度が平均 7.3mg/L とかなり濃度が低かった。調査前日夜から調査日早朝に雨が降ったが、降水量は 1～6 mm 程度と少なかった。また、調査開始時に降雨はなかったにもかかわらず下水濃度は低かった。処理場にヒアリングを行ったところ、数日前に大雨が降った影響がまだ残っている可能性はあるとのことであったが、明確な原因はわからなかった。そのため、今回の結果は参考値とする。D、F 処理場では、流入有機物の約 80%が無酸素環境下で消費されており、好気環境下での消費量は小さかった。前段の無酸素環境下で NH<sub>4</sub>-N が減少、NO<sub>3</sub>-N は検出されず、有機物が減少していることから、脱窒が起こっていると考えられた。初沈越流水から 2 番目の無酸素槽 (2/5 区画) 末端までにおいて消費された無機態窒素濃度は、D 処理場で 11.2mg/L、F 処理場で 8.8mg/L だった。これらの窒素分がすべて脱窒にて消費されたと仮定した場合、必要な有機物(メタノールでの換算値:2.47)は、D 処理場 27.7mg/L、F 処理場で 21.7mg/L となる。実際に減少した有機物濃度は D 処理場 25.2mg/L、F 処理場で

26.9mg/L であることから、ほぼ脱窒にて消費されたと考えられた。後段の好気槽では NO<sub>3</sub>-N が増加し、無機態窒素の総和はほぼ変わらなかったことから、主に硝化反応が起こっていると考えられた。G 処理場については、第一無酸素槽（1/4 反応槽）までは同様の結果が得られた。続く好気槽（2/4 反応槽）では、NH<sub>4</sub>-N が NO<sub>3</sub>-N へ酸化され、無機態窒素の総和としてはほぼ変化がなかったことから主に硝化反応が起こっていた。その後の第 2 無酸素槽（3/4 反応槽）では NH<sub>4</sub>-N に変化はなく、NO<sub>3</sub>-N の消費のみ観察されたことから脱窒反応のみ起こったと推測される。ここでは 3/4 反応槽に流入した NO<sub>3</sub>-N のうち 27%が消費された。最後の第 2 好気槽（4/4 反応槽）では、残った NH<sub>4</sub>-N が NO<sub>3</sub>-N へ酸化された。このように、疑似 AOA 運転、疑似硝化脱窒運転、いずれのケースも無機態窒素の減少が確認されており、脱窒反応により窒素除去が促進されていた。

### (3) 現地調査時における各処理場の N<sub>2</sub>O 排出係数及び N<sub>2</sub>O 転換率

各処理場の調査時における N<sub>2</sub>O 排出係数(系外へ排出される大気放出 N<sub>2</sub>O 量/処理水量)、N<sub>2</sub>O 転換率（系外に排出されるガス態 N<sub>2</sub>O 量及び処理水中溶存態 N<sub>2</sub>O 量の総和/窒素損失量）、及び窒素除去率（流入全窒素濃度に対する処理水全窒素濃度の減少）を表 1 に示す。窒素除去を目的とした段階的高度処理における N<sub>2</sub>O 排出係数は 2.9～23.0 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> であり、平均値は 8.2 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> だった。N<sub>2</sub>O 転換率は 0.05～0.33% だった。疑似硝化脱窒運転と疑似 AOA 運転を比較すると、疑似 AOA 運転の方が排出係数については高い値となったが、転換率はほぼ同程度だった。ただし、疑似 AOA 運転は 1 箇所だけの調査結果であることから、今後確認が必要である。

表 1 各調査時の N<sub>2</sub>O 排出係数および転換率

| 処理場                             | 運転方式 | N <sub>2</sub> O排出係数<br>mg-N <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> | 流入水NH <sub>4</sub> -N<br>mg/L | 処理水NH <sub>4</sub> -N<br>mg/L | 窒素<br>除去率 | N <sub>2</sub> O<br>転換率 |       |
|---------------------------------|------|------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------------------|-------|
| 本<br>年<br>度<br>調<br>査<br>結<br>果 | D処理場 | 段階的高度処理 疑似硝化脱窒運転                                           | 4.14                          | 21.97                         | 4.42      | 68%                     | 0.05% |
|                                 | E処理場 | 段階的高度処理 疑似硝化脱窒運転                                           | 2.97                          | 7.31                          | 0.79      | 41%                     | 0.33% |
|                                 | F処理場 | 段階的高度処理 疑似硝化脱窒運転                                           | 2.9                           | 12.0                          | 0.02      | 68%                     | 0.09% |
|                                 | G処理場 | 段階的高度処理 疑似AOAO運転                                           | 23.0                          | 23.9                          | 0.10      | 69%                     | 0.11% |
| 過<br>年<br>度<br>調<br>査<br>結<br>果 | A処理場 | 段階的高度処理 疑似AO運転                                             | 29.4                          | 22.6                          | 4.07      | 33%                     | 0.37% |
|                                 | B処理場 | 段階的高度処理 疑似AO運転                                             | 24.6                          | 13.1                          | 0.13      | 49%                     | 0.19% |
|                                 | C処理場 | 1                                                          | 段階的高度処理 疑似AO運転                | 2.6                           | 16.0      | 5.81                    | 48%   |
| 2                               |      | 段階的高度処理 疑似AO運転                                             | 4.3                           | 14.8                          | 0.29      | 50%                     | 0.07% |

既往の調査結果<sup>4)</sup>の標準法における N<sub>2</sub>O 排出係数 142 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> および N<sub>2</sub>O 転換率 0～6.7%（平均 0.88%）に対し、低い値となった。過年度実施した段階的高度処理運転（疑似 AO 運転）調査結果<sup>5)</sup>は、処理場間でばらつきがあるものの、N<sub>2</sub>O 排出係数の平均値 15.2 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>、転換率 0.07～0.37%（平均 0.18%）であり同等の結果が得られた（表 1；A～C 処理場）。このことから、段階的高度処理運転のうち、疑似嫌気好気運転、疑似硝化脱窒運転、疑似 AOA 運転、いずれにおいても標準法に比べて N<sub>2</sub>O 生成が抑制される可能性が示された。

## 2.2 ベンチスケールリアクターを用いた N<sub>2</sub>O 排出量抑制運転の検討

標準法における N<sub>2</sub>O 発生抑制運転手法の検討を目的に、ベンチスケールリアクターを用いて異なる曝気運転による N<sub>2</sub>O 排出量の違いをこれまで調査してきた。その調査結果<sup>5)</sup>より、前段の曝気を制限した運転を行うことで N<sub>2</sub>O 排出量が低減できる可能性が示唆された。前段の曝気を制限することで硝化だけでなく脱窒も進行させることで窒素負荷を軽減し、後段の好気槽における N<sub>2</sub>O 生成を抑制することができるのではないかと考えられた。一方、低水温期において硝化が不完全となりやすく、硝化のために必要な曝気風量が増加するために前段での曝気風量を制限することが困難となる場合が観察された。さらに不完全な硝化となることで系内に亜硝酸が蓄積する傾向があり、そのとき N<sub>2</sub>O 排出量が高いことが示された。そこで、低水温期（流入水温 15℃以下）において、曝気風量を制限せずに返送率を上げる運転を行った場合について N<sub>2</sub>O 排出量を調べた。返送率を著しく上げることで硝酸を多く反応槽へ供給し、反応槽前段での脱窒を促すことにより窒素除去を向上させ、N<sub>2</sub>O 排出量を抑制することが狙いである。

### (1) 方法

6 槽の反応槽（6.6L×6 槽、計 39.6L）と最終沈殿池（13.2L）から構成された連続式リアクターを用いて実験を行った。本装置は、実下水処理場内に設置した国総研実験施設にて運転を行い、当該下水処理場の流入下水を沈殿処理した水を連続的に供給した。本調査では、低水温期の実態を把握するため、水温 15℃以下の期間でデータを取得した。実験はリアクターを 2 台使用し、実験系、対照系の 2 系列で実験を行った。どちらの系も同条件（返送率：約 80%、HRT：約 5 時間、SRT：約 10 日間）にて運転後、実験系のみ返送率を約 150% に上げて運転を行った。DO 制御は行わず、曝気風量は期間中すべての槽において 1.0 L/min にて運転した。対照系、実験系で同条件にて運転していた期間を前半期（1 月 22 日以前）、急激に水温が変化した 1 月 22 日～29 日を中間期とし、返送率を変更した 29 日以降を後半期とした。

各反応槽には覆蓋がついており水面から発生するガスを採取できるようになっている。採取したガス試料はガス態 N<sub>2</sub>O 濃度の測定に用いた。各反応槽内の活性汚泥混合液および流入水、処理水の液体試料を採取し、水質分析および溶存態 N<sub>2</sub>O 分析に用いた。水質分析試料は、採取した液体試料を速やかにガラス繊維ろ紙（1 μm）にてろ過したものを用いた。溶存態 N<sub>2</sub>O 分析は、反応阻害剤としてグルコン酸クロルヘキシジン溶液を添加したヘッドスペース用のバイアル瓶（最終濃度：0.26%）に、各液体試料を添加し密閉したものを用いた。水質およびガス分析は上述 2.1(1)と同じ方法にて実施した。

### (2) 結果

水温は 10～15℃で推移していた。データ取得時期の気温および水温を図 3 に示す。1 月 18 日まで安定して運転していたが、1 月 22 日に急激な気温低下が生じた。そのため引き続き同条件にて運転し、水温が上昇した後、

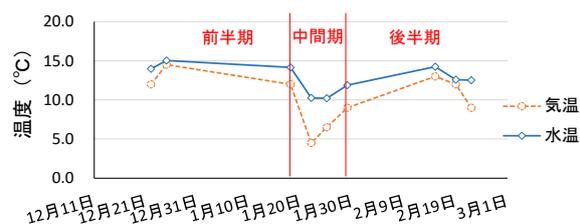
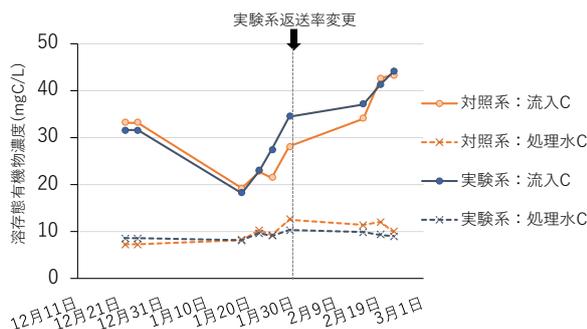
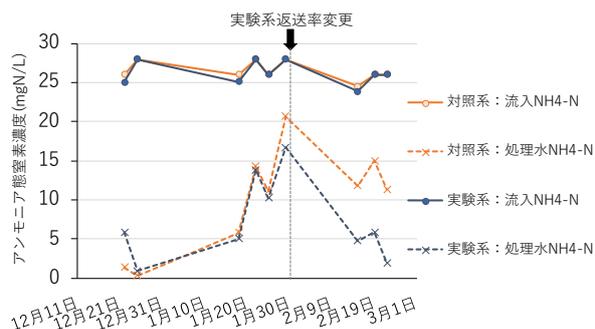


図 3 気温および水温の推移



a) 流入水および処理水の溶存有機物濃度



b) 流入水および処理水の NH<sub>4</sub>-N 濃度

図 4 流入水および処理水の溶存態有機物濃度とアンモニア性窒素(NH<sub>4</sub>-N)濃度の経日変化

1月29日に実験系の返送率を変更した。

図 4a) に流入水および処理水の溶存態有機物濃度の経日変化を示す。流入水の溶存態有機物濃度は約 20~45mg/L とかなり変化した。一方、処理水については 10mg/L 以下で安定していたが、後半において、対照系の方が若干悪くなる傾向が観察された。しかしながら、いずれも 15mg/L 以下で運転できていた。図 4b) に流入水および処理水の NH<sub>4</sub>-N 濃度の経日変化を示す。流入水 NH<sub>4</sub>-N 濃度は期間中を通して 25~28mg/L の間で推移していた。1月22日に処理水中 NH<sub>4</sub>-N 濃度の上昇が観察された。これは急激な温度低下により生物活性が下がったためと考えられる。その後、温度上昇とともに処理水中 NH<sub>4</sub>-N 濃度は低下した。また、実験系のみ返送率を変更した1月29日以降は、対照系と比較して実験系の方が処理水中の NH<sub>4</sub>-N 濃度が低かった。

図 5 に流入水あたりのガス態 N<sub>2</sub>O 排出量の推移を示す。各反応槽から排出されたガス態 N<sub>2</sub>O 量の総和を流入水量で除することで算出した。同条件で運転していた期間は対照系、実験系、ともに同じ挙動が観察された。この期間における平均値は、対照系が 400 mgN<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>、実験系が 532 mgN<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> であり、同程度の排出量だった。1月22日の急激な温度低下時には、どちらも排出量が約 300 mgN<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> まで減少した。これは、水温低下により一時的に生物活性が下がったことが原因と考えられた。運転条件を変えていない対照系については、排出量が低下した後、水温の上昇とともに排出量が徐々に増加した。実験系については、減少したのは1月22日のみであり、速やかに約 500 mgN<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> となった。返送率を変更しても、実験系の排出量に大きな変化は見られなかったが、2月19日に突出して排出量が上がった。後半期における期間平均は、対照系が 378 mgN<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>、実験系が 936 mgN<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> と、実験系が高かった。

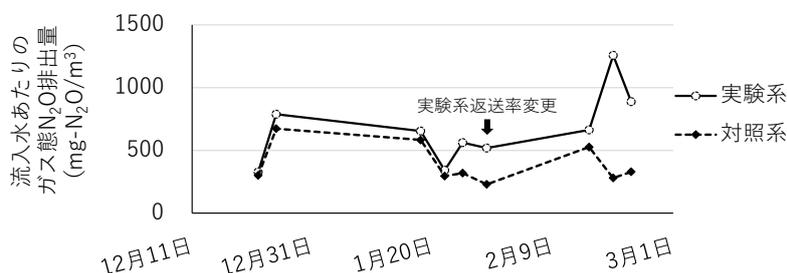


図 5 流入水あたりのガス態 N<sub>2</sub>O 排出量

無機態窒素濃度の各反応槽における期間平均値を図 6 に示す。また、各期間における有機物除去率、窒素除去率（流入無機態窒素に対する処理水中無機態窒素の除去率）を表 2 に示す。対照系、実験系を比較すると、前半期と中間期では、どちらの系も同様の結果と

なった。まず前半期については、第1槽目から第6槽目にかけて無機態窒素総和量にほぼ変化がみられなかった。窒素除去率についても対照系は38.6%、実験系が36.1%で同等だった。流入したNH<sub>4</sub>-Nの半分程度は硝化したが、第6槽目でNH<sub>4</sub>-Nが残っていた。中間期では、第6槽目までで流入したNH<sub>4</sub>-Nの約4分の1程度しか硝化されておらず、さらに硝化が抑制された運転となっていた。これは水温低下による生物活性の低下のため、硝化抑制運転となっていたと示唆された。この期間は、NH<sub>4</sub>-Nの生物処理がほぼされておらず、N<sub>2</sub>O排出量が減少したことは妥当と思われる。後半期において、対照系はそのまま硝化不足が続き、系内の亜硝酸蓄積量が増加しており、後半期においてもN<sub>2</sub>O排出量が大きく増加しなかった要因と考えられた。運転条件を変更した実験系では、後段の反応槽へ進むにつれて無機態窒素の総和が減少しており、各槽内で硝化と脱窒が起こっていたと考えられる。窒素除去率は47.9%であり、他の期間より高かった。これまでの結果では、窒素除去率が高い運転を行なった場合、N<sub>2</sub>O排出量は減少する傾向がみられた<sup>2)4)</sup>。また、同時硝化脱窒は、硝化により生成した亜硝酸を速やかに消費するため、系内の亜硝酸蓄積を抑制しN<sub>2</sub>O排出量は減少すると想定していた<sup>5)</sup>。しかしながら、今回の結果では最もN<sub>2</sub>O排出量が高い結果となった。ガス態N<sub>2</sub>O排出量の各反応槽におけるそれぞれの各期間平均値を図7に示す。実験系の後半期を除いて、反応槽第1槽目、第2槽目においてガス態N<sub>2</sub>O排出量が突出して高く、後段の反応槽での

表2 各期間における有機物および窒素除去率

|       | 有機物除去率 |       | 窒素除去率 |       |
|-------|--------|-------|-------|-------|
|       | 対照系    | 実験系   | 対照系   | 実験系   |
| 前半期平均 | 67.3%  | 67.3% | 38.6% | 36.1% |
| 中間期平均 | 56.0%  | 65.2% | 19.9% | 24.7% |
| 後半期平均 | 71.9%  | 77.0% | 27.9% | 47.9% |

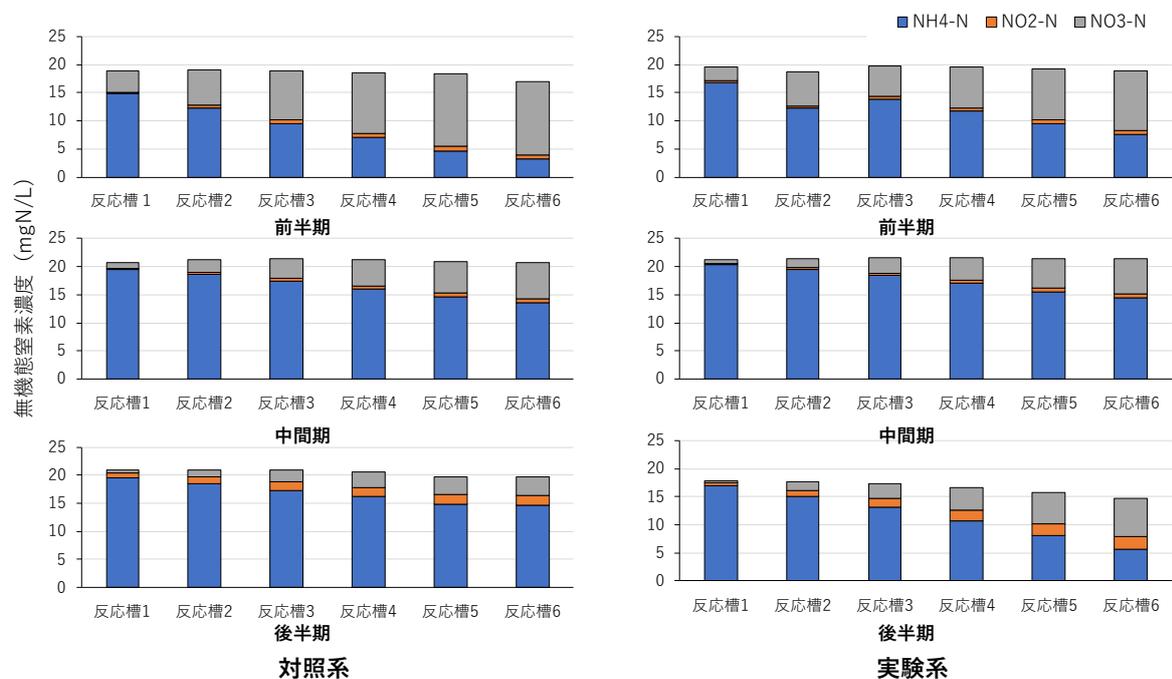


図6 無機態窒素濃度の各反応槽における推移

排出量は低い。一方、実験系後半期ではいずれの槽からも排出されていることがわかる。また、反応槽で亜硝酸の蓄積が確認され、理論的に推測された「同時硝化脱窒

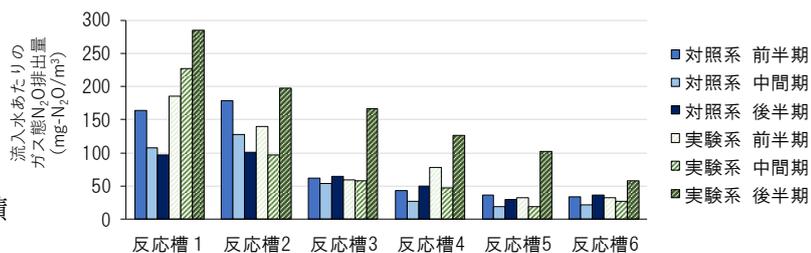


図7 反応槽ごとのガス態 N<sub>2</sub>O 排出量

による速やかな亜硝酸消費」につながらなかったことが示された。同時硝化脱窒反応によって窒素除去率は上がったが、亜硝酸の蓄積は抑制されず、N<sub>2</sub>O 排出量が抑制されない結果となった。条件変更直後ではなく、2月19日に突出して排出量が上がる現象が確認されている(図5)。このとき流入有機物量が急に増加し40mg/Lを超えていたことから、負荷量の変動に影響されたことは留意しなくてはならないが、同時硝化脱窒運転では曝気風量や返送率をはじめとする条件の最適化が難しいことが原因ではないかと推測される。このことから、同時硝化脱窒運転でN<sub>2</sub>O発生量を抑制するためには高度な制御技術が想定される。一方で、亜硝酸蓄積がN<sub>2</sub>O発生因子の一つとして示唆される結果を得ているが、現地観測においては亜硝酸蓄積とN<sub>2</sub>O発生量に必ずしも相関関係は確認されず、ベンチスケールリアクターを用いて様々な運転条件の変更により、亜硝酸蓄積以外のN<sub>2</sub>O発生因子について検討を行うことが今後の課題である。

### 3. まとめ

高度処理に比べてN<sub>2</sub>O排出量が高い標準法に着目し、運転方法の違いによるN<sub>2</sub>O排出量の実態把握を目的に調査を実施した。窒素除去を目的として擬似的な硝化脱窒運転、AOAO運転を実施している処理場を対象に現地調査を実施した結果、いずれにおいても標準法に比べてN<sub>2</sub>O生成が抑制される可能性が示された。一方、リアクターを用いた抑制運転に関する検討として、低水温期における同時硝化脱窒運転についてN<sub>2</sub>O排出量を調べた。曝気風量は制限せずに返送率を著しく上げる運転を行った結果、全槽において同時硝化脱窒反応が生じ窒素除去率は向上したが、N<sub>2</sub>O排出量が高い結果となった。また、亜硝酸蓄積以外のN<sub>2</sub>O発生因子を明らかにすることが今後の課題である。

#### 【参考文献】

- 1) 環境省・国土交通省：下水道における地球温暖化対策マニュアル，平成28年3月
- 2) 道中敦子（2017）水処理・汚泥処理から発生するGHGの抑制，月刊下水道40(13)，p59-63
- 3) 温室効果ガスインベントリオフィス：日本国温室効果ガスインベントリ報告書，2017年4月
- 4) 道中敦子（2015）下水処理場におけるN<sub>2</sub>O排出係数の見直し，水環境学会誌，38(9)，p340-344
- 5) 平成28年度下水道関係調査研究年次報告書集 国総研資料 第1032号，p43-52

# 7. 下水道資源の活用を考慮した水環境マネジメント推進 に関する調査

下水処理研究室 室長 山下 洋正  
研究官 藤井 都弥子

## 1. はじめに

下水処理場における電力消費量は平成 27 年度の時点で 7,146 百万 kwh/年<sup>1)</sup>、電力由来の温室効果ガス排出量は約 378 万 t-CO<sub>2</sub>/年であり、公共団体が実施する事務事業のなかでも温室効果ガス排出量が多いことから、公的機関として率先した省エネ方策の推進が求められている。また、平成 26 年度に改訂された「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」(以下、「流総指針」)<sup>2)</sup>や新下水道ビジョン、及び平成 27 年度に策定された下水道技術ビジョンにおいて、「エネルギー・資源の視点を取り入れた整備計画策定の促進」や「下水処理場でのエネルギー利用効率化技術の開発」、「下水道から排出される温室効果ガス排出量を削減するための技術や省エネ効果を評価する手法の開発」等が目標として定められた。

こうした動きをふまえ、水環境の保全と省エネルギー・創エネルギーとを両立するための取り組みが求められている。一方で、下水処理工程におけるエネルギー消費と下水汚泥のエネルギー利用によるエネルギー創出を一体的に検討する考え方や、エネルギー消費量、創出量の試算方法等については十分整理されていない。

そこで本調査では、下水汚泥のエネルギー利用促進による省エネルギー・創エネルギーの効果を検討するための第 1 段階として、既存の費用関数等を活用してエネルギー収支、コストの算出を行うための考え方を整理するとともに、水処理方法や流入水量規模、下水汚泥エネルギー利用方法を組み合わせた複数のケースについて試算を行い、各ケースの特徴を整理した。

## 2. 研究内容

### 2.1 試算ケース、試算条件等の設定

平成 28 年度に整理した水処理・汚泥処理にかかる電力消費量を試算する考え方<sup>3),4)</sup>を元に、新たに消化工程及び下水汚泥のエネルギー利用工程を組み合わせた考え方を整理し、コスト及びエネルギー収支の試算を行った。本調査における試算範囲を図-1 に示す。本調査では、最初沈殿池から最終沈殿池までの水処理工程、汚泥濃縮設備から汚泥脱水設備までの汚泥処理工程と、消化ガス発電設備または固形燃料化設備を対象とした。

試算ケースを表-1 に、試算条件を表-2 に示す。設定の考え方は次の通りである。

消化工程や消化ガス発電の有無、脱水汚泥の処理方法の違いによってケースを設定し、4 つの流入水量規模でさらにパターン分けを行った。また、各パターンについて水処理方法を 4 つ設定して試算を行った。地域特性や排除方式等により、流入汚水の水質、発生する汚泥の有機分が異なるほか、発生する汚泥量とその汚泥性状により、コストやエネルギー消費量、創出量が大きく異なる。そこで本試算では、流入水質及び汚泥の有機分をパラメータとして、分流

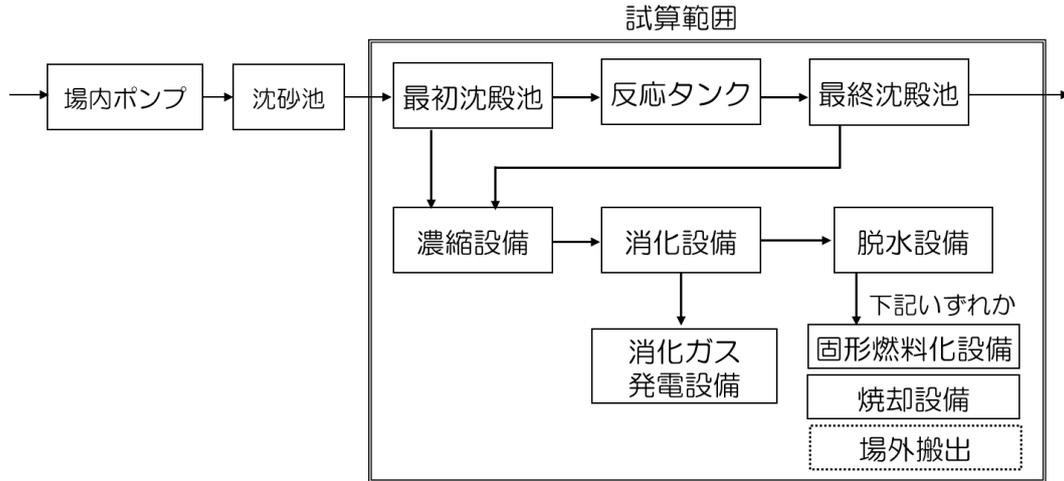


図-1 本調査における試算範囲

表-1 本調査における試算ケース

|                              | ケース A                                    | ケース D               | ケース B                                     | ケース C                                      | ケース E |
|------------------------------|------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
| 消化工程                         | ○                                        |                     | ○                                         | ○                                          | ×     |
| 消化ガス発電                       | ○                                        |                     | ×                                         | ×                                          |       |
| 脱水後の汚泥処理                     | 場外搬出                                     | 焼却                  | 固形燃料化(乾燥)                                 | 固形燃料化(炭化)                                  |       |
| 日平均流入水量(千 m <sup>3</sup> /日) | 20(A-1)<br>40(A-2)                       | 80(D-1)<br>160(D-2) | 20(B-1)<br>40(B-2)<br>80(B-3)<br>160(B-4) | 40(C-1,E-1)<br>80(C-2,E-2)<br>160(C-3,E-3) |       |
| 水処理方式                        | 標準活性汚泥法・循環式硝化脱窒法・嫌気無酸素好気法・ステップ流入式多段硝化脱窒法 |                     |                                           |                                            |       |
| 負荷量                          | 分流式の場合を想定した「高濃度」、合流式の場合を想定した「低濃度」の2条件    |                     |                                           |                                            |       |

表-2 本調査における試算条件

|                 |                                                      |            |
|-----------------|------------------------------------------------------|------------|
| 機器の仕様           | 稼働状況や採用実績から設定                                        |            |
| 消化ガス発電方式        | ガスエンジン方式                                             |            |
| 固形燃料化設備、焼却設備の燃料 | 消化を行う場合(ケース B,C,D)は消化ガスを利用<br>消化を行わない場合(ケース E)は重油を利用 |            |
| 消化槽の加温          | 消化ガス発電機・固形燃料化設備・焼却設備の廃熱、及び余剰消化ガスを利用                  |            |
| 汚泥処分費           | 処分委託費(ケース A)                                         | 16,000 円/t |
|                 | 焼却灰処分費(ケース D)                                        | 8,000 円/t  |
|                 | 固形燃料売却益(ケース B,C,E)                                   | 100 円/t    |

式の場合を想定した「高濃度」、合流式の場合を想定した「低濃度」の2条件について試算を行った。これにより、最終的な試算パターンは112パターンとなった。

消化ガス発電を行うケースについては、脱水汚泥の処分方法の実態をふまえてケース A(日平均流入水量 20,000m<sup>3</sup>/日、40,000m<sup>3</sup>/日。脱水汚泥は場外処分)及びケース D(日平均流入水量 80,000m<sup>3</sup>/日、160,000m<sup>3</sup>/日。脱水汚泥は焼却処分)とした。発電方式は最も採用事例の多いガスエンジン方式とし、ケース A では消化ガスの全量をガス発電に使用し、ケース D では消化ガスを焼却設備補助燃料に優先的に使用し、余剰消化ガスで発電を行うものとした。

固形燃料化(乾燥)を行うケース(ケース B)については、消化設備を設置し、消化ガスは優先的に固形燃料化(乾燥)設備(以下、「乾燥設備」)で使用するものとした。流入水量は、4つの規模全てを対象とした。

固形燃料化(炭化)を行うケースについては、脱水汚泥量 10t-wet/日より大きな規模で実施されている状況をふまえ、日平均流入水量 40,000m<sup>3</sup>/日、80,000m<sup>3</sup>/日、160,000m<sup>3</sup>/日規模を対象とした。また、消化設備を設置し消化ガスを優先的に固形燃料化(炭化)設備(以下、「炭化設備」)の補助燃料として炭化を行うケース(ケース C)と、消化設備を設置せずに重油を炭化設備の補助燃料として炭化を行うケース(ケース E)の両方で試算した。

固形燃料化(乾燥)と固形燃料化(炭化)でケース設定が異なる理由は、固形燃料化(乾燥)を下水道事業として導入している下水処理場(平成29年3月時点で6箇所)は全て消化設備を有しているのに対し、固形燃料化(炭化)を下水道事業として導入している下水処理場(同11箇所)では消化設備を有している下水処理場と有していない下水処理場が混在している実態をふまえたためである。これは、脱水汚泥の含水率や臭気など消化工程の有無による汚泥性状の違いが、固形燃料化技術への適用性に影響しているものと考えられる。

ケース A,B,C,Dにおける消化槽の加温は、消化ガス発電設備や固形燃料化設備、焼却設備の廃熱及び消化ガスを利用することとした。なお、廃熱や消化ガスが不足した場合は、重油を利用することとした。

脱水汚泥の処分費については、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(平成29年度版)」(以下、「エネ化ガイドライン」)<sup>5)</sup>において検討されているケースに基づき、ケース A は外部への処分委託費(16,000円/t)を、ケース B,C,E は固形燃料の売却価格(100円/t)を、ケース D は焼却灰の処分費(8,000円/t)をそれぞれ計上した。

なお、本調査における試算ケースは、各方法の優劣を比較するものではなく、まずは各方法のエネルギー収支やコストの状況を把握するために設定した。

## 2.2 試算方法

各設備のコスト、エネルギー収支の算出にあたっては、まず試算条件や各処理方法の標準的な除去率等に基づいて物質収支を整理した。整理した物質収支から各機器の容量計算を行い、機器仕様、運転時間等を設定した。

水処理・汚泥処理設備の電力消費量については、これまでに消費電力が把握できている機器は運転時間を乗じて電力消費量とし、消費電力が明確でない機器は運転時間と電動機容量と負荷率を乗じて電力消費量とした。

水処理・汚泥処理設備の電力消費量以外(各設備のコスト、消化ガス発電設備・乾燥設備・炭

化設備・焼却設備の電力消費量、消化ガス発電量、固形燃料熱量)については、整理した物質収支から得られた汚泥量や消化ガス発生量と、流総指針やエネ化ガイドラインにてこれまでに整理されている費用関数を用いて試算し、コスト、エネルギー収支を整理した。

消化ガス発電設備以外の設備のコストについてはデフレーターを用いて平成 28 年度価格に補正した。消化ガス発電設備については、エネ化ガイドラインにてデフレーター補正されていないことや近年の価格動向をふまえ、今回はデフレーター補正を行っていない。

### 3. 研究結果

#### 3.1 物質収支の整理

各ケースにおいて、「下水道施設計画・設計指針と解説」<sup>6)</sup>や過去の調査データ等をもとに流入から水処理工程、汚泥処理工程までの物質収支を整理した。一例として、「標準活性汚泥法・日平均流入水量 40,000m<sup>3</sup>/日・消化設備あり・高濃度」の物質収支を図-2 に、「循環式硝化脱窒法・日平均流入水量 40,000m<sup>3</sup>/日・消化設備あり・高濃度」の物質収支を図-3 に示す。高度処理は標準活性汚泥法より脱水ケーキ量が 3%程度減少する一方、返流水負荷は 8%程度上昇した。

なお、「低濃度」のケースについては、下水道統計の平均値から設定した流入水中の負荷量 (SS,BOD) が「高濃度」のケースの 7 割程度であったため、各工程における負荷量、汚泥量についても概ね 6 割～7 割程度の値となった。

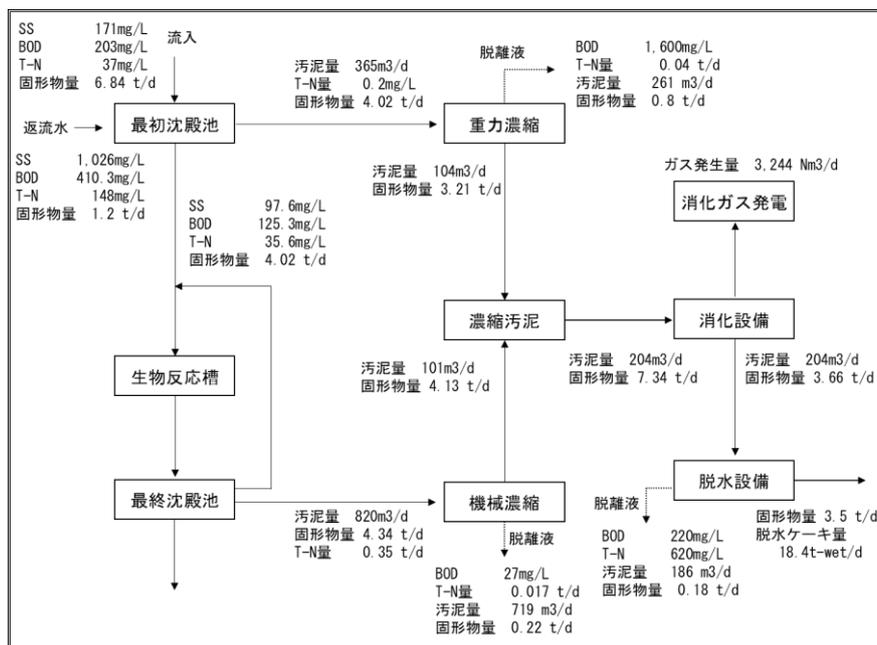


図-2 物質収支図の一例

(標準活性汚泥法・日平均流入水量 40,000m<sup>3</sup>/日・消化設備あり・高濃度)

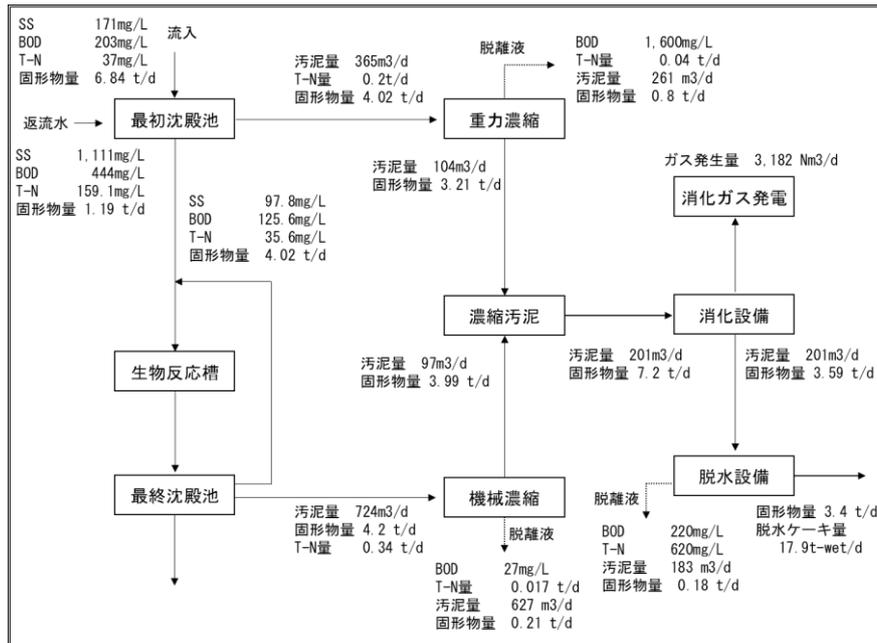


図-3 物質収支図の一例

(循環式硝化脱窒法・日平均流入水量 40,000m<sup>3</sup>/日・消化設備あり・高濃度)

### 3.2 電力消費量及びエネルギー収支の試算結果

試算結果の例として、標準活性汚泥法及び循環式硝化脱窒法における電力量及びエネルギー収支の結果を示す。

今回の試算においては、消化槽の加温に必要な熱量と各設備の廃熱の回収量、消化ガス発生量を試算した結果、全てのケースにおいて廃熱と余剰消化ガス(ケース B,C,D)で消化槽の加温をまかなえる(加温に要する燃料消費量 0)という結果となった。

図-4 は標準活性汚泥法における各ケースの電力量を、図-5 は循環式硝化脱窒法における各ケースの電力量を示したグラフである。値が下へ伸びているほど、電力消費量が大きいのことを示している。循環式硝化脱窒法のほうが標準活性汚泥法より水処理・汚泥処理施設の電力消費量が大きいため、全体の電力消費量も大きいという結果となった。

図-6 は標準活性汚泥法におけるエネルギーの創出量と消費量を、図-7 は循環式硝化脱窒法におけるエネルギーの創出量と消費量を、それぞれ熱量で示したグラフである。エネルギー消費量は電力消費量及び補助燃料使用量から算出した値を、エネルギー創出量は消化ガス発電量及び固形燃料熱量から算出した値を示している。エネルギー量についても、値が下へ伸びているほど、消費量が大きいのことを示している。また、これらの値を元に算出した、標準活性汚泥法における各ケースのエネルギー消費量に対する創出量の比率(以下、「創出量の比率」)を図-8 に、循環式硝化脱窒法における各ケースの創出量の比率を図-9 に示す。

消化ガス発電を行うケースのうち、汚泥を外部へ搬出するケース A では創出量の比率が約 40~50%だった一方、汚泥を焼却するケース D では消化ガスの一部を焼却設備の燃料として使用していることから発電量が小さくなるとともに焼却設備の電力消費量が増えるため、創出量の比率が 15%程度にとどまる結果となった。

固形燃料化(乾燥)を行うケース B は、固形燃料が持つ熱量が炭化による固形燃料より高いこ

と、乾燥設備の電力消費量が炭化設備より低いことなどから、創出量の比率は約 40～50%と高い値となった。

固形燃料化(炭化)を行うケースのうち、ケース E (消化を行わない場合)は炭化設備の補助燃料として重油を使用するケースでありエネルギー消費量が大きくなる結果となった。また、エネ化ガイドラインをふまえて固形燃料熱量を「脱水汚泥量×固形燃料転換率(単位量あたりの脱水汚泥から固形燃料が生成される量を示した割合)×単位発熱量」の式から算出しているが、ガイドラインに記載されている固形燃料転換率と単位発熱量の値と、別途算出した脱水汚泥量から算出した固形燃料熱量の値は、消化を行うケース C より小さくなることから、創出量の比率が小さくなる結果となった。ただし、ガイドラインに記載されている値は、硝化があるケースでは低温炭化、消化がないケースでは中温炭化による固形燃料の実態調査結果に基づいているため、今回用いている算出式や係数について今後検討が必要になる可能性がある。

なお、ここでは示していないが、嫌気無酸素好気法及びブステップ流入式多段硝化脱窒法の電力消費量やエネルギー量は、循環式硝化脱窒法とほぼ同程度という結果となった。また、「低濃度」は「高濃度」と比較してエネルギー消費量で約 20%、エネルギー創出量で約 40%低い結果となった。

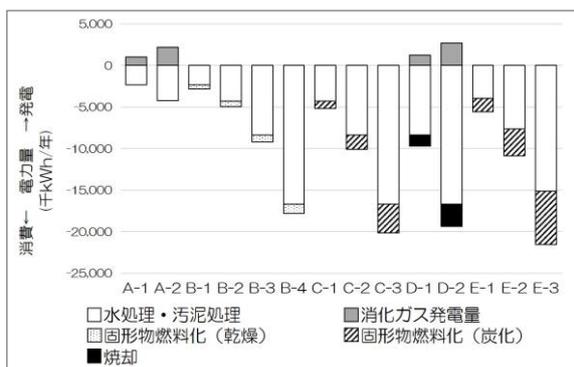


図-4 電力消費量(標準活性汚泥法)

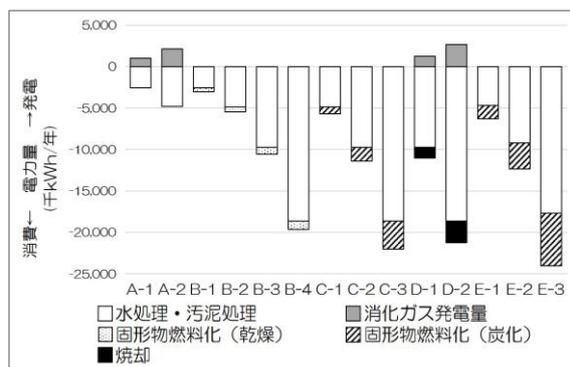


図-5 電力消費量(循環式硝化脱窒法)

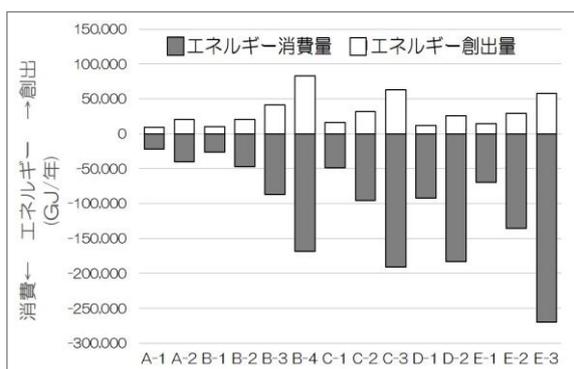


図-6 エネルギー創出量及び消費量(熱量)  
(標準活性汚泥法)

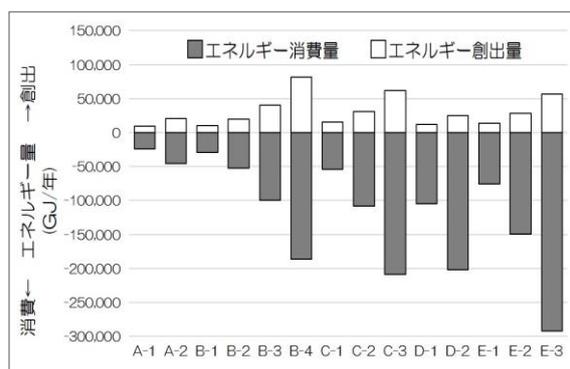


図-7 エネルギー創出量及び消費量(熱量)  
(循環式硝化脱窒法)

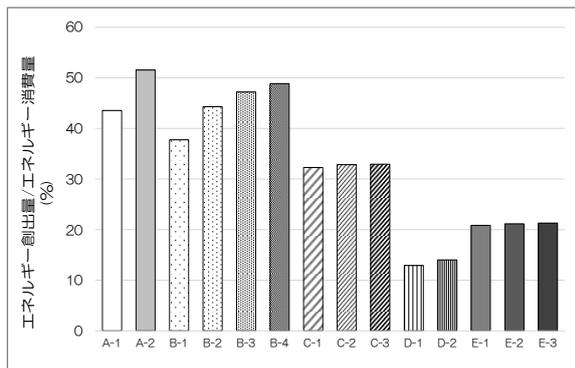


図-8 エネルギー消費量に対する創出量の比率 (標準活性汚泥法)

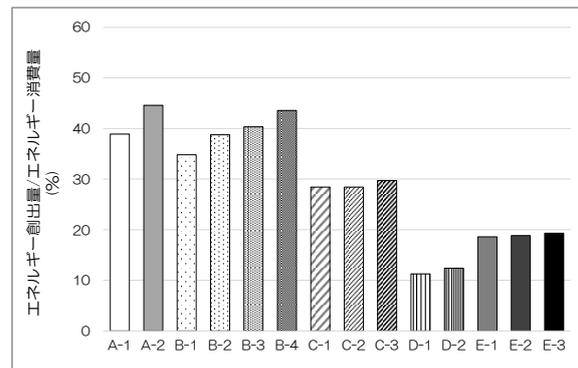


図-9 エネルギー消費量に対する創出量の比率 (循環式硝化脱窒法)

### 3.3 コストの試算結果

コストについても、標準活性汚泥法及び循環式硝化脱窒法における「高濃度」の試算結果を例として示す。コストは建設費(年価)、維持管理費、汚泥処分費の合計で算出しており、今回の試算においては、消化ガス発電による電力は場内で利用し、消費電力の削減をコストに反映した。また、固形燃料は処理場で利用せず全て外部に売却するとした。図-10 は標準活性汚泥法における各ケースの処理水量あたりのコストを、図-11 は循環式硝化脱窒法における各ケースの処理水量あたりのコストを示したものである。循環式硝化脱窒法は標準活性汚泥法より 10～20%程度高い値となった。いずれのケースにおいても、流入水量が大きくなると処理水量あたりのコストが小さくなる傾向が見られた。

流入水量別に見ると、日平均流入水量 20,000m<sup>3</sup>/日(A-1、B-1)では、消化ガス発電のほうが固形燃料(乾燥)より低い結果となった。日平均流入水量 40,000m<sup>3</sup>/日(A-2、B-2、C-1、E-1)では、ケース A がやや低いが、ケース B,C,E は同程度となった。日平均流入水量 80,000m<sup>3</sup>/日及び 160,000m<sup>3</sup>/日(B-3、B-4、C-2、C-3、D-1、D-2、E-2、E-3)では、ケース D において他のケースより 10%程度コストが高くなる傾向が見られた。ケース B,C(消化あり・固形燃料化)は、設置する設備や汚泥発生量等にあまり違いがなく、建設費及び維持管理費に大きな差が見られないことから、全体コストも同程度の値になったと考えられる。また、ケース E(消化なし・固形燃料化)では、消化設備がないため建設費は他のケースより低くなるが、重油を固形燃料化設備の補助燃料として使用するため維持管理費が高くなることから、今回の試算では全体コストがケース B や C と同程度の値になったと考えられる。一方、ケース D(消化ガス発電・汚泥焼却)は水処理・汚泥処理設備、消化ガス発電設備のほかに焼却設備の建設費、維持管理費が追加となるため、他のケースよりコストが高くなったと考えられる。

なお、コストについても嫌気無酸素好気法及びステップ流入式多段硝化脱窒法は循環式硝化脱窒法とほぼ同程度という結果となった。また、「低濃度」の場合は汚泥発生量が減るため、ケース A,D(消化ガス発電)では維持管理費、汚泥処分費ともに「高濃度」より低くなり、全体コストで見ると「高濃度」より約 10%低くなる結果となった。一方、ケース B,C,E(固形燃料化)では汚泥発生量が少なくなることにより維持管理費は減るものの固形燃料売却益も減るため、全体コストで見ると「高濃度」と同程度という結果となった。

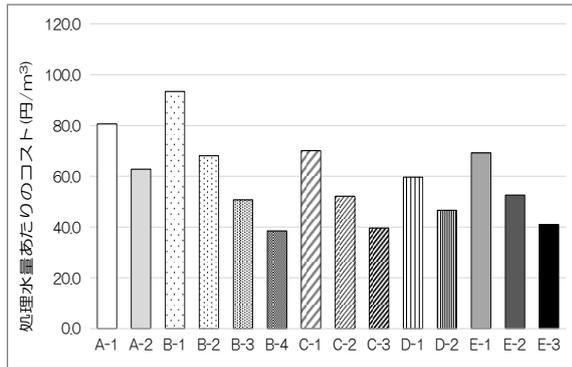


図-10 処理水量あたりのコスト  
(標準活性汚泥法)

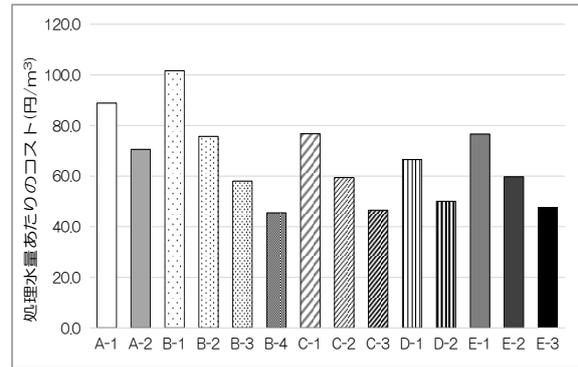


図-11 処理水量あたりのコスト  
(循環式硝化脱窒法)

#### 4. まとめ

既存資料等を活用して下水処理工程及び汚泥のエネルギー利用によるエネルギー収支、コストを算出する方法を整理し、流入水量規模や下水汚泥の利用形態の違いによる傾向を整理した。今後は、今回整理した算出方法に実下水処理場の情報を適用して試算し、今回の試算結果や実績値との比較分析等を行うとともに、流域における水環境の保全とエネルギーの最適化を検討するための考え方を整理していく予定である。

#### 【参考文献】

- 1) 公益社団法人日本下水道協会;平成 27 年度版下水道統計, (2017)
- 2) 藤井都弥子,重村浩之,前田光太郎,山下洋正;原単位を用いた下水処理場における電力消費量削減にむけた検討手法に関する一考察, 第 54 回下水道研究発表会講演集, 522~524, (2017)
- 3) 藤井都弥子,浜田知幸,前田光太郎,重村浩之,山下洋正;下水道設備における電力消費特性をふまえた処理場全体の電力消費量削減検討手法, 土木学会論文集 G(環境)第 54 巻, 449~456, (2017)
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部;流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説, (2015)
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部;下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン 平成 29 年度版, (2018)
- 6) 社団法人日本下水道協会;下水道施設計画・設計指針と解説-2009 年版-後編,(2009)

## II. その他の予算による調査研究

# 1. 中小都市の持続可能な下水道事業実施に関する基礎研究

下水道研究室 室 長 岩崎 宏和  
主任研究官 深谷 渉  
研 究 官 川島 弘靖

## 1. はじめに

今後、老朽管や設備更新を要する処理場が急増し、点検調査・修繕・改築・更新コストが増大する一方、下水道担当職員数は平成 28 年度末に約 28,300 人となり、ピークであった平成 9 年度の約 2/3 の水準まで減少しており、事業の更なる効率化が求められている。特に、中小都市では、下水道担当職員数が 5 人未満の市町村が約 500 存在するとともに、経費回収率が低い傾向にあり、事業の円滑な執行が懸念される。こうした課題に対応するため、官民連携や広域化・共同化といった管理体制の効率化が検討されている。

一方、技術面では、ICT 技術の開発・導入により、維持管理の効率化が進められてきた。更に、近年では、インフラ分野への AI 技術の導入についても検討が進められているが、下水道分野においての実装はまだこれからである。下水道事業の効率化にあたっては、管理体制の効率化だけでなく、AI 技術等の新技術の開発・導入による効率化も重要である。

このため、本研究では、AI 技術に係る政策等の動向を整理するとともに、下水道分野への適用可能性について検討した。

## 2. AI 技術に係る政策等の動向

### 2. 1. 未来投資戦略 2017（平成 29 年 6 月閣議決定）<sup>1)</sup>

未来投資戦略 2017 では、Society5.0 の実現に向け、戦略分野と新たに講ずべき具体的施策が掲げられている。5 つある戦略分野の一つに「快適なインフラ・まちづくり」が選定されており、インフラの整備・維持管理の生産性向上における具体的施策の一つとして、インフラ管理者と連携し、ロボット・AI 等の先進的技術の開発支援を進めるとしており、政府としてもインフラ分野への AI 技術の導入を重視しているところである。

### 2. 2. 下水道技術ビジョン（平成 27 年 12 月策定）<sup>2)</sup>

下水道技術ビジョンでは、新下水道ビジョンで示された長期ビジョンや中期目標を達成するために、今後開発すべき技術について、技術開発分野毎に課題、技術目標、目標を解決するために必要な技術開発項目を設定している。AI 技術については特段明記されていないが、異常時通報可能な状態監視システムの開発、ICT を活用した流入水量・水質の変動にあわせた曝気風量の制御や酸素溶解効率の向上等によるエネルギー最適化技術の実用化等が技術開発項目に設定されているとともに、産官学の連携や他分野との連携により技術開発を推進していくこととしている。

### 2. 3. i-Gesuido（平成 29 年 2 月公表）<sup>3)</sup>

国土交通省では、老朽化施設の増加、激甚化する災害への対応など下水道事業の抱える様々な課題に対応するため、ICT の活用による下水道事業の質・効率性の向上や情報の見える化を行い、下水道事業の「持続」と「進化」を実践する新たな取組として i-Gesuido を推進してい

る。i-Gesuido では、①BIM/CIM、②ストックマネジメント、③水処理革命、④雨水管理スマート化 2.0 の 4 つの柱を中心に施策を展開していくこととしている(図 1)。③の水処理革命では、リアルタイム運転管理データの集約や AI による最適運転の自動化を通じ、処理水量・負荷削減量当たりのエネルギー等使用量・コストを削減することを目標に掲げている。また、④雨水管理スマート化 2.0 では、リスク情報の見える化・リアルタイム発信、ポンプ場等の最適運転の自動化を通じた雨水管理の効率性向上、水位情報等のビッグデータ活用による新たな産業等の創出を目標に掲げている。

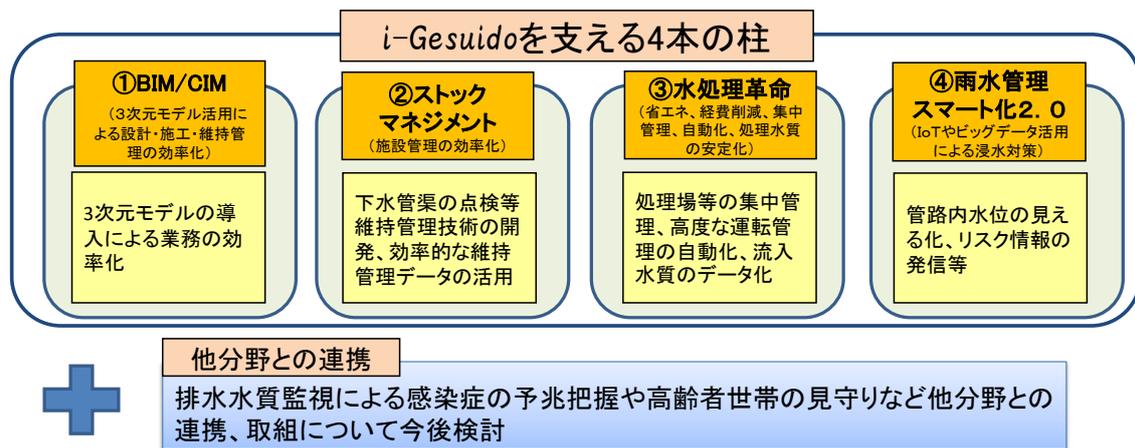


図 1 i-Gesuido を支える 4 本の柱

## 2. 4. 新下水道ビジョン加速戦略(平成 29 年 8 月策定)<sup>4)</sup>

新下水道ビジョン加速戦略では、新下水道ビジョンの実現加速の観点から、国が今後 5 年程度で進めるべき施策がとりまとめられ、技術開発に係る施策も掲げられている。技術開発関連部分に関する施策は以下のとおりである(以下の凡例は、◎: 直ちに着手する新規施策、○: 逐次着手する新規施策、◇: 強化・推進すべき継続施策)。

### 重点項目Ⅱ 下水道の活用による付加価値向上

- ディスポーザーの活用及び下水道へのオムツ受入れ可能性の検討(オムツ素材・オムツ分解装置・宅内配管等における検討と連携した下水管渠調査・実証実験の実施、トイレに流せる製品等も考慮した下水道施設や水処理などに悪影響を及ぼさないための下水道への受入れ基準検討、費用負担の考え方の検討、利用者の適正利用遵守方策等)
- ◎ 下水水質情報等を活用した感染症流行の早期感知と情報発信に向けて、衛生・医療部局等関係機関の役割分担や情報提供の内容・ツール等の検討及び社会実験の実施
- ◎ 下水道技術ビジョンを踏まえた省エネ・創エネ技術、資源利用技術の基礎研究レベルから実用化段階までの技術開発、普及展開・導入促進及び、そのための検討体制強化

### 重点項目Ⅲ 汚水処理システムの最適化

- ◎ 下水処理場等、複数施設の集中管理、遠隔制御等を行うための ICT の活用促進
- ◇ B-DASH 等の活用による、人口減少等社会情勢の変化に柔軟に対応可能な水処理技術等の開発の促進

### 重点項目Ⅵ 防災・減災の推進

- ◎ 水位計に加え、SNS 情報や防犯カメラ等を活用した浸水情報等の収集及び収集した水

位・浸水情報を活用した水位周知の仕組みやタイムライン等の導入支援

- ◇ B-DASH 等の活用による安価かつ省エネルギーで、平常時でも使用でき、迅速な災害復旧にも活用可能な処理技術等の開発促進

重点項目Ⅶ ニーズに適合した下水道産業の育成

- B-DASH 等の活用による、ICT やロボット技術等労働生産性向上に資する技術開発の促進

### 3. 下水道分野への AI 技術の適用可能性の検討

AI 技術の活用用途としては、異常検知・予知、行動の最適化、作業の自動化、情報判別等に大きく分類分けできる。今回、下水道分野への適用可能性について、上述した技術開発関連施策と関連付けて机上検討を行った。机上検討により項目出しした結果を表 1 に示す。

表 1 下水道分野への適用可能性

| 活用用途の大分類 | 内容                                                                                       |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 異常検知・予知  | 下水道管きよの TV カメラ調査結果(画像データ)に AI 技術を活用して、異常項目・程度を判断                                         |
|          | 機械設備に取り付けた振動センサーにより振動を常時監視し、AI 技術を活用して、異常判断及び劣化予測                                        |
|          | 下水道管きよの流入下水中の有害物質・ウイルスをモニタリングし、AI 技術を活用して、その挙動パターンを検知・予測することにより、処理施設の運転管理の最適化や、住民等への警報発信 |
|          | 雨天時浸入水による過去の溢水被害と分流式下水道の污水管における水温・流量から、AI 技術を活用して、雨天時浸入水による被害軽減のための施設の運転管理を最適化           |
| 行動の最適化   | 雨量・水位・流量データ(予測含む)から、AI 技術を活用して、内水浸水の防止または軽減を図るためのポンプ運転調整の最適化                             |
| 作業の自動化   | 下水処理場における流入水質・処理水質データ、流入水量、送风量から、AI 技術を活用して、エネルギー消費量と処理水質を最適化する自動運転制御を実施                 |
| 情報判別     | ネットや SNS 上の情報から、AI 技術を活用して、浸水に関する情報を選別・抽出し、下水道における早期対応や住民への適切な情報発信                       |

今回、上記の内、作業の自動化に係る項目について、AI 技術導入前後の作業の対比、研究や現場実装する上での課題等について検討した。

下水道は、全国の電力消費量の約 0.7% (約 70 億 kWh) の電力を消費し、日本全体の温室効果ガスの約 0.5% (約 621 万 t-CO<sub>2</sub>) を排出していると言われていた<sup>4)</sup>。従来は、水質保全を目的として、処理水質の向上が重要視されてきたところであるが、今後は、処理水質及び消費エネルギーの両面で最適化を図っていくことが重要である。処理水質及び消費エネルギーは、各処理場における処理方式、導入機器及びそれらの運転管理方法により影響を受ける。消費エネルギーの向上に当たっては、処理方式の変更や省エネ機器等の導入が考えられるが、更新時期や予算の問題から容易ではない。このため、運転管理の工夫を図ることが有効と考えられる。

下水処理場における消費エネルギーとしては、送風機によるものが約 60%とされている<sup>5)</sup>。現在は、流入水質や処理水質等の各データから、人間がマニュアル的または経験的に判断し、運転管理を行っているのが実態である。AI 技術を導入し、各データを分析し、処理水質及び消費エネルギーの両面を考慮した運転管理を自動化できた場合、人間は、常時は監視のみ、非常時やエラー時は、従来通りの経験的な判断により運転管理することになるが、導入効果として処理コストや人件費等の運転管理費の縮減が期待できる。

AI 技術の導入に当たっては、膨大な教師データが必要となり、研究を進める上ではその教師データの蓄積が課題となると考えられる。流入水質、処理水質、流入水量、消費電力、送風量及び薬品添加量等の基礎データは既に蓄積されていると思われるが、AI 導入の際の教師データとして利用できる形で蓄積されているかは不明である。このため、研究を進める上では、まずは教師データの蓄積が必要と考えられるが、その際、適切な教師データを得るために、事業主体である地方公共団体と AI 技術者が連携し、データを収集・共有する仕組みを検討すべきである。また、現場実装する上での課題として、災害時の運転管理、住民対応等のリスク管理、設備更新時の対応が想定される。また、非常時やエラー時は、人間の判断による運転管理が必要になるため、AI 技術を導入しながらも技術者を育成していく必要があると考えられる。

#### 4. まとめ

今回、AI 技術に係る政策等の動向を整理するとともに、下水道分野への適用可能性について検討した。AI 技術の導入にあたっては、導入検討のための教師データ収集・蓄積の仕組みから、導入時の業務プロセスの検討、導入後の非常時やエラー時の対応の検討等のリスク管理を含め、検討事項が全般にわたる。また、制度面を検討する国、教師データを有する事業実施主体である地方公共団体、技術開発に携わる AI 技術者の連携が不可欠である。引き続き、技術面での中小都市の下水道事業の効率的な運営に係る手法について検討を進めるとともに、他分野との連携促進を目的として、情報発信をしていきたい。

#### 参考文献

- 1) 未来投資会議：未来投資戦略 2017、  
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisci/kettei.html#tousi2017>
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部、国土技術政策総合研究所下水道研究部：下水道技術ビジョン、<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisci/kettei.html#tousi2017>
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：i-Gesuido、  
[http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13\\_hh\\_000322.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000322.html)
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：新下水道ビジョン加速戦略、  
[http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo\\_sewerage\\_tk\\_000510.html](http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000510.html)
- 5) 環境省、国土交通省：下水道における地球温暖化対策マニュアル、pp.60～61、H28.3

## 2. 下水道由来のアンモニアのエネルギー利用システムに関する研究

下水道処理研究室 室長 山下 洋正  
研究官 矢本 貴俊  
研究官 松橋 学

### 1. はじめに

近年、地球温暖化の顕在化や世界的な資源・エネルギー需要の逼迫が懸念され、循環型社会への転換、低炭素社会の構築が求められている。下水道事業においても、従来の下水を排除・処理する一過性のシステムから、集めた物質等を資源・エネルギーとして活用・再生する循環型システムへと転換することが必要である。

下水道処理場において、消化汚泥の脱水工程から発生する消化汚泥脱水ろ液（以下「脱水ろ液」という）には高濃度アンモニアが含まれている<sup>1)</sup>。アンモニアは図-1のように、尿素としての肥料利用をはじめ、アンモニア水として廃棄物焼却処理工程で発生するNO<sub>x</sub>抑制のための脱硝剤利用や、近年研究開発が進められているアンモニア燃料としてのエネルギー利用等、利用用途は多岐にわたる<sup>2)</sup>。一方、下水道由来のアンモニアは一般的には資源として有効利用されておらず、また、下水道に含まれるアンモニアの回収可能量や有効利用用途については知見が得られていない。

本稿では、①既存のアンモニア回収技術を下水汚泥の脱水ろ液に適用した場合の回収アンモニア濃度や回収率の分析、②下水道統計に基づく下水道由来のアンモニアの回収可能量の推定、③有効利用の一例としての脱硝剤利用の可能性検討を平成28・29年度の2年間にわたり実施したため報告する。

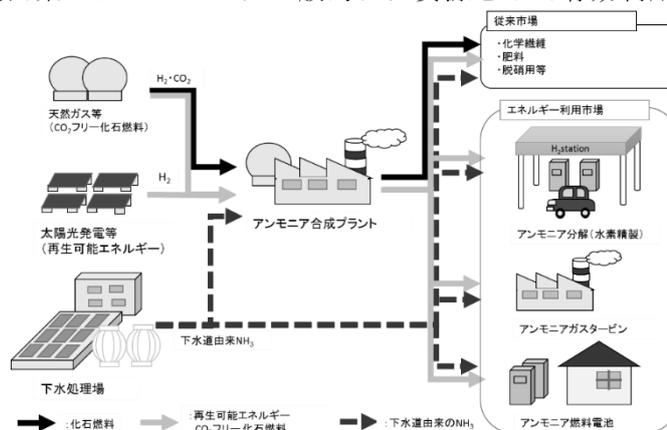


図-1 下水道由来のアンモニアの有効利用用途

## 2. 既存のアンモニア回収技術を下水汚泥の脱水ろ液に適用した場合の回収アンモニア濃度や回収率の分析

### 2.1 アンモニア回収技術と実験の概要

液体に含まれるアンモニアを分離回収する技術としてアンモニアストリッピング法がある。本手法は、アンモニア態窒素を含む水のpHを高めて遊離のアンモニアとし、大気と十分接触させて液相から気相に追い出す方法である。既往の研究では、高水温・高pHの条件下においてアンモニア回収効率は高く<sup>3)</sup>、家畜糞尿の脱水ろ液から分離回収したアンモニア濃度は約1,000ppmと報告されている<sup>4)</sup>。しかし、本手法を下水汚泥に適用した場合の報告事例は少ないため、本研究では下水汚泥の脱水ろ液に本手法を適用した場合の回収アンモニア濃度や回収率について分析した。

## 2.2 実験方法

### 2.2.1 試料

実験用試料として、A処理場の脱水ろ液を採取した。採取した脱水ろ液の分析結果を表-1に示す。

表-1 脱水ろ液の分析結果

|      | 温度<br>(°C) | pH   | EC<br>(S/m) | SS<br>(mg/L) | NH <sub>4</sub> -N<br>(mg/L) | PO <sub>4</sub> -P<br>(mg/L) | D-Fe<br>(mg/L) | D-Ca<br>(mg/L) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/L) |
|------|------------|------|-------------|--------------|------------------------------|------------------------------|----------------|----------------|-----------------------------------------|
| 脱水ろ液 | 33.2       | 7.15 | 0.677       | 1130         | 840                          | 33                           | 5.81           | 32.1           | 514                                     |

### 2.2.2 実験装置

アンモニア回収実験装置の概要を図-2に示す。水酸化カルシウム溶液（1mol/L）により pH 調整した脱水ろ液（1L）を 2L のサージタンク（アンモニアストリッピングタンク）に入れ、ウォーターバスにより加温する。アンモニアストリッピング反応が進み、槽から排出されたアンモニアガスは気体サンプリングポートを経由し、捕集びん（500ml）にて硫酸液と反応し中和される。

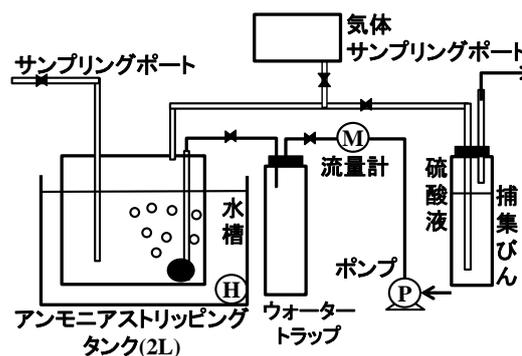


図-2 実験装置概要

### 2.2.3 分析項目

各項目の分析は下水試験方法に準拠し、アンモニアストリッピングタンク槽における水温 [°C]、pH、EC[S/m]、SS[mg/L]、NH<sub>4</sub>-N[mg/L]、PO<sub>4</sub>-P[mg/L]、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>[mg/L]、溶存態 Fe[mg/L]及び溶存態 Ca[mg/L]を測定した。また、気体サンプリングポートにおけるアンモニアガス濃度 [ppm]をガス検知管により測定した。各分析項目について、測定時間を 24 時間としてアンモニアストリッピング反応の経時変化を分析した。

### 2.2.4 実験条件

実験条件を表-2に示す。水温はウォーターバスにより定常とし、初期 pH は脱水ろ液に水酸化カルシウム溶液（1mol/L）を加えることにより調整した。水温（3 通り）と pH（2 通り）の組み合わせにより、合計 6 通りの条件にてアンモニア回収実験を行った。

表-2 実験条件

|        |            |
|--------|------------|
| 水温(°C) | 30,50,70   |
| 初期pH   | 9,12       |
| 送風量    | 0.5 NL/min |
| 反応時間   | 24 hour    |

## 2.3 実験結果及び考察

本手法により脱水ろ液から分離回収したアンモニアガス濃度を図-3に示す。アンモニアガス濃度のピーク値については、{水温 70°C・pH12} 条件における反応開始から 1 時間経過後において約 6,500 ppm であり、他の実験条件と比較し最も高い値を示していた。既往の研究報告のとおり、高水温・高 pH の条件下において最もアンモニアストリッピング反応が進んだ。

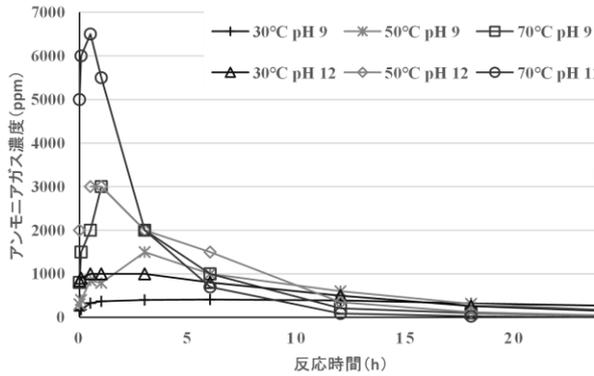


図-3 気体サンプリングポートにて回収したアンモニアガス濃度の経時変化

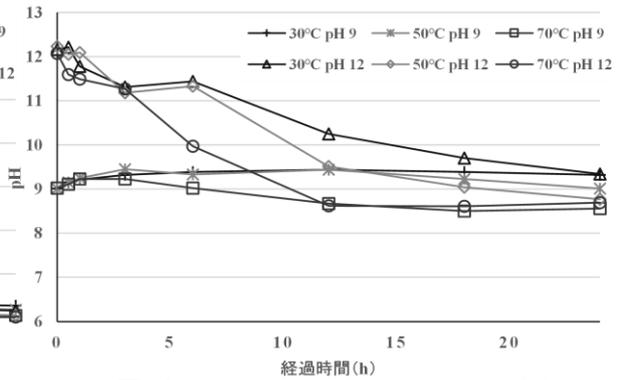


図-4 アンモニアストリッピング槽における pH の経時変化

アンモニアストリッピング反応は式(1)で表される。反応の進行に伴い液相の水酸化物イオン濃度が減少するため、液相の pH は低下する。



アンモニアストリッピング槽における pH の経時変化を図-4 に示す。最も回収アンモニアガス濃度が高い値を示していた {水温 70°C・pH12} 条件においては、実験開始直後から pH が低下し、実験開始から 12 時間後までで pH は 8.7 程度まで低下し、その後大きな変化は見られなかったことから、アンモニアストリッピング反応は概ね終了したものと考えられる。

また、アンモニアストリッピング槽における  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度の経時変化を図-5 に示す。{水温 70°C・pH12} 条件における反応開始から 6 時間経過後の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度は 93.4 mg/L であり、初期の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度 (768.4 mg/L) に対し 87.8% のアンモニアが脱水ろ液より除去されたことがわかる。

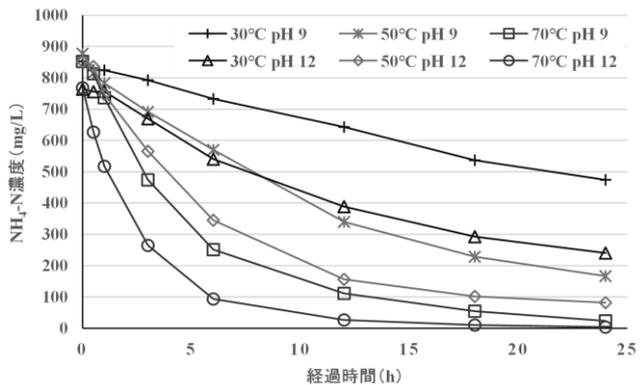


図-5 アンモニアストリッピング槽における  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度の経時変化

アンモニア回収率は式(2)のとおり、反応開始前の脱水ろ液のアンモニア重量及び反応終了後における捕集びん内のアンモニア重量の比率で表される。

$$\text{アンモニア回収率} = \left( \frac{\text{捕集液の終濃度} \times \text{捕集液量}}{\text{処理水の初期濃度} \times \text{初期処理水量}} \right) \times 100 \quad (2)$$

{水温 70°C・pH12} 条件におけるアンモニア回収率は表-3 に示す通り、94%であった。

表-3 アンモニア回収率

| 測定対象<br>(反応前後) | 液量<br>(ml) | アンモニア濃度<br>(mg/L) | 回収率<br>(%) |
|----------------|------------|-------------------|------------|
| 脱水ろ液(前)        | 1000       | 785               | 94%        |
| 捕集びん(後)        | 650        | 1137              |            |

### 3. 下水道統計に基づく下水道由来のアンモニアの回収可能量の推定

#### 3.1 アンモニア回収可能量の推定の概要

下水道由来のアンモニアについて、既存の回収技術では導入コストが嵩む等の理由から、一般的には下水処理場にて回収・有効利用はされていない。一方で、アンモニアは肥料、アンモニア燃料、脱硝剤など利用用途は多岐にわたるため、有効利用のニーズは高い可能性がある。本節では、前節のアンモニア回収実験の結果および下水道統計に基づき、下水道由来のアンモニアの回収可能量を推定した。

#### 3.2 推定方法

下水道統計（2015年度版）<sup>5)</sup>に基づき、我が国における消化汚泥の年間発生量、消化汚泥の平均含水率、脱水汚泥の平均含水率を表-4の通り整理した。

表-4 下水道統計に基づく消化汚泥の年間発生量、  
消化汚泥の平均含水率、脱水汚泥の平均含水率

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 下水処理場数(処理方式:消化→脱水)           | 331        |
| 消化汚泥年間発生量[m <sup>3</sup> /年] | 18,147,869 |
| 消化汚泥平均含水率[%]                 | 96.4       |
| 脱水汚泥平均含水率[%]                 | 80.1       |

下水処理場における脱水ろ液中の平均的なアンモニア濃度は、筆者らが実施したアンケート調査（N=8）の結果から約 1000 mg/L と仮定する。消化汚泥の脱水処理工程で発生する脱水ろ液の割合は、以下の式(3)で表される。

$$R_{dewater} = 1 - \frac{1 - w_{digest}}{1 - w_{dewater}} \quad (3)$$

ここに、 $R_{dewater}$ : 消化汚泥の脱水処理工程で発生する脱水ろ液発生割合、 $w_{digest}$ : 消化汚泥の平均含水率[%]、 $w_{dewater}$ : 脱水汚泥の平均含水率[%]である。

また、アンモニアストリッピングにおけるアンモニア回収率は式(4)および式(5)で表される。

$$R_{recover} = R_{remove} \times R_{anst} \quad (4)$$

$$R_{Remove} = \frac{C_1 - C_0}{C_1} \quad (5)$$

ここに、 $R_{recover}$ : アンモニア回収率[%]、 $R_{remove}$ : アンモニア除去率、 $R_{anst}$ : アンモニアストリッピング回収率（前節のアンモニア回収実験の結果から 0.94 とする）、 $C_1$ : 脱水ろ液のアンモニア濃度[mg/L]、 $C_0$ : 既存のアンモニアストリッピング施設における排出液の設計値[mg/L]である。以上をふまえ、年間のアンモニア回収可能量は式(6)で表される。

$$V_{ammonia} = V_{sludge} \times R_{dewater} \times C_1 \times R_{recover} \quad (6)$$

ここに、 $V_{ammonia}$ : 年間のアンモニア回収可能量[t/年]、 $V_{sludge}$ : 消化汚泥年間発生量[m<sup>3</sup>/年]である。

### 3.3 推定結果及び考察

式(6)より、全国の処理場で発生する消化汚泥の年間発生量に対するアンモニア回収可能量は 12,590 t/年となる。

国内におけるアンモニア生産量・輸入量の統計値を図-6 に示す<sup>6)</sup>。全国の処理場で発生する消化汚泥の年間発生量に対するアンモニア回収可能量は、海外からのアンモニア輸入量（約 20 万 t/年、2015 年）に対し約 6.3%に値する。

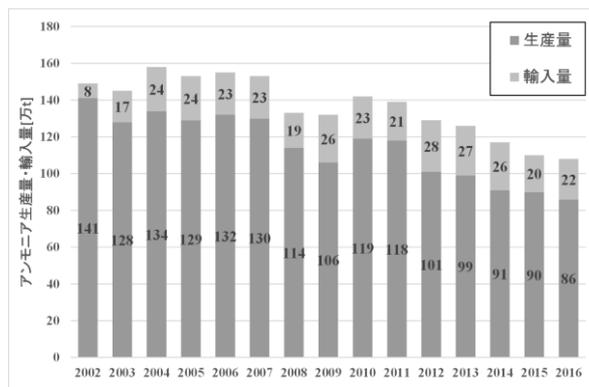


図-6 国内におけるアンモニア生産量・輸入量の年間推移

## 4. 下水道由来のアンモニアの有効利用の一例としての脱硝剤利用の可能性調査

### 4.1 調査の概要

下水道由来のアンモニアの有効利用の可能性を検討するにあたり、まずはアンモニア有効利用の用途別の要求品質に関して、アンモニア製品製造メーカ 1 社へヒアリング調査を行った。

表-5 要求品質に関するヒアリング調査結果

| 項目      | 要求品質                  |
|---------|-----------------------|
| 肥料      | 有害物質が含まれないこと※肥料取締法    |
| アンモニア燃料 | 純度99%以上、不純物が含まれないこと   |
| 化学繊維    | 純度99.9%以上、不純物が含まれないこと |
| 脱硝剤     | 特別な規格は無い              |

表-5 に示す通り、脱硝剤は肥料やアンモニア燃料等と比較し品質に対する要求が少なく、回収したアンモニアを加工することなく直接的に使用可能である。

そのため、下水道由来のアンモニアの有効利用の一例として、下水処理場の汚泥焼却・溶融施設における NO<sub>x</sub> 抑制のための脱硝剤利用の場合について検討した。

下水処理場においては、汚泥焼却・溶融のプロセスで有機物を燃焼する際に発生する NO<sub>x</sub> 抑制のため脱硝剤が使用される<sup>7)</sup>。そこで、下水処理場の汚泥焼却・溶融施設における脱硝剤の全国的な利用実態を把握するため、汚泥焼却施設・汚泥溶融施設を有している全国の下水処理場 139 箇所（焼却：265 基、溶融：21 基）を対象にアンケート調査を行った。

### 4.2 アンケート調査結果

脱硝剤の利用実態に関するアンケート調査結果を図-7 に示す。焼却・溶融いずれにおいても脱硝剤を利用している処理場が存在するため、下水道由来のアンモニアを下水処理場において脱硝剤として有効利用が可能である。脱硝剤の利用率は高温処理する汚泥溶融施設の方が高いが、利用している施設数に有意な差は見られなかった。

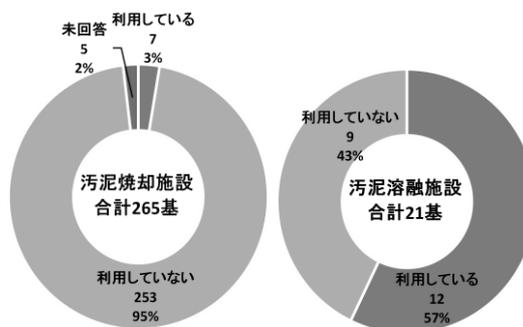


図-7 脱硝剤の利用実態に関するアンケート調査結果（右：汚泥焼却施設、左：汚泥溶融施設）

また、脱硝剤の年間使用量は、脱硝剤を利用している 19 基の合計で約 192 t/年であった。前節のアンモニア回収可能量の推定結果と比較し、下水処理場においては、下水道由来のアンモニアで賄うことが可能である。

## 5. まとめと課題点

本研究では、既存のアンモニア回収技術を下水汚泥の脱水ろ液に適用した場合の回収アンモニア濃度や回収率を分析し、分析結果及び下水道統計に基づきアンモニア回収可能量を推定した。また、アンモニア製造メーカー及び汚泥焼却・熔融施設を有する処理場への調査から、脱硝剤としての特別な規格は無く、汚泥熔融施設において脱硝剤としての有効利用が可能であることが示された。

課題点として、下水処理場におけるアンモニア回収技術の導入費用やアンモニア回収・有効利用の収益性等、経済的な観点から下水道由来のアンモニアの有効利用について整理する必要がある。

## 謝 辞

本研究の実施にあたり、脱水ろ液の採取にご協力頂いた A 処理場、ヒアリング・アンケート調査にご協力頂いたアンモニア製造メーカー・下水処理場の各関係者の皆様に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 社団法人 日本下水道協会：下水道施設計画設計指針と解説 後編, p.310, 財団法人 日本下水道協会, 2009
- 2) 平井晴己, 呂正, 高木英行, 村田晃伸：アンモニアの需要および輸入価格の現状について-アンモニアのエネルギー利用に関する予備的調査-, 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 HP, [https://eneken.ieej.or.jp/report\\_detail.php?article\\_info\\_id=6317](https://eneken.ieej.or.jp/report_detail.php?article_info_id=6317), 2015
- 3) 村田恒雄：下水の高度処理技術-快適な水環境の創出に向けて-, 理工図書, 1992, pp.139-147
- 4) 高橋潤一：アンモニアを用いた水素エネルギーシステム, CMC 出版, 2015, pp.164-176
- 5) 社団法人日本下水道協会：平成 27 年度下水道統計, Vol.72, 2017
- 6) 日本肥料アンモニア協会, アンモニア需給実績, 日本肥料アンモニア協会 HP, <http://www.jaf.gr.jp/>
- 7) 鶴殿秀夫：汚泥焼却炉排ガスの脱硝脱臭装置, 月刊下水道, Vol.20, No.14, pp.75-77, 1997

### 3. 下水処理場の既存施設能力を活用した 汚水処理システムの効率化に関する研究

下水処理研究室 室 長 山下 洋正  
研 究 官 石川 剛士  
研 究 官 藤井都弥子

#### 1. はじめに

人々の日常生活に欠かすことができない汚水処理システムには、下水道、農業集落排水、し尿処理等の種類が存在し、地方自治体はそれぞれの地域の特性に応じた汚水処理システムを採用している。いまだ未普及地域が存在するため引き続き汚水処理施設の整備が必要な状況ではあるが、現在、全国の汚水処理人口普及率（2017年度末）はすでに90.9%（総人口約127,323千人のうち約115,712千人が汚水処理システムを利用可能な状況）に達しており<sup>1)</sup>、全体的には整備した施設の維持管理及び老朽化施設の改築更新が主な取り組みとなりつつある。

一方、2010年頃まで増加していた日本の総人口は減少を始めており、国立社会保障・人口問題研究所の中位推計によると、2065年には8,800万人程度になると見込まれている（図-1）<sup>2)</sup>。汚水処理システムにおいては、人口減少に伴う処理水量の減少

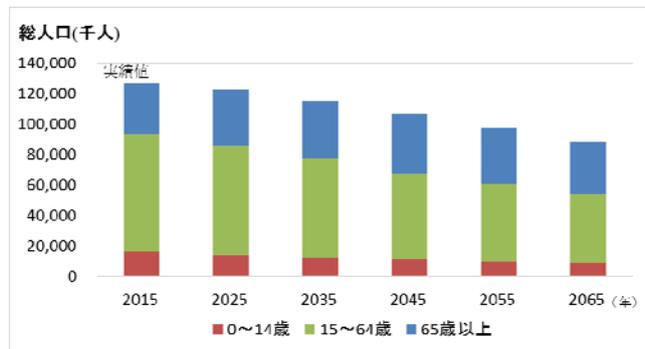


図-1 人口推計

により使用料収入の減少や施設稼働率低下が課題となっており、すでに経営状況が厳しい地方の中小都市<sup>3) 4)</sup>におけるさらなる悪影響が懸念される。このため、特にこれら中小都市において、汚水処理システムを持続可能なものに再構築していく必要性が生じている。

具体的には、改築更新時において、水量減少に応じて施設規模の縮小（ダウンサイジング）を検討することはもちろんのこと、同じ汚水処理システム内で複数処理区の統廃合、さらには、事業の垣根を越えた異なる種類の汚水処理システム間での統廃合（下水道と農業集落排水等）も視野に、地域の汚水処理システムの最適化について検討を進める必要がある。

本研究は、人口減少に伴う汚水処理システムの非効率化に対応するため、地域特性に応じた最適な汚水処理方式を検討するための手法等を提示するものである。具体的には、検討に必要な費用関数を整理または作成するとともに、処理水量の減少に伴う施設稼働率の低下がコスト及びエネルギーに与える影響を明らかにした。また、これらの知見を踏まえ、地方自治体が持続可能な汚水処理システム構築に向けた検討を簡易的に実施できるものとして、汚水処理システムの最適化検討手法を作成した。

## 2. 調査方法

### 2.1 施設更新時のコスト・エネルギー算定手法等の検討

本研究では、下水道、農業集落排水、し尿処理の各システムにおける汚水処理施設（以下、それぞれ「下水処理施設」、「農業集落排水施設」、「し尿処理施設」と呼ぶ。）について、特に人口減少に伴う処理水量の減少により費用面での影響を大きく受けると考えられる中小規模の処理場を対象とした。具体的な施設規模として、下水処理施設は日最大汚水量 10,000m<sup>3</sup>/日以下、農業集落排水施設は 1,000 m<sup>3</sup>/日以下、し尿処理施設は 100kl/日以下を対象とした。処理方式については、対象とした施設の 8 割程度を占める処理方式として、下水処理施設はオキシデーションディッチ法（以下、「OD 法」と呼ぶ。）、標準活性汚泥法（以下、「標準法」と呼ぶ。）、農業集落排水施設は JARUS- I、III、XI、XII、XIVとした。し尿処理施設は、下水処理施設、農業集落排水施設に比べ処理場の箇所数が少ないことから、処理方式を特定しないこととした。また、汚泥脱水工程までを調査の対象範囲とした。

#### (1) 費用関数の収集、作成

ライフサイクルコスト算定の基礎となる費用関数について、既往文献及びアンケート調査を通じて整理、作成することとし、まず、各種既往文献<sup>5)6)7)8)</sup>により既往費用関数を調査した。

その上で、これら既往文献に記載の無い費用関数を新たに作成するため、各施設の更新費及び維持管理費を調査した。対象の調査施設数は表-1 のとおりである。具体的には、事業者へのアンケート調査により、平成 26 年度の処理能力、処理量、消費電力量、維持管理人員数、主要設備の更新費、定格電力、薬品費、保守点検費等を調査した。主要設備は、下水処理施設については流入ポンプ、送風機、水中機械攪拌機、返送汚泥ポンプ、汚泥濃縮設備、汚泥脱水設備、脱臭ファンとし、農業集落排水施設、し尿処理施設については、消費電力量が大きい設備を 5 から 10 設備程度調査した。また、維持管理費について不足する情報はメーカーヒアリングにより適宜補完した。各汚水処理施設の維持管理費は、これら調査に基づく電力費、維持管理人件費、薬品費、保守点検費より算出（平均値で整理）した。なお、電力費単価は 15 円/kWh、人件費は 700 万円/人として計算した。

表-1 予備調査施設数  
(施設)

|                 | 調査数 | 有効回答数 |
|-----------------|-----|-------|
| 下水処理施設<br>(OD法) | 106 | 84    |
| 下水処理施設<br>(標準法) | 28  | 27    |
| 農業集落<br>排水施設    | 100 | 78    |
| し尿処理施設          | 91  | 72    |

#### (2) 稼働率と消費電力量の関係の実態調査

これまで稼働率が消費電力量（ひいては維持管理費）に与える影響は明確化されていなかったため、その影響を明らかにし、コスト及びエネルギーとの関係を定量化することを試みた。

##### 1) 予備調査

はじめに、(1) で述べた表-1 の調査結果を用いて稼働率と維持管理費（全体額）の関係を把握することとした。

また、一部の処理場について、より稼働率の影響を受けると考えられる消費電力量に焦点を絞り、処理水量ごとの消費電力量の経年変化（平成 15 年度から平成 25 年度）の把握を試みた。

##### 2) 詳細調査

予備調査の結果を踏まえ、稼働率と消費電力量の関係をより明確にするための詳細調査を実施した。統計資料、事業者へのアンケート調査により、過去10年間程度の処理場における処理能力、処理量、消費電力量を調査した。下水処理施設は、下水道統計<sup>9)</sup>より実績値を収集できるため、平成16年度から平成25年度までの下水道統計を用いて整理した。農業集落排水施設とし尿処理施設は、事業者へのアンケート調査により、平成18年度から平成27年度までの実績値を用いて整理した。調査対象は、上述した処理能力、処理方法に該当する処理場のうち脱水工程までを有する（消化・焼却工程は有しない）ものとした。また、稼働率の影響をより明確にするために安定した条件（稼働率由来以外の状況変化を可能な限り排除）の処理施設を対象とし、供用開始後5年以上を経過した処理施設、調査対象期間中に水処理能力の変更を行っていない処理施設、他処理施設の汚泥受入を行っていない処理施設、過去10年間の稼働率差が10%以上ある処理施設等の条件に該当する処理施設から選定した。各汚水処理施設の調査施設数を表-2に示す。この結果を用い、各処理施設における過去10年間程度の稼働率と消費電力量の関係を整理した。

表-2 詳細調査施設数  
(施設)

|                 | 調査数 | 有効回答数 |
|-----------------|-----|-------|
| 下水処理施設<br>(OD法) | 125 | 125   |
| 下水処理施設<br>(標準法) | 50  | 50    |
| 農業集落<br>排水施設    | 100 | 71    |
| し尿処理施設          | 47  | 33    |

ここで、稼働率は以下の式のとおり定義した。なお、稼働率が最大（定格運転）となるのは、年間平均処理水量が設計上の日平均処理水量となる場合であり、そのときの稼働率はそれぞれ、下水処理施設が70%、農業集落排水施設が100%、し尿処理施設が87%とした。（各事業の設計思想により、処理能力（日最大処理水量）に対する日平均処理水量の比が異なる。たとえば下水処理施設の場合は、日最大と日平均の比が一般的には1.0:0.7~0.8<sup>10)</sup>とされているため、稼働率の最大値を70%とした。）

$$\text{稼働率}[\%] = \text{年間平均処理水量}[\text{m}^3/\text{日}] / \text{処理能力（日最大処理水量）}[\text{m}^3/\text{日}] \times 100$$

※農業集落排水施設については処理能力を日平均処理水量 $[\text{m}^3/\text{日}]$ とした。

そして、消費電力量は以下の式で示される電力係数として整理し、単純化及び稼働率の影響の明確化を図った。電力係数が大きいほど非効率な運転状況であることを示す。

$$\text{電力係数}[-] = \frac{\text{ある稼働率での単位消費電力量}[\text{kWh}/\text{m}^3]}{\text{稼働率最大時の単位消費電力量}[\text{kWh}/\text{m}^3]}$$

### (3) 稼働率と維持管理費の関係の実態調査

(1) で整理した調査結果（維持管理費の内訳）及び(2) で述べた稼働率と電力係数の関係を用いて、稼働率と維持管理費の関係を整理した。維持管理費についても、消費電力量と同様、使い易さを考慮して単純化し、さらに稼働率の影響をより明確化するために係数（維持管理係数）として整理した。維持管理係数は以下の式で示され、同係数が大きいほど非効率な運転状況であることを示す。

$$\text{維持管理係数}[-] = \text{ある稼働率での維持管理費原単位}[\text{円}/\text{m}^3]$$

$$\text{稼働率最大時の維持管理費原単位}[\text{円}/\text{m}^3]$$

$$\text{維持管理費原単位}[\text{円}/\text{m}^3] = \text{年間維持管理費}[\text{円}/\text{年}] / \text{年間処理水量}[\text{m}^3/\text{年}]$$

維持管理係数の具体的な算出方法としては、事業者へのアンケート調査の回答を得た（平均稼働率における）施設全体の維持管理費において、電力費（消費電力量に電力費単価をかけて算出）を差し引いた額を固定費（稼働率及び水量による影響を受けない一定値として設定）とした上で、電力係数

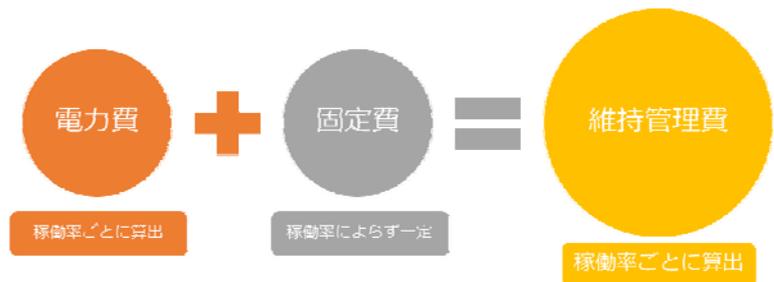


図-2 維持管理費算出イメージ

を用いて算出した稼働率ごとの電力費を足し合わせて維持管理費を算出した（図-2にその算出イメージを示す）。その後、原単位及び係数として整理した。なお、汚泥処分費については、統廃合による影響が相対的に軽微であるとして、算出の対象外とした。

## 2.2 し尿・汚泥等の受入に係る課題の把握

効率的な汚水処理システムの最適化検討手法を検討するにあたり、下水処理場にし尿・汚泥等を受け入れた際に生じる課題等を把握するため、し尿・汚泥等を受け入れている全国の事業者へアンケート調査（41施設）を行った。アンケートでは、し尿・汚泥等の投入箇所、汚泥の前処理施設の有無及び前処理の内容、受け入れにあたっての汚泥性状や経費に関する検討の有無及び検討内容、受け入れ後に生じた課題の有無及びその内容等を調査した。

## 2.3 効率的な汚水処理システムの最適化検討手法

### (1) 検討手法の作成

前述の稼働率の影響等の知見を踏まえ、地方自治体が活用することができる汚水処理システムの最適化検討手法を作成した。作成に当たっては、最適化検討の先行事例を自治体へのアンケート調査（13箇所）、コンサルタント等の公表資料（10件）から収集し整理した。

### (2) 仮想都市における検討例

最適化検討手法の素案作成後に仮想都市における整備シナリオ例に基づく試算を行い、その実用性を確認した。

### (3) 実都市を対象としたモデルケース検討

さらに、最適化検討手法の適用性の確認及びさらなる改善のために、実都市を対象としたモデルケース検討を実施した。モデルケース検討の対象はすでに最適化検討を実施済みの都市とし、当該都市が検討に用いた各種基礎情報（過年度時点の将来水量推計等）に基づき、本検討手法による最適化検討を実施（試行）した。モデルケース検討を通じて本検討手法に基づく試行とモデル都市自ら行った検討内容とを比較・検証した。なお、モデルケース対象都市は、できるだけ多様な検討が実施できるよう、表-3に示すとおり全国各地より選定した。

表-3 モデルケース検討都市の概要

| 地域  | モデル都市 | 最適化検討内容   |
|-----|-------|-----------|
| 北海道 | A市    | 下水道+下水道   |
| 関東  | B市    | 下水道+農集、し尿 |
| 中部  | C町    | 下水道+農集    |
| 中国  | D市    | 下水道+農集    |

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 施設更新時のコスト・エネルギー算定手法等の検討

##### (1) 費用関数の収集、作成

表-4 のとおり、本調査において収集、作成した主要な費用関数を整理した。処理能力10,000m<sup>3</sup>/日以下の下水処理施設に適用する関数、し尿処理施設の関数、また、(施設全体ではなく)機械設備のみの関数等を新たに作成(下表の●以外の関数)し、より多様な検討に対応できるようにした。

表-4 各汚水処理施設における費用関数一覧

| 区分                  | 施設       | Xの値                 | Xの単位              | 適用範囲                          | 関数式                                              | 備考                                                   |                         |                         |
|---------------------|----------|---------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 更新費<br>建設費<br>[千円]  | 下水処理施設   | ●処理場全体建設費※1         | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 10,000~50,000m <sup>3</sup> /日                   | $y = 1,550,000(x/1,000)^{0.55} \times (103.3/101.5)$ | (焼却なし・参考)               |                         |
|                     |          | ●処理場全体機械設備更新費       | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 1,000~10,000m <sup>3</sup> /日                    | $y = 72,734x^{0.26}$                                 |                         |                         |
|                     |          | 水処理系機械設備            | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 1,000~10,000m <sup>3</sup> /日                    | $y = 978x^{0.59}$                                    |                         |                         |
|                     |          | ●処理場全体建設費※1         | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | ~299m <sup>3</sup> /日                            | $y = 14,680x^{0.49}$                                 |                         |                         |
|                     |          | ●処理場全体建設費※1         | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 300~1,300m <sup>3</sup> /日                       | $y = 505,000(x/1,000)^{0.64}$                        |                         |                         |
|                     |          | ●処理場全体建設費※1         | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 1,400~10,000m <sup>3</sup> /日                    | $y = 1,380,000(x/1,000)^{0.42} \times (103.3/101.5)$ |                         |                         |
|                     |          | 水処理系機械設備            | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 1,000~10,000m <sup>3</sup> /日                    | $y = 1,580x^{0.66}$                                  |                         |                         |
|                     |          | 汚泥処理系※2             | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 15~170m <sup>3</sup> /日                          | $y = 112,140x^{0.26}$                                |                         |                         |
|                     |          | 脱臭設備(活性炭)           | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 1,000~10,000m <sup>3</sup> /日                    | $y = 125,019x^{0.04}$                                |                         |                         |
|                     |          | 農業集落排水施設            | ●処理場全体建設費         | 計画人口                          | 人                                                | -                                                    | $y = 2271.2x^{0.6663}$  |                         |
|                     | し尿処理施設   | 施設全体                | 標準脱窒素処理           | 処理能力                          | kL/日                                             | 20~100kL/日                                           | $y = 237,636x^{0.4571}$ |                         |
|                     |          |                     | 高負荷脱窒素処理          | 処理能力                          | kL/日                                             | 20~100kL/日                                           | $y = 796,386x^{0.1031}$ |                         |
|                     |          |                     | 高負荷脱分窒            | 処理能力                          | kL/日                                             | 20~100kL/日                                           | $y = 766,089x^{0.0971}$ |                         |
|                     |          |                     | 浄化槽汚泥の比率高い脱窒素     | 処理能力                          | kL/日                                             | 20~100kL/日                                           | $y = 226,590x^{0.4569}$ |                         |
|                     |          | 前処理施設※3<br>(機械設備更新) | 標準脱窒素処理、高負荷脱分窒    | 処理能力                          | kL/日                                             | 20~100kL/日                                           | $y = 57,548x^{0.5274}$  |                         |
|                     |          |                     | 高負荷脱窒素処理          | 処理能力                          | kL/日                                             | 20~100kL/日                                           | $y = 55,786x^{0.5207}$  |                         |
|                     |          |                     | 浄化槽汚泥の比率高い脱窒素     | 処理能力                          | kL/日                                             | 20~100kL/日                                           | $y = 121,642x^{0.4949}$ |                         |
|                     |          |                     | 前処理※4             | 前処理+2倍希釈                      | 処理能力                                             | kL/日                                                 | 20~100kL/日              | $y = 234,173x^{0.4582}$ |
|                     | 管路施設     | 新設                  | ●MP建設費            | 基数                            | 基                                                | -                                                    | $y = 9,200x$            | 機械電気設備のみ、ポンプ設備は2台       |
|                     |          |                     | ●自然流下管建設費(下水道)    | 延長                            | m                                                | -                                                    | $y = 63x$               |                         |
| ●圧送管建設費(下水道)        |          |                     | 延長                | m                             | -                                                | $y = 45x$                                            |                         |                         |
| ●管きよ建設費(集落排水)       |          |                     | 延長                | m                             | -                                                | $y = 56x$                                            |                         |                         |
| 維持<br>管理費<br>[千円/年] | 下水処理施設   | ●処理場全体              | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 1,000~10,000m <sup>3</sup> /日                    | $y = 2,468x^{0.382}$                                 | (焼却なし・参考)               |                         |
|                     |          | ●処理場全体              | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 10,000m <sup>3</sup> /日以上                        | $y = 18,800(x/1000)^{0.69} \times (103.3/101.5)$     |                         |                         |
|                     |          | ●処理場全体              | 処理能力              | m <sup>3</sup> /日             | 300~1,300m <sup>3</sup> /日                       | $y = 19,000(x/1000)^{0.78}$                          |                         |                         |
|                     | ●処理場全体   | 処理能力                | m <sup>3</sup> /日 | 1,400~10,000m <sup>3</sup> /日 | $y = 28,600(x/1000)^{0.58} \times (103.3/101.5)$ |                                                      |                         |                         |
|                     | 農業集落排水施設 | ●処理場全体              | 計画人口              | 人                             | -                                                | $y = 37,811x^{0.6835}$                               |                         |                         |
|                     | し尿処理施設   | ●施設全体               | 処理能力              | kL/日                          | 20~100kL/日                                       | $y = 17,845x^{0.57}$                                 |                         |                         |
|                     |          | ●前処理施設              | 処理能力              | kL/日                          | 20~100kL/日                                       | $y = 6,716x^{0.2692}$                                |                         |                         |
|                     | 管路施設     | ●MP                 | 基数                | m                             | -                                                | $y = 220x$                                           |                         |                         |
|                     |          | ●管きよ(下水道)           | 延長                | m                             | -                                                | $y = 60x/1000$                                       |                         |                         |
|                     |          | ●管きよ(農業)            | 延長                | m                             | -                                                | $y = 31x/1000$                                       |                         |                         |

※1 土木、建築、機械、電気を含む  
 ※2 汚泥濃縮への投入汚泥量は、TS1%を想定して設定  
 ※3 し尿前処理施設の改造は、受入施設(トラススケール、し尿除去装置等)、前処理施設(破砕機、ドラムスクリーン等)、貯留施設(攪拌機、攪拌プロウ等)に加えて、脱臭設備を見込む  
 ※4 し尿前処理の新設費は建築、土木、機械、電気等すべての建設費を見込む  
 ※5 「都道府県構想マニュアル」以外の費用関数は平成26年度単価で試算  
 ●の記載は「都道府県構想マニュアル」に記載されている費用関数

##### (2) 稼働率と消費電力量の関係

###### 1) 予備調査

総維持管理費、流入水量及び稼働率の関係(平成26年度の単年度データ)を図-3に示す。これによると、流入水量が増加すると総維持管理費も概ね増加する傾向は確認されたが、稼働

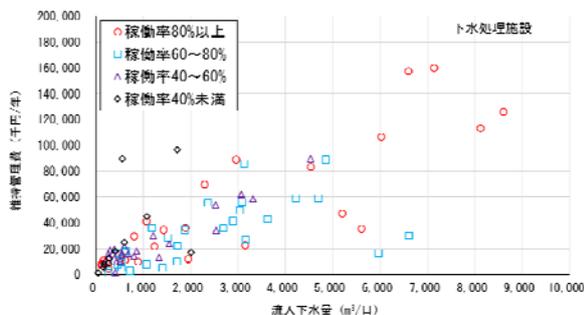


図-3 総維持管理費と流入下水水量及び稼働率との関係(下水処理施設の例)

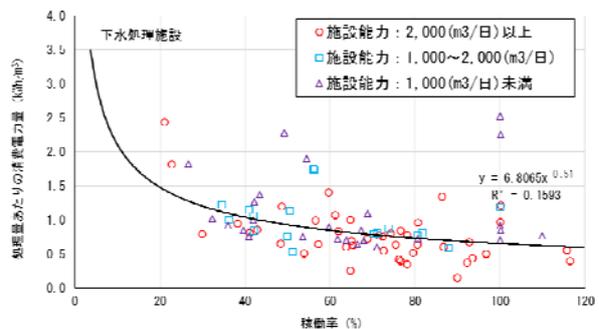


図-4 処理水量あたりの消費電力量と稼働率との関係(下水処理施設の例)

率の影響を把握することは困難であった。また、処理水量あたりの消費電力量と稼働率の関係（平成26年度の単年度データ）を図-4に示す。一看すると稼働率が高いほど処理水量あたりの消費電力量が小さくなっているようであったが、近似式の決定係数は0.16程度（下水処理施設の場合）と低く、稼働率と消費電力量の関係を明確にすることはできなかった。

つぎに、追加調査として、一部の下水処理場を対象に、同一処理場における平成15年度から平成25年度の処理水量あたりの消費電力量と稼働率との関係を下水道統計<sup>9)</sup>の値を用いて確認した。調査対象はこれらの期間内で特に稼働率が大きく変化している3つの下水処理場とした。その一例を図-5に示すが、これらの処理場においては稼働率が高くなるほど処理水量あたりの消費電力量が小さくなる傾向が確認できた（特に処理場全体と水処理系）。したがって、消費電力量と稼働率の関係について、より詳細な調査を実施することとした。

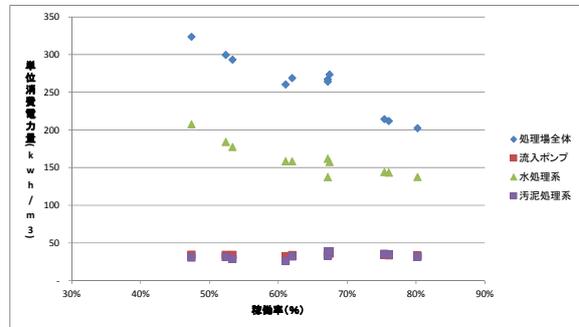


図-5 処理水量あたりの消費電力量と稼働率との関係（A下水処理場）

## 2) 詳細調査

表-2の調査施設それぞれについて、稼働率ごとの電力係数を算出した。稼働率ごとの電力係数は、調査施設によるばらつきが確認されたが、全データの中央値を代表値とし、これを各稼働率の電力係数とした。

各汚水処理施設における稼働率と電力係数の関係を図-6（四分位範囲も表示）に示す。全データ範囲としては大きいですが、四分位範囲で見ると稼働率変化に伴い電力係数が上昇する傾向が現れているため、全データの中央値を各稼働率の電力係数と設定したことは妥当と考えられる。

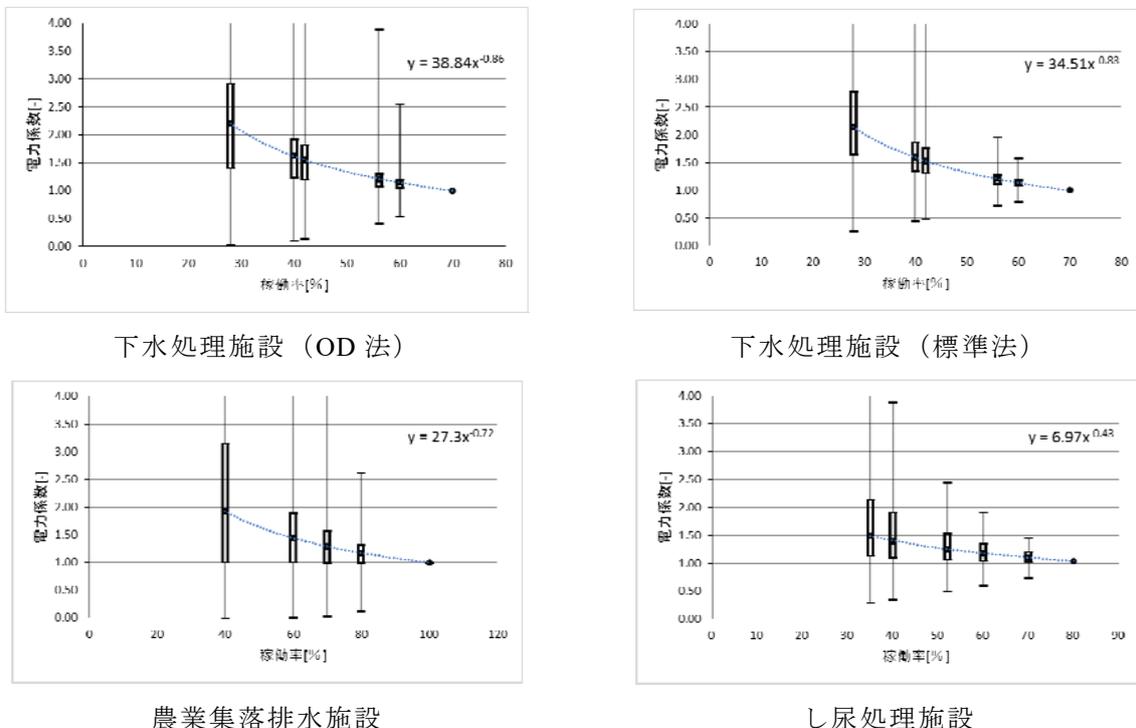


図-6 各汚水処理施設における稼働率と電力係数の関係

この結果から、すべての汚水処理施設において、稼働率低下に伴い電力係数が増加する傾向を確認した。これは、流入水量が減少しても消費電力量はそれほど減少していないことを示しているが、この原因としては、槽内攪拌や汚泥返送等の処理機構を維持するための必要最低限の運転に伴う電力が必要であることに加え、特に中小規模処理場は単一ブロワしか有しない水処理施設が多く<sup>9)</sup>流入水量変動に対する曝気制御が困難であること等が推察される。なお、し尿処理施設においては稼働率低下に伴う電力係数の増加率がその他の処理施設に比べ小さくなっているが、これは、し尿処理施設の場合、収集したし尿を一旦貯留し、その後にはほぼ一定量を処理設備に投入して処理<sup>11)</sup>することもあり、処理施設への流入量（収集量）の変化にかかわらず、1日の水処理にかかる消費電力量がそれほど変動していないものと考えられる。

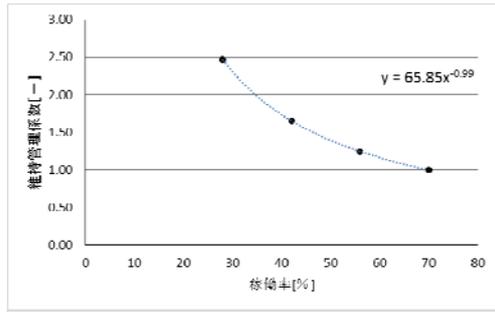
### (3) 稼働率と維持管理費の関係

調査結果に基づき算出した維持管理係数を表-5及び図-7に示す。電力係数と同様に、すべての汚水処理施設において、稼働率の低下に伴い維持管理係数（処理水量あたりの維持管理費）が増加する（処理原価の増大）傾向を確認した。なお、維持管理係数算出で用いた電力係数はすでに中央値として決定された値であるため、図-7では四分位範囲を表示していない。また、電力係数（図-6）と違って処理施設による傾きの違いが顕著に現れていないのは、維持管理費における電力費の割合が小さい（約1割）ことが原因と考えられる。

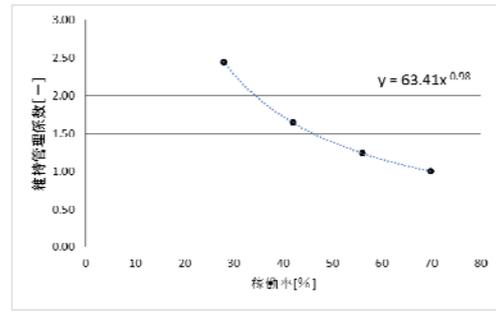
以上により、これまで定性的に捉えられてきた稼働率の低下がコスト・エネルギーに与える影響を定量化することができた。さらに、これらの関係性を用い、現在の稼働率と維持管理原単位及び将来の稼働率（予測値）から、将来の人口減少時（稼働率低下時）の維持管理費が推算可能となった。

表-5 維持管理係数（下水処理施設（OD法）の例）

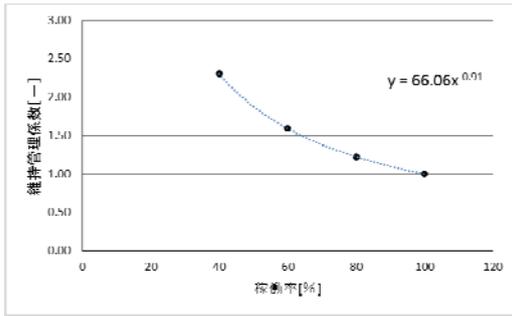
| 電力費原単位 (a)    |                          | (円/m <sup>3</sup> ) |        |        |        |         |          |
|---------------|--------------------------|---------------------|--------|--------|--------|---------|----------|
| 稼働率(%)        | 処理能力 [m <sup>3</sup> /日] | 1,000               | 2,500  | 5,000  | 7,500  | 10,000  | 電力係数     |
| 28 (40)       |                          | 20.7                | 16.9   | 14.4   | 13.2   | 12.3    | 2.2      |
| 42 (60)       |                          | 14.6                | 11.9   | 10.2   | 9.3    | 8.7     | 1.6      |
| 56 (80)       |                          | 11.4                | 9.3    | 7.9    | 7.2    | 6.8     | 1.2      |
| 70 (100)      |                          | 9.4                 | 7.7    | 6.6    | 6.0    | 5.6     | 1.0      |
| 電力費 (A)       |                          | (千円/年)              |        |        |        |         |          |
| 稼働率(%)        | 処理能力 [m <sup>3</sup> /日] | 1,000               | 2,500  | 5,000  | 7,500  | 10,000  |          |
| 28 (40)       |                          | 2,117               | 4,307  | 7,370  | 10,092 | 12,612  |          |
| 42 (60)       |                          | 2,240               | 4,556  | 7,796  | 10,674 | 13,340  |          |
| 56 (80)       |                          | 2,331               | 4,741  | 8,112  | 11,108 | 13,882  |          |
| 70 (100)      |                          | 2,406               | 4,894  | 8,375  | 11,468 | 14,332  |          |
| 固定費 (B)       |                          | (千円/年)              |        |        |        |         |          |
| 稼働率(%)        | 処理能力 [m <sup>3</sup> /日] | 1,000               | 2,500  | 5,000  | 7,500  | 10,000  |          |
| -             |                          | 26,701              | 44,628 | 65,654 | 82,188 | 96,331  |          |
| 維持管理費 (T=A+B) |                          | (千円/年)              |        |        |        |         |          |
| 稼働率(%)        | 処理能力 [m <sup>3</sup> /日] | 1,000               | 2,500  | 5,000  | 7,500  | 10,000  |          |
| 28 (40)       |                          | 28,818              | 48,936 | 73,024 | 92,280 | 108,943 |          |
| 42 (60)       |                          | 28,941              | 49,184 | 73,450 | 92,863 | 109,671 |          |
| 56 (80)       |                          | 29,032              | 49,369 | 73,766 | 93,296 | 110,213 |          |
| 70 (100)      |                          | 29,107              | 49,523 | 74,029 | 93,656 | 110,662 |          |
| 維持管理費原単位      |                          | (円/m <sup>3</sup> ) |        |        |        |         |          |
| 稼働率(%)        | 処理能力 [m <sup>3</sup> /日] | 1,000               | 2,500  | 5,000  | 7,500  | 10,000  |          |
| 28 (40)       |                          | 282.0               | 191.5  | 142.9  | 120.4  | 106.6   |          |
| 42 (60)       |                          | 188.8               | 128.3  | 95.8   | 80.8   | 71.5    |          |
| 56 (80)       |                          | 142.0               | 96.6   | 72.2   | 60.9   | 53.9    |          |
| 70 (100)      |                          | 113.9               | 77.5   | 57.9   | 48.9   | 43.3    |          |
| 維持管理係数        |                          |                     |        |        |        |         | 係数 (平均値) |
| 稼働率(%)        | 処理能力 [m <sup>3</sup> /日] | 1,000               | 2,500  | 5,000  | 7,500  | 10,000  |          |
| 28 (40)       |                          | 2.48                | 2.47   | 2.47   | 2.46   | 2.46    | 2.47     |
| 42 (60)       |                          | 1.66                | 1.66   | 1.65   | 1.65   | 1.65    | 1.65     |
| 56 (80)       |                          | 1.25                | 1.25   | 1.25   | 1.25   | 1.24    | 1.25     |
| 70 (100)      |                          | 1.00                | 1.00   | 1.00   | 1.00   | 1.00    | 1.00     |



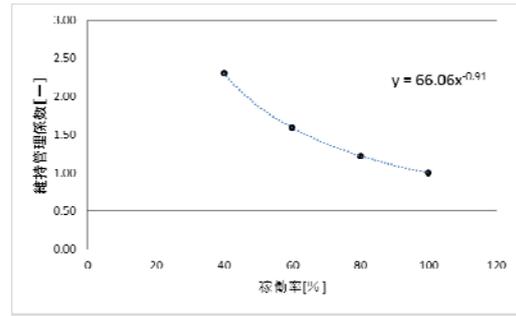
下水処理施設（OD法）



下水処理施設（標準法）



農業集落排水施設



し尿処理施設

図-7 各汚水処理施設における稼働率と維持管理係数の関係

### 3.2 し尿・汚泥等の受入に係る課題の把握

し尿・汚泥等受入時の課題に対するアンケート調査結果を図-8に示す。受入処理場の約2割（8/41）で、（汚泥処分費の増加以外の）維持管理に掛かる経費や手間の増加といった課題等があることを確認した。なお、このような課題があると回答のあった8施設のうち、半数以上はし尿等の受入割合（受入量／受入前の計画処理量）が比較的大きい。

また、アンケート調査を行った対象のうち、表-6に示す3処理場についてヒアリングを行った結果、下記のような課題及び対応策を講じていた。

- ・ 受入汚泥の脱水性不良に伴い処理場全体の汚泥脱水性が悪化したため、各農業集落排水施設の濃縮汚泥貯留槽で1週間程度曝気処理してから、下水処理場へ搬出している。
- ・ 水処理施設への負荷が増大したため、曝気量を増大させている。
- ・ 臭気が増大したため、脱臭設備を連続運転させている。

以上のことから、後述する最適化検討手法においては、統廃合により他の施設から汚泥を受け入れる際には既存施設への影響について留意することとし、たとえば「し尿を下水処理施設に投入する場合の下水流入水量に対する水量比」「水処理系において増加する負荷量の確認」等を確認事項に設定した。このうち、特に、し尿を受け入れる場合には、水処理系への影響（BOD、

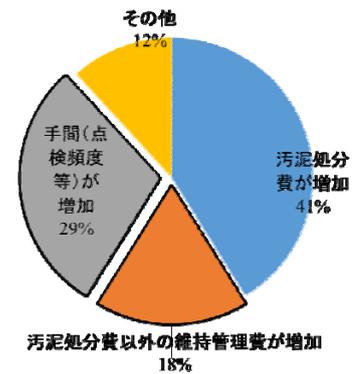


図-8 し尿・汚泥等受入時の課題のアンケート調査結果

表-6 ヒアリング対象施設

| 処理場  | 受入れ前の計画処理量 (m <sup>3</sup> /年) | 受入汚泥量 (m <sup>3</sup> /年) | 受入割合 (%) |
|------|--------------------------------|---------------------------|----------|
| A処理場 | 8,000                          | 2,902                     | 36%      |
| B処理場 | 1,500                          | 532                       | 35%      |
| C処理場 | 5,750                          | 2,199                     | 38%      |

SS、色度等)を考慮し、受入れ割合が 0.5%<sup>12)</sup>を超える場合は別途詳細な検討が必要であることとした。

### 3.3 効率的な汚水処理システムの最適化検討手法

#### (1) 検討手法の作成

人口減少に伴う汚水処理施設の稼働率の減少の影響等を踏まえた、コスト面、技術面、環境面を踏まえた効率的な汚水処理システムの最適化検討手法を作成した。検討フローは図-9に示すとおりである。本手法により、それぞれの地域において、図-10に示す3つの代表的な統廃合ケースから最も適しているものを簡易的に検討(フローの(6)総合評価)することが可能となる。

なお、代表的な統廃合ケースとしては、将来の流入水量予測に基づき適切な施設能力でそれぞれの施設を更新(非統合)する「①既存施設の更新」、処理施設の統廃合によって処理区を統合(完全統合)する「②処理施設の再編成」、集約によるスケールメリットが出やすい汚泥処理機能のみを集約(部分統合)する「③既存施設的能力活用」の3つを設定した。

本検討のうち、「(4)経済性の比較」においては、3つの統廃合ケースにおけるライフサイクルコストを試算し、最も経済的なケースを確認する。ここでは、将来の処理水量減少を踏まえた検討を可能とするために、前述の維持管理係数を用いたコスト試算手法を導入した。



図-9 効率的な汚水処理システムの最適化検討フロー

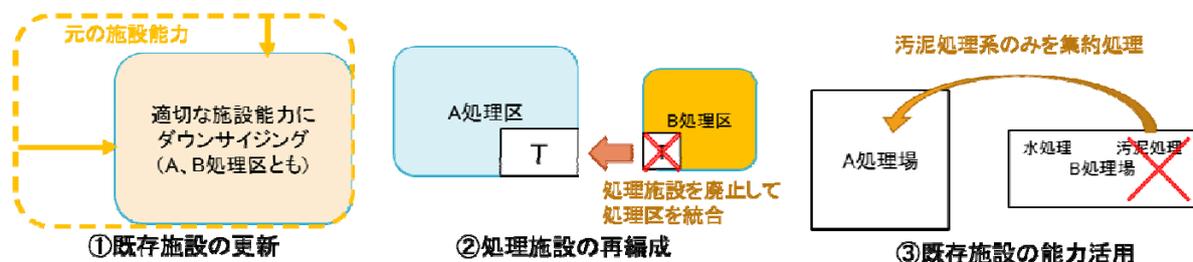


図-10 代表的な統廃合ケース (A、B 処理区の検討例)

また、「(5)技術面及び環境面の確認」において、技術面については、統合の際に留意すべき主な確認内容をチェックリスト形式で整理(表-7)した。

表-7 主な確認内容

| 項目   | 確認事項                                 |
|------|--------------------------------------|
| 管きよ  | 流下能力が確保できているか（MP等を含む）                |
|      | 施設能力に対して流速を確保できているか                  |
|      | 施設能力に対して流速を確保できない場合の清掃頻度はどの程度か       |
|      | 圧送区間を設ける場合、圧力開放部分が無い                 |
| ポンプ場 | ポンプ施設の能力を超過していないか                    |
|      | ポンプ施設内での汚泥堆積に影響する汚泥中のSS濃度はどの程度か      |
| 処理場  | し尿を下水処理施設に投入する場合の下水流入水量に対する水量比はどの程度か |
|      | 水処理系において増加する負荷量の確認                   |
|      | アルカリ度の確認                             |

さらに環境面については、将来の稼働率の変化を踏まえた消費電力量（電力係数を活用）から、エネルギー消費量及び温室効果ガス（以下、GHG）排出量を算出すること、統合による汚泥集約のメリット（消化ガス発生量の増等）等も確認内容に盛り込んだ。一方、異なる種類の污水处理施設等を統廃合する際（し尿処理施設と下水処理施設等）の処理方法が変わることによる消費エネルギーの違いや、処理施設の統廃合によって放流箇所が変わることに伴う水環境へ与える負荷の変化等についても留意すべき（詳細検討時に確認すべき）こととした。

このような経済性、技術面および環境面といった要素も含めた総合的な評価を行い、最終的に最適な統廃合ケースを選定する。

(2) 仮想都市における検討例

以下に、污水处理システムとしてA、B処理区（両方とも下水道）を有している仮想都市における検討例を示す。

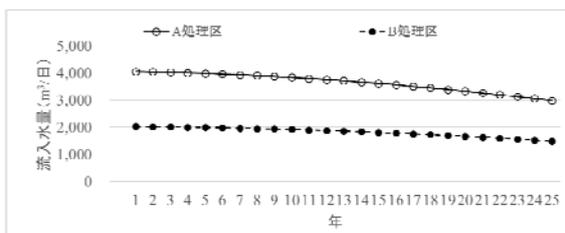


図-11 仮想都市における流入水量予測

表-8 仮想都市における処理能力等

|             | A処理区  | B処理区  |
|-------------|-------|-------|
| 処理方式        | 標準法   | OD法   |
| 処理能力 (m³/日) | 9,000 | 4,700 |
| 稼働率 (%)     | 45    | 43    |

現在から25年後までの流入水量の将来予測（図-11に例を示す）、現況の施設能力及び稼働率（表-8に例を示す）に基づき、代表的な統廃合ケースごとに簡易的な検討を行った。検討結果を表-9に示すが、本例ではB処理区をA処理区に接続しB処理場を廃止する「②処理施設の再編成」が最も効率的となる。

本手法ではさらに、上述の検討により選定した統廃合ケース（本例の場合は処理施設の再編成）について、各施設の改築更新時期を踏まえた段階的整備計画案を作成することとした（図-12に例を示す）。この例ではB処理場が改築更新を迎える6年目に当処理場を廃止しA処理区に統合する。A下水処理場の維持管理費が、統合の後に処理水量が増えたにもかかわらずそれほど増加していない理由としては、流入水量が年々減少していくこと以外に、統合に伴う処理施設の稼働率上昇により処理効率が向上した（処理単価が下がった）ことが挙げられる。

表-9 仮想都市における検討結果

| ケース                  |          | ①既存施設の更新                      | ②処理施設の再編成                     | ③既存施設の能力活用                    |
|----------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 概要                   |          | A、B処理場をそれぞれダウンサイジング           | B下水処理場を廃止し、A下水処理場に接続          | B下水処理場の汚泥処理系を廃止し、A下水処理場に接続    |
| 経済性の比較<br>ライフサイクルコスト | 総額       | 5,879 百万円/25年                 | 4,368 百万円/25年                 | 5,016 百万円/25年                 |
|                      | 年価       | 235 百万円/年                     | 175 百万円/年                     | 201 百万円/年                     |
| 技術面の確認 (統廃合の場合)      |          | -                             | 管きよの流下能力 等                    | 処理施設の能力 等                     |
| 環境面の確認               | エネルギー消費量 | 120,473 千MJ/25年               | 108,833 千MJ/25年               | 116,238 千MJ/25年               |
|                      | G H G排出量 | 16,732 t-CO <sub>2</sub> /25年 | 15,116 t-CO <sub>2</sub> /25年 | 16,144 t-CO <sub>2</sub> /25年 |
| 総合評価                 |          |                               | 最も効率的                         |                               |

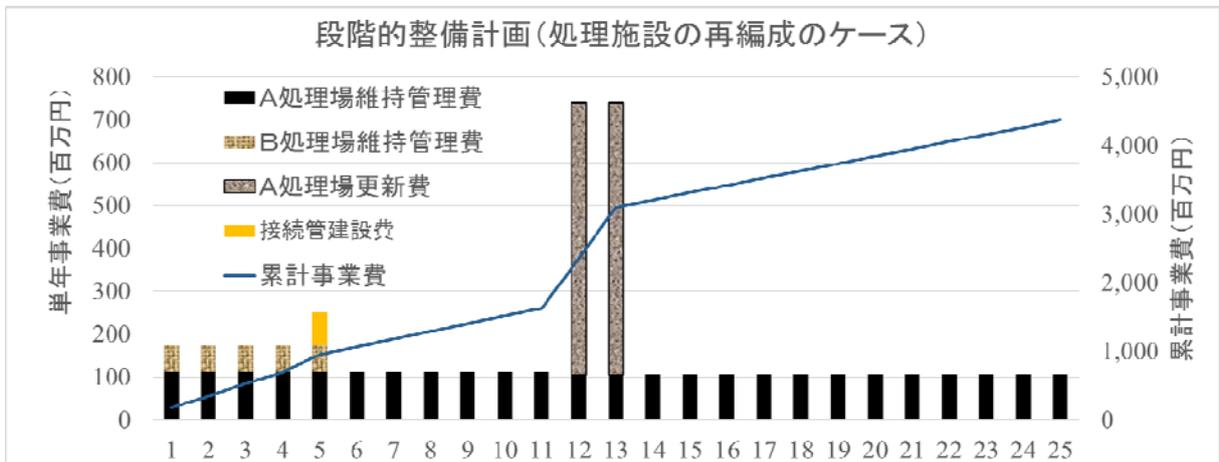


図-12 段階的整備計画案の例

(3) 実都市を対象としたモデルケース検討

表-10 に実都市を対象としたモデルケース検討結果の一例を示す。本手法に基づく試行とモデル都市が過去に行った検討とを比較した結果、使用している費用関数や手法に若干の違いはあるものの、本手法に基づく検討と各都市が行った検討の両者で最終的に選定した統廃合ケース（処理施設の再編 等）は、表-3 の 4 つのモデル都市すべての検討において合致していた。また、モデル都市で行われていた検討内容については、本検討手法に概ね網羅されており、本検討手法の方が、稼働率を考慮したエネルギー・コストの算出、技術面及び環境面の確認等をより簡易的に評価できることを確認した。

表-10 モデルケース検討結果の一例  
(本手法とD市との比較)

| ケース            | 本手法に基づく検討                                                                      |                                                                                | D市が過去に行った検討         |                      |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
|                | ①既存施設の更新                                                                       | ②処理施設の再編成                                                                      | ①既存施設の更新            | ②処理施設の再編成            |
| 経済性の比較 (百万円/年) | 36                                                                             | 15                                                                             | 30                  | 15                   |
| 技術面の確認         | -                                                                              | 処理場の処理能力<br>管路、ポンプ能力                                                           | -                   | 処理場の処理能力<br>管路、ポンプ能力 |
| 環境面の確認         | 稼働率を考慮し、新たな費用関数も使用                                                             |                                                                                | 稼働率を考慮せず、既往の費用関数を使用 |                      |
|                | i)エネルギー消費量<br>865,300(千MJ/30年)<br>ii)GHG排出量<br>167,532(t-CO <sub>2</sub> /30年) | i)エネルギー消費量<br>846,703(千MJ/30年)<br>ii)GHG排出量<br>163,931(t-CO <sub>2</sub> /30年) | 考慮せず                |                      |
| 総合評価           | ②処理施設の再編成が有利                                                                   |                                                                                | ②処理施設の再編成が有利        |                      |

#### 4. おわりに

本研究において持続可能な汚水処理システムの最適化検討手法を作成した。本手法は、モデルケース検討を通じて、手順に沿って作業を進めていけば、高度な専門知識を要せず簡易的に最適な統廃合ケースの選定を行うことが可能であり、地方自治体等の下水道事業者にとって最適な汚水処理システムを構築するための有用なツールとなり得ることを確認した。

今後、これまでの研究成果をとりまとめ、全国の下水道事業管理者等が使用できるよう技術資料として公表する予定である。本資料を活用することにより、最適な汚水処理システム導入による処理コストの低減、人口減少社会の地方都市における汚水処理サービスの維持・効率化、資源の効率的回収、エネルギー最適化の促進、ひいては持続可能な社会の確立に貢献していく。

#### 【参考文献】

- 1) 国土交通省ホームページ：平成 29 年度末の汚水処理人口普及率をとりまとめ ([http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13\\_hh\\_000383.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000383.html)), 2018 年 8 月
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所 日本の将来推計人口 (平成 29 年推計), 2017 年 4 月
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部、公益社団法人日本下水道協会 新下水道ビジョン, 2014 年 7 月 p4-13,4-19-25,
- 4) 第 4 次社会資本整備重点計画, 2015 年 9 月 p5,59-63
- 5) 国土交通省、農林水産省、環境省 持続的な汚水処理システム構築に向けた都道府県構想マニュアル, 2014 年 1 月 p27
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 参考資料, 2015 年 10 月 p122-149
- 7) 国土交通省、社団法人日本下水道協会 バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル, 2004 年 3 月 p55-93
- 8) 財団法人日本下水道新技術機構 下水道処理施設へのバイオマス (生ごみ等) 受け入れマニュアル, 2011 年 3 月 p117-125
- 9) 公益社団法人日本下水道協会 下水道統計 (平成 15 年度版から平成 25 年度版)
- 10) 社団法人日本下水道協会 下水道施設計画・設計指針と解説 (前編) 2009 年版, 2009 年 10 月 p40
- 11) 社団法人全国都市清掃会議 汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版, 2007 年 3 月 p109
- 12) 土木研究所 平成 5 年度下水道関係調査研究年次報告書集 「し尿等受け入れ負荷の下水処理への影響に関する調査」, 1994 年 10 月 p142

# 付 録

## 付録 1. 直近の下水道関係刊行報告書一覧

### 下水道技術開発レポート 2017

国土技術政策総合研究所資料 第 1033 号 2018 年 6 月  
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部

#### 要旨

国総研では、平成 28 年 1 月より、下水道技術ビジョンのフォローアップ及び下水道の技術開発促進方策の検討を目的として、下水道技術開発会議を主催している。

本研究資料は、下水道技術開発会議において、平成 29 年度に行った調査研究等の内容について取りまとめたものである。

キーワード：下水道技術ビジョン、下水道技術開発会議

URL : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1033.htm>

### 平成 28 年度下水道関係調査研究年次報告書集

国土技術政策総合研究所資料 第 1032 号 2018 年 5 月  
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部

#### 要旨

本報告書集は、平成 28 年度に国土交通省国土技術政策総合研究所において実施された下水道に関する調査研究の成果を集約して資料としてとりまとめたものである。

キーワード：下水道、下水処理、ストックマネジメント、浸水対策、温室効果ガス、省エネルギー

URL : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1032.htm>

## B-DASH プロジェクト No. 20 下水道圧送管路における 硫酸腐食箇所の効率的な調査技術導入ガイドライン（案）

国土技術政策総合研究所資料 第 1012 号 2018 年 2 月  
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部下水道研究室

### 要旨

近年、内面モルタルライニングのダクタイル鋳鉄管が使用されている圧送管路で、たびたび硫化水素に起因する硫酸腐食による漏水や道路陥没の事故が報告されている。圧送管路は、自然流下管きょと異なり圧力状態で下水が流下することから、管の破損時期と間を置かず下水が噴出し、溢水や道路陥没事故等の大事故に繋がると考えられ、事故を未然に防ぐための予防保全的な調査が極めて重要である。

本ガイドラインは、下水道管路施設のうち圧送管路を効率的に維持管理することを目的として、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）で採択された「下水道圧送管路における硫化水素腐食箇所の効率的な調査・診断技術に関する研究（実証研究期間 平成 28 年 10 月～平成 29 年 3 月）」について、実証研究の成果を踏まえて、技術性能及び技術導入の手順を明示し、技術の普及促進を図るために策定したものである

キーワード：圧送管路、硫酸腐食、ダクタイル鋳鉄管、調査技術

URL : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1012.htm>

## B-DASH プロジェクト No. 19 UF 膜ろ過と紫外線消毒を用いた高度再生水システム導入ガイドライン（案）

国土技術政策総合研究所資料 第 1011 号 2018 年 2 月  
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部下水処理研究室

### 要旨

国土交通省下水道部及び国土技術政策総合研究所では、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）を実施している。

本ガイドラインは、下水道事業における下水処理再生水の有効活用の促進を目指し、下水道革新的技術の一つである「UF 膜ろ過と紫外線消毒を用いた高度再生水システム」について、下水道事業者が導入検討する際に参考にできる資料として策定したものである。

キーワード：下水処理再生水、農業灌漑利用、限外ろ過膜、紫外線消毒

URL : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1011.htm>

## B-DASH プロジェクト No.18 バイオガス中のCO<sub>2</sub>分離・回収と 微細藻類培養への利用技術導入ガイドライン（案）

国土技術政策総合研究所資料 第1003号 2017年12月  
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部下水道処理研究室

### 要旨

国土交通省下水道部及び国土技術政策総合研究所では、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）を実施している。

本ガイドラインは、下水道事業における下水道資源の有効活用を目指し、下水道革新的技術の一つである「バイオガス中のCO<sub>2</sub>分離・回収と微細藻類培養への利用技術」について、下水道事業者が導入検討する際に参考にできる資料として策定したものである。

キーワード：下水バイオガス、微細藻類（ミドリムシ）、CCU、汚泥可溶化

URL：<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn/tnn1003.htm>

## B-DASH プロジェクト No.17 都市域における局所的集中豪雨に対する雨水管理技術導入ガイドライン（案）

国土技術政策総合研究所資料 第998号 2018年3月  
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部下水道研究室

### 要旨

国土交通省下水道部及び国土技術政策総合研究所では、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）を実施している。

本ガイドラインは、下水道事業において既存の浸水対策施設の効果的運用や住民の自助・共助の促進による浸水被害の軽減に向け、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）で採択された都市域における局所的集中豪雨に対する雨水管理技術について、実証研究の成果を踏まえて、技術の性能等を明示し、技術の普及展開を図るために策定したものである。

キーワード：B-DASH プロジェクト、浸水対策、都市域レーダ、特異移流モデル、自助・共助支援、  
施設運転支援

URL：<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn/tnn0998.htm>

## 平成 28 年熊本地震における下水道管路施設被災の特徴

国土技術政策総合研究所資料 第 997 号 2017 年 11 月  
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部

### 要旨

平成 28 年 4 月 14 日と 4 月 16 日に震度 7 が続けて観測された熊本地震では、下水道管路施設 約 86 km が被災した。被災の特徴を把握するために、災害査定資料や震後に実施された TV カメラ調査結果を分析した。この結果、地下水位以浅までの砕石埋め戻しにより高い液状化抑制効果が発揮されることが確認できたほか、推進工法におけるマンホールと管きょ接続部の耐震化の必要性が明らかとなった。

キーワード：平成 28 年熊本地震、下水道管路、液状化、埋め戻し

URL : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0997.htm>

## 下水道技術開発レポート 2016

国土技術政策総合研究所資料 第 966 号 2017 年 3 月  
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部

### 要旨

国総研では、平成 28 年 1 月より、下水道技術ビジョンのフォローアップ及び下水道の技術開発促進方策の検討を目的として、下水道技術開発会議を主催している。

本研究資料は、下水道技術開発会議において、平成 28 年度に行った調査研究等の内容について取りまとめたものである。

キーワード：下水道技術ビジョン、下水道技術開発会議

URL : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0966.htm>

付録2. 平成29年度 下水道関係調査研究課題表

| 担当研究室       | 調査研究課題名                                       | 期間<br>(年度) |
|-------------|-----------------------------------------------|------------|
| 下水道事業調査費    |                                               |            |
| 下水道研究室      | 1. 下水道管路の持続可能なストックマネジメントに関する調査                | 28-30      |
|             | 2. 下水道新技術の導入支援に関する調査                          | 26-        |
|             | 3. 既存ストックを活用した浸水対策手法の確立に関する調査                 | 28-30      |
|             | 4. 下水道災害発生時の迅速な初動体制構築に関する調査                   | 29-31      |
| 下水処理研究室     | 5. 処理水の衛生学的リスク制御技術および水再生処理の評価に関する調査           | 29-31      |
|             | 6. 下水道における温暖化ガス排出量削減に関する調査                    | 29-31      |
|             | 7. 下水道資源の活用を考慮した水環境マネジメント推進に関する調査             | 29-31      |
| その他の予算による研究 |                                               |            |
| 下水道研究室      | 1. 中小都市の持続可能な下水道事業実施に関する基礎研究                  | 28-29      |
| 下水処理研究室     | 2. 下水道由来のアンモニアのエネルギー利用システムに関する研究              | 28-29      |
|             | 3. 下水処理場の既存施設能力を活用した汚水処理システムの効率化に関する研究        | 27-29      |
| 委託研究        | 下水道革新的技術実証事業 (B-DASH)                         | 23-        |
| 下水道研究室      | 1. 車両牽引型深層空洞探査装置の実用化に向けた技術実証研究                | 29         |
|             | 2. 三次元陥没予兆診断技術に関する実証研究                        | 29         |
|             | 3. 陥没の兆候の検知を目的とした空洞探査の精度と日進量の向上に関する実証研究       | 29         |
|             | 4. 小型飛行体による中大口径管腐食点検技術に関する研究                  | 29         |
| 下水処理研究室     | 5. メタン精製装置と吸蔵容器を用いた集約の実用化に関する技術実証研究           | 29         |
|             | 6. センサー連続監視とクラウドサーバー集約による劣化診断技術および設備点検技術の実証研究 | 29         |
|             | 7. 高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術の実用化に関する実証研究      | 29         |
|             | 8. 最終沈殿池の処理能力向上技術実証研究                         | 29         |
|             | 9. 温室効果ガス削減を考慮した発電型汚泥焼却技術実証研究                 | 29         |
|             | 10. 稲わらと下水汚泥の高濃度混合高温消化と炭化を核とした地域内循環システムに関する研究 | 29         |
|             | 11. アナモックス細菌を用いた省エネルギー型下水高度処理技術に関する研究         | 29         |
|             | 12. 高圧ジェット装置を導入した高度処理における余剰汚泥の減容化技術に関する研究     | 29         |
|             | 13. 脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術実証研究             | 29         |
|             | 14. 自己熱再生型ヒートポンプ式高効率下水汚泥乾燥技術実証研究              | 29         |
|             | 15. DHSシステムを用いた水量変動追従型水処理技術実証研究               | 29         |
|             | 16. 特殊繊維担体を用いた余剰汚泥削減型水処理技術実証研究                | 29         |
|             | 17. 下水処理水と海水の塩分濃度差を利用した水素製造システム技術に関する研究       | 29         |
|             | 18. 下水汚泥から水素を直接製造する技術に関する研究                   | 29         |

---

国土技術政策総合研究所資料  
TECHNICAL NOTE of NILIM  
No.1056 February2019

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは  
国土技術政策総合研究所 企画部 研究評価・推進課  
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 電話 029-864-2675