

I. 下水道事業調査費による研究

1. 下水道管渠におけるストックマネジメント導入に関する検討調査

下水道研究室 室 長 榊原 隆
主任研究官 松宮 洋介
研 究 官 深谷 渉
研 究 官 福田 康雄
交流研究員 西尾 称英

1. はじめに

昭和40年代以降の急速な整備により膨大なストックを有した下水道事業は、近年、施設の老朽化が急速に進みつつあり、多くの不具合が顕在化する状況になっている。殊に管路では約40万kmという膨大なストックを抱える中、下水管路起因の道路陥没が年間4,000件以上も全国で発生し¹⁾、施設の機能維持に向けた調査や改築等への投資が必要となっている。しかしながら、地方公共団体においては人口減少や少子高齢化により地方公共団体の財政が逼迫し、経営基盤の不安定化が懸念されている。

したがって、限られた財源の中で良好な下水道サービスを維持継続するには、ストックマネジメント手法の活用により施設の状態を予測し、将来事業量を予め把握することが求められている。そして急増が見込まれる調査や改築需要の優先度を明確に示すことで、合理的な事業を実施することが急務になっている。

本調査では、下水道施設の中でも膨大な施設を有する管路のうち管渠に着目し、管渠におけるストックマネジメント手法の導入に関する検討を進めている。以下に平成20年度の成果を報告する。

2. 平成20年度調査の着眼点

下水道事業のストックマネジメントは、事業の役割を踏まえ、持続可能な下水道事業の実施を図るため、明確な目標を定め、膨大な施設の状況を客観的に把握、評価し、中長期的な施設の状態を予測しながら、下水道施設を計画的かつ効率的に管理することと定義される²⁾。

しかしながら、管渠の場合、処理施設とは異なって膨大な施設のほとんどが地中に埋設されており、点検や調査の実施により個別の施設の状態を継続的に把握することは難しい。

図-1に下水道統計³⁾をもとに作成した管渠の維持管理状況を示す。

本管のTVカメラ調査（管渠内調査）の年間実施延長は、1997年度から2006年度までの間、年間平均で約4,100km程度であることがわかる。これは同じ期間の管渠総延長の平均約35万kmに対して実施延長が約1.2%程度であり、ほぼ100年に1度のペー

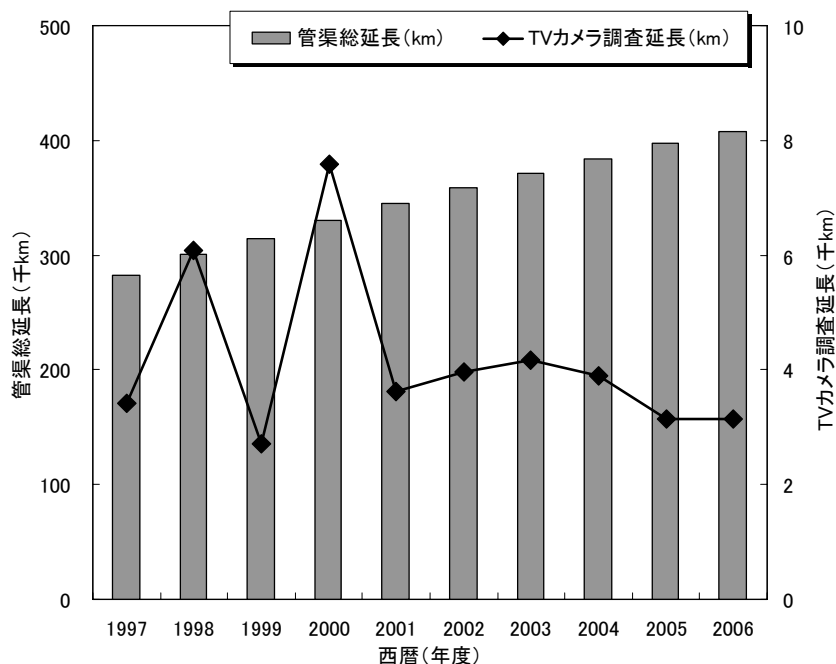


図-1 管渠の維持管理状況³⁾

スで調査が実施されていることに等しい。このような状況の下、適切な調査頻度を検討するには、そもそもの程度の割合で管渠の不具合が発生するかを定量的に把握することが重要である。

平成20年度調査では、ストックマネジメントの導入に際して基本となる不具合管渠の把握に重点を置き、まず管渠の構造的な不具合発生傾向について整理した。次に具体的な手法として不具合管渠の発生率予測式を算出し、不具合発生延長の将来予測手法を検討した。

3. 不具合管渠の発生傾向

不具合管渠の発生傾向は、公共下水道を実施している12のサンプル都市から得られた本管の管渠内調査結果を活用した。発生傾向の把握に際しては、サンプル都市が有する約17万スパンの管渠内調査結果の中から、管種、布設経過年数、緊急度が把握でき、各都市における布設経過年数別のスパン数が極端に少ないデータを除いた約15万スパンを抽出した。抽出データは、管路施設の緊急点検マニュアル（案）⁴で記載されている緊急度をスパンごとに集計し、後述する布設経過年数範囲ごとに取りまとめた。緊急度は、緊急度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、劣化なしに分類した。緊急度の判定に用いた不具合項目は、「管の腐食」、「上下方向のたるみ」、「管の破損」、「管のクラック」、「管の継手ズレ」、「浸入水」、「取付管の突出し」とし、「油脂の付着」、「樹木根侵入」、「モルタル付着」は対象外として構造的なものに限定した。布設経過年数範囲は5年ごとに区分し、布設経過年数50年以上は1つの区分として集計した。これらの作業を実施することで緊急度別の発生割合を算出し、不具合管渠の発生傾向を把握した。

表-1に緊急度別のスパン集計結果を示す。

表-1 緊急度別のスパン数

布設経過年数区分	スパン数	緊急度Ⅰ	緊急度Ⅱ	緊急度Ⅲ	劣化なし
01-05	1,277	0	44	300	933
06-10	3,372	0	192	962	2,218
11-15	5,557	6	374	2,161	3,016
16-20	8,491	5	840	3,828	3,818
21-25	13,975	16	1,531	7,427	5,001
26-30	31,003	44	4,981	16,899	9,079
31-35	35,464	133	7,521	18,404	9,406
36-40	21,572	36	6,413	9,947	5,176
41-45	12,601	41	5,870	4,572	2,118
46-50	6,902	29	3,922	2,001	950
51-	11,368	190	5,962	2,898	2,318
合計	151,582	500	37,650	69,399	44,033

なお、各不具合項目の判定基準は都市ごとによって異なる。そのため、判定基準は管路施設の緊急点検マニュアル（案）⁴で記載されている内容に置き換えて統一した。また緊急度別の発生割合は、管種によって影響を受ける。ここでは管種によらない全体的な不具合の発生傾向を把握するため、管種ごとに各緊急度の発生割合を算出した後に算術平均し、平均的な緊急度の発生割合を把握した。

図-2に布設経過年数範囲ごとの緊急度発生割合を示す。

まず最も管渠の状態が悪い緊急度Ⅰは、布設経過年数50年までほとんど発生することなく、51年以降にわずか2%ほど発生するだけであった。それに対し、緊急度Ⅱは布設経過年数が長くなるにつれて発生割合が増加し、布設経過年数51年以降の管渠では、半数以上を占める状況となった。軽微な不具合を示す緊急度Ⅲは、布設経過年

数が30年までは46%まで増加し、それ以降は減少する状況となった。劣化なしは、布設経過年数が長くなるにつれて減少する傾向を示し、布設経過年数が51年以降になると、20%まで落ち込むことが把握できた。この結果、布設経過年数が30年までの管渠は、劣化なしの割合が減少するとともに緊急度Ⅱまたは緊急度Ⅲへ移行し、31年以降になると、劣化なしまたは緊急度Ⅲの割合が減少するとともに緊急度Ⅱへ移行することが推察された。

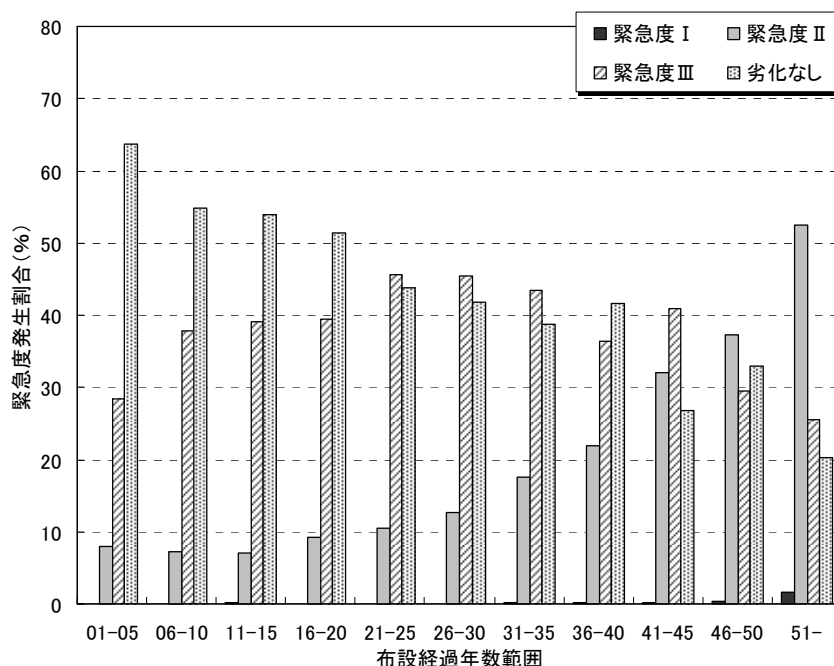


図-2 布設経過年数範囲別の緊急度発生割合

4. 不具合発生の把握に向けた不具合発生率予測式の算出

4.1 不具合発生率の定義

不具合発生率は、ある布設経過年数の複数の資産（スパン）のうち、何らかの不具合が発生しているスパン割合と定義する。不具合発生率予測式は、不具合が発生する管渠が、布設経過年数とともにどのような割合で増加するかを予測する式である。

4.2 不具合発生率の算出

不具合発生率の算出は、既往の研究成果である改築実施に係る健全率予測式の算出⁵⁾と同様に、管渠延長調査から得た「管渠生存率」と管渠内調査から得た「見かけの不具合なし率」を用いて求めた。管渠延長調査から得た「管渠生存率」は、国土交通省が2006～2008年度の3ヵ年で全国実態調査した管渠延長および改築延長の結果を用い、布設経過年数別の残存率を累積することで生存率を求めた。管渠内調査から得た「見かけの不具合なし率」は、不具合管渠の発生傾向を把握する際に用いた約15万スパンのデータを活用して、布設経過年数別に不具合なしの割合を整理した。

図-3に不具合発生率計算の具体的な考え方を示す。

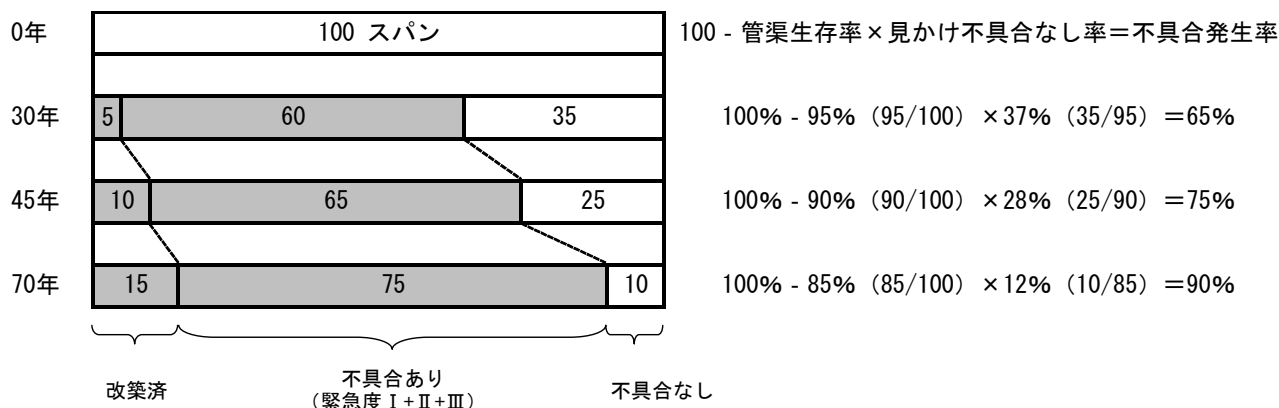


図-3 不具合発生率の考え方

まず、ある年度に 100 スパンの管渠を布設したと想定する。次に、100 スパンのうち 30 年後、45 年後、70 年後までに改築されてしまった管渠延長が、それぞれ 5 スパン、10 スパン、15 スパンになったと想定する。この時、30 年後、45 年後、70 年後の「管渠生存率」は 95%、90%、85%になる。さらに経過 30 年で生存している 95 スパンの管渠の中で、35 スパンが不具合なしとすると「見かけの不具合なし率」は 37%(=35/95)になる。同様に 45 年後、70 年後では 28%と 12%となる。最後に各布設経過年数の「管渠生存率」と「見かけの不具合なし率」を掛け合わせると「不具合なし率」が求まり、100%から「不具合なし率」を減じると布設経過年数ごとの「不具合発生率」が算出できる。このように管渠内調査から得た「見かけの不具合なし率」のみでは、改築されずに残存した管渠に対する不具合なしの割合を示すだけになる。既に改築されてしまったスパン分には、何らかの不具合が存在していたと仮定し、この手法を用いた。

4.3 不具合発生率予測式の作成

不具合発生率予測式は、算出した「不具合発生率」をもとに回帰分析を用いて作成した。分析の際に検討した回帰曲線は、直線式、対数式、べき乗式とし、再現性を比較するために決定係数を求めた。それぞれの決定係数は、直線式で 0.82、対数式で 0.80、べき乗式で 0.86 となり、この結果、べき乗式の決定係数が最も適当となった。

図 - 4 に不具合発生率の計算結果とべき乗型回帰曲線における不具合発生予測式を示す。

図 - 4 の不具合発生予測式は、予測式の上部が不具合なしの割合、下部が緊急度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを合わせた割合を表しており、布設年数が経過すると不具合発生率が増加する傾向を示した。布設経過年数の比較的短い管渠における 1 年間あたりの不具合発生率の上昇率は、布設経過年数が短くなるほど高くなる傾向となった。また不具合発生率が 50%になる布設経過年数は、約 12 年程度となった。これは、布設経過年数が約 12 年になると、管渠全体の約半分が、何らかの形で緊急度Ⅲ以上レベルの不具合が発生することを意味する。以下の不具合発生延長の将来予測は、べき乗式型による不具合発生予測式を用いて計算した。

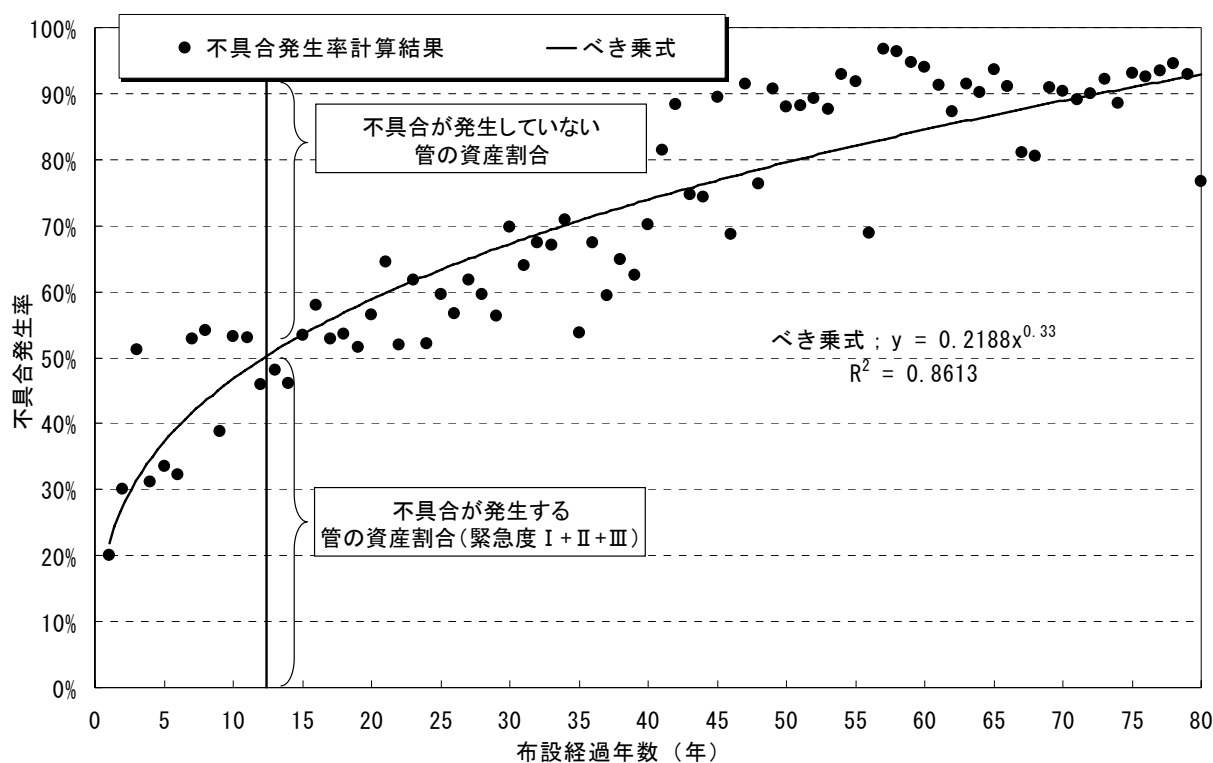


図 - 4 べき乗型回帰曲線における不具合発生率予測式

5. べき乗式型の不具合発生率予測式を用いた不具合発生延長の将来予測

5.1 予測条件

不具合発生延長の将来予測は、100 年程度の寿命を持つ管渠も存在することを念頭に置いて、予測期間を 100 年とした。予測に用いる布設経過年数別の管渠延長は、今後の新設管渠を含めないこととし、図 - 5 の管渠資産を有するモデル都市で検討した。また 2007 年度以前に不具合が発生した管渠は、不具合の発生に応じて適切な改築および修繕を実施していなかったと仮定とした。つまり、2007 年度以前に発生した不具合管渠は蓄積されている状況を想定し、2008 年度以降の 10 年間で、改築および修繕を均等に実施するシナリオとした。これは、2007 年度以前に発生した不具合管渠を不具合発生量として 2008～2017 年度に割り振るということではなく、この間に改築および修繕により新しくなった管渠が再び、劣化し不具合発生管渠となる量を計上したということである。2008 年度以降の各年度不具合発生延長は、不具合が発生した翌年度に改築および修繕が実施され新設と同程度の健全性に回復したと仮定した。回復後は年数経過とともに再び不具合が同じ割合で生じ、改築および修繕が必要となる不具合が再び発生する流れとした。これは改築だけでなく、修繕でも布設経過年数がリセットされるという仮定であり、現行の下水道事業の取り扱いとは異なる。

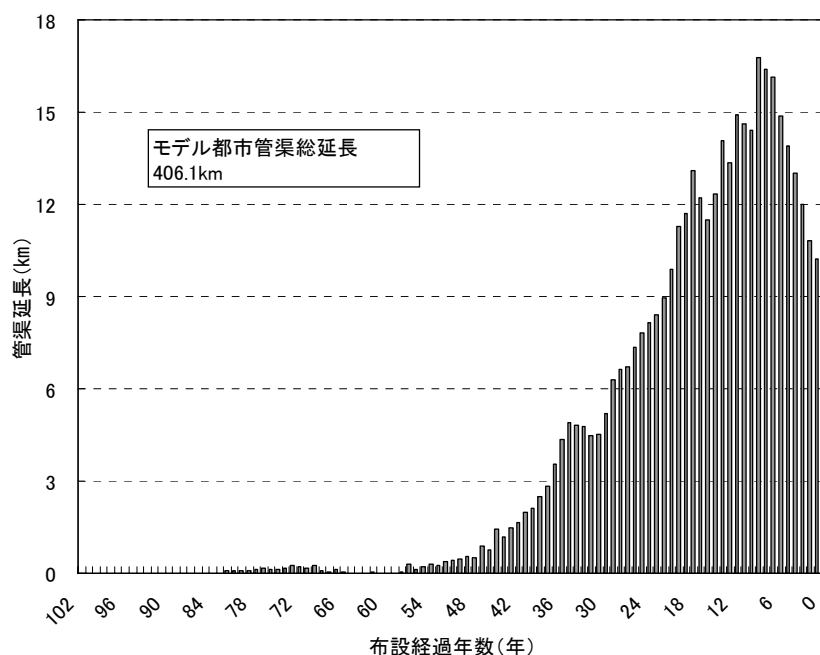


図 - 5 モデル都市における布設経過年数別管渠延長

5.2 予測結果および考察

図 - 6 にべき乗型予測式による不具合発生延長の将来予測結果を示す。

各年度の不具合発生延長に着目すると、予測初期の 2018 年度までは、布設経過年数が長くなるにつれて不具合発生延長も増加する傾向を示した。最大値は、モデル都市全体における管渠総延長 406km の約 4.9%/年 (19.9km/年) となった。これは、①図 - 4 の不具合発生延長予測式より布設経過年数の比較的短い管渠は、1 年間あたりの不具合発

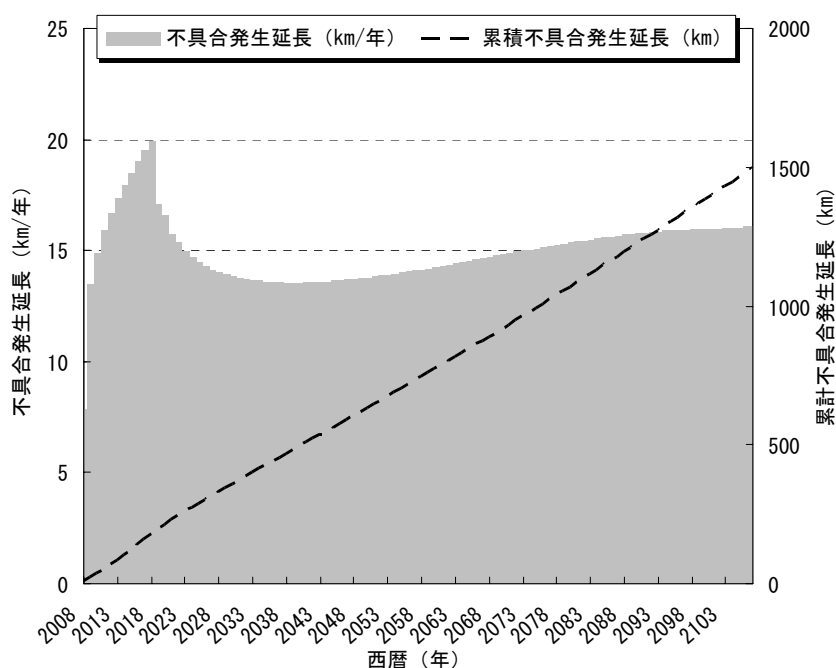


図 - 6 べき乗型予測式による不具合発生延長予測

生率の上昇が大きい、②図 - 5 のようにモデル都市は布設経過年数の比較的短い管渠が、総延長の大部分を占めている、③2007 年度以前に発生した不具合管渠（209km、51.5%）を 2008～2017 年度の間に新しい管渠へ入れ替わったと仮定していることが、予測初期の不具合発生延長の増加を促進させていると推察される。

一方、2019 年度以降は 2039 年度まで減少し、最小値はモデル都市全体の管渠延長の約 3.3%/年（13.6km/年）になることが確認できた。その後は約 4.0%/年（16.1km/年）まで緩やかに増加する傾向した。この結果、不具合発生は、過去に蓄積された不具合管渠をすみやかに改築および修繕で対処して健全性を回復させれば、最終的には管渠総延長の約 3.3～4.0%/年まで収束することが明らかになった。

6. まとめ

本調査の結果、以下の知見を得ることができた。

- ① 布設経過年数 30 年までの不具合管渠の発生傾向は、布設経過年数が長くなるとともに劣化なしの割合が減少し、その代わりに緊急度Ⅱまたは緊急度Ⅲが増加する状況となった。布設経過年数が 31 年以降になると、劣化なしまたは緊急度Ⅲの割合が減少し、緊急度Ⅱの割合が増加する傾向が把握できた。
- ② 「管渠生存率」と「見かけの不具合なし率」をもとに算出された不具合発生率予測式は、べき乗式型で近似できることが確認できた。また布設年数が 12 年程度経過すると、管渠全体の約半分が、軽度を含めた緊急度Ⅲレベル以上の不具合が生じる状況を明らかにできた。
- ③ 不具合が発生した時に速やかに調査し、改築または修繕を行うという仮定のもと、不具合発生率予測式を用いて軽度な不具合を含めた発生延長を算出すると、最終的には全体管渠延長の約 3.3～4.0%/年まで収束した。

7. 今後の課題

本調査では、不具合発生率予測式を用いて不具合発生延長を予測する際、様々な仮定を設けた。なかでも不具合が発生した時に、改築および修繕が翌年度実施されるという仮定は理想的であるが非現実的である。

管渠のストックマネジメントにおいては、まず管渠内調査により不具合を発見する必要がある。管渠内調査にあたっては不具合管渠が埋設されているところを効率よく発見する手法が必要となる。そのための調査計画手法の確立が今後の課題である。

また、モデル都市のような布設経過年数分布の管渠延長の場合、最終的な不具合発生率は全体管渠延長の 3.3～4.0%/年に収束したが、異なった布設経過年数分布の場合でも同じ傾向を示すかを確認する必要がある。

【謝辞】 本調査にあたり、ご協力を頂いた地方公共団体の皆様に深く謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成 21 年度下水道事業予算概算要求概要，平成 20 年 8 月
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水道事業におけるストックマネジメント検討委員会報告書
下水道事業におけるストックマネジメントの基本的な考え方に関するガイドライン(案)，平成 20 年 3 月
- 3) (社)日本下水道協会：平成 10 年～平成 18 年版 下水道統計
- 4) (社)日本下水道協会：下水道管路施設の緊急点検実施マニュアル（案），平成 19 年 3 月
- 5) 松宮洋介・福田康雄他：管渠の劣化曲線に関する調査，第 45 回下水道研究発表会講演集，
(社)日本下水道協会，平成 20 年 6 月

2. 下水道管渠施設に起因する道路陥没の被害予測調査

下水道研究室 室 長 榊原 隆
主任研究官 松宮洋介
研 究 官 福田康雄
交流研究員 西尾称英

1. はじめに

近年、下水道に起因した道路陥没が大きな問題となっており、適正な管路管理により、道路陥没を未然に防ぐことが望まれている。この際、限られた予算を有効に使うことによって効果を上げるためには、道路陥没等の管路事故の被害リスクを予測し、合理的な優先順位付けを行う必要がある。

著者らは、管きょの調査の優先順位を決定する手法として、不具合リスク（不具合の可能性と事故重大性の積）を点数計算表で定量的に評価する手法を提案した¹⁾。しかし、この方法は主観的定量評価であり、信頼性に欠けるとの指摘を受けた。そこで、本稿で新たなリスク評価方法を提案する。

提案する方法は、客観的な定量評価が可能な項目を評価した後、データがないために客観的に評価できない項目はAHP法²⁾により評価するものである。AHP法は主観の定量化であるが、客観的定量値をベースにすることにより、評価全体の客観性を高めることが可能と考える。以下は客観的評価が可能であった不具合の可能性について報告するとともにAHP法との統合方法を提案する。

2. 方法

12自治体より、合計約29,000スパンの調査診断データを提供頂いた。これらのデータをロジスティック回帰分析により解析を行った。ロジスティック回帰分析とは、不具合の有無のような2値のカテゴリー変数（Y=1 or 0）について、その発生確率Pr(Y=1)を予測する手法である。ロジスティック回帰分析の式は次のように表現される。

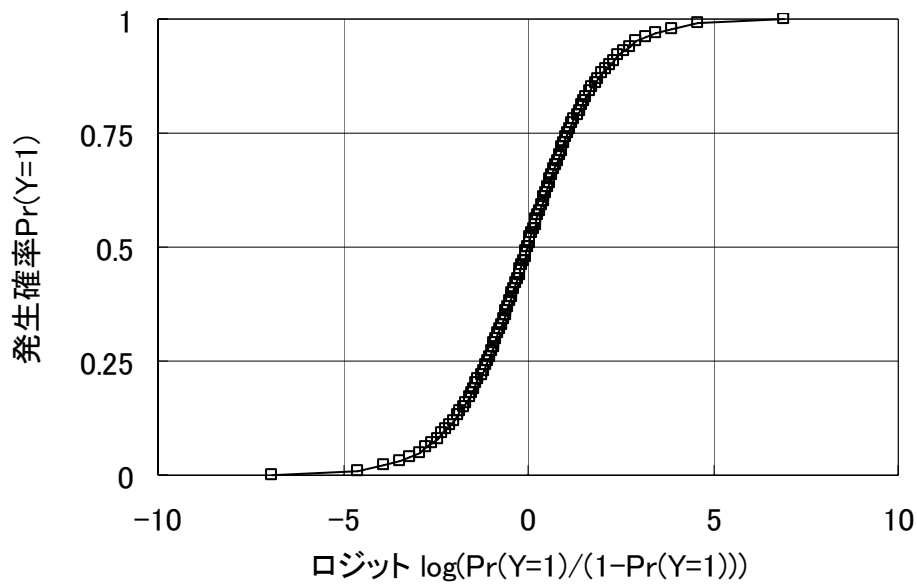
$$\log\left(\frac{\Pr(Y=1)}{1-\Pr(Y=1)}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_r X_r$$

ここで β ：係数、X：説明変数、r：説明変数の個数である。

左辺のうち、 $\Pr(Y=1)/(1-\Pr(Y=1))$ をオッズ、その対数をロジットと呼ぶ。一般に発生確率Pr(Y=1)の値域は[0, 1]であるが、そのロジットの値域は $[-\infty, +\infty]$ である。確率とロジットの値域の関係を図-1に示す。

本検討では、外的基準として不具合の有無を2値のカテゴリー変数に設定した。台帳項目・調査診断項目の説明変数と共に入力データとしてロジスティック回帰分析を行い、不具合の発生確率の予測式を推計した。

本検討では管種別に不具合の発生確率を予測しているが、各管種とも強度等製造年に関係なく同一の規格等により製造されたものであるという前提で分析している。従って、特に陶管については、1973年以前（経過年数35年以上）の製品は、製造技術が著しく進歩した現在の製品の約3分の1の強度であった点を考慮しておく必要がある。



図－１ 確率とロジットの関係

3. 結果

管種ごとの特性を検討するため、分析は、全管種・陶管(CP)・鉄筋コンクリート管(HP)・硬質塩ビ管(VU)の区分ごとのケースを設定した。外的基準には、「全損傷」「腐食」「たるみ」「破損」「クラック」「継ぎ手ズレ」「浸入水」「取付管突き出し」のうち1つを選択して、その有無を2値のカテゴリー変数とした。説明変数は、台帳項目から「布設経過年数」「取付管本数」「土被り」の数値データをそのまま用いた。ロジスティック回帰分析の計算結果について、統計的・工学的な評価、および実データとの対比結果を踏まえて、妥当であると判断された不具合項目・管種の組合せを表-1に示す。VU、腐食、たるみ、クラックについては有効な解析結果が得られなかった。

表-1 不具合の起こる可能性の定量化のまとめ

外的基準		説明変数の係数				分析データ数
不具合項目	管種区分	経過年数	取付管本数	土被り	定数項	
全損傷	全管種	0.066	0.071	-0.087	-1.253	27560
	CP	0.080	0.175		-1.683	9591
	HP	0.041	0.043		-0.643	15503
破損	全管種	0.062	0.047	-0.264	-2.798	29379
	CP	0.054	0.065		-2.461	11410
	HP	0.050	0.049	-0.206	-2.890	15503
継ぎ手ズレ	全管種	0.067	0.042		-3.125	29379
	HP	0.057	0.044	-0.153	-2.714	15503
浸入水	全管種		0.060	0.679	-2.983	29379
	HP	0.035	0.056	0.585	-3.875	15503
取付管 突き出し	全管種	0.062	0.098	-0.237	-3.927	29379
	CP	0.076	0.107	-0.175	-4.697	11410
	HP	0.057	0.087	-0.330	-3.376	15503

CP、HPが「全損傷」を起こす可能性（確率）P1、P2を下記に示す。

$$P1 = \frac{1}{1 + \exp \left[- \left\{ \text{経過年数} \times 0.080 + \text{取付管本数} \times 0.175 - 1.683 \right\} \right]} \times 100 \%$$

$$P2 = \frac{1}{1 + \exp \left[- \left\{ \text{経過年数} \times 0.041 + \text{取付管本数} \times 0.043 - 0.643 \right\} \right]} \times 100 \%$$

4. AHP法との統合方法の提案

不具合の可能性評価で経過年数と取付管本数以外に重要な評価項目として、地盤の良し悪し、木根侵入に影響を与える植樹帯の有無、圧送管開放等による硫化水素等特殊排水の有無（HP のみ）を考えるとする。評価項目は各自治体で現場の実情を踏まえて、抽出すれば良い。著者らが、これまで 2 都市で評価項目を抽出するワークショップを開催した経験によると、後から評価しにくい項目を選ぶと先に進めないで注意を要する。客観的定量評価された P1、P2 をベースに不具合可能性の全体を把握する手順は簡便さとわかりやすさを考慮し、以下を提案する。

- ① AHP法により、CP の不具合の評価項目として、経過年数、取付管本数、地盤の良し悪し、植樹帯の有無の重みを決める。それぞれの重みを a（経過年数）、b（取付管本数）、c（地盤の良し悪し）、d（植樹帯の有無）とする。
- ② AHP法により、HP の不具合の評価項目として、経過年数、取付管本数、地盤の良し悪し、植樹帯の有無、特殊排水の有無の重みを決める。それぞれの重みを e（経過年数）、f（取付管本数）、g（地盤の良し悪し）、h（植樹帯の有無）、i（特殊排水の有無）とする。
- ③ AHP法により、不具合への管種影響の評価項目として、CP、HP、VU の重みを決める。それぞれの重みを j(CP)、k(HP)、l(VU) とする。
- ④ CP、HP の不具合の可能性は P1、P2 を基準に、重みを乗じて求める。
- ⑤ VU の不具合の可能性は HP を基準に計算する。具体的には、特殊排水の無しの場合に、経過年数、取付管本数、地盤の良し悪し、植樹帯の有無により定まる HP の不具合の可能性に、管種の重みの割合を乗じる。

例として、CP について一部解説する。地盤が良くて、植樹帯もない場合、CP が「全損傷」を起こす可能性は経過年数と取付管本数だけで客観的に定量評価された P1 となる。地盤が悪くて、植樹帯がある場合、CP が「全損傷」を起こす可能性は、 $P1 \times (a+b+c+d) / (a+b)$ とする。これは、P1 が経過年数と取付管本数だけで評価されているので、その重みは a+b であり、地盤と植樹帯が悪影響を及ぼすならば、それらの重み(c+d)をさらに割り増し加算して評価できるとの前提に基づく。

VU の不具合の可能性の計算は HP をベースにする場合、CP をベースにする場合、さらには両者の相加平均や相乗平均をとるなど手法は複数考えられる。本稿では HP ベースを以下に示すが、何が良いかはいろいろ計算して、最終的には現場での納得感が高いものを採用すればよいと考える。客観的数値データで検証できない事象を取り扱っており、加えて意思決定のツールであるため、当事者の納得感が重要である。

表－２ 客観的定量評価とAHP法の統合による不具合の可能性評価

	地盤	植樹帯	特殊排水	不具合の可能性
陶管	良	無	－	P1
	悪	有	－	$P1 \times (a+b+c+d)/(a+b)$
	良	有	－	$P1 \times (a+b+d)/(a+b)$
	悪	無	－	$P1 \times (a+b+c)/(a+b)$
コンクリート管	良	無	無	P2
	良	有	無	$P2 \times (e+f+h)/(e+f)$
	良	有	有	$P2 \times (e+f+i)/(e+f)$
	良	有	有	$P2 \times (e+f+h+i)/(e+f)$
	悪	有	無	$P2 \times (e+f+g)/(e+f)$
	悪	有	無	$P2 \times (e+f+g+h)/(e+f)$
	悪	有	有	$P2 \times (e+f+g+i)/(e+f)$
塩ビ管	良	無	－	$P2 \times l/k$
	悪	有	－	$P2 \times (e+f+g+h)/(e+f) \times l/k$
	良	有	－	$P2 \times (e+f+h)/(e+f) \times l/k$
	悪	無	－	$P2 \times (e+f+g)/(e+f) \times l/k$

5. まとめと考察

管きょ調査の優先順位を決定する手法として、客観的定量評価と AHP 法を統合することによる不具合リスク評価の方法論を示し、不具合の可能性の客観的定量評価結果として、CP と HP に対する不具合の起こる可能性の推定式を示した。さらに、不具合の可能性について AHP 法との統合方法を提案した。今後、不具合事故重大性についても同様な手法の開発に取り組むとともに、自治体と協同して実際の現場での検証を実施したいと考えている。

管路調査等に優先順位をつける手法として、不具合リスクの大小を用いる手法は米国でも用いられている³⁾。ここで用いられている可能性はあくまで下水道管きょに不具合が発生する可能性であり、不具合事故の発生する可能性ではない。管きょの不具合が全て事故につながるわけではないにもかかわらず、不具合の可能性を事故重大性に乗じて優先順位を決めることは、不具合発生イコール事故発生との隠れた仮定があるに他ならない。この背景には、不具合は全て、事故につながる可能性があるのだから改善すべきであるという前提があると考えられる。また、我が国では下水道法に「堅固で耐久力を有する構造とすること。」「コンクリートその他の耐水性の材料で造り、かつ、漏水及び地下水の浸入を最少限度のものとする措置が講ぜられていること。」との規定があり、不具合の解消は洋の東西を問わず、下水道管理者の義務である。しかしながら、予算が限られている以上、優先順位を付けて対策を実施する必要がある、その際に不具合リスクを用いることが米国でも認知されている。不具合リスクの計算結果は不具合事象の発生確率と不具合が事故に結びついた時の事故事象の大きさの積で求まる値であるため、その値は相対的な比較に用いられるもので絶対値としての意味はもたないにことに留意する必要がある。

謝辞

本研究にご協力頂きました自治体の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 松宮他：管きょのストックマネジメント方法に関する提案、第 44 回下水道研究発表会講演集、(社) 日本下水道協会、pp217-219、2007
- 2) 大阪府産業デザインセンター：AHP による評価、http://www.pref.osaka.jp/oidc/mono/MonoMain/method5_1.htm、平成 21 年 4 月 9 日現在
- 3) Water Environment Research Foundation: Development of a Tool to Prioritize Sewer Inspections, 2004

3. 効率的な都市雨水対策の計画手法に関する調査

下水道研究室 室 長 榊原 隆
研 究 官 遠藤 淳
研 究 官 藤原 弘道

1. はじめに

都市における雨水の浸透は、表面流出量の減少による治水上の効果のみならず、合流式下水道雨天時越流水もしくは面源負荷といった降雨に由来する水質汚染の緩和、または、枯渇した湧水の復活に代表される水循環の健全化など多面的な効果が期待されている。

しかし、雨水浸透に関しては依然として不明な点が多く、これが普及に際しての懸念材料になっている。特に、①「治水上の効果の不確実性」と、②「地下水・土壌などに対する環境影響」の2つの大きな課題があり、本調査では、現地調査、室内実験等に基づき定量的に事象を評価することを目的としている。

①については、19年度に、浸透能力の経年変化の把握を目的とし、個々の浸透施設を対象とした既往の追跡調査データを収集・分析したところ、経年低下の傾向を把握するとともに、データのばらつきが非常に大きいことが判明した。このため、浸透効果は面的に評価することが必要と考え、20年度は、対象区域のモデル化と雨水流出量モニタリングを併せた手法の適用を提案し、ケーススタディを行った。

②については、19年度に引き続き、雨水浸透ますを設置したライシメータに、路面排水を模した「人工市街地排水」を繰返し流入させる促進試験を実施した。実験は、19年度の30回に加えて、20年度は50回の繰返しを行い、合計80回の繰返しで実験終了とし、ライシメータ内の土壌をサンプリングした。

2. 雨水浸透効果の面的評価手法

2. 1 調査対象地区

調査対象地区の概要は、図-1に示すとおり、雨水浸透ますが設置されており、下水道（合流式）整備が完了している住宅地を対象とした。当該地区では、浸透ますの設置前後で流量観測を実施し浸透効果を計測していることに加えて、個々の浸透施設的能力調査を長期間実施しているなど、浸透施設に関するデータが多く蓄積されている。また、浸透ますの構造は図-2に示すとおり、かなり大規模な施設で160箇所設置されている。

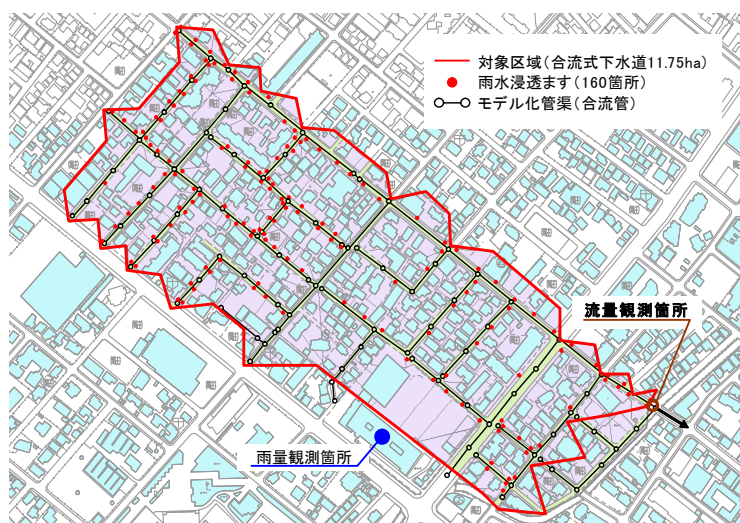


図-1 調査対象地区の概要図

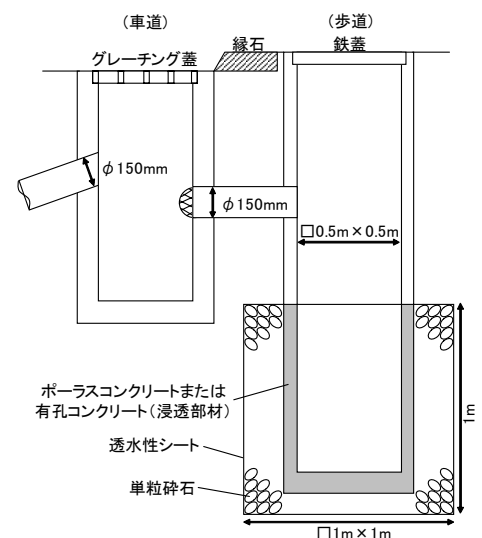


図-2 浸透ますの構造概要図

2. 2 検討方法

モニタリングは、平成 20 年 8 月から 6 ヶ月程度、図-1 に示す箇所にて実施した。雨量の観測には、転倒ます型雨量計（太田計器製作所社製、OW-34）を用いて、1 転倒 0.1mm、1 分間隔でデータ取得し、流量の観測には、面速式流量計（シュア・テクノ・ソリューション社製、AVL-3001 シリーズ面速型流量計）を用いて同様に 1 分間隔でデータ取得した。

モデリングについては、1. 分布型モデル（MOUSE）、2. 集中型モデル（修正 RRL 法）にて解析を行い、1. においては、浸透施設のモデル化について、既存資料¹⁾²⁾を参考に、表-1 に示すとおり、1) 有効降雨モデル、2) 一定量差引きモデル、3) 貯留浸透モデルの 3 つの方法にて行い、各手法の特徴を把握した。

表-1 分布型モデルにおける浸透効果の見込み方

モデル名	浸透効果の見込み方
1) 有効降雨モデル	対象区域の実降雨から浸透施設浸透能による削減分を差し引いた有効降雨を用いて解析を行う。
2) 一定量差引きモデル	降雨流出量から浸透施設による浸透量を差し引いて実流出量を算定する。
3) 貯留浸透モデル	浸透施設の流入面積、浸透能及び施設容量から貯留量、浸透量を算出し、流出量から削減する。

2. 3 結果と考察

個々の浸透ますの浸透能力は、直近の平成 17 年（供用 20 年後）59 箇所（全体の約 4 割）のデータ（平均浸透能力 150ℓ/分）では当初の 40%に低下しているが、今回観測データに基づき構築したモデルにて、設置当初に観測した降雨を用いて流出流量を計算し、当時の観測流量データと比較したところ、両者はほぼ同じ値となり、浸透能力の変化が確認できなかった。そこで、浸透ますへの流入雨水量を計算したところ設置当初・今回の両ケースとも浸透能力より小さく、浸透ますに流入した雨水はすべて浸透することが判明した。今回は、浸透施設のモデル化手法の特徴把握を目的としており、浸透能力を超えるような雨についても検討対象としていることから浸透能力を設定する必要があり、前述の平成 17 年データを用いて解析を行った。

各手法によるキャリブレーション結果を表-2 および図-3 に、中央集中形 50mm/hr の降雨に対して計算した流出流量を表-3 および図-4 に示す。表中の流出率は、対象区域の全降水量のうち、下水道管により当該区域から流出する割合を示している。分布型モデルでは、どの手法を用いても、ピーク、流出量とも大きな違いがないことが示されている。一方で、集中型モデルでは、図-3 では十分な精度が得られているが、図-4 では分布型モデルと若干異なる傾向が見られており、パラメータ設定降雨と解析降雨との降雨規模の相違（降雨規模に応じたパラメータの設定）が要因として示唆されるが、実測値との検証が望まれる。

また、本検討にあたり得られた知見（特徴・留意点）は、表-4 にまとめて示した。

表-2 キャリブレーション結果一覧

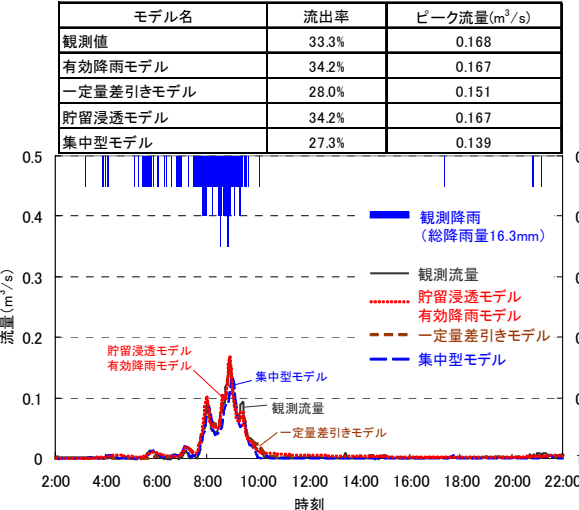


図-3 キャリブレーション結果

表-3 流出流量計算結果一覧 (50mm/hr 降雨)

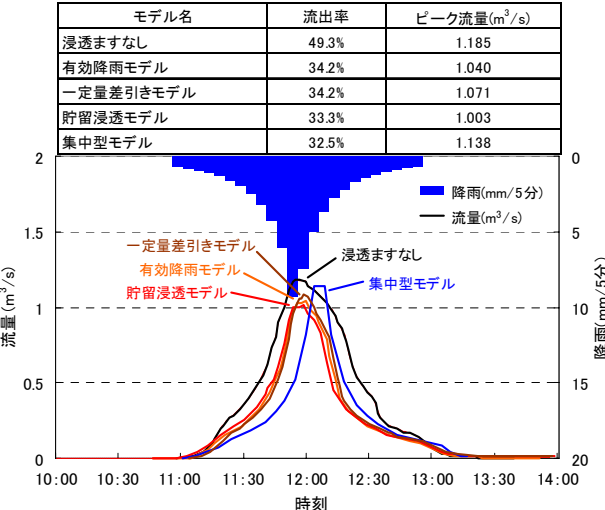


図-4 流出流量計算結果 (50mm/hr 降雨)

表-4 浸透効果定量化手法の特徴と留意点

分布型モデル	有効降雨モデル	一般的な分布型モデルを用いて容易に解析でき、効率的なモデル構築・評価が可能である。浸透ますによる貯留効果を考慮しないため、ます内貯留量が大きい構造の浸透ますの場合、流出抑制効果を低く評価する可能性がある。
	一定量差引きモデル	地表面における流出解析と管渠内の解析を個別に行う必要があるため、有効降雨モデルに比べ作業量が増加する。流量の差引きを行う際には、「浸透能力」ではなく、「実際の浸透量」を差引く必要がある。
	貯留浸透モデル	浸透施設内の容量を貯留量として見込むため、適切な流出抑制効果を評価できる。流末の流量観測結果によるキャリブレーションのみでは「浸透効果」と「貯留効果」を明確に分けることが難しい場合も考えられ、各施設の構造を把握して流域全体の貯留量を推定する必要がある。
集中型モデル		分布型モデルと比較してモデル構築が簡便で、十分な解析精度が得られる。ただし、一定規模の降雨に対して調整したパラメータが異なる降雨規模の降雨に対して適用性が低い場合もあり、パラメータ調整の際に対象降雨規模に合わせたキャリブレーションを行う必要がある。

3. 浸透施設による地下水・土壌環境への影響

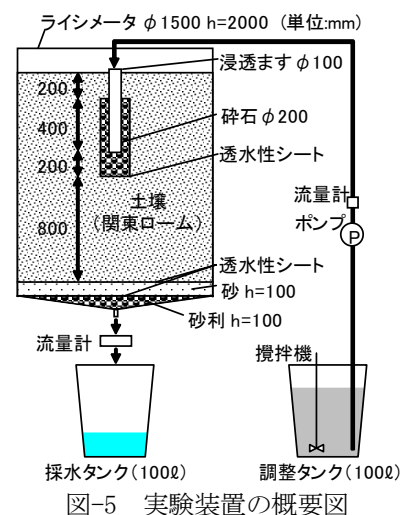
3. 1 実験方法

実験は、昨年度と同じ装置を用い、同様の方法³⁾で実施した。実験装置の概要を図-5に示す。浸透ますに流入させる人工市街地排水は、昨年度と同じものを用いて、表-5に示すとおり調整し、10mmの雨が1時間降ることを想定し、1時間で66.7ℓを浸透ますに流入させ、流出水全量を採水タンクに採取した。24時間サイクルで、人工市街地排水の流入を行い、実験開始時に調整タンクより流入水を、次の実験開始前（実験終了時）に採水タンクより流出水をサンプリングし水質分析を行った。また、水理条件確認のため、流入流量、浸透ます内水位、流出流量をモニタリングした。昨年度の30回に加えて、今年度は50回の繰返し実験を行った。

今回の実験は、全国の192都市を対象とした平成11年度の降雨特性データ（平均降雨量:1,598mm/年、平均降雨回数:139回/年⁴⁾）と比較すると半年程度の降雨を降らせたことになる。

表-5 人工市街地排水の調整

物質名	路面堆積物	フミン酸 Na	硝酸 Na	硫酸亜鉛 7水和物	硫酸銅 5水和物
添加量 (100ℓ当り)	10g	1.8g	3.0g	13mg	0.79mg
関連水質項目	SS	TOC	NO ₃ -N	Zn	Cu



3. 2 実験結果および考察

実験回数は、前年度分を考慮して、31～80回と表現した。図-6は、流入・流出水量、飽和透水係数の変化を示している。実験当初に流出水量が少ないのは、今年度の実験開始まで間隔があり、土壌が乾燥したためと考えられる。各項目とも総じて値は安定していることから、水理的には同条件下で繰返し実験が行われたと考えられる。

図-7には、一般的な水質項目であるpHと電気伝導度（EC）の変化を示している。昨年と同様に、浸透することでpHは若干酸性へ変化し、ECは大きく減少している。実験回数が50回を超えたところから流出水のECが上昇傾向にあるのは、土壌のイオン吸着能力の低下、土壌中の有機物の分解によるイオンの流出等の要因が考えられ、土壌分析結果等と合わせて検討する予定としている。

図-8には、人工市街地排水の調整にあたり、添加している銅（Cu）と亜鉛（Zn）の変化を示している。こちらも昨年と同様に、大きく減少することが示されている。

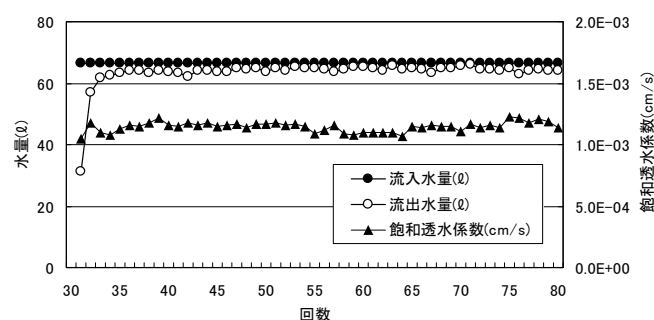


図-6 流入・流出水量、飽和透水係数の変化

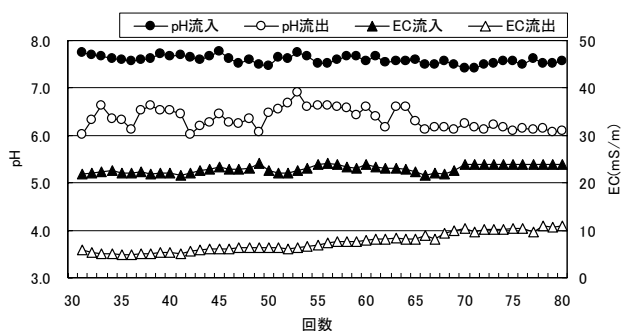


図-7 pH、EC の変化

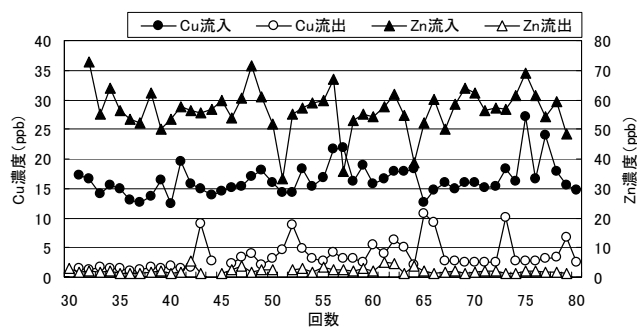


図-8 Cu、Zn の変化

また、表-6 には、昨年度に測定結果を紹介している代表的な重金属について、今年度の 50 回繰返し実験の平均値を示している。計測結果も昨年度と同様に、Al、Fe、Cu、Zn については、流入水に対して流出水の濃度が大きく減少しているが、Mn、Cd については、若干の増加が観察される。なお、有害物質である Cd については、土壤汚染対策法に基づく土壤溶出量基準値 (0.01mg/l = 10 μ g/l) と比較すると、その増加は非常に低いレベルであることに注意が必要である。

表-6 重金属濃度 (繰返し 50 回の平均値)

	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd
流入水 (μ g/l)	774	23.6	1176	16.5	56.7	0.03
流出水 (μ g/l)	11.5	36.1	45.3	3.6	2.2	0.11

4. おわりに

雨水浸透については、①「治水上の効果の不確実性」および②「地下水・土壤などに対する環境影響」の両面から検討を行っている。

①「治水上の効果の不確実性」については、浸透効果を面的に評価する方法として、分布型 (MOUSE) および集中型 (修正 RRL 法) の流出解析モデルを用いてケーススタディを行った。分布型モデルにおける浸透ますのモデル化については、1) 有効降雨モデル、2) 一定量差引きモデル、3) 貯留浸透モデルの 3 つの方法で解析した結果、どの方法でも十分な精度が得られた。集中型モデルでは、再現計算と規模の異なる降雨に対しては、他の手法と若干の相違が観察され、目的とする降雨規模に応じたパラメータ設定の必要性が示唆された。今回は、浸透ますの規模が大きく、観測された降雨強度では浸透ますからの流出 (下水管へのオーバーフロー) がみられなかった。今後は、浸透能力経年変化の評価手法としての適用を目的に、規模が小さい浸透ますが設置されている区域 (浸透ますからの雨水流出が観察される条件) にてケーススタディを行う予定としている。

②「地下水・土壤などに対する環境影響」 (第 3 章) については、昨年度に引き続き、雨水浸透ますを配置したライシメータに、路面排水を模した「人工市街地排水」を繰返し流入させる促進試験を実施したところ、昨年度と同様に、削減されるもの (EC、Al、Fe、Cu、Zn)、増加するもの (Mn、Cd) があり、流出水の水質は安定していた。合計 80 回繰返し流入させた時点で促進試験を終了し、土壤のサンプリングを行った。今後は、土壤の分析を行い、人工市街地排水の影響範囲を明らかにするとともに、吸着等温線を求めるなどして、定量的に環境影響を把握する予定としている。

なお、本調査の一部 (第 3 章) は、北海道大学との共同研究「都市雨水排水中の汚濁物質の制御に関する共同研究」として実施されたものである。

参考文献

- 1) (社) 雨水貯留浸透協会：増補改訂 雨水浸透施設技術指針 (案)、2006
- 2) (財) 下水道新技術推進機構：下水道雨水浸透技術マニュアル、2001
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：国総研資料第 463 号 平成 19 年度下水道関係調査研究年次報告集、2008
- 4) (社) 日本下水道協会：合流式下水道改善対策指針と解説－2002 年版－、2003

4. 都市雨水対策における観測技術の戦略的活用に関する調査

下水道研究室 室 長 榊原 隆
 研 究 官 遠藤 淳
 研 究 官 藤原 弘道

1. はじめに

平成20年度は、局地的な大雨が多く観測されるとともに、この現象は、「ゲリラ豪雨」という言葉で広く一般に知られることとなった。特に、平成20年8月末豪雨（平成20年8月26日～31日）では、岡崎市で1時間雨量が気象庁の観測史上1位を更新する146.5mmに達するとともに、1時間雨量の記録を更新した地点が20箇所（北海道・秋田県・岩手県・宮城県・福島県・茨城県・埼玉県・東京都・千葉県・愛知県・岐阜県・福井県・広島県・愛媛県・山口県）を超えるなど、各地で局地的な短時間の非常に激しい雨が降っている。¹⁾

また、局地的な大雨を要因として、東京都雑司ヶ谷幹線、神戸市都賀川、栃木県鹿沼市アンダーパスなど下水道のみならず痛ましい事故が発生した。特に、東京都雑司ヶ谷幹線の事故を受けて、局地的な大雨に対し、増水した後の対応のみならず、急激な増水が発生する前に工事等を中止するなどの予防的な対応も含め、雨水が流入する下水道管渠内における工事等を安全に実施するために必用な対応策が検討され、「局地的な大雨に対する下水道管渠内工事等安全対策の手引き（案）」²⁾が平成20年10月に作成されている。

このような、既往最大級の降雨に対応するため、平成17年度に下水道政策研究委員会浸水対策小委員会にて「都市における浸水対策の新たな展開」³⁾が提言され、ハード施設のみでなく、ソフト・自助の促進による被害の最小化が目標として位置づけられ、「投資余力が限られてくる状況において、安全性を緊急に確保するためには、多様な主体との連携の一層の強化を図りながら、住民と目標を共有しつつ、ハード整備の着実な推進とあわせて、自助並びにそれを促すためのソフト対策を組み合わせた総合的な施策を推進していくべきである。」との浸水対策の目指すべき方向性が提言されている。

しかしながら、ソフト対策の促進に当り、重要なツールである内水ハザードマップ（以下、「マップ」という）については、平成18年3月に「内水ハザードマップ作成の手引き（案）」⁴⁾（以下、「手引き」という。）が作成され、マップの作成及び公表が促進されてきたが、依然として作成している自治体は少ない状況にある。このため、平成20年12月および平成21年3月の2度にわたり、手引きが改訂され、マップ作成促進のため、浸水シミュレーションによる内水浸水想定手法だけでなく、地域特性や浸水状況等を踏まえ、地形情報や浸水実績を活用して作成する簡易な手法が追加されている。同時に、マップの公表および活用促進のため、洪水ハザードマップ等との連携について事例を含めて記載が充実されるとともに、マップの公表の工夫や、マップを活用した防災まちづくり、コミュニティの強化に関する事項が追加され、住民にわかりやすいマップの作成及び公表・活用が期待される。

このような状況を踏まえ、本調査では、「水害時の情報提供方策に関する調査」および「都市雨水流出調査」を実施している。前者は、自助を促進するソフト対策について、ベストマネジメントプラクティスとして取りまとめるものであり、昨年度は、下水道部局における情報ニーズおよび情報提供事例について大都市を対象に調査を実施した。本年度は、下水道部局に限らず、自治体として実施している情報提供について調査を行った。

後者は、分流式下水道が整備された市街地2地区において雨水流出モニタリングを実施し、長期にわたる流量データを蓄積することにより、豪雨時の雨水流出の特性を踏まえた雨水排除計画のあり方を検討するものであり、モニタリングの経過について紹介する。

2. 水害時の情報提供方策に関する調査

2. 1 調査方法

大都市 18 都市を対象に、一般に公開されているインターネット上の自治体ホームページにアクセス（平成 21 年 2 月）し、水害に関する防災情報（以下、「防災情報」という）が自治体としてどのように住民に提供されているのかを調査した。

2. 2 調査結果

調査結果については、概要をまとめて表-1 に示した。調査対象の全ての都市でトップページに防災情報へのリンクが作成されていた。リンクの文字が小さく目立たない、似たようなバナーに紛れてリンクが探しにくい事例がみられたものの、全体の約 7 割の都市で、2 クリック以内に防災情報までたどり着くことができ、最大でも 4 クリックで情報までたどり着くことができた。

防災情報ホームページの担当は、約 8 割の都市が危機管理・消防防災担当部局で、残りは広報担当部局であり、下水道、河川部局などが担当する情報はリンクによりアクセスするように構成されていた。また、全ての都市で、水害だけでなく、他の災害に関する情報も合わせて提供されており、地震情報、台風情報が約 9 割、火災・防犯情報が約 8 割、津波情報が約 6 割の都市で情報提供されていた。

情報内容については、事前対策として重要となるハザードマップ等の防災資料については、約 9 割の都市で情報提供されており、洪水ハザードマップが約 9 割、内水ハザードマップ、内水浸水実績がそれぞれ約 2 割の都市で情報提供されていた。このうち、内水ハザードマップ、内水浸水実績については、防災情報ページよりリンクされていない事例があった。なお、これらの情報が発信されていた都市では、防災資料を有効に活用できるように、情報の解説、活用方法および避難方法についても合わせて情報提供されていた。

防災情報については、天気予報・気象警報などの気象情報は全ての都市で提供されており、その内約 5 割の都市が自治体ホームページ上ではなく、気象庁、気象台、民間気象事業者等の外部団体のホームページにリンクする方法であった。雨量情報についても同様に全ての都市で情報提供されており、その内約 3 割の都市が国土交通省、都道府県などの外部団体のホームページにリンクする方法であった。また、河川水位、河川ライブカメラ映像については、全体の約 9 割の都市で情報提供されており、その内約 6 割の都市が、国土交通省、都道府県などの外部ホームページにリンクする方法で情報提供されていた。この他、約 6 割の都市で道路・鉄道・ガス・水道などのライフラインに関する情報について外部ホームページにリンクする方法で情報提供がなされていた。下水関連では、排水ポンプの運転情報を発信している事例が 1 都市あった。また、外部ホームページにリンクする方法では、リンク先の団体名に加えて、入手すべき情報が記載されている事例が多く、情報提供に工夫がなされていた。

災害時の情報提供手法として、屋内・屋外を問わず入手可能で有効と考えられる携帯電話向け防災メールの配信対象となっている都市は全体の約 8 割であった。この内、独自で発信している都市が約 4 割、都道府県などの

表-1 調査結果概要

調査項目	実施状況
防災情報ホームページ	100%
危機管理・防災部局	(78%)
広報部局	(22%)
防災資料	
洪水ハザードマップ	94%
内水ハザードマップ	17%
内水浸水実績	22%
情報の解説・活用方法	94%
避難方法	94%
防災情報	
気象情報	100%
自治体H.P	(50%)
外部リンク	(50%)
雨量情報	100%
自治体H.P	(72%)
外部リンク	(28%)
河川水位・ライブ映像	94%
自治体H.P	(41%)
外部リンク	(59%)
情報提供手法	
防災携帯メール	83%
自治体独自	(40%)
都道府県など	(60%)

外部団体により実施されている都市が約6割であった。一方、情報収集手法としては、市民より浸水情報をインターネットで収集している事例が1都市あった。

2. 3 考察

水害に関する防災情報の伝達および活用方法について、3. 2の調査結果および防災気象情報の活用の手引き¹⁾、内水ハザードマップ作成の手引き（案）⁴⁾、安全・安心のためのソフト対策推進大綱⁵⁾等の資料を参考に、図-1のとおりまとめた。防災資料を適切に住民に配布（情報提供）すると同時に、防災情報を的確に住民に提供し、両者を合わせて効果的な防災活動の実施が期待される。大都市では、すでにいろいろな取り組みがはじまっていることから、今後は、実際の運用を通じて、その手法を評価していくことが重要と考えられる。

一方、防災資料、情報が適切に提供されていたとしても、住民がそれを効果的に利用できなければ、災害を防ぐことはできない。このため、防災レベル向上の取り組みとして、図-2のように、図上訓練をはじめとした防災訓練を実施することが効果的と考えられる。河川堤防の決壊等による水害については、浸水シナリオを作成して防災訓練を実施している事例もあり、このような取り組みと連携して効率的に防災レベルを向上させることが重要であると考えられる。

最後に、防災情報は、地震・津波・台風などの防災情報と一緒に、危機管理・防災・広報などの下水道以外の部局でまとめて情報提供されていることから、既存の枠組を活用し、効果的、効率的に情報提供することが重要であると考えられる。

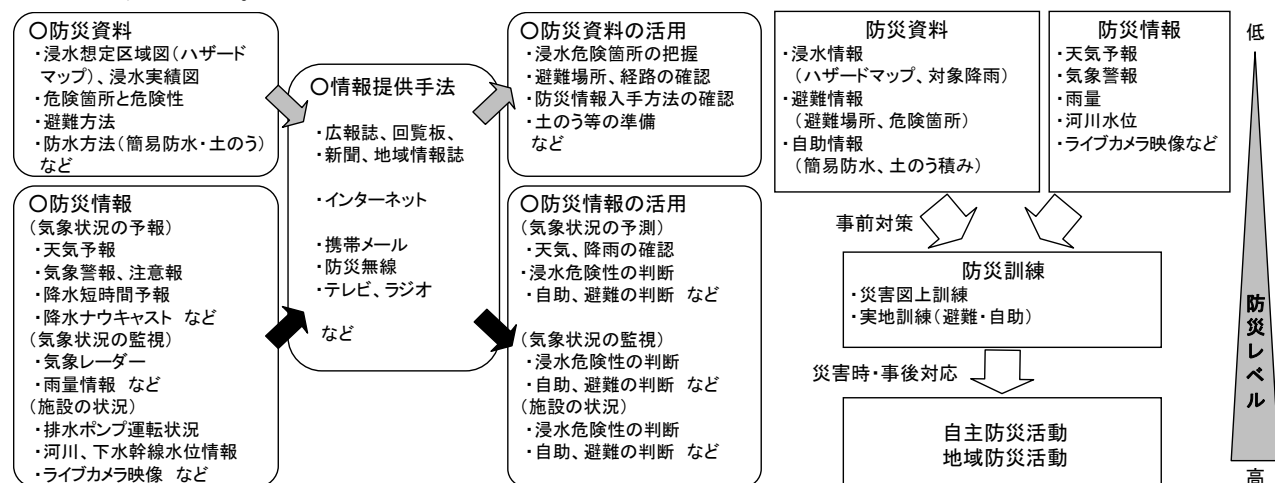


図-1 防災資料・情報の提供手法・活用方法

図-2 防災レベル向上の取り組み

3. 都市雨水流出調査

3. 1 調査方法

調査は、分流式下水道が整備された市街地2地区（住宅地1地区、商業地1地区）にて平成17年度より実施している。調査地区の概要は、表-2に示すとおりで、調査地区から流出する下水（雨水）管渠内に面速式流量計を設置し、雨水流出流量を1分間隔で計測し、調査地区の中心から最大で400m程度の距離にある公共施設屋上に転倒ます型雨量計を設置し、同様に1分間隔で計測を実施している。詳細は、過年度報告書⁶⁾に記載しているので参照されたい。

3. 2 平成20年度までの調査結果と考察

観測結果のうち、平成18年4月から平成21年3月までを対象に無降雨期間12時間を1つの降雨の区切りとし

表-2 調査地区概要

地点名	面積(ha)	不浸透面積率	土地利用
A	2.06	65%	住宅地
B	6.98	98%	商業地

て独立降雨を選定し、合わせて流量観測結果から各独立降雨時の流量を積算して、流出率（＝総流出量／総雨量）を算出した。A地区で 249 降雨、B地区で 257 降雨が観測されており、それぞれの総降雨量と流出率の関係を図-3 に示す。降雨量の大きいデータが蓄積されつつあり、観測を継続することで浸水時の降雨流出メカニズムの解明が期待される。一方で、既存データでは、流出率は不浸透面積率より小さい値が観測されている。これは、浸透域、不浸透域の窪地の貯留効果、浸透域の浸透効果によるものと推察されるが、現象解明のため、流出解析モデル等を利用して定量的な検討を行うことが必要と考えている。

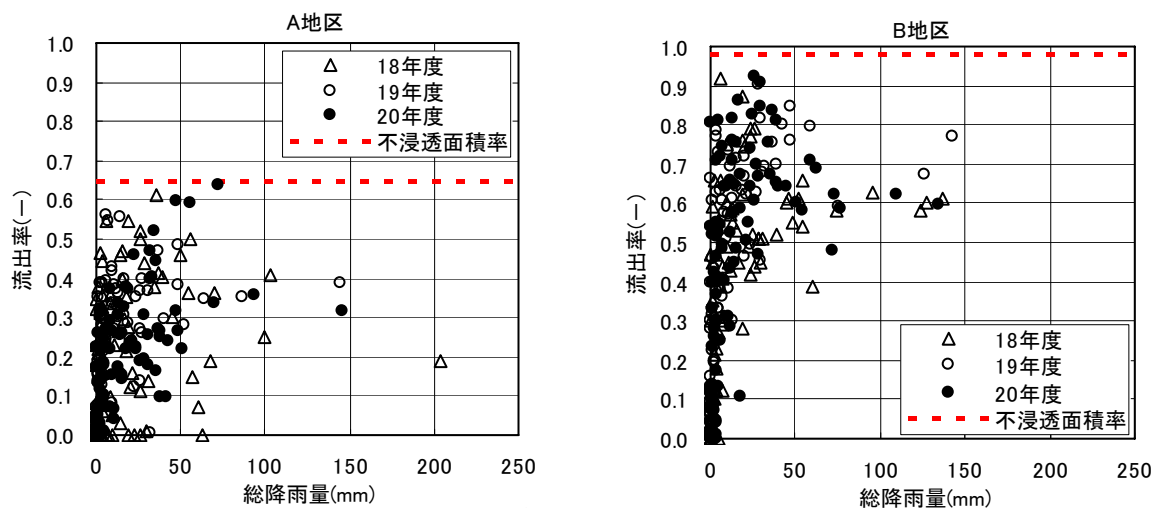


図-3 総降雨量と流出率の関係

4. まとめ

本調査では、「水害時の情報提供方策に関する調査」および「都市雨水流出調査」を実施している。前者について、今年度は、大都市 18 都市を対象にインターネットにより自治体ホームページにアクセスする方法で、水害に関する防災情報の提供状況について調査を行った。その結果、危機管理・消防防災・広報担当等の部局が地震などの各種防災情報をまとめて情報提供していること、ハザードマップなどの防災資料と天気予報・雨量情報・水位情報などの防災情報を合わせて情報提供していること、防災情報提供手法として携帯メールの利用が進んでいることなどがわかった。また、これらの成果をもとに、防災資料・情報の提供手法・活用方法および防災レベル向上の取り組みについてまとめた。今後は、現在実施されている各種事例を評価し、ベストマネジメントを抽出し、その取り組みをPRする予定としている。

後者については、平成 17 年度より 10 年間継続して実施する予定としており、データの蓄積により降雨と流出量に明確な傾向が観察されるものと期待される。また、多様な降雨パターンが観測されていることから、今後は、流出解析シミュレーションを用いて、モデルパラメータの設定方法、適用範囲および経時変化を考慮した流出特性の把握等に関する調査を合わせて進めていく予定としている。

参考文献

- 1) 気象庁：局地的大雨から身を守るために ―防災気象情報の活用の手引き―、平成 21 年 2 月
- 2) 局地的な大雨に対する下水道管渠内工事等安全対策検討委員会：局地的な大雨に対する下水道管渠内工事等安全対策の手引き（案）、平成 20 年 10 月
- 3) 下水道政策研究委員会浸水対策小委員会：都市における浸水対策の新たな展開、平成 17 年 7 月
- 4) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：内水ハザードマップ作成の手引き（案）、平成 21 年 3 月
- 5) 国土交通省：安全・安心のためのソフト対策推進大綱、平成 18 年 6 月
- 6) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：国総研資料第 323 号 平成 17 年度下水道関係調査研究年次報告集、2006

5. 未普及解消プロジェクトの推進に関する調査

下水道研究室 室 長 榊原 隆
 研 究 官 深谷 渉
 研 究 官 遠藤 淳
 下水処理研究室 室 長 南山 瑞彦
 主任研究官 平山 孝浩

1. はじめに

2007 年度末（平成 20 年 3 月 31 日現在）の下水道処理人口普及率は 7 割に達しているものの、下水道計画区域にありながら未だに下水道が整備されていない、いわゆる下水道未普及人口は 2000 万人以上に上る。人口減少、高齢化の進展、厳しい財政事情といった整備を進めていく上での難しい問題を抱えている地方公共団体も多く、いかに早急かつ効率的な整備を行うかが課題となっている。

国土交通省下水道部では、2006 年 9 月に『未普及解消クイックプロジェクト』（以下、「Q P」という。）を発足させ、①人口減少下における下水道計画手法の確立、②地域特性を踏まえた新たな整備手法の導入、③農業集落排水・浄化槽等の汚水処理施設との一層の連携強化、により早期に低コストかつ手戻りのない未普及解消方策の確立を図っている。

この内、②に関して、地方公共団体が提案し、国土交通省が技術的・財政的支援を行う「未普及解消クイックプロジェクト社会実験」が 2007 年 6 月に公表され、スタートした。2008 年 3 月末現在、表－1 に示す 7 つの技術について、11 市町が社会実験を実施中である。

表－1 事業採択を受けたモデル市町と採用技術

	北海道 苫前町	岩手県 二戸市	福島県 会津坂下町	静岡県 浜松市	愛知県 豊田市	愛知県 岡崎市	愛知県 半田市	岡山県 岡山市	熊本県 益城町	熊本県 宇城市	鹿児島県 日置市
管きよの露出配管		●	●		●				●		●
改良型伏越しの連続採用							●		●		
道路線形に合わせた施工						●	●	●		●	
発生土の管きよ基礎への利用							●				●
流動化処理土の管きよ施工への利用				●							
工場製作型極小規模処理施設（PMBR）		●									
工場製作型極小規模処理施設（接触酸化・膜分離）	●										
側溝を活用した管きよ施工											

※側溝を活用した管きよ施工は、平成 20 年度末現在、採用都市無し。

Q P では、新たな技術を提案した地方公共団体が、実施施設を利用した社会実験を実施する。社会実験では、様々な観点から提案技術の性能評価を行い、より多くの公共団体において提案された技術の採用が可能になるように問題点の整理及び改良を行うこととなっている。

国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という。）では、社会実験を実施する地方公共団体が円滑に実験を進められるよう、性能評価項目や評価手法の提案・助言などの技術的支援を行っている。

また、現在提案されている技術以外の技術についても、随時、事前相談に応じている。

平成 19 年度においては、性能評価項目や評価手法の提案・助言、現場における検証実験の技術指導などの技術的支援を実施した。

平成 20 年度は、引き続き技術的支援を行うとともに、各自治体が実施する社会実験における評価検証方法を取りまとめた「社会実験検証のすすめ方（案）」を Q P のホームページで公表した。

以下に、平成 20 年度末における事業進捗状況及び、平成 20 年度に国総研が実施した技術支援の内容について取りまとめる。

2. 平成 20 年度の活動内容

平成 20 年度は、モデル市町村としての国の事業採択を受けた 11 市町は、社会実験を行う実施設の設計及び施工を進めるとともに、建設コストの縮減効果確認及び性能評価に向けた検証項目について検討した。平成 19 年度末現在の、モデル市町における進捗は表－2 の通りである。

表－2 モデル市町の進捗状況(平成 20 年度末現在)

事業採択市町	現在の進捗
北海道苫前町	施工完了
岩手県二戸市	詳細設計
福島県会津坂下町	認可取得申請中
静岡県浜松市	性能評価
愛知県豊田市	河川協議中
愛知県岡崎市	性能評価
愛知県半田市	性能評価
岡山県岡山市	詳細設計
熊本県益城町	性能評価
熊本県宇城市	施工完了
鹿児島県日置市	施工完了

※各自治体で複数地区が採択されている場合は、最も進捗している地区（路線）の状況を記述している。

国総研では、先の 7 技術の性能評価の実施に向けて必要な、社会実験の検証項目及び検証内容を「社会実験検証のすすめ方（案）」を Q P のホームページ（<http://www.mifukyu.go.jp/>）に公表するとともに、社会実験を実施する市町の現地調査及び技術的助言を実施した。

また、新たに事業採択を受けることを検討している地方公共団体に対し、事業制度の説明及び P R を行うとともに、当該箇所への適当が可能かどうかを現地調査等により確認した。

平成 21 年 3 月には、下水道未普及解消検討委員会を開催し、広く普及を図る技術の新メニューとして「民地活用型下水道」を提案するとともに、社会実験（性能評価）の進捗状況と検証の中間報告を実施した。

また、「流動化処理土の管きょ施工への利用」については、技術評価を終了したことから技術評価書を作成、委員会にて一般技術への移行の承諾を得た。

さらに、社会実験対象技術に関する基礎的検討（露出配管における凍結現象、曲管採用時における TV カメラ機材作業性、連続的改良型伏越しにおける汚物堆積状況、流体解析シミュレーション解析）について報告を行った。

3. 社会実験対象技術に関する基礎的検討

平成 21 年 3 月に開催された下水道未普及解消検討委員会において報告した事項の内、社会実験対象技術に関する基礎的検討について述べる。

3.1 露出配管における凍結現象に関する検討

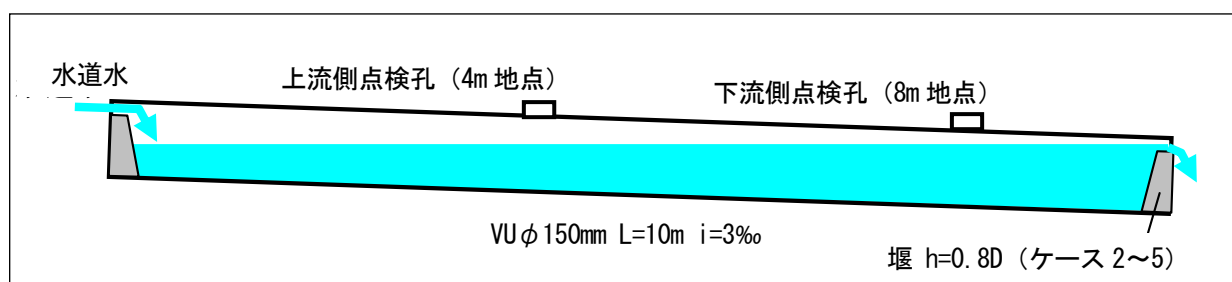
露出配管については、冬季に凍結が懸念されており、凍結閉塞条件の把握を目的としたシミュレーションによる検討を行った。検討にあたっては、実際の現象を把握することが不可欠であることから平成 21 年 2 月に露出配管の採用を予定している岩手県二戸市浄法寺にて凍結実験を実施した。

(1) 実験目的

流下条件に加えて、滞留した条件での凍結現象把握および実験結果のシミュレーションへの反映を目的として実験を実施した。

(2) 実験内容

実験装置概略を図－1 に、実験装置の現地写真を写真－1・2 に示す。管材は、金属と比較して熱伝導率が小さく、また採用が想定される VU 管（肉薄管）とした。流体には水道水を用い、循環利用した。凍結状況確認のため、点検孔を 2 箇所（上流から 4m と 8m の地点）設置した。



図－1 実験装置概略図



写真－1 実験装置(左側よりケース 1～5 を設定)



写真－2 堰部の流水状況(ケース 4)

実験条件を表－3に示す。流下条件に加え、堆積物による滞留を想定し堰を設置する条件を設定した。この条件において、流入流量の異なる4条件を設定し、影響の確認を行った。

表－3 実験条件一覧

ケース	管種類	堰	流量	管内状況
1	塩化ビニル (VU) 管 φ150mm	なし	3 l/分	流下
2		あり 120mm (0.8D)	3 l/分	滞留 (流下あり)
3			9 l/分	
4			18 l/分	
5			0 l/分	滞留 (流下なし)

実験は、露出配管の採用を予定している岩手県二戸市浄法寺地区で平成21年2月23日から26日の夜間3日間実施した。

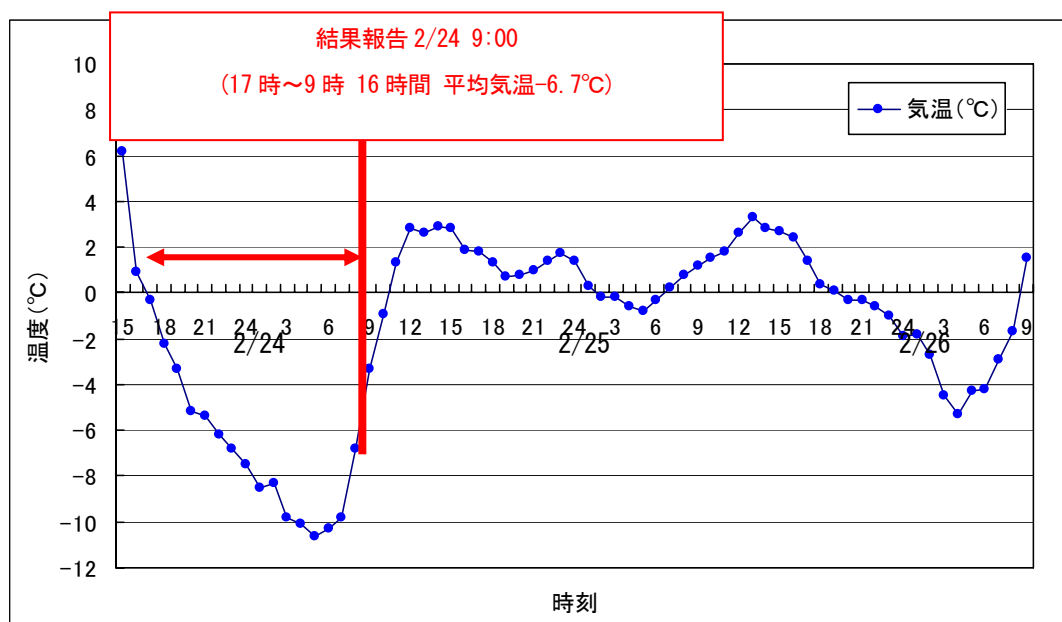
実験中は、流入タンクおよび各条件の流出部水温、外気温を連続的に測定した。約3時間ごとに流況を確認するとともに、点検孔より水深、氷厚の計測を実施した。凍結が確認された場合、翌日9:00に滞留部の水量計測を実施し、凍結前の値と比較することで、滞留部の水量を算出した。

(3) 実験結果

①気温・水温

実験期間中の気温について、図－2に示す。実験中で最も夜間の気温が低くなった結果、すなわち24日9時の状況について述べる。

23日夜から24日朝までの流入水温、流出部水温、外気温をまとめて図－3に示す。今回は、凍結現象が確認しやすいように、ヒーター等で温度調節を行わず、流水を循環させた。このため、流入水温は18時から9時の平均値が0℃と非常に低い温度での実験となった。



図－2 実験期間中の気温

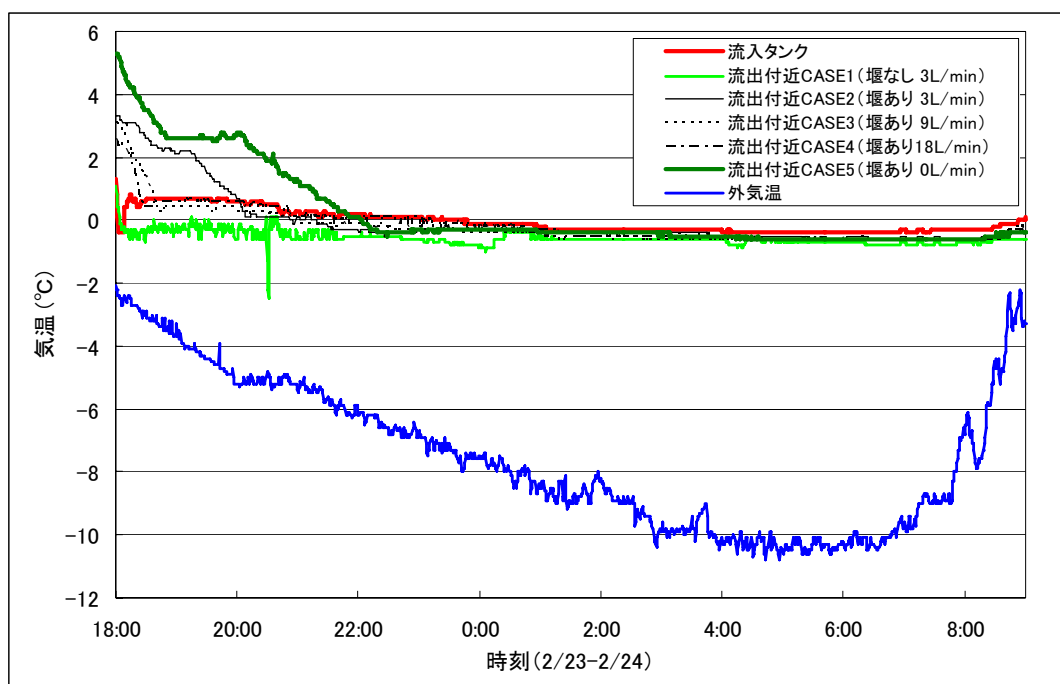


図-3 水温等の経時変化(2/23 夜～2/24 朝)

②凍結状況について

24 日 9 時においては、凍結閉塞および流量変化は観察されていない。また、同時刻に堰を撤去して水を抜いた後の管内状況について写真-3 に示す。全ての条件で凍結が確認されているが、ここでは、ケース 1・2・5 について、所見及び下流側点検孔における氷厚と合わせて述べる。なおケース 3・4 は、ケース 2 より氷が薄い状況であった。



写真-3 24 日 9 時の管内の凍結状況

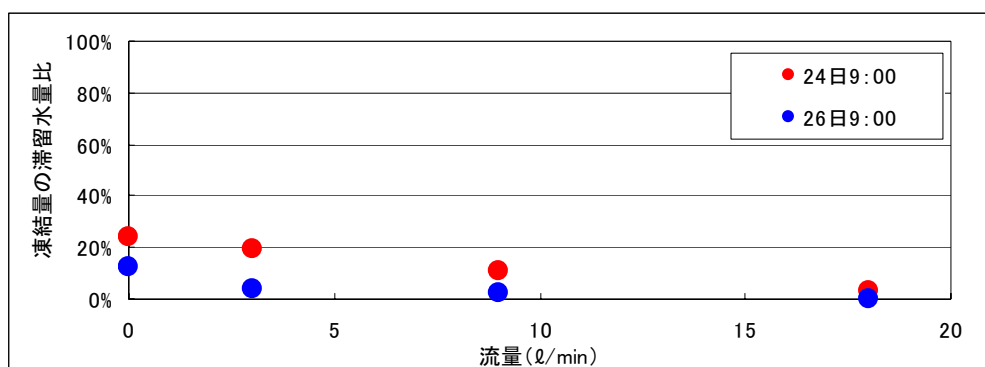
凍結前後で堰内に滞留している水量を計測し、その差を滞留部の凍結量として表-4 に示した。26 日朝にも凍結現象が観察されており、併せて結果を記載している。ただし、今回の測定方法ではケース 2～4 における流水上面の凍結水量については、必ずしも反映されていないことに留意が必要である。

流量と凍結量の関係を図-4 に示す。これより、流量が大きくなると滞留部の凍結水量が小さくなることが示されている。

表－４ 滞留部の凍結水量一覧

ケース	流量 (ℓ/min)	滞留水量 (ℓ)	平均流下・ 滞留時間 (min)	24日9:00		26日9:00	
				凍結量 (ℓ)	滞留水量比	凍結量 (ℓ)	滞留水量比
1	3	－	1.3	－	－	0	－
2	3	151	50.3	29	19%	6	4%
3	9	149	16.6	16	11%	3	2%
4	18	147	8.1	4.5	3%	1	0.3%
5	0	149	－	36	24%	19	13%

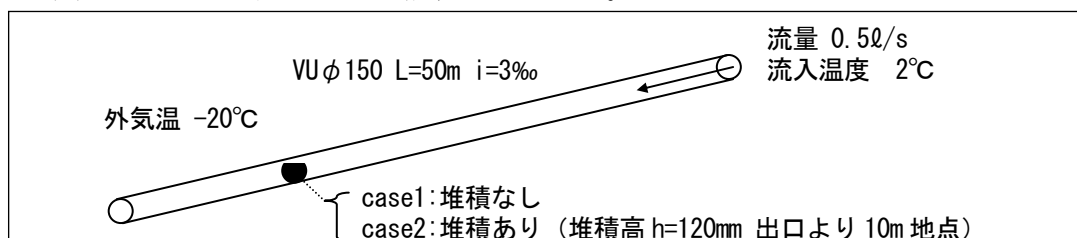
* 堰内の水量を比較しているため、ケース2,3,4において流水表面の凍結量は反映されていない。



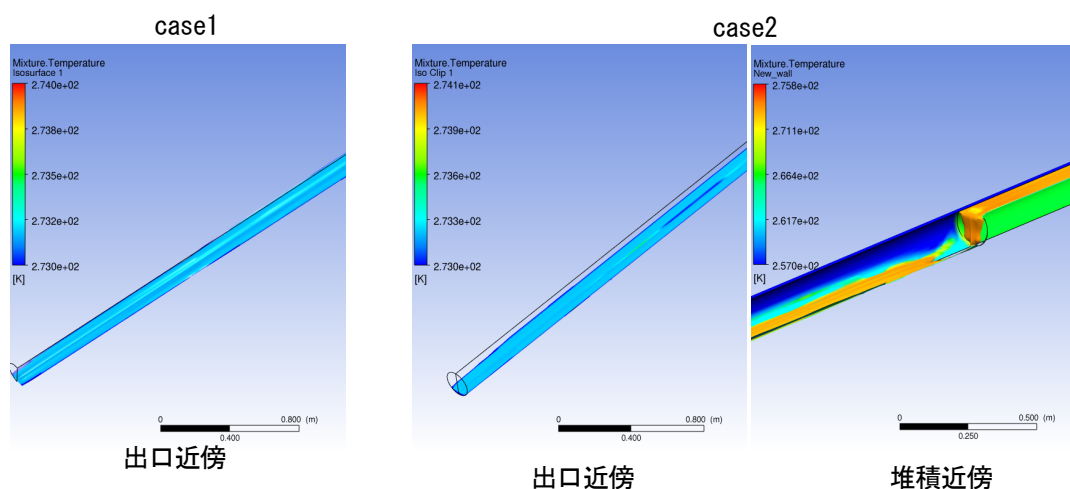
図－４ 流量と凍結量

③シミュレーションについて

実験と並行してシミュレーションによる解析を実施した。計算条件を図－５、計算結果の内、温度について図－６に示す。管壁ごく近傍では流体温度が凝固点を下回り、凍結に至る可能性が示されている。一方、出口近傍では凝固点に非常に近いものの下回らない結果となっている。



図－５ シミュレーション条件



図－６ シミュレーション結果(温度)

3.2 曲管採用時におけるTVカメラ機材の作業性に関する実験

社会実験による性能等の評価を必要とする未普及解消技術のうち、「道路線形に合わせた施工」技術は、下水道管きょにおける平面屈曲部のマンホールを省略し、代わりに曲管を採用することでコスト削減を図ろうというものであるが、曲管部を下水道管きょ管理用TVカメラが問題なく通過できるかどうかという点が、技術導入に向けての1つの課題となっている。

平成19年度は、小さい曲率半径 $R=220\sim 280\text{ mm}$ の曲管（ $\phi 150\cdot \phi 200$ 、 $15^\circ\cdot 30^\circ\cdot 45^\circ$ ）を用いた場合の試験結果を報告したが、当該技術採用都市からの要請を受け、平成20年度においては、大きな曲率半径 $R=5\text{ m}\sim 10\text{ m}$ （大曲がり）の曲管（ $\phi 150\cdot \phi 200$ 、 $15^\circ\cdot 30^\circ\cdot 45^\circ\cdot 90^\circ$ ）について実験を実施した。

（1）実験内容

実験は、国土技術政策総合研究所内の平坦な路面上に、曲管を配置した管きょ（延長約100m）を据え付け、走行可能距離、完走時の所要時間、TVCの機種の違いによる走行能力差異の確認を行った。

なお、実験に使用した曲管は $\phi 150\text{ mm}$ 、 $\phi 200\text{ mm}$ 、曲率半径 $R=5\text{ m}\sim 10\text{ m}$ の角度 15° 、 30° 、 45° 、 90° （いずれもリブ付き塩ビ管）とした。またTVカメラは、使用実績の多いVCM561+KH150（連結型）及びVCH561（一体型）を使用した。

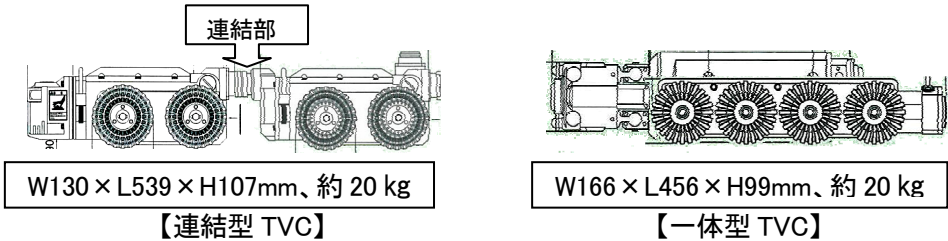


図-7 使用したTVC機種

（2）実験ケース

設定した試験ケースは、表-5の通り。なお、試験は大きな角度の曲管から順に実施し、通過が確認できた曲管より緩い角度の曲管については通過が可能と判断し、試験は実施していない。

表-5 試験ケース

管径	角度(曲率)	TVC機種	曲管1個		曲管2個	
			スタート付近	ゴール付近	スタート付近	ゴール付近
$\phi 150$	15° ($R=10\text{ m}$)	連結型	スタート ↓ 約100m ↓ ゴール	スタート ↓ 約100m ↓ ゴール	スタート ↓ 約100m ↓ ゴール	スタート ↓ 約100m ↓ ゴール
	30° ($R=10\text{ m}$)	連結型				
	45° ($R=10\text{ m}$)	連結型				
	45° ($R=5\text{ m}$)	連結型				
	90° ($R=5\text{ m}$)	連結型				
$\phi 200$	15° ($R=10\text{ m}$)	連結型	スタート ↓ 約100m ↓ ゴール	スタート ↓ 約100m ↓ ゴール	スタート ↓ 約100m ↓ ゴール	スタート ↓ 約100m ↓ ゴール
	30° ($R=10\text{ m}$)	一体型				
	45° ($R=10\text{ m}$)	連結型				
	45° ($R=5\text{ m}$)	一体型				
	45° ($R=5\text{ m}$)	連結型				
	90° ($R=5\text{ m}$)	一体型				
	90° ($R=5\text{ m}$)	一体型				

※スタート付近：スタート地点に近い位置に曲管を配置。「ゴール付近」も同様。

※曲管2個の場合、中央部に曲管を1個追加した（同角度を2つ）。

※ $90^\circ\times 2$ 箇所については、都合により 90° ($R=10\text{ m}$) + 45° ($R=5\text{ m}$) とした。

表－6 走行試験結果

管径	機種	角度・曲率	可否	時間	備 考
φ 150	連結型	45°(R=5)G	○	17:07	通過可能
		15～45°(R=10)G	○		通過可能と判断
		45°(R=5)S	○	16:29	通過可能
		45°(R=10)S	○	16:28	通過可能と判断
		15～30°(R=10)S	○		通過可能と判断
		45°(R=5)G×2	○	35:06	通過可能
		15～45°(R=10)G×2	○		通過可能と判断
		45°(R=5)S×2	○	32:38	通過可能
		15～45°(R=10)S×2	○		通過可能と判断
		90°(R=10)+45°(R=5)G	×		曲管部でパワー不足、通過不可
		90°(R=10)+45°(R=5)S	×		GOAL 付近でパワー不足
	一体型	45°(R=5)G	○	12:01	通過可能
		15～45°(R=10)G	○		通過可能と判断
		45°(R=5)S	○	15:29	通過可能
		15～45°(R=10)S	○		通過可能と判断
		45°(R=5)G×2	○	14:53	通過可能
		15～45°(R=10)G×2	○		通過可能と判断
		45°(R=5)S×2	○	15:13	通過可能
		15～45°(R=10)S×2	○		通過可能と判断
		90°(R=10)+45°(R=5)G	○	10:59	通過可能
		45°(R=5)G	×		曲管途中で転倒、通過不可
φ 200	一体型	45°(R=10)G	×		2 回転倒 3 回目通過
		30°(R=10)G	○	16:08	通過可能
		15°(R=10)G	○		通過可能と判断
		45°(R=5)S	×		1 回転倒 2 回目 TVC を傾けた状態で走らせると通過
		45°(R=10)S	○	28:23	通過可能
		15～30°(R=10)S	○		通過可能と判断
		45°(R=5)G×2	×		45°(R=5)G が×のため不可
		45°(R=10)G×2	×		45°(R=10)G が×のため不可
		30°(R=10)G×2	×		1 回目曲管部で転倒 2 回目通過
		15°(R=10)G×2	○	17:08	通過可能
		45°(R=5)S×2	×		45°(R=5)G が×のため不可
		45°(R=10)S×2	×		45°(R=10)G が×のため不可
		30°(R=10)S×2	×		1 回目曲管部で転倒 2 回目通過
		15°(R=10)S×2	○	19:07	通過可能

※角度・曲率:「S」はスタート付近に曲管設置、「G」はゴール付近に曲管設置を指す。

※時間:完走までの所要時間(m:s)。走行速度は全ケース共通(Maxスピード)。

(3) 走行試験結果

走行試験結果を表－6 に示す。管きょ口径及び TVC 機種により整理すると下記の通りとなる。

① φ150(連結型TVC)

曲管 1 個、2 個の両ケースともに、45° (R=5m) について、曲管の設置位置にかかわらず 100m を完走した。ただし、完走までの所要時間は、曲管 2 個のケースでは 1 個のケースの 2 倍程度を要した。

なお、本試験の設定最大角度である 90° (R=10m) +45° (R=5m) のケースは、TVC のパワー不足により完走できなかった。

② φ200(連結型TVC)

曲管 1 個、2 個の両ケースともに、本試験の設定最大角度である 90° (R=10m) +45° (R=5m) について、曲管の設置位置にかかわらず 100m を完走した。

完走までの所要時間は、曲管 1 個でも 2 個でも大差がなく、スムーズに通過できた。

③ φ200(一体型TVC)

曲管 1 個のケースでは、曲管の位置によって、通過可能な角度に差が生じた。

曲管がスタート付近にあるケースでは 45° (R=10m)、ゴール付近のケースでは 30° (R=10m) について 100m 完走できた。完走できなかったケースは、全て TVC の転倒による走行不能であった。

曲管 2 個のケースでは、15° (R=5m) について、曲管の設置位置にかかわらず 100m を完走した。これより大きい角度では、TVC の転倒により走行不能となった。

表－7 に通過可能曲管角度一覧表を示す。

表－7 通過可能曲管角度一覧表

管 径	TVC 機種	曲管 1 個		曲管 2 個	
		スタート付近	ゴール付近	スタート付近	ゴール付近
φ 150	連結型	45° (R=5m)		45° (R=5m) × 2	
φ 200	連結型	45° (R=5m)		45° (R=5m) × 2 (※)	
φ 200	一体型	45° (R=10m)	30° (R=10m)	15° (R=10m) × 2	

(※) 走行試験では、90° (R=10m) + 45° (R=5m) を通過しているが、便宜上 45° (R=5m) × 2 とした。

試験結果の要点を整理すると次の通りとなる。

- ① 曲率半径が R = 5 m 程度の大きく曲がりの曲管であれば、45° の角度まで連結型 TVC での調査が可能である。
- ② φ 150 の場合、曲管 2 個を通過させると作業時間が長くなる傾向にある。
- ③ 一体型 TVC は、連結型と比較し転倒しやすく、通過可能な曲管が限られる。これは、曲管部通過による車体の傾きが大きいためである。転倒を防止するには、予め出発時点から車体を転倒方向とは逆に傾かせるなどの工夫が必要である。
- ④ 連結型 TVC の完走できない理由は、パワー不足であった。パワー不足解消としては、機器全体の駆動性向上やケーブルの軽量化、連結部のフレキシブル化等が考えられる。

3. 3 改良型伏越しにおける汚物堆積状況実態調査

社会実験による性能等の評価を必要とする未普及解消技術の一つである「改良型伏越しの継続的採用」に関して、自治体が実施する社会実験データを補完するために、連続式改良型伏越しの堆積状況調査、改良型伏越し堆積物フラッシュ実験及び流体解析シミュレーションを実施した。

3. 3. 1 改良型伏越しの継続的採用による汚物堆積状況

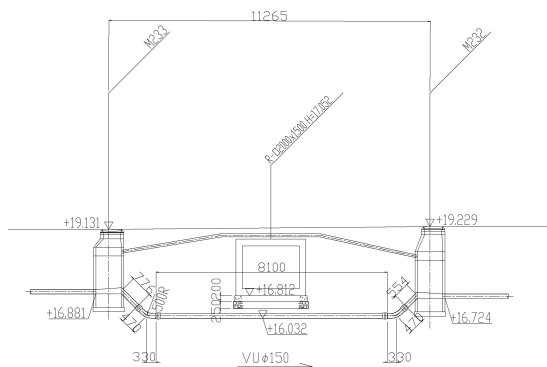
(1) 調査内容

愛知県半田市の乙川地区において、継続的に改良型伏越しを設置した場合の、伏越し内の堆積状況について調査を実施した。乙川地区の概要を表－8 に、伏越しの構造を図－8・9 に示す。

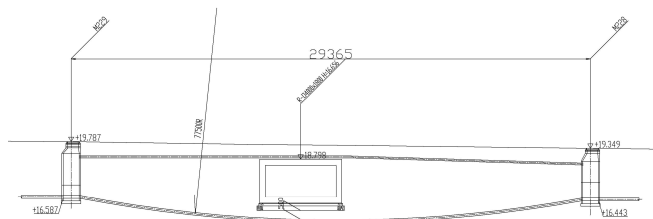
表－8 調査箇所の概要

乙川地区		
土地用途	住宅地	
供用開始	平成 20 年 3 月 31 日	
排除方式	分流汚水	
清掃実績	なし (供用後約 1 年経過)	
	上流側伏越し (図－8)	下流側伏越し (図－9)
接続家屋	2 5 軒接続 (接続率約 23%)	2 9 軒接続 (接続率約 27%)
施工方法	簡易推進	弧状推進
管渠種別	VU φ 150 (上下流接続管 φ 150)	PE φ 150 (上下流接続管 φ 150)
伏越延長	L=11.0m	L=29.4m
上下流落差	H=0.155m	H=0.155m
伏越上流 －伏越し最深部	H=0.849m	H=1.355m (設計値)
ベント角度	45°	—
伏越し間距離	59.6m	

※平成 21 年 1 月末現在。調査日は、平成 21 年 2 月 18～19 日



図－８ 乙川地区改良型伏越し(上流側)



図－９ 乙川地区改良型伏越し(下流側)

(２) 調査結果

①堆積状況

採取した堆積物量を元に、堆積物による管渠閉塞率を算出した結果、表－９に示す通り、上流側が約１５％、下流側が約１０％であった。

表－９ 堆積状況

	上流側伏越し	下流側伏越し
伏越容積	0. 2 1 m ³ (0. 1 6 m ³) ※	0. 5 2 m ³
堆積物容積 (湿潤重量)	3 9. 6 L (4 0. 2 kg)	5 6. 8 L (5 8. 6 kg)
閉塞率	1 0. 6 % ※	4. 9 %

※伏越し直線部にのみ堆積すると仮定し、直線部の容積・閉塞率とする。

平成 19 年度に実施した同市阿原地区（改良型伏越し 1 箇所、未清掃期間 1 年）及び平地地区（改良型伏越し 1 箇所、未清掃期間 3 年）の調査では、閉塞率が約 3 0 % であり、それと比較すると今回（未清掃期間 1 年）の閉塞率は小さい値となった。

これは、平成 20 年 10 月に実施した社会実験（流下能力の検証）において、伏越し下流部に設けた堰を撤去した際、大きな流量（満管流量以上）が伏越し内を流れ、堆積物の多くが下流に掃流したため（堆積途上）と考えられる。また、供用開始後 1 年経過していないことも要因と考えられる。

上流側伏越しと下流側伏越しを比較すると、下流側伏越しの閉塞率が小さかった。

②堆積物の性状

採取した堆積物については、研究所に持ち帰り室内試験を実施した。試験結果を表－１０、表－１１に示す。

表－１０ 堆積物の性状

			上流側伏越し	下流側伏越し
	堆積物の色		褐色	褐色
	主な成分		生ゴミ、油脂塊、土砂	生ゴミ、油脂塊、土砂
	土砂の粒径		図－１０・１１参照	図－１０・１１参照
	最大粒径		6 cm	8.3 cm
成分別 割 合	浮遊分	容量	16.1 L	22.4 L
		重量	17.0 kg (97%)	23.5 kg (82%)
	砂分	容量	0.2 L	2.8 L
		重量	0.5 kg (3%)	5.1 kg (18%)
	計 (水分除く)	容量	16.3 L	25.2 L
		重量	17.5 kg (100%)	28.6 kg (100%)

表－11 堆積物の化学性状

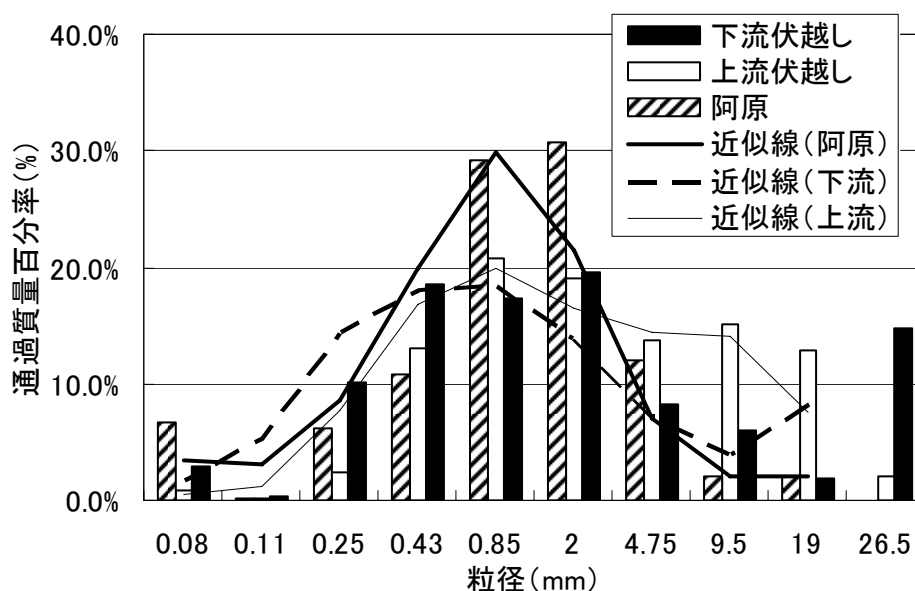
試験項目	上流側伏越し	下流側伏越し
固形分 (kg)	4.66	7.46
固形分 (%)	11.59	12.73
強熱減量 (kg)	38.4	51.3
強熱減量 (%)	95.5%	87.5%
n-ヘキサン抽出物質(kg)	4.81	6.26
n-ヘキサン抽出物質乾泥中の%	12.0%	10.7%
動植物油(kg)	4.54	5.97
動植物油乾泥中の%	11.3%	10.2%
全油分中の%	94.4%	95.5%
鉱物油(kg)	0.23	0.25
鉱物油乾泥中の%	0.58%	0.43%
全油分中の%	4.88%	3.98%

堆積物を分析した結果、浮遊分（生ゴミ及び油脂）が堆積物全体の約8～9割を占めていた。

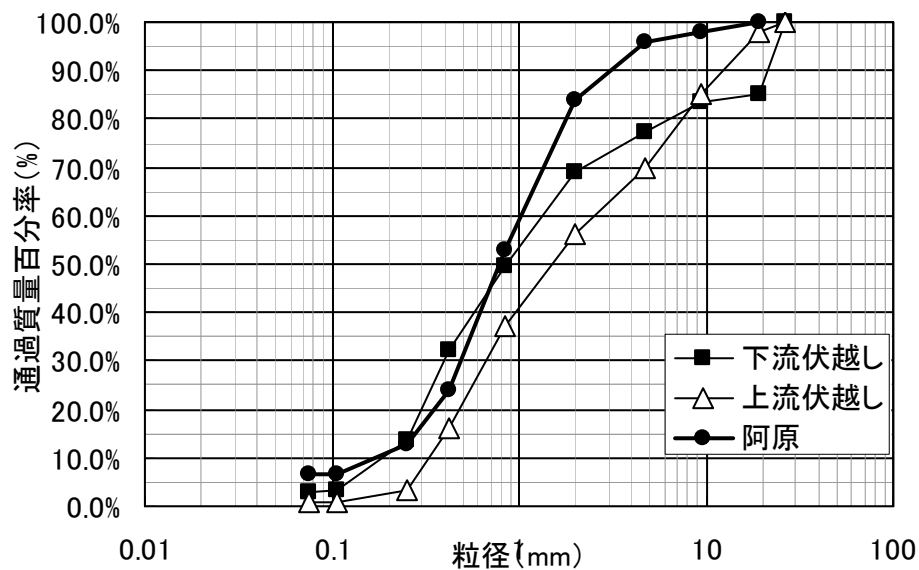
昨年度実施した阿原地区・平地地区では、油脂類が全体の3割程度であり、これと比較すると多いが、堆積状況で示した同様の理由が考えられる。

また、土砂の粒径分布について、上流側伏越しと下流側伏越しでは、下流側に比べ上流側の伏越しの方が堆積物の土砂粒径が大きい傾向にある。

2つの伏越し間には、接続家屋が4件と少ないことから、下流側伏越し内に存在する堆積物の多くが上流側伏越しを通過したものであると仮定することができる。この場合、2mm程度の砂分は上流側伏越しにおいて掃流され、2mm以上の砂分は掃流しきれずに停滞する傾向にあると考えられる、



図－10 堆積物の粒径分布



図－11 堆積物の粒径加積曲線

3. 3. 2 フラッシュによる改良型伏越しの清掃効果について

平成 20 年度に実施した愛知県半田市阿原地区・平地地区における堆積物調査で、単発の改良型伏越しにおける堆積量と堆積物性状を把握した。その結果、未清掃期間が 1 年で、閉塞率が 30%に達しており、定期的な清掃の必要性が示唆された。

ここでは、清掃コストの縮減を図るために、汚水のフラッシュによる清掃方法を提案し、清掃の効果を検証したので報告する。表－1 2 に阿原地区の改良型伏越しの概要を示す。

表－12 調査箇所の概要

	阿原地区
土地用途	住宅地
接続家屋	1 軒接続 (30%)
供用開始	平成 17 年 3 月 31 日
清掃実績	平成 20 年 2 月 1 日 (1 年経過)
管渠種別	VU φ150 (分流汚水)
伏越延長	L=8.4 m
伏越落差	H=0.46m
ベント角度	45°

※調査日は平成 21 年 2 月 19 日。

(1) 調査内容

平成 19 年度に調査を実施した半田市阿原地区について、フラッシュ水による清掃効果を把握するために、伏越し上流人孔において 1/2 水深程度下水を貯留（堰き止め）、フラッシュ（堰開放）させ、フラッシュ前後の堆積量及び性状（粒径分布）を把握した。

なお、フラッシュ時の貯留量は 1.0～1.4m³、フラッシュ時間は 1 分～1.5 分であり、伏越し内の流速は約 0.9 m/s であったと考えられる。

(2) 調査結果

①フラッシュ後の堆積量

フラッシュ後、伏越し内に残った堆積物について、堆積量を調査した結果を表－1 3 に示す。

表－13 フラッシュ後の堆積量

	フラッシュ後の堆積量	フラッシュ前の堆積量 (平成 20 年度調査結果を代用)
伏越容積	0. 1 2 m ³	
堆積物容積	1 5. 1 L (1 8. 6 kg)	3 5. 6 L (2 5. 2 kg)
閉塞率	1 2. 6 %	3 0. 0 %

フラッシュ前の堆積量及び性状として、昨年度の調査データを代用すると、フラッシュ前後では、フラッシュ前よりフラッシュ後の容積が約 4 割に減少しているのに対し、重量は約 7 割となった。

これは、フラッシュ後の堆積物のほとんどが土砂であるのに対し、フラッシュ前は比重の軽い油脂類が多く含まれているためである。

②フラッシュ後の堆積物性状

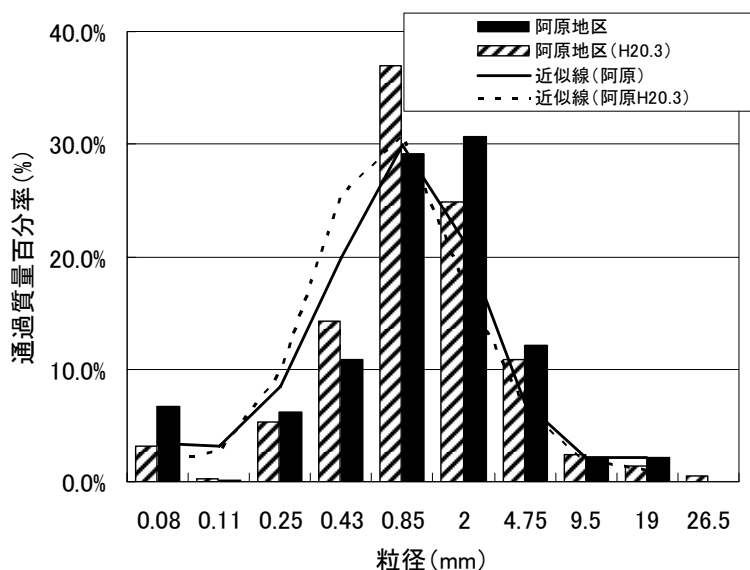
フラッシュ後、伏越し内に残った堆積物について、堆積性状を調査した。

表－14 堆積物の性状

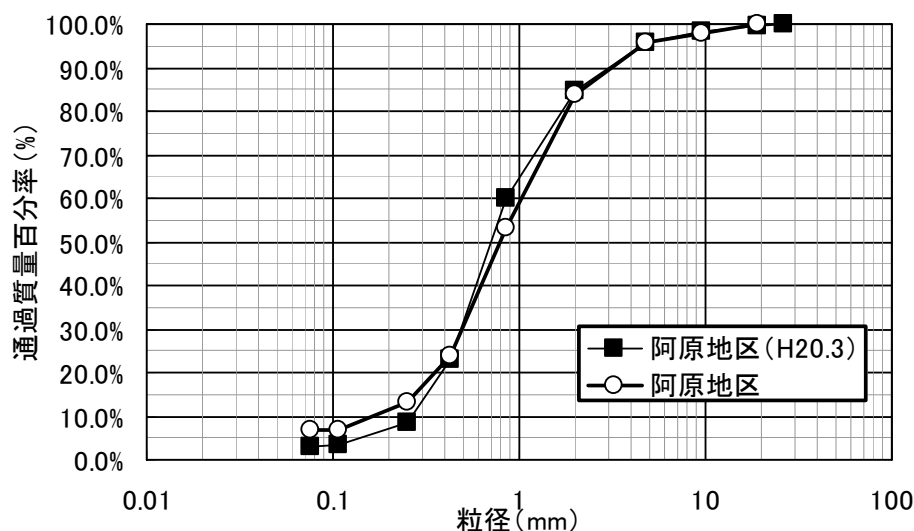
	フラッシュ後の堆積物	フラッシュ前の堆積物 (平成 20 年度調査結果を代用)
堆積物の色	褐色	褐色
主な成分	土砂	油脂塊と土砂
成分割合	大半が土砂	1 : 2
土砂の粒径	図－1 2・1 3 参照	図－1 2・1 3 参照

実験の結果、フラッシュ前には多く存在した油脂類が、フラッシュ後には土砂のみが伏越し内に残留していた。

ここで、伏越し内の流速が 0.9m/s であったと仮定すると、吉本らによる最小流速の式より、0.6～0.7 mm以下の土砂は掃流されることとなるが、残留土砂分の粒径分布を分析したところ、フラッシュ前の粒径分布とほぼ一致した。これは、フラッシュ後の残留土砂がフラッシュで掃流できなかったというよりは寧ろ、小さい粒径は一旦掃流されたが、フラッシュの影響により伏越し上流部の管渠内堆積物が伏越し内に引き込まれ堆積した（新しい土砂と入れ替わった）ものでないかと考えられる。



図－12 堆積物の粒径分布



図－13 堆積物の粒径加積曲線

3. 3. 3 流体解析シミュレーションによる水理解析

(1) 流出土砂解析

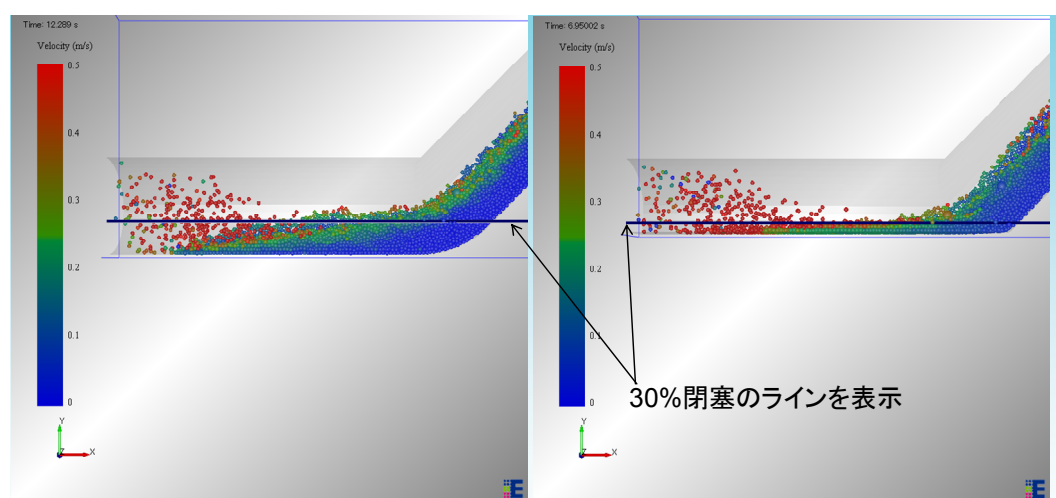
社会実験では、実施設を使った流れの検証を行うこととしているが、これだけでは限られたデータしか得られない。また水理模型実験では、費用が膨大になる上、解析に要する時間も多大となる。そこで、機器内部などの流れを可視化し、流れ現象を理解しやすくすることができるCFD（パソコンを用いた流体解析シミュレーション）を用いて検証することを試みた。

平成19年度は、試行的に単発の改良型伏越しにおける土砂の掃流計算と、露出配管内部の凍結計算を実施した。

平成20年度は、モデル都市の伏越しにおける、土砂の堆積状況を計算した。土砂の粒径等は、昨年度に同都市で実施した堆積物調査で得られた粒度分布を与えた。

計算では、堆積の初期過程（閉塞率0からスタート）と終期過程（閉塞率20%からスタート）を想定した。その結果、堆積物実態調査で得られた閉塞率30%以上には堆積しない傾向が見られた。

これは、閉塞にともない流下断面が縮小し、流速が増加したためであり、計算結果は実際の現象をよく再現していると考えられる。



30%閉塞のライン以下に堆積が起こっており、ベント以降の堆積傾向は両ケースともにほぼ似た傾向を示している

図－14 土砂堆積シミュレーション

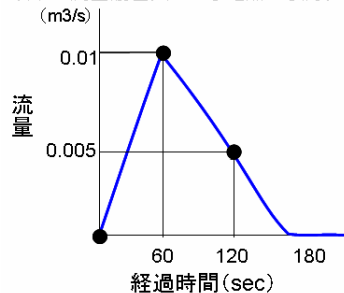
(2) 流速伝播シミュレーション

改良型伏越しは、主に小口径管きょに用いられるが、小口径管きょは幹線と異なり、流量が間欠的に流れることから、伏越し内に堆積を生じさせないためには、フラッシュ効果を期待する必要がある。

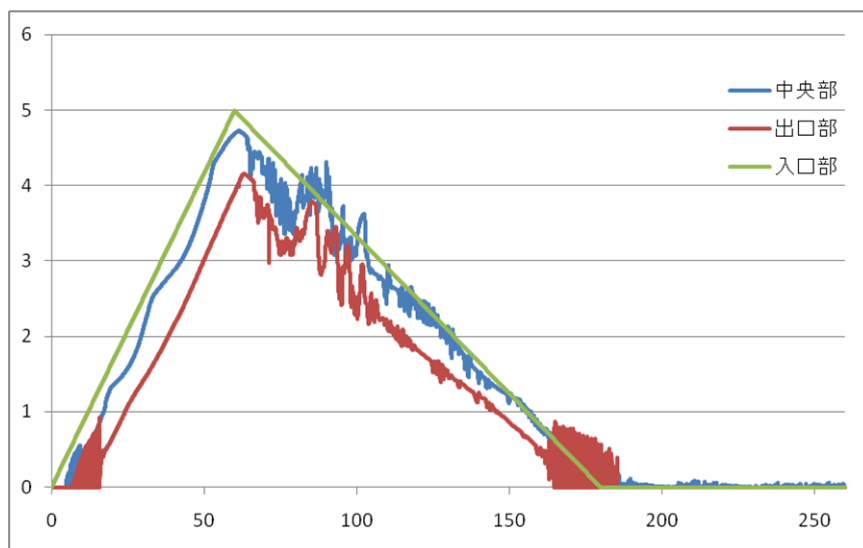
しかし、伏越しはその構造上、流速の伝播が下流まで伝わりにくい（ピークカットされる）ため、特に連続式改良型伏越しでは下流側の伏越し部において十分な流速が得られない可能性がある。

ここでは、数値流体解析（CFD）を用いて、流速伝播に関する計算を試行的に行った。

以下の流量履歴入口から地点から流す



図ー15 流速伝播シミュレーション概要



図ー16 流速伝播シミュレーション結果

計算の結果、入口における流量増加は中央部、出口部の順番に伝播する傾向が再現された他、速度上昇・減衰傾向が明らかになった。しかしながら、計算初期の空気の流れについて、実態とあわない部分があったことから、今後の計算条件の設定に関し課題が残った。

3. 4 まとめ

(1) 露出配管における凍結現象に関する検討

実験については、2月末に実施したところであり、実験データの整理・解析を鋭意進めている。今後は、実験およびシミュレーション結果の比較検討を進めながら解析を進めていく予定であり、必ずしも整合がとれない点については、文献調査を含めて精査することとしている。

このような状況を踏まえつつ今回の検討については以下の通りまとめる。

- ①実験では、流水条件、滞留条件とも凍結は確認されたが、管閉塞までには至らなかった。
- ②滞留部の凍結量は、流水流量が大きくなると、小さくなる。
- ③今後は、実験結果およびシミュレーション結果の比較検討を行い、解析を進めていく。

(2) 曲管採用時における TV カメラ機材の作業性に関する実験

実験では、曲管を最大 2 箇所配置し、最長 100m の完走有無を確認したが、現場においては上下流の 2 方向からの TVC 挿入が可能である。TV カメラの維持管理面だけを考慮すれば、マンホール間が 100m 以内で、かつ表 7 で示した角度範囲内であれば、さらに倍の数の曲管（最大 4 箇所）を採用できると考えられる。

なお、曲管が 1 箇所であれば、上下流からの TVC 挿入により、カメラ自体が曲管を通過する必要はないことから、平面的な屈曲角度が何度であっても問題はないと考えられる。

今後は、縦断的な屈曲に対する TV カメラの走行性や、点検、清掃（高圧洗浄）時の維持管理機材、補修機についても適用範囲や方法を明確にする必要がある。

(3) 改良型伏越しにおける汚物堆積状況実態調査

1) 改良型伏越しの連続的採用による汚物堆積状況

- ・連続伏越し上流側で約 15%、下流側で約 10% の閉塞が確認されたが、堆積途上であると考えられた。
- ・堆積物は、土砂と生ゴミ・油脂で構成され、土砂の体積割合は 1～2 割であった。
- ・昨年度の他地区における調査結果（閉塞率）と相違が見られたが、事前に実施した社会実験による影響が考えられた。
- ・堆積物の最大粒径は 8cm の礫（コンクリート塊）であった。
- ・上下流の伏越しで、閉塞率や土砂の粒径分布に違いが見受けられた。下流側伏越し内の堆積物＝上流側伏越し通過可能と仮定すれば、2mm 程度の砂は掃流し、2mm 以上の砂は停滞する傾向にあると考えられる。

2) フラッシュによる改良型伏越しの清掃効果について

- ・フラッシュにより、比重の軽い物質（生ゴミや油脂など）は下流へ掃流されたと考えられた。
- ・砂分などの比重の重い物質は、そのまま留まるか、小さい粒径の砂分は上流管きよの堆積物と置き換わる。
- ・閉塞率は、比重の軽い物質が減った分は改善されるが、大きな効果は得られないようである。

(4) 流体解析シミュレーションによる水理解析

- ・土砂堆積シミュレーション結果は、現地状況をよく再現しており、再現性が高いと考えられた。
- ・流速伝播シミュレーションは、空気連行の状況を計算に反映させる必要があり、改良の余地があった。

4. おわりに

平成 21 年度以降も、実施設を利用した性能評価が継続して実施されることから、技術的サポートをより充実させ実施していきたい。また、実施設の着工に入る市町や新たに事業採択を受ける市町が今後益々増える予定であり、事業の円滑な推進と未普及解消のために地方公共団体支援に努めていきたい。

(参考文献)

- 1) 下水道未普及解消社会実験ホームページ、<http://www.mifukyu.go.jp/>
- 2) 吉本・片岡、圧送管における土砂の堆積防止に必要な最小流速について、下水道協会誌 Vol. 30、No.357

6. ビルピット排水による悪臭発生防止に関する調査

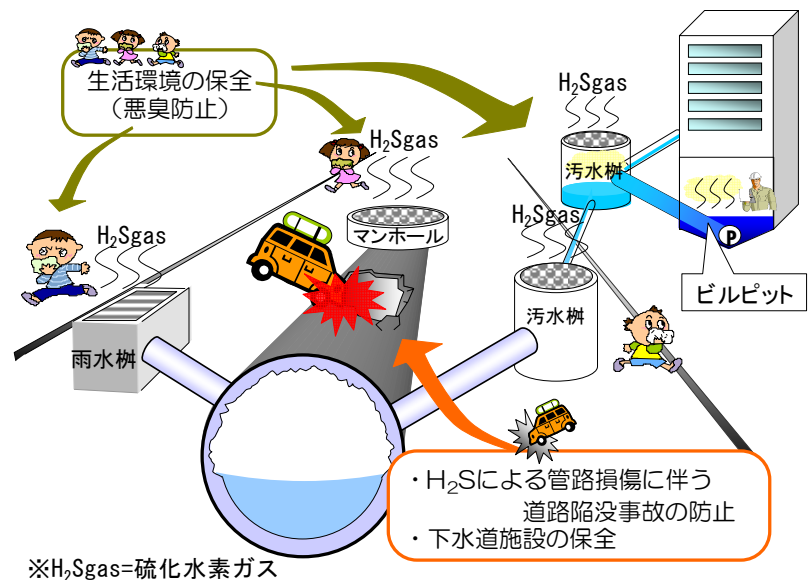
下水道研究室 室 長 榊原 隆
主任研究官 松宮 洋介
研 究 官 深谷 渉
交流研究員 西尾 称英

1. はじめに

地階を有する事業所ビルなどでは、地階で発生したトイレ排水や雑排水を一旦貯留するための貯留槽（以下、ビルピット）を有する。ビルピットに貯められた汚水や雑排水は、ピット内における長時間の貯留により腐敗が進み、下水道施設へ排水される際に大量の硫化水素を放散させる場合がある。硫化水素が発生すると、悪臭の発生により生活環境が悪化し、都市イメージの低下を招くなどの大きな問題に発展しかねない（図－1 参照）。また、硫化水素の発生を放置しておくと、腐食により下水道管渠を損傷させ、道路陥没を誘発する場合がある。これらがいわゆる「ビルピット問題」であり、特に大きな繁華街等を有する都市においては下水道管理者を悩ませる深刻な問題である。

ビルピット排水に起因し下水道施設から発生する臭気の対応には、下水道管理者によるマンホール蓋の密閉化や脱臭装置の設置等があるが、臭気はわずかな隙間からも発生することから、施設全てを100%密閉化することは困難であり、費用も膨大となる。このため、ピットの改造やポンプ運転手法の工夫など、下水道管理者の指導に基づき、ビルピット管理者が臭気対策を施す発生源対策が主に行われている。

しかしながら発生源対策については、発生源の特定が難しい（多大な費用と時間を要する）、特定し改善を指導しても法的根



図－1 ビルピット排水に起因する諸問題

拠や規制値が不明確なためビル管理者側の対応が消極的等の問題があることから、改善が進んでいないのが現状である。よって、効果的かつ効率的に悪臭を防止するための苦情対策手法の開発が望まれているところである。

本研究では、ビルピット排水規制の法的位置づけを明確にした上で、悪臭防止法で規制対象とされている臭気指数及び液相中硫化水素濃度を用いた簡易で効率的な臭気苦情対策手法を提案するものである。

平成20年度は、簡易な臭気指数及び液相中硫化水素濃度把握方法である、汚水桝における拡散式硫化水素計を用いた気相中硫化水素濃度からの換算に関する実態調査を実施した。

2. ビルピット排水と法規制

下水道施設に悪質なビルピット排水を流下させないためには、法的拘束力を持った規制を行うことが最も効果的である。ビルピット排水に起因する悪臭規制に対応できる法律としては、下水道法施行令（第8条）、悪臭防止法（第8条他）、建築物における衛生的環境の確保に関する法律がある。下記に、各法律の概要と問題点等について

て整理する。

①下水道法

下水道法施行令第8条では、排水設備の設置及び構造の技術上の基準として、ビルピット等の貯留槽は臭気の発散により生活環境の保全上支障が生じないための措置が講ぜられていることとされている。しかしながら、明確な臭気の規制値がなく、また、新規に設置される排水設備に対してのみ効力を発生することから、限定的な適用とならざるをえない。

②悪臭防止法

悪臭防止法は、工場や事業所などの活動に伴って発生する不快な臭気に対して、必要な規制を行うことを定めた法律で、規制地域の指定と規制基準の設定等(同法第3条、4条、7条)が定められている。

下水道に接続されるビルピット排水については、この法律の規制基準の内、排出水の規制基準(第3号規制)を受けることとなる¹⁾²⁾。規制方法には、特定悪臭物質(22物質)によるものと、臭気指数によるものの2種類があり、近年は、住民の被害感と合致し、複合臭や未規制物質に対応できる臭気指数の導入が推奨されている(図-2に、3号規制によるビルピット排水規制の概念図を示す)。

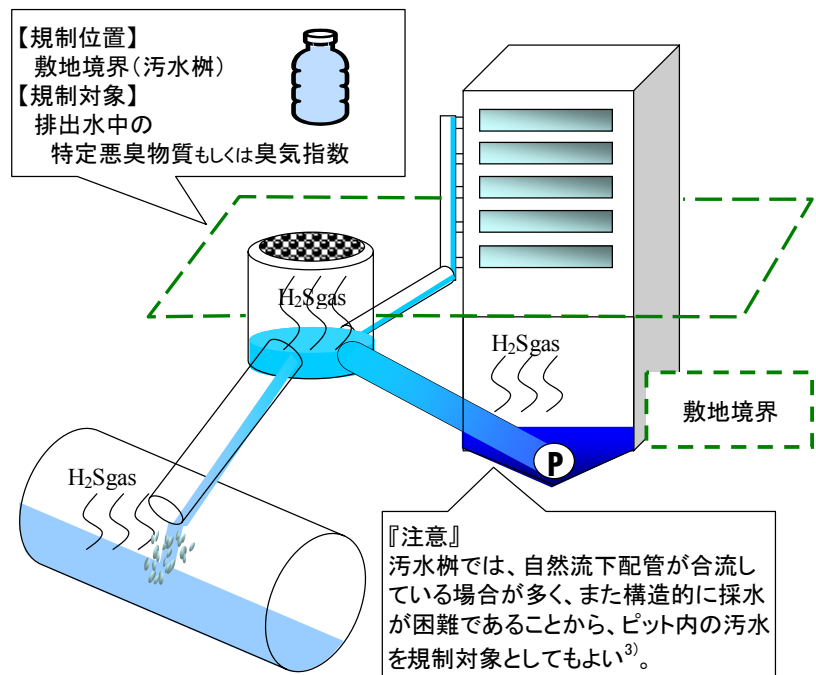


図-2 3号規制によるビルピット排水規制の概念図

③建築物における衛生的環境の確保に関する法律

建築物における衛生的環境の確保に関する法律では、清掃頻度に関する規定があるものの、ビルピットに起因する悪臭は下水の滞留時間と密接な関係があり、その時間スケールは時間もしくは日単位である³⁾。このことから、清掃のみの対応では悪臭を完全に防止することは難しいと考えられる。

その他、指導要綱や運用等により、独自の基準を設けてビルピット排水の対策に努めている都市もあるが、法的な拘束力がないことから、悪臭を防止・規制する決め手とはなっていないのが現状である。

以下に、適用範囲が広く、規制の考え方や規制値が明確な悪臭防止法での規制を念頭に置き、苦情発生時のビルピット排水に対する対応手法について述べる。

3. 臭気苦情対策手法の提案

マンホールや公共汚水樹等からの悪臭苦情には、法的拘束力のある悪臭防止法の適用が有効である一方、多くの自治体では悪臭防止法を扱う環境部局等と下水道管理部局とが別組織になっていることから、下水道の担当者が、悪臭防止法に基づく取り締まりを実施することはできない。

また、同法の適用にあたっては以下の課題がある。

① 下水道担当者の施設立ち入りに制約がある。

- ② 法に基づく測定方法（公定法）は試験コストが高く、また、結果がでるまでに時間を要す。
- ③ 臭気の発生場所や発生時間の予想が難しく、公定法では試験が空振りに終わる可能性がある。
- 以上より、臭気苦情対策手法としては、以下の事項に配慮する必要がある。

- ① 下水道担当者の立入が容易なこと。
- ② 計測が簡単で、即時に結果が分かること。
- ③ 臭気の動向（経時変化）が把握できること。

これを踏まえて、悪臭防止法に違反していることが確実だという根拠を下水道部局で揃え、環境部局等に引き継ぐ手法（図-3）を提案する。

この手法は、簡易な拡散式硫化水素計を用い、下水道担当者が立ち入り可能な汚水枳のガス濃度を連続計測し、その結果を臭気指数や液相中硫化水素濃度に換算することで、現場で簡単に悪臭防止法に違反しているかどうかを判定する。悪臭防止法の違反が予測確認できれば、下水道部局としてビルピット管理者に試験結果とともに改善を要請し、改善の見込みがない場合には、下水道部局から環境部局に予測データを添えて法的指導を公式に要請するのが現実的であると考える。

4. ビルピット実態調査

提案した臭気苦情対策では、汚水枍の気相中硫化水素濃度から、ビルピットの液相中硫化水素濃度や臭気指数に換算する必要がある。ここではビルピット実態調査により、実際のビルピットにおける液相中硫化水素濃度及び臭気指数と、汚水枍の気相中硫化水素濃度の関係を明らかにした。

（1）調査対象施設

調査対象とするビルピットは、T市とK市の20棟のビルにおいて計25箇所のビルピット（1つのビルに複数のピットが存在する場合有り）とした。

（2）調査時期

調査は、冬季及び夏季、秋季の3シーズンに実施した。実施した箇所と調査時期を表-1に示す。

（3）調査内容

同一建物のビルピットと汚水枍の2箇所で、同時刻に測定を行った。

ビルピットでは、貯留水を採取し、臭気指数もしくは液相中硫化水素濃度を測定した。その他に、必要に応じて補足データ（水温、pH、ORP）を測定した。

汚水枍では、気相中の硫化水素濃度（拡散式硫化水素計による測定）を測定した。

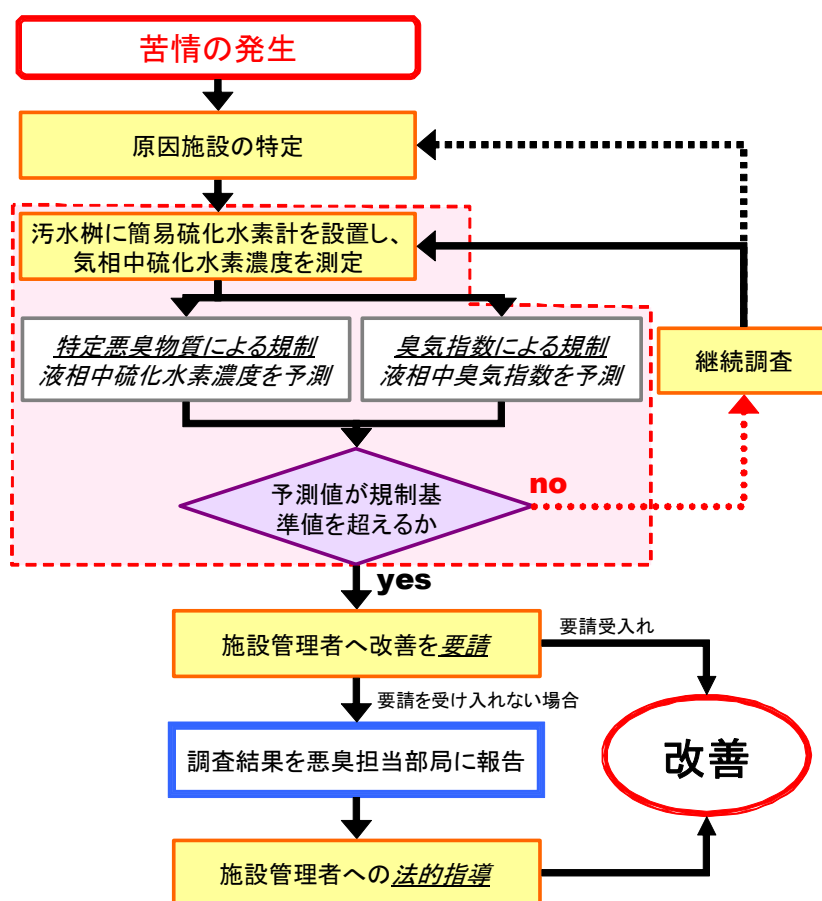


図-3 臭気苦情対策フロー

表-1 調査箇所及び調査時期

ビル種別	ピット種別	冬季	夏季	秋季	ビルピット測定項目	
					臭気指数	硫化水素
公営駐車場	汚水	3	1		○冬季のみ	○
公営駐車場	雑排水	2	1		○冬季のみ	○
官公庁施設A	混合水	3	2	1	○冬季のみ	○
駅舎	混合水	3	2	1	○冬季のみ	○
ホテルA	汚水	3	1	1	○冬季のみ	○
商業系ビルA	汚水	3	2	1	○冬季のみ	○
商業系ビルA	混合水	3	2	2	○冬季のみ	○
商業系ビルA	雑排水	3	1	2	○冬季のみ	○
商業系ビルB	雑排水	4	2	1	○冬季のみ	○
商業系ビルC	汚水		1	4	○	
商業系ビルC	雑排水		1	2	○	
商業系ビルD	雑排水		1	4	○	
ホテルB	混合水		1		○	
ホテルC	汚水		1	2	○	
ホテルC	混合水		1	4	○	
ホテルD	混合水			2	○	
居住系ビル	混合水		1	1	○	
事務系ビル	汚水		1	1	○	
官公庁施設B	汚水		2		○	
官公庁施設C	混合水		2	4	○	
ホテルE	混合水		1			○
事務系ビルB	混合水		2	1		○
官公庁施設D	混合水		2	1		○
商業系ビルE	雑排水		7	4		○
商業系ビルF	混合水		3	2		○

※調査時期の数値は、調査回数を示す。

表-2 測定項目

測定位置	測定項目	備 考
汚水枳	気相中硫化水素濃度	補足データ（気温）
ビルピット	貯留水の臭気指数 o r 貯留水の硫化水素濃度	補足データ（水温、pH、ORP）

（４）調査機材及び分析方法

汚水枳の気相中硫化水素濃度は、拡散式硫化水素計（センサー：500ppm）を使用した。

ビルピット貯留水の採水は、ハイロート式採水器を使用した。採水の深度は、水面から0.5～1mとした。また、水位が採水深度より低い場合は、採水が可能な水位による採水を行った。採水した水は、悪臭防止法に基づく測定方法（環境省告示第9号）で液相中臭気指数及び液相中硫化水素濃度を測定・分析した。

(5) 調査結果

1) 汚水樹の気相中硫化水素とビルピット貯留水の臭気指数の関係

汚水樹の気相中硫化水素とビルピット貯留水の臭気指数との関係については図-5 に示す通りとなった。

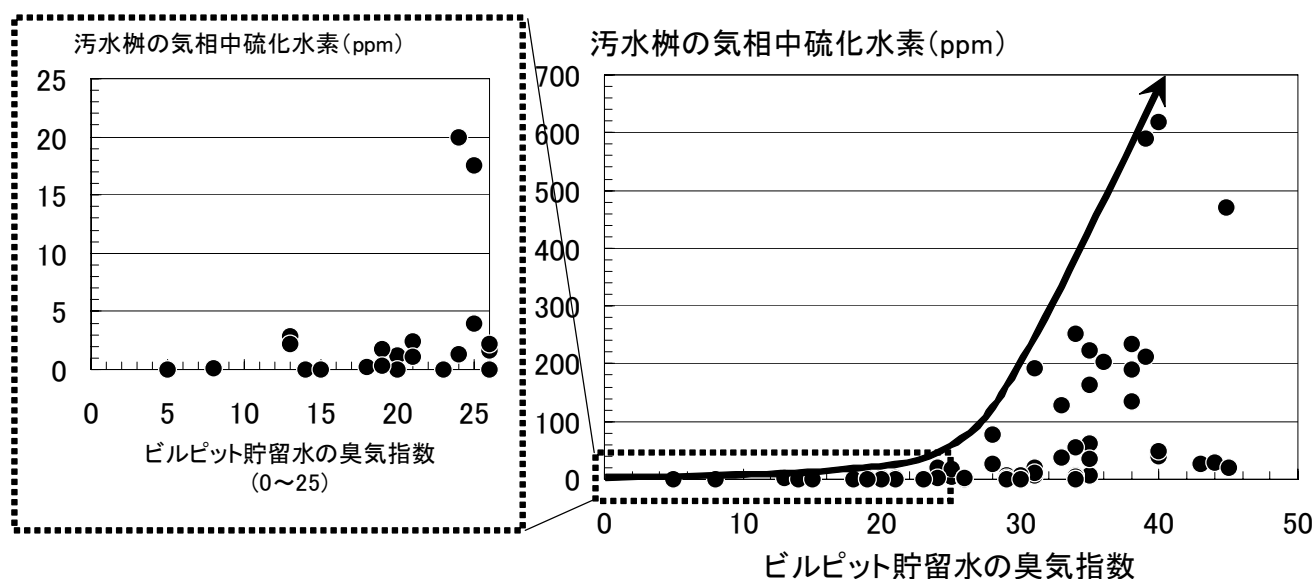


図-5 汚水樹の気相中硫化水素とビルピット貯留水の臭気指数との関係

図より、ビルピット臭気指数が高くなるに従い、汚水樹の気相中硫化水素濃度が高くなる傾向にあることが分かった。ただし、臭気指数が高くなると、汚水樹の気相中硫化水素濃度のバラツキも大きくなる傾向にあった。

ここで、混合槽及び汚水槽、雑排水槽の槽の別による汚水樹の気相中硫化水素とビルピット貯留水の臭気指数との関係について整理すると図-6 のようになる。

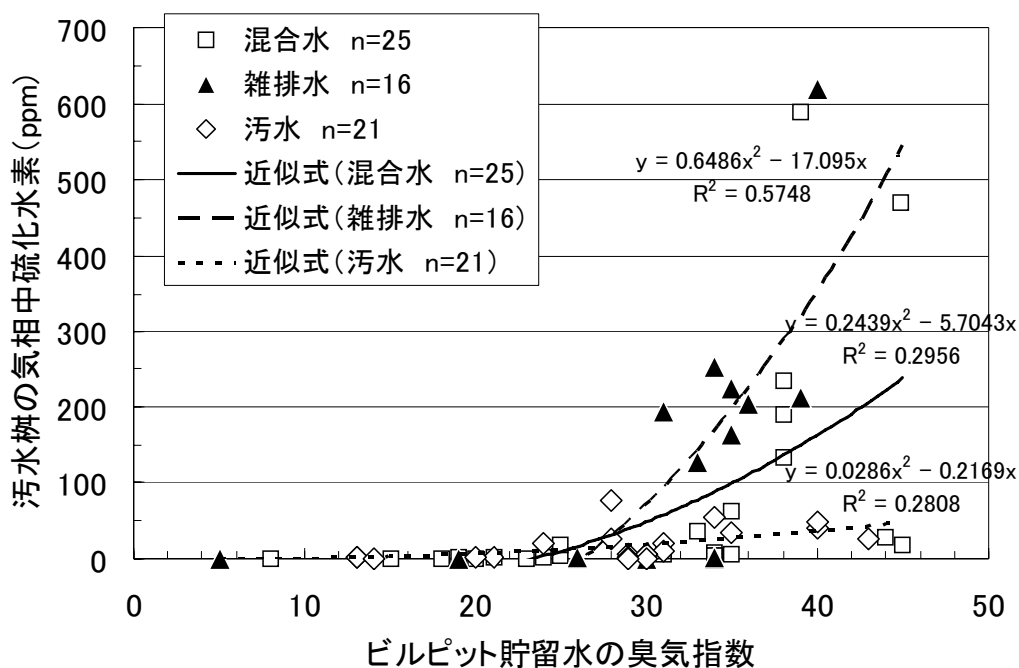


図-6 ピット種別による比較

図より明らかとなっており、3種のピットの内、最も汚水桷における気相中硫化水素濃度が高くなったのは、雑排水槽であり、次いで混合槽であった。汚水槽は、臭気が激しくても、汚水桷における気相中硫化水素濃度は80以下であった。なお、臭気指数の累積度数分布（図-7）は、3槽とも大差なかった。

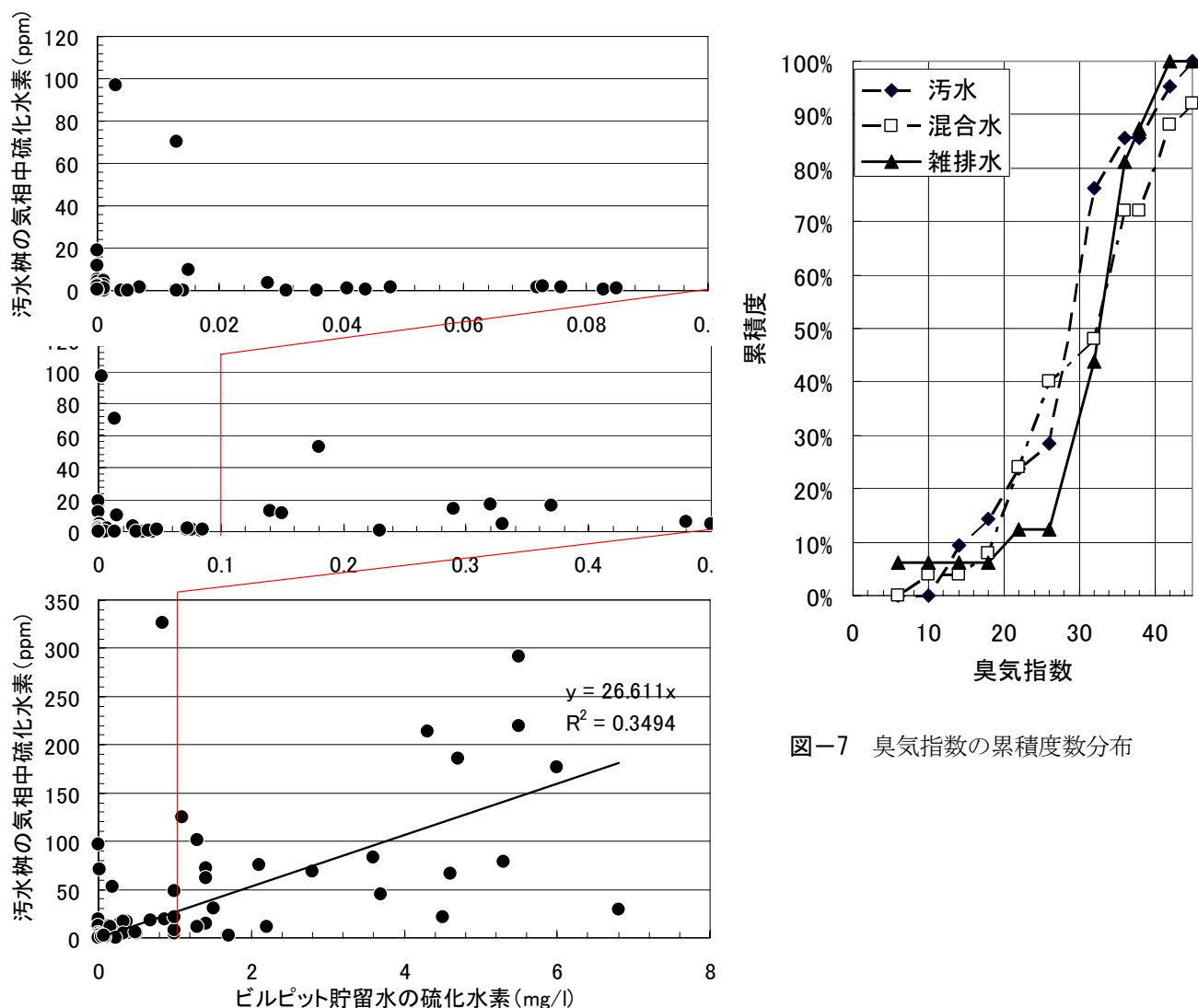


図-8 汚水桷の気相中硫化水素とビルピット貯留水の液相中硫化水素との関係

2) 汚水桷の気相中硫化水素とビルピット貯留水の硫化水素濃度の関係

汚水桷の気相中硫化水素とビルピット貯留水の液相中硫化水素との関係は図-8に示す通りとなった。

図より、データのバラツキが大きいものの、ビルピット液相中硫化水素が高くなるに従い、汚水桷の気相中硫化水素濃度が高くなる傾向にあった。

各槽の別による汚水桷の気相中硫化水素とビルピット貯留水の液相中硫化

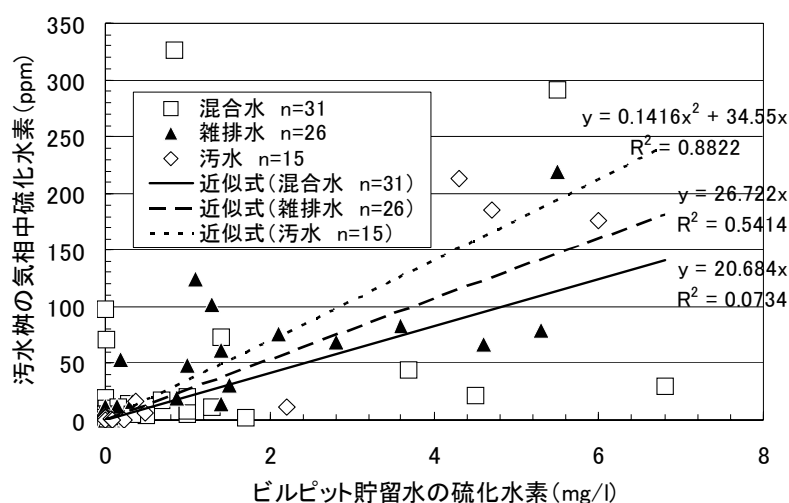


図-9 ピット種別による比較

水素との関係を図-9に示す。

3種のピットの内、最も汚水桝における気相中硫化水素濃度が高くなったのは汚水槽であり、次いで雑排水槽であった。データのバラツキが大きいため一概には言えないが、汚水桝における気相中硫化水素濃度はビルピットの液相中硫化水素濃度の20～30倍程度になっている。

3) 汚水桝の気相中硫化水素と調査時期の関係

調査を実施した冬季（1～2月）、夏季（9～10月）、秋季（11～12月）の、各シーズンの別による汚水桝の気相中硫化水素とビルピット貯留水の臭気指数及び液相中硫化水素との関係（図-10、図-11）について整理する。

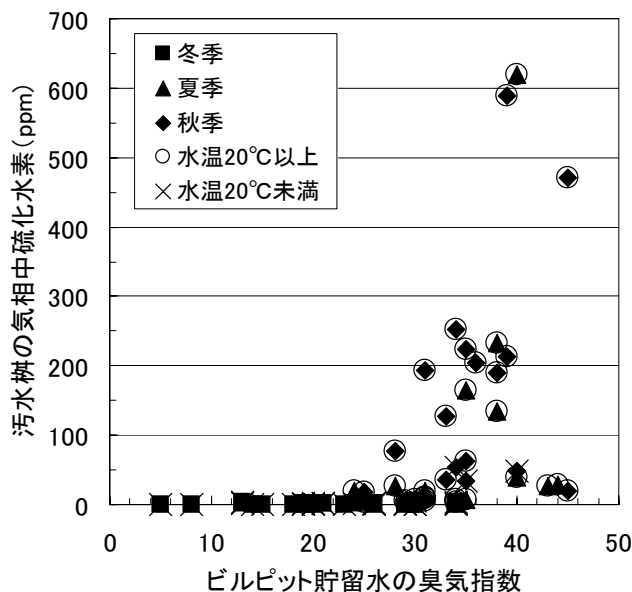


図-10 シーズンによる比較（臭気指数）

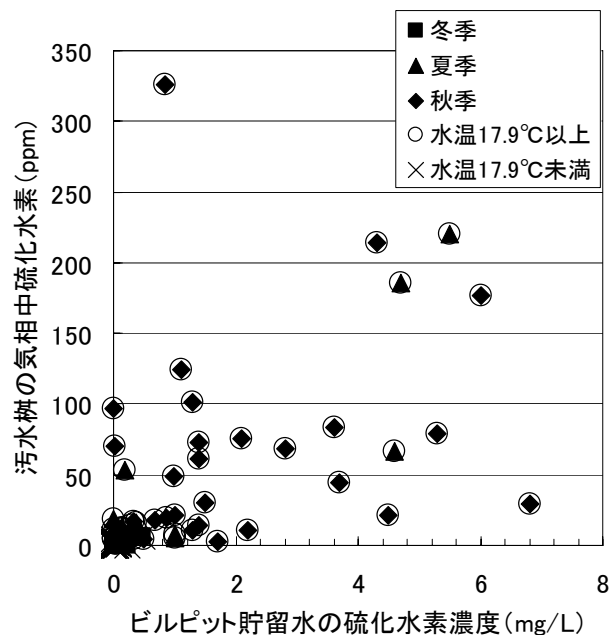


図-11 シーズンによる比較（液相中硫化水素）

図より、臭気指数及び液相中硫化水素共に、夏季及び秋季が高く、冬季は低い傾向であった。冬季における汚水桝の気相中硫化水素濃度は最大でも6.1ppmであった。

ここで、汚水桝の気相中硫化水素濃度と水温の関係を図-12に示す。

水温が概ね18℃を境にして、汚水桝において発生する気相中硫化水素濃度に大きな差が生じた。

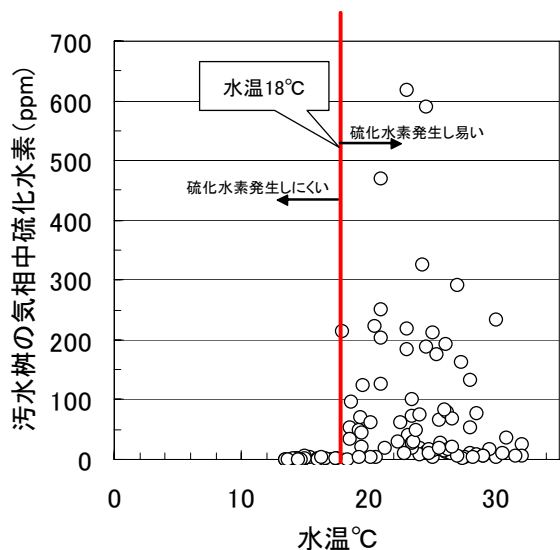


図-12 汚水桝硫化水素と水温の関係

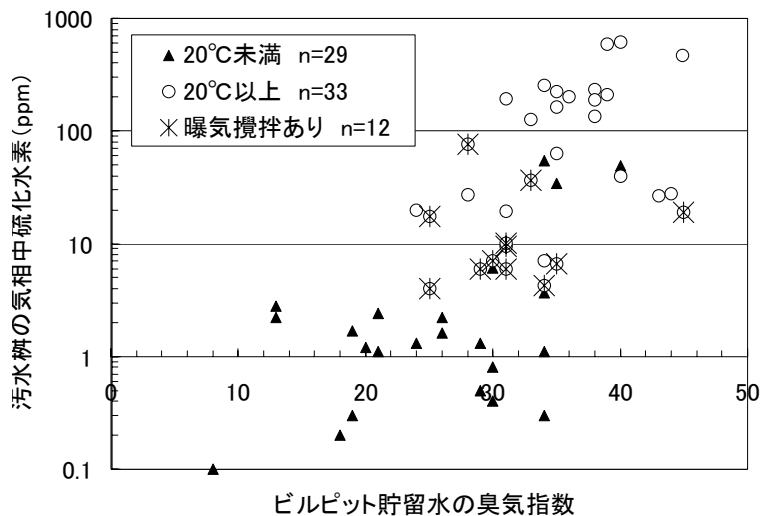


図-13 曝気攪拌有無による比較

4) 汚水樹の気相中硫化水素と

曝気攪拌の関係

ここでは、ビルピットにおける硫化水素の抑制対策として一般的に実施される曝気攪拌の有無により比較する。図-13に、曝気攪拌の有無による汚水樹の気相中硫化水素とビルピット貯留水の臭気指数との関係について示す。

図より、曝気攪拌を実施しているビルピットでは、汚水樹硫化水素の最大値は76.6ppm（ホテル、汚水、秋季）であった。硫化水素の生成を完全に抑制することはできないが、ある程度の抑制効果は期待できるものと考えられる。また、水温が低ければ、曝気攪拌なしでも硫化水素の生成は抑制されていると考えられる。

5) 汚水樹の気相中硫化水素と

ORPの関係

硫化水素の生成とORPとは密接な関係がある。既往文献によると、 $ORP > -120$ mVであれば、溶解性硫化物の生成が抑制されるとの報告がある⁴⁾。

ここでは、汚水樹の気相中硫化水素とビルピット貯留水の臭気指数との関係について、ORPにより整理した結果を示す（図-14）。

図より、ORPが高いと、汚水樹硫化水素濃度が低くなる傾向が得られた。

汚水樹の気相中硫化水素とビルピット貯留水の硫化水素との関係においても、同様の傾向が見られた（図-15）。

図-16に、汚水樹の気相中硫化水素濃度とORPの関係を示す。今回の調査では、概ね $ORP > 30$ mVで硫化水素濃度が低くなった。

6) 汚水樹の気相中硫化水素とpHの関係

汚水樹の気相中硫化水素とpHの関係を図-17に示す。図より、雑排水槽が酸性域、混合槽が中性域、汚水槽がアルカリ域を示した。また、pHがアルカリ性（ $pH \geq 8$ ）の

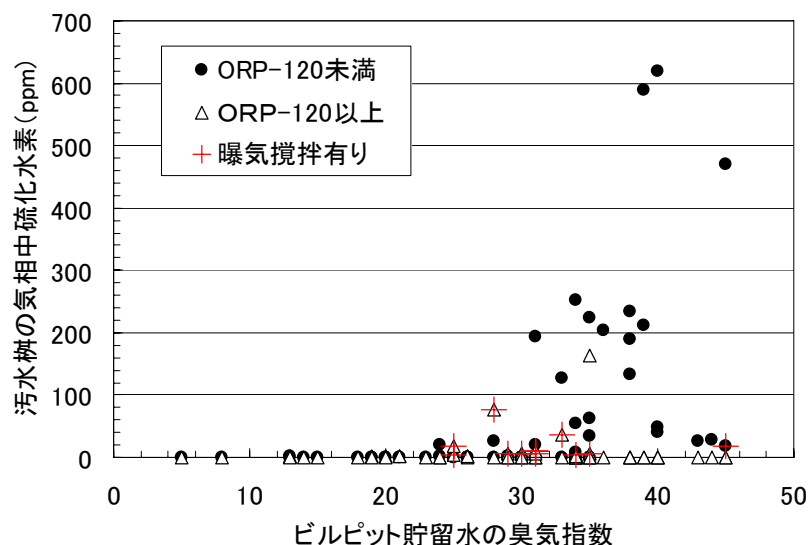


図-14 汚水樹の気相中硫化水素濃度とビルピット貯留水の臭気指数

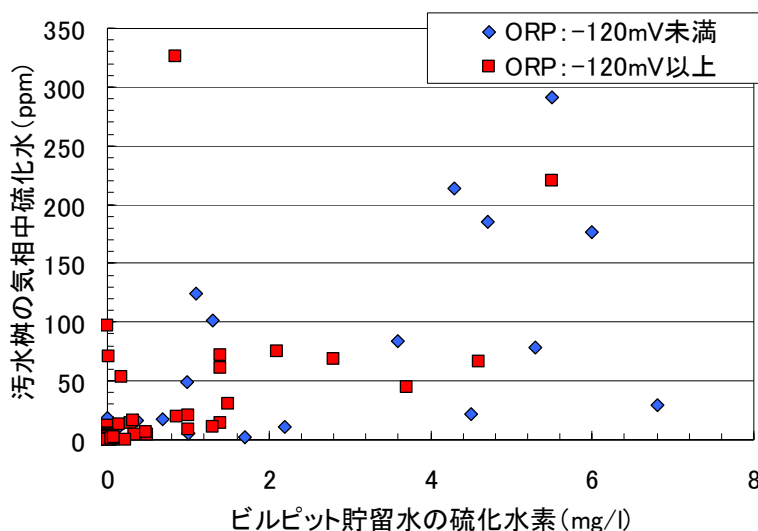


図-15 汚水樹の気相中硫化水素濃度とビルピット貯留水の硫化水素

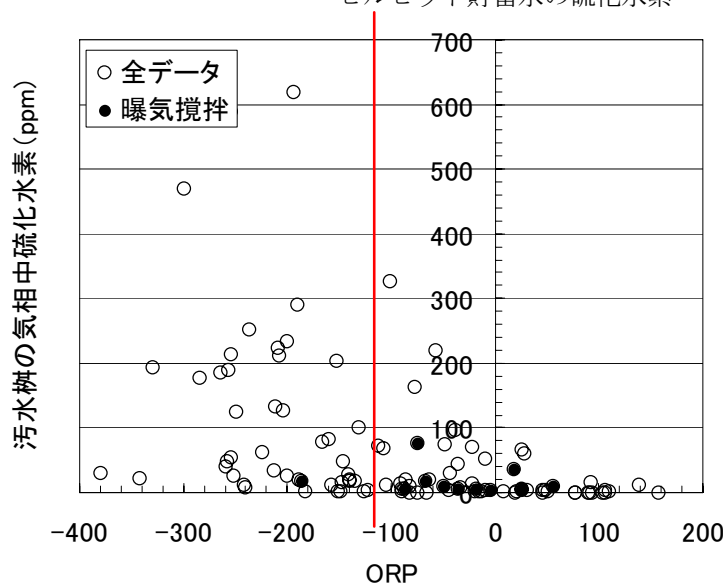


図-16 ORPによる比較

場合、汚水樹硫化水素濃度は非常に低かった。

(6) まとめ

調査の結果より明らかになったことを下記にまとめる。

1) データのバラツキが大きい。

ビルピット貯留水の臭気指数及び液相中硫化水素濃度と、汚水樹の気相中硫化水素の関係は、共にデータのバラツキが大きい。

これは、原水の水質、ビルピット・ポンプ・汚水樹の構造、貯留時間等の様々な因子による複合的作用によるものであると考えられる。

2) 硫化水素の発生しやすい条件

今回の調査では、水温が概ね18℃以下と

なる場合、汚水樹における硫化水素濃度は非常に低かった。高濃度の硫化水素発生の一の目安として、水温を指標にすることも可能であると考えられる。また、汚水樹における気相中硫化水素濃度と規制対象（臭気指数及び液相中硫化水素濃度）の関係はピット種別により、異なる傾向が得られた。ビルピット貯留水の臭気指数を指標にした場合には汚水槽→混合槽→雑排水槽の順で汚水樹における気相中硫化水素濃度が高くなる傾向にあったが、液相中硫化水素濃度を指標にすると順序が逆転（雑排水槽→混合槽→汚水槽）した。

3) 曝気攪拌の効果

曝気攪拌を行っているビルピットについては、他の無対策ピットと比較して汚水樹における硫化水素濃度は低かった。また、ORPやpHの値は、硫化水素が発生しにくいと言われる環境条件に近い値を示しており、曝気攪拌の効果が現れていると考えられた。しかしながら、一部のビルピットでは硫化水素が発生しており、ピットから汚水樹に至る配管での下水腐敗や曝気不足等が原因として考えられる。

5. 汚水樹の気相中硫化水素濃度の規制管理基準値

実態調査結果に基づく汚水樹の気相中硫化水素と、ビルピット貯留水の臭気指数もしくは液相中硫化水素濃度の関係を用いて、汚水樹の気相中硫化水素濃度からビルピットの臭気が悪臭防止法の規制値を違反しているかどうかを判定するための規制管理基準値（目安値）を設定する。

なお、4. ではピット種類やORP、pH等による傾向を分析したが、これらの条件毎に基準値を設定することは、現地の作業を複雑化させることから現実的でないため、ここでは下記を考慮し基準値を設定する。

1) 判定精度

環境部局へ報告する試験データは違法性の根拠となることから、「おそらく違反しているであろう」という推定レベル以上の高い判定精度を求められる。よって、ビルピットの臭気が悪臭防止法の規制値を確実に越えると考えられる汚水樹硫化水素濃度を設

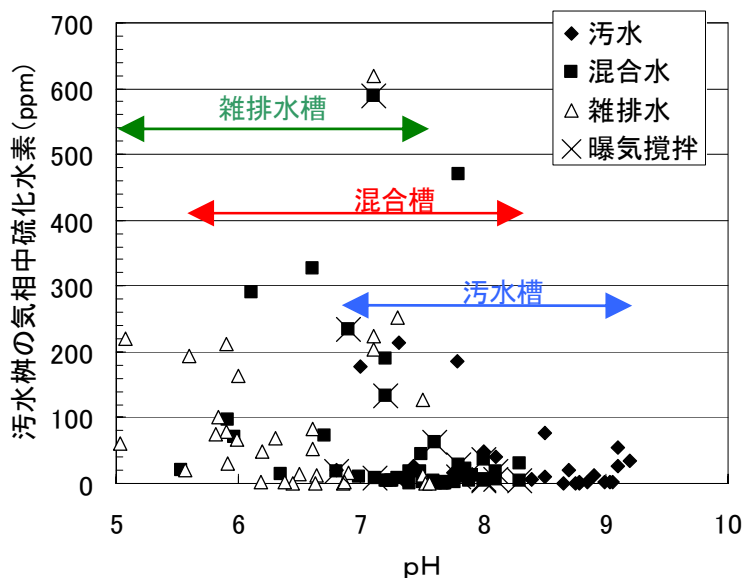


図-17 pHによる比較

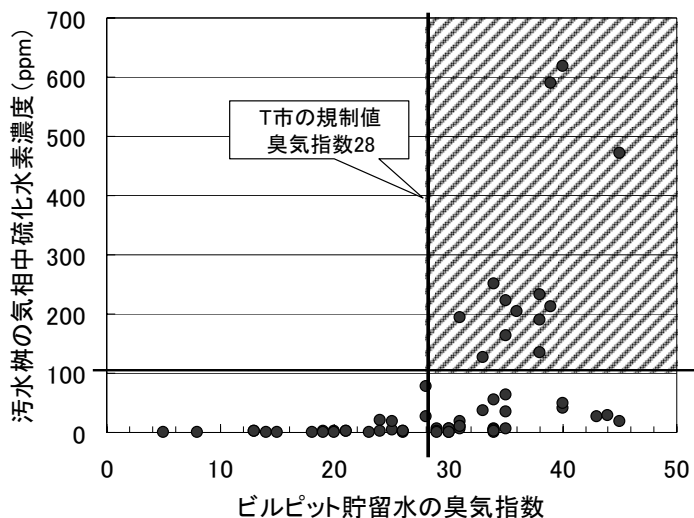
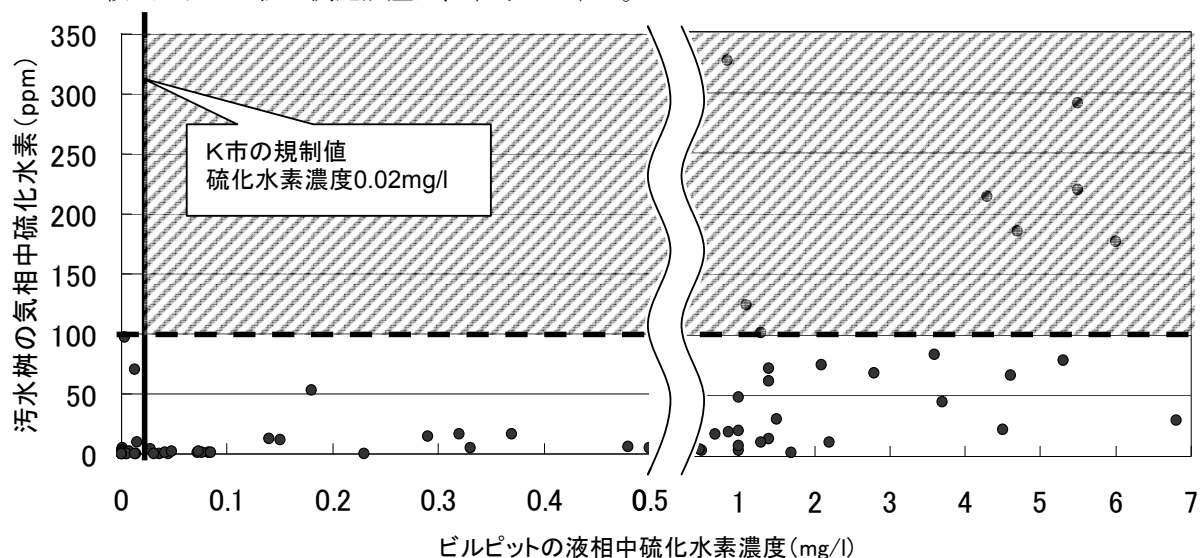


図-18 汚水樹の気相中硫化水素とビルピット貯留水の臭気指数の関係

定する必要がある。

しかしながら、汚水桝においてはビルピット以外の排水系統の影響を受けやすく、また測定機器の精度の問題もあることから、ある程度の余裕を見込んでおく必要がある。本調査結果（図－18、図－19）より、確実に法規制値を超過するのは97ppmであるが、測定誤差等を考慮し100ppm以上を設定すべきと考えられる。

（参考）拡散式硫化水素計の測定誤差は±5%、500ppm用の最小分解能は5ppm。臭気指数の測定に用いられ三点比較式フラスコ法の測定誤差は、平均14.4%⁵⁾。



図－19 ビルピット貯留水の硫化水素と汚水桝の気相中硫化水素の関係

2) 悪臭対策の限界

法に違反している場合、ビル管理者に対して指導を行うが、一般的な改善方法としては、曝気攪拌や低水運転等がある。しかしながら、ビル管理者側の設備投資の限界や対策による効果の限界等があることから、これらを考慮した数値を設定する必要がある。本調査より、曝気攪拌を実施した場合においても、最大77ppmの汚水桝における硫化水素発生が確認されていることから、対策限界値として約80ppmを設定する。

以上より、ビルピットの臭気が悪臭防止法の規制値を違反しているかどうかを判定するための汚水桝の気相中硫化水素濃度は、規制対象が臭気指数及び硫化水素のどちらも100ppm程度とすべきであると考えられる。

6. まとめ

悪臭防止法に基づく臭気の規制値を活用し、悪質なビルピット排水に対し、効率的に取り締まりを行うことができる手法を提案した。また、本提案に不可欠な、汚水桝における気相中硫化水素濃度を元にした悪臭防止法規制基準超過の判定に関しては、実態調査結果を基に判定基準値を示した。

判定基準値としては、規制対象である液相硫化水素濃度及び臭気指数（液相）が規制値を超過する目安となる汚水桝の液相中硫化水素濃度は、両規制対象とも同一値となる100ppmであった。

（参考文献）

- 1) ハンドブック悪臭防止法（四訂版）、ぎょうせい
- 2) 平成20年度全国下水道主管課長会議（第1回）資料、P164～165、国土交通省下水道部
- 3) 嗅覚測定法マニュアル、(社)におい・かおり環境協会
- 4) 田中・北川・深谷、下水道施設の維持管理・更新費の低減手法に関する調査、平成7年度下水道関係調査研究年次報告書集、建設省土木研究所、1995
- 5) 悪臭防止技術の手引き（IX）、(社)臭気対策研究協会、1994.1

ン2100 および社会資本整備審議会下水道小委員会報告²⁾の内容との関係について調べたが、結果、第3次技術計画は各提言・報告で示された施策内容を概ね網羅していた。

2. 2 第3次下水道技術五箇年計画の中間評価

第3次下水道技術五箇年計画の中間評価は、第2次下水道技術五箇年計画の評価手法に準じ、図-1に示される技術開発項目ごとに、その達成度（A、BまたはCの三段階評価）を判定することにより行うものとした。

技術開発項目の達成度の判定にあたっては、それぞれの項目の内容を分析しさらに細かい「技術開発要素」を抽出し、それぞれの「技術開発要素」に対する取り組み状況を文献調査により整理した。文献調査では平成16年度から18年度までに発行された、各機関の報告書、下水道・水環境分野の主な雑誌または論文集（下水道協会誌、水環境学会誌、土木学会論文集、土木学会環境工学研究論文集、土木学会環境システム研究論文集）を対象に成果物の検索を行い、評価の基礎資料となるべき情報を収集整理した。

表-1は、本調査で技術開発項目ごとに抽出された、技術開発要素の一覧である。また表-2は、収集整理された文献情報および計画期間における実施状況等を勘案し、①実用性（実験室規模～現場規模）、②技術開発の規模（調査研究機関の数と期間）および③適用性（国等機関の調査研究レベル～地方自治体・民間企業の実施レベル）

表-1 第3次下水道技術五箇年計画の技術開発要素

技術開発項目	技術開発要素							
	要素1	要素2	要素3	要素4	要素5	要素6	要素7	要素8
(1)流域管理の視点から浸水対策を計画する技術	流出解析のモデル化	流出係数等の最適化	観測システムの標準化	費用効果分析手法				
(2)浸水対策の高度化技術	雨水貯留浸透施設的能力評価、観測	局所的豪雨被害の軽減対策	新たな材質・構造の雨水貯留施設及び排水ポンプ	広域的降水予測技術	雨水排水施設のリアルタイムコントロール			
(3)地震に強い下水道を構築する技術	既存の対策工法の効果	地震時変形量の予測	液状化被害軽減策	液状化経済的対策工法				
(4)各種リスク物質の監視とリスク評価技術	化学物質流入量の推定	内分沁かく乱物質の迅速測定法	内分沁かく乱物質・重金属の挙動把握技術	抗生物質・抗菌剤の挙動把握技術	生物・バイオテクノロジーを活用した水質の測定・監視技術			
(5)各種リスク物質の除去・無害化技術	迅速測定法	病原微生物による定量的なリスク評価	下水処理水の安全性基準	病原微生物の挙動把握技術	病原微生物の処理・消毒技術			
(6)汚濁負荷削減に係る経済的手法の導入技術	資金の管理・運営手法	モニタリング手法	初期配分手法	流域計画への適用可能性	ホットスポット/オーバーシュージングの抑制手法	ノンポイント対策	合併浄化槽との連携	
(7)水循環マスタープラン策定技術	流域単位における一体的管理手法	流域別下水道整備総合計画検討シミュレーションソフト開発						
(8)水循環オープンデータベースの構築技術	情報における様式の共通化	情報における集約・統合化	情報における電子化・インターネット化	水環境オープンデータベース	流域汚濁負荷情報データベース			
(9)水環境への影響を評価する技術	生物・バイオテクノロジーを活用した水域の評価・管理技術							
(10)良好な水環境を保全・創出する技術	処理・消毒技術選定手法	生態系に配慮した下水道施設計画	生態系に配慮した計画放流水質					
(11)窒素、リン等を高度に除去する技術	既存施設を活用した高度処理施設	施設のコンパクト化技術	活性汚泥モデルの活用	有用微生物群の活用				
(12)雨天時越流水等の汚濁負荷の削減技術	汚濁負荷流出解析モデル	合流式下水道の改善目標の設定、達成度評価	低コストかつ簡易モニタリング技術の開発	雨天時活性汚泥法の運転手法				
(13)下水処理水の再利用促進技術	施設障害防止	快適性確保対策	衛生工学的安全性	費用開数	再利用導入コスト	有用微生物の検索	低コスト処理プロセス	処理水再利用による技術基準
(14)下水汚泥減量化技術	汚泥減量化	汚泥発生抑制	濃縮、脱水、焼却、溶融等の高効率化					
(15)下水汚泥保有エネルギーの高度活用技術	新たな燃焼プロセス	グリーンラジエエネルギー						
(16)下水汚泥の物質資源としての有効利用技術	内分沁かく乱物質及び微量有機物の汚泥リサイクル製品活用先における挙動	内分沁かく乱物質及び微量有機物の汚泥リサイクル製品活用先における挙動	重金属リスク制御	草木からの有機酸生産、脱水助剤化	焼却灰の無機質特性、リンの存在・分布状態、回収法、建設資材利用法	汚泥溶融スラグの用途拡大	汚泥有効利用方式選定手法	スラッジゼロディスチャージ
(17)地域社会における有機性産業プロセスの最適化技術	有機質廃材の改質技術		地域発生材の下水処理への活用技術	地域発生資源の超長期保存技術	広域汚泥処理における処理技術			
(18)都市環境の向上のための技術	せせらぎ整備における課題の増強抑制技術	せせらぎ整備における生態系の創出技術、評価技術	再生水の利用	下水熱の利用	空き空間の活用	ヒートアイランド対策における設備投資量及び効果、効果的な整備手法	下水処理水の路面散水利用における安全性	ディスボージャーの福祉的効果の計測
(19)都市構造の変化に対応した下水道の高度化技術	都市構造変化のインパクト分析	負荷重量単位及び流出係数の把握	ネットワーク化による再構築等の具体的手法					
(20)下水道施設から排出される低位排熱の地域活用技術	未利用エネルギー有効利用	下水熱利用計画	下水熱の効率的回収					
(21)下水処理場消費エネルギーの低減化技術	処理プロセス評価改良	処理装置の効率化	下水処理の運転管理手法	LOA手法				
(22)自然エネルギーを活用した下水収集・処理技術	自然エネルギー活用(太陽光発電、風力発電、小水力発電等)							
(23)地球温暖化ガスの排出抑制技術	LCO-CO2評価手法							
(24)エネルギー回収のための都市の有機資源活用技術	ディスボージャー使用による下水道管路への影響度予測	ディスボージャー使用による計画・設計・維持管理への反映						
(25)ライフサイクルコストの低減技術	ライフサイクルコストを用いた下水道システムの計画							
(26)経済的に迅速な下水道施設の建設技術	非開削工法における適用土質範囲の拡大、曲率半径の小さな曲線施工、日進量の増加	縦坑のコンパクト化、泥土処理工法の開発	トンネル技術の適用	ディープシャフトなどの大深度地下利用技術	狭い場所向けの新しい基礎工法	二次製品の活用手法		
(27)効率的な施設管理・健全な施設経営のための技術	包括的委託における管理上の課題	高度計、透視度計による遠方監視手法	ネットワークによる維持管理性向上、信頼性解析手法	光ファイバー利用による維持管理手法改善	管路施設の機能保全を考慮したベンチマーキング手法	管路施設と処理施設のベンチマーキング統合化	活性汚泥モデルを利用した設計及び維持監視手法	
(28)効果的に改築・更新、再構築を行う技術	劣化診断・補修更新判定システム	機械化による補修・修繕技術	下水管きよの浸入水等の実態把握手法	既存の処理施設を活用した高度処理	処理場施設の効率的な改築更新	経量かつ施工性の高い下水管及びそれに適した工法	マンホール等の市街地における管路施工技術	
(29)地事業との連携を推進するための技術	他事業と連携した下水汚泥処理の総合的評価手法							
(30)グローバル化のための下水道技術	海外の技術・市場の状況調査	水質保全対策	下水施設改善技術移転指針					
(31)国民と協働して事業を実施するための技術	環境会計	水環境簡易シミュレーション	分散型雨水対策の情報提供	リスク物質及びその代替処理方法の情報提供				
(32)効率性・説明責任のための事業評価手法の高度化技術	水質改善便益のCVM	CVMで評価できない効果の定量的評価手法	汚濁負荷便益、リスク削減便益計上	高度処理に関する住民との合意形成手法、シナリオ提示	LOAIに関わる原単位の設定	LOAマニュアル策定		

の3つの観点から総合的に達成度をA（高い達成度）～C（低い達成度）の3段階で行ったものである。

表-2 の評価結果を見ると、地震対策、窒素、リンの高度処理、汚泥の物質資源利用、改築・更新・再構築等の達成度については高い結果となった。一方、水循環オープンデータベースの構築、都市構造の変化に対応した下水道の高度化技術、下水道施設から排出される低位排熱の地域活用技術、国民と協働して事業を実施するための技術、効率性・説明責任のための事業評価手法の高度化技術については達成度が低い結果となった。

これら32の技術開発項目については都市・環境・社会・経済等他分野と連携した取り組みが必要であり、今後とも重要性・必要性の高い分野と考えられることから、関係者との議論を踏まえた目標設定と技術開発の方法論について詳細な検討が必要である。

なお評価にあたっては、1) それぞれの技術開発項目のおかれている状況は様々であり達成度を横並びで評価できるものではないこと、また、2) 評価がAであっても今後技術開発を必要としないということではなく、一層の技術開発が求められる余地を残している、という2点について留意する必要がある。

表-2 第3次下水道技術五箇年計画の中間評価結果

技術開発項目	総合評価
(1)流域管理の視点から浸水対策を計画する技術	B
(2)浸水対策の高度化技術	B
(3)地震に強い下水道を構築する技術	A
(4)各種リスク物質の監視とリスク評価技術	B
(5)各種リスク物質の除去・無害化技術	B
(6)汚濁負荷削減に係る経済的手法の導入技術	B
(7)水循環マスタープラン策定技術	B
(8)水循環オープンデータベースの構築技術	C
(9)水環境への影響を評価する技術	B
(10)良好な水環境を保全・創出する技術	B
(11)窒素、リン等を高度に除去する技術	A
(12)雨天時越流水等の汚濁負荷の削減技術	B
(13)下水処理水の再利用促進技術	B
(14)下水汚泥減量化技術	B
(15)下水汚泥保有エネルギーの高度活用技術	B
(16)下水汚泥の物質資源としての有効利用技術	A
(17)地域社会における有機性廃棄物フローの最適化技術	B
(18)都市環境の向上のための技術	B
(19)都市構造の変化に対応した下水道の高度化技術	C
(20)下水道施設から排出される低位排熱の地域活用技術	C
(21)下水処理場消費エネルギーの低減化技術	B
(22)自然エネルギーを活用した下水収集・処理技術	B
(23)地球温暖化ガスの排出抑制技術	B
(24)エネルギー回収のための都市の有機資源活用技術	B
(25)ライフサイクルコストの低減技術	B
(26)経済的に迅速な下水道施設の建設技術	B
(27)効率的な施設管理・健全な施設経営のための技術	B
(28)効果的に改築・更新、再構築を行う技術	A
(29)他事業との連携を推進するための技術	B
(30)グローバル化のための下水道技術	B
(31)国民と協働して事業を実施するための技術	C
(32)効率性・説明責任のための事業評価手法の高度化技術	C

評価 A（高い達成度）～ C（低い達成度）

3. 先進諸外国の下水道技術の政策について

本調査では、第3次下水道技術五箇年計画の中間評価と併せ、我が国の今後の下水道技術政策の立案に資することを目的として、先進諸外国、中でもイギリスとフランスについて下水道行財政に関する取り組み事例を調査した。具体的には両国における下水道行財政の概括調査、下水道技術政策立案における国と地方の役割分担、産官学の連携・パートナーシップの実情、また技術政策の観点から、気候変動への取り組み、アセットマネジメント（以下AMと記述）への取り組み等について最新の状況を調査した。

3. 1 イギリスの下水道技術政策

イギリスの中で、イングランド地方とウェールズ地方においては、上下水道は公共ではなく民間企業により管理・供給されている。下水道事業の民営化以降、15年以上が経過し、民間企業は約500億ポンドの資金を投じて過去の投資不足を相殺してきた。その間、利用者への請求額は実質ベースで平均35%増加したが、サービス面においては十分な質が保たれている。

国と地方の役割分担については、上下水道の実質的な運営を民間企業が、環境・食料・地方開発省(Defra)が基準・法案の制定を、環境庁(EA)が環境規制を、水道サービス規制庁(Ofwat)が利用者保護等を目的とした経済規制を担当している。

気候変動、AMへの取り組みについては、英国の研究機関が技術政策の目標を定めているのと並行して、Ofwat並びにウォーターUK、テムズ・ウォーター2社を代表とする民間企業においても独自に諸問題へ対応するため

の行動目標・行動計画を策定している。また、気候変動の対応に関しては、2008年に英国内で気候変動法が成立したところである。

3. 2 フランスの下水道技術政策

一方、フランスにおいては1992年の第二次(Loi sur l'eau)水法制定を経て、水資源管理に関する基本計画(SDAGE)の方針の下、フランス6大流域に各々設置されている水管理庁が、各流域の水質管理及び管理計画の策定を担っている。

国と地方の役割分担については、財務省と環境省が水管理庁の監視を、水管理庁が各流域の水管理基本計画の設計を担っている。地域レベルでは、環境省の地方部局であるDIREN(地域環境部局)が水管理庁との事業調整を行っている。また、民間企業については大手3社が地方自治体と連携して下水道事業を運営している状況である。

気候変動、AMの取り組みについては水管理庁が徴収した税金をこれらの研究・改善のために国家投資に提供している。また、AMについてはRERAUプロジェクトという小型カメラを用いた管路点検手法が開発されつつある³⁾。気候変動については地域計画や政策に沿った適応策が地方長官の権限のもとに既に存在しているため、その適応策に沿って各地域で行動を起こしている。

4. おわりに

本調査では、第3次下水道技術政策五箇年計画の中間評価をするとともに、我が国の今後の下水道技術政策立案に資するべく、イギリスとフランスを対象に下水道技術政策の現状について調査した。

冒頭にも記述しているが、下水道の技術戦略について、社会情勢が急変することが多くなった現代においては、短期的な実行計画を詳細に詰めるよりも、現状の技術動向を踏まえて将来の方向性を見据えた技術の開発と育成を行っていくことの重要性が高まってきている。今回の調査で、海外の下水道技術開発動向と国内での技術開発の進捗状況が明るみになったことを踏まえ、当研究所をはじめとする調査研究機関および地方自治体や民間企業の技術開発部門が、今後の調査研究・技術開発課題を設定する際に、本調査の成果を活用することが期待される。

なお、本調査研究は、下水道事業調査費により実施されたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省：技術が支える明日の暮らし 国土交通省技術基本計画、2003
- 2) 社会資本整備審議会都市計画・歴史的風土分科会下水道小委員会：社会資本整備審議会都市計画・歴史的風土分科会第10回都市計画部会配付資料、
国土交通省ホームページ：http://www.mlit.go.jp/singikai/infra/city_history/city_planning/10/city_planning_.html
- 3) 下水道システムの無人化による改修に関する国家研究
French National Research Project for Renewal of Non Man Entry Sewer System

8. 下水処理施設の改築更新の効率的な実施に関する調査

下水処理研究室 室 長 南山 瑞彦
主任研究官 小越 眞佐司
研 究 官 山中 大輔

1. はじめに

全国での下水道の普及に伴い、下水道処理人口普及率は7割を超えた。そして、昭和51年度から平成16年度の下水道への投資額は約75兆円であり、これまでの下水道の整備により下水道は莫大な資産を有している¹⁾。今後維持管理・改築に必要な投資が拡大していくと見込まれ、財政の制約が厳しくなる中、これらの投資や下水道の新たな役割に対応するための施設の新設投資とのバランスを保持していくことが求められる。過年度の調査では、今後の下水道事業予算における改築事業費の推移等を把握するためのツールとして用いることを目的として、流域別下水道整備総合計画調査指針と解説²⁾（以下、流総指針）の費用関数をベースとした全国の下水処理施設の改築に係る将来事業費の推計手法（以下、改築推計手法）について検討を行い、全国処理場の現有資産および将来改築事業費推移の試算を行った³⁾。しかし、試算の精度等の検証までは至らなかった。そこで本調査では、現有資産の試算精度向上に係る基礎的データの収集を目的として、改築推計手法とは別のアプローチとして下水道統計における建設投資からの推計による全国処理場の現有資産の把握を行い、過年度調査結果である改築推計手法における現有資産の試算結果と比較検討を行った。

2. 調査方法

処理場の建設投資額を保有資産額とみなし、耐用年数による償却を考慮して、全国下水処理場の現有資産の把握を行う。把握方法の詳細は以下のとおりである。

2.1 全国処理場の建設投資額の推計

下水道統計（社団法人日本下水道協会 発行）より昭和31年から平成17年までの処理場建設投資額を把握し、累計する。昭和41年以前の下水道統計における建設費は管路施設も含んでおり、建設費の内訳が記されていない。そこで、昭和31～41年の建設費は、管路：処理場＝73:27の比率⁴⁾を用いて管路と処理場に費用を案分することとした。また、改築推計手法における基準年度である平成18年度の価格とするため、デフレーターによる処理場建設投資額の補正を行う。補正に際しては基準年度を平成12年度とした建設工事費デフレーターが国土交通省より公表されており⁵⁾、これを用いた。

2.2 償却を考慮した全国処理場の現有資産の推計

上記2.1で補正した処理場建設投資額や以下の前提条件を用いて、工種別の耐用年数による償却を考慮した全国処理場現有資産の推計を行った（また、推計方法の模式図を図-1）に示す。

1) 建設投資額の工種別内訳

処理場建設投資額を、土木・建築：機械・電気＝50:50の比率⁴⁾を用いて工種別に費用を案分する。

2) 工種別耐用年数

処理場における工種別の耐用年数を、土木・建築は50年、機械・電気は15年⁴⁾と設定する。

3) 償却方法

定率償却とする。保有資産は、前述2)の耐用年数の期間、毎年定額ずつ償却される。

図-1 償却を考慮した全国処理場保有資産の推計

和暦	S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40	S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S
西暦	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	19
建設費(総建設費)	268	366	556	728	880	1,177	1,460	1,878	2,395	2,875	3,204	—	—	—	—	—	—	—	—
建設費(処理場)	72	95	150	197	238	318	384	507	647	776	865	962	1,046	997	1,411	2,885	4,804	3,370	3.2
内訳(土木・建設)	36	49	75	98	119	159	197	254	323	388	433	481	523	498	706	1,442	2,402	1,685	1.6
内訳(機械・電気)	36	19	75	98	119	159	197	254	323	388	433	481	523	498	706	1,442	2,402	1,685	1.6
設置年																			
S31	土木・建設	36	35	34	33	33	32	31	30	30	29	28	27	27	26	25	25	24	
S32	機械・電気	36	34	29	27	24	22	19	17	14	12	10	7	5	2	0	0	0	
S33	土木・建設	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34		
S34	土木・建設	49	46	43	40	36	33	30	26	23	20	16	13	10	7	3	0	0	
S35	土木・建設	75	74	71	68	66	65	63	62	60	59	57	56	54	53				
S36	土木・建設	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	0	
S37	土木・建設	98	96	94	92	90	88	86	85	83	81	79	77	75	73	71			
S38	土木・建設	98	92	85	79	72	68	59	52	46	39	33	26	20	13	6	0	0	
S39	土木・建設	119	116	114	112	109	107	105	102	100	97	95	93	90	87	84	81		
S40	土木・建設	119	111	103	95	87	79	71	63	55	48	40	32	24	16	8	0	0	
S41	土木・建設	159	156	152	149	146	143	140	137	133	130	127	124	121	118	115	112	109	
S42	土木・建設	159	148	138	127	116	106	95	85	74	64	53	42	32	22	12	2	0	
S43	土木・建設	197	193	189	185	181	177	173	169	166	162	158	154	151	148	145	142	139	
S44	土木・建設	197	184	171	158	145	131	118	105	92	79	66	53						
S45	土木・建設	254	248	243	238	233	228	223	218	213	208	203	198	193	188	183	178	173	
S46	土木・建設	254	237	220	203	186	169	152	135	118	101	85							
S47	土木・建設	323	302	280	259	237	216	194	172	151	129								
S48	土木・建設	323	302	280	259	237	216	194	172	151	129								
S49	土木・建設	388	380	373	365	357	349	342	334	326	318	310	302	294	286	278	270	262	
S50	土木・建設	388	380	373	365	357	349	342	334	326	318	310	302	294	286	278	270	262	
S51	土木・建設	433	424	415	407	398	389</												

3. 調査結果

3.1 償却を考慮した現有資産の推計結果

昭和 31 年以降の処理場建設投資額から、耐用年数による償却を考慮して全国処理場保有資産を推計した結果を図-2 に示す。昭和 31 年から平成 17 年までの処理場建設投資額を累計し、デフレーターによる補正等を行った結果、平成 18 年度における全国現有資産は約 11.4 兆円と推計された。

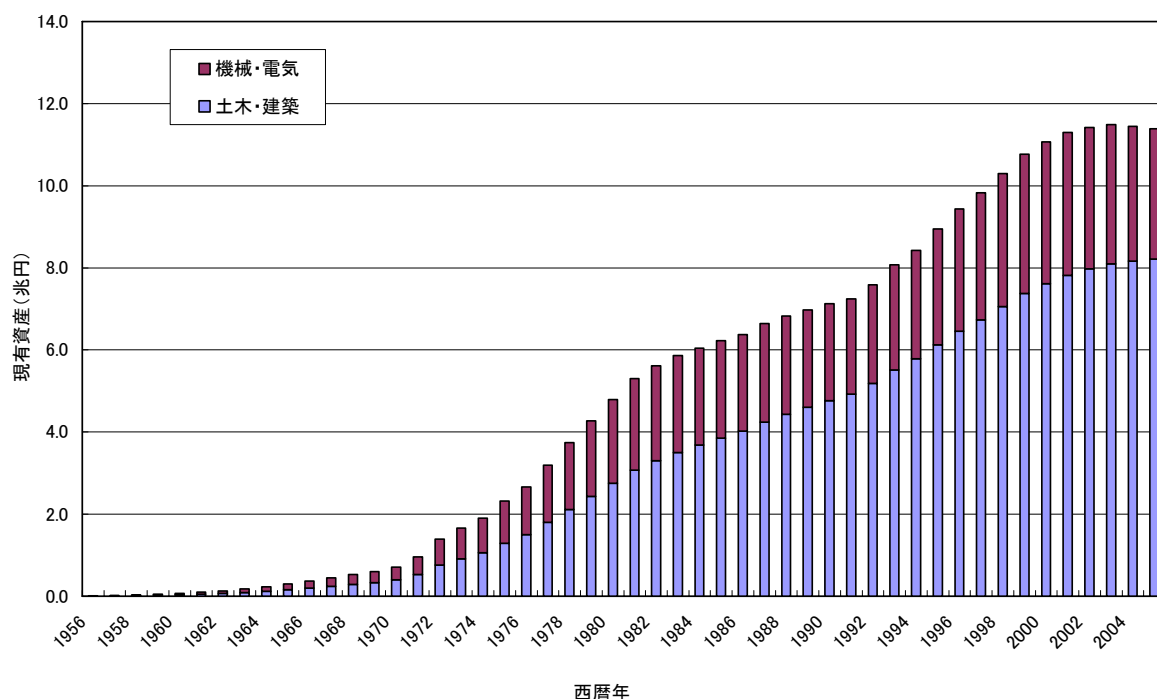


図-2 償却を考慮した全国処理場保有資産の推計結果

3.2 現有資産推計結果の比較

本推計手法と過年度調査である改築推計手法における全国処理場の現有資産推計の比較を表-1 に示す。現有資産の推計結果は、手法間で約 3.2 兆円の差が生じた。

表-1 全国処理場の現有資産推計の比較

	現有資産の推計結果 (平成 18 年度価格)	推計方法	推計範囲
本推計	約 11.4 兆円	各年度の処理場建設費を耐用年数で償却し、積み上げ。	1) 土木・建築：1956～2005 年投資の施設・設備を対象。 2) 機械・電気：1991～2005 年投資の施設・設備を対象。
改築推計手法	約 8.2 兆円	処理方式・設備別の費用関数と下水道統計記載値（現有施設能力）による積み上げ。	1) 処理方式毎に共通となる、モデル化した処理プロセスの施設・設備のみを対象。 2) 合流式下水道の雨水部分の施設・設備は対象外。

ここで、過年度の改築推計手法による推計結果である約 8.2 兆円の主な算定条件は以下のとおりである。

- 1) 算定対象となる施設・設備は、流域別下水道整備総合計画調査指針と解説⁵⁾（以下、流総指針）に記載されている費用関数を主とした、どの処理場でも共通していると考えられるモデルケースを想定しており、各処理場の個別の特徴（処理プロセスや地域特性）等は考慮されていない。
- 2) 流総指針における費用関数に準拠しているため、処理場の排除方式は分流式を標準とした処理フローや施設規模としている。そのため、合流施設の雨水に係る資産は算定対象外である。
- 3) 汚泥の資源化・有効利用施設は多様であり、それらに関する一般的な費用関数がない。そのため、当該施設に関する資産は算定対象外である。
- 4) 凝集沈殿、急速ろ過、活性炭吸着など水処理の付加的な施設・設備は算定対象外である。
- 5) 下水道統計において処理方式が「その他」となっている処理場、および晴天時最大処理量の記載がない処理場は算定対象外である。

以上のように改築推計手法では現有資産の推計不足だと考えられる要素がある。一方、本推計では処理場に係る建設投資額の累計を基にしているため、工種別に一律の耐用年数を設定していることから、より精緻である設備別の耐用年数の設定など、精度向上に向けての課題が考えられる。約 8.2 兆円と約 11.4 兆円とが、全国処理場の保有資産の試算結果として推計されたが、過年度調査結果である改築推計手法において見込んでいない汚泥資源化・有効利用施設などを算定対象に加えて精度向上を図るなどして両者の関係を把握していく必要があると考えられる。

4. まとめ

本調査では、今後の下水道事業予算における改築事業費の推移等を把握するためのツールとして用いることを目的とした、全国の水処理施設の改築に係る将来事業費の推計手法の構築に向けて既存文献を基にした検討および課題の整理を行うとともに、全国処理場の現有資産および将来の改築事業費の推移の試算を行った。この現有資産の試算結果として約 8 兆円（平成 18 年度）と推計された一方、下水道統計における処理場建設投資額を保有資産額とみなした現有資産の試算結果として約 11 兆円と推計された。これらの推計結果は精度向上の余地があり、今後両者の関係を精査していく必要がある。得られた成果は、下水道施設のストックマネジメントに関する検討時の基礎資料として活用され、効率的な改築の推進に資することが期待される。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、社団法人日本下水道協会：下水道政策研究委員会・下水道中長期ビジョン小委員会報告下水道ビジョン 2100、p. 18、平成 17 年 9 月
- 2) 社団法人日本下水道協会：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 平成 11 年版、pp. 119-120、平成 11 年 10 月
- 3) 南山瑞彦、小越眞佐司、山中大輔：下水道処理施設の改築更新の効率的な実施に関する調査、平成 19 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 463 号、pp. 53-56、平成 20 年 6 月
- 4) アセットマネジメント手法導入検討委員会：下水道におけるアセットマネジメント手法導入検討報告書、pp. 10-11、平成 18 年 5 月
- 5) 国土交通省総合政策局情報安全・調査課建設統計室：建設工事費デフレーター > 時系列（年度別） > 年度次 > 2006 年度、<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001022267>

9. 効率的な汚濁負荷削減のための流域管理の枠組みに関する調査

室 長	南山 瑞彦
主任研究官	小越 真佐司
研 究 官	山縣 弘樹
〃	山中 大輔

1. はじめに

水質環境基準の達成は下水道に課せられた役割の一つである。下水道普及率が70%を超え、水循環の中で下水道を経由する汚水・雨水の割合が増大した結果、多くの河川では環境基準点における水質基準が達成され満足できる水準に近づいている。しかし、閉鎖性水域富栄養化の原因である窒素・リンの削減を主とする水質改善が遅れており、下水高度処理の実施を柱とする流域全体の汚濁負荷削減が求められている。

本調査は、効率的に汚濁負荷削減を導入する手法や流域ごとの目標設定、流域のすべての関係者の役割分担を含む計画制度を確立することを目的として、平成18年度より調査を開始した。

平成18年度は高度処理が必要となる対象流域や目標水準、整備速度のあり方について検討するため、欧州及び北米における下水高度処理の現状及び整備目標とその推進策について調査を行った。平成19年度は、水質環境保全のための下水道の基本計画である流域別下水道整備総合計画策定に際して、必要となる調査の指針を示した「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」を、最近の法制度の変更や社会情勢の変化にあわせて改定するための基本的方針について検討を行った。

2. 平成20年度調査の概要

流域別下水道整備総合計画（以下、流総計画という）は水質環境基準を達成する下水道計画の上位計画として下水道法（昭和33年4月法律第79号、改正平成17年6月法律第70号）に定められ、個別の下水道計画の上位計画として位置付けられている。流総計画は、水質環境基準を達成するために必要な汚濁排出量の限度を推定し、これを達成するための下水道整備量を決定するもので、整備に必要な概算費用の把握が必要とされている。このため、平成20年度は流域別下水道整備総合計画調査 指針改定に必要な下水道施設建設および維持管理費用算定のための資料整理を実施した。また、流総計画における窒素・リンの処理水質は閉鎖性水域への蓄積量を削減することを目的としているために年間平均値として設定されており、年間最大値として規定される下水道法の計画放流水質とは性格が異なるため、両者の関係について既存水質データを用いて検討を行った。

3. 平成20年度の調査方法および結果

3. 1 下水道施設の建設・維持管理費用の推定

指針の改訂にあたり、費用推定は、管渠、ポンプ施設および下水処理施設の別に関数を定めて推定する方式を踏襲し、既存関数決定の根拠となった価格をデフレータにより平成19年度価格に補正して関数を定めることを基本とした。但し、特段の事情によりデフレータ補正以外の修正が必要な施設については抜本的に関数の見直しを行った。この様な見直しの対象となったのは、平成11年度以降に標準的な仕様の変更や構成機器の技術革新があったオキシデーションディッチ法（以下OD法と云う）と標準活性汚泥法

である。なお、下水道法施行令に定められた処理方式で関数が作成されていなかった方式の一つである凝集剤を併用する嫌気無酸素好気法と、近年、採用例が増えているステップ流入式多段硝化脱窒法および高度処理OD法を新たに追加した。また、各処理方式の名称を下水道法施行令における名称に一致させた。

3. 1. 1 建設費

(1) 管渠：管渠の建設費は適用工法別に、管径(mm)の関数として1m 当たり建設費を推定する。費用関数は旧指針の原関数をデフレータ補正した。

(2) ポンプ施設：ポンプ施設の建設費は、計画流量(m^3/min)の関数として推定する。費用関数は旧指針の原関数をデフレータ補正した。

(3) 下水処理施設：下水処理施設は処理方式別に、日最大処理水量($1000\text{m}^3/\text{d}$)の関数として推定する。処理方式のうち、標準活性汚泥法、嫌気無酸素好気法（凝集剤を添加して処理するもの）、高度処理OD法、およびステップ流入式多段硝化脱窒法については新たに費用関数を積み上げによって作成した。OD法については、高度処理OD法との仕様の相違に基づき、工事分野別に高度処理OD法の積算結果を修正して費用関数を作成した。その他の処理方式の費用関数は旧指針の原関数をデフレータ補正した。

以上の結果として得た各費用関数は、表1に示す通りである。

表－1 下水道施設建設費用関数（平成19年度価格）

施設区分	種別	建設費用関数	適用範囲	備考
管渠	開削	$Y=1.23 \times 10^{-5} X^2 + 0.57 \times 10^{-3} X + 9.36$	$150 \leq X \leq 1200$	X:管径(mm) Y:(10^4 yen/m)
	小口径管推進	$Y=4.2 \times 10^{-5} X^2 - 0.6 \times 10^{-3} X + 25.9$	$250 \leq X \leq 700$	
	推進工法	$Y=2.47 \times 10^{-5} X^2 - 37.3 \times 10^{-3} X + 68.2$	$800 \leq X \leq 2000$	
	シールド	$Y=1.07 \times 10^{-5} X^2 - 16.3 \times 10^{-2} X + 103$	$1350 \leq X \leq 5000$	
ポンプ施設	全体工事	$C=113.2Q_1^{0.60}$		C: (10^6 yen) Q ₁ :計画流量 (m^3/min)
	土木・建築工事	$C=52.3Q_1^{0.56}$		
	設備工事	$C=46.7Q_1^{0.62}$		
下水処理施設	標準活性汚泥法(焼却無)	$C=1577Q^{0.58}$	$10 \leq Q \leq 500$	C: (10^6 yen) Q:日最大処理水量 ($10^3\text{m}^3/\text{d}$)
	〃 (焼却有)	$C=2107Q^{0.56}$		
	OD法	$C=1404Q^{0.42}$	$1.4 \leq Q \leq 10$	
	プレハブ式OD法	$C=505Q^{0.64}$	$0.3 \leq Q \leq 1.3$	
	嫌気無酸素好気法(凝集剤添加)	$C=1649Q^{0.61}$	$10 \leq Q \leq 500$	
	ステップ流入式多段硝化脱窒法(凝集剤添加)	$C=1670Q^{0.60}$		
高度処理施設 (下水処理付加のみ)	急速ろ過法	$C=361Q^{0.46}$		
	凝集剤添加(標準活性汚泥法)	$C=55.3Q^{0.67}$		
	嫌気好気活性汚泥法	$C=60.5Q^{0.77}$		
	循環式硝化脱窒法	$C=87.9Q^{0.80}$		
	〃 (凝集剤添加)	$C=95.1Q^{0.83}$		
	〃 (固定化担体使用)	$C=65.1Q^{0.93}$		
	〃 (固定化担体+凝集剤添加)	$C=66.9Q^{0.95}$		
	硝化内生脱窒法	$C=121Q^{0.83}$		
	〃 (凝集剤添加)	$C=128Q^{0.85}$		
	嫌気無酸素好気法	$C=92.1Q^{0.84}$		
	活性炭吸着法	$C=582Q^{0.53}$		
	高度処理OD法	$C=12.9Q^{1.05}$	$1.4 \leq Q \leq 10$	
	高度処理OD法(凝集剤添加)	$C=51.2Q^{0.63}$		

3. 1. 2 維持管理費

(1) ポンプ施設： 管渠の維持管理に係る費用は、標準的な維持管理を設定する根拠を明確にできないことから、算定については次の改定以降の設定に持ち越し、ポンプ施設の維持管理費について、既存関数のデフレータ補正を行った。

(2) 下水処理施設： 新に積み上げにより建設費の費用関数を作成した処理方式では下水処理施設維持管理費積算要領に基き、維持管理経費についても費用関数を作成した。その他の処理方式は既存関数のデフレータ補正を行った。

維持管理費の補正に用いたデフレータは建設費のデフレータと同一である。結果を表－2に示した。

表－2 下水道施設維持管理費用関数（平成19年度価格）

施設区分	種別	維持管理費用関数	適用範囲	備考
ポンプ施設		$M=1.32Q_1^{0.69}$		M: (10 ⁶ yen/y), Q ₁ : 時間最大揚水量 (m ³ /min)
下水処理施設	標準活性汚泥法(焼却無)	$M=19.1Q^{0.69}$	$10 \leq Q \leq 500$	M: (10 ⁶ yen/y) Q: 日最大処理水量(10 ³ m ³ /d)
	〃 (焼却有)	$M=18.1Q^{0.75}$		
	OD 法	$M=29.1Q^{0.58}$	$1.4 \leq Q \leq 10$	
	プレハブ式 OD 法	$M=19Q^{0.78}$	$0.3 \leq Q \leq 1.3$	
	嫌気無酸素好気法(凝集剤添加)	$M=20.9Q^{0.72}$	$10 \leq Q \leq 500$	
	ステップ流入式多段硝化脱窒法(凝集剤添加)	$M=20.9Q^{0.71}$		
高度処理施設 (下水処理付加 分のみ)	急速ろ過法	$M=0.755Q^{0.92}$		
	凝集剤添加(標準活性汚泥法)	$M=0.946Q^{0.99}$		
	嫌気好気活性汚泥法	$M=0.945Q^{0.82}$		
	循環式硝化脱窒法	$M=1.23Q^{1.00}$		
	〃 (凝集剤添加)	$M=1.62Q^{1.01}$		
	〃 (固定化担体使用)	$M=0.859Q^{0.99}$		
	〃 (固定化担体+凝集剤添加)	$M=1.36Q^{1.00}$		
	硝化内生脱窒法	$M=1.78Q^{0.90}$		
	〃 (凝集剤添加)	$M=2.63Q^{0.92}$		
	嫌気無酸素好気法	$M=1.13Q^{1.03}$		
	活性炭吸着法	$M=2.57Q^{0.92}$		
	高度処理 OD 法	$M=0.0638Q^{1.73}$	$1.4 \leq Q \leq 10$	
	高度処理 OD 法(凝集剤添加)	$M=0.567Q^{1.22}$		

3. 2 流総計画の処理水質と計画放流水質

下水道法で規定される計画放流水質は日平均値の年間最大値である。これに対し、流総計画で設定される放流水の計画処理水質は年間平均値である。計画放流水質が導入される前の下水処理施設の計画では、想定される日最大流入下水量と当該地域における汚濁源別の一般的な汚濁発生量から流入下水の計画水質を定め、処理の特性を考慮して流総計画で求められる計画処理水質が達成できるように処理施設の仕様を設計している。このため、多くの既存施設では、計画放流水質は設計の際の計画処理水質とは一致していないことになる。計画放流水質は、下水処理施設毎に下水道管理者が当該施設の処理方式によって定められた水質の上限値を超えない範囲で合理的な根拠に基づいて定めるものとされているため、実際に設定された施設は少ないのが現状である。そこで、国土交通省は、高度処理施設における窒素・りんの年平均処

理水質と年間最大値との関係を、下水処理場における水質実態調査結果に基づいて定めた簡易な計算式等によって推定しても良いとする事務連絡を発出し、計画放流水質の設定とこれに基づく処理施設管理の推進を計っている。一方、高度処理を推進するため、通常の二次処理施設としての認可を受けた既存施設のうち高度処理施設と同様の原理に基づく水質改善を実施している施設に対し、申請により高度処理施設として認める通知が発出された。この場合、高度処理施設の場合と同様に、計画放流水質を設定する方法を適用することが適切であるか、検討を行う必要がある。そこで、高度処理施設でない下水処理場放流水質の統計的データ解析に基づいて、年間最大値（計画放流水質に相当）と年平均値（流総計画における計画処理水質に相当）との関係を検討した。

年間観測値として24回程度の資料がそろっている下水処理施設（系列である場合を含む）29カ所について、各々の水質分布が表－3に示す6種類の分布関数（正規分布、対数正規分布、ガンマ分布、逆ガウス分布、ガンベル分布およびロジスティック分布）のどれに最も良く一致するか、検討した。一致の程度を数学的に評価するための検討方法としては、年間最大値の様な極値の当てはまり具合の検討に適しているとされるアンダーソン・ダーリングの方法を用いることとした。結果は表－4に示す通りで、最も適合性の高い分布関数は施設や対象とする水質項目によって異なることが判明した。適合性が最も高い分布関数は、正規分布である場合が最も多く、2番目が対数正規分布であった。

表－3 検討した統計分布関数

名称	確率密度分布式	上段：平均値 下段：分散	平均値に 対する歪み
正規分布	$f(x;\mu,\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	$\frac{\mu}{\sigma^2}$	左右対称
対数正規分布	$f(x;\mu,\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	$\frac{\exp(\mu + \sigma^2/2)}{\exp(2\mu + \sigma^2) \cdot (\exp(\sigma^2) - 1)}$	最頻値が 左寄り
逆ガウス分布	$f(x;\mu,\lambda) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi x^3}} \exp\left[-\frac{\lambda(x-\mu)^2}{2\mu^2 x}\right]$	$\frac{\mu}{\mu^3/\lambda}$	最頻値が 左寄り
ガンマ分布	$f(x;k,\lambda) = \lambda^k x^{k-1} \frac{\exp(-\lambda x)}{\Gamma(k)}$	$\frac{k/\lambda}{k/\lambda^2}$	最頻値が 左寄り
ガンベル分布	$f(x;\alpha,\beta) = \frac{1}{\beta} \exp\left(-\frac{x-\alpha}{\beta} - \exp\left(-\frac{x-\alpha}{\beta}\right)\right)$	$\frac{\alpha + \gamma\beta^{**}}{\pi^2\beta^2/6}$	最頻値が 左寄り
ロジスティック分布	$f(x;\mu,\sigma) = \frac{\exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)}{\sigma \left[1 + \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^2}$	$\frac{\mu}{\pi^2\sigma^2/3}$	左右対称

表－4 適合性評価集計表（最も適合度が高い施設数）

項目	正規分布	対数正規分布	逆ガウス分布	ガンマ分布	ガンベル分布	ロジスティック分布
T－N	15	11	2	4	4	9
T－P	13	13	9	6	2	2

これらの結果から、以下では下水処理水質の分布は正規分布または対数正規分布と仮定し、計画放流水質を設定した場合に平均水質がどの様に変化するか検討を行った。

3. 2. 1 計画放流水質の設定

新規施設では計画放流水質と年平均水質を共に設計に取り入れることが出来るので、考慮の対象外とし、既存施設で新たに導入する場合について検討する。既存施設の計画放流水質は、放流先の利水状況等から必要な水質を確保するために設定する場合と、処理の現状から考えて年間最大値として無理なく達成できる水準として設定する場合とが考えられる。後者の設定である場合、該当水質項目の統計分布が正規分布に適合する場合には、日平均値の年間最大値の生起確率とほぼ等しい $\mu + 3\sigma$ を採用することになる。

3. 2. 2 設定後の水質分布

計画放流水質を設定した後は、これを超過しないよう運転管理が行われるため、設定以前の運転管理状況で無理なく達成できる水準として定められたもの以外の場合は、処理水質の分布が設定前とは異なることになる。計画放流水質を超過しない様に運転管理上の工夫を行う結果、計画放流水質付近の水質出現の頻度が高くなることが予想されるので、その様な分布形として、設定前の水質分布において計画放流水質を超過する部分が、設定後は計画放流水質を中心に反転して上乗せされることを仮定した（図－1）。

3. 2. 3 設定値が平均水質に与える影響

上述の仮定では、計画放流水質より高濃度側であったデータが全て単純に低濃度側に移るだけであるため、放流水の年間平均水質は設定前よりも低下し、計画放流水質設定後にそれ以前より年間平均水質が悪化することはない。しかし、分布形が変化するため平均値の信頼帯は変化し、設定前の平均値の信頼帯を超過する危険性がある。

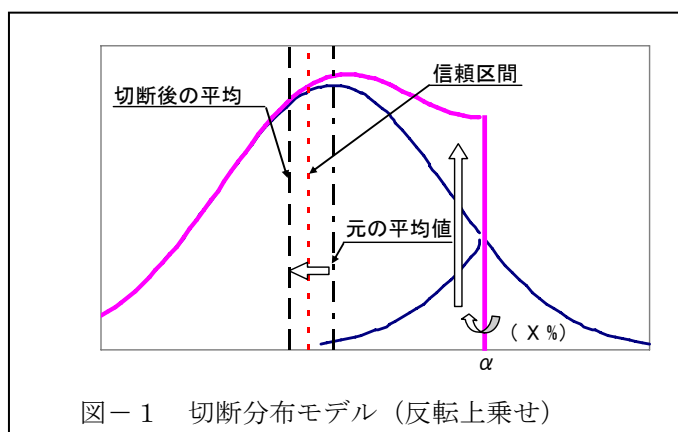
そこで、計画放流水質の設定の仕方によって設定後の年平均水質の信頼帯上限がどの程度変化するか検討した。

1) 検討の条件

標準の正規分布に従う場合について、計画放流水質の設定を超過確率 20%、10%、5%に対応する値としたとき、設定後の平均値の上側 95%信頼限界を設定前の平均値及びその上側 95%値信頼限界と比較した。放流水質の年間測定回数（サンプル数）は 48 と 24 の 2 通りとした。

2) 検討結果

結果を表－5 に示した。何れの設定点においても年平均値の 95%信頼帯の上限は設定前の年平均値の信頼帯上限より小さい値になっており、図－1 に示す様な設定後の分布を仮定した場合、年平均値の信頼帯が設定前の年平均値の信頼帯上限を超える危険性はないと考えられる。



図－1 切断分布モデル（反転上乗せ）

表－5 計画放流水質設定前後の年平均値上側信頼限界の比較（標準正規分布）

サンプル数	元の平均値の上側 95%信頼限界	設定点の超過確率 5%の場合	設定点の超過確率 10%の場合	設定点の超過確率 20%の場合
24	0.4	0.27	0.2	0.03
48	0.28	0.18	0.11	－0.04

設定後の水質管理が年間平均値を目標とするものから、計画放流水質の達成だけを目標とするものに変った場合は、図－１の様な設定前の水質分布を元にした分布形とは異なる場合もあると考えられる。場合によっては年平均値の増加もあり得るので、水質管理においては、流総計画で定められた年間平均値も超過しないことを基本目標に、計画放流水質も超過しないようにすることが必要ということになる。

４．まとめと今後の課題

「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」の改定に際し、下水道施設の建設および維持管理に関する費用関数を更新した。

流総計画は河川・湖沼・海域の水質環境保全に関わるもので、水域環境保全の観点から下水処理水の水質を定めているが、下水道法の改正により下水道施設管理者は、自らの意志で、科学的な根拠に基づいて、計画放流水質（日平均の年最大値）を定めることが出来る様になった。しかし、窒素・リンの基準について、流総指針では年間平均値を目標水質として定めているのに対し、年最大値である計画放流水質との整合がとれない可能性が考えられた。そこで、先に定められている流総指針の目標水質に、あとから計画放流水質を追加した場合、流総の目標水質が担保されるかについて、正規分布を前提に、計画放流水質設定による分布の変化などを仮定して検討した。その結果、意図的な水質制御が計画放流水質超過の可能性に対してのみ働くとして、ある切断分布を仮定した場合、平均値とその信頼帯の上限は、設定前の平均値とその信頼帯上限を超えないことがわかった。

参考文献

- 1) 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 平成１１年版：国土交通省都市局下水道部監修 （社）日本下水道協会 平成１１年１０月２０日

10. 下水処理場における地球温暖化対策の推進に関する調査

下水処理研究室 室 長 南山 瑞彦
主任研究官 平山 孝浩
研 究 官 宮本 綾子
研 究 官 山中 大輔

1. はじめに

地球温暖化対策の推進が必要とされている中で、下水道に関連する温室効果ガス排出原単位等の基礎情報¹⁾が十分に整備されているとはいえない状況にある。特に、高度処理の推進の一方で、生物学的窒素除去プロセスからの N_2O 等の温室効果ガス発生量の増加の可能性が指摘されている^{2), 3)}。そのため、下水処理全般にわたる温室効果ガスの排出に関する原単位を整備するとともに、高度処理と地球温暖化対策の両立にむけた検討を進める必要がある。さらに、地球温暖化対策の視点を下水道システムの評価に導入するための検討を行う必要がある。

本年度は、水処理過程から発生する温室効果ガスの1つである N_2O を対象に、 N_2O 排出量原単位を把握するため実処理場での N_2O 排出量調査を実施した。また、汚泥の有効利用の地球温暖化対策としての効果を評価するために昨年度実施した、ライフサイクルインベントリー（以下、LCI）分析を用いた汚泥有効利用に係るケーススタディに、エネルギー資源枯渇への影響の観点からの評価を加えた。

2. 水処理からの N_2O 排出量調査

水処理過程における N_2O 発生量の実態を把握するため、実処理場において N_2O 排出量の24時間調査を実施し、 N_2O 発生量に影響を与える要因について検討した。

2.1 実態調査の結果

反応槽のエアレーションに伴う排出 N_2O と活性汚泥中に溶存した N_2O 総量を把握するための実態調査を、3箇所の下水処理場で行った。ガスは、ロータをエアレーションタンクの水面付近に固定してテドラバッグに採取し、採取箇所は好気槽の入り口、中間、出口とした。また、液体試料として流入水、反応槽中の活性汚泥（3箇所）、処理水を採取し、液相 N_2O 濃度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の測定を行った。ガス試料は、ECD/GC（SHIMADZU ガスクロマトグラフ GC-8A）で N_2O 濃度の測定を行った。液体試料中の N_2O 濃度は、ヘッドスペース用のバイアル瓶に試料を密閉し、ヘッドスペース法（温度 40°C 、恒温時間 150min、HEADSPACE Autosampler Tekmer7000 を使用した）を使い、ECD/GC で測定を行った。なお、液体試料には、試料中の微生物の活性を低下させるため、バイアル瓶に採取した際に 20%グルコン酸クロルヘキシジン溶液を添加した。ガス発生量の計算に使用した流量、曝気量等の処理場運転データは、処理場の運転日報によった。

2.2 調査結果

1) N_2O 発生量

調査の結果を表1に示す。硝化促進で運転している標準活性汚泥法のA処理場の調査（11月）では N_2O 発生量が24時間の平均で $38.5\text{mg-N}_2\text{O-N}/\text{m}^3$ -流入下水となり、他の処理場と比較してやや高い値を示したが、昨年度3月に同処理場で調査を行った際の $91.5\text{mg-N}_2\text{O-N}/\text{m}^3$ -流入下水よりは低かった。

表 1 実処理場での N_2O 調査の結果

	N2O発生量			流入水 T-N mg/L	処理水			平均水温 ($^\circ\text{C}$)	処理法
	mgN2O-N/m3	SRT d	A-SRT d		NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	NO ₂ -N mg/L		
A処理場	38.5	7.7	7.7	31.7	0.20	12.5	0.26	21.4	標準活性汚泥法
B処理場	3.1	21	15	27.6	0.01	6.8	0.06	16.5	循環式硝化脱窒法
C処理場	8.4	11.6	7.5	25.7	0.30	7.5	0.13	18.9	嫌気好気活性汚泥法
D処理場	12.2	22.8	13.5	25.9	0.04	6.1	0.09	15.0	循環式硝化脱窒法

昨年度の調査と同様、反応槽から気中に放出される N_2O 量は時間変動が大きかったが、ピークを示す時間はそれぞれの調査箇所、調査時期によって異なっていた。

2) N_2O 発生量と亜硝酸性窒素

N_2O 発生量は反応槽での硝化状態に関係することがわかっており⁴⁾、処理水中に $\text{NO}_2\text{-N}$ が残存する場合に発生量が多い傾向がある⁵⁾。

これまで実施した調査について、処理水中の $\text{NO}_2\text{-N}$ と反応槽からの N_2O 発生量の関連を図 1 にまとめて示す。実施した調査では処理水中の $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度分布が既往の調査⁵⁾に比べて低い範囲にあるものの、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度が高いほど N_2O 発生量が多くなる傾向はみられた。しかし、その傾向に当てはまらないデータもあり、それらについては各ケースの流入水質、温度、反応速度等、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度以外の要素が N_2O 発生量に与える影響について今後検討を行う予定である。

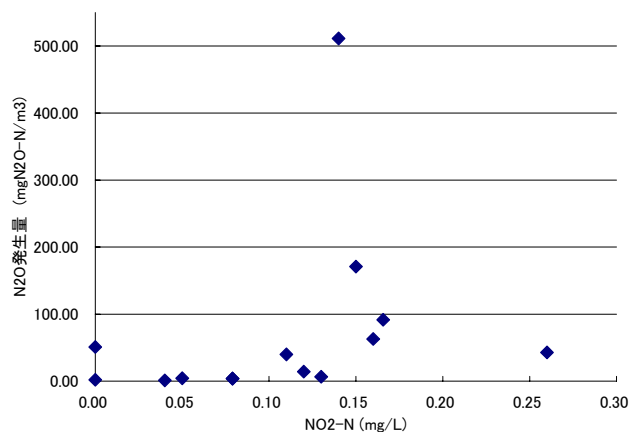


図 1 処理水中の $\text{NO}_2\text{-N}$ と流入水量当たりの N_2O 発生量

A 処理場（標準活性汚泥法）ではこれまでに 3 回調査を実施した。反応槽中間で採取したガスの $\text{N}_2\text{O-N}$ 濃度と、そこで採取した活性汚泥中の $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の変化を図 2 に示す。3 回の調査のうちで最もガス中 $\text{N}_2\text{O-N}$ 濃度の高かった 3 月の調査では他のケースと比較して活性汚泥中 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度が高くなっており、活性汚泥中 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の高いケースほどガス中 $\text{N}_2\text{O-N}$ 濃度が高い傾向がみられた。表 2 に、これらの 3 回の調査の際の水質分析の結果を示す。流入水と処理水の水質は 3 回ともほぼ同程度であったが、3 月の調査では反応槽の中間で活性汚泥中 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度が高く、6 月と 11 月は反応槽と処理水でほぼ同程度の濃度であった。6 月と 11 月の調査では、反応槽中間と反応槽出口付近のガス中 $\text{N}_2\text{O-N}$ 濃度がほぼ同程度の低い値を示し、3 月の調査では反応槽の中間で特に $\text{N}_2\text{O-N}$ 濃度が高かったものの反応槽出口付近での濃度は他の月とほぼ同程度であった。このことから、3 月の調査時は 6 月および 11 月と硝化状態が異なり反応槽の前半～中間で亜硝酸の酸化が十分進まなかったために N_2O の発生量が大量に発生したものと推定される。

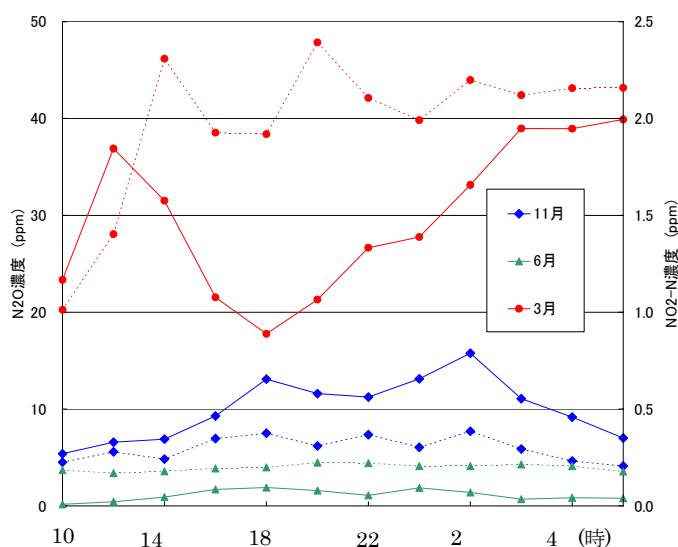


図 2 反応槽の $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度と採取ガスの $\text{N}_2\text{O-N}$ 濃度
(実線： $\text{N}_2\text{O-N}$ 濃度、破線： $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度)

表 2 水質分析結果

流入水	水質(mg/L)					
	T-N	NH4-N	NO2-N	NO3-N	T-P	PO4-P
3月	31.9	21.3	0.1	0.0	3.6	1.6
6月	28.9	18.3	0.0	0.0	3.4	1.6
11月	31.7	20.0	0.0	0.0	3.5	1.6
反応槽中間						
3月	123.8	3.1	2.0	4.6	38.1	2.6
6月	115.1	8.7	0.2	1.7	41.4	1.9
11月	96.7	8.4	0.3	2.4	30.8	3.9
処理水						
3月	15.3	0.2	0.2	14.1	1.1	1.0
6月	12.9	0.1	0.1	9.5	1.0	0.9
11月	14.5	0.2	0.3	12.2	1.2	1.0

3. 汚泥の有効利用に係る LCI 分析のケーススタディ

LCA（ライフサイクルアセスメント）による、汚泥の有効利用に伴う地球温暖化影響およびエネルギー資源枯渇影響の評価手法の確立に向けて、汚泥の有効利用プロセスにおける温室効果ガス排出量およびエネルギー消費量の把握手法確立のための基礎データの収集を目的とし、F 市における汚泥のリサイクル事例を基にしたシナリオを作成し、LCI 分析のケーススタディを実施した。

3.1 分析方法

評価対象とする温室効果ガスは、CO₂、N₂O および CH₄ とし、N₂O および CH₄ 排出は、地球温暖化係数⁴⁾を用い二酸化炭素等価排出量として換算した。温室効果ガス排出量およびエネルギー消費量の算定に用いる基本的な原単位として、(社) 日本建築学会の原単位⁶⁾を用いた。

F 市にある G 処理場の概要を表 2 に示す。G 処理場ではコンポスト化施設を有しており、当該施設は、全国平均的な処理能力およびコンポスト生産量であると考えられることなどから、当該浄化センターをケーススタディの対象とした。G 処理場では汚泥処理として、コンポスト化の他、セメント資源化を行っている。そこで、評価対象となる汚泥処理方式を、汚泥の有効利用に係るものとして汚泥のコンポスト化 (scenario 1) およびセメント資源化 (scenario 2)、汚泥の埋立処分に係るものとして脱水汚泥の埋立処分 (scenario 3) および焼却灰の埋立処分 (scenario 4) と設定した (表 3)。G 処理場で行われている汚泥コンポスト化 (scenario 1) は、緑農地利用の代表的手法の一つである。脱水汚泥のセメント資源化 (scenario 2) は国内でよく用いられる一般的なリサイクル手法の一つである。国内の下水汚泥の処理及び処分状況 (最終安定化先) において、脱水汚泥 (scenario 3) は処分時体積ベースで最も高い割合を占め、焼却灰 (scenario 4) は汚泥発生時乾燥重量ベースで最も高い割合を占める⁷⁾。

コンポスト化に係る環境負荷原単位 (CO₂ 排出原単位およびエネルギー消費原単位) は、G 処理場のコンポスト施設に LCI 分析を適用することにより作成した。汚泥コンポストの輸送は、コンポスト化施設から農協までを算出対象とした。輸送による環境負荷としては、輸送車両の燃料消費を考慮するものとし、5.0km/l-軽油⁸⁾とした。コンポストの利用による効果は、化学肥料利用の代替分の環境負荷を低減できるものとして評価した。Scenario 2 における汚泥の輸送距離は、G 処理場からセメント製造施設までを算出対象とした。セメント焼成炉での汚泥焼却に伴う N₂O および CH₄ の温室効果ガス排出原単位は、「セメント焼成炉での廃棄物燃料 (RDF) 焼却」⁹⁾の値を採用した。セメント資源化の効果は、下水汚泥の無機分が天然起源の副資材量を代替するものとして、(社) 日本建築学会の原単位⁶⁾を用いて評価した。脱水汚泥および焼却灰の埋立処分について、それらの輸送距離は G 処理場近傍の最終処分場までを仮定した。埋立処分に係る環境負荷原単位は、最終処分場のモデル設計を行い、処分場施設の建設段階や浸出水処理などの維持管理段階にわたる環境負荷の積み上げを行うことにより作成した。焼却プロセスに係る環境負荷原単位は、他市の実機 (乾燥機付き流動層炉) に LCI 分析を適用することにより作成した。

表 2 G 処理場の概要

汚泥処理の 概要	下水排除方式		分流式一部合流方式
	水処理方式		標準活性汚泥法
	計画処理能力 (事業計画)		32,000m ³ /日
	汚泥処理方式		2段消化
	脱水機の型式		真空脱水機、ベルトプレス
	凝集剤の種類		塩化第二鉄・消石灰、高分子
	コンポスト施設	処理能力 (事業計画)	14t-ケーキ/日
		コンポスト生産量 (事業計画)	5.6t/日
		発酵形式	横型スクープ式発酵槽

表3 LCI 分析で対象とする範囲

scenario 1 (コンポスト化)	(脱水汚泥 →)	コンポスト化	→ コンポストの輸送	→ 有効利用
scenario 2 (セメント資源化)	(脱水汚泥 →)		汚泥の輸送	→ セメント資源化
scenario 3 (脱水汚泥の埋立処分)	(脱水汚泥 →)		汚泥の輸送	→ 埋立処分
scenario 4 (焼却灰の埋立処分)	(脱水汚泥 →)	焼却	→ 焼却灰の輸送	→ 埋立処分

3.2 分析結果

各シナリオを対象に LCI 分析を用いてライフサイクル二酸化炭素等価排出量 (LC-CO₂) およびライフサイクルエネルギー消費量 (LCE) を算出した結果を図 6 に示す。

1) 温室効果ガス排出量

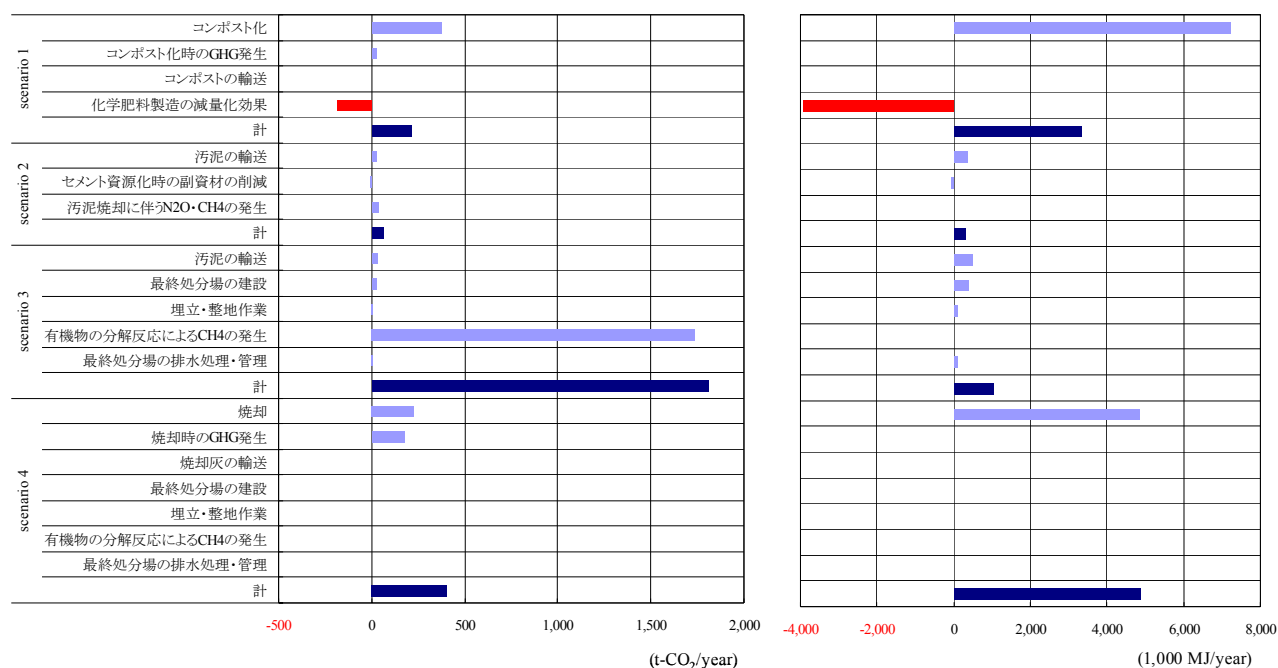
LCI 分析の結果、LC-CO₂ は scenario 2 (汚泥のセメント資源化) が最も少なかった。セメント焼成炉における燃料の使用などのセメント焼成プロセスにおける温室効果ガスの排出を、この比較評価のシステム境界外としたことの影響が大きいからだと考えられる。コンポスト化 (scenario 1) と埋立処分 (scenario 3 および 4) との LC-CO₂ を比較すると、コンポスト化の方が少なかった。これは、化学肥料の使用量を減らす下水汚泥コンポストの効果によるものと考えられる。また、汚泥コンポストによる化学肥料使用量の軽減効果は、セメント資源化の節減効果よりも大きい結果となった。

汚泥のリサイクルプロセス (scenario 1 and 2) と汚泥の埋立処分 (scenario 3 and 4) とを比較すると、汚泥のリサイクルプロセスの LC-CO₂ の方が少なかった。このケーススタディの結果、地球温暖化影響の観点では、コンポスト化およびセメント資源化は埋立処分より環境負荷が小さいと評価された。よって、G 処理場の場合、汚泥の埋立処分量を減らし、これらの汚泥リサイクルプロセスを推進することは、有効な地球温暖化対策となりうるものと考えられる。

2) エネルギー消費量

LCI 分析の結果、LCE は scenario 2 (汚泥のセメント資源化) が最も少なかった。これは前述 1) の温室効果ガス排出量と同様に、セメント焼成プロセスにおける環境負荷をこの比較評価のシステム境界外としたことの影響であると考えられる。また、コンポスト化 (scenario 1) の LCE は、焼却汚泥の埋立処分 (scenario 4) の LCE より少なかった。これは、焼却プロセスにおけるエネルギー消費量よりも汚泥コンポストによる化学肥料使用量の軽減によるエネルギー消費量削減の影響が大きいためであると考えられる。

脱水汚泥の埋立処分の LCE (scenario 3) は焼却灰の埋立処分 (scenario 4) の LCE より少なかった。これは、焼却プロセスにおけるエネルギー消費量が大きいためと考えられる。脱水汚泥の埋立処分は、埋立処分場における脱水汚泥有機分の分解による CH₄ 排出の影響が大きいため、焼却灰の埋立より多い LC-CO₂ となった。



(a) 温室効果ガス排出量 (b) エネルギー消費量
図6 環境負荷の算出結果（脱水汚泥 3,237t/年）

当ケーススタディでは、4つのシナリオを作成し各汚泥処理プロセスにおいて LCI 分析を実施した。実施対象となったリサイクルプロセス以外にも汚泥のリサイクル事例は多々あり、LCA による下水道システムの環境負荷の評価手法の確立に向けて今後もケーススタディを重ねていく必要がある。

4. まとめ

- 1) N₂O 発生量について実施で 24 時間調査を行ったところ、N₂O 発生量は 3.1～38.5 mg-N₂O-N/m³-流入下水であった。処理水に亜硝酸性窒素の残るケースで N₂O 発生量の大きくなる傾向があった。
- 2) LCA 手法により、汚泥の有効利用に伴う温室効果ガス排出量およびエネルギー消費量を把握し、地球温暖化影響およびエネルギー資源枯渇の視点で汚泥処理方式の評価を行うため、コンポスト化、セメント資源化、汚泥の埋立処分を対象に LCI 分析のケーススタディを実施した。本報では、F 市における汚泥リサイクルの事例を基にして、温室効果ガスのライフサイクル排出量およびライフサイクルエネルギー消費量を算出し評価を実施した。このケーススタディでは、セメント資源化での温室効果ガス排出量およびエネルギー消費量は、下水汚泥のコンポスト化、脱水・焼却灰の埋立処分よりも少なく、コンポスト化の環境負荷は焼却灰の埋立処分より少ないと評価された。当ケーススタディで対象とした以外にも汚泥のリサイクル事例は多々あり、LCA による下水道システムの環境負荷の評価手法の確立に向けて今後もケーススタディを重ねていく必要がある。

参考文献

- 1) 環境省：平成 14 年度 温室効果ガス排出量算定方法検討会 廃棄物分科会 報告書、p.29
- 2) 中村、他：温室効果ガス排出抑制のための下水処理システム対策技術、平成 9 年度 下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料 第 3606 号、pp.119-133、平成 10 年 10 月
- 3) 平出、他：下水道施設から排出される地球温暖化物質（CH₄、N₂O）排出インベントリーの算定と排出抑制技術、下水道協会誌、2005/No.508、Vol.42、（社）日本下水道協会、pp.97-110

- 4) 水落、他：生物学的嫌気好気活性汚泥法における N_2O 発生に及ぼす SRT、DO の影響、水環境学会誌、1999、No.22、vol.22、pp.145-151
- 5) 東京都下水道局：東京都下水道局技術調査年報 2002
<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/gijyutou/gn14/nenpou2002/REPORT64.pdf>
- 6) 日本建築学会：建物の L C A 指針（案）、平成 11 年
- 7) 社団法人日本下水道協会：平成 18 年日本の下水道 その現状と課題、（社）日本下水道協会、p.160
- 8) 社団法人資源協会：家庭生活のライフサイクルエネルギー、p.351、平成 6 年
- 9) 温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度、<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/>

11. 下水処理水の衛生学的安全性に関わる技術基準に関する調査

下水処理研究室 室 長 南山 瑞彦
主任研究官 小越眞佐司
研 究 官 桜井 健介
研 究 官 藤原 隆司
交流研究員 小宮 義人

1.はじめに

下水道の普及に伴い、下水処理水は放流先の水環境中での重要性が増している。一方、水系感染性病原微生物による健康被害が発生しており、下水処理水の衛生学的安全性を確保することが求められている。しかし、現行指標の大腸菌群数とその基準値については、適切な衛生学的安全性を確保する上で必ずしも十分とは言えないことが指摘されている。そこで本調査は、衛生学的安全性確保の観点から、下水処理水放流先の水利用状況や再利用用途を踏まえた基準値を提案することを目的としている。平成20年度は、ノロウイルスの分析手法の評価を行うとともに下水道施設に流入するノロウイルス濃度の季節変化と処理状況を調査した。また、平成19年の冬季のサルモネラの実態調査に引き続き、夏季の状況を調査した。

2.調査内容

2.1 ノロウイルス分析手法の評価

下水処理水や放流先の水環境中のノロウイルスを定量的に測定するためには、試料水からノロウイルスを濃縮する必要がある。試料水中のノロウイルスを濃縮する手法として陰電荷膜法¹⁾²⁾とPEG沈殿法³⁾が挙げられる。陰電荷膜法は、まず負の電荷を持つノロウイルスに多価の陽イオン（塩化マグネシウム（ $MgCl_2$ ）や塩化アルミニウム）を添加し、正の電荷を持たせて陰電荷膜を用いて吸引ろ過し、陰電荷膜にノロウイルスを捕集する。捕集された陰電荷膜にpH3の硫酸溶液を用いてマグネシウムなどの陽イオンを洗浄し、その後、pH10の水酸化ナトリウムで溶出し濃縮する方法である。PEG沈殿法は、試料水にポリエチレングリコールを加え遠心分離することにより、ノロウイルスを沈殿させ、少量の溶出液で再溶出し濃縮する方法である。ろ過を基本とする陰電荷膜法は、遠心分離を基本とするPEG沈殿法と比べ、大量の試料水を扱いやすい。しかし、ノロウイルスの検出濃度は、膜に係る試料水中のSSの影響を受けて低くなる傾向があると言われており³⁾、SSの多い試料水では膜を頻繁に変える必要がある。また、陰電荷膜法はPEG沈殿法と比べ、検出濃度が低くなると言われている³⁾ため、陰電荷膜法によるノロウイルスの分析手法の検出濃度を向上する方法について評価検討した。なお、ノロウイルスは、遺伝子型によりGI型、GII型に分けて測定を行い、定量はMPN値を算出することにより行った。

（1）試験方法

試料水に生下水及び二次処理水を用いて次の実験を行った。①陰電荷膜法（多価の陽イオンとして $MgCl_2$ を使用）における濃縮時の $MgCl_2$ を添加する前にSSを取り除く2つの手法について検討した。1つ目は、ガラス繊維ろ紙（孔径 $1\mu m$ ）を用いてろ過し、そのろ液を試料とした（以下、ガラス繊維ろ紙法という）。2つ目は、遠心分離（3,000rpm、10分）を行いその上澄みを試料とした（以下、遠心分離法という）。それぞれ3回ずつ行い比較した。次に、②試料水に添加する $MgCl_2$ 濃度の影響を調査した。 $MgCl_2$ 濃度が低いと、ノロウイルスが十分に正電荷を持つことができず陰電荷膜に捕集されにくく、 $MgCl_2$ 濃度が高いと硫酸溶液による洗浄を行う際に十分にマグネシウムが洗い流されずに、ノロウイルスが溶出されなくなることが想定される。検討した $MgCl_2$ の添加量は、添加したマグネシウムの終濃度0、1、2.5、7.5、25mMである。なお、既報¹⁾²⁾では下水試料に対して25mMを採用している。

(2) 試験結果および考察

検討結果を図-1、2に示す。①流入水中のノロウイルスGIについては前処理なしの場合と比較し、ガラス繊維ろ紙法は10%少ない検出量で、遠心分離法は2.34倍の検出量となった。処理水中のノロウイルスGIについてはガラス繊維ろ紙法は2.1倍、遠心分離法は88%少ない検出量となった。流入水中のノロウイルスGIIについては前処理なしの場合と比較し、ガラス繊維ろ紙法は17%、遠心分離法は62%少ない検出量となった。処理水中のノロウイルスGIIについてはガラス繊維ろ紙法は10.5倍、遠心分離法は1.2倍多い検出量となった。今回の結果ではガラス繊維ろ紙でSSを除去してもこれに伴うノロウイルス検出量の低下は最大で流入水中のノロウイルスGIIの17%であり、ウイルス濃度の低い試料から陰電荷膜で分離濃縮する際にSSの影響を除き膜に係る試料水量を多くする方法として有望であると考えられた。②陰電荷膜法において添加するMgCl₂の濃度の影響は、既報¹⁾²⁾の25mMの場合が、試料水中のノロウイルスを高濃度域で検出し、その他の濃度では試料種やノロウイルスの遺伝子型 (GI,GII) によって異なる傾向を示した。このことから、MgCl₂の添加濃度が25mMの時が安定してノロウイルスを濃縮しているものと考えられた。

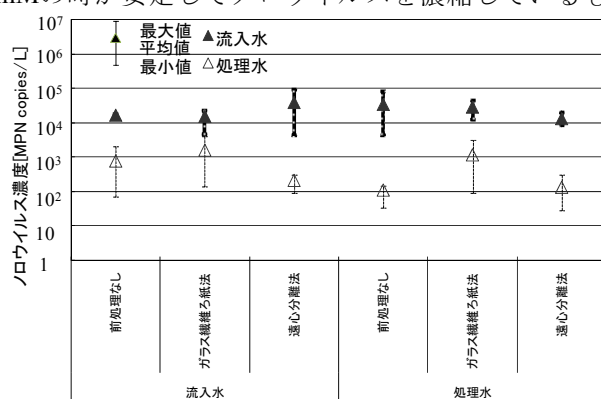


図-1 SSの前処理による事前除去のノロウイルスの検出濃度の影響

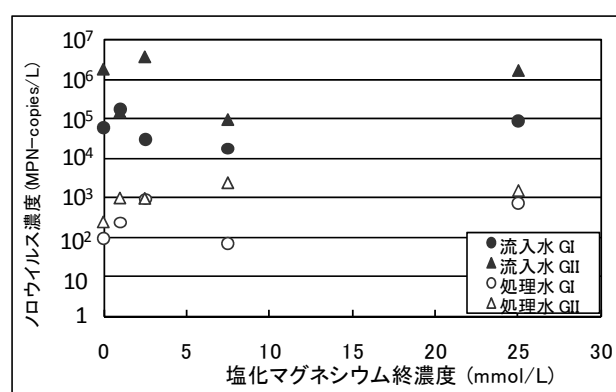


図-2 塩化マグネシウムの添加量によるノロウイルスの検出濃度の影響

2.2 試料水中のノロウイルスの保存性と残存期間

コンポジット分析やHRTを考慮した採水、遠隔地での採水に伴う試料水中のノロウイルスの保存性について評価した。保存条件は、冷蔵状態で保存することを想定した4℃と常温で保存することを想定した24℃に設定した。また、下水処理水の放流後のノロウイルスの残存期間を推定するため、長期保存調査を行った。残存期間の調査は、実験施設の処理水を対象として、10℃、20℃、30℃に設定した恒温器の中で遮光して保存した。ノロウイルスの測定は、2.1の方法を用いた（以下、特に指定する場合を除き同様）。

測定結果を表-1及び表-2に示す。試料水の保存性については、48時間では4℃、24℃ともに明らかな減少は見られなかった。また、ノロウイルスの残存期間は、10℃において32日間の残存率はGIで48%、GIIで86%だった。一方で、20℃、30℃の環境下において、32日で95%～98%以上減少した。水温の高い夏季は冬季と比べて放流後の環境水中で速やかに分解されることが示唆された。

表-1 試料水中の保存状況とノロウイルス濃度の変化
(単位: MPN-copies/L)

試料	保存条件	genogrupe	初期濃度	24時間	48時間
流入水	4℃	GI	5.7×10^6	1.3×10^6	1.3×10^6
		GII	7.7×10^5	4.2×10^5	6.1×10^6
	24℃	GI	5.7×10^6	2.7×10^6	5.7×10^6
		GII	7.7×10^5	2.7×10^6	5.7×10^6
処理水	4℃	GI	2.6×10^4	9.6×10^3	9.6×10^3
		GII	2.6×10^3	9.6×10^2	2.5×10^3
	24℃	GI	2.6×10^4	2.6×10^4	4.9×10^3
		GII	2.6×10^3	9.9×10^2	8.0×10^2

表-2 処理水中のノロウイルスの残存期間(単位: MPN-copies/L)

保存条件	genogrupe	初期濃度	12日後	32日後
10℃	GI	7.4×10^2	2.1×10^2	3.8×10^2
	GII	1.5×10^3	3.8×10^2	2.1×10^2
20℃	GI	7.4×10^2	2.0×10^2	3.4×10^1
	GII	1.5×10^3	6.6×10^2	不検出
30℃	GI	7.4×10^2	2.1×10^2	不検出
	GII	1.5×10^3	1.4×10^2	不検出

2.3 下水中（流入水及び処理水）のノロウイルスの実態調査

2.3.1 流入水中のノロウイルス濃度の季節変化

下水処理場の流入水中のノロウイルス濃度の季節変動を把握するため、平成20年5月20日～平成21年3月11日に国総研所有の標準活性汚泥法の実験施設の流入水を対象として16回調査を行った。実験施設の流入水は、流域下水処理場の流入水を使用している。採水は全て9時から11時までの間に行った。また、流入水中のノロウイルス濃度とノロウイルスが原因の一つとされている感染性胃腸炎の報告者数を比較した。感染性胃腸炎の報告者数は、週単位で公表されている当該保健所管内の小児科定点あたりの患者数を用いた。なお、流入水の集水区域の水洗化人口は、当該保健所管内人口のおよそ24%と推計される。

感染性胃腸炎の報告者数と流入水のノロウイルス濃度の推移を図-3に示す。感染性胃腸炎の報告者数の比較的少ない9月、10月においても流入下水からノロウイルスが検出されており、ノロウイルスは1年を通して下水道施設に流入していることが分かった。もっとも低濃度だったのはノロウイルスGI・GIIともに9月の 1.4×10^4 MPN-copies/Lであり、もっとも高濃度だったのは、ノロウイルスGIが5月に 5.7×10^6 MPN-copies/L、GIIは1月に 2.3×10^7 MPN-copies/Lだった。1年間で1,000倍程度の濃度差があることが分かった。また、感染性胃腸炎の報告者数が多くなる10月以降は、流入下水中のノロウイルス濃度も高濃度で推移しており、地域の感染性胃腸炎の報告者数と下水道施設に流入するノロウイルス濃度とは関係していることが示唆された。

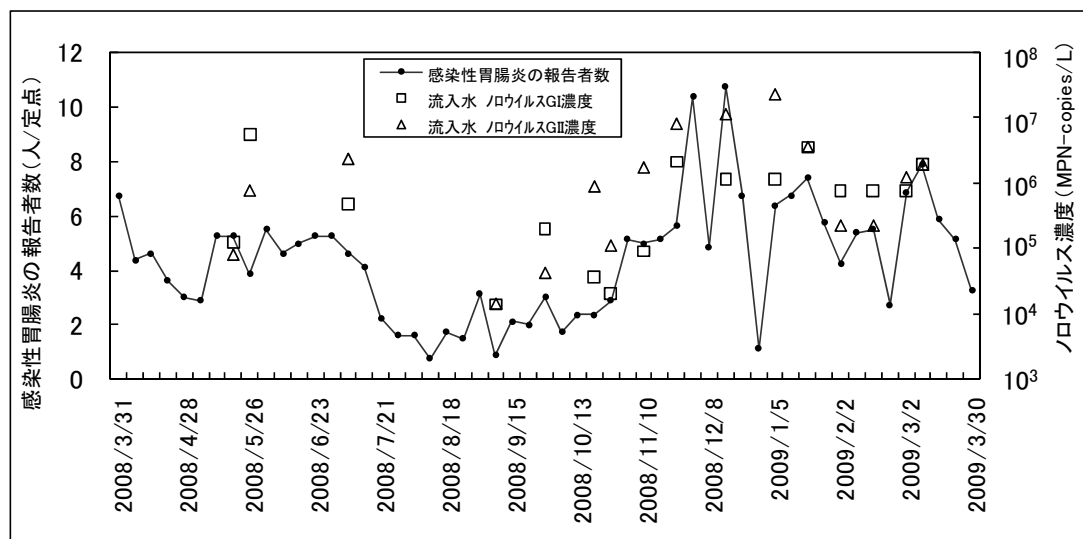


図-3 下水道施設への流入水中のノロウイルス濃度と処理区域を所管する保健所における感染性胃腸炎の報告者数の変動

2.3.2 下水処理過程におけるノロウイルスの実態調査

下水処理施設における衛生学的安全性を評価する上で、実施施設におけるノロウイルスの処理の実態を把握することは重要である。そこで、下水処理施設におけるノロウイルスの除去の実態を把握するため、平成20年12月～平成21年2月に異なる処理方式を採用している国内の4つの下水処理場を対象に調査を行った。また、現在、水環境中の衛生学的な指標として用いられている大腸菌及び大腸菌群とノロウイルスの下水処理過程における挙動の違いを把握することも衛生学的安全性を評価する上で重要であるため、大腸菌群及び大腸菌も併せて調査した。同様の調査は、平成20年3月にも実施し、報告している⁴⁾が、今年度は、1年間で最もノロウイルスの報告が多い⁵⁾12月から翌年2月に調査を実施した。

(1) 試験方法

表-3に示したA~Dの下水処理場を対象として、表中に示した各試料を採取し、ノロウイルスGI・GII及び大腸菌・大腸菌群の濃度を測定した。コンポジットによる採水は、自動採水器を用いて1時間ごとに24時間

分を採水し、流量比により混合し試料水とした。「二次処理水」は、最終沈殿池の越流水または最終沈殿池の上澄みを採水しており、塩素消毒前の試料である。「放流水」は、放流口または塩素接触槽流出口より採水しており、塩素消毒後の試料である。また、D処理場は、消毒後の試料の代わりに、生物膜処理水を試料とした。生物膜ろ過法は、ろ材の表面に付着した好気性生物によるノロウイルスの捕捉効果を把握するために選定した。それぞれの処理場ごとに3回、いずれも2週間以上間隔をあけて採水した。大腸菌及び大腸菌群の測定方法は、それぞれ、特定酵素基質培地法及び下水試験方法により行った。

（２）試験結果および考察

微生物濃度の平均測定結果を表-4に示す。二次処理過程までにおける平均除去率は、ノロウイルスGIが99.5%、ノロウイルスGIIが99.9%、大腸菌・大腸菌群は99.9%以上だった。この除去率は、既報⁶⁾におけるノロウイルスGI・GII及び大腸菌の物理・生物的处理における除去率と類似していた。大腸菌群の除去率は本調査結果の方が高かった。

微生物間での除去率に違いがあるものの、いずれの処理方式においても一定以上の除去効果があることが分かった。塩素消毒は、いずれの処理場においても大腸菌と大腸菌群に除去効果が見られたが、ノロウイルスは、処理場により除去効果が異なる結果となった。今後、消毒の効果に影響を与えるファクターの詳細調査が必要である。また、生物膜処理過程においては、大腸菌及び大腸菌群の除去効果は認められたが、ノロウイルスの明らかな除去効果は見られなかった。

2.4 活性汚泥槽中の微生物濃度の変化

前項の結果では、下水処理水や再生水の衛生学的安全性の評価基準となっている大腸菌群や大腸菌と比べ、下水処理場における除去率がノロウイルスGI・GIIで低い傾向が見られた。この傾向の除去の実態を把握するため、標準活性汚泥法の実験施設を使用し、下水処理過程の活性汚泥槽における各種ウイルス（ノロウイルスGI・GII、アデノウイルス、エンテロウイルス）及び指標細菌（大腸菌群、大腸菌）の検出量を比較した。実験施設の活性汚泥槽は、幅1m、長さ5m、高さ2mの10m³であり、2m³ごとの5層に仕切られており、流入側から1池、2池、3池、4池、5池とした（各池のMLSS：2480～2810mg/L）。流入量は0.7m³/hの定量であり、返

表－３ 測定対象とした下水処理場および採取した試料

処理場名	処理方法	採水時期 採水方法	試料
A	オキシデーションディッチ法	平成20年12月～翌年2月 スポット採水(午前10時頃)	流入水 二次処理水 放流水
B	回分式活性汚泥法	平成20年12月～翌年2月 スポット採水(午前10時頃)	流入水 二次処理水 放流水
C	長時間エアレーション法	平成21年1月～2月 HRT考慮、24hコンボジット	流入水 二次処理水 放流水
D	活性汚泥処理-生物膜ろ過法	平成21年1月～2月 HRT考慮、24hコンボジット	流入水 二次処理水 生物膜処理水

表－４ 4処理場における採取場所別平均濃度

		流入水濃度	二次処理水	放流水	生物膜処理水
A処理場	ノロウイルスGI	6.9×10^6	1.2×10^4	1.1×10^4	－
	ノロウイルスGII	1.0×10^7	1.1×10^4	1.5×10^3	－
	大腸菌	1.0×10^5	1.3×10^2	1.1×10^1	－
	大腸菌群	1.3×10^5	3.3×10^2	1.2×10^1	－
B処理場	ノロウイルスGI	6.5×10^6	7.6×10^4	2.6×10^1	－
	ノロウイルスGII	4.4×10^6	8.5×10^3	2.7×10^1	－
	大腸菌	1.4×10^5	2.4×10^1	1	－
	大腸菌群	1.8×10^5	6.9×10^1	1未満	－
C処理場	ノロウイルスGI	8.3×10^5	5.1×10^3	2.5×10^4	－
	ノロウイルスGII	1.1×10^5	8.4×10^3	5.0×10^4	－
	大腸菌	6.9×10^4	4.6×10^1	3.7	－
	大腸菌群	1.1×10^5	8.5×10^1	5.1	－
D処理場	ノロウイルスGI	3.3×10^6	2.2×10^4	－	4.3×10^4
	ノロウイルスGII	5.3×10^6	5.5×10^3	－	1.0×10^3
	大腸菌	4.2×10^4	2.7×10^1	－	2
	大腸菌群	1.3×10^5	2.2×10^2	－	1.9×10^1

斜体文字は、検出下限値未満のデータを含む。ノロウイルスの検出下限値未満は検出下限値を代用し、平均値を算出した。なお、C処理場の二次処理水のデータは、n=2である。（ノロウイルスの単位：MPN-copies/L、大腸菌・大腸菌群の単位：CFU/mL）

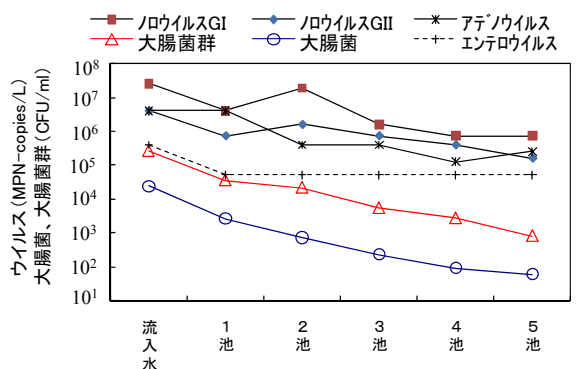
送汚泥量は $0.56\text{m}^3/\text{h}$ であるため、各池のHRTは約1.5時間である。また、活性汚泥槽に流入する汚水は、流域下水処理場の実下水を引き込んでおり、最初沈殿池を経ている。

（１）試験方法

試料水は、活性汚泥槽流入水及び1池から5池の各活性汚泥を用いた。採水は、HRTの1.5時間を考慮し、流入水採水後各池1.5時間間隔で採水した。また、活性汚泥槽の水は、採水後5分間静置し、活性汚泥を沈降させその上澄みを採取する作業を4回繰り返し、4回分を混合してその後の操作を行った。なお、実施時期が冬季であり、ノロウイルスの流行期であることから、陰電荷膜法による濃縮を行わずにノロウイルスが検出できる。そのため、濃縮操作は実施していない。アデノウイルス及びエンテロウイルスの測定についても濃縮操作は行わず、遺伝子工学的手法を用いて検出し⁷⁾、MPN値を算出し定量した。その他の測定項目は既述のとおりである。

（２）試験結果および考察

結果を図-5及び表-5に示す。大腸菌群及び大腸菌は、流入から5池まで全て時間経過とともに除去されていることが分かる。エンテロウイルスは、活性汚泥槽に流入直後の1池で検出下限値未満になった。ノロウイルスGI、GIIはどちらも2池で一時的な濃度の上昇が見られたが、3池以降は減少している。一方、アデノウイルスは、2池以降で除去効果が見られたが4池から5池にかけて検出濃度が上昇した。この活性汚泥槽全体での除去率は、エンテロウイルスを除く3つのウイルスの平均が95.7%だったのに対し、指標細菌は99.8%であった。下水処理過程の活性汚泥槽における微生物の除去率は、ウイルスよりも細菌の方が高い傾向を示した。なお、ノロウイルスGIIの除去率が2.3.2で示した実施設での結果と比べて低くなっていたことについては、今後さらなる検討が必要である。



図ー５ 生物反応槽における微生物濃度変化

2.5 環境水中におけるノロウイルス濃度

環境水中のノロウイルスの存在実態を把握するため、国内の海水10地点、淡水3地点の調査を行った。採水後、冷暗所に保管し、48時間以内に分析を開始した。なお、海水試料については、陰電荷膜法による濃縮時に塩化マグネシウムを添加していない。

調査結果を表-6に示す。ノロウイルスGI及びGIIどちらか一方でも検出した場合を「検出」として検出率を算出した。海水での定量下限値は3~4MPN-copies/L程度であり、夏季における海域の濃度は定量下限値と同程度の値である。また、海水中では夏季に比べ冬季は検出率で4倍、検出濃度では

表ー５ 活性汚泥槽上澄み液における微生物の減少

		流入水	5池	除去率	平均
ウイルス	ノロウイルスGI	2.6×10^7	7.4×10^5	97.13%	
	ノロウイルスGII	4.1×10^6	1.6×10^5	96.17%	
	アデノウイルス	4.1×10^6	2.6×10^5	93.75%	
	エンテロウイルス	3.9×10^5	ND	—	95.7%
細菌	大腸菌群	4.1×10^6	8.1×10^2	99.71%	
	大腸菌	2.4×10^4	6.0×10^1	99.92%	99.8%

*ウイルスの平均除去率は、エンテロウイルスを除く3のウイルスを平均した。NDは、検出下限値（ 5.1×10^4 ）未満（不検出）。

表ー６ 環境水におけるノロウイルスの検出状況

場 所	時 期	力所数	回 数	検出率	検出濃度範囲 (MPN-copies/L)
A 湾	夏季	2力所	4回	12.50%	2.7
B 湾	夏季	2力所	4回	12.50%	3.1
C 湾	夏季	3力所	4回	25.00%	2.9~4.1
	冬季		4回	66.70%	3.0~33
D 湾	夏季	3力所	3回	11.10%	3.2
	冬季		3回	88.90%	3.0~22
E 沼	秋季	1力所	1回	0%	—
F 川	秋季	1力所	1回	100%	18~180
G 川	夏季	1力所	3回	66.70%	19~55
	冬季		3回	100%	50~490

*夏季は7月~9月、秋季11月、冬季、12月~2月。

*定量下限値は、AからD湾が3~4MPN-copies/L、E沼・F川が6~7MPN-copies/L、G川は、13~16 MPN-copies/L。

およそ10倍の値で検出された。河川水中のノロウイルス濃度は、海水や湖沼と比べ高かった。

2.6 下水及び下水処理水中のサルモネラの定量

微生物学的側面からの安全性確保に資する基準値の検討のためには、ウイルスだけでなく病原細菌の濃度や分布の現状を把握することも有効であると考えられることから、サルモネラを対象として調査を実施した。サルモネラ感染症は、厚生労働省の食中毒・食品監視関連情報⁸⁾によると、平成16～20年の間に15,695人の食中毒患者が報告されており、細菌を病因物質とした感染症の中ではカンピロバクターと並び上位である。また、サルモネラ感染症は、平成16～20年には、7～9月の3ヶ月間に、63.6%が報告されるなど、夏期に報告が多いことから、特に夏季の下水中のサルモネラの実態を把握することが重要である可能性がある。サルモネラは、2菌種6亜種に分けられ、一般に、胃腸炎をおこすサルモネラは亜種Iの菌種のみで、その他のサルモネラは非病原性菌とされている⁹⁾。人由来のサルモネラはほとんどが亜種Iである¹⁰⁾ため、流行期と非流行期では、下水処理場へ流入する濃度及び亜種の存在比が異なると考えられる。このことから、昨年度は非流行期を対象に実施し、平成20年度は、流行期を対象に実施した。また、サルモネラに加えて、大腸菌や大腸菌群の濃度も測定した。

(1) 試験方法

標準活性汚泥法の実験施設において、平成20年7月15日より平成20年9月17日にかけて、平日の午前10時頃に流入水および処理水を4回採水した。サルモネラの分析は、既報^{11) 12)}を参考にした昨年度と同様とした⁴⁾。サルモネラは試料の分注及び前培養を行なった後、サルモネラの存否を判定しMPN値を算出した。サルモネラの判定は、TSI寒天培地（栄研化学）による乳糖および白糖発酵及び硫化水素産生を試験、SIM寒天培地（栄研化学）による硫化水素産生、インドール産生および運動性を試験、リシン脱炭酸試験用培地（栄研化学）によるリシン脱炭酸を試験及びVP-MR培地（日水製薬）によりVP試験により行なった。さらに、IDテストEB-20（日水製薬）を用いて亜種を同定し、亜種ごとにMPN値を算出した。さらに、亜種ごとのMPN値の平均値を比較することにより、夏季及び冬季における亜種の存在割合を算出した。大腸菌及び大腸菌群の測定方法は、それぞれ、特定酵素基質培地法及び下水試験方法により行った。

(2) 試験結果および考察

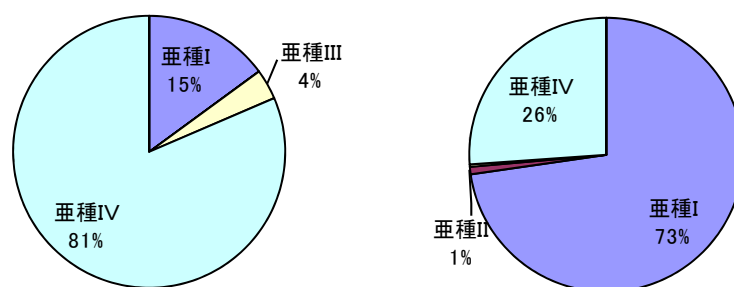
結果を表-7に示す。下水処理場におけるサルモネラの流入濃度は、大腸菌群のおよそ1万分の1から100万分の1程度であり、夏季と冬季のサルモネラの平均濃度に大きな差は見られなかった。厚生労働省の食中毒・食品監視関連情報⁸⁾によると調査期間中の調査地域におけるサルモネラによる食中毒の発生の報告がなかったことから、仮に下水処理場流入区域において患者が発生していたとしても当該サーベイランス調査では把握できない程度のものであったために、流入水中の濃度に大きな変化がなかったものと考えられる。

同定された集落の亜菌の内訳を昨年度冬季の結果とともに図-6、図-7に示す。下水処理場へ流入するサルモネラ亜種Iの割合は、昨年度冬季は、約15%を占めていたが、平成20年度夏季は73%であり、冬季に比べて流入する割合が多く、流入水の集水区域における亜種Iの存在割合が冬季に比べ夏季の方が多いと考えられる。また、処理水中に含まれる亜種Iの割合も冬季と比べて夏季の方が多く、流入水中の亜種Iの存在割合を反映していると考えられる。平成19年度及び平成20年度の結果からサルモネラ、大腸菌群、大腸菌それぞれの除去率を算出したところ、サルモネラが99.5%、大腸菌群、大腸菌が99.9%であり、サルモネラは大腸菌群及び大腸菌と比べ生物処理における除去率が低かった。この結果についてt検定を用いて比較したところ、5%の水準で有意差が認められた。

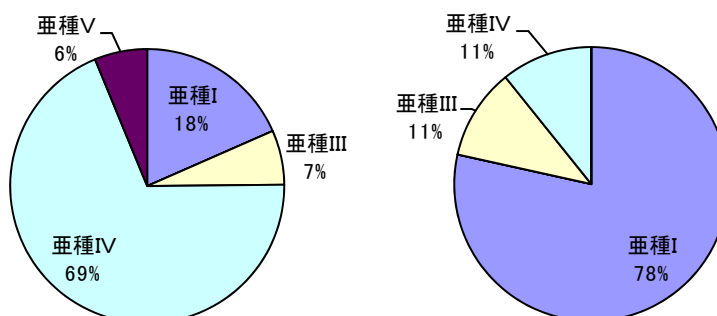
表ー 7 下水処理場におけるサルモネラ等の検出状況

	冬(H19年度)			夏(H20年度)		
	サルモネラ	大腸菌群	大腸菌	サルモネラ	大腸菌群	大腸菌
流入水 試料数	1.6 8	1.0×10^5 12	7.6×10^4 12	5.7 3	5.4×10^5 4	1.8×10^5 4
処理水 試料数	5.6×10^{-3} 11	1.0×10^2 11	5.4×10^1 11	5.2×10^{-3} 2	1.5×10^3 4	3.8×10^2 4

平均値の算出には異常値及び定量範囲外の値は計算に含めていない。(サルモネラ単位：MPN/ml、大腸菌・大腸菌群単位：CFU/ml)



図ー 6 冬（左）及び夏（右）の流入下水より分離されたサルモネラの亜種の存在割合（異常値及び定量範囲外の値は計算に含めていない。）



図ー 7 冬（左）、夏（右）の未消毒の下水処理水より分離されたサルモネラの亜種の存在割合（異常値及び定量範囲外の値は計算に含めていない。）

3. まとめ

下水処理水の衛生学的安全性の確保のための指標の検討の基礎資料とするため、下水処理過程や放流先におけるノロウイルスの実態調査、下水中のサルモネラの定量を行なった。

- (1) 陰電荷膜法を用いた下水試料中からノロウイルスを精製濃縮する手法について検討を行い、ガラス繊維ろ紙による事前のSS除去によりウイルス濃度の低い試料から陰電荷膜で分離濃縮する際にSSの影響を除く方法として有望であると考えられ、 $MgCl_2$ の添加濃度が25mMの時に安定してノロウイルスを濃縮しているものと考えられた。
- (2) 下水試料中のノロウイルス濃度は、4℃及び24℃の保存状態において1日から2日間、安定していた。また、処理水中のノロウイルス濃度は10℃遮光の環境では1ヶ月で1/10未満の減少幅だった。
- (3) 下水処理場の流入水中におけるノロウイルス濃度は、流域の感染性胃腸炎患者数と関係があることが示唆された。1年を通してノロウイルスが存在していることが分かった。しかし、流行期と非流行期

では1,000倍程度の濃度差があった。

- (4) 下水処理過程におけるノロウイルスは処理方式によらず、おおむね99%程度除去されていることが分かった。
- (5) 下水処理過程中の活性汚泥槽において、ウイルスの除去率は細菌の除去率に比べ低いことが示唆された。
- (6) 環境水中のノロウイルス濃度についても季節変化をしており、冬季には検出濃度、検出率ともに高いことが分かった。
- (7) 下水中のサルモネラの濃度は、冬季と夏季で大きな差は見られなかったが、人に胃腸炎をおこすサルモネラ（亜種I）は、冬季に比べ流行期である夏季の存在割合の方が高かった。

参考文献

- 1) Katayama, H., Shimasaki, A., Ohgaki, S., 2002. Development of a virus concentration method and its application to detection of enterovirus and Norwalk virus from coastal seawater. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 1033–1039.
- 2) Katayama, H., Haramoto, E., Oguma, K., Yamashita, H., Tajima, A., Nakajima, H., Ohgaki, S., 2008. One-year monthly quantitative survey of noroviruses, enteroviruses, and adenoviruses in wastewater collected from six plants in Japan. *Water Res.* 42, 1441–1448.
- 3) 尾崎正明、諏訪守、水環境中における病原微生物の消長に関する研究、土木研究所資料、平成 19 年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp.81-86、平成 21 年 1 月
- 4) 南山瑞彦、小越眞佐司、桜井健介、下水処理水の衛生学的安全性に関わる技術基準に関する調査、平成19年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp.47-52、平成20年6月
- 5) 厚生労働省、ノロウイルスに関する Q & A（最終改定：平成19年12月20日）、<http://www.mhlw.go.jp/topics/syokuchu/kanren/yobou/040204-1.html>（2009/4/20時点）
- 6) 原本英司、片山浩之、大垣眞一郎、下水処理場における病原ウイルスの低減効果の解明、水環境学会誌、Vol.32、No.6、pp.315-320、2009
- 7) 国土交通省、国土技術政策総合研究所発行、処理水、再生水の衛生学的水質検討プロジェクト活動報告書、p.9, p.10、平成20年4月
- 8) 厚生労働省、食中毒・食品監視関連情報、<http://www.mhlw.go.jp/topics/syokuchu/>（2008/04/22時点）
- 9) 厚生労働省/国立感染症研究所、感染症の話（サルモネラ感染症）、http://idsc.nih.go.jp/idwr/kansen/k04/k04_05/k04_05.html（2008/04/17時点）
- 10) 坂崎利一編集、食水系感染症と細菌性食中毒（中央法規出版）、2000、p.98
- 11) 高橋善人、下水処理過程から分離したサルモネラの同定、薬剤耐性及びフェージ感受性、日本水処理生物学会誌、33(4)、pp.199-205、1997
- 12) 社団法人日本下水道協会発行、下水試験方法上巻1997年版、pp.708-709

12. 膜を利用した高度処理の推進に関する調査

下水道研究部	下水処理研究室	室 長	南山 瑞彦
		主任研究官	小越 真佐司
		研 究 官	山中 大輔
		研 究 官	藤原 隆司
		交流研究員	小宮 義人

1. はじめに

近年、水道分野に加え、諸外国において膜利用技術が積極的に廃水処理分野に適用されている。その背景には、普及拡大に伴うコストの低下や、廃水処理用に新規開発された膜性能の向上がある。この様な技術進歩に加え、ウイルスやクリプトスポリジウム等従来技術では対応が困難な病原性微生物対策も容易であり、かつ、窒素・リン等の富栄養化原因物質の除去に関しても容易に対応できることから、公共用水域の水質向上を図る上で普及拡大が望ましい技術である。一方、我が国の閉鎖性水域では水質改善が遅れており、主な原因の一つとして、関連水域の多くを占める下水道整備済みの中大規模都市において、高度処理のための拡張用地確保が難しいことや高度処理化のための改築費用が膨大であること等により、高度処理化が進んでいない点が挙げられる。これらの下水道施設の多くが1970年代以降に集中的に整備されたものであるため、今後相次いで改築更新の時期を迎えることは確実であり、この時期に高度処理化が図られないと、閉鎖性水域等の水質基準が未達成のままの状況は更に長期化すると懸念されている。この様な状況を打破する上で、従来施設の大幅な増改築を伴わずに高度処理化等が可能な膜利用技術を導入する必要性は大変高い。本調査は、膜処理技術を下水道施設に導入して高度処理を推進するため、膜処理技術の現状を把握してその性能を評価し、汎用可能な下水処理技術として位置付けるための調査を実施するものである。

2. 平成20年度の調査結果

平成20年度は、膜処理技術の現状を把握するため、既存文献等の資料調査を行い、既存膜処理施設における処理性能および処理費用に関する調査に着手した。以下に調査の結果明らかになった膜処理技術の現状と課題を報告する。

2. 1 膜処理技術の現状

下水を含む廃水処理分野での膜の利用は、処理水中に残存する物質を除去するために行われる場合と、活性汚泥を処理水と分離する最終沈殿池に代わる固液分離のために行われる場合がある。前者は主として処理水を高度な用途に再利用する場合で、微生物、高分子物質の他に色度成分等の比較的低分子の有機物質を除去するため低圧逆浸透膜を利用する。後者は高度処理を含む活性汚泥処理の簡素化、コンパクト化および水質要求度の低い用途に再利用する場合で、膜分離活性汚泥法を採用するケースが多いと考えられている。

2. 1. 1 膜分離活性汚泥法

(1) 原理

図－1に示すように、膜分離活性汚泥法は従来の最終沈殿池の代わりに精密ろ過膜(以下 MF 膜という)

や限外ろ過膜（以下 UF 膜という）によって活性汚泥を分離し、処理水を得る方法である。

（２）特徴

膜分離活性汚泥法の特徴は次の２点である。

①分離機能の安定

従来の沈降分離に代わり、膜で分離することにより活性汚泥の沈降性に左右されることがなく処理水を得ることができるので、活性汚泥法の弱点であった沈降性の悪化による処理水質低下を来さない。

②処理水質の向上

使用する膜の孔径より大きい粒子はほぼ完全に除去されるので、MF 膜を用いた場合は処理水に SS や細菌が含まれない。したがって、処理水の水質は一部の溶解性物質を除き、凝集沈殿＋砂ろ過を行った再生水と同等以上の水質に向上する。UF 膜を用いた場合はウイルスや一部の溶解性高分子物質も除去されるので、更に安全な処理水質となる。

（３）利点

膜分離活性汚泥法には従来の活性汚泥法とは異なる次のような利点がある。

①施設設計の柔軟性

沈降性の悪化を防ぐために必要とされた活性汚泥法運転管理上の制限がなくなるため、下水の性状と放流水質規制の関係に基づいて適切な活性汚泥法あるいはその各種変法を選び、施設の立地条件等に応じた適切な活性汚泥濃度によって設計することが可能である。

②運転管理の簡素化

従来の活性汚泥法では、汚泥の沈降性を確認し、バルキングによる処理水質低下を防止するために定期的な S V I 測定を行い、最終沈殿池の汚泥界面を監視し、汚泥引き抜き量を調整している。膜分離活性汚泥法では、この様な管理が不要になり、下水処理に係る運転管理作業が簡素化される。

また、膜の破損のような緊急時対応の場合を除き、通常は消毒なしで大腸菌群数で規定される下水処理水の放流基準や再生水に係る大腸菌の基準を満足することができるので、消毒に係る運転管理作業が不要になり、この点でも作業が簡素化される。

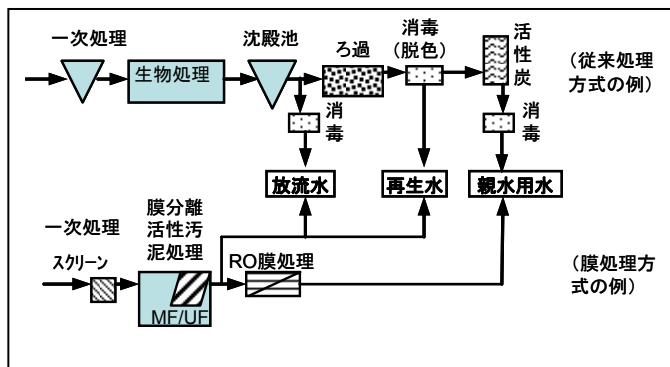
③処理水再利用が容易

処理水質は親水用水として利用可能な再生水の水準にあるため、そのまま再利用できる。但し、用途によっては残留塩素の保持が必要とされるため、塩素注入設備が必要になる場合がある。また、溶解性成分である色度が高い場合はオゾン処理等による脱色が必要になる場合がある。何れにしても、従来の二次処理水を用いる場合より、再利用のために必要な付加処理が少なく、再利用が容易である。

④高度処理が容易

膜で活性汚泥を分離するため、沈降分離の場合より遙かに高い濃度の活性汚泥混合液から処理水を分離することができる。そのため、従来法では通常の活性汚泥法より長い処理時間が必要になる生物学的窒素除去も比較的短時間で行うことができ、従来法の施設を拡張せず高度処理施設に改造することができる。

凝集剤を反応槽に添加することによるリン除去、活性炭添加による溶解性有機物の除去、その他の添加剤による特定物質の除去、特殊微生物の添加による有害物の分解などにも対応できるので、様々



図－１ 膜分離活性汚泥法の例

な高度処理が容易に実施できる。

⑤リン回収

膜分離活性汚泥法を長いSRTで運転すると流入水中のリンはほとんどが溶解性オルトリンとなって処理水中に流出する。これを高性能なリン吸着剤等で処理すると、下水中のリンを効率良くリン酸として回収することができる。

⑥流量分配が容易

中大規模施設において、沈殿池による分離では、処理系列間に流入水を処理能力に応じて均等に分配することが難しい。しかし、膜分離活性汚泥法では処理水流量を制御するため、系列間分配を流入側で考える必要がない。流入水路と各系列は単純連結で良く、流入側で流量分配のゲート調整等を行う必要がない。

なお、従来施設と併用する場合は従来施設側流入水路と膜分離施設用流入水路をカスケード接続することで能力に応じた分配が可能になる。

⑦安全性が高い

消毒を行う必要がない場合が多いと考えられるので、消毒に伴う副生成物が発生しない。細菌と原虫はほぼ完全に物理的に封じ込められるので、下水中の薬剤耐性菌なども環境中に放出されない。したがって、安全性の極めて高い下水処理水になる。

(4) 欠点

膜分離活性汚泥法には現時点で次のような欠点がある。これらの幾つかは今後の技術改良によって解決が図られると考えられている。

①消費エネルギーが大きい

膜分離活性汚泥法では、膜の表面が活性汚泥等で覆われ、透過流束（単位時間当たりに単位表面積の膜を通過する流量）が減少することを防止するため、気泡洗浄等による連続洗浄が行われる。気泡洗浄に必要な空気量を下水の生物処理に必要な空気量に近づける努力が行われているが、現状では、従来法の必要空気量よりかなり多く、従来法より単位下水量あたりの下水処理に係る消費エネルギーが大きい。

また、膜分離のために必要な差圧を得る必要があり、その値は従来法の沈殿分離で必要な水頭差より大きく、これに係る消費エネルギーが増加する。

②薬品洗浄が必要

上述のように膜の透過流束減少を防止するために行われる自動的な連続洗浄の他に、連続洗浄では除去しきれない膜表面や膜内部の付着物を除去するために、薬品による洗浄が行われる。付着が少ない膜素材の開発などによって洗浄頻度を少なくする工夫も行われているが、定期的にあるいは目詰まりがある水準に達した場合に薬品洗浄が必要になるのが現状である。洗浄用薬品としては有機物除去のための塩素系酸化剤と無機物除去のための酸が用いられ、洗浄のための施設と洗浄廃液の処理が必要である。薬品洗浄も自動化が進められているが、自動化されていない場合は人力作業を要するため、中大規模施設で膜ユニット数が多い場合には作業頻度も多くなり、管理費増加の要因になる。

③流量調整が必要

沈殿池で活性汚泥と処理水を分離する場合は、流入水量の変動がそのまま処理水量の変動になる。そのため、特に流量変動が激しい場合に処理時間確保のため流量調整槽を設けることがあるが、そのほかに、流入水量と処理水量のバランスを取るための流量調整を行う必要はない。しかし、膜分離活性汚泥法では、通常は生物反応槽流入水量の変動が自然に膜処理水量の変動になることはないので、

処理水ポンプ流量調整、膜差圧調整、流量調整槽、等の流量調整装置によって流入水量と処理水量のバランスをとることが必要になる。その際、処理時間が短い施設では、水量増加に伴う処理時間不足により処理水質が悪化しないように設計上および運転管理上の注意が必要である。

一般的に、膜の透過流束を短い周期で変動させることは好ましくないと考えられており、小規模で処理時間が短い既存の膜分離活性汚泥法施設では流量調整槽を設置して流入水量と処理水量のバランスを取るのが一般的である。中大規模施設では、膜の透過流束は一定にして稼働系列や稼働ユニット数を調整する方法が考えられる。

④膜交換

長期の使用によって膜に不可逆的な変化が累積し、透過性能が低下して設計能力に満たなくなると交換が必要になる。膜交換費が処理原価に及ぼす影響は、膜交換費に比例し、使用可能期間の長さと期間平均の膜透過流束との積（延べ処理水量）に反比例する。現状では使用可能期間は10年未満と考えられており、処理費用増加要因になる場合が多いと考えられている。なお、交換に伴う廃棄物の発生量については、削減の工夫が進んでおり膜処理の欠点とされるほどではないと考えられている。

⑤前処理

流入下水には様々な夾雑物が含まれ、これが膜分離槽に入ると、膜の損傷や、閉塞などの重大なトラブルの原因となる。このため、生物反応槽に流入する前に微細目スクリーン等による精密な夾雑物除去が必要である。

2. 1. 2 再生水利用のための膜処理技術

膜分離活性汚泥法の処理水を再生水として利用する場合の他に、従来法の処理水を膜処理して再生水を得る場合や、膜分離活性汚泥法の処理水を更に膜処理して高度な再生水を得る場合がある。

(1) 従来法の処理水から再生水を得る場合

様々な適用が考えられる。代表的な例を以下に示す。

①MF/UF 膜処理

MF/UF 膜を使用する膜分離活性汚泥法処理水と同等の細菌／ウイルスをほとんど含まない安全な再生水を得ることができる。再利用用途に応じて後段にオゾン処理（主に脱色のため）、活性炭処理（脱臭・脱色のため）および塩素処理（残留塩素保持のため）を付加する。

②凝集ろ過+NF/RO 膜処理

ナノろ過膜（NF 膜）はナノメートル（ 10^{-9}m ）サイズの分子まで除去可能な UF 膜と逆浸透膜（RO 膜）の中間に位置する膜で、ルース RO 膜と呼ばれることもある。比較的低い圧力で有機物の大部分と溶解性塩類の一部が除去できる。また、RO 膜は塩類も 90%以上除去できる逆浸透膜で、海水淡水化用 RO 膜より低い圧力で使用できるものである。凝集ろ過は生物処理水中の SS やコロイド物質を除去し、NF/RO 膜の目詰まりを防止する目的で行われる前処理である。

処理水は細菌やウイルスを含まず、色度成分も除去されており、全身を浸す様なレクリエーション用途にも適用できる極めて良好な水質が期待できる。RO 膜処理水については、高度な水質を必要とする工業用水への利用の他、飲用水源としての利用も可能であると考えられている。

NF/RO 膜処理では、供給した原水のうち処理水として回収できる割合に制限があり、残った原水には膜を透過できない成分が濃縮されて残るため、下水処理における汚泥処理と同様に、この濃縮廃液の処理が必要である。現在のところ、濃縮廃液を適切にかつ安価に処理する方法は確立されていない。

③MF/UF 膜処理+NF/RO 膜処理

凝集ろ過による前処理の代わりに MF/UF 膜処理を前処理とする NF/RO 膜処理で、安定した前処理が

期待できる。

(2) 膜分離活性汚泥法の処理水から高度な再生水を得る場合

膜分離活性汚泥法処理水は前処理無しで、もしくは簡易な前処理の後に、NF/RO 膜処理にかけることができると考えられている。膜分離活性汚泥処理が通常の下水处理として行われる場合は、NF/RO 膜処理による高度な再生水を低コストで得ることができると考えられている。

2. 2 膜処理技術導入促進の課題

膜処理技術のうち下水道への導入促進による効果が大きいと考えられるのは、膜分離活性汚泥法である。膜分離活性汚泥法は最終沈殿池の代わりに膜を利用する活性汚泥法の総称である。膜分離活性汚泥法を主とする膜処理技術を下水道に導入しようとする場合に考慮すべき課題は次の通りである。

2. 2. 1 膜の透過性能

膜の透過性能は一定の圧力差の下で、単位時間あたりに単位膜面積を通過する水量で表される。

膜の透過性能が大きいほど、同じ水量を処理するのに必要な膜面積あるいは圧力差が少なくて済むことになる。したがって、膜透過性能はシステムの経済性と膜のコンパクト化や取り扱いやすさに影響を及ぼす。膜メーカーの技術開発における最重要課題であり、今後とも性能向上が期待される。

膜の透過性能は膜の使用時間と共に初期の性能から次第に低下して行くので、設計耐用時間における透過性能の低下が少なく、高い設計透過流束を保証できることが重要である。

2. 2. 2 除去性能

膜処理の目的に応じて必要な粒子の除去性能を有していることが評価される。除去対象の最小粒子が完全に除去されることが理想であるが、製膜方法との関係で、程度の差はあっても膜に除去すべき最小粒子より大きい孔が混じる危険性は避けられない。したがって、この様な規格外の孔を含む確率が十分に小さく、実用上、漏れによる影響が無視できるほど小さいことが重要である。

2. 2. 3 洗浄性能

膜処理では処理の進行と共に膜面に堆積する汚泥やゲルを洗浄しながら必要な透過流束が保持されるように運転される。この様な膜面洗浄には、現在、気泡洗浄やクロスフロー等による連続的な洗浄法が多く採用されている。膜面堆積物の洗い易さには、膜の性質と被分離液の性状及び洗浄手法の組合せが適切であることが重要であると考えられる。洗浄性の高い膜では洗浄に必要なエネルギーが小さくなると考えられ、膜処理の欠点の一つが改善されることになる。

膜面洗浄では除去できない吸着性の汚れや膜内部の汚れは薬品洗浄等で除去される。長期にわたり膜の透過性能を保持するためには、この様な汚れを除去するため定期的な薬品洗浄等が欠かせない。この様な汚れが付着しにくい膜では、薬品等による洗浄が必要になる時間間隔を広く取ることができ、そのために必要な時間と労力を節約することができると考えられる。

2. 2. 4 耐久性

膜の耐久性は、その施設が設計された運転条件の下で、設計された膜の性能を発揮できなくなって交換されるまでの使用期間の長さで表される。実際の耐久性は、素材の性質の他、膜損傷の原因となる夾雑物除去や洗浄が膜に与えるストレスの程度によっても変化する。耐久性は高い方が良いが、そのために膜に係る経費が高くなり、全体のパフォーマンスを低下させないことが重要である。

2. 2. 5 ユニットの管理

膜の流量・差圧に関する情報は、膜の運転状況を示す指標として重要であり、薬品洗浄や膜交換の時期を決めるために利用することもできる。中・大規模施設では膜ユニットの数が多くなるため、これらの情報をどう収集し、どの様に管理するかについて検討する必要がある。また、高感度濁度計等により

膜の破損による水質異常を検出することができるが、このような異常を監視して、放流水質の低下を防止し、あるいは破損ユニットを特定する仕組みについて、検討する必要がある。

2. 2. 6 高濃度活性汚泥法

膜分離活性汚泥法（MBR）では重力沈殿と異なり活性汚泥濃度 1.5 %程度まで固液分離可能であるため 1 %程度の濃度で運転される場合が多いが、高い濃度の活性汚泥法では曝気による酸素移動効率が低下すると云われている。このような高濃度化に伴う影響については未だ良く知られていないところがあり、処理効率に関連する部分を中心に十分な検討が必要である。

2. 2. 7 濃縮液の処分

逆浸透膜処理において、透過液と分離されて残った液中には溶解性有機物や無機塩類等が濃縮されている。これを生物反応槽に返送して循環させると長期的には活性汚泥混合液中に難分解性有機物や無機塩類が高濃度に蓄積されることになる可能性がある。この濃縮廃液の処理・処分技術確立することは、逆浸透膜処理による再利用を実用化する上で鍵となる重要な課題である。

3. おわりに

膜処理技術は下水処理の高度化や水環境改善に関して、様々な利点を有している。しかし、その運転には従来の下水処理法と比較すると多くのエネルギーを消費する。現在、この欠点を克服するための技術開発が進められており、一段の進展を期待したい。下水処理場への導入形態としては、膜分離活性汚泥法が有望な方式であると考えられており、海外では中大規模施設への導入が進んでいる。膜分離活性汚泥法を標準的な下水処理技術として位置付けるために、現在、既存の膜分離活性汚泥法施設の結果に基づいて技術評価を進めており、次年度中に評価が為される予定である。

参考資料

- 1) 下水道への膜処理技術導入のためのガイドライン [第 1 版]：下水道膜処理技術会議（平成 21 年 5 月）
- 2) A.G.N. van Bentem, et. al., 'Membrane Bioreactors ~ Operation and Results of an MBR Wastewater Treatment Plant' 2007 IWA UK

13. 地球温暖化対策としての下水処理水再利用の 定量的効果に関する検討

下水処理研究室	室長	南山 瑞彦
	主任研究官	小越 眞佐司
	研究官	宮本 綾子

1. はじめに

平成19年度から20年度にかけて国交省下水道部「下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会」が設置され、再生水の利用を促進する上では、再生水利用によるCO₂削減効果の定量化（上水または個別循環との比較等）が必要であるとの報告が行われた。また、再生水用途の一つである農業利用や地下水涵養における再生水量・水質の管理方策が未確立である。地球温暖化対策等の新たな社会的意義を踏まえた再生水利用の促進が必要とされており、本調査は、再生水利用の様々なケースや上下水道の施設の条件に応じた再生水利用によるCO₂削減効果の定量化方法の提示および再生水の農業利用や地下水の涵養のための再生水量・水質の管理方策の提示を目的としている。

2. 再生・供給施設の運転に係るCO₂排出量実態調査

(1) 調査の目的

再生水の利用形態には、下水道を介して広域的に再生水を供給している施設（広域循環施設）と、個別建物内で発生した廃水を再生利用している施設（個別循環施設）がある。それぞれの施設は以下のような特徴を持ち、再生水製造に伴うCO₂発生量が異なる。広域循環利用では下水処理水を再生水源としており、脱色と微生物の不活化を兼ねたオゾン処理を採用する事例が多い。個別循環利用施設ではし尿を含まない雑排水が主な再生水源で、一部の施設では雨水も利用されている。また、再生水のみで必要水量をまかなえない場合は上水を補給水として使用することがある。個別循環利用施設では雑排水の除害処理（主として油脂分除去）として生物処理が多く導入されており、再生利用に先立つ有機物除去のための処理を兼ねている。生物処理後はろ過処理で微細SSを除去して再利用される¹。

本調査は、再生水の利用に伴うCO₂排出量の実態を把握し定量化することにより、広域循環と個別循環および上水のCO₂削減効果を比較するため、広域循環利用施設と個別循環利用施設を対象として実態調査を行ったものである。

(2) 調査方法

再生水の利用に伴うCO₂排出量の実態を把握するため、各対象施設の1年間の再生利用水量と再生水利用のために要した電力、薬品等の消費量のアンケートおよび聞き取り調査を実施した。これらの結果をまとめ、電力、薬品等についてのCO₂発生量原単位を乗じた後、合算した結果を年間再生水供給量で除して、各施設で再生水を1m³供給することによって発生したCO₂量とした。

個別循環施設の対象として、東京都内で生物処理を主とした処理により雑用水の利用を行っている3つの施設に協力を依頼した。個別循環では再生処理施設（除害施設の再利用相当分含む）のみを対象とした。建物内配水のための施設は広域循環においても共通に発生するため、計算の対象としていない。また、汚泥処分も今回の計算では対象外としている。広域循環の算定対象は4地区で、再生処理施設（二次処理までは対象外）と利用先までの配水施設とした。

(3) 結果と考察

調査対象施設の概要と各施設の再利用CO₂発生率を表1に示す。広域循環については施設Aを除くと、再生水1m³の利用に伴う資源・エネルギー消費に伴うCO₂排出量は、1995年度の産業連関表を利用した上水のLC CO₂

原単位²である 0.99kg/ m³よりは小さかった。しかし、水道統計³に掲載されている資源・エネルギー、薬品消費量から計算した 2006 年度の実績国内年間給水量の平均 CO₂ 発生率は 0.29kg/m³ となり、最も少ない施設 D でもこれより 38%大きい値となっている。今回の調査で得られた値はユーティリティーの使用量から計算したものであるため後者を比較対象とする必要があり、広域循環による水の再利用は、ユーティリティー以外の部分に関わる CO₂ 発生率が上水より相当低くないと、水利用に伴う CO₂ 削減に有効であると考えられる。なお、施設 A は稼働率が低いことから CO₂ 発生率が高くなったものと推定される。過去最大利用時の稼働率は 41%であり、その時の CO₂ 発生率が 1.09kgCO₂/ m³ と推計された。

個別循環施設の施設 e は百貨店、施設 f はオフィスビル、施設 g はホテルである。雑用水だけで必要水量を賄えない場合があり、施設 e では上水を補給し、施設 f では雨水を利用している。個別循環については、広域循環と比較して雑用水 1 m³ あたりの CO₂ 排出量が比較的少ない箇所もあるが、広域循環と同様に値にばらつきがあった。これは、施設ごとに発生する雑排水の水質、また、各施設の稼働率、処理方式に差異があることによると考えられる。なお、施設 e は建物の増築にともなって施設内に水処理施設が分散しており、他の施設と比較してポンプの消費電力が大きいことも CO₂ 排出量増大の要因となっている。

CO₂ 発生率の点では、広域循環では下水処理場から遠く、かつ、処理場より相当高い位置にある利用先への送水は不利であると考えられ、地域特性に応じた適切な再利用形態を検討することが重要である。

表 1 調査対象施設の概要と再利用 CO₂ 発生率

		生物 処理	膜 処理	ろ 過 処理	オ ゾ ン 処理	活 性 炭 処理	凝 集 沈 殿	そ の 他	そ の 他 の 処理	規模 (m ³ /日)	稼働率	CO ₂ 発生量 (kg-CO ₂ /m ³ -処理水)
広域	A				○		○	○	生物膜ろ過	1600	9%	2.86
	B			○	○		○	○	高速繊維ろ過	7200		
	C		△	○	○			○	生物膜ろ過	7900	73%	0.77
	D				○			○	高速繊維ろ過		44%	0.96
									生物膜ろ過	5000	45%	0.40
個別	e	○		○						780	36%	2.43
	f	○		○				○	マイクロストレナ	397	58%	0.40
	g	○		○		○				120	65%	0.84

3. 多度津町における下水処理水および地下水水質調査

(1) 調査の概要

香川県多度津町では、金倉川流域下水道の処理水を町の水環境処理施設(図1の1)で高度処理し、せせらぎ用水(オゾン+活性炭処理)、親水用水(活性炭+塩素処理)として利用している。また、多度津町の位置する丸亀平野では近年、地下水位の低下・地下水塩水化などの問題が生じている⁴。多度津町では、地下水低下の解消を目的として、親水公園(図1の2)より通年に渡って 2000t/日の地下水涵養が行われている。また、夏期には農業用水の安定供給のため、再生水が農業用ため池に送水されている。本調査の目的は再生水の地下への浸透が地下水(主として浅層地下水)の水質に与える影響を評価する方法について検討することである。今年度は、図1に示した多度津町内に分布する浅

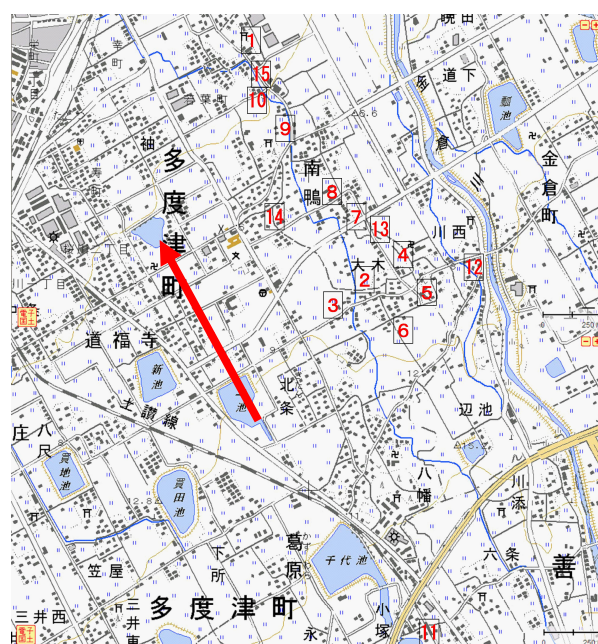


図1 調査地点の位置 概要

井戸および深井戸を対象として水質調査を実施した。多度津町の浅層地下水は金倉川の伏流水と考えられるため、金倉川の河川水も分析の対象とした。

(2) 結果

水質調査の結果を表-2 に示す。地下水の涵養に利用されている親水用水の $\text{NO}_x\text{-N}$ 含有量は 6.3ppm、金倉川の河川水では 1.7ppm であった。浅井戸である No. 4 から No. 11 では 4.3ppm～6.4ppm と河川水に比較して全体的に高い値を示した。深井戸は還元的な雰囲気となっていることから、窒素は $\text{NH}_4\text{-N}$ として存在している。今回の調査では浅層地下水中の $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度に涵養池からの距離に明確な関連はみられなかった。地下水の流動方向はおおむね図 1 に示した矢印の方向（金倉川に沿う方向）となっており⁴、下流ほど $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度が高くなる傾向があった。地下水中の硝酸態窒素は、生活、農業、産業等に由来することが知られており⁵、窒素同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ ）分析等により再生水が地下水に与える影響の程度を評価できると考えられる。

表 2 水質調査の結果
(浅井戸の番号は涵養池からの距離に近い順とした)

No.	水温 (°C)	COD_{Mn} (mg/L)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_x\text{-N}$ (mg/L)	調査対象
1	19	8.5	0.82	6.3	水環境処理施設 親水用水
2	19	5.7	0.08未満	5.8	地下水涵養池
3	18	4.5	0.08未満	5.6	地下水涵養池に隣接した池
4	16	3.4	0.08未満	4.9	浅井戸
5	17	1.2	0.08未満	5.3	
6	17	1.5	0.08未満	4.5	
7	16	1.3	0.08未満	4.3	
8	17	1.7	0.08未満	5.7	
9	16	1.5	0.08未満	6.4	
10	15	1.4	0.08未満	6.2	
11	16	1.2	0.08未満	4.4	
12	13	4.4	0.08未満	1.7	金倉川河川水
13	18	2.6	0.36	0.1未満	深井戸
14	18	2.9	0.38	0.1未満	
15	18	2.0	0.42	0.1未満	

4. まとめ

1) 広域循環利用施設と個別循環利用施設を対象として、最近 1 年間の再生利用水量と再生水利用のために要した光熱水、薬品等の消費量から再生水製造にともなう CO_2 発生率(kg/m^3)を評価した。その結果、広域循環の CO_2 発生率は、上水の LC CO_2 原単位 ($0.99\text{kg}/\text{m}^3$) より概ね小さくなった。個別循環についても同様の試算を行ったところ、施設ごとに CO_2 発生率にはばらつきがあった。地域によっては下水からの広域循環により再生水を供給した方が CO_2 排出量の面では有利となる可能性があると考えられる。

ただし、比較の対象とするべき上水の製造にともなう上水の LC CO₂ 原単位にも不明確な点が多く、今後の精査が必要と考えられた。

- 2) 香川県多度津町において、再生水利用によるこの流域の地下水水質への影響を評価するための調査を実施した。今回の調査では浅層地下水中の硝酸性窒素濃度は 4.3ppm～6.4ppm と河川水の 1.7ppm に比較して全体的に高い値を示したが、再生水利用による影響は不明であった。今後は窒素同位体等をトレーサーとした詳細な調査を実施する予定である。

参考文献

- ¹ 「再生水水利用による地球温暖化の緩和策としての効果の検討について」、国土交通省
<http://www.mlit.go.jp/common/000033103.pdf>、参照 2009 年 11 月
- ² 「建物の LCA 指針」、(社) 日本建築学会、2006
- ³ 「水道統計 (平成 18 年度)」(社) 水道協会
- ⁴ 「丸亀平野における地下水流動の調査と数値解析」、地下水技術、vol.48、No.10、濱崎修、河原能久
- ⁵ 「水道における硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素対策の手引き」、(社) 水道協会、2000

14. 下水道資源有効利用の推進に関する調査

下水処理研究室 室 長 南山 瑞彦
主任研究官 平山 孝浩
研 究 官 宮本 綾子

1. はじめに

下水道は、地域の持続的な発展を支えるため、循環型社会の社会基盤として、健全な水及び資源循環の創出を図っていく必要がある。大量の資源やエネルギーの消費により、化石燃料の枯渇や有用な資源の枯渇が懸念されてきている。また、温室効果ガスの増加によって、地球温暖化が進行している。このようなことから、下水道資源有効利用の推進施策を早急かつ継続的に展開していく必要がある。このため、下水道の有する資源回収・供給機能を積極的に活用するための施策展開が必要であり、本調査は施策の方向性の検討や実施状況のフォローアップ、見直しに必要となる下水道資源有効利用の実施状況に関する情報を整理するものである。

2. 調査方法

本調査では、下水道事業を実施している全ての地方公共団体に対して、2008年9～11月に下水汚泥の発生から最終利用・処分までの処理フローの概要及び下水汚泥の処理・有効利用状況等（平成19年度実績分）に関するアンケート調査を実施した。アンケート調査により得た回答（2,104処理場分）を整理・集計した。

3. 調査結果

3.1 下水汚泥の発生量と処理処分・有効利用の状況

平成19年度における下水汚泥の処理及び処分の状況を表－1、表－2に示す。下水汚泥は年間225万DS-t（乾燥重量トン）が発生しており、そのうち約77%が緑農地利用、建設資材利用、燃料化等として有効利用されている。

表－1 下水汚泥の処理及び処分状況（汚泥発生時乾燥重量ベース、平成19年度）

単位：DS-t／年

引き渡し先 処理後の 汚泥形態	最 終 安 定 化 先									合計 %	
	埋立処分	緑農地利用	建設資材利用		固形燃料	その他有効 利用	海洋還元	場内ストック	その他		
			セメント化	セメント化以外							
生汚泥	3	3	0	0	0	0	0	0	10	17	0.0%
濃縮汚泥	65	132	22	16	0	0	0	0	0	236	0.0%
消化汚泥	0	0	4,721	0	1	0	0	0	0	4,722	0.2%
脱水汚泥	27,872	34,830	107,239	16,427	1,305	3,120	0	167	101	191,060	8.5%
移動脱水車汚泥	44	389	13	33	0	0	0	0	0	478	0.0%
コンポスト	51	242,784	0	344	0	0	0	48	0	243,227	10.8%
機械乾燥汚泥	5,122	31,681	8,892	0	11,660	0	0	0	0	57,355	2.5%
天日乾燥汚泥	145	623	0	0	0	0	0	85	0	854	0.0%
炭化汚泥	1	1,353	1,605	259	1,709	959	0	7	88	5,980	0.3%
焼却灰	483,964	14,454	733,294	291,972	0	1,265	0	249	1,797	1,526,994	67.8%
溶融スラグ	5,059	0	11,959	199,985	0	0	0	3,132	131	220,266	9.8%
合計	522,326	326,250	867,744	509,036	14,675	5,344	0	3,688	2,127	2,251,189	100.0%
%	23.2%	14.5%	38.5%	22.6%	0.7%	0.2%	0.0%	0.2%	0.1%	100.0%	

表－2 下水汚泥の処理及び処分状況（処分時体積ベース、平成 19 年度）

単位：m³/年

引き渡し時 (搬出時)の 汚泥形態	最 終 安 定 化 先									合計 %	
	埋立処分	緑農地利用	建設資材利用		固形燃料	その他有効 利用	海洋還元	場内ストック	その他		
			セメント化	セメント化以外							
生汚泥	344	1,022	0	0	0	0	0	0	418	1,784	0.1%
濃縮汚泥	30,742	16,891	1,433	2,991	0	0	0	0	137	52,194	2.1%
消化汚泥	1,384	1,576	3,674	0	0	0	0	0	0	6,634	0.3%
脱水汚泥	282,448	749,083	745,404	163,958	15,282	12,135	0	803	4,897	1,974,011	80.3%
移動脱水車汚泥	376	4,574	220	1,108	0	0	0	0	0	6,278	0.3%
コンポスト	0	27,039	185	0	0	0	0	0	0	27,224	1.1%
機械乾燥汚泥	10,526	19,286	9,290	125	12,711	0	0	0	0	51,938	2.1%
天日乾燥汚泥	254	1,980	0	55	0	0	0	90	3	2,382	0.1%
炭化汚泥	0	50	0	26	0	114	0	0	0	190	0.0%
焼却灰	101,288	1,146	119,895	63,291	0	517	0	249	88	286,474	11.6%
熔融スラグ	312	0	1,929	47,833	0	0	0	295	0	50,370	2.0%
合計	427,674	822,646	882,030	279,388	27,993	12,766	0	1,437	5,542	2,459,478	100.0%
%	17.4%	33.4%	35.9%	11.4%	1.1%	0.5%	0.0%	0.1%	0.2%	100.0%	

下水汚泥の有効利用の状況を表－3、表－4 及び図－1 に示す。有効利用の内訳としては、従来、緑農地利用が中心であったが、近年はセメント原料としての利用などの建設資材利用が進んできており、平成 7 年度に建設資材利用が緑農地利用の割合を上回り、平成 19 年度における緑農地利用は有効利用全体の約 19%（汚泥発生時乾燥重量ベース）である。下水汚泥の建設資材利用としては、セメント原料としての利用の割合が多くなってきており、平成 19 年度においては、建設資材利用のうち乾燥重量ベースで約 63%がセメント原料としての利用となっている。セメント化以外の建設資材利用については、自治体での実施量と民間での実施量が同量程度であるが、緑農地利用・セメント原料としての利用では民間に引渡している量が多くなっている。

表－3 実施主体別の有効利用実施状況（汚泥発生時乾燥重量ベース、平成 19 年度）

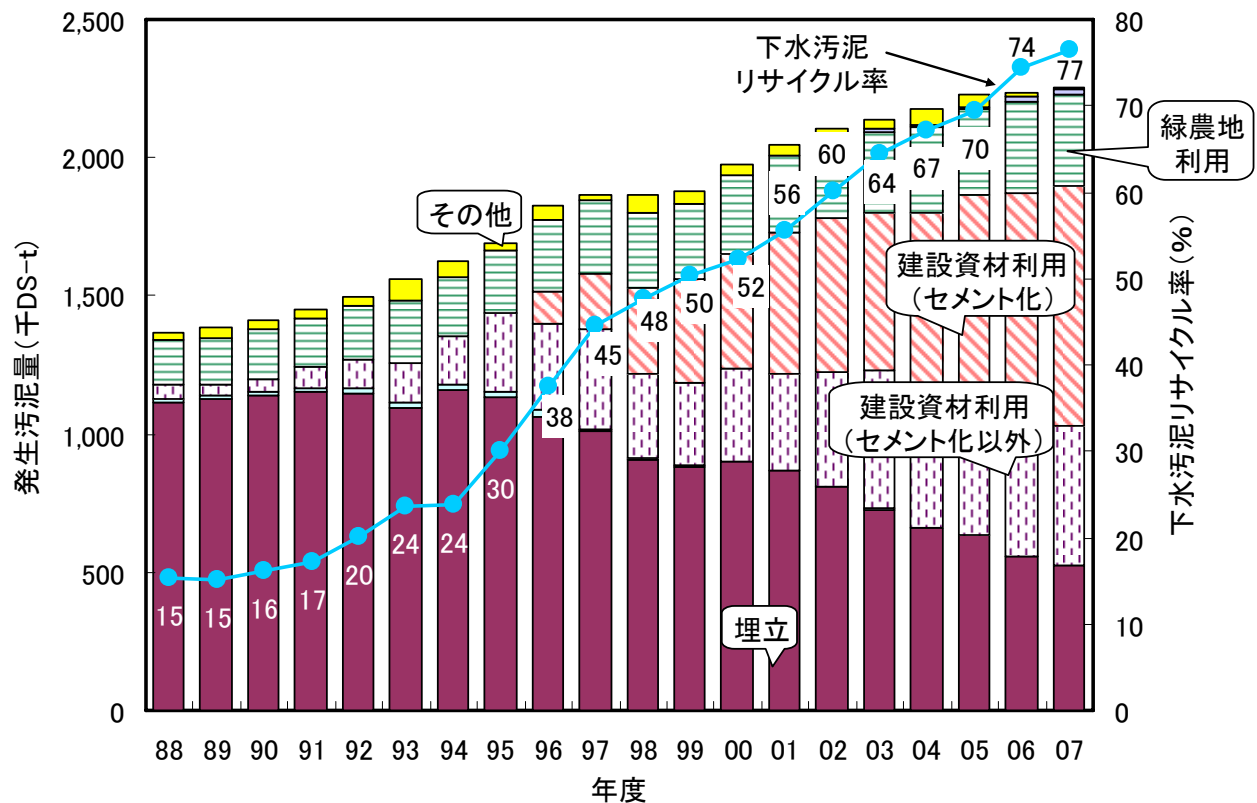
(引き渡し先処理後の汚泥形態、単位：DS- t / 年)

	液状汚泥	脱水汚泥	コンポスト	乾燥汚泥	炭化汚泥	焼却灰	熔融スラグ	計
緑農地利用								
自治体で実施	0	6,780	35,143	10,762	774	932	0	54,392
民間に引渡し	136	28,438	207,641	21,543	578	13,522	0	271,858
小 計	136	35,219	242,784	32,305	1,353	14,454	0	326,250
建設資材利用(セメント化)								
自治体で実施	0	2,530	0	2,940	0	97,777	0	103,247
民間に引渡し	4,743	104,722	0	5,952	1,605	635,517	11,959	764,497
小 計	4,743	107,252	0	8,892	1,605	733,294	11,959	867,744
建設資材利用(セメント化以外)								
自治体で実施	16	8,333	10	0	127	127,850	128,830	265,165
民間に引渡し	0	8,127	334	0	132	164,122	71,155	243,871
小 計	16	16,460	344	0	259	291,972	199,985	509,036
固形燃料								
自治体で実施	0	0	0	9,255	1,709	0	0	10,964
民間に引渡し	1	1,305	0	2,405	0	0	0	3,711
小 計	1	1,305	0	11,660	1,709	0	0	14,675
その他有効利用								
自治体で実施	0	0	0	0	614	0	0	614
民間に引渡し	0	3,120	0	0	345	1,265	0	4,730
小 計	0	3,120	0	0	959	1,265	0	5,344
合 計	4,896	163,355	243,128	52,856	5,885	1,040,984	211,945	1,723,049

表－4 実施主体別の有効利用実施状況（処分時体積ベース、平成 19 年度）

（引き渡し時（搬出時）の汚泥形態、単位：m³/年）

	液状汚泥	脱水汚泥	コンポスト	乾燥汚泥	炭化汚泥	焼却灰	熔融スラグ	計
緑農地利用								
自治体で実施	9,280	44,991	19,991	12,324	50	0	0	86,636
民間に引渡し	10,208	708,666	7,048	8,941	0	1,146	0	736,010
小 計	19,488	753,657	27,039	21,266	50	1,146	0	822,646
建設資材利用（セメント化）								
自治体で実施	1,350	18,649	0	1,859	0	11,771	0	33,629
民間に引渡し	3,757	726,975	185	7,431	0	108,124	1,929	848,401
小 計	5,107	745,624	185	9,290	0	119,895	1,929	882,030
建設資材利用（セメント化以外）								
自治体で実施	2,991	63,460	0	125	26	28,946	31,085	126,634
民間に引渡し	0	101,607	0	55	0	34,344	16,748	152,754
小 計	2,991	165,066	0	180	26	63,291	47,833	279,388
固形燃料								
自治体で実施	0	7,589	0	12,004	0	0	0	19,593
民間に引渡し	0	7,693	0	707	0	0	0	8,400
小 計	0	15,282	0	12,711	0	0	0	27,993
その他有効利用								
自治体で実施	0	0	0	0	0	0	0	0
民間に引渡し	0	12,135	0	0	114	517	0	12,766
小 計	0	12,135	0	0	114	517	0	12,766
合 計	27,586	1,691,765	27,224	43,446	190	184,849	49,763	2,024,824



図－1 下水汚泥有効利用の経年変化

3.2 下水道バイオガスの発生・利用の状況

平成 18 年度と平成 19 年度の下水道バイオガス（消化ガス）発生量及び利用状況を表-5 に示す。平成 19 年度においては、発生した下水道バイオガスの約 7 割（217 百万 m³）が利活用されており、残り約 3 割（93 百万 m³）は焼却処分されている。また、下水道バイオガス発生量の約 2 割（67 百万 m³）はガス発電に利活用されているが、約 3 割（91 百万 m³）は消化槽の加温用としての用途にとどまっている。

表-5 下水道バイオガス（消化ガス）発生量及び利用状況

	H19	H18
消化槽に投入される濃縮汚泥量 (発生時DS量) (DS- t / 年)	703, 701	757, 555
消化ガス発生量 (千m ³ / 年)	312, 975	303, 702
有効利用消化ガス量 (千m ³ / 年)	126, 196	121, 184
ガス発電	67, 349	59, 703
焼却炉補助燃料	44, 124	42, 894
汚泥乾燥	7, 600	10, 449
場内冷暖房	1, 531	1, 532
その他	5, 592	6, 606
消化槽投入汚泥および消化槽への熱供給に利用された消化ガス量 (千m ³ / 年)	90, 899	90, 250
利用されなかった消化ガス量 (千m ³ / 年)	92, 460	94, 705
使用用途が不明な消化ガス量（計測誤差を含む）(千m ³ / 年)	3, 420	-2, 437

その他の消化ガス有効利用用途

脱臭用燃料、都市ガス燃料、し渣焼却燃料、燃料電池、用途不明
溶融炉補助燃料、場内冷暖房＋自動車燃料

3.3 下水道バイオマスリサイクル率

図-1 にとりまとめた下水汚泥リサイクル率は、下水汚泥発生時の固形物乾燥重量が最終的に有効利用された比率であり、消化ガスの有効利用が反映されない指標である。下水汚泥のバイオマスとしての積極的な利活用を進めるにあたり、消化ガス利用も含む下水汚泥有効利用に関する新たな指標として、下水道バイオマスリサイクル率を算定した。

下水道バイオマスリサイクル率の定義は、「汚泥中の有機物のうち、ガス発電等エネルギー利用や緑農地利用等、有効利用された量」とした。下水道バイオマスリサイクル率の算定では、下水汚泥の固形物当たりの有機物割合を 80%、消化率を 50%と仮定した。平成 19 年度実績における全国での下水道バイオマスリサイクル率は、22% となった。このうち、消化ガスとしての有効利用分は、11%、緑農地利用分は 10%、固形燃料としての利用分は約 1%であった。

4. おわりに

下水汚泥の有効利用に関する諸課題の解決には、地域特性に応じた適切な汚泥の有効利用の検討や、新技術の導入など、様々な分野における総合的な対策を進めることが重要である。本調査では、今後も施策の方向性の検討や実施状況のフォローアップ、見直しに資する下水道資源有効利用の実施状況に関する情報整理等を実施するとともに、温室効果ガス排出量算定方法検討会の廃棄物分科会において必要とされる情報の収集・整理に努める予定である。

15. 降雨情報を用いた都市域における局所的な浸水リスク評価 に関する調査

水害研究室 室 長 榎村 康史
主任研究官 山本 晶

1. はじめに

近年、集中豪雨の発生件数は増加傾向にあり、全国各地で浸水被害が発生している。特に都市部の河川流域では、都市化の進展に伴い、流出率の増加に雨水排水能力が追いつかず、雨水が地表面に溢れてしまうという都市型水害が、毎年のように発生している。こうした都市域の内水被害の危険性を住民に知らせるため、内水ハザードマップの作成・公表が求められているが、都市域の複雑な水現象をモデル化することは困難であり、内水ハザードマップの作成がこれまで進んでこなかった。そのため、平成20年度に「内水ハザードマップ作成の手引き（案）」が改訂され、シミュレーションに寄らない簡易的な方法により浸水想定を行うことが可能となった。

本研究課題の目的は、上記の状況を踏まえ、地形情報や降雨情報等から簡易に浸水リスクを評価する手法を提案することである。20年度は、過去の都市水害に関する資料を収集整理し、降雨状況、浸水状況、地形条件等についてそれぞれの関係を分析した。

2. 資料収集整理

過去10年程度に発生した降雨により家屋浸水や道路冠水等内水による浸水が発生したもののうち、約100事例を抽出し自治体に対してアンケート調査を行い、浸水被害の発生場所や状況、発生時の降雨状況・河川状況・下水道状況、発生地点の下水道整備状況・河川整備状況などの把握を行った。

3. 局所的水害の要因・影響の分析

収集・整理した資料を元に、地形、構造物、下水道等が局所的な浸水に与える影響について定量的な分析を行った。

分析を行うに当たり、浸水リスク評価を行う際に指標化すべき事項（説明変数）を表—1の通り整理した。

種別	要因	説明変数	設定	備考
気候	降雨状況	降雨強度	—	イベント（現象）なので説明変数にしない。
		総降雨量	—	同上
		継続時間	—	同上
水文・地形	流出特性	市街化率の伸び（流出率）	○	
		到達時間	×	「市街化率の伸び（流出率）」と重複
	地形特性	窪地率	○	
		地形分類	○	
		流出・流下阻害構造物（建物面積割合）	○	
		道路幅員	×	「道路面積率」と重複
		道路勾配	×	「窪地率」や「地形分類」と重複
		道路面積割合	×	「市街化率の伸び（流出率）」と重複
		道路排水系統（側溝等）の状況	○	
対策	浸水対策	下水道整備水準	○	
		河川整備水準	○	
		地域の取り組み状況	○	浸水危険度を下げるオプションとして設定する。
		個人の取り組み状況	○	同上
	地域特性	浸水に対する受忍限度	×	定量化が困難

表—1 局所的浸水の生起要因ごとの説明変数の設定

4. 流出・氾濫シミュレーションによる確率リスク分析

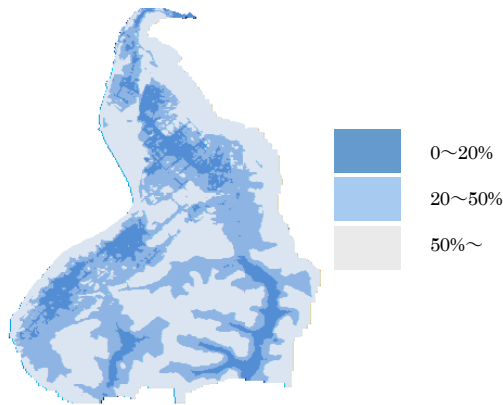
都市域流出・氾濫解析モデルを用いて、50mm から 100mm などの複数の確率降雨規模におけるシミュレーションを実施し、確率リスク分析を行った。

具体的には、地形（窪地率）、降雨強度、下水道排水ポンプの排水能力等を取りうる範囲で変動させたシミュレーションを実施し、計算結果の変化を捉えることで感度分析を行った

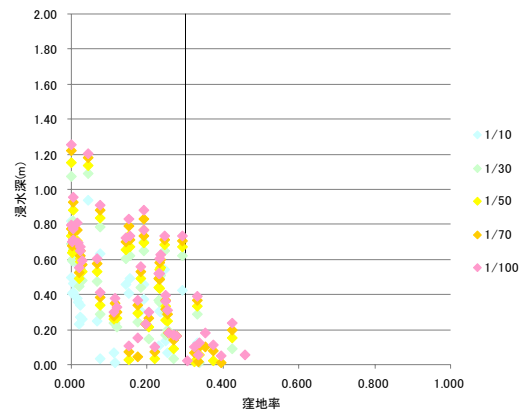
浸水被害の具体的な評価項目としては最大浸水深とし、各確率規模別に想定浸水要因（流出率など）を変化させ、浸水規模が大きい地点を対象に最大浸水深と想定浸水要因（流出率など）の感度分析を行った。例として、下記に最大浸水深と窪地率の関係を示す。

最大浸水深と窪地率は逆相関の関係にあり、当該流域において概ね窪地率 0.5 を超えると浸水は発生しない。また、窪地率 0.3 で変曲点を持つことがわかる。

確率規模別にみると、雨量が増すにつれて窪地率との相関が高くなっていたことから、雨量強度が大きいほど浸水要因としての窪地率の影響は大きくなることが判明した。シミュレーション結果を元に窪地率と浸水リスクの関係を整理すると図一3のようになる。表一1に示した他の要因についても同様に浸水リスクとの関連性について評価を行った。



図一1 シミュレーション対象地域における窪地率



図一2 浸水深と窪地の関係

(3)窪地率	0.8以上	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	0.2未満
1/10	0.000	0.000	0.000	0.132	0.287
1/30	0.000	0.000	0.000	0.112	0.389
1/50	0.000	0.000	0.000	0.092	0.405
1/70	0.000	0.000	0.000	0.089	0.426
1/100	0.000	0.000	0.000	0.113	0.452
合計 (確率規模×浸水被害)	0.000	0.000	0.000	0.021	0.060

図一3 窪地率と浸水リスクの関係

6. 今後の検討課題

今年度は浸水現象に関連する要因と浸水リスクの関係について定量的に評価を行った。今後は、この結果を元に、それぞれの要因を指標化（点数化）して総合的な浸水リスクを評価する手法の提案、及び実現象との比較による精度検証及び上記リスク評価の手法の改善を進めることとしている。



図一4 浸水リスク定量評価手法のイメージ