

I. 下水道事業調査費による調査研究

1. 下水道管路の持続可能なストックマネジメントに関する調査

下水道研究室 室 長 岩崎 宏和
研 究 官 川島 弘靖
交流研究員 野田 康江

1. はじめに

平成 29 年度末現在、全国の下水道管路総延長は約 47 万 km に達しており、そのうち標準耐用年数 50 年を超える老朽管は約 1.7 万 km 存在している。また、平成 29 年度に発生した下水道管路に起因する道路陥没件数は約 3,000 件にのぼっている。今後、老朽管の割合は急激に増加することが見込まれ、下水道管路施設の老朽化等に起因する重大事故の発生リスクはますます高まっていくと予測される。このような状況の中で、下水道の機能を持続的に確保するため、老朽管の劣化特性や道路陥没の発生傾向を把握した上で、維持管理の効率化につなげていくことが重要である。

以上を背景として、国総研では、平成 29 年度より、オイルショック時に一時的に全国に普及した硬質瀝青管（紙製パイプにコールタールを含浸させ防水性を持たせた管）の維持管理方法の確立に向けた研究に着手したところである。また、平成 18 年度より、下水道事業を実施している全国の地方公共団体を対象とし、毎年発生する下水道管路に起因する道路陥没件数を調査している。

2. 平成 30 年度の研究内容

硬質瀝青管に関する過年度の調査内容と試験結果¹⁾は表 1 の通りであり、調査によって硬質瀝青管の大まかな特性等を把握することができた。平成 30 年度は、硬質瀝青管の維持管理方法の確立に向け、異常発生状況の確認、強度試験、洗剤浸漬試験及び洗浄試験を実施した。

また、平成 29 年度に発生した下水道管路起因の道路陥没について、件数やその発生傾向を確認した。

表 1 硬質瀝青管に関する過年度の調査内容と試験結果

調査内容	調査概要	調査結果
布設状況調査	地方公共団体へのアンケート調査	・全国の約80団体で採用 ・本管としても1km程度残存
成分分析	アスベスト含有有無の確認 コールタール含有率の測定	・アスベストは含有されていない ・水ぶくれ発生部分でコールタール含有率が低い(45%程度) ・コールタールは本来60%程度含まれている ・下水、地下水等により含有率が低下すると推測
強度試験	下水道協会規格(JAWAS K-1)に準じ、 残存強度を確認	・水ぶくれの程度が大きいほど残存強度が低下
洗剤浸漬試験	洗剤溶液に1ヶ月間浸漬し、 浸漬後のコールタール含有率を測定	・約20%のコールタールが溶出

3. 硬質瀝青管に関する調査

3.1. 異常発生状況の確認

硬質瀝青管の TV カメラ調査を実施している自治体から、取付管の調査映像を入手し、異常の発生状況を確認した。異常項目は、破損、木根侵入、閉塞とし、管 1 本ごとに異常の有無を確認し、異常の発生している管の本数（異常発生数）を調査本数で除し、異常発生率を算出した。また別途、水ぶくれの程度を問わず、その発生有無についても確認した。

4 市から、汚水管 903 本分の映像を入手した。その内、異常発生数は 592 本あり、異常発生率は 65.6%であった。また、水ぶくれについては、約 95%の管で発生しており、汚水管として使用されている場合、水ぶくれが発生している可能性が高いと考えられた。

3.2. 強度試験

硬質瀝青管の強度は、当時のカタログ値ではコンクリート管と同程度とされているが、年数が経過した硬質瀝青管の残存強度や耐用年数に関する知見は乏しい。昨年度は、硬質瀝青管 4 本の強度試験を実施したが、今年度はデータの蓄積のため、追加で入手した管 6 本について強度試験を実施し、昨年度の結果と合わせ、残存強度を確認した。

強度試験は、日本下水道協会規格である JSWAS K-1²⁾に準じて実施し、閉塞割合と残存強度との相関を確認した。なお、昨年度と同様に、布設されている状態を仮定し、管断面半分程度を水道水に 96 時間浸漬して湿潤状態とした上で試験を実施した。試験結果を表 2 及び図 1～2 に示す。ここで、閉塞割合は、水ぶくれ発生部分の高さを元の管の内径で除した値とした。

表 2 管の諸元と試験結果

No.	管径	線荷重 (kN/m)	破壊荷重 (kN/m)	閉塞割合	備考
①	Φ150	11.21	29.10	0	雨水管で使用
②		18.10	25.12	0	
③		15.29	25.25	0	
④		16.66	26.32	0	
⑤		7.44	17.10	0.1	汚水管で使用
⑥		2.09	5.87	0.1	
⑦		4.89	21.78	0.3	
⑧		10.42	14.46	0.1	
⑨		2.67	4.39	0.4	
カタログ値 (参考)		—	28.42	—	—

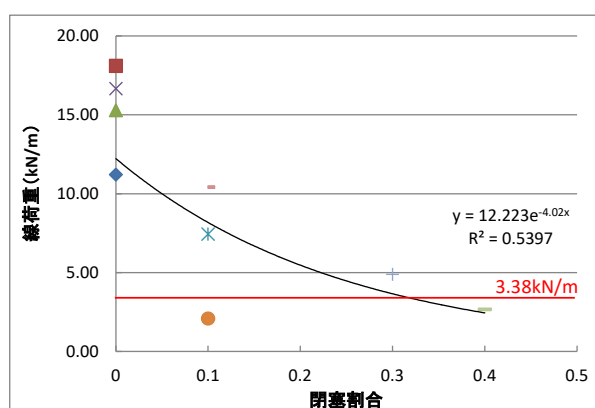


図 1 閉塞割合と線荷重の関係

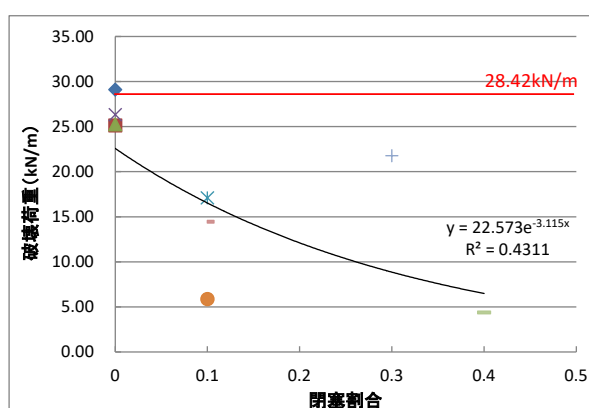


図 2 閉塞割合と破壊荷重の関係

線荷重、破壊荷重ともに、閉塞割合が大きくなるほど、強度が低下していることを確認できた。線荷重については、参考値として塩ビ管の規格値である 3.38kN/m と比較すると、その値を下回るものを確認した。破壊荷重については、カタログ値の 28.42kN/m と比較すると、昨年

同様、湿潤状態ではほとんどの場合でカタログ値を下回る結果となった。以上より、水ぶくれの程度が大きいほど、強度が低下していることが確認され、壊れやすくなっていると言える。

3.3. 洗剤浸漬試験

硬質瀝青管には、防水性を持たせるためにコールタールが含有されているが、下水が流れることにより、流水面のコールタールが洗い流され、防水性が失われ水ぶくれが発生すると推測される。昨年度は、1ヶ月間の浸漬試験を実施し、コールタール含有率の低下を確認したが、劣化機構を把握するには期間が不十分であったため、今年度は長期間（9ヶ月間）の浸漬試験により、コールタール含有率の低下傾向を確認することとした。

試験では、硬質瀝青管の水ぶくれが発生していない上部から試験片（3cm×3cm、約 5g）を切り出し、洗剤濃度（0%、0.1%、1.2%）と水温（20℃、40℃）の異なる試験溶液に浸漬させ、試験片の外観とコールタール含有率の経時変化を確認した。試験片は1ヶ月後、3ヶ月後、6ヶ月後、9ヶ月後に取り出し、ソックスレー抽出ー重量法により、試験片のコールタール含有率を測定した。試験結果を表 3 に示す。

表 3 洗剤浸漬試験結果

No.	洗剤濃度 %	水温 ℃	コールタール含有率（%）			
			1ヶ月後	3ヶ月後	6ヶ月後	9ヶ月後
1	0	20	47.7	48.0	45.3	47.8
2	0.1	20	47.8	43.2	46.0	48.4
3	1.2	20	47.6	44.8	43.5	49.6
4	0	40	47.8	45.8	43.9	48.1
5	0.1	40	48.7	42.7	46.3	47.1
6	1.2	40	48.1	41.6	44.2	46.2

過年度の結果より、試験前のコールタール含有率が 60%程度であったことから、浸漬によるコールタール含有率の低下は見られたが、洗剤濃度、水温、浸漬期間による明確な違いは確認できなかった。試験片の外観の変化としては、3ヶ月後に洗剤濃度 1.2%（20℃及び 40℃）において試験片の細かいくずれが見られ、6ヶ月後及び9ヶ月後では6ケース全てで細かいくずれが見られた。さらに、40℃の試験においては、6ヶ月後及び9ヶ月後では表面が軟化していた。しかし、コールタールの減少と外観の変化の傾向は確認することができなかった。

今回、洗剤濃度や浸漬期間の違いによるコールタール含有率の低下傾向が確認できなかった理由としては、試験片のくずれた部分を測定しなかったことが考えられる。コールタール含有率が低下することにより、水ぶくれが発生すると推測されるため、今後は、くずれた部分も含めて測定することが必要である。

3.4. 洗浄試験

水ぶくれ程度の異なる硬質瀝青管について、洗浄可否を確認するため、洗浄試験を実施した。また、洗浄後の管の破損状況を確認するとともに、「3.2. 強度試験」と同様の方法で残存強度を確認した。高圧洗浄に使用した洗浄ノズルは、後方噴射ノズル、前方噴射ノズル、旋回ノズルの3種類とし、試験圧力は 10MPa、20MPa の2種類とした。なお、水ぶくれのない管は3本のみであったため、1本の管で圧力を変更して実施し、水ぶくれが中程度の管は2本のみであったため、1本の管でノズルを変更して試験を実施した（表 4）。

試験結果を表 5 に示す。水ぶくれのない管は圧力、ノズルに関係なく洗浄が可能であり、洗浄後の強度も確認できた。水ぶくれが発生している管については、洗浄能力の高い旋回ノズルを使用した場合に、水ぶくれ部分の除去は可能であったが、管が破損し穴があった。また、他のノズルを使用した場合よりも洗浄後の管の強度が低下していた。一方、後方噴射ノズル、前方噴射ノズルでは、管の破損は見られず、洗浄後の強度低下もなかったが、水ぶくれ部分の除去は困難であった。

更生工法の前処理として、水ぶくれ部分の除去のために洗浄を行う場合、旋回ノズル（10MPa 以上）でないと除去は困難であるが、管が破損する可能性が高いことから、旋回ノズル（10MPa 以上）の使用は望ましくないとと言える。また、日常点検として管の清掃を行う場合は、後方噴射ノズル、前方噴射ノズルであれば、問題なく清掃可能であると考えられる。

表 4 試験パターン

No.	水ぶくれの程度	試験圧力	洗浄ノズル
1	なし	10MPa→20MPa	後方噴射
2			前方噴射
3			旋回
4	小	10MPa	後方噴射
5		20MPa	
6		10MPa	前方噴射
7		20MPa	
8		10MPa	旋回
9		20MPa	
10	中	10MPa	前方噴射→後方噴射→旋回
11		20MPa	

表 5 洗浄試験結果

試験圧力	水ぶくれの程度	洗浄ノズル	洗浄可否	洗浄後の管の変化	破壊荷重 (kN/m)	残存率 (カタログ値との比較)
10MPa	なし	後方	○	変化なし	-	-
		前方	○	変化なし	-	-
		旋回	○	変化なし	-	-
	小	後方	○	軽微な表面剥離あり	18.14	64%
		前方	○	軽微な表面剥離あり	27.99	98%
		旋回	×	管の破損	12.99	46%
	中	後方	○	軽微な表面剥離あり	-	-
		前方	○	軽微な表面剥離あり	-	-
		旋回	×	管の破損	11.82	42%
20MPa	なし	後方	○	変化なし	26.84	94%
		前方	○	変化なし	25.23	89%
		旋回	○	変化なし	29.74	105%
	小	後方	○	軽微な表面剥離あり	30.63	108%
		前方	○	軽微な表面剥離あり	28.41	100%
		旋回	×	管の破損	16.77	59%
	中	後方	△	表面剥離が多い	破損により試験に必要な長さが取れなかったため未実施	
		前方	△	表面剥離が多い		
		旋回	×	管の破損		

4. 下水道管路に起因する道路陥没に関する調査

4.1. 調査内容

本調査は、下水道管路に起因する道路陥没の実態を全国的に把握するものであり、平成 18 年度から継続的に実施している。調査は、下水道事業を実施している全国の地方公共団体を対象としてアンケート形式にて実施しており、今回は、平成 29 年度内に発生した道路陥没について

整理した。アンケート内容については、過年度の報告書³⁾と同様である。

4.2. 調査結果概要

下水道管路に起因する道路陥没は、平成 29 年度内に約 3,000 件発生している。

経過年数別及び布設年度別の 100km あたりの道路陥没件数について、平成 19 年度及び平成 24 年度に発生した道路陥没と合わせて集計したグラフを図 3～4 に示す。経過年数別の 100km あたり道路陥没件数が増加する時期は、平成 19 年度では経過年数 31～35 年、平成 24 年度では経過年数 36～40 年、平成 29 年度では 41～45 年となっており、増加する時期が 5 年ずつ遅れているように見える。これに対して、布設年度別の 100km あたり道路陥没件数では、昭和 50 年頃を境にいずれも増加していることが確認できる。過去の調査⁴⁾では、異常発生割合の増加は経年的な要因によるものだけでなく、管材規格の策定・改良による水密性、施工性の向上も影響していることが示唆されており、今回の結果からも同様の傾向が確認できた。

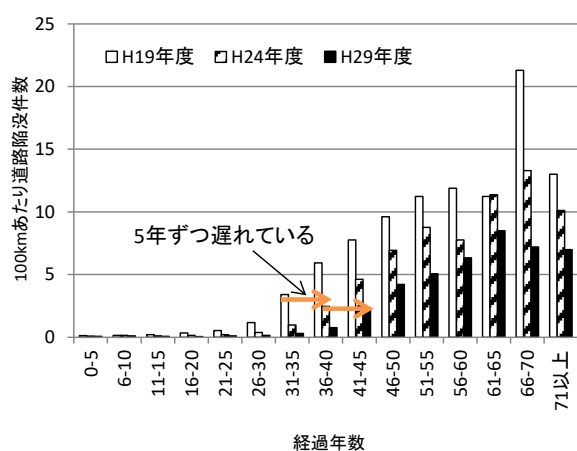


図 3 経過年数別の 100km あたり陥没件数

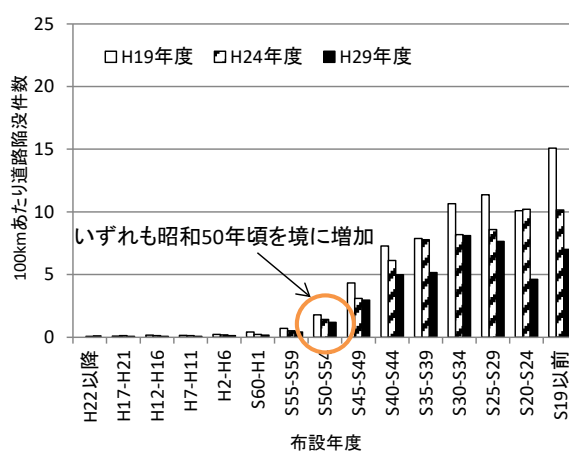


図 4 布設年度別の 100km あたり陥没件数

次に、平成 29 年度内に発生した道路陥没について、原因施設別の道路陥没件数割合を図 5 に、管種別の道路陥没件数割合を図 6～7 に示す。発生原因施設としては、取付管が最も多く、全体の半分以上を占めており、取付管関連（取付管、本管と取付管の接続部、公共樹、取付管と公共樹の接続部）では約 73%となる。なお、取付管関連の陥没の原因となっている管種は陶管が約 75%であり、取付管関連の陥没割合とあわせると、全陥没の半数は陶管製取付管によるものと推察される。本管関連の陥没の原因となっている管種は、コンクリート管が約 56%であった。

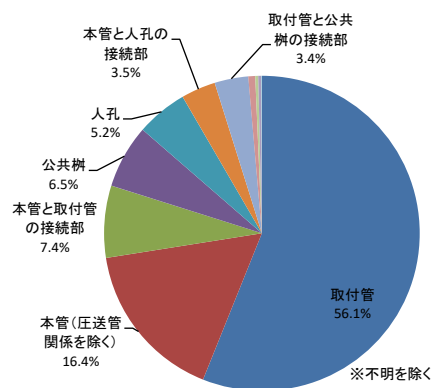


図 5 原因施設別陥没割合

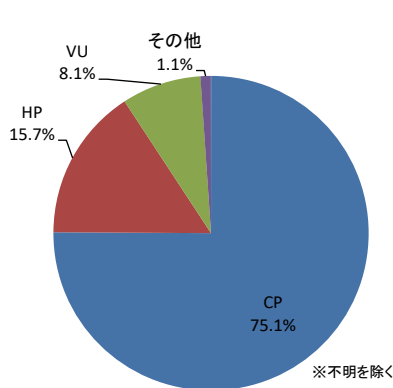


図 6 取付管関連の管種別陥没割合

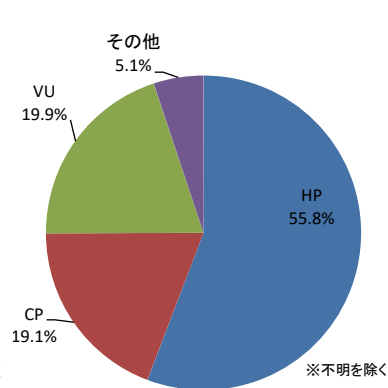


図 7 本管関連の管種別陥没割合

陥没深さについては、図 8 に示すとおりであり、全体の 8 割程度が 50cm 以下の規模の小さな陥没である。また、陥没幅は、図 9 に示すとおりであり、約 65%が 50cm 以下となっている。下水道管路に起因する道路陥没では、規模の小さな陥没が多いと言える。

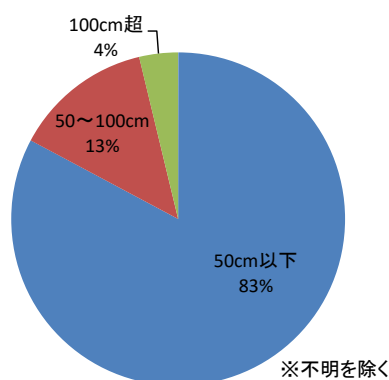


図 8 陥没深さの割合

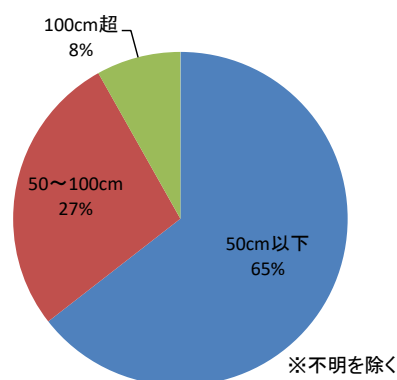


図 9 陥没幅の割合

5. まとめと今後の課題

硬質瀝青管に関する調査により、污水管として使用されている場合は水ぶくれが発生している可能性が高いこと、閉塞割合が大きいほど強度が低下していること、高圧洗浄を行う場合は旋回ノズルの使用には十分な注意が必要であることが明らかとなった。浸漬試験については、洗剤濃度や浸漬期間から、コーラタール含有率の低下傾向を確認することができなかったため、引き続き試験を実施することが望ましい。最終的には、水ぶくれの程度に応じた維持管理方針を検討する予定である。

下水道管路に起因する道路陥没に関する調査により、平成 29 年度内に発生した道路陥没件数とその発生傾向について整理した結果、例年と同じ傾向であることを確認した。引き続き、データを蓄積し、その発生傾向を確認し、道路陥没件数の減少に資するよう研究成果を公表していきたい。

参考文献

- 1) 岩崎宏和・深谷渉・川島弘靖・野田康江、平成 29 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料、No.1056、pp.1～8、2019 年 2 月
- 2) (公社) 日本下水道協会：JSWAS K-1 下水道用硬質塩化ビニル管、日本下水道協会規格、2010 年
- 3) 横田敏宏・深谷渉・宮本豊尚、下水道管路施設に起因する道路陥没の現状、国土技術政策総合研究所資料、No.668、90p、2012 年 2 月
- 4) 横田敏宏・深谷渉・宮本豊尚・竹内大輔、平成 27 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料、No.950、pp.1～6、2017 年 1 月

2. 既存ストックを活用した浸水対策手法の確立に関する調査

下水道研究室 室 長 岩崎 宏和
主任研究官 松浦 達郎
研 究 官 中村 裕美
交流研究員 近藤 浩毅

1 はじめに

近年、下水道施設の能力を超える局地的な大雨等が頻発し、内水氾濫による被害リスクが増大している。一般に浸水対策施設の整備には多くの費用・時間を要することから、早期に被害リスクの軽減を図るためには、既存施設等のストックの能力を適切に評価した上でその機能を最大限に活用できる浸水対策手法を確立することが必要である。そこで、平成 28 年度から 30 年度にわたり既存ストックを活用した浸水対策手法の確立を目的とした研究を実施した。

2 研究結果概要

(1) 平成28年度研究概要

平成 28 年度は、全国 25 都市における過去 10 年間（2004～2013 年）の水害統計調査等から、内水による浸水被害が発生した実績降雨を対象に、「下水道施設計画・設計指針と解説」に準じて作成した、降雨継続時間内の最大降雨強度が実績降雨と同程度となる中央集中型の降雨波形（以下、計画降雨波形）と比較することにより、計画降雨波形の妥当性や課題等について検討した。その結果、最大降雨強度が発生した時刻（以下、ピーク時刻）を合わせて実績降雨と計画降雨波形を比較した場合、ピーク時刻から離れるほど両者の差は大きくなること、降雨波形の形状を表す指標として平均降雨強度に対する最大降雨強度の割合（最大降雨強度/平均降雨強度）（以下、ピーク度）を用いて実績降雨を分類すると、ピーク度が小さい実績降雨ほど計画降雨波形との差が大きくなる傾向を示すことが分かった。

(2) 平成29年度研究概要

平成 29 年度は以下の 2 点の研究を行った。

① 下水管路内の水位情報を用いて雨水ポンプを制御する際の水位観測地点設定手法の検討

② 落葉が雨水枳蓋の排水能力に与える影響に関する模型実験

①は、既存の雨水ポンプを現状よりも柔軟且つ効果的に運用することで浸水被害の軽減を図ることを目的に、下水管路内の水位情報を活用する手法について検討を行った。一般的に雨水ポンプは、ポンプ井の水位のみに基づいて運転を行うことが多いが、ポンプ井以外の下水管路内の水位情報を活用することで、より早く降雨による水位情報を検知し、効果的なポンプ運転制御に繋げることが期待できる。研究では、合流幹線内に複数の水位計を設置しているポンプ排水区を対象に、流出解析モデルを用いた降雨流出解析を実施し、各水位観測地点における水位上昇の特性やポンプ井水位との関係等について整理した。その結果、水位上昇タイミングの早い地点の水位情報を用いることで、ポンプ井よりも早期に降雨による水位上昇の検知が可能であること、さらに検知した水位情報に基づきポンプの起動を早めることで、浸水被害を軽減できる可能性があることを確認した。

②においては、落葉が雨水枳蓋の排水能力に与える影響を確認するため、雨水枳 1 つを設置した道路模型を作成し、雨天時に側溝上に堆積した落葉が雨水と共に枳蓋周囲に流された場合を想定した枳蓋排水実験を行った。実験条件は、0.5%から 6.0%までの道路縦断勾配 3 パターン、1.3l/s から 4.3l/s までの給水量 3 パターン、1kg から 5kg までの落葉堆積量 3 パターン、落葉種類をケヤキ・イチョウ・プラタナスとした。各実験条件時のコンクリート蓋、鋼製グレーチング蓋、落葉対策蓋の排水能力を確認した。雨水枳蓋の排水能力が低下した時の雨水枳蓋周囲の落葉堆積形状を確認すると、落葉が枳蓋の上には堆積せず枳蓋の上流側から道路側の枳蓋末端まで連続して堆積する形状が共通して確認された。この落葉堆積形状がみられた時の実験条件は、道路縦断勾配 0.5%時、給水量 4.3l/s 時、5kg 落葉堆積時に多くみられた。このことから、道路縦断勾配が小さい、給水量が大きい、落葉堆積量が大きい時に雨水枳蓋の排水能力が低下する傾向が確認された。

3 下水管路内の水位情報活用に関する調査

3.1 研究目的

既存ストック活用の一例として、下水管路内の水位情報を基にした雨水ポンプ施設の操作の改善が考えられる。雨水は自然流下により放流されるが、放流先水位の影響により自然流下が難しい場合は、雨水ポンプ施設を用いて強制排除される。そのため、雨水ポンプ場は集水域の最下流部に設置されることが多い。通常、雨水ポンプ場はポンプ井の水位に基づいた運転を行うことが多いが、雨水ポンプの起動には起動指令から全開運転に至るまでに一定の時間（以下、起動時間とする）を要するため、降雨の偏在や突発的な豪雨に起因する急な流入量への増加の対応が難しい場合がある。このような場合、ポンプ井よりも早期に降雨の流入を検知可能な下水管路内の水位情報を用いることで、降雨の状況に応じた柔軟なポンプ運転が可能となり、浸水被害の軽減が期待できる。

3.2 研究方法

3.2.1 下水管路内の水位情報に基づいた雨水ポンプ運転制御の検討方法

下水管路内の水位情報を用いてポンプの運転制御を行うためには、雨水ポンプの起動時間を確保した上で、様々な降雨に対してポンプ井よりも早期に水位上昇を検知できることが望ましい。そこで、分布が異なる複数の降雨を対象に、流出解析モデルを用いてポンプ井の水位上昇に基づく現況運転におけるポンプ起動時刻と、各水位観測地点における水位上昇時刻との差を降雨条件ごとに整理し、雨水ポンプ運転制御に用いる水位観測地点を選定した。次に、選定した水位観測地点の水位情報を用いたポンプ運転（以下、対策運転）について検討し、各対策運転時と現況運転時の浸水被害について比較し効果を確認した。

また、全国の下水道事業で用いられている雨水ポンプの起動時間を把握するため、既存資料を用いて整理するとともにポンプメーカーへのアンケートを行った。

3.2.2 解析に用いたモデル排水区の概要

検討にあたり、既往研究で作成した合流式下水道を採用している排水区モデルを用いて流出解析を実施した。解析には水文解析、管内水理解析、地上の氾濫解析が可能であり、下水道施設の計画、設計に一般的に用いられている Info Works ICM²⁾を使用した。

図-1 に示すモデル排水区は、排水区面積 329ha、合流式下水道における雨水幹線（管径 $\phi 1100$ ～馬蹄形 2300×2070mm、延長 3,821m）および雨水ポンプ場（立軸斜流式、ディーゼル駆動の雨水ポンプ 5 台、合計雨水排水量 11.55m³/s、起動時間 95 秒）により排除される。図-2 に雨水幹線縦断面図及び水位計設置位置を示す。幹線内には既設の水位計が 10 地点（No.0～9）に設置されており、水位観測地点は、既存水位計設置場所に準じた。

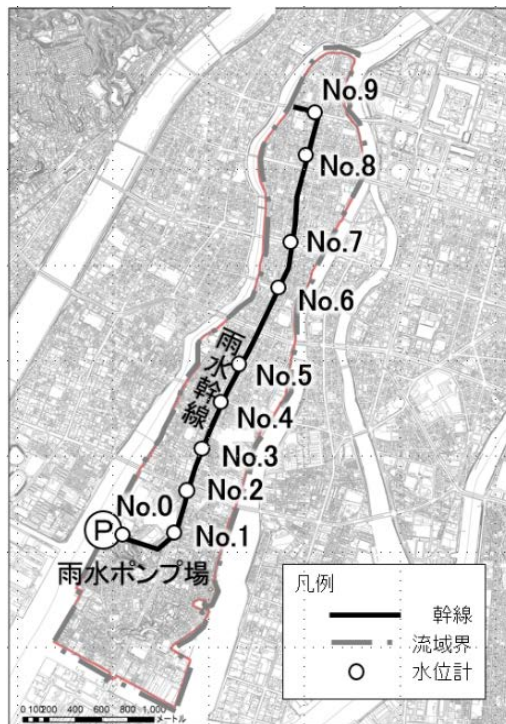


図-1 排水区平面図

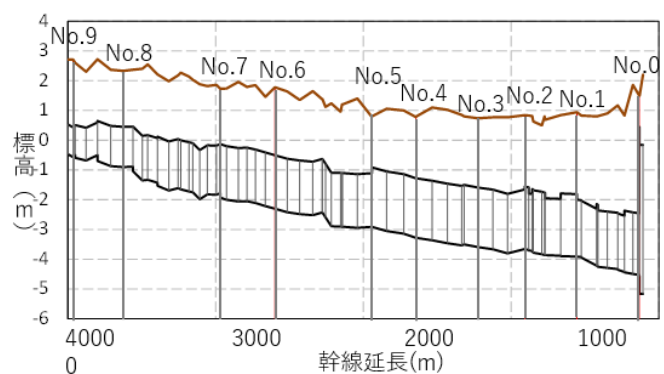


図-2 雨水幹線縦断面及び既設水位計設置位置

3.2.3 検討に用いた降雨条件

解析に用いた検討降雨は、モデル排水区の計画降雨を参考に既存施設の能力を上回る中央集中型降雨波形（時間最大雨量 39.9mm）とした。雨水ポンプの運転制御の判断指標とする管路内水位観測地点がポンプ場に近い場合、ポンプの起動時間の確保は困難であるが、水位上昇は降雨の移動・偏在に影響されにくい。しかし、水位観測地点がポンプ場から遠い場合は、ポンプ起動までのリードタイムを確保しやすい一方、流域内の降雨位置に影響を受けて水位上昇の遅れが生じる可能性が予想されるため、水位観測地点の選定は降雨分布の偏在も考慮する必要がある。これより、降雨の偏在性や移動降雨の影響を考慮するため、流域一様な降雨条件に加え、流域を上・中・下流に分割し（図-3）、各地区の降雨開始時刻や開始順を変化させた降雨条件を 6 パターン用いた。各降雨条件のハイトグラフを図-4 に示す。

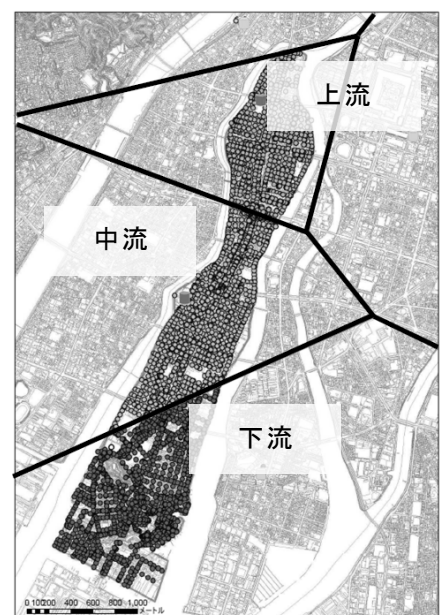


図-3 排水区の分割

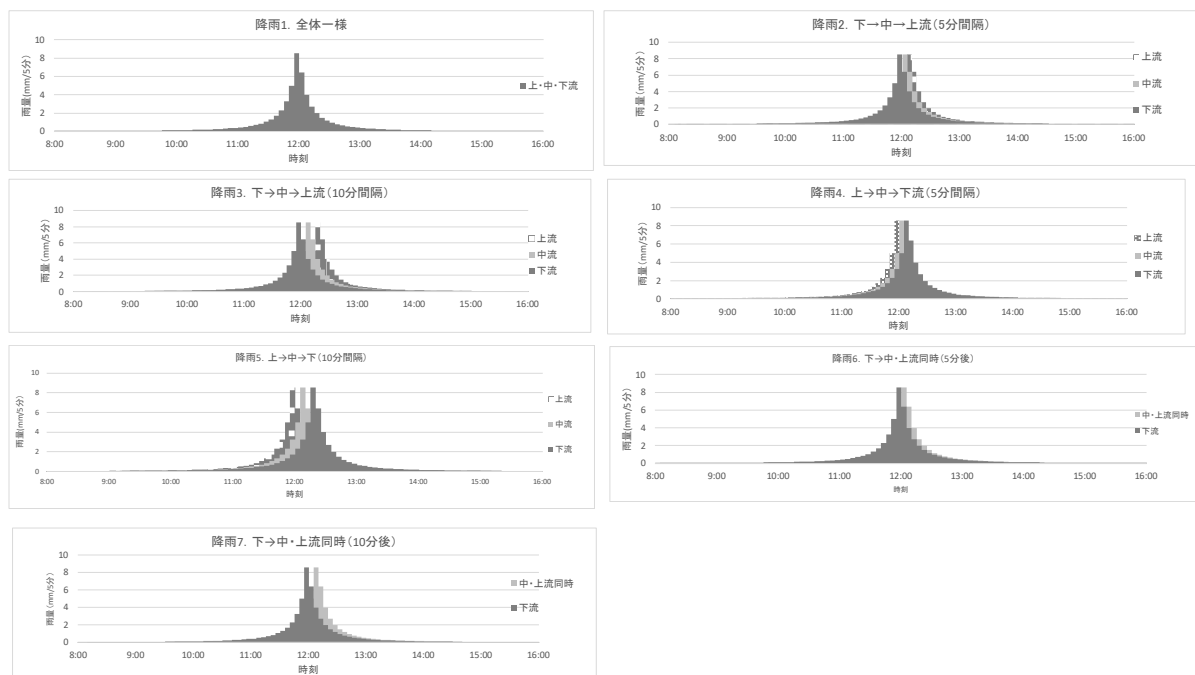


図-4 検討降雨のハイエトグラフ

3.3 研究成果

3.3.1 ポンプ起動と管路内水位上昇の時刻差

各水位観測地点における水位上昇時刻

と現況運転時におけるポンプ井の起動水位時刻を比較した。ここでは、各水位観測地点における水位上昇の判断指標として、管径の5,6,7割を指定水位とした。

各水位観測地点における指定水位の到達時刻と、ポンプ井のポンプ起動水位到達時刻差を表-1に示す。水位観測地点における指定水位を高くするほど、ポンプ井水位に比較して水位上昇が遅れ

表-1 現況運転時のポンプ起動時刻と管路内指定水位の検知時刻差

降雨条件		水位観測地点								
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
5割水深	1.一様降雨	-3	9	21	16	11	7	0	-5	39
	2.下流→上流5分間隔	-5	6	17	12	6	1	-7	-5	-2
	3.下流→上流10分間隔	-7	3	12	7	1	-5	-14	-11	-5
	4.上流→下流5分間隔	-1	12	24	20	15	13	7	11	17
	5.上流→下流10分間隔	2	15	28	24	20	19	14	18	24
	6.下流→5分後上流	-5	7	18	13	8	4	-3	0	10
	7.下流→10分後上流	-6	4	14	9	4	0	-7	-4	-1
6割水深	1.一様降雨	-9	-1	7	5	2	-1	-6	-9	11
	2.下流→上流5分間隔	-11	-4	3	0	-3	-7	-13	-13	-8
	3.下流→上流10分間隔	-12	-7	0	-4	-7	-13	-19	-18	-14
	4.上流→下流5分間隔	-8	2	11	9	6	4	1	1	5
	5.上流→下流10分間隔	-6	5	14	13	11	10	7	8	12
	6.下流→5分後上流	-10	-3	5	2	-1	-4	-9	-9	-4
	7.下流→10分後上流	-12	-6	1	-2	-5	-8	-13	-12	-7
7割水深	1.一様降雨	-14	-7	-1	-2	-4	-6	-10	-12	2
	2.下流→上流5分間隔	-15	-10	-5	-6	-8	-12	-16	-18	-15
	3.下流→上流10分間隔	-15	-12	-8	-10	-12	-17	-22	-22	-16
	4.上流→下流5分間隔	-13	-4	2	2	0	-1	-3	-3	1
	5.上流→下流10分間隔	-12	-1	6	6	4	5	3	4	8
	6.下流→5分後上流	-14	-9	-3	-5	-7	-9	-13	-12	-9
	7.下流→10分後上流	-15	-11	-7	-9	-11	-13	-16	-16	-12

※注釈：マイナス値はポンプ井起動水位到達時刻からの遅延の大きさを示す

る地点数が多くなり、雨水ポンプ起動時間の確保が困難となることが確認された。また、上流から下流に向かって順に降る降雨（降雨条件 4,5）においては、起動時間の確保が比較的容易

であるが、逆に下流から先に降る降雨（降雨条件 2,3,6,7）では、幹線内を流下する下水の流達時間が短くなるため、起動時間の確保が困難となる傾向が見られた。

以上より、ポンプの起動を判断する下水管路内の設定水位は 5 割水深とした。

3.3.2 水位観測地点の選定

5 割水深における各観測地点の到達時刻を確認すると、一様降雨分布を除いた全ての降雨に対して最も早期に到達している地点は No.3 であった。No.9 地点は観測地点の流下能力不足及び下流からの背水の影響を受けて最も早期に上昇したと考えられるが、当該降雨分布以外は No.3 地点が最も早期に到達していることから、本研究では No.3 地点において 5 割水深に達した時点で雨水ポンプの起動を判断する

制御を対策運転とした。

表-2 現況運転と対策運転の起動水位

	ポンプ 起動水位	水位 観測地点	ポンプ井におけるポンプ起動水深 (括弧内は現況運転との差) (単位：m)				
			1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目
現況運転	ポン プ 井	なし	2.40	2.55	2.60	2.65	2.70
対策運転 1		No. 3	2.20 (-0.20)	2.35 (-0.20)	2.40 (-0.20)	2.45 (-0.20)	2.50 (-0.20)
対策運転 2		なし	2.20 (-0.20)	2.35 (-0.20)	2.40 (-0.20)	2.45 (-0.20)	2.50 (-0.20)

3.3.3 対策運転による浸水被害軽減 効果の検証

本研究で確認する対策運転は、表-2
に示すとおりとした。

対策運転 1：

観測地点 No.3 にて 5 割水深となった時点で雨水ポンプ 1 台目から 5 台目までの起動水深を現況より 0.2m 下げる。

表-3 現況運転と対策運転の解析結果

降雨条件	運転条件	浸水面積 (ha)	対策運転による 削減浸水面積 (ha)	最大浸水深 (m)
降雨条件1 全体一様降雨	現況運転	69.94	0.00	0.88
	対策運転 1	69.65	-0.29	0.86
	対策運転 2	70.08	+0.14	0.88
降雨条件4 上流→下流5分間隔	現況運転	68.65	0.00	0.90
	対策運転 1	68.00	-0.65	0.87
	対策運転 2	68.00	-0.65	0.87

対策運転 2：

管路内水位とは関係なく、最初から雨水ポンプ 1 台目から 5 台目までの起動水深を現況より 0.2m 下げる。

対策運転による浸水被害軽減効果の検証結果の一例として、流域全体に一様に

生じる降雨（降雨条件 1）と、上流から下流に向かって 5 分間隔で開始時刻が遅れる降雨（降雨 4）に対する結果を表-3 に示す。各運転条件における浸水面積、最大浸水深を示している。

現況運転時と比較して、対策運転 1 では 1%程度の浸水面積削減効果が得られた。一方、対策運転 2 は、降雨によって同じ水位設定である対策運転 1 と同じ効果が得られる場合と、浸水面積が増加する場合があった。このことから、対策効果の発現には、単純に起動水位を低下させるだけではなく、下水管路内の水位状況に応じて起動水位を低下させることが重要と考えられる。

3.3.4 雨水ポンプ起動時間の把握

既存資料^リを用いて、全国 1198 箇所のポンプ施設の雨水ポンプ 4176 台を対象に、採用されているポンプ形式及び原動機形式について整理を行った（図-5）。その結果、ポンプ形式は、立軸形が最も多く 71.5%、また原動機形式ではディーゼル駆動が 49.5%と最も多く採用されていた。次にこれらの結果を基に、ポンプ形式と原動機形式の組合せ毎の起動時間について、ポンプメーカー7社に対してアンケートを行い、具体的な回答を得られた5社について整理した。その結果を表-4 に示す。メーカーにより数値は異なるが、ポンプ形式では立軸よりも横軸の方が起動時間が長くなる傾向が見られた。またモデル排水区の雨水ポンプと同じ、立軸形式でデ

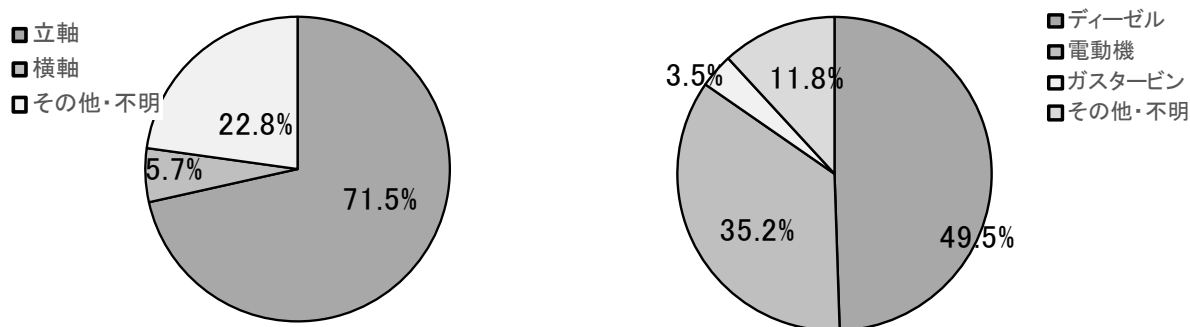


図-5 ポンプ形式別及び原動機別ポンプ台数の割合

表-4 ポンプ形式及び原動機形式毎の起動時間

ポンプ形式	原動機形式	起動時間(秒)				
		A社	D社	E社	F社	G社
立軸	ディーゼルエンジン	180～240	105	135	75～110	180～360
	電動機	120～180	70	135	70～105	90～270
	ガスタービン	165～225	110	105	105～115	130～310
横軸	ディーゼルエンジン	420～480	615	435	365～680	450～930
	電動機	420～480	610	435	365～690	390～870
	ガスタービン	435～495	650	435	400～770	400～880

の場合の起動時間は 75～360 秒であり、今回検討対象としたポンプ場の起動時間 95 秒は、比較的短い条件であることが分かった。

3.3 結論

移動を考慮した複数の降雨条件に対する浸水被害軽減効果について検証し、過年度の研究において検討した手法の有効性について確認した。

その結果、ポンプ井に比較して水位上昇の早い地点を選定し、その地点の水位情報を用いた対策運転を実施した場合、現況運転より浸水面積や最大浸水深が減少し一定の浸水被害軽減効果を確認することができた。

また、より効果的な雨水ポンプ運転について確認するために、複数のポンプ運転条件を設定し、各対策運転時の浸水被害軽減効果を比較した。

その結果、対策運転による浸水被害軽減効果を発揮するためには、単にポンプ排水を早めるだけではなく、下水管路内の水位状況に応じた適切なタイミングで対策運転に移行することが重要である可能性が示唆された。

本検討内容は、既存施設を最大限に活用するために管内水位情報を元に雨水ポンプの起動水位を低下させる簡易な運転制御手法であるが、この対応で浸水被害の軽減が困難である場合は、管内水位情報や降雨情報をリアルタイムで収集・分析し、分析結果に基づく雨水ポンプの運転制御を行う手法の導入の検討も挙げられる。

今後は、本研究で検討した管路内水位を用いた雨水ポンプの運転手法について、他の排水区への試行等により、手法の妥当性や精度、適用範囲等を確認する予定である。

<参考文献>

- 1) 公共投資ジャーナル社:下水道ポンプ場データベース、2018 年
- 2) (公財) 日本下水道新技術機構：流出解析モデル利活用マニュアル、2017 年

3. 下水道新技術の導入推進に関する調査

下水道研究部 下水道研究官 南山 瑞彦

下水道研究室 研 究 官 川島 弘靖

交 流 研 究 員 渡邊 航介

1. はじめに

下水道の中長期的な方向性や未来像を示すものとして、国土交通省及び公益社団法人日本下水道協会により、平成 26 年 7 月に新下水道ビジョン¹⁾が作成、公表された。これを受け、国総研では、新下水道ビジョンで示された長期ビジョンや中期目標を達成するために必要な技術開発の中長期的な方向性を示すものとして、平成 27 年 12 月に下水道技術ビジョン²⁾を策定した。また、下水道技術ビジョンのフォローアップと技術開発の推進方策を検討するための場として、平成 28 年 1 月に、下水道技術開発会議を設置し、定期的に下水道技術ビジョン・ロードマップ重点課題の選定やロードマップの一部改定等を実施している。さらに、下水道事業における新技術の導入を促進することを目的として、平成 30 年 10 月に下水道技術開発会議エネルギー分科会（以下、「エネルギー分科会」という。）を設置し、主に下水道資源・エネルギー技術などの新技術の開発及び導入促進方策の検討を実施している。

平成 30 年度の本調査では、下水道技術ビジョンのフォローアップの一環として、下水道事業の技術ニーズ及び新技術導入上の課題等に関する調査、ロードマップ重点課題の選定及びロードマップの一部改定に関する検討、ロードマップの技術開発状況に関する調査、技術開発・導入促進方策の検討等を行った。また、その結果を下水道技術開発レポート 2018³⁾としてとりまとめ、平成 31 年 4 月に公表した。本稿では、下水道技術開発レポート 2018 の内、下水道事業の技術ニーズ及び新技術導入上の課題等に関する分析結果と、ロードマップの技術開発状況に関する調査内容及びエネルギー分科会での検討内容について示す。

2. 下水道事業の技術ニーズ及び新技術導入上の課題等に関する調査

下水道技術開発会議の検討課題である「技術ニーズの把握と発信」のため、平成 30 年度は、中核市規模の地方公共団体の技術ニーズ及び新技術導入上の課題等の概況を把握することを目的として、下水道研究会議会員市を対象としたアンケート調査を実施した。そして、アンケート結果を基に、複数の地方公共団体を選定し、ヒアリング調査も併せて実施することで、具体的な技術ニーズや課題の把握を行った。

2.1. 技術ニーズ及び新技術導入上の課題等に関するアンケート調査

2.1.1. 中核市規模の地方公共団体へのアンケート調査方法

中核市規模の地方公共団体として、下水道研究会議会員市を対象に、アンケート方式による調査「技術ニーズや技術導入上の課題等に関する調査」を実施した。アンケートは、平成 30 年 9 月に発出し、10 月に回収（48 団体回答）した。アンケートでは、以下の内容について情報を収集した。

- Q1 現在および将来の技術的課題（技術分野、緊急性、技術開発の必要性）について
- Q2 下水道施設の計画・設計段階における新技術の導入検討状況について
- Q3 技術的課題の解決に向けた新技術に関する調査研究の実施状況について
- Q4 新技術の導入検討に必要な情報の種類、現状の情報入手方法、現状の情報での満足度、今後期待する情報の提供方法について

2.1.2. アンケート調査結果

(1) 現在および将来の技術的課題（技術分野、緊急性、技術開発の必要性）について

Q1 についてのアンケート結果を表 1 に示す。

「すぐに解決が必要」または「1 年以内に解決が必要」な技術的課題があると多く回答された技術分野は、「管路の維持管理」、「管路更生」、「雨水対策」であった。なお、「その他」の技術分野は、電気・消毒等の設備関係であった。

「将来的に解決が必要」な技術的課題があると多く回答された技術分野は、「管路の維持管理」、「管路更生」、「雨水対策」、「地震対策」であった。また、「水処理」、「汚泥消化」の技術分野も比較的多く技術的課題があると回答された。なお、「その他」の技術分野は、ポンプ場の維持管理、大規模幹線の改築更新であった。

表 1 現在および将来の技術的課題（技術分野、緊急性、技術開発の必要性）

	緊急性	すぐに解決が必要		1年以内に解決が必要		5年以内に解決が必要		将来的に解決が必要	
	技術開発の必要性	必要	不要	必要	不要	必要	不要	必要	不要
技術分野	水処理	1	1	2	0	1	0	5	0
	高度処理	1	0	0	0	0	0	0	1
	汚泥濃縮・脱水	0	0	0	0	0	0	1	1
	汚泥焼却・乾燥	1	0	0	0	0	0	2	1
	汚泥消化	0	0	1	0	1	0	4	0
	処理場の維持管理	0	1	0	0	0	0	3	2
	管路の維持管理	4	0	4	1	0	0	10	3
	管路更生	0	0	6	1	1	1	12	1
	雨水対策	4	1	4	3	0	0	9	1
	地震対策	0	0	2	1	0	0	9	0
	その他	0	0	3	0	0	0	2	0

(2) 下水道施設の計画・設計段階における新技術の導入検討状況について

Q2 についてのアンケート結果を表 2 に示す。

回答した地方公共団体のうち、28%（13 団体）で新技術の導入検討が行われていた。また、導入検討が行われた新技術の 89%が採用されており、さらにそのうちの 65%は「工事の施工のみを発注する方式」での入札契約が行われていることがわかった。また、新技術の導入検討を行わない主な理由は、「新技術に関する情報不足」、「実績・信頼性の不足」、「現状では必要性がなかった」、「既存技術により対応可能であった」であった（自由記述の回答の趣旨）。

この結果から、情報不足や実績・信頼性の不足等の課題を解決できれば、新技術が導入検討に上がり、普及展開に結びつく可能性が示唆された。

表 2 新技術の導入検討状況

設問	回答	回答数	回答率
新技術の導入検討の有無	有り	13	28%
	無し	34	72%
【導入検討有りの場合】 実事業への導入の採否	採用	17	89%
	不採用	2	11%
【実事業採用の場合】 入札契約方式	工事の施工のみを発注する方式	11	65%
	設計・施工一括発注方式	2	12%
	詳細設計付工事発注方式	0	0%
	設計段階から施工者が関与する方式（ECI方式）	0	0%
	維持管理付工事発注方式	0	0%
	その他	4	24%

※「新技術の導入検討の有無」の回答数は地方公共団体の数、「実事業への導入の採否」の回答数は検討された新技術の数を示す。

※小数点以下第1位を四捨五入しているため各カテゴリーの%を合計しても必ずしも100%とはならない。

(3) 技術的課題の解決に向けた新技術に関する調査研究の実施状況について

Q3 についてのアンケート結果を表 3 に示す。

回答した地方公共団体のうち、31%（15 団体）で技術的課題の解決に向けた新技術に関する調査研究が行われていた。調査研究の技術分野は「管路の維持管理」が最も多く、次いで「雨水対策」が多かった。なお、「その他」の技術分野は、下水熱、広域化、管路の老朽化対策であった。

調査研究の実施方法としては、日本下水道事業団・日本下水道新技術機構・コンサルタントへの委託が多いことを想定していたが、実際には、「その他」として、B-DASH プロジェクトでの実証研究や、民間企業・日本下水道事業団・日本下水道新技術機構等との共同研究やフィールド提供等が多かった。

また、後節「2.2. 技術ニーズ及び新技術導入上の課題等に関するヒアリング調査」の際に合わせて聞き取りを行った結果、調査研究について、メーカー・大学等からの提案があり、地方公共団体のニーズに合致していれば実施するという意見が多かった。

表 3 調査研究の技術分野及び実施方法

実施方法		直営	下水道事業団 への委託	下水道機構 への委託	コンサルタント への委託	その他
技 術 分 野	水処理	0	0	0	0	2
	高度処理	0	0	1	0	0
	汚泥濃縮・脱水	0	0	0	0	0
	汚泥焼却・乾燥	0	0	0	0	2
	汚泥消化	0	0	0	0	0
	処理場の維持管理	0	2	0	0	2
	管路の維持管理	1	0	0	0	5
	管路更生	0	0	0	0	0
	雨水対策	0	0	0	0	3
	地震対策	0	0	0	0	0
	その他	0	0	1	1	2

(4) 新技術の導入検討に必要な情報の種類、現状の情報入手方法、現状の情報での満足度、今後期待する情報の提供方法について

Q4 についてのアンケート結果を表 4～6 に示す。

現状の情報での満足度について、「満足」、「やや満足」とする回答が 60%であった。今後期待する情報の提供方法については、情報提供者として「国」とする回答が多く、また、情報提供方法に関する主な回答は表 4 に示す現状の情報の入手方法と概ね一致していた。

表 4 新技術の導入検討に必要な情報の種類及び現状の情報入手方法

情報の種類（趣旨）	情報の入手方法（趣旨）
新技術の概要、導入事例、導入前後の留意点、費用関係（イニシャル、ランニング、従来との比較）、その他	メーカーHP、パンフレット、ガイドライン、業界紙（下水道協会誌、下水道新聞等）、ガイドライン、技術評価書、メーカー・コンサルからの情報提供（プレゼン、ヒアリング等）、国からの情報提供（HP、通知文等）、その他

表 5 現状の情報での満足度

現状の情報での満足度	回答数	回答率
満足	5	14%
やや満足	17	46%
あまり満足ではない	15	41%
不満足	0	0%
※小数点以下第1位を四捨五入しているため 合計しても必ずしも100%とはならない。		

表 6 今後期待する情報の提供方法（情報提供者及び情報提供方法）

情報提供者		該当数	主な回答（趣旨）
国		27	HP、メール、通知文、下水道協会誌、プロジェクトGAM、講習会等
自治体		7	HP、下水道協会誌、プロジェクトGAM
大学		2	-
民間企業		6	HP、下水道新聞、出張デモ
その他	下水道機構	2	メール
	下水道協会	1	下水道データベース
	メディア	1	特集記事

2.2. 技術ニーズ及び新技術導入上の課題等に関するヒアリング調査

2.2.1. 中核市規模の地方公共団体へのヒアリング調査方法

前節「2.1. 技術ニーズ及び新技術導入上の課題等に関するアンケート調査」の回答を基に、以下の観点により、ヒアリング対象とする中核市規模の地方公共団体を選定した。

- ・新技術の導入検討または新技術の調査研究を実施している地方公共団体
- ・処理場関係の課題を有する地方公共団体
- ・平成 28～29 年度にヒアリング調査を実施していない地方公共団体

合わせて、周辺の中核市町村の状況等も把握することを目的に、選定した地方公共団体が

存する都道府県庁もヒアリング対象とした。以上より、市町村から 7 団体、都道府県から 5 団体の合計 12 団体に対してヒアリング調査を実施した。

ヒアリング調査では、以下の視点により情報を収集した。

- ・技術ニーズについて
- ・新技術導入上の課題について
- ・新技術導入に必要な情報について

2.2.2. ヒアリング調査結果

(1) 技術ニーズについて

技術ニーズに関する主な回答を整理し、表 7 に示す。

管きょ関係の技術ニーズでは、水深等の制約がない管きょの調査・点検技術及び更生技術、人が入れない小口径管きょの調査・点検技術、不明水対策技術等のニーズが複数あった。また、スクリーニング技術や手法のマニュアル化、埋設の深い箇所においても安全に調査・点検が可能な技術等のニーズがあるとの回答もあった。

処理場関係の技術ニーズでは、反応タンクの低動力化技術、処理能力を維持したまま対応可能な高度処理技術、汚泥処分費の削減が可能な技術等のニーズが複数あった。また、杭を対象とした耐震化技術、用地が少ない処理場における既設駆体を再利用できる技術等のニーズがあるとの回答もあった。

なお、管きょ関係、処理場関係の双方に関し、ICT を活用した管理の省力化技術のニーズがあるとの回答が複数あった。

その他、防食関連技術等、下水道施設の長寿命化に資する技術のニーズがあるとの回答が複数あった。

表 7 技術ニーズに関する主な回答（趣旨）

管きょ関係	・◎不明水対策技術（地中水位の低下時でも原因特定できる技術、雨天時にも実施可能なTVカメラ調査技術等） ・◎人孔の更生工法（安価な技術、同時に耐震化可能な技術等） ・◎水深等の制約がない管きょの調査・点検および更生技術 ・◎省力化技術（無人化での管きょ内調査、遠隔での管きょの維持管理等） ・◎小口径で人が入れない管きょの調査・点検技術（水中ドローン等） ・◎複合管での鞘管工法、自立管での製管工法等のガイドライン・指針の作成 ・◎圧送管の目視点検できない箇所の調査・点検技術 ・管きょのスクリーニング技術や手法のマニュアル化 ・埋設が深い箇所でも安全に調査・点検が可能な技術
処理場関係	・◎ICTを活用した無人化制御等の省力化技術 ・◎反応タンクの低動力化等による省エネ・省CO2技術 ・◎処理能力を減らさず対応可能な高度処理技術 ・◎汚泥処分費削減可能な、創エネで安定性に優れた技術 ・下水道設備の劣化診断システム ・杭を対象とした耐震化技術 ・揚水ポンプや大型の流入ゲートの更新技術 ・施設更新の用地が少ない処理場における既設駆体を再利用できる技術 ・汚泥性状の変化に対応可能な脱水機
その他全般	・◎防食関連技術（処理場、圧送管等の防食被覆塗装の長寿命化、安価で耐腐食性に優れた管材の開発等） ・安価な耐震化技術や老朽化対策

※◎は複数団体からの回答

(2) 新技術導入上の課題について

新技術導入上の課題に関する主な意見を表 8 に示す。

新技術導入上の課題として、実績・技術の信頼性が不足している、うまくいかなかった場合の対応があればよい等の意見が複数あった。その他の個別の意見として、改築・更新のタイミングでの新技術導入の提案や、委託先からの技術提案があればよいという意見もあった。

表 8 新技術導入上の課題に関する主な意見（趣旨）

- ・◎実績が少ない技術は効果、適用性、維持管理性等が十分に確認できない
- ・◎新技術導入の1番目の事例にはなりたくない
- ・◎うまくいかなかった場合の対応(改良費、撤去費等)があればよい
- ・◎イニシャル、ランニングともに低コストな技術であればよい
- ・◎1社だけの技術では採用が難しい(競争入札になじまない、随意契約は困難、価格が適正であるか判断できない等)
- ・◎技術職員の不足による技術の情報不足、技術への理解不足
- ・◎交付要件に新技術が規定されていれば導入しやすい(せざるを得ない)
- ・B-DASH技術は適用規模が大きすぎる。(≒中小向けの技術への要望)
- ・改築・更新のタイミングで新技術があれば導入しやすい
- ・新技術の審査証明、標準仕様書等への反映に時間がかかりすぎている
- ・コンサルタント、日本下水道事業団等への委託では標準仕様様が基本である
- ・技術を適用した際に、本来の目的以外の効果があった事例等があれば、技術の幅が広がるのでは(省エネ技術を導入したが、省エネ以外にも○○な効果があった等)

※◎は複数団体からの意見

(3) 新技術導入に必要な情報について

新技術導入に必要な情報に関する主な意見を整理し、表 9 に示す。

新技術導入に必要な情報として、B-DASH 実証技術について、ガイドライン策定後の運転状況に関する情報や、技術のデメリットに関する情報が必要であるという意見が多かった。また、ガイドラインは情報量が多く、より簡易な資料を望む意見も複数あった。その他の意見として、中小規模の地方公共団体に対象をしぼった資料や、課題毎に技術が検索できるようなシステムがあるとよいという意見があった。

表 9 新技術導入に必要な情報に関する主な意見（趣旨）

- ・◎新技術のガイドライン通りに運転できたのか、改造・改良が必要であったのか等、ガイドライン策定後の情報が必要
- ・◎ガイドラインは情報が多すぎるため、まずは概要版のようなもの(一目見て導入効果や長所・短所等が判るパンフレットのようなもの)があればよい
- ・◎「○○に向いていない。○○した方がいい。」等のデメリットについても情報がほしい
- ・◎コンサルタントからの技術提案があれば検討しやすい
- ・体系的に技術開発が行われていないように感じる。国として目指す将来の最終形や中間形等、技術開発のロードマップを明確に示してもらえればよい
- ・都市部においてはメーカーの営業も多いが、地方においてはメーカーの営業活動が減少している可能性がある
- ・新技術の情報入手にあたり、不明点や悩みといった課題別で検索できればよい
- ・中小市町村など、ターゲットをしぼった資料があればよい
- ・技術導入のフローチャートや、代表的な改築等の検討フローがあればよい
- ・QRコードにより、スマートフォンからガイドラインが確認できるのはありがたいが、文字が小さいため、もう少し簡易な資料の方がよい

※◎は複数団体からの意見

3. 下水道技術ビジョン・ロードマップの技術開発状況に関する調査

3.1. 技術開発状況の調査方法

下水道技術ビジョン策定から3年が経過したことから、そのフォローアップの一環として、ロードマップの技術開発状況を調査することとした。調査は、文献情報（表10）、下水道事業に関連するガイドライン、マニュアル等を基に、ロードマップの技術開発項目毎に、技術の開発段階等の情報の整理を行うこととした。また、技術開発項目に該当しない技術については、別途情報を蓄積し、今後のロードマップ見直しの際に活用することとした。

表10 対象文献一覧

文献名	発行機関	対象年次
下水道研究発表会論文集	日本下水道協会	平成28年度、平成29年度、平成30年度
下水道協会誌	日本下水道協会	平成28年1月～平成30年7月
土木学会年次講演集(第Ⅶ部門)	土木学会	平成28年度、平成29年度
環境工学研究フォーラム講演集	土木学会	平成28年度、平成29年度
水環境学会誌	日本水環境学会	平成28年1月～平成30年7月
水環境学会年会講演集	日本水環境学会	平成28年度、平成29年度(平成30年3月)
EICA研究発表会論文集	環境システム計測制御学会	平成28年度、平成29年度
JS技術開発年次報告書	日本下水道事業団	平成28年度
土木学会論文集G(環境)	土木学会	平成28年度、平成29年度

3.2. 文献情報の整理結果

表10の文献情報を整理した結果の概要を図1に示す。

短中期のロードマップ重点課題に該当する技術開発項目の大部分は文献数が多く、技術開発に関する取組が確認された。中長期課題に関しては、一部文献数が少ないものもあったが、一定の取組が確認された。また、今年度実施した情報収集では、ICT・ロボット関連の分野等、情報が十分得られていない可能性がある分野があった。

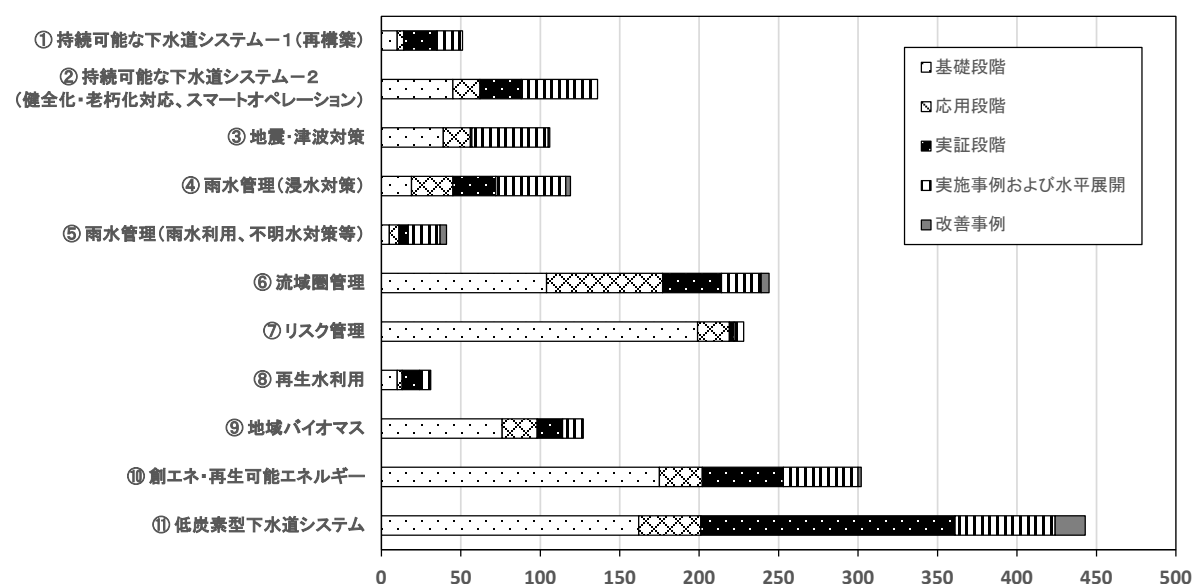


図1 ロードマップの各技術開発分野における開発段階毎の文献数

4. 平成30年度エネルギー分科会における主な検討内容

4.1. 既往の技術開発制度の課題等に関するアンケート調査

国土交通省における既往の技術開発制度の課題等を把握し、新たな技術開発スキームの検討に活かすため、各事業に参画した民間企業の意見聴取を目的として、アンケート調査を実施した。なお、調査時点（平成30年9月）において、B-DASHの実規模実証またはFS調査を継続中のものは対象外とした。

調査対象とした制度、対象事業数等を表11、調査項目を表12、調査結果概要を表13に示す。なお、対象企業数および回答企業数は、重複する企業を含む（対象事業毎）。

表11 調査対象

制度名		対象事業数	対象企業数	回答企業数	回収率
SPIRIT21(合流改善技術)		24	43	28	65%
LOTUS		7	12	8	67%
A-JUMP		2	2	2	100%
B-DASH	実証研究	28	47	44	94%
	FS調査	11	23	21	91%
	合計	39	70	65	93%
合 計		72	127	103	81%

【制度概要】

- ・SPIRIT21(平成14～16年度実施):合流式下水道の改善対策に関わる技術について、民間主導による技術開発を誘導・推進するとともに、開発された技術の早期かつ幅広い実用化を目的とした産学官連携による技術開発制度。
- ・LOTUS(平成17～19年度実施):汚泥の有効利用率100%や温暖化対策のためのバイオマスエネルギーの積極利用を図るため、汚泥資源化の先端的な技術開発を誘導する技術開発制度。
- ・A-JUMP(平成21～22年度実施):膜分離活性汚泥法(MBR)の国内での本格的な普及促進や、海外での展開を図るため、国土交通省が主体となって先進的な取組を実施設で実証する制度。
- ・B-DASH(平成23年度～実施中):下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援する制度。

表12 調査項目

大項目	小項目
1. 開発課題(テーマ)・開発目標の設定	1) 開発課題の設定(内容、設定方法等)
	2) 開発目標の設定(指標、レベル、設定方法等)
2. 実施方法(開発期間、体制等)	1) 研究開発期間
	2) 研究開発体制(自治体参画の有無、委員会・検討会等)
	3) 研究開発費用分担
	4) 公募方法(公募期間、公募条件等)
3. 開発成果の評価・活用方法	1) 開発成果の評価方法
	2) 開発成果の公表・活用方法(評価書やガイドライン等の発行・公表)
4. 開発後の技術導入・普及展開	1) 開発技術の実施設への導入実績
	① 導入実績の有無 ※実績あり(国内外)、実績あり(国内のみ)、実績なし
	② 導入実績数[記述式]
	③ 国内第1号導入決定の時期
	※1年以内、1～3年以内、3～5年以内、5～10年以内、10年以上
5. 新たな技術開発支援制度	2) 国による新技術導入・普及展開に向けた施策・支援
	1) 新制度の検討にあたり重要と考える事項 ※大項目1～4より選択
	2) 新制度の想定スキーム
6. その他	1) 技術開発制度全般に関する意見、提言等[記述式]

※設問は「適当」、「やや適当」、「やや不適当」、「不適当」からなる選択式により回答

表 13 調査結果概要

大項目		小項目	回答結果の傾向と主な意見(趣旨)
1	開発課題・開発目標の設定	1) 開発課題の設定	・全体の9割以上が「適当」、「やや適当」 【主な意見(趣旨)】社会情勢やニーズ(国の施策等)、シーズに合致している
		2) 開発目標の設定	・全体の約8割が「適当」、「やや適当」 【主な意見(趣旨)】社会情勢やニーズ(国の施策等)、シーズに合致している
2	実施方法(開発期間、体制等)	1) 研究開発期間	・SPIRIT21、LOTUS(最長3ヶ年)では、9割以上が「適当」、「やや適当」 ・B-DASH(最長2ヶ年)では、約半数が「不適当」、「やや不適当」 【主な意見(趣旨)】実証施設設置を含む1年目のスケジュールがタイト、実証データの採取期間が短い
		2) 研究開発体制	・全体の約9割が「適当」、「やや適当」 【主な意見(趣旨)】有識者や自治体等による助言や評価が有益である
		3) 研究開発費用分担	・SPIRIT21、LOTUS(民間負担)では、5割が「不適当」、「やや不適当」 ・B-DASH(100%国費)では、約8割が「適当」、「やや適当」 【主な意見(趣旨)】実証研究期間中の維持管理費や自主研究期間の費用負担等へ配慮があれば
		4) 公募方法	・全体の約8割が「適当」、「やや適当」 【主な意見(趣旨)】公募期間が短い、必要書類のボリュームが多い、自治体を含む研究体制作りに時間を要する等
3	開発成果の評価・活用方法	1) 開発成果の評価方法	・全体の約9割が「適当」、「やや適当」 【主な意見(趣旨)】有識者により適切に評価される方法であった
		2) 開発成果の公表・活用方法	・全体の約9割が「適当」、「やや適当」 【主な意見(趣旨)】評価書やガイドライン等が発行され、公表・活用方法は適切であった
4	開発後の技術導入・普及展開	1) 導入実績	・全体の約5割が導入実績あり ・導入実績を有する技術の約9割は事業終了から3年以内に導入決定がなされている
		2) 国の施策・支援	・全体の約4割が「不適当」、「やや不適当」 【主な意見(趣旨)】新技術の導入促進のためには、国による法整備や通達等制定、事業費の補助、技術PR等の支援が必要
5	新たな技術開発支援制度	1) 新制度検討における最重要事項	・「国の新技術導入・普及展開に向けた施策・支援」が約5割 【主な意見(趣旨)】費用補助によるインセンティブ付与、導入後のリスク緩和策等 ・「開発課題(テーマ)・開発目標の設定」が約2割 【主な意見(趣旨)】最終的な導入まで考慮したテーマ設定、可能な限り数値で評価する制度設計が重要等 ・「実施方法(研究期間、体制等)」が約1割 【主な意見(趣旨)】自治体側からのテーマ提案・要望やフィールド提供に関する提示等
		2) 新制度の想定スキーム	・全体の約8割以上が「適当」、「やや適当」 【主な意見(趣旨)】競争性確保、普及促進、選択範囲拡等の観点等から、複数者で取組む技術開発スキームは望ましい ・全体の約2割が「不適当」、「やや不適当」 【主な意見(趣旨)】性能要求水準や性能指標の設定の仕方等によっては、従来技術からのメリットや各社の差別化等がなくなり、新技術の開発・導入を抑制する懸念

※新制度の想定スキーム

- ・国が政策的に取り組むべきテーマについて、達成すべき性能要求水準を設定し、技術開発を誘導・推進
- ・同一テーマについて複数者を選定して実施

開発課題・開発目標の設定、研究開発体制、開発成果の評価・活用方法については、「適当」、「やや適当」という回答が多かった。一方で、B-DASHにおける研究開発期間、SPIRIT21・LOTUSにおける研究開発費用、国による新技術導入・普及展開に向けた施策・支援については、約半数が「不適当」、「やや不適当」という回答であった。

新たな技術開発スキームに関しては、約半数が「国の新技術導入・普及展開に向けた施策・支援」が重要という回答であった。また、国が政策的に取り組むべきテーマについて達成すべき性能要求水準を設定し、同一テーマについて複数者を選定するような競争性の確保を目的とした技術開発スキームについては、約 8 割が「適当」、「やや適当」という回答であった。

5. まとめ

下水道事業の技術ニーズ及び新技術導入上の課題等に関する調査により、中核市規模の地方公共団体の概況を把握した。中核市規模の地方公共団体では、新技術の導入検討は 3 割程度の地方公共団体でしか行われていなかった。より規模の小さい地方公共団体では、新技術の導入にさらに消極的であることが考えられるため、次年度以降は、小規模の地方公共団体における技術ニーズの把握を進めるとともに、新技術導入上の課題の解決方法を検討していく予定である。

ロードマップの技術開発状況について、文献調査により各技術開発分野の取組状況を整理した。技術開発分野によりばらつきがあったが一定の技術開発の進捗が確認された。一方、ICT・ロボット関連の技術分野等、今回の情報収集では十分な情報が得られていないと考えられる分野があったことから、より広範な情報収集方法を検討する必要がある。

エネルギー分科会では、新たな技術開発スキームの検討に活かすため、既往の技術開発制度の課題等をアンケート調査により整理した。今後も、新技術の導入促進を念頭に新たな技術開発スキームを検討していく。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000307.html
- 2) 国総研下水道研究部ホームページ：
<http://www.nilim.go.jp/lab/eag/gesuidougijyutsuvison.html>
- 3) 井上茂治・南山瑞彦・橋本敏一・岩崎宏和・渡邊航介・田嶋淳、国土技術政策総合研究所資料 No.1070、下水道技術開発レポート 2018、91p、国土技術政策総合研究所、平成 31 年 4 月

4. 下水道における災害発生時の迅速な初動体制構築に関する調査

下水道研究室 室 長 岩崎 宏和
研 究 官 平出 亮輔

1. はじめに

近年大規模地震が頻発しており、南海トラフ地震等の広域的な被害が予想される巨大地震の発生も危惧されている¹⁾。重要なライフラインである下水道の被災は市民生活や都市活動等に大きく影響を及ぼし、かつ、地震災害は洪水等と異なり発生時期や場所の予測ができない自然災害である。このため、被害の拡大及び二次被害を抑制するためにも、発災後の速やかな初動体制構築と的確な行政判断、情報発信が極めて重要となる。現在、下水道 BCP マニュアル等に基づき、各自治体等で下水道 BCP 策定及び計画に沿った準備等が進んでいるものの、防災組織上の下水道部局の位置づけや職員規模等は都市ごとに異なるため、計画の実効性を高めるには都市の実情に合わせて計画をカスタマイズしていくことが重要である。また、発災直後の情報空白期の短縮及び効果的活用を図り、適正な情報を確実に住民に発信していくことも必要である。このため本調査では、下水道施設における地震災害発生時の迅速な初動体制構築及び効果的な住民対応に向けた情報発信のあり方、情報空白期への対応手法に関する検討を行った。本年度は、情報空白期への対応手法に関する検討として、近年発生した地震の震度と下水道管路の被災率の関係を整理し、併せて、横断的な組織調整に優れた手法であるタイムラインの視点を下水道分野へ導入するための検討として、前年度の既存文献等の基礎的知見の取りまとめを踏まえ、モデル都市の発災後タイムラインの作成、課題の整理等を実施した。

2. 調査内容

2.1 近年発生した地震の震度と下水道管路の被災率の関係

2.1.1 目的

大規模な地震が発生した際、基本的にすべての下水道管路施設の点検を行い、被災の有無を確認する必要があるため、発災後には多くの人員が必要になる。このため、下水道の関係機関の間では、支援体制のルールを事前に定め、円滑に支援を行うための体制を整備している。しかし、支援機関が初動体制を構築するために必要な被災現場の情報は、発災後の混乱の中、被災機関が自ら収集しなければならず、さらに受援体制を確認した上で、支援機関へ支援要請を行うことになる。発災直後は、人命救助が最優先であり、さらに被災機関の職員は住民対応や自身の被災等により、下水道管路施設の点検に必要な人員が確保できず、被災情報の把握が難しい状況が続く可能性がある。このため、発災直後に支援機関へ被災現場の情報が届かない「情報空白期」が発生する。下水道は、住民の衛生環境を確保するために早急な対応が必要となる施設であるため、情報空白期の活用による支援時の速やかな行動、支援内容の充実等が重要であり、効果的な活用を行うためには被災規模の想定が有効である。本検討では、被災規模の想定的基础的な情報の整理を目的に、近年に発生した大規模地震の震度と下水道管路の被災率の関係について整理した。

2.1.2 整理内容

対象は、平成 28 年の熊本地震以降、平成 30 年度までに発生した震度 6 弱以上の地震とする。市町村ごとに最大震度と下水道管路被災率（被災した管路延長の割合）の関係を整理した結果

を図-1 に示す。震度 6 強では、被災率 0%の市町村数は全体の 40%であるが、震度 6 弱で 80%であった。比較的高い震度においても被災がほとんどない場合が多く、震度 6 強においても 80%の市町村が被災率 5%未満となっている。なお、震度 6 弱の平均被災率（対象市町村すべての被災率の平均値）は 0.519%であり、1%未満であった。今回の結果から、震度 6 弱以下の地震では被災が発生する可能性が低く、支援必要の可能性も低くなると考えられる。なお、今回集計した 7 つの地震の中で最大震度 6 弱の地震 1 件において、10m 程度の下水道管路で被災があったものの（被災率としては 0%）、被災はすべて震度 7 の地震に関連したものであった。このため、最大震度 6 弱以下とそれより大きな地震において、支援必要の可能性の状況が大きく異なる可能性がある。しかし、震度は観測点における揺れの強さの程度を数値化した計測震度から換算されるもの²⁾であるため、市町村内の全てのエリアが同様ではなく、震源までの距離、地質等の諸条件により震度は変化するものと考えられる。平成 30 年北海道胆振東部地震の札幌市のよ

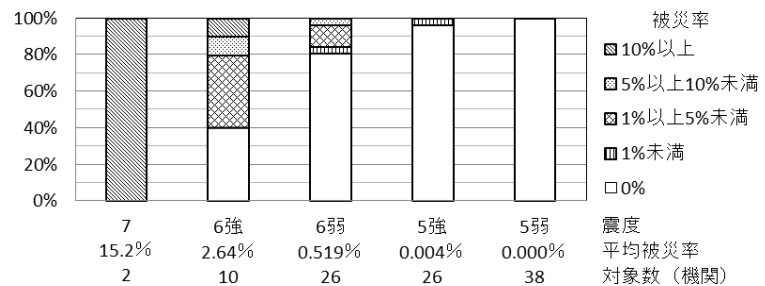


図-1 震度別の下水道管路被災率の割合

うに、震源から遠い一部のエリアで高い震度が発生する可能性があるため注意が必要である。

2.2 下水道分野へのタイムライン的視点の導入に関する検討

2.2.1 目的

下水道施設が地震により被災した場合、管路であれば汚水の流出、マンホールの浮き上がり、路面の沈下等の交通障害や衛生問題が発生する恐れがある（写真-1 参照）。被災規模が大きい場合には、道路の通行規制や、一時的な下水道の使用制限に伴う仮設トイレ等の衛生施設の整備が必要な場合もある。このため、下水道施設の復旧を進めるには、道路、上水道、衛生、河川を管理する部局や避難所、住民等の数多くの関係者との連携が必要不可欠である。タイムラインは、対象とする機関が「いつ」「何をす



写真-1 下水道施設被災時の例

るのか」を一覧表に整理したものであるとともに、関係機関との調整時に責任分担を明確にすることで協力体制強化の効果があり、横断的な組織調整に優れた手法であるため、BCP の組織調整を円滑に実行する手法として有効である³⁾。このため本検討では、地方自治体等におけるタイムライン的視点の導入促進を目的に、タイムライン的視点の導入に関する「考え方」を取りまとめた。初年度の平成 29 年度は、関係する既存文献等の収集、基礎的知見の整理から「基本となるシンプルな発災後タイムライン」を作成し、課題の整理等を実施した。平成 30 年度は、モデル都市を 2 都市選定し、モデル都市が所有する防災計画や下水道 BCP 等の資料の他、ヒアリングにより得た情報や、前年度の成果であるシンプルな発災後タイムラインを基に、地方自治体の発災後タイムラインを作成した。さらに、作成した発災後タイムラインを用いて、作成時と異なる被災ケースを想定し、被災状況と必要作業数等の関係を整理し、発災後タイム

ライン作成時も含め、課題の整理等を実施した。

2.2.2 モデル都市における発災後タイムラインの作成

(1) モデル都市の選定

モデル都市は、被災時に下水道担当の職員をある程度確保できると想定される大都市を1都市、職員が少ないために被災時の対応が難しくなることが想定される中小都市を1都市の合計2都市とした。大都市に関しては、下水道BCPにおいて被害想定や非常時組織の役割などが具体的に示されていることに加え、管路施設の早期復旧に向けた取組として被災前後の行動について、詳細に検討が行われている神奈川県横浜市を選定した。中小都市に関しては、熊本地震での被災地であり、被災状況の想定や対応のための必要作業員数の想定に際し、実際の被災経験が参考になると考え、熊本県益城町を選定した。

(2) 事前の情報収集

発災後タイムラインの作成に際しては、発災後における業務継続や下水道機能の早期復旧のために「いつまでに」「誰が」「何を」しなければならないかを時系列に沿って整理する必要がある。このため、上で選定した2都市に対してヒアリングを実施し、事前に情報収集を行った。なお、他機関の行動や取り決めのない事項等に関しては、「下水道関連機関の災害時支援ルール」「下水道BCP策定マニュアル」の既存資料を活用して設定した。今回、発災後タイムライン作成で利用した資料は表-1のとおりである。

表-1 ヒアリング時収集資料及び既存資料

資料名	発刊元	発刊年月
横浜市防災計画 震災対策編	横浜市防災会議	平成29年度
横浜市業務継続計画（BCP）【地震編】	横浜市	平成30年4月
横浜市下水道BCP【地震・津波編】第2版	横浜市環境創造局	平成26年9月
益城町地域防災計画	益城町	平成30年6月
下水道事業における災害時支援に関するルール	日本下水道協会	平成28年12月
下水道事業における災害時支援に関するルールの解説	日本下水道協会	平成29年2月
下水道災害時における大都市間の連絡・連携体制に関するルール	災害時支援 大都市連絡会議	平成29年1月
下水道BCP策定マニュアル2017年版（地震・津波編） ～実践的な下水道BCP策定と実効性を高める改善～	国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部	平成29年9月

(3) 大都市をモデルとした発災後タイムラインの作成

横浜市から収集した情報等を「防災計画等の関係」「非常時組織体制と関連部局」「被害想定」「優先業務と目標時間」の項目で整理した上で、発災後タイムラインを作成した。

1) 防災計画等の関係

横浜市では、災害対策基本法に基づく「横浜市防災計画」において、災害の種類に応じて構成を区分しており、震災による被害の予防、応急対策、復旧等については「震災対策編」を策定している。また、地震の影響により市役所機能が低下する場合であっても欠くことのできない業務の継続、あるいは早期復旧のための「横浜市業務継続計画（BCP）【地震編】」を策定しており、さらに細部計画である下水道に係る業務を平成26年9月に「横浜市下水道BCP【地

震・津波編】」として策定している。各資料の概要は以下のとおりである。

① 横浜市防災計画（震災対策編）

「横浜市防災計画（震災対策編）」（以下「防災計画」という）は、災害対策基本法第 42 条の規定に基づき横浜市防災会議が策定する法定計画であって、本市、防災関係機関、事業者及び住民が震災への予防から応急対策、復旧、復興までに取り組むべき事項を定めた総合的かつ基本的な計画である。

② 横浜市業務継続計画（BCP）【地震編】

「横浜市業務継続計画（BCP）【地震編】」（以下「市 BCP」という）は、災害対応中であっても休止することが市民生活に重大な影響を及ぼすと考えられる業務（優先度の高い通常業務）の継続、早期復旧手順等を定める本市の独自計画である。また、各区局においては、市 BCP に定める業務を迅速かつ効率的に実施するため、必要に応じ、業務の具体的な実施方法等を示したマニュアル類を作成するとされている。

③ 横浜市下水道 BCP【地震・津波編】

「横浜市下水道 BCP【地震・津波編】」（以下「下水道 BCP」という）は、「防災計画」に定められた事項の詳細な手順を定めた計画であり、代替の効かないライフラインである下水道の機能の重要性から、その機能停止が市民生活に重大な影響を及ぼす「下水の排除」や「下水の処理」といった通常業務を継続、早期復旧するため、「防災計画」に定められた非常時優先業務を速やかに実施しながら下水道機能の回復を図るまでの実施手順を示した「市 BCP」の細部計画として、本市の防災関連計画の中に位置づけられている。

2) 非常時組織体制と関連部局

横浜市において下水道を所管する局は環境創造局であり、防災計画に示される市、区本部の非常時組織体制は図-2 のとおりである。また、区本部におい

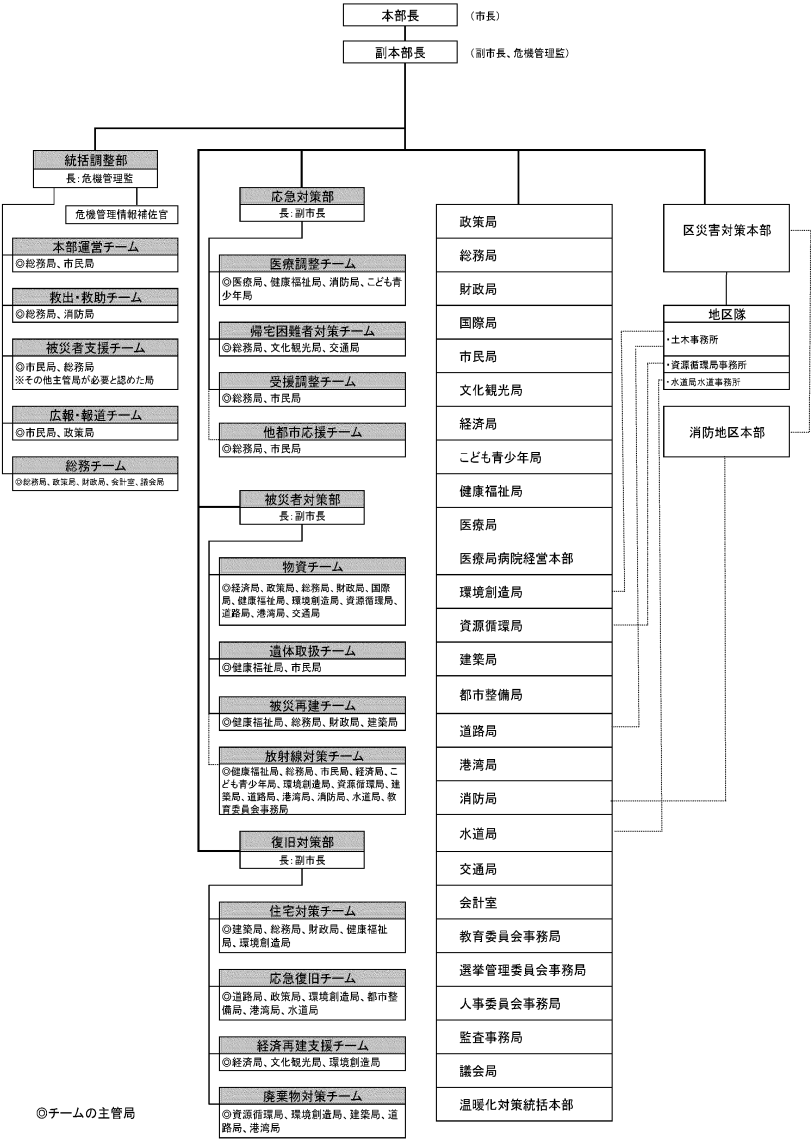


図-2 横浜市災害対策本部組織図

て下水道を所管するのは土木事務所である。環境創造局内部の非常時組織体制、本部および各班の責任者、指揮系統、必要な情報等の流れは、下水道 BCP において図-3 のとおり示されている。下水道の業務を継続、復旧するための対策や判断は、下水道応急復旧チームで方向性を検討した上で、環境創造局（本部）で決定する。下水道応急復旧チームで対応する事項や環境創造局（本部）内と市、区災害対策本部との具体的な情報伝達の流れは、以下のとおりである。

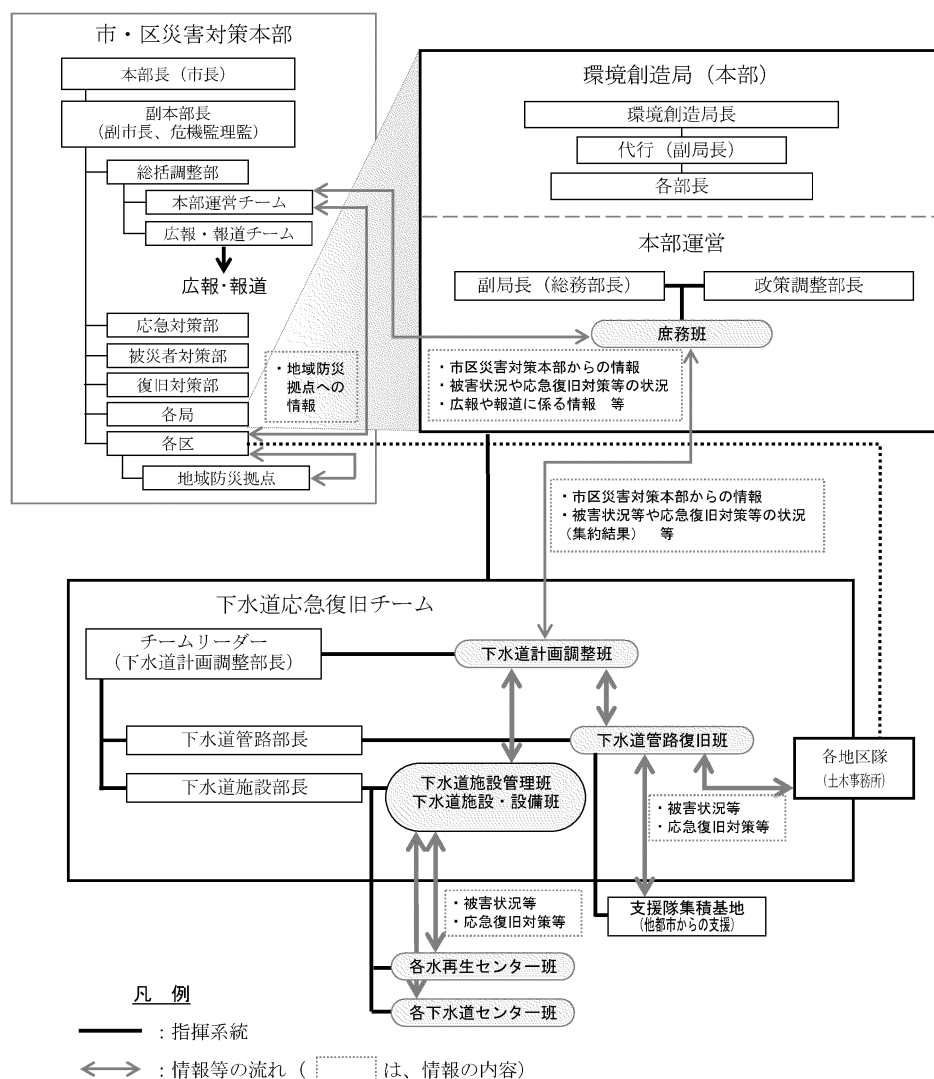


図-3 横浜市環境創造局（本部）内の組織図と情報の流れ

① 市災害対策本部との情報連絡、調整

市災害対策本部からの指令、環境創造局（本部）で決定した事項、局間調整に関する情報、ライフライン等下水道以外の情報などは、情報の錯綜を防ぐため、市災害対策本部の本部運営チームと環境創造局（本部）の庶務班の間で一括して実施する。

② 広報および報道対応

下水道に係る広報及び報道等の情報は、環境創造局（本部）に設置した報道担当、広報担当職員のもと、庶務班が市災害対策本部の広報、報道チームを通じて実施する。

③ 区役所（地域防災拠点）および市民への情報伝達

下水道の被災に伴って生じる地域防災拠点や各家庭におけるトイレの使用可能状況や復旧

状況といった情報については、環境創造局（本部）の庶務班が市災害対策本部の本部運営チームを通じて各区（地域防災拠点）へ実施する。

④ 下水道応急復旧チーム内の情報集約

下水道応急復旧チーム内の情報は、「各班連携に係る情報」「下水道施設の機能障害に係る情報」「下水道事業の早期復旧に向けた情報」「国への連絡に関する情報」という視点により、下水道管路復旧班と下水道施設管理班から下水道計画調整班に集約する。

⑤ 処理施設に関する情報集約

処理施設の点検結果や被災状況、応急対策等の状況に関する情報は、各水再生センター班及び下水道センター班から下水道施設管理班が集約する。また、処理施設の被災状況に応じた応急対策の立案及び実施に関する情報は、下水道施設管理班と下水道施設、設備班で実施する。

⑥ 管路施設に関する情報集約

管路施設の点検結果や被災状況、応急対策等の状況に関する情報は、各地区隊（土木事務所）、協力業者、下水道管路復旧班調査隊及び支援隊集積基地から下水道管路復旧班が集約する。

3) 被害想定

防災計画では「元禄型関東地震」「東京湾北部地震」「南海トラフ巨大地震」「慶長型地震」を想定地震としている。「元禄型関東地震」において、広い範囲で震度 6 強以上の強い揺れとなり、特に西区、中区、磯子区の沿岸部の一部では震度 7 となる。また、「慶長型地震」を津波被害の検討対象地震としている。これを受けて市 BCP では、防災計画が想定する大規模地震のうち、主に市域における被害が最も甚大と想定される「元禄型関東地震」を想定地震としており、これを踏まえて下水道 BCP における想定地震も「元禄型関東地震」としている。「元禄型関東地震」の想定条件は表-2 に示す。なお、下水道 BCP において、津波による下水道施設への影響について、管路施設は考慮していない。一方、処理施設への被害は想定されており、臨海部の施設では津波の浸入による設備の機能停止を想定しているが、本検討では災害対象として津波を考慮しないこととした。次に、下水道に関連する施設の被害想定（最大推計）を以下に示す。

表-2 元禄型関東地震の想定条件と気象条件

項目	内容
発生時刻	冬の午後 6 時（気象情報：北の風 6m/s）
震源地	相模湾（相模トラフ）
規模	マグニチュード 8.1
市域内の震度	震度 5 弱～7

① 本部施設（本庁）

本庁（関内中央ビル）周辺での揺れは「震度 7」と想定する。地震、津波の二次的被害の影響を一定程度受けるものの、非常用発電機により電力確保でき、短時間で業務を再開することが可能であると想定し、被災後のビル管理者による確認の結果、関内中央ビルへの立ち入りが許可され使用可能とする。

② 拠点施設（土木事務所）

市内 18 箇所にある各土木事務所は、地震による被害を一定程度受けるが、拠点としての使用は可能と想定する。

③ 拠点施設（水再生センター及び下水道センター）

各水再生センター及び下水道センター管理棟は、地震により一定の被害を受けるものの、拠点としての使用は可能と想定する。

④ 管路施設

各区の被害延長は約 18～42km と異なるが、市内全域で被害が生じ、被害総延長は約 500km（市内管路延長：11,700km に対し約 4.1%）と推定する。さらに、液状化現象も市内各地で発生する。特に、臨海部の鶴見区や金沢区及び内陸部の港北区は液状化が想定される面積が大きいものとする。

⑤ 処理施設

水再生センター及びポンプ場の被害は、主に揺れや液状化による処理機能支障が生じるものとする。水再生センターは、全 11 施設のうち 10 施設で揚水施設の被害を想定する。また、2 施設で水処理施設の被害、5 施設で消毒施設の被害を想定する。汚泥資源化センターは、2 施設のうち 1 施設の一部で被害を想定する。ポンプ場は、26 箇所のポンプ場のうち 22 箇所で被害を想定する。

⑥ 職員の参集と支援

職員の参集状況として、下水道 BCP における職員の参集率の設定は、市 BCP をベースにしておき、参集率がより低下する状況をあらかじめ考慮しておく必要があることから、動員対象となる全職員が自宅から動員先まで、徒歩で参集する条件で想定する。また、臨海部に参集する職員については津波による影響を考慮しており、「大津波警報」発令から解除までの 24 時間の参集率を 0%と設定している。支援の状況として、民間企業や他都市と災害時の協力や支援に関する協定等を結んでおり、災害時において、これらの協定やルールを適用し、被災状況に応じて必要な人員体制の確保が図られている。

4) 優先業務と目標時間

横浜市において発災時の下水道業務の目標は、下水道施設の機能低下、停止によって市民や社会へ与える影響を最小限にとどめることであり、下水道 BCP において最優先する業務目標が整理されており、表-3 のとおり 5 つの事項が設定されている。業務目標に対しては、非常時に優先する業務内容が設定されており、それぞれの業務に対して設定されている目標時間は表-3 のとおりである。

表-3 優先業務と目標時間

業務目標	関連施設	業務内容	目標時間
トイレ機能の確保	管路	地域防災拠点流末管きよの機能復旧	3 日以内
	処理場	仮設ポンプ・仮排水対応	7 日以内
汚水溢水の解消	管路	放流機能の確保	30 時間以内
	処理場	流下先の確保	3 日以内
		揚水機能（仮設）の確保	7 日以内
交通機能の確保	管路	緊急輸送路の交通機能確保	3 日以内
未処理汚水の流出防止	処理場	水処理機能（簡易沈殿）の確保	2 日以内
		消毒施設（仮設）の確保	3 日以内

5) 大都市における発災後タイムライン

発災後タイムラインを作成する際には、事前に作成時の対象範囲を決める必要がある。このため、関連部局等の範囲、時間の範囲を以下のとおり設定した。

① 関連部局等の範囲

タイムラインに示す防災行動を整理することで、関連部局等の対象範囲を整理することができる。例えば、緊急輸送路の確保の場合は道路部局との協調が必要であり、防災拠点のトイレ機能の確保では環境部門や水再生センターとの連携が必要となる。また、被災規模が大きく被災市町村のみでの対応が難しい場合は、「下水道事業における災害時支援に関するルール」（全国ルール）や「下水道災害時における大都市間の連絡・連携体制に関するルール」（大都市ルール）に基づく他都市からの支援が必要である。また、下水道の流下機能が喪失した地域では、各家庭のトイレが使用不可になることが想定され、下水道の復旧状況や防災拠点のトイレの使用可否といった情報を住民へ連絡する必要がある。これらを考慮してタイムラインに示す関連部局、支援団体等の範囲は、最大規模の被災を想定して関連部局の他に県、国、周辺の他市町村等の支援団体、住民を含めることとし、具体的には以下のとおりとした。

- ・横浜市関連部局
- ・横浜市対策本部
- ・住民
- ・神奈川県対策本部
- ・国土交通省（支援調整隊）
- ・大阪市（大都市ルールの総括都市）
- ・支援都市（大都市ルール）

② 時間の範囲

タイムラインのような緊急時の行動計画を作成する場合、通常は発災後に現場確認を行い、その後の応急対応までの緊急的な対応期間を対象とすることが多く、「下水道 BCP 策定マニュアル 2017 年版（地震・津波編）」においても、発災後から暫定的に機能を確保するための復旧となる応急復旧までを期間としている。一方で、ある程度の復旧が進んだ後においても、タイムラインが業務の進捗管理等に活用できる側面もある。このため、本検討の時間の範囲としては、発災後から業務の終了時である災害査定資料作成までをタイムラインの対象期間とした。

以上の整理結果を踏まえて作成した大都市（横浜市）の発災後タイムラインを図-4 に示す。

横浜市					
環境創造局(下水道対策本部)	対応の目標時間	対応班等	市関連部局	部局	市対策本部
直後	・来庁者への対応	～3hr	庶務班、計画調整班、施設管理班、施設・設備班、管路復旧班	・来庁者への対応	・来庁者への対応
	・非常時体制の立ち上げ	～3hr	水再生センター班	・職員への安否確認等	・職員への安否確認等
～3hr	・職員の安否確認	～3hr	水再生センター班		
	・制御監視盤による点検	～3hr	水再生センター班		
～5hr	・ゲート操作(ポンプ場)	～3hr	水再生センター班		
	・ビル管理者への立ち入り確認	～3hr	庶務班		
～5hr	・緊急点検(処理場・ポンプ場)	～3hr	水再生センター班		
	・施設周辺の被害状況確認	～3hr	水再生センター班		
～5hr	・非常時体制の立ち上げ	～5hr	庶務班、計画調整班、施設管理班、施設・設備班、管路復旧班	・非常時体制の立ち上げ	・非常時体制の立ち上げ
	・職員の安否確認	～5hr	庶務班、計画調整班、施設管理班、施設・設備班、管路復旧班	各局各班	市対策本部立ち上げ
～5hr	・通信手段の確保	～5hr	庶務班、計画調整班、施設管理班、施設・設備班、管路復旧班		
	・資機材の確保	～5hr	計画調整班		
～5hr	・被害状況の確認	～5hr	庶務班、計画調整班、施設管理班		
	・職員の確保	～5hr	庶務班、計画調整班		
～5hr	・現場の警戒、戒厳	～5hr	施設管理班、施設・設備班、管路復旧班		
	・国道・県道等の確保	～5hr	施設管理班、施設・設備班、管路復旧班		
～5hr	・放流機能の確保(ポンプ場含む)	～30hr	水再生センター班		
	・水処理機能(簡易沈殿)の確保	～48hr	協定業者		
～5hr	・消毒施設(仮設)の確保(ポンプ場含む)	～72hr	水再生センター班		
	・緊急点検(道路等)	～72hr	協定業者		
～5hr	・緊急巡回・点検	～72hr	管路復旧班		
	・緊急措置(緊急輸送路・直轄国道下)	～72hr	協定業者		
～5hr	・緊急調査(防災拠点)	～72hr	管路復旧班		
	・0次調査	～3日	協定業者		
～5hr	・外部との連絡調整、職員宿泊等の対応	～24hr	庶務班		
	・被害状況・応急対応状況の収集	～24hr	庶務班、施設管理班		
～5hr	・関係行政局との連絡調整、市民からの情報要求等の対応	～24hr	庶務班		
	・被害状況の集約・報告	～24hr	計画調整班		
～5hr	・支援隊基地候補地の状況確認	～24hr	計画調整班		
	・応急復旧対策の総合調整	～24hr	計画調整班		
～5hr	・直接放流に関する報告	～24hr	庶務班、計画調整班、施設管理班		
	・情報の集約・本庁への連絡	～24hr	施設管理班		
～5hr	・協定業者への連絡調整	～24hr	施設管理班		
	・各センターへのし尿受け入れ依頼	～24hr	施設管理班		
～5hr	・応急対応検討・応急工事設計	～14日	施設・設備班		
	・下水道きょ被害状況の把握	～5日	管路復旧班		
～5hr	・全面復旧方針計画の策定	～7日	管路復旧班		
	・施工現場安全確認	～24hr	管路復旧班		
～5hr	・防災拠点の使用制限に関する報告	～72hr	計画調整班		
	・土木事務所への職員派遣	～48hr	管路復旧班		
～5hr	・大原市からの先遣隊要入れ	～48hr	計画調整班		
	・仮設ポンプ・仮排対応(防災拠点)	～7日	管路復旧班		
～5hr	・台帳整備	～7日	管路復旧班		
	・支援可能なリソースの確認	～48hr	計画調整班		
～5hr	・簡易処理、消毒処理、仮設対応等の報告	～72hr	施設管理班		
～5hr	・使用制限の判断、実施、報告	～5日	庶務班、計画調整班		
	・支援隊集積基地の決定	～4日	計画調整班		
～5hr	・支援に関する連絡調整	～4日	計画調整班		
	・応急復旧	～10日	管路復旧班		
～5hr	・一次調査	～7日	協定業者		
	・支援要請人数の把握	～5日	計画調整班		
～5hr	・支援要請	～5日	計画調整班		
	・支援要請の報告	～5日	計画調整班		
～5hr	・水再生センター班へ	～7日	計画調整班、管路復旧班		
	・支援受け入れ準備	～7日	管路復旧班		
～5hr	・支援隊要入れ	～7日	管路復旧班		
	・一次調査(支援あり)	～14日	管路復旧班		
～5hr	・揚水機能の確保	～14日	水再生センター班		
	・一次調査結果整理(支援なし)	～10日	協定業者		
～5hr	・一次調査結果整理(支援あり)	～14日	管路復旧班		
	・二次調査	～2月	協定業者		
～5hr	・災害査定資料作成	～2.5月	管路復旧班		
	・災害査定調査	～30日	施設・設備班		
～5hr	・完了		水再生センター班		

図-4-1 地震時大都市（横浜市）における下水道関係機関調整のための
発災後タイムライン（案） 1 / 2

(4) 中小都市をモデルとした発災後タイムラインの作成

益城町から収集した情報等を「防災計画等の関係」「非常時組織体制と関連部局」「被害想定」「優先業務と目標時間」の項目で整理した上で、発災後タイムラインを作成した。

1) 防災計画等の関係

益城町では、災害対策基本法に基づく「益城町地域防災計画」（以下「防災計画」という）を策定しており、防災上必要となる災害予防、災害応急対策及び災害復旧に係る諸施策について定めている。防災計画では、平成 28 年 4 月に発生した熊本地震、阪神・淡路大震災及び東日本大震災等の大規模災害を踏まえ、関係機関や発災時にそれぞれの機関で処理すべき事務等が示されている他、益城町の特質や熊本地震の被害状況について簡潔に示されている。また、熊本県が平成 23 年度から 2 ヶ年かけて実施した地震被害想定調査の結果を要約したものが示され、益城町における被害想定としている。下水道に関しては、災害対策部の事務分掌において、水道対策部の下水道班としての体制、業務内容が示されている。

2) 非常時組織体制と関連部局

益城町において下水道を所管するのは下水道課であり、防災計画においては下水道班として示されている。なお、班の人員としては、班長 1 名、副班長 1 名、班員 12 名の合計 14 名で構成されている。益城町の災害対策本部組織図を図-5、部局間の情報伝達方法を図-6 に示す。



図-5 益城町災害対策本部組織図

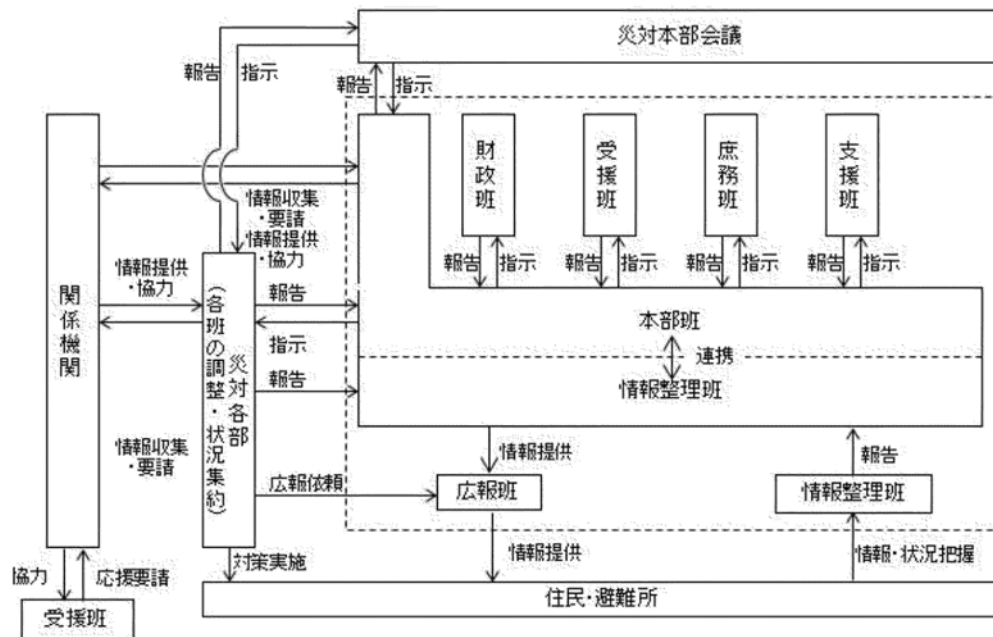


図-6 部局間の情報伝達方法

3) 被害想定

防災計画では、熊本県が実施した地震被害想定調査の結果の要約が記載されている。その内容を踏まえて下水道課では、町内に布田川断層、日奈久断層が存在するため「布田川・日奈久断層帯 中部・南西部 連動」の地震を適用し、想定規模を震度 7、被災場所を町の中心的地域である宮園地区としている。下水道関係の被災想定の詳細は以下のとおりである。

① 下水道対策本部

下水道対策本部を設置する益城町役場は仮庁舎であり、耐震基準については未対応である。前線拠点となる益城町浄化センターに関しては、後述の処理場のとおりである。

② 管きょ

益城処理区東部・宮園・馬水・惣領第 1・古閑・西部汚水幹線の一部等、平成 10 年度以前に整備された汚水幹線は L1/L2 に未対応であるため、地震被害が発生する可能性がある。そのため、当該汚水幹線で配管の破断等が発生した場合、幹線上の道路への汚水溢水、道路の陥没、それらに伴う幹線道路の通行止め等が生じることが予想される。

③ 処理場

管理棟は新耐震基準を満足しておらず、地震被害が発生する恐れがある。管理棟が使用できない場合は、代替拠点に下水道対策前線拠点をおく。また、自家発電燃料は 12 時間分しか保有しておらず、1 日以上以上の停止に対応できない。水処理施設の掻き寄せ機等の設備は、脱落し、運転停止が予想される。浄化センターの各施設のうち水処理第 3、機械濃縮棟、汚泥消化タンク、ガスタンクの耐震化は実施済だが、管理棟、沈砂ポンプ棟、水処理第 1、水処理第 2、汚泥処理棟の 5 施設については耐震化未実施である。

④ 職員の参集

発災の経過時間に伴う参集率等の設定はなく、職員それぞれの自宅から参集場所である益城町浄化センターまでの徒歩による移動となる。ほとんどの職員が益城町周辺に居住しているため、3 時間以内の参集が可能と想定している。

4) 優先業務と目標時間

防災計画の下水道班の目標は「下水道施設の点検及び早期の復旧を図ること」となっており、業務内容としては以下のとおりである。その内容を踏まえて下水道課では、優先業務と目標時間を表-4としている。

- ・下水道施設の被害調査及び災害対策に関すること
- ・拠点施設（庁舎、避難所等）の優先復旧に関すること
- ・復旧情報の提供及び関係部署への情報共有に関すること
- ・協定書等に基づく支援要請に関すること・応急復旧に関すること
- ・災害査定に関すること

表-4 優先業務と目標時間

優先業務	業務の概要	対応の目標時間
下水道対策本部の立上げ	・災害対応拠点の安全性を確認し、下水道対策本部を立上げ ・町災害対策本部、県（下水道）、民間企業等との連絡体制確保	勤務時間内：3時間以内 勤務時間外：6時間以内
被害状況等の情報収集	・処理場、ポンプ場の被害状況等を確認 ・報道、他部局からの連絡、住民からの通報等による被害情報	発災から6時間以内に完了 以降、随時実施
都道府県、町災害対策本部、関連行政課への連絡	・県（下水環境課）、町災害対策本部、関連行政部局へ被害状況、対応状況等を連絡するとともに、協力体制を確保	勤務時間内：3時間以内
緊急点検、緊急調査	・二次災害（人的被害）防止に伴う管路施設の点検を実施 ・重要な幹線等の目視調査を実施	発災から2日以内に完了
汚水溢水の緊急措置	・備蓄している資機材により、溢水解消し、町で対応できない場合には、民間企業等に汚泥吸引車の手配及び措置を依頼	発災から3日以内に完了 被害がある場合、適宜実施
緊急輸送路における交通障害対策	・関連行政部局と協力し、緊急輸送路における道路陥没等による交通障害を解消	発災から3日以内に完了 被害がある場合、適宜実施
浸水対策（降雨が予想される場合）	・国交省へ大型排水ポンプ車の出動を要請 ・町消防団へ消防用小型動力ポンプによる強制排水を依頼 ・消防用小型動力ポンプ、大型排水ポンプ車等の手配を町で対応できない場合は県と協議を実施	発災から3日以内に完了 被害がある場合、適宜実施
支援要請及び受援体制の整備	・他の地方公共団体や民間企業等へ支援要請を行うとともに、受援体制を整備	発災から3日以内に完了

5) 中小都市における発災後タイムライン

発災後タイムラインを作成する際の関連部局等の範囲、時間の範囲の設定は、大都市設定時と同様に以下のとおり設定した。

関連部局等：益城町関連部局、益城町対策本部、住民、熊本県対策本部、国土交通省（支援調整隊）、ブロック幹事都市（大都市ルール）、支援市町村
時間：発災後から業務の終了時である災害査定資料作成まで

以上の整理結果を踏まえて作成した中小都市（益城町）の発災後タイムラインを図-7に示す。

益城町						
下水道課(下水道対策本部)	対応の目標時間	本庁班	処理場班	町間連部局	部局	町対策本部
直後	・職員の安否確認 ・各自で参集 ・負傷者対応・避難誘導 ・不在職員等の安否確認	～3hr ～3hr ～3hr ～3hr	全職員 全職員 全職員 総務班 総務担当	・来庁者への対応		・来庁者への対応
～3hr	・住民対応 ・下水道対策本部、処理場災害対策室の立ち上げ ・県との連絡調整	適宜 ～3hr ～5hr	広報班 総務班 情報班 総務担当			
～5hr	・下水道対策本部と処理場との連絡調整 ・不在職員等の要員把握 ・災害対応拠点の安全点検 ・データ類の保護 ・二次災害の確認 ・浸水状況の確認・報告(降雨予想時)	～3hr ～3hr ～3hr ～3hr 適宜	情報班 総務班 調査班 調査班 復旧班 復旧班			・浸水情報の確認・発表
～12hr	・浸水被害の防除(降雨予想時)(大型ポンプ等依頼)	適宜	復旧班	・浸水地区の排水	・消防団	
～24hr	・災害対策本部初動連絡 ・関連部局・民間企業等連絡調整	～5hr ～5hr	総務班 総務班	・非常時体制の立ち上げ ・協力・連絡体制の確認	・各部局 ・防災、環境、水道等	・災害対策本部立ち上げ ・下水道課と連絡
～2日	・維持管理民間企業との連絡調整(処理場) ・管路施設緊急点検	～5hr ～24hr	調査担当 復旧班			・被害状況等の発表
～3日	・被害状況等の情報収集と情報発信 ・ライフラインの復旧見込み確認	～24hr	広報班 総務班			・ライフライン復旧見込み連絡
～10日	・下水道対策本部と処理場の連絡調整(必要人員・資機材等) ・処理場施設緊急点検	～12hr ～12hr	情報班 調査担当			
～30日	・処理場施設緊急措置①	～24hr	調査担当 民間企業			
～3月	・下水道対策本部と処理場との連絡調整 ・関連部局・民間企業等との連絡調整	～24hr ～2日	情報班 総務班	・緊急調査、応急復旧等の実施について協議	・水道課、都市建設課、環境衛生課、復旧事業課など	
	・支援要請・支援受け入れ場所の確保 ・管路施設緊急調査 ・処理場施設緊急調査	～2日 ～2日 ～2日	調査班 復旧班 調査担当 民間企業			
	・支援可能なリソースの確認		総務班			
	・下水道対策本部と処理場との連絡調整 ・処理場施設緊急措置②	～2日 ～3日	情報班 調査担当 民間企業			
	・仮設トイレ設置入れ ・汚水漏水の解消 ・緊急輸送路の機能確保	～3日 ～3日 ～3日	調査班 調査班			
	・支援隊受け入れ		復旧班			
	・一次調査(管路・処理場施設)	～10日	復旧班 支援隊 民間企業			
	・応急復旧(管路・処理場施設)	～30日	復旧班 民間企業 民間企業			
	・二次調査・災害査定作成(管路・処理場施設)	～3月	復旧班 支援隊			

図-7-1 地震時中小都市（益城町）における下水道関係機関調整のための
発災後タイムライン（案） 1 / 2

2.2.3 被災状況と必要作業員数の関係の整理

(1) 検討概要

「2.2.2」で作成した発災後タイムライン（案）は、モデル都市において防災計画や BCP、下水道 BCP 策定マニュアルを基本として被災状況を想定して作成したものであるため、実際の被災時には実作業量が変化し、目標時間内に対応するために必要となる作業員数も変化することが想定される。このため、作成した発災後タイムライン（案）をより実効性の高いものとするを目的に、作成した発災後タイムライン（案）とは異なる状況を想定し、被災状況と作業員数の関係を整理した。整理を行うためのケースは、モデル都市それぞれに対し 3 ケースとし、合計 6 ケースとした。異なる状況の想定概要は以下に示すとおりである。

- ① 都市全体で広域な被害が発生し他都市の支援を必要とする被災（大都市）
- ② 都市の臨海部で被害が生じるが内陸部での被害がない被災（大都市）
- ③ 都市の内陸部で被害が生じるが臨海部での被害がない被災（大都市）
- ④ 管路施設の一部に被害が発生するが処理施設に被害がない被災（中小都市）
- ⑤ 管路施設の被害はないが処理施設の一部に被害が発生する被災（中小都市）
- ⑥ 数人の下水道職員が参集できない状況の被災（中小都市）

ただし、発災時の優先業務の中には、被災状況が異なる場合においても対応の目標時間内に業務を完了するための必要作業員数が変化しないものがある。このため本検討では、それらの業務を除き、被災状況に応じて必要作業員数が変化すると考えられる業務について検討した。

(2) 大都市における想定被災状況と必要作業員数

横浜市の発災後タイムライン（案）については、基本となる下水道 BCP において優先業務に対する対応の目標時間が設定されているものの、業務量及び必要作業員数は想定されていない。このため、下水道 BCP において日進量が記載されている管路施設の調査等業務については被害管路延長に対する必要作業員数を算定し、その他の業務については他事例を参考に業務量及び必要作業員数を想定した。基本となる発災後タイムライン（案）に対して、被災想定と必要作業員数の関係を整理するための異なる被災を以下のとおり 3 ケース想定した。

ケース 1：横浜市の職員や協定業者のみでは必要作業員数が不足するため、他都市の支援を必要とするほどの多大な被災を想定した。

ケース 2：横浜市臨海部は液状化地域のため、地震発生時において液状化地域のみ大きな被災が生じ、内陸部の被災が軽微である状況を想定した。この状況は、下水道施設のうち下流域のみが機能停止するものの、その上流の下水道施設は機能している場合である。

ケース 3：臨海部の液状化地域の被災が大きいことが十分に考えられる中で、想定外に内陸部での被災が予想以上に大きく、臨海部の被災が軽微である状況を想定した。これはケース 2 の逆で、下流域の下水道施設が機能しているものの、上流域は機能停止している状況である。

なお、拠点施設に関してはいずれの被害想定も「下水道 BCP」と同程度とし、必要作業員数は変化しないものとした。

以上の内容で検討した横浜市における想定被災状況と必要作業員数の一覧を表-5,6 に示す。

表-5 大都市（横浜市）における異なる想定の被災状況と必要作業員数（管路施設）

想定の被災状況					
被災状況 の概略	【基本】 発災後タイムライン(案)に おける被災状況	【ケース1】 都市の広域で想定以上の 被災	【ケース2】 臨海部の下水道施設が被災	【ケース3】 内陸部の下水道施設が被災	
	市内全域で被害が生じ、被害総延長約500kmと推定。臨海部の鶴見区・金沢区、内陸部の港北区で液状化などによる流下機能喪失・マンホール浮上・交通機能障害。内陸部における新田開発の干拓地や埋立地などの液状化予測地域および老朽化管路などでは流下機能喪失・マンホール浮上・交通機能障害。川沿いや丘陵地の沢筋では局所的な被害が多発	隣接する都市を含め広域で想定以上に被災。他都市の支援が必要	臨海部の鶴見区・金沢区、内陸部の港北区で液状化などによる流下機能喪失・マンホール浮上・交通機能障害	内陸部における新田開発の干拓地や埋立地などの液状化予測地域および老朽化管路などでは流下機能喪失・マンホール浮上・交通機能障害。川沿いや丘陵地の沢筋では局所的な被害が多発	
	被害管路延長	約 500km	約 600km	約 180km	約 320km
	交通障害	11 か所	11 か所	4 か所	7 か所
	汚水溢水 (防災拠点)	20 か所	23 か所	7 か所	13 か所
	他都市支援	—	必要	—	—
優先業務		必要作業員数			
管路施設	緊急点検	協定業者 5 人(5 人/日×1 日) 市職員 1 人/日(1 人/日×1 日)			
	緊急巡回点検	協定業者 3 人(3 人/日×1 日) 市職員 1 人/日(1 人/日×1 日)			
	緊急措置	協定業者 6 人 (3 人/日×2 日) 市職員 2 人/日 (1 人/日×2 日)	協定業者 6 人 (3 人/日×2 日) 市職員 2 人/日 (1 人/日×2 日)	協定業者 3 人 (3 人/日×1 日) 市職員 12 人/日 (1 人/日×1 日)	協定業者 6 人 (3 人/日×2 日) 市職員 2 人/日 (1 人/日×2 日)
	緊急調査	協定業者 144 人(48 人/日×3 日) 市職員 12 人/日(4 人/日×3 日)			
	0 次調査	協定業者 435 人(145 人/日×3 日) 市監理職員 57 人/日(19 人/日×3 日) ※対象延長 12,000km			
	仮設ポンプ・仮排対応	市職員 16 人 (4 人/日×4 日)	市職員 16 人 (4 人/日×4 日)	市職員 8 人 (4 人/日×2 日)	市職員 12 人 (4 人/日×3 日)
	一次調査	協定業者 868 人 (124 人/日×7 日) 市監理職員 77 人 (11 人/日×7 日) ※対象延長 1,500km	協定業者 868 人 (124 人/日×7 日) 支援隊 196 人 (28 人/日×7 日) 市監理職員 98 人 (11 人/日×7 日) +3 人/日×7 日 ※対象延長 1,800km	協定業者 336 人 (48 人/日) 市監理職員 28 人 (4 人/日×7 日) ※対象延長 540km	協定業者 560 人 (80 人/日) 市監理職員 49 人 (7 人/日×7 日) ※対象延長 960km
	支援隊拠点準備	—	市職員 8 人(1 日)	—	—
	支援隊案内	—	49 人(7 人/日×7 日)	—	—
	一次調査結果整理	協定業者 351 人 (117 人/日×3 日) 市職員 39 人 (13 人/日×3 日)	協定業者 351 人 (117 人/日×3 日) 支援隊 72 人 (24 人/日×3 日) 市職員 48 人 (13 人/日×3 日) +3 人/日×3 日	協定業者 135 人 (45 人/日×3 日) 市職員 15 人 (5 人/日×3 日)	協定業者 225 人 (75 人/日×3 日) 市職員 27 人 (9 人/日×3 日)

	応急復旧	協定業者 1,008 人 (144 人/日×7 日) 市職員 84 人 (12 人/日×7 日)	協定業者 1,204 人 (172 人/日×7 日) 市職員 105 人 (15 人/日×7 日)	協定業者 364 人 (52 人/日×7 日) 市職員 35 人 (5 人/日×7 日)	協定業者 476 人 (68 人/日×7 日) 市職員 42 人 (6 人/日×7 日)
	二次調査	協定業者 12,500 人 (250 人/日×50 日) 市監理職員 850 人 (17 人/日×50 日)	協定業者 15,000 人 (300 人/日×50 日) 市監理職員 1,000 人 (20 人/日×50 日)	協定業者 4,500 人 (90 人/日×50 日) 市監理職員 300 人 (6 人/日×50 日)	協定業者 8,000 人 (160 人/日×50 日) 市監理職員 550 人 (11 人/日×50 日)
	査定資料 作成	協定業者 7,020 人 (117 人/日×60 日) 市監理職員 780 人 (13 人/日×60 日)	協定業者 8,460 人 (141 人/日×60 日) 市監理職員 960 人 (16 人/日×60 日)	協定業者 2,700 人 (45 人/日×60 日) 市監理職員 300 人 (5 人/日×60 日)	協定業者 4,500 人 (75 人/日×60 日) 市監理職員 540 人 (9 人/日×60 日)

※作業量は以下のとおり想定

緊急点検(緊急輸送路):160km/班・日(5 人/班)

緊急巡回・点検(直轄国道・樋門等):80km/班・日(3 人/班)

緊急措置(緊急輸送路・直轄国道下):1 班・1 か所あたり 4 時間(3 人/班)

仮ポンプ・仮排対応:20 か所, 1 班・1 か所あたり 4 時間(4 人/班)

応急復旧:1 班あたり 250 日間(4 人/班)

表-6 大都市（横浜市）における異なる想定 of 被災状況と必要作業員数（処理施設）

想定の被災状況					
被災状況の概略		【基本】 発災後タイムライン(案)における被災状況	【ケース1】 都市の広域で想定以上の被災	【ケース2】 臨海部の下水道施設が被災	【ケース3】 内陸部の下水道施設が被災
	水再生センター	10 施設で揚水施設停止（一部の施設では流入量に対する揚水機能確保）。2 施設で水処理施設停止（一部の施設は簡易沈殿機能確保）。5 施設で消毒施設停止（塩素混和池の水路形態が確保される施設は消毒施設として機能） （北部第一水再生センター） 2 か所の揚水施設ともに未耐震化により、揚水機能停止。水処理施設(全7 系列)は第4、5 系列を除き未耐震化により、通常運転停止（処理施設被害状況） 2 か所の揚水機能停止。5 系列の水処理施設運転停止	10 施設で揚水施設停止（一部の施設では流入量に対する揚水機能確保）。2 施設で水処理施設停止（一部の施設は簡易沈殿機能確保）5 施設で消毒施設停止（塩素混和池の水路形態が確保される施設は消毒施設として機能） （北部第一水再生センター） 2 か所の揚水施設ともに未耐震化により、揚水機能停止。水処理施設(全7 系列)は第4、5 系列を除き未耐震化により、通常運転停止（処理施設被害状況） 2 か所の揚水機能停止。5 系列の水処理施設運転停止	4 施設で揚水施設停止（一部の施設では流入量に対する揚水機能確保）。1 施設で水処理施設停止（一部の施設は簡易沈殿機能確保）。2 施設で消毒施設停止（塩素混和池の水路形態が確保される施設は消毒施設として機能） （北部第一水再生センター） 被害なし	6 施設で揚水施設停止（一部の施設では流入量に対する揚水機能確保）。1 施設で水処理施設停止（一部の施設は簡易沈殿機能確保）。3 施設で消毒施設停止（塩素混和池の水路形態が確保される施設は消毒施設として機能） （北部第一水再生センター） 2 か所の揚水施設ともに未耐震化により、揚水機能停止。水処理施設(全7 系列)は第4、5 系列を除き未耐震化により、通常運転停止（処理施設被害状況） 2 か所の揚水機能停止。5 系列の水処理施設運転停止
	汚泥資源化センター	1 施設で被害	1 施設で被害	1 施設で被害	—
	ポンプ場	22 か所で揚水施設（沈砂池含む）停止 （樽町ポンプ場、北綱島ポンプ場） 2 か所の揚水機能停止	22 か所で揚水施設（沈砂池含む）停止 （樽町ポンプ場、北綱島ポンプ場） 2 か所の揚水機能停止	11 か所で揚水施設（沈砂池含む）停止 （樽町ポンプ場、北綱島ポンプ場） 被害なし	11 か所で揚水施設（沈砂池含む）停止 （樽町ポンプ場、北綱島ポンプ場） 2 か所の揚水機能停止
優先業務		必要作業者数			
処理施設	緊急点検	処理場職員 8 人(3hr)			
	放流機能の確保	処理場職員 8 人(30hr) 協定業者 24 人(30hr)	—		処理場職員 8 人(30hr) 協定業者 24 人(30hr)
	水処理機能の確保	処理場職員 20 人(10 人/日×2 日) 協定業者 40 人(20 人/日×2 日)	—		処理場職員 20 人(10 人/日×2 日) 協定業者 40 人(20 人/日×2 日)
	消毒機能の確保	処理場職員 12 人(4 人/日×3 日) 協定業者 36 人(12 人/日×3 日)	—		処理場職員 12 人(4 人/日×3 日) 協定業者 36 人(12 人/日×3 日)
	揚水機能の確保	処理場職員 12 人(4 人/日×3 日) 協定業者 36 人(12 人/日×3 日)	—		処理場職員 12 人(4 人/日×3 日) 協定業者 36 人(12 人/日×3 日)
	災害査定資料作成	処理場職員 56 人(4 人/日×14 日)	—		処理場職員 56 人(4 人/日×14 日)

※作業量は以下のとおり想定

放流機能の確保(ポンプ場含む):1 班・1 か所あたり 1 日間(8 人/班)

水処理機能(簡易沈殿)の確保:1 班・1 系列あたり 2 日間(6 人/班)

消毒施設(仮設)の確保(ポンプ場含む):1 班・1 か所あたり 3 日間(4 人/班)

揚水機能の確保(ポンプ場含む):1 班・1 か所あたり 3 日間(4 人/班)

災害査定調査:1 班・1 施設あたり 14 日(2 人/班)

今回検討を行ったすべてのケースにおいて、優先業務の対応の目標時間をほぼ満足しており、業務の遅延は生じていなかった。他都市の支援に関しては、ケース 1 の広域の被災想定においてのみ他都市の支援が必要となったが、その他のケースでは他都市の支援が生じなかった。なお、他都市の支援は管路施設の 1 次調査と 1 次調査結果整理の 2 つの業務で生じ、支援隊拠点設備の準備や土地勘がないため支援隊の班ごとの案内が必要となる。次に必要作業員数に関して、緊急点検、緊急巡回・点検、緊急調査、0 次調査は、被災状況に関わらずに定められた施設を対象に実施することから、必要作業員数が各ケースともに同値となる。逆に、その他の業務に関しては、被災状況に応じて必要作業員数が変化するため、その業務自体にボトルネックが生じる可能性があり、実際の災害時には注意が必要な項目となる。

(3) 中小都市における想定の被災状況と必要作業員数

益城町の発災後タイムライン（案）については、防災計画を踏まえて下水道課において優先業務に対する対応の目標時間が設定されているものの、業務量及び必要作業員数は想定されていない。このため、管路施設二次調査の対象管路延長は熊本地震での実際の被害管路延長である 22km とし、その他の業務については他事例を参考に業務量及び必要作業員数を想定した。基本となる発災後タイムライン（案）に対して、被災想定と必要作業員数の関係を整理するための異なる被災を以下のとおり 3 ケース想定した。

ケース 4：「発災後タイムライン（案）」で想定している被災をもとに、管路施設のみに同程度の被害が発生するが処理場には被害がない状況を想定した。

ケース 5：「発災後タイムライン（案）」で想定している被災をもとに、処理場のみに同程度の被害が発生するが管路施設には被害がない状況を想定した。

ケース 6：「発災後タイムライン（案）」と同程度の被害が発生した上で、数人の下水道職員が参集できず、かつ、発災後 4 日間は町内他部局や民間企業からの支援を受けられない状況を想定した。これは熊本地震の経験として、下水道職員が参集できない状況があったために想定した。

以上の内容で検討した益城町における想定の被災状況と必要作業員数の一覧を表-7,8 に示す。

基本ケースの発災後タイムライン（案）及びケース 4,5 においては、優先業務の対応の目標時間をほぼ満足しており、業務の遅延は生じていなかった。業務の遅延が生じたケース 6 に関しては、一次調査の人員を増やすことでそれまでの業務の遅延を相殺することができ、その後の業務で遅延が発生しない結果となった。他都市の支援に関しては、すべてのケースにおいて一次調査からそれ以降で他都市の支援が必要となった。次に必要作業員数に関して、管路施設の緊急点検、緊急調査、一次調査及び処理施設の緊急点検、緊急措置①、緊急調査は、被災状況に関わらずに定められた施設を対象に実施することから、必要作業員数が各ケースともに同値となる。逆に、その他の業務に関しては、被災状況に応じて必要作業員数が変化するため、実際の災害時には注意が必要な項目となるが、今回のケース 4,5 のような比較的被災が少ない場合は、別部局等への支援や通常業務への移行の判断を行うことが可能となる。

表-7 中小都市（益城町）における異なる想定の被災状況と必要作業員数（管路施設）

想定 of 被災状況				
被災状況 の概略	【基本】 発災後タイムライン （案）における被災状況	【ケース4】 管路施設の一部で被害は 発生するが処理場の被害 はない被災	【ケース5】 管路施設の被害はない が処理場の一部に被害 が発生する被災	【ケース6】 数人の下水道職員が参 集できず、発災後4日間 は支援を受けられない 状況
被害管路延長	約 22km	約 12km	—	約 22km
汚水溢水被害	3 か所	2 か所	—	3 か所
緊急輸送路 の交通障害	2 か所	1 か所	—	2 か所
他都市支援	必要	必要	必要	必要
業務の遅延	—	—	—	あり
優先業務		必要作業員数		
管路施設	緊急点検	町職員 2 人（16hr） ※対象延長 170km		
	緊急調査	町職員 4 人（24hr） ※対象延長 26km		
	汚水溢水 の解消	町職員 3 人（12hr）	町職員 3 人（8hr）	町職員 3 人（12hr）
	緊急輸送路 の交通障害 対策	町職員 3 人（8hr）	町職員 3 人（4hr）	町職員 3 人（8hr）
	一次調査	町職員 28 人（4 人/日×7 日） 支援隊 168 人（24 人/日×7 日） ※対象延長 170km		
	支援隊 拠点準備	町職員 1 人（1 人/日×1 日）		
	支援隊案内	42 人（6 人/日×7 日）		
	応急復旧	町職員 40 人 （4 人/日×10 日）	町職員 20 人 （4 人/日×5 日）	町職員 40 人 （4 人/日×10 日）
	二次調査 ・査定資料 作成	町職員 240 人 （4 人/日×60 日） 支援隊 240 人 （4 人/日×60 日） ※対象延長 22km	町職員 240 人 （4 人/日×60 日） ※対象延長 12km	町職員 240 人 （4 人/日×60 日） 支援隊 240 人 （4 人/日×60 日） ※対象延長 22km

※作業量は以下のとおり想定

汚水溢水の解消：1 班・1 か所あたり 4 時間（3 人/班）

緊急輸送路の交通障害対策：1 班・1 か所あたり 4 時間（3 人/班）

応急復旧：1 班あたり 10 日間（4 人/班）

表-8 中小都市（益城町）における異なる想定 of 被災状況と必要作業員数（処理施設）

想定 of 被災状況					
被災状況 の概略	【基本】 発災後タイムライン (案)における被災状況	【ケース 4】 管路施設の一部で被害は 発生するが処理場の被害 はない被災	【ケース 5】 管路施設の被害はない が処理場の一部に被害 が発生する被災	【ケース 6】 数人の下水道職員が参 集できず、発災後 4 日間 は支援を受けられない 状況	
				処理場職員 2 名が参 集できない。発災後 4 日間支援なし	
揚水機能停止	1 施設	—	—	1 施設	
水処理施設 運転停止	2 施設	—	2 施設	2 施設	
汚泥処理施設 運転停止	1 施設	—	—	1 施設	
業務の遅延	—	—	—	あり	
優先業務	必要作業者数				
処理 施設	緊急点検	処理場職員 4 人 (4hr)			
	緊急措置①	処理場職員 8 人 民間企業 8 人 (12hr で対応)	—	処理場職員 8 人 民間企業 8 人 (12hr で対応)	処理場職員 4 人 (48hr で対応)
	緊急調査	処理場職員 8 人 (8 人/日×1 日) 民間企業 12 人 (12 人/日×1 日)	—	処理場職員 8 人 (8 人/日×1 日) 民間企業 12 人 (12 人/日×1 日)	処理場職員 10 人 民間企業 10 人 (2 日で対応)
	緊急措置②	処理場職員 8 人 (8 人/日×1 日)	—	処理場職員 4 人 (4 人/日×1 日)	処理場職員 6 人 (6 人/日×1 日) 民間企業 2 人 (2 人/日×1 日)
	一次調査	処理場職員 40 人 (8 人/日×5 日)	—	処理場職員 20 人 (4 人/日×5 日)	処理場職員 24 人 (6 人/日×4 日) 民間企業 16 人 (4 人/日×4 日)
	応急復旧	民間企業 80 人 (4 人/日×20 日)	—	民間企業 40 人 (4 人/日×10 日)	民間企業 80 人 (4 人/日×20 日)
	二次調査 ・査定資料 作成	処理場職員 32 人 (4 人/日×8 日)	—	処理場職員 16 人 (4 人/日×4 日)	処理場職員 20 人 (4 人/日×8 日)

※作業量は以下のとおり想定

緊急点検：1 班あたり 8 時間（2 人/班）

緊急措置①：1 班あたり 2 日間（4 人/班）

緊急調査：5 日間（4 人/班）

緊急措置②：1 班・1 施設あたり 12 時間（4 人/班）

一次調査：10 日間（4 人/班）

応急復旧：1 班・1 施設あたり 5 日間（4 人/班）

二次調査・査定資料作成：1 班・1 施設あたり 2 日間（4 人/班）

2.2.4 課題の整理

以上の結果を踏まえ、まず、タイムライン作成の効果と作成時に配慮した事項をピックアップした上で、発災後タイムライン作成時の課題及び解決案を表-9に整理した。

① タイムライン作成の効果

- ・下水道における発災後タイムラインを作成する際は、下水道 BCP に基づくことが原則的な考え方になる。発災後に実施すべき優先業務と対応の目標時間を示し、かつ、対応の目標時間までの行動を示すことで、実際の発災時により円滑な業務の継続、復旧が可能となる。
- ・「いつ」「誰が」「何をするのか」を関係する防災機関の中で共有することで、必要とする各組織間の連携事項が明確になり、組織横断的な対応力が向上することで、実際の発災時には混乱や遅滞がなく、速やかな業務継続、復旧が可能になる。
- ・各組織の時間経過に応じた非常時対応計画を整理することができる。
- ・「抜け」「漏れ」「落ち」を防止することが可能となり、防災対応の強化が図られる。
- ・各組織の災害時防災行動の対応目標時間と所要時間が明示され、複数ある優先業務に対する人的リソースの適切な配分が可能になる。
- ・対応の目標時間までに業務を完了するための必要作業者の確保が難しい場合、その業務がボトルネックとなる。逆に、対応の目標時間より前に業務完了が可能であることが判れば、その業務の早期完了による時間的余裕、あるいはその業務担当者の他業務への支援等の検討が可能となる。
- ・タイムラインを用いてリソースの適切な配分などを具体的に検討することができれば、事前対策計画を改善することができ、下水道 BCP のブラッシュアップにも繋がる。
- ・タイムラインを下水道 BCP の訓練へ活用することも期待でき、また逆に、訓練の実施によってタイムラインのブラッシュアップも可能となる。
- ・管路施設や処理施設の点検、調査及び復旧措置等の業務を実施する職員にとっては、下水道の優先業務を中心に、下水道部局内での他班との連携を示したタイムラインの方がより実用性が高いタイムラインとなる場合がある。
- ・タイムラインは、作成する目的や活用方法に応じて、示す行動や関連部局、団体等を変更することで、様々な場面での活用が期待できる。

② タイムライン作成時の配慮事項

- ・発災後に実施すべき優先業務の「抜け」「漏れ」「落ち」が無いように、下水道 BCP における全ての非常時優先業務を示した。
- ・タイムラインに示す防災行動は、下水道 BCP における非常時優先業務を基本とし、業務の開始順に示した。
- ・非常時優先業務を開始順に示すとともに、対応の目標時間、対応組織（班等）を示した。
- ・非常時優先業務の所要時間を想定するなど明確化した。
- ・下水道 BCP における非常時対応計画の他、「下水道事業における災害時支援に関するルール」（全国ルール）及び「下水道災害時における大都市間の連絡・連携体制に関するルール」（大都市ルール）に基づき作成した。
- ・被災市町村とその他の県、国、他市町村等の支援団体を大別して判りやすく示した。
- ・他部局との連携が必要となる行動に関しては、より判りやすくするために太字で示し、か

つ、関連部局や支援団体等の行動との関連を矢印で示した。

- ・下水道対策本部内や下水道の関連部局等の市町村内部と、支援団体や協定業者等の外部団体と、行動の関連を示した矢印を色別し、判りやすくした。
- ・本庁及び管路施設に係る業務と処理施設に係る業務では、対応班が異なることから大別して示した（中小都市）。

表-9 タイムライン作成時の課題及び解決案

番号	課題	解決案
1	関連部局・団体との連携に関する詳細（調整時期、相手先等）が決められていない場合がある（特に職員不足が多い中小都市）。	県、国、他市町村等の支援団体との間で、タイムライン作成に向けた会議を開催する等、非常時の互いの行動について検討、整理する。
2	非常時体制において職員自身の被災等により人員が集まらない場合や、班等が複数あり、各班の業務が互いに整合していない場合がある（特に職員不足が多い中小都市）。	優先業務の策定・見直しにおいて、各班が作成した優先業務の内容を照合し、連携するべき業務について協議する等して整理する。
3	必要作業者数や所要時間が不明確な業務に関しては、タイムライン作成時において、それらを想定する必要がある。	被災状況に対する業務の手順や所要時間、必要作業者数を想定し、実地訓練等によって確認する。
4	タイムラインに非常時優先業務を行動として示す場合、タイムラインの活用の際に業務の内容や手順を理解していることが前提となる。	訓練を実施することで、非常時における行動、優先業務の理解向上を図る。タイムラインを作成し、訓練に活用することも有効である。
5	タイムラインに行動の詳細や手順を示すことで、業務等の確実な履行が可能となるが、情報量が多すぎると、使い難いものになる（特に関連部局・団体の多い大都市）。	タイムラインに、行動（優先業務）の流れや連携のタイミングを示した上で、具体的な行動の詳細や手順を別途マニュアル等で整理する。
6	県、国、他市町村等の関連部局・団体の行動については、当該部局・団体等と、その行動や所要時間、連携の時期について、事前に確認、調整する必要がある。	県、国、他市町村等の支援団体との間で、タイムライン作成に向けた会議を開催する等、非常時の互いの行動について検討、整理する。
7	地域住民への情報提供等の内容や時期について検討、想定が必要な場合がある。	地域住民との意見交換の場を設置する等、発災後の下水道の在り方や住民への情報提供の内容・タイミングについて検討する。
8	タイムラインの活用目的や活用者に応じて、示す行動や関連部局・団体を変更することで、より効果的にタイムラインを活用できる（特に関連部局・団体の多い大都市）。	下水道対策本部内で連携するべき業務や対応班に注目したタイムラインとして、業務完了に必要な行動、下水道対策本部に対する業務完了の報告、連携する他班への連絡について示したタイムラインを作成する。
9	初動対応時の訓練等に活用を想定とする場合、行動内容や手順等について、より詳細に示す必要がある。	非常時組織体制における本部長や班長が活用するためのものと、班員などの実務者が活用するものと、活用者に応じたタイムラインを作成する。

参考文献

- 1) 内閣府 防災情報のページ 南海トラフ地震対策 ホームページ：
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/>
- 2) 気象庁の計測震度の算出方法ホームページ：
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/calc_sindo.htm
- 3) 国土交通省 水災害に関する防災・減災対策本部 防災行動計画ワーキング・グループ：タイムライン（防災行動計画）策定・活用指針（初版）、平成 28 年 8 月

5. 下水道施設を活用した住民生活の利便性等の 付加価値向上に関する調査

下水道研究室 室 長 岩崎 宏和
研 究 官 川島 弘靖
研 究 官 平出 亮輔
研 究 員 中村 裕美

1. はじめに

国土交通省では、平成 29 年 8 月に「新下水道ビジョン加速戦略」を策定し、新下水道ビジョンの実現加速の観点から、国が選択と集中により 5 年程度で実施すべき施策をとりまとめた。新下水道ビジョン加速戦略の重点項目の一つとして、下水道の活用による付加価値向上を掲げ、高齢化社会等への対応として、下水道への紙オムツ受入れ可能性を検討することとした。また、平成 30 年 1 月に「下水道への紙オムツ受入実現に向けた検討会」を立ち上げ、紙オムツの下水道への受入実現に向けた 3 つの処理方式（A タイプ（固形物分離タイプ）、B タイプ（破碎・回収タイプ）、C タイプ（破碎・受入タイプ））を提案し、平成 30 年度からの概ね 5 年間で実施する「下水道への紙オムツ受入に向けた検討ロードマップ」を策定した¹⁾。

このため、国総研では、下水道への紙オムツ受入による下水道施設への影響や、紙オムツの破碎・回収装置の要求性能等に関する技術的検討に着手したところである。平成 30 年度は、A タイプの処理方式の導入による下水道施設等への影響について整理するため、文献調査、ヒアリング調査を実施した。

2. A タイプ（固形物分離タイプ）の概要

A タイプは一般住宅や介護施設等での利用を想定しており、紙オムツに付着した汚物や吸水したし尿を分離し、紙オムツは脱水後にゴミとして回収し、分離した汚物やし尿を下水道に受け入れる処理方式である。B タイプは紙オムツを破碎して下水道に受け入れる前にゴミとして回収する処理方式であり、C タイプは紙オムツを破碎して下水道に受け入れる処理方式である。

A タイプでは、紙オムツに付着した汚物については流水程度の洗浄で容易に分離するが、紙オムツに含まれる高分子吸水剤はカルシウム塩等の離水剤を添加することにより離水する。高分子吸水剤は架橋構造を持つ親水性のポリマーで、現在はポリアクリル酸ナトリウム系の製品が主流となっており、離水剤は安全面やコスト面等により塩化カルシウムを使用することが想定される。離水剤として塩化カルシウムが使用される場合、排水中に含まれる塩化物イオン、カルシウムイオン及びナトリウムイオンが下水道施設への追加的な負荷となるため、これらによる下水道施設等への影響を整理する必要がある。

3. 調査結果の概要

下水道施設への追加的な負荷となる塩化物イオン等による下水処理や下水道施設等への影

響について、文献調査やヒアリング調査により整理した。調査結果の概要を以下に示す。

3.1. ヒアリング調査結果

追加的な負荷となる離水剤由来の排出負荷の影響を考えるにあたっては、同様の成分である凍結防止剤（主な成分は塩化ナトリウムや塩化カルシウム）が参考となる。積雪寒冷地域かつ合流式下水道整備区域では、路面凍結対策として散布される凍結防止剤が下水道へ流入している。下水処理への影響について確認するため、前述の条件に一致する A 市にヒアリングしたところ、過去に凍結防止剤が生物処理に及ぼす影響について実験により調査しており、凍結防止剤が塩素イオン濃度として 1,000mg/L の場合、凍結防止剤を加えていない場合と比べると処理水質に若干の悪化がみられ、生物処理にほとんど影響を与えない許容限度として塩素イオン濃度 1,000mg/L という値を得ているとのことであった。また、カルシウムイオンを主成分とする凍結防止剤が下水道管路に流入することによる管路管理への影響について、積雪寒冷地における管路管理業者 8 社に対して国土交通省がヒアリングしたところ、全社において管理上の問題は発生していないとの回答であった。

塩化物イオン濃度が高濃度の場合、下水道施設内の機械設備における金属の腐食が懸念される。下水道施設への影響について確認するため、流入水中の塩化物イオン濃度が高いと考えられる工場排水を多く受け入れている下水処理場等にヒアリングしたところ、流入水の塩化物イオン濃度が年平均 6,000mg/L を超える下水処理場では合成樹脂やステンレス材の採用により対策している例や、年平均 1,200mg/L を超える下水処理場であっても対策を行っていない例があった。

なお、カルシウムイオンやナトリウムイオンによる下水処理や下水道施設への影響は、今回の調査では確認できなかった。

3.2. 文献調査結果

紙オムツの受け入れ前の放流水質にもよるが、追加的な負荷となる塩化物イオン、カルシウムイオン及びナトリウムイオンの放流水中の濃度が高まる場合がある。これらは、排水基準には定められていないが、下水処理水を農業利用している場合、作物によっては塩化物イオンによる発育阻害等があるため、その濃度に留意する必要がある²⁾。また、下水汚泥を肥料として活用している場合、肥料取締法において法令上の位置づけはされていないものの、塩化物イオンによる発育阻害等の悪影響が懸念されるため、安全性や肥効性等の維持及び確認が必要である。

4. まとめと今後の予定

追加的な負荷となる塩化物イオン、カルシウムイオン及びナトリウムイオンによる下水道施設等への影響についてヒアリング調査等により整理した。今後は、B タイプ及び C タイプに関する下水道施設への影響等について調査する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：下水道への紙オムツ受入実現に向けた検討ロードマップを策定 (http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000368.html)、平成 30 年 3 月
- 2) 農林水産省農村振興局整備部地域整備課：農業集落排水施設の処理水のかんがい利用に関する手引き（案）、平成 29 年 3 月

6. 処理水の衛生学的リスク制御技術および

再生水の性能評価に関する調査

下水処理研究室 室 長 田 嶋 淳
研 究 官 松 橋 学
研 究 官 山 本 明 広

1. はじめに

生活環境の保全に関する環境基準の指標を大腸菌群数から大腸菌数へ変更することが議論されていることから、下水処理場の放流水の指標を現行の大腸菌群数から大腸菌数へ変更することについて検討が必要である。また、再生水利用に関する国際規格が策定されつつあることから、国内においても従来技術によるリスクと性能を評価した上で再生水利用の効果も踏まえた技術基準の検討が必要である。このため、大腸菌数について、下水処理場における除去特性や大腸菌群数との関係性を整理し、基準の変更の必要性や新たな基準値の設定、基準達成に必要な処理・消毒技術の評価手法の確立が求められている。また、再生水利用について、下水処理水を誤って直接摂取した場合を想定し、衛生学的リスクの指標となりうる指標生物を選定すると共に、新たな衛生学的リスクの評価手法を確立し、実態調査を行った上で、衛生学的リスク評価の観点を踏まえた基準設定の考え方を確立することが求められている。

また、国総研では、新たな大腸菌基準値の設定に資するデータの収集を実施するとともに、下水処理水の衛生学的なリスク評価及び、衛生学的なリスクを考慮した処理技術の評価手法を検討してきた。

このことから、平成30年度は過年度に引き続き、評価手法の確立や基準値の設定のために必要な下水処理場における水処理・消毒工程での大腸菌群数及び新たな指標生物となりうる微生物等の挙動把握を目的に、大腸菌群、大腸菌数、ウイルス、嫌気性芽胞菌、大腸菌ファージを測定し、年間を通じた水処理・消毒工程での除去特性について調査した。

2. 調査方法

2.1 調査概要

平成29年12月から平成30年11月の期間に12回の調査を実施した。調査対象の処理場はA処理場（分流式、OD法+塩素消毒、計画日最大処理量約22,800m³/日）及びB処理場（分流式、標準活性汚泥法+生物膜を用いたろ過+UV消毒、計画日最大処理量約29,000m³/日）を選定した。採水及び水質測定は表1に示す箇所で行った。また採水はスポットサンプリングにより行い、採水時間は処理場における滞留時間を考慮した。なお、塩素消毒後の放流水については、

表1 採水箇所一覧

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

表2 消毒施設諸元

処理場	消毒方法
A処理場 (OD/塩素消毒)	次亜塩素酸ソーダ（有効塩素12%） 注入率0.7% 接触時間15分
B処理場 (標準法/UV消毒)	密閉方式 中圧紫外線ランプ 照射量31.31mJ/秒

測定結果への影響を防ぐため、残留塩素濃度の測定を実施し、チオ硫酸ナトリウムで中和した。調査対象とした各処理場の消毒施設の諸元を表 2 に示す。

2.2 測定項目

(1) 水質測定項目

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

また 2018 年 4 月～11 月については、COD、溶解性 TOC、溶解性 NH₄-N の測定も行った。

(2) 大腸菌群数及び大腸菌数

大腸菌群数及び大腸菌数は下記の方法により測定した。

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

(3) 嫌気性芽胞菌

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

(4) ノロウイルス G1, G2

試料水に PEG が濃度 8%、NaCl が終濃度 0.4 (mol/L) になるように添加し、静置後、濃縮液から RNA を抽出した。RNA の抽出効率は抽出カラムへの SS 負荷量に影響されるため、既往文献³⁾ を参考に RNA の抽出に供する試料を 0.1 (mg-SS) 以下になるように調整した。また試料の濃縮液からの RNA の精製は、1 試料につき 1 回実施した。精製した RNA 試料をリアルタイム PCR により定量した。なお検出用プライマー及びプローブは表 3 を用いた⁴⁾。

表 3 ノロウイルス測定のパライマー及びプローブ

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

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

(5) 大腸菌ファージ

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

表 4 水質項目分析結果

		水温 °C	pH	SS mg/L
A処理場	流入水	15.5～27.8	7.3～8.0	160～230
	処理水	15.8～29.9	6.6～6.9	1.8～30
	放流水	16～29.1	6.5～7.0	1.5～6.8
B処理場	流入水	17.7～28.0	7.0～7.4	120～270
	処理水	18.5～28.7	6.2～7.1	0.6～1.8
	ろ過槽後水	18.5～28.7	6.2～6.9	(0.1) ～0.6
	放流水	18.8～29	6.3～6.7	(0.1) ～0.6

※B処理場のSSについて括弧書きは定量限界以下のため参考値

3. 結果及び考察

3.1 水質測定の結果

各処理場における水質項目測定結果を表 4 に示す。まず流入水、二次処理水、放流水の水温変化は、処理過程の中で水温が低下するものも一部あったが、平均値で A 処理

場では 1℃、B 処理場では 0.4℃の上昇であり、ほとんど変化がなかった。流入水温は 2018 年 12 月～2019 年 4 月及び 2019 年 11 月で 15 度～22 度、2019 年 5 月～10 月で 22 度～28 度であり、A,B 処理場でほぼ同様の傾向であった。放流水 pH は 6.3～7.0、放流水の SS は A 処理場で 6.3～1.5 (mg/L)、B 処理場で、0.6 (mg/L)～定量限界値 (0.5 (mg/L)) 以下であった。また A 処理場の放流水中の残留塩素濃度は、遊離塩素で 0.02～0.19 (mg/L)、結合塩素で定量限界値 (0.01 (mg/L)) 以下～0.25 (mg/L) であり、アンモニア濃度は消毒前 0.4～2.9 (mg/L) 消毒後は 0.3～2.9 (mg/L) であった。放流水の TOC、COD、アンモニア濃度については、図 1 に示す通り一年を通じほぼ一定であったが A 処理場の 4 月の COD、7 月のアンモニア濃度がやや高い値であった。

3.2 大腸菌群数及び大腸菌数の測定結果

流入水温度が高い 2019 年 5 月～10 月を夏季、それ以外の期間を冬季として、夏季と冬季のデソキシコール酸塩培地の平板法による大腸菌群数測定結果を図 2 に示す。対象とした 2 処理場の流入水及び放流水の大腸菌群数は年間を通じてほぼ同程度であった。

また、特定酵素培地の平板法の大腸菌数測定結果について同様の整理をしたものを図 3 に示す。大腸菌数は、大腸菌群数と同様に年間を通じてほぼ同程度であったが、B 処理場の放流水については、平板法ではほとんどの測定結果が検出限界値またはそれ以下（コロニーが 1 個またはなし）であった。大腸菌群数で 10 個以下の放流水を特定酵素培地の平板法で測定すると、大腸菌数を捕捉できない場合があった。

次に測定法別及び試料別の大腸菌群数に占める大腸菌数の割合を図 4 に示す。流入水中の平均値では、平板法で 47%～38%、MF 法及び HGMP 法では 36%～26%、最確数法では 38%～

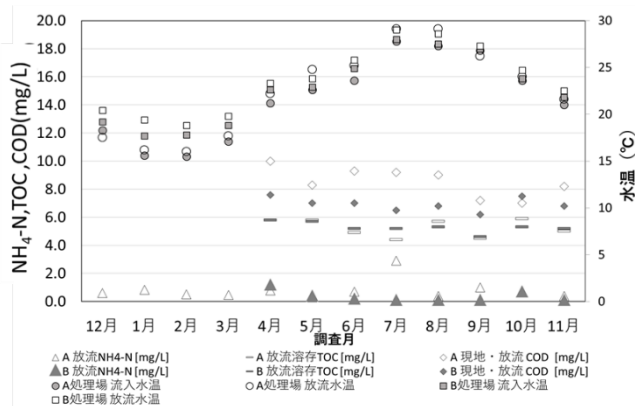


図 1 水温と水質 (TOC, COD, H₄-N) の経年変動

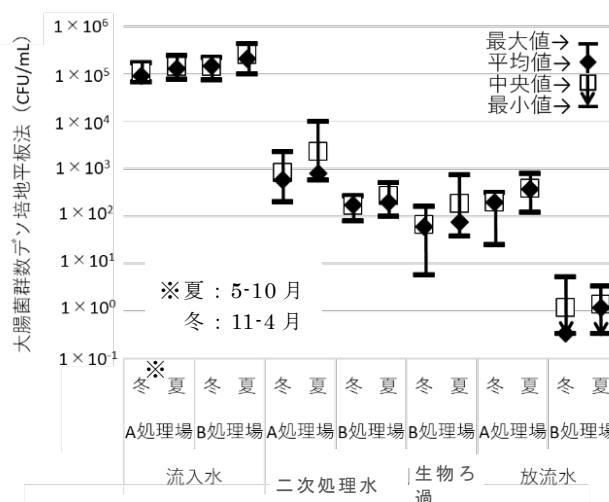


図 2 季節ごとの大腸菌群数（デソキシコール酸塩培地平板法）*矢印は検出限界値以下を含む

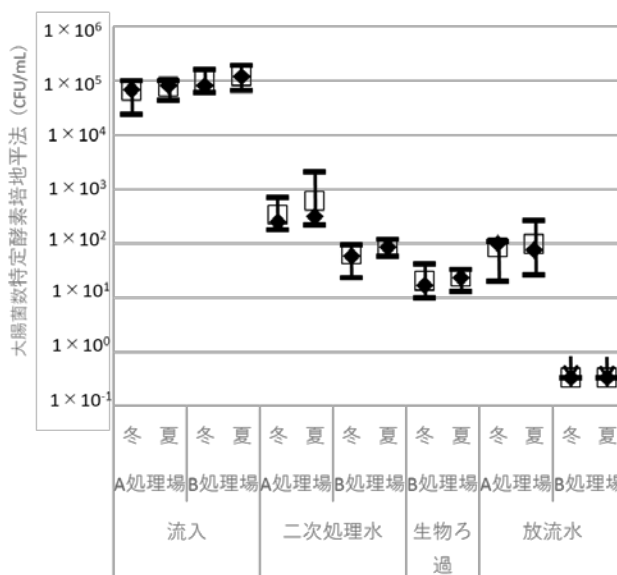


図 3 季節ごとの大腸菌数（特定酵素培地平板法）*矢印は検出限界値以下を含む

19%であった。二次処理水では、平板法で 34%～25%、MF 法及び HGMF 法では 26%～13%、最確数法では 28%～20%、放流水については、平板法で 33%～16%、MF 法及び HGMF 法で 21%～8%、最確数法で 21%～6%であり、過去の報告⁵⁾と同様の割合が得られた。ほぼすべての測定法で処理工程が進むにつれて大腸菌群数に占める大腸菌数の割合が減少していることから、大腸菌数は大腸菌群数に比べ下水処理工程での除去効果が大いと考えられる。

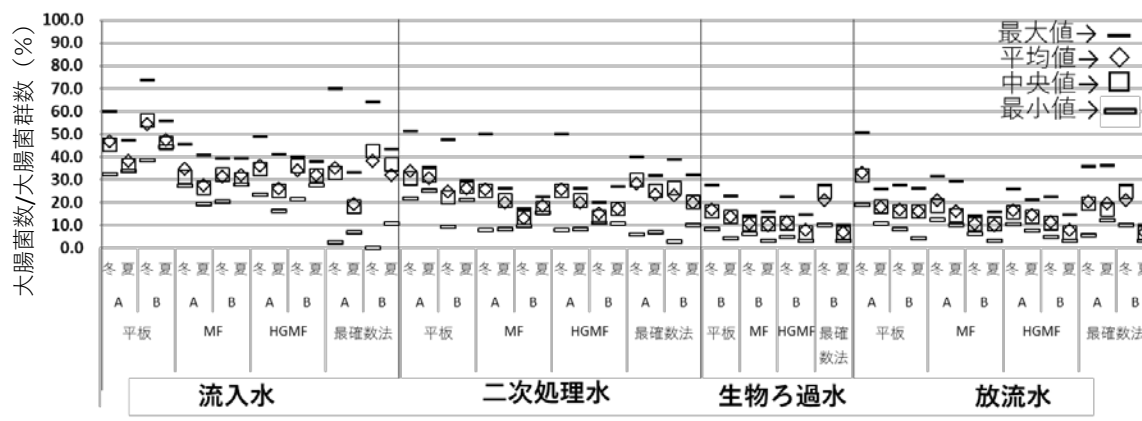


図 4 各測定法及び試料別の大腸菌群数に占める大腸菌の割合

次に流入水と放流水の大腸菌群数及び大腸菌数から下記(1)の式で算出される対数除去率を図5に示す。平板法の大腸菌数について測定限界値以下となる場合があるため、各処理場の MF 法で測定した結果を用いて整理した。A 処理場では、大腸菌群数及び大腸菌数の除去率は 2.0～3.6log であった。また、B 処理場では、大腸菌群数の除去率が 4.8～6.5log、大腸菌数の除去率が 5.0～7.4log であり、A,B の両処理場ともに年間を通じて大腸菌数の除去率が大腸菌群数の除去率と同等か大きい傾向があることを確認した。

A 処理場と B 処理場の除去率を比較すると B 処理場の方が二次処理以降の除去率より 2 log 程度高かった。

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

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

3.3 嫌気性芽胞菌の測定結果

嫌気性芽胞菌は大腸菌数等の細菌よりも消毒抵抗性が高く、上水道では糞便性指標と合わせて消毒効果指標として用いられている²⁾。下水処理工程全体での除去率を図6に示す。A 及び B 処理場の流入濃度は年間を通じて 10^3 (CFU/mL) 程度であり、放流水の濃度は A 処理場

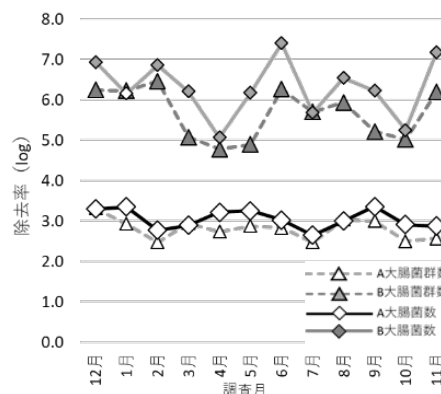


図 5 大腸菌群数、大腸菌数の除去率の経年変化

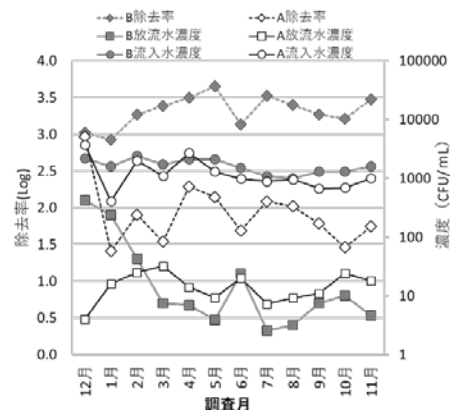


図 6 嫌気性芽胞菌の除去率と濃度の経年変化

で 10^1 (CFU/mL) 程度、B 処理場では $10^2 \sim 10^0$ 程度 (CFU/mL) まで除去されていた。

対数除去率は A 処理場では $1.4 \sim 2.9\log$ 、B 処理場では、 $2.9 \sim 3.6\log$ であった。2 処理場で流入水及び放流水は年間を通じてほとんど変化なく、除去率についても A 処理場の 12 月を除けば、ほとんど変化がなかった。

3.4 ノロウイルスの測定結果

ノロウイルスによる感染性胃腸炎は国内で毎年報告され、原因別の食中毒の患者数が最も多いといわれている⁶⁾。本調査における季節ごとのノロウイルス G2 濃度を図 7 に示す。A 及び B 処理場の冬季の流入濃度は $10^6 \sim 10^8$ (copies/L)、夏季の流入濃度は、 $10^5 \sim 10^7$ (copies/L) で、放流水では冬季が $10^4 \sim 10^6$ (copies/L)、夏季は $10^3 \sim 10^5$ (copies/L) 程度まで除去された。また冬季と夏季を比べると 10^2 程度冬季の方が高い値であった。ノロウイルスは、冬季に感染者が増えることが知られているとともに、動物の腸内でのみ増殖することから、今回の結果を踏まえ流域の感染状況を把握できる指標としても活用可能であると考えられる。一方、除去率については、A 処理場で $3.1 \sim 1.7\log$ 、B 処理場で $5.3 \sim 2.5\log$ で除去されていた。また、二次処理以降のプロセスでは、大腸菌群数や大腸菌数と異なりノロウイルス濃度がほぼ変わらない結果となった。

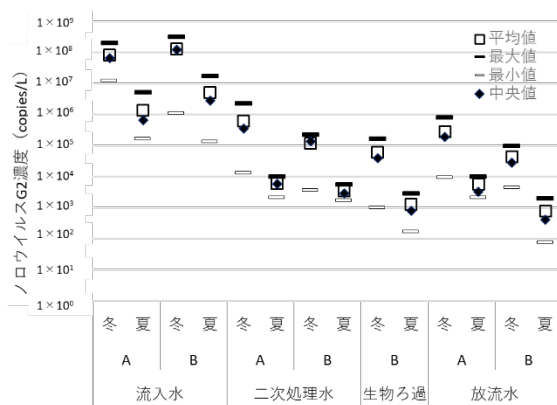


図 7 ノロウイルス G2 の季節ごとの濃度

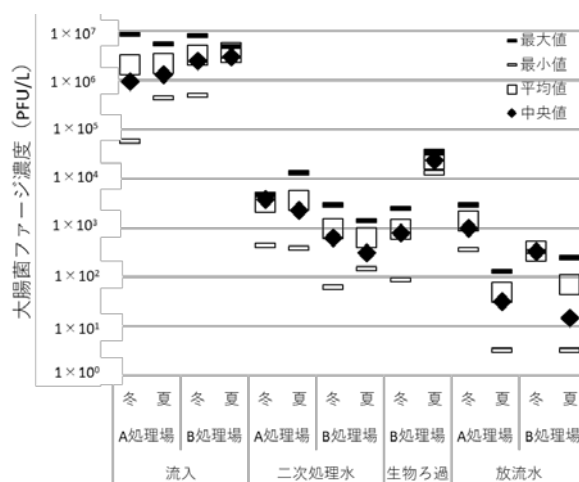


図 8 大腸菌ファージの季節ごとの濃度

3.5 大腸菌ファージの測定結果

大腸菌ファージは水中における挙動がウイルスに似ていると言われており、様々な研究が行われている。また、ノロウイルスは培養法による測定法が確立されていないのに対し、大腸菌ファージは培養法による測定法が確立されているため、ノロウイルスと大腸菌ファージの除去効果の違いをより詳細に検討することにより、ノロウイルスによるリスク制御技術の評価への活用が期待される⁷⁾。本調査における季節ごとの大腸菌ファージ濃度を図 8 に示す。A 及び B 処理場の流入濃度は年間を通じてほぼ同程度であった。一方、放流水では A 処理場の冬季では $10^2 \sim 10^3$ (PFU/L)、夏季では $10^0 \sim 10^2$ (PFU/L)、B 処理場では、冬季で 10^2 (PFU/L)、夏季で $10^0 \sim 10^2$ (PFU/L) であり、両処理場ともに、夏季に比べ冬季の放流水濃度が高い値となった。また除去率は、A 処理場で $4.5 \sim 2.1\log$ 、B 処理場で $6.1 \sim 5.3\log$ であり、ノロウイルスに比べ高い値を示した。なお B 処理場の夏季のろ過槽前後の試料を比較すると濾過後の濃度が高い値であった。

また、大腸菌ファージとノロウイルスの対数除去率の平均値を比較すると A 処理場二次処理でそれぞれ $2.7\log$ 、 $2.4\log$ 、B 処理場でそれぞれ、 $3.7\log$ 、 $2.8\log$ であり、A 処理場で $0.3\log$ 、

B 処理場において 1log 程度ノロウイルスの方が低かった。また、二次処理以降の下水処理工程による大腸菌ファージ、ノロウイルス除去率は、A 処理場でそれぞれ、0.4log、0.1log、B 処理場でそれぞれ 1.3log、0.7log であり、二次処理同様ノロウイルスの方が低い除去率であった。

これはノロウイルスを PCR 法で測定していることからノロウイルスが生死を分けずに検出されるのに対し大腸菌ファージをプラーク法（培養法）で測定しており培養可能なものを測定していることの違いによることが考えられる。

4. まとめ

本調査では、通年を通じて大腸菌群数、大腸菌数及び指標生物となりうる微生物等について OD 法、標準法の 2 つの処理方式及び塩素消毒、ろ過+UV の 2 つの異なる消毒等の工程における挙動を把握した。調査期間中を冬季、夏季の 2 つに分けて 2 つの処理場の大腸菌群数及び大腸菌数を比較すると冬季と夏季では、ほぼ同様の傾向であった。また、大腸菌群数に占める大腸菌数の割合は、測定法により割合のばらつきがあるものの、流入水では平均値で 20～60%、放流水の平均値で 10～30%であり、処理工程が進むにつれて大腸菌群数に占める大腸菌数の割合が減少していた。

その他の指標生物となりうる微生物等については、流入水において、嫌気性芽胞菌、大腸菌ファージの季節変動は小さく、ノロウイルスについては、夏季に比べ冬季の濃度が 2log 程度大きい結果であった。放流水について嫌気性芽胞菌の季節変動は小さく、ノロウイルス、大腸菌ファージについては、それぞれ夏季に比べ冬季の濃度が 2log、1.5log 程度大きい結果であった。

今後は、大腸菌群数、大腸菌数、及び下水道の放流水の適切な基準となりうる指標微生物の処理場内での消長の違いについて原因の解明や、除去率向上のための効果的運転方法の検討を実施する予定である。

【参考文献】

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

7. 下水道における温暖化ガス排出量削減に関する調査

下水処理研究室 室 長 田 隅 淳
研 究 官 栗 田 貴 宣
研 究 官 矢 本 貴 俊
交流研究員 佐 藤 拓 哉

1. はじめに

2016 年の地球温暖化対策計画において、2030 年度における日本全体での温室効果ガス排出量削減目標が 26%（2013 年度比）とされている。その中で下水道から排出される温室効果ガス排出量について約 20%削減が目標とされている。下水道事業から排出される温室効果ガスは約 60%が電力消費による二酸化炭素（以下、「CO₂」という）であるが、水処理及び汚泥焼却においてメタン（以下、「CH₄」という）や一酸化二窒素（以下、「N₂O」いう）などの強温室効果ガス（CH₄は CO₂の 25 倍、N₂O は CO₂の 298 倍の温室効果）も排出され CO₂換算でそれぞれ約 10、20%を占めている。汚泥焼却から発生する N₂O は 850°C 以上の高温焼却によって削減が可能であり¹⁾、すでに多くの焼却炉で取り組みが進んでいる。一方で、水処理から発生する N₂O については生物反応による副生成物もしくは中間生成物として発生することが知られているが、関与する微生物と環境因子が複数存在しているため、N₂O の発生因子や発生のメカニズムについては依然不明な点が多く、N₂O 排出抑制にはつながっていない。

これまでに実際の排出量や排出傾向について明らかにするために、標準活性汚泥法、高度処理水質を得ることを目的とした標準活性汚泥法の躯体を利用した工夫運転（段階的高度処理）、嫌気好気法、循環式硝化脱窒法、嫌気好気無酸素法を採用する下水処理場を対象とした N₂O 発生量調査を実施してきた。本年度は、他の処理方式より比較的高い N₂O 発生が確認されている標準活性汚泥法と段階的高度処理を採用している下水処理場において、実態を把握することを目的とした 24 時間の現地調査を実施した。また、ベンチスケールリアクターに生下水を流入させて運転を行い、異なる条件における N₂O 発生量の調査を行った。

2. 研究内容

2.1 現地調査による N₂O 排出量の実態調査

過年度の調査によって、標準活性汚泥法及び段階的高度処理を採用している下水処理場から排出される N₂O 発生量は高度処理を導入している下水処理場と比較して大きいことを確認している。しかしながら、N₂O 発生因子は明らかになっておらず、発生抑制運転は達成できていない。また、これまでのサンプリングは 24 時間調査によって 1 日の変動については考慮されていたが、異なる季節の発生量については考慮されておらず、季節変動を含む様々な因子について実排水処理場の情報を収集することにより、より正確な実態把握を目的とした。

(1) 方法

調査対象処理場において、水処理過程における N₂O 排出量の実態を把握するため、流入水から処

理水までの各反応槽から排出される N_2O 量を調査した。調査は 24 時間調査とし、同採取地点において 24 時間コンポジット（4 時間に 1 回）でガス採取及び採水を実施（計 7 回）し、平均値をそれぞれの調査時の値とした。ガス態の N_2O 測定用のサンプルとして、反応槽水面にガス捕集器を設置し、ガスバックに採取した。嫌気槽からの採取については、ガス捕集器を 2 台使用し、0 分用と 20 分用を同時に設置した。それぞれ所定の時間のサンプルをガスバックへ捕集し、0 分のものをバックグラウンド、0 分と 20 分の濃度差を排出量の算出に用いた。ブランク試料として、ブロウ取り込み口付近の大気を採取した。溶存態の N_2O 測定用のサンプルは、あらかじめ 22 mL バイアル瓶に 20% グルコン酸クロルヘキシジン溶液 160 μL （最終濃度：0.26%）、超純水 9 mL を添加し、密栓したものを準備し、液体サンプル 3 mL をシリンジで注入して冷蔵保存した。サンプル注入時は内部圧力を大気圧にするため、注射針を刺した状態でサンプルを注入した。ブランク試料として、大気のためのバイアルを 3 本、サンプルを入れないものを 3 本作成した。水質分析用のサンプルは、採水後速やか（20 分以内）にガラス繊維ろ紙にてろ過し、溶存有機物濃度、溶存無機窒素濃度、リン濃度の測定を行った。また、採水後に MLSS 濃度、SV30 の測定を実施した。

N_2O ガス分析は、電子捕獲検出器（ECD）付ガスクロマトグラフ（ガスクロマトグラフ GC-8A、SHIMADZU 社製）を用いて濃度測定を行った。カラムには PORAPAK-Q（1 m、80/100 メッシュ、Waters 社製）を用い、キャリアガスに $\text{Ar}+\text{CH}_4$ （5%）を使用した。ECD-GC の試料導入部及び検出器温度を 250°C、カラム温度を 80°C に設定した。溶存態 N_2O 濃度は、ヘッドスペース法（温度 40°C、恒温時間 150 分、HEADSPACE Autosampler tekmar 7000（Tekmer-DOHRAMANN 社製））により分析を行った。溶存有機物濃度については、TOC-5000（SHIMADZU 社製）にて測定を行った。溶存無機窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ）及び全窒素濃度は、自動比色分析装置 QuAAtro2-HR（BL-TEC 社製）を用いて測定した。

（2）段階的高度処理（疑似 AO 法）から排出される N_2O

A 処理場は段階的高度処理の一つである疑似 AO 法を採用しており、調査は平成 30 年 10 月 16～17 日、平成 30 年 12 月 13～14 日に実施した。A 処理場は隔壁がなく、曝気制限によって擬似的に嫌気条件を再現していた。図 1 に各槽における各態窒素濃度（10 月）を示す。図 2 に各槽における

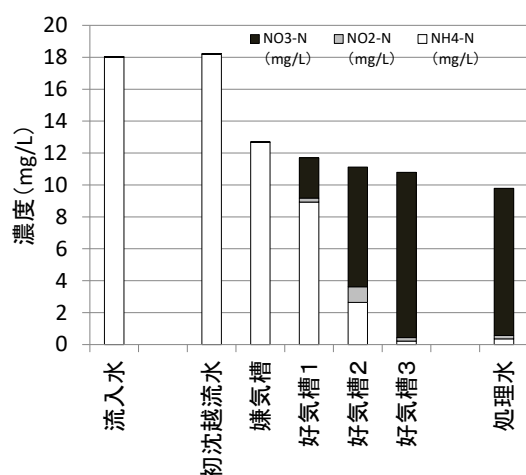


図 1 各槽における窒素濃度（10 月）

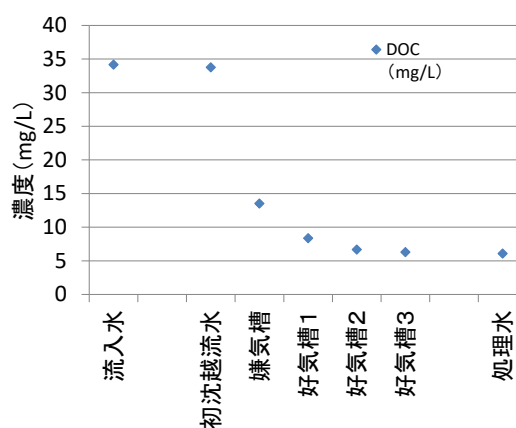


図 2 各槽における溶存有機物濃度（10 月）

溶存有機物濃度（10 月）を示す。
初沈越流水に含まれる有機物と返送汚泥に含まれる硝酸が嫌気槽において脱窒プロセスによって減少していることが確認でき、さらに好気槽では完全に硝化プロセスが進行している状況であった。アンモニア除去率は 98%、全窒素除去率は 66%、溶存有機物除去率は 82%であり、排水処理は問題なく稼働していることを確認した。図 3 に各槽における単位流入水量あたりのガス態 N_2O 排出量及び槽内溶存態 N_2O 濃度（10 月）を示す。単位流入水量

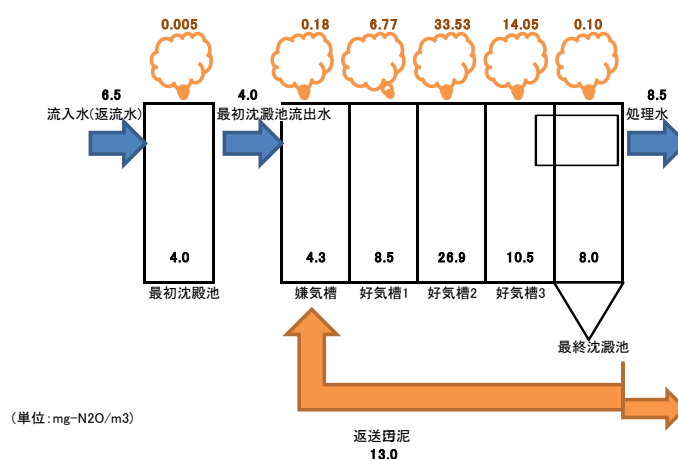


図 3 各槽における単位流入水量あたりの平均ガス態 N_2O 排出量及び槽内平均溶存態 N_2O 濃度（10 月）

あたりのガス態 N_2O 発生量は嫌気条件においてほとんど発生が無かったが、好気槽の中間地点にあたる好気槽 2 において発生量が増加しており、槽内溶存態 N_2O 濃度も高くなっていることから、好気プロセスの中で N_2O が発生していることが確認された。好気槽 2 において約 1 mg-N/L の亜硝酸性窒素の蓄積が観察され、ガス態 N_2O の発生が大きくなっていることから、亜硝酸性窒素が下水処理場における N_2O 発生の要因の一つという報告¹⁾と一致した。

図 4 に各槽における各態窒素濃度（12 月）を示す。図 5 に各槽における溶存有機物濃度（12 月）を示す。初沈越流水に含まれる溶存有機物は嫌気槽にて除去されている一方で、10 月と比較して好気槽における硝化プロセスによるアンモニア酸化量は減少していた。アンモニア除去率は 47%、全窒素除去率は 52%、溶存有機物除去率は 81%であった。12 月サンプリング時における硝化プロセスによるアンモニア酸化活性の低下は槽内温度が約 21.5℃ であり、10 月サンプリング時の約 25.5℃ と比較して低いためと考えられた。図 6 に各槽における単位流入水量あたりのガス態 N_2O 排出量及び槽内溶存態 N_2O 濃度（12 月）を示す。単位流入水量あたりのガス態 N_2O 発生量は嫌気条件においてほとんど発生が無かったが、好気槽の中間地点および後半にあたる好気槽 2 および 3 において

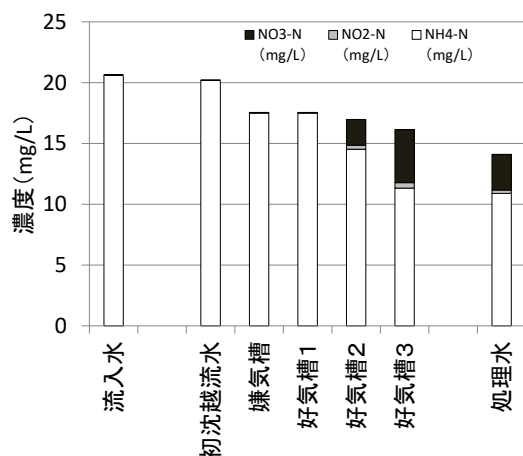


図 4 各槽における窒素濃度（12 月）

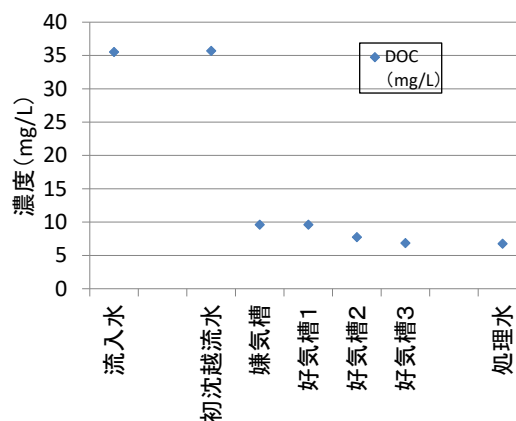


図 5 各槽における溶存有機物濃度（12 月）

発生量が増加しており、秋季サンプリング時と同様に好気プロセスの中で N_2O が発生していることが確認された。しかしながら、 N_2O 発生量が最大となる地点が反応槽の後半となっており、秋季サンプリング時と異なっていた。これは硝化プロセスの進行が遅くなったためと考えられた。

10 及び 12 月の調査における N_2O 発生量はそれぞれ 53.8、38.1 $\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ であり、 N_2O 発生量は 10 月の方が高い結果であった。また、流入窒素あたりの N_2O 転換率は 0.22、0.15% であった。これらから、窒素除去が進行している方が N_2O への転換率が高くなるようにみえる一方で、窒素除去あたりの N_2O 転換率は 0.25、0.3% であり、硝化プロセス進行によって N_2O が発生しやすくなることが示唆された。 N_2O 発生抑制のためには段階的・高度処理における硝化プロセスの進行の最適化が必要であると言える。また、同一処理場で複数回の調査を実施した例はほとんど無く、データ蓄積を図る必要がある。

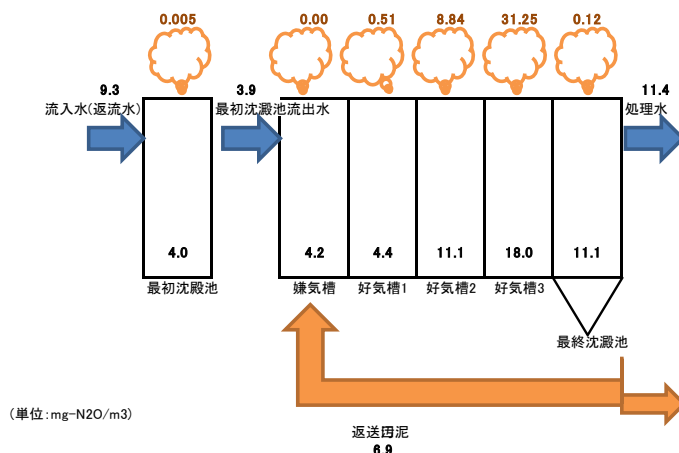


図 6 各槽における単位流入水量あたりの平均ガス態 N_2O 排出量及び槽内平均溶存態 N_2O 濃度 (12 月)

(3) 標準活性汚泥法から排出される N_2O

B 処理場は標準活性汚泥法を採用しており、調査は平成 30 年 10 月 30～31 日、平成 30 年 11 月 27～28 日に実施した。岐阜県 B 処理場は微生物保持担体を投入して反応槽容量を低減できる担体投入型標準活性汚泥法を採用していた。反応槽は区切られていないが好気槽前半を好気槽 1、中盤を好気槽 2、後半を好気槽 3 とした。図 7 に各槽における各態窒素濃度 (10 月) を示す。図 8 に各槽における溶存有機物濃度 (10 月) を示す。流入アンモニア濃度は 17 mg-N/L であり、好気槽から処理水まで 10 mg-N/L 程度であった。また、好気槽における硝化プロセスはほとんど進行しておらず、

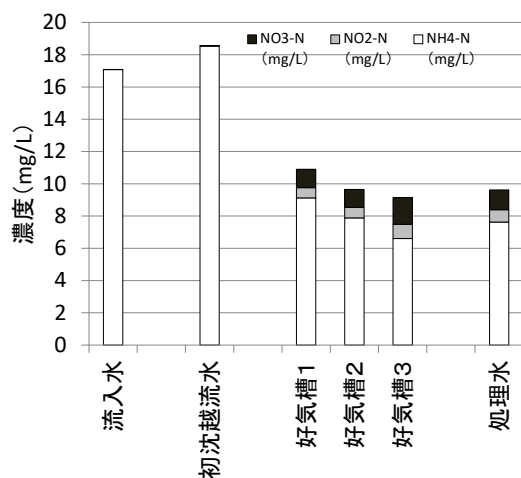


図 7 各槽における窒素濃度 (10 月)

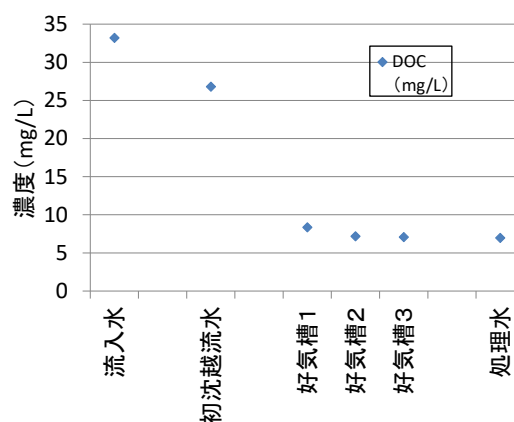


図 8 各槽における溶存有機物濃度 (10 月)

不完全な硝化プロセスによる亜硝酸性窒素の蓄積が確認され、後段の反応槽に進むにつれて亜硝酸性窒素濃度が高くなっていた。アンモニア除去率は55%、全窒素除去率は57%、溶存有機物除去率は79%であった。溶存有機物は流入水中に33 mg/L、初沈越流水中に26 mg/L含まれていたが、好気槽にて7~8 mg/Lまで除去されており、正常に有機物除去のための運転が行われていたことが確認された。図9に各槽における単位流入水量あたりのガス態 N_2O 排出量及び槽内容存態 N_2O 濃度（10月）を示す。好気槽における単位流入量あたりのガス態 N_2O 排出量は好気槽前半、中盤、後半においてそれぞれ約47、

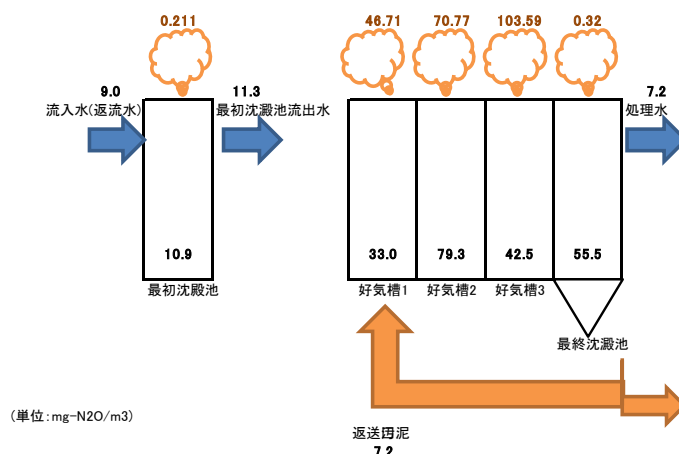


図9 各槽における単位流入水量あたりの平均ガス態 N_2O 排出量及び槽内平均溶存態 N_2O 濃度（10月）

における単位流入量あたりのガス態 N_2O 排出量は好気槽前半、中盤、後半においてそれぞれ約47、71、104 mg- $\text{N}_2\text{O}/\text{m}^3$ であった。ガス態 N_2O 排出量は反応槽からのものが主であり、最初沈殿池および最終沈殿池から大気に放出される量はほとんど無いと言える。さらに好気槽から排出される N_2O 量は反応槽の後方へ行くに従って増加しており、槽内の亜硝酸性窒素濃度の増加とも合う結果であった。ガス態 N_2O 発生量が大きいのということに加え、溶存態 N_2O が好気槽および最終沈殿池で多く存在していることが確認された。反応槽における溶存態 N_2O が増加することで処理水中に含まれる溶存態 N_2O が増加し、未処理のまま放流されることで環境中へ放出される N_2O の増加が懸念されることから、発生する溶存態 N_2O への対策についても今後検討が必要と考えられる。

図10に各槽における各態窒素濃度（11月）を示す。図11に各槽における溶存有機物濃度（11月）を示す。好気槽における同時に N_2O 発生の要因と言われている亜硝酸性窒素の蓄積もほとんど無いことが確認できた。硝化プロセスは抑制状態であったことが確認された。アンモニア除去率は28%、全窒素除去率は46%、溶存有機物除去率は76%であった。溶存有機物は流入水中に30 mg/L、

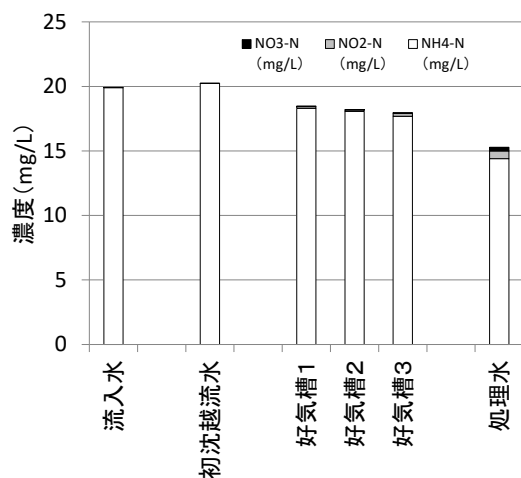


図10 各槽における窒素濃度（11月）

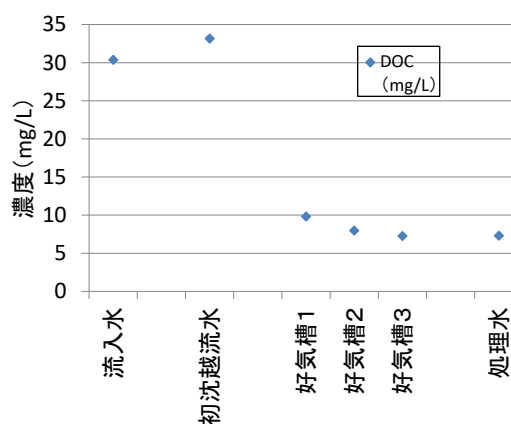


図11 各槽における溶存有機物濃度（11月）

初沈越流水中に 33 mg/L 含まれていたが、好気槽にて 7~9 mg/L まで除去されており、正常に有機物除去のための運転が行われていたことが確認された。図 12 に各槽における単位流入水量あたりのガス態 N_2O 排出量及び槽内溶存態 N_2O 濃度（11 月）を示す。好気槽における単位流入量あたりのガス態 N_2O 排出量は好気槽前半、中盤、後半においてそれぞれ約 12、7、6 $\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ であった。また、溶存態 N_2O 濃度は最初沈殿池、前半、中盤、後半、最終沈殿池においてそれぞれ約 10、4、11、18、11 $\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ であった。

流入した窒素が変換されずに処理場を通過するため、硝化抑制状態でのガス態 N_2O 排出量は、硝化プロセスが進行する標準活性汚泥法と比較して大幅に小さくなる結果であった。

10 月の調査における N_2O 発生量は 124.2 $\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ であり、標準活性汚泥法からの N_2O 排出係数 142 に近い値であった。一方で、11 月の調査における N_2O 発生量は 22.2 $\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ であり、 N_2O 発生量は小さかった。流入窒素あたりの N_2O 転換率は 0.49、0.11% であった。また、窒素除去あたりの N_2O 転換率は 0.81、0.23% であり、標準活性汚泥法において硝化プロセスが進行する場合に、非常に多くの N_2O が排出されることが示された。一方で硝化プロセスが進行しない場合は、処理水としてアンモニアが放流され、放流先での N_2O 発生につながることに留意が必要である。さらに異なる時期によって N_2O 排出量が大きく変動することが観察されたことから、標準活性汚泥法についての現行の N_2O 排出係数算出のためのデータ取得方法について再度検討する必要があると考えられ、春季及び夏季を含めた引き続きのデータ取得を継続する予定である。

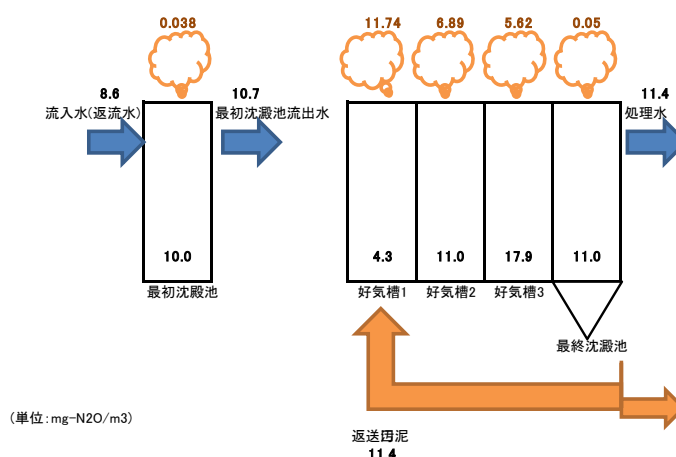


図 12 各槽における単位流入水量あたりの平均ガス態 N_2O 排出量及び槽内平均溶存態 N_2O 濃度（11 月）

2.2 ベンチスケールリアクターを用いた N_2O 排出量抑制運転の検討

昨年度まで、標準活性汚泥法における N_2O 発生抑制運転手法の検討を目的として異なる曝気風量運転でベンチスケールリアクターの運転を行ってきた。これまでの調査結果から、標準活性汚泥法において前段の曝気を制限した運転を行うこと（疑似 AO 法）で N_2O 排出量が低減できる可能性が示唆された²⁾。一方で、低水温期において返送率を上げることで脱窒を促進し、同時硝化脱窒によって亜硝酸の蓄積を抑えることで N_2O 発生を低減しようと試みたが、 N_2O 発生抑制は達成できなかった³⁾。亜硝酸性窒素存在下において N_2O 発生が多くなるという報告¹⁾もあるが、それ以外の因子については明らかではない。また、今までの調査結果³⁾から疑似 AO 法運転により必ずしも水処理からの N_2O 発生を完全に抑えることができるとは限らず、より効果的な標準活性汚泥法の N_2O 発生抑制運転が必要であることから、新規にリアクターを設計・作成し、標準活性汚泥法を模擬したリアクター運転を行った。

(1) 方法

6 槽の反応槽（12.5 L×6 槽+受水部分 6.25 L、計 81.25 L）と最終沈殿池（13.2 L）から構成された連続式リアクターの運転を実施した。図 13 にベンチスケールリアクターの画像を示す。本実験装置は実下水処理場敷地内の国総研実験施設にて、生下水を連続的に通水して運転を行った。本調査では立ち上げを 8 月、10 月、12 月に



図 13 ベンチスケールリアクター画像

行った。8 月及び 10 月に発生したトラブルを改善し、3 回目の立ち上げを 12 月に実施し、同時に運転立ち上げ時のデータ取得も試みた。下記に平成 30 年 12 月 3 日の立ち上げから平成 31 年 2 月 25 日までのデータについて記述する。

流入水量は 150 mL/min、返送速度を 50-115 mL/min に設定した。DO 制御は行わず、曝気はリアクター内 12 箇所で行い、それぞれ曝気風量 2 L/min で一定運転とした。また、槽内 MLSS は 2000 mg/L 程度を運転目標とした。気温、水温、pH、溶存酸素（DO）濃度、酸化還元電位（ORP）、ガス態 N_2O 濃度、溶存態 N_2O 濃度の測定を行った。

(2) 結果

図 14 に各槽におけるガス態 N_2O 濃度の経時変化、図 15 に各槽における溶存態 N_2O 濃度の経時変化を示す。運転開始から 56 日目（2019 年 1 月 28 日）から徐々に N_2O 濃度が増加しており、63 日目（2019 年 2 月 4 日）にガス態及び溶存態 N_2O 濃度が急増した。 N_2O 濃度は後段の反応槽へ進むに連れて減少していた。図 16 に運転 43 日目（2019 年 1 月 15 日）、49 日目（2019 年 1 月 21 日）、56 日目（2019 年 1 月 28 日）、63 日目（2019 年 2 月 4 日）の各槽における各態窒素濃度を示す。各態窒素濃度の測定結果から、運転経過日数が増すごとに槽内に蓄積する亜硝酸性窒素濃度が増加し

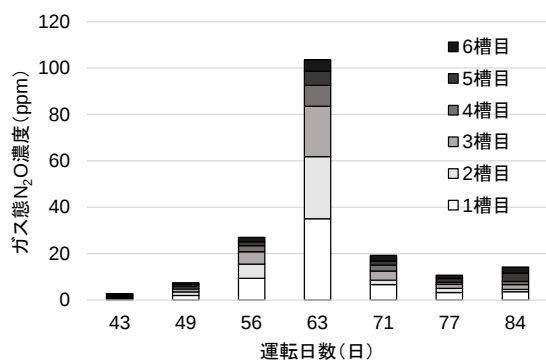


図 14 各槽におけるガス態 N_2O 濃度

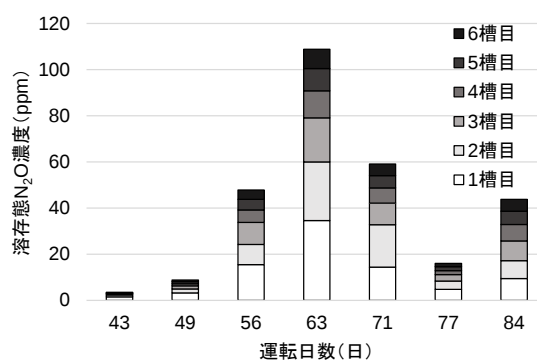


図 15 各槽における溶存態 N_2O 濃度

ていることが観察された。これは水温の低下（17.8→3℃）による亜硝酸酸化細菌の活性低下によるものと考えられた。一方で、 N_2O 濃度が高くなりはじめた 56 日目よりも前（49 日目）から亜硝酸性窒素濃度が徐々に高くなっていることがわかる。リアクター運転の結果から、必ずしも亜硝酸性窒素濃度が上昇した場合に直ちに N_2O が発生するということではなく、タイムラグがあった後に N_2O が結果として多く発生する可能性が示唆された。これは N_2O 排出量調査において、亜硝酸性窒素の蓄積が観察されない場合においても N_2O の発生が確認されたことと一致する³⁾。しかしながら、下水処理場での実態を把握するためには、どの程度のタイムラグがあるかについて再度検討する必要がある。

3. まとめ

本年度は N_2O 排出の実態把握および排出因子特定のために現地調査およびベンチスケールリアクターを用いて調査、検討を行った。その結果、 N_2O 排出量は季節によって異なる可能性があり、亜硝酸性窒素と N_2O 排出に関連はあるものの、亜硝酸の蓄積と N_2O 排出時期にはタイムラグがあることが示された。今後は春季および夏季の N_2O 排出実態調査および異なる条件でのリアクター運転を予定している。

参考文献

- 1) 中島英一郎・中島智史・平出亮輔、下水道施設を活用した CH_4 、 N_2O の排出抑制中核技術の汎用化と普及に関する研究、国土技術政策総合研究所資料、138 号、pp.205-228、2013 年
- 2) 山下洋正・重村浩之・道中敦子、下水道における一酸化二窒素発生抑制型処理方法に関する検討、平成 28 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料、1032 号、pp.43-52
- 3) 山下洋正・道中敦子・栗田貴宣、下水道における温暖化ガス排出量削減に関する検討、平成 29 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料、1056 号、pp.51-58

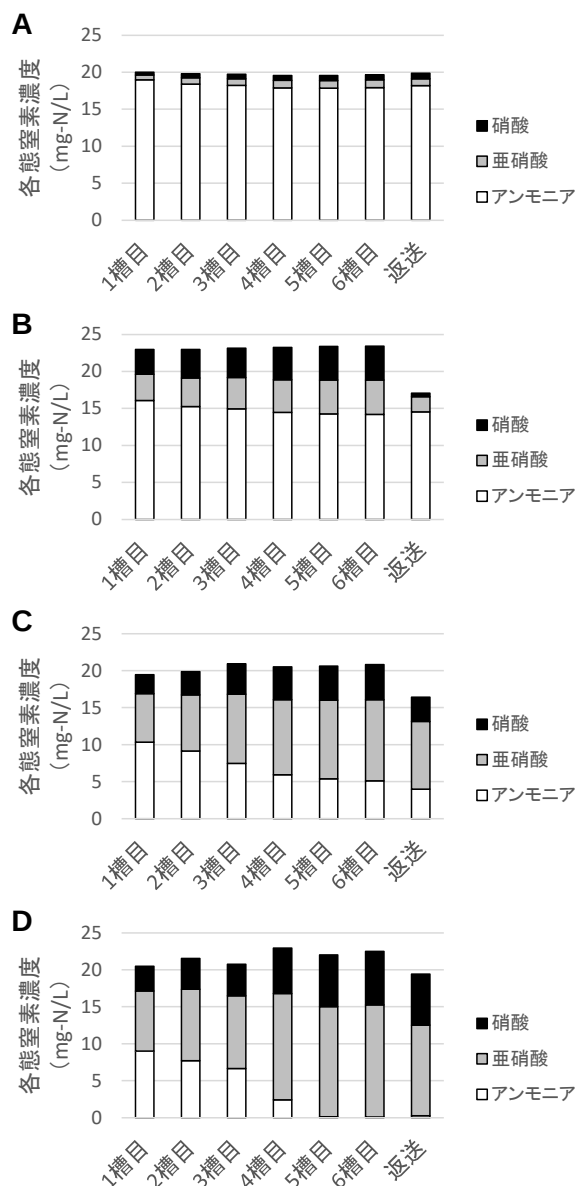


図 16 運転 43 日目 (A)、49 日目 (B)、56 日目 (C)、63 日目 (D) の各槽における各態窒素濃度

8. 下水道資源の活用を考慮した水環境マネジメント推進に関する調査

下水処理研究室 室 長 田 嶋 淳
研 究 官 藤 井 都 弥 子

1. はじめに

下水処理場における電力消費量は平成 28 年度の時点で 7,384 百万 kwh/年¹⁾、電力由来の温室効果ガス排出量は約 380 万 t-CO₂/年であり、公共団体が実施する事務事業のなかでも温室効果ガス排出量が多いことから、公的機関として率先した省エネ方策の推進が求められている。また、平成 26 年度に改訂された「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」(以下、「流総指針」)²⁾や新下水道ビジョン、及び平成 27 年度に策定された下水道技術ビジョンにおいて、「エネルギー・資源の視点を取り入れた整備計画策定の促進」や「下水処理場でのエネルギー利用効率化技術の開発」、「下水道から排出される温室効果ガス排出量を削減するための技術や省エネ効果を評価する手法の開発」等が目標として定められた。

こうした動きをふまえ、水環境の保全と下水処理場における省エネルギー・創エネルギーとを両立するための取り組みが求められている。一方で、処理工程全体の物質収支を考慮してエネルギー消費量、創出量等を算出し、省エネ・創エネ施策の導入効果を検討する手法については十分整理されていない。

そこで本調査では、過年度までに整理した、処理工程における電力消費量やコスト等を算出する関係式(以下、「算出式」)³⁾について、算出式を用いた試算値とアンケート調査により得た実際の値(以下、「実値」)との比較整理を行った。また、標準活性汚泥法については、硝化促進運転、硝化抑制運転を分けて算出式を見直し、実値との比較を行った。

2. 研究内容

2.1 下水処理場における実態把握

全国の下水処理場から 30 箇所を選定してアンケート調査を行い、電力消費量やコスト等を把握した。対象処理場は、流入水量規模(日最大流入水量 10,000、20,000、50,000、100,000、200,000m³/日)、水処理方式(標準活性汚泥法、循環式硝化脱窒法、嫌気無酸素好気法、ステップ流入式多段硝化脱窒法)、消化ガス発電実施の有無や汚泥処分方法(場外搬出、固形燃料化、焼却)等を考慮して選定した。主な調査項目を表-1 に示す。

2.2 電力消費量、コスト、創エネルギー量の試算及び実値との比較

2.2.1 試算条件の設定

試算フローを図-1 に示す。まず、下水道統計から流入水質及び放流水質を設定するとともに、水処理方式や汚泥処分方法等を組み合わせた試算ケースを設定した。次に、設定した水質や各処理方法の標準的な除去率等から処理工程における物質収支を整理し、それに基づいて処理に必要な設備容量、機器のスペックや台数等を設定した。このとき、標準活性汚泥法については硝化促進運転、

硝化抑制運転に分けて必要空気量を計算し、それに基づく設備容量や機器の設定を行った。なお、硝化促進/抑制運転は通常、季節に応じて運転期間が設定されるが、今回は年間を通じて運転方法は一定と仮定して試算を行った。

2.2.2 電力消費量の試算

2.2.1 で設定した試算条件に基づき、水処理・汚泥処理設備（消化設備含む）については機器の電動機容量、負荷率、運転時間、台数を用いた積み上げ計算により電力消費量を算出し、近似式から流入水量を変数とした関数を得た。固形燃料化設備、焼却設備については既存のガイドライン⁴⁾等による関数からそれぞれ電力消費量を算出した。

2.2.3 コスト、創エネルギー量の試算

各設備のコスト、創エネルギー量（消化ガス発電量、固形燃料（炭化）熱量）については、流総指針や既存のガイドラインの関数を用いて算出した。固形燃料（乾燥）熱量については、既往調査により作成した関数を用いて算出した。

表-1 アンケート調査項目

エネルギー使用状況	電力消費量、燃料使用量、消化ガス利用状況(用途、ガス量)、消化ガス発電(発電量、利用用途)、固形燃料化設備(燃料生産量、燃料の熱量)、焼却設備(排熱の用途)
水処理設備	主ポンプ運転状況、反応タンク整備状況、標準活性汚泥法の場合に硝化促進/抑制運転を行っているか
送風機	機器の仕様、制御方法
汚泥処理設備	設備構成(型式、容量、運転時間等)
コスト	維持管理費(内訳、項目ごとの年間経費)、建設費

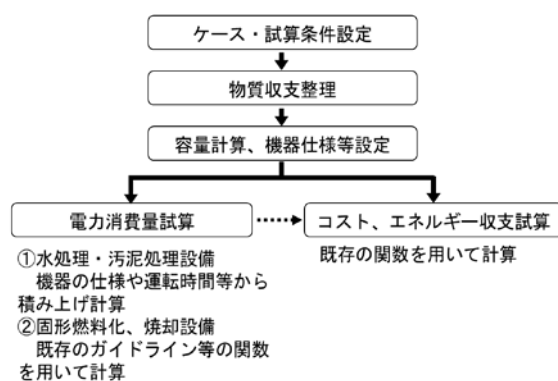


図-1 試算フロー

3. 研究結果

3.1 下水処理場における実態把握

アンケート調査から、送風機についてはルーツブロワが比較的小規模な処理場に多く、多段ターボブロワが処理場規模にかかわらず幅広い処理場に設置されており、過年度調査⁵⁾と同じ傾向であったことを把握した。また、汚泥濃縮機、汚泥脱水機については、処理場の規模にかかわらず半数近い処理場に遠心式が設置されていることを把握した。これらの結果は、試算条件として設定する機器の種類等の決定に反映した。

消化ガスの用途は消化槽加温が最も多く、消化を行っている処理場の約 80%で利用されていた。その他の用途としては、消化ガス発電が約 65%、固形燃料化施設への利用が約 20%、焼却施設への利用が約 15%であった。なお、消化ガス発電量を算出する既存の関数はガス発生量を用いた算出式だが、アンケートの結果では発電に使用されている消化ガス量は発生量の数%から 90%以上と処理場によって大きく異なるため、今回は消化ガス発電に利用されるガス量を用いて発電量の試算を行った。

下水道施設全体の建設費については 20 処理場から回答が得られたが、処理場により値が大きくばらつく結果となった。これは、更新工事や撤去工事、土木工事が含まれるかどうか等、建設費として把握されている範囲が処理場ごとに異なっていたことが理由と考えられる。

図-2 に単位水量あたりの維持管理費（アンケートから得られた維持管理費を年間の流入水量（日平均流入水量×365 日）で除した値）を示す。水処理方式の違いに関わらず、維持管理費の回答が得られた全ての処理場についてプロットしているが、全体として処理場規模が大きくなるにつれて単

位水量あたりの維持管理費が低くなる傾向が見られた。

3.2 電力消費量、コスト、創エネルギー量の試算及び実値との比較

3.2.1 電力消費量

電力消費量の実値及び試算値を図-3に、電力消費量実値に対する試算値の比率を図-4に示す。ここでは、水処理方式の違いに関わらず、水処理・汚泥処理設備の電力消費量について回答が得られた全ての処理場についてプロットしている。なお、複数の水処理方法を用いている処理場については、試算を簡易に行うため、今回は最も処理水量が多い処理方法の算出式を適用して算出した値を示している。試算値は全体的に実値より20～30%ほど小さくなる傾向が見られた。次に、図-3、図-4から標準活性汚泥法のみを用いている処理場を抜粋し、硝化促進/抑制運転に凡例を分けてプロットした結果を図-5、図-6にそれぞれ示す。図-5及び図-6では、参考値として過年度の算出式を用いた試算値をあわせて示している。過年度の試算では、設計指針²⁾を参考に、硝化が進む場合を想定した係数を設定して必要空気量等を算出しており硝化促進運転に近い電力消費量が算出されている。今回の硝化抑制運転については、硝化による酸素消費量を0として反応タンクの必要空気量を算出しており、電力消費量は実値や過年度試算値の7割程度の値となった。一方、硝化促進運転については、実

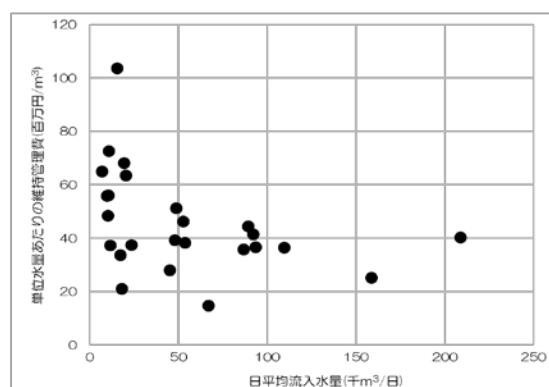


図-2 単位水量あたりの維持管理費(実値)

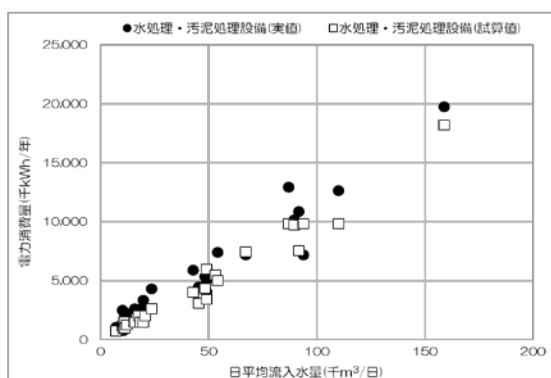


図-3 電力消費量の試算値及び実値
(水処理・汚泥処理設備)

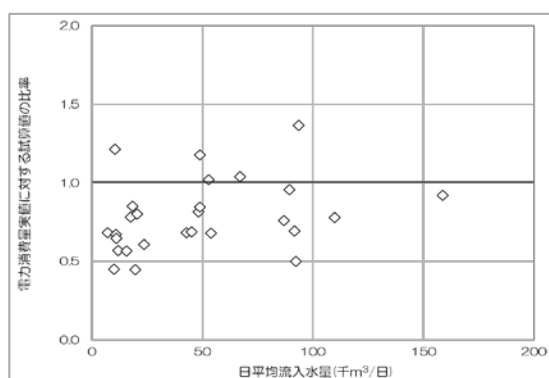


図-4 電力消費量の実値に対する試算値の比率
(水処理・汚泥処理設備)

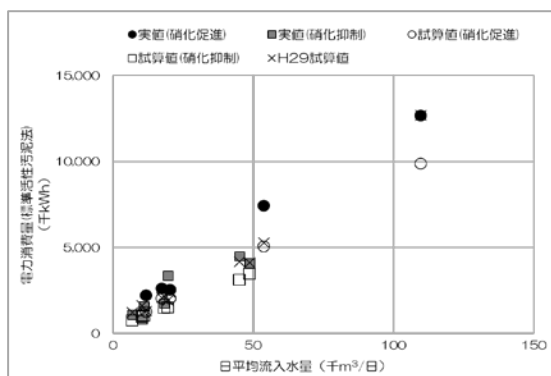


図-5 電力消費量の試算値及び実値
(標準活性汚泥法)

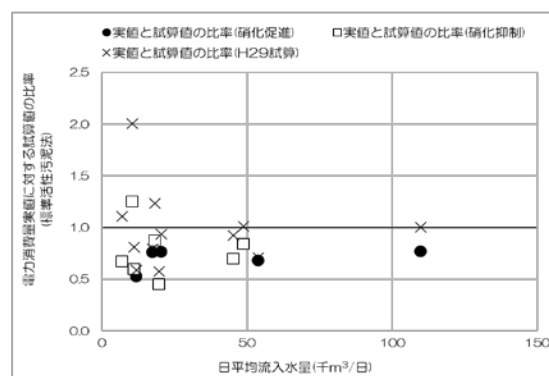


図-6 電力消費量の実値に対する試算値の比率
(標準活性汚泥法)

値よりは全体として小さい値となったものの過年度試算値と比較するとほぼ同じかやや小さい値となった。今回の硝化促進運転と過年度試算値とに一部差が見られた理由としては、今回、流量パターンを追加して過年度の算出式を見直しており、過年度算出式と係数に違いが生じたことが理由の1つと考えられる。

図-7、図-8は、図-3、図-4から高度処理法のみを用いている処理場を抜粋して示したグラフである。高度処理法については、流量パターン追加による過年度算出式の見直しでも係数がほぼ変わらなかったため、グラフは今年度の試算値のみを示している。高度処理法でも、標準活性汚泥法と同様に試算値が実値より小さくなる傾向が見られた。

実値と試算値に差が見られた理由としては、試算における設定と実態とで構成や型式が一致していない機器があること、試算では効率のよい設備容量や機器仕様等を設定しているが、実際の処理場では設備容量に対して処理水量が少ない等の状況により理想的な運転が行えていない可能性があること等が考えられる。また、標準活性汚泥法については、硝化促進/抑制運転を行っている期間が試算と実態とで異なっていることも影響していると考えられる。

3.2.2 コスト

図-9に水処理・汚泥処理設備の建設費実値と試算値を示す。全体的に試算値と実値の乖離が大きい結果となった。これは前述したとおり、更新工事や撤去工事、土木工事が含まれるかどうか等、建設費実値として把握されている範囲が処理場ごとに異なり、算出に用いた関数の設定条件とも異なっていたことが理由と考えられる。次に、水処理・汚泥処理設備の維持管理費実値と試算値を図-10に示す。今回試算に用いた水処理・汚泥処理設備の維持管理費を算出する関数は補修費が

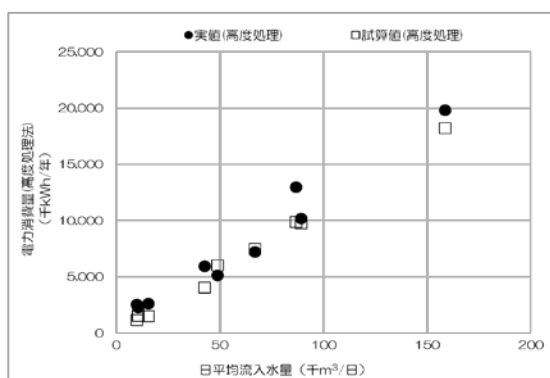


図-7 電力消費量の試算値及び実値
(高度処理法)

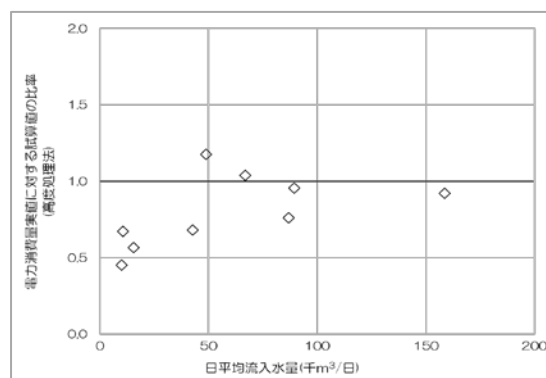


図-8 電力消費量の実値に対する試算値の比率
(高度処理法)

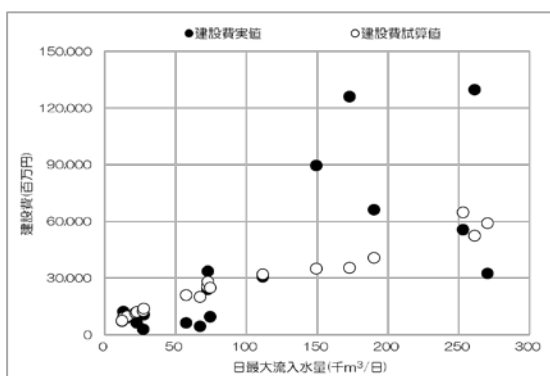


図-9 建設費の試算値および実値

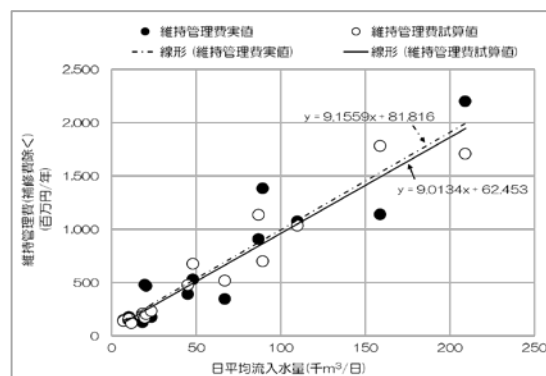


図-10 維持管理費の試算値及び実値
(補修費除く)

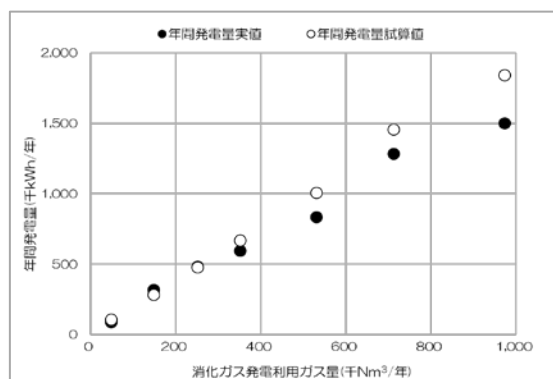


図-11 消化ガス発電量の試算値及び実値

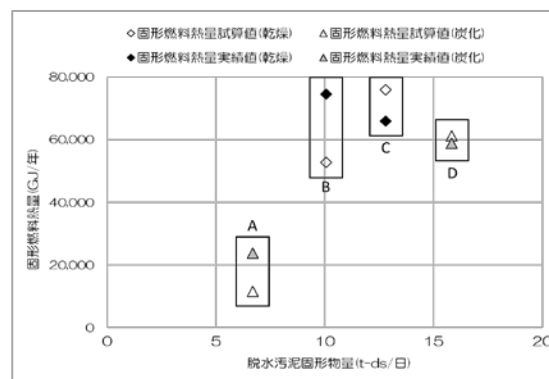


図-12 固形燃料熱量の試算値および実値

含まれていないため、内訳の回答が得られた処理場を対象として、維持管理費全体から水処理・汚泥処理設備の補修費を除いた実値を試算値と比較した。やや試算値と実値に差は見られるものの、全体的な傾向（近似曲線）はほぼ同じとなったことから、既存の費用関数でおおむね実態に近い維持管理費を算出できると考えられる。

3.2.3 創エネルギー量

図-11 に消化ガス発電量の試算値と実値の結果を示す。ここでは、消化ガス発生量全量ではなく消化ガス発電に利用するガス量と、消化ガス中のメタン濃度（ガイドライン⁴⁾より60%と設定）、発電効率（ガイドライン⁴⁾より小型発電機について32%、別途調査の結果から大型ガスエンジンについて36%と設定）等から発電量を算出した。なお、大型ガスエンジンは総発電施設規模が300kW以上の場合に適用している。試算値と実値は概ね一致したが、発電利用ガス量が多くなるにつれて差が生じる傾向が見られた。この理由としては、発電設備の構成（設置台数や1台あたりの発電規模）や設置からの年数等による発電効率への影響などが考えられるが、今回は設置からの年数等、設備の詳細については把握できていないため明確な理由は不明である。

図-12 に固形燃料熱量の試算値と実値の結果を、表-2 に試算対象とした処理場の汚泥量等を示す。固形燃料熱量の実値は、アンケートにより得られた固形燃料生産量と単位量あたりの固形燃料熱量より算出した。処理場D（消化あり／炭化）は試算値と実値がほぼ一致する結果となった一方で、処理場A（消化なし／炭化）は試算値と実値に差が見られた。固形燃料（炭化）については、脱水汚泥量に固形燃料転換率（消化ありの場合0.157、消化なしの場合0.068）を乗じて算出した固形燃料生産量に、さらに単位量あたりの固形燃料熱量を乗じて固形燃料熱量を算出している⁴⁾。処理場Dは固形燃料生産量の試算値と実値に大きな差が見られなかったが、処理場Aは固形燃料生産量の試算値が実値の半分以下という結果になっており、これが固形燃料熱量の試算値と実値の差につながっていると考えられる。固形燃料（乾燥）については、今回用いた算出式で固形燃料熱量に影響を与える因子は脱水汚泥固形物量と有機分である。有機分は、流入負荷が高い場合0.7、低い場合0.62と設定した。なお、流入負荷の高低を判断する目安は、下水道統計から排除方式（合流式・分流式）別の流入BOD、SS平均値を算出し、高濃度：流入BOD 203mg/l、SS 171mg/l、低濃度：流入BOD 146mg/l、SS 118mg/lと設定した。今回の試算において、処理場Bの流入負荷は低濃度に近か

表-2 固形燃料化技術を導入している処理場の汚泥量(脱水汚泥)及び固形燃料熱量

	A (消化なし/炭化)		B (消化あり/乾燥)		C (消化あり/乾燥)		D (消化あり/炭化)	
	実値	試算	実値	試算	実値	試算	実値	試算
日平均汚泥量 (t-wet/日)	27.5		56.9		50.3		71.0	
日平均固形物量 (t-ds/日)	6.7		10.1		12.6		15.8	
固形燃料生産量 (t/年)	1,564	683	4,143	4,096	4,120	5,110	4,203	4,069
単位量あたりの 固形燃料熱量 (MJ/kg)	15	17	18	12.9	16	14.6	14	15

ったため有機分を 0.62、処理場 C の流入負荷は高濃度に近かったため有機分を 0.7 と設定したが、特に処理場 B についてアンケートにより得られた実際の単位量あたりの固形燃料熱量とに大きな差が見られる結果となった。また処理場 C については脱水汚泥固形物量の値が高く、固形燃料生産量の試算値と実値に差が見られた。

こうしたことから、試算値と実値に差が見られた理由としては、有機分等の汚泥性状、固形燃料転換率が影響していると考えられるが、汚泥性状等と固形燃料生産量や発熱量との関係の精査は今後の課題である。

4. まとめ

下水処理場における電力消費量や創エネルギー量、及びコストについて試算を行い実値との比較を行った。

水処理・汚泥処理設備の電力消費量については、水処理方式の違いに関わらず試算値より実値のほうが 20～30%ほど大きい傾向が見られた。また、標準活性汚泥法について硝化促進/抑制運転を考慮して算出式を見直した結果、実値に対する試算値の比率で見た場合の値のばらつきは硝化促進運転、硝化抑制運転ともに今回の試算のほうが過年度試算より小さい結果となった。

創エネルギー技術については、消化ガス発電量の試算値と実値がほぼ一致した一方で、固形燃料化技術については試算値と実値に差が見られる処理場があった。

維持管理費について実値を試算値と比較した結果、流入水量と維持管理費との関係から見た場合、近似曲線の傾きはほぼ同じ値となった。

設定した機器構成や運転条件、汚泥性状等に起因すると思われる試算値と実値の差は見られたものの、電力消費量や維持管理費、消化ガス発電量については、用いた算出式でおよその値が把握できると考えられる。

今後は、必要に応じて算出式の見直しを行いつつ、これまでに整理した手法を用いて、下水処理場や流域全体における様々な省エネ・創エネ施策導入シナリオを設定した検討を行い、下水道管理者が省エネ・創エネ施策導入の効果を比較検討するための具体的な考え方について整理していく予定である。

【参考文献】

- 1) 公益社団法人日本下水道協会;平成 28 年度版下水道統計, (2018)
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」 2015.1
- 3) 藤井、山下 下水汚泥のエネルギー利用を考慮した下水道設備のコスト・エネルギー量の試算 第 55 回下水道研究発表会論文集 公益社団法人日本下水道協会 2018.7
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(平成 29 年度版)」 2018.1
- 5) 浜田ら 送風量制御方式による送風機の電力使用量への影響に関する調査 第 52 回下水道研究発表会論文集 公益社団法人日本下水道協会 2015.7
- 6) 公益社団法人日本下水道協会 下水道施設計画・設計指針と解説 2009 年版