

下水道管路の防災・減災技術の開発に関する実態調査

Research on development of technique for disaster prevention and reduction of sewerage pipelines

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

下水道研究部 下水道研究室
Water Quality Control Department
Wastewater System Division

室 長 岡安 祐司
Head OKAYASU Yuji
研 究 官 日下部 包
Researcher KUSAKABE Pao
交流研究員 成瀬 直人
Guest Research Engineer NARUSE Naoto

Due to the effects of heavy rainfall in recent years, the number of cases of damage in sewer manholes is increasing. In this study, numerical analysis was performed on the cases of recent damage in sewerage manholes, and the causes of the damage were analyzed. In addition, a simple risk assessment table was created by changing the structural conditions of the sewer pipes on numerical analysis and comparing the generated external forces.

〔研究目的及び経緯〕

近年の激甚化する豪雨により、下水道管路施設、特にマンホール周辺の破壊を伴う被害が顕在化している。マンホールにおける安全対策のマニュアルとしては、平成10年度に日本下水道協会により策定された「下水道マンホール安全対策の手引き(案)」(以下「安全対策の手引き」)が長らく使われ続けてきており、下水道管理者は安全対策の手引きに記載のあるマンホールふたの浮上・飛散のメカニズム、危険箇所判定における重要項目、及び緊急安全対策と中長期的安全対策の記載に基づいて安全対策を行ってきた。

一方、国土技術政策総合研究所(以下「国総研」)が過年度に行った調査によれば、安全対策として圧力解放蓋を設置した箇所においても被害が生じる事例や、マンホール周辺の舗装破壊を伴った甚大な被災事例等、想定を超える外力が要因と考えられる事例も多く見られるのが現状である。

本検討においては、近年豪雨により下水道管路施設に被害が発生した箇所を対象として、流出解析、及びマンホールに対する各種作用外力を整理し、被災状況と照合した上で被災要因を分析・整理した。また、数値解析上の構造条件を変化させることにより、管路構造条件別の危険度判定を行い、自治体職員でも簡単に対策の要否判定が可能な危険度判定表の作成について検討を行った。

〔研究内容〕

本研究では初めに、過年度マンホール破壊を伴う被災事例がある自治体を複数選定し、(1)被災状況の整理、(2)構造諸元からの構造耐力の推定、(3)被災当時の発生外力の算定を行い、構造的及び水理学的な被災要因について分析を行った。また(4)構造条

件別の危険度について整理を行った。さらに結果を総括し(5)簡易危険度判定表の作成に関する検討を行った。図-1にマンホールの被災事例を示す。



図-1 舗装破壊を伴うマンホールの被災事例

なお、(3)における被災当時の水位流況再現は流出解析モデルを用いて行い、構造物に作用する外力としては空気圧、水圧及び水撃圧を考慮した(解析の結果空気圧が発生外力としては最も大きかったため、ここではその結果のみ報告する)。なお空気圧の算定にあたっては安全対策の手引き記載の手法に則っており、流出解析モデルによって算定された水位の時間変動を境界条件として、空気を圧縮性・非粘性流体として扱うモデルを用いた。また算定した空気圧の程度を比較するため、各被災箇所において(2)で検討した構造耐力(耐圧力)を上回ったかどうかについても整理を行った。また、(4)においては代表地点を選定し、流出解析上で選定箇所のマンホール間隔、マンホール蓋の空気抜き面積、管径、管きよ接合条件等を変更した際の発生最大圧力を比較することで、構造条件別の危険度を整理した。

〔研究成果〕

(1) 被災状況の整理

過去10年間に被災が発生した自治体を8団体選定し、被災箇所における構造諸元及び被災当時の降雨状況等に関する資料収集を行った。整理した項目は表-1の通りである。

表-1 被災状況の整理項目

解析用途	資料
構造力学諸元の整理	竣工図
	マンホール構造図
	下水道一般図
	区画割施設平面図
	縦断図
水位流況状況の再現	降雨データ
	流量計算書
	流末地点の内外水位
	ポンプ場・ゲート運転操作記録
その他	被災状況写真

(2) 構造諸元からの構造耐力の推定

整理収集した構造諸元より、被災箇所における構造耐力の推定を行った。代表例として、過年度アンケートより被災事例の3割程度を占めると推測される調整リングの破損の場合においては、蓋の食い込み力、調整リングにおけるモルタル付着力についての更なる検討が必要ではあるものの、およそ50kNの耐力を持つものと推定された。

(3) 被災当時の発生外力の算定

各被災箇所における水位流況を再現し、そこから算定される発生外力(空気圧)について整理した。算定した空気圧が(2)で算定した耐力を超過するかどうかを整理した。特に管径やマンホール間隔等、圧縮対象となる空気の体積量を左右する項目や、排気量に直結するマンホール蓋空気抜きの有無が発生空気圧に大きく影響することが明らかとなった。管径別の耐力超過有無に関する結果を図-2に示す。

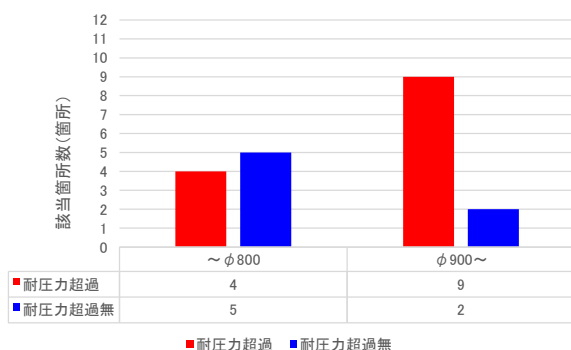


図-2 管径別の耐力超過有無

(4) 構造条件別発生外力の整理

(3)の代表地点における構造条件(マンホール間隔100m、空気抜き面積10cm²、管径φ3600mm、管頂接合)を基準として、数値計算上で選定箇所の構造条件を変化させた場合の発生最大空気圧の比率について整理したものを表-2に示す。マンホール間隔や管径等、管内空気量を左右する構造条件について空気圧比の変化が大きいほか、管底接合の場合には管内空気が上流側に抜けにくいことから、管頂接合よりも発生空気圧が1.5倍程度大きくなることが明らかとなった。また、マンホール蓋空気抜きの有無で発生外力が4.5倍程度変化することが分かる(なお、空気抜き面積10cm²とはφ25mmの空気孔が2個程度あることに相当する)。

表-2 構造条件別発生外力(最大空気圧比)

区分	項目	構造条件	空気圧比
管きよ	マンホール間隔	50m	0.4069
		100m	1.0000
		400m	7.4739
	管径	φ1000	0.0837
		φ2000	0.5762
		φ3600	1.0000
形状	管きよ接合	管頂	1.0000
		管底	1.5029
マンホール	蓋空気抜き面積	10cm ²	1.0000
		0cm ²	4.5351

(5) 危険度簡易判定表

(4)の結果を基に、危険度簡易判定表(案)を作成した(表-3)。各構造の点数比については(4)を基に点数化しており、(3)の結果と比較して判定箇所の点数が360点を上回る場合には危険(要対策)と判定される。なお、各条件は複合的に作用するため、今後は判定表の項目細分化と合わせて点数の詳細な検討が必要となる。

表-3 危険度簡易判定表(案)

構造	構造条件別点数		
マンホール間隔	50m	100m	400m
	40	100	745
管径	φ1000	φ2000	φ3600
	10	60	100
管きよ接合		管頂	管底
		100	150
蓋空気抜き面積	100cm ²	10cm ²	0cm ²
	5	100	455

〔成果の活用〕

本研究の成果は、安全対策の手引きの改訂に向けた基礎資料として活用する予定である。

下水道管路における効率的なストックマネジメント実施に関する調査

Research on efficient stock management of sewer pipes

(研究期間 令和元年度～令和3年度)

下水道研究部 下水道研究室
Water Quality Control Department
Wastewater System Division

室 長 岡安 祐司
Head OKAYASU Yuji
主任研究官 茨木 誠
Senior Researcher IBARAKI Makoto
研 究 官 日下部 包
Researcher Kusakabe Pao
交流研究員 成瀬 直人
Guest Research Engineer NARUSE Naoto

As installed sewer pipes become increasingly aging, it is an important policy to establish a stock management cycle for sewer pipes. In this research, in order to formulate technical policies that contribute to the establishment of management cycles and to support local governments, following researches was conducted (1) investigations of road cave-in due to sewer pipes deterioration, (2) updating the database on deterioration of sewer pipes, and (3) updating prediction formulas of sewer pipes deterioration.

〔研究目的及び経緯〕

2020年度末における全国の下水道管渠（かんきょ）の総延長は約48万kmである。そのうち標準耐用年数50年を経過した管渠の延長は約2.2万km（総延長の5%）であり、10年後には7.6万km（16%）、20年後には17万km（35%）と今後急速に増加すると見込まれている。このような中、2017年に国土交通省下水道部が策定した「新下水道ビジョン加速戦略」では、ストックマネジメントサイクルの確立が重点項目の一つとして掲げられ、マネジメントサイクルの構築による適切な施設管理の実現及び持続可能な下水道事業運営の推進に向けた施策を講じていくこととしている。このため、国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という。）は、国として広域・統合的観点から下水道管路のマネジメントサイクルの構築に資する技術政策の立案、並びに地方公共団体の支援を目的に本研究を実施した。

〔研究内容〕

本研究では主に、（1）下水道管路に起因する全国の道路陥没の実態調査、（2）下水道管渠の劣化に関するデータベースの更新、（3）下水道管渠の将来事業量の予測等に資する健全率予測式の更新等を実施した。（なお、管路は、管渠（本管）、取付け管（公共ますと管渠を繋ぐ管）、マンホール等の総称である。）

〔研究成果〕

（1）下水道管路に起因する道路陥没の実態把握

管路の劣化状況等の実態をマクロに把握し、調査研究や政策立案の基礎とするために、2006年度から下水道事業実施団体を対象に道路陥没の発生状況等に関するアンケート調査を実施している。2020年度における全国の下水道管路に起因する道路陥没発生件数は約2,750件であり、発生件数は近年減少傾向にある（図-1）。原因部位としては、取付け管に起因するものが全体の約5割を占める（図-2）。管種別では、本管に起因する道路陥没のうちコンクリート管が約6割を占めている一方、取付け管に起因する道路陥没のうち陶管が約7割を占めている。道路陥没発生件数が減少傾向にあることについては、2015年度の下水道法改正で維持修繕基準が創設されたことや、2016年度に創設された「ストックマネジメント支援制度」をは

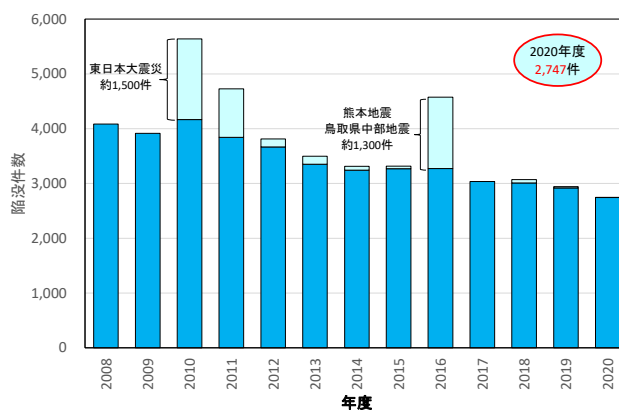
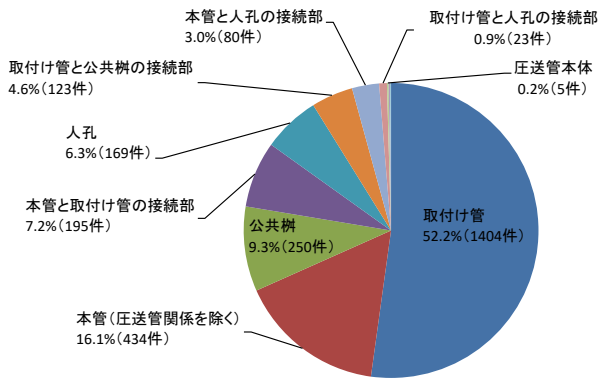


図-1 下水道管路に起因した道路陥没件数



※原因施設または陥没位置が不明(57件)、割合が0.1%未満(取付け管と公共樹4件、圧送管下流の本管3件)を除く

図-2 原因部位別道路陥没件数割合 (2020年度)

はじめとする施策により、地方公共団体において下水道管路の適切な修繕・改築が促されたことを示唆すると考えられ、引き続きデータを蓄積し、施策効果の分析や今後重点化すべき施策の検討を行う必要がある。

(2) 劣化データベースの更新

国総研は、地方公共団体から収集した下水道管内調査結果の一部(自治体種別、経過年数、管種、管径、設置条件、劣化及び緊急度の判定結果など)をデータベース化し、「下水道管きょ劣化データベース」(以下、「劣化データベース」という。)として公開している。2021年6月に更新された劣化データベースVer.3には、2017年に公開されたVer.2に約6万スパン分のデータが追加され、計60団体約31万スパン分のデータが登録された。なお、登録されたデータの延長は約8,700kmであり、全国の整備済み延長48万kmに対するカバー率は約1.8%である。劣化データベースは、調査データの蓄積が少ない地方公共団体が調査優先箇所や改築需要予測を検討する際に補充データとして用いられている。

(3) 健全率予測式の更新

国総研は、地方公共団体におけるストックマネジメント計画等の策定を支援するため、2013年から「下水道管きょ健全率予測式(以下、「健全率予測式」という。)」を算定し公開しており、2021年6月に最新の「下水道管きょ健全率予測式2021」を公開した。健全率予測式2021は、地方公共団体から収集した約46万スパンの下水道管内調査結果(うち、鉄筋コンクリート管:約31万、陶管:約11万、塩ビ管:約2万)を基に算定された。健全率予測式は、下水道管渠の経過年数に応じた健全率をマクロに把握することが出来るツールであり、各種マニュアルへ掲載され、地方公共団体のストックマネジメント実施に欠かせないツールとして活用されている。

健全率予測式は、「経過年数」を説明変数として横軸にとり、「健全率」を被説明変数として縦軸にとったグ

ラフで表され、年数の経過に伴って健全率(健全度が高い管渠の割合)が低下していく状況を表す。例えば、図-3に示す鉄筋コンクリート管の健全率予測式のグラフから、経過年数50年の鉄筋コンクリート管全体は、劣化なしが約20%、緊急度Ⅲが約30%、緊急度Ⅱが約40%、緊急度Ⅰが約10%であると推測できる。この健全率予測式を活用すれば、管種と経過年数の情報からマクロに中長期の改築需要予測等を行うことができる。一方で、経過年数が同じであっても、劣化状況にばらつきがあるため、計画的な点検・調査により、個別の管渠の劣化状況を把握することが重要であることが分かる。

[成果の活用]

区分	緊急度の区分	
緊急度Ⅰ	重度	速やかに措置が必要な場合
緊急度Ⅱ	中度	簡易な対応により必要な措置を5年未満まで延長できる場合
緊急度Ⅲ	軽度	簡易な対応により必要な措置を5年以上に延長できる場合
劣化なし	健全	特別な措置を講じる必要がない場合

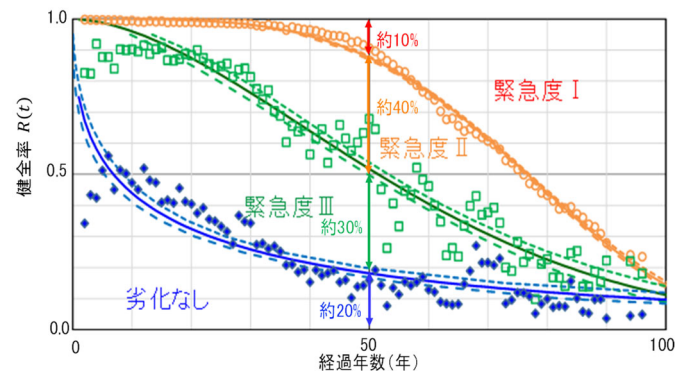


図-3 健全率予測式のグラフ (鉄筋コンクリート管の例)

本研究の成果は、以下のとおり国土交通省下水道部及び国総研下水道研究部のホームページに掲載されている。

(1) 下水道管渠の布設延長・管路施設に起因した道路陥没

https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewera ge_tk_000135.html

(2) 下水道管きょ劣化データベース2021(Ver.3)

<http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/rekka-db.html>

(3) 下水道管きょ劣化データベース2021(Ver.3)

http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/deterioration_rate_predi ction_formula_2021.pdf

効率的な浸水対策のためのストック活用に関する調査

Research on utilization of existing sewage facilities for urban inundation countermeasures..

(研究期間 令和元年度～令和3年度)

下水道研究部 下水道研究室
Water Quality Control Department
Wastewater System Division

室 長 岡安 祐司
Head OKAYASU Yuji
主任研究官 松浦 達郎
Senior Researcher MATSUURA Tasturo

In recent years, localized heavy rain exceeding the capacity of sewerage facilities has frequently occurred. In addition, the urban inundation risk is increasing in urban areas due to urbanization with concentrated population and assets. Each municipality is promoting the development of hard infrastructure for the prevention of inundation. However, it requires a lot of time and expense, so it is difficult to respond quickly. In order to do so, it is important to mitigate inundation damage through the effective management of existing facilities as infrastructure stock.

In this report, we conducted a nationwide survey on the design rainfall intensity formula used for inundation countermeasures and grasped the present status of the design rainfall intensity formula. We also examined the stationarity of the rainfall data used to create the design rainfall intensity formula.

〔研究目的及び経緯〕

局地的大雨等による、下水道施設の能力を超えた降雨に対する浸水被害への早急な対応のためには、都市内の既存施設をストックとして最大限に活用するとともに、令和2年6月に出された提言「気候変動を踏まえた下水道による都市浸水対策の推進について」(以下、提言)を踏まえ、気候変動による影響も考慮し、効率的に浸水対策を進めていくことが重要である。

提言では、地域毎に設定された降雨量変化倍率(以下、倍率)を計画降雨に乗じて、気候変動を踏まえた計画降雨量を設定することになっている。一方、各団体における計画降雨の作成時期や作成に用いた降雨資料期間等の条件は様々であり、気候変動を踏まえた計画降雨量の設定にあたっては、各団体の状況に応じて適切に実施する必要がある。

本研究では、気候変動の影響等を考慮した適切な計画降雨強度式の設定・見直し手法を整理することを目的として、各都市の浸水対策で用いている計画降雨強度式に関する全国的な調査を行い、各都市の計画降雨強度式の実態を把握するとともに、計画降雨強度式作成に用いた降雨資料の定常性について検討を行った。

〔研究内容〕

1. 計画降雨強度式の現状に関する調査

一般的に下水道事業における雨水計画では、計画降雨として降雨継続時間と降雨強度の関係を表す、降雨強度式により設定することが多い。そこで本研究では、雨水計画の策定が想定される1,124団体に対してアンケート等による計画降雨強度式に関する実態調査を実施した。その結果、1,081団体から回答が有り(回収率96.2%)、その中で計画降雨を設定している

914団体(計画降雨強度式の数:1,161)の状況について整理を行った。

2. 計画降雨強度式作成に用いた降雨資料の定常性に関する検討

これまで下水道事業で計画降雨を設定する場合、使用する降雨資料が定常である(資料からランダムな変動を除いた後の成分が時間的に変化していない)ことを前提として解析を行うことが多かった。一方、気候変動による影響を受けた資料の場合は、長期的な傾向が変化するトレンドを持つことが考えられ、その場合、定常であることを前提とした解析手法を用いることは適切では無い。そこで、計画降雨強度式の実態に用いられた観測地点に対し、Mann-Kendall検定を用いたトレンドの有無について確認を行い、現在の降雨資料の定常性について検討を行った。

〔研究成果〕

1. 計画降雨強度式の現状に関する調査

調査結果より、以下の項目について整理した。

- ①計画降雨量の算定方法:図-1に示すとおり合理式を使用している団体がほとんどであり、合理式以外を用いている団体は全体の3%未満であった。
- ②採用している確率年:雨水計画の規模を示す確率年は、図-2に示すとおり10年が最も多く、次いで5年、7年の順であり、これらで9割以上を占めていた。
- ③採用している60分降雨強度:図-3に示す区分で整理した結果、最も多い区分は50～59、次いで40～59、60～69mm/hrの順であり、これらで全体の7割近くを占めていた。また平均値は51mm/hrであった
- ④使用した降雨観測地点(図-4):気象庁所管の観測

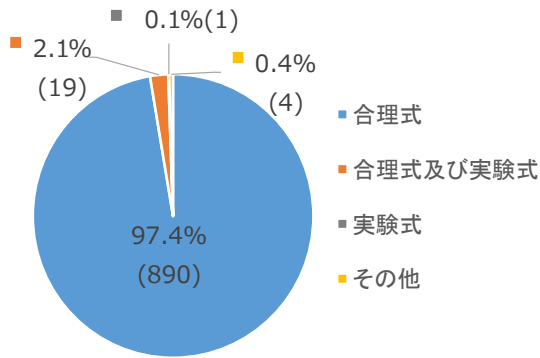


図-1 採用している計画雨水量算定方法

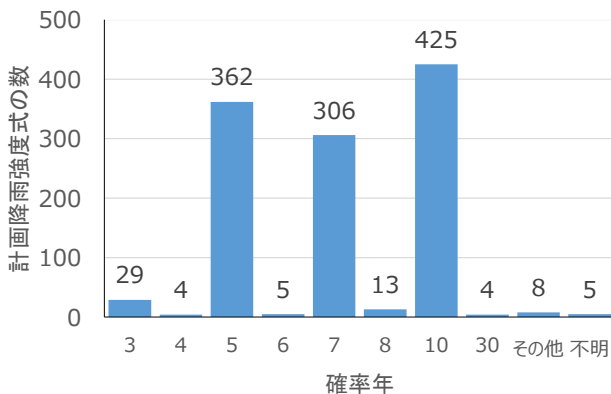


図-2 採用している確率年

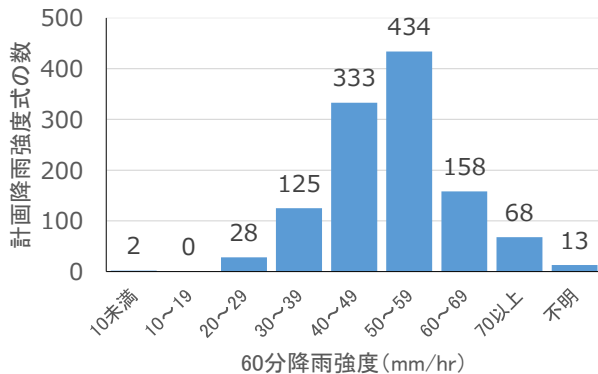


図-3 採用している60分降雨強度

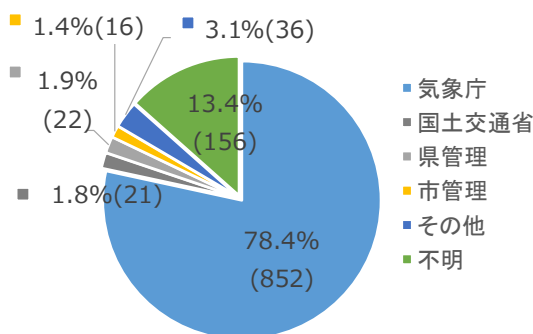


図-4 作成に用いた降雨観測地点の種別

地点が最も多く使用され、約8割(220地点)を占めていた。

④計画降雨強度式の作成時期

図-5に示す区分で整理した結果、7割以上が1971年以降に作成されており、最も多い区分は2011～2020年であった。また、約3割が近年20年以内に作

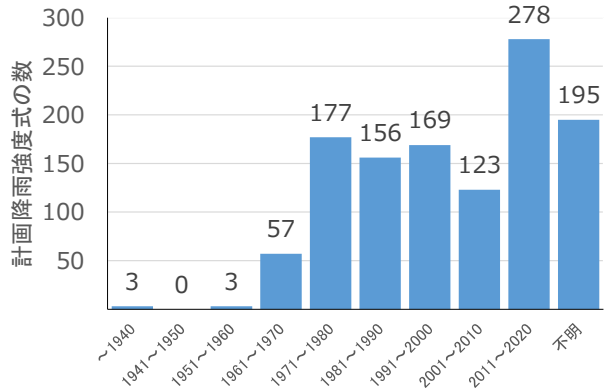


図-5 計画降雨強度式の作成時期

表-1 Mann-Kendall検定による検定結果

	地点数	
	観測開始～2010年	観測開始～2019年
定常	99	85
非定常/上昇	16	30
非定常/下降	0	0
合計	115	115

成されている一方、約2割が作成から40年以上経過していることがわかった。

2. 計画降雨強度式作成に用いた降雨資料の定常性に関する検討

1.の調査結果から、計画降雨の作成に用いられた気象庁所管の観測所のうち、10分及び60分年最大雨量データが連続して20年以上確保できる115観測所を対象に、Mann-Kendall検定を行った。検定に用いた資料期間は、観測開始から2010年、及び2019年までとし、この2つの期間において定常であった観測地点数の差を整理した。

表-1に各観測期間における検定結果を示す。いずれの期間も、トレンドは上昇傾向のみを示しており、下降傾向のものは無かった。

この結果より、2010年時点で10分及び60分年最大雨量の両方、若しくはどちらかで非定常を示した観測地点は16(約13%)であった。一方2019年時点で非定常であったのは30(約26%)とほぼ倍増していた。以上より、近年のデータを加えることで非定常を示す観測地点が大きく増加することがわかった。その要因の一つとして、気候変動の影響が既に現れている可能性が考えられる。また、図-5に示したとおり、全体の約24%が2011年以降に計画降雨強度式を作成していることから、作成にあたって2011年以降の降雨資料を用いている場合は、その定常性について確認し必要に応じて見直すことが望ましい。

【成果の活用】

本研究の成果の一部は、令和3年11月に改訂された「雨水管理総合計画策定ガイドライン(案)」(令和3年11月)に反映されている。

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

Research on improvement of added value of sewerage system

下水道研究部 下水道研究室

(研究期間 平成 30 年度～令和 4 年度)
室 長 岡安 祐司
研 究 官 濱田 知幸
研 究 官 中村 裕美

[研究目的及び経緯]

人口減少及び高齢化社会を迎えるなど社会情勢が大きく変化する中、日々の生活や社会活動を支える下水道システム、サービスのあり方についても、時代の要請に応じた新たな取組みが必要となっている。国土交通省は、平成 29 年に「新下水道ビジョン加速戦略」をとりまとめ、住民の生活利便性向上に関する重点施策の一つとして、高齢化社会等への対応としての下水道への紙オムツ受入れ可能性の検討を位置付けた。また、「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、制度面及び技術面での検討を進めているところである。

国総研では、下水道施設等への影響について検討を行っている。令和 3 年度は、下水道への夾雑物受入事例の調査、下水処理場における夾雑物挙動の検討を行った。

下水道新技術の開発方向性及び導入促進に関する調査

Research on a development direction of sewerage technologies and a promotion of the technology introduction

下水道研究部

下水道研究部 下水道研究室

(研究期間 令和元年度～令和 4 年度)
下水道研究官 横田 敏宏
下水道エネルギー・機能復旧研究官 三宮 武
室 長 岡安 祐司
主任研究官 茨木 誠
研 究 官 日下部 包
交流研究員 成瀬 直人

[研究目的及び経緯]

国土交通省では、人口減少等に伴う厳しい経営環境、執行体制の脆弱化、施設の老朽化等の課題の進行や、海外水ビジネス市場の拡大等の社会情勢の変化を踏まえ、下水道の中長期的な方向性や未来像を示すものとして、平成 26 年 7 月に新下水道ビジョンを策定するとともに、新下水道ビジョンの実現加速のために選択と集中により 5 年程度で実施すべき施策について、平成 29 年 8 月に新下水道ビジョン加速戦略を取りまとめた。下水道の事業主体は厳しい財政状況や人員不足等の課題を抱えており、この加速戦略の示す目指すべき目標を実現するには、新技術の積極的な導入や技術開発により、コスト縮減や業務効率化を図っていく必要がある。

本調査は、前述の目標達成に有用な技術や事業主体の技術的課題等を調査し、下水道技術ビジョン・ロードマップの見直し等の検討に活用するものである。今年度は、下水道技術ビジョンの改定やロードマップ重点課題を整理したほか、下水道事業を実施している全ての地方公共団体を対象に技術ニーズ等について調査するとともに、課題解決のサポートを目的に令和 2 年度に策定した課題チェックシートの改良を行った。また、カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術の技術開発等について調査し、報告書を取りまとめた。

下水道地震被害推定システムの精度及び利便性の向上等に関する調査

Research on improvement of estimated system of damage to sewerage

下水道研究部 下水道研究室

(研究期間 令和2年度～令和4年度)
室長 岡安 祐司
研究官 濱田 知幸

〔研究目的及び経緯〕

近年、大地震が頻発しており、南海トラフ地震等の広域で甚大な被害が予想される巨大地震の発生が危惧されている。下水道は公衆衛生の向上等に大きく貢献する重要なライフラインの一つであるため、地震発生時に下水道管路施設の破損や変位に伴う交通障害等を、地震発生後の調査により早急に把握することが重要である。国土技術政策総合研究所では、大地震が発生した直後の情報の空白期においても各地方公共団体の概算被災管路延長と必要調査人数を推定し、迅速な支援体制構築を可能とする下水道地震被害即時推定システム（以下、「被害推定システム」）の開発を進めている。

本調査は、被害推定システムの精度や利便性の向上を図るための検討を行うものである。令和3年度は、被災しやすい下水管路の条件を明らかにするため、平成28年熊本地震において被害があった地方公共団体の下水道管路施設の情報を収集し、施設の条件ごとの被害傾向を整理した。

下水道革新的技術実証事業

Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

下水道研究部 下水処理研究室

室長 田嶋 淳
研究官 藤井 都弥子
研究官 福間 泰之
研究官 石井 淑大
交流研究員 安倉 直希

(研究期間 平成23年度～)

主任研究官 岩渕 光生
研究官 高濱 俊平
研究官 松橋 学
研究員 長寄 真

下水道研究部 下水道研究室

室長 岡安 祐司
主任研究官 茨木 誠
研究官 中村 裕美
交流研究員 成瀬 直人

主任研究官 松浦 達郎
研究官 濱田 知幸
研究官 日下部 包

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省では、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業における低炭素・循環型社会の構築やライフサイクルコスト削減、効果的・効率的な浸水対策、老朽化対策、施設の運転管理等を実現し、併せて本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、平成23年度より下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）を実施している。

本事業における研究は、大幅なコストの削減と消費エネルギーの削減、再生可能エネルギーの創出等を実現する革新的技術を対象に、実規模レベルでの施設を整備して実証研究を行い、その結果を評価して導入ガイドラインを作成することを目的としている。

令和2年度採択技術において、「災害時に移設可能な水処理技術」及び「中小規模処理場間の広域化に資する低コスト汚泥減量化技術」については実規模実証施設を用いて運転を行い、研究結果をとりまとめた。「IoTとAI技術を活用した効率的なマンホールポンプ管理技術」は研究結果をとりまとめ、今後導入ガイドラインを策定する予定。「効率的な管渠劣化状況のスクリーニング調査技術」及び「雨天時浸入水による流量変動に対応可能な水処理技術2件」については、技術性能や事業性の予備調査結果をとりまとめ、実規模実証研究に向けた課題を整理した。

令和3年度採択技術において、「ICTを活用した下水道施設広域管理システム」、「AIを活用した水処理運転操作の最適化支援技術」及び「AIを活用した雨天時浸入水量予測技術及び雨天時運転支援技術2件」については実規模実証施設を設置し、研究結果をとりまとめた。「下水処理場の土木・建築構造物の劣化状態を効率的に点検・調査する技術」については、技術性能や事業性の予備調査結果をとりまとめた。

令和4年度は、「最初沈殿池におけるエネルギー回収技術」及び「深槽曝気システムにおける省エネ型改築技術」について実規模実証を行う予定である。

実証研究成果を踏まえ作成した導入ガイドラインについては、国総研資料として刊行し、革新的技術を全国に普及展開するとともに、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援する。

下水処理プロセス安定化・高度化のための微生物データベース構築 に関する基礎的研究

Research on the construction of a microbial database for stabilizing and advancing the wastewater treatment process.

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

下水道研究部 下水処理研究室	室長	田嶋 淳
Water Quality Control Department	Head	TAJIMA Atsushi
Wastewater and Sludge Management Division	研究官	粟田 貴宣
	Researcher	AWATA Takanori
	研究官	石井 淑大
	Researcher	ISHII Yoshihiro
	研究員	長寄 真
	Research Engineer	NAGASAKI Shin

Biological treatment using activated sludge composed of countless microorganisms plays a fundamental role in the wastewater treatment process. In most cases, activated sludge is treated as a uniform substance by using indices such as MLSS and SVI in the current operation management. Utilization of microbial community structure data can be considered as a new attempt for more stable operation. In this study, in order to understand the relationship between the microbial community structure of activated sludge and the treated wastewater quality, we collected influent and treated water from several wastewater treatment plants and measured the concentrations of organic substances such as carbohydrates and proteins, and nitrogen, etc. We also analyzed the microbial community structure of activated sludge using a next-generation sequencer.

〔研究目的及び経緯〕

下水処理プロセスは無数の微生物によって構成される活性汚泥による生物処理が根幹を担っている。現状の運転管理はMLSSやSVI等の指標を用いており活性汚泥を一樣なものとして扱っている場合が多いが、より安定的な運転を行うための新たな試みとして微生物群集構造データの活用が考えられる。これまで下水処理プロセスを担う微生物に関する様々な研究が行われてきたが、活性汚泥において機能や役割が明らかとなっている微生物群はごく一部でしかなく、ほとんどの微生物群の生理・生態学的機能が全貌は明らかになっていない。将来の維持管理や処理水質の安定及び向上を実現させるためには個々の微生物生態学的な知見の蓄積・活用が重要である。

本研究では、活性汚泥中の微生物群集構造と処理水質状況の関連性を把握するため、複数の下水処理場から流入水、処理水を採水し炭水化物やタンパク質等の有機物や窒素等の濃度を測定するとともに、次世代シーケンサーによる活性汚泥の微生物群集構造解析を行った。

〔研究内容〕

3ヶ所の下水処理場において試料採取を行った。A処理場は標準活性汚泥法、嫌気無酸素好気法（A2O

法）、修正Bardenpho法、循環型硝化脱窒法の計4種類の処理方式を採用している。B処理場は標準活性汚泥法を採用し、C処理場は嫌気無酸素好気法、嫌気好気法（A0法）、ステップ流入式多段硝化法、標準活性汚泥法の計4種類の処理方式を採用している。各系列最初沈殿池に分配前の流入水及びそれぞれの処理方式の反応タンク内の活性汚泥、最終沈殿池において処理水の採水を行った。採取時期、回数はA、B処理場においては8月～12月の各月1回の計5回、C処理場においては7月、12月、1月の計3回である。

測定項目は、水温、pH、ORP、電気伝導度、DO濃度、溶存有機炭素（DOC）、炭水化物、タンパク質、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、微生物群集構造である。微生物群集構造以外の項目については、流入水、処理水をGF/Bろ紙でろ過したものを分析した。微生物群集構造については活性汚泥を分析した。

測定方法は、水温、pH、ORP、電気伝導度、DO濃度については、ポータブル水質計（HORIBA製）で測定した。DOCについてはTOC計（SHIMADZU製）にて測定した。炭水化物はフェノール硫酸法¹⁾、タンパク質はローリー・フォリン法¹⁾、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、自動比色分析機（BLテック製）により測定を行った。微生物群集構造については次世代シーケンサー

(Illumina 製) により解析を行った。対象微生物は細菌 (Bacteria)、古細菌 (Archaea) とした。

[研究成果]

炭水化物、タンパク質の除去について MiDAS Field Guide から糖、タンパク質の代謝機能を持つ微生物を抽出した。MiDAS Field Guide には糖、タンパク質分解細菌がそれぞれ 345 属、198 属登録されており本研究の試料からはそれぞれ 78~140 属、72~138 属検出された。各試料の微生物叢の解析結果から、検出された全ての糖分解細菌、タンパク質分解細菌の各属の存在割合をそれぞれ足し合わせることで、全体の存在割合を算出した。算出結果を表-1 に示す。

炭水化物の A 処理場の処理方式毎の除去率は 58~62% の範囲であり、違いがみられなかった。これは、糖分解細菌の存在割合が 12.7~18.3% の範囲であり、大きな違いがなかったことによるものと考えられる。C 処理場についても、同様な議論であると考えられる。一方で、B 処理場の糖分解細菌は A、C 処理場よりも多く存在しており、除去率も若干高いと言えなくもないが、A、C 処理場の糖分解細菌が概ね同じ割合なのに対し、除去率が C 処理場の方が低く、処理場間で除去率と細菌の存在割合の関係は見出すことはできなかった。

タンパク質についても A、C 処理場では処理方式に関わらず、除去率に違いが出ないのは分解細菌の存在割合に大きな違いが出なかったからだと考えられる。炭水化物同様、処理場間での除去率と細菌の存在割合の関係は見出すことはできなかったため、他の要因を含め議論を深める必要があると考えられる。

表-1 各有機物質の除去率 (%) 及び糖、タンパク質分解細菌存在割合 (%)

試料名	炭水化物		タンパク質	
	除去率	細菌割合	除去率	細菌割合
A 標準	58	18.3	80	13.7
A A2O	59	13.4	77	10.6
A 修正	62	12.7	80	9.4
A 循環型	58	16.4	81	11.3
B 標準	68	28.3	78	17.5
C 標準	42	19.0	66	15.4
C A2O	53	20.9	64	13.2
C AO	43	20.6	64	12.8
C ステップ	52	16.6	62	14.7

NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N の測定結果を図-1 に示す。A 処理場については修正 Bardenpho 法の除去率が他の処理方式に比べやや高いことが分かる。B 処理場についてはほとんど除去されていない。C 処理場についてはステップ流入式多段硝化法が他の処理方式に比べ除去率はやや高いことが分かる。MiDAS Field Guide より、アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌を抽出したところ、検出されたのはそれぞれ *Nitrospira* 属、*Nitrosomonas* 属のみであった。併せて、硝酸塩還元細菌も抽出を行い、存在割合を表-2 に示す。A、C 処理場ではアンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌ともに処理方式毎の違いがみ

られなかった。一方で、B 処理場については、アンモニア酸化細菌が存在しなかったため、アンモニアが酸化されず、処理水において、流入水からほとんど減らなかったと考えられる。硝酸塩還元細菌に着目すると、C 処理場についてはステップ流入式多段硝化法に他の処理方式に多く存在していることが確認されたため、除去率は高かったと考えられる。一方で A 処理場では処理方式毎の違いは見られなかったが、*Anaerolinea* 属、*Acidovorax* 属、*Denitratisoma* 属、*Sulfuritalea* 属については修正 Bardenpho 法に多く存在していることが分かり、合計の存在割合だけでなく、個々の微生物が除去プロセスに関与する程度についても今後、検討の余地があると考えられる。

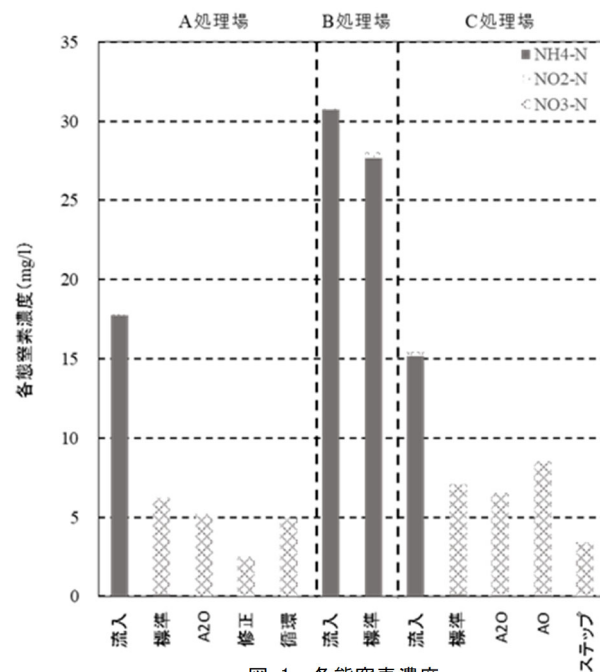


図-1 各態窒素濃度

表-2 窒素除去に関する細菌の存在割合 (%)

	アンモニア酸化細菌	亜硝酸酸化細菌	硝酸塩還元細菌
A 標準	0.97	0.21	3.96
A A2O	1.22	0.18	3.63
A 修正	1.17	0.10	3.52
A 循環	1.12	0.25	4.23
B 標準	0.00	0.00	2.45
C 標準	1.4	0.13	7.46
C A2O	1.7	0.16	5.98
C AO	1.1	0.13	5.98
C ステップ	1.6	0.06	10.85

[成果の活用]

本調査結果は、新たな下水処理の運転管理手法の一つとして地方公共団体の下水道事業者にも活用される。

[参考文献]

- 1) 小山忠四郎、半田暢彦、杉村行勇、湖水・海水の分析 第7版、講談社サイエンティフィック、1982

下水処理場の応急復旧対応を再現可能な

下水処理実験施設整備及び検討

Construction of pilot plant reproducing wastewater treatment flow on emergency restoration

(研究期間 令和元年度～令和3年度)

下水道研究部 下水処理研究室
Water Quality Control Department
Wastewater and Sludge Management Division

室 長 田 嶋 淳
Head TAJIMA Atsushi
研究官 松 橋 学
Researcher Matsuhashi Manabu
研究官 福 間 泰 之
Researcher FUKUMA Yasuyuki

In recent years, many floods hit wastewater treatment plants (WWTPs) and disturb correct treatment. Some of them takes several years by restoration. Especially, Typhoon Hgibis, known in Japan as East Japan Typhoon in 2019, brought heavy rains in Tohoku district, Kanto-Koshinetsu district and Shizuoka prefecture. They hit 18 WWTPs and destroyed some equipment. Administrators of WWTPs need to know effective methods of early restoration.

〔研究目的及び経緯〕

近年、豪雨による外水氾濫により想定外の大規模浸水が発生し、下水処理場が水没して処理機能を喪失する事象が起こっている。下水処理場への下水の受入ができなくなると、市街地のマンホールや下水処理場内で未処理下水の溢水が発生して衛生や環境面で重大な問題となるため、速やかな対策が必要となる。下水処理場の被災後の緊急措置として未処理下水の消毒放流を実施しているが、流入下水の性状や消毒方法によっては、消毒効果が不十分となる可能性があるが、下水性状等に応じた具体的な対策手法は確立されていない。また、応急復旧時における沈殿や簡易な生物処理についても、下水性状等に応じた効果的な対策手法を明らかにする必要がある。

本研究では、復旧段階に応じた下水処理手法の確立に資することを目的に、令和元年東日本台風（以下、「台風19号」という）に関する被災情報の収集や、被災処理場の運転を模した実験設備の設計・建設を行ったうえで、運転実験及び検討を行った。

〔研究内容〕

台風19号上陸直後の令和元年10月12日から12月12日にかけての2か月間にわたる、前述の18箇所の下水処理場からの被害状況報告を入手し、「緊急措置」に該当する対応の概要を中心に整理を行った。また、「応急復旧」に該当する対応を行った10箇所の下水処理場を対象にアンケートを行い、さらに詳細な対応状況の調査を行った。アンケートの項目としては、設備種別ごとの被害、硫化水素の発生、緊急措置・応急復旧対応の実施、資機材の調達・設置、周辺住民への広報の状況と、その他対応職員が苦慮した点や細か

な気づきについて回答を求めたものであり、9箇所の処理場から有効な回答が得られた。

また、国土技術政策総合研究所が茨城県流域下水道事務所霞ヶ浦浄化センター内に設置している「水系リスクマネジメント実験施設」において、新たに連続通水実験が可能な設備「災害リスクマネジメント実験施設」を建設した。本施設は最初沈殿池やエアレーションタンク、最終沈殿池、消毒槽等の標準活性汚泥法に用いられる水槽及び機器類から構成されたものであり、主に霞ヶ浦浄化センターの流入水を原水として様々な運転条件の下で一連の下水処理運転を模した実験を行うことができる。本施設は、分流式下水処理場における標準活性汚泥法に則った容量計算（「下水道施設計画・設計指針と解説-2019年版-」）に基づいて設計されており、計画1日最大汚水量は48m³/日である。少しずつ条件を変えた対照実験ができるよう、同じ設備が2系列分設置してあるため、1系列あたりでは最大24m³/日の処理が可能となる。また雨天時の浸入水に対応するために水理的滞留時間を短縮して運転する状態を模して、雨天時計画1日最大汚水量として2系列で96m³/日まで処理可能な施設能力を確保している。

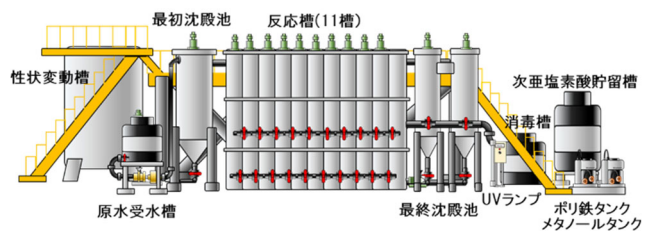


図-1：災害リスクマネジメント実験施設概略図

〔研究成果〕

(1) 緊急措置対応の概要の整理

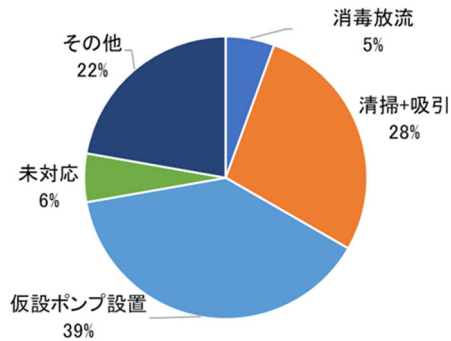


図-2：被災処理場の緊急措置対応別割合

処理機能停止等の支障が発生した 18 処理場において、被災状況がおおよそ判明した後、最初に講じた措置の種別ごとにまとめた結果を図-2 に示す。割合として特に多いのが、主ポンプの故障により溢水した下水を揚水するための仮設ポンプ設置 (39%) と、場内や建物内に滞留した浸入水や土砂等の清掃+吸引 (28%) である。「災害時における下水の排除・処理に関する考え方」にも記載の通り、主ポンプが故障した処理場については、揚水機能を確保し溢水を防止することを最優先としたものと考えられる。また同「考え方」には記載されていない被災事例として、処理場の立地によっては被災後数日経過しても浸入水が場内から自然に排出されず、被災状況の調査もままならないケースも見られた。そのような場合においては、仮設ポンプの設置よりも場内排水作業を先に行うことが優先されると言える。揚水機能が確保できている場合は、消毒放流 (5%) や簡易沈殿といった最低限の処理を行い、放流先への影響をなるべく小さくすることが求められる。その他の措置としては、補器類のための仮設電源を設置したものや、崩落土砂に埋まった処理設備の掘り出しを要したもの、被災を免れた処理系列への切り替えで処理能力を確保したもの等が含まれる。

(2) アンケート調査結果

アンケート調査により、機械及び電気設備の被害件数を設備種別ごとに整理した。機械設備では主ポンプへの被害が最も多く (7 件)、仮設ポンプの設置を要した。電気設備では多くの処理場で、分類を問わず幅広く被災したことが分かる。特に電源設備が被災した場合は、仮設電源の手配を要することが多く、前述の仮設ポンプとともに被災直後の需要が大きいといえる。この他の被災状況として、土木及び建築施設については、躯体開口部蓋の流出やトップライトの破損、シャッター等建具の破損が数件報告されたものの、躯体の構造上の強度が不安視される事例は確認されなかった。また一時的な処理機能の停止により、硫化水素濃度の上昇の恐れから、2 箇所の処理場において一部区画を立入不可とした事例がみられた。被災後はなるべく速や

かに被害状況の調査を行うべきであるが、同時に二次災害を防ぐために、酸欠の恐れがある区画への立ち入りの判断を慎重に行った事例といえる。

緊急措置段階において苦慮した点として、仮設ポンプ及び仮設電源を早急に手配するにあたり、初動でどこに連絡すれば良いのかが分からなかったという回答が多くみられた (3 件)。また、周辺自治体でも同様に被災し仮設ポンプを必要とする等の理由で、在庫が必要能力に満たず対応しきれない事例もみられた。これらの知見から、各処理場の BCP 等において被災時の仮設設備の手配方法について詳細に定めるとともに、事前に手配先のメーカーと災害時に備えた相談をしておくことが肝要であると示唆された。

応急復旧段階も含めて苦慮した点としては、「除塵機が無いために仮設ポンプにし渣が絡みやすい」、「汚泥掻寄機が停止し、沈殿池上部から仮設ポンプを入れても効果的に汚泥を引き抜けない」、「浸水した設備を乾燥させて稼働させた場合には、常に漏電や機能停止の不安を抱え、巡回等の維持管理上の負担が大きくなる」、「機械・電気設備は工場製作期間が必要となることが多く、応急復旧体制が半年から年単位で続くことも想定しておくべきである」、「応急復旧対応が長く続くと仮設設備や資材が劣化するため、点検が欠かせない」等の回答が得られた。また人員や資材に限られる中、工夫した点としては、「河川への処理水放流ポンプを転用して場内排水を行った」、「国土交通省所有の排水ポンプ車による支援を要請した」、「汚水や発生汚泥の一部を、処理余力のある近隣処理場に受け入れてもらった」等の回答が得られた。

その他の対応職員の気づきとしては、処理場職員の逃げ遅れへの備えが挙げられた (2 件)。2 件とも周辺河川からの越水により急激に浸水し、避難が間に合わなかったものであり、2 日間にわたって管理棟内での待機を余儀なくされたという事例である。下水道 BCP 策定マニュアルにも記載の通り、人命を守るために非常食や飲料水等物資の備蓄が重要であることが改めて確認された他、場合によっては避難用ボートの準備も有効であることが示唆された。

(3) 被災後の下水処理運転を模した実験

建設した実験装置を用いて、被災後の処理場を想定した実験を行った。生物処理の立上げ時の汚泥投入の有無による処理能力の差異の検討や、簡易沈殿及び消毒放流を模した運転を行い、早期の復旧手法の提案に資するデータを収集した。

〔成果の活用〕

本研究の成果の一部は令和 4 年度に、国土技術政策総合研究所で策定した「災害時における下水の排除・処理に関する考え方 (案)」(平成 24 年) に加筆する形で反映する予定である。

下水道を核とした資源循環システムの広域化・共同化に関する研究

Research on advanced case studies for the establishment of a resource recycling system that connects wastewater treatment and waste treatment

下水道研究部 下水処理研究室

(研究期間 令和3年度～令和5年度)

室長 田嶋 淳
研究官 高濱 俊平
研究員 長寄 真

[研究目的及び経緯]

パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略に基づき、エネルギーシステムの強靱化が求められており、下水処理過程で発生する下水汚泥の利活用に留まらず、地域全体で更なる創エネ・省エネ、資源回収を推進していく必要がある。このような背景のもと、下水処理と廃棄物処理を連携させ、廃棄物処理施設で焼却処分されている生ごみ等を下水道に受け入れる新たな資源循環システムの構築を促進すべく、その際必要となる評価手法の確立を目的とした検討を行っている。

令和3年度は、下水処理と廃棄物処理の連携に関して先進的な取組を行っている都市を対象に実態調査を行い、課題やメリットを整理するとともに、実態調査を踏まえ、資源利用用途、脱水汚泥の取扱い及び生ごみの受け入れ先の観点から、連携パターンを類型化し、各パターンについて有効性等を検討した。

下水処理水の衛生学的な安全性を考慮した技術基準及び管理手法に関する調査

Survey on technical standards and management methods based on the hygiene and sanitation safety treated wastewater.

下水道研究部 下水処理研究室

(研究期間 令和2年度～令和4年度)

研究官 松橋 学
研究官 福間 泰之
室長 田嶋 淳

[研究目的及び経緯]

環境基準項目が大腸菌群数から大腸菌数に変更される予定であることを受けて、下水処理水の放流水の指標も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、再生水利用の国際標準が策定されつつあり、国内再生水事業においても、従来技術の性能を評価した上で、国内の技術基準や再生水利用の効果について調査検討が必要である。本年度は、放流水における大腸菌数の測定方法の妥当性の検証として、測定機関の違いによる大腸菌測定値の繰り返し精度に関する検討を令和2年度に引き続き実施し、データの蓄積をすると共に、衛生学的な安全性を考慮した指標となりうるウイルス等について測定法の検討を行った。

下水道から排出される温室効果ガス対策に関する調査

Research on countermeasures against greenhouse gas emission from wastewater treatment.

下水道研究部 下水処理研究室

(研究期間 令和2年度～令和4年度)
室長 田嶋 淳
研究官 石井 淑大
研究官 松橋 学

[研究目的及び経緯]

地球温暖化対策計画において、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(2030年)が目標とされており、エネルギー由来のCO₂だけでなく水処理、汚泥処理において発生する一酸化二窒素(N₂O)排出抑制技術が求められている。特に生物反応により発生する水処理からのN₂Oについては実態を含め依然不明な点が多く明確な対策が講じられていない。このような背景のもと、経済的で導入しやすい、エネルギー、処理水質、N₂O排出量を考慮した下水道における低炭素型水処理について検討をしている。

令和3年度は、同じ下水流入水を複数の方式により処理している下水処理場を対象に、N₂Oの発生量の実態調査を行った。その結果、標準法においても嫌気無酸素好気法のような高度処理と同程度の排出係数が算出され、標準法であっても運転条件によりN₂O排出量を抑制できる可能性が示唆された。

下水処理場におけるエネルギー最適化に関する調査

Research on energy optimization in sewage treatment plants.

下水道研究部 下水処理研究室

(研究期間 令和2年度～令和4年度)
室長 田嶋 淳
研究官 藤井 都弥子

[研究目的及び経緯]

「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」(平成26年度改訂)においてエネルギーの効率性についての記載が追加されたほか、「下水道技術ビジョン」(平成27年度策定)において下水道から排出される温室効果ガス排出量の削減に向けた技術開発等の推進が目標として定められるなど、水環境の保全だけでなく電力消費量や温室効果ガス排出量の削減が下水道事業における喫緊の課題となっている。また、令和元年6月には省エネ技術導入を促進することを目的として「下水処理場のエネルギー最適化に向けた省エネ技術導入マニュアル(案)」が刊行され、省エネ施策のさらなる導入が求められている。

こうした課題の解決に向けて、これまであまり調査が行われてこなかった小規模処理場の電力消費量の実態把握、水処理・汚泥処理工程における設置機器の違いによる電力消費量への影響等の整理を行い、下水処理場におけるエネルギー最適化を推進するための方策等を検討する。

令和3年度は、処理工程における負荷量に応じた曝気装置、汚泥濃縮機、汚泥脱水機の型式や台数、電力消費量を試算し、機器の型式の違いによる電力消費量の違い等を整理した。

放流先水域の水利用に影響を与える下水処理水中溶存有機物の探索と動態調査

Investigation of dissolved organic matter in treated wastewater that affects water reuse in destination water bodies.

(研究期間 令和3年度～令和4年度)

下水道研究部 下水処理研究室

研究官 石井 淑大

[研究目的及び経緯]

下水処理水の流入後の河川水を多くの浄水場で水道水源として用いている現状において、水利用に影響のある下水由来有機物の動態を把握することは非常に重要である。本研究では、過去の研究成果を基に水利用に影響を与える溶存有機物の整理を行い、それらを高分解能質量分析計により網羅的に分析し、下水処理場や河川水中における動態を明らかにすることを目的としている。

令和3年度は水中に存在する有機物をより網羅的に分析するため固相抽出方法の検討を行い、本研究における分析方法を確立するとともに、分析対象とする濃縮下水試料を準備した。いくつかの試料を試験的に分析した結果、下水処理における有機物の消長を捉えることができた。令和4年度に本格的な分析を実施する予定である。