

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.463

June 2008

平成19年度下水道関係調査研究年次報告書集

FY2007 Annual Report of Wastewater Management and Water Quality Control

国土交通省 国土技術政策総合研究所

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

平成19年度下水道関係調査研究年次報告書集

国土技術政策総合研究所 下水道研究部

下水道研究室

下水処理研究室

総合技術政策研究センター

建設システム課

危機管理技術研究センター

水害研究室

FY2007 ANNUAL REPORT OF WASTEWATER MANAGEMENT AND WATER QUALITY CONTROL

WASTEWATER SYSTEM DIVISION

WASTEWATER AND SLUDGE MANAGEMENT DIVISION
of WATER QUALITY CONTROL DEPARTMENT

CONSTRUCTION SYSTEM DEVELOPMENT DIVISION
of RESEARCH CENTER FOR LAND AND CONSTRUCTION MANAGEMENT

FLOOD DISASTER PREVENTION DIVISION
of RESEARCH CENTER FOR DISASTER RISK MANAGEMENT

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

概要

本報告書集は、平成19年度に国土交通省国土技術政策総合研究所において実施された下水道に関する調査研究の成果を集約して資料としてとりまとめたものである。

キーワード：下水道、下水処理、高度処理、汚泥、水質浄化、リサイクル

Synopsis

This Annual Report introduces researches on wastewater system, wastewater treatment, advanced wastewater treatment, wastewater sludge and water quality control carried out in Fiscal 2007 by National Institute Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan .

Key words: wastewater system, wastewater treatment, advanced wastewater treatment, wastewater sludge, water quality control, recycling

序 文

本報告書集は平成19年度に国土交通省国土技術政策総合研究所（国総研）が実施した下水道関連の調査研究の成果をとりまとめたものであり、全21編の報告書から構成されています。

下水道関連の調査研究は主として下水道研究部の下水道研究室と下水処理研究室が担当し、総合技術政策研究センターの建設システム課、危機管理技術研究センターの水害研究室の協力を得ています。

平成19年度に国総研で行った調査研究は21課題で、予算費目は下水道事業調査費、試験研究費、CREST：戦略的創造研究推進事業委託研究費です。

21課題のうち平成19年度に終了したものは、以下の7課題です。

- ①管路施設の長寿命化に関する調査（下水道研究室；下水道事業調査費）
- ②都道府県構想見直しマニュアルに関する調査(下水道研究室；下水道事業調査費)
- ③下水道技術計画調査(下水道研究室；下水道事業調査費)
- ④再生水利用の促進に関する調査(下水処理研究室；下水道事業調査費)
- ⑤新たな衛生指標の下水処理への適用性の評価(下水処理研究室；試験研究費)
- ⑥下水道事業の設計・積算合理化に関する調査（建設システム課；下水道事業調査費）
- ⑦市街地における高精度浸水解析システムの開発評価（水害研究室；下水道事業調査費）

また、平成19年度から新たに開始した課題は以下の8課題です。

- ①効率的な都市雨水対策の計画手法に関する調査（下水道研究室；下水道事業調査費）
- ②都市雨水対策における観測技術の戦略的活用に関する調査（下水道研究室；下水道事業調査費）
- ③下水道に起因する道路陥没の社会的影響調査（下水道研究室；下水道事業調査費）
- ④都道府県構想見直しマニュアルに関する調査（下水道研究室；下水道事業調査費、平成19年度のみ実施）
- ⑤下水道技術計画調査（下水道研究室、下水処理研究室；下水道事業調査費、平成19年度のみ実施）
- ⑥未普及解消プロジェクトに関する調査（下水道研究室、下水処理研究室；下水道事業調査費）
- ⑦下水道資源有効利用の推進に関する調査（下水処理研究室；下水道事業調査費）
- ⑧既存処理施設活用による汚濁負荷削減方策に関する調査（下水処理研究室；下水道事業調査費）

研究成果の活用については、下水道のアセットマネジメントに関する研究の成果が反映され、平成20年度に下水道長寿命化支援制度が創設されました。未普及解消プロジェクトの推進に関する調査は、国土交通省が進めている「下水道未普及解消クイックプロジェクト」の社会実験を支援するものです。また、下水処理水の再利用に関する調査及び下水道における地球温暖化対策に関する調査は、それぞれ「下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会」及び「下水道における地球温暖化防止対策検討委員会」での検討に反映されています。さらに、流域の効率的な汚濁負荷削減に関する調査成果等に基づき、まもなく流域別下水道整備総合計画調査指針が改定される見込みです。

国総研では行政のニーズに対応するとともに、国民の視点に立った調査研究を進めていきたいと考えています。これからも引き続きご指導をいただければ幸いです。

平成20年6月

国土技術政策総合研究所下水道研究部長 藤木 修

目次

頁

序文

I. 下水道事業調査費による研究

1. 管路施設の長寿命化に関する調査……………(下水道研究室)……1
2. 都道府県構想見直しマニュアルに関する調査……………(下水道研究室)……7
3. 下水道技術計画調査……………(下水道研究室)……11
4. 全国事業量等に関するアセットマネジメント導入検討調査……………(下水道研究室)……15
5. 下水道に起因する道路陥没の社会的影響調査……………(下水道研究室)……19
6. 効率的な都市雨水対策の計画手法に関する調査……………(下水道研究室)……25
7. 都市雨水対策における観測技術の戦略的活用に関する調査……………(下水道研究室)……33
8. 未普及解消プロジェクトに関する調査……………(下水道研究室)……37
9. 再生水利用の促進に関する調査……………(下水処理研究室)……41
10. 下水処理場における地球温暖化対策の推進に関する調査……………(下水処理研究室)……43
11. 下水処理水の衛生学的安全性に関わる技術基準に関する調査……………(下水処理研究室)……47
12. 下水処理施設の改築更新の効率的な実施に関する調査……………(下水処理研究室)……53
13. 効率的な汚濁負荷削減のための流域管理の枠組みに関する調査……………(下水処理研究室)……57
14. 既存処理施設活用による汚濁負荷削減方策に関する調査……………(下水処理研究室)……59
15. 下水道資源有効利用の推進に関する調査……………(下水処理研究室)……63
16. 下水道事業の設計・積算合理化に関する調査……………(建設システム課)……67
17. 市街地における氾濫解析システムの開発……………(水害研究室)……69

II. その他の予算による研究

[下水道研究室]

1. 下水道管渠の適正な管理手法に関する研究……………71

[下水処理研究室]

1. 人口急増地域の持続的な流域水政策シナリオ ガンジス川流域における水質保全対策の評価……………75
2. 新たな衛生指標の下水処理への適用性の評価……………79
3. 地域活動と協働する水循環健全化に関する研究……………83

付録

- 付録1. 平成19年度 下水道関係刊行報告書一覧……………89
- 付録2. 平成20年度 下水道関係調査研究課題表(国土技術政策総合研究所)……………90

1. 下水道事業調査費による研究

1. 管路施設の長寿命化に関する調査

下水道研究室 室長 榊原 隆
主任研究官 松宮 洋介
研究官 深谷 渉
研究官 福田 康雄

1. はじめに

我が国では下水道処理人口普及率の上昇に伴い、管渠総延長が 39 万 km（平成 17 年度末）に達しており¹⁾、今後、管路施設の適切な管理が、国民への良質な社会資本サービスの維持確保のためにも重要な課題となる。

管路施設の適正な管理とは、健全な状態を長く保つことで、貴重な資産をいかに効果的かつ経済的に利用するかが重要なポイントとなるが、昨今、管渠が急速に劣化し道路陥没などの大きな問題を起こす例が見受けられる。その劣化原因の一つが、硫化水素による管渠腐食である。工場排水やビルピット等の排水は、特に溶存硫化物を多く含む可能性があり、これらの排水が管渠内に流下すると、気相中へ硫化水素ガスが放散され、硫酸の形成により管渠が腐食する。気液界面の乱れが大きいほど硫化水素放散量も大きくなり、特に人孔の段差部など落差がある特殊な下水道施設では、下水が強く攪拌されるため、多量の硫化水素ガスが放散する。加えて、飛散した硫化水素は、強烈な悪臭を発生させることから、生活環境を悪化させる他、都市イメージの低下をももたらす。

以上のことから、平成 17 年度から平成 19 年度において下記の調査を行った。

平成 17 年度においては、老朽化管渠に対する効率的な調査手法策定の基礎資料として、早期に下水道事業に着手した都市における劣化診断調査結果を元に、管渠劣化発見率と劣化原因率について調査した。

平成 18 年度は、劣化原因の 1 つであるビルピット等の排水に着目し、管渠が耐用年数期間内において腐食破壊しない許容硫化物濃度を明らかにすることを目的とした調査を実施した。また、ヒューム管の仕様実態調査を行うとともに、腐食時の抵抗曲げモーメントを試算し、腐食による耐荷力への影響を調べた。

平成 19 年度は、施設を適正管理する観点から重要な、高濃度の硫化水素を含んだビルピット等の排水が下水道施設に流入することを防止するための効率的な調査手法について検討した。

2. 平成 19 年度調査の概要

管渠の腐食の原因となるビルピットから下水道管路施設へ排出される高濃度の硫化水素を抑制することは、下水道施設を健全な状態に保つ上で非常に有効である。また、ビルピット排水は、悪臭という別の問題を引き起こすことから、生活環境の悪化や都市イメージの低下などが懸念されている。

東京都では年間 700 件以上の下水道に関する悪臭苦情があり、この内、ビルピットが原因と考えられる排水に起因したものは 3 割を占める（図-1 参照²⁾）。

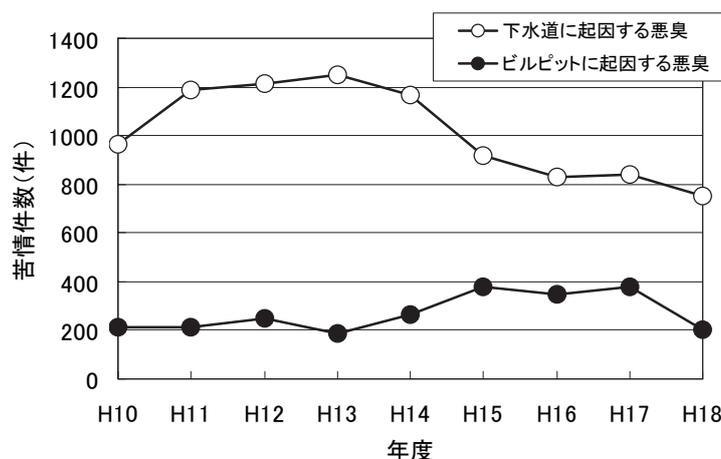


図-1 東京都における下水道に起因する苦情件数推移

しかしながら、悪質なビルピット排水への対応に関しては、従来、発生源の特定が難しい（多大な費用と時間を要する）、特定し改善を指導しても法的根拠や規制値が不明確なためビル管理者側の対応が消極的等の問題があることから、効果的かつ効率的な対処手法を検討する必要がある。

ここでは、ビルピット排水の法的位置づけを明確にした上で、悪臭防止法で規制対象とされている臭気指数及び液相中硫化水素濃度を用いた効率的なビルピット対策手法を提案するとともに、簡易な臭気指数及び液相中硫化水素濃度の算出に関する検討を行った。

3. ビルピット排水規制の法的位置づけ

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

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

悪臭防止法は、工場や事業所などの活動に伴って発生する不快な臭気（悪臭）に対して、必要な規制を行うことを定めた法律で、規制地域の指定と規制基準の設定等が定められている。下水道に接続されるビルピット排水については、この法律の規制基準の内、排出水の規制基準（第3号規制）を受けることとなる。規制方法には、特定悪臭物質（22物質）によるものと、臭気指数によるものの2種類があり、近年は、住民の被害感と合致し、複合臭や未規制物質に対応できる臭気指数の導入が推奨されている³⁾。

建築物における衛生的環境の確保に関する法律では、清掃に関する規定があるものの、悪臭は数時間の下水滞留による腐敗により発生することから清掃のみの対応では難しいと考えられる。その他、指導要綱や運用等により、独自の基準を設けてビルピット排水の対策に努めている都市もある⁴⁾が、法的な拘束力がないことから、悪臭を防止・規制する決め手とはなっていないのが現状である。

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

4. 苦情発生時の対応手法の提案

前述の通り、マンホールや公共汚水樹等からの悪臭苦情には、悪臭そのものに対する法的拘束力のある悪臭防止法の適用が有効である。しかしながら、多くの自治体では悪臭防止法を扱う環境部局等と下水道管理部局とが別組織になっていること、法に基づく測定方法は試験コストが高く試験結果が出るまでに時間がかかる、費用と時間をかけて試験を実施しても空振りに終わる可能性がある、などの問題がある。

ここでは、悪臭防止法に違反していることが確実だという根拠を下水道部局で揃え、環境部局等に引き継ぐ手法を提案する。

図-2に、下水道部局が苦情を受けてから悪臭防止法を担当する部局へデータを引き継ぐまでのフローを示す。

これにより、簡易な拡散式硫化水素計を用い汚水樹のガス濃度を計測し、その結果を臭気指数や液相中硫化水素濃度に換算することで、現場で簡単に悪臭防止法に違反しているかどうかを判定するものである。

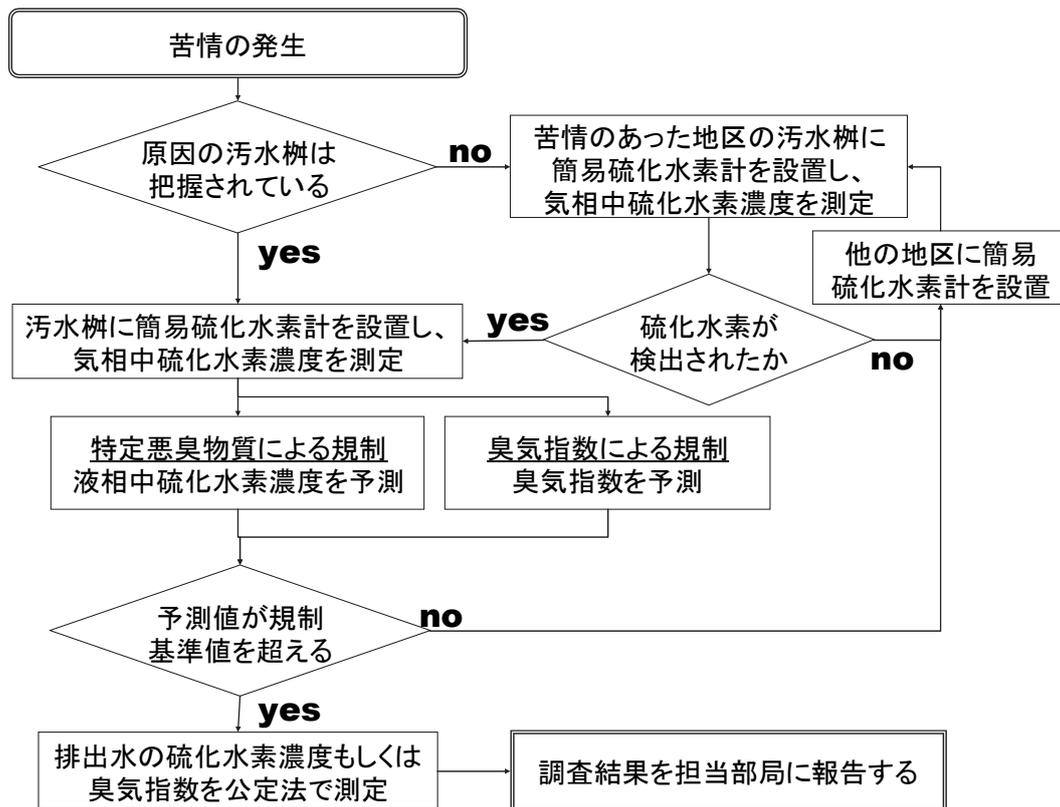


図-2 悪臭防止法担当部局（環境部局）への引継ぎフロー

5. ピット排水実態調査

4. で提案した手法の場合、汚水樹の気相中硫化水素濃度から、汚水樹の液相中硫化水素濃度もしくは臭気指数を予測する必要がある。これは、先にも触れたように、悪臭防止法は都市により特定悪臭物質（硫化水素）で規制する場合と、臭気指数で規制する場合の2種類があるためである。また、ビルピット排水は悪臭防止法の3号規制を受けることから排水の採水が必要であり、採水箇所は原則、公共用水域との接点となる汚水樹となるが、他系統の下水との混合による希釈や採水作業性の問題がある場合にはビルピット内での貯留水を採水することも考えられる。

ここでは、汚水樹の気相中硫化水素濃度から汚水樹の液相中硫化水素濃度もしくは臭気指数を予測するために必要な実測データに加え、ビルピット貯留水の採水時にも対応できるように、ビルピット貯留水の液相中硫化水素濃度・臭気指数の実測データについても現地調査したので報告する。

5. 1 調査方法

本調査は、K市における6種類のビル（商業系雑居ビル、駅舎、ホテル等）の汚水槽3箇所、混合槽3箇所、雑排水槽3箇所、計9箇所のビルピットを対象に、硫化水素の発生状況、臭気の発生状況、水質の変化を把握するため、試料の採取及び硫化水素濃度、臭気指数の分析を行った。また試料の採取は、ビルピットと公共汚水樹とした。採取した試料の採取場所と分析項目を表-1に示す。

表-1 試料採取場所と分析項目

採水位置	分析項目
公共汚水樹	臭気指数(液相)、硫化水素(液相, 気相)
ビルピット	臭気指数(液相)、硫化水素(液相)

※その他、水温、pH、ORP、気温を測定

5. 2 調査結果

(1) 汚水樹の気相中硫化水素濃度と

臭気指数（液相）

汚水樹の気相中の硫化水素濃度と排出水の臭気指数の関係を図-3 に示す。図中には都道府県及び政令指定都市で最も採用の多い 3 号基準の規制値（臭気指数=31）を示した。

臭気指数は、雑排水 0～33、汚水（尿尿系）14～33、混合水 16～35 であった。一方、汚水樹の気相中硫化水素濃度は、雑排水と混合水ではほとんど検出されず、汚水では臭気指数が増加するに従い気相中の硫化水素濃度が増加する傾向が見られ、気相中硫化水素濃度が 6ppm 以上の場合に 3 号規制値である臭気指数 31 を確実に上回った。なお、硫化水素が検出されていないにもかかわらず臭気指数が比較的高いのは、臭気測定方法の特性上、下水に元来含まれる硫化水素以外の臭気が検知されたためと考えられる。

(2) 汚水樹の気相と液相の硫化水素濃度

汚水樹の液相と気相の硫化水素測定結果を図-4 に示す。図中には、K市における排出水の硫化水素の規制基準値（0.02 mg/l）を示した。

液相の硫化水素濃度が増加するに従い、気相の硫化水素濃度が増加し、気相硫化水素濃度が 6ppm を超えると、排水規制基準値を確実に上回った。

(3) 汚水樹の気相中硫化水素濃度と

ビルピット貯留水の臭気指数（液相）

汚水樹の気相中硫化水素濃度とビルピット貯留水の臭気指数の測定結果を図-5 に示す。図中には都道府県及び政令指定都市で最も採用の多い 3 号基準の規制値（臭気指数=31）を示した。

汚水樹の気相中硫化水素濃度は、前述の汚水樹における臭気指数との関係で示した傾向と同様に、雑排水と混合水ではほとんど検

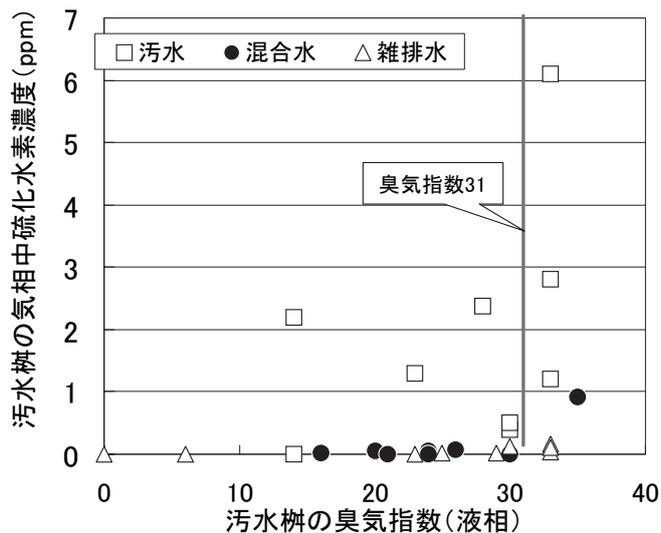


図-3 汚水樹の気相中硫化水素濃度と臭気指数（液相）

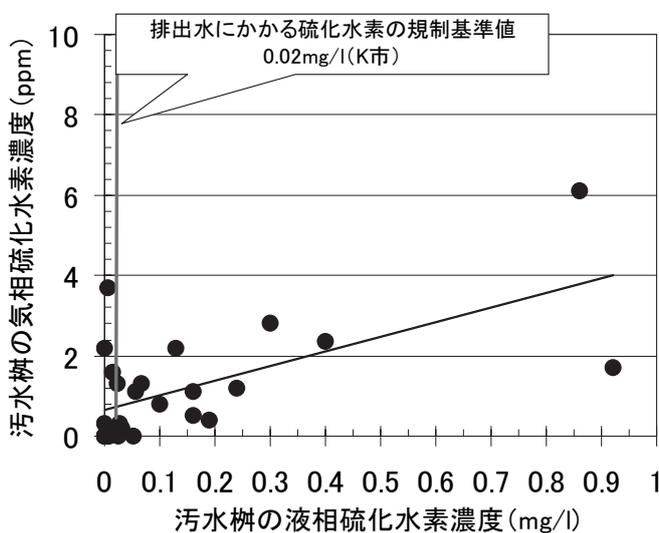


図-4 汚水樹の気相と液相の硫化水素濃度

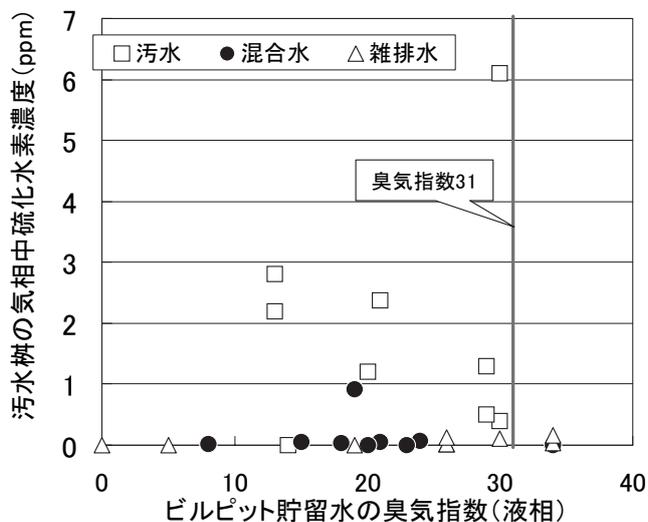


図-5 汚水樹の気相中硫化水素濃度とビルピット貯留水の臭気指数（液相）

出されず、汚水ではビルピット貯留水の臭気指数が増加するに従い汚水柵における気相中の硫化水素濃度が増加する傾向が見られた。

臭気指数は、雑排水 0～34、汚水 13～30、混合水 8～24 であった。ここで、汚水柵の臭気指数（液相）とビルピット貯留水の臭気指数（液相）の関係を、図-6 に示す。

ビルピット貯留水の臭気指数は、同時刻に測定した汚水柵の臭気指数よりも若干小さくなっていることが分かる。これは、通常、ビルピット底層の下水が汚水柵へ排出されるのに対し、今回の採水は貯留水の表層から行ったため、汚水柵では腐敗の進んだ下水が、ビルピットでは腐敗の少ない下水が測定対象となったと考えられる。

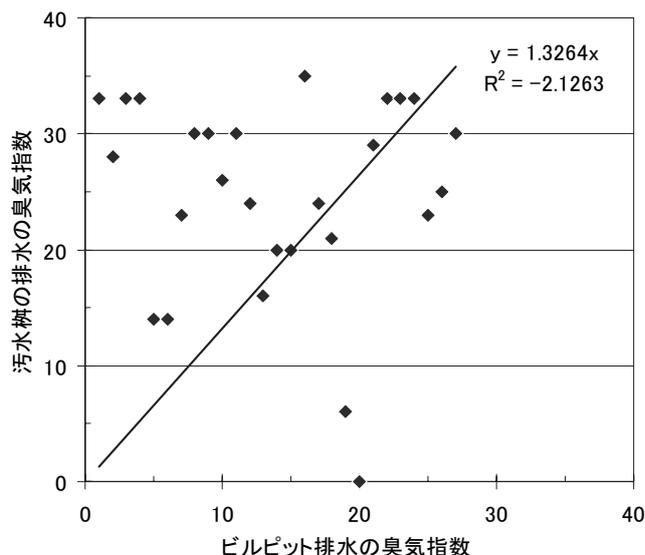


図-6 汚水柵の臭気指数（液相）とビルピット貯留水の臭気指数

(4) 汚水柵の気相中硫化水素濃度と

ビルピット貯留水の液相中硫化水素濃度

汚水柵の気相中硫化水素濃度とビルピット貯留水の液相中硫化水素濃度の測定結果を図-7 に示す。図中には、K市における排出水の硫化水素の規制基準値 (0.02 mg/l) を示した。

先に触れたように、ビルピットにおける採水位置の影響もあり、汚水柵の気相中において硫化水素が検出されても、ビルピット貯留水中の液相硫化水素濃度は低い結果となった。

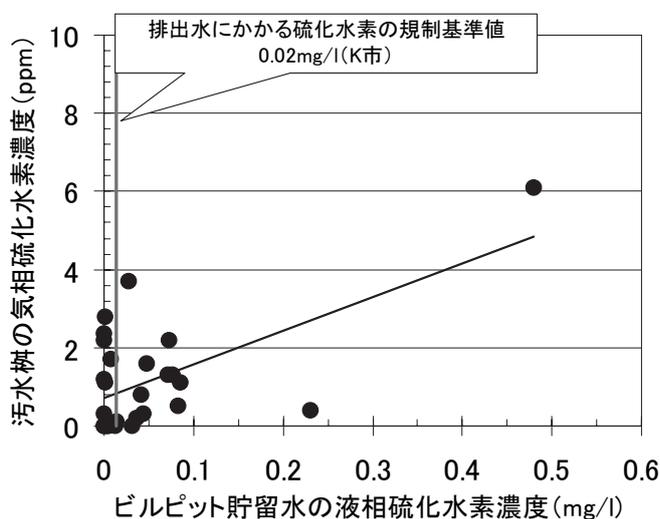


図-7 汚水柵の気相中硫化水素濃度と

ビルピット貯留水の液相中硫化水素濃度

6. まとめと今後の課題

悪臭防止法に基づく臭気の規制値を活用し、悪質なビルピット排水に対し、効率的に取り締まりを行うことができる手法を提案した。また、規制基準値を汚水柵の気相中硫化水素濃度から臭気指数（液相）及び液相中硫化水素濃度を推定するための実態調査を実施した。以下に、平成 19 年度に実施した調査等についてまとめる。

- ・ビルピット排水の取り締まりには、悪臭防止法による規制を念頭に置くことが効果的である。
- ・汚水柵の気相中硫化水素濃度から、汚水柵もしくはビルピットにおける液相中硫化水素濃度及び臭気指数（液相）への換算に関して検証した。本調査では、汚水柵の気相中硫化水素濃度が概ね 6 ppm 以上の場合に、悪臭防止法の規制値を上回る結果となった。
- ・ビルピット排水の臭気には、硫化水素以外の成分が含まれていることから、硫化水素濃度と臭気指数を関連づける際にはそのことも十分考慮する必要がある。

得られた硫化水素濃度及び臭気指数については、データにばらつきがあることや、測定時期が冬期であった等のことから、今後は信頼性を高めるためのデータの蓄積を行うとともに、汚水柵の形状（容積）やポンプ能力等の違いについても整理が必要と考える。

7. おわりに

財政難や技術者不足、管きょストックの増大による維持管理への負担など地方自治体を取り巻く環境は非常に厳しいことから、今後は、施設を痛めないようにかつ限界まで使うというようなアセットマネジメントの考えを積極的に導入する必要があると考えられる。

本調査は、平成17年度から平成19年度までの3カ年にわたり「管路施設を健全な状態で長く保つ（長寿命化）」ことをキーワードに、①管きょが年齢を重ねる毎（経過年数毎）に劣化発見率や劣化原因がどう変化するか、②劣化した管きょはどれだけの耐荷力を有するか、③長く健全な状態を保つためには悪質排水（ビルピット排水）にどう対処すればよいか、について検討を重ねてきた。

本調査で得られた成果は、単に長寿命化を図るためでなく、事故や苦情の未然防止という観点からも非常に有効なデータと考えられる。今後、各都市においてアセットマネジメントの導入を検討する際の参考になれば幸いである。なお、ビルピットの悪臭問題に対応するため、平成20年度より「ビルピット排水による悪臭発生防止に関する調査」において調査を継続する予定である。

参考文献

- 1) 日本の下水道（平成18年）、社団法人日本下水道協会
- 2) ビル衛生管理者講習会資料（平成18年度）、東京都福祉保健局健康安全室、東京都健康安全研究センター HP
(<http://www.tokyo-eiken.go.jp/kenchiku/bldg/h18koushukai.pdf>)
- 3) ハンドブック悪臭防止法（四訂版）、ぎょうせい
- 4) ビルピット対策についてービルピット対策指導要綱の解説一、東京都発行パンフレット、平成18年3月
- 5) 嗅覚測定法マニュアル、(社)におい・かおり環境協会

2. 都道府県構想見直しマニュアル作成

下水道研究室 室長 榊原 隆
研究官 遠藤 淳

1. はじめに

平成12年に建設省（現国土交通省）、厚生省（現環境省）、農林水産省の三省連名でまとめられた「統一的な経済比較のできるマニュアル（案）」が策定され、汚水処理施設の効率的な整備の推進が図られてきた。この結果、汚水処理に関する都道府県構想については全国の都道府県ですでに策定がなされている。

しかしながら、近年、人口減少や高齢化の本格化、地域社会構造の変化など、汚水処理施設の整備を取り巻く諸情勢が大きく変化していること、また、市町村合併による行政区域の再編や地方財政が依然として厳しい状況にあることに伴い、汚水処理施設整備の一層の効率化が急務となっている。

これらの諸情勢の変化に対応するためには、部局間の連携を一層強化し、より効率的な汚水処理施設の整備手法を選定することが必要であることから、1) 社会情の変化等の反映、2) 連携の強化、3) 住民の意向の把握に留意して、都道府県構想のもととなる市町村の汚水処理施設整備の構想についても見直すように三省連名で平成19年9月に通知が発出された。

このような背景のもと、現行「効率的な汚水処理施設整備のための都道府県構想策定マニュアル（案）¹⁾」（以下、「都道府県構想マニュアル」）の改訂を目的に、「効率的な汚水処理施設整備のための都道府県構想マニュアル（案）検討委員会」（以下、「マニュアル検討委員会」）が設置された。検討体制を図-1に示すが、マニュアル検討委員会では、「人口減少下における下水道計画手法のあり方について（案）²⁾」（以下、「人口減計画手法」）についても検討することとなった。このうち、国総研においては、都道府県構想策定マニュアルの改訂を担当した。

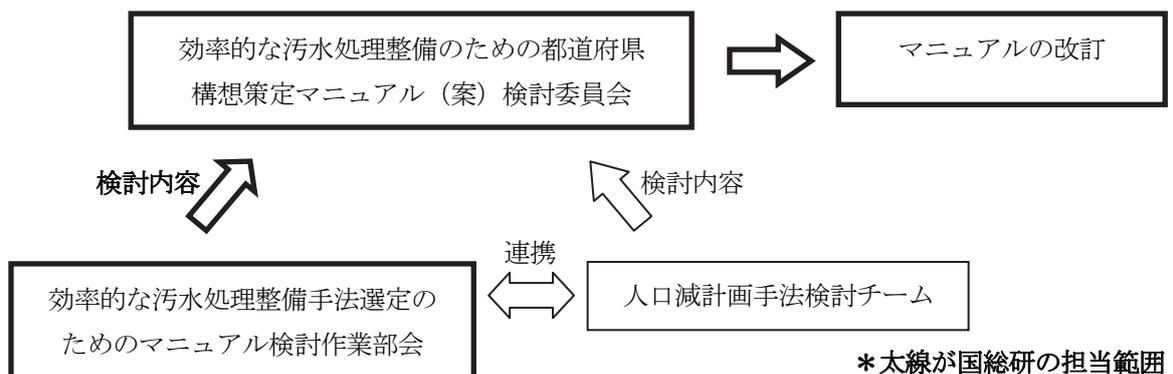


図-1 マニュアル検討体制

2. 見直しのポイント

上記のような背景から今回の見直しについては、以下の3つをポイントに検討を行った。

- ①人口減少に対応した内容の見直し
- ②汚水処理施設間などの連携手法について
- ③住民の意向の把握について

2-1. 人口減少に対応した内容の見直し

基本的な考え方については、人口減計画手法検討チームが担当して、「人口減少下における下水道計画」としてまとめおり、都道府県構想マニュアル改訂案はこれに整合するものとして、以下のとおり人口減少に対応した内容の見直しを行った。

目標年次（将来フレーム想定年次）は、人口予測について不確実性が高いものの、ある程度予測可能な範囲として、概ね20～30年後とした。同時に、想定と実態に差異が生じうることを踏まえ、5年を基本として内容の点検を行い、結果に応じて見直しを適宜行うものとした。

集合処理と個別処理の判定のために、将来行政人口・将来家屋数・計画汚水量原単位について将来予測することが必要となる。将来行政人口は、コーホート要因法を用いた市町村独自の推計値または公的団体による将来推計人口を利用し、将来家屋数については、過去の趨勢からのトレンド予測値または公的団体による予測値を利用することとした。計画汚水量原単位については、節水等により減少傾向にあることに留意して可能な限り実態に即した値を用いるようにした。

今回提案の集合処理と個別処理の判定手順を図-2に示す。検討においては家屋数が重要となるが、人口減少下では、将来どの家屋がなくなるかは想定できない。このため、現況家屋配置をもとに設定したあるまとまった区域（検討単位区域）ごとに、将来人口・家屋数を配分して、費用比較により集合処理と個別処理の判定を行う。この結果を基にして、集合処理区域と個別処理区域、集合処理区域と集合処理区域の接続検討を費用比較により行うこととした。

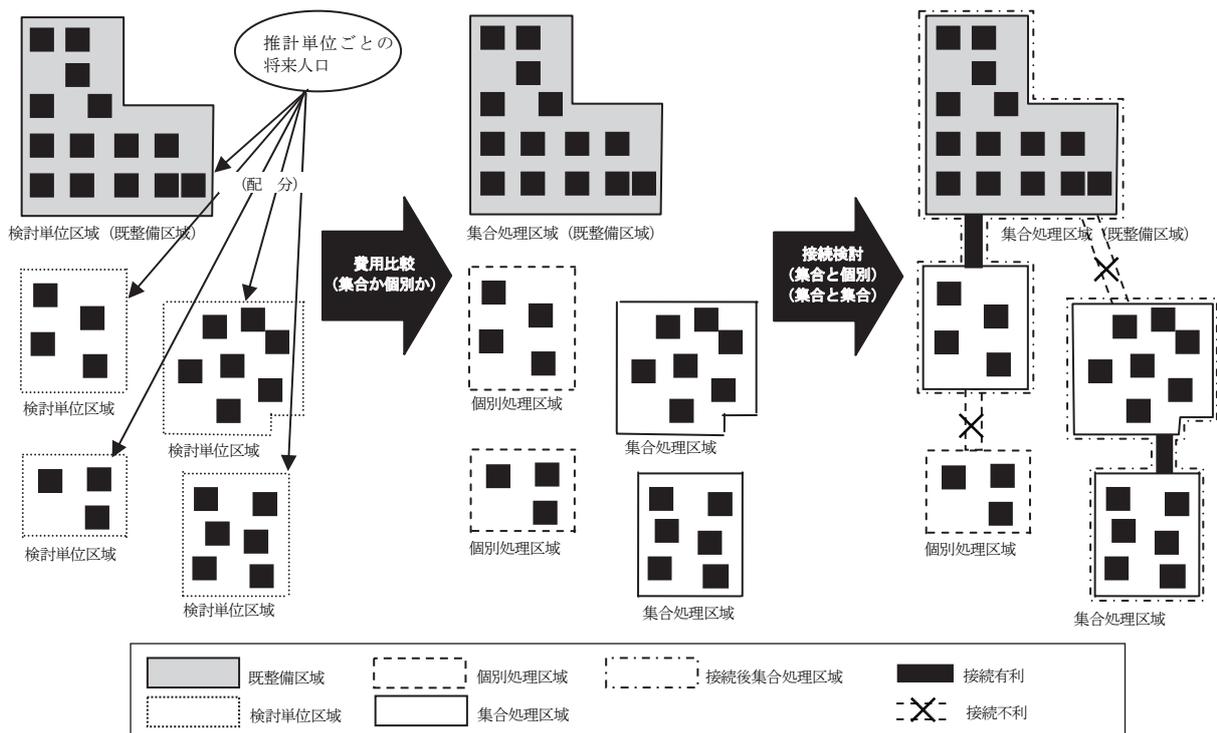


図-2 人口減少下における集合処理と個別処理の判定手順（イメージ）

2-2. 汚水処理施設間などの連携手法について

連携手法については、新たに導入を検討する際の参考となるように、実施事例を多数収集し、その中から代表的なものをマニュアルに記載することとした。事例収集はアンケート方式により実施し、その概要は表-1に示す

とおりで、18年度末時点で特定下水道施設共同整備事業（以下、「スクラム」）、汚泥処理施設共同整備事業（以下、「MICS」）、下水道と農業集落排水施設との接続（以下、「農集接続」）、下水道と漁業集落排水施設との接続（以下、「漁集接続」）の4事業について実施している168箇所を対象とし、166箇所（残り2箇所は事業未完了）より有効回答があった。アンケート結果については、特に導入検討において参考となる導入効果および導入の留意事項を抽出して表-2に示しており、効果については、建設・維持管理コストの削減が、課題については、スクラムにおいては、自治体間の調整が難しいこと、農集接続・漁集接続においては、補助金で設置した施設の取り扱い（いわゆる適化法上の取り扱い）を含めた十分な事前調整の必要が挙げられている。

表-1 連携アンケート概要

アンケート期間	平成19年2月1日～2月13日
アンケート対象と有効回答数	スクラム：対象28箇所 有効回答28箇所 MICS：対象63箇所 有効回答63箇所 農集接続：対象62箇所 有効回答61箇所 漁集接続：対象15箇所 有効回答14箇所 *平成18年度末での事業実施団体を対象とした。
アンケート項目	導入事業名、導入時期、対象事業、導入施設 導入背景、導入効果、費用効果 導入の課題、その他（協議を行った関係部局） 事業間連携の概略図

表-2 連携アンケート結果概要

導入効果	導入にあたっての留意事項
<ul style="list-style-type: none"> 各事業とも建設・維持管理コスト削減に大きく寄与 スクラムとMICS事業は、維持管理の効率化と汚泥有効利用や公共用水域保全に寄与 スクラムは、自治体間の協力意識と職員のスキル向上に寄与 MICS事業は、遠方監視等による故障時への即時対応と維持管理の質的向上に寄与 農集・漁集接続は、同一料金化及び早期供用開始に寄与 	<ul style="list-style-type: none"> スクラムは、自治体間の事業ベースの調整に留意が必要 MICS事業は、周辺住民へのコンセンサスを得るとともに、省庁間の事前調整等が必要 農集・漁業集接続は、省庁間の事前調整等を十分にを行うことが必要

2-3. 住民の意向の把握について

下水道事業は、下水道が供用された地域の住民に対して、下水道への接続など直接的な費用負担を強いるものであり、構想等の早い段階から情報提供を行い、住民と認識を共有することが重要であることから、構想案を公表するなどして、住民意向の把握に努めることとした。また、住民意向の把握・反映方法として、パブリックコメント、地元住民説明会、パブリックインボルブメントについて言及するとともに、パブリックコメントおよび地元住民説明会の実施例を掲載した。

3. 改訂マニュアル案について

見直しのポイントを反映し、可能な限り実際の検討手順に沿った構成と内容とした改訂マニュアル案を作成した。現行マニュアルとの比較を図-3に示す。都道府県構想は、汚水処理施設の整備を計画的、効率的かつ適正に進めていくために策定するものであり、「汚泥処理の方針」および「維持管理の方針」は、考慮すべき項目であるものの、構想段階では必ずしも方針決定できないとの意見が検討会で多数あり、それを反映してマニュアル参考編に記載することとした。

改訂概要については以下のとおりであり、第1章 総論では、構想の点検と見直しについて、将来と実態に差異が生じることなどを踏まえ、定期的（5年を基本とする）に内容の点検を行い、点検結果のほか、社会情勢の変化等に合わせて、都道府県構想の見直しを適宜行うものとした。また、都道府県構想策定フロー（例）を見直し、住民意向の把握を進める観点から住民意向の把握・反映および住民への計画案の公表を追加するとともに作業実

態に合わせたフローとした。

第2章 基礎調査においては、フレーム値等の予測について、目標年次における人口、家屋数、汚水量原単位の予測方法について、参考資料を交えて記載した。

第3章 検討単位区域の設定、第4章 処理区域の設定については、構成の見直しを行い、検討単位区域の設定（現況の家屋配置にて行う検討）までの手順を第3章に記載し、集合処理と個別処理の判定（将来家屋配置にて行う検討）については第4章での記載とすることで、各章での記載内容の明確化を図った。また、経済性の判定には、可能な限り地域の実情に応じて算出した数値を用いて行うものとしているが、マニュアルの費用関数を利用するケースも多いこ

とから、関数の見直しを行うとともに、設定方法について記載した。第4章については、地域特性、住民の意向、既存施設状況等を考慮した集合処理区域等の設定について、集合処理区域、個別処理区域の設定にあたっては、経済性の比較による判定を基本としつつ、各地域において実際に汚水処理施設を整備する際に支障となる課題（地域特性）や施設整備に対する地域住民の意向、既存施設の設置状況等を総合的に考慮する必要があることを記載した。

第5章 整備手法の選定においては、事業間連携の検討について、事業の紹介、事例アンケートの紹介を加え、効率的な汚水処理施設の整備にあたっては、各施設の進捗や維持管理状況等を踏まえ、事業間連携を検討することが重要であることを記載した。

第6章 段階的整備の方針においては、下水道経営の長期見通しを踏まえた実施可能事業量の検討について、適切な財政見通しに基づいて検討を行うことを記載した。

第7章 住民の意向の把握においては、見直しのポイントを反映し、構想や計画等事業の早い段階から住民と認識を共有することが重要であることから住民の意向の把握に努めることを記載した。

4. まとめ

都道府県構想策定マニュアル案は、「①人口減少に対応した内容の見直し、②汚水処理施設間などの連携手法について、③住民の意向の把握について」の3つをポイントとして見直しを行い、改訂マニュアルが平成20年度に出版される予定である。

参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会：効率的な汚水処理施設整備のための都道府県構想策定マニュアル（案）、平成13年
- 2) 国土交通省 都市・地域整備局 下水道部：人口減少下における下水道計画手法のあり方について（概要）、国土交通省 HP、<http://www.mlit.go.jp/common/000012693.pdf>

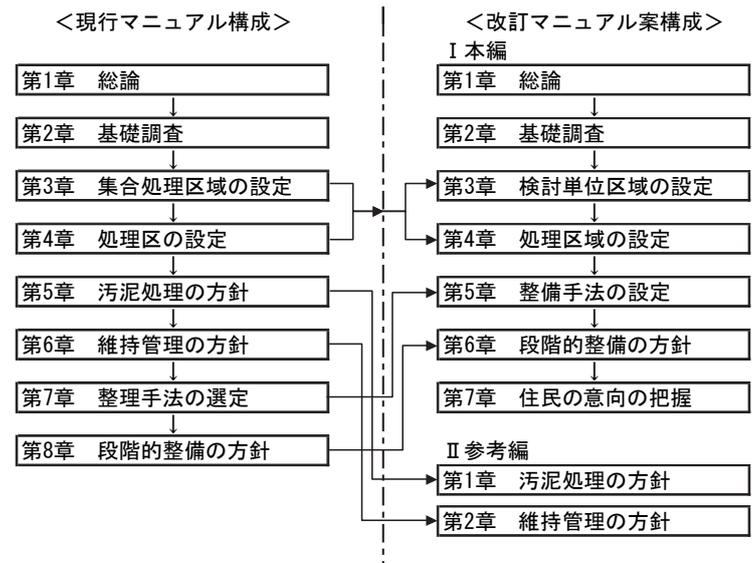


図-3 現行及び改訂マニュアル案の構成比較

3. 下水道技術計画調査

下水道研究室 室長 榑原 隆
研究官 田本 典秀

1. はじめに

将来にわたり様々な変化に柔軟に対応できる下水道施設を整備・運営するためには、長期的かつ広い視野に立って戦略を構築することが重要である。過去3度にわたる「下水道技術五箇年計画」の策定過程を顧みると、計画策定時においては長期的な視野で社会のニーズを捉え、その実現に必要な技術を3～5年程度の短期的単位で提案するという、複眼的な発想のもとに作成されていた。

しかしこれら計画の実行段階においては、「計画策定当初には想定されなかったが、その時点における緊急度の高い課題」が優先的に実施されるなど、臨機応変に変更されることを余儀なくされてきた。このことはわが国の社会環境が急激に変化している中で、下水道技術五箇年計画がこうした変化に対応してきた結果と考えれば、やむを得ない面がある。その一方、平成17年9月に策定された「下水道ビジョン2100」¹⁾にも示されているとおり、水の循環、資源の循環、施設再生のそれぞれの観点から、次の100年を見据えた技術開発を推進することもまた、同時に求められているところである。したがって、今後の下水道技術計画のあり方としては、短期的な実行計画の内容を細部にわたり詰めるものではなく、将来の方向性を中心に据えた戦略が望ましいと考えられる。

このような問題意識に立った上で、本調査では新しい技術開発戦略を策定するために必要な検討を実施する。平成19年度は、第3次下水道技術五箇年計画（以下、「第3次技術計画」と略称する）を評価するための準備を行うとともに、今後注力すべき下水道の技術開発課題を整理するために必要な基礎資料を作成した。

2. 下水道技術五箇年計画の概要

下水道技術五箇年計画は、向こう5年間の下水道技術の開発、導入および普及にあたっての方向性ならびに目標を明らかにするために、5年に一度国土交通省が策定しているものである。第3次技術計画では、国土交通省全体の技術開発の方向性を定める「国土交通省技術基本計画」²⁾（計画期間：平成15～19年度）で位置づけられた5つの開発戦略：「Ⅰ. 安全で不安のない暮らし」、「Ⅱ. 美しく持続可能な国土づくり」、「Ⅲ. 快適で生活コストの安い暮らし」、「Ⅳ. 国際競争力を高め活力ある社会」および

「Ⅴ. 誰もが社会の一員と実感できる社会」からなる「主要課題」と、これに従属する合計12項目の「中課題」および合計32項目の「技術開発項目」から構成されている（図-1参照）。

さらに、国の役割を明確化するために、中課題ごとに「国が実施する技術開発の内容」とそのロードマップを定められている。

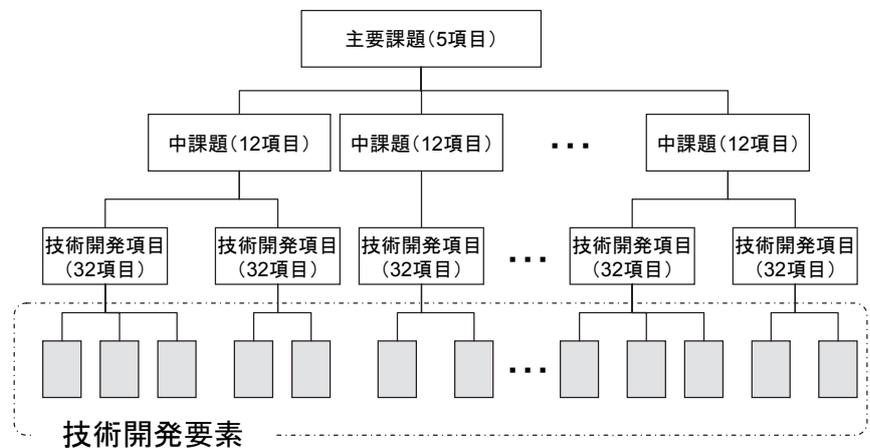


図-1 下水道技術五箇年計画の構成

3. 社会動向と技術計画

3.1 他の基本計画との関係

第3次技術計画策定後の政策目標の変化の有無を調べるために、この計画の策定以降に提言された下水道政策研究委員会の下水道ビジョン2100および社会資本整備審議会下水道小委員会報告³⁾の内容との関係について調べた。この結果を表-1、2にそれぞれ示す。いずれの関係においても、第3次技術計画は、各提言・報告で示された施策内容を概ね網羅していた。今後はこの関係をより精密に分析し、各機関の役割分担を明確化するなどした上で、技術開発のプライオリティを明示することが重要と考えられる。

なお、表-2に示した下水道ビジョン2100との関係においては、第3次技術計画で掲げられた「(26) 経済的で迅速な下水道施設建設技術」に完全一致する提言が存在しなかったが、これは現在「未普及解消クイックプロジェクト」として鋭意取り組まれている状況である。

3.2 社会情勢の変化への対応

表-3は、第3次技術計画策定後に起きた下水道に関する主な社会の出来事と、国土交通省が講じた施策（下水道関係のみ）を整理したものである。これを踏まえ、計画策定当初は想定されなかったが、結果的に取り組むことが重要であった項目について考察する。

平成16年の中越地震ならびに平成19年の能登半島地震および中越沖地震といった地震災害や、平成16年の福島・新潟豪雨、平成17年の首都圏豪雨といった水害など、大規模な災害がコンスタントに発生している。特に地震災害に関しては、第3次技術計画に明確に位置づけられておらず、災害が発生した後に緊急的に対応してきた経緯を踏まえると、今後は地震対策・対応技術を技術計画に位置づけ、戦略的に取り組む必要がある。

また、平成19年度のISO24500sの発行を踏まえ、わが国の下水道・水処理技術の国際的競争力を向上させるた

表-1 下水道技術五箇年計画（縦軸）と社会資本整備審議会下水道小委員会の報告内容（横軸）との関係

主要課題 中課題	小課題	安全で安心な暮らしの実現			良好な環境の創造			快適で活力ある暮らしの実現		事業の継続性の確保		施策展開における重要な視点		
		①浸水被害の軽減	②地震対策の推進	③水系リスクの低減	①公共用水域の水質改善	②健全な水循環系の構築	③資源・エネルギー循環の形成	①公衆衛生の向上と生活環境の改善	②活力ある暮らしの実現	①管理の適正化	②経営基盤の強化	①執行体制の確保と支援体制の強化	②新技術の開発・導入の推進	③国際協力の推進
I 安全で不安のない暮らし														
1. 災害に強い都市づくり	(1)流域管理の視点から浸水対策を計画する技術	○											○	
	(2)浸水対策の高度化技術	○											○	
	(3)地震に強い下水道を構築する技術		○										○	
2. 水系のリスクマネージメント	(4)各種リスク物質の監視とリスク評価技術			○									○	
	(5)各種リスク物質の除去・無害化技術			○									○	
III 美しく持続可能な国土づくり														
3. 流域管理による健全な水循環・良好な環境の創出	(6)汚濁負荷削減に係る経済的手法の導入技術				○			○					○	
	(7)水循環マスタープラン策定技術				○	○							○	
	(8)水循環オープンデータベースの構築技術					○							○	
4. 流域の水域を良好に保全	(9)水環境への影響を評価する技術					○							○	
	(10)良好な水環境を保全・創出する技術			○		○							○	
	(11)窒素・リン等を高度に除去する技術					○							○	
	(12)雨天時越流水等の汚濁負荷の削減技術			○	○								○	
5. 下水道資源の管理	(13)下水処理水の再利用促進技術			○		○							○	
	(14)下水汚泥減量化技術						○						○	
	(15)下水汚泥保水エネルギーの高度活用						○						○	
	(16)下水汚泥の物質資源としての有効利用技術						○						○	
	(17)地域社会における有機性廃棄物フローの最適化技術						○						○	
6. 都市再生への対応	(18)都市環境の向上のための技術					○			○				○	
	(19)都市構造の変化に対応した下水道の高度化技術		○	○									○	
7. 地球環境の保全	(20)下水道施設から排出される低位排熱の地域活用技術						○						○	
	(21)下水処理場消費エネルギーの低減化						○						○	
	(22)自然エネルギーを活用した下水収集・処理技術						○						○	
	(23)地球温暖化ガスの排出抑制技術						○						○	○
8. 下水道施設の効率的な整備	(24)エネルギー回収のための都市有機資源活用技術						○						○	○
	(25)ライフサイクルコストの低減技術								○				○	
9. 下水道施設の効率的な管理	(26)経済的で迅速な下水道施設の建設技術									○	○		○	
	(27)効率的な施設管理・健全な施設経営のための技術									○	○		○	
10. 他事業との連携	(28)効果的に改築・更新、再構築を行う技術									○	○		○	
	(29)他事業との連携を推進するための技術	○						○				○	○	○
IV 国際競争力を高める活力ある社会														
11. 国際化への対応	(30)グローバル化のための下水道技術								○				○	
	(31)国民と協働して事業を実施するための									○			○	
V 誰もが社会の一員と実感のできる社会	(32)効率性・説明責任のための事業評価手法の高度化技術									○	○		○	
	(33)効率的な事業実施のための事業評価手法の高度化技術									○	○		○	

度から18年度までに発行された、各機関の報告書、下水道・水環境分野の主な雑誌または論文集（下水道協会誌、水環境学会誌、土木学会論文集、土木学会環境工学研究論文集、土木学会環境システム研究論文集）を対象に成果物の検索を行い、評価の基礎資料となるべき情報を収集整理した。

表-4 は、本調査で技術開発項目ごとに抽出された、技術開発要素の一覧である。今後はこれら技術開発要素ごとに、収集整理された文献情報を基にして、①実用性、②技術開発の規模および③適用性の3つの観点から総合的に達成度を判定する予定である。

表-4 第3次下水道技術五箇年計画の技術開発要素

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

5. おわりに

本調査では、第3次技術計画策定後の施策・社会情勢の動きをレビューするとともに、本計画の評価に向けた準備を行った。平成20年度以降も引き続き本調査を継続し、従来の下水道技術五箇年計画の改善点を明らかにした上で、長期的な視野に立った新しい技術戦略の策定作業を進める予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省下水道部、(社)日本下水道協会：下水道政策研究委員会・下水道中長期ビジョン小委員会報告書 下水道ビジョン2100、2005
- 2) 国土交通省：技術が支える明日の暮らし 国土交通省技術基本計画、2003
- 3) 社会資本整備審議会都市計画・歴史的風土分科会下水道小委員会：社会資本整備審議会都市計画・歴史的風土分科会第10回都市計画部会配付資料、
国土交通省ホームページ：http://www.mlit.go.jp/singikai/infra/city_history/city_planning/10/city_planning_.html

4. 全国事業量等に関するアセットマネジメント導入検討調査

下水道研究室 室長 榊原 隆
主任研究官 松宮 洋介
研究官 深谷 渉
研究官 福田 康雄

1. はじめに

下水道整備の推進に伴い、今や管路施設のストックは膨大な量となっており、我が国の管渠総延長は、2005 年度末時点で約 39 万 km にも達する状況になっている¹⁾。そのため、管路施設に対する適切な管理は、国民への良質社会資本サービスの確保や維持の上で極めて重要な課題になっている。

国土交通省では、平成 20 年度に下水道長寿命化支援制度²⁾を創設することで、ライフサイクルコスト最小化等を考慮した計画的な改築を推進している。さらに、増大する下水道資産の適正な管理や下水道サービスの安定を確保するため、施設の延命化や改築更新投資の平準化等、下水道施設建設・管理・改築更新を体系的に捉えた取組みも求めている³⁾。

本調査は、管路施設におけるアセットマネジメントの導入に向けて、マクロ的な視点から検討していくことを目的としている。2007 年度は、2006 年度と同様に改築延長、管理残存延長についてアンケート調査を実施した。本研究では、2007 年度のアンケート結果を用いて全国的な管渠改築事業の実態および特性を明らかにし、アセットマネジメント導入に向けた基礎的検討を実施した。以下にその内容を示す。

2. 全国アンケート調査

2.1 調査方法

調査対象は、2006 年度調査と同様に、下水道事業を実施中または実施済みの全国すべての都道府県、政令指定都市および市町村とした。調査内容は 2006 年度末を基点にして、下記の項目を管種別にアンケート調査した。管種は、ヒューム管、鉄筋コンクリート管を含むコンクリート管、陶管、塩ビ管、更生管、その他に分類した。

- ① 布設年度別の管理残存延長
- ② 布設年度別の改築（または廃止）された延長
- ③ 布設年度別のスパン単位で修繕された延長
- ④ 2006 年度に新設した延長
- ⑤ 2006 年度に改築した延長
- ⑥ 2006 年度にスパン単位で修繕した延長

これらをまとめたアンケート調書を表-1 に示す。この表を用いると、例えば、昭和 52 年に布設されたコンクリート管の 2005 年度末管理残存延長は 4,220 (=4,190+30) となり、2005 年度末の総管理残存延長は 116,010 (=115,485+375+150)、2006 年度末の総管理残存延長は 122,805 (115,485+6,800+370+150)、2006 年度末の廃止延長は 5 (=375 - 370) ということが求められることができる。したがって本研究では、これらのデータを用いることによって全国的な管渠改築事業の実態および特性をとりまとめた。

表-1 アンケート調査

布設年度		管理残存延長 (単位m 整数) (H18年度末時点)						改築(または廃止)された延長 (単位m 整数) (H18年度発注工事)						修繕されたスパン延長 (単位m 整数)* (H18年度発注工事)						
西暦	和暦	コンクリート管	陶管	塩ビ管	更生管 (改築) (修繕)		その他	コンクリート管	陶管	塩ビ管	更生管 (改築) (修繕)		その他	コンクリート管	陶管	塩ビ管	更生管 (改築) (修繕)		その他	
不明	不明	7,913	6,844	1,775			3,356	20	20				20							
1905	明治38年																			
1955	昭和30年																			
1977	昭和52年	4,190	838				30	30	90											
1978	昭和53年	8,625	1,725				65	60	75					20						
1979	昭和54年	4,350	870				240								45					
1980	昭和55年	9,865	1,973				220							30						
1981	昭和56年	13,550	2,710				30							25						
1982	昭和57年	7,865	1,573	3,146						30										
1983	昭和58年	12,650	2,530	10,120																
2005	平成17年	898		7,184	240	110														
	計	69,906	19,063	22,225	240	110	3,941	110	185	60	0	0	20	75	75	0	0	0	0	
		上記管理残存延長計					115,485	上記改築(または廃止)延長計					375	上記修繕延長計					150	
布設年度		新設延長 (単位m 整数) (H18年度発注工事)						改築延長 (単位m 整数) (H18年度発注工事)						修繕延長 (単位m 整数) (H18年度発注工事)						
西暦	和暦	コンクリート管	陶管	塩ビ管	更生管 (改築)	更生管 (修繕)	その他	コンクリート管	陶管	塩ビ管	更生管 (改築)	更生管 (修繕)	その他	更生管(修繕)						
2006	平成18年	600		6,200				150		90	130			修繕延長計						150
		上記新設延長計					6,800	上記改築延長計					370							

2.2 アンケート回収結果

アンケート調査は、1,598 団体（市町村，都道府県の流域事務所および一部事務組合）から回答を得た。表-2 に全国の布設年度別集計結果を示す。

表-2 全国布設年度別集計結果

布設年度 (西暦)	管齢	合計(m)			布設年度 (西暦)	管齢	合計(m)			布設年度 (西暦)	管齢	合計(m)			
		残存延長	改築延長	修繕延長			残存延長	改築延長	修繕延長			残存延長	改築延長	修繕延長	
不明	-	18,769,941	103,439	5,106	1939	67	52,368	2,230	0	1974	32	4,560,509	10,275	1,228	
1905	101	0	0	0	1940	66	110,871	3,917	104	1975	31	4,233,099	4,076	1,287	
1906	100	340	0	0	1941	65	50,206	1,029	0	1976	30	4,291,276	4,697	765	
1907	99	0	0	0	1942	64	19,569	0	0	1977	29	4,960,789	5,584	247	
1908	98	307	0	0	1943	63	10,128	0	0	1978	28	6,039,640	4,298	416	
1909	97	926	0	0	1944	62	6,701	14	0	1979	27	6,360,393	7,698	323	
1910	96	2,518	0	0	1945	61	37,050	301	0	1980	26	6,445,786	3,631	258	
1911	95	1,529	0	0	1946	60	11,016	209	0	1981	25	7,011,422	4,347	141	
1912	94	1,739	0	0	1947	59	10,384	717	0	1982	24	7,505,275	3,885	241	
1913	93	92	0	0	1948	58	14,691	0	0	1983	23	7,778,181	4,282	351	
1914	92	6,749	0	0	1949	57	48,030	831	0	1984	22	8,093,164	2,787	587	
1915	91	27	0	0	1950	56	301,538	7,856	0	1985	21	8,618,809	2,556	66	
1916	90	88	0	0	1951	55	133,971	1,636	0	1986	20	9,329,234	4,733	80	
1917	89	140	0	0	1952	54	193,790	2,359	0	1987	19	10,634,423	4,662	833	
1918	88	148	41	0	1953	53	259,237	6,193	0	1988	18	11,116,408	3,737	948	
1919	87	1,393	65	0	1954	52	232,739	3,200	0	1989	17	12,433,748	2,367	591	
1920	86	178	0	0	1955	51	370,038	7,806	256	1990	16	11,479,547	2,165	375	
1921	85	408	0	0	1956	50	381,204	7,171	0	1991	15	10,981,168	1,061	200	
1922	84	21,467	371	0	1957	49	427,219	8,335	3	1992	14	11,572,554	991	213	
1923	83	8,475	159	0	1958	48	505,720	5,570	85	1993	13	13,227,743	1,628	194	
1924	82	18,107	811	0	1959	47	482,140	4,551	30	1994	12	12,475,871	2,019	152	
1925	81	55,666	104	0	1960	46	843,040	8,351	1,448	1995	11	13,956,777	3,555	58	
1926	80	128,887	2,428	0	1961	45	726,109	6,525	169	1996	10	13,665,022	2,453	198	
1927	79	55,598	2,633	0	1962	44	1,441,855	7,723	966	1997	9	13,517,076	4,446	585	
1928	78	70,597	1,909	0	1963	43	1,025,272	2,945	438	1998	8	15,780,525	3,339	219	
1929	77	95,784	1,196	0	1964	42	1,376,271	6,410	174	1999	7	15,419,459	2,883	0	
1930	76	156,714	2,664	54	1965	41	1,528,123	10,983	350	2000	6	15,171,636	1,441	126	
1931	75	99,251	4,204	0	1966	40	1,855,492	10,441	738	2001	5	13,978,614	1,499	80	
1932	74	110,420	4,350	0	1967	39	2,042,324	7,726	403	2002	4	13,120,581	896	999	
1933	73	164,901	3,499	0	1968	38	2,424,222	5,784	117	2003	3	12,259,016	826	685	
1934	72	189,326	5,231	0	1969	37	2,655,391	9,251	2,284	2004	2	11,360,563	2,333	1,568	
1935	71	184,519	6,798	0	1970	36	3,355,378	8,769	880	2005	1	9,945,057	4,249	1,646	
1936	70	152,869	3,319	0	1971	35	4,152,749	9,319	2,323	2006	0	9,495,939			
1937	69	237,851	4,619	0	1972	34	4,638,859	8,792	2,879	H18年(2006)まで合計			393,835,875		
1938	68	60,945	373	0	1973	33	4,694,976	9,831	547	H17年(2005)まで合計			384,339,936	434,387	35,014

3. 結果および考察

3.1 管理残存延長と改築された延長の実態

図-1に2006年度末時点での管理残存延長と2006年度に改築された延長を布設年度ごとに示す。残存延長に着目すると、1960年度を基点に増加傾向となり1998年度では最大延長15,780kmとなった。この結果は、我が国の下水道の普及率が1960年代から急速に伸びている¹⁾という特性に符合している。

また布設年度が不明な管渠を除いて、布設経過年数30年以上(1976年度)と30年未満(1977年度)で管理残存延長を区別すると、30年以上が51,332km、30年未満が323,734kmとなり、30年未満の管渠が多い状況であった。

一方、2006年度に改築された管渠延長は、改築延長のピークが1920年代後半から30年代後半までのグループと50年代以降のグループに分かれる状況になった。なお、改築された管渠延長は434kmとなり、管理残存総延長393,836kmの0.1%を占める結果となった。

3.2 布設年度と管種別管理残存延長の関係

図-1の管理残存延長を管種別に整理した結果を図-2に示す。1989年度まではコンクリート管の単年度ごとの管理残存延長が多く占め、その延長は5,884kmであった。それ以降の布設年度になるとコンクリート管が急速に減少し、その代わり塩ビ管の単年度ごとの管理残存延長が伸びる傾向となった。1990年度には、コンクリート管と塩ビ管の延長が逆転し、塩ビ管の最大延長は、1999年度で11,762kmであった。この結果、2006年度末時点で布設されている管渠において、16年以上経過している管渠は、コンクリート管が最も多く占めており、経過年数が16年未満の管渠は、塩ビ管が最も多く占めていることが把握できた。

3.3 布設年代ごとの改築率

布設年代ごとの改築率を把握するため、布設経過年数を10年単位にグループ化し、改築率を算出した。図-3にその結果を示す。なお、改築率は、以下の式により算出した。

図-3によると、布設経過年数が51年から80

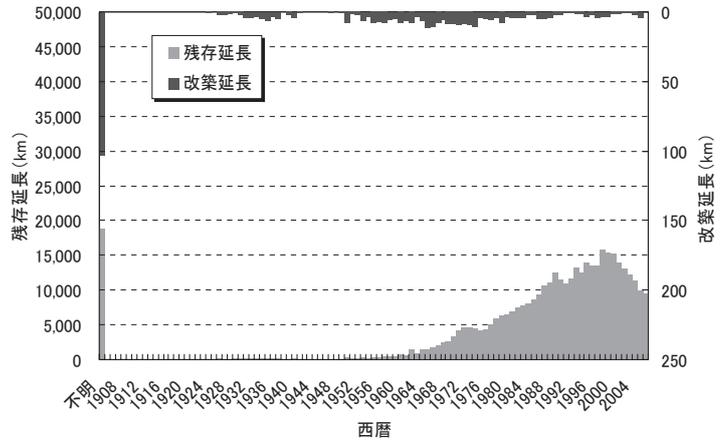


図-1 布設年度ごとの管理残存延長および改築延長

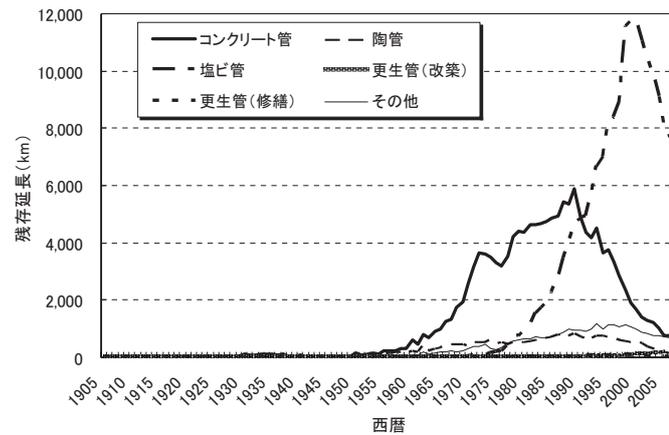


図-2 布設年度ごとの管種別管理残存延長

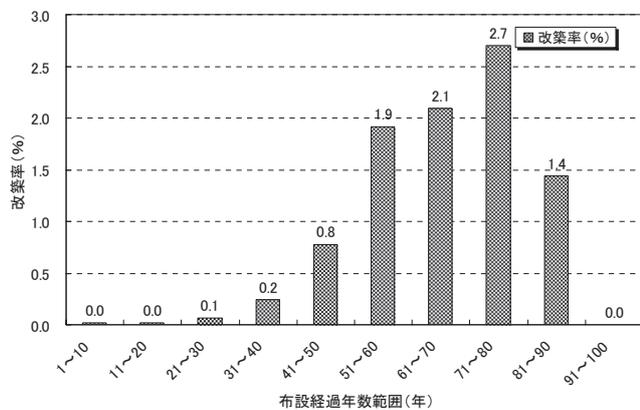


図-3 布設年代ごとの改築率

年までの場合、改築率は 1.9%から 2.7%である。一方、50 年以下では 0.8%以下の改築率であり、布設年数が 50 年を経過した場合に改築率が高くなる傾向が把握できた。また布設経過年数 71 年から 80 年までの場合、改築率 2.7%で最大となった。

改築率： $L_{10} = N_{10} \div (M_{10} + N_{10} + O_{10})$
L_{10} ：経過年数 10 年単位での改築率 (%)
M_{10} ：経過年数 10 年単位での残存延長 (m)
N_{10} ：経過年数 10 年単位での改築延長 (m)
O_{10} ：経過年数 10 年単位での修繕延長 (m)

3.4 改築前後の管種変更傾向

図-4 に 2006 年度で改築される前の管種割合、図-5 に同年度で改築された後の管種割合を示す。なお、改築される前の管渠については、図-3 より改築率が高い傾向にある布設経過年数 50 年以上を対象とした。図-4 および図-5 によると、改築される前において 98%を占めていたコンクリート管や陶管は、改築実施後には更生管や塩ビ管に管種変更されていることが推察できた。

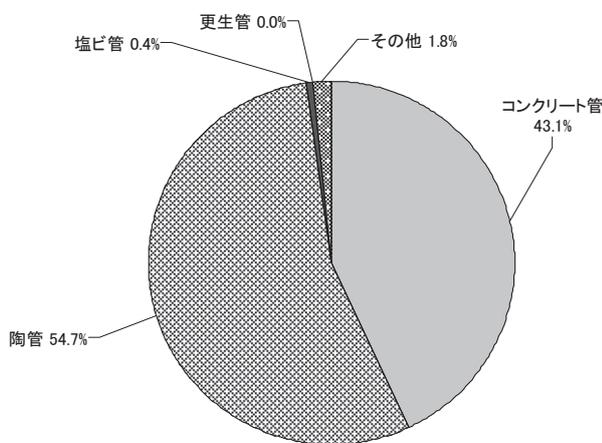


図-4 改築される前の管種割合

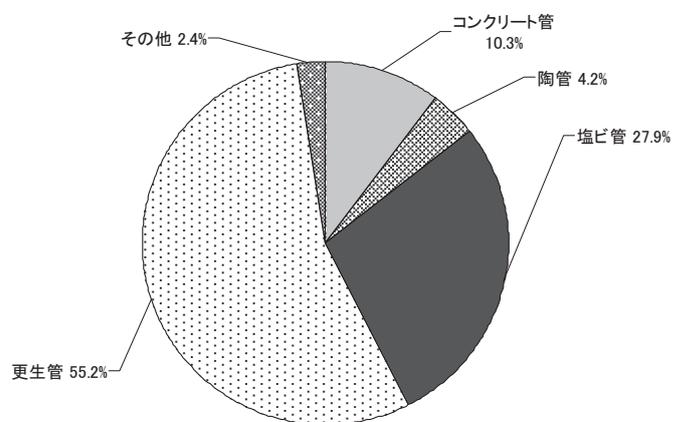


図-5 改築された後の管種割合

4. まとめ

本研究の結果、以下の知見を得ることができた。

- ① 2006 年度末時点での残存延長は、1960 年を基点に増加傾向となり 1998 年度で最大延長 15,780km となった。
- ② 2006 年度に改築された管渠延長は、管理残存総延長の 0.1%を占めた。
- ③ 管種別残存延長で布設経過年数が 16 年以上（1990 年度以前）の場合はコンクリート管、16 年未満（1991 年以降）は塩ビ管が多く占めていた。
- ④ 布設年数が 50 年を経過した場合、改築率が高くなり、71 年から 80 年において改築率は 2.7%で最大となった。

なお、本研究で実施した管渠改築に関するアンケート調査は、平成 20 年度からの「下水道管渠におけるストックマネジメント導入に関する検討調査」において継続する。

【謝辞】 本研究にあたり、多大なご協力を頂いた地方公共団体の皆様に深く謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 社団法人 日本下水道協会：日本の下水道（平成 18 年），平成 18 年 12 月
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成 20 年度下水道事業関係予算概算，平成 20 年 1 月
- 3) 国土交通省都市・地域整備局下水道部，社団法人日本下水道協会：下水道政策委員会計画小委員会報告書 下水道中期ビジョン ～「循環のみち」の実現に向けた 10 年間の取り組み～，平成 19 年 6 月

5. 下水道に起因する道路陥没の社会的影響調査

下水道研究室 室長 榊原 隆
主任研究官 松宮 洋介
研究官 深谷 涉
研究官 福田 康雄

1. はじめに

昭和 40 年以降、我が国の下水道事業は各地で急速に整備が進められ、今や全国の管渠総延長は、平成 17 年度末時点で約 39 万 km にも達する状況になっている。しかしながら近年では、長期間使用による管路施設の老朽化が顕在化し、そのストック量も増大する傾向になっている。また、それらの施設に起因した道路陥没は年々増加しており、将来の維持管理に向けた下水道事業に大きな危惧を与えている。

道路陥没は、大規模な管渠破損までに至ると、下水の収集や排除といった下水道システムに支障をきたすだけでなく、人命や交通機能に重大な影響を及ぼすおそれがあり、社会的影響は大きいことが予想される。

国土交通省では、平成 18 年度から鉄道軌道下、国道・都道府県道下などの重要路線下を中心とした下水管路の損傷状況に関する点検等調査¹⁾を実施するとともに、平成 20 年度には下水道長寿命化支援制度²⁾を創設することによって、ライフサイクルコスト最小化等を考慮した計画的な改築を推進している。さらに今後の厳しい財政制約の下、増大する下水道資産を適正管理し、下水道サービスを安定的に確保するために、施設の延命化や改築更新投資の平準化等、下水道施設建設・管理・改築更新を体系的に捉えた取組みも求めている³⁾。

本調査は、全国で発生した下水管に起因する道路陥没実態を全国調査によって把握し、道路陥没が及ぼす社会的影響を明らかにすることを目的として、平成 19 年度から実施している。平成 19 年度は、平成 18 年度内で発生した道路陥没実態に関する全国調査を実施し、陥没原因施設ごとの発生状況や陥没規模等を分析した。また、陥没特性を把握することでストックマネジメント計画に向けて利用可能な陥没頻度予測式を提案し、さらに道路陥没がもたらす社会的影響度の金銭化に向けた基礎調査を実施した。以下にその内容を示す。

表-1 主な実態調査項目

調査項目	記入内容または選択肢
発見日時	(記入内容) 当該道路陥没の発見日時(月・日・時)
布設年度	(記入内容) 当該管渠の布設年度(西暦)
原因施設	道路陥没の原因となった施設 (選択肢) ①本管、②取付管、③人孔、④柵、⑤本管と人孔の接続部、⑥本管と取付管の接続部、⑦取付管と人孔の接続部、⑧取付管と柵の接続部
緊急点検調査対象の有無	平成18年9月12日付け事務連絡「下水道管路施設の損傷状況に関する緊急点検及び対策の実施について」による調査対象スパンの可否
陥没レベル	(選択肢) ①Level I ②Level II ③Level III
仮埋め所要時間	(記入内容) 原因施設の調査・修理をする前に、土砂・アスファルトを入れて、通行できるようにする作業(「仮埋め」)に要した概算時間
本復旧工事所要時間	(記入内容) 埋戻し土を掘り返して、原因施設の特定とともに、原因施設を交換する作業(「復旧工事」)に要した概算時間
工事費用	(記入内容) 「仮埋め」及び「復旧工事」の概算合計工事費用(舗装工を含む) 直営工事であるときは直営と記入
通行止め状況	通行止めが発生した場合の対応状況 (選択肢) ①全面、②片側

2. 全国実態調査

2.1 調査方法

実態調査の範囲は、平成 18 年度内(平成 18 年 4 月 1 日～19 年 3 月 31 日)に発生した下水管に起因する道路陥没を対象とし、下水道事業を実施中または実施済みの全国すべての都道

府県、政令指定都市及び市町村に対して実施した。表-1 に主な実態調査項目、表-2 に陥没レベルの定義を示す。

表-2 陥没レベルの定義

Level I	Level II	Level III
管が破損していない場合において 陥没幅10cm未満 または 陥没深10cm未満	管が破損していない場合において 陥没幅10cm以上かつ 陥没深10cm以上	管が破損している場合 (陥没規模は不問)

2.2 結果および考察

平成 18 年度に全国で発生した道路陥没は 4,411 件であった。以下に布設経過年数、陥没発生月、陥没レベルと陥没件数の関係を原因施設ごとに分析した結果を示す。

なお原因施設は、表-1 で示した 8 つの選択肢から下記のように分類した。このため陥没件数は重複計上される。

(本管関連)	= (本管) + (本管と人孔の接続部) + (本管と取付管の接続部)
(取付管関連)	= (取付管) + (本管と取付管の接続部) + (取付管と人孔の接続部) + (取付管と柵の接続部)
(人孔関連)	= (人孔) + (本管と人孔の接続部) + (取付管と人孔の接続部)
(柵関連)	= (柵) + (取付管と柵の接続部)

(1) 本管布設経過年数と陥没件数の関係

図-1 に本管布設経過年数の範囲ごとの陥没件数、図-2 に本管布設経過年数範囲ごとの管渠延長および管渠延長 100km あたりの陥没件数を示す。なお、本管に接しない柵等での陥没についても、当該柵等の先にある本管の布設経過年数に基づき布設経過年数範囲ごとの陥没件数をカウントした。

図-1 に着目すると、本管の布設経過年数が 20 年以上経過している場合、取付管関連は他の原因施設に比べて、陥没件数が多いことが明らかになった。また 40 年から 49 年までの範囲は、全ての原因施設において減少傾向が確認された。これは、図-2 の管渠延長 100 km あたりの陥没件数をみると、すべての原因施設が本管の布設経過年数の増加に対して、陥没件数も増加していることから、40 年から 49 年までの場合、管渠延長が少ないことが陥没件数の減少に影響していることが一因であると推察された。

なお、陥没発生した原因施設に関連する本管の布設経過年数ごとの管渠延長は、自治体に対し実施した別途調査の結果を使用した。

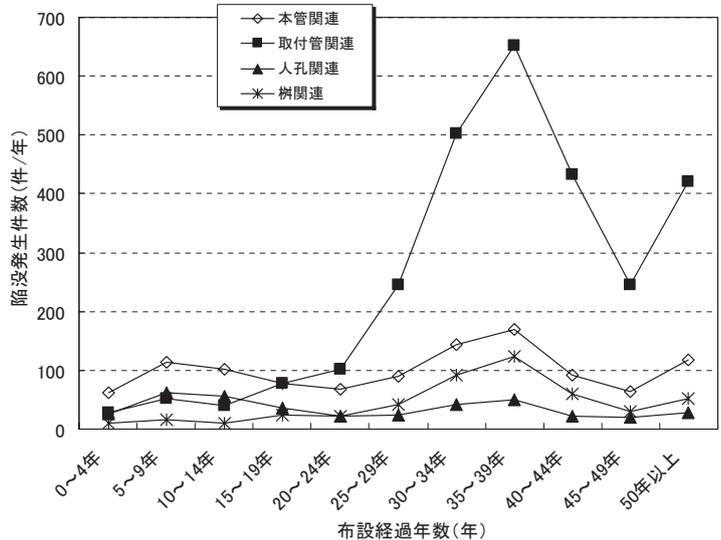


図-1 本管布設経過年数ごとの陥没件数

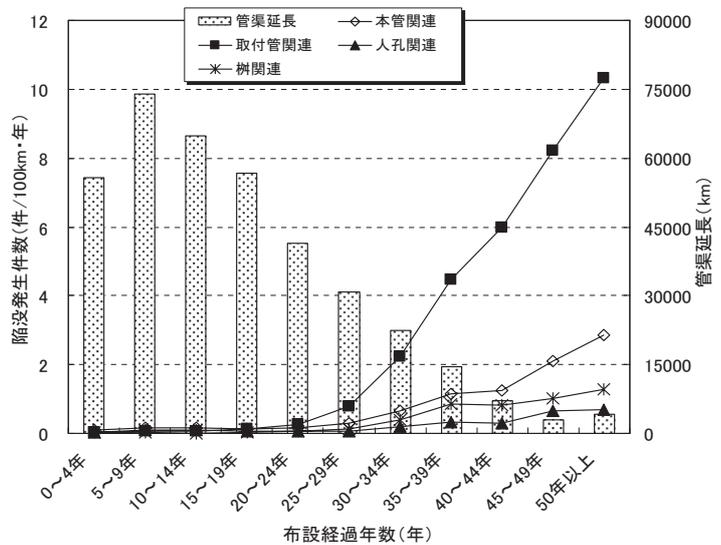


図-2 本管布設経過年数ごとの管渠延長および 100km あたりの陥没件数

(2) 陥没発生月と陥没件数の関係

図-3に陥没発生月ごとの陥没件数を示す。

本管、取付管、樹関連は、6月から8月にかけて陥没件数が増加しており、比較的気温が高い時期に陥没件数の増加傾向が確認された。特に取付管関連施設は、他の関連施設よりもこの傾向が強くなっていた。そのため、原因施設を取付管と限定して、気象条件と陥没件数との関係をさらに把握することを目的として、比較的件数が多いA、B、Cの3都市における月別平均気温を用いて、取付管関連の陥没件数との関連性を図-4に整理した。

この結果、決定係数をみるとA都市では0.67、B都市では0.86、C都市0.87となっており、このことによって平均気温と取付管関連の陥没件数は関連があることが示された。

(3) 陥没レベル別の陥没件数

図-5に陥没レベルごとの陥没件数を示す。

本管関連は、どのレベルでも400件前後であった。取付管関連は陥没レベルが上がるほど陥没件数も増加傾向となっており、レベルⅢの取付管関連の件数は、1,629件になった。これは、取付管関連で発生した全体陥没件数3,009件のうち約54%を占める状況であり、取付管関連で発生した陥没は、半数以上が管渠破損を伴っていることが把握できた。また人孔と樹関連施設での陥没は、レベルⅡおよびレベルⅢの件数に比べてレベルⅠの方が多くなる傾向を示した。

3. 陥没データを用いたストックマネジメント計画に関する検討

道路陥没は、社会、経済的に大きな問題を引き起こす可能性があるため、その防止、影響把握がストックマネジメント計画において重要となる。大阪市においても施工後経過年数と陥没発生頻度(件/km・年)を関数化し、管渠再構築事業の効率的実施に役立てる取組みが検討されている⁴⁾。

ここでは各自治体で、このような検討に活用できるように、全国で発生した陥没件数を本管の布設経過年数別に整理して陥没発生頻度(件

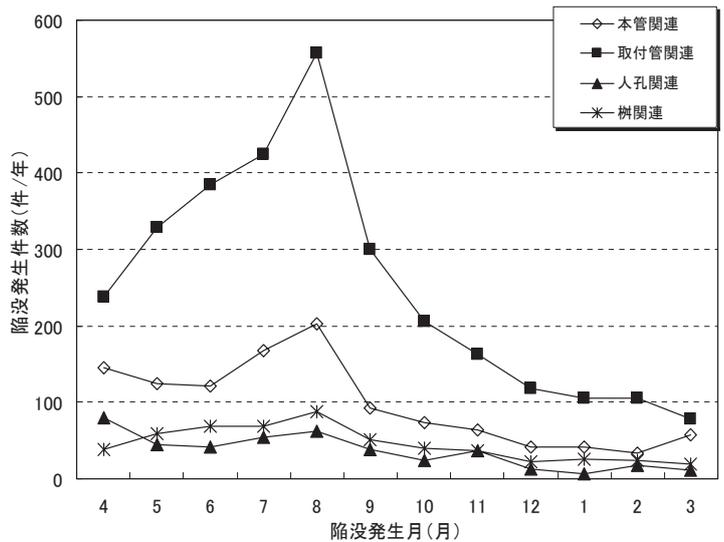


図-3 陥没発生月ごとの陥没件数

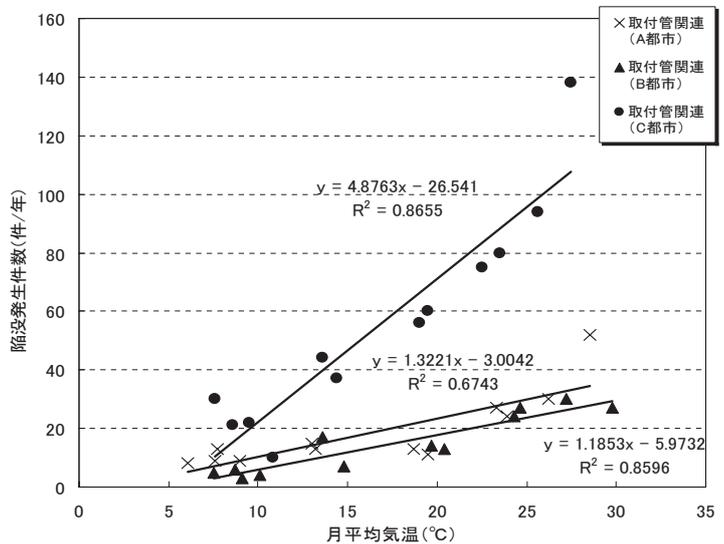


図-4 都市別月平均気温と陥没件数の関係

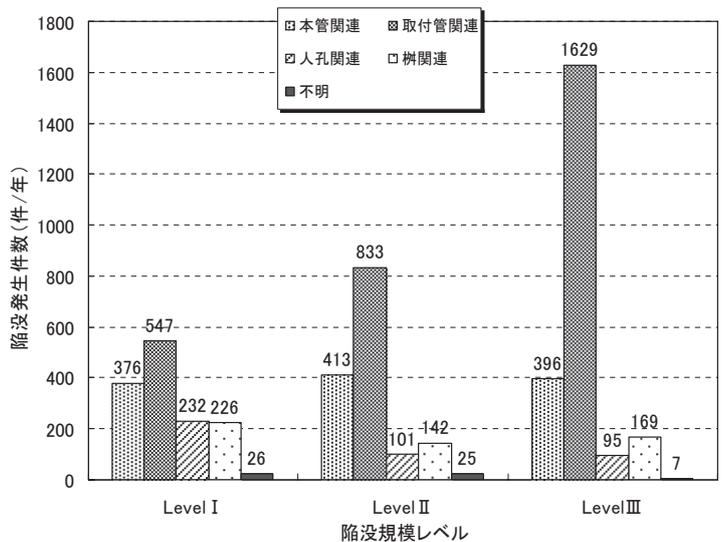


図-5 陥没規模レベルごとの陥没件数

/100km・年)を算出した。なお、陥没発生頻度の算出に際して用いた管渠延長は、自治体に対して実施した別途調査の結果を使用した。

またストックマネジメント計画に際しては、社会的影響からみて優先度の高い箇所等を優先し、計画的に点検・調査を実施していくことが求められている⁵⁾。

本調査は、道路陥没がもたらす社会的影響度を金銭化することによって優先度を見極める手法を検討している。本研究では、金銭化のための基礎調査を実施した。

3.1 陥没発生頻度の算出

図-6に本管布設経過年数75年までにおける原因施設ごとの陥没発生頻度と本管の布設経過年数の関係を示す。

指数近似式の決定係数に着目すると、本管関連が0.87、取付管関連が0.86、人孔関連が0.71、柵関連が0.83となっており、決定係数の高さから原因施設ごとの陥没発生頻度と本管の布設経過年数は、指数関数に關係することが確認できた。次に本管の布設経過年数が30年経過した後の近似曲線を見ると、原因施設ごとの差異が示された。特に取付管は、他の原因施設よりも顕著な傾向が把握できた。この結果、ストックマネジメント計画時は、原因施設ごとに将来の陥没発生頻度を予測して評価するのが効果的であることが示唆された。以下に原因施設ごとの陥没頻度予測式を示す。

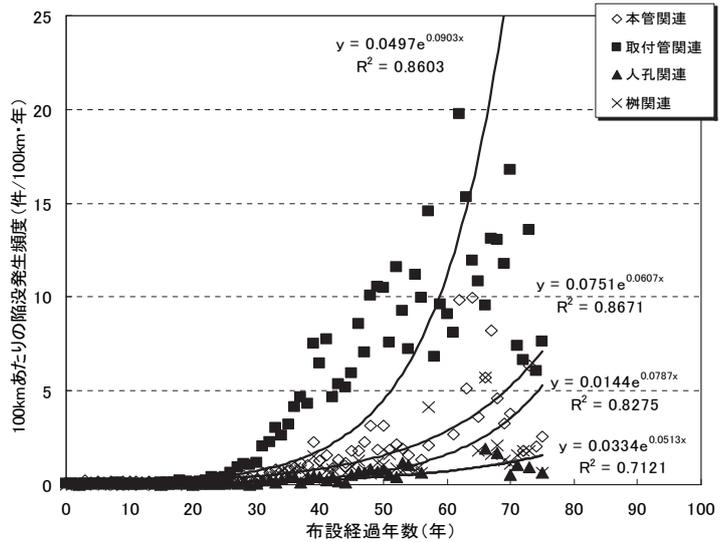


図-6 布設経過年数と管渠100kmあたりの陥没件数の関係

本管関連	: $y=0.0751e^{0.0607x}$	取付管関連	: $y=0.0497e^{0.0903x}$
人孔関連	: $y=0.0334e^{0.0513x}$	柵関連	: $y=0.0144e^{0.0787x}$

3.2 道路陥没がもたらす社会的影響の金銭化に向けた基本条件の検討

社会的影響の金銭化を行うためには、施設等の被害額(復旧費)、人的損害額、下水道サービスの営業停止損失額、交通途絶による波及被害額等の項目などを試算する必要がある。これらの試算を厳密に行うためには、管渠の埋設条件や周辺環境、陥没による被害状況等を考慮に入れて予測する必要がある。しかしながら、これらの管渠スパン一本ごとに厳密に被害を予測することは膨大な労力を要する。そこで、金銭化作業を効率化することを目的に、社会的影響の傾向を把握するための実態調査を実施した。

図-7に道路通行止めの状況、図-8に原因施設ごとの仮埋めの平均および最大所要時間、図-9に原因施設ごとの本復旧の平均および最大所要時間、図-10に仮埋め・本復旧工事の平均および最大工事費用額の実態を示す。

図-7より陥没時に発生する道路通行止めは、どの原因施設も「片側」が最も多い状況となり、金銭化に向けては「片側」を優先的に検討する必要があると確認できた。

図-8より平均での仮埋め所要時間は、本管関連で1.8時間、取付管関連で1.3時間、人孔関連で1.8時間、柵関連で0.8時間であった。図-9より平均での本復旧所要時間は、本管関連で16.1時間、取付管関連で10.8時間、人孔関連で14.4時間、柵関連で7.5時間であった。図-10より平均での工事費は、本管関連で44.9万円、取付

管関連で26.5万円、人孔関連で32万円、柵関連で19.5万円であった。この結果、仮埋め、本復旧ともに平均所要時間は、原因施設ごとに異なる傾向となり、平均工事費も同様の傾向を示した。さらに平均所要時間と平均工事費を比較すると、仮埋め、本復旧ともに、原因施設の規模が大きい施設ほど所要時間も大きくなり工事費も高くなる傾向を示した。したがって、社会的影響の金銭化を試算する際には、これらの傾向を活かして原因施設ごとの所要時間および工事費を設定して評価を行うことが重要である。

なお本調査結果では、復旧時間の平均値と最大値で乖離があり、今後は所要時間および工事費等の調査データをさらに蓄積し、検討を進めていくことが必要である。

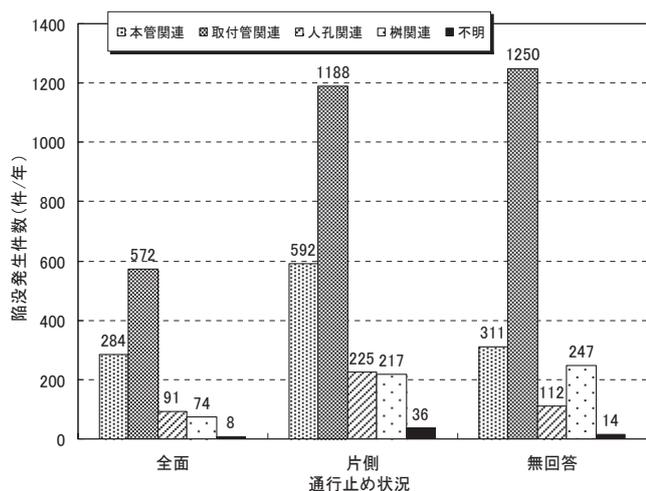


図-7 通行止め状況と陥没件数の関係

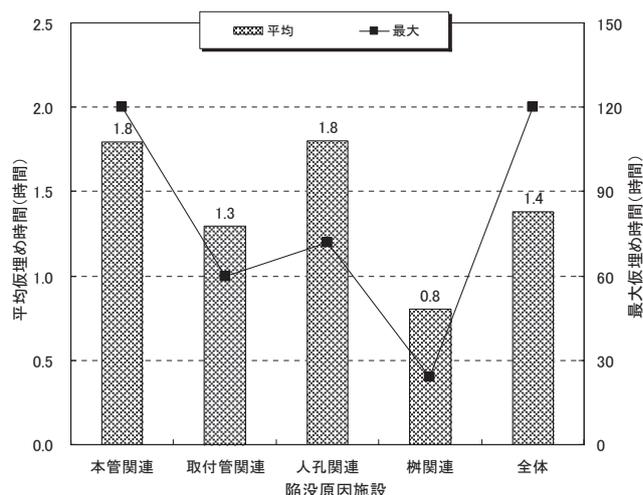


図-8 原因施設ごとの平均および最大仮埋め時間

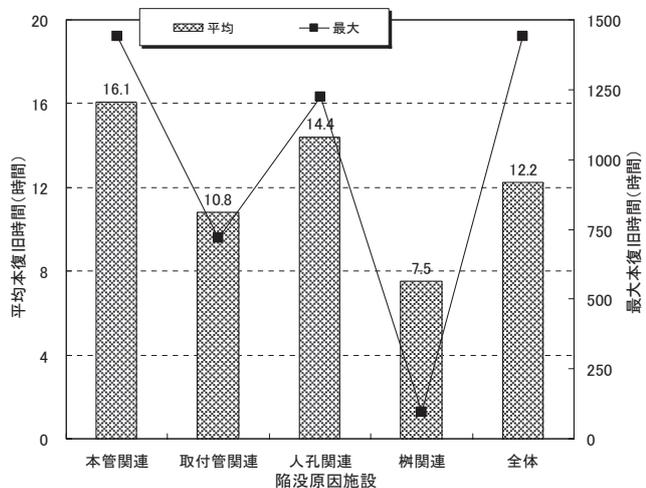


図-9 原因施設ごとの平均および最大本復旧時間

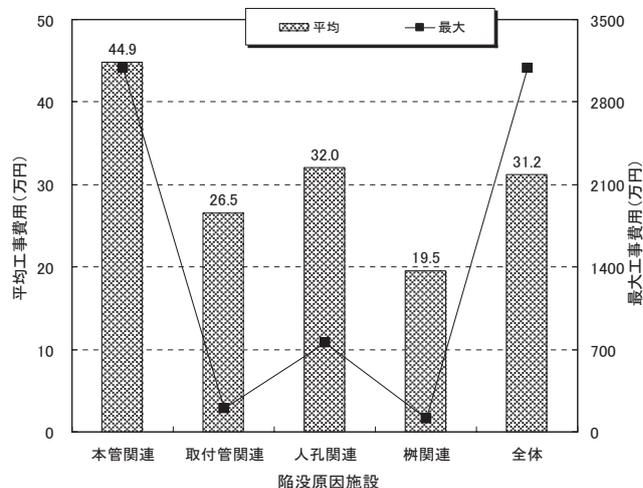


図-10 原因施設ごとの平均および最大工事費

4. まとめ

本研究の結果、以下の知見を得ることができた。

- ① 本管の布設経過年数が 25 年以上経過している場合、取付管関連は、他の施設に比べて陥没が発生しやすいことが確認できた。
- ② 複数都市を事例として、月別平均気温と陥没件数の関係を整理すると、決定係数が 0.67～0.87 となっており関連性が示された。
- ③ 取付管関連で陥没が発生した場合、半数以上が管渠破損を伴っていることが把握できた。
- ④ 原因施設ごとの陥没発生頻度と本管の布設経過年数の関係は、指数近似式で表現でき、その決定係数が高かった (0.71～0.87)。
- ⑤ 仮埋めと本復旧平均所要時間、平均工事費は、原因施設ごとに異なる傾向となり、仮埋め、本復旧ともに、原因施設の規模が大きい施設ほど所要時間も長くなり工事費も高くなる傾向を示した。

なお、本研究で実施した下水管に起因する道路陥没実態調査は、平成 20 年度においても引き続き実施する。また道路陥没がもたらす社会的影響度の金銭化についても具体的な試算に向けてさらなる検討を進めていく。

【謝辞】 本研究にあたり、多大なご協力を頂いた地方公共団体の皆様に深く謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部ホームページ：下水管路の損傷状況に関する点検等調査(第4回), 平成 19 年 11 月, http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewage/info/kanro_kousei/20071130.html
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成 20 年度下水道事業関係予算概算, 平成 20 年 1 月
- 3) 国土交通省都市・地域整備局下水道部, 社団法人日本下水道協会：下水道政策委員会計画小委員会報告書 下水道中期ビジョン ～「循環のみち」の実現に向けた 10 年間の取り組み～, 平成 19 年 6 月
- 4) 日本下水道新聞 2007 年 1 月 1 日版：大阪市における管渠再構築事業の効率的実施手法の検討
- 5) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水道事業におけるストックマネジメント検討委員会報告書 下水道事業におけるストックマネジメントの基本的な考え方に関するガイドライン (案), 平成 20 年 3 月

6. 効率的な都市雨水対策の計画手法に関する調査

下水道研究室 室長 榑原 隆
研究官 遠藤 淳
研究官 田本 典秀

1. はじめに

都市における雨水の浸透は、表面流出量の減少による治水上の効果のみならず、合流式下水道雨天時越流水もしくは面源負荷といった降雨に由来する水質汚染の緩和、または、枯渇した湧水の復活に代表される水循環の健全化など多面的な効果が期待されている。この雨水浸透の実績は古く、例えば東京都が1980年代に練馬区などで導入した「雨水流出抑制型下水道」¹⁾や、1981年に住宅公団(当時)が昭島つつじヶ丘ハイツで試みた事例²⁾などが初期の代表的な事例として知られている。これらの実績を通じ、今日、雨水貯留浸透はある程度確立された技術として認知され、技術指針³⁾・マニュアル⁴⁾も整備された。しかし、これらは主に治水または水文学上の効果に関して議論されたものである。雨水浸透に関しては依然として不明な点が多く、これが普及に際しての懸念材料になっているのも現状である。

今後雨水浸透をより一層普及させようとする場合には、メリットだけでなく、懸念材料を併せて議論することで普及によるリスクを限定しておく必要がある。現在下水道分野で雨水浸透に対して抱かれている主な懸念材料は大きく、①「治水上の効果の不確実性」と、②「地下水・土壌などに対する環境影響」の二つに収斂されると思われる。本調査の目的は、これらの懸念材料について、定量的なデータを獲得し、それを明示することにより、雨水浸透の導入に伴うメリットとリスクを明確にしようとするものである。

平成19年度の研究内容として、懸念材料①については、大都市の担当部局に対してアンケート調査を行い、雨水浸透施設の能力に関する経年的なデータを得て、この分析を試みた。一方、懸念材料②に対しては、雨水浸透施設の設置により懸念される土壌・地下水への環境影響を明らかにするため雨水浸透施設を配置したライシメータを製作した。このライシメータに路面排水を模した「人工路面排水」を繰り返し流入させて浸透水の水質データを得た。

2. 雨水浸透施設の経年的な能力変化に関する調査

2.1 調査方法

既往の調査データの収集を目的として、大都市18都市を対象に、浸透能力の経年変化を調査した事例について、平成19年8月にアンケート調査を実施した。その概要は、表-1に示すとおりで、浸透能力の経年変化を調査した施設について、浸透能力経年変化データ、維持管理データ、施設諸元等についてデータ収集を行った。

表-1 アンケート概要

対象	アンケート内容
大都市 18都市	○浸透能力の経年低下に関する調査 ー浸透能力経年調査状況(調査方法・調査年月日・天候・水温・調査結果等) ー維持管理状況(維持管理方法・頻度・状況等) ○浸透施設に関する調査 ー浸透施設の種類(種類、形状、設置年度等) ー施設の設置条件(設置場所、地質、地下水位、周辺の土地利用等) ー浸透能力の評価手法(浸透量算出式、目詰まり等の係数等)

2. 2 調査結果

今回収集した浸透能力の経年変化データのうち、設置当初および供用後ともに浸透能力を測定しているデータについて概要を表-2に示す。浸透ます、浸透トレンチの順に調査箇所数が多く、追跡年数は最大で20年であった。今回のデータは、施設形状が一様でなく、特に浸透ますについては、比較的大規模な施設も含まれることから当初浸透量に大きな幅が見られている。また、特筆すべき事項として、浸透ますについて、ある1都市にて63箇所の追跡調査を20年間実施された事例があった。

表-2 アンケート結果概要

施設名	都市数	箇所数	追跡年数(年)	当初浸透量(l/min)	維持管理頻度(回/年)
浸透ます	6	93	1~20	2~1116	0~1
浸透トレンチ	4	23	1~20	1~119	0~1
浸透側溝	2	2	1~20	15~33	0~1
浸透井	1	2	4~5	185~210	1/3~1/2
透水性舗装	1	1	1	2	0
空隙貯留浸透施設	1	10	1	1~145	0~1

2. 3 経年変化について

表-2のうち、浸透施設として一般的に数多く整備されており、今回の調査でもデータ数が多い、「浸透ます」及び「浸透トレンチ」について調査結果の紹介を行う。今回は、浸透量の異なる施設(形状の異なる施設)について経年変化の傾向把握を行うことから、浸透量を当初浸透量に対する比率(以下、変化率(%))に変換して比較を行った。

浸透ますについて、その変化率の経時変化を図-1に示す。今回データでは、維持管理頻度が異なることもあるが、経年変化は施設ごとに大きくばらついている。また、15年(180ヶ月)、20年(240ヶ月)のデータは同一都市のものであり、維持管理頻度が同じでも経年変化は大きくばらつくことが示されている。

データの傾向を把握するため、指数関数による回帰を行い、その回帰式と決定係数を図-1のグラフ上に合わせて示した。回帰式の相関は非常に低いものの、浸透能力が経年低下していることが示されている。参考までに、この関数によると変化率の経年変化は、1年(12ヶ月)後91%、2年(24ヶ月)後83%、3年(36ヶ月)後75%と算出される。

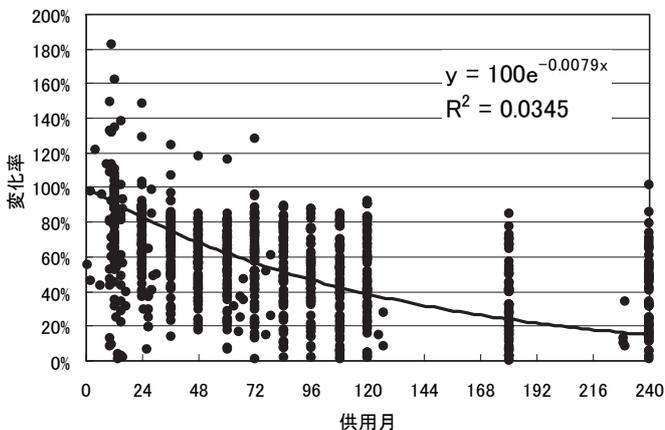


図-1 経時変化(浸透ます)

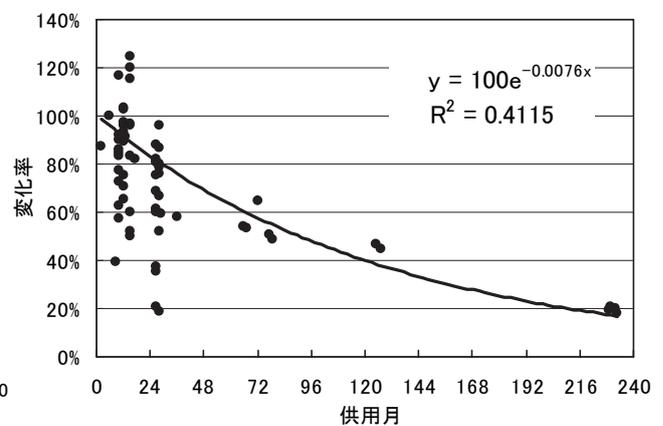


図-2 経時変化(浸透トレンチ)

なお、図示したデータは、維持管理されたものについては、維持管理後のデータであり、当初 10 年間の維持管理頻度は 0.9 回/年であった。また、維持管理とは、高圧洗浄機、吸引洗浄車等を使用した洗浄のことを示している。

つづいて、浸透トレンチについて、その変化率の経時変化を図-2 に示す。同様に、指数関数による回帰を行い、その回帰式と決定係数をグラフ上に合わせて示す。ここでも回帰式の相関は低いものの、浸透能力が経年低下していることが示されている。参考までに、この関数による変化率の経年変化は、1 年（12 ヶ月）後 91%、2 年（24 ヶ月）後 83%、3 年（36 ヶ月）後 76%と算出される。

なお、データは、維持管理したものについては、維持管理後のデータであり、維持管理頻度の平均は 0.7 回/年であった。

2. 4 維持管理の必要性について

浸透ますについて、維持管理しない場合（26 箇所）の変化率の経時変化を図-3 に示す。データについては、維持管理 0 回のデータに加えて、維持管理した施設については、維持管理前のデータを抽出した。

同様に、データの傾向を把握するため、指数関数による回帰を行い、その回帰式と決定係数を図-3 のグラフ上に合わせて示した。回帰式の相関は非常に低いものの、急激に能力低下していることが示されている。参考までに、この関数によると変化率の経年変化は、1 年（12 ヶ月）後 40%、2 年（24 ヶ月）後 16%と算出され、図-1 での値と比較して非常に低い値となっており適切な維持管理の必要性が示されている。

同様に浸透トレンチについて、維持管理しない場合（20 箇所）の変化率の経時変化を図-4 に示す。

回帰式の相関は非常に低いものの急激に能力低下していることが示されている。参考までに、今回の関数によると変化率の経年変化は、1 年（12 ヶ月）後 40%、2 年（24 ヶ月）後 16%と算出され、図-2 での値と比較して非常に低い値となっており適切な維持管理の必要性が示されている。

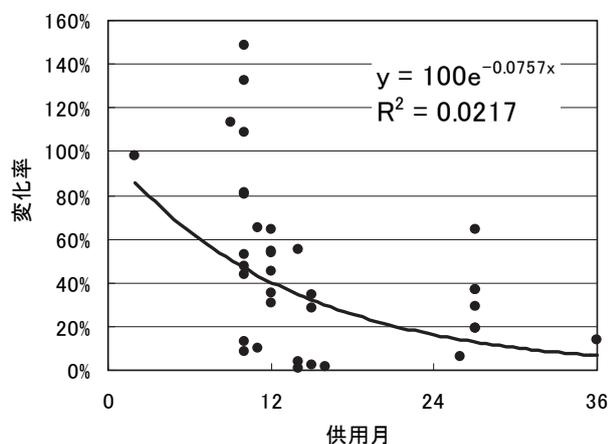


図-3 経時変化(浸透ます 維持管理なし)

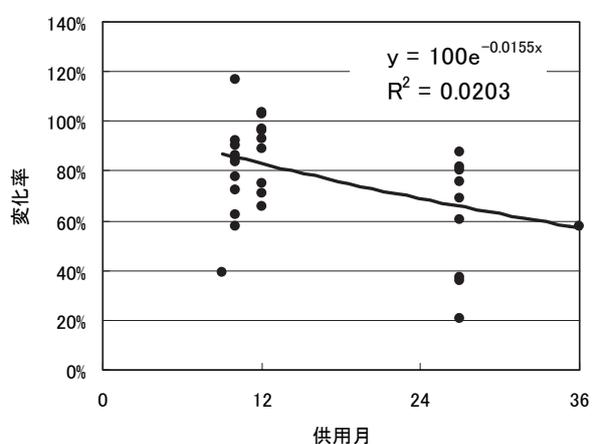


図-4 経時変化(浸透トレンチ 維持管理なし)

2. 5 維持管理効果について

浸透ます及び浸透トレンチについて維持管理前後で浸透能力を調査した事例があり、維持管理前後の変化率を図-5 および図-6 に示す。

浸透ますについては、供用 1 年後の 15 箇所について変化率の平均値が維持管理前 48%から維持管理後 95%に回復し、供用 2 年後の 5 箇所について変化率の平均値が維持管理前 37%から維持管理後 96%と大幅に浸透能力が回復している。

浸透トレンチについては、供用2年後の8箇所について変化率の平均値が清掃前60%から清掃後70%と回復はしているものの、ますと比較するとその大きさは小さい。

この結果から、浸透ますについては、維持管理により浸透能力が大きく回復することが示される。一方、浸透トレンチについては、あまり大きな回復は認められていない。

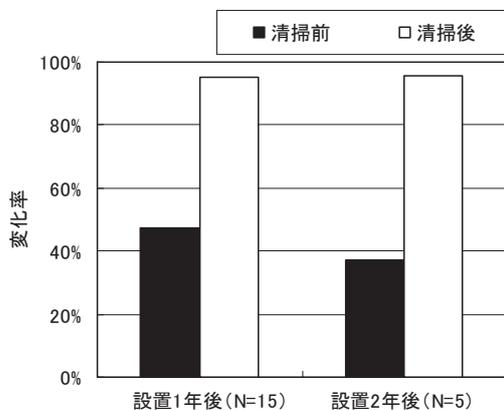


図-5 清掃効果（浸透ます）

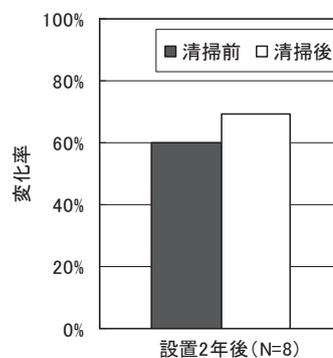


図-6 清掃効果（浸透トレンチ）

2. 6 まとめ

本研究では、アンケートにより雨水浸透施設の浸透能力経年変化について調査を実施したところ、浸透能力の経年低下傾向が示され、適切な維持管理の必要性が指摘された。

また、今回の調査により、データが限られた都市に集中していることが判明しており、今後は、他の都市でも調査を実施することで、広くデータを収集し、比較検討する必要がある。また、図-1で示されているように、個別データは、非常にばらつくことから、浸水対策における効果の定量化においては、雨水流出量のモニタリング等の手法による面的な評価が必要と考えられ、検討を進めて予定である。

3. 浸透施設による地下水・土壌環境への影響

3. 1 実験方法

(1) 実験装置

実験装置は図-7 および写真-1 に示すように、主に、調製タンク、ポンプおよびライシメータから構成される。ライシメータに用いた土壌は、千葉県成田市で採取された関東ロームである。ライシメータは高さ2.0m、直径1.5mの鉄製円筒形とし、内側には金属溶出を防ぐため樹脂によるコーティングを施した。このライシメータに砂、

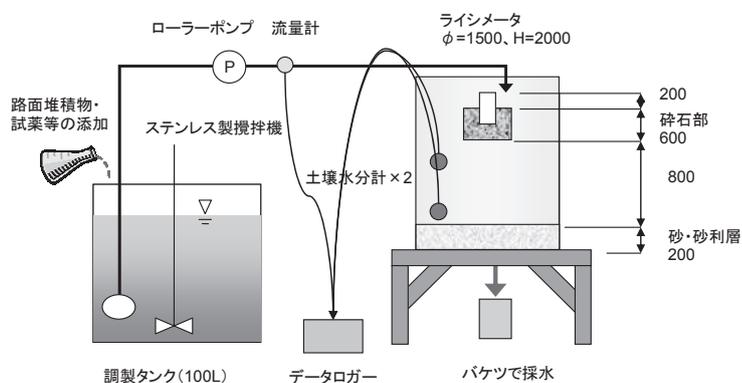


写真-1 製作したライシメータ

表-3 水理学的条件

項目	単位	条件	備考
浸透ますの集水面積 A	m ²	60	道路片側幅員3m×設置間隔20mと仮定
浸透ます形状	直径 D	m	0.2
	湛水深 H	m	0.5
設計降雨強度 R	mm/hr	10	
ますスケール換算係数 a		(1/3) ² = 1/9	実際の浸透ますを直径0.6mと仮定
Rに対応する流入量 Q=a×A×R	L/hr	66.6	
比浸透量 K	m ²	1.73	文献3) より
必要な飽和透水係数 Ko*	cm/s	1.07×10 ⁻³	
実際の飽和透水係数 Ko	cm/s	9.14×10 ⁻⁴	実験開始当初の値

表-4 人工市街地排水の濃度調整

水質項目	SS	TOC	NO ₃ -N	Zn	Cu
目標濃度	50~100 mg/l	7 mg/l	5 mg/l	30 µg/l	2 µg/l
試薬名	路面堆積物	フミン酸Na	硝酸Na	硫酸亜鉛7水和物	硫酸銅5水和物
添加量	10 g	1.8 g	3.0 g	13 mg	0.79 mg

砂利および透水シートを敷いた後、水をかけながら関東ローム 2,870 kg を徐々に充填し、上部に直径 200 mm の浸透ます模型を設置した。浸透ます模型設置後には、定水位法による飽和透水係数の測定を行い、ライシメータの初期の透水性を把握した。

なお、深さ 50~70 cm の位置で土壌を採取し分析した結果、密度および自然含水比はそれぞれ、2.757 g/cm³、97.9%であった。工学上の分類としては、砂質細粒土 (FS) とされた。

(2) 実験条件

実験は、(1) で製作したライシメータに対して、人工的に調製した市街地排水（以下、「人工市街地排水」という）を繰り返し流入させ、流入水およびライシメータを通過して流出した水（以下「流出水」という）の流量と水質を計測することにより行った。実験の繰り返し回数は 30 回、繰り返し間隔（本実験では、ライシメータへの流入開始時刻の間隔とした）は 24 時間、1 回あたりの流入水量を 66.7L と設定した。流量に関する実験条件を表-3 に示す。人工市街地排水は調製タンク内で粒子が沈降しないよう攪拌しながら、ポンプ (EYELA 社製 RP-1000) でライシメータに流入させた。なお、流入水および流出水の流量はそれぞれ、電磁流量計 (KEYENCE 社製 FD-M5)、転倒ます式流量計 (ウイジン社製 UIZ-TB100、1 転倒約 100 ml) を用いて測定した。

ライシメータへ流入させる人工市街地排水は、道路ます内堆積物と、濃度調整のための試薬をタンク内で混合し、表-4 に示される目標水質となるよう調製した。この目標水質は、札幌市内で観測された市街地排水の濃度を参考に設定されたものである。なお、道路ます内堆積物は、つくば市内の商業・住居混合地区内の片側 1 車線の道路にて採取した後、屋内で風乾し、さらに 2mm のふるいで大きなゴミを取り除いたものを用いた。

(3) 水質分析

本実験において、水質分析の対象とした項目は、TOC、陰イオン (F、Cl、NO₂、NO₃、PO₄、SO₄、Br)、重金属 (Al、Mn、Fe、Cu、Zn、Cd) である。これら項目については、加速実験中の奇数回目のサンプルに対し、水質分析を実施した。この他、加速実験の 30 回目に別途流入水と流出水のサンプリングを行い、水道水の水質基準を定めた「水質基準に関する省令」(平成 15 年厚生労働省令第 101 号) に掲げられた項目に関して水質分析を行った。

また、現場で pH、電気伝導度 (EC) および水温を測定した。流入水は、調整タンクで調整した直後に採水し、また流出水はライシメータ直下のタンクに一旦保存したものを採水した後、それぞれ水質分析に供した。いずれ

の採水・水質分析も、実験繰り返し回数と同じ30回実施した。

3. 2 実験結果および考察

(1) 現場測定項目

図-8、9 はそれぞれ pH、EC の変化である。合計 30 回の加速実験中、実験初期に流出水の pH が若干変動したが、各々の値は概ね一定であった。ライシメータを通過した後は、pH は若干酸性側へ変化し、EC はおよそ 7 分の 1 の大きさとなった。図-10 は、実験 1 回あたりの流入および流出量を示したものである。3 回目の実験までは、流出水の水量に変動があったが、その後は概ね流入水と流出水の水量は等しく推移した。

ライシメータの飽和透水係数について示されているのが図-11 である。加速実験の期間中、ほぼ一定値（約 $1.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ）のまま推移し、ほとんど変化が見られなかった。

(2) ライシメータ通過前後の人工市街地排水の濃度変化

1) 陰イオン・TOC

表-5 は、加速実験全体でアンサンブル平均された、流入水および流出水の陰イオン濃度である。F および Br については、見かけ上、ライシメータの通過前後で濃度が大きく変化していない。この F の結果については、濃度が低い領域での測定であったため、流入水・流出水ともにほとんど測定値に変化がなかったものと考えられる。一方、Br については、実験初期に流入水濃度がゼロであったことによるものと考えられる。図-12 は陰イオン濃度の削減率（ $= ((\text{流入濃度}) - (\text{流出濃度})) / (\text{流入濃度}) \times 100$ ）（%）であるが、NO₃、SO₄、Cl について見ると、ライシメータ通過前後で濃度が 7~9 割程度減少したのがわかる。

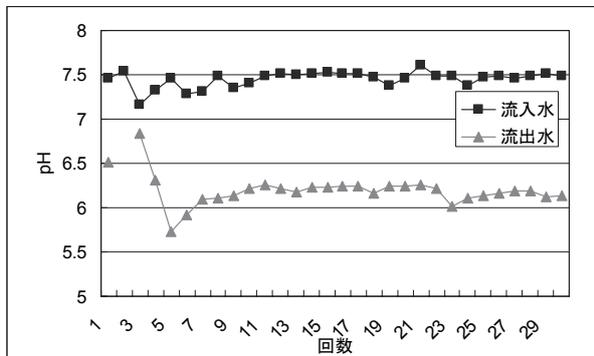


図-8 pH の変化

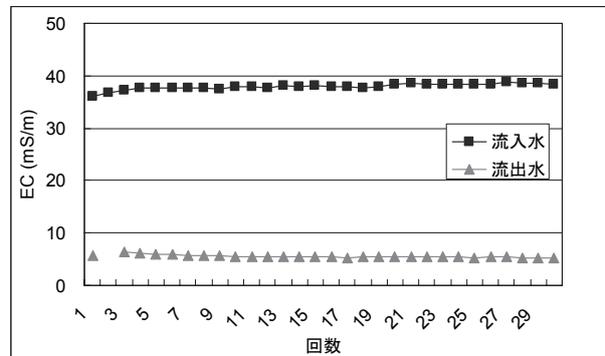


図-9 電気伝導度の変化

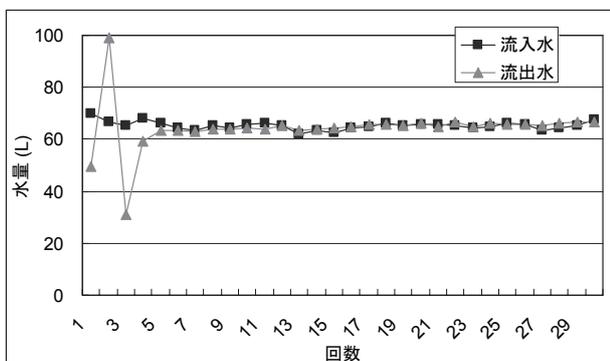


図-10 流入および流出水量の変化

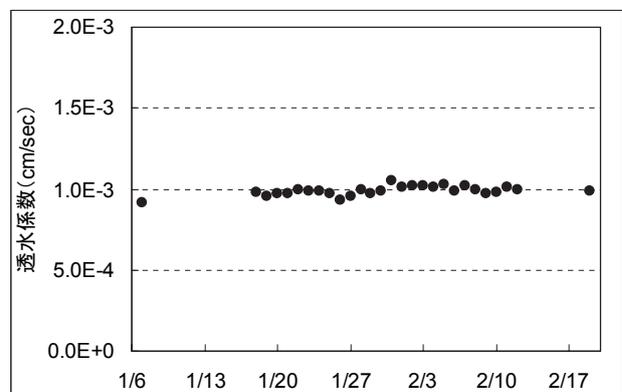


図-11 飽和透水係数の経日変化

なお、項目ごとにライシメータ通過前後の水質変化の特性は異なり、図-13 に示されるとおり、例えばNO3は流入水の濃度に応じて流出水濃度が変化しているように見えるが、Brでは流入水の濃度に関わらず流出水の濃度は0.2 ppm前後であった。

TOCの濃度については、図-14 のとおりとなった。実験が進むにつれ、流出水の濃度が漸減する傾向が見られた。

2) 重金属

表-6 は加速実験全体でアンサンブル平均された重金属濃度を示す。Al、Fe、Cu および Zn については、流入水濃度に対して流出水の濃度

表-5 陰イオン濃度 (加速実験全体のアンサンブル平均)

	F	Cl	NO2	Br	NO3	PO4	SO4
流入水	0.22	45.6	0	0.21	17.5	0.68	21.9
流出水	0.20	9.7	0.0010	0.21	2.2	0.23	1.9

単位: ppm

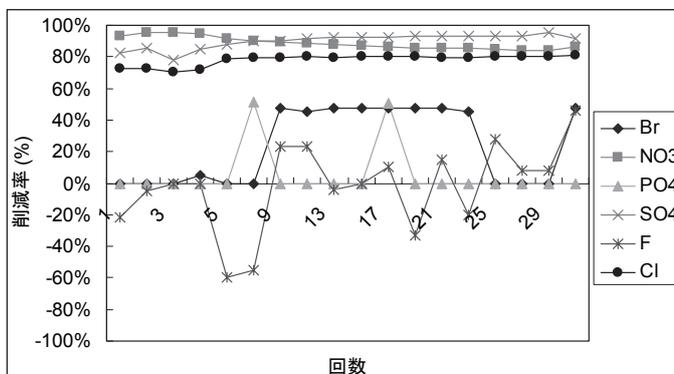


図-12 陰イオン濃度削減率の変化

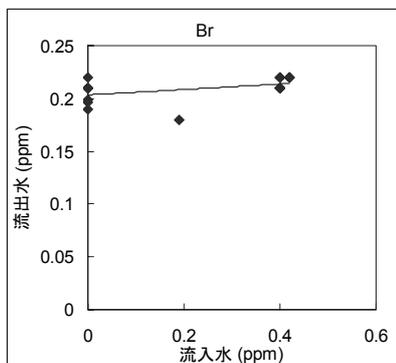
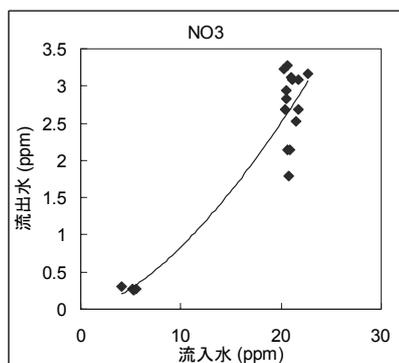


図-13 流入水濃度と流出水濃度の関係
(左: 硝酸イオン、右: 臭素イオン)

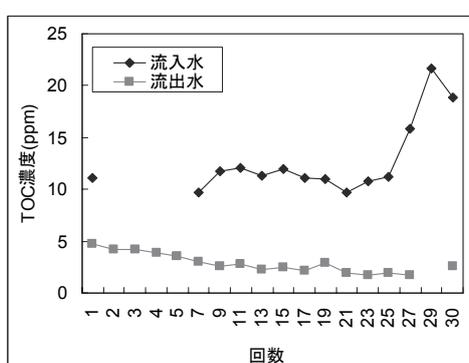


図-14 TOC 濃度の変化

表-6 重金属濃度 (加速実験全体のアンサンブル平均)

	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd
流入水	802.0	19.0	938.2	14.1	95.1	0.03
流出水	5.9	118.6	18.8	0.8	2.6	0.07

単位: ppb

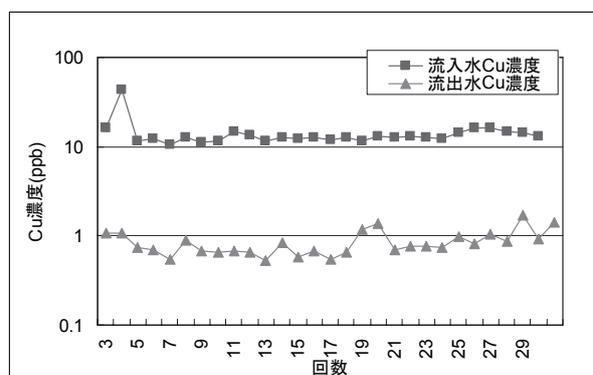
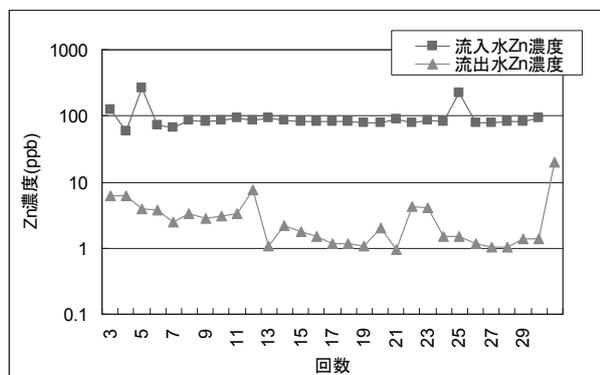


図-15 重金属濃度の変化 (左: 亜鉛、右: 銅)

が1オーダーないし2オーダー程度小さくなった。一方、Mn および Cd については、流出水の濃度が流入水の濃度を上回ったが、この結果の妥当性については、次年度以降、別途室内試験を行い確認する必要がある。

ライシメータ通過後に濃度の減少が見られた Zn および Cu について、図-15 に水質分析結果の推移を示す。流入水、流出水の濃度ともに実験全体で大きな変動なく安定的に推移し、流出水の濃度は流入水の濃度に比べて1オーダー近く小さくなった。

(3) その他化学物質等の影響

水道水の水質基準を定めた「水質基準に関する省令」（平成15年厚生労働省令第101号）に掲げられた項目に関し、本実験の流入水と流出水の水質分析を行ったところ、流出水では概ねどの水質項目も基準値以下となった。

4. おわりに

雨水浸透については、①「治水上の効果の不確実性」（第2章）および②「地下水・土壌などに対する環境影響」（第3章）の両面から検討を行っている。

①「治水上の効果の不確実性」（第2章）については、経年変化の傾向把握につづいてその要因把握を行い、浸透施設の構造等について言及していく予定としている。また、今回の調査結果より、施設ごとの浸透能力はばらつきが非常に大きいことから、浸透能力を個別に定量・評価し、その積み上げで全体評価することは困難であると考えられる。そのため、流域からの雨水流出量のモニタリング等と組合せて、流域全体として評価する方法を提案する必要があると考え、検討を進めていく。

②「地下水・土壌などに対する環境影響」（第3章）については、今年度の実験では、ライシメータに用いた関東ロームに対する、陰イオンおよび重金属類などの挙動に関して基礎的なデータを得た。加速実験の繰り返し回数は30回であったが、これがライシメータ内の土壌に対して化学的な平衡状態を与えるに十分な回数であったかは、今回得られたデータのみでは分からない。次年度以降別途室内実験を実施し各項目に対する吸着等温線を求めるなどして、本研究で用いている土壌の特性を把握し、最終的に加速実験の回数を決定する必要がある。また、加速実験が終了した後は、ライシメータ内の土壌を分析して、汚濁物の影響が大きな範囲を空間的に明らかにすることも期待される。

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

参考文献

- 1) 藤田昌一：雨水流出抑制のための実験的下水道に関する研究、東京大学学位論文、1988
- 2) 都市基盤整備公団、(社)雨水貯留浸透技術協会：雨水浸透貯留施設の20年経過における流出抑制効果に関する研究 報告書、2002
- 3) (社)雨水貯留浸透協会：増補改訂 雨水浸透施設技術指針（案）、2006
- 4) (財)下水道新技術推進機構：下水道雨水浸透技術マニュアル、2001

7. 都市雨水対策における観測技術の戦略的活用に関する調査

下水道研究室 室長 榊原 隆
 研究官 遠藤 淳
 研究官 田本 典秀

1. はじめに

平成 17 年度に下水道政策研究委員会浸水対策小委員会にて「都市における浸水対策の新たな展開」が提言された。この中では、既往最大級の降雨に対応するために、ハード施設のみでなく、ソフト・自助の促進による被害の最小化が目標として位置づけられ、「投資余力が限られてくる状況において、安全性を緊急に確保するためには、多様な主体との連携の一層の強化を図りながら、住民と目標を共有しつつ、ハード整備の着実な推進とあわせて、自助並びにそれを促すためのソフト対策を組み合わせた総合的な施策を推進していくべきである。」との浸水対策の目指すべき方向性が提言されている¹⁾。

この提言を踏まえ、本調査では、「水害時の情報提供方策に関する調査」および「都市雨水流出調査」を実施している。

前者は、例えばポンプ場運転情報、管渠内水位の情報提供等、自助を促進するソフト対策について、自治体と協力して情報ニーズの分析等を行い、浸水情報提供システムの構築を行うとともに、構築過程から得られる知見をまとめてマニュアル化することで、下水道政策研究委員会提言の具現化に資するものであり、本年度は情報ニーズ分析等についてアンケートを実施した。

後者は、下水道排水区 2 箇所において雨水流出モニタリングを実施し、長期にわたる流量データを蓄積することにより、豪雨時の雨水流出の特性を踏まえた雨水排除計画のあり方を検討するものであり、モニタリングは平成 17 年度から 3 年が経過し、一定量のデータが蓄積されたことから経過を報告するものである。

2. 水害時の情報提供方策に関する調査

2. 1 調査方法

水害時の情報提供方策に関して情報ニーズの把握を主な目的として大都市 18 都市を対象にアンケートを実施した。アンケート概要については表-1 に示すとおりで、今回の主目的である「③自助を促進するために必要な情報について」に関しては、降雨量・下水道管水位情報・ポンプ稼働情報・内水ハザードマップ・その他（自由記入）の 5 項目からの選択方式（複数回答可）とした。

表-1 アンケート概要

対象	アンケート内容
大都市 18都市	①情報提供の実施事例 ・内容・住民の情報利用方法（自助の促進方法）・実施効果
	②情報提供の実施予定 ・内容・住民の情報利用方法（自助の促進方法）・予定のない理由
	③自助を促進するために必要な情報について ・必要な情報・その理由
	④総合的な情報提供について （下水道・河川との連携した情報提供へ向けた意見）
	⑤ハザードマップの作成・公表状況について ・公表状況・公表しない理由
	⑥水防体制について

2. 2 調査結果

アンケート結果については、集計が可能なものについては表-2 に示す。18 都市のうち 14 都市と約 8 割の自治体で情報提供は行われていた。

自助に必要な情報としては、降雨量が 18 都市のうち 16 都市と約 9 割の都市で必要であるとの回答があり、内

水ハザードマップは4割強、下水道管水位情報とポンプ稼働情報は共に2割程度の都市で必要との回答であった。

浸水実績図は、半数以上の自治体が公表済み、検討中と予定なしは3都市にとどまる。洪水ハザードマップは、一部地区で作成中である都市を除き公表済みである。一方、内水ハザードマップは、公表済みが3都市、作成中が2都市にとどまり、検討中、予定なし等の意見が7自治体と4割近くに達している。なお、予定なしとした自治体では、「浸水実績図で代用できる」、または「洪水ハザードマップとの混在で混乱を招く」との意見があった。

情報提供実施事例の内容は表-3に示すとおり、下水道部局単独での情報提供は少なく、他部局や都道府県等との連携が多かった。

情報提供の効果については、具体的な事例で以下の2つを挙げているが、

他は定性的な効果を示すものが多かった。課題としてPR不足を挙げている自治体も1件あった。

- ・ 事前に土嚢等を設置することで浸水の回避・軽減ができた等 2件
- ・ 降雨時にホームページのアクセスが急増する 3件

2.3 情報提供シナリオ

アンケート結果に加えて、気象庁の情報満足度調査²⁾、国土交通省安全・安心のためのソフト推進大綱³⁾を参考に、下水道における情報提供シナリオを表-4のとおり作成し、情報の重要度と情報提供手段について図-1のとおりまとめた。現状では、下水からの情報発信が非常に限定されており、下水道が主体的に入手できる情報の発信が急務であることから、シナリオについては4段階のレベルを設定した。なお、冊子等による浸水実績図等の周知は、静的な情報であることからレベル0とした。

表-4 下水道における情報提供シナリオ

	目的	提供する情報の内容	提供方法	連携
レベル0	住民の危機管理に対する啓蒙として、水害の可能性について周知する。	①浸水実績図 ②内水ハザードマップ	冊子等による閲覧	無し
レベル1	保有情報の発信と蓄積。	③下水道幹線の水位情報 ④雨量情報	インターネット等	無し
レベル2	情報入手方法の多様化。	①浸水実績図 ②内水ハザードマップ	インターネット等	無し
レベル3	情報入手方法の多様化と受益者の拡大。	③下水道幹線の水位情報 ④雨量情報	特定地域放送等	あり
レベル4			一般放送等	

表-2 アンケート結果

アンケート項目	アンケート結果
①情報提供実施事例	あり14件 なし 4件
②情報提供実施予定	あり 2件 なし 2件
③自助を促進するのに必要な情報について(複数回答可)	降雨量 16件、下水道管水位情報 4件、ポンプ稼働情報 3件、内水ハザードマップ 8件、その他 7件
⑤ハザードマップの公開状況	
⑤-1浸水実績図	公表済 10件 作成済 1件 作成中 1件 一部作成中 1件 作成予定 1件 検討中 1件 予定なし 1件
⑤-2洪水ハザードマップ	公表済 16件 一部作成中 1件
⑤-3内水ハザードマップ	公表済 3件 作成中 2件 一部作成済 1件 一部作成中 1件、 作成予定 2件 検討中 4件 予定なし 2件

表-3 情報提供実施事例

情報	方法
防災情報(天気予報、降雨量、河川水位および監視カメラ情報、警報等)の公表	インターネット、携帯、FAX
浸水実績図、洪水ハザードマップ等の公表	インターネット、出先機関
幹線又は浸水常襲地区の下水道管内水位情報の配信	インターネット、メール、
警報機(サイレン・パトランプ)設置等	警報機(サイレン・パトランプ)
雨水ポンプの運転状況を公開	インターネット
防災啓発に関する情報	メール
災害時心得等の周知	インターネット、冊子
緊急情報伝達用サイレンの設置	サイレン

情報提供手段とその即効性および受益者の特性				
情報提供手段	簡 ←————→ 難			
	①冊子等	②ホームページ等	③特定地域放送	④テレビ局等
提供可能情報種別	履歴情報	履歴情報 現況値	現況値	現況値
受益者の特性	少 ←————→ 多			
	受益者数はPR次第	実質的受益者小	情報提供の効果がある受益者多	受益者大
情報の重要度 大 ↑ ↓ 小	①浸水実績図	レベル0 (下水単独)	レベル2 (下水単独)	— (対象外)
	②内水ハザードマップ	— (対象外)	レベル1 (下水単独)	レベル3 (連携)
	③下水道幹線の水位情報	— (対象外)	レベル1 (下水単独)	レベル3 (連携)
	④雨量情報 (ポンプ稼動状況)	— (対象外)	レベル1 (下水単独)	レベル4 (連携)

図-1 情報の重要度と情報提供手段

2. 4 まとめ

今年度は、情報ニーズの把握を行い、情報提供のシナリオを作成した。次年度からは自治体と連携したケーススタディに向けて調査を進めていく予定としている。

3. 都市流出調査

3. 1 調査方法

(1) 調査対象地区

調査対象として選んだのは、同一都市内に位置する市街地2地区（住宅地、商業地それぞれ1地区）である。この2地区は、分流式下水道が整備されており、土地利用が比較的画一的であることなどから選ばれたものである。調査地区の概要を表-5に示す。詳細は過年度報告書⁴⁾に記載があるので、こちらを参照されたい。

表-5 調査地区の諸元

地 点	面積 (ha)	不浸透面積 率	土地利用
A	2.06	65%	住宅地
B	6.98	98%	商業地

(2) 雨量および流量の観測

調査地区の近傍で雨量を、調査地区の末端管渠内で流量をそれぞれ観測した。雨量の観測には転倒ます型雨量計（CTIサイエンスシステム社製、RT-510）を用いて、1転倒0.5mm、1分間隔でデータを取得した。雨量計は公共施設の屋上に設置されており、その設置場所は調査地区の中央から最大でも400m程度である。また、流量の観測には面速式流量計（ペンタフ社製、タフフロー・メインストリーム）を用いて、雨量と同様に1分間隔でデータを取得した。本機器では、測定した水位と断面平均流速から流量を演算する方式を採っており、1分間に測定した10回の測定値の中央値が1分間の代表データとして記録される。

3. 2 平成19年度までの調査結果

観測結果の内、平成18年4月から平成20年3月までの降雨記録から、無降雨期間12時間を1つの降雨の区切りとして独立降雨を選定し、併せて流量観測記録から各独立降雨時の流量を積算して、流出率（＝総流出量÷総雨量）を求めた。A地区で161降雨、B地区で158降雨が観測されている。今回の目的である雨量と流出率の関係について、総降雨量との関係を図-2に示す。10分間最大降雨強度および60分間最大降雨強度と流出率も概ね同傾向を示している。B地区においては、総降雨量（降雨強度）が大きくなると流出率は、ある範囲に収まる傾向が示されている。一方、先行無降雨日数との関係を図-3に示すが、相関はみられていない。

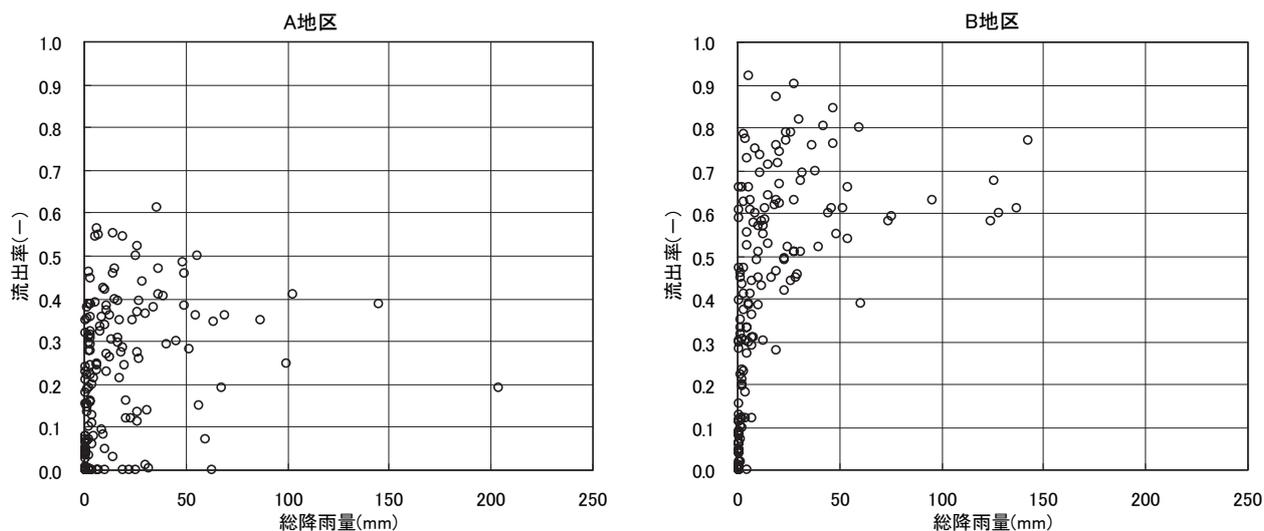


図-2 総降雨量と流出率の関係

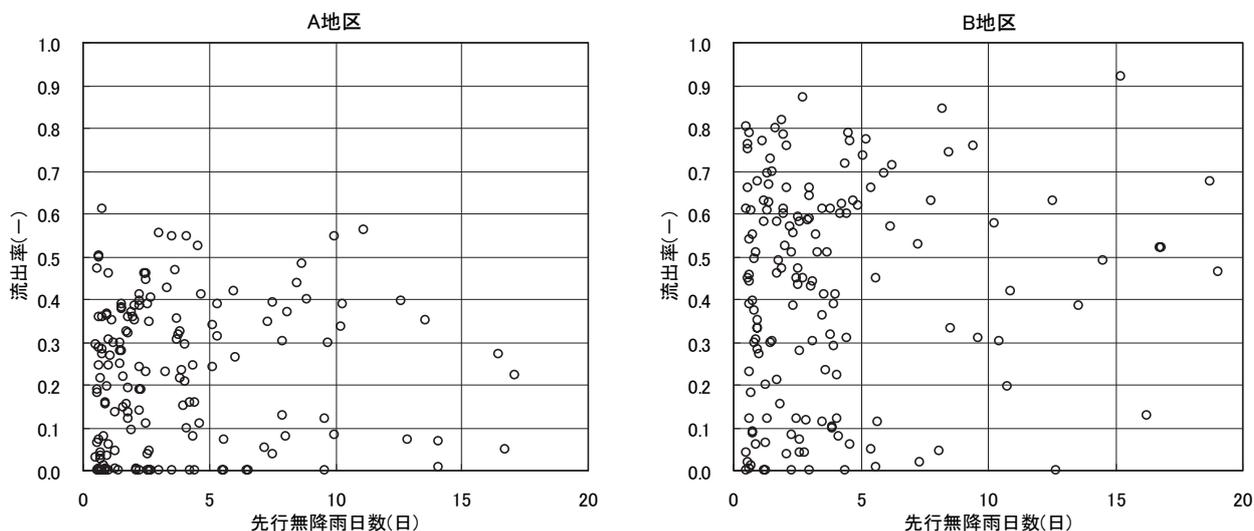


図-3 先行無降雨日数と流出率の関係

3. 3 まとめ

このモニタリングは10年間継続して実施する予定としており、データの蓄積により明確な傾向が観察されるものと期待している。

4. おわりに

今後は、観測技術にシミュレーション技術を加えた浸水対策研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 下水道政策研究委員会浸水対策小委員会：都市における浸水対策の新たな展開、平成17年7月
- 2) 気象庁：防災気象情報の満足度に関する調査報告書、平成19年3月
- 3) 国土交通省：国土交通省安全・安心のためのソフト対策推進大綱フォローアップ、平成19年6月
- 4) 藤生和也、管谷悌治、岡本辰生：最適都市雨水対策確立手法に関する調査、平成17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 No323、2006

8. 未普及解消プロジェクトに関する調査

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

1. はじめに

2006年度末（平成19年3月31日現在）の下水道処理人口普及率は7割に達しているものの、下水道計画区域にありながら未だに下水道が整備されていない、いわゆる下水道未普及人口は2000万人以上に上る。人口減少、高齢化の進展、厳しい財政事情といった整備を進めていく上での難しい問題を抱えている地方公共団体も多く、いかに早急かつ効率的な整備を行うかが課題となっている。

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

この内、②に関して、地方公共団体が提案し、国土交通省が技術的・財政的支援を行う「未普及解消クイックプロジェクト社会実験」が2007年6月に公表され、スタートした。2008年3月末現在、提案された下記の6つの技術について、9市町が社会実験を実施中である。

- ① 管きよの露出配管
- ② 改良型伏越しの連続採用
- ③ 道路線形に合わせた施工
- ④ 発生土の管きよ基礎への利用
- ⑤ 流動化処理土の管きよ施工への利用
- ⑥ 工場製作型極小規模処理施設

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

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

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

本報告書は、平成19年度における事業進捗状況及び国総研が実施した技術支援の内容について取りまとめる。

2. 平成19年度の活動内容

平成19年度は社会実験の初年度ということもあり、モデル市町村としての国の事業採択を受けた9市町（表1参照）は、社会実験を行う実施施設の設計及び施工を進めるとともに、建設コストの縮減効果確認及び性能評価に向けた検証項目について検討した。平成19年度末現在の、モデル市町における進捗は表2の通りである。

表－1 事業採択を受けたモデル市町と採用技術

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

表－2 モデル市町の進捗状況(平成19年度末現在)

事業採択市町	現在の進捗
北海道 苫前町	詳細設計
岩手県 二戸市	詳細設計
福島県 会津坂下町	認可取得申請中
静岡県 浜松市	施工中・性能評価
愛知県 豊田市	河川協議中
愛知県 岡崎市	施工中
愛知県 半田市	施工中・性能評価
岡山県 岡山市	基本設計
熊本県 益城町	施工中

国総研は、先の6技術の性能評価の実施に向けて必要な、社会実験の検証項目及び検証内容をガイドラインとして提案するとともに、社会実験を実施する市町の現地調査及び技術的助言を実施した。

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

平成20年3月には、下水道未普及解消検討委員会を熊本県益城町にて開催し、下水道新技術導入社会実験の新メニューとして「側溝を活用した下水道管きよ施工」を提案するとともに、社会実験対象技術の検証項目の紹介、社会実験対象技術のコスト・工期の縮減効果（浜松市、岡崎市、半田市、益城町の事例）、社会実験対象技術に関する基礎的検討（曲管採用時におけるTVカメラ機材の作業性に関する実験、改良型伏越しにおける汚物堆積状況実態調査、流体解析シミュレーションによる水理解析）について報告を行った。

3. 社会実験対象技術に関する基礎的検討

平成20年3月に開催された下水道未普及解消検討委員会において報告した事項の内、社会実験対象技術に関する基礎的検討について述べる。

(1) 曲管採用時における TV カメラ機材の作業性に関する実験

社会実験による性能等の評価を必要とする6つの未普及解消技術のうち、「道路線形に合わせた施工」技術は、下水道管きょにおける平面屈曲部のマンホールを省略し、代わりに曲管を採用することでコスト削減を図ろうというものであるが、曲管部を下水道管きょ管理用 TV カメラが問題なく通過できるかどうかという点が、技術導入に向けての1つの課題となっている。

そこで、技術の確立に向けての課題解決を図るために、模擬管きょによる TV カメラ走行実験を実施した。実験においては、TV カメラ（3種類：①はφ150～200用、②は①に別車両を連結したタイプ、③はφ200用）が曲管を通過可否に加え、点検時に必要な側視の可否、曲管通過後の限界走行距離等について確認した結果、曲管を通過するだけであればφ150については曲管30°まで、φ200については45°までが、既存のTVカメラ車での対応が可能であった。しかし、曲管がTVカメラの投入位置から遠い場合や、曲管が複数個ある場合には使用できるTVカメラが限定されることが分かった。

表-3 曲管通過の可否一覧

曲管	TVカメラ	φ150	φ200
15°	①	○	○
	②	△ 切り替えし要	○ 若干の傾き
	③	△	× 物理的に不可
30°	①	△ 切り替えし要	○
	②	× 物理的に不可	× 物理的に不可
	③	△	× 物理的に不可
45°	①	× 転倒	○
	②	× 物理的に不可	× 物理的に不可
	③	△	× 物理的に不可

○:スムーズに通過
△:一旦停止、切り返しを要するが通過
×:通過不可能

表-4 限界走行距離と走行時間（曲管が1つの場合）

φ150				φ200			
15°	①	89m 曲管通過も 完走不可	100m 16分54秒	15°	①	100m 15分33秒	× 曲管通過不可
	②	100m 14分10秒	100m 13分16秒		②	100m 11分42秒	100m 12分51秒
30°	①	100m 18分39秒	× 曲管通過不可	30°	①	100m 14分43秒	× 曲管通過不可
				45°	①	100m 18分22秒	× 曲管通過不可

(2) 改良型伏越しにおける汚物堆積状況実態調査

社会実験による性能等の評価を必要とする6つの未普及解消技術のうち、「改良型伏越しの連続採用」技術に関し、伏越し内の堆積物性状及び堆積量の基礎データ収集を目的とし、愛知県半田市の阿原地区及び平地地区において、調査を実施した。2地区の概要を表-5に示す。

表-5 調査箇所の概要

	阿原地区	平地地区
土地用途	住宅地	住宅地
接続家屋	11軒接続 (30%)	363軒接続 (60%)
供用開始	平成17年3月31日	平成15年3月31日
清掃実績	なし (3年経過)	1年前に清掃
管渠種別	VUφ150 (分流汚水)	VUφ300 (分流汚水)
伏越延長	L=8.4m	L=14.5m
伏越落差	H=0.46m	H=1.68m
ベント角度	45°	45°

表-6 堆積物の性状

	阿原地区	平地地区
伏越容積	0. 1 2 m ³	0. 7 4 m ³
堆積物容積 (乾燥重量)	3 5. 6 L (2 5. 2 kg)	2 3 8. 7 L (1 8 1. 8 kg)
閉塞率	3 0. 0 %	3 2. 1 %
堆積物の色	黒	褐色
主な成分	油脂塊と土砂	油脂塊と土砂
土砂の粒径	粒径 2 mm以下の砂が約 8 割	粒径 2 mm以下の砂が約 8 割
最大粒径	2 6. 5 mm	9. 5 mm

調査した結果を表-6 に示すとともに、以下にまとめる。

- 1) 伏越し管渠において、約 3 割の土砂による閉塞が確認された。
- 2) 堆積物は臭気が強く、黒く変色しており、長期間管渠内で滞留したと推察される。
- 3) 堆積物の 2 / 3 (体積) は土砂であり、粒径 2 mm以下の砂が内 8 割を占めていた。
- 4) 細かい油脂塊が、堆積物の 1 / 3 程度 (体積) 存在した。
- 5) 堆積物の最大粒径は 26.5 mmの礫 (コンクリート塊) であった。
(現地では、150 mmのアスファルト塊が 1 つ確認された)
- 6) 2 地区とも、閉塞率や土砂の粒径分布などが同じような傾向を示した。

以上の結果より、下記が推察された。

- 1) 閉塞率約 3 割が堆積限界点である可能性がある。
- 2) 堆積物の臭気が激しく、堆積物の腐敗も進んでいることから、定期的な清掃が必要である。
- 3) 堆積させないためには、伏越し部の管径を一回り小さくすることが考えられる。ただし、礫 (小石) や異物混入による閉塞も考慮した管径選定が必要である。
- 4) 一般家庭からの流入土砂としては、2 mm程度を想定する必要がある。

(3) 流体解析シミュレーションによる水理解析

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

平成 19 年度は、試行的に単発の改良型伏越しにおける土砂の掃流計算と、露出配管内部の凍結計算を実施した。時間的制約があったため計算結果の検証まで至っておらず、CFDの適用の是非についてはここでは触れないが、計算条件の変更が容易な点や複数台のパソコンによる複数ケース同時計算が可能である、視覚的に分かりやすいなどの利点を確認され、今後の検討ツールとしての可能性が伺えた。

4. おわりに

平成 20 年度は、実施設の施工が完了したモデル市町において、実施設を利用した性能評価が始まることから、技術的サポートを継続して実施する予定である。また、実施設の着工に入る市町や新たに事業採択を受ける市町が今後益々増える予定であり、事業の円滑な推進と未普及解消のために地方公共団体支援に努めていきたい。

9. 再生水利用の促進に関する調査

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
主任研究官 小越眞佐司
研究官 山縣 弘樹
研究官 山中 大輔

1. 目的及び経緯

都市内部に存在する水資源を活用する観点や、ヒートアイランド対策としての打ち水利用の様な新たな用途が期待されるなど、再生水利用の重要性が指摘されているが、利用水量は下水処理水全体の2%未満の状態に留まっている。下水処理水を直接再利用することが進まない原因は、その費用と効果を地方公共団体や地域住民等に分かりやすく提示できていないため再生水利用の実施について合意形成が図られにくいこと、地域の実情に応じた再生水利用の導入手法が明らかとされていないこと等と考えられている。また、地域の人々が身近に感じられる再利用用途である修景用水利用では、藻類の付着や繁茂によって外観が悪化して再利用のイメージを低下させる場合があり、直接接触に伴う衛生的リスク削減と共に藻類対策は重要な課題であると考えられる。以上のことから、再生水利用の定量的な評価手法および地域の実情や用途に応じた導入手法を確立する必要がある。

本調査では、平成17年度から、水生生物を利用した修景水路等における付着性藻類制御手法を検討するため、「水生生物の藻類捕食の利用に関する検討」を開始した。平成18年度からは、処理水再利用に係る整備と維持管理の費用をあきらかにするため、「モデル検討による再生処理費用関数の導出」を開始した。また、平成19年度には「再生水利用の促進に向けた課題の検討」を行い、既存の費用対効果の算定方法と共にとりまとめを行った。

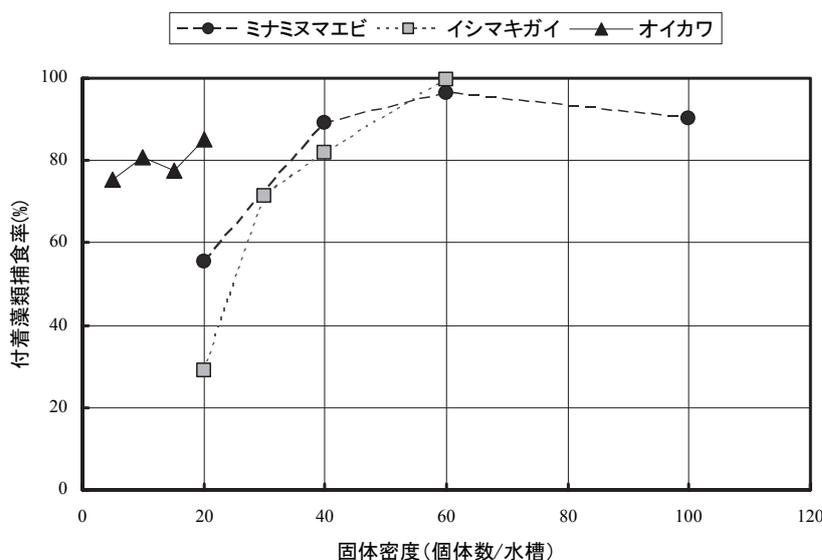


図-1 個体密度と付着藻類捕食率の関係

2. 調査結果の概要

2.1 水生生物の藻類捕食の利用に関する検討

金魚、ミナミヌマエビ、イシマキガイ、プレコ、オイカワを対象生物として、人工水路に藻類が均等に付着した陶器板を並べ、生物投入後の藻類付着量の変化、生物量の変化を測定し、付着性藻類の捕食性を検討した。

その結果、プレコ、ミナミヌマエビおよびイシ

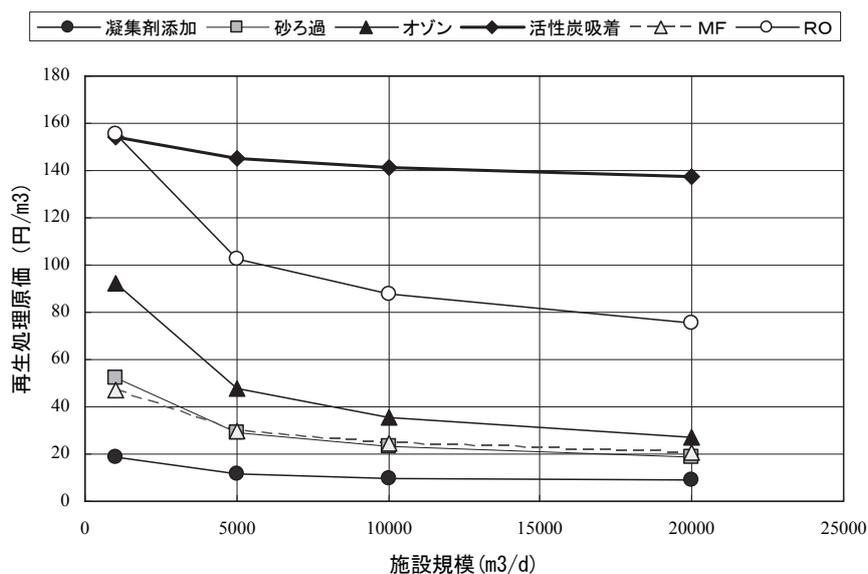


図-2 再生処理原価推定結果

マキガイは高い付着藻類捕食性を示し、オイカワがこれに次ぐ捕食性を示した。プレコは熱帯性の魚類で四季のある日本の屋外での適用は困難であるため、金魚とプレコを除く3種について自然条件に近い人工水路で固体密度を変えて実験を行った結果、図-1に示す通り、ミナミヌマエビとイシマキガイは90%以上、オイカワは80%以上の付着藻類捕食率を達成できる生息密度条件があることが判明した。

2.2 モデル検討による再生処理費用関数の導出

平成18年度に代表的な再生処理プロセスの建設と維持管理費用を推定し、ライフサイクルコストとして再生水1m³製造に必要な費用を求めた。平成19年度には再生処理の前段の通常処理である標準活性汚泥法とOD法について、ライフサイクルコストの規模関数を求めた。また、再生水利用区域内への送水費用を含む再生水利用のライフサイクルコストについて、地域特性の異なるケースを仮定して試算を行い、再生処理施設の分散配置と集中配置を比較した。

この結果を基に、通常処理を含む再利用に係るライフサイクルコストを試算すると、1万m³/d程度の下水処理場で5000m³/d規模の再利用を行う場合から、ろ過またはMF膜処理法による再生処理では水道給水原価(175円/m³)より安価になると推定されたが、活性炭吸着を行う場合は下水処理場規模が50万m³/d程度にならないと水道給水原価を下回らないことがわかった。再生処理プロセスのみのライフサイクルコストは、図-2に示す通りであり、ろ過+活性炭の場合でも1万m³/d以上であれば水道原価を下回ると推定された。

2.3 再生水利用の促進に向けた課題の検討

下水処理水の発生量が多い大都市で仮に水洗用水が全て再生水で賄われたとしても、節水型機器の普及等により、再利用率は15%程度以下に止まると推定された。再生水利用率を高めるためには、ヒートアイランド対策や雨天時汚濁排出量削減等、都市特有の環境問題解決のための新たな再生水用途の開発に加え、再利用による水供給の安定化、供給源である河川等の自然環境保全への寄与、及び都市から水域への総排出汚濁負荷削減、等の副次的効果を含めて総合的に評価し、その用途を拡大する必要がある。

3. まとめ

再生水の修景用水利用を促進する上で重要な課題である水路の付着藻類対策については、水生動物を利用することで制御できる可能性のあることが明らかになった。また、モデル検討による再生処理費用関数の導出の結果、再生水製造原価は利用量が多いと安価になり、大規模施設では活性炭吸着処理を行う場合を除くと上水より安価に供給可能であった。しかし、供給距離が長くなると移送に要するコスト・エネルギーが高くなるので、処理施設近傍での用途拡大が必要である。エネルギー消費密度が高い大都市では排熱によるヒートアイランド現象等により環境が悪化しており、都市環境改善のための新たな用途への利用や環境改善効果を含む総合的な評価をすることが今後の課題であると考えられる。

10. 下水処理場における地球温暖化対策の推進に関する調査

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

1. はじめに

地球温暖化対策の推進が必要とされている中で、下水道に関連する温室効果ガス排出原単位等の基礎情報¹⁾が十分に整備されているとはいえない状況にある。特に、高度処理の推進の一方で、生物学的窒素除去プロセスからのN₂O等の温室効果ガス発生量の増加の可能性が指摘されている^{2), 3)}。そのため、下水処理全般にわたる温室効果ガスの排出に関する原単位を整備するとともに、高度処理と地球温暖化対策の両立にむけた検討を進める必要がある。さらに、地球温暖化対策の視点を下水道システムの評価に導入するための検討を行う必要がある。

本年度は、水処理過程から発生する温室効果ガスの1つであるN₂Oを対象に、SRTとN₂O排出量の関係を把握するため実処理場でのN₂O排出量調査を実施した。また、汚泥の有効利用に伴う地球温暖化への影響を評価するため、ライフサイクルインベントリー（以下、LCI）分析を用いて、汚泥有効利用に係るケーススタディを実施した。

2. SRTがN₂O排出量に及ぼす影響

水処理過程におけるN₂O発生量の実態を把握するため、実処理場においてN₂O排出量調査を実施した。

2.1 実態調査の結果

実態調査は、SRTの日数に違いのある3箇所の下水処理場で行った。ガスは、ロートをエアレーションタンクの水面付近に固定してテドラバッグに採取し、採取箇所は好気槽の入り口、中間、出口とした。液体試料として流入水、反応槽末槽、処理水を採取し、液相N₂O濃度、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nの測定を行った。ガス試料は、ECD/GC (SHIMADZU ガスクロマトグラフ GC-8A) でN₂O濃度の測定を行った。液体試料は、ヘッドスペース用のバイアル瓶に試料を密閉し、ヘッドスペース法（温度 40℃、恒温時間 150min、HEADSPACE Autosampler Tekmer7000 を使用した）を使い、ECD/GCで測定を行った。なお、液体試料には、試料中の微生物の活性を低下させるため、バイアル瓶に採取した際に 20%グルコン酸クロルヘキシジン溶液を添加した。計算等に必要な処理場運転データ等に関しては、処理場の運転日報の提供を受けた。

2.2 調査結果

実施の調査の結果を表1に示す。硝化促進で運転している標準活性汚泥法のA処理場の1回目の調査（春期）ではN₂O発生量が24時間の平均で91.5mg-N₂O-N/m³-流入下水となり、同じ処理場の2回目の調査（夏期）およびB、C処理場と比較してやや高い値を示した。

1回目の調査でA処理場の反応槽から気中に放出されたN₂O量の経時変化は図1のとおりである。発生量は18時に最低値の61.2mg-N₂O-N/m³、8時に最高値の124.6mg-N₂O-N/m³となり、1日のうちで2倍以上の差があった。ピークを示す時間はそれぞれの調査について異なっており、これは流入水の水質変動等による影響があると考えられる。また、1回目の調査時はN₂Oの約80%が反応槽の中間で発生していた。反応槽入り口と出口でのN₂O発生量には1回目と2回目の調査で大きな差はなく、反応槽中間からの発生量の差がこれら2回の調査の差となっていた。過年度の調査ではスポットサンプリングによる測定を行っていたため、特にN₂O発生量の

表-1 実処理場でのN₂O調査の結果

	N2O発生量			流入水	処理水			平均水温 (°C)	処理法	処理水量(m3/d)	
	mgN2O-N/m3	SRT d	A-SRT d		T-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L			NO ₂ -N mg/L	計画
A処理場(1)	91.5	6.4	6.4	31.9	0.18	14.1	0.2	16.1	標準活性汚泥法	200,000	120,832
A処理場(2)	14.3	7.7	7.7	28.9	0.09	9.5	0.1	26.8	標準活性汚泥法		
B処理場	3.8	21	15	29.7	0.01	7.1	0.1	15.8	循環式消化脱窒法	11,230	4,567
C処理場	3.9	11.6	7.5	29.7	0.01	7.1	0.1	27.0	嫌気好気活性汚泥法	3,600	788

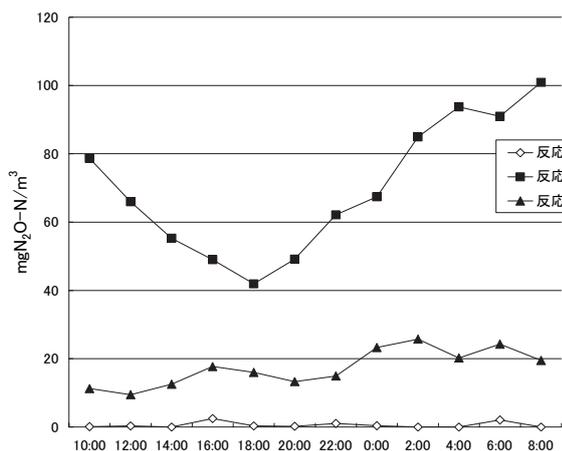


図-1 A 処理場反応槽からの流入水 1m³ あたり N₂O 発生量

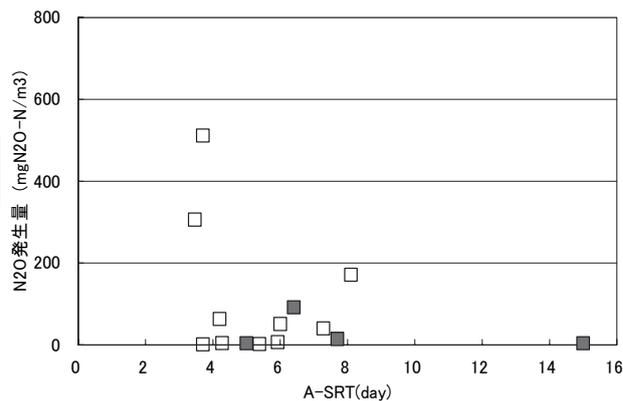


図-2 実処理場における排出 N₂O 量と A-SRT の関係
(濃色のマーカーが今年度調査)

多い処理場では 24 時間調査による排出量原単位を算定することが望ましいと考えられる。

平成 18 年度に実施した実施設の調査結果と今回の調査結果をあわせて N₂O 発生量と A-SRT の関係を図 2 に示す。平成 18 年度の調査結果では A-SRT が 6 日以上の場合の N₂O 発生量平均値は 78 mg-N₂O-N/m³-流入下水となっていたが、今回調査した処理場では硝化も進んでおり突出した高い値はでなかった。

3. 汚泥の有効利用に係る LCI 分析のケーススタディ

汚泥の有効利用に伴う温室効果ガス排出量を把握するため、H 市における汚泥のリサイクル事例を基にしたシナリオを作成し、LCI 分析のケーススタディを実施した。

3.1 分析方法

評価対象とする温室効果ガスは、CO₂、N₂O および CH₄ とし、N₂O および CH₄ 排出は、地球温暖化係数⁴⁾を用い二酸化炭素等価排出量として換算した。温室効果ガス排出量の算定に用いる基本的な原単位として、(社)日本建築学会の原単位⁵⁾を用いた。

H 市にある I 浄化センターの概要を表 2 に示す。I 浄化センターではコンポスト化施設を有しており、当該施設は、全国平均的な処理能力およびコンポスト生産量であることなどから、当該浄化センターをケーススタディの対象とした。I 浄化センターでは汚泥処理として、コンポスト化の他、セメント資源化を行っている。そこで、評価対象となる汚泥処理方式を、汚泥のコンポスト化 (scenario 1)、セメント資源化 (scenario 2) と、脱水汚泥の埋立 (scenario 3)、焼却汚泥の埋立 (scenario 4) とした (表 3)。国内の下水汚泥の処理及び処分状況 (最終安定化先) において、脱水汚泥 (scenario 3) は処分時体積ベースで最も高い割合を占め、焼却汚泥 (scenario 4) は汚泥発生時乾燥重量ベースで最も高い割合を占める⁶⁾。I 浄化センターで行われている汚泥コンポスト化 (scenario 1) は、緑農地利用の代表的手法の一つである。焼却汚泥のセメント資源化 (scenario 2) は国内でよく用いられる一般的なリサイクル手法の一つである。

コンポスト化に係る CO₂ 排出原単位は、I 浄化センターのコンポスト施設に LCI 分析を適用することにより作成した。汚泥コンポストの輸送は、コンポスト化施設から農協までを算出対象とした。コンポストの利用効果は、化学肥料の代替分の環境負荷を低減できるものとして評価した。Scenario 2 における汚泥の輸送距離は、I 浄化センターからセメント製造施設までを算出対象とした。セメント焼成炉での汚泥焼却に伴う CO₂ 排出原単位は、「セメント焼成炉での廃棄物燃料 (RDF) 焼却」⁷⁾の値を採用した。セメントの資源化効果は、下水汚泥の無機分が天然起源の副資材量を代替するものとして評価した。脱水汚泥および焼却残渣の埋立について、それらの輸送距離

表－2 I 浄化センターの概要

item	content	
discharge system of wastewater	separate sewer system (partially-combined sewer system)	
wastewater treatment system	conventional activated sludge process	
planned treatment capacity (implementation plan)	32,000m ³ /day	
outline of sludge treatment	sludge treatment system	two stage digestion
	type of dewatering machine	vacuum extractor, belt press filter
	type of coagulant	ferric chloride, hydrated lime, polymer
	planned treatment capacity (implementation plan)	dewatered sludge 14t/day
the compost plant	compost production (implementation plan)	5.6t/day
	fermentation system	Horizontal scoop type fermenter

表－3 LCI 分析で対象とする範囲

scenario 1 (composting sludge)	(dewatered sludge →) composting sludge → transporting compost → utilization
scenario 2 (recycle of sludge as a cement material)	(dewatered sludge →) transporting sludge → recycling as a cement material
scenario 3 (landfill of dewatered sludge)	(dewatered sludge →) transporting sludge → sanitary landfill
scenario 4 (landfill of incinerated sludge)	(dewatered sludge →) incinerating sludge transporting incinerated residue → sanitary landfill

はI 浄化センター近傍の最終処分場までを仮定した。埋立に係る CO₂ 排出原単位は、最終処分場はモデル設計を行い、処分場施設の建設段階や浸出水処理などの維持管理段階にわたる環境負荷の積み上げを行うことにより作成した。焼却に係る CO₂ 排出原単位は、他市の実機（乾燥機付き流動層炉）に LCI 分析を適用することにより作成した。

3.2 分析結果

各シナリオを対象に LCI 分析を用いてライフサイクル二酸化炭素等価排出量（LC-CO₂）を算出した結果を図3に示す。

LCI 分析の結果、LC-CO₂ は、scenario 2（汚泥のセメント資源化）が最も低かった。セメント焼成（燃料の使用等）における温室効果ガスの排出は、この比較評価のシステム境界外としたことの影響が大きいからだと考えられる。セメントは、下水を含む様々な廃棄物を原材料として受け入れて製造されており、下水汚泥を受け入れなくとも既存のセメント製造施設は稼働しており温室効果ガスを排出している。このケーススタディで対象とした汚泥量より多くなり、もしセメント会社が受け入れ可能な量を超えた場合にはシステム境界内に含める必要があると考えられる。

コンポスト化（scenario 1）と埋立（scenario 3 および 4）との LC-CO₂ の比較では、コンポスト化の方が少なかった。これは、一般肥料の使用を減らす下水汚泥コンポストの効果によるものと考えられる。また、汚泥コンポストによる通常肥料使用量の軽減効果は、セメント資源化の節減効果よりも大きかった。

脱水汚泥の埋立の LC-CO₂（scenario 3）は焼却汚泥の埋立（scenario 4）より低かった。これは焼却過程に伴う温室効果ガスの排出量よりも脱水汚泥の埋立処分に伴う温室効果ガスの排出量の方が大きいためと考えられる。

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

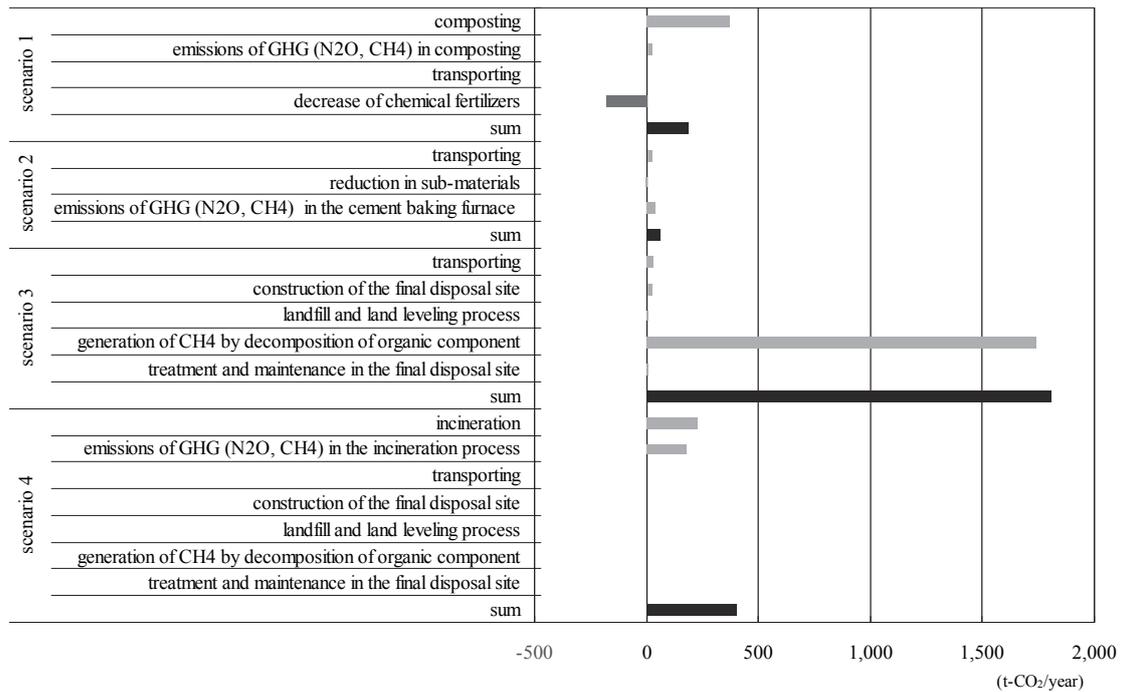


図-3 LC-CO₂算出結果（脱水汚泥 3, 237t/年）

4. まとめ

- 1) 硝化過程からの N₂O 発生量について実施で 24 時間調査を行った。今回調査した施設では、調査時期による値の差があったため、水質等ともあわせて検討する必要がある。また、N₂O 発生量の経時変化が大きかったことから、正確な排出量原単位を求めるために今後も 24 時間調査によるデータを集積する。
- 2) 汚泥の有効利用に伴う温室効果ガス排出量を把握し、地球温暖化の視点で汚泥処理方式の評価を行うため、コンポスト化、セメント資源化、汚泥の埋立処分を対象に LCI 分析を実施した。本報では、H 市における汚泥のリサイクル事例を基に、温室効果ガスのライフサイクル排出量を算出し評価を実施した。このケーススタディでは、セメント資源化での温室効果ガス排出量は、下水汚泥のコンポスト化、脱水・焼却汚泥の埋立よりも少ないと評価された。また、コンポスト化およびセメント資源化は埋立処分より温室効果ガスが少ないと評価された。よって、汚泥の埋立処分量を減らし、これらの汚泥リサイクル過程を推進することは、有効な地球温暖化対策となりうるものと考えられる。

参考文献

- 1) 環境省：平成 14 年度 温室効果ガス排出量算定方法検討会 廃棄物分科会 報告書、p.29
- 2) 中村、他：温室効果ガス排出抑制のための下水処理システム対策技術、平成 9 年度 下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料 第 3606 号、pp.119-133、平成 10 年 10 月
- 3) 平出、他：下水道施設から排出される地球温暖化物質（CH₄、N₂O）排出インベントリーの算定と排出抑制技術、下水道協会誌、2005/No.508、Vol.42、(社) 日本下水道協会、pp.97-110
- 4) 社団法人日本下水道協会：下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き、(社) 日本下水道協会、p.29、平成 11 年 8 月
- 5) 日本建築学会：建物の L C A 指針（案）、平成 11 年
- 6) 社団法人日本下水道協会：平成 18 年日本の下水道 その現状と課題、(社) 日本下水道協会、p.160

11. 下水処理水の衛生学的安全性に関わる技術基準に関する調査

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
主任研究官 小越眞佐司
研究官 桜井 健介

1. はじめに

下水道の普及に伴い、下水処理水は放流先の水環境中での重要性が増している。一方、水系感染性病原微生物による健康被害が発生しており、下水処理水の衛生学的安全性を確保することが求められている。しかし、現行指標の大腸菌群数とその基準値については、適切な衛生学的安全性を確保する上で必ずしも十分とは言えないことが指摘されている。そこで、本調査は、衛生学的安全性確保の観点から、下水処理水放流先の水利用状況や再利用用途を踏まえた基準値を提案することを目的としている。平成19年度は、下水処理過程や放流先におけるノロウイルスの実態調査、下水及び下水処理水中のサルモネラの定量およびPCR法における検出結果の評価方法に関する検討を行なった。

2. 調査内容

2. 1 下水処理過程や放流先におけるノロウイルスの実態調査

下水処理過程や放流先におけるノロウイルスの実態を把握するため、平成20年3月11日～19日に国内の4下水処理場を対象に調査した。なお、病原微生物検出情報¹⁾によると、検体採取時期の2週間(平成20年3月11日～23日)での全国のノロウイルスG1、G2の報告総数はそれぞれ22件、20件であった。ノロウイルスの検出報告は12～翌年1月にピークになる傾向があり²⁾、今年度の該当期間(平成19年12月3日～平成20年1月27日)のG1、G2の報告総数は、44件、1,017件であったことから、本調査の実施時期はG2による感染症のピーク期ではない。

(1)試験方法

表-1に示した下水処理場を対象とし、表中に示した各試料を採取し、ノロウイルス濃度を測定した。ノロウイルスの測定方法は陽イオン吸着・酸洗浄・アルカリ誘出法を用いたRT-PCR法^{3)、4)}に従った。「下水処理水」は、最終沈殿池の越流水または最終沈殿池の上澄みを採水しており、塩素消毒前の試料である。「放流水」は、放流口または塩素接触槽より採水しており、塩素消毒後の試料である。処理場Aでは、流入下水は21時頃採水し、他の試料は翌日の午前9～11時に採水した。処理場B、C、Dは、流入下水を午前9～11時に採水し、他の試料は原則として翌日の午前9～11時に採水した。試料は全てGrabサンプルである。採水は各下水処理場において2回、異なる日に実施した。

表-1 測定対象とした下水処理場および採取した試料

処理場名	処理方法	試料
A	標準活性汚泥法	流入下水、下水処理水、放流水
B	長時間エアレーション法	流入下水、下水処理水、放流水
C	オキシデーションディッチ法	流入下水、下水処理水、放流水
D	オキシデーションディッチ法	流入下水、下水処理水、放流水

(2)試験結果および考察

ノロウイルス濃度の測定結果を図-1～4に示す。下水処理水中のノロウイルスの濃度は、流入下水に比べて低く、生物処理過程での除去が伺えた。また、塩素消毒後の試料である放流水は、塩素消毒前である下水処理水より低い場合が16検体中11検体で見られ、塩素消毒により検出可能なRNAが減少する可能性が伺えた。また、流入下水8検体中8検体がG2よりもG1が高濃度で検出された。

既報をとりまとめた報告⁵⁾によると、都市を流れる河川水では、冬期に1mL当たり $10^0 \sim 10^3$ copy程度の遺伝子量のノロウイルスが検出されるという。ここで、1copy=1PDU=1ウイルス粒子と考えてほぼ差し支えない⁵⁾。PDUは、本調査で表記したRT-PCR unitに該当する。下水処理場Aの放流先河川は、数百m経て、比較的大きな河川に合流し、100倍以上に希釈されることから、ノロウイルス濃度は $10^{-2} \sim 10^0$ RT-PCR unit/mL程度になると想定される。下水処理場B及びCの放流水は、河川に放流された後、数百m～数kmで海域に達し、海水で希釈される。下水処理場Dの放流水は、放流先河川で70倍程度に希釈され、数km流下後本川に合流して600倍程度にまで希釈されることから、本川の濃度は、 10^{-2} RT-PCR unit/mL程度またはそれ以下と想定される。一般に、下水道では放流先の状況を勘案して施設配置が計画されているため⁶⁾、放流水の放流先でのノロウイルス濃度が既報値のレベル⁵⁾と比較して異常に高くなることは少ないと考えられる。

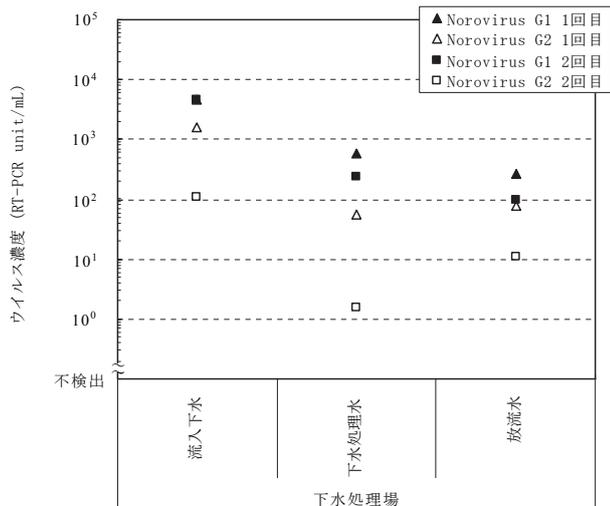


図-1 下水処理場Aのノロウイルス濃度

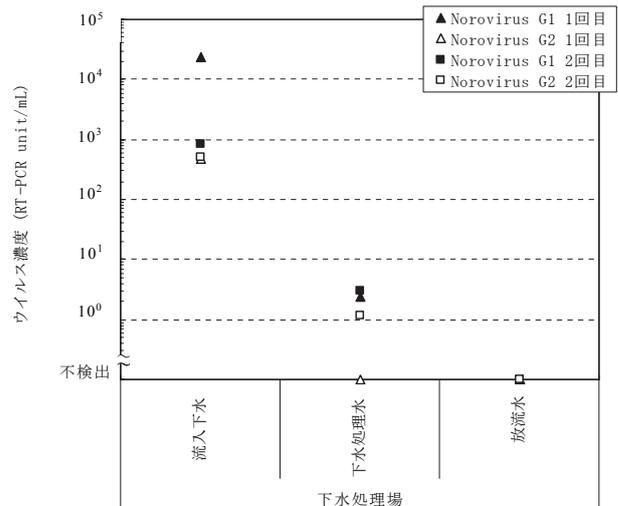


図-3 下水処理場Cのノロウイルス濃度

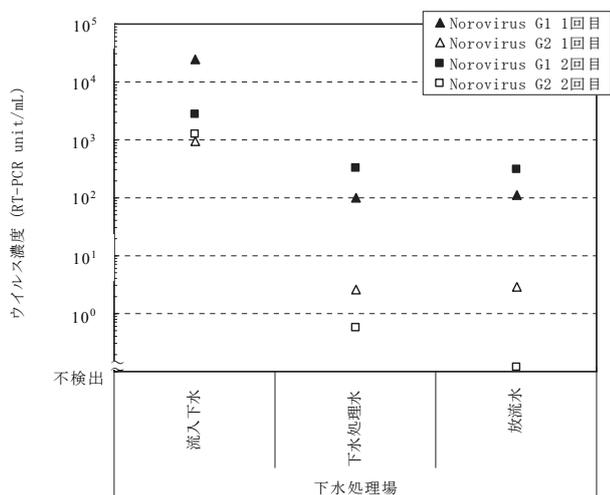


図-2 下水処理場Bのノロウイルス濃度

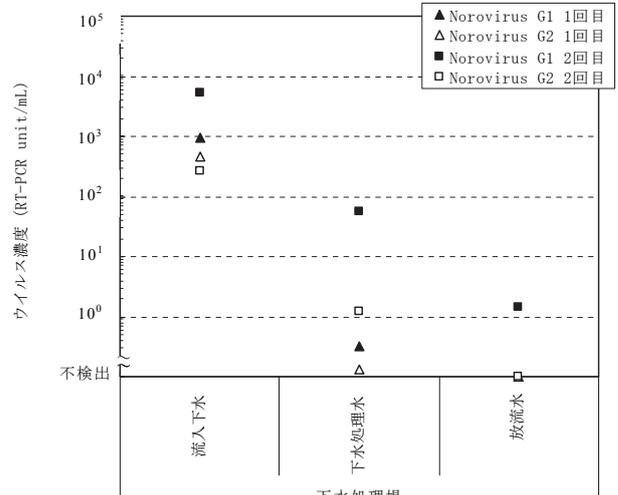


図-4 下水処理場Dのノロウイルス濃度

2. 2 下水及び下水処理水中のサルモネラの定量

微生物学的側面からの安全性確保に資する基準値の検討のためには、微生物の濃度や分布の現状を把握することが有効であると考えられる。サルモネラは、河川、下水、土壌およびそこに生息する各種の生物から検出されている⁷⁾。厚生労働省の食中毒・食品監視関連情報⁸⁾によると、サルモネラ感染症は平成16～18年

度に、9,541人の患者が報告されており、細菌を病因物質とした感染症の中では1位である。今日少なくとも都市近辺でサルモネラの検出されない河川はないほど⁹⁾とのことであり、下水処理水においても微生物学的側面からの安全性確保のための配慮が必要であると考えられ、流入下水及び下水処理水中の存在量の実態調査を実施した。厚生労働省食中毒・食品監視関連情報⁸⁾によると、サルモネラ感染症は平成16～18年度の7～9月の3ヶ月間に、5,743件(60.2%)が報告されるなど、夏期に報告が多い。流行期と非流行期では、下水処理場へ流入する濃度が異なると考えられ、今年度は非流行期を対象に実施した。

また、病原細菌の測定では、培養法と比較して迅速性に優れた遺伝子増幅法により病原細菌の特定のDNAを検出する方法が開発され、市販されるようになった。これらの下水での適用性を検討するため、培養法と併せて測定を試みた。

(1)試験方法

茨城県霞ヶ浦浄化センター内の標準活性汚泥法実験施設（反応槽容量10m³、HRT8時間、平均MLSS 2,100mg/L、SRT10日）において、平成19年11月20日より平成20年3月11日の間の平日の午前11時頃に流入水および処理水を11回採水した。サルモネラは(2)により試料の分注及び前培養を行なった後、(3)及び(4)の方法によりサルモネラの存否を判定しMPN値を算出した。

(2)試料の分注及び前培養

測定方法は既報^{10),11)}を参考にした。亜セレン酸添加SBG培地(日水製薬)を用い、試料を10倍希釈3連法の要領で試験管に分注し、一晚培養した。試料量は、流入水を10、1、0.1mLとし、下水処理水は1,000、100、10mLとした。従って、流入下水及び下水処理水の定量範囲は、それぞれ $3.0 \times 10^0 \sim 1.1 \times 10^3$ MPN/100mL及び $3.0 \times 10^{-2} \sim 1.1 \times 10^1$ MPN/100mLである。なお、試料を10mL以上摂取する際は、0.22 μmのろ紙でろ過し、ろ紙ごと培地に浸漬させ培養した。

(3)培養法によるサルモネラの測定

一白金耳量をMLCB寒天培地（日水製薬）及びDHL寒天培地（栄研化学）それぞれに画線し37℃で24時間培養した。試験管1本から出現したサルモネラ様集落を最大で3個釣菌し、各集落をTSI寒天培地（栄研化学）により乳糖および白糖発酵及び硫化水素産生を試験し、SIM寒天培地（栄研化学）により硫化水素産生、インドール産生および運動性を試験し、リシン脱炭酸試験用培地（栄研化学）によりリシン脱炭酸を試験し、VP-MR培地（日水製薬）によりVP試験を行なった。1集落以上定型的なサルモネラ性状¹²⁾を示したものを陽性とし、10倍希釈3連法のMPN表¹³⁾を用いて算出した。また、亜種の同定のためIDテストEB-20(日水製薬)を用いて判定した。

(4)特定DNA検出法によるサルモネラの測定

培養した試料をTaqMan[®] Salmonella enterica Detection Kit (Applied biosystems)のプロトコルに従い、PrepMan[®] Ultra Reagent (Applied biosystems)によりDNAを調整し、TaqMan[®] Salmonella enterica Detection Kit及びリアルタイムPCRシステム(Applied biosystems)により特定DNAを増幅した。存否の判定はRapidfinderTMにより判定し、10倍希釈3連法のMPN表¹³⁾を用いて算出した。

(5)試験結果および考察

図-5、6に流入下水、下水処理水中の培養法及び特定DNA検出法によるサルモネラ菌濃度及び培養法によって同定されたサルモネラ菌のうちの亜種Iの濃度を示した。11試料における流入下水中の特定DNA検出法、培養法、培養法（亜種Iのみ）の中央値は、それぞれ、定量上限(1.1×10^3 MPN/100mL)以上、 1.1×10^3 MPN/100mL、 1.5×10^0 MPN/100mLであった。下水処理水中の特定DNA検出法、培養法、培養法（亜種Iのみ）の中央値は、それぞれ、 2.2×10^0 MPN/100mL、 9.3×10^{-1} MPN/100mL、 3.6×10^{-2} MPN/100mLであった。既報¹⁰⁾では、培養法によるサルモネラの最大濃度が 1.1×10^2 MPN/100mLであったが、今回はそれ以上の濃度が検出された。培養法によるサルモネラの検出にはサルモネラが少なくともMLCB寒天培地又は

DHL寒天培地上に集落を形成できる状態である必要があるが、特定DNA検出法ではそれらの培地上に集落を形成できない状態でも特定DNAが存在すれば検出される場合がある。本調査では、特定DNA検出法によるサルモネラ濃度は、培養法と比べて高く検出され、試料中にMLCB寒天培地又はDHL寒天培地に発育しないが特定DNAは保有するサルモネラが存在すると考えられた。

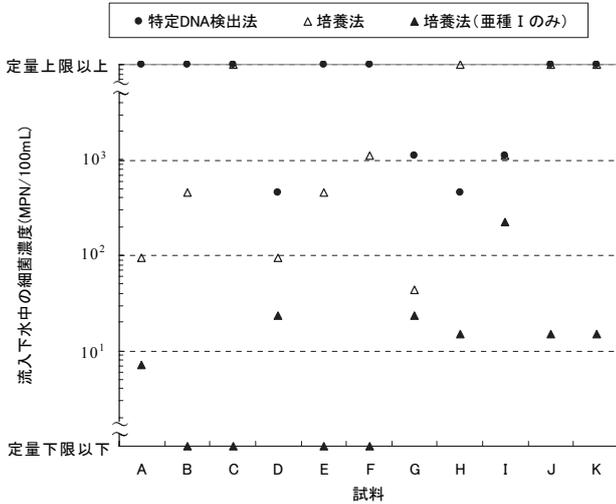


図-5 流入下水中の特定DNA検出法及び培養法によるサルモネラ濃度及び培養法によるサルモネラ亜種 I の濃度

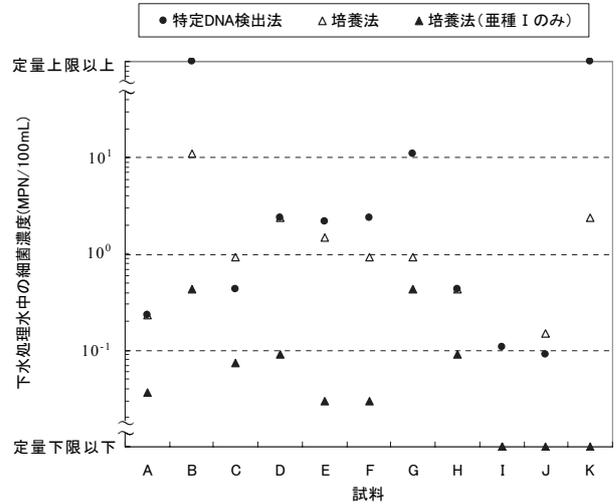


図-6 下水処理水中の特定DNA検出法及び培養法によるサルモネラ濃度及び培養法によるサルモネラ亜種 I の濃度

また、培養法によりサルモネラと同定された集落の亜種の内訳を図-7、8に示す。一般に、サルモネラの中で胃腸炎をおこすサルモネラは亜種 I の菌種のみで、その他のサルモネラは非病原性菌とされている¹⁴⁾。ヒト由来のサルモネラはほとんどが亜種 I であり¹⁵⁾、亜種 I が下水処理場への流入することが考えられるが、それ以上に亜種IVの方が多かった。既報¹⁰⁾でも、亜種IVは亜種 I より多く検出されており、同様の結果であった。今回はサルモネラ感染症の非流行期であったことから、流行期には亜種 I の濃度の増加等、今回の結果とは異なる傾向の結果が得られることが予想される。本調査では、非流行期であっても胃腸炎をおこす可能性のあるヒト由来のサルモネラが下水中に存在することが確認された。微生物学的側面からの安全性確保に資する基準値の検討にあたっては、下水中のサルモネラについても安全性確保のための配慮が必要であると考えられた。

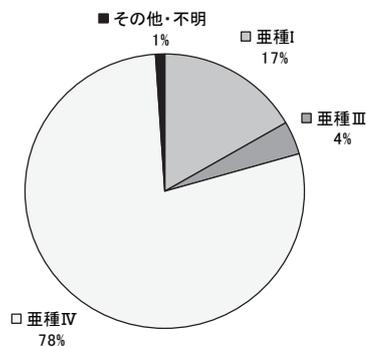


図-7 流入下水より分離されたサルモネラ203集落の亜種の内訳

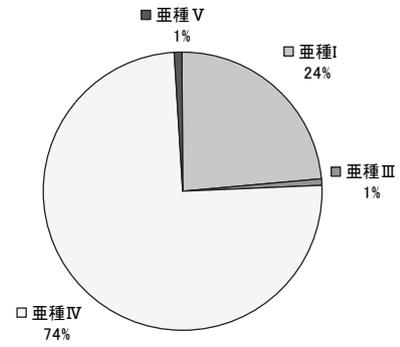


図-8 未消毒の下水処理水より分離されたサルモネラ123集落の亜種の内訳

2. 3 PCR法における検出結果の評価方法に関する検討

細胞培養法で検出ができないウイルスもPCR法で検出が可能であるが、PCR法では感染性の有無を評価することができないため、リスク評価を行なうことが困難である。そこで、消毒強度と不活化率の関係について、PCR法による検出結果と細胞培養法による検出結果を比較検討することにより、PCR法における検出結果と感染性の有無の関係について実験を行なった。

(1) 試験方法

試験方法は、過年度¹⁶⁾、¹⁷⁾と同様である。ウイルスの指標として、日本国内で単離された株であり、人間の糞便由来であると考えられる大腸菌RNAファージのグループⅢに含まれるため多くの消毒実験に用いられている¹⁸⁾F特異大腸菌ファージQβを使用している。また、F特異大腸菌ファージは、形状がウイルスの多くと類似しており、また、測定が容易であるため、ウイルスの代替指標として有望視されている¹⁹⁾。F特異大腸菌ファージQβ(NBRC20012)を 1.0×10^5 PFU/mL程度となるようMilli-Q水に添加し消毒実験を行い、Qβ数をE.coli K12F⁺株(NBRC13965)を宿主としたPlaque法及びPCR法によって測定した。消毒条件は表-2のとおりとし、3回ずつ実施した。

表-2 消毒条件

塩素消毒	塩素添加量： 10^1 、 10^2 、 10^3 、 10^4 mg/L	消毒時間：15分
紫外線消毒	紫外線照射量：1.84、0.56、0.10、0.02mW/cm ²	消毒時間：60分

(2) 試験結果および考察

結果を図-9、10に示す。Ct値は、遊離残留塩素濃度と消毒時間の積である。残存率Rは、以下の式によって計算した。

$$R = \log_{10}(C/C_0)$$

ここで、C：PCR法またはPlaque法によって測定した消毒後の大腸菌ファージの濃度、C₀：PCR法またはPlaque法によって測定した消毒前的大腸菌ファージの濃度である。また、消毒後に検出限界以下となった場合には、図中には表記しなかった。塩素消毒、紫外線消毒ともにPCR法による残存率より、Plaque法による残存率の方が低く、PCR法により算出される消毒工程における残存率は過大となる可能性が示唆された。

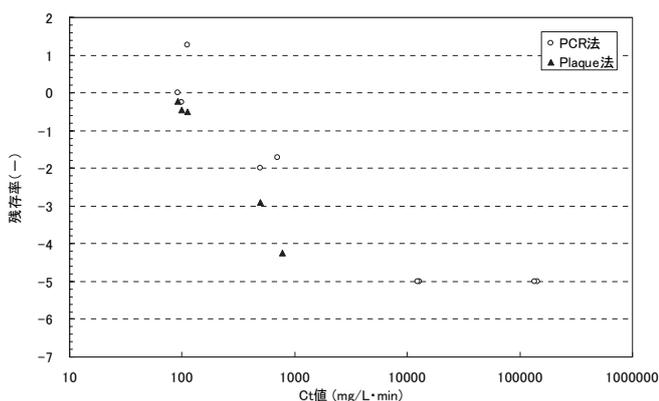


図-9 Ct値とPCR法及びPlaque法によって測定した大腸菌ファージの残存率の関係

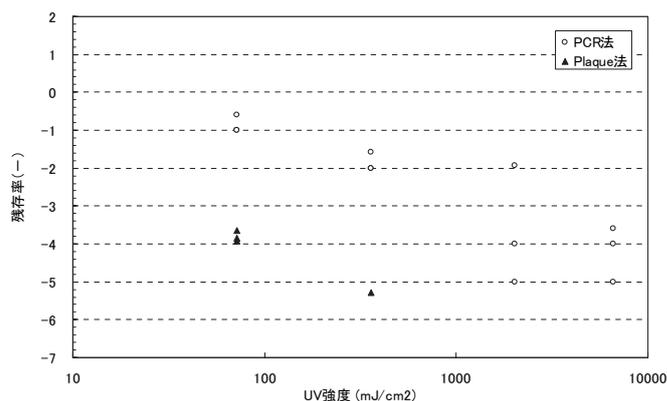


図-10 UV強度とPCR法及びPlaque法によって測定した大腸菌ファージの残存率の関係

3. まとめ

下水処理水の衛生学的安全性の確保のための指標の検討の基礎資料とするため、下水処理過程や放流先におけるノロウイルスの実態調査、下水中のサルモネラの定量およびPCR法における検出結果の評価方法に関する検討を行なった。

- (1) 下水処理過程や放流先におけるノロウイルスの実態調査の結果、下水処理水中のノロウイルスの濃度は、流入下水に比べて低く、生物処理過程での除去が伺えた。
- (2) 下水及び下水処理水中のサルモネラの定量では、非流行期であっても胃腸炎をおこす可能性のあるヒト由来のサルモネラが下水中に存在することが確認された。微生物学的側面からの安全性確保に資する基準値の検討にあたっては、下水中のサルモネラについても安全性確保のための配慮が必要であると考えられた。
- (3) PCR法における検出結果の評価方法に関する検討では、塩素消毒、紫外線消毒ともにPCR法によるF特異大腸菌ファージの残存率より、Plaque法によるF特異大腸菌ファージの残存率の方が低かった。

参考文献

- 1)国立感染症研究所感染情報センター、病原微生物検出情報、<http://idsc.nih.go.jp/iasr/index-j.html> (2008/4/21時点)
- 2)厚生労働省、ノロウイルスに関するQ & A (最終改定：平成19年12月20日)、<http://www.mhlw.go.jp/topics/syokuchu/kanren/yobou/040204-1.html> (2008/4/21時点)
- 3)Katayama, H., Shimasaki, A., Ohgaki, S., 2002. Development of a virus concentration method and its application to detection of enterovirus and Norwalk virus from coastal seawater. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 1033–1039.
- 4)Katayama, H., Haramoto, E., Oguma, K., Yamashita, H., Tajima, A., Nakajima, H., Ohgaki, S., 2008. One-year monthly quantitative survey of noroviruses, enteroviruses, and adenoviruses in wastewater collected from six plants in Japan. *Water Res.* 42, 1441–1448.
- 5)佐野大輔、植木洋、2006、河川および海域における病原ウイルス汚染～ノロウイルス調査事例～、水環境学会誌、29(3)、pp.130-134
- 6)社団法人日本下水道協会発行、流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説、1999、pp.103-123
- 7)坂崎利一編集、食水系感染症と細菌性食中毒(中央法規出版)、2000、p.108
- 8)厚生労働省、食中毒・食品監視関連情報、<http://www.mhlw.go.jp/topics/syokuchu/> (2008/04/22時点)
- 9)坂崎利一編集、食水系感染症と細菌性食中毒(中央法規出版)、2000、p.109
- 10)高橋善人、下水処理過程から分離したサルモネラの同定、薬剤耐性及びファージ感受性、日本水処理生物学会誌、33(4)、pp.199-205、1997
- 11)国府島泉、河川中、海水中のサルモネラと水質汚染指標の関連、日本水処理生物学会誌、1989、25(1)、pp.1-6
- 12)社団法人日本食品衛生協会発行、食品衛生検査指針微生物編、2004、pp.180-191
- 13)社団法人日本下水道協会発行、下水試験方法上巻1997年版、pp.708-709
- 14)厚生労働省/国立感染症研究所、感染症の話 (サルモネラ感染症)、http://idsc.nih.go.jp/idwr/kansen/k04/k04_05/k04_05.html (2008/04/17時点)
- 15)坂崎利一編集、食水系感染症と細菌性食中毒(中央法規出版)、2000、p.98
- 16)南山瑞彦、田嶋淳、桜井健介、平成17年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp.33-38、平成18年6月
- 17)南山瑞彦、吉澤正宏、桜井健介、平成18年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp.31-36、平成19年6月
- 18)社団法人土木学会衛生工学委員会編集、環境微生物工学研究法(技報堂出版)、1993、pp.203-205
- 19) Kirsten A. Mooijman, Mahdieh Bahara, Maite Muniesab and Arie H. Havelaar, 2002. Optimisation of ISO 10705-1 on enumeration of F-specific bacteriophages. *Journal of Virological Methods*, 103(2), 129-136.

12. 下水処理施設の改築更新の効率的な実施に関する調査

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

1. はじめに

下水道の普及に伴い、平成18年度末に70.5%の普及率に達した¹⁾。その一方で、改築更新が必要な施設は多くなっていくものと予想される。維持管理・更新に必要な投資が拡大していくと見込まれる中、財政の制約の下で下水道施設の機能レベルを維持するための施設管理を行い、下水道の新たなニーズに対応した新設投資とのバランスを保持していくことが必要である。本調査では、今後の下水道事業予算における改築更新の方向性を把握するためのツールとして用いることを目的とした、全国下水処理施設の改築更新に係る将来事業費の推計手法について、下水処理施設を対象に検討を行った。

2. 調査方法

下水処理施設の改築更新に係る将来事業費の推計手法の検討を、図-1 に示す手順で行った。将来事業費の推計のためには、全国下水処理施設の施設・設備数や事業費等の情報を把握する必要がある。把握方法の一つとして、全国アンケート調査による実績値の収集が考えられるが、処理場は多種・多数の設備を保有しており自治体が回答に要する作業量が膨大となること等から、全国アンケート調査によらず既存文献を基にした調査とした。

2.1 全国処理場の現有資産の把握

2.1.1 モデルケース別・供用開始年別処理場処理能力の把握

2.1.1.1 水処理施設

下水処理場を処理能力と水処理方式で分類し（表-1）、それぞれ供用開始年別の処理場数を求めることとした。処理能力は、下水道統計²⁾や日本の下水道³⁾に記載の区分で分類した。処理能力は晴天時日最大汚水量とし、下水道統計上の「晴天時日最大処理量（現有）」を用いた。また、本調査でモデルケースとして設定する水処理方式は、下水道法施行令に位置付けられている処理方式をふまえて設定した。以上より、水処理方式別の処理場数を整理し、水処理施設では1,931箇所を調査対象とした（表-1）。なお、同一処理場内で複数の水処理方式が存在している場合は、便宜上、年間処理水量の大きい系列における処理方式として整理し、年間処理水量が系列で均等配分されている場合は、系列の新しい処理方式として整理した。

2.1.1.2 汚泥処理施設

「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」⁴⁾（以下、流総指針）では、汚泥処理を含んだ二次処理施設の費用関数として、OD法では①濃縮→濃縮汚泥搬出、②濃縮→脱水→脱水汚泥搬出、標準法では①濃縮→脱水→脱水汚泥搬出、②濃縮→脱水→焼却

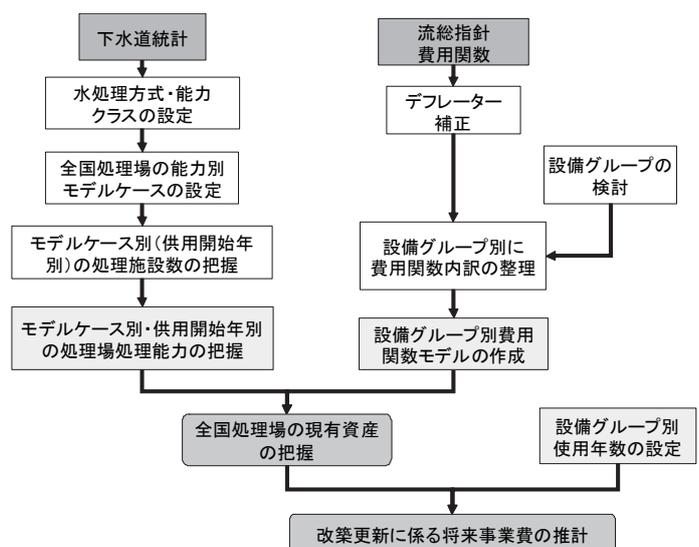


図-1 将来事業費の推計手順

→焼却灰搬出、といった汚泥処理プロセスが設定されている。本調査で設定する汚泥処理プロセスも流総指針に準拠し、これらの汚泥処理プロセスを標準ケースとして設定することとした。下水道統計により、各処理場の汚泥処理プロセスについて、脱水の有無、焼却の有無を把握した。なお、水処理施設を有さない汚泥処理場(27箇所)については、各々の最終プロセスが異なることから能力モデル化は行わず個別に計上した。

2.2 設備グループ別費用関数モデルの作成

2.2.1 改築更新事業の特性をふまえた施設・設備のグループの設定

改築更新事業の規模や工事が実施される設備群や支出の構成単位などを考慮し、施設・設備グループ（以下、設備グループ）を設定した（表-2）。代表的な施設・設備の構成区分の作成方法として、「下水道施設の改築について（国都下事第77号、平成15年6月19日）」の別表（以下、改築別表という）に記載されている、大分類、中分類、小分類がある。本調査で設定する設備グループは、①改築更新を構成する基本的な単位であること、②企業会計等における資産管理の単位であること、を考慮し中分類を基本に設定することとした。なお、改築別表における土木・建築施設の中分類（「躯体」「仕上」「建具」…）は実際の改築更新における単位とは異なることから、土木・建築施設は大分類をふまえた具体的な棟・施設のみを対象としたグループを設定した。また、改築別表における電気設備には、改築更新された設備に関する運転操作設備が含まれていないため、「運転操作設備」を設備グループとして設定した。改築別表の電気設備の「ケーブル・配管類」や機械設備の「付帯設備」等は各設備グループの改築更新に併せて行われるものとし、個別の設備グループとして設定しなかった。

2.2.2 設備グループ別費用関数モデルの作成

流総指針における費用関数を基にして、設備グループ別に費用関数モデルを作成した。対象施設における処理能力をインプット、事業費をアウトプットとした費用関数モデルである。基準年度を平成12年度とした建設工事費デフレーターが国土交通省より公表されており⁵⁾、これを用いて平成18年度基準となるよう価格補正を行った。

流総指針における費用関数は、処理能力の規模単位に工種別（土木、建築、機械、電気）に概略数量を算定・積算することで作成されている。この概略数量を表-2に示した設備グループ単位で再整理を行うことで、設備グ

表-1 水処理方式・能力クラス別の処理場数

水処理方式	能力クラス(晴天時日最大処理量(現有) 単位: m ³ /日)						計
	5,000未満	5,000~10,000	10,000~50,000	50,000~100,000	100,000~500,000	500,000以上	
標準活性汚泥法 ^{※1}	86	82	315	92	93	10	678
オキシデーションディッチ法	827	43	11				881
長時間エアレーション法	36	4	4				44
回分式活性汚泥法	65	6					71
酸素活性汚泥法	4	3	3	1	1		12
好気性ろ床法 ^{※2}	62	3	1				66
接触酸化法 ^{※3}	49	4	3	1			57
循環式硝化脱窒法	9	1	9	2	2		23
硝化内生脱窒法	2	1					3
ステップ流入式多段硝化脱窒法		2	4	4	2		12
高度処理オキシデーションディッチ法	18	1	1				20
嫌気好気活性汚泥法	11	1	11	3	15		41
嫌気無酸素好気法	3	1	6	6	7		23
計	1,172	152	368	109	120	10	1,931

A: 下水道統計の処理場コードを持つ処理場数	2,067箇所
B: Aの内、水処理を有さない汚泥処理場	27箇所
C: 処理方式が上記の何れにも属さない処理場(その他処理方式と記載)	56箇所
D: Aの内、晴天時日最大処理量(現有)の記載が無い処理場	53箇所
E: (E = A - B - C - D)	1,931箇所

※1 下水道統計上のモディファイド・エアレーション法、ステップエアレーション法を便宜上含めた。
 ※2 下水道統計上の嫌気好気ろ床法、標準散水ろ床法、高速散水ろ床法を便宜上含めた。
 ※3 下水道統計上の回転生物接触法、土壌被覆型碟間接触法を便宜上含めた。

表-2 設備グループ

種別	設備グループ	種別	設備グループ
機械設備	スクリーンかす設備	電気設備	特高受変電設備
	汚水沈砂設備		受変電設備
	雨水沈砂設備		自家発電設備
	汚水ポンプ設備		制御電源及び計装用電源設備
	雨水ポンプ設備		運転操作設備
	雨水滞水池・調整池設備		負荷設備
	汚水調整池設備		計測設備
	最初沈殿池設備		監視制御設備
	反応タンク設備		電気焼却設備
	最終沈殿池設備		土木
	消毒設備	反応タンク	
	用水設備	最終沈殿池	
	放流ポンプ設備	終沈ポンプ室(OD)	
	凝集沈殿設備	塩素混和池	
	急速ろ過設備	重力濃縮槽	
	活性炭設備	場内整備	
	汚泥輸送・前処理設備	樋門施設	
	汚泥濃縮設備	場内管渠施設	
	汚泥消化タンク設備	建築	
	汚泥洗浄タンク設備		管理棟
汚泥貯留設備	送風機棟		
調質設備	機械濃縮機棟		
熱処理設備	汚泥脱水機棟		
汚泥脱水設備	焼却棟		
汚泥乾燥設備			
汚泥焼却設備			
汚泥溶融設備			
建設資材利用設備			
コンポスト設備			

グループ別に費用関数モデルを作成した。なお、①雨水ポンプや滞水池など主に雨水処理に関する設備、②凝集沈殿や急速ろ過などの設備、③脱水プロセス以降の汚泥処理に関する設備、等は流総指針の費用関数のみでは費用関数モデルが作成できなかった。これらは、各処理場の個別の処理プロセスや地域特性を反映して組み合わせられるオプション的な設備と考えられ、個々の把握が困難なため本調査の対象外とした。

また、水処理プロセスを有しない汚泥処理場や資源化・有効利用施設等については、全体費用に占めるウエイトが比較的大きいと想定される単位プロセスのうち焼却、溶融のみを対象としてバイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル⁶⁾の費用関数から計上した。

2.3 設備グループ別使用年数

設備グループ別の使用年数（施設・設備の改築更新サイクル）の設定にあたっては、設備グループ内の設備・機器は、同一の使用年数を用いることとした。年数は、改築別表に記載の年数（標準耐用年数）に基づき設定した。なお、同一の設備グループ内における設備機器で異なる標準耐用年数が存在する場合は、主機的な役割を持つ設備、費用面でのウエイトが大きい設備の標準耐用年数を採用した。

2.4 全国処理場の現有資産の把握

全国処理場の現有資産の把握においては、上記 2.2 より費用関数式そのものが無い設備グループが存在すること、下水道統計からでは処理場固有のプロセスの把握が難しいことから、どの処理場でも必須となる設備グループ（＝流総指針で計上されている、各処理場で共通した処理プロセス・設備グループ）のみを対象として全国処理場の現有資産を把握した。なお、対象外とした施設・設備の例としては、雨水処理、滞水池、汚泥処理、凝集沈殿、急速ろ過、活性炭吸着である。

2.5 将来事業費の推計

本調査で用いた下水道統計の基準年度である平成 17 年度を将来事業費推計の基準年度としたため、平成 17 年度以降が将来事業費の推計部分となる。全国の処理場の各施設・設備が、当該処理場の供用開始年から使用年数のサイクルにより単年度で改築更新されるとした条件にて将来事業費の推計を行った。

3. 調査結果

3.1 全国処理場の現有資産の試算結果

全国処理場が保有する資産について現有施設能力と費用関数モデルから推定した結果、合計で約 8.2 兆円と試算された。留意点やより精度を上げるための課題は以下のとおりである。

- 1) 流総指針における費用関数は建設時に要する事業費であるため、現有資産の試算額は現有資産を新設した場合に要する事業費として位置付けられる。ただし、各処理場の個別の特徴（処理プロセスや地域特性）等は考慮していない点に留意する必要がある。
- 2) 各処理場の処理方式や処理フローは実態調査を実施するなどして個別に把握しているのではなく、下水道統計ベースでの設定を行っている。よって、処理場固有の施設・設備まで考慮し、より精緻に把握するには、複数処理方式を有する処理場において各々の処理方式又は系列単位での現有施設能力（日最大処理量）のデータを収集する必要がある。また、処理フローについても処理場単位に設備グループの有無を個別に調査して把握することが必要となる。
- 3) 当調査は流総指針における費用関数に準拠しているため、処理場の排除方式は分流式を標準とした処理フローや施設規模としている。合流部分や雨水に係る資産を把握するには、それらに対応した費用関数モデルを新規作成するなどの対応が必要である。

3.2 改築更新に係る将来事業費の推計結果

将来事業費の推計結果を図-2 に示す。留意点やより精度を上げるための課題は以下のとおりである。

1) この推計結果は、処理場の供用開始年に建設事業費総額が全額計上されること、施設・設備の改築更新が単年度で竣工しないものもあること、など段階的な処理場建設・処理系列の増設等施工条件や予算制約の影響について考慮されていない点に留意する必要がある。そのため、施工期間を反映した事業費の配分方法の検討が求められる。

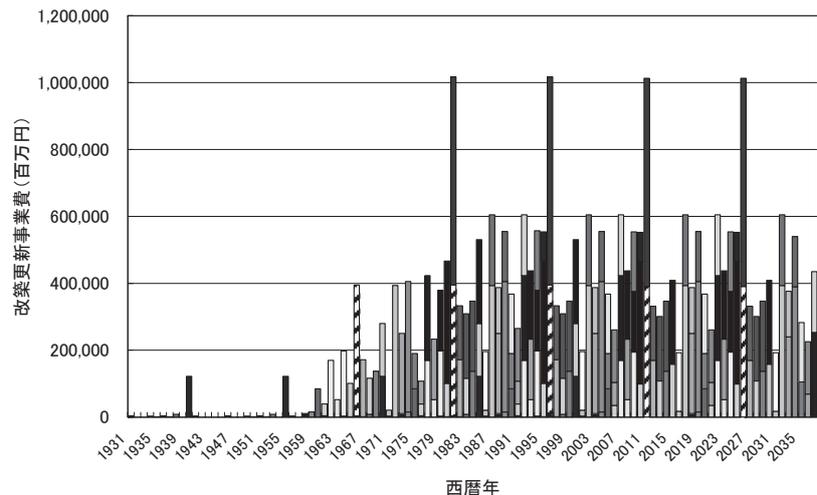


図-2 全国処理場における将来事業費の推計結果（平成17年度基準）

2) 流総指針における費用関数は建設時に要する事業費であり、現況の

費用関数モデルは改築更新に係る事業費とはなっていない。施設・設備の撤去費として、現況の費用関数モデルに一定額（設備グループの特性に応じて定額もしくは定率分の費用を想定）を加算することにより、改築更新に係る費用関数モデルを作成することが可能と考えられる。

3) 本調査で作成した費用関数モデルは流総指針に準拠しており、現有施設能力（日最大処理量）の入力により、事業費が出力されるものである。しかしながら、改築更新は池・系列単位に実施されるものであり、その費用についても池・系列の能力や設備能力に大きく影響し、日最大処理量に応じて単純に算定されるものではないと考えられる。

4) 設備グループ別使用年数は、当調査では標準耐用年数を用いた。使用年数は設備が本来有する寿命を用いるべきではあるが、寿命を過ぎていないが修繕等を行い、予算の制約のために次年度以降に先延ばししているものもある。そのため、使用年数の実績データを収集し統計的手法により使用年数分布を把握することにより、標準耐用年数で一律更新される条件ではなく使用年数分布に沿った改築更新サイクルを設定することが求められる。

4. まとめ

今後の下水道事業予算における改築更新の方向性を把握するためのツールとして、全国下水処理施設の改築更新に係る将来事業費の推計手法について、既存文献を基に検討を行った。

- 1) 流総指針における費用関数をベースに、全国下水処理場の現有資産を汚水施設分の新設費用として試算した結果、約8.2兆円と算定された。
- 2) 全国下水処理施設における将来事業費の推計手法について、より精度を上げるためには、施工期間を反映した事業費の配分方法の検討、施設・設備の撤去に要する費用をふまえた費用関数モデルの作成や施設・設備の使用年数分布の把握等が必要である。

参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会：平成19年日本の下水道 その現状と課題、p.27
- 2) 社団法人日本下水道協会：下水道統計 平成17年度版
- 3) 社団法人日本下水道協会：平成19年日本の下水道 その現状と課題、p.284
- 4) 社団法人日本下水道協会：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 平成11年版
- 5) 国土交通省総合政策局情報管理部建設調査統計課：建設工事費デフレーター、<http://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/chojou/def.htm>
- 6) 社団法人日本下水道協会：バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル、平成16年3月

13. 効率的な汚濁負荷削減のための流域管理の枠組みに関する調査

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
主任研究官 小越 真佐司
研究官 山縣 弘樹

1. はじめに

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

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

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

2. 平成19年度調査の概要

流域別下水道整備総合計画（以下、流総計画という）は水質環境基準を達成する下水道計画の上位計画として下水道法（昭和33年4月法律第79号、改正平成17年6月法律第70号）に定められ、個別の下水道計画の上位計画として位置付けられている。流総計画は、水質環境基準を達成するために必要な汚濁排出量の限度を推定し、これを達成するための下水道整備量を決定するものである。そのため、計画達成年次を定め汚濁解析に必要な諸量を推定し、汚濁解析モデルの妥当性を評価するために現況諸量の調査を行う。これら諸量の推定・調査にあたって、人口減少や下水道普及率向上などの社会情勢の変化に対応した適切な流総計画となるよう、計画手法や見直し要件について検討を行った。また、閉鎖性水域の水質環境が、河川水質環境に比べて改善が遅れている状況を改善するために流総計画として取り組むべき事項について検討を行った。

3. 平成19年度の調査結果

3.1 社会情勢の変化に対応した計画手法の検討

3.1.1 人口減少現象と計画年次

国立社会保障・人口問題研究所（以下、社人研と略記する）の将来人口推計（平成18年12月）によると我が国の人口は今後減少が続き、平成67年には現在より2000～4000万人減少して昭和30年代後半から40年代前半の人口規模に縮小すると予想されている。人口減少が下水道整備計画に及ぼす影響としては、必要整備量が減少することへの対応や、収入減少に伴う財政上の問題などが考えられ、特に人口減少率が高いと予想される地方では影響が重大であり、適切に計画に盛り込む必要がある。

流総計画は長期かつ広域の下水道基本計画であり、流域全体の適正な将来予測に基づいて策定する必要が

ある。従来の指針は整備拡大を基調として概ね20年後に設定していたが、総人口減少局面に入ったことと、下水道施設の主要部分が40年～50年の法定耐用年数を有することを考えると、可能な限り将来を見通して過剰な施設を長期間保有することにならない様に計画を立てる必要がある。そこで、社人研が国勢調査に基づいて都道府県別の将来人口推計を行っている概ね30年後までを適正な予測可能期間であるとし、計画年次は従来の20年より長い20～30年後に設定することが適当であると考えられる。

3. 1. 2 社会情勢の変化に応じた計画の見直し

社会情勢の変動はグローバル化して流動的であり、必ずしも計画策定時の予想が正しいとは限らない。上記、社人研の推計も地域間移動や出生率の変化が過去10年程度の傾向と変わらないことを前提にしており、中長期的にずれることがあり得る。そのため、流総計画も想定した人口等の状況が実態とあわなくなると見直す必要が生じる。現在の指針では、5年ごとの見直し検討と概ね10年経過時での見直しが指示されているが、計画策定に2年程度の時間と多くの費用を要することから、実態としては10年ごとの見直しとなっている。また、将来人口が減少すること、下水道整備率が70%に達し新規事業が減少して既存施設の改築・更新事業中心になること、河川の水質環境基準の達成が進み定期的な流総計画改定の必要性を問う声も聞かれる。これらを踏まえ、画一的な見直し期間を設定せず、地域の基本計画等の変更によって流総計画も変更が必要になる場合の他、計画区域内人口の実態が計画策定時の予測との乖離が認められ、計画年次の整備水準が不適正になると予想された時点で行うのが適当であると考えられる。

3. 2 閉鎖性水域の水質環境改善

閉鎖性水域の水質環境基準はCOD、全窒素および全りんで規定されている。環境省によると、海域および湖沼の環境基準達成率は河川に比較すると低く、改善が進んでいない。流総計画は下水道整備による水質環境基準の達成を目標としているが、湖沼や閉鎖性海域の水質改善を下水道による生活系負荷削減だけで達成することが困難である場合は多いと考えられる。例えば、滋賀県が琵琶湖への発生源別汚濁排出量について調査した結果によると、全体の汚濁負荷に占める生活系負荷の割合はおおよそ3分の1で、これに匹敵する汚濁が自然系から、或いは工業や農業等の産業系から排出されていた。

流総計画では生活系排水以外の汚濁排出源に対する許容汚濁負荷量を設定している。現行の指針では自然負荷以外の汚濁排出源に対して一律の削減率を設定するという事例を紹介しているが、既に策定された閉鎖性水域の流総計画では、下水道の削減量を（技術的に可能な最大量に）設定した後、残余を自然負荷を除く他の排出源に均等に配分する方式や、自然負荷も含めて均等に配分する方式も採用されている。また、汚濁負荷削減が技術的に可能でも費用面で代替手法の検討が必要になる場合がある。生活系以外の排出源のうち、事業所は環境省調査資料の他、各自治体で個別事業所からの届出により把握できるが、その他は資料が少なく実態の推定が困難である場合も多い。この様に、合理的な資料を得難い状況の下で計画策定を円滑に進めるには、生活系以外の排出負荷量の推定とこれに基づく削減量の配分について、関係部局の意見を聴取し、当事者の知る実態との適合や各部門における削減の技術的可能性を確認しておくことが重要である。

4. まとめと今後の課題

流総計画制度の開始から30年以上経過し、水質汚濁対策上の役割は下水道整備計画の枠を超えて益々重要になっている。この間に蓄積された様々な情報を統合・公開して利用可能なものにすると共に、未だ欠如している情報の収集を組織的に進めることが当面の課題である。

参考文献

- 1) 建設省都市局下水道部監修 「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」 平成11年版
- 2) 「琵琶湖の総合的な保全のための計画調査報告書」平成11年3月 滋賀県水政課資料

14. 既存処理施設活用による汚濁付加削減方策に関する調査

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
主任研究官 小越 真佐司

1. はじめに

閉鎖性水域を放流先とする流域にある下水処理場では放流先水域の富栄養化防止のための窒素・りん除去が要請されている。これに対応できるよう既存下水処理施設では施設設備の高度処理化が必要である。しかし、予算の制約などの理由により高度処理化が完了するまでには相当時間を要することが予想されている。そこで、目標水準達成に対応可能な施設が整備されるまでの間も汚濁の進行が抑制されるよう、既存施設における窒素・りん除去機能の改善・向上を図ることが望ましい。本調査は、既存施設の維持管理手法を工夫することによる汚濁負荷削減効果を検討して、技術的な指針を与え、水質汚濁制御の実効を高めることを目的としている。

2. 調査方法

高度処理施設としての認可を受けていない既存下水処理場を対象に、通常の下水処理より高度な処理水質を得ることを目的とする運転管理上の工夫による取組等の実施状況について、国土交通省都市・地域整備局下水道部が行ったアンケート調査結果に基づき、下水処理場の処理方式、高度化のための取組内容と水質高度化の効果との関係を検討した。

3. 調査結果

3. 1 高度な処理水質への取組の状況

調査回答施設数は 447（複数処理法施設による重複有り）で、うち、高度処理施設の回答が 182 あり、高度処理としての認可を受けていない施設からの回答は 265 であった。これらの施設の処理方式の内訳は、標準活性汚泥法 211 施設、OD 法 54 施設であった。また、処理水質高度化への取組を行っている施設は、標準活性汚泥処理法の施設では 154 施設で全体の約 73%、OD 法では 10 施設で、全体の約 18%であった。以下は取組の詳細である。

3. 1. 1 処理水質高度化への取組内容

①水質向上の対象物質： OD 法施設で高度処理の取組を行っている 10 施設中、りん除去だけを目的の施設はなく、りんと窒素の両方の水質向上を目的とする施設が 2、窒素除去だけを目的とする施設が 4、窒素と BOD の水質向上を目的とする施設が 4 であった。標準活性汚泥法施設では、りん除去目的のみ 90、りん窒

表－1 標準活性汚泥法施設の取組みの内訳

除去目的	TP	TP/TN	TP/BOD	TN	TN/BOD	BOD	その他	計
嫌気又は無酸素部	59	16	6	1		10	12	104
硝化促進	8	10		10	1	1	7	37
その他活性汚泥変法	1	6		4	1		4	16
その他	7	3		2		3	10	25

素同時除去が 20、窒素除去のみ 19、りんと BOD が 6、窒素と BOD が 2、BOD のみ 14 であった。

②改善手法： 改善の手法は主として反応槽内に無酸素部分や嫌気部分を設ける、もしくは硝化を促進させる、であるが、その他の運転変法 (A₂O、ステップ流入など) によるものもあった。標準活性汚泥法の施設について、水質向上の対象物質とその手法の関係は、表-1 の通りである。窒素除去を目的とする場合は硝化促進を、りん除去を行う場合や BOD の改善を目的とする場合は嫌気或いは無酸素部を設ける場合が多いという結果であった。

3. 1. 2 処理水質

処理水質の高度化に取り組んだ施設について、高度化の代表的な取組方法である嫌気もしくは無酸素部の導入を行った施設と硝化促進を行った施設について、処理水質 (年平均値) の分布状況を検討した。

図-1 ~ 4 に結果を示す。

図中の太実線は対数正規分布を仮定したときの推定分布、細線は正規分布を仮定したときの推定分布、プロットは実際の年平均値の分布を表している。

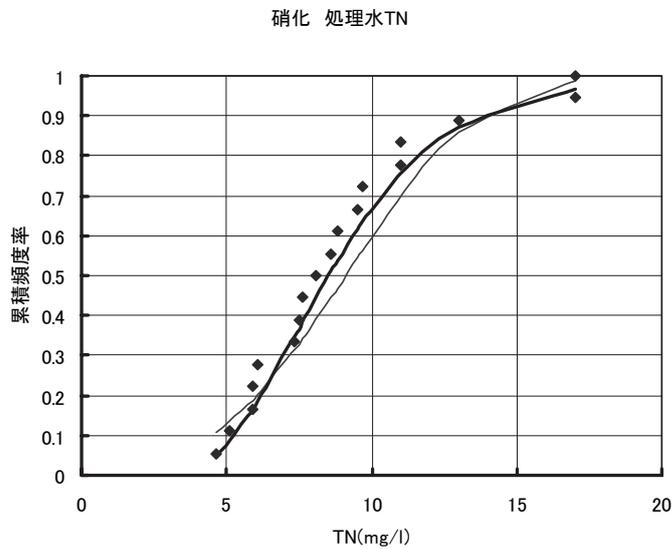


図-1 標準活性汚泥法 (硝化促進) 処理水 TN の分布

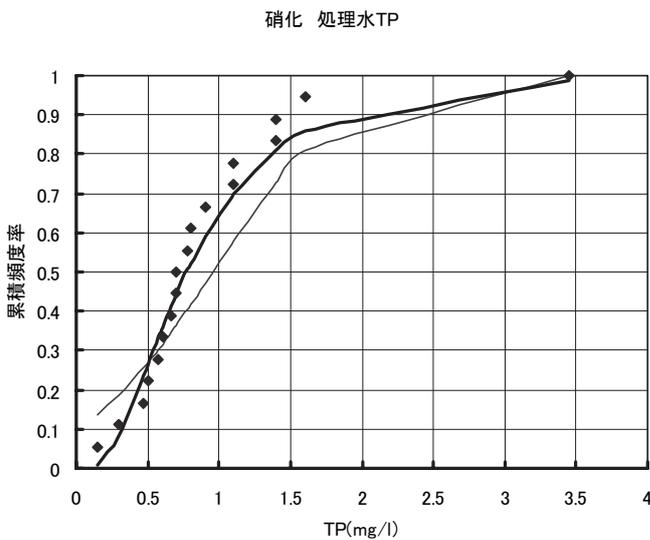


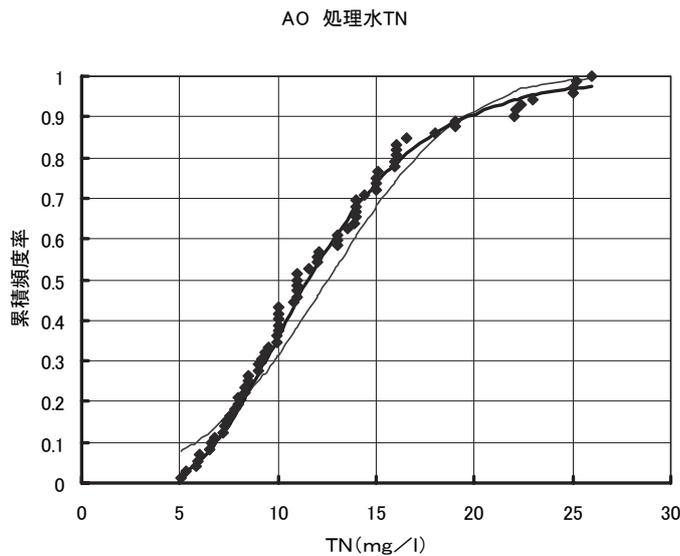
図-2 標準活性汚泥法 (硝化促進) 処理水 TP の分布

図-1 によれば、硝化促進運転を行っている施設の年間の平均 TN 濃度は最大の施設でも 20mg/l 未満で、全体の 90% 程度の施設では年間平均からの標準換算係数¹⁾により、計画放流水質を TN20 とすることができる目安となる 14mg/l 未満を達成している、窒素除去高度化の目的を達成していると考えられる。

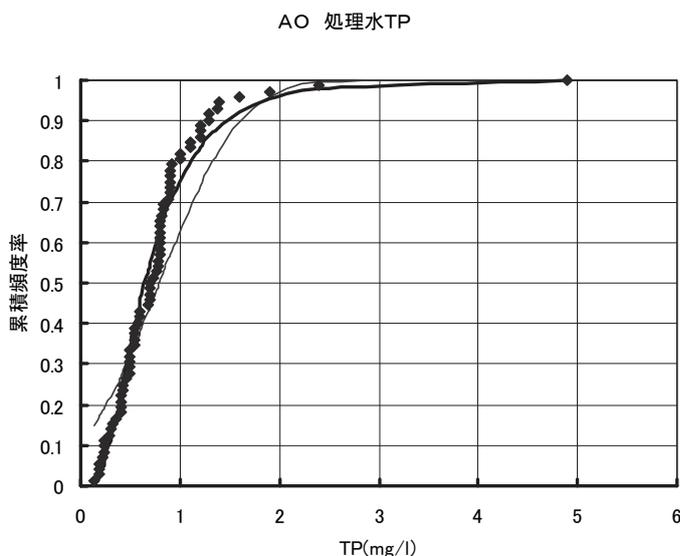
図-2 によれば、硝化促進運転を行っている施設の処理水 TP 濃度は、1 点を除き平均 2mg/l 未満であり、標準換算係数により計画放流水質を TP3 とすることができる年平均値 1.1mg/l 未満を達成している施設も 70% 程度あることから、TP の除去能力も高くなっていると考えられる。

図-3 は嫌気もしくは無酸素部分を導入して、りんや BOD の高度除去を行う取組をしている施設の処理水 TN の分布である。90% の施設で平均 TN 濃度が 20mg/l 未満で、標準換算係数により計画放流水質を TN20 とすることができる TN14mg/l 未満の施設が 70% 程度で、TN 除去能力も高いと考えられる。

図-4 によれば、標準換算係数によって計画放流水質 TP3 の設定が可能な年平均 1.1mg/l 未満を達成している施設は 80% 程度であると考えられ、硝化促進によ



図一 3 標準活性汚泥法（嫌気/制限曝気）処理水 TN



図一 4 標準活性汚泥法（嫌気/制限曝気）処理水 TP

る窒素除去を目的とした場合より、目的とする水質項目が計画放流水質に適合する割合は低いと推定される。

3. 2 処理水質高度化の取組における水質変動

処理水質高度化の取組状況のアンケートに有りと回答し、実際に有効な取組を行っていると考えられた施設を対象に、水質変動の状況を把握するため、年間の水量・水質と施設の運転状況について、詳細な調査を行った。

3. 2. 1 データの種類と予測最大値の検討

再調査によって提供されたデータのうち、ほぼ週に1回の分析を行っている施設について、測定結果の各月平均値(12個/年)、各月2回の分析結果及び各週一回の分析結果から、各々年平均値(μ)とその標準偏差(σ)及び正規分布を仮定したときの放流水質の上限推定値(99.9%非超過、 $\mu + 3\sigma$)を求めて比較した結果、各週または月2回の分析データに基づく上限推定値はほぼ一致するが、各月平均値に基づく上限推定値は他の2者より低い傾向を示した(各週データを有する施設で3通りのデータセットを作成、各々の平均・標準偏差・上限推定値を計算し、各週データの結果との差を求め、その分布を相互に比較し、差が有意であるか検定した結果、有意水準5%で帰無仮説は棄却された)。したがって、各月平均値を使用して最大値推定を行うと、真

値より小さめに評価される可能性があるため、各月の平均値データしか得られなかった施設は年間変動の評価対象にしないこととした。

3. 2. 2 窒素除去を目的として運転管理による高度化の取組を行っている施設

上限推定値が TN で 20mg/l 以下を達成している施設(系列)は、7施設(18系列)であり、上限推定値が TN20mg/l を超過した施設(系列)は4施設(10系列)であった。

取組内容別に見てみると、制限曝気による反応槽内の一部無酸素槽化で脱窒を行っているケースでは7施設(20系列)中、2施設(5系列、何れも同一自治体)で超過が推定され、機械攪拌による無酸素槽化を行っている例では4施設(4系列)中、1施設(1系列)で超過が推定された。無酸素槽を設けない取組例は1例のみであったが、上限推定値は 27.5mg/l で TN20 を超過し、最も高い値が予想された。したがって、窒素

除去を行う場合は、何らかの形で無酸素槽が必要と考えられる。

3. 2. 3 りん除去を目的として運転管理による高度化の取組を行っている施設

上限推定値が TP で 3mg/l 以下を達成している施設（系列）は、10 施設（34 系列）中の 8 施設（28 系列）、上限推定値が TP3mg/l を超過した施設（系列）は 3 施設（6 系列）であった。

制限曝気による反応槽前端部嫌気槽化を行っているケースで 6 施設（20 系列）中、1 施設（5 系列）で超過が推定され、機械攪拌による反応槽前段嫌気槽化を行っている例では 5 施設（13 系列）中、1 施設（1 系列）で超過が推定された。何れも、窒素除去を目的とする取組よりは成功率が高いものと推定される。なお、嫌気槽を設けずに、りん除去を目的とした取組の例は無かった。

3. 2. 4 窒素・りんの同時除去

上記の高度処理への取組を行っている施設では、主たる除去対象ではないりんまたは窒素も同時に除去されている場合が認められた。窒素除去を目的として制限曝気による無酸素部分を設けた施設では、処理水 TN<20 を達成した全ての施設で同時に上限推定値 TP<3 が達成された。うち 1 施設は TP<0.5、他の 1 施設は TP<1 の高度なりん除去が達成されていた。機械曝気による無酸素部分設置施設では TN<20 達成の 3 施設中 2 施設で上限推定値 TP<3 であり、うち 1 施設が TP<0.5 と推定された。一方、りん除去を目的として制限曝気による嫌気部分を設けた施設のうち TP<3 を達成した 8 施設中 7 施設が TN<20 を達成していると推定された。しかし、機械攪拌方式の嫌気部分を導入して TP<3 を達成した 5 施設は何れも TN<20 を達成できないと推定された。何れの場合も、同時に TN、TP の最低限の目標以上を同時に達成できた割合は機械攪拌を使用して嫌気もしくは無酸素部分を作り出す手法より制限曝気によってこれらを作り出す手法の方が高く、高度処理施設として設計されていない場合は、緩やかな嫌気的環境の導入によって、窒素・りんが同時に改善される可能性が高いものと考えられる。

4. まとめと今後の課題

OD 法に次いで導入数が多い標準活性汚泥法は都市部の中規模以上の施設に普及しており、総処理水量が多く、公共水域の水質に及ぼす影響が大きい処理方式である。その高度処理化は公共用水域の水質改善上、重要、かつ有効である。標準活性汚泥法は処理時間が短く活性汚泥の交換が早いこと、嫌気部の導入によってりん除去の高度化を図ることが容易である。標準活性汚泥法の施設における嫌気部の導入は、活性汚泥の糸状性バルキング防止を目的として多くの施設で実施されており、同様の運転管理上の工夫によってりん除去効果を高めることが期待できる。今回の調査により、高度処理としての認可を受けていない施設でも、運転管理上の工夫により平均的に高い窒素又はりん除去能力を発揮していることがわかった。これらの施設を高度処理施設として位置付けるには、年最大値で規定される計画放流水質が高度処理の基準を満たさなければならないが、年間水質変動について調査した結果、平均的な除去機能が高くても変動が大きいため高度処理の位置付けができない場合があることが判明した。このような変動の原因を検討することや、最大値による高度処理水質の確保と年間平均水質による制御について、排出負荷量削減効果の観点から比較し、平均的に高度な処理水質を達成している既存施設を閉鎖性水域の水質改善対策上どのように位置付けるか検討することは、今後の重要な課題であると考えられる。

参考資料

1) 国土交通省 都市・地域整備局 下水道部 流域管理官付補佐 事務連絡（平成 19 年 11 月 9 日）「計画放流水質の設定における流域別下水道整備総合計画との整合性について」

15. 下水道資源有効利用の推進に関する調査

下水道処理研究室 室長 南山 瑞彦
主任研究官 平山 孝浩
研究官 宮本 綾子

1. はじめに

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

2. 調査方法

本調査では、下水道事業を実施している全ての地方公共団体に対して、2007年7～9月に下水汚泥の発生から最終利用・処分までの処理フローの概要及び下水汚泥の処理・有効利用状況等（平成18年度実績分）に関するアンケート調査を実施した。アンケート調査により得た回答（2,077処理場分）を整理・集計した。

3. 調査結果

3.1 下水汚泥の発生量と処理処分・有効利用の状況

平成18年度における下水汚泥の処理及び処分の状況を表-1、表-2に示す。下水汚泥は年間223万DS-t（乾燥重量トン）が発生しており、そのうち約74%が緑農地利用、建設資材利用、燃料化等として有効利用されている。

表-1 下水汚泥の処理及び処分状況（汚泥発生時乾燥重量ベース、平成18年度）

単位：DS-t/年

引き渡し先 処理後の 汚泥形態	最終安定化先								合計	%	
	埋立処分	緑農地利用	建設資材利用		燃料化等	海洋還元	場内ストック	その他			
			セメント化	セメント化以外							
生汚泥	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0.0%
濃縮汚泥	53	2	0	0	0	0	0	0	25	80	0.0%
消化汚泥	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
脱水汚泥	36,730	28,011	92,912	2,579	3,161	0	13	137	163,542	163,542	7.3%
移動脱水車汚泥	33	59	11	39	0	0	0	0	142	142	0.0%
コンポスト	592	240,585	0	3,318	0	0	1	0	244,496	244,496	10.9%
機械乾燥汚泥	115	867	0	0	0	0	2	1	984	984	0.0%
天日乾燥汚泥	3,829	30,649	3,609	6	16,083	0	0	0	54,176	54,176	2.4%
炭化汚泥	21	1,733	898	181	0	0	24	78	2,934	2,934	0.1%
焼却灰	518,538	26,879	698,896	302,153	4	0	4,642	5,381	1,556,493	1,556,493	69.6%
熔融スラグ	237	3,308	6,371	200,722	776	0	705	28	212,146	212,146	9.5%
合計	560,146	332,093	802,697	508,998	20,025	0	5,387	5,653	2,234,998	2,234,998	
%	25.1%	14.9%	35.9%	22.8%	0.9%	0.0%	0.2%	0.3%			100%

表-2 下水汚泥の処理及び処分状況（処分時体積ベース、平成18年度）

単位：m³/年

引き渡し時 (搬出時)の 汚泥形態	最終安定化先								合計	%
	埋立処分	緑農地利用	建設資材利用		燃料化等	海洋還元	場内ストック	その他		
			セメント化	セメント化以外						
生汚泥	9	379	0	0	0	0	0	196	585	0.0%
濃縮汚泥	36,243	12,936	7,104	3,672	0	0	210	835	60,999	2.5%
消化汚泥	599	102	0	0	0	0	0	220	921	0.0%
脱水汚泥	330,893	734,452	670,552	143,331	12,400	0	66	13,177	1,904,871	78.5%
移動脱水車汚泥	304	3,761	294	895	0	0	0	0	5,254	0.2%
コンポスト	266	83,817	0	0	0	0	0	0	84,084	3.5%
機械乾燥汚泥	201	2,001	874	85	0	0	3	3	3,166	0.1%
天日乾燥汚泥	11,078	31,292	9,776	137	19,355	0	0	0	71,638	3.0%
炭化汚泥	0	78	0	30	0	0	15	0	123	0.0%
焼却灰	95,317	2,223	92,933	69,451	0	0	1,346	0	261,271	10.8%
溶融スラグ	0	931	896	31,840	0	0	73	0	33,740	1.4%
合計	474,910	871,973	782,428	249,441	31,755	0	1,713	14,431	2,426,650	100.0%
%	19.6%	35.9%	32.2%	10.3%	1.3%	0.0%	0.1%	0.6%	100.0%	

下水汚泥の有効利用の状況を表-3、表-4及び図-1に示す。有効利用の内訳としては、従来、緑農地利用が中心であったが、近年はセメント原料としての利用などの建設資材利用が進んできており、平成7年度に建設資材利用が緑農地利用の割合を上回り、平成18年度における緑農地利用は有効利用全体の約20%（汚泥発生時乾燥重量ベース）である。下水汚泥の建設資材利用としては、セメント原料としての利用の割合が多くなってきており、平成18年度においては、建設資材利用のうち乾燥重量ベースで約61%がセメント原料としての利用となっている。セメント化以外の建設資材利用については、自治体での実施量と民間での実施量が同量程度であるが、緑農地利用・セメント原料としての利用では民間に引渡している量が多くなっている。

表-3 実施主体別の有効利用実施状況（汚泥発生時乾燥重量ベース、平成18年度）

単位：DS-t/年

	液状汚泥	脱水汚泥	コンポスト	乾燥汚泥	炭化汚泥	焼却灰	溶融スラグ	計
緑農地利用								
自治体で実施	0	9,785	37,295	5,014	693	11,324	3,236	67,347
民間に引渡し	2	18,285	203,290	26,502	1,039	15,555	72	264,745
小計	2	28,070	240,585	31,516	1,733	26,879	3,308	332,093
建設資材利用(セメント化)								
自治体で実施	0	1,431	0	0	0	87,784	0	89,215
民間に引渡し	0	91,491	0	3,609	898	611,112	6,371	713,481
小計	0	92,923	0	3,609	898	698,896	6,371	802,697
建設資材利用(セメント化以外)								
自治体で実施	0	209	35	6	177	118,183	109,647	228,258
民間に引渡し	0	2,408	3,283	0	4	183,970	91,075	280,740
小計	0	2,618	3,318	6	181	302,153	200,722	508,998
燃料化等								
自治体で実施	0	10	0	13,144	0	4	0	13,159
民間に引渡し	0	3,151	0	2,939	0	0	776	6,867
小計	0	3,161	0	16,083	0	4	776	20,025
合計	2	126,772	243,903	51,214	2,812	1,027,933	211,177	1,663,812

表-4 実施主体別の有効利用実施状況 (処分時体積ベース、平成18年度)

単位：m³/年

	液状汚泥	脱水汚泥	コンポスト	乾燥汚泥	炭化汚泥	焼却灰	熔融スラグ	計
緑農地利用								
自治体で実施	9,945	42,790	77,681	5,898	78	0	909	137,302
民間に引渡し	3,472	695,423	6,136	27,395	0	2,223	22	734,671
小計	13,417	738,213	83,817	33,293	78	2,223	931	871,973
建設資材利用(セメント化)								
自治体で実施	7,104	10,306	0	0	0	10,531	0	27,941
民間に引渡し	0	660,540	0	10,650	0	82,402	896	754,487
小計	7,104	670,846	0	10,650	0	92,933	896	782,428
建設資材利用(セメント化以外)								
自治体で実施	2,806	69,765	0	137	30	30,969	12,750	116,457
民間に引渡し	866	74,461	0	85	0	38,483	19,090	132,984
小計	3,672	144,226	0	222	30	69,451	31,840	249,441
燃料化等								
自治体で実施	0	21	0	16,730	0	0	0	16,750
民間に引渡し	0	12,380	0	2,625	0	0	0	15,005
小計	0	12,400	0	19,355	0	0	0	31,755
合計	24,193	1,565,684	83,817	63,519	108	164,607	33,667	1,935,597

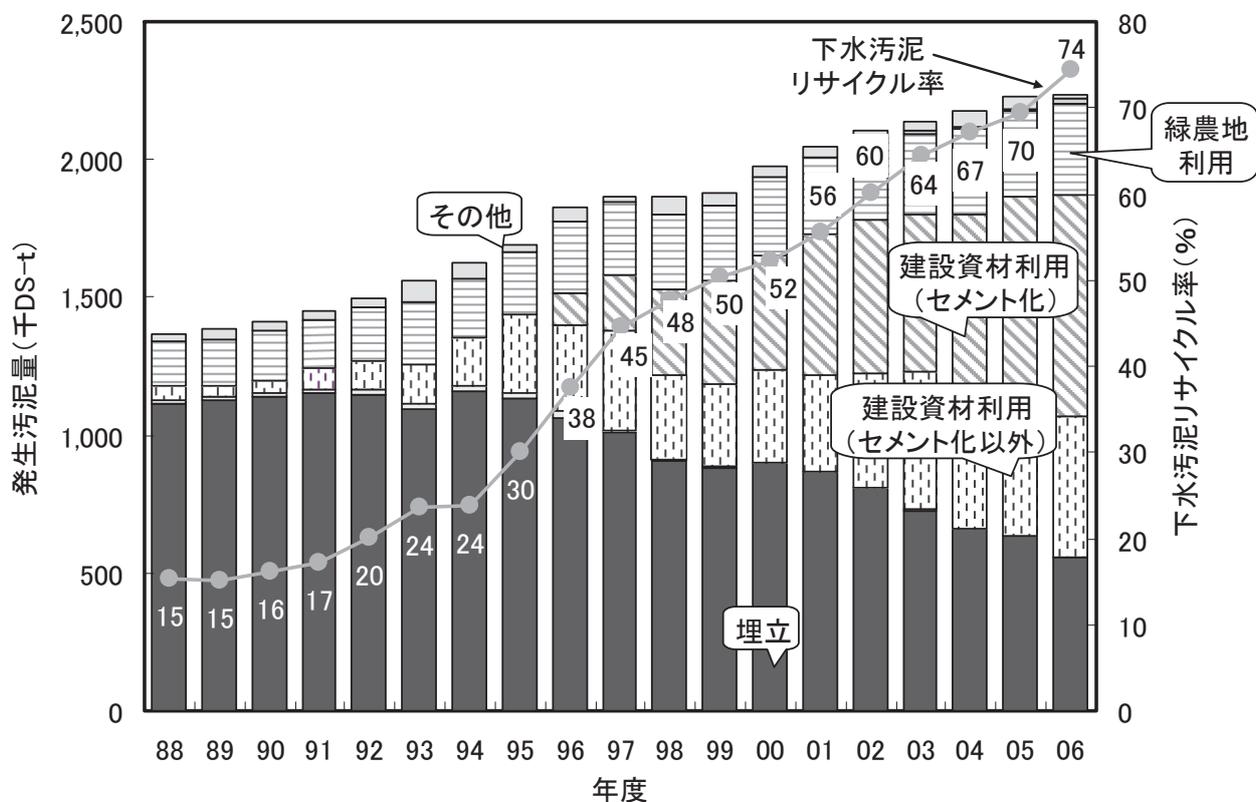


図-1 下水汚泥有効利用の経年変化

3.2 下水道バイオガスの発生・利用の状況

平成 17 年度と平成 18 年度の下水道バイオガス（消化ガス）発生量及び利用状況を表-5 に示す。平成 18 年度においては、発生した下水道バイオガスの約 7 割（211 百万 m³）が利活用されており、残り約 3 割（95 百万 m³）は焼却処分されている。また、下水道バイオガス発生量の約 2 割（60 百万 m³）はガス発電に利活用されているが、約 3 割（90 百万 m³）は消化槽の加温用としての用途にとどまっている。

下水道バイオガスを用いた発電は、下水処理場の電力費の節約と資源有効利用の観点から進められている。国内では 1984 年より下水道バイオガス発電設備が導入され始め、平成 18 年度時点で総基数が 37 基、総発電容量が約 22,460kW になっている。総発電容量は、平成 17 年度版下水道統計における処理場施設の契約電力合計（約 1,200 千 kW）の約 2%に相当する。

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

表-5 下水道バイオガス（消化ガス）発生量及び利用状況

	H18	H17
消化槽に投入される濃縮汚泥量 (発生時DS量) (DS-t/年)	757,555	896,080
消化ガス発生量 (千m ³ /年)	303,702	284,635
有効利用消化ガス量 (千m ³ /年)	121,184	105,849
ガス発電	59,703	49,083
焼却炉補助燃料	42,894	39,769
汚泥乾燥	10,449	10,566
場内冷暖房	1,532	1,561
その他	6,606	4,870
消化槽投入汚泥および消化槽への熱供給に 利用された消化ガス量 (千m ³ /年)	90,250	92,395
利用されなかった消化ガス量 (千m ³ /年)	94,705	86,658
使用用途が不明な消化ガス量（計測誤差を含む） (千m ³ /年)	-2,437	-268

その他の消化ガス有効利用用途

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

4. おわりに

下水汚泥の有効利用に関する諸課題の解決には、地域特性に応じた適切な汚泥の有効利用の検討や、新技術の導入など、様々な分野における総合的な対策を進めることが重要である。本調査では、今後も施策の方向性の検討や実施状況のフォローアップ、見直しに資する下水道資源有効利用の実施状況に関する情報整理等を実施するとともに、消化ガス利用も含む下水汚泥有効利用に関する新たな整理について検討する必要があると考えられる。

16. 下水道事業の設計・積算合理化に関する調査

総合技術政策研究センター 建設システム課 課長 佐近 裕之
主任研究官 杉森 伸子

国の直轄工事においては、築堤・護岸、道路、橋梁等について「詳細設計照査要領」・「土木工事設計図書の照査ガイドライン」が策定され、一部の公共団体においても活用されているが、下水道工事についてはこれまで全国統一的なものがとりまとめられていない。しかし、公共工事に関する調査及び設計図書の品質が公共工事の品質確保を図る上で重要な役割を果たすことから、下水道工事について照査要領等の整備が必要とされている。

本研究は、下水道土木工事詳細設計成果品について品質確保と設計業務の効率化のため、詳細設計照査要領案（チェックリスト含む）の作成を行うものである。

平成 18 年度は、都道府県等における照査要領等の整備状況の調査と、詳細設計照査要領の素案作成を行った。

今年度は、前年度作成した素案について、都道府県等への意見照会を行い、その結果を反映することにより内容の充実や改善をおこなった。

チェックリスト(案)は、下水道土木構造物の多様性・特殊性を考慮し、処理場・ポンプ場施設と管路施設をそれぞれ構造形式により表-1 のように分類し、基本的にはこの区分ごとに作成している。なお、IV類【複合構造物】の建築構造部は対象外とする。

チェックリスト(案)の構成を表-2 に示す。

詳細設計照査フローチャートは、詳細設計委託業務の着手から完了までの流れを照査の視点から整理したものである。

発注前確認項目一覧表は、発注者が特記仕様書に明示すべき事項や、打合せで指示すべき事項を勘案し、設計条件となる基本事項や資料を一覧表にまとめたものである。

照査項目一覧表は、詳細設計の「設計計画」、「設計計算」、「図面作成」および「数量積算」の各々の段階ごとに照査すべき基本的事項をまとめている。

設計調書は、主要構造諸元と主要構造躯体数量に関する項目をまとめたものである。

これらのうち、発注前確認項目一覧表と、照査項目一覧表 1：設計計画は、業務ごとに共通の内容となるため、構造物の分類ごとではなく、処理場・ポンプ場施設用と管路施設用の 2 種類を作成

表-1 下水道土木構造物の分類

大区分	細区分	概要
1. 処理場・ポンプ場施設	1 I類【水槽構造物】	沈砂池、沈殿池、汚泥濃縮タンク等の下水、汚泥等の液体を収容する水槽構造物
	2 II類【地中埋設線状構造物】	地下管廊等
	3 III類【版状構造物】	機械基礎版
	4 IV類【複合構造物】	地下が水槽等の土木構造物、地上部が建築構造物として定義された施設が複合された構造物。二重覆蓋のある水槽構造物、沈砂池ポンプ棟等
2. 管路施設	1 【差し込み継手管渠】	遠心力鉄筋コンクリート管、硬質塩化ビニル管（ゴム輪接合継手）等
	2 【矩形渠】	現場打ち鉄筋コンクリート渠等
	3 【シールド渠】	
	4 【一体構造管渠】	硬質塩化ビニル管（接着接合継手）等
	5 【マンホール】	

表-2 チェックリスト(案)の構成

No	内容名称	利用区分	
		発注者	受注者
1	詳細設計照査フローチャート	○	○
2	発注前確認項目一覧表	○	-
3	照査項目一覧表1：設計計画	-	○
4	照査項目一覧表2：設計計算	-	○
5	照査項目一覧表3：図面作成	-	○
6	照査項目一覧表4：数量積算	-	○
7	設計調書	-	○

した。

表-3に発注前確認項目一覧表、表-4に水槽構造物の照査項目一覧表 2.設計計算の各々一部を示す。

表-3 発注前確認項目一覧表（抜粋）

No	項目	主な内容	確認資料	該当対象	確認・日付	備考
1	設計の目的・主旨	1)対象施設の設置目的は明確になっているか？	特記仕様書	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	設計範囲、内容、数量、及び履行期間	1)設計範囲、内容、数量、及び履行期間は決定しているか？	共通仕様書 特記仕様書	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	施設名称	1)対象施設の名称は決定しているか？	特記仕様書	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	立地条件・敷地条件	1)耐震設計上の地域係数区分は？ 2)積雪地域か否かの区分は？ 3)塩害対策地域に該当するか？ 4)未買収用地の有無は確認できているか？ 5)その他の条件はあるか？ □ 無、□ 有(□ 寒冷地対策 □ 活断層 □ 埋蔵文化財、 □ その他)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	設計基本条件	1)適用基準・指針類は決定しているか？ 2)設計コンセプトの有無と内容確認はできているか？ 3)計画諸元(計画下水量、計画汚泥量)は決定しているか？ 4)設置位置は決定しているか？ 5)既設構造物との関連、増設計画の有無は整理できているか？ 6)基本設計に基づく平面・断面計画の有無は？ 7)関連するプラント設備計画の段階は確認できているか？ 8)構造類型区分は決定しているか？ 9)基礎形式の基本方針 □ 杭、□ 直接基礎)は決定しているか？		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	施工上の基本条件	1)工事発注予定時期は確認しているか？ 2)施工面からの環境対策上の配慮すべき事項の有無と内容確認は？ 3)近接構造物、地下埋設構造物はないか？ 4)スペース、ヤード、工法等の制約条件はあるか？ 5)周辺の土地利用条件を確認したか？ 6)近隣道路状況(建設用資材等搬入性)は確認出来ているか？ 7)関連する既往工事から反映すべき設計施工要件は確認出来たか？		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

表-4 照査項目一覧表 2.設計計算【水槽構造物】（抜粋）

項目	照査・日付	照査項目	照査ポイント	備考
■構造物設計一般事項				
一般事項	<input type="checkbox"/>	名称	○○○○施設第○系列	
	<input type="checkbox"/>	用途	下水処理施設	
	<input type="checkbox"/>	規模	巾約○○○m×長○○○m×深 最大約○m、A≒○.○○○m ²	
	<input type="checkbox"/>	地盤高	現況:TP+ m、計画:TP+ m	OP、AP等表示可
	<input type="checkbox"/>	地下水位	□TP m、□被圧地下水有り	
準拠基準・指針類	<input type="checkbox"/>	準拠基準・指針	□砂質土、□シルト、□粘性土、□砂礫、□その他 □「(社)日本下水道協会；下水道施設の耐震対策指針と解説；2006」 □「(社)日本下水道協会；下水道施設の耐震計算例-処理場・ポンプ場編-；2002」 □その他()	
	<input type="checkbox"/>	使用ソフトウェア	躯体構造計算ソフト □任意形平面フレーム解析ソフト(名称:) □その他(名称:) 躯体断面算定ソフト □躯体計算ソフト一貫計算、□自社ソフト、□その他	
構造概要	<input type="checkbox"/>	構造分類	□水槽、□その他	
	<input type="checkbox"/>	構造種別	□RC、□PC、□鋼製	
	<input type="checkbox"/>	構造形式	□壁、□シェル、□()	
	<input type="checkbox"/>	基礎形式	□直接、□杭、□地盤改良、□その他()	
	<input type="checkbox"/>	工事種別	□新築、□増設、□改築 □耐震補強、□機能改良、□その他)	
使用材料	<input type="checkbox"/>	増設計画	□有り、□無し	
	<input type="checkbox"/>	コンクリート	□ock21、□ock24	欄記以外使用時はその旨を欄記
	<input type="checkbox"/>	同上許容応力度	□oca=7N/mm ² 、□oca=8N/mm ² 、□ra=0.42N/mm ² 、□ra=0.45N/mm ²	//
	<input type="checkbox"/>	鉄筋(D16以下)	□SD295、□osa=180N/mm ² 、□fsyd=295N/mm ² □SD345、□osa=200N/mm ² 、□fsyd=345N/mm ²	//
構造細目	<input type="checkbox"/>	鉄筋(D19以上)	□SD345、□osa=200N/mm ² 、□fsyd=345N/mm ²	//
	<input type="checkbox"/>	最小鉄筋比	□壁(%)、□上中床版(%)、□底板(%)	
	<input type="checkbox"/>	最小鉄筋被り	□壁(cm)、□上中床版(cm)、□底板(cm)	
	<input type="checkbox"/>	塩害対策有無	□無、□有(対処方法:)	
単位重量	<input type="checkbox"/>	コンクリート	□鉄筋コンクリート:24.5kN/m ³ 、□無筋コンクリート:23kN/m ³	
	<input type="checkbox"/>	土	□湿潤:18kN/m ³ 、□水中:9kN/m ³	
	<input type="checkbox"/>	その他	□鉄骨:77kN/m ³ 、□丸丸:21kN/m ³	

この照査要領案は、全国統一版として作成したものであるが、各地域や設計等の特性に応じて必要な照査項目の追加・修正を妨げるものではなく、また、使用を義務付けるものではないが、本要領案が発注者・受注者において活用されることにより、成果品の品質向上や照査の効率化に貢献することを期待する。

<謝辞>

お忙しい中、貴重なご意見をお寄せいただいた地方公共団体の方々に心からお礼申し上げます。

17. 市街地における氾濫解析システムの開発

水害研究室 室 長 榎村 康史
主任研究官 山本 晶
研 究 官 山岸 陽介
交流研究員 大塚 守雄

1. はじめに

近年、集中豪雨の発生は増加傾向にあり、全国各地で浸水被害が発生している。特に都市部の河川流域では、都市化の進展に伴い、宅地開発や道路面積等の増大により、大量の雨水がごく短時間に河川や下水道管に流入するため、雨水排水能力が追いつかず、下水道や河川から溢水した雨水が低地に湛水したりするなど、都市型水害が毎年のように発生している。

都市型水害への対策を講じる際には、氾濫水の挙動を把握する必要があるため、そのためには、地表面での氾濫、河川からの氾濫、下水道からの溢水等の現象を同時に解析可能なモデルの開発が求められている。

水害研究室では、これらの現象を一体的に解析可能なモデル（NILIMモデル）の開発を行っており、別途「都市洪水・都市浸水想定区域の技術的検討に関する研究」において、水理模型実験を行い、計算手法の精度検証を行うなど、妥当性の検討を重ねている。

NILIMモデルの公開に当たっては、実流域への適用性及び、インターフェースの整備が課題となっており、本研究では、水理模型実験結果を踏まえて改良がなされたNILIMモデルを実流域へ適用し、精度検証を行うとともに、解析結果を視覚的に確認可能な機能等を備えたインターフェースの構築を行った。

2. NILIMモデルの実流域への適用

過去に、集中豪雨等により都市型水害が発生したA市における一部の排水区を解析対象地域として設定し、NILIMモデルを適用した。図-1に解析対象地域の概略を示す。対象地域は、3つの排水区で構成される分流域区域であり、面積は約115ha（①：17.3ha、②：23.7ha、③：74.0ha）である。図-2に実績浸水箇所と解析結果を示す。実績浸水箇所はA市による聞き取り調査の結果を示したものである。NILIMモデルによる解析結果では、浸水域をやや広く計算している結果となっているものの、聞き取り調査結果から示される浸水域は捉えられており、NILIMモデルの再現性を確認することができた。

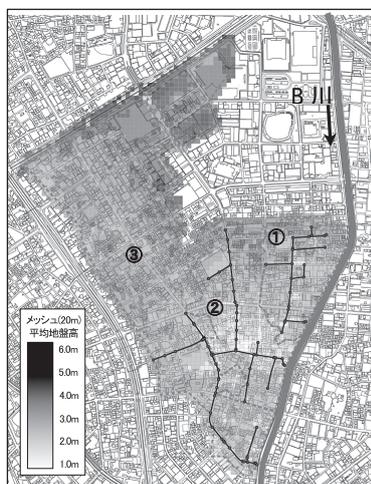


図1 解析対象地域の概要

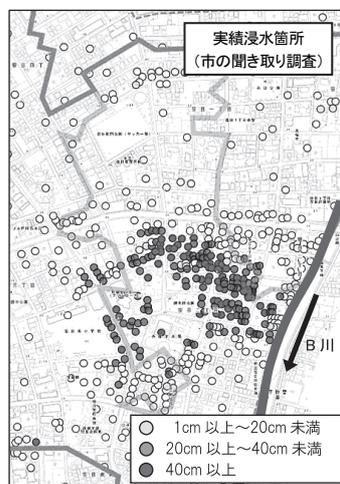


図2 実績浸水深と解析結果

3. インターフェースの構築

NILIMモデルによる解析では、解析種別によって必要となる入力データは異なるが、下水道からの溢水及び、破堤・越水等の河川からの氾濫を考慮した内外水同時の氾濫解析を行う場合には、最大で22個の入力データファイルが必要となる(表-1)。これらのファイルを画面上で指定できるインターフェースを作成した。また、これらの入力データに不備が合った場合、計算を実行することができない場合があるが、複数のデータの中で、どの部分に、どのようなエラーが発生しているのかを見つけるのは容易な作業ではない。そこで、エラーが発生しているデータの種別、エラーが発生している箇所、エラーの種別を示すチェックツールを作成した。図-3は実際にエラーが発生した際のエラー表示画面を示している。データファイル中の行番号、排水区番号、管路番号等とともに、エラー内容が表示されるため、データの修正作業を省力化することができる。

NILIMモデルでは、解析結果はテキストデータで出力される。これらのデータを視覚的に確認可能なインターフェースを構築した。図-4は湛水深、管路内水位縦断面図の出力結果例を示しているが、これらのデータ以外に、河川水位縦断及び、人孔における時系列水位・流量についてもインターフェース上で確認することができる。

4. おわりに

実験結果を踏まえた改良版NILIMモデルを実流域に適用し、解析結果を浸水実績と比較した結果、NILIMモデルの再現性を確認することができた。また、インターフェースの構築により、視覚的に解析結果を確認することができるなど、NILIMモデルのユーザビリティが向上した。

計算プログラムとともに、インターフェース及びユーザーマニュアルをホームページ上で公開する予定であり、都市浸水想定区域の検討や、都市雨水対策検討など幅広い現場で活用されることが期待される。

表1 NILIMモデルの入力データ

分類	内容	内外水	外水	内水	河道
河道	河道断面特性	◎	◎	×	◎
	河道網	◎	◎	×	◎
	上流端入力流量	◎	◎	×	◎
	下流端入力水位	◎	◎	×	◎
	初期河道流量-水位	◎	◎	×	×
	破堤地点	○	○	×	○
	堰データ	○	○	×	○
氾濫原	横流入量	○	○	×	○
	メッシュデータ(地盤高、集水人孔等)	◎	◎	◎	◎
	降雨データ	◎	×	◎	×
	ダミーメッシュ(河道の指定)	○	○	○	○
	盛土	○	○	○	×
	ポンプデータ	○	○	○	×
	水路	○	○	○	×
下水道	水路ポンプデータ	○	○	○	×
	管路網データ	◎	×	◎	×
	人孔データ	◎	×	◎	×
	管路下端データ	◎	×	◎	×
	管路ポンプデータ	○	×	○	×
計算用	時間定義データ	◎	◎	◎	◎
	入力時系列データ個数	◎	◎	◎	◎
	下水道計算パラメータ	◎	×	◎	×

◎:必須 ○:選択 ×:不要



図3 エラーチェックツールのエラー表示画面

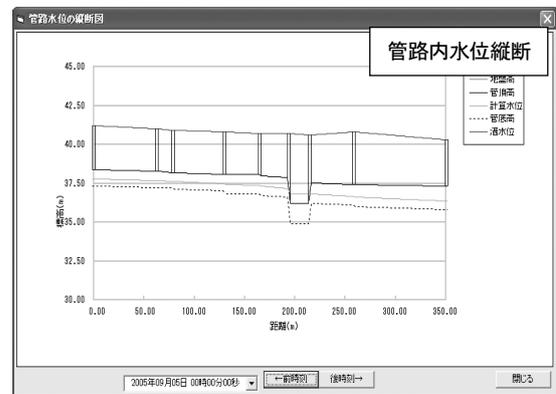
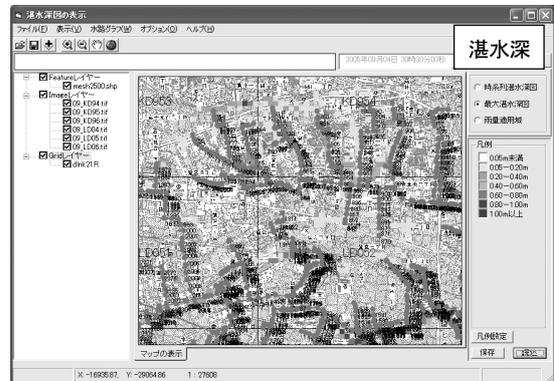


図4 解析結果表示画面

II. その他の予算による研究

[下水道研究室]

1. 下水道管渠の適正な管理手法に関する研究

下水道研究室 室 長 榊原 隆
主任研究官 松宮 洋介
研 究 官 深谷 渉
研 究 管 福田 康雄

1. はじめに

近年、下水道管渠に関連した道路陥没が多発しており、国交省は下水道管理者である地方自治体へ緊急点検を通知し、結果を公表した。道路陥没は、東京や大阪など古くから下水道に取り組んでいる大都市で大きな問題となっており、管渠の老朽化との関連が注目されている。国全体で見た場合、法令の標準耐用年数の50年を過ぎた管渠は全資産のほんの一部である。今後、老朽管が増えた場合、さらなる道路陥没が生じ、交通障害や人身事故の恐れがある。このような状況のもと、ストックマネジメントによる効率的かつ効果的な管渠の管理が現在、必要となっている¹⁾。

18年度は、管渠管理へのストックマネジメントの導入と適用性の検討、多変量解析による下水道管渠の劣化箇所予測の検討、下水管渠の改築・修繕工事の優先実施箇所選定方法に関する検討を実施した²⁾。

19年度は全国の管渠をマクロな視点で捉えた劣化曲線を提案した。

2. 方 法

2. 1 見かけの健全率の算定

管渠の劣化データを収集するにあたり、下水道統計³⁾でスクリーニングした後、ヒアリングを行い、管渠調査を面的に行っている7都市（大都市3団体、中小都市4団体）を選定した。面的調査とは一定の年数を過ぎた管渠に対する網羅的調査または経過年数に関係なく特定地区の管に対する網羅的調査を意味する。悪臭やつまり等、不具合被害が発生している管だけを調査している都市のデータを用いて劣化曲線を描くと、劣化進行が実際以上に早く進む誤差が生じるために、このような事前選定を行った。7都市から2000～2004年度に実施したテレビカメラまたは目視調査の結果を提供頂いた。維持管理指針⁴⁾に基づき各自治体の管一本毎の診断調査結果から路線の緊急度を再判定した。指針による緊急度の定義を表-1に示す。

表-1 緊急度の診断基準

	区分	対応の基準
緊急度Ⅰ	重度	速やかに措置することが必要
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
緊急度Ⅲ	軽度	簡易な対応により必要な措置を5年以上まで延長できる

再判定結果をもとに自治体毎、経過年数毎の見かけの健全率を算出し、さらに相加平均して全国平均経過年数毎の見かけの健全率を算定した。見かけの健全率の定義は以下の式による。

$$\text{見かけの健全率} = 1 - (\text{緊急度ⅠまたはⅡと診断された路線の総数}) / (\text{調査路線総数}) \quad (\text{式-1})$$

2. 2 改築及び修繕の影響の補正

上記の健全率は改築や修繕を行いながらの劣化進行を示す値であるため「見かけの」としている。本来、劣化曲線における経過年数毎の健全率は、改築や修繕を行わない場合の劣化速度である。そこで、見かけの健全率から改築及び修繕(改築・修繕)の影響を除くために図-1の手法を採った。

左上図はある経過年数までの見かけの健全率を左下図は累積残存率を示している。右図は補正後の健全率が累積残存率と見かけの健全率の積で算定されることを示している。これは改築や修繕を受けた管は劣化していたとの前提に基づいている。

次に、累積残存率の求め方を記す。ある経過年数における敷設後からの累積残存率は、経過年数毎の残存率の累積値で求まるとした。経過年数毎の残存率は1から経過年数毎の改築・修繕率を減じて求めた。

$$\begin{aligned}
 n \text{ 年における累積残存率} &= \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \\
 &= (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \cdots \times (1 - R_n) \quad (\text{式-2})
 \end{aligned}$$

ここに、 R_i = 経過年数毎の改築・修繕率

経過年数毎の改築・修繕率は、平成18年度の全国の年度初めの管渠資産延長に対する年度内での改築延長の割合に修繕分として平成7年度から16年度の各年度の改築延長と修繕延長の割合の相加平均を一律に上乘せして求めた。平成18年度の全国の年度初めの管渠資産延長と年度内での改築延長(廃止を含む)は全国の自治体へのアンケート調査により入手した。平成7年度から16年度の各年度の改築延長と修繕延長は下水道統計に依った。

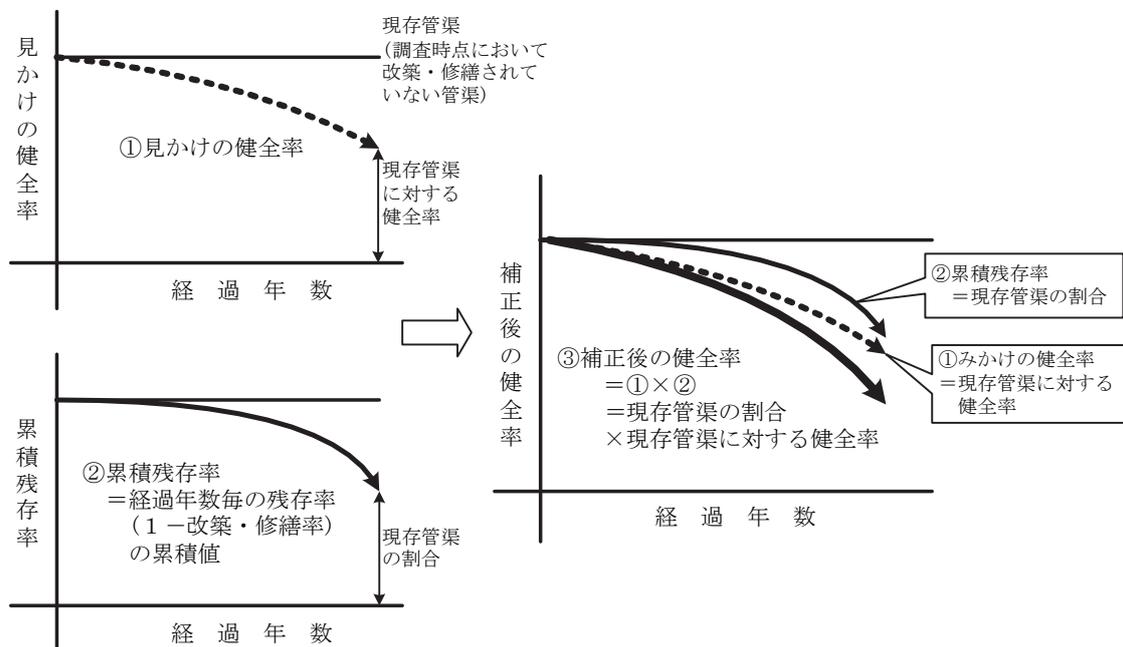


図-1 見かけの健全率に対する改築・修繕の影響補正の考え方

3. 結果

経過年数毎の見かけの健全率を図-2、累積残存率を図-3、経過年数毎の補正後の健全率と線形近似式(劣化曲線)を図-4に示す。劣化曲線として以下の式を得た。

$$\text{補正後の健全率 (\%)} = -1.44 \times (\text{経過年数}) + 118 \quad (\text{式-3})$$

本劣化曲線によると健全率が50%を下回るのが約48年であり、適正な維持管理を実施しないと平均耐用年数は法定耐用年数（50年）にみたないことが示された。尚、この劣化曲線の適用範囲は健全率100%の経過年数となる約13年と健全率0%の経過年数約82年の間であり、経過年数13年以下では健全率100%、経過年数82年以上では健全率0%と経過年数によらず一律とするのが実務的対応と考える。

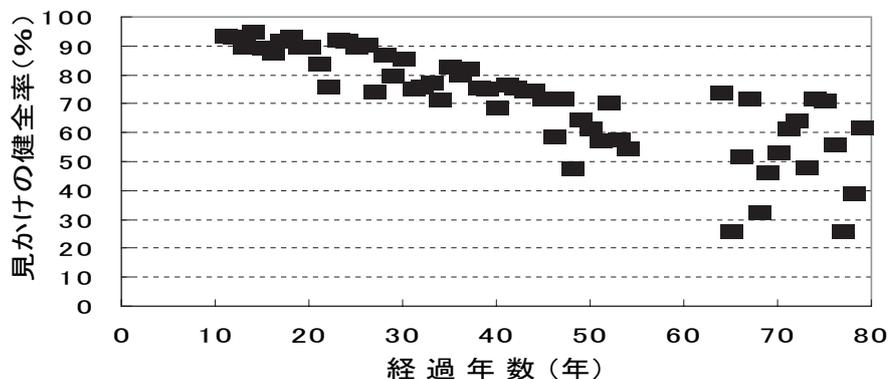


図-2 見かけの健全率

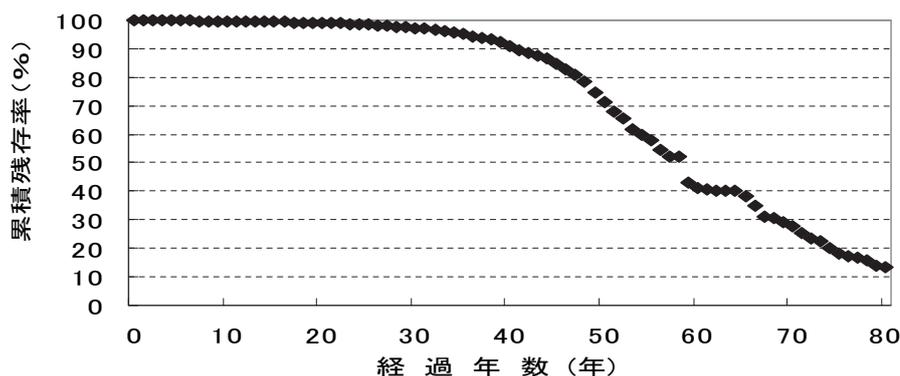


図-3 累積残存率

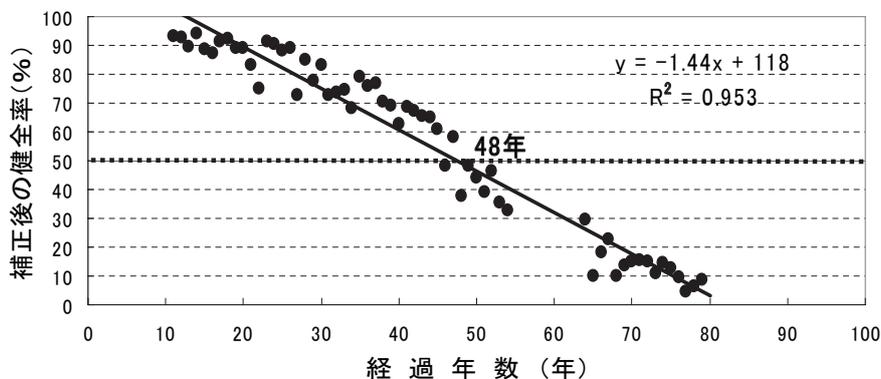


図-4 補正後の健全率と劣化曲線

4. 考 察

(1) 劣化曲線を得るための方法についての考察

劣化曲線を作成するに当たり緊急度ⅠまたはⅡを劣化としている。これはいくつかの自治体からヒアリングしたところ、緊急度Ⅲで何らかの対策を行うことはほとんどない、とのことであったためである。しかし、緊急度Ⅲは、対応の基準例として、“簡易な対応により必要な措置を5年以上にまで延長できる”とされている³⁾。従って、緊急度Ⅲを劣化なしとしていることは、危険側の仮定となっている。一方、改築・修繕の影響を除くための方法において、アンケートから得られる改築延長には、合流式下水道の能力増強を伴う改築（再構築）延長が含まれている。いくつかの自治体からのヒアリングによると再構築事業に当たっては劣化していない管渠を改築している場合もあるとのことである。従って、現状の改築率で補正することは安全側の仮定となっている。このような危険あるいは安全側の仮定条件に基づいており、各自治体に適合しない場合も想定される。しかし、劣化曲線を描くためのデータが不十分な多くの自治体では、少なくとも当初計画において本劣化曲線を使用する以外に術はない。計画実施により、管渠調査データが蓄積されれば、各自治体が自らの管渠調査データにより、今回提案の手法により劣化曲線を描くのが適当と考える。

(2) 得られた劣化曲線についての考察

本劣化曲線から求まる劣化率(=1－健全率)を管齢毎の管渠敷設延長に乘じ、さらに過年度に実施した改築・修繕延長を差し引くことにより、各自治体において、現状に必要な改築・修繕延長を予測できる。また将来必要となる改築・修繕延長も予測できる。

5. まとめ

本研究では、管渠調査を面的に行っている7都市のデータを用いて、見かけの健全率を算定した後、これを全国的な改築・修繕データで補正し、劣化曲線を得た。本劣化曲線を用いることにより各自治体での改築・修繕事業量予測が可能となった。

謝辞 本研究にご協力頂きました自治体の皆様に深く感謝の意を表します。

なお、本調査研究は、試験研究費により実施されたものである。

参考文献

- 1) 松宮洋介他：下水道管きよのアセットマネジメント研究、下水道協会誌、Vol. 44、No. 538、2007年8月号
- 2) 藤生和也他：下水道管渠の適正な管理手法に関する研究、国総研資料第404号、2007年6月
- 3) 日本下水道協会：下水道統計、平成7～16年度版
- 4) 日本下水道協会：下水道維持管理指針、前編、2003年版
- 5) 松宮洋介他：管渠の劣化曲線に関する調査(投稿中)、第48回下水道研究発表会講演集掲載予定

II. その他の予算による研究

[下水処理研究室]

1. 人口急増地域の持続的な流域水政策シナリオ

－モンスーン・アジア地域等における地球規模水循環変動への対応戦略－

ガンジス川流域における水質保全対策の評価

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
研究官 宮本 綾子
研究官 桜井 健介

1. はじめに

アジアを中心とした地域では、急激な人口増加や都市化による水問題や、人間活動による水循環の変動などが進行している。このため、アジアの特徴を有する流域を対象として、様々な水問題解決のための政策シナリオを提示し、その成果をツールボックスとしてとりまとめることを目的として、山梨大学砂田教授を研究代表者としたチーム型研究（科学技術振興機構：CREST タイプ）を実施している。その中で当研究室は、ガンジス川流域を対象に、水質問題に重点をおいた水政策シナリオを提示するための調査を行っている。

ガンジス川は、ヒマラヤを最上流として、中国、インド、ネパールを通り、最終的にバングラディッシュで海域に流れ込む、総延長 2,524km、流域面積 1,086 千 km²の大国際河川である¹⁾ (図-1)。その流域面積のうちインドは、861 千 km²を占め、全体の約 8 割になる²⁾。インド国民の約 4 割が流域に生活しており、流域人口は約 3 億 6 千万人にもなる²⁾。河川水の利用用途は、上水、農業用水の供給だけでなく、宗教上重要な河川として、人々は聖なる川での沐浴を行っている。しかし、急激な人口増加により、ガンジス川への污水、廃棄物などが増加し、河川の水質汚濁が問題化してきている。特に、病原微生物などの水系伝染病を引き起こす汚染に関しては、河川との接触が多いインド国民にとって、大きな社会問題となっている^{1,2)}。

この問題を解決するには、水質問題に重点をおいた水政策シナリオが必要である。シナリオ作成にあたり、現地住民の生活様式や河川の水質汚濁状況、汚濁源、原単位などの基礎データを十分に把握した上で、今後の経済状況、人口推移等の移行を考慮しつつ、段階的な下水道整備の手法などの政策シナリオを作成することが必要である。しかし、インド政府での聞き取り調査によると、シナリオ作成のための基礎となる汚濁負荷源のデータが整理されていないとのことであったため、まず現地における汚濁負荷源の基礎的な調査を行うこととした。基礎調査の地域としては、広範囲のガンジス川流域の全域を調査することが難しいため、大きな負荷源として代表的なニューデリー（周辺地域含む）を対象として詳細な調査を行い、基本となるデータを整備することとした。



図-1 ガンジス川流域の概略図¹⁾

2. これまでの調査の概要

基礎調査により得られる負荷量原単位は、シナリオ作成時の根本となる最も重要なデータである。このため、これまでの調査では、現地調査を十分に行ない、負荷量原単位調査を行なうポイントの選定、水質分析を行ってきた。調査場所である汚濁源に関しては、都市部では住民の生

活様式の格差が非常に大きく、収入により居住地域が分かれている等の理由から、高、中、低の所得の違うそれぞれの地域、さらに生活様式が異なる都市部のスラム地域、都市部から離れた農村集落地域を選定した。その他、インドでは乳牛の飼育が非常に多いため、牛舎排水も調査場所に選定した³⁾。調査場所の選定後、サンプリングのスペースが確保できるか、水量が適量か、水量、利用者数の把握が可能なのか、他の排水が含まれていないか等の条件を満たすポイントを選び、サンプリングを実施した。

17年度までの調査の結果、都市部の高、中、低所得者で原単位の大きな差が見られなかった。当初、所得の違いによる排水の違いを考えていたが、低所得者でも部屋を借り生活できる程度の収入があるため、排出負荷としてみた場合に食事や生活習慣に大きな違いがない結果であった。しかし、スラム、農村部に関しては水量、負荷ともかなり低く、都市部の高、中、低所得者のものとは大きく傾向が違っていた。なお、スラムの調査に関しては、排水施設が整備されていないため、サンプリング箇所の選定、居住者数の把握が困難なことに加え、他の地域に比べケース数が少ないため、さらに調査が必要であった。牛舎の排水は、調査箇所すべてでほぼ同じような傾向にあった。これらのことから18年度はスラムに調査箇所を絞り、給水所排水、家庭排水、共同トイレ排水の3種類に分けた原単位調査を実施した。その結果、スラムにおいても都市部の高、中、低所得者と同程度の排出負荷があったことを確認した。19年度は、下水道未整備地区での汚濁流達率調査を実施した。また、沐浴場の衛生学的安全性を確保するための手法の一つとして、塩素消毒による排水の流入した河川水中の大腸菌死滅効果に関する検討を行った。

3. 下水道未整備地区の汚濁流達率調査

流達率は下水道計画のための汚濁解析を行う際に必要な係数の一つであるが、インドではデータが整備されていない。今回の調査ではこれまで原単位調査を実施してきた下水道未整備地区（農村）の汚濁流達率の調査を実施した。調査対象は、現地の水路、腐敗槽の設置状況、人口などを考慮して平成15年度に負荷量原単位の調査を実施したパラ村とした。

1) 地域の概要

パラ村は約500世帯、人口約3000人（平成15年度調査時：約450世帯、人口約3200人）の居住する農村で、デリー市の北部に位置する。水源は手押しポンプ（井戸）と水道となっている。ほとんどの世帯には腐敗槽が設置されており、トイレ排水と雑排水が処理されている。牛は250～300頭程度飼育されており、牛のし尿と洗浄排水は屋外へ直接排水されている。

2) 調査方法

現地踏査を行い排水区を特定した後、世帯数、人口、腐敗槽の設置状況、家畜数等の聞き取り調査を実施した。排水路の流量は図2に示した地点の排水溝の流末で水深、幅、流量（流速計使用）を1時間ごとに24時間測定し算定した。同時に排水のコンポジットサンプルを作成し、水質分析用の試料とした。また、腐敗槽での汚濁物質除去性能をみるため、村内の3戸の腐敗槽からグラブサンプルを採取し、水質を分析した。

流達率の算定には排出負荷量原単位は平成15～17年に実施した調査の結果を用いており、生活排水は中所得者層と低所得者層の平均値、牛については平成15年～16年調査の平均値を使用した。この負荷量原単位と、それを用いて計算した排出負荷量を表1に示す。

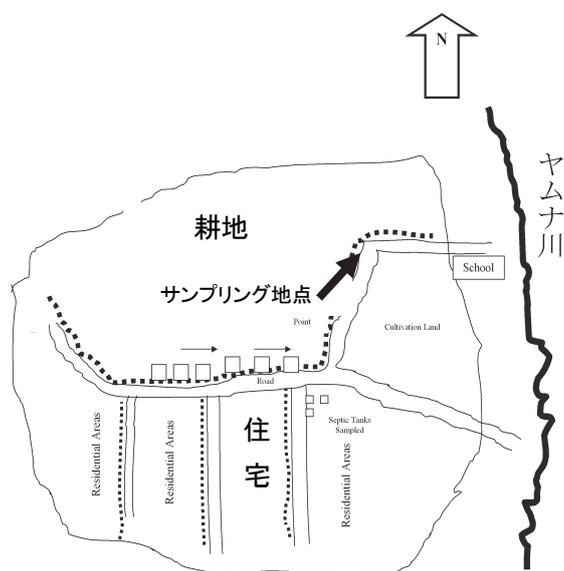


図-2 パラ村のサンプリング地点

3) 調査結果

排水路流末の流量調査の結果、平均流量は 439.1m³/d、最大流量は 1063.8 m³/d (10 時) 最小流量は 63.0 m³/d (3 時) であった。流量と水質分析の結果から求めた流達負荷量と流達率は表 2 のような結果となった。排水量原単位は 138L/人/日となり、過去の農村部原単位調査結果と比較して約 3 倍程度で下水道整備地区の中・低所得者層の平均値とほぼ同等の値であった。また、腐敗槽からの放流水の水質は、3 戸中 2 戸では腐敗槽からの排水が採取できなかったため腐敗槽内から採取して 30 分間沈殿させたものを測定した。結果は表 3 のようになり、SS が特に高い値を示すなど、調査対象とした腐敗槽では汚濁物質がほとんど除去されていない可能性があった。この原因としては、腐敗槽からの汚泥が適切に引き抜かれていないことが考えられる。

流達指針では、流達率は主として側溝、排水路の整備状況によってきまり、農村部での BOD 負荷流達率の標準値は 0~20% であるとされている。パラ村では村内の側溝はレンガあるいはコンクリート製の区間と素堀りの区間があり、今回の調査では BOD 負荷流達率は 34.3% となった。

表-1 負荷量原単位と排出負荷量

生活			
水質	人口	負荷量原単位	排出負荷量
	人	g/人/日,MPN/人/日	kg/日,MPN/日*
BOD5	3,000	33.4	100.2
CODcr		63.6	190.8
SS		22.9	68.7
T-N		10.0	30.0
T-P		2.6	7.8
大腸菌群数*		9.5E+09	2.86E+13
牛			
水質	牛	負荷量原単位	排出負荷量
	頭	g/頭/日,MPN/頭/日	kg/日,MPN/日*
BOD5	300	701.8	210.5
CODcr		1418.7	425.6
SS		898	269.4
T-N		122.4	36.7
T-P		14.6	4.4
大腸菌群数*		4.1E+07	1.23E+10
計			
水質	排出負荷量		
	kg/日,MPN/日*		
BOD5	310.7		
CODcr	616.4		
SS	338.1		
T-N	66.7		
T-P	12.2		
大腸菌群数*	2.9E+13		

表-3 腐敗槽排水の水質

測定項目	腐敗槽排水	腐敗槽内	腐敗槽内
水温 (°C)	15	15.2	15.5
pH	7.4	7.5	7.1
生物学的酸素要求量 BOD ₅ (mg/l)	253	447	46
化学的酸素要求量 COD (mg/l)	544	816	128
ケルダール性窒素 Kj-N (mg/l)	291	299	70
アンモニア性窒素 NH ₄ -N (mg/l)	240	249	50
亜硝酸性窒素 NO ₂ -N (mg/l)	0.8	0.8	0.3
硝酸性窒素 NO ₃ -N (mg/l)	34	29	4
総リン T-P (PO ₄ -P) (mg/l)	18	14	11
浮遊物質 SS (mg/l)	1624	2256	112
大腸菌群数	MPN法(個/100 ml)	5.4 x 10 ⁸	9 x 10 ¹² 2.1 x 10 ¹⁰
	平板培養法 (cfu/ml)	8.0 x 10 ⁶	1.2 x 10 ¹⁰ 8.3 x 10 ⁸
糞便性 大腸菌群数	MPN法(個/100 ml)	1.72 x 10 ⁶	4.6 x 10 ⁹ 1.0 x 10 ⁷
	平板培養法 (cfu/ml)	8.5 x 10 ⁵	1.0 x 10 ⁸ 1.1 x 10 ⁶

表-2 汚濁流達率

流達率	水質	排出負荷量	流達負荷量	流達率
	mg/L,MPN/100mL*	kg/日,MPN/日*	kg/日,MPN/日*	%
BOD5	243	310.7	106.7	34.3
CODcr	444	616.4	195.0	31.6
SS	108	338.1	47.4	14.0
T-N	52.4	66.7	23.0	34.5
T-P	4.3	12.2	1.9	15.5
大腸菌群数*	7.00E+06	2.9E+13	3.1E+13	107.4

4. 排水に対する塩素消毒効果の検討

沐浴場上流（排水路等）へ直接塩素を注入することによる大腸菌群数等の死滅効果を検討するため、排水の流入する河川水の塩素消毒による大腸菌群数および糞便性大腸菌の殺菌効果に関する調査を実施した。

1) 調査方法

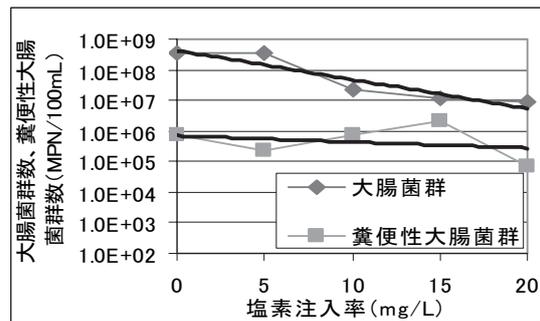
ヤムナ川（Yamuna River）にナザフガル排水路（Nazafgarh Drain）が流入する合流点において、排水の流入した河川水を採水し試料とした。

3) 調査結果

測定結果を表4に示す。表4は塩素消毒前の試料の水質で、CODは302 mg/L、ケルダール窒素が21 mg/L、アンモニア性窒素が10 mg/Lと、河川水としては高濃度であった。大腸菌群数および糞便性大腸菌群数についてもそれぞれ 3.5×10^8 MPN/100mL、 7.0×10^5 MPN/100mL で、日本の下水処理場流入水のレベルと比べ、高かった。塩素消毒が大腸菌群数および糞便性大腸菌群数の減少に及ぼす効果を検討した結果を図3に示す。インド政府中央汚濁規制局(CPCB)が定めている沐浴場の環境基準値は、糞便性大腸菌群数の最大許容値が 2.5×10^3 MPN/100mL であるが、この基準値と比較すると塩素注入率 20 mg/L で接触時間 15 分の条件ではまだ 1 オーダー高いレベルとなっている。また、試料の COD 等が高濃度であることから、接触時間 0 分の時点における遊離残留塩素は塩素注入率 15 mg/L 以下の場合には定量下限値以下、塩素注入率 20 mg/L で 7.5 mg/L と、塩素消費量が多かった。

表－4 水質分析結果

測定項目	測定値
水温 (°C)	15.5
pH	7.7
化学的酸素要求量	302
COD (mg/l)	
ケルダール性窒素	21
Kj-N (mg/l)	
アンモニア性窒素	10
NH ₄ -N (mg/l)	
大腸菌群数	MPN法(個) 3.5×10^8
	平板培養法 6.2×10^6
糞便性大腸菌群数	MPN法(個) 7.0×10^5
	平板培養法 7.8×10^3



図－3 塩素注入率の検討結果
(接触時間 15 分)

5. まとめ

1) 農村部で汚濁の流達率調査を実施した結果、34.3%と流総指針の農村部における流達率より高い値となった。また、腐敗槽では汚濁物質がほとんど除去されていなかった。

2) 沐浴時の安全性を確保するため排水の混合した河川水を直接塩素消毒することを想定した調査を実施した結果、注入率 20 mg/L で接触時間 15 分でも沐浴場の環境基準を満たすことはできなかった。

なお、本調査研究は（独）科学技術振興機構：JST の戦略的創造研究推進事業委託研究費：CREST の費用を得て実施したものである。

参考文献

- 1) 中島英一郎、他：ガンジス河流域における水質汚濁調査報告、第 41 回下水道研究発表会講演集 平成 16 年度、pp. 582-584
- 2) Ministry of Water Resources, Government of India、<http://wrmin.nic.in/>
- 3) 総務省統計局発行、総務省統計研修所編集「世界の統計 2007」、<http://www.stat.go.jp/data/sekai/index.htm>

2. 新たな衛生指標の下水処理への適用性の評価

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
主任研究官 小越眞佐司
研究官 桜井 健介

1. はじめに

下水道法第8条に規定する公共下水道又は流域下水道からの放流水の水質の技術上の基準のうち、細菌の基準としては唯一、大腸菌群数が定められている。しかしながら、糞便性汚染を示す指標としては、大腸菌の優位性が指摘されていることを踏まえ、水道分野では基準項目が大腸菌群から大腸菌に変更された。下水道分野では、下水再生水の利用に関し、基準項目を従来の大腸菌群から大腸菌に変更することとしたところである。下水処理場の運転管理にあたっては大腸菌を細菌の除去指標として適用できる可能性があるが、現状では下水処理場における大腸菌の実態についてはほとんど資料がない。

このため、下水処理場の運転管理への大腸菌の適用性を評価し、放流水の水質基準の項目およびその基準値を検討するための基礎的な知見として、下水処理水における大腸菌の頻度分布、大腸菌と大腸菌群との相関関係、下水処理過程における大腸菌の除去特性を明らかにするため、下水処理場における大腸菌群及び大腸菌の実態調査および特定酵素基質培地を用いた下水処理水中の大腸菌検査の偽陽性試験を実施した。

2. 調査内容

平成19年度は、以下の調査、試験を実施した。

2. 1 下水処理場の大腸菌群および大腸菌の実態調査

下水処理場における大腸菌群と大腸菌の実態について把握するため、数多くの下水処理場での採水を行い、大腸菌群と大腸菌を測定した。

(1) 調査方法

調査は、2007年9月および2008年1月の2度実施した。分析は、国土技術政策総合研究所水質水文共同実験棟で実施した。大腸菌群の分析は、試料採取後9時間以内に着手することが定められている¹⁾ことを参考に、規定時間内に分析可能と考えられる茨城県内の37下水処理場を対象とした。それらの下水処理場の水処理方法を表-1に示す。消毒方法は、全ての下水処理場で次亜塩素酸ナトリウム、トリクロロイソシアヌル酸、固形塩素のいずれかにより塩素消毒が行われていた。試料は流入下水、塩素消毒前の下水処理水、塩素消毒後の下水処理水のGrabサンプルを得た。採水時間は、原則、各自治体が通常実施している定期水質試験と同じとした。水処理の系列が複数あり、普段より定期水質試験を複数系列で行なっている場合には、複数の試料を採取した。採水は、国総研または各自治体が行った。採水した試料の分析項目は、水温、pH、大腸菌、大腸菌群、SS、NH₄-N、T-N、T-Pとした。分析方法は原則として、下水試験方法に基づき、NH₄-N、T-N、T-Pの測定には自動比色分析装置（TRAACS-2000、ブランルーベ）を用いた。大腸菌群および大腸菌の測定には、デソキシコール酸塩寒天培地（日水製薬）およびクロモカルトコリフォーム寒天培地（メルク）を用いた。

表-1. 水処理方法と処理場数

水処理方法	処理場数
標準活性汚泥法	18
オキシデーションディッチ法	7
回分式活性汚泥法	3
その他	9
計	37

(2) 調査結果

2007年9月期、2008年1月期の下水処理場の水質（平均±標準偏差）を表-2、3に示した。大腸菌群および大腸菌の平均および標準偏差の計算において、30CFU/mL未満であった試料は、除外して計算した。

表-2. 2007年9月期の下水処理場の水質（平均±標準偏差）

	水温 (°C)	pH (-)	大腸菌群 (CFU/mL)	大腸菌 (CFU/mL)	SS (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
流入下水 (n=40)*	15.9±1.3	7.5±0.4	10 ^{5.56±0.24} (n=0)**	10 ^{4.96±0.33} (n=0)**	150±69	19.5±5.4	34.0±8.1	3.8±1.1
消毒前 下水処理水 (n=38)*	—	—	10 ^{2.87±0.42} (n=1)**	10 ^{2.45±0.34} (n=7)**	—	—	—	—
消毒後 下水処理水 (n=39)*	16.0±2.0	7.0±0.3	10 ^{2.72±0.58} (n=25)**	10 ^{2.38±0.43} (n=27)**	2.4±2.0	3.5±5.2	10.0±6.0	1.1±0.8

*採取された試料の数、** 30CFU/mL未満の試料の数

表-3. 2008年1月期の下水処理場の水質（平均±標準偏差）

	水温 (°C)	pH (-)	大腸菌群 (CFU/mL)	大腸菌 (CFU/mL)	SS (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
流入下水 (n=40)*	24.8±1.4	7.3±0.4	10 ^{4.88±0.22} (n=0)**	10 ^{4.77±0.32} (n=0)**	176±78	24.7±6.6	41.1±9.6	4.9±2.0
消毒前 下水処理水 (n=38)*	—	—	10 ^{2.14±0.29} (n=3)**	10 ^{1.93±0.22} (n=3)**	—	—	—	—
消毒後 下水処理水 (n=39)*	25.6±1.6	6.9±0.3	10 ^{2.03±0.30} (n=30)**	10 ^{1.69±0.17} (n=31)**	3.6±2.8	4.4±5.9	12.5±6.3	1.1±0.9

*採取された試料の数、** 30CFU/mL未満の試料の数

2007年9月期、2008年1月期の下水処理場の大腸菌群と大腸菌の相対累積度数分布を図-1、2に示した。30CFU/mL未満であった場合は、30CFU/mLとしてプロットした。流入水中の大腸菌群および大腸菌は、概ね10⁴~10⁶CFU/mLに分布していた。流入水はいずれの相対累積度数でも、9月期の方が1月期よりも大腸菌群、大腸菌ともに濃度が高く、50%値での9月期と1月期の差は、大腸菌群の方が大腸菌よりも大きかった。これは、9月などの高温期に大腸菌群中に含まれる大腸菌以外の細菌の下水処理場までの流下中の増加量や環境中での存在量が多いためと考えられた。処理水中の大腸菌群も同様の季節変動を示しており、この流入水中の大腸菌群の季節変動は、水処理後まで影響していると考えられた。また、消毒前の処理水中の大腸菌群および大腸菌は、概ね10¹~10⁴CFU/mLに分布し、消毒後の放流水中の大腸菌群および大腸菌は全下水処理場で3,000CFU/mL以下であった。

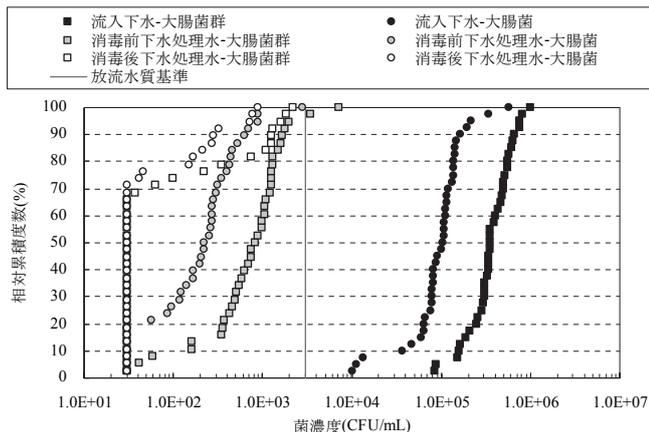


図-1. 2007年9月期の下水処理場の大腸菌群と大腸菌の相対累積度数分布

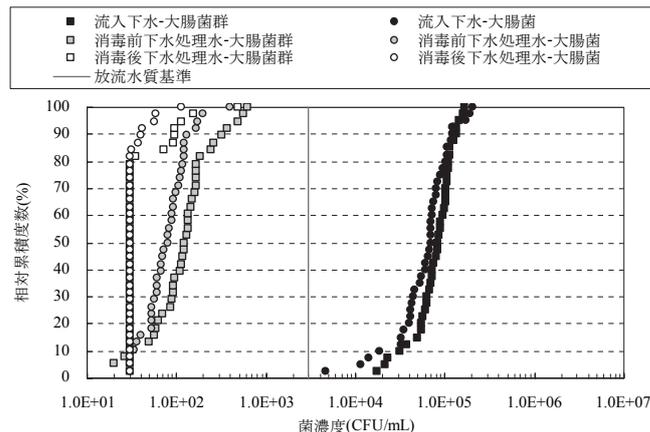


図-2. 2008年1月期の下水処理場の大腸菌群と大腸菌の相対累積度数分布

流入下水および消毒前下水処理水の大腸菌と大腸菌群の比（以下、EC/TC比）のヒストグラムを図-3～6に示す。2007年9月期の流入下水および消毒前下水処理水のEC/TC比は、0.2以上0.3未満の範囲が最も多く、2008年1月期の流入下水および消毒前下水処理水は、1.0以上が最も多く、9月期と1月期は異なった傾向を示していた。また、2007年9月期の流入下水および消毒前下水処理水の各試料のEC/TC比の相加平均は、それぞれ0.29および0.32であり、2008年1月期の流入下水および消毒前下水処理水の各試料のEC/TC比の相加平均は、それぞれ0.87および0.78であった。なお、大腸菌群または大腸菌が30CFU/mL未満であった試料は集計の対象としなかった。

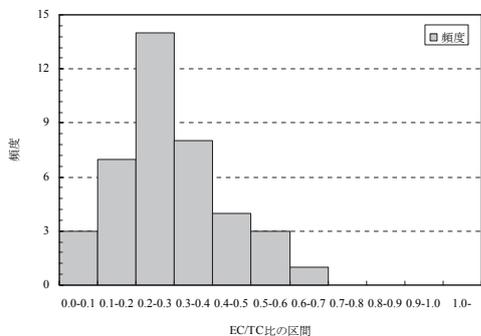


図-3. 2007年9月期の流入下水のEC/TC比のヒストグラム (n=40)

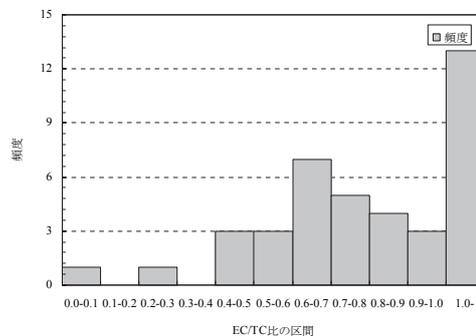


図-5. 2008年1月期の流入下水のEC/TC比のヒストグラム (n=40)

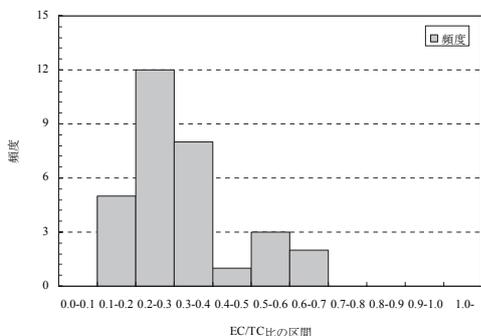


図-4. 2007年9月期の消毒前下水処理水のEC/TC比のヒストグラム(n=31)

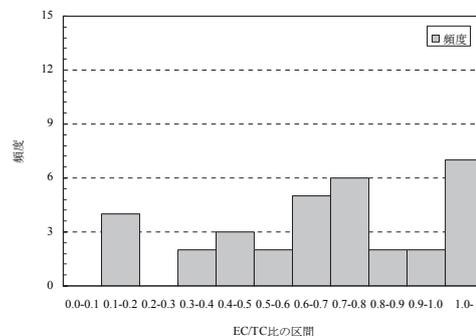


図-6. 2008年1月期の流入下水のEC/TC比のヒストグラム (n=33)

2. 2 特定酵素基質培地を用いた下水処理水中の大腸菌検査の偽陽性試験

特定酵素基質培地を用いた大腸菌検査は、大腸菌の95%以上の菌株に含まれる β グルクロニダーゼの活性により判定される²⁾。しかし、貝類、食肉、魚肉などに含まれる β グルクロニダーゼにより擬陽性が生じる可能性が指摘されている^{2), 3)}。特定酵素基質培地を下水処理水へ適用する際には、貝類、食肉、魚肉などが下水処理場へ流入することにより、偽陽性を生じ大腸菌濃度を過大に評価してしまう可能性が考えられる。そこで、下水処理水を試料として酵素培地上に形成された大腸菌様の集落を16SrRNA遺伝子を対象にシーケンス反応に供し、菌種の同定を行なった。

(1) 試験方法

排除方式が分流であり、主に一般家庭からの生活污水を標準活性汚泥法にて処理を行なっている下水処理場にて採取した下水処理水（塩素消毒前）を試料とし、特定酵素基質培地に形成された大腸菌様の集落を無作為に30個を抽出し、それぞれを純粋培養後、PrepMan[®] Ultra Reagent (Applied Biosystems) を用いてDNAを抽出した。得られたDNA溶液をPCR反应用templateとして用い、MicroSeq[®] 500 16S rDNA PCR Kit (Applied Biosystems) により16S rRNA遺伝子の5'末端領域約500bpをPCR反応により増幅させた。得られたPCR反応産物はQuickStepTM2 PCR Purification Kit (EdgeBioSystems) を用いて精製したのち、Agilent Technologies 2100 Bioanalyzer (Agilent) を用いた電気泳動法により増幅断片の有無および濃度を測定した。PCR反応産物をBig-Dye Terminator反應用templateとして用い、MicroSeq[®] 500 16S rDNA Sequencing Kit (Applied Biosystems) によりシーケンス反応を行った。得られた反応溶液はAutoSeqTMG-50 (Amersham Pharmacia Biotech) を用いて精製し、ABI PRISM[®] 3100 Genetic Analyzer (Applied Biosystems) を用いて塩基配列の解読を行った。得られた塩基配列は国際塩基配列データベース (GenBank/EMBL/DDBJ)を用いた相同性比較により同定を行った。

(2) 試験結果

無作為に抽出された大腸菌様の集落30株の検索の結果、29株はE.coliまたは分類学的な立場からは大腸菌の一種と考えられているShigella属、残りの1株はEnterobacter属と同定された。今回用いた試料では、酵素培地により大腸菌以外の菌の多くが検出されなかった。

3. まとめ

本研究では、平成17、18、19年度に大腸菌および大腸菌群の各種の実態調査を実施した。その結果、下水処理場の運転管理への大腸菌の適用性を評価し、放流水の水質基準の項目およびその基準値を検討するための基礎資料となる、下水処理水における大腸菌の頻度分布、大腸菌と大腸菌群との相関関係、下水処理過程における大腸菌の除去特性に関する知見が得られた。

環境中に広く存在し、環境中で増加しやすい菌種を含む大腸菌群は、温度や滞留時間の変化による変動量が、大腸菌と比較して大きかった。一方、大腸菌は温度や滞留時間の変化に影響を受けにくい傾向が示された。また、大腸菌と大腸菌群の水処理過程での除去の特性の差異は確認できなかった。現行の基準では、放流水中の大腸菌群濃度を測定することで、下水処理場での細菌の処理効果を把握しているが、大腸菌も下水処理場の運転管理の指標として適用可能であると考えられた。

なお、本調査研究は、試験研究費により実施されたものである。

参考文献

- 1) 下水の水質の検定方法等に関する省令、昭和37年12月17日、厚生省建設省令第1号
- 2) 社団法人日本食品衛生協会発行、食品衛生検査指針微生物編、2004
- 3) 坂崎利一、腸内細菌雑記2発色（発光）酵素基質による大腸菌群および大腸菌の検出、アスカニュース第022号、1995

3. 地域活動と協働する水循環健全化に関する研究

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
 研究官 山縣 弘樹
 研究官 山中 大輔

1. 目的

近年、都市における水路の持つうるおい・安らぎをもたらす機能、ヒートアイランド現象緩和機能、災害時のライフラインとしての防災機能、地域コミュニティの再生への寄与など、多くの機能が再認識されている。そこで、下水再生水や地下鉄への浸出水、雨水貯留水など都市特有の水源を活用して、こうした多面的な機能を積極的に活用しつつ都市の水環境を創造することが求められている。国土交通省は、都市水路検討会の提言(平成 17 年 2 月)¹⁾を踏まえ、都市水路計画策定モデル地域の公募を実施した。また下水道ビジョン 2100における「水のみち」の実現を目指した今後 20~30 年間の施策展開に向け、下水道政策研究委員会流域管理小委員会 報告書「水・物質循環系の健全化に向けた流域管理のあり方について」(平成 19 年 11 月)²⁾がとりまとめられた。今後こうした都市の水環境の創造へのニーズは増大していくと考えられる。

本研究は、都市において水路を中心とする水と緑のネットワークを構築することによる、ヒートアイランド現象の緩和、災害時の防災機能、利用者にとってのうるおい・安らぎの増加等の効果を科学的な知見に基づき経済的に評価する手法を構築することを目的とする。

今年度は、都市水路等の整備による災害時の防災機能の向上効果(以下、防災効果)と水面再生等の水環境施策によるヒートアイランド現象の緩和効果(以下、ヒートアイランド緩和効果)の定量的把握を目的に、基礎的な情報の収集、整理を行った。

2. 調査方法

都市水路等の機能を評価するあたり、ここでは、水路のみならず水路整備に伴い一体的に整備される親水用通路を含めて検討することとした。防災効果およびヒートアイランド緩和効果の定量的把握のための基礎情報の収集整理を、学術文献、国、自治体等の関係報告書に基づき行った。調査に用いた学術情報等のデータベースを表-1に示す。本研究では、都市水路等の効果を把握することを目的としており、都市域全体での効果を視野に入れる必要があるため、下水に係る分野に留まらず、都市計画や消防防災等の他分野の文献についても幅広く収集する必要がある。そのため、学術分野全般にわたり横断的に検索可能な総合学術情報データベース等を利用することとした。

防災効果については、都市水路等の便益算出の基礎とするため、都市水路等であらかじめ想定される機能を、災害種別ごとに都市水路等の果たす役割に基づいて分類・整理した(表-2)。なお、調査対象とする災害は、防災まちづくりの観点から代表的に考えられるものとして、地震、風水害、雪害とした(大規模火災に対する防災機能については、震災時の延焼遮断機能に含めるものとする)。そして、都市水路等の機能ごとの便益算出のため、参考となる都市河川や下水道の災害時の機能とその便益に関する情報を把握・整理し、都市水路等への適用性を検討し、さらに追加すべき知見、検討課題を考察した。

表-1 調査に用いた学術情報等のデータベース

データベース名	設置機関	概要	収録件数※
JDream II	独立行政法人科学技術振興機構	Jdream IIを構成する複数のデータベースのうち、科学技術全分野(国内及び世界50ヶ国)の文献データ、本文が検索、ダウンロード等が可能なJSTPlusを用いた。	約1970万件(JSTPlus収録件数)
CiNii	独立行政法人国立情報学研究所	大学紀要や国内284の学協会誌約1000タイトルに収録される文献データ及び本文が、検索や一部ダウンロード可能。	約1130万件
防災専門図書館蔵書検索システム	社団法人全国市有物件災害共済会	国や全国の自治体等の既往災害報告書、消防統計、交通(事故)統計、地域防災計画、各種災害・産業災害・公害・戦災関係一般図書、消防防災関係学術誌、江戸時代の火災や地震の瓦版など。	約12万件

※2008年1月時点

表-2 都市水路等の果たす機能の区分

利用区分	災害種別ごとの都市水路等の果たす機能					
	地震	概要	風水害	概要	雪害[積雪]	概要
都市水路等の水利用	消防水利機能	・震災時の上水道断水時を想定。 ・代替消防用水として利用を想定。	-	(風水害時の防災機能としての水利用は想定されない)	消融雪機能(注2)	・機械除雪・運搬除雪の代替機能を想定。 ・下水等を活用した消融雪設備(消融雪溝・槽)を想定。
	生活用水機能	・震災時の上水道断水時を想定。 ・代替生活用水(被災地の掃除洗濯用水、トイレ用水等)として利用を想定。			(注2)本機能は、水利用機能として分類したが、正確には、都市水路等の水の熱エネルギーを利用した機能。	
都市水路等の空間利用	下水道機能	・震災時の下水道被害時を想定。 ・マンホールレ、下水処理施設代替機能を想定。	-	(下水道被害が想定されない)	-	(下水道被害が想定されない)
	延焼遮断機能	・震災時の延焼火災時を想定。 ・延焼遮断帯および延焼遮断効果のある避難場所、避難路としての利用を想定。	治水機能(注1)	・雨水排水路※としての利用を想定(※「せせらぎ水路」の付加機能として)。 (注1)本研究のいう「都市水路等」のうち「都市下水道」は本来、雨水排水機能をもつが本研究の防災機能の調査対象とはしない。	除排雪機能	・雪害[積雪]時の雪捨て場、雪堆積場等の利用を想定。
	輸送機能	・避難路、緊急輸送路としての利用を想定。	-	(風水害時の河川空間は危険が予想されるため空間利用は想定されない)	-	(雪害[積雪]時に避難路、緊急輸送路の利用は想定されない)

3. 結果および考察

3.1 防災効果の定量的把握手法やその便益算定手法に関する整理

1) 消防水利機能

当該機能は、後述のように河川水から取水され消防水利として利用された事例があるため、防災機能として想定されるため設定した。阪神淡路大震災では、河川までの移動距離、水面までの近接性など一定の条件が合致する河川から消火用水が取水され、消火栓の断水を補う機能を果たしていた事例³⁾を数多く把握した。このことから都市水路等の整備にあたり、消防水利機能を付加した形で整備することは有効であると考えられる。

便益の算定については消防水利の整備効果が定量化される必要がある。消防水利の整備効果は、対象地域の平均の焼損面積(消火活動の結果、焼損した面積)に対する必要消火水量を算定し、その水量を用いて整備効果を定量化するものとする。さらに、その水量を確保するための整備コストを、都市水路等の整備に係る対象地域の平均の焼損面積の被害額と比較することによって算定できると考えられる。

対象地域の平均の焼損面積については、地域の消防機関が整備する消防統計を用いて算定することができる。必要水量についても同様である。例えば、保野ら⁴⁾は、神戸市の統計資料(S49～S58)の火災1274件、平均風速3.5m/sを用いて、神戸市では消火用水40m³で消火できる平均の焼損面積は平均で130m²と算定している。ただし、統計に基づく検討手法は簡易ではあるが、現在各種の延焼シミュレーション手法⁵⁾も提案されていることから、これらの解析的手法との間で、精度や利便性等の観点からの比較検討が必要となる。

次に、平均の焼損面積から被害額を算定するには、一定の被害額算定のための原単位の設定が必要だが、これは都道府県等が行う地震被害想定等の火災による被害額の算定手法と同じ手法が利用できると考えられる。ただし、この点についても他の被害額算定手法⁵⁾の調査との比較検討が課題である。

必要水量を確保するために必要な整備コストは、都市水路等の整備に併せて設置される取水ピット等の設置工事コストと見なすことができる。これについては取水ピットだけでなく、堰板や堰柱による堰上げ設備の設置や導水管の設置などの各種の整備メニューごとに、確保水量1m³当たりの工事単価として整理しておくことが簡易に便益算定を行う上で求められる。

2) 生活用水機能

当該機能は、後述のように河川水から取水され生活用水として利用された事例が多数あるため、防災機能として想定されるため設定した。今回実施した文献調査では、断水時の都市水路等に期待される生活用水機能の効果の定量化や便益算定に関係する手法について直接検討している文献は見出せなかった。一方、阪神・淡路大震災時の被災地での水利用実態の既往調査⁶⁾からは、洗濯やトイレ用の生活用水として河川水が利用された事例を数多く把握した。これらの事例から、自治体等の防災関係機関が行う応急給水は飲料水等の最低限の需要を満たす程度であり、被災者が都市水路等から生活用水を取水するニーズは高いことがうか

がえる。生活用水機能を備えた都市水路等の整備効果を定量化するには、対象地区の災害時の生活用水の必要水量を算定し、その水量を用いて定量化を行う方法が考えられる。

必要水量の算定にあたってはその前提として対象地区の設定が必要となる。対象地区の設定については、水の運搬距離の制約から被災者が生活用水を取水できるエリアは都市水路等の周辺に限られる点を考慮する必要がある。この点について参考とすべき既往調査としては、被災者が水を運搬できる距離は、水源から約200mまで(例えば、ネパール農村部で一般的な水の運搬距離と阪神・淡路大震災での被災者の水の運搬距離がほぼ同様だったとする報告より⁷⁾)とする場合、約500m(例えば、阪神・淡路大震災の際に河川水を利用した避難所と河川の位置より⁸⁾)とする場合があった。

対象地区の必要水量については、被災者一人当たりの生活用水の利用量に関する既往調査によれば、平均9～19L/人・日⁷⁾とするデータがあり、原理的には、この被災者一人当たり水量が対象地区の人口分確保された場合の水量を対象地区の必要水量とすることができる。ただし、被災者の一人当たりの必要水量は、あくまで阪神・淡路大震災の既往調査から得られたデータであり、発災の季節や断水期間、応急給水状況によっても異なると想定されることから、今後は、他の災害事例における被災者の水利用実態との比較を行い、精度を確保することが課題である。

便益算定手法としては、代替法が適用可能と考えられる。ただし、都市水路等から生活用水を取水できなかった場合の被害を何とし、またその被害額を求める方法については、今回の文献調査では参考とすべき既往調査が見出せなかった。今後は、この点について本研究とは別な観点(例えば、濁水被害額の算定手法等を調査等)による被害同定のあり方、その被害額の算定方法を改めて調査する必要がある。

3) 下水道機能

当該機能は、本研究で対象とする都市水路等への適用条件が限定的であり適用性は低いと考えられるが、都市水路等に関する今後の研究に際して参考となる可能性があるため、設定することとした。

震災時の下水道に関する防災機能のうち、管路については、下水管のマンホールを仮設トイレとした事例が阪神淡路大震災後の防災まちづくりの整備例としても複数の都市でマンホールトイレの整備事例⁹⁾を把握した(ここでは、都市水路等の整備が管路と近接している場合において、仮設トイレの保管場所の提供を想定している)。また、下水処理施設代替機能については、既往災害で当該機能が果たされた事例としては、神戸市東灘処理場に隣接する運河を仮沈殿池として活用した事例¹⁰⁾のみであった。

上記の事例では、効果の定量化や便益算定に関係する手法について直接的に検討している文献は見出せなかった。マンホールトイレ整備の効果の定量化等は、本研究の都市水路の防災機能と結びつかないため直接的に本検討の対象としないものとする。しかしその一方、下水処理施設の代替処理機能の事例では、震災直後においても被災地の下水処理需要は高いことが想定されるため、下水処理施設のうち都市水路等に隣接するなど、立地や被災状況が上記事例と類似する場合には、同様の措置が講ぜられる可能性もある。下水処理施設代替機能については、既往の事例も限られ、当該機能が発揮されるためには都市水路等に隣接している等の諸条件の制約もある。そのため今後は、一般的に効果の定量化や便益の算定手法を直接的に求めるのではなく、上記の事例に類似した立地条件の処理施設を個別に把握し、該当する施設の整備・更新等に合わせた個別的な効果の定量化や便益の算定を検討するのが適当であろうと考えられる。

4) 延焼遮断機能

当該機能については、地震火災の際の延焼防止帯としての機能と、延焼遮断効果を有するオープンスペースが確保される場合には避難場所として活用されることが想定されるため、設定した。

本研究では、延焼遮断帯としての機能については、既往災害で当該機能が果たされた事例として、川幅40m以上の河川が市街地大火における延焼を遮断した事例³⁾を把握した。また都市水路等が避難場所として機能した事例については見出せなかった。一方で、都市防災分野の文献によれば、延焼遮断帯の幅員は設計風速や背後地の状況に応じて45～60m程度、もしくはオープンスペースとして整備する場合は60～100mを確保すべきとする設計手法¹¹⁾が提示されていることから、本研究が想定する都市水路等の単体での整備では、

当該機能を果たすことが期待できないと考えられる。

一方で、15m 程度の都市水路や道路等を延焼遮断帯を構成する一要素として選定し、オープンスペースの確保や防火植栽による緑地帯を合わせて整備することにより、延焼の危険のある市街地を分節し、一定程度の延焼のリスクを低下させる機能を持たせる防災まちづくり手法^{11,12)}も把握された。そのため今後は、都市水路等との組合せ効果のある整備メニューを整理し、それらとの総合的な延焼遮断機能の整備効果の定量化及び便益算定の手法の検討が求められる。

5) 輸送機能

当該機能については、都市水路等の空間を避難路、緊急輸送路として活用することが想定されるため、設定した。河川については河川管理施設構造令により河川管理用道路を防災面の利用も考慮し最低 4m 程度確保する基準が示されている。また大河川では災害復旧車両専用の緊急路として活用される防災まちづくり事例が報告されているが、本研究が想定する都市水路等では関係整備事例や整備効果等の検討事例は見出せなかった。一方、都市防災分野の文献によれば、避難路(道路を想定)の幅員は 15m 以上とし、歩行者専用又は自転車歩行者専用の道路又は緑道にあっては 10m 以上とする設計手法が示されており、都市水路等の空間に適用することも十分可能な状況¹¹⁾であることが把握された。

本研究では、具体的に都市水路等の空間を避難路、輸送路として明確に位置づける事例、整備効果の定量化等の検討は見出せなかった。一方、道路を避難路として想定した場合の整備効果の定量化手法が、都市水路等の空間にも適用可能と考えれば、避難道路幅員を避難者数、避難者歩行速度、避難時間から求める手法(幅員=避難者数[人]／避難人口密度[人/m²]／歩行速度[m/h]／避難時間[h])¹¹⁾を用い、都市水路等の整備に活用することは可能と考えられる。

以上のことから、避難路としての都市水路等の輸送機能についての整備効果については、都市水路等の高水敷の幅員から対象地域の避難困難者数を低減する効果として定量化が可能となるため、上記の避難路整備の手法自体を活用できると想定される。一方、便益の算定については、避難困難度や避難時の人的被害が貨幣価値に換算することが困難であり、被害額として算定しにくい代替法は利用できない。そのため、避難困難度や避難時の人的被害低減の便益算定手法について、今後の検討が求められる。

6) 治水機能

当該機能については、都市水路等がある一定規模以上で整備した場合に、都市下水路のような雨水排水機能を有することを想定し、設定した。都市水路を都市下水路とみなした場合、雨水排水がその本来機能であるため、この点については、下水道法や都市計画法等の関係法制度等で定める技術的要件の概要を把握するに留め、改めて防災機能としての事例収集は行わなかった。一方で、都市水路等をせせらぎ水路等として捉えた場合には、雨水排水はその本来機能ではないため、このようなせせらぎ水路において治水機能(雨水排水機能)としての防災機能が果たされた事例、もしくは、治水機能がせせらぎ水路に付加的に整備される事例を探索したが、今回の文献調査では、これらの事例は把握されなかった。

雨水排水機能を備えたせせらぎ水路の整備事例は見出せなかったが、今後、防災機能を備えたせせらぎ水路を整備する場合には、整備対象地域が浸水常襲地帯であった場合や、周辺に雨水排水対策が求められる地域がある場合などを把握した場合には、都市水路でのレクリエーション活動者の増水時の安全性を確保したうえで、これら雨水排水機能を備えた都市水路等の整備は有効な防災まちづくりの手法となる可能性が考えられる。以下では、この観点からの考察を行う。

都市水路等の治水機能に関わる整備効果を考える場合、その対象地域は雨水排水対策の整備が求められる地域又は浸水想定区域に含まれる地域であることが前提となる。

また治水機能については、河川整備で用いる治水安全度(年超過確率)による整備効果の定量化手法が一般的には想定される。しかし、人工物としてのせせらぎ水路等の整備を考えた場合、河川整備の場合と異なり、雨水排水対策の整備対象となる地域も地区レベルや街区レベルの小規模な範囲に留まると想定される。

このことから、地域規模に合わせて被害低減効果をより詳細に表現する家屋浸水防止率等を併用するなど、

より具体的な整備効果の定量化手法の活用について検討することが期待される。また便益算定については、他の防災機能の場合と同様に代替法により整備を実施した場合と実施しない場合の被害額の差額を便益とすることが可能であり、被害同定手法や被害額の算定手法については治水経済調査の手法を活用することが可能と考えられる。

7) 消融雪・除排雪機能

都市水路等の消融雪・除排雪機能の事例については、都市水路等の水を利用したものとしては消融雪設備等(消融雪溝・槽等)の整備事例があり、都市水路等の空間を利用したものとしては除排雪空間(雪捨て場等)の確保による事例が把握された。一方、これらの効果の定量化の手法や便益算定の手法については、整備が行われた地域の実情に基づく検討事例は把握されたが、一般的な手法としての事例は把握されなかった。都市水路等の消融雪機能の事例を見る限り、下水処理水とその水路等を消融雪設備として用いている点から、この設備の消融雪処理能力の観点から効果の定量化及び便益算定について考察する。

消融雪設備(消融雪溝・槽等)の整備効果の定量化の検討事例としては、当該設備の消融雪能力(消融雪量/日等)として検討されている事例¹³⁻¹⁵⁾が把握された。一方、便益算定については、消融雪施設による消融雪量、地域で従来行なわれている除排雪経費(例えば、運搬排雪の経費)と比較して経費節減が図られたとの報告¹³⁾はあるが、詳細な経費の比較を行なっている事例等は把握されなかった。

消融雪施設整備については、多くの事例で従来、地域で行なっている除排雪対策のための巨額な経費負担と比較し、大きな経費節減効果を期待して整備に臨んでいることが伺われる。そのため、実際に便益を算定する場合にも、これら運搬排雪等の従来経費との差額を便益とする方法が妥当と考えられる。ただし、運搬排雪等の従来の除排雪対策経費は、地域によって経費内容や費用自体が異なることが予想される。そのため、今後は便益算定手法の検討に先立ち、全国的に共通する従来の除排雪対策に関する経費項目と費用等の積算基準を調査し、それに基づく一般的な経費節減効果の算定法を検討することが求められる。次に、除排雪空間(雪捨て場等)の確保による都市水路等の除排雪機能については、豪雪時に河川空間を利用している事例¹⁶⁾が把握されたが、これらの整備に関する効果の定量化や便益の算定等の検討事例は把握されなかった。

効果の定量化については、原理的には都市水路等の整備に付加的に除排雪空間を整備する効果を、対象地域の必要除排雪量に対する新たな雪捨て場への排雪量の占める割合により定量化できると考えられる。この点については、必要除排雪量を定量的に把握する算定モデルが示されている¹⁷⁾。ただし、必要除排雪量の算定にあたっては、降雪量をどの程度にするかで地域によって異なる基準設定が必要となることが想定され、この点が今後の課題として挙げられる。

一方、便益の算定については、代替法により既存の除排雪対策に関わる経費と新たに確保した雪捨て場への運搬排雪による経費との差額により求める方法が想定されるが、この点についても消融雪機能の便益算定と同様に地域性に影響されない除排雪経費の積算基準の設定が必要となる。

ただし、上記の雪捨て場の整備については、既に都市内に用地を確保することが困難であり、雪捨て場の遠距離化や河川敷地からの撤退要請等の影響により、恒久的な消融雪施設への期待が相対的に高くなっていることも把握され^{14,18)}、さらに、雪捨て場となった用地では雪が消えた後に大量のごみが残されるという別な問題を発生させている事例も報告されていることから、効果の定量化及び便益算定手法に関する検討に先立ち、都市水路等の空間を積極的に除排雪空間として整備することが妥当かどうかの検討が必要である。

3.2 ヒートアイランド緩和効果に関する情報の収集、整理

ヒートアイランド緩和効果に関して今回実施した文献調査は、河川、水路、湖沼、池等の内水面を主な対象とした。その結果、水面再生の規模(面積)や気温、水温、比湿等の諸条件を入力することによりヒートアイランド緩和効果を定量的に算出する、もしくは、その把握した効果を便益算定する手法は見出せなかった。しかし、シミュレーションモデルや気象観測等を用いることにより、ケーススタディとして都市河川、河川緑地、親水公園の植栽、風のみち等の複数の要因が関連した結果としてのヒートアイランド緩和効果を定量

表－3 収集した文献の事例

タイトル	著者	資料	水面再生に係る概要
北九州市都心部におけるヒートアイランド対策	田中文彦 (北九州市建設局河川部水環境課)	土木技術、Vol.61 No.8,pp68-77、 2006.8	北九州市の田良原池を対象とした熱環境数値シミュレーション(300m四方)の結果、池の存在により気温上昇の緩和効果は最大0.2℃(地上1.0m)であり、0.1℃の気温低減効果は池の端から60mの範囲で確認された。
都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究(その2) メソスケール気象モデルを用いた都市河川の水面再生と屋上緑化による気温低減効果の推定	吉谷純一、木内豪 (国土交通省土木研究所)	土木研究所資料 第3783号、2001.3	東京23区全体では河川等の占有面積が過去およそ100年間で10%から5%に減少したものと想定される。23区内で水面積が5%増加し、約10%になった際のシナリオを設定し、シミュレーション(MM5を修正)を行った結果、水面再生の効果として、日中は最大で0.6℃以上の気温低下が発生しうることがわかった。

的に把握している文献¹⁹⁾が数多くあった。その中で、水面再生のみを主対象としてヒートアイランド緩和効果を定量的に把握した代表的な事例を表－3に示す。

都市水路等の整備によるヒートアイランド緩和効果の観測・分析事例の蓄積とともに、地方自治体が都市水路等の整備時にヒートアイランド緩和効果を簡易に評価できる実用的な手法の構築が求められる。

4. まとめ

本研究は、都市において水路を中心とする水と緑のネットワークを構築することによる、ヒートアイランド現象の緩和、災害時の防災機能、利用者にとってのうるおい・安らぎの増加等の効果を科学的な知見に基づき経済的に評価する手法を構築することを目的としており、平成19年度は、水面再生等の水環境施策によるヒートアイランド現象の緩和効果と都市水路等の整備による災害時の防災機能の向上効果の定量的把握を目的に、基礎的な情報の収集、整理を行い、今後の評価手法の検討に際しての課題を把握した。

本研究は、試験研究費で実施されたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省都市水路検討会：懐かしい未来へ～都市をうるおす水のみち～、平成17年2月
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、(社)日本下水道協会：下水道政策研究委員会流域管理小委員会 報告書「水・物質循環系の健全化に向けた流域管理のあり方について」、平成19年11月
- 3) 例えば、末次忠司：災害時の河川水・河川空間利用技術、雨水技術資料、Vol.29、1998.6
- 4) 保野健治郎、他：市街地の建物火災に対応した消防水利計画に関する基礎的研究、土木学会論文集、第425号/IV-14、1991.1
- 5) 例えば、国土交通省：国土交通省総合技術開発プロジェクト「循環型社会および安全な環境形成のための建築・都市基盤整備技術の開発 まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発(まちづくり総プロ)報告書」、2004.3
- 6) 例えば、森川一郎：環境防災都市を目指した新しい水循環系のビジョンと政策、雨水技術資料、Vol.29、1998.6
- 7) 山田淳：災害時の水利用の実態とその課題、雨水技術資料、Vol.29、1998.6
- 8) 千賀裕太郎、他：震災後の避難生活における水辺空間の利用と河川の親水機能、農業土木学会誌、Vol.63.No.11、1995.11
- 9) 例えば、片桐晃：下水道の災害対策強化 横浜市構造面で具体的に展開、水道公論 Vol.41No5、2005.5
- 10) 梅田浩、他：阪神・淡路大震災における神戸市東灘処理場の緊急措置について、下水道協会誌、Vol.32.No.39、1995.11
- 11) 都市防災実務ハンドブック編集委員会：都市防災実務ハンドブック地震防災編、ぎょうせい、1997.9
- 12) 都市防災実務ハンドブック編集委員会：改訂都市防災実務ハンドブック震災に強い都市づくり・地区まちづくりの手引き、ぎょうせい、2005.2
- 13) 下山勝弘：消・融雪の先駆け－青森市、下水道協会誌、Vol.27 No.314、1990.7
- 14) 樋口祐幸：青森市における下水処理水を利用した積雪・融雪処理槽整備事業について～きれいな・豊かな陸奥湾を次世代へ～、下水道協会誌、Vol.27 No.314、1990.7
- 15) 田村猛：雪国の暮らしを変えるアメニティ下水道－十日町市、下水道協会誌、Vol.41 No.506、2004.12
- 16) 例えば、浦野慎一、他：札幌市街域における豊平川の流出特性とそれに及ぼす雪捨て場の影響、北海道大学大学院環境科学研究科邦文紀要、No.3、1987.3
- 17) 金子浩明：排雪需要量を考慮した雪捨て場配置計画、日本都市計画学会学術論文集、Vol.25、1990.10
- 18) 諏訪田正美：札幌市における下水道の持つ熱エネルギーを利用した雪対策、下水道協会誌、Vol.38 No.469、2001.11
- 19) 例えば、国土交通省：国土交通省総合技術開発プロジェクト「都市空間の熱環境評価・対策技術の開発 ヒートアイランド対策の総合的評価手法の開発、<http://www.nilim.go.jp/lab/jeg/heat.htm>

付 録

付録 1. 平成 19 年度 下水道関係刊行報告書一覧

第 4 回 日米水道水質管理及び下水道技術に関する政府間会議報告書

国土技術政策総合研究所資料 第 402 号 平成 19 年 6 月
土木研究所資料 第 4050 号 平成 19 年 6 月
国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部
独立行政法人 土木研究所 リサイクルチーム/水質チーム

要旨

この報告書は、平成 19 年 1 月 22 日～25 日に沖縄県名護市にある万国津梁館で行われた「第 4 回日米水道水質管理及び下水道技術に関する政府間会議」における議事録及び発表資料等を取りまとめたものである。同会議では、日米の政府・自治体・研究機関の代表者により、水道水質管理及び下水道技術に関する両国の現状と課題について発表と意見交換が行われた。

キーワード：水道水質管理、下水道技術、流域管理、二国間協力

平成 19 年（2007 年）能登半島地震被害調査報告

国土技術政策総合研究所資料 第 438 号 平成 19 年 6 月
土木研究所資料 第 4087 号 平成 19 年 6 月
建築研究資料 第 111 号 平成 19 年 6 月

要旨

本資料は、国土技術政策総合研究所及び関係する独立行政法人が連携して行った平成 19 年能登半島地震による被害の現地調査結果、また、その後実施された調査・研究結果を現時点で取りまとめ、今後の更なる調査研究に活用できるようにするとともに、収集した調査資料の保存を図ることを目的とするものである。

平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震被害調査報告

国土技術政策総合研究所資料 第 439 号 平成 19 年 6 月
土木研究所資料 第 4086 号 平成 19 年 6 月
建築研究資料 第 112 号 平成 19 年 6 月

要旨

本資料は、国土技術政策総合研究所及び関係する独立行政法人が連携して行った平成 19 年新潟県中越沖地震による被害の現地調査結果、また、その後実施された調査・研究結果を現時点で取りまとめ、今後の更なる調査研究に活用できるようにするとともに、収集した調査資料の保存を図ることを目的とするものである。

付録2. 平成20年度 下水道関係調査研究課題表(国土技術政策総合研究所)

担当研究室	調査研究課題名	期間 (年度)
下水道研究部 下水道研究室	1. 管路施設の長寿命化に関する調査	17-19
	2. 全国事業量等に関するアセットマネジメント導入検討調査	18-20
	3. 効率的な都市雨水対策の計画手法に関する調査	19-21
	4. 都市雨水対策における観測技術の戦略的活用に関する調査	19-21
	5. 下水道に起因する道路陥没の社会的影響調査	19-21
	6. 都道府県構想見直しマニュアルに関する調査	19
分担：下水処理研究室	7. 下水道技術計画調査	19
分担：下水処理研究室	8. 未普及解消プロジェクトに関する調査	19-
	9. 下水道管渠の適正な管理手法に関する研究	18-20
下水処理研究室	10. 下水処理施設の改築更新の効率的な実施に関する調査 流域管理による汚濁負荷削減に係る計画制度の技術的課題の解決方策の検討	18-20
	11. (平成20年度より「効率的な汚濁負荷削減のための流域管理の枠組みに関する調査」に「既存処理施設活用による汚濁負荷削減方策に関する調査」を統合し改題) 下水処理水の衛生学的安全性に関わる技術基準に関する調査	18-21
	12. (「下水処理水再利用における衛生学的安全性評価手法に関する調査」を改題) 下水処理場における地球温暖化対策の推進に関する調査	18-22
	13. (「N ₂ O等温室効果ガス排出の観点から見た下水処理のLCAに関する調査」を改題)	18-22
	14. 膜を利用した高度処理の推進に関する調査	20-22
	15. 地球温暖化対策としての下水処理水再利用の定量的効果に関する検討	20-23
	16. 下水道資源有効利用の推進に関する調査	19-
	17. 人口急増地域の持続的な流域水政策シナリオ ガンジス川流域における水質保全対策の評価	15-20
	18. 下水道による微生物リスク低減の評価に関する研究	20-22
	19. 地域活動と協働する水循環健全化に関する研究	18-20
危機管理技術研究センター 水害研究室	20. 降雨情報を用いた都市域における局所的な浸水リスクに関する調査	20-21

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
No.463 June 2008

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

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