

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.323

June 2006

平成17年度下水道関係調査研究年次報告書集

FY2005 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 and Transport, Japan

Copyright © (2006) by N.I.L.I.M.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director-General of N.I.L.I.M.

この報告書は、国土交通省国土技術政策総合研究所所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国土交通省国土技術政策総合研究所所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

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 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

FY2005 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 AND TRANSPORT, JAPAN

概要

本報告書集は、平成17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 2005 by National Institute Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 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17年度に国土交通省国土技術政策総合研究所（国総研）により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17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17年度に国総研で行った調査研究は17課題で、予算費目は下水道事業調査費、試験研究費、地球環境保全等試験研究費、CREST：戦略的創造研究推進事業委託研究費です。

17課題のうち平成17年度に終了したものは以下の9課題です。

- ①社会資本形成における下水道投資戦略に関する調査（下水道研究室；下水道事業調査費）
- ②ディスプレイ対応型下水道の技術基準策定に関する調査(下水道研究室；下水道事業調査費)
- ③GISを活用した流域汚濁負荷情報データベースの構築に関する調査(下水道研究室；下水道事業調査費)
- ④道路陥没を予防するための下水道管路の適正管理手法に関する研究（下水道研究室；試験研究費）
- ⑤下水処理場における重金属類等の除去に関する調査（下水処理研究室；下水道事業調査費）
- ⑥生態系の観点から見た下水再生システムのあり方に関する研究（下水道研究室；地球環境保全等試験研究費）
- ⑦河川等環境における化学物質リスクの評価に関する研究（下水処理研究室；試験研究費）
- ⑧下水道事業の設計積算の効率化のための体系化に関する調査（建設システム課；下水道事業調査費）
- ⑨都市域における流出・氾濫モデルの開発に関する調査（水害研究室；下水道事業調査費）

また、平成17年度から新たに開始した課題は以下の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道路陥没を予防するための下水道管路の適正管理手法に関する研究
（下水道研究室；試験研究費、平成17年度のみ実施）
- ③下水処理場における重金属類等の除去に関する調査
（下水処理研究室；下水道事業調査費、平成17年度のみ実施）
- ④再生水利用施設の計画および維持管理に関する調査（下水処理研究室；下水道事業調査費）
→平成18年度より「再生水利用の促進に関する調査」に改題
- ⑤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（下水処理研究室；下水道事業調査費）
→平成18年度より「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」に改題
- ⑥N₂O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
（下水処理研究室；下水道事業調査費）
→平成18年度より「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」に改題
- ⑦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）

研究成果の活用については、合流式下水道の汚濁負荷流出解析モデルとして、窒素・りんについても解析できる分布型汚濁負荷流出解析モデル（下水研モデル）を開発し、平成18年4月から国総研ホームページに公開しているほか、「下水道総合浸水対策計画策定マニュアル（案）」・「内水ハザードマップ作成の手引き（案）」や「下水道施設の耐震対策指針と解説」の改訂などに各課・研究室の成果が反映されています。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18年6月

国土技術政策総合研究所下水道研究部長 田中 修司

目次

頁

序文

I. 下水道事業調査費による研究

1. 社会資本形成における下水道投資戦略に関する調査……………(下水道研究室)……1
2. ディスポーザー対応型下水道の技術評価に関する調査……………(下水道研究室)……5
3. GISを活用した流域汚濁負荷情報データベースの構築に関する調査……………(下水道研究室)……7
4. 最適都市雨水対策確立手法に関する調査……………(下水道研究室)……11
5. 雨天時における路面排水負荷対策に関する調査……………(下水道研究室)……15
6. 管路施設の長寿命化に関する調査……………(下水道研究室)……19
7. 下水処理場における重金属類等の除去に関する調査……………(下水処理研究室)……23
8. 再生水利用施設の計画および維持管理に関する調査……………(下水処理研究室)……27
9. 下水処理水再利用における衛生的安全性評価手法に関する調査……………(下水処理研究室)……33
10. N₂O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……………(下水処理研究室)……39
11. 下水道事業の設計積算の効率化のための体系化に関する調査……………(建設システム課)……45
12. 都市域における流出・氾濫モデルの開発に関する調査……………(水害研究室)……49

II. その他の予算による研究

[下水道研究室]

1. 道路陥没を予防するための下水道管路の適正管理手法に関する研究……………51

[下水処理研究室]

1. 生態系の観点から見た下水再生システムのあり方に関する研究……………57
2. 河川等環境中における化学物質リスクの評価に関する研究……………63
3. 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……………71
4. 新たな衛生指標の下水処理への適用性の評価……………77

付録

- 付録1. 平成17年度 下水道関係刊行報告書一覧……………81
- 付録2. 平成18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)……………84

1. 下水道事業調査費による研究

1. 社会資本形成における下水道投資戦略に関する調査

下水道研究室 室長 藤生和也
主任研究官 吉田敏章

1 研究の目的

閉鎖性水域における COD の環境基準の達成率は、東京湾で 68%、伊勢湾で 56%、瀬戸内海で 74%、湖沼で 45.8%と低い状況にあり¹⁾、公共用水域の水質改善は、今後の下水道事業の大きな目的の一つである。さらに、環境ホルモンなど微量化学物質への対応、生態系の保全等の新たな要求も生じている。しかし、高度処理の導入等の多額の事業費が必要となるため、水質改善レベルについて費用を負担する地域住民の合意形成が必要となる。そこで、望ましい水質改善レベルの決定においては、水質改善便益と事業費とを比較する費用効果分析の適用が有効と考えられる。

下水道事業による公共用水域の水質改善効果は、利水やレクリエーション等の利用価値、生態系保全等の直接的利用を伴わない非利用価値に分類される。非利用価値を含めた水質改善効果の経済評価方法として仮想評価法（CVM: Contingent Valuation Method）があり、下水道事業の便益計測手法として位置づけられているが²⁾、その適用事例は多くはなく汎用的な適用手法の確立が求められる。一方、米国では水浄化法（CWA: Clean Water Act）による水質改善効果の経済評価のために全米 61 か所で CVM 調査を行い³⁾、その結果得られた支払意思額（WTP: Willingness To Pay）の原単位を全国に適用するという便益移転の手法が採用されている。我が国においても、便益移転の適用により公共用水域の水質改善効果の汎用的な経済評価が可能となるが、確立された便益移転手法は存在しない。そこで、本調査は、我が国における便益移転手法を検討し、公共用水域の水質改善効果の汎用的な経済評価手法を提示することを目的とする。本年度は仮想評価法による水質環境改善効果の既往評価事例をもとに、水質環境改善効果に関する便益関数の導出に関する検討を行った。

2 CVM 調査事例の収集及び説明変数の抽出

2.1 CVM 調査事例の収集

下水道事業体が事業評価のための実務において実施した CVM 調査として、全国から 9 事例の調査結果を収集した。その概要を表 1 に示す。

2.2 説明変数の抽出

メタ分析法による便益関数の導出に当たっては、WTP の大小に影響を与える説明変数の抽出が必要である。WTP の大小に影響を与える要因には、(1)事業内容に係る要因、(2)水域の状況に係る要因、(3)回答者属性、(4)地域属性、(5)調査属性等が考えられるが、本調査では、表 2 のものを抽出した。

(1) 事業内容に係る要因

事業内容に係る要因は、下水道事業による水質改善が対象水域に対してどの程度の水質改善に貢献するかであり、ここでは WTP に含まれる水質改善項目の「WTP 要素数」を取り上げることができる。

CVM 調査事例で示されているシナリオの内容を整理すると、WTP に含まれる要素は、表 1 に示すように、「水質改善」、「レクリエーション」、「水道水源」、「生態系」等に大別される。これらの各要素がいくつ含まれるか、その「WTP 要素数」をカウントすると、1~4 項目となった。

表1 下水道事業体によるCVM調査事例の整理

No.	水域の種別	WTPに含まれる要素				対象者	サンプリング及び調査方法	回答方式	WTP支払方法	WTP計測方法	WTP計測結果	
		水質改善	レクリエーション	水道水源	生態系							要素数
1	河川	清流	水浴・水遊び	水道水源	ヤマメ・イワナ	3	全体計画 処理区	住民基本台帳 郵送方式 配布数 1800 世帯	一段階二 項選択方 式	負担金方式	生存分析(ノ ンパラメトリ ック法)	中位平均値 2337 円/月/世帯
2	湖	湧き水や 溪流水	水浴・水遊び		ヒメマス ス・ニジマス	3	全体計画 処理区	住民基本台帳 郵送方式 配布数 1800 世帯	"	"	"	中位平均値 2034 円/月/世帯
3	河川	湧き水や 溪流水	水遊び		アユ・アマゴ イワナ	3	全体計画 処理区	住民基本台帳 郵送方式 配布数 1800 世帯	"	"	"	中位平均値 3237 円/月/世帯
4	河川	湧き水や 溪流水	レジャー スポーツ 水遊び		アユ・イワ ナ	3	全体計画 処理区	住民基本台帳 郵送方式 配布数 1800 世帯	"	"	"	中位平均値 3539 円/月/世帯
5	河川・湖・海 域	水がきれい に	釣り・水遊 び	水源の浄 化	魚・昆虫	4	全体計画 処理区	面接方式(自治区 長による配布・回 収) 配布数 2248	二段階二 項選択方 式	"	"	48807 円/年/世帯
6	河川	水がきれい に	釣り・水遊 び	水源の浄 化	魚・昆虫	4	処理区内 供用開始 済み区域	住民基本台帳 郵送方式 配布数 979 世帯	"	"	"	38247 円/年/世帯
7	河川	水がきれい に	釣り・水遊 び	水源の浄 化	魚・昆虫	4	全体計画 処理区	郵送方式 配布数 1324	"	"	"	41372 円/年/世帯
8	河川	清流	釣り		ジョロコエ・ヤマ メ・ニジマス・ アマス	3	釣り大会 来訪者	配布：集合調査法 (釣り大会現地)、 回収：郵送方式 配布数 500 人	一対比較 方式	"	"	25560 円/年/世帯
9	河川	水質保全	水遊び		生物生息 空間	3	全体計画 処理区	郵送方式 配布数 920	支払カー ド方式	"	"	12000 円/年/世帯

WTP 要素数は、当該 CVM 調査においてアンケート調査票に記載されている環境質の差を示すシナリオ文から抽出しているが、表現が曖昧なために回答者が WTP の値付けに加味している可能性がある要素も含んでいる。「精査後 WTP 要素数」は、シナリオ文を精査し、上記の WTP 要素の内、表現上明らかに対象として明記されているもののみを抽出したものである。

(2) 水域の状況に係る要因

水域の状況に係る要因には、水域の種別や水質状況などが考えられる。ここでは、水域の状況を表す要因として、「水域の種別」を取り上げた。

CVM 調査事例で対象となっている水域は、表 1 に示すように「河川」、「湖」、「海域」に大別される。

(3) 回答者属性に係る要因

回答者属性に係る要因には、性別、年齢、世帯構成や世帯所得などが考えられる。ここでは、回答者属性に係る要因として、「年齢」、「世帯構成」、「世帯所得」を取り上げた。

「年齢」に係る要因には、「高齢者人口率」を取り上げ、住民基本台帳人口要覧をもとに指標値を算定した。

「世帯構成」に係る要因には、「一世帯当り人員」を取り上げ、住民基本台帳人口要覧に基づく行政人口を世帯数で除して指標値を算定した。

「世帯所得」に係る要因には、「一人当り課税対象所得額」を取り上げ、「統計でみる市区町村のすがた－C 経済基盤」をもとに、課税対象所得の総額を納税義務者数で除して指標値を算定した。

(4) 地域属性に係る要因

地域属性に係る要因には、自然特性、人口特性、社会特性、経済特性など、さまざまな要因が考えられる。ここでは、地域属性に係る要因として、地域や社会の規模を総合する指標として、「行政人口密度」を取り上げた。「行政人口密度」は、住民基本台帳人口要覧による行政人口を、「統計でみる市区町村のすがた」に掲載されている行政面積で除して算定した。

(5) 調査属性に係る要因

調査属性に係る要因には、既往の CVM 事例調査が対象としている調査範囲の大きさが考えられる。つまり、WTP は評価対象水域の近郊では高く、遠く離れると低減していくと考えられるため、ここでは、調査属性に係る要因として、調査（評価）の範囲の大きさを示す指標として、「行政人口」及び「調査対象面積」を取り上げた。

「行政人口」は、住民基本台帳人口要覧をもとに整理し、「調査対象面積」は各 CVM 調査のアンケート配布対象地域の面積を算定した。

表 2 想定される水質環境改善便益に係る変動要因

要因	内容	
(1)事業内容に係る要因	WTP 要素数	・ WTP を尋ねる際に、シナリオに記載された便益項目の数
(2)水域の状況に係る要因	水域の種別	・ 河川、湖、海
	対象便益項目	・ 水質改善、景観、レクリエーション、水道水源、生態系
(3)回答者属性	年齢構成	・ 高齢人口比率
	世帯構成	・ 一世帯当り人員
	所得規模	・ 一人当たり課税対象所得
(4)地域属性	人口特性	・ 行政人口密度
(5)調査属性	評価範囲①	・ 行政人口
	評価範囲②	・ 調査対象面積

3 便益関数に関する検討結果及び考察

WTP と各説明変数との間の相関につき分析したところ、有意な相関を見出すことはできなかった。その理由として、CVMに係る調査事例が有する以下の特化した特徴をあげることができる。

- ①その大部分は「河川」を対象とした調査である。
- ②「水質改善」、「レクリエーション」及び「生態系」が標準仕様となっている。
- ③人口規模は、約 45 万人以下の中小都市を対象に実施された調査である。

本調査結果から、上記に示す特徴を有する地域を対象に適用することにより、原単位法による検討が妥当であると考えられる。9つの調査事例の内「対象水域の種別」と「WTPの質問方法」が同じ事例を抽出し、平均値を算定した結果は以下のとおりである。

- 上記の条件を満たす 6 事例の WTP は約 3,000 円/月/世帯となった。
- この WTP の使用要件は、「人口 45 万以下の中小都市における河川の水質改善、レクリエーション価値の向上及び生態系保全に対する支払意思額」ということとなる。

参考文献

- 1) 環境省：平成 13 年環境白書
- 2) 社団法人日本下水道協会『下水道事業における費用効果分析マニュアル（案）』平成 10 年 3 月
- 3) Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency: A Benefits Assessment of Water Pollution Control Program Since 1972: Part 1, The Benefits of Point Source Controls for Conventional Pollutants in Rivers and Streams Final Report, January 2000

2. ディスポーザー対応型下水道の技術評価に関する調査

下水道研究室 室長 藤生 和也
主任研究官 吉田 敏章
研究官 吉田 綾子
研究官 浜田 知幸

1. はじめに

ディスポーザーは、厨芥を破砕、排水処理する家電製品である。ディスポーザーの導入により、台所環境の改善、ごみ出し労働の軽減の他、地域内のごみ集積場の環境改善、ごみ焼却施設への厨芥搬入量の減少などが期待できる。しかし、直投型ディスポーザー（以後、ディスポーザー）の場合、厨芥粉碎物を受け入れることになる下水道システムでは、流入負荷増大など施設への影響が懸念される。そのため、多くの自治体はディスポーザー設置を制限しているのが現状である。

国土交通省では、ディスポーザー導入による影響評価として、北海道歌登町にて「ディスポーザー社会実験」を平成 12 年度から平成 15 年度まで実施している¹⁾²⁾。社会実験では、一般家庭を対象にディスポーザーを設置し、下水道及びごみ処理システムへの影響を調査するとともに、地域経済や環境への影響の評価に取り組んできた。

本研究は、社会実験の追加実験として、一般家庭以外の飲食店や宿泊施設など厨房を伴う事業所でディスポーザーを使用した場合の増加負荷量の把握を目的に、歌登町内のホテル厨房を対象にディスポーザー使用に関する実態調査を実施した。また、ディスポーザー導入による管渠への影響について、寒冷地である歌登町では、硫化水素がほとんど発生していなかったため、影響を評価することが困難であった。硫化水素が発生している管渠のある 0 県で、ディスポーザーの導入による硫化水素の発生について測定及び推定を行った。

2. 調査内容

2. 1 ホテル厨房でのディスポーザー使用実態調査

歌登町内のホテル厨房では平成 15 年 4 月からディスポーザーによる厨芥処理を開始している。ホテルの規模は、客室 49 室、レストラン 2 店舗、宴会場 9 室従業員は 39 人である。

(1) ディスポーザー使用回数

ディスポーザー排水の排出状況を推定するために、ディスポーザーの使用頻度と使用時刻についてアンケート調査を行った。

(2) ディスポーザー投入厨芥量

ディスポーザー投入厨芥量を推定するため、アンケート調査及びごみ量調査を行った。アンケート調査は、厨房職員にディスポーザー使用直前に厨芥の容量を目算してもらい、厨芥のみかけ比重を用いて重量換算し、投入厨芥量を推定した。ごみ量調査は「投入厨芥」（ディスポーザーに投入する予定の厨芥）、「分別厨芥」（分別ごみに出された厨芥）、「混入厨芥」（可燃ごみに出された厨芥）を回収し重量測定をした。

(3) ディスポーザー排水の汚濁負荷量

厨芥 100g あたりの負荷量（以下、水質転換率）を算出するため、ごみ量調査で回収した厨芥をディスポーザーで粉碎、ディスポーザー排水を全量回収し分析に供した。分析項目は、SS、BOD、T-N、T-P である。投入厨芥量に水質転換率を乗じ、ディスポーザー排水の汚濁負荷量を推計した。

2. 2 硫化水素発生に関する調査

現状で腐食による管渠の破損等の問題を抱える地域においてディスポーザー導入を検討する場合、有機物の多いディスポーザー排水による管渠等の腐食が懸念される。まず、0 県をモデル地域として硫化水素発生状況の現状把握を行った。調査は、0 県全域の公共・流域幹線の管渠から硫化水素発生が懸念される箇所を選抜し、

人孔内気相中の硫化水素濃度をガステック製拡散式硫化水素測定器 GHS-7AT を用い連続測定した。また、硫化水素発生危険箇所として圧送管吐け口を対象に、圧送管の前後で下水を採水し、BOD、溶存硫化物を実測するとともに、ディスポーザー排水が流入した場合の下水中の硫化物濃度の変化について EPA モデル式を用いて予測した。

3. 調査結果

3. 1 ホテル厨房でのディスポーザー使用実態調査

ディスポーザーは毎日 9:00~10:00、20:00~21:00 に使用され、1 日あたりの使用回数は 3.9~4.5 回 (平均 4.1 回) であった。

ごみ量調査の結果、混入厨芥、分別厨芥、投入厨芥の 3 種類の厨芥が存在することが確認された。また、厨芥発生量の 90% 以上 (平均 94%) がディスポーザーに投入されていることがわかった。次に、レストラン利用人口と投入厨芥量との関係を図 1 に示す。利用人口の増加に伴い投入厨芥量は増加する傾向がみられ、平成 15 年度の投入厨芥量を推定すると、最大 121.8kg/日、最小 3.3kg/日、平均 45.2kg/日であった。

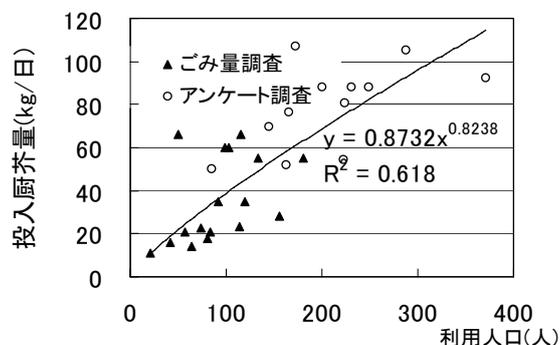


図1 レストラン利用人口と投入厨芥量との関係

投入厨芥の水質転換率は、一般家庭に比べて SS, TN, TP がやや低かった (表 1)。平均的な利用人口時のホテル厨房からの汚濁負荷量は SS3.08kg/日、BOD6.30kg/日と推定され、一般家庭とホテルを合わせたディスポーザー由来汚濁負荷量の 37~47%を占めた。

表1 ホテル厨房におけるディスポーザー投入厨芥の水質転換率

厨芥排出場所	SS	BOD	TN	TP
ホテル厨房	6.8	13.9	0.47	0.05
一般家庭	8.2	11.3	0.73	0.11

(g / 厨芥 100g)

表2 平成15年度におけるディスポーザー由来汚濁負荷量 (kg/日)

	SS	BOD
一般家庭※	5.18 (63%)	7.16 (53%)
ホテル	3.08 (37%)	6.30 (47%)
合計	8.25 (100%)	13.46 (100%)

※一般家庭におけるディスポーザー普及率36%

3. 2 硫化水素発生に関する調査

硫化水素発生が懸念される 9 地点を選抜し 1 ヶ月から最長 12 ヶ月間硫化水素濃度を測定した結果、いずれの地点も 1 年を通じて非常に高濃度の硫化水素が観測され、特に、夏季に高濃度の硫化水素が発生していた。最も硫化水素濃度の高かった A 地点では、人孔気相中の気温が 26~27℃の 6 月に平均 200ppm の硫化水素が常時観測され最大瞬間濃度は 541ppm であった。気温が 30℃前後の 7 月になると最大瞬間濃度 800ppm、瞬間濃度が 600ppm を越える状態が続いていた。また、下水水温は 12 月~3 月 23℃、4 月 25℃、5 月 27℃、6 月 28℃、7 月 30℃であり、硫化水素濃度と水温の関係をみると、23℃前後であった 2 月の硫化水素濃度に比べ、30℃を越えた 7 月では 2 倍程度硫化水素発生濃度が高まることがわかった。

ディスポーザー排水流入による圧送管吐け口の硫化物濃度の変化について、EPA モデル式を用いて予測した結果から、現状で硫化水素濃度が 200ppm であった地点では 246ppm、254ppm 地点では 300ppm に増加すると考察された。

【参考文献】

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、国総研下水道研究部、北海道庁、歌登町、ディスポーザー導入社会実験に関する報告書、国総研資料 No. 226 (2005)
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、国総研下水道研究部、ディスポーザー導入時の影響判定に関する研究-ディスポーザー導入時の影響判定の考え方-、国総研資料 No. 222 (2005)

3. GIS を活用した流域汚濁負荷情報データベース構築に関する調査

下水道研究室 室長 藤生 和也
主任研究官 吉田 敏章
研究官 田本 典秀

1. はじめに

公共用水域の効率的な水質管理のため、汚濁負荷に関する計画を流域単位で策定することは重要である。流域別下水道整備総合計画（流総計画）は、公共用水域の水質基準を満足するために今後削減すべき汚濁負荷量を算出することで、必要な施策の実施に向けて先導的な役割を果たしている。一方で、地理情報システム（GIS: Geographic Information System）の進展は著しく、多くの種類の GIS データが整備されつつあることから、その活用環境は整いつつある。自治体などの行政機関においても GIS の導入が進んでいるが、事務の効率化・迅速化といった目的に止まらず、施策の企画段階から積極的に GIS 技術を活用し、施策の質的向上を図ることが望ましい。流域における水質管理においても、空間的な情報の把握に適する GIS は、有効な施策支援ツールになりうると期待される。そこで本調査は、GIS を流域管理に活用することにより、精度が担保され、かつ効率的な汚濁負荷量の推定の実現を目指すものである。

平成 16 年度は、GIS の流総計画策定作業への適用性について調査を行い、人口や面積などのいわゆる「フレーム」の集計や、効果的な図示といった部分に GIS が有効であることを示した。平成 17 年度は、この実践的な試みとして、全国 88 の閉鎖性海域の流域を対象に発生負荷量に関するデータベースを構築するとともに、流域管理施策への応用に向けた手法を示す。

2. 発生負荷量推定の方法

2. 1 推定フロー

88 流域における発生負荷量データベースを構築するため、本調査では図-1 に示すフローに従って流域からの発生負荷量を推定した。負荷量推定の方法は、流総計画と同じく原単位法である。まず、GIS を用いて人口¹⁾、工業出荷額²⁾及び土地利用面積³⁾の各メッシュデータを集計し、流域別・都道府県別の人口、工業出荷額及び土地利用面積を求めた後、汚濁負荷原単位を乗じて各流域における都道府県別の発生汚濁負荷量（生活、工場及び面源（水田、畑地、山林、市街地）由来）を推定した。対象とした水質項目は、BOD、COD、SS、TN、TP の 5 項目である。なお、畜産、観光、その他浄化槽等に由来する負荷量に関しては、基礎となるメッシュデータが整備されていない、または作成年度が古いいため、今回の推定からは除外した。

2. 2 負荷量原単位

使用した原単位は、それぞれの流域を並列に比較するため、「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説（平成 11 年度版）」⁴⁾（流総指針）を基に、すべての流域に対し一律の原単位を設定することとした。なお、

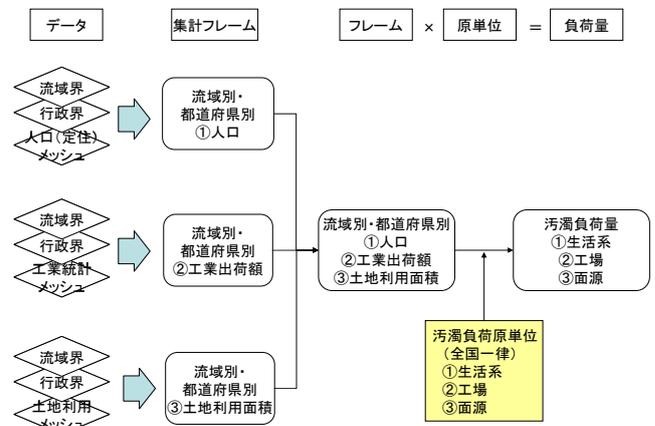


図-1 発生汚濁負荷量の推定方法

表-1 汚濁負荷原単位とその設定根拠

項目		BOD	COD	SS	TN	TP	備考
人口(定住) (g/人/日)	し尿	18	10	20	9	0.9	「流総指針」p.33の1人1日あたりの汚濁負荷量の参考値
	雑排水	40	17	25	2	0.4	
	計	58	27	45	11	1.3	
工場 (kg/日/百万円)		0.0130	0.0143	0.0171	0.0039	0.00050	「流総指針」参考資料の工場排水汚濁負荷量、排水量原単位と、平成12年全国細分類工業出荷額から原単位を算出
面源 (kg/ha/年)	水田	246.7	206.2	-	41.2	3.9	「流総指針」面源汚濁負荷量原単位の、各排出源における平均値
	畑地	79.0	66.0	-	238.0	2.4	
	市街地	128.0	107.0	737.0	16.2	1.9	
	山林	43.5	36.4	-	4.4	0.3	
	降雨	50.5	42.2	-	11.3	0.5	

工場については「排水基準を定める省令（昭和46年総理府令第35号）」により定められた排水水質の上限値を参考に、公共用水域へ排出されるレベルの汚濁負荷原単位を設定した。表-1に本調査で用いた原単位とその設定根拠を整理する。

3. 発生汚濁負荷量データベースの構築

2. で述べた方法により、全国88の閉鎖性海域の流域を対象として発生汚濁負荷量に対するデータベースを構築した。図-2に東京湾流域で発生する汚濁負荷量の推定値を都県別に比較した例、図-3に各海域単位容積あたりの発生汚濁負荷量を比較した例、図-4に88閉鎖性海域の発生負荷量（COD）の推定値を示す。図-3より、例えば東京湾では湾容積あたりの負荷量は他の海域と比較して突出しており、東京湾流域の汚濁ポテンシャルの高さを明確に示している。

4. 閉鎖性水域への汚濁負荷量の情報表示方法

流域における水質管理を今後効率的に進めていくためには、流域ごとに排出される汚濁負荷量の情報や水域の汚染状況などの情報を適切に把握し、並列に比較することが有効な一つの手段となる。そこで、3. で推定した

発生汚濁負荷量や流域に関する情報について、流域別、行政区域（都道府県、市町村）別に比較することを試みる。表示する情報は、流総計画策定の中で算定する項目；流域情報（フレーム）及び汚濁原別の排出負荷量とした。具体的には、流域情報として、人口、工業出荷額、家畜頭数、観光人口につき、それぞれの現況と将来予測値、汚濁負荷に関する情報として、生活、工場、畜産、観光、面源、その他（浄化槽など）につき、それぞれに由来する汚濁負荷量の現況と将来の予測値とした。表-2は大阪湾流総計画⁵⁾を基に作成した、大阪湾流域における並列比較の実践例である（観光由来の負荷については、大阪湾流総計画では扱っていない）。また、図-5はCOD排出負荷量（現況、将来、許容負荷量）についてGISを用いて図化を行い、府県別に比較したものである。

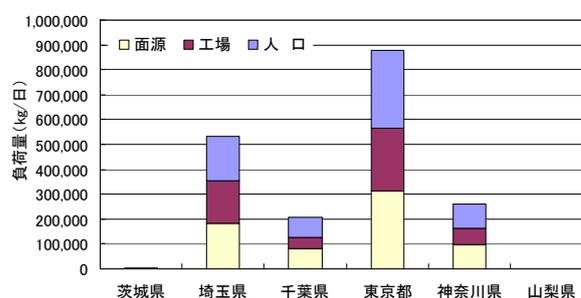


図-2 推定された発生汚濁負荷量の例
(東京湾流域、COD)

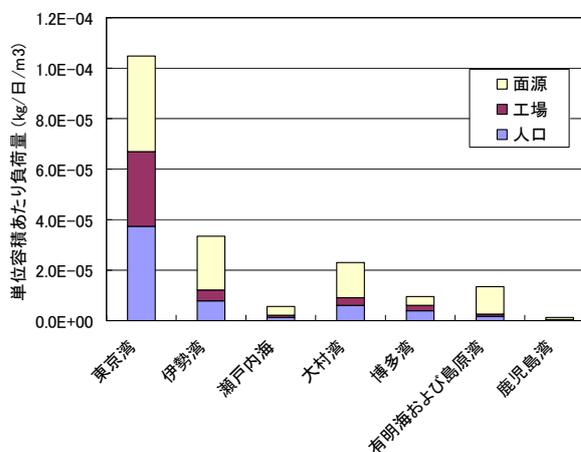


図-3 単位容積あたりの流域発生負荷量の比較例
(COD)

この情報表示を、定期的な作業として位置づけることができれば、例えば流総計画において、計画を策定した後に許容負荷量（目標）との差を確認することにより、流総計画の進捗を把握することができる。また、他の流域と比較することで、例えば高度処理といった施策の優先度、緊急度を判定することも可能になると考えられる。

5. おわりに

本調査では、流域全体にわたる効率的な水質管理のため、流域別の発生負荷量に関するデータベースを、GISを用いて作成するとともに、汚濁負荷量などの情報を流域ごとに並列して表示することを試みた。本調査で行った算出方法や流域管理への活用については、いくつかの課題を残したので、以下に述べる。

本調査では、設定した原単位を全国一律の値として推定に用いたが、実際には、特に面源の原単位については、各地域により異なっているものと思われる。今後、地域条件に応じて原単位を設定できるようになれば、より詳細かつ精度の高い推定が可能になり、GISの強みが発揮されるものと期待される。

また、本調査では、流域ごとの発生負荷量を推定したが、より詳細な検討のためには、実際に公共用水域へ排出される汚濁負荷量（排出負荷量）を知ることが重要である。今回行った推定では、負荷量を発生源で計算しているため、面源に関しては算出される負荷量が排出負荷量と大きく変わらないと考えられるが、点源に関しては、浄化槽、し尿処理施設、下水処理場による除去率が考慮されておらず、今後改良の余地がある。

参考資料

- 1) 財団法人統計情報研究センター：地域メッシュ統計 平成12年国勢調査
- 2) 財団法人経済産業調査会経済統計情報センター：工業統計メッシュデータ（平成12年）
- 3) 国土交通省国土計画局：国土数値情報土地利用メッシュ（平成3年、9年）、<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 4) 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年度版、1999
- 5) 大阪府：大阪湾流域別下水道整備総合計画、計画説明書、2000

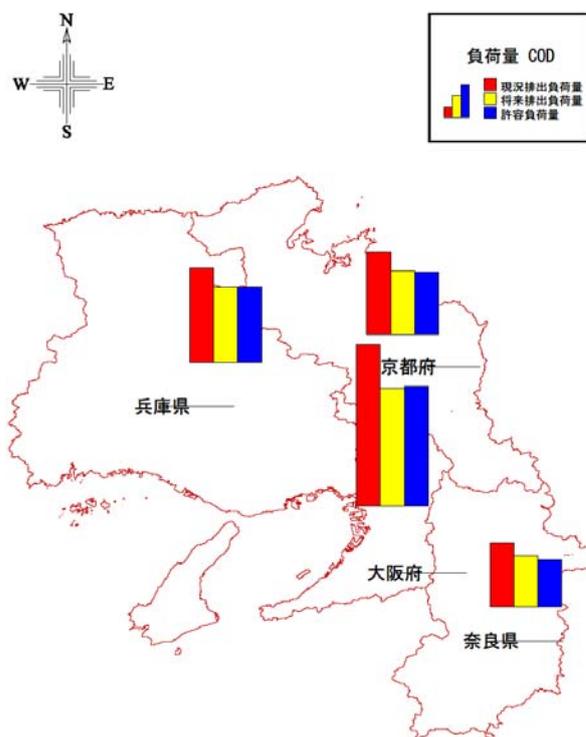


図-5 大阪湾流総計画における府県別 COD 排出負荷量の比較例

4. 最適都市雨水対策確立手法に関する調査

下水道研究室 室長 藤生和也
主任研究官 管谷悌治
交流研究員 岡本辰生

1 はじめに

近年、都市部では、局地的集中豪雨の増加及び市街化により雨水流出量が増加しており、さらに、資産集中によって浸水被害ポテンシャルが増大している。このため、浸水危険度の高い区域においては、緊急的に浸水被害軽減を図るために、ハード対策、ソフト対策及び住民の自助を組み合わせた対応が求められている¹⁾。また、あらゆる降雨に対して都市を守る対策を施すことは実質的に不可能なことから、想定した計画規模の降雨に対する対策を考えたとともに、計画規模を超過する降雨（下水道施設の整備水準を大きく越える集中豪雨）の生起も想定し雨水対策を考えていく必要がある。制度面に目を向けると、平成 15 年に「特定都市河川浸水被害対策法」が制定され、下水道と河川が緊密な連携を図りつつ都市雨水対策を重点的に推進するとともに、貯留浸透施設等を流域全体で整備していくことが対応として盛りこまれた。これらを受け、本年度は超過降雨に対する流出係数等の実態把握及び超過降雨対策としての新たな施策につき調査研究を行った。

2 超過降雨に対する流出係数等の実態把握

雨水排水計画策定において、基本的かつ重要な要素の一つとして流出係数がある。流出係数は合理式や実験式において、ある降雨に対するピーク流量を算定するためのパラメータである。なお、合理式は式 1 のとおりである。

$$Q = \frac{1}{360} C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots \text{式 1}$$

(Q : ピーク流出量(m^3/s)、 C : 流出係数、 I : 流達時間内の平均降雨強度(mm/hr)、 A : 排水面積(ha))

計画上、流出係数は土地利用の将来予測に基づき決定される一定の数値として与えられる。しかし、流出係数は雨水流出過程の種々の要因を包含的に表現する係数であり、その値は種々の要因によって変化する。例えば、降雨強度が大きいほど流出係数は大きくなると考えられる(図 1)し、先行降雨状況や降雨継続時間によっても流出係数は変化すると推測される。すなわち、超過降雨対策を考える際には、それに見合った流出係数等の諸条件を把握した上で計画を策定することが重要である。このような観点から、超過降雨に対する流出係数や流達時間などの実態把握を目的として、都市の下水道整備区域で長期的な連続モニタリング調査を行っている。

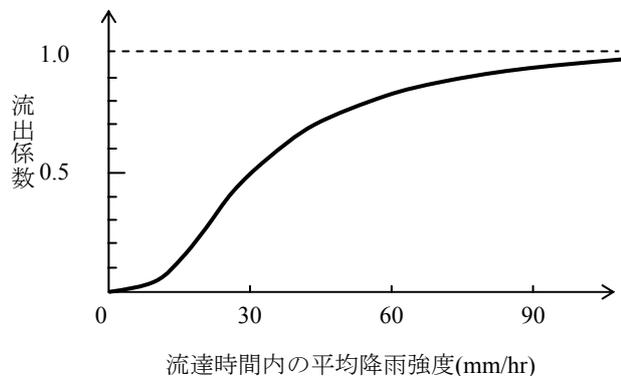


図 1 流出係数と降雨強度の関係のイメージ

表1 調査地区選定の留意点

選定条件	理由
分流式であること	<ul style="list-style-type: none"> 合流式の場合、汚水の影響により正確な雨水流出量を分離が困難である。 合流式の場合、夾雑物が多いため計測機器に支障がでる可能性がある。 合流式の場合、対象流域内に雨水吐があると、CSOにより正確な雨水流出量を観測できない。
流域界が明確であること	<ul style="list-style-type: none"> 流域界が不明確な場合、流出係数等の正確な評価ができない。
土地利用が画一的であること	<ul style="list-style-type: none"> 土地利用ごとの流出特性の違いを把握するために、単一流域内の土地利用は極力画一的である必要がある。
流量観測地点の流況が安定していること	<ul style="list-style-type: none"> 流量測定精度を確保するため、流量測定地点(管渠内)の近傍に分合流が存在しないこと。 背水の影響を受ける場合、管内貯留現象によって正確な流出量を計測できないため、流量測定地点は背水の影響を受けない地点である必要がある。

2.1 調査地区

調査地区は、表1に示す点に留意しつつ、土地利用状況による違いも把握するために市街地と住宅地の計2箇所としており、調査地区の概要は表2のとおりであり、それぞれの地覆状況を図2、図3に示す。

(1) 市街地

オフィスビル等が立ち並ぶ商業地区である。一部に植樹帯や公園に浸透面が存在するが、ほとんどは屋根や舗装の不浸透面で占められている。地表面勾配は小さい。道路排水はL型側溝→U字側溝→下水道管渠の経路で、建物の雨水排水はU字側溝→下水道管渠の経路で流下する。流量観測地点の管渠形状はφ1,100mmである。

(2) 住宅地

一戸建ての住宅が立ち並ぶ住宅団地であり、各宅地には土や芝などの浸透面が存在し、浸透面積率は比較的大きい。地区内の地表面勾配は比較的大きい。ごく一部の道路排水はL型側溝を経由するが、大部分の道路排水と宅地排水はL型側溝を経由せず直接U字側溝に入り、下水道管渠に流入する。流量観測地点の管渠形状はφ600mmである。

2.2 計測方法

(1) 流量観測

流量計測には面速式流量計を用い、水深と流速から管渠内流量が算定される。1分間に測定した10回のデータの中央値を当該1分間の代表データとした。

(2) 雨量観測

雨量計測には転倒マス型雨量計(1転倒0.5mm)を使用し1分ピッチで計測した。調査地区の中央付近から雨量観測地点までの距離はいずれの調査地区でも約400mである。

表2 調査流域の概要

		市街地	住宅地
流域面積		6.67 ha	2.34 ha
地表面状況	不浸透面(屋根)	2.54 ha (38%)	0.99 ha (42%)
	不浸透面(舗装)	4.00 ha (60%)	0.54 ha (23%)
	浸透面	0.13 ha (2%)	0.81 ha (35%)
地表面勾配		5/1,000 ~6/1,000程度	10/1,000 ~50/1,000程度

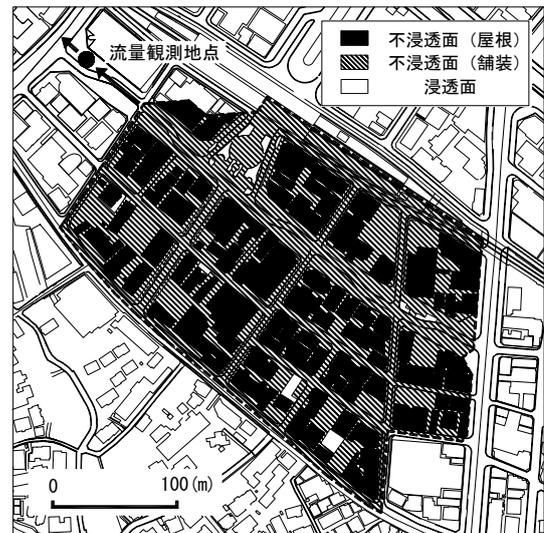


図2 調査流域の地覆状況(市街地)



図3 調査流域の地覆状況(住宅地)

2.3 調査結果及び今後の展望

平成17年9月より実態調査を開始しているが、既に取得できている観測データの例を図4に示す。本調査は今後も長期的に実施していき、様々な規模及び波形の降雨に対する流出データを蓄積することにより、流出係数や流達時間の実態を把握し、今後の超過降雨を対象とした雨水排水計画の策定に資する基礎データとしていく。

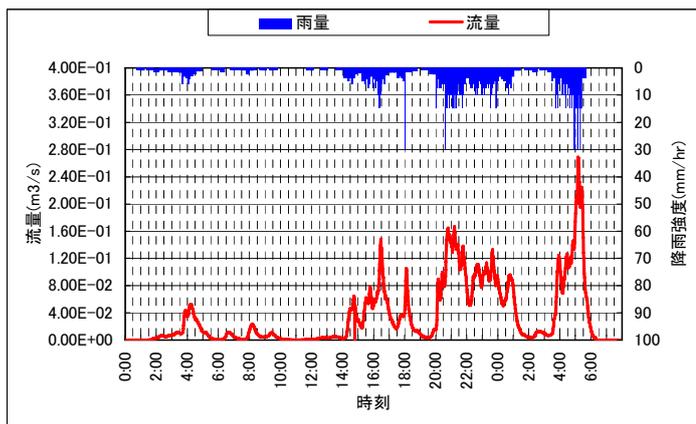


図4 市街地における雨量及び流量データの観測事例

3 超過降雨対策としての新たな施策の提案

超過降雨対策としての緊急的な施策は、従来の管路やポンプ施設、雨水貯留・浸透などの流出抑制施設の整備に加え、施設の有効活用、投資効果及び早期効果発現といった個々の施策の観点と、地域特性を考慮した流域全体の観点から、最適な施策を選定し、推進することが重要である。

3.1 新たな施策

緊急的かつ効率的な新たな施策として、以下のような施策を提案する。

(1) OS (Overland Storage) 式貯留

道路面を広く薄い調整池として利用する方法である。住宅地などでは現行の整備レベル以上の降雨に対しては、道路冠水程度までを許容することも考えられる。このような場合、例えば雨水桝にオリフィスを設置し、道路横断方向に凸部を設けることによって道路を貯留施設として利用することが可能である(図5)。この施策は、下流域を守るための上流域における流出抑制対策として効果が期待される。湛水部と非湛水部を交互に配置することにより、凸部の高さ以上に湛水することなく貯留することが可能である。

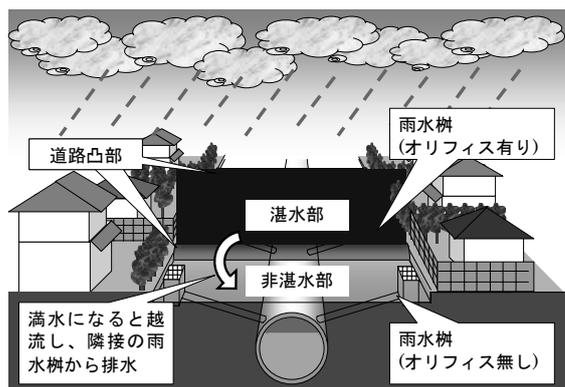


図5 OS式貯留

(2) オリフィス付き雨水貯留タンク

各戸貯留は既に複数の自治体で助成制度が創設されるなど、雨水利用と流出抑制の両面から整備が進められている。しかし、現在の雨水貯留タンクの多くは、あらかじめ空にしたタンクに雨水開始後満水になるまで貯留し、満水後の雨水はそのまま放流する形式のものである。このような形式では、満水後は流出抑制効果がなく、短時間集中型やピークを前方に有する降雨では大きな効果があるが、長時間降雨やピークを後方に有する降雨では十分な効果が得られないことが考えられる。そこで、タンクにオリフィスを設置することにより、長時間降雨にも有効な施設として運用することが可能である。また、浸透ます等の併用によって下水道への流入量をさらに抑制することも可能である(図6)。

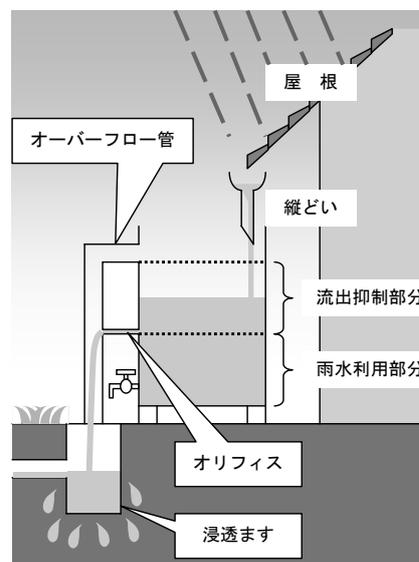


図6 オリフィス付き雨水貯留タンク

(3) その他

起伏の多い地区などでは、想定どおりに雨水が管渠に流入せず、道路面を流下して窪地や坂下などで局所的な浸水被害を起こすことがある。このような場合、道路横断方向に排水溝を設置することによって、道路面の雨水を効率的に管渠に導くことができ、浸水被害を軽減できる可能性がある。

ビルのような屋根の平らな建物が多い地区では、建物の屋根を貯留施設として利用することによって流出抑制対策となる。

3.2 今後の展開

超過降雨対策としての施策実施効果については、今回の実態調査の調査地区等をモデル地区としたシミュレーションにより、前述の施策実施時の効果についてケーススタディ的な検討を行う予定である。

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

5. 雨天時における路面排水負荷対策に関する調査

下水道研究室 室長 藤生 和也
主任研究官 吉田 敏章
研究官 田本 典秀

1. はじめに

下水道整備をはじめとする点源対策の進展に伴い、面源負荷が公共用水域の水質に与える影響は次第に大きくなってきているが、特に閉鎖性水域の水質を考える際には面源負荷の影響を無視することができない。湖沼の水質問題に関しては、改正「湖沼水質保全特別措置法」が平成 18 年 4 月に施行され、この法律では市街地や農地などから流出する汚濁負荷への対策が必要な地区を「流出水対策地区」に指定し、同地区内で重点的に面源負荷対策を講じられるようになった。市街地において下水道が汚濁負荷の削減に大きな役割を担っていることは論を俟たないが、下水道事業の中で有効な面源負荷削減策を事業化し、かつ有効な成果を挙げるためには、最も基礎的な情報である発生・流出負荷量と、対策の実施により見込まれる削減効果を的確に把握する必要がある。

本調査では、雨天時における市街地からの流出負荷量について、実測調査と文献調査の両面から実態把握・情報を整理し、面源負荷対策に必要な流出負荷量の推定につき知見を得ることを目的に調査を行う。平成 17 年度は、従来用いられてきた面源負荷量の原単位について文献調査を実施し、また、平成 16 年度から引き続いて市街地面源負荷の実測調査を行い、流出負荷量の予測手法につき検討を行った。

2. 面源負荷量の原単位に関する文献調査

一般に、流域別下水道整備総合計画（流総計画）等の計画における面源負荷量の推定には、原単位法が用いられている。特に流総計画において算出される面源負荷量は市街地における面源負荷対策の基礎となるので、できる限り正確な値を用いることが望ましいが、実際には調査の困難さなどから、他地域で調査された原単位を準用している事例が多い。しかし、汚濁負荷量原単位は、実測された場所・期間における原単位であるから、特に他地域の原単位を適用する場合には十分に留意して用いる必要がある。そこで、文献を収集して、既往調査における面源負荷量原単位の情報を整理した。本調査の主眼は市街地であるが、比較のため、降雨、農地（水田、畑）、山林由来の汚濁負荷量原単位についても文献調査の対象に含めた。調査水質項目は COD、TN、TP とした。

本調査で収集した資料は、湖沼水質保全計画、流域別下水道整備総合計画調査指針と解説（平成 11 年度版）（流総指針）のほか、次の 2 つの条件を満たす資料とした。

表-1 面源負荷量原単位（単位：kg/ha/年）

(a) 市街地							(b) 水田（純排出負荷量）						
	調査件数	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差		調査件数	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差
COD	31	92.3	55.8	13.6	378.0	77.7	COD	12	92.5	46.4	-71.1	352.0	122.9
TN	31	14.8	12.2	3.1	378.0	9.38	TN	14	13.1	10.6	-10.4	37.3	12.5
TP	31	1.69	0.93	0.24	6.50	1.49	TP	12	1.45	0.62	-0.92	5.05	1.85
(c) 畑							(d) 山林						
	調査件数	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差		調査件数	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差
COD	16	28.2	22.3	4.0	84.0	23.0	COD	28	22.3	16.2	2.4	154.0	29.2
TN	38	69.7	52.3	2.4	238.0	58.4	TN	45	4.5	3.3	0.3	22.1	4.23
TP	31	0.68	0.50	0.00	2.43	0.550	TP	38	0.24	0.14	0.01	1.31	0.285

注 水田の「純排出負荷量」は、水田からの総排出負荷量から用水に含まれる負荷量を差し引いた値を意味する。

- 1997年以降に発表された資料（1996年までの資料は、流総指針の中で整理されているため）
- 一般に公開されている資料

収集した資料を整理した結果が表-1 及び図-1 である。図-1 中の箱形は、上下25%の間の値を示している。COD、TP に対しては、市街地と水田の原単位が、TN では畑の原単位が大きい傾向にあった。面源の中で市街地は、特に COD、TP に対して高い値となる可能性があることが改めて浮き彫りとなった。

3. 市街地（分流地区）における面源負荷の実測調査

3.1 調査方法

(1) 調査対象地区・降雨

実測調査の対象地域として選んだのは、分流式下水道が整備された市街地で、それぞれに異なる土地利用を有する3つの雨水排水区（A～C排水区）である。表-2 に調査対象地域の概要を示す。不浸透面積率の算出にあたっては、土地利用ごとに設定された屋根、道路、浸透域の割合を、国土地理院発行の土地利用データ（10mメッシュ）を基に集計した各土地利用の面積に乗じて算出した。今年度の調査対象とした降雨は、表-3 に示す2降雨（第3、4回目調査）である。なお、先行無降雨日数は0.5mm/day以下の小雨を除いて求めた。雨量の観測は、採水地点近傍の公共施設の屋上または空地に設置し、5分間隔にて常時観測を行った。また、採水地点における流量は、採水地点直近の上流側に水位計を設置して得られた5分間隔の水位データと、予め求めておいた水位-流量の関係式から流量を算出した。

(2) 採水及び水質分析方法

採水は作業員の手による直接採水とし、一降雨あたり14～20本の試料を採取した。採水の間隔は、流出の初期は約5分とし、その後適宜30分～1時間程度に間隔を広げた。分析の対象とした水質項目は、SS、VSS、BOD、COD_{Mn}、TN、TP であるが、一部の調査では、重金属（銅、亜鉛、鉛、カドミウム）、ベンゾ(a)ピレン（B(a)P）、ビスフェノールA（BPA）も併せて分析した。水質分析にあたっては、いずれの水質項目も下水試験方法に従った。また、採水と同時にポータブルの水質センサーを用いて濁度と電気伝導度（EC）を計測した。

3.2 調査結果

(1) 流出負荷量と流出の特性

表-4～6 は、調査対象地区における一降雨あたり流出負荷量

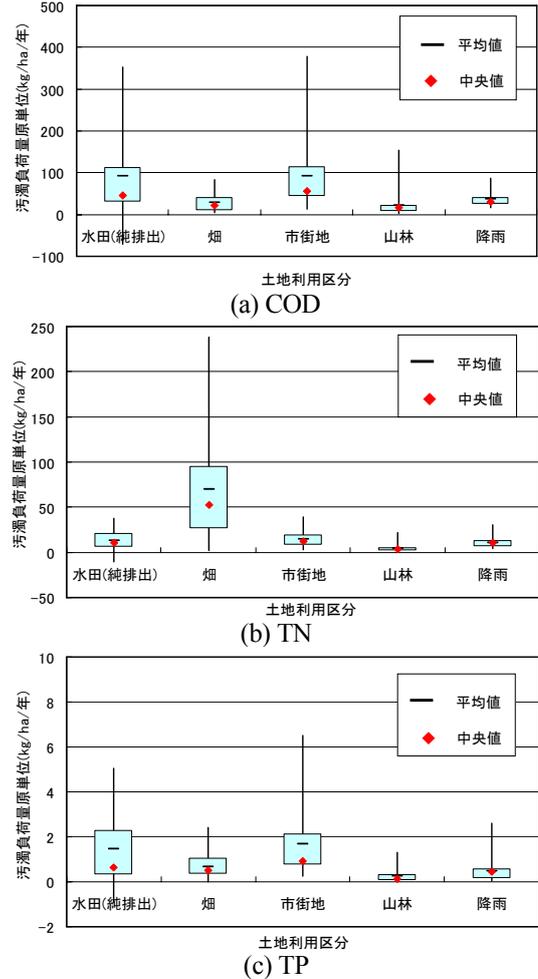


図-1 土地利用別面源負荷原単位の比較

表-2 実測調査の対象排水区の概要

	A排水区	B排水区	C排水区
面積 (ha)	95	18	67
不浸透面積率 (%)	69	67	61
土地利用	中高層住宅 商業地	住宅地	住宅地
国道等の幹線道路	含む	含む	含まず

表-3 実測調査の対象降雨

		A排水区	B排水区	C排水区
第1回調査	先行無降雨日数 (日)		7	
	総降雨量 (mm)	14.0	15.0	14.5
	時間最大降雨量 (mm/hr)	2.5	3.5	3.0
第2回調査	先行無降雨日数 (日)		10	
	総降雨量 (mm)	6.0	9.5	8.0
	時間最大降雨量 (mm/hr)	2.5	2.5	2.5
第3回調査	先行無降雨日数 (日)		63	
	総降雨量 (mm)	37.5	42.5	34.0
	時間最大降雨量 (mm/hr)	11.0	10.5	9.5
第4回調査	先行無降雨日数 (日)	3	-	12
	総降雨量 (mm)	16.5	-	13.5
	時間最大降雨量 (mm/hr)	6.0	-	5.5

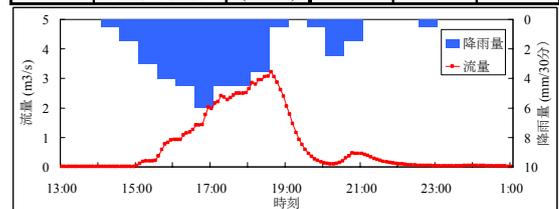


図-2 降雨量と流量の関係の例
(A排水区、第3回調査)

表-4 一降雨あたり流出負荷量 (A 排水区)

	総降雨量 mm	SS (kg/ha)	BOD (kg/ha)	COD (kg/ha)	TN (kg/ha)	D-TN (kg/ha)	TP (kg/ha)	D-TP (kg/ha)	Cu (kg/ha)	Zn (kg/ha)	BPA (mg/ha)	B(a)P (mg/ha)
第1回調査	14.0	3.83	0.75	0.91	0.17	0.12	0.017	0.0047	-	0.0044	12.0	0.42
第2回調査	6.0	2.25	0.52	0.77	0.10	0.07	0.013	0.0041	0.0016	0.0091	6.05	0.65
第3回調査	37.5	22.95	3.57	7.48	0.76	0.48	0.085	0.0236	0.0846	0.3492	24.8	3.65
第4回調査	16.5	4.44	0.38	0.85	0.14	0.10	0.016	0.0073	0.0018	0.0178	-	-
平均	18.5	8.37	1.30	2.50	0.30	0.19	0.033	0.0099	0.0293	0.0951	14.3	1.58

表-5 一降雨あたり流出負荷量 (B 排水区)

	総降雨量 mm	SS (kg/ha)	BOD (kg/ha)	COD (kg/ha)	TN (kg/ha)	D-TN (kg/ha)	TP (kg/ha)	D-TP (kg/ha)	Cu (kg/ha)	Zn (kg/ha)	BPA (mg/ha)	B(a)P (mg/ha)
第1回調査	15.0	0.17	0.03	0.04	0.013	0.010	0.001	0.0002	0.0000	0.0002	0.73	0.12
第2回調査	9.5	0.47	0.12	0.17	0.019	-	0.001	-	0.0002	0.0022	3.84	0.23
第3回調査	42.5	1.34	0.10	0.17	0.033	0.025	0.004	0.0007	0.0032	0.0060	-	-
平均	22.3	0.66	0.08	0.13	0.022	0.018	0.002	0.0004	0.0011	0.0028	2.2846	0.1762

表-6 一降雨あたり流出負荷量 (C 排水区)

	総降雨量 mm	SS (kg/ha)	BOD (kg/ha)	COD (kg/ha)	TN (kg/ha)	D-TN (kg/ha)	TP (kg/ha)	D-TP (kg/ha)	Cu (kg/ha)	Zn (kg/ha)	BPA (mg/ha)	B(a)P (mg/ha)
第1回調査	14.5	0.14	0.02	0.04	0.009	-	0.001	-	0.0001	0.0004	0.35	0.06
第2回調査	8.0	0.27	0.06	0.10	0.012	-	0.001	-	0.0003	0.0007	0.84	0.17
第3回調査	34.0	2.21	0.23	0.37	0.051	-	0.006	-	-	-	-	-
第4回調査	13.5	0.32	0.03	0.07	0.019	0.016	0.001	0.0002	0.0013	0.0007	-	-
平均	17.5	0.73	0.09	0.15	0.023	0.016	0.002	0.0002	0.0006	0.0006	0.5945	0.1133

注：D-TN、D-TPはそれぞれ溶存態（ここでは、孔径1 μ mのろ紙を通過するろ液に含まれる成分）TN、TPを示す。

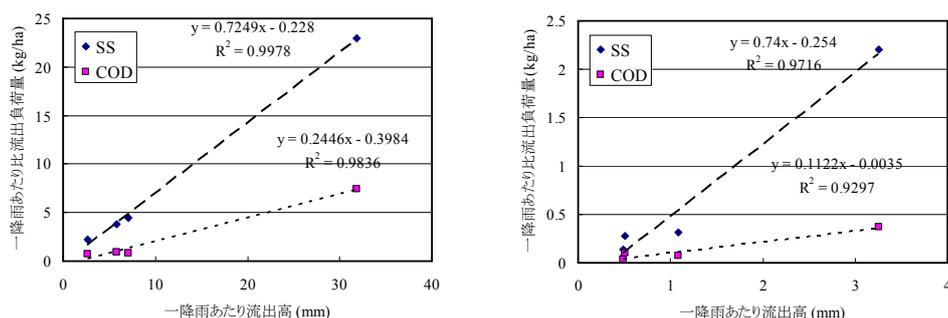


図-3 流出高と一降雨あたり比流出負荷量 (SS、COD) の関係 (左：A 排水区、右：C 排水区)

を整理したものである。A 排水区の流出負荷量が他の排水区に比べて突出しており、幹線道路や高度な土地利用などによる影響を示唆している。第3回目の調査で大きな流出負荷が観測されたのは、先行無降雨日数が60日程度と非常に長く、かつまとまった降雨量であったことが原因と考えられる。流出雨水量と流出負荷量との関係を調べるために、図-3に、流出高（単位面積あたりの雨水流出量）と一降雨あたりの比流出負荷量の関係を示す。第3回目調査の影響が大きい、良好な直線関係を表している。図-3におけるそれぞれのプロット原点を結ぶ直線の傾きは、一降雨あたり平均水質（EMC: Event Mean Concentration）を意味するが、調査ごとの降雨の規模や流出負荷量に関わらず、EMCの変動は小さく、概ね一定であった。紙数の関係上省略するが、図-3のSS、CODに比べて重金属の方が調査ごとのEMCの変動が大きい傾向にあった。

(2) 水質センサーによる計測結果

本調査では、採水時に水質センサーによる濁度とECの計測を行った。濁度とSSは高い相関関係が認められており、ECは溶解性成分と相関関係が知られている。A排水区の第1～3回調査のデータを用いて、濁度とBOD、COD、TN、TPそれぞれの直線相関を調べたところ、いずれも決定係数が0.75以上であった。また、ECと溶存態TNの間にも、ファーストフラッシュ前に高い相関性が見られた。これら濁度とECは、現場用の自動モニタリング手段として活用できる可能性がある。

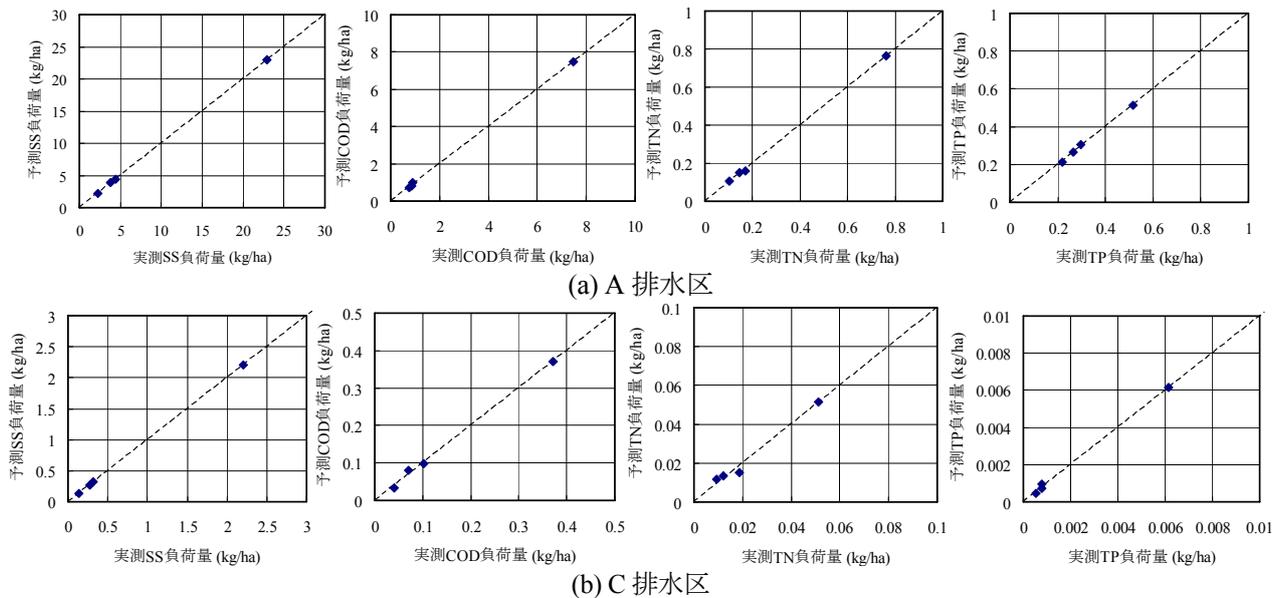


図-4 重回帰式による一降雨あたり流出負荷量の予測結果

3. 3 重回帰式による流出負荷量予測手法

流出負荷量は、地表面に堆積する汚濁物が雨水により洗い流されたものである。このような汚濁物は、大気降下物、タイヤかす、落ち葉などのゴミ等から構成されており、また、雨量や降雨強度によって掃流される際の摩擦速度が異なる。したがって、先行無降雨日数や降雨量といった気象条件が、流出負荷量を規定する大きな要因になっているものと考えられる。

そこで、それぞれの降雨イベントにおける総雨量と先行無降雨日数を説明変数として重回帰分析を行い、流出負荷量を予測することを試みる。重回帰式は次式で表される。

$$L = a \cdot \sum r + b \cdot \text{NFD} + c \quad (\text{式 1})$$

(L : 一降雨あたり流出負荷量 (kg/ha)、 $\sum r$: 総降雨量 (mm)、NFD : 先行無降雨日数 (day)、 a, b, c : 定数)

式1により予測した一降雨あたり流出負荷量と実測値を比較した例が図-4である。ここでは、A、C排水区における結果を示したが、どちらの排水区においても重回帰式の決定係数は0.9以上であり、流出負荷量は総降雨量と先行無降雨日数でほぼ説明されていることが分かった。このことに一般性があるか否かについては、今後、実測場所数や実測降雨数を増やして確認する必要がある。

4. おわりに

面源負荷定量の困難さは、削減対策実施に向けての大きな障害となっており、土地利用との関係性や、時間的・空間的な精度の検討など解決すべき課題は多い。特に表-1で示したように、面源負荷の原単位は調査によって1オーダーも異なる可能性があり、その扱い方や考え方は難しいが、本調査で示した流出負荷量の予測手法を適用すれば、比較的少ないデータからでも流出負荷量を予測できるようになる可能性がある。今後は、発生負荷・流出負荷の予測とともに、効率的な面源負荷削減策につき検討する必要がある。

謝辞

本調査に対して調査フィールドをご提供いただいている自治体関係者各位に、感謝の意を表します。

また、土地利用データは、国土地理院作成の数値地図10mメッシュ(土地利用)―首都圏(2000年)―のデータを使用したものである。併せて、データを提供いただいた国土地理院の関係各位に感謝の意を表します。

6. 管路施設の長寿命化に関する調査

下水道研究室 室長 藤生和也
研究官 宮内千里

1. はじめに

管渠の改築に際しての国庫補助の対象となる施設は 50 年を経過していることとされており¹⁾、国内でも早期より下水道事業を開始した都市においては、50 年を超え老朽化した管渠が増加している。老朽化等の劣化による事故を未然に防ぐには、適切に点検・調査を行い、改築・修繕を実施する必要がある。しかしながら、年々増加する老朽化管渠に対する効率的な調査手法は確立されていない。

そこで、本調査は効率的な調査手法策定の基礎資料とするために、早期より下水道事業を行っている都市において実施された劣化診断調査結果から、管渠の劣化発見率とその劣化原因率について考察を行ったので、その結果を報告する。

2. 資料収集

2 都市の協力を得て、1982～2004年に実施した管渠劣化診断のデータを収集した。両都市が診断対象とした管渠は、主に敷設時期の古い管渠が含まれる地域の管渠である。このうち HP（鉄筋コンクリート管）・TP（陶管）・VP（塩化ビニール管）で敷設年度・調査年度の明確なデータ（約 5,500km）を対象に考察を行った。管種・排除方式ごとの内訳を表-1 に示す。

今回収集したデータのうち、ある管渠について複数回にわたり診断した場合、最新の診断結果を使用しており、過去の診断結果は使用していない。また改築が行われた場合は、基本的には診断結果が消去されるが、一部においては消去されずに残っているものもあった。

両都市では管渠の維持管理・劣化診断・改築修繕がスパン単位で行われることから、本調査ではスパン単位で整理を行った。また、1 スパンの中で破損・クラック・継手ズレ・腐食・たるみ・浸入水のいずれかに A 判定（緊急な処置を要する劣化）があった場合、そのスパンを A 判定とした。また、A 判定はないが B 判定（数年以内に処置を要する劣化）がある場合は、そのスパンを B 判定とした。

3. 劣化発見率の分析

表-1 の中でスパン数の多かった合流の HP・TP・VP と分流の HP について劣化発見率を整理したものを図-1～4 に示す。劣化発見率とは、A 判定（もしくは B 判定）となったスパン数を調査スパン数で割った数字である。合流の HP・TP に関しては経過年数で 1 年ごとに整理を行った。経過年数とは敷設年度から調査年度までの年数のことである。合流 VP・分流 HP に関しては経過年数 3 年ごとに整理を行った。経過年数 50 年前後で調査スパンが少なくなるのは、戦争前後（1940～1950年）の敷設延長が少ないためである。

表-1 検討対象の管種・排除方式ごとの内訳

排除方式	管種	延長 (m)	スパン数	平均経過年数
合流	HP	3,135,328	102,779	27.7
	TP	1,988,039	73,085	33.2
	VP	62,030	2,480	19.9
分流 雨水	HP	106,140	3,038	20.2
	TP	6,208	212	43.6
	VP	4,590	149	12.2
分流 汚水	HP	163,243	5,209	20.1
	TP	12,476	399	23.3
	VP	12,824	401	8.9
計	—	5,490,878	187,752	—

(1) 合流HP (図-1)

A+Bの劣化発見率は、経過年数49年の54%まで増加し、その後は74・75年以外の50～79年において19～49%の間で変動していた。逆の見方をすれば、標準耐用年数50年以上経過したHP管スパンの約50%以上はC判定以下であり、良好な様態が保たれている。

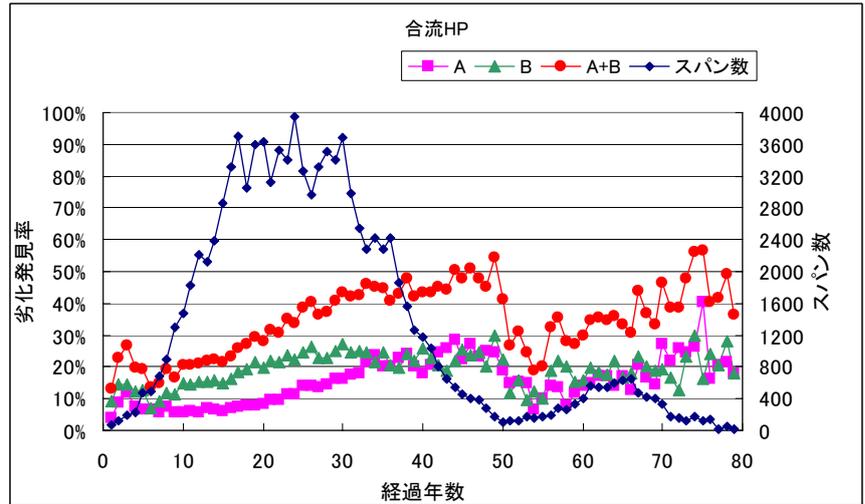


図-1 合流HPの劣化発見率

(2) 合流TP (図-2)

A+Bの劣化発見率は、経過年数48年の81%まで増加し、その後53年の37%まで減少し、76年に97%となった。A判定の劣化発見率は48年に59%、76年に79%となった。C判定以下のスパンが50%以上だったのは、経過年数24年までと、27・51・53～56年であった。

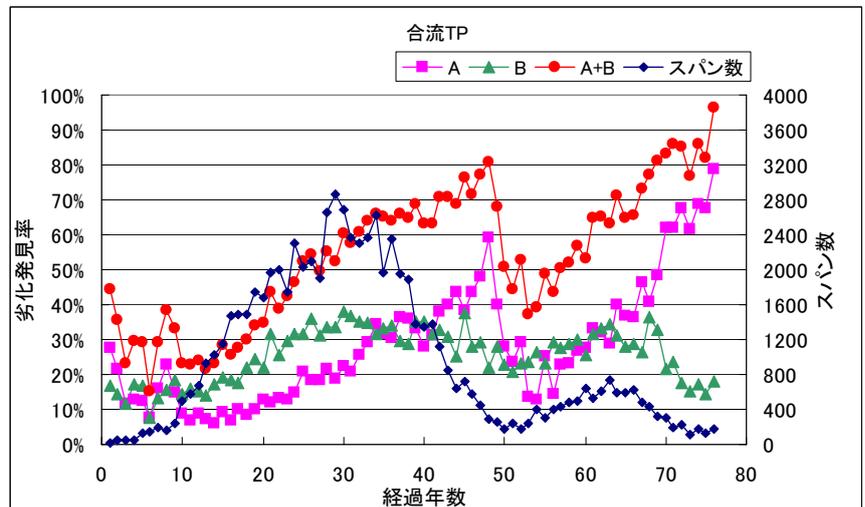


図-2 合流TPの劣化発見率

(3) 合流VP (図-3)

A+Bの劣化発見率は、経過年数1～3年の25%、28～30年の31%、42～45年の32%であった。それ以外では20%未満であった。調査数が100スパンに満たないプロットがあるため、経過年数と劣化発見率の傾向を見るためには引き続きデータ収集を行う必要がある。

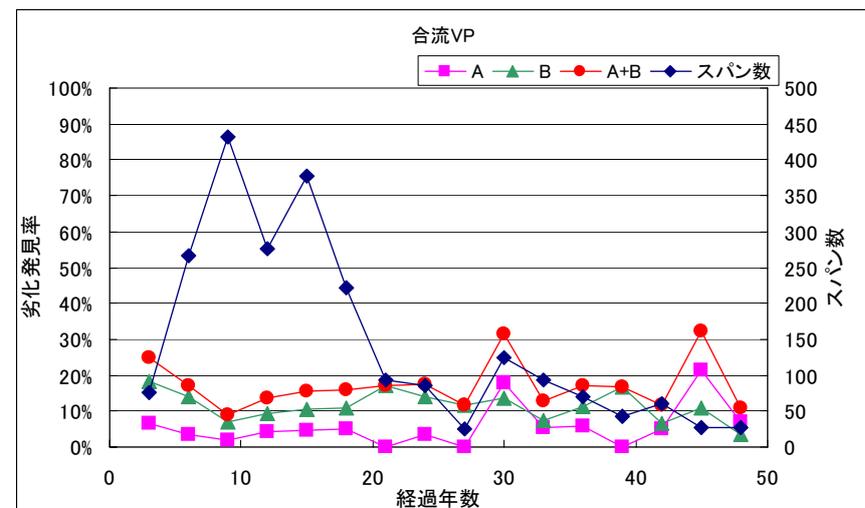
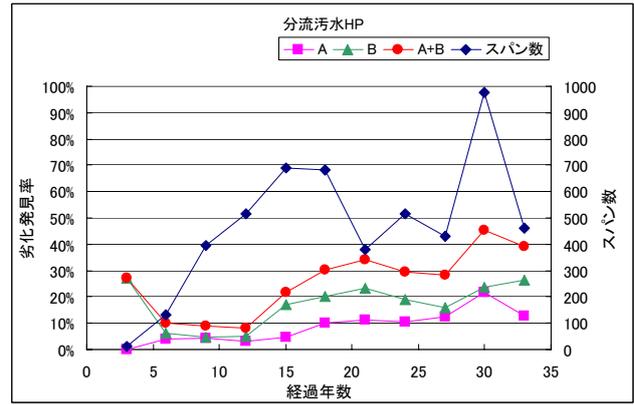
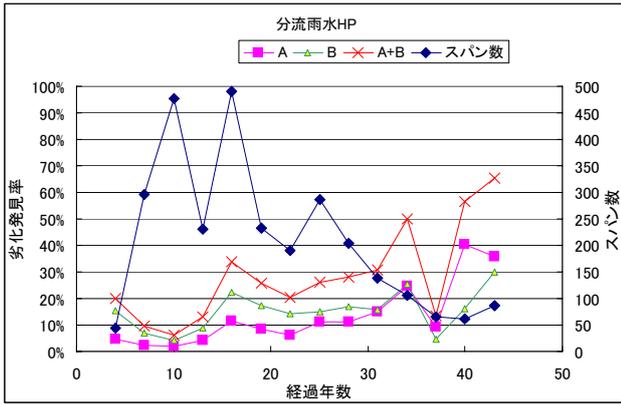


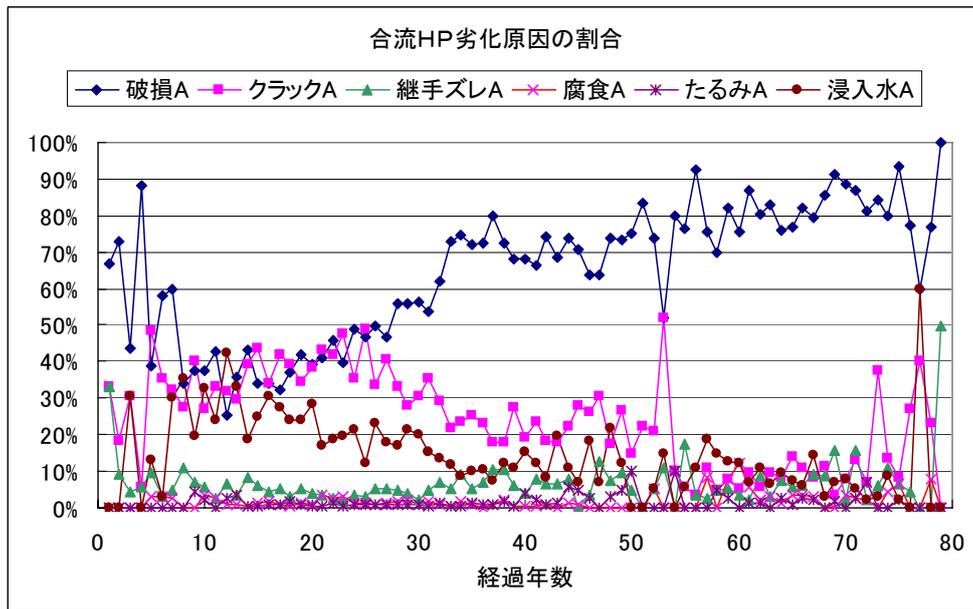
図-3 合流VPの劣化発見率

(4) 分流HP (図-4)

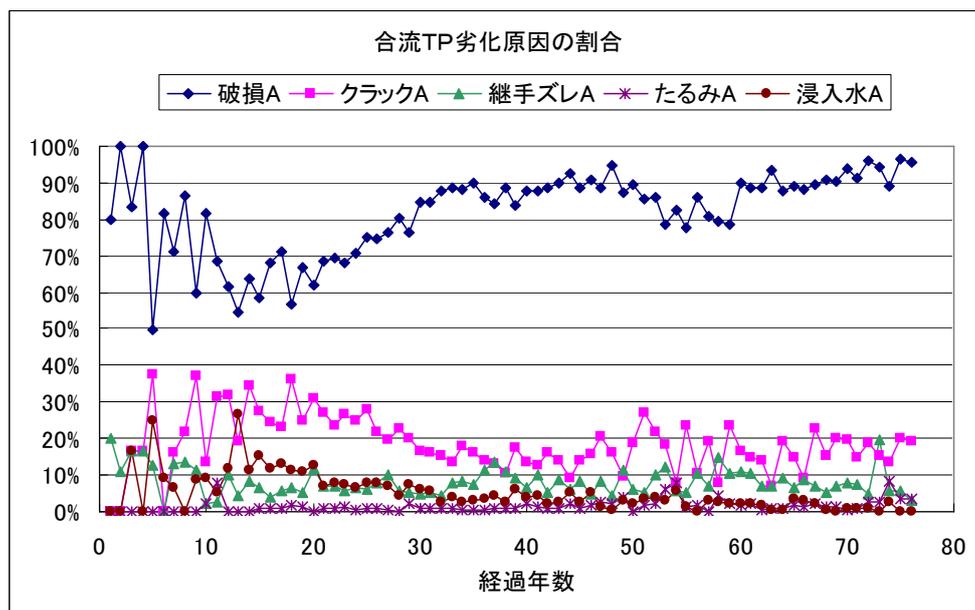
A+Bの劣化発見率は、雨水の経過年数41～43年で66%、汚水の28～30年で45%となった。合流VPと同じく、経過年数と劣化発見率の傾向を見るためには引き続きデータ収集を行う必要がある。



図－4 分流雨水・汚水HPの劣化発



図－5 合流HPの劣化原因の割合



図－6 合流TPの劣化原因の割合

(5) 共通の特徴 (図-1～4)

劣化発見率は、経過年数1～5年の方が6～10年より高かった。初期不具合の存在が考えられる。

4. 劣化原因率の分析

合流HP・TPのA判定となったスパンに関して、その原因別の割合を図6～7で示す。なお、A判定をなつた原因が複数の場合があり、原因別の割合を合計すると100%を超える場合がある。

(1) 合流HPの特徴 (図-5)

経過年数25年までは、クラックが最大49%みられるが、25年以降は破損の割合が増加し、劣化の主要原因となっていた。継手ズレ・腐食・たるみの割合は、多くのプロットで10%以下であった。

(2) 合流TPの特徴 (図-6)

破損の割合は最低でも50%あり、全経過年数で最も大きくなっていた。継手ズレ・たるみ・浸入水の割合、多くのプロットで10%以下であった。

5. まとめ

本調査は劣化診断調査結果から経過年数または敷設年度ごとの劣化発見率・劣化原因率について分析を行い、以下の結果が得られた。

- 1) 合流HPで50～80年経過し残存しているスパンのうち約50%以上がC判定以下であった。
- 2) 合流TPで概ね25年以上経過し残存しているスパンのうち50%未満がC判定以下であった。
- 3) 劣化発見率は経過年数1～5年のほうが6～10年より高かった。
- 4) A判定となった劣化の原因は破損の割合が高かった。

6. 今後の課題

今回は主に合流式で整備された2都市のデータを基に考察した。分流式の管渠についてはさらにデータを集めて分析する必要がある。また、改築される前の劣化診断データについても集めて分析する必要がある。

7. おわりに

本調査に劣化診断データを提供いただいた都市の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 「下水道施設の改築について」平成15.6.19国都下事第77号

7. 下水処理場における重金属類等の除去に関する調査

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
研究官 山縣 弘樹

1. 背景及び目的

近年の環境中の化学物質の管理に係る制度の新設、改定により、下水道での対応が必要となる化学物質が多くなっている。

特に、平成 15 年度に新たに水生生物の保全の観点から生活環境項目として設定された亜鉛については、その環境基準の維持・達成を図るため、現在は、5mg/l である一律排水基準の強化を行うべきことが中央環境審議会水環境部会において示された。亜鉛については、都市部等において工場・事業場等からの人為的原因によると考えられる超過事例がみられる¹⁾ことから、これらの排水を受け入れている下水道においてもその実態を把握することは重要である。

そこで、亜鉛の下水処理場における挙動について実態把握を行うとともに、下水道における亜鉛の除去対策について検討を行った。

2. 研究内容

2.1 亜鉛の下水処理場における挙動実態の解明

(1) 方法

亜鉛の下水処理場における挙動を把握するために、標準活性汚泥法及びオキシデーションディッチ法を採用している下水処理場を全国から 6 箇所選定し、下記の要領で実態調査を行った。

- ① 実施期間：平成 17 年 12 月～18 年 2 月のうち 1 日間。
- ② 採水方法：流入水については 3 時間おきに 24 時間採水した試料を分析して日間変動水質を把握し、最初沈殿池流出水（最初沈殿池を設けている処理場のみ）と最終沈殿池流出水については 3 時間間隔の流量比例コンポジット試料を分析して日間平均水質を把握した。また返送汚泥・余剰汚泥等は 3 時間間隔で採取したものを等量混合した。
- ③ 亜鉛の対象試料：全量試料と溶解性試料（孔径 1 μ m のメンブレンフィルタでろ過したもの）
- ④ 分析方法：日本工業規格 K0102（工業排水試験方法）53 に定める方法のうち、ICP 発光分光分析法または ICP 質量分析法とした。全量試料の前処理については、下水試験方法（下巻第 2 章第 2 節 試料の前処理）に準じた。なお、新たに設定された全亜鉛の環境基準値が最小で 0.01mg/l（海域の特別域）であることから、今回の調査での定量下限値は、0.01mg/l 以下となるように精度管理を行った。

(2) 結果

調査対象箇所の流入水の濃度は、0.09～0.75mg/l（全量）、0.01～0.19mg/l（溶解性）の間に分布していた。亜鉛の下水処理場での挙動を把握するため、流量に濃度を乗じたフラックスについて、流入水を 1 として最終沈殿池流出水、汚泥への移行量を見た結果を表 1 に示す。なお、最終沈殿池流出水への移行量を「放流量」と記した。

亜鉛の流入量に対する放流量と汚泥への移行量の合計は 1 前後で、概ね物質収支がとれていた。D～F の処理場では、放流水への移行率が比較的大きかった（0.39～0.78）。これらの処理場では、流入水中の亜鉛に占める溶解性比率が 37～71%と他の処理場に比べ高かった。また、最終沈殿池流出水中の

亜鉛の溶解性比率は、流入水中の亜鉛の溶解性比率より高い傾向にあった。これらのことから、溶解性の亜鉛は、下水処理場で汚泥に移行せず、放流水として水域へ流出する傾向があることが示唆された。

表—1 下水処理場における亜鉛の挙動調査結果

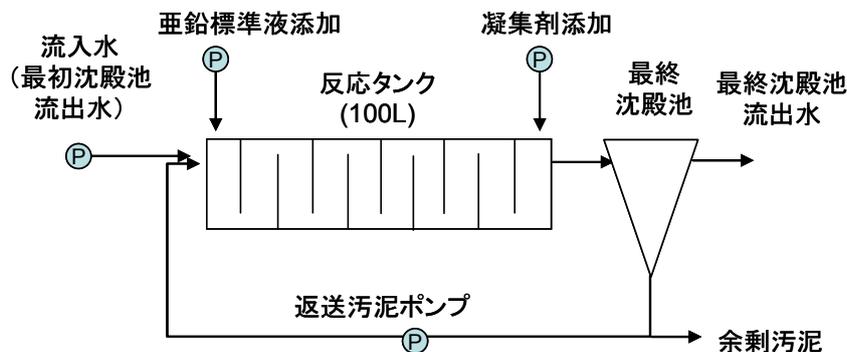
処理場	流入量			放流量			汚泥移行量②		物質収支 ①+②	処理法
	全量	溶解性	溶解性比率	全量①	溶解性	溶解性比率	最初沈殿池	最終沈殿池		
A	1.00	0.06	6%	0.23	0.15	66%	—	0.85	1.08	OD法
B	1.00	0.03	3%	0.08	0.05	65%	0.39	0.47	0.94	標準法
C	1.00	0.13	13%	0.33	0.13	40%	—	0.54	0.87	OD法
D	1.00	0.71	71%	0.78	0.78	100%	—	—	0.78	OD法(汚泥引抜無し)
E	1.00	0.57	57%	0.44	0.38	86%	—	0.55	0.99	標準法(初沈無し)
F	1.00	0.37	37%	0.39	0.35	91%	—	1.41	1.80	標準法(初沈無し)

(流入量の全量=1として標準化)

2.2 亜鉛の下水道における除去対策の検討

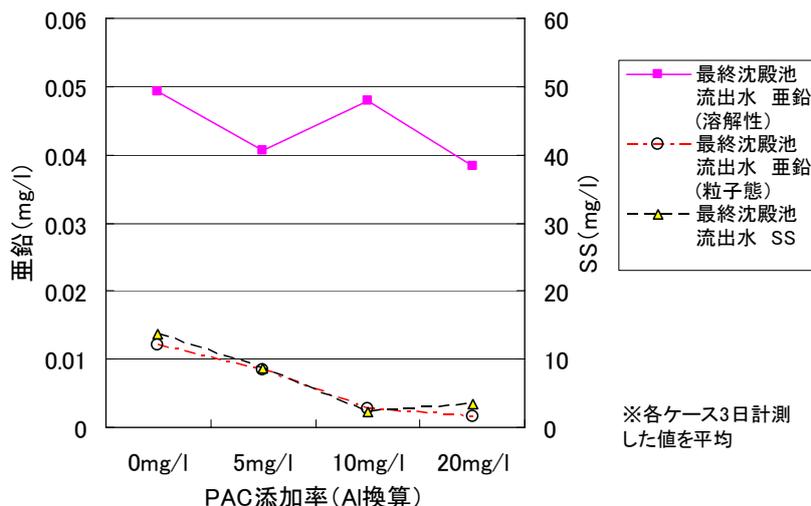
(1) 凝集剤添加による亜鉛除去性能の検討

下水処理場において放流水中の亜鉛濃度を減少させるためには、溶解性の亜鉛を凝集沈殿させて汚泥へ移行させる方法が考えられる。一般に、高濃度の亜鉛排水を処理する工場排水処理施設においては、pHを10程度に調整し溶解度を下げた後、凝集沈殿する手法が採用されている。しかし、工場排水に比べ低濃度で亜鉛が流入する下水処理場においてpH調整を行うことは現実的ではないと考えられた。そこで、下水処理場でりんの除去等に用いられる凝集剤であるPAC(ポリ塩化アルミニウム)を反応タンクに添加する凝集剤添加活性汚泥法による最終沈殿池流出水中の亜鉛の除去性能について、実下水(最初沈殿池流出水)を用いたパイロットプラント(容量100L)を用いて検討を行った。検討では、流入亜鉛濃度が0.1mg/l程度になるように亜鉛標準液を添加した。パイロットプラントの構造を図—1に示す。HRTは8.3時間、MLSSは2000mg/l程度、SRTは10日程度となるように運転を行った。



図—1 パイロットプラントの構造

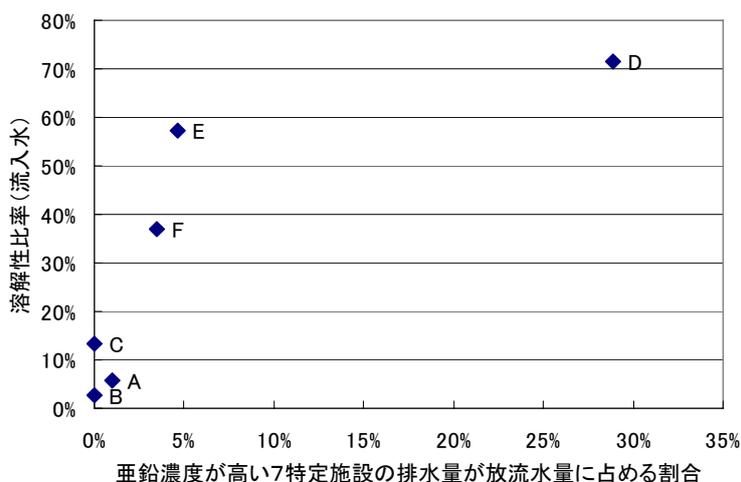
その結果、PAC添加率を5,10,20mg/l (Al換算)と増加させた場合、最終沈殿池流出水中のSSの減少にともない懸濁態(全量-溶解性)の亜鉛も減少するが、溶解性の亜鉛の除去効果の向上は見られなかった(図—2)。



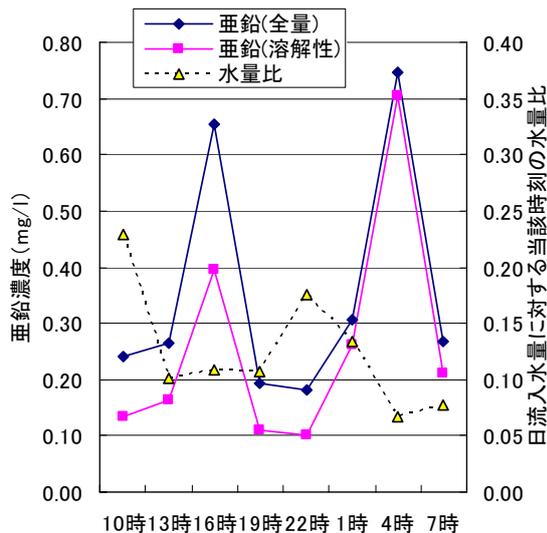
図—2 凝集剤（PAC）添加による最終沈殿池流出水中の亜鉛濃度の変化
（パイロットプラント実験の結果）

（2）特定施設の排水量比率と溶解性亜鉛濃度の関係

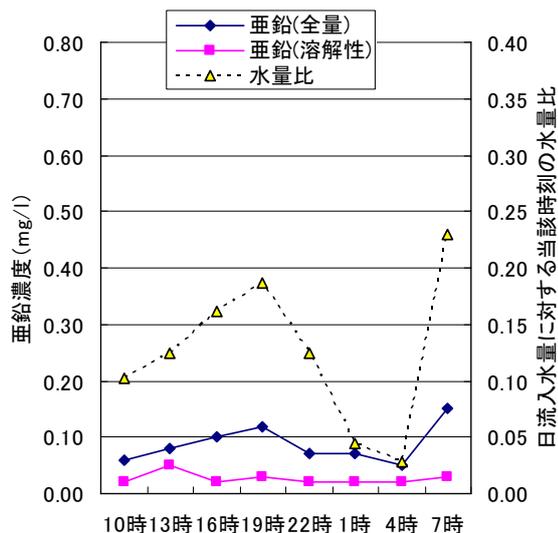
次に、溶解性の亜鉛について、下水処理場ではなく発生源での除去を行うことの効果を検討するため、(1)の実態調査の対象とした下水処理場について、排水中の亜鉛濃度が高い²⁾7種類の特定施設（以下、「亜鉛関連特定施設」という）の水量が、当該下水処理場の放流量に占める割合と、溶解性亜鉛の比率との関係を調べた（図—3）。なお、7種類の特定施設とは、環境省「平成16年度水質汚濁物質排出量総合調査」²⁾において、排水データの届出があった事業場数が10箇所以上、かつ排水中の亜鉛濃度の平均値が0.3mg/l以上、かつ最大値5mg/l以上となる代表特定施設（鉱業又は水洗炭業の用に供する施設[1-1]、無機顔料製造業の用に供する施設[26]、金属製品製造業又は機械器具製造業の用に供する施設[63-1]、酸又はアルカリによる表面処理施設[65]、電気めっき施設[66-1]、飲食店に設置される厨房施設[66-5]、洗濯業の用に供する洗浄施設[67]）とした。



図—3 下水処理場流入水中の亜鉛の溶解性比率と特定施設水量比の関係



図一４ 亜鉛関連特定施設水量比 29%の下水処理場(D)における亜鉛の流入水日間変動水質



図一５ 亜鉛関連特定施設水量比 0%の下水処理場(C)における亜鉛の流入水日間変動水質

図一３から、亜鉛関連特定施設の排水量の割合が高い下水処理場ほど、流入水中の亜鉛の溶解性比率が高い傾向にあることが明らかとなった。また、亜鉛関連特定施設水量比 29%の下水処理場(D)と、亜鉛関連特定施設水量比 0%の下水処理場(C)における亜鉛の流入水日間変動水質を図一４、５に示す。亜鉛関連特定施設水量比 0%であり、生活排水が主体である処理場Cでは、流入水中亜鉛濃度(全量)は、流入水量の時間変動に応じて、0.1mg/l程度から±0.05mg/l程度の幅で変動していたが、亜鉛濃度(溶解性)はほとんど変動が見られなかった(図一５)。一方、亜鉛関連特定施設水量比 29%の処理場Dでは、流入水量の少ない時間帯(16時、4時)に流入水中亜鉛濃度、特に溶解性亜鉛濃度が高くなっていた(図一４)。処理場Dの亜鉛関連特定施設は、処理場の流入直前にある1事業場のみであり、生活排水の流量が少なくなる16時、4時の時間帯には、工場排水の占める割合が相対的に高くなったため、この時間帯に溶解性亜鉛の濃度が高くなったと考えられた。

したがって、下水処理場からの亜鉛の放流量の削減のためには、これら亜鉛の排出濃度の高い特定施設からの排水の亜鉛、特に溶解性の亜鉛濃度を低減することが効果的である可能性が示唆された。

3. 結論

平成15年度に水生生物保全に係る環境基準に設定された亜鉛について、流入水中の濃度の比較的高い下水処理場において実態調査を実施した。その結果、流入水に含まれる亜鉛のうち多くが溶解性の亜鉛であり、溶解性亜鉛は通常の活性汚泥処理過程ではあまり汚泥へ移行せず放流水として水域へ流出する傾向があることが示唆された。放流水中の亜鉛濃度を減少させるためには、凝集剤(PAC)添加活性汚泥処理法では溶解性の亜鉛の除去はあまり期待できず、亜鉛濃度が高いとされる電気めっき施設等の特定施設の排水中の亜鉛、特に溶解性の亜鉛濃度を低減することが効果的である可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 中央環境審議会水環境部会水生生物保全排水規制等専門委員会(第5回)、水生生物の保全に係る排水規制等の在り方について(案)
- 2) 環境省、平成16年度水質汚濁物質排出量総合調査

8. 再生水利用施設の計画および維持管理に関する調査

下水処理研究室 室 長 南山 瑞彦
主任研究官 田嶋 淳
研 究 官 荒谷 裕介
研 究 官 平出 亮輔

1. はじめに

近年、国民の環境への関心が深まり、下水道事業においても水辺環境の再生や創造のため、せせらぎ水路などの処理水再利用施設が建設されている。これらの施設は、下水道事業が環境保全に果たす役割を周辺住民に理解して頂くための環境学習の場として有効であるとともに、周辺の街並みと一体となって良好な景観を形成する役割も有する。しかしながら、処理水再利用施設の整備及び維持管理に要する費用や整備効果が明確になっていないため、これらを適切に評価するための手法を提示する必要がある。また、良好な街並みを形成するためには施設の美観を維持することが重要であるが、藻類の異常発生により景観が損なわれる事例が少なからず見受けられる。これは、施設の維持管理性も損ねる場合が多い。そのため、良好な水辺環境を創造しつつ、美観、維持管理性も確保するための手法を検討する必要がある。

そこで、せせらぎにおける藻類異常発生抑制手法の一つとして、水生生物の藻類捕食性を利用することの有効性について検討するとともに、処理水再利用に関する地域特性分析及び処理水再利用施設の費用に関する検討を行った。

2. 水生生物の藻類捕食性に関する検討

2.1. 調査方法

再生水を利用したせせらぎの維持管理の簡易化のための藻類異常発生抑制手法の一つとして、水生生物による藻類捕食の利用可能性について検討した。

実験フローの概要を図-1 に示す。人工水路を用いて素焼き製付着板に藻類を培養した後、水生生物の飼育水槽の底に藻類を培養した付着板を移設し、水生生物による付着藻類の捕食状況を観察した。

実験は、5 種類の水生生物を用いて 5 日間行った。付着板からの付着物のサンプリングは連続して 5 日間、同時刻に行い、サンプリング後の付着板は水槽内に戻さないこととした。

2.1.1 水生生物の飼育水槽

飼育水槽は、市販の 60cm 水槽を用いた。実験期間中は、ヒーターを設置して水温を一定に保つとともに曝気装置を用いてエアレーションを行った。

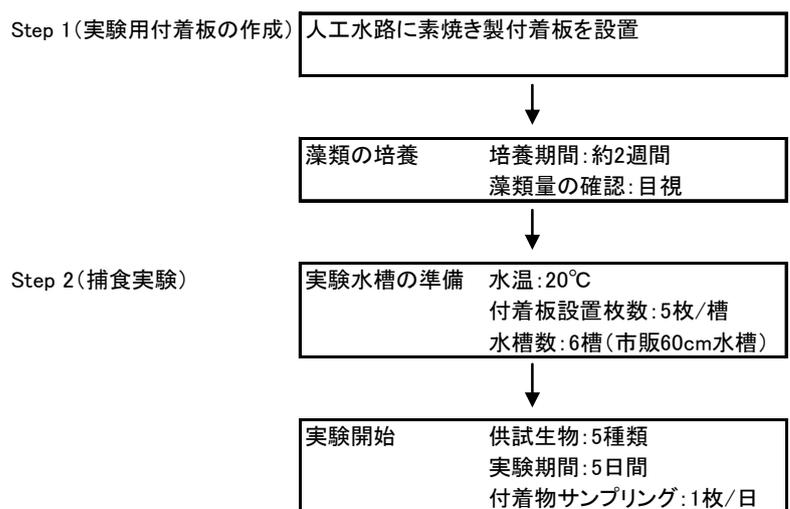


図-1 実験フロー図

表-1 試験水の水質

(mg/L)	
BOD	0.6
TOC	4.8
T-N	6.4
NH ₄ -N	5.9 × 10 ⁻²
NO ₂ -N	7.7 × 10 ⁻²
NO ₃ -N	5.5
T-P	1.3 × 10 ⁻¹
PO ₄ -P	7.6 × 10 ⁻²

表-2 供試生物

系列	供試生物	個体数	体長 (cm)	体重 (g)
A	金魚	20	3.8	1.5
B	ミナミヌマエビ	83	2.8	0.3
C	イシマキガイ	50	1.6	3.1
D	プレコ(ヒポストムス)	10	4.4	1.6
E	オイカワ	15	8.9	8.7

注) 体長および体重は実験開始時における総個体数の平均値

2.1.2 試験水

実験装置が設置されている浄化センターから未消毒の高度処理水（凝集剤添加活性汚泥法、嫌気-無酸素-好気法、凝集剤併用型循環式硝化脱窒法による処理水が混合された後に急速ろ過）を用いた。実験は、水を交換しない止水式で行った。実験開始時の水槽内の試験水の水質を表-1 に示す。

2.1.3 供試生物

実験に供した水生生物の個体数、体長および体重を表-2 に示す。なお、金魚、ミナミヌマエビ、イシマキガイおよびオイカワは、その藻類捕食性が一般的に認識されている^{1)~4)}こと、プレコは水槽の除藻用魚として利用されていることから、それぞれ供試生物として選定した。

2.1.4 供試付着板

幅 10cm、長さ 120cm の水路 6 系列で構成される既設水路の底部に素焼き製の板（1 枚：9cm×9cm）を 12 枚ずつ各水路に敷設し、試験水と同じ未消毒の高度処理水を流して付着板に藻類を増殖させた。各水路の 12 枚の付着板のうち中流部の付着版では藻類がほぼ平均的に付着していたと判断されたため、中流部の 5 枚を実験に供することとした。

2.1.5 藻類摂食量の算定

藻類摂食量の算定方法の概念図を図-2 に示す。同一サンプリング日における実験系列と対照系列の付着藻類生物量（クロロフィル a (Chl-a)）の差に水槽内付着板数を乗じることで、各日における水槽内供試生物の全藻類摂食量とした。さらに、全藻類摂食量を供試生物個体数で除することで 1 個体あたり藻類摂食量 ($\mu\text{g-Chl-a}/\text{cm}^2/\text{個体}$) を算定し、評価することとした。

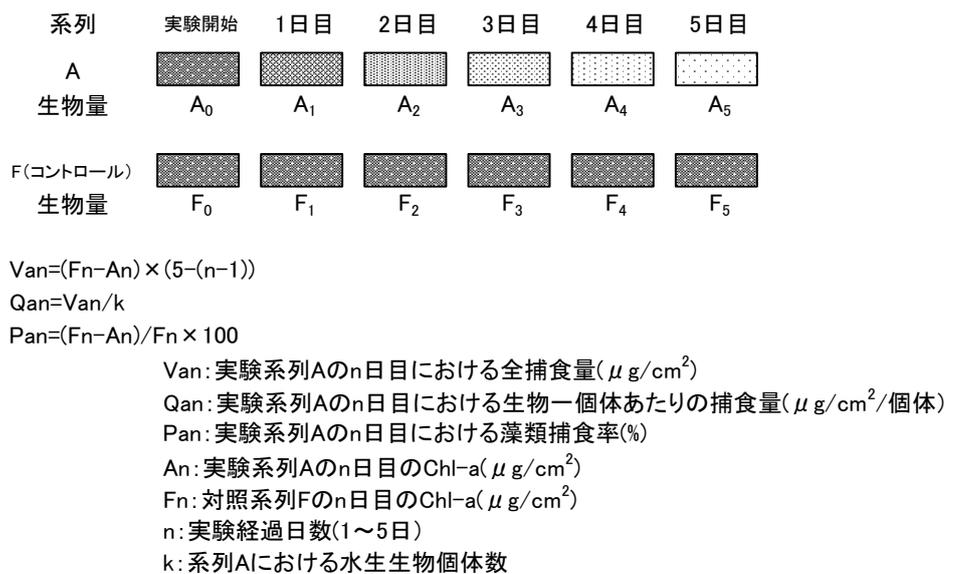


図-2 藻類捕食量の算定概念図

2.1.6 分析

分析項目は、生物学的酸素要求量(BOD)、有機性炭素(TOC)、窒素化合物(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N)、リン化合物(T-P,PO₄-P)およびクロロフィル a (Chl-a)である。

BOD は、河川水質試験方法 (案) ⁵⁾⁹に記載の一般希釈法により測定した。

TOC は、河川水質試験方法 (案) ⁵⁾⁵⁵に記載の燃焼酸化-赤外線分析法により測定した。

窒素化合物(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N)は、河川水質試験方法 (案) ⁵⁾⁵³に記載の自動分析法およびペルオキシニ硫酸カリウム分解-銅・カドミウムカラム還元法により測定した。

リン化合物(T-P,PO₄-P)は、河川水質試験方法 (案) ⁵⁾⁵⁴に記載の自動分析法およびペルオキシニ硫酸カリウム分解-吸光光度法により測定した。

Chl-a は、河川水質試験法 (案) ⁵⁾⁵⁸に記載の三波長吸光光度法により測定した。

2.2. 調査結果および考察

各系列における付着藻類の経日変化(An, Bn, … Fn : n=1-5)を図-3 に示す。全ての実験系列において実験開始1日目までは付着藻類は減少傾向を示した。2日目以降は、系列A (金魚) および系列E (オイカワ) での付着藻類の減少傾向が小さくなったのに対し、系列B (ミナミヌマエビ) および系列D (プレコ) では2日目まで、系列C (イシマキガイ) では3日目まで減少傾向が継続した。実験開始2日目以降の系列B、系列Cおよび系列Dの藻類捕食率が90%を超えたことから、ミナミヌマエビ、プレコおよびイシマキガイは実験開始2日目においてほぼ全ての付着板上の藻類を捕食し尽したと考えられる(図-4)。これらの生物は藻類を除去するために必要な捕食能力を有しているとともに、今回の実験条件では藻類除去のために十分な個体数が存在したものと推察される。

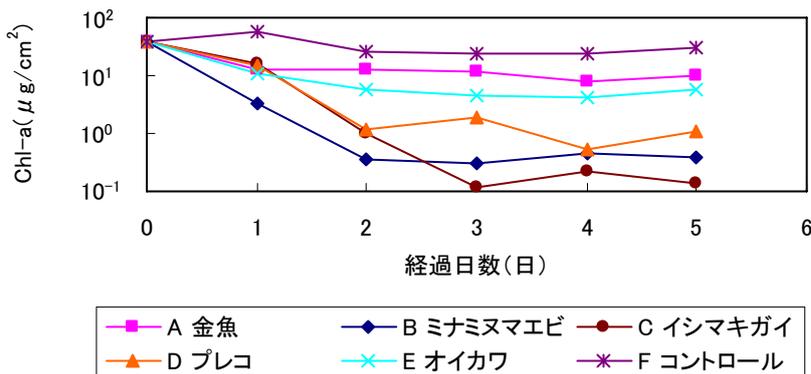


図-3 各系列における藻類生物量の経日変化

1 個体あたりの藻類捕食量を図-5 に示す。付着藻類が枯渇する前の1日目の実験結果によると、イシマキガイおよびミナミヌマエビの1個体当たりの藻類捕食量が比較的小さく、3 μg-Chl-a/cm²/個体/日程度であった。一方、金魚およびオイカワは今回の実験においては高い藻類捕食率を示さなかったが、1個体当たりの捕食量は比較的多く 10~14 μg-Chl-a/cm²/個体/日程度であった。これらの水生生物は、せせらぎの規模・大きさや発生する藻類量に見合った個体数を確保することで、

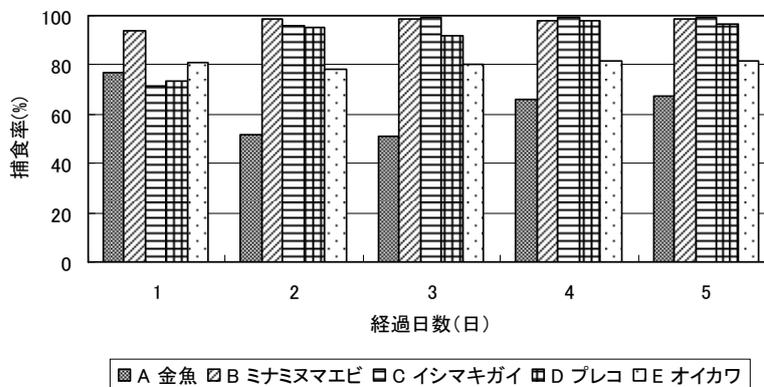


図-4 藻類捕食率

藻類異常発生抑制手法の一つとして利用可能であるものと期待される。なお、プレコは、今回の実験における供試生物の中で最も高い藻類捕食能力を示したが、熱帯域に生息する熱帯魚であることから、水温の管理と外来種であるという点において、せせらぎにおける藻類異常発生抑制手法の一つとしてその藻類捕食性を利用することは、現実的には難しいものと考えられる。

3. 下水処理水再利用に関する地域特性分析

3.1. 分析方法

下水処理水の再利用に係るデータ（国土交通省調べ）を用いて、下水処理水再利用に関する特性分析を行った。具体的には、都道府県別に「下水処理水を再利用している処理場」の割合と、①下水処理人口普及率、②一人当たり水資源賦存量、③過去20年間（1983～2002）における減断水発生年数との関連を検討した。

3.2. 下水処理水再利用に係る処理場分布と周辺情報との関連分析の結果

(1) 下水道処理人口普及率との関連

各都道府県の全下水処理場数に占める下水処理水を再利用している処理場数の割合と下水処理人口普及率との関係を図-6に示す。下水道の普及が進むほど、下水処理水を再利用する処理場の割合が増加する傾向があった。

(2) 水資源賦存量との関連

下水処理水を再利用している処理場数の割合と水資源賦存量との関係を図-7に示す。一人あたり水資源賦存量が2,000m³/人程度以下の都道府県では、下水処理水の再利用を行っている処理場の割合が高くなる傾向にあった。水資源賦存量が少ない都道府県は、首都圏、近畿圏及び北部九州地方にあり、これらの地域では、下水処理

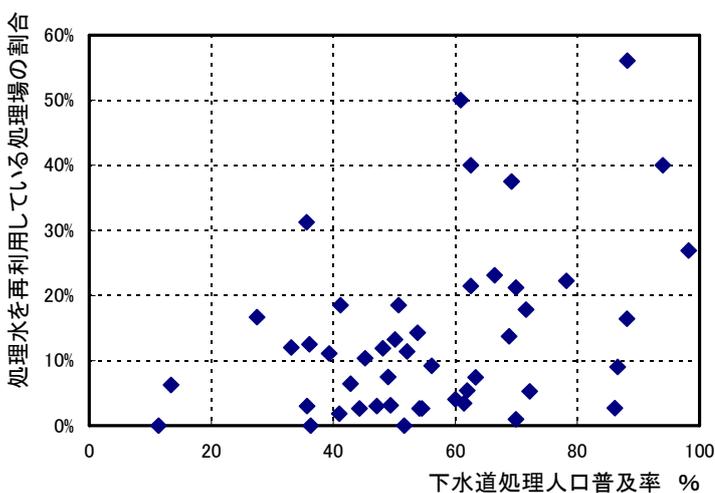
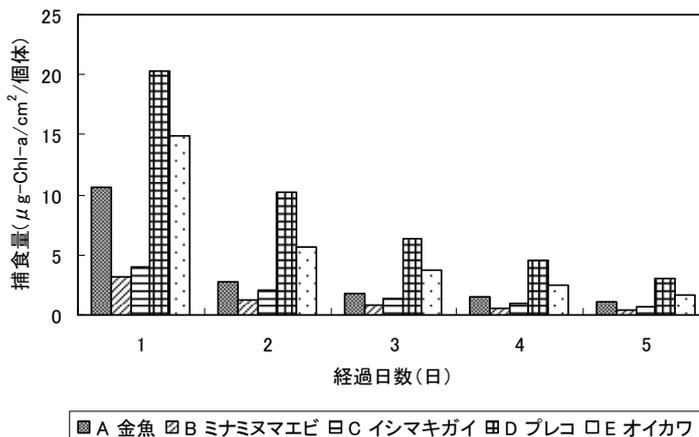


図-6 下水処理人口普及率との関係

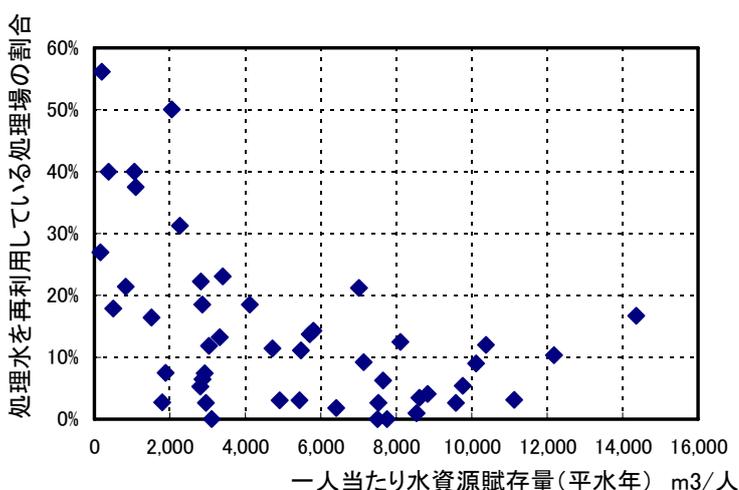


図-7 一人当たり水資源賦存量（平水年）との関係

水が水資源としての一定の役割を持っていることが示唆された。

(3)過去 20 年間における断減水発生年数との関連

過去 20 年間における断減水発生年数と下水処理水を再利用している処理場数の割合の関係を図-8 に示す。渇水を多く経験している都道府県では、下水処理水を再利用している処理場の割合が比較的高くなる傾向が見られた。

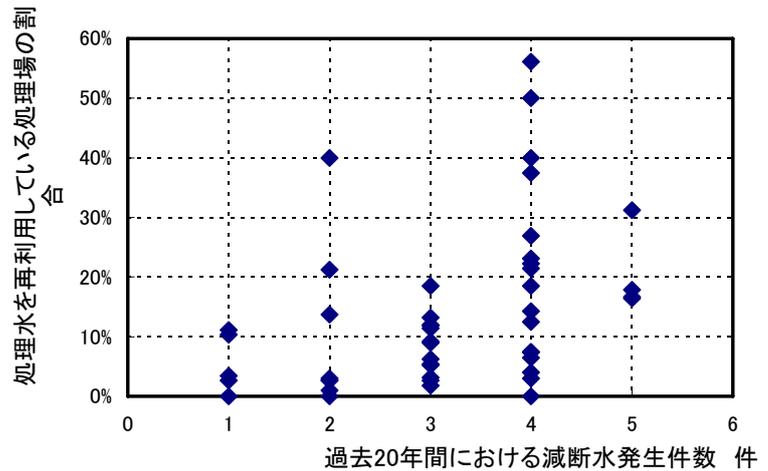


図-8 過去 20 年間における断減水発生件数との関係

以上のように、水資源が逼迫し、渇水が発生しやすい傾向にあり、かつ下水道が普及し再利用できる処理水量が比較的豊富に確保できる状況にある都道府県では、下水処理水を再利用している処理場数の割合が高い傾向にあった。

4. 下水処理水再利用に要する費用検討

下水処理水の再利用に係るデータを用いて、下水処理水の再利用施設に要する建設費について分析を開始した。以下の理由により、現時点では費用関数を導出することは困難であった。

- ① 施設別建設費の実態は、各処理場毎に背景となる状況が異なっており、金額にばらつきが見られる。
- ② 導入されている施設数が少なく、建設費を分析するための標本数が少ない施設がある。
- ③ 既存資料で得られる建設費の費用関数と比較したところ、実態データのばらつきが大きく、整合性の判断を行うのが困難である。

なお、維持管理費についても、同様の理由により、データを基に費用関数を導出することは困難であると考えられる。

5. まとめと今後の検討課題

(1) 再生水を利用したせせらぎの維持管理の簡易化のための藻類異常発生抑制手法の一つとして、水生生物による藻類捕食の利用可能性について検討した。その結果、付着藻類が枯渇する前の1日目の実験結果によると、イシマキガイおよびミナミヌマエビの捕食量が $3\mu\text{g-Chl-a}/\text{cm}^2/\text{個体}/\text{日}$ 程度、金魚およびオイカワは $10\sim 14\mu\text{g-Chl-a}/\text{cm}^2/\text{個体}/\text{日}$ 程度であることが明らかとなった。水生生物の藻類捕食性については、利用可能な水生生物の選定を引き続き行くとともに、せせらぎの面積当たり必要個体数を把握するための実験、フィールドにおける調査・検証等を行い、水生生物を用いた藻類の除去に関する情報を収集・整理する必要がある。また、せせらぎの河床条件や日照条件といった環境条件の違いが付着藻類の発生に及ぼす影響についても併せて検討を行う必要がある。

(2) 下水処理水の再利用に係るデータを用いて、下水処理水再利用に関する特性分析を行った。その結果、下水処理水の再利用が多く行われている都道府県では、水資源が逼迫し、頻繁に渇水が発生している状況を背景に、処理水の再利用に対するニーズが高く、かつ下水道の普及により、再利用できる処理水量が比較的豊富に確保できる状況にあることが分かった。

(3) 下水処理水の再利用施設に関する費用関数については、実態の費用を用いる場合、データの中に個々の処理場

毎に背景となる状況が異なっており、単価等にばらつきが見られること、導入数が少ない施設等については必要な標本数が得られないこと等により、一定の結果が得られなかった。モデル検討により費用関数を作成することが適切であると考えられる。下水処理水再利用の効果評価法については、下水処理水再利用を対象とした便益の算出事例が少ないことから、モデル地域を設定して、具体的に便益算定を行うことが必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 屋外実験池を用いたラン藻類優占に及ぼす魚の影響に関する研究、水環境学会誌、Vol.21、No.8、pp.520-529、1998/08
- 2) 兵庫県夢前川水系におけるミナミヌマエビの食性に関する一検討、兵庫陸水生物、No.53、pp.59-64、2001/10
- 3) 同一河川に生息するカワニナとイシマキガイのニッチ分け、貝類学雑誌、Vol.59、No.2、pp.135-147、2000/06
- 4) 長野県浦野川における魚類の種組成と食物関係、日本水産学会誌、Vol.70、No.6、pp.902-909、2004/11
- 5) 河川水質試験方法（案）1997年版、建設省河川局監修

9. 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

下水処理研究室 室 長 南山 瑞彦
主任研究官 田嶋 淳
研 究 員 桜井 健介

1. はじめに

都市内における貴重な水資源確保の観点から、下水処理水の適切な再利用がより一層重要なものとなると考えられる。このため、国土交通省都市・地域整備局下水道部及び国土技術政策総合研究所下水道研究部は、平成 15 年度に下水処理水再利用に関わる水質基準等に関する委員会を設置し、委員会における審議を経て、「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」¹⁾を策定した。この検討の中で、適切な再生水利用を進めるために、マニュアルが有効に機能しているか適宜フォローアップを行い、必要に応じて本マニュアルの見直しを行っていく必要があることに加え、(1)大腸菌に関する知見の収集、(2)再生水曝露量の設定、(3)ウイルス対応の基準の検討、(4)病原微生物測定技術の改良、(5)安価で高度な水処理技術の開発、(6)新たな利用用途に関する検討、(7)再生水が藻類等の水生生物に与える影響等の検討等に対応していく必要があると指摘された¹⁾。

以上を踏まえ、本調査では、(2)再生水曝露量の設定に関連して、下水処理水再利用における空中浮遊菌発生量の評価方法に関する検討、(3)ウイルス対応の基準の検討に関連して、PCR 法における検出結果の評価方法に関する検討を行うこととする。

2. 下水処理水再利用における空中浮遊菌発生量の評価方法に関する検討

霧状の飛沫が発生するような大規模な滝や噴水等への下水処理水の利用事例が見られるが、これらの用途における下水処理水の曝露量の実態については不明な点が多く、リスク評価が困難な状況にあるため、基礎的な知見を集積する必要がある。

2. 1 空中浮遊菌の指標細菌の検討

(1) 調査方法

空中浮遊菌の測定方法は、落下菌法、衝突捕集法、遠心衝突法、衝突洗浄法(インピンジャー法)、ろ過法に大別される。

本検討では、衝突捕集法のうち、多孔板法を採用することとし、空中浮遊菌測定エアースAMPLER-BIO-SAS(アイネクス社製)を使用した。なお、多孔板法方式の機器は小型で、使用も簡単で価格も安いことから、多くの利用実績がある²⁾。本検討で用いたエアースAMPLERは「無菌医薬品製造区域の微生物試験法」浮遊菌測定サンプリング装置の捕集性能試験に定められた試験方法、ISO14698-1(クリーンルーム生物汚染管理、一般原則)による捕集性能試験で、 $0.8\mu\text{m}$ 以上の枯草菌芽胞を99%捕集できることが確認されているが、試験性能の確認に用いられている枯草菌芽胞は、乾燥などの物理的条件に強く、試験中に容易に死滅せず、発生器を用いて一定時間安定、かつ単体で発生でき、人体に危険がなく、

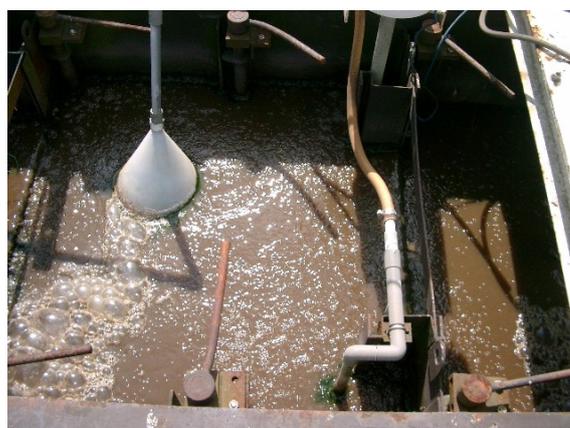


写真-1 空中浮遊菌発生源(パイロットプラント生物反応槽)

外部からの汚染物と区別ができるなどの条件を満足する生物粒子として選定されたものである。

一方、下水処理水再利用における空中浮遊菌発生量を評価するにあたっては、下水中に特異的に存在し、かつ環境条件に強い細菌を選定する必要がある。そのため、大腸菌群、大腸菌、腸内細菌、一般細菌及び嫌気性芽胞を対象として、下水処理水再利用における空中浮遊菌の指標細菌として最も適切と考えられるものについて検討を行うこととした。なお、測定に用いる培地は、大腸菌群、大腸菌及び腸内細菌についてはクロモカルト寒天培地、一般細菌については標準寒天培地、嫌気性芽胞についてはハンドフォード改良寒天培地とした。

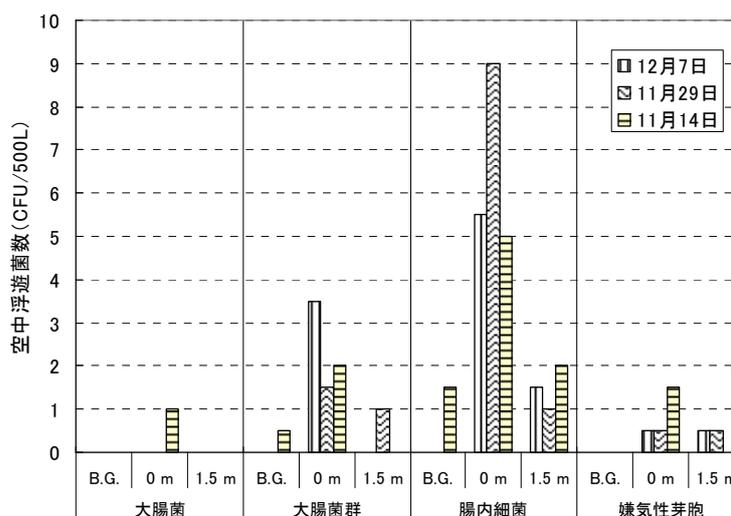
調査は、空中浮遊菌発生源としてパイロットプラントの生物反応槽（写真—1）を用いて、空中浮遊菌発生源近傍（生物反応槽からの距離 0m、1.5m）及びバックグラウンド（生物反応槽からの距離約 25m であり、生物反応槽との間には高さ 6~7m 程度の建物があるため、影響は殆ど無いと考えられる）にて空気を捕集し、前述の細菌の測定を行った。なお、生物反応槽からの距離 1.5m 地点及びバックグラウンドについては、地表からの高さ約 1.5m で捕集を行い、生物反応槽からの距離 0m 地点については、反応槽水面からの高さ約 0.4m で捕集を行った。パイロットプラントの処理法は標準活性汚泥法であり、運転条件は HRT=10hr、曝気槽内の MLSS 濃度 = 1700mg/L、SRT=5.2day であった。調査は晴天時（12月7日）、曇天時（11月14日）及び夜間（11月29日）の3回行い、エアースンプラーによる空気吸引速度は 100L/min とし、5分間吸引を行い、空気 500L 中に含まれる空中浮遊菌の測定を行った。調査時の気象条件は表—1 の通りである。空中浮遊菌の測定は各条件において 2 回ずつ行い、2 回の平均値を採用した。

表—1 実験時の気象条件

実験日	温度 (°C)	湿度 (%)	照度(LUX)	風速(m/s)
11月14日	13~16	63~69	1200~2900	0.3~0.4
11月29日	10~12	46~61	0	0.4
12月7日	13~16	27~33	7080~9580	0.4~0.6

(2) 結果および考察

一般細菌については、下水の影響が殆どないと考えられるバックグラウンドの空気中からも非常に多く検出され、計数は不可能であった。一般細菌は下水中以外の環境にも広く存在する細菌であり、現にバックグラウンドの空気中からも非常に多く検出されていることから、一般細菌を指標細菌とするのは適切とは言えないことが分かった。大腸菌群、大腸菌、腸内細菌、嫌気性芽胞については、バックグラウンドでは殆ど検出されず、下水中に特異的に存在するとの条件を概ね満たしていると考えて良いと考えられた。これらの細菌のうち環境条件



図—1 空中浮遊菌発生源からの距離と空中浮遊菌数の関係

に最も強い細菌は、一般に嫌気性芽胞であると考えられる。大腸菌は下水処理水の再利用水質基準等マニュアル¹⁾の水質基準として新たに採用されたものである。大腸菌群も長く用いられてきた指標である。これらは指標細菌

として有望であると考えられたが、嫌気性芽胞、大腸菌群及び大腸菌は、生物反応槽上（0m 地点）において検出されないか、検出されたとしても検出量は僅かとの結果が得られた（図—1）。これは、反応槽内濃度が小さいことに起因すると思われる（図—2）。再利用に供する下水処理水中の細菌濃度は、今回の実験で用いた生物反応槽内の濃度レベルよりもさらに 2~3Log 以上低いと考えられ、本実験において殆ど検出されない細菌を、下水処理水再利用における空中浮遊菌の指標細菌として選定するのは適切ではないと考えられる。

一方、腸内細菌は、生物反応槽上（0m 地点）において比較的多く検出された（図—1）。これは、腸内細菌の生物反応槽内濃度が他の細菌に比べ大きいことが大きな理由と考えられ（図—2）、空中浮遊菌の指標細菌として腸内細菌を採用するのが現実的であると考えられる。

なお、生物反応槽上（0m 地点）で3回の調査実験全てにおいて空中浮遊菌が検出された大腸菌群、腸内細菌、嫌気性芽胞について、生物反応槽内の濃度

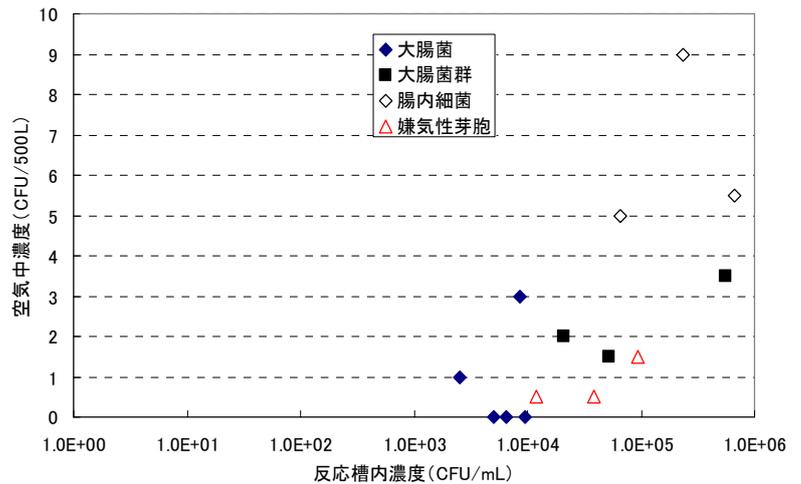
（CFU/mL）に対する空中浮遊菌濃度（CFU/L）の比率（以下、捕捉率（単位：L/mL）と呼ぶ）を比較したところ、各細菌種について、 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 程度となっており、細菌の種類による捕捉率の違いの傾向は特に見られなかった（図—3 参照）。

2. 2 空中浮遊菌数に影響を与える因子の検討

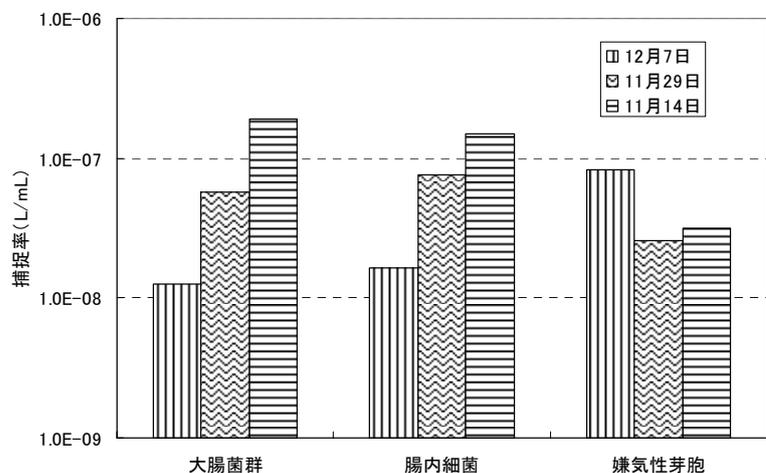
(1) 実験要領

空中浮遊菌濃度に影響を与える重要な要因として、太陽光線、湿度、気温、風速、発生源からの距離、飛沫の発生規模、下水中細菌濃度等が考えられる³⁾。本検討では、これらの要因のうち、発生源からの距離が空中浮遊菌濃度を与える影響の検討を行った。

空中浮遊菌は、孔径 2mm のノズルをホース先端に取り付け、地下水で16倍に希釈したパイロットプラント生物反応槽内の水をホースに通水し、ポンプの圧力により 1.5m の高さから下方に向け噴



図—2 生物反応槽内濃度と空中濃度の関係



図—3 生物反応槽内濃度に対する空中浮遊菌濃度の割合



写真—2 空中浮遊菌発生方法

霧することにより発生させ（写真－2）、噴霧箇所から風下側へ 1m、3m、5m、10m（一部）の距離における空中浮遊菌を測定した。なお、測定位置は地表より 1m の高さとした。

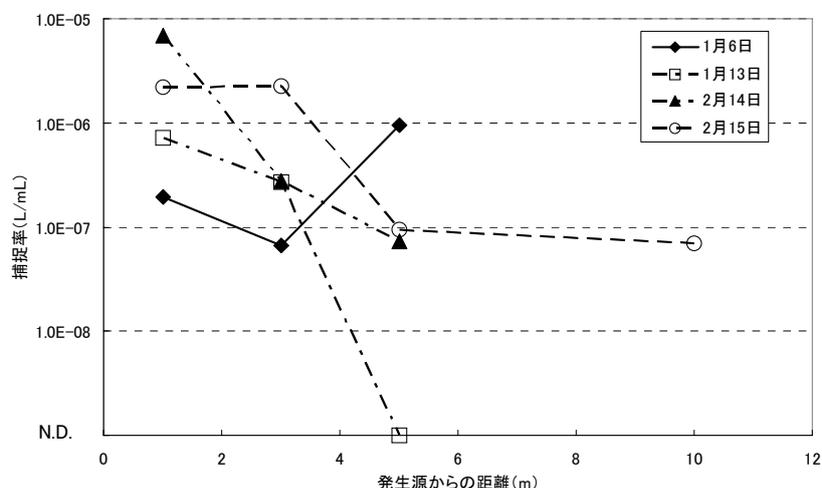
実験は、1月6日、1月13日、2月14日、2月15日の4回行った。なお、実験時の気象条件は表－2に示す通りである。

表－2 実験時の気象条件

実験日	温度 (°C)	湿度 (%)	照度(LUX)	風速(m/s)
1月6日	3～4	33～37	1070～1910	0.3～1.3
1月13日	3	59～63	3340～10500	0.4～0.6
2月14日	16～18	25～29	62400～79100	1.6～2.1
2月15日	21～22	33～39	52000～60500	1.9～2.0

(2) 結果および考察

実験中に風速の変化の影響を大きく受けた1月6日の結果を除き、発生源からの距離が長くなるほど腸内細菌の捕捉率は低下する傾向が見られた（図－4）。また、大腸菌、大腸菌群及び嫌気性芽胞についても同様の傾向が見られた。但し、データ数が十分でなく、距離と捕捉率との関係を定量的に評価するためにはデータを更に蓄積する必要がある。なお、気象条件が捕捉率に与える影響については、気温及び照度と捕捉率の間には負の相関関係が



図－4 発生源からの距離と捕捉率の関係（腸内細菌）

あり、風速及び湿度と捕捉率の間には正の相関関係がある³⁾とされているが、今回の実験ではデータ数が十分でないため、明確な傾向を見出すことはできなかった。

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ノロウイルス等については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、リスク評価を行うことができない状況にある。そのため、基礎的な知見を集積する必要がある。

(1) 実験要領

PCR法の利点として、①実験操作が感染危険性から見て安全であること、②実験操作が簡単であること、③実験結果が短時間で得られること、④検出感度がよいこと、⑤細胞培養法で検出できないウイルスも検出が可能であること等が挙げられるが、感染性の有無を評価することができないという問題点がある。

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的検討を行った。具体的には以下の通りとした。

測定対象微生物は、F 特異大腸菌ファージ Q β (NBRC20012) を用いた。なお、F 特異大腸菌ファージは構造と大きさが腸管系ウイルスのエンテロウイルスに似ていることから、ウイルスの指標として消毒実験用に活用されている。Milli-Q 水に Q β を添加することにより消毒前試料を作成した。

消毒方法には、塩素消毒及び紫外線消毒を採用した。消毒条件は表—3 に示す通りとした。

表—3 消毒条件

塩素消毒	塩素注入率 3.4mg/L、6.5mg/L	接触時間 15 分
紫外線消毒	照射強度 36mW/cm ²	照射時間 1 分、2 分、3 分

Q β 数は、E.coliK12F⁺株 (NBRC13965) を宿主としたブラック法及び PCR 法によって測定した。消毒前試料中の Q β が高濃度 (ブラック法で 10⁵~10⁷PFU/mL) となるように設定したため、PCR 法では前処理としての濃縮工程は省略した。また、PCR 法における Q β の検出は、片山らの報告⁴⁾ に準じ、プライマー-Q β +及び Q β -、TaqMan プローブとして Q β プローブを用い、AB7500 (Applied Biosystems) を用いて蛍光強度をリアルタイムに測定し、MPN 法により定量評価を行った。

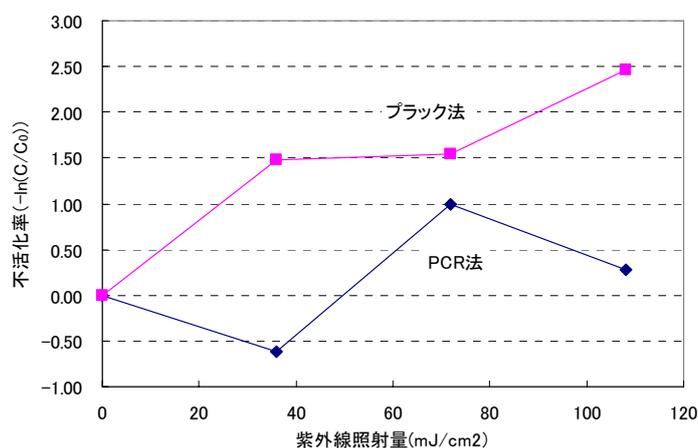
(2) 結果および考察

紫外線消毒における照射線量と Q β 不活化率の関係を図—5 に、塩素消毒における Ct 値と Q β 不活化率の関係を図—6 に示す。データ数が不足しており定量的な評価は困難だが、塩素消毒及び紫外線消毒ともに、PCR 法における不活化率は、ブラック法における不活化率に比べ小さな値を示しており、PCR 法により算出される消毒工程における不活化率は過小評価となる可能性が示唆された。このような結果が得られた理由としては、PCR 法による検出では、消毒により外被や遺伝子の一部が破壊され不活化されても、PCR 反応で増幅させる遺伝子領域が残存していれば検出される可能性があるためと考えられた。このような PCR 法の特徴を考慮すると、PCR 法における不活化率とブラック法による不活化率の関係は消毒強度により変化するものと考えられ、消毒強度の範囲を更に広げて両者の関係について検討を行う必要がある。

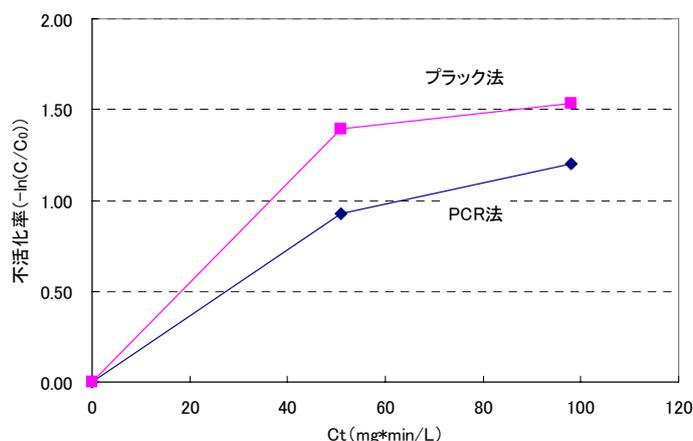
4. まとめ

本調査では、PCR 法における検出結果の評価方法に関する検討及び下水処理水再利用における空中浮遊菌発生量の評価方法に関する検討を行った。調査の結果得られた知見を以下に示す。

(1) 腸内細菌は空中浮遊菌発生源近傍では比



図—5 消毒強度と不活化率の関係 (紫外線消毒)



図—6 消毒強度と不活化率の関係 (塩素消毒)

較的多く検出され、バックグラウンドでは検出されなかったことから、下水処理水再利用における空中浮遊菌の指標細菌として用いることが可能であることが示唆された。

- (2) 空中浮遊菌発生源からの距離が大きいほど、空中浮遊菌濃度は低下するが、その関係は気象条件により変化することが考えられた。
- (3) PCR法により算出される不活化率は、ブラック法により算出される不活化率に比べ小さな値を示しており、PCR法により算出される消毒工程における不活化率は過小評価となる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 国土交通省：下水処理水の再利用水質基準等マニュアル、pp.44-45、2005
- 2) 三瀬勝利、井上富士男編：食品中の微生物検査法解説書、講談社サイエンティフィック、1996
- 3) USEPA：Guidelines for Water Reuse、1992
- 4) 片山浩之他：陰電荷膜を用いた酸洗浄・アルカリ誘出によるウイルス濃縮法の開発、水環境学会誌、25(8)、pp.469-475、2002

10. N₂O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

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 荒谷 裕介
研 究 官 山縣 弘樹
研 究 官 平出 亮輔

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排出量の関係の把握するため生下水を用いた実験を行うとともに、実処理場においてN₂O排出量の実態調査を実施した。

2. SRTがN₂O排出量に及ぼす影響

生下水を原水とするベンチスケールの実験装置を用い、硝化過程から発生するN₂OとSRTとの関係を調査した。

1) 実験方法

実験では、湖北総合実験施設内の実験装置を使用した（写真-1，図-1）。実験装置は、6本の塩ビ管を反応槽とし完全覆蓋化しており、それぞれを繋ぎ合わせ、後に最終沈殿池（以下、終沈と記載する）を設置した。容量は、反応槽が39.6 L、終沈が13.2 Lであり、同系のものが2系列ある。

実験装置への流入水は、湖北総合実験施設内にある他実験施設のパイロットプラント（容量10m³）の最初沈殿池（以下、初沈と記載する）で一次処理したものをを使用した。なお、湖北総合実験施設は茨城県霞ヶ浦流域下水道事務所内にあり、浄化センターの沈砂池後の生下水を用いた。実験装置は、実験期間中、標準活性汚泥法（以下、標準法と記載する）で運転を行った。実験では、SRTを5，7，12，20日に設定し、



写真-1 完全覆蓋型実験装置

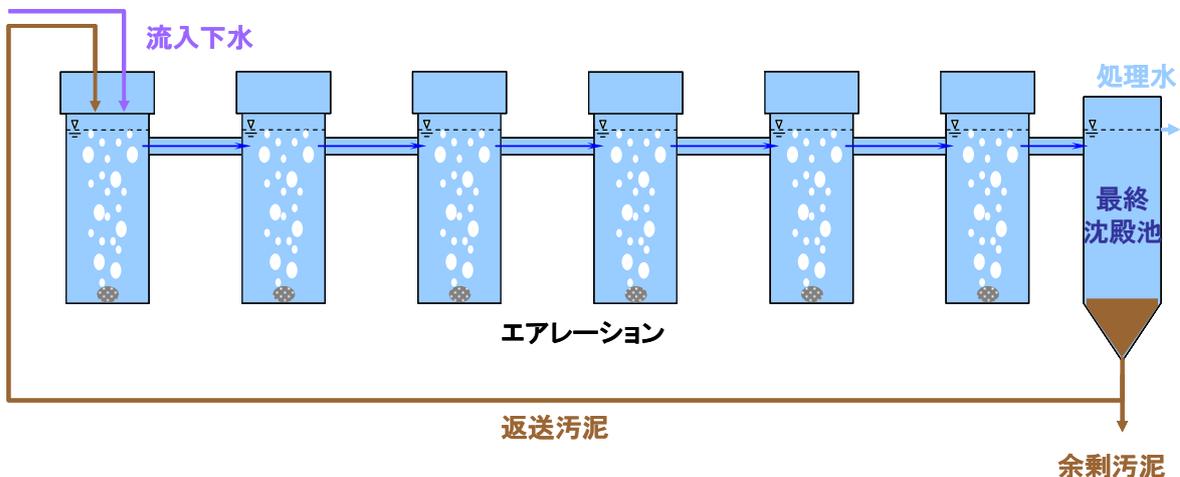


図-1 完全覆蓋型実験装置簡易図

槽内MLSSを2,000~3,000mg/L程度に調整し、各槽のエアレーション量を2L/min(汚泥を攪拌するための最低風量)に設定し、流入水量を0.08~0.24L/minで設定した。

試料採取は、SRT安定後、設定SRTの2倍程度の養生期間をおいて行った。ガス試料は、各反応槽からテトラバッグに採取し、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°C、恒温時間150min、HEADSPACE Autosampler Tekmer7000を使用した)を使い、ECD/GCで測定を行った。なお、バイアル瓶の試料には、試料中の微生物の活性を低下させるため、20%グルコン酸クロルヘキシジン溶液を添加した。

2) 実験結果

実験の結果を、図-2と表-1に示す。図-2の縦軸は、エアレーションにより排出されるN₂O量と反応槽末の液相から排出されるN₂O量の和である。SRTを7, 12, 20日に設定したケースでは、N₂Oの排出量が低く抑えられていた。しかし、SRTを5日に設定したケースでは、排出N₂O量が非常に高い値であった。硝化の状態は、どのケースでも処理水のアンモニア性窒素(NH₄-N)濃度が低く、硝化が進んでいた。亜硝酸性窒素(NO₂-N)濃度は、N₂O量と同様にSRTが5日で高い値を示した。N₂Oは硝化過程の中間生成物であるため、硝化反応の中間に位置するNO₂-N濃度が高ければ、不安定なNO₂-Nから多量にN₂Oへ移行すると考えられる。

今回の調査は実験ケースが少ないため、明確な結論は得られないが、SRTが5~7日以下となると排出N₂O量が多くなる可能性が示唆された。

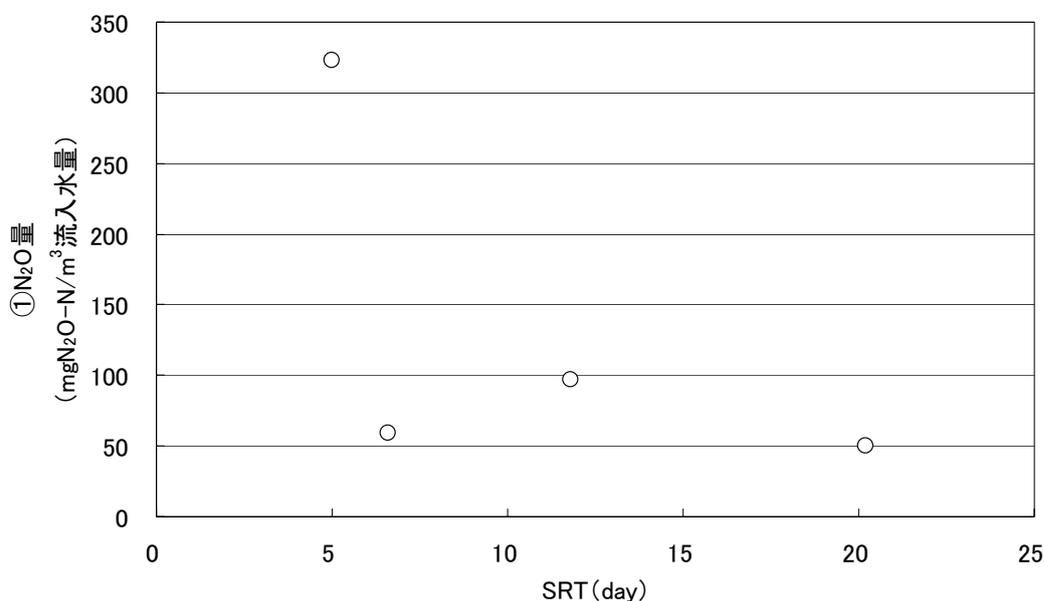


図-2 排出N₂O量とSRTの関係

表-1 N₂O排出量と水質分析の結果

条件	①N ₂ O量 mgN ₂ O-N/m ³ 水量	②N ₂ O量 mgN ₂ O-N/m ³ 水量	SRT d	一次処理水		処理水		
				T-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₂ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	
設定SRT day	5	322.7	200.0	5.0	29	0.16	0.68	13.27
	7	59.1	37.0	6.6	29	0.15	0.12	14.56
	12	97.1	77.1	11.8	36	0.13	0.13	22.20
	20	50.0	37.2	20.2	36	0.10	0.04	23.12

※①N₂O量は「ガス+末槽液体」の総発生量、②は「ガス+末槽液体-返送液相」の返送経由のN₂Oを抜いた発生量である。

※N₂Oの単位の水量は、初沈流入水あたりのN₂Oを意味する。実験の流入水は、パイロットプラントの初沈流入水と反応槽流入水の比から計算した。

3. 実処理場でのN₂O排出実態調査

実験結果と実処理場における実態との整合性を確認するため、実処理場においてN₂O排出量調査を実施した。

1) 調査方法

実態調査は、3自治体13箇所の下水処理場で行った。なお、A県に関しては、A県が独自にN₂O調査を実施していたため、調査データの提供を受けた。各処理場の詳細を表-2に示す。

表-2 各処理場の詳細

処理場名	A県			B市	C市			
	D	E	F	G	H	I	J	K
計画処理水量 m ³ /日最大	192,000	532,000	75,000	725,000	184,000	55,000	38,000	68,000
現在処理水量 m ³ /日	57,000	133,000	12,000	303,000	115,000	32,000	17,000	21,000
方式	分流	分流 (一部合流)	分流	分流 (一部合流)	分流 (一部合流)	分流 (一部合流)	分流 (一部合流)	分流

ガス採取は、写真-2のようにロートをエアレーションタンクの水面付近に固定し、出てきたガスを採取した。エアレーションの無い反応槽に関しては、浮遊式ロートを水面に浮かべ、0分後、3分後にロート内のガスをポンプで引抜き、その濃度差から計算した。

試料採取箇所は、各処理場の状況に合わせて決定したが、基本的には反応槽の最初、中間、最後でサンプリングした。

液体試料の採取は末槽で行い、液相N₂O濃度、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nの測定を行った。

N₂Oの測定は、実験装置での実験と同様の方法で行った。

計算等に必要となる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) 調査結果

調査の結果を、図-3と表-3に示す。なお、図-3には、表-3のF処理場の2, 3回目のデータとK処理場のデータを除いた。F処理場のデータは処理法変更直後の硝化が不安定な時期に取ったため、通常の



写真-2 実処理場調査の様子

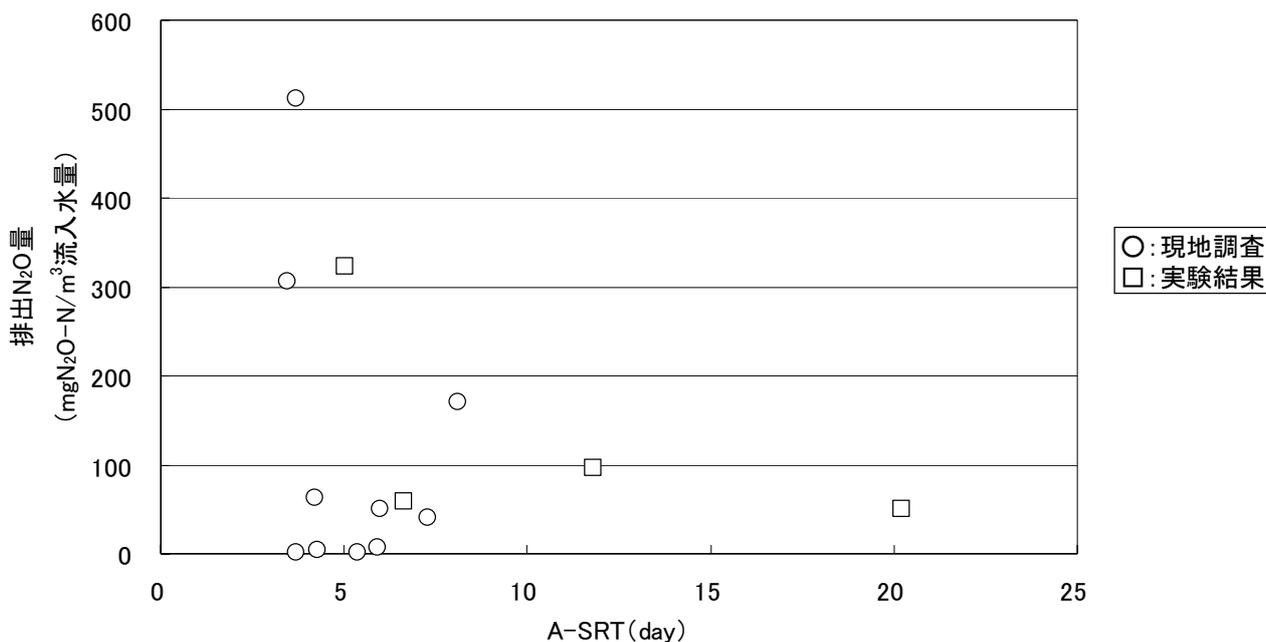


図-3 実処理場における排出N₂O量とA-SRTの関係

表-3 実処理場でのN₂O調査の結果

処理場名	N ₂ O量 mgN ₂ O- N/m ³ 水量	SRT d	A-SRT d	一次処理水			処理水			処理法	備考
				T-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₂ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	NO ₂ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L		
D処理場	50.9	8.00	6.00	35	ND	ND	13	擬似嫌気好気法			
E処理場	2.0	8.89	5.38	26	ND	ND	5.5	ステップ流入式二段嫌気好気法		A県すべてN ₂ O液相測定なし。	
F処理場(1回目)	1.1	3.70	3.70	39	25	0.04	ND	標準活性汚泥法			
F処理場(2回目)	2638.0	20.80	8.91	41	ND	1	0.7	ステップ流入式二段嫌気好気法		処理法変更後すぐ測定	
F処理場(3回目)	2347.4	9.30	6.64	31	0.3	7.4	1.6	嫌気好気法		処理法変更後すぐ測定	
G処理場	4.2	5.70	4.28	36	18.22	0.05	0.04	擬似嫌気好気法			
H処理場1系	305.7	5.20	3.47	37	3.15	1.08	4.52	嫌気好気法			
H処理場2系	511.2	3.70	3.70	37	0.61	0.14	4.53	擬似？嫌気好気法(余剰を初沈へ)		嫌気槽のエア-が結構多い。	
I処理場1系	6.5	7.90	5.93	23	3.75	0.13	4.75	嫌気好気法		↑標準活性汚泥法として計算	
I処理場2系	62.9	5.60	4.20	26	2.19	0.16	5.28	擬似嫌気好気法			
J処理場1系	40.0	8.90	7.28	38	0.16	0.11	8.52	擬似嫌気好気法			
J処理場2系	170.9	9.90	8.10	38	0.47	0.15	8.07	擬似嫌気好気法			
K処理場	1543.3	11.00	8.25	35	0.18	3.42	3.60	嫌気好気法			
5	322.7	5.03	5.03	29	0.16	0.68	13.27	標準活性汚泥法		実験装置が小さいため過曝気	
7	59.1	6.63	6.63	29	0.15	0.12	14.56	標準活性汚泥法		実験装置が小さいため過曝気	
12	97.1	11.80	11.8	36	0.13	0.13	22.20	標準活性汚泥法		実験装置が小さいため過曝気	
20	50.0	20.20	20.2	36	0.10	0.04	23.12	標準活性汚泥法		実験装置が小さいため過曝気	

※現地調査では、反応槽水面に直接チャンバーを浮かべ、ガスサンプリングを行った。

※N₂O量の単位は、初沈流入水量を示す。N₂O量は、基本的に「ガス+未槽液相N₂O」の総和である。

※嫌気、無酸素槽と好気槽のガスを測定、さらに未槽の液中のN₂O濃度の測定も行い、そのトータルを上に表示している。

※A県は独自に調査を実施していたため、提供過去データから計算した値である。

※嫌気好気法は嫌気槽を機械攪拌したものであり、擬似嫌気好気法は汚泥が旋回する程度のエアレーションで嫌気槽を攪拌しているものとしている。

処理状態ではないと判断した。K処理場に関しては、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度が他の処理場に比べ桁違いに高く、通常の処理状態ではない可能性が高いと判断した。

図より、パイロットプラントによる実験結果と同様に、A-SRTが5日付近で排出 N_2O が高くなる場合があることが明らかとなった。値としても実験結果と大きく外れておらず、実験結果が妥当な結果であったことを示している。しかし、実験結果とは異なり、低A-SRTにおいても排出量が非常に低い場合があることも明らかとなった。このうち2点に関しては、表-3より、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が 20mg/L 程度を示しており、硝化反応が進んでいなかった。 N_2O は硝化反応の中間生成物として発生するため、硝化反応が進まなければ生成されない³⁾。その他のデータに関しては、SRT自体のデータの信頼性、エアレーションの運転方法の違い等が影響している可能性があるが、原因は不明であり、今後の検討が必要であると考えられる。

4. 全国の水処理過程からの N_2O 排出係数の仮算定

1) N_2O 排出係数のA-SRT依存性を仮定した全国の水処理過程からの N_2O 排出係数

実験結果や実処理場調査結果に基づき、全国の水処理過程からの排出 N_2O 量の算定を行った。

硝化反応の中間生成物として発生する N_2O は、硝化反応が起こっていないながら十分進んでいない場合に多くなるとの報告³⁾に基づき、ここでは、仮にA-SRTのみに基づいて区分し、排出係数を求めることとした。図-3によるとA-SRTが6日以上では突発的に高い値がない、6日未満は突発的に高い値があらわれる可能性があることから、A-SRT 6日で2つの区分に分け、硝化が十分進んでいる運転が行われている処理場と、不十分な処理場として分けることとした。実験結果も含め、調査データの区分ごとの平均値を以下に示す。

A-SRTが6日以上	78 $\text{mg-N}_2\text{O-N}/\text{m}^3\text{-流入下水}$
A-SRTが6日未満	152 $\text{mg-N}_2\text{O-N}/\text{m}^3\text{-流入下水}$

全国の平均排出係数を算定するため、基準年である1990年と2000年の下水道統計^{4, 5)}から全国の処理場のA-SRTを計算し、6日の区切りで比率を計算した。その結果、両年ともA-SRT 6日以上が約65%、6日未満が約35%であった。この割合から、排出係数の重み付けを行い、全国平均排出係数を算出し、平成12年度下水量から N_2O 排出量を計算すると以下のとおりとなった。

全国の平均的な排出係数	104 $\text{mg-N}_2\text{O-N}/\text{m}^3\text{-流入下水}$
	163 $\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3\text{-流入下水}$
平成12年度排出量	約 2 $\text{Gg-N}_2\text{O}/\text{年}$

環境省の報告では、 $160\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ となっている¹⁾。今回の算出結果はこの値とほぼ同程度となった。

ここでの算出方法によれば、A-SRTを長くすることにより排出係数の重み付けが変化し、全国平均排出係数が小さくなる。仮に、運転方法の変更等により、A-SRT 6日以上の比率を65%から80%にとすると、全国平均排出係数は $146\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ となり、流入下水量が同じであれば約11%の削減となる。このため、硝化促進型の処理法への移行を推進することで、 N_2O 削減対策として考えることができる。ただし、ここでの排出係数の算出では、A-SRT 6日未満を単純に平均して排出係数を求めたが、A-SRTの短い処理場では硝化抑制型の運転となっている可能性もある。既往の調査では、完全硝化抑制型が最も N_2O 排出量が低い傾向にある³⁾。冬期に水温が低い等の理由から硝化抑制運転を行っている処理場では、 N_2O 排出量が低くなっている状態にあり、これを硝化促進型へ移行すると不十分な硝化が生じ、逆に N_2O 排出量が増加する可能性もあるため、硝化促進運転への移行をすべての処理場で全ての期間において一律に進めるべきではなく、個々の処理場の状況に応じて判断すべきであると考えられる。

2) 実処理場での調査結果に基づく N_2O 排出係数

N_2O 排出原単位のA-SRT依存性については、現在のデータからは帰納できる推論であるが、その他の因子を含めたより詳細な調査が必要である。そこで、現時点で得られている実処理場に関する知見をもとに水処理過程からの N_2O 排出原単位を算出することとした。実処理場調査結果を、従来、環境省がとりまとめていた排出 N_2O データ¹⁾とともに表-4に示す。これらを単純に平均すると、約 $172\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ となった。

表-4 水処理過程からの排出N₂O量の仮算定

単位 mgN₂O/m³水量

	最初沈殿池	生物反応槽	最終沈殿池	合計
環境省 ¹⁾	0	17.9	0	17.9
	0	20.3	0	20.3
	0	1.3	0.1	1.4
	-	28.3	0	28.3
	-	994.7	0	994.7
	-	60.7	0	60.7
	-	-	-	91.8
	-	-	-	67.6
調査の追加分	-	80.0	-	80.0
	-	3.1	-	3.1
	-	1.7	-	1.7
	-	6.6	-	6.6
	-	480.4	-	480.4
	-	803.3	-	803.3
	-	10.2	-	10.2
	-	98.8	-	98.8
	-	62.9	-	62.9
	-	268.6	-	268.6
単純平均値				172.1

※追加分はmgN₂O/m³に換算した。

1)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

5. まとめ

実験により、SRTが5日付近でN₂O排出量が大きく上昇する傾向があることを確認した。この傾向は、実処理場においてもみられた。しかし、実処理場の場合、低A-SRT域において低いN₂O排出量を示す場合もあり、A-SRT以外の因子である水温、エアレーション量等の影響に関しても引き続き調査が必要である。また、脱窒過程でのN₂O生成に関する知見も十分に得られているとは言えないため調査を進める必要がある。これらの知見に基づき、排出を抑える運転条件等に関する検討を進める必要がある。

N₂O排出係数のA-SRT依存性を仮定した場合の全国平均N₂O排出係数を仮算出したところ約 163 mg-N₂O/m³となった。また、現時点で得られている実処理場に関する知見をもとに水処理過程から放出されるN₂O量を算出したところ、約 172mg-N₂O/m³となった。

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) 平成2年度版 下水道統計、(社)日本下水道協会
- 5) 平成12年度版 下水道統計、(社)日本下水道協会

11. 下水道事業の設計積算の効率化のための体系化に関する調査

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

1. はじめに

新土木工事積算大系（以下、「新大系」）は、公共土木工事の請負契約の透明性向上、契約内容の明確化、建設事業の国際化に対応し、また、発注者側の積算業務の効率化に資するため、契約・積算に関する手法や図書類を密接に関連づけながら体系的改善を図る一連の整備大系である。下水道分野では「新大系」の中核をなす工事工種の体系化が概成し、積算基準書、共通仕様書、大系用語集等の関連図書の整備を進めてきた。

一方、下水道事業におけるコスト縮減については、平成9年4月に政府が策定した「公共工事コスト縮減対策に関する行動指針」を踏まえ、様々な取り組みが行われているが、効率的なコスト縮減を進めるためには、工事費に占める割合が大きい分野を重点的に推進していくことが効果的であり、そのためには、工事工種体系における各工種の価格構成比や機械・労務・材料費の価格構成比等を分析することが有効である。

本研究では、下水道分野の上記積算・契約関連図書類の作成・体系化の一環として、「下水道土木工事施工管理基準及び規格値」、「下水道土木工事数量算出要領・数量集計表様式」の整備を進めた。また、体系化された下水道管渠建設工事の積算実績を用いて下水道分野における建設コストの分析をおこなった。本報は平成14年度～平成17年度の調査成果の概要を示したものである。

2. 「下水道土木工事施工管理基準及び規格値」の案作成

「下水道土木工事施工管理基準及び規格値」（以下、「下水道施工管理基準」という）は、下水道事業で行われる工事には一般土木分野の工種も多くある点や、一般土木分野（道路、河川等）における「国土交通省土木工事施工管理基準及び規格値」（以下、「国交省施工管理基準」という）が地方自治体に広く利用されていることなどを考慮し、国交省施工管理基準の下水道編として下水道固有の工種と国交省施工管理基準に記載されていない工種（推進工種など）を追加整備する形で作成した。また、下水道施工管理基準が独自に使用される場合を考慮し、国交省施工管理基準の共通編のみを参照すれば、運用が可能な形態とした。

3. 「下水道土木工事数量算出要領・数量集計表様式」の案作成

「数量算出」は、予定価格を作成するための積算に必要な数量を算出し整理しておく作業であり、その数量を扱う設計コンサルタント、発注者、施工業者は、算出項目や算出方法等について共通認識を持つことが必要となる。この「数量算出」の統一された標準的なルールを規定したものが数量算出要領であり、これにより、積算担当者の恣意性の排除、積算業務の合理化、契約内容が明確になることが期待される。「下水道土木工事数量算出要領・数量集計表様式」は、既に整備されている一般土木分野の「国土交通省数量算出要領・数量集計表様式」（以下、国交省要領・様式）の「下水道編」として整備することとし、数量算出要領に記載する項目等は基本的には、国交省要領・様式と同様、数量算出項目・数量算出区分・単位・数量算出方法とした。

4. 下水道土木工事コスト構造の分析

コスト削減を効率的に推進するためには、下水道事業のコストの内訳がどのようなになっているのかといった、コスト構造の解明が必要であり、これを踏まえて、中長期的な視点から、研究開発の重点化等を行うことが重要である。

本研究では、管路工事におけるコスト構造を明確にするため、実際に自治体が発注した設計書を収集し積算実績を分析することによって、工事工種体系のレベルごとの価格シェアを明らかにした。

設計書を基に工種ごとの価格を把握するためには、設計書を構成する用語や費用内訳を一義的に定義する必要がある。そのため、分析対象とする設計書は新土木工事積算体系に基づいて作成されている必要があるため、今回は、下水道土木工事積算基準が体系化された以降の設計書である平成 14 年度の設計書を分析対象とした。自治体から収集した分析可能な設計書は全部で 243 件であり、そのレベル 2 内訳は管きょ工（開削）203 件、管きょ工（小口径推進）23 件、管きょ工（推進）17 件であった。

まず、比較的データ数が確保できた「管きょ工（開削）」、「管きょ工（小口径推進）」のレベル 2 工種の管径ごとに、価格シェアを分析した。ただし、「マンホール工」、「付帯工」などは体系ツリー上はレベル 2 に位置付けられているが、これらは通常、各「管きょ工」に付随して発注されることから、その下位層（組立マンホール工、舗装復旧工等）は、各管きょ工の下位層として扱った。

管きょ工（開削）の概要を以下に述べる。

管きょ工（開削）におけるレベル 3 種別の工事費シェアは、管径 200mm では、「管路土工」が約 24% で最も高いシェアを占め、以下「管路土留工」、「舗装復旧工」、「組立マンホール工」、「管布設工」、「舗装撤去工」、「管基礎工」と続き、これら 7 工種で金額シェアは約 90% を占める（図-1）。管径 150mm においても、順位の若干の入れ替わり

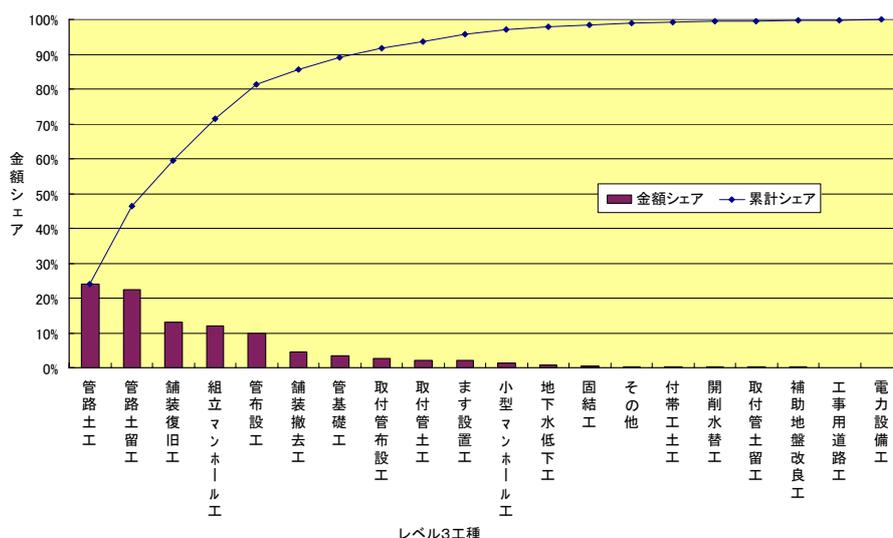


図-1 管きょ工（開削）（管径 200mm）

はあるものの、同じくこれら 7 工種で金額シェアは約 90% であった。

管径ごとに比較すると、いずれの管径においても管路土工や管路土留工のシェアが高くこれら 2 種別で 40% 以上のシェアを占める。また、管径が大きいほど管本体や地下水水位低下工といった仮設工事の工事費のシェアが大きい。以上より、管路土工、管路土留工、および比較的大口径の管布設工でコスト削減が図られれば、コスト削減効果が高いと言える。

次にデータ数の多い開削工管径 150mm および 200mm を中心に、価格シェアの大きい工種の機労材構成比を分析した。ここで、機械経費は、機械の運転費が各都道府県で設定されている、機械損料および運転労務や燃料費等を含んだ「省略単価」を用いて積算されているものが多かったため、運転労務等を含んだものとして分析している。

なお、国土交通省 HP「主要資材管径管種別発注延長」によると、H16 年度の下水道管渠工事発注延長

の合計 11,668 k m 中、管径 200 m m 以下が 10,173 k m と 87.2% を占めていた。

管きょ工（開削）「管路土工」におけるレベル 4 種別の工事費シェアは、管径 200mm では、「管路埋戻」が約 50% を占めていた（図-2）。

他の管径においても概ね 50% 前後を「管路埋戻」が占めていた。

管路土工のレベル 4 工種の機労材構成比を図-3(1)～(3)に示す。「管路埋戻」の機労材構成比では、材料費（埋戻用砂）の占める割合が約 40% と最も高い。

埋戻材料については、地震時の液状化対策等を考慮する必要があるため、単に安価な材料に代替することはできないものの、コスト削減効果が高

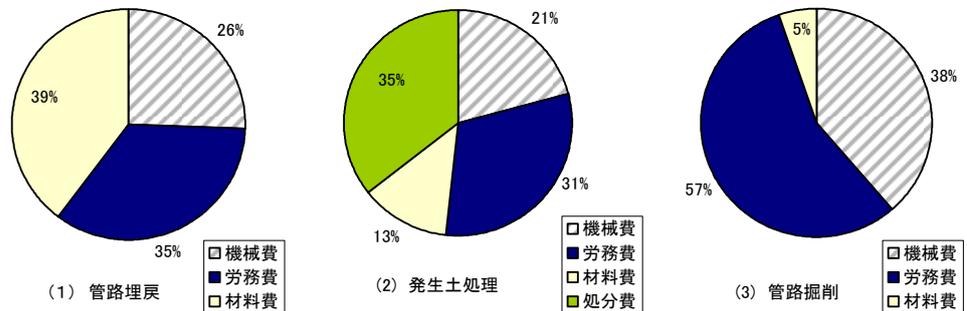


図-3 管路土工（管径 200mm）のレベル 4 工種の機労材構成比

いと見込まれる項目であることがわかった。さらに、発生土の利用が可能であれば、処分費も削減できるため、コスト削減効果がより高くなる。

次に、管きょ工（開削）「管路土留工」管径 200mm におけるレベル 4 種別の工事費シェアを図-4 に示す。「軽量鋼矢板土留」が 53%、「建て込み簡易土留」が 44% であった。他の管径においてもこれら 2 工種で 90% 以上を占めていたが、比率にはばらつきがあり、全管径では「建て込み簡易土留」が金額シェアで 53% を占めていた。

管径 200mm の「軽量鋼矢板土留」および「建て込み簡易土留」の機労材構成比を図-5 に示す。いずれも労務費の割合が 81% および 51% と高い。

管きょ工（開削）「管布設工」におけるレベル 4 種別の工事費シェアは、「硬質塩化ビニル管」が管径 200mm で 82%、管径 150mm では 93% を占めていた。「硬質塩化ビニル管」管径 200mm の機労材構成比を図-6 に示した。労務費と材料費が概ね 50% ずつを占めている。

管きょ工（開削）管径 200mm のレベル 3 工種で金額に占めるシェアが 3 番目に大きかった「舗装復旧工」は、不陸整正、下層路盤、上層路盤、基層、表層他多くのレベル 4 工種で構成されるが、ここで

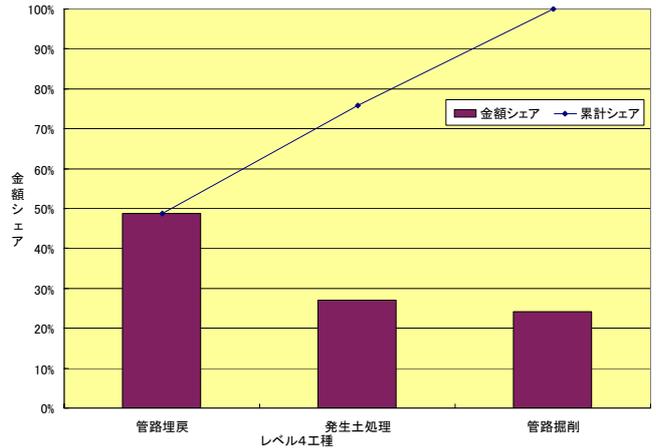


図-2 管きょ工（開削）管路土工（管径 200mm）

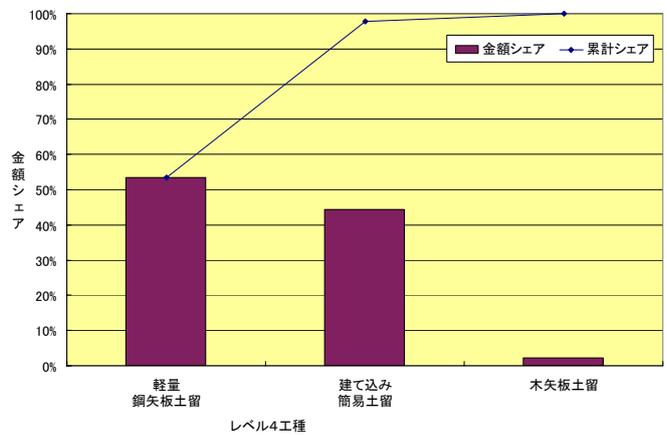
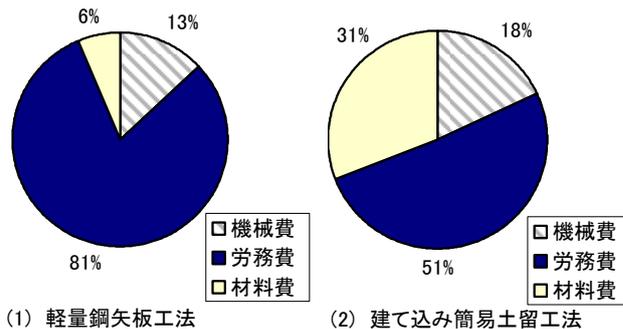


図-4 管きょ工（開削）管路土留工（管径 200mm）

は、大まかな傾向をとらえることとし、レベル3の機労材構成比を図-7に示す。材料費が59%を占めていた。



(1) 軽量鋼矢板工法

(2) 建て込み簡易土留工法

図-5 管路土留め工 (管径 200mm) のレベル4工種機労材構成比

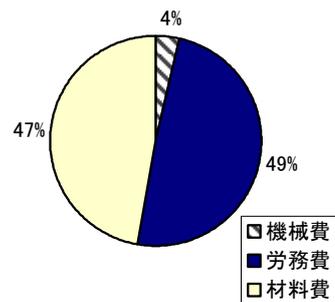


図-6 管布設工 (管径 200mm)

「硬質塩化ビニル管」機労材構成比

管きょ工 (開削) 管径 200m m のレベル 3

工種で金額に占めるシェアが4番目に大きかった「組み立てマンホール工」についても、レベル4工種は組立0号~3号マンホール工であるが、ここでは、大まかな傾向をとらえることとし、レベル3の機労材構成比を図-8に示す。材料費が82%を占めていた。

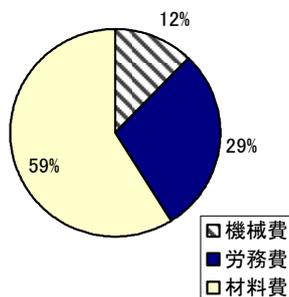


図-7 舗装復旧工

(管径 200mm) 機労材構成比

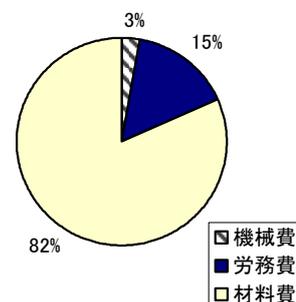


図-8 組立マンホール工

(管径 200mm) 機労材構成比

「硬質塩化ビニル管」、「舗装復旧工」、「組み立てマンホール工」の機労材構成比は、管径 150mm についても概ね同様の傾向であった。

【おわりに】

「下水道土木工事施工管理基準」、「数量算出要領」等は、全ての自治体が整備しているとは言えず、また整備している図書についても記載内容が統一されているとは言えないため、全国統一版としてこれらの図書を整備した意義は大きい。工事コスト構造の分析については、工事工種ごとの価格シェア、管径別の価格シェア、主要な工種の機械・労務・材料費の構成比について分析し、コスト縮減の方向性を示した。

12. 都市域における流出・氾濫モデル開発に関する調査

水害研究室	室 長	中村 徹立
	主任研究官	野仲 典理
	研 究 官	山岸 陽介
	交流研究員	高橋 陽一

1. はじめに

永年の河川整備の進捗により全国の洪水氾濫面積は着実に減少しているものの、平成 11 年・15 年の福岡水害、平成 17 年の東京・埼玉水害など、近年都市水害が増加している。

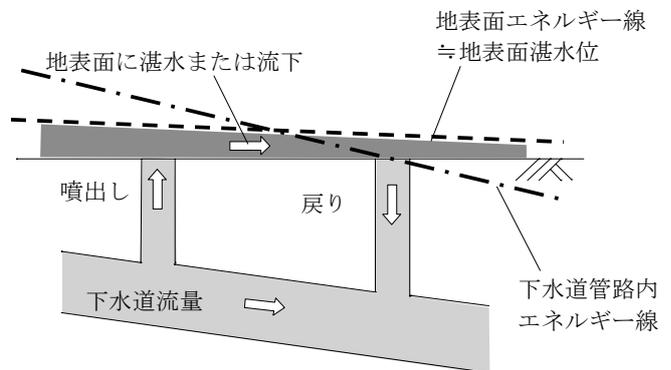
この原因としては、都市化の進展に伴い、流域の保水・遊水機能が低下し、雨水の流出量が増大したことや、時間雨量 100mm を超えるような集中豪雨が頻発していることなどが考えられる。さらに、都市部には人口・資産が集中しており、一度洪水に見舞われるとその経済的な被害は非常に大きいため、都市水害対策の充実喫緊の課題である。

都市水害対策を講じる際には、都市域における氾濫水の挙動を把握することが極めて重要であり、そのためには、氾濫解析モデルを効果的に用いることが有効であると考えられる。

本研究では、都市域における地表面の浸水状況と下水道管路内の流れを一体的に解析可能な都市域氾濫解析モデル (NILIM) の開発・改良を行うために、マンホール部における複雑で未解明の現象を水理実験により把握し、NILIM モデルの妥当性を検証することを目的とする。



図-1 NILIM モデルの概念図



【溢水発生条件】
 $\text{下水道管路内エネルギー} > \text{地表面エネルギー}$

【流入発生条件】
 $\text{下水道管路内エネルギー} < \text{地表面エネルギー}$

図-2 マンホール等からの溢水・流入の計算モデル

2. 研究内容

図-1 に示す NILIM モデルの 4 つのサブルーチンの内、マンホール等からの溢水・流入の計算仮定の妥当性について検証実験を行った。

下水道を対象とする浸水現象は、下水道から地表面へ溢水する現象、地表面に湛水または氾濫する現象、地表面から下水道に戻る現象からなる。このような非定常の時、下水道管路内エネルギー線と地表面エネルギーの 2 つのエネルギー線が存在すると考えられる (図-2)。

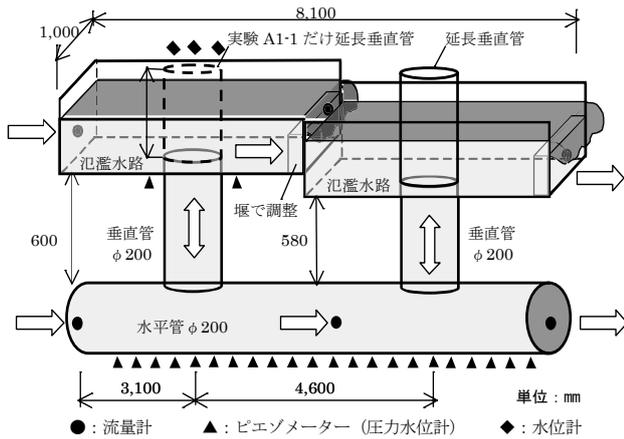


図-3 水理模型の概要 (縮尺: 概ね 1/5)

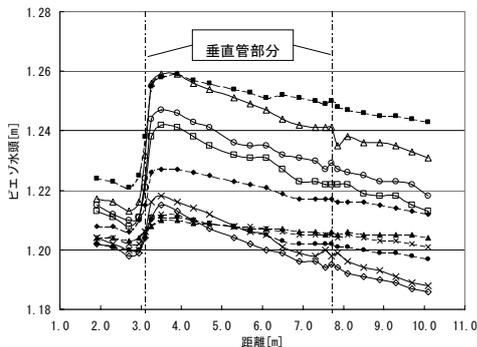


図-4 実験 A1-1 ピエゾ水頭

この 2 つのエネルギー線は各々の地点の状況に伴って独立または相互に関与し合うこととなり、溢水・流入の水理現象を規定するエネルギー線を求めることは難しい。そこで、図-3 に示すような水理模型を作成し、下水道の溢水・流入に関する基礎的水理現象の把握を行うこととした。平成 17 年度は、上流側垂直管だけで現象を確認する基礎実験を行った。実施した実験ケースは表-1 に示す通りである。

3. 研究成果

図-4 に実験 A1-1 の下水管のピエゾメーターの実験値を示す。垂直管からの噴き出しにより垂直管下流側の流量が減少するため、垂直管下流側のピエゾメーターは噴き出し前より概ね速度水頭の差分だけ高い値を示した。

図-5 に実験 A1-1 垂直管部での下水道管路内エネルギーと地表面エネルギーの差 Δh と溢水量の関係を示す。溢水量は Δh の 1/2 乗に比例する傾向が得られた。その他の実験ケースについても、ほぼ同様の傾向がみられ、溢水・流入量はオリフィスの式で算定できる可能性が示唆された。

4. 成果の発表

- 1) 水草浩一他 (2003) : 下水道をモデル化した内水氾濫解析の適用性評価に関する研究、土木学会年次学術講演会概要集第 2 部、vol. pp. 125-126
- 2) 「都市域氾濫解析モデル活用ガイドライン (案) - 都市浸水 -」国総研資料第 202 号 平成 16 年 11 月

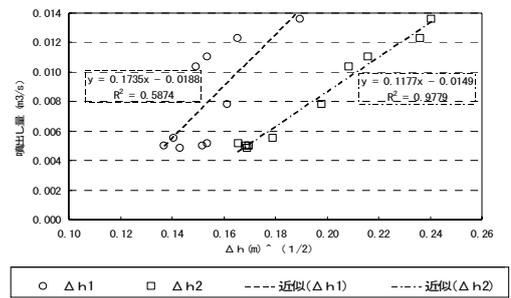
5. 成果の活用

今後は、下流側垂直管を含めた 2 本の垂直管が存在する複合実験や、供給量および氾濫量を変化させる非定常実験を行い、その結果を踏まえ、さらにモデルの改良を行い解析精度の向上を図る予定である。また、一層の分かりやすいインターフェースや出力結果の表示機能等を備えたシステムを構築し、公開することで、モデルの普及が進むものと思われる。本研究で開発したモデルが都市浸水想定区域の指定や雨水対策計画の検討など様々な現場で活用されることを期待している。

表-1 実験ケース

実験ケース	内容	概念図
A1-1 噴出し +湛水位なし	水平管への流入量変化に伴う噴出し量の把握	
A1-2 噴出し +湛水位あり (5cm, 20cm)	地表面湛水位の変化に伴う噴出し量の把握	
A2 戻り +湛水位あり (5cm, 20cm)	地表面湛水位の変化に伴う戻り量の把握	

---: 地表面エネルギー線 - - - : 下水道管路内エネルギー線



○ $\Delta h1$ □ $\Delta h2$ - - - 近似($\Delta h1$) - - - 近似($\Delta h2$)

$\Delta h1$: 下水道管路内エネルギーと地表面エネルギーの差
 $\Delta h2$: T字管の損失を考慮したエネルギー差

図-5 実験 A1-1 エネルギー差と噴き出

II. その他の予算による研究

[下水道研究室]

1. 道路陥没を予防するための下水道管路の適正管理手法に関する研究

下水道研究室 室長 藤生 和也
研究官 浜田 知幸

1. はじめに

我が国では下水道普及率の上昇に伴い、管路総延長 37 万 km 以上に達しており、膨大なストックを形成している。一方、下水管路の破損部に地盤材料が流れ込むことで発生する道路陥没が発生しており、下水管路の老朽化進行とともに増加が予想される。これらの予防手段として、下水管路の定期的な調査を行い、その調査結果を判定し、維持管理で対応するか、修繕や改築を必要とするかの診断を行う必要がある。下水道維持管理指針¹⁾では視覚調査結果に関する判定基準が例記されているが、同時に改築・修繕の要否は、そのみならず管材質、敷設後の経過年数、下水の水質、地下水位の状況、地域環境等、様々な条件を勘案して決定されるべきものであると記述されており、実際、軽微な損傷でも道路陥没を引き起こすケースが多いと報告されている²⁾。道路陥没の主なメカニズムは、管路の損傷部分への地盤材料流入によるゆるみ・空洞の進行であると推察される。これらゆるみ・空洞と諸条件との関係について、小型模型を使った実験が行われ、基礎的な知見が整理されつつある³⁾⁴⁾。

本研究では、地方公共団体から道路陥没に関する情報収集を行い、道路陥没の発生原因となった管路施設の実態を整理した。さらに大型土槽を用いて、管路破損部分への地盤材料の流入状況を調べる実験を行い、実際の管路埋設状況に近い環境を再現して空洞・ゆるみの進行しやすい条件を調べた。本実験は本年度から 3 年間の予定で行い、最終的に改築・修繕の優先度の高い管路部分の選別方法を提案するものである。

2. 道路陥没実態調査

2. 1 調査概要

下水管路の破損により発生した道路陥没について、管路施設の状況や周辺環境などの現場状況を整理するため、地方公共団体にて聞き取り調査および道路陥没対応書類の閲覧調査（以下、閲覧調査）を行った。調査対象として、A 市、B 市の 2 都市を選定した。聞き取り調査では、管路施設の維持管理担当者から道路陥没数、道路陥没の発生時期、布設年度について情報収集した。閲覧調査では、A 市の行政区の一部を調査対象として選定し、対応記録・工事書類を閲覧することにより、56 件の情報を収集した。

2. 2 調査結果

2. 2. 1 布設経過年数と道路陥没数の関係

A 市における各行政区の平均管齢と道路陥没発生件数（H11～H15 の平均値）を比較した（図 1）。平均管齢 20 年未満の行政区で道路陥没件数は 0.05 件/10km/年であるのに対して、20 年以上の行政区では 0.40 件/10km/年であった。下水管路を布設して年数が経過している行政区ほど、道路陥没が発生しやすかった。

2. 2. 2 管路施設の種類

道路陥没の発生要因になった管路施設について、施設の内訳を調べた（表 1）。取付管や汚水柵などの本管以外の施設が原因になっているケースが 61%～88%を占めて

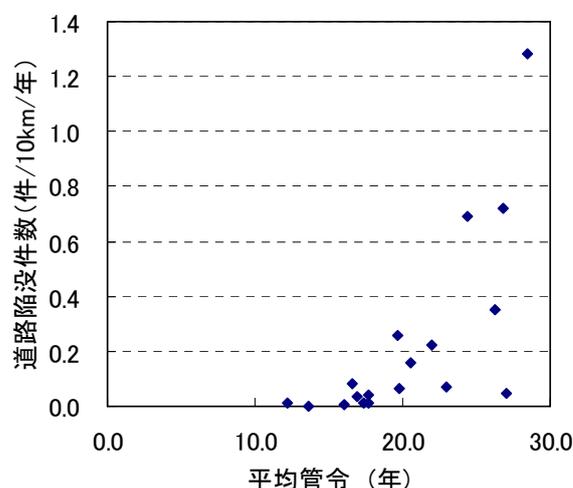


図1 A市行政区における平均管齢と道路陥没件数

おり、陥没対策のためにはこれらの施設についても調査の必要性が示唆された。また、閲覧調査では、管路施設の破損、クラック、継ぎ手ズレ以外の要因による道路陥没が14%あり、これらは未使用下水管への土砂流入によるものであることがわかった。

表1 道路陥没の発生要因施設の内訳割合

		本管	取付管	人孔	汚水樹	水路	未使用下水管	不明
聞き取り調査	A市(H14:266件)	13%	71%	9%	7%	—	—	—
	A市(H15:219件)	8%	77%	3%	9%	—	—	4%
	B市(H14:323件)	39%	41%	1%	18%	1%	—	—
	B市(H15:322件)	39%	56%	1%	2%	2%	—	—
閲覧調査	A市(H16:56件)	5%	77%	—	—	—	14%	4%

2. 2. 3 破損状況

閲覧調査において、管路施設の破損、クラック、継ぎ手ズレが原因で道路陥没に至ったことが確認された46件について、工事写真から維持管理指針¹⁾に示されている「視覚調査結果に対する判断基準例」を用いて、異常ランクの判定を行った(表2)。判定作業に当たっては、継ぎ手ズレのズレ幅を工事写真から判別できないため、ズレ幅が判断基準となるB、Cランクの判定は行わず、まとめて表記した。診断を行った結果、重度の異常判定であるAランクが50%を占めており、著しい異常のある下水管路で道路陥没が発生していることがわかった。しかし、B、Cランクも33%を占めており、小規模なクラックおよび脱却に至らない継ぎ手のズレなどでも道路陥没の原因になることが確認された。これはB、Cランクでも地盤材料が管路内に流入することにより、地盤のゆるみ・空洞が進展し、道路陥没に至ったものと考えられる。

表2 道路陥没の原因となった下水管路の視覚調査診断結果 (件)

	合計	ランク			判別不能
		A	B	C	
破損	26 (57%)	18 (39%)	4 (9%)	0	4 (9%)
継ぎ手ズレ	13 (28%)	4 (9%)	6 (13%)	3 (7%)	—
クラック	7 (15%)	1 (2%)	5 (11%)	0	1 (2%)
計	46 (100%)	23 (50%)	15 (33%)	8 (17%)	—

2. 2. 4 道路陥没と降雨の関係

B市の月道路陥没件数を図2に示す。冬季は道路陥没件数が10件/月以下になるのに対して、夏季は最大60件/月以上となった。また、A市、B市の聞き取り調査において、道路陥没は降雨後に多いことが確認でき、道路陥没の降雨による影響について関連性が示唆された。

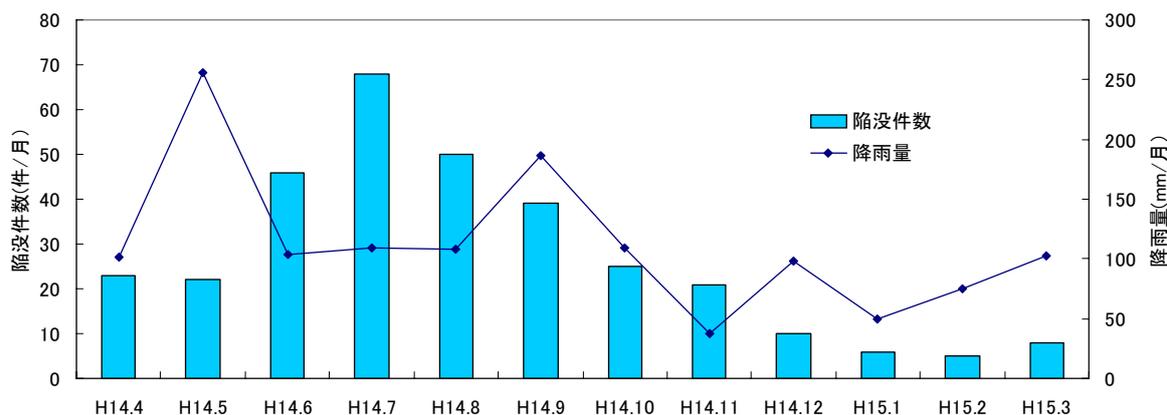


図2 月道路陥没件数(B市、平成14年度)

3. ゆるみ・空洞の進行に関する模型実験

3. 1 調査概要

「2. 道路陥没実態調査」より、下水管路のクラックや脱却していない継ぎ手ズレなどB、Cランクの異常判定であっても道路陥没の発生原因になることが分かった。

そこでB、Cランクの異常判定の下水管路を想定として、地盤材料流入によるゆるみ・空洞の進行しやすさを観測する模型実験を実施した。実験土槽に、クラックや継ぎ手ズレを想定したスリットを設けた下水管路を設置し、開口部分への流入量を調べた。これにより、下水管路の異常形状、地盤材料、地下水位などの諸条件が、ゆるみ・空洞の進展にどのような影響を及ぼすかを把握する。

3. 2 実験方法

実験土槽の寸法は高さ 100cm×幅 200cm×奥行き 50cm である (図 3)。底板の中央部に 10cm の開口部があり、その上部に半分に切った $\phi 200$ 塩ビ管を設置した。この塩ビ管 (半割管) には下水管路の異常箇所を想定して、5mm のスリットを設けた。スリットから流入した土砂は、底板の開口部から採取可能な構造となっている。また、外部水槽の高さを上下させることにより、土槽内の水位を変化させることができる。土槽内の水位を観測するため、中央部にマンメータを設置した。

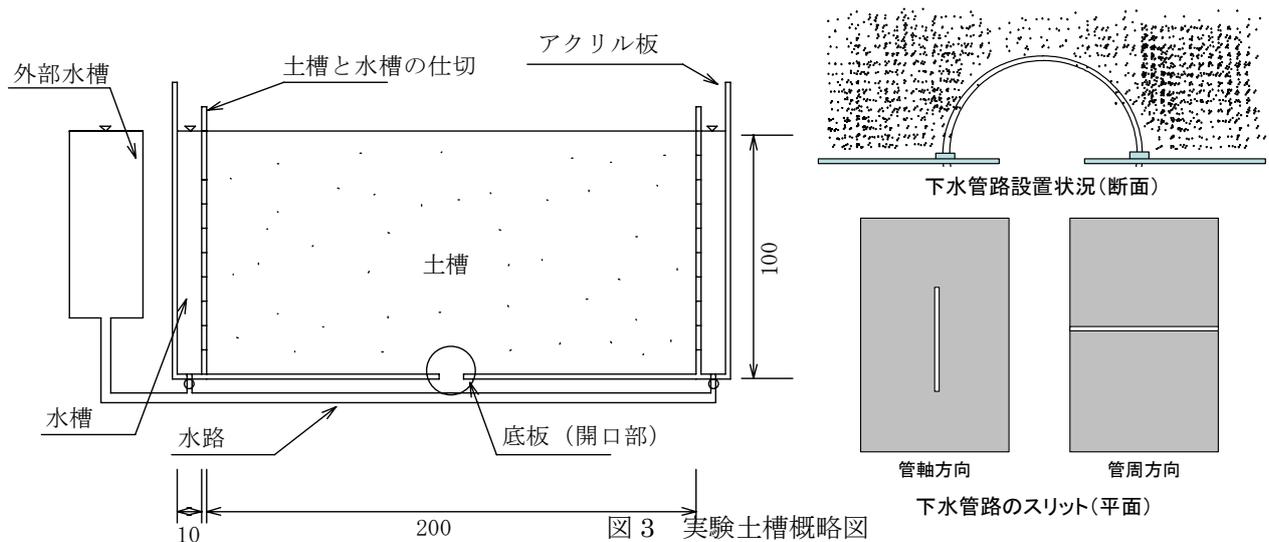


写真 1 地盤材料設置状況

写真 2 地盤設置完了

写真 3 色砂設置状況

地盤材料の設置方法は、設定含水比に調整した地盤材料を、規定の密度となるよう重量を測定しながら、一層当たり 10cm で 100cm までに盛り立てた (写真 1、2)。また、実験終了後に地盤のゆるみ・空洞領域を観測するため、層間に色砂を設置した (写真 3)。

実験は、下水管路のスリットのシーリングを取ることで開始した。実験は、下水管路のスリットからの排砂が終了、排砂量 50kg 以上もしくは地表面の陥没が観測されるまで実施した。

実験条件は caseA~H の全 8 ケースを設定した (表 4、5)。スリットの形状は管軸方向と管周方向の破損・クラックを想定した。スリットの延長は、鉛直投影長さが 20cm になるように設定した。地盤材料は豊浦砂と山砂の 2 種類を用いて、相対密度が 75% となるように設置した。埋戻しの管理基準として、品質規定をしている地方公共団体では、最大乾燥密度の 90% 以上としている⁵⁾。本実験では 90% 程度であることから、適切な施工が行われた状態を再現した実験条件であると考えられる。本実験で地盤材料に用いた山砂は、地盤材料に用いる購入土の粒径分布調査事例⁵⁾と比較して、平均的な粒径分布のものと考えられる。ただし、細

粒分含有率は 11%であり、平均よりも若干高い。豊浦砂は、均一粒径、細粒分含有率 0%であり、粒度が悪い地盤材料と想定される。地下水位は底板から 20cm（管頂より 10cm 上）、80cm（管頂より 70cm 上）の 2 ケースとした。

表4 実験条件の設定

Case	開口形状	試料	地下水位 (cm)	乾燥密度 (g/cm ³)
A	管軸方向 開口幅5mm 延長20cm	豊浦砂	20	1.551
B			80	1.544
C			20	1.447
D			80	1.447
E	管周方向 開口幅5mm 延長 31cm (管周延長)	豊浦砂	20	1.561
F			80	1.554
G			20	1.434
H			80	1.434

表5 地盤材料の物理特性

	最大密度 ρ_{max} (g/cm ³)	最小密度 ρ_{min} (g/cm ³)	最大粒径 Dmax (mm)	細粒分 含有率 (%)	均等係数 Uc
豊浦砂	1.648	1.319	0.425	0	1.59
山砂	1.556	1.177	4.75	11	2.74

3. 3 実験結果

(1) 排砂量

各実験ケースの実験開始後の経過時間と累積排砂量の関係を示す（図 4）。豊浦砂では地下水位 20cm（caseA、caseE）のとき排砂量が 20kg、50kg 以上、地下水位 80cm（caseB、caseF）のとき、実験開始から 10min 程度で地表面が陥没した。それに対して山砂では地下水位 20cm（caseC、caseG）のとき排砂なし、地下水位 80cm（caseD、caseH）のとき排砂量 3～4 kg 程度で排砂が終了して安定した。地盤材料として豊浦砂を用いたとき、地下水位が高いときに排砂量が多くなった。

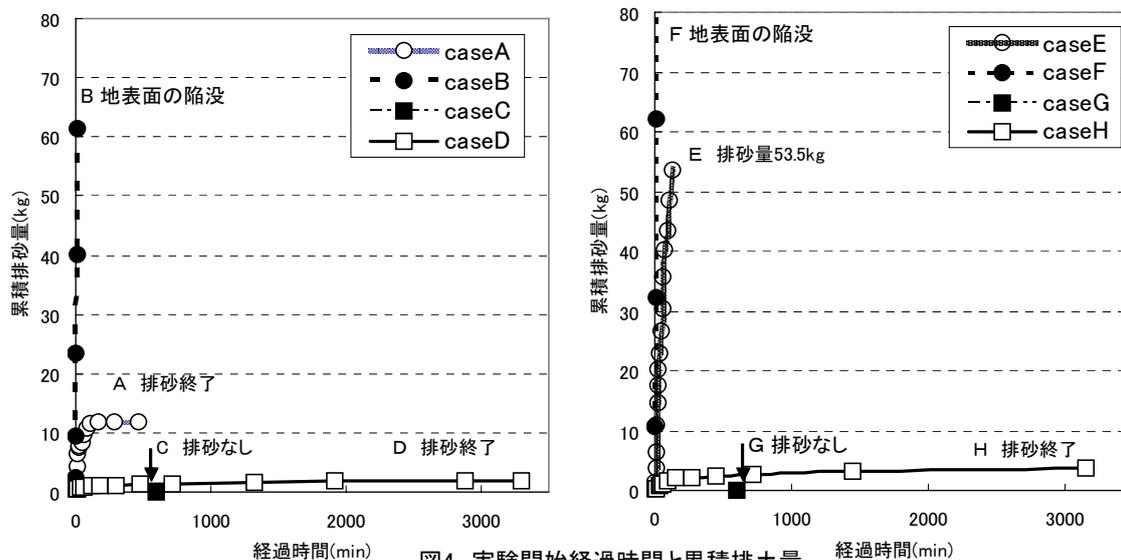


図4 実験開始経過時間と累積排土量

(2) ゆるみ・空洞領域の観測

各実験ケースのゆるみ・空洞領域を観測するため、地盤材料を 10cm 毎に平面掘削した。色砂を設置した同一平面で、色砂が観測できない状態をゆるみと定義した。地盤材料に空間がある状態を空洞と定義した。caseA 及び caseE は地盤材料に豊浦砂、地下水位を 20cm に設定したケースである。いずれも地下水位の上部 20cm 程度まで空洞が広がった（写真 4、7）。caseE は caseA と比べて空洞領域が大きかった。管周方向の最深開口部分は、管軸方向と比較して 10cm 低く、この部分に比較的大きな水圧がかかるためであろうと推察される。caseB 及び caseF は地盤材料に豊浦砂、地下水位を 80cm に設定したケースである。両ケースとも地表面付近まで空洞が広がった（caseB について写真 5）。caseD 及び caseH は地盤材料に山砂、地下水位を 80cm に設定したケースである。管頂 30～40cm 程度までのゆるみが観測された（写真 6、8）。



写真4 caseA (管軸方向・豊浦砂・地下水位20cm)のゆるみ・空洞進行状況

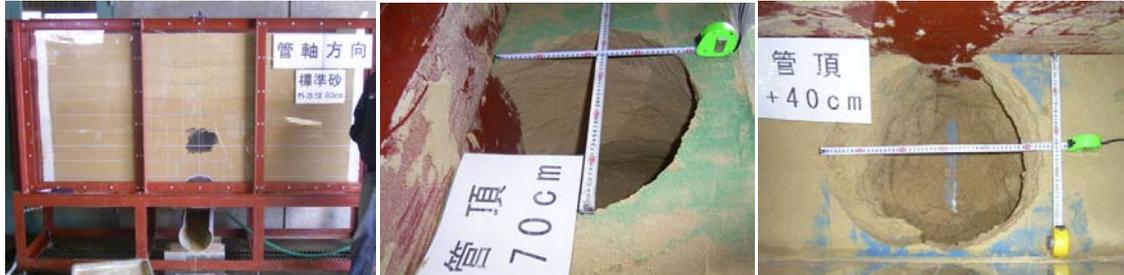


写真5 caseB (管軸方向・豊浦砂・地下水位80cm)のゆるみ・空洞進行状況

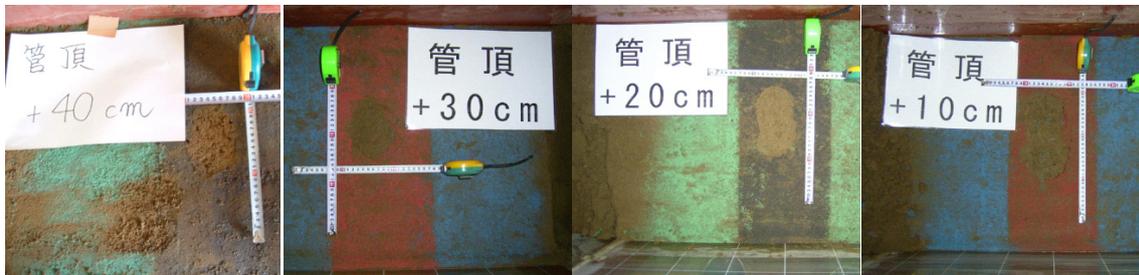


写真6 caseD (管軸方向・山砂・地下水位80cm)のゆるみ・空洞進行状況

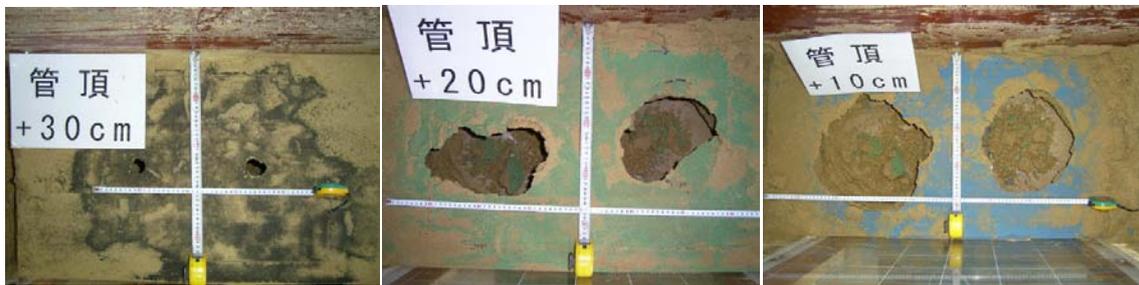


写真7 caseF (管周方向・豊浦砂・地下水位20cm)のゆるみ・空洞進行状況



写真8 caseH (管周方向・山砂・地下水位80cm)のゆるみ・空洞進行状況

(3) 排土量とゆるみ・空洞領域の関係

実験ケース毎の排砂量とゆるみ・空洞領域の体積及び重量を整理した(表6)。ゆるみ・空洞領域は撮影画像から目視読取により算定した。caseA及びcaseEの空洞が観測された実験ケースでは、空洞領域と排砂量が一致した。caseD及びcaseHの

表6 排砂量とゆるみ・空洞領域との関係

	排砂量 (kg)	ゆるみ・空洞領域		ゆるみ・ 空洞の別
		体積 ($10^{-3}m^3$)	重量 (kg)	
caseA	12.0	7.0	11.3	空洞
caseD	1.9	5.8	8.4	ゆるみ
caseE	53.5	35.3	54.8	空洞
caseH	3.6	9.4	13.5	ゆるみ

ゆるみが観測された実験ケースでは、排砂量がゆるみ領域の重量の約 1/4 であるので、実験開始前よりも密度が平均で約 25%減じたゆるみ領域が形成されていたことが推察される。

(4) 総括

小型の土槽を使った研究では、「地盤材料の粒度が悪い砂」「地下水位が高い」条件の時に、地盤のゆるみ・空洞範囲が大きい可能性が示唆されている³⁾。また、管渠破損部からの地盤への汚水流入と流出を再現した研究では、細粒分が少ない地盤材料では急速な空洞の進展がおこりやすいと報告している⁴⁾。本実験で、地盤材料に豊浦砂を用いたとき、地下水位の影響範囲で急激に排砂が進行し、空洞領域が広がった。山砂を用いたとき、地下水位 80cm のときだけ排砂が進行し、管頂 30~40cm (地下水位の下部 30~40cm) の範囲でゆるみ領域が広がった。山砂のゆるみ領域に比べて豊浦砂の空洞領域が広く、地下水位が高いときに空洞・ゆるみ範囲が大きくなったため、本研究結果から地盤材料の細粒分含有率が低く、粒度が悪く、地下水位が高いときに、ゆるみ・空洞が進行しやすいことが推察される。

標準砂のように空洞が広がっていく地盤材料では、短期間に管頂から地表面まで空洞が広がっていることが予想され、大規模な陥没の発生要因になることが懸念される。

4. まとめ

道路陥没を防止する観点から、優先的に改築・修繕を行うべき施設の選定方法を提案するため、地方公共団体での道路陥没実態調査と、管路の破損部分への土砂の流入状況を調べるゆるみ・空洞化進行に関する模型実験を行い、以下の知見を得た。

【道路陥没実態調査】

- ①陥没対策のためには、本管だけでなく取付管や枳についても調査の必要性があることが示唆された。
- ②道路陥没の原因となる管路として、重度の異常判定である A ランクだけでなく、クラックおよび脱却していない継ぎ手のズレなどの異常判定 B、C ランクでも道路陥没の原因になりうることを確認された。

【ゆるみ・空洞の進行に関する模型実験】

- ①地下水位が高いほど、ゆるみ・空洞の進展が早いことが分かった。
- ②地盤材料として山砂よりも豊浦砂を用いたとき、ゆるみ・空洞の進展が早かった。細粒分が少なく、粒度が悪い地盤材料では、急激にゆるみ・空洞が進展することが示唆された。

なお、本研究は、試験研究費により実施されたものである。

【参考文献】

- 1) 社団法人日本下水道協会、下水道維持管理指針前編・2003 年版
- 2) 小橋秀俊・桑野玲子・堀井俊孝、平成 16 年度下水道関係調査研究年次報告書 国土技術政策総合研究所資料 No.263、国土交通省 国土技術政策総合研究所(2005)
- 3) 桑野玲子、山内慶太、小橋秀俊、片岡定男、老朽埋設管周辺地盤のゆるみ・空洞発生模型実験 (その 2)、第 39 回地盤工学研究発表会講演集、(2004)
- 4) 堀井俊孝、桑野玲子、小橋秀俊、片岡定男、老朽埋設管内への土砂流出による周辺地盤の空洞形成過程、第 40 回地盤工学研究発表会、(2005)
- 5) 建設省土木研究所動土質研究室、下水道管路埋戻し材料の繰返し強度特性に関する実験報告書、土木研究所資料第 3701 号(2000)

11. その他の予算による研究

[下水処理研究室]

1. 生態系の観点からみた下水再生システムのあり方に関する研究

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
研究官 荒谷 裕介
研究官 平出 亮輔

1. はじめに

下水道の普及に伴って下水処理水の量も増加し、平成 15 年度で年間約 137 億 m^3 の処理水が日本全国の下水処理場から放流されるに至り¹⁾、都市域の河川では、河川水量の大半が下水処理水で占められているところも出てきている。また、都市部においては、都市化の過程で失われた水との触れ合いの場を再生・創出するために、下水処理水を積極的に活用することによってせせらぎ等の水辺環境を整備する事例が増えている²⁾。

河川やせせらぎ等の水辺環境は、様々な水生生物が生息する貴重な空間として位置づけられることから、下水処理水の性状が水生生物に影響を及ぼすと考えられる。しかし、これらの水辺環境に生息する水生生物と下水処理水の性状との関係については明確になっていないのが現状である。

これまで、下水処理水の栄養塩類濃度および全残留塩素濃度の違いが付着藻類相に及ぼす影響に関する室内水路実験を行い、1)硝酸性窒素(NO_3-N)濃度が 1.1~43mg/L の濃度範囲においては、付着藻類生物量との関係は認められない、2)リン酸態リン(PO_4-P)濃度が 0.04~0.09mg/L の濃度範囲において、 PO_4-P 濃度が高くなるにつれて付着藻類生物量が増加するとともに緑藻類が優占する傾向を示す、3)全残留塩素(Total Residual Chlorine : 以下、TRC)濃度が 0.07~5.8mg/L の濃度範囲において、TRC 濃度が高くなるにつれて付着藻類生物量は減少する、との知見を得ている³⁾。

本調査は、下水処理水の残留塩素濃度が魚類に及ぼす影響を把握することを目的とした室内水槽実験を行うとともに、水温および PO_4-P 濃度が付着藻類に及ぼす影響を把握することを目的とした室内水路実験を行った。

2. 調査方法

2.1. 残留塩素濃度が魚類に及ぼす影響に関する室内水槽実験

茨城県霞ヶ浦浄化センター内の実験施設（湖北総合実験施設）に水槽を設置し、残留塩素濃度の違いが魚類に及ぼす影響に関する実験を行った。実験に当たっては、文献に記載の方法を参照した⁴⁾。残留塩素は、全残留塩素(TRC)濃度および遊離残留塩素(Free Residual Chlorine : 以下、FRC)濃度で評価することとした。供試魚は淡水魚の金魚(*Carassius auratus var.*)を使用した。実験回数は 4 回、1 回当たりの実験期間は 5 日間であり、実験開始 24 時間、48 時間、72 時間および 96 時間後の死魚数を記録した。生死の判定は、1)呼吸のない状態で浮遊若しくは沈降している、2)外部からの刺激に反応しない、ことによった。

2.1.1. 装置の概要

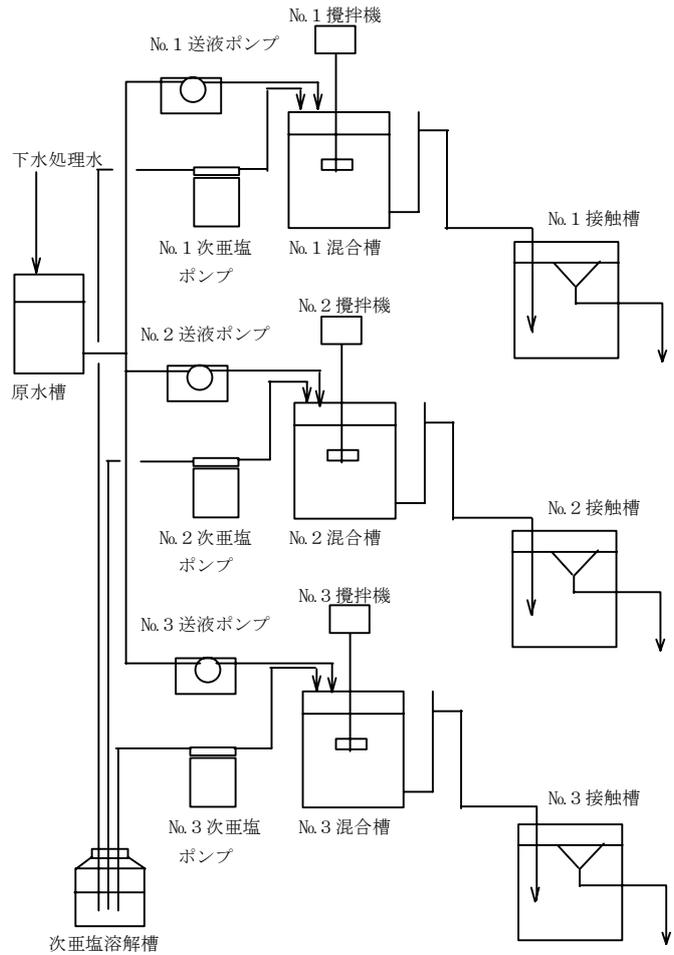
室内水槽実験装置の概略図を図-1 に示す。装置は、原水槽、薬品溶解槽、薬品および原水供給ポンプ、薬品混合槽および塩素接触槽（径 ϕ 375mm×高さ H500mm、実効容量 40L）で構成されており、3 段階の水質レベルを設定することが可能な装備となっている。実験は、一定濃度の試験水を連続的に供給する流水式で行い、接触槽内の滞留時間は送水装置の能力等から 100 分とした。

2.1.2. 水質設定

実験施設が設置されている浄化センターから未消毒の高度処理水（凝集剤添加活性汚泥法、嫌気－無酸素－好気法、凝集剤併用型循環式硝化脱窒法が混合された後に急速ろ過）を各混合槽に導水し、高濃度の次亜塩素酸ナトリウム溶液を定量ポンプで各混合槽に供給して処理水と混合攪拌することによって残留塩素濃度が異なる試水を調整したうえで各水槽に供給した（図－1）。実験は、1 回当たり 3 段階の残留塩素濃度を設定し、設定濃度を変更して合計 4 回実施した。各実験における供試原水の水質を表－1 に、各濃度の水温、pH、DO および残留塩素濃度を表－2 にそれぞれ示す。

2.1.3. 供試魚

金魚は購入魚を使用した。入手した供試魚は、実験に供するまでの一定期間、未消毒の高度処理水で飼育した。実験に際しては、1 回当たり 30 尾の供試魚の全長および体重を測定し、魚体密度が均等になるように選定したうえで 10 尾ずつ各槽に配して実験に供した⁴⁾。供試魚の全長および体重を表－3 に示す。



図－1 室内水槽実験装置概略図

表－1 供試原水の水質

Run No.	BOD	TOC	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	T-P	PO ₄ -P	S ₂ O ₂
I	7.0 × 10 ⁻¹	2.4	4.9	6.0 × 10 ⁻³	3.9	4.8 × 10 ⁻²	7.1 × 10 ⁻¹	6.6 × 10 ⁻¹	1.1 × 10 ¹
II	1.5	3.5	7.8	5.0 × 10 ⁻²	6.5	3.4 × 10 ⁻²	6.4 × 10 ⁻¹	5.5 × 10 ⁻¹	1.4 × 10 ¹
III	2.2	3.6	6.7	1.5 × 10 ⁻²	6.0	5.5 × 10 ⁻²	2.4 × 10 ⁻²	5.1 × 10 ⁻¹	1.4 × 10 ¹
IV	6.1 × 10 ⁻¹	5.6	7.7	2.8 × 10 ⁻²	6.6	4.2 × 10 ⁻²	2.9 × 10 ⁻¹	2.3 × 10 ⁻¹	1.1 × 10 ¹

表－2 実験条件（実験期間平均値）

Run No.	系列	水温 °C	pH	DO (mg/L)	全残留塩素濃度 (mg/L)	遊離残留塩素濃度 (mg/L)
I	1	23	7.5	3.1	1.1	9.1 × 10 ⁻¹
	2	22	7.5	3.1	4.5 × 10 ⁻¹	1.4 × 10 ⁻¹
	3	22	7.4	2.9	9.4 × 10 ⁻²	3.8 × 10 ⁻²
II	1	21	7.5	2.9	4.1 × 10 ⁻¹	1.2 × 10 ⁻¹
	2	21	7.6	2.8	3.5 × 10 ⁻¹	8.3 × 10 ⁻²
	3	21	7.5	2.8	3.1 × 10 ⁻¹	7.6 × 10 ⁻²
III	1	19	7.7	2.7	5.0 × 10 ⁻¹	1.7 × 10 ⁻¹
	2	20	7.7	2.8	4.4 × 10 ⁻¹	1.9 × 10 ⁻¹
	3	20	7.7	2.8	4.0 × 10 ⁻¹	1.4 × 10 ⁻¹
IV	1	15	7.5	4.9	5.0 × 10 ⁻¹	2.2 × 10 ⁻¹
	2	15	7.4	4.8	4.3 × 10 ⁻¹	1.7 × 10 ⁻¹
	3	15	7.4	4.9	4.1 × 10 ⁻¹	1.8 × 10 ⁻¹

表－3 供試魚の全長および
体重（10尾平均値）

Run No.	系列	全長 (mm)	体重 (g)
I	1	69	4.8
	2	73	6.2
	3	68	5.0
II	1	69	5.2
	2	67	4.5
	3	63	4.1
III	1	69	5.5
	2	71	4.8
	3	61	4.0
IV	1	56	2.8
	2	57	2.7
	3	56	2.2

2.1.4. 分析

分析項目は、生物学的酸素要求量(BOD)、有機性炭素(TOC)、窒素化合物(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N)、リン化合物(T-P,PO₄-P)、水温、pH、溶存酸素(DO)、残留塩素濃度である。

BOD は、河川水質試験方法（案）⁵⁾⁹.に記載の一般希釈法により測定した。

TOC は、河川水質試験方法（案）⁵⁾⁵⁵.に記載の燃焼酸化-赤外線分析法により測定した。

窒素化合物(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N)は、河川水質試験方法（案）⁵⁾⁵³.に記載の自動分析法およびペルオキシ二硫酸カリウム分解-銅・カドミウムカラム還元法により測定した。

リン化合物(T-P,PO₄-P)は、河川水質試験方法（案）⁵⁾⁵⁴.に記載の自動分析法およびペルオキシ二硫酸カリウム分解-吸光度法により測定した。

水温および pH は、横河電機製パーソナル pH メーターMODEL PH82 を用いたガラス電極法により測定した。

DO は、堀場製作所製 PH/DO METERD-55 を用いた隔膜式ガルバニ電池法により測定した。

残留塩素は、HACH 社製 DR/700 COLORIMETER を用いた DPD 法により測定した。

2.2. 下水処理水の水温および PO₄-P 濃度が付着藻類に及ぼす影響に関する室内水路実験

湖北総合実験施設に設置してある実験水路を用いて、水温および PO₄-P 濃度の違いが付着藻類に及ぼす影響に関する実験を行った。

2.2.1. 装置の概要

実験装置の概略図を図-2 に示す。装置は、恒温槽 2 槽、幅 5cm、長さ 120cm の水路 6 系列、および薬品混合槽 4 槽で構成され、恒温槽によって水温条件を、また、薬品混合槽によって水質条件をそれぞれ変化さ

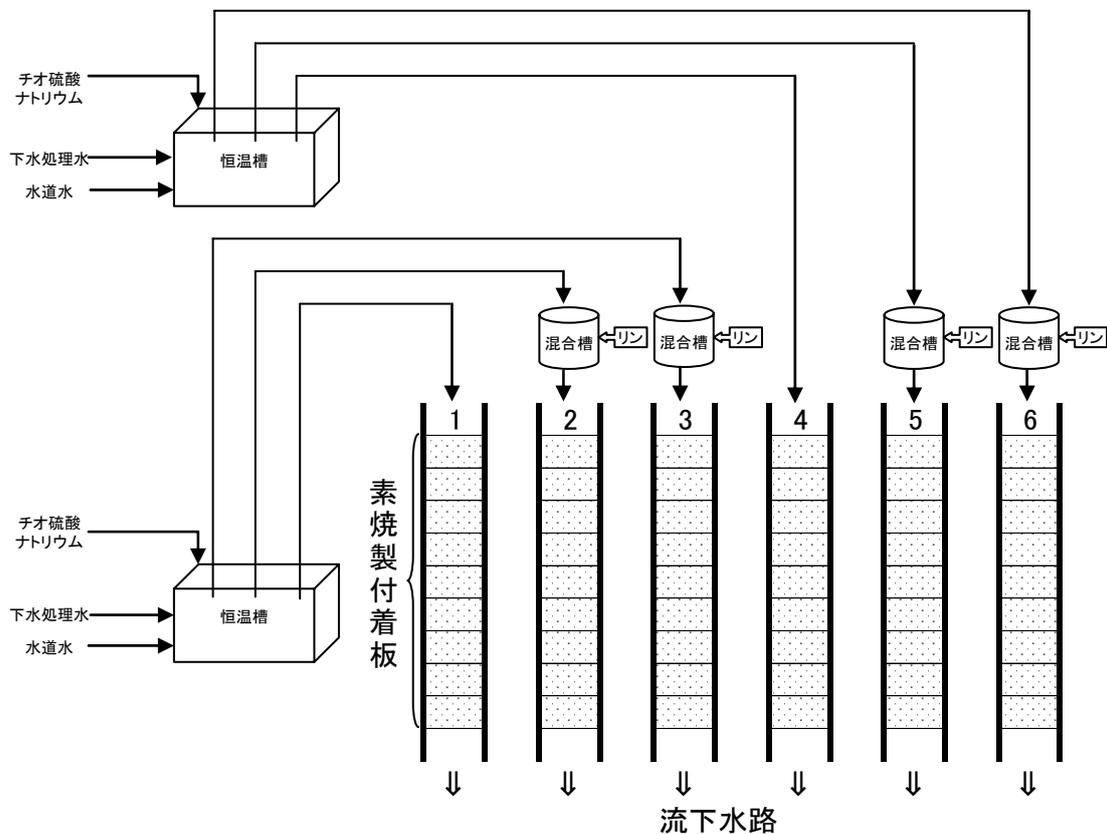


図-2 水路実験概略図

せることが可能な装備となっている。水路における水深、流速および照度を表-4 に示す。水深および流速は、送水装置の能力等を考慮して設定した。照度は、人工照明によって明：暗=12h：12h に設定した。各水路の底部には、付着基板として素焼き製の板(1枚 4.5cm×9cm)を12枚ずつ敷き、この板に付着して生育した藻類をブラシで採取し、分析試料とした。

2.2.2. 水温および水質設定

実験施設が設置されている浄化センターから未消毒の高度処理水を各恒温槽に導水し、処理水の栄養塩類濃度を希釈する目的で水道水(処理水：水道水=1：9)を、また、水道水に含まれる塩素を中和する目的でチオ硫酸ナトリウムをそれぞれ加えたうえで設定温度まで加温した。さらに、各系列前段にある混合槽でリン酸水素二カリウムを加えて、水温および栄養塩類濃度が異なる試験水を調製したうえで各水路へ供給した(図-2)。下水処理水の水質を表-5 に、設定した水温および PO₄-P 濃度を表-6 にそれぞれ示す。

表-4 水理および光条件

水深 (cm)	2.7
流速 (cm/s)	8.4
照度 (lx)	6,800

表-5 下水処理水の水質
(実験期間平均値)

水温	°C	13
BOD	mg/L	1.4
TOC	mg/L	3.2
T-N	mg/L	1.2
NH ₄ -N	mg/L	2.1 × 10 ⁻²
NO ₂ -N	mg/L	3.7 × 10 ⁻²
NO ₃ -N	mg/L	8.5 × 10 ⁻¹
T-P	mg/L	4.6 × 10 ⁻¹
PO ₄ -P	mg/L	4.5 × 10 ⁻¹

表-6 設定水温および濃度 (実験期間平均値)

系列	1	2	3	4	5	6
水温	低			高		
PO ₄ -P濃度レベル	低	中	高	低	中	高
水温 °C	11			15		
PO ₄ -P mg/L	3.1 × 10 ⁻²	1.1 × 10 ⁻¹	1.1	1.4 × 10 ⁻²	8.9 × 10 ⁻²	1.3

2.2.3. 分析

実験水路に素焼き製の付着板をサンプリング回数分設置し、1週間おきに付着板を回収して付着藻類を採取するとともに、水質分析用サンプルも併せて採取した。

分析項目として、BOD、TOC、窒素化合物(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N)、リン化合物(T-P,PO₄-P)、シリカ(SiO₂)、流速、照度、クロロフィル a (Chl-a)について分析を行った。

BOD、TOC、窒素化合物、リン化合物については、2.1.4.と同様の方法により測定した。

SiO₂は、河川水質試験法(案)⁵⁾⁴⁹.に記載のモリブデン青吸光光度法により測定した。

流速は、KENEK社製 VE10 を用いた電磁式により測定した。

照度は、DeltaOHM社製照度計 DO9721 を用いて測定した。

Chl-aは、河川水質試験法(案)⁵⁾⁵⁸.に記載の三波長吸光光度法により測定した。

3. 調査結果および考察

3.1. 残留塩素濃度が魚類に及ぼす影響に関する室内水槽実験

実験開始96時間後における TRC および FRC 濃度(mg/L)と金魚死亡率(%)の関係を図-3 および図-4 にそれぞれ示す。なお、死亡率(%)は死魚数/供試魚数(1槽当たり10尾)×100で算定した。TRC濃度を0.094~1.1mg/L、FRC濃度を0.038~0.91mg/Lの濃度範囲で変化させて、金魚の生息状況を観察した結果、TRC濃度が0.4~1.1mg/L、FRC濃度が0.12~0.91mg/Lの濃度範囲において、濃度が高くなるにつれて金魚の死亡率が上昇する結果となった。

TRC濃度0.45mg/L、FRC濃度0.14mg/Lのケース(2回目、系列2)において死亡率が100%となり、他の

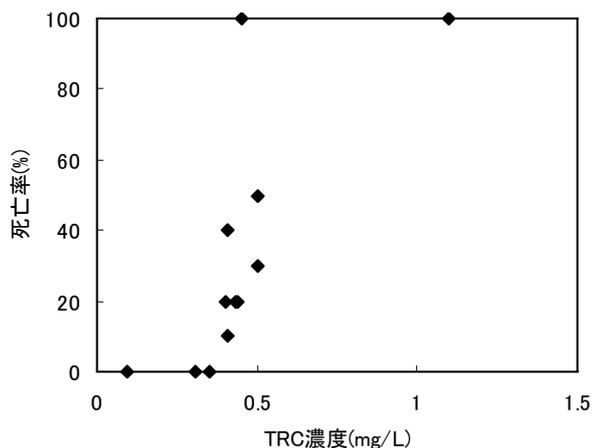


図-3 TRC 濃度と金魚死亡率の関係

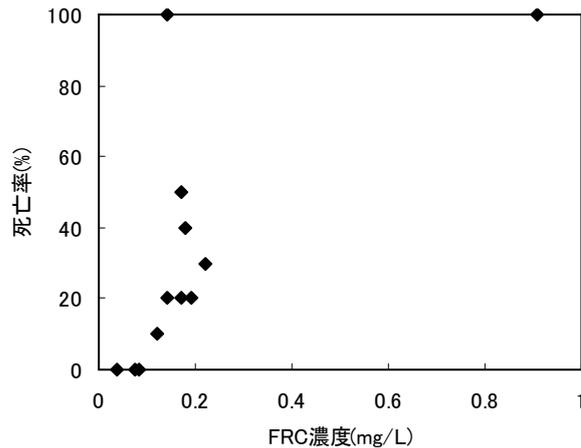


図-4 FRC 濃度と金魚死亡率の関係

ケースに比べて高い傾向を示した。原因としては、実験期間中の残留塩素の微妙な変化等が考えられるが、TRC 濃度 0.4mg/L 以上、FRC 濃度 0.12mg/L の濃度範囲は、残留塩素の僅かな変化が金魚の生息に大きな影響を及ぼす濃度域であると推察される。

下水処理水は、放流先水域における衛生的な安全性を高める目的で消毒が行われており、消毒方法として塩素消毒が多くの下水処理場で採用されている。塩素消毒された下水処理水に含まれる残留塩素の水生生物に対する毒性は一般的に認識されており、今回行った実験からも金魚に対する毒性が認められる濃度域が確認された。

塩素消毒された下水処理水を再生水としてせせらぎ等に活用する場合、衛生的安全性の確保と水生生物の保全の両立が課題となっている。親水用水の残留塩素に関する管理目標値は FRC 濃度で 0.1mg/L 以上を確保することとなっている⁶⁾が、今回の実験において、FRC 濃度 0.12mg/L 以上で金魚の死亡率が増加傾向を示したことを考えると、その両立は難しいものと推察される。したがって、放流域の生態系を保全する観点から塩素消毒の水生生物への影響をなくすことが優先される場合は、塩素を中和することによって毒性を低減させる、他の消毒方法に変更する等を検討する必要がある。

3.2. 下水処理水の水温および PO₄-P 濃度が付着藻類に及ぼす影響に関する室内水路実験

藻類の増殖に影響を及ぼす環境因子の一つに温度（水温）がある。温度は生体反応の進行を律する因子であり、藻細胞の増殖は細胞内で進行する生体反応の総合的結果であるから、生体反応のもつ温度特性を反映した温度依存性を示すこととなる⁷⁾。

藻類の温度に対する反応はふつうの生物の場合と同様で、栄養が十分にある条件下では最適温度に達するまでは温度上昇にしたがって増殖速度が高まり、それ以上になると低下する。一方、栄養制限下における温度に対する反応は、藻類の種類ごとに異なり、また極めて複雑な問題である⁸⁾。

水温を 11℃および 15℃の 2 段階、PO₄-P 濃度レベルを 0.014~1.3mg/L の濃度範囲において 3 段階それぞれ設定して行った今回の水路実験においては、水温が高い場合に、PO₄-P 濃度が藻類の増殖速度により強い影響を及ぼす傾向を示した（図-5）。設定した PO₄-P 濃度レベル全てにおいて、水温の高い場合のほうが生物量の多い結果になったことを考えると、今回設定した水温および濃度範囲においては、水温の違いが付着藻類の増殖に、より大きな影響を及ぼしたものと推察される。

栄養塩類濃度および水温が一般的な河川水に比べて高い下水処理水を河川等に放流する場合、栄養塩類濃度に加えて水温が放流先水生生物に大きな影響を及ぼす可能性があることを認識するとともに、その影響を低減するための対策を講ずる必要がある。

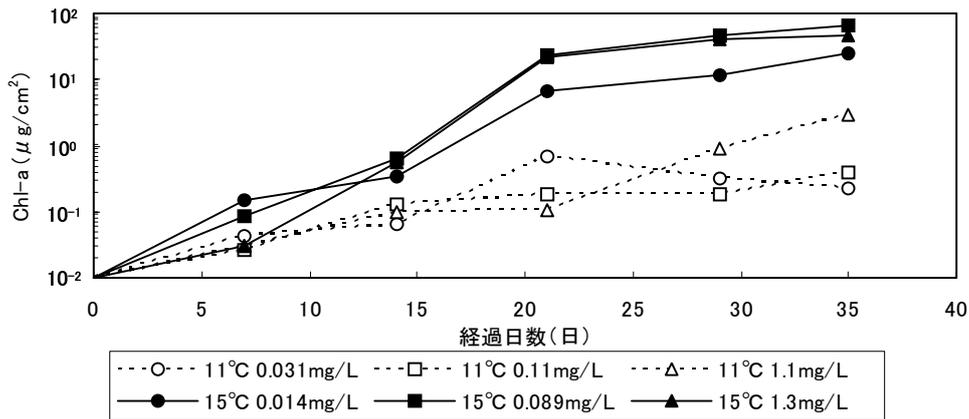


図-5 水温および PO₄-P 濃度と付着藻類生物量(Chl-a)の関係

4. まとめ

本調査は、下水処理水の残留塩素濃度が魚類に及ぼす影響を把握することを目的とした室内水槽実験を行うとともに、水温および PO₄-P 濃度が付着藻類に及ぼす影響を把握することを目的とした室内水路実験を行った。その結果以下のことが分かった。

- ・ 全残留塩素(TRC)濃度が 0.4~1.1mg/L、遊離残留塩素(FRC)濃度が 0.12~0.91mg/L の濃度範囲において、残留塩素濃度が高くなるにつれて金魚の死亡率が上昇した。
- ・ 水温が 11°C および 15°C、PO₄-P 濃度が 0.014~1.3mg/L の濃度範囲においては、水温が高い場合に、PO₄-P 濃度が藻類の増殖速度により強い影響を及ぼす傾向を示した。

本研究は、下水処理水が放流先水生生物に及ぼす影響因子として「栄養塩類（窒素・リン）」、「塩素等による消毒」、「水温」に注目し、これらの因子が水生生物に及ぼす影響を定量的に把握することを目的として平成 13 年度から平成 17 年度にかけて行われた。その結果、リン酸態リン(PO₄-P)濃度、全残留塩素(TRC)濃度、および水温と付着藻類並びに金魚との関係に関する定量的な知見を得ることが出来た。得られた成果は下水処理における高度処理導入の評価や下水処理レベルの目標設定等の基礎情報になる他、下水処理水再利用水質基準等マニュアルの改訂に反映され、生態系に配慮した下水処理の実施、円滑な処理水再利用の導入、適切な再利用施設の維持管理等に資するものである。

なお、本研究は、地球環境保全等試験研究費により実施されたものである。

【参考文献】

- 1) 下水道統計 平成 15 年度版、(社) 日本下水道協会
- 2) 日本の下水道 平成 16 年版、(社) 日本下水道協会
- 3) 荒谷裕介、竹歳健治、田嶋淳、中島英一郎、南山瑞彦：下水処理水中の栄養塩類濃度および残留塩素濃度と放流先に生成する付着藻類相の関係、下水道協会誌、Vol.42、No.510、111-123、2005/04
- 4) 下水試験方法 1997 年版、(社) 日本下水道協会
- 5) 河川水質試験方法(案) 1997 年版、建設省河川局監修
- 6) 下水処理水の再利用水質基準等マニュアル 平成 17 年 4 月 国土交通省都市・地域整備局下水道部 国土交通省国土技術政策総合研究所
- 7) 秋山 優、有賀 祐勝、坂本 充、横浜 康継 共著：藻類の生態、内田老鶴圃
- 8) W.M.ダーリー 著：藻類の生理生態学、培風館

2. 河川等環境中における化学物質リスクの評価に関する研究

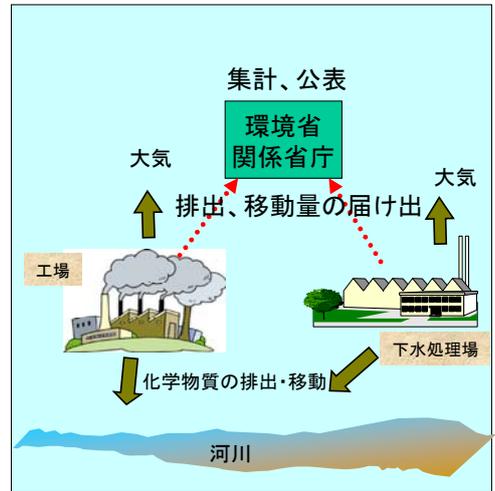
下水道研究部長	酒井 憲司
下水道研究官	清水 俊昭
下水処理研究室	室 長 南山 瑞彦
	研 究 官 山縣 弘樹

1. 研究の概要

河川等環境中には、工場、家庭、農地等から様々な化学物質が流入しており、人の健康保護や水生生物保全の観点から、これら化学物質の管理は重要な課題となってきた。特に、平成 15 年に水生生物に係る水質環境基準（亜鉛）が設けられ、環境ホルモンによる水生生物への影響が懸念されるなど、近年管理の対象とすべき化学物質の種類は増加している。

公共用水域や下水道を管理する国土交通省や地方公共団体は、様々な種類の化学物質の水環境中の実態を効率的に把握したうえで、地域の利害関係者とともに対策を講ずることが求められる。しかしながら、膨大な種類の化学物質について、流域単位で発生源や水環境中での存在量を把握することは、技術的にも経済的にも不可能に近く、さらに人や生態系へのリスクを評価し、流域内の関係者が一体となってリスク管理を行うことは容易ではない。

こうしたなかで、平成 11 年に「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」によって PRTR 制度（Pollutant Release and Transfer Register：環境汚染物質排出移動登録制度）が導入され、事業者は第 1 種特定化学物質（354 物質）の排出や移動を報告する義務が生じ、その情報が一般に公開されるようになった。そこで PRTR の情報を基に、河川流域における化学物質の排出量を把握し、その結果を地域の関係者と共有して、流域のリスク管理を進める手法を確立することを目的とした研究を実施した。



図—1 PRTR制度のスキーム

2. PRTR を活用した流域での化学物質の実態把握手法の検討

2. 1 目的

PRTR では、第 1 種指定化学物質の取扱量 1t/年以上かつ従業員数 21 名以上の事業所については、年間の水域、大気、土壌への排出量と下水道・廃棄物への移行量について届出の義務があり、その事業所毎の排出量（届出排出量）¹⁾を入手することができる。また、取扱量や従業員数が一定未満の事業所（裾切以下事業所）、農地、家庭、自動車等由来の化学物質排出量（届出外排出量）については都道府県毎の推計値²⁾が公表されている。PRTR の情報を河川流域における化学物質の排出量の把握に活用することができれば、排出削減対策を行うべき排出源の効率的な絞り込みが可能になるなど施策への活用が期待される。しかし、PRTR の情報で河川流域における化学物質の排出量の把握がどの程度可能かの検討はほとんど行われていない。

そこで、平成 17 年度は、流域の基礎情報を収集した上で、流域毎の届出排出量、届出外排出量を推計し、平成 15～17 年度における本研究でのモデル河川での実測調査結果と比較することにより、河川

流域における化学物質の排出量の把握への PRTR 情報の活用可能性の検討を行った。

2. 2 対象地域及び対象化学物質の選定

(1) 対象地域の選定

平成 13 年度の PRTR の集計結果を用いて、①関東地方にある、②化学物質の流入量が多い、③適当な規模である（大きすぎない）の条件を満たす谷田川（群馬県館林市）をモデル河川に選定した。図-2 にモデル河川における測定ポイントと流域の PRTR 届出事業場の位置を、図-3 にその模式図を示す。

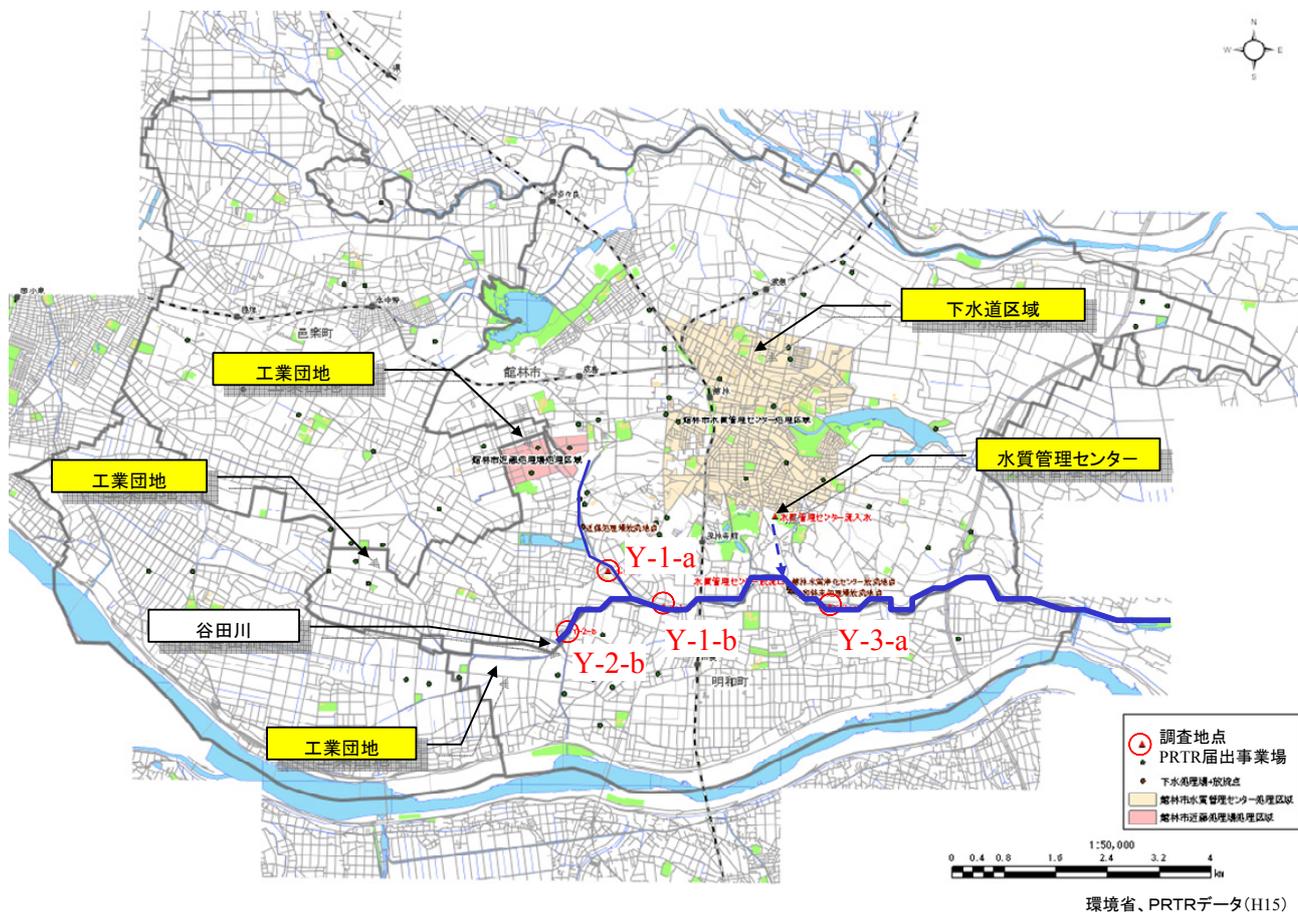


図-2 モデル河川における水質測定点および下水道区域、PRTR 排出事業場の位置
流量(2005.12.7)

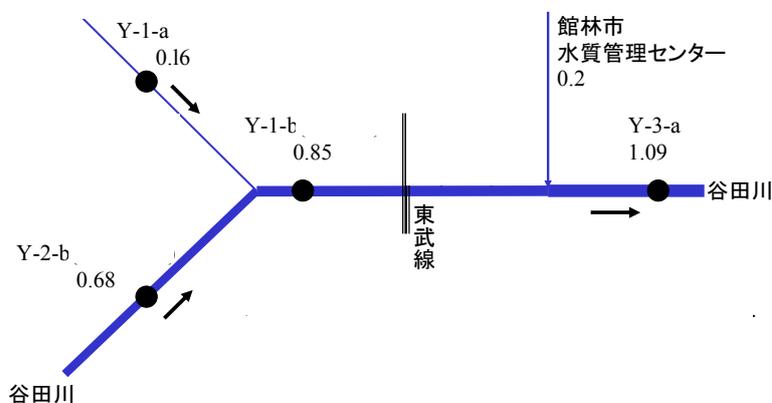


図-3 モデル河川の模式図 (単位はm³/s)

(2) 対象化学物質の選定

対象地域において、PRTR を活用した化学物質排出量の推定を行う対象物質を選定するために、人の健康に関する環境基準及び要監視項目、水環境保全に向けた取組のための要調査項目、水生生物保全に関する環境基準及び要監視項目、平成 13 年度 PRTR における公共用水域への排出量上位物質及び下水道からの排出量上位物質、河川において重要と考えられる内分泌かく乱物質等の情報を基に、30 物質を選定した。これらについて、平成 15～17 年度に河川での実態調査を行った。

水質測定ポイントは、下水処理場（工業排水のみ受け入れ）の直下（Y-1-a）、上流に工業地帯を抱える地点（Y-2-b）、Y-1-a と Y-2-b からの河川が合流する地点（Y-1-b）、下水処理場の放流水が流入した下流の地点（Y-3-a）の河川 4 箇所と、館林市水質管理センターの流入水及び放流水である。それぞれの箇所 3 時間ごとの 24 時間コンポジット試料を作成した。河川での測定対象試料は水質、懸濁態、底質の 3 種類とした。また、河川の測定点では流量調査も行った。水質測定は平成 16 年 2、3 月の計 2 回実施した。各物質の検出状況を表-1 に示す。

表-1 対象流域における調査対象化学物質及び検出状況

項目	グルーピングの境界条件		政令番号	CAS番号	物質名(政令記載名)	H15分析	H16分析	検出	PRTR開示	環境基準健康項目	環境基準水生生物	要監視健康項目	要監視水生生物	要調査		
	揮発性	吸着性														
有機物	1	～1.0×10 ⁻³ ～3 (揮発しにくい)	～3(Log Pow) (吸着しにくい)	43	107-21-1	エチレングリコール	○		○	○						
				58	111-87-5	1-オクタノール	○							○		
				172	68-12-2	NN-ジメチルホルムアミド	○			○						
				208	75-87-6	トリクロロアセトアルデヒド	○									
				233	139-13-9	ニトリロ三酢酸	○									○
				266	108-95-2	フェノール	○			○					○	
				-	50-27-1	エストリオール	○									
	2	～1.0×10 ⁻³ ～3 (揮発しにくい)	3(Log Pow)～ (吸着しやすい)	242	25154-52-3	ノニルフェノール	○	○	○							
				-	112-30-1	1-デシルアルコール(1-デカノール)	○								○	
				-	143-08-8	1-ノナノール(1-ノニルアルコール)	○								○	
				-	50-28-2	17β エストラジオール	○	○								
				-	53-16-7	エストロン	○	○	○							
	3	1.0×10 ⁻³ ～ (揮発しやすい)	～3(Log Pow) (吸着しにくい)	95	67-66-3	クロロホルム	○		○				○	○		
				241	75-15-0	二硫化炭素	○		○						○	
	4	1.0×10 ⁻³ ～ (揮発しやすい)	3(Log Pow)～ (吸着しやすい)													
	5	物質群のため、情報を特定できない		-	-	ポリオキシエチレン型非イオン界面活性剤	○	○	○	○					○	
	6	情報が不明		309	9016-45-9	ノニルフェノールエトキシレート	○	○	○							
				-	139-33-3	エチレンジアミンテトラ酢酸二ナトリウム(EDTA)	○		○						○	
				-	3115-49-9	ノニルフェノキシ酢酸	○	○	○							
	無機物	7	無機物	1	-	亜鉛及び亜鉛の水溶性化合物	○	○	○	○		○				
68				-	クロム及び(3価クロム)化合物	○	○	○	○							
231				7440-02-0	ニッケル	○	○	○	○			○				
311				-	マンガン及びその化合物	○	○	○	○			○		○		
-				7440-61-1	ウラン	○									○	
-				7782-41-4	フッ素	○	○	○		○						
-				-	銅とその化合物	○	○	○	○							○
*230				7439-92-1	鉛	○	○		○	○						
*25				7440-36-0	アンチモン	○			○				○			
*252				7440-38-2	砒素	○	○	○	○	○						
*304				7440-42-8	ホウ素	○	○	○	○	○						
*60	7440-43-9	カドミウム	○			○	○									

H15・H16分析: H15年度、H16年度の存在量調査で分析対象とした項目

検出: 存在量調査で対象地点のうち2地点以上で検出された物質(対象地点とは[Y-1-a]、[Y-1-b]、[Y-2-b]、[Y-3-a]を指す。)

PRTR開示: 平成14年度PRTR開示データで排出届出がされている物質

グルーピングの境界条件は、下水道における化学物質リスク管理の手引き(案)(2001)⁹⁾より引用した。

検出された物質のうち、水生生物の保全に係る環境基準物質である亜鉛及び環境ホルモンであるノニルフェノール及びその前駆物質であるノニルフェノールエトキシレート・ノニルフェノキシ酢酸について、PRTRを活用した流域からの排出量の把握手法の検討を行うこととした。

2. 3 PRTRを活用した化学物質排出量の推定手法の検討

(1) PRTR 届出外排出量の推計対象とする排出源の選定

亜鉛、ノニルフェノール、ノニルフェノールエトキシレート、ノニルフェノキシ酢酸について、対象流域における届出外排出量の推定対象とする排出源は、表-2のとおり選定した。選定にあたっては平成15年度PRTR届出外排出量の推計方法等の概要²⁾で示されている排出源に加え、家庭からの生活雑排水も対象に含めることとした。

(2) 裾切以下事業所からの排出量の推計方法

裾切以下事業所からの排出量の推計は、群馬県から提供頂いた対象地域における特定施設の排水量データに、平成16年度水質汚濁物質排出量総合調査(環境省)⁴⁾に示される各物質の代表特定施設排水濃度を乗じることにより算出した。

(3) 農薬による排出量の推計方法

平成15年度PRTR届出外排出量の推計方法等の概要²⁾に示されている、対象物質の発生源となる土地利用(亜鉛であれば果樹園、ノニルフェノールエトキシレートであれば田、果樹園、畑、家庭、ゴルフ場、森林、その他の非農耕地)別の群馬県の排出量推計値を、群馬県の各土地利用毎の面積で除することにより、土地利用別の排出量原単位を推定した。なお、群馬県における田、果樹園、畑、家庭、森林、その他の非農耕地の面積は、各々耕地及び作付面積統計(平成15年度)⁵⁾、果樹生産出荷統計(平成15年度)⁶⁾、耕地及び作付面積統計(平成15年度)⁷⁾及び野菜生産出荷統計(平成15年度)⁷⁾、国土数値情報⁸⁾における建物用地面積、農林業センサス(2000年)⁹⁾における人工林面積、国土数値情報⁸⁾の土地利用メッシュ(1997年度版)の荒地面積から求め、ゴルフ場については対象地域内に存在しないことから推定対象から外した。

そして、対象流域における農薬からの対象物質の排出量は、推定された群馬県における土地利用別の排出量原単位を流域ごとの各土地利用面積に掛け合わせて推定した。対象流域における土地利用面積は、国土数値情報⁸⁾土地利用メッシュ(1997年度版)を用いたが、果樹園・畑については1997年度版では項目から削除されているため、1987年版を用いた。

(4) 生活雑排水による排出量の推計

生活雑排水による排出量の推計は、対象エリアにおける人口分布から流域ごとの人口を算出し、一人当たりの発生原単位を掛け合わせて算出した。なお、下水道整備区域に関しては、生活雑排水は全て下水処理場に流入するため、整備区域からの公共用水域への発生はないものとした。

人口分布は、平成12年国勢調査町丁・字等別人口データ¹⁰⁾を用いた。一人当たりの発生原単位は、平成17年12月7、8日における館林市水質管理センターでの流入下水の調査結果(3時間おきの24時間等量コンジット試料)を基に、1日あたりの対象物質の下水処理場への負荷量を求め、館林市の水洗化人口で除することにより求めた。なお、生活雑排水は公共用水域への放流前に浄化槽で処理されると考えられるため、浄化槽での除去率を設定する必要がある。亜鉛については、環境省中央環境審議会水環境部会水生生物保全排水規制等専門委員会における資料¹¹⁾に基づき除去率を20%と設定した。ノニルフェノール、ノニルフェノールエトキシレート、ノニルフェノキシ酢酸については、浄化槽での除

表—2 届出外排出量の推定対象とする排出源

	裾切以下	農薬	殺虫剤	生活雑排水
亜鉛	○	○		○
ノニルフェノール	○		○	○
ノニルフェノールエトキシレート		○	○	○
ノニルフェノキシ酢酸				○

去率に関するデータが無いため、除去率 0 と見なした。

(5) 実測値と予測値の比較

PRTR のデータの精度を検証するために、対象流域の化学物質排出量推計値 (PRTR 届出排出量 + PRTR 届出外排出量推計値：以下、予測値) と谷田川において現地調査を行った結果 (以下、実測値) との比較を行った。

実測値と予測値の比較検証地点は、現地調査を行った 4 地点 (Y-1-a、Y-1-b、Y-2-b、Y-3-a) とし、各地点の予測値は、流域界図をもとに各地点に流入するエリアの排出量の合計値とした。その結果を以下に示す。

① 亜鉛 (図-6)

亜鉛に関しては、実測値と予測値ではオーダーは等しくほぼ同程度の値を示した。亜鉛については流下過程で水域外への移行が無く、物質収支が取れる物質であるため、本方法によって、比較的精度良く推定できることが示唆された。予測値の内訳を見ると、Y-1-a では PRTR 届出排出量、Y-2-b、Y-1-b、Y-3-a では裾切以下事業所排出量が大半を占めており、対象河川に存在する亜鉛の発生源は主に事業所からの排出量であることが示唆された。

② ノニルフェノール (図-7)

ノニルフェノールの場合、Y-1-a では実測値が予測値の 5 倍程度であったが、Y-2-b、Y-1-b、Y-3-a では実測値と予測値がほぼ同程度の値を示した。

予測値の内訳を見ると、下水道未整備区域からの生活雑排水が大半を占めており、対象河川に存在するノニルフェノールの発生源は主に下水道未整備区域からの生活雑排水であることが示唆された。

③ ノニルフェノールエトキシレート (図-8)

ノニルフェノールエトキシレートの場合、全ての地点において予測値が実測値の 10 倍以上高かった。予測値の内訳を見ると、農薬が大半を占めていた。

実測値が予測値より低かった原因としては、以下のような課題があると考えられる。

- ・ 実測値が農閑期に調査したものであるため、農薬による河川への対象物質の流出が捉えきれなかった可能性がある。したがって、灌漑期の調査結果との比較を行う必要がある。
- ・ 農薬の届出外排出量推定方法は、使用量を推定するものであるため、土壌への吸着・蓄積等により、晴天時の対象河川への流出量は非常に少ない可能性がある。したがって、対象物質の農地への使用量と対象河川への流出量の関係について検討を行う必要がある。
- ・ 水環境に含まれるノニルフェノールエトキシレートは、環境中でノニルフェノキシ酢酸類などの中間体を経てノニルフェノールに化学変化すると言われている。したがって、対象河川に排出されたノニルフェノールエトキシレートが、ノニルフェノキシ酢酸やノニルフェノールに変化した可能性が考えられる。

④ ノニルフェノキシ酢酸 (図-9)

ノニルフェノキシ酢酸については、全ての地点において実測値が予測値の 3~5 倍程度高かった。予測値の内訳を見ると、下水道未整備区域からの生活雑排水が大半を占めていた。

実測値が予測値より高かった原因としては、以下のような課題があると考えられる。

- ・ 水環境に含まれるノニルフェノールエトキシレートは、環境中でノニルフェノキシ酢酸類などの中間体を経てノニルフェノールに化学変化すると言われている。したがって、対象河川に排出されたノニルフェノキシ酢酸がノニルフェノールに変化した可能性や、ノニルフェノールエトキシレートの分解によりノニルフェノキシ酢酸が生成した可能性などが考えられる。

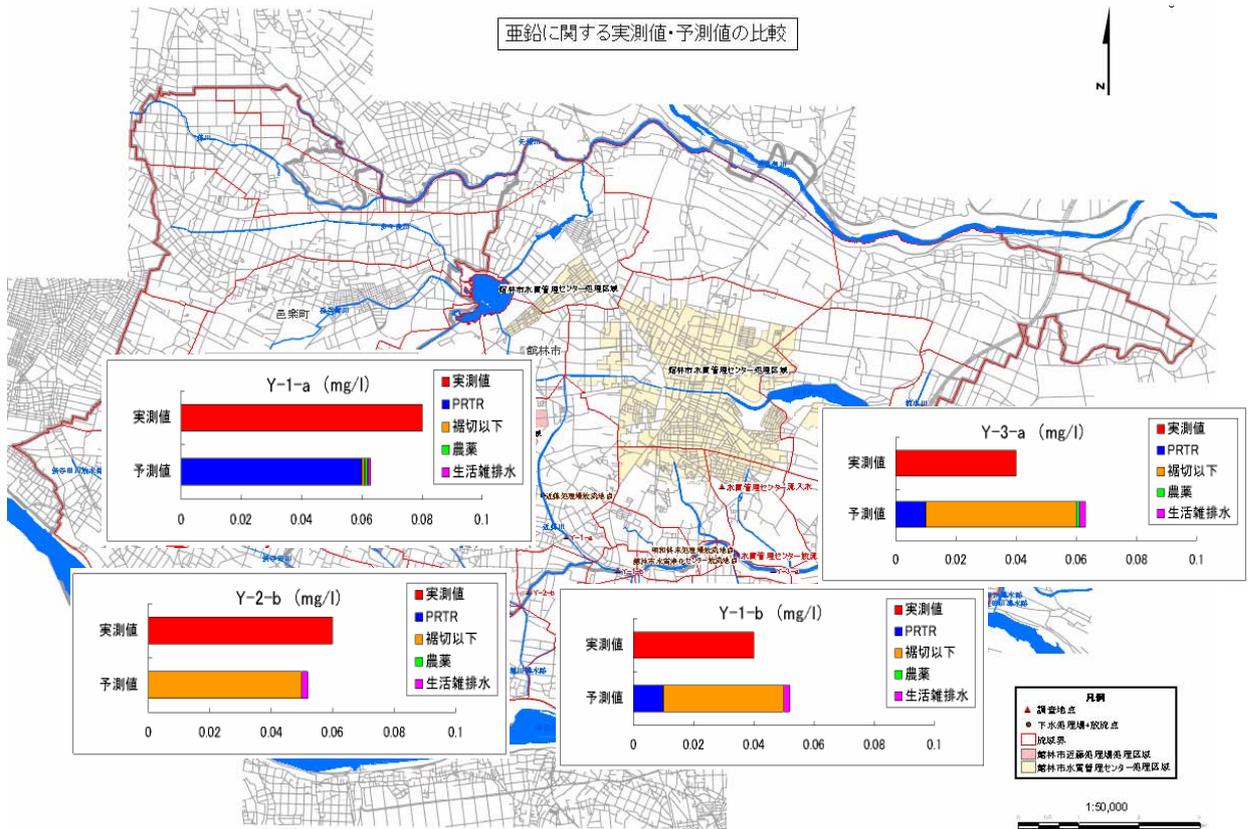


図-6 亜鉛に関する実測値と予測値の比較

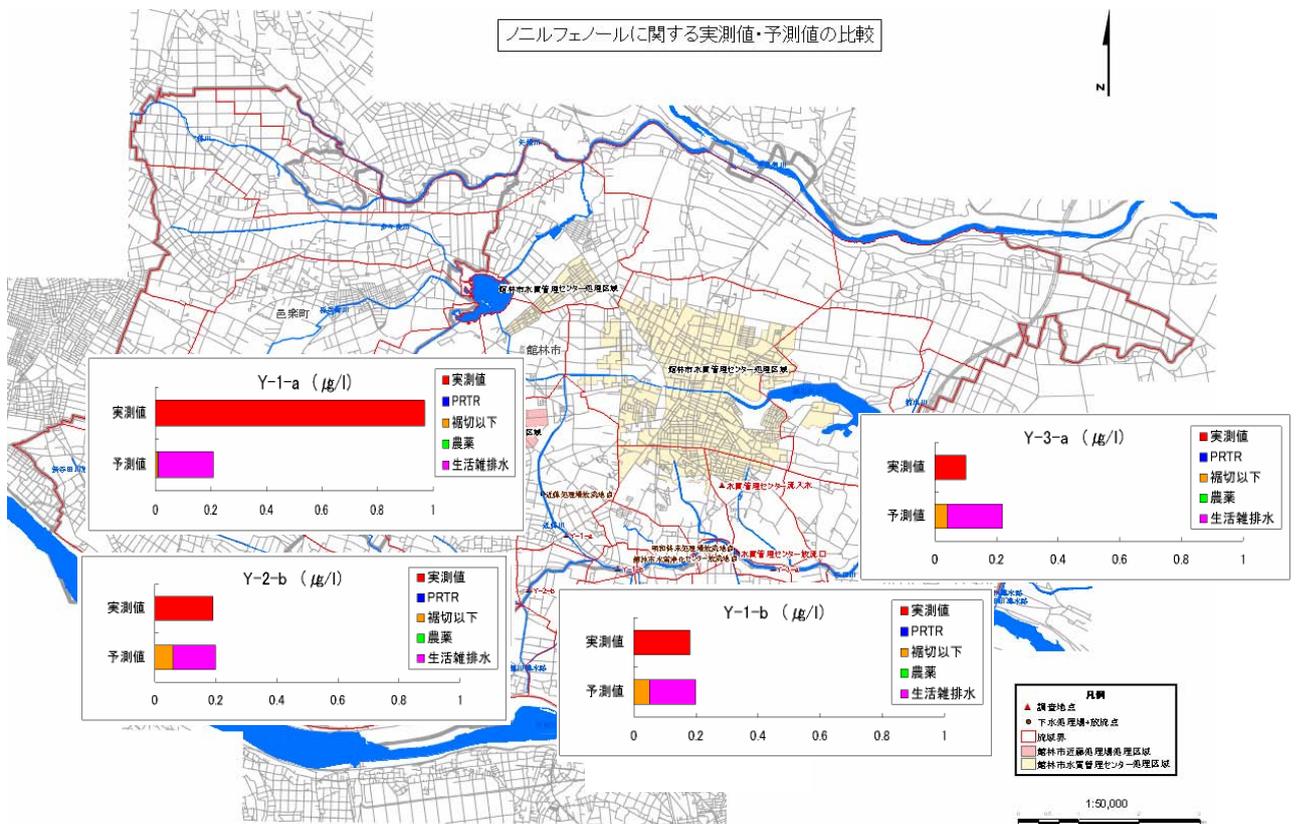


図-7 ノニルフェノールに関する実測値と予測値の比較

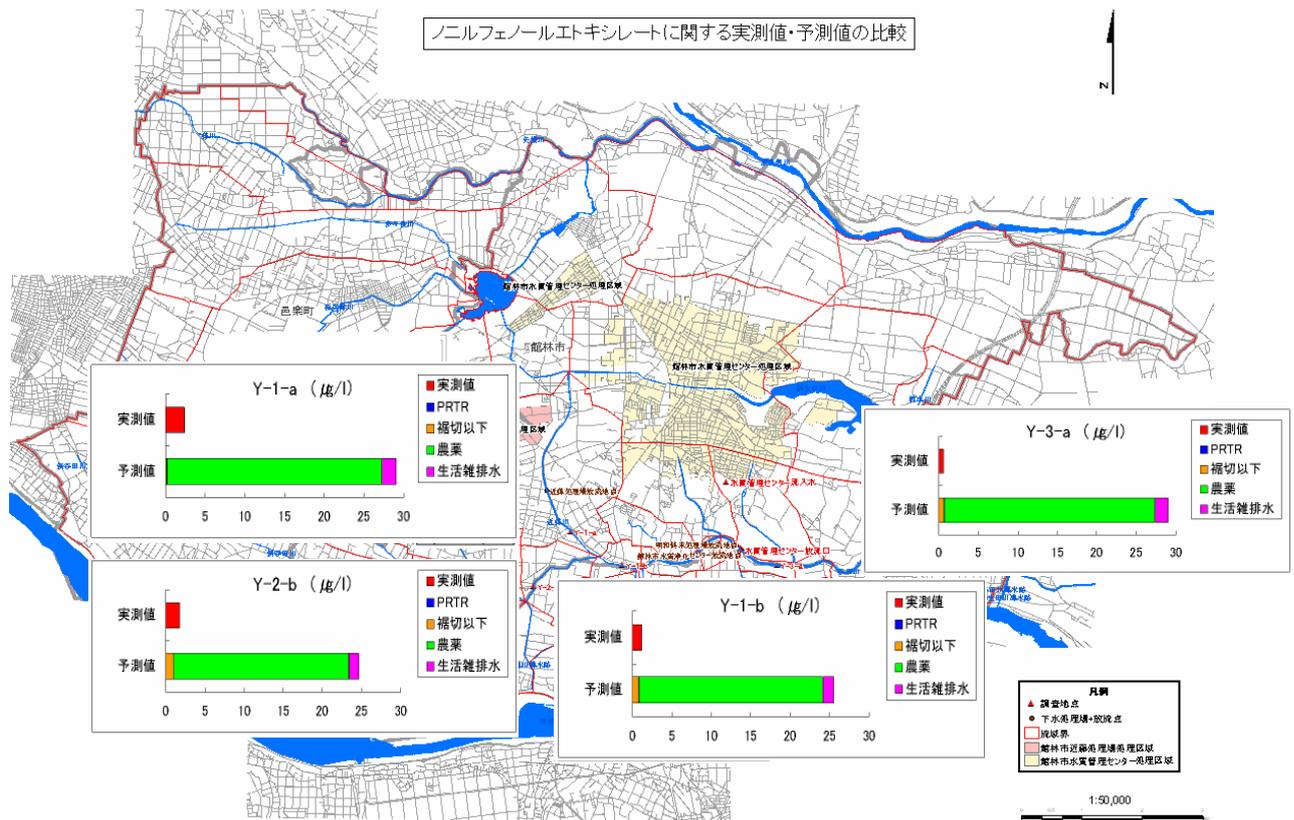


図-8 ノニルフェノールエトキシレートに関する実測値と予測値の比較

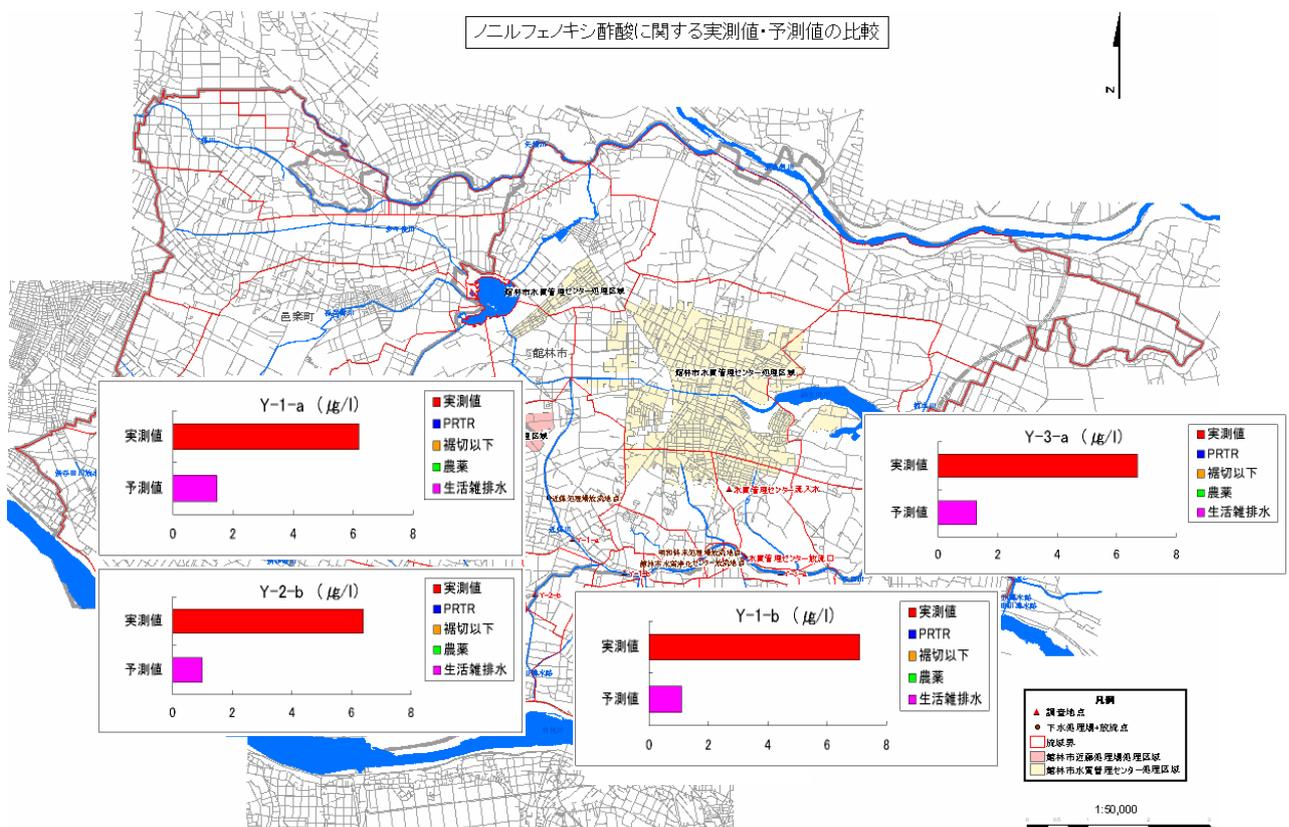


図-9 ノニルフェノキシ酢酸に関する実測値と予測値の比較

2. 4 まとめ

平成 17 年度は、工場排水や下水処理水が流入するモデル流域を対象に、流域毎の届出排出量、届出外排出量を推計し、平成 15～17 年度における本研究でのモデル河川での実測調査結果と比較することにより、河川流域における化学物質の排出量の把握への PRTR 情報の活用可能性の検討を行った。その結果、亜鉛及びノニルフェノールに関しては比較的精度良く推定でき、河川流域における化学物質の排出量の把握への PRTR 情報の活用可能性が示唆された。一方、ノニルフェノールエトキシレートやノニルフェノキシ酢酸については、水環境中での化学変化の影響等により推定精度にやや問題があった。また、農薬による河川への対象物質の排出量の推定については、今回は十分な検討ができなかったため、今後の課題としたい。

3. おわりに

本研究では、PRTR の情報を基に、河川流域における化学物質の排出量を把握し、その結果を地域の関係者と共有して、流域のリスク管理を進める手法について検討した。このうち、本報告書では、PRTR を活用した流域での化学物質の実態把握手法の検討結果をまとめた。一方、流域における化学物質リスクのコミュニケーション手法やそのツール（化学物質リスク動態マップ）の開発については、環境研究部河川環境研究室及び高度情報化研究センター住宅情報システム研究官が担当した。本研究全体の概要については、総合科学技術会議化学物質リスク総合管理技術研究イニシアティブの報告書¹²⁾などを参照されたい。

化学物質のリスク評価については、まだ未解明な部分が多く、微量化学物質の生態系への影響や、化学物質の暴露と次世代への健康影響等に関する知見は第 3 期科学技術基本計画（平成 18～22 年度）の進展を待つ必要がある。また水環境保全の観点から化学物質リスクの管理に関して河川管理者が担うべき役割について更に検討を進め、河川事務所や地方公共団体に向けた実務的な化学物質リスク管理手法を構築する必要があると考えられる。

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)環境省・経済産業省、PRTR 特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律第 11 条に基づく開示 ファイル記録事項（全データ）CD-ROM
- 2)環境省、平成 15 年度 PRTR 届出外排出量の推計方法等の概要
- 3)日本下水道協会(2001)、下水道における化学物質リスク管理の手引き(案)
- 4)環境省、平成 16 年度水質汚濁物質排出量総合調査
- 5)農林水産省、耕地及び作付面積統計（平成 15 年度）
- 6)農林水産省、果樹生産出荷統計（平成 15 年度）
- 7)農林水産省、野菜生産出荷統計（平成 15 年度）
- 8)国土交通省、国土数値情報
- 9)農林水産省、農林業センサス（2000 年）
- 10)総務省、国勢調査（平成 12 年）
- 11)環境省、中央環境審議会水環境部会水生生物保全排水規制等専門委員会（第 2 回）資料 3-2
- 12)酒井憲司・小林英之・藤田光一（2006）：河川流域のリスクマネジメント手法の開発、「化学物質リスク総合管理技術研究の現状」、総合科学技術会議化学技術リスク総合管理技術研究イニシアティブ、pp.197-202、http://www8.cao.go.jp/cstp/project/envpt/pub/H17chem_report/h17chem-index.html
- 13) H.Yamagata, H.Saino, M.Minamiyama and M.Takahashi (2006): Comprehensive Management of Chemical Substances in a Water Environment Using PRTR Data, Water Science and Technology, International Water Association, 53(11), pp.99-106 (Selected Proceedings of the International Conference "Sustainable Development of Chemical Industries with the Environment" of International Water Association, Tsukuba, Japan, 14-16 July, 2005)

3. 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 平出 亮輔
研究員 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の問題が進行している。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、ガンジス川への汚水、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。このため、まず現地における汚濁負荷源の基礎的な調査を行い、その後、調査データ、収集資料を使い政策シナリオの作成を行うこととする。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

2. 問題点の整理

問題点の第 1 は、都市部への人口の集中、増加である。現地の下水道担当者への聞き取り調査によると、電気、水道、道路などの整備を優先し、下水道整備に予算がつかず、人口の増加速度に下水道整備が追いついていない状態にあるとのことであった。このような状態では、処理されていない汚水等の汚濁物が都市部を抜ける河川や周辺の湖などの水辺環境へ流入し、水質汚濁の問題が表面化する。水道水を汚染された水辺に依存している場合は、特に大きな問題と考えられる。ニューデリーにおいても同様の問題が表面化しているとのことであった。

第2の問題点は、自然環境に由来するものである。インドの気候は、ヒマラヤ山脈周辺の亜寒帯、寒帯気候から、西北部の砂漠気候を含む乾燥気候、中部から東部の温帯気候、南部の熱帯気候と地域によって様々である。降雨の特徴は、インド全域で、夏季に南西モンスーンの影響により大陸に湿った暖かい空気が入り降雨が多く、冬季は逆風の北西モンスーンの大陸内部からの空気が入り降雨が少ない傾向にある³⁾。特にガンジス川流域では、7～8月の雨季にのみ降雨が多く、その他の時期はあまり雨が降らない(図-2⁴⁾)。降雨が偏ると、河川の水量の変動が激しくなり、有効に河川水を利用できなくなる。特に、乾季の終わりに河川水量が極端に少なくなるため、同じ負荷を都市部から排出していても、河川の水質が悪化することになる。

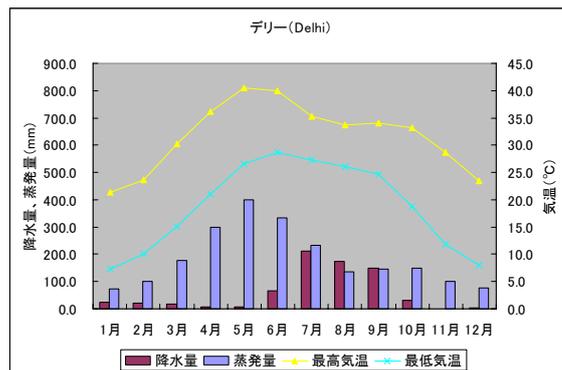


図-2 デリーの気象条件⁴⁾

第3の問題点は、農業に関するものである。インドの場合、雨が少なく、さらに降っても雨季のみであるため、乾季の水量確保が重要になる。農地を広げるためには、灌漑用水を引くことが多く、ニューデリーの中央を流れるヤムナ川(ガンジス川支流)でも、上流部にダムを建設し、灌漑事業を行っている。灌漑用に多くの水を回すため、ヤムナ川本流の水量が極端に減り、都市部の汚濁物を十分希釈しきれず、河川周辺の衛生環境が悪化する。

このように、ヤムナ川、特にニューデリー周辺では様々な問題が重なって衛生環境が悪化し、周辺住民に影響を与えている。

3. 河川の水質汚濁の現状

河川の現状把握のため、ニューデリー近郊のヤムナ川の河川水質調査を実施した。調査場所は、ニューデリー上流のパラ付近と下流のマジョーリ(下流40km付近)、プリンダヴァン(下流106km付近)である。調査は、雨季9月、乾季2月の2回実施した。

乾季の調査では、パラ付近のヤムナ川は都市の汚濁物が河川に流入する前であるため、水が透きとおりで、良好な状態であった。しかし、都市部通過後は、水が黒くにごり、ゴミが流下しており、都市部汚濁の影響を強く受けていた。特に都市部に近い下流のマジョーリ付近では、河川から硫化水素臭が発生していた。さらに下流のプリンダヴァンにおいては、水は黒いものの、臭気はマジョーリに比べかなり弱く感じられた。

雨季には、パラ付近では水が白濁しているものの、臭気がなく、ゴミもまったくない状態であった。白濁の原因は、雨水による増水等により河川水に土が混ざっているものと考えられる。乾季同様、牛、人間が河川で水浴びを行っていた(写真-1 参照)。下流に関しても臭気がなく、水が白濁していた。乾季に岸に溜まっていたゴミもほぼなくなっており、見た目は良好な状態であった(写真-2, 3)。

図-3に水質分析結果を示す。上流がパラ、下流1がマジョーリ、下流2がプリンダヴァンである。

乾季に関して、すべての水質項目で下流に比べ上流の値の方が低い傾向にあった。マジョーリとプリンダヴァンでは、マジョーリ(下流1)の値の方がすべてにおい



写真-1 パラ付近(雨季)



写真-2 プリンダヴァン(乾季)

て高かった。マジョーリは都市部に近いため、その影響を大きく受けているものと考えられる。さらに下流のプリンダヴァンでは、マジョーリに比べすべての項目で値の低下が見られ、河川における沈殿・自然浄化の効果がうかがえた。

雨季には、若干、BOD、T-N の値が下流で高いものの、上流、下流でほとんど変化がない傾向であった。これは、雨季には降雨による水量の増加および多数の洪水があるため、河川の汚濁が押し流されたものと考えられる。調査を行った河川においては、乾季において汚濁負荷が蓄積され、雨季に押し流される工程を1年周期でくりかえしていることが推定される。



写真-3 プリンダヴァン(雨季)

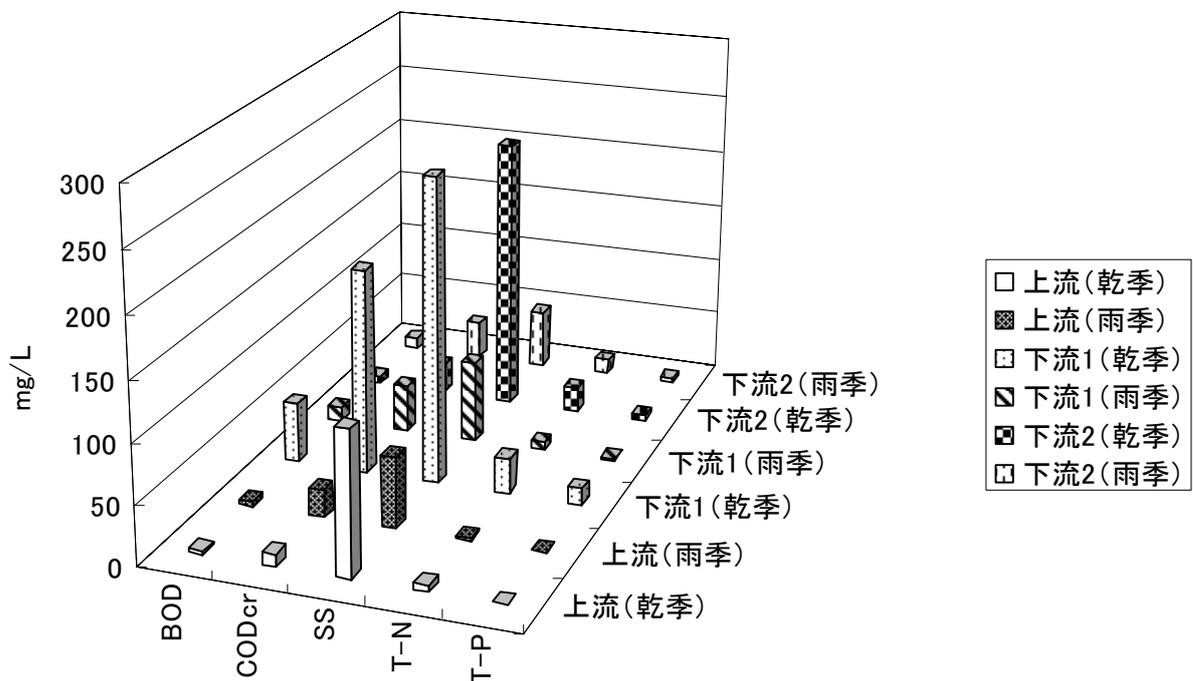


図-3 ヤムナ川の水質分析結果

4. ニューデリーにおける負荷量原単位調査

1) 調査方法

近年、都市部の人口急増に伴う生活排水の増加が問題となっている。このため、都市部での負荷量原単位調査を行った。インドでは貧富の差が大きく、その生活様式が違う可能性があるため、高、中、低所得者層、スラムそれぞれの汚濁負荷源の調査を行った。高、中、低所得者層の区分けに関しては、基本的に収入の違いにより場所を選定した。高所得者層の調査は、ある程度所得がないと購入できない住宅街で、住宅街の入口に警備員が常駐している生活区域があるため、その区画の一部で調査を行った。中所得者層の調査は、公務員の住宅団地の一部で実施した。低所得者層の調査は、比較的賃金が低いとされる業種（小売商人、タクシー、リクシャー等運転手、工場労働者等）で生計を立てている住民の居住区の一部で調査を行った。スラムに関しては、テントや簡易家屋等を空スペースに無断で作成し、生活を行っている区画の一部で調査を行った。また、都市部以外の生活排水として農村部の調査、主要な産業として多数存在し大きな負荷源と考えられる牛舎（搾乳用）の調査を行った。

現地では、サンプリング箇所の決定、現地住民・関係者へのヒヤリングを行い、基礎的な情報を収集した。水

質分析に関して、排水調査は各地点において24時間調査を行った。試料採取は2時間に1回、12時間で1つのコンポジットサンプル（流量比で混合）を作成し、水質分析を行い、水量測定（1回/時間）も行った。牛舎では、朝夕に牛舎内の清掃が行われ、大量の水を使用する時間帯がある。このため、この時間帯の水量測定はポンプ能力と運転時間から求めた値を使用した。

2) 汚濁負荷量原単位調査の結果

生活排水系排水の調査結果を表-1に示す。都市部に関しては、スラムの値が全体的に低い傾向にある以外、高、中、低所得者間での傾向の違いが見られなかった。都市部の高、中、低所得者層の調査箇所では、調査時期、日変動、地域差等の理由によりデータがばらついたものと考えられることに加え、低所得者であっても小さな部屋が借りられる程度の収入があるため、食事や生活様式には大きな違いがなかったものと考えられる。一方、スラムは、すべての項目において値が低く、高、中、低所得者の傾向とはまったく違う傾向にあった。家を借りることができない収入であるため、食生活や生活様式が大きく異なったものと考えられる。

農村部に関しては、ほとんどの負荷量原単位が小さく、使用水量も少ない傾向にあった。値としては、都市部のスラムとほぼ同じ値である。農村部の家庭では、腐敗槽が設置されていた。使用水量が少ないことからHRTが長く、処理が十分に進んでいたものと考えられる。家庭での使用水量に関しては、日中、畑で働いているため、屋内で生活していないことが、使用水量が少ない原因であると考えられる。また、場所によっては水道の利用時間が制限されている場合もあるため、これも、使用水量、負荷が少ない原因であると考えられる。

牛舎排水の調査結果を表-2に示す。平成15年のガジプールの値が全体的に低いものの、それぞれ同じような傾

表-1 生活排水系の汚濁負荷量原単位調査の結果

区分	地名	調査年度	排水量 L/人/日	BOD g/人/日	CODcr g/人/日	SS g/人/日	T-N g/人/日	T-P g/人/日	
都市部	高所得者	ゴルフ・リンクス1	H16	500	82.6	219.0	130.3	8.4	17.7
		ゴルフ・リンクス2	H17	436	75.5	302.5	42.5	37.9	4.8
		ジョル・バーグ	H16	140	24.4	50.8	130.6	8.9	2.2
	中所得者	パチクイアン・ロード	H15	216	24.3	41.8	9.6	10.9	1.3
		パハル・ガンジ	H15	73	36.7	46.6	4.4	5.9	1.0
	低所得者	サリマール・バーグ1	H16	154	39.2	102.3	54.7	13.1	5.5
		サリマール・バーグ2	H17	222	197.4	378.8	27.9	22.9	2.8
	スラム	モーラー・バン	H17	14	4.2	10.7	2.9	1.1	0.1
	農村	パラ	H15	47	4.9	8.2	2.6	3.0	0.7
ラトプール・チャテラ		H16	17	3.3	6.0	3.3	2.3	0.9	
ムジェーリ		H16	37	9.6	23.5	8.0	2.8	0.9	

表-2 牛舎の汚濁負荷量原単位調査の結果

地名	調査年度	排水量 L/人/日	BOD g/人/日	CODcr g/人/日	SS g/人/日	T-N g/人/日	T-P g/人/日
ガジプール	H15	123	183.0	878.0	59.0	60.1	5.0
パールサワ1	H16	71	875.0	1849.0	1536.0	83.8	9.1
パールサワ2	H17	59	1062.0	1749.0	585.0	147.0	3.5
マダヌプル1	H16	97	879.0	1529.0	1099.0	118.8	12.5
マダヌプル2	H17	117	742.0	1418.0	1272.0	231.0	2.0
マダヌプル3	H17	142	983.0	1910.0	466.0	263.0	4.0

向にあることがわかる。SSの差に関しては、サンプル中に泥やワラ等の大きな固形物が混入することがあるため、若干の差が生じている。インドは、ミルクティーなどの乳製品を多く使うため、牛乳の生産量が非常に多い⁵⁾。しかし、冷蔵機器がなく、自転車による運搬（一番費用がかからないため）が主流なため、牛舎が都市部の近辺にあることが多い。今後、都市部の人口増加に伴い、負荷がさらに増加する可能性が高い排水の1つと考える必要がある。

5. 農村部の使用水の水質調査

農村部や小さな集落では、整備された排水処理施設がないため、低地に排水を溜めてポンドのようなため池で排水を処理しているところが多い。今回調査を行った地域にも同様なため池があり、ため池の横3mくらいにハンドポンプがあり、住民が沐浴、水浴びに利用しているとのことであった。そのため、衛生状態確認のための水質調査を実施した。調査箇所は、ため池水、ポンプ水、水道水である。すべてスポットサンプルである。なお、ポンプ水採水時には、使用初めはポンプ給水部に溜まっている水がでるため、ある程度水をくみ上げたあとに採水を行った。

水質分析の結果を表-3に示す。ため池とポンプを比較すると、ポンプの値が低いものの、同じような傾向があることがわかる。特に溶解性の項目であるNH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nが両方に存在している点から、ため池からハンドポンプに水が移行していることが確認できる。大腸菌群数等の衛生学的安全性の指標に関しては、地層によるろ過のため検出されていない。NH₄-Nは、人体への強い毒性が無いため特に問題ない⁶⁾が、糞便汚染の指標の一つであり、今回もため池の影響をポンプが受けている確認ができた。水みち等、何らかの原因で地層によるろ過を受けずにポンプ水として引上げられる可能性もあるため、注意が必要である。比較のために採水した水道水に関しては、窒素濃度がポンプ水よりも高く、形態別ではNO₃-N濃度が高かった。水道水中の窒素に関しては、世界保健機構（WHO）は、NH₄-Nの記載が無く、NO₂⁻ 3mg/L以下、NO₃⁻ 50mg/L以下（NO₂⁻、NO₃⁻とも乳児のミルクビン用の水として与えた場合にメタヘモグロビン症を生じない値）、さらに2つの形態の測定された値を各々の勧告値で割り、加えたものが1を超えてはならないとしており⁷⁾、日本における水道水の基準（厚生労働省 水道法 水質基準に関する省令）では、NH₄-Nの記載は無く、NO₂-N及びNO₃-Nは10mg/L以下であることとされている。これらとくらべても、水道水から検出されたNO₃-N濃度は決して低くない値であった。現地の水道供給システムを確認していないため、正確な原因は不明であるが、農地からの肥料の混入、未処理排水の地下浸透が原因で、水道水用の地下水が汚染されている可能性がある。農村部は、都市部とは違う理由で水環境に問題があることを確認することができた。

表-3 農村部の水質分析結果

項目		ため池	ポンプ	水道水
BOD	mg/L	17	6	<1
CODcr	mg/L	69	32	6
T-N	mg/L	55	26	34
NH ₄ -N	mg/L	16	10	0
NO ₂ -N	mg/L	4.3	3.7	0.03
NO ₃ -N	mg/L	23	9	29
大腸菌群数	MPN/100ml	1.4 × 10 ⁶	不検出	不検出
サルモネラ菌	25ml中	陰性	陰性	陰性
嫌気性芽胞菌	50ml中	陽性	陰性	陰性

6. まとめ

ヤムナ川の水質汚濁の現状は、乾季に汚濁物が溜まり、雨季の降雨、洪水により下流に押し流されるサイクルを1年周期で行っていることを確認した。そのため、乾季に衛生状態がかなり悪く、特に都市部を抜けてすぐの

地域では硫化水素臭があり、河川も黒く、ゴミが岸に溜まっていた。さらに下流に流れると、沈殿、自然浄化の効果により若干状態が良くなるものの、都市部上流に比べればかなり悪い状態であった。

負荷量原単位調査に関しては、都市部の高、中、低所得者の負荷量原単位で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と考えられる。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。牛舎の排水は、調査箇所すべてほぼ同じような傾向にあり、都市部の人口増加に伴い、同じように増加していくと考えられるため、重要な指標のひとつと考えられる。

今後の調査に関して、これまで原単位調査や現地の現状把握の調査を中心に行ってきたことで、ある程度の数の現地データを入手してきた。このため、今後はシナリオ作成に向けたインドおよびガンジス河流域国の背景、環境条件、人口分布、土地利用等の文献調査や、実際に処理場を建設するための費用等の費用や処理方法選定のための調査に重点をおいた調査を行う予定である。

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) 図解 地図資料 八訂版、帝国書院、p. 82
- 4) THE STUDY ON WATER QUALITY MANAGEMENT PLAN FOR GANGA RIVER IN THE REPUBLIC OF INDIA PROGRESS REPORT (1) APPENDEX, JICA, NRCD, TEC, CTI, 2003. 07、付属資料 p. A2-A3
- 5) 世界の統計 1999 年版、編集 総務庁統計局、発行 大蔵省印刷局、p. 111
- 6) WHO 飲料水水質ガイドライン（第 2 版）第 2 巻、（社）日本水道協会、p. 869
- 7) WHO、Guidelines for Drinking-water Quality, THIRD EDITION, Volume 1, p. 417

4. 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 田嶋 淳
研究員 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（以下、放流水の水質基準）では、衛生学的指標として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濃度を衛生学的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、本研究は、下水処理場の運転管理への大腸菌濃度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濃度の頻度分布、下水処理過程における大腸菌の除去率を明らかにすることを目的とするものである。

2. 調査内容

平成17年度は、下水処理場での大腸菌群及び大腸菌の実態を把握するため予備実験及び実下水処理施設における通日調査を行った。

2.1 予備実験

(1) 大腸菌群測定の精密さ

大腸菌群の測定時における精密さを把握するため、2005年10月27日10時頃に湖北実験施設で採水した流入水及び処理水中の大腸菌群数をデゾキシコレート培地(日水製薬株)を用いて100枚のシャーレにて培養し計数した。流入水は2,000倍、処理水は30倍で希釈を行い、1mLずつ分注した。流入水の計数の分布を図-1に示す。平均値は55.6個/枚、標準偏差は7.6個/枚、変動係数は14%であった。また、

処理水の分布を図-2に示す。平均値は25.8個/枚、標準偏差は5.1個/枚、変動係数は20%であった。

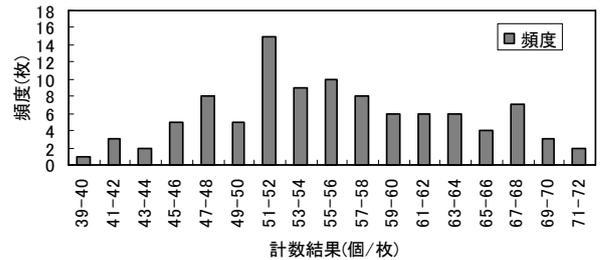


図-1. 流入水中の大腸菌群集落の計数分布

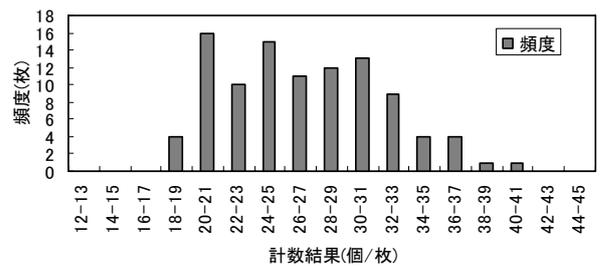


図-2. 処理水中の大腸菌群集落の計数分布

(2) 大腸菌群及び大腸菌の保存性試験

大腸菌をはじめとする細菌数は、時間と共に変化するため、採水後まもなく測定することが望ましい。しかし、本調査では採水現場で大腸菌群及び大腸菌を測定するのが困難であるため、若干の保存をすることとした。本調査を行うにあたり、冷蔵保存(4℃)による影響を調査した。調査は流入水と処理水それぞれ2回ずつ行い、大腸菌群及び大腸菌の変化率の平均を図-3、4に示した。ただし、処理水の大腸菌の測定回数は1回である。変化率Cは以下の式で求めた。

$$C(\%) = \frac{N_t - N_0}{N_0} \times 100$$

C : 変化率(%)

N_0 : 採水直後(1時間後)の菌濃度(CFU/mL)

N_t : 採水後t時間経過時の菌濃度(CFU/mL)

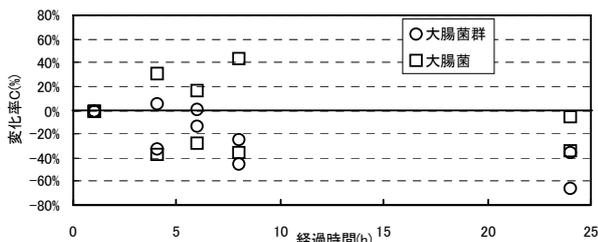


図-3. 流入水の保存性試験

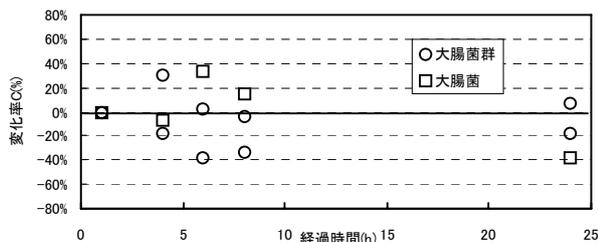


図-4. 処理水の保存性試験

通日調査では、採水作業及び運搬の都合も考慮し、採水後6時間以内に試験に着手することとした。6時間の冷蔵保存による変化率は、±40%の間に収まっていた。

(3) 大腸菌群及び大腸菌培地上の集落の同定

調査を行うにあたり、デソキシコール酸塩培地（日水製薬㈱）及びクロモカルトコリフォーム寒天培地（Merck社）に集落を形成する菌種の同定を行った。同定方法については、可能な限り無作為に抽出した定型集落をEMB寒天培地（日水製薬㈱）にて36℃24時間で画線培養した後、普通寒天培地（日水製薬㈱）で36℃24時間で培養し分離した。分離された集落について、糖分解（発酵）試験、オキシダーゼ試験、簡易同定キット（和光純

薬㈱）を用いた数値同定により同定した。

流入水を培養し同定した結果、デソキシコール酸塩培地の定型集落139検体中16検体(11.5%)が大腸菌であり、クロモカルトコリフォーム寒天培地の定型集落30検体中16検体(53.3%)が大腸菌と同定された。

2. 2 通日調査

2005年10月～2006年2月にかけて、下水処理場における大腸菌群及び大腸菌の通日調査を行った。

(1) 調査処理場の選定

日平均処理水量や水温の異なる5処理場を選定した。選定した処理場は、表-1の通りである。表中の数値等は平成15年度下水道統計¹⁾を参照した。調査時期の季節について、秋は9月から11月まで、冬は12月から2月までとした。

(2) 採水方法

採水は、流入水、塩素消毒前の生物処理水（以下、処理水）、塩素消毒後の放流水（以下、放流水）の3種とした。採水間隔は、流入水及び処理水は、2時間間隔で12回採水し、放流水は、6時間間隔で4回採水した。採水後は、6時間以内に分析に着手した。

(3) 測定方法

大腸菌群の測定には、下水試験方法に準じデソキシコール酸塩培地（日水製薬㈱）を用い、大腸菌の測定には、発色酵素基質培地であるクロモカルトコリフォーム寒天培地（Merck社）を用いた。その他には、CODcrを簡易分析計（Hach社）を用いて測定し、水温・SS・濁度は下水試験方法に準じて測定した。

表-1. 選定処理場

自治体名 処理場名	日平均処理水量 ¹⁾ (m ³ /d)	現在処理人口 ¹⁾ (人)	流入水年間平均水温 ¹⁾ (°C)	処理方法 ¹⁾	主要排水源	調査時期
茨城県 霞ヶ浦浄化センター	71,798	178,945	20.2	循環式硝化脱窒法	一般家庭	秋 + 冬
茨城県古河市 総和水処理センター	8,549	22,799	18.6	標準活性汚泥法	一般家庭	秋 + 冬
沖縄県 具志川浄化センター	12,505	73,951	27.1	標準活性汚泥法	一般家庭	冬
茨城県水海道市 内守谷浄化センター	約 700*	約 900*	19.6	オキシレーションディッチ法	一般家庭 + 大規模温泉施設	秋
茨城県水戸市 内原浄化センター	約 1,300*	2,063	18.9	オキシレーションディッチ法	一般家庭 + 大規模小売店	冬

*平成15年度以降に流域の状況に大きな変化があったため、調査日直近の暫定値を記載

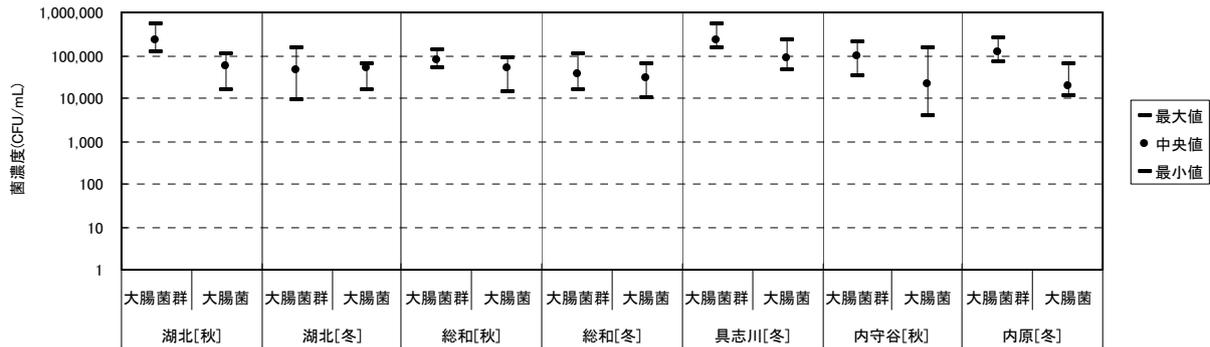


図-5. 各処理場の流入水中の大腸菌群及び大腸菌の日間変動

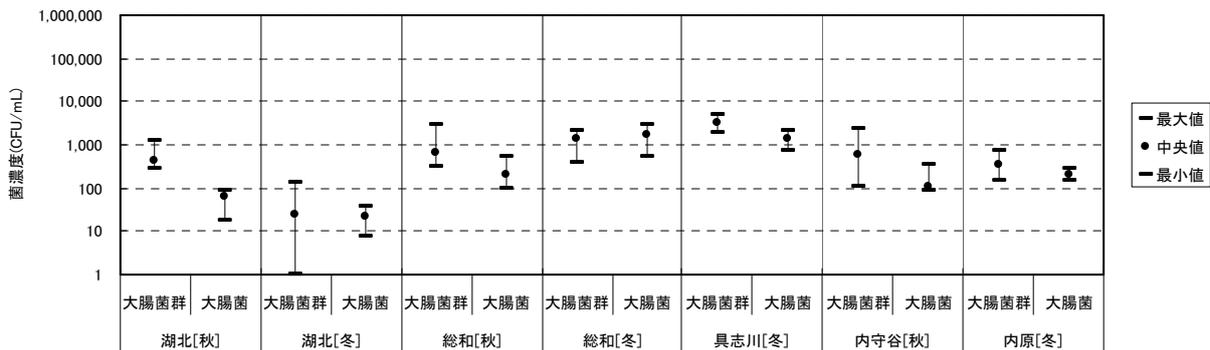


図-6. 各処理場の処理水（塩素消毒前）中の大腸菌群及び大腸菌の日間変動

(4) 調査結果

1) 流入水及び処理水中の大腸菌群及び大腸菌の日間変動

図-5, 6に、各処理場の流入水及び処理水中の大腸菌群及び大腸菌の日間変動の結果を示す。全処理場の流入水中の大腸菌群は、 $9.1 \times 10^3 \sim 5.2 \times 10^5$ CFU/mLであり、大腸菌は $3.9 \times 10^3 \sim 2.2 \times 10^5$ CFU/mLであった。各処理場の流入水の菌濃度の日間変動を変動係数で表すと、大腸菌群は31～76%であり、大腸菌は46～107%であった。内守谷浄化センターの流入水中の大腸菌の濃度の日間変動の幅は他と比べて大きかったが、これは大規模温泉施設からの排水量の増減によるものと思われる。全処理場の処理水の菌濃度は、実験施設である湖北を除くと、大腸菌群は $1.0 \times 10^2 \sim 5.0 \times 10^3$ CFU/mLであり、大腸菌は $8.4 \times 10^1 \sim 2.8 \times 10^3$ CFU/mLであった。湖北実験施設の処理水中の菌濃度は他の実処理施設に比べ低い傾向にあり、大腸菌群は $1.0 \times 10^0 \sim 1.2 \times 10^3$ CFU/mL、大腸菌は $7.0 \times 10^0 \sim 9.1 \times 10^1$ CFU/mLであった。各処理場（湖北を除く）の処理水の菌濃度の日間変動を変動係数で表すと、大腸菌群は39～85%であり、大腸菌は41～

68%であった。放流水については、どの処理場も大腸菌群と大腸菌は共にほとんど不検出であった。秋と冬に調査を実施した湖北実験施設及び総和水処理センターのそれぞれの菌濃度の季節間変動については、湖北実験施設の流入水は冬の大腸菌群が低く、大腸菌はあまり変化が無かった。総和水処理センターの流入水は、大腸菌群と大腸菌は共に秋よりも冬の方がわずかに低かった。

2) 生物処理の除去率

表-2に、各処理場の大腸菌群及び大腸菌の日間平均除去率を示した。日間平均除去率は、流入水の菌濃度と処理水（塩素消毒前）の菌濃度の差を流入水の菌濃度で除して百分率で表示したものである。それぞれの菌濃度は、各採水時の菌濃度に流量比を乗じ足し合わせたものである。なお、菌濃度の欠測は、前後の採水時の算術平均で代用した。

調査の結果、大腸菌群の除去率は97.33～99.93%、大腸菌の除去率は94.22～99.95%であった。秋の調査では、大腸菌群よりも大腸菌の方が除去率が高かったが、冬の調査では、湖北を除く処理場で、大腸菌よりも大腸菌群の方が除去率が高かった。

表-2. 各処理場の大腸菌群及び大腸菌の日間平均除去率（％）

処理場名	湖北	湖北	総和	総和	具志川	内守谷	内原
調査時期	秋	冬	秋	冬	冬	秋	冬
大腸菌群	99.74	99.93	98.85	97.33	98.78	99.14	(99.67)*
大腸菌	99.90	99.95	99.52	94.22	98.45	99.59	(99.26)*

*試料数が少ないため、参考値として記載

また、塩素消毒による除去率は、塩素消毒後の放流水中の大腸菌群及び大腸菌がほとんど不検出であったため、算出できなかった。

3. まとめ

下水処理場での大腸菌群及び大腸菌の実態を把握するため予備実験及び実下水処理施設における通日調査を行った。調査の結果、以下が明らかとなった。

- 予備実験の結果から、大腸菌群測定の高精度について、流入水の変動係数は14%であり、処理水の変動係数は20%であった。
- 予備実験の結果から、6時間の冷蔵保存(4℃)による変化率は、±40%の間に収まっていた。
- 予備実験の結果から、流入水中の大腸菌群及び大腸菌の培地上の集落が*E.coli*である割合は、それぞれ11.5%、53.3%であった。大腸菌の培地上の集落の同定結果については、当初の想定より低い値であったことから、さらなる検討が必要であると考えられた。
- 通日調査の結果から、調査した処理場の流入水の菌濃度は、大腸菌群は $9.1 \times 10^3 \sim 5.2 \times 10^5$ CFU/mLであり、大腸菌は $3.9 \times 10^3 \sim 2.2 \times 10^5$ CFU/mLであった。
- 通日調査の結果から、調査した処理場の流入水の菌濃度の日間変動を変動係数で表すと、大腸菌群は31～76%であり、大腸菌は46～107%であった。
- 通日調査の結果から、調査した処理場の処理水の菌濃度は、実験施設である湖北を除くと、大腸菌群は $1.0 \times 10^2 \sim 5.0 \times 10^3$ CFU/mLであり、大腸菌は $8.4 \times 10^1 \sim 2.8 \times 10^3$ CFU/mLであった。

- 通日調査の結果から、調査した処理場（湖北を除く）の処理水の菌濃度の日間変動を変動係数で表すと、大腸菌群は39～85%であり、大腸菌は41～68%であった。
- 通日調査の結果から、流入水の秋と冬の菌濃度の比較では、湖北実験施設では、大腸菌群が秋よりも冬のほうが低く、大腸菌はあまり変化が見られなかった。総和水処理センターでは、大腸菌群、大腸菌、共に秋より冬の方がわずかに低かった。
- 通日調査の結果から、各処理場の消毒前までの過程での大腸菌群の除去率は97.33～99.93%、大腸菌の除去率は94.22～99.95%であった。

謝辞 本調査を行うにあたり、茨城県霞ヶ浦流域下水道事務所の皆様、茨城県古河市上下水道部総和水処理センターの皆様、沖縄県土木建築部具志川浄化センターの皆様、茨城県水海道市役所都市建設部下水道課の皆様、茨城県水戸市役所内原支所下水道課の皆様には、試料水や分析室などを提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。

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) 平成 15 年度版下水道統計 -行政編-, 日本下水道協会, 2005

付 録

付録 1. 平成 17 年度 下水道関係刊行報告書一覧

平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要

国土技術政策総合研究所資料 第 248 号 平成 17 年 5 月
国土交通省 国土技術政策総合研究所
独立行政法人 土木研究所
独立行政法人 建築研究所

要旨

本資料は、平成 16 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地方を震源とする M6.8 の地震に関して、国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所、独立行政法人建築研究所の 3 機関が合同で地震被害状況調査を行った結果をとりまとめたものである。

キーワード：国土技術政策総合研究所、土木研究所、建築研究所、地震、被害、新潟県中越

平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震土木施設災害調査報告

国土技術政策総合研究所研究報告 第 27 号 平成 18 年 1 月
土木研究所研究報告 第 203 号 平成 18 年 1 月
国土交通省 国土技術政策総合研究所
独立行政法人 土木研究所

要旨

本報告は、平成 16 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地方を震源とする M6.8 の地震に関して、公共土木施設を対象とし、国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所の 2 機関で地震直後の現地調査結果、また、その後実施された調査。研究結果をとりまとめたものである。

ディスポーザー導入による影響評価に関する研究報告

—ディスポーザー導入時の影響判定の考え方—

国土技術政策総合研究所資料 第 222 号 平成 17 年 7 月
国土技術政策総合研究所下水道研究部
国土交通省都市・地域整備局下水道部

要旨

本報告は、ディスポーザー導入時の影響、すなわち下水道処理区域内の家庭等から発生する厨芥(生ごみ)をディスポーザーで粉砕したディスポーザー排水が直接下水道に排出される際の影響について、これまでの調査研究を基に、下水道管理者がディスポーザー導入の可否を検討する上での技術的資料としてとりまとめた。また、ディスポーザーの導入による下水道施設等への影響を判定する手法を示すとともに、住民の利便性向上の評価手法、ごみ収集・処理システムと下水道システム双方のエネルギー収支や温室効果ガス発生量に関する評価手法などを示し、地方自治体においてディスポーザー導入時の影響、効果を判定する考え方について提示した。

キーワード：ディスポーザー、下水道、ごみ処理、市民生活、費用便益分析、LCA

ディスポーザー導入社会実験に関する調査報告書

国土技術政策研究所資料 第 226 号 平成 17 年 7 月
国土技術政策総合研究所下水道研究部
国土交通省都市・地域整備局下水道部
北海道建設部公園下水道課
歌登町

要旨

本書は、直投型ディスポーザーを導入した北海道歌登町をモデル地域として実施した「ディスポーザー導入社会実験」で得られた知見を取りまとめたものである。本社会実験は、国土交通省、北海道、歌登町が共同で平成 12 年度から平成 15 年度までの 4 年間（平成 16 年度に追加実験）実施し、ディスポーザー導入が下水道システムやごみ処理システム、地域全体の経済、環境等へ与える影響を現地調査や費用効果分析、LCA 等を用いて総合的に評価したものである。

キーワード：ディスポーザー、下水道、ごみ処理、市民生活、歌登町

第3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264号 平成17年7月
土木研究所資料 第3977号 平成17年7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16年7月12日～15日に米国ハワイで行われた「第3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

付録2. 平成18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. 最適都市雨水対策確立手法に関する調査 2. 市街地雨水汚濁負荷量の測定・計画手法に関する調査 (「雨天時における路面排水負荷対策に関する調査」を改題) 3. 管路施設の長寿命化に関する調査 4. 管渠埋戻し工の耐震施工管理方法の調査 5. 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 6. 下水道管渠の適正な管理手法に関する研究	16-18 16-18 17-19 18-19 18-20 18-20
下水処理研究室	再生水利用の促進に関する調査 7. (「再生水利用施設の計画および維持管理に関する調査」を改題) 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 8. (「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 9. (「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) 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 11. 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 12. 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 13. 新たな衛生指標の下水処理への適用性の評価 14. 地域活動と協働する水循環健全化に関する研究	17-19 17-20 17-20 18-20 18-21 15-20 17-19 18-20
総合技術政策研究センター 建設システム課	15. 下水道事業の積算・設計合理化に関する調査	18-19
危機管理技術研究センター 水害研究室	16. 市街地氾濫解析手法の開発評価	18-20

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
No.323 June 2006

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