

11. その他の予算による研究
[下水道研究室]

1. 発展途上国に適した低コスト型新下水道システムの開発に関する研究

下水道研究室 室 長 藤生 和也
 研究 官 山縣 弘樹
 下水処理研究室 室 長 中島 英一郎
 研究 官 平出 亮輔
 研究 員 桜井 健介

1. はじめに

発展途上国においては、著しい都市化の進展により衛生環境が悪化し、水環境の改善と水資源の確保が、従前にも増して重要となってきた。都市周辺市街地では、都市中心部よりも、排水を処理することの理解が乏しく、住民は水系伝染病の蔓延や水資源の不足により、劣悪な衛生環境におかれている。これらの課題を解決するには、都市中心市街地に加えて周辺住宅地においても、都市内河川や湖沼等の水質改善を優先して、整備水準を抑えつつ水路、腐敗槽等の既存施設や土壌、植生等を水質向上手法として組み入れた低コスト下水道システムを構築し、下水処理水の水質を向上させ水資源としての価値を高める必要がある。

そこで、本研究ではこれらの地域を対象として、住民参加、効率的な下水道管理等のソフト面も考慮しつつ、既存施設の下水収集・処理機能を評価し、土地、気候、安価な労力等開発途上国の長が活用できる低コスト型の新下水道システムを開発する。

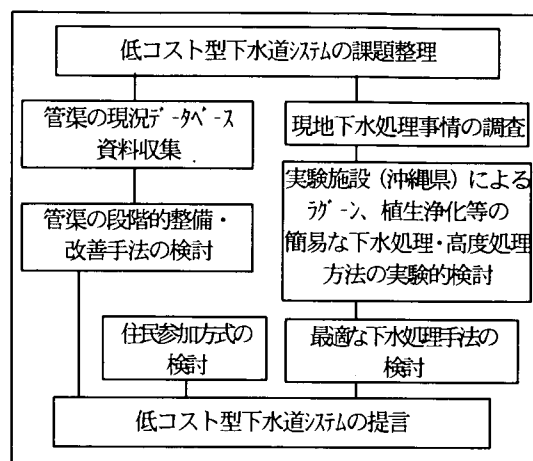


図-1 研究のフロー

2. 過年度の調査概要

2.1 発展途上国における低コスト型下水道システムの課題の整理 (平成 13 年度)

インターセプター下水道 (図-2) は、既存の排水施設を継続使用できることから、下水道整備を進めるに当たって最大の支障となる管渠敷設に係る費用を大幅に節減でき、また遮集管のみの整備により、放流先への流入負荷を確実に低減し、水質改善効果の早期発現を図ることが可能であると考えられている。また、ラグーン法は、標準的な下水処理場に比べ広い処理面積が必要であるが、維持管理費がより少なく済むため、今後汚水処理施設整備が求められる発展途上国の郊外部に適した処理方式であると考えられている。

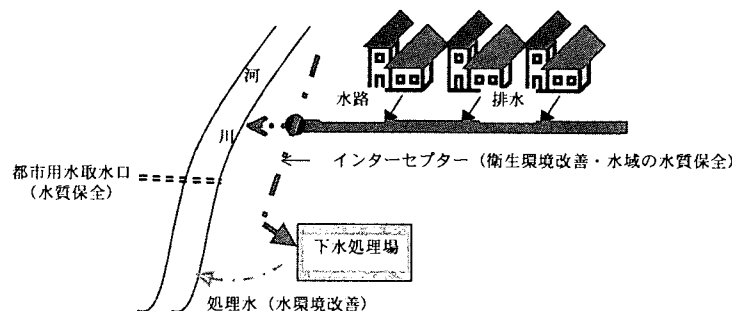


図-2 インターセプター下水道の概念

しかし、下水道に関する JICA 開発援助専門家経験者にヒアリングを行った結果、次のような課題が指摘された。

- ・タイにおけるラグーンの処理場の区域は、インターセプター方式を採用しており、腐敗槽、管渠内での浄化 (沈殿を含む)、地下水浸透等により、処理場への流入水濃度が処理水質とほとんど変わらない。腐敗槽の浄化、管渠内の浄化の定量的な評価、ラグーン処理の効率化の検討が必要である。
- ・バンコクでは、通常水路の底泥は汚く、雨天時には堆積物の影響等により大幅に悪化する。既設水路、下水側溝にゴミ、砂がたまり、定期的に浚渫が必要であり、極力浚渫しなくてよい水路構造が望ましい。

2.2 現地下水処理事情の調査（平成14年度）

インターセプター下水道において流入下水の水質が低くなるメカニズムを解明し、ラグーン処理施設において、処理水質が悪化するメカニズムを解明するため、平成14年11月に、タイ及びインドネシアを対象に、インターセプター下水道及びラグーン処理施設の現地調査を実施した。インターセプター下水道について、現地調査の結果、管内での堆積や浄化の状況については確認できなかったが、雨季では河川水がインターセプターに逆流しており、河川水質汚染が懸念された。また、ラグーン処理水質悪化の原因として、藻類の流出が懸念されることが現地調査からも示唆された。

2.3 実施設を使用したラグーン処理機能の改善に関する検討（平成13、14年度）

2.1の指摘を受けて、ラグーンシステムの処理機能の改善に関する検討を行った。実験は、日本唯一の亜熱帯地域である沖縄県において、同県との共同研究で行った。

平成14年度は、管路内で下水に沈降・浄化作用が加わり、計画値に比べかなり低負荷の下水が処理場に流入し、処理水質が流入水質と同レベル（BODに関して）であるという指摘を受けて、人為的に低負荷の流入水を作製し、ラグーンに流入させることにより、低負荷流入下水時の適正な維持管理に関する検討を行った。実験は長期間におよぶため、その途中で以下の維持管理に関する知見を得た。水温20℃を境に、ラグーン内の藻類の繁殖が良好になり、光合成による槽内の酸素供給が活発に行われるようになった。しかし、処理水中の藻類濃度も上昇するため、T-BOD・T-COD・SSの値がかなり上昇し、T-COD値は処理水と流入水の値がほぼ同じ値を示した。

平成15年度は、同様の実験を継続し、以下の知見を得た。

(1) 低負荷のラグーンで良好な処理を行うために必要なHRTの把握

低負荷のラグーンを維持管理する場合、SSなどの汚濁物の処理を考えると流入BOD 50 mg/l ではHRT 5 day、流入BOD 100 mg/l ではHRT 10 day が最低限必要なHRTである。大腸菌などの衛生学的な面から考えると流入BOD 50 mg/l ではHRT 10 day、流入BOD 100 mg/l ではHRT 30 day が最低限必要なHRTであると考えられる。

(2) 藻類の流出によるラグーン処理水質（SS、T-BOD濃度）悪化への影響の確認

ラグーンの処理水を評価する上で、SSやT-BODなどのトータルを測定したものはその濃度が処理されていない下水由来なのか、または処理中に発生する藻類に由来しているものなのかを、確認して評価しなければならない。このため、トータル水質結果だけではなく、溶解性の項目やラグーン池の見た目を考慮し、処理の状態を判別しなければいけない。

(3) 植生帯設置によるラグーン処理水中の藻類除去効果の確認

植生帯を設置することで、水面に直接日光が届かなくなるため、藻類の繁殖を抑える効果があり、しかもラグーン処理水中に含まれている藻類を死滅させる効果もある。そして、液中のSSは、滞留時間による沈殿効果や水中の茎に接触して沈殿することで、植生帯の処理水中には藻類の含有量が少なくなり、SS・T-BOD・T-CODが低い値になる。

3. インターセプター下水道の現況調査

3.1 目的・方法

インターセプター下水道の整備・維持管理状況を明らかにし、問題点を把握するために、インターセプター下水道が採用されているタイ王国東部のコンケン市において、平成16年3月に下水道管理者へのヒアリング調査及び資料収集を実施した。

3.2 結果

(1) コンケン市のインターセプター下水道の概要

コンケン市は人口約13万人、4万4千世帯（2001年時点）の都市である。多くの家庭は腐敗槽と土壌浸透耕で污水処理を行っており、市の中心部では下水道に接続している箇所もある。市内から発生する污水及び雨水の大半は、コンクリートパイプやコンクリート側溝、陶製U字溝などの排水路を経由して、Khlóng Rong Muang川の両岸に整備されたインターセプター（全長11,826m）に流入し、Bung Thung Sang処理場（曝気式ラグーン方式）で処理される（図-3）。インターセプターには雨水吐が50箇所あり、雨天時には越流水がKhlóng Rong Muang川に流出する。処理場は、流入水量7.8万m³/d、流入水BOD160mg/l、処理水BOD20mg/l、曝気式ラグーン滞留時間2.6d、安定化池滞留時間1.5dで設計されているが、実際には晴天時流入水量4.5～5.5万m³/d、流入水BOD30～40mg/l、処理水BOD10mg/l程度である。

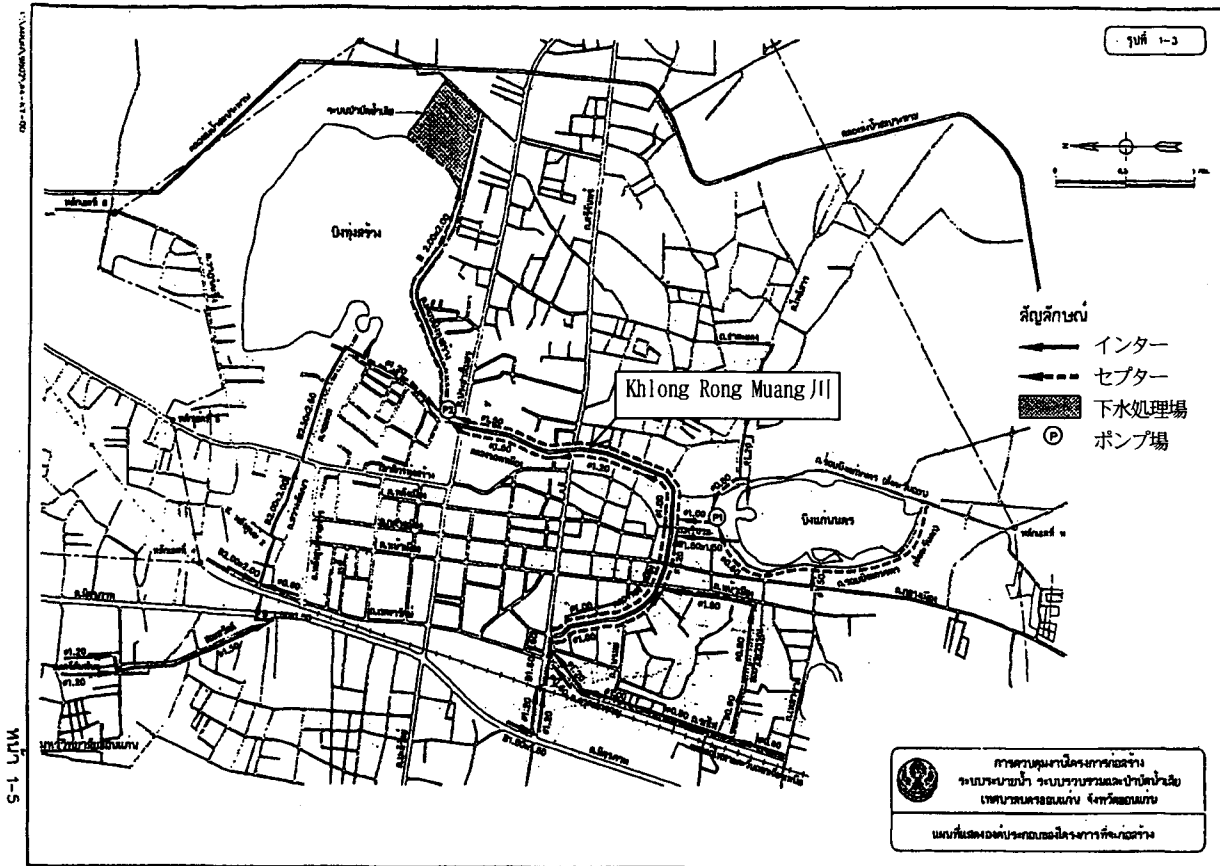


図-3 コンケン市のインターセプター管渠の位置図

(2) コンケン市のインターセプター下水道の問題点

①家庭の腐敗槽・土壌浸透枡

- ・ 多くの家庭は下水道に未接続で腐敗槽・土壌浸透枡を用いているが、その維持管理について市に権限が無い。
- ・ 腐敗槽は、定期的に汚泥の引き抜きを行っていないため、高濃度の汚水が排水路に流れ込む原因となっている。
- ・ 土壌浸透枡が十分に機能していないため、住民による腐敗槽から道路側溝への違法な接続が後を絶たず、雨期に頻発する浸水時には、深刻な問題を引き起こしている。
- ・ 腐敗槽から汲み取った汚泥の投棄場所は、特に定められておらず、十分な管理がされていない。

②管渠

- ・ 家庭への下水道の接続が進んでいない。
- ・ 市の中心エリアはその周辺部よりも低地になっているため、雨天時には周辺部からの雨水が市の中心部に集まり、インターセプターの排水能力を超過する。
- ・ インターセプター内の堆積により流下能力の低下が懸念されるが、管渠の維持管理方法に関するガイドラインがなく、維持管理を行う人的・財政的余裕もないため、適切な維持管理が行われていない。

③下水処理場

- ・ 安定化池からの処理水は、緑色を呈している。処理水放流口付近は、嫌気状態となっている。
- ・ 計画処理能力は、下水道接続が進んだ状態を想定しているが、現時点ではBODの流入負荷量は計画の2割弱に過ぎず、施設能力が過大になっている。したがって、流入負荷量に応じ適切な維持管理方法を検討する必要がある。

4. 実施設を使用したラグーン処理機能の改善に関する検討

4.1 目的

当検討では、昨年度行った開発援助専門家へのヒアリングにより、以下の2検討項目を抽出し、検討項目に関して実施設を用いた実験により、研究を行うものである。実験は、日本唯一の亜熱帯地域である沖縄県において、同県との共同研究で行った。

- 1) 低負荷流入水におけるラグーンの適正維持管理に関する検討
- 2) ラグーン後段に植生帯を設置した高度処理実験に関する検討

4.2 実験方法

実験では、沖縄県具志川浄化センター内のラグーン処理実験施設を使用する。実験施設の概略図を、図-4に示す。実験施設は、大きく分けて流入下水混合槽・ラグーン処理施設・植生帯流入タンク・植生帯の4施設からなる。流れとしては、流入下水混合槽からでた流入下水が、ラグーン処理施設で処理され、その処理水が植生帯に流入する。

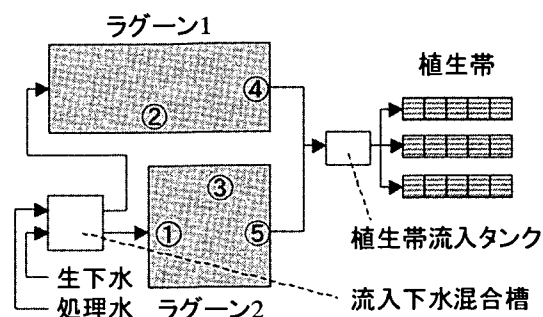


図-4 ラグーン施設の概略図

(1) 低負荷流入水におけるラグーンの適正維持管理に関する検討

熱帯・亜熱帯地域の発展途上国の中には、下水管路内において下水に沈降・浄化作用が加わり、計画値に比べかなり低負荷の流入水が処理場に流入している現状がある。このため当実験においては、人為的に低負荷の流入水を作製し、ラグーンに流入させ、処理状態を確認することで、適切な維持管理に関する検討を行う。

実験施設としては、図-4の流入下水混合槽とラグーン1・2である(図-5参照)。流入下水混合槽では、浄化センター本施設より生下水と処理水を引き入れ、目標BODの混合流入水を作成し、ラグーンに流入させる。混合槽の容量は3m³で、ラグーンへの流入水量は最大50m³/dまで上げられる。次にラグーン処理施設は、2つのラグーン(通性嫌気性安定池)で構成されている。ラグーン2池は共に、容量100m³、水深2mであるが、池の形状が異なっている。ラグーン1は、14×5.5mの長方形の形状であり、ラグーン2は8.6×8.6mの正方形の形状をしている。実験では、流入水の設定をBOD 50, 100, 200 mg/L、HRT 30, 20, 10, 5, 2 dに変更し、処理状態を確認しながら、適正な維持管理を決定していく(BOD 200 mg/L、HRT 2 dの設定は、負荷が高すぎ、その後の実験に影響があるため、設定しなかった)。実験中は、週1回の水質測定およびサプリングを行い、図-4の図中の番号のポイントでサプリングを行った。各名称を順番に①流入水、②ラグーン1槽内、③ラグーン2槽内、④ラグーン1処理水、⑤ラグーン2処理水とした。測定項目は、水温・pH・Do・ORP・SS・BOD・COD・大腸菌群数・カロリルaの測定を行った。

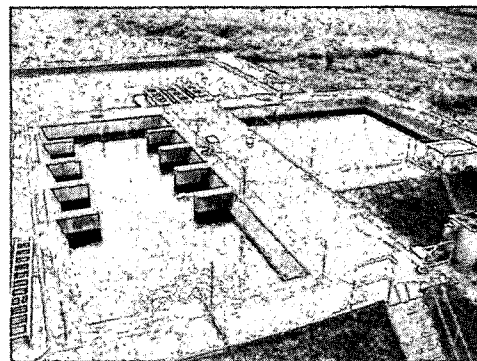


図-5 ラグーン施設

(2) ラグーン後段に植生帯を設置した高度処理実験に関する検討

ラグーンにおいて、ある程度の処理水質が維持できることは確認されている。しかし、処理水中に藻類が含まれているため、処理水と流入水がほぼ変わらないBODの値を示し、藻類の流出が問題となっている。その他にも、大腸菌のような病原性微生物の除去率の問題もある。このため、ラグーン後段に植生帯を設置し、処理水のさらなる高度化についての検討を行う。

実験施設としては、図-4の植生帯流入タンクと植生帯である(図-6参照)。植生帯流入タンクは、植生帯への流入水(ラグーン処理水)の流量調節・分配を行うものである。容量は0.5m³であり、ラグーン処理水を3つに分配できる構造になっている。植生帯は、外寸1,337×864×793mmの容器(0.5m³)に、赤土を水深20cmになるように敷き詰め、現地で自生しているヨシを植付ける。その容器を縦に5つ並べたものを1系列として、合計3系列の植生帯を作製する。うち1系列は、ヨシを植付けないブランク系列とし、簡易の土壌浄化法として処理状態を確認するものとする。サプリングポイントは、植生帯流入水を流入タンクで採取し、あとは各系列ごとに処理水を採取する。実験は、各系列に同時期・同処理水

を流入させ、対照実験を行うものとする。

現在、実験・取りまとめ作業を引き続き行っている最中であるため、次年度に詳細な報告を行うものとする。

4.3 実験結果

図-7に実験期間中の水温・T-BOD・DO・クロロフィル a を示す。水温は、平均 25℃程度であり、夏季の一部の期間では 30℃以上に上がり、最低でも 15℃を維持している。処理の状態として T-BOD のデータを見ると、ラグーン処理水質は期間中ほとんど流入水質に比べ良好であり、期間中十分な処理が行えていることがわかる。藻類の繁殖状態として、DO とクロロフィル a を見ると、ほぼ年中活発に繁殖しており、特に 2 年目の夏に高い値を示している。実験初期の低い値に関しては、実験初期のラグーン立ち上げの時期に流入負荷・水温がともに低かったため、なかなか藻類が増殖しなかった。

次に、各設定条件の処理状態として、図-8に T-BOD・D-BOD・DO・ORP・クロロフィル a・大腸菌群数を示す。汚濁物の処理を考えると、T-BOD では BOD 負荷が高い設定条件の方が、処理水の T-BOD も高い値を示す傾向にある。流入 BOD

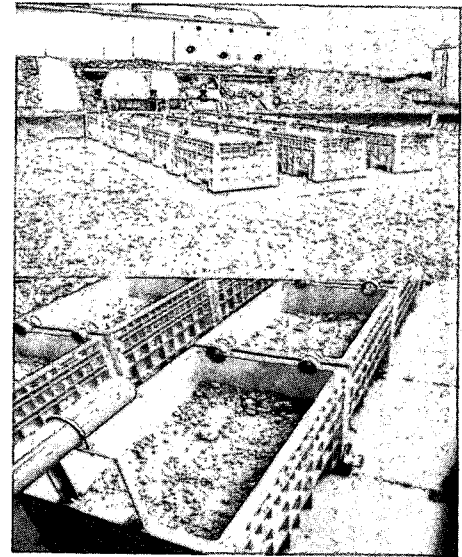


図-6 植生帯（ヨシの植付け前）

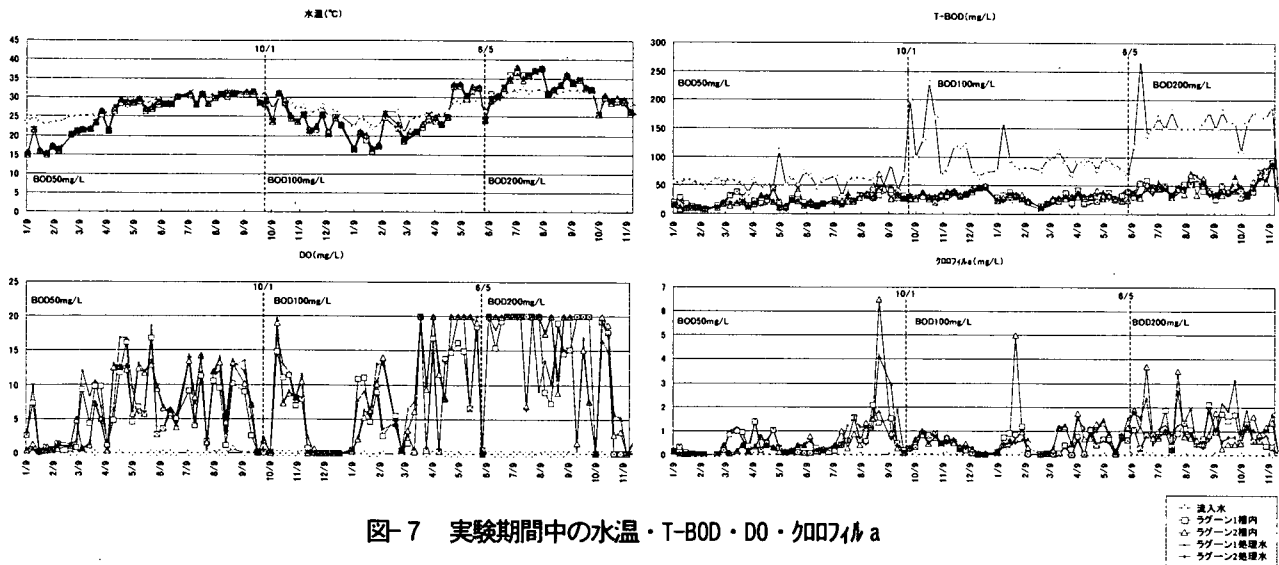


図-7 実験期間中の水温・T-BOD・DO・クロロフィル a

200 mg/L の HRT 5 d が高い値を示したが、その他の条件に関してはさほど大差はなかった。しかし、ラグーン槽内の状態として DO・ORP を見ると、流入 BOD 50 mg/L の HRT 2 d、流入 BOD 100 mg/L の HRT 5, 2 d、流入 BOD 200 mg/L の HRT 5 d の処理水に DO がなく、ORP もマイナス値の嫌気的な状態であることを示している。クロロフィル a の値は、流入 BOD 50 mg/L の HRT 2 d と流入 BOD 100 mg/L の HRT 2 d でほとんど検出されていない（ここで、流入 BOD 50 mg/L の HRT 30 d の DO・クロロフィル a 値が低いのは、実験初期段階に水温が低く、流入負荷も低かったため、藻類の繁殖が良好に行えていなかった）。この結果から次の 2 つのことが考えられる。1 つは、藻類の繁殖がありクロロフィル a の値はあるが、槽内への酸素の供給が間に合わず、槽内の DO が低い値を示した。2 つ目は、槽内に藻類を維持できなくなり、そのため DO やクロロフィル a の値が低い値を示した。1 つ目の原因としては、流入負荷が高くなったため、好氣的に処理できる物質の供給が増加し、槽内の藻類が光合成により生成する酸素量より、好気処理に使用される酸素量の方が多くなったため、槽内の DO が維持できなくなった。もしくは、HRT が短いため、光合成で生成された酸素が、処理水と一緒に槽外に排出され、DO が維持できなくなってしまったとも考えられる。2 つ目の原因としては、流入負荷が増えることで、アモニア性窒素などの藻類繁殖に悪影響を与える物質の濃度が高まり、槽内で藻類の繁殖が進まなくなったため、もしくは、短い HRT のため、藻類の繁殖速度より処理水と一緒に排出される速度の方が速まり、槽内に藻類が維持できなくなったとも考えられる。今回の調査では、詳細な理由は不明だが、単一もしくは複数の原因により、発生したと考えられる。ここで D-BOD を確認すると、流入 BOD 50 mg/L では HRT 2 d が、流入 BOD 100 mg/L では HRT 2 d が、流入 BOD 200 mg/L では HRT 5 d が高い値を示している。このように、T-BOD のようなトータル値のみの確認では、その値が未処理の下水由来なのか、それとも処理中に発生した藻類の影響なの

か、確認することは不可能である。そのため、その他の因子に関しても合わせて確認することが必要である。ラグーン処理では、反応槽内に溜めた下水に藻類が十分に繁殖し、その藻類から発生される酸素を使い、下水中の汚濁物質を好気処理することが基本であるため、藻類濃度を示す加ワイル a や槽内酸素濃度の DO 値が重要であり、その他、処理水中の藻類を含まない溶解性みの汚濁負荷の指標である D-BOD が重要な指標となる。今回の実験により、汚濁物の処理を考えた場合、ラグーンがシステムとして機能している設定条件は、流入 BOD 50 mg/L の場合 HRT 5 d 以上、流入 BOD 100 mg/L の場合 HRT 10 d 以上、流入 BOD 200 mg/L の場合 HRT 10 d 以上が必要である。

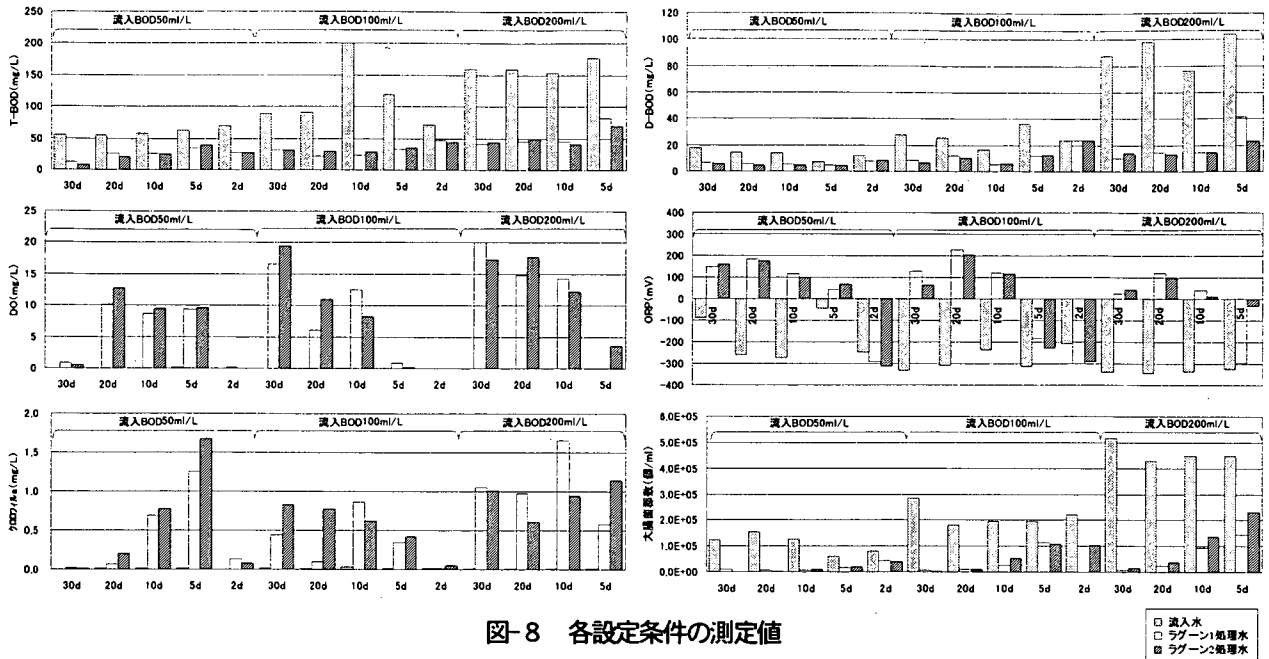


図-8 各設定条件の測定値

次に、大腸菌群数などの衛生学的な面から考える。測定期間中の大腸菌群数の値は、各流入 BOD 設定値で HRT が短くなるごとに値が大きくなっていく傾向にある。流入 BOD 50 mg/L であれば HRT 5 d から、流入 BOD 100 mg/L であれば HRT 10 d から、流入 BOD 200 mg/L であれば HRT 20 d から値が増加していく。今回の実験では、処理が良好に行えている場合、大腸菌群数は 1.0×10^4 個/ml 程度に抑えることが可能であった。

4.4 まとめ

ラグーンの維持管理を行う場合、汚濁物の処理を考えると流入 BOD 50 mg/L では HRT 5 d、流入 BOD 100 mg/L では HRT 10 d、流入 BOD 200 mg/L では HRT 10 d が最低限必要な HRT である。大腸菌群などの衛生学的な面から考えると流入 BOD 50 mg/L では HRT 10 d、流入 BOD 100 mg/L では HRT 20 d、流入 BOD 200 mg/L では HRT 30 d が最低限必要な HRT であると考えられる。

ラグーンの処理状態を確認する場合、T-BOD などのトータルサンプルのみの確認では不十分である。そのため、槽内の DO や加ワイル a 値を確認し、藻類の繁殖状態を把握しながら、D-BOD などの溶解性サンプルに関して合わせて確認する必要がある。

なお、本調査研究は、政府開発援助試験研究費によって実施されたものである。

参考文献

- 1) 井上弥九郎 他：熱帯・亜熱帯地域の下水道設計計画に関する研究、平成 12 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国総研資料第 10 号、pp41-46、2001.
- 2) 石崎勝義 他：自然システムを活用した水質浄化 - 土壌・植生・池などの活用 -、技報堂出版、2001.

謝辞

本研究の一部は、沖縄県と国土技術政策総合研究所の共同研究「ラグーンおよび後段処理システムに関する研究」(平成 13~16 年度)として実施されている。協力をいただいている沖縄県の関係各位に御礼申し上げる次第である。

2. 水循環・物質循環変動による影響評価技術の開発に関する調査

下水道研究室 室 長 藤生 和也

主任研究官 那須 基

交流研究員 山田 和弘

1. はじめに

これからの我が国の国土づくりを進めていく上で、流域圏・都市を自然と共生したものとすることは重要な視点であり、とりわけ都市における健全な水循環を構築する取り組みが求められている。中でも、健全な水循環に重大な影響を与える合流式下水道の雨天時越流水については、お台場海浜公園（東京都港区）における白色固形物漂着の報道等を契機に対策推進の気運が高まり、平成 13 年 6 月には「合流式下水道改善対策検討委員会」が立ち上がり、平成 14 年 3 月には「合流式下水道の改善対策に関する調査報告書」として最終報告がとりまとめられたところである。

この中で、越流水の影響について放流先水域も含めて評価すべきとされ、当面の目標として「公衆衛生上の安全確保」が新たに加えられたが、どの吐き口において消毒を実施すべきか、越流回数をどの程度まで制御すべきか、といった点については、合流式下水道越流水と放流先水域の水質の関係について検討された事例や調査データがほとんどなく、具体的な議論が十分ではないのが現状である。

このような背景から、本調査では、放流先を含めた流域圏と都市を対象として、合流式下水道越流水の与える影響を評価するための手法を検討し、効率的な合流式下水道の改善の推進に資することを目的とし、本年度は、放流先の海域を含めたモデル流域において最も重要な負荷排出源となる合流式下水道排水区における実態調査を実施するとともに、陸域からの流出解析モデルについて検討した。

合流式下水道の改善対策等を検討する際の雨水・負荷量モデルとして、修正 RRL 法および土研モデル（以後は山口・中村モデルと称する）が広く用いられてきた。従来の山口・中村モデルは集中型であり流末での雨水流出量および汚濁負荷量の算出を目的としているため、複雑な管網を有する排水区や局所対策（オンサイト貯留など）を評価することが困難である。また、これまで合流改善対策については BOD、COD、SS のいずれかを指標とする場合が大半であり、山口・中村モデルにおいては栄養塩類（窒素、リン）、大腸菌群については計算方法が確立されていない。ここでは、これまで他流域をモデルとして行ってきた流出解析モデルの評価を基に、栄養塩類及び大腸菌群について適用性を検討することとした。

2. 調査方法

2. 1 対象流域の概要

モデル流域には平作川流域（神奈川県横須賀市）を選定した。当該流域を調査対象として選定した理由は以下のとおりである。

- 1) 市内から久里浜港までの主たる雨水流入経路が平作川のみである。
- 2) 流域の大半が都市化され、また下水道普及率も高い。
- 3) 流域内に適当な広さの合流式下水道整備

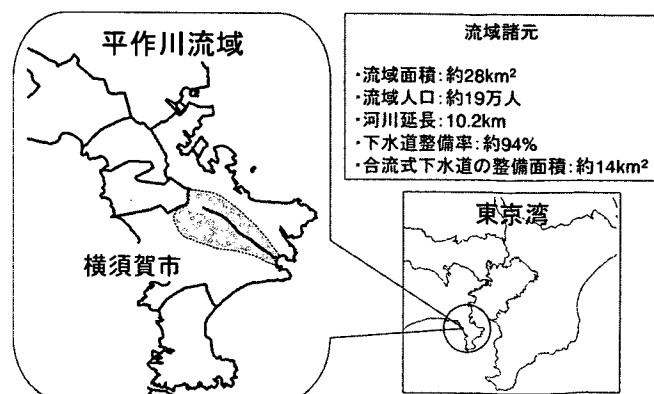


図 1 モデル流域の概略

地区を抱えている。

4) 久里浜港の沿岸の一部では親水的な利用がなされている。

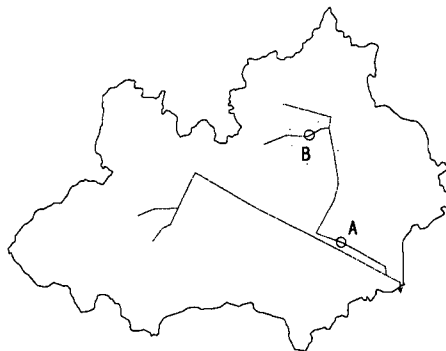
平作川流域の状況は図1のとおりである。平作川は大楠山に源を発し久里浜港に注ぐ2級河川で、下水道の排水系統を考慮した流域面積は約28 km²である。

2. 2 調査方法

調査地点はモデル流域上流部に位置する排水区内に2箇所を設定し、晴天時および雨天時に採水調査を実施した。調査対象排水区と調査地点の概要を図2に示す。

採水調査は地点ごとに晴天時2回、雨天時2回実施した。各調査地点にはデータロガー付き水位計を設置し、近傍のビル屋上に雨量計を設置した。流量は各調査地点の水位を、水位流量曲線により換算し算出した。水位流量曲線は雨天時調査において、各調査地点で管内流速を電磁流速計により実測して作成した。

採水は人力にて行い、晴天時は1～2時間間隔で採水を行った。雨天時調査では、降雨初期に最短5分間隔で採水を行い、降雨の状況に合わせて適宜間隔をのばした。水質分析項目はBOD、COD、SS、窒素(T-TN)、リン(T-TP)、大腸菌群の6項目である。



調査地点	排水区域面積 (ha)	管径 (mm)	勾配 (%)	人口 (人)
A	321	φ2000	2.00	31,000
B	33	φ1350	10.00	4,100

図2 流域概要

2. 3 汚濁負荷流出特性

窒素、リン、大腸菌群の汚濁負荷流出特性を把握するため2つの方法により特性を評価した。まず、雨天時の発生負荷量の経時変化を示すグラフを作成し、これを図3に示すようなエリア分割を行い、各々の流出負荷量を用いて次の検討を行った。

- (1) A/C：路面等から供給される汚濁負荷量の影響を把握
- (2) 雨天時総流出負荷量/晴天時総流出負荷量：路面等から供給される汚濁負荷量の影響を把握
- (3) (C+D)/D：晴天時並みの汚濁負荷になるまでの回復度を把握

次に、雨天時の流量と発生負荷量を経時的にプロットしたグラフを作成し（このとき描かれる時計回りの曲線を履歴曲線という（図4））、窒素、リン、大腸菌群とBOD等との流出特性の比較を行った。

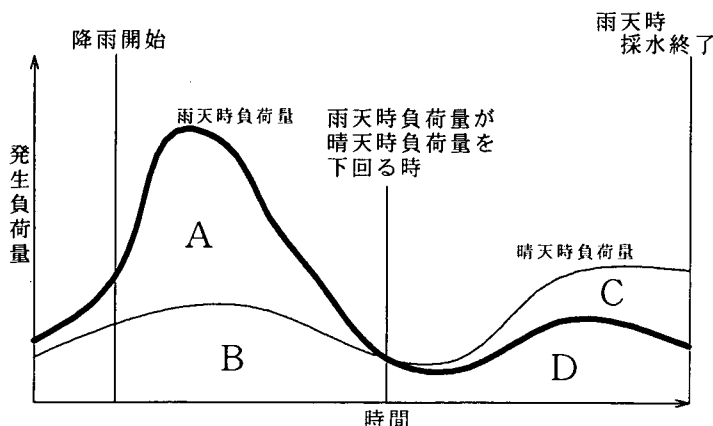


図3 エリア分割図

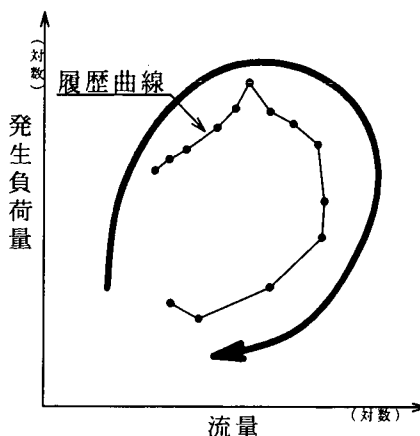


図4 履歴曲線模式図

3. 研究結果

3. 1 調査結果

晴天時、雨天時の調査を行った結果の一例としてA地点での晴天時平均水質（窒素）を図5に、1回目雨天時水質（窒素、リン、大腸菌群）の流出状況を図6～8に示す。晴天時には午前中に一回ピーク流出があることがわかった。他の調査結果も同様な傾向であった。雨天時にはファーストフラッシュが見られ、降雨初期は高濃度の流出であり、その後は晴天時を下回ることがわかった。

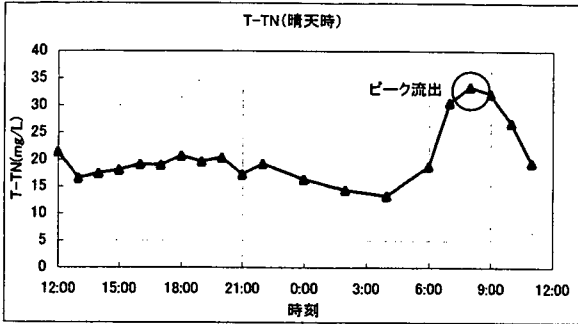


図5 晴天時水質観測結果 (A地点)

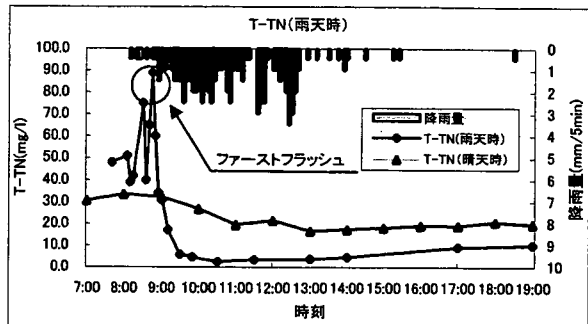


図6 雨天時水質観測結果 (A地点 T-TN)

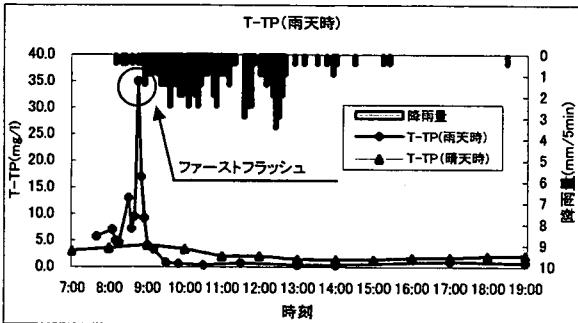


図7 雨天時水質観測結果 (A地点 T-TP)

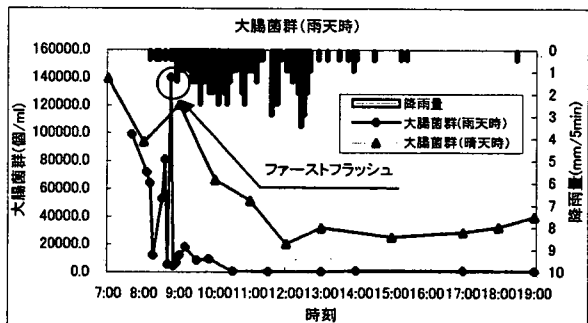


図8 雨天時水質観測結果 (A地点 大腸菌群)

4. 2 雨天時汚濁負荷流出特性

発生負荷量の経時変化から見たA/Cの比較を図9に、雨天時総流出負荷量/晴天時総流出負荷量の比較を図10に示す。いずれの値についても、窒素、リンのA/Cの値は降雨によるバラツキが大きかったが、SSよりは小さく、BOD及びCODよりは大きくなる傾向が見られた。大腸菌群は雨天時に晴天時を上回る量が少なく、A/Cの値は1.0程度であった。このことから、窒素、リンはBOD、CODと同様な流出特性を持ち、大腸菌群は他の汚濁負荷より低く、降雨による路面等からの供給汚濁負荷量は小さいと考えられる。この傾向は、過去に行った他の流域と同様のものであった。

また、図11によると、(C+D)/Dの値はどの水質項目も同程度であったが、大腸菌群は他の汚濁負荷と比べやや値が大きく、晴天時水質までの回復が遅い傾向が見られた。

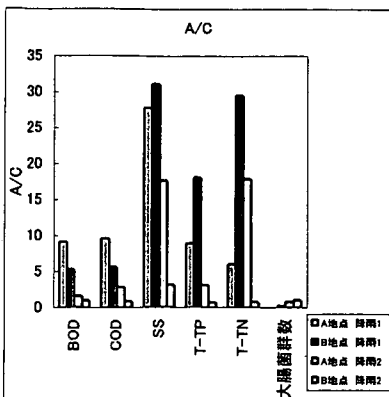


図9 比較図 (A/C)

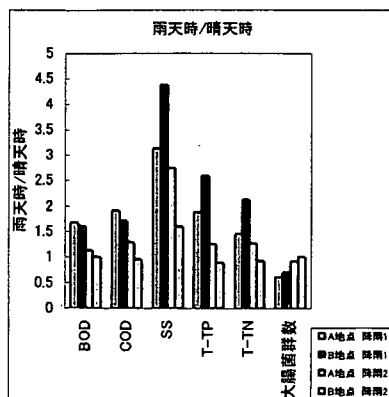


図10 比較図 (雨天時/晴天時)

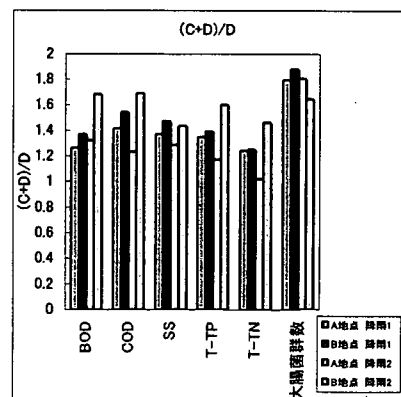


図11 比較図 (C+D/D)

次に、流量と汚濁負荷量の関係を示す履歴曲線は、図 12～17 に示すとおりであった。降雨初期における変化及び曲線の形状を比較すると、窒素、リンは BOD、COD に近く、また、大腸菌群は他の汚濁負荷より負荷量変動が大きく、特にファーストフラッシュによる流出が顕著であると考えられる。

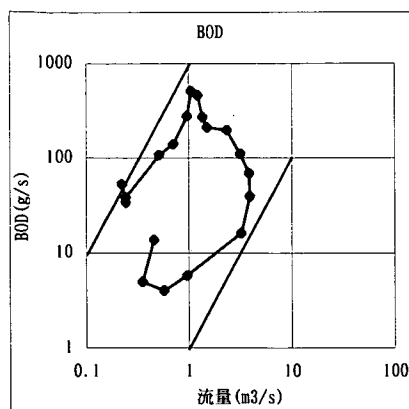


図 12 履歴曲線(BOD)

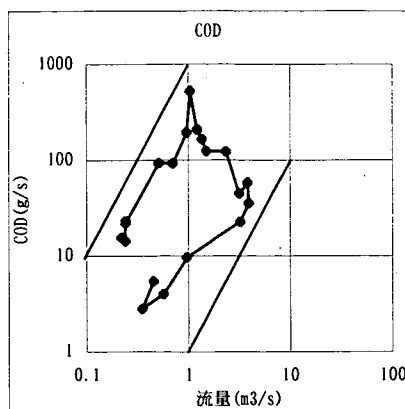


図 13 履歴曲線(COD)

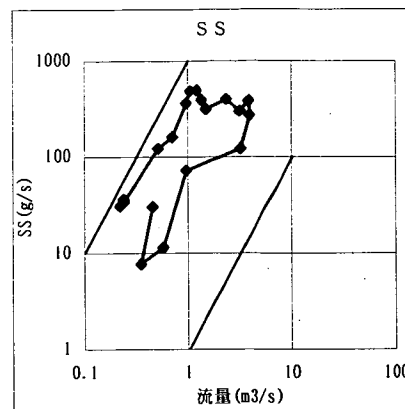


図 14 履歴曲線(SS)

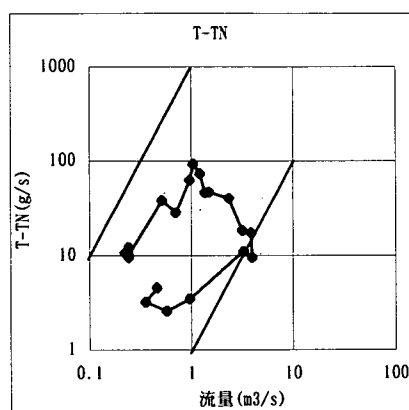


図 15 履歴曲線(T-TN)

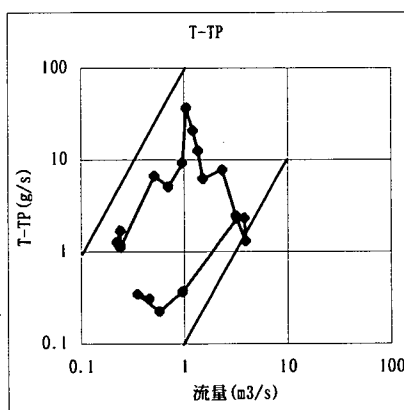


図 16 履歴曲線(T-TP)

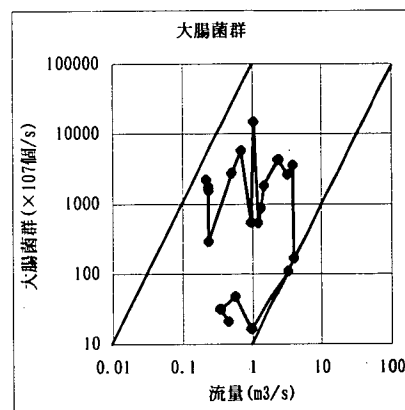


図 17 履歴曲線(大腸菌群)

5. 結論

海域における流出負荷を検討する上で陸域からの重要な供給源として、合流式下水道の雨天時越流水について流出解析モデルを構築するため、窒素、リン、大腸菌群の水質実態調査を行い、その流出特性として次のことがわかった。

- (1) 晴天時の流出状況は午前中にピークが 1 回みられる。
- (2) 雨天時にはいずれの水質も BOD 等と同様にファーストフラッシュがみられ、降雨初期に高濃度の流出となり、その後は晴天時を下回り、BOD 等と比べ回復するには時間がかかる傾向である。
- (3) 窒素、リンは他の流域での調査と同様に BOD、COD に近い流出特性であると考えられる。大腸菌群は他の汚濁負荷と違い、ファーストフラッシュによりほとんどが流出していると考えられる。
- (4) 窒素、リンは BOD、COD と同様な流出特性であるのでモデル構築においては BOD、COD と同様な式形を用い検討を行うことができると考えられる。大腸菌群は路面流出負荷量の影響の少ないモデルとして検討を行う必要があると考えられる。

今後は、過去の調査結果を含め合流式下水道からの汚濁負荷流出特性についての取りまとめ、流出解析モデルを構築するとともに、その海域への流出及び海域での挙動をモデル化することとしている。課題としては、特に大腸菌群について、路面からの流出負荷量の把握、温度等による消長を含めた検討を行い、モデルの構築を行う必要があると考えられる。

なお、本調査研究は、技術研究開発調査費により実施されたものである。

3. 厨芥の管渠内流送特性に関する研究

下水道研究室 室長 藤生 和也
 研究官 吉田 綾子
 研究官 浜田 知幸

1. はじめに

直投型ディスポーザー（以下、ディスポーザー）は、台所のシンク内で生ごみを衛生的に処理するため、住環境の向上、高齢者の福祉対策、都市環境の改善等が期待できる一方、下水道施設への負荷や都市全体のエネルギー消費量の増大などの影響が懸念されている。このため、ディスポーザーの導入にあたっては、下水道施設・ごみ処理施設への影響や地域全体の環境への影響評価など総合的な評価に基づく判断が必要である。

ディスポーザー導入の社会実験を実施している歌登町では、これまでの調査によりディスポーザーの設置後、下水管渠の底面に「卵殻・貝殻」などの堆積がみられることがわかっている。

本研究では、実際の下水道管渠にて堆積がみられた「卵殻・貝殻」が掃流される流速・限界掃流力を求めることを目的として、卵殻・貝殻のディスポーザー粉碎後の形状を調べるとともに、管渠内での堆積、掃流条件を管渠模型実験から検証した。

2. 調査方法

1) 供試固形物の性状

ディスポーザー導入後に管渠内で堆積がみられた卵殻、貝殻の性状を把握するため、卵殻、貝殻をディスポーザーで粉碎して物性を調べた。使用したディスポーザーは、ディスポーザー普及率の高い米国において、広く利用されている米国製の 2 機種（A: ISE 社製, 家庭用 0.55HP, 100V、B: アナハイム社製, 家庭用 0.50HP, 100V）で、歌登町で導入されているものである。卵殻は鶏卵、貝殻はアサリ貝であり、いずれも市販されている標準サイズのものをを用いた。ディスポーザーの使用説明書に従い標準的な操作により試料を粉碎し、比重、平均粒径、殻厚を測定した。比重の測定方法は JISA1202、平均粒径は標準網ふるいによる粒度試験（JSF131 土の粒度試験方法：ふるい分析部分）に準拠した。殻厚は、粉碎した卵殻、貝殻を任意に 5~6 粒採取し、それぞれの厚さをノギスで測定し、その平均値から求めた。

2) 既堆積物掃流実験

管渠内に堆積した卵殻、貝殻およびその混合物の掃流特性を把握するために、卵殻および貝殻を堆積させた一様順勾配の管渠にて通水実験を行い（以下、既堆積物掃流実験）、堆積物移動開始時の水理量を調べ、砂粒子の掃流特性との相違を検討した。管渠模型には、管渠内壁の粗度係数が硬質塩化ビニル管と同等であり、

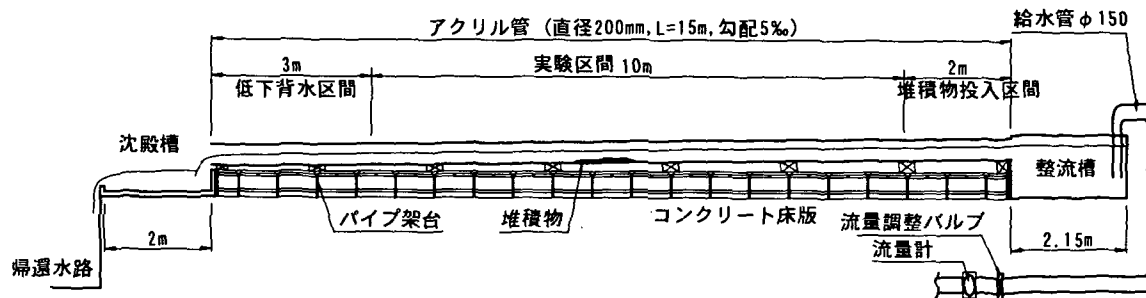


図 1 管渠模型の概要

管渠内の観測が容易な直径 200mm の透明アクリル管を用いた。管渠模型延長は、上流側から堆積物投入区間 2m、実験区間 10m および低下背水区間 3m の計 15m とした。管渠模型について写真 1、図 1 に示す。

模型中に供試固形物塊（卵殻、貝殻、卵殻と貝殻の混合物）を所定の寸法に形成した後、流量を順次増加させ、供試固形物（堆積物）の移動（掃流）開始流速と水深を測定した。堆積物は、通水開始前の状態で管渠底面に厚さ 2cm、長さ 2m の寸法で設置し、下流端を粘土で固定した（図 2）。管渠の勾配は 2%、5%、10% の 3 ケースとし、通水量は初期通水量を 0.5L/s として、30 分おきに 0.5L/s ずつ増加させた。流速はプロペラ式流速計（三光精密工業(株),SV101 型）を用いて、整流槽から 6.5m、7.5m の 2 箇所、堆積物の表面から 1.5cm 上方で測定した。なお、卵殻は殻に付着している薄皮が浮遊するため、初期通水前に微少流量で浮遊しそうな薄皮を排除してから実験を開始した。

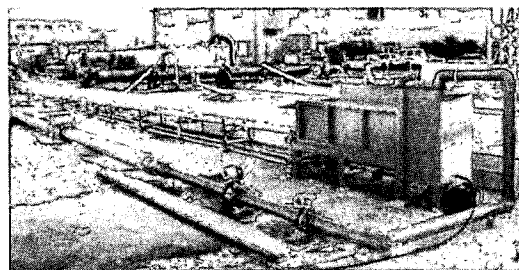


写真 1 管渠模型の全景

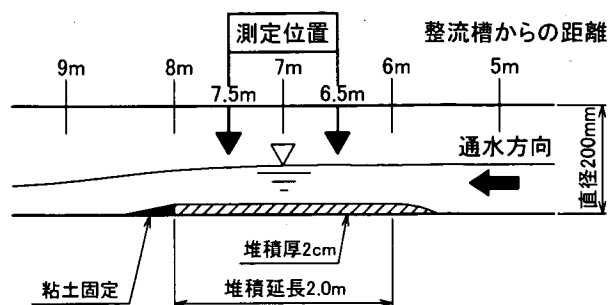


図 2 堆積物設置状況及び流速の測定位

3) 一様順勾配管渠での連続堆積・掃流実験

実管渠において、卵殻や貝殻はディスポーザーの使用に伴って半連続的に供給される。そこで、ディスポーザー設置地区の実管渠内での卵殻、貝殻の粉碎物の挙動を推定するために、ディスポーザー使用時の卵殻および貝殻の供給状態を模した実験を行い、堆積状況の経時的な変化（堆積高、堆積延長）と水量の関係を検討した。整流槽から下流 0.8m 地点に投入口を設け、固形物を一定量（60g/min）投入し堆積高、延長および水深を随時測定した。固形物の投入量は、歌登町でのごみ量調査において得られた 1 日当りの排出量、すなわち卵殻 4.4g/(人・日)、貝殻 0.9g/(人・日) の合計 5.3g/(人・日)⁶⁾ に基づき、人口 1,000 人の地区で、ディスポーザー使用回数 3 回（朝、昼、夜）、各 30 分間に排出されると仮定して設定した。管渠勾配は、既堆積物掃流実験と同じ 2%、5%、10% の 3 ケースとし、通水量は 0.2L/s から経過時間 30 分毎に順次増加させた。

4) 「たわみ」管渠での連続堆積・掃流実験

歌登町における管渠のテレビカメラ調査では、堆積物の大部分が不同沈下などによって生じた管渠の「たわみ」区間に集中していることが確認されている。そこで、「たわみ」区間における堆積および掃流状況を把握するために、「たわみ」を再現した管渠模型を用いて実験を行った。管渠模型は、既堆積物掃流実験で用いた装置（図 1）を一部改造した。諸元は、上流側から固形物投入区間 2m、管渠の「たわみ」を模した実験区間 14.1m および最下流部に設けた 4.4m の低下背水区間の計 20.5m とした。堆積物のない管渠に上流側から固形物を一定量（60g/min）連続投入し、固形物が管渠の「たわみ」区間に堆積する過程を観測した。管渠形状は、2.0% の順勾配管渠に $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ の「たわみ」を設け（勾配の負号は逆勾配を表す）、それぞれの「たわみ」量は 2.8cm、4.8cm、8.8cm とした。通水量は、2% の管渠模型で堆積物の連続的な掃流がみられた通水量を参考に 4.0L/s として 24 時間通水した。つぎに勾配 $\pm 20\%$ の実験で得られた最終堆積状態を初期状態として、直径 200mm、5% の塩ビ管で設計指針に示された最小流速 0.60m/s が得られる通水量として 9.5L/s に増加させ、12 時間一定量通水し、堆積物の掃流状況を観測した。その後「たわみ」部が満管流れとなるよう、さらに通水量を最大 17L/s まで増加させて 12 時間通水し、同様の観測を行った。

3. 結果および考察

1) 供試固形物の性状

ディスポーザーによって粉碎した卵殻と貝殻の粒度分布を調べたところ、粒径は 0.85~4.75mm に集中しており、卵殻は貝殻よりやや小さかった(図 3)。粉碎物の比重は、卵殻は 2.60、貝殻は 2.84 であった。通常、管渠内の堆積物は流入した土砂が主な成分といわれている。砂粒子の比重の大部分は、2.65~2.85 であることが報告されており、卵殻、貝殻の比重も砂粒子と同程度であることから、厨芥成分の中では、堆積しやすい物質と推察される。

粉碎物の平均粒径は 1.9~2.5mm、平均殻厚は卵殻 0.5mm、貝殻 1.0mm であった。平均粒径は A 社、B

社に殆ど差異はないが、貝殻の均等係数 $U_c (=D_{60}/D_{10})$ は、B 社の 3.0 に対して A 社は 4.2 と高い値を示した。ディスポーザー粉碎物の粒度分布は機種によるバラツキが大きいことが報告されており、卵殻および貝殻の粉碎物についても同様に、粒度分布には機種による影響が生じることが確認された。また、卵殻、貝殻の粉碎物の平均粒径は、殻厚のそれぞれ 4.0、2.4 倍であった。なお平均粒径は、ふるい目を基準にして測定しており、実際の卵殻および貝殻の粉碎物は球形ではなく扁平形状であった。

以下の管渠模型実験では、多種のディスポーザーへの適応性を考慮して、粉碎物の均等係数が大きい A 社のディスポーザーで粉碎した卵殻および貝殻を使用した。ディスポーザーが導入された場合、卵殻と貝殻の割合は地域によって異なるものと思われるが、歌登町ではディスポーザー導入後の堆積物は卵殻が主体であり、貝殻の占める割合は 10%にも満たなかった。従って以下の模型実験では、卵殻と貝殻を 40 : 1 の比率で混合したもの(以下、混合物 A)も実験対象とした。

2) 既堆積物掃流実験

初期通水量 0.5L/s から 0.5L/s ずつ通水量を増加させると、すべての供試固形物(卵殻、貝殻、混合物 A)において、移動状況は「初期移動」、「中間移動」、「全面移動」の順で変化することが確認された。移動状態の定義を表 1 に示す。管渠勾配が大きいほど、小さな通水量で移動を開始したが、管渠勾配の大小による移動開始流速の傾向は認められず(図 4)、勾配 2~10%の範囲内においては、堆積物掃流開始流速が管渠勾配から受ける影響は小さいものと考えられた。そこで、各移動状態での管内平均流速を全勾配条件 2%、5%、10%の平均値により求めると、卵殻では初期移動 $V=0.357\text{m/s}$ 、中間移動 $V=0.425\text{m/s}$ 、全面移動 $V=0.517\text{m/s}$ 、貝殻では初期移動 $V=0.423\text{m/s}$ 、中間移動 $V=0.529\text{m/s}$ 、全面移動 $V=0.586\text{m/s}$ 、混合物 A では初期移動 $V=0.348\text{m/s}$ 、中間移動 $V=0.483\text{m/s}$ 、全面移動 $V=0.565\text{m/s}$ であった(表 2)。これらの結果が

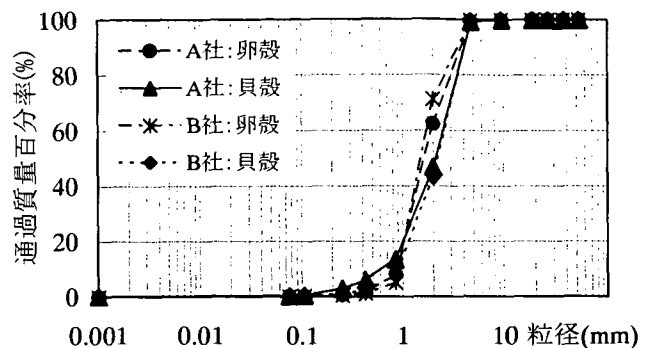


図 3 ディスポーザー粉碎物の粒度分布

表 1 堆積物の移動状況の定義

初期移動	堆積物の中間位置で、表面の殻が数個程度移動を開始した時点
中間移動	堆積物の中間位置で、間欠的であるが、表面の半分程度の殻の移動が生ずる時点(移動状態が初期移動と全面移動の中間的な状態)
全面移動	表面の殻の連続的な移動が見られる時点

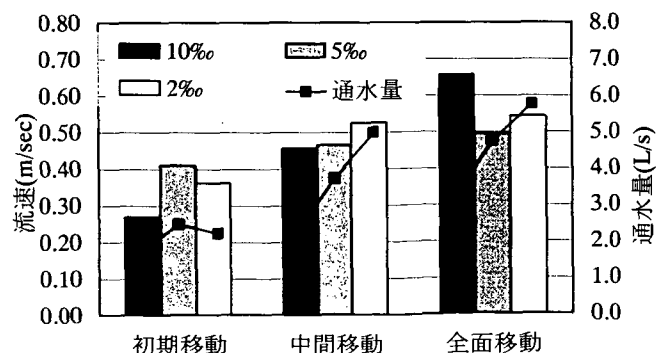


図 4 堆積物の移動開始流速(混合物 A)

ら、卵殻は貝殻に比べて掃流されやすく、混合物 A の掃流程度は卵殻と貝殻の中間程度であることがわかった。

設計指針に示された管渠内の最低流速は 0.60m/s であり、本実験の結果、使用した供試固形物の中でもっとも掃流されにくかった貝殻においても 0.60m/s であれば全面移動することがわかった。また、実際の堆積物を想定した混合物 A では 0.565m/s で全面移動の状態になった。

旧建設省土木研究所（以下、土研）が堆積物のない管渠で行った実験によると、円形管渠では、今回の既堆積物掃流実験における流速測定時の水深 0.3D~0.4D（5.5~7.5cm, D:管径）の範囲では、管渠中央部は側部よりも相対的に流速が大きく、今回の流速測定位置である管渠中央部の管底から 0.1D（1.5cm）付近では平均流速以上の流速が分布することが確認されている。今回の実験で得られた流速の実測値と平均流速を比較すると、殆どの観測値で実測流速が平均流速を上回っており、土研の実験と同様であった。

下水道施設では一般に、断面平均流速を用いて計画すること、掃流に関する以後の摩擦速度 u_* 等の水量の計算には断面平均流速から算定するエネルギー勾配を用いることを勘案して、本研究では断面平均流速を用いることとした（以後、断面平均流速を流速とする）。

さらに、卵殻および貝殻の掃流現象について、摩擦速度 u_* 、無次元掃流力 τ_* 、粒子レイノルズ数 Re_* に着目し、Shields や岩垣の式との関係を調べた。すなわち、堆積物移動開始時の u_* から τ_* および Re_* を求め、両対数グラフ上にプロットし、Shields および岩垣が提案した曲線（以下、既往曲線と称す）との比較を行った。 τ_* 、 Re_* を算出するにあたり、既往の式では砂粒子を対象としているため堆積物形状は球形であると仮定されているが、今回の供試体である卵殻および貝殻は扁平形状である。そのため、本実験では、堆積物の代表粒径として平均粒径と殻厚を用いてそれぞれ解析した。

粒度試験により求めた平均粒径を代表粒径（卵殻:2.1mm, 貝殻:2.3mm, 混合物 A:2.1mm）とした場合、初期移動時には既往曲線の下方にプロットされ、次第に既往曲線に近づき、全面移動時には既往曲線に近似された（図 5）。全面移動時の u_* を調べると卵殻 0.031~0.037m/s、貝殻 0.038~0.039m/s、混合物 A 0.033~0.035m/s であった。曲線の下側は非掃流領域を表すため、本来であれば堆積物は掃流されないものと考えられるが、解析に用いた代表粒径は平均粒径であるが、実際には様々な粒径が混合されたものであるため、初期移動時から中間移動時には掃流されやすい条件にある粒子が掃流されていたものと推察される。

表 2 堆積物の移動開始時の流速

種別	移動状態	実測(*)流速 (m/s)	管内平均流速 (m/s)	水深 (cm)
卵殻	初期移動	0.421	0.357	5.5
	中間移動	0.475	0.425	6.0
	全面移動	0.587	0.517	7.0
貝殻	初期移動	0.449	0.423	6.0
	中間移動	0.524	0.529	6.5
	全面移動	0.601	0.586	7.5
混合物A	初期移動	0.393	0.348	5.5
	中間移動	0.488	0.483	7.0
	全面移動	0.587	0.565	6.5

(*)実測流速は堆積物表面から1.5cm位置での測定値。

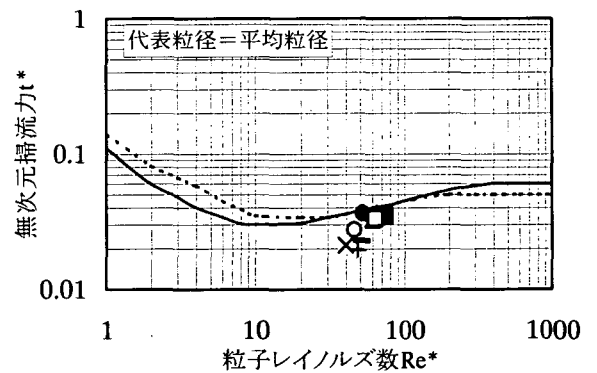
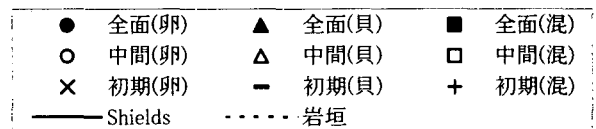


図 5 τ_* と Re_* の関係 (代表粒径: 平均粒)

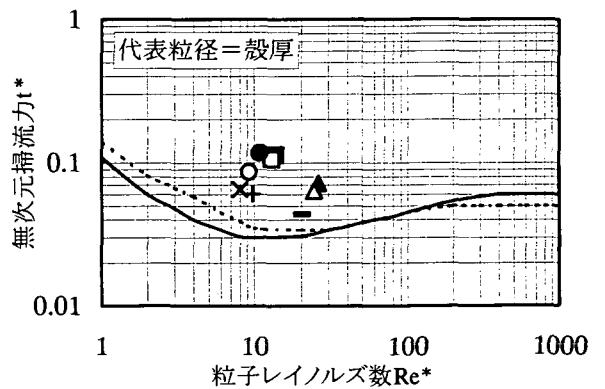


図 6 τ_* と Re_* の関係 (代表粒径: 殻厚)

殻厚を代表粒径（卵殻:0.5mm, 貝殻:1.0mm, 混合物 A:0.5mm）とした場合、全ての移動状態で既往曲線の上方にプロットされた（図6）。これは、解析上、堆積物が殻厚を直径とする球形であると仮定したことによる τ_* の過大評価と Re_* の過小が原因と考えられる。

以上より、ディスポーザーで粉碎された卵殻と貝殻は、平均粒径を用いた場合、既往の式でよく表現され、近似的には砂粒子と同様の掃流特性を有すると考えられる。このことから、砂粒子の堆積を想定して設定された管渠の設計流速をディスポーザー粉碎物に適用することが可能と推定される。

3) 一様順勾配管渠での連続堆積・掃流実験

混合物 A を供試体とした勾配 2% の実験では、通水量 0.5L/s では、堆積物は投入位置付近に堆積し、掃流は殆どみられず堆積高は最大 5cm（閉塞率 20%）まで上昇した。通水量を 1.0L/s に増加させると掃流が始まり、投入位置付近の堆積高は 3cm（閉塞率 9%）まで減少して平衡状態に達した。このときの平均流速は約 0.30m/s であった。掃流された堆積物は下流側で再び堆積し、堆積区間延長は長くなっていったが、堆積高は 3cm 以下で推移した。さらに流量を増加させると堆積高は減少傾向を示し、通水量 3.0L/s で「全面移動」状態になり、堆積高は 2cm となった。このときの平均流速は 0.35~0.50m/s 程度で推移した。このとき流速は 3.2 節の 2) の実験で得られた全面移動時の流速 0.543m/s（混合物 A, 勾配:2%, 通水量 5.5L/s）よりも小さく、他の勾配条件（5%、10%）でも同様の傾向がみられた。また、勾配 10% の実験では、掃流された堆積物の殆どは再び堆積することなく流失した。

以上の結果から、実際のディスポーザー使用時を想定した堆積物の連続的な投入がある一様順勾配管渠においては、0.35~0.50m/s の流速で堆積物が掃流され、勾配 2% の管渠でも流量 1L/s が得られれば堆積高は 3cm 以上には成長しないが、管渠の勾配が緩い場合は、堆積延長の増大に伴って堆積物量が多くなることが示唆された。

4) 「たわみ」管渠での連続堆積・掃流実験

±5% の「たわみ」管渠では、時間経過とともに「たわみ」区間の上流側から下流側方向に向かって堆積が進行し、「たわみ」区間の前後の管底高を直線で結んだライン（以下、仮想管底ライン）の下側は全て堆積物で満たされた。最終的に 24 時間連続して通水した時点で堆積高は平衡状態に達し、その高さは仮想管底

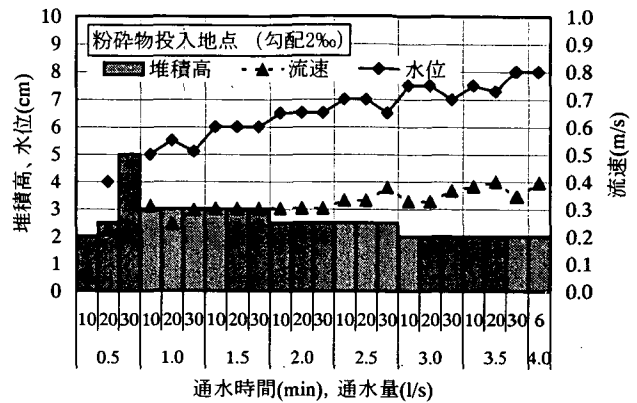


図7 連続堆積・掃流実験結果（投入点, 勾配

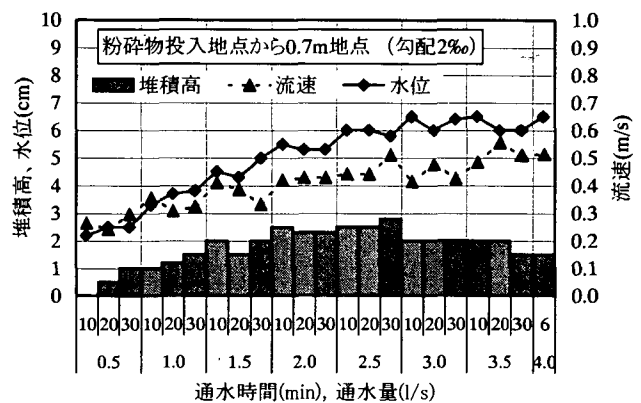


図8 連続堆積・掃流実験結果

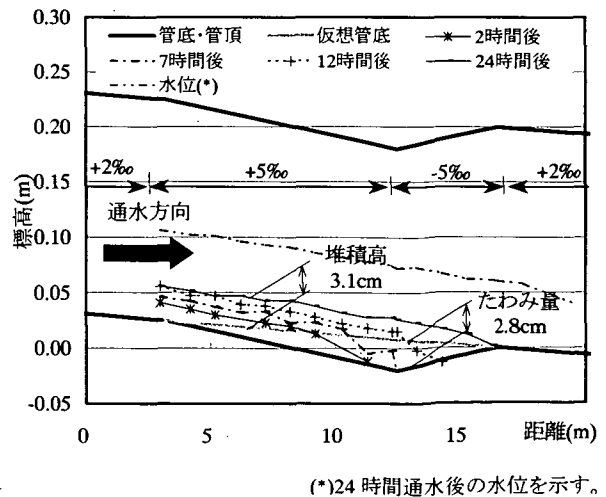


図9「たわみ」管渠での堆積状況(勾配±5%)

ラインから 3.1cm の高さであった (図 9)。

以上の結果より、「たわみ」管渠では、時間経過とともに「たわみ」部が完全に堆積物で満たされて、最終的には堆積面は順勾配となり、順勾配管渠と同様の流況になることがわかった。±20%の実験で得られた最終堆積状態を初期状態として通水量を 9.5L/s に増加させ、12 時間一定量通水したところ、堆積高は仮想管底ライン付近まで低下して平衡状態に達し、このときの堆積箇所での流速は 0.50m/s であった。さらに通水量を最大 17L/s まで増加させながら 12 時間通水すると、「たわみ」部では満管流れとなり堆積物が「たわみ」部の上流側から掃流されていく状況が確認されたが、逆勾配区間では堆積物が完全に掃流されることはなかった (図 10)。12 時間通水時 (17L/s)の堆積箇所における平均流速は 0.68m/s であった。

以上の結果より、「たわみ」部の仮想管底ラインより下部の堆積物が掃流されるためには、一様順勾配管渠や仮想管底ライン上部の堆積物の掃流流速よりも大きな流速が必要であることが示唆された。

4. まとめ

- 1) 堆積物塊の下流端を粘土で固定して行った掃流実験では、堆積物が連続的な移動を起す「全面移動」時の流速は、卵殻 0.52m/s、貝殻 0.59m/s、混合物 A (卵殻：貝殻=40：1) 0.57m/s であり、設計指針に規定されている最小流速 0.60m/s よりも小さく、このときの摩擦速度は 0.03~0.04m/s であった。
- 2) 堆積物塊の下流端を粘土で固定して行った掃流実験では、粉碎物の平均粒径を用いた解析により、その掃流特性が、砂粒子を対象として提案されている既往の掃流式でよく表現されることがわかった。
- 3) 実際のディスポーザー粉碎物投入状況を想定した一様順勾配管渠での連続堆積・掃流実験では、通水量が 0.001m³/s 以上確保されると、堆積高は 3cm 以上に成長することはなかった。
- 4) 実際のディスポーザー粉碎物投入状況を想定した一様順勾配管渠での連続堆積・掃流実験では、堆積物は 0.35~0.50m/s で掃流され、これが実管渠における堆積物掃流流速と推測された。
- 5) 設計流速を 0.6m/s とすれば、堆積が生じた管渠においても堆積物掃流流速 0.35~0.50m/s を概ね確保でき、設計流量に対しては 3cm 程度以上の堆積は生じないものと推定された。
- 6) 「たわみ」管渠では、時間経過とともに「たわみ」部が堆積物で満たされ、最終的には堆積物表面が順勾配になり、順勾配管渠と同様の流況になることがわかった。
- 7) 「たわみ」部の仮想管底ラインより下部の堆積物が掃流されるためには、順勾配管渠の堆積物や仮想管底ライン上部の堆積物の堆積物掃流流速よりも大きな流速が必要であることがわかった。

なお、本調査研究は、試験研究費により実施されたものである。

【参考文献】

- 1) 岡本辰生・吉田綾子・森博昭・高橋正宏・森田弘昭、ディスポーザー由来管渠内堆積物の挙動に関する調査、下水道協会誌、投稿中 (2004)
- 2) 吉田綾子・行方馨・高橋正宏・森田弘昭、北海道歌登町におけるディスポーザー導入による下水管渠への影響調査、下水道協会誌、投稿中 (2004)

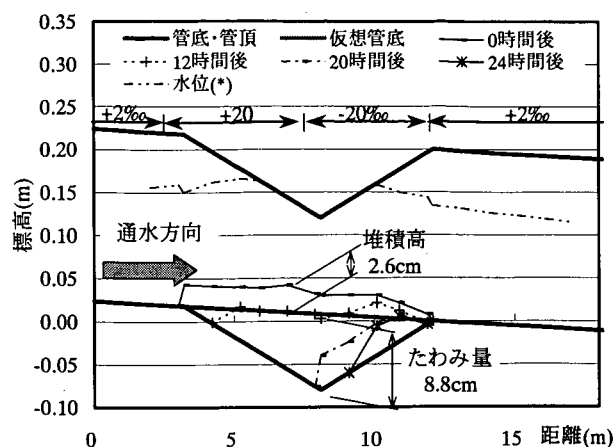


図 10 「たわみ」管渠での掃流状況 (勾配±)

4. 生ごみ等有機系廃棄物の最適処理による 環境負荷低減技術に関する研究

下水道研究室 室 長 藤生 和也
研 究 官 吉田 綾子
研 究 官 山縣 弘樹

1 はじめに

都市における生ごみ等の有機系廃棄物を台所に設置したディスポーザーで粉碎して下水道管渠に排出し、下水処理場でメタンガスや有機肥料として回収することにより、ごみ収集時の臭気・害虫の発生やカラスによる被害、廃棄物処分場の逼迫等の深刻な都市問題を抜本的に改善することが可能となる。また、生ごみ搬出労働からの解放は、高齢化社会を迎える我が国にとって有効な福祉対策となる。しかし、ディスポーザーの導入は、下水道施設が能力的に対応可能か否か、合流式下水道からの生ごみの排出の水環境への影響等が懸念される。

本研究は、環境負荷の低減、循環型社会システムの構築や高齢者福祉に資する最適な有機系廃棄物処理・循環システムの確立を目指して、ディスポーザーに着目し、ディスポーザー排水を下水道で収集、下水道システムで生活廃水として処理した場合の地域への影響を評価するとともに、地域でディスポーザーを導入する場合の計画手法を提案することを目的とし、1)下水道による有機系廃棄物収集・処理技術に関する研究、2)ディスポーザー導入による環境影響等の総合評価に関する研究の2課題に取り組んだ。

2 下水道による有機系廃棄物収集・処理技術に関する研究

ディスポーザー排水を下水道で受入れた場合の下水道施設（管渠）への影響とそれに対する効率的な管渠の維持管理（特に堆積物除去）技術について、既にディスポーザー普及率の高い米国の都市を対象として調査を行った。また、ディスポーザー導入による増加負荷量の推定を目的に、国内でディスポーザー導入の社会実験を実施している北海道歌登町においてディスポーザーによる汚濁負荷増加量の推定、さらに、モデル地域を選抜して合流式下水道越流水への影響について予測計算を実施した。平成 15 年度は、北海道歌登町におけるディスポーザー導入による汚濁負荷増加量、モデル地域における合流式下水道越流水への影響に関する予測について取りまとめた。

2. 1 北海道歌登町におけるディスポーザー排水の負荷原単位に関する調査

ディスポーザー導入の社会実験を実施している北海道歌登町にて、ディスポーザーに投入される生ごみ量を推定するために、ディスポーザー導入前後のごみ集積場における生ごみ量を調査するとともに、ディスポーザー設置世帯から生ごみを回収し、ディスポーザー排水を作成し水質分析を行った。なお、歌登町は、平成 12 年度から町営団地を中心に段階的にディスポーザーを設置し、平成 14 年度末のディスポーザー設置世帯は 301 戸（639 人）、ディスポーザー普及率は 36%（/人）である。

1) ディスポーザー導入後のごみ収集場における生ごみ量調査

歌登町では、町内で収集された可燃ごみを周辺町村と共同で焼却処理する広域のごみ処理システム（組合）を利用している。この歌登町を含めた広域のごみ処理組合では、生ごみ等の有機系廃棄物の有効利用を目指し、下水汚泥、し尿、生ごみをメタン発酵とコンポスト製造を組み合わせる再生処理する汚泥再生処理施設を完成させ、現在運転を開始している。そのため、平成 14 年度末までは、生ごみは可燃ごみとして収集され焼却処理されていたが、平成 15 年度からは汚泥再生処理施設にて再生処理されている。ごみの収集方法も改正され、平成 15 年度以降、生ごみは可燃ごみから分別して収集されている。調査は、ディスポーザーを設置している

町営団地（A, B, C 地区）とディスプレイ未設置の一般住宅（一戸建て：D 地区）で行った。地区概要を表 1 に示す。

表1 調査地区概要

調査地区	地区の特性	ディスプレイ設置時期	ごみステーション利用者数(世帯数)	平均世帯人数	単身世帯数
A 地区(若葉団地)	町営団地	平成11年 8月	79人(35戸)	2.3人	13戸(37%)
B 地区(光南団地)	町営団地	平成12年10月	118人(63戸)	1.9人	30戸(48%)
C 地区(新栄団地)	町営団地	平成13年 8月	112人(58戸)	1.9人	20戸(34.5%)
D-1地区	一般住宅	未設置	18人(9戸)	2.0人	4戸(44%)
D-2地区	一般住宅	未設置	22人(10戸)	2.2人	4戸(40%)
D-3地区	一般住宅	未設置	20人(8戸)	2.2人	1戸(11%)

注1)人数および世帯数の調査は、A,B地区は2003年10月、C地区は2003年7月に行った。

注2)ごみステーションとは、各家庭がごみを決められた曜日に持ち込む場所のこと。

2000年7月～2004年1月の各地区のごみステーションに排出される生ごみ量をディスプレイ設置前、ディスプレイ設置後（生ごみの分別収集開始前後）で比較した（図1）。生ごみの分別収集では、専用のごみ袋に生ごみを分けて保存、廃棄しなければならず、従来のごみ処理に比べ家庭内での手間がかかると予想されるが、生ごみ発生量自体の年変動を考慮すると、生ごみ分別収集の開始によるディスプレイ使用頻度への影響は、現段階では明らかにできなかった。

平成12年7月～平成16年1月までの計30回の調査結果を表2にまとめた。可燃ごみの原単位についてみると、集合住宅のA,B,C地区と戸建て住宅のD地区では200g程度と大きな差があるものの、ディスプレイ設置前の可燃ごみ量の原単位をB,C地区とD地区の平均（加重平均）を求めると486g/人・日であった。なお、平成12年度の歌登町におけるごみの収集実績から算出した可燃ごみ量の原単位は565g/人・日であった。つぎに、ディスプレイ設置前の生ごみ量の原単位についても可燃ごみと同様に、B,C地区とD地区の平均（加重平均）から算出すると228g/人・日となり、既往の調査報告で提案されている生ごみ量の原単位250gに近い値であった。

ディスプレイ投入生ごみ量は、生ごみの分別収集開始前後で生ごみ減少量に特定の傾向がみられなかったため、2000年7月～2004年1月までの計30回の調査結果をまとめて評価した。その結果、ディスプレイ設置前の生ごみ量（B,C地区の平均値220g）と設置後の生ごみ量（A,B,C地区の平均値121g）から、99g/人・日と算出された（表2）。すなわち、ディスプレイ設置前の生ごみ量220g/人・日の半量程度がディスプレイに投入されたと考えられる。なお、調査毎の変動を考慮して非超過率により統計処理した結果、本調査で得られたディスプレイ設置後の生ごみ減少量の非超過率75%値では、135g/人・日と算出された（図2）。

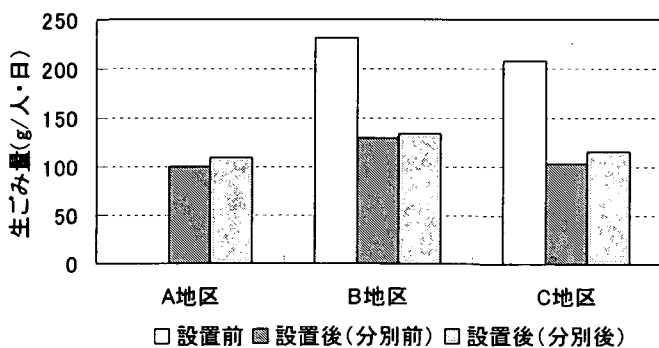


図1 ディスプレー設置前後での生ごみ量の変化

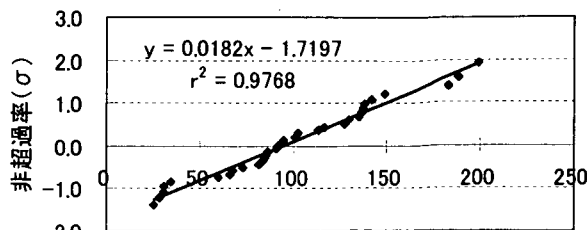


図2 生ごみ減少量の非超過率 実測値(g)

表2 ごみ量調査結果(可燃ごみ量および生ごみ量)

調査地区	ごみステーション 利用者数(人)	可燃ごみ量 (g/人・日)	生ごみ混合率 (%)	生ごみ含水率 (%)	生ごみ量 (g/人・日)
A	79	354	31	74	109
B	118	442 [524]	30 [44]	72 [72]	134 [231]
C	112	401 [379]	29 [55]	73 [77]	116 [208]
平均	-	404 [453]	30 [49]	73 [74]	121 [220]
D-1	18	596	37	75	218
D-2	22	652	37	69	242
D-3	20	713	47	66	335
平均	-	655	40	70	266

注) []内は、ディスプレイ設置前の数値を示す。

D地区の可燃ごみ量は分別生ごみを加えた値である。

また、ディスプレイ設置により減少する生ごみの種類を把握するため、ディスプレイ設置前後(生ごみの分別収集開始以前)で可燃ごみに混入している生ごみの種類を調べた結果、野菜類と果実類が大幅に減少していることがわかり、この2種類がディスプレイによって処理されていることが示唆された。

2) ディスposer排水の水質調査

歌登町内のディスプレイ設置済み家庭に協力を依頼し、これらの家庭の生ごみ全量を回収して、ディスプレイ排水を人工的に作成、水質分析を行った。

ディスプレイ排水の水質について、生ごみ 100g 当たり換算し既往の調査報告と比較した結果、SS、COD_{Mn}については歌登町で回収した生ごみは標準生ごみより低かったが、BOD、TN、TP、n-Hexについては、標準生ごみと同等かやや高い値を示した(表3)。魚津市の調査*では生ごみの種類別にディスプレイ排水中の汚濁成分量を調べた結果、魚の内臓や骨類はBOD、TNが高いことが報告されている。歌登町では、魚を切り身や加工品などで購入するよりも家庭で調理することが多い。本調査で回収された生ごみにも魚の内臓や皮などの調理残渣が比較的多く含まれており、高BOD、高TNの要因の一つと考えられた。これらの結果から、ディスプレイ排水の特性は、投入される生ごみの種類、すなわち、食生活など生活習慣により異なることが示唆された。

つぎに、1)で推定された歌登町の1人1日当たりのディスプレイ投入生ごみ量原単位(99g/人・日)から増加する負荷量を求め、実測値および流総指針¹²⁾と比較した。その結果、処理場への流入負荷はSS、BOD、COD_{Mn}は2割、TN、TPは1割程度増加する可能性が示唆された(表4)。しかし、これらの汚濁負荷成分は、下水管渠を流下する過程である程度分解・減少する可能性がある。そのため、処理場への流入水の負荷量

表3 歌登町におけるディスプレイ排水の水質転換率

水質項目	SS	TS	IL*	BOD	DBOD	COD _{Mn}	DCOD _{Mn}	TN	DTN	TP	DTP	Cl ⁻	n-Hex
平均値	8.23	14.6	89.9	11.3	5.7	5.47	2.24	0.73	0.23	0.11	0.08	0.33	1.75
標準偏差	(1.41)	(4.50)	(4.90)	(3.46)	(1.45)	(1.03)	(1.25)	(0.25)	(0.09)	(0.02)	(0.02)	(0.14)	(0.71)
歌登町 最大値	11.0	18.0	95.3	14.0	7.6	7.10	4.20	1.19	0.34	0.14	0.13	0.44	2.70
歌登町 最小値	6.0	8.2	78.6	8.0	4.2	3.80	1.00	0.49	0.07	0.06	0.03	0.09	1.10
調査回数	12	15	15	15	15	15	15	14	14	15	15	13	14
A(標準生ごみ)**	15.0	-	-	11.4	-	10.2	-	0.52	-	0.10	-	-	1.59
B(家庭生ごみ)**	8.1	-	-	9.2	-	5.7	-	0.51	-	0.08	-	-	1.20

注)1)※TSに対する強熱減量の割合(%)を示した。

2)※※7) 竹崎義則・清水康利・稲森悠平・山海敏弘、ディスプレイ排水の原単位設定、廃棄物学会誌、21(5):312-321(2001)の増加にどの程度、影響するかは不明である。ディスプレイ排水が下水道システムに及ぼす影響を評価する

水質項目	SS	BOD	COD _{Mn}	TN	TP	Cl ⁻	n-Hex
ディスポーザー排水	8.1	11.2	5.4	0.7	0.1	0.3	1.7
実測負荷量 (2000年6月歌登町)	34.0	42.0	31.0	12.5	1.2	25.8	3.7
負荷量の増加率 (%)	24	27	17	6	9	1	47
流総指針 ¹¹⁾	45.0	58.0	27.0	11.0	1.3	—	—
負荷量の増加率 (%)	18	19	20	7	8	—	—

注) 歌登町におけるディスポーザー投入生ごみ量を99gとして増加負荷量を算出した。
 実測負荷量は、歌登町下水処理場流入水のコンポジットサンプルの水質データである。
 なお、この時のディスポーザー普及率は、4.5%(/人)であった。

ためには、ディスポーザー排水中の負荷成分がどの程度処理場まで到達するか、ディスポーザー排水の管渠内での分解特性を中心に、今後、さらに検討する必要がある。

※農林水産省農村振興局事業計画課・(財)日本環境整備教育センター、農業集落における生活排水・生ゴミ一体処理システム検討調査委託事業報告書(2001)

2. 3 合流式下水道越流水への影響予測

ディスポーザーの導入に伴い流入負荷量が増加し、箇所によっては、管渠やポンプ井の堆積物が増加すると考えられる。これらの堆積物等は、雨天時における流量の増加にともなって掃流され、越流堰高を越える分については河川等に放流される。合流式下水道へのディスポーザー導入の影響について、2つのモデル排水区を設定しディスポーザーを導入した場合に下水道からの放流負荷がどの程度増加するか試算した。

表5 モデル排水区の概要

	A 排水区	B 排水区
面積	110ha	327ha
現況人口	6,100 人	20,060 人
晴天時平均処理水量	4,420m ³ /日	9,511 m ³ /日
	0.72m ³ /日人	0.47 m ³ /日人
晴天時平均汚濁負荷	730kg/日	1,068kg/日
	120g/日人	53g/日人
高級処理能力	5,660 m ³ /日	11,600 m ³ /日
簡易処理能力(3Qs)	24,700m ³ /日	49,800 m ³ /日
排水区の特徴	土地利用は商業系が中心である	土地利用は住宅系が中心である

・ 流量モデル：xp-swmm、負荷量モデル：土研モデル、水質項目：BOD

1年間の降雨の実測値を用いて、下水道から流出する年間BOD負荷量のディスポーザー導入前後の変化を試算した。

表5 下水道から放流される雨天時汚濁負荷量^{*1}のディスポーザーの有無による比較

	水質項目	ディスポーザー 無 (t/年)	ディスポーザー 有 (t/年)	増加率 (%)
A排水区	BOD	21.4	25.2	17.8
B排水区	BOD	43.5	61.3	40.9
福岡市(中部処理区) ^{*2}	COD	680.7	979.2	43.9
福岡市(西部処理区) ^{*2}	COD	18.0	21.9	21.7

*1 雨天汚濁負荷量は(雨天時越流水+簡易処理水+雨天時高級処理水)の汚濁負荷量

*2 「ディスポーザー導入による下水道施設への影響に関する調査研究報告書」, 2001年3月下水道技術開発連絡会議、(財)下水道新技術推進機構

A,B排水区の試算結果からその影響の大きさは排水区によって大きく差があるものの、ディスポーザー導入により雨天時の汚濁負荷量は増加することがわかった。ただし、これらの試算は特定の地区において特定の計算方法により影響を計算したものであり、対象とする排水区の状況や計算方法によってその影響の度合いは異なることを念頭におかなければならない。また、BOD以外にも管渠に堆積しやすい卵殻や貝殻等により固形物の流出量が増加することも想定される。

3 ディスポーザー導入による環境影響等の総合評価に関する研究

モデル都市A市(標準活性汚泥法、人口17万人)において、ディスポーザー導入(家庭のみ、事業系は対象としない)による下水道システム(管渠、処理場)、ごみ処理システム(収集・焼却施設、最終処分場)、家庭への影響を、LC-CO₂およびLCEにより総合的に評価する手法(ライフサイクルアセスメント)を用いて検討した。なお、モデル都市A市での下水道全体計画年次(平成25年)を検討対象年次とした。

以下に対象システムと影響範囲を示す。

・ディスポーザー使用者

ディスポーザー — 使用時
 † 上水消費
 ‡ 電力消費

・下水道システム

管渠施設 †建設時 — 管渠施設の建設
 ‡供用時 — 管渠点検・清掃作業

ポンプ場 †建設時 — ポンプ場の建設
 ‡供用時 †ポンプ場での電力使用
 ‡し渣・沈砂の処理・処分(※今回は算定対象としない)

処理場施設 †建設時 — 処理場施設の建設
 ‡供用時 †処理場での電力使用(ガス発電による回収を見込む)
 ‡処理場での燃料使用
 ‡処理場での薬品使用
 ‡設備の補修・更新
 ‡水処理・汚泥処理にともなうCH₄、N₂Oの排出
 ‡汚泥(焼却灰)の輸送・処分(※今回は算定対象としない)

最終処分場 †建設時 — 処理場施設の解体・廃棄(※建設時負荷量の5%と仮定)
 ‡供用時 †汚泥最終処分場の建設
 ‡処分場の地ならし・浸出水処理施設の運用(※今回は算定対象としない)
 ‡廃棄時 — 最終覆土(※今回は算定対象としない)

・ごみ処理システム

ごみ収集	—供用時	—収集車の運転
焼却施設	└建設時	—焼却施設の建設
	└供用時	└焼却施設での電力使用（ガス発電による回収を見込む）
	└	└焼却施設での薬品使用
	└	└焼却施設での上水使用
	└	└設備の補修・更新
	└	└ごみ焼却にともなう N ₂ O の排出
最終処分場	└	└焼却残渣の輸送・処分
	└廃棄時	—処理場施設の解体・廃棄（※建設時負荷量の5%と仮定）
	└建設時	—ごみ最終処分場の建設
	└供用時	—処分場の地ならし・浸出水処理施設の運用（※今回は算定対象としない）
	└廃棄時	—最終覆土（※今回は算定対象としない）

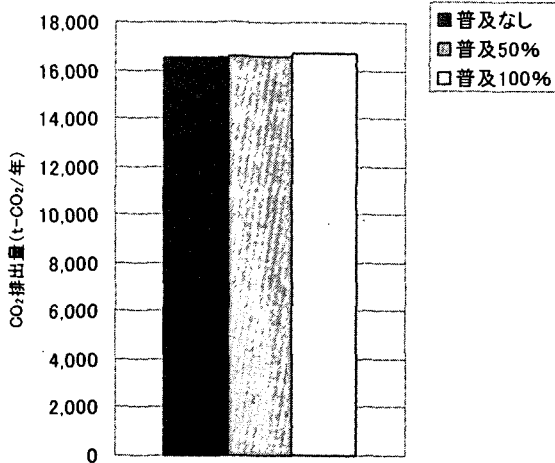
ディスプレイ普及なし、普及率 50%、普及率 100% のケース毎にケーススタディーで対象とした影響項目を計算した結果を表 6 に示す。

表 6 ディスプレー導入による環境負荷量 (LC-CO₂、LCE) の変化

		CO ₂ (t-CO ₂ /年)			エネルギー (GJ/年)		
		普及なし	普及50%	普及100%	普及なし	普及50%	普及100%
使用者	上水使用	0	43	86	0	659	1,317
	電力使用	0	16	33	0	358	715
	小計	0	60	119	0	1,016	2,033
下水道	管渠建設	648	648	648	8,356	8,356	8,356
	管渠清掃	2	2	2	30	30	30
	処理場建設	1885	1885	1885	21862	21862	21862
	処理場電力	8,798	8,871	8,978	192,029	193,605	195,941
	塩素剤	104	104	104	1,528	1,529	1,530
	高分子凝集剤	612	621	629	9,586	9,712	9,839
	重油	582	582	582	10,586	10,586	10,586
	処理及び焼却炉メタン	804	804	805	0	0	0
	焼却炉亜酸化窒素	6,928	7,019	7,110	0	0	0
	消化ガス発電回収	-2,472	-2,623	-2,774	-53,954	-57,248	-60,542
	小計	17,892	17,913	17,969	190,024	188,433	187,602
ごみ処理	ごみ収集	274	272	270	4,036	4,011	3,986
	ごみ焼却施設建設	538	538	538	8,964	8,964	8,964
	ごみ焼却炉電力	2,242	2,230	2,218	48,942	48,672	48,403
	助燃料（重油）	459	459	459	6,658	6,658	6,658
	上水	84	83	82	1,278	1,261	1,244
	ごみ発電回収	-7,822	-7,719	-7,616	-170,729	-168,474	-166,219
	焼却炉メタン	0	0	0	0	0	0
	焼却炉亜酸化窒素	1,097	1,051	1,004	0	0	0
	最終処分場	1,724	1,698	1,673	20,853	20,546	20,239
	小計	-1,405	-1,388	-1,372	-79,998	-78,362	-76,726
	合計	16,487	16,584	16,716	110,026	111,087	112,909

ディスプレイ普及率 100%での環境負荷量は普及率 0%に比べ、CO₂、エネルギーのいずれも 2%程度の増加であった（図 3）。その内訳（図 4）は、環境負荷増加の主な要因は、下水道システムにおける処理場電力、汚泥焼却時の亜酸化窒素排出量増加、ごみ処理システムにおけるごみ発電量の減少であった。環境負荷減少の要因は、下水道システムにおける嫌気性消化によるエネルギー回収であった。一方、家庭での電力・上水使用、下水汚泥の凝集剤の増加やごみ焼却炉の亜酸化窒素排出量減少、ごみ収集車の走行距離減少、最終処分場の残余年数の延長にともなう環境負荷の減少は、相対的に小さかった。

CO₂排出量



エネルギー消費量

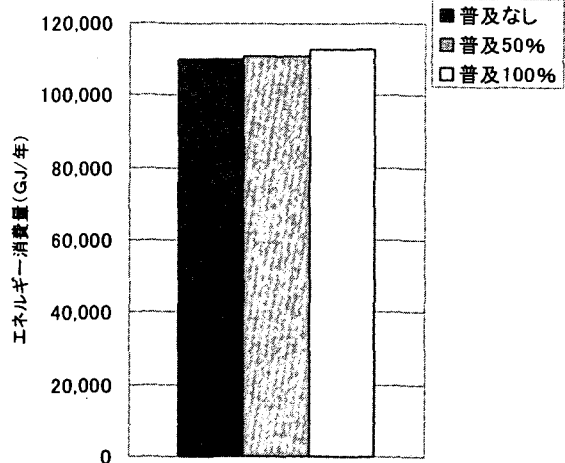
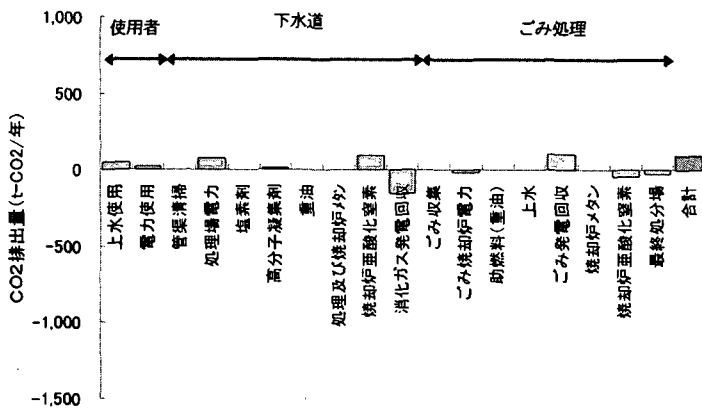
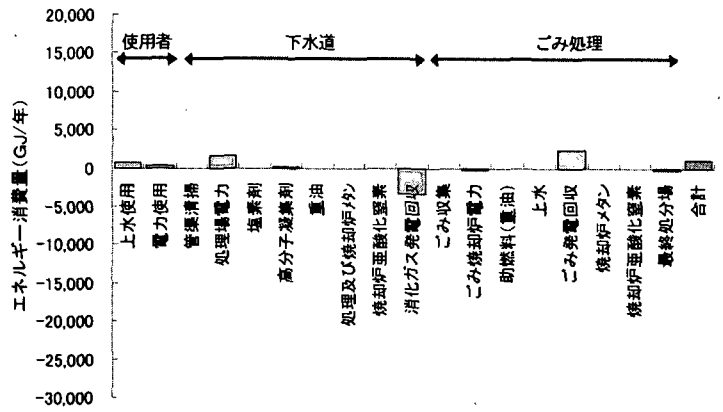


図3 ディスポーザー導入による環境負荷量 (LC-CO₂、LCE) の変化

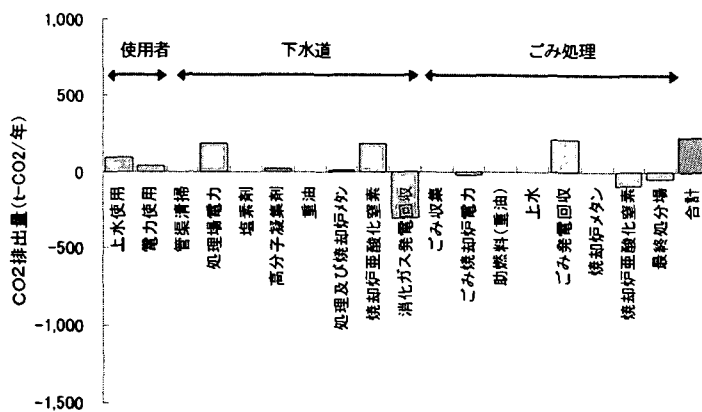
CO₂排出量(普及50%)



エネルギー消費量(普及50%)



CO₂排出量(普及100%)



エネルギー消費量(普及100%)

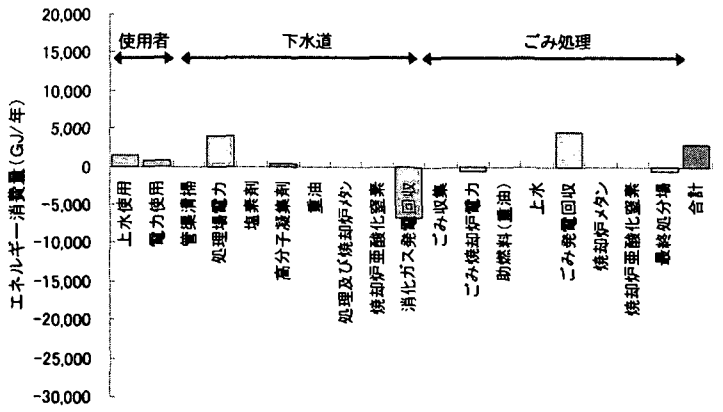


図4 ディスポーザー導入による環境負荷量 (LC-CO₂、LCE) の変化 (内訳)

以上の結果から、処理場電力の増加の抑制、汚泥焼却時の亜酸化窒素排出量の抑制、嫌気性消化によるエネルギー回収の促進によりディスポーザー導入時の下水道システムの環境負荷増加が抑制されることがわかった。また、ごみ発電については、ごみ中の厨芥比率が高い場合、ディスポーザー導入時の低位発熱量の増加分が大きくなり、発電効率が向上し、ディスポーザー導入により逆にごみ発電量が増加する可能性があることが示唆された。

4 まとめ

4.1 下水道による有機系廃棄物の収集・処理技術に関する研究

本研究では、ディスポーザー導入後の効率的な管渠の維持管理技術の把握、ディスポーザーの導入による流入下水の負荷増加量の推定、合流式下水道越流水への影響について、文献・現地調査等を行った。得られた結果を以下に示す。

- 1) 米国での管渠清掃率は 29%であり、日本の分流式污水管清掃率より高いが、ディスポーザー普及率と管渠清掃率の相関性は低かった。
- 2) ディスポーザー普及率・管渠清掃率が高いデンバーでは、管渠閉塞の主な原因は厨房施設からのグリースと木の根の浸入であり、ディスポーザー排水の管渠清掃への直接的な影響は確認できなかった。
- 3) 歌登町においてディスポーザーに投入される生ごみ量は、99g/人・日（非超過率 75%値 135 g/人・日）と推定された。
- 4) 生ごみ 100g 中の汚濁負荷量は、SS : 8.2g、BOD : 11.3g、COD_{Mn} : 5.5g、TN : 0.73g、TP : 0.11g、Cl : 0.33g、n-Hex : 1.75g であった。
- 5) ディスポーザー導入により、合流式下水道における雨天時の放流負荷が増加すると推定された。

4.2 ディスポーザー導入による環境影響の総合評価に関する研究

本研究では、ディスポーザー導入（家庭のみ、事業所は対象としない）による下水道システム（管渠、処理場）、ごみ処理システム（収集・焼却施設、最終処分場）、家庭への影響について、LC-CO₂ および LCE により総合的に評価する手法（ライフサイクルアセスメント）を用いて検討した。得られた結果を以下に示す。

- 1) ディスポーザーの導入により、下水処理場の電力および汚泥焼却時の亜酸化窒素排出量の増加し、ごみ処理システムではごみの発電量の減少するため、CO₂ ベースでの環境負荷は増加した。
- 2) ディスポーザーの導入によりごみ処理システムにおけるエネルギー消費量は減少したが、下水道システムにおけるエネルギー量がそれを上回って増加したため、エネルギーベースでの環境負荷は増加した。
- 3) 家庭でのディスポーザー使用時の電力・上水使用増加、下水汚泥高分子凝集剤の増加、ごみ収集車の走行距離減少、最終処分場の残余年数の延長にともなう環境負荷の減少は、相対的に小さかった。

なお、本調査研究は、試験研究費により実施されたものである。

【参考文献】

- 1) 山縣弘樹、野口綾子、森田弘昭、米国におけるディスポーザー普及率と下水管渠清掃頻度の関係の考察、第 40 回下水道研究発表会講演集 平成 15 年度 : 246-248 (2003)
- 2) 吉田綾子、山縣弘樹、斎野秀幸、森田弘昭 : 北海道歌登町におけるディスポーザー排水の負荷原単位に関する調査、下水道協会誌、Vol.501, No.41, pp.134-146, 2004
- 3) 山縣弘樹、吉田綾子、高橋正宏、森田弘昭、LCA を用いたディスポーザー導入の影響評価に関する考察、下水道協会誌、投稿準備中
- 4) 吉田綾子、行方馨、山縣弘樹、高橋正宏、森田弘昭、ディスポーザー導入が合流式下水道越流水質に及ぼす影響に関する基礎的検討、下水道協会誌、投稿準備中