

### 3 下水道研究部

## 下水道施設の液状化・津波対策技術に関する調査

Research about countermeasures for sewage treatment facilities against liquefaction and tsunami  
(研究期間 平成 24～25 年度)

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

室長  
Head  
主任研究官  
Senior Researcher  
研究官  
Researcher

小川 文章  
Fumiaki OGAWA  
深谷 渉  
Wataru FUKATANI  
松橋 学  
Manabu MATSUHASHI

The Great East Japan Earthquake and its accompanying liquefaction and tsunami severely damaged many sewage systems. We investigated the damage to sewage systems by them, and analyzed the damage factors. As a result, since a problem addressed regarding liquefaction construction methods was revealed, we proposed new construction management methods.

#### 〔研究目的及び経緯〕

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災で発生した地震・津波により被害を受けた下水道施設は、処理場 120 箇所、ポンプ場 112 箇所、管路施設 675km にのぼり、下水道施設が過去に経験したことのない甚大な被害が生じた。また、震源に近く大きな地震動を受けた東北地方では、管路施設の埋戻し土の液状化による被害が多発し、震源から離れた関東地方の東京湾沿岸部では、埋立て地の地盤が広域的に液状化したことにより管路施設の土砂閉塞による流下機能不全が発生し、長期にわたる下水道の使用制限が生じた。さらに、津波により太平洋沿岸部の処理場に大きな被害が生じた。より一層、安全・安心な下水道施設の整備及び災害発生時における下水道事業の継続のため、震災により明らかとなった課題や知見を整理し、技術指針として整備し、次世代に引き継ぐ必要がある。

本調査では、一層の耐震対策及び耐津波対策の促進に向け、耐津波設計時に考慮すべき下水道施設の浮力に関する検討及び管路施設の液状化対策の一つである埋戻し土の締固め工法に関する検討を行った。

#### 〔研究内容〕

#### 1. 津波襲来時の下水道施設に作用する浮力の検討(平成 24 年度)

従来下水道施設の耐震対策指針と解説<sup>1)</sup>(以下耐震指針)には津波に関する記述がないことから、耐震指針に耐津波対策を加筆する必要があった。特に下水道施設に多い地下水槽と一体化した建築土木の複合構造物にかかる波力等の外力については他の構造物の指針やガイドラインにも耐津波対策の記載がなかった。さらに、津波襲来時に構造物に作用する浮力については、知見が少ないため、今後耐津波設計を行うにあたり、

地盤内の増加水圧がどのように構造物に作用するのかを明確にする必要があった。そこで、土の締固め度と透水係数をパラメータとして構造物にかかる浮力の変化が収束するまでの時間(地盤が飽和状態となり、間隙水圧が静水圧分布となるまでの時間)を比較する実験を行った。

#### 2. 埋戻し土の締固め工法に関する検討(平成 24～25 年度)

東日本大震災による管きよの被害原因について調査した結果<sup>2)</sup>、図 1 に示す通り、管きよの埋戻し土の液状化が被害全体の約 7 割を占めており、液状化現象に対する耐震対策の遅れが露見するとともに、耐震対策のさらなる促進の必要性を認識した。

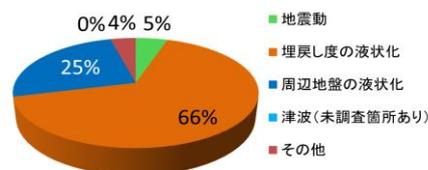


図 1 管きよの被害原因

現在、耐震指針には、3 つの埋戻し土の液状化対策工法が示されている。東日本大震災後に実施した液状化対策の効果事例調査では、埋戻し土にセメント等の固化材を混ぜた改良土で埋戻しを行う工法及び埋戻し土を砕石で置換する工法を採用した箇所では対策効果が確認された。もう一つの対策工法である埋戻し土を 90% 程度以上に締固める工法(埋戻し土の締固め工法)では、施工された場所での被害事例は確認されなかったが、現場ヒアリング等では、埋戻し土の締固めの施工管理が困難な場合や土質により所定の締固め度

が確保できない場合がある等の意見があった。このため国総研では、適切な埋戻し土の締固めの施工管理方法を明らかにするため、埋戻し土の締固め工法を対象とした実験を行った。実験は、施工条件（転圧機器、巻出し厚等）を変化させ、得られる締固め度を測定した（図2、表1）。

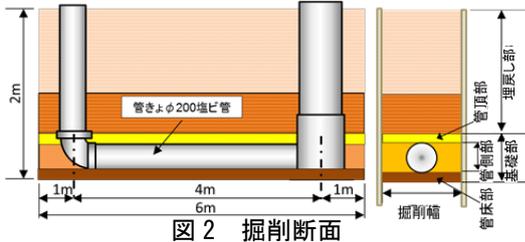


図2 掘削断面

表1 実験条件

実験ケース	転圧機械・器具		巻出し厚		機械転圧開始位置
	管側部	埋戻し部	基礎部	埋戻し部	
①	木だこ	プレートコンパクター	10cm	10cm	管頂から30cm
②			10cm	10cm	管頂から10cm
③			30cm	10cm	管頂から30cm
④			30cm	30cm	管頂から30cm
⑤			ランマー	15cm	30cm

※管床部はプレートコンパクターにより転圧を実施  
 ※管頂部は木だこにより転圧を実施

【研究成果】

主な研究成果の概要を以下に示す。

1. 津波襲来時の下水道施設に作用する浮力の検討

実験は砂質土層の締固め度を85%、95%とし、それぞれ2回ずつ実験を行った。浮力の変化が収束した時の値を実験開始後10時間までに発生した最大値とし、その値と計測値の比(浮力比)の時間変化を図3に示した。土層を85%に締固めた場合、実際の浸透完了に要する時間は透水係数より算出される想定時間(約18分)よりも早く収束した。一方、95%の締固めを行った場合、想定時間(約26分)より大幅に長い4時間以上の時間が必要であった。よって、透水性の良い砂でも締固めが十分に行われていれば、津波襲来時に即時に水の浸透が起きないと考えられる。なお実際の地盤では、細粒分を含む砂が多いため、本実験以上に水の浸透に時間を要すると想定される。この結果は、東日本大震災で実構造物に浮力による被害がなかったことと一致しており、津波襲来時の地下水圧が即時に構造物に影響を及ぼすことはないと考えられる。しかし、砂の透水範囲と浮力関係の明確化が課題として残った。

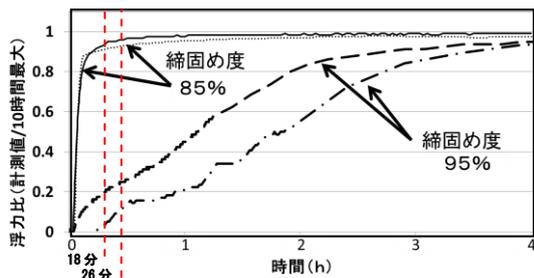


図3 締固め度の異なる土層の浮力比

2. 埋戻し土の締固め工法に関する検討

実験の結果、埋戻し土の締固め度90%程度以上を確保するために必要な因子の中で重要なものは、「埋戻しに用いる砂の細粒分含有率」、「含水率」、「埋戻し土の締固めに用いる転圧機械・器具」、「転圧回数」、「埋戻し土の締固め施工時の砂の巻出し厚」であることを確認した。

この中で現場管理を容易に行うことが可能な因子は、巻出し厚及び転圧回数であることから、確実な埋戻し土の締固めの施工管理方法として、事前に別位置で試験を実施し転圧機械・器具ごとに巻出し厚及び転圧回数を決定する試験施工を提案した。転圧回数を3回とし巻出し厚を変化させたケース①～④と試験施工を行ったケース⑤を比較した。その結果、ケース⑤では、全ての断面で締固め度90%を満足するとともに他のケースよりも大きな締固め度が得られ、埋戻し土の締固めの施工管理の有効性が確認できた(表2)。

その他、施工後の品質確認手法としてRI計器の適用性について確認したが、管側部などの狭隘部では埋設された管路施設や矢板の影響により測定誤差が大きくなることから、適用範囲の明確化が課題として残った。

表2 締固め度(砂置換法)の試験結果 (%)

GL-(m)	①	②	③	④	⑤
0	—	—	—	—	○94
1.0	◎99	○94	○90	○90	◎100
1.4	—	—	—	—	◎100
1.7	—	—	—	—	○94
1.8	○91	○92	×79	×81	○92
含水率%	28	24	19	18	17

※◎：締固め度95%以上、○：同90~95%、×：同90%未満、—：未計測

【成果の活用】

本研究では、下水道施設の耐震・耐津波対策について検討した。耐津波対策では、十分に締固められた地盤の場合、津波襲来時に水の浸透に長時間を要するため、構造物に作用する浮力は即時には発生しないことを確認した。また耐震対策については、試験施工を用いた埋戻し土の締固めの施工管理方法の効果を確認した。これらの結果は、現場適応するための課題を整理した上で、現在改定が行われている新たな耐震指針に反映される予定である。

【参考文献】

- 1) 下水道施設の耐震対策指針と解説、(社)日本下水道協会、2006.8
- 2) 下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書、下水道地震・津波対策技術検討委員会、平成24年3月

# 合流式下水道改善対策の効果検証手法に関する調査

Research on Validation Methodology of the Effects on Improving Combined Sewer Systems

(研究期間 平成 25 年度)

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

室長  
Head  
研究官  
Researcher  
研究官  
Researcher

小川 文章  
Fumiaki OGAWA  
末久 正樹  
Masaki SUEHISA  
橋本 翼  
Tsubasa HASHIMOTO

Combined sewer systems (CSSs) have been adopted in 191 cities. In enforcement ordinance of sewerage law, 170 cities are obligated to complete improving CSSs by FY2013. Our research proposed one of the validation methodologies of the effects in receiving water body on improving CSSs.

## 〔研究目的及び経緯〕

合流式下水道は雨水と汚水を同一管きよで排除するシステムであり、その機能上、雨天時に汚水の一部が河川等の公共用水域に放流されることによる水域汚染等が懸念されている。それを踏まえ、平成 15 年度には下水道法施行令が改正され、中小都市(170 都市)では平成 25 年度、大都市(21 都市)では平成 35 年度までに、分流式下水道並みの汚濁負荷量とする合流式下水道改善対策(以下、合流改善)の完了が義務付けられている。

本研究は、雨天時における合流式下水道からの放流先水域への影響について、平面 2 次元移流拡散モデルを用いたシミュレーションにより、合流改善の効果を評価するとともに、その評価方法を整理した。以下に本研究の内容を示す。

## 〔研究内容〕

### 1. 水質挙動解析

平面 2 次元移流拡散モデルを用いて合流改善前後における水質挙動解析を実施した。水質挙動解析の対象水域は、合流式下水道処理区における処理場の吐口と水道取水点を含む河川の一区間とした。図-1 に対象水域の概況を示す。

検討対象の処理区では比較的早くから合流改善が実施されており、合流式下水道の雨天時越流水のモニタリングデータは、既に合流改善施設設置後のデータしか入手できなかったため、当研究室ホームページで公開している汚濁負荷流出解析モデルの下水研モデル<sup>1)</sup>を用いて、合流改善前後の汚濁負荷流出を推定した。降雨の設定については、越流水が発生する条件、かつ、河川への影響が大きいと考えられる状況を想定し、検

討対象とした自治体において合流改善計画策定時に採用されている代表降雨のうち、総雨量 10mm、20mm、30mm の降雨を設定した。推定値の妥当性は、合流式下水道の雨天時越流水のモニタリングデータとの比較により、概ね現象を再現できていることを確認した。

平面 2 次元移流拡散モデルの構築には MIKE21 を用いた。モニタリングデータ及び対象水域での水質測定状況を勘案し、水理・水質の境界条件は平成 16 年のデータをベースに設定した。また、河川流量、水位、水質の状況は合流式下水道からの雨天時越流水の効果及び影響が顕著となる低水状態を想定した。

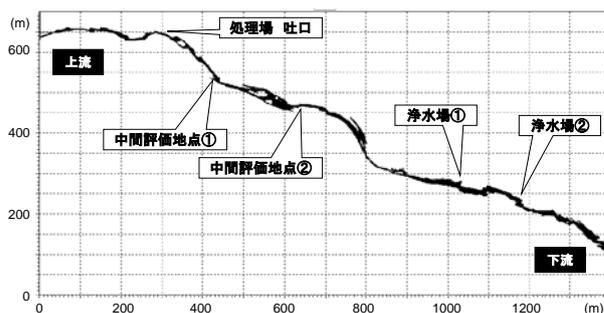


図-1 検討対象水域の概況及び評価地点

### 2. 合流改善の効果検証手法の提案

水質挙動解析の解析結果から水道取水等の水利用に対する合流改善の効果(合流改善前後の比較)を評価するとともに、その評価方法を整理した。

## 〔研究成果〕

主な研究成果の概要を以下に示す。

## 1. 水質挙動解析

合流改善による効果の評価を実施するにあたり、図-1 に示す処理場の下流に位置する 4 地点(中間評価地点①②、浄水場①②)を評価地点とした。図-2 に総雨量 10mm の降雨における浄水場②の合流改善前後の BOD の比較結果を例示する。また、表-1 に各地点の BOD の最大値の合流改善前後の比較結果を示す。各地点において合流改善による効果が明確に現れている。なお、大腸菌群数についても同様、合流改善による効果が明確に現れた。

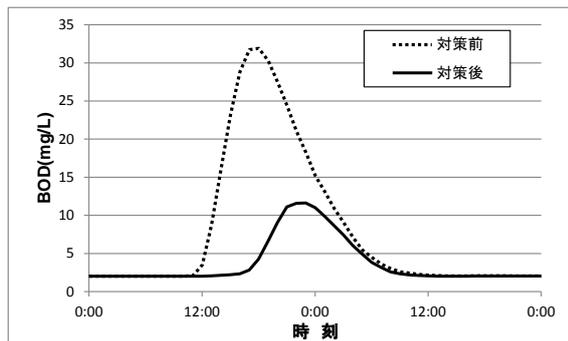


図-2 合流改善前後の BOD (総雨量 10mm・浄水場②)

表-1 合流改善前後の各地点の BOD 最大値

総雨量	地点	BOD 最大値(mg/L)		
		対策前 B	対策後 A	B-A
10 mm	中間評価地点① (吐口から 1.2 km)	46	19	27
	中間評価地点② (吐口から 4.2 km)	47	17	30
	浄水場① (吐口から 8.6 km)	41	15	26
	浄水場② (吐口から 11 km)	32	12	20
20 mm	中間評価地点①	57	40	17
	中間評価地点②	49	26	23
	浄水場①	44	27	17
	浄水場②	39	23	16
30 mm	中間評価地点①	69	37	32
	中間評価地点②	47	26	21
	浄水場①	50	23	27
	浄水場②	38	20	18

## 2. 合流改善の効果検証手法の提案

図-3 に、放流先水域における合流改善効果の評価フロー(案)を示す。

一次評価としては、前章で示した水質の値の合流改善前後の比較のほか、雨天時越流水によって水質悪化が生じる時間(影響時間)と影響距離も評価対象とした。今回の検討においては、影響距離については合流改善前後で大きな差は見られなかったが、影響時間については、総雨量 10mm の降雨において浄水場②では BOD、大腸菌群数とも合流改善前後で約 7 時間の差が見られ

た。

二次評価としては、一次評価の結果を踏まえ、浄水場等での水質浄化に要する費用によって検討した。今回の検討では、国内の浄水場における高度浄水処理の方法として広く用いられている粉末活性炭の添加による方法をベースとした。粉末活性炭処理に要する費用としては、粉末活性炭の薬品費だけでなく、粉末活性炭により増加する汚泥の処理・処分費用も見込んで算定した。算定の結果、今回の結果では、1 降雨あたりの軽減費用合計の 45~71 万円が見込まれた。

検討対象とは異なる浄水場の例だが、「施設の運転面においては、降雨や濁水時など河川の水質変動が著しい時は、その変動への確に追従することに苦慮するケースもあり、厳しい対応を余儀なくされている<sup>2)</sup>」との報告があり、合流式下水道からの雨天時越流水が低減した場合には、浄水場の労働環境が改善される効果もあると考えられる。

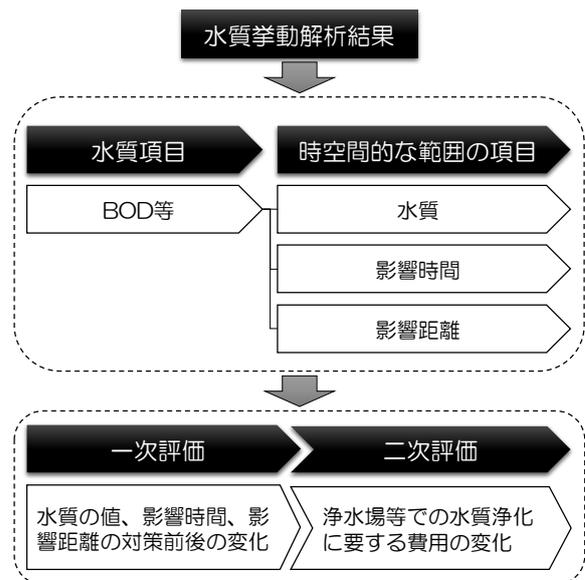


図-3 放流先水域における合流改善効果の評価フロー(案)

### [成果の活用]

本研究で得られた成果および知見については、平成 25 年度に 170 の自治体で完了する合流改善の効果検証を行う際の検討材料として活用可能である。

### [参考文献]

- 1) 国総研下水道研究室 HP : <http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/wsdmodel/wsdmodel.html>
- 2) 東京都水道局 HP : [http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/water/jigyo/hyouka/daikibo\\_05.html](http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/water/jigyo/hyouka/daikibo_05.html)

## 南海トラフ連動型地震における下水道施設の復旧方法に関する研究

Research about recovery assistance for sewage treatment facilities against Nankai Trough Quake disaster

(研究期間 平成 24～26 年度)

下水道研究部 下水道研究室

室 長 小川 文章  
主任研究官 深谷 渉  
研 究 官 松橋 学

### [研究目的及び経緯]

近い将来発生が懸念される南海トラフ巨大地震では、関東から九州の広範囲にわたる下水道施設に地震・津波による甚大な被害が生ずることが想定されている。本研究は、被災後の迅速かつ適切な支援体制の構築と迅速な下水道機能復旧を目的とし、中央防災会議における被害想定に基づく下水道施設の被害規模の推定と効率的な復旧方法について検討を行うものである。

本年度は、昨年度作成した被害想定手法に内閣府の中央防災会議が南海トラフ巨大地震対策の検討に用いた震度、津波高さ等の情報を用いて被災する下水処理場数、管きょ被害延長の算出を行った。また、その結果をもとに、下水道の使用に制限のかかる人口（機能支障人口）及び管きょ被災時の支援規模を推定した。

## 下水道施設の戦略的な耐震対策優先度評価手法に関する調査

Survey on strategic methods of assessing priority of earthquake resistance countermeasures of sewage treatment systems

(研究期間 平成 24～27 年度)

下水道研究部 下水道研究室

室 長 小川 文章  
主任研究官 深谷 渉  
研 究 官 松橋 学

### [研究目的及び経緯]

東日本大震災で広域に発生した下水道管路施設被害より得られた情報をデータベース化し、震度や地盤情報との関連を調べることにより精度の高い下水道管路施設被害想定を行う。さらに、被災時においても下水道機能を維持あるいは早期回復させる対策を短期間で実現させるために、事前対策（施設耐震化）と事後対応（代替施設による復旧など）を適切に組み合わせた、耐震対策の優先度評価手法の確立を行う。

本年度は、今まで十分な情報が整理されていなかった下水道管路施設被害情報について、平成 12 年鳥取県西部地震以降で確認可能な被害情報に加え、東日本大震災で被災した地方公共団体の被害情報を収集し、下水道管路施設の諸元（管種、管径、布設年度など）、人孔浮上量などの被害情報、土質やN値などの地盤情報、計測震度などの地震動情報を統一様式で整理しデータベースを構築した。

## 下水道管路施設のストックマネジメント支援に関する調査

Research on Application of Stock Management Approach to Sewer

(研究期間 平成 25～27 年度)

下水道研究部 下水道研究室

室 長	小川 文章
主任研究官	深谷 渉
研 究 官	末久 正樹
部外研究員	賀屋 拓郎

### 〔研究目的及び経緯〕

下水道管路施設維持管理へのストックマネジメント導入において、管路の劣化状況を正確に把握することは極めて重要である。管路の劣化状況の判定は、TVカメラによる視覚判定基準に基づいて行うのが一般的であるが、この判定基準は主に鉄筋コンクリート管等の剛性管を対象としており、我が国の管路の約5割を占めるプラスチック系可とう管である塩化ビニル管にこの基準を適用しても正確な診断ができない。

本年度は、塩化ビニル管の劣化特性を考慮した視覚判定基準(案)を作成し下水道維持管理指針に反映するとともに、改築・修繕の可否を判断するための緊急度診断基準について検討した。今後は、新しい判定基準に基づく劣化データを蓄積し公開するとともに、塩化ビニル管の調査計画策定や改築量予測に供するための健全率曲線を作成し、下水道長寿命化支援事業制度等の効果的運用支援を行う。

## 下水道クイックプロジェクトの推進に関する調査

Research on economical methods for sewer service expansion

(研究期間 平成 19～28 年度)

下水道研究部 下水道研究室

室 長	小川 文章
	主任研究官
深谷 渉	研 究 官

下水道研究部 下水処理研究室

松橋 学	
室 長	山下 洋正
研 究 官	浜田 知幸

### 〔研究目的及び経緯〕

平成 24 年度末の下水処理人口普及率は約 76.3%(岩手県、福島県除く)であるが、下水道予定処理区域内にありながらいまだに下水道が整備されていない、いわゆる下水道未普及人口は、約 2000 万人に上る。また人口減少や高齢化の進展、厳しい財政事情など、整備・改築を進めていく上で様々な課題を抱えている地方公共団体も多い。こうした状況を踏まえ国土交通省が主導する「下水道クイックプロジェクト」では、地域特性を踏まえた新たな整備・改築手法の導入を進めるべく、複数のモデル都市において新技術の試験施工による社会実験を実施している。

社会実験では、様々な観点から新技術の性能評価を行い、今後、より多くの地方公共団体で当該技術が採用されるように問題点の整理及び、改良を行うこととしている。平成 25 年度は、社会実験を円滑に実施するために自治体のサポートを継続的に行うとともに、既に一般化を終えたクイック配管について、低流量時の凍結対策に関する検討及び気温変動による管材伸縮に関する状態確認を行い、得られた知見を技術利用ガイドに反映した。

## 適正な汚水処理方法可能性(FS)に関する検討

Research on Sustainability of management methods of wastewater treatment facilities

(研究期間 平成 24～26 年度)

下水道研究部 下水道研究室

室 長	小川 文章
主任研究官	深谷 涉
研 究 官	末久 正樹
研 究 官	橋本 翼

### [研究目的及び経緯]

下水道整備水準は地域間格差が顕著で、特に普及の遅れている中小市町村では、人口減少、高齢化の進展による生活構造の変化や厳しい財政事情等により、下水道整備を進める上において様々な課題が発生している。そこで、国土交通省では、中小市町村の状況に応じた年当たりの投資可能額を設定し、新しい整備手法の活用も検討した上で、どのような下水道運営を目指すことができるかを検討する「コストキャップ型下水道」調査を平成 24 年度に開始した。

本年度は、平成 24 年度から引き続き愛知県知多郡美浜町を対象として、従来よりも低コストでの下水道整備を実現させることを目的に、低コスト型の下水道整備手法及び維持管理手法等を用いた下水道運営の可能性の検討や、発注・経営方式の工夫によるコスト縮減効果の整理を行った。また、低コスト型の下水道整備手法の適用が、温室効果ガス排出量及びエネルギー消費量に与える影響を評価した。

## 効率的な都市雨水対策推進に関する調査

Research on Promotion of Efficient Countermeasures for Urban Stormwater

(研究期間 平成 25～27 年度)

下水道研究部 下水道研究室

室 長	小川 文章
研 究 官	橋本 翼

### [研究目的及び経緯]

近年、日本各地において 1 時間降水量 50mm 以上の豪雨、さらには 10 分間程度の短時間に集中する豪雨が頻繁に発生するようになってきている。豪雨の発生頻度が高まる中、都市化の進展に伴う雨水の貯留浸透能力低下や、地下空間利用の発達に伴う浸水被害ポテンシャルの増大等が懸念されており、各都市は限られた財源の中で、効率的かつ効果的に都市雨水対策を進めていく必要がある。

本年度は、他事業連携対策も含む都市雨水対策手法について地域特性に応じた適用性評価を行った。また、自治体ニーズに応じた効果的なハザードマップ作成にあたっての留意事項を整理したほか、浸水対策施設の運転操作において XRAIN を利活用する上での段階的アプローチの方法を検討した。

# 地域における資源・エネルギー循環拠点としての下水処理場の 技術的ポテンシャルに関する研究

Research on the potential of wastewater treatment plants as a base of material and energy circulation

(研究期間 平成 23~25 年度)

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

室長	山下 洋正
Head	Hiromasa YAMASHITA
主任研究官	田嶋 淳
Senior Researcher	Atsushi TAJIMA
研究官	大西 宵平
Researcher	Shohei OHNISHI
部外研究員	釜谷 悟司
Guest Research Engineer	Satoshi KAMATANI

Reduction of greenhouse gas emission from sewerage system is required due to the enactment of the Kyoto Protocol. But the technologies of sludge recycling processes do not become widely used in local governments. This study developed a prescriptive guide to help local governments measure the effect of adopting the new technology in sewage plant.

## [研究目的及び経緯]

地域の大規模公共施設である下水処理場で発生する下水汚泥のエネルギーを、周辺地域と連携して複合的かつ一体的に運用することは、温室効果ガス排出量の削減を図る上で大きな効果が期待できる。しかし、その活用が期待されているにもかかわらず、下水汚泥中の有機物のうちバイオガスや汚泥燃料として活用されているのはわずか 12.6% (平成 23 年度)、下水道に流入するリンのうちコンポストとして活用されているのは約 10% (平成 18 年度) と非常に低い状況である。この原因の一つとして、下水処理場における資源・エネルギー循環利用技術の導入事例が全国的に少ない上に、導入検討は個々の下水道事業者ごとに行うため、多種多様な技術の中から対象となる下水処理場に適した技術を選定し、導入効果を検討する際のノウハウが蓄積されていないことがある。

そこで本研究では、自治体の下水道事業者が資源・エネルギー循環利用技術の導入を検討する際に重要視する項目や直面した課題を把握し、今後導入検討を行う際に有用なツールとして、下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き(案)を策定した。また、対象下水処理場の規模・条件を入力することで事業実施可能性と経済性を概略想定できる汎用的なソフトウェアを用いた試算ツールを開発した。

## [研究内容]

### 1. 資源・エネルギー循環利用技術の導入検討の実態・課題の把握 (平成 23~24 年度)

資源・エネルギー循環利用技術の導入に取り組んでいる自治体の下水道事業者及び開発メーカー・発電事業者等に対しヒアリング調査を行い、導入検討を行った際に不足していた情報、技術的・制度的課題、参考となった事例・情報等について収集、整理した。

また、経済性や首長の判断等技術導入に影響を与えられると思われる要件の重要度を、下水道事業者に行ったアンケート調査結果を分析し、把握した。

### 2. 下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き(案)の策定 (平成 24~25 年度)

1.を踏まえて、下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き(案)の策定と事業実施可能性と経済性を概略想定できる汎用的なソフトウェアを用いた試算ツールの開発を行った。

また、使いやすさや改善点を検討するため、自治体下水道事業者に対し、手引き及び試算ツールを利用してもらい、意見を聴取した。

## [研究成果]

主な研究成果の概要を以下に示す。

### 1. 資源・エネルギー循環利用技術の導入検討の実態・

## 課題の把握

自治体の下水道事業者及び開発メーカー・発電事業者等から得たヒアリング結果の一部を以下に示す。

- ・ 導入検討にあたっては、HP、建設コンサルタントからの情報、他都市の先行事例を参考にすることが多かった。
- ・ 事業化にあたっては経済性が重要だが、汚泥固形燃料化事業では生成物の受入先の確保が大切である。
- ・ リン資源化、汚泥固形燃料化は事業導入による採算性の確保は難しく、放流水質の改善、下水汚泥の有効利用といった側面が大きい。今後、事業導入事例が増えることで、生成物の価値が適切に評価されることに期待したい。

また、下水汚泥の固形燃料化事業を実施、または現在検討中である 11 の自治体を対象として、更に詳細なアンケート調査を行い、結果を分析することで、自治体が事業導入を検討する場合に重要視される要件の影響度を把握した。表-1 に結果の一例を示す。

表-1 より、「②固形燃料の製品としての流通経路」と「③事業実施費用の代替手段に対する経済的メリット」については、約半数の自治体でこれらの要件の実現困難度が他の因子より高いと判断されている。また、「⑥事業実施体制の確保」のウェイトが 1 位となった B と E の自治体は、固形燃料化事業の実施を早い時期に決定しており、燃料化事業の先駆者としての実績を有することから、事業化に至るまでの実務面における困難度が実経験としてアンケートに反映されたのではないかと推測される。さらに「①施設周辺住民の同意」のウェイトが 1 位となった自治体も 2 自治体あることから、施設の設置に際して周辺住民の理解が得られることも重要であることがわかる。

## 2. 下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）の策定

1. のヒアリング結果を踏まえ、下水処理場における資源・エネルギー循環利用技術の普及促進を目的として、下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）の策定と事業実施可能性と経済性を概略想定できる汎用的なソフトウェアを用いた試算ツールの開発を行った。手引き及びツールの内容、目的を以下に示す。

- ・ 導入検討の初期段階を対象として、下水処理場における課題の把握、基本構想（導入目的、適用可能技術検討等）、基本計画（技術面、経済面での概略検討等）、必要な手続きの確認について、検討すべき項目を記載し、各種技術の導入検討を広く促す。

- ・ 下水道事業者単体では把握しづらい事業導入時のコスト、GHG 排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果を試算し、各種技術の導入効果を（大まかではあるが）定量的に把握可能とする。

次に、下水道事業者に対し、手引き及び試算ツールを使用してもらい、意見を聴取した。導入検討の初期段階において、使い勝手や内容については概ねよいとの結果であったが、先行事例の充実や画面の見易さ等について意見があった。これらの意見を踏まえ、今後も事例の追加や操作性の向上を図っていく。

### [成果の活用]

下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）の策定と事業実施可能性と経済性を概略想定できる汎用的なソフトウェアを用いた試算ツールの運用により、下水処理場における資源・エネルギー化技術の普及促進を図る。

表-1 アンケート分析結果（一例）

自治体名	同意	①施設周辺住民の	②固形燃料の製品としての流通経路	③代替手段に対する経済的メリット	④環境負荷削減効果	⑤地元産業・企業の事業機会創出	⑥事業実施体制の確保	⑦施設運転・管理の容易性	⑧施設運転・管理	（整合性指数） C I 値
A	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	0.000
B	5%	30%	20%	6%	2%	30%	6%	6%	0.100	
C	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	0.000	
D	0%	69%	10%	14%	8%	0%	0%	0.000		
E	0%	24%	17%	6%	9%	35%	9%	0.000		
F	16%	14%	9%	4%	43%	8%	6%	0.099		
G	48%	3%	25%	3%	3%	6%	12%	0.240		
H	2%	24%	37%	9%	3%	6%	19%	0.113		
I	38%	20%	15%	4%	8%	8%	7%	0.278		
J	0%	12%	40%	0%	9%	26%	14%	0.000		
K	16%	32%	25%	4%	9%	9%	6%	0.098		
合算評価	16%	20%	21%	8%	9%	14%	12%	0.019		

### 下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案） 検討補助ツール

- 第2章
- 第3章 コスト
- 第3章 GHG排出削減量
- 第3章 省エネ効果
- 第3章 コスト集計
- 第3章 省エネ効果集計
- 第3章 全体評価
- 耐用年数
- 各種贈元

- 第2章
- 第3章 コスト集計
- 第3章 省エネ効果集計
- 第3章 GHG削減量

印刷

国土交通省 国土技術政策総合研究所  
平成26年 3月

図-1 試算ツール トップ画面

# 生物処理過程における N<sub>2</sub>O 発生抑制手法に関する検討

Investigative research on inhibition of nitrous oxide emission in biological treatment process

(研究期間 平成 23~25 年度)

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

室長 山下 洋正  
Head Hiromasa YAMASHITA  
主任研究官 重村 浩之  
Senior Researcher Hiroyuki HIGEMURA  
研究官 道中 敦子  
Researcher Atsuko MICHINAKA  
研究官 大西 宵平  
Researcher Shohei OHNISHI  
研究官 川住 亮太  
Researcher Ryota KAWASUMI

Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) that has 310 times the greenhouse effect of carbon dioxide, is known to have been emitted from wastewater treatment processes. However, the emission occurrence at actual plants is not understood. We conducted a survey for the state of generation of nitrous oxide at actual plants among different treatment methods to develop new emission factors in Japan, and investigated the treatment methods reducing N<sub>2</sub>O emission.

## [研究目的及び経緯]

下水処理過程で発生する温室効果ガスのうち、一酸化二窒素（以下、N<sub>2</sub>O）は約 1 割を占めており無視できる数値ではないが、排出実態に関する知見が少なく、未だ明確な対応策は講じられていない。本研究では、N<sub>2</sub>O 排出量原単位を把握するために異なる処理方式の下水処理場において N<sub>2</sub>O 排出量調査を実施した。加えて、N<sub>2</sub>O 排出量が抑制される運転方式について調べるとともに、微生物の活性により N<sub>2</sub>O が排出される背景を受け、N<sub>2</sub>O 排出量の特性と微生物群集の関係性を明らかにした。

以下に本研究の内容を示す。

## [研究内容]

### 1. 下水処理施設における N<sub>2</sub>O 排出量実態調査および排出係数の試算 (平成 23~25 年度)

地球温暖化対策推進法の政令および温室効果ガスインベントリでこれまで用いられてきた終末処理場の N<sub>2</sub>O 排出係数は、係数算定の根拠データに不確実性が含まれていること、また処理方式によらず一律の数値であり実態が十分に反映されていないことが課題となっている。本研究では、より精緻な排出係数を試算するため、24 時間調査を実施した。23 年度では高窒素負荷の処理場（N<sub>2</sub>O 発生量が高いと想定される処理場）

を中心に調査し、24 年度では、窒素除去率の高い処理場を含めた調査を行い、25 年度では N<sub>2</sub>O 発生量が高いとされた標準法、嫌気好気法について再調査を行った。

### 2. 微生物群集解析による N<sub>2</sub>O 発生メカニズムの解析 (平成 23~25 年度)

N<sub>2</sub>O は活性汚泥中に存在する微生物の窒素代謝の過程で生成されることが既往の研究により明らかとされている。この反応は、アンモニア酸化細菌・亜硝酸酸化細菌によるアンモニアの酸化過程（硝化反応）および脱窒性細菌による亜硝酸が窒素ガスに還元される過程（脱窒反応）から成り、河川等の底泥からは脱窒反応で発生する寄与が高いと報告されているが、下水処理における発生メカニズムは不明である。そこで、発生メカニズム解明を目的とし、関与する微生物について遺伝子を用いた細菌群集構造解析により調べた。23 年度は DGGE 法により活性汚泥を構成している細菌群集について定性的に調べた。24, 25 年度では窒素代謝に関わる機能遺伝子について定量的な評価を行った。

### 3. N<sub>2</sub>O 排出量抑制運転の検討

(平成 25 年度)

下水処理方式ごとにおける N<sub>2</sub>O 排出量の特性を調べ、実下水を用いたベンチスケール

実験により、標準活性汚泥運転と疑似嫌気好気運転の比較を行った。

**【研究成果】**

主な研究成果の概要を以下に示す。

**1. 下水処理施設における N<sub>2</sub>O 排出量実態調査および排出係数の試算**

主要な下水処理方式（標準活性汚泥法、嫌気好気活性汚泥法、循環式硝化脱窒法、ステップ流入式硝化脱窒法、OD 法、MBR 法等）について、計 19 カ所の実下水処理施設にて現地調査を計 41 回実施した。図 1 に示す結果よりほとんどの下水処理場で現行の N<sub>2</sub>O 排出係数 160 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> を下回っていた。特異的に高い値が一定数計測された窒素除去を行わない処理法では、平均により算出された N<sub>2</sub>O 排出係数は 137 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> と現行値に近い値が算出された。一方、窒素除去を行う処理法では、特異的に大きな値は検出されず、平均値は 9 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> と低い値であり、窒素除去を行っている処理法と行わない処理法で大きく異なった。

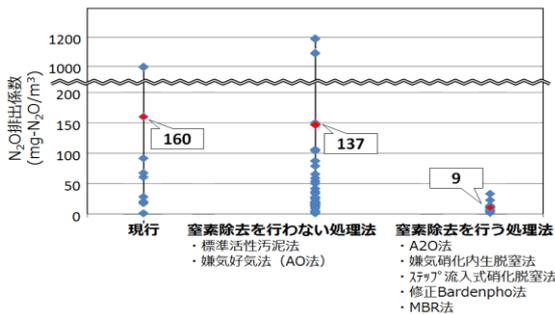


図 1 現行値および本調査結果に基づく試算値

現地調査の結果から流入アンモニア濃度が高くても N<sub>2</sub>O ガス排出量が低い場合が確認された(図 2)。N<sub>2</sub>O 転換率と窒素除去率の関連を調べたところ、N<sub>2</sub>O 転換率が小さい処理場では窒素除去率が高かった(図 3)。

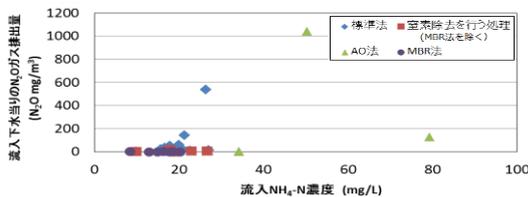


図 2 窒素負荷量と N<sub>2</sub>O ガス排出量の比較

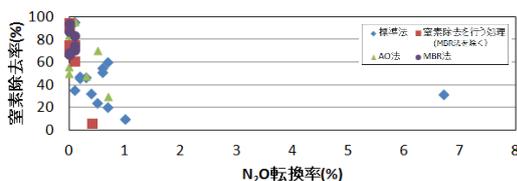


図 3 N<sub>2</sub>O 転換率と窒素除去率

**2. 微生物群集解析による N<sub>2</sub>O 発生メカニズムの解析**

N<sub>2</sub>O 排出量が高かった処理場(AO 法)と低かった処理場(MBR 法, AO 法)について、活性汚泥群集構造の多様性を定性的に調べた結果、発生量が低い処理場試料は *Nitrospira* 属近縁種である亜硝酸酸化細菌が保持されていたが、発生量が高い処理場試料では確認できなかった。さらに、窒素代謝に関わる遺伝子の定量的な解析を行った結果、存在遺伝子比に差があることが示され、発生量が高い処理場は低い処理場に比べ NH<sub>2</sub>OH、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>が蓄積することが予想され、硝化が不完全であることが示唆された。従って、硝化過程にて亜硝酸酸化細菌の活性が落ちると N<sub>2</sub>O の合成が促進されると示唆された。

**3. N<sub>2</sub>O 排出量抑制運転の検討**

実下水を用いたベンチスケール実験により、標準活性汚泥運転と疑似嫌気好気運転の比較を行った。標準活性汚泥法で運転した後、前段の曝気量を 1/10 に下げ疑似嫌気好気法で運転したところ、N<sub>2</sub>O 排出量が平均 642 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> から、57 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> に減少することが確認された。このとき窒素除去率が 25.7%から 39.8%に上がった。

これらの結果から、標準活性汚泥法の施設においても窒素除去率が上がる運転方法を行うことにより N<sub>2</sub>O 発生量を抑えられることが示され、段階的高度処理法の導入で抑制されることが期待される。

**【成果の活用】**

本調査結果及び他の既往調査データを用いて、排水処理方法別の排出係数が表のとおり新たに開発された<sup>1)</sup>。これを受けて温室効果ガスインベントリにおける「生活・商業排水の処理に伴う N<sub>2</sub>O 排出(終末処理場)」の係数が改訂され<sup>2)</sup>、2011 年度までの我が国の温室効果ガス排出量の報告値に反映された。

標準活性汚泥法	嫌気好気活性汚泥法	嫌気無酸素好気法 循環式硝化脱窒法	循環式硝化脱窒素型 膜分離活性汚泥法
142	29.2	11.7	0.5

(単位: mgN<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>)

表 終末処理場における新たな N<sub>2</sub>O 排出係数<sup>2)</sup>

**【参考文献】**

- 1) 環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会, 温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 廃棄物分野における算定方法の改善について, 平成 25 年 3 月, p3
- 2) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2013 年

# 下水処理施設への新たな衛生学的指標導入に関する検討

Introduction the new hygienic index for wastewater treatment plant

(研究期間 平成 23~25 年度)

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

室長 山下 洋正  
Head Hiromasa YAMASHITA  
主任研究官 重村 浩之  
Senior Researcher Hiroyuki HIGEMURA  
研究官 藤井 都弥子  
Researcher Tsuyako FUJII  
研究官 小越 眞佐司  
Researcher Masashi OGOSHI

We researched the actual condition /change of E.coli in treated water and effluent. And we organized the relation of E.coli and total coliform. On the basis of these results, we proposed the idea with a variable coefficient to set the new reference value.

## [研究目的及び経緯]

現在、下水処理場からの放流水に関する衛生学的項目として用いられている大腸菌群数については、糞便性汚染を示す指標としては問題があることが指摘されている。環境基準においても、基準項目を大腸菌数に変更するための調査が行われていることから、放流水中の大腸菌数の実態把握等を行う必要性が高まっている。本研究では、放流水中の大腸菌数の存在実態、季節や採水時間による変動状況、測定者によるばらつきの程度等を把握するための調査を行い、調査結果をふまえた基準値設定の考え方について検討を行った。

## [研究内容]

### 1. 大腸菌数の存在状況及び培地による測定結果への影響の把握 (平成 23 年度)

関東地方の下水処理場 9 箇所を対象として、消毒後放流水中の大腸菌数、大腸菌群数の測定を行った。測定にあたっては、平板培養法、最確数法、メンブレンフィルター法(以下、MF 法)の 3 方法を用いるとともに、各測定方法において 2 種類の培地を用い、各測定方法の特徴、培地による測定結果への影響を把握した。

### 2. 季節等による大腸菌数の変動状況の把握 (平成 24 年度)

平成 23 年度調査で対象とした下水処理場のうち 2 箇所を対象として、消毒前処理水、消毒後放流水中の大腸菌数、大腸菌群数の測定を行った。夏季から冬季にかけて測定を行うことにより季節変動状況を、

ある 1 日において 4 時間間隔で測定を行うことにより時間変動状況をそれぞれ把握した。

### 3. 測定機関及び測定者の違いによる測定結果への影響の把握 (平成 25 年度)

(1) 同一の試料(消毒前処理水、消毒後放流水)を 7 機関において測定し、試料水中の大腸菌数、大腸菌群数を測定した。

(2) 同一の試料(消毒前処理水、消毒後放流水)中の大腸菌数、大腸菌群数を、経験年数の異なる 3 名の測定者により測定した。

(1)、(2)の調査結果から、測定機関等の違いによる結果のばらつき等を把握した。

## [研究成果]

研究成果の概要を以下に示す。

### 1. 大腸菌数の存在状況及び培地による測定結果への影響の把握

処理場によるばらつきは大きいものの、放流水 100ml あたり大腸菌群数が  $10^1 \sim 10^5$ MPN、大腸菌数が  $10^0 \sim 10^3$ MPN 程度の範囲で存在していることが把握できた。また、いずれの測定方法においても、使用した培地による測定結果のばらつきは小さく、概ね同じオーダーの範囲内であった。最確数法と MF 法については、概ね同程度の測定結果となったが、平板培養法については、特に低濃度(菌数がおおよそ 100MPN/100ml 以下)の試料の場合、他の方法に比べて検出下限値以下となる場合が多かった。

## 2. 季節等による大腸菌数の変動状況の把握

消毒前処理水については測定方法に関わらず季節変動、時間変動ともにほとんど見られなかった。一方、消毒後放流水については、測定方法の違いによる測定値のばらつきが見られ、明確な変動の傾向は見られなかった。平成 23 年度調査と同様に、平板培養法については低濃度の試料の場合に他の測定方法より検出下限値以下となる場合が多い傾向が見られた。これは、より検出下限が低い他の測定法が適していた試料が多かったためと考えられた。

## 3. 測定機関及び測定者の違いによる測定結果への影響の把握

測定機関別及び測定者別測定のいずれにおいても、放流水中の大腸菌数は 10CFU または MPN/ml 以下であり、測定者によるばらつきはほとんど見られなかった。次に、各機関の平板培養法による処理水中の大腸菌数測定結果を図-1 に示す(機関 B は、平板培養法による測定を行っていないため除外した)。今回の調査では各機関とも 3 回ずつ測定を行っているが、測定値は同じオーダーの範囲内であった。

ここで、測定値の変動の許容範囲の目安として、例えば上水については、各水質項目の測定結果における変動係数が、基準値の 1/10 の値付近で 10% もしくは 20% の範囲内となるような精度を確保することとの通知が出されている<sup>1)</sup>。現在の公定法であるデソ法と培地が異なるだけで操作手順が同じであり、比較的安価であるというメリットを持つ平板培養法に着目すると、下水試験方法において平板培養法の菌数計測に適しているとされている範囲内(30~200CFU/ml)となった場合について変動係数を算出したところ、測定機関別の測定の場合 4 機関のうち 3 機関、測定者別の測定ではすべての場合において 20% 以下となった。

## 4. 大腸菌数と大腸菌群数との相関

同一の測定方法において大腸菌群数に占める大腸菌数の割合を見ると、放流水については概ね 20% 以下であった。流入水、消毒前処理水、消毒後放流水を比較すると、流入水においては大腸菌数の割合が 30% から 40% を占める検体、処理水においては大腸菌数の割合が 20%~30% の検体、放流水においては大腸菌数の割合が 10% 以下の検体が最も多く、処理が進むにつれて、大腸菌群数に占める大腸菌数の割合が低くなる傾向が見られた。また、24 年度調査で対象とした 2 処理場の結果について相関係数を比較した結果、1 つの処理場で見つかった場合、処理水および放流水中の大腸菌群数と大腸菌数との間には相関関係がある可能性が高いが、その比率は各処理場の運

転管理状況(下水処理方法、塩素注入量、消毒時間等)により異なると考えられた。

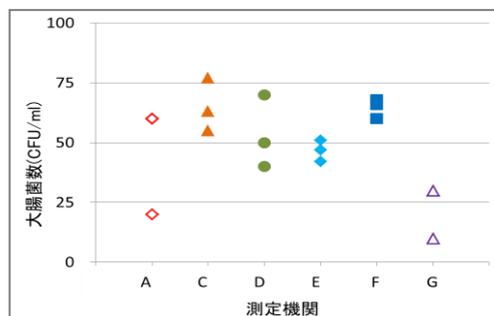


図-1 処理水中の大腸菌数測定結果  
(機関別測定・平板培養法)

## 5. 新たな基準値設定の考え方

これまでの調査結果を踏まえ、現在の指標である大腸菌群数を大腸菌数に変更しようとした場合の基準値設定の考え方について検討を行った。まず、基準値の目安となる大腸菌数の値を設定する。設定に当たっては、①全国の下水処理場放流水中の大腸菌数について実態を把握し、例えば 95 パーセントタイル値を目安の値とする、②大腸菌数と大腸菌群数との相関があると仮定し、現在の基準値から算出するといった方法が考えられる。

例えば②の考え方で、現在の基準値の大腸菌群数 3,000 個/ml に対して、4. の結果より大腸菌群数に占める大腸菌数の割合を 10% と仮定すると、大腸菌数 300 個/ml となる。この目安値に対してさらに変動係数として例えば 20% を仮定すると、基準値は 360 個/ml 程度と試算される。これは試算例に過ぎないが、現実的な平板培養法(希釈操作も含め)で基準適合が判断できる範囲の基準値案を合理的に定める技術的可能性を示しているものである。

### [成果の活用]

下水処理場における消毒前処理水、消毒後放流水を対象として大腸菌数の存在状況等について調査を行い、得られた結果をもとに新たな基準値設定の考え方について検討を行った。得られた結果は、今後の新たな衛生的指標導入の際の基準値、及び公定法選定における基礎的知見として活用される。

### 参考文献

厚生労働省：水質基準項目の測定精度(水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等並びに水道水質管理における留意事項について(別添 5))、平成 15 年 10 月 10 日

# 流域における水環境マネジメント技術に関する研究

Study on water environment management technology in drainage basin

(研究期間 平成 24~25 年度)

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

室長 山下 洋正  
Head Hiromasa YAMASHITA  
主任研究官 田嶋 淳  
Senior Researcher Atsushi TAJIMA  
研究官 濱田 知幸  
Researcher Tomoyuki HAMADA

Sewer management in drainage basin is required not only to reduce pollution load removal but also to meet urgent requirements like resource recovery and energy reduction. For purpose of promoting phosphorus recovery from wastewater treatment plants, we studied regional balance of phosphorus supply and demand and feasibility of recovery project. Also, this study examined how to reduce total energy consumptions by integrating advanced treatment into a few large-scale wastewater treatment plants in drainage basin.

## 〔研究目的及び経緯〕

国土交通省では社会情勢の変化を踏まえた上、水環境の改善に向けた効果的な下水道等管理の実現に向け、新しい時代の「水環境マネジメントのあり方」を検討するため、平成 24 年度に検討会を実施した。この検討会で整理された取組方針のうち、「流域全体における資源・エネルギーの最適管理」について、具体的な検討を行った。

## 〔研究内容〕

### 1. 下水道施設におけるリン回収の事業性等の検討 (平成 24 年度)

リンは肥料の 3 大要素の 1 つであり、農業に必要不可欠な物質である。一方で、鉱石として世界的に偏在が著しく、多くを輸入に頼っているため、安定供給の観点から国内資源の確保が望まれる。下水汚泥にはリン多くが含まれ、資源としてのポテンシャルが期待されている。岐阜市等で先進的に回収事業も開始されているが、一層の利用促進が求められる。そこでリン需要分布を整理することで、回収リンの地域流通性に関する資料を作成するとともに、リン回収の事業性に関する検討を行った。

#### 1. 1 回収リンの地域流通性検討

下水道からのリン回収事業の検討時の基礎資料とするため、農林水産省の統計データ(平成 21 年産作物統計<sup>1)</sup>)及び、作物品目別の施肥基準値<sup>2)</sup>により各都道府県の農業のリン需要量として算出・集計し、下水中のリン賦存量と比較した。

#### 1. 2 リン回収の事業性検討

6 万~16 万 m<sup>3</sup>/日規模の処理場にて、消化槽がある処理場に MAP 法を適用した場合と灰アルカリ法で焼却灰からリン回収した場合との事業費を試算した。

### 2. 流域におけるエネルギー使用量最適化方策の検討 (平成 24~25 年度)

閉鎖性水域に放流水が流入する処理場では、富栄養化対策のため、窒素・リンを除去する高度処理を行っている。小規模下水処理場では窒素除去におけるエネルギー効率が低いことが課題である。流域内の複数の下水処理場間において、大規模下水処理場に汚濁負荷除去とそれに伴うエネルギー消費を集約することで、流域全体で汚濁負荷量を増やさず、エネルギー使用量を削減できるか検討した。

#### 2. 1 水処理のエネルギー使用量原単位の整理

水処理技術や規模毎に窒素除去量当たりのエネルギー使用量を整理することで、窒素除去の集約化によるエネルギー使用量削減検討を行うための基礎資料とする。水処理技術の種類毎に 1 万 m<sup>3</sup>/日、5 万 m<sup>3</sup>/日、10 万 m<sup>3</sup>/日の 3 施設規模で施設設計を行い、付帯設備の電力使用量を積み上げた。この電力使用量を重油換算したエネルギー使用量(kL/日)と除去窒素負荷量(tN/日)との関係を整理し、施設スケールによりエネルギー効率が変化することから、施設の除去窒素負荷量(tN/日)と単位除去量当たりのエネルギー使用量(kL/tN)の関係式を作成した。対象とする水処理技術は、循環式硝化脱窒法(循環法)、多段式硝化脱窒法(多段法)、及び A2O 法の 3 技術とした。

## 2. 2 流域におけるエネルギー最適化検討

実流域をモデルとして水処理技術の変更によるエネルギー使用量の最適化方法を検討した。流総計画で定められた計画放流水質と処理水量の実績値から窒素の許容放流負荷量を表1のとおり設定した。この許容放流負荷量を担保できる下水処理場の処理法の組合せの中で、エネルギー使用量を最小化する組合せを抽出・選定した。各処理法の窒素除去率は統計<sup>3)</sup> 平均値から標準法 57.9%、循環法 76.3%、A2O法 77.8%、多段法 84.0%とした。

表1 流域の許容放流負荷量

項目	単位	X流域				
		A 処理場	B 処理場	C 処理場	D 処理場	E 処理場
処理水量	m <sup>3</sup> /日	158,000	106,200	67,000	7,800	2,000
放流負荷	kg/日	1,108	743	470	132	35
	kg/日	2,488				

### [研究成果]

#### 1. 下水道施設におけるリン回収の事業性等の検討

##### 1. 1 回収リンの地域流通性検討

リン需要量の合計で最も都道府県別のリン需要量が大きいののは、北海道で5.4万t-P/年であった。リン賦存量は人口が集中する都市部を有する都道府県で大きいが、リン需要量が小さく、地域循環を想定する場合は需要と供給のミスマッチが懸念された。

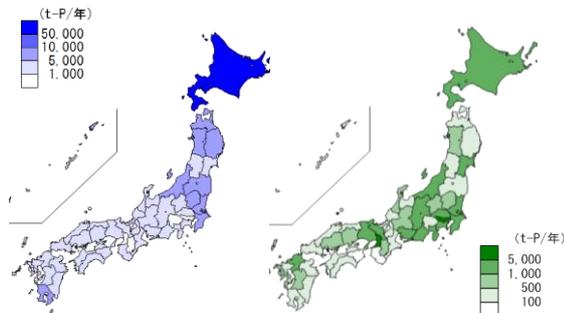


図1 農業のリン需要分布と下水中リン賦存量

##### 1. 2 リン回収の事業性検討

リン回収施設の建設・維持管理に係るコストと回収リン、脱リン灰の流通に係るコストを比較した。MAP法では22~57万円/MAP-tのコスト(消化槽の建設・維持管理を除く)がかかり、MAP売却費では賄えないことが示唆された。MAP法は返流水のリン負荷低減、スケール発生防止を主目的とした技術であり、これらの効果を踏まえた事業検討が必要となる。

灰アルカリ法では8~13.2万円/リン酸塩-tのコストとなり、下水処理場で発生する焼却灰を集約することで更なる低減が見込まれた。リン鉱石の輸入価格よりも高いものの、焼却灰の集約処理等により

事業性が見込まれた。また、焼却灰の処分費を考慮すると規模が大きくない処理場でも下水道事業全体でコストメリットが見込める可能性があった。

## 2. 流域におけるエネルギー使用量最適化方策の検討

### 2. 1 水処理のエネルギー使用量原単位の整理

エネルギー使用量原単位はA2O法が高く、多段法が最も低くなった。多段法は循環水ポンプに係る動力を必要としないためと考えられる。また、1万m<sup>3</sup>/日と5万m<sup>3</sup>/日のエネルギー使用量原単位を比較したところ、1万m<sup>3</sup>/日の値が高くなった。流入水量が少ない処理場ではエネルギー使用量原単位が高くなることが示唆された。

### 2. 2 流域におけるエネルギー最適化検討

流総計画に記載されたケースの他、異なる3ケースの各処理場の水処理方法の変更による窒素処理の集約について、窒素放流負荷量N-kg/日、エネルギー使用量を試算した。結果を表2に示す、Case1以外は許容放流負荷量よりも低くなった。使用エネルギー量はCase3が一番低く、従来計画のCase0に比べて年間約2,800kLのエネルギー削減(削減率:33.4%)が可能になると見込まれた。規模の大きい処理に多段法を導入して窒素処理集約することで、より少ないエネルギー使用量で、流域全体で必要な窒素負荷削減を達成できることが示唆された。

表2 検討ケースと検討結果

Case	処理場			放流窒素負荷 Kg-N/日	エネルギー kL/年	概要
	A 処理場	B 処理場	左記以外			
Case 0	A2O	A2O	循環	2,068	8,437	流総計画の水処理ケース
Case 1	多段	標準	標準	2,734	-	Aのみに窒素処理集約
Case 2	多段	A2O	標準	2,187	6,353	A、Bに窒素処理集約
Case 3	多段	多段	標準	2,016	5,611	A、Bに窒素処理集約

### [成果の活用]

本研究では実処理場の諸元(平均値)を用い条件設定を行い、リン回収事業費、エネルギー使用量を取りまとめた。しかし、実際には処理水量の時間変動によるエネルギー使用量への影響など個別処理場の特性に由来する知見を考慮する必要があるため、今後これらの追加調査を行い、下水道計画の策定・変更に際しての技術資料として公表する予定である。

### [参考文献]

- 1) 平成21年産作物統計、農林水産省
- 2) 都道府県の施肥基準値及び堆肥の施用基準値のデータベース並びに作物の収穫物の養分含有率のデータベースとその利用法、中央農研研究報告、2009
- 3) 平成21年度下水道統計、日本下水道協会

## 下水道革新的技術実証事業

Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

(研究期間 平成 23 年度～)

下水道研究部 下水処理研究室

室長	山下 洋正
主任研究官	田嶋 淳
研究官	藤井 都弥子
研究官	濱田 知幸
研究官	道中 敦子
研究官	大西 宵平
研究官	川住 亮太
研究官	小越 眞佐司
部外研究員	釜谷 悟司
室長	小川 文章
主任研究官	深谷 涉
研究官	末久 正樹
部外研究員	賀屋 拓郎

下水道研究部 下水道研究室

### [研究目的及び経緯]

本研究は、下水道革新的技術に関する実証事業を行い、その結果をガイドラインとしてとりまとめることにより、革新的技術のノウハウ蓄積、一般化・標準化等の推進、技術の普及促進、水ビジネスの国際競争力強化を図るものである。以下の①、②の観点から技術の実証研究を行っている。

#### ①創エネルギー化・省エネルギー化等の推進に資する下水道革新的技術の実証

エネルギー需要の逼迫や地球温暖化の進行等を踏まえ、下水道事業においても革新的技術による創エネルギー化・省エネルギー化等を推進する必要性が高まっている。平成 25 年度は、前年度に大阪市、神戸市、松山市、長崎市及び熊本市の下水処理場等に設置した実証施設を用いた実証試験を継続し、固形燃料化、下水熱利用、窒素除去、リン除去・回収に関する実証研究を行い、ガイドラインとしてとりまとめた。また、池田市及び和歌山市の下水処理場敷地内に新たに実証施設を設置し、バイオマス発電システムに関する技術の実証研究を行い、成果を取りまとめた。

#### ②管渠マネジメントシステムの効率的な実施に資する下水道革新的技術の実証

本格的な維持管理時代の到来を見据え、早く、安く、適切な精度で管渠の劣化状況を診断できる革新的技術が求められている。平成 25 年度は、展開広角カメラ、管口カメラ、高度な画像認識（機械学習による不具合自動検出等）等のスクリーニング技術及び衝撃弾性波による管耐荷力計測、レーザーによる管路形状プロファイリング等の詳細調査技術について大阪狭山市、河内長野市、八王子市、船橋市で実証調査を行い、各技術の日進量、調査コスト、調査精度、適用条件等について整理し、成果を取りまとめた。