

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.823

January 2015

平成25年度下水道関係調査研究年次報告書集

FY2013 Annual Report of Wastewater Management and Water Quality Control

国土交通省 国土技術政策総合研究所

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

平成25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

FY2013 ANNUAL REPORT OF WASTEWATER MANAGEMENT AND WATER QUALITY CONTROL

WASTEWATER SYSTEM DIVISION
WASTEWATER AND SLUDGE MANAGEMENT DIVISION
of WATER QUALITY CONTROL DEPARTMENT

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

概要

本報告書集は、平成25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、地震、ストックマネジメント、汚泥、温暖化ガス、エネルギー

Synopsis

This Annual Report introduces researches on wastewater system, wastewater treatment, advanced wastewater treatment, wastewater sludge and water quality control carried out in Fiscal 2013 by National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan .

Key words: wastewater system, wastewater treatment, stock management, earthquake, wastewater sludge, green house gases (GHG), energy,

序 文

本報告書集は、平成25年度に国土交通省国土技術政策総合研究所（国総研）が実施した下水道関連の調査研究の成果をとりまとめたものであり、全15編の報告書から構成されています。

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、予算費目としては下水道事業調査費、試験研究費、基礎研究経費、技術研究開発調査費、JST-JICA：地球規模課題対応国際科学技術協力事業費、JST：CREST（戦略的創造研究推進事業費）です。

15課題のうち平成25年度に終了したものは、以下の5課題です。

- ① 下水道施設の液状化・津波対策技術に関する調査（下水道研究室；下水道事業調査費）
- ② 合流式下水道改善対策の効果検証手法に関する調査（下水道研究室；下水道事業調査費）
- ③ 下水処理施設への新たな衛生的指標導入に関する検討（下水処理研究室；下水道事業調査費）
- ④ 生物処理過程におけるN₂O発生抑制手法に関する検討（下水処理研究室；下水道事業調査費）
- ⑤ 流域における水環境マネジメント技術に関する検討（下水処理研究室；下水道事業調査費）

また、平成25年度から新たに開始した課題は以下の4課題です。

- ① 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（下水道研究室；下水道事業調査費）
- ② 効率的な都市雨水対策推進に関する調査（下水道研究室；下水道事業調査費）
- ③ 下水道施設の戦略的耐震化優先度評価手法に関する研究（下水道研究室；試験研究費）
- ④ 社会資本等の維持管理効率化・高度化のための情報蓄積・利活用技術の開発（総合技術開発プロジェクト）

これらの結果、過年度及び継続案件の成果も含め、以下のような活用がされました。

- 国土交通省「下水道クイックプロジェクト」社会実験（下水道クイックプロジェクトの推進に関する調査）
- 環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会廃棄物分科会 廃棄物分野における算定方法の改善について 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N₂O排出（終末処理場）」の係数改定

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更に進めてまいります。これからも引き続きご意見等をいただければ幸いです。

平成26年4月

国土技術政策総合研究所 下水道研究部長 高島英二郎

目次

頁

序文

I. 下水道事業調査費による研究

1. 下水道施設の液状化・津波対策技術に関する調査……………(下水道研究室) …… 1
2. 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……………(下水道研究室) …… 5
3. 効率的な都市雨水対策推進に関する調査……………(下水道研究室) …… 11
4. 適正な汚水処理方法可能性(FS)に関する検討……………(下水道研究室) …… 19
5. 合流式下水道改善対策の効果検証手法に関する調査……………(下水道研究室) …… 23
6. 下水道クイックプロジェクトの推進に関する調査……………(下水道研究室
・ 下水処理研究室) …… 27
7. 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……………(下水処理研究室) …… 31
8. 生物処理過程におけるN₂O発生抑制手法に関する検討……………(下水処理研究室) …… 39
9. 流域における水環境マネジメント技術に関する検討……………(下水処理研究室) …… 45

II. その他の予算による研究

[下水道研究室]

1. 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（行政部費）…………… 57
2. 社会資本等の維持管理効率化・高度化のための情報蓄積・利活用技術の開発
(総合技術開発プロジェクト) …… 69
3. 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（行政部費）…………… 73

[下水処理研究室]

1. 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
(行政部費) …… 79
2. 持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム～21世紀型都市水循環系の構築のための水
再生技術の開発と評価～（CREST）…………… 85
3. アフリカ・サヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発
(地球規模課題対応国際科学技術協力事業 JST-JICA) …… 91

付録

- 付録1. 平成25年度 下水道関係刊行報告書一覧…………… 97
- 付録2. 下水道関係調査研究課題表（国土技術政策総合研究所）…………… 99

I. 下水道事業調査費による研究

1. 下水道施設の液状化・津波対策技術に関する調査

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

1. はじめに

東日本大震災で発生した地震・津波は、下水道施設が過去に経験したことの無い広域で、甚大な被害をもたらした。管路施設被害は、675kmにのぼり、震源が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た。

東日本大震災で被災した地域を対象として、管きよの被害原因について調査した結果¹⁾、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管きよの脆弱性が露見するとともに、液状化対策のさらなる促進の必要性を認識した。

現在、下水道施設の耐震対策指針と解説²⁾（以下、耐震指針）には、埋戻し土の液状化対策（図2）として3つの施工方法が示されている。東日本大震災後に液状化対策効果の事例調査を実施したところ、埋戻し土の締固めにより施工された場所での被害事例は確認されなかったものの、東日本大震災後に設置された下水道地震・津波対策技術検討委員会では、埋戻し作業の施工管理が難

しく、土質により所定の締固め度が確保できない例がある等の指摘があった。このことから国総研では、一層の液状化対策の促進に向け、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を対象として、詳細な施工管理方法に関する検討を行った。

2. 下水道管路施設の埋戻し土の締固め実験

2.1 実験目的

一般に土の締固め度は、含水比、土質、締固めエネルギーなど様々な条件で変化する³⁾。また、下水道管路施設は、掘削幅の狭く深い空間に布設するため、転圧機械の制約や矢板引き抜きの影響、施工時間の制約など、締固めの品質に影響を及ぼす条件によっても得られる締固め度が変化する。そこで、下水道管路施設の埋戻し土の締固めに適した合理的な施工方法及び品質管理方法を検討することを目的とした実験を実施した。

2.2 実験内容

埋戻し土の締固め工法の施工品質に影響があると考えられる管基礎部と埋戻し部の巻出し厚（砂を層状に敷き広げた時の厚さ）、転圧機械及び器具を変えて表1に示す6ケースの実験を行った。ケース①、②は、巻出し厚を薄くし施工を行った場合を想定し、管基礎部は木だこを用いた巻出し厚10cmでの転圧、埋戻し部はプレートコンパクターを用いた巻出し厚10cmでの転圧とした。なお、ケース②は機械転圧の開始位置を管頂から10cmとした。

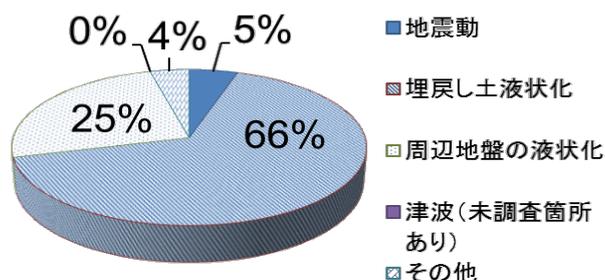


図1 管きよの被害原因

埋戻し方法	(1)埋戻し土の締固め	(2)砕石等による埋戻し	(3)埋戻し土の固化
概要図	地下水位以深を良質土で締固め(締固め度90%程度以上)ながら、埋戻す。	透水性の高い材料(砕石等)で地下水位より上方まで埋戻す。	地下水位以深を固化改良土等で埋戻す。
埋戻し材料	現地発生土あるいは購入土。	透水性の高い材料。例えば、10%通過粒径(D ₁₀)が1mm以上の砕石。又は、排水効果の確認されている材料。	良質な砂、又は埋戻しに適した現地発生土。

図2 埋戻し土の液状化対策と概念図

ケース③、④は、管基礎部の巻出し厚を S53 年事務連絡⁴⁾に記載されている最大の厚さである 30cm とし、ケース④の埋戻し部の巻出し厚は 30cm とした。

ケース⑤は、転圧時間を管理して実験した。転圧時間は、下水道管路施設の設計の積算歩掛と一般的な施工時の日進量から転圧時間を一層当たり 15 分として施工した。

ケース⑥は、転圧機械・器具ごとに、所定の締固め度が得られる巻出し厚、転圧回数を事前の試験施工で決定した後、本実験を行った。

2. 3 実験フィールド

本実験は、国総研の屋外実験場にて行った。実験は、延長 6.0m、深さ 2.0m、幅は実験条件に応じ 1.1m 又は 1.5m で掘削を行い（図 3）、φ200mm の塩化ビニル管に φ300 の小型マンホールを接続した模擬管きよを設置した。土留め壁には軽量矢板を設置し、地表から 1m まで埋戻しが完了した段階で引き抜いた。なお実験場は、掘削深さ 2m では、地下水位がない状態であった。

また、ケース⑥の試験施工は、延長 2m、幅 1.8m、深さ 0.6m の掘削断面で実施した（図 4）。

2. 4 埋戻し土の条件

本実験では、国総研近傍の砂採り場より購入した土（砂質系土質）を埋戻し土として使用した。表 2 に示す最大乾燥密度 ρ_{dmax} 、最適含水比 W_{opt} は、突固めによる土の締固め試験（JIS A1210）により算出した。

実験時の含水比は自然含水比とし、ケース①、ケース②では、前日の降雪の影響で含水率が大きく、ケース③～⑥は最適含水比に近い値であった。

2. 5 転圧機械・器具

本実験では、下水道管路施設の埋設工事に使用される小型転圧機械及び木だこを用いた。実験に用いた機械及び器具は下記の通りである。

(1) 木だこ

木材を用いた締固めに用いる木製の道具。丸太や角材に取っ手を付けたものである。本実験では、9cm×9cm の角材を用いた重さ 3.9kg の木だこを用いた。

(2) プレートコンパクター

平板の上にエンジンと 1 軸の起振体を装備した締固め機械で、自重と起振体の振動力により締固めを行うものである。本実験では、52cm×35cm の平板、重量 60kg、振動数 100Hz のプレートコンパクターを用いた。

表1 実験ケース

実験ケース	掘削幅	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	管基礎部	埋戻し部	
①	1.1m	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	1.5m	ランマー		15cm	30cm	管頂から30cm
⑥				15cm	30cm	管頂から30cm

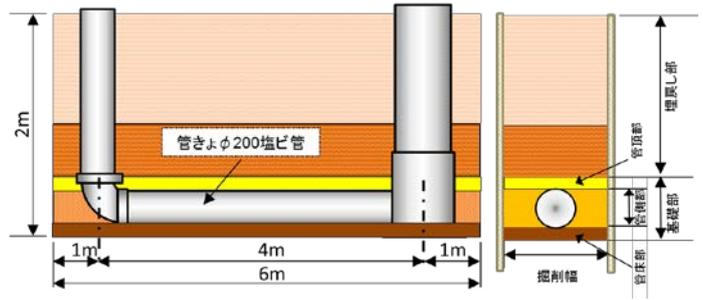


図3 施工断面図

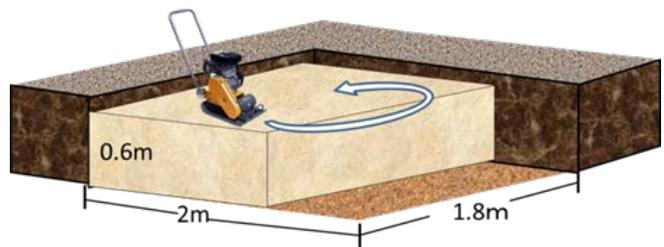


図4 試験施工断面図

表2 埋戻し材料の物性

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.72
細粒分含有率 F_c (%)	18.6
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.47
最適含水比 W_{opt} (%)	20.2

(3) ランマー

エンジンの回転力をクランクで上下運動に変換し、スプリングを介してプレートに伝達して締固めを行うものである。本実験では、26.5cm×34cmの衝撃板、重量62kg、衝撃回数10.7～11.6Hzのランマーを用いた。

2.6 測定項目

本実験では、各ケースにおける深さ方向の締固め度について、常用されている砂置換法(JIS A 1241)に加え、RI計器による土の密度試験方法により確認した。RI計器は、放射性同位体を利用して土の湿潤密度を測定する測定器であり、短時間の測定で結果が得られること、測定者の個人差が少ないこと、非破壊の測定方法であるため同一箇所でも繰り返し測定が可能なことなどの特色を有している⁵⁾。図5にそれぞれの測定箇所を示す。

また試験施工は、使用転圧機械及び器具ごとに実施し、1回転圧するごとに締固め度(RI計器)を測定し、締固め度が90%を超えた場合にさらに別の箇所で締固め度を測定し、2回連続して締固め度90%を超えた転圧回数を施工時に採用した。また、確認のため転圧回数決定後、砂置換法による締固め度の確認を行った。

2.7 実験結果及び考察

(1) ケースごとの締固め度

本実験における砂置換法の締固め度測定結果を表3に示す。ケース①②では、締固め度90%以上を達成したが、ケース③及び、ケース④の管側部では、締固め度90%を達成できなかった。

締固め時間で管理したケース⑤、及び試験施工により転圧回数を決定したケース⑥では、全ての深さで締固め度90%を満足した。また、GL-1mでは、ケース⑥が他のケースに比べ大きな締固め度が得られた他、すべてのケースにおいてGL-1.8mの管側部は埋戻し部よりも締固め度が低くなった。

(2) 締固め度90%確保に必要な条件

ケース③、④について、プレートコンパクターによる転圧では、締固め度90%を達成したが、木だこを用いた管側部(巻出し厚30cm)では、締固め度90%を得られなかった。これは、木だこの締固めエネルギーが小さいためであるが、ケース①②のように巻出し厚を10cmとすることで締固め度90%を達成できた。

ケース⑤では、ケース①②よりも転圧回数が多く巻出し厚が薄いことから締固め度90%を達成できたものと考えられる。

ケース⑥では、試験施工により締固め度90%を達成可能な転圧回数や巻出し厚を設定しているため、締固め度90%を達成できたものと考えられる。これらの実験結果に基づき、締固め度90%を達成するために必要な因子を整理すると、転圧機械、巻出し厚、転圧回数となる。

現場管理の容易性を考慮すると、土質に応じた転圧機械の選定と、機械毎の最適な巻出し厚及び転圧回数の設定が、締固めの管理には重要であると考えられる。

(3) RI計器による狭隘部の締固め度の品質管理

砂置換法は室内試験が必要なため、結果が判明するまでに時間を要する。時間的制約が大きい下水道管路施設

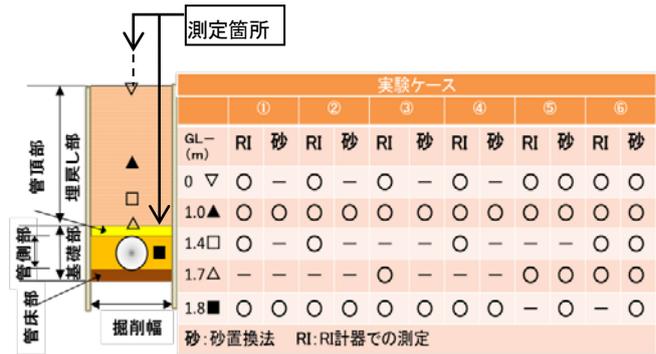


図5 砂置換法とRI計器による締固め度測定箇所

表3 測定結果

GL-(m)	①	②	③	④	⑤	⑥
0▽	-	-	-	-	98	◎
1.0▲	99	◎	94	○	90	◎
1.4□	-	-	-	-	-	100
1.7△	-	-	-	-	93	○
1.8■	91	○	92	○	79	×
含水率%	28	24	19	18	17	17

工事では、現場で即時に締固め度を測定できる試験法が望ましく、ここでは、RI 計器を用いた締固め度の品質管理の適用可能性を検討した。

図6に砂置換法とRI 試験法の締固め度の関係を示す。RI 計器と砂置換法の誤差は最大で14%だが、道路盛土の品質管理にRI 計器の適応性を検討した事例では2%程度の誤差が想定されており⁶⁾、本実験ではそれより大きな誤差が発生している。管側部などの狭隘部では、埋設管や矢板が近傍にあることが原因と推測され、RI 計器の適応については課題が残った。

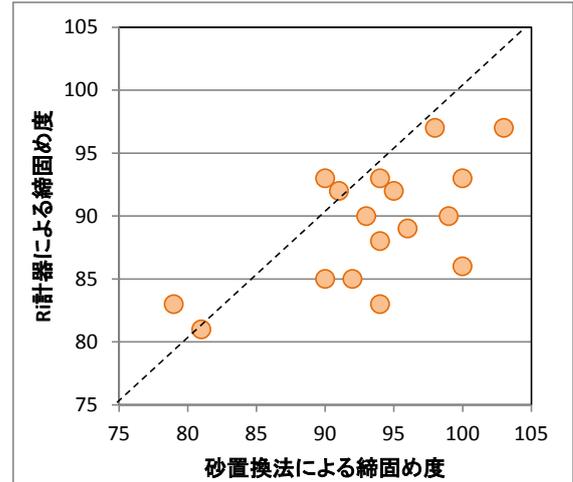


図6 砂置換法とRI 試験法の比較

(4) 試験施工による埋戻し土の品質の管理

図7に示すように試験施工は、木だこ（巻出し厚15cm）、プレートコンパクター（同30cm）、ランマー（同30cm）を用いて行った。締固め度は、木だこでは6回転圧で締固め度93%、プレートコンパクターでは7回転圧で締固め度91%、ランマーでは3回転圧で締固め度96%であった。試験施工の結果からプレートコンパクターに比べランマーを用いた方が効率的に締固め度を得られることからケース⑥の使用機械と転圧回数は、管側部を木だこで巻出し厚15cm、転圧回数6回、埋戻し部をランマーで巻出し厚30cm、転圧回数3回とした。その結果、ケース⑥では全深さで締固め度90%以上となり、試験施工に基づく下水道管路施設の埋戻しに一定の効果があることが分かった。

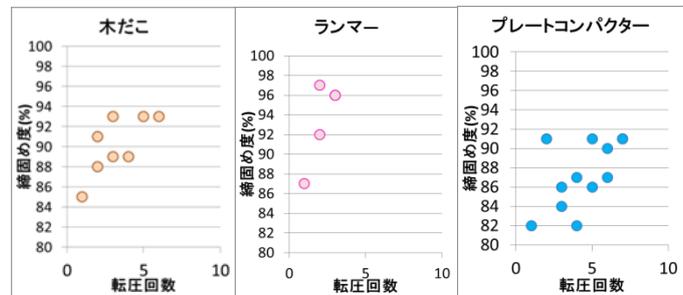


図7 試験施工結果

3. まとめ

本実験では、埋戻し土の締固め度の品質管理方法として試験施工に基づく施工管理手法を提案し、試験施工を行うことで効率的に締固め度90%程度以上を達成できることを実験により確認した。

品質管理を施工者に委ねる従来方法に比べ、本実験で提案した方法は、施工管理者が施工現場で転圧回数や巻き出し厚などをより正確に設定できることから、より確実な施工を行えると期待できる。一方、狭隘部に下水道管路施設が埋設されている場合に、現地で短時間に締固め度を測定する手法がないため、直接的な品質管理ができないことから、今後の測定機器の開発が望まれる。

なお本実験で行った試験施工方法等の成果は、新たに発刊される下水道施設の耐震対策指針に反映された。

参考文献

- 1) 下水道地震・津波対策技術検討委員会：下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書、p26、平成24年3月
- 2) 社団法人日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説（2006年版）、pp.136～163、2006年
- 3) 社団法人日本道路協会：道路土工盛土工指針、pp.211～230、平成22年4月
- 4) 山海堂：下水道関係通達集昭和59年版、pp.490～496、昭和59年5月
- 5) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説-二分冊の2：p808、平成25年3月
- 6) 五十嵐己寿：道路盛り土の品質管理手法、高速道路と自動車、第29号、第4号、pp.39～47、1986年4月
- 7) 公益社団法人日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説（2014年版）、平成26年5月

2. 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

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

1. はじめに

2012 年度末の下水道管路延長は 45 万 km に達しており、鉄筋コンクリート管や陶管といった剛性管の老朽化が進行している。老朽化対策の一環として、施設の劣化状態を把握し、延命化を図るストックマネジメントの導入が鉄筋コンクリート管や陶管を中心に促進されてきた。一方、塩化ビニル管は、1974 年の下水道協会規格 (JSWAS K-1) 制定以降急速に普及し、

塩化ビニル管の累計延長は、2012 年度末時点で全

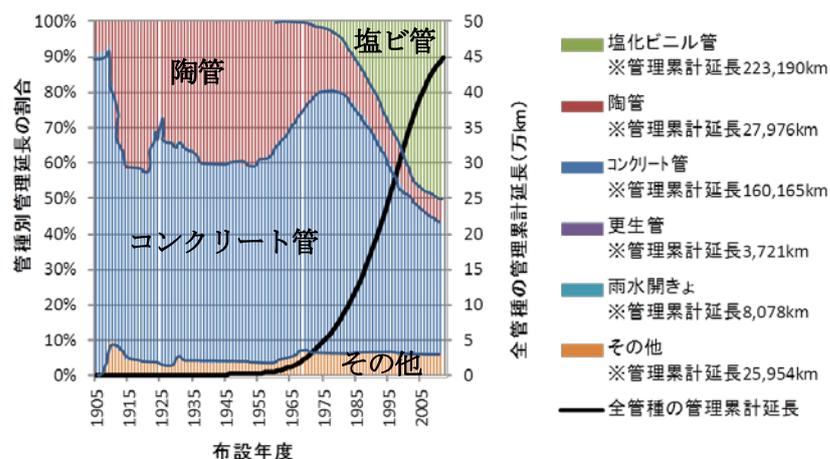


図-1 布設年度ごとの管理延長

管種の

累計延長の約 5 割 (図-1) を占めている。しかし、維持管理の現状として、現行の TV カメラによる視覚調査結果に対する判定基準¹⁾ (以下、「視覚判定基準」) および緊急度の診断基準¹⁾ (以下、「緊急度判定基準」) は、主に先行して整備された鉄筋コンクリート管等の剛性管を対象に作られたものとなっている。近い将来、塩化ビニル管の高齢化時代が到来するとともに、塩化ビニル管の劣化状況を正確に把握かつ適切な維持管理を実施することが求められると予想されるが、塩化ビニル管は他管種と比べ整備開始からあまり時間が経過していないため、経年劣化やその他劣化に関する知見が少なく、劣化のメカニズムは不明な点が多い。

これらを踏まえ、国土技術政策総合研究所 (以下、「国総研」) では、塩化ビニル管の劣化状況および管体性能の低下状況を調査することにより、塩化ビニル管の視覚判定基準および緊急度判定基準について検討しており、本稿では、塩化ビニル管を対象とした緊急度判定基準についての検討内容を報告する。

2. 既往の研究と現状の課題

下水道では鉄筋コンクリート管や陶管等の剛性管と塩化ビニル管等のプラスチック系可とう管が主に使用されており、両者は構造及び材質が大きく異なるため、発生する劣化の特徴も異なる。このため、塩化ビニル管の管体構造および管体材質を考慮した上で、構造的劣化¹⁾ に対する安定性 (耐荷性等) および機能的劣化¹⁾ に対する水密性・流下性能の有無を定量的に判定するための基準が必要となる。

国総研における既往の研究では塩化ビニル管の実態を把握するため、自治体へのアンケート調査による塩化ビニル管の劣化に起因する道路陥没の現状把握、自治体から収集した TV カメラ調査データに基づく塩化ビニル管の劣化発生傾向の把握および視覚判定基準 (案) の作成を実施してきた。以下に既往の研究結果の概要を記す。

・現時点では塩化ビニル管の劣化に起因する道路陥没発生件数は少ないが、主な原因は、破損 (写真-1)、クラック、継手ズレ (写真-2) などによるものである。

・塩化ビニル管に発生している A、B ランクの劣化のうち、道路陥没の発生要因となりうる劣化（浸入水・破損・クラック・継手ズレ）が約 64% を占める（図-2）

・可とう管特有の局所的な断面変化（以下、「変形」（写真-3））や全体的な断面変化（以下、「偏平」（写真-4））が発生しており、破損、クラックなどの劣化を併発している。

・現行の視覚判定基準の劣化項目に加え、可とう管特有の変形および偏平の劣化項目を追加し、塩化ビニル管を対象とした視覚判定基準を提案した。

現行の視覚判定基準から変更・追加した箇所（青マーキング部）を抜粋し、表-1 に示す。

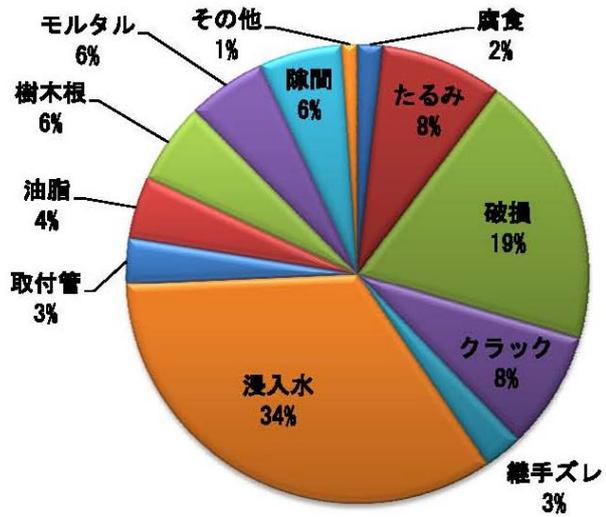


図-2 塩化ビニル管の劣化割合（A、B ランクのみ）



写真-1 破損の事例



写真-2 継手ズレの事例



写真-3 変形の事例



写真-4 偏平の事例

以上を踏まえ、本研究では、塩化ビニル管の劣化箇所ごとの判定を対象とした視覚判定基準（表-1）に加え、耐荷性に関わる構造的劣化（偏平、変形、軸方向クラック、周方向クラック）が併発していることに着目し、人孔間のスパン全体の判定を対象とする緊急度判定基準（案）を作成した。ここでの「軸方向クラック」および「周方向クラック」は、現行の視覚判定基準の「破損」および「クラック」を示す¹⁾。

表－1 視覚判定基準（一部抜粋）

管1本ごとに評価	ランク		a	b	c
	項目	適用			
管の破損及び軸方向クラック	鉄筋コンクリート管	欠落	軸方向のクラックで幅:5mm以上	軸方向のクラックで幅:2mm以上	軸方向のクラックで幅:2mm未満
		軸方向のクラックが管長の1/2以上			
	陶管	欠落	亀甲状に割れている軸方向のクラック	—	—
扁平	塩化ビニル管	たわみ率15%以上の扁平	たわみ率5%以上の扁平	—	—
変形(内面に突出し)	塩化ビニル管	白化または本管内径の1/10以上内面に突出し	本管内径の1/10未満内面に突出し	—	—

3. 複合的に発生した構造的劣化の緊急度の検討方法

前述の通り、下水道管きよの維持管理を実施するにあたり、既往の研究²⁾で提案された劣化箇所ごとの視覚判定基準に加え、人孔間のスパン全体に対する緊急度判定基準が必要である。複数の管体で構成されるスパンの緊急度を判定するには、劣化が複合的に発生した場合の管体に対する影響を明確にする必要がある。そこで、複数の構造的劣化が管体に発生し、管体材料が降伏歪みに達している場合は、緊急度が高いと考え、塩化ビニル管を対象に新たに視覚判定基準に追加する「扁平」と「変形」を考慮し、構造的劣化と発生する歪みの関係を扁平試験により明らかにした。さらに、統計解析手法を用いて、歪みに対して影響力の高い構造的劣化を判別し、構造的劣化が併発した場合の歪みの値を予測することにより、降伏歪みに達する構造的劣化の組み合わせを検討した。

(1) 扁平試験方法

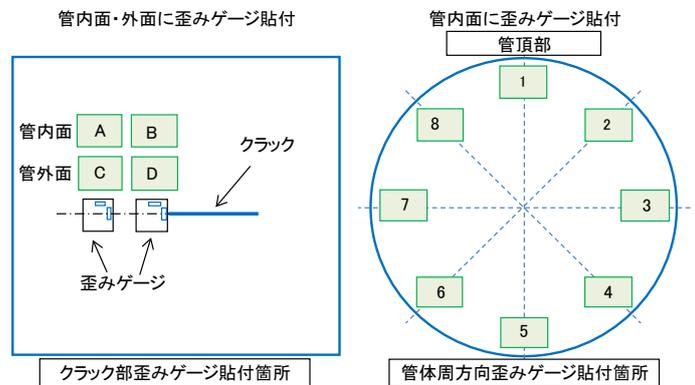
たわみ率と歪みおよび応力の関係を把握するため、JIS K 6741 硬質ポリ塩化ビニル管の扁平試験に準拠し、VUφ200の管長400mmに幅1mmのクラックおよび変形形状を管体中央部に所定の条件に基づき加工した試験体を用い試験を実施した。クラックおよび変形条件概要を表-2に示す。図-3の通り、クラック部および管体周方向に歪みゲージを配置し計測を行った。また、変形の試験ケースにおいては、管体周方向は図-3と同様に、変形部には図-4の通りに歪みゲージを配置し計測を実施した。

(2) 統計解析方法

歪みと各属性（たわみ率、クラック周方向位置、クラック方向、クラック長さ）との関係を見るために、扁平試験で得た歪みのデータを基に、統計解析手法（数量化I類）を用いて、発生する歪みに対する各属性の関係度合い（カテゴリーレンジ・カテゴリースコア）を算定し、これらの大小関係や増減関係から、歪みと各属性との関係性を検討した。

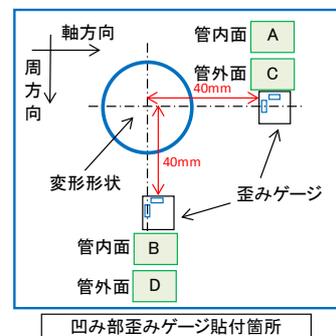
表－2 クラック・変形条件の概要

項目	条件	概要図
クラック周方向位置	管頂部、中間部、管側部	
クラック方向	軸方向、斜方向、周方向	
クラック長さ	管長の1/5、7/20、1/2	
変形形状	内径の1/10以上の凸形状 内径の1/10未満の凸形状	



図－3 クラック部の歪みゲージ貼付位置

管内面・外面に歪みゲージ貼付



図－4 変形部の歪みゲージ貼付位置

4. 複合的に発生した構造的劣化の緊急度の検討結果

(1) 偏平試験結果

1) クラック

図-5は、クラック周方向位置を管頂部、クラック長さを管長の1/5として、クラック方向を軸方向・周方向・斜方向に加工した各試験体（3ケース）に発生する歪み（縦軸）の傾向をたわみ率（横軸）ごとに示している。なお、クラック部および周方向の歪みゲージ（図-3）のうち、たわみ率5%の時点で最大値を記録した歪みゲージの測定結果をプロットしている。各試験体におけるクラック部歪みゲージの測定結果を比較すると、軸方向に加工した試験体のみがたわみ率の増加と共に歪みが急激に上昇していることが分かる（図-5）。また、各試験体およびブランク試験体の周方向歪みゲージによる測定結果を比較すると、歪み最大値の発生箇所および値はほぼ同じであった。さらに、周方向クラック部および斜方向クラック部の歪みはブランク試験体に発生した歪みよりも小さかった。また、クラック周方向位置およびクラック長さに関わらず同じ傾向が見られたことより、軸方向クラック以外のクラックは管体の耐荷性能への影響が小さいと考えられる。

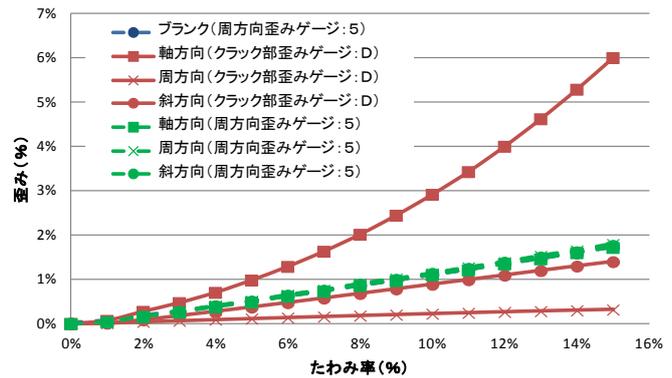


図-5 クラック方向と歪みの関係

(クラック周方向位置：管頂部、クラック長さ：管長1/5)

2) 変形

本偏平試験において、変形後の歪みは応力緩和により残存歪みがほぼないと仮定した上で、変形形状によるたわみ率ごとの歪み発生傾向の差異を把握した。図-6は、変形形状および周方向位置を変えた3ケースの試験体における発生歪みを図-5と同様に示している。変形部の歪みゲージによる測定結果はブランク試験体における歪み測定結果よりも小さい。また、各試験体およびブランク試験体における周方向歪みゲージの測定結果

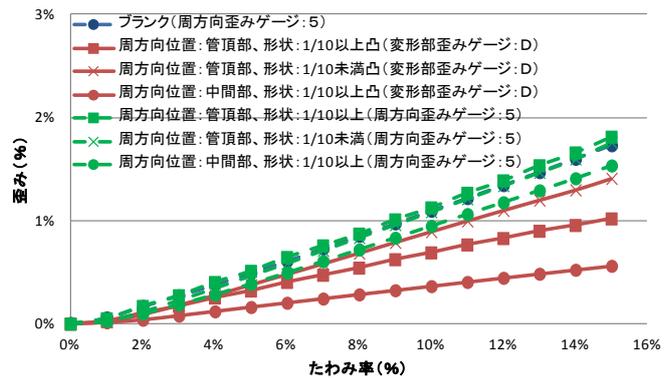


図-6 変形と歪みの関係

を比較すると、歪み最大値の発生箇所および値はほぼ同じであった。これより、変形形状および周方向位置に関わらず、変形はたわみ率と歪みの発生傾向に対して影響はほぼ無いと言える。

(2) 統計解析結果

偏平試験結果より変形と偏平が併発した場合においては、変形部への歪みが集中しないことを確認した。一方、クラックと偏平が併発している事象は、歪みの発生傾向に大きく影響を与えていると考えられた。そこで、各クラックと偏平が併発した際に発生する歪みを対象に解析した結果を以下に示す。

国総研で行った既往の研究より、塩化ビニル管の弾性域は歪みが1.2%程度まで、降伏点の歪みは4.0%程度と想定される。弾性域と塑性域では応力と歪みの関係が異なるため、本解析では塑性域である歪み1.2%以上を解析対象とした。図-7は各属

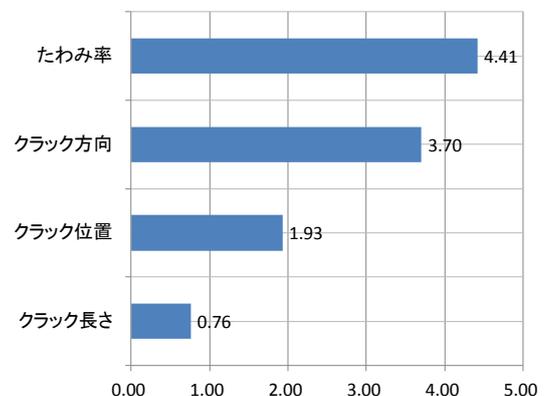


図-7 カテゴリーレンジ

性的カテゴリーレンジを示しており、たわみ率とクラック方向は歪みに対し影響が大きいことが分かる。また、クラック方向のカテゴリースコアの大小関係から、軸方向クラックが歪みに影響を与えると言える(図-8)。図-9は、x軸を実測値歪み、y軸をカテゴリースコアからの予測値歪みとした散布図を示す。実測値および予測値が4%を越えるクラック方向条件は軸方向のみであった。また、図-9で示す予測値から得られる寄与率は0.91であり、解析結果は妥当であると考えられる。図-10は、各カテゴリースコアに基づき予測した歪みとたわみ率の関係を示しており、軸方向クラックが発生している際はたわみ率が9%以上で歪みが4%以上になると推定された。

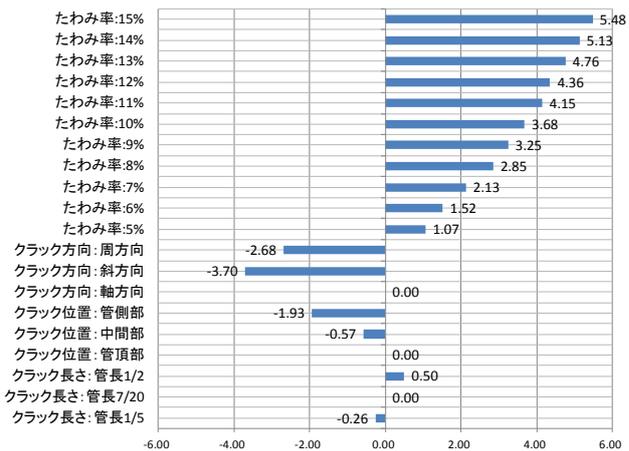


図-8 カテゴリースコア

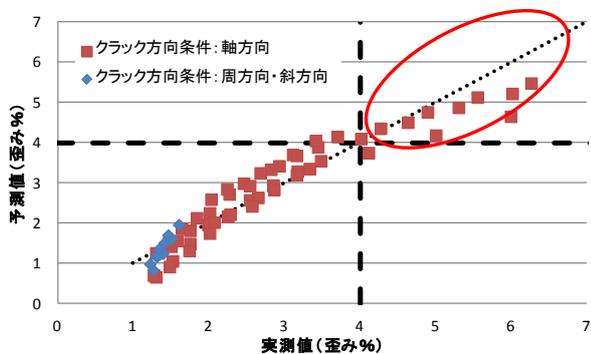


図-9 実測値と予測値(歪み%)

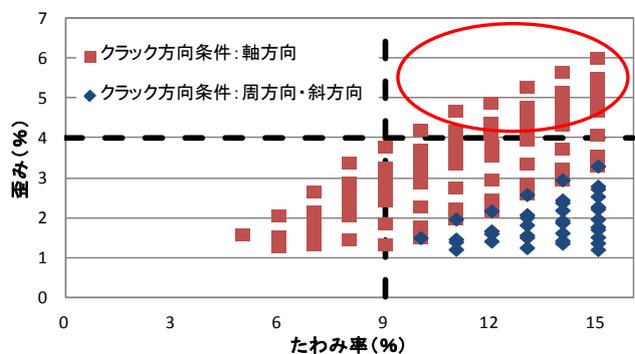


図-10 たわみ率と歪み(予測値)

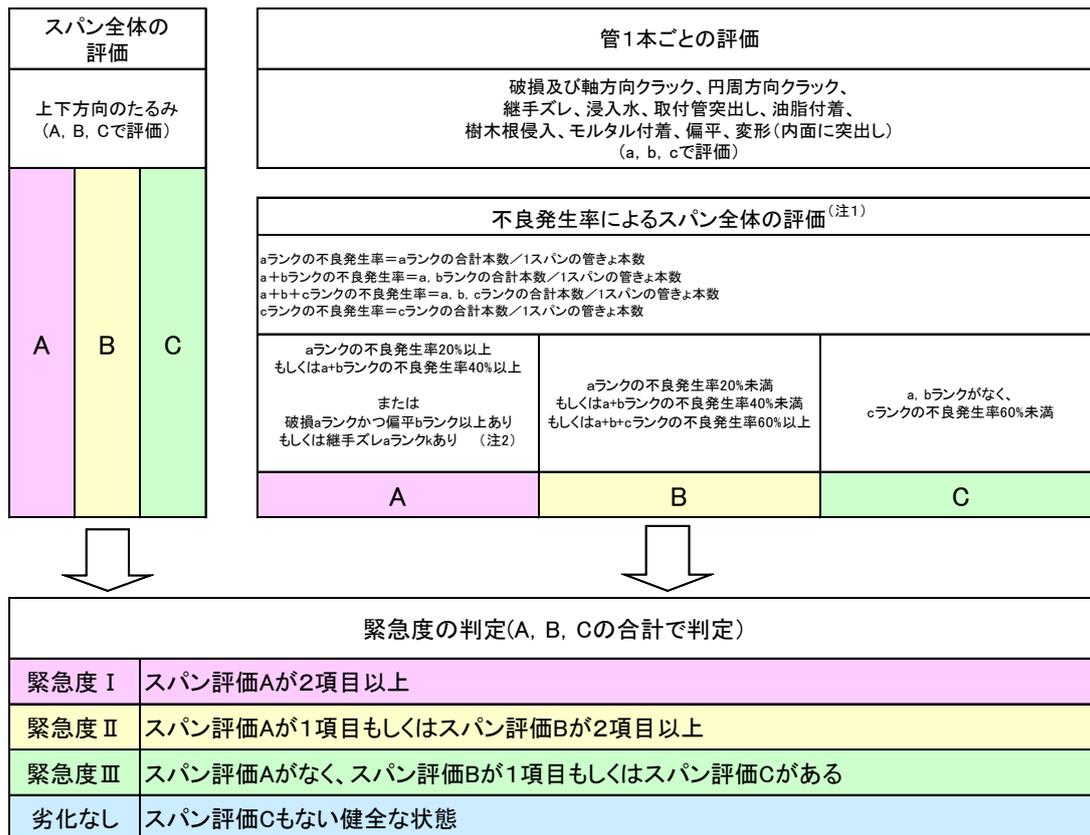
5. 塩化ビニル管の緊急度判定基準の提案

軸方向クラックの場合、たわみ率が9%以上で発生歪みが4%以上となり降伏点を越える可能性が高い。よって、既往の研究で提案した偏平の判定基準(表-1)に基づき、偏平のbランク以上と軸方向クラックが併発している場合は緊急性が高いと考え、スパン全体に対する緊急度判定においてAランクとした。

10自治体から入手した塩化ビニル管1138スパンの調査データ(集計表・調査記録表・映像データ)から緊急度I・II・IIIのスパン(405スパン)を抽出し、既往の研究で新たに提案した塩化ビニル管の視覚判定基準に基づき緊急度判定を実施した結果を以下に示す。従来基準により診断された緊急度IIは全スパンの約7%(77スパン)に対し、新たに提案した塩化ビニル管の視覚判定基準により診断された緊急度IIは全スパンの約9%(102スパン)であった。これは、従来の緊急度基準では緊急度IIIと診断されていたスパンが、新たに提案する塩化ビニル管の緊急度診断基準では緊急度IIと診断された結果であるが、従来の視覚判定基準では軸方向クラックb・cランクと判定されていた管体が塩化ビニル管の視覚判定基準ではaランクと判定されたことや、緊急度I・II・IIIのうち約23%において偏平を、約3%において変形を併発しており、aランク+bランクの不良発生率¹⁾が40%を超えるスパンが増えたことが原因である。

塩化ビニル管の改築・修繕の現状把握のため自治体ヒアリングを行った結果、偏平かつ軸方向クラックが生じていたスパンに関して、改築を実施している自治体があった。

以上より、従来の緊急度判定基準¹⁾に「塩化ビニル管の判定の際には、『偏平のbランク以上』と『軸方向クラック』が併発している場合は、道路陥没等の社会的影響が想定されることから、スパン全体においてAランクとする」の内容を付記する。塩化ビニル管を対象とした緊急度判定フローを図-11に示す。



(注1) 同一箇所でも複数の不良が発生している場合には、最上位の評価ランクのみをカウントする
(例:「管のクラックa」と「浸入水b」があった場合には、最上位の評価「管のクラックa」のみをカウントする)。
・破損aかつ偏平bランク以上が同時にあった場合、既に管体材料は降伏していると判断し、不良発生率による判定とは別にスパン評価をAランクとする。

(注2) 継手ズレaランクが1箇所以上ある場合、周辺地山の管内への流入による道路陥没等、社会的影響の大きい不具合が想定されることから、不良発生率による判定とは別にスパン評価をAランクとする。

図-11 塩化ビニル管を対象とした緊急度判定フロー

緊急度は、対策が必要とされたスパンについて、その補修などの時期を定めるものであり、スパン全体の3つの評価項目(管の腐食、上下方向のたるみ、管1本ごとの評価から算定する不良発生率※塩化ビニル管に関しては管の腐食は該当しないため、2つの評価項目となる)における各ランクの数から判定される。

6. まとめ

現時点において、塩化ビニル管の調査量は、コンクリート管および陶管と比較すると非常に少ないのが現状であるが、塩化ビニル管についても、劣化が確認されはじめている状況である。今後、下水道管きよの適切な維持管理をしていくためには、塩化ビニル管を対象とした視覚判定基準および緊急度診断基準が必要不可欠である。

本稿では、塩化ビニル管特有の偏平、変状およびその他の劣化が併発した際の緊急度に着目し、緊急度診断基準を提示した。これにより、塩化ビニル管を対象とした基準がないため塩化ビニル管の維持管理に躊躇している自治体等が、塩化ビニル管の予防保全型維持管理に向けて前進して頂ければ幸いである。

参考文献

- 1) 下水道維持管理指針 前編-2003年版-, 日本下水道協会, 2003.12
- 2) 野澤他: 塩化ビニル管の不具合の実態と事例について 第49回下水道研究発表会 2012.6

3. 効率的な都市雨水対策推進に関する調査

下水道研究室 室長 小川 文章
研究官 橋本 翼

1. はじめに

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。

平成25年度は、各都市における効率的かつ効果的な都市雨水対策を推進するため、以下の調査内容を実施した。

- 下水道以外の他事業との連携対策手法の課題と解決の方向性の整理
- 内水ハザードマップ策定率向上に向けた課題と解決の方向性の整理
- 浸水対策施設の運転操作におけるXRAIN利活用の段階的アプローチ方法の検討
- 落葉等による排水能力低下を低減する改良型雨水樹蓋の排水性能の評価

2. 下水道以外の他事業との連携対策手法の課題と解決の方向性の整理

平成26年1月にストックを活用した都市浸水対策機能向上検討委員会がとりまとめた「ストックを活用した都市浸水対策機能向上のための新たな基本的考え方（中間とりまとめ）」¹⁾では、これまでの浸水対策のあり方を成熟化させた、ハード・ソフト対策を組み合わせた既存ストックを活用したより効率的かつ効果的な浸水対策の考え方が整理されている。この中で、「下水道のストックのみならず、都市内の下水道以外の雨水の排水系統の現況及び既定計画等の他事業のストックの適切な評価とともに、相乗して効果を発現する対策の検討・実施などにより、粘り強く効果を発揮し被害の軽減を図れるように、河川部局や都市計画部局等の関係部局と協議会等の場を通じて連携すべきである。」と謳われており、具体的な対策手法としては以下の手法が挙げられている。

- 河川の調整池と下水道の雨水貯留施設の直接接続による連携
- 水路等との連携
- 取り込み施設の能力増強等による連携
- 小型雨水貯留浸透施設の道路側溝下部等への設置
- 公園・緑地、校庭、駐車場、水田、ため池等との連携
- 流域保全林等との連携
- 雨水貯留浸透施設整備の指導や助成制度の導入等
- 河川部局等との合築
- 暫定防災調整池の恒久化・有効活用

本調査では、他事業との連携対策手法の効果的な実施に向け、文献調査や他事業連携手法の事例を有する2自治体を対象としたヒアリング調査により、効果的な連携対策手法について情報を収集し、連携する上での主要な課題点とその解決の方向性を整理した。表1に整理結果を示す。表1の解決の方向性は一例ではあるが、ここで示す観点を踏まえることで、上記連携手法の導入を促進することができると考えられる。

表 1 他事業との連携における課題と解決の方向性

区分	課題	解決の方向性の事例
道路施設との連携	道路構造物、家屋への影響	<ul style="list-style-type: none"> 法的規制 各種要綱、技術指針によるルール化等
	道路浸透に伴う有害物質対策等	<ul style="list-style-type: none"> 法的規制 ゴミ除去フィルターや構造の工夫
	雨水樹の維持管理	<ul style="list-style-type: none"> 道路管理者と連携した雨水樹点検
学校・公園施設との連携	施工期間等の工期の制約	<ul style="list-style-type: none"> 短期工事となる部材の選定（プラスチック製貯留槽等）
	藪蚊、臭気等の懸念	<ul style="list-style-type: none"> 構造の工夫 適切な維持管理
農業用施設との連携	農地の貯留利用における補償関係	<ul style="list-style-type: none"> 湛水時間等、土地改良区との協議
	灌漑期の用水路利用における降雨時の転倒堰等の運転管理	<ul style="list-style-type: none"> 降雨時の運転管理、維持管理等のルール化 用水路等の状況を踏まえた運用計画の立案
都市計画施設との連携	湛水低農地における、不適切な盛土	<ul style="list-style-type: none"> 法令、条例等における対策 補助金の交付
	土地利用のあり方：農地の宅地化	<ul style="list-style-type: none"> 「農業振興地域の整備に関する法律」の区域変更の要件に浸水被害軽減の項目を追加 浸水想定区域図に法的根拠を持たせることによる、農振農用地区域の保持に関する周知・指導
	土地利用のあり方：市街化の抑制	<ul style="list-style-type: none"> 浸水想定区域図に法的根拠を持たせることで、都市計画に浸水被害軽減という概念・目的を含める
	土地利用のあり方：家屋等への建築指導	<ul style="list-style-type: none"> 適正な建築施設への指導として条例を施行し、浸水対策の情報提供や整備指針の指導を実施
	都市公園内の空間の活用	<ul style="list-style-type: none"> 立体都市公園法の創設により、公園面積の制約によらず、地下構造物の設置が可能
住民との連携	公共施設における浸透樹等の維持管理の効率化	<ul style="list-style-type: none"> 道路浸透樹等の点検に関し、グレーチングや側溝蓋開けによる目視により、点検管理の一部を住民に依頼 自治会で集計取りまとめ後、行政に清掃依頼
	雨水貯留浸透施設の設置・推進	<ul style="list-style-type: none"> 助成等のインセンティブ 内水ハザードマップ等、浸水リスクの情報提供
組織連携	浸水対策に関する関連部局の協力や理解が得にくい	<ul style="list-style-type: none"> 関連部局を一体組織にすることによる効率的整備の実現

3. 内水ハザードマップ策定率向上に向けた課題と解決の方向性の整理

平成 24 年 8 月 31 日に閣議決定された「社会資本整備重点計画」では、床上浸水被害が発生した地区、都市機能が集積していて浸水実績のある地区、地下空間利用が高度に発達している地区等のある市区町村を対象に、内水ハザードマップを作成・公表し、防災訓練等を実施した市区町村の割合を、平成 28 年度末までに約 100%にすることとしている。同割合は平成 23 年度末で約 15%と低い水準であることを踏まえ、今後の策定率向上が望まれるところである。

平成 24 年度に実施した内水ハザードマップ策定に関するアンケート²⁾では、未策定自治体は未策定の理由として、図 1 に示す通り、洪水ハザードマップを策定しているため不要である、自治体内の防災部局など他部局との調整が必要である、甚大な浸水被害は受けていない等が挙げられた。

ここで挙げられた未策定理由に基づき課題解決のターゲットを 2 つのカテゴリーに分け、内水ハザードマップ策定を促進するための解決の方向性を図 2 の通り整理した。ここで示す解決の方向性①については、過年度の国総研の調査³⁾でも示されている。解決の方向性②③については、国土交通省ハザードマップポータルサイト⁵⁾で公開されている内水ハザードマップでも優良事例が見受けられる。解決の方向性④は、内水ハザードマップ作成の手引き（案）⁶⁾で示されている地形情報を活用した手法（タイムエリア法による雨水流出量算定）を適用する上で

の課題と解決手法であり、その考え方を表2に示す。図2に示す解決の方向性は、浸水特性（内水浸水の頻度）や財政状況（内水ハザードマップ策定費用の度合い）など、各自治体の状況に応じた策定手法を検討するための参考になると考えている。

Q1:平成24年9月末時点で内水ハザードマップを策定していない理由を教えてください(複数回答可)	
45	1. 浸水被害は発生しているが、甚大な被害になっていないため
25	2. 住民・議会からの要望が少ない(または無い)
64	3. 既に洪水ハザードマップを策定しており、十分であると認識している(内水ハザードマップは不要)
45	4. 下水道整備(ハード対策)を優先している、または地元から下水道整備を優先する要望がある
38	5. 財政上の問題
15	6. 職員の技術上の問題で作成が難しい
28	7. 防災部局で作成すべきものとの認識のため
67	8. 防災部局等、自治体内の他部局との調整が必要であるため
66	9. その他(自由記述:下欄)
合計:393	

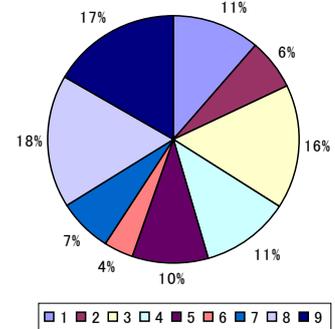


図1 内水ハザードマップ未策定自治体を対象としたアンケート調査結果（抜粋）

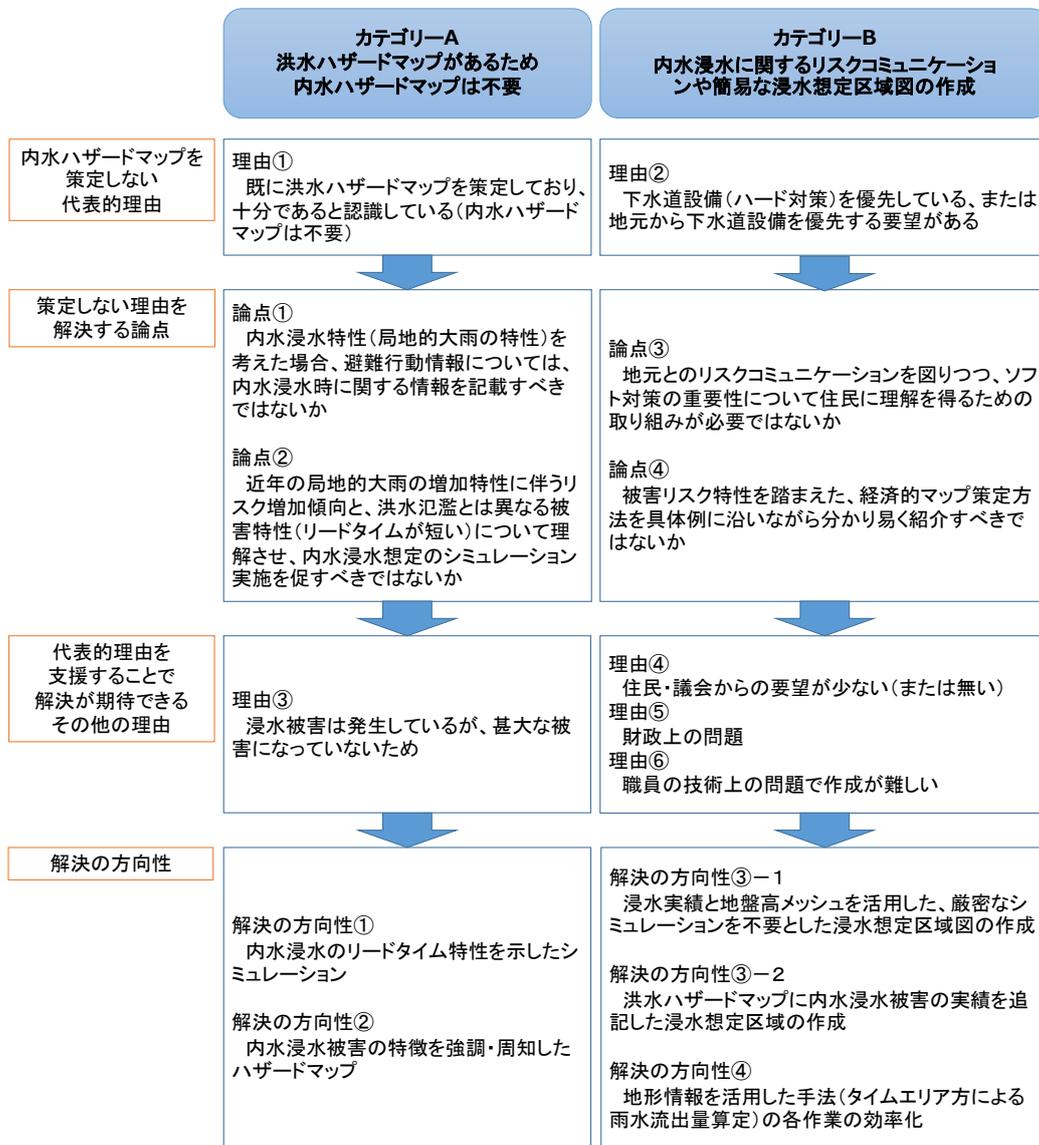


図2 内水ハザードマップを策定しない代表的理由と解決の方向性

表2 地形情報を活用した手法を適用する上での課題と解決の方向性

想定課題	解決策
全ての排水区について、流出ハイドログラフの作成が困難	流出ハイドログラフは、タイムエリア法（合理式合成法）により、作成する方法が一般的である。タイムエリア法によるハイドログラフ作成では、①降雨強度式、②各排水区の流出係数、③各排水区の面積、④各排水区の最長流達時間といった情報の調査、設定が必要となる。現状として、③と④については、全ての排水区について流量計算表が作成されていない場合、作業が困難となっている。この課題を解決する方法として、全ての排水区について流量計算表を作成することなく、既存の流量計算表を用いる等により、代表的な排水区の排水区面積一流達時間関係（T-A 関係）を導き、これをその他の排水区に適用することで、作業の効率化が図れる。
浸水量を算定するための、既存排水施設の流下能力の設定が困難	一般的には、流量計算表や水位計算等により、既存施設の排水能力を算出することが望ましい。しかし、能力評価を行うための施設情報や計算ツールが不足していることが想定される。そのため、浸水実績と発生日の降雨情報を収集することで、簡易的に既存排水施設の能力を設定する方法により、作業の効率化が図れる。
浸水量を浸水深、浸水面積に表現することが困難	現在、10cm ピッチ程度の詳細メッシュ情報が市販されている。これらのメッシュ毎地盤高情報は座標を有し、GIS ソフトを活用することで、空間地盤高情報のエクセルへのエクスポート、また、エクセルでの集計データを空間地盤高情報へインポートすることが可能である。簡易なポンドモデルを作成する観点から、タイムエリア法で算出された溢水量をエクセルに入力し、浸水深・浸水面積を空間的に整理することが可能である。

4. 浸水対策施設の運転操作における XRAIN 利活用の段階的アプローチ方法の検討

国土交通省では、図3に示す局所的な雨量をほぼリアルタイムに精度良く観測可能な XRAIN（XバンドMPレーダネットワーク）の整備を進めている。XRAINの雨量情報の下水道事業での利活用について、平成23年度に54自治体（回答数：42自治体）を対象に実施したアンケート調査によれば、リアルタイム情報及び将来予測情報については8割以上、蓄積された過去の雨量情報については半数以上の自治体が必要と回答しており、特に浸水対策への利活用ニーズの高さが認められた。これを踏まえて、本調査では、ヒアリングにより雨天時における雨水ポンプ等の運転操作ルール現状を整理するとともに、運転操作に 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。

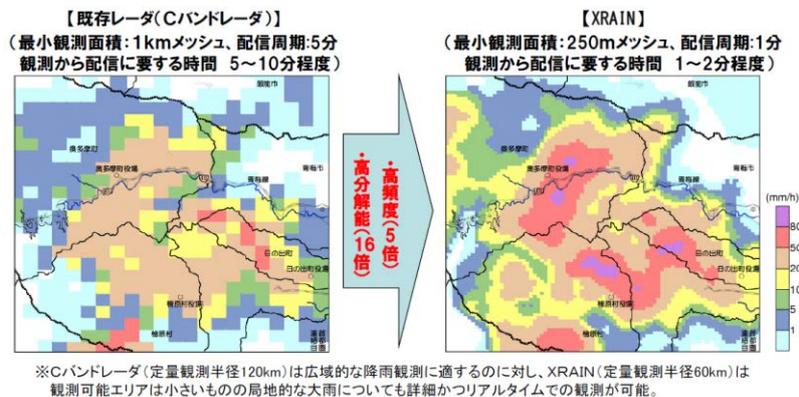


図3 XRAIN と Cバンドレーダの比較⁶⁾

雨天時における雨水ポンプ等の運転操作ルール現状を整理するため、放流先河川の制約があり排水ポンプの運転調整が行われている下水道を有するなど、排水に課題を抱えている3自治体を対象にヒアリング調査を行った。ヒアリングにより得られた主な内容は以下の通りである。

- ・放流先河川からの放流量の制約を受けている。
- ・近年の豪雨に対しては、区域内の排水施設の能力不足による浸水も発生していたため、施設の効率的な運転操作は一つの浸水被害軽減策である。
- ・雨水排除の担当は、下水道のほか、河川・農業用排水路等の既存水路も含めて管理している。

- ・ポンプ排水施設や貯留施設の一部は集中監視しているが、既存水路等の水位監視はほとんど行われていない。
- ・豪雨来襲時、昼間の業務時間では別々の組織・媒体から収集した情報（気象予報情報や雨量レーダー画像も含む）から定性的判断に基づいて、対応方針を決定・行動している。夜間も同様の情報から対応方針を決定しているが、突発的な豪雨の場合対応が遅れる可能性がある。
- ・多くのポンプは、流入水位と放流先河川水位に基づいて自動運転（ゲートの開閉・ポンプの起動・停止）を行っている。放流先河川水位が高い場合、放流先河川管理者からの連絡に従って、ポンプ運転調整を行う場合がある。
- ・雨量レーダーの活用については、夜間等の運転操作着手の判断のため、強い雨量域が一定距離に近づいた場合に、市職員が警報を受信できるシステムがあれば良い。

ヒアリング結果を踏まえ、雨水ポンプ等の浸水対策施設の運転操作にXRAINを活用する上での段階的アプローチの方法を検討した。各種情報を活用した浸水対策施設の運転管理の実施にあたっては、導入する自治体の浸水発生の頻度や財政事情に応じて、適切なレベルの整備を行うことが望まれる。各種情報の活用するレベルに応じて、段階的に導入する手順としては、図4のようなアプローチが考えられる。また、各整備レベルで必要となるデータと期待される効果を表3に整理する。

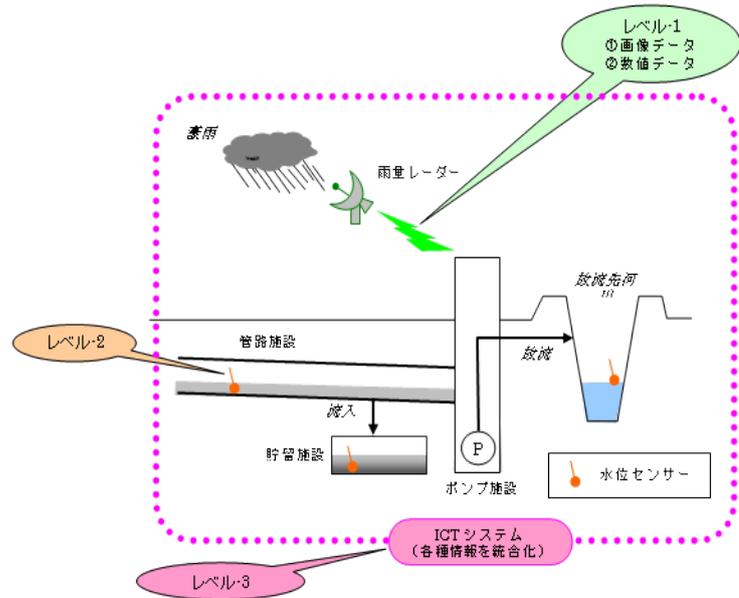


図4 各種情報の利活用と整備レベル

表3 各整備レベルで必要となるデータと期待される効果

利活用手順	必要となるデータ・システム							期待される効果
	レーダー雨量		管路幹線・放流先河川水位(流量)	施設(ポンプ・ゲート)運転	地上雨量	情報の統合化	解析システム	
	画像データ	数値データ						
レベル-1	①	●						<ul style="list-style-type: none"> ・豪雨時対応体制の判断 ・浸水危険情報の提供(簡易・広範囲)
	②		●					<ul style="list-style-type: none"> ・豪雨時対応体制の判断(夜間・休日) ・浸水危険情報の提供(簡易・広範囲)
レベル-2		●	●	●		●		<ul style="list-style-type: none"> ※上記に加えて ・施設運転制御判断の支援
レベル-3		●	●	●	●	●	●	<ul style="list-style-type: none"> ※上記に加えて ・施設運転制御判断(予測含む)の支援 ・浸水危険情報の提供(詳細・局所的対応)

表3のレベル-2とレベル-3での期待される効果については、具体的には次のような活用による浸水被害軽減効果が例として挙げられる。

- 活用-1 豪雨来襲を予測した早期排水ポンプの運転（図5）
- 活用-2 暫定貯留管の早期排水
- 活用-3 放流先水位の低下を予想した排水ポンプ運転（図6）
- 活用-4 小降雨時の雨水滞水池流入（合流区域対象）

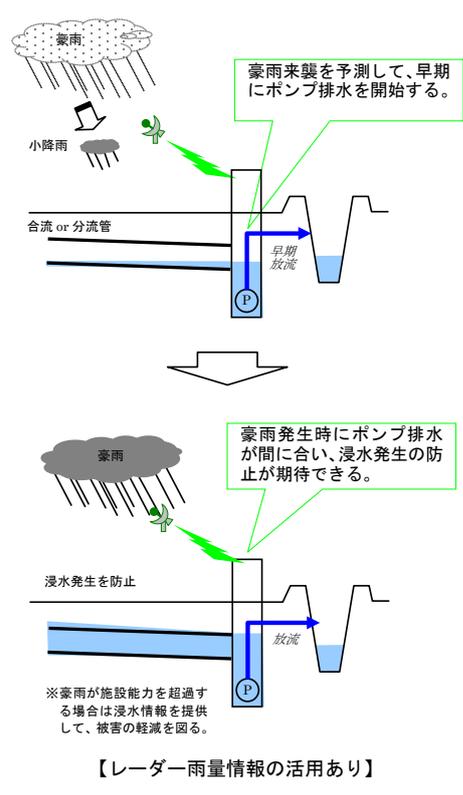
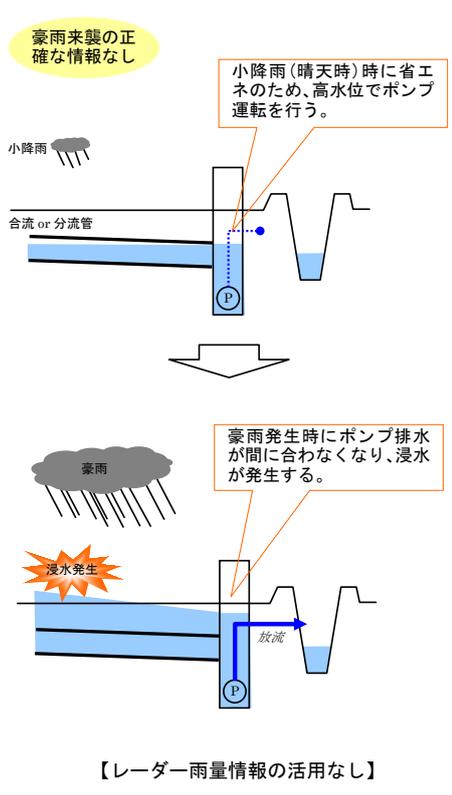


図5 豪雨来襲を予測した早期排水ポンプの運転 (イメージ)

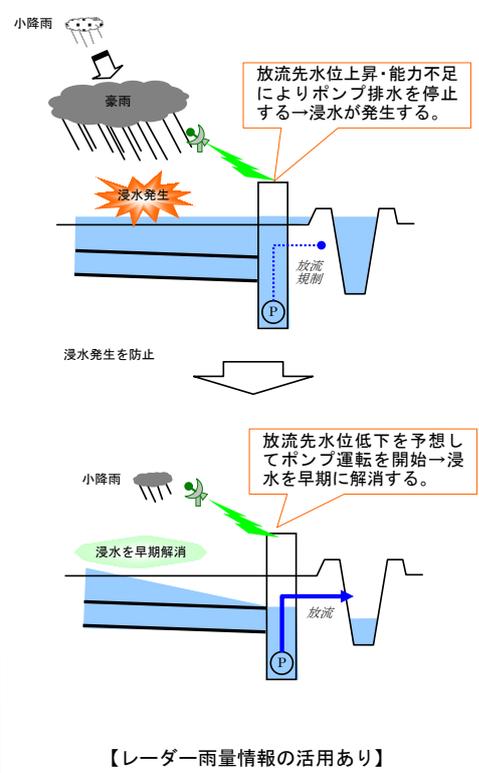
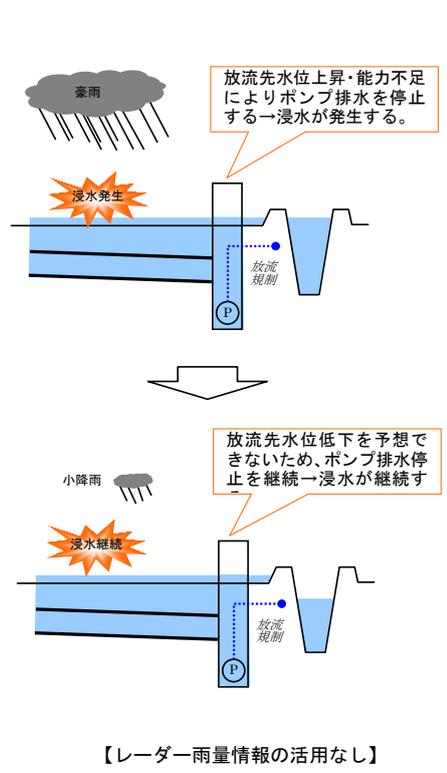


図6 放流先水位の低下を予想した排水ポンプ運転 (イメージ)

各自治体においては、現状においても何らかの情報に基づいて、浸水対策施設の運転操作を実施しているが、XRRAIN を利活用することで、より高度な運転操作を実現できる可能性がある。浸水特性や財政状況等の違いから、各自治体によって必要となる利活用方法のレベルが異なるため、各自治体の状況に応じた利活用方法（整備レベル）を検討する必要がある。また、最終的には各種情報を統合化して精度の高い管理システムの構築を目指す場合は、最初に導入するシステムから最終目標のシステムにスムーズに拡張できる計画を策定することが重要である。

5. 落葉等による排水能力低下を低減する改良型雨水枡蓋の排水性能の評価

道路冠水発生の原因の一つとして、管路の能力には余裕があっても、雨水枡蓋周囲への落葉などの堆積によって枡内への雨水流入が阻害されている場合がある。道路冠水の発生軽減に向けた方策を検討するため、落葉等による排水能力低下を低減する改良型雨水枡蓋（H社開発：図7）の排水性能の評価を試みた。

S自治体の既設の雨水枡を用いて、従来の鋼製グレーチング蓋と改良型雨水枡蓋の排水能力の比較検証を実施した。試験は同じ枡を用いて行い、エプロン部の道路勾配は縦断勾配 2.10%、横断勾配 5.85%、エプロン部の幅は 480mm であり、試験体は同一サイズの 460×395×60mm を用いた。

試験方法の概要を図7に示す。落葉の条件は湿潤状態 1.0kg のイチヨウを使用する。枡の上流 6m の範囲に事前に 0.5kg を路肩に敷き詰め、一定量の水を流し、更に上流側に堆積している落葉が流れてくるものと仮定し 0.5kg の落葉を徐々に投入していき、蓋上の落葉の堆積状況の確認と枡からの排水量（枡から取付管へ流れ込む流量）を測定した。試験時の雨水流出量（枡上流側からの流量）としては、設計降雨強度 60mm/h を想定した場合の流出量 2.60/s、設計降雨強度 45mm/h を想定した場合の 1.90/s、設計降雨強度 30mm/h を想定した場合の 1.30/s の 3 パターンを雨水流出量の条件として設定した。



図7 改良型雨水枡蓋

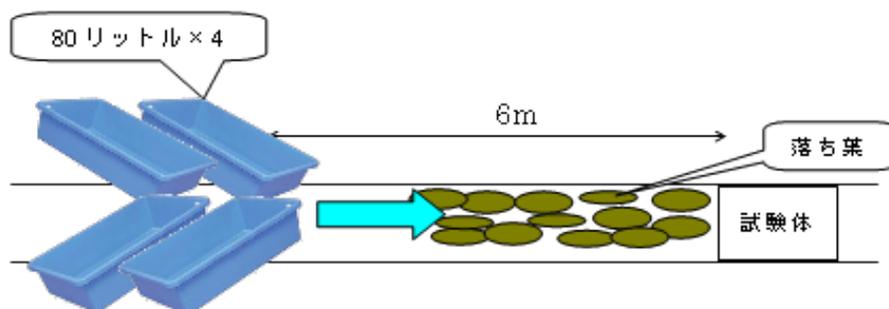


図8 試験方法の概要

落葉を設置した状態における改良型雨水枡蓋と鋼製グレーチングの比較検証結果を図9に示す。改良型雨水枡蓋の方が鋼製グレーチングに比べて排水能力が高いことがわかる。また、今回設定した3パターンの流出条件において、目視にて改良型雨水枡蓋では概ね100%の水が枡内へ排水されていることが確認されたのに対して、鋼製グレーチングでは流れてきた落葉が蓋上流側の開口部に堆積し、枡内への水の流入を阻害することで、蓋を迂回した下流への越流と蓋の手前で滞留が確認された。今回示した改良型雨水枡蓋は一例であるが、雨水枡の改良により道路冠水低減を図ることができると考えられる。

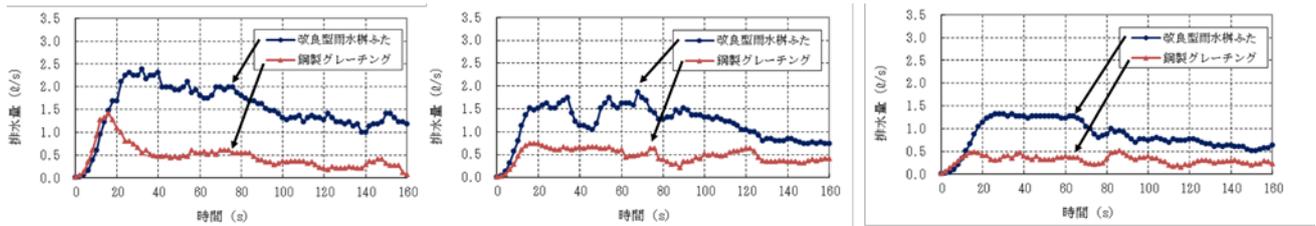


図9 排水能力の比較結果（左：流出量 2.6l/s、中央：流出量 1.9l/s、右：流出量 1.3l/s）

6. まとめ

平成 25 年度は、下水道以外の他事業との連携対策手法の課題と解決の方向性を整理したほか、ハザードマップ作成、浸水対策施設の運転操作における XRAIN 利活用といった効果的なソフト対策の推進に関する調査を行った。また、道路冠水発生の一因となっている落葉等による排水能力低下を低減する方策について検討した。本調査で得られた成果は、各自治体が効果的な都市雨水対策を検討する上での検討資料として活用可能であると考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：<http://www.mlit.go.jp/common/001023842.pdf>
- 2) 横田ら：都市雨水対策の推進に関する調査、平成 24 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料、No. 773、pp. 19～28、2014
- 3) 松宮ら：都市雨水対策における観測技術の戦略的活用に関する調査、平成 21 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料、No. 605、pp. 15～18、2010
- 4) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：内水ハザードマップ作成の手引き（案）、平成 21 年 3 月
- 5) 国土交通省ハザードマップポータルサイト：<http://disaportal.gsi.go.jp/>
- 6) 国土交通省ホームページ：<http://www.mlit.go.jp/common/001010011.pdf>

4. 適正な汚水処理方法可能性 (FS) に関する検討

下水道研究官 森田 弘昭
 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
 研究官 橋本 翼

1. はじめに

平成 24 年度末現在の汚水処理人口普及率は 88.1%となっており、残り 11.9%の人口に対しては下水道、農業集落排水施設、合併処理浄化槽等の汚水処理施設が依然として未整備である。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、下水道運営手法を検討する「コストキャップ型下水道」調査を平成 24 年度に開始した。

平成 24 年度は、愛知県知多郡美浜町との共同研究で、①低コスト型の下水道整備手法及び維持管理手法（以下、低コスト手法）に関する情報収集・整理、②美浜町における下水道整備・維持管理シナリオの作成、③現時点で町が想定する可能投資額を踏まえた下水道経営収支の試算を実施した。

平成 25 年度は、平成 24 年度に実施した検討ケースとは異なるケースとして、水洗化率や使用料単価等を変化させたケース等の下水道経営収支を試算し、各ケースにおける町負担額や整備期間等を比較・整理するとともに、低コスト手法の適用による環境影響を評価した。

2. 下水道経営収支の試算

美浜町は愛知県知多半島南部に位置し、平成 24 年 7 月末現在で人口約 23,000 人である。汚水処理については、人口の 4 割以上が浄化槽で処理されており、下水道事業は未着手である。美浜町では、平成 22 年度に下水道整備内容に関する検討（以下、現行計画）が実施されており、東西の 2 処理区に分けて下水道整備が計画されている。

平成 24 年度の調査¹⁾では、表 1 に示す低コスト手法を適用（以下、コストキャップ型下水道）することで、現行計画に比べて建設費 3 割、維持管理費 2 割削減する成果を得た。また、美浜町におけるコストキャップ型下水道の目標として設定した汚水処理原価 150 円/m³、町の負担最大額 2 億円/年、整備期間 10 年程度を概ね達成した。

表 1 美浜町でのコストキャップ型下水道

		現行計画の内容・傾向	コストキャップ型下水道
管路施設整備	幹線管きよ	・主に国道 247 号線下において推進工法を導入することとしていた。	・国道に代わる代替ルートを選定し、開削可能区間の割合を上げることで低コスト化を図った。
	枝線管きよ	・美浜町内は幅員の狭い道路が多く、施工が困難であるとともに、適用できる工法や重機が制約されるため、施工単価が割高となる傾向にある。 ・伊勢湾側の西部処理区の一部は軟弱地盤かつ平坦な地形であり、高コストの要因を含む。	・浅層埋設、曲線部における曲管の採用、小口径マンホール、改良型伏越しを活用可能な地区で全面的に採用した。 ・西部処理区の軟弱地盤地区は、真空式下水道システムを採用した。
処理施設整備	水処理	・東西の両処理区ともに、小規模下水道において一般的なオキシデーションディッチ法(OD 法)の採用することとしていた。	・OD 法よりもさらに生物反応槽容量を小さくして高負荷運転を行うことで、生物反応槽整備に掛かる費用の削減を試みた。
	汚泥処理	・汚泥濃縮槽と汚泥脱水機による汚泥処理を導入することとしていた。	・汚泥濃縮槽が不要となる、反応槽からの直接汚泥脱水機を採用した。
維持管理		—	・包括的民間委託を適用

平成 25 年度は、平成 24 年度の調査におけるコストキャップ型下水道を基本ケースとして、下水道経営に対する影響因子を相対的に比較するため、交付税措置及び県補助金の有無、使用料単価、水洗化率（接続率）を変化させた場合の比較ケースについて下水道経営収支を試算した。試算にあたっては、整備期間を基本ケースと同様（11 年間）とし、町負担額の変化を整理した。また、参考値として、現行計画についても交付税措置を考慮しないケースを検討した。以上のケースの各条件を表 2 の上方に示す。なお、ケース 1 については、町の年間最大負担額 2 億円とした場合に、整備期間 11 年間で整備可能となる交付税率の検討も行った。

シミュレーション結果を表 2 の下方と図 1 に示す。なお、シミュレーション実施期間は整備完了から 30 年後までとした。結果の概要は以下の通りである。

- ・コストキャップ型下水道の基本ケース同様、整備期間を 11 年間とした場合、町負担額が大きい順に「ケース 1：交付税措置未考慮」、「ケース 3：使用料単価 95 円/m³」、「ケース 4：水洗化率 50%」、「ケース 2：県補助金未考慮」の順となった。
- ・「ケース 1：交付税措置未考慮」については、町の年間最大負担額 2.0 億円/年を超える結果となった。
- ・整備期間を 11 年間とした場合、町の年間最大負担額 2.0 億円/年を満足する交付税率は 21%となった。
- ・「ケース 2：県補助金未考慮」については、他ケースに比べ、財政に与える影響は小さい（町の総負担額 1.3 倍、町の年間最大負担額 1.1 倍）。

表 2 シミュレーションケースと結果

		シミュレーションケース							備考： 町の年間最大負担額 2 億円・期間 11 年で整備可能な交付税措置の検討		
		現行計画		コストキャップ型下水道							
		交付税措置あり	交付税措置なし	基本	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4			
条件	交付税措置（42%）	あり	なし	あり	なし	あり	あり	あり	あり 21%		
	県補助（単独事業費の 10%）	あり	あり	あり	あり	なし	あり	あり	あり		
	使用料単価	150 円/m ³	95 円/m ³	150 円/m ³	150 円/m ³						
	水洗化率	80%	80%	80%	80%	80%	80%	50%	80%		
	下水道計画人口	17,419 人	17,419 人	17,419 人	17,419 人						
結果	整備期間	全体	32 年間	84 年間	11 年間	11 年間	11 年間	11 年間	11 年間	11 年間	
		内訳	東部処理区	1~6 年間	1~34 年目	1~6 年目	1~6 年目	1~6 年目	1~6 年目	1~6 年目	1~6 年目
			東部完了~西部着手	7~21 年目	35~52 年目	—	—	—	—	—	—
	町負担額	西部処理区	22~32 年目	53~84 年目	7~11 年目	7~11 年目	7~11 年目	7~11 年目	7~11 年目	7~11 年目	
		総額	49.9 億円	137.7 億円	15.9 億円	71.0 億円	20.5 億円	49.6 億円	42.2 億円	42.9 億円	
	年間最大額	2.0 億円/年	1.9 億円/年	1.0 億円/年	3.0 億円/年	1.1 億円/年	2.0 億円/年	1.8 億円/年	2.0 億円/年		
町負担額に対する評価		—	—	—	× 年間 2 億円超え	○ 影響_小	○ 影響_大	○ 影響_中	—		

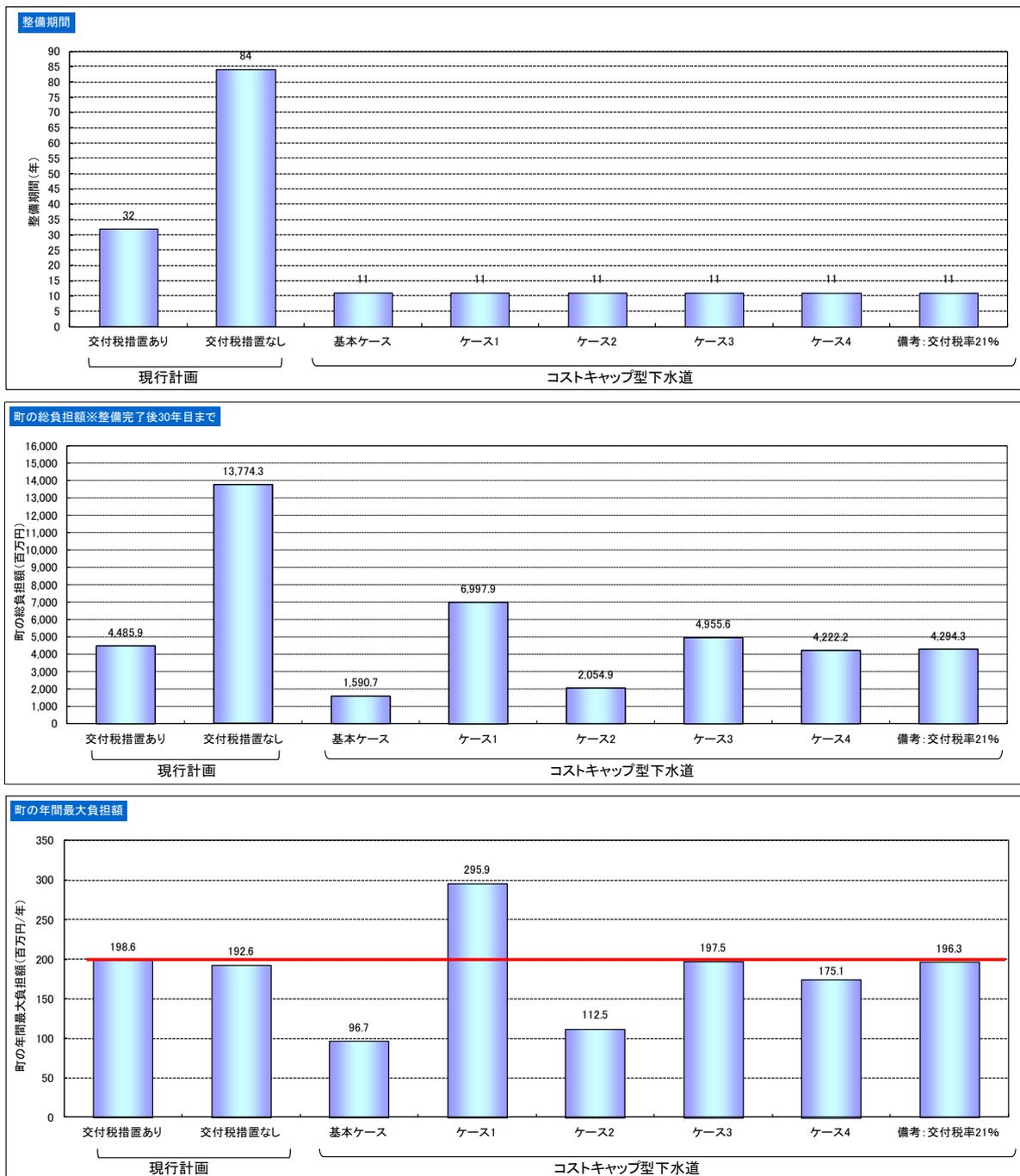


図1 シミュレーション結果（整備期間・町の総負担額・町の年間最大負担額）

3. 環境影響評価

表1に示したコストキャップ型下水道の適用がCO₂発生量及びエネルギー消費量に与える影響を評価するため、建設から廃棄までのLCA(Life Cycle Assessment)を試算し、現行計画との比較を行った。

管路施設については、自然流下区域におけるCO₂発生量は、横田ら²⁾が整理している管径、管種、施工方法、掘削深等のパラメータを踏まえたCO₂発生量原単位をベースに試算した。横田ら²⁾の試算と異なる条件下やエネルギー消費原単位については、他の文献^{3,4,5)}のCO₂発生量やエネルギー消費量等を参考とした。真空式下水道区域については、秋永ら⁶⁾⁷⁾の真空式下水道区域における試算結果を参考とした。マンホールポンプについては、「下水道におけるLCA適用の考え方」³⁾で整理されているポンプ施設の試算結果を参考とした。

処理施設については、「下水道における LCA 適用の考え方」³⁾における OD 法のインベントリ分析を参考にして試算した。現行計画とコストキャップ型下水道で採用が異なる施設については、総出力等を参考とした。例えば、コストキャップ型下水道で採用している高負荷 OD 法における消費電力および温室効果ガスの削減効果については、中町ら⁸⁾が実証実験を行い、曝気動力が従来技術に比べて 67%削減できることが示されている。今回の検討においてもこの結果と同程度の曝気動力を想定して試算を行った。

図 2, 3 に管路施設及び処理施設の CO₂発生量とエネルギー消費量をそれぞれ示す。CO₂発生量、エネルギー消費量とも、コストキャップ型下水道では現行計画の 82%(18%削減)と試算された。

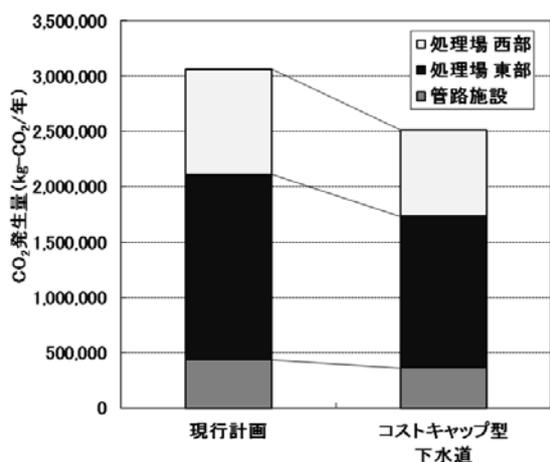


図 2 CO₂発生量の比較

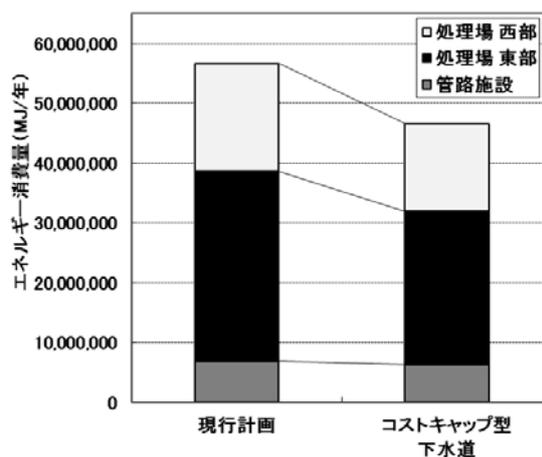


図 3 エネルギー消費量の比較

4. まとめ

交付税措置及び県補助金の有無、使用料単価、水洗化率を変化させた場合の比較ケースで下水道経営収支を検討した結果、交付税措置、使用料単価、水洗化率、県補助金の順で町の負担額に与える影響が大きいことが試算された。LCA の試算結果からは、コストキャップ型下水道を採用することで、低コストでの下水道運営が可能となるだけでなく、環境面に関しても環境負荷の低減に繋がることが期待された。

参考文献

- 1) 森田ら：適正な汚水処理方法可能性 (FS) に関する検討、平成 24 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料、No. 773、pp. 29～34、2014
- 2) 横田ら：下水道管きよのストックマネジメントの導入促進に関する調査、平成 22 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料、No. 654、pp. 5～20、2011
- 3) 下水道における LCA 適用の考え方、国土技術政策総合研究所資料、No. 579、2010
- 4) 基礎素材のエネルギー解析調査報告書、(社)化学経済研究所、1993
- 5) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書、(独)国立環境研究所、2010
- 6) 秋永・柏谷：LCC 及び LC-CO₂ による污水収集システムの評価に関する研究、土木学会論文集、No. 685/VII-20、pp. 49～68、2001
- 7) K. Akinaga, M. Kashiwaya: Study on Life Cycle Evaluation of Sewer Collection Systems by Cost, Energy, and Carbon Emission, WEFTEC 2000, 73rd Annual Conference, 2000
- 8) 中町ら：高負荷型二点 DO 制御 OD 法の消費電力、第 48 回下水道研究発表会講演集、(社)日本下水道協会、pp. 812～814、2011

5. 合流式下水道改善対策の効果検証手法に関する調査

下水道研究室 室 長 小川 文章
研 究 官 末久 正樹
研 究 官 橋本 翼

1. はじめに

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。

本研究では、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。

2. 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。以下の観点から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を設定した。

- ・水利用への効果及び影響を評価するため、吐口下流に水道取水地点がある水域を対象とする。
- ・平面 2 次元移流拡散モデルを用いて、その特性や適用性について把握するため、川幅があり、取水地点まである程度距離がある水域を対象とする。

図 1 に対象水域の概況を示す。合流改善の効果を評価する地点として、2 つの浄水場のほか、処理場の吐口と浄水場の間に中間評価地点を 2 つ設定した。

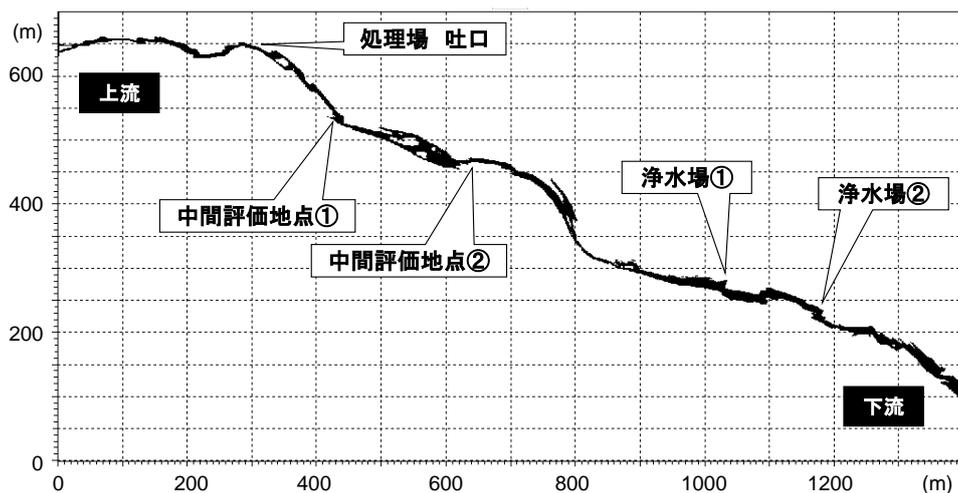


図 1 検討対象水域の概況及び評価地点

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、当研究室が過年度に開発して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¹⁾を用いて、合流改善前後の汚濁負荷流出を推定し

た。ここで、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。推定値の妥当性については、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。

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 と大腸菌群数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おり、合流改善前後で BOD の最大値では 16~32 mg/l、大腸菌群数の最大値では $0.6 \times 10^8 \sim 2 \times 10^8$ MPN/100ml の改善効果が見られた。

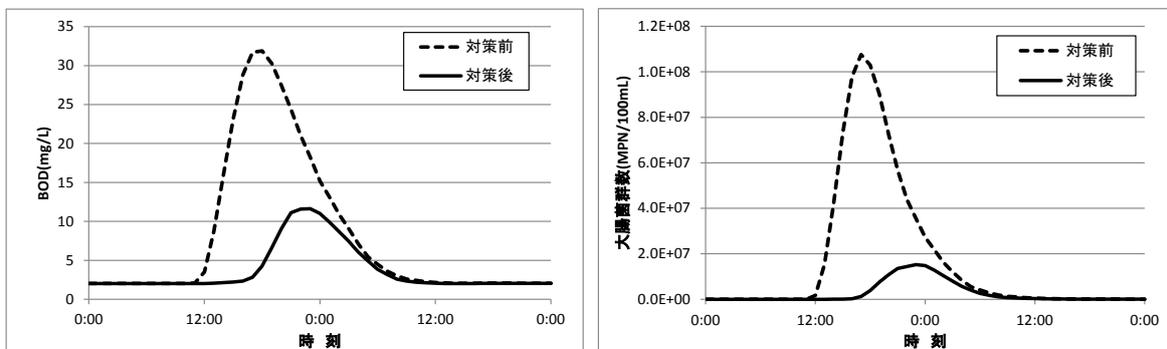


図 2 合流改善前後の BOD と大腸菌群数(総雨量 10mm・浄水場②)

表 1 合流改善前後の各地点の BOD と大腸菌群数の最大値

総雨量	地点	BOD 最大値(mg/l)			大腸菌群数 最大値(MPN/100ml)		
		対策前 B	対策後 A	B-A	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	2×10^8	0.3×10^8	1.7×10^8
	中間評価地点② (吐口から 4.2 km)	47	17	30	2×10^8	0.3×10^8	1.7×10^8
	浄水場① (吐口から 8.6 km)	41	15	26	2×10^8	0.2×10^8	1.8×10^8
	浄水場② (吐口から 11 km)	32	12	20	1×10^8	0.1×10^8	0.9×10^8
20 mm	中間評価地点①	57	40	17	3×10^8	1×10^8	2×10^8
	中間評価地点②	49	26	23	2×10^8	0.6×10^8	1.4×10^8
	浄水場①	44	27	17	2×10^8	0.7×10^8	1.3×10^8
	浄水場②	39	23	16	1×10^8	0.4×10^8	0.6×10^8
30 mm	中間評価地点①	69	37	32	3×10^8	1×10^8	2×10^8
	中間評価地点②	47	26	21	2×10^8	0.8×10^8	1.2×10^8
	浄水場①	50	23	27	2×10^8	0.3×10^8	1.7×10^8
	浄水場②	38	20	18	1×10^8	0.4×10^8	0.6×10^8

3. 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。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。表2に合流改善前後の影響時間の比較結果を示す。ここでの影響時間は、雨天時越流水が生じる前の水質の水準を上回る時間とした。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45~71万円が見られた。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、降雨や渇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随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²⁾」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。

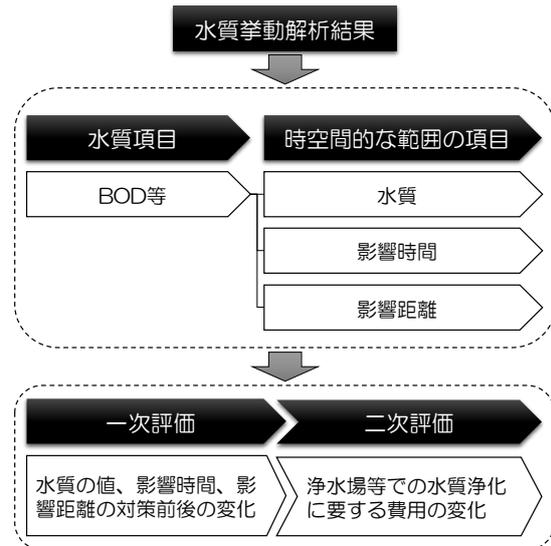


図3 放流先水域における合流改善効果の評価フロー(案)

表2 合流改善前後のBODと大腸菌群数の影響時間

総雨量	地点	BODの影響時間(時間)			大腸菌群数の影響時間(時間)		
		対策前B	対策後A	B-A	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)	7	5	2	8	6	2
	中間評価地点② (吐口から4.2 km)	9	7	2	11	9	2
	浄水場① (吐口から8.6 km)	13	10	3	21	14	7
	浄水場② (吐口から11 km)	21	14	7	31	24	7
20 mm	中間評価地点①	7	6	1	9	7	2
	中間評価地点②	9	8	1	12	11	1
	浄水場①	14	13	1	24	19	5
	浄水場②	22	21	1	33	31	2
30 mm	中間評価地点①	8	7	1	10	9	1
	中間評価地点②	10	9	1	14	12	2
	浄水場①	15	14	1	21	20	1
	浄水場②	22	21	1	34	32	2

4. 簡易モデルとの比較

ここでは、平面2次元移流拡散モデルを用いた検討を実施した。しかし、対象とする水域の特性によっては平

面 2 次元移流拡散モデルを使用せず、図 4 に示す簡易モデルによっても合流改善対策の効果を評価することは可能と考えられる。今後の合流改善の効果を評価する際に参考となるように、表 3 に簡易モデルと平面 2 次元移流拡散モデルの特徴を整理する。

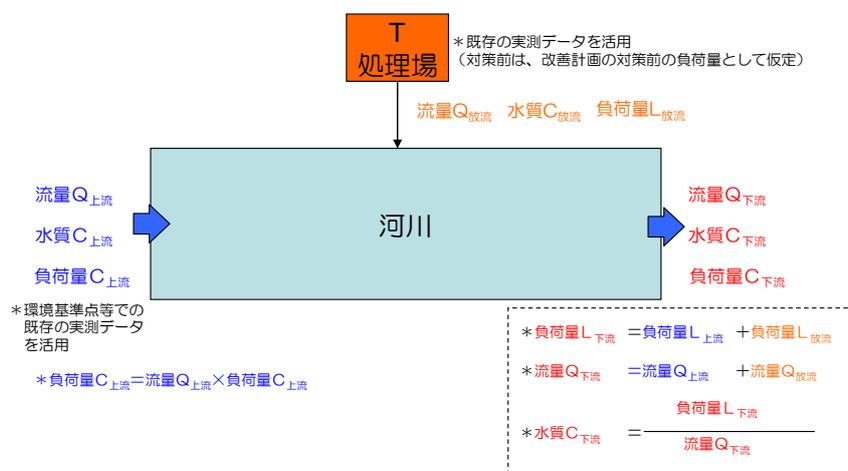


図 4 簡易モデルの概念図

表 3 簡易モデルと平面 2 次元移流拡散モデルの特徴

モデル比較		簡易モデル	平面 2 次元移流拡散モデル
表現 (再現性)	時間 (時間的变化)	×	○
	空間 (空間的变化)	△	○
適用範囲	水利用	△	○
	河道特性	△	○
モデル構築容易性	手間	○	△
	データ入手	○	△
	費用	○	△
特性及び適用性	特性	<p>手間をかけずに簡易的にモデルを構築することができ、アカウントビリティを確保しやすい。</p> <p>時系列的な変化や空間的な濃淡は表現できないが、最大値、平均値などは個別に計算して表現できる。</p> <p>下流地点ほど影響時間が長くなる現象は再現できない。</p>	<p>物理的な現象を再現することができ、時系列での解析結果や縦横断方向での水質拡散状況等、より細かな情報を得ることができる。</p> <p>簡易モデルに比べ、モデル構築のためのデータ入手、モデル構築自体にかかる手間と費用が大きい。</p>
	適用が想定される流域	都市域中小河川で、断面形状が単断面等の比較的複雑ではない河川流域。	放流先河川が大河川であり、流れが複雑な流域や高度な水利用をしており、詳細な情報が必要な流域。

5. おわりに

本研究では、放流先水域における合流改善の効果について、平面 2 次元移流拡散モデルを用いた評価方法を整理した。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

6. 下水道クイックプロジェクトの推進に関する調査

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
下水道処理研究室 室長 山下 洋正
研究官 濱田 知幸

1. はじめに

平成 25 年 3 月 31 日現在、全国の下水道普及率は 76.3%（下水道利用人口／総人口）となっているものの、下水道計画区域にありながら未だに下水道が整備されていない、いわゆる下水道未普及人口は約 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の難しい問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」（以下、「QP」という。）では、「早く、安く、機動的に」を合言葉に、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的な施工による社会実験を実施している。平成 26 年 3 月迄に 7 技術が提案され、社会実験の事業採択自治体は 14 市町村に上る（表 1 参照）。

表 1 事業採択を受けたモデル市町村と採用技術

		北海道 苫前町	北海道 遠軽町	北海道 標茶町	北海道 安平町	岩手県 二戸市	福島県 会津坂下町	東京都 檜原村	静岡県 浜松市	愛知県 岡崎市	愛知県 半田市	岡山県 岡山市	熊本県 益城町	熊本県 宇城市	鹿児島県 日置市
クイック配管	露出配管					●	●	●					●		
	簡易被覆														●
	側溝活用					●									
改良型伏越しの連続採用											●		●		
道路線形に合わせた施工								●		●	●	●		●	
発生土の管きよ基礎への利用											●				
流動化処理土の管きよ施工への利用									●						
工場製作型極小規模処理施設（膜分離型（PMBR））						●									
工場製作型極小規模処理施設（接触酸化・膜分離型）		●	●	●	●										

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

国総研では、社会実験を実施する地方公共団体が円滑に実験を進められるよう、平成 19 年度より性能評価項目や評価手法の提案・助言などの技術的支援を行っている。また、現在提案されている技術以外の技術についても、随時、事前相談に応じている。平成 20 年度には、各自治体が実施する社会実験における評価検証方法を取りまとめた「社会実験検証のすすめ方（案）」をQPのホームページで公表し、技術を補完する調査研究として、露出配

管における凍結現象に関する検討、曲管採用時における TV カメラ機材の作業性に関する実験、改良型伏越しにおける汚物堆積状況実態調査、流体解析シミュレーションによる水理解析を実施した。平成 21 年度には、社会実験終了技術の技術評価並びに技術利用ガイド（案）の作成及び公開、技術を補完する調査研究として露出配管の耐久性試験を実施した。平成 22 年度は、社会実験終了技術の技術評価並びに技術利用ガイド（案）を作成及び公開し、技術を補完する調査研究として顕微鏡観察・分子量分析による露出配管の紫外線影響評価、改良型伏越しのフラッシュによる清掃効果の検証を実施した。平成 23 年度は、クイック配管（露出配管及び側溝活用型）の技術評価並びに技術利用ガイド（案）を作成及び公開した。平成 24 年度は、工場製作型極小規模処理施設（接触酸化型）の技術評価並びに技術利用ガイド（案）を作成及び公開した。

平成 25 年度においては、社会実験終了箇所のフォローアップとして、益城町に於けるクイック配管の外気温変化による管体の熱伸縮に関する調査を実施した。また、社会実験継続中の箇所について、技術的助言を実施した。

以下に、平成 25 年度末現在の事業進捗状況、技術評価等について取りまとめる。

2. 平成 25 年度の活動内容

(1) 平成 25 年度末現在のモデル市町村進捗状況及び技術利用ガイド作成状況

平成 25 年度末現在の 14 のモデル市町村における社会実験の進捗は表 2 の通りである。国総研では、社会実験の検証項目及び検証内容の提案や社会実験を実施する市町村への技術的助言及び総合的な技術評価を行っている。

表 2 モデル市町村の進捗状況（平成 25 年度末現在）

事業採択市町村	現在の進捗	事業採択市町村	現在の進捗
北海道苫前町	性能評価終了	静岡県浜松市	性能評価終了
北海道遠軽町	性能評価中	愛知県岡崎市	性能評価終了
北海道標茶町	性能評価中	愛知県半田市	性能評価終了
北海道安平町	性能評価中	岡山県岡山市	性能評価中
岩手県二戸市	性能評価中	熊本県益城町	性能評価終了
福島県会津坂下町	性能評価終了	熊本県宇城市	性能評価終了
東京都檜原村	性能評価終了	鹿児島県日置市	性能評価終了

※各自治体で複数地区・複数技術が採択されている場合は、最も進捗している地区（路線）・技術の状況を記述している。

社会実験及び技術評価を終えた技術については、有識者で構成する下水道クイックプロジェクト推進委員会（委員長：楠田九州大学名誉教授）に諮り、一般技術への移行の承諾を得た後、技術利用ガイド（案）を公表することとした。技術利用ガイドを作成、公表することとしている。平成 25 年度末時点での作成状況を表 3 に示す。

表 3 技術利用ガイド等の作成状況（平成 26 年 3 月末時点）

		社会実験検証の進め方	技術評価書	技術利用ガイド
クイック配管	露出配管	公表済み	公表済み	公表済み
	簡易被覆			
	側溝活用			
改良型伏越しの連続採用		公表済み	公表済み	公表済み
道路線形に合わせた施工		公表済み	公表済み	公表済み
発生土の管きよ基礎への利用		公表済み	公表済み	公表済み
流動化処理土の管きよ施工への利用		公表済み	公表済み	公表済み
極小規模処理施設(PMBR)		公表済み	社会実験中	社会実験中
工場製作型極小規模処理施設	接触酸化	公表済み	公表済み	公表済み
	膜分離型	公表済み	社会実験中	社会実験中

(2) 社会実験都市への技術支援

熊本県益城町で採用しているクイック配管（露出配管：塩化ビニル管VPφ100、耐候性塗装なし）については、社会実験を終え、技術利用ガイド（案）を公表している。現時点で施工後4年が経過しているが、この間、外気温の影響による管体の熱伸縮による継ぎ手部のズレ（写真1）が数回確認されている。

技術利用ガイド（案）では、気温変化による伸縮対策としてやりとり継ぎ手（写真2）の採用や伸縮を許容するための固定方法について触れているが、実現場では想定以上の伸縮や局所的な伸縮量の集中が発生している可能性が考えられた。このため、益城町に設置されているクイック配管を対象に、平成26年1月～3月の冬季期間中に、伸縮による管きよ継ぎ手部の伸縮量の計測を実施した。



写真1 伸縮による継ぎ手部のズレ



写真2 やりとり継ぎ手

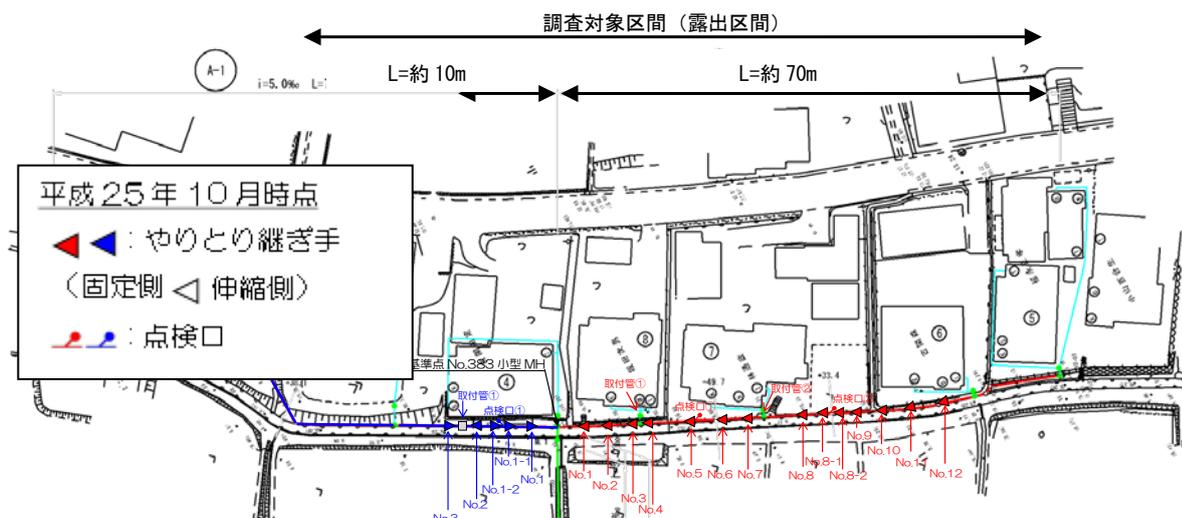


図1 益城町におけるクイック配管伸縮量計測箇所

1) 伸縮量計測の概要

露出配管区間における個々の管きよの伸縮量及び継ぎ手部の抜け出し量（差し込み量）を把握するため、継ぎ手部毎（23箇所、図-1参照）に月1回（1～3月）の計測を行った。また、寒暖差の大きい任意の1日について、先と同様の計測を1日3回実施した。

2) 計測結果

計測の結果、表4に示す通り、計測範囲内にある16箇所のやりとり継ぎ手部で、伸縮による抜け及び差し込み移動を確認した。1ヶ月で継ぎ手1箇所当たり最大2cmの抜け及び差し込み、2か月では最大3cmの抜けが生じているが、継ぎ手部の伸縮量の平均は約0mm、スパン全体で見た伸びと縮みの収支は概ね合っており、管の伸縮が

ヤリトリ継ぎ手部で吸収されていることを確認した。

ただし、特定のヤリトリ継ぎ手 (No.8~10) に伸縮が集中している傾向が見られるほか、擁壁等に固定されている取付管部 (写真) が管軸方向に最大 1.2 cm 移動していた。本来、ヤリトリ継ぎ手で伸縮量を吸収し、このような固定部が移動することはクラック等の損傷を招くため好ましくない。

またこの他、下記の事象が確認されており、伸縮対策を施す上で留意が必要と考えられた。

- ・朝 (6°C) から昼 (19°C) にかけて気温上昇と共に伸びる傾向にあり、1 日で最大 7 mm の移動があった。
- ・止めバンド形状及び設置具合により、管伸縮の支障になっている箇所が存在した。
- ・直射日光により、管表面の温度は外気温の +10°C 程度になる。

表 4 移動量計測結果

	伸縮継手No.	固/フリー	管長さmm	(単位: mm)						(参考)			
				1-2月差分		1-3月差分		2-3月差分		想定伸縮量	2月朝-昼差分	2月朝-夕差分	
				抜け差し量	水平移動量	抜け差し量	水平移動量	抜け差し量	水平移動量				
東側	No.1	フリー	3870	2		2		1		6		1	-1
	No.1-1	フリー	265	4		6		2		0		-6	-5
	掃除口	フリー			-5		-7			-1		3	0
	No.1-2	フリー	3530	1		1		0		6		-0	0
	No.2	フリー	2670	-3		-7		-4		4		-2	-2
	小計			3		2		-1				-5	-6
西側	No.1	フリー	4020	-1		0		1		6		-0	1
	No.2	フリー	3775	-3		-5		-2		6		-7	-5
	No.3	フリー	260	3		4		1		0		-4	-4
	取付管	固定			12		13		1			5	4
	No.4	フリー	4860	-1		-0		1		8		-1	-2
	No.5	フリー	260	1		-1		-2		0		-6	-4
	掃除口	フリー	3690	-6		-7		-1		6		4	3
	No.6	フリー	3905	-0		-1		-1		6		-6	-4
	No.7	フリー	4080	2		3		1		7		-7	-5
	取付管	固定			-5		-4		0			1	-1
	No.8	フリー	3590	-20		-21		-0		6		-4	-3
	No.8-1	フリー	260	10		-9		-19		0		-7	-6
	No.8-2	フリー	2720	13		32		19		4		-0	1
	No.9	フリー	3865	-8		-20		-12		6		-4	-3
	No.10	フリー	1045	9		23		14		2		-4	-2
	No.11	フリー	1200	-0		1		1		2		-6	-3
No.12	フリー	4300	-1		-0		1		7		-4	-2	
取付管	固定			1		1		0			-1	-1	
小計				-4		-1		3			-52	-35	
平均(東・西)				-0		0		0			-2	-2	

+ : 抜け(縮み)
- : 差し(伸び)

°C	1月28日	2月25日	3月17日
最高気温	13.5	17.7	19.8
最低気温	0.6	0.0	6.7
平均気温	7.7	8.9	13.0
最高-最低	12.9	17.7	13.1

3) 今後の課題

平成 26 年度は、平成 25 年度の計測を継続し、下記について追加調査を実施する。

- ・特定の継ぎ手に伸縮が集中する原因を調査。
- ・日中の伸縮挙動を把握。
- ・伸縮の大きい夏季も含めた年間の移動量を把握。

3. おわりに

平成 25 年度以降も、実施設を利用した性能評価が継続して実施されることから、技術的サポートをより充実させ実施していきたい。また、既に社会実験を終え数年を経過した技術に関して、施工後の状況を把握し必要なフォローを行う予定である。

(参考文献)

- 1) 下水道社会実験ホームページ : <http://www.mlit.go.jp/crd/sewerage/mifukyu/index.htm>
- 2) 平成 20 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料No.543、pp19-34

7. 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

下水処理研究室 室長 山下 洋正
主任研究官 重村 浩之
研究官 藤井 都弥子
研究官 小越 眞佐司

1. はじめに

現在、下水処理場からの排水に関する衛生学的項目として大腸菌群数が用いられているが、土壌由来の細菌や環境中で増殖する細菌が含まれるなど、糞便性汚染を示す指標としての妥当性が低いことが指摘されている。上水の水質基準項目については、平成 15 年に大腸菌群数から大腸菌数に変更されており、また環境基準（生活項目）についても、項目を大腸菌数に変更するための実態調査や新たな基準値等の検討が進められていることから、下水処理場放流水についても、大腸菌数の実態把握や導入する場合の基準値設定に関する検討を行う必要性が高まっている。

河川水中の大腸菌群数及び大腸菌数については、公共用水域における実態調査、複数の分析方法を用いて縦断変化や大腸菌群数に占める大腸菌数の割合を把握する調査等が行われている^{1),2),3)}。しかし、下水処理水については、大腸菌数の存在実態や大腸菌群数と大腸菌数の比率、分析方法の違い等による測定結果の比較に関する調査事例は少ない。

そこで本研究では、まず平成 23 年度に下水処理場からの放流水中の大腸菌数の存在実態及び同一測定方法における培地の違いによる影響を把握するための調査を行った。次に、平成 24 年度に季節や時間による大腸菌数の変動傾向や大腸菌数と大腸菌群数との相関を把握するための調査を行った。さらに平成 25 年度に、測定者による測定値のばらつきの程度を把握するための調査を行い、これらの調査結果をふまえた新たな基準値設定の考え方について検討を行った。

2. 研究内容

(1) 大腸菌の存在状況及び培地による測定結果へ影響の把握

平成 24 年 2 月から 3 月にかけて、関東地方の下水処理場 9 か所を対象として放流水中の大腸菌の存在実態、培地の違いによる影響を把握するための調査を行った。詳細については平成 23 年度下水道関係調査研究年次報告書集⁴⁾及び第 49 回下水道研究発表会講演集⁵⁾にて報告しているため、ここでは調査の概要を述べる。

1) 測定方法及び使用培地

①大腸菌数の測定

- ・最確数法（コリラート QT トレイ及び EC ブループレート型）
 - ・平板培養法（クロモアガーECC 培地及びクロモカルトコリフォーム寒天培地）
 - ・疎水性格子付メンブレンフィルター法（クロモアガーECC 培地及びクロモカルトコリフォーム寒天培地）
- （以下、HGMP 法）

※対象とした 9 処理場のうち 2 処理場（A 処理場、B 処理場）においては上記すべての測定方法、培地を用いた測定を行った。その他の 7 処理場においては、コリラート QT トレイを用いた最確数法のみを用いて測定を行った。

②大腸菌群数の測定

上記3方法及びデソキシコール酸塩培地を用いた平板培養法（以下、デソ法）

2) 調査結果

対象処理場における放流水中の大腸菌数及び大腸菌群数の最大値、最小値、平均値、中央値について図-1に示す。ここでは、測定日にかかわらず全ての測定結果における最大値等を示している。処理場によるばらつきは大きいものの、大腸菌群数が $10^1 \sim 10^4$ CFUまたはMPN/100ml、大腸菌数が $10^0 \sim 10^3$ CFUまたはMPN/100ml程度の範囲で存在していることが把握できた。

図-2から図-4に、異なる培地を用いた最確数法、HGMF法、平板培養法それぞれの測定結果を示す。横軸は測定回を、凡例のA,BはそれぞれA処理場の試料、B処理場の試料であることを示している。また、検出下限値未満となった場合はグラフにプロットしていない。比較のため、各グラフにデソ法による大腸菌群数の測定結果を示しているが、B処理場においては3回の調査すべてで検出下限値未満であった。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HGMF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 10^3 CFUまたはMPN/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。

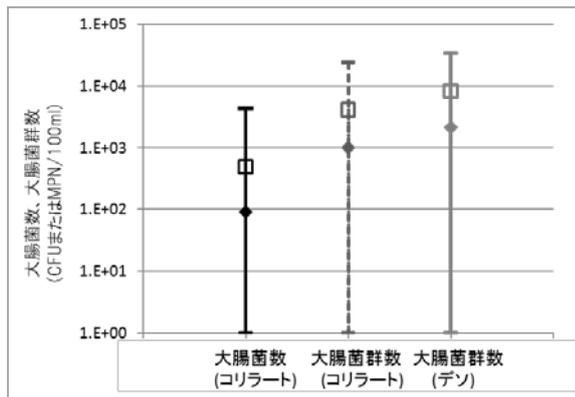


図-1 対象処理場放流水中の大腸菌数及び大腸菌群数

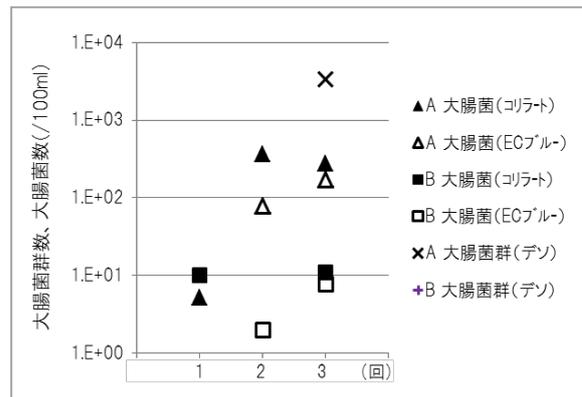


図-2 異なる培地を用いた最確数法による大腸菌数測定結果

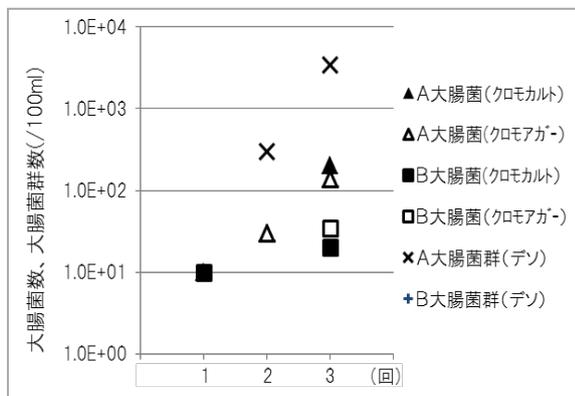


図-3 異なる培地を用いたHGMF法による大腸菌数測定結果

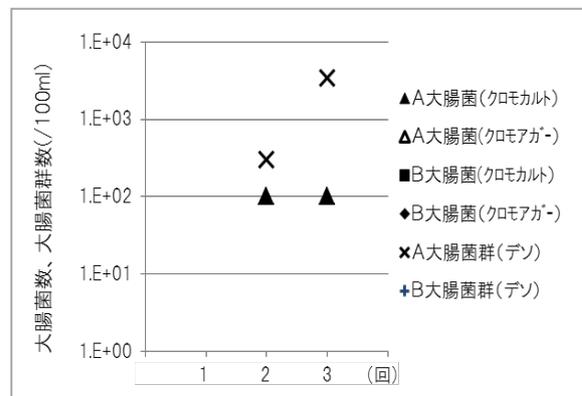


図-4 異なる培地を用いた平板培養法による大腸菌数測定結果

(2) 季節等による大腸菌数の変動状況の把握

(1) の調査で対象とした下水処理場のうち2箇所((1)においてA処理場、B処理場と記述した処理場)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。詳細については平成24年度下水道関係調査研究年次報告書集⁶⁾及び第50回下水道研究発表会講演集⁷⁾にて報告しているため、ここでは調査の概要を述べる。本調査では、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。

1) 大腸菌数等の測定方法及び使用培地

①大腸菌数の測定

- ・最確数法 (コリラートQTトレイ)
- ・平板培養法 (クロモアガーECC培地)
- ・疎水性格子付メンブレンフィルター法 (クロモアガーECC培地) (以下、HGMF法)

②大腸菌群数の測定

上記3方法及びデソキシコール酸塩培地を用いた平板培養法 (以下、デソ法)

2) 調査結果

①季節変動

A処理場の試料における大腸菌群数及び大腸菌数の測定結果について、図-5に消毒前処理水の結果を、図-6に消毒後放流水の結果をそれぞれ示す。

消毒前処理水については、測定方法に関わらず大腸菌群数、大腸菌数ともに調査期間を通じてほぼ一定の値を示し、季節変動はほとんど見られなかった。一方、消毒後放流水については、冬季の菌数が夏季の菌数よりやや低い結果となったものの、測定方法の違いによる測定値のばらつきが見られ、明確な変動の傾向を把握することはできなかった。また、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。なお、B処理場についても同様の傾向が見られた。



図-5 消毒前処理水中の大腸菌群数及び大腸菌数 (A処理場・季節変動調査)

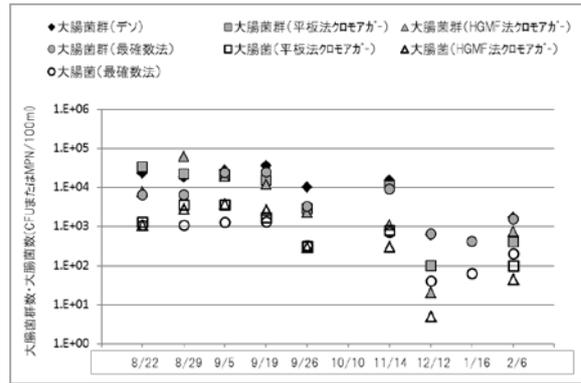


図-6 消毒後放流水中の大腸菌群数及び大腸菌数 (A処理場・季節変動調査)

②時間変動

A 処理場における 24 時間調査 (中温期 10 月) の結果を図-7 および図-8 に示す。消毒前処理水については、①の調査結果と同様に、採水時間や測定方法の違いに関わらず、大腸菌群数、大腸菌数ともにほぼ一定の値を示しており、時間による変動はほとんど見られなかった。消毒後放流水については、夕方 (18 時) から夜間 (22 時) にかけて大腸菌群数、大腸菌数ともに菌数が減少する結果となったが、①の調査と同様に測定方法の違いによるばらつきが見られ、時間による変動の傾向を把握することはできなかった。なお、採水時間ごとの処理水量等は把握できていないこと、各試料水の SS や残留塩素濃度と大腸菌の変動とに明確な相関は見られなかったことから、今回見られた変動傾向の理由は不明である。

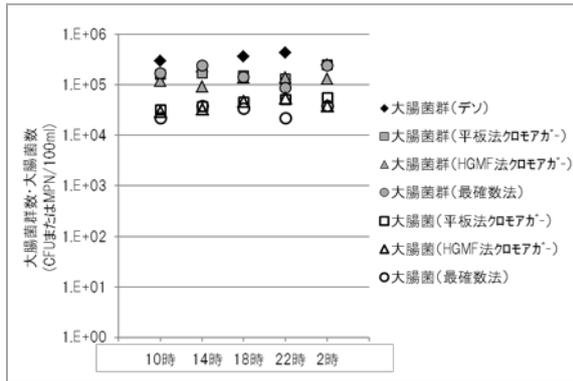


図-7 消毒前処理水中の大腸菌群数及び大腸菌数 (A 処理場・時間変動調査(中温期))

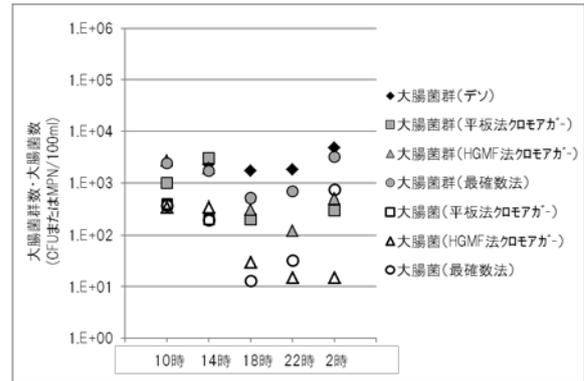


図-8 消毒後放流水中の大腸菌群数及び大腸菌数 (A 処理場・時間変動調査(中温期))

(3) 大腸菌数と大腸菌群数との相関

(2) の調査結果から、大腸菌数と大腸菌群数との相関について整理した。

流入水、消毒前処理水、消毒後放流水それぞれの試料水中の大腸菌群に占める大腸菌の割合の分布を図-9 に示す。横軸は大腸菌の割合、縦軸は該当する検体が全体検体数に占める割合を示している。なお、各試料水の全体検体数は、A 処理場と B 処理場の合計である。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、統計学的な妥当性の検証が必要ではあるものの、処理が進むにつれて大腸菌群に占める大腸菌の割合が低くなる傾向が見られた。

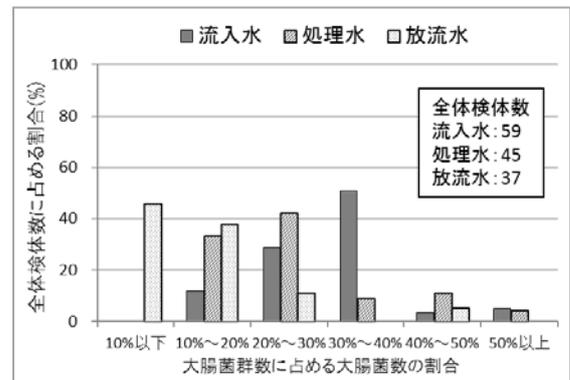


図-9 各試料水中の大腸菌群数に占める大腸菌数の割合の分布

次に A 処理場の放流水及び B 処理場の放流水における大腸菌群数と大腸菌数との相関をそれぞれ図-10、図-11 に示す。図-10 及び図-11 中の近似曲線は、大腸菌群に占める大腸菌の割合(存在比)が一定であると仮定した場合の線形近似で示している。それぞれ 1 つの処理場で見ただけの場合には、放流水中の大腸菌群数と大腸菌数との間にあ

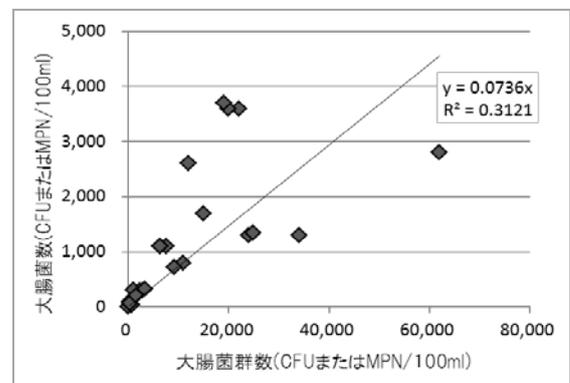


図-10 A 処理場放流水における大腸菌群数と大腸菌数との相関

る程度の相関関係（線形）が期待できるが、近似曲線の傾きは各処理場で異なっていることから、存在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）等により異なっていると考えられた。

(4) 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 26 年 1 月から 2 月にかけて、平成 24 年度調査において対象とした A 処理場（分流式（一部合流式）・標準活性汚泥法・塩素消毒・処理量約 75,000m³/日）において消毒前処理水、消毒後放流水中の大腸菌数、大腸菌群数の測定を行い、測定機関及び測定者の違いによる測定結果への影響について把握した。

1) 調査内容

①複数の測定機関による測定(以下、機関別測定)

1 月下旬に採水を行い、7 機関（自治体 6 機関及び民間分析会社 1 機関）による菌数の測定を行った。採水した試料は冷蔵して各分析機関に送付し、すべての機関において採水翌日の同時刻に作業を開始した。また、試料水中にデータロガーを挿入し、低温(概ね 3℃)が保たれていることを確認した。

なお、各分析機関で実施可能な方法による測定を依頼したため、機関により実施した測定方法の数異なっている。各機関で用いた測定方法を表-1 に示す。

②複数の測定者による測定(以下、測定者別測定)

2 月中旬に採水を行い、同一機関に所属し、分析経験年数の異なる 3 名（生物関連の分析経験がそれぞれ A：1 年、B：5 年、C：7 年）の測定者による菌数の測定を行った。

2) 測定項目

一般水質項目として水温、pH、浮遊物質（SS）、残留塩素（放流水試料のみ）、微生物項目として大腸菌群数、大腸菌数について測定を行った。水質項目の測定は下水試験方法に基づいて実施し、放流水には残留塩素濃度の測定後に中和のためチオ硫酸ナトリウムを添加した。

3) 大腸菌数等の測定方法及び使用培地

下記の通り、(2) の調査と同じ測定方法及び培地を用いた。

①大腸菌数の測定

- ・最確数法（試験管型またはトレイ型容器、コリラート培地）
- ・平板培養法（クロモアガー-ECC 培地）
- ・メンブレンフィルター法（以下、MF 法）及び疎水性格子付メンブレンフィルター法（以下、HGMP 法）（クロモアガー-ECC 培地）

②大腸菌群数の測定

上記 3 方法及びデソキシコール酸塩培地を用いた平板培養法（以下、デソ法）

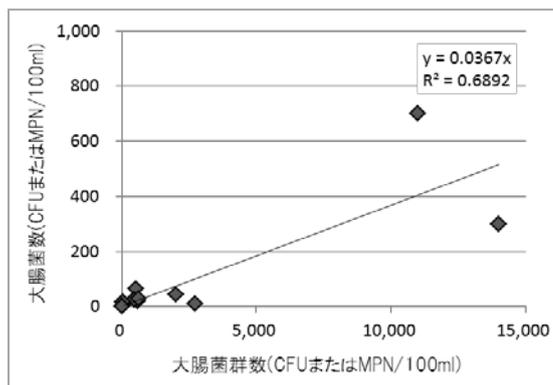


図-11 B 処理場放流水における大腸菌群数と大腸菌数との相関

表-1 機関別測定において各機関が実施した測定方法

	デソ法	平板培養法	最確数法		MF法	HGMP法
			試験管型	トレイ型		
A	○	○		○	○	
B	○			○		
C	○	○	○			
D	○	○	○			
E	○	○	○			
F	○	○		○		○
G	○	○	○		○	○

4) 調査結果

①機関別測定

a.水質項目測定結果

各機関で分析開始時に測定した処理水及び放流水の一般水質項目測定結果を表-2 に示す。温度等にやや差が見られたが、測定に大きく影響するものではないと判断した。また、SSについては放流水のほうが高い値を示した。なお、放流水の残留塩素濃度は0.21mg/lであった。

b.大腸菌数及び大腸菌群数の測定結果

放流水中の大腸菌数は、ほぼすべての測定機関、測定方法において10CFUまたはMPN/ml以下であり、機関によるばらつきは見られなかった。(機関Dの平板培養法による測定のみ30CFU/ml)。

次に、処理水中の大腸菌数について、平板培養法による測定結果を図-12に、最確数法による測定結果を図-13に、MF法/HGMF法による測定結果を図-14に示す。なお、図-13において、機関Bは3回の測定全てで用いた測定方法の上限値を超過していたためグラフに示しておらず、機関Dは3回の測定全てで同じ測定値であった。

これらの結果より、平板培養法及びMF法/HGMF法では、各測定機関の測定値のオーダーは同程度であったが、最確数法では、測定値の範囲が広く、同一機関内でもばらつきが大きい傾向にあったことから、測定方法の選定においても考慮すべき事項と考えられた。

このため、3測定方法それぞれについて変動係数を算出してばらつきの大きさを検討した。平板培養法については、3回の測定値がいずれも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(下水試験方法より30~200CFU/ml)に収まっていたC、D、E、Fの4機関について算出したところ、機関Dは約22%であり、他の3機関はいずれも20%以下であった。最確数法については、変動係数は機関Dの0%から機関Cの78%の範囲であり、MF法/HGMF法については、機関Aは36%であり、他の3機関はいずれも15%以下であった。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、厚生労働省から各水質項目の測定結果における変動係数(標準偏差を平均値で除した数値)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⁸⁾。これを参考として考えると、最確数法については、菌数自体は低いものの変動係数が大きい機関が見られたが、平板培養法とMF法/HGMF法については、概ね問題ない測定精度の範囲であると判断された。

表-2 水質項目測定結果(機関別測定)

	水温		pH		SS	
	消毒前処理水	放流水	消毒前処理水	放流水	消毒前処理水	放流水
A	17.6	17.8	6.9	6.9	0.4	3.2
B	13	12	6.8	6.8	0.3	3.9
C	20	20	6.6	6.6	0.4	3.0
D	18.9	18.4	7.14	6.81	<1.0	3.7
E	11	11	6.4	6.4	<1	4
F	17.4	16.4	6.85	7.1	0.2	6.5

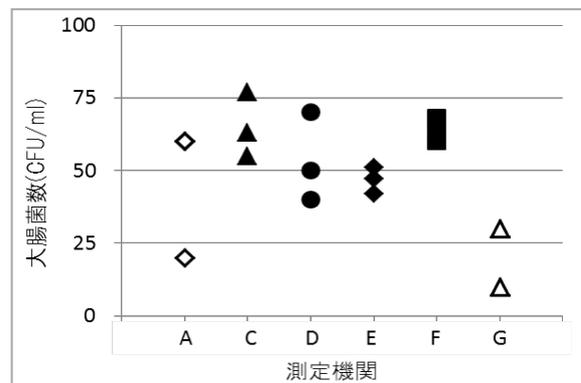


図-12 処理水中の大腸菌数測定結果(機関別測定・平板培養法)

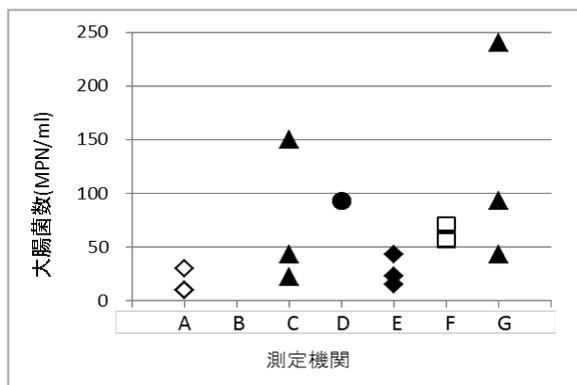


図-13 処理水中の大腸菌数測定結果
(機関別測定・最確数法)

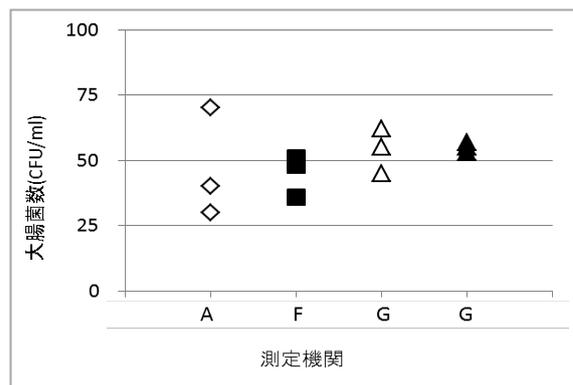


図-14 処理水中の大腸菌数測定結果
(機関別測定・MF法/HGMF法)

②測定者別測定

a.水質項目測定結果

処理水及び放流水の一般水質項目測定結果を表-3に示す。

①の調査とほぼ同じ結果となった。また、放流水中の残留塩素濃度は0.05mg/l以下であった。

b.大腸菌数及び大腸菌群数の測定結果

本調査においても、放流水中の大腸菌数はすべての測定方法において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。次に平板培養法による処理水中の大腸菌数測定結果を図-13に示す。各測定者の測定値は50~75CFU/ml、変動係数はほぼ10%以下であった。

表-3 水質項目測定結果(測定者別測定)

	水温	pH	SS	残塩濃度
処理水	16.4	6.9	0.5	/
放流水	17.8	6.9	3.2	<0.05

(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間に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、(3)の結果より放流水中の大腸菌群に占める大腸菌の割合を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うる技術的可能性を示しているものである。

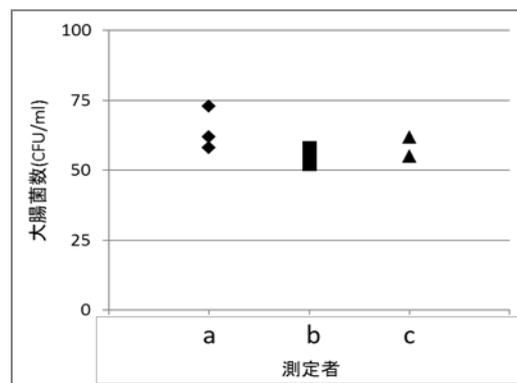


図-15 処理水中の大腸菌数測定結果
(測定者別測定・平板培養法)

4. まとめ

本研究により、放流水中の大腸菌数の存在実態、変動状況、大腸菌群数との相関等についておおよその傾向を把握することができた。また、測定方法（今回は平板培養法）に適した測定値範囲の場合には、処理水中の大腸菌数測定結果の変動係数が10%～20%程度におさまることが確認できた。この測定精度は、一般的な測定精度の考え方として水道での事例（厚生労働省通知⁸⁾）から見ても、概ね問題ない範囲であると考えられる。この結果から、今後、新たな指標による基準値を検討する場合の考え方について、実態調査の結果や従来の指標と新たな指標との相関等から目安となる値を設定し、さらに変動係数を考慮して基準値を検討する考え方を整理した。

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の活用が期待される。

参考文献

- 1)和波一夫,竹内健,三島寿一,森岡浩然:親水性水域の大腸菌群数等の測定結果,東京都環境化学研究所年報,2007
- 2)例えば和波一夫,石井真理奈,木瀬晴美:都内河川の大腸菌群数に関する研究(1)多摩川の大腸菌群と大腸菌の挙動,東京都環境化学研究所年報,2010
- 3)保坂三継,勝田千恵子,榎田隆一,瀬戸博:水道原水・浄水等における原虫類並びに糞便汚染指標細菌類調査結果(平成14年度),東京健康安全研究センター年報,54,290-295,2003
- 4)平成23年度下水道関係調査研究年次報告書集,69-74,2012
- 5)藤井都弥子,小越眞左司,對馬育夫:異なる測定方法を用いた下水処理水中の大腸菌数測定結果の比較検討,第49回下水道研究発表会講演集,553-555,2012
- 6)平成24年度下水道関係調査研究年次報告書集,59-66,2013
- 7)藤井都弥子,小越眞左司,對馬育夫,原田一郎:下水処理水中における大腸菌数の変動調査,第50回下水道研究発表会講演集,352-354,2013
- 8)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

8. 生物処理過程における N₂O 発生抑制手法に関する検討

下水処理研究室 室 長 山下 洋正
主任研究官 重村 浩之
研 究 官 道中 敦子
研 究 官 大西 青平
研 究 官 川住 亮太

1. はじめに

生物反応を利用した下水処理プロセスでは、二酸化炭素 (CO₂) のほかに、メタン (CH₄)、一酸化二窒素 (N₂O) が発生することが特徴である。この中でも水処理・汚泥処理から排出される N₂O は、CO₂ の約 310 倍の温室効果を有し、下水道事業全体の地球温暖化ガス (GHG) 排出量においてこれらの占める割合は無視できないことから、地球温暖化防止対策の一環として排出量の削減が取り組まれている¹⁾。汚泥焼却過程で発生する N₂O については高温焼却の実施により N₂O 排出量削減が可能と報告されているが、水処理における排出実態については依然として不明な点が多く、未だ明確な対応策が講じられていない。

また、国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) のもと、自国の温室効果ガス排出量について報告することが義務付けられており、N₂O についても終末処理場から排出される温室効果ガスとして計上されるが、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定義されている終末処理場の N₂O 排出係数(従来値)は、係数算定の根拠として用いられている研究データが 1998 年までに実施されたものであり²⁾、実測値を取得した時期が古く限られたデータの平均値であることから、実態が十分に反映されていないことが課題となっていた。

そこで本研究では、より精緻な排出係数を試算するため実下水処理場を対象に排出実態の把握と測定方法の検討を行った。加えてパイロットプラントを用いた発生抑制手法の検討を行った。23 年度では主に高窒素負荷の処理場を、24 年度では窒素除去率の高い処理場、25 年度では N₂O 発生量が多いとされた標準法、嫌気好気法について実態調査を実施し、あわせて測定方法についても検討した。発生抑制手法の検討として、処理方式による比較を行い発生量の低い処理法を検証した。

2. 研究内容

(1) 下水処理施設における N₂O 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 (標準法)、嫌気好気活性汚泥法 (AO 法)、嫌気無酸素好気法 (A2O 法)、ステップ流入式多段硝化脱窒法、膜分離活性汚泥法 (MBR 法) 等) について、計 18 カ所の実下水処理施設にて現地調査を計 37 回実施した。

1) 調査方法

処理過程における N₂O 排出量の実態を把握するため、下水処理場において 24 時間調査 (2 時間に 1 回サンプリング) を実施した。処理場好気槽および嫌気槽から発生するガスはガス捕集器³⁾を用い、ロート部を水面部に固

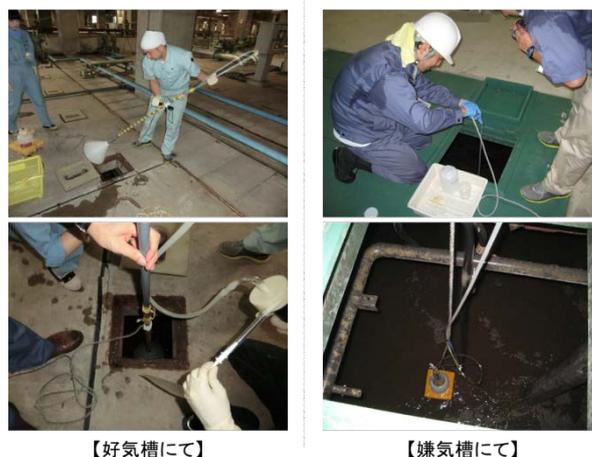


図-1 現地調査におけるガス採集の様子

定し、ガス採取を行った。図-1に調査の様子を示す。採取したガスおよび液体試料は、電子捕獲検出器(ECD)付ガスクロマトグラフ (SHIMAZU ガスクロマトグラフ GC-8A) を用い、 N_2O 濃度の測定を行った。ECD では導入部および検出部温度を $250^{\circ}C$ 、カラム温度を $80^{\circ}C$ に設定した。カラムは PORAPAK-Q (1m、80/100 メッシュ、Waters 社) を用い、キャリアガスに $Ar+CH_4(5\%)$ を使用した。液体中の N_2O 濃度は、ヘッドスペース法 (温度 $40^{\circ}C$ 、恒温時間 150 分、HEADSPACE Autosampler tekmar 7000 (Tekmar-DOHRMANN 社)) により分析を行った。採取時には、生物反応を阻害するため、ヘッドスペース用のバイアル瓶に試料を密閉し、反応阻害剤としてグルコン酸クロルヘキシジン溶液を添加した (最終濃度: 0.26%)。 N_2O 排出係数は下水処理場から系外へ排出される N_2O 量 (大気放出量) を処理水量で除することで算出した。従来値との比較のためここでは、ガス態として排出される N_2O 量のみを計上し、処理水中の溶存態 N_2O については含まない。

2) 調査結果

本調査で得られたデータのほとんどは従来値 $160 \text{ mg } N_2O/m^3$ を下回っていた。図-2に、従来値の根拠となった 8 データ (プロット (◆)) と、現地調査より算出した大気中に放出される N_2O 排出係数を示す。プロット (◇) は調査ごとで算出されたガス態 N_2O 排出係数であり、プロット (■) は各調査データを「窒素除去を行わない処理方式」と、「窒素除去を行う処理方式」に分類し平均した値である。それぞれ $97 \text{ mg } N_2O/m^3$ 、 $4 \text{ mg } N_2O/m^3$ であり、窒素除去を行う処理方式は低い値となった。

また、標準法、AO 法 22 データのうち従来値を上回る値が観察されたのは 2 データだけだったが、 $1040 \text{ mg } N_2O/m^3$ 、 $536 \text{ mg } N_2O/m^3$ と、非常に高かったことから平均値に大きく影響したと考えられる。また、 N_2O の大半は好気槽にて排出されていた。

一方、窒素除去を行っている処理場では、特異的に大きな値は観察されなかった。特に、MBR 法では、大気中に放出される N_2O 排出係数はいずれの調査においても $1 \text{ mg } N_2O/m^3$ 以下と非常に低い値だった。

それぞれの処理方式における窒素除去率の平均値は、標準法が 48% 、AO 法が 62% 、窒素除去を行う処理法 (MBR 法を除く) が 70% 、MBR 法が 78% だった。また、窒素除去量を考慮して算出した N_2O 転換率 (窒素除去量あたりの系外に排出されるガス態、溶存態を含む N_2O 量) は、標準法で $0.0-6.7\%$ (算術平均: 0.88%)、AO 法で $0.0-2.5\%$ (0.51%)、窒素除去を行う処理法 (MBR 法を除く) で $0.0-0.4\%$ (0.092%)、MBR 法で $0.0-0.1\%$ (0.046%) であり、標準法が高く MBR 法が低い傾向が示されている。生物反応槽から発生する N_2O は、アンモニア酸化反応の副産物として発生し、系内における硝化の進行の有無などにより左右されるため、このように窒素除去を行う処理方式と行わない処理方式によって大きく発生量が異なることは妥当であると考えられた。

処理水質に基づいて、硝酸型、亜硝酸型、硝化脱窒型、未硝化型に分け排出量を比較すると、亜硝酸型が最も高いと報告されている⁴⁾。本調査のうちで高い値が観察された 2 データのうち 1 つは、処理水中亜硝酸濃度が 1 mg/L を超えており亜硝酸型に分類される。このような、系内に亜硝酸が蓄積し N_2O 発生量が高くなる現象はこれまでも報告されおり、完全硝化を促進する運転を行うことで発生量を軽減できる可能性が示唆された^{5,6)}。しかしながらもう一つは、反応槽内にて亜硝酸生成が観察されたことからそれが N_2O 発生量に関与し

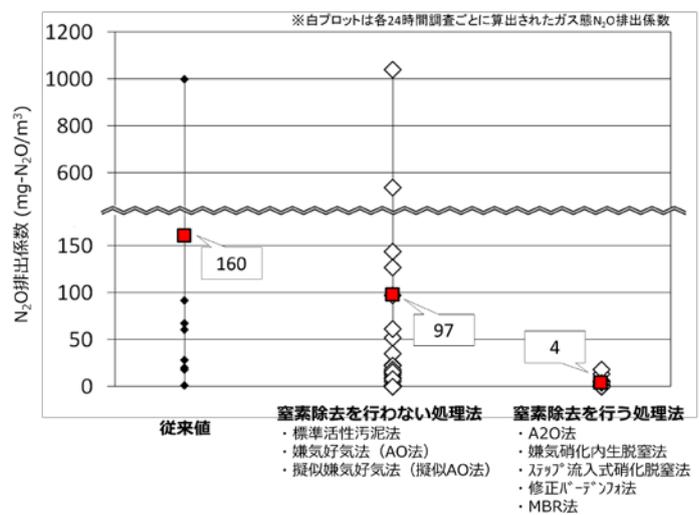


図-2 従来値および国総研調査結果に基づく排出係数

ている可能性があるが、処理水中亜硝酸濃度は 1 mg/L を超えておらず亜硝酸型には分類されない (0.07~0.88 mg/L, 平均 0.56 mg/L)。反応槽内における亜硝酸生成濃度も 1 mg/L (0.6 mg/L 以下) を超えることはなく、N₂O 発生量が高くなった原因は不明であり、発生機構の解明は今後の課題である。

(2) 連続モニタリングと 24 時間スポットサンプリングの比較による測定方法の検討

これまで実施してきた実態調査はいずれも 24 時間スポットサンプリングであり、2 時間に 1 回、ガス採取・採水を各反応槽で 1 か所実施するものである。しかしながら、N₂O の発生は、場所・時間ともにバラつきが大きいことから、24 時間スポットサンプリングでは過大もしくは過小評価をする恐れが懸念されている。そこで、脱臭対策のためダクト・覆蓋が設置されている処理場を対象に連続モニタリングと 24 時間スポットサンプリングの比較を行った。

1) 調査方法

標準法、AO 法の処理場にてそれぞれ 10 月と 1 月に実施した。連続モニタリングは 1 回あたり約 2 週間実施した。連続モニタリング装置 (Model46i 日本サーモ社) は N₂O ガスを非分散赤外線吸収法で検出するため、赤外線吸収干渉成分 (水分、CO₂) や腐食性ガス (硫化水素) を除去する前処理装置 (Model 4N-300 日本サーモ社) を接続し、排気ダクトに設置して N₂O 濃度を測定した。調査は、処理場から発生するガス態 N₂O 総量が把握できるようにダクト末端の集合管にて実施した。ダクト風速は熱式風速計 (Anemometer AM-09S リネン社) にて調査期間に 3 回測定し平均値を用いた。24 時間スポットサンプリングは (1) 同様の方法で、連続モニタリング実施期間中に 1 回行った。2 週間で得られたデータの平均を用いて、ダクトを通過し処理場から放出される N₂O 量 (N₂O 濃度の 1 時間平均値に時間あたりのダクト風量を乗算) を算出し、処理水量で除することで N₂O 排出係数を算出した。

表-1 異なる測定方法による排出係数の比較

処理場	連続モニタリング		24 時間
	調査期間平均 ¹⁾	日平均 ²⁾	スポットサンプリング
A (標準法)	10月	23	-
	1月	65	62
B (AO法)	10月	110	39
	1月	374	482

1) 実施期間(約2週間)で得られた連続モニタリングデータを使用

2) 24時間スポットサンプリング期間で得られた連続モニタリングデータを使用

2) 調査結果

表-1 に 4 回実施した調査について、24 時間スポットサンプリングと連続モニタリングにより算出した排出係数を比較した結果を示す。連続モニタリングについては、調査期間の中で 24 時間スポットサンプリング実施同日の連続モニタリングデータ(24 時間)を用いて「日平均」を、約 2 週間連続して取得したデータを用いて「調査期間平均」を算出した。

まず、「日平均」と 24 時間スポットサンプリングの結果を比較した場合、A 処理場では、連続モニタリングと 24 時間スポットサンプリングは比較的近い値が得られた。一方、B 処理場では、10 月、1 月ともに、連続モニタリングの値が 24 時間スポットサンプリングより低かった。そこで、曝気風量とダクト風量を調べたところ (表-2)、A 処理場では曝気風量に対しダクト風量が大きいことから、発生した N₂O の大半はダクトへ回収され

表-2 好気槽 1 槽あたりの曝気風量及びダクト風量

処理場	反応槽曝気風量 Nm ³ /h	排気ダクト風量 Nm ³ /h	曝気風量に対する ダクト送風量の割合
A	10月	191	423
	1月	349	389
B	10月	429	309
	1月	627	313

好気槽1槽あたりに換算した平均値

ていると考えられた。一方 B 処理場では、曝気風量の方が大きかったことから、回収されずに直接系外へ排出

されたのではないかと示唆された。特に1月調査時では、連続モニタリングによる排出係数が24時間スポットサンプリングより半分程度低いが、ダクト風量が曝気風量の50%程度であることから残りは系外へ直接排出されたと考えられた。

次に、連続モニタリング実施期間（約2週間）で得られたデータを用いて排出係数を算出した結果と24時間スポットサンプリング結果を比較する。A処理場の場合、日平均同様にいずれも近い値を示したが、B処理場の1月調査時には、連続モニタリングの方が24時間スポットサンプリングより低かった。これは上述のとおり、ダクト風量が曝気風量より低いことが影響していると考えられた。一方、10月調査時は24時間サンプリングの方が低い値だった。図-3に連続モニタリングによる計測結果の例を示す。連続モニタリングの結果を見ると、10月に実施したB処理場における調査を除いて、図-3のa)やb)の前半に見られるような連続したパターンが繰り返されていた。N₂O濃度は、日変動があるものの、調査期間（約2週間）の間、同じようなパターンを繰り返していることがわかった。しかし、10月に実施したB処理場における調査では、突然N₂O濃度が低下する現象がみられた。これは、台風と重なってしまい雨天の影響を受けたことからN₂Oの発生が著しく低下したためと考えられる。さらにこの期間に24時間サンプリングを実施したため、連続モニタリングの値より非常に低い値となった。

以上のことから、雨天・運転方法変更時など、通常と異なる状況を避ければ、スポットサンプリングでも24時間実施し平均することで代表値を得ることが出来ると示唆された。また、連続モニタリングにて排出量を評価する場合は、ダクトに回収されないガスについても留意する必要があることがわかった。

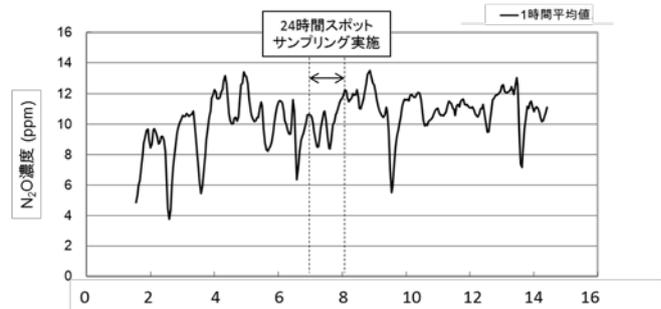
(3) パイロットプラントによるN₂O発生抑制運転検討

現地調査の結果より処理法ごとにN₂O排出量が異なることが示された。そこで、処理方式の変更により、N₂O排出量に違いが出るか、パイロットプラントを用いて確認した。

1) 実験方法

実下水処理場内に設置した完全覆蓋型活性汚泥処理実験装置を用いた。図-4に示すとおり、本装置は6つの反応層（6.6L/槽）と沈殿池（13.2L）から構成されており、流入水として当該下水処理場の実下水を沈殿処理したものを用いた。RUNIでは運転開始時は標準法にて運転し（0～18日目）、その後、前段2槽（反応槽1及び2）の曝気量を1/10にし擬似AO法に変更した（18～35日目）。RUNIIも同様に標準法にて運転し（0～18日目）、その後、前段2槽の曝気を停止しAO法にて運転した（18～35日目）。各反応層から発生する気体はテドラバックに採集し、上述の（1）同

a) A 処理場(1月)



b) B 処理場(10月)

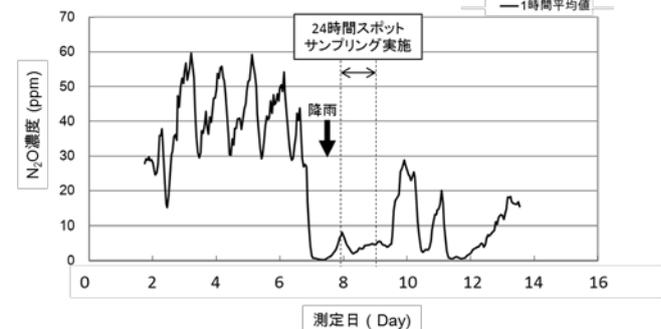


図-3 連続モニタリングによるダクト内N₂O濃度の変動

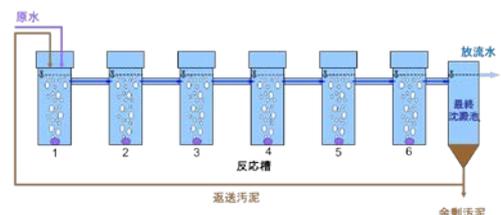


図-4 パイロットプラント実験装置概要

様に N₂O 濃度を電子捕獲検出器(ECD) 付ガスクロマトグラフにて、また溶存態 N₂O はヘッドスペース法にて測定した。採取した活性汚泥試料はガラス繊維ろ紙 (0.45 μm) でろ過後、TRAACS2000 (Bran-Luebbe 社) を用いて比色法にてアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素を測定した。N₂O 排出量は、反応槽から大気放出されるガス態 N₂O と放流水中溶存態 N₂O の和を流入水量で除することにより算出した。

2) 実験結果

運転期間中の運転条件および水質等を表-3 に示す。運転期間を通して、RUN1、RUN2 とともに流入水質に変化は見られなかったことから、曝気風量以外はほぼ同じ条件下で運転していることがわかる。

図-5 に運転期間の N₂O 排出量を示す。RUN1、RUN2 いずれも標準法による運転時から、AO または擬似 AO 法運転に変更後、N₂O 排出量は減少することが観察された。標準法で運転していた期間 (Day0~18) における排出量は RUN1、RUN2 それぞれ平均 682、642 mg N₂O/m³ だった。一方、擬似 AO 法または AO 法に運転方式を変更した後は、推移期である Day20 を除くとそれぞれ平均 106、58 mg N₂O/m³ であり、変更後に N₂O 排出量はいずれの RUN においても 80% 以上減少した。代表的なデータとして Day11、Day28 における N₂O 排出量フロー図を図-6 に示す。標準法による運転時では、第 1、2 槽からの排出が約 80% を占めており、後段ではガス態、溶存態いずれもほとんど観察されなかった。一方、擬似 AO 法または AO 法にて運転した場合、嫌気槽からガス態・溶存態ともにほとんどなく排出されておらず、第 3、4 槽が主な排出箇所だった。また、標準法で排出量が大きかった第 1 槽に比べて擬似 AO 法及び AO 法の第 3 槽における排出量は 10% 程度と低いものだった。

表-3 運転条件と運転期間中の水質

	RUN1	RUN2
処理方式	Day 0~18 標準法 Day 18~35 AO 法	標準法 擬似 AO 法
曝気風量 (L/min)	Day 0~18 全槽: 1.0 Day 18~35 前段 2 槽: 0 後段 4 槽: 1.0	前段 2 槽: 0.1 後段 4 槽: 1.0
原水 DIN (mg/L)*	14~22 (平均 19)	
原水 DOC (mg/L)	23~40 (平均 32)	
原水水温 (°C)	14~19 (平均 18)	
原水流量 (mL/min)	120~210 (平均 140)	100~200 (平均 130)
返送汚泥率 (%)	30~70 (平均 55)	
MLSS (mg/L)	2,100~3,200 (平均 2,700)	2,200~3,300 (平均 2,700)
HRT (hr)	4.2~7.7 (平均 6.5)	4.5~8.8 (平均 7.1)

* 溶存態 NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N の和

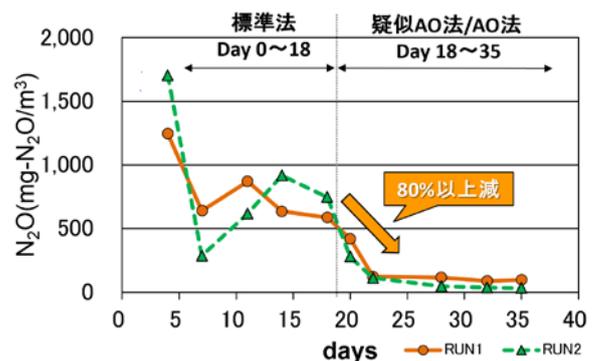


図-5 異なる処理方式における N₂O 排出量の推移

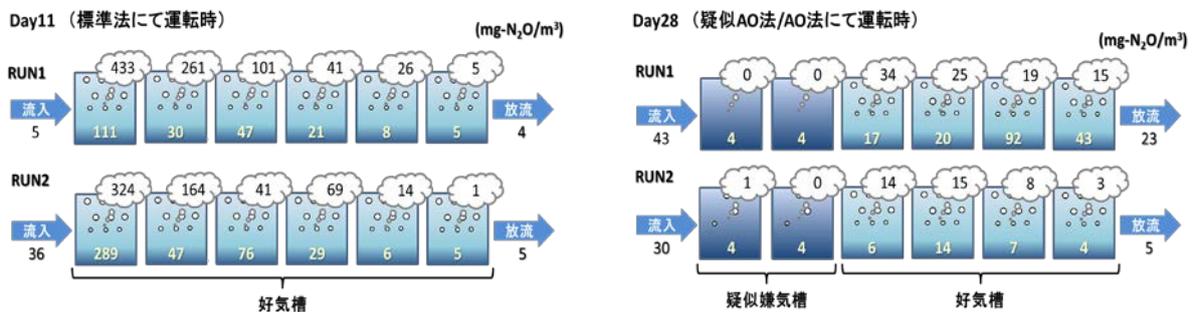


図-6 各反応槽における N₂O 排出量の推移

図-7 に代表データにおける溶存態窒素の推移を示す。RUN1、RUN2 とともに同じ傾向を示した。標準法で運転した場合 (図-7 a)、第 1 槽から硝化が進行し、第 4 槽ではほぼ NO₃-N へ転換された。一方、擬似 AO 法及び AO 法で運転した場合は、(図-7 b)、第 4 槽から硝化が進み 6 槽目でほぼ NO₃-N へ転換されていた。RUN1、RUN2 とともに運転方法を変更後、窒素除去率が約 10% 向上しており、窒素除去能力が向上したことから、N₂O

発生量が抑制されたと考えられた。

以上のことから窒素除去を目的とした高度処理を行うことで処理水の水質改善だけでなく N₂O 排出量を削減することができることが示唆された。

3. まとめ

実下水処理場から発生する N₂O 量は処理方式により異なっており、窒素除去を目的とした処理方式では排出量が比較的低いことがわかった。下水処理プロセスでは、嫌気・無酸素条件よりも好気条件下にて発生する N₂O 量が格段に高いことが明らかとなった。また、本研究により得られた実態調査結果は、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 N₂O 排出(終末処理場)」の係数が改訂に活用された⁷⁾。実態調査を行う上で連続モニタリングと 24 時間スポットサンプリングの測定方法を検討したところ、いずれの方法でも妥当な値を得られることが確認された。しかしながら、24 時間スポットサンプリングは、各反応層にて 24 時間の試料採取が必要であり、精度を上げるためには複数回実施する必要がある。一方、連続モニタリングはカバー・ダクトが整備されていることが必須であり適用できる処理場が限られること、設備の設置場所について制限があること、また、曝気風量がダクト風量を上回っていた場合、過小評価となる点に留意しなければならないことがわかった。

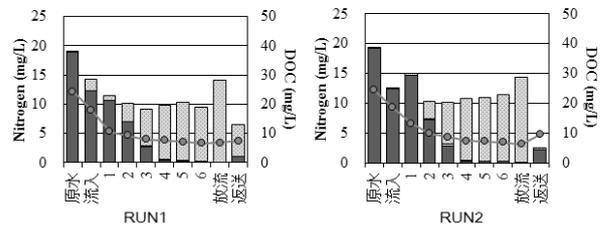
加えて、パイロットプラントを用いて処理方式による排出量を比較したところ、標準法に比べて疑似 AO 法及び AO 法は窒素除去率が向上し、N₂O 排出量が 10%程度に抑制されることが示された。以上のことから窒素除去効率を上げる運転を行うことで N₂O 排出量は抑制されることが示唆された。

これらの結果から、窒素除去率があがる運転方法を行うことにより N₂O 発生量を抑えられることが示され、今後、高度処理法の導入により N₂O 排出量が抑制されることが期待される。

参考文献

- 1) 下水道における地球温暖化防止対策検討委員会：下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き，2009年3月
- 2) 環境省：廃棄物分科会報告書，平成14年8月，p.29
- 3) 下水試験方法 上巻 2012年，公益社団法人日本下水道協会，P.793
- 4) 下水道技術開発連絡会議：下水道の長期的技術開発に関する基礎調査完了報告書，平成9年3月
- 5) Zheng, H., Hanaki, K. and Matsuo, T. (1994) Production of nitrous oxide gas during nitrification of wastewater, Wat. Sci. Tech., 30 (6) ,133-141.
- 6) 宮本彰彦，鈴木清志，(2002)下水道施設における温室効果ガス排出量実態調査，東京都下水道局技術調査年報
- 7) 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

a) 標準法による運転時(Day11)



b) 疑似AO法/AO法による運転時(Day28)

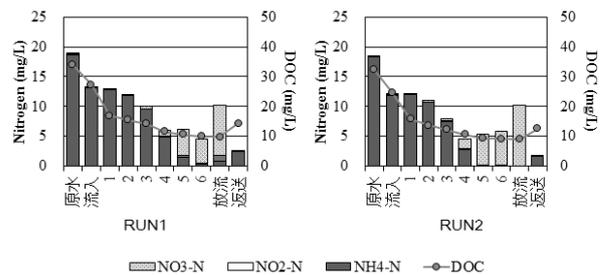


図-7 各反応槽における無機態窒素の推移

9. 流域における水環境マネジメント技術に関する検討

下水処理研究室 室長 山下 洋正
主任研究官 田嶋 淳
研究官 濱田 知幸

1. はじめに

流総計画では、公共用水域の環境基準達成を目的として、流域内下水処理場の処理水量・計画処理水質を設定している。一方で、下水道に課せられる新たな役割として、エネルギー使用量削減など新たな社会的要請への対応が求められている。基準点毎に環境基準達成を担保しつつ、流域内各下水処理場のうち大規模処理場にて集約的に汚濁負荷削減を進めることにより、個別処理場で対策を実施する場合に比べて、効果的にエネルギー使用量を削減できる可能性がある。

本調査では、エネルギー使用量の低減を目的とした集約的な高度処理実施など、所定の汚濁負荷削減を達成しつつエネルギー使用量も最適化する新しい下水道計画の策定に際して、技術資料として活用するため、処理法や処理規模毎に単位窒素除去量あたりのエネルギー使用量（以後、エネルギー原単位）を整理した。具体的には、水処理に係るエネルギー使用量を明らかにするため、処理法や処理場規模毎に概略設計を行った。個別設備の定格電力を積み上げ、電力量からエネルギー使用量（重油換算）を算出した。これを窒素除去量で除してエネルギー原単位とした。更にこれらのエネルギー原単位を用い、モデル流域での窒素除去の集約、省エネ機器導入によるエネルギー使用量を試算することで、エネルギー最適化方策の実施による効果・課題等を整理した。

2. 処理法・処理場規模によるエネルギー原単位の整理

水処理方式毎にエネルギー原単位を算出するため、水処理設備の概略設計を行い、個別設備の電力量を積み上げた。設計水量は1万 m³/日、5万 m³/日、10万 m³/日の3条件とした。概略設計の対象水処理方式は標準法、高度処理法として循環法、A2O法、多段法（2段ステップ）の4処理方式とした。高度処理については、その方法によりエネルギー使用量、除去率が変化する。本検討では代表例として、循環法、A2O法の循環比は1.8、多段法は2段ステップで内部循環がない条件で概略設計を行った。なお、A2O法はリン除去も目的とした高度処理法であるが、窒素除去の観点で循環法、多段法と比較した。

2. 1 概略設計方法¹⁾

(1) 設計条件

① 反応槽の流入水質・流量の設定と容量計算方法

表1に反応タンクの容量計算の条件設定を示す。冬期の計画流入水量は、下水道設計指針の計算例¹⁾に準じて、夏期の0.8倍とした。流入水質の設定値と容量計算結果から試算した処理水質を表2に示す。流入水質については、冬期流入水質は設計指針に記載の流入水質で設定、夏期は流量を考慮し負荷量一定となるよう設定した。水温は夏期24℃、冬期13℃とした。反応タンク容量について、標準法はHRTをベースに設計するため、流入水量の多い夏期の水量・水質で算定した。高度処理は窒素除去をベースに検討するため、冬期の水量・水質で算定した。AORについて、標準法では夏期は硝化進行、冬期は硝化なしと考え設定した。高度処理法では年間を通じて硝化進行するものと考え設定した。処理水質については硝化を考慮し、設計指針に記載された容量計算方法により算出した。

反応タンク末端の DO は 1.5mg/L とした。

② 沈殿池

最初沈殿池と最終沈殿池の設計は計画日最大汚水量で設計した。最初沈殿池水面積負荷は分流式を想定し、設計指針掲載値の中間値として、 $50\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ を採用した。最終沈殿池水面積負荷は、設計指針掲載値の中間値として、標準活性汚泥法は $25\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 、高度処理法は $20\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ を採用した。沈殿池の形状は矩形の 1 階層とし、反応タンク 1 槽に対し沈殿池 2 池とした。反応タンク水深は 5m、幅は 5~8m とした。

表 1 容量計算条件の設定

	標準法		高度処理法	
	夏期条件	冬期条件	夏期条件	冬期条件
流入水量 (m ³ /d)	10,000	8,000	10,000	8,000
初沈流入水質 (mg-N/L)	33.6	42.0	33.6	42.0
流入負荷 (g-N/d)	336,000			
AOR	容量計算 (硝化進行)	容量計算 (硝化なし)	容量計算 (硝化進行)	
処理水質	容量計算 (硝化進行)	容量計算 (硝化なし)	容量計算 (硝化進行)	

表 2 反応タンク計画流入水質と処理水質

項目	流入水質 [mg/l]	処理水質 [mg/l]				
		標準法	循環法	A2O	多段法	
夏期	C-BOD	96	2.9	2.5	2.5	2.8
	SS	72	8	8	8	8
	T-N	29	22.4	9.3	9.3	8.9
	Kj-N	29	1.6	1.6	1.6	1.6
	NO _x -N	0	20.8	7.7	7.7	7.3
	T-P	2.4	2.4	2.4	1.6	2.4
冬期	C-BOD	120	3.6	3.2	3.2	3.5
	SS	90	10	10	10	10
	T-N	36	28.0	11.8	11.8	11.1
	Kj-N	36	28.0	2.0	2.0	2.0
	NO _x -N	0	0.0	9.8	9.8	9.1
	T-P	3	3.0	3.0	2.0	3.0

表 3 概略設計における水処理法での対象設備

機器		標準法	循環法	A2O法	多段法
最初沈殿池	汚泥掻き寄せ機	○	○	○	○
	スカムスキマ	○	○	○	○
	汚泥ポンプ	○	○	○	○
反応タンク	ステップ可動堰				○
	水中攪拌機		○	○	○
	散気装置	○	○	○	○
	循環ポンプ		○	○	
最終沈殿池	汚泥掻き寄せ機	○	○	○	○
	スカムスキマ	○	○	○	○
	返送汚泥ポンプ	○	○	○	○
	余剰汚泥ポンプ	○	○	○	○
送風機	送風機	○	○	○	○
脱臭	脱臭ファン	○	○	○	○

(2) 設備仕様の設定

容量計算結果をふまえ、表 3 に示す各設備の能力を設定し、電力量を算定した。

沈殿池における汚泥掻き寄せ機は連続式汚泥掻き寄せ機 1 池 1 駆動、スカムスキマは電動シリンダー方式 1 池 1 駆動、汚泥ポンプ (φ100×1.0m³/min) は運転時間が 12 時間を超える場合に複数系統化した。

反応タンクにおいては、攪拌機は水中機械攪拌方式とし、嫌気槽・無酸素槽の縦横比が 1:2 を超える場合は複数台設置した。また、散気装置は全面曝気方式とした。循環ポンプは設計対象水量の 1.5 倍の揚水量になるようにした。

送風機について、反応タンクの必要風量に対して送風機 3 台構成とし、必要風量に応じて機種選定した。

2. 2 概略設計結果

(1) 容量計算結果

容量計算結果（タンク容量、AOR）を示す（図1、図2）。反応タンク容量はA2O法>循環法>多段法>標準法となった。多段法の容量が循環法、A2O法に比較して小さい理由は、多段法では前段の活性汚泥濃度が比較的高く保てることから、硝化促進に必要な好気タンク容量が小さくなったためである。AORは、高度処理の中で多段法が一番小さくなった。

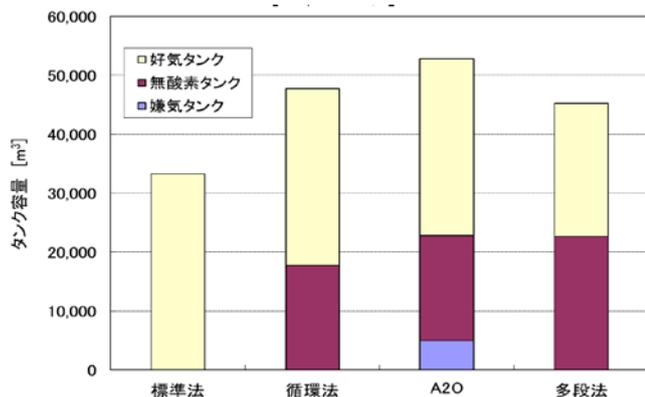


図1 容量計算結果

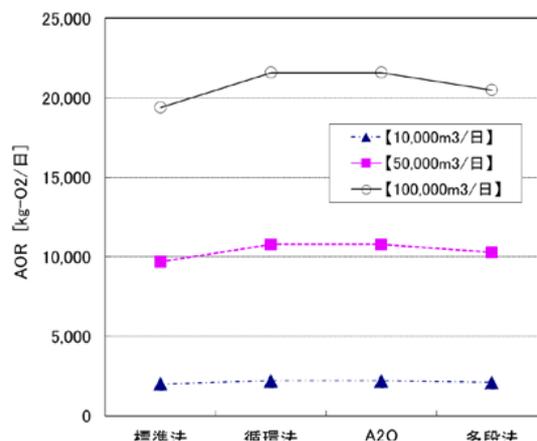


図2 AOR計算結果

(2) エネルギー原単位算定結果

電力量及びエネルギー原単位の算定結果を示す（表4）。水処理技術毎にエネルギー原単位を比較すると、高度処理技術の中ではA2O法が高く、多段法が最も低くなった。A2O法はリン除去のための攪拌機動力を必要とするためと考えられる。また、多段法は循環水ポンプに係る動力が不要となるためと考えられる。なお、本検討ではそれぞれ代表的な条件で設計したが、A2O法、循環法の循環比変更、多段法の段数増加や内部循環により窒素除去を高度化する場合、エネルギー原単位への影響を考慮する必要がある。

流入水量毎にエネルギー原単位を比較すると、1万m³/日が一番高く、5万m³/日と10万m³/日のエネルギー原単位は殆ど変わらなかった。流入水量が少ない処理場ではエネルギー原単位が高いが、一定規模以上になるとエネルギー原単位は殆ど変わらないことが示唆された。

電力量の内訳として、標準法では攪拌機、循環ポンプが不要であるため70%近くを「送風機」が占めた。A2O法・循環法は攪拌機に加えて循環ポンプが必要となるため、「反応タンク」の割合が大きくなり、「送風機」及び「反応タンク」で80%以上を占めた。

表4 電力量及びエネルギー原単位

	標準法			A2O法			循環法			多段法			
	1万 m³/日	5万 m³/日	10万 m³/日										
電力量(kWh/日)	1,999	7,365	13,460	4,102	15,692	31,022	3,958	15,059	30,177	3,143	12,066	22,040	
処理流量あたり 電力量(kWh/m³)	0.222	0.164	0.150	0.456	0.349	0.345	0.440	0.335	0.335	0.349	0.268	0.245	
エネルギー原単位 (原油KL/t-N)	4.42	3.27	2.98	4.21	3.22	3.18	4.06	3.09	3.09	3.16	2.43	2.22	
施設比率	最初沈殿池	4%	4%	3%	2%	2%	1%	2%	2%	1%	3%	2%	2%
	反応タンク	0%	0%	0%	31%	38%	44%	29%	35%	43%	23%	26%	26%
	最終沈殿池	22%	26%	25%	11%	12%	10%	11%	12%	11%	14%	15%	15%
	送風機	67%	65%	67%	53%	46%	42%	55%	48%	43%	57%	53%	54%
	脱臭	7%	6%	5%	3%	3%	2%	3%	3%	2%	4%	4%	3%

2. 3 実処理場と概略設計結果の比較

エネルギー原単位について、下水道統計¹⁾を参考に整理した実処理場実績値と概略設計値の比較例を示す(図3~5)。窒素除去負荷量が低い範囲では概略設計値のエネルギー原単位の方が低くなった。一方で窒素除去負荷量が高い範囲では、実処理場実績値と殆ど変わらなかった。概略設計は負荷変動のない理想的な条件で実施されたのに対し、実処理場は負荷変動に対応した送風量制御が求められるため、負荷変動が激しい小規模処理場のエネルギー原単位が高くなったものと推察される。また、いくつかの実処理場で、理想的な条件で実施した概略設計値より低いエネルギー原単位となった理由として、高効率攪拌機、高効率ターボブロワ、微細気泡散気装置などの省エネ機器の採用が一因と想定される。

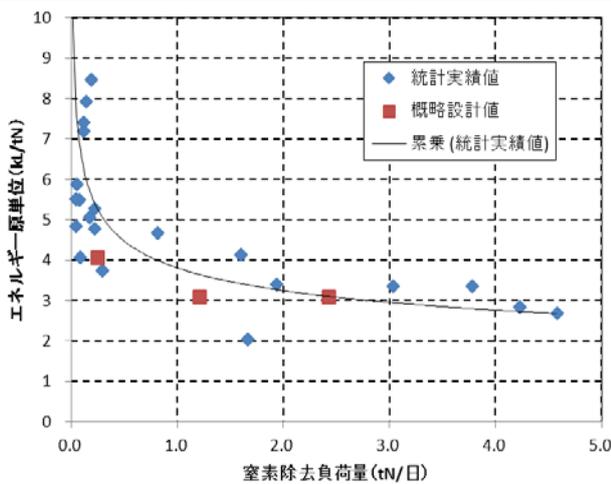


図3 実処理場と概略設計値の比較(循環法)

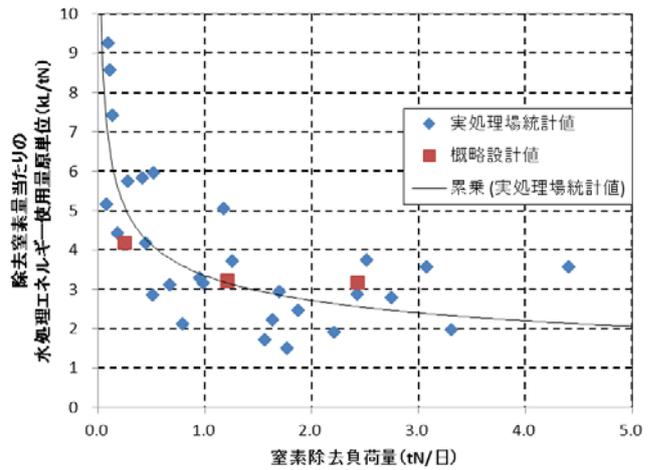


図4 実処理場と概略設計値の比較(A20)

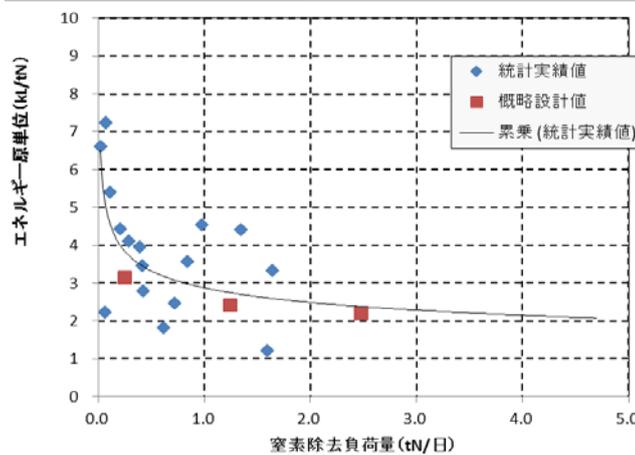


図5 実処理場と概略設計値の比較(多段法)

2. 4 概略設計結果を踏まえた設備毎のエネルギー原単位式の設定

個別の設備について、エネルギー使用量を比較し、スケールによりエネルギー使用量削減効果があるかどうかを検証した。掻き寄せ機、スカムスキマ、汚泥返送ポンプ、脱臭ファンは、一定のスケールメリットが見られたが、本試算条件では送風機に比べて当該設備のエネルギー使用量自体が少ないため、全体のスケールメリットへの寄与は軽微であった。また、初沈汚泥ポンプ、余剰汚泥ポンプ、攪拌機などは流入水量が増えても、稼働時間や台数が増えるだけであるため、スケールメリットがないことが想定された。それに対し、送風機は吸込風量の増加とともに全断熱効率が大きくなり、吸込風量当たりの電動機出力が小さくなる。ただし、吸込風量が大きくなると全断熱効率の増加率も減少する。従って、

一定の吸込風量以上になると大きなスケールメリットが出ないものと考えられる。

以上の考察を踏まえ、処理方法毎にエネルギー原単位を表5に整理した。攪拌機、循環ポンプ、返送汚泥ポンプ、その他をスケールメリットがない設備とし、本概略設計の各流量の平均値より処理法毎に設定した。また、送風機については、概略設計で試算した電力使用量からエネルギー原単位の近似式を算出した。除去窒素負荷 0.25～2.5t-N/日の範囲で概略設計を行ったが、1.25 t-N/日と 2.5t-N/日で殆どエネルギー原単位が変わらなかったため、これよりも大きい処理場ではあまりスケールメリットは期待できず、2.5t-N/日以上では一定のエネルギー原単位になることが予想される。

表5 各処理方式における設備毎のエネルギー原単位整理

処理方式	項目		原単位 [kL/tN]※
標準法 除去 BOD あたり原 単位	処理 プロセス	送風機	$1.98X^{-0.177}$
		攪拌機	—
		循環ポンプ	—
		返送汚泥ポンプ	0.709
		その他	0.496
循環法 除去 T-N あたり原 単位	処理 プロセス	送風機	$1.59X^{-0.227}$
		攪拌機	0.487
		循環ポンプ	0.705
		返送汚泥ポンプ	0.328
		その他	0.220
A20 法 除去 T-N あたり原 単位	処理 プロセス	送風機	$1.59X^{-0.227}$
		攪拌機	0.608
		循環ポンプ	0.705
		返送汚泥ポンプ	0.328
		その他	0.220
多段法 除去 T-N あたり原 単位	処理 プロセス	送風機	$1.38X^{-0.177}$
		攪拌機	0.641
		循環ポンプ	—
		返送汚泥ポンプ	0.322
		その他	0.216

※ X は除去 T-N (t-N/日)

3. 省エネ方策の導入時のエネルギー原単位

省エネ機器導入時のエネルギー原単位を整理するため、省エネ方策を抽出し、その省エネ効果を概略設計の電力使用量に反映した。

3. 1 省エネ方策の抽出

対象設備のエネルギー使用量、省エネ方策導入による省エネ効果を踏まえ、処理場全体のエネルギー使用量削減に寄与するかどうか整理し、省エネ方策を抽出した。

「ポンプの間欠運転」、「ポンプのインバータ化」、「送風量の制御技術」は、汚濁負荷変動に応じたエネルギー使用量を削減するためのものである。本検討では、汚濁負荷量に変化しない条件でエネルギー原単位を試算しており、汚濁負荷変動に応じたエネルギー使用量の削減については、定格運転時の動力検討結果を取りまとめた後の課題と考える。

「省エネ掻き寄せ機の導入」、「高効率攪拌機の導入」、「超微細気泡散気装置の導入」、「高効率ターボプロワの導入」は個別設備の定格電力削減に寄与するものである。これらのうち、「省エネ掻き寄せ機の

導入」は、水処理に係るエネルギーのうち掻き寄せ機の占める割合が 2.0～7.6%と低く、エネルギー使用量削減への寄与が低いと対象外とした。

「超微細気泡散気装置の導入」、「高効率ターボブロワの導入」は送風システムのエネルギー使用量削減に資す技術であり、水処理に係るエネルギーのうち送風システムの占める割合は 43～67%と大きく、エネルギー使用量削減への寄与が高いと考え、省エネ方策として抽出した。

「高効率攪拌機の導入」は嫌気槽、無酸素槽の攪拌機のエネルギー使用量削減に資す技術であり、高度処理法の水処理に係るエネルギーのうち攪拌機の占める割合は 10.7～26.8%と比較的大きいことから、エネルギー使用量削減への寄与が高いと考え、省エネ方策として抽出した。

表 6 省エネ方策の検討結果

施設	対象設備	エネルギー量	対策内容	省エネ効果	省エネ効果	参考文献
最初沈殿池	汚泥掻き寄せ機	小	掻き寄せ機の自動間欠運転	停止時間×出力分だけ電力使用量を削減	—	2)
			省エネ型掻き寄せ機の導入	掻き寄せ機の電力使用量を 50%削減	△	3)
	汚泥引抜きポンプ	—	汚泥引抜きポンプの運転回数の削減	停止時間×出力分だけ電力使用量を削減	—	2)
反応タンク	攪拌機	大	高効率攪拌機の導入	攪拌機電力使用量を 66%削減	○	2)
			間欠攪拌の実施	15分攪拌/45分停止の方法で運転した場合、電力使用量を 1.6～3.2%削減	—	4)
			攪拌速度の遅い攪拌機導入	年間約 160 万円の電気料金を削減	—	5)
	送風機	大	高効率ターボブロワの導入	多段ターボブロワやルーツブロワに比べて電力使用量が 22%削減	○	6)
	散気装置		超微細気泡散気装置の導入	ブロワ電力使用量を 38～56%削減	○	7)8)9)
	送風量制御		D0 制御、アンモニア制御の導入	負荷変動把握方法、送風量削減時の制御機工により省エネ効果が異なる。	—	—
			系列毎の送風機システム導入		—	10)
送風量制御装置の導入	—	—	—	—		
最終沈殿池	余剰汚泥ポンプ	小	汚泥引抜きポンプの運転回数の削減	停止時間×出力分だけ電力使用量を削減	—	2)
	掻き寄せ機	小	掻き寄せ機の自動間欠運転	停止時間×出力分だけ電力使用量を削減	—	2)
			省エネ型掻き寄せ機の導入	掻き寄せ機の電力使用量を 50%削減	△	3)
	汚泥返送ポンプ	中	インバータ化	ポンプの電力使用量を 10%削減	—	11)

3. 2 省エネ方策を踏まえたエネルギー原単位の設定

抽出した省エネ方策の対象機器について、水処理に係るエネルギー使用量に占める割合に、表 6 で整理した省エネ効果を乗じ、消費エネルギー削減率を整理した (表 7)。高効率攪拌機導入により水処理全体の電力使用量の 10～16%、送風システムについて微細気泡散気装置の導入により 23～33%、高効率ターボブロワを導入することで 11～20%の削減が見込まれた。

表 7 省エネ方策導入による電力使用量削減率

方策	対象機器	(A)水処理機器毎の消費エネルギーの割合※				(B)省エネ効果	(A×B)消費電力削減比率			
		標準法	循環法	A2O法	多段法		標準法	循環法	A2O法	多段法
高効率攪拌機の導入	攪拌機	—	15%	18%	25%	66%	—	10%	12%	16%
超微細気泡散気装置の導入	送風機	66%	48%	47%	54%	50%	33%	24%	23%	27%
高効率ターボブロワの導入	送風機	66%	48%	47%	54%	22%	15%	11%	20%	12%

※消費電力の割合は概略設計の3つの水量条件の平均値を採用した。

4. モデル流域におけるエネルギー使用量削減に関するモデルケース検討

実際の F 流域をモデル流域として、許容放流負荷量を担保できる下水処理場毎の処理法の組合せの中で、エネルギー使用量を最適化する方策について検討した。モデル流域内の処理場（表 8）は、大規模施設：2、中規模施設：1、小規模施設：2 という構成である。水処理エネルギーを最適化するための具体的な方策として、前項の調査結果を踏まえ、「窒素除去の集約化」、「省エネ方策の導入」の 2 種類を設定した。流総計画で定められた計画放流水質と処理水量から窒素の許容放流負荷量を 2,488 kg/日と設定した。この許容放流負荷量を担保できる下水処理場毎の処理法の組合せの中で、エネルギー使用量を最適化する方策について検討した。

表 8 モデル流域内の処理場概要

項目	単位	F 流域				
		A 処理場	B 処理場	C 処理場	D 処理場	E 処理場
日平均処理水量	m ³ /日	158,251	106,201	67,194	7,756	2,047
処理方式	—	A2O 法	A2O 法	循環法	循環法	循環法
計画流入水質	mg/L	27.3	25.9	27.7	22.7	31.8
計画放流水質	mg/L	7	7	7	17	17
放流負荷量 kg-N/日		1,108	743	470	132	35
		2,488				

4. 1 モデルケース検討の条件設定

4. 1. 1 処理場の水処理方式変更による窒素除去の集約化

(1) 処理法毎の T-N 除去率の設定

処理方式により T-N の除去率が異なることから水処理方式を変更（窒素処理の集約化）した場合の放流水質を推計する。本ケーススタディでは各処理方式とも平均的な運用を行った場合を想定する必要があるため、各処理方式を採用している実際の処理場の T-N 除去率を下水道統計¹⁾に基づき集計し、その平均値を採用した（表 9）。

循環法、A2O 法の除去率は概ね同程度であるが、多段法は 84%と、循環法、A2O 法の 76~78%に比べて除去率が 6~8 ポイント高くなった。また、概略設計における T-N 除去率は循環法、A2O 法で 72%、多段法で 74%であり、概略設計値よりも高くなった。この理由として、A2O 法、循環法、多段法など生物学的窒素処理では、窒素除去率は循環比、ステップ段数等によって異なることが想定され、特に多段法についてはそのステップ流入段数、内部循環などより実処理場の T-N 除去率が高くなったためと考えら

れる。また、最初沈殿池における T-N 除去率や余剰汚泥中の窒素濃度による影響も考えられる。実流域での検討に当たっては、最初沈殿池における T-N 除去率、余剰汚泥中の窒素含有率など、流域処理場の特性を踏まえた検討が必要になる。

表 9 処理方式毎の T-N 除去率

処理方式	T-N除去率			データ数
	平均	最高	最低	
標準法	57.9	97.8	6.3	417
循環法	76.3	89.3	56.1	10
A20法	77.8	84.7	59.4	12
多段法	84.0	89.2	77.9	7

(2) エネルギー使用量原単位の設定

本検討では表 5 で整理したエネルギー原単位を用いた。

4. 1. 2 省エネ方策の導入

(1) 対象省エネ方策の設定

前項での検討結果を踏まえ、「高効率攪拌機」、「高効率ターボブロワ」、「微細気泡散気装置」について、本ケーススタディの導入対象とした。

高効率攪拌機は一般的なプロペラ式水中攪拌機の高効率機への変更を想定しており、攪拌機に係るエネルギー使用量の 66%削減を見込む。また、高効率ターボブロワについては、一般的な鋼板製多段ターボブロワの高効率機器への変更を想定しており、送風機に係るエネルギー使用量の 22%の削減を見込む。超微細気泡散気装置については、散気板から超微細気泡散気装置への変更を想定しており、圧力損失を考慮した散気装置水深の変更を考慮し酸素移動効率が 25%とし、酸素移動効率の上昇による送风量削減を試算した。送风量削減に比例して、エネルギー使用量が削減できるものと仮定した。

(2) 省エネ方策の導入時の留意事項

省エネ方策導入時の留意事項を表 10 に示す。「高効率攪拌機」の導入に際して、反応タンクの縦横比等を考慮した適切な場所に設置するためには、スラブ開口部の変更、タンク内構造物（梁・柱）の変更が必要かどうか検討する必要がある。また、電気設備の新設ないし機能増強が必要となる。モデル処理場で調査したところ、A 処理場ではスラブ開口部の変更、タンク内構造物（梁・柱）が、B 処理場ではスラブ開口部の変更が必要であった。「高効率ターボブロワ」の導入に際しては、異形式ブロワと同一送風管とした場合の风量制御方法について検討が必要となる。「超微細気泡散気装置」の導入に際しては、全ての散気装置を一括交換するのではなく、段階的に導入を進めていくことが現実的であると考えられる。その場合、異形式の散気装置に接続している既存の送風管を共用するか、専用の送風管を新設するかの検討が必要である。

表 10 課題事項に対するコストの評価

省エネ設備	課題事項	必要な対応	対応に要するコスト
高効率攪拌機	反応タンク躯体の変更 (スラブ開口部、梁等)	導入対象系列のみの 土木工事	(中～大) *1
	電気設備の新設ないし増強	電気工事	中 *2
高効率 ターボブロワ	风量制御方法の検討	設計時に対応	小
	送風機室内換気バランスの検討	設計時に対応	小
超微細気泡 散気装置	専用送風管の新設	広範囲な土木・配管・建 築工事	大
	制御盤の配置の検討	設計時に対応	小

- *1: 水処理方式の変更に伴う反応タンク内の隔壁改造を前提とする場合、高効率攪拌機の導入を設計時に考慮することで本コストの追加発生はなくなる。
- *2: 電気棟の新設が必要になる場合は「大」評価となる

4. 2 エネルギー使用量削減効果の試算結果

4. 2. 1 処理場の水処理方式変更による窒素除去の集約化

(1) 検討ケースの設定と放流窒素負荷量の試算

各処理場の水処理方式変更によるエネルギー削減方針として、日平均処理水量が 10 万 m³/日以上の大規模処理場である A 処理場、B 処理場に窒素処理を集約化する。また、流域からの許容放流負荷量を満足するため、窒素処理を集約化の際は窒素除去率の高い多段法を導入することとした。設定した検討ケースを表 11 に示す。これらのケースについて、放流窒素負荷量を試算したところ、A 処理場のみ高度処理を行う Case-1 については計画放流負荷量を満たすことができなかった。

表 11 水処理方式変更の検討ケース設定

Case	処理場			概要
	A 処理場	B 処理場	左記以外	
Case-0	A2O 法	A2O 法	循環法	流総計画の水処理ケース
Case-1	多段法	標準法	標準法	A のみに窒素処理集約
Case-2	多段法	A2O 法	標準法	A、B に窒素処理集約、A のみ多段法
Case-3	多段法	多段法	標準法	A、B に窒素処理集約、共に多段法

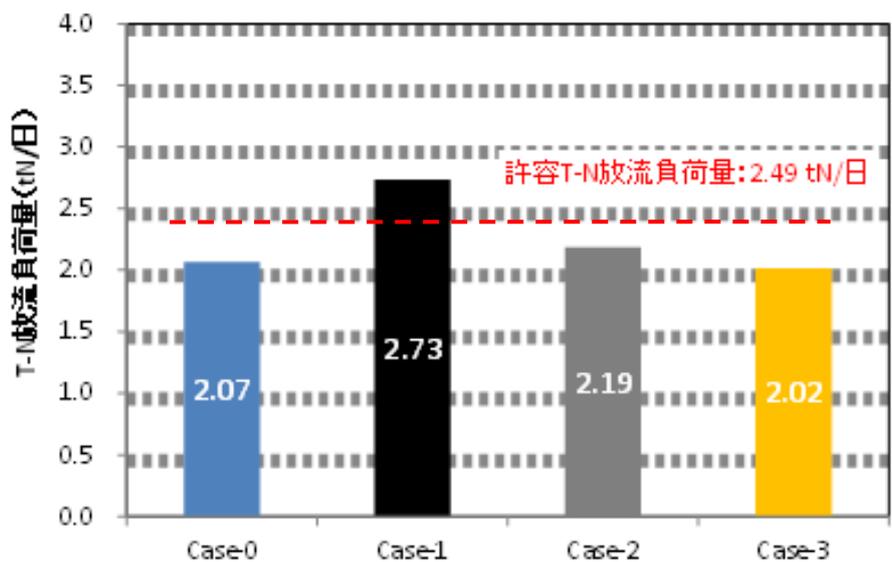


図 6 T-N 放流負荷量と許容 T-N 放流負荷量の比較

(2) エネルギー使用量削減効果

水処理に係るエネルギー使用量を算定した結果を表 12 に示す。Case-2 の水処理エネルギー使用量は 7,074 kL/年であり、流総計画に基づく水処理方式 (Case-0) の 8,326kL/年に比べて 15.0% の削減となった。一方、Case-3 の水処理エネルギー使用量は 6,570kL/年と更に少なく、Case-0 に比べて年間約 1,756kL のエネルギー削減 (削減率: 21.1%) が可能になると見込まれた。以上、図 6 と表 12 の結果を総合的に評価すると、Case-3 は、比較的小さいエネルギー使用量で、高度に窒素を除去できると考えられた。

表 12 エネルギー使用量算定結果

単位 (KL/年)

	A処理場	B処理場	C処理場	D処理場	E処理場	合計
Case-0	3,867	2,499	1,663	208	89	8,326
Case-1	3,112	1,760	1,243	155	65	6,336
Case-2	3,112	2,499	1,243	155	65	7,074
Case-3	3,112	1,995	1,243	155	65	6,570

4. 2. 2 省エネ方策の導入

(1) 省エネ方策の導入シナリオの設定

省エネ方策導入の留意点を踏まえ、省エネルギー設備導入に当たっての必要工事レベルに応じて以下の4ケースの設備導入シナリオを想定する。

①Scenario-1

導入が比較的容易な高効率ターボブロワを全処理場に導入する。

②Scenario-2

Scenario-1に加えて、Case-3への水処理方式変更時に反応タンクの改造が必要なA、B処理場に高効率攪拌機を導入する。なお、A、B処理場以外は標準法であるため攪拌機は不要である。

③Scenario-3

Scenario-2に加えて、処理規模の大きいA、B処理場に超微細気泡散気装置を導入する。

④Scenario-4

Scenario-3に加えて、A、B処理場以外の処理場にも超微細気泡散気装置を導入する。

表 13 省エネ方策の導入シナリオの設定

Scenario	省エネ設備	X流域				
		A処理場	B処理場	C処理場	D処理場	E処理場
1	高効率攪拌機	—	—	不要	不要	不要
	高効率ターボブロワ	○	○	○	○	○
	超微細気泡散気装置	—	—	—	—	—
2	高効率攪拌機	○	○	不要	不要	不要
	高効率ターボブロワ	○	○	○	○	○
	超微細気泡散気装置	—	—	—	—	—
3	高効率攪拌機	○	○	不要	不要	不要
	高効率ターボブロワ	○	○	○	○	○
	超微細気泡散気装置	○	○	—	—	—
4	高効率攪拌機	○	○	不要	不要	不要
	高効率ターボブロワ	○	○	○	○	○
	超微細気泡散気装置	○	○	○	○	○

(2) エネルギー使用量削減効果

省エネルギー設備導入によるエネルギー削減の試算結果を図7に示す。窒素除去の集約に加え、導入が比較的容易なScenario-2までの省エネ方策を導入することで、流総計画に対して41.3%の水処理エネルギーの削減は可能であると試算された。また、超微細気泡散気装置まで追加導入することで、水処理エネルギー削減率は更に10~13ポイント上昇することが見込まれた。

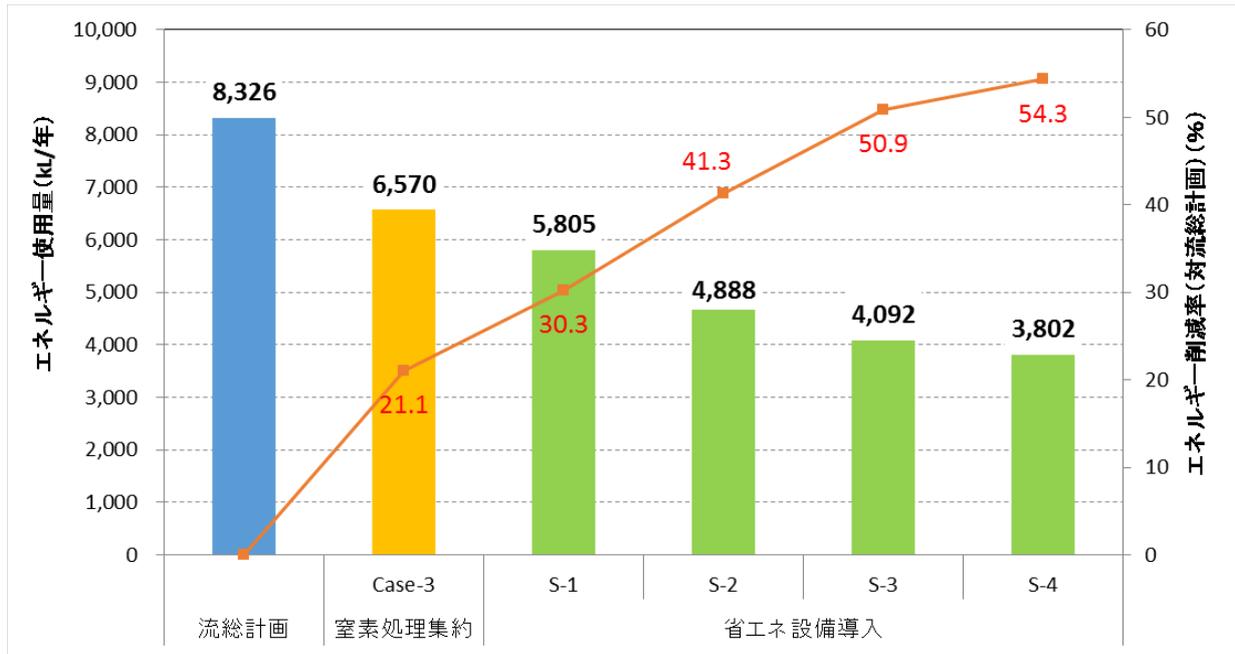


図7 各省エネケースの水処理エネルギーの比較

5. まとめ

流域内の処理場において水処理に係るエネルギー使用量の最適化を図るため、処理水量や処理法毎に概略設計を行い、水処理のエネルギー原単位を整理した。また、水処理における省エネ方策を既存文献等により抽出し、実処理場に適用する際の効果・留意点を整理した。これらを踏まえ、モデル流域において、窒素除去の集約化を図る場合、省エネ方策導入時のエネルギー使用量削減効果を試算した。本検討の結果、以下の事項が明らかになった。

(1) 水処理に係るエネルギー原単位

水処理方式毎にエネルギー原単位を算出するため、水処理設備の概略設計を行い、個別設備の電力量を積み上げた。設計水量は1万m³/日、5万m³/日、10万m³/日の3条件、概略設計の対象水処理方式は標準法、高度処理法として循環法、A20法、多段法(2段階ステップ)の4処理方式とした。その結果、水処理方式では、エネルギー原単位はA20法が高く、多段法が最も低くなった。1万m³/日と5万m³/日のエネルギー原単位では1万m³/日が高くなったのに対し、5万m³/日と10万m³/日のエネルギー原単位は殆ど変わらなかったことから、低流入水量の処理場ではエネルギー原単位が高いこと、一定規模以上になるとエネルギー原単位は変わらないことが示唆された。

(2) 省エネ方策の導入

水処理における省エネ方策において、エネルギー使用量の削減効果の大きいものとして、「高効率攪拌機」、「高効率ターボブロワ」、「微細気泡散気装置」の3方策が抽出された。従来の設備に比べ、高効率攪拌機導入により水処理全体の電力使用量の10~16%、送風システムについて微細気泡散気装置の導入により23~33%、高効率ターボブロワを導入することで11~20%の削減が見込まれた。

(3) モデル流域におけるエネルギー使用量削減に関するケーススタディ

各処理場の水処理方式変更による集約的な窒素除去を実施した場合のエネルギー使用量削減効果を

試算したところ、流入水量が多い A 処理場、B 処理場の処理法を多段法に、それ以外の処理場を標準法とするケースで、流総計画に基づく水処理方式に比べて約 21%のエネルギー使用量削減が見込まれた。また、集約的窒素除去に加えて省エネ方策導入によるエネルギー資源量削減効果を試算したところ、比較的導入が容易なシナリオで 41.3%（集約的窒素除去も含む）のエネルギー使用量削減が見込まれた。

6. 今後の課題

本検討では、循環法、A20 法について循環比を一定、多段法においては 2 段で内部循環をしない条件で設計した。実際の検討ケースでは窒素処理を集約する場合、より高度な窒素除去が求められる可能性があり、循環法、A20 法について循環比の変更、多段法についてステップ段数変更や内部循環することでエネルギー原単位にどのような影響を与えるか把握する必要がある。

また、本検討では多段法のエネルギー原単位が一番低く、反応槽容量も小さくなったが、ステップ水路の設置にかかる容量は考慮していない点に留意が必要である。実際の導入検討においては各処理法の必要面積、トータルコスト、施設配置上の制約等を踏まえ、総合的に判断する必要がある。

更に、本検討では汚濁負荷の時間変動がないものと仮定し、処理方法、規模、設備の定格電力からエネルギー使用量を試算した。しかし、実際の処理場では汚濁負荷が変動するため、対象処理場の負荷変動の把握、それに応じた送風量制御によるエネルギー原単位低減が重要となる。センサによる汚濁負荷把握・制御による送風量削減効果、送風機制御機構による送風量削減が電力低減程度を把握など、処理場の実態を踏まえた省エネ方策の評価が課題となる。

【参考文献】

- 1) 社団法人日本下水道協会「下水道施設計画・設計指針と解説-2009 年版-」（2009）
- 2) 国土交通省「下水道分野の省エネ・創エネ対策に関する技術情報データベース（案）」
- 3) 財団法人下水道新技術推進機構 下水道機構審査証明：K ノッチ汚泥かき寄せ機
- 4) 齋藤ら「浜松市舘山寺浄化センターにおける生物反応タンク脱窒セル内の攪拌方法について」下水道協会誌(1999. 12)
- 5) 管ら「反応タンク攪拌装置の方式変更による省エネ」下水道協会誌(2009. 4)
- 6) 荏原実業(株)「エアレーションにおける省エネルギー」月刊下水道(2009. 12)
- 7) 財団法人下水道新技術推進機構 下水道推進機構技術マニュアル「メンブレンパネル式散気装置」
- 8) 松田ら「超微細気泡散気装置導入による空気量削減及び炭酸ガス排出抑制効果」第 39 回下水道研究発表会講演集(2002. 7)
- 9) 白井ら「町田市町田下水処理場における超微細気泡散気装置による経費節減への取組み」下水道協会誌(2001. 4)
- 10) 水上「送風システム改善による CO2 削減」下水道協会誌(2009 年 10 月)
- 11) 財団法人下水道新技術推進機構 下水処理場におけるエネルギーマネジメントに関する技術資料

II. その他の予算による研究

[下水道研究室]

1. 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

下水道研究部 下水道機能復旧研究官 尾崎 正明
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

1. はじめに

下水道施設は、電気や上水道など他のライフラインと異なり、地震時に同等の機能を代替する手段がないため、大規模な災害により下水道施設の機能が損傷すると、下水の溢水や不適切な糞便の処理による衛生環境の悪化、避難所のトイレ排水機能不全による被災者の脱水症状、静脈血栓症の発症など衛生面・健康面に大きな問題が発生することが指摘されている¹⁾。また、災害時の復旧段階においても上水道より下水道の復旧が遅延することにより、上水道も使用制限を受けるなど、日常生活に大きな支障が生じる。このため、地震時に下水道機能を維持し、衛生環境を確保することを目的とした下水道施設の耐震化を早期に講じる必要がある。しかし、下水道施設の耐震化には、莫大な費用と時間を要することから、地震が発生した場合でも迅速な復旧が図れるよう、被害の程度と復旧に必要な復旧支援体制を想定する必要がある。例えば東日本大震災では、過去にない広範囲で甚大な被害が発生したことから、従来想定していた都市間の下水道施設復旧支援の枠組みでは対応が困難であったため、二次被害の防止、下水道サービスの継続的な提供及び、早急な機能復旧を図ることを目的として、国土交通省が現地対策本部（国土交通省東北地方整備局建政部内）を設置し、情報収集及び緊急対応方針の指示、被災自治体への復旧支援調整を実施し迅速な復旧支援が行われた。

今後想定される南海トラフ連動型地震については、東日本大震災の下水道施設被害を大きく上回ることが予想されており国土交通省を中心とした復旧支援体制が必要と考えられるが、大規模災害を想定した国土交通省を中心とする復旧支援体制は確立されていない。このことから東日本大震災での下水道復旧支援事例を踏まえ、国土交通省が中心となった情報収集や復旧支援を実施する体制について検討し、南海トラフ連動型地震発生時の下水道復旧支援体制を早期に確立することが求められている。

本研究では、中央防災会議の南海トラフ連動型地震の震源断層モデルや被害想定を検討結果に基づき、南海トラフ連動型地震等の大規模地震時における迅速かつ適切な下水道施設の復旧支援体制の構築に必要な情報を整理し、大規模地震発生時の復旧支援体制の在り方をとりまとめるものである。

2. 研究方針と研究計画

本研究の構成は以下の通りである。

①南海トラフ連動型地震における下水道施設の被害想定【平成24年度・平成25年度】

南海トラフ連動型地震による地震動及び津波発生時の下水道施設の被害規模を設定するために、中央防災会議及び学会等による被害想定情報を収集・整理した。また、東日本大震災における下水道施設被害を参考に、南海トラフ連動型地震における地震・津波発生時の下水道施設被害の想定を行うとともに、下水道施設被害に対して必要となる復旧支援規模について検討し整理した。

②震後の復旧支援体制に関する検討【平成24年度・平成25年度】

①で検討した被害想定を「南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）」²⁾の算出データを考慮して修正すると共に、下水道被害延長に基づき各市町村、都道府県、地方整備局ごとに下水道施設復旧支援に必要な一次調査及び二次調査に必要な人数の算出を行った。

③被害の最小化に向けた復旧支援体制のあり方【平成 25 年度・平成 26 年度】

南海トラフ連動型地震における下水道施設の想定被害と必要な復旧支援人員等の検討結果に基づき、被害を最小化するために必要な復旧支援体制と、体制構築の実現に向けた課題について検討し取りまとめる。

3. 南海トラフ連動型地震における下水道施設被害想定

南海トラフ連動型地震における想定地震について、昨年度業務では、中央防災会議が発表した「南海トラフ巨大地震の被害想定（第一次報告）」³⁾に基づき被害想定を行ったが、新たに詳細な被害想定が発表されたため見直しを行った。

本調査では、自治体毎に想定された地震（震度階級）・津波（津波高）に基づき、下水道管路施設の被害延長と下水処理場の浸水被害想定を検討した。

3. 1 下水道管路施設の被害

平成 24 年度は、震度階級及び管種をパラメータとして下水道管路施設の被害想定を実施した。平成 25 年度は、平成 24 年度のパラメータに周辺地盤の液状化の影響を加えて検討した。

南海トラフ連動型地震における地震・津波による下水道管路施設の被害想定フローは図 1 の通りとした。

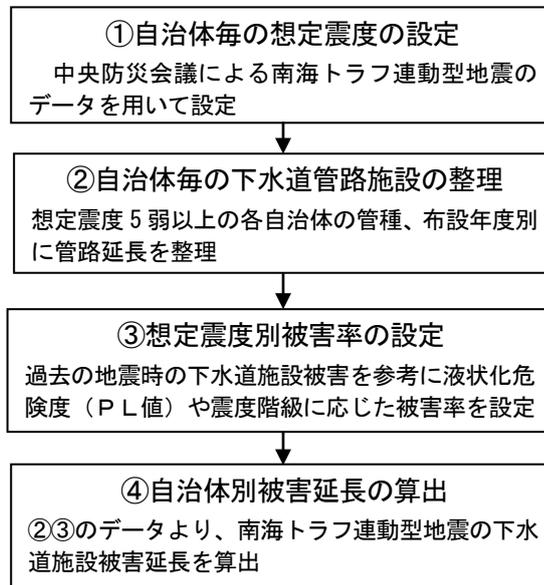


図 1 被害想定フロー

(1) 自治体毎の想定震度の設定

震度の想定は、「南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）強震断層モデル編－強震断層モデルと震度分布について－」（平成 24 年 8 月 29 日、南海トラフの巨大地震モデル検討会）に示された断層モデルより中央防災会議が算出した計測震度を用いた。また、本検討では、下水道施設の広域支体制の問題点を抽出するため中央防災会議「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」が平成 25 年 3 月 18 日に「南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）」で公表されている 4 つの地震動ケースのうち揺れによる被害が最大になる陸側ケース及び、震度 6 弱以上が最も広域に広がる基本ケースの 2 ケースを選択し、それぞれの想定計測震度の最大および、平均値を自治体ごとに算出し、想定震度階級を設定した。

(2) 自治体毎の下水道管路施設の整理

先に設定した想定震度で震度 5 弱以上となる自治体において下水道施設被害が生ずるものとして、該当する自

治体を抽出するとともに、検討の対象となる下水道管路施設を整理した。なお、震度 5 弱以上としたのは、表 1 に示す過去 10 年の地震において、震度 5 弱未満の自治体では、下水道管路施設被害が報告されていないことによるものである。

ここでは、国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」）が毎年実施している布設年度別管路延長全国実態調査のデータ（平成 24 年度末）を用いて、地震により被害が想定される自治体毎の管路延長を整理した。

この結果、地震による下水道管路施設被害が想定される自治体の管路総延長は約 30 万 km（全国管路延長の 3/4）、うちコンクリート管が約 11 万 km、陶管が約 2 万 km、塩化ビニル管が約 15 万 km、その他が約 2 万 km であった。

表 1 過去の地震による下水道管路施設被害が発生した地震（東日本大震災以前の 10 年）

発生日時	地	震	Mj	震源の深さ (km)	最大震度
2001年3月24日	平成13年 芸予地震		6.7	60	6弱
2003年5月26日	宮城県沖		7.1	71	6弱
2003年7月26日	宮城県北部		6.4	12	6強
2003年9月26日	平成15年十勝沖地震		8.0	42	6弱
2004年10月23日	平成16年 新潟県中越地震		6.8	13	7
2005年3月20日	福岡県西方沖		7.0	9	6弱
2005年4月20日	福岡県西方沖		5.8	14	5強
2005年8月16日	宮城県沖		7.2	42	6弱
2007年3月25日	平成19年 能登半島地震		6.9	11	6強
2007年7月16日	平成19年 新潟県中越沖地震		6.8	17	6強
2008年6月14日	平成20年 岩手・宮城県内陸地震		7.2	8	6強
2008年7月24日	岩手県沿岸北部		6.8	108	6弱
2009年8月11日	駿河湾		6.5	23	6弱
2011年3月11日	東北地方太平洋沖地震		9.0	24	7

（3）想定震度別被害率の設定

下水道管路施設被害想定は下記の式を用いて計算する。

$$\text{想定被害延長} = \text{布設延長} \times \text{被害率}$$

地震発生時の構造物被害は、計測震度の変化に応じて被害は大きくなる傾向があるが同様の震度であっても被害の有無が大きく異なることが様々な構造物の被害分析調査で報告されている⁴⁾。下水道管路施設は、地中に埋設されていることから周辺の地盤条件により被害形態が異なり、液状化による地盤変状は地震動による地盤ひずみよりも地中構造物に与える影響が遙かに大きいと考えられている。⁵⁾ このことから被害率の設定は、地震動の大きさに加え、地盤の条件等の被害の大きさに影響する因子を考慮して決定する必要がある。

そのため本検討では、被害想定を実施する上で表 3 に示す項目を被害率に影響を及ぼす因子として抽出した。

平成 24 年度は、最も簡易な式で被害想定を行うために評価項目を絞って検討をするため「■」を評価項目したが、本検討結果が内閣府発表の機能支障人口から推測される下水道管路被害延長と比べ過大となったため、平成 25 年度の検討では、評価の項目に「●」が示される項目を加え算出した。また、「□」については、被害率に影響を及ぼす因子ではあるが管路埋設位置の詳細な情報が必要になるなど、簡易的な試算が困難なため本検討では評価対象としていない。

被害率の算出に用いる地盤条件や管種の違いによる被害率は、平成 18 年大規模地震による下水道被害想定検討委員会⁶⁾で、兵庫県南部地震・新潟中越地震の下水道施設被害に基づき管種、震度や地盤条件を考慮し決定され

た被害割合（表 2）を用いた。

表 2 液状化危険度別、震度階級別、管種別の平均被害率（％）

管種	液状化危険度	PL値 計測震度基準値	震度階級				
			5弱	5強	6弱	6強	7
			4.75	5.25	5.75	6.25	6.75
塩ビ管 陶管	A～D	ALL	1.0%	2.3%	5.1%	11.3%	24.8%
その他の 管	A	15<PL	0.6%	1.3%	3.0%	6.5%	14.5%
	B	5<PL≤15	0.5%	1.0%	2.2%	4.8%	10.7%
	C	0<PL≤5	0.4%	0.9%	2.0%	4.5%	9.8%
	D	PL=0	0.4%	0.9%	1.9%	4.2%	9.2%

（４）自治体別被害延長の算出

南海トラフ連動型地震における地震・津波による下水道管路施設の被害延長は、震度 5 弱以上の震度が想定される自治体の PL 値及び震度階級別被害率に管種別管路布設延長を乗じ算出する。

中央防災会議で想定した基本ケース、陸側ケースの 2 つの想定計測震度を用いて自治体ごとにどちらかの大きい計測震度を抽出した最大ケース及び 2 つの計測震度の平均を用いた平均ケースの 2 ケースについて被害延長を算出した結果、東日本大震災の下水道管路施設被害延長と比較すると平均ケースで約 4 倍、最大ケースで、10 倍に相当する下水道管路施設被害があると予想された。

3. 2 下水処理場の被害想定

平成 24 年度は南海トラフ連動型地震における地震・津波による下水処理場の被害想定について、地震動による被害と津波による被害に区別して想定を行った。しかし過去の地震の実績より、地震動のみの被害で稼働停止に陥る可能性は低いと考えられたため東日本大震災での地震被害について再整理したところ、上水など構内配管の損傷、エキスパンションジョイントからの漏水などが主な被害であり、復旧支援が必要な重大な被害は発生していないことが分かった。そのことから平成 25 年度は、下水処理場が地震動で重大な被害を受けないと仮定した。また津波については、平成 25 年度新たに津波浸水深をパラメータとして損傷度合の検討を実施した。詳しい被害想定フローを図 2 に示す。

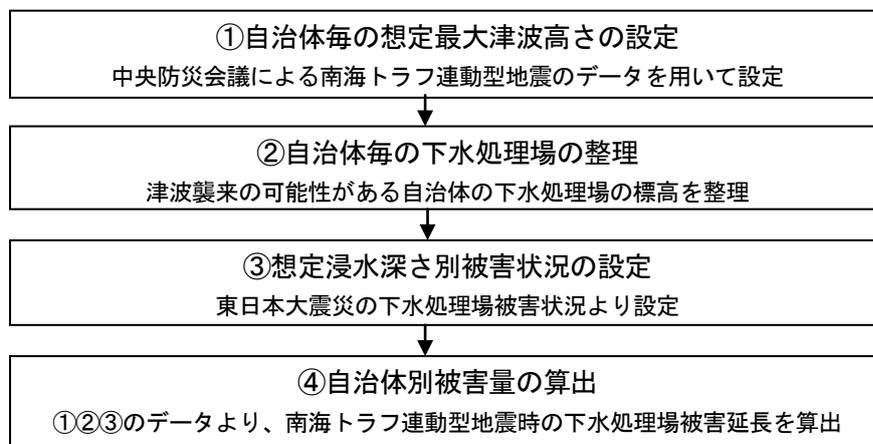


図 2 被害想定フロー

表3 被害率に影響を与えると考えられる因子

大別	項目	種別	主なパラメータ	評価 ●H25追加 ■H24評価	備考
地震規模		基本条件	・想定されるマグニチュード、震度、加速度、SI値及び範囲。	■	
共通	周辺地盤	土質による液状化	・埋設位置の土層が沖積層であり、下記条件全てに該当する地盤である。 i 地下水位が現地盤面から10m以内、かつ、現地盤面から20m以内の深さに堆積する飽和した土質。 ii 細粒分含有率 F_c が $F_c \leq 35\%$ 、又は、 $F_c > 35\%$ でも塑性指数 I_p が $I_p \leq 15$ の土層。 iii 粒径が50%通過粒径 $D_{50} \leq 10\text{mm}$ 、かつ、10%通過粒径 $D_{10} \leq 1\text{mm}$ である土層。	●	下水道施設の耐震対策指針と解説(以下、耐震対策指針) P. 36
		地形による液状化	・微地形区分による液状化のしやすい地形。 液状化する可能性が高い地域：現河道、旧河道、旧水面上の盛土地、埋立地 ・人工改変地区(宅地造成に伴う造成区域)である。	●	下水道の地震対策マニュアル(以下、マニュアル) P. 37
		液状化危険度	・周辺地盤の液状化危険度PL値が高い区域である。 一般的に、 $5 < PL$ で液状化発生の可能性がある。	●	「液状化対策技術検討会議」検討成果(資料3) P17
		粒度分布による液状化	・砂の粒径加積曲線からの想定。(均等係数 U_c が $U_c \geq 3.5$ だと液状化可能範囲が広がる)	□	マニュアル P. 38
		地盤特性	・側方流動による永久ひずみ。 i 護岸近傍の液状化地盤(護岸から100m未満) ii 内陸部の液状化地盤(護岸から100m以上) iii 非液状化の傾斜地盤(地表面勾配が5%以上の盛土) ・埋設管路の通過位置に、地盤の硬軟急変部が存在する。	□	耐震対策指針 P. 44 (地盤の永久ひずみ)
管路施設	埋戻土	地下水位	・地下水位が高い。(GL-3.0m以浅)	□	
		周辺地盤	・周辺地盤が軟弱な地盤である。(緩い砂地盤(概ね N 値 ≤ 15)、軟弱粘性土地盤(概ね N 値 ≤ 7)等) ・周辺地盤(微地形区分)における埋戻し土の液状化発生確率が高い。	□	マニュアル P. 39
		経年変化	・施工から15年以上経過している。(2003年に発生した中越地震では、1990年以前に布設された管路の被災がほとんど無かった：エイジング効果)	□	下水道新技術研究所年報(2005年) P. 88
	地震動被害	施工年次	・耐震設計指針の改定後の施工である。	■	
		土被り	・埋設深度の深さ。(管渠の土被りがGL-2.0m以深、かつ地下水以下)	□	
		布設方法	・施工方法は、開削工法又は非開削工法(推進工法、シールド工法)である。	□	管路施設布設条件
		使用環境	・自然流下管、又は圧送管(埋設及び露出管路、水管橋等)である。	□	
		使用管種	・鉄筋コンクリート管、硬質塩化ビニル管、陶管、ダクタイル鋳鉄管他	■	
		使用管径	・埋設管渠は、円形管(小口径管、中大口径)、矩形渠、馬蹄渠である。	■	
		耐震対策	・耐震対策用継手の採用や埋戻土の液状化対策を実施している。	■	
マンホール	・現場打ち又は側塊ブロックを使用した人孔である。	□	耐震対策指針の改定に伴う耐震対策設計項目		
	・人孔内へ土砂の流入を防止する対策、又はズレ止めが施されている。	□			
	・マンホール浮上対策を実施している。	□			
津波被害	管路施設	・管路との接続部は可とう製継手を採用している。	■		
		・橋梁添架部における圧送管流出対策を実施している。	□	津波における被害想定要因	
		・マンホールポンプ制御盤の浸水被害対策を実施している。 ・吐口形状により津波対策(河川遡上した逆流水による人孔蓋飛散や土砂、瓦礫の流入防止)を実施している。	□	「下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書 被害調査結果」を参照	
ポンプ場・処理場	地震動被害	施工年次	・耐震設計指針の改定後の施工である。又は、耐震補強工事施工が終了している。	■	
		施設の耐震対策(液状化)	・液状化に伴う側方流動による基礎杭への影響対策を実施している。	■	耐震補強対策(可とう製継手、耐震壁、側方流動対策、バイパス水路、機・電施設のブロック化等)実施の有無
			・液状化による施設の沈下及び傾斜、及び周辺地盤の沈下対策を実施している。	■	
			・応急復旧用地(塩混等)の確保が可能である。 ・場内配管の耐震化補強工事が実施されている。	□	
	津波被害	施設位置	・ポンプ場・処理場の海岸からの距離及び標高。(障害物の有無)	■	津波における被害想定要因 「下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書 被害調査結果」を参照
			・地震による想定津波高及び浸水深。	■	
		施設配置	・津波の浸入方向に対する施設の配置。	□	
			・建物開口部(扉・窓)の位置と津波浸入方向。	□	
		処理施設	・軽量資材の固定を実施している。(FRP製覆蓋など軽量覆蓋は、津波による浮力作用で流出被害が発生しやすい)	□	
		施設構造	・津波による浸入水防護壁や波圧及び漂流物の衝突を考慮した構造補強対策を実施している。	□	
・管理棟、水処理及び汚泥処理施設等の建屋は2階建て以上である。	□				
漂流物	・処理施設内への漂流物(瓦礫・車・流木等)流入対策を実施している。	□			
	機械設備・電気設備	・機械設備の防水性を実施している。	□		
・電気設備の設置位置及び防水性を実施している。(高層階への設置等)		□			

(1) 自治体毎の想定最大津波高さの設定

自治体毎の想定震度の設定にあたっては、中央防災会議の南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループが平成24年8月29日に「南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）」で算出に用いた11ケースの津波のうち浸水範囲の大きくなる5ケースを抽出し、5ケース中の最大値を各自治体の最大津波高さとした。

(2) 自治体毎の下水処理場の整理

各自治体の下水処理場の位置を下水処理場ガイド2010⁷⁾により調査しGISで標高を算出した。

(3) 想定浸水深さ別被害状況の設定

(1)で算出した自治体毎の最大津波高さ(2)下水処理場の位置の標高を比較した。対象とした下水処理場は中央防災会議にて南海トラフ連動型地震に伴う津波被害を想定している都道府県の全下水処理場数とした。また東日本大震災の下水処理場の被害状況踏まえ下記の条件で一部損傷、全機能停止に分けて算出した。

┌	一部機能停止	: 0.5m ≤ 浸水深 < 1.0m
	全機能停止	: 浸水深 ≥ 1.0m

(4) 自治体別被害量の算出

南海トラフ連動型地震の津波による下水処理場の想定被害量を試算すると、対象下水処理場916箇所のうち約1割が浸水し、浸水する下水処理場のうち2割が一部機能停止、6割が全機能停止という想定結果となった。地方整備局別の想定結果を表4に示す。

表4 地方整備局ごとの被害下水処理場数

地方整備局名	対象処理場数	一部機能停止	全機能停止
		(0.5m ≤ 浸水深 < 1.0m)	(浸水深 ≥ 1.0m)
関東地方整備局	149	1	1
中部地方整備局	148	4	23
近畿地方整備局	210	7	16
中国地方整備局	178	2	2
四国地方整備局	92	8	20
九州地方整備局	139	5	14
合計	916	27	76

4. 下水道管路施設の復旧支援人員の算出

地震発生後、下水道管路施設の災害復旧を行うためには、重要な下水道管路施設を中心に地上から被害状況を把握し、大きな機能支障や二次災害の原因となる被害を発見するために行う緊急点検、二次調査の必要を判断するためにマンホール等を開けて目視調査を行う一次調査、本復旧が必要な箇所及びその施工法等の判断や災害査定資料の作成を目的とし、テレビカメラ調査を実施する二次調査を行う必要がある。しかし大規模災害によって下水道管路施設被害が広範囲にわたり発生した場合、調査延長が長くなるため単一自治体で対応すると調査期間が長期にわたり下水道管路施設の復旧が遅延する恐れがある。そのため他の自治体から支援チームを派遣し、迅速に調査を完了できるよう大都市ルールや全国ルールなどが作成されている。しかし、現在作成されているルールの想定を超えた大規模な地震では、下水道管路施設の復旧支援を行う周辺自治体も被害を受け、復旧支援が出来なくなることが想定されることから、復旧支援人員の不足が懸念される。そこで、南海トラフ連動型地震では、どの程度の復旧支援人員が必要になるのかを試算した。

南海トラフ連動型地震発生時の復旧支援人員の試算方法のフローを図3に示す。

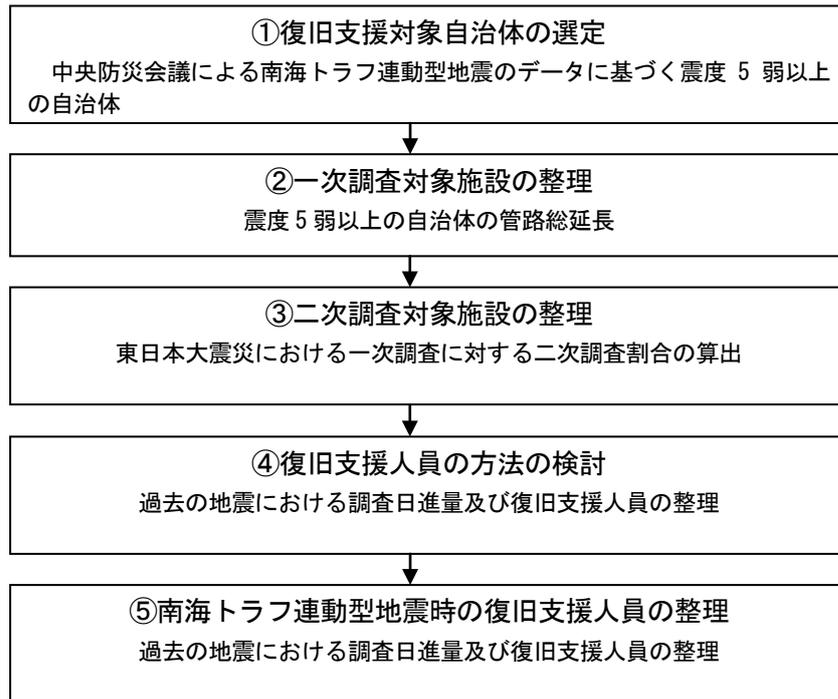


図 3 復旧支援人員の試算方法のフロー

(1) 復旧支援対象自治体の選定

前述の南海トラフ連動型地震における下水道施設被害想定で対象とした自治体（震度 5 弱以上）の下水道管路施設延長を対象とした。

(2) 一次調査対象施設の整理

(1) で対象とした自治体の一次調査対象延長は、国総研が毎年実施している全国の敷設延長調査結果に基づき、対象となる自治体の下水道管路施設の総延長とした。

(3) 二次調査対象施設の整理

二次調査の対象施設は、過去の地震における一次調査延長と二次調査延長の割合から算出した。対象とした地震は、東日本大震災の仙台市の事例を用いて算出した。また、本復旧に必要な延長についても同様に二次調査延長と本復旧延長の割合を東日本大震災の事例を用いて算出した。（表 5）

表 5 対象調査延長割合（仙台市実績）

対象調査延長割合	実績(Km)	割合(%)
二次調査延長/一次調査延長	230.3/4525.0	5.09%
本復旧延長/二次調査延長	36.96/230.3	16.05%

(4) 復旧支援人員の方法の検討

一次調査、二次調査に必要な復旧支援人員を算出した。大規模災害発生時には、被災自治体の行政機能が停止する可能性があることから調査対象となる延長すべてを対象に復旧支援を行うことを前提に算出した。必要な復旧支援人員の算出は、過去の地震より一日当たりの調査日進量を調査した。また、1 班当たりの編成人数・機材についても調査した。対象とした地震は東日本大震災の仙台市の事例を参考に算出した。仙台市における日進量及び 1 班あたりの編成人員数を表 6 に示す。

表6 1日当たり調査日進量（仙台市実績）

調査種類	1日に当たりの調査延長・箇所数 (平均値)	1班あたりの編成人数
一次調査	5～9km	4～5人
二次調査	100～300m	4～5名(TVカメラ、洗浄車、給水車、吸引車)
二次調査 (マンホール調査)	約20か所	4～5人

（5）南海トラフ連動型地震時の復旧支援人員の整理

（1）より算出した一次調査の対象下水道管路延長 306, 221 k mに（3）の割合を乗じて算出すると二次調査対象延長 15, 587 k m、本復旧対象延長 2, 502 k mとなった。また、それぞれの調査対象延長に（4）の日進量を用いて調査終了までの日数を算出すると一次調査 61, 244 日、二次調査日数が 51, 956 日となり、必要復旧支援人数を算出すると一次調査では 170, 170 人、二次調査では 259, 810 人が必要となった。例えば一次調査を 30 日で完了させる場合一日当たりの一次調査人員は約 5700 人となり、全国の技術系下水道関係職員数のうち被災自治体を除くと約 1800 人であることから明らかに調査人員が不足することが想定される。

5. 即時被害想定計算シート

5. 1 即時被害想定計算シートの作成

下水道管路施設が地震によって大きな被害を受けた場合、二次被害の防止措置の実施、迅速な下水道機能の復旧を目的に他の自治体による復旧支援が行われる。しかし、復旧支援の要請は、被災自治体が被害規模を調査し、要否の判断をするため、大規模な地震の際には下水道施設の被害規模の把握に時間がかかり迅速な復旧支援要請が困難となる。

そのため被災自治体の状況が把握できない情報空白期に下水道管路施設被害延長や被害地域の範囲を推測することで、事前に復旧支援の準備や支援エリアの特定を実施し、早期に下水道施設復旧支援体制の確立が可能となる。このことから、地震発生直後に発表される震度データを用いて下水道管路被害延長の想定が可能な計算シートを作成した。即時被害想定計算シートの作成フローを図4に示す。

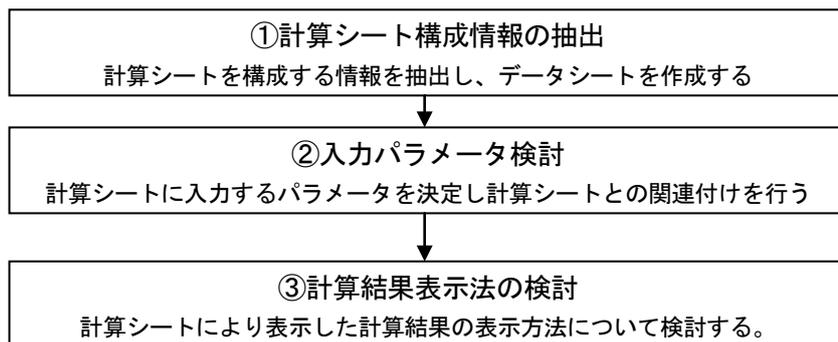


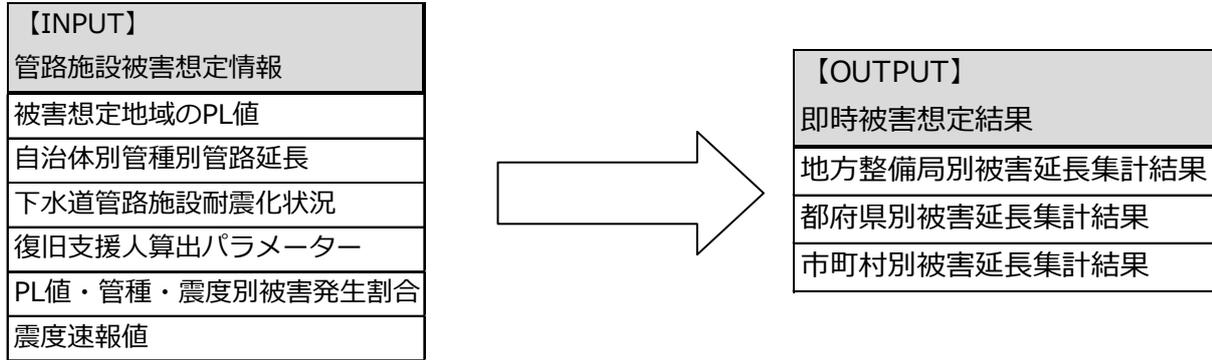
図4 即時被害想定計算シートの作成フロー

（1）計算シート構成情報の抽出

計算シートは、自治体毎の管種別延長、P L値、耐震化状況、及び管路施設条件に応じた被害割合の情報より構成されている。またこのデータに各地の計測震度（地震直後に得られる観測所等データ）を与えることで下水道管路施設被害延長、及び一次調査及び二次調査に必要な復旧支援人数を算出することが可能なシステムである（表7）。なお即時被害想定計算シートは、南海トラフ連動型地震等の大規模地震時の早期に復旧支援体制に必要な

情報提供を目的としたため、被害が想定されている関東地方から九州、沖縄を対象としている。

表 7 計算シートの構成情報



(2) 入力パラメータ検討

地震による建造物の被害想定を行う場合、地震動の地表面特性を細かく算出することで精度を向上することが可能である。しかし、計算シートでは、地震発生直後に得られる各地の地表面の地震特性を示す情報でなければならないことから、地震直後に強震観測網 (K-net)⁸⁾ に公表される計測震度を用いることとした。K-net は各自治体に 1 箇所以上の観測点が設置されているため観測点が 1 箇所の場合はその値を用い、1 自治体に 2 点以上の観測点がある場合は計測震度の平均の値とした。

(3) 計算結果表示法の検討

計算結果の表示については、算出が市町村単位のため市町村単位で被害延長の大きさに色分けを行い、市町村名、被害延長、一次調査人数、二次調査人数を地図上に表示し、流域下水道のようにいくつかの市町村にまたがる場合は対象となる地域の近傍に文字の色を変えて表示可能にした。また大規模災害時には、各都道府県又は地方整備局に災害対策本部が設置されることから都道府県、地方整備局ごとの表示も可能にした。(図 5)

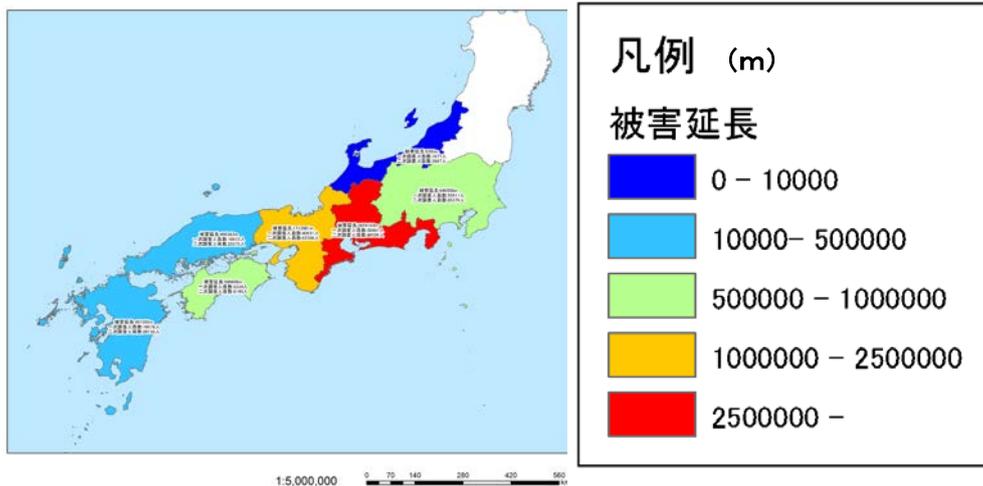


図 5 計算結果表示の例

5. 2 計算シートによる既存地震による検討

計算シートの精度確認のため、表 8 に示す過去の地震の計測震度を用い下水道管路施設被害延長を算出し各地震による被害実績との比較を行った。

(1) 精度確認に用いた過去の地震

気象庁の震度データベース⁹⁾上の南海トラフ連動型地震で震源地域の近傍で、発生した地震から震度5強以上の地震を抽出し、実測された自治体の計測震度を計算シートに入れ、管路被害延長を算出した。また、実地震による被害延長は、国土交通省災害・防災情報ホームページ¹⁰⁾より被害状況を確認した。また新潟県中越沖地震については、国土技術政策総合研究所の地震被害調査報告書より被害延長を確認¹¹⁾した。

表8 計算シートの精度確認に用いた過去の地震

No.	発生日時	震源地	緯度	経度	震源の深さ	マグニチュード	最大震度階級
1	2014/3/14 2:06	伊予灘	33° 41.5' N	131° 53.4' E	78km	M6.2	5強
2	2013/4/13 5:33	淡路島付近	34° 25.1' N	134° 49.7' E	15km	M6.3	6弱
3	2011/7/5 19:18	和歌山県北部	33° 59.4' N	135° 14.0' E	7km	M5.5	5強
4	2009/8/11 5:07	駿河湾	34° 47.1' N	138° 29.9' E	23km	M6.5	6弱
5	2007/7/16 10:13	新潟県中越沖	37° 33.4' N	138° 36.5' E	17km	M6.8	6強

(2) 計算シートによる検討結果

計算シートを用いて過去の地震による精度確認の結果を表9、図6に示す。今回対象とした5地震のうち計算シートにより算出した下水道管路施設被害延長は、伊予灘1.4km、淡路島付近0.7km、和歌山県北部0.015km、駿河湾16.9km、新潟県中越沖地震40.6kmとなった。一方、対象とした5地震のうちで下水道管路施設に大きな被害が発生したのは新潟県中越沖地震のみで50.4km、駿河湾を震源とする地震で8か所の路面異常が発見された。その他の地震では、下水道管路施設被害の被害は報告されていない。計算シートでは、被害が発生したが実被害がなかった事例は、最大震度5弱及び、震度6弱の一部の地震であった。

これは、今回作成した計算シートでは市町村ごとに1つの震度階級と地盤の情報であるPL値を使用しているため、想定震度階級と実際の地震動及び地盤条件に乖離があったためであると考えられる。特に、最大震度が5強のような地震について計算シートでは、対象とする市町村全域に最大震度の地震動が発生していると仮定して計算されているのに対し、実地震では、地震計の設置位置で5強であるが周囲は震度5弱、震度4などの地域が含まれる可能性があり、この違いが計算結果と実被害延長の差の原因であると考えられる。

本計算シートを最大震度が5強、6弱で1~2自治体に被害が発生地震するような地震に適応するには、より詳細な地震動情報や地盤情報を計算に反映させる必要があると考えられる。

一方、新潟県中越沖地震における10数自治体以上に下水道施設被害が発生する検討では、下水道管路の実被害が約50.4kmなのに対し、計算結果が52.2kmと算出され、対象延長3000kmに対し0.6%の誤差となった。また復旧支援人数については、「能登半島地震・新潟県中越沖地震」北陸地方整備局の取り組みと地域支援報告書¹²⁾における、柏崎市及び出雲町の復旧支援実績として、一次調査では695人、二次調査では590人であり、計算結果の一次調査2895人、二次調査465人と比較し、一次調査4倍、二次調査は、ほぼ同一の数字となった。一次調査が大きく異なる理由として、計算シートでは震度5強以上の自治体の総延長を点検することを想定しているのに対し、新潟県中越沖地震の際は、復旧支援隊による本格的な一次調査が発災後一週間から開始されており¹³⁾復旧支援到着前に各自治体で緊急点検等を実施し、復旧支援隊が到着前に一次調査箇所の絞り込みが行われているためであると推測される。

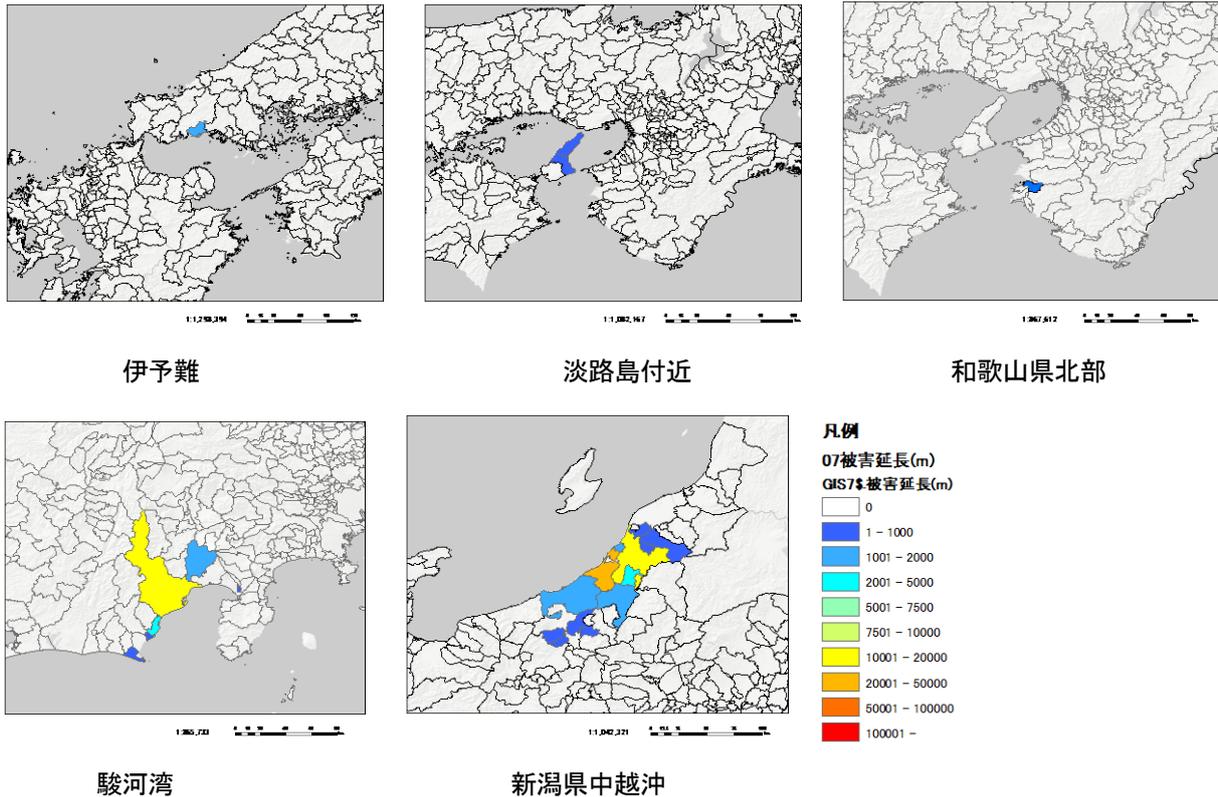


図6 計算シートを用いた被害延長計算結果

表9 計算シートを用いた結果と次被害の比較

No.	震源地	最大震度階級	計算シートによる試算結果	実被害延長	管きよ被害状況
1	伊予灘	5強	1,461 m	0 m	被害なし
2	淡路島付近	6弱	697 m	0 m	被害なし
3	和歌山県北部	5強	15 m	0 m	被害なし
4	駿河湾	6弱	16,894 m	0 m	路面異常8か所
5	新潟県中越沖	6強	52,151 m	50,400 m	被害あり

6. まとめ

本検討では、中央防災会議に設置された南海トラフ巨大地震対策ワーキンググループが発表した最終報告書に基づく地震動及び最大津波高さを用いて下水道施設の被害想定を行った。また、迅速な復旧支援を行うことを目的に、地震発生直後に下水道管路被害を推測できる、即時被害想定計算シートを作成した。

下水道施設の被害想定の結果、下水処理場の津波被害が東日本大震災の4倍、下水道管路施設が東日本大震災の約10倍と想定された。また一日当たりの一次調査支援人員は約5700人となり、全国の下水道管理部署に所属する技術系正規職員（被災自治体を除く）の約3倍の人数が必要であると試算され、明らかに支援人員が不足することが分かった。この問題を解決するには、被害想定に基づく復旧支援人員配置や、支援を優先すべき自治体の抽出条件、現在考慮していない下水道関連団体やOBの活用による復旧支援体制などの検討が必要である。

即時被害想定計算シートの精度試算結果では、検証した過去の地震において、計算結果と誤差が生じた。予測精度を向上し実被害と計算結果の誤差を少なくするためには、震度が小さい時の下水道被害率の設定方法の見直しや、最大震度による被害率の設定方法の見直しなどが考えられる。

今後は、支援人員や支援機材に制限がある場合の効率的な下水道災害復旧支援体制を構築すると共に、即時被害想定計算シートの精度向上と被害想定情報の共有方法について検討する予定である。

参考文献

- 1) 加藤篤、永原龍典：災害時の避難所等のトイレ・衛生対策、保険医療科学 2010 Vol. 59 N02 pp116-124
- 2) 南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）、中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、2013. 3. 18、
- 3) 南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）、中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、2012. 8. 29、
- 4) 高田至郎：ライフライン地震工学、共立出版株式会社 1991. 9. 25, pp238
- 5) 鎌田康子：鹿島地域の液状化による管路被害集中地域と地建変遷、日本地震工学会論文集 第12巻、第4号（特集号）、2012、pp. 249～262
- 6) 大規模地震による下水道被害想定検討委員会：大規模地震による被害想定手法及び想定結果の活用方法に関するマニュアル、平成18年3月
- 7) 下水処理場ガイド2010、公共投資ジャーナル社、
- 8) 防災科学研究所ホームページ、強震観測網 <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 9) 気象庁震度データベース：<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>（2014年3月時点）
- 10) 国土交通省ホームページ災害防災情報：<http://www.mlit.go.jp/saigai/index.html>（2014年3月時点）
- 11) 国土技術政策総合研究所：平成19年（2007年）新潟県中越沖地震被害調査報告：p26、2008年2月
- 12) 北陸地方整備局：能登半島地震新潟県中越沖地震北陸地方整備局の取り組みと地域支援、p162、平成20年4月
- 13) 柏崎市ガス水道局：「7.16 新潟県中越地震」復旧のあゆみ、p172、平成22年9月

2. 社会資本等の維持管理効率化・高度化のための情報蓄積・利活用技術の開発

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

1. はじめに

膨大な下水道管渠ストックを抱える地方自治体では現在、料金収入の減少等による下水道事業経営の脆弱化、ベテラン職員の退職に伴う人員不足といった課題を抱えている。今後、時間の経過とともに老朽化していく既存施設を、限られた人員、予算で、適正に管理し機能の持続性を確保していくためには、下水道事業へのアセットマネジメントの導入により持続的な下水道事業への転換を図っていくことが求められている。アセットマネジメントの導入のためには設計、工事、維持管理の各段階で得られた情報を適切に管理、運用する必要があり、下水道法においても下水道施設管理情報の保管義務が定められているものの、過去の調査では未だ4割の自治体が紙媒体で下水道台帳を保管しており、情報の効率的な運用がなされていない現状が明らかとなっている。特に小規模の自治体ほど、コスト等の問題により下水道管渠の設計や工事段階、維持管理段階等の情報の収集、管理が進んでいない傾向にあり、また政令市においても収集した情報の活用が進んでおらず、下水道管渠の維持管理の効率化を図れていないといった課題を抱えている。

以上を踏まえ、本研究では、情報システムの活用によるアセットマネジメントの推進に向け、下記の項目を実施するものである。

- ①下水道管渠管理情報に関する実態調査 (H25-H26)
- ②下水道台帳情報等の電子化の促進に関する検討 (H25-H28)
- ③電子化した台帳情報の利活用技術に関する検討 (H26-H28)

平成25年度は、①としてアンケート、ヒアリング等による下水道事業者への実態調査、先進事例の収集を行い、②として地方中心都市クラスの自治体（人口10万人程度）での業務の効率化という観点からABC分析を活用した情報システム導入効果の評価に関する検討を行った。

2. 下水道管渠情報管理に関する実態調査

下水道事業者（300自治体）へのアンケート調査を実施し、下水道管路維持台帳等のデータベースシステムの整備状況に関する実態把握を行った。調査の結果、システムの主な利用用途としては、「下水道台帳閲覧・管理」が主であり、次いで「排水設備、除外施設管理」や「工事管理」、日常的な「事故・故障・要望・苦情等の受付業務支援」が多い。一方、「事業計画支援」、「固定資産管理」のための運用実績は少ない（図1）。またICT技術の利用意向としては、「ノウハウの集積、共有による教育・技術継承への活用」が「長寿命化支援計画策定支援機能」よりも高く、職員の人材不足や技術力の低下等、自治体抱える問題が如実に表れているといえる（図2）。

現在のシステム運用上の課題としては、今後の長寿命化対策やアセットマネジメントに必要となる「過去の点検調査や修繕記録等が残っていない」ため、適切な施設管理が行えていない点を挙げる自治体が多く、今後、アセットマネジメントの導入による業務効率化を図るうえでの課題といえる（図3）。

なお、今回併せて実施したシステムの開発会社を対象とした導入コストに関する聞き取りでは、基本ソフトウェアや、導入する業務支援機能等により導入コストは変動するものの、コストの5割～8割をデータ整備費が占め

ることが明らかとなっている（表 1）。これは、紙ベースの下水道台帳図とデータベースシステムの電子化地形図のフォーマットが異なる場合が多く、これらの補正作業に専門性を必要とする点などが理由として挙げられ、これらの作業の省力化が課題であるといえる。

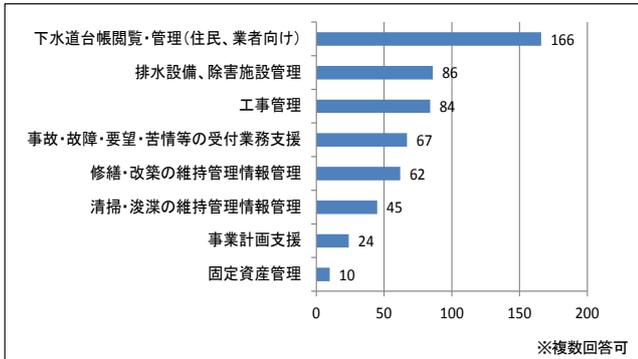


図1 システムの主な利用用途

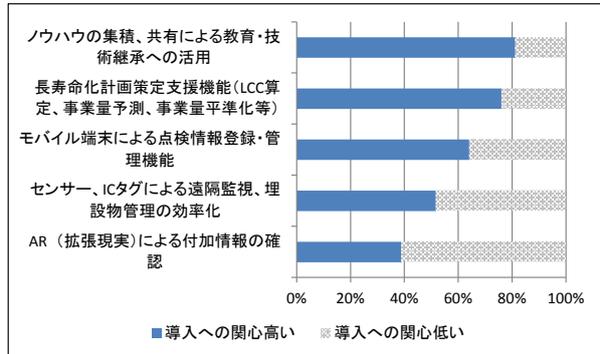


図2 ICT技術の利用意向

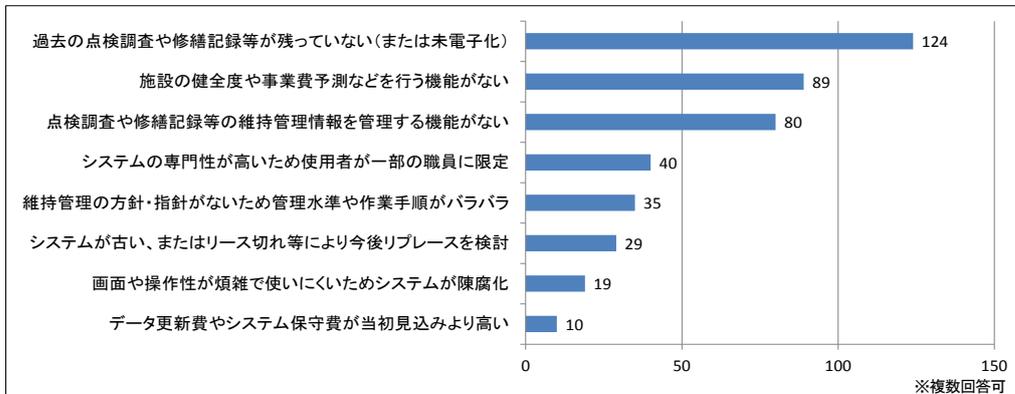


図3 現在のシステム運用上の課題

表1 システム導入コストの内訳

		(千円)		
導入台数		ケース1	ケース2	ケース3
A)	ライセンス費用等	1	3	10
	1 基本ソフトウェア	スタンドアロン型(閲覧)	クライアント/サーバ型(閲覧/編集)	WEB配信型(閲覧/編集)
		3,750	7,000	10,000
	2 下水道パッケージ機能 (下水道施設台帳、維持管理情報等の閲覧、編集、検索機能)	2,500	2,500	2,500
	3 初期導入設定・調整費	2,000	2,000	2,500
	4 必要に応じた業務支援機能	1,000	1,000	21,000
B)	データ整備費 管渠延長 400km kmあたり 100千円の条件で試算	40,000	40,000	40,000
C)	ライセンス保守費(年額) 『1+2』の20%	1,250	1,900	2,500
初期導入トータル額		50,500	54,400	78,500

スタンドアロン型：データベースとGIS機能の両方を自治体側にインストールし、サーバ機を利用しない方式

クライアントサーバ型：データベースをサーバ機で管理し、GIS機能は自治体側にインストールされる方式

WEB配信型：データベースをサーバ機で管理し、自治体側では、WEBブラウザを通じてGIS機能を利用する方式

3. 先進自治体の調査

(1) 先進自治体の概要

情報システムの活用により下水道維持管理の効率化に寄与している先進的事例としてA市(人口107万人 下水道布設延長約4,600km)、B市(人口42万人 下水道布設延長約1,200km)の2自治体を選定し、自治体担当

者等へのヒアリング及び関連資料の収集整理等を通じて、より詳細な情報システムの内容、運用状況、諸費用等を明らかにした。2自治体のシステムの概要を表2に示す。

A市、B市ともに下水道台帳の閲覧・管理や苦情・故障受付の年間の業務量(受付件数)が多く、主に竣工図等の施設情報のシステム化により受付管理における検索、入力、編集の手間を効率化することを目的としてシステムを導入しており、両市ともに下水道台帳システムの閲覧、工事情報管理、苦情・故障受付等の機能を有している。

表2 A,B自治体のシステム概要

		A市	B市
自治体概要	人口	107万人	42万人
	下水道職員	220人(うち下水道管理センター41人)	96人
	管渠施設延長	約4,600km	約1,200km
導入前の検討	導入目的	下水道管理センターの受付管理の軽減のため	下水道台帳閲覧および台帳管理の効率化のため
	検討内容	分科会・ヒアリングなどを行い、業務プロセスを分析し、システム化すべき項目を検討	分科会・ヒアリングなどを行い、業務プロセスを分析し、システム化すべき項目を検討
	期間	約5年(検討開始から業務プロセス完成まで)	約1年
	参加職員人数	分科会・ヒアリングなど、総勢100名が参加	プロジェクトメンバー約15名
システム利用状況	システム利用職員数	閲覧:約40人 更新:38人(下水道台帳を除くデータが対象)	閲覧:約70人 更新:7人(下水道台帳を除くデータが対象)
	台帳閲覧者数(H25実績)	約16,000件	約9,600件(うち出力サービス8,800件)
	苦情受付件数(H25実績)	約3,500件	約900件

(2) ABC (活動基準原価計算) 分析

ABC (Activity Based Costing : 活動基準原価計算) とは、製品やサービスを提供するための間接コストを活動単位に分割し、個々の活動ごとのコストを算出することで、原価計算を行う手法である。ここでは年間の業務量をコストと見立て、細分化した業務プロセス毎の1件あたりのシステム導入後の業務量短縮効果及び年間業務量(人・日/年)をヒアリングにより明らかにし、A市、B市における情報システムの導入効果の評価を行った。結果を表3に示す。

表3 A,B自治体のシステム導入効果

管理区分	業務プロセス	A市		B市	
		年間業務量(人・日/年)	業務量短縮効果(%)	年間業務量(人・日/年)	業務量短縮効果(%)
1 下水道管路施設の管理	下水道台帳閲覧(検索)	796	79%	225	92%
	下水道台帳管理(検索)	414	88%	17	75%
	工事情報管理(検索+入力+編集)	455	90%	15	35%
2 維持管理情報の管理	TVカメラ調査管理(検索+入力+編集)	334	90%	管理機能はあるが、現在データ整備検討中のため、削減割合は未算出	
	清掃・浚渫情報管理(検索+入力+編集)	137	90%		
	改築・修繕情報管理(入力+編集)	82	90%		
	巡視・目視点検管理(検索+入力+編集)	33	90%		
3 日常業務の支援	苦情・故障受付(検索+入力+編集)	621	85%	下水道台帳管理業務に含まれる	
	計画等問合せ	システム化していないため、削減割合は未算出		37	74%
	調整池管理問合せ			10	69%
	普及率算出			3	67%
	受益者負担金賦課物件			20	50%
	維持工事図面作成			9	45%
排水設備計画受付	68			30%	
4 事業計画の策定支援	計画策定支援(検索)	127	90%	現在、直営では実施していないため、削減割合は未算出	
	固定資産管理(検索+入力+編集)	623	90%		

業者等への台帳閲覧サービスについて従来は紙冊子の台帳図を活用し、職員を介した対応を行っていたところ、A市、B市ともにシステム導入後は簡単な操作で閲覧が可能となり、職員の対応の必要がなくなったことから 1

件あたりの対応時間を大幅に短縮することができている。また、苦情受付についても、従来は苦情受付簿により担当職員が対応していたところ、システム導入後はシステムを通じて関係者間で情報共有、発生箇所についてもGIS上で一括管理することにより決裁過程を省略し、1件あたりの対応時間の短縮が図られている。さらに、A市では固定資産管理についても従来は施工業者から納品された報告書の数値をもとに確認・登録作業を行っていたところ、システム導入後は工事情報から自動的に資産情報へ反映させることが可能となり、1件あたりの対応時間の大幅な短縮に寄与している。このように、両市ともシステム導入により、当初目指していた効果が概ね達成されたと評価できる。

4. 地方中心都市クラスの自治体への有効性検証

ケーススタディとして人口10～30万人程度の中小自治体に情報システムを導入した場合の有効性について検証した。ケーススタディの対象として現在、閲覧のみの下水道台帳システムとなっているC市（人口16万人 下水道布設延長約397km）を選定し、前述したA市と同等のシステムを導入した場合の導入効果をC市へのヒアリング及び3.のABC分析の結果を踏まえ、整理した。表4にその一部を示す。C市においては現在、工事情報を紙ベースで管理しているが、これを電子化することにより職員の入力・編集時間を大幅に削減し、業務の効率化が期待できる。また、現在、紙ベースの下水道台帳をPDF化して外部利用者への閲覧業務に利用しているが、検索機能がないため職員が個別に対応していた。これをシステム化し、下水道台帳閲覧機能に検索機能を付けることにより一件あたりの職員の対応時間を約半分に短縮可能であり、年間の作業件数も7,500件と多いことから一定の効果が期待できる。一方、C市の場合、下水道管渠の経過年数が最長で30年程度と比較的新しく、年間の苦情受付件数も同規模の都市と比べて低い水準にあることから、事故や苦情受付の管理機能による業務量短縮効果は工事情報管理等と比べると低いと評価された。ケーススタディの結果、中小自治体においても一定の効果があるとの結果となったが、業務時間の短縮効果については各自自治体の業務プロセス毎の業務量に大きく影響を受けることから、導入前に業務プロセス分析を実施し、システム対象範囲、管理すべき情報項目および運用方法を整理した上で自治体の特性に応じたシステム構築を図ることが望ましい。

表4 C市におけるシステム導入効果試算結果

業務プロセス	主な作業	年間件数 (件)	現在の業務量		導入後の業務量 (試算)		効果 年間 業務短縮 効果 (人・日/年)
			1件当たり 処理時間 (分)	年間 業務量 (人・日/年)	1件当たり 処理時間 (分)	年間 業務量 (人・日/年)	
			(a) 下水道台帳閲覧	検索	7,500	10	
(b) 工事情報管理	検索	150	10	3.1	1	0.3	2.8
	入力・編集	150	450	140.6	45	14.1	126.6
(c) 苦情・故障受付	検索	60	10	1.3	1	0.1	1.1
	入力・編集	60	30	3.8	5	0.6	3.1
合計				305		93	211.7

5. まとめ

ABC分析を活用することにより、自治体へのシステム導入後の業務時間の短縮効果を定量化することができた。なお、情報システムはあくまでアセットマネジメントの実施を補助するためのツールであり、システム導入後も、段階的にブラッシュアップしなければ、いずれ使われなくなることが懸念される。入力した苦情や維持管理情報を蓄積し分析データとして活用するなど、PDCAサイクルの中で継続的な業務改善を図っていくことが重要である。

H26以降はシステム化した台帳情報等の利活用手法として、データベース化された下水道関連情報を活用した管渠内調査箇所の優先度判定について検討を行っていく予定である。

3. 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

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

1. はじめに

下水道施設の耐震対策は過去の大規模地震の度に見直されており、兵庫県南部地震では、それまでの設計地震動をはるかに超える地震動が観測されたことから 1997 年版下水道施設の耐震対策指針（以下 1997 年版指針）¹⁾ に新たにレベル 2 地震動が設定されるとともに下水道施設の液状化対策が記載され、これ以降の指針に基づき建設された下水道施設では地震動による致命的な被害は報告されていない。しかし、1997 年版指針発刊以前に建設された下水道施設は現在想定されている地震動に対する耐震対策がなされておらず、東日本大震災でもこれらの下水道施設に甚大な被害が生じ社会生活に大きな影響を与えた。²⁾

一方、中央防災会議（内閣府）において、近い将来発生が懸念される南海トラフ巨大地震、首都直下地震の震源モデルや被害想定などが検討³⁾ され、ライフラインの一つである下水道施設も大きな被害が想定されている。被害を最小化するためには耐震化を促進し、地震発生時に下水道施設として最低限の機能を維持できるようにする必要がある。しかし、自治体は、限られた人員、時間、逼迫した予算の中で下水道施設の耐震化を行う必要があることから、被害想定に基づく耐震対策箇所の絞り込みなどを実施し、耐震対策の効率化を図る必要がある。

国総研では、限られた予算制等の約条件下で、必要不可欠な耐震対策を施し、下水道施設に被害が発生しても最低限の機能維持（水洗トイレの利用、溢水防止）と早期に機能回復を実現させるために、東日本大震災における下水道施設被害に基づく精度の高い被害想定手法を確立するとともに、事前耐震対策・事後応急対応それぞれの長所を生かした役割分担をした上で、下水道施設の耐震化優先順位を決定できる耐震対策優先度評価手法について検討している。

2. 研究方針と研究計画

本研究の構成は以下のとおりである。

①東日本大震災下水道管路施設被害情報収集整理【平成 25、26 年度】

下水道管路施設の地震被害情報データベースの作成に向けて、東日本大震災における管路施設被害に関する情報を収集し整理する。

②被害想定手法の検討【平成 26、27 年度】

①で整理した下水道管路施設被害情報に基づき既存の下水道管路施設被害想定方法を改良するとともに、住民生活や経済活動に与える影響について評価する。

③事前対策抽出手法の検討【平成 26、27 年度】

既存の事前対策・事後対応についてコストや適応範囲を整理し、事前対策と事後対応の最適な組み合わせ手法について検討する。

④下水道施設の戦略的な耐震対策優先度評価手法の開発【平成 26、27 年度】

②, ③の検討結果に基づき、実自治体に適応させたケーススタディを実施し被害想定や事前対策・事後対応の組み合わせ手法の妥当性、適応性を検討し、下水道施設の耐震化優先度評価手法を開発する。

H25 年度の調査では、地震時において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耐震対策優先度評価手法を確立するために必要となる情報収集を行い、下水道管路施設被害情報（300km/650km）をデータベース化した。

表 1 研究計画

項 目	25年度	26年度	27年度
東日本大震災下水道管路施設被害情報収集整理	←	→	
被害想定手法の改良		←	→
事前対策抽出手法の検討		←	→
下水道施設の戦略的な耐震対策優先度評価手法の開発		←	→

3. 東日本大震災下水道管路施設被害情報収集整理

下水道管路施設の耐震化を効率的に実施するには、地震発生時の下水道管路施設被害箇所を精度よく事前に推定し、管路施設の優先順位に基づいて集中投資や BCP の策定を行う必要がある。しかし、管路施設の被害想定精度向上に有用となる過去の被害データは散逸しており、十分に整理されていない。そのため東日本大震災における下水道管路施設被害情報収集整理を行った。これらの情報を整理することにより、効率的な地震対策計画の作成、被害発生時の情報収集、被害発生時調査項目の提案、産官学における地震関連研究の更なる促進等が期待される。

①下水道管路施設情報の収集

東日本大震災では、約 650 km (130 下水道施設管理団体 (市町村、都道府県等) (以下団体)) の下水道管路施設に被害が生じた⁴⁾。被害のあった下水道管路施設の情報の整理し、それらの傾向を分析することを目的に下水道管路施設被害情報の収集を行った。

下水道管路施設被害情報を整理するため、下水道管路施設の災害査定を受けた団体を対象に、表 2 に示す災害査定資料等の管路施設被害状況が分かる資料、下水道管路施設の位置、管種、管径等の資料、管路施設の周辺地盤状況に関する資料 (施工時のボーリング柱状図、地質調査報告書) の提供を依頼し、68 団体より資料の提出があった。収集した資料は、表 2 の項目ごとに整理した。

表 2 収集資料一覧

項 目	説 明	備 考
路線番号	地区毎の被災管きよの路線の番号	下水道台帳(震災前)
管路位置データ	被災管きよの位置情報	下水道台帳(震災前)、GISデータ、管網図等
管径(mm)	管径	下水道台帳(震災前)
管種	管種	下水道台帳(震災前)
延長(m)	スパン長	下水道台帳(震災前)
施工方法	施工方法	下水道台帳(震災前)
形状	管の断面形状	下水道台帳(震災前)
人孔種類	上・下流側人孔の種類	下水道台帳(震災前)
人孔深	上・下流側人孔の深度	下水道台帳(震災前)
管路土被り	上・下流側の土被り	下水道台帳(震災前)
平均土被り	上流側土被りと下流側土被りの平均	下水道台帳(震災前)
復旧工法	被災した管を本復旧させる際の工法	災害査定時の説明資料、説明図および総括データ、災害本復旧工事竣工図等
被災パターン	被害の種類(たるみ、管のずれ、管の破損など)	災害査定時の説明資料、説明図および総括データ、災害本復旧工事竣工図等
上下流側人孔滞水深	上下流側人孔の滞水深。	災害査定時の説明資料、説明図および総括データ、災害本復旧工事竣工図等
平均人孔滞水深	上流側人孔滞水深と下流側人孔滞水深の平均	災害査定時の説明資料、説明図および総括データ、災害本復旧工事竣工図等
上流人孔浮き上がり量	対象スパンの上下流側人孔の浮き上がり量	災害査定時の説明資料、説明図および総括データ、災害本復旧工事竣工図等
ボーリング結果	施工時のボーリング図(中状図)	施工時のボーリング図(震災前)
標高	周辺地盤の標高	施工時のボーリング図(震災前)
N値	近傍地盤のN値	施工時のボーリング図(震災前)
PL値	PL値試算結果	PL値の試算結果 (震災前)

②地震関連情報の収集

下水道管路施設に対応する東日本大震災の地震動に関する情報は、国土技術政策総合研究所地震防災研究室（現、国土防災研究室）公表データとした。公表されているデータは、地表面最大加速度、SI 値、計測震度を国土交通省、防災科学研究所 K-net、Kik-NET、気象庁の観測データを用いて、単純型 KRIGING 法により空間保管し 250m メッシュごとに計測震度及び SI 値を算出したものである。（図 1）

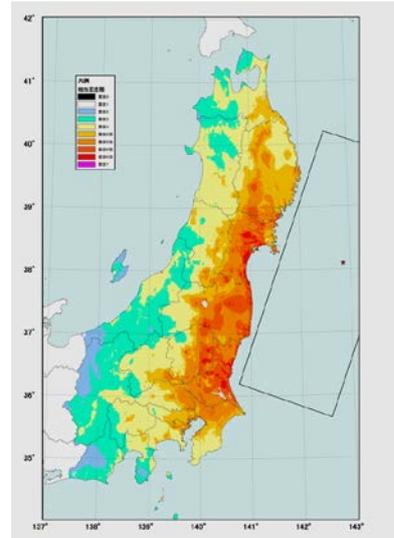


図 1 東日本大震災地震動分布図

4. 下水道管路施設の大規模地震被害情報のデータベース化

3. で整理した東日本大震災及び過去の記録に基づく下水道管路施設被害事例の情報を統一的な様式で整理しデータベース化した。

データベースの対象とした地震は、下水道管路施設の被害が報告されている、北海道東方沖地震（1994）、北海道十勝沖地震（2003 年）、新潟県中越地震（2004）能登半島地震（2007）、新潟県中越沖地震（2007）、東日本大震災（2011 年）の 6 つの地震とした。

過去の下水道管路施設の被害状況報告書や文献⁵⁶より収集した。データベースとして整理する下水道管路施設データは、人孔間を 1 単位（スパン）として扱い、表 3 に示すデータベース項目の内容（34 項目）について整理を行った。

表 3 データベース取りまとめ項目

列	項目	説明
管路諸元基本データ（既設管情報）	A ID	管路データは、自治体ごとに整数番号を設定する。
	B 路線番号	収集した地区ごとの管路情報から、路線番号と思われるものを「路線番号」として用いる。また、路線番号の前に処理区分を入力する。
	C 上流側人孔	収集した地区ごとの管路情報から、対象スパンの上流側の人孔番号を「上流側人孔」として用いる。
	D 下流側人孔	収集した地区ごとの管路情報から、対象スパンの下流側の人孔番号を「下流側人孔」として用いる。
	E 管径 (mm)	スパン単位の管径。単位はmm。収集した管路情報で「0」とされたデータは不明として扱い、「-9999」とした。
	F 管種	スパン単位の管種。収集した管路情報で不明なデータは「-」とする。
	G 延長 (m)	スパン長。単位はm。収集した管路情報で不明なデータは「-9999」とする。
	H 施工方法	スパン単位の施工方法。情報のないデータは不明として扱い「-」とする。
	I 形状	スパン単位の管の断面形状。情報のないデータは不明として扱い「-」とする。
	J 人孔種類（上流側）	対象スパンの上流側人孔の種類。情報のないデータは不明として扱い「-」とする。
	K 人孔種類（下流側）	対象スパンの下流側人孔の種類。情報のないデータは不明として扱い「-」とする。
	L 人孔深（上流側）(m)	対象スパンの上流側人孔の深度。単位はm情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。
	M 人孔深（下流側）(m)	対象スパンの下流側人孔の深度。単位はm。情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。
	N 管路土盛り（上流側）(m)	対象スパンの上流側の土盛り厚。単位はm。情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。
O 管路土盛り（下流側）(m)	対象スパンの下流側の土盛り厚。単位はm。情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。	
P 平均土盛り (m)	上流側土盛りと下流側土盛りの平均。単位はm。情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。	
被害データ	Q 被災年月日	被災した年月日（地震発生年月日）。
	R 管路対処工法（本復旧）	被災した管を本復旧させる際の工法。収集した管路情報で不明なデータは「-」とする。布設替えの場合はカッコ書きで埋戻し方法（締固め、砕石、固化）を入力する。被害がなく既設管を利用する場合は「被害なし」と入力する。
	S 上流人孔対処工法（本復旧）	被災した人孔（スパンの上流側）を本復旧させる際の工法。収集した管路情報で不明なデータは「-」とする。文字情報として布設替え（重量化工法、締固め、砕石、固化）、更生工法、部分改修を入力する。被害がなく既設人孔を利用する場合は「被害なし」と入力する。
	T 被災パターン	対象スパンが受けた被害の種類。情報のないデータは不明として扱い「-」とする。
	U 被害程度	本復旧のための対処工法等を基にテレビカメラ調査結果等を記載する。情報のないデータは不明として扱い「-」とする。
	V 上流側人孔滞水深 (cm)	対象スパンの上流側人孔の滞水深。単位はcm。情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。
	W 下流側人孔滞水深 (cm)	対象スパンの下流側人孔の滞水深。単位はcm。情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。
	X 平均人孔滞水深 (cm)	上流側人孔滞水深と下流側人孔滞水深。単位はcm。情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。
地震関連データ	Y 上流人孔浮き上がり量 (cm)	対象スパンの上流側人孔の浮き上がり量。情報のないデータは不明として扱い「-」とする。
	Z 下流側人孔浮き上がり量 (cm)	対象スパンの下流側人孔の浮き上がり量。情報のないデータは不明として扱い「-」とする。
	AA 計測震度	防災科学研究所等から公開されている地震動データを基に処理区の最大値とする。
	AB SI (kine)	防災科学研究所等から公開されている地震動データを基に処理区の最大値とする。単位はkine。
	AC ボーリング名	国地盤等から公開されているボーリング柱状図の名称。情報のないデータは不明として扱い「-」とする。
	AD 標高 (m)	ボーリング柱状図の標高。単位はm。情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。
	AE 水位から管上面までの平均N値	ボーリング柱状図における孔内水位から管上面深度までの地盤の平均N値。情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。
	AF N値	ボーリング柱状図における管路位置（管路深度）のN値。情報のないデータは不明として扱い「-9999」とする。
	AG 舗装	管が埋設されている部分の道路種別。情報のないデータは不明として扱い「-」とする。
	AH 微地形分類	処理区の代表的な微地形分類を記載する。

5. 下水道管路被害データの活用

5. 1 東日本大震災における下水道管路施設被害整理

東日本大震災による下水道管路施設被害のうち被害の大きい35団体（岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、千葉県、新潟県）の下水道管路施設被害データを用いて被害分析を行った。

①下水道管路施設の被害率の検討

下水道管路被害率は、35団体すべてのデータ、震源地に近い東北3県（岩手県、宮城県、福島県）のデータ、周辺地盤が広域的に液状化した地域が多い千葉県のデータに分け、国総研が所有する管種別下水道管路整備延長に対する団体別の被害延長の割合を算出した（図2）。その結果、全体の被害率は1.2%で、管種ごとに分けて算出した被害率は、全県のデータでは、陶管（CP）が1.1%、コンクリート管（HP）が0.5%、塩化ビニル管（VU）が2.0%であった。

千葉県の被害率が低いのは、東北3県に比べ周辺地盤が広域的に液状化した地域など限定的な地域に下水道管路施設が集中して発生したことによるものと考えられる。

②管種別管径別被害量（スパン数）

下水道管路施設の管種別管径別の被害量（スパン数）を図3に示す。下水道管路施設の被害が発生したすべてのケースにおいて管径が $\phi < 300\text{mm}$ の被害量が多く、管径が大きくなるに従い被害量が減少している。また管種別の被害量は、 $\phi < 300\text{mm}$ で東北3県、千葉県共に、塩化ビニル管（VU）の被害量が最も多く、管径が $300\text{mm} \leq \phi < 600\text{mm}$ で東北3県、千葉県共に、コンクリート管（HP）の被害量が多かった。

これは、小口径の塩化ビニル管（VU）では布設延長が長く、中大口径では、コンクリート管（HP）の敷設延長が長いことから、布設延長に応じて被害量も大きくなっていると考えられる。今後想定される大規模地震に対して、小口径管路施設の耐震化を効率的に進めると共に被害が発生した場合においても小口径管の応急復旧を迅速に行うための体制づくりが必要であると考えられる。

③管径別土被り別の被害量（スパン数）

下水道管路施設の平均土被りと管径別の被害量

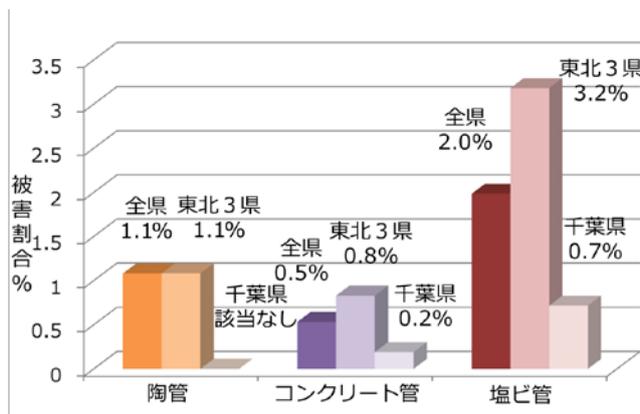


図2 東日本大震災での下水道管路施設被害率

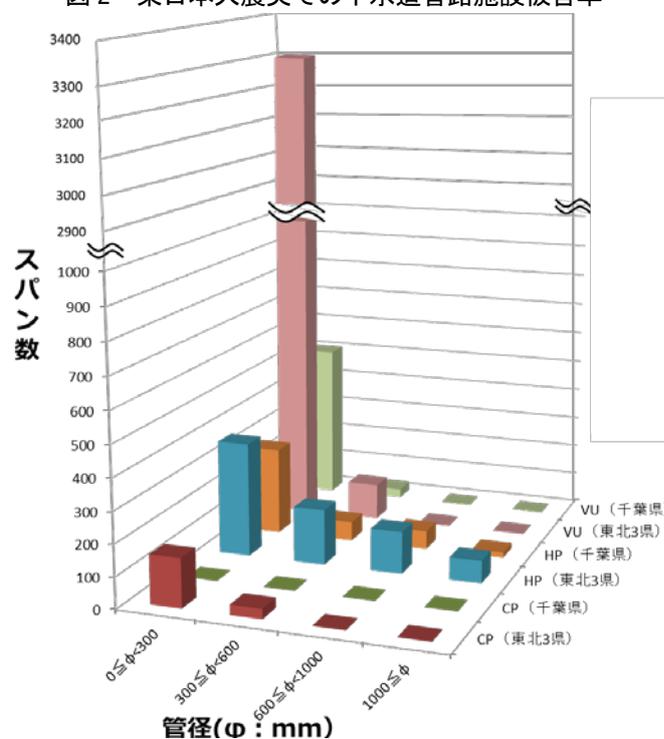


図3 管種、管径と被害発生スパン数

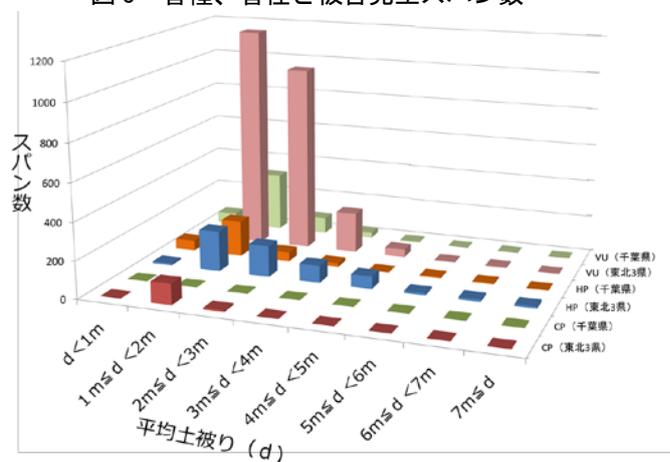


図4 管種、土被りと被害発生量（スパン数）

(スパン数)について整理した(図4)。すべてのケースにおいて土被りが1メートル以上2メートル未満の下水道管路施設で被害が多く、下水道管路施設の土被りが大きくなるほど被害量が減少し、一般に非開削工法で施工される6m以深の下水道管路施設については被害がほとんどなかった。

5.2 東日本大震災の被害に基づく被害率予測式の検討

下水道管路施設の被害の大きさを決定する影響因子には、地震動強さ、地盤条件、管種、管径、土被り、老朽化の程度等様々な条件が考えられる。ここでは、東日本大震災のデータベースを活用して、被害率予測式を作成した。

被害率予測式は、データベースに登録したデータを用いて平成18年大規模地震による下水道被害想定検討委員会⁹⁾の手法を参考に算出した。

まず表4に示すように、団体ごとの管路延長と被害延長から被害率を算出し、団体ごとの計測震度から震度階級を整理する。整理した震度階級ごとの被害率の平均値を算出し、震度5弱、5強、6弱、6強の震度階級に計測震度基準値をそれぞれ4.75、5.25、5.75、6.25と設定する。整理したグラフが図5となり、プロットを近似する線が被害率予測式となる。

本検討での平均値から算出された被害率予測式は下記となる。

$$y = 3.2277x^2 - 30.223x + 70.868$$

y : 被害率 (%) x : 計測震度 (4.75 ≤ x ≤ 6.25)

また、本検討の被害予測式に用いた東日本大震災の地震動はプレート境界で発生する海溝型地震であり、過去に検討された下水道施設の被害予想は、直下型地震に基づくもので、地震の発生機構が異なることから下水道管路施設被害も異なる可能性がある。そこで、本検討結果と大規模地震による下水道被害想定検討委員会による被害率予測式の比較を行った。なお比較に

用いる下水道被害想定検討委員会による被害予測式は、兵庫県南部地震や新潟県中越地震などの断層破壊を原因とする直下型地震の下水道管路被害データを用いている。2つの被害予測式を比較した結果、計測震度5~5.5で同程度、それより大きな計測震度では、東日本大震災での被害率が上回り、5以下の計測震度では、被害率が小さくなる傾向が見られた。下水道被害想定検討委員会との差は、本検討結果は東日本大震災のデータを用いており、計測震度が大きい様々な条件(地盤条件、管種、管径、土被り等)の下水道管路施設被害データが多くあることや東日本大震災での地震動の継続時間が長いことなど被害が大きくなったことなどが考えられる。

表4 被害率と震度階級

市町村名	管路延長 (m)	被害延長 (m)	被害率	計測震度	震度階級	計測震度基準値
自治体1	286488	5971.9	2.1	5.68	6弱	5.75
自治体2	85977	876.8	1.0	5.39	5強	5.25
自治体3	484974	1372.06	0.3	5.22	5強	5.25
自治体4	27611	104	0.4	5.67	6弱	5.75
自治体5	1777215	185.06	0.0	4.99	5弱	4.75
自治体6	5763898	559	0.0	5.92	6弱	5.75
自治体7	96810	3650.59	3.8	5.78	6弱	5.75
自治体8	319955	35929.57	11.2	5.86	6弱	5.75
自治体9	4451097	46605.09	1.0	6.26	6強	6.25
自治体10	85588	3893.58	4.5	5.36	5強	5.25
自治体11	62377	1980.39	3.2	6.15	6強	6.25
自治体12	296108	8237.31	2.8	6.18	6強	6.25
自治体13	285956	20036.67	7.0	5.92	6弱	5.75
自治体14	167699	8559.78	5.1	5.77	6弱	5.75
自治体15	114626	5156.5	4.5	5.65	6弱	5.75
自治体16	374747	2013.2	0.5	5.69	6弱	5.75
自治体17	42419	15054.91	35.5	6.24	6強	6.25
自治体18	93359	18037.88	19.3	5.98	6強	6.25
自治体19	969389	27217.46	2.8	6.03	6強	6.25
自治体20	185490	311.28	0.2	5.52	6弱	5.75
自治体21	512361	3361.46	0.7	6.19	6強	6.25
自治体22	1014927	1471.28	0.1	6.21	6強	6.25
自治体23	398306	898.57	0.2	5.46	6弱	5.75
自治体24	230447	17193.48	7.5	5.62	6弱	5.75
自治体25	31096	417.88	1.3	5.65	6弱	5.75
自治体26	193269	609.6	0.3	5.54	5強	5.25
自治体27	31730	821.4	2.6	5.66	6弱	5.75
自治体28	290270	14228.7	4.9	5.63	6弱	5.75
自治体29	350649	13781.07	3.9	5.31	5強	5.25
自治体30	3594256	23182.84	0.6	5.43	5強	5.25
自治体31	4498598	157.42	0.0	5.3	5強	5.25

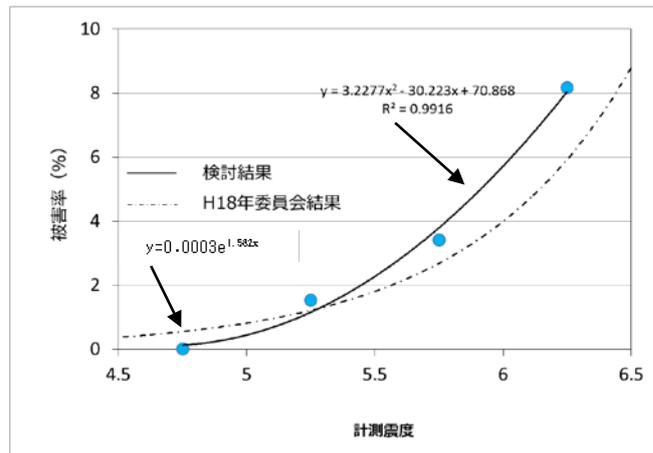


図5 下水道管路施設の被害率予測式

今後は、本検討で作成したデータベースを活用し、管種、管径、土被り、代表的な微地形分類ごとの被害予測式を作成することで、今までの被害の発生地域が小さい地震に基づく被害予測より高精度の下水道管路施設の被害予測が可能となると考えられる。また、今後南海トラフ連動型地震などの大規模地震の発生が想定されている地域に対し地震対策計画立案に必要となる下水道被害予測の精度向上のため、東日本大震災の下水道管路施設被害情報を蓄積するとともに過去の地震データとの比較を行う予定である。

6. まとめ

下水道施設の耐震対策促進に向けて、精度の高い被害想定手法を確立し、事前耐震対策・事後応急対応それぞれの長所を生かした、下水道施設の耐震化優先順位を決定するため、下水道施設に大きな被害をもたらした過去の地震及び東日本大震災における下水道施設被害を収録したデータベースを作成した。今後は東日本大震災の下水道管路施設被害情報を継続して蓄積し、それらのデータを分析することにより下水道施設の被害想定手法の高度化、効果的な事前対策抽出手法等を確立し、効率的な下水道施設の耐震化が可能となるような耐震対策優先度評価手法を確立する予定である。

参考文献

- 1) (社)日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説-1997年版-、平成9年8月
- 2) 下水道地震津波対策技術検討委員会：下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書、平成24年3月
- 3) 南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）、中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、平成25年3月
- 4) 国土交通省：東日本大震災災害情報第120報、平成25年4月
- 5) 永田他：下水道管路の地震被害率曲線に関する検討－新潟中越地震、中越沖地震について－、47回下水道研究発表会講演集、平成22年6月
- 6) 永田他：下水道管路の地震被害率曲線に関する検討－能登半島地震、岩手宮城内陸地震について－、第47回下水道研究発表会講演集、平成22年6月
- 7) 大規模地震による下水道被害想定検討委員会：大規模地震による被害想定手法及び想定結果の活用方法に関するマニュアル、平成18年3月

II. その他の予算による研究
[下水処理研究室]

1. 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

下水処理研究室	室長	山下 洋正
	主任研究官	田嶋 淳
	研究官	大西 宵平
	部外研究員	釜谷 悟司

1. はじめに

平成 21 年 12 月に閣議決定された「新成長戦略」では、グリーンイノベーションによる成長とそれを支える資源確保のため、リサイクルの推進による国内資源の循環的な利用の徹底や、レアメタル、レアアース等の代替材料などの技術開発を推進するとともに、総合的な資源エネルギー確保戦略を推進することとされている。

また、平成 22 年 3 月 12 日に閣議決定された「地球温暖化対策基本法案」では、温室効果ガス（以下、GHG という）の排出量の削減について目標を定めるとともに、再生可能エネルギーの供給量について、平成 32 年までに一次エネルギー供給量に占める割合を 10%に達するようにすることとされている。

下水道事業で使用される電力は、我が国の総電力消費量の 0.7%を占め、自治体が実施する公共事業の中でも GHG の排出量が比較的多いとされている。このため、下水道事業においても地球温暖化対策の推進が求められており、京都議定書の目標達成計画では、下水道事業に係る具体的な対策として、①下水道における省エネ・新エネ対策の推進、②下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化 の 2 つが位置づけられている。

さらに、第 3 次社会資本整備重点計画（平成 24～28 年度、以下、3 次社重点という）が平成 24 年 8 月 31 日に閣議決定され、下水道分野においても低炭素・循環型社会の実現に向けて未利用・再生可能エネルギーの利用や省エネの促進に関する指標として、H28 年度末までに下水汚泥エネルギー化率を 29%、下水道に係る GHG 排出削減量を約 246 万 t-CO₂/年とすることが掲げられている。

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、GHG 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約 13%（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。

本研究は、(a)下水処理場における資源・エネルギーの利用可能性および循環利用技術についての評価、(b)資源・エネルギー循環利用技術の適用を検討する際の手引きの策定を通じ、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を推進することを目的とする。

本研究は平成 23 年度より実施しており、最終年度である平成 25 年度は (1)下水処理場の規模から見た導入可能かつ事業性のある技術導入シナリオの検討および全国の各下水処理場への導入効果の試算、(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）（以下、本手引きという）の策定およびコスト、GHG 排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果を概略試算できる汎用的なソフトウェアを用いた検討補助ツールの開発を実施した。

2. 採算性を考慮した下水処理場の技術導入シナリオの検討および効果の試算

2. 1 調査方法

(1) 導入シナリオの設定

現在、少子・高齢化等による自治体の財政規模縮小は避けられない状況であり、下水処理場への資源・エネルギー化技術の導入においても、事業採算性が確保できていることが、より重要視される傾向がある。どのような技術においても事業検討時には、既存設備の状況と処理場規模によるスケールメリットが影響するため、同じ技術でも処理場毎に採算面における適用可否が変わってくる。本検討では、全国の下水処理場を対象に、既存施設状況・処理規模により下水汚泥の資源・エネルギー化技術の採算性を評価し、採算性ありとされた処理場へ各技術を導入した際の下水汚泥エネルギー化率およびGHG排出削減量を試算した。各処理場の現況については既存の統計資料¹⁾を参照した。導入する資源・エネルギー循環利用技術は「消化ガス回収・利用技術（発電）」、「汚泥固形燃料化技術」とする。汚泥固形燃料の売却については、実現性の観点から下水処理場から受入先までの距離が近い（10km以内）場合を想定し、受入先は既往の研究²⁾において固形燃料の受け入れポテンシャルが高いと評価された「石炭火力発電所」、「化学工業」、「窯業・土石製品製造業」を想定した。

(2) 導入効果の評価

(1) より、各処理場の現況に応じて効率的に導入を図ることが出来る技術を選定し、導入した場合の効果について評価を行う。導入効果の評価については、3次社重点の目標指標である“下水汚泥エネルギー化率”と“GHG排出削減量”をもって行った。なお、下水汚泥エネルギー化率は下水汚泥中の有機物のうちエネルギーとして利用された割合であり以下の式で定義される。

$$\text{下水汚泥エネルギー化率 (\%)} = (\text{消化ガスとして有効利用された有機物量} + \text{固形燃料として有効利用された有機物量}) \div \text{下水汚泥有機物量} \times 100$$

2. 2 調査結果・考察

(1) 導入シナリオの検討

現況の汚泥処理・処分状況、既存施設等については、①既設消化槽の有無、②汚泥処理方法：場内焼却（焼却炉更新要（供用開始後20年以上））、場内焼却（更新不要）、場外処理、③処理規模（平均処理水量）の3つの観点から分類を行った。

既存の統計資料¹⁾より、全国の下水処理場を①～③で分類し、現況に応じた資源・エネルギー循環利用技術の導入を検討した。同一処理場において、複数の処理フロー（脱水→焼却（供用後20年未満）、脱水→焼却（供用後20年以上）、脱水→肥料化等）を有している場合は、それぞれのフローについて分類を行い、「消化ガス回収・利用技術

表-1 資源・エネルギー化技術導入ケース

モデル名	現況				更新後				
	①消化	②汚泥処理施設 (場内外・稼働年数)	処理場数	総汚泥量 (t-DS/年)	モデル名	導入検討技術	分岐点 (m3/日)	技術導入 処理場数	技術導入処理 場の汚泥量 (t-DS/年)
モデル1	なし	場内焼却 (供用後20年未満)	83	685,167	モデルA	消化ガス発電 + 高温焼却	50,000	43	603,973
モデル2	なし	場内焼却 (供用後20年以上)	40	243,942	モデルA	消化ガス発電 + 高温焼却	20,000	15	127,688
					モデルB	消化ガス発電 + 固形燃料化 (燃料売却)	40,000	12	97,615
モデル3	なし	場外+埋立て	1043	320,689	モデルC	消化ガス発電	30,000	40	167,123
モデル4	あり	場内焼却 (供用後20年未満)	30	195,568	現状維持(分岐点無し)				
モデル5	あり	場内焼却 (供用後20年以上)	11	102,409	モデルB	消化ガス発電 + 固形燃料化 (燃料売却)	50,000	3	55,723
モデル6	あり	場外+埋立て	65	59,180	現状維持 (分岐点無し)				

※1 現況のモデル4～6は消化ガスを発電以外（消化槽加温、余剰ガス焼却、場内給湯、焼却炉補助燃料等）に使用している処理場を対象とした。

※2 現況で有機物の活用（肥料化約1,000箇所）またはエネルギー化（汚泥燃料化7箇所、消化ガス発電約40箇所）を行っている下水処理場については、検討対象外とし記載していない。また、肥料化においては、検討フロー対象外としているため、現況未利用の消化ガスがある場合でも、消化ガスのエネルギー活用は検討していないことに留意されたい。

※3 処理場数は対象となる処理フローを有する下水処理場の数を表しており、例えば同一処理場で焼却炉を複数有し、供用後20年未満、20年以上の両方に該当する場合は、双方にカウントされている。

※4 あくまでポテンシャルであり、平成28年度という達成目標時期を設定している第3次社会資本整備重点計画と単純比較は出来ないことに留意

※5 平成23年度下水道統計を基に試算しており、人口減少など社会情勢の変化は考慮していない。

(発電)、「汚泥固形燃料化技術」の検討にあたり、従来設備のまま更新するよりも採算性が良くなる条件(既存施設、処理規模(日平均汚水量)等)の下水処理場に、各技術を導入することとした。採算性の検討はLCC(ライフサイクルコスト(建設費+維持管理費等))を用いることとし、既存マニュアル³⁾⁻⁴⁾の費用関数により算出した。消化槽の有無等に関わらず、現況で有機物の活用(肥料化)またはエネルギー化(汚泥燃料化、消化ガス発電等)を行っている下水処理場については、利用方法の変更は検討していない。

具体的な検討ケースを表-1、図-1および図-2に示す。例えば現況がモデル2の場合、図-2に示すように処理規模が増加するにつれ、乾燥汚泥量あたりの処理コストが低下し、20,000m³/日でモデルAと、40,000m³/日でモデルBと乾燥汚泥量あたりの処理コストが逆転する(この点を分岐点という)。すなわち、これ以上の処理規模において既存設備のまま更新するよりも資源・エネルギー化技術を導入する方がコスト的に有利となる。他のケースについても同様の検討を行い、導入シナリオを検討する(表-1)。現状よりもLCCが有利になる導入シナリオがないモデル4およびモデル6(他シナリオとの分岐点がない)に関しては、検討対象外とし現状維持するものとした。なお、固形燃料化においては、採算性が確保出来ても10km以内に燃料受入れ先がない場合は技術導入不可とした。また、消化ガス発電と固形燃料化を導入する場合、消化ガスは発電に使用し、固形燃料化は化石燃料を使用することとして試算した。

なお、本検討においては、消化槽導入時に必要になると想定される返流水対策コスト(現有施設による窒素・リン削減の要否、水処理施設の高度処理化等)は考慮していないため留意されたい。

(2) 導入効果の評価と考察

現況に比べてコスト的に有利となる汚泥処理方法に変更した場合の全国的な導入効果について試算した。

ここでは一例として、資源・エネルギー循環利用技術として消化ガス発電および固形燃料化技術の導入を行った試算結果を表-2に示す。表-2において、本検討での試算結果は①および②であり、現況で資源・エネルギー化技術が導入されている処理場における実績値(3次社重点にて報告)にこれらを加算することで全国での導入結果試算値を示している。本検討結果はあくまでポテンシャルであり、平成28年度という達成目標時期を設定している3次社重点と単純比較は出来ないことに留意すべきではあるが、表-2より、全国の下水処理場における資源・エネル

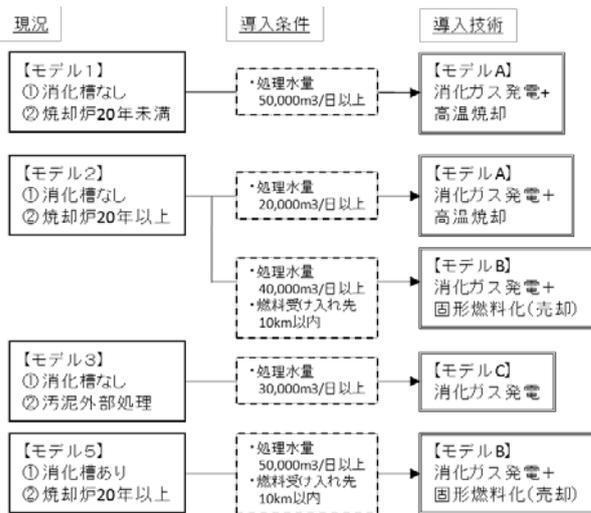


図-1 資源・エネルギー化技術導入フロー

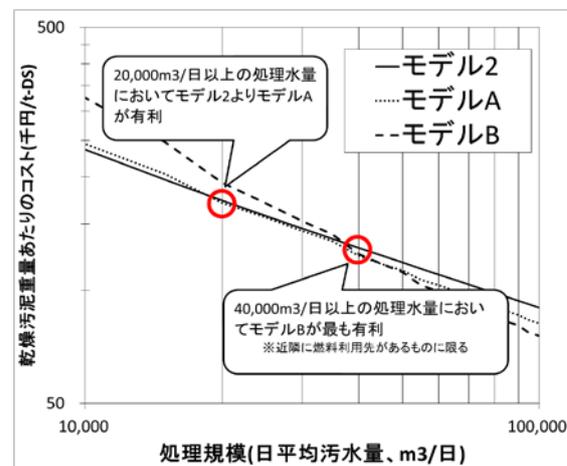


図-2 処理規模と汚泥量あたりコストによる導入検討ケース例

表-2 資源・エネルギー化技術の全国的な導入効果の試算例

	単位	現況 (第3次社会 資本整備重 点計画)	技術導入による試算値(対象処理場のみ)		合計 (現況+①+②)	
			①消化ガス発電+ 固形燃料化 (導入対象15箇所)	②消化ガス発電 (導入対象98箇所)		
GHG排出削減量	万t- CO ₂ /年	129	48.5	199.5	248.0	377.0
エネルギー利用汚 泥量(有機物換算)	t-DS/年	237,884	122,670	287,611	410,281	648,166
下水汚泥エネル ギー化率	%	13.3%	6.8%	16.0%	22.9%	36.2%

※1 温室効果ガス排出量は脱水、消化、焼却等の処理工程で排出されるGHGを計上している。
 ※2 検討対象外の下水処理場はGHG排出削減量および下水汚泥エネルギー化率が変化しないため、①および②の試算結果は技術導入検討を行った処理場のみである。

ギー化技術の導入結果試算値は GHG 排出削減量約 377 万 t-CO₂/年、下水污泥エネルギー化率約 36%であり、採算性の観点から全国の下水处理場に資源・エネルギー化技術を導入しても、3次社重点で示されている GHG 排出削減量および下水污泥エネルギー化率の目標値である 246 万 t-CO₂/年および 29%を十分達成するポテンシャルを有している。このことから資源・エネルギー化技術導入推進は、採算性を考慮しても地球温暖化に対し一定の効果を有することが確認された。

しかし、3次社重点の指標において、“未焼却污泥の埋め立て”によって発生するメタンガスについては考慮されていない。メタンガスは地球温暖化係数で二酸化炭素の約 21 倍の温室効果があるとされており、このメタンガスの抑制を検討していくことも必要であると考え。既存の報告書⁵⁾より、平成 23 年度に未焼却のまま埋め立てられている污泥量は約 179,000t-DS/年（発生污泥の一部埋め立てを行っている処理場を含め約 500 箇所）とされており、埋め立てによって発生する GHG 排出量は約 25 万 t-CO₂/年と試算される。これは、現況の GHG 排出削減量（129 万 t-CO₂/年）に対し約 19%、本検討で試算したポテンシャル値（248 万 t-CO₂/年）に対し約 10%の排出量であり、決して無視できない。未焼却污泥の埋め立てを行っている多くは中小規模の下水处理場であり、コスト・採算性等の問題から処理場単独では資源・エネルギー循環利用技術の導入は困難と考えられる。このような場合、例えば下水污泥の集約化と合わせて技術を導入していくというケースが考えられる。また、中小規模の下水污泥量でもコスト的に導入可能な技術の開発も併せて行っていく必要があると考える。

3. 下水污泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）の策定

過年度および今年度の成果を踏まえて、資源・エネルギー化技術の導入を検討する際に自治体の下水道事業者が重要視する項目や導入する技術の効果を整理・把握し、その後の予備検討を円滑に進めることを目的として、本手引きを策定した。また、対象下水处理場の規模・条件を入力することで既存のガイドライン、マニュアル^{3)-4),6)}の算定式から LCC、GHG 排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果を概略試算できる汎用的な表計算ソフトウェアを用いた検討補助ツールを開発した。

3. 1 手引きおよびツールの目的、内容

本手引きは、污泥固形燃料化事業、バイオガス利用事業、リン資源化事業の予備検討段階（計画立案、基本構想、基本計画）にある地方自治体の下水道事業者を対象としている。以下に本手引きの目的を示す。

- 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

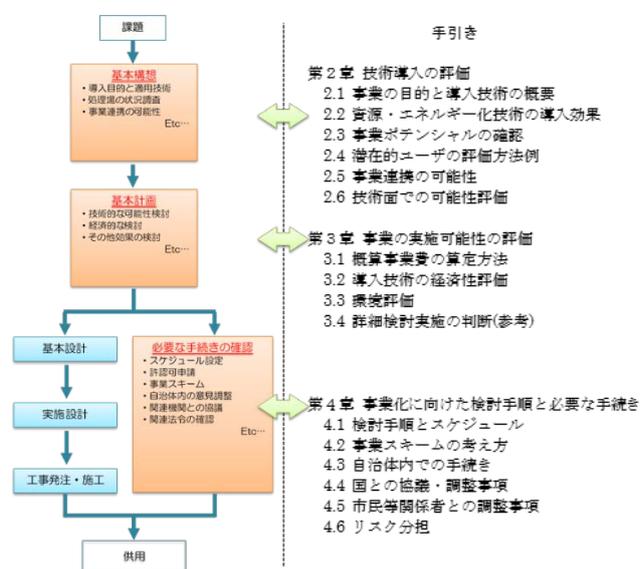


図-3 資源・エネルギー化技術導入の意思決定フローと手引きの内容との対応

技術概要 (フロー図)	既存施設の改築・更新		新技術の導入		
	評価項目	満点	検査結果	点数	検査結果
① 経済性	50	606.7(百万円/年)	34	415.1(百万円/年)	50
② GHG排出量	20	8,464(t-CO ₂ /年)	0	-1,542(t-CO ₂ /年)	20
③ 事業継続性	20	焼却灰埋立地が2018年に容量オーバーにより使用不可能となるため、代替地を探す必要あり	5	PFI方式採用により、製造した固形燃料は20年間近隣火力発電所で使用予定。	20
④ 安全性(防災面)	5	-	0	被災時には、消化ガス発電による非常電源として使用可能。消化槽は非常時に汚泥貯留が可能	5
⑤ 維持管理性	5	施設数が少なく、維持管理が容易。	5	高濃度還流水へによる水処理への影響。運転管理の煩雑さが増大。	0
計	100		44		95
評価		経済性、GHG排出量削減効果など重視される評価項目において、新技術導入案よりも劣るため、不適とする	x	評価項目のほぼ全てにおいて、優位である。また、消化槽の新設により地域バイオマス受入の可能性も見込める。	o

図-4 導入判断の重み付け配点結果（参考例）

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こと。

- ・基本設計発注前に下水道事業者が自ら技術導入時のコスト、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）定量的に把握できるようにすること。

3. 2 本手引きの構成

本手引きは、手引きの位置づけ（第1章）、技術導入の評価（第2章）、事業の実施可能性の評価（第3章）、事業化に向けた検討手順と必要な手続き（第4章）、各種申請書類の様式、先事例の紹介、収益性評価手法など（参考資料）から構成される。図-3に資源・エネルギー化技術導入の意思決定フローと本手引きの対応を示す。

使用者は、第2章で導入対象下水処理場の課題と導入技術の概要・目的を整理し、必要な調査項目を整理する。

次に第3章で、事業の実現可能性を評価する。事業の評価項目としては、対象技術の事業費（LCC）、環境への影響（温室効果ガス排出量、エネルギー消費量）、事業継続性等がある。本手引きでは判断の一助として、図-4のように評価項目を点数で重み付けし総合的に判断する方法を参考として紹介しているが、各自治体を取り巻く社会的情勢等によって、経済性、環境性、事業継続性などの評価項目のどれを重視するかは異なるため、重み付けの方法および結果の解釈は使用者自らが判断することとしている。なお、概算事業費、環境影響（温室効果ガス排出量、エネルギー消費量）を概略で把握するための一助として、「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）検討補助ツール（以下、補助ツールとする。）」をダウンロード可能としており、検討の際に活用可能である（補助ツールの詳細については後述。）。技術導入の検討を継続すると判断した場合、事業化に向けた検討手順と必要な手続きの調査、整理を行う。

技術導入の検討を進めると判断した場合、事業化に向けた検討手順と必要な手続きの調査、整理を行う。第4章では、検討手順とスケジュール、事業スキーム、関係法令、各種手続き等事業化を進める際の留意点の参考となる内容を示している。

なお、本手引きは、資源・エネルギー化技術導入検討の初期に下水道事業者で使用されることを目的としているため、通常、設計コンサルタントなどに設計業務委託を行うことが想定される基本設計、詳細設計等については言及していない。

3. 3 補助ツールの活用

自治体の下水道事業担当者が独自に事業導入時のコスト、GHG 排出量、エネルギー消費量を算出する際に活用できるように、既存マニュアル³⁾⁻⁴⁾⁻⁶⁾の費用

A. 現況施設の改築・更新		エネルギー化			
		検討施設1		検討施設2	
対象技術	リストから選択	消化槽	消化槽	バイオガス精製設備	バイオガス精製設備
集計	集計施設にチェック	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
デフレーター			1.00		1.00
建設費 耐用年数	白抜きセルに値を入力してください	濃度1% 換算汚泥量 #3/日	90.0	施設規模(Nm ³ /h)	1,660.0
		土木・建築(百万円)	191.1	建設費(百万円)	627.8
		耐用年数(年)	45	耐用年数(年)	15
		施設設備(百万円)	291.8		
		耐用年数(年)	15		
	合計(百万円)		482.8		627.8
維持管理費	白抜きセルに値を入力してください	濃度1% 換算汚泥量 #3/日	12.0	施設規模(Nm ³ /h)	1,660.0
	合計(百万円)		4.5		
処分委託費	脱水汚泥	脱水汚泥量(t/年)	0.0	脱水汚泥量(t/年)	0.0
		単価(円/t)	16,000.0	単価(円/t)	16,000.0
		単価と容量リセット		単価と容量リセット	
		処分委託費(百万円/年)	0.0	処分委託費(百万円/年)	0.0
	焼却灰	焼却灰量(t/年)	150.0	焼却灰量(t/年)	0.0
		単価(円/t)	8,000.0	単価(円/t)	8,000.0
		単価と容量リセット		単価と容量リセット	
		処分委託費(百万円/年)	1.2	処分委託費(百万円/年)	0.0
実績値入力	建設費		0.0		0.0
	維持管理費		0.0		0.0
	処分委託費		0.0		0.0
出典					
		バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル		下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(案)	
			488.5		627.8

図-5 検討補助ツール入力画面

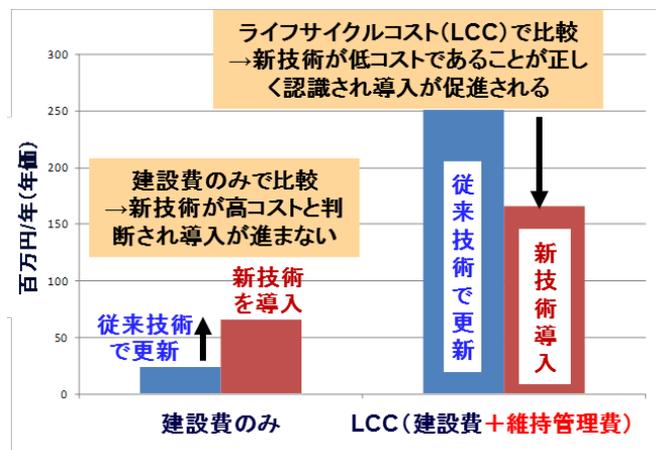


図-6 コストの算出例（参考）

関数を基に補助ツールおよび操作説明書を作成した。補助ツールは、対象技術を選択し、図-5 の入力画面に処理場条件を入力すると、コスト、GHG 排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果を概略ではあるが把握可能となっている。例えば図-6 のように、設備更新時に建設費だけではなく、維持管理費を含めた評価を簡便に行うことが可能となる。数箇所の自治体下水道事業者に対し、本手引きおよび補助ツールを使用してもらい意見を聴取したところ、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。本手引きおよび補助ツールの活用により省エネ新技術の導入意義が LCC として明確化され、導入促進につながることを期待される。

4. まとめ

2. において、下水処理施設の改築・更新時等に下水処理場の規模に応じて適した資源・エネルギー循環利用技術を導入するシナリオ案を検討し、その全国的な導入効果を試算した。採算性および汚泥固形燃料利用先の確保を十分に考慮したシナリオ選定により、全国の下水処理場へ資源・エネルギー化技術の導入を図る場合において、GHG 排出削減量および下水汚泥エネルギー化率の向上に十分な効果が期待できることが確認された。しかし、本検討はあくまでポテンシャルであることと、主な導入対象が比較的大規模な処理場に限定されていることに留意し、各下水処理場への技術導入検討作業を具体的に進めていくとともに、今後の人口減少も踏まえ、より中小規模の下水処理場でも導入可能な技術の開発を進めていく必要がある。

3. において、全国の下水処理場において、下水汚泥の固形燃料化技術や消化ガス発電技術などの資源・エネルギー循環利用技術の導入を促すため、「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）」の策定を行った。今後、本手引きが活用され、下水処理場における資源・エネルギー化技術の普及が促進されることを期待している。

なお、本検討で紹介した手引きおよびツールは、国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室ホームページからダウンロード可能である。

国総研 下水処理研究室 HP : <http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/index.htm>

謝辞

本研究にご協力いただきました地方公共団体およびメーカーの皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会：平成 23 年度版下水道統計
- 2) 国総研 下水道研究部下水処理研究室：下水道などのエネルギー連携事業のフィージビリティに関する調査業務,2011.
- 3) 国交省 都市・地域整備局下水道部：バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル,2006
- 4) 国交省 都市・地域整備局下水道部：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）,2011
- 5) 国総研 下水道研究部下水処理研究室：平成 23 年度 下水汚泥等の資源有効利用状況に関する調査業務,2012.
- 6) 国交省 都市・地域整備局下水道部：下水道におけるリン資源化の手引き, 2011.

2. 持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム

～21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価～

下水道研究部	下水道機能復旧研究官	尾崎 正明
	下水道処理研究室 室 長	山下 洋正
		主任研究官 重村 浩之
		研 究 官 小越眞佐司
河川研究部	水循環研究室 室 長	川崎 将生

1. はじめに

現代文明を支える 20 世紀型水利用システムは、自然の水循環を改変して都市と工業および農業に水を供給・利用し排水を浄化して自然の循環系に戻す一過性のシステムであり、その建設、運用および改廃の各段階で多くの資源・エネルギーを消費し大量の温室効果ガスを排出している。そのため、21 世紀型の新たな水利用システムでは、資源・エネルギーの大量消費から脱却し、制約された条件の下で需要に応じた供給を実現し、持続可能な低炭素社会実現に寄与することが求められている。

本研究は、現行の水利用システムに、一部人為的な循環系と重層的な水利用を組み入れた新たな循環型水利用システムの導入による水利用システム全体としてのエネルギー削減効果、環境効果を評価することを目的としている。ここで、新たな循環型水利用システムとは、水需要の高い都市域に位置する下水処理場やサテライト処理施設を新たな水源と考え、再生水をトイレ洗浄水や散水用水、農業用水などの非飲用用途に再利用することによって、水輸送に係るエネルギーを削減し、流域全体の水利用に係るエネルギー消費の削減を図るシステムである。

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構のCREST（戦略的創造研究推進事業）の領域研究「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」において課題名「21 世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」の下で実施している京都大学との共同研究であり、国土技術政策総合研究所では、「新しい循環型水利用システムのエネルギー評価」を担っている。

2. 膜処理を用いたシステムによる再生水の農業用水利用のエネルギー消費量検討

最寄りの下水処理場で処理した再生水を、近隣の農地に送水して農業利用するシナリオを設定し、その際に適用した再生水システムについて、電力消費量及びこれらを元に CO₂ 排出量を試算した。電力消費量は、構成する機器の電力消費量を積み上げて計算した。また、CO₂ 排出量は、平成 22 年度に検討した当研究所の計算手法¹⁾に基づき、再生水施設の建設、維持管理及び廃棄に係る CO₂ 排出量を算定した。再生水の利用は上水道に係る電力消費の大きな地域で有効と考えられ、その事例として、北部からの送水等に比較的大きなエネルギーを費やしていると考えられる沖縄県が想定される。そのため、電力に係る CO₂ 排出係数は、平成 21 年度の沖縄電力の値である 0.931kg-CO₂/kWh²⁾を適用した。

また、再生水の送水ポンプ及び送水管に係る CO₂ 排出量は、「持続可能な水道サービスのための管路技術に関する研究(e-Pipe)報告書」³⁾に記載されている手法に基づき算定した。

再生水量は、1500m³/日、8000m³/日の 2 パターンを設定し、図 1 に示すように再生水が送水されるとし

た。また、再生水の処理フローとしては、現在 CREST 研究で開発中である、「限外ろ過膜(UF 膜)処理+紫外線(UV)消毒」の処理フローを設定し、従来型フローとして、過去に沖縄県内で検討されていた「前塩素処理+凝集沈殿+砂ろ過+UV 消毒」の処理フロー⁴⁾を比較対象として設定した。凝集剤はポリ塩化アルミニウム(PAC)とした。

①1500m³/日の再生水を送水

②8000m³/日の再生水を送水

水量は4800m³/日、3200m³/日に分けて送水

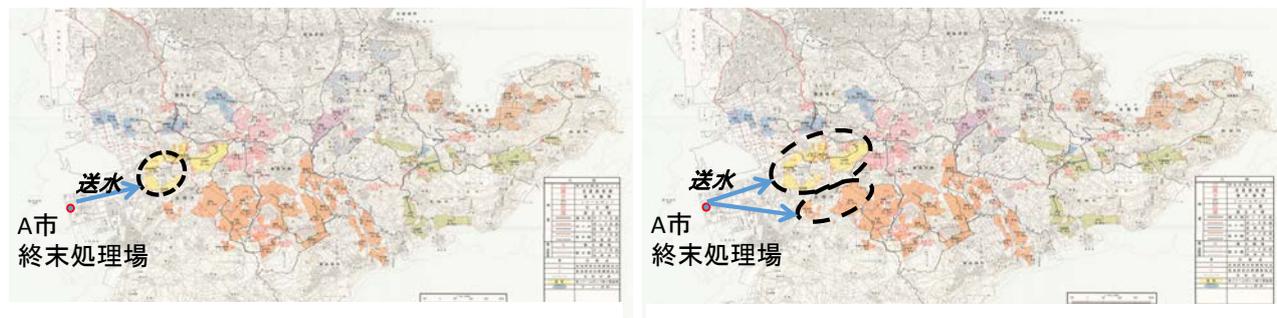


図 1 農業用水利用の設定条件

図 1 の地域における再生水の農業利用における消費電力原単位(再生水量 1m³ あたりの電力消費量)の試算結果を図 2 に示す。ろ過膜への再生水供給に係る電力消費量が大きいため、「UF 膜処理+UV 消毒」の処理フローの方が、「前塩素処理+凝集沈殿+砂ろ過+UV 消毒」の消費電力原単位よりも大きくなったが、大差は見られなかった。

また、モデル地域は、1500m³/日、8000m³/日のどちらの送水パターンにおいても、標高の最高地点が 72m と比較的高かったため、処理に係る電力消費量よりも、再生水送水ポンプに係る電力消費量の方が大きくなった。また、スケールメリットのため、8000m³/日の再生水量のシナリオの方が、1500m³/日のシナリオよりも、消費電力原単位は小さい値となった。

再生水の維持管理には、電力消費だけでなく、処理法によっては、塩素消毒剤等の化学薬剤も多く消費する。これらの精製時

等のエネルギー消費も考慮するため、上記シナリオにおいて CO₂ 排出量を比較したものを図 3 に示す。電力消費だけの場合は「UF 膜処理+UV 消毒」の方が大きかったが、「前塩素処理+凝集沈殿+砂ろ過+UV 消毒」のフローは PAC 等の化学薬剤を多量に必要とするため、CO₂ 排出量の試算結果では、「前塩素処理+

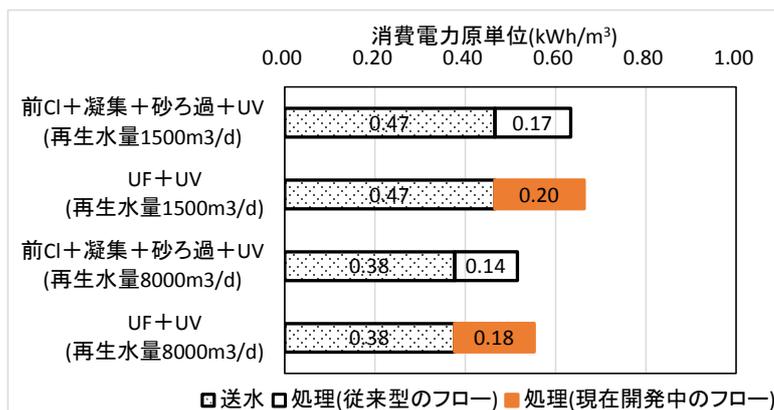


図 2 再生水の農業用水利用における電力消費量の比較

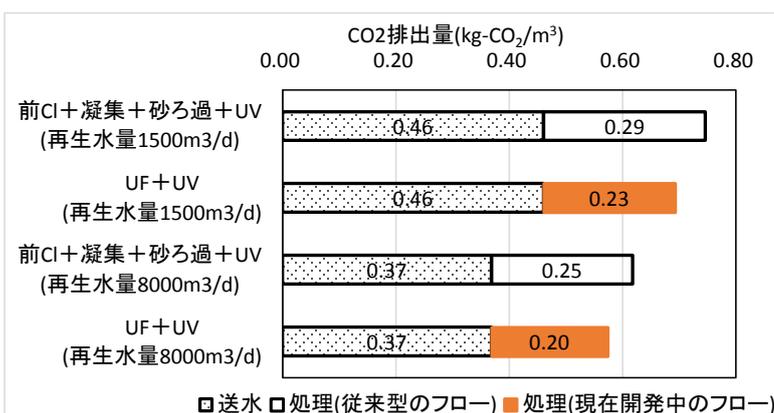


図 3 再生水の農業用水利用における CO₂ 排出量の比較

凝集沈殿+砂ろ過+UV 消毒」の方が「UF 膜処理+UV 消毒」よりも大きくなった。なお、CO2 排出量の試算結果として、「前塩素処理+凝集沈殿+砂ろ過+UV 消毒」の再生水処理施設については電力消費と薬劑消費による CO2 排出量、「UF 膜処理+UV 消毒」の再生水処理施設については電力消費による CO2 排出量が大半を占めていた。

3. 膜処理を用いたシステムによる再生水の都市用水利用のエネルギー消費量検討

前章では、再生水の農業利用について検討したが、現在、再生水は水洗トイレ用水利用や修景用水利用等、都市域でも利用されている地域が多数ある。ここでは、下水処理水をさらに高度に処理した水を再生水利用するシナリオを設定し、図4に示すX地区で4000m³/日、Y地区1000m³/日の再生水が利用されるとした。再生水の処理フローについては、現在CREST 研究で開発中である、「UF 膜処理+UV 消毒」、「UF 膜処理+ナノろ過膜(NF 膜)処理」、「UF 膜処理+逆浸透膜(RO 膜)処理」の3つの処理フローを設定し、従来型フローとして、実施設での実績がある「生物ろ過膜処理+オゾン処理」の処理フローを比較対象として設定した。なお、電力消費量の算定条件、CO2 排出量の計算方法は、前章と同様である。



図4 再生水の都市用水利用地域

図4の地域における再生水の都市利用における消費電力原単位の試算結果を図5に示す。オゾン処理についてはかなりの電力消費量が発生する試算結果となり、そのため、現在開発中の3つの膜処理フローについては、いずれも「生物ろ過処理+オゾン処理」のフローよりも消費電力原単位が小さくなった。また、この3つのフローの間でも、消費電力原単位には大きな差が生じた。低分子量の物質を除去できる高度な膜処理を含むフローほど、消費電力原単位が大きくなる結果となった。このため、膜処理を含む処理フローの選定については、利用用途に応じて選定する必要があると考えられる。

また、この都市利用シナリオについては、再生水の送水ルートにおける最も標高が高い地点が29mと比較的低かったため、再生水処理施設に係る電力消費量と比較して、再生水送水ポンプに係る電力消費量は相対的に低い結果となった。このよ

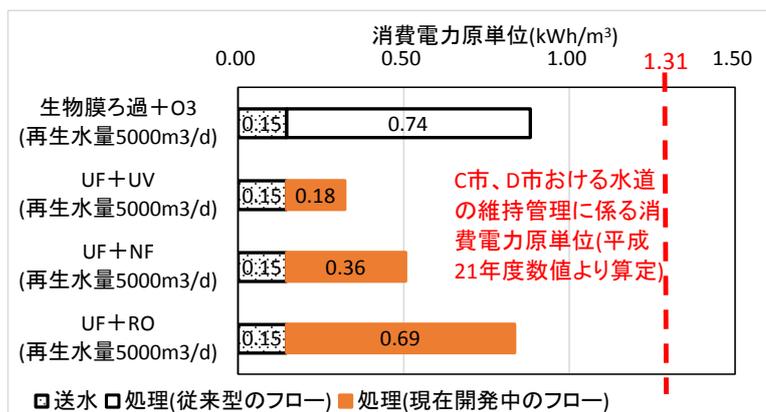


図5 再生水の都市用水利用における電力消費量の比較

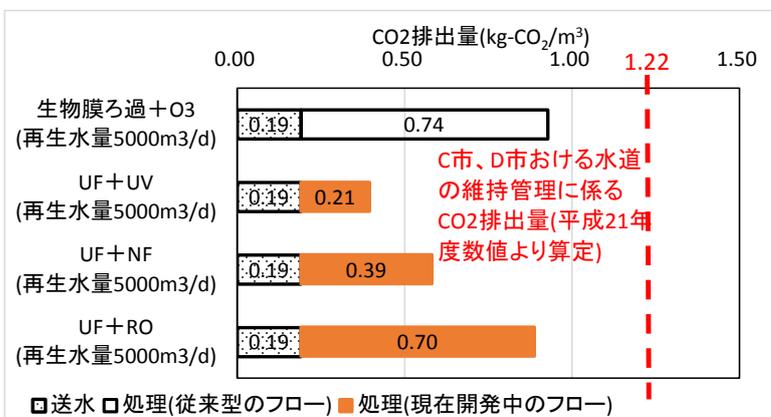


図6 再生水の都市用水利用におけるCO2 排出量の比較

うに、再生水利用においては、その地域の標高の差が、再生水供給に係る電力消費量に大きな影響を与えることがわかった。

また、モデルとしている図4のX地区、Y地区が存在するC市、D市の水道供給に係る消費電力原単位を、平成21年度水道統計⁵⁾のデータを用いて算定し、現在開発中の3つの膜処理フローの数値と比較した。その結果、いずれのフローも、この地域の水道供給に係る消費電力原単位よりも小さい結果となり、このような地域では、電力消費量の観点では、高度な膜処理を用いた再生水供給であっても、水道供給よりも効率的であると考えられた。しかし、当該地域は、水道供給に係る電力消費量が比較的大きい地域であり、地域によって、再生水と水道供給に係る電力消費量の比較結果は大きく変わりうる旨、留意が必要である。

図4の地域における再生水の都市利用におけるCO₂排出量の試算結果を図6に示す。なお、都市利用における再生水送水に係るCO₂排出量の算定については、送水ポンプや送水管だけでなく、再生水利用地区における再生水の配水管の建設に係るCO₂排出量も算定した。配水管の延長については、下水道管の配管密度の経験値を踏まえ、150m/haと設定して、CO₂排出量を計算した。図6に示すCO₂排出量の計算結果としては、図5に示す消費電力原単位の傾向と同様であった。これは、これらの処理フローはいずれも、化学薬剤の消費量は小さく、CO₂排出量の数値の大半は電力消費量によるものであるためと考えられる。

4. 再生水システムのエネルギー消費量と処理水質の比較検討

再生水システムについて、エネルギー消費量やCO₂排出量を比較するだけでなく、全有機炭素(TOC)等の水質についても比較検討を行った。以下に、その検討結果を説明する。なお、浮遊物質(SS)や濁度については、全ての再生水システムで、再生水中において低い値を示し、膜処理フローについては全てのシステムで検出限界を下回っていたので、以下では説明を割愛する。

(1) 農業用水利用シナリオ

2章で再生水供給に係るCO₂排出量の検討を行った従来型フローの「前塩素処理+凝集沈殿+砂ろ過+UV消毒」と、CRESTの研究で開発中のフロー「UF膜処理+UV消毒」について、CO₂排出量と再生水の水質項目値の比較を行った。なお、水質データについては、「前塩素処理+凝集沈殿+砂ろ過+UV消毒」については当該プラントについて実証実験を行った結果を示す既存資料のデータから、「UF膜処理+UV消毒」については、今回のCREST研究で稼働している実験プラントの再生水水質の実測値から引用した。

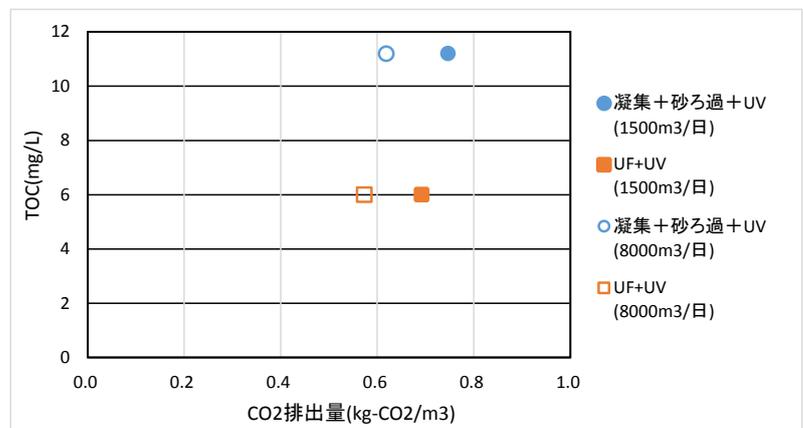


図7 再生水の農業用水利用におけるCO₂排出量とTOCの相関

図7に、再生水の農業用水利用シナリオにおける、CO₂排出量と再生水のTOC濃度の相関を示す。なお、CO₂排出量については、再生水量を1500m³/日と8000m³/日の2パターンで計算しているため、データはそれぞれのフローで2つある。「前塩素処理+凝集沈殿+砂ろ過+UV消毒」の再生水のTOC濃度が11.2mg/Lであったのに対し、「UF膜処理+UV消毒」の再生水のTOC濃度は6.0mg/Lと、CO₂排出量が前者のフローよりも相対的に良いだけでなく、TOC濃度についてもさらに良い水質を示した。

また、再生水の生物化学的酸素要求量(BOD)濃度についても、「前塩素処理+凝集沈殿+砂ろ過+UV消

毒」が 2.9mg/L であるのに対し、「UF 膜処理+UV 消毒」は 0.9mg/L と、同様に良い水質を示していた。なお、再生水の色度については、「前塩素処理+凝集沈殿+砂ろ過+UV 消毒」が 13.5 度、「UF 膜処理+UV 消毒」が 12.7 度と大差のない結果となった。また、再生水中の大腸菌数については、両者とも検出限界以下であり、大腸菌数の観点では、衛生的にも問題のない結果が示された。

(2) 都市用水利用シナリオ

前章で再生水供給に係る CO₂ 排出量等の検討を行った、従来型のフローである「生物ろ過膜処理+オゾン処理」と、CREST の研究で開発中のフローである「UF 膜処理+UV 消毒」、「UF 膜処理+NF 膜処理」、「UF 膜処理+RO 膜処理」について、CO₂ 排出量と再生水の水質項目値の比較を行った。なお、水質データについては、「生物ろ過膜処理+オゾン処理」については既存の再生水処理施設の公表データから引用し、「UF 膜処理+UV 消毒」、「UF 膜処理+NF 膜処理」、「UF 膜処理+RO 膜処理」については、今回の CREST 研究で稼働している実験プラントの再生水水質の実測値から引用した。

図 8 に、再生水の都市用水利用シナリオにおける、CO₂ 排出量と再生水の TOC 濃度の相関を示す。「生物ろ過膜処理+オゾン処理」と「UF 膜処理+UV 消毒」については、どちらも再生水の TOC 濃度が約 6mg/L であったが、CO₂ 排出量は「UF 膜処理+UV 消毒」の方が大幅に小さいため、「UF 膜処理+UV 消毒」の方が省エネルギーで高度な処理が出来ると考えられる。また、「UF 膜処理

+NF 膜処理」、「UF 膜処理+RO 膜処理」については、再生水の TOC 濃度がそれぞれ 0.7mg/L、0.1mg/L であり、「UF 膜処理+UV 消毒」よりもエネルギーを消費するが、「生物ろ過膜処理+オゾン処理」よりも少ないエネルギー消費で、より高度な処理が可能であると言える。しかし、図 9 に示す CO₂ 排出量と再生水の色度の相関を示すグラフを見ると、「UF 膜処理+UV 消毒」による再生水が最も高い色度を示し、オゾンによる色度除去効果のため、「生物ろ過膜処理+オゾン処理」は、「UF 膜処理+NF 膜処理」と同等の再生水の色度を示した。このように、水質項目値によって、CO₂ 排出量と水質項目値の相関の傾向が異なっている。また、「UF 膜処理+RO 膜処理」による再生水の色度は 0 度であり、CO₂ 排出量は比較的高いものの、かなり高度な処理を行っていることが示された。

その他、再生水の BOD 濃度については、いずれのフローにおいても 0.5~1.2mg/L の範囲であり、大きな差は見られなかった。また、再生水中の大腸菌数については、いずれのフローにおいても検出限界以下であり、大腸菌数の観点で衛生的にも問題のない結果が示された。

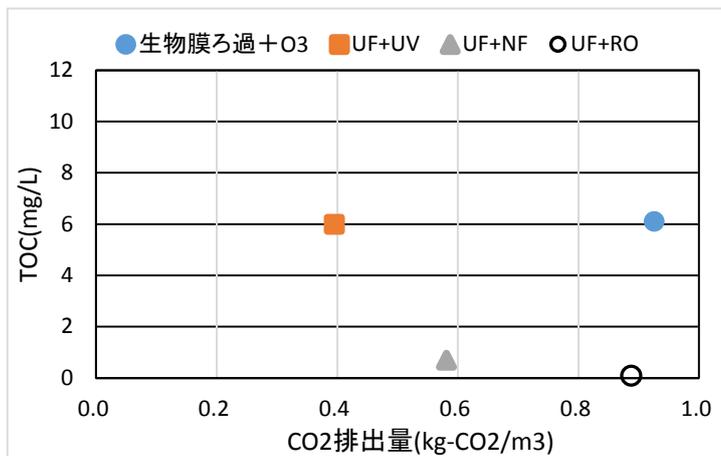


図 8 再生水の都市用水利用における CO₂ 排出量と TOC の相関

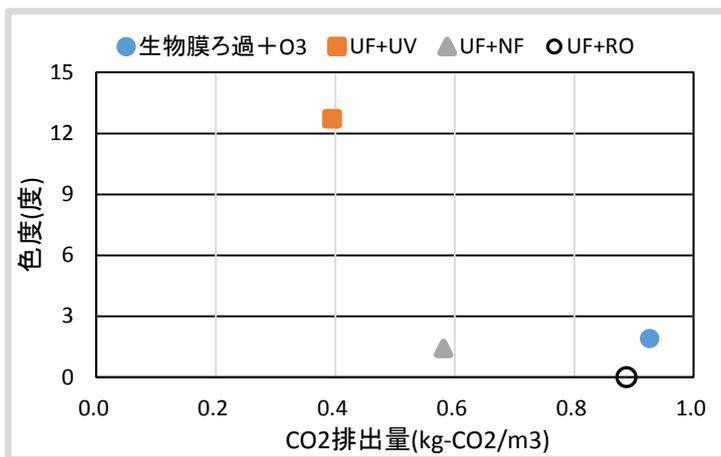


図 9 再生水の都市用水利用における CO₂ 排出量と色度の相関

また、「UF 膜処理+NF 膜処理」については、リン除去率が 85%と高い値を示したが、アンモニウムイオン濃度が高い原水を対象とした窒素除去率については、10%と低い値であった。「UF 膜処理+RO 膜処理」については、窒素、リンの除去率がそれぞれ 92%、100%とかなり高い値を示し、栄養塩除去にも対応できることが示された。しかし、再生水の利用用途によっては、ここまでの高度な処理を要求しないものもあるため、利用用途に応じた処理フローの採用が必要と考えられる。

5. まとめ

本年度の調査により、以下のことが示された。

- (1) 再生水の農業用水利用シナリオについて、CREST の研究にて開発中の「UF 膜処理+UV 消毒」フローの電力消費量は、従来型フローの「前塩素処理+凝集沈殿+砂ろ過+UV 消毒」よりも大きかったが、化学薬剤等の消費量も考慮した CO2 排出量については、「UF 膜処理+UV 消毒」フローは従来型フローよりも小さいものであった。また、再生水の水質についても、TOC 濃度については、「UF 膜処理+UV 消毒」によるものの方が、大幅に小さい結果となった。
- (2) 再生水の都市用水利用シナリオについて、CREST の研究にて開発中の「UF 膜処理+UV 消毒」は、検討対象のフローの中で電力消費量および CO2 排出量が最も小さく、再生水の水質についても、色度を除いては、従来型フローの「生物ろ過膜処理+オゾン処理」に劣らないものであった。
- (3) 再生水の都市用水利用シナリオについて、CREST の研究にて開発中の「UF 膜処理+RO 膜処理」フローは電力消費量や CO2 排出量が「UF 膜処理+NF 膜処理」フローや「UF 膜処理+UV 消毒」フローより大きいものの、再生水の水質は検討対象のフローの中でかなり優れたものであり、比較的高度な利用用途に向いているものと考えられる。一方、再生水の利用用途によっては、「UF 膜処理+RO 膜処理」ほどの高度な再生水質を必要としない場合もあるため、利用用途に応じて、電力消費量や CO2 排出量と水質のバランスを踏まえ、最適な処理フローを採用することが必要と考えられる。

なお、本研究における試算結果は、機械設備の構成等について一条件を設定のもとに試算したものであり、あらゆる状況において、今回提示した比較結果と同様なものになることを示すものではない旨、申し添える。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：平成 22 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料 No.654、2011 年 9 月、pp.77-82
- 2) 沖縄電力(株)ホームページ：<http://www.okiden.co.jp/environment/report2012/sec11/sec114.html#tbl10>
- 3) (財)水道技術研究センター：持続可能な水道サービスのための管路技術に関する研究(e-Pipe)報告書、平成 23 年 3 月
- 4) 田中宏明、浅野孝：農業灌漑への下水処理水再利用、再生と利用、2006 年 12 月、Vol.29、No.114、pp.6-13
- 5) (社)日本水道協会：平成 21 年度水道統計 施設・業務編 第 92-1 号、2011 年 3 月

3. アフリカ・サヘル地域における持続可能な水・衛生システム開発

下水道研究部 部長 高島英二郎
下水処理研究室 室長 山下 洋正
主任研究官 重村 浩之
研究官 道中 敦子
研究官 川住 亮太

1. はじめに

2000年に国連でまとめられたミレニアム開発目標(MDGs)では、安全な飲料水と衛生施設にアクセスできない人口を2015年までに半減させることが目標の一つとして掲げられており、国際社会からの貢献が求められている。独立行政法人科学技術振興機構と独立行政法人国際協力機構が共同で実施している地球規模課題対応国際科学技術協力事業における課題の一つである「アフリカサヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発」は2009年4月より開始された国際共同研究で、資源回収型低コストトイレをはじめとした新しい水・衛生システムの開発や人材育成等を通じ、MDGsに資することを目的としている。

当研究室では、ブルキナファソ(以下、「ブ国」)の排水処理・コンポストの利用等に係る財政制度、法制度の調査を担当しており、ブ国の法律、生活状況、市街地・スラム地区の排水の発生状況とその処理に関して現地調査をこれまで行ってきた。加えて、本プロジェクトでは、し尿・雑排水を農業利用へ結びつける要素技術を開発しており、技術の導入・普及にあたり、現地の衛生設備の整備状況とコンポストの使用状況、農村部における水利用状況や栽培作物、水と衛生に関する問題意識等についてヒアリングを行い、情報収集を行ってきた。今般、ブ国のし尿処理、排水処理、農業、水資源、浸水対策について把握するため、関係省庁と、下水道事業を行う公社に対し、ヒアリング調査を実施した。また、現在実験中である、開発している排水処理施設についても視察した。

2. ブ国の状況に関するヒアリング調査

(1) 水・水利・衛生省衛生局

ブ国におけるし尿処理、汚水処理の現状について聞くため、所管部局である水・水利・衛生省衛生局にヒアリングに行った。その結果は、以下のとおりであった。

- ・ブ国におけるトイレの世帯普及率(ラトリン等全て含む)は、農村部で6%、都市部で29%(2013年12月時点)。下水道やセプティックタンクも含まれるが、割合的に少ない。上記数字の大半はラトリンである。
- ・し尿処理場について、首都のワガドゥグには公式のものが2箇所あるが、町中心部から遠くにあり、不法投棄するし尿運搬業者が多いのが問題。第2の都市であるボボデュラッソには国家上下水道公社(ONEA)が3箇所目を作っている。これら以外に、いくつかの非公式(民間)処理場もある。もともとワガドゥグには4箇所作る予定だったが、予算が確保されていないため、現状では2箇所しかない。農村部は建設の予定はない。今後は、維持管理の質向上に重点を置くことを考えている。
- ・下水道について、ONEAが官庁街のワガ2000地区で新たに管路を建設する予定。水の大量使用が見込まれるので、50L/人・日で計画する。他のところは、少量の排水しか流せない小口径管での接続でしか対応できない。
- ・処理水の水質基準については、ONEAでは、WHOの基準にのっとっている。

(2) 水・水利・衛生省水利局

ブ国における灌漑用水の現状について聞くため、所管部局である水・水利・衛生省水利局にヒアリングに行った。その結果は、以下のとおりであった。

- ・天然資源管理と灌漑に関する法律を所管し、ダムの水、地下水管理を担当している。
- ・ワガドゥグの人口は約 200 万人で、100 万人分が汚水処理されている程度が現状である。
- ・2030 年までに汚水を含めた全ての水を含む灌漑用水利用の政策を決定したいと考えている。
- ・ブ国にはし尿から肥料を製造する会社がある。
- ・灌漑の水源について、年間降水量の 27 億 m³ の 63%が使われている。地下水は、多少は農業にも使われるものの、ほとんどが飲料水に使われる。処理水（再生水）の利用割合は非常に小さい。
- ・基本的に雨水を利用しているので、灌漑用水の水質基準となるものはない。
- ・ダムにどうやって水を貯めるかが課題である。暑いので、水が干上がりやすい。また、ダムの水深が浅くなってきており、ダムの当初の保有水量 600 万 m³ (1966 年時点) が 200 万 m³に減少している。底に砂が堆積していると思われ、取らないといけない。
- ・昔は年 2 回作付けができたが、現在は 1 回。水が少ない場合はそれすら厳しい状態である。
- ・地下ダムも水資源開発の有力な候補であるため、先日は宮古島の地下ダムを見学した。日本の地下ダム技術には期待している。
- ・家庭雑排水を利用することも将来的には考えたい。他の目的にも使ってみたい。汚水の再利用は非常に重要と考えている。
- ・ダムやため池を新たに作る予定はない。場所がない。
- ・水全般に関する法律はあり、基本法である。灌漑に関する情報・制度についてはその下に policy(policy of irrigation)としてある。

(3) 国家上下水道公社 (ONEA)

ブ国における下水道整備及び管理の現状について聞くため、ブルキナファソで下水道整備を行っている国家上下水道公社 (ONEA: Office National de l'Eau et de l'Assainissement) にヒアリングに行った。ONEA は、水・水利・衛生省が監督する政府系企業であり、ブルキナファソの主に都市部における上下水道整備を担っている。ブルキナファソで一般的な下水道が整備されているのは、首都ワガドゥグと第 2 の都市ボボデュラソの一部のみである。ヒアリング結果は以下のとおりであった。また、ヒアリング終了後に、ワガドゥグ市内の Kossodo 下水処理場を視察した。

- ・首都ワガドゥグには総延長 70km の管路網と 5,400m³/day の処理場があり、処理人口は 10,000 世帯未満である。2 つの産業（ビール工場とと殺場）が含まれ、流入水量の 60%がこの産業排水である。
- ・フランス開発庁 (Agence Française de Développement) からの財政支援を受け、管路網をさらに 40km 拡張し、2 つの処理場を新設し、処理量を 12,600m³/day に拡大する予定。これには、600 のビルと国の刑務所（約 1,000 人以上収容）が含まれる。
- ・処理方式は、ラグーン（沈殿池(嫌気性池)+自然ラグーン(機械曝気なし))（写真 1 参照）。現在の池の容量は 160,000m³、滞留時間は約 30 日(沈殿池込み)。現在の処理場は拡張計画を有しており、拡張部分もラグーンの予定である。
- ・下水汚泥は沈殿池の汚泥を回収しており、自然ラグーン槽の汚泥は量が大きくないと思われ、回収していない。
- ・2 つの汚泥処理場(汚泥置き場)が、大腸菌汚染を引き起こし、環境に悪影響を与えている。雨天時に汚泥が流出するため。

- ・管材は、PVC(ポリ塩化ビニル)管か鉄管を使用しているが、PVC 管の方が安いので多い。PVC 管の規格には、CR4、6、8 があり、数字は 1m の管で耐えられる荷重を表す。地下 2m に配管する。管径は、φ400mm と φ160mm、家庭への接続用に φ125mm。PVC 管材はガーナとコートジボワールから輸入している。
- ・ONEA は水・水利・衛生省の所属組織である。し尿と雑排水の処理を担当している。その他、廃棄物処理と雨水排水は自治体が所管しており、大気汚染とサンテーション一般は環境省が所管している。
- ・約 500 人が処理水を灌漑に使用している。無償で農家に提供しているが、処理水を灌漑に使う場合、栽培した作物は必ず火を通さなければならない。
- ・雑排水処理水の成分が多すぎるため、この処理水だけで作物を栽培しようとすると、作物が枯れてしまうという話がある。(写真 2 参照)
- ・下水道には供用エリアの 85%が接続しているとのこと。下水道接続に係る費用のうち、ONEA が 9 割を補助している。(例えば 1,000,000CFA 費用がかかる場合、100,000CFA が本人負担、残りを ONEA が負担する。)
- ・流入水の 2/3 程度が工場排水であるが、流入水を取り締まる法律がない。水質が悪くても受け入れるしかなく、拒否できない。そのため、処理できないことがある。環境省で現在議論中である。
- ・ポンプステーションが 3 つあるが、停電時に水を送水することができない。Generator(自家発電機)がついているのは 1 つだけである。



写真 1 ONEA の Kossodo 下水処理場
(広大なラグーン池)



写真 2 処理水放流口と農地
ここから流出する処理水を農業利用している。

(4) 農業省

ブ国における農業や肥料、農業用水の現状について聞くため、所管部局である農業省にヒアリングに行った。その結果は、以下のとおりであった。

- ・農作物の輸入、種苗、producing plan、農作物について所管しており、農業に関すること、肥料の製造についても担当している。
- ・農業に関する法律は多数ある。この部署では、そのうち肥料に関するものを所管している。
- ・ブ国で作られる作物は、1)伝統的作物 (ソルガム sorghum、ミレット (雑穀) millet)、2)メイズ (トウモロコシ) Maize、3)米、豆 (ニエベ)、4)商品作物 (ゴマ、大豆、ピーナッツ、タマネギ、トマト、ナス、スイカ、イチゴ、オクラ、キャベツ) に大別される。ソルガム、ミレットは全土で栽培されている。ソルガム、メイズ、米はよく育つので重要。作物として栽培のプライオリティが高い 1 位はソルガム。2 位がメイズで 3 位が米。商

品価格としては、米とメイズが価値は高い（米、メイズの順）。その他、産業作物としては、綿花がある。

- ・輸出は、綿花と商品作物が中心。産出高が多ければ、商品作物以外にも輸出する。
- ・灌漑用水は雨水を使っている。農業は主に雨季に行う。直接雨水を灌漑に使用する。雨季にダムは使っていない。バラージュ(ダム)の脇での農作業を含め、乾季にはダムの水を使うしかない。手動ポンプや井戸も野菜やフルーツの灌漑に利用している。
- ・今計画中の戦略では、雨季に各世帯に設置したタンクに雨水を貯めて利用することを推奨している。タンクは、各世帯の状況によるが非常に小さく、4m³程度かそれ以下である。この戦略は農業省が支援しており、乾季に作物が枯れないことを目的としている。水があれば産出高が良い、メイズや米を栽培するケースが対象である。
- ・農業省が支援しているプログラムは、①改良種苗(多種類の作物についてトレーニング)、②コンポスト(コンポストの使い方)、③肥料(作り方)、④タンク設置の資金、⑤農業機械。モノの提供だけでなく、作り方や使い方の訓練も行う。この支援は、小さい規模の農家・女性が対象である。全体の 90%が小規模農家である。このプログラムがターゲットとしているのは女性で、米やニエベを作っている人々である。異なる作物（メイズ、米、ニエベ、野菜）を作ることによって、世帯の収入と食べ物を増やすことがこのプログラムのメリットである。
- ・コンポストの新技术評価については、2つの方法がある。1つ目は、法で規定されたテストを行い、質を確認するもので、サンプルを取って分析し、肥効・植害試験も行い、結果がよければ導入、農家への紹介を行う（ガイドを示す）。2つ目は、申請者が製造方法のドキュメントを作って省が紹介する方法である。コンポストの新技术について省に評価書類を出し、両方で製造方法や評価方法について話し合い、ガイドのためのドキュメントやプロトコルを作る。また、申請者が評価試験をやっていればそれを示す。
- ・し尿コンポストや雑排水の灌漑利用について、ブ国では問題ないと思う。既に NGO (EAA (旧 CREPA)) がパイロットゾーンでプロジェクトをやっており、良い結果が出ている。今回のプロジェクトと似ている研究であるが、もう終了している。
- ・都市部での污水再利用は問題があると思う。産業や病院からの排水の農業利用は難しい。郊外ではサポートしており、NGO は都市の郊外で活動していた。
- ・コンポストのテスト方法について、主要な項目以下の 2 つである。①肥料に含まれる元素を調べ、どういう作物にふさわしいかガイドを作る。②有害物質が含まれるかどうかを調べる。

(5) 社会連帯・経済省

ブ国における浸水対策の現状について聞くため、所管部局である農業省にヒアリングに行った。その結果は、以下のとおりであった。なお、浸水対策についてヒアリングした理由は、都市モデルにおける集合処理施設の排水管と合わせて、浸水対策施設も合わせて提案することを検討しているためである。

- ・緊急時リスクと復旧についての国の協議会。20 の省が参加・連携している組織。連携して政策・戦略・法をつくっている。最大の仕事は干ばつであるが、水害も担当している。
- ・国家リスク計画 (national multi risk plan) において、災害対策の優先順位等を決定。これには下位計画があり、洪水に対して全省庁が議論し、どう対処するかを記しており、更新が続けられている。
- ・ハード面の具体的な対策としては、ダムをつくり雨水をためる。このダムは治水だけでなく利水にも利用する。
- ・2009年の洪水後、排水システムの整備計画案を出した。排水システムは、パイプで雨水を排除し、ワガドゥグの外の 3 箇所のダムに送水する。パイプには維持管理の問題があるが、自治体協議会では維持管理サービスをしようとしている。
- ・ダムは1つずつ満杯にしていき、3つ目が満杯になれば、国立公園に流れ込むようになっている。
- ・これまでの最大の洪水は 2009 年に起きたものである。

- ・2013年12月には、総降雨量15mm以下でも小さな洪水が起きた。粘土質で浸透しにくいという土質の問題の可能性も考えられる。(写真3参照)

3. 都市モデルの集合処理施設実験サイトの現地視察

ブ国の都市部向けの処理施設として開発中の雑排水処理施設（高速藻類増殖池（HRAP: High Rate Algal Pond））の実験サイトを視察した(写真4参照)。なお、都市モデルについては、し尿は下水管に流さずにくみ取ることとしているため、この施設はし尿以外の雑排水を処理対象としている。また、施設の状況については、以下のとおりであった。

- ・ワガドゥグ郊外のカンボアンセ地区にある、2iEカンボアンセキャンパス内の学生寮の排水を受け入れている。
- ・実験から1年半経過しており、40人分、計3m³/日処理可能だが、現在は1m³/日の流入量である。排水は皿洗い排水、洗面排水、シャワー排水である。
- ・フローは、受水槽(オーバーフロー分は地下浸透させる)
 - 最初沈殿池(SS分を沈降させる)
 - 処理タンク(藻類池。深さ40cm、水理的滞留時間(HRT)=10日(3m³/日の時)、容量30m³。槽の起点で機械攪拌して流れを作り、沈降性藻類を浮上させる)
 - 最終沈殿池(ここで沈降した藻類を処理タンクに返送する)
- ・処理水は緑色で、浮遊性藻類が残っている状況。
- ・1000人程度の規模のコミュニティ向けの処理方法と考えている。



写真3 現地訪問期間中の降雨後の道路の様子
短時間の降雨であったが、浸透せず水たまりとなっている。



写真4 開発中の排水処理施設(HRAP)

4. ヒアリング結果等を踏まえた考察

(1) 下水道施設

下水道については、首都ワガドゥグの中心部については既に整備済みで、官庁街のワガ2000地区でも整備予定があるため、現在都市モデルとして本プロジェクトで開発中の排水処理施設は、ワガドゥグ郊外やそれ以外の都市での適用が考えられる。

また、現在のブ国の下水処理場の処理方法は、自然通気のためのラグーン池であるが、現在開発中のHRAPは、藻類の光合成により酸素を水中に送り込むことが可能であり、現在のラグーン池よりもBOD除去能力が高い可能

性がある。今後の水質データの蓄積が必要である。また、藻類を沈殿により処理水から分離できれば、栄養塩除去も期待できる。水深が 40cm と浅い処理法であるが、HRT は 10 日と、現在の Kossodo 下水処理場のラグーン池より短いため、現在は 1000 人規模の処理施設として開発しているが、もっと大きな規模でも適用可能性はあると考えられる。

(2) 下水管路及び浸水対策施設の整備

下水管については、現在 PVC 管を輸入して使っているとのことである。本プロジェクトで開発している集合処理プロセスでは、し尿は処理対象外と考えているため、PVC 管を活用する場合でも、なるべく小口径のものを使う方が、コストを削減できると考えられる。

また、ブ国は大半の地域の年間降水量が 1000mm/年未満と比較的少ないものの、雨季と乾季が分かれており、雨季には大量の雨が集中して降るため、しばしば浸水が起こる。このため、下水管の整備と合わせ、雨水排水網も整備する必要があると考える。首都ワガドゥグには、所々側溝が整備されており、これを活用し、雨水排水網を構築すべきと考える。また、日本国内において各地で実施されている雨水浸透ますの整備については、地下水涵養には貢献するが、ブ国では粘土性の浸透能力の小さい地盤が見られる地域があるので、浸透ますの整備については、地盤の浸透能力を確認した上で整備する必要があると考える。

(3) し尿由来の肥料、雑排水処理水の農業への適用可能性

本プロジェクトでは、コンポストトイレによる肥料製造、高速藻類増殖池を用いた処理による灌漑用水供給を念頭に置いて開発を進めている。

ブ国では、既に NGO によるし尿由来コンポストの農業利用の試みがあったことより、農業省ヒアリングの結果からは、これに関する抵抗感は見られなかった。開発するコンポストの成分が問題なければ、適用可能と考えられる。

また、水・水利・衛生省水利局のヒアリング結果より、水資源が比較的少ないこともあり、雑排水処理水の農業利用への期待の大きさが見られた。しかし、農業省のヒアリングより、都市由来の排水については、病院排水や工場排水が含まれていることへの懸念があった。処理水の農業利用にあたっては、病院排水や工場排水の処理施設への流入制限や事前処理が必要になると考えられる。

5. おわりに

今後、これまでの文献調査や今回のヒアリング等で得た知見を取りまとめ、本研究プロジェクトの衛生設備導入に資するための、現地に適用可能な制度について検討を進めていく予定である。

付 録

付録 1. 平成 25 年度 下水道関係刊行報告書一覧

B-DASH プロジェクト No.1

超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメント システム導入ガイドライン（案）

国土技術政策総合研究所資料 第 736 号 平成 25 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

要旨

国土交通省下水道部及び国土技術政策総合研究所では、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）を実施している。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステムに関する技術実証研究 受託者：メタウォーター・日本下水道事業団共同研究体 実施期間：平成 23～24 年度）において実施した成果を踏まえて作成したものである。

キーワード：超高効率固液分離、高温消化、スマート発電

B-DASH プロジェクト No.2

バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー 生産システム導入ガイドライン（案）

国土技術政策総合研究所資料 第 737 号 平成 25 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

要旨

国土交通省下水道部及び国土技術政策総合研究所では、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）を実施している。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・革新的技術実証事業 受託者：神鋼環境ソリューション・神戸市共同研究体 実施期間：平成 23～24 年度）において実施した成果を踏まえて作成したものである。

キーワード：地域バイオマス、高機能鋼板製消化槽、新型バイオガス精製装置

高精度 GPS 移動計測装置 (MMS) を活用した 下水道管渠起因の道路陥没予兆発見手法の検討 ～下水道管きよの効率的な点検調査技術に関する共同研究報告書～

国土技術政策総合研究所資料 第 750 号 平成 25 年 9 月
国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部

要旨

高齢化・老朽化が顕在化している下水道管きよストックにおいては、厳しい財政状況下においても道路陥没の予防保全や下水道サービスの安定的な提供を行うために、効率的に点検調査を行う必要がある。しかしながら、既存の点検調査技術は、現場での作業拘束時間が長い、調査機材や調査費が高額で専門的知識が必要などの課題があるため、全国における点検調査実施率は極めて低い状況にある。

国土技術政策総合研究所は、下水道管きよによる道路陥没の予兆を効率的に発見することを目的とし、(株)環境総合テクノスと共同で、高精度 GPS 移動計測装置 (MMS 技術) を活用した陥没予兆手法確立のための共同研究を実施した。本報告は、MMS 技術による陥没予兆の可能性及び実用化にあたっての技術的課題について取りまとめたものである。

キーワード：下水道管きよ、道路陥没、MMS

国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告 都市におけるエネルギー需要・供給者間の連携と 温室効果ガス排出量取引に関する研究

国総研プロジェクト研究報告 第 44 号 平成 26 年 2 月
国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部、都市研究部

要旨

平成 20 年 3 月に改定された「京都議定書目標達成計画」では、「エネルギーの需要・供給に関連するそれぞれの主体は自らの役割を適切に認識し、自らが直接管理する範囲にとどまらず、他のエネルギー需要・供給者と連携してエネルギー効率の更なる向上を目指す」とされており、率先した取組が求められる地方公共団体の公共・公益事業を中心として、エネルギー需要・供給者間の垣根を越えた取組が必要とされている。都市の段階的な機能更新等の機会を捉えて、関係するエネルギー需要・供給者間の連携を進め、街区レベルでのエネルギー構造の改善を図ることは、大きな省 CO₂効果を期待し得る。

本研究では、都市におけるエネルギー需要・供給者間の連携に関する技術的方策とその効果を明らかにするとともに、排出量取引が連携事業に与える影響についても検討した。下水道のエネルギー連携事業の事業性診断手法および熱エネルギーの面的利用による低炭素まちづくりの手引きも策定しており、一層の地球温暖化対策の推進を図っていく。

キーワード：温室効果ガス、エネルギー、都市、下水道

付録2. 下水道関係調査研究課題表

付録2-1. 平成25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)
下水道事業調査費 下水道研究室	1. 下水道施設の液状化・津波対策技術に関する調査	24-25
	2. 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	25-27
	3. 効率的な都市雨水対策推進に関する調査	25-27
	4. 適正な汚水処理方法可能性（FS）に関する検討	24-26
	5. 合流式下水道改善対策の効果検証手法に関する調査	25
	6. 下水道クイックプロジェクトの推進に関する調査	19-25
下水処理研究室	7. 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	23-25
	8. 生物処理過程におけるN2O発生抑制手法に関する検討	23-25
	9. 流域における水環境マネジメント技術に関する検討	24-25
その他の予算による研究 下水道研究室	1. 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	24-26
	2. 社会資本等の維持管理効率化・高度化のための情報蓄積・利活用技術の開発	25-28
	3. 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	25-27
下水処理研究室	1. 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	23-25
	2. 持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム～21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価～	21-26
	3. アフリカ・サヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発	21-26
委託研究	下水道革新的技術実証事業（B-DASH）	23-26

付録2-2. 平成26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)
下水道事業調査費 下水道研究室	1. 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	25-27
	2. 効率的な都市雨水対策推進に関する調査	25-27
	3. 適正な汚水処理方法可能性 (FS) に関する検討	24-26
	4. 下水道クイックプロジェクトフォローアップ調査	26-28
下水処理研究室	5. 処理水・再生水の衛生学的リスク制御技術の評価に関する調査	26-28
	6. 下水道における一酸化二窒素発生抑制型処理方法に関する検討	26-28
	7. 下水道における水環境マネジメント推進に関する調査	26-28
その他の予算による研究 下水道研究室	1. 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	24-26
	2. 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	25-27
	3. 社会資本等の維持管理効率化・高度化のための情報蓄積・利活用技術の開発	25-28
	4. 下水道管不具合に伴う路面下空洞化に関する研究	26-28
下水処理研究室	1. 持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム～21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価～	21-26
	2. アフリカ・サヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発	21-26
	3. 高水温に適した下水高度処理技術に関する研究	26-27
委託研究	下水道革新的技術実証事業 (B-DASH)	23-27

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
No. 823 January 2015

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