

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。

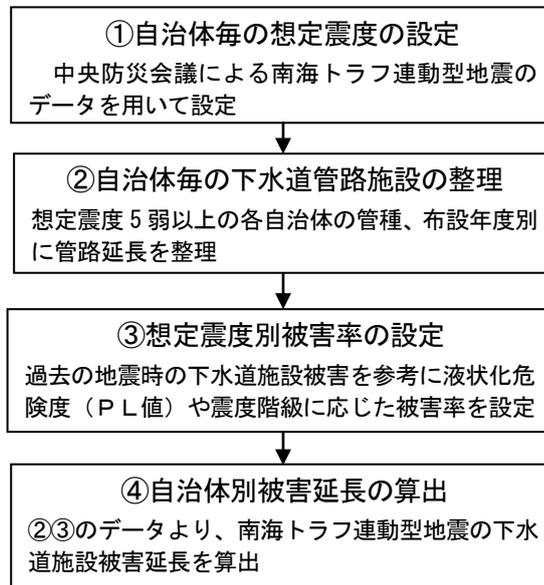


図 1 被害想定フロー

(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。

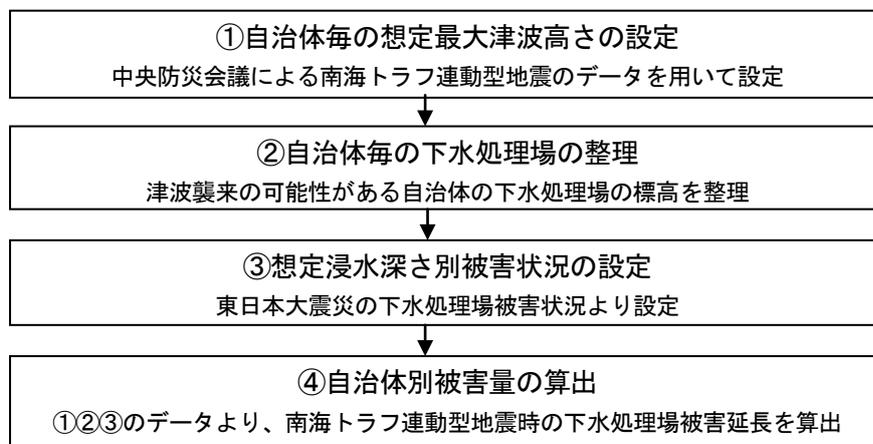


図 2 被害想定フロー

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。

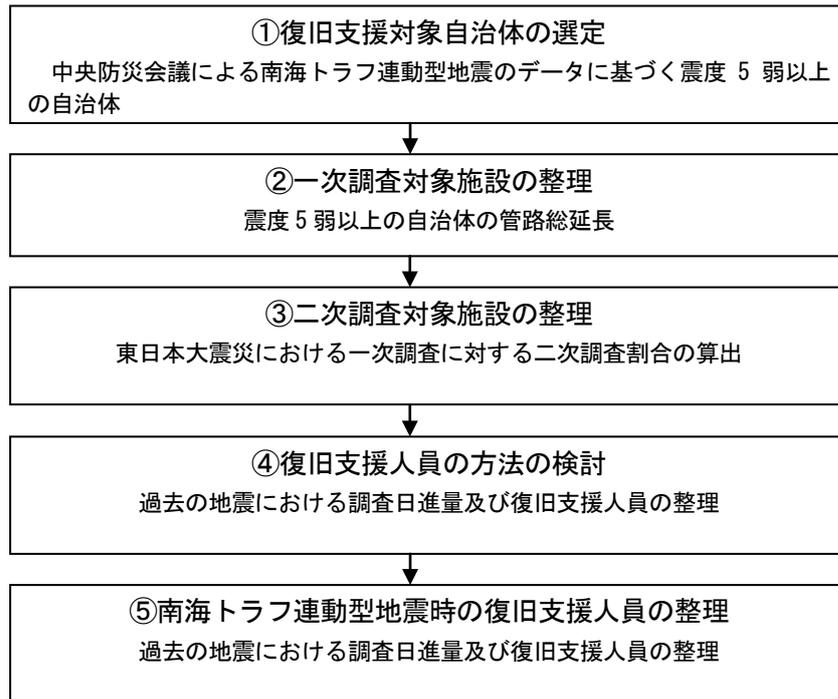


図3 復旧支援人員の試算方法のフロー

(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 km に（3）の割合を乗じて算出すると二次調査対象延長 15,587 km、本復旧対象延長 2,502 km 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。

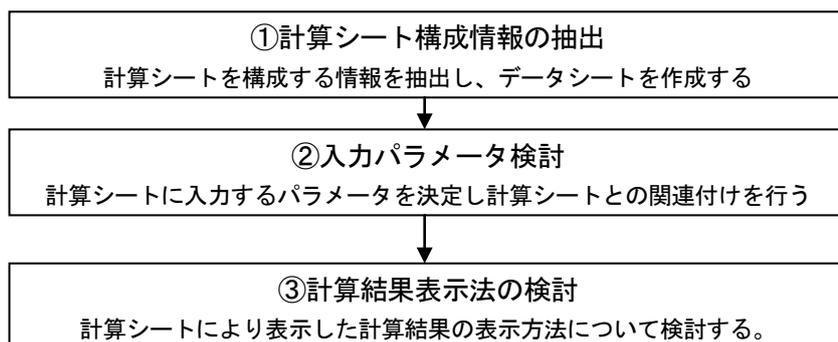


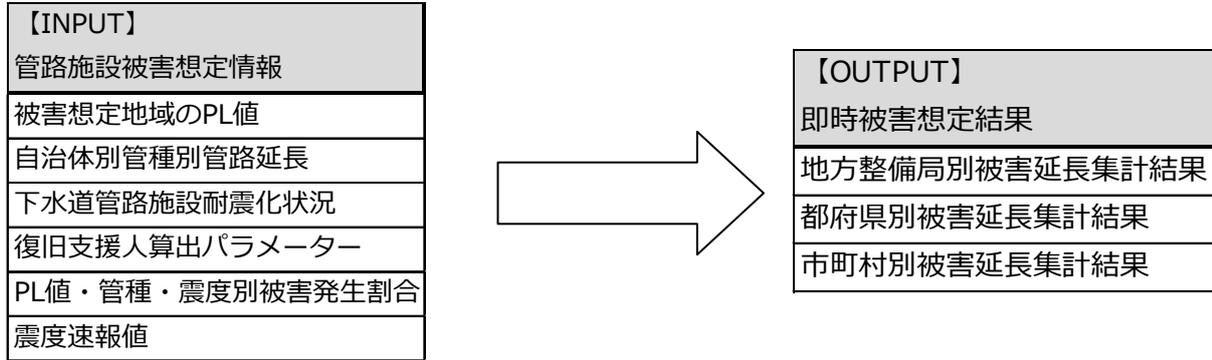
図4 即時被害想定計算シートの作成フロー

（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、PL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)

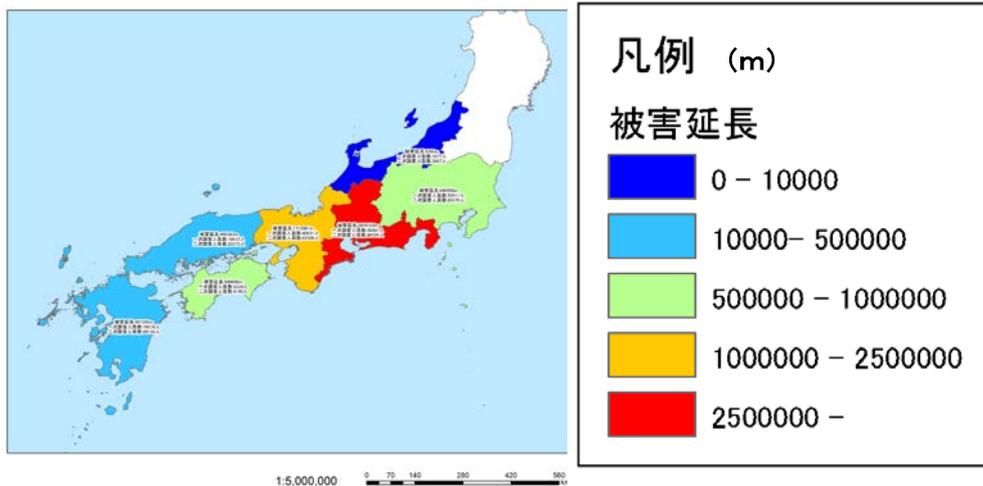


図 5 計算結果表示の例

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。

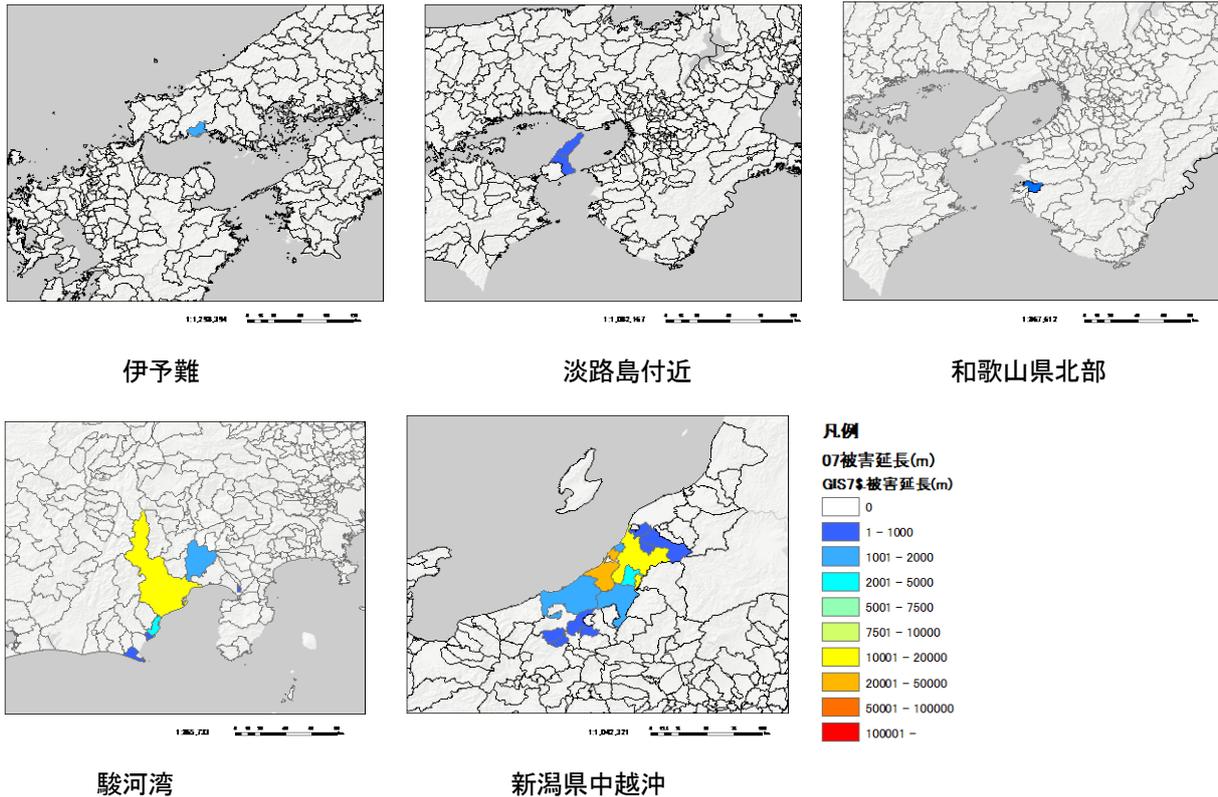


図6 計算シートを用いた被害延長計算結果

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。

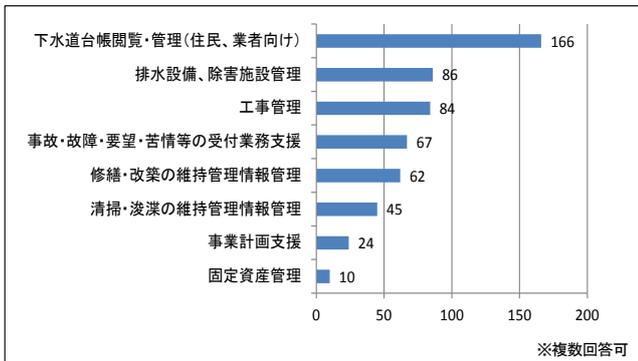


図1 システムの主な利用用途

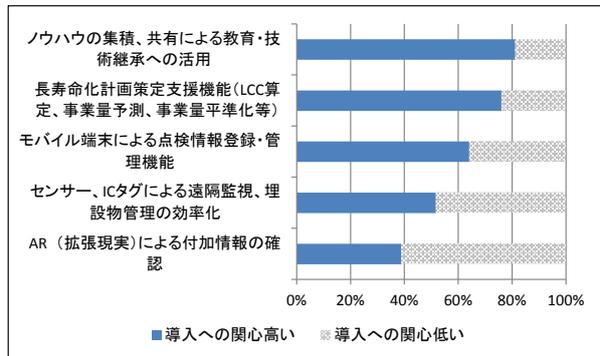


図2 ICT技術の利用意向

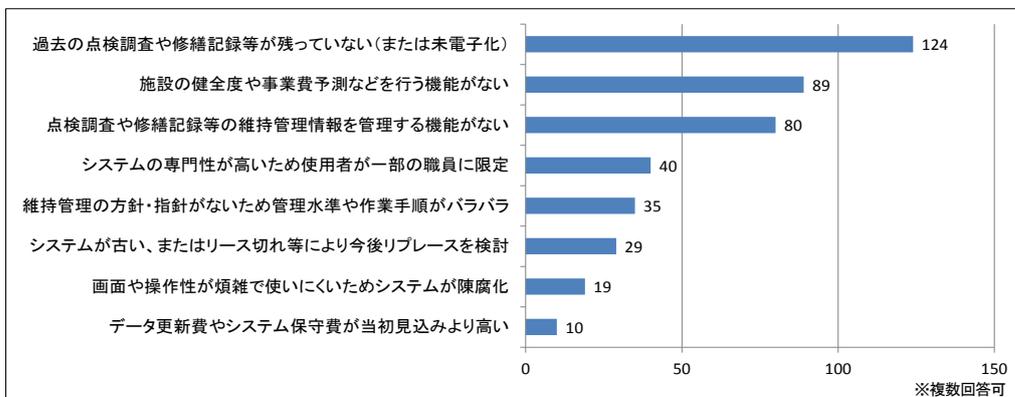


図3 現在のシステム運用上の課題

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）

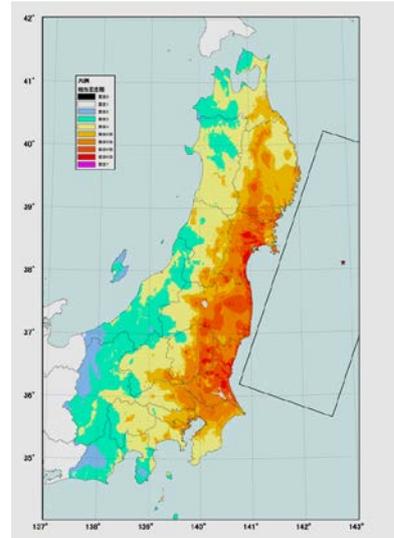


図 1 東日本大震災地震動分布図

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

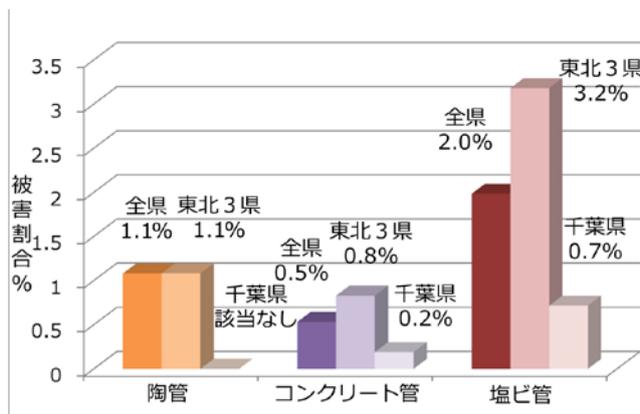


図2 東日本大震災での下水道管路施設被害率

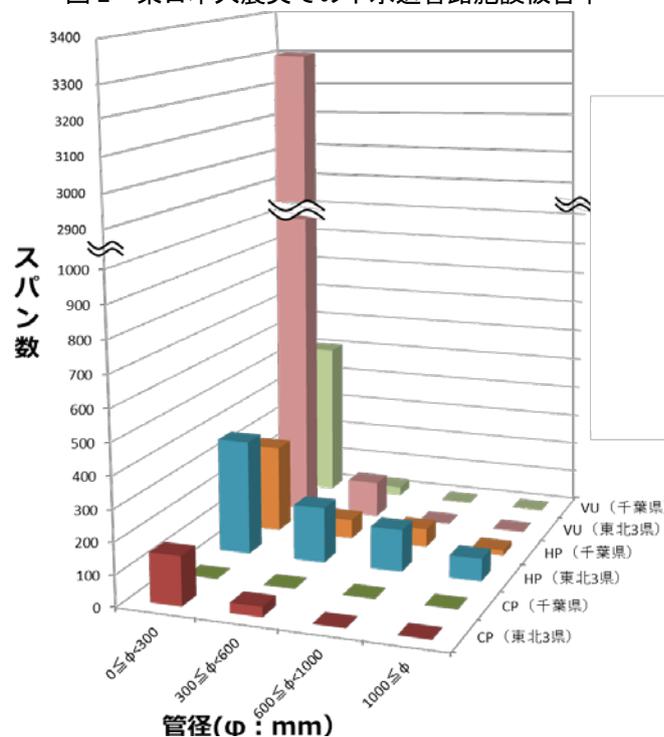


図3 管種、管径と被害発生スパン数

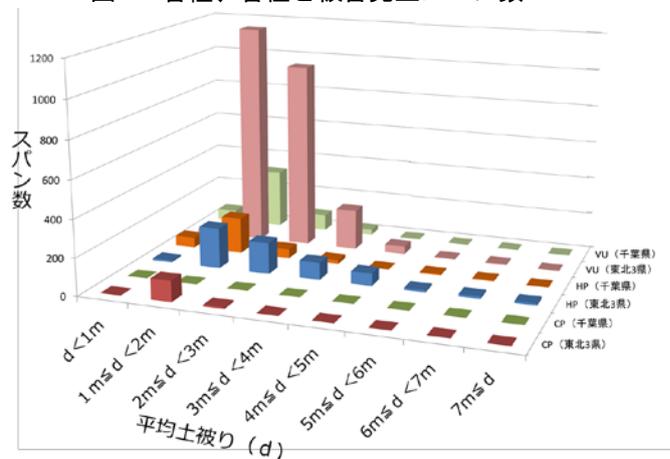


図4 管種、土被りと被害発生量（スパン数）

(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

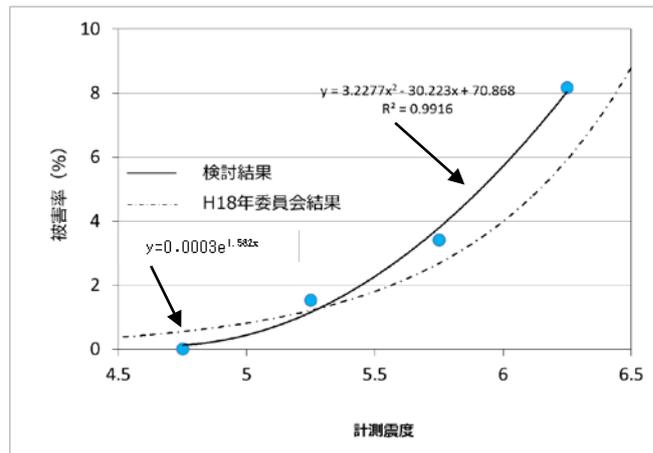


図5 下水道管路施設の被害率予測式

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、自治体を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

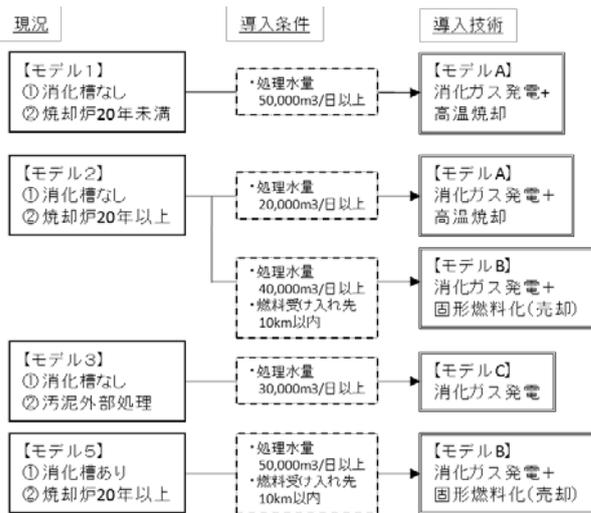


図-1 資源・エネルギー化技術導入フロー

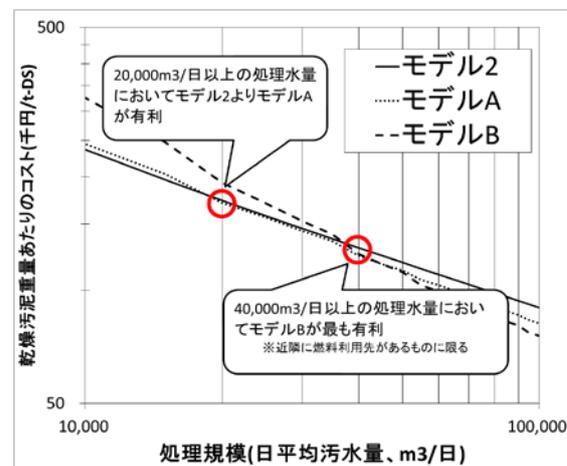


図-2 処理規模と汚泥量あたりコストによる導入検討ケース例

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

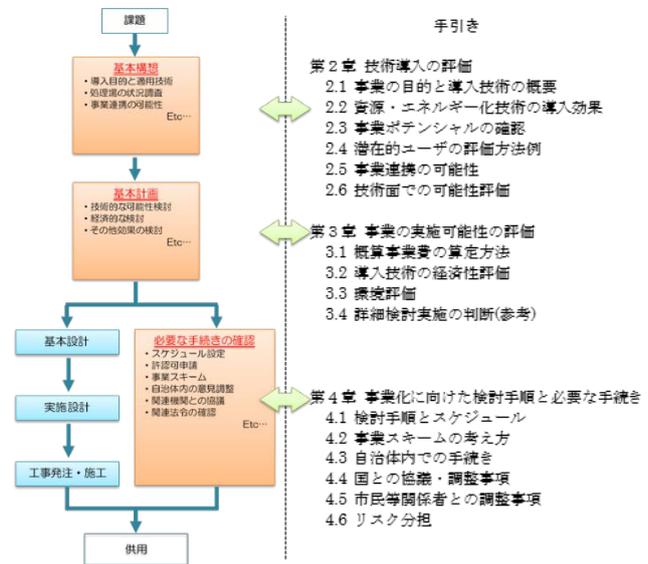


図-3 資源・エネルギー化技術導入の意思決定フローと手引きの内容との対応

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	検討結果	点数	検討結果
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、先行事例の紹介、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	
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	0.0	単価と容量リセット	0.0
		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	8,000.0	単価と容量リセット	8,000.0
		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

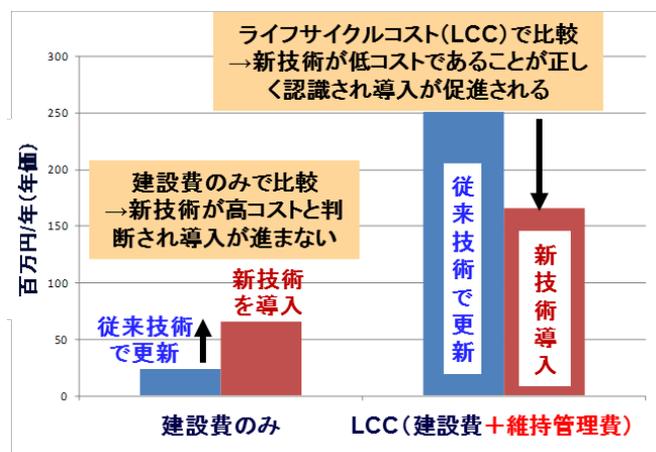


図-6 コストの算出例（参考）

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

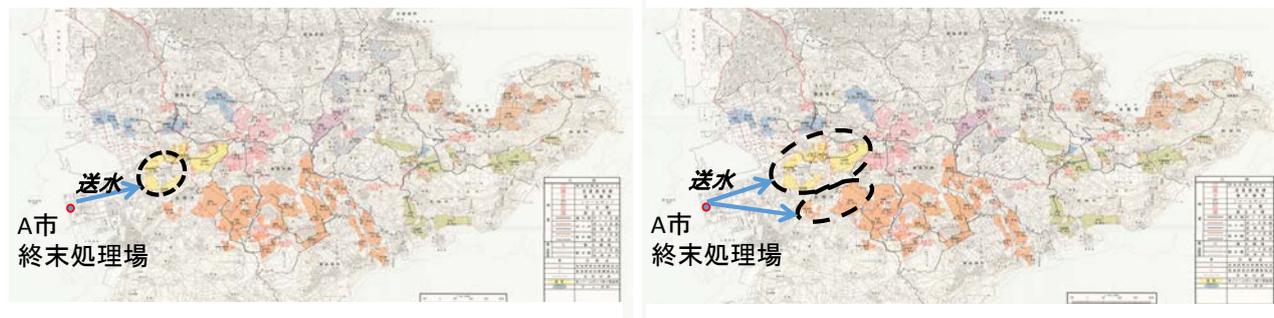


図 1 農業用水利用の設定条件

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+

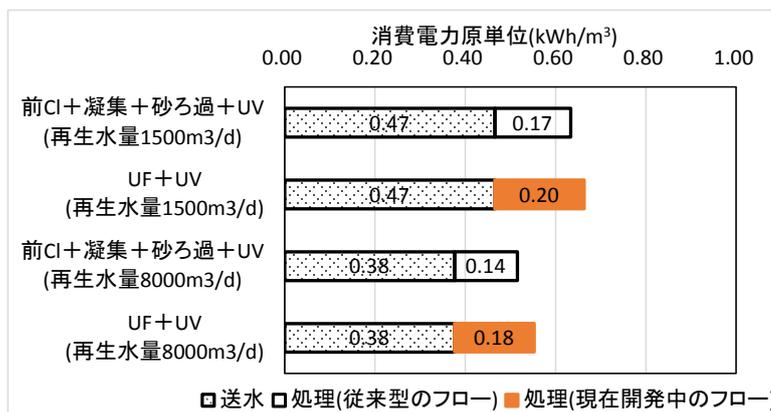


図 2 再生水の農業用水利用における電力消費量の比較

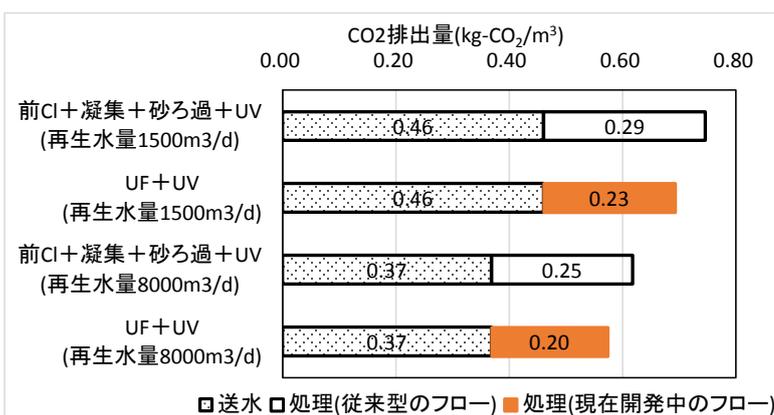


図 3 再生水の農業用水利用における CO₂ 排出量の比較

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剤消費による 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

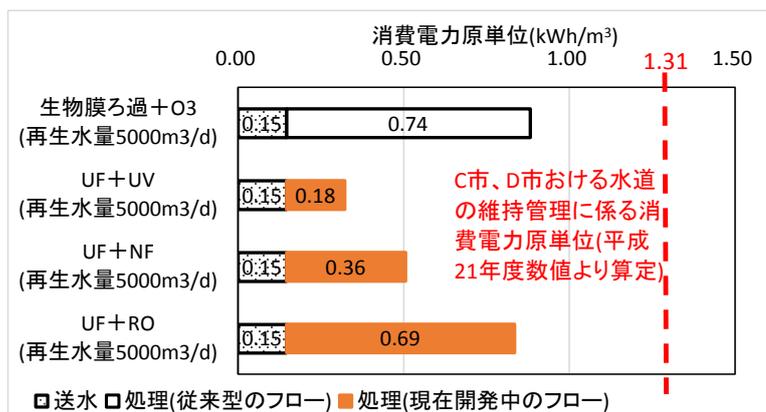


図5 再生水の都市用水利用における電力消費量の比較

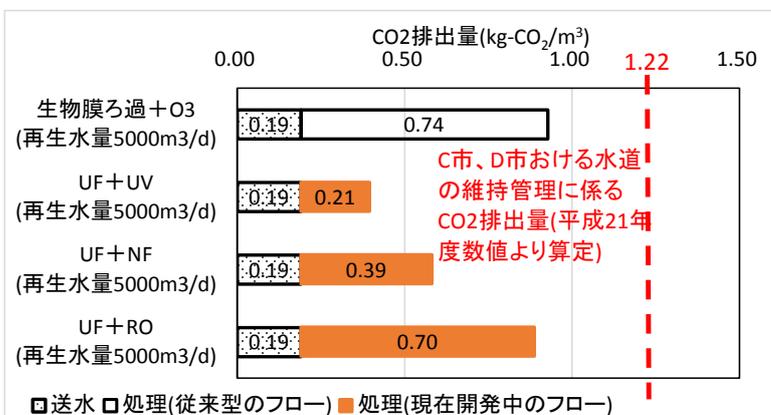


図6 再生水の都市用水利用におけるCO2 排出量の比較

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。

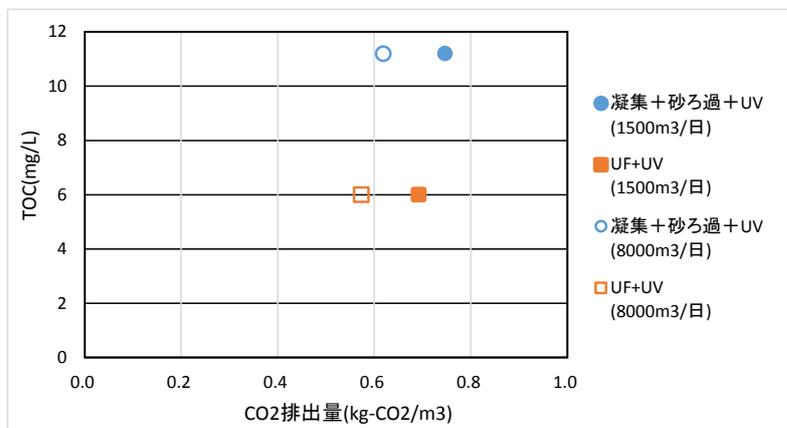


図7 再生水の農業用水利用におけるCO₂排出量とTOCの相関

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。

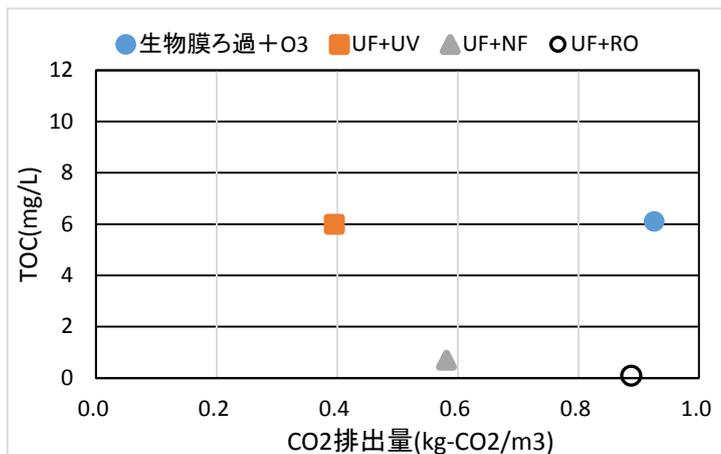


図 8 再生水の都市用水利用における CO₂ 排出量と TOC の相関

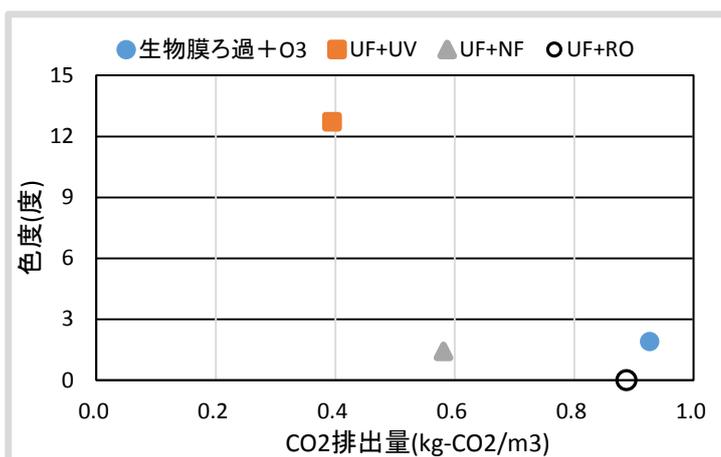


図 9 再生水の都市用水利用における CO₂ 排出量と色度の相関

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、自然通気のみ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。