

2. 中小都市の持続可能な下水道事業実施に関する基礎研究

下水道研究室 室長 横田 敏宏
主任研究官 深谷 渉
研究官 宮本 豊尚
交流研究員 竹内 大輔

1. はじめに

我が国の人口は 2008 年をピークに減少傾向にあり、多くの公共団体で今後一層の人口減少が予想されている。特に中小都市においては施設の老朽化による維持管理費の増大や人口減少に伴う使用料収入の減少等、下水道経営は厳しい状況にある。このため、公共団体の状況・レベルに応じた適切な維持管理手法が求められており、小規模団体の実態把握や支援方策の検討が必要となっている。

本研究では、中小都市が持続可能な下水道事業を実施していく上で、有効な維持管理手法を調査し、提案することを目的とする。平成 28 年度は、公共団体がおかれている状況や今後の都市の見通しを整理するとともに、種々の効果的なインフラ管理に関する事例について情報収集を行った。

2. 我が国における中小都市の整備時期と人口減少の関係

前項のとおり、今後我が国における人口減少は加速度的に進んでいくことが推計されている。一方、下水道事業は古くから、大都市や県庁所在地、工業都市、旧軍の衛戍地など有力な都市から着手され、政策的にも中小都市の普及をうたいはじめたのが 1976 年からスタートする第 4 次下水道整備五カ年計画からである。同計画では「公害防止計画および水質環境基準達成のための下水道事業を促進する」ことが第一の目的となっているが、その 10 年後の 1986 年からスタートする第 6 次下水道整備五カ年計画においては、「主要な都市の整備水準を欧米先進国並みに引き上げ、地方都市の普及拡大を図るとともに、農山漁村等の生活環境を改善するため下水道の整備を促進する。」ことに主眼が置かれ、さらにその 5 年後の 1991 年からスタートする第 7 次下水道整備五カ年計画においては「普及の遅れている中小市町村の下水道整備及び未着手の新規着手を促進する」こととなっている。

このような背景のもと、1990 年以降に現有施設能力が 1000m³/日以下（晴天時 1 日最大処理量）の小規模な処理場の供用が急増している（表-1）。これは、下水道処理人口の向上とともに、下水道整備が大都市から中小都市へ、中心市街地から市街化区域縁辺部や中山間地に移行してきたためである。

表-1 供用年度別の下水処理場の処理能力の分布

供用年度		処理場数	水処理施設・晴天時1日最大処理量(現有施設能力)					
			10 ¹ -10 ²	10 ² -10 ³	10 ³ -10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁵	10 ⁵ -10 ⁶	10 ⁶ -10 ⁷
五カ年計画以前に供用	S37以前	37	0	1	1	20	15	0
第1次下水道整備五箇年計画	S38-41	42	0	0	4	22	15	1
第2次下水道整備五箇年計画	S42-45	55	0	0	4	34	17	0
第3次下水道整備五箇年計画	S45-50	83	0	0	9	49	25	0
第4次下水道整備五箇年計画	S51-55	104	0	5	8	66	25	0
第5次下水道整備五箇年計画	S56-60	172	0	4	37	103	28	0
第6次下水道整備五箇年計画	S61-H2	221	0	19	92	96	14	0
第7次下水道整備五箇年計画	H3-H7	276	1	59	147	61	8	0
第8次下水道整備七箇年計画	H8-H14	734	9	192	481	51	1	0
社会資本重点整備計画	H15以降	415	5	147	245	18	0	0
合計		2139	15	427	1028	520	148	1

単位：m³

一方、供用開始から比較的年数が経っていない処理区を抱える公共団体においては、人口の減少率が相対的に大きく、またその減り方もバラツキが大きいことが確認できる（表-2）。このとき、土木・建築の耐用年数は75年程度、電気・機械は25年程度で交換を行う事例がガイドライン^{iv}には記載されている。この事例で考えると、供用後75年経過時には施設を総入れ替えする必要がでてくる。2017年時点において供用後75年経過した処理場は戦前から供用された12処理場にすぎないが、2040年には第1次下水道整備五カ年計画で整備された処理場が、2060年には第6次下水道整備五カ年計画で整備された処理場が75年を迎えはじめる。その2060年には全国で8000万人程度まで人口減少がおきている推計がされており、今後の下水道の処理場・管渠の更新に当たっては、これら利用者の大幅な減少を織り込んだ計画が求められている状況にある。

表-2 供用時期別の2040年と2010年の人口比

供用時期		団体数	2040年の人口/2010年の人口	
			平均値	標準偏差
五カ年計画以前に供用	S37以前	36	83.4%	9.5%
第1次下水道整備五箇年計画	S38-41	39	82.3%	8.1%
第2次下水道整備五箇年計画	S42-45	55	84.0%	8.6%
第3次下水道整備五箇年計画	S45-50	75	83.8%	9.8%
第4次下水道整備五箇年計画	S51-55	96	82.1%	9.2%
第5次下水道整備五箇年計画	S56-60	153	80.3%	12.1%
第6次下水道整備五箇年計画	S61-H2	218	75.9%	12.1%
第7次下水道整備五箇年計画	H3-H7	226	76.4%	13.6%
第8次下水道整備七箇年計画	H8-H14	314	70.6%	12.1%
社会資本重点整備計画	H15-	163	72.3%	12.0%
未供用		316	69.4%	14.5%
全国平均		1691	75.1%	13.3%

※複数の処理区を有する団体においては、一番古い処理区の供用時期で整理した

3. 人口減少下における下水道と都市計画の事例調査

前述のような背景を考えると、将来の都市の構造や都市計画と下水道の改築が密接な関係にあると言える。そこで都市計画の有識者に都市計画と下水道に関するヒアリングを行い、下記の事例を得た。

3. 1 国内の事例

立地適正化計画の策定に関する案件については、人口減少は最小限でとどまるシナリオで作成された事例があった。また、計画立案上、下水道の整備区域は特段考慮されておらず、氾濫危険区域に指定されている地区でも居住区域に指定された場所が存在するなど、都市計画と防災関係の計画との整合が十分にとれていないケースがあるとのことであった。

なお、都市計画が現在抱える問題点として、長期的な計画立案が困難になってきていることがあげられた。また、ある都市がコンパクトシティを志向し、郊外の開発を抑制した結果、住民が近隣市へ流出するケースがあった旨を紹介された。

3. 2 海外の事例

米国デトロイト市においては、自動車産業の低迷に伴い市の中心部から人口が流出し、最大185万人近い人口が70万人以下まで半減している^{iv}。そこで民間レベルではあるが、人口流出して荒廃した都心近くの住宅地区を、都市農地や緑地に転換させることや、雨水滞水池を整備することなどを提案している事例があった。我が国でも中心市街地の空洞化が発生しているが、都市によっては空洞化した地区を積極的な雨水施設用地として活用していく可能性も示唆された。

3. 3 今後の人口減少下におけるシナリオ例の検討

3. 1で示したとおり、都市計画の分野においても、長期的な見通しを立てにくい状況にあることが

ら、今後の人口減少下における都市と下水道のシナリオについて、都市計画及び下水道の有識者へのヒアリングを行った。ヒアリング結果をとりまとめると、表-3の通りとなる。

表-3 今後の人口減少下における想定シナリオの例

都市パターン		中心市街地	中心市街地近郊部 周辺地域	小規模集落 (農漁村, 山間部等)
パターン 化	人口規模等	集中 増加?/横ばい?/減少?	成長期等に増加⇒その後減少傾向 ※都心から流入が継続する可能性も	人口小, 人口密度低 ⇒過疎化の進行・無人化の進行
	都市の遷移状態	全体的な高齢化/老朽化、 一部で再開発(一等地)、 一部は空洞化	全体的には高齢化/老朽化・縮退傾向 (一部空洞化)、 極一部で新都市形成	全体的な高齢化/老朽化 無人化
	都市インフラ	大	大～中(地域格差大)	小
	排水システム	下水道中心	下水道、集排等 (一部は個別処理)	個別処理中心 (一部は集合処理)
	都市の課題	急速な高齢化、部分的な空洞化、 空いた空間の利用	インフラ整備途中で頓挫、都市の低 密度化、非効率なインフラ整備	限界集落増加
Q1	都市部、都市近郊部、小規模集落における都市・人口のシナリオと関連する都市政策のあり方	ある程度人口が維持でき、コンパクトシティ政策を進めていくものと考えられる。また、大都市が広域的に近隣市町村等を補助していくことになる可能性もある。	人口等が遷移状態にあり、趨勢を予測することが難しく、財政面で最も厳しくなってくると想定される。政策的に成功した都市とそうでない都市で特に格差が広がると思われる。	基本的には、政策等による居住地の誘導等を行わない。そのため、人口減少が進んでいくものと考えられる。
Q2	それぞれの場合に問題となりうる下水道の課題(維持、処理等)	相対的に財政面で余裕があり、各都市で機能や処理レベルを維持していくことになると考えられる。	人口減少による料金収入等が減少し、機能維持が困難になる。整備途中の場合、頓挫することも考えられる。	浄化槽等による整備が主となるため、個人の維持管理に依存することになる。市町村設置型等にも課題有り。
Q3	それぞれの場合で望ましい排水処理+環境保全+維持管理のシナリオ	大都市が中心となり広域的な維持管理等を行っていく。現状のレベルで処理していくと負荷量が減少。公共用水域への影響もあるかもしれない。	現状のレベルで処理していくと負荷量が減少。公共用水域への影響もあるかもしれない。	浄化槽等による整備が主となる。低級処理という選択も出てくるかもしれない。

4. 住民参加型の下水道維持管理の可能性検討

平成25年度の国土交通白書において、社会インフラの維持管理に関する住民の参加意向に関する調査が実施されている^{vi}。人口減少や財政状況の悪化等から、インフラの維持管理・更新が現状のままでは困難になったときに実施すべき対策について尋ねたところ、「維持管理・更新における住民協力の拡大」を「実施すべき」、「どちらかという実施すべき」とした割合が64.3%と、「長寿命化」と並んで高い割合となっている。住民協力の内容としては、経済的負担よりも、維持管理の主体として住民自らが参加することを志向している結果が得られている。

そこで、中小都市が持続可能な下水道事業手法の一つとして、市民参加型の手法について検討を行った。なお、下水道法第22条2の規定により、「公共下水道管理者は、公共下水道の維持管理のうち政令で定める事項については、政令で定める資格を有する者以外の者に行なわせてはならない」となっており、下水道施行令により当該事項は「処理施設又はポンプ施設の維持管理に関する事項とする。」とされている。そのため下水道の処理施設又はポンプ施設については検討から除外することとした。

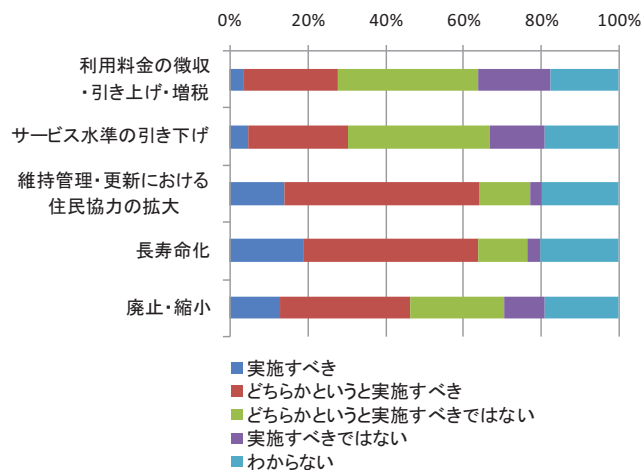


図-1 社会インフラの維持管理に関する住民の参加意向に関する調査結果 (H25 国土交通白書より)

4. 1 地表部分の巡視（人孔蓋・路面の変状の把握）

住民からのご意見・ご要望については、電話等で来ることが多いが、これは住民による広義での巡視ともいえる。ICT 技術を活用し、ご意見・ご要望を統一的なシステムとして構築させたものに「ちばレポ」^{vii}等がある。現在公開されている平成 26 年 8 月から平成 28 年 2 月までのレポート^{viii}によると、人孔蓋に関する問い合わせ（欠けの存在など）が複数件来ており、下水道起因道路陥没についても通報がされている可能性もある。さらに、浸水に関する通報も確認されており、下水道事業者が把握できていない浸水実態を網羅的に把握できる可能性もある。ただし、予防保全的というよりは事後保全的な対応になりうること、必ずしも定点観測がなされていないこと、などを鑑みると、必要な個所においては専門家による定期的な巡視が必要である。

4. 2 雨水開渠

下水道法第十六条のただし書きには、「公共下水道の施設の維持で政令で定める軽微なものについては、承認を受けることを要しない。」とされており、下水道施行令には承認を要しない軽微な施設の維持として、「排水渠の開渠である構造の部分又はますの清掃」が示されている。すなわち現時点においても雨水開渠においては、下水道管理者の承認を受けることなく、住民自らが施設の維持としての清掃を行うことが可能である。ただし浚渫した土砂の取扱については、廃掃法等での取扱もあるため、十分な検討が必要と考えられる。また、滞水の有無や土砂堆積といった点検であれば、技術的な要求レベルは高くないため、住民による実施は不可能ではない。それより先の調査となると、専門性を有する者による診断が必要であり、修繕・改築には相応の技術が求められる。

4. 3 暗渠

暗渠部の点検等においては人孔蓋を開閉する必要がある。ここで、人孔内に出入りする前提条件として、管渠の内部は酸欠環境下であり、酸素欠乏症等防止規則等の保安上の課題から、少なくとも酸欠に関する教育を受け、また有資格者の指示が必要な作業となる。あわせて、地上での交通への影響や浸入水の防止の観点から、作業後には確実に蓋を閉めることが要求される。これらの前提条件を満足し、かつ下水道管理者の承認を受けた場合、例えば滞水の有無や人孔内部の腐食有無の確認といった点検であれば、技術的な要求レベルは高くないため、住民による実施は不可能ではない。しかし、清掃を行う上では、浚渫物の処分については廃掃法の許可が必要である。調査となると、専用の機器（TV カメラ調査車等）を用い専門性を有する者による診断が必要であり、修繕・改築には相応の技術が求められる。

以上のことから、安全知識を習得した住民であれば、かろうじて滞水・土砂堆積の確認や人孔/人孔蓋部の腐食といった点検については可能性があるものの、調査より先の工程については、困難と言える。

以上の結果を纏めると表-4 に示す結果となる。

表-4 住民参加型の下水道維持管理の可能性

維持管理 フェーズ	作業場 所	安全上の課題		求められる技術レベル ◎：高、○：並、△：低	その他法令上の課題	適否	
		暗渠	開渠			暗渠	開渠
巡視	地上			△		適	適
点検	地上/ 管路内	(酸欠/硫化水素)		○		(条件付き適)	(条件付き適)
清掃	地上/ 管路内	酸欠/硫化水素		合流汚水◎ 雨水は規模に応じて	浚渫物処分における廃 掃法上の課題	否	(条件付き適)
調査	管路内	酸欠/硫化水素		◎		否	否
修繕	管路内	酸欠/硫化水素		◎		否	否
改築	管路内	酸欠/硫化水素		◎		否	否

5. 他事業との共同による下水道維持管理（地中探査レーダー・モバイルマッピングシステムの活用）

現在、一部政令市等の下水道施設管理の一環として、道路陥没を未然に防ぐことを目的に地中探査レーダー（GPR）を用いた空洞探査やモバイルマッピングシステム（MMS）が実施されている^{ix}。また、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）においても、陥没の予兆を発見する技術として技術評価が実施されているが、まだ一般的な調査方法として定着していないのが現状である。

一般的に面的な計測のためだけに、単独の機関が機器を動かしてデータを取得することは大きな労力が必要である。例えば大気の観測であれば、以前はチャーター航空機を用いて実施されてきたが、経費の面から観測頻度や観測範囲は限られていた。しかし、毎日、世界中を飛行している国際定期便航空機に上空の大気を観測する装置を搭載すれば、世界の広範囲で高頻度に観測データをとることができる。1993年からは、気象庁気象研究所、日航財団（現在は JAL 財団）、日本航空が協力し、当時の国際長距離路線の主力機であったボーイング 747 型機（通称、ジャンボジェット）に、自動大気採取装置を取り付けて大気観測を実施されているとのことである^x。

これを下水道管路近傍の地中探査レーダーによる空洞探査に当てはめると、路線バスへの適用が考えられる。人口減少下においてその路線を維持するため、各地で客貨混載事業（人と貨物を同じ車両で一緒に運ぶことやお客さまの輸送に付随して貨物を運ぶことを意味する）が始まる^{xi}など比較的他事業との共同に前向きと考えられる。

ここでは、路線バスとの連携による下水道維持管理の可能性に関して、技術面、事業採算面等の検討を行った結果を述べる。

5. 1 技術面の課題

下水道整備区域とバス路線はおおむね一致することから、バスへの機器搭載は効率的な計測という面では有効と考えられる。しかしながら、GPR や MMS の機器特性を勘案すると、技術的側面における課題が挙げられる。以下に、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）で得られた成果等に基づく技術的制約について整理する。

① 計測範囲・精度

GPR は、車両に取り付けられたセンサー（車幅と同寸法）の寸法上の都合から、直下の空洞しか発見することができない。このため、下水道管路が歩道に敷設されている場合には、調査不能なケースがある。また、一般的な GPR は、探査震度が G.L.-1.5m 以浅であり、下水道管路が埋設される深度（3～4m）付近の探査はできない。

MMS は 路面の僅かな変状（凹凸）を計測することから、バスの乗員数による車両の浮き沈みや高頻度の発停車時の振動が、計測データに影響を及ぼす可能性がある。

② データ解析

多大な時間を要する GPR のレーダー波形や MMS の点群データ等の解析を効率化するため、クラウドや無線 LAN 等を活用した計測データの集約や、解析処理の自動化・省力化が必要である。

③ バスへの機器設置

GPR は車両牽引式のものと専用車両による方式が現在存在している^{xii}。そこで調査会社やバス事業者等へのヒアリングにより、調査機器の望ましい設置形態を検討する必要がある。

5. 2 事業面の課題

空洞の発達速度を考えると GPR の計測頻度は、3年に1回程度を基準案として報告している^{xiii}。一方、GPR での計測は一般車両と同じ速度で実施が可能であり、一都市あたりの調査必要日数はバスの路線延長と本数に依存する。そのため、効率的な事業実施に当たっては、一台の調査機器（例えば改造バス）

を複数の事業体で融通する等の検討が必要である。

下水道部局単独での GPR 及び MMS による計測には、費用面や体制面で限界があることから、道路部局とも連携して実施することが望ましい。この際、バス路線は、国道や都道府県道、市道等の区別なく走行することから、関連する管理者を巻き込んだ事業実施が必要となる。

6. 今後の展開

近年、民間包括委託や PPP/PFI といった民間の人材やノウハウを活用した発注・管理方式に注目が集まっており、試行的な導入が進められている。国内外、他事業での新たな手法にも注目しつつ、下水道事業の効率的な運営に貢献できる手法に関する検討を進めていきたい。

参考文献

-
- ⁱ 国立社会保障・人口問題研究所 HP <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Mainmenu.asp>
 - ⁱⁱ 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部：下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン P.13
http://www.mlit.go.jp/river/suibou/pdf/gesui_stockmanagement_guideline2015.pdf
 - ⁱⁱⁱ Gibson, Campbell; Kay Jung (February 2005). "Table 23. Michigan - Race and Hispanic Origin for Selected Large Cities and Other Places: Earliest Census to 1990" (PDF). United States Census Bureau. Retrieved January 8, 2013.
 - ^{iv} United States Census Bureau HP <https://www.census.gov/quickfacts/table/PST045215/2622000>
 - ^v Detroit Future City 2012:THE LAND USE ELEMENT The Image of the city
https://detroitfuturecity.com/wp-content/uploads/2014/02/DFC_LandUse_2ndEd.pdf
 - ^{vi} 国土交通省：平成 25 年度 国土交通白書 pp.83-85 ,2014
 - ^{vii} 千葉市 HP 千葉市民協働レポート <https://chibarepo.secure.force.com/>
 - ^{viii} 千葉市 HP 千葉市民協働レポート
https://www.city.chiba.jp/shimin/shimin/kohokocho/chibarepo_opendata.html
 - ^{ix} 名古屋市上下水道局 HP,下水道基幹施設の改築
<http://www.water.city.nagoya.jp/category/roukyushisetsutaiou/2098.html>
 - ^x JAL HP：航空機による大気観測 - CONTRAIL プロジェクト
<https://www.jal.com/ja/csr/environment/social/detail01.html>
 - ^{xi} 例えば ヤマト運輸 HP：北海道で路線バスが宅急便を輸送する「客貨混載」を開始
http://www.yamato-hd.co.jp/news/h28/h28_67_01news.html
 - ^{xii} 国土技術政策総合研究所 下水道研究室 HP 下水道革新的技術実証事業のページ
<http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/b-dash.html>
 - ^{xiii} 竹内ほか：下水道管理における路面下空洞調査頻度の検討、第 54 回下水道研究発表会講演集