

下水道施設における維持管理の 効率化に関する調査研究

1. はじめに

下水道施設は、重要な社会基盤施設としてこれまで整備が急がれてきたが、近年では大都市を中心に普及拡大は完了しつつある。それらの下水道施設に対する維持管理の重要性が高まりつつある一方で、厳しい財政状況の中、効率的な下水道施設の維持管理が求められている。

しかし、下水道施設の維持管理に関しては、明確な評価指標が確立されていない状況にある。加えて近年では、上下水道サービス業に関するISO化に伴い、事業活動の指針に関して標準化・国際化の動きが見られる。また、事業の透明化および説明責任の役目を担う上でも、下水道事業を適切に評価するための指標は必要であるといえる。

2. 研究内容

2.1 調査フローおよび概要

本調査研究は、下水道技術開発連絡会議において、平成15年度～平成16年度にかけて行う予定であり、今年度は、下水道事業における維持管理の実態を把握し、技術的な視点に基づき維持管理効率化を定義付け、維持管理の効率化に寄与すると考えられる技術を抽出した。さらにそれらのうち、3つの技術についての簡易ケーススタディを行い、技術の効果程

度の試算を行った。

平成15年度、平成16年度における調査フローおよび調査概要を図-1に示す。

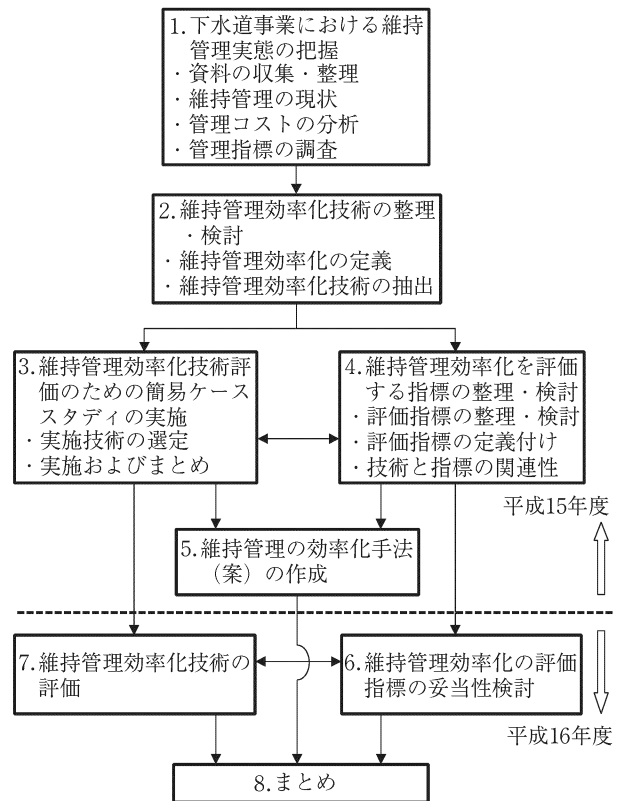


図-1 調査フローおよび調査概要

表-1 維持管理実態の整理項目

施設名	事業内容	維持管理内容	
管路施設	管路延長	調査	目視延長 TVカメラ延長
		清掃	清掃延長 最終処分量
		補修	修繕延長 改築延長
ポンプ場施設	排水能力 運転管理 ユーティリティ	運転管理	計画排水面積 (汚水, 雨水) 現有排水能力 (汚水, 雨水) 年間揚水量 (汚水, 雨水) 沈砂処分量 スクリーンかす量
		ユーティリティ	電力使用量 油系使用量 ガス系使用量
処理場施設	処理能力 運転管理 ユーティリティ	運転管理	処理水量 (一次, 二次, 高度) 発生汚泥量 沈砂処分量 スクリーンかす量
		ユーティリティ	電力使用量 薬品注入量 油系使用量 ガス系使用量

2.2 下水道事業における維持管理実態の把握

下水道事業における維持管理実態調査として、下水道統計 (平成9, 11, 13年度版), 14都市における施設概要および維持管理実態について資料の収集・整理を行った (表-1)。

2.2.1 維持管理実態の傾向について

実態調査の結果、管路の目視調査延長の総延長に対する割合は3カ年の平均で4.2% (0~35.3%), TVカメラ調査延長の総延長に対する割合は平均で1.8% (0.1~25.1%), 清掃の総延長に対する割合は平均で5.4% (0.3~14.7%) と各都市間でバラツキが大きいことが明らかとなった。この結果は、管路調査および管路清掃を効率的に行うことは、維持管理の効率化へとつながる要素があることを示すと考えられる。

管路内堆積物の最終処分量、ポンプ場および処理場の沈砂処分量、スクリーンかす量については、各都市により計上方法が異なり、傾向をつかむことはできなかった。

ユーティリティ使用量について処理水量当たりで整理した結果、各都市間で大きな差は見られなかった。

2.2.2 維持管理コストの傾向

平成13年度における14都市の維持管理費の状況について整理を行った。下水道施設に係る維持管理費割合 (14都市の平均値) を図-2に示す。その結果、処理場の維持管理費が50%と最も高い割合を示すことが明らかとなった。

図-3には、管路施設に係る維持管理費割合 (14

都市の平均値) を示す。その中で最も割合の高い費目は修繕費であり、調査費と合わせると、管路施設に係る維持管理費全体の約4割を占めることが明らかとなった。このことは老朽化対策や合流改善等に伴う機能向上による影響と考えられ、今後は一層の費用増加が見込まれる。

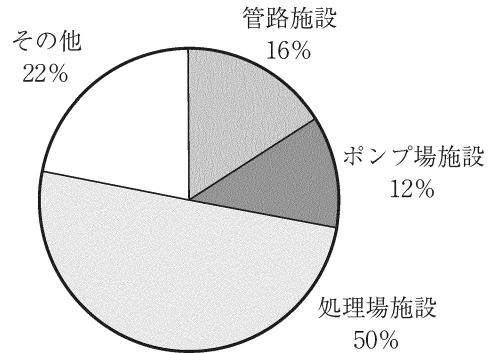


図-2 下水道施設に係る維持管理費割合

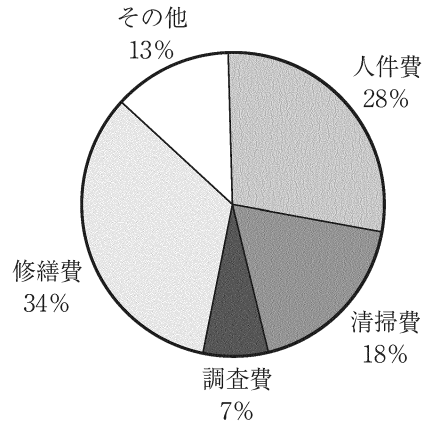


図-3 管路施設に係る維持管理費割合

図-4にはポンプ場施設に係る維持管理費割合、図-5には処理場施設に係る維持管理費割合を示す。それぞれ最も割合の高い費目は人件費であり、次いで運転管理委託費と電力費とが続いている。

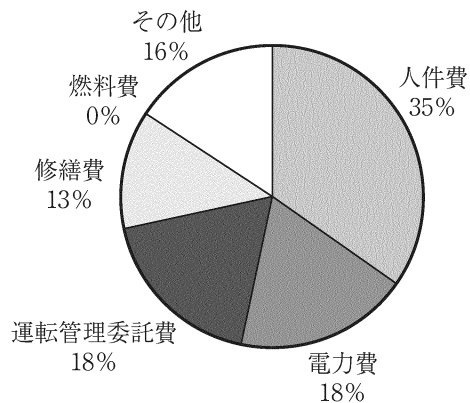


図-4 ポンプ場施設に係る維持管理費割合

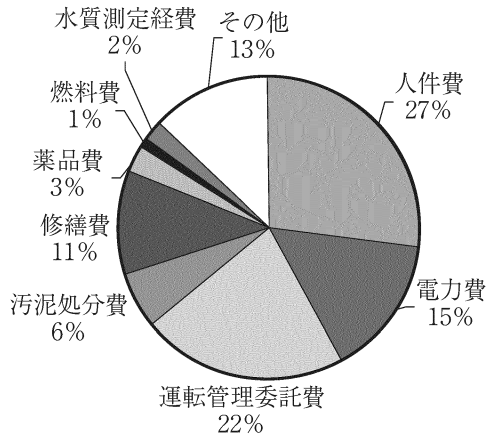


図-5 処理場施設に係る維持管理費割合

汚泥処理の集約化を平成7年より導入しているA市について、水処理単価および汚泥処理単価を比較した結果(図-6)、汚泥処理単価に大きな低減が見られた。このことは、汚泥の集約化によるスケールメリットの効果が生じ易いことを示すと考えられる。

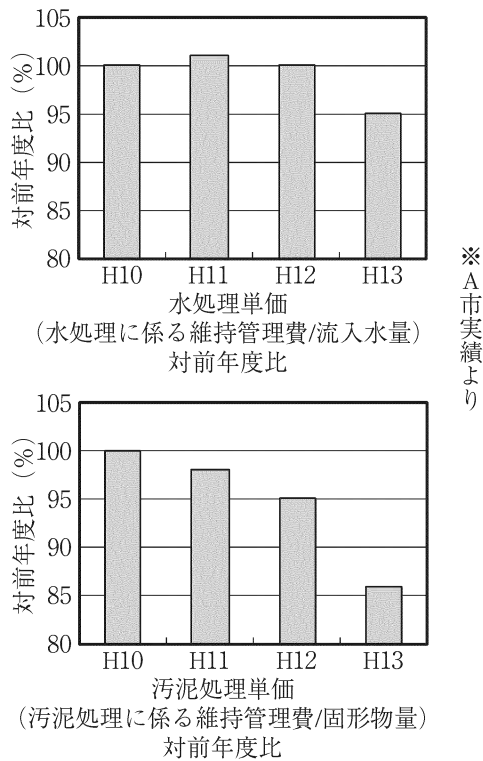


図-6 処理単価の経年変化

2.3 維持管理効率化技術の整理・検討

2.3.1 維持管理効率化の定義

維持管理効率化技術の抽出を行うにあたり、効率化の定義・目的を明確にする必要がある。効率化の

表-2 維持管理効率化の定義(目的および内容)

維持管理効率化の目的	維持管理効率化の内容
コスト低減	運転管理費用、清掃費用、修繕費用等の維持管理全般に係る費用および改築に係る費用の低減
維持管理性向上	運転管理の効率化や調査、点検に要する管理手間の低減および難易度の低下等
ユーティリティ削減	電力量、燃料、薬品等の削減
情報管理高度化	維持管理情報のデータベース化や光ファイバーの活用による高度情報化による維持管理の効率化・高速化
信頼性向上	機能の相互補完や相互融通等によるシステムの安全性や信頼性の向上、耐震性の向上等
環境配慮	温室効果ガスの排出量制御や産業廃棄物の削減

主目的はコスト低減ではあるが、どのような形態でコスト低減につながるのかを定義付けることは、今後の検討を体系的に実施するために重要である。表-2に維持管理効率化の定義を示す。

2.3.2 維持管理効率化技術の整理・検討

維持管理の効率化に繋がる技術は、例えばコスト低減効果および維持管理性向上効果の双方をもたらす等、複数の効果を有する場合があります。維持管理効率化技術を分類する際には、効果で分類することは困難であった。したがって、本調査研究においては技術体系により分類することとした。以下に設定した技術体系を示す。

- ① システム・制度等改善に関する効率化技術
- ② 建設(改築・修繕)に関する効率化技術
- ③ 維持管理性(手間、時間)に関する効率化技術
- ④ 維持管理ユーティリティに関する効率化技術
- ⑤ 環境配慮の観点からの効率化技術

3. 維持管理効率化技術評価のための簡易ケーススタディ

3.1 簡易ケーススタディ技術の選定

維持管理効率化技術の評価を行う第一段階として、今年度は上記に該当する技術のうち、3つの技術を選定して簡易ケーススタディを実施した。簡易ケーススタディでは、効率化技術の評価方法および効果程度の確認、評価指標の妥当性の検証およびケーススタディを行う上での課題等を整理した。

ケーススタディの対象技術は以下の観点から選定した。

- ・効率化への寄与が大きいと考えられる技術

- ・各都市が実際の事業の中で抱えている問題点の解消に大きく寄与すると考えられる技術
- ・効率化を評価するコスト構造が明確な技術
- ・近い将来に開発が期待される技術
- ・検討を行うための十分なデータがあり、評価指標の妥当性を検証しやすい技術

以上の観点から、簡易ケーススタディ対象技術としては、(1)管路の改築、修繕、放置、清掃時期の自動判定システム、(2)処理場間の汚水融通技術、(3)汚泥処理の集約化・広域化技術の3つの技術とした。なお、これらの3つの技術は、2.3.2の技術の分類中では①システム・制度等改善に関する効率化技術に分類される。

3.2 管路の改築、修繕、放置、清掃時期の自動判定システムに関するケーススタディ検討

早くから下水道整備を進めてきた大都市では、管路施設は下水道全資産の相当部分を占めており、今後、改築や修繕を必要とする管路が大幅に増大していくことが予想される。

そこで、本技術は、管路施設に係る客観的な情報に基づき、的確な管路内調査の実施時期、改築、修繕等の必要性、施工時期の判断および適正な措置方法等を決定していくための情報管理システムを構築するものである。本システムは大きく2つのシステムにより構成されている。

- ① 管内調査の自動判定システム
 - ・調査時期の判定および調査優先度の区分判定
- ② 管路の改築、修繕、放置、清掃時期の自動判定システム
 - ・損傷区分の判定、推定耐用年数および残存年数の算定ならびに改築、修繕、放置、清掃時期の判定

3.2.1 管内調査の自動判定システムの前提条件

本検討は、約50haの流域について行った。

調査時期を判定するための評価項目として、道路陥没実績、異臭苦情実績、逆勾配管路、伏越し管上下流部管路、布設経過年、土被り、道路幅員、地盤高低差、地盤沈下量、ビルピット排水管接続管路について基礎点数を設定し、スパンごとの合計点により、管内調査の優先順位を判定した。定期的に基礎点数を見直すことにより、調査の優先順位が高くなった時点で、該当するスパンについて管路内調査を実施するものとする。

3.2.2 管内調査の自動判定システムの検討結果

現状の考え方では、管内調査は対象区域の全てを調査するものであるが、管内調査システムを導入す

ることにより管内調査の必要（優先）箇所を絞り込むことが可能である。その結果、調査延長および調査金額を削減することができる。技術の効果程度については、コスト試算結果を表-3に、その他の評価指標による結果を表-4に示す。

3.2.3 管路の改築、修繕、放置、清掃時期の自動判定システムの前提条件

管路の改築、修繕、放置、清掃時期の自動判定システムについては、管内調査結果に基づき、破損・腐食・クラック・継ぎ目ずれ・浸入水・損傷箇所等の程度について損傷基礎点数をつけ、改築、修繕、放置の選定を行うものである。

さらに改築と修繕の判定については、管路の耐用年数を推定し、推定耐用年時における残存価格+改築費あるいは修繕費により判定を行う。

なお、推定耐用年数の算出には、硫化水素の腐食環境条件下にあると考えられる管路については硫化水素によるコンクリートの腐食深度式を用い、腐食深度がコンクリート管の鉄筋位置に達するまでの期間を耐用年数と考え、硫化水素の腐食環境条件下にないと考えられる管路については、コンクリートの中性化速度式により中性化がコンクリート管の鉄筋位置に達するまでの期間を耐用年数とした。

放置の場合の清掃時期は、継続的な管内調査実績に基づき設定することが望ましいが、今回は実績が得られなかったため、ヒアリング結果を基に設定した。逆勾配管、伏越し管、ビルピット排水管接続管および布設経過年数が多い管路に対しては、1～5年に1回は清掃を行うことが望ましいものとした。

3.2.4 管路の改築、修繕、放置、清掃時期の自動判定システムの検討結果

本検討の対象区域では、既存の自動判定システムが導入されていた。ただし、現状の考え方では耐用年数は一律に50年としており、耐用年数を超えた管路あるいは損傷判定結果が一定の点数以上の管路については、全て改築扱いとしていた。

本検討では、耐用年数に関する考え方が変わるため、改築の必要箇所が減少し、改築工事費が減少した。

さらに、損傷判定結果が一定の点数以上であっても、残存価値を考慮した場合に、改築よりも修繕の方が有利であれば、修繕を行うこととした。その結果、修繕工事費が新たに必要となったが、改築工事費は減少し、工事費計を低減することができた。コスト試算結果を表-3に、その他の評価指標による結果を表-4に示す。

表-3 各ケーススタディにおける効果（コスト試算結果）

管路の改築、修繕、放置、清掃時期の自動判定システム		調査金額 (千円)	修繕工事費 (千円)	改築工事費 (千円)	計 (千円)
a. 現状の考え方		906	-	115,797	116,703
b. 自動判定システム導入後		413	5,061	75,017	80,470
比率 (%) b./a.		46	-	-	69
処理場間の汚水融通技術		増設費 (百万円/50年)	改築費用 (百万円/50年)	連絡管工事費用 (百万円/50年)	計 (百万円/50年)
c. 個別処理時		1,173	84,521	-	85,694
d. 連絡管布設時		807	66,786	15,538	83,131
比率 (%) d./c.		-	-	-	97
汚泥処理の集約化・広域化技術		建設費 (百万円)	維持管理費 (百万円/年)	年 価 (百万円/年)	
個 別	g. 個別処理時（有効利用なし）	38,103	3,607	7,837	
輸送形態の検討	h. 混合汚泥管路輸送	25,851	3,566	6,536	
	i. 濃縮汚泥管路輸送	26,980	3,348	6,444	
	j. 脱水汚泥トラック輸送	35,711	3,495	7,356	
有効利用の検討	k. 焼却灰有効利用*	25,851	3,524	6,494	
	l. 溶融スラグ有効利用*	40,030	5,046	9,759	
エネルギー自立化検討	m. 焼却補助燃料利用*	25,851	3,566	6,536	
	n. 消化ガス発電利用*	32,951	4,072	7,422	

※汚泥輸送方式は混合汚泥輸送とした。

表-4 各ケーススタディにおける効果（効率化の目的別の評価指標）

評価指標		コスト低減					維持管理性向上
		管内必要調査 路線率 (%)	改築修繕 必要管路延長率 (%)	運転管理点数 原単位 (台/千m ³ /日)	水処理電力 原単位 (kWh/m ³)	期間中 改築回数 (回/50年)	管内調査 必要日数 (日/ha)
維持管理効率化技術	①管路の自動判定システム	導入前	100.0	48.5			0.21
	導入後	46.0	30.6				0.13
②処理場間の汚水融通技術	導入前			2.7	0.218	66	
	導入後			2.1	0.164	47	
③汚泥処理の集約化・広域化技術	導入前			2.0	0.477		
	導入後			1.4	0.477		
評価指標		維持管理性向上	ユーティリティ削減		信頼性向上	環境配慮	
		改築修繕 必要施工日数 (日/ha)	電力原単位 (kWh/m ³)	エネルギー 自立率 (%)	施設の 耐震化率 (%)	温室効果ガス 排出率 (t-CO ₂ /千m ³)	処理水量当たり 処分汚泥量 (m ³ /千m ³)
維持管理効率化技術	①管路の自動判定システム	導入前	2.05				
	導入後	1.34					
②処理場間の汚水融通技術	導入前		0.273		0	0.273	
	導入後		0.216		51	0.216	
③汚泥処理の集約化・広域化技術	導入前		0.571	0.0		0.216	0.111
	導入後		0.507	16.9		0.192	0.111

汚泥処理の集約化広域化技術は、混合汚泥輸送により集約を行い、焼却灰有効利用および消化ガス発電利用を行った場合とした。

3.3 処理場間の汚水融通技術に関するケーススタディ検討

下水処理施設の再構築時（改築・更新，高度処理化などを行う場合）や災害時においては，処理機能が著しく低下することが考えられる。これら処理機能の低下は何らかの対策により担保する必要がある。

その対策方法の一つとしては，処理機能が低下する処理場を処理設備能力に余裕のある処理場と連絡することにより，処理機能の低下を担保する方法が

考えられる。

処理場間を連絡する目的としては，汚水，汚泥，情報等の要素を分担することが考えられるが，ここでは，汚水連絡管の布設により処理場の能力低下を担保する技術の効果について検討した。

3.3.1 処理場間の汚水融通技術の前提条件

対象区域は約23,000haとし，汚水連絡管は区域内に存在する5処理場を接続するものとする。汚水連絡管は極力安価とするため，各処理場が1本の線上

に配置されるように接続した結果、総延長は約30kmであった。管径は各処理場間における必要汚水送水（融通）量を基に算定し、 $\phi 600 \sim 1,100\text{mm}$ とした。

なお、本検討では、処理場間の送水は水頭差により送水することが可能であるため、送水ポンプは必要としないものとして検討を行った。

検討期間は汚水連絡管の耐用年数を50年として、50年間における各処理場での個別処理の場合と汚水連絡管を布設した場合との効果程度の比較により評価した。なお、更新年数は機械、電気については20年とした。

水処理方式は標準活性汚泥法とし、将来的にも高度処理は行わないものとした。既存土木施設については、耐震化はなされていないものとした。

3.3.2 処理場間の汚水融通技術の検討結果

今回の検討事例では、流入水量の伸びが横ばいであったために施設の増設が必要となる機会が少ないこともあり、各処理場での個別処理の場合と汚水連絡管を布設した場合とのコストメリットの差は小さかった。機器点数については、大幅に削減が可能であった。技術の効果程度については、コスト試算結果を表-3に、その他の評価指標による結果を表-4に示す。

3.4 汚泥処理の集約化・広域化技術に関する

ケーススタディ検討

下水道整備の進捗に伴い、下水汚泥発生量は増加している。そのため、汚泥処理にかかる費用は今後一層増加することが予想される。さらに、産業廃棄物としての処分地は新たな建設が困難となっており、汚泥の減量化の必要性が高まりつつある。

汚泥処理の集約化・広域化技術により、汚泥処理を一括して行うことで、スケールメリットによる建設費および維持管理費を節減し、さらには汚泥の有効利用を推進することができる。

3.4.1 汚泥処理の集約化・広域化技術の前提条件

汚泥処理の集約化・広域化においては、集約処理の形態、汚泥有効利用・処分方法等についていくつかの方法が考えられる。本検討では汚泥の輸送方式に関する検討、有効利用に関する検討、エネルギー

自立化に関する検討を行った。

汚泥の輸送方式に関しては、混合汚泥を送泥管により輸送する場合、濃縮汚泥を送泥管により輸送する場合、脱水汚泥をトラックにより輸送する場合について検討した。

有効利用に関しては、焼却灰を有効利用する場合、溶融スラグを有効利用する場合について検討した。

エネルギー自立化に関しては、消化ガスを焼却燃料として利用する場合、消化ガス発電として利用する場合について検討した。

検討対象区域は約18,000ha、処理水量は約85万 $\text{m}^3/\text{日}$ とした。各検討は、個別処理時と集約処理時との比較により概略施設計画を行い、それぞれの場合における効果程度の比較により評価を行った。

3.4.2 汚泥処理の集約化・広域化技術の検討結果

管路輸送に関しては、集約化による費用の削減効果が見られた。有効利用に関しては、焼却灰の有効利用を行った場合に費用の削減効果が見られた。エネルギーの自立化に関しては、焼却補助燃料として消化ガスを利用する場合に費用の削減効果が見られた。

ただし、温室効果ガス排出量については、集約化を行う場合の方が排出量は多く、消化ガス発電を行う場合には排出量の削減効果が見られた。

技術の効果程度については、コスト試算結果を表-3に、その他の評価指標による結果を表-4に示す。

4. おわりに

前述した3つの技術については、ケーススタディ結果より、維持管理の効率化を評価するために適した指標を明らかにすることができた。ただし、技術の効果については、表記する前提条件における一事例であり、今後、他の都市において導入検討を行う際にはそれぞれの条件に応じて計算する必要がある。

次年度は、これら以外の技術についてもケーススタディを行い、その効果を定量化し、今回用いた評価指標以外についても、それぞれの指標の関連性、妥当性および適用性を検証し、総合的な評価方法についても検討を行う。

●この研究を行ったのは

研究第一部長	田中 修司
研究第一部総括主任研究員	武 亨
研究第一部研究員	一松 雄太

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長	堀江 信之
研究第一部総括主任研究員	加畑 雅宏
研究第一部研究員	一松 雄太