

改築の実態及び技術調査

1. 調査目的

最初の下水道管渠である東京神田下水（明治17年）の建設から110年を経過し、最初の終末処理場である東京三河島処理場が、散水ろ床法で処理を開始（大正11年）してから72年を経過している。昭和38年に始まり第7次にわたる下水道整備五箇年計画により、計画的な整備が進められた結果、平成5年度末において、人口普及率49%、処理場938ヶ所、総管渠延長は約209,600kmになっている。このストック量の増大は耐用年数に達する下水道施設が急速に増大してくることを示している。今後、維持管理や更新等に係わる費用が増大することは明らかであり、かつ投資費用が伸び悩むであろうという予測のもとでは、長期にわたる維持管理・改築更新計画が必要になってくる。

本調査は、下水処理場の維持管理・改築更新計画を作成するうえで今後検討すべき課題を明らかにすることを目的とする。

2. 調査項目

本調査の調査項目を以下に示す。

- (1) 平成5年度に実施した処理場・ポンプ場の改築に関するアンケート調査結果¹⁾を用いて、過去10年間の処理場の修繕費の推移及びこの結果用いた将来予測について検討する。
- (2) 下水道施設の改築と維持管理に関して、標準的

耐用年数をすでに経過した下水処理場を保有する数都市に対しヒアリング調査を行い、改築、修繕及び維持管理の実態を明らかにする。

- (3) ライフサイクルコストの概要を文献等から調査しまとめる。下水処理場の改築の経済上の判断方法を検討するため、想定下水処理場を設定してライフサイクルコストの試算を行う。
- (4) 処理場改築のケーススタディを行う。高度処理対応型処理方法を選定し、改築計画を選定する。

3. 下水処理場の修繕費の現状及び予測

平成5年度に実施した処理場・ポンプ場の改築に関するアンケート調査¹⁾において、1983～1992年の10年間に行われた処理場の修繕費の調査を行った。また、回帰分析を行い修繕費の将来予測を行った。修繕費の実態及び修繕費の予測を図-1に示す。1992年の修繕費は、1983年の修繕費の約3.1倍となっている。

4. 下水処理場等の改築の現状

早くから下水道事業に着手している都市では、老朽化した管渠の更新、下水処理場・ポンプ場の施設及び構造物の改築・更新が必要となってきた。そこで、東京都、大阪市、京都市、名古屋市、神戸市、豊橋市、岐阜市及び宗像市の処理場の改築の実態について聞き取り及び既存の文献・資料の調査を行ったところ、各都市は、表-1に示す理由により

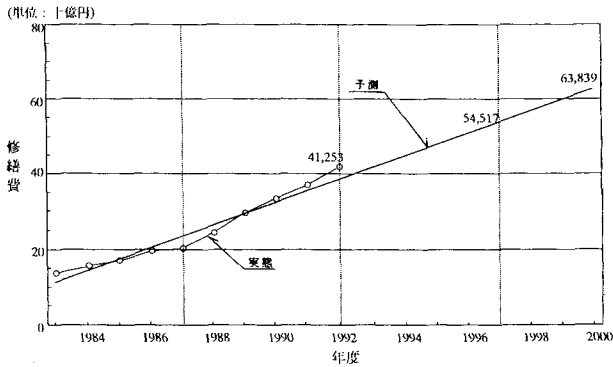


図-1 処理場修繕費の実態と予測

改築を計画していることがわかった。

それぞれの処理場における改築事業の理由として、老朽化、能力向上ばかりでなく、高度処理の導入、合流改善、雨水対策、上部空間利用及び管理の効率化を挙げている。

5. ライフサイクルコストの概要

5.1 ライフサイクルコストの歴史

ライフサイクルコストリングは、建設コストに維持管理コストを加え、さらに廃棄処分コストも考慮した合計コストを最小にすることを追求するものである。ライフサイクルコストは、企画設計費、建設費、維持管理費及び廃棄処分費にわたる処理場の生涯に必要な全てのコストを指す。このうち保全費、修繕費、更新費や運用費を含む維持管理費は、一般に考えられる以上にコストが大きく、建設費の5倍程度になる例もある²⁾。

米国国防省において、1960年代より、国家の財産、国民の生命・財産を守るための軍事諸施設の機能維持に対する膨大な費用負担が、新兵器購入、拡充を障害となったため、ライフサイクルコストの導入を行っている²⁾。

日本においても建設大臣官房官庁営繕部において、1979年にライフサイクルコスト研究会が設置され、ライフサイクルコストの普及と実用化への研究が始まった。

5.2 ライフサイクルコストの評価方法

ライフサイクルコストの評価方法としては、複利計算モデルのうち特にわかりやすい現価累計法、年価法がよく用いられる。

(1) 現価累計法による評価方法³⁾

現価累計法は、投資額、毎年の運転費、維持費など1ライフサイクルに要する一切の費用を現在に集

表-1 各都市の改築の主な理由一覧表

都市	東京	大阪	京都	名古屋	神戸	豊橋	岐阜	宗像		
処理場	三河島	芝浦	津守	鳥羽	吉祥院	伝馬町	東灘	野田	中部	宗像
老朽化	○	○	○	○	○	○	○	○		
能力向上	○	○	○		○		○			
高度処理	○	○	○	○		○		○	○	
合流改善			○	○		○				
雨水対策			○		○					
上部利用			○		○			○		
管理効率					○					

めて、その総合計算額が小さいものの方が優れているとする方法である。一切の費用を現在に集めて比較するためには、代替案間の使用年数が同じであることが前提となる。

現価累計法において、現価累計Yを求める式を以下に示す。

$$Y = Y_0 + \sum_{n=1}^n Y_n (1+e)^n \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

ここで、

Y : n年目までに発生するコストの現価累計

Y₀ : 初期コスト (建設コスト)

Y_n : n年目の維持コスト及び改築コスト (現在の物価で計算した値、すなわち、物価上昇率を考慮する前の値)

$\left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$ = 現価係数
(将来の費用を複利として現在時点に換算するための係数)

i=利率, n=使用年数, e=物価上昇率

(2) 年価法による評価方法³⁾

年価法とは、取得コストとその設備使用全期間に必要な維持費の合計を年平均コストとして求める方法である。代替案間の使用年数が異なる場合に使用される。

年価法において、y年間の年平均コストY_yを求める式を以下に示す。

$$Y_y = Y \times Fcr$$

ここで、

Y : 現価累計

Y_y : y年間の年平均コスト (y年使ったとしたら、年平均Y_yだけのコストがかかる

ことになるという意味での金額)

$$Fcr : \text{資本回収係数} = \frac{i(1+i)^y}{(1+i)^y - 1}$$

(現時点での総合計金額をy年間の利子込み平均換算するための係数)

6. 下水道施設のライフサイクルコストの検討

6.1 概要

既に供用開始後50年以上経過した処理場を保有している都市においては、コンクリート構造物を含んだ大規模な改築を実施あるいは計画する必要に迫られている。これらの都市では、維持管理データや修繕データの整理、改築実施の判断基準の設定、改築方法等について検討を始めたところである。

改築実施の判断基準として、物理上あるいは経済上判断が大きなウェイトを占めている。物理上は、施設の劣化の程度、設備機器の故障頻度の程度より判断する方法が一般的である。経済上の判断方法として、建設費、維持費、物価上昇率、利子率等をパラメータとしたライフサイクルコストの検討が考えられる。下水処理場におけるライフサイクルコストの構成単位として、建設費、改築費、保全費、修繕費、運用費を検討対象とし、想定下水処理場のライフサイクルコストの試算を行う。

6.2 想定処理場の概要及び解析ケース

標準活性汚泥法を用いた下水処理場の概要を表-2に示す。土木・建築構造物の改築サイクルと設備機器の改築サイクルをパラメータとして、表-2に示す算定ケースを設定する。

6.3 ライフサイクルコストの算定方法

建設費と改築費は、某県で計画された処理場の実際の値を参考にし算定した。保全費、修繕費、運用費の算定は、某大規模研究建築物のライフサイクルコスト⁴⁾を参考にし算定する。

物価上昇率は、(財)建設物価調査会『建設物価』⁵⁾に記された建設工事デフレタより求めた対前年上昇率とし、2.4%に設定した。利子率は、経済企画庁『平成6年度経済白書』⁶⁾より1991~1993の3年間の長期プライムレートの平均とし6.1%とする。

算定方法として、現価累計法及び年価法を用いる。

6.4 検討結果

6.4.1 土木・建設構造物の改築サイクルの検討

表-2 想定処理場の概要及び解析ケース

解析ケース	1	2	3
計画処理水量	20,000m ³ /日		
排除方式	分流式		
処理方法	標準活性汚泥法		
流入/放流水質	BOD除去率89% SS除去率85%		
敷地面積	20,000m ²		
設備機器の改築サイクル	15年 (耐用年数)	15年 (耐用年数)	20年
土木・建築構造物の改築サイクル	50年 (耐用年数)	60年	60年
施設の内訳	管理機械棟 3,500m ² 最初沈殿池 10,000空m ³ I7レーションタンク 22,000空m ³ 最初沈殿池 15,000空m ³ 消毒槽 2,000空m ³ 消化槽 6,500空m ³ 流入渠・放流渠・吐口		

土木・建築構造物の標準耐用年数(50年)で改築する場合(解析ケース1)と、10年間延長して改築する場合(解析ケース2)とでは、図-2に示すように、それぞれの改築時の年平均コストはほぼ同じである。

6.4.2 設備機器の改築サイクルの検討

設備機器の改築サイクルを5年間延長した場合の年平均コスト(解析ケース3)は、図-2に示すように改築サイクルを標準耐用年数とした年平均コスト(解析ケース1, 2)よりも安く、経済的に有利であった。

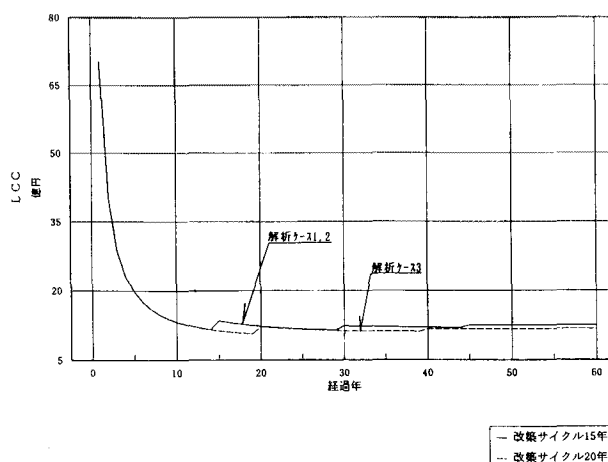


図-2 設備機器の改築サイクルをパラメータとした年価法による年平均コスト(解析ケース1, 2, 3)

設備機器の改築サイクルを5年間延長した場合の現価累計（解析ケース3）は、図-3に示すように、標準耐用年数で改築した場合（解析ケース2）よりも小さく、経済的に有利であった。

6.4.3 修繕費をパラメータとした検討

設備機器を延長させた場合の現価累計（解析ケース3）は、修繕費を1.5、2.0倍とした場合、図-3に示すように、標準耐用年数で改築する場合の現価累計（解析ケース2）よりも安く、経済的に有利であった。

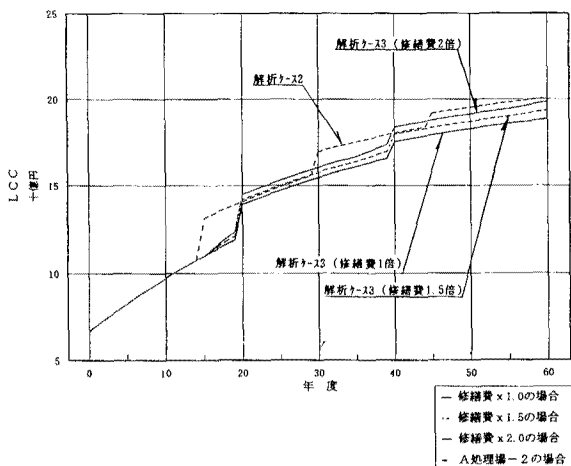


図-3 設備機器の改築サイクルをパラメータとした現価累計（解析ケース2, 3）

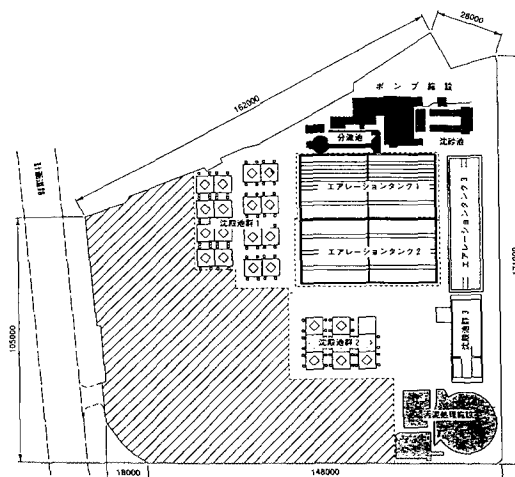


図-4 A処理場の現状

処理場は、昭和14年に運転開始したものである。構造物の基礎は、べた基礎で、古い施設には、無筋の場合もある。現在の下水処理能力は、沈殿槽2を除いた現施設を全て稼働した状況で満足されている。地盤は、深さ10mまでの平均N値は10の砂層である。

(3) 改築を行う場合の検討条件

- ① 現在の処理場敷地内で改築を計画する。
- ② 工事中でも、稼働を停止せず現在の処理能力を確保する必要がある。
- ③ ポンプ施設は、現状保存とする。
- ④ 汚泥処理施設は、汚泥脱水までとする。
- ⑤ 改築を行った後、処理施設の上部を利用した複合施設を計画する。
- ⑥ 都市計画道路が、現在の地盤高より約1m程度高くなり、上部利用施設への進入道路や駐車場を確保する必要がある。
- ⑦ 将来の水質規制を考慮して、高度処理に対応した施設とする。

7.2.2 高度処理の検討

(1) 高度処理に対する設計諸元

高度処理に対する設計諸元を表-3に示す。初沈処理水では、BODの除去率を30%、SSの除去率を50%、T-Nの除去率を5%とする。

(2) 処理システム

適用可能な処理システムとして、

- ① 凝集剤併用循環式硝化脱窒素+砂ろ過
- ② 嫌気-無酸素-好気法+砂ろ過
- ③ 嫌気-無酸素-好気法+砂ろ過+流動床型晶析脱リン法
- ④ 循環式硝化脱窒素+固定床型晶析脱リン法

なお、流動床型および固定床型晶析リン法は、凝集剤添加法に比較し反応槽および付帯設備（カルシ

7. 改築のケーススタディ

7.1 概要

下水処理場の全面的な改築が施工上、どんな問題点があるか検討することは重要である。その手がかりとして、具体的な2つのA, B処理場の改築工事のケーススタディを行うこととした。

処理場として、代替施設の用地を周辺に確保することが出来ないため、改築工事中の処理能力の低下を考慮して改築実施に踏み切れないものを取り上げる。全面的な改築を現在の処理能力を低下させることなく計画的に改築工事を行う事例を示すことによって、改築技術を含めた改築の技術資料を提供する。

7.2 A処理場の改築ケーススタディ

7.2.1 改築条件

A処理場の現況を図-4に示す。

(1) 処理場周辺の環境

北側、東側は、住宅が密集しており、用途地域は、住居地域である。南側は、都市計画道路が建設中である。南西側は、鉄道に近接している。

(2) 処理場の現状

表-3 A処理場の設計諸元及び容量計算結果

・処理システム	嫌気-無酸素-好気法
・計画水量	66,100m ³ /日
・流入水質	BOD 190 → 5 (mg/ℓ)
→ 目標処理水質	SS 190 → 5 (mg/ℓ)
	T-N 40 → 10 (mg/ℓ)
	T-P 8 → 1 (mg/ℓ)
・最初沈殿池	
水面積負荷	50m ³ /m ² /日
構造寸法	幅6.5m×長17m×深10m×12池
沈殿時間	1.9時間
・エアレーションタンク	
設定MLSS	2,500mg/ℓ
設定HRT	17.5時間
構造寸法	幅6.5m×長62m×深10m×12池
・最終沈殿池	
水面積負荷	20m ³ /m ² /日
構造寸法	幅6.5m×長40m×深10m×12池
沈殿時間	3.7時間

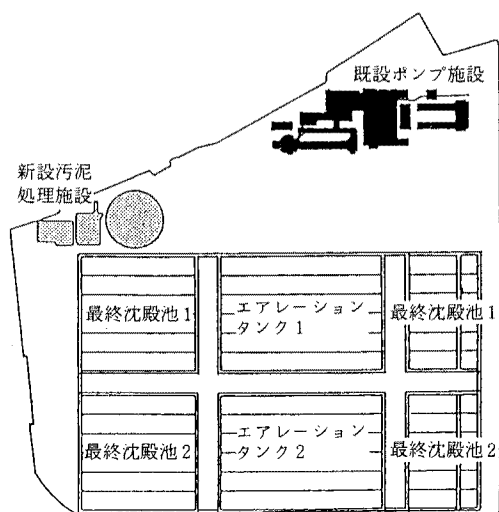


図-5 A処理場の改築計画案

ウム添加、脱炭酸、pH調整および再生処理)を必要とし、敷地面積が大きくなること、および、本技術の実績が現在まで少ないことなどを考慮してシステム③、④を検討から省いた。

(3) 敷地内で施工を可能とする方法

敷地内で施工を可能とする方法として、

- ① 硝化槽および脱窒槽に流動担体添加
 - ② 硝化槽に硝化細菌包括担体の添加
 - ③ 反応槽の深槽化
 - ④ 最初沈殿池及び最終沈殿池の複層化
- が考えられる。

なお、硝化細菌包括担体および流動担体の添加法は、それぞれ硝化細菌の固定化または汚泥濃度の増加などによって反応槽容量をコンパクトにする効果が大きい。本技術は、開発段階にあり、大規模での実績がなく適用には検討を要する。

(4) 反応槽容積の計算

処理プロセスの考え方及び反応槽容積の計算は、「高度処理施設設計マニュアル(案)((社)日本下水道協会)」⁷⁾の方法に従った。容量計算結果を、表-3に示す。エアレーションタンクの深層化(深さ10m)することにより、敷地内で施工を可能とした。

(5) 高度処理施設における活性汚泥処理運転について

散気設備がある好気槽の容量は、滞留時間にして13.7時間である。標準活性汚泥処理では、汚泥濃度1500-2000mg/ℓで運転されることから、改築中は、約1000mg/ℓで運転することにより、標準法とほぼ同一負荷量が維持できる。

7.2.3 改築計画案

レイアウトの平面図、特徴、施工手順、施工性、動線、上部利用及び工事費を検討し、図-5に示す計画案を選定した。計画案は、完成時の管経路・動線が良好なレイアウトで、仮設処理施設が不要になるなどの利点がある。

7.3 B処理場の改築ケーススタディ

7.3.1 改築条件

B処理場の現況を図-6に示す。

(1) 処理場周辺の環境

北側は一級河川に接し、南側は木工工場であり、東側は駐車場になっている。

(2) 処理場の現状

処理場は、昭和42年に運転開始したものである。構造物の基礎は、べた基礎である。現在の下水道処理能力は、現施設を全て稼働した状態で満足される。地盤は、シルト混じり砂で、N値は10前後である。

(3) 改築を行う場合の検討条件

- ① 現在の処理場用敷地内で改築を計画する。
- ② 工事中でも、現在の処理能力を確保する必要がある。

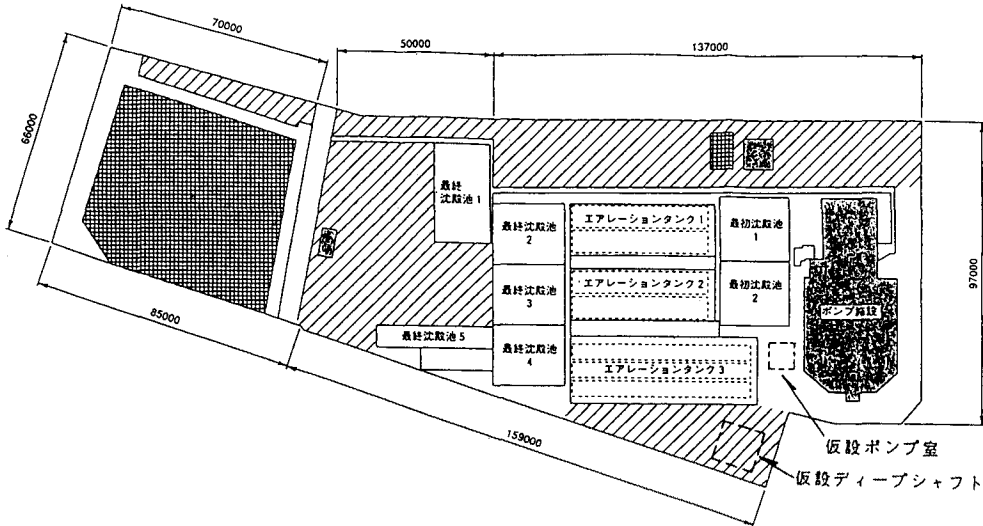


図-6 B処理場の現状

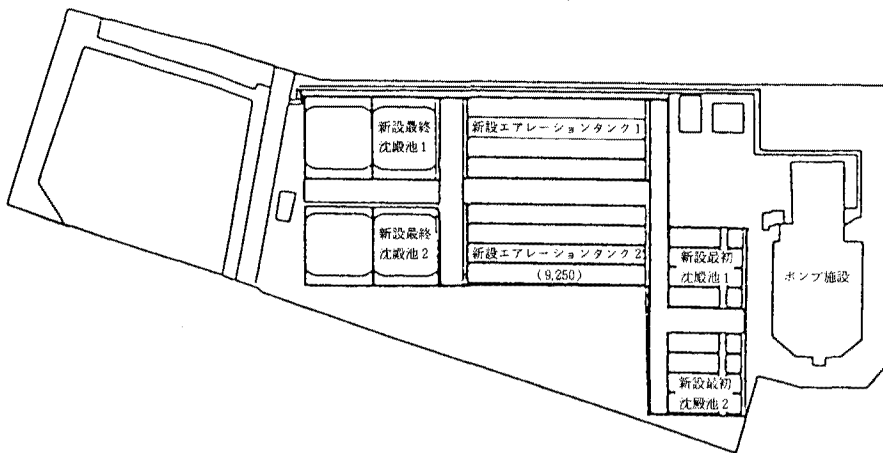


図-7 B処理場の改築計画案

- ③ ポンプ場、ポンプ室および自家発電室は、現状保存する。
- ④ 汚泥処理施設は、生汚泥、余剰汚泥とも別の処理場へ圧送する。
- ⑤ 上部覆蓋は考えない。
- ⑥ 将来、生汚泥、余剰汚泥を圧送するポンプ室用地を確保する必要がある。
- ⑦ 将来の水質規制を考慮して、高度処理に対応した施設とする。

7.3.2 高度処理の検討

(1) 高度処理に対する設計諸元

高度処理に対する設計諸元は、表-4に示すとおりである。初沈処理水では、BODの除去率を30%、SSの除去率40%、T-Nの除去率を5%とする。

(2) 反応槽容積の計算他

適用可能な処理システム、敷地内で施工を可能とする方法、反応槽容量の計算及び高度処理施設お

表-4 B処理場の設計諸元及び容量計算結果

・処理システム	嫌気-無酸素-好気法
・計画水量	晴天時汚水 33,100m ³ /日 雨天時汚水 150,000m ³ /日
・流入水質	BOD 200 → 10 (mg/l)
→ 目標処理水質	SS 180 → 10 (mg/l)
	COD 120 → 10 (mg/l)
	T-N 30 → 10 (mg/l)
	T-P 4.5 → 1 (mg/l)
・最初沈殿池	水面積負荷 35m ² /m ² /日
構造寸法	幅6m×長17m×深10m×8池
沈殿時間	晴天時 2.4時間
	雨天時 0.5時間
・エアレーションタンク	設定MLSS 2,500mg/l
	設定HRT 19.3時間
構造寸法	幅6m×長56m×深10m×8池
・最終沈殿池	水面積負荷 20m ² /m ² /日
構造寸法	幅6m×長35m×深3m×8池
沈殿時間	3.7時間

る方法、反応槽容量の計算及び高度処理施設における活性汚泥処理運転については、A処理場と同様な考え方で検討した。下水処理場の要領計算結果を表-4に示す。

7.3.3 改築計画案

レイアウトの平面図、特徴、施工手順、施工性、動線、上部利用及び工事費を検討して、図-7に示す改築計画案を選定した。計画案は、施設配置、管経路、動線共に良く、また、仮設処理施設であるディープシャフト⁸⁾を設置して、現状敷地内で改築工事を可能にした点が利点である。ディープシャフト法とは、活性汚泥法の一変法であり、水深40m以上の深い立坑すなわちディープシャフトを用いている。

7.4 工期短縮技術

今回の概略検討結果より、下水処理施設全体のリニューアルが完了するまでに、約9年の歳月を要することが判明した。高度処理機能対応への早期転換のためには、工期短縮に関する技術を検討する必要がある。

工期短縮効果がある工種として、仮設山留壁構築関連と新設構造物構築関連が考えられる。

仮設山留壁構築関連では、山留壁の高剛性化及び浅深度における自立山留壁の採用によって8ヶ月程度の工期短縮が計られる。

新設構造物構築関連では、コンクリート構造壁および底板・壁を一体化したプレキャスト化により、8ヶ月程度の工期短縮が計られる。

工期全体の短縮期間の検討は、個々の工種ばかりでなく、下水処理施設構造物の構造ならびに配置を含めた検討を行う必要がある。

8. まとめと今後の課題

平成5年度に実施した処理場・ポンプ場の改築に関するアンケート調査結果において、1983～1992年度までの修繕費は、10年間に約3.1倍になっている。

下水処理場の改築の現状調査を、東京都、大阪市、京都市、名古屋市、神戸市、豊橋市、岐阜市、宗像市の下水処理場に対して行った。改築の主な理由として、施設等の老朽化、雨水対策、上部空間利用及

び管理の効率化を挙げている。

ライフサイクルコストリングは、耐用年数を決める経済的手法であり、現価累計法、年価法がよく使われる。想定処理場に対して、ライフサイクルコストの試算を行った。ライフサイクルコストは、土木・建築構造物の改築サイクル、機械・電気設備機器の改築サイクル及び修繕コストをパラメーターとした検討に有効であることがわかった。今後、機械・電気設備の標準耐用年数は、コンクリート構造物と比較するとかなり短いためライフサイクルコストの把握がしやすいので、実際の処理場に当てはめてライフサイクルコストの適用性を確認する必要がある。

2つの処理場の改築条件、高度処理の検討及び改築計画案を示した。今回の概略検討結果により、下水処理施設全体のリニューアルが完了するまでに、約9年の歳月を要することが判明した。高度処理機能対応への早期転換のためには、工期短縮に関する技術を検討することが必要であることがわかった。

なお、本調査を実施するにあたり、ご多忙中にもかかわらずヒアリングにご協力頂いた皆様に厚くお礼申し上げます。

9. 参考文献

- (1) (財)下水道新技術推進機構：改築の実態・需要に関する調査、1993年下水道新技術研究所年報〔4/4巻〕。
- (2) 石塚義高：建設物のライフサイクルコストとその実例、建設設備、1987、pp.29-55。
- (3) 佐野武仁：ライフサイクルコスト(LCC)とは、建築設備と配管工事、1985年11月、pp.35-42。
- (4) (財)建築保全センター：建設物のライフサイクルコスト、東京経済調査会、1993、pp.267-295。
- (5) (財)建設物価調査会：建設物価、1994年12月。
- (6) 経済企画庁：平成6年版経済白書、p.565。
- (7) (社)日本下水道協会：高度処理施設設計マニュアル(案)、平成6年。
- (8) (財)下水道新技術推進機構：ディープシャフト法の設計・施工マニュアル、1993年度版。

-
- この調査に関する問い合わせは
- | | |
|-----------|-------|
| 技術部長 | 中尾 正和 |
| 技術部主任研究員 | 百崎 和博 |
| 研究一部主任研究員 | 黒田 秀男 |
| 研究一部研究員 | 大森 栄二 |
| 技術部研究員 | 林 和生 |