

改築の実態および技術調査業務

1. 背景及び目的

日本の近代的下水道は、欧米諸国に比べ歴史的に新しいといわれているが、最初の下水道管きよである東京神田下水は、明治17年に稼働して110年を経過している。最初の終末処理場である東京三河島処理場は、大正11年に散水ろ床法で処理開発してから72年を経過している。この間には、戦中戦後の低迷期があったが、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基づいて計画的な整備が進められた結果、平成6年度末の人口普及率は51%となった。このことにより下水道施設のストック量は、処理場981ヶ所、総管きよ延長は、223,263kmとなっている。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す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、長期にわたる維持管理・改築更新計画が必要となっている。

下水処理場の維持管理・改築更新計画を作成するうえでの問題点を抽出し、その技術的な解決策を見出すため、改築に関する技術の開発を行う必要がある。本調査は、改築のための技術開発の基礎資料を収集するとともに、改築に係わる課題を把握することを目的とする。

平成5年度には、下水処理場の改築に関するアンケート調査を336の公共団体に対して行うと共に改築に関する文献調査を行った。下水処理場をはじめとする各社社会資本施設全体の公的投資のうち、更

新費を含むメンテナンス費用を占める割合が増加している。課題として、改築の事業費の確保が困難であり、下水処理場の用地の余裕が少ないことが問題となっていることがわかった。

平成6年度には、下水処理場の改築の現状及び予測、ライフサイクルコスト（以下、LCCと略す）の文献調査及び試算、敷地の狭い下水処理場の改築のケーススタディを行った。改築計画における下水処理場の改築理由として、施設の老朽化、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、上部空間及び管理の効率化を挙げる都市が多かった。LCCの文献調査を行ったところ、建築、電気、機械の分野では、耐用年数を決める方法としてLCCを活用することが定着している。下水処理場のコストを想定して試算したところ、改築サイクルをパラメータとした検討に有効であることがわかった。また、高度処理を含めた敷地の狭い下水処理場の改築のケーススタディをしたところ、工期が新規工事よりもかなり長期にわたることがわかった。

そこで、平成7年度は、A下水処理場の費用実績を調査し、その費用実績を吟味して、下水処理場の維持管理期に改築を経済面で検討する場合の手順を示し、A下水処理場の費用実績を用いた算定例を示した。

2. 下水道処理場のLCCの実績調査

2.1 概要

建設省都市局下水道部・(社)日本下水道協会「下水施設の耐久性に関する調査報告書」¹⁾、日本下水道事業団「下水道施設改築・修繕設計要領(案)」²⁾には、改築の経済的手法として、LCCの手法を提示している。LCCを構成する建設コスト、修繕コスト及び維持管理コストの算定方法は、具体的に明示されていない。そこで、下水処理場のLCCの算定方法を確立するために、下水処理場の費用実績を用いた検討を行う。

そこで、下水処理場のLCC手法の適用性を検討するために、比較的よく費用データが揃っているA下水処理場において、建設コスト、修繕コスト及び維持管理コストについての実績調査を行った。

2.2 A下水処理場の費用実績調査

A下水処理場の総処理水量の経年推移を図-1に示す。1975年に供給開始し、1988年まで年々処理水量が増加し、1988年以降は、処理水量は安定していることがわかる。

A下水処理場の費用実績を建設コスト、修繕コスト及び維持管理コストに分けて調査した。

建設コストについては、建設精算台帳に基づいて調査した。施設別の建設コストの経年推移を図-2に示す。第一期工事は、水処理施設を中心に1968年に始まり、供用年である1975年まで行われている。第二期工事は、水処理施設、汚泥処理施設共に1979年まで行われている。1980年以降は、建設コストは発生していない。第一、第二期工事共に、設備の完成年に近づくほど、年当り建設コストが多くなる。

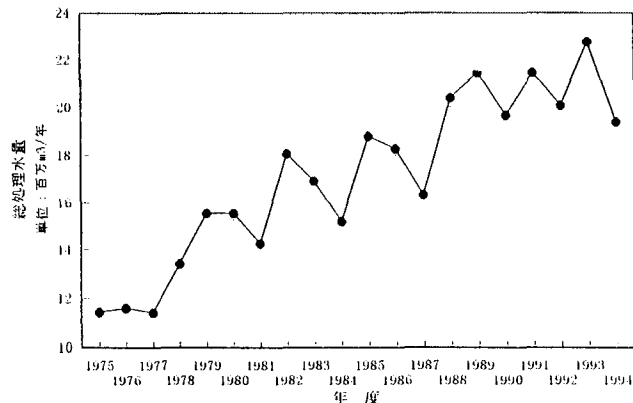


図-1 A下水処理場の年処理水量

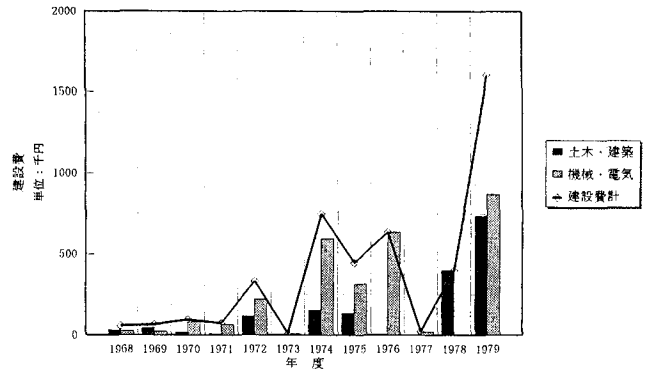


図-2 A下水処理場の建設コスト

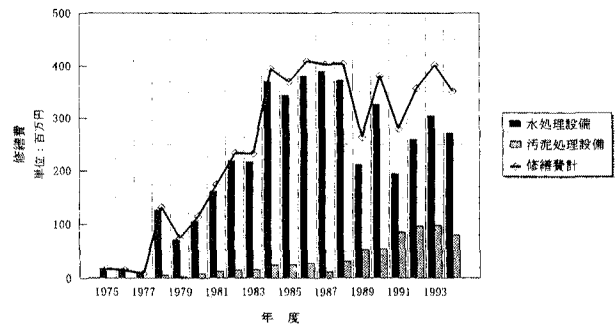


図-3 A下水処理場の修繕コスト

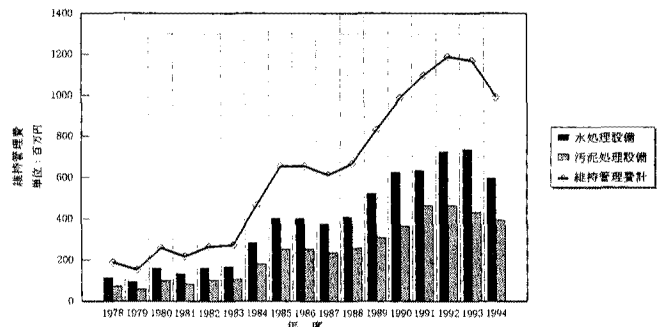


図-4 A下水処理場の維持管理コスト

修繕コストについては、機器整備台帳等に基づいて調査した。修繕コストのなかには、改築コストと思われるものも含まれる。施設別の修繕コストの経年推移を図-3に示す。図-3より、水処理施設の修繕コストは、供用開始から10年経過した時点より、ほぼ横ばいである。水処理施設の修繕コストは、1984年までは、年々増加しているが、1985年～1994年にかけて横ばいである。汚泥処理施設の修繕コストは、1978～1994年にかけて年々増加している。

維持管理コストについては、汚泥処理別実績等に基づいて調査した。(社)日本下水道協会「下水道統計 財政編」³⁾に準じた下水処理場の維持管理コストの内訳項目に合わせて水処理施設と汚泥処理施設に分けて調べた。維持管理コストについての経年推移を図-4に示す。維持管理コストは、

図-1に示す処理水量の増減の傾向に連動していることがわかる。

2.3 物価上昇率及び利率の設定

LCCの算定において、物価上昇率及び利率を設定する必要がある。LCC手法における物価上昇率及び利率の決め方についての具体的な記述は、既存の文献には無い。そこで、物価上昇率及び利率を、下水処理場の財政に即して設定する。

A下水処理場の費用実績は、各年の物価を反映したものであるため、ライフサイクルコストの算定において、再び物価上昇率は考慮しない。利率は、地方債の50%以上を占める政府資金の利率を用いる。

2.4 下水処理場の費用実績に基づくLCC

A下水処理場の水処理施設・汚泥処理施設の費用実績と、政府資金の利率を用いて、下水処理場全体のLCCを計算する。LCCを算出するうえで、①現価（一切の費用の累計）、②年価（年平均コスト）の2点を注目した。図-2より、1979年に約35%の建設コストが発生しており、供用開始年である1975年よりも基準年にふさわしいと判断した。

(1) 現価法によるLCCの算定

現価法とは、下水処理場の取得コスト（建設コスト）及び毎年の維持コスト（修繕コスト+維持管理コスト）が1ライフサイクルコスト間に要する一切の費用は計上する方法である。この視点に対して、現価法によるLCCの算定を行う。

A下水処理場施設全体における現価法により算定されたLCCを図-5に示す。1979年を境に、建設段階、維持管理段階の2段階のLCCが明瞭に表されることがわかる。また、下水処理場の維持コストは、供用開始年の1975年から13年目に、取得コストの総計を上回っている。

(2) 年価法によるLCCの算定

年価法とは、n年経過したときにかかる取得コストと維持コストの合計をn年かけて毎年均等に支払う費用（年価）を算定する方法である。維持コストが年々増加すると、年々減少していた年価が増加する。年価が減少から増加へ転化する年が改築するのに経済的に最適と判断する。

下水処理場全体の年価法によるLCCを図-6に示す。取得コストの年価は、年々目減りするが、維持コストの年価は、年々増加する。したがって、LCCの年価が減少から増加に転じる改築最適時

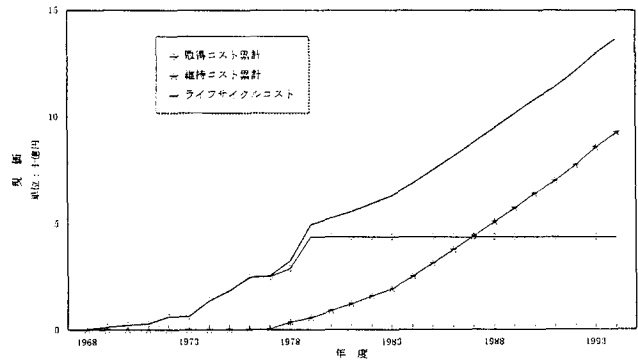


図-5 下水処理場におけるLCC（現価法）

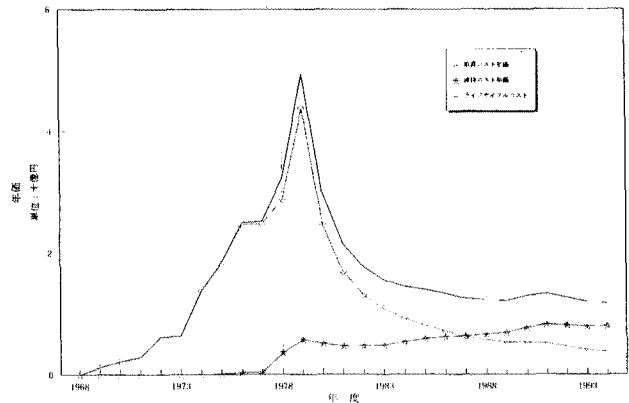


図-6 下水処理場全体のLCC（年価法）

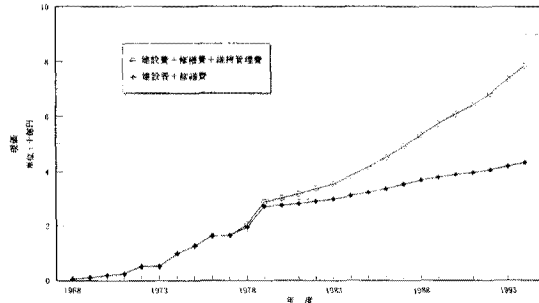


図-7 A下水処理場におけるLCC構成要素

期が把握できることがわかる。したがって、下水処理場の経済的判断手法として、ライフサイクルコストによる手法（年価法）が使えらる。

2.5 維持管理コストについての考察

日本下水道事業団「下水道施設改築・修繕設計要領（案）」²⁾では、建設コスト、修繕コストを対象としており、維持管理コストを考慮していない。

そこで、各種の対象物、検討目的により、LCCを構成するコストとしてどのような種類が使われているのかを文献調査した。

下水道管路のLCC⁴⁾は、①設置費用（設計・建

設コスト), ②維持管理コスト(清掃費, 清掃率, 点検費, 点検率, 人件費)を対象にしている。

建築物のLCC⁵⁾は, ①企画設計コスト(建設企画, 現地調査, 用地取得, 設計, 効果分析, 環境管理, 設計支援), ②建設コスト(工事契約, 建設工事, 工事管理, 施工検査, 環境管理, 建設支援), ③運営管理コスト(保全, 修繕, 改善, 運用, 一般管理)を対象にしている。

LCCに考慮する費用項目は, 下水道管路, 建築物においては, かかる費用すべてが対象になる。下水道処理場のLCCも, 下水道管路, 建築物と同様, かかる費用すべてを対象にするのが妥当と考える。下水道処理場における維持管理コストの内訳項目として, 下水道統計³⁾の内訳に従って, ①人件費, ②電力費, ③委託費, ④修繕費, ⑤薬品費, ⑥燃料費, ⑦水質測定費, ⑧その他とするのが妥当であろう。

A下水道処理場施設全体において, LCCの構成要素をそれぞれ(建設コスト+修繕コスト+維持管理コスト), (建設コスト+修繕コスト)にした場合の比較を行ったものを図-7に示す。LCCの構成要素として, 維持管理コストはかなりウエイトを占めており, 維持管理コストをLCCに考慮すべきであると考えられる。

3. 下水道処理場の改築に関する経済的判断手法の検討

3.1 下水道処理場のライフサイクルコストの考え方

下水道処理場の改築を検討する時期として, ①計画・設計の段階, ②維持管理の段階がある。計画・設計の段階において, 改築の検討を行う方法として, 従来使用されている耐用年数を用いることが考えられる。維持管理段階では, 計画・設計の段階で想定していなかった修繕費, 維持管理費の割り増しがある場合, より一層経済的に下水道処理場の運営をするために改築の計画を策定する必要が生じる。改築を策定する上で, 物理的判断, 経済的判断を示す必要があるが, 経済的判断手法の一つとして, ライフサイクルコストを用いた方法がある。下水道処理場のライフサイクルコストの算定についてのフローを図-8に示す。

下水道処理場に維持管理時期においては, 図-8に示すフローのうち, ①人口・産業の現状, ②計画下水量・計画汚濁負加量, ③建設コストについては, 実績として得ることが可能である。そこで, 将来発生する, ④修繕コスト及び維持管理コストを的確に把握し, ⑤物価上昇率・利子率を用いて, ⑥ライフサイクルコストを算定することになる。

下水道処理場の改築時期を経済的な観点で判断を行う場合の, ライフサイクルコストを用いた算定方法のエッセンスを以下に示す。算定方法のフローを図-9に示す。

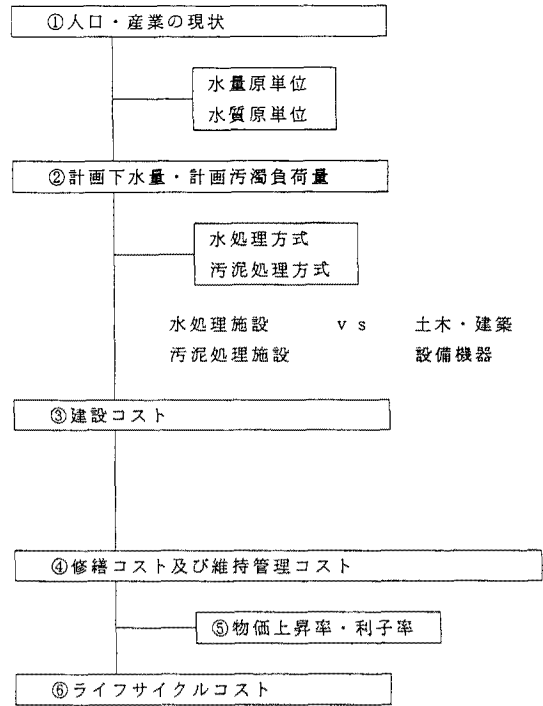


図-8 下水道処理場のライフサイクルコスト算定におけるフロー

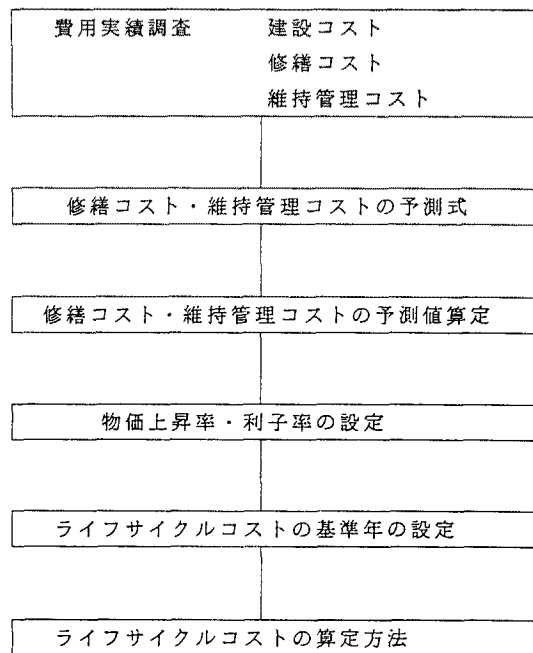


図-9 ライフサイクルコストの算定方法のフロー

(1) 費用実績調査

下水処理場にかかる費用すべてを、建築コスト、修繕コストおよび維持管理コストに分類する。

- ①建築コスト 建築費
- ②修繕コスト 修繕費
- ③維持管理コスト 人件費・委託費・水質測定経費・電力費・薬品費・燃料費・補修費・その他

(2) 修繕コスト・維持管理コストの予測式の作成

供用中の下水処理場では、建築コストは、既知であり、修繕コスト・維持管理コストは、費用実績及び今後予想されるコストを集計する。修繕コスト・維持管理コストの今後予想されるコストについては、費用実績をかなりの精度でシミュレートできる関数を作成し算定する。関数としては、修繕コスト・維持管理コストが年々老朽化により増加する傾向を表現する関数として最適なものとして、指数関数を用いる。

(3) 修繕コスト・維持管理コストの予測値の算定

修繕コスト・維持管理コストの予測式を用いて、それぞれの予測値を算定する。

(4) 物価上昇率及び利率

費用実績は、物価上昇率を含んでいる。修繕コストモデル・維持管理コストモデルで算定された修繕費、維持管理費には、物価上昇分も含まれていると考えるべきである。したがって、ライフサイクルコストの算定において、再び物価上昇率を考慮しなくてよい。

利率に関しては、該当下水処理場の実状に併せて設定する。利率は、短期予測値ではなく、長期予測値のほうがよい。

(5) ライフサイクルコストの基準年

（助）建築保全センター「建築物のライフサイクルコスト」に示されるようなライフサイクルコストの算定方法では、新製品を購入した時点、つまり、維持管理費が発生する年次をライフサイクルコストの基準年としている。

下水処理場において、建築コストが、多年度にわたる場合、または、建築コスト・修繕コスト・維持管理コストが同時に発生している期間があることが多い。このような場合のライフサイクルコストの算定方法は、工学の分野では確立していない。そこで、下水処理場の基準年として、建築コストがほとんど生じなくなる年次を基準年として選ぶ。

(6) ライフサイクルコストの算定方法

ライフサイクルコストの算定式として、現価

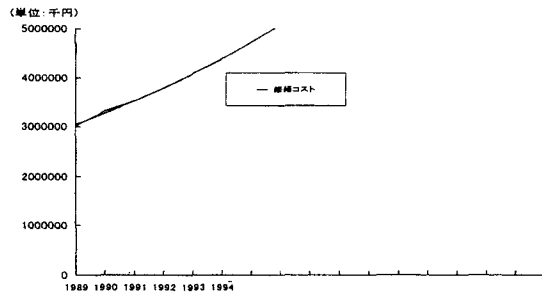


図-10 水処理施設における修繕コストの予測式

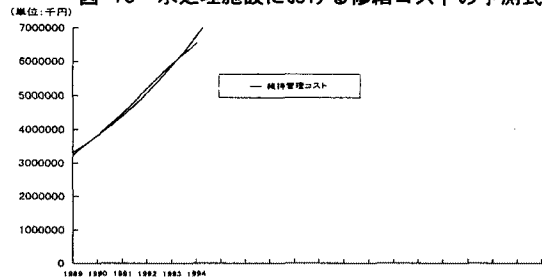


図-11 水処理施設における維持管理コストの予測式

法と年価法がある。下水処理場の改築に関する経済的判断を行う算定においては、年価法を用いる。⁶⁾

3.2 A下水処理場における改築に関する経済的判
断手法による試算

A下水処理場の費用実績を用いて、改築に関する経済的判断手法による試算を行った。水処理施設について、試算における検討手順を以下に示す。

(1) 費用実績調査

A下水処理場の費用実績調査費用結果は、図-2～図-4に示すとおりである。

(2) 修繕コスト・維持管理コストの予測式の作成

図-1に示す総処理水量の経年推移より、処理水量がほぼ安定している1989～1994年の修繕コスト・維持管理コストの費用実績の回帰分析を行い、相関係数が1に近い回帰式を予測式とした。

修繕コストの予測式は、図-10に示すとおりである。

維持管理コストの予測式は、図-11に示すとおりである。

(3) 修繕コスト・維持管理コストの予測値の算定

修繕コスト・維持管理コストの予測式を用いて、1995～2013年のコストの予測値を算定した。それぞれの予測値を図-12～図-13に示す。

(4) 物価上昇率・利率の設定

費用実績は、物価上昇率を含んでいる。修繕コストモデル・維持管理コストモデルで算定された修繕コスト、維持管理コストには、物価上昇率も含まれていると考えるべきである。したがって、ライフサイクルコストの算定において、

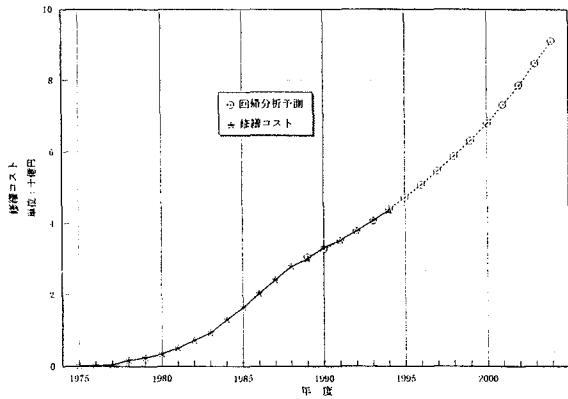


図-12 水処理施設における修繕コストの予測値

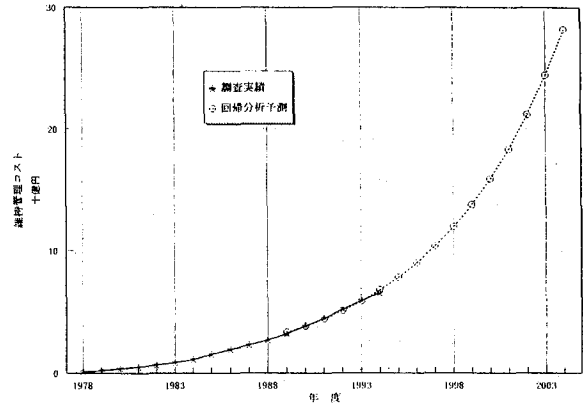


図-13 水処理施設における維持管理コストの予測値

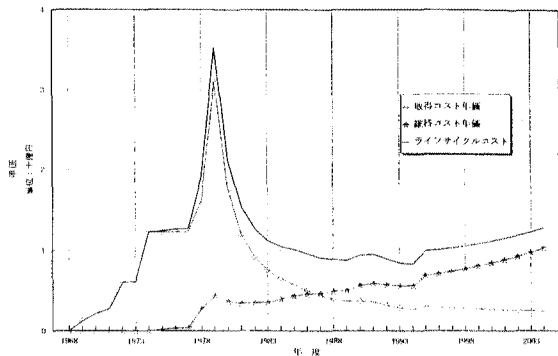


図-14 水処理施設におけるLCCの予測

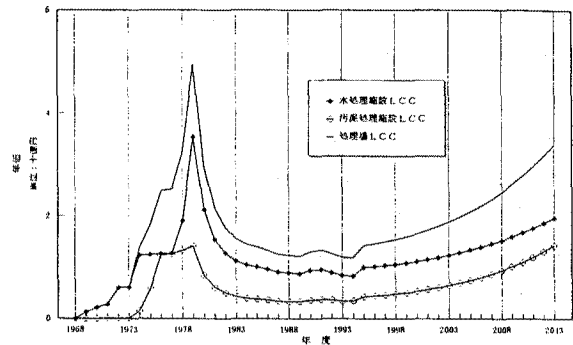


図-15 下水処理施設におけるLCCの予測

再び物価上昇率を考慮しない。

利率に関しては、仮に政府資金の利率の1968～1994年の平均値とした。

(5) ライフサイクルコストの基準年

ライフサイクルコストの基準年として、建築コストが生じなくなる年度である1979年とする。

(6) ライフサイクルコストの予測

汚泥処理施設のライフサイクルコストの予測を行った。ライフサイクルコストの実績及び予測を含めたものを図-14に示す。同図より、1993年頃が経済的に適した年次と判断される。

水処理施設の試算例と同様な手順により、汚泥処理施設、下水処理場全体について、ライフサイクルコスト手法を用いた改築に関する経済的検討の試算結果を図-15に示す。水処理施設、汚泥処理施設、下水処理合体の経済的に改築に適した年次は、1993年頃であった。

4. まとめ

下水処理場の経済的判断手法の開発を目的として調査を行った結果を以下に示す。

- (1) A下水処理場のライフサイクルコスト手法の適用性を検討するために、比較的好く費用データが揃っている下水処理場において、建設コスト、修繕コスト及び維持管理コストについての実績調査を行った。建設コストは、施設の完成年に近づくほど、年当たり建設コストが多くなっている。修繕コストは、供用開始してから10年経過してから変動は少ない。維持管理コストは、年処理水量の変動に連動している。
- (2) A下水処理場の現価法によるライフサイクルコストの算定において、建設段階、維持管理段階のライフサイクルが明瞭に区分されることがわかる。また、下水処理場の維持コストは、13年目で、取得コストの総計を上回っている。年価法によるライフサイクルコストの算定において、取得コストの年価が年々減少し、維持コストが年々増加している。ライフサイクルコストの年価が減少から増加に転じる改築最適時期が把握できる。
- (3) A下水処理場の費用実績において、維持管理コストの占める割合は大きい。また、下水道管路、建設物のライフサイクルコストの算定と同様に、下水処理場においても、かかるすべての費用を建設コスト、修繕コスト及び維持管理コストに分類して検討対象とするのが妥当と考える。

(4) 下水処理場の維持管理期に改築を経済面で検討する場合の手順を示した。

(5) A 下水処理場の水処理施設、汚泥処理施設、下水処理場全体の、改築の経済的に最適な時期の試算例を示した。

なお、下水処理場のライフサイクルコストモデルの精度を向上させるために、下水処理場の費用実績調査の蓄積が必要である。

参考文献

- (1) 建設省都市局下水道部・(社)日本下水道協会：下水道施設の耐久性に関する調査報告書，平成3年
- (2) 日本下水道事業団：下水道施設改築・修繕設計要領(案)，処理場・ポンプ場編，平成3年3月
- (3) (社)日本下水道協会：下水道統計 財政編，平成5年度
- (4) 田中修司・北川三夫・藤澤智文：下水道施設の維持管理・更新費の低減手法に関する調査，平成5年度下水道関係調査研究年次報告事業書集，pp.319-328
- (5) (財)建築保全センター：建築物のライフサイクルコスト，pp.267-295
- (6) (財)下水道新技術推進機構：改築の実態および技術調査業務，下水道新技術研究所年報(2／2)，pp.85-92，1994

● この調査に関する問い合わせは

技術部長

技術部主任研究員

技術部研究員

中尾 正和

百崎 和博

林 和生