

下水処理施設の維持管理会計システム

堀倫裕¹・鶴田岳志²・貝戸清之³・小林潔司⁴

¹正会員 大成建設株式会社 技術センター土木技術研究所 (〒 245-0051 横浜市戸塚区名瀬 344-1)
E-mail: hori@ce.taisei.co.jp

²非会員 株式会社フィデック システム開発部 (〒 272-0023 市川市南八幡 4-9-1)
E-mail: tsuruta@fidec.co.jp

³正会員 大阪大学特任講師 大学院工学研究科グローバル若手研究者フロンティア研究拠点 (〒 565-0871 吹田市山田丘 2-1)
E-mail: kaito@ga.eng.osaka-u.ac.jp

⁴フェロー会員 京都大学教授 経営管理大学院 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail: kkoba@psa.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

下水処理施設は、保安全管理方式が異なる複数の資産群から構成されており、補修や再構築に要する財源も様々である。したがって、維持管理計画を最適化し、事業の安定性・継続性を確保していくためには、異なる資産管理方式および資金調達方式を同時に考慮したライフサイクル費用分析が必要となる。さらに、下水道事業体は公営企業として財務会計を有する場合も多く、財務会計と有機的に連携した管理会計を構築することが重要である。本研究では、下水処理施設のアセットマネジメントに資する管理会計システムを提案するとともに、管理会計シミュレーションを通じて、ライフサイクル費用の低減に貢献するようなアセットマネジメント戦略を検討するための方法論を提案する。さらに、適用事例を通じて方法論の有効性を検討する。

Key Words : *sewage disposal plant, deferred maintenance and repair accounting, asset management*

1. はじめに

公共下水道事業は、地方財政法上の公営企業に位置づけられており、下水道事業の経営には、一般会計との間の適正な経費負担区分（雨水公費・汚水私費の原則）を前提とした独立採算制の原則が適用される¹⁾。地方公営企業法の適用を受ける事業体は、独立採算性を前提とし、下水道料金算定の根拠を明らかにするように財務会計の開示が求められる^{2),3)}。しかし、現状では、法適用の有無に関わらず、料金設定に必要な情報（将来にかかる費用等）は会計情報として開示されていない場合が少なくない。

下水道経営は、極めて厳しい財政状況に置かれており、一般会計からの基準外による費用繰入や企業債からの資金調達に依存している場合が少なくない⁴⁾。下水道事業債の借入残高は多額であり、元利償還費は下水道管理費の約7割を占めるに至っている。さらに、下水道施設の老齢化が進展し、近い将来に施設の更新時期が集中すると予想される。このような状況の中で、下水処理施設のサービス水準を保つためには、長期的財務計画と整合が図れるような維持補修計画を策定し、効率的な施設運営を図ることが求められる。また、維持補修費・再構築費の縮減、企業債発行・償還計画の効率化、下水道料金の適正化を支援する下水道管理会計システムの構築が望まれる^{5),6)}。

下水道施設のアセットマネジメント問題は、一般土

木構造物のそれとは異なる特殊性を有している。例えば、土木構造物、建築物、各種設備・機器等々、管理方式の異なる複数の資産群から構成されている。さらに、補修費を賄うべき下水道収入から再構築費の資金調達のための起債に至るまで、様々な財源が内包されている。下水道アセットマネジメントにおいて、維持管理計画を最適化し、事業の安定性・継続性を確保していくためには、異なる資産管理方式と資金調達方式を同時に考慮したライフサイクル費用分析が必要となる。さらに、下水道事業は公営企業としての財務会計を有する場合も多く、財務会計との連携を考慮した管理会計を構築することが重要である。

以上のような問題意識の下で、本研究では、下水道管理者が下水処理施設の資産管理情報に基づいて、下水処理施設の合理的補修を執行するための下水処理施設管理会計システム（Sewage disposal facilities maintenance Management Accounting System : 以下、SMAS と略す）を提案する。SMAS は、1) 下水処理施設の効率的維持補修計画を策定し、工学的管理会計情報を作成する工学的維持管理システム（Engineering Maintenance Management System : 以下、EMS と略す）、2) 工学的管理会計情報（年平均維持補修費、相対費用等）を会計的情報に翻訳し、下水処理施設の資産価額と会計年度における資産（もしくは負債）の変化を記録する管理会計作成システム（Accounting Processing System : 以下、APS と略す）により構成される。会計年度にお

ける補修実績は、当該年度の資産の増加（あるいは負債の減少）として計上され、翌年度以降の下水処理施設の予算を管理するための基礎情報として利用される。下水道施設は、下水処理場、管渠、ポンプ場等、複合的な施設で構成されるが、本稿では、下水処理場の水処理施設（以下、下水処理施設と呼ぶ）に焦点を絞って工学的維持管理システムを作成することとする。管理会計を検討する際には、すべての施設のアセットマネジメント戦略を考慮することが必要となるが、下水処理施設以外に関しては減価償却原則に基づいて、将来のライフサイクル費用を想定していることを断っておく。以下、2. では本研究の全体像を示す。3. では、工学的管理会計情報を作成する工学的維持管理システム（EMS）を説明する。4. では、管理会計作成システム（APS）を、5. で管理会計シミュレーションを提案する。6. では、現実の下水処理場の資産データをもとに設定された標準的な下水処理施設モデルを対象とした適用事例を示す。

2. 本研究の考え方

(1) 従来の研究概要

土木構造物の最適補修モデルや、それらを内蔵したようなアセットマネジメント支援システムに関する研究が蓄積されている。例えば、橋梁に関しては、PONTISをはじめ、長期的なライフサイクル費用の削減を目指したBMS（Bridge Management System）が数多く提案されている⁷⁾。土木構造物の維持管理にあたっては、個々の構造物の補修計画を検討するプロジェクトレベルと、管理する構造物群全体の補修政策や予算計画を検討するネットワークレベルといった階層的に異なるマネジメントレベルを取り扱う必要がある。プロジェクトレベルにおいては、マルコフ決定モデルを用いてライフサイクル費用の最小化に資するような最適補修政策を導出するモデルが提案されている⁸⁾⁻¹⁰⁾。ライフサイクル費用評価においては、異なった時点間における費用の取り扱いが重要となる。PONTISでは、割引率を用いてライフサイクル費用を現在価値に換算する割引現在価値法が採用されている。一方、小林はインフラを非償却性資産と位置づけた場合、平均費用法を用いてアセットマネジメント戦略を作成することにより、インフラ群全体としての効率的なアセットマネジメントが実現することを示している¹¹⁾。さらに、平均費用法を用いたライフサイクル費用評価は繰延維持補修会計原則と整合的であるという利点がある。このような視点から、貝戸ら、青木らは、平均費用法を用いた最適補修モデルを提案している^{12),13)}。さらに、最適補修政策モデルを搭載したBMS^{14),15)}も提案されてい

る。そこでは、橋梁システム全体の維持管理を対象として、橋梁部材の劣化予測結果に基づいて、予算管理計画を作成するようなシミュレーションシステムが提案されている。また、道路舗装の最適補修計画に関する研究¹⁶⁾や舗装マネジメントシステム^{17),18)}が提案されている。さらに、山本らは道路付帯施設を対象としたアセットマネジメントシステム（Fasys-AM）を提案している¹⁹⁾。Fasys-AMは、道路上に数多くの施設が設置される道路付帯施設群を対象として、点検・補修タイミングの最適同期化政策を導出するシステムである。以上で紹介したアセットマネジメントシステムは、いずれもライフサイクル費用の低減化に資するような維持補修計画や予算計画を策定することを目的としており、本格的な管理会計システムを開発しているわけではない。本研究で対象とする下水処理施設に関しても、実用的なアセットマネジメントシステムが提案されている^{20),21)}。さらに、堀らは平均費用法を用いた下水処理施設の最適点検補修モデルを提案している²²⁾。しかし、これらの研究も下水処理施設の予算計画を策定することを念頭においており、下水道事業体の財務的維持可能性に及ぼす影響を分析するような管理会計システムは構築されていない。これに対して、本研究では、公営企業である下水道事業体における維持補修政策が、事業体の長期的な財務構造に及ぼす影響を分析できるような管理会計シミュレーションモデルを提案する。さらに、劣化・補修過程シミュレーションと管理会計シミュレーションを互いに連携したようなシミュレーションモデルを提案し、企業債の発行政策、維持管理政策が財務会計における勘定科目の長期的な変動パターンに及ぼす影響を評価し得るような下水道管理会計システムを提案する。その際、下水処理施設が、土木構造物、機械、電気の多数の複合施設群により構成されていることに着目する。下水処理施設を構成するそれぞれの施設は管理・保全方法が異なり、それぞれの施設を管理する部局が必要となる会計情報も当然のことながら異なる。そこで、本研究では前述したように、下水処理施設に対しては工学的維持管理システムの計算結果に基づいた繰延維持補修会計原則を適用し、それ以外の施設に関しては減価償却会計原則を用いたような複合的な管理会計システムを開発する。

(2) 管理会計の役割

会計情報は過去の情報の集積であり、将来の維持管理に関する情報を生産すること目的としているわけではない。しかし、ある決算時点での資産ストックの一覧表である貸借対照表を用いて、そこから将来の維持管理に関する情報を取り出すことは可能である。公営企業会計基準が有する問題は、インフラ資産ストック

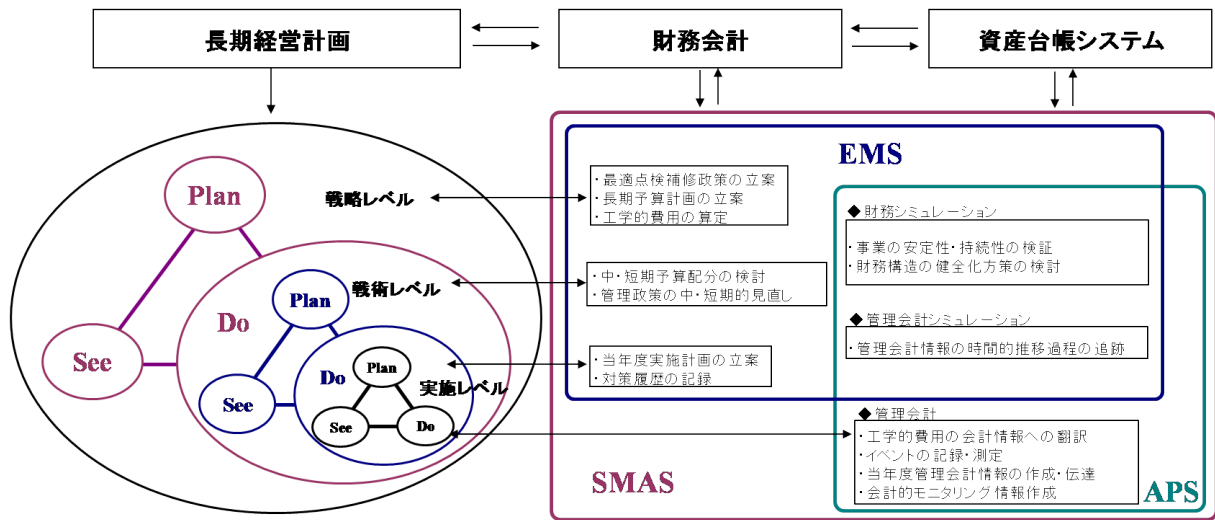


図-1 SMAS の基本構成

の評価が、資産の維持管理に適した会計情報になっていない点である。その原因の1つが、インフラ資産の減価償却にある。減価償却費は、発生主義に基づく費用収益対応の原則により、資産を費用化したものであり²³⁾、損益計算書（以下、P/Lと略す）における費用項目という意味合いが強い。一方、インフラ資産額から貸借対照表（以下、B/Sと表す）で計上されている減価償却累計額を差し引くことにより、インフラ資産の評価を行うことも可能である。しかし、インフラ資産の法定耐用年数と、インフラの実寿命が一致しておらず、財務会計上のインフラ資産評価額が、実際の資産価値を表しているとは言いがたい。インフラ資産に対しても、法定耐用年数が定められ、それに基づいて減価償却を行っているが、耐用年数が過ぎてもインフラ資産は公共サービスを提供し続けており、減価償却の根拠である費用収益対応の原則が成立しにくい²⁴⁾。

企業の財務会計は経営成績と財政状態を資本提供者に開示することを目的としている。株式会社の場合、株主、債権者は財務会計情報を通じて、投資する資本の配当や利回りや回収可能性を判断する。しかし、公共サービスを提供する公営企業の場合、資本の提供者は公共サービスの利用者や納税者であり、利用料金算定の根拠となる原価や公営企業の財務的効率性、維持可能性に関する情報の開示が求められる。特に、インフラ資産の場合、その資産がある一定のサービス水準を長期的に維持できるか否かに関する会計情報が必要であり、繰延維持補修会計原則²³⁾に基づいた会計情報が有用である。しかし、現行の公営企業会計基準では、繰延維持補修会計原則の適用は認められていない²⁴⁾。したがって、アセットマネジメントに必要な情報は、管理会計として処理することとなる。さらに、P/L, B/S

に関わる詳細な情報を提供する付属明細表、もしくは、公営企業の場合、予算に関する説明書の中に、必要な管理会計情報を適宜開示していくことが可能である。将来的には、財務会計と並列してインフラ会計を開示するという方策も検討することが必要であろう。本研究では、下水処理施設の効率的なアセットマネジメントを実施することを目的として、インフラ資産に関する必要な情報を提供できる管理会計システムを提案する。

(3) 下水道アセットマネジメント

下水道事業に供する資産群は管渠、ポンプ場、浄化センター（下水処理施設、汚水処理施設）等の複合的施設により構成される。また、各施設は、土木構造物、建築物、機械、電気（計測器）等に分類できる。これらの資産群は、それぞれ所与のサービス水準を保つように、点検・補修更新の最適化を通じて、ライフサイクル費用を低減することが必要である。本研究の適用事例では、下水処理施設に焦点を置く。下水処理施設では、下水処理槽が直列に配置され、処理システムのリダンダンシーが確保されていない場合が多い。このような下水処理施設では、下水処理槽の点検・補修を実施する際、排水を実施するために下水処理施設の操作・運用を一時的に停止せざるを得ない。下水処理施設の点検・補修業務を限られた時間の範囲の中で、集中的に実施することが必要となる。定期的に点検を行い、点検結果に応じた補修を実施することが求められる。さらに、施設の劣化過程に不確実性が介在しており、施設劣化に関する一定程度のリスクを許容しなければならない。下水処理施設を管理するために、点検・補修の政策とその政策を適用した際の施設の劣化リスク（リスク管理水準）およびライフサイクル費用の関係を分析する

ことが重要な課題となる。一般に、劣化リスクとライフサイクル費用は、互いにトレードオフの関係にある。

本研究で提案する下水処理施設の管理会計システム(SMAS)の基本構成を図-1に示す。工学的維持管理システム(EMS)は、戦略レベル(長期計画)、戦術レベル(短・中期計画)、実施レベル(単年度計画)を対象とした維持補修計画とそのフォローアップを支援するシステムで構成されている。このうち、戦略レベルでは、対象施設に関する点検・補修政策の最適化、およびライフサイクル費用と維持管理費の年次の推移を予測し、必要な予算計画案を作成する。その際、土木構造物(例えば、下水処理槽)の場合、リスク管理水準を所与として、平均費用の最小化に資するような点検・補修政策を決定することが重要な課題となる。一方、その他資産に関しては、資産の損傷度評価、劣化予測等に関して基本方針を決定し、用意したシナリオパターンより各資産の最適なシナリオパターンの組み合わせを求める。戦術レベル(短・中期計画)においては、戦略レベルにて決定した各期予算に従って、管理対象となる各施設群への予算の配分を検討する。配分された予算の範囲内で、管理水準の目標値と点検・補修・更新政策の見直しを行う。実施レベル(単年度計画)では、単年度に点検・補修・更新を実施する対象施設を決定し、計画に従って点検・補修・更新を実施する。各期の予算の範囲内で、計画に従った点検・補修・更新をすべて実施できない場合は、当該年度の補修・更新の繰越量として記録され、次年度以降の計画に反映される。

アセットマネジメントにおいてライフサイクル費用評価を行うために、資産群の将来の劣化特性を予測する必要がある。ライフサイクル費用評価の信頼性は、劣化予測モデルの精度に大きく依存する。本システムでは、土木構造物の劣化過程の不確実性を考慮した最適点検・補修モデル²²⁾を用いて、構造物の点検・補修政策を決定する。工学的維持管理システム(EMS)は、既往の下水道アセットマネジメントシステム^{20),21)}をプラットフォームとして、平均費用法に基づいた最適点検・補修モデルによる政策評価モジュールを付加した内容になっている。また、最適点検・補修モデルに関しては、参考文献²²⁾に詳しい。本研究における工学的維持管理システムに関しては新規性はない。したがって、本稿では、紙面の都合もあり、工学的維持管理システムの詳細については割愛する。本研究で用いる最適点検・補修モデルに基づいて、土木構造物を維持するためのライフサイクル費用情報(年平均維持補修費、相対費用)を作成することができる。これらのライフサイクル費用情報は、繰延維持補修会計原則に基づく費用情報と整合的であるという利点がある。これらのライフサイクル情報の意義については、参考文献¹²⁾を参照して

欲しい。以下では、読者の便宜を図るために、EMSの重要な目的の1つである工学的管理会計情報の作成プロセスについて簡単に説明する。

3. 工学的管理会計情報に関する検討

(1) 管理会計システムの構成

下水処理施設は多数の土木構造物、機械・電気施設で構成される複合的施設である。これらの施設・設備群は、それぞれ管理・保全の方法が異なり、施設管理者等が必要とする会計情報も異なる。一般に、下水処理施設の管理・保全方法は、1) 状態監視保全、2) 時間計画保全、3) 事後保全という3つのタイプに分類される。下水処理施設を構成する各施設と保全方法、および管理会計原則の対応関係を表-1に整理している。3つの管理会計原則の基本的な考え方とインフラ会計における意味については、参考文献⁶⁾に譲ることとする。土木構造物は、劣化過程に不確実性が存在し、土木構造物の法定耐用年数と実態の間に乖離が大きい。さらに、構造物の状態と対応して適切な維持補修を行うことにより、健全度を回復することができる。土木構造物の保全・管理においては、維持すべき健全度とそれを実現するための維持補修政策を決定するとともに、構造物の維持補修のために必要となる維持補修費を支出していくことが望ましい。工学的検討に基づいた維持補修計画に従って、必要とされる維持補修費が算出されるために、繰延維持補修会計原則を用いた会計処理が適合する。本研究では、平均費用法を用いた下水道最適点検補修モデル²²⁾を用いて管理会計情報を作成する。機械の中で、複数の機械で構成される複合的機械は状態監視保全の対象となる。これらの機械に関しても、機械性能に関するサービス水準を規定し、土木構造物に準拠した考え方で最適点検補修政策を検討する¹⁰⁾。一方、時間計画保全、事後保全方針が適用される電気・機械、計測器、建築は、故障した場合に新しい機器に交換される。そのための準備費用を会計処理することが求められる。したがって、減価償却会計原則を用いて必要な会計情報を得ることができる。

(2) 資産台帳システム

公営企業が保有する有形固定資産は、公営企業会計基準に従って固定資産台帳に記録される。会計年度期間中に1回は資産について実査し、資産の実在を確認することが求められている。資産が滅失していれば固定資産台帳から除却される。また、資産の機能が著しく損傷している場合には資産価額が減額される。一方、下水処理施設に関する資産データは下水処理施設の資産台帳システムで管理される。対象とする下水処理施

表-1 管理会計の組み合わせ

| 管理・保全方法 | 管理会計原則 | 対象施設「(・)は事例」 |
|---------|------------|------------------------|
| 状態監視保全 | → 繰延維持補修会計 | 土木構造物, 複合的機械 (汚泥掻きよせ機) |
| 時間計画保全 | → 減価償却会計 | 電気・機械 (主ポンプ・主配電盤) |
| 事後保全 | → 減価償却会計 | 計測器, その他機器, 建築 |

表-2 資産台帳システムの記述内容 (一部)

| 電気・機械, 計測器, その他機器, 建築等 | | | | | | | |
|------------------------|---------|---------|--------|------|-------|-----------|------|
| 資産コード | 施設名 | 機器名 | 標準耐用年数 | 経過年数 | 平均損傷度 | 再構築費 | 管理方法 |
| 1 | 沈砂池ポンプ棟 | 自動除塵機 | 20 | 26 | 2.3 | 31,480 千円 | 状態監視 |
| 2 | 沈砂池ポンプ棟 | ベルトコンベア | 20 | 26 | 2.6 | 9,690 千円 | 状態監視 |
| 3 | 沈砂池ポンプ棟 | 沈砂掻揚機 | 20 | 26 | 2.1 | 28,270 千円 | 状態監視 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

| 土木構造物・複合的機械 | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|
| 資産コード | 施設名 | 部材・部位 | 経過年数 | 損傷度 | | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 200 | 最初沈殿池 | 頂版 | 26 | 80% | 15% | 5% | 0% |
| 201 | 最初沈殿池 | 底版 | 26 | 99% | 1% | 0% | 0% |
| 202 | 最初沈殿池 | 側壁 W1 | 26 | 99% | 1% | 0% | 0% |
| 203 | 最初沈殿池 | 側壁 W2 | 26 | 75% | 20% | 5% | 0% |
| 204 | 最初沈殿池 | 側壁 W3 | 26 | 70% | 20% | 10% | 0% |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

注) 本表では、機械系機器の中でも状態監視保全の対象となる機器を記載している。土木構造物の損傷度は、対象とする部材や部位の中でそれぞれの損傷度に該当する箇所面積が総面積に占める比率 (相対頻度) を示している。

設では、ポンプ井から最終沈殿地までの資産の情報が台帳として整備されている。さらに、土木構造物に関しては下水処理施設の維持管理の基本となるべき「コンクリート標準示方書」に基づいて補修工法を指定している。これらデータを一括して資産台帳システムとして情報を蓄積することが必要である。本研究の適用事例で作成した資産台帳システムの記載内容の一部を表-2に示している。下水処理施設の資産台帳システムに記載されている情報は、実地点検結果や補修実績に基づいて逐次更新される。

(3) 繰延維持補修管理会計

繰延維持補修会計を用いて土木構造物の維持補修のための管理会計を作成する。そのためには、土木構造物の健全度を一定水準に維持するために必要となる毎年の維持補修費 (年平均維持補修費) と、過去の維持補修において先送りされた補修費 (相対費用) を評価することが必要となる。以下では、堀らが提案した下水処理施設の最適点検補修モデル²²⁾を用いて、最適点検・補修政策を求めるとともに、これらの点検・補修政策に準拠して工学的管理会計情報 (年平均維持補修費と相対費用) を作成する方法を提案する。なお、本研究では、小林¹¹⁾が指摘したように、下水処理施設を半永久的に維持すべき非償却性資産として位置づけ、建設年次の異なる施設群全体を効率的に維持するために、平均費用を最小化するような点検・補修政策を求める。すなわち、ライフサイクル費用の算定に割引率を用いず、将

来にわたって発生する点検・補修費を平準化した平均費用を用いてライフサイクル費用評価を実施する。

カレンダー時刻 t_0 を起点とし、無限遠に続く離散的時間軸

$$t_r^d = t_0 + (r - 1)d \quad (r = 1, \dots) \quad (1)$$

を導入する。ただし、添え字 r ($r = 1, \dots$) は点検・補修間隔 (政策変数) d の離散的時間軸における時刻番号を表す。2つの点検時刻 t_r^d, t_{r+1}^d の期間を r 期と呼ぶ。各期間の期首に点検・補修が実施される。対象とする施設が、複数の部材や部位で構成されると考え、その中の特定の部材・部位 (以下、部位と呼ぶ) k ($k = 1, \dots, K$) に注目する。各部位は、例えばコンクリート版のように面的広がりを持している。点検により部位の損傷が発見された場合、点検・補修作業に費やす時間を短縮するため、損傷箇所に焦点を絞った局所的補修が実施される。対象とする部位 k を単位面積 1 の S^k 個のメッシュ分割し、メッシュ s ($s = 1, \dots, S^k$) の健全度を M 個の離散指標 i ($i = 1, \dots, M$) で表現する。 i の値が大きくなるほど、劣化が進展していることを表す。時刻 t_r^d におけるメッシュ s ($s = 1, \dots, S^k$) の健全度を状態変数 $h_s(t_r^d) = i$ ($s = 1, \dots, S^k; r = 0, 1, \dots$) を用いて表現する。部位 k を構成するすべてのメッシュの劣化特性が同質的であると仮定する。劣化・補修モデルは、各期の期首に実施される点検・補修後に実現する健全度に着目し、次の期間の期首に点検が実施され、必要な補修が実施されたのちに実現する健全度までの状態の変化を記述する。

いま, 時刻 t_r^d において, 部位 k のメッシュ s の劣化状態が $h_s(t_r^d)$ であり, 時刻 t_{r+1}^d において劣化状態 $h_s(t_{r+1}^d)$ に推移する条件付確率をマルコフ推移確率 $\text{Prob}[h_s(t_{r+1}^d) = j | h_s(t_r^d) = i] = p_{ij}^k$ を用いて表現する. 推移確率 p_{ij}^k は点検・補修間隔 d に依存するが, 記述の簡便化のため d を省略する. M は吸収状態である. p_{ij}^k を (i, j) 要素とする推移確率行列を \mathbf{p}^k と表記する. 補修政策 ξ を部位 k のメッシュ s の健全度 $h_s(t_{r+1}^d)$ に対して, 補修後の健全度を指定するルール

$$q_{jj'}^{k\xi} = \begin{cases} 1 & \eta^\xi(j) = j' \\ 0 & \text{それ以外の時} \end{cases} \quad (j = 1, \dots, M; j' = 1, \dots, j) \quad (2)$$

を用いて定義する. $q_{jj'}^{k\xi}$ を (j, j') 要素とする $M \times M$ 推移行列 (以下, 補修推移行列と呼ぶ) を $\mathbf{q}^{k\xi}$ と表記する.

この時, 補修政策 ξ の下で, 実現する劣化・補修過程は推移確率 $P_{ij'}^{k\xi}$

$$P_{ij'}^{k\xi} = \sum_{j=1}^M p_{ij}^k q_{jj'}^{k\xi} \quad (3)$$

を用いて定義できる. $P_{ij'}^{k\xi}$ を (i, j') 要素とする $M \times M$ 推移確率行列を $\mathbf{P}^{k\xi}$ と表す. 補修政策 ξ の下で, 時刻 t_r^d における部位 k の (補修直前の) 健全度を, 健全度別延べ面積 (メッシュ数) $a_i^{k\xi}(t_r^d)$ を総面積 S^k を用いて基準化した相対頻度 $\pi_{i,k}^\xi(t_r^d) = a_i^{k\xi}(t_r^d)/S^k$ を要素とする相対頻度ベクトル

$$\boldsymbol{\pi}^{k\xi}(t_r^d) = \left\{ \pi_{1,k}^\xi(t_r^d), \dots, \pi_{M,k}^\xi(t_r^d) \right\} \quad (4)$$

を用いて表現すれば, 部位 k の劣化・補修過程は

$$\boldsymbol{\pi}_{j,k}^\xi(t_{r+1}^d) = \sum_{i=1}^M P_{ij}^{k\xi} \pi_{i,k}^\xi(t_r^d) \quad (5)$$

と定式化できる. 上式をベクトル表記すれば,

$$\boldsymbol{\pi}^{k\xi}(t_{r+1}^d) = \boldsymbol{\pi}^{k\xi}(t_r^d) \mathbf{P}^{k\xi} \quad (6)$$

である. 下水処理施設の点検・補修過程が繰り返され, 長期定常状態に到達したとする. 部位 k の健全度に関する定常確率ベクトルを $\boldsymbol{\pi}^{k\xi} = (\pi_{1,k}^\xi, \dots, \pi_{M,k}^\xi)$ と表す. 定常確率は

$$\boldsymbol{\pi}^{k\xi} = \boldsymbol{\pi}^{k\xi} \mathbf{P}^{k\xi} \quad (7)$$

を満足するような $\boldsymbol{\pi}^{k\xi}$ として定義される. したがって, 長期定常状態に達した時の, 点検時点 (補修前) における損傷度に関する定常確率 $\boldsymbol{\pi}^{k\xi} = (\pi_{1,k}^\xi, \dots, \pi_{M,k}^\xi)$ は,

$$\boldsymbol{\pi}^{k\xi} = \boldsymbol{\pi}^{k\xi} \mathbf{p}^k \quad (8)$$

と表せる. 施設のリスク管理水準を \bar{U} と表し, 点検時点 (補修前) における部位 k の損傷度 M の定常確率 $\pi_{M,k}^\xi$ を, リスク管理水準 \bar{U} 以下に抑えることが可能な補修政策の集合 $\Omega_k(\bar{U})$ を,

$$\Omega_k(\bar{U}) = \{(d, \xi) | \pi_{M,k}^\xi \leq \bar{U}\} \quad (9)$$

と定義する. 下水処理施設の定期的点検・補修過程における時刻 t_r^d において, 補修政策 ξ の下で必要となるコンクリート版 k の平均費用を w_k^ξ と定義する. 平均費用 w_k^ξ は, 部位 k の劣化過程に関する推移確率行列 \mathbf{p}^k , 損傷度別の補修工法単価 $c_j^{j'k}$, および補修政策行列 $\mathbf{q}^{k\xi}$ を用いれば,

$$w_k^\xi = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \sum_{j'=1}^j p_{ij}^k q_{jj'}^{k\xi} c_j^{j'k} S^k \pi_i^k \quad (10)$$

と定義される. この時, リスク管理水準 \bar{U} を所与とした時に, 下水処理施設全体の土木構造物の年平均費用を最小とするような補修政策を求める最適点検・補修政策モデルは,

$$\min_{d, \xi} \left\{ \sum_{k=1}^n \frac{w_k^\xi}{d} \right\} \quad (11a)$$

$$\text{subject to } (d, \xi) \in \Omega_k(\bar{U}) \quad (11b)$$

と定式化できる. この問題の最適解として求まる最適政策を (d^*, ξ^*) と表す.

下水処理施設全体のリスク管理水準を維持するために必要となる年平均費用 w^{ξ^*} は,

$$w^{\xi^*} = \sum_{k=1}^K \frac{w_k^{\xi^*}}{d} \quad (12)$$

である. 以上で求めた年平均費用は, 最適点検・補修政策の下で算定された年平均費用であり, リスク管理水準を達成するための年平均費用の最小値を表している. しかし, 過去から現時点までの補修アクションは, 必ずしも最適補修政策に従って実施されてきたわけではない. 特に, 過去において必要な補修アクションを将来に先送っていた場合, 現時点, もしくは将来時点において集中的に補修アクションを実施することが必要となる. このように過去の時点に補修アクションの実施を先送りした場合, 先送り額を管理会計上繰延維持補修費として処理することが必要となる. 貝戸ら¹²⁾は, 平均費用法を用いたマルコフ決定モデルを用いて, 初期年度において平均費用からの乖離を相対費用 z として求める方法を提案している. 相対費用 z は, 初期値 (損傷度) の違いから生じる定常状態までの期待増加費用である. 管理会計システムを導入した時点において, 対象とする土木構造物の健全度の実態に応じた相対費用を算定し, B/S に繰延維持補修引当金として計上することが必要である. 繰延維持補修引当金が正の場合は, 定常状態に対して維持補修費の過去からの先送りが発生していることになる. 年平均維持補修費 $w^{d^*} + e^{d^*}$ は, 年平均費用 w^{d^*} と年平均点検費 e^{d^*} の和で定義される.

いま, カレンダー時刻 $t = t_0$ を現在時刻とする. 時刻 t_0 は, SMAS を導入した時刻を意味する. 時刻 t_0 の目視点検で, 部位 $k (k = 1, \dots, K)$ の健全度がランク i

であると判断されたと考える。期待累積ライフサイクル費用 $u_k^{\xi^*}(i, t_r^{d^*})$ は、補修政策 ξ^* の下で、時刻 t_0 において損傷度 i の初期状態から時刻 $t = t_r^{d^*}$ に至るまでに発生する部位 k の補修費の総和に関する期待値を表す。時刻 t_0 から時刻 $t_1^{d^*}$ へ1期経過する間に劣化が進展し、時刻 $t_1^{d^*}$ の直前に損傷度が j に推移したと考える。また、時刻 $t_1^{d^*}$ の直前に補修アクションが実施されると考える。時刻 t_0 において時刻 $t_1^{d^*}$ にどのような補修が実施されるかは不確実である。そこで、時刻 t_0 において、損傷度が i である場合、時刻 $t_1^{d^*}$ の直前までに補修政策 ξ^* の下で必要となる部位 k の期待補修費 $r_k^{\xi^*}(i)$ は、

$$r_k^{\xi^*}(i) = \sum_{j=1}^M \sum_{j'=1}^j p_{ij}^k q_{jj'}^{k\xi^*} c_j^{j'k} S^k \quad (13)$$

$$(i = 1, \dots, M)$$

と表される。つぎに、時刻 $t_1^{d^*}$ に着目する。時刻 t_0 から、1期間経過する間に劣化が進展し、時刻 $t_1^{d^*}$ の点検後に実施された補修アクションを経て、時刻 $t_1^{d^*}$ に損傷度が j に推移したと考える。さらに、時刻 $t_1^{d^*}$ から補修政策 ξ^* を適用し、時刻 $t_r^{d^*}$ に至るまでの期間中に発生する期待累積ライフサイクル費用を $u_k^{\xi^*}(j, t_{r-1}^{d^*})$ と定義する。時刻 t_0 から時刻 $t_1^{d^*}$ までの間に、部位 k が損傷度 i から j に推移する確率 $P_{ij}^{k\xi^*}$ を用いれば、期待累積ライフサイクル費用 $u_k^{\xi^*}(i, t_r^{d^*})$ と $u_k^{\xi^*}(j, t_{r-1}^{d^*})$ の間に次式が成立する。

$$u_k^{\xi^*}(i, t_r^{d^*}) = r_k^{\xi^*}(i) + \sum_{j=1}^M P_{ij}^{k\xi^*} u_k^{\xi^*}(j, t_{r-1}^{d^*}) \quad (14)$$

$$(i = 1, \dots, M)$$

時刻 $t_r^{d^*}$ 期末の期待累積ライフサイクル費用 $u_k^{\xi^*}(i, 0)$ は $u_k^{\xi^*}(i, 0) = 0 (i = 1, \dots, M)$ を満足する。十分大きな r に対して、再帰方程式 (14) の解 $u_k^{\xi^*}(i, t_r^{d^*})$ が

$$u_k^{\xi^*}(i, t_r^{d^*}) = r w_k^{\xi^*} + v_k^{\xi^*}(i) (i = 1, \dots, M) \quad (15)$$

と近似できる¹²⁾。期待累積ライフサイクル費用 $u_k^{\xi^*}(i, t_r^{d^*})$ は期間長 r に比例する項 $r w_k^{\xi^*}$ と初期損傷度 i に依存する項 $v_k^{\xi^*}(i)$ に分解できる。式 (14) と式 (15) を用いて、

$$r w_k^{\xi^*} + v_k^{\xi^*}(i) = r_k^{\xi^*}(i) + \sum_{j=1}^M P_{ij}^{k\xi^*} [(r-1)w_k^{\xi^*} + v_k^{\xi^*}(j)] \quad (16)$$

を得る。 $\sum_{j=1}^M p_{ij}^{k\xi^*} = 1$ を考慮すれば、連立方程式

$$w_k^{\xi^*} + v_k^{\xi^*}(i) = r_k^{\xi^*}(i) + \sum_{j=1}^M p_{ij}^{k\xi^*} v_k^{\xi^*}(j) \quad (17)$$

$$(i = 1, \dots, M)$$

を得る。連立方程式 (17) は、 M 本の方程式に対して $v_k^{\xi^*}(i) (i = 1, \dots, M)$ の合計 M 個の未知変数が含まれ

る。したがって、連立方程式 (17) を $v_k^{\xi^*}(i)$ に関して一意的に解くことができる²⁵⁾。この時、

$$z_k^{\xi^*} = \sum_{i=1}^M \pi_{i,k}(t_0) v_k^{\xi^*}(i) \quad (18)$$

を用いて SMAS 導入時点における部位 k の相対費用 $z_k^{\xi^*}$ を計算できる。ただし、SMAS 導入時点における部位 k の損傷度分布を

$$\pi_k(t_0) = \{\pi_{1,k}(t_0), \dots, \pi_{M,k}(t_0)\} \quad (19)$$

と表す。土木構造物全体に関する相対費用 z^{ξ^*} は

$$z^{\xi^*} = \sum_{k=1}^n z_k^{\xi^*} \quad (20)$$

と計算できる。

なお、現実のアセットマネジメントにおいては、毎年の維持補修業務が当初計画通りに執行できるわけではない。当初計画通りに維持補修業務を実施できず、必要な補修業務を先送った場合を考える。この場合、補修業務を先送りしている間に、土木構造物の劣化が進展し、当初の計画より補修費が結果的に増加してしまう場合がある。現在時刻が \tilde{t} であるとする、追加補修費 \bar{z} は

$$\bar{z} = \sum_{k=1}^K \left\{ \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M p_{ij}^{1k} \Pi_i^{k\xi} c_j^{1k} S^k - \frac{w_k^{d^*}(d^*+1)}{d^*} \right\} \quad (21)$$

と定義できる。ただし、 p_{ij}^{1k} は、1年間における部位 k の劣化推移確率である。毎年、年平均補修費を計上しており、次年度に追加で必要な額は点検補修年から経過1年後の補修費から次年度 $\tilde{t}+1$ の年平均補修費と昨年までの年平均補修費の累積額を引き、それらを各部位ごとに足し合わせたものを繰延不足維持補修引当金として B/S に計上する。次年度に補修が行われた場合は、計上している繰延維持補修引当金と繰延不足維持補修引当金の該当分が取り崩される。また、1年を経ても補修が実施できなかった場合、今年に計上した繰延不足維持補修引当金を洗替法により次年度に取り崩し、新たに追加補修費を算出し、次年度の繰延不足維持補修引当金として B/S に計上することになる。ただし、洗替法とは、前期に計上した貸倒引当金などのうち、期末においてその残額をすべて戻し入れ（利益計上）、新たに貸倒引当金などを積立てる方法を意味している。ここでは、前年度の繰延不足維持補修引当金をすべて戻し入れし、今期に追加補修費を含めて新たに繰延不足維持補修引当金を積み立てることとなる。

なお、本研究では、下水処理施設を構成する施設や機器の管理会計原則を表-1に示すように分類している。時間計画保全、事後保全方式が採用される機器に関しては、再調達価額を法定耐用年数で除することにより減価償却費を算定している。減価償却会計による会計処理に関しては、4. (3) で言及する。

表-3 繰延維持補修会計の仕訳

| 時期 | 工学的費用 | 借方 | 貸方 | 実費 |
|----------------|--|--|---|-----|
| 1期予算時 | 年平均維持補修費 x 円 相対費用 y 円 | 繰延維持補修引当金繰入 x 円 (補修費, 点検費, P/L) 繰延維持補修引当金繰入 y 円 (特別損失, P/L) | 繰延維持補修引当金 x 円 (固定負債, B/S) 繰延維持補修引当金 y 円 (固定負債, B/S) | |
| 期中 | | 繰延維持補修引当金 z 円 (固定負債, B/S) | 現金 z 円 (現金, B/S) | 補修費 |
| 決算時 | | | | |
| $t-1$ 期 予算時 | 年平均維持補修費 x 円 | 繰延維持補修引当金繰入 x 円 (補修費, 点検費, P/L) | 繰延維持補修引当金 x 円 (固定負債, B/S) | |
| 期中 | | | | |
| 決算時 | | | | |
| t 期予算時 | 年平均維持補修費 x 円 追加補修費 | 繰延維持補修引当金繰入 x 円 (補修費, P/L) 繰延不足維持補修引当金繰入 a 円 (補修費, P/L) | 繰延維持補修引当金 x 円 (固定負債, B/S) 繰延不足維持補修引当金 a 円 (固定負債, B/S) | |
| 期中 | | 繰延不足維持補修引当金 f 円 (固定負債, B/S) | 現金 f 円 (現金, B/S) | 補修費 |
| 決算時 | | | | |
| t' 期予算時 | 年平均維持補修費 x 円 過去の追加 補修費 b 円 今年度追加 補修費 c 円 | 繰延維持補修引当金繰入 x 円 (補修費, P/L) 繰延不足維持補修引当金 b 円 (固定負債, B/S) 繰延不足維持補修引当金繰入 c 円 (補修費, P/L) | 繰延維持補修引当金 x 円 (固定負債, B/S) 繰延不足維持補修引当金 戻入 b 円 (営業利益, P/L) 繰延不足維持補修引当金 c 円 (固定負債, B/S) | |
| 期中 | | | | |
| 決算時 | | | | |

注) 相対費用は初年度においてのみ計上される。相対費用はSMAS導入に伴って生じる初期費用であり特別損失勘定に臨時維持補修引当金として繰入れる。(・)は、管理会計情報の処理方法について記載している。同表において、例えば t 期予算時の工学的費用として算定された「年平均維持補修費 x 円」に関しては、借方に仕訳けられた「繰延維持補修引当金繰入 x 円」は修繕費用、点検費用としてP/Lに、貸方の「繰延維持補修引当金 x 円」は固定負債としてB/Sに計上されることを意味する。

4. 管理会計作成システム

(1) 管理会計情報の作成

管理会計作成システム (APS) は、工学的維持管理システム (EMS) で算定した工学的情報 (年平均維持補修費, 相対費用) を会計的情報に翻訳することにより、下水処理施設の資産価額と会計年度における資産 (もしくは負債) の変化を記述する会計処理システムである。会計処理はイベント (経済活動等) を認識、測定、伝達する行為である。会計処理手続きとしては、1) イベントの発生 (認識、測定) に伴って仕訳をする。例えば、会計年度当初に工学的に見積もられた費用や、実際に会計年度内に支払った費用を複式簿記によって仕訳する。2) 決算時に期初から期末までのイベントを整理することにより残高試算表 (T/B) を作成する。3) 残高試算表を貸借対照表と損益計算書に分けることによって会計情報利用者 (ステークホルダー) に会計情報を伝達する。管理会計システムは以上の手続きを支援するようにシステム化されている。さらに、アセットマネジメントを実施するために必要となる施設管理情報 (健全度やサービス水準) も提供する。下水道施設は劣化特性が異なる複合的施設であり、管理会計作成シ

テムも繰延維持補修会計原則、減価償却会計原則という異なる会計原則を用いた複合的システムになっている。そこで、4. (2) では繰延維持補修会計原則をとりあげるとともに、4. (3) では減価償却会計原則による管理会計情報の作成方法について考察する。最後に、4. (4) では繰延維持補修会計原則を用いて管理会計情報を作成する場合に留保すべき補足事項をとりまとめる。

(2) 繰延維持補修会計の会計処理

繰延維持補修会計では、工学的検討により適切な補修・更新時期と補修・更新費を算出することによりライフサイクル費用を算出し、その費用総額を年平均維持補修費として各年度に割振る。その際、表-3に示すように、年平均維持補修費 (工学的情報) を会計情報に翻訳 (仕訳) する。土木構造物の資産価額 S_1 は取得原価、あるいは再調達価額で評価する。繰延維持補修会計では、土木構造物は非償却性資産と見なされ、資産価額 S_1 は時間を通じて一定である⁶⁾。換言すれば、土木構造物の資産価額を一定に保つための点検費、補修費を毎年費用として繰り入れる。最適点検・補修モデルを用いて求めた年平均維持補修費 $w^{d^*} + e^{d^*}$ を、表-3の工学的費用欄に年平均維持補修費 x 円として記載す

る。それと同時に、各年度の予算時に繰延維持補修引当金繰入額 x 円を費用として借方計上する。その費用を、将来支出する義務がある負債として認識し、繰延維持補修引当金 x 円を貸方計上する。さらに、SMASを導入する初年度においてのみ、過去の補修実績に依存する相対費用を計上する。相対費用はSMAS導入により発生する初期費用（経常的費用ではない）であり、特別損失勘定に臨時維持補修引当金繰入金 y 円として費用を借方計上する。相対費用に関しても、将来支出する義務を負債として認識し、繰延維持補修引当額 y 円として追加的に貸方計上する。会計年度内に、維持補修費（補修費、点検費等） z 円を支払った場合、その額を維持補修引当金からの取崩しとして借方に、その財源（現金等）の減少を貸方に記述する。期末時に、年度内に発生した仕訳を残高試算表として整理する。

繰延維持補修会計原則に基づく管理会計は、工学的検討を踏まえて作成した維持補修計画に基づいて維持補修が実施されることを前提として作成される。しかし、現実には、維持補修計画通りに予算が執行されず維持補修が遅延し、その間に劣化が進行したため、当初計画よりも大規模な補修が必要となることがある。この場合、管理会計情報を修正する必要が生じる。いま、前年度 ($t-1$ 期) に本来実施すべき補修を繰延べた結果、当該施設が劣化し、 t 期において維持補修計画の想定よりも大規模補修が必要になった場合を考える。この時、大規模補修のために必要となる補修費と当初の計画による補修費の差額を追加補修費 a 円として定義する。 t 年度に発生した追加補修費相当額を繰延不足維持補修引当金繰入 a 円として費用を借方計上し、その費用は将来支出する義務があるもの（負債）として繰延不足維持補修引当金 a 円を貸方計上する。 t 年度の期中に大規模補修のために追加補修支出額 f 円を支払った場合、その額を繰延不足維持補修引当金からの取崩しとして借方に、またその財源（現金等）の減少を貸方に記述する。そして期末時に今までの仕訳を纏め残高試算表を作成する。さらに、 t' 期より以前の時点で追加補修費 a 円を計上したにも関わらず、 t' 期まで補修ができず、さらに t' 期までの間に劣化がさらに進行し、 t' 期に追加補修費 c 円が必要であると判明した場合を考える。この場合、 t' 期に洗替法によって追加補修費の評価替えを行う必要がある。すなわち、予算時に過去の追加補修費額（繰延不足維持補修引当金 b 円）の戻し入れを行い利益として認識する。同時に、評価替え後の追加補修費を仕訳することが必要となる。

(3) 減価償却会計処理

減価償却会計の対象とする資産は、電気系、計測系機器である。土木構造物とは異なり、資産の耐用年数

表-4 減価償却費の仕訳

| 借方 | 貸方 |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 減価償却費 s 円 (補修費, 点検費, P/L) | 減価償却累計額 s 円 (固定資産控除勘定, B/S) |

が短いため、対象とする目標期間の中で、機器・施設の取換が複数回発生する。繰延維持補修会計では、対象とする土木構造物を半永久的に継続して利用する資産と位置づけるが、減価償却会計の場合は会計処理を行う電機系・計測系機器は永続的に供用できる資産ではなく、減価償却が会計上意味を持つ資産と位置づける。電気系・計測系機器に対しては、工学的検討により1ライフサイクルにかかる取替費等を見積もり、その合計金額を資産の標準耐用年数で割ることにより、表-4に示すように標準耐用年数期間内において減価償却費 s 円として借方計上する。資産を費用化することにより資産額が減少するが、それを表現するために貸方に計上されている減価償却累計額に加算する。

なお、SMAS導入時点で、すでに資産を使用している場合、減価償却累計額

$$\begin{aligned} \text{減価償却累計額} &= \text{「法定耐用年数} - \text{残存耐用年数」} \\ &\quad \times \text{減価償却費} \end{aligned} \quad (22)$$

を算定し、B/Sの該当資産の下に控除項目として計上する。毎期費用として計上される減価償却費は、当該期に実際に支出されるわけではない。実際に支出されていない費用を会計諸表のなかで費用として認識するため、減価償却費の累計額は将来の補修に対する引当金と解釈することができる。また、財務会計で定められた電気系の法定耐用年数は18年から20年、計測器系で15年であり、保全・管理方法が時間計画保全である電気系は耐用年数が一致している。しかし、計測器系では現実の資産の物理的・機能的な耐用年数と一致していない。税制上の耐用年数を用いて減価償却費を計算した時、「減価償却費累計額」が「補修のために必要となる費用」に一致する保証はない。この場合、毎年の維持補修費と取得原価に対する減価償却費とを直接比較しても、維持補修費の適正度に関する適切な情報を得ることはできない。しかし、計測器系資産は、資産価額の総額に占めるシェアが小さい資産であるため、事業体全体としての予算計画を策定する上で、計測系資産評価の誤差が及ぼす影響は小さいと思われる。

(4) 繰延維持補修会計に関する補足事項

下水道事業体のアセットマネジメント費目は、収益的支出としての補修費と資本的支出に大別される。補修費に関しては、単年度予算制約はあるものの、通時的には予算制約は存在しない。管理会計システムを導入した時点において、将来にわたる補修費の支出が工

表-5 予算制約下での優先順位の方針

| コンクリート版 | 損傷度 4 の割合 | 優先順位 |
|---------|-----------|------|
| 硫酸腐食 | 多い | 1 |
| | やや多い | 2 |
| | やや少ない | 3 |
| | 少ない | 4 |
| 中性化 | 多い | 5 |
| | やや多い | 6 |
| | やや少ない | 7 |
| | 少ない | 8 |

学的に見積もられており、それらは企業会計原則にある引当金としての性質を満足している。土木構造物の資産価額を維持するための費用は、繰延維持補修費引当金として繰入れる。電気系・計測系機器に関しては、機器の更新のための減価償却費が引き当てられる。したがって、管理会計システムは、工学的維持管理システムで策定された維持補修計画を実施することが前提となっており、そのための予算措置を確保することが前提となっている。ただし、単年度予算の範囲の中で、補修を実施する施設を優先順位に基づいて選択するという問題は存在する。本研究でとりあげる工学的維持管理システムは、工学的判断に基づいて、補修優先順位の判定システムを内蔵している。例えば、コンクリート版に関しては表-5のような優先順位を設定している。単年度予算の中で、中性化による損傷よりも硫酸腐食が発生しているコンクリート版の補修を優先的に実施する。一方、管理会計システムは、新たな施設整備や大規模補修と対応するような資本的支出に関する予算計画は含まれていない。この意味で、資本的支出に関しては予算制約が存在する。このような資本投資の実行可能性に関しては、次節で提案するような管理会計シミュレーションを実施して、財政的実現可能性を検討することが必要となる。当然のことながら、資本的支出を実施した場合には、施設を維持するための維持補修費が増加するため、工学的維持管理システムを用いて繰延維持補修引当金を再計算しなければならない。反対に、施設を除却した場合には、必要な維持補修費が減少するため、繰延維持補修引当金を修正することが必要となる。

繰延維持補修会計が適用される対象には、土木構造物だけでなく、単純な減価償却会計による会計処理が困難な機械系機器も含まれる。例えば、沈砂池ポンプ棟に設置される自動除塵機は、状態監視保全の対象となるケーシング、軸、電動機と、事後保全の対象となるスクリーン、レーキ、スプロケット、駆動チェーンにより構成される複合的機械である。このように部品間で保全・管理方法が違う機器では、状態監視保全の対象となる部品だけでなく、事後保全の対象となる部品も同時に点検することになるため、結果的に機器全体と

しては状態監視保全の対象となる。このように異なる保全方法が混在するような機器では、各部品の健全度の推移を詳細に把握することが困難であり、機器の保全に必要な平均費用と相対費用の算定が非常に複雑になる。SMAS 導入時点で、対象となる機器をすでに使用している場合、維持補修費を平均費用と相対費用に分離することが必要である。機器全体の更新費を、更新を支配する部品の耐用年数で配分することにより平均費用を定義する。一方、相対費用は、

$$\text{相対費用} = (\text{更新後の平均費用} \times \text{寿命})$$

$$- \text{現有施設の維持に要する将来支出額} \quad (23)$$

と定義できる。SMAS 導入時には、以上で求めた相対費用を臨時繰延維持補修引当金として繰入れることとなる。

なお、繰延維持補修引当金は、管理会計情報であり、財務会計上にその必要性が認識されているわけではない。また、各会計年度に必要な補修費を表しているわけではなく、アセットマネジメント部局は、各会計年度ごとに予算獲得のために努力しなければならない。しかし、公営企業会計では発生主義会計を採用しており、繰延維持補修引当金を将来の費用に掛かる当該年度の負担金として B/S に計上することも理論的には可能である。企業会計原則注解 18 にあるように、将来の特定の費用又は損失であって、その発生が当期以前の事象に起因し、発生の可能性が高く、かつ、その金額を合理的に見積もることができる場合に、当期の負担に属する金額を当期の費用又は損失として引当金に繰入れることにより、当該引当金の残高を貸借対照表の負債の部又は資産の部に記載することが可能である。従来、下水道事業体では、維持補修計画の策定が不十分であり、ともすれば維持補修費の正確な見積もりが困難であった。このため、現行の公営企業会計では、繰延維持補修引当金を計上できるような仕組みになっていない。将来、下水道アセットマネジメントが確立し、維持補修計画の策定方法が標準化されれば、繰延維持補修引当金を財務会計に反映できるように公営企業会計基準を変更することが可能になると考える。

5. 管理会計シミュレーション

(1) シミュレーションの目的

管理会計作成システム (APS) は、各会計年度に発生するイベントを管理会計として記述することを目的としている。しかし、下水道施設の運営を行う上で、将来時点における事業体の財務構造を分析することが必要となる。このような目的を達成するためには、管理会計を作成するだけでは不十分であり、事業体の財務的健全性の時間的推移過程をシミュレートすることが必

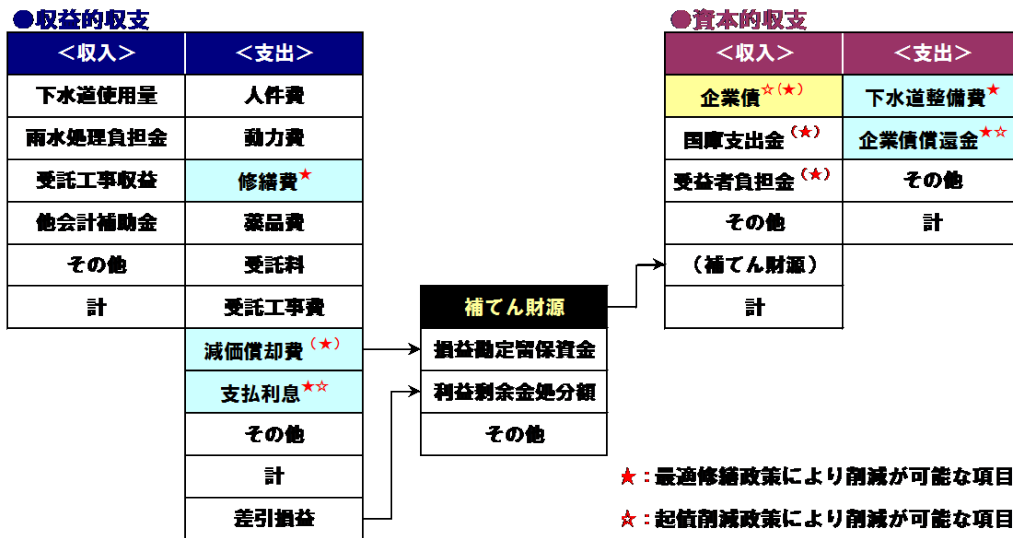


図-2 最適補修計画と債権削減政策の関係

要となる。本研究では、このような目的を達成するために管理会計シミュレーションモデルを提案する。管理会計シミュレーションモデルは、1) インフラ資産、金融資産を同時に考慮した広義のアセットマネジメント政策の検討、2) 新規の資本投資の財政的実行可能性の検討、3) 下水道料金等の変更による収益構造の改善可能性の検討のための財務情報を提供することを目的としている。前述したように、管理会計は現有施設の継続的使用を目的とした維持管理計画の執行を前提としている。このような維持管理計画の長期的実行可能性を検討するためには、管理会計シミュレーションを実施することが必要である。その際、維持管理計画の実現可能性を担保するためには、アセットマネジメントのための資金調達の可能性を検討しておく必要がある。その上で、施設の拡張やシステムの大規模修繕を実施するための財政余力や、現有施設の維持補修計画の実現可能性を担保するための資金調達方策について検討することが必要である。

一般に、企業のアセットマネジメントでは、企業の物的資産（機械や建物）のマネジメント方策より、金融資産のマネジメントの方が自由度が大きい。このため、物的資産の維持補修計画を与件として、金融資産の管理運営を効率的に実施することがアセットマネジメントの重要な課題となる。しかし、公営企業の場合、金融資産のマネジメント方策に制度的制約が存在し、インフラ資産のマネジメント方策が企業の財務構造に多大な影響を及ぼす。とりわけ、事業体の経営状況に関わらず、企業債の償還期間が一律に30年に固定されており、繰上償還や借換等が自由にできないという制約が

ある。現在、利率が極めて高い企業債に関して、繰上償還が認められるようになったが、企業債の早期償還を実施した事業体は少ないのが現状である。したがって、民間企業の場合とは異なり、財務会計上発生する一時的な資金不足や資金余剰に対応するため、施設のアセットマネジメントを通じて、事業体の財務構造を健全化するような方策を検討することが必要となる。

(2) 管理会計シミュレーションモデル

公営企業会計では、収益的収支と資本的収支が明確に区分され、維持補修費等の補修費は収益勘定に、再構築費等の建設改良費は資本勘定に分類される³⁾。資本的支出を実施するために外部資金（企業債、国庫補助金等）が不足する場合、収益勘定を経由して企業内に内部留保された補てん財源を用いることができるとされ、資本的収支に関する財源の均衡が図られている。補てん財源とは、利益剰余金処分類、収益勘定留保資金（現金支出を必要としない費用（減価償却費等）の合計額）等の資金をいう。このような財務会計の勘定科目と下水道処理施設の最適補修政策、および財政健全化政策との関係を図-2に示す。下水道処理施設を構成する土木構造物に関しては、工学的維持管理システム（EMS）を用いて、LCCを最小にするような維持補修計画を作成する。その他資産に関しては、減価償却会計原則に従って、維持補修計画を立案する。管理会計シミュレーションモデルは、以上で作成した維持管理計画に従って、シミュレーション期間中における費用の流列をシミュレートする。土木構造物の維持補修費は、実務上、資本的支出ではなく収益的支出（補修費）に該当する。

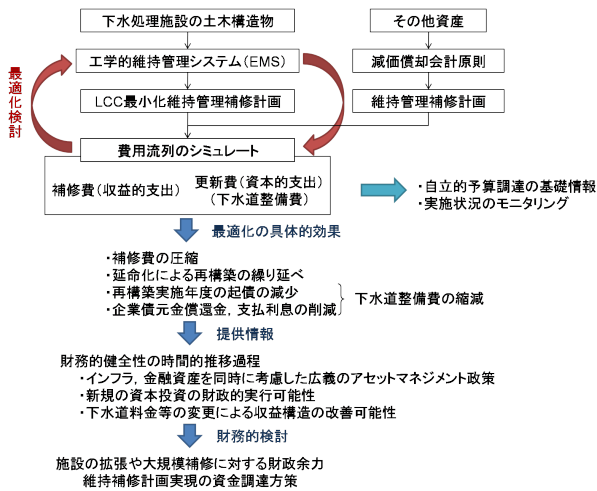


図-3 管理会計シミュレーションモデルの基本構成

其他資産の維持補修計画で計上された更新費は、資本的支出（下水道整備費）に該当し、資本的支出が実施された翌年度以降、残存価値を除いた調達費用を耐用年数の期間内で均等配分する。このように発生する費用は、収益的支出項目の減価償却費に該当する。収益的支出である維持補修費に対して企業債を発行することは不可能であるが、更新費に関しては企業債を発行することにより財源を調達することが可能である。企業債は、翌年から利息を払い、5年据え置き後、企業債の償還を開始することになる。利息は収益的支出の支払利息へ、企業債償還金は資本的支出の項目に計上することになる。

管理会計シミュレーションモデルの全体構成を図-3に示している。管理会計シミュレーションモデルを用いて、アセットマネジメントが財政の健全性に及ぼす効果を分析できる。すなわち、維持補修政策の最適化により補修費の圧縮効果が生まれる。また、補修による延命効果により再構築が後年度に繰り延べられることにより、下水道整備費（更新費）が縮減される。管理会計シミュレーションを通じて、アセットマネジメントの効果は平準化された補修費の流列として表現され、その結果に基づいて予算計画が策定される。すなわち、下水道整備費の縮減効果は、管理会計シミュレーションを通じて、再構築実施年度の起債の減少、後年度の企業債元金償還金および支払利息の削減効果として把握されることになる。なお、管理会計上の繰延維持補修引当金および繰延不足維持補修引当金は、工学的な検討により算出された年平均維持補修費および追加補修費に基づく引当金であり、財務会計上の特別補修引当金に対応している。

管理会計シミュレーションによる分析結果は、アセットマネジメント部門における管理会計情報であり、そ

のままでは財務会計情報とはならない。下水道事業体における全社的な合意形成を図るためには、財務会計情報を用いてアセットマネジメントの効果を分析することが望ましい。本研究では、アセットマネジメントを通じて捻出した補てん財源を戦略的に起債削減に用いることによりアセットマネジメントが事業体の財務構造に及ぼす影響を分析する。そこで、補てん財源として使用可能な財源として減価償却費相当額の収益勘定留保資金に着目し、新たにC指標

$$C = (\text{財務的}) \text{減価償却費} - \text{年企業債償還額} \quad (24)$$

を提案する。ただし、(財務的)減価償却費は、財務会計上に記載される減価償却費であり、本研究で提案する管理会計上の減価償却費とは異なり、土木構造物、複合的機械の減価償却費も含んでいる。Cは下水道事業体におけるアセットマネジメントの効率化により生みだされた余剰金を表しており、このキャッシュを戦略的に資本的支出に充当することにより、新たな企業債の発行額を抑制することが可能となる。さらに、管理会計シミュレーションを用いて、企業債発行の抑制政策が、将来時点における企業債発行残高や支払利息の流列に及ぼす効果を分析する。CおよびCの累積残高は、アセット部門で生みだされた余剰金であり、財務会計上、用途を特定した任意積立金の一種である建設改良積立金と関連付けて管理するのが適切であると考ええる。なお、建設改良積立金を取り崩して固定資産を取得した場合は、相当額を組入資本金として自己資本金に組み入れる操作が必要となる。

(3) 財務状態の健全化政策

5.(1)で言及したように、公営企業債の償還制度は硬直的であり、財務状況を健全化するために代替的方策をとらざるを得ない。本研究では、事業体の財務状態を改善する健全化政策として、1) SMASの導入により削減された維持補修費を用いて、新規の下水道債の発行を抑制する政策、2) 事業体への補助金の繰り入れ、3) 下水道使用料金の改定等が考えられる。このうち、本研究では、SMAS導入による企業債発行残高の削減政策に着目する。SMAS導入による削減政策を講じても財務状態が改善されない場合、外部資金の導入や収益構造の改革、あるいは施設の除却、廃止等を検討することが必要となる。

新規起債を抑止することにより企業債残高を削減する政策（以下、債務削減政策と呼ぶ）は、対象とする資産の耐用年数と償還期間の長さに関連して、以下の

ように2種類の債務削減政策に分類できる。

- 債務削減政策 1 余剰資金 C を耐用年数の短い資産の更新費に充当する。
- 債務削減政策 2 余剰資金 C を耐用年数の長い資産の更新費に充当する。

債務削減政策 1 は、 C を耐用年数が短い資産更新に投入するため、耐用年数が短い資産に対する起債が抑制される。一方、債務削減政策 2 は、土木構造物のように耐用年数が長い資産の大規模補修に余剰資金を優先的に投入する政策である。財務省令により、企業債の償還期間は 30 年と規定されており、繰上げ償還が禁止されている。一方、資産の耐用年数は種類によって多様に異なる。資産の耐用年数が長い場合、財務会計上の減価償却費による資金回収前に企業債の償還期間が終了するために、資金繰りが構造的に厳しくなる。逆に耐用年数が短い場合は、減価償却の速度が企業債の償還より早い場合、短期的には資金に余裕が生まれるが、減価償却後も償還を継続するため、長期的には C が圧縮される。いずれの債務削減政策が望ましいかは、資本の構成やビンテージ構成に依存するため、管理会計シミュレーションを用いて分析せざるを得ない。維持補修政策の効率化を実施しても、事業体の財務的持続性を保証できない場合が起こりうる。このような場合、外部資金を導入したり、下水道使用料を変更し、収益構造を修正することが必要となる。これらの施策を導入するためには、ステークホルダーの理解を必要とする。そのために、SMAS を用いて維持管理費削減の限界について分析することが不可欠である。余剰金が発生すれば、ある一定期間にわたり、資金運用を行うことも可能である。資金運用も含めた最適債務削減計画の策定方法に関しては、将来の課題としたい。

6. 適用事例

(1) 適用事例の概要

適用事例では、現実の下水道事業体が保有する資産の中から下水処理場をとりあげ、管理会計システムを試行的に作成する。さらに、下水処理場の資産データに基づいて、標準的な下水処理施設のプロトタイプを設定した。プロトタイプモデルは、総資産数が 482 個あり、供用開始時点から 26 年が経過している。下水処理施設の劣化要因は、主として硫酸腐食と中性化であり、過去に補修履歴が存在する。施設ごとに劣化速度が異なり、最初沈殿池、エアレーションタンクは硫酸腐食による劣化が、最終沈殿池は中性化による劣化が支配的である。前者の施設群は前回の補修時点から 5 年が経過している。後者は、補修直後の施設と補修後 9 年目の資産群で構成されている。下水処理施設では、電気系・

表-6 土木構造物の健全度区分

| 健全度 | 劣化段階 | 劣化段階の定義 |
|-----|------|--------------------------------------|
| 1 | 潜伏期 | コンクリートの外観上の変状が見られない期間 |
| 2 | 進展期 | コンクリートの変質が鋼材位置までに達する期間 |
| 3 | 加速期 | 鉄筋腐食が進行する期間 |
| 4 | 劣化期 | コンクリートの断面欠損、鉄筋の断面減少などにより耐荷性の低下が顕著な期間 |

注) 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術および防食技術指針・同マニュアル²⁶⁾を参考に設定した。ここでは、硫酸腐食環境下でない場合を対象としている。

表-7 管理・保全方法と補修シナリオ

| 管理保全方法 | 状態監視保全 | 時間計画保全 | 事後保全 |
|--------|--------|--------|------|
| シナリオ 0 | ● | ● | ● |
| シナリオ 1 | ● | | ● |
| シナリオ 2 | ● | | |

注) シナリオ 0 は、標準耐用年数で更新、シナリオ 1 は機能限界で更新、シナリオ 2 は管理基準で補修するという補修方針を意味する。

計測系機器が故障した場合、直ちに下水処理業務の停止という事態が発生する。したがって、各会計年度において、維持補修予算の中から、これらの機器の取替え費を優先的に支出する。さらに、維持補修予算に余剰がある場合、最適点検・補修政策に基づいて土木構造物の補修を行う。単年度予算に制約が発生する場合、硫酸系腐食に対する補修対策を優先させるとともに、同一タイプの損傷に関しては劣化水準の大きい施設の補修優先順位を高くする。平成 20 年度を SMAS 導入の初期年度に設定し、現時点における資産台帳(表-2 参照)を作成した。資産台帳を作成する際、各施設や機器の健全度を判定することが必要となる。本研究では、参考文献 20)、21) に従って施設の健全度判定を実施した。健全度の判定は、1) 施設・機器において、個々の施設・設備の健全度を支配する機能、構成要素の抽出を行う。2) 抽出した要素ごとに判定方法・判定基準(表-6 参照)を設定し、これらの判定基準を踏まえた健全度判定表を作成する。3) 詳細調査により各施設の健全度を判定するという手順で行った。当然のことながら、健全度判定項目や判定基準は施設・設備の種類によって異なる。

(2) 最適点検・補修政策の決定

工学的維持管理システム(EMS)を用いて、下水処理施設を構成する各施設の補修政策を求めた。下水処理施設を構成する 482 個の個別施設に対して、1) 状態監視保全、2) 時間計画保全、3) 事後保全のいずれの管理・保全方式を適用するかを決定した。さらに、これら

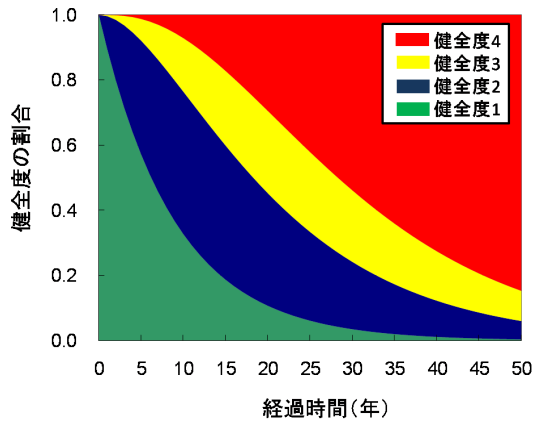


図-4 健全度分布の推移 (好気型反応タンクの例)

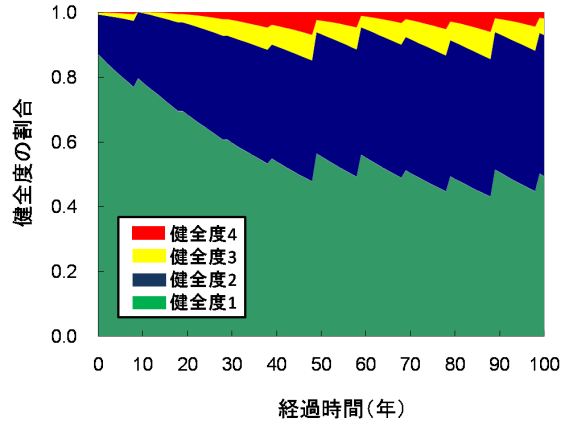


図-5 健全度分布の推移 (事後補修政策)

表-8 補修政策

| 政策 | 政策の内容 |
|----|------------------------------|
| 1 | 健全度 4 のみを補修し, 健全度 1 へ回復する. |
| 2 | 健全度 4,3 のみを補修し, 健全度 1 へ回復する. |
| 3 | 健全度 4,3,2 を補修し, 健全度 1 へ回復する. |

表-9 補修費の例 (最終沈殿地の側壁部)

| 健全度 | 補修工法と単価 | | | |
|-----|-----------------|-----------------|------------------|-----------|
| 1 | なし | | | |
| 2 | 劣化部除去 (小) 9 | 鉄筋処理工 (小) 15 | 断面修復工 (小) 35 | 合計 59 |
| 3 | 劣化部除去 (中) 18 | 鉄筋処理工 (中) 44 | 断面修復工 (中) 89 | 合計 151 |
| 4 | 劣化部除去 (大) 18 | 鉄筋処理工 (大) 59 | 断面修復工 (大) 126 | 合計 203 |

注) 金額の単位は千円である. 単価は 1m² 当たりの金額を示している. なお, 健全度 3 と 4 では劣化部除去に関する補修工法の単価を同額に設定した. これは, 損傷の度合いは健全度 3 と 4 で異なるが, 健全度 4 はコンクリート表面の浸食・剥落後を想定しているために, 残存コンクリート表面からの劣化部除去を考えると劣化因子の侵入深度は同程度であると判断したためである.

3つの管理・保全方式に対して表-7に示すような補修シナリオを設定した. このうち, 状態監視保全方式を採用する土木構造物に関しては, 3. で言及した最適点検・補修モデルを用いて, 最適点検・補修政策と年平均維持補修費, 相対費用を求めることができる. その際, 集計的マルコフ劣化ハザードモデル²²⁾を用いて, 各部位の劣化予測を行った. 集計的マルコフ劣化ハザードモデルを用いて, 最適点検・補修モデルにおける劣化推移確率行列 p^k を推計できる. 図-4に, コンクリート版の健全度の分布状態を予測した結果の一例を示している. 同図に示すように, 現時点から時間が経過するとともに, 土木構造物の劣化が進行することが予測できる. ただし, 現時点において, 下水処理場におけ

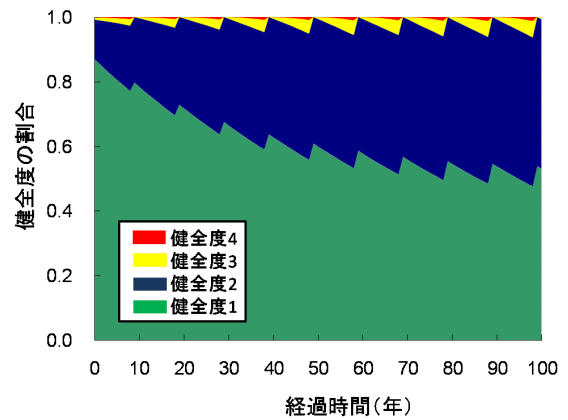


図-6 健全度分布の推移 (最適点検補修モデル)

る土木構造物の健全度に関する点検データの蓄積は極めて限られている. このため集計的劣化ハザードモデルの推計結果の精度に関しては必ずしも十分ではない. 今後, 点検データが蓄積されれば, 土木構造物の劣化予測の精度は改善できると考える.

最適点検・補修モデルでは, 最適点検間隔と土木構造物の最適補修政策を求めることができる. このとき, 入力情報として, 補修政策と補修費を入力する必要がある. また, その際, 表-8に示すような補修政策を考慮することとした. さらに, 下水処理施設の過去の補修実績に基づいて, 補修工法と補修単価に関する情報を算定した. 表-9は, 最終沈殿池の側壁部を対象とした補修工法と補修単価を例示している. 最適点検・補修モデルのリスク管理水準として $\bar{U} = 0.25$ を設定し, 最適補修政策を求めた. その結果, 例えば, 最終沈殿池の最適政策として点検間隔 9 年, 補修政策パターン 2 が選択されている. 以上の計算結果は, 膨大な量に及ぶため, ここでは割愛する. 以上の分析結果に基づいて, 各土木構造物の劣化・補修過程をシミュレートすることができる. 一例として, 最終沈殿池の水槽部側面

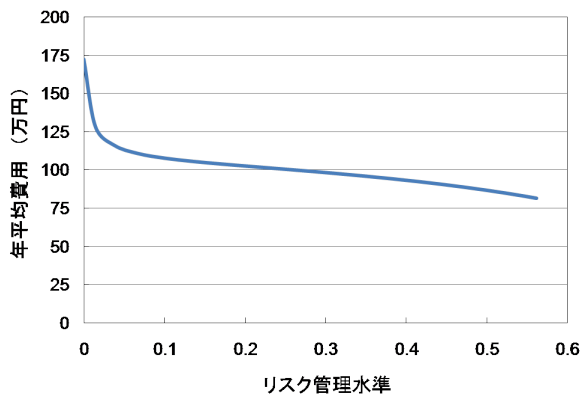


図-7 費用-リスク曲線 (水槽部側面気相部)

気相部をとりあげ、現行の事後補修政策（補修政策パターン1）を採用したときに実現する健全度の経年的変化をシミュレートした結果を図-5に示している。同じく、最適政策（補修政策パターン2）を採用した場合の経年変化を図-6に示す。同図に示すように、最適政策（補修政策パターン2）を採用することにより、現行の場合（図-5参照）と比較して、健全度4の状態が出現する確率が経年的に減少し、逆に健全度1が出現する確率が増加していることが理解できる。さらに、最適政策（補修政策パターン2）は、年平均維持補修費の最小化を達成することが可能であり、長期的なLCCの低減にも寄与できる。さらに、リスク管理水準 \bar{U} をパラメトリックに変化させることにより、水槽部側面気相部のライフサイクル費用とリスク管理水準のトレードオフの関係を分析することができる。図-7には、水槽部側面気相部を対象として求めた費用-リスク曲線を示している。なお、減価償却会計を適用する電気系、計測系機器の補修政策に関しては、1) 時間計画保全方式はシナリオ0（表-7参照）、2) 事後保全方式はシナリオ1（同じく、表-7参照）を採用することとした。

(3) 管理会計の作成

工学的維持管理システム（EMS）で作成した情報に基づいて、SMASを導入する初期年度の管理会計情報を作成する。管理会計作成システム（APS）を用いて、EMSで求めた工学情報（年平均維持補修費、相対費用）を管理会計情報に変換することができる。表-10には、SMAS導入時点（平成19年）における管理会計情報の一部を記載している。SMAS導入時点は、初期時点から26年が経過している。APSは、482個の資産それぞれに対して、管理会計情報を作成するとともに、下水処理施設全体の管理会計情報として集計化した情報を出力することができる。表-10に示すように、対象とする下水処理施設の維持補修計画を実行するためには、毎年の繰延維持補修引当金繰入として、1,084,764千円

を確保することが必要である。しかし、維持補修計画より、補修作業が遅延する場合には、上記引当金計上に加え、繰延不足維持補修引当金を計上することが必要になる場合が生じる。

表-10において、繰延維持補修引当金が負となる場合が現れている（資産コード222）。年平均維持補修費は劣化・補修過程が定常状態に到達した場合に、定常的に支出されるべき平均費用を表している。施設供用後、時間が経過していない段階で、施設が健全な場合には、繰延維持補修引当金が負となる状態が現れる。また、状態監視保全の対象となる複合的機械の更新時期が集中した場合、次年度会計における繰延維持補修引当金が負となる可能性がある。これは、機械更新に関して前払い費用が発生したことと同じ意味を持つ。ライフサイクル費用総額を平準化し平均費用を算定することにより繰延維持補修引当金を算定している。しかし、実際には、施設の損傷や機器の故障はランダムに発生するため、年次によっては引当金以上に補修費が支出される年度が存在する。土木構造物と比較して、電気・機械、計測器、その他機器は耐用年数が短く、機器の故障は下水処理施設のサービス水準に直ちに影響を及ぼす。このため、電気・機械、計測器、その他機器に故障が発生した場合、直ちに更新・取替が実施される。特に、複合的機械の故障が集中的に発生した場合、繰延維持補修引当金の取り崩しにより、繰延維持補修引当金の残高が非常に小さくなる可能性もある。本事例の場合、複合的機器の集中的な故障は生起してない。しかし、複合的機器の集中的更新が生じた場合には、引当金残高が小さくなるため、耐用年数の長い土木構造物の維持補修が先送りされてしまう可能性がある。このような誤判断を避けるためには、土木構造物と複合的機械それぞれに対して、繰延維持補修引当金を計上する方法も考えることができる。

(4) 管理会計シミュレーション

下水処理施設の補修の予算シナリオを作成し、管理会計シミュレーションを用いて管理会計情報の経年的変化を分析する。まず、現時点からEMSで作成した維持補修計画通りに劣化・補修過程が進行した場合を考える。6.(2)で示した工学的検討の結果、最適点検間隔が9年であることが判明している。ここでは、下水処理施設を9年間隔で点検・補修するシナリオを想定する。それ以外の年次は、下水処理施設以外の施設の維持・補修を実施すると想定する。本研究でとりあげるEMSは、下水処理施設の維持補修計画の作成に焦点を置いたものである。一方、債務削減政策の効果を分析するためには、財務会計の対象となる下水道事業体全体における財政状況の経年変化を分析しなければな

表-10 下水処理施設管理会計 (一部のみ抜粋)

| 資産コード | 資産価額 | 減価償却費 | 減価償却累計額 | 維持補修引当金繰入額 | 臨時維持補修引当金繰入額 | 繰延維持補修引当金 | 繰延不足維持補修引当金 |
|--|-----------|---------|-----------|------------|--------------|-----------|-------------|
| 土木構造物 | | | | | | | |
| 220 | 108,005 | - | - | 2,210 | 14,200 | 16,410 | 0 |
| 221 | 132,080 | - | - | 2,300 | 18,000 | 20,300 | 0 |
| 222 | 107,424 | - | - | 2,000 | -6,000 | -4,000 | 0 |
| 223 | 169,776 | - | - | 2,710 | 14,200 | 16,910 | 0 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | |
| 電気・機械 (状態監視保全を除く), 建築, 計測器等 | | | | | | | |
| 1 | 10,730 | 483 | 2,897 | - | - | - | - |
| 2 | 49,820 | 2,242 | 13,451 | - | - | - | - |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | |
| 複合的機械 (状態監視保全) | | | | | | | |
| 5 | 31,480 | - | - | 980 | 38,990 | 39,970 | 0 |
| 6 | 63,000 | - | - | 2,725 | 33,300 | 36,025 | 0 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | |
| 資産総数 | 資産価額 | 減価償却費 | 減価償却累計額 | 維持補修引当金繰入額 | 臨時維持補修引当金繰入額 | 繰延維持補修引当金 | 繰延不足維持補修引当金 |
| 全体 | | | | | | | |
| 482 | 7,204,403 | 147,145 | 1,137,440 | 1,206,081 | 987,093 | 1,084,764 | 0 |
| 土木構造物 (水槽部等) | | | | | | | |
| 13 | 1,627,461 | - | - | 29,030 | 129,980 | 159,010 | 0 |
| 電気・機械 (状態監視保全を除く), 計測器, その他機器, 建築 | | | | | | | |
| 420 | 2,999,260 | 147,145 | 1,137,440 | - | - | - | - |
| 複合的機械 (状態監視保全) | | | | | | | |
| 49 | 2,577,682 | - | - | 68,641 | 857,113 | 925,754 | 0 |

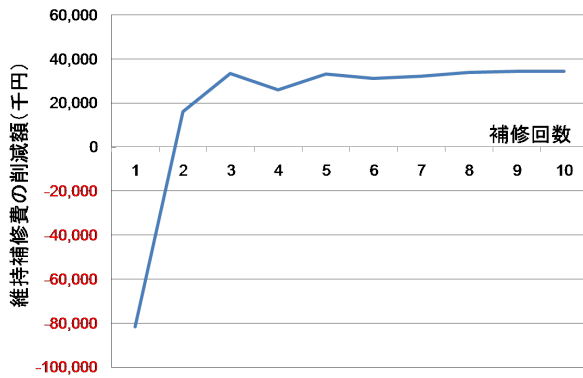
注) 価額の単位は千円。管理会計は平成 19 年期首の情報を示している。資産群を 1) 土木構造物, 2) 電気・機械 (状態監視保全を除く), と建築物計測器, その他機器, 建築, 3) 複合的機械 (状態監視保全) の 3 つに分けて表示している。土木構造物の最適補修点検間隔を 9 年とし, 供用開始から平成 19 年現在まで補修実績がないとし, 相対費用を算定している。繰延維持補修引当金は, 年平均維持補修費と相対費用で構成される。値がマイナスである場合は, 現時点における補修費が年平均維持補修費を下回っており, 繰延維持補修引当金の過払いを補正しているためである。電気・機械 (状態監視保全を除く), 計測器等, その他機器, 建築では, 減価償却会計を適用している。

らない。言うまでもなく, 下水道施設は下水処理施設だけでなく管渠, ポンプ施設等で構成される複合施設であり, 管理会計シミュレーションを行うためには, 下水処理施設以外の施設・機器の維持補修費も同時に考慮する必要がある。そこで, 下水処理施設以外の施設・機器に関しては, 現行の維持補修政策が継続されるというシナリオに基づいて, 維持補修費の将来の流列を算定している。管渠, ポンプ施設等に関する EMS が構築されれば, これらの施設・機器に関する維持補修政策が事業体の財政状態に及ぼす影響も分析できるように SMAS を拡張することが必要である。

本研究で提案する SMAS は, 下水処理施設に関わる維持補修政策の効果をシミュレートすることが可能である。土木構造物の劣化過程には不確実性が存在する。そこで, モンテカルロシミュレーションにより, マルコフ劣化モデル (3) を用いて, 劣化・補修過程に関するサンプルパスを各施設ごとに 10,000 個発生させた。このようなサンプルパスの組み合わせのそれぞれに対して, 管理会計システムを用いて管理会計情報の時系列データを発生させた。以下では, このようなサンプル

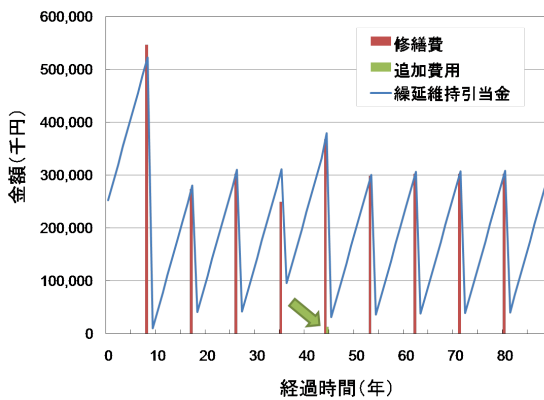
パスごとのシミュレーション結果を期待値パスとして集計化した結果を用いて考察を進める。また, 管理会計シミュレーションで検討すべき政策シナリオは膨大な数に上るが, ここでは議論の見通しをよくするために, 下水処理施設の中でも重要なコンクリート構造物である水槽部に焦点を絞り, アセットマネジメントの導入が事業体の財務状態に及ぼす影響を分析する。

管理会計を作成した結果, 水槽部に対する毎年の繰延維持補修引当金は 29,030 千円となる。これに, 初期年度に相対費用として計上した引当金 129,980 千円を加算した 159,010 千円が, 初年度における繰延維持補修引当金総額となる。図-8 は, 現状の維持補修政策 (事後補修政策) を適用した場合に発生する維持補修費に対して, 最適補修政策を導入することによって維持補修費がどの程度削減されるかを示した結果である。同図に示すように, 最初の点検・補修時刻における維持補修費の削減額が負となっている。このことは, 下水処理施設の建設時点から 26 年が経過した現時点において, 予防的補修のために集中的な補修投資が必要となることを表している。最初の点検補修時刻において, 予



注) アセットマネジメントの導入により削減される下水処理施設の維持補修費を表す。維持補修費用は9年ごとの点検・補修時刻で支出される。

図-8 アセットマネジメントによる補修費削減額



注) 土木構造物に対する繰延維持補修引当金残高を示す。縦軸は繰延維持補修引当金残高に繰延不足維持補修引当金残高を加算した額を示している。図中の赤線は維持下水処理施設の維持補修費を表す。4回目の維持補修時点です算制約が発生している。

図-9 繰延維持補修引当金残高の推移

防補修を集中的に実施することにより、次回以降に必要な維持・補修費が削減されることが理解できる。図-9は、現在時刻を始点とする下水処理施設の繰延維持補修引当金の残高変化を表したものである。現在時刻において、予防補修需要が過去から蓄積されており、相対費用に相当する金額が臨時維持補修引当金繰り入れとして計上される。さらに、毎期ごとに繰延維持補修費引当金が増加される。9年後に、繰延維持補修引当金が取り崩され、大規模な予防補修が実施される。以後、維持補修計画に従って、下水処理施設の維持補修が実施される。同図では、仮想的に4回目の点検・補修時刻において250,000千円しか支出されない場合を想定している。すなわち、現在時刻から36年後におい

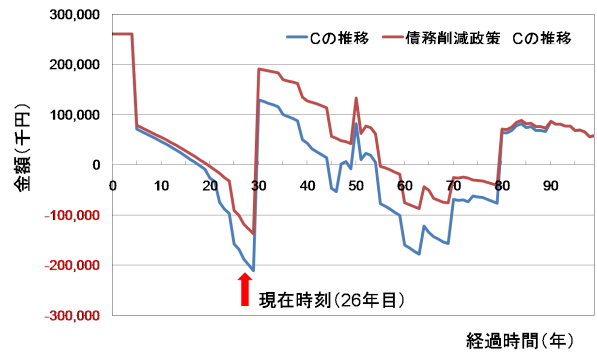


図-10 Cの推移(債務削減政策の効果)

て、繰延維持補修引当金の一部(250,000千円)のみが取り崩され、残りの引当金は次回の補修のために繰り越される。しかし、当該時刻において、必要となる維持補修業務の一部が実施されなかったため、次回の点検・補修時刻までに下水処理施設の劣化が進展し、追加的な補修費が必要となる可能性がある。同図には、必要となる追加的補修費に対応する繰延不足維持補修引当金を計上している。第5回目の点検・補修時刻では、当該時点における繰延維持補修引当金残高に繰延不足維持補修引当金を加算した金額に相当する維持補修業務が実施されることになる。このように、最適補修政策の検討を踏まえた管理会計シミュレーションの実施により、適切なサービス水準の維持に要する予算を自律的に調達し、かつ十分な補修が継続的に行われているかどうかをモニタリングするための情報を得ることができる。

アセットマネジメント導入により、下水処理施設の長寿命化が達成される。その結果、新規の企業債の発行を抑制することが可能となる。図-10には、施設建設時点から現行の事後補修政策の下で実現するCの経年変化を青色の実線で示している。このうち、初期時刻から現在時刻(26年目)までの部分が実績値であり、26年以降が予測値である。さらに、同図の赤色の実線は、仮に初期時刻からアセットマネジメントシステムを導入していた場合に実現するCの経年変化を表している。初期時刻から時間が経過するにつれて、法定耐用年数に到達する施設が増加するために減価償却費が減少する。このため、Cが減少する。同図に示すように、経過年数19年から30年後の期間においてCの値が負となる。現時点は経過年数26年であり、Cが負の状態、すなわち余剰金が継続的に負の状態が続いている。経過年数30年の時点で、初期時点で起債した企業債の償還が終了する。したがって、経過年数31年後から45年後までの期間(債務削減政策を導入した場合には55年後までの期間)にCが正となり資金余剰が発生する。アセットマネジメントを導入することにより、常にCを

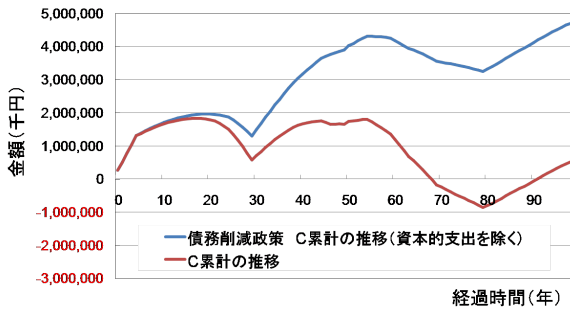


図-11 Cの累積残高の推移(債務削減政策の効果)

上方にシフトすることが可能であり、財政的余裕を産み出すことに成功している。債務削減政策1, 2を適用した場合に実現するCの推移状況とともに図-10に示している。同図に示すように、2つの債務削減政策の結果にほとんど差異は存在しない。本適用事例に関する限り、各年度に補修する資産の耐用年数がほぼ同一であり、その中で優先順位を判断しているため、結果として債務削減政策1, 2の効果に大きな差異が生じない結果となっている。本適用事例では、下水処理施設のみを対象を絞っているために、債務削減政策の効果に大きな差異が発生しないが、管渠、ポンプ場等、耐用年数が大きく異なる施設を同時に考慮した場合、債務削減政策の効果に差異が現れる可能性がある。この問題は将来の課題としたい。図-11は各年度におけるCを経年的に積み上げたCの累積残高の変化を示している。この図に示すように、アセットマネジメントを実施することにより、Cの累積残高も上方にシフトしており、より多くの財政的余剰が産み出されていることが理解できる。Cの累積残高が正となる場合、Cの余剰額を資産の取替にかかる再構築費に充当することが可能となり、新規企業債の発行を抑制したり、国庫支出金等の削減を行うことが可能となる。そこで、各期において、既存施設の維持補修のために利用可能なCの余剰額をC繰越残高と呼び、

$$C \text{ 繰越残高}_{t+1} = C \text{ 繰越残高}_t + C_t - \max\{\min(\text{資本的投資}_t, C \text{ 繰越残高}_t + C_t), 0\} \quad (25)$$

と定義する。式(25)の右辺第1項はt期の期首において前期から繰り越したC残高、第2項はt期におけるC、第3項はt期におけるC繰越残高を用いた資本的投資へ充当額を意味する。債務削減政策を適用した場合、各期における維持補修のための資本的投資に対して、当該期に前期から繰り越したC残高と当該期におけるCの和(正の値となる場合には)を上限として資本的投資費用が充当される。図-12には、債務削減政策を適用した場合、各期の期首に前期から繰り越されるC残高の経年変化を表している。現時点(26年目)においてC繰越残高は負となっており、資本的投資のた

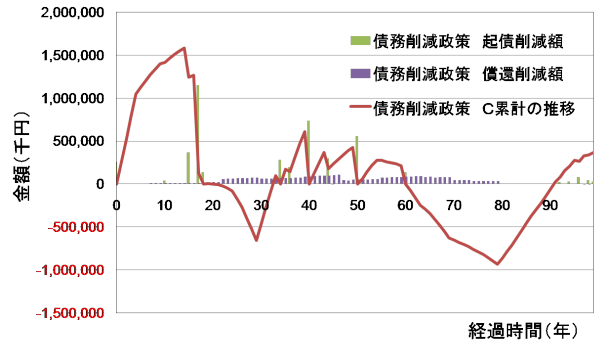


図-12 Cによる資産的投資への充当額

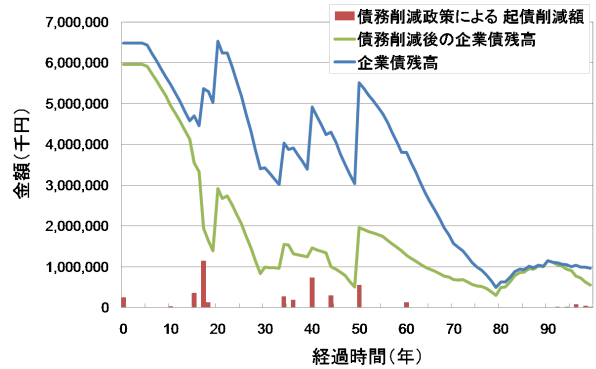


図-13 企業債残高の推移(債務削減政策の効果)

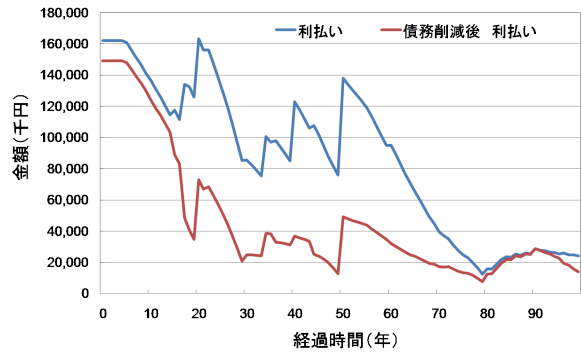


図-14 支払利息の推移(債務削減政策の効果)

めにC繰越残高をとり崩すことは不可能であり、新たに企業債を発行することが必要となる。また、債務削減政策を適用した場合の企業債残高の推移状況を図-13に、支払利息の経年変化を図-14に示している。下水道使用料収入が一定であるという仮定の下であるが、債務削減政策を適用することにより、企業債残高、支払利息の削減を達成を実現できることが判明した。

なお、本適用事例では、年平均維持補修費の繰り入れが実行可能であるという想定の下で、維持補修計画

を立案している。毎年、下水処理施設(土木構造物と複合的機械)に対して1,084,764千円の年平均維持補修費(表-10参照)の繰り入れを確保できるかどうかに関しては、事業体全体としての財務会計に基づく財務会計シミュレーションにより判定せざるを得ない。工学的計算に基づいた年平均維持補修費は、もっとも効率的にアセットマネジメントを実施した場合に最低限度確保すべき費用を示している。年平均維持補修費の繰り入れが不可能な場合、施設のサービス水準を長期的に維持することが不可能である。この場合、外部からの補助金、あるいは下水道料金の改定が必要となる。

7. おわりに

本研究では、下水道管理者が下水処理施設の資産管理情報に基づいて、下水処理施設の合理的補修を執行するための下水処理施設管理会計システム(SMAS)を提案した。SMASは、1)下水処理施設の効率的維持補修計画を策定し、工学的管理会計情報を作成する工学的維持管理システム(EMS)と、2)工学的管理会計情報(年平均維持補修費、相対費用)を会計情報に翻訳し、下水処理施設の資産価額と会計年度における資産の変化を記録する管理会計作成システム(APS)により構成される。その際、下水道施設が保全・管理方式が異なる多くの施設群で構成されることに着目して、土木構造物に関しては繰延維持補修会計原則を、電気系・計測的機器に関しては減価償却会計原則を採用した。さらに、管理会計シミュレーションを通じて、ライフサイクル費用の低減に資するようなアセットマネジメント戦略を検討するための方法論を提案し、適用事例を通じて方法論の有効性を検討した。実証分析の結果、本システムが下水処理施設のアセットマネジメントにおいて、有用な管理情報を提供しうることが判明した。しかし、本システムの適用範囲を拡大するためには、より実用的なシステム改良が必要である。そのためには、以下に示すような研究課題が残されている。

第1に、本研究の適用事例では、下水処理施設に焦点を置いて工学的維持管理システムを構築した。包括的な下水道管理会計システムを作成するためには、汚泥処理施設、ポンプ場、管渠に関しても工学的維持管理システムを構築するとともに、それらの維持補修計画と連動するような管理会計システムを構築することが必要である。その結果、長期経営計画により有用な管理会計情報を提供するシステムアプリケーションが可能となる。第2に、本研究では減価償却会計を用いて会計処理を行う電気系・計測系機器に関しては、法定耐用年数を用いてライフサイクル費用を算定している。これらの機器の故障履歴に関するデータが入手可

能であれば、故障解析を通じてライフサイクル費用の算定精度を向上することができる²⁷⁾。また、これらの機器に関しても、リスク管理水準を設定し、望ましい管理計画を策定することが必要である²⁸⁾。第3に、本研究を発展させてより実用的なアプリケーションを作成するためには、現状業務を分析し、システムからのアウトプット情報を評価する手法を確立する必要がある。土木施設の劣化過程は不確実性を伴うものであり、アセットマネジメントサイクルを継続することにより持続的にシステムを改良していくようなロジックが必要となる。さらには、予測結果と実際の差異についての評価手法として、劣化速度のベンチマーキングモデル²⁹⁾を構築することが有用である。これを用いて、標準原価計算を行うとともに、それとの乖離の程度を評価する方法論を確立することが可能である。第4に、現実の維持補修業は、必ずしも維持補修計画とおりに遂行できるとは限らない。また、点検の結果、新たな点検情報が得られれば、劣化予測モデルの更新や工学的維持管理システムの改良を行うことが可能となる。第5に、財務会計と管理会計の連携を達成することが必要である。このためには、財務会計シミュレーションモデルの開発が必要である。財務会計シミュレーションモデルを用いて、管理会計シミュレーションモデルで入力情報として用いた年平均維持補修費の繰り入れが財務的に実行可能であるかどうかを検討することが必要となる。その際、管理会計シミュレーションで求めた資本的投資額、新規起債発行額の経年変化は、財務会計シミュレーションにおいて将来支出シナリオとして用いることが可能となる。第6に、工学的維持管理システムの標準化や標準的原価等に関する制度的システムの確立を図ることが必要である。このような管理会計システムの標準化は、下水処理施設の性能規定型維持補修契約を推進していくためにも重要な検討課題になると考える。最後に、SMASは、維持補修担当部門においてもっとも効率的にアセットマネジメントを実施した場合に発生するキャッシュフローをシミュレートしている。EMSが算定した年平均維持補修費の繰り入れが不可能なことは、施設のサービス水準を長期的に維持できないことを意味している。この場合、財務シミュレーションを行い、外部からの補助金、あるいは下水道料金の改定を通じて、年平均維持補修費の調達が可能となるかどうかを検討することが必要となる。

なお、本研究の一部は文部科学省「若手研究者の自立的な研究環境整備促進」事業によって大阪大学グローバル若手研究者フロンティア研究拠点にて実施された。

参考文献

- 1) 瓦田太賀四：地方公営企業会計論，清文社，2005。
- 2) 太田昭和監査法人：地方公営企業の会計と監査，中央経

- 济社, 1999.
- 3) 地方公営企業制度研究会：公営企業の経理の手引き，地方財務協会，2006.
 - 4) 地方財務協会：中小規模上下水道経営入門，地方財務協会，2005.
 - 5) 小林潔司，上田孝行：インフラストラクチャのマネジメント：研究展望，土木学会論文集，No.744/IV-61，pp.15-27，2003.
 - 6) 江尻良，西口志浩，小林潔司：インフラストラクチャ会計の課題と展望，土木学会論文集，No.770/VI-64，pp.15-32，2004.
 - 7) Milligan, J. H., Nielsen, R. J. and Schmeckpeper, E. R.: Short- and long-term effects of element costs and failure costs in Pontis, *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, Vol.11, No.5, pp.626-632, 2006.
 - 8) 織田澤利守，石原克治，小林潔司，近藤佳史：経済的寿命を考慮した最適修繕政策，土木学会論文集，No.772/IV-65，pp.169-184，2004.
 - 9) Jido, M., Otazawa, T. and Kobayashi, K.: Optimal repair and inspection rules under uncertainty, *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE, Vol.14, No.2, pp.150-158, 2008.
 - 10) 織田澤利守，山本浩司，青木一也，小林潔司：道路付帯施設の最適補修同期化政策，土木学会論文集 F, Vo.64, No.2, pp.200-217, 2008.
 - 11) 小林潔司：分権的ライフサイクル費用評価と集計的効率性，土木学会論文集，No.793/IV-68，pp.59-71，2005.
 - 12) 貝戸清之，保田敬一，小林潔司，大和田慶：平均費用法に基づいた橋梁部位の最適補修戦略，土木学会論文集，No.801/I-73，pp.83-96，2005.
 - 13) 青木一也，貝戸清之，小林潔司：ライフサイクル費用評価が複数橋梁の劣化・補修過程に及ぼす影響，土木計画学研究・論文集，No.23，pp.39-50，2006.
 - 14) 青木一也，若林伸幸，大和田慶，小林潔司：橋梁マネジメントシステムアプリケーション，土木情報利用技術論文集，Vol.14，pp.199-210，2005.
 - 15) 坂井康人，荒川貴之，井上裕司，小林潔司：阪神高速道路橋梁マネジメントシステムの開発，土木情報利用技術論文集，Vol.17，pp.63-70，2008.
 - 16) 田村謙介，小林潔司：不確実性下における道路舗装の修繕ルールに関する研究，土木計画学研究・論文集，No.18(1)，pp.97-107，2001.
 - 17) 慈道充，江尻良，織田澤利守，小林潔司：道路舗装管理会計システムアプリケーション，土木情報利用技術論文集，Vol.13，pp.125-135，2004.
 - 18) Kobayashi, K., Ejiri, R. and Do, M.: Pavement management accounting system, *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE, Vol.14, No.2, pp.159-168, 2008.
 - 19) 山本浩司，青木一也，小林潔司：道路付帯施設アセットマネジメントシステム，土木情報利用技術論文集，Vol.15，pp.173-184，2006.
 - 20) 日本下水道事業団，静岡市：静岡市 AM 手法導入検討委員会最終報告書，2007.
 - 21) 日本下水道事業団，大成建設株式会社，株式会社シー・エス研究所：リスクを考慮した下水道施設の LCC 評価手法の開発，平成 16 - 18 年度報告書，2005-2007.
 - 22) 堀倫裕，小濱健吾，貝戸清之，小林潔司：下水道処理施設の最適点検・補修モデル，土木計画学研究・論文集，Vol.25，No.1，pp.213-224，2008.
 - 23) 醍醐聰：会計学講義，第 2 版，東京大学出版会，2001.
 - 24) 筆谷勇：公会計原則の解説，自治体外部監査における実務指針の解説，中央経済社，1998.
 - 25) Howard, R.A.: Dynamic Programming and Markovian Processes, 関根智明他訳：ダイナミックプログラミングとマルコフ過程，培風館，1971.
 - 26) 日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル，2007.
 - 27) 貝戸清之，山本浩司，小濱健吾，岡田貢一，小林潔司：ランダム比例ワイブル劣化ハザードモデル：大規模情報システムへの適用，土木学会論文集 F, Vol.64, No.2, pp.115-129, 2008.
 - 28) 山本浩司，青木一也，貝戸清之，小林潔司：劣化現象を考慮した大規模交通管制システムの動的故障解析，土木学会論文集 F, Vol.64, No.3, pp.295-310, 2008.
 - 29) 小濱健吾，岡田貢一，貝戸清之，小林潔司：劣化ハザード率評価とベンチマーキング，土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.857-874, 2008.

(2010. 3. 5 受付)

MAINTENANCE MANAGEMENT ACCOUNTING SYSTEM OF WASTE WATER DISPOSAL SYSTEMS

Michihiro HORI, Takashi TSURUTA, Kiyoyuki KAITO and Kiyoshi KOBAYASHI

Sewage works facilities consist of various assets groups. And there are many kinds of financial resources. In order to optimize the maintenance plan, and to secure the stability and sustainability of sewage works management, it is necessary to carry out financial simulation based on the life-cycle cost analysis. Furthermore, it is important to develop management accounting system that is interlinked with the financial accounting system, because many sewage administration bodies have their financial accounting systems as public enterprises. In this paper, a management accounting system, which is designed to provide basic information for asset management of sewage works facilities, is presented. Also the applicability of the management accounting system presented in this paper is examined through financial simulations.