

統合分析による 下水道分野の維持管理事業方式の検討手法

山口 治・池田 元・柴田 憲一

我が国の下水道施設は、高度経済成長期以降、急速に整備が進められたため、一斉に更新時期を迎えており、計画的な改築や更新を行うことが重要な課題となっている。解決の手法の一つとして、民間事業者が公共施設等の維持管理運営を行う PPP/PFI 事業の適用が進められているが、事業スキーム構築には課題が多く、これまでに管路施設を含んだ包括的事業の実施事例は少ない。そこで本研究は、初期段階の検討手法を確立することを目的とし、民間事業者の関与の程度が異なる3つの事業方式を選定した。各々の事業方式におけるステークホルダーごとの利益を既存の統合分析表を用いて定量的に算定し、比較した。その結果、検討手法の簡便性、有用性を確認した。本稿では検討手法の確立、有用性の確認結果について報告する。

キーワード：下水道施設、老朽化、維持管理手法、PPP/PFI 事業、統合分析

1. はじめに

我が国の下水道施設は、高度経済成長期以降、都市化の進展や産業の急速な発達に伴う衛生問題および水環境問題を解決するため、急速に整備が進められてきた。その結果、大量の施設のストックを短期に集中して抱えることとなり、耐用年数を越えた施設が同時期に更新時期を迎えることから、その対策が急務となっている。また、管理者である地方公共団体等が抱える課題として、少子高齢化・人口の減少による下水道使用料の減少と下水道事業予算の削減、職員の人材・人員不足による執行体制の脆弱化、および技術力の低下が深刻化していることが挙げられる。

これらの課題が顕在化するなか、効率的・経済的で持続可能な維持管理運営体制の構築が求められており、先進的な地方公共団体では包括維持管理事業を展開する事例¹⁾が見られるものの、実施例が少ない。

課題解決の取り組みとして、国土交通省は、2019年3月に「下水道事業における公共施設等運営事業等の実施に関するガイドライン」²⁾の改訂を行い、下水道分野における PPP/PFI 事業の実施を推進するため、下水道管理者および民間事業者が取り組むべき事項を示した。内閣府は、毎年とりまとめる「PPP/PFI 推進アクションプラン」³⁾において、重点分野の一つとして下水道を挙げている。しかし、管理者（委託者）や事業者（受託者）だけでなく、市民等の受益者、事

業への融資者等多くの利害関係者にも有効で有益な事業スキームの構築が困難であることから、2014～2017年までの集中強化期間中の数値目標6件のうち、実施方針の対策完了済みは2件にとどまっている。

そこで本研究は、事業スキーム構築にあたり、初期段階における簡便な検討手法を確立することで、地方公共団体が PPP/PFI 事業への検討を進めやすくすることを目的とした。検討手法の手順として、第1に、維持管理方式と契約形態の違いや民間事業者の関与の程度が異なる3つの事業方式を選定し、従来型手法と合わせて4種の検討を行うこととした。第2に、実在する都市をモデルケースとして、各ステークホルダーの利益を既存の統合分析手法を用いて可視化し、事業方式別に集計した。第3に、それぞれの事業方式に作成した統合分析を比較することにより、事業方式の違いによる特徴を整理した。

2. 既往研究

(1) 既往研究のレビュー

国土交通省は、「下水道における新たな PPP/PFI 事業の促進に向けた検討会」⁴⁾を開催し、下水道分野の官民連携についての検討を進めている。明尾ら¹⁾は、下水道管路施設の官民連携スキームに関して、事業導入時における官民連携のリスク分担検討の必要性や、道路管理者と連携したデューデリジェンス調査の

可能性について論じている。

宮本、北詰⁵⁾は、道路インフラにおけるPFI事業スキームの検討手法として統合分析手法を提案している。事業評価および事業スキームの検討においては、経済分析、財務分析、融資分析、財政支出分析の4つの視点を満足する必要があるとし、ステークホルダー間の受益と負担が相互に関連するため、統合して分析を行うことからこれらをまとめて「統合分析」と称している(図一)。

大西ら^{6), 7)}は、この統合分析を用いて、実際の事業スキーム構築への適用可能性の検討を行っており、都市公園事業における各種事業方式の比較や公共施設等運営事業を対象に、各種インフラ事業での適用について論じている。

(2) 本研究の位置づけ

既往の研究や実施例において、統合分析表を用いて官民連携スキームを比較検討した具体的な事例は、都市公園事業、道路事業、空港事業で多く、下水道施設および管路に関しては概念的な検討に留まっている。

本研究は、下水道分野の維持管理において、統合分

析手法を適用し、PPP/PFI事業選定の初期検討に活用する点において従来の研究と異なる。統合分析手法により事業方式ごとに比較検討する手順は以下の通りである。

- i. 下水道施設および管路の維持管理方式の特徴の整理
- ii. 統合分析に必要な指標の選定と、モデル都市を対象とした各方式の統合分析表の作成
- iii. 実際の地方公共団体をモデルとして、公開されている下水道事業運営情報(決算情報等)を用いた統合分析表への入力
- iv. 事業方式ごとのステークホルダーの利得の算出

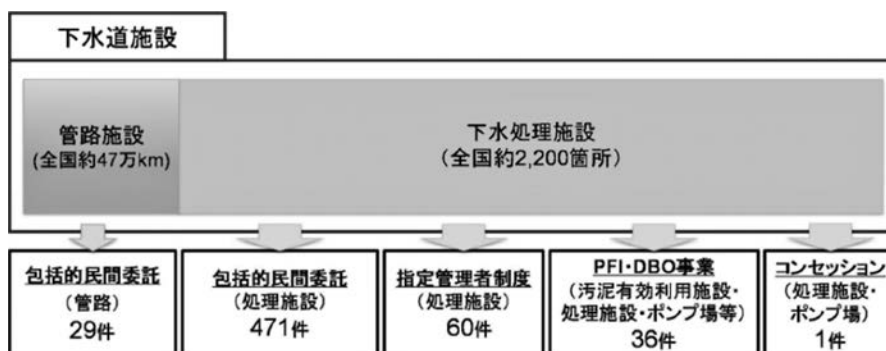
3. 下水道分野におけるPPP/PFI事業の実施状況

下水道分野の維持管理には、多様な形態のPPP/PFI事業が用いられており、下水道処理施設では全国約2,200箇所のうち、9割以上が民間委託を導入している。このうち、包括的民間委託が471件で全体の2割程度を占めている。しかし、管路施設では全国約

項目	主体	事業者	融資者	利用者	沿道立地者	社会	地主	政府	合計
建設費		-50							-50
用地費								-30	-30
運・維・管費		-40							-40
料金		100		-100					0
利用者便益				180					180
地価上昇					-24		24		0
物価下落				-24		24			0
融資		50	-50						0
返済		-66	66						0
サービス購入料		17						-17	0
税金		-4	-5	-6		-5	-8	29	0
合計		7	11	50	-24	19	16	-18	60

(10億円) 財務 融資 財政支出 経済

図一 道路事業における統合分析表の例



図二 下水道におけるPPP/PFI事業の実施状況

47万km（全市区町村1,741団体）のうち、包括的民間委託が29件と少なく、PPP/PFI事業の適用が進んでいない（図一2）。その要因として、事業実施数が少ないことによる事業実施時の優位性の評価の信頼性、導入に要する期間の長期化、地方公共団体等と事業者の適正なリスク分担の設定の難しさ、現在の管路施設の資産評価の困難さ等が挙げられる。

4. 下水道施設維持管理の事業方式

(1) 維持管理方式と契約形態

下水道事業の維持管理方式は、大別して「事後保全型」と「予防保全型」に分類される。事後保全は、管路施設の損傷や劣化が原因で生じる陥没や浸水に対して、発生後に対策を講じる管理方式である。一方、予防保全は、管路施設の損傷や劣化による陥没や浸水が生じないように、事前に対策を講じる管理方式である。予算の制約がある中で効果的かつ効率的に維持管理を行うには、損傷や劣化の進行を事前に予測し、適切な対策を早期に行う予防保全型維持管理を行うことが、品質と費用の両面から有益であるため、事後保全型から予防保全型への移行が進められている。

委託者と受託者の契約形態は、単年度契約と複数年度契約に区分される。複数年度の契約締結は、民間事業者が主体的に運営に参画することで、民間資金、経営ノウハウ、新技術導入を活かし、事業の効率化や手続きの簡素化によるコストの縮減が見込める。

地方公共団体の運営する事業資金は、下水道使用料で運営する汚水処理と、地方公共団体の税収や国庫補助金をもとに運営する雨水処理に大別される。このため、事業主体が民間事業者となると、全てを下水道使用料金でまかなうことが困難である。そこで、従来通り雨水処理に要する税収等の費用を活用できるPFI事業の「混合型」の適用が検討されている。

上述の事項を勘案し、本研究で比較する事業方式は、a) 従来型公共事業方式（以下、従来型）、b) 重点管路更新型公共事業方式（以下、重点管路更新型）、c) 包括的民間業務委託型公共事業方式（以下、包括民間委託型）、およびd) PFI事業方式（以下、PFI型）を選定した。なお、公共施設等運営事業方式（コンセッション方式）は、下水道料金単体での事業成立が困難なため、今回の検討から除外した。

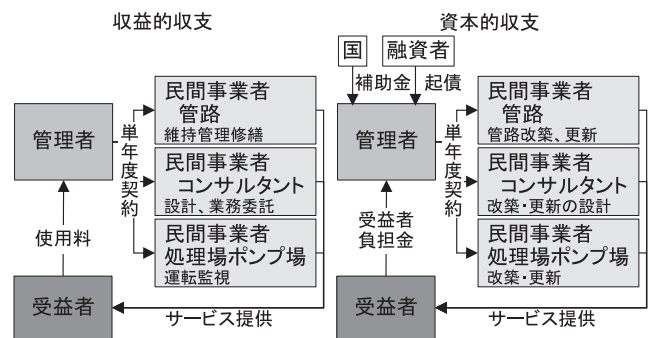
(2) 事業方式の分類

本研究では、容易に入手可能なデータで検討できるよう、公開されている下水道関連事業の決算報告を用

いることとした。下水道関連事業の費用は、下水道使用料を得て維持管理を行う「収益的収支」と、国や融資者等から資金を得て施設の改築、更新、新設を行う「資本的収支」に区分される。本研究で比較する事業方式の内容は、以下の通りである。

(a) 従来型

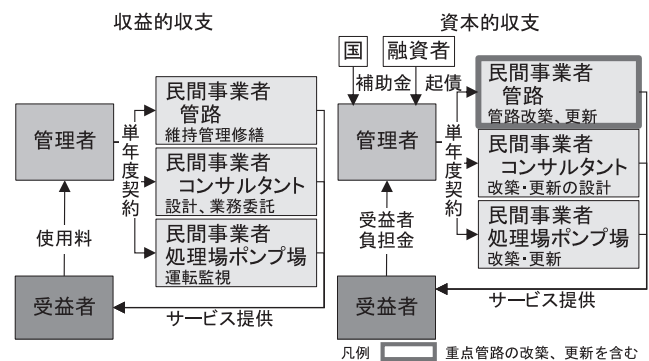
従来型は、これまで行ってきた事後保全型の維持管理方式。単年度ごとに発注手続きを行うため、発注に要する事務手続きと受託者決定までの時間を要する（図一3）。



図一3 従来型の事業方式

(b) 重点管路更新型

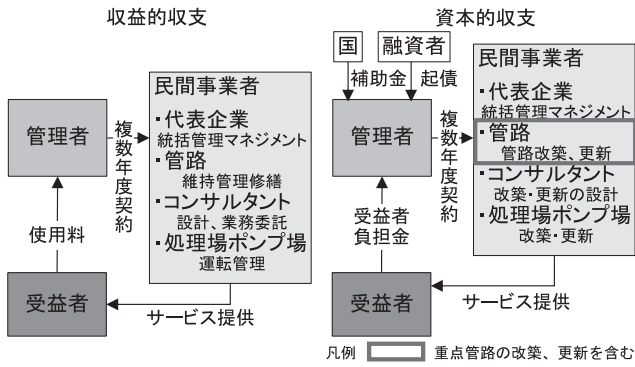
重点管路更新型は、従来型に加えて、ストックマネジメント計画を基に算出した予防保全型維持管理に移行するために必要な改築・更新の重点管路を並行して行う方式。(a)に比べて管路施設の損傷、道路陥没の発生数が低減するが、従来通り単年度ごとに発注手続きを行うため業務量が更に増加し、各年度の重点管路更新の選定と実施のための費用が別途必要となる（図一4）。



図一4 重点管路更新型の事業方式

(c) 包括的民間委託型

包括的民間委託型は、(b)の実施にあたり、複数の異なる業務の統合や、複数年度の契約締結等が可能な包括的民間業務委託の方式。発注手続きに伴う効率化や手続きの簡素化による業務量の削減につながり、

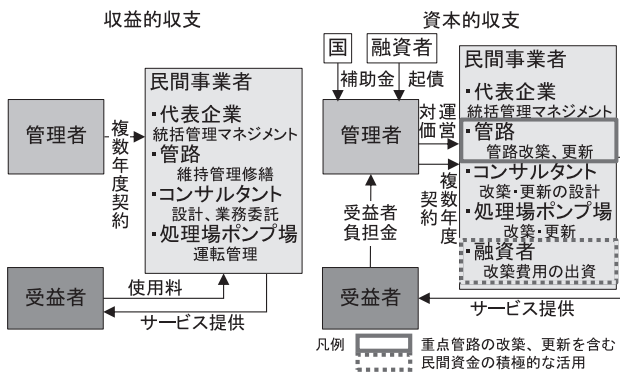


図—5 包括的民間業務委託型の事業方式

さらに事業期間が長期になることにより、民間事業者のノウハウや創意工夫が期待できる（図—5）。

(d) PFI型

PFI型は、(b)の実施をPFI事業（混合型）で実施する方式。(c)と同様、発注手続きの効率化や手続きの簡素化による業務量の削減が可能で、一般的に(c)の事業期間に比べて長期であり、民間事業者の創意工夫の効果が増大する。加えて、民間資金を積極的に活用し管路の改築、更新を行うことで、早期対応によるリスク低減が期待できる（図—6）。



図—6 PFI型の事業方式

5. 下水道分野における統合分析の基本的な考え方

(1) 統合分析の概要

下水道分野における統合分析表の基本概念を表—1に示す。表頭にはステークホルダーを、表側には経済財務項目を示している。マイナス項目はステークホルダーの支出を、プラス項目は収入を示しており、各項目の合計が本事業におけるステークホルダーの利得(損益)を表している。なお、「←」は、ステークホルダー間の受益負担の関係を示している。

表—1 下水道分野における統合分析表の基本概念

項目		民間事業者	受益者	管理者
自治体の収支	収益的収支	収入	←	→
	資本的収支	収入	←	→
自治体の収支	収益的収支	支出	←	→
	資本的収支	支出	←	→
リスク			←	→
下水道便益			←	→

(2) ステークホルダーの内訳

本研究では、ステークホルダーを民間事業者、受益者、管理者とした。民間事業者は、民間事業を統括する代表企業、管路企業、コンサルタント会社、処理場・ポンプ場業者、融資者の5者を選定した。日常管理業務の緊急性や地元企業の保護・育成の観点から、管路管理と処理場・ポンプ管理は地元企業を想定した。受益者は、市民、地主、社会の3者を選定し、適正な管理の徹底で得られるリスク低減効果や地価の上昇等を、数値化し比較できるようにした。管理者は、地方公共団体の下水道分野の所管部署（下水道部等）、地方公共団体（市町村）、国の3者を選定し、補助金等の授受の増減による経済的効果を可視化できるようにした。

(3) 経済財務項目

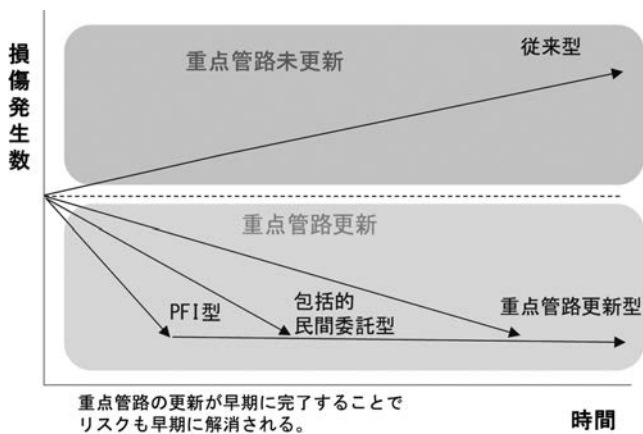
統合分析表で比較する経済財務項目は、収益的収支、資本的収支のほか、受益者リスク、下水道便益を選定した。そのうち、受益者リスクは、下水道管路の損傷に起因する浸水や道路陥没被害を想定し、「精神的被害」、「交通途絶波及被害」、「地価下落」の3種について選定し、数値化を行った（表—2）。選定項目の費用算定式は、国土交通省発刊の「下水道事業における費用対効果分析マニュアル」⁸⁾を参考に、モデル地域の規模に合致するように、また被害規模や期間が変動するように設定した。

表—2 受益者リスクと算定式

リスク	算定式
精神的被害リスク	精神的被害額 = 浸水地区人口 × 1人当りの精神被害評価額 ただし、床下浸水 10万円/人 床上浸水 80万円/人とする。
交通途絶波及被害リスク	走行時間増加損失 = 浸水時の総走行時間費用 - 平常時の総走行時間費用 走行経費増加損失 = 浸水時の走行費用 - 平常時の走行費用
地価下落リスク	地価下落被害額 = (精神的被害リスク額 + 交通途絶波及被害リスク額) × 0.2

6. 予防保全型維持管理の効果

各事業方式における重点管路の改築・更新効果を示した概念図を図一七に示す。横軸は時間経過、縦軸は損傷発生数を表している。従来型は、事後保全型の維持管理のため、老朽化の進展に伴い、陥没や浸水等に起因するリスクが増加する。一方、重点管路更新型をはじめとした予防保全型維持管理手法では、損傷のある管路の改築・更新を先行して実施するため、道路陥没や浸水等が起きるリスクは軽減される。また、事業方式によっては、早期に管路の改築・更新が完了するため、その後の管路維持管理にかかる費用や受益者リスクが軽減される。



図一七 事業方式別損傷発生数の推移概念図

7. 統合分析によるケーススタディ

(1) モデル都市の設定

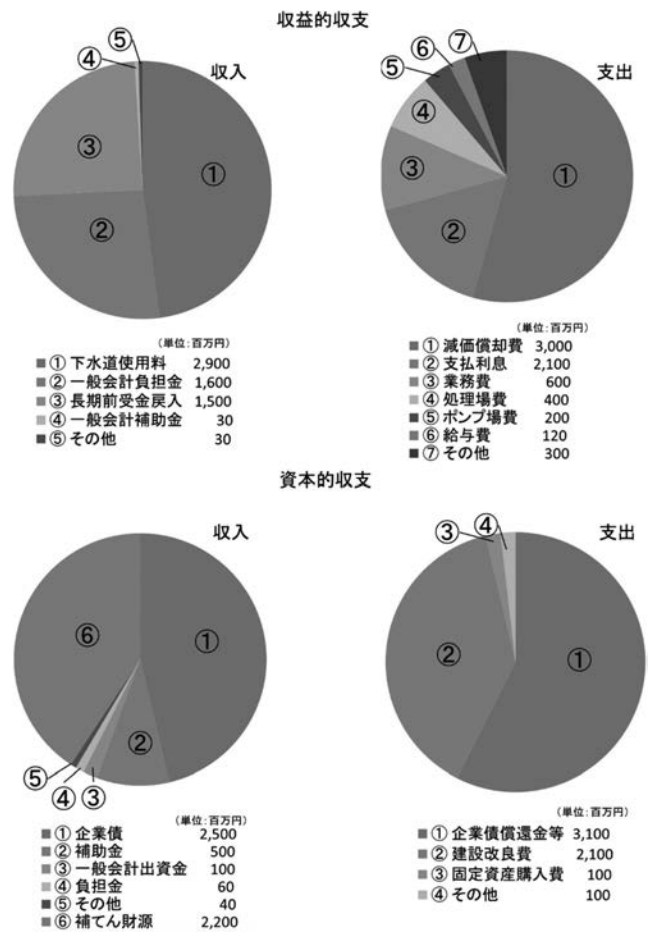
統合分析表を用いた維持管理方法の選定のため、モデル都市（以下、A市）を設定して、検討期間30年における統合分析表を作成し、分析を行った。A市に関わる入力情報は、公表される決算情報等を用いた。

A市は、総人口20万人の都市であり、今後の人口は本年をピークに減少し、30年後は下水道使用料収入が10%減少するものとした。A市は下水道ストックマネジメント計画を策定しており、今後30年で重点的に改築・更新する路線を、全延長900kmのうちの120km（以下、重点路線）としている。また、現在の維持管理は事後保全型であるが、今後は予防保全型の維持管理にシフトしたいと考えている。そのため、下水道ストックマネジメントで定めた重点路線の改築・更新を行う必要があり、工事費は320百万円/年と試算している。A市の課題として、今後想定される下水道予算の縮減や技術者の人員・人材不足がある。

(2) 財政評価のための検討手法

統合分析表を用いた検討は、現在および将来の財政状況の把握が不可欠となる。しかし、必要な情報や項目が多岐にわたり、全ての情報を入手するには労力を要し、事業方法の選定・評価業務の障壁となる。そこで、本研究では、簡易に概略を把握する方法として、毎年公表されている下水道事業決算書を用い、起算の年度をベースに、将来予測を付与する方法を考案した。

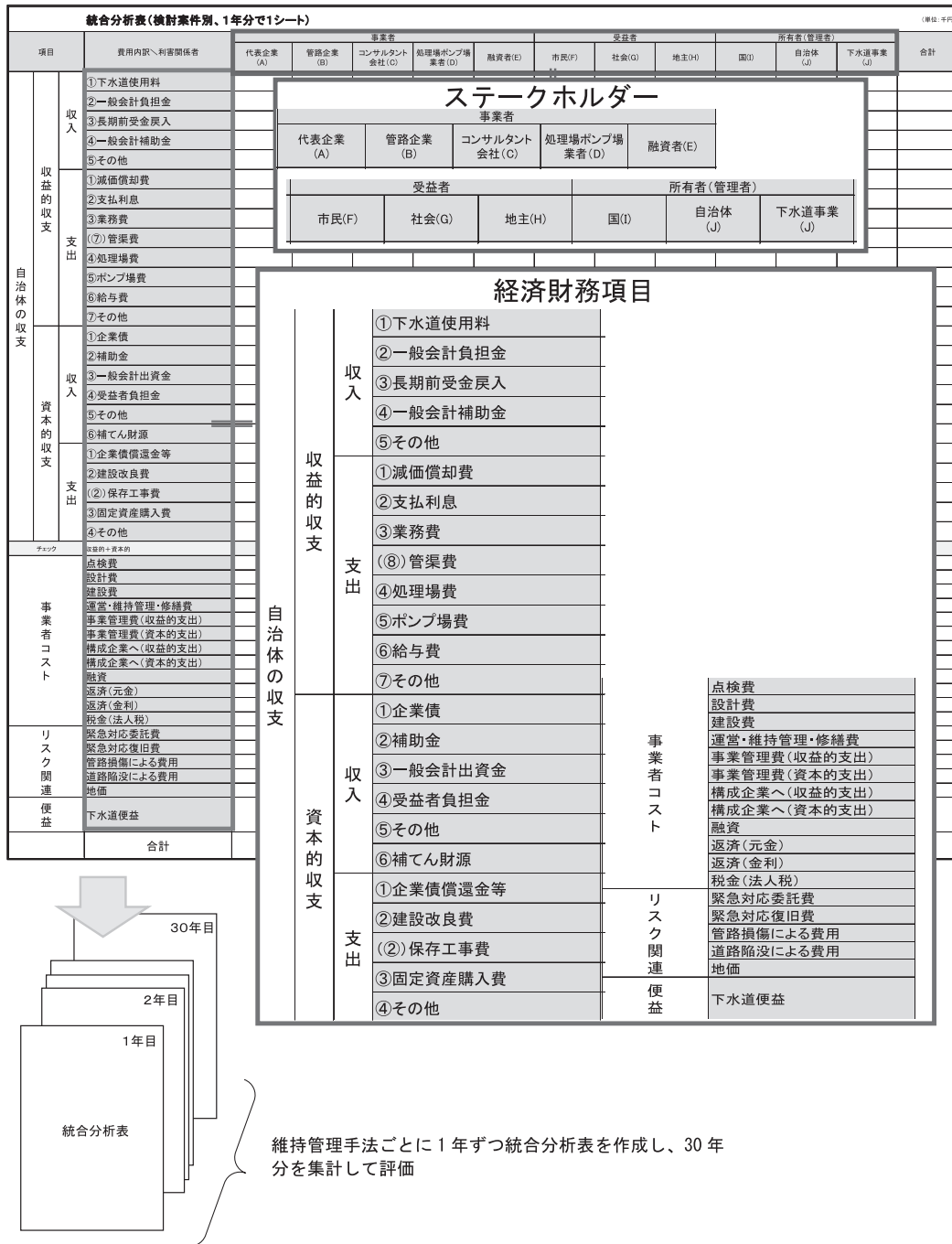
A市における最新の下水道事業会計決算書内訳を図一八に示す。管路の改築・更新工事に必要な費用は、資本的収支の支出②で示す「建設改良費」2,100百万円のうち、実績を基準として15.2%の320百万円とした。下水管路に起因する陥没等の緊急対応費は、収益的収支の支出⑦に示す「その他」300百万円のうち100百万円とした。



図一八 A市の下水道事業会計決算書内訳

(3) 統合分析表による比較

本研究で作成した統合分析表の内訳と集計方法を図一九に示す。各事業方式で1年目から30年目まで統合分析表を作成し、合算して得られる合計を比較・評価する。下水道使用料は、人口減少を考慮して検討開始年次の2,900百万円から毎年均等に0.33%減少、30



図一9 統合分析表の内訳と集計方法

年後に10.0%減少し2,610百万円になることとした。

各事業方式の重点路線更新に伴う維持管理費用および受益者リスクの条件を以下に示す。

(a) 従来型

重点路線の改築・更新が未了であるため、受益者リスクは毎年前年度比2%増加すると想定。

(b) 重点管路更新型

重点路線の改築・更新が30年間で完了するため、これに伴い受益者リスクが毎年前年度比7%減少すると想定。

(c) 包括的民間委託型

複数年度契約のメリットを活かし、重点路線の改築・更新が28年間で完了すると仮定。受益者リスクが年間8%減少し、重点路線の改築・更新が完了した後は陥没や浸水に伴う対策費が70%に減少すると想定。

(d) PFI型

複数年度契約のメリットと民間資金を活用し、重点路線の改築・更新が10年間で完了すると仮定。受益者リスクが年間22%減少し、重点路線の改築・更新が完了した後は、陥没や浸水に伴う対策費が70%に減少すると想定。

表一3 事業方式別統合分析表の集計結果

(単位:10億円)

管理形態	事業方式	民間事業者					受益者	管理者	
		代表企業	管路 地場企業	コンサル タント会社	処理場 地場企業	融資者	市民、社会、 地主	地方公共 団体	
事後保全型	a) 従来型	—	24	30	38	8	△194	△9	
	b) 重点管路 更新型	—	29	30	38	8	△61	△61	
	予防保全型	c) 包括的 民間委託型	11	28	29	38	8	△55	△46
		d) PFI型	10	23	25	35	9	△30	5

(4) 集計結果のまとめ

事業方式ごとのステークホルダーの利得（損益）の集計結果を表一3に示す。(a) 従来型は、重点路線の改築・更新が進まないため、受益者リスクが増加し、市民の利益が4事業方式のうち最小となる。(b) 重点管路更新型は、重点路線の改築・更新が進み受益者リスクは減少するが、資本的支出が増加するため管理者の利益が4事業方式のうち最小となる。(c) 包括的民間委託型は、事業期間の短縮により早期に受益者リスクと維持管理費が減少して収益的支出が減少するため、市民と管理者の利益は重点管路更新型に比べて増加する。(d) PFI型は、受益者リスクおよび収益的支出が更に減少するため、市民と管理者の利益は更に増加する傾向を得た。

8. まとめ

本研究の成果を以下に示す。

- i. 事業方式の初期段階における導入検討の目的において、既知で容易に入手可能な下水道事業会計決算書を用いて統合分析表を作成し、評価する手法を考案した
- ii. 事業方式別の統合分析表を作成し、事業方式の違いによる特徴を整理し、定量的に評価したことで、統合分析手法の簡便性、有用性を確認することができた
- iii. 本研究で作成した統合分析表は、検討する地方公共団体の規模や将来予測に合わせて、パラメーターの設定値を変えることにより、ステークホルダー間の受益と負担の可視化を可能とした
- iv. 本研究で取り上げた4つの事業方式の比較から、民間資金を積極的に活用し、早期に重点路線の改築・更新を行うことで、予防保全型の質の高い維持管理が可能となることが示された
- v. 損傷による陥没や浸水のリスクを早期に軽減す

ることで、市民および管理者の利得が向上するPFI型が有効であるという結果が得られた

9. おわりに

本研究では、統合分析手法を用いて、下水道維持管理の事業方式の選定時間短縮を可能とする検討手法を確立することができた。初期段階の導入において、事業方式の目的を早期に得られ、予防保全型維持管理への導入がスムーズに進むために、今後活用されることを期待する。

一方で、本研究で構築した統合分析手法は、多くの不確定要素を標準化し、仮定を用いて推論している。したがって、算出された数値に対する信頼性を高めるためには、詳細計画に基づく検討が必要である。

また、事業の実施には、合意形成、導入可能性、将来予測、地域性への配慮等、様々な事案を考慮して決定する必要がある。今回選定されたPFI事業を例にとると、長期にわたる複数年度契約により、受託した事業者の安定した雇用機会が確保され、委託者の手続き等にかかる業務量の削減効果がある反面、その他の民間事業者の事業関与の機会喪失や技術力低下が懸念される。実際の事業化に際しては、これらの社会的側面を含めて総合的に配慮して事業手法の選択を行う必要がある点を申し添える。

本研究の趣旨を十分理解したうえで、適切に活用された結果、PPP/PFI事業をはじめとした官民連携事業の適用件数が増加し、下水道事業の持続可能な発展が実現することを望む。

J|C|MA

《参考文献》

- 1) 明尾 賢, 宮本和明, 木下信之, 「下水道管路施設の維持管理における官民連携の事業手法の課題と対策」, 土木計画学研究・講演集, 第57巻, 2018.4
- 2) 国土交通省, 「下水道事業における公共施設等運営事業等の実施に関するガイドライン」, 2019.3
- 3) 内閣府, 「PPP/PFI推進アクションプラン」, 2019.6

- 4) 国土交通省 Web サイト「下水道における新たな PPP/PFI 事業の促進に向けた検討会の資料について」
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000382.html
- 5) 宮本和明, 北詰恵一, 「インフラ PFI 事業のためのリスクを考慮した経済・財務・融資・財政支出統合分析システム」, 建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集, 第 29 卷, 2011.12
- 6) 大西智樹, 宮本和明, 太田雅文, 小林乙哉, 「都市公園 PPP 事業におけるスキーム選択のためのリスクを考慮した統合分析」, 土木計画学研究・講演集, 第 56 卷, 2018.7
- 7) 大西智樹, 宮本和明, 「統合分析による公共施設等運営事業評価」土木計画学研究・講演集, 第 57 卷, 2018.12
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部, 「下水道事業における費用対効果分析マニュアル」2016.12

[筆者紹介]

山口 治 (やまぐち おさむ)
㈱奥村組
東日本支社 リニューアル技術部
工事所支援グループ
グループ長



池田 元 (いけだ げん)
㈱奥村組
東日本支社 リニューアル技術部
工事所支援グループ 主任



柴田 憲一 (しばた けんいち)
㈱奥村組
投資事業開発本部 新事業開発部
インフラ事業開発課
課長

