

統合分析による下水道分野の維持管理手法と PPP/PFIに関する考察

柴田 憲一¹・山口 治²・池田 元³・芳賀 章⁴・宮本 和明⁵

¹正会員 株式会社奥村組（〒108-8381 東京都港区芝5-6-1）

E-mail:keniti.shibata @ okumuragumi.jp

²正会員 株式会社奥村組（〒108-8381 東京都港区芝5-6-1）

E-mail:osamu.yamaguchi @ okumuragumi.jp

³正会員 株式会社奥村組（〒108-8381 東京都港区芝5-6-1）

E-mail:gen.ikeda @ okumuragumi.jp

⁴非会員 株式会社奥村組（〒108-8381 東京都港区芝5-6-1）

E-mail:akira.haga @ okumuragumi.jp

⁵フェロー パシフィックコンサルタンツ株式会社（〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地）

E-mail:kazuaki.miyamoto @ tk.pacific.co.jp

我が国の下水道施設は老朽化が進行し、計画的な改築や更新を行うことは重要な課題の一つである。それに対して、民間事業者が公共施設等の維持管理運営を行うPPP/PFI事業の推進が推奨されているが、処理施設の民間委託を除き、管路施設を含んで包括的に事業化された事例はこれまでのところ限定的である。その主な理由の一つとして、地方公共団体等の管理者にとって有効であり、かつ民間事業者が参画しやすい事業スキームの構築が困難であることが上げられよう。そこで、本研究では、下水道事業に関連するステークホルダーを総合的に考慮しながら地域の実情に合わせたPPP/PFI事業スキームを検討する方法の構築を目的としている。まず、下水道事業の現状を概観した上で、現実的な事業方式を民間事業者の関与の程度別に選定した。次いで、実際の都市での下水道状況に基づいて作成したモデル都市を対象に、既存の統合分析手法を援用して、それぞれの事業方式ごとに、下水道事業会計決算等に基づいて分析表を作成した。これらの統合分析表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課題について論じた。

Key Words : sewerage system, facility aging, PPP, integrated analysis, maintenance management

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った。今後はさらなる老朽化の進行や、耐用年数を超えた施設が一度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。一方、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、財政状況の逼迫から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・技術力の低下が深刻化している。

このように「ヒト」「モノ」「カネ」の課題が顕在化する中、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いる。この状況下で、先進的な地方公共団体等においては包括維持管理事業を展開するところも増えてきている¹⁾。

一方、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⁾の改訂を行った。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が示された。この中で下水道管理者がPPP/PFI事業に期待する効果として、①業務執行のための人員などの強化、②適正な事業運営を行う体制の強化、③民間ノウハウを活用した事業の効率化が挙げられている。また民間事業者に対しては、管路の維持管理を軸に迅速な老朽化対策や投資、創意工夫効果を発揮し、その対価として利益を享受することとしている。また、PPP/PFI推進アクションプラン³⁾においても、下水道は重

点分野の一つとされているが、これまでの事業実績は進んでいるとは言えない。その理由の一つとして、地方公共団体等の管理者にとって有効であり、かつ民間事業者が参画しやすい事業スキームの構築が困難であることが上げられよう。

そこで、本研究では下水道事業に関連するステークホルダーを総合的に考慮することに着目し、地域の実情に合わせたPPP/PFI事業スキームを検討する方法の構築を目的としている。まず、下水道事業の現状を概観した上で、現実的な事業方式を民間事業者の関与の程度別に関連したモデル都市を対象に、既存の統合分析手法を採用して、それぞれの事業方式ごとに、下水道事業会計決算等に基づいて分析表を作成した。これらの統合分析表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課題について論じた。

2. 既往研究

(1) 既往研究のレビュー

「下水道における新たなPPP/PFI事業の促進に向けた検討会」においては、下水道分野の官民連携について検討が進められている⁴⁾。下水道管路施設の官民連携スキームに関しては、明尾ら⁵⁾がまとめており、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。

一方、その統合分析に関しては、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宮本、北詰⁶⁾によって提案されている。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「統合分析」と称している(図-1)。

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 ファイナンス 財政支出 経済

図-1 道路事業における統合分析表の例⁵⁾

統合分析を用いた官民連携スキームの比較をし、実際

の事業スキーム構築への適用可能性の確認を行った大西らの研究⁷⁾がある。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

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、都市公園事業や道路事業、空港事業が多く、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、下水道分野に対して統合分析手法を具体的に適用することが従来の研究にはないものである。

その中で、まず、下水道管路施設の維持管理方式の特徴を整理している。そして、実際の地方公共団体における下水道事業運営情報に基づき、ケーススタディ用のモデル都市を設定している。次に、統合分析に必要な指標の作成方法について検討した上で、モデル都市を対象に各方式における統合分析表を定量的に作成している。さらに、事業方式ごとに下水道管理者、民間事業者そして受益者を含むステークホルダーの利得関係について比較検討を行う。それらの検討を通して、本研究で提案する事業スキーム検討方法の有効性を確認している。

3. 下水道事業におけるPPP/PFI事業の実施状況

下水道分野の維持管理は、多様な形態のPPP/PFI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割以上が民間委託が導入されている。このうち包括的民間委託が471件と全体の2割程度を占めている。しかし、管路施設では全国約47万km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-2)。その要因として、事業実施時の優位性の評価の曖昧さ、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、管路の現在資産評価の困難さなどが挙げられる。

このような課題に対して、PPP/PFI推進アクションプラン⁸⁾では、人口20万人未満の地方公共団体についても情報展開やインフラ分野の裾野拡大を図るため、地域の価値や住民満足度の向上、新たな投資・ビジネス機会の創出、キャッシュフローを生み出しにくいインフラに対する導入支援などの施策が進められている。



図-2 下水道事業における PPP/PFI 事業の実施状況²⁾

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。事後保全とは、管路施設の損傷や劣化が原因で生じる陥没や浸水の発生後に対策を講じる保全である。一方、予防保全とは、管路施設の損傷や劣化が原因の陥没や浸水が発生する前に対策を講じる保全である。下水道施設の機能を安定的かつ継続的に発揮できるようにするため、事後保全型から予防保全型への移行が課題となっている。予算の制約がある中で効果的、効率的に維持管理を行うためには、損傷や劣化が進行する前に適切な対策を行う予防保全型維持管理を行うことが、品質、費用の両面から有益である。

契約形態は、単年度契約と複数年契約があるが、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。

本研究では、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型という）を取り上げる。なお、公共施設等運営事業方式（いわゆるコンセッション方式）に関しては、一般に独立採算では成立しないことから、混合型として公的負担のあり方に検討を要するため、今後の検討課題としている。

(2) 事業方式の分類

a) 従来型

従来型は、事後保全型の維持管理方式であり、図-3に示すように従来通り単年度毎に発注手続きを行うため業務量が多い。

b) 重点管路更新型

重点管路更新型は、重点管路を対象に予防保全型の維持管理を行う方式であり、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、従来通り単年度毎に発注手続きを行うため業務量が多く、図-4に示すように重点管路更新の対象の選定と更新のためのさらなる費用が必要となる。

c) 包括的民間委託型

包括的民間委託型は、図-5に示すように、b)について複数の異なる業務の統合や、複数年度の契約締結などを行うことができる包括的民間業務委託を採用する。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、事業期間が長期になることから、民間事業者のノウハウや創意工夫が期待できる。

d) PFI型

PFI型は、図-6に示すように、b)についてPFI事業方式を採用する。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につながる。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。

5. 統合分析の基本的な考え方

(1) 下水道分野における統合分析の概要

表-1は下水道分野における統合分析表の基本的な考え方を示している。表頭に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、各ステークホルダーの合計が本事業における利得（損益）を表している。

表-1 統合分析表の概念

項目	民間事業者	受益者	管理者
収益的収支	収入	←	→
	支出	←	→
資本的収支	収入	←	→
	支出	←	→
事業者コスト	←		
リスク		←	
下水道便益		→	
合計			

本研究では、民間事業者として、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・ポンプ業者、融資者を選定した。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ている。受益者としては、市民や地主そして社会全般を選定している。

(2) 受益者リスク

本研究では下水道の既設地域を対象とすることから、表-2に示すように下水道管路の損傷や劣化が原因で生じる浸水や陥没による被害を選定し、市民をはじめとする受益者リスクとした。選定項目の費用算定式は、「下水道事業における費用対効果分析マニュアル」⁹⁾を参照した。

表-2 市民リスクと算定式

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

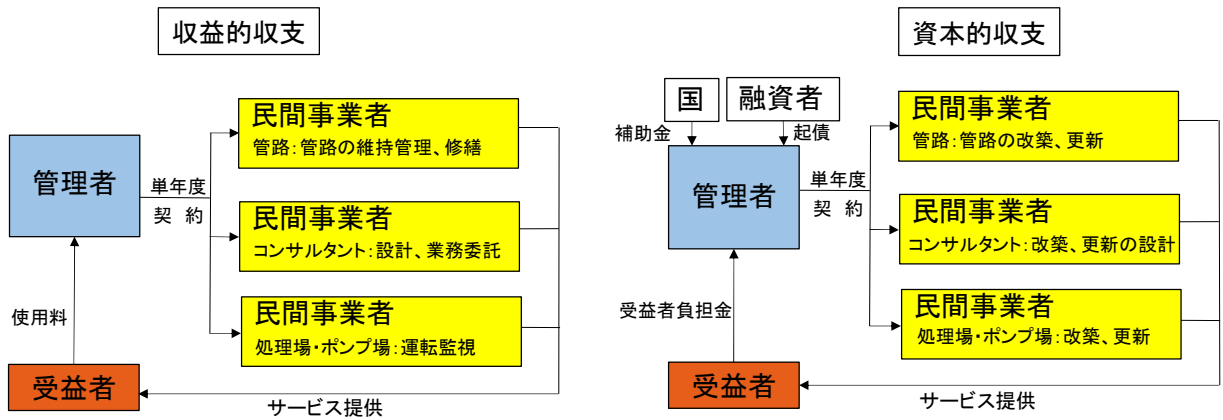


図-3 従来型の事業方式

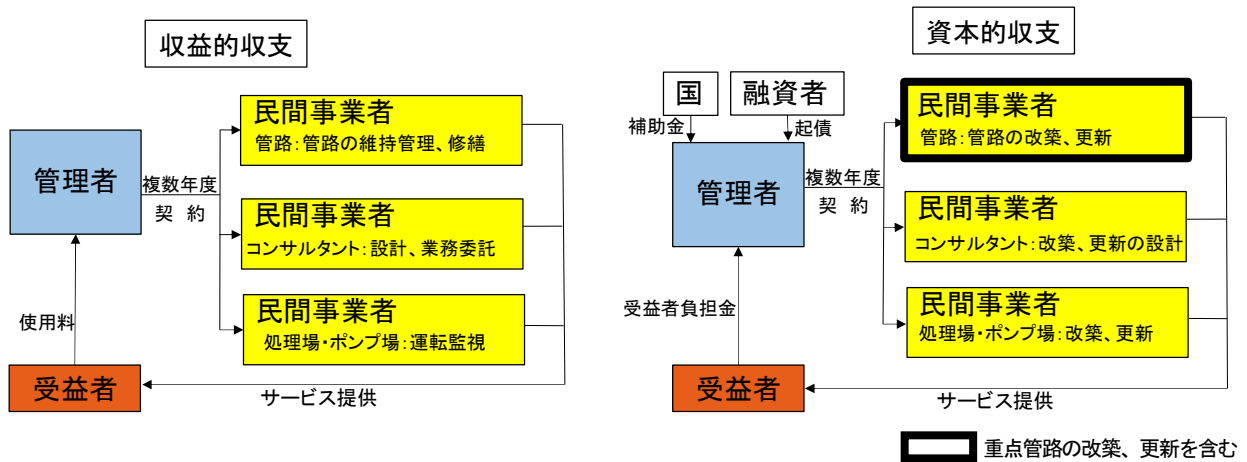


図-4 重点管路更新型の事業方式

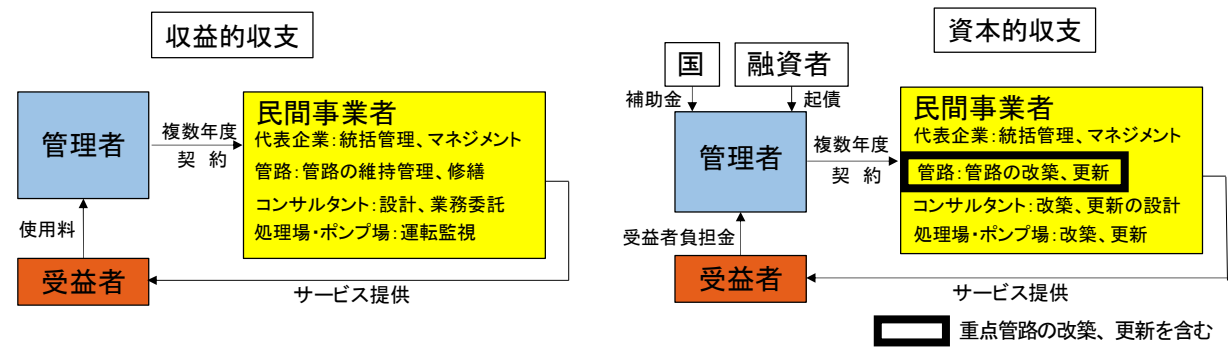


図-5 包括的民間委託型の事業方式

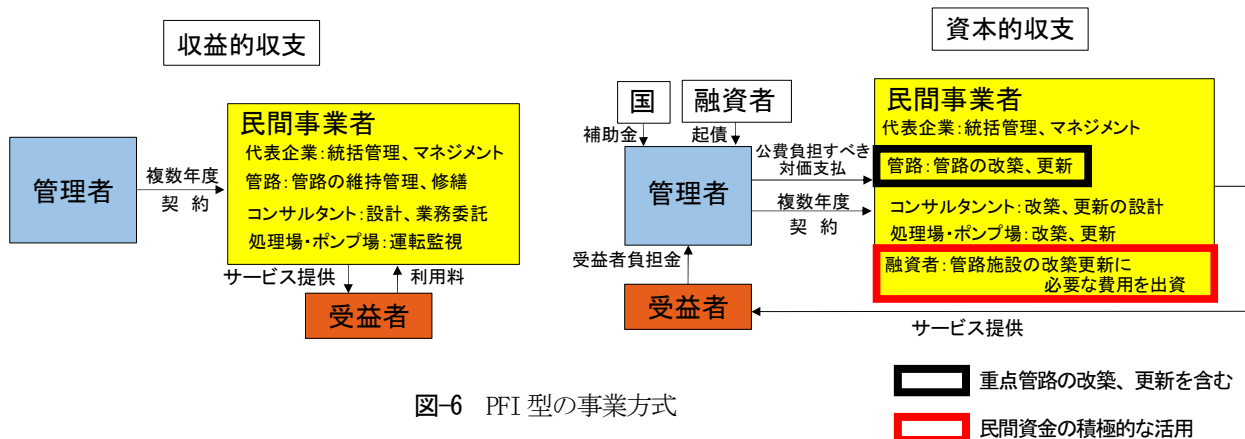


図-6 PFI 型の事業方式

6. 予防保全型維持管理の効果

図-7は、各事業方式における重点路線の改築・更新効果を示した概念図であり、横軸に時間の経過を、縦軸に損傷発生数の増減を表している。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・更新を行うため、陥没や浸水等が起きるリスクは軽減される。また早期に管路の改築・更新が完了することで、管路の維持管理にかかる費用や受益者リスクが軽減される。

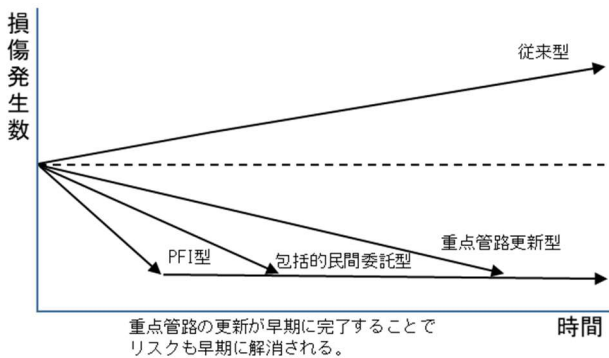


図-7 重点路線の改築・更新効果の概念図

7. 統合分析によるケーススタディ

(1) 仮想モデル都市の設定

統合分析表を用いた維持管理方法の選定過程を検証するため、仮想モデル都市（以降、A市という）を設定して統合分析表を用いた分析を行った。A市に関わる諸情報に関しては既存の地方公共団体の実際値を参考にして作成している。

A市は総人口20万人の都市を想定した。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%程度減少するものとした。A市で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・更新する管路を120km（以下、重点路線という）としている。A市は事後保全型の維持管理を行っているが、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。そのためには下水道ストックマネジメントで定めた重点管路の改築・更新を行う必要があり、工事費は480百万円/年である。今後、想定される下水道予算の縮減や技術者の人員・人材不足の課題がある。

(2) 財政評価のための検討手法

統合分析表を用いた検討には、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、維持管理方法の選定・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。下水道事業会計は、施設の維持管理等を行うための収益的収支と新たな施設の整備や既存施設の改築、更新を行うための資本的収支に分かれている。

A市の本年の下水道事業会計決算書内訳を図-8に示す。管路の改築・更新工事に必要な保存工事費は、建設改良費2,100百万円のうち320百万円とした。下水道管路が原因による陥没等の緊急対応に必要な管渠費は、その他300百万円のうち100百万円とした。

(3) 分析条件

決算書をベースに図-9に示すように維持管理方法毎に1年目から30年目まで統合分析表を作成する。下水道使用料は人口減少を考慮して本年の2,900百万円から30年後には2,610百万円に減少することとした。作成した統合分析表を30年間集計し、比較考察を行った。

各維持管理方法の詳細な条件設定を以下に示す。

a) 従来型

重点路線の改築・更新が未了であるため、受益者リスクは年間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年間7%減少すると想定。

c) 包括的民間委託型

複数年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。

(4) 集計結果のまとめ

維持管理手法ごとの統合分析表30年間分の集計を表-3に示す。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、市民の利益は最小となる。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は最小となる。包括的民間委託型は、事業期間の短縮化により受益者リスク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している。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という結果となった。

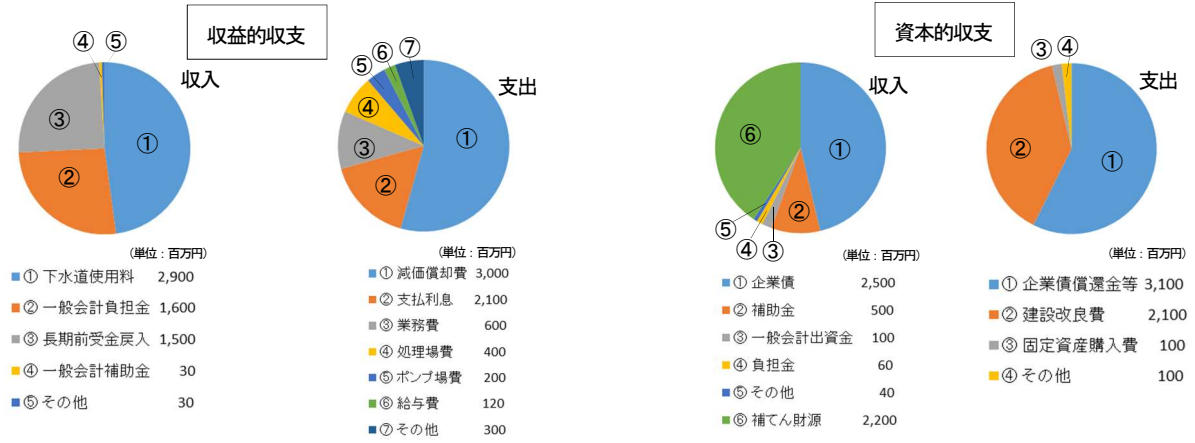


図-8 下水道事業会計決算書内訳

統合分析表(検討案件別、1年分で1シート)

項目	費用内訳、利害関係者	事業者				受益者			所有者(管理者)			合計			
		代表企業 (A)	管路地場企業 (B)	コンサルタント会社 (C)	処理場地場業者 (D)	融資者(E)	市民(F)	社会(G)	地主(H)	国(I)	千葉市(J)		千葉市下水道事業(K)		
自治体の収支	収益的収支	収入													
		①下水道使用料													
		②一般会計負担金													
		③長期前受金戻入													
		④一般会計補助金													
	⑤その他														
	支出														
	①減価償却費														
	②支払利息														
	③業務費														
	④処理場費														
	⑤ポンプ場費														
	⑥給与費														
	⑦その他														
資本的収支	収入														
	①企業債														
	②補助金														
	③一般会計出資金														
	④受益者負担金														
	⑤その他														
支出															
①企業債償還金等															
②建設改良費															
③固定資産購入費															
④その他															
チェック	収益的+資本的														
事業者コスト	点検費														
	設計費														
	建設費														
	運営・維持管理・修繕費														
	事業管理費(収益的支出)														
	事業管理費(資本的支出)														
	構成企業へ(収益的支出)														
	構成企業へ(資本的支出)														
	融資														
	返済(元金)														
	返済(金利)														
リスク関連	緊急対応委託費														
	緊急対応復旧費														
	管路損傷による費用														
	道路陥没による費用														
便益	下水道便益														
合計															

統合分析表

1年目

2年目

30年目

維持管理手法ごとに1年ずつ統合分析表を作成し、30年分を集計して評価

図-9 統合分析表の積み上げ概念図

表-3 集計表

	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	管理者	地域利益(市民+管理者)
従来型	—	24	30	38	8	△194	△9	△203
重点管路更新型	—	29	30	38	8	△61	△61	△122
包括的民間委託型	11	28	29	38	8	△55	△46	△101
PFI型	10	23	25	35	9	△30	5	△25

8. 考察

下水道事業会計決算書をもとに統合分析表を作成し、それに基づいてステークホルダーごとの利得を定量的に算定することができた。事業方式間の比較から、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に繋がることが示された。その最大の効果は、PFI型において、損傷による陥没や浸水のリスクが軽減され、市民および管理者の利得が向上することである。

統合分析を用いることによりステークホルダーごとに与える影響や効果、事業スキームごとの定量比較が実際に可能であることが示された。さらに、その他のパラメーターの設定値を変えることにより、詳細なスキーム構築も可能になると考えられる。

さらに、民間事業者の資金や技術ノウハウを活用し重点路線の改築・更新を行うことは、管理者の技術者不足等の課題解決に繋がる。その一方で、複数年契約による事業方法は、受注した事業者には安定した雇用機会の確保や受注手続き等にかかる業務量の削減効果がある反面、その他の事業者の事業関与の機会喪失が生じる。実際の事業化に際しては、これらの社会的側面も考慮して事業手法の選択を行う必要がある。

なお、本稿の内容はすべて著者たちの個人的見解に基づくものであり、所属会社の見解を示すものではない。

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 巻, 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 巻, 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 巻, 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

(2019.10.4 受付)

APPLICATION OF INTEGRATED ANALYSIS APPROACH TO SEWERAGE PPP PROJECTS

Kenichi SHIBATA, Osamu YAMAGUCHI, Gen IKEDA,
Akira HAGA and Kazuaki MIYAMOTO

Japan's sewerage systems are aging, and their systematic renovation or renewal is a high priority. As a solution, public officials are encouraging PPP/PFI projects that contract with private firms to manage and maintain public facilities. Aside from the management of certain sewage treatment plants contracted to private entities, few comprehensive projects including sewer lines have been launched recently. One reason is the difficulty of designing a scheme both beneficial for municipalities and other facilities managers and attractive to private firms. Our research sought to develop a method for determining PPP/PFI project schemes that suit conditions and requirements in different regions while considering the stakeholders of each sewerage project holistically. We first obtained a general overview of current sewerage projects and determined feasible project models based on the extent of the involvement of the private firms participating. We created model cities based on data for the sewerage systems in actual cities. For these model cities, applying the existing integrated analysis technique, we compiled an analysis table of each project structure based on the financial results for sewerage projects and other relevant information. Comparing these analysis tables, we identified difference in characteristics between individual project structures and discussed their problems.