

人口減少に対応した 小規模膜ろ過浄水施設の将来計画

酒井 宏治^{1,3}・藤野 暁²・橋本 崇史²・滝沢 智²

¹ 東京大学大学院 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail:h_sakai@env.t.u-tokyo.ac.jp

² 東京大学大学院 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

³ 首都大学東京 都市環境学部 水道システム研究センター (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

わが国の水道事業は、人口減少により料金収入が減少する中で、水道施設の老朽化による更新需要が増大するという問題に直面している。この問題は、財源の限られた小規模水道事業体において特に深刻であると考えられる。そこで、本研究では、ある河川上流域に存在する複数の膜ろ過浄水場を参考に、より一般化しやすいモデル施設を作成し、将来の人口変動による給水量の減少も考慮しながら、施設の統合効果とその課題について検討した。施設統合の経済的な効果は、モデル地区にある5つの浄水場の浄水費用、膜ろ過施設更新費用、ポンプ施設更新費用から推計した。その結果、送配水区域が接続されている場合には浄水場の統合が有効であること、統合の時期として耐用年数に近い時期における更新が有効であることを示した。また、施設統合により、50年間で最大2.8億円の費用削減を行うことができることが推定できた。

Key Words : 上水道, 小規模事業体, 更新, 統合, 耐用年数

1. はじめに

日本の近代水道は、1887年にコレラ等の水系伝染病の予防措置を目的として初めて整備されて以来、高度成長期の整備促進により広く普及¹⁾、平成25年度末の水道普及率は97.7%に達している²⁾。さらに、水道は市民の日常生活や経済活動を支える役割を担っており、都市の重要な社会基盤施設の一つである。

一方で、現在の日本の水道事業は、人口減少に伴う料金収入の減少と、水道施設の老朽化に伴う更新需要の増大という問題を抱えている。この問題は、財源の限られている小規模事業体において特に重大な影響をもたらす。

国立社会保障・人口問題研究所によると、2010年時点で1億2,806万人であった日本の人口は、2030年に1億1,662万人、2060年には8,674万人にまで減少するものと推計されている³⁾。更に、家庭用の節水機器の普及もあり、一人一日当たりの生活用水使用量は1998年頃をピークに減少傾向にある。このように、人口減少と節水機器の普及は給水量の減少をもたらし、それが原因となって料金収入が減少傾向にある⁴⁾。

水道事業における施設への投資額は昭和50年前後と平成8年前後にピークがある⁵⁾。このうち昭和50年前後に布

設された水道施設は、まもなく耐用年数を迎えることから、今後大規模な更新の需要が生じると考えられる。そのため、今後の更新需要の増大に対応した将来計画の立案が求められている。

水道施設は、主に浄水場と水道管路（配水・給水施設を含む）で構成される。このうち、水道管路については、管路の劣化やその情報を基にした更新計画について、既に多くの研究がなされている⁶⁾⁹⁾。

一方、浄水場については、財政基盤や技術基盤の強化を目指して、隣接する異なる規模の水道事業を統合する水道広域化の検討が進められている。広域化に関する研究事例として、松林ら¹⁰⁾は北海道石狩川流域圏を対象として、建設投資費や維持管理費など様々な費用について、広域化を実施した場合としない場合を比較し、水道事業広域化の費用削減効果を定量的に示した。この研究では、広域化により、2050年の収益的支出を約33%、金額にして約17億5,500万円削減できることが示されており、水道広域化の効果が財政収支から論じられている。また、広域化の実施例としては、群馬県太田市などを中心とする群馬東部水道広域化¹¹⁾、香川県水道広域化¹²⁾などの取り組みが進められている。山間部の比較的小規模な水道事業の統合事例としては、埼玉県秩父地域の水道広域化の

取り組みが挙げられる¹⁸⁾。また、小規模浄水処理施設に関する既存の研究としては、維持管理や点検等に伴う人の巡回について効率化を検討した研究がある^{19, 20)}。しかし、浄水場自体の更新計画について小規模施設の統合を含んだ将来計画を検討した事例は見当たらない。中山間地域に点在する小規模浄水場では、人口減少社会の中で過疎や高齢化とも相まって、給水量の減少と料金収入の減少の問題が顕在化すると考えられる。その対策として、点在する浄水場を広域的に統合することで費用を削減できる可能性がある。特に、小規模浄水場に適した膜ろ過施設を導入し、給水量の減少に対応するとともに、施設の統合を検討することが重要となっているが、このような検討事例は既存の研究では見られない。

そこで本研究では、人口減少が進みつつある河川流域の上流部に点在する実際の小規模水道施設をもとに、本研究の対象とするモデル水道施設を設定し、今後50年間の施設運営と更新において、浄水場の統合による効果と課題を明らかにすることを目的とした。その中で以下2点に着目した。

まず、今後50年間の人口を1年ごとに予測して水需要を算出し、その変化に対応する更新計画を検討した。既存の研究で、将来的な人口減少とそれに対応したダウンサイジングなどについて検討した事例はあるが、将来のある特定の年における検討にとどまっており、現在から将来にわたる連続した期間において検討した事例は見当たらない。そこで、本研究では、現在から将来までの連続した期間を対象に、施設統合の効果を検討する。

次に、小規模施設を中心に導入が進みつつある膜ろ過施設に着目した。膜ろ過施設は、運転管理の自動化や遠隔監視が可能という特徴を持つ一方で、近年導入が進んできた施設であるため、ろ過膜等の耐用年数についての十分なデータの蓄積や検討がなされていない。そこで、本研究では膜ろ過施設の耐用年数を考慮して検討を行った。

以上のことを考慮した上で、研究対象とするモデル地区に存在する5つの浄水場における浄水費用、膜処理施設更新費用、ポンプ施設更新費用を対象に、統合の経済的な効果と課題について検討した。

2. 研究方法

(1) 本研究で対象とするシステム

a) モデル地区の概要

日本国内のある河川流域上流部の自治体に存在する5つの小規模浄水場を参考に、研究対象とするモデル浄水場を作成した。図1にそれらの浄水場の位置関係と標高、現状の施設能力を模式的に示した。これら5つの小規模

浄水場の現状の施設能力は、約200～2500 m³/日であり、うち2浄水場が膜処理、残り3浄水場が緩速ろ過処理を行っている。

b) 計算の対象範囲

図1に示すモデル地区において、実際の浄水場を参考にしながら簡略化したシステムを解析対象とし、5つの浄水場の統合効果を、複数のシナリオに基づいて費用計算し比較した。

研究の対象とする期間は、今後50年間とし、1年ごとに運転・施設更新費用を算出した。費用計算は、浄水場の運転費用、膜モジュール・膜ろ過施設設備更新費用、ポンプアップ動力費用、ポンプ所新設・更新費用、管路布設・更新費用の5項目について行った。なお、ポンプ施設の新設・更新費用や膜モジュール・膜ろ過施設の新設・更新費用は、費用の総額を耐用年数で除した金額を各年に計上するものとした。

c) 施設統合シナリオ

本研究では、浄水場の統合シナリオを、単独統合シナリオと、複合統合シナリオの2通りについて検討した。

まず、単独統合シナリオでは、図1に示すモデル地区の5浄水場のうち、浄水場Cを除く4浄水場について、浄水場Cへの統合の有無による施設の運転・更新費用の差を求めた。統合の年次を、今後50年間の間で1年ずつ変化させ、統合年次が費用に及ぼす影響についても検討した。

図1に示したとおり、モデル地区においては浄水場Cの施設能力が他の浄水場に比べて極めて大きく、多くの集落へ配水を行っているうえに、モデル地区の中心街近くに存在する。従って、本研究では、浄水場Cとそれ以外の浄水場の統合についてのみに検討することとした。すなわち、浄水場Cを廃止するシナリオは検討しないこととした。

次に、複合統合シナリオでは、浄水場Cへの統合が有効であると判断された2つの浄水場について、統合年次を今後50年間の間で変化させることで、最適な統合の時期を検討した。

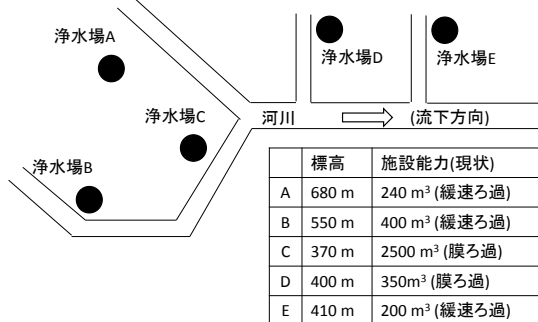


図1 対象地区の概念図

本研究では、以上のように、単独統合シナリオと複合統合シナリオの2種類のシナリオについて次項で述べる諸条件を設定しながら、その費用について計算し、比較した。

d) 解析対象としたシステム及び簡略化の過程

本研究では、図1に示したモデル地区において図2の水道システムを対象とした。将来の水道施設整備に関しては、以下の仮定を設定した。

まず、施設能力については、現状の能力に関わらず、配水対象となる集落の需要水量を満たす施設を整備するものとした。具体的には、各浄水場の各年での処理人口に対して必要な施設能力を算出し、膜モジュールの耐用年数内での最大必要施設能力をその耐用年数範囲内での浄水場の施設能力として定めた。

次に、現状の処理方式に関わらず、全ての施設において膜ろ過処理を用いるものとした。これは、無人運転する浄水場を更新する場合には、膜ろ過施設を採用する事例が多いためである。さらにモデル地区では、施設更新の必要性が高まっていることから、2016年に全ての浄水場が膜処理施設に更新されるものと仮定し、同年を基準として計算を行うこととした。

最後に、浄水場の統合においては、ポンプや管路設備の設置が必要となるものとした。これは、既存の配水池同士が管路で接続されていない場合や、送水のためのポンプ施設が整備されていない場合、新たに接続用の管路の敷設やポンプ施設の整備を行う必要があるためである。これらの仮定の下で、本研究では、モデル地区の水道システムを図2に示すシステムとし、また、同図に示す施設・設備を追加するものとした。本研究で構築したモデル施設では、計算対象とする費用について施設ごとに異なるように設定しており、各費目間の相互関係を検討する上で妥当なモデルであるといえる。

(2) 計算の手順

a) 需要水量の予測

将来の水需要は、生活用水と営業用水の需要により構成され、生活用水需要は定住人口によるもの、営業用水需要については観光業によるものとした。将来の対象地区の人口は、モデル地区の集落ごとにコーホート変化率法を用いて予測した。観光業による水需要については、今後50年間の観光客数が2014年と同数であると仮定し計算した。

b) 膜モジュール本数

要求される施設能力に対して、実際に必要となる膜モジュールの本数を以下の通り設定した。一般的に膜ろ過施設では、一列にx本のモジュールをy系列だけ並列に配置する。また、小規模膜ろ過施設では、薬品洗浄に備え、 $x \times y$ 本の膜モジュールに加えてx本の予備膜モジュ

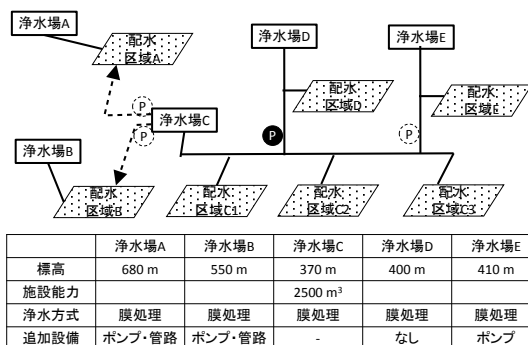


図2 対象としたシステムの模式図

(実線は現存する施設、点線は追加整備が必要な施設)

表1 耐用年数及び単位費用の設定値

項目	単位	膜モジュール	膜施設設備	ポンプ施設	管路
耐用年数	年	7	16	16	40
費用	更新	千円	1,375	36,000	11,000
	単位	1本	1ヶ所	1ヶ所	1km
	新設	千円	1,375	36,000	33,000
	単位	1本	1ヶ所	1ヶ所	1km

ールを備えている。本研究でもこの例に倣い、 $(x+1) \times y$ 本の膜モジュールを各浄水場に備えることとした。また、本研究では簡単のため $x=4$ 本と定め、前節d)項で説明した施設能力を満たす最小のyを求めることにより、膜モジュール本数を確定することとした。なお、膜モジュールの処理能力は1日1本あたり100 m³とした。

c) 耐用年数

膜モジュール、膜ろ過施設設備、ポンプ所、管路の更新に際し、それぞれ耐用年数を表1のように定めた。

なお、膜モジュールに関しては定まった耐用年数が存在しないため、仮に7年と設定し、感度解析において3年から11年までの間で変化させた。管路の40年は法定耐用年数であり、膜ろ過施設設備・ポンプ所については、地方公営企業法施行規則²¹⁾に記載の構築物又は機械及び装置の法定耐用年数である16年の値を用いた。

(3) 計算方法

a) 浄水場運転費用

浄水費用原単位に需要水量を乗じる形で算定した。運転費用は、動力費と薬品費の合計とした。本研究ではモデル地区作成に当たり水道事業者への聞き取り調査によって得た25円/m³という単価を5つの浄水場の全てに適用した。

b) 膜モジュール・膜ろ過施設設備更新費用

膜モジュールと膜ろ過施設設備の更新費用は、東京都の小規模浄水場における入札記録²²⁾(契約番号26-00380)を参考に表1に記載の通り設定した。

c) ポンプ動力費用

既設の浄水場を統合する場合、廃止される浄水場が担

っていた配水量を別の浄水場から送水することとなるため、ポンプ動力費用が増加する。本研究では、荒井ら¹¹⁾の研究において用いられた式を基に算出した。なお、本研究において具体的に設定する必要がある値のうち、ポンプアップの起点と終点の標高をモデル地区の地形をもとに設定し、配管延長を地図上の道路距離から、それぞれ求めて入力した。

d) ポンプ所新設・更新費用

ポンプ所の新設費用は、京都府舞鶴市でのポンプ所新設案件の入札記録²³⁾(舞鶴水 25 工事第 22 号)を参考に、表 1 に記載の通り設定した。

e) 管路敷設・更新費用

既設の浄水場を統合する場合、廃止された浄水場が担っていた配水量を別の浄水場から送水する。その際に、既存の浄水場の配水区域同士が接続されていない場合、新たに接続用の管路を設置する必要がある。本研究では、水道事業の費用対効果分析マニュアル²⁴⁾にある管路口径 0.1 m の管路布設費用原単位を用い、表 1 に記載の通り設定した。なお、前項における計算から、最小管路口径は 0.1 m 以下であると算出されている。

3. 結果及び考察

(1) 今後50年間の費用内訳の変遷

a) 浄水場Aを統合する場合

本研究では、統合による費用削減効果について検討を行った。まず、2030年度に、浄水場Cとその他4箇所の浄水場の組み合わせで統合した場合について、浄水場Cと統合される浄水場の二つの浄水場の費用の和を図3に示す。

図3 a)は、浄水場CとAを統合する場合の費用をあらわしている。まず、運転費用は今後50年間で漸減傾向であった。これは、今後50年間で徐々に人口が減少することが主な理由であると考えられた。なお、統合すること自体による運転費用の増減は見られなかった。これは、両浄水場で運転費用原単位として共通の25円/㎥という値を用いているためであると考えられる。なお、この運転費用原単位は、原水の水質などによって変化すると想定

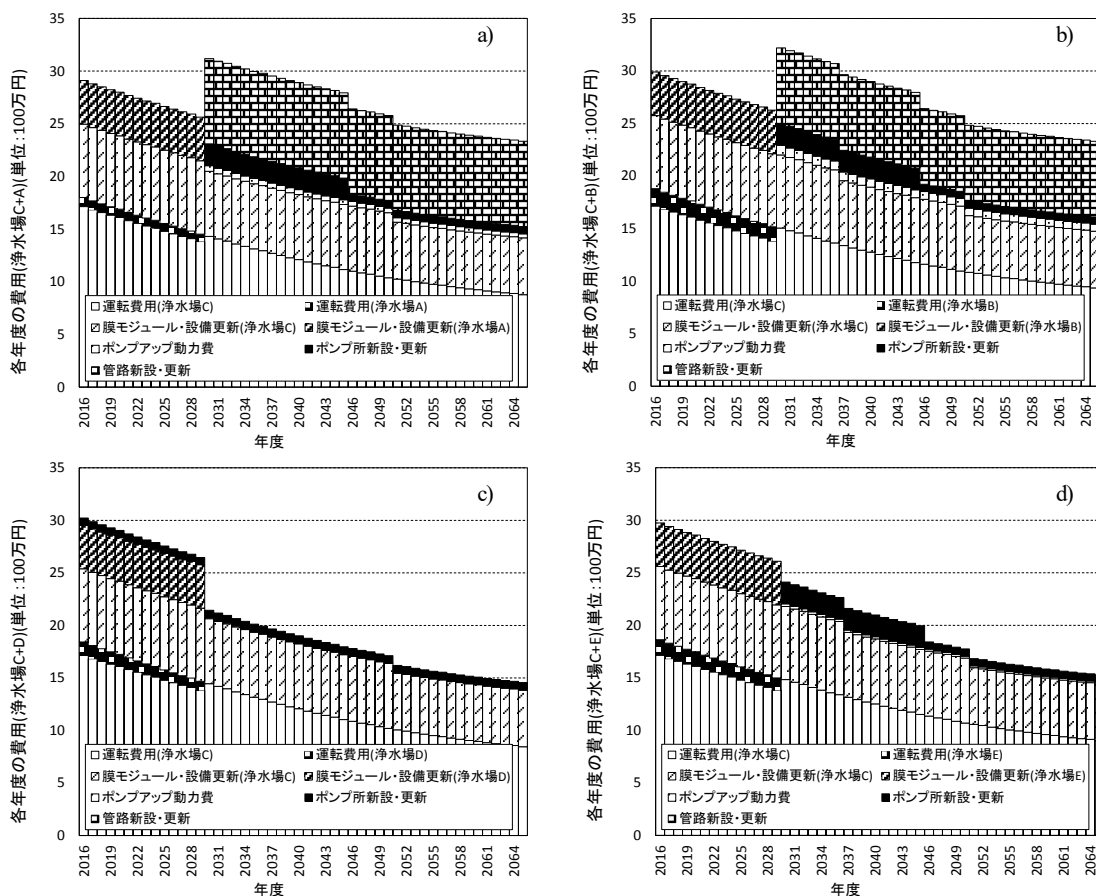


図3 2030年で統合した場合の各浄水場における50年間の費用の推移

されるため、値の精緻化を行っていく必要がある。

膜モジュール・設備更新費用については、浄水場CとAを統合する2030年以降、大幅な費用の減少が見られた。具体的には、両浄水場が存在する2029年と統合した2030年では、膜モジュール・設備更新費用は約490万円削減されることとなった。これは、統合元である浄水場Aにおいて、膜モジュール・設備の更新が不要になるためである。

ポンプアップ動力費は、統合を行う2030年以降に計上され、最大で年間50万円程度であったが、この金額はその他の費用項目に比して小さいものであった。このように動力費が小額であった理由としては、ポンプアップする必要のある水量が最大で200 m³/日程度と、少なかったためであると考えられる。

ポンプ所新設・更新費用については、統合を行う2030年度以降に、約200万円計上した。また、2030年に新設されたポンプ所の構築物又は機械及び装置機械設備の耐用年数である16年間の経過後は、更新費用として新設の3分の1の金額を計上した。管路新設・更新費用は、統合を行う2030年以降に計上され、金額としては約800万円/年であった。

浄水場Aの統合を考える上で統合前後の変化を比較すると、統合により浄水場Aの膜モジュール・施設の更新費用が削減される一方で、配水区域統合のための管路敷設費用、ポンプ所新設費用、送水のためのポンプアップ動力費が増加することとなった。これらの差し引きで、浄水場Aを2030年に統合する場合、年間550万円程度の追加の費用が生ずることが分かった。

b) その他の浄水場を統合する場合

浄水場Bを浄水場Cへ統合する場合の費用計算結果について、図3 b)に示した。浄水場Bを統合する場合の結果は、前項の浄水場Aを統合する場合と基本的に同様であり、統合によって年間600万円程度の追加費用が生ずることが分かった。

浄水場Dを浄水場Cへ統合する場合の費用計算結果について、図3 c)に示した。A及びBの場合と異なり、管路新設・更新費用が生じないため、統合により年間500万円程度、費用を削減できることが分かった。

浄水場Eを浄水場Cへ統合する場合の結果について、図3 d)に示した。こちらも管路新設・更新費用が生じないことから、統合により年間約200万円程度、費用を削減できることが分かった。なお、D及びEの違いとして、既設ポンプ所の有無が挙げられる。浄水場Dの場合、既設のポンプ所があるため、その更新のみの金額を計上しているが、浄水場Eの場合にはそれがいないため、ポンプ所新設の費用を計上している。更新金額は新設金額のおよそ3分の1であると設定しているため、ポンプ所新設の必要性が統合による費用削減効果の違いに影響したと考

えられる。

以上のように、統合の対象とする浄水場に関する諸条件の違い、特に配水区域を接続する管路の有無が統合による費用削減効果と密接に関連していることが分かった。

(2) 50年間の累積費用に及ぼす統合年度の影響

a) 単独統合シナリオ

前節にて、2030年度に浄水場を単独統合した場合の50年間の累積費用を示した。本節では、今後50年間の中で統合年度を1年ごとに変化させ、統合の適切な時期がいつであるかについて検討した。まず、単独統合シナリオとして、浄水場Cとその他4箇所の浄水場を統合した場合について図4に示した。

前節の結果と同様に、浄水場AとB及びDとEの間で大きく結果が分かれた。

まず、浄水場A及びBの結果について図4 a)及びb)に示した。浄水場D及びEとは異なり、統合しない場合が最も費用を抑えることができる結果となった。浄水場A及びBでは、管路の新設・更新にかかる費用が3～4億円程度あり、このため、浄水場を統合しないほうが50年間の累積費用が低いという結果となった。

なお、浄水場の統合年度が遅くなるにつれ累積費用が減少しているが、これは、本研究の計算の対象範囲である50年を超えた年度における設備費用が計算に含まれないためであることに留意する必要がある。

次に、浄水場DもしくはEをCと統合する場合については、浄水場の統合を行うほうが統合しない場合よりも累積費用が低くなることが示された。次に、統合を行う結果の中で統合の年度による影響を比較すると、2016年度に統合する場合の50年間の累積費用が最も小さくなった。すなわち、統合年度が早いほうが、より費用を抑えることができるという結果となった。なお、図4 c)において50年間の累積費用を見ると、隣接する統合年度において大きく差が出る場合があった。これは、耐用年数を終えて直ちに統合する場合と、耐用年数を終えた後に更新し、1年間のみ使用後に統合する場合で大きく差が生ずるためであると考えられる。例えば、7年間の耐用年数をもつ膜モジュールが、耐用年数を下回る1年間で廃棄されることになるためである。従って、統合の時期は早いほうが望ましいこと、またいったん更新した場合は、耐用年数まで使いきった後に統合することが重要であることが分かった。なお、この傾向は、浄水場DとEのどちらにも共通していた。

50年間の累積費用は、浄水場CとDもしくはEの合計値として、10から12億円程度であった。最も累積費用を抑えることができる年度に統合した場合、統合しない場合の費用と比較して、浄水場Dでは約1.7億円、浄水場Eでは約1.1億円を削減できることが分かった。

それぞれの結果において累積費用の内訳を見ると、およそ半分を浄水場の運転費用が占めた。膜ろ過施設の膜モジュール及び設備更新費については、統合先の浄水場Cの費用は統合の年度に関わらずほぼ一定額であったが、統合元となる浄水場DもしくはEの費用は、統合年度によって大きく変化した。膜ろ過施設の更新費とポンプ所の新設・更新費については、隣接する統合年度において大きく差が出る場合があった。これは、既述のように、耐用年数を終えて直ちに統合する場合と、耐用年数後に更新後1年間だけ使用してから統合する場合で、経費に大きく差が生ずるためと考えられる。ポンプアップに伴う動力費は、グラフ上で確認が難しいほど小さな値であり、最大で1%程度であった。これは、浄水場D及びEの配水区域における需要水量が最大でも100～150 m³/日であるため、相対的に小さな費用となったと考えられる。

これらの結果から、配水区域が相互に接続されている浄水場CとDE間で統合を行う場合、早い段階での更新によって費用が抑えられること、また、耐用年数を終えた

段階での更新によっても費用が抑えられることが分かった。

以上、浄水場Cの配水区域との間に接続する管路が存在する浄水場D及びEと、それが存在しない浄水場A及びBについて、それぞれ単独統合の可能性を検討した。その結果、接続する管路の有無が統合による費用削減に影響することがわかった。

b) 複合統合シナリオ

前項で検討した単独統合シナリオの結果、送水管路新設の必要がある浄水場A及びBは独立して存続させる一方、既に送水管路が接続されている浄水場D及びEについて、統合を行う利点があることが分かった。本項では、複数の浄水場を統合する場合の統合年度の影響について検討した。結果の一例として、浄水場Dを2047年に統合する場合の浄水場Eの統合年度の影響について図5に示した。これを見ると、単独統合シナリオの結果と同じく、早い年度における統合によって累積費用を抑制できることが分かった。また、隣接する統合年度間で累積費用に

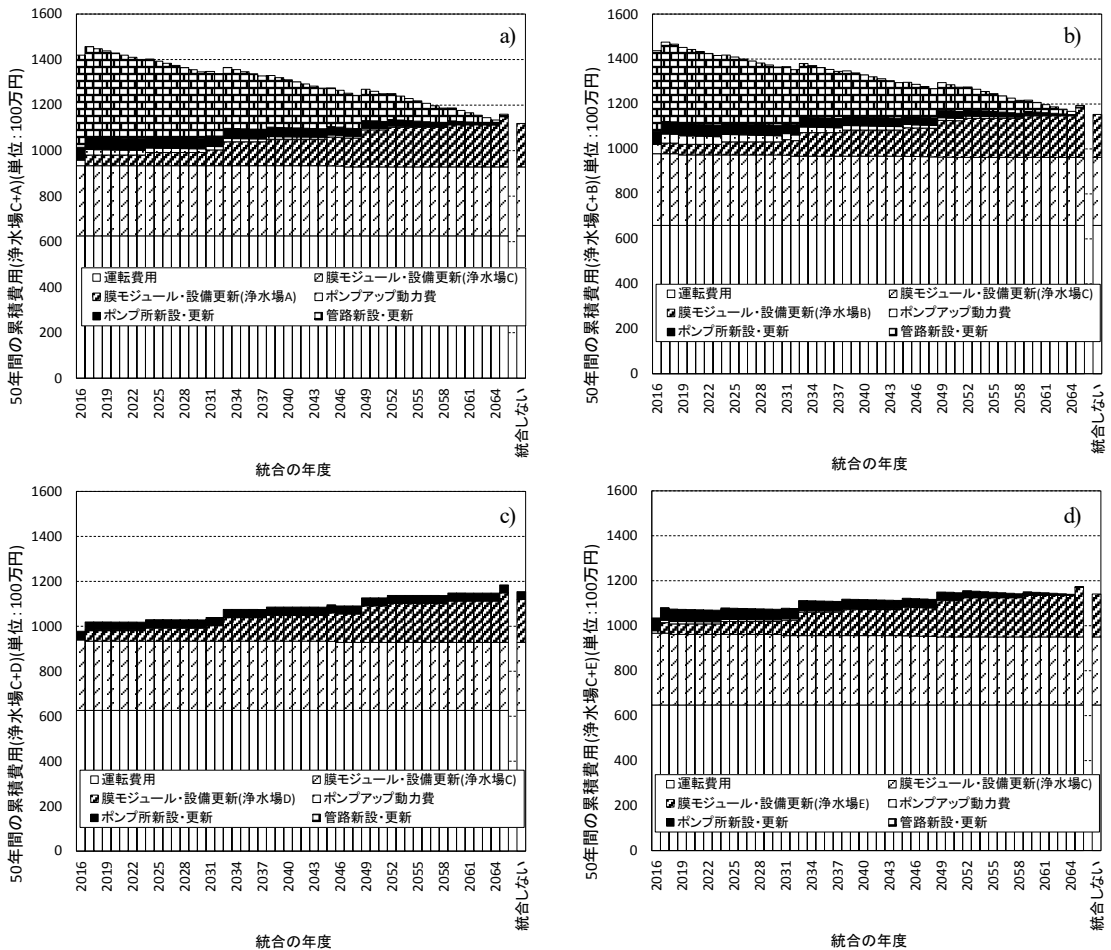


図4 50年間の累積費用に及ぼす統合年度の影響(単独統合パターンの場合)

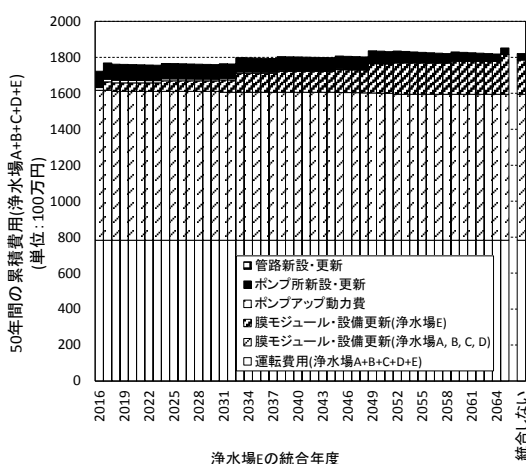


図5 複合統合における浄水場Eの統合年度と累積費用の関係(浄水場Dを2047年に統合する場合)

違いが見られる場合があった。このことから、耐用年数を迎えた時点での更新が望ましいことが分かった。また、浄水場Eを2016年に統合する場合と、今後50年間統合しない場合とを比較すると、約1億円の累積費用の削減が可能であることが分かった。なお、図5では、浄水場Eの統合年度のみを変化させているが、どちらも変化させた場合には浄水場DとEをどちらも2016年に統合する場合が費用最小となり、どちらも統合しない場合と比較すると、今後50年間でおよそ2.8億円を削減できることが分かった。

(3) 各設定値が結果に及ぼす影響

a) 膜モジュールの耐用年数

本研究では、図2に示したシステムに対して、表1の値

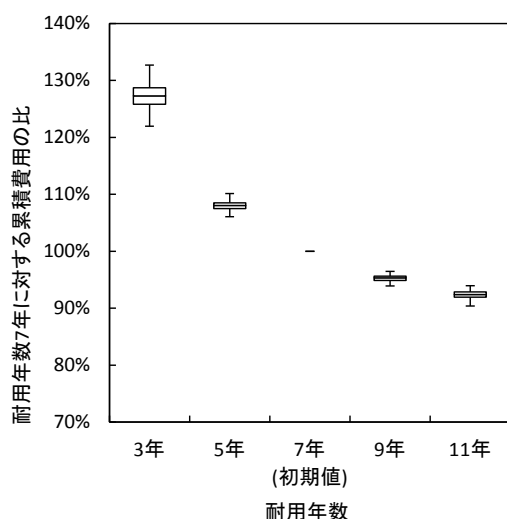


図6 膜の耐用年数が累積費用に及ぼす影響

を設定し、これに基づいた計算を行った。このうち特に膜モジュールの耐用年数とポンプ所の新設費用について、本節でその影響を検討した。まず、本項では、膜モジュールの耐用年数について検討した。膜を用いた浄水処理は、近年導入及び普及が始まった技術であり、実際の運転データも乏しく、その耐用年数については不確定要素が大きい。このため、上記の研究で設定した7年に加え、3年、5年、9年、11年の計5段階で変化させ、50年間の累積費用への影響を調べた。

解析対象のシステムは、複合統合シナリオにおける浄水場C、D、Eまでの3浄水場の50年間の累積費用とした。複合統合シナリオでは、浄水場D及びEの統合年度の組み合わせによって $51 \times 51 = 2601$ 通りの結果が得られる。ある統合年度の組み合わせについて耐用年数7年で計算した場合を基準として、その他の耐用年数で計算した場合の耐用年数7年に対する比率を箱ひげ図として図6に示した。

これを見ると、耐用年数が3年の場合には、50年間の3浄水場(C、D、E)の累積費用がおおよそ30%程度費用が増加することが示された。これは、金額としては2.5億円から4.5億円程度である。逆に、耐用年数が9年、11年と延びる場合には最大で約10%費用を削減できることが分かった。11年となった場合の削減額は0.7億円から1.2億円の範囲であった。前節における複合統合シナリオの結果では、浄水場D及びEを浄水場Cへ統合することで、50年間の累積費用として最大で2.8億円を削減できることが分かっている。一方で、膜モジュールの耐用年数を変化させた場合、累積費用の減少は、最大で1.2億円程度となり、浄水場統合による最大削減額の半分程度をも占めることが分かった。従って、耐用年数を長くする運転手

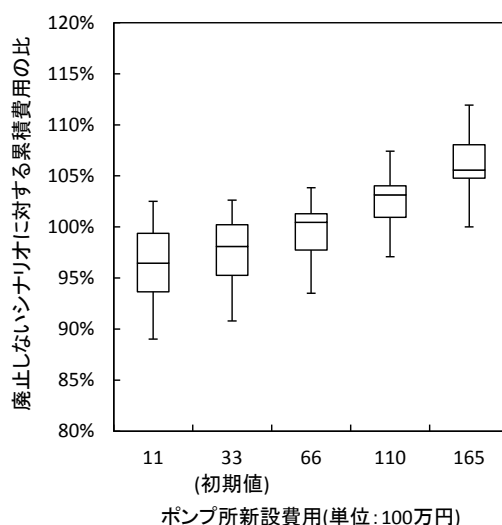


図7 ポンプ所新設費用の累積費用への影響

法の開発が実際の累積費用の削減には重要であると考えられる。なお、耐用年数を変化させたことによる統合前後の費用の増加あるいは減少への影響は見られなかった。

b) ポンプ所新設費用

本項では、ポンプ所新設費用について同様に影響を検討した。小規模浄水場が位置する山間部では、土地取得や施工の難易度によって実際の新設費用が大きく増減すると考えられるため、10倍ほどの幅を持たせて設定した。

解析対象とするシステムは、前項と同じく複合統合シナリオにおける浄水場C、D、Eまでの3浄水場の累積費用とした。ここから得られる2601通りの結果について、浄水場Eのある年度において統合する場合の費用を、統合しない場合の費用で除して算出した比率を、箱ひげ図として図7に示した。

図7の通り、ポンプ所新設費用が初期値の3300万円、あるいは1100万円の場合は、結果の多くは100%より小さい部分に分布した。すなわち、多くの統合年度の組み合わせにおいて費用を削減することができ、統合が経済的に有利であるという結果となった。一方、ポンプ所新設費用が6600万円となった場合には、その比率は100%の上下どちらにも分布した。すなわち、統合年度によって、統合の優位性が左右される結果となりうることが分かった。なお、図5に示すように、50年間の累積費用は一般的には統合年度が遅くなるにつれて大きくなる。このことから、ポンプ所新設費用が増大する場合には、特に早い年度における統合によって統合の効果を生み出す必要があることが分かった。ポンプ所新設費用が1億1000万円、あるいは1億6500万円まで増大する場合には、さらに比率が100%を超える場合が多くなった。すなわち、どの統合年度の組み合わせにおいても、統合による費用削減がなされない場合が多くなることが分かった。

以上のことから、ポンプ所新設費用の多寡によって、浄水場Eを統合する有効性の判断へ影響することが分かった。

4. まとめ

本研究では、ある流域に存在する5つの浄水場を模擬したシステムを対象とし、それらの浄水場の統合を含めた将来計画について検討した結果、以下の知見を得た。

第一に、5箇所の浄水場のうち2箇所を削減して統合することで、今後50年間の累積として2.8億円を削減できることが分かった。内訳として、統合される浄水場の膜施設の更新費用の削減が寄与することが分かった。

第二に、ある浄水場の統廃合による費用削減効果考えた場合、統廃合後に必要となる送水管路が既に整備されているか否かが、その削減効果に大きく影響すること

が分かった。

第三に、一般に、当該施設の設備が耐用年数を迎えるタイミングで統合を行うことが、費用削減効果が大きいことが分かった。

第四に、膜モジュールの耐用年数を7年から11年に延長させることで、50年間の累積費用として1.2億円を削減できることから、膜の耐用年数が総費用に大きく影響することが示された。

第五に、統廃合の際に必要なポンプ所などの新設費用によって、統合による費用削減効果が変わり、ポンプ所新設費用がかかる場合は、できるだけ早い時期に統合することで全体の費用を抑制することができることが明らかとなった。

今後は、本研究で設定した値の精緻化(例えば浄水費用)によって、より実情に即した解析を行うことが挙げられる。国内の他地域などにおいて同様の検討を行うことで結果の普遍性について検証を行うことが期待される。

謝辞：本研究を遂行する上で協力をいただいたモデル地区の水道事業体に謝意を表する。

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局：新水道ビジョン，2013。
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002yndb-att/2r9852000002yngq.pdf> (2016年3月5日閲覧)
- 2) 厚生労働省健康局：水道の基本統計，2013。
<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/database/kihon/> (2016年3月5日閲覧)
- 3) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来人口推計，2012
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/sh2401to.html>
- 4) 国土交通省：水の利用状況，2014。
http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/c_actual/actual03.html
- 5) 厚生労働省健康局：水道基盤強化方策検討会中間とりまとめ，2016。
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/other-kenkou.html?tid=291236> (2016年3月5日閲覧)
- 6) 森正幸，稲員とよの，小泉明，渡辺晴彦，沼田篤男：水道管路の超長期的な更新投資の経済性評価に関する研究，水道協会雑誌，79，pp.2-12，2010。
- 7) 有吉寛記，小泉明，稲員とよの，國實蒼治：漏水修繕データを活用した水道管路のリスク評価に関する研究，水道協会雑誌，80，pp.9-16，2011。
- 8) 荒井康裕，小泉明，稲員とよの，渡辺晴彦，國實蒼治，林光夫：送配水管路事故の実態調査アンケートデータによる故障率曲線の推定方法，環境システム研究論文集，36，pp.125-130，2008。
- 9) 森正幸，稲員とよの，小泉明，渡辺晴彦，荒井康裕，沼田篤男：水道管路更新事業の合理的計画方法に関する研究，水道協会雑誌，80，pp.2-10，2011。
- 10) 荒井康裕，阿部翔，稲員とよの，小泉明，Bambang

- Bakri, 与田博恭：ライフサイクルコストを考慮した発展途上国における管路整備計画の最適化, 土木学会論文集 G, 70, pp.II_297-II_307, 2014.
- 11) 荒井康裕, 小泉明, 堀川博哉, 恩田雄太郎, Bambang Bakri：水道管路インフラの LCA 的評価に関する研究, 土木学会論文集 G, 69, pp.II_351-II_358, 2013.
 - 12) 滝沢智, 牛窪俊之, 森田裕之, 石井和男, 近藤秀一：ダクタイル鋳鉄管のモルタルライニングの中性化と機能劣化に関する研究, 水道協会雑誌, 80, pp.2-10, 2011.
 - 13) 鎌田敏郎, 内田慎哉, 小島賢一郎, 栗田亨, 藤原正弘：衝撃弾性波法に基づくダクタイル鋳鉄管の腐食レベル評価手法に関する基礎研究, 水道協会雑誌, 81, pp.1-12, 2012.
 - 14) 有吉寛記, 小泉明, 稲員とよの, 國實誉治：漏水修繕データを活用した水道管路のリスク評価に関する研究, 水道協会雑誌, 80, pp.9-16, 2011.
 - 15) 松林良典, 福原勝, 渡部譲, 天野重己, 松井佳彦：水道事業体の広域化によるコスト縮減額の推定 -北海道石狩流域圏を題材として-, 土木学会論文集 G, 70, pp.III-119-III-130, 2014.
 - 16) 太田市・館林市・みどり市・板倉町・明和町・千代田町・大泉町・邑楽町：群馬東部水道広域化基本構想, 2013. <http://www.city.ota.gunma.jp/005gyosei/0160-001suidou/01news/2013-0717-1459-183kouiki.html> (2016 年 3 月 5 日閲覧)
 - 17) 香川県水道広域化専門委員会：香川県水道広域化専門委員会報告書, 2011. http://www.pref.kagawa.lg.jp/content/etc/subsite/mizu/kagawa_suido/kouikika.shtml (2016 年 3 月 5 日閲覧)
 - 18) 秩父広域市町村圏組合：秩父地域水道事業広域化基本計画, 2015. <http://www.c-kouiki.jp/> (2016 年 3 月 5 日閲覧)
 - 19) 細井由彦, Dagnachew Aklog, 増田貴則, 中村真理子：分散して存在する小規模な水道施設の維持管理の効率化に関する研究, 土木学会論文集, VII-37, pp.125-135, 2005.
 - 20) 細井由彦, 増田貴則, Dagnachew Aklog, 小林啓太：点検頻度の異なる水道施設が分散して存在する事業体における維持管理作業の効率化, 土木学会論文集 G, 62, pp.369-376, 2006.
 - 21) 総務省：地方公営企業法施行規則, 2015. <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S27/S27F03101000073.html>. (2016 年 3 月 5 日閲覧)
 - 22) 東京都：東京都入札情報サービス, 契約番号 26-00380 <https://www.e-procurement.metro.tokyo.jp/indexPbi.jsp> (2016 年 3 月 5 日閲覧)
 - 23) 京都府：京都府入札情報公開システム, 舞鶴水 25 工事第 22 号 https://www.ebid.pref.kyoto.jp/PPI_P/
 - 24) 厚生労働省健康局：水道事業の費用対効果分析マニュアル 一第 IV 算定事例一, 2011. http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/jouhou/other/dl/o7_0707_m3.pdf. (2016 年 3 月 5 日閲覧)

(2016. 8. 26 受付)

Planning of Small Scale Membrane Water Treatment Plant in a Depopulating Society

Hiroshi SAKAI, Satoru FUJINO, Takashi HASHIMOTO and Satoshi TAKIZAWA

Water utilities in Japan are forced to renew its infrastructure with less water revenue in a depopulating society. This problem would be distinct at small scale water treatment. This study developed a planning tool for a system, which is composed of five water treatment facilities. Cost for water purification, renewal cost for membrane facilities, and renewal cost for pumping station, were calculated for 50 years from current. Integration of five facilities were investigated in a multiple scenario. The investigation showed integration at a designated timing would reduce 280 million JPY as a summation of 50 years. Integration was effective when those facilities are already connected by water distribution pipes. It was also recommended to integrate after the durable years of equipments has passed.