

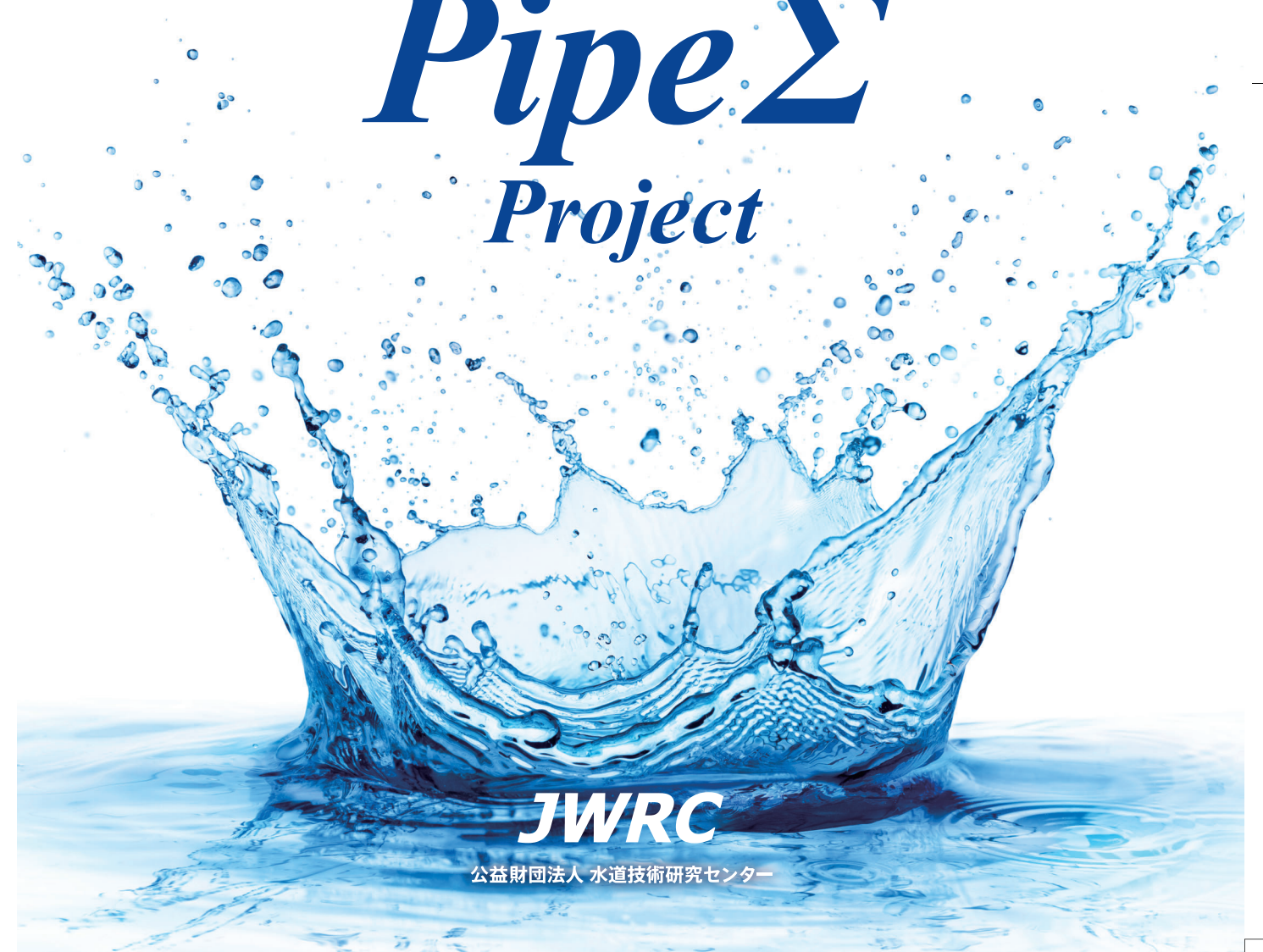
JWRC
水道技術研究センター

私たちは、水の未来を考えています。
Thinking Water, Designing for the Future

〒112-0004 東京都文京区後楽2-3-28 K.I.S飯田橋ビル 7F
TEL:03-5805-0263 FAX:03-5805-0265 URL://www.jwrc-net.or.jp/



Pipe Σ Project



JWRC
公益財団法人 水道技術研究センター

「人口減少社会における 水道管路システムの再構築及び 管理向上策に関する研究」

PipeΣ Project

我が国の水道事業は、人口減少に伴う水需要の減少や給水収益の悪化、高度経済成長期に整備された多くの管路や施設の老朽化及び水道に携わる職員数の減少といった課題をかかえています。

給水人口の減少や節水機器の普及により、水需要が減少していく中で、水道施設の再構築を行うにあたり、更新に伴う統廃合による施設運用の効率化や施設能力の適正化を行う必要があり、基幹管路及び配水支管の再構築の手法を確立することが必要です。一方、水需要の減少により、現状の管路のままでは、滞留水の発生に伴う残留塩素濃度の低下及び夾雑物の堆積による濁水の発生、人口偏在による水圧の不均衡が生じるため、適切な形態や口径の管網に再構築する必要がありますが、予算等の制約により、長期間にわたり既存管路を使用しながら、更新に合わせて再構築することとなり、より効率的な管網管理手法が求められています。そのため、公益財団法人水道技術研究センターでは、平成29年度～平成31年度末までの3か年にわたり、このような課題を解決すべく、産官学による共同研究として「人口減少社会における水道管路システムの再構築及び管理向上策に関する研究」(PipeΣ Project)を実施しました。

「水道界全員の英知により、管路再構築と維持管理手法の確立を成し遂げる」という想いから総和を意味する「シグマ」を引用し、英知の総和を図ることで実りあるプロジェクト成果を収める願いを込めて、「PipeΣ(パイプシグマ)」としました。

プロジェクトの研究内容

施設統廃合に伴う基幹管路の再構築に関する研究

基幹管路小委員会

水道事業が施設統廃合によって得られる効果等の基礎調査を水道事業体に対して行い、その結果から施設統廃合に伴う基幹管路の再構築のあり方、その計画手法について研究しました。さらに、施設統廃合に伴う基幹管路の再構築にあたって直面する技術課題と解決策についても調査しました。水道事業体が、これらの研究成果を容易に活用できるように施設統廃合の計画業務を支援するツールを作成しました。

水需要変動に対応した管網の再構築に関する研究

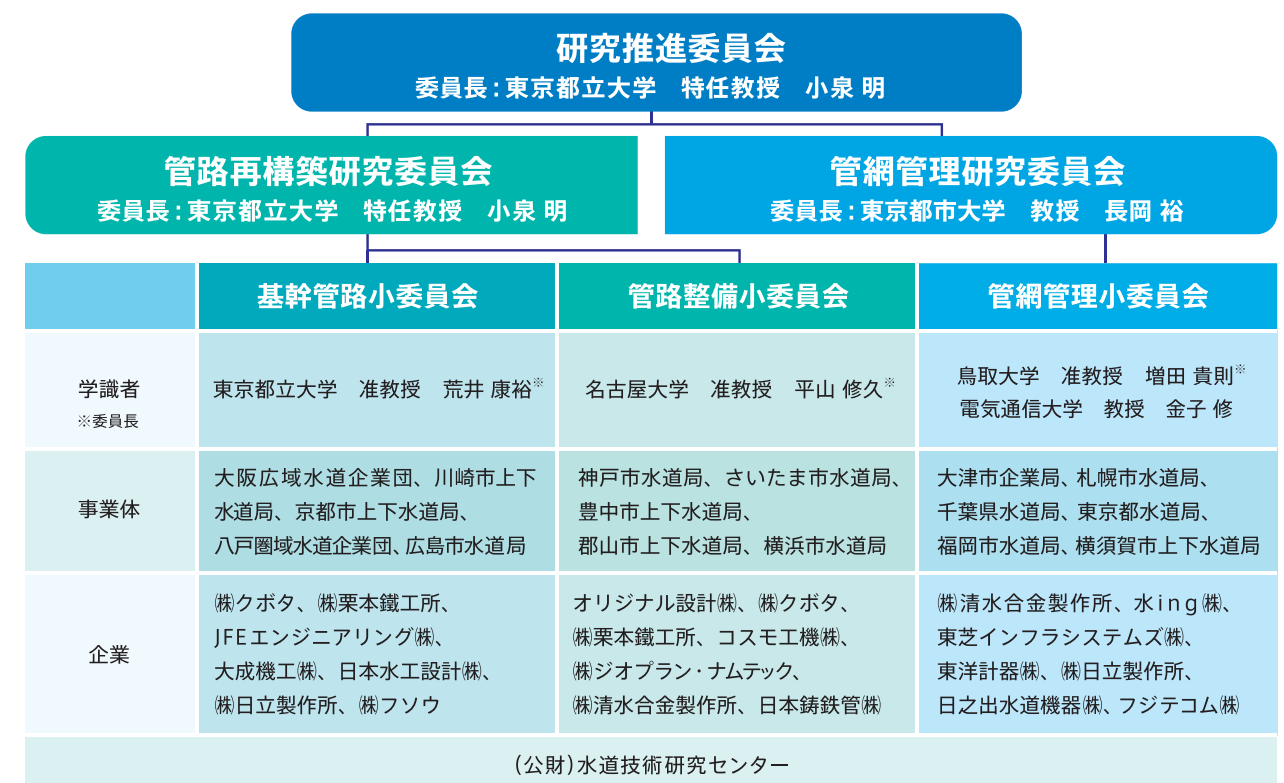
管路整備小委員会

水需要の減少により生じる滞留水の発生に伴う残留塩素濃度の低下、夾雑物の堆積による濁水の発生、また、人口偏在により生じる水圧の不均衡などを踏まえ、将来の水需要や変動により求められる適正な口径に対して、現状の管網を再構築する手法について検討しました。さらに、人口減少と原単位の変化に加え、地域的な人口偏在や消火用水量の影響も考慮した引出水量の設定方法及び配水支管における余裕度を検討しました。再構築の計画期間や将来の人口推計などの計算条件から水需要量を推定し、口径を検討する手法や、有効水頭（水圧）、残留塩素濃度、流速の評価指標や事業費などから、再構築プロセスの評価方法についてまとめました。

ICTを活用した効率的かつ効果的な管網管理に関する研究

管網管理小委員会

水道利用者である需要者の人口減少、さらには供給側となる水道事業体職員数の減少に対応した管網管理を実現するため、進展が著しい情報通信技術(以下、ICTという。)を活用した、効率的かつ効果的な管網管理に向けた研究を実施しました。収集して得られるデータから管網管理における改善点を分析し、その解決手法の検討を実施しました。また、求められている技術の調査を行い、情報媒体から目的に合致した企業の技術情報などを集約し、データベース化するとともに検索可能なツールを作成しました。



施設統廃合に伴う基幹管路の再構築に関する研究

研究の概要

水需要の減少への対応と水道経営の健全化の観点での広域連携等を背景とした導・浄・送・配水施設の統廃合に伴う基幹管路の再構築のあり方を研究しました。

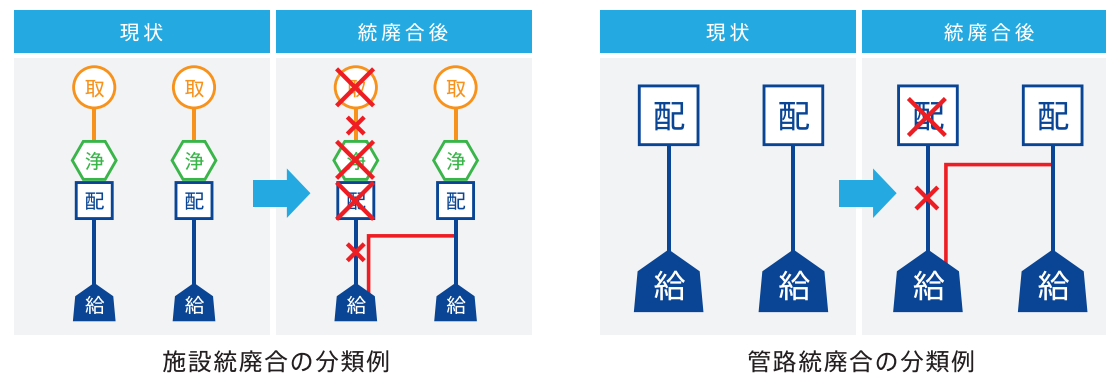
水需要が減少する中で、次期更新や地震及び事故等の不確実性事象に備えた再構築計画を策定するにあたり、施設余裕度及び計画水量の設定方法並びに基幹管路の再構築の実施に向けた技術課題の解決方法を研究しました。

1. 施設統廃合の実事例情報の収集

施設統廃合の技術課題及びその計画に関する考え方等の情報を得るため全国の水道事業者における事例調査を行い、統廃合における不確実性事象に対する考え方や計画手順に関する情報をまとめました。

2. 実事例に基づく施設統廃合の類型化

施設統廃合において廃止した施設及び新たに整備した施設と管路に関する情報を収集し整理することで、再整備の形態を類型化しました。



3. 基幹管路再構築の計画手法

基幹管路再構築の計画手法は、①検討対象の選定、②統廃合の可能性評価、③基幹管路の再構築計画の3つで構成するフローとしました。

① 検討対象の選定

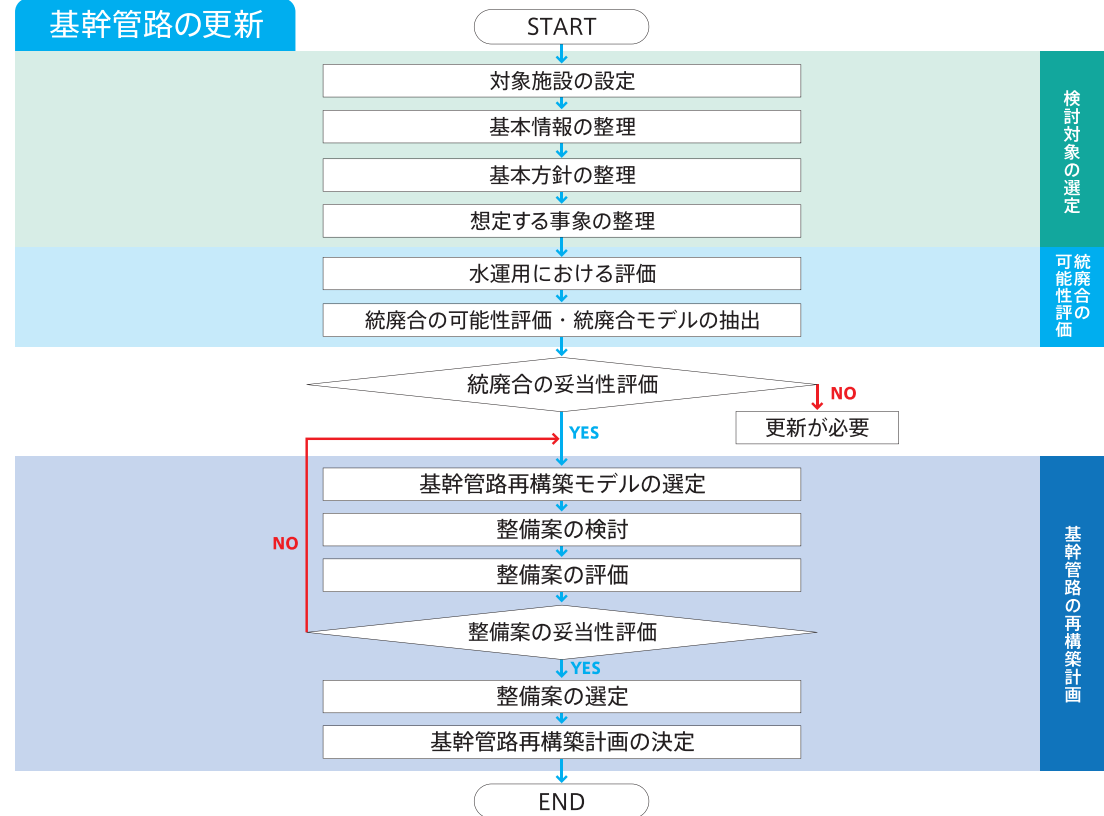
施設統廃合の目的や上位計画との整合性等を踏まえて、対象となる施設や整備期間を設定するとともに、不確実性事象による施設能力への影響について精査します。

② 統廃合の可能性評価

統廃合後も平常時及び非常時に十分な施設能力があるか確認します。廃止予定施設を含めた既存施設及び管路の現況能力を把握した上で、統廃合による不確実性事象への対応可能性を評価し、必要に応じて系統連絡等の対策を検討します。なお、統廃合の可能性は、統廃合の目的に応じて廃止したい施設と、水運用による評価において廃止可能性と判定した施設が整合すれば統廃合が可能であると判断します。

③ 基幹管路の再構築計画

施設統廃合により残る施設への依存度が高まり管路にも廃止施設の機能を補完する役割が発生することから、基幹管路の再構築モデルを参考に非常時にも対応可能な基幹管路の再構築計画を策定します。



4. 技術課題の分析によるデータベース構築

事例調査で得られた情報から統廃合にかかわる技術課題に関する分析を行いました。技術課題は、テーマ別に7項目に分類しました。これらの技術課題は、技術課題情報シートへまとめデータベースを作成しました。

技術課題の分類項目

- ① 災害対策に関する問題
- ② 施設老朽化に関する問題
- ③ 計画に関する問題
- ④ 工事に関する問題
- ⑤ 施設管理に関する問題
- ⑥ 水質に関する問題
- ⑦ 水量・水圧に関する問題

技術課題情報シート

シート名		解決策36 不断水管内カメラ調査									
課題分類	大分類	施設管理に関する問題									
	小分類	調査									
解決策分類	調査・監視技術										
タイミング	計画	工事	維持管理	その他							
対策種別	製品	工法	事例	その他							
課題	震災被害で、大口幹線での老朽管継手部抜け出しによる漏水事故があった。漏水補修後、継手部の抜け出しのあった幹線含め、継手部の状況を断水せずに調査することが課題となった。										
解決策	<p>上記課題に対して、日本水道協会が発刊する「水道維持管理指針 2016¹⁾」では、不断水管内カメラ調査について、管路内における夾雑物の有無、種類、堆積状況、挙動を調査する方法として紹介している。</p> <p>また、厚生労働省水道課は、アセットマネジメントの推進や水道法改正の重要項目として、適切な資産管理の推進を掲げており、水道施設台帳の整備を取り上げている。台帳整備にあたり、管路調査の要素として、管路区分、設置年度、口径、材質、継手形式毎の管路延長がある。既設管路に対してこれらの情報が明確でない場合、特に管路の継手位置や管路延長情報を断水することなく把握するのに不断水管内調査カメラが利用される。</p> <p>以下に不断水管内調査カメラの例を示す。 (全国水道管内カメラ調査協会認定品²⁾)</p> <table border="1"> <tr> <th>ルミナス、アットミル</th> <th>Pipescope-500</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 小口径用（対象物の有無により変わる） ● 調査方向：上流側、下流側ともに調査可能 ● 不断水工法（解決策11）と組み合わせることにより、任意の箇所から調査が可能 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 中・大口径用 ● 調査方向：下流側 ● 不断水工法（解決策11）と組み合わせることにより、任意の箇所から調査が可能 </td> </tr> </table>					ルミナス、アットミル	Pipescope-500			<ul style="list-style-type: none"> ● 小口径用（対象物の有無により変わる） ● 調査方向：上流側、下流側ともに調査可能 ● 不断水工法（解決策11）と組み合わせることにより、任意の箇所から調査が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 中・大口径用 ● 調査方向：下流側 ● 不断水工法（解決策11）と組み合わせることにより、任意の箇所から調査が可能
ルミナス、アットミル	Pipescope-500										
<ul style="list-style-type: none"> ● 小口径用（対象物の有無により変わる） ● 調査方向：上流側、下流側ともに調査可能 ● 不断水工法（解決策11）と組み合わせることにより、任意の箇所から調査が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 中・大口径用 ● 調査方向：下流側 ● 不断水工法（解決策11）と組み合わせることにより、任意の箇所から調査が可能 										
参考情報	<p>1) 水道維持管理指針 2016、日本水道協会</p> <p>2) 全国水道管内カメラ調査協会 http://www.jweca.org</p>										

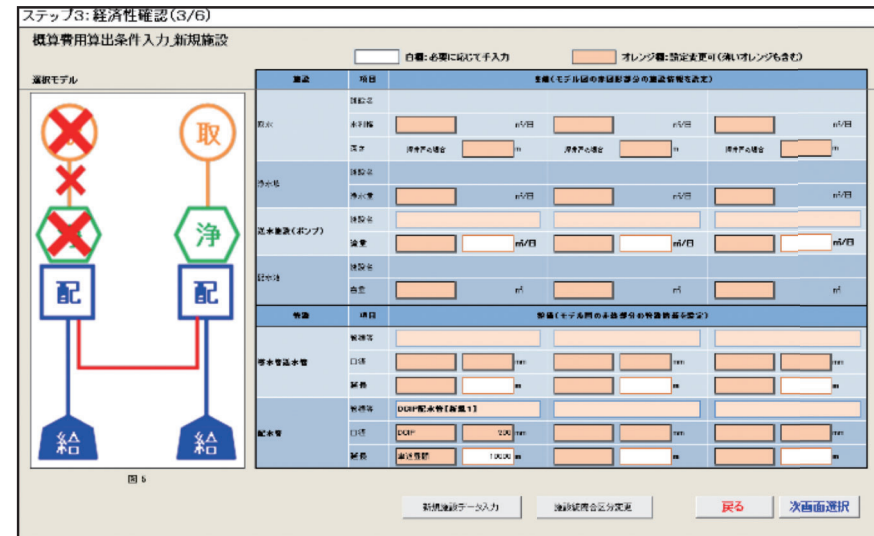
5. 施設統廃合に伴う基幹管路の再構築促進ツールの構築

① 計画簡易支援ツール

施設統廃合を検討する水道事業者の計画業務を支援します。施設の基本データ及び考慮すべき不確実性事象等の条件設定を行うと、統廃合の可否判定及び統廃合にかかる概算費用を算出します。

② 事例・技術情報検索ツール

水道事業者が、施設・管路整備計画を行うにあたり、他事業者において実施された統廃合に関する事例や技術課題の解決策などの情報を検索できる「事例・技術情報検索ツール」を構築しました。



計画簡易支援ツール(画面例)

■出力リスト(検索方法①)

No.	大分類	小分類	課題概要	解決策	選択
1	施設管理に関する問題	維持管理	施設改修工事において、施工業者がバックホウにより掘削中、口径φ150mmの配水管を破損し漏水が発生した。漏水の被害が大きいことから、漏水しないよう更新することが課題となった。	解決策21	○
2	施設管理に関する問題	防食	金属製の外周部は、自然腐食と電流の侵入に起因する。このうち電流は、直達電流、誘起電流や電位差の発生によるものであり、事故の原因となる。事故防止のための対策には防食処理が必要であることから、電流が懸念されたため、これに対する防食対策が課題となった。	解決策22	○
3	施設管理に関する問題	調査	調査費増大: 配水管が埋設されており、施設稼働40年を経過することから、上記の漏水事故が頻発している。また、漏水事故を防ぐために計画的に管体の調査調査を実施し、配水管の腐蝕や更新計画に反映させる。	解決策34	○
4	施設管理に関する問題	調査	以前から漏水調査を実施しているが、原因箇所が不明で、掘削しても地上に現れず、地下漏水が増加しているケースがある。そこで、従来の非破壊調査とは別に、簡便な漏水調査などを利用した重点的な調査が課題となった。	解決策35	○
5	施設管理に関する問題	調査	管網が老朽化している水道管では、地下漏水が発生すると漏水発生箇所が特定し、調査が難しく、且つ調査費用も高くなる。そのため、漏水発生箇所を特定し、広範囲で調査可能な調査手法の導入が課題となった。	解決策36	○
6	施設管理に関する問題	調査	調査費増大: 大口径新設での材料管理が難しく、大口径の漏水事故があった。漏水種類、継手等の抽出のあった新設も含め、継手等の状況を把握せずに調査することが課題となった。	解決策38	●
7	施設管理に関する問題	調査	各種上記記載されている課題が以前には確認できなかった。施工位置を把握するために、埋設物の位置確認が課題となった。	解決策37	○

事例・技術情報検索ツール(画面例)

● 動作環境: マイクロソフトエクセルがインストールされたPC

6. 研究成果

◎ 統廃合可能な施設や基幹管路の再構築について計画策定のフローを提案しました。

- ◎ 統廃合事例における技術課題を整理し技術情報シートとして取りまとめました。
- ◎ 統廃合を計画する水道事業者の計画業務を支援する「施設統廃合に伴う基幹管路の再構築促進ツール」を構築しました。

水需要変動に対応した管網の再構築に関する研究

研究の概要

再構築の計画期間や将来の人口推計などの計算条件から水需要量を推定し、口径を検討する手法や、有効水頭(水圧)、残留塩素濃度、流速の評価指標や事業費などから、再構築プロセスの評価方法についてまとめました。

1. 消火用水量の事例調査

施設統廃合の技術課題及び計画等に関する情報を得るため水道事業者へ事例情報の収集・調査を行いました。収集した事例から統廃合における不確実性事象に対する考え方や計画手順に関する情報を収集しました。

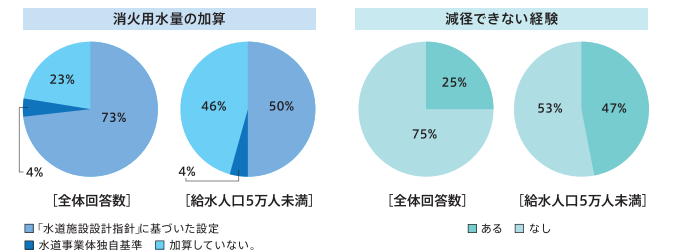
消火用水量に関する基準

消防水利に関する基準や消防用水の料金の取扱いについて、消防法、水道法、地方公営企業法、水道施設設計指針等を基に整理しました。

分類	回答事業者数	回収率(%)	構成率(%)
30万人以上	47	73.4	37.9
5万人以上30万人未満	49	83.1	39.5
5万人未満	28	40.6	22.6
合計	124	61.4	100.0

アンケート調査結果

水道技術研究センター会員を中心に、計202の水道事業者を対象に実施し、124の水道事業者から回答がありました。ダウンサイジングを検討したが、消火用水量を加えて管網解析を実施した結果、一部管路で問題が生じ同口径で更新する計画になった事例や、呼び径100の更新を行う際に増径を依頼され呼び径150で更新した事例など、ダウンサイジングできなかった事例などが調査により明らかになりました。



消火栓に関する費用分担

水道事業者の負担割合

費用項目	項目詳細	回答数				費用割合		
		0%	1~49%	50~99%	100%	平均(負担率)		
消火栓設置に伴う費用	管路の新設工事に伴う場合	材料費	消火栓	101	0	0	4	4%
			弁類	95	0	0	10	10%
			T字管	81	0	0	24	23%
		設置工事費	蓋・弁室等	95	0	0	10	10%
			管工事	85	2	0	18	17%
			土工事	60	0	0	45	43%
			管路延伸費	52	0	0	7	12%
	管路の更新工事に伴う場合	材料費	消火栓	92	1	1	12	12%
			弁類	83	1	1	21	21%
			T字管	71	0	1	34	33%
		設置工事費	蓋・弁室等	73	1	1	21	23%
			管工事	61	2	1	32	34%
			土工事	46	0	1	59	56%
			管路増径費	51	0	1	16	25%
維持管理に伴う費用	維持管理費(保守点検等の人件費)	84	1	1	18	19%		
	軽微な修繕費	94	1	0	10	10%		
水道使用量	火災時に使用する水道使用料金	30	0	0	75	71%		
	点検、訓練時の水道使用料金	33	0	0	70	68%		

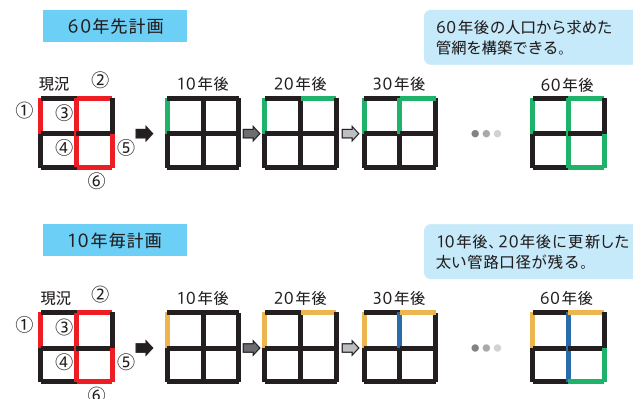
2. ケーススタディによる検証

目標管網の設定方法や評価指標、再構築のプロセスの考え方について、以下の4つのシミュレーションを実施し、結果の優劣などに関する検証を行いました。

- ① 同口径での管網の再構築の検証
- ② 消火用水量を考慮しない管網の再構築計画
- ③ 消火用水量を考慮する管網の再構築計画
- ④ 局所的な人口偏在を考慮した時の将来管網の検証

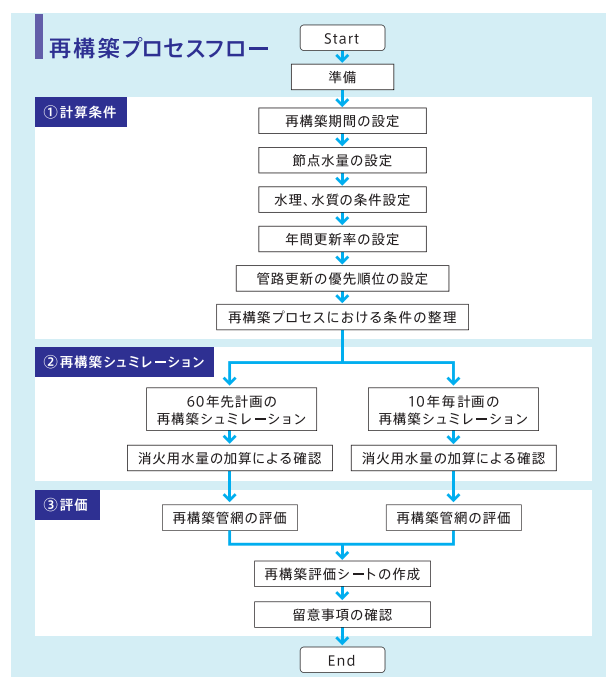
3. 再構築プロセスと整備ステップ

再構築の計画期間は、長期計画での視点となる60年、再構築のプロセスは60年後の管路口径を設定しそれを段階的に更新(60年先計画)、10年毎に目標を設定して更新(10年毎計画)するものと設定し、整備ステップは10年毎に整備するものとししました。



4. 再構築プロセスの提示

管網の再構築プロセスについては、ケーススタディをもとに再構築の計画期間や将来の人口推計などの計算条件から水需要量を推定し、有効水頭、残留塩素濃度及び流速の評価指標、口径を検討する手法、事業費などから、再構築プロセスの評価方法を示しました。プロセスの提示では、実施するための準備、計算条件となる再構築期間や配水量の設定方法、再構築シミュレーションの例、結果の評価とチェックシートの項目で構築され、フローチャートや例示により整理しました。



再構築評価シート例

再構築プロセス	更新費用 (Ex)		変化耐性 (Re)		サービス水準 (S)																		更新効果 (Ef)				
	事業費 (百万円) (60年後)	維持管理費 (千円/年)	不確実性許容度 (60年後)	許容範囲	許容量	水圧指標満足度 (%)						水質(残留塩素濃度) 指標満足度 (%)						流速指標満足度 (%)						ダウンサイジング率 (%) (60年後)	更新促進率 (伸び率) (%) (60年後)		
						現況	10	20	30	40	50	60	現況	10	20	30	40	50	60	現況	10	20	30			40	50
60年先計画	1,423	3,482	1.0~1.2	0.2	99.5	99.5	98.2	98.9	99.5	100.0	100.0	99.5	99.5	99.5	99.5	99.3	99.3	37.4	38.3	36.7	36.4	37.0	39.0	37.0	43.3	31.5	0.1
10年毎計画	1,427	3,482	1.0~1.5	0.5	99.5	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.5	99.5	99.5	99.5	99.3	99.3	37.4	37.7	41.3	43.4	41.8	42.4	40.9	41.1	29.9	0.1

●更新費用を優先順位1位としたときの結果例

5. 研究成果

- ◎ アンケート調査などにより、水道事業者における管路再構築の考え方や課題、消火用水量に係る課題について整理しました。
- ◎ 計画期間を60年とした管網の再構築において、「60年先計画」「10年毎計画」の2つのプロセスで検討した結果、「60年先計画」がダウンサイジングが進み事業費も安価となることが明らかとなりました。
- ◎ ケーススタディをもとに、将来の水需要量を推定し口径を検討する手法や、有効水頭(水圧)、残留塩素濃度及び流速の評価指標や事業費などから、再構築プロセスの評価方法を示すことができました。

ICTを活用した効率的かつ効果的な管網管理に関する研究

研究の概要

水道利用者である需要者の人口減少、更には供給側となる水道事業者職員数の減少に対応したICTを活用した効率的かつ効果的な管網管理の実現に向けた研究を実施しました。

研究方針 1

1. 研究方針・方法

情報通信技術 (ICT) を用いて、水質・流量・水圧の三要素を基本とし、管網管理手法の改善を検討しました。水道事業者の配水系統の一部における、流量・水圧・水質と各戸使用量の毎分・毎時データを収集し、配管情報などの基礎データを組み合わせ、管網解析の精度向上を図り、適切な水質、水圧及び漏水把握を行う手法の検討を実施しました。

2. 研究成果

常時収集している監視システムのデータに加え、新たに SWM^{※1} で収集するデータ、管路に設置された消火栓の圧力データ、管末の残留塩素濃度データを活用し、これらの計測データを組み合わせて分析することで管網管理の業務改善が見込めました。

一例紹介

計測データを組み合わせた解析と模擬漏水から、漏水の予測(実証実験)について任意の配水区域における検証を実施しました。配水区域における需要量と SWM^{※1} の収集データから得られた戸別需要量を比較し、模擬漏水の有無でその違いを比較しました(図1のイメージを参照)。模擬漏水の時間帯には差が大きく見られ、漏水の可能性をデータ上から推定可能であると判断しました(図2のグラフを参照)。

図1 模擬漏水検討のための模式図

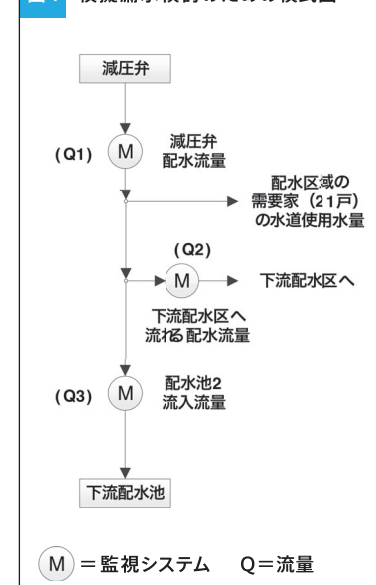
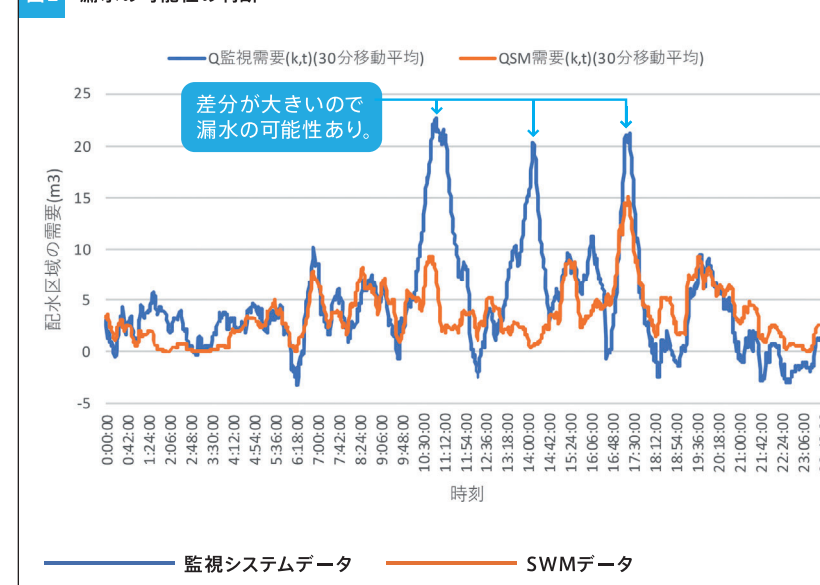


図2 漏水の可能性の判断



※1: 本研究では検針値等の水量データを分単位、もしくは時間単位で取得可能なメーターのことをいう。

研究方針 2

1. 研究方針・方法

管網管理手法の一助とするために、進展が著しい情報通信技術(ICT)を用いた様々な技術情報を、集約、整理しました。

求められている技術の調査を行い、情報媒体から目的に合致した企業の技術情報などを集約、その技術がどのような目的で管網管理に活用できるのか、また、使用することで得られる成果の想定などをシートの形で整理し、データベース化するとともに、検索可能なツールを作成しました。

2. 研究成果

調査した技術の導入に対して、期待される効果、導入における課題を挙げ、15種類のシートに集約しました。集約後、市況ではどのようなレベルに至っているのかを調べ、研究段階・実証段階・商用化の情報としてまとめました。

これらの情報を容易に閲覧できるように、「活用目的」と「期待される効果」の組合せから一件一葉シートを検索するツールを作成しました(図4)。検索ツールから一件一葉シートを検索するフローは下記に示しました(図3)。

また、検索ツールのほかに、次ページに示した一件一葉のシート(図5)を検索するイメージアイコンも作成しました(図6)。こちらからの検索も可能です。「検索ツール」、「イメージアイコン」は、JWRCのHPに公開しています。

URL: <http://www.jwrc-net.or.jp/chousa-kenkyuu/pipesigma/tool.html>

■ 新たな管網管理手法(ICT技術)の検索ツール

- 「活用目的」と「期待される効果」の組合せから一件一葉シートを検索するツールを用意

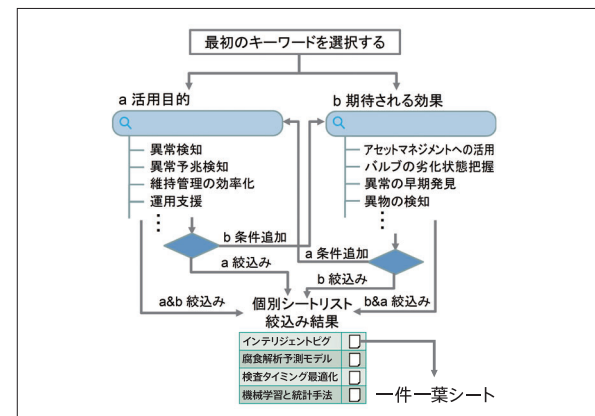


図3 検索ツール

Pipe Σ プロジェクト

ICTを活用した新しい管網管理手法の検討

検索したいキーワードを選択して、「PDFの表示」ボタンを押してください。

a 活用目的

キーワード選択欄

b 期待される効果

キーワード選択欄

PDFの表示 「PDFの表示」ボタン

PDF検索結果表示欄

12 変化に起因する異常の予兆を機械学習と統計手法を用いて解析・LCCの削減
 15 検査タイミング・回転の最適化
 02 「いつもと違う」を発見(多変数分析)
 08 異常検知(ボルトの圧縮力・引張力・振動)
 23 遠隔通知・訪問サービス・外出帰宅情報通知・防犯
 01 インテリジェントビグ
 07 弁・配管・タンク等の金属疲労の傷発見
 09 異常の予兆・最適運転・故障の未然防止
 14 災害の予兆検知(センサ・ドローン・画像)
 05 腐食解析予測モデル
 11 設計・施工・維持管理の効率化 BIM・CIM
 22 マニュアル作成 オンラインマニュアル
 06 ヒトの運転支援
 13 一元管理によるエネルギー平準化(ピークシフト)
 10 濃度推定(ソフトセンサー)

JWRC
Japan Water Research Center

図4 検索ツール

■ 新たな管網管理手法(ICT技術)の検索ツール

世の中の技術は日進月歩であり、様々な企業が新しい技術を適用した製品開発に取り組んでいます。水道の管網管理におけるニーズを起点として、活用可能な製品の調査を行い、それらの技術の活用方法を検討しました。

- イラストのイメージにより一件一葉シート(図5)へ導くためのアイコンを用意
- ICT技術を活用した管網管理業務の将来像をイメージしたイラストで表現(図6)

<p>水道分野における課題 (例)雇用人口減少/施設老朽化 課題に対するニーズ (例)人手を介さず自動で管内を検査・劣化診断 課題に対するICT技術への要望</p> <p>参考にする他分野ICT技術 (例)インテリジェントビグ</p> <p>新たな管網管理手法の検討 活用目的 情報の活用方法 入力情報 (例) 異常検知 画像解析 撮影映像 ICT技術の情報活用の流れ</p> <p>期待される効果 実現に向けた課題 (例) 減肉箇所の早期発見 耐震性評価 (例) 画像解析の場合、外面調査度合いの把握</p>	<p>水道分野における現在のICT技術動向調査 【現在商用化】 現在商用化されている技術を紹介</p> <p>【研究段階】 最新のICT技術の動向調査</p> <p>ICT技術の進化に求めるもの (例) 不排水で管外を自動航行して画像データを収集し画像解析をして異常検知、劣化診断を行う技術</p>
---	--

図5 一件一葉シート

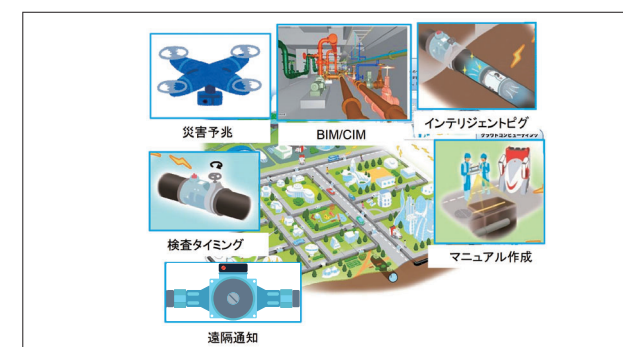


図6 イメージアイコン

HP掲載イメージ

02_「いつもと違う」を発見(多変数分析)

05_腐食解析予測モデル

06_ヒトの運転支援

09_異常の予兆・最適運転・故障の未然防止

10_濃度推定(ソフトセンサー)

12_変化に起因する異常の予兆を機械学習と統計手法を用いて解析・LCCの削減

14_災害の予兆検知(センサ・ドローン・画像)

15_検査タイミング・回転の最適化(スマートバルブ)

23_遠隔通知・訪問サービス・外出帰宅情報通知・防犯

08_異常検知(ボルトの圧縮力・引張力・振動)

13_一元管理によるエネルギー平準化(ピークシフト)

11_設計・施工・維持管理の効率化 BIM・CIM

22_マニュアル作成_オンラインマニュアル

01_インテリジェントビグ

07_弁・配管・タンク等の金属疲労の傷発見