

効果的な管路更新に向けた弁栓類維持管理に関する取組み

—産官学連携による断減水リスク低減活動の枠組み—

Measures for Maintenance of Valves for Effective Pipeline Upgrades

—Framework of activities to reduce risk of water supply reduction and interruption through industry-academia-government collaboration—

畑中哲夫*	岸本圭司*	沼田尚文*	藪田晃*	道浦吉貞*
Tetsuo Hatanaka	Keiji Kishimoto	Naofumi Numata	Akira Yabuta	Yoshisada Michiura
照井義秀**	藤原道明**	山本勝美**		
Yoshihide Terui	Michiaki Fujiwara	Katsumi Yamamoto		
町田宜則***	増田貴則****			
Yoshinori Machida	Takanori Masuda			

水道インフラは、平常時だけでなく災害時においても断減水を生じさせないために、弁栓類を含めた管路システム全体の耐災害性能の向上が必要不可欠である。そのためには日常管理データに裏付けられた的確な現状把握が重要であり、それらの情報に基づいた効率的・効果的な管路の更新および耐震化が必要である。とくに、弁栓類に関しては、多くの水道事業体において維持管理が十分に実施されていないため、被災時における弁栓類の破損や不具合の発生、また、それに起因する管路システムへの影響が懸念される。

そこで、産官学の研究体制の下、岩手県矢巾町において、GISデータの整理および分析、ならびに目視点検・動作確認などによる実態調査により、弁栓類の現状把握を実施した。さらに、弁栓類更新の総便益が最大となる最適組合せを遺伝的アルゴリズムにより検討し、効果的な重要度評価手法の確立を試みた。

It is essential to improve the anti-disaster performance of the whole pipeline system including valves in the water infrastructure. This will ensure that the water supply is neither interrupted nor reduced, not only under normal circumstances but also in case of a disaster. To achieve this improvement, it is critical to properly understand the current situation as substantiated by daily management data. In addition, efficient and effective pipeline upgrades and seismic retrofitting based on this data will be necessary. Specifically, there are concerns that valves may be damaged or malfunction in a disaster and that pipelines may be affected by such incidents since many water utilities are not adequately maintaining them.

Therefore, the current condition of the valves was assessed through the organization and analysis of GIS data and a fact-finding survey, including visual inspections and operational checks, in Yahaba, Iwate Prefecture. This was made possible through a research organization established through industry-academia-government cooperation. In addition, an optimal combination of upgrades that maximizes the total benefits of upgrading valves was examined using a genetic algorithm to help establish an effective method for evaluating the level of importance of upgrading valves.

1 はじめに

本研究は、岩手県矢巾町がH27年度内に策定を予定している水道施設耐震化計画および維持管理計画の基礎データ整備の一環として、産官学の研究体制の下、弁栓類の実態調査と効果的な重要度評価手法の検討を行うものである。

東日本大震災以降、水道インフラの重要性・必要性がより一層叫ばれる中、平常時だけでなく災害時においても断減水を生じさせないためには、弁栓類を含む管路システム全体の耐災害性能の向上が必要不可欠である。これを実現するためには、日常管理データに裏付けられた的確な現状

把握が重要であり、それらの情報に基づいた効率的・効果的な管路更新および耐震化が必要である。とくに、弁栓類に関しては、同震災での空気弁被害が多数報告されている一方で、矢巾町を含む多くの事業体におけるそれらの維持管理状況の実態を鑑みると、具体的な評価および管理手法の確立は急務であると考えられる。

本稿では、本取組みの紹介として、達成目標や研究内容、ならびに研究体制などの全体概要を示し、現時点における矢巾町の弁栓類の現状および課題、さらに遺伝的アルゴリズムを用いた重要度評価結果を示す。その上で、今後の展開について言及する。

*鉄管事業部 **矢巾町上下水道課 ***日本上下水道設計 ****鳥取大学

2 取組概要

2.1 達成目標

本取組みにおける達成目標を以下に示す。

- ・弁栓類（仕切弁、空気弁、消火栓）の実態把握
- ・実態調査結果のデータベース化
- ・弁栓類の重要度評価および弁栓類維持管理手法の構築

2.2 研究内容

図1に研究フローチャートを示す。図が示すように、研究内容は大きく分けて弁栓類の実態調査と既存データを活用した弁栓類重要度評価の2つのパートからなる。

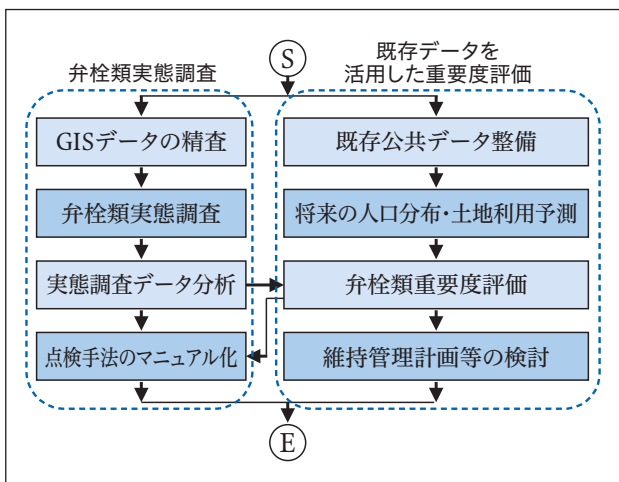


図1 研究フローチャート

1つ目の弁栓類実態調査は、弁栓類の維持管理に必要な各種点検項目のデータを同町が構築した地理情報システム（Geographic Information System、以下GISと示す）における各弁栓データの属性データとして整備を行うものである。そのためには弁栓類の定期点検および作動確認などの点検作業が必要であり、GISデータを精査しつつ現地調査により弁栓類の現状を把握し、その結果を属性データとして整備した。また、それら整備データにより点検手法やデータ分析手法の検討を実施し、それらのマニュアル化を目指す。

2つ目の既存データを活用した弁栓類重要度評価は、国税調査データや各種地盤関連データなど、公開されている公共データと矢巾町所有の都市計画図などのデータを組合わせて活用し、将来の人口分布や土地利用状況の予測を加味した弁栓類の重要度評価を試みた。その結果に基づき、効果的な維持管理手法を検討するとともに、維持管理計画および水道施設耐震化計画などの検討に活用した。

2.3 研究体制

図2に研究体制を示す。産官学の取組みとして図に示す4者により役割分担（表1）を取り決め、活動を実施する。

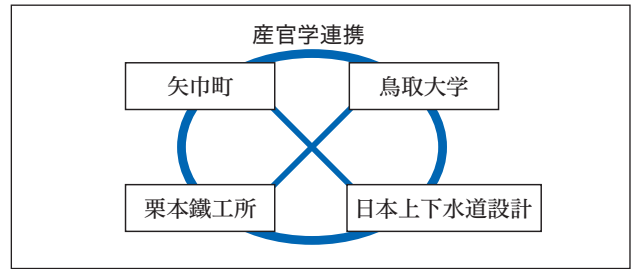


図2 研究体制

表1 役割分担

作業項目	矢巾町	鳥取大	栗本鐵工所	日本上下水道設計
GISデータ整備	○		○	
弁栓類実態調査	○		○	
実態調査結果分析			○	
既存公共データ整備	○		○	
将来の人口分布および土地利用		○		○
弁栓類重要度評価	○	○	○	○
維持管理手法および計画策定の検討	○		○	○

3 弁栓類の現状

3.1 現状データの整理

GISデータより整理した矢巾町における弁栓類の現状を表2に示す。総数はそれぞれ仕切弁3,309個、空気弁171個、消火栓438個である。この総数のうち、重要な6項目に該当する個数を重複カウントしている。また、口径φ150以上の管路を基幹管路とし、それらに設置されている同様の数は88個、820個、7個となり、基幹管路同様、重要な基幹付帯施設といえる。とくに、空気弁は全体の約半数が基幹管路に設置されている状況である（図3）。

表2 弁栓類の現状

項目	仕切弁	空気弁	消火栓
総数	3,309	171	438
供用年数40年以上個数	55	5	13
供用年数30年以上40年未満個数	354	12	48
基幹管路(φ150以上)上設置個数	820	88	7
重要施設ルート管路上設置個数	396	42	4
供用年数40年以上管路上設置個数	57	5	16
供用年数30年以上40年未満管路上設置個数	356	10	72

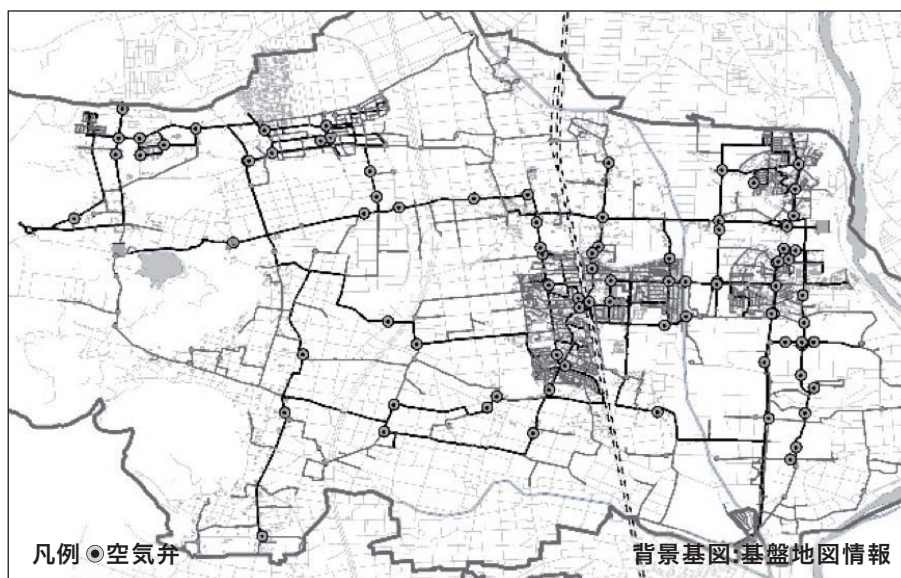


図3 基幹管路に設置されている空気弁位置図

一方、供用年数が40年を超過している弁栓類は比較的少なく1.7%～3.0%程度であり、供用年数が40年を超過している管路自体が少ないためにそれらに設置されている弁栓類も少ない状況である。ただし、供用年数が30年を超過し40年未満のものと、供用年数が同様の管路に設置されているものがこれからの10年間で1割を超え、それ以降も徐々に増加することが予想されている。

なお、弁栓類のGISデータにおいては、設置位置、口径、供用年数は整備されているものの、それ以外の属性、例えば、メーカー名、タイプおよび補修弁の有無などの情報は現時点で未整備である。また、作動状況や水没・埋没など、現地確認が必要なデータについても点検およびGISデータ整備は実施できていない状況にある。

3.2 課題

今回の弁栓類に関する現状データの整理などからの課題点として、①GISデータ整備が不十分である②今後10年以降、供用年数などが40年を超過するものが増加するため、計画的な維持管理および更新がますます必要となる③重要度を検討し、効果的かつ効率的な点検手法による現地確認が必要であるなどが挙げられる。

4 実態調査

4.1 調査範囲および調査対象

本取組みにおける弁栓類調査範囲(図4)、調査対象となる

弁栓類個数(表3)を示す。調査範囲は基幹管路に設置されており、かつ比較的古い年度に設置された弁栓類が存在するエリアおよび漏水が多いエリアを選定した。なお、今回の調査数(点検率)は矢巾町に設置されている弁栓類のうちの8%程度である。

表3 弁栓類調査個数

(個)

	仕切弁	空気弁	消火栓	エリア小計
エリアA	115	12	20	147
エリアB	87	4	12	103
エリアC	37	1	17	55
弁種別小計	239	17	49	305
点検率[%]	7.2	9.9	11.2	7.8
矢巾町全数	3,309	171	438	3,918

4.2 調査内容

具体的な調査項目として、仕切弁は外観目視点検を中心にバルブ機能の良否に直接係る初期開閉トルク計測や作動状況とともに、7箇所掘削・露出させて弁全体の外観調査および弁箱やボルトナットなどの腐食状況を確認した。空気弁は目視点検ならびに分解・清掃を含む精密点検レベルの調査を実施し、不具合が発見された場合は一部の部品を新しいものに交換した。消火栓は目視点検および作動(排水)状況を確認した。また、仕切弁や空気弁の調査時に常設型配水管漏水探知装置(以下、探知装置と示す。)約120個を一時的に設置し、弁間の漏水有無調査を併せて実施した。

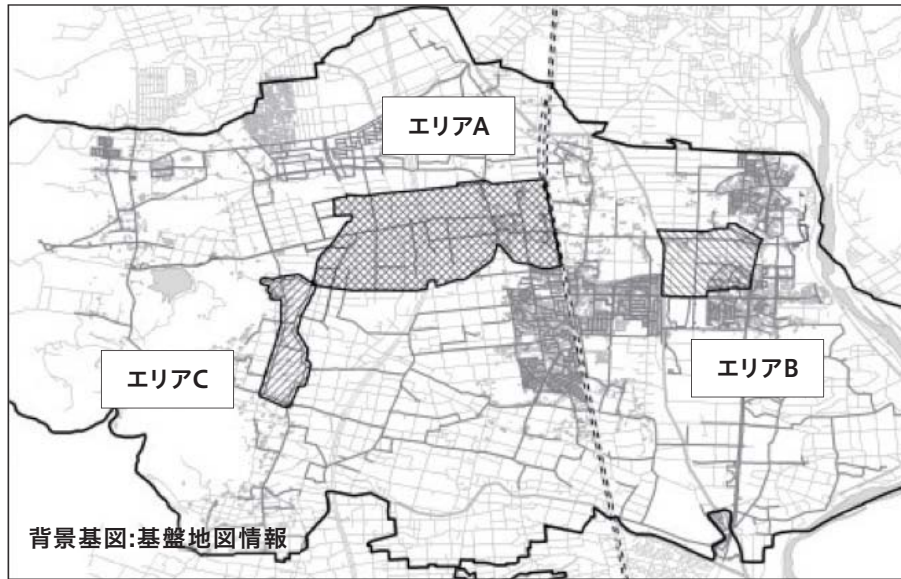


図4 弁栓類調査対象範囲

4.3 実態調査結果

1) 仕切弁

供用年数20年前後のものから機能劣化に直接係る初期開閉トルク値の増加が確認できる(図5および図6)。特に、埋設後40年近くになる鑄鉄仕切弁は最大開閉トルクを上回るものも確認された。また、間接的に機能阻害を引き起こしたり維持管理性を低下させたりするスピンドル部の埋水没は調査を実施した仕切弁の約36%であった。ここで、図5中の凡例の「不明」とは、仕切弁自体が確認できなかったものを意味し、および「未計測」とは排泥や配水系統境の仕切弁で全閉状態のものであり、トルク確認ができなかった、あ

るいは操作による影響を考慮して確認しなかったものを意味する。

一方、掘削・露出による調査では、供用年数39年の鑄鉄仕切弁で弁箱に最大5.4mm深さの腐食が、また、ボルト・ナットに腐食による欠損が確認された(図7)。これらより、機能保持のためには定期的な点検による維持管理と適切な更新が必要であると考えられる。なお、外面粉体塗装のソフトシール仕切弁は埋設後30年程度であっても外面は健全であった。

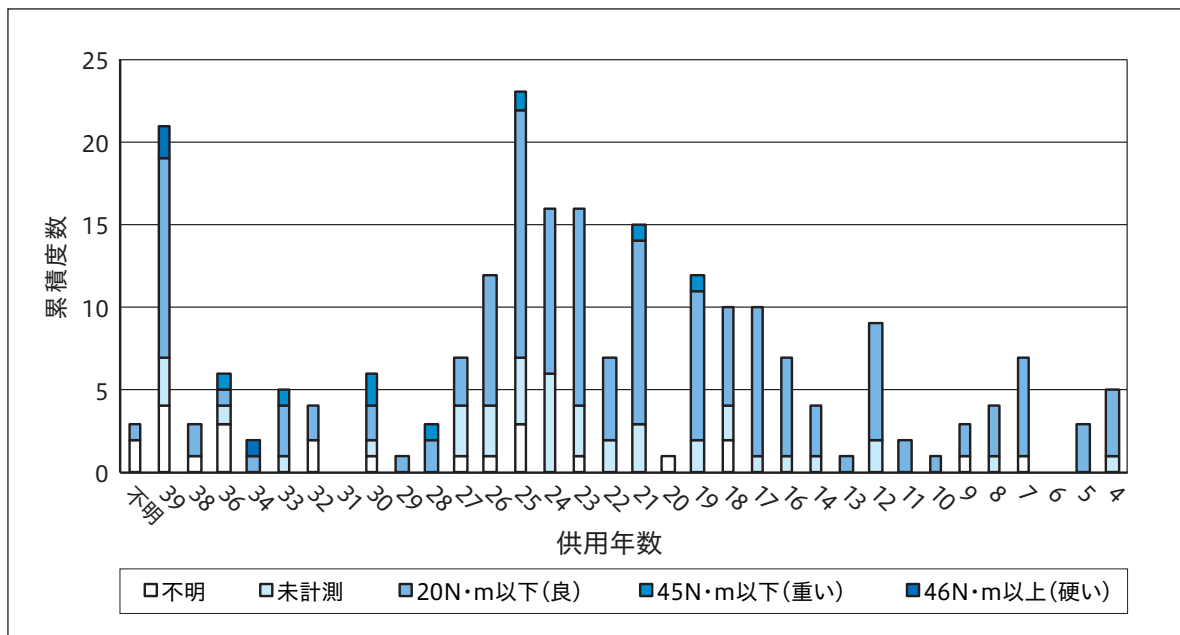


図5 仕切弁の供用年数と初期開閉トルクの関係



図6 初期開閉トルク計測



図7 仕切弁掘削・露出調査

2) 空気弁

漏水およびボルト・ナット腐食がともに約18%、外面塗装劣化が約35%確認された(表4)。漏水も確認されており、他の弁栓類より相対的に短い期間での点検や分解・清掃が必要である。

表4 空気弁不具合一覧

	漏水	外面塗装劣化	ボルト・ナット劣化	ガイド固着	鉄蓋・弁キョウ劣化
エリアA	3	3	2	1	0
エリアB	0	3	1	0	1
エリアC	0	0	0	0	0
計	3	6	3	1	1
3エリア総数	17				
不具合率 [%]	17.6	35.3	17.6	5.9	5.9

3) 消火栓

一部のものに口金破損やボルト・腐食が確認され、消火活動に影響を及ぼす恐れもあり、修繕と共に定期的な点検が必要である。

4) その他

探査装置による漏水調査では、エリアCにおける供用年数39年の塩化ビニル管路1箇所でのみ漏水の疑いがある結果となった。さらに効果的な漏水調査手法の検討が必要である。

5 既存データを活用した重要度評価

5.1 評価手法概要

任意の弁栓類を更新した際の被害リスクの低減を定量評価できるとすると、その数値のより大きなものが維持管理上より重要な弁栓類であると考えられる。ここでは、計画期間内に更新する弁栓類の位置、順序を求めたい解として、更新によって生じる便益総額を最大化する問題として定式化することで、弁栓類の重要度を評価するモデルの作成に取り組んでいる。また、実地域を対象に、費用制約条件の下で総便益が最大となる弁栓更新の最適組合せを探索する遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms、以下GAと示す。) の適用方法を検討している。総便益が最大となる最適組合せを抽出するまでの評価手順の概略を図8に示しておく。なお、GAとは、生物学上の自然淘汰により最適な遺伝子が残ってきた過程を工学的に模倣し、システム中で自然淘汰のシミュレーションにより最適化問題を解く手法である。

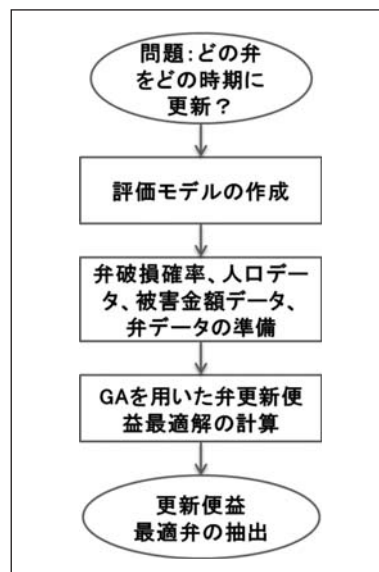


図8 評価手順

5.2 評価モデルの作成

設置後の供用年数が経過すると、弁栓類の破損や不具合が発生する確率が高くなる¹⁾。いったん破損すると、その間は断・減水の被害が生じ、生活や都市活動に影響が及ぶ。また、修理のための費用も発生する。ここでは、弁破損により発生する被害額を、弁破損確率とその弁の影響を受ける給水人口および一人当たりの被害額の積により期待値として定量化し、全ての期間、全ての弁を更新しない場合のt期における被害額期待値 $E_{0,t}$ からある弁vを更新した場合の被害額期待値 $E_{v,t}$ を差し引いたものをt期における便益と定義した。よって、m個の弁が存在する配水地区においていくつかの弁を更新した場合のt期の便益を期間Tまで合計した次式が総便益を表す式となり、これを最大化することで、弁更新に関する最適解を得ることができる。

$$B = \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^m (E_{0,t} - E_{v,t}) \rightarrow \text{最大化}$$

B: 更新便益 T: 計画期間 m: 評価管路弁数
 $E_{0,t}$: 更新しない場合の被害額期待値
 $E_{v,t}$: 更新による被害額期待値

5.3 破損確率

弁栓類が劣化や地震により破損し断水を引き起こすような事象を対象とすべきであるが、情報不足のため、ある都市部で実施された点検データを元に、供用年数(5年区切り)に対する不具合発生数を整理し関数の導出を試みた。信頼性工学における故障率の考え方を利用し、不具合発生確率を示す関数を導いた。その結果、図9に示すように、 $y = 0.0243 e^{0.3351x}$ と表された。ここで、「y」は故障確率、「x」

は期間(1期=5年)である。以下、これを破損確率とみなし評価を行った。なお、評価においては、実際の点検データによる不具合率を鑑み、9期目以降の破損確率は8期目と同じ破損確率を適用した。

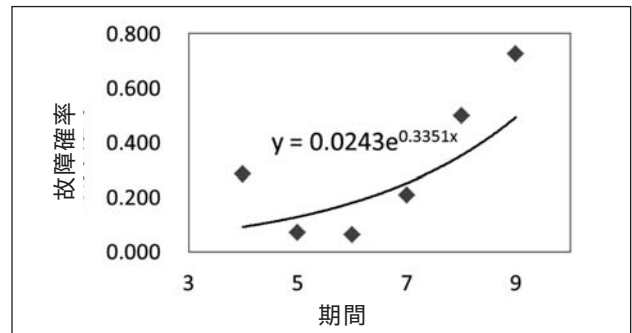


図9 破損確率関数

5.4 評価地域

前述評価モデルを270個の仕切弁がある矢巾町東部系基幹管路に適用した。図10に評価管路である矢巾町東部系基幹管路を示す。仕切弁の設置後の供用年数は、平均21年で、7年~36年の幅があり、不明のものも7個あった。給水人口については、矢巾町から得られたデータと矢巾町全体人口から割り出した。ある弁の給水人口は、その弁の下流にある世帯全てを含んだ値としている。

5.5 GAの適用

1) 遺伝配列の設計

更新計画の最適解探索にはGAを用いた。計画期間内の各期に更新する弁番号のみを連ねたものを遺伝子とした。一つながりの遺伝子が一つの更新シナリオを示すことになる

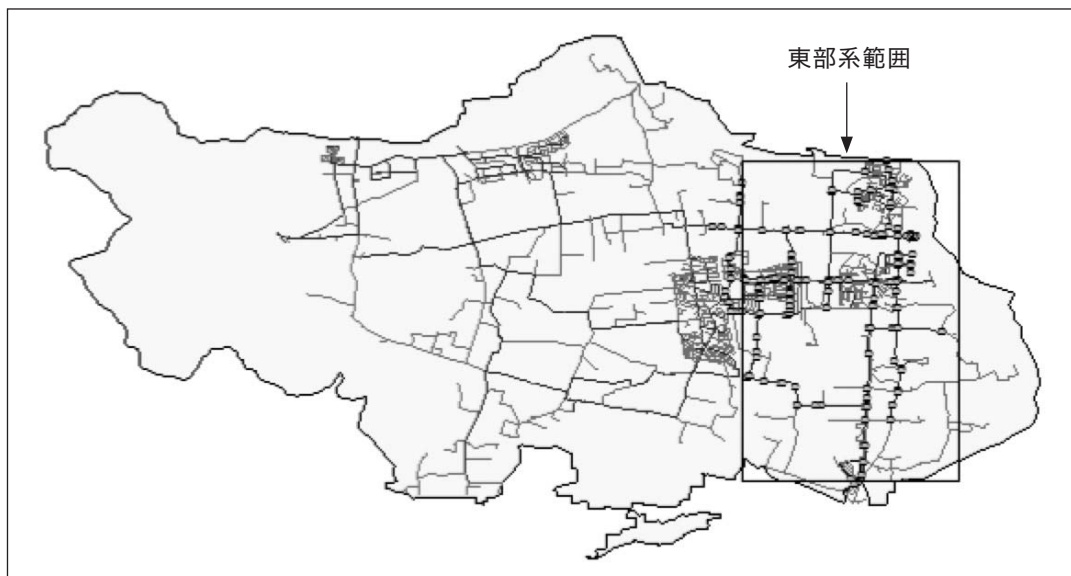


図10 矢巾町東部系基幹管路

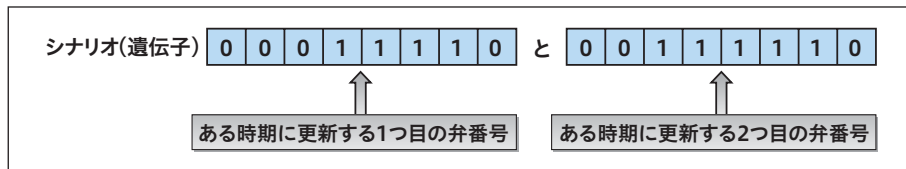


図11 遺伝子配列の例

(図11)。弁番号を0、1の2進法で表すので、例えば、対象地区の弁栓数が $256=2^8$ 以下で、予算制約条件により1期に最大2個の弁が更新できるとすると、1期の更新弁の遺伝子は、 $2^8 \times 2^8$ で表現できる。よって、T期分の更新シナリオを示す遺伝子は、 $T \times 2^8 \times 2^8$ の長さとなる。この遺伝子が示す更新シナリオによる期間総便益を適応度とし、遺伝的アルゴリズムを用いることで、総便益が最も大きくなる遺伝子の配列、すなわち、弁栓類の最適な更新計画を導く手法とした。

2) 計算フロー

図12にプログラムの計算フローを示す。入力データとして、弁情報、計画期間、被害額、弁破損確率、制約条件が必要であり、これらのデータから、GAで更新計画を最適化する。その結果、更新弁番号と順序、総便益が出力される。

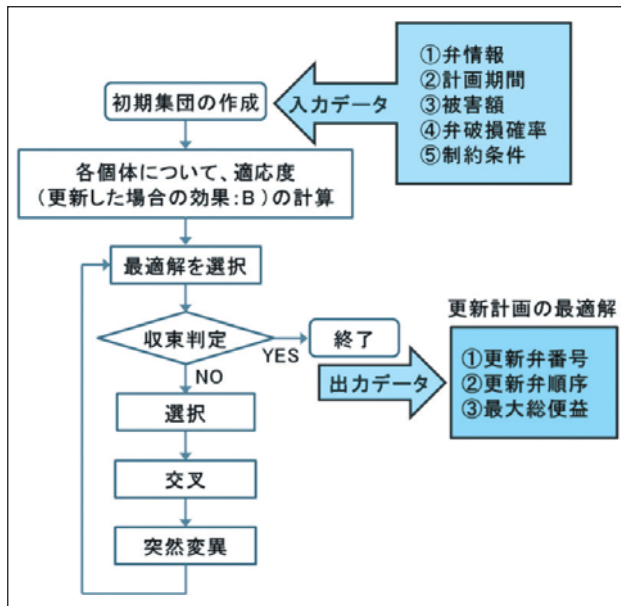


図12 計算フロー

最適解では、浄水場に近い上流の弁が選ばれる傾向があり、下流への影響が大きく及ぶものを選ばれる結果となった。最適解を出力し、更新計画を提案できるGAの適用は可能であることが分かった。

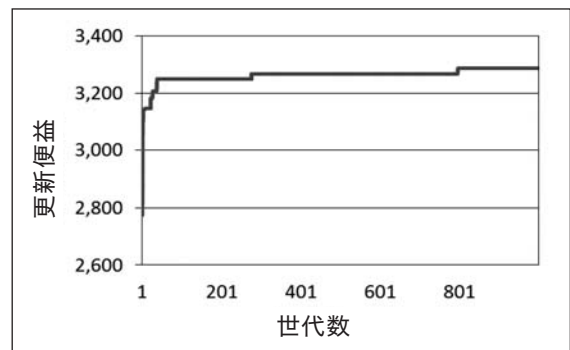


図13 GAによる最大値推移

6 まとめ

弁栓類実態調査により矢巾町の一部地域であるが、仕切弁などの現状把握ができ、供用年数と不具合発生傾向が確認できた。また、東部系基幹管路内の仕切弁に適用し、最適解および最大総便益を計算することができた。

今後、矢巾町全体を対象とした場合や、他の弁栓類を対象とした場合についても検討する必要があると思われる。また、今回行った結果についても、弁の破損確率や予算額、将来の人口予測などを変化させると、最適解が変わる可能性があることから、それらの可能性も踏まえて、今後更なる評価をすすめたい。

5.6 計算結果

浄水場1カ所、仕切弁270個からなる管路(図10)を対象とし、計画期間5期(1期=5年、25年)における弁更新計画を検討した。GAに必要なパラメータは、個体数1000、交叉確率0.1、突然変異0.01、世代数1000で計算を行った。GAにより求められた更新便益の最大値の推移を図13に示す。世代が進むに連れて最大値が大きくなっており、より最適解に近づいている様子が確認できた。

7 おわりに

本稿では、矢巾町における産官学連携による弁栓類の維持管理に関する取組みについて紹介した。

今後、この結果に基づき弁栓類を含む管路更新計画および維持管理計画策定に活用していきたいと考えている。

参考文献：

- 1) 照井、藤原、吉岡他:既存データを利用したローコストな地盤判定に関する研究, 第62回全国水道研究発表会 予稿集,pp.388-389,2011.
- 2) 照井、藤原、吉岡他:住民のアカウントビリティを意識した管路更新計画策定, 第63回全国水道研究発表会 予稿集,pp.342-343,2012.
- 3) 照井、藤原、増田他: 効果的な管路更新に向けた弁栓類維持管理に関する取組み, 平成25年
- 4) 水道技術研究センター、平成20年、管路施設の機能診断・評価に関する研究 (New Epochプロジェクト) 報告書、pp.4-114-4-124

執筆者・共著者：

畑中 哲夫

1996年入社
ダクタイル管の研究・開発に従事
技術士(上下水道部門)、
(総合技術監理部門)



岸本 圭司

2005年入社
ダクタイル管の研究・開発に従事



沼田 尚文

1991年入社
ダクタイル管路の設計に従事



藪田 晃

2011年入社
ダクタイル管路の設計に従事



道浦 吉貞

1983年入社
ダクタイル管の研究・開発に従事
工学博士



照井 義秀

矢巾町上下水道課



藤原 道明

矢巾町上下水道課



山本 勝美

矢巾町上下水道課



町田 宣則

日本上下水道設計
東部支社仙台事務所
技術士(上下水道部門)、
(総合技術監理部門)
水道施設管理技士(浄水施設1級)、
(管路施設1級)
測量士、一級土木施工管理技士



増田 貴則

鳥取大学大学院工学研究科
社会基盤工学専攻・社会経営工学講座
准教授
工学博士

