

# 人口減少下における上水道配水管の更新計画

環境計画研究室 岩崎翔志

## 1.背景と目的

本研究の目的は、人口減少下における長期的な上水道管路の更新計画の提案である。現在、高度経済成長期に布設された多くの水道管が老朽化により、更新の時期を迎えている。しかし、限りある予算の中で全ての管を更新していくことは困難であるため、優先順位が高い管から順次更新していく必要がある。一方、人口減少により、将来人口が減少し、それにより水需要が減ることが予想される。そういった中で、現在の人口を想定して構築された管では問題が発生すると考えられる。そこで、水需要の変化に対応するため、管路のダウンサイジングを行う必要がある。またそれにより、管路更新の費用が少なくなり、より多くの管が更新できる可能性がある。そこで本研究では、将来の人口減少に伴う影響を考慮するとともに、管のダウンサイジングも考慮した更新方法を提案する。

## 2.人口減少を考慮した老朽管の更新モデル

日本の人口減少下で、上水道の将来に向けての対策を考える必要がある。本研究では、人口減少の影響として、①ダウンサイジング、②更新予算の減少、③水道利用者の変化の3点について考慮した。①については、人口減少により水需要が変化するため、将来に合った管路に再構築する必要があると考えられる。②については、現在の水道料金制度では、更新するための予算は、水道の料金収入から出されるので、全体の予算が減ることによって、更新費用も減少すると考えられる。③では水需要の変化により、各管が断・減水した場合の被害の影響も現在と違い、利用者が減少しているところでは、影響が少なくなると思われるため、多くの被害が予測される場所を優先的に更新していく必要があると考えられる。そのため、人口減少下では限りある費用で更新していく必要があり、どの管をいつ更新していくかが重要となってくる。そこで予算制約下で、効果が最大となる管路の更新順序を計画する。本研究では、その効果を便益として捉え、計画期間内の便益が最大となるような解を求める。

本モデルでは5年を1期とし、10期(50年)の更新管路を求める。t期の管路iの便益をBで表す。また、便益はt期の管路iを更新しない場合の被害額期待値 $DC_i(0)$ から、t期に管路iを更新する場合の被害額 $DC_i(x)$ を減算して求める。xは管の更新履歴である。n本の管の便益をT期合計した総便益が式(1)となり、これを最大化することを目的とする。定式化したモデルを以下に示す。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n B_i^t = \sum_{t=1}^T \max \left[ \sum_{i=1}^n DC_i^t(0^t) - DC_i^t(x_i^t) \right] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} DC_i^t(0^t) - DC_i^t(x_i^t) \\ = ((POP_i^t \times LCD_i^t + CDC_i^t) \times day + PR_i) \quad (2) \\ \times L_i \times \{b_i^t(0^t) - b_i^t(x_i^t)\} \end{aligned}$$

管路iが断水した時に影響を及ぼす人口を $POP_i$ 、その際の市民一人当たりの被害額を $LCD_i$ 、事業所や工場等が受ける被害額を $CDC_i$ 、断水が続き直るまでの日数を $day$ 、断水した管を修繕する費用を $PR_i$ とし、管路iの長さを $L_i$ 、破損率を $b$ とすると、便益を式(2)で表すことができる。破損率 $b$ は年が

経過するごとに増え、被害額を増加させる。しかし、更新することで破損率を下げるができる。

また、i管が断水した場合のノードの圧力を $P_{ij}$ とし、水道水を利用するための最低限の圧力を $P$ とすると、 $P_{ij} > P$ とし、各ノードが一定以上の圧力を保つようにする。また、t期の更新費用を $RC_t$ 、t期の更新に使用できる予算を $C_t$ とすると、 $RC_t < C_t$ とする。これら2つを制約条件として設定し、便益の最大化を行う。

## 3.モデル管網

本研究で使用するモデル管網を図1に示す。配水池1つ、ノード183本、リンク251本から構成される管網である。ノードには、高さ、水需要のデータを、リンクには管長、管径、埋設時からの経過年数のデータをそれぞれ与える。

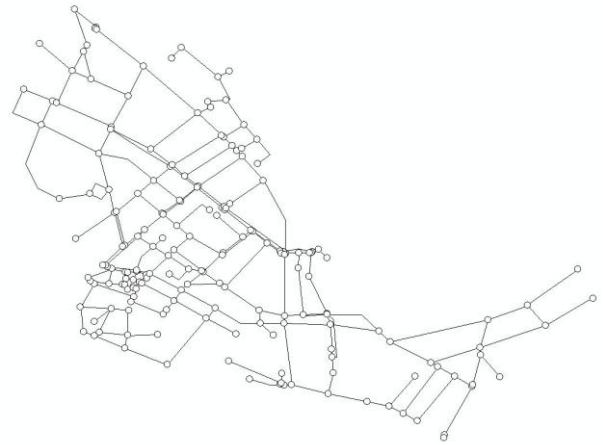


図1 モデル管網

## 4.検討するシナリオ

本研究では人口減少を考慮するが、人口を現在のまま維持する場合も検討する。管を更新しない条件で、シナリオ1では人口維持、シナリオ2では人口減少の場合の被害額を求める。更新する条件下では、シナリオ3では人口維持、シナリオ4では人口減少とした。シナリオ4については、人口減少に応じて予算を減少させていく。また、人口減少下で予算が減少しない場合をシナリオ5とする。図2に本研究で用いる人口の推移について、表1に各シナリオの条件を示す。

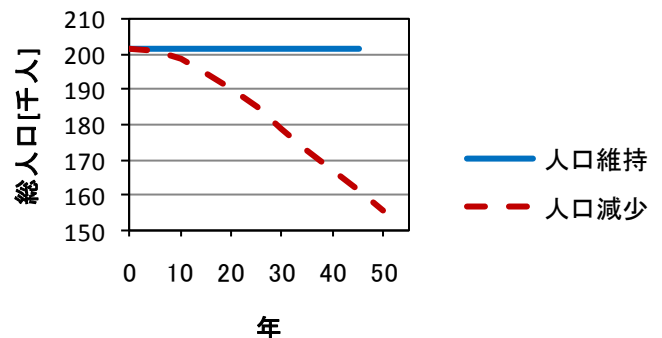


図2 人口推移

表 1 シナリオ

人口	管路更新の有無
1 人口維持	更新しない
2 人口減少	更新しない
3 人口維持	更新する
4 人口減少	更新する(予算は人口依存)
5 人口減少	更新する(予算は維持)

5. 計算方法

更新管の決定は、更新対象管の選定、管網計算、遺伝的アルゴリズム(GA)の 3 つの方法から成る。各期の更新する管を選定する場合に、更新する優先順位を求め、更新する対象管の数を限定する。まず、①ある管が断水した時に圧力が 15m 以下になるノードが存在する場合、その管を更新対象管とする。しかし、それだけでは断水時に圧力低下の影響がある管しか更新対象にならないため、②埋設年数が 50 年以上を経過した管も対象に入れ、①または②の条件を満たす管を更新対象管とする。なお、管路中のノードが一定以上の圧力を保っているかどうか確認するため、管網計算を行う。

更新対象管は、(1)更新しない、(2)現在の口径と同じサイズで更新する、(3)現在のサイズより 1 段階サイズダウンし更新する、(4)2 段階サイズダウンし更新する、の 4 つの選択肢を選ぶ。ダウンサイズを含めた更新管の組み合わせを、本研究では遺伝的アルゴリズムを用いて求める。

6. 計算結果

(1) 更新管

各期の更新順序を求め、シナリオ 3, 4, 5 での更新管の本数と総延長を算出した。それを表 2 に示す。

シナリオ 3 では更新するが管のダウンサイズは行わない管が多く、反対にシナリオ 4, 5 では 2 段階の管のダウンサイズを行う管が多いという結果が出た。シナリオ 3 は人口維持のシナリオであるため、ダウンサイズが多く行われなかったと思われる。一方で、シナリオ 4, 5 については、人口減少の影響によりダウンサイジングが多く行われたと思われる。次に、シナリオ 3 と 4 を比較した場合、更新管の数は同程度であるが、更新管の総延長がシナリオ 4 の方が少ない結果となっていることが分かる。これは、シナリオ 4 が人口減少により予算が下がったため、更新費が高い、例えば管長が長い管を更新できず、短い管を多く更新したことが考えられる。また、シナリオ 4, 5 を比較すると、同じ人口減少のシナリオであっても更新管の合計本数と総延長が大きく違うことが分かる。この 2 つのシナリオの違いは予算である。シナリオ 4 では人口減少により予算が減っているが、シナリオ 5 では予算が減っていない。そのため、シナリオ 5 において、多くの管が更新されている。シナリオ 3 とシナリオ 5 を比較する。違いは、予算は同額だが人口が変化するか否かである。ダウンサイジングにより、シナリオ 5 の更新管の合計数、総延長ともに増えていることが分かる。そのため、同じ予算であっても人口減少を考慮してダウンサイジングすることにより、更新費が低下し、多くの管を更新することができたと考えられる。

表 2 更新管の本数と総延長

シナリオ	3	4	5
変更なし	70	36	47
更新管の本数	1 段階	38	39
	2 段階	43	74
	合計	151	149
更新管の総延長[km]	28.00	24.98	30.74

(2) 更新後の水理特性

更新前の初期の管網について管網計算を行い、滞留時間を求めた。滞留時間とは、配水池から水道管を通じて各ノードに水が届くまでの時間である。滞留時間の増加により、水道水の塩素濃度が低下する恐れがある。滞留時間が高いノード上位 10 個について表 3 に示す。表 3 では、更新前に滞留時間が長かったノードについて更新後の管網で滞留時間がどれ位変化したか見ている。シナリオ 3 では、将来人口は変わらないとして更新しているが、50 年後は人口減少により水需要が減っている。

更新前後で No.57, 156, 197 のノードは、滞留時間が大きく、次いで、No.210, 211, 214, 763 についても同様のことが言える。No.57 のノードについては、更新することで滞留時間が大きく低下していることが分かる。

初期管網を、人口維持のシナリオで更新した場合、表 3 の 7 個のノードで滞留時間が増加した。一方で、人口減少シナリオと比較すると、全てのノードで滞留時間の減少が見られた。そのため、人口維持シナリオでは、将来人口に合った管網になっていないため、滞留時間が増加し、人口減少シナリオではダウンサイジングを考慮しているので、将来人口に合った管網に再構築されていると考えられる。人口減少の 2 個のシナリオを比較すると、予算を維持するシナリオにおいて 6 個のノードで滞留時間が低下し、特に No.76, 77 について大きく低下していることが分かる。このことから、予算が多い方が理想的な更新を進めることや滞留時間を減らすことができ、管網が更新前と比べて、改善されると考えられる。

表 3 更新前の管網中の滞留時間が高いノードの更新前後の滞留時間の変化[単位:時間]

ノード No	更新前		更新後	
	初期 滞留時間	人口維持 滞留時間	人口減少 (予算減) 滞留時間	人口減少 (予算維持) 滞留時間
1	57	38.78	19.17	14.90
2	156	11.21	14.35	11.19
3	197	6.19	7.66	5.74
4	214	4.31	5.20	3.92
5	77	3.64	2.62	2.68
6	76	3.43	2.36	2.58
7	763	3.22	3.78	2.53
8	210	3.14	3.52	2.80
9	21	3.13	3.69	2.45
10	211	3.06	3.61	2.60

7. 結論

本研究では人口減少による水需要と更新予算の減少を考慮して管路のダウンサイジングも考えた上水道管路の更新方法を検討した。提案した方法をモデル配水地区の更新計画に適用してその妥当性を検討した。

今後の課題としては、更新対象管の選定や便益の算出・仮定方法の見直しによる精度の向上が必要である。