

# 人口減少を考慮した上水道配水管の更新計画に関する研究

環境計画研究室 篠原宏尚

## 1. 研究の背景と目的

わが国の水道は1950年代から1980年代に急速に普及され、近年では97%を超える状況にあり、人々の生活や社会経済活動に欠かせないものとなっている。上水道配水管路は法定耐用年数が40年となっており、高度経済成長時期に大量に建設された管路はまもなく耐用年数を超え始め老朽化する。そのため管路を更新する必要があるが、人口減少の影響で管路の更新費も減少し、一度に多くの管路を更新することができない。その結果、法定耐用年数である40年を超えても更新することのできない管路が存在してしまっているのが現状である。よって、本研究では更新需要のピークによる更新の投資を抑えるために更新計画に平準化方法を取り入れ、更新需要のピークの前倒しや先送りを行い、更新のための投資を均一化させる。また、管路の更新において、管路の破損による人への被害を最小限にするために、管路の更新優先度を管路の埋設状況だけでなく人口減少の影響を考慮して決定し、更新の順序を決定する。地域における管路は何年もかけて建設されており、場所によって建設時期が様々である。また、人口推移も場所によって様々である。人への被害を最小にする管路更新を考えた場合、地域内において管路の建設時期が古い場所の人口が多く、管路の建設時期が新しい場所の人口が少ないのであれば管路の建設時期が古く人口が多い場所を優先的に更新するのが望ましい。しかし、管路の建設時期が古い場所の人口が少なく、管路の建設時期が新しい場所の人口が多い場合、どちらの場所を優先して更新するのが適切であるのか不明となる。

本研究の目的は、人口減少下における上水道配水管の更新について、最小のリスクで管路の更新を行うための更新計画を検討する。その際に1つの地域における人口減少率と管路埋設年数の大きさを考慮した最小のリスクとなる管路更新順序を提案することである。本研究においてリスクは管路の破損により人へ及ぼす被害と定義する。また、平準化を行った際に人口減少が水道利用者の負担にどのような影響を及ぼすのかについても検討し、各更新方法におけるリスクと水道利用者の負担を調査する。

## 2. 研究方法

本研究において使用するモデル地域を作成した。モデル地域は人口減少が発生している地域であること、総人口が20万人であること、人口推移の異なる4つの地域区分から構成されているとし、総管路延長、人口推移、管路布設状況を全国の市町村データを参考にして決定した。図1に地域区分別の人口推移、表1にモデル地域における管路布設状況、表2に各モデル地域の地域区分と人口推移の組み合わせパターンを示す。本研究において時間は1期=5年としている。

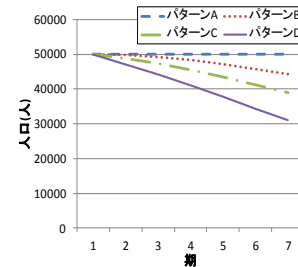


図1 地域区分における人口推移

表2 各モデル地域における地域区分と人口推移組み合わせ

表1 モデル地域の管路布設状況

期	配水管延長(km)				合計
	地域①	地域②	地域③	地域④	
1	20	0	0	0	20
2	40	20	0	0	60
3	60	40	20	0	120
4	50	60	40	20	170
5	20	50	60	40	170
6	10	20	50	60	140
7	0	10	20	50	80
8	0	0	10	20	30
9	0	0	0	10	10
合計	200	200	200	200	800

モデル地域	地域①	地域②	地域③	地域④
1	A	B	C	D
2	A	B	D	C
3	A	C	B	D
4	A	C	D	B
5	A	D	B	C
6	A	D	C	B
7	B	A	C	D
8	B	A	D	C
9	B	C	A	D
10	B	C	D	A
11	B	D	A	C
12	B	D	C	A
13	C	A	B	D
14	C	A	D	B
15	C	B	A	D
16	C	B	D	A
17	C	D	A	B
18	C	D	B	A
19	D	A	B	C
20	D	A	C	B
21	D	B	A	C
22	D	B	C	A
23	D	C	A	B
24	D	C	B	A

本研究では管路破損による人への被害をリスクとし、式(1)に示すように管路の利用人口 $D_{ti}$ に管路の破損率 $y_{ti}$ を乗算することによりリスク $R_{ti}$ を算出した。式(2)に1期以内に管路が破損する件数を求める式を示す。

$$R_{ti} = D_{ti} \times y_{ti} \quad (1)$$

$$y_{ti} = C_1 \times C_2 \times C_3 \times a \times t^b \times 5 \quad (2)$$

$R_{ti}$ : t期における管路iのリスク

$D_{ti}$ : t期における管路iの利用人口

$y_{ti}$ : t期における管路iの破損件数(件/km/期)

a, b: 管種別係数

$C_1$ : 管の仕様に関する補正係数

$C_2$ : 管の口径に関する補正係数

$C_3$ : 地盤条件による補正係数

t: 埋設年数

管路が更新されているのか更新されていないのかを表すためにリスク $R_{ti}$ に与える変数を定義する必要があるため、変数 $Z_{ti}$ を更新係数とし、リスク $R_{ti}$ に乗ずる。更新係数 $Z_{ti}$ は更新の進行状況を表す。最小のリスクで管路を更新する時期を決定するための最適化シミュレーションにて更新係数 $Z_{ti}$ の値を算出するが、その際の制約式を式(3)、式(4)、式(5)に示す。

$$0 \leq Z_{ti} \leq 1 (t = 2 \cdots T, i = 1 \cdots n) \quad (3)$$

$$Z_{ti} = 1 (t = 1) \quad (4)$$

$$Z_{ti+1} \leq Z_{ti} \quad (5)$$

これをもとに目的を定式化したものが式(6)であり、目的関数とする。

$$\min \sum (R_{ti} \times Z_{ti}) \quad (6)$$

更新計画について本研究では表 3 に示した 15 ケースにてシミュレーションを行う。

表 3 更新計画

ケース	管路更新期間	予算制約	管路建設開始時期	管路更新開始時期	人口減少発生時期
1	7期	総更新費、更新期間	9期	17期	17期
2	14期	総更新費、更新期間	9期	17期	17期
3	20期	総更新費、更新期間	9期	17期	17期
4	7期	13,4532億円	9期	17期	17期
5	14期	13,4532億円	9期	17期	17期
6	7期	総更新費、更新期間	1期	17期	9期
7	14期	総更新費、更新期間	1期	17期	9期
8	20期	総更新費、更新期間	1期	17期	9期
9	7期	13,4532億円	1期	17期	9期
10	14期	13,4532億円	1期	17期	9期
11	7期	総更新費、更新期間	1期	17期	17期
12	14期	総更新費、更新期間	1期	17期	17期
13	20期	総更新費、更新期間	1期	17期	17期
14	7期	13,4532億円	1期	17期	17期
15	14期	13,4532億円	1期	17期	17期

更新計画ケース 1 からケース 5 では一番最初に建設された管路が耐用年数である 40 年を迎えた時期に管路の更新を開始し、人口減少は管路の更新開始と同時期から発生する地域での更新計画であり、更新計画ケース 6 からケース 10 では一番最後に建設された管路が耐用年数である 40 年を迎えた時期であり、一番最初に建設された管路が埋設年数 80 年となってしまっている時期に管路の更新を開始し、人口減少は更新開始の 8 期前から発生している地域での更新計画であり、更新計画ケース 11 からケース 15 では一番最後に建設された管路が耐用年数である 40 年を迎えた時期であり、一番最初に建設された管路が埋設年数 80 年となってしまっている時期に管路の更新を開始し、人口減少は管路の更新開始と同時期から発生する地域での更新計画と設定している。各地域における状況が様々であるため、状況を 3 パターン設定し、各パターンにおいて更新期間や期別予算を変化した更新計画を検討する。

### 3.シミュレーション結果

最小のリスクとなる管路更新時期を各モデル地域パターン、各更新計画において算出した。その一例として図 2、図 3 に更新計画ケース 1 をモデル地域パターン 1 とモデル地域パターン 24 で行ったときの管路更新時期を示す。

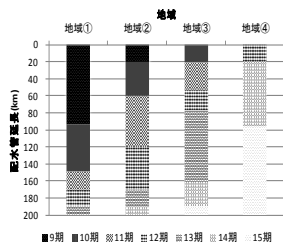


図 2 ケース 1 におけるパターン 1 の更新時期

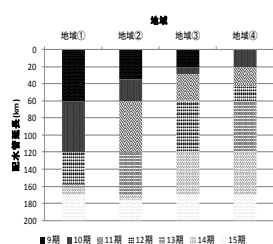


図 3 ケース 1 におけるパターン 24 の更新時期

地域内の管路建設時期が古い区分に人口が多く残存して管路建設時期が新しい区分の人口が大きく減少してしまうモデル地域パターン 1 と、地域内の管路建設時期が古い区分の人口が大きく減少して管路建設時期が新しい区分に人口が多く残存してしまうモデル地域パターン 24 では最小のリスクとなる更新順序が大きく異なる

り、管路の埋設時期が新しくとも残存人数が他の区分に比べて多い場所は管路が優先的に更新されていた。他のモデル地域パターンにおいても最小のリスクとなる更新時期が全て異なっていた。

図 4 に一番最初に建設された管路の耐用年数である 40 年を迎えた時期に管路更新を開始し、人口減少は管路の更新開始と同時期から発生する更新計画であるケース 1、ケース 2、ケース 3、ケース 4、ケース 5 におけるリスクと水道利用者 1 人当たり自己負担額を示す。

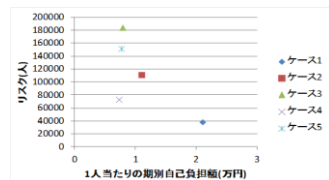


図 4 ケース 1 からケース 5 におけるリスクと 1 人当たりの期別自己負担額

更新期間内において地域内の管路を全て更新するのはケース 1、ケース 2、ケース 3 であり、3 つのケース中で最もリスクが低いのは更新期間の短いケース 1 であるが、ケース 1 は 1 人当たりの期別自己負担額が最も高くなっている。また、3 つのケースの中で最も 1 人当たりの期別自己負担額が少ないのは更新期間の長いケース 3 であるが、最もリスクが高くなっている。ケース 4 はケース 1 に比べて 1 期における予算が少なく、1 期における管路の更新が少ない。よってケース 4 はケース 1 に比べて全体的に管路の埋設年数が大きい状態での更新となり全体のリスクも高まっている。しかし、ケース 4 はケース 1 に比べて 1 期における予算が少なく、ケース 4 では 13 億 4532 万円、ケース 1 では 38 億 4377 万円となるため、1 人当たりの期別自己負担額はケース 1 よりもケース 4 が少なくなる。ケース 5 においてもケース 2 と比べて 1 期における予算が少なく、1 期における管路の更新が少ないため、管路の埋設年数が大きい状態での更新となり全体のリスクも高まっている。ケース 5 はケース 2 に比べて 1 期における予算が少なく、ケース 5 では 13 億 4532 万円、ケース 2 では 19 億 2189 万円となるため、1 人当たりの期別自己負担額はケース 2 よりもケース 5 が少なくなる。以上のようにリスクと 1 人当たりの期別自己負担額をケース 6 からケース 10、ケース 11 からケース 15 においても比較した。

### 4. まとめ

本研究の結果から、管路更新を計画する際には管路の埋設年数に加えて人口減少の影響も考慮することが必要であり、地域内の区分ごとにおける細かい人口減少率にも注目して管路の更新順序を決定しなければならないと言える。さらに、更新計画の内容次第で同じ地域においても最小のリスクとなる管路更新時期が異なるため、このことも踏まえて管路更新を計画しなくてはならないと言える。また、人口減少地域において、平準化を取り入れて管路更新を行うと、更新期間内における 1 人当たりの自己負担額に差がついてしまい世代間で不平等となってしまう。世代間で水道利用者の負担を平等にするためには、管路更新を計画する際に将来の人口推移を把握して水道利用者の負担額を決めることが望ましい。