

AHP を用いた管路更新計画の策定

日本水工設計㈱ 千葉克史

1. はじめに

日本の上水道は普及率 97.5%に達し、ほとんどの人が安全な水を享受できる環境が整っているといえる。その一方で、高度成長期に右肩上がりの経済や、人口増に対応するように拡充を続けてきた水道事業は、今日の人口減少社会や水需要の減少による料金収入の減収、施設の老朽化など様々な問題に直面している。

ここでは、こういった水道事業者が抱える問題の一つである、管路施設の老朽化、耐震化に伴う管路更新計画の策定について、業務で実施した検討手法や考え方を紹介する。

2. 業務概要

2 - 1. 水道事業の概要

T 市水道事業は、昭和 29 年に計画給水人口 20,000 人、計画一日最大給水量 4,000m³/日で創設され、その後、6 度の拡張事業により拡充、平成 22 年度には、第 7 次拡張事業として変更認可を取得し、計画給水人口は 424,000 人、計画 1 日最大給水量は 176,000m³/日となっている。

2 - 2. 業務目的

T 市の管路施設は、約 2,400 km に及ぶが、今後、この管路を短期間で更新することは、物理的にも経済的にも困難であることから、効果的、効率的な管路更新を進めていくための手法を検討し、経過年数や、過去の地震等、管路の寿命にかかわる事項を総合的に考慮した合理的な更新計画を策定することを目的とし、T 市の所有する、管路データベースを活用して、管路の物理的評価（物理的機能、能力からみた更新の必要性）を作成することとした。

3. 管路更新の優先順位の算定

管路更新を合理的に実施するにあたり、本業務では、管路の機能上の観点から『整備重要度』、管路の耐用性・緊急性の観点から『危険度』を評価基準として評価を行った。『整備重要度』の評価指標は、「管内の流量」、「管路の属性」および「安全性（代替機能の有無）」に着目する。『危険度』の評価指標は「布設年度(老朽度)」、「管種（管種及び継手構造）」、地震に対する総合的な危険性から「地震被害率」に着目して評価を行う。

3 - 1. 評価指標の定量化

先に示した各評価指標は、さまざまな視点から管路のプロフィールを捉えており、評価指標として不足はないが、互いに共通した尺度を持ち合わせていない。そこで、本業務では、これらの評価指標を完全な形で定量化することを目的とし、多くの評価基準を基に最適案を選定する手法として、階層化意志決定法（「Analytic Hierarchy Process」以下「AHP」）

を採用した。次項から、本計画における評価指標の定量的評価について、AHP の概要、手法の解説と併せて整理する。

3 - 2. 管路更新と AHP

(1) . AHP の概要

AHP は、人間の意思決定の過程を数値で表現することを目的としている。例えば、個人がある商品を購入しようとする場合、個人はそれぞれの価値基準に基づいて意思決定を行い、価格、性能、デザインなどのさまざまな要素を考慮して決定する。この価値基準を数値であらわすことが可能であれば、「人が何を購入するかを予測する」ということも可能となり、商品開発や、在庫管理等の意思決定に利用することができる。

管路更新に置き換えてみると、重要度、危険度といった要素を考慮し、関係者がそれぞれの知識や経験から感得した価値基準を基に、優先度を決定することになる。この優先度の判定基準を数値化できれば、あらゆる要素が考慮された合理的な価値基準に基づいた管路更新を行うことが可能である。

(2) . AHP の手法 (意思決定構造)

複数候補の中から個人の評価基準に基づいて一つを選択する場合、通常、複数の価値基準は、互いに利害が反する側面を持っている場合が多い。この様な複数候補から選択する意思決定構造について、段階的に考えてみると、まず、「何を選択するか」という『問題』があり、そして「最終的な選択の対象」となる『代替案』がある。

AHP では、意思決定構造を、この『問題』と『代替案』の間に『評価基準』を設けて捉える。この人間の意思決定のシステムを階層構造化して分析する点が AHP の特徴であり、この構造を利用して意志決定のメカニズムを分析する。表 1 に AHP の意思決定構造を模式化して示し、併せて管路更新の優先順位決定における意思決定の階層を示す。

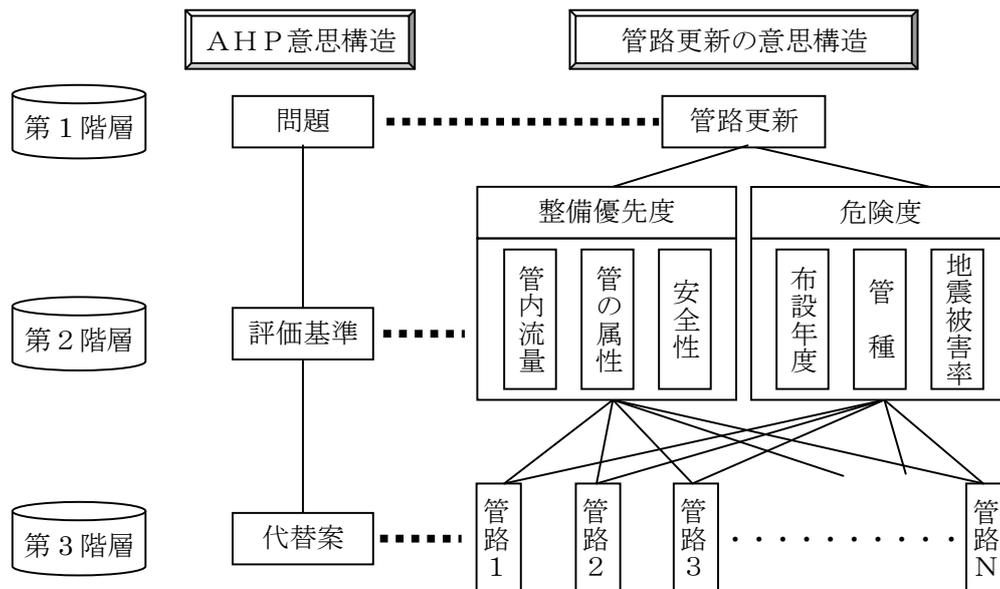


図 1 AHP の意思決定構造

(3) . 評価基準の数値化

階層が完成したら、評価基準の各指標を一对比較¹により評価する。この一对比較の結果より得られる「一对比較行列」より求められた固有値の幾何平均から、各指標のウェイトと算出する。本業務では、各指標の一对比較のアンケートを実施し、このアンケート結果から、評価基準 (表1) を基に、各指標のウェイトを決定した。資料1に実施したアンケート結果を、資料2にその結果を示す。

資料 1 整備重要度・危険度評価に関するアンケート結果

整備重要度、及び危険度についてその重要度を評価します。 にそれぞれ、「同じくらい重要」、「若干重要」、「重要」、「かなり重要」、「絶対的に重要」を入力してください。

1.整備重要度

① 管内流量は、管の属性に比べ……………

② 管内流量は、安全性に比べ……………

③ 管の属性は、安全性に比べ……………

2.危険度

① 布設年度は、管種に比べ……………

② 布設年度は、耐震性 (地震被害率) に比べ……………

③ 管種は、耐震性 (地震被害率) に比べ……………

表 1 一对比較による評価基準

Pt	意味	Pt	意味
1	縦と横の項目が同じくらい重要	1/3	縦の項目が横の項目に比べ若干重要ではない
3	縦の項目が横の項目に比べ若干重要	1/5	縦の項目が横の項目に比べ重要ではない
5	縦の項目が横の項目に比べ重要	1/7	縦の項目が横の項目に比べかなり重要ではない
7	縦の項目が横の項目に比べかなり重要	1/9	縦の項目が横の項目に比べ絶対的に重要ではない
9	縦の項目が横の項目に比べ絶対的に重要		

資料 2 アンケート結果から算出したウェイト

表 2 整備重要度の評価項目

整備重要度の評価項目	管内流量	管の属性	安全性	幾何平均	ウェイト
管内流量	1	3	3	2.08	0.58
管の属性	1/3	1	3	1.00	0.28
安全性	1/3	1/3	1	0.48	0.14
幾何平均の合計				3.56	1.00

表 3 危険度の評価項目

危険度の評価項目	布設年度	管種	耐震性	幾何平均	ウェイト
布設年度	1	1	1/3	0.69	0.26
管種	1/3	1	3	1.00	0.37
耐震性	3	1/3	1	1.00	0.37
幾何平均の合計				2.69	1.00

¹ 一对比較: 一对比較は、比較判断のために用いられる評定法の 1 つであり、判断の対象となる選択肢が複数存在する場合に、2 つずつ組み合わせ、比較判断リーグ戦形式で繰り返し対象の順位を決定する方法。

3 - 3. 更新優先順位の算定

(1) . 整備重要度

管路施設の整備重要度は管路流量、管路属性、安全性（代替機能の有無、バックアップ機能）の 3 指標について、各指標の特性を勘案し評価基準を設定し評価を行う。ここで、各指標に対し、AHP の考え方にに基づき算定したそれぞれの評価基準を「ウェイト（影響度）」として与え、次式を用いて管路の重要度を算出する。

$$J_k = Q \times Q_w + Z \times Z_w + G \times G_w$$

J_k : 管路施設の整備重要度係数

Q, Q_w : 管路流量係数と流量ウェイト

Z, Z_w : 管路属性係数と属性ウェイト

G, G_w : 管路の安全性係数と安全性ウェイト

①. 管路流量係数

管路の口径の二乗を基礎係数とし、最大口径が「1.0」になるように補正しこれを管路流量係数とする。

②. 管路属性係数

管路施設の属性を配水形態、口径から、幹線レベル 1~5、本管、支管に分類し、それぞれの係数を定める。

③. 管路の安全性係数

安全性の補正係数(G)は当該管路の機能を代替するものがあるかないかの評価指標で、ループ化されている管路も機能ありとして「0」ない場合は「1」とする。

(2) . 危険度

危険度は、老朽化による管路の漏水、破損、地震時の地盤変形や液状化による影響、管の継ぎ手のもつ特性、布設環境による腐食の程度等による管路施設に支障を生じる要因等を総合的に評価するものとし、各指標の特性を勘案し評価基準を設定し評価を行う。また、整備重要度同様、評価基準を「ウェイト（影響度）」として与え、次式を用いて管路の危険度を算出する。

$$L_k = Y \times Y_w + C \times C_w + N \times N_w$$

L_k : 管の危険度係数

Y, Y_w : 布設年度係数と布設年度ウェイト

C, C_w : 管種係数と管種ウェイト

N, N_w : 地震被害率係数と被害率ウェイト

①. 布設年度係数

耐用年数を超過した管路施設の評価基準を定める。法定耐用年数を考慮し、布設年度係数は、次の式で定義する。

$$Y = (\text{基準年数} - \text{布設年度}) / \text{耐用年数} \times \text{整合性係数}$$

Y : 管の布設年度係数

基準年度 : 西暦 2008 年

布設年度 : 西暦に換算 (例 S29→1954 年)

耐用年数 : 40 年(鋼管、鋳鉄、ダクタイル管)

整合性係数 : 0.74 (一番古い管 (S29 年) が「1.0」となるように整合性係数を設定)

②.管種係数

管種は大きく分けて鋳鉄管、ダクタイル鋳鉄管、鋼管、塩ビ管、ポリエチレン管があり、さらに継ぎ手構造により細分化される (石綿管は更新が完了しているため対象から除外した)。評価指標は、直ちに更新すべき管種を「1.0」とし、現状で最も耐久性があると考えられる管種(耐震管)を「0.1」として設定した。

③.地震被害率係数

危険度の評価基準としての地震被害率の算定は、地震の強さ、管種、口径、液状化の程度が考慮されている水道技術研究センターの式 (「地震による水道管路の被害予測及び探査に関する技術研究報告書、平成 12 年 3 月、水道技術センター」) により求め、下記の計算結果の最大値が「1.0」となるように管路別の補正係数を設定する。なお、標準被害率 (Sd) の算定にあたっては、A 県防災局が公表した、想定東海地震・想定東南海地震連動時のデータを基に算出した。(地震被害率の算定手法については、平成 23 年 3 月に、財団法人日本水道技術センターより「地震による水道管路被害予測の手引き」が発行されて見直されているが、本業務は平成 20、21 年度の計画であるため、旧基準に準じている。)

$$N = C_p \times C_d \times C_l \times S_d \times L_i / \tau_i$$

N : 管路の地震被害率係数

C_p : 管種による補正係数

C_d : 口径による補正係数

C_l : 液状化の程度による補正係数

S_d : 標準被害率 (件 / k m)

L_i : 管路延長 (管種、口径別) (k m)

τ_i : 全管路の被害件数の最大値

3 - 4. 管路更新優先順位の決定

前項までに算出した、整備重要度係数 (J_k) と危険度係数 (L_k) を用いて更新優先順位を決定する。

優先順位係数を、整備重要度係数 (J_k) と危険度係数 (L_k) の積によって相互補完し、優先順位として設定する。

$$K_k = J_k \times L_k$$

K_k : 管路の総合的な優先順位係数

3 - 5. 優先順位の算定結果

優先順位の算定結果を表 4 に示す。

表 4 優先順位の算定結果表

総合 順位	管路整備係数	管路名	水系(項目名)	管路長	口径	布設年度	管種	整備重要度 係数	危険度 係数
				m	mm	年			
1	0.81	1714-K2669	T配水系	981.71	700	1971	C I P	0.86	0.94
2	0.77	1613-K0088	T配水系	1403.33	700	1972	C I P	0.86	0.89
3	0.74	1513-K1905	T配水系	1109.94	700	1972	C I P	0.86	0.86
4	0.71	1715-K7670	N配水系	1236.48	800	1970	C I P	1.00	0.71
5	0.65	1714-K3026	N配水系	520.29	700	1971	C I P	0.86	0.75
6	0.62	1613-K0099	T配水系	580.06	700	1972	C I P	0.86	0.71
7	0.60	1714-K2547	N配水系	304.07	700	1971	C I P	0.86	0.70
8	0.60	1815-K2147	T配水系	218.52	700	1971	C I P	0.86	0.69
9	0.58	1714-K2741	N配水系	177.19	700	1971	C I P	0.86	0.67
10	0.57	1815-K3250	T配水系	633.24	700	1971	C I P	0.86	0.66
11	0.56	1613-K1357	T配水系	413.76	700	1972	C I P	0.86	0.65
12	0.56	1815-K0188	T配水系	709.81	700	1971	C I P	0.86	0.65
13	0.54	1715-K7965	N配水系	5.65	700	1971	C I P	0.86	0.62
14	0.54	1714-K0161	N配水系	5.06	700	1971	C I P	0.86	0.62
15	0.54	1714-K2757	N配水系	4.08	700	1971	C I P	0.86	0.62
16	0.53	1613-K1411	T配水系	34.23	700	1972	C I P	0.86	0.62
17	0.53	1613-K0682	T配水系	2.25	700	1972	C I P	0.86	0.62
18	0.52	1513-K1898	T配水系	9.74	700	1972	C I P	0.84	0.62
19	0.48	1815-K3106	N配水系	446.77	600	1972	C I P	0.74	0.65
20	0.48	1815-K3082	N配水系	810.90	600	1973	C I P	0.74	0.64
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4. まとめ

管路の評価手法としては、水道施設更新指針（平成 17 年 5 月 （社）日本水道協会）にて、その基本的な考え方から手法までを示している。

本業務においては、この水道施設更新指針に示された物理評価手法を参考に、T市の評価指標を設定し、さらに各評価指標の重み付けに際し、AHPの手法を採用し「更新優先順位の算定」を行った。

管路更新計画の策定では、本業務で示した「更新優先順位」を基に事業計画を策定することが望ましいが、実際に事業計画を策定し、事業を推進するにあたっては、本検討で示した優先順位に沿った整備が、必ずしも効率的とは言えないケースがある。

重要供給施設への供給管路や、災害時の緊急輸送路上に布設された管路などは、優先的に更新すべき管路であり、また、中・大口径の管路の更新では、単年での更新が不可能なものや、他関係機関との調整が必要なケースなど、機械的な算定では補完できない様々な要素が絡むケースが多々ある。事業計画策定はこれらの要素を複合的に考慮して計画する必要がある。このことから、本業務においても、算定した更新優先順位については、事業計画策定にあたっての基本的な整備順位として位置付けで活用し、最終的には先に示した諸条件を加味した、事業計画を策定した。

管路の更新評価の手法については、水道技術センターなどからも度々新しい知見が公表されているが、評価指標を共通した尺度で定量化する手法については、今回紹介した、AHPが比較的導入しやすいと考える。管路更新は、水道事業において、財政的に最も負担となる項目であると言える。中長期的視点で水道事業を考えていくには、本業務で実施した様な更新計画の策定手法を用いて、計画的、効率的な実施を行うことが有効である。