

水道管路網の改良・更新計画のための 評価手法に関する研究

小棚木 修¹・小泉 明²・渡辺 晴彦³

¹正会員 株式会社 日水コン 環境事業部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿 6-22-1)

²フェロー会員 工博 東京都立大学大学院 工学研究科 教授 (〒192-0397 八王子市南大沢 1-1)

³正会員 工博 株式会社 日水コン 環境事業部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿 6-22-1)

水道事業は、建設拡張時代に整備された施設、管路を中心として既存施設の改良・更新の段階を迎えている。改良・更新に際しては、給水サービスの向上や渇水時や地震時への対応など管路の機能向上も図る必要があり、“限られた財源の中でいかに水供給機能の維持・向上を図るか”に視点を置く必要がある。このためには、水道供給へのニーズならびに環境変化を踏まえて、現在の管路網が今後も機能を充足、維持できるかを評価することが重要である。そこで本研究では、水道管路網の改良・更新計画を立案するための計画情報を作成することを目的として管路機能の評価手法を提案し、ケーススタディによりその有効性を検討した。

KEYWORDS : water supply, networks, improvement, renewal, evaluation method.

1. はじめに

わが国の水道事業は 96%という高普及率を実現し、普及の拡大および需要水量の増加に対応するための施設整備が一段落しつつある。今後は人口ならびに水需要の伸びも緩やかであると想定されることから、昭和 30 年代から 40 年代の建設拡張時代に整備された浄水場や配水池などの構造物ならびに管路を中心として、既存施設の改良・更新の時代を迎えることになるといわれている。特に管路については水道施設全体の 6 割～7 割程度の資産価値を占めており、この更新には膨大な費用を要することになる。図-1 に全国の水道管路の管種別構成比（平成 10 年度）を示すが¹⁾、脆弱性および水質劣化の可能性が指摘され、早急な更新が必要とされている。また、全管路のうち布設後 20 年以上を経過した管路は 18 万 km と全体の 36%を占めており、近い将来には法定耐用年数（铸铁製 40 年、その他 25 年）を超過する管路が大きな割合を占めることが予想される。

一方、水道施設に求められる機能も変化してきており、量の確保から災害や水質悪化等への対応など、質の確保・向上に重点がシフトして

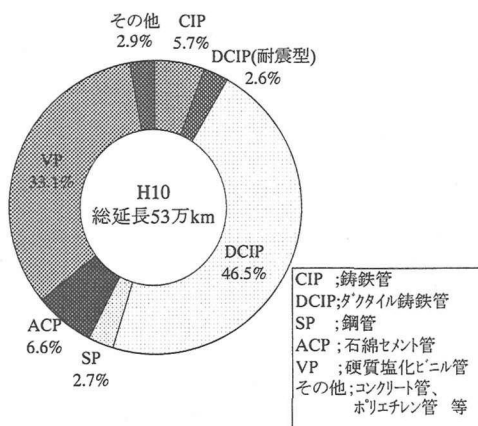


図-1 水道管路の管種別構成

きている。需要者への水供給を支える管路網については、過去においては給水区域の拡大に伴う新規布設ならびに出水不良や赤水対策、漏水（破損）などへの対症療法的な機能維持対応が中心であった。現在および今後においてはこれらの機能に加えて、①給水圧の向上による直結給水の拡大、②通常時の管路工事時の断水回避、③消毒副生成物の増加抑制のための管内滞留時

間の改善・均等化，④渇水時などの水量不足時の公平な給水，⑤地震時などの災害時の信頼性確保等への対応が求められている。現状の多くの水道事業における給水状況は，2 階建て程度の低層建物への給水にはほぼ支障のないレベルが確保できており，かつ給水原価を圧迫しない程度の有収率を達成できている状況等にある。このため，局所的に水圧不足を引き起こすなど一部の問題のある管路を除けば給水サービスの質的向上に向けて積極的に管路更新を行う誘因が働きにくい環境にあり，ACP や無ラインギングの CIP などの経年管や道路改良に合せた更新が中心となっている状況である²⁾ 3)。

しかし，将来の地区別水需要の偏在化や水道のサービス水準の向上といった水供給の環境変化を考えると，顕在化している課題への対応だけでなく，現在の管路網が今後も機能を充足，維持できるかを評価し，これへの対応を図っていくことが重要である。すなわち，予防・保全的な立場からの改良・更新が求められる。この際，水道の供給システムは個々の管路および付属設備などの構成要素の組み合わせによって総合的に機能を発揮するシステムであることから，管路網としての機能評価を行う必要がある。

給水サービスの質的向上は給水収益の増加に結びつかない事業が中心となることから，計画的な管路の改良・更新は“限られた財源(投資額)の中でいかに水供給機能の維持・向上を図るか”に視点を置いて考える必要がある。このためには，更新・改良の判断を個々の管路の法定耐用年数などの寿命に関する基準や，通水能力(動水勾配)ならびに需要地の水圧の確保状況などの絶対的基準のみに基づくのではなく，水道の供給システム全体の中で管路網として相対的に評価し，管路網としての効率的な機能の維持・向上を図る必要がある。

そこで本研究では，水道管路網の効率的な改良・更新計画を立案するための計画情報を作成することを目的として，管路機能の評価手法の作成を試みる。以下，2. では評価システムの構造および評価方法を提案する。そして3. では A 市におけるケーススタディを行い，本評価方法の有用性を検討する。

2. 管路機能の評価手法

(1) 評価の視点

水道管路の機能は，水質を極度に劣化させる

ことなく需要者まで所要の水圧で必要水量を供給することにある。この水供給のレベルは，通常時の最低限の水供給のレベル(レベル 1)から地震等の災害時への対応が可能なレベル(レベル 3)まで 3 つのレベルで捉えることができる。

◆レベル 1: 濁りがない，水圧が不足しないなど水道が最低限確保すべき水供給のレベル

◆レベル 2: 中層建物などへの直結給水が可能であり，かつ工事や軽微な事故時等にも安定的な水供給が行えるレベル

◆レベル 3: 渇水や地震等の災害に対しても公平な水供給が行え，通常の状態への復旧が迅速に行えるレベル

水道が需要者へ供給するサービスの種類(内容)である水量，水圧，水質について水道管路に求められる機能をこれらの 3 レベルにより対応づけて示すと図-2 となる。この機能の維持・向上は水道管路を改良・更新する際の目的として位置づけることができ，通常時の最低限の水供給の確保(レベル 1)を前提とした上で，順次レベル 2，レベル 3 を目指していくことが必要と考える。

(2) 評価項目，評価指標

管路の改良・更新の目的を図-2 に示した管路機能の向上としてとらえたとき，管路の評価項目はこの機能が確保・達成されているかどうかに着目して設定することができる。

レベル 1 の状態は通常時の水量，水圧，水質が満足できる水準にあることを示しており，健全性として表すことができよう。また，レベル 2 はレベル 1 の水準に対して水圧の供給レベルがより充実していること，軽微な外乱等に対しても対応できること，さらにそれらの水供給が効率的に行えることを意味しており，それぞれ充実性，信頼性，効率性として表せる。さらにレベル 3 は，災害時等に対する耐性が高いことを意味しており，応急性として表せる。このことから，ここでは機能を①健全性，②充実性，③効率性，④信頼性，⑤応急性の 5 項目としてまとめて表すこととする。

各評価項目に対する評価指標としては，なるべく統計データや管網計算より得られることを考慮し，表-1 の指標を選定した。

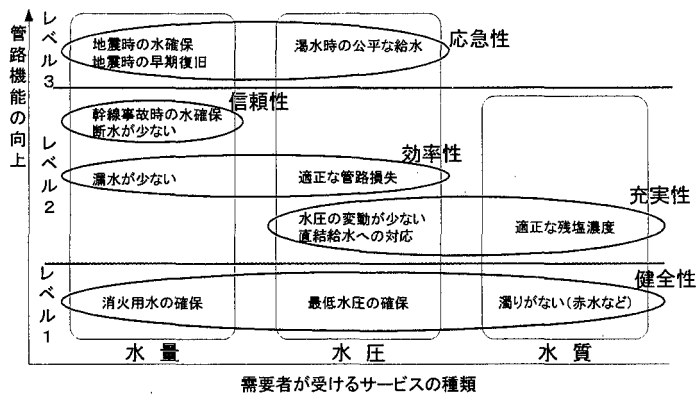


図-2 管路機能と改良・更新のレベルの対応

表-1 管路機能の評価項目および評価指標，得点化基準

レベル	評価項目	評価指標	得点の基準		
			3点	2点	1点
レベル1	健全性	①有効水頭不足比率 (%)	0%	0%超20%未満	20%以上
		②消火時水圧不足地区の有無	なし		あり
		③無ライニング管比率 (%)	5%未満	5%以上10%未満	10%以上
レベル2	充実性	④直結給水不足比率(5直) (%)	10%未満	10%以上25%未満	25%以上
		⑤水圧変動幅 (m)	10m未満	10m以上20m未満	20m以上
		⑥管内滞留時間 (hr)	10hr未満	10hr以上20hr未満	20hr以上
	効率性	⑦有取率 (%)	90%以上	80%以上90%未満	80%未満
		⑧区域内平均動水勾配 (‰)	5‰未満	5‰以上10‰未満	10‰以上
	信頼性	⑨脆弱管(老朽管)比率 (%)	5%未満	5%以上20%未満	20%以上
レベル3	応急性	⑩系統の安全度(事故率) (件/年)	0.1件/年未満	0.1件/年以上0.5件/年未満	0.5件/年以上
		⑪幹線のバックアップの有無	あり		なし
		⑫幹線の耐震化率 (%)	80%以上	50%以上80%未満	50%未満

注) 評価項目は文献 4)を参考とした

(3)評価方法

本研究で提案する管路網の評価手法は，供給システム全体における管路網の位置づけを明らかにすることにより，効率的に管路機能の向上を図るための改良・更新の優先順位付けを行うことを意図している。このため，評価は給水区域内の系統あるいは配水区域単位で行うことが有効と考える。

また表-1 に示した評価指標は，単位等がさまざまであるため，指標間での比較が可能なように得点化（無次元化）する。得点化にあたっての留意点としては，基準値が設定できるかどうかが挙げられる。有効水頭などのように目標水準が設定でき，これを達成しているかどうかを容易に判定できるものは目標水準に対する充足度あるいは不足度などで表し得るが，水圧変動幅などのように明確な基準値がない場合は配水

区域ごとの指標値の分布（最大，最低，平均，ばらつきなど）をもとに得点化の基準を設定する。

ここでは，各指標値を望ましい状態（3 点）～劣る部分がある状態（1 点）の 3 段階で得点化することとし，表-1 に併記した得点化基準を設定した。

そして評価指標ごとの重み付けをもとに得点の総合化を行ない，これにより各配水区域の相互比較を行う。この評価指標の重み付け方法としては，複数の評価指標間の重み付けの整合性の確保ならびに，計画策定者の各評価指標・評価項目に対する多様な価値基準やあいまいな選択基準のもとで合理的な重み付けが可能な手法である Analytic Hierarchy Process(AHP)^{5), 6)}を用いた。

3. ケーススタディ

(1) 対象地域の概要

ケーススタディの対象地域としたA市の概要を図-3に示す。

A市は給水人口17万人、実績一日最大給水量 $62,000\text{m}^3/\text{日}$ の都市であり、15年後には給水人口の増加に並びに市街地再開発事業等により $74,000\text{m}^3/\text{日}$ の水需要が見込まれている。水道は市街地に隣接するA浄水場と郊外部のB浄水場の2ヶ所から3ヶ所の配水池により供給されている。地盤高は $33\text{m}\sim 89\text{m}$ の範囲であり、平均で 50m となっている。配水区域は、配水池系統ごとに低区(X配水池)、中区(Y配水池)、高区(Z配水池)に3区分され、さらに各系統が10の配水ブロックに分割されている。

低区系のB1, B2, B3配水ブロックは旧市街地に位置しており、昭和30年代に布設されたCIPやACPが残存している。さらにX配水池からの配水幹線もCIP管である。他の配水ブロックは比較的近年布設された管路が多く、Z配水池系の配水幹線は耐震型継手を有するDCIPである。

将来の水需要は、B2配水ブロックは再開発事業により、B6・B10配水ブロックは宅地造成により大幅な水需要増が見込まれている。

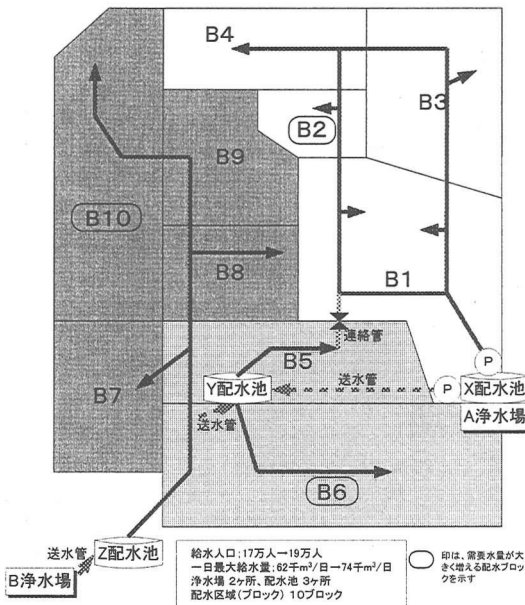


図-3 対象地域の概要

(2) 指標値および得点の算出

表-1に示した評価指標を配水ブロック別に算出した結果を表-2(抜粋)に示す。

これらのうち健全性、充実性に関する指標値および効率性(⑧区域内平均動水勾配)、信頼性(⑨脆弱管比率)、応急性(⑫幹線の耐震化率)は、管網計算(対象管路 $\phi 100\text{mm}\sim \phi 1100\text{mm}$ 、総延長 $L=\text{約 } 510\text{km}$ 、節点数 $=\text{約 } 1,900$ 、管路数 $=\text{約 } 2,600$)により算出している。また、将来時の管網計算は、現状の施設のままでの状態で将来の水需要が発生した場合を想定している。水圧不足の判定基準は、①については 15m 、②は負圧にならないこと、⑤については5階建て建物への直結給水を想定し 30m とした。

⑦有収率は現状については、配水データと地区別検針データにより算出した。また、有収率の将来値は、各ブロックの老朽管延長比率により、現状値より $2\%\sim 6\%$ を減じて設定した。さらに、⑩系統の安全度は、管種別の事故発生率 η をもとに、各配水ブロックへの供給管となる配水幹線の管種・延長より1年間に想定される事故件数を算定した。⑪幹線のバックアップの有無は、隣接する配水ブロック間で幹線が連結しているかどうかで判定した。

そして、表-1に示した得点化基準にもとづき得点を算出した結果が表-3である。

表-3では図-4のAHPの手順により設定した各評価指標の重要度により評価項目ごとの得点を算出し、さらにこれを評価項目間の重要度により設定した重みによる加重平均により総合得点として表した。この際、まず各レベルごとの重要度を算出し、レベル2については、これを各評価項目に再配分している。

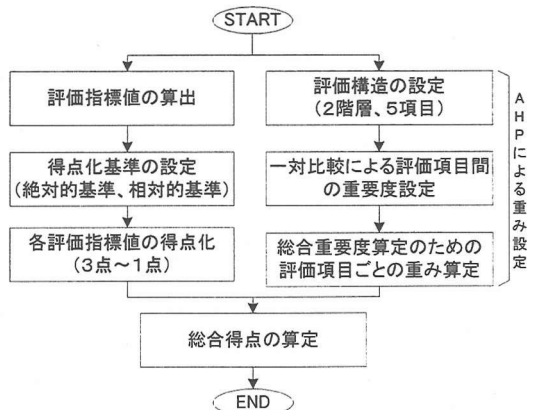


図-4 AHPを用いた総合得点の算定プロセス

表-2 指標値の算出結果（抜粋）

評価項目	評価指標	現状				将来			
		B3	B4	B6	B8	B3	B4	B6	B8
健全性	①有効水頭不足比率 (%)	0%	0%	0%	0%	0%	48%	100%	0%
	②消火時水圧不足地区の有無	0%	0%	0%	0%	0%	22%	100%	0%
	③無ライニング管比率 (%)	34%	1%	9%	0%	34%	1%	9%	0%
充実性	④直結給水不足比率(5直) (%)	0%	47%	34%	4%	0%	69%	100%	5%
	⑤水圧変動幅 (m)	15.7	6.3	6.4	12.0	17.8	8.7	34.9	12.6
	⑥管内滞留時間 (hr)	3.8	10.3	8.7	7.2	3.1	8.4	8.2	5.9
効率性	⑦有収率 (%)	83.0%	83.0%	92.8%	88.7%	77.0%	81.0%	88.8%	86.7%
	⑧区域内平均動水勾配 (‰)	2.7	4.0	0.8	2.3	4.4	8.4	3.0	4.6
信頼性	⑨脆弱管(老朽管)比率 (%)	34%	1%	9%	0%	34%	1%	9%	0%
	⑩系統の安全度 (件/年)	0.27	0.24	0.51	0.03	0.27	0.24	0.51	0.03
応急性	⑪幹線のバックアップの有無	有	有	無	有	有	有	無	有
	⑫幹線の耐震化率 (%)	0%	29%	0%	100%	0%	29%	0%	100%

表-3 得点の算出結果（抜粋）

評価項目	評価指標	AHPによる 重み	現状				将来				
			B3	B4	B6	B8	B3	B4	B6	B8	
健全性	①有効水頭不足比率	0.43	3	3	3	3	3	1	1	3	
	②消火時水圧不足地区の有無	0.43	3	3	3	3	3	1	1	3	
	③無ライニング管比率	0.14	1	3	2	3	1	3	2	3	
充実性	④直結給水不足比率(5直)	0.64	3	1	1	3	3	1	1	3	
	⑤水圧変動幅	0.11	2	3	3	2	2	3	1	2	
	⑥管内滞留時間	0.26	3	2	3	3	3	3	3	3	
効率性	⑦有収率	0.75	2	2	3	2	1	2	2	2	
	⑧区域内平均動水勾配	0.25	3	3	3	3	3	2	3	3	
信頼性	⑨脆弱管(老朽管)比率	0.25	1	3	2	3	1	3	2	3	
	⑩系統の安全度	0.75	2	2	1	3	2	2	1	3	
応急性	⑪幹線のバックアップの有無	0.50	3	3	1	3	3	3	1	3	
	⑫幹線の耐震化率	0.50	1	1	1	3	1	1	1	3	
健全性 合計得点		レベル1 0.48	0.48	2.72	3.00	2.86	3.00	2.72	1.28	1.14	3.00
充実性 合計得点		レベル2 0.41	0.20	2.90	1.47	1.73	2.90	2.90	1.73	1.52	2.90
効率性 合計得点			0.03	2.25	2.25	3.00	2.25	1.50	2.00	2.25	2.25
信頼性 合計得点		レベル3 0.11	0.18	1.75	2.25	1.25	3.00	1.75	2.25	1.25	3.00
応急性 合計得点			0.11	2.00	2.00	1.00	3.00	2.00	2.00	1.00	3.00
総合得点			2.48	2.43	2.14	2.96	2.46	1.65	1.25	2.96	

(3) 得点にもとづく配水ブロックの現状と将来の比較

算出した現状と将来の総合得点をそれぞれ縦軸、横軸にとり、各配水ブロックをプロットすると図-5 となる。対角線の下側にプロットされる配水ブロックは、現状の評価に比べて将来時の評価が悪くなることを示している。一方、対角線上にプロットされる配水ブロックは現状と将来の評価がほぼ同等であり、機能が維持されることを示している。図-5 ではB2、B4およびB5、B6の4配水ブロックは将来時の機能が大きく低下することが想定される配水ブロックであり、他の7配水ブロックは将来も現状と同等の機能維持が見込まれる。現状に対して機能低下が大きい配水ブロッ

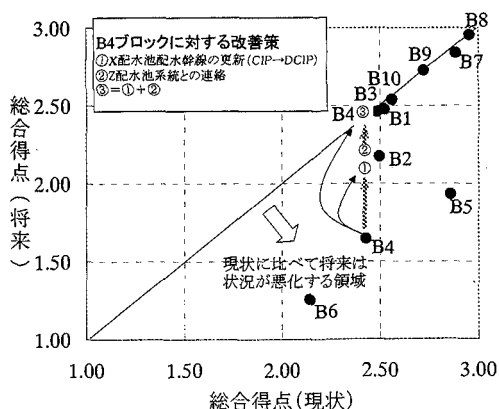


図-5 総合得点のプロット

クとしてB4とB6を、機能維持が見込まれる配水ブロックとしてB3とB8を取り上げ、これら4配水ブロックについて評価項目ごとの得点状況を図-6に示した。

B3とB4を比較すると、現状はB3、B4ともほぼ同等の総合得点であるが、将来時はB3が現状レベルであるのに対しB4は約0.8ポイント減少している。B4の総合得点が減少した主な要因は将来時の健全性に関する得点が減少したことによるものであり、水圧の低下(①有効水頭不足率および②消火時水圧不足地区の有無)が原因となっている。B4においては、現状に比べて将来は⑤水圧変動幅および⑧区域内平均動水勾配が若干悪くなる程度であり、⑥管内滞留時間が改善されていることを考えると、B4配水ブロックの上流に位置するB1～B3の需要増による影響を受けていると判断できる。また、B3配水ブロックは、現状の総合得点が全配水ブロッ

クの中でも高い方ではないが、この状況が将来も維持される結果となっている。

B6は現状では水圧状況が良好であり、かつ配水区域、管路も効率的な状態であるが、将来の水需要への対応ならびに事故時等への対応機能が不十分なため、将来時は他の配水ブロックと比較して極端に低い総合得点となっている。すなわち、将来は管路の通水能力の低下により、十分な水供給ができなくなる状況が予想されることが示されている。

一方、B8は水圧変動幅がやや大きいことや有収率が若干低いため充実性および効率性には欠ける面があるが、他の項目は十分に高い評価が得られており、同配水ブロック内の一部管路への水量負荷の集中による損失水頭の発生や漏水の発生は全体的に見れば問題は少ないと判断することができる。

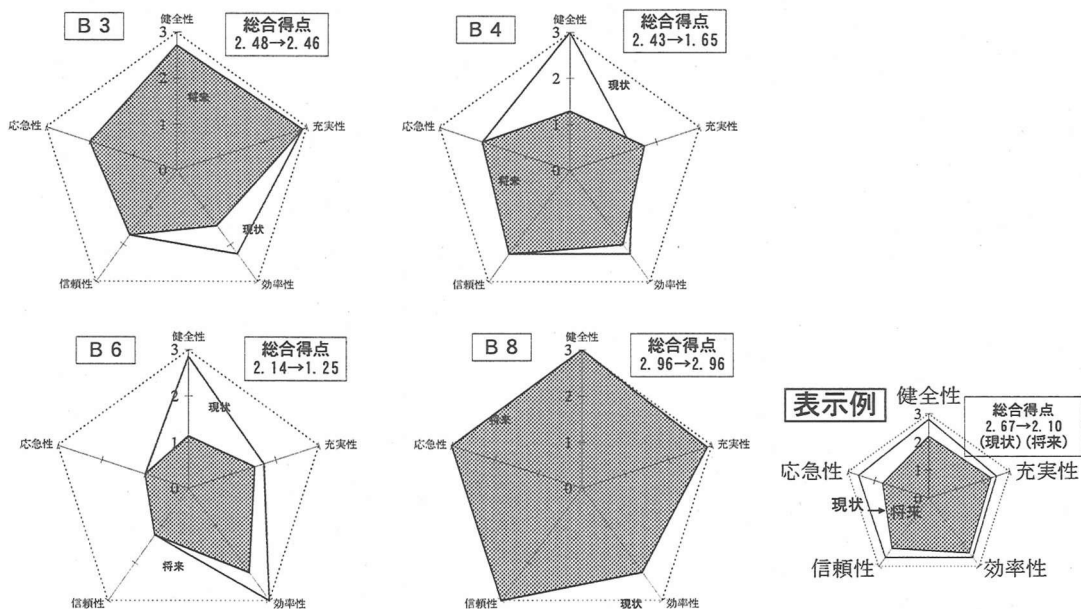


図-6 評価項目ごとの得点(抜粋)

このように、それぞれの評価項目および評価指標についての得点を配水ブロック間で比較することにより、現状で顕在化している問題に着目するだけでなく、非常時や将来に対しての評価をも踏まえて各配水ブロックの管路機能を総合的に評価することができる。総合得点の減少度が大きい配水ブロックは、現状に比べてサー

ビスレベルの低下を生じることになるため、同一レベルの配水ブロックよりも改良・更新の優先度を高くすることが有効と考える。

(4) 改良・更新の優先順位の検討

このような考察をもとに、各配水ブロックの改良・更新の優先順位を5段階に分けて設定し

た結果を図-7に示す。

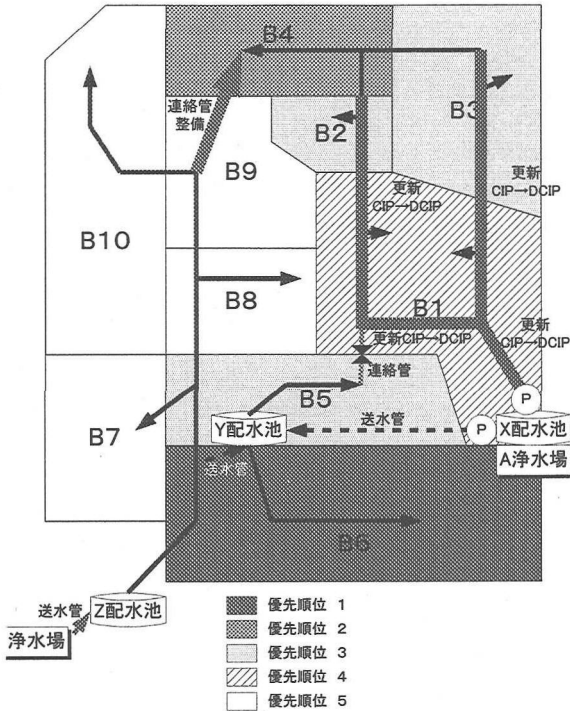


図-7 配水ブロックごとの改良・更新の優先順位

図-7に示したように改良・更新の優先順位は将来時の対応状況が極度に低下するB6が1番目であり、次いでB4、以下B2・B3・B5、B1の順となっている。Z配水池系統B7～B10の4配水ブロックは他の6配水ブロックに比べて優先順位が低くなっている。B4の水道サービスレベルを維持するためには水圧低下の原因となる幹線的能力確保が必要である。B4の上流側のB2配水ブロックおよびB3配水ブロックにおいても改良・更新が必要と判断されることから、X配水池の系統についてはまず全体の幹線の改良・更新を行い、次いでB4、B2、B3配水ブロック内の支管等の改良・更新を進めていくことが有効と考えることができる。さらに、Z配水池系統は全体的に管路能力が高く、改良・更新の優先度が低い。このことから、B9からB4にかけて連絡管を整備することによりB4の水圧ならびに緊急時等の連絡性についての状況改善を図ることが有効と考えられる。

図-7に太線で示した①管路更新、②連絡管整備をそれぞれ行った場合、および③両方の整備

を行った場合のB4の総合得点の変化を図-5に示している。同図に示すように、X配水池からの幹線の更新(①)により系統の安全度ならびに幹線の耐震性が向上するため将来時の総合得点は向上するが、水圧状況が改善されないため現状レベルまでは機能が回復できない。また、Z配水池系統との連絡管整備(②)は水圧面での改善に寄与するが、幹線事故の危険性および地震時等の水確保が図れないため、①と同様に現状に比較して将来時の機能が劣っている。これら両方の整備を行った場合(③)は、それぞれの改良・更新が相乗的に作用し、水圧状況が改善されることおよび系統の安全度、幹線の耐震性が向上することにより総合得点が現状に比較して向上しており、これらの整備の効果が高いことが把握できる。

4. おわりに

本研究では、今後の水道事業の大きな課題として認識される施設の改良・更新について、管路網を対象として計画情報を作成するための評価方法を提案した。

まず、機能向上も含めて管路に求められる機能を整理し、改良・更新のレベルを3レベルに分けて設定した。そしてこれを評価する評価項目、評価指標を提示した。この評価においては、水道の供給システムは複数の管路および付属設備の組み合わせにより機能発揮されることを踏まえて、系統あるいは配水区域単位で評価することを提案した。そして評価指標はなるべく統計データや管網解析により把握できるものを選定した。

さらにケーススタディでは、10の配水ブロックを形成するA市を対象に、現状と現施設のままだけ15年経過した場合の2断面に対し評価指標値を算出し、これをもとに配水ブロックごとの改良・更新における優先順位について検討、考察した。このケーススタディにより、現状の配水状況が極端に悪くなくても将来時にサービスレベルの低下が大きい配水ブロックを抽出することができ、現状の顕在化している問題点のみではなく、将来時の状況を踏まえた改良・更新の優先順位付けができた。また、この得点状況を配水ブロックの位置関係を含めて考察することにより、同一幹線系統内の上下流関係、隣接する系統との関係を踏まえて改良・更新の方向性を検討することも可能であることが明らかとなった。

今後は、総合得点算出における重みの設定に関し、評価項目内の各指標の重みを考慮した多階層的なアプローチならびに重み付けによる感度分析を行い、本研究で提案した評価手法の精度向上を図ることが考えられる。また、把握・評価した問題点を具体的にどう改良・更新計画に結びつけていくかについては、事業費ならびにランニングコストを組み込んだケーススタディを通じて研究を進めていきたい。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、(株)日水コン・大石哲司氏には計算等に関し多大な協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1. (社)日本水道協会：水道統計，昭和 59 年度版・平成 10 年度版
2. 市村ら：水道施設の改良・更新への対応と課題(上)，水道公論，Vol.34,No.6，pp.21-48,1998
3. 杉浦ら：水道施設の改良・更新への対応と課題(下)，水道公論，Vol.34,No.7，pp.21-55,1998
4. 導・送・配水システム評価マニュアル(案)，(財)水道管路技術センター，pp.4-5，1995
5. T.L.Saaty：The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980
6. 刀根薫：ゲーム感覚意思決定法，日科技連，1986
7. 小林康彦：水道管路の破損と機能劣化，(財)水道管路技術センター，技術レポート No.1，p17，1988

A Study on Evaluation Method for Improvement and Renewal Plan of Water Supply Networks

Osamu ODANAGI, Akira KOIZUMI, Haruhiko WATANABE

Water utilities are reaching a stage of improvement and renewal of aging facilities and pipelines. In addition, improving the quality of water services, such as gaining adequate water pressure, maintaining water quality in distributed water and establishing of countermeasures against an earthquake disaster or a drought etc., is also required. In order to meet these needs of improving water supply system with limited financial resources, it is necessary to rationally evaluate the functions of the water system and establish the project priorities, considering present and future conditions.

This paper proposed a methodology to evaluate the functions of the distribution water mains to help with the planning of the improvement and renewal of water supply networks, and showed a case study applying this methodology.