

将来の水需要減少を考慮した水道管路の 経済的更新計画に関する一考察

森 正幸¹・稲員 とよの²・小泉 明²・渡辺 晴彦³・沼田 篤男²

¹首都大学東京大学院・都市環境科学研究科（〒192-0397 八王子市南大沢1-1）/（株）日水コン
E-mail: mori_m@nissuicon.co.jp

²首都大学東京大学院・都市環境科学研究科（〒192-0397 八王子市南大沢1-1）

³（株）日水コン 中央研究所（〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1）

本研究の目的は、将来の需要水量の減少を考慮した水道管路の長期的更新計画方法論を提案し、その有用性を実証することである。このために、需要水量の減少に伴って管路事故時の被害規模が縮小すること、並びに管路通水能力の余裕を利用した安価な工法の採用によって更新費を低減できることを考慮し、経済的な管路更新事業の計画立案と評価方法を構築した。ケーススタディにおいて、提案した計画立案方法による計画案が、従来の「時間基準更新」による計画案に対して経済的に有利であることを費用便益分析により実証し、感度分析により本方法の経済的優位性が大きくなる条件を把握した。

Key Words : replacement, water distribution pipeline, cost-benefit analysis, water demand

1. はじめに

(1) 背景

我が国の水道は、総額40兆円以上（平成17年度末推計）と言われる水道施設（資産）を利用して高水準のサービスを提供している。総資産のおよそ6～7割は水道管路が占めており、全水道事業にとって水道管路は必須の資産である¹⁾。中でも、配水ネットワークは、大量送水を担う「幹線（配水本管）」と、需要家への水配分を担う「配水支管」の2種類の管路から構成されている。管路事故が発生した場合の影響程度は、概して、前者の方が大きい。また、管路更新事業において、費用面や施工面で事業実施に支障が多いのも前者である。このため、予備、分散配置、系統多重性確保といった措置²⁾が講じられているが、必ずしも十分でない。

一方、本格的な人口減少社会に移行した我が国においては、需要水量の減少に伴って幹線通過水量が減少し、他管路による代替経路が存在すれば、幹線の更新工事が容易になることが期待される。具体的に言うと、給水サービスに大きな支障なく、工事対象管路を断水状態にした工事の実施が可能になり（以下では、断水工事可能性と称する）、不断水状態での工事よりも更新費が安価になる。また、人口・水需要の減少は破損・漏水事故発生時の1件当たり被害額（以下では単位被害額と称する）の減少に繋がる。

他方、需要水量の減少に伴う給水収益の低下が更新投資財源の減少を招く可能性が大きい。このような状況下で断水工事可能性の変化を待つ更新の好機を逸すると、経年化による事故発生頻度の増大を招き、単位被害額減少というメリットが相殺され、結果として被害が大きくなる恐れがある。とくに事故時に大きな被害が発生する管路、言い換えると単位被害額の大きな重要幹線ではその傾向が一層強くなる³⁾。

したがって、人口減少社会においては、予算制約下で、需要水量の減少に伴う断水工事可能性の好転と被害規模の減少、一方で、管路経年化による事故件数の増加リスクを総合的に判断した管路更新戦略が求められる。

(2) 研究の目的と本論文の構成

本論文の目的は、水道幹線管路を対象として、断水工事可能性に着目し、費用・被害和の期間累計値の最小化を目指す「費用基準」による長期的更新計画方法論を構築し、その有用性を実証することである。すなわち、以下、2.では、断水工事可能性を考慮した長期的更新計画立案並びに経済性評価の方法を提示する。3.では、この方法により、複数の幹線等で構成される管網を対象にしたケーススタディを行う。まず、管網内の個々の管路について経済的更新期を算定し、重要性を把握する。次に、その過程で得た情報を基に、予算制約の下で複数管路を対象として費用基準並びに従来の時間基準により更新事

業編成を行い、前者の経済的優位性を実証する。なお、本論文では、幹線の重要性を、破損・漏水事故時の被害額の大きさに評価する。

2. 費用基準更新による幹線更新計画と経済性評価の方法

(1) 考え方

本論文で取り上げる「費用基準更新」による更新計画とは、更新費と被害額（断減水等による被害及び修繕費）の和について、一定期間の累計が最小となるように管網内の管路毎の更新時期を決定するものである。これは費用便益分析における「費用－便益（C－B）」の最小化に相当する。これにより、将来の需要水量減少を待つて更新費を縮減することと、事故発生頻度の増大と事故時単位被害額の減少を見計らって適時の管路更新により被害額を抑制することを総合的に取り扱うことができる。そのためには、まず、個々の管路について経済的な更新時期を求め、次に予算制約の下で管網内全管路の費用・被害と累計が小さくなるように事業計画編成を行うという2段階の計画立案作業と評価が必要になる。

第1段階として、個々の管路の経済的な更新時期を算定する方法について、図-1を用いて説明する。

(i)は横軸を時間軸として更新価格を示したもので、水需要が一定であればどの期で更新しても現在価値への割引前の値は一定値をとるものと考え、水需要減少時には、それまで断水工事が不可能であったものが、ある期から他管路の通水能力に余裕が生まれることにより、断水工事が可能になる場合があり、安価な工法の採用によりその後は価格が低下する。(ii)は t 期に更新を行った場合の更新費を示し、(iii)は横軸を更新する期（ t 期）にとった場合の更新費累計を示している。

(iv)は後述の故障率曲線（指数タイプ）によって算定される故障件数を示しており、(ii)で示すように t 期に更新すると故障件数は急減し、再び徐々に増え始める。更新を行わず、修繕のみで事後対応し続ける場合の件数は細い破線で示している。(v)は断減水被害と修繕費についてそれぞれを単位被害額として示している。前者は水需要の減少にともなって減少するが、後者は変わらないものとしている。(vi)は、(iv)の故障件数に(v)の単位修繕費と単位被害額の和を乗じることで求められ、その評価対象期間全体の累計値が t 期で更新したときの被害期待値総額となる。これを t 期を横軸としてプロットしたものが(vii)である。(viii)は(iii)と(vii)を合成したものであり、その最小点の期が経済的な更新となる期である。

第2段階として、複数の管路で構成される管網を対

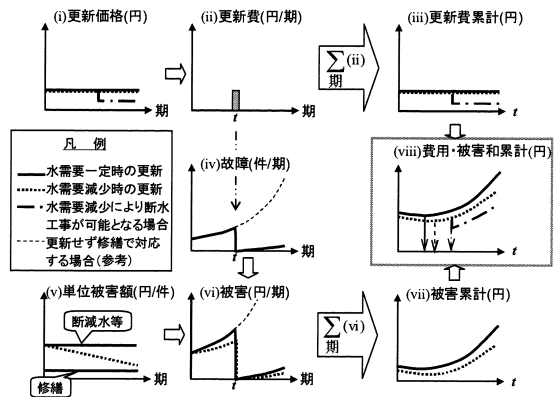


図-1 単管路更新における経済的更新時期算定モデル

象とする場合には、予算制約の下で更新事業期の調整が必要になる。調整に際しては、費用基準更新の場合は費用・被害と累計の代表値が大きな管路を優先する。一方、時間基準更新は一定の経年数以上の管路を対象として更新することを基本とする更新戦略であるため、調整に際しては、経年数の大きな管路を優先する。

(2) 基本的条件の設定

a) 更新投資シナリオの設定と水需要将来推移の想定

上述のように、費用基準更新戦略の経済優位性を実証するために、次の2つの更新投資シナリオを検討する。

シナリオ1：時間基準更新

シナリオ2：費用基準更新

次に、対象地域での一日最大給水量ベースの需要水量が将来的にどのように減少するかという水需要の推移を想定する。これは後述のように将来時点における供給率、予算制約などの説明変数となる。

なお、本論文では、明示的に記述する場合を除き、時間の変数は、5年を1単位とする「期」とする。

b) 断水工事可能性指標の定義

本論文で提案する断水工事可能性指標を算定するには、次式の t 時点における管路 i の欠損時の供給率 R_i^t が必要である。

$$R_i^t = \frac{\min_j (H_{i,j}^t)}{Q^t} \quad (1)$$

ここで、分子の括弧内の $H_{i,j}^t$ は、 t 時点において、管路 i 欠損時に、全管路健全時の各節点給水量を同じ割合で増減させた時に、幹線ネットワークの節点 j の有効水頭が基準値を満たす場合の合計給水量のことである。分母 Q^t は t 時点の一日最大給水量である。

この供給率は小棚木ら⁹⁾が提案した供給可能水量比の

定義を拡張し、1 超の値もとる。例えば、十分に整備されたネットワークであれば、全管路健全時には時間最大係数を上回る数値となる。需要水量の減少に伴って、式(1)の分母が小さくなるので、ネットワークの水理的状态(骨格、口径、流速係数)が同様ならば、供給率は大きくなる。

次に、 t 時点における管路 i の断水工事可能性指標を次式で定義する。

$$\delta_i^t = \begin{cases} 1 & \cdots R_i^t \geq R_a \\ 0 & \cdots R_i^t < R_a \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 δ_i^t : 管路 i の t 期における断水可能性指標、 R_a : 許容供給率。

さらに、更新費は次式で定義する管路 i の再取得価格 P_i^t を用い、その際に δ_i^t 値を利用する。

$$P_i^t = u_i L_i + (1 - \delta_i^t) \alpha_i E_i \quad (3)$$

ここで、 u_i : 管路 i の更新単価 [千円/m] であり、口径と管種の関数、 L_i : 延長[m]、 E_i : 断水工事不可能な場合に必須となる不断水分岐工事の費用、 α_i : 不断水での更新工事個所数 (= L_i / V 、 V : 不断水での更新工事の工区割[m])。

(3) 単管路の検討

a) 故障予測、断減水等の被害額、並びに修繕費の算定

ここでは、管路毎に更新期を仮定した場合の故障予測、断減水等の被害額、並びに修繕費算定を行う。

故障予測は、著者らの既報⁹⁾に示した方法を簡略化し、公表済みの故障率曲線⁹⁾を利用して故障件数期待値を予測する方法による。SDIP (耐震継手付きDIP) については、既報⁷⁾で示したように最新技術による長寿命化効果を評価して係数を決定する。

管路故障時には破損・漏水事故が発生すると仮定する。その時の被害額は、事故発生から事故箇所の止水までの影響によるものと、止水以降復旧完了までの影響によるものに分けて算定し、それらを加算する。前者は、事故管に生じる水理・水質的な影響、すなわち、濁水や赤水による給水障害にかかる被害である。ここでは、その影響範囲を事故管の事故前流量が全給水量に占める割合

(以下では、流量比 F と称する) で捉え、影響時間を事故発生から事故区間止水までの時間として6時間を仮定(給水制限率として25%相当)し、既往マニュアル⁹⁾を利用して、生活用水と都市活動用水それぞれについて求める。後者は、著者らの既報⁹⁾に示したように、給水制限率を説明変数とする被害原単位に基づくものを用途別に計上する。給水制限率については前掲の供給率 R (< 1) を利用し、給水制限率 = $1 - R$ として算定するものとす

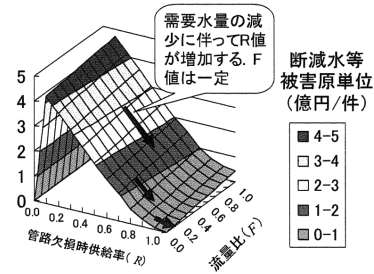


図-2 被害原単位の例

る。

したがって、幹線の重要性を表す事故発生時の被害額の高さ、被害原単位は F と R の関数になる。 F は、管網内の口径構成が変化しなければ時間的に一定であるが、 R は需要水量の減少により増加する。被害原単位の例を図-2に示す。

故障時の修繕費も著者らの既報⁹⁾に示すように、1件当たりの修繕費を口径並びに管種の関数として与えて、事故件数を乗じて算定する。

b) 費用・被害和曲線の作成と経済的更新期の算定

ここでは、前項の結果に基づいて、費用・被害和曲線を用意する。この曲線は横軸を仮定更新期とし、更新事業費の100年累計値と、断減水等被害額並びに修繕費の100年累計値の和をプロットするものであり、前掲の図-1の(viii)のように曲線の最小点の期が経済的更新期となる。なお、費用と被害は社会的割引率によって現在価値化された値を用いる。

(4) 複数管路の検討

a) 更新優先順の検討

費用基準更新シナリオの場合、単管路での検討で算定された経済的更新期を事業期決定の基本条件とする。同一期に事業が集中し、予算制約を超える場合には、費用・被害面での影響を考慮し、費用・被害和曲線作成時に得られた費用・被害和100年累計値の平均値が大きな管路を優先し、山崩し法により事業費を調整する。

時間基準更新シナリオの場合は経年数の大きいものを優先し、同じ経年数の管路が複数存在すれば、その中の優先順は無作為選択によって決定するものとする。ただし、口径と管種によって更新対象とする管路の最短経年数を決めておくものとする。

いずれのシナリオについても、更新後の管種としてはSDIPを選択することとする。なお、2回目以降の更新は評価対象期間の100年以内に完了しないので、本論文では1回目の更新のみを扱う。

表-1 検討対象管網の給水区域の基本諸元

項目	設定値	備考
行政人口	38,000 人	=給水人口
一日最大給水量	16,000 m ³ /d	各節点放出水量：2,000 m ³ /d
年間有収水量	4,294 千m ³ /y	
生活用水構成比	0.8	
域内総生産	167,000 百万円/y	
営業停止損失の大きい業種*構成比	0.2	都市活動用水の断減水被害算定に利用
平均供給単価	180 円/m ³	
給水収益に対する幹線管路更新投資割合	0.02, 0.04	0.02 は予算制約を厳しくした場合

※水道事業の費用対効果分析マニュアル第IV編資料集 p.29～31

b) 更新事業計画の編成

更新事業実施に要する各期の予算については、各期の給水収益に対する幹線更新事業投資額の比を一定とし、水需要に応じて設定するものとする。次に前項で定めた更新優先順に基づいて、予算制約の範囲内で事業を編成する。この際、1つの管路区間が期内に完了しない場合には、残延長を翌期に繰り延べるものとする。

c) 故障予測、断減水等の被害額、並びに修繕費の算定

故障発生の不確実性を考慮するため、著者らの既報⁹⁾に示したモンテカルロ法を用いて予測するモデルを採用する。断減水被害の算定方法及び修繕費の算定方法は、(3)のa)項に前掲した方法を用いるものとする。故障予測から始まるこれらの一連の算定作業は100回行い、平均値で評価するものとする。

d) 費用便益算定による経済性評価

前述のように費用としては更新事業費用を取り上げ、負の便益としては断減水等被害額と修繕費の和を取り上げる。更新シナリオ以外を同一条件にした場合、費用・被害と100年累計値の小さいものを経済的と評価する。なお、費用と被害は前節と同様に社会的割引率によって現在価値化された値を用いる。

3. ケーススタディ

(1) 分析方針

本章では、複数の幹線と準幹線で構成される管網を対象に、まず、想定した管路整備の履歴に沿って布設期を設定して管路毎の経済的更新期を検討する。次いで、水需要シナリオを想定し、予算制約下での2つの更新投資シナリオによる事業編成に基づく更新事業について費用便益分析を行う。その際、管路の経年数を変えた3つのケースでも比較検討を行い、費用・便益算定にどの程度影響があるのかを把握する。さらに、同じ管網を用い、経年数を無作為的にさまざまな条件に変えた場合の更新

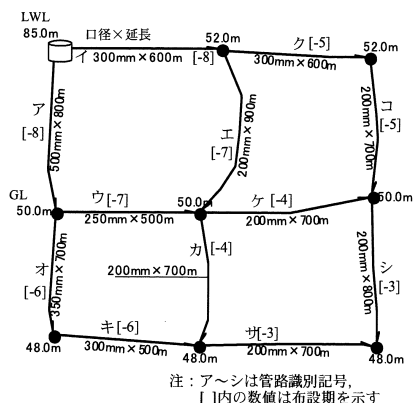


図-3 検討対象管網の口径構成

事業の費用便益算定により、経年数を影響要因とする感度分析を行う。これらにより、費用基準更新の時間基準更新に対する経済的優位性を実証するとともに、水需要動向や予算制約の影響程度、重要幹線の更新優先性について評価を行うものとする。

(2) 各種シナリオ・条件の設定

a) 給水区域の基本諸元

この管網で供給されている給水区域の初期における人口等の基本諸元を表-1に示す。

b) 水需要将来推移の想定

ここでは、需要水量が100年後に現時点の70%まで減少すると想定する。平均減少率曲線に沿って減少するものとする。

域内総生産は、需要水量と同じ減少傾向で推移すると仮定する。

c) 検討対象管網データと資産額

検討対象管網としては図-3の管網を取り扱う。口径300mm以上の幹線が2系統あり、これらが300mm未満の準幹線で連絡されている。この管網形状は市街地でよく見られるものである。

式(3)の E_i を決定するための口径別 E 値を図-4のように設定した。 ν を100mに設定した場合、管路資産の再取得価格総額（割引前）は約11.1億円となる。

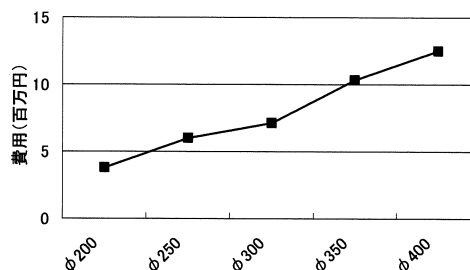


図-4 不断水分歧工事費用（口径別 E 値）

表-2 断水可能性指標値 δ の推移

期 管路	初	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ア	0/0.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
イ	0/0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
ウ	1/1.29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
エ	1/1.50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
オ	1/0.87	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
カ	1/1.53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
キ	1/1.12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ク	0/0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
ケ	1/1.28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
コ	1/1.25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
サ	1/1.09	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
シ	1/1.33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

※初期列には、 R_a^0 を“/”の後に並記

本論文で想定する水需要シナリオの場合の各管路の断水可能性指標値の推移を示すと表-2のようになり、例えば、管路オの指標値は2期まで0であったものが3期以降は1になり、安価な更新工法が採用できるようになる。

d) 管路の布設期（経年数）と管種

検討対象管網給水区域の中小都市は昭和30年代後半に水道事業を創設し、これまでは主要管路にはDIPを使用し、上流側から管路が整備されてきた。この既設管路の布設期を「基本ケース」とする。次にこれに対して、布設期を要因とした感度分析のため、上流側の管路アとウが近年更新され、布設期が3期となっている場合を想定した「部分更新ケース」を設定する。さらに、極端なケースとして、すべての管路の布設期がDIPとしては最も古い8期のものだけの「全部経年管ケース」を設定する。

e) 供給可能率と断水工事可能性指標値算定にかかる条件設定

有効水頭基準値を25 m（最小動水圧では250キロパスカル）と設定する。また、冬季等の低需要期間での計画的な更新工事を念頭におき、 R_a を0.9と設定する。

f) 費用・便益算定にかかる条件設定

各ケースにおいて、前述2.(4)のb)～d)の作業を20回行い、費用・被害の平均値で評価するものとする。

費用と便益の現在価値算定における社会的割引率については、近年10年の長期国債利回りを参考に2%と設定する。

時間基準更新シナリオにおける更新管路は、300mm以上のDIP（ダクタイル鋳鉄管）は経年数40年以上のものを対象とし、口径300mm未満のDIP並びにSDIPは経年数60年以上のものを対象とする。

(3) 単管路の検討

a) 費用・被害と曲線の作成

基本ケースを対象に、各管路の費用・被害和曲線を作

成し、代表的なものを図-5に示す。早く更新すべき管路と、将来の適切な時期まで待って更新した方が良い管路のあることがわかる。

b) 経済的更新期による管路の分類

作成した図から読み取れる経済的更新期の出現パターンを見ると、基本ケースの場合、12本の管路は次の3つのグループに分類できる。

グループ1：水需要動向にかかわらず、概ね早い時期に更新すべき管路（ア、イ）

グループ2：水需要動向によって、経済的更新期が変化する管路（オ、ク）

グループ3：水需要動向にかかわらず、今後25年以降の概ね遅い時期に更新すべき管路（ウ、エ、カ、キ、ケ、コ、サ、シ）

グループ1の管路の経済的更新時期はいずれも1期目であり、ほとんどの期で $\delta=0$ である。これらの管路は単位被害額が相対的に大きいので、需要水量の減少が被害額の顕著な減少に繋がり、費用・被害和の期間累計値を小さくする方向に影響を及ぼしている。グループ2の管路は初期に $\delta=0$ であるが、需要水量減少により途中年に $\delta=1$ となる。先述のように管路オで δ が0から1になるのは3期である。グループ3は初期から $\delta=1$ の管路で構成される。水需要は減少傾向で推移するので、これらの管路はでも将来とも $\delta=1$ を維持する。

次に、布設期セットが部分更新ケースの場合、管路アと管路ウの布設期のみが基本ケースと異なり、それぞれ8期と7期からともに3期に設定している。その結果、経済的更新期は、管路アでは4期、管路ウでは10期となり、それぞれ基本ケースでの経済的更新期（1期と6期）よりは後送りになる傾向が見られる。

最後に、布設期セットが全部経年管ケースの経済的更新期は、管路ア、イ並びにオを除くと基本ケースよりも前倒しになる傾向が見られる。

(4) 複数管路の検討

a) 予算制約の無い場合の費用便益算定結果

予算制約がなく、個々の管路の経済的更新期に更新が実施できた場合の各期の合計更新投資額と費用・被害和累計値の推移を図-6に示す。図上には各期の予算制約が給水収益の2%の場合の投資限度を示しているが、これを明らかに超過している上に、事業実施期間の偏りが著しい。

b) 予算制約下での費用便益算定結果

予算制約を給水収益の4%並びに2%とし、2.(4)のa)項で示した更新優先順の考え方に基づいて更新事業を編成し、費用便益算定を行った結果を図-7に示す。費用基準更新の方が時間基準更新よりも経済的に有利であること、

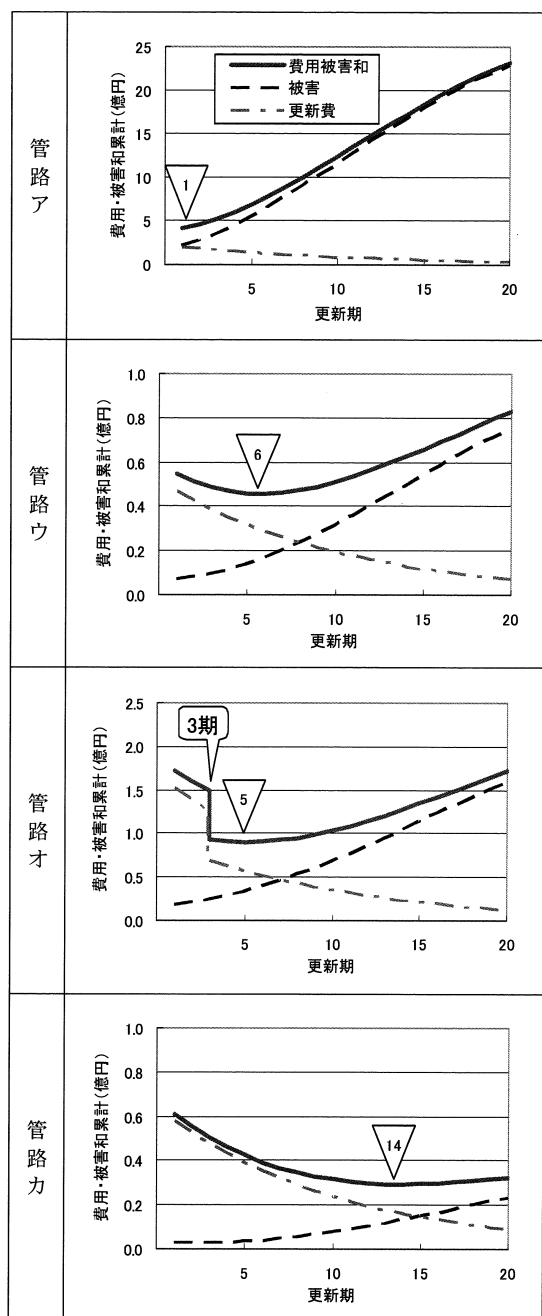


図-5 管路の費用・被害和曲線の例（基本ケース）

注：図中の▽内の数値は経済的更新期を示す

ならびに予算制約が厳しい方がその優位性は一層増すことがわかる。予算制約がある場合、4%の場合に比べ、より制約が厳しい2%の方の費用・被害和累計値も増えている。これは、適切な時期に更新ができなくなり、被害の増加によって全体的に不経済な状態になっていることが原因である。

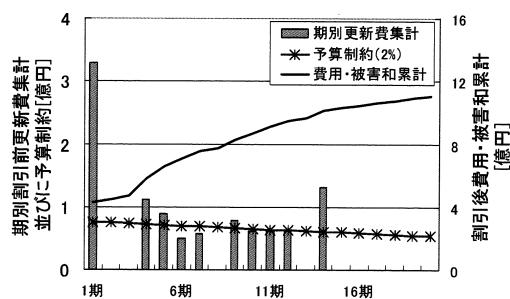


図-6 経済的更新期に実施する場合の更新事業費と費用・被害和累計の推移

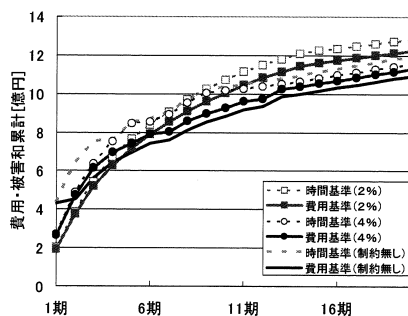


図-7 予算制約の影響

c) 管路布設期による影響

予算制約を給水収益の2%とし、各布設期ケースの場合の費用・被害和累計推移を予想した。上流側の一部の管路が更新されたと仮定した部分更新ケースでは更新投資の効果が現れており、基本ケースよりも費用・被害和は低く抑えられていることがわかった。また、費用基準更新の時間基準更新に対する経済的優位性も顕著である。これは、時間基準更新では水理的に重要でない管路も経年数が大きければ優先的に更新するからである。

一方、全部経年管ケースでの時間基準更新シナリオの場合、数十年先以降は費用基準更新シナリオに比して30%以上の費用・被害の増加が見込まれる。経年管を多く抱える水道事業において、一定の給水サービス水準を維持し続けるには、管路の布設年次や管種・口径等の資産情報、並びに、水理的性能情報に基づく費用基準による経済的な更新が不可欠であると考えられる。

5. おわりに

本論文では、人口減少社会における需要水量の減少に伴う断減水工事可能性の好転を考慮した費用基準更新での幹線管路の経済的更新計画方法を提案し、その経済的優位性をケーススタディにおいて実証した。本研究で得られた主な成果を示す。

- 1) 断水工事可能性を考慮した費用基準更新は、総じて時間基準更新よりも経済的に有利であり、本計画方法が有効であることがわかった。
- 2) 費用基準更新の時間基準更新に対する経済的優位性は、予算制約が厳しいほど、また、水理的に重要な管路がそうでない管路に比べて新しい場合、並びに全般的に管路が古い場合には、費用基準更新の経済的優位性が顕著に現れる。
- 3) 予算制約を厳しくしすぎると、負の便益が大きくなることにより、水道事業者と住民、水道使用者を合わせた地域全体にとっては経済的に不利となる可能性があり、更新財源の確保が重要である。

ケーススタディで取り扱った管網は簡易な形状であるが、本論文で提案した更新計画方法論はより規模の大きい水道管路網でも適用できる。一方、本論文では将来需要の不確実性を考慮して同径更新を前提条件として更新計画方法論を構築したが、さらに需要減少の確実性が増す状況においては減径更新方法論の構築が課題となる。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、(株)日水コンの小棚木修博士、清水丞博士、有馬彰宏氏、今井裕二氏にはデータ分析や管網計算に関する助言などさまざまな面で協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課：水道ビジョン（平成 20 年 7 月改訂），pp.17-18, 2008.
- 2) 厚生労働省：水道施設の技術的基準を定める省令（平成 21 年 3 月改正），2009.
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H12/H12F03601000015.html>
- 3) 厚生労働省：水道関連事故について，2010.
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/jouhou/accident.html>
- 4) 小棚木修・小泉明・渡辺晴彦：ネットワーク構造に着目した水供給システムの安定性の評価に関する研究，土木学会環境システム研究論文集，Vol.30, pp.257-263, 2002.
- 5) 森正幸・稲員とよの・小泉明・渡辺晴彦・沼田篤男：モンテカルロ法を用いた水道管路更新計画の評価，土木学会環境システム研究論文集，Vol.37, pp.1-8, 2009.
- 6) 荒井康裕・小泉明・稲員とよの・渡辺晴彦・国實誉治・林光夫：送配水管路事故の実態調査アンケートデータによる故障率曲線の推定方法，土木学会環境システム研究論文集，Vol.36, pp.125-130, 2008.
- 7) 森正幸・稲員とよの・小泉明・渡辺晴彦・沼田篤男：水道管路の超長期的な更新投資の経済性評価に関する研究，水道協会雑誌，Vol.79, No.7, pp.2-12, 2010.
- 8) 厚生労働省健康局水道課：水道事業の費用対効果分析マニュアル，2007.

A STUDY ON ECONOMICAL PLANNING METHOD FOR REPLACEMENT OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM UNDER DECLINING WATER DEMAND

Masayuki MORI, Toyono INAKAZU, Akira KOIZUMI, Haruhiko WATANABE,
and Atsuo NUMATA

The purpose of this study is to propose an economical planning methodology of long-term replacement project on water distribution system considering shrinkage of water demand in future, and to demonstrate its usefulness. For this purpose, we built a planning and evaluation model for cost-based replacement strategy where water demand declining causes decreasing of damages at pipe-break and enables low-cost replacement method utilizing rooms of pipe capacity. In a case study, we demonstrated availability of the plan by our proposed method using cost-benefit analysis in comparison with conventional time-based replacement strategy, and assessed some conditions that its economic superiority became remarkable by sensitivity analysis.