

上水道の維持管理・更新におけるアセットマネジメント手法の適用

熊本大学 工学部 学生員 今村 慎介
熊本大学 工学部 正会員 柿本 竜治

1. はじめに

近年、財政事情の悪化により、公共投資は大幅に削減されている。したがって、公共事業では、既存の社会資本に対し、適正な維持管理・更新を行い、社会資本の価値を最大化させる必要がある。その支援ツールとして、社会資本を資産とみなし、企業経営的な視点で維持管理を行うアセットマネジメント手法の導入が考えられる。本研究では、上水道の維持管理事業において、仮想上水道ネットワークに、ブラック=ショールズ・モデルを適用し、水道管の資産価値の計算を試み、アセットマネジメントの導入の可能性を探る。

2. 上水道事業とブラック=ショールズ・モデル

上水道事業は、営業収益で施設の建設費や維持管理費を賄うという独立採算制が採られている。事業の採算性を考える上では、維持管理費の変動のマネジメントが重要である。水道管の維持管理費に影響を与える要因として考えられるものを表1に示す。また、上水道事業では、漏水等によって生じる社会的費用や維持管理・更新費用を最小化し、水道管の資産価値を適正に維持するように維持管理を行う必要がある。

表1 維持管理費に影響を与える要因

(A)	水道管の老朽化による漏水
(B)	他工事の影響による水道管の損傷
(C)	地震発生による水道管の損傷
(D)	冬季における凍結による管の損傷

維持管理費は、その年の(A)～(D)の発生件数によって大きく変動するため、営業収益に与える影響も大きい。本研究では、維持管理費の変動を上水道事業のリスクと捉え、水道管の資産価値を計算する際に、ブラック=ショールズ・モデル¹⁾(1)～(3)を用いる。

$$C(0) = S \cdot N(d_1) - Ke^{-rt} \cdot N(d_2) \quad (1)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S/K) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (2)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (3)$$

ただし、 $C(0)$ は水道管の資産価値、 S は水道管の現在

価値、 K は事業者が水道管を更新(買取)するときの水道管の価格、 T は水道管のライフサイクル期間、 r は割引率、 σ は事業収益成長率の自然対数の標準偏差、 $N(d_i)$ は平均0標準偏差1の正規分布の累積確率分布関数である。

3. 使用データ

ブラック=ショールズ・モデルにより水道管の資産価値を計算するためのキャッシュ・フローデータは、熊本市水道局のデータに準拠している。また、仮想上水道ネットワーク上で維持管理・更新のシミュレーションを行うが、維持管理費に影響を与える要因についても、熊本市水道局のデータに基づき作成した。なお、本研究で着目する要因は表1の(A)、(B)のみとする。

要因(A)については、管の種類を(i)ダクタイル管、(ii)鋳鉄管に分け、管の種類別の発生件数を考える。その際に、水道管局では管総延長、総漏水件数のデータしか得られなかった。そこで、管の種類別の長さ・件数は、水道局でインタビューした管の種類別の長さ比・強度比に基づき、水道局のデータを割り当てた。次に、各年次と漏水件数の関係を単回帰分析し、(i)と(ii)の各年次における単位長さあたりの漏水件数の予測値を期待値とし、誤差項を分散として確率分布を定めた。要因(B)については、発生要因を(i)管の埋まり方がおかしい、(ii)事業者の単なる工事ミスに分けたが、水道局では要因(B)の総件数しか得られなかった。そこで、発生要因別の件数は、水道局でインタビューした要因別の発生件数の割合に基づき、水道局のデータを割り当てた。次に、(i)と(ii)の単位長さあたりの要因(B)の件数のデータ量が少なく、直接確率分布を求めることができなかつたため、離散一様分布を仮定し、分布から無作為に抽出することでデータ量を増やし²⁾、そのデータに対して確率分布を推定した。表2に要因(A)、(B)の水道管単位長さあたりの件数の分布を示す。ただし、要因(A)の水道管の老朽化に伴う漏水の発生件数の増加については、現況データから推定した1年あたり

の増加率 $g = 1.08$ を乗じることで表す。

表2 与えた正規分布の値

		平均 (件/m)	分散 (件/m)
(A)	(i)	4.02×10^{-5}	1.56×10^{-5}
	(ii)	5.35×10^{-5}	3.35×10^{-5}
(B)	(i)	2.80×10^{-5}	1.82×10^{-6}
	(ii)	1.12×10^{-4}	7.14×10^{-6}

4. 仮想ネットワーク上でのシミュレーション

4.1 シミュレーションの概要

仮想上水道ネットワーク上でのシミュレーションは、事業のライフサイクル期間を50年とし、50年間の営業収益の現在価値の計算を行う。ある時点での水道管の資産価値は、ブラック=ショールズ・モデルを適用して計算する。計算された資産価値に基づき、管更新のタイミング³⁾を決め、更新した場合と更新しない場合の50年間の営業収益の現在価値を比較し、適切な維持管理・更新の仕方を考察する。

4.2 仮想ネットワークの設定

資産価値の計算、ならびにシミュレーションを行うネットワークを表2のように設定した。なお、シミュレーションでは水道事業の社会的便益を営業収益の合計に加えている。水道事業の社会的便益は各世帯への水の安定的な供給とし、1世帯あたりの便益は代替法を用いて金銭化を行い算出した。

表2.1 資産価値を計算する仮想ネットワーク

管総延長 (3000m)	ダクティル管(2000m)
	鑄鉄管(1000m)
世帯数(帯)	297.85
便益(円・年/帯)	73454
σ	0.0201
割引率 r	0.04
初年度の S (円/m)	31586
S の年減少率	0.9851
初年度の K (円/m)	10000
K の年増加率	0.04

表2.2 シミュレーションを行う仮想ネットワーク

管総延長 (3000m)	ダクティル管(2000m)
	鑄鉄管(1000m)
世帯数(帯)	297.85
便益(円・年/帯)	73454
管更新費用(件/円)	2575250
漏水・維持管理費(件/円)	1935170
他工事～維持管理費(件/円)	255128

4.3 シミュレーション結果

ブラック=ショールズ・モデルを用いて、 T 年目の仮想ネットワーク全体の水道管の資産価値 $C_T(0)$ を計算したところ、 $T=14$ 年目に $K > C_{14}(0)$ となり、 $T=25$ 年目に $C_{25}(0) = 1/2 \cdot C_1(0)$ となった。(a)管更新を行わなかった場合、(b) $T=14$ 年目で更新を行う場合、(c) $T=25$ 年目に管を更新する場合の50年間の合計営業収益の現在価値を表3に示す。

表3 営業収益合計の計算結果

場合		50年間の営業収益の現在価値(円)
(a)		172559206
(b)	(i) 鑄鉄管を更新	172935515
	(ii) 全ての管を更新	168130343
(c)	(i) 鑄鉄管を更新	173810097
	(ii) 全ての管を更新	171107678

表3より、(c)-(i)の場合の営業収益が最大であることが分かる。つまり、上水道の維持管理事業では、水道管の資産価値 $C_T(0)$ が $C_T(0) > 1/2 \cdot C_1(0)$ のときは修繕しながら管を維持し、 $C_T(0) = 1/2 \cdot C_1(0)$ になったときに鑄鉄管を更新するのが最適な方法だといえる。また、(b)と(c)を比較すると、管の種類に関係なく更新を行う場合にも $C_T(0) = 1/2 \cdot C_1(0)$ のときに行うのが効果的だといえる。

5. おわりに

本稿では、仮想世界の上水道ネットワーク上で、水道管の維持管理・更新のシミュレーションを行った。その際に、水道管の資産価値を計算することで、管更新の適切なタイミングを知ることができ、上水道事業にアセットマネジメント手法導入の可能性があることが分かった。しかし、実際の上水道事業では、管ごとに維持管理・更新の仕方、費用が異なるため、維持管理費の変動を考慮した資産価値の計算は複雑になる。よって、現実世界へアセットマネジメント手法の導入を図るには、水道管の資産価値を適性に計算できるようなインフラ会計制度を充実させる必要がある。

参考文献

- 1) 蓑谷千鳳彦：「よくわかるブラック・ショールズモデル」
- 2) デビッド・ヴォース著、長谷川専、堤盛人訳：「入門リスク分析」
- 3) 小林啓孝：「デリバティブとリアル・オプション」