

SDCF 法を用いた上水道システムの地震リスクマネジメント

攻玉社工科短期大学 正会員 ○山本欣弥

武蔵工業大学総合研究所 正会員 星谷 勝

1. はじめに

本研究では、上水道システムの防災投資効果の評価に、SDCF 法（Stochastic Discounted Cash Flow 法）¹⁾ を適用する。

2. SDCF 法の上水道システムへの適用

評価期間 n 年間の正味現在価値 (NPV) を $Y^{(n)}$ とし、式(1)に基本式を示す。ここで、 C_i は収益、 Q_i は維持管理費、 S_i は地震損失、そして、 B_i は、市民に与える効用を金額に換算した便益である。また、 v 、 v_n は、それぞれ、現状と n 年後の資産価値である。 s は、便益に対する現在価値割引率（社会的割引率）である。

$$Y^{(n)} = -v + \sum_{i=1}^n B_i(1+s)^{-i} + \sum_{i=1}^n (C_i - Q_i - S_i)(1+r)^{-i} + v_n(1+r)^{-n} \quad (1)$$

また、投資効率指標 P_B は、 s および r による条件付確率として、式(2)によって定義される。

$$P_B = P(Y^{(n)} \geq 0 | s, r) \quad (2)$$

3. 数値計算例

(1) 解析対象モデル

首都圏近郊の上水道システムを想定したモデルを例題として、SDCF 法による地震対策の検討を行う。

上水道システムは、浄水場を起点として考えると、大口径送・配水管から中口径・小口径配水管を経て給水管から給水栓へ至る、階層型ネットワーク構造を構成している。延長は、小口径管になるほど長くなり、複雑なネットワークとなっている。ここでは、浄水場から配水池・配水塔までの主要送・配水管網をネットワークモデルとし、リンクの被害とネットワークの連結性を考慮する。ノード（配水施設）より下層の管路網は構造的被害のみを考え、該当するノードと浄水場との連結性が回復した後に復旧作業が開始され、全ての被害箇所が修復された後に、配水地域の需要家へ給水が行われるものとしている。

地震による構造被害は、管路のみに発生し、その延長方向にポアソン過程に従って分布するものと仮定する。管路の被害推定には、次式²⁾を用いる。

$$Rm(v) = C_p \times C_d \times C_g \times C_0 \times R(v) \quad (3)$$

$$R(v) = 3.11 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.30} \quad (4)$$

ここで、 $Rm(v)$ ：平均被害率(箇所/km)、 $R(v)$ ：標準被害率評価式、 C_p ：管種補正係数、 C_d ：管径補正係数、 C_g ：地盤補正係数、 C_0 ：液化化補正係数、 v ：地表面最大速度(kine)である。

地震損失 S_i は、被害管路の再調達価格とする。地震被害の発生によって断水が発生すると年間の水道料金収入が減少し、さらに、住民が享受する便益が減少する。そのため、収益 C_i および便益 B_i は、地震損失 S_i の関数となるため確率変数である。

当該システムに影響を与える 5 つのシナリオ地震をハザードとして用いる。簡単のために、再現期間 (T) はすべて 60 年とする。これにより、1 つの地震の年間発生確率 P_i は 0.01667 となる。これらの地震による管路被害額は再調達価格以下であり、その発生は、評価期間 n 年間に多くても 1 回とする。

収益 C_i は、平均値 445 億円、変動係数 5% で正規分布に従うものとする。支出 Q_i は確定量で、その内訳は毎年定常的にかかる管理運営費 428 億円と、地震対策実施時の費用 93.3 億円である。また、資産価値 v は 1,290 億円、便益 B_i は、市民生活の基本に与える影響、病院医療、火災時の消防用水について検討して 36 億円としたが、これは収益 C_i の約 8% に相当する。簡単のため、社会的割引率 s と割引率 r は区別せず、等しい値と仮定する。

(2) 解析結果

地震対策は単年度で完了するものとし、その実施時期を、1 年目、6 年目、16 年目と 3 ケースを検討する。地震対策の実施により、管路の耐震性が向上し、地震発生時の損失が減少する。評価期間 $n=30$ 年間として、モンテカルロシミュレーションにより解析し、それぞれの結果を比較する。

図-1 に示す $r - P_B$ 曲線より、地震の発生を考慮しない場合の曲線③が、地震発生を考慮した場合には、曲

キーワード SDCF 法、地震リスクマネジメント、上水道システム、防災投資、便益、正味現在価値

連絡先 〒141-0031 東京都品川区西五反田 5-14-2 攻玉社工科短期大学 環境建設学科 TEL.03-3493-5671

線①となり、全体的に左方向に移動しており、予測される地震被害がシステムに負の影響を与えていることが分かる。対策を1年目に実施する場合には、 r が約3.3%以下の範囲で、曲線②が上回り（図-2）、対策の効果が出ていることが分かる。

図-3、4に、対策を実施しない場合（A）と、1年目に実施する場合（B）と、6年目に対策を実施する以前に地震が発生したときに、当初の計画に従って実施する場合（C）と、計画を変更して中止する場合（D）の結果を比較している。曲線Cは、 r が約3.8%以下の範囲で、他の3本の曲線より大きく下回っており、対策の実施によって負の影響が出ている。しかし、計画の中止を含んだ曲線Dは、 r が約3.8%以下の範囲で、他の3本の曲線を上回っており対策の効果が大きい。

この傾向は、16年目に対策を実施する場合にも現れている（図-5）。

本研究のSDCF法では、地震対策実施以前に地震被害が発生した場合には、対策実施を中止するといった選択肢などを当初計画に盛り込むこと（リアルオプション）が可能であることが示された。

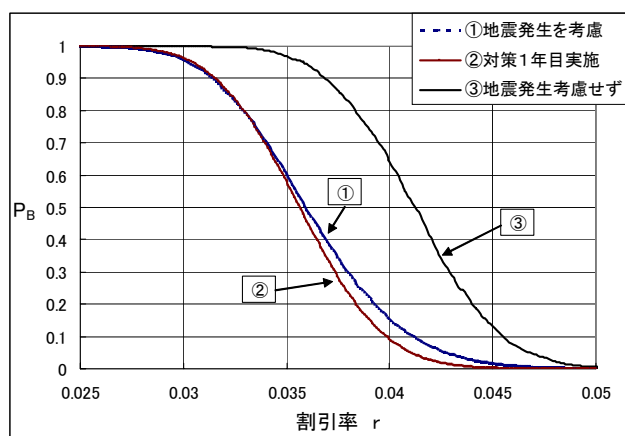


図-1 割引率 r - P_B 曲線

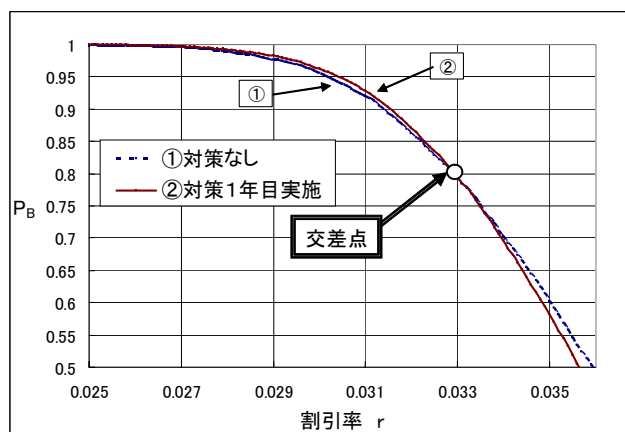


図-2 対策実施の効果（拡大図）（ $P_B \geq 0.5$ ）

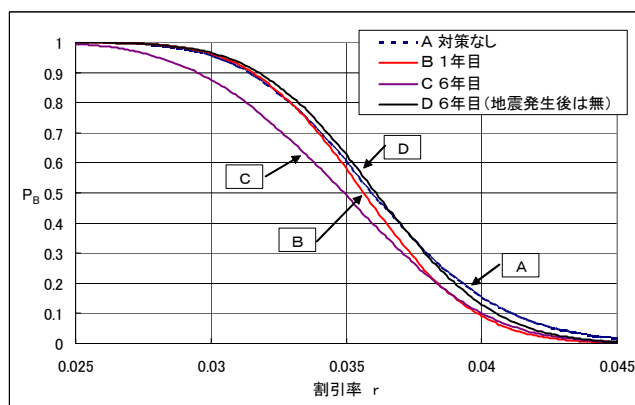


図-3 現状と対策実施後との比較

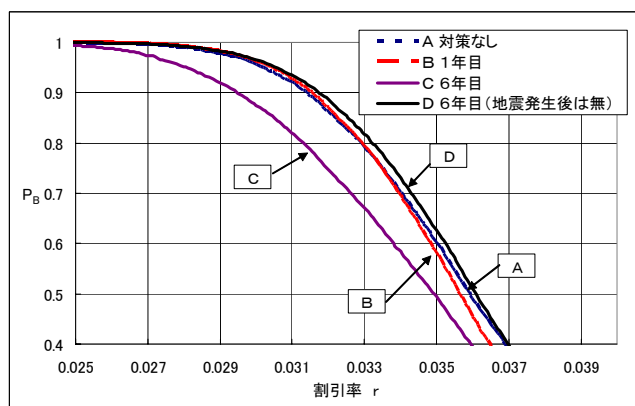


図-4 現状と対策実施後との比較（拡大図）（ $P_B \geq 0.4$ ）

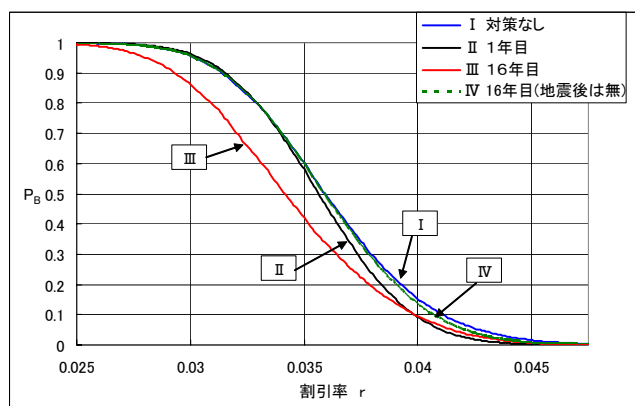


図-5 現状と対策実施後との比較（ $P_B \geq 0.4$ ）

4. おわりに

SDCF法は、社会基盤である上水道の防災投資効果の評価に有効であることが示された。さらに、当初計画の中止・変更に関する意思決定にも対応できる指標を提示できたと考えている。

参考文献

- 1) 中村孝明, 星谷勝, 望月智也: 地震リスクを考慮した確率論的 DCF 法による資産価格とマネジメント, 土木学会論文集 No.752/I-66, 169-178, 2004年1月。
- 2) 社団法人日本水道協会: 地震による水道管路の被害予測, 1998年。
- 3) 星谷勝, 中村孝明: 構造物のリスクマネジメント, 山海堂, 2002年4月。