

第 VI 部門 パラメトリック型保険の適用による社会基盤施設の維持更新費用の不確実性の低減

大阪大学大学院 学生員 ○山岸 拓歩

株式会社デジタルブラスト 正会員 稲垣 博信

大阪大学大学院 正会員 貝戸 清之

1. はじめに

高度経済成長期に建設された社会基盤施設の老朽化が顕在化し、厳しい制約下の維持管理が要求される。施設の将来に亘る維持更新費用を見積もり、財源の事前確保が重要である。しかし、例えば原則単年度主義に従う自治体では、事前の多額の財源の確保が困難である。加えて、維持更新費用には、突発的な自然災害や施設の劣化過程の不確実性に起因する不確実性が伴う。前者に対しては様々な公的支援が存在するが、後者の対策は現状ない。後者に関して、点検データを用いた統計的劣化予測モデル¹⁾の発展が近年著しく、不確実性の定量的評価が可能である。以上より、本研究では、社会基盤施設の劣化過程の不確実性に起因する維持更新費用の不確実性をリスクと定義する。その上で、リスクを定量的に評価し、損害保険分野で適用が進むパラメトリック型保険²⁾を適用することで、リスクの低減を図る。

2. 本研究の基本的な考え方

リスクの制御手法として、リスク事象の生起確率を減少させるリスクコントロールと、被害を全体に分散させるリスクファイナンスがある。社会基盤施設の維持管理では、予防保全や維持更新の優先順位付けなどの主にリスクコントロールが着目されてきた。一方、本研究におけるリスクの観点からリスクファイナンスを検討した事例は存在しない。内閣府³⁾によれば、リスクファイナンスとは、リスクの時空間的な移転により個々の被害を軽減または早期に回復させるものである。本研究で提案される保険に複数の管理者が加入することでリスクの空間的な移転が実現される。さらに、本スキームは保険であるため、一定の保険料を対価として要するが、リスクの時間的な移転が可能となる。

保険には様々な種類があるが、本研究ではパラメトリック型保険の適用を検討する。パラメトリック型保険とは、契約時に定められたトリガーとなる事象(以下、

トリガーイベント)の発生を受けて、予め定められた保険金が支払われる保険である。従来保険では被害の調査に時間や費用を要する一方、パラメトリック型保険ではその必要がないため、保険金の即時的な支払いが可能となる。パラメトリック型保険を本リスクに適用すると、施設の状態の評価指標である健全度に基づいてスキームを策定できる。パラメトリック型保険の適用は、予算が年1回しか決定できない自治体に対して、保険金の即時的な支払いという点において有用であり、同様に即時的に修繕行動をとれるため、施設の余計な劣化やそれに伴う維持更新費用の増大を防止できる。

3. モデルの定式化

社会基盤施設の劣化過程の予測モデルとして、マルコフ劣化ハザードモデル²⁾を用いる。状態が離散的な I 段階の健全度として評価される場合、期間 z において健全度が i から j へ推移する確率 $\pi_{ij}(z)$ は以下である。

$$\pi_{ij}(z) = \sum_{k=i}^j \prod_{m=i}^{k-1} \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta_k} \prod_{m=k}^{j-1} \frac{\theta_m}{\theta_{m+1} - \theta_k} \exp(-\theta_k z) \quad (1)$$

θ_i は健全度 i のハザード率であり、施設に対する点検データを与件として最尤法などで推定できる。

4. 分析手法

保険期間は T 年間とする。対象とする社会基盤施設は K 個の要素から構成されており、これら全体からなる集合を Ω とする。 Ω を S 個の非交差的な大きさ K_s の部分集合 Ω_s に分割する。 t 年度に点検と修繕が Ω_{S_t} に対して実施されるとし、 S_t は t の S による剰余を表す。各構成要素の状態は I 段階の離散的な健全度として評価されるとする。健全度 i の構成要素に対する修繕費を c_i とし、修繕後は健全度1へ回復するとする。健全度 i の管理水準を p_i とし、健全度 i の構成要素の割合が p_i 以下となるよう修繕される。 t 年度の Ω_{S_t} に対する修繕割合を $\gamma_{i,S_t}(t)$ とする。

本保険におけるトリガーイベントを、点検により観測された健全度 i と期待される健全度 $\bar{i}$ の差が1以上であ

表-1 シミュレーションにあたる諸条件

健全度	θ	w	c (万円)	p
1	0.095	0.80	0.0	1.0
2	0.057	0.10	0.3	0.3
3	0.262	0.05	3.5	0.1
4	0.006	0.05	6.0	0.1
5	-	0.00	15.0	0.0

る場合とする. $\tilde{t}$ を確率変数とし, トリガーイベントが発生した際の保険金 $B_i(t)$ を以下のように定める.

$$B_i(t) = E_{i,t}[b_{i,\tilde{t}}] = \sum_{\tilde{t}=1}^{i-1} b_{i,\tilde{t}} \cdot \tilde{u}_i(t) \quad (2)$$

$b_{i,\tilde{t}} = \max\{c_i - c_{\tilde{t}}, 0\}$ であり, 修繕費の差額を表す. $\tilde{u}_i(t)$ は t 年度の健全度 i の割合の期待値であり, Ω の初期状態 w を指定した上で3.を適用することで得られる.

保険料の算定は収支相当の原則に基づく. 簡単のため付加保険料を無視し, 純保険料のみを考える. 収支相当の原則下では保険料は, 保険料の現価と保険金の現価が一致するよう算定される. 保険料 P を期始年払いとして, 原価率を v とすれば保険料の現価は以下である.

$$\sum_{t=1}^T v^{t-1} P = \frac{P(1-v^{T-1})}{1-v} \quad (3)$$

保険金は期末払いとすれば, 保険金の現価の期待値は

$$\sum_{t=1}^T v^t \left\{ \sum_{i=1}^I B_i(t) \tilde{u}_i(t) \right\} \quad (4)$$

である. 収支相当の原則は式(4)と式(5)が等しいことを要請し, P はこれを解くことで得られる. 保険に加入する場合, t 年度の維持更新費用 $m(t)$ は修繕費と保険料の和から保険金を引いたものであり, 以下で与えられる. ただし, 修繕費は期末に生じるとする.

$$m(t) = v^{t-1} K_{S_t} \left\{ P + v \sum_{i=1}^I \gamma_{i,S_t}(t) (c_i - B_i(t)) \right\} \quad (5)$$

未加入の場合の維持更新費用 $m'(t)$ は修繕費のみであり,

$$m'(t) = v^t K_{S_t} \sum_{i=1}^I \gamma_{i,S_t}(t) c_i \quad (6)$$

である. $M(t), M'(t)$ をそれぞれ累計の維持更新費用とし, $M(t), M'(t)$ のそれぞれの期待値で正規化された標準偏差を $\sigma(t), \sigma'(t)$ とする. 正規化標準偏差低減率 $\chi(t)$ を

$$\chi(t) = 1 - \frac{\sigma(t)}{\sigma'(t)} \quad (7)$$

と定義する. $\chi(t)$ は維持更新費用の不確実性の低減の程度, つまりリスクの低減の程度を表現している.

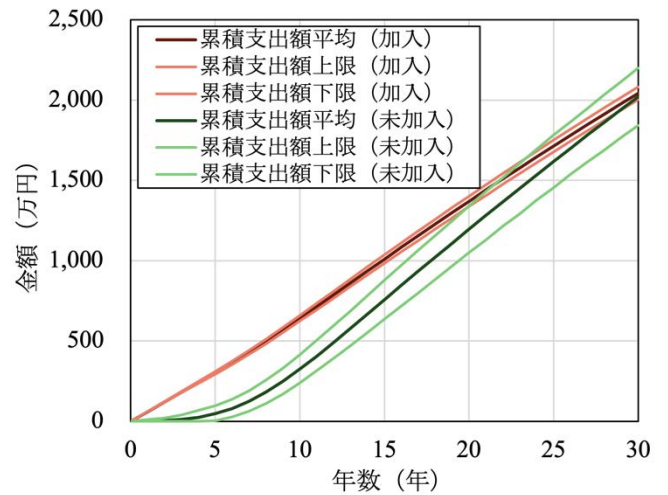


図-1 累積維持更新費用の推移

5. 実証分析

保険期間は30年間とする. 対象の社会基盤施設は500個の構成要素からなり, その状態は5段階の健全度で評価されるとする. ハザード率 θ , 初期状態 w , 修繕費 c , 管理水準 p は表-1に従う. また, $v = 0.99$ とする. 以上に基づく, 30年間に亘る保険金の期待値の現価は1,533.9万円であるため, 収支相当の原則より年払い保険料は59.6万円である. さらに, 累積の維持更新費用 $M(t), M'(t)$ の平均と上下5%値の推移を図-1に示す. 収支相当の原則に従うため, 両者の期待値は2,021.5万円程度ではほぼ一致する. また, $\sigma(30), \sigma'(30)$ はそれぞれ0.012, 0.053であるため, $\chi(30)$ は0.78である. よって, 保険へ加入することにより, 本研究におけるリスクを大幅に低減できることが確認された.

6. おわりに

本研究では, 社会基盤施設の劣化過程の不確実性に起因する維持更新費用の不確実性をリスクと定義し, パラメトリック型保険の適用によってリスクを低減する手法を提案した. 多様なトリガーの検討や付加保険料の考慮, モラルハザードへの対策が今後の課題としてあげられる.

【参考文献】

- 1) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.68-82, 2005.
- 2) 濱田和博: パラメトリック保険の現状と課題, 損保総研レポート, Vol.129, 2019.
- 3) 内閣府: 我が国経済の災害リスクマネジメント力向上に向けて, 2017.