

AMにおけるリスク資産の残存価値信頼性評価と会計への反映

Residual value reliability assessment of the risk assets in AM and reflection to accounts

土木工学専攻 1号 青木 優太

Yuta AOKI

1. はじめに

日本の社会資本は、高度経済成長期に急速に整備されたことから、近年、老朽化した構造物の維持管理が集中しており、重要な課題となっている。そこで、政府や自治体では、公共インフラを効率よく管理し、低コストで維持・補修・新築していく公共施設のアセットマネジメント (Asset Management 以下 AM) という概念が導入されるようになっており、古田らは、土木構造物を「資産」としてとらえ、工学だけでなく経済学や経営学の考え方を取り入れて計画的に資産の運用・管理をしていくものと述べている¹⁾。

土木構造物を資産として供用していくにあたり、その構造物の「固定資産価値」をどう表すかが問題になる。会計的には、初期資産額から一定のルールで減価させた「残存価値」を用いるのが基本であるが、これは機械設備などの「機能寿命」が限定的であるものには妥当だが、土木構造物の場合、事実上半永久的に供用を可能にするレベルの維持管理が求められており、「構造物の残存機能」という面でも技術者の感覚とは異なるものであり、明確な価値評価手法は考えられていない。

そこで、本研究では、破壊事象というリスクを有する構造物を「リスク資産」と定義し、供用期間中でのリスク資産の残存価値を評価する式を構築する。そして、AMの経済的側面として会計情報整備に注目し、提案した式を元に、各財務諸表を用いたリスク資産の会計的資産管理を行うことを目的とする。

2. 研究手法

社会が保有する土木構造物の価値評価を会計的に各財務諸表に載せる形で行おうとすると、その資産価値評価が重要となる。そこで、本研究では「所定の設計供用年数後も価値を保つことを前提とした資産」しかし、「自然災害や劣化などで機能の価値が失われるリスク (破壊確率 P_f) も存在する」という位置づけから、リスク資産の残存価値評価式の構築を行う。

構築手法として、社会資本整備を行う資金として発行される公債との比較を行うことで、構造物への投資の妥当性を評価額に導入する手法をとる。

具体的には、以下のように構成する。初期投資額を A (億円, $= A_1 + A_2$ (リスクを有する資産 A_1 , リスクを有しない資産 A_2)), 利益 P_i (億円/年) から損失 L_i (億円/年) を差し引いた配当金を B_i ($= P_i - L_i$) (億円/年) とし、 A を B_i で除した値を配当率 ρ_i ($= B_i / A$) (年利) とする。また、投資の妥当性を評価



図-1 対象道路橋



図-2 交通リンク

するための公債のパラメータとして、個人向け 10 年国債の金利を用いる。これを国債金利 r (年利) とする。配当率と国債金利の差 $\rho_i - r$ (年利) を資産運用により得られる実質的な金利となる。この値が正ならば、国債に投資し運用することで得られる金利より、構造物に投資して得られる配当率のほうが大きいことになり投資の妥当性を表せる。その他に、構造物の設計供用年数を n (年)、年当たりの破壊確率を P_{fi} とする。以上のパラメータを用いて、評価式の構築を行う。構築方針としては、所定のリスクに対しての残存価値を表す式とするため、「設計供用年数 n 年中、 m 年目に壊れて、それ以降価値を生まない資産の供用年トータルでの期待値」とする。以下の式(1)に構築した式を載せる。

$$V = \left\{ A_1 + \sum_{i=1}^m A(\rho_i - r) \right\} \prod_{i=1}^n (1 - P_{fi}) + \left\{ \sum_{i=1}^m A(\rho_i - r) - \sum_{i=m+1}^n A(\rho_i - r) \right\} \left\{ \prod_{i=1}^m (1 - P_{fi-1}) P_{fm} \right\} \dots (1)$$

3. 道路橋によるケーススタディ

本研究では、実在する道路橋を対象構造物としてケーススタディを行う。図-1に横浜市南区井土ヶ谷にある対象道路橋「鶴巻橋」を載せる。

(1) 初期建設費の設定

初期建設費は用地取得費、橋梁の下部工建設費及び上部工建設費の3つで決定される。本研究では用地取得費を 42.18 (億円)、下部工建設費を 0.292 (億円)、上部工建設費を 1.179 (億円) とする。この内、上部工、下部工建設費はリスクを有する資産として A_1 とし、用地取得費を、リスクを有しない資産として A_2 とし、式(1)に代入する。

(2) 社会的便益の算出

社会的便益の算出において、本研究では、現状で貨幣換算可能な社会的便益である走行時間短縮便益、交通事故減少便益、走行時間短縮便益の3つを算出

する。これらを算出するにあたり、対象とする道路橋の存在する道路だけではなく、影響を及ぼす周辺の道路も考慮する必要がある。そこで、本研究では図-2のように対象道路橋付近の交通リンクを用いる。対象とする道路橋が存在することで、交通リンクのショートカットが生まれ、社会的便益が生じる。本研究では道路橋投資による社会的便益 2.953 (億円/年) とする。これ利益 P_i とし、式(1)に代入する。

(3) 道路橋の信頼性評価

本研究では、道路橋の破壊確率によるリスク評価を行い、その結果を資産価値に反映する。そのため、信頼性理論で広く用いられている $R-S$ モデルを用いて、道路橋の信頼性評価を行い、毎年の破壊確率 P_{fi} を算出する。

作用側 (S 側) として、道路橋にかかる交通活荷重を表現した確率分布として正規分布を用いた。設計荷重の違いによって、信頼性にどのように影響するかを把握するため、分散 $\sigma_s = 1.0, 2.0, 3.0$ の 3 パターン、超過確率 $e_s = 0.01, 0.05, 0.222, 0.395$ の 4 パターンを用いた。

耐力側 (R 側) として、道路橋床版の耐力劣化モデルを用いた。既往の研究²⁾から道路橋床版の耐力劣化を確率的に扱うため、実測データより算出された遷移確率行列を使用し、経年劣化の分布のヒストグラムを作成し、確率密度関数をヒストグラムに適合させる事で構築した。本研究ではこの曲線を γ 確率分布式 (2) で表す。 α は形状パラメータ、 β は尺度パラメータであり、 $\alpha = 1 + 0.5y$ 、 $\beta = 1 + 0.02y$ となる。 y は時間 (年) を表している。

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \dots (2)$$

図-3 に劣化を考慮した時の $R-S$ モデルを載せる。 R 側には、5 年毎の耐力劣化モデルの分布形の変化を示す。初期の状態から経年が進むにつれ分布のピークが左に遷移し、劣化の様子を表している。よって、経年により分布の分散が増大していく様子が読み取れる。さらに分布形の経年変化により設計値 R^* を下回る確率が増大していく事が、耐力劣化を表現しており、その確率である非超過確率 e_R を $e_R = 0.001, 0.01, 0.05, 0.1$ の 4 パターンを用いた。

以上の $R-S$ モデルを用いて、性能関数 Z を $Z = R - S$ とし、 $Z < 0$ となる場合を「破壊」として、供用年での破壊確率 P_{fi} の算出を行った。解析手法は MCS を用いた。

また、本研究では補修による効果も検討するため、設定した補修年度に基づき、耐力側の分布が初期段階に回復するように設定した場合の破壊確率の算出も行った。よって、補修有無の 2 パターンでの信頼性評価を行ったことになる。この信頼性の結果の違いがリスク資産の価値評価にどのように影響するのかを考察する。

図-4 が $\sigma_s = 1.0$ 、 $e_s = 0.01$ での破壊確率 P_{fi} の算

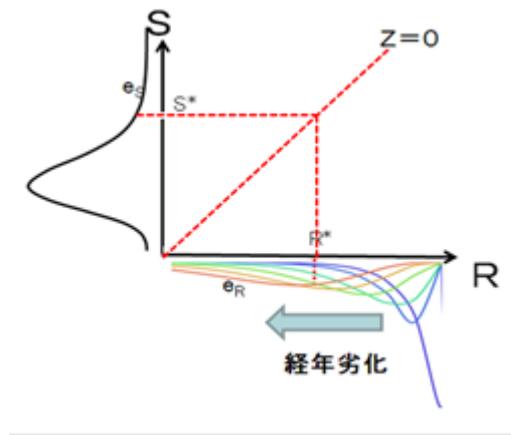


図-3 劣化を考慮した時の $R-S$ モデル

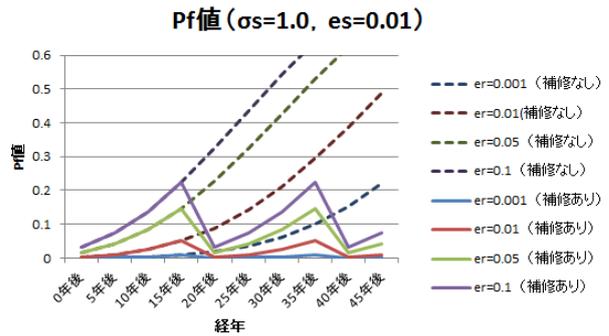


図-4 MCSによる P_f 値算出結果

出結果であり、非超過確率 4 パターン、補修の有無 2 パターンの計 8 パターンのグラフを載せてある。算出結果から、以下のことを考察した。

設定した補修年度 (20 年, 40 年) で破壊確率が低下した。これは、補修年に R 側の耐力分布が初期状態に回復するように設定したことにより、性能関数 Z が負の値になる数が減少したことによると考えられる。例えば、 R 側の非超過確率が 0.05 の場合、補修を行うことで補修なしの非超過確率 $er=0.01$ の破壊確率より値が低くなった。したがって、非超過確率を高く設定しても、適切な補修による耐力回復が行われれば、リスクを軽減することができる。

4. リスク資産の残存価値評価

式(1)の各パラメータに 3 章までの算出情報を代入し、リスク資産の残存価値評価を行った。本研究では、残存価値をストックとフローの二つの価値に分けて考えた。式(1)の A_i に関する項は、本体の価値に算出された破壊確率 P_{fi} が掛け合わされたリスク項となっておりこちらをストック価値として計上する。また、それ以外の項は $\rho_i - r$ の実質的な金利に関する項となっていることから、こちらをフロー価値として計上する。ここでは、例として S 側のパラメータ $\sigma_s = 1$ 、 $e_s = 0.01$ の場合での残存価値評価を行った結果を、図-4 にストック価値、図-5 に累積フロー価値のグラフを載せる。

(1)ストック価値算出結果の考察

①補修の有無による影響

図-4において、4種類の非超過確率を色の違いで表しており、また、実線が補修を行う場合を、点線が補修を行わない場合を示している。補修の有無による違いは明確であり、補修を行うことで、R側の信頼性が回復され、価値低下を補修年度で抑えることが出来た。例えば、図-4の40年目でのストック価値では、 $e_R = 0.001$ の補修なしの場合1.267億円に対し、補修ありの場合は0.376億円となり、約3.4倍の違いが生まれた。

②荷重の超過確率の違いによる影響

分散と同様に、S側のパラメータの違いによる残存価値への影響を考察するため本研究では、超過確率を $e_s = 0.01, 0.05, 0.222, 0.395$ の4パターンで解析を行った。その結果、超過確率が高いほど、ストック価値の低下が大きくなることが分かった。これは、超過確率を高く設定することで、信頼性が低くなり、高い破壊確率が算出されたことに影響していると考えられる。例えば、 $e_R = 0.001$ の補修なしの場合、20年目でのストック価値は $e_s = 0.01$ の場合1.34億円であり、 $e_s = 0.05$ の場合1.30億円となり約1.03倍の違いとなった。しかし、40年目でのストック価値は $e_s = 0.01$ の場合0.376億円に対し、 $e_s = 0.05$ では0.26億円と約1.41倍も違いが出た。すなわち、供用年が進むにつれて超過確率の違いの影響は大きくなることが考えられる。

③耐力の非超過確率の違いによる影響

R側のパラメータとして、非超過確率4パターンを用いて解析を行った。結果として、非超過確率が高くなるにつれ、ストック価値の低下が大きくなった。これは、非超過確率を高く設定することで、信頼性が低くなり、高い破壊確率が算出されたことに影響していると考えられる。特に非超過確率が0.05を超えると急にストック価値が低くなっていることがわかり、さらに供用年が長くなるほど、安全側の設計と比べて、価値の開きが大きくなっていくことがわかる。したがって、非超過確率は超過確率よりもストック価値への影響が強く、設計段階で特に重要視すべきことと考えられる。

(2)累積フロー価値算出結果の考察

①補修の有無による影響

図-5においても、図-4と同様に、非超過確率別、補修別に分かれている。フロー価値においても補修の有無による違いは大きく、補修を行うことで、R側の信頼性が回復され、より多くのフロー価値を得ることが期待できる。特に $e_R = 0.01$ の場合、補修なしの場合、20年目以降で累積価値が負の値になってしまうが、補修ありの場合、その20年目で補修を行い、信頼性が回復することから正の値に算出される結果となった。

②荷重の超過確率の違いによる影響

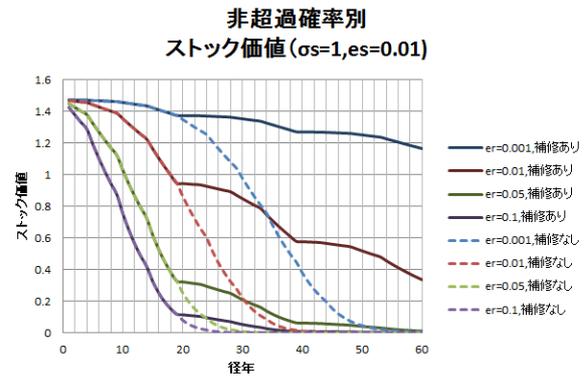


図-4 ストック価値 (単位：億円)

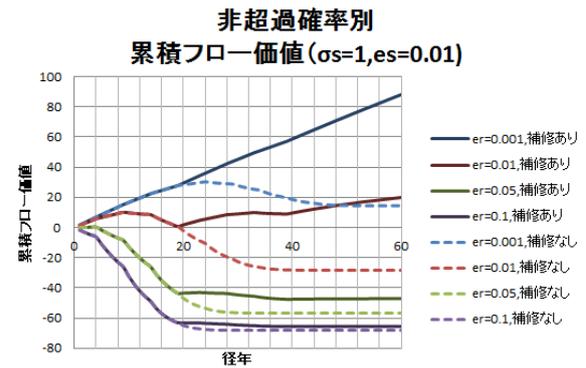


図-5 累積フロー価値 (単位：億円)

ストック価値の結果と同様に、超過確率が高いほど、フロー価値の低下が大きくなることが分かった。これは、超過確率を高く設定することで、信頼性が低くなり、高い破壊確率が算出されたことに影響していると考えられる。

③耐力の非超過確率の違いによる影響

ストック価値の結果と同様に、非超過確率が高くなるにつれ、フロー価値の低下が大きくなった。これは、非超過確率を高く設定することで、信頼性が低くなり、高い破壊確率が算出されたことに影響していると考えられる。特に非超過確率が0.05を超えると急にフロー価値が低くなっていることがわかり、さらに供用年が長くなるほど、安全側の設計と比べて、価値の開きが大きくなっていくことがわかる。したがって、非超過確率はフロー価値への影響が強く、設計段階で特に重要視すべきことと考えられる。

(3)全体の考察

以上までの考察から、設計段階での超過・非超過確率の設定によって、供用年後半において大きく価値の差が生じる結果となった。よって、長期の供用が想定される社会資本において、設計段階で価値の変動を把握しておくことが大事だと考えられる。

補修の有無は安全側の設計においては、大きな効果を発揮したが、危険側の設計においては、ほとんど効果を示さなかった。つまり、長期供用では、早い段階で架けかえを行い安全側の設計にし直すことが必要だと考えられる。

5. リスク資産の会計的資産管理

インフラ資産の資産管理において、保有する資産の大きさやその機能発揮の長期性・広域性を会計情報として、認識・把握・測定するため、本研究では、財務諸表における損益計算書(P/L)、貸借対照表(B/S)を用いる³⁾。式(1)から算出された残存価値をストック価値と累積フロー価値に分けて考え、前者をB/Sへ、後者をP/Lに計上する³⁾。

資産運用のプランとしては、道路橋建設時に初期投資額A(億円)がかかり、負債で一括処理し、供用期間中に返済を行う方針をとる。返済法には元利均等返済を用いる。また、供用中では、配当金として社会的便益が得られ、費用として、維持管理費などの各管理費用が掛かる。この差額は、本来、資産としてB/S上に記載するものであるが、このような公共構造物を対象とする場合は、市民還元として社会に提供すべきものであり、B/Sには計上しない。以上のプランで財務諸表作成をする。例として、S側の設計値が $\sigma_s = 1.0$ 、 $e_s = 0.01$ 、R側の設計値 $e_R = 0.001$ 、補修ありの設計でのモデルを用いる。本研究の財務諸表では、その時々価値をそのまま載せている。社会的割引率を用いて割引現在価値に換算する操作はしていない。

表-1に作成した損益計算書(P/L)を載せる。35年目と40年目の結果を載せている。P/Lでは、便益の項に、式(1)の流入フロー価値が計上され、損失の項に流出フロー価値が計上される。40年目に橋梁床板の補修を行い、信頼性が回復していることから社会的便益の期待値も大きく見積もられている。

表-2に作成した貸借対照表(B/S)を載せる。同様に、35年目と60年目の結果を載せている。B/Sでは、資産の部の固定資産価値の項では、式(1)のストック価値が計上され、資産の供用を行う中で、負債が返済され、資本が増えていくことから、負債と資本のバランスが変化していくことがわかる。資産合計が減少しているが、これはP/Lから算出される余剰分が計上されていないからである。実際には、資産の部に計上され資産を増やすものであるが、前述のとおり、こちらは市民還元として表に記載しないこととする。

このように財務諸表を用いた「会計的資産管理」を行うことで、土木構造物が社会に及ぼす影響を明確に表すことができ、税金を払う国民に対する社会資本整備への理解が深まることが出来るようになる。

5. おわりに

本論文では、AMにおける資産価値評価として、さまざまなリスクを考慮した式を提案することを目的に、リスク資産の残存価値評価式を構築し、リスク資産の例として道路橋を用いたケーススタディを行った。得られた主な結論は以下のとおりである。

①道路橋の破壊リスクとして、道路橋の主要部材として道路橋床版に注目し、床版の耐力劣化モデルを確率分布に表し、道路橋の信頼性評価を行った。R-Sモデルを用い、S側として交通活荷重をモデルとし

表-1 損益計算書(P/L) (単位: 億円)

		35年目	→	40年目
P(Profit)	社会的便益	2.15088	→	2.41552
	計	2.15088	→	2.41552
L(Loss)	繰延維持補修費用引当金	0.01158	→	0.01158
	負債返済金	0.87841	→	0.87841
	計	0.89000	→	0.89000
P-L		1.26089	→	1.52552

表-2 貸借対照表(B/S) (単位: 億円)

		35年目		→	40年目	
資産の部		固定資産			負債の部	
橋梁	1.31270	→	1.26782		銀行借入	12.90648
土地	42.18000	→	42.18000			8.51440
流動資産		流動負債			資本の部	
繰延維持補修引当金	0.01158	→	0.01158		社会的便益	30.59780
合計	43.50428	→	43.45940		合計	43.50428
						8.51440

た正規分布、R側として床版耐力劣化をモデルとした γ 分布を用いた。設計条件の違いにより、破壊確率が大きく違う結果となった。

②構築した残存価値評価式と算出した各種パラメータを基に、道路橋の残存価値信頼性評価を行った。設計条件の違いによる資産価値の変化を把握するため、補修の有無とS側の超過確率、R側の非超過確率の違いを検討した。結果として、補修を行うことで、R側の信頼性が回復され、価値低下を補修年度で抑えることができた。また、超過確率、非超過確率の違いでは、これらの確率が高くなるほど、ストック価値の低下が大きくなることが分かった。

③資産管理手法として会計的資産管理に注目し、算出した残存価値を財務諸表のひとつであるP/L、B/Sに組み込み、会計への反映を行った。結果として、社会資本に纏わる会計情報の整理及び把握を行うことが出来た。

今後の課題として、リスク資産の残存価値評価結果から、設計条件が厳しい場合、長期供用では、早い段階で架けかえを行い安全側の設計にし直すことが必要だと考えられることがわかった。よって、架けかえによる効果の検討が必要。この場合、再投資費用の算出や資産運用プランの見直しなどが必要となり、より詳細なシミュレーションが必要だと考えられる。

【参考文献】

- 1) 古田 均: 社会資本アセットマネジメント, 森北出版, 2010年7月
- 2) 佐藤幸生: 超過確率法信頼性理論における耐力劣化モデルの構築と瑕疵担保責任の発生分析, 土木学会関東支部第38回技術研究発表会
- 3) 小林潔司: 社会資本管理のためのインフラ会計, 第27回土木計画学研究講演集, 2003年6月
- 4) 近藤航: 道路橋LCCマネジメントの中での疲労劣化と大型車交通便益の関係の評価, 2007年度中央大学理工学部土木工学科卒業論文
- 5) 橋梁定期点検要領(案)大阪府土木部交通道路室, 平成17年10月