

保険によるリスク転嫁と LCC 最小化に関する考察

武蔵工業大学工学部都市基盤工学科 正会員 星谷 勝

1. はじめに

一般土木施設、建築物を対象として、ライフサイクルコスト（LCC）に含まれる諸費用のうち自然災害による損失の影響に着目し、施工期間と完成後の供用期間における自然災害による損失を考慮し、さらに損失の一部を保険へ転嫁する場合の LCC の最適化問題を考察する。なお、簡単に扱うために、維持管理費、補修費は対象外としている。なお、損失に効用の概念を導入することにより、建設会社あるいは施設所有者にとって保険に加入することの意義を明確にし、軽減されたリスク、および保険の効果を定量的に評価する。ここでは、文献（１）（２）の手法を拡張して LCC の最適化問題を検討している。そして、供用期間 T 年における LCC を最小化するように、構造パラメータ x 、仮設工パラメータ y 、工事保険への転嫁パラメータ $z_1 = \{u_p, \ell_o\}_1$ 、供用期間中の地震保険への転嫁パラメータ $z_2 = \{u_p, \ell_o\}_2$ を選択するための数理モデルを考えている。

2. LCC の最小化

LCC は、初期建設費と供用期間中に発生する地震被害による損失期待値から構成され次式で与えられるものとする。

$$LCC(x, y, z_1, z_2, r, T) = C(x, y, z_1) + \{E_o[L(x, z_2)] + (1+k)E_i[L(x, z_2)]\}h(r, T) \quad (1)$$

ここで、 $C(x, y, z_1)$ = 初期建設費、 $E_o[L(x, z_2)]$ = 施設所有者が自己負担する年間リスク、 $E_i[L(x, z_2)]$ = 保険会社へ転嫁する年間リスク、すなわち、純保険料、 $k E_i[L(x, z_2)]$ = 付加保険料、 $h(r, T)$ = 現在価値への変換関数、 r = 変換率である。

式（１）の $LCC(x, y, z_1, z_2, r, T)$ は、右辺第１項の初期建設費 $C(x, y, z_1)$ と第２項の損失期待値から構成されている。損失期待値は、式（１）により施設所有者が自己負担する損失期待値 $E_o[L(x, z_2)]$ と、地震保険へ転嫁され保険会社が負担する損失期待値 $(1+k)E_i[L(x, z_2)]$ に分けられる。後者には保険会社が要求する付加保険料が含まれる。保険は単年度契約として、毎年想定される損失期待値は、変換関数 $h(r, T)$ を用いて現在価値へ変換される。保険料 $(1+k)E_i[L(x, z_2)]$ は、施設所有者の損失期待値の中で保険会社負担分に相当する純保険料に付加保険料（手数料）を加算したものであり、施設所有者の事業費として LCC に含まれている。なお、手数料は運営費や営業利益として保険会社が要求するものである。付加保険料は純保険料に一定の比率 k を乗じたもので与えられるとする。

一般に、保険では小さな損失は自己責任とし、大きな損失には最大支払い額が設定されているが、これと同様に地震保険では免責限度額 ℓ_o と支払い限度額 u_p が設定される。これらの限度額により、（１）式に示すように損失期待値の分担が施設所有者と保険会社へ振り分けられる。

式（１）に基づき、LCC を最小化することの意味を考察してみる。もし設計において構造性能（ x ）を高く設定すれば初期建設費 $C(x, y, z_1)$ は大きくなるが、その分だけ安全性が向上するから、第２項の損失期待値は小さくなる。逆に、建設費が低ければ、第２項は大きくなる。したがって、中間に最小値が存在することになる。一方、式（１）の第２項のみに注目し、仮に x を固定して z_2 のみを変化させてみる。 u_p を無限大

キーワード：ライフサイクルコスト，地震保険，工事保険，最適化

連絡先：東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学工学部土木工学科 Tel.03-3703-3111 (ex.3268)

に近づければ、保険会社の負担、すなわち保険料 $(1+k)E_I[L(x, z_2)]$ が増大し、施設所有者の負担する損失期待値 $E_O[L(x, z_2)]$ はゼロに漸近する。逆に、 u_p を小さく設定すれば、 $(1+k)E_I[L(x, z_2)]$ は小さいが、 $E_O[L(x, z_2)]$ が増大する。しかし、両者の和は、振り分け前の損失期待値に付加保険料（手数料）を加算したものとなるから一定である。一方、施設所有者のリスクに効用を考慮すれば、これらの中間に最小値が存在することになる。以上の考察から明白なことは、式（1）の最適化は第2項の最適化を内蔵した最適化問題となっている。実際には、右辺の第1項と第2項は共通に x の関数であり、さらに第2項は変数 x, u_p, ℓ_o, T の多変量関数となっているから、両者を区別してそれぞれに対して最適化することは出来ない。両者を一体として LCC を最小化することにより、（1）最適な構造パラメータ x と（2）施設所有者にとっての最適な保険料 u_p 、を決定することができる。

ところで、初期建設費 $C(x, y, z_1)$ は、設計に要する諸費用および建設費が合算されたものだが、後者の建設費には、建設中のリスクが考えられる。すなわち、工事は短期ではあるが、その間に台風による自然災害や人為的災害などが考えられる。これらのリスクに対して工事保険を利用して工事を実施するものとする。この場合には、第1項の $C(x, y, z_1)$ は、第2項と同様にブレイクダウンされ、それ自体が最適化問題を内蔵することになる。

施工期間は供用期間に比べて短いので、現在価値への変換を考えないとすれば、初期建設費は次式で表せる。

$$C(x, y, z_1) = C(x, y) + G(x, y, z_1) + CI(x, y, z_1) \quad (2)$$

ここで、 C = 建設工事費、 G = 建設会社が負担するリスク、 CI = 保険会社へ転嫁するリスク、である。

この式においても、仮設工パラメータ y によって、右辺第1項と第2項以下との間にトレードオフの関係が存在する。さらに、工事保険へ転嫁するパラメータ z_1 により $G(x, y, z_1)$ と $CI(x, y, z_1)$ との間にトレードオフが行われ、最適化問題が構成される。

3. 課題・展望

- （1）地震災害のような巨大リスクに対する、損保会社の支払い限度額決定プロセスや国の再保険制度を学習し、顧客側と保険会社側の論理の整合性を求める検討が必要である。
- （2）一般家屋の場合には、地震保険の保険料率は non-loss, non-profit の原則に基づいて決められるので付加保険料はない。土木施設や建築物の付加保険料の決定にはどのような原則が適用されるべきであろうか。
- （3）保険が選好されるのは、損失に直面した時の失望感、言い換えれば保険に加入していることによる安心感があるからである。実感を伴うリスクの計量化を適切に行うことが必要である。
- （4）施工期間における初期建設費の LCC 最適化問題（式（2））は、安全性とコスト管理の見地からの検討が必要である。土木工事の利益率は1%程度と低く、保険料率が一般に0.3 - 0.5%であり、工事現場の独立採算制による運営が成り立たない。工事保険に関しては、保険会社側の論理だけでなく、建設会社側からの突っ込んだ議論が必要である。
- （6）不確実性として損失のみを考慮したが、ライフスパンには施設の運用によるキャッシュフロー（利得）がある。LCC の最適化に賃貸収入や転売価格の増加を考慮した収益の増加項を含めた最適化問題は興味ある今後のテーマである。

参考文献

- （1）中村孝明、中村敏治、望月智也、不確実性を考慮した地震リスク移転と自己負担、日本リスク研究学会 第13回研究発表会論文集、Vol.13, 2000, pp1-7.
- （2）望月智也、中村孝明、木村正彦、星谷勝、損失に対する主観金額を考慮した地震保険の最適化、土木学会論文集、2002年4月号登載決定。