

ポートフォリオ理論に基づく道路斜面災害対策の優先度評価手法の開発

岐阜大学 ○丸山竜平 高木朗義 倉内文孝 北浦康嗣

1. はじめに

道路斜面災害に関して、各斜面における危険性を評価する手法は数多く存在し、様々な研究が進められている¹⁾。しかしながら、数多くある斜面の中で、どの斜面から対策を講じることが、地域の持つリスクを最も低減できる対策の組み合わせかを導くというような研究は少ない。

本研究では、厳しい財政状況の中、いかに効率的で効果的な道路斜面災害対策を行うかというリスクマネジメント立案のための指標を提示することを目的とする。具体的には、道路ネットワーク全体に及ぶ効果を考慮に入れた斜面災害対策の優先度評価手法を開発する。評価にあたり、ポートフォリオ理論の概念を用いて、災害発生の不確実性と災害によって生じる損失額を考慮する。さらに、岐阜県飛騨圏域の斜面を対象に対策優先度の評価を行う。

2. ポートフォリオ理論を用いた評価手法

本研究では、ポートフォリオ理論の平均・分散モデル²⁾を適用することで、道路斜面災害対策の優先度評価を行う。これにより、対策によって軽減できる損失額（期待損失額）のみの評価ではなく、不確実に発生する災害によって、万が一発生する想定外の損失に関しても同時に評価を行うことができる。つまり、地域が持つリスクをトータル的に捉え、どれだけの被害が発生するかといった不確実性を最小限に抑えつつ、期待損失額の減少分が最大となる対策がどのような順番・組み合わせなのかといった対策優先度評価が可能となる。

(1) 期待損失額の軽減効果の評価

期待損失額は落石の発生確率と災害発生に伴う社会経済損失の積によって算出し、対策のない場合と対策を行った場合（対策を行った場合、落石の発生確率は0となる）との差分を、落石対策を行ったことによる期待損失額の減少分とする。

期待損失額の減少分の算出式を(1)式に示す。

$$\begin{aligned}\Delta E[x] &= E_0[x] - E[x] \\ &= \sum_{i=1}^n a_i p_i d_i\end{aligned}\quad (1)$$

(2) 分散の減少の評価

分散の値は落石の発生確率と社会経済損失のバラつきから求め、対策の有無によって、そのバラつきがどれだけ解消されるかを分散の減少分とする。

分散の減少分の算出式を(2)式に示す。

$$\Delta V[x] = V_0[x] - V[x] = \left(\sum_{i=1}^n a_i p_i d_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n a_i p_i d_i^2 - 2 \sum_{i=1}^n p_i d_i \sum_{i=1}^n a_i p_i d_i \right) \quad (2)$$

(3) 斜面災害対策優先度評価モデル

目的関数と制約条件を次の(3)式のように定める。

$$\begin{aligned}\max. \quad & Z = (1 - \alpha) \Delta E[x] + \alpha \Delta V[x] \\ & = \alpha \left(\sum_{i=1}^n a_i p_i d_i \right)^2 + \sum_{i=1}^n (a_i p_i d_i + \alpha a_i p_i d_i^2 - 2 \alpha E_0[x] a_i p_i d_i) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^n c_i \leq M\end{aligned}\quad (3)$$

$$\left[\begin{array}{l} E[x] : \text{期待損失額}, V[x] : \text{社会経済損失の分散} \\ n : \text{全斜面数}, i : \text{対策斜面番号} \\ p_i : \text{斜面}i\text{における落石発生確率} \\ d_i : \text{斜面}i\text{における社会経済損失} \\ a_j : \text{対策の有無 (0 or 1)} \\ \alpha : \text{期待損失額と分散の比重を表すパラメータ} \\ M : \text{岐阜県における落石対策予算} \\ c_i : \text{斜面}i\text{における対策費用} \end{array} \right]$$

ここで定める目的関数は期待損失額の減少分と分散値の減少分の和で表されており、 α の値によって期待損失額と分散のどちらにどれだけの比重をおくかを定めている。 α の値を大きくとれば分散に比重をおいた評価となり、逆に小さくとれば期待値に比重を置いた評価となる。また、目的関数 Z の値が大きくなるほど、対策の優先度は高くなる。

3. 飛騨圏域における斜面データを用いた評価

本研究では、小坂³⁾らが算出した岐阜県における落石災害リスクのデータに基づき、データから、落石の年発生確率、落石による社会経済損失を用いて、損失額の期待値と損失額の分散を求める。求めた値からポートフォリオ理論の平均・分散モデルの考え方に基づいて対策の優先度を求めるとともに、年間に組まれた予算の中で最適な落石災害対策を優先して行うべき斜面の組み合わせを導く。

斜面 i における落石災害の年発生確率を p_i 、もたらされ



図2 分散による対策優先斜面

る社会経済損失を d_i とする。ここでの社会経済損失とは落石によって発生する道路復旧費用、人身損失、迂回損失、救急医療損失の和として算出したものである。

(3) 式の目的関数を用いて、分散と期待損失額の比重 α に対する感度分析を行う。図1に実際の斜面データに基づいて求めた対策優先度の結果を示す。 α が0に近い値の場合は対策優先順位が上位になかった斜面が、分散の値を考慮することで(α の値を大きくすることで)上位にあがっている。また逆に、もともと上位にあった斜面の優先順位が低くなっていることもわかる。この結果より、期待損失額のみの場合と損失額の分散も考慮して評価した場合では、対策優先度に変化がみられることが分かる。平均・分散モデルを適用することによって、確率の大小や損失額の大小のみでなく、災害発生の不確実さも考慮した評価が可能であるといえる。

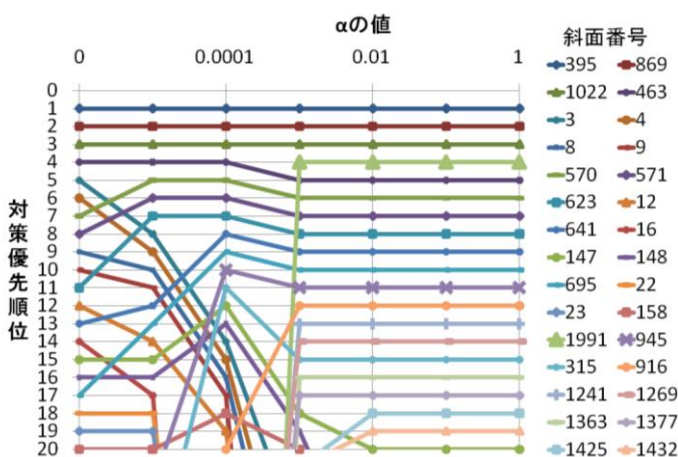
また、求めた対策優先度の結果を基に、図2にパラメータ $\alpha = 0$ (分散のみ) の場合における対策優先度上位 20 斜面の斜面箇所を示す。ここで得られた結果は、図3に示すパラメータ $\alpha = 1$ (期待損失額のみ) の場合における対策優先度上位 20 斜面とは異なる。このことから期待損失額の大きな斜面が必ずしも優先度が高いわけではないことが分かる。よって、ポートフォリオ理論の平均・分散モデルに基づいた評価も、斜面对策を講じる際に優先度を定める際の1つの指標に成り得ると考える。

5. おわりに

本稿では、研究背景と目的、本研究の位置付け、ポ



図3 期待損失額による対策優先斜面

図1 分散と期待損失額の比重 α による対策優先順位の違い

ートフォリオ理論の平均・分散モデルを用いたことによる優先度の変化について示した。しかし、今回の結果では目的関数を設定したが、予算に関する制約が考慮されていない。

今後、落石対策費の年間予算を制約条件として、どの斜面を組み合わせることで対策することが対象地域の持つリスクを最小に抑えられるかについて検討する。

参考文献

- 1) 大津宏康ら：岩盤崩落による社会経済損失を考慮したリスク評価に関する研究，土木学会論文集，No. 708/VI-59, pp. 187-198, 2002.
- 2) 仁科一彦，倉澤資成：現代ファイナンス講座 (第2巻) ポートフォリオ理論—基礎と応用，中央経済社，2009.
- 3) 小坂宏彰ら：道路途絶による社会経済損失を考慮した道路斜面災害リスク評価モデルの開発，土木計画学研究・講演集，Vol.141, CD-ROM, 2010.