

斜面災害を対象とした防災対策の意思決定支援方法

防災技術研究部 地盤防災研究室
主任研究員 布川 修

1. はじめに

斜面災害を対象とした防災対策の実施順位や方法は、斜面や岩塊の崩壊・崩落危険度や線区の重要度などを勘案し、経験的に決定していることが多い。しかし、こうした防災対策の意思決定は、図1に示すように、崩壊危険度の異なる斜面が営業収益の異なる線区それぞれに存在する場合、難しいことがある。そこで、主な斜面災害である盛土や切土の崩壊（以下、土砂崩壊という）と落石による災害を対象として、発生確率や発生時の損失から災害の危険性をリスクとしてひとつの指標で評価し、定量的に防災対策の意思決定を支援する方法について紹介する。

2. リスクの算出方法

斜面災害リスク R は、一般的に利用されている式(1)により求める。

$$R = \sum (P_i \times C_i) \dots (1)$$

ここで、 P_i : 斜面災害時に想定される事象 i が発生する頻度期待値 (回/年)、 C_i : 事象 i が発生したときの損失 (円/回) である。以下、土砂災害および落石災害リスクの算出方法について述べる。

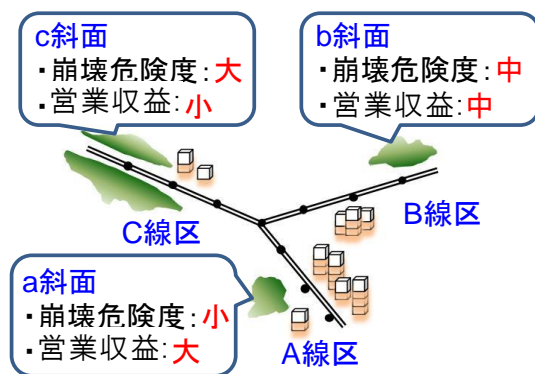


図1 線区ごとに斜面の崩壊危険度と営業収益が異なる場合の例

2.1 土砂災害リスク

降雨による土砂災害が発生した場合、降雨時運転規制の有無や崩壊の有無により生じる被害の程度が異なる。この点を考慮して、図2に示すイベントツリーのように、土砂災害時に想定される事象を13の事象に区分した。

図2に示す降雨、斜面崩壊の有無、発生時間帯、車両等被害の有無はそれぞれ不確定なイベントであるため、それぞれの発生を確率的に求めることで、事象 i が発生する頻度期待値が算出できる。図3に斜面の崩壊確率分布の例を、図4に降雨頻度期待値分布の例を示す。これらの図を用いることで、降雨量(降雨時運転規制の指標である連続雨量と時間雨量)に応じた斜面崩壊確率や降雨頻度期待値

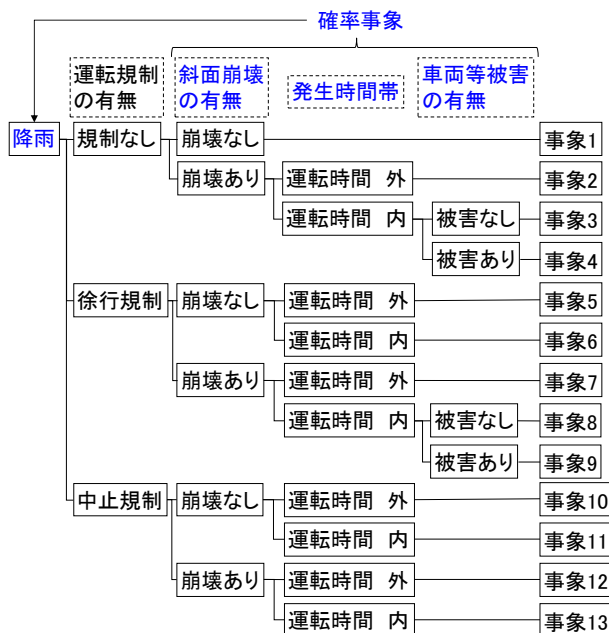


図2 土砂災害時に想定される事象

を求める。なお、図 3 は比較的簡易な現地調査で得られるデータから、また図 4 は容易に入手できる斜面近傍のアメダスデータから作成可能である。

一方、事象 i ごとの損失は、応急復旧費、社会的影響（車両等被害額や人的被害額など）、営業損失などの項目を設定して算出する。なお、損失項目は評価対象となる箇所や線区によって異なることが想定されることから、実際に本手法を適用する際に鉄道事業者が必要な項目を設定することになる。また、応急復旧費や営業損失および図 2 に示した車両等被害の確率は、崩壊規模等を予測^{1),2)}した結果をもとに設定する。

以上より、図 2 に示した事象ごとの発生頻度期待値と損失とから斜面災害リスクは式(1)により算出できる^{3),4)}。

2.2 落石災害リスク

落石による鉄道への被害は、①斜面上方から岩塊が落下し、②この岩塊が線路まで到達し、③線路を支障するまたは列車に直撃・衝突することによって発生する。この点を考慮して図 5 に示すイベントツリーにより、落石災害時に想定される事象を 10 の事象に区分した。

事象 i が発生する頻度期待値は、図 5 に示す落石発生頻度期待値、線路到達確率、列車被害発生確率（直撃確率、衝突確率、脱線確率）から算出できる。落石発生頻度期待値は、鉄道事業者が実施している定期的な検査結果を利用し、健全度判定ごとの対策の考え方をもとに求める。設定例を表 1 に示すが、例えば、「健全度判定が A1 の場合、1 年から 2 年以内に対策を要す」という考え方の場合、対策を実施するまでの期間に岩塊が落下するものと仮定すれば、落石発生頻度期待値は 0.5～1.0(回/年)と設定できる。

線路到達確率の算出には、岩塊と地盤の反発係数等を変動値として質点系力学に基づいて落石の挙動を計算する落石シミュレーションを用いる。図 6 に計算結果例を示すが、落石シミュレーションにより、岩塊が①線路まで到達しない確率 P_{b1} 、②線路を通過する確率 P_{b2} 、③線路で停止

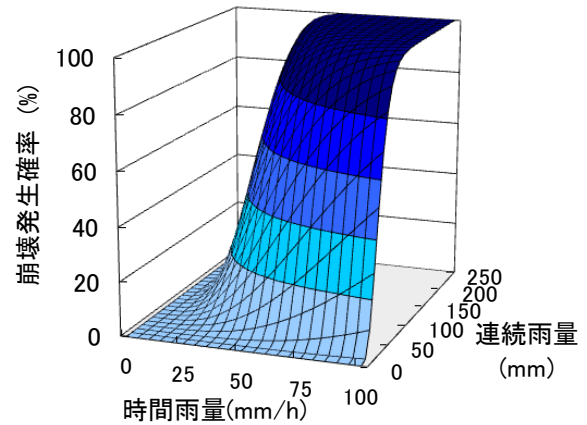


図 3 斜面の崩壊発生確率分布の例

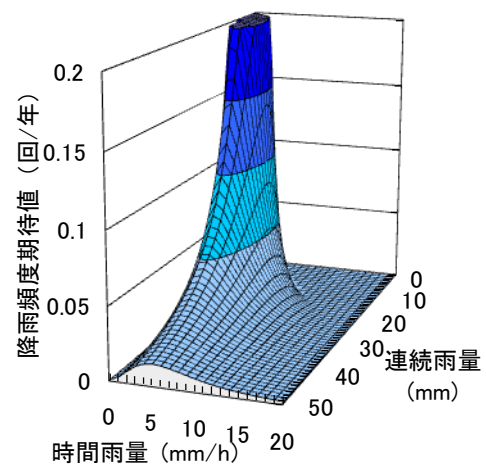


図 4 降雨頻度期待値分布の例

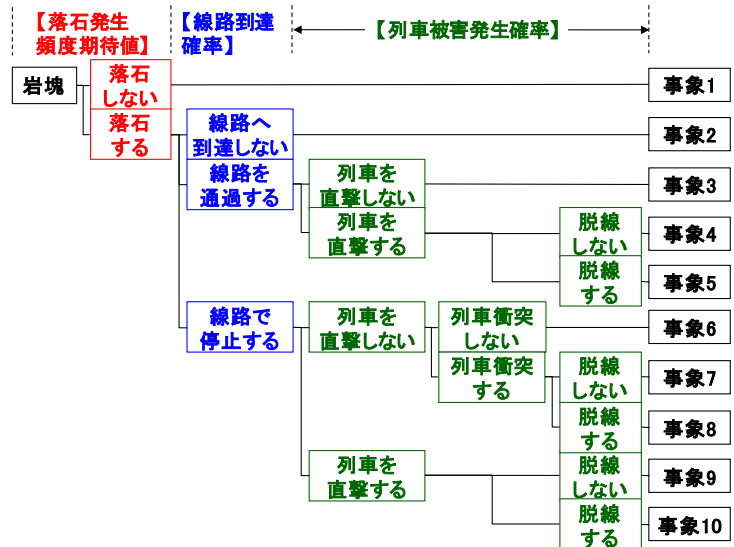


図 5 落石災害時に想定される事象

表 1 健全度判定ごとの対策の考え方とこれ
 にもとづく落石発生頻度期待値の設定例
 (a) 対策の考え方

健全度判定	対策実施時期の考え方
A1	落石の危険性が高く 1年から2年以内に対策を要す
A2	落石の危険性があり 2年から5年以内に計画的に対策を要す
B	風化などの進行によっては Aランクとなる可能性がある

(b) 落石発生頻度期待値の設定例

健全度判定	落石発生頻度期待値 P_a (回/年)
A1	0.5~1
A2	0.2~0.5
B	0.02~0.1

する確率 P_{b3} のそれぞれを求める。

落石が走行中の列車を直撃する確率は、列車が落石危険区間を通過する年間あたりの累積時間割合から求める。また、線路上の落石に列車が衝突する確率や脱線確率は、過去の災害データの統計値から求める方法や対象箇所における見通し距離と列車速度から求める方法がある。

一方、事象 i ごとの損失は土砂災害と同様に求める。以上より、図 5 に示した事象ごとの発生頻度期待値と損失とから落石災害リスクは式(1)により算出できる。

3. 防災対策の意思決定支援方法

ここでは、落石災害を対象として、仮想した条件のもとケーススタディを行い、リスク算出結果を利用した防災対策の意思決定支援方法について概略的に説明する。なお、ここで、対策を施す前のリスクを現状リスク R と呼び、対策を施した後のリスクを対策後リスク R' と呼ぶ。

ケーススタディの条件を図 7 に、現状リスク算出結果を図 8 に示す。図 7 の条件のみで防災対策の優先順位を判断することは難しいが、図 8 に示すとおり現状リスクを算出することで、リスクの高いものから順に対策を実施するという考え方に沿えば、定量的に優先順位を決定すること

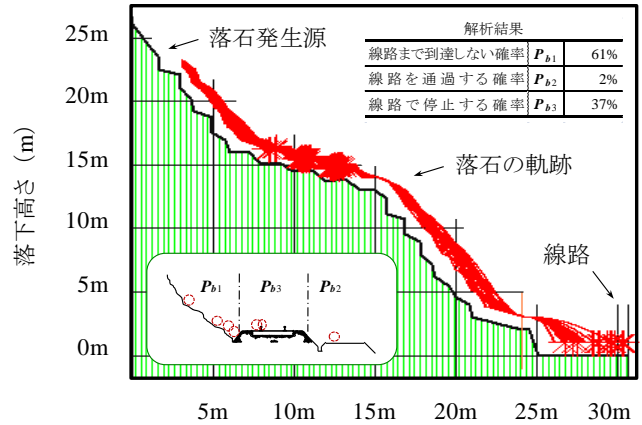


図 6 落石シミュレーション結果の例

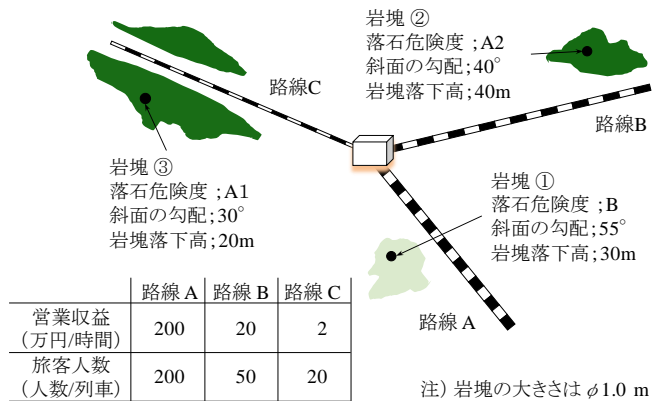


図 7 ケーススタディの条件

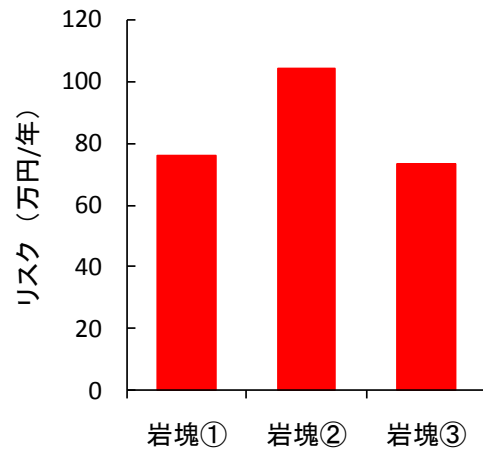


図 8 現状リスク算出結果

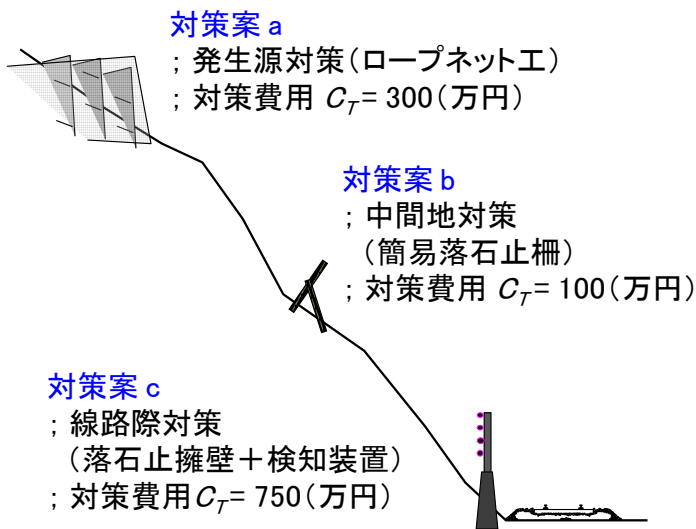


図 9 ケーススタディにおける対策案

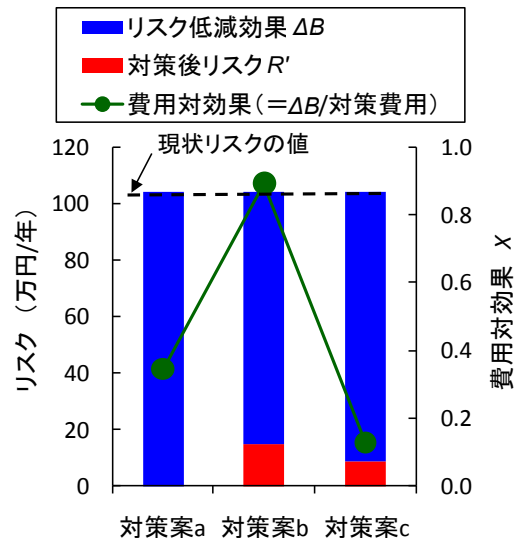


図 10 対策後リスク算出結果

が可能となる。

ケーススタディにおける対策案を図 9 に、対策後リスク算出結果を図 10 に示す。なお、図 10 には、現状リスク R と対策後リスク R' から算出したリスク低減効果 $\Delta B (=R-R')$ と、リスク低減効果 ΔB を対策費用 C_T で除した値を費用対効果 X と定義して求めた結果も示した。対策方法決定の考え方として、①リスク低減効果 ΔB が高い対策を優先する、②費用対効果 X が高い対策を優先する、ことが挙げられる。上記①の場合は対策案 a、上記②の場合は対策案 b と定量的に決定できる。

以上に示すとおり、現状リスクと対策後リスクを算出することで、防災対策の優先順位や方法を定量的に決定できることから、本手法を利用すれば防災対策の意思決定を支援することが可能であると考えられる。

4. おわりに

本稿では土砂災害と落石災害に対するリスク評価方法を示し、落石災害を対象としたケーススタディ結果をもとにリスク評価結果を利用した防災対策の意思決定支援方法を紹介した。今後は、実際の斜面を対象としてリスクを算出し、実務に適用する際の課題を明らかにしていきたい。

【参考文献】

- 1) 布川修、杉山友康、小林徹：斜面崩壊規模の予測手法と崩土の衝撃力特性、鉄道総研報告、Vol.19、No.10、pp.33-38、2005.
- 2) 杉山友康、森泰樹、布川修、太田直之：降雨による盛土崩壊の形態と規模に関する統計的予測手法、鉄道総研報告、Vol.22、No.1、pp.17-22、2008.
- 3) 杉山友康、布川修、太田直之：降雨による斜面崩壊発生確率の算定手法、鉄道総研報告、Vol.23、No.3、pp.11-16、2009.
- 4) 布川修、杉山友康、太田直之：降雨による斜面災害に対する防災投資の意思決定支援手法、鉄道総研報告、Vol.23、No.3、pp.17-22、2009.