

リスク評価手法を用いた落石災害に対する防災対策の優先順位決定方法

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○高馬 太一 布川 修 フェロー 杉山 友康

1. はじめに

鉄道では、落石災害から列車の安全を確保するために、数多く存在する沿線斜面から落石の危険箇所を抽出し、これらの箇所に対して落石防止網などの対策を行っている。こうした対策をより効果的に行うためには、岩塊の健全度や線区の特徴などを考慮して落石災害の危険度をひとつの指標により評価することが必要となる。

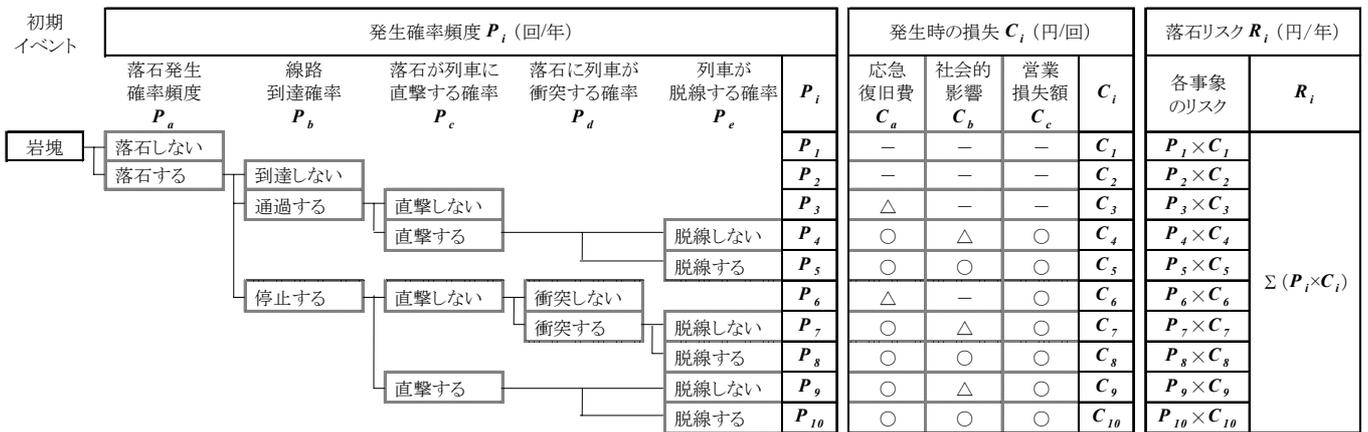
そこで筆者らは、上記評価が可能となるリスク評価手法に着目し、落石災害の危険度をリスクとして算出する方法を検討した¹⁾。本稿では、この手法の具体的な利用方法について、仮想斜面を対象としたケーススタディを行った。

2. 落石リスクの算出方法

落石により生じる事象ごとの発生確率頻度 P_i (回/年)と損失 C_i (円/回)を求め、式 1 により落石による年間あたりの期待損失額を落石リスク R_i (円/年)として算出する。図 1 に落石リスクの算出フローを示す。

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

ここで、 R_i : 落石リスク(円/年), P_i : 各事象の発生確率頻度(回/年), C_i : 各事象発生時の損失額(円/回)



○印が該当する損失項目 (△は場合により該当)

図 1 落石リスクの算出フロー

3. ケーススタディ

3.1 対象箇所線区

ケーススタディの対象には図 2 のような 3 線区に位置する斜面を設定した。前提条件として、斜面に存在する岩塊の規模は一律で、健全度、発生源下方の斜面の状況(勾配)、営業収益がそれぞれ異なると仮定した。ここで、対象箇所線区の特徴は、岩塊 a では健全度は高く営業収益が大きい、岩塊 c では健全度が低く営業収益が小さい、岩塊 b はこれらの中である。このように岩塊の健全度や線区の営業収益が個別に量化されていても別々の指標であるため、これらの条件のみで対策の優先順位を決定することは難しい。

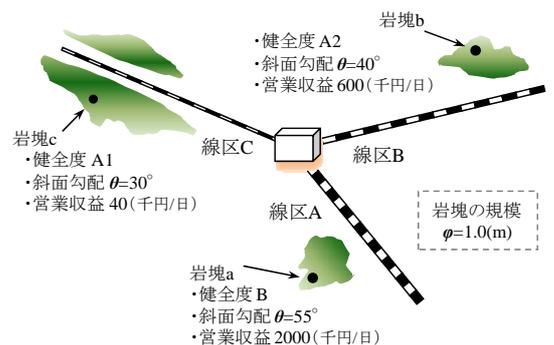


図 2 仮想斜面

3.2 試算条件

(1) 発生確率頻度 P_i

表 1 に発生確率頻度の算出のための条件を示す。落石発生確率頻度 P_a は、定期的な検査結果を用いて健全度判定ごとの対策の考え方をもとに求めた。具体的には A1 は 1 年以内, A2 は 2 年以内, B は 30 年以内に対策を

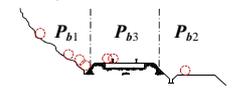
要すと考え、対策を要すまでの期間に岩塊が落下すると仮定して各々1.0, 0.5, 0.03に設定した。線路到達確率 P_b は到達位置を3つに区分し、落石シミュレーションにより算出した。落石が列車に直撃する確率 P_c は、列車が落石危険区間を通過する年間あたりの時間を仮定して求めた。具体的には列車本数、走行速度などを考慮して営業収益が大きい線区から順に0.02, 0.01, 0.001に設定した。 P_a, P_e はそれぞれ0.3, 0.1とした。

表1 発生確率頻度 P_i (回/年)算出の条件

パラメータ	岩塊a	岩塊b	岩塊c
落石発生確率 P_a	0.03	0.5	1
線路到達確率	P_{b1}	0.54	0.84
	P_{b2}	0.08	0.10
	P_{b3}	0.38	0.06
直撃する確率 P_c	0.02	0.01	0.001
衝突する確率 P_d	0.3		
脱線する確率 P_e	0.1		

※1) $P_i = P_a \times P_b \times P_c \times P_d \times P_e$ (事象 $i=1 \sim 10$)

注) P_{b1} : 線路まで到達しない確率
 P_{b2} : 線路を通過する確率
 P_{b3} : 線路で停止する確率



(2) 損失額 C_i (表2)

応急復旧費 C_a には土木、軌道、電気設備などの復旧費を考慮し、落石が列車に直撃、衝突する場合には車両の復旧費も考慮した。なお、岩塊の規模は同じであるため3線区同じ値とし、過去に実施した災害復旧費用の平均額より設定した。社会的影響 C_b は1)落石が列車に直撃する場合と2)線路上の落石に列車が衝突する場合にのみ計上するが、1列車あたりの乗車人数を考慮して設定した。なお、脱線する場合は脱線しない場合の2倍になると仮定した。営業損失額 C_c は運転支障による損失額として災害復旧時間を考慮して営業収益から求めた。なお、脱線する場合は脱線しない場合の3倍の時間がかかると仮定した。

上記より、図1のフローに従い事象ごとに該当する損失額の和を求めた。表2に事象ごとの損失 C_i を示す。

3.3 試算結果

表3に対象箇所線区の事象ごとの発生確率頻度 P_i の試算結果を示す。この表に示すように、発生確率頻度は事象1が最も大きく、次いで事象2、事象6となるのがわかる。また、被害が重大(脱線する場合)となる事象8と事象10の発生確率頻度は、本試算によれば $10^{-4} \sim 10^{-6}$ のオーダーであることがわかる。

図3に落石リスク R_i の試算結果を示す。この図より、リスクは岩塊bが最も大きく次いで岩塊a、岩塊cとなるのがわかる。また、岩塊a、岩塊bの比較では、岩塊aの方が落石発生確率頻度 P_a は0.03(回/年)と小さいが、リスク R_i は大きい値となっている。これは、岩塊aでは線路で停止する確率 P_{b3} が大きく、その結果、事象6~事象10の発生確率頻度が岩塊cと同程度になり、さらに事象発生時の損失額が岩塊cよりも大きいためと考えられる。

先の図2において、異なる指標から対策の優先順位を決定することは難しいと述べた。しかし、落石災害に対する危険度をリスクとして求めることで定量的なひとつの指標として評価することが可能となり、この例では岩塊bの優先順位が高いと判断できる。すなわち、本手法を用いて得られる結果は、防災対策の優先順位決定のための判断資料になると考える。

4. おわりに

本稿では、仮想斜面を対象としたケーススタディを行った。今後は対策後のリスク評価について検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 布川 修, 高馬 太一, 杉山 友康: 鉄道沿線斜面における落石災害リスクの算出方法, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010(投稿中)

表2 各事象の損失 C_i (百万円/回)

各事象	C_i	線区A	線区B	線区C
事象1 C_1	0	0	0	0
事象2 C_2	0	0	0	0
事象3 C_3	2	2	2	2
事象4 C_4	180	120	50	
事象5 C_5	330	230	100	
事象6 C_6	0	0	0	
事象7 C_7	160	110	50	
事象8 C_8	330	230	100	
事象9 C_9	180	120	50	
事象10 C_{10}	330	230	100	

※2) $C_i = C_a + C_b + C_c$ (事象 $i=1 \sim 10$)

表3 各事象の発生確率頻度 P_i (回/年)

各事象	P_i	岩塊a	岩塊b	岩塊c
事象1 P_1	0.97	0.50	0.00	
事象2 P_2	1.6E-02	4.2E-01	9.2E-01	
事象3 P_3	2.4E-03	5.0E-02	6.0E-02	
事象4 P_4	4.3E-05	4.5E-04	5.4E-05	
事象5 P_5	4.8E-06	5.0E-05	6.0E-06	
事象6 P_6	7.8E-03	2.1E-02	1.4E-02	
事象7 P_7	3.0E-03	8.0E-03	5.4E-03	
事象8 P_8	3.4E-04	8.9E-04	6.0E-04	
事象9 P_9	2.1E-04	2.7E-04	1.8E-05	
事象10 P_{10}	2.3E-05	3.0E-05	2.0E-06	

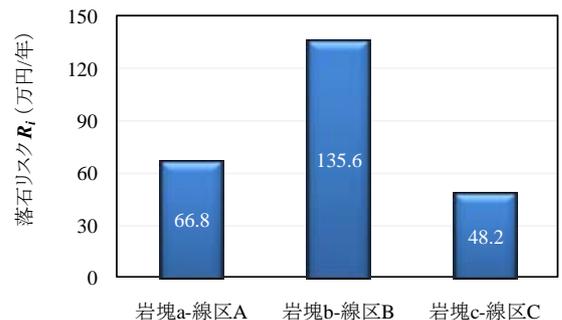


図3 落石リスク R_i の試算結果