

過去の災害データに基づく落石リスクの試計算

(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
西日本旅客鉄道株式会社 正会員 深田 隆弘 泉並 良二 森 泰樹 渡邊 恭崇

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、鉄道沿線斜面から落石危険箇所を抽出し、これらの箇所に対して落石防護網などの対策を行っている。対策をより効果的に実施するためには、落石による鉄道への被害の発生確率や発生時の損失なども考慮して、被害をリスクとして定量的に評価することが望ましい。しかし、こうした評価手法が確立されていないこともあり、投資の順序や対策の方法に関しては斜面の状況や線区の重要度などから経験的に決定されているのが現状である。

そこで、防災投資の優先順位や対策の方法を定量的に決定する手法の構築を目指し、リスク評価手法の適用について検討を進めている。本稿では、過去の災害データに基づく落石リスクの算出方法と対策効果の定量的な評価例について、ケーススタディの結果をもとに報告する。

2. 落石リスクの定義

落石リスク R_{isk} (円/年)を、落石による年間あたりの期待損失額と定義し、落石に伴う事象ごとの落石発生確率頻度 P_i (回/年)と、各事象が発生した際の1回当たりの損失額 C_i (円/回)を乗じて求める(式(1))。なお、式(1)を個別の斜面に適用すれば個々の斜面のリスクを求めることができるが、本稿では式(1)をある線区に適用することで線区のリスクを算出する。また、鉄道への被害の事象は、列車への衝突等直接的な被害なし($i=1$) (以下、列車被害なしという)と、列車への直接的な被害あり($i=2$) (以下、列車被害ありという)の2つに区分した。

$$R_{isk} = \sum (P_i \times C_i) \quad (i=1,2) \quad (1)$$

3. 落石発生確率頻度および損失額

本稿では、ある線区で過去 N 年間に n 回の落石災害が発生したという事例を統計的に処理して、以後の落石発生確率頻度 P_i を求める。この際、①落石災害は鉄道沿線の定期的な検査で抽出された落石危険箇所(以下、A ランク箇所という)で発生する、②A ランク1箇所あたりの落石発生確率頻度 P'_i はどの線区でも同じである、③落石が発生した場合には防護工の有無に関わらず線路まで到達する、と仮定する。すなわち、 P'_i 、 P_i は、式(2)、(3)により求める。ここで、表1のような条件に対して、式(2)、(3)を適用すると、落石発生確率頻度(P'_i 、 P_i)は、表2のように求められる。

損失額 C_i は、式(4)に示すように、復旧費用(土木、軌道、車両、電気)、営業損失および社会的影響を考慮して、各事象に該当する損失項目の和を求めて算出する(表3)。なお、復旧費用には過去の災害時の1件あたりの復旧に要した費用の平均額を適用し、営業損失は過去の災害復旧時間の平均時間に各線区の1時間あたりの営業収入を乗じて求めた。

$$P'_i = \text{対象線区全ての年間あたりの落石発生回数} \div \text{対象線区全ての A ランク箇所数} \quad (\text{回/年/箇所}) \quad (2)$$

$$P_i = P'_i \times \text{各線区の A ランク箇所数} \quad (\text{回/年/線区}) \quad (3)$$

$$C_i = \text{復旧費用} + \text{営業損失} + \text{社会的影響} \quad (\text{円/回}) \quad (4)$$

4. 落石リスクの算出

落石リスクは、表3より求める。なお、対策後のリスクとして、対策工は落石防護網、落石検知装置および速度規制を考える。ここで、対策工として落石防護網を選定した場合は、対策後の落石発生確率頻度 P_1 および P_2 は、共に0になると仮定し、落石検知装置および速度規制の場合には、 P_2 は0になるが P_1 は現状のリスクと同様とする。また、該当する損失項目は表3に示すとおりとし、対策費用は、過去に実施した対策費用の平均額に、対策平均延長、各線区のAランク箇所数を乗じて求める。なお、速度規制の場合には、速度規制によって遅延した時分の損失が営業

キーワード 落石災害、リスク評価、対策効果

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 Tel.042-573-7263

損失として加算されるものとし、対策平均延長を走行する平均速度と徐行速度の時間差に、各線区の A ランク箇所数と 1 時間あたりの営業収入を乗じて求めた。

表 1 ケーススタディの条件

対象線区	高 ← 線区の重要度 → 低		
災害データ	A 線区	B 線区	C 線区
列車被害なしの回数 n_1	20	19	72
列車被害ありの回数 n_2	0	1	1
統計年数 N	32		
A ランク箇所数	8	11	95

表 2 落石発生確率頻度

A ランク 1 箇所あたり	P'_1	0.031		
落石発生確率頻度	P'_2	0.00055		
各線区の	P_1	0.248	0.341	2.945
落石発生確率頻度	P_2	0.00440	0.00605	0.05225

表 3 落石リスクの算出方法

		落石発生確率頻度		損失額							落石リスク		対策費用
		P_i (回/年)		C_i (円/回)							R_{isk} (円/年)		
		事象の分類		復旧費用				営業損失	社会的影響	損失額合計	各事象の落石リスク		
土木	軌道			車両	電気								
現状		P_1	被害なし	○	○	—	—	○	—	C_1	$P_1 \times C_1$	$\Sigma(P_i \times C_i)$	
		P_2	被害あり	○	○	○	○	○	C_2	$P_2 \times C_2$			
対策後	落石防護網	P_1	被害なし	—	—	—	—	—	—	C_1	$P_1 \times C_1$	$\Sigma(P_i \times C_i)$	○
		P_2	被害あり	—	—	—	—	—	—	C_2	$P_2 \times C_2$		
	落石検知装置	P_1	被害なし	○	○	—	○	○	—	C_1	$P_1 \times C_1$	$\Sigma(P_i \times C_i)$	○
		P_2	被害あり	—	—	—	—	—	—	C_2	$P_2 \times C_2$		
	速度規制	P_1	被害なし	○	○	—	—	○	—	C_1	$P_1 \times C_1$	$\Sigma(P_i \times C_i)$ +常時の損失	—
		P_2	被害あり	—	—	—	—	—	—	C_2	$P_2 \times C_2$		
—		—	—	—	—	—	○	—	常時の損失	—			

5. 落石リスクの試算結果

図 1 に落石リスクの試算結果を示す。この図より、対策後は、3 線区とも落石防護網および落石検知装置の場合にリスク低減が見られる。一方、速度規制では C 線区のみ効果が表れることになる。

ここで、リスクが経過年数とともに累積されるものとして、対策後の累積リスクが現状の累積リスクを下回る経過年数を求めることで対策効果の検討を行った。なお、落石防護網などの対策費用は累積リスクの初期値とした。

図 2 に一例を示す。この図より、A 線区では、落石防護網による対策が初期投資としては大きいですが、対策効果の発生年数は最も小さく、有効な対策であると評価できる。

また、表 4 に落石リスクの試算結果をまとめた。この表より、B 線区では落石防護網および落石検知装置、C 線区では速度規制が有効な対策であると評価できる。

6. まとめ

本稿では、過去の災害データに基づく落石リスクの算出方法と試算結果を示した。その結果、本稿で示した手法を用いることで、対策の方法を定量的に決定できる可能性があることが分かった。しかし、本手法は落石災害として記録された事例からアプローチしたものであり、線区としての評価を行うための手法である。今後は、こうした手法に加え、岩塊の落下確率や、線路への到達確率などを求める手法を検討し、個別の斜面で評価が可能となるリスク評価手法の研究を進めていく予定である。

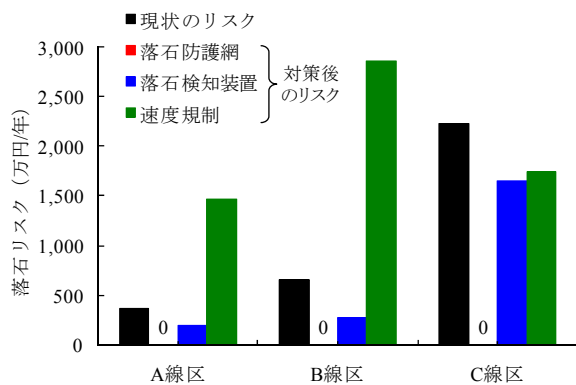


図 1 落石リスクの試算結果(対策費用は除く)

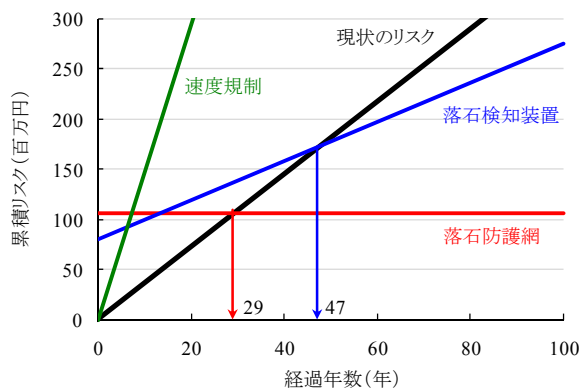


図 2 対策効果発生年数(A 線区)

表 4 落石リスクの試算結果のまとめ

対象線区	A 線区			B 線区			C 線区		
現状の落石リスク	3.66(百万円/年)			6.58(百万円/年)			22.32(百万円/年)		
対策種別	①	②	③	①	②	③	①	②	③
対策後の落石リスク	0	1.95	14.72	0	2.77	28.59	0	16.48	17.47
対策効果発生年数(年)	29	47	—	31	29	—	67	163	1

対策種別 ; ①落石防護網 ②落石検知装置 ③速度規制