

### 鉄道沿線斜面における落石災害リスクの算出方法

(財) 鉄道総研 正会員 ○布川 修 高馬 太一  
フェロー 杉山 友康

#### 1. はじめに

鉄道沿線で発生する落石災害から列車の安全を確保するために、沿線に数多く存在する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止網などの対策を実施している。こうした対策をより効果的に実施するためには、落石災害の危険度を定量的に評価し、これらを踏まえて対策の順位を決定することが必要となる。そこで、本稿では岩塊の健全度や災害発生時の損失を考慮して、リスクとして落石災害の危険度を評価する方法について検討した。

#### 2. リスク算出の考え方

落石による被害発生の概念を図1に示す。

図に示すとおり、1)斜面上方から岩塊が落下し、2)斜面に沿って転がり落ちて線路に到達し、3)線路を支障するまたは列車に直撃、衝突する、ことによって被害が発生する。こうした事象をイベントツリー形式で示すと図2となる。落石災害が発生したときの具体的な損失としては、線路に到達した岩塊の除去などの応急復旧費用、落石により列車が脱線したときなどに生じる社会的な損失（人的被害や信頼の失墜など：ここでは、この損失を総称して社会的影響という）、列車の運行を規制するなどの営業損失等があげられる。本稿では、図2に示した落石により生じる事象ごとに発生確率頻度と損失を求め、式(1)より落石による年間あたりの期待損失額としてリスクを算出する。

$$R = \sum (P_i \times C_i) \quad (i=1 \sim 10) \quad (1)$$

ここで、 $R$ : 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 (円/回)

#### 3. 各事象の発生確率頻度の算出

各事象の発生確率頻度は、図1、図2より 1) 落石発生確率頻度、2) 線路到達確率、3) 列車被害発生確率、から算出する。以下、それぞれの算出の考え方を示す。

##### (1) 落石発生確率頻度

落石発生確率頻度を算出する方法として、1)過去の災害データの統計値から求める、2)岩塊の風化や地盤

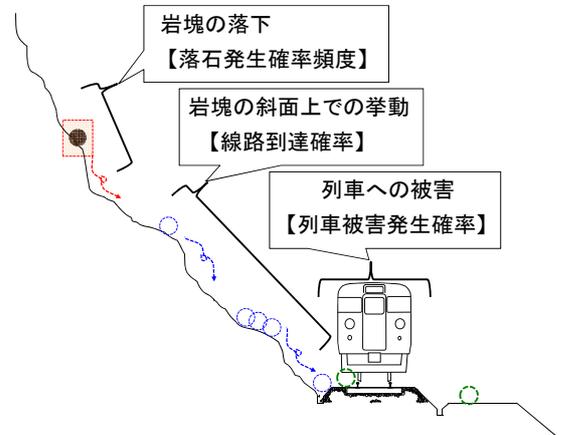


図1 落石による被害発生の概念図

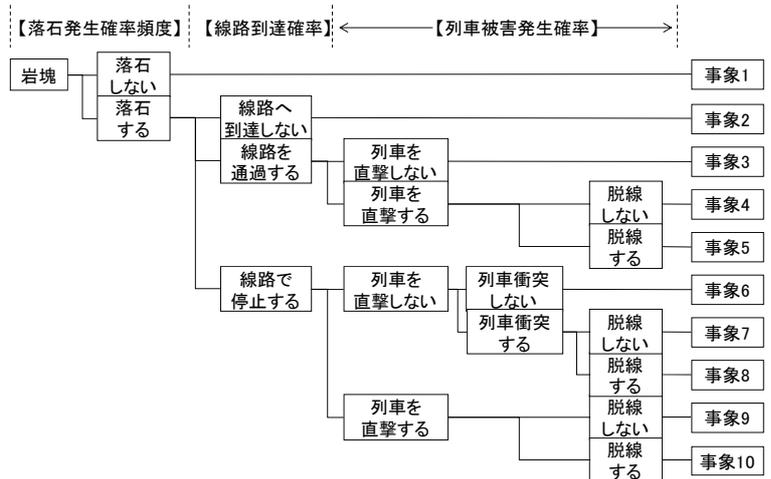


図2 落石により生じる事象

表1 健全度判定区分別の対策の考え方と落石発生確率頻度の例

健全度判定	対策の考え方	落石発生確率頻度(回/年)
A1	落石の危険度が高く、1年から2年以内に対策を要す	0.5~1
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	0.2~0.5
B	風化などの進行によってはAランクとなる	0.02~0.1

の侵食の程度を考慮して求める, 3) 定期的な検査結果による健全度判定別の対策の考え方をもとに求める, などが考えられる. ここでは, 上記 3) の方法について検討する.

表 1 に健全度判定別の対策の考え方とこれをもとにした落石発生確率頻度の設定値の例を示す. 表に示すとおり, 例えば健全度判定が A1 の場合 1 年~2 年以内に対策を要するという基本的な考えであれば, 対策を要する期間内に岩塊が落下するものと仮定することで落石発生確率頻度を 0.5~1 回/年と設定する. この考え方で求める落石発生確率頻度は, 統計的あるいは力学的に精度が保証されるものではないが, 対策の方法や順位を計画するためにリスクを概略的に求める場合には, 健全度判定以外のデータを取得する必要がないため, 実務上有用であると考え.

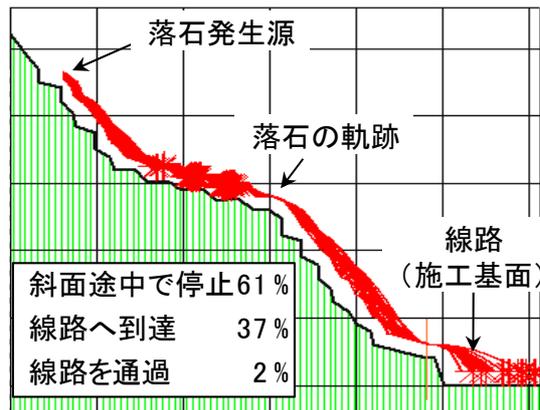


図 3 落石シミュレーションの結果例

表 2 落石により生じる事象ごとに該当する損失項目の例

事象	応急復旧費用	社会的影響	営業損失額
事象1	—	—	—
事象2	△	—	—
事象3	△	—	—
事象4	○	△	○
事象5	○	○	○
事象6	○	—	○
事象7	○	△	○
事象8	○	○	○
事象9	○	△	○
事象10	○	○	○

※○印が該当する損失項目  
(△は場合により該当)

(2) 線路到達確率

線路到達確率を求めるためには, 想定する岩塊が落下経路(断面)上でどのような軌跡となるかを把握することが必要である. この方法として, 岩塊と地盤の反発係数などを変動値とした落石シミュレーション(図 3 参照)の結果を用いる方法がある. これを利用することにより, 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) 線路上で停止する確率  $P_{b3}$ , を求めることができる.

(3) 列車被害発生確率

列車への被害形態として, 1) 落石が列車に直撃する場合, 2) 線路上の落石に列車が衝突する場合, があり, それぞれに a) 列車が脱線する場合, b) 列車が脱線しない場合, がある. 落石が列車に直撃する確率は, 列車が落石危険区間を通過する年間あたりの時間を 1 年間の時間で除すことで求める方法が考えられる. 線路上の落石に列車が衝突する確率や列車が脱線する確率は, 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や列車速度から求める方法が考えられる.

4. 損失の設定

落石が発生したときの損失を設定するためには, 損失項目を決定する必要がある. これらは, 対象箇所により異なることが想定される. このため, 実際に本方法を適用する場合には, 対象箇所線区の営業利益や乗車人員, 列車速度など線区の特性を考慮して, 対象箇所ごとに損失項目と損失額を設定することになる.

ここでは, 一例として損失項目を応急復旧費用, 社会的影響, 営業損失額として, 落石により生じる事象ごとに該当する損失項目を表 2 に示した. 各事象において同じ損失項目が該当する場合でも, 脱線の有無などにより損失項目の金額は異なる. 例えば, 線路上の岩塊に衝突して脱線しない事象 7 と脱線する事象 8 の応急復旧費用は, 事象 8 のほうが脱線に関わる費用分, 事象 7 よりも大きい.

5. おわりに

本稿では, 鉄道沿線斜面における落石災害リスクの算出方法の考え方について述べた. 本方法の具体的な利用方法については文献 1) で述べるが, 落石危険箇所ごとに現状のリスクを算出し比較することで, 定量的な指標にもとづき対策の順位を決定することができる.

**参考文献** 1) 高馬太一, 布川修, 杉山友康: 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, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演集 (CD-ROM), 2010.9 (投稿中)