

落石到達距離の概略予測方法に関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○布川 修
正会員 石川 智史

1. はじめに

鉄道沿線の斜面からの落石の危険性を評価するためには、発生源における岩塊の安定性と落石時における岩塊の線路への到達の可能性を評価することが必要となる。このうち、岩塊の線路への到達の可能性については、斜面下方端部の直近に線路が存在する場合には到達の可能性が高いと判断できるが、図1に示すとおり、斜面下方端部から線路までに距離がある場合には判断することが難しい。こうした場合の落石の到達距離は、落石シミュレーションにより求めることが可能であるが、鉄道沿線のすべての不安定岩塊にシミュレーションを適用することは実務上困難である。そこで、筆者らは落石シミュレーションの結果から、斜面下方端部からの到達距離と到達確率の関係等について過去に考察している¹⁾。本稿では、この結果を踏まえて、不安定岩塊の位置や斜面状況から落石到達距離を概略的に予測する方法について検討した。

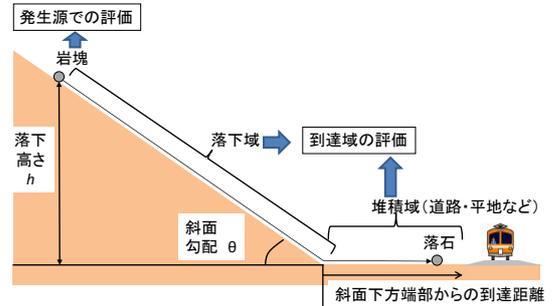


図1 斜面下方端部から線路まで距離がある場合

表1 解析パラメータ

初動条件	落石形状:球体 落石状況:ローリング
転石条件	単体体積重量:24.5kN/m ³ 落石半径:0.3m 落石高さ(m):10,40,70,100 斜面勾配(°):30,40,50,60,70 堆積勾配(°):0,10 解析回数:100回×5ケース=500回
	落下域:「立木のある砂礫地盤」 堆積域:「草で覆われた残積土」 斜面状態:「概ね滑らかな岩盤」 :「表層に土砂が薄く堆積する岩盤」

2. 落石到達距離の概略予測

本稿では、落石シミュレーションソフト「ROCKFALLver. 6.1」²⁾を用いた。このソフトでは、落石と地盤との反発係数等をランダムに変化させて質点系力学に基づく落石挙動の解析を複数回実施することで、落石の到達距離等を確率的に求めるものである。解析パラメータを表1に示す。落石形状は球体と仮定し、落石半径はJR沿線で過去に発生した落石災害事例の平均値を、斜面の状態は本ソフトのマニュアルに記載している表2に示す物性値を利用した。

表2 斜面状態ごとの物性値

斜面状態	摩擦角				減衰率				転がり抵抗係数		凹凸度	
	動的		静的		垂直方向		接線方向		平均	変動(%)	振幅(m)	頻度(m)
	平均(°)	変動(%)	平均(°)	変動(%)	平均	変動(%)	平均	変動(%)				
①	25	±0	35	±5	0.05	±15	0.9	±10	0.08	±15	0.5	1
②	30	±5	40	±5	0.06	±10	0.93	±8	0.02	±10	0.1	1
③	15	±5	30	±5	0.03	±10	0.75	±10	0.12	±15	0.1	1
④	15	±5	30	±5	0.035	±20	0.8	±10	0.1	±15	0.2	1

※斜面状態 ①「立木のある砂礫地盤」②「概ね滑らかな岩盤」
③「草で覆われた残積土」④「表層に薄く土砂が堆積する岩盤」

解析結果の例として、落下高さ100m、落下域の斜面勾配60°、堆積域の勾配0°、斜面状態を落下域では「立木のある砂礫地盤」、堆積域では「草で覆われた残積土」とした場合における、斜面下方端部からの到達距離と到達確率との関係を図2に示す。この図には、解析結果から求めた平均到達距離 μ とその標準偏差 σ を利用することで得られる正規分布の累積分布関数を示した。図より、斜面下方端部からの到達距離と到達確率との関係は正規分布の累積分布関数で近似することが可能であることがわかる。この傾向は、表1に示したすべての解析パラメータの組み合わせにおいて同様であった。

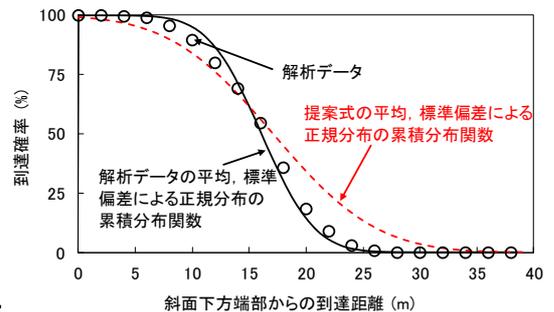


図2 斜面下方端部からの到達距離と到達確率との関係の例

つぎに、落下高さとの関係および平均到達距離と標準偏差との関係を求めた。例として、落下キーワード 落石, 到達距離, シミュレーション

域の斜面勾配 60°，堆積域の勾配 0°，斜面状態の落下域と堆積域の組み合わせを，落下域「立木のある砂礫地盤」，堆積域「草で覆われた残積土」および「表土が薄く堆積する岩盤」，落下域「概ね滑らかな岩盤」，堆積域「表土が薄く堆積する岩盤」とした場合における，落下高さ と平均到達距離の関係を図3に示す．平均到達距離は落下高さに比例して大きくなっていることがわかる．この傾向は，表1に示したすべての解析パラメータの組み合わせにおいて同様であった．

平均到達距離と標準偏差との関係を図4に示す．この図には，すべての解析パラメータの組み合わせにおける解析結果を示している．ばらつきは大きいものの，本稿では落石到達距離を概略的に予測する方法を検討していることから，標準偏差は斜面状況が異なっても平均到達距離から図に示した一つの関係式で求めることとした．

図2には図3および図4に示した提案式から平均到達距離と標準偏差を求め，これらを用いた正規分布の累積分布関数を示した．解析データの平均値，標準偏差を用いた正規分布の累積分布関数と比較すると，若干ずれが生じているものの，本稿では，斜面条件から平均到達距離 μ と標準偏差 σ を求めることで，正規分布の累積分布関数により到達距離と到達距離との関係を表すことが可能であると判断した．

3. 計算事例

計算事例として，仮定した斜面の条件を表3に，この条件と2章で示した方法により得られる斜面下方端部からの到達距離と到達確率の関係を図5に示す．表3と図5より，斜面Aでは岩塊が線路に到達する確率が約74%，斜面Bでは約48%となる．このように，発生源の危険度が同じであるとすれば，落石到達距離を概略的に予測することで，斜面Bよりも斜面Aの危険性が高いと判断することが可能となる．

4. おわりに

本稿で述べた落石到達距離の概略予測方法は，対象とする不安定岩塊が多く，発生源の危険度が同一の岩塊が落下した場合の影響度を相対的に比較する場合に有用であると考えられる．なお，落石の規模が大きい場合や実際に落石対策を実施する場合は到達距離を詳細な解析により検討するとともに，マニュアルや基準類をもとに落石エネルギーを計算する必要がある．今後，実際に発生した落石に対して予測式を適用することで，実現象との整合性を検証する予定である．

参考文献

1) 石川智史，布川修，杉山友康，佐溝昌彦：落石の到達距離予測に関する一考察，第66回土木学会年次講演会講演集，2011． 2) R.M.Spang, Th.Sonser; Optimized Rockfall Protection by "ROCKFALL", Proc. 8th Int. Congr. Rock Mech, Tokyo, 1995.

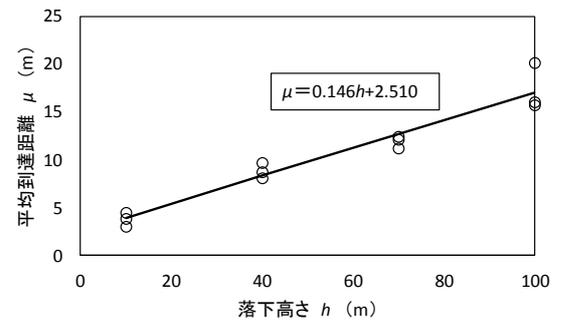


図3 落下高さ と平均到達距離 との関係の例

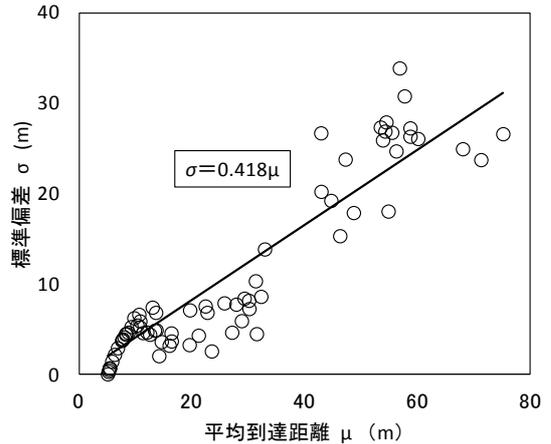


図4 平均到達距離 と標準偏差 との関係

表3 仮定した斜面の条件

斜面条件	斜面A	斜面B
岩塊の半径(m)	0.3	
落下高さ(m)	30	50
斜面勾配(°)	60	
堆積勾配(°)	0	
斜面状態	落下域 「立木のある砂礫地盤」 堆積域 「草で覆われた残積土」	
発生源の危険度	高	
斜面下方端部から線路までの距離(m)	5	10

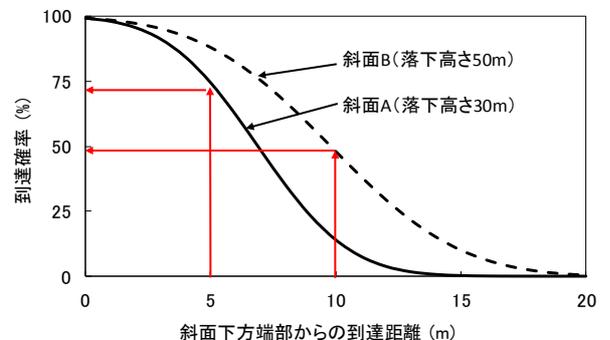


図5 仮定した斜面の条件における到達距離 と到達確率 との関係