

落石の到達距離予測に関する一考察

(財)鉄道総合技術研究所 (正会員) ○石川 智史
(正会員) 布川 修
(フェロー) 杉山 友康
(正会員) 佐溝 昌彦

1. はじめに

鉄道沿線における落石の危険度評価は、①発生源における岩塊の安定性評価、②落石時の線路への到達予測に分けられる。このうち、②については、岩塊が落下する落下域の表面の状態、斜面勾配（以下、斜面勾配という）、到達域の斜面勾配（以下、堆積勾配という）、落下高さ、岩塊の大きさや形状等の諸条件が複雑かつ偶発的な事象であるため、一義的に求め難い。こうした条件のもと、落石シミュレーションを用いて鉄道沿線斜面に存在するすべての岩塊に対して線路までの到達距離を計算することは実務上困難である。このため、落石シミュレーションの結果をもとに不安定岩塊の位置や斜面状況から落石の到達距離を簡易に予測する方法について検討した結果を述べる。

2. 落石シミュレーションの解析条件

本稿では、落石シミュレーションソフト「ROCKFALLver.6.1」¹⁾を用いた。これは、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求めるものである。解析する各パラメータの定義を図1に示し、初動パラメータを表1に示す。ここでは、斜面の形状を単純化するとともに、落石岩塊を球体とした。

解析条件を表2に示す。落下高さごとに500回の落石挙動を解析し、到達距離とその距離まで到達する率を求めた。落石の到達距離とその距離まで到達する率は、落石がのり尻から一定間隔に設置した検査断面を通過する確率により求めた。なお、地表面の状態は、本ソフトのマニュアルに記載してある地表面の物性値を使用している。具体的には、落下域では起伏による落石の跳躍が起こりうる斜面を模擬した条件を採用し、堆積域では斜面の起伏が小さく、堆積物により落石に転がり抵抗が発生する斜面を模擬した条件を採用した。

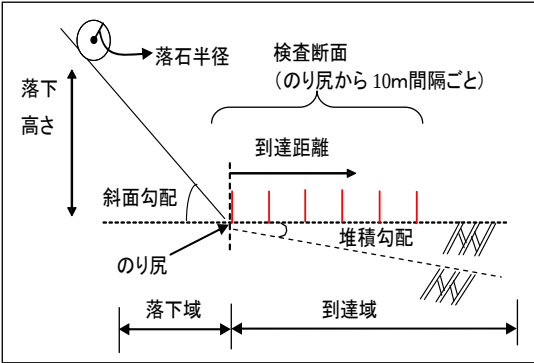


図1 解析の各パラメータの定義

表1 初動パラメータ

初動条件	落石形状：球体
	落石状況：ローリング
転石条件	単位体積重量：24.5 kN/m ³
	解析回数：500回
	落石半径：0.5m

表2 解析条件

斜面勾配	堆積勾配	落下高さ	落石半径	地表面の状態	
				落下域	到達域
60°	10°	10m,25m,50m,75m,100m	0.5m	落石シミュレーションにある「立木のある砂礫地盤」条件	落石シミュレーションにある「表土が薄く堆積した地盤」条件

3. 解析結果

落石シミュレーション結果により求めた、落下高さごとののり尻からの到達距離とその位置までの到達確率を図2に示す。図2に示すとおり、落石の到達距離は落下高さが高くなるほど遠くまで到達する傾向を示している。次に、図3に示すような、のり尻からの到達距離ごとの確率分布を作成し、これから平均到達距離（平

キーワード：落石，自然斜面，防災，落石シミュレーション，正規分布

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

均值) μ (m) および標準偏差 σ (m) を求めた. ここで, 図3の分布を正規分布と仮定すると, のり尻からの到達距離ごとの確率を関数で表現できるようになる. 図3の図中に示した μ , σ から正規分布の累積分布関数を利用することで求めたのり尻からの到達距離ごとの到達確率を図4に示す. なお, 図3および図4で利用したデータは, 図2の落下高さ100mのケースである.

図4の図中に示すとおり, 落石シミュレーション結果と正規分布の関数を用いてのり尻からの到達距離を求めた結果は, 決定係数 0.98 と高い結果となった. なお, その他の落下高さについても同様の検討を行った結果, 決定係数は 0.94~0.98 と高い. したがって, 本稿の条件においては, 平均到達距離およびその標準偏差から正規分布の関数を用いてのり尻からの到達距離と到達確率との関係を算出することができる.

落下高さ別の平均到達距離およびその標準偏差から落下高さと平均到達距離との関係および平均到達距離とその標準偏差との関係を図5, 図6に示す. これらの図より, 落下高さと平均到達距離との間および, 平均到達距離とその標準偏差との間には, それぞれほぼ直線的に変化する関係があることがわかる. このような関係を関数として示すことができれば, 落下高さや斜面および到達域の斜面条件から簡易に落石の到達距離を予測することが可能であると考えられる.

4. おわりに

今後は, 様々な条件で落石シミュレーションを行い, 本稿で行った方法と同様の検討を加えた上で落石ののり尻からの到達距離および到達確率の予測式を作成する予定である. さらに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したい.

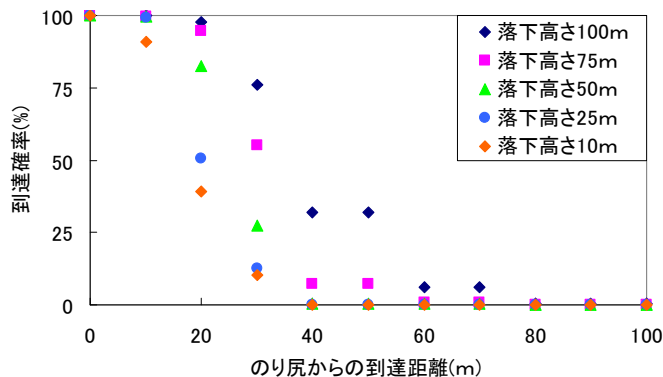


図2 落石到達距離

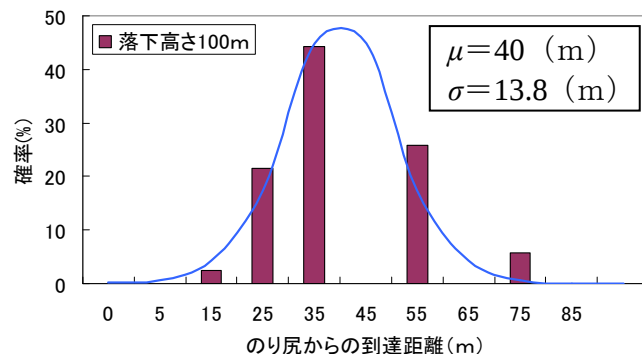


図3 のり尻からの到達距離の頻度分布

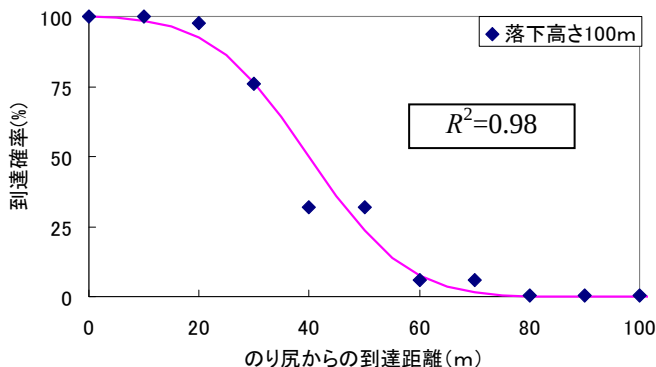


図4 のり尻からの到達距離と到達確率との関係

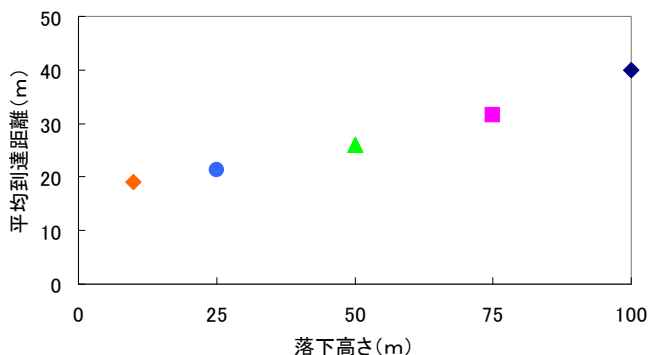


図5 落下高さと平均到達距離との関係

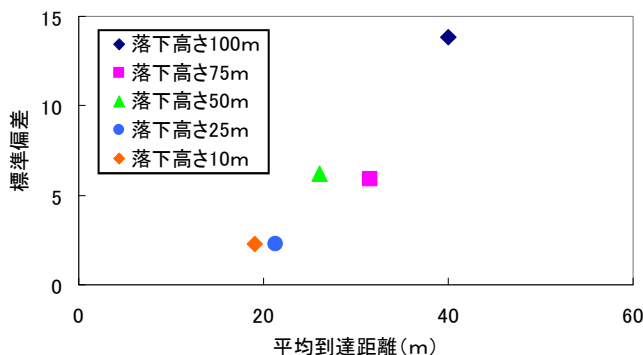


図6 平均到達距離とその標準偏差との関係

参考文献

- 1) R.M.Spang, Th.Sonser ; Optimized Rockfall Protection by "ROCKFALL", Proc. 8th Int. Congr. Rock Mech, Tokyo, 1995.