

岩盤斜面からの落石の大きさを簡易に推測する方法

防災技術研究部 地質研究室

室長 太田 岳洋

1. はじめに

落石は地形、地質、気象条件などの多くの要因が複雑に関与するため、その発生機構は未解明な部分が多い。鉄道沿線でも毎年数十件の落石が発生しており、事業者は落石災害を防止するために斜面管理図などに記載された情報をもとに目視などによる定期的な点検を行い、その結果から危険度を判定し¹⁾、種々の対策を実施している。対策検討のための重要な項目の一つに、岩盤斜面から発生する落石の大きさを推定することがあげられる。しかし、現状では専門技術者の目視観察により定性的な判断に基づく場合が多い。そのため、通常の点検時に定量的にこれを評価する方法の開発が望まれている。本発表では剥落型落石を対象として、落石が多発する斜面での落下岩塊の大きさの詳細調査を行い、落石の大きさと発生源となる露岩に分布する割れ目の間隔との関係について得られた知見を示す。また、岩石の引張強さや密度から落石の大きさを簡易に推定する方法を提案し、推定した大きさから岩塊の安定性を評価する方法についても報告する。

2. 落石の大きさの実態調査と大きさを決める要因

落下岩塊の大きさに関する既往の研究の多くは線路などに影響した事例を対象としている。しかし、それらは実際に発生した岩盤斜面からの岩塊の落下事象の一部であると考えられる。一方、割れ目が発達する岩盤斜面では、落下岩塊の大きさは発生源となる露岩に分布する割れ目と割れ目の間隔（以下、割れ目間隔と呼ぶ）に規制されることが想定される。そこで、落石が多発する岩盤斜面において、まず斜面に分布する落下岩塊の大きさを現地計測により明らかにした。そして、それらの大きさと発生源となる露岩で観察される割れ目間隔との関係について整理した。

斜面に分布する落下岩塊の大きさ、形状、風化程度、分布位置について、落石災害事例件数の多い堆積岩類、火成岩類からなる斜面²⁾を対象に現地調査を行った。それらの斜面の概要を表1に示す。堆積岩類として砂岩、チャートからなる斜面、火成岩類として閃緑岩、安山岩からなる斜面をそれぞれ1斜面ずつ選定した。今回対象とした4斜面はその形状や表層土の状況がおおむ

表1 調査した斜面の概要

斜面番号	1	2	3	4
岩種	チャート	砂岩	閃緑岩	安山岩
斜面形状	等斉直線斜面	等斉直線斜面 (水平断面では浅い谷型を呈する)	等斉直線斜面	等斉直線斜面 (水平断面では浅い谷型を呈する)
発生源	高さ	10m	8~10m	15m
	幅	10m	30m	15m
落下・ 堆積域	比高	45m	45m	40m
	勾配	40°	40°	下部30°、上部40°
	面積	幅約20m、長さ約70m	幅約30m、長さ約L70m	幅約15m、長さ約20m
表層	落葉、薄い腐植土層	落葉、枯れ枝、薄い腐植土層	極薄い粘性土	落葉、枯れ枝、薄い腐植土層 倒木有り
植生	二次林	杉植林	非常に粗	杉植林
計測岩塊の個数	406	422	138	283



図1 落下岩塊の大きさの計測方法

ね同様であるが、植生占有率や斜面表面における倒木、枯葉などの分布条件が異なる。また、斜面規模(比高)は斜面3が10m程度と小さい他は40~50mである。調査対象とした落下岩塊は、長径0.2m以上で地表に露出した部分で落下岩塊の各辺の長さ(図1)が計測可能な岩塊である。また、露岩での割れ目間隔は露岩表面に複数の測線を設けて計測した(スキャンライン法³⁾)。

計測した落下岩塊の大きさ(長径)と露岩における割れ目間隔の累積頻度を斜面ごとに示す(図2)。斜面No.1、3、4では落下岩塊の長径は露岩の表面で観察できる割れ目間隔と同程度か小さい。一方、斜面No.2では露岩表面で観察される割れ目間隔より落下岩塊の長径が大きい傾向にあるが、これは計測線を設定できなかった岩盤の奥行き方向に規則的な間隔で発達する割れ目の間隔に落下岩塊の長径が支配されているためと考えられる。以上の結果は、露岩の割れ目間隔に落下岩塊の大きさが規制されていることを示しており、落下岩塊の大きさを推定するうえでは顕著な割れ目の方向に交差する方向に計測線を設定したうえで、発生源となる露岩で観察できる割れ目間隔、特に最大の間隔を把握する必要があることがわかった。

3. 落下岩塊の大きさの推定と安定性評価

(1) 岩盤斜面からの岩塊落下モデル

柱状節理などが発達する岩盤斜面では、宙ぶりの状態で斜面上に岩塊が分布している場合がある(図6参照)。こ

表2 風化程度の区分

風化程度		
弱風化	中風化	強風化
鉱物がわずかに変色している	鉱物が変色している	鉱物が著しく変色している
(岩石ハンマーの打撃で(岩石ハンマーの打撃で(岩石ハンマーの打撃で やや濁った音を発する)濁った音を発する)しく濁った音を発する)		

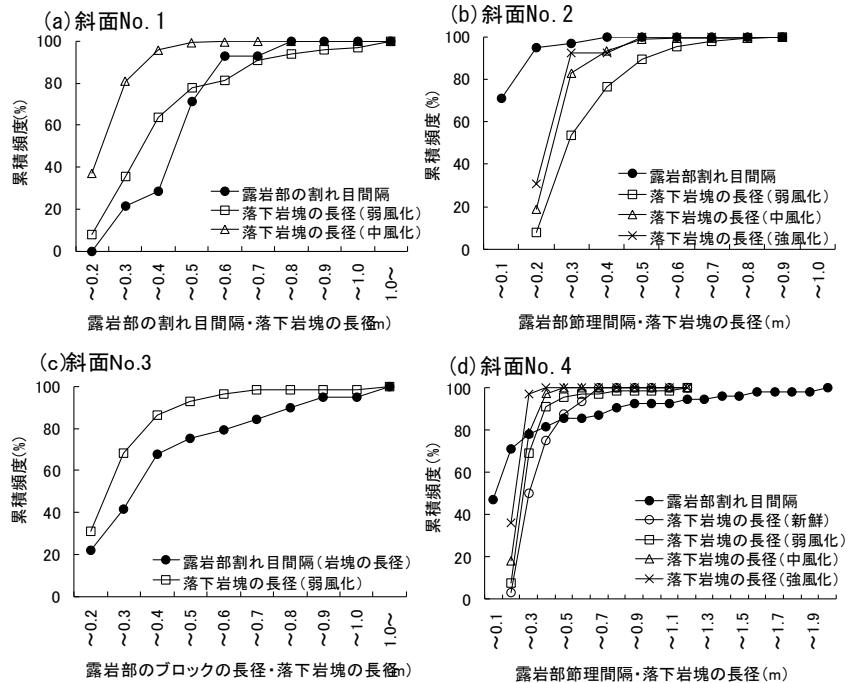


図2 露岩の割れ目間隔と落下岩塊の大きさの累積頻度

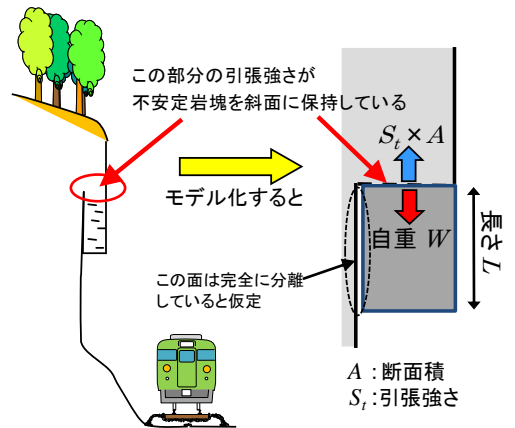


図3 鉛直斜面での岩塊落下モデル

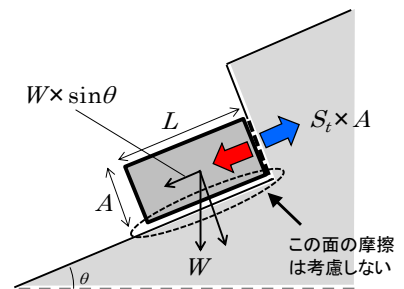


図4 傾斜した斜面での岩塊落下モデル

のような場合、主に引張強さにより岩塊が岩盤斜面に保持されていると考えられる。このように鉛直に岩塊が落下する場合のモデルを図3に示す。断面積 A (m^2) の岩塊の上面の引張強さを S_t (MN/m^2) とすると、岩塊の自重 W と引張強さとの関係は、

$$S_t \times A \leq W = \rho \times g \times A \times L \quad (1)$$

と表せる⁴⁾。ここで、 L は岩塊の長さ(m)、 ρ は密度(g/cm^3)、 g は重力加速度(m/s^2)である。上式で左辺が右辺より大きければ岩塊は落下せず、小さければ落下すると考えることができる。(1)式から岩盤が支持出来る岩塊の規模(「推定される落下岩塊の最大の長さ」 L_a (m))は、

$$L_a = S_t / (\rho \times g \times 10^3) \quad (2)$$

と表される。

次に、傾斜した斜面上の岩塊がその背面で岩盤と付着した岩塊が落下するモデルを図4に示す。ここではより落下しやすい条件を考慮するために、すべり面には岩塊の自重のみが作用し、すべり面上の摩擦を考慮しないこととした。割れ目と水平面との角度を θ とすると、岩塊の自重と引張強さとの関係式は、

$$S_t \times A \leq W \times \sin\theta \quad (3)$$

となり、この場合の L_a は

$$L_a = S_t / ((\rho \times g \times 10^3) \times \sin\theta) \quad (4)$$

となる。なお、(1)式は(3)式において $\theta = 90^\circ$ の場合である。図4のモデルでは岩塊と斜面との間に生じる摩擦力は考慮していないため、(4)式で得られる L_a は安全側の値と考えることができる。

以上のことは、「推定される落下岩塊の最大の長さ(L_a)」が岩石の密度、引張強さから求められることを示している。そこで、岩石の密度、引張強さから「推定される落下岩塊の最大の長さ

(L_a)」を求めるノモグラムを図5に示す。岩塊の安定性は図5で求めた「推定される落下岩塊の最大の長さ(L_a)」と、たとえば図6に示すように現地で観察される岩塊の長さ(L_b)を比較して評価する。ここで、剥離が想定される面は周辺の割れ目の分布や風化程度の差などの目視観察により推定する⁵⁾。

(2)適用性の検討

落石発生源となる露岩の傾斜がほぼ垂直 ($\theta=90^\circ$) の溶結凝灰岩からなる2箇所の斜面で、そ

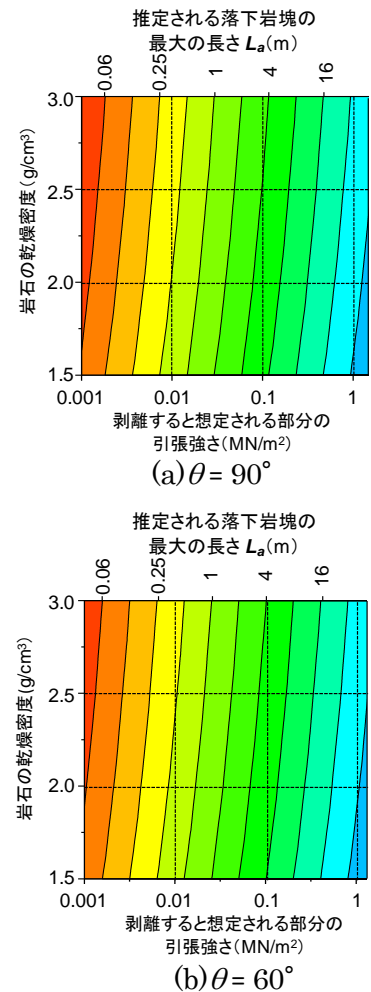


図5 落下岩塊の最大長さ(L_a)を推定するノモグラム

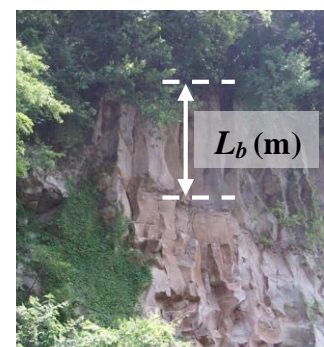


図6 岩盤斜面での岩塊の長さ(L_b)の例

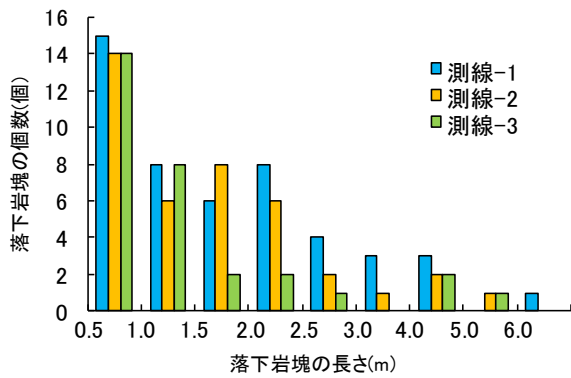


図7 落下岩塊の長さの測定結果

の下方に分布する落下岩塊の大きさを測定した。その結果、落下岩塊の最大の長さはおおむね0.5~7.5mであった(図7)。図8は、測定した転石の長さの最大値(約7.5m)と当該斜面周辺の岩石の引張強さと乾燥密度の値を図5(a)のノモグラム上に示した図である。図中の引張強さのうち、1MN/m²以上の値は主に新鮮な岩石試料の値である。この値を用いるとL_aは60m程度となるが、風化による引張強さの低下の程度(図9)を考慮すると、おおむね妥当な長さをノモグラムから得ることができると思われる。

4. まとめ

本報告では、落石の発生源となる露岩の割れ目間隔から落石の大きさを推定できること、引張強さと乾燥密度から落下する岩塊の最大長さを見積ることができること、これに基づき安定性を評価できることを述べた。今後はこれらのことを現地測定などで検証し、精度を高める必要がある。

参考文献

- 1) (財) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編土構造)-土構造物(盛土・切土)、丸善、133p、2007
- 2) 川越健・浦越拓野・太田岳洋・榎本秀明：岩盤斜面の安定性に係わる不連続面の引張強度に関する検討、鉄道総研報告、Vol.21、No.1、pp.49-54、2007
- 3) (社) 地盤工学会岩盤分類基準化委員会編：新規制定地盤工学会基準・同解説岩盤の工学的分類法(JGS3811-2004)、70p、2004
- 4) 浦越拓野・川越健・太田岳洋・石原朋和：岩石の引張強さに着目した落下岩塊の大きさの推定、第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演集、pp.335-338、2011
- 5) 石原朋和・川越健・長谷川淳・浦越拓野：岩盤斜面の安定性に関わる引張強さの推定方法に関する検討、日本応用地質学会平成21年度研究発表会講演論文集、pp.29-30、2009

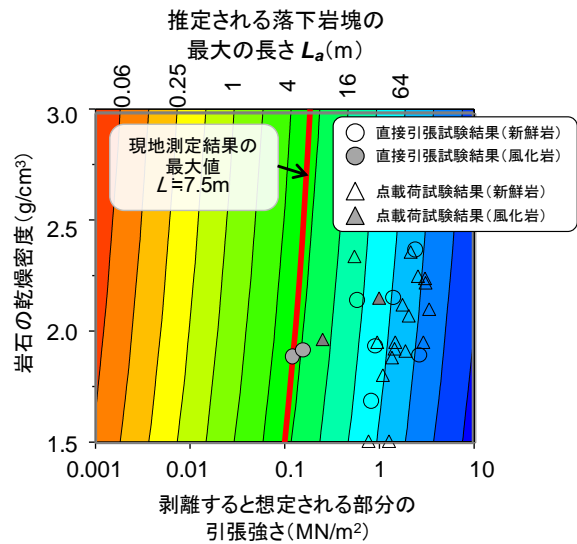


図8 落下岩塊の大きさと同定される部分の引張強さの実測値

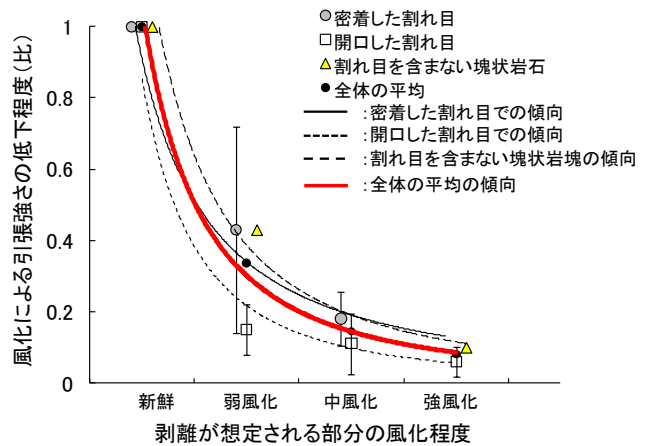


図9 風化による引張強さの低下程度
新鮮岩の値で正規化した