

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

岩盤斜面の不安定な岩を見つける

岩盤斜面に面する線路において落石による災害を防止するためには、あらかじめ不安定な岩を見つけておき、斜面や岩塊の状況、線路との離隔などに応じた対策をとることが重要です。しかしながら、岩盤斜面中に複数存在する岩塊の不安定性を評価することは必ずしも容易ではありません。そこで、岩盤斜面の不安定な岩を見つける方法として、従来からなされてきた目視による調査方法や点数表を用いた方法、また、近年開発された岩塊を打撃した際の音から岩塊の不安定性を評価する方法などを紹介します。

はじめに

我が国の国土の4分の3は山地が占めており、鉄道の線路が斜面に面する箇所が多くあります。このような斜面に不安定な岩塊があると、落石が発生することがあります。落石は、発生形態から大きく2つに区分することができます(図1)。一方は、岩塊を含んだ土砂が堆積している斜面で、岩塊の周囲の土砂が長年の降雨などにより流出し、岩塊が転がり落ちる形態で「転落型落石」とよべれます。他方は、岩盤が露出した斜面(以下、岩盤斜面と呼

びます)で、割れ目などにより岩盤から剥がれ落ちる形態で「剥落型落石」とよべれます。

落石の特徴として、発生の直接の原因が、必ずしも降雨や風などとは限らないことがあげられます。沿線に斜面を有する鉄道では一般的に、大雨や強風などの際には気象条件に応じた運転規制により鉄道の安全が確保されますが、落石はこのような運転規制時以外にも発生することがあります。そのため、落石から鉄道を守るためには、線路沿線にある不安定な岩塊をあらかじめ



浦越 拓野
Takuya Urakoshi
防災技術研究部
地質研究室
副主任研究員
[専門分野] 地下水, 応用地質



西金 佑一郎
Yuichiro Nishikane
前 防災技術研究部
地質研究室
研究員
[専門分野] 土质地質



横山 秀史
Hidefumi Yokoyama
防災技術研究部
地質研究室
主任研究員(上級)
[専門分野] 鉄道振動



川越 健
Takeshi Kawagoe
防災技術研究部
地質研究室
室長
[専門分野] 土质地質,
水文地質, 道床碎石

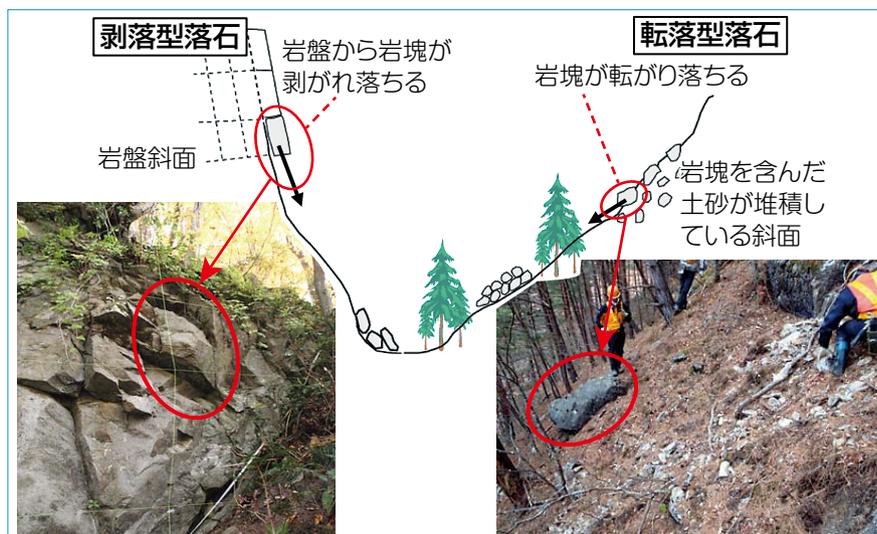


図1 落石の発生形態

表1 現地調査での主な調査項目

調査対象	主な調査項目	調査内容
岩盤斜面全体	形状	傾斜、突出部や凹凸の状況など
	地質	地層の硬軟、厚さなど
	割れ目	割れ目の方向、幅、割れ目の間隔、割れ目から染み出す水の有無など
浮き石(岩盤から剥離しかかっている岩塊)	大きさ・形状	岩塊の大きさ、形(ブロック状、板状など)など
	岩質	岩石の種類、強度、風化などによる劣化の程度、割れ目の状態など
	状態	分布状況、剥離の程度など



図2 ハンマーを用いた浮き石調査



図3 ドローンを用いた岩盤斜面の状態観察

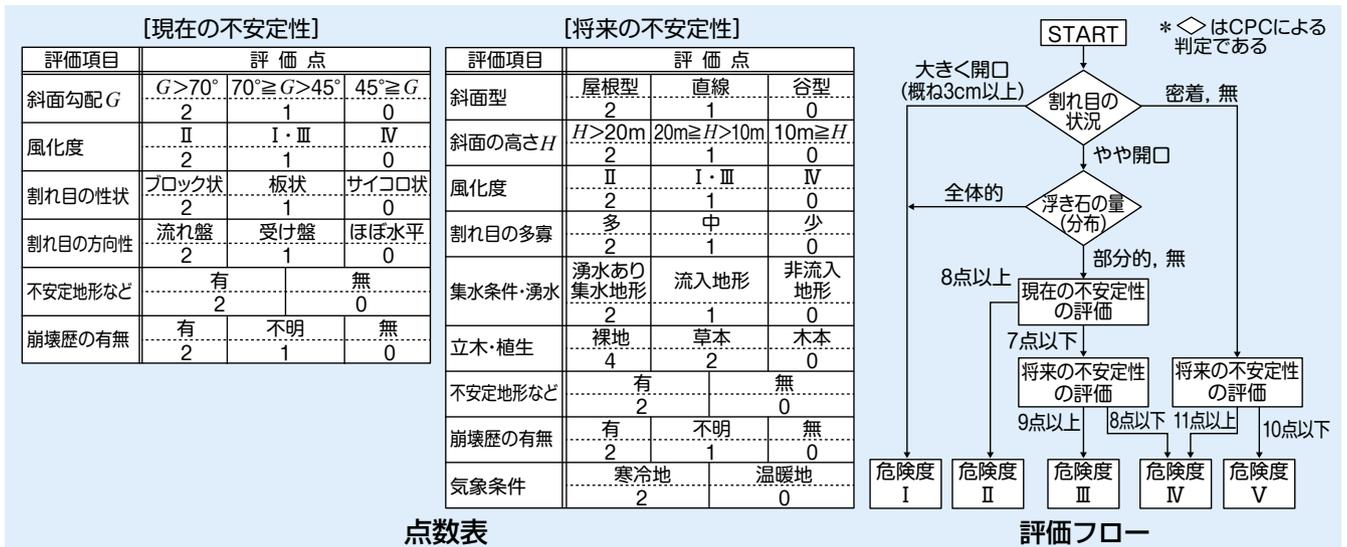


図4 点数表による岩盤斜面の評価手法の例²⁾

め見つけておき、斜面や岩塊の状況、線路との離隔などを踏まえて、岩塊の継続的な点検や、不安定な岩塊の除去、落石止柵の設置などのハード対策、落石検知装置の敷設などのソフト対策を行うことが重要です。

転落型落石では、発生源となる岩塊の露出状況や周辺斜面の傾斜などから、不安定性を判断します。これに対して、剥落型落石では、岩盤斜面中に複数存在する岩塊の不安定性を評価することは必ずしも容易ではありません。そこで、岩盤斜面を対象として、不安定な岩塊を見つける手法を紹介します。

岩盤斜面での不安定な岩塊の調査・評価方法

①目視による方法

岩盤斜面において従来からなされている調査方法として、目視による定性

的な調査方法があります。

岩盤斜面での具体的な調査項目の例を、落石対策技術マニュアル¹⁾を参考に表1に整理しました。調査項目は大きく分けて、岩盤斜面全体の形状や地質などの状況と、岩盤から剥離しかかっている岩塊(以下、浮き石とよびます)の状況です。必要により、目視調査に加えて、ハンマーを用いた浮き石の調査(図2)や、メジャーなどの簡易な道具を用いた割れ目の幅の調査などが実施されます。

不安定な岩塊であるか否かの評価は、これらの項目に対する調査結果を総合的に検討してなされます。この評価には、専門的な知見や経験が必要です。

岩盤斜面全体に対する調査も、浮き石に対する調査も、調査者が斜面に接近して、調査することが一般的です。近年では、調査者の接近が難しい急

しゅんな岩盤斜面において、無人航空機、いわゆるドローンにカメラを搭載し、岩盤斜面や浮き石の状態を観察する(図3)こともなされています。

②点数表を用いた方法

客観的に岩塊の不安定性を評価する方法として、点数表を用いた方法があります。これは、過去の落石の発生箇所を統計的に整理して、目視調査項目の結果に点数を与え、その合計点などで不安定性を評価する方法です。この方法であれば、調査者の経験に左右されず、客観的に評価がなされます。また、異なる岩盤斜面を同一の基準で比較することができます。

点数表による評価手法の例として、維持管理標準・同解説(構造物編)土構造物(盛土・切土)の付属資料に示される安定性評価手法²⁾を図4に示します。この方法では、まず目視調査結

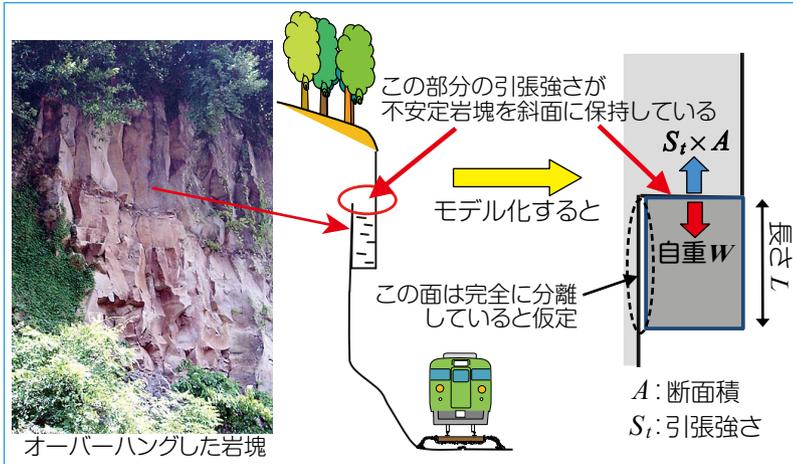


図5 オーバーハングした岩塊とそのモデル化

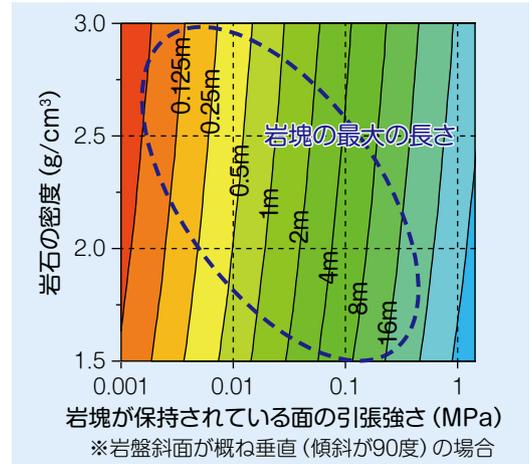


図6 オーバーハングした岩塊を対象とした保持される岩塊の推定最大長さ

果から、点数表により評価項目ごとに現在および将来の不安定に関する評価点を得て、それぞれ合計点を算出します。次に、この合計点を評価フローにあてはめ、危険度を評価します。本手法での評価は、不安定性が高い状態である危険度Iから、低い状態である危険度Vまでの5段階でなされます。なお、本手法では、明らかに不安定であると判断できる状態は決定的素因(CPC)とよばれ、割れ目の状況が大きく開口している状態や浮き石が全体的に分布している状態が該当し、これらの場合は、点数によらず危険度Iと評価されます。

③保持される岩塊の最大の長さに着目した方法³⁾

岩盤斜面では、しばしば下部が抜け落ち、岩盤から突出した状態になっている岩塊が認められます。「オーバーハング」とよばれ、岩塊は不安定な状態です(図5)。オーバーハングしている岩塊が上面のみで岩盤とつながっているとモデル化すると、つながっている面の引張強さと岩石の密度から、保持される岩塊の最大の長さを推定することができます(図6)。この方法により推定された最大長さに近い岩塊が、現地の岩盤斜面に認められた場合、その岩塊は不安定性が高いと判断できます。

保持される岩塊の最大の長さの推定に必要な岩石の密度と引張強さは、たとえば現地から採取した岩塊を用いた試験によって得ることができます。これらのうち、引張強さは風化により低下することが一般的です。図5の例では、新鮮な状態から強風化した状態へ変化することにより、引張強さが新鮮な場合に比べ1割程度まで低下しています。

図6の方法では、このような風化による引張強さの低下を考慮することができます。

また、図5、図6では岩盤斜面がおおむね垂直な崖(傾斜が90度)である場合を示していますが、実際の岩盤斜面は傾斜している場合もあります。保持される岩塊の最大長さを、このような斜面の傾斜を考慮して推定することもできます。

④打音測定による方法³⁾

浮き石の岩質(表1)などを把握する方法の一つとして、ハンマーなどにより岩塊を打撃した際の、音を確認する方法があります。これは、打音検査とよばれる手法で、一般に、澄んだ音であれば硬い岩石、濁った音であれば柔

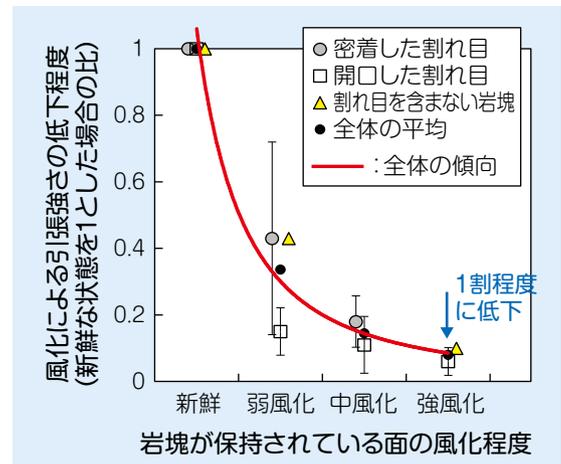


図7 風化による引張強さの低下の例

らかい岩石やもろい岩石、割れ目を多く含む岩石と判断できます。

打音検査の結果は、調査者の経験に依存します。また、同一箇所を継続的に検査する場合において、過去の打音検査の結果と、新たな検査結果を比較することは難しいです。これらの課題に対し、総研式打音検査装置(図8)を用いた打音測定による岩塊の安定性評価方法を開発しました。これは、岩塊を一定力で打撃した際の音を測定し、安定している岩盤(基盤岩)の音の特徴と、測定対象の岩塊の音の特徴とを比較することで、岩塊の安定性を評価します。

図8の例では、測定された音に対する解析により、振幅が最大である周波

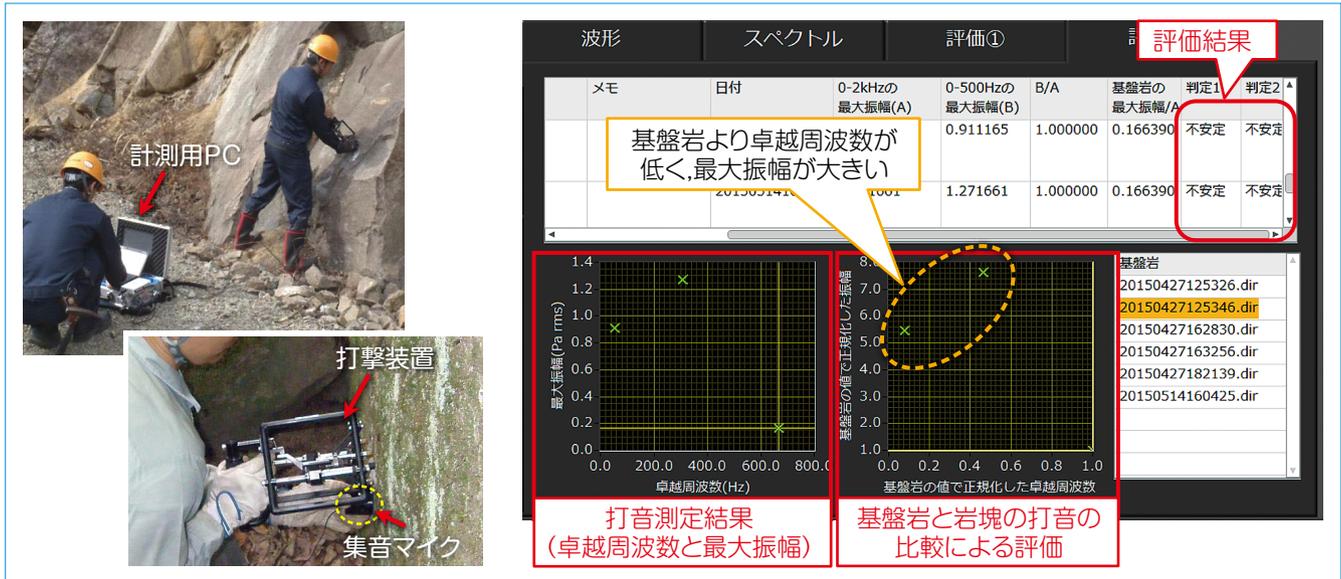


図8 総研式打音検査装置

表2 各手法の適用可否と特徴の比較

項目		調査・評価方法	目視による方法	点数表を用いた方法	保持される岩塊の最大の長さに着目した方法	打音測定による方法
岩塊の条件	岩盤斜面上の岩塊へ接近できるかどうか	可能	○	○	○	○
		困難	○	○	○	×
	岩盤斜面中の割れ目の多寡	多い	○	○	×	○
		ない・少ない	○	○	○	△
岩塊の大きさ	小さい(1.0m角程度以下)	○	○	△	○	
	大きい	○	○	○	×	
専門的知識の必要性			必要	点数の算出に必要な調査項目による	不要	不要
専用の調査機器の必要性			不要*1	不要*1	不要*2	測定機器が必要
調査結果の取り扱い			定性的	定量的	定量的	定量的

○:適する, △:場合により適する, ×:適さない

*1 必要によりハンマー, メジャーなどの簡易な道具を用いる *2 岩石の密度, 引張強さの情報が必要

数(卓越周波数)とその振幅(最大振幅)が得られています。さらに、基盤岩と岩塊の卓越周波数や最大振幅が比較され、基盤岩より岩塊の卓越周波数が低く、最大振幅が大きいことから、岩塊が不安定と評価されています。本方法により、デジタルデータとして打音を記録することができるので、客観的な評価や経時的な結果の比較が可能となります。

おわりに

岩盤斜面から不安定な岩塊を見つける実用的な方法を紹介しました。紹介した手法の適用条件と特徴を表2にまとめます。岩盤斜面上の岩塊に接近できるかどうか、岩塊の大きさなどの条

件により、適用できる方法が異なります。さらに、定性的な結果でよいか、定量的な結果が必要かという調査目的によっても、適用すべき方法が異なります。

また、岩塊の不安定性の評価に関する最新の方法として、非接触振動測定システム「Uドップラー」を用いた評価手法があげられます⁴⁾。この手法はレーザー光により離れた位置の対象物の振動を測定できるUドップラーを用いて、岩塊の振動特性を把握し、不安定性を評価する方法です。急傾斜の岩盤斜面中の岩塊や、高い位置にある岩塊など接近が難しい岩塊でも適用可能です。

鉄道沿線には多くの岩盤斜面が存在

します。鉄道の安全を守るため、状況に応じて、既存の方法、新しい方法を組み合わせて不安定な岩塊を見つけ、落石対策を実施していくことが重要です。**RRR**

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：落石対策技術マニュアル, 1999
- 2) 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)土構造物(盛土・切土), 丸善出版, 2007
- 3) 川越健, 石原朋和, 浦越拓野, 太田岳洋：岩盤斜面における岩塊の安定性に関する評価手法, 鉄道総研報告, Vol.25, No.7, pp.31-36, 2011
- 4) 上半文昭：遠隔非接触計測で不安定岩塊の崩落危険度を調査する, RRR, vol.69, No.11, pp.16-19, 2012