

# 岩盤斜面の不安定岩塊の性質を明らかにする

石原 朋和  
防災技術研究部  
(地質 研究員)

川越 健  
同  
(同 主任研究員)



いしはら ともかず かわごえ たけし

## はじめに

日本の国土の約7割は山地などの急峻な地形で占められています。山地には急な斜面や土砂が厚く堆積した溪流などがあり、さまざまな種類の土砂災害が発生しています。山間を走る鉄道もこれらの土砂災害の影響を受けます。

土砂災害は大きくは地すべり、土石流、切土・自然斜面崩壊、盛土崩壊、岩盤崩壊・落石に分けられます(図1)。

1987年～2000年に鉄道沿線で発生した災害の種類別発生件数をみると、切土・自然斜面崩壊、盛土崩壊、落石、土砂流入・土石流等を合わせると全体の約6割を占めています<sup>1)</sup>(図2)。切土・自然斜面崩壊や盛土崩壊はその発生メカニズムに降雨が影響することが明らかになっています。一方、落石は降雨、風、地震など様々な条件が発生の原因となるため、発生時期や発生箇所を予測することが難しい災害です。このような落石の発生源となる岩盤斜面の安定性を評価するために、現在は現地調査などを行っています。多くの調査項目があり、また対象とする斜面の数が多いため、調査に多大な時間と労力がかかります。

以上のことから、現地調査時に簡易かつ確実に岩盤斜面

中の岩塊の不安定さを評価できる手法が必要とされています。本稿では、上記の手法の開発に向けた取組みについて紹介します。

## 落石の発生状況

実際の落石の発生状況を観察すると、その発生形態は転落型落石と剥落型落石の大きく2つのタイプに分かれることがわかります(図3)。転落型落石とは、斜面上に停止していた岩塊が転がり落ちる現象をいいます。一方、剥落型落石とは、岩盤斜面に無数にみられる亀裂(以下、割れ目と言います)に沿って岩塊が剥がれ落ちる現象をいいます。

ここでは、剥落型落石を対象に岩盤斜面中の岩塊の安定性を推定する方法について検討した結果を示します。

## 落石の現地調査の現状

落石の調査では発生源となる岩盤斜面の地形的特徴や割れ目の状況、風化の状況といった地質的な特徴、さらには植生や湧水の状況など、様々な調査項目が設定されており<sup>2)</sup>、それらを現場の技術者や専門家が一つ一つ評価し、

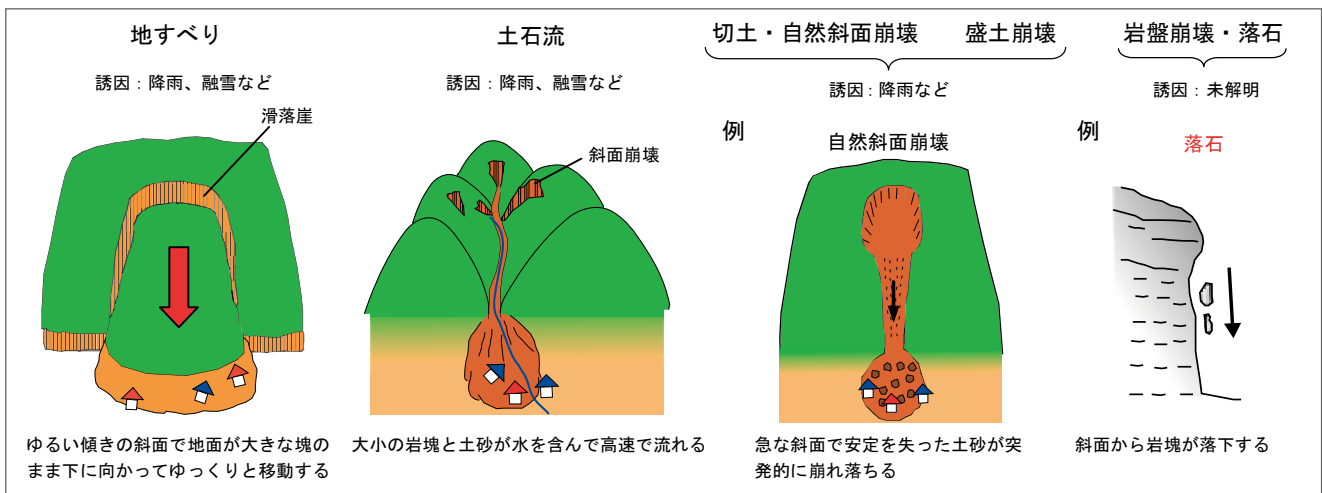


図1 土砂災害に関する概念

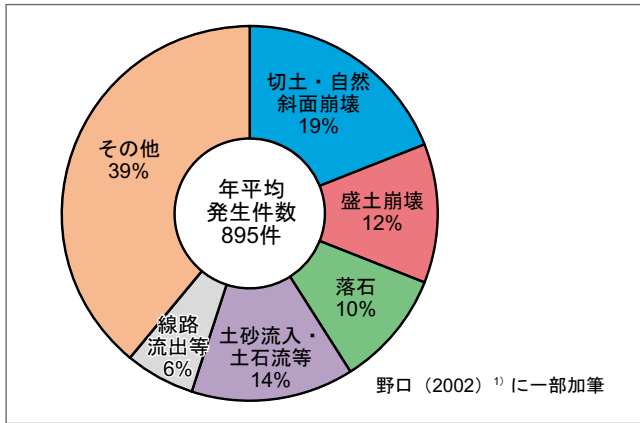


図2 災害種類別発生件数 (JR6社計 1987～2000年度の平均件数)



図4 岩盤斜面の状況

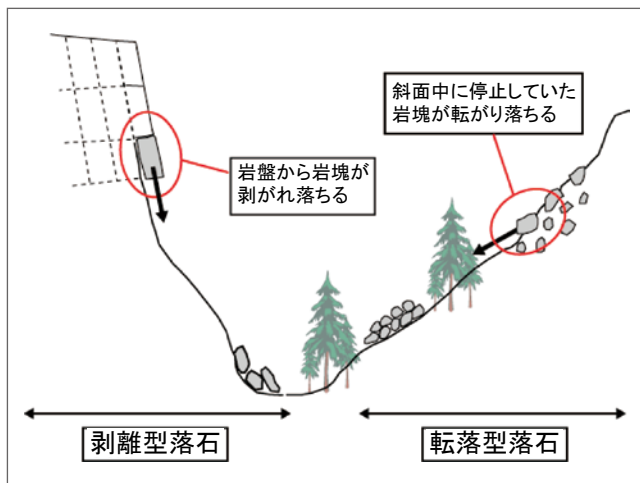


図3 落石の発生形態に関する概念



図5 破壊面の状況 (砂岩の例)

最終的に落石が発生するおそれのある斜面を抽出しています。しかし、これらの項目の評価は定性的な基準に基づいています。例えば、不安定な岩塊を岩盤斜面中で特定する調査項目には、ハンマーによる打音調査があります。この調査ではハンマーで岩塊を叩き、岩塊から発せられる音や振動の伝わり方を人の耳や肌で感じて、岩塊の不安定さを判定しています。

### 岩塊の不安定さと割れ目の密着程度

岩盤斜面を注意深く観察すると、岩盤斜面に分布する割れ目を境に周囲の岩盤から半ば分離し、いまにも落下しそうな岩塊がみられる場合があります(図4, 左)。また、滑り台の様な傾いた面の上に岩塊が不安定な状態で積み重

なったようにみえる斜面があります(図4, 右)。このような形態から、岩塊の不安定さに割れ目の間隔、方向や状態が関係していることが推察されます。そのため、調査項目の中には、割れ目の風化程度や開口の程度など割れ目の状態に関する項目が多くあります。割れ目の間隔や方向は観察でおおよそ把握することができます。しかし、割れ目の状態が岩盤内部でどのようになっているかを表面からだけでは把握することはできません。そのため、現地で割れ目を含む岩塊を採取し、室内試験により供試体スケールで検討しました。採取した岩塊から供試体を作成し、供試体の割れ目の部分に力を加えて破壊試験を実施しました。試験後の試料の破壊面を観察すると(図5)、茶褐色を呈する部分と灰色を呈する部分とがみられます。この色の違う部分

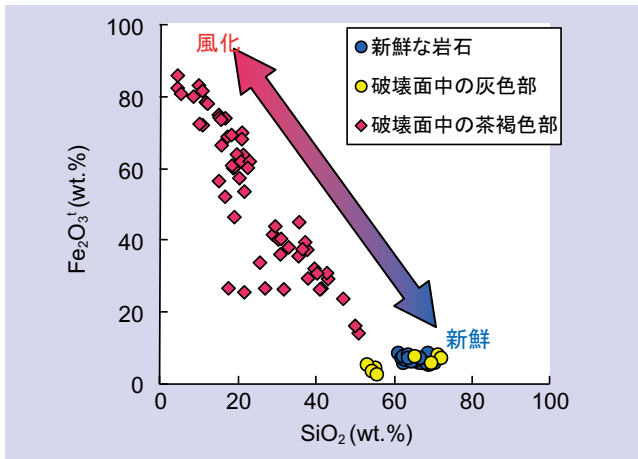


図6 破壊試験における破壊面の化学分析結果(砂岩の例)

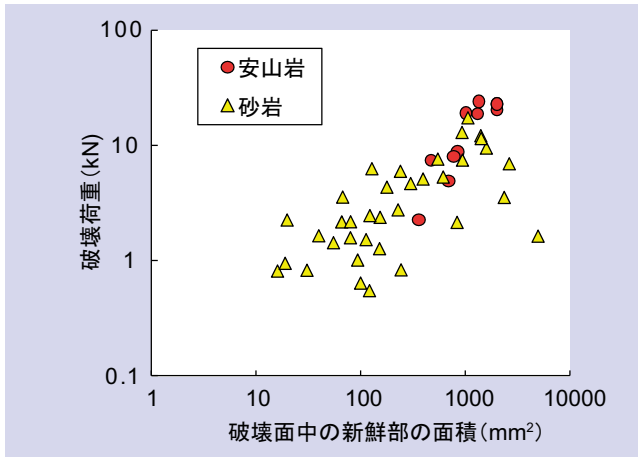


図7 破壊面中の新鮮部の面積と破壊荷重の関係

それぞれの化学成分を分析し、どのような特徴を示すのかを調べました<sup>3)</sup>。その結果を図6に示します。これを見ると、灰色を呈する部分は、新鮮な岩石と同様の化学組成をしています。また、岩石の風化に伴い増えるとされている酸化鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ：全鉄量を  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  として換算) の含有量が灰色を呈する部分に比べて茶褐色を呈する部分で多くなっています。このように破壊面中には新鮮な部分と風化した部分があることがわかりました。このことは、新鮮な部分では、割れ目が内部で密着していたか、割れ目が途中で途切れていることを示しており、この新鮮な部分で、岩塊が斜面に付着していることが推定されます。

そこで、破壊面となった割れ目の性状が力学的な強さに及ぼす影響について検討しました。破壊面中の新鮮な部分の面積を算出し、その値と破壊荷重との関係を調べると、新鮮な部分の面積が大きいほど、破壊荷重が大きいことがわかりました(図7)。このことから、岩塊の不安定さには、その岩塊が岩盤から分離する面となる割れ目面中の風化程度や密着程度が関係していることがわかりました。しかし、これらを現地で直接観察することは困難です。

表1 割れ目の見ための風化程度

| 割れ目の風化程度の区分 | 割れ目の肉眼観察結果      |
|-------------|-----------------|
| a           | 新鮮、もしくはわずかに変色   |
| b           | 割れ目に沿って変色       |
| c           | 割れ目沿いの周辺部に変色が及ぶ |

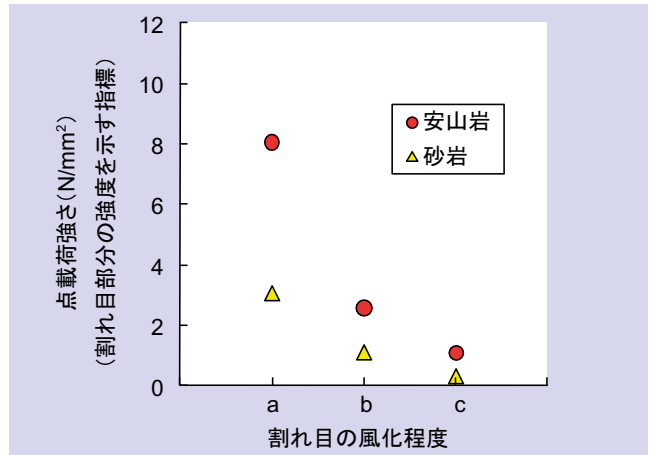


図8 割れ目の風化程度(表1)と点載荷強さ(平均値)の関係

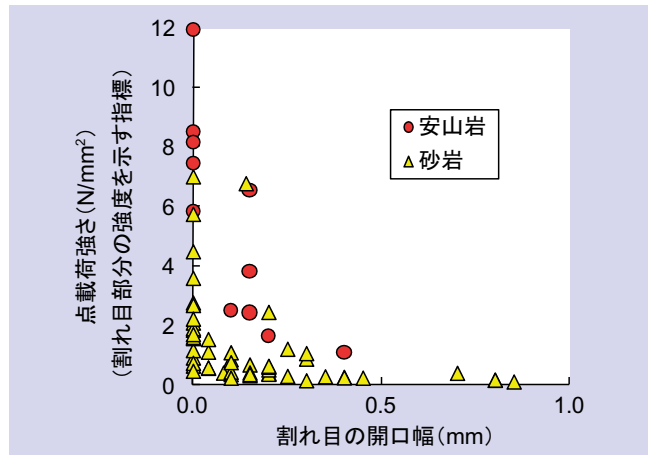


図9 割れ目の開口幅と点載荷強さの関係

### 割れ目の見ための状態から岩塊の不安定さを把握する

先に述べた直接観察できない項目を把握しなくても岩塊の不安定さを簡易に評価するために、現地で観察可能な項目に注目した検討を行いました。現地で観察可能な項目として、既往の調査項目のうち割れ目の見ための風化程度、割れ目の見ための開口幅に注目し、供試体でこれらの割れ目の見ための状態と点載荷強さ(割れ目部分の強度を示す指標)との関係を検討しました。

割れ目の見ための風化程度は、割れ目と割れ目に沿った岩石部分の変色の程度により a, b, c の三段階に区分しました(表1)。割れ目の見ための開口幅はクラックスケールを用いて割れ目が最も広く開いている箇所を計測しました。

割れ目の風化程度と割れ目を含む岩塊の点載荷強さとの関係を検討した結果(図8)、肉眼観察で風化が進んでいる

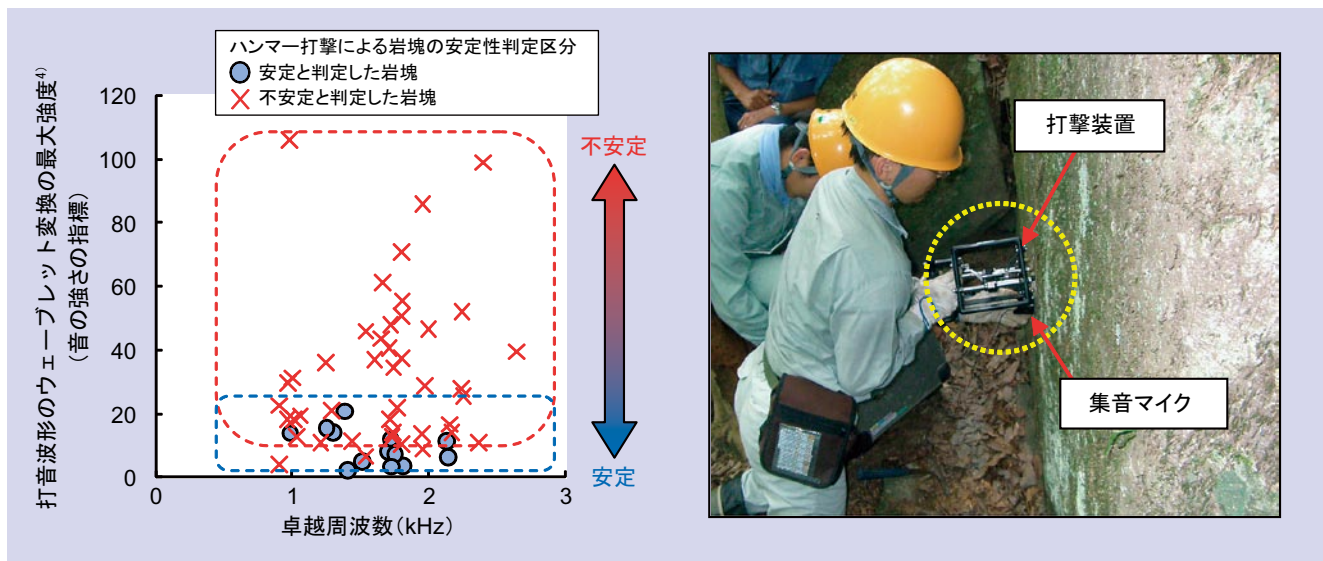


図 10 不安定な岩塊の定量的な評価方法 (打音測定の場合)

と判断できる割れ目を含む岩塊ほど点荷強さが小さいことがわかりました。

次に、割れ目の開口幅と割れ目を含む岩塊の点荷強さとの関係を検討した結果 (図9), 岩塊の割れ目の最大開口幅が大きくなると点荷強さが小さくなることがわかりました。これらのことから、実際の岩盤斜面でも割れ目の見ための風化程度と割れ目の見ための開口幅に着目することで、その岩塊の不安定さを定性的に評価できると考えられます。

しかし、割れ目の見ための状態が同じでも岩塊の大きさが異なれば、岩塊の不安定さの程度が異なってくると予想されます。そのため、実際に岩塊の不安定さを評価するには岩塊の大きさを考慮して評価を行う必要があります。

そこで、割れ目の見ための状態での評価により、不安定さが相対的に大きいと判定した岩塊を対象に定量的な評価方法を検討しています。

### 打音測定で岩塊の不安定さを定量的に把握する

先に述べたように既往の落石調査には、ハンマーで岩塊の表面を叩いたときに岩塊から発せられる音の違いで岩塊の安定性を評価する方法があります。堅固で安定した岩塊をハンマーで叩くとキーンといった澄んだ音がします。しかし、割れ目が内部まで開口していたり、著しく風化していたりする不安定な岩塊を叩くとボコっといった鈍い音がします。このような定性的な音の違いを定量化することで岩塊の不安定さを定量的に表現する方法を研究しています。

土木構造物の健全度診断でも打撃音を用いて、コンクリートの浮きやひび割れの有無などを評価しています。ここではトンネル覆工コンクリート用の打音検査装置<sup>4)</sup>を用いて、岩盤斜面で割れ目に沿って落下しそうな岩塊の不安

定さと打音測定の結果を比較しました (図10)。

従来法によるハンマー打撃で不安定と判定した岩塊では、打音測定から求められる打音波形のウェーブレット変換の最大強度<sup>4)</sup> (音の強さの指標) が大きい傾向にあります。覆工コンクリートでは、内部にひび割れなどがあると、打撃による振動が大きくなり、音の強さの指標も大きくなるということがわかっています。このことを図10の結果に応用すると、打撃によって不安定な岩塊が大きく振動していることが推定されます。

### おわりに

割れ目のみかけの状態を把握することで岩塊の不安定さを相対的に評価できることがわかりました。また、岩塊を叩いたときに岩塊から発せられる音に注目した検討により、岩塊の不安定さを定量的に評価できる可能性を示すことができました。今後は現地での検証を重ね、定量的に評価できる手法の提案を目指す予定です。

またこのような検討が、効率的かつ効果的な落石調査の体制や落石対策に貢献することができればと考えています。

RRR

### 文献

- 1) 野口達雄：鉄道沿線岩石斜面の安定性評価に関する研究，鉄道総研報告，51，220p，2002
- 2) 財団法人鉄道総合技術研究所，落石対策技術マニュアル，154p，1999
- 3) 川越健，浦越拓野，太田岳洋，長谷川淳，木谷日出男：落石発生時に剥離する面の引張強さに関する検討，第12回岩の力学国内シンポジウム，p.347-p.352，2008
- 4) 榎本秀明，稲川敏春，横山秀史：トンネル覆工コンクリートを対象とした打音検査装置の最適仕様の検討，土木学会論文集 No.784，66，pp.87-97，2005