

# 打音測定による岩盤斜面中の岩塊の安定性評価手法の開発

防災技術研究部 地質研究室

研究員 石原 朋和

## 1. はじめに

落石は降雨，風，地震，凍結融解など様々な条件が誘因として関与することから，発生時期や発生箇所を予測することが困難な災害である。鉄道沿線斜面には落石の発生源となる急崖，露岩，転石などが多数認められ，毎年数十件の落石が発生している。このような落石災害を防止するために，現状では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検査を行い，その結果に応じて種々の対策を実施している。鉄道沿線の落石検査は落石対策技術マニュアル<sup>1)</sup>や各鉄道事業者の落石検査マニュアルなどに基づいて実施されているが，これらの検査項目は落石の発生源となる岩盤斜面の地形的な特徴や割れ目，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多岐にわたる。また，これらについては現場の技術者や専門家により定性的に評価される場合が多く，前述のように検査対象となる斜面が多数あることから，調査には多大な時間と労力が必要となる。そのため，より効率的に検査や対策工の選定を実施するために，現場技術者が実施できる定量的な落石安定性評価手法の確立が求められている。そこで，打音測定による岩盤斜面中の岩塊の安定性評価手法を開発したので報告する。

## 2. 打音測定による評価対象と安定性評価の検討方法

落石は岩盤斜面中の割れ目に沿って岩塊が剥落する剥落型と斜面上に点在する転石が転がり落ちる転落型の大きく2タイプに分けられる<sup>1)</sup>が，ここでは剥落型落石を対象とする(図1)。剥落型落石の安定性には，岩塊が岩盤斜面に付着し力学的に保持されている場合，その付着領域の面積や単位面積あたりの付着強さなどが関与する。しかし，現地で付着領域の面積やその付着強さを非破壊で明らかにするのは現状では困難である。岩塊の安定性を確認する方法の一つに，岩石ハンマーなどによる打撃音に基づく定性的な評価方法がある。打撃により対象物表面から放射される音はその位置での振動と等価である<sup>2)</sup>。

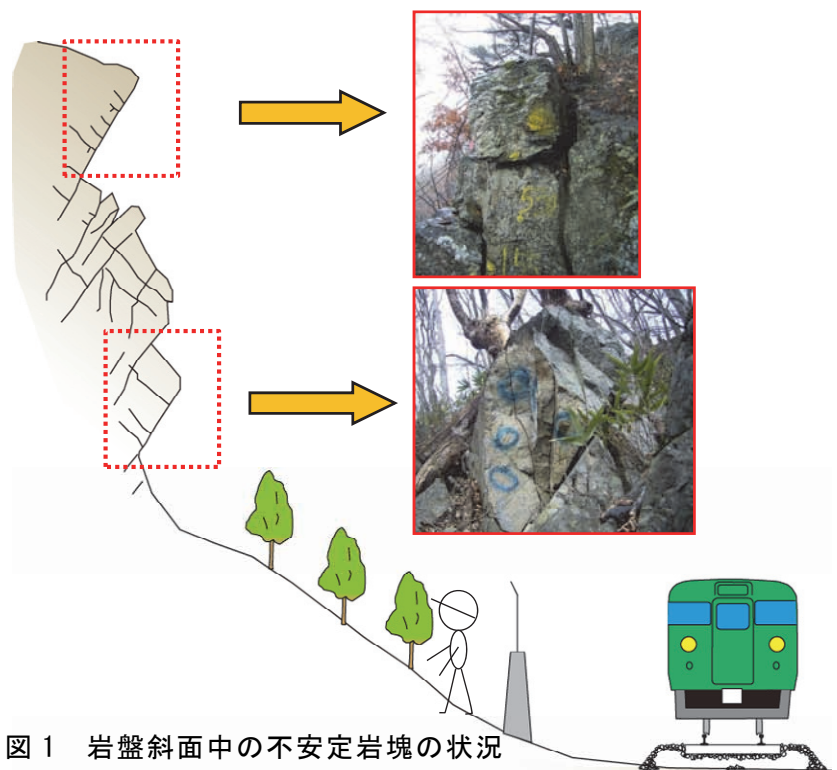


図1 岩盤斜面中の不安定岩塊の状況  
(剥落型落石)

また、打撃で得られる対象物の振動数がその対象物の打撃箇所の高さを反映していることが明らかにされている<sup>3)</sup>。これらの知見に基づき、ハンマーなどの打撃音によるトンネル覆工などのコンクリート構造物の健全度の評価が実用化されている。一方、不安定な岩塊ほど岩石ハンマーでの打撃時に大きな振幅で振動する、また風化した岩塊ほど鈍い音を発することなどが経験的に知られている。岩石ハンマーなどの打撃により得られる音には対象物のさまざまな情報が含まれていることから、岩盤斜面中の岩塊と斜面との間の付着領域の面積などの岩塊の安定性に係わる情報が含まれていると期待される。以下では、諸条件を単純化した供試体を用いて岩塊と岩盤との付着面積の違いに着目した打音測定に関する実験を行い、付着面積の大小や岩塊と岩盤との間の挟在物の有無などの安定性に関わる項目と打音測定から得られる卓越周波数やその振幅との関係を述べる。また、この実験結果を踏まえ、岩盤斜面で測定を行い、打音測定による岩塊の安定性評価方法について検討した結果を示す<sup>4)</sup>。

### 3. 供試体実験による検討

供試体はモルタルを用いて均質な材質となるように作製した。供試体の概観と各部の寸法を図2に示す。各供試体とも上部ブロックは岩塊、下部ブロックは岩盤斜面を模擬した。上部ブロックと下部ブロックの間にくびれた部分（厚さ15mm、幅は図2中の $W$ ）を設け、岩盤と岩塊が力学的に付着する部分に相当させた。 $W=500\text{mm}$ の供試体は岩塊と岩盤が完全に付着している状態を模擬するために、くびれた部分の面積を上部ブロックと同じ面積とすることによりくびれない状態とした。岩塊と岩盤の付着面積を変化させるために、くびれた部分の幅( $W$ )を350~80mmの間で変化させた供試体を作製した(図2(a), 表1)。いずれの供試体も力学的な不連続面を生じさせないために、一回で打設した。また、上部ブロックと下部ブロックを完全に分離させ、岩塊が岩盤斜面から完全に浮いた状態を模擬した供試体( $W=0\text{mm}$ )を作製した。この $W=0\text{mm}$ の供試体では、岩塊背面の挟在物の有無や種類による打音の相異を検討するために上部ブロックと下部ブロックの間に挟在物(発泡スチロール、粘性土、防振・防音ゴム)を設置し測定を行った(図2(b), 表2)。

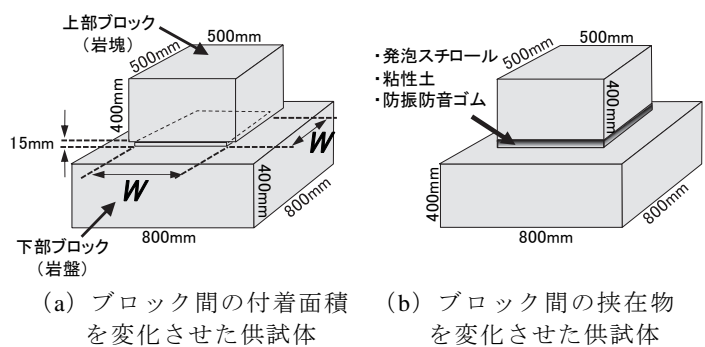


図2 供試体の概略

表1 供試体一覧

供試体No.	$W$ (mm)	付着面積比率(%)*	上部と下部ブロックの関係
1	500	100	完全に一体化
2	350	49	一部で接合
3	250	25	
4	170	11.6	
5	80	2.6	完全に分離
6	0	0	

\* 供試体No.1の付着面積を100%とした時の各供試体の付着面積の比率

表2 実験に用いた挟在物

供試体No.	試験パターン	実岩盤でのイメージ	挟在物	
			種類	仕様
1	密着した割れ目	なし	なし	(表1中の供試体No.6)
6	開口した割れ目(1)	発泡スチロール	EPS:5%圧縮強さ140kN/m <sup>2</sup> 相当, 松原産業(株)製発泡スチロール加工品	
	粘土で充填された割れ目	粘性土	西東京市産関東ローム, 含水比111.1%	
	開口した割れ目(2)	防振・防音ゴム	クロロポリレンゴム, ゴム硬さ80HA, 引張強さ21MPa, (株)十川ゴム製	

測定には集音マイクの音響特性が把握されている総研式打音検査装置(図3)を用いた。打撃には総研式打音検査装置の打撃装置と岩石ハンマーを用いた。打

撃装置、岩石ハンマーそれぞれの打撃により得られた音圧波形をフーリエ変換し、そのフーリエスペクトルの最大振幅とその卓越周波数（以後、それぞれを振幅、卓越周波数と呼ぶ）を比較した結果、打撃方法ごとの卓越周波数はほぼ同じで、打撃装置で振幅の大きさの再現性がよいことが分かった。これは打撃装置による打撃が一定力であるのに対して、岩石ハンマーでは打撃ごとに打撃力が異なるためと考えられる。そこで、以下では打撃装置により打撃した結果を示す。また、マイクの設置位置は打撃箇所と約 50mm 離れた同一面内とした。打撃回数は 1 測点につき 3 回とし、それぞれの測定ごとに音圧波形を記録した。

供試体ごとの卓越周波数、振幅の平均値を上部ブロックと下部ブロックの間にくびれがない供試体 ( $W=500\text{mm}$ ) の卓越周波数と振幅により正規化した結果を図 4 に示す。付着領域の面積が小さくなるほど卓越周波数が低く、振幅が大きくなる傾向がある(図 4)。この結果は、不安定な岩塊ほど鈍い音を発するといった従来からいわれていることとおおむね一致している。また、挟在物の有無や種類によらず上下ブロックが分離した場合の卓越周波数はほぼ同様に低い。ただし、挟在物がある場合は無い場合に比べて振幅が小さい。以上の結果から上部、下部ブロックの付着領域の大きさの相違や挟在物の有無を卓越周波数と振幅により評価できることが分かった。上部ブロックの安定性は付着領域の面積の影響を受けることから、打音測定で得られた波形をフーリエ変換して得られる卓越周波数とその振幅を用いて岩盤斜面における岩塊の安定性を評価できると考えられる。

#### 4. 現地測定による検討

3 章の供試体実験の結果を踏まえ、剥落型落石が発生する岩盤斜面で現地測定を行い、打音測定による岩塊の安定性評価方法を検討した。

測定は約 10 年前に採掘を終了した採石場の新第三紀の安山岩からなる斜面で実施した。割れ目の分布状況から下方に自然落下することが想定される岩塊を対象とし、それらを目視観察や岩石ハンマーによる打音調査などの従来方法により不安定岩塊(図 5)、安定岩塊(図 6)に分類した。計測した不安定岩塊は 26 個、安定岩塊は 8 個である。また、前章の供試体実験において割れ目に相当するくびれのない供試体 ( $W=500\text{mm}$ ) と同様の条件と考えられる「新鮮で割れ目を含まない岩盤」(以下、基盤岩) 2 箇所でも打音を測定した。打撃は打撃装置を用い、岩塊ごとに数点～十数点の測点を設けた。



図 3 総研式打音検査装置

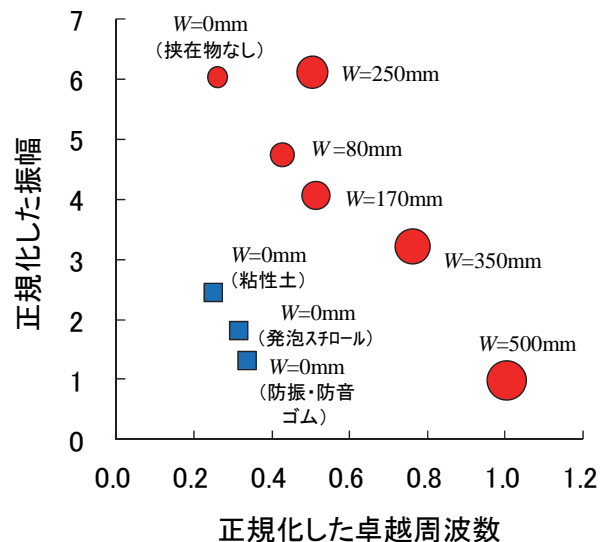


図 4  $W=500\text{mm}$  の値で正規化した卓越周波数と振幅の関係

基盤岩の卓越周波数，振幅の平均値で各岩塊の測定値を正規化した結果を図7に示す。基盤岩に対して，安定岩塊では振幅の大きさは同様に卓越周波数が半分程度以下の値を示す。また，不安定岩塊の振幅は安定岩塊のそれより大きく，基盤岩に対して3倍以上の値である。図7には，図4に示した供試体実験の結果も合わせて示した。岩盤斜面上の岩塊における打音測定結果と供試体実験の結果が，基盤岩（供試体実験ではくびれない供試体： $H=500\text{mm}$ ）で規格化すると，ほぼ同様の結果を示している。

### 5. 岩塊の安定性評価手法の提案

4章までの検討により，打音測定により岩塊の基盤岩への付着領域の大きさ，つまり岩塊の安定性を定量的に評価することが可能であることを示した。基盤岩を基準とした場合，例えば打音

の卓越周波数が基盤岩よりも低い振幅が同程度である岩塊は，比較的安定な状態にあると判断することができる（図8）。一方，基盤岩に比べて卓越周波数が低く，かつ振幅が非常に大きい岩塊は不安定な状態と判断できる（図8）。また，継続的な落石調査において，対象岩塊の安定性の変化をモニタリングする手法として十分に実用可能である。



図5 不安定岩塊の例

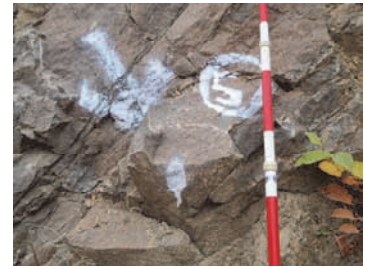


図6 安定岩塊の例

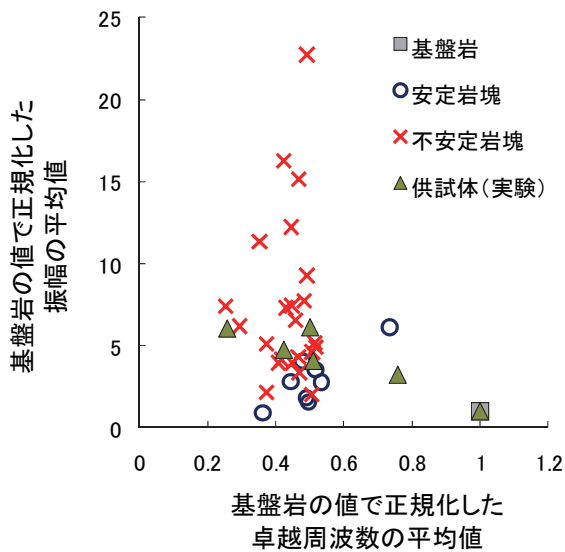


図7 打音測定の現地測定結果

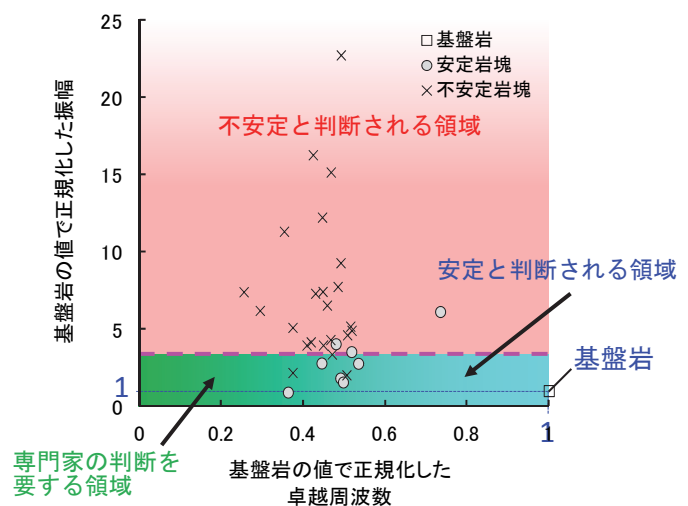


図8 岩塊の安定性評価方法

### 参考文献

- 1) 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
- 2) 伊藤良浩・魚本健人：コンクリート打撃音の振幅の評価に関する1考察，土木学会年次学術講演会講演概要集第5部，pp.416-417，1995
- 3) 例えば，鈴木文大・榎本秀明・稲川敏春・松林弘智・千鳥雅由：トンネル覆工コンクリートを対象とした打音評価法，物理探査，Vol.54，No.6，pp.374-387，2001
- 4) 川越健・石原朋和・浦越拓野・太田岳洋：岩盤斜面上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