

斜面上転石の振動計測を目的としたシステム構築と計測結果に関する考察

西日本旅客鉄道株式会社 ○深田 隆弘

泉並 良二

森 泰樹

1. はじめに

斜面上の転石が安定であるか不安定であるか、判定することは難しい。

転石の安定性は、斜面勾配、周辺の地盤状況、転石の根入れ深さ、形状、大きさなどに関係していると思われるが、現地においてこれらすべての状態を把握することは困難である。また、たとえいくつかのデータが得られたとしてもそれらと安定性または不安定性とを関連づける適切な指標や基準は見当たらない。

一方、現場レベルでは、斜面上の転石が落石に結びつくのかどうかの判定を、簡便かつ定量的に行いたいというニーズが高い。これまでも振動特性を利用して落石の危険度評価を試みた研究¹⁾²⁾³⁾は多く、有効な方法のひとつであると認識している。しかし計測方法や判定基準の定量化などについては、まだまだ工夫の余地があると考えている。

そこで振動特性を利用した落石危険度の簡便かつ定量的な判定方法の確立を目指し、そのはじめとして斜面上転石の振動計測を目的としたシステム構築と実斜面で計測した振動データに関して考察を行ったので報告する。

2. 振動計測システムと計測方法

振動計測は、鉄道沿線の斜面での作業となることから、安全性はもちろん、効率性が要求される。すなわち使用する機器等が軽量で、操作性に優れていることに加えて、振動計測やデータ分析の方法も簡便であることが必要である。そのため採用するシステムと計測方法は、専門技術者ではなく（現場技術者が）、また特殊な機器を用いるのではなく（小型軽量で操作しやすい機器により）計測できることを最大のコンセプトにしている。

具体的な計測方法は、まず転石頂部に加速度計（圧電式、プリアンプ内蔵、3軸型）を固定し、ゴムハンマーでx（斜面走行）方向、y（斜面傾斜水平）方向に転石を打撃し、その時の加速度波形（xyzの3成分、（z：鉛直方向））を記録するものである。計測機器の仕様ならびに計測システムの

構成と計測状況を、それぞれ表-1、図-1、写真-1に示す。機材の総重量はパソコンを含めて約5kgで、急勾配斜面でも機動的に持ち運べ、振動を計測することができる。

また転石1個あたりの計測時間は約30分（移動時間除く）である。本計測方法の時間的なクリティカルは、加速度計を転石に固定設置するためのパテ固化時間の約20分であるので、この点は改善の必要があると考えている。

表-1 計測機器の仕様

計測機器	仕 様
加速度計	圧電式、プリアンプ内蔵型、3軸型、振動数範囲 3-5,000Hz
AD変換器	16チャンネル同時サンプリング 周波数 88.2kHz/ch (MAX) 増幅 1-100 倍

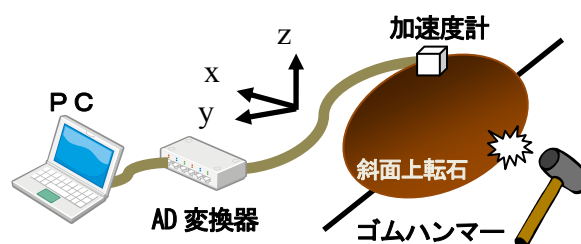


図-1 計測システムの構成



写真-1 計測状況

3. 実斜面での振動計測結果

(1) 加速度波形

転石を3回打撃したときの加速度波形を図-2に示す。上から順にxyzの各成分を表し、振幅の単位 m/s^2 、データのサンプリング間隔 1024Hzで、記録された加速度振幅からほぼ一定の衝撃力が加わっていることが分かる。

また図-3は1つの衝撃振動波形を拡大したもので、明瞭

な減衰振動が観察できる。ここで、図の左側が安定、そして右側が不安定と判定（安定性の判定は落石危険度振動調査法³⁾による）された転石の波形である。安定性の異なる転石では、衝撃を与えてからの振動継続時間に顕著な差があることが分かる。

(2) 卓越振動数

前述の方法により記録した振動波形に対し、高速フーリエ変換によって周波数解析を行った結果を図-4に示す。

加速度のスペクトルのピークとなる周波数を、打撃方向に対する転石の卓越振動数と判定した。図の左側が安定、そして右側が不安定な転石の事例を示し、卓越振動数は安定な転石で32Hz、不安定な転石で25Hzとなっている。

(3) 減衰特性

次に減衰特性を表す指標として、減衰定数を算定する。

減衰定数は、計測波形の各ピーク点を押さえ対数減衰率などから求める方法が一般的である。しかしながら今回計測したものが衝撃振動であり、振動の継続時間がかなり短いこともあり、対数減衰率から求める方法では算定結果に大きなばらつきがみられた。そこで図-4に示す加速度のスペクトルから半値幅法により計算する方法を採用した。半値幅法は、スペクトルのピーク値から-3dB下がったところの周波数幅を基に、減衰定数を計算する方法である。

図-4の事例において減衰定数は、安定な転石で0.079、不安定な転石で0.041となった。

4. 斜面上転石の振動特性と安定性との関係（考察）

斜面上転石の振動特性として、卓越振動数と減衰定数に着目した。そして振動計測結果から求めたそれぞれの特性値を、両対数グラフにプロットした。図-5に示すとおり、青色が安定、赤色が不安定と判定された転石の結果を示す。卓越振動数が大きく、また減衰定数も大きな値をもつ転石が安定なもの、すなわちグラフ右上にプロットされる転石がより安定なものであることを予想させる。

以上のことから、今回採用したシステムで転石の衝撃加速度波形を計測し、その卓越振動数と減衰定数から転石の安定性を簡易に評価することができる可能性がある。

5. おわりに

鉄道沿線の斜面上にある転石の振動特性によりその安定性を評価することを目的として、現場技術者でも振動計測が可能なシステムを構成し、実際に斜面で計測を行った。

計測結果の加速度波形を分析し卓越振動数と減衰定数を

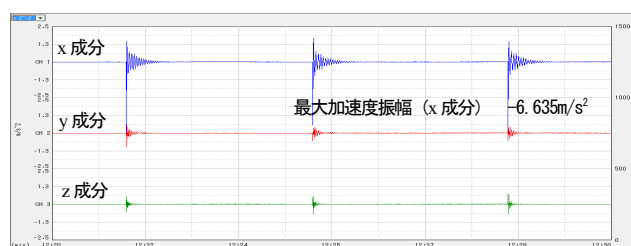


図-2 加速度波形（3波）

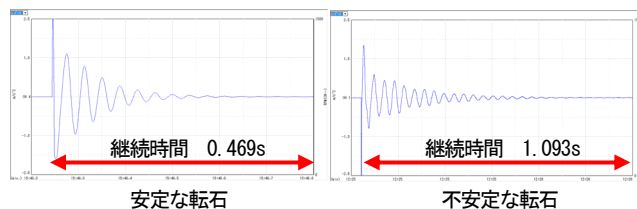


図-3 加速度波形（1波）

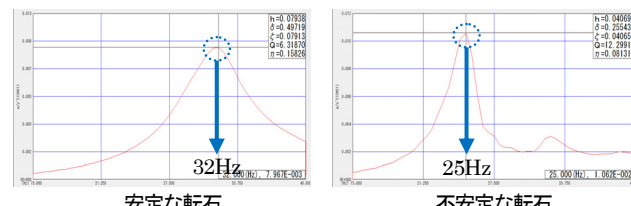


図-4 周波数解析結果および卓越振動数と減衰定数の算定

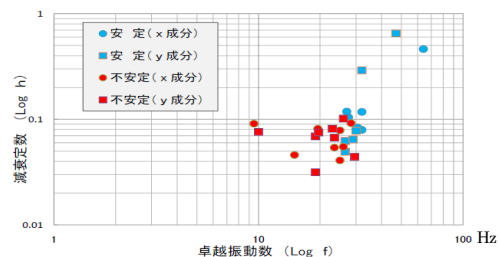


図-5 卓越振動数と減衰定数による安定性評価

算定することで、転石の安定性を評価できる可能性があることが推察できた。

現時点ではこの安定性を示す指標のひとつとして減衰定数に着目したところであるが、減衰に関してはメカニズムが複雑であり、減衰定数の同定の困難さも指摘されている。

今後は、引き続き多くの実斜面で振動計測データを収集し、減衰定数の同定の精緻化などを目指すとともに、斜面上転石の安定性と振動特性との定量的な関係を知るための基礎的な実験や解析を行うことが必要であると考えている。

なお、落石危険度振動調査法の実施は、鉄道建設・運輸施設整備支援機構の運輸分野における基礎的研究推進制度の助成を受けたことを申し添える。

参考文献

- 1) 奥園誠之, 岩竹喜久磨, 池田和彦, 酒井紀士夫: 振動による落石危険度判定, 応用地質 21 巻 3 号, pp. 9-12, 1980.
- 2) 熊谷兼雄, 木谷日出男, 吉岡修: 振動計測による浮石危険度判定のための基礎実験, 鉄道技術研究所速報, pp. 1-17, 1983.
- 3) 緒方健治, 松山裕幸, 天野淨行: 振動特性を利用した落石危険度の判定, 土木学会論文集 No. 749/VI-61, pp. 123-135, 2003.