

写真測量とCGを用いた落石挙動追跡手法に関する研究

明治コンサルタント(株) (正)島内哲哉, (正)〇酒井直樹

明治コンサルタント(株) 北海道支社 有賀誠

京都大学大学院工学研究科 (正)大西有三, (正)西山哲

1. はじめに

国土の3/4が山岳地を占める我が国の道路や鉄道では、岩盤崩壊や落石は無視できない災害の一つである。そのメカニズムの解明や合理的な対策立案を目的として、従来より数多くの現場観察実験が行われている¹⁾。しかし、岩盤の崩壊や落石現象は、発生から終了までの時間がきわめて短く観察条件の制約も大きいため、良好な記録を得にくい観察対象でもある。

一方、近年では、レーザー測量や写真測量技術の発達で、精細な地形測量を迅速に行うことが可能となっており、データもデジタル化されている。ここでは、落石挙動の解析を目的として、これらの地形測量技術を用いて作成したコンピュータグラフィックスモデルとビデオ画像とをコンピュータ上で合成することで、落石の位置や挙動を精度よく把握する方法について検討した。

2. 落石挙動の追跡手法

岩盤の落下や落石などの現象を解析する際に必要となる代表的な物理定数に、反発係数や速度エネルギー

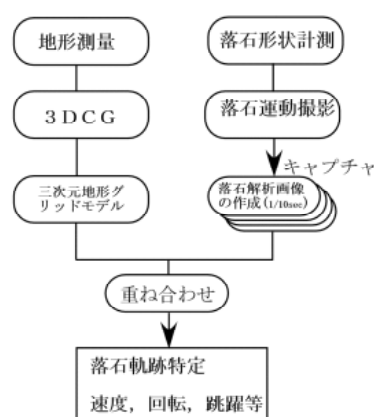


図-1 落石挙動追跡の方法

比がある。いずれも、落下岩塊の規模や形状、落下経路の斜面状況に大きく影響を受ける特性値であり、その決定にあたっては、精度の良い観察結果に基づく計測が必要となる。一方、落石挙動の観察では、回転と不規則なバウンドを繰り返しながら高速で移動する岩塊の、三次元的な空間位置をどのようにして特定するかが最大の課題となる。しかしながら、もともと危険な場所での観察であるうえ、観察現場によって撮影位置の条件が異なり、さらに落下経路の地形測量や、軌跡を追跡する際に必要な標識の経路斜面への設置等々、多くの問題があるためどこでも良好な記録を得られるとは限らない。しかも、落下距離や高さが大きくなるほど、全体を見通すことが難しくなるため、詳細な挙動を追跡に複数台のカメラが必要となることもしばしばで、そのぶん解析も複雑になる。

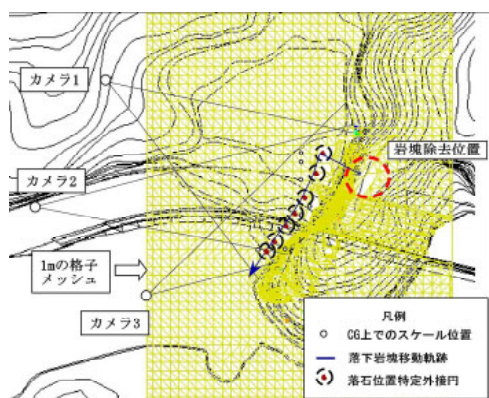


図-2 カメラの配置図

このようなことから、筆者等は、落下経路をあらかじめ三次元コンピュータグラフィックスによってモデル化しておき、それから作成したビデオ撮影地点からのパース画像に、カメラ画像を合成することで落下経路上の落石の位置と挙動を把握する方法について検討を行った²⁾。この方法による観察の流れを、図-1に示す。

3. 現場への適用

図-2は、本方法を適用した現場の平面図である。カメラの配置の他、本方法によって特定した1.0sec毎の岩塊の位置と軌跡(平面)を示している。以下、本方法の具体的な手順について説明する。

①最初に、落下経路周辺の地形に、10～20箇所の基準点(座標既知の点)を設ける。

②次に、写真測量あるいはトータルステーションを用いた測量によって落下経路の三次元コンピュータグラフィックス

キーワード：落石、ビデオカメラ、コンピュータグラフィックス

連絡先：〒333-0801 埼玉県川口市東川口1-22-4 明治コンサルタント(株)技術統括部東川口分室

フィクスモデル(3DCG)を作成する．この時，一片が1～3mの正方格子モデルとする．

③ビデオカメラを，落下経路全体の確認，跳躍高さの確認，末端での回転などの目的を満足するよう配置する．この時，配置した各ビデオ画像のなかに，①で設定した基準点が4～6点写り込むようにする．

④ビデオカメラの撮影地点を，3DCG上にプロットし，撮影視点からみたパース画像を作成する．このパース画像中には，①で設定した基準点をプロットしておく他，落下経路付近には仮想のスケール(バーチャルスケール)を作成して配置しておく．

⑤ビデオカメラ視点でのパース画像と，ビデオカメラの静止画キャプチャ画像と合成する．この作業は，配置したすべてのビデオカメラについて行う．

⑥ビデオ観察結果から観察対象となる岩塊を選択し，その記録動画から，落石規模と動きの速さに応じて1/30～10/30sec程度の適当なフレーム間隔で岩塊を切り出し，⑤で作成した画像上にプロットする．落石の平面位置や跳躍高さは，各撮影地点での合成画像中に設けた格子点やバーチャルスケールを基に判読する．

図-3,4,5は，以上の過程によって作成した合成画像である．また，図-6は，軌跡位置の断面図上に，1.0sec毎の落石の挙動をプロットしたものである．同図には，計測した線速度も示している．

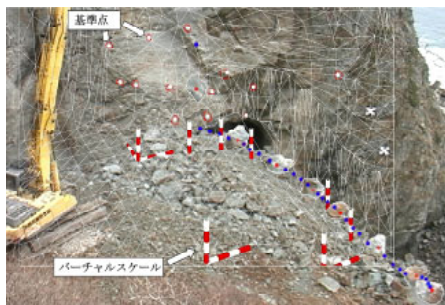


図-3 カメラ1視点の合成画像

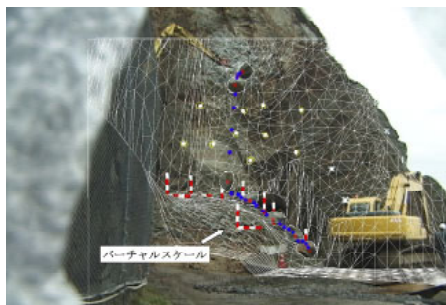


図-4 カメラ2視点の合成画像



図-5 カメラ3視点の合成画像

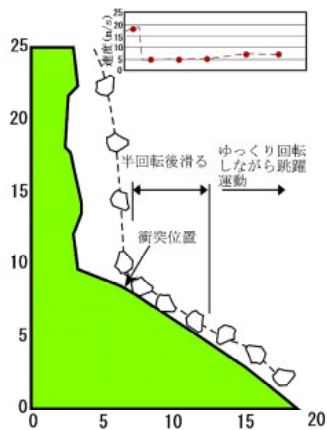


図-6 落石挙動の判読結果

4. 観察結果の考察とまとめ

本現場では，30万画素程度の家庭用3CCDビデオカメラを用いて，約40～50mの距離から撮影を行った．この時，解析可能であった岩塊規模と各計測項目(線速度や角速度)との関係を定性的に整理したのが表-1である．

表-1 観察現場での読み取り記録

岩塊の径	軌跡	線速度	角速度	記事
φ 1.5m以上	○	○	○	—
φ 1.0m以上	○	○	△	扁平な場合には読み取り可
φ 0.5m以上	○	○	×	回転が速く速度も速い場合は不可

この方法では，各画像間に時間の同期がないため，時間や位置の特定が問題となる．これには複数人による読み合わせや日を変えて判読するなどのチェックが必要となる．その際のズレについて検討してみると，時間で2/30～3/30sec程度，位置は平均して落石径の

10%以下であった．その原因は，時間については，カメラ位置が異なるために生じたズレであり，位置については，岩塊の読み取りを画像上の岩塊の面積中心で行っているため，落下岩塊の扁平度が影響した可能性が考えられる．今後，精度検証も含めて，判読方法についても検討が必要である．しかし，本方法によれば，施工現場のわずかな合間の作業で落下岩塊の三次元的な挙動を捉えることが可能であり，今後はハイビジョンカメラを導入したりデジタル一眼レフとの併用を考慮することで，さらなる精度の向上も期待できると考えられる．

＜参考文献＞

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧に関する参考資料，2002.
- 2) T, SHIMAUCHI, NSAKAI, Y, ONISHI：Fundamental study of Mechanical Behaviors for Rockfall based on Imaging Analysis. ICADD4, 2001.