

質点系シミュレーションによる落石挙動の確率的ハザード評価

東京都市大学 学生会員 ○津田 悠人
東京都市大学 正会員 吉田 郁政

1. はじめに

わが国では山岳部が多く、それに沿うように道路が存在し、地震、豪雨、急峻な地形などの自然条件下にあることから、落石などによる道路被害が絶たない。落石の形状や斜面の地形について詳細にモデル化を行い、力学モデルでその再現を試みても落石の予測には大きな不確定性を伴う。また、斜面崩壊による岩塊や落石がどこまで到達するかなど確定的に評価することは困難である。そのため、構造物に対する到達確率などにより危険性を評価することが有効である。微小な形状等の不確定性を考慮して落石挙動の確率的特性を評価することを目的とする場合は簡易な解析方法でも十分である可能性がある¹⁾。本報告では実斜面を対象に実施した質点系落石シミュレーションの解析結果にもとづき、斜面付近の道路への危険度を定量的に評価するために、落石の速度と超過確率の関係を曲線で表した到達ハザードの試算を行った結果を示す。

2. 本研究で用いた質点系落石解析の概要

落石シミュレーションは質点系と非質点系(DEM など)の2つの手法に大別できる。質点系は落石を大きさのない質量を持った単純な形状の剛体とみなし単純な運動の要素として考え、ニュートンの運動方程式を数値的に解くことによって落石の運動を求める方法である。本研究で用いる質点系落石シミュレーション手法は落石の回転やすべりは考慮せず、斜面との衝突、跳ね返りのみを考慮している簡易的な方法である²⁾。DEMなどの非質点系は実現象に近い高精度な挙動予測が可能であるが、微小な斜面形状や岩塊形状の詳細なモデル化は困難であるし、膨大な計算量が必要である。本研究では落石挙動の確率的評価を目的としており、確率的評価には繰り返し計算が必要であるため解析に必要な条件が反発係数と凹凸度と少なく計算時間の短い質点系シミュレーション手法を用いる。

入力パラメタとしては反発係数と凹凸度のみであり、反発係数は質点が反発する時のエネルギー損失に関係したパラメタ、凹凸度は斜面表面や岩石の形状の不規則性を表すパラメタである。

3. 検討対象とした斜面及び評価位置

基盤地図情報ダウンロードサービス³⁾によりAダム周辺の5mグリッドの標高データから3次元斜面モデルを作成した。本報告では350m四方の領域を設定した。斜面直下には構造物、道路、ダムがある。地震などによる斜面の危険箇所は本来斜面安定問題等から推定することを想定しているが、ここでは単純に地形勾配から可能性の高い急斜面を崩壊領域として設定した。本報告では図-1に示すように斜面直下に存在する道路を10個の領域R1~R10に分割して、それぞれの領域についてハザード評価を行った。

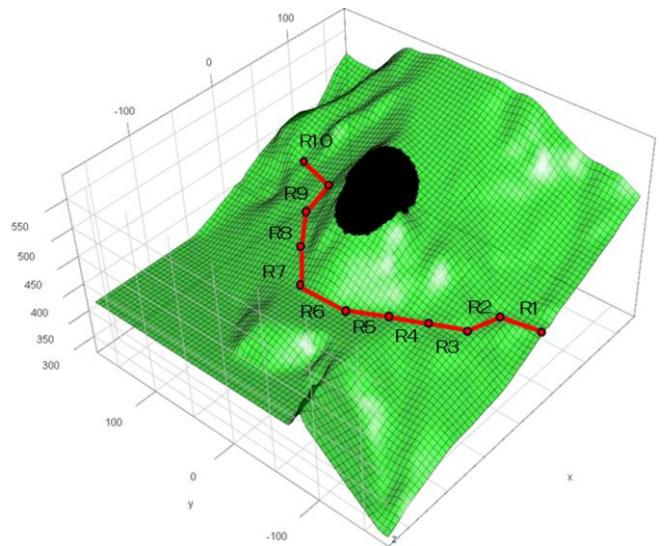


図-1 対象とした地形、崩壊領域、ハザード評価地点

4. 解析結果及び分析

質点系落石シミュレーションのパラメタは実験結果⁴⁾より、反発係数は法線方向の値を0.43、接線方向の値を0.85から1.05の一様分布、凹凸度は0.3とした。仮定した崩壊領域からの落石について到達ハザ

キーワード 落石シミュレーション 質点系解析 ハザード

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 都市工学科 TEL 03-5707-0104

ードの評価を行った。崩壊領域は長径 80m, 短径 60m の楕円の領域とし領域内では同じ確率で落石が生じると仮定した。質点個数は約 40000 個 (モンテカルロシミュレーションの繰り返し回数に相当) で計算を行った。崩壊途中の落石の状況, 最終的な到達位置を図-2 に示す。多くの質点が道路を通過しているが地形に応じてその頻度は大きく異なることが容易に予想される。図-3 の到達ハザードは 1 個の落石が生じた場合に各道路の領域を通過する際の速度と超過確率の関係を表している。それぞれの領域を通過する落石の速度について累積分布を算定することで求めている。

図-3 の到達ハザードによると速度 0 の確率は R1, R2, R9 を除くとおよそ 10% 程度であり, 10 個の領域に分けていることから平均的な挙動を示しており, R2 は落石の危険性が少なく, R9 は高いことがわかる。また, R1 では通過した岩塊はみられなかった。速度 15m/s の超過確率, すなわちある程度大きな衝撃を与える落石に注目すると R9 について R4 は危険性が高く, R10 は R2 と同じぐらい低いことがわかる。

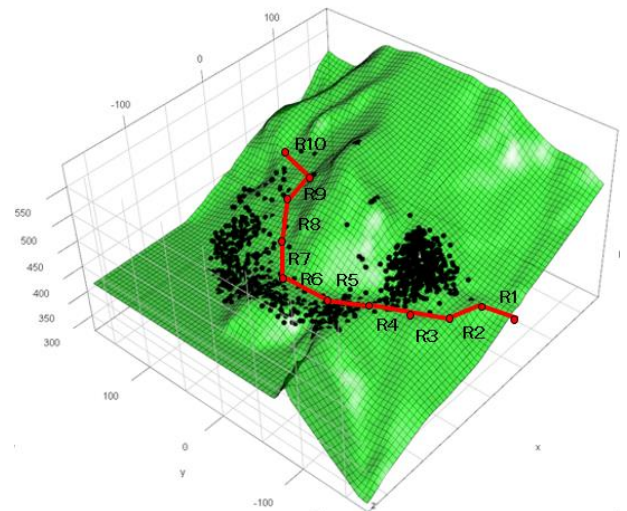
5. まとめ

本報告では質点系落石解析を行い, A ダム付近の道路に対する到達ハザード評価を実施した。評価対象である道路を数個に分割することで各位置の危険度評価を行った。本研究で用いたパラメタはコンクリート斜面での落石実験を再現するように定めており, 自然斜面に対するパラメタとしては過大な反発係数となっている。実際にほとんどの岩塊全てが道路に到達することは考えられない。将来的な課題として斜面や岩石の非線形性の影響を考慮した反発係数を用いることで, より現実に近い確率的な評価を行う必要がある。

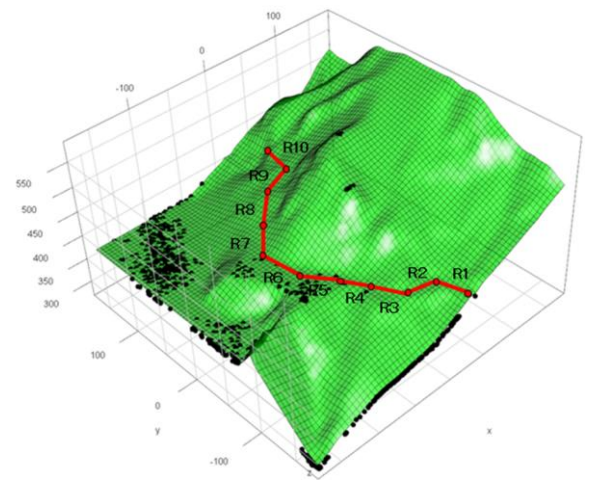
参考文献

- 1) 吉田ら：質点系解析による簡易な落石シミュレーションの提案, 第 8 回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム論文集 (A 論文), Vol.8, pp.522-528, 2015.
- 2) 日本道路協会：落石対策便覧に関する参考資料, 落石シミュレーション手法の調査研究資料, pp.11-13, 2002.

- 3) 基盤地図情報ダウンロードサービス-国土地理院, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, 2018.3.26. 閲覧.
- 4) 吉田ら：簡易な質点系解析による落石実験の再現性, 平成 28 年度全国大会第 71 回年次学術講演会 第Ⅲ部門, p.703-704, 2016.



(1) 9.6 秒時点



(2) 36.4 秒時点 (最終時点)

図-2 質点解析による落石の状況

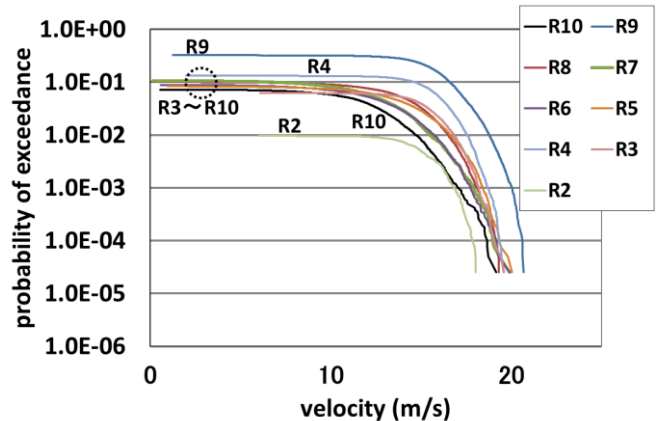


図-3 到達ハザード(R1~R10)