

室内及び実斜面落石実験を対象とした乱数を用いた質点系解析による再現解析

東京都市大学 学生会員 ○上田 藤吉郎, 鈴木 嶺太

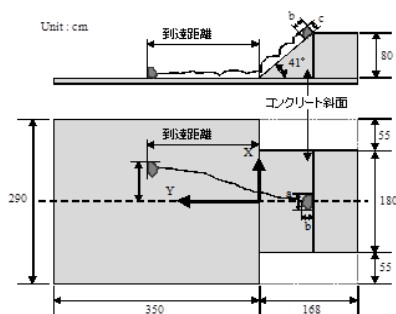
東京都市大学 正会員 吉田 郁政

1. はじめに

適切な対策を検討するうえで落石の正確なシミュレーション手法の開発は重要な研究テーマである。対象となる岩石の形状や斜面の地形について詳細にモデル化を行い、精緻な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が伴う。本研究では質点系の単純な力学モデルに、跳ね返りの方向に関して乱数を用いた不確定性を与えて、落石の到達位置分布を予測する方法を検討する。提案する方法では岩塊を質点でモデル化し、すべりや回転は考慮せずに、斜面との衝突、跳ね返りだけで落石の挙動を表現する簡易的な方法¹⁾であり、計算時間は個別要素法等に比較すると圧倒的に短い。3次元形状のモデル化による再現解析を行うことにより、乱数を用いた質点系解析の適応性の検討を行う。

2. 落石実験の再現解析¹⁾2.1 栃木による落石実験^{2), 3)}の概要

図-1 に栃木らによる落石実験で用いたモデルの概要を示す。実験では、高さ 80cm から傾斜 41 度の斜面に塊状岩石を落下させ、それぞれの落石が到達した場所の x 座標, y 座標を記録している。落下実験は径が 20-30mm と 40-80mm の 2 種類の岩塊に対して、それぞれ代表 300 個を抽出し、岩塊をひとつ落下させた後にその岩塊を平板上から取り除いてから次の岩塊を落下させている。落下方法は、図-1 の斜面中央の法肩手前に岩塊の長辺が斜面傾斜方向に向くようセットし、指で少しずつ押し出して落下させる。

図-1 落石実験の概要と各種寸法²⁾

2.2 落石解析による実験結果の再現性

実験の累積分布と合致するパラメタを試行錯誤により探した結果、反発係数 0.84, 凹凸度 0.25 が求められた。図-2 にそのときの解析結果の落石の到達位置と落石実験によって得られた落石分布を示す。また、図-3 に実験データと解析結果の斜面直交方向（最急勾配方向に直交）と到達距離方向（最急勾配方向）の到達位置に関する累積分布の比較を示す。

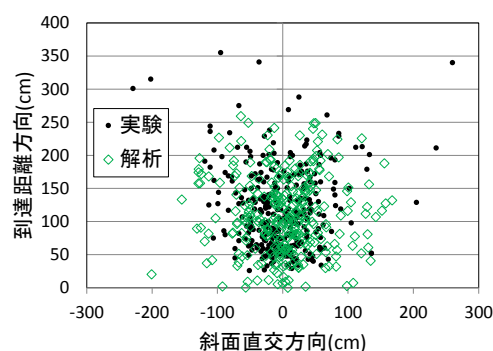
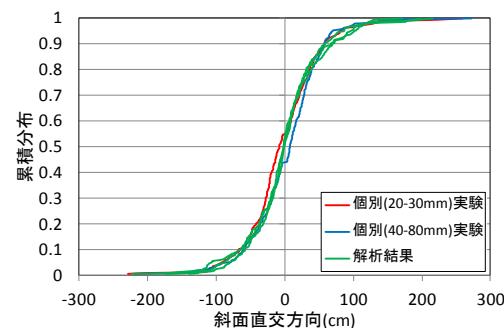
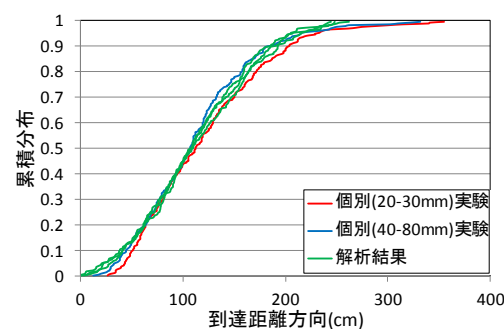


図-2 落石実験と解析による落石分布



(1) 斜面直交方向



(2) 到達距離方向

図-3 解析と実験の累積分布の比較

キーワード 質点系, 落石分布, 3次元斜面モデル, 再現性検討, 落石シミュレーション

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL 03-3703-3111

跳ね返りの方向に関する乱数の種を変えた 3 回の解析を行っており、図には解析結果として 3 本の累積分布曲線を示した。非常によい一致が得られており、適切にパラメタを設定すれば良好に実験結果を再現できることがわかる。

3. 3次元形状斜面に対する試算例

3.1 右城らによる実験⁴⁾

実際の斜面に対する落石のシミュレーションを行う場合、その 3 次元形状を考慮することは必須である。そのため任意地形に対するモデル化が必要である。ここでは右城らによる自然斜面で行われた落石実験を再現解析の対象とした。図-4 の実験斜面の鉛直投影図より標高を読み取り、モデルの作成を行った。鉛直投影図では 1m×1m の縦 72 個、横 34 個のメッシュで区切られているが、今回は 3m×3m のメッシュ縦 24 個、横 11 個としている。

本研究では右城らが行った斜面上の植生を伐採した状態での実験の再現を行った。落石挙動の傾向を見るために 70 個の質点をできるだけ斜面に近い場所から初速度 0 で落下させた。反発係数と凹凸度は試行錯誤から、斜面に対して垂直方向反発係数を 0.835、横方向に働く反発係数を 0.805、凹凸度を 0.150 とした。

3.2 実験結果の再現性

図-5 に解析結果の軌跡を示す。解析では途中で止まってしまう落石がみられる点の実験と異なるが、最初は斜面中央をまとまって落下し、途中から少し広がる特徴については再現することができた。本研究では斜面の標高を図面から読み取っているため、形状の再現

は必ずしも正確ではない。今後は標高に関するデジタルデータを用いることでより正確に 3 次元の斜面形状をモデル化する予定である。

4. まとめ

乱数を用いた質点解析法により既往の室内実験及び実斜面における実験の再現解析を行ったところ、適切なパラメタを与えれば良好に室内実験によって得られた落石の到達位置の座標の累積分布を再現できることを示した。複雑な 3 次元形状にも簡単に適用することが可能であり、実斜面の実験結果についても再現解析を行った。定量的な再現性の評価は困難であるが、定性的にはある程度再現することができたと考えている。

反発係数や凹凸度といった解析パラメタを事前にどのように定めるかが今後の課題である。また、落下位置や斜面勾配などの条件を変えた室内実験の再現性や複雑な 3 次元形状斜面での定量的な再現性の確認も今後の課題である。

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, JCROSSAR 2015 論文集, 2015.
- 2) 栃木均：地震時崩落岩塊の到達距離に関する影響要因の検討-斜面崩壊を想定した振動台実験と二次元個別要素法解析による影響予測手法の開発, 電力中央研究所報告, N08084, 2009.
- 3) 栃木均：地震時崩落岩塊の到達距離に及ぼす岩塊の大きさや形状の影響, 電力中央研究所報告, N09021, 2010.
- 4) 右城ら：落石の運動機構に関する実験的研究, 土木学会論文集, Vol.62, No.2, 2016.6.

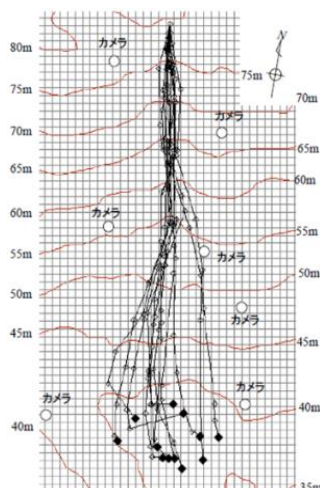


図-4 斜面投影図⁴⁾

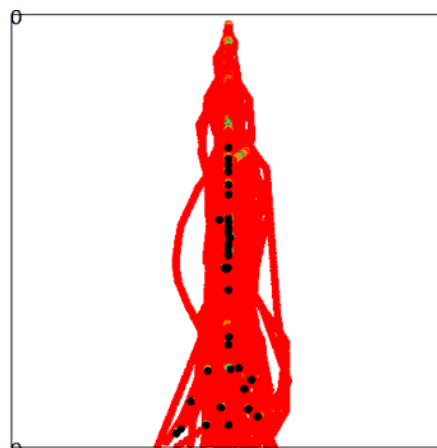


図-5 再現解析の軌跡