

質点系解析による簡易な落石シミュレーションの基礎研究

東京都市大学 学生会員 ○鈴木 嶺太
 東京都市大学 正会員 吉田 郁政
 日本大学工学部 正会員 中村 晋

1. はじめに

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が、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。斜面や岩塊の形状や物性の情報を全て詳細に調査してモデルに反映させることは現実的ではないし、また、詳細に形状等の情報を考慮しても、強非線形の問題には予測が困難な不確定性が伴うことも報告されている¹⁾。このように落石のような現象には大きな不確定性が伴うため、その到達位置などは確率分布で評価を行い、注目する構造物への衝突確率などを用いて落石の危険性を評価することが妥当である²⁾。

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。提案する方法では質点（落石）の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であり、計算時間は個別要素法などに比較すると圧倒的に短い。栃木らによる室内の落石実験^{3), 4)}で得られている落石の到達位置を対象に、提案手法による落石実験の再現解析を行い、落石到達位置の方向別の累積分布を評価して、実験結果の再現性について論じる。

2. 栃木らによる落石実験の概要^{3) 4)}

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 20-30mm と 40-80mm の岩塊の 2 ケース行われている。それぞれ代表 300 個を抽出し、ひとつずつ落下させており、岩塊は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-2 に落石実験によって得られた落石分布を示す。

3. 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ような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-3 にそのときの解析結果の落石の到達位置の座標分布を示す。また、図-4 に実験データと解析結果の斜面直行方向（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。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ている。このように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。

4. まとめ

乱数を用いた質点解析法により既往の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実験によって得られた落石の到達位置の座標の

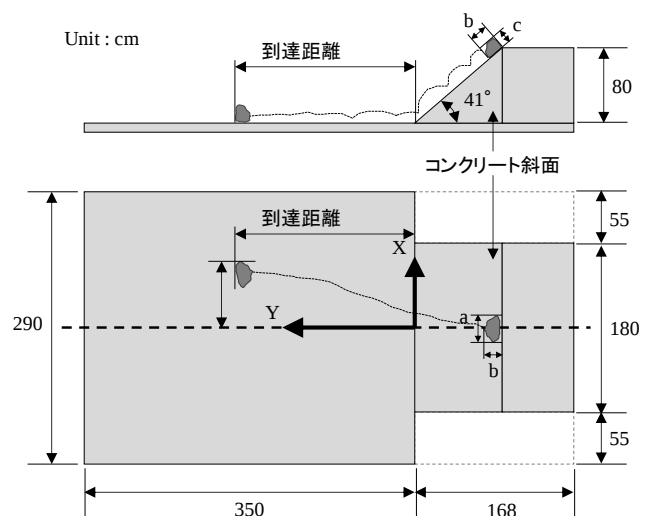
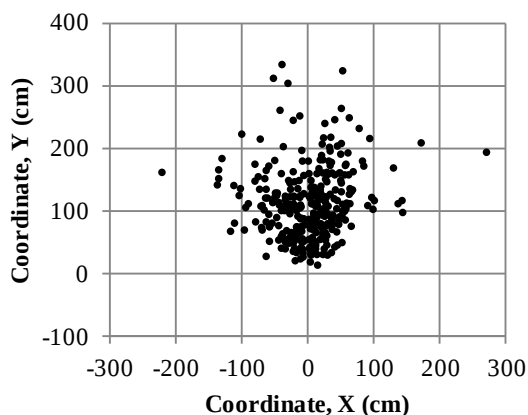


図-1 落石実験の概要と各種寸法

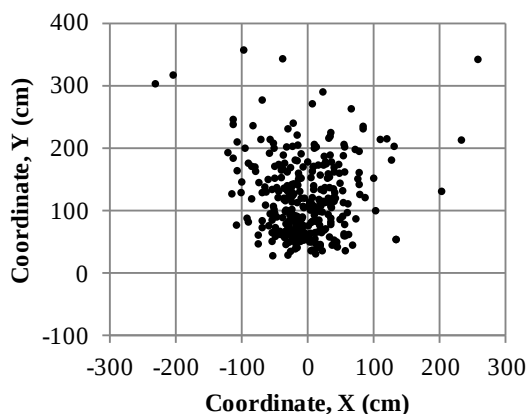
キーワード 落石, 質点系解析, 落石分布, 累積分布, 再現性検討, 落石シミュレーション

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

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、個別要素法などに比較して圧倒的に短い時間で計算することができる。反発係数や凹凸度といった解析パラメータを事前にどのように定めるかが今後の課題である。なお、本研究は原子力規制庁からの委託業務として実施したものである。記して謝意を表する。



(1) 落石の大きさ 40-80mm



(2) 落石の大きさ 20-30mm

図-2 落石実験による落石分布

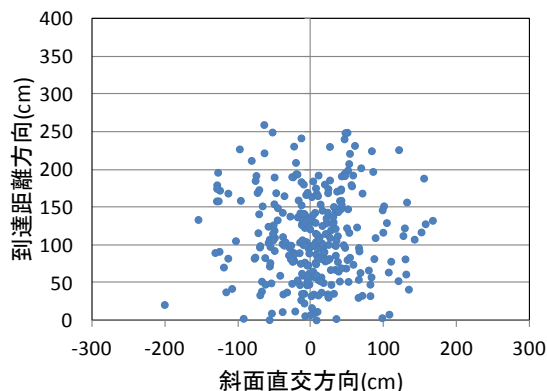
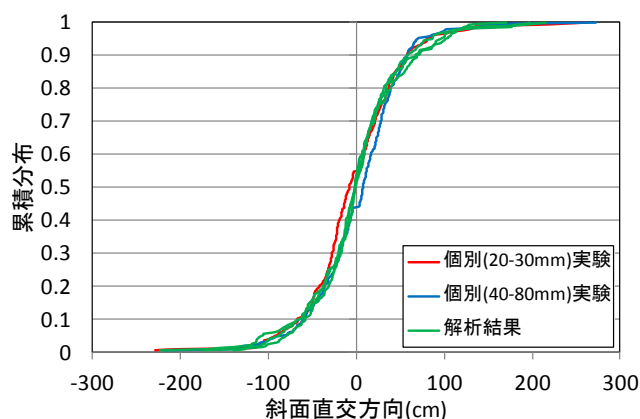


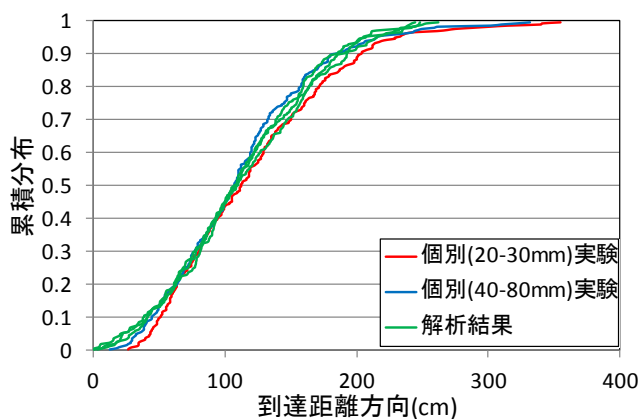
図-3 解析による落石分布

参考文献

- 1) 吉田郁政, 大庭啓輔, 石丸 真: MPS 法あるいは DEM を用いた破壊挙動の不確定性に関する基礎的考察, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 67, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 14), I_365-I_374, 2011.
- 2) 吉田郁政, 内藤直人, 中瀬仁: 斜面崩壊による岩塊や落石の衝突ハザードの評価法落石ハザード評価に関する提案, 土木学会論文集 (地震工学), 2015.
- 3) 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.
- 4) 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と形状の影響, 電力中央研究所報告, N09021, 2010.



(1) 斜面直交方向



(2) 到達距離方向

図-4 解析結果を含めた累積分布