# 簡易な質点系解析による落石実験の再現性

東京都市大学	正会員	○吉田	郁政
東電設計(株)	正会員	中瀬	仁
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は対象となる岩石 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その予測に は大きな不確定性が伴う. そのため, 個別の落石の 軌跡などの挙動を正確に再現することを目指しても 実用的ではなく,到達位置などの確率分布で再現性 の評価を行い、注目する構造物への衝突確率などに 基づいて落石の危険性を評価することが妥当であろ う<sup>1)</sup>. そのような考えのもと、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してきた<sup>2)</sup>.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、<br />
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. 文献 2)では単一の高さ, 斜面 勾配の実験結果の再現性についての検討であったた め、本報告では斜面勾配や落下高さを替えた場合の 複数の実験の再現性について報告する.

# 2. 再現解析の対象とした落石実験の概要

図-1 に栃木らによる落石実験<sup>3</sup>の概要を示す.実 験では、高さ 0.8m 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. これを 300 個の岩石を落下させ る.後日、同様の実験を落下高さ 0.5、1.0、2.0m につ いても行った.また,落下高さ2.0mについては斜面 勾配 60 度についても実験を行っている.

## 3. 質点系解析による実験結果の再現性

文献2)では落下高さ0.8mの実験を対象としてラメ タスタディーを行った結果,反発係数0.84,凹凸度 0.25 が求められた.累積分布により比較するとほぼ 同じ分布が得られたが,同じパラメタを使って落下 高さ2.0mの実験の再現解析を行うと斜面勾配41度, 60度ともに解析結果の方が大幅に遠くまで散らばる 結果となった.

以上の検討では反発係数として斜面法線方向と接 線方向で同じ値を使っていたが,内藤ら<sup>4)</sup>による実 験によると法線方向反発係数は0.4程度,接線方向反 発係数は1.0付近となることが報告されている.そこ で,法線方向,接線方向で別々の反発係数を設定す ることとした.法線方向反発係数は鉛直に単純に落 下させた実験から算定した値を用い,接線方向反発 係数と凹凸度のみをパラメタスタディーにより一番 再現性が良くなるよう値を探索した.その結果,



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

凹凸度 0.3, 接線方向の反発係数は 0.85-1.05 の範囲 の一様分布が得られた. 法線方向の反発係数は鉛直 落下の実験から落下高さ 0.8m の場合は 0.43, それ以 外は 0.48 とした(時期や材料が異なるため). 高さ 1m から落下させたケースの累積分布の比較を図-2 に示す. 解析については乱数の種を替えて 3 回実施 している. 全ケースについて累積分布の比較を示す ことは困難であるため到達方向については 10, 50, 90%, 斜面直交方向については 10,90%のパーセンタ イル値の比較を図-3 に示す.

### 4 まとめ

法線方向,接線方向別々の反発係数を与えること で条件の異なる実験結果もある程度の精度で再現で きることを示した.まだ,パラスタが不十分であり, さらなる再現性の向上は可能である.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 とができることからモンテカルロシミュレーション のように多くの計算を行うことにより衝突確率を評 価することが可能になると期待している.



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.

#### 参考文献

- 吉田郁政,青山嵩,中村晋,落石危険度評価のための混合ガウスモデルによる落石到達位置の評価, 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.516-521, 2015.
- 吉田郁政,鈴木嶺太,中村晋,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.
- 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.
- 4) 内藤直人,前田健一,牛渡裕二,鈴木健太郎,川瀬良
   司:堆積層を有する斜面における衝突条件が異なる
   落石の運動挙動,構造工学論文集, Vol.62A, 2016.(掲載決定)





(2) 斜面直交方向 Y
 図-3 実験と解析によるパーセンタイル値の比較
 ●▲■:実験,○△□:解析