原子力施設周辺斜面のリスク評価に係る検討 一転動岩塊の速度と到達距離の関係—

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ 正会員 〇千明一生 中村英孝 日本大学 正会員 中村 晋

1. 目的

設計を超える地震力を受けた場合の原子力施設周辺斜面のリスク評価に際し、斜面崩壊により崩落した土塊や岩塊が安全上重要な施設や設備に到達する可能性について評価が必要となる。そこで筆者らは、岩塊の転動による速度と到達距離の関係について分析することを目的として、斜面模型を用いた岩塊転動実験を実施した。また、岩塊や斜面の形状等の不確定性を考慮した岩塊の到達距離の分布を評価することを目的として、岩塊転動実験の質点解析による数値シミュレーションを行った。

2. 斜面模型による岩塊転動実験

(1) 転動実験の方法 図-1 に示す斜面模型は、41 度又は 60 度の 二種類の勾配からなり、寸法は幅 4.5m、高さ 2.0m 及び平坦部長さ 6.3m である. 底面には、複数のコンクリート板を敷設し、その上に黒色に着色したモルタルを塗布した. 岩塊は、塊状の形状の石灰岩を多く選定し、径 20-30mm 及び径 40-80mm の二種類の大きさのもの各 100 個を用いた. なお、寸法比の扁長率と扁平率が 0.67~1 の範囲にある形状をそれぞれ 7割以上含むものである. これらの岩塊を単体で落下させる実験を表-1 に示すケースでそれぞれ 200 回程度実施し、岩塊の転動による斜面方向到達距離 x (以下「x 方向距離」という.)と斜面直交方向到達距離 z (以下「z 方向距離」という.)を計測した. さらに、複数回実施した計測のうち 7 回分については、3 台の高速度カメラ(サンプリング周波数:150Hz)による撮影と標点フレームによる空間キャリブレーションから、転動岩塊の三次元の位置座標を算出した. その結果を用いて粒子追跡法による画像解析を行い、

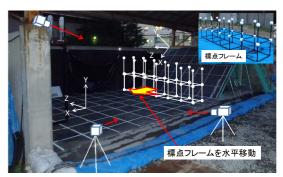


図-1 斜面模型の概要

表-1 実験ケース

ケース	斜面勾配 (度)	岩塊サイズ (mm)	落下位置 (m)
1	41	20-30	2
2	41	40-80	0. 5
3	41	40-80	1
4	41	40-80	2
5	60	40-80	2

岩塊の軌跡と速度時刻歴(斜面方向 Vx, 斜面法線方向 Vv 及び斜面直交方向 Vz) を求めた.

(2) 転動実験の結果 ここでは、ケース1,4及び5の落下位置を一定とした場合の実験結果について報告する. 図-2 に落下位置が同一で斜面勾配と岩塊サイズが異なるケースそれぞれにおける岩塊の到達距離分布を示す. x 方向距離について見ると、岩塊サイズが大きいほど斜面との接触回数が少なくエネルギー損失が少ないため、遠方まで到達する傾向がある(ケース 4). 斜面勾配が急なケースは、斜面先で岩塊が跳ね返る際に生じる摩擦の影響が大きいと考えられるため到達距離は小さい(ケース 5). z 方向距離については、各ケースとも最大到達距離及びばらつきに有意な差が見られない.

次に、到達距離に影響を及ぼすと考えられる物理量として、画像解析による斜面部と平坦部の境界での速度(以下「O 点速度」という。)に着目し、x 方向距離との関係を \mathbf{Z} -3 に示す。O 点速度について、 \mathbf{Z} ケースの斜面方向速度 \mathbf{Z} Vxo は \mathbf{Z} 1.9~4.2m/s、斜面法線方向速度 \mathbf{Z} Vyo は \mathbf{Z} 2.0~-4.8m/s、斜面直交方向速度 \mathbf{Z} Vzo は \mathbf{Z} 0.4~0.9m/s の大きさを示すことを確認できる。同図より斜面方向速度 \mathbf{Z} \mathbf{Z} 7 では正の相関、ケース \mathbf{Z} 7 では正の弱い相関、ケース \mathbf{Z} 7 では負の弱い相関が見られる。

キーワード 岩塊, 転動, 模型実験, 画像解析, 質点解析

連絡先 〒106-8450 東京都港区六本木 1-9-9 六本木ファーストビル

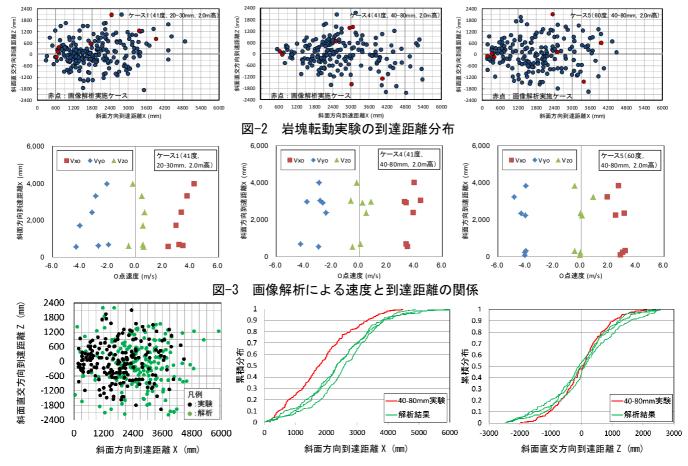


図-4 質点解析による到達距離分布(実験ケース5)

3. 岩塊転動実験の数値シミュレーション

岩塊を質点系の力学モデルに置き換え、岩塊が斜面に衝突する際の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、岩塊の到達距離分布を予測する方法を検討する。入力パラメータは岩塊と斜面との接触を表す凹凸度と反発係数であり、これらは別途実施した要素試験により求めた。実験ケース5の質点解析の結果について、到達距離分布、x方向距離及びz方向距離の累積分布を図-4に示す。解析では、岩塊が跳ね返る際の斜面法線方向ベクトルに与える乱数の種を変えて3回の試行計算を行った。同図の累積分布にはそれぞれの試行計算結果と実験結果を示している。実験結果と比較するとx方向距離について解析がやや大きく、z方向距離について両者は整合している。x方向距離の再現性は凹凸度の設定によって向上すると考えられる。なお、3回の試行計算結果に着目すると、個々の岩塊の経路は異なるものの、累積分布の比較では最終的な到達距離に対する影響は小さく解はおおむね安定している。

4. まとめ

本報では、斜面模型を用いた岩塊の転動実験を実施し到達距離の分布と共に、三次元計測結果による画像解析から岩塊の軌跡と速度時刻歴を求め、各方向に生じる速度を定量的に示した。また、質点解析による岩塊の到達距離分布の予測方法を検討した。実験では斜面方向速度と斜面方向到達距離には相関が見られることを確認した。質点解析では実験の再現性として比較的良好な結果が得られた。今回は限られた数量での画像解析であったため、今後、岩塊の跳ね返り等が到達距離に及ぼす影響度についてデータを増やして分析を進めると共に、質点解析から算定される速度についても入力パラメータの凹凸度や反発係数が与える影響を検証する。

さらに、岩塊の落下高さや崩壊岩塊量等に関して到達距離に影響を及ぼす支配的要因やばらつきの分析を行い、原子力施設周辺斜面のリスク評価に活用する。本研究は原子力施設等防災対策等委託費による事業として 実施したものである、鉄道総合技術研究所をはじめ実験データ取得にご協力戴いた各位に感謝の意を表する。