

岩盤斜面崩壊で生じる岩塊群飛散域の到達距離に及ぼす崩落条件の影響

豊橋技術科学大学 学○宮脇惇 正 内藤直人 正 三浦均也 正 松田達也
豊橋技術科学大学大学院 非 大村拓夢

1. 研究背景と目的

斜面崩壊に関する対策工の設計、維持管理を合理化するために、斜面崩壊が起きた場合の崩壊岩塊の到達距離の予測精度の向上が求められている¹⁾。これまで斜面や崩落岩塊の各種条件が到達距離に及ぼす影響に関する研究が進められているが、これらは岩塊群が集合体として連続的に堆積する領域（以下、堆積域）に関する検討²⁾が多く、岩塊が離散的に点在する領域（以下、飛散域）における評価は進んでいない。しかし、飛散域が構造物に影響を与える可能性は無視できないため、飛散域での検討も必要である。そこで、本研究では、斜面の傾斜角度や流下高さ、岩塊のサイズ等の各種パラメータを網羅的に変化させた岩塊群斜面流動実験（以下、岩塊群実験）を実施し、それらが飛散域に与える影響について検討することとした。また、同様な条件下での単一岩塊落下実験（以下、単一実験）結果と比較し、飛散域の予測可能性について検討した。

2. 斜面崩落実験概要

2.1 実験装置と計測方法

実験は図-1に示す水平面長さ 3m、斜面長さ 2m の斜面勾配が可変な斜面の上にスライド式のシャッター型開放装置を設置し、そこから岩塊群を崩落させた。岩塊は、粒径 4.75~9.5mm（小岩塊）、粒径 9.5~19.0mm（中岩塊）、粒径 19~37.5mm（大岩塊）を用いた。また、流下挙動を確認するために、高速度カメラ撮影を行い、画像処理により岩塊速度を計測した。単一実験も同様の条件で行うものとし、岩塊群実験に使用したものから形状に偏りが無いよう無作為に各サイズ 50 個ずつ抽出して、所定の位置から落下させた。また図-1に示すように岩塊の

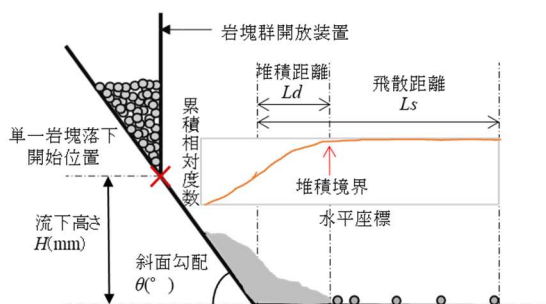


図-1 実験の概略図

堆積形状および個数から質量の累積相対度数を作成しており、岩塊群実験に関しては2.2節に示す全ケースで、堆積域が 99.5%以上の質量を占めている。つまり飛散域は崩落岩塊質量に対して極わずかな質量である。以降、堆積域と飛散域の累積相対度数に分けて議論する。

2.2 実験条件

岩塊群実験では、崩落量 W 40kg、流下高さ H (400, 800mm)、斜面勾配 θ (30, 45, 60°)、岩塊サイズを変化させ、全 18 ケースの実験を行った。単一実験では、落下高さ H (400mm)、斜面勾配 θ (30, 45, 60°)、岩塊サイズ(大・中・小)を変化させ全 9 ケースの実験を行った。本稿では、これら実験の代表的な結果を示す。

3. 実験結果と考察

3.1 岩塊群実験における堆積距離と飛散距離の関係

図-2は岩塊群実験の $H=400$ mm, 800mm, $\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ における堆積距離 L_d と飛散域の中央値 L_{s2} 、第3四分位数 L_{s3} を示している。 $\theta=30^\circ$ では L_d と L_{s3} の間に負の相関がある一方で $\theta=60^\circ$ では L_d と L_{s3} の間に正の相関があり、また、 $\theta=45^\circ$ では L_d と L_{s3} の間に明瞭な相関関係はないことが分かる。これらの崩落条件においては、堆積距離と飛散距離は区別して評価する必要がある可能性を示している。 $\theta=45^\circ$ の流下高さの影響については、流下高さが大きくなると堆積距離と同様に飛散距離も大きくなることが分かり、堆積距離と飛散距離の関係に及ぼす流下高さの影響は小さい可能性がある。

3.2 岩塊群実験の飛散特性と単一実験結果の比較

3.2.1 岩塊サイズと流下高さの影響

図-3は $H=400, 800$ mm, $W=40$ kg, $\theta=45^\circ$ における異なる各岩塊サイズの飛散域、単一岩塊の到達距離と累積相

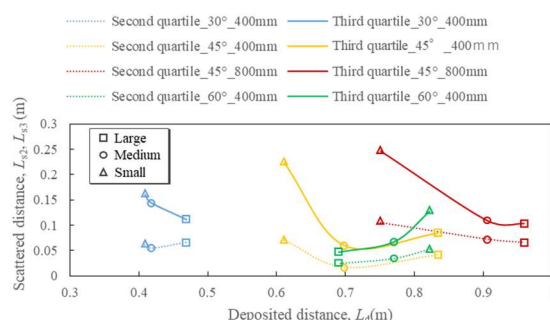


図-2 堆積距離と飛散距離の関係

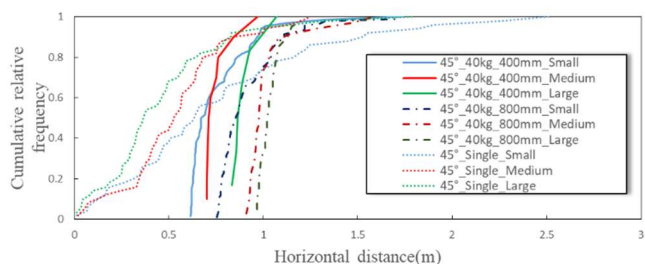


図-3 $H=400\text{mm}, 800\text{mm}$, $W=40\text{kg}$, $\theta=45^\circ$ の累積相対度数

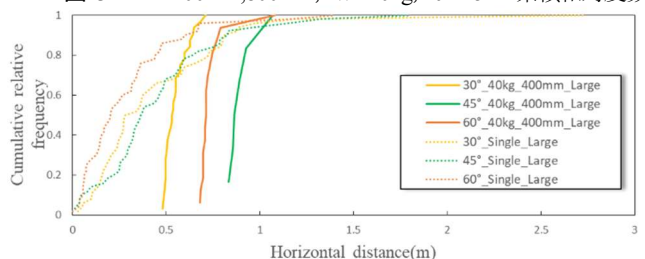


図-4 $H=400\text{mm}$, $W=40\text{kg}$, 大岩塊の累積相対度数

対度数の関係を示す。これより、岩塊群の飛散域と単一岩塊共に小岩塊が最も分布範囲が広がることが分かる。また、岩塊群飛散域における大、中岩塊は、堆積境界から $0.25H$ の範囲に飛散域の質量の 8 割が収まり、小岩塊では堆積境界から流下高さと同程度の範囲に 9 割が収まる。これより大、中岩塊では岩塊サイズが変化しても飛散距離は同程度であり、小岩塊では飛散距離が大きくなると言える。これは、単一実験と同様の傾向であり、飛散域の岩塊は単体挙動となる可能性が考えられる。また、流下高さ 800mm も大、中岩塊は $0.25H$ 、小岩塊は流下高さと同程度の範囲に飛散域の大部分が収まる。

3.2.2 斜面勾配による影響

図-4 は $H=400\text{mm}$, $W=40\text{kg}$, 大岩塊における異なる各勾配の飛散域および単一実験の累積相対度数の関係を示す。図-4 より、飛散域において斜面勾配が変化しても大、中岩塊では飛散域の大部分が堆積境界から $0.25H$ の範囲に、小岩塊では堆積境界から流下高さと同程度の範囲に岩塊が収まる。よって、岩塊サイズが同一の条件では飛散距離分布は斜面勾配に依らない可能性がある。これは、単一実験の傾向と一致しており、飛散域の岩塊は単体の挙動をしている可能性が高いと言える。

3.2.3 岩塊群飛散域の速度減衰過程

図-5 は単一実験及び、岩塊群実験の集合体挙動から離散的挙動へ移行してからの岩塊の速度減衰過程を示している。岩塊サイズに着目すると、転動挙動による速度減衰率は大岩塊の方が小さいため飛散距離は大きくなると考えられるが、中岩塊は跳躍挙動に伴い速度が一定の区間が比較的多く存在するため、飛散距離は岩塊サイズによらず流下高さに対して一定の割合に収まると考

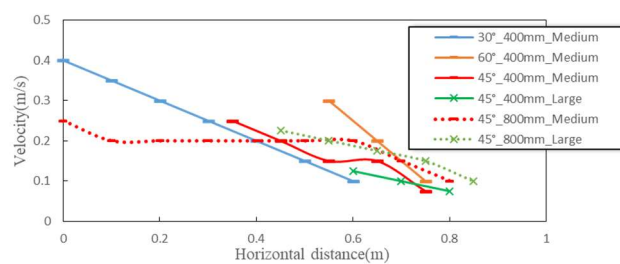


図-5 岩塊の速度減衰過程

えられる。また、岩塊群実験の飛散域に相当する単一実験の到達距離は中、大岩塊で同程度であることから、飛散域は粒子単体として挙動していると考えられる。

また、斜面勾配に着目すると、離散的挙動に移行する地点は $\theta=30^\circ$, 45° , 60° の順に斜面法尻から遠くなる。これは集合体としての流下挙動が関係していると考えられる。 $\theta=30^\circ$ では流動層厚が薄いため斜面法尻から離散的挙動に、 $\theta=45^\circ$ では先端の岩塊は後続の岩塊に押し出された後に離散的挙動になる。 $\theta=60^\circ$ では先に到達した岩塊が斜面法尻に多く堆積し、後続の岩塊はこれらを上り越えた後に離散的挙動になる。そのため離散的挙動に移行する際の岩塊の水平面に対する衝突角は $\theta=30^\circ$, 45° , 60° の順に大きくなる。よって、斜面勾配が大きくなるほど離散的挙動に移行する位置が斜面法尻から遠ざかり、跳躍挙動による水平面法線方向のエネルギー損失が大きくなる可能性が考えられる。また、流下高さは岩塊の速度減衰率に影響を与えない可能性が明らかとなった。

4. 結論

本研究では、岩塊群の到達距離評価に向けて斜面勾配、流下高さ、岩塊サイズなどのパラメータの組み合わせが堆積距離と飛散距離の关系到及ぼす影響を調べた。その結果、斜面勾配、岩塊サイズが大きいほど堆積距離が大きくなるものの、飛散域では離散的挙動となるため必ずしも堆積距離と飛散距離の間に相関関係はないことを示した。一方で、流下高さが変化しても飛散域は堆積境界から流下高さに対する一定の範囲に収まることを明らかとした。また、飛散域における岩塊の挙動は単一岩塊落下実験から得られる傾向と定性的に一致する可能性を示した。以上より、飛散域の大部分については、岩塊サイズや流下高さからその到達距離を予測できる可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) 栃木ら：電力中央研究所報告, N096021, 2010.
- 2) MANZELLA ら：CRC Press, p.1259-1265, 2010.