異なる斜面勾配が法尻における岩塊群の速度減衰挙動に及ぼす影響とその流況分析

豊橋技術科学大学 学〇山田泰弘 非 大村拓夢 豊橋技術科学大学 正 内藤直人 正 松田達也 正 三浦均也

1. はじめに

斜面防災工を合理的に設計,維持管理するために は崩壊時の堆積範囲を高精度に予測することが求め られる. 著者らは、岩盤斜面崩壊時の堆積距離は、斜 面法尻において岩塊群の速度がゼロとなる領域(以 下, デッドゾーン)の発生条件の影響を受けている可 能性に言及している¹⁾. しかし, デッドゾーンの発生 条件は解明されておらず、その時の内部挙動の変化 を分析するには実験的検討では限界がある.

そこで本研究では、傾斜角度を変化させた3次元 個別要素法(以下, DEM)解析²⁾を行い,速度分布や 荷重分布, 流況の分析指標である Savage number を用 いて, 岩塊群が斜面を流下し水平面に衝突したとき の内部挙動の変化やデッドゾーンが形成させる要因 を調査することとした.

2. 解析概要

2.1 解析条件

本研究では岩塊群崩落実験 1)の図-1 に示す斜面勾 配 45°, 60, 崩落量 80kg, 崩落高さ 80cm のケースを 対象に数値解析を実施した. 岩塊形状は図-1 左上に 示すモデル 2)を用いている. 岩塊サイズおよび質量 分布は岩塊群崩落実験 いに合わせて、粒子1つ当た りの平均質量は28.19g である. 岩塊の反発及び摩擦 試験と感度解析の結果、粘性係数は岩塊間で 0.26、 岩塊-斜面間で 0.64, 摩擦係数は岩塊間で 0.466, 岩 塊-斜面間で 0.325 とした.

2.2 流況の分析指標 Savage number

本研究では、斜面を流下する岩塊群の内部挙動を



図-1 解析概要

分析するために、Savage number³⁾を用いる. 定義より, N_{sav} > 1は衝突による挙動が支配的, N_{sav} < 0.1は摩 擦による挙動が支配的であると分類できる. 当該指 標の式は以下に示す.

$$N_{sav} = \frac{\dot{\gamma}^2 d^2}{gH \cdot \tan \phi'} \tag{1}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{v_x}{H} \tag{2}$$

ここで、 $\dot{\gamma}$, g, H, tan ϕ' は岩塊群のせん断速度, 重 力加速度, 層厚, 内部摩擦角, である. せん断速度は 岩塊群の表層の速度vxを用いて求められる(図-2). 本検討では斜面-水平面を図-1 中に赤色で示す範囲 に分割し,区間ごとにオイラー型観測による岩塊群 の流況分析を行った.

3. 解析結果及び考察

3.1 速度分布

図-3 は粒子単位の速度分布を比較している. 図中 には斜面流動開始時を t=0s とした時刻を表記してい る.斜面勾配 45°では、水平面衝突後は法尻から斜 面上方に向かって 0.2m から 0.4m の範囲の岩塊は約 3m/s で斜面を流下し、後続の岩塊群が先端の岩塊群 を押し出していることがわかる. 斜面勾配 60° で は、水平面衝突後、法尻付近において実験¹⁾で観測 されたデッドゾーンが生じることを示した. また, 時間経過とともにデッドゾーン近辺に約1.5m/sの低 速度領域が拡大し、それらを乗り越えるように後続 の岩塊が流下することがわかった.



図-2 Savage number の定義



(b)斜面勾配 60° 図-4 オイラー型観測による Savage number と流動層厚

3.2 Savage number

図-4 には、各区間のオイラー型観測によって得られた Savage number と流動層厚の経時変化を示している.これより、流動層厚の増加に伴って、Savage number が減少傾向にあることがわかる.また、斜面勾配 45°では水平面衝突後の t=0.6s 以降で Savage number は緩やかに減少しているのに対し、斜面勾配 60°は、t=0.5s 以降急激に減少し、その後は一定時間 ほぼ同じ値を保ち続けることがわかった.斜面法尻



a)科面勾配 45° (D)科面勾配 60 図-5 岩塊単位の接触力分布

で岩塊群が乗り越え挙動に変化する際に,岩塊群先 端の下層の岩塊が圧迫されることで岩塊同士の摩擦 による挙動が支配的となり,岩塊同士がかみ合うこ とでデッドゾーンが形成させる可能性が考えられる. また,急勾配を流下する岩塊群は,水平面から斜面の 一部範囲にかけて摩擦が支配的な流況となっている.

3.3 接触力分布

図-5 は粒子単位の接触力分布を示している.この 結果より斜面勾配 60°は水平面衝突後,法尻から斜 面上方に接触力が伝播していることがわかる.また, 接触力の増加に伴って,Savage number が減少傾向で あることがわかった.これより,急斜面では,岩塊群 が水平面衝突後にデッドゾーンを形成し,後続の岩 塊群が乗り越え挙動に転じる際に,斜面上方に位置 する後続の岩塊群に向けて接触力が伝播し,摩擦が 支配的な流況となることが明らかとなった.

4. 結論

本研究では、デッドゾーンの発生が堆積距離に及 ぼす影響を分析するために、傾斜角度を変化させた 数値解析を実施し、岩塊群の内部挙動を分析した.そ の結果、斜面法尻で岩塊群が乗り越え挙動に変化す る際に、岩塊群先端の下層の岩塊が圧迫されること で岩塊同士の摩擦による挙動が支配的となり、岩塊 同士がかみ合うことでデッドゾーンが形成させるこ とがわかった.また、デッドゾーンの発生は斜面法尻 のみならず、斜面上流側を含めた広範囲にわたって 速度減衰を促進する可能性があることを示した. 参考文献 1)大村ら、第33回中部地盤工学シンポ ジウム論文集、講演番号 2-6,2021. 2)山田ら、令和 2年度土木学会中部支部研究発表会講演集、III-17, 2021. 3) S.B. Savage, et. al., applied mechanics, Vol.24, pp. 289-366, 1984