

待受け対策工に作用する斜面崩壊土砂の衝撃応力発生メカニズム

豊橋技術科学大学 学 ○高坂晏志 正 内藤直人 正 松田達也
 名古屋工業大学 正 前田健一 学 木村絢
 株式会社ライテック 正 難波正和

1. 研究背景と目的

降雨等により斜面表層土が飽和状態に至る前の不飽和状態で小規模な崩壊が発生することがあり、斜面法尻に待受け対策工が設置される場合がある。対策工を経済的に設計、維持管理するために土砂の流下挙動や衝撃力の発生メカニズムを解明する必要がある。

本研究では、粒子間の付着・再付着が可能な簡易付着モデル¹⁾を導入した個別要素法²⁾ (Discrete Element Method, 以下 DEM) を用いて、斜面法尻に設置した剛壁に作用する衝撃力とモーメントの時刻歴波形や衝撃応力分布を分析し、土砂流動挙動と衝撃応力の発生メカニズムについて考察を行う。

2. 実規模土砂流下実験概要³⁾

図-1 に示すように土砂 50 m³ を流下高さ約 29 m、勾配 50°の斜面から流下させる実験を実施した。流下させる土砂は「細粒分まじり砂質礫」で、平均粒径 3.2 mm、均等係数 352 であり、流動性を高めるため実験直前に加水し、単位体積質量が約 1600 kg/m³ の初期条件で崩壊装置に堆積させた。また、図-1 中に実験斜面の寸法を示している。

3. DEM解析概要と再現解析

3.1 粒子間付着モデル

本研究では、模型実験や実物大スケールのマクロな付着挙動を解析することを目的とし、ある程度の塊となった砂粒子群と別の砂粒子群が接触した際に生じるマクロな引張力を付着現象としてモデル化することとした。本モデルでは、接触直前の粒子において、粒子半径に対応した微小範囲(付着影響半径 r_c)に引張ばねを導入している¹⁾。

3.2 解析条件

境界粒子の配置条件は図-1 に示すとおりである。斜面には数十 mm 程度の起伏がある一方で水平面は目立った起伏がなかったため、斜面より水平面の粗度を滑らかな条件とすることとした。斜面粗度を再現するた

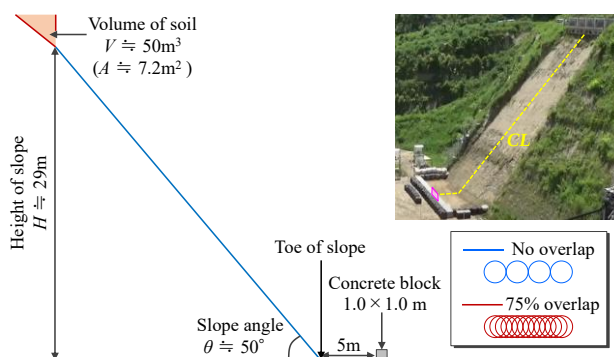


図-1 斜面の概要

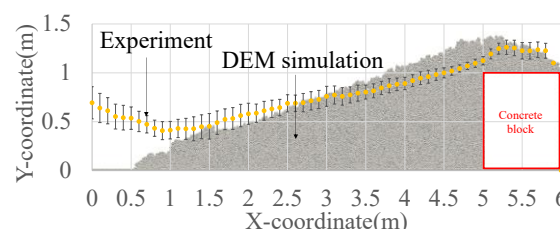


図-2 実験と解析の最終堆積形状

めに境界粒子のオーバーラップ率を変化させている。斜面の粒子間ラップ率は0%, 水平面と崩壊装置はラップ率75%で直線に粒子を配置した。

解析に用いた粒子パラメータは既往研究¹⁾を参考に最大粒子直径 0.02 m、最小粒子直径 0.01 m、法線方向ばね定数 2×10^7 N/m、接戦方向ばね定数 5×10^6 N/m、単位体積質量 1600 kg/m³ (間隙比 $e = 0.52$)、減衰定数 1.0、摩擦係数 0.466 ($= \tan 25^\circ$)、付着影響半径係数 0.001 とした。付着力を表現する付着影響半径 r_c は、土砂流下実験直前に実施したスランプ試験による土砂変形挙動を再現するパラメータを用いた。

3.3 実規模土砂流下実験の再現解析結果

図-2 は土砂流下後の最終堆積形状を示している。土砂が集合体として連続して堆積した長さは、実験が 14-15 m 程度、解析結果では 14.5 m となり、本解析モデルは堆積形状を概ね再現可能であると言える。

4. 剛壁に作用する衝撃応力の分析

4.1 剛壁に作用する水平衝撃力とモーメント

図-3 は $t = 4.6$ s における粒子単位の法線方向接触力⁴⁾を示しており、層厚等の測定位置を併記している。赤・

キーワード 崩壊土砂 衝撃力 個別要素法

連絡先

〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 D 棟 D-803

豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 内藤 直人 TEL 0532-44-1301

黄で示す領域は幅 0.4 m とし、領域内の平均層厚を測定した。また、黄で示す領域の左端は剛壁に作用する衝撃応力の起点（以下、衝突起点）としている。

図-4 上は斜面法尻から流下方向に 5 m の位置に設置した剛壁に作用する水平衝撃力とモーメント、その作用高さの時刻歴波形を示しており、図-4 下は流動層厚及び壁面と衝突起点の水平距離の推移を示している。 $t = 4.4$ s で群として流れる土砂の先端が壁面に到達し、 $t = 4.5$ s で水平衝撃力・モーメントが最大となり、その力は $t = 5.6$ s まで継続する。壁面付近に堆積する土砂量の増加に伴ってモーメントの作用高さは増加し、 $t = 4.6$ – 4.7 s で最大 0.4 m 程度となり、その後継続する。これらは、 $t = 4.5$ – 5.6 s の間、衝突起点における流動層厚が一定であることと関連するものと推察される。

法尻の層厚は $t = 5.4$ s まで概ね一定であり、定常な流れが剛壁や堆積土砂に衝突していることが確認できる。 $t = 5.5$ s から層厚の減少とともに徐々に流れが乱れ始め、水平衝撃力やモーメントのばらつきが大きくなった。壁面と衝突起点の距離 L は、剛壁への衝突が始まった $t = 4.4$ s から土砂の堆積に伴って徐々に増加し、 $t = 5.1$ – 6.0 s では距離 L は概ね一定となる。この時間帯では、粒子が剛壁を乗り越える挙動となることで剛壁付近に堆積し難いためと考えられる。 $t = 6.1$ s から再び距離 L が増加し、それに伴って水平衝撃力・モーメントが減少していく。 $t = 6.5$ s 以降は衝突の影響はほとんどなく、静止土圧が作用する。

4.2 水平衝撃圧力分布

図-5 は剛壁に作用する水平衝撃圧力を高さ 0.1 m 毎の分布で示したものである。 $t = 4.4$ – 4.9 s では流れが直接壁面へ作用しており、壁面に作用する応力も大きく、その圧力分布は局所化している。 $t = 5.1$ s 以降は応力分布が大きく変化しない。これは流れが壁面に直接作用するのではなく、後続する土砂が堆積した土砂を介して壁面にその力が伝達しているためと考えられる。また、 $t = 4.5$ – 5.4 s では、水平衝撃力・モーメントが概ね一定であることから、壁面へ直接衝突する作用と堆積土砂を伝達する作用は構造物に同程度の影響を与えると考えられる。

5. 結論

本研究では、壁面に作用する水平衝撃力・モーメントについて、流動層厚や壁面と衝突起点の距離の推移、水

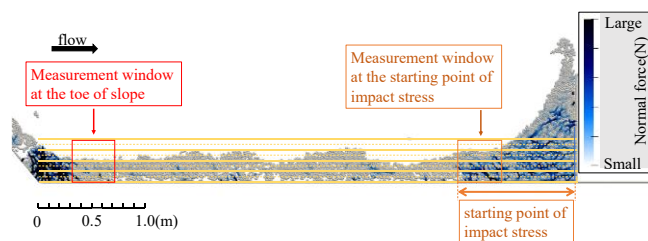


図-3 層厚及び衝突起点の測定位置($t=4.6$ s)

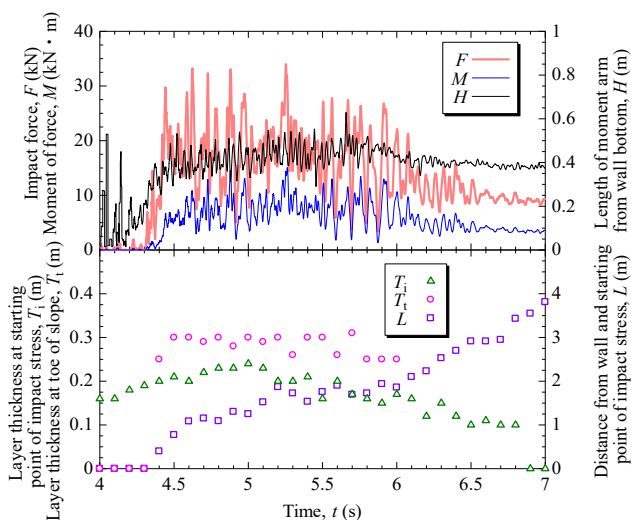


図-4 水平衝撃力 (F)・モーメント (M)・モーメントの作用高さ (H)・層厚 (T_i , T_t)・壁面と衝突起点の距離 (L) の推移

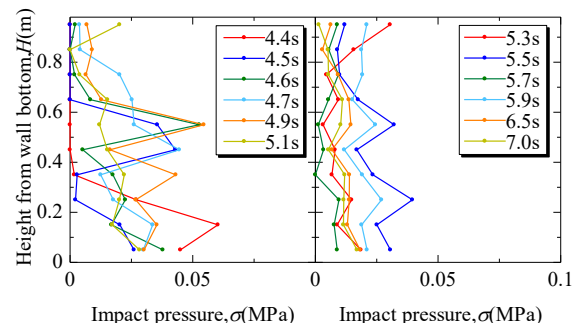


図-5 水平衝撃圧力の時刻における分布

平衡圧力分布から考察を行った。

その結果、衝突起点の位置や層厚が概ね一定となる定常的な流れが継続する間、壁面に作用する水平衝撃力やモーメントは一定となることがわかった。また、堆積した土砂を媒介して壁面に作用する力は、直接衝突する力と同程度の影響を持つことを明らかにした。

参考文献

- 1) 高坂ら, 第 66 回理論応用力学講演会講演集, OS4-3-02, 2022.
- 2) Cundall et. al., Geotechnique, Vol.29, No.1, pp.47-65, 1979.
- 3) 木村ら, 令和 3 年度土木学会中部支部研究発表会, III-26, 2022.