

研究成果報告書

研 究 題 目		斜面を流下する粒状体の運動と堆積に関する数値解析法の開発	実 施 年 度 2018 年度
代 表 研 究 者	所 属	鳥取大学大学院工学研究科 社会基盤工学専攻	
	氏 名	西 村 強 印	
<p>1. 研究の目的・背景</p> <p>豪雨そして地震を誘因とする斜面災害が発生している。安定化には力学的な対策が必要であるが、財政的な制約から十分なハード対策を施すには困難な状況にある。ソフトな対応、例えば防災点検の実施は素因（急傾斜，地盤の強度不足）を有する地点の抽出に有効であるが、安定化対策実施の優先順位付けに際しては、想定される実現象について、経験則のみならず力学ツールを利用して客観的な評価を進めるべきと考える。2015年に発生した広島豪雨災害では、3度の崩壊が連続して発生し、先発の崩壊により発生した法尻部の地形変化のため、後発の崩壊による土砂は運動方向を大きく変えた可能性が指摘されている。崩壊総土量が同一であっても、崩壊形態により到達域・堆積形状が大きく異なることを想定しなければならない。この想定に対して、法尻部に先着した土砂が形成した堆積域の上を後続の土砂が移動すると単純化し、斜面を滑動する2つの質点の運動として土砂の流下と停止を表現する手法の定式化を実施する。この定式化による到達域の算出には、反発係数，斜面との摩擦係数そして流下する総土砂量の分割比が入力パラメーターとなる。これらのパラメーターを流下する土砂の総運動エネルギーの時刻歴を表現するものとして設定し、その設定に対して算出される質点の到達点ならびに構造物への衝撃力の算出を可能にするモデル開発を目指す。この目標を達成する手順として、まず、斜面を流下する砂の到達域に関する室内模型実験を実施する。次に、斜面傾度と到達距離の実験結果を再現する質点モデルの試行およびそれへの入力値のパラメトリックスタディを行う。衝突・乗り越えの2モードのうち、いずれかを卓越させることにより到達域を良く表現する質点モデルを選択する。次に、遷緩点における土砂の運動の特徴，運動エネルギーの時刻歴の把握を目的として、個別要素法(DEM)を導入する。解析の対象は模型実験となるが、DEMで出力される全要素の総運動エネルギーの時刻歴を表現する（前記の）質点モデルへの入力パラメーター特に摩擦係数は粒状体モデルのエネルギー損失を表すものに相当する。これらの手順を通して、土砂崩壊時の到達域の代表点（重心や先端など）を推定する力学モデルの構築を実施する研究である。</p>			

1. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

以下には、項目ごとに成果を記載する。

<項目 1：楕円形要素を用いた DEM プログラムの作成と流下土砂の運動解析>

楕円剛体要素の集合体を用いた個別要素解析プログラムの開発した。多角形要素にみられる頂点と重心の位置関係に左右される不規則な接触-反発運動の発生を除去するため、形状を連続な曲線として表現できる楕円体を選んだ。2要素の接触判定では3次方程式を解く必要があるため、数学的な手法として Cardano の解法を導入した。下の図 1 のように、緩斜面への入射により減速した要素群の上を後続の要素群が運動することにより到達域が大きくなることが示された。この結果より申請内容を達成した。

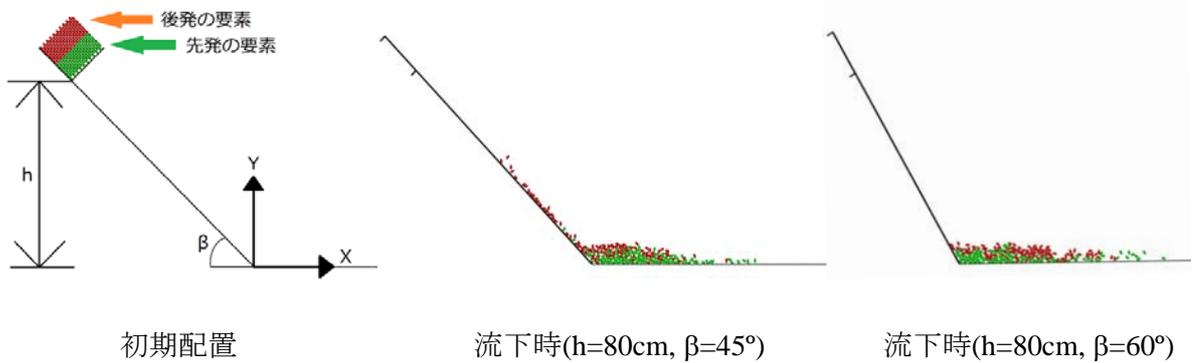


図 1 楕円要素の初期配置と運動状況（DEM 解析結果）

<項目 2：堆積形状に関する室内模型実験と質点の滑動による流下運動のモデル化>

計画書に記載の内容に沿い、室内模型実験を行った。斜面傾度に対する到達距離 D_E （斜面下端からの流下方向の最大到達距離）、到達幅 W_E の結果を図 2、図 3 に示す。この図では、砂試料の体積 V の $V^{1/3}$ を用いて D_E 、 W_E を無次元化している。 D_E の推定には、 $V^{1/3}$ つまり崩壊土量と同体積の立方体の一辺長が有用な指標であると示唆している。この結果より申請内容を達成した。

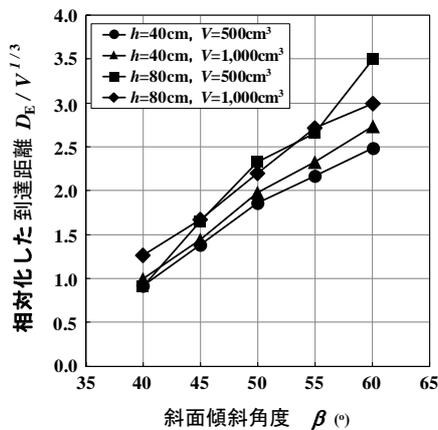


図 2 模型実験から得た斜面傾度と到達距離

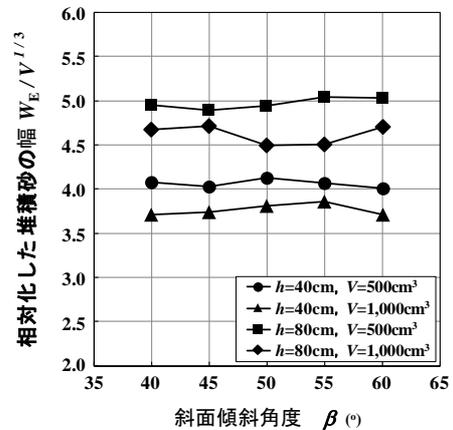


図 3 模型実験から得た斜面傾度と到達幅

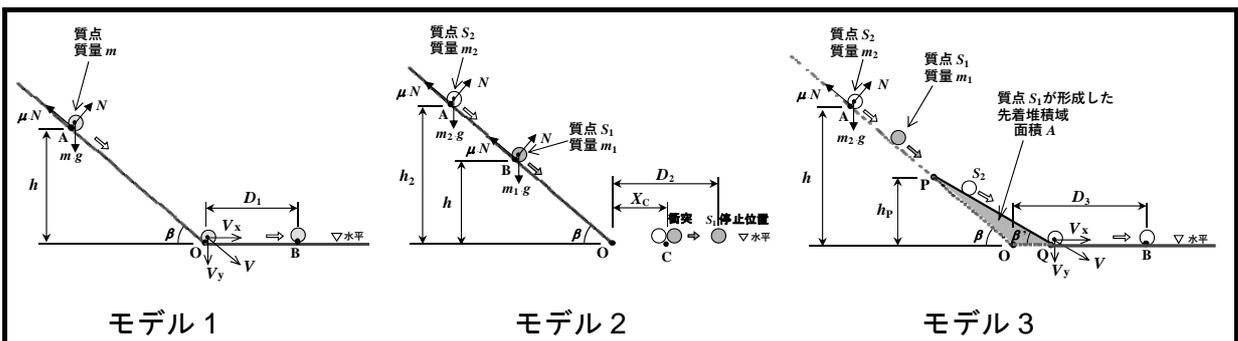


図 4 到達距離算出のための質点モデル

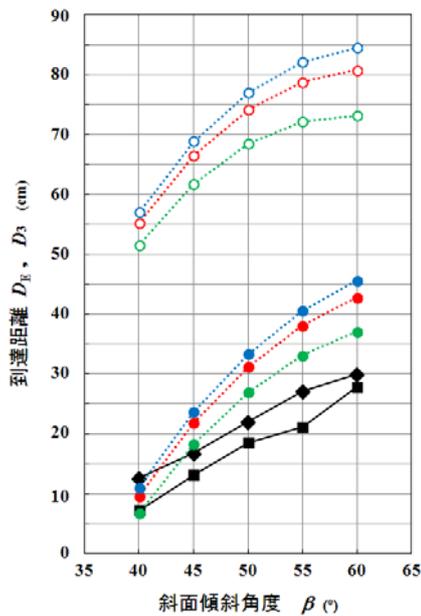


図 5 モデル 3 による D_E の算出例
(● : 実験, ●●● : 解析)

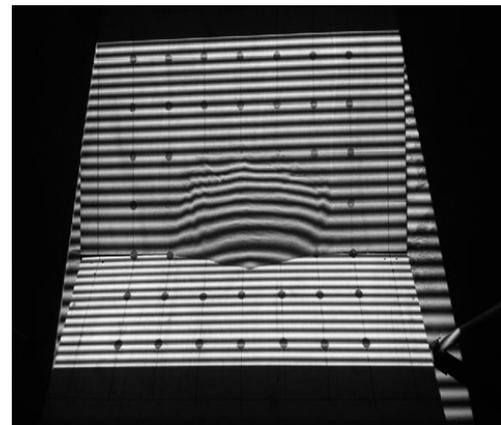


図 6 堆積砂への Fringe 縞の投影

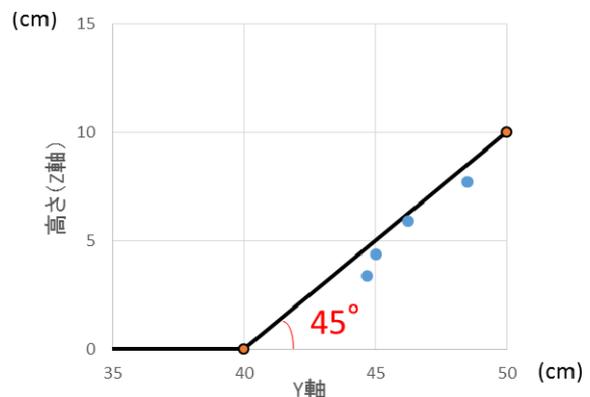


図 7 計測結果

(● : 測定値に基づく解析結果)

図 4 に示す 3 つの質点モデルを試みた。図 5 に示す結果よりモデル 3 つまり遷緩点における土砂の速度変化，堆積を表現するモデル化が実験結果をよく表現するという結論を得た。申請内容を達成した。堆積した砂に Fringe 縞を投影した一例を図 6 に

示す。堆積前後の Fringe 縞の変化から形状の変化を定量化（高さ変化など）する。図 7 に測定例を示す。この測定では，図 6 に示す通り板上に標点を格子状に描き，板上の位置と画像内の Pixel 値との照合に用いた。画像処理作業では，学内共同利用の MATLAB の機能が利用できたが，対象物のエッジ抽出にサブルーチン使用権限の購入が必要になった。図 7 の結果が示す通り計測手順，画像処理手順は完成したが，撮影対象物を砂とすると，計測値に

乱れが発生しやすい結果となった。砂表面における散乱等の影響と判断されたので計測値の移動平均を求めるなどの平滑化手順を実施しているが、さらなる高度化が検討課題となった。待受け工などの構造物に土砂が作用させる力を計測する模型実験を **図 8** に示す。この計測は、擁壁に見立てた模擬板に生じる加速度を計測し、運動の法則に基づいて作用力を求めようとする内容である。購入した機器で十分な精度の計測が可能であり、実験と DEM 解析の比較も可能なことがわかった。一方、板の回転さらには計測値の乱れに対する処理が必要であり、細部には検討課題がある。

堆積形状に関する室内模型実験と質点の滑動による流下運動のモデル化ならびに楕円形要素を用いた DEM プログラムの作成と流下土砂の運動解析について研究目標を達成した（達成度 100%）。模型実験における計測値（堆積形状，作用土圧）の再現には概ねの成果を得ているものの、解決すべき課題を見出している。このことより、後者については達成度 100%とは言えないが精度向上に関する点であり、研究全般としては設定目標を達成していると判断している。



図 8 衝撃土圧の実験状況

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

助成総額（総計：1,000 千円）に対する使用状況及び内訳は以下のとおりである。

備品費（小計：323 千円（申請額 300 千円））については、申請した機器：データ計測レコーダーを購入した。消耗品費（小計：510 千円（520 千円））は、加速度計をはじめとして斜面模型枠材料、同作成用補助材など模型実験用の材料や用具を購入した。これ以外は Fortran ソフト、画像解析用のツールボックスの購入に使用した。画像解析は鳥取大学内共用ソフトである MATLAB で実施できるが、作業自体にはツールボックスをオプションとして追加購入する必要があった。この他コンピューター関係消耗品（プリンタートナー外）に使用した。旅費（155 千円（200 千円））は、土木学会あるいは地盤工学会主催の国内研究発表会における発表および資料収集のために使用した。その他経費（10 千円）は、国内学会への参加用である。これ以外への費目の支出はない。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

文献調査に基づけば、既存のモデルは一質点の運動とするモデル化により到達域の推定がなされている。本研究で提案・導入した二つの質点の運動によるモデル化は、勾配が大きくなるにつれて到達域が大きくなる傾向を表現していることから、到達域推定の観点から意義があると解釈している。一方、到達域を数値化し、その推定あるいは予測をするとき、“到達域”を代表する指標、例えば堆積部の先端あるいは重心などの位置を検討する必要があると考えられる。この研究で開発した個別要素解析では粒状体を構成する粒子の運動エネルギーの総和を出力できる。この運動エネルギーの総和と、一つあるいは二つの質点とするモデル化の運動エネルギーの変化・対応関係を観察すれば、質点解析における解析定数の意味、用いるべき数値の考察ができると考えている。本研究をさらに発展させて、斜面防災にさらなる貢献できるようモデルの更新を図る。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

堆積形状に関する室内模型実験と質点の滑動による流下運動のモデル化については、学会誌への投稿を予定している。楕円形要素を用いた DEM プログラムの作成と流下土砂の運動解析について研究目標を達成しているが、模型実験における計測値（堆積形状、作用土圧）の再現には解決すべき課題を残している。検討期間を設けて学会誌への投稿を実施予定である。