

(様式2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 土田 章仁 印

題 目 斜面崩壊土砂の運動と堆積に関する研究

学位論文の概要及び要旨

本論文は、斜面崩壊を対象として、質点モデルによる崩壊土砂の到達距離予測手法の開発に向け、斜面法尻部（遷緩点）などの勾配変化点における崩壊土砂の運動状態の変化が崩壊土砂の堆積域、堆積形状に与える影響を検討し、質点の滑動で崩壊土砂の到達距離の予測解析を進める上での運動経路について研究したものである。乾燥砂を用いた室内模型実験と個別要素解析（DEM）により、斜面を流下する粒状体の堆積域、堆積形状および遷緩点における重心経路の情報、運動エネルギーの変化に関して検討した。斜面傾斜角度などの因子が堆積形状に与える影響を示すとともに、質点の滑動による崩壊土砂の到達距離の予測では、斜面の原形状を質点の滑動経路とするのではなく、遷緩点付近における粒状体重心位置の運動経路を想定しながら解析を進める必要があることを示している。

近年、豪雨災害や地震を誘因とする斜面災害が多発している。財政および人的資源に制約のある中で、今後さらに効果的、効率的に防災対策を推進していくためには、ソフト対策の充実が重要である。がけ崩れによる土砂災害時の斜面崩壊の特徴は、崩壊土砂の到達時間が非常に短いことであり、そのソフト対策では危険区域設定のために崩壊土砂の到達域を予測する必要がある。この予測では、質点モデルのような理論構成やパラメータ設定が容易な手法が実務では望ましい。崩壊土砂の到達域は、斜面法尻部の初期地形だけでなく、法尻部に堆積した土砂の形状や堆積の過程にも影響を受けていると推察される。このため、崩壊土砂の到達距離の予測では、斜面法尻部における土砂の運動状態の変化が到達域に及ぼす影響の評価が重要となる。

崩壊土砂の到達域に与える因子には、崩壊土砂の体積や斜面傾斜角度などが挙げられる。実際の崩壊事例での到達域に関するデータは、複数の因子が同時に影響した結果であり、各因子の個別の影響の評価が難しい。このため、乾燥した砂試料を用いた室内模型実験により、砂試料の体積、設置高さ、および、斜面傾斜角度が砂の到達域に与える影響について検討した。さらに、質点による到達距離の予測モデルを考えるにあたっては、土砂の堆積形状と重心位置についても考える必要がある。このため、Fringe画像投影とその画像解析によって実験時の堆積砂の形状と重心位置を求めた。これらの実験から、水平面に堆積した砂試料の堆積形状、流下方向の到達距離および重心位置は、流下させた砂試料の体積、設置高さだけで

なく、斜面傾斜角度の変化にも大きな影響を受けていることを示した。また、到達距離の推定には、崩壊土砂量と同体積の立方体の一辺長が有用な指標になることが示唆された。

遷緩点付近における崩壊土砂の運動状態の変化が到達域に及ぼす影響について、滑動による質点モデルを用いて検討を行った。遷緩点付近における土砂同士の衝突運動と土砂の乗り越え運動を表現する2つのモデル化を実施した。両モデルの計算値を実験結果と比較するとともに、土砂の衝突あるいは乗り越え運動の到達域への影響を検討した。その結果、乗り越えモデルでは、斜面傾斜角度（ $40\sim 60^\circ$ ）の範囲において、到達距離が斜面傾斜角度の増大とともに大きくなるという実験の傾向が表現できた。一方の衝突モデルでは、この実験結果の傾向を説明できなかった。両モデルの運動経路に関する考察から、到達域の推定では、崩壊土砂の運動とその結果として生じる運動経路の変化に留意が必要であることを示した。しかし、乗り越えモデルでも、実験結果の説明が成立しないところがあった。これら2つのモデル化は衝突や乗り越え運動に特化したものである。実現象では、壁面や粒状体中の要素同士の摩擦と衝突の影響で運動経路に変化が生じていることが考えられる。また、粒状体を1つの質点と見なす場合、質点位置は粒状体の重心位置を代表している。これらのことから、斜面を流下する土砂の運動を考える上では、粒状体の運動エネルギーの変化や粒状体の重心位置の運動経路に関する情報が必要と考えた。

このため、室内模型実験と同寸法で、楕円形要素を用いたDEMによる2次元の粒状体の流下シミュレーションを行い、斜面を流下する粒状体の重心位置の運動経路とエネルギーの変化について検討した。その結果、遷緩点付近では、運動エネルギーの減少とともに、粒状体の重心位置の運動経路にも変化が生じており、斜面傾斜角度が大きい場合には、その影響が大きいことがわかった。さらに、粒状体の重心位置の運動経路は、遷緩点付近で凹状の形状を示し、斜面の原形状に沿った経路とはならないことがわかった。この事実を立てば、質点の滑動による崩壊土砂の到達距離の予測解析では、重心位置の運動経路を表現できる新たな計算方法が必要と考えた。

以上の結果を受けて、粒状体の重心位置の運動経路を質点の滑動経路とするモデル化を実施した。質点の滑動経路には、DEM結果の粒状体の重心位置の運動経路を用いた。このモデルの計算値とDEMによる粒状体堆積後の重心位置および模型実験の堆積砂の重心位置を比較した。その結果、このモデル化によって粒状体および乾燥砂の重心位置の運動を質点の運動として表現可能であることを示した。以上の結果から、斜面崩壊による土砂の運動を質点モデルで解析するときには、斜面の原形状を質点の滑動経路とするのではなく、粒状体の重心位置の運動経路を想定しながら解析を進める必要があることを示した。