

[別紙 2]

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 大倉 陽一

山地で発生する土砂災害の多くは、崩壊土砂が流動化し、時には土石流化してその到達距離を伸ばすことによって被害を大きくすることが多い。しかしながら、崩壊土砂の流動化の問題は非定常問題であり、流動化の機構やその結果としての土砂の到達距離に関する研究は、崩壊発生機構の研究等と比較して、多くはない。本研究は、崩壊の流動化機構と崩土の到達距離の予測精度を向上させるための基礎的知見を明らかにしたものである。

第 1 章及び第 2 章では、崩壊の流動化に関する既往の研究を整理し、まず、落石・岩屑雪崩等の“乾いた崩壊”に関しては崩壊土粒子あるいは岩屑ブロック相互の衝突に基づく分散力と有効応力の減少による Grain flow model が、豪雨性崩壊などの“濡れた崩壊”に関しては、過剰間隙水圧による崩壊土粒子間の有効応力減少による Excess pore-pressure model が、流動化のメカニズムを適切に説明できる可能性を指摘した。また、土砂の粒状性が流動化メカニズムに大きく影響していることを勘案して、粒状体モデルによる数値シミュレーションの潜在的有効性も指摘し、具体的な研究目的として、流動化発生メカニズムを“実証的に”解明することを中心に、粒状体モデルによる到達距離予測モデルを開発すること、その他到達距離予測に関する基礎的知見を得ること等を挙げた。

第 3 章では、まず、剛性粒状体モデルを用いて乾いた崩壊運動の数値シミュレーションモデルを開発した。一方で、物理性の異なる各種ビーズを用いた崩壊モデル実験を行ない、実験結果と先の開発モデルによる数値シミュレーション結果を比較した。その結果、両者に有意差がないことを確認して数値シミュレーションモデルの妥当性を証明するとともに、①崩壊到達距離は粒子密度に影響されないが、転がり摩擦係数ならびに動摩擦係数と負の相関関係にあり、両係数のうち、より小さいものに規定されて到達距離が決まる。②斜面上を流下してきた粒子が堆積面上に衝突する際に、垂直方向の運動エネルギーが消散されるため、到達距離は斜面傾斜と負の相関関係にある、等の知見を得た。

第 4 章では、崩壊体積の増加による流動化発生メカニズムを、モデル斜面を用いた落石実験ならびに第 3 章で開発された数値シミュレーションモデルを用いて、明らかにした。すなわち、長さ 5.6m、平均傾斜 32 度で、表面に花崗岩版を敷き詰めた斜面の上部に、一辺 0.1m または 0.2m の立方体状花崗岩ブロックを立方体状に積み上げ、その体積は 0.001 ~ 1.0 m³ まで変化させて、一気に落下させる実験を行い、シミュレーション結果と比較した。その結果、ブロック数（体積）の増加に応じて堆積先端はより遠方に到達し、逆に堆積重心は手前に移行した。その理由として、ブロック数の増加は、ブロック間衝突頻度の増加をもたらし、崩壊先端部では下流方向へのより多くの加速度を受け、重心部から後端部は運動エネルギーを消散して停止距離が手前に移行するというメカニズムを明らかにした。

第 5 章では、実験により、過剰間隙水圧が流動化発生に及ぼす影響を実証的に明らかにした。すなわち、上部に急傾斜部、下部に緩傾斜部を持つ大型実験水路内に砂質土を緩く

詰めて、水路直上部より人工降雨を散水して崩壊を発生させた。流動深と過剰間隔水圧値との関係を検討するため、上部・下部斜面でそれぞれ砂層深を変える4通りの実験を行なった結果、上部斜面で誘発された崩壊が、下部斜面上に急速に载荷して過剰間隙水圧が発生し、その直後に下部斜面内にせん断が発生し、流動化するというメカニズムを明らかにした。これは、非排水せん断による過剰間隙水圧発生とそれに伴う流動化発生過程を始めて再現したことを意味する。さらに、過剰間隙水圧の発生領域では、その大きさは土層厚に比例することを明らかにした。

第6章では、流動化発生に及ぼす土層間隙比の影響を検証するため、間隔比をさまざまに変えた砂質土の供試体による非排水三軸圧縮試験を行い、流動化発生・非発生の境界となる境界間隙比の特定した。また、境界間隔比よりも小さな間隔比の土層と大きな間隔比の土層を調整して第5章と同様の崩壊実験を行った。その結果、①拘束圧が大きいほど境界間隔比が小さくなる。すなわち深い崩壊ほど、間隔比が小さくとも流動化する傾向がある、②境界間隔比よりも大きな間隔比の土層では、せん断により体積が収縮して有効応力が減少し高速せん断へ移行する、③境界間隔比よりも小さい間隔比の土層では、せん断により体積が膨張して有効応力が一時的に増加するが、せん断の進行と共に応力は解放されて、クリープ運動が進行する、等の知見を得た。以上の結果より、土層のせん断に伴う膨張・収縮が流動化発生の決定要因の一つであり、また流動化発生危険斜面の特定に境界間隔比が有効な指標となることが現実斜面で証明された。

第7章では、間隙水の影響を考慮し、粒子間の継続的な接触に伴う応力伝達を表現できる、粘弾性粒状体モデルによる崩壊土砂のシミュレーションプログラムを開発し、降雨装置を用いた傾斜水路実験で検証した。その結果、本プログラムは崩壊の発生から停止に至る土層の局所的ならびに全体的変位を精度よく再現すると共に、各粒子の応力・速度分布を陽的に追跡できるので、斜面安定解析、施設への衝突力算定、施設配置計画等に応用可能であることを示した。

以上より、本研究は、崩壊の流動化機構と崩土の到達距離の予測精度を向上させるための基礎的知見を明らかにし、学術上のみならず応用上も価値が高い。よって審査委員一同は、本論文が博士（農学）の学位を授与するにふさわしいと判断した。