

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 農 学 )	氏名	西口 幸希
論文題目	深層崩壊に起因する土石流の数値シミュレーション手法に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>近年、我が国では降雨規模の増大に伴い、深層崩壊の発生件数も増加している。深層崩壊は崩壊規模が大きく、深層崩壊が土石流化すると下流域に甚大な被害が生じる場合がある。このような被害を軽減するためには、既往実績の分析や数値シミュレーションの適用等により、土石流の流下・堆積過程を推定することが重要である。しかしながら、これまで複数の大規模な土石流事例について、統一的な手法で流下・堆積特性を分析した研究や、同一の数値シミュレーション手法を用いて再現計算を行った研究はあまりない。</p> <p>そこで本研究では、近年の深層崩壊に起因する土石流の10事例（崩壊土砂量は空隙を含み<math>1.9 \times 10^4 - 1.5 \times 10^6 \text{ m}^3</math>）に着目し、崩壊規模と土石流の侵食・堆積に関する実態を分析した。さらに表層崩壊に起因する土石流や小規模土石流等のデータと比較することで、深層崩壊に起因する土石流の特徴を整理した。その結果、深層崩壊に起因する土石流の堆積は、溪床勾配が1-15度の範囲で生じていた。また小規模土石流（崩壊面積が約<math>1,500 \text{ m}^2</math>未満や崩壊土砂量が約<math>10,000 \text{ m}^3</math>未満）のほとんどの事例において、堆積区間下流端の溪床勾配は2度より急であったのに対し、深層崩壊に起因する土石流では半数以上の事例で、堆積区間下流端の勾配が2度未満であった。これより、深層崩壊に起因する土石流の堆積区間の下流端の溪床勾配は、小規模土石流よりも小さいことが分かった。これは、深層崩壊に起因する土石流の等価摩擦係数は0.11から0.35にあり、表層崩壊に起因する土石流と同等またはそれよりも小さかったことから支持される。</p> <p>従来の石礫型土石流の数値シミュレーションの多くは一般に、土石は全て層流状態で流下すると考えたモデルに基づき実施されてきた。一方で、大規模な石礫型土石流中の細粒土砂は、間隙流体の乱れの影響を受け乱流状態で移動し、層流状態で移動する粗粒土砂とは異なる挙動を示すと考えられてきたものの、このフェーズシフトの概念を理論的に数値シミュレーションに反映させた事例はない。そこで、間隙流体に取り込まれる細粒土砂の最大粒径を新たに定義することによって、土石流の数値シミュレーションにおける①上流端の土石流の土砂濃度、②間隙流体密度、③土石の代表粒径および④粗粒土砂および細粒土砂の連続式を理論的に提示した。本手法を規模の異なる5事例の深層崩壊に起因する土石流に適用した結果、従来の石礫型土石流の数値シミュレーション手法では土石流の到達距離等において再現性が低かったのに対して、提案手法を用いて間隙流体とみなす細粒土砂の最大粒径を8-200mmに設定することで、土石流の流下・堆積過程をよく再現することができた。これらの細粒土砂の沈降速度は、土石流の摩擦速度の<math>1/21 - 1/3</math>、間隙流体の乱れ速度の<math>1/4 - 1</math>の範囲にあり、力学的にも浮遊し得るものであることを検証した。</p> <p>再現性の得られた細粒土砂の最大粒径は、事例により差異がみられるものの、流体として扱った細粒土砂の間隙流体中の容積濃度は、5事例ともに概ね0.4-0.5の範囲にあった。さらに、微細土砂を用いた土石流の水路実験や粘性土石流・火山泥流の現地</p>			

観測に関する既往研究事例の大半は、微細土砂の土砂濃度の上限が0.4－0.5の範囲にあった。これらより、流体中に浮遊し得る細粒土砂が十分に存在し、乱れの程度が十分大きい場合、細粒土砂は流体（乱流）として振る舞うが、細粒土砂濃度が非常に高濃度になると、乱流状態を維持できなくなるため、細粒土砂濃度に上限値が存在することが示唆された。

数値シミュレーションの入力条件の設定において、崩壊直後のハイドログラフを推定することは困難である。そこで、計算上流端のハイドログラフの総量は同じで波形が異なる場合の、下流河道の河床変動量やピーク流量に及ぼす影響を検討した。その結果、土石流が全区間で堆積する（侵食しない）地形において、上流端ハイドログラフの違いが計算結果の堆積形状に及ぼす影響は小さかった。土石流の侵食区間が存在する地形においては、ハイドログラフの継続時間が短いほど堆積時の流量が大きいため、侵食域と堆積域の境界の位置は下流側に遷移し、同時に土石流の到達距離も長くなる傾向にある。ただし、ある程度以上にハイドログラフの継続時間が短い範囲では、河床変動の差異は小さかった。また、上流端ハイドログラフのピーク流量の差異の影響は、土石流の流下に伴い、相対的に小さくなることが分かった。これらの傾向を踏まえ、ハイドログラフを設定する必要がある。

以上により、深層崩壊に起因する土石流の実態ならびに流下・堆積過程の推定手法とその留意点が示された。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

降雨規模の増大に伴い、深層崩壊の発生件数が増加する傾向にある。深層崩壊は規模が大きく、土石流化すると下流に甚大な被害を生じる。このような被害を軽減するためには、事前に土石流の流下・堆積過程を推定することが必要となる。本研究は、近年の深層崩壊に起因する土石流の事例を分析し、大規模な石礫型土石流中の細粒土砂は、間隙流体の乱れの影響を受け乱流状態で移動するとするフェーズシフトの概念を数値シミュレーションに反映させて検討したもので、評価できる点は以下のとおりである。

1. 既往の深層崩壊に起因する土石流の等価摩擦係数は、表層崩壊に起因する土石流と同等またはそれよりも小さく、堆積区間下流端の勾配は大半が2度未満である。
2. 間隙流体に取り込まれる細粒土砂の最大粒径を新たに定義し、土石流の数値シミュレーションにおける、上流端の土石流の土砂濃度、間隙流体密度、土石流の代表粒径、粗粒土砂および細粒土砂の連続式を理論的に提示した。
3. 提案した手法を用いて間隙流体とみなす細粒土砂の最大粒径を8-200mmに設定することで、土石流の流下・堆積過程を良く再現することができた。これらの細粒土砂の沈降速度は、土石流の摩擦速度の $1/21-1/3$ 、間隙流体の乱れ速度の $1/4-1$ の範囲にあり、力学的にも浮遊し得るものであることを示した。
4. 流体中に浮遊し得る細粒土砂が十分に存在し、乱れの程度が十分大きい場合、細粒土砂は流体（乱流）として振る舞うが、細粒土砂濃度が非常に高くなると、乱流状態を維持できなくなる細粒土砂濃度の上限値が存在することが示唆された。
5. 計算上流端のハイドログラフの総量は同じであるが波形が異なる場合の、下流河道の河床変動量やピーク流量に及ぼす影響を検討した結果、土石流が全区間で堆積する地形において上流端ハイドログラフの違いが計算結果の堆積形状に及ぼす影響は小さいが、侵食区間を有する地形で影響が大きい場合があることを明らかにした。

以上のように、本研究は深層崩壊に起因する大規模な土石流の到達範囲をシミュレーションによって推定する方法を開発したもので、山地保全学、自然災害科学、土砂水理学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成26年11月14日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降（学位授与日から3ヶ月以内）