

## 熊野地区における深層崩壊プロセスが土砂の流出・堆積に与える影響

国土交通省近畿地方整備局  
 国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所  
 国土交通省国土技術政策総合研究所  
 立命館大学  
 (株)建設技術研究所 ○柳崎 剛, 岸上直之, 梶山敦司, 西口幸希, 長井 斎

木下篤彦, 北川眞一  
 大山 誠  
 内田太郎  
 里深好文

## 1. はじめに

平成 23 年台風 12 号の豪雨により和歌山県田辺市熊野地区において9月4日に深層崩壊が発生し、天然ダムが形成された。崩壊土砂は一部が土石流化し、甚大な被害を引き起こした。このような大規模土砂災害を未然防止するためには、深層崩壊に伴う複雑な土砂移動現象を解明し、天然ダムの形状と堆積範囲、土石流の氾濫範囲等の予測技術を確認する必要がある。

本稿では、熊野地区の深層崩壊に伴う天然ダムの形成や土石流の発生・流下・堆積などの考え得る土砂移動現象を整理した上で、複数の崩壊ブロックで構成される崩壊地の崩壊プロセス（崩壊順序）と崩土の移動特性（流動性）に着目し、二つの要素が土砂の流出・堆積過程に与える影響を検討した結果を報告する。

## 2. 深層崩壊に伴う土砂移動現象の整理

## 2.1 崩壊斜面のブロック区分

崩壊前の航空測量データ（平成 20 年 1 月）を用いて崩壊地形判読を行い、3 ブロックに大きく区分した。ブロック A：熊野地区の崩壊主要部（さらに A-1 など小ブロックに区分可能）

ブロック B：崩壊主部に伴ってブロックの一部が崩壊  
 ブロック C：崩壊主部の頭部に位置し主部に伴い崩壊

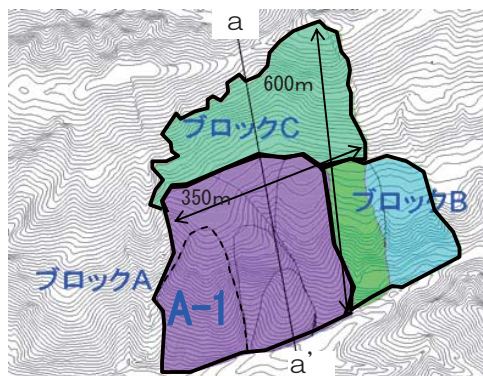


図-1 熊野地区の崩壊地判読図

## 2.2 崩壊前後の変動状況と土砂収支

前述の災害前の航測測量データと平成 23 年 9 月 23 日計測の LP データを用いて作成した崩壊前後の河道縦断面図と変動量図を図-2 に示す。崩壊土塊は、支川合流部の上流 700m 付近より上流で厚く堆積し始め、1,100m 付近より上流で堆積厚さ 10m 以上の天然ダム主部を構成する。崩壊斜面では、ブロック A からの土砂流出が顕著である。変動量図より土砂収支を整理すると、崩壊斜面からの流出土量約 225 万 m<sup>3</sup>、天然ダム堆積土量約 155 万 m<sup>3</sup>、天然ダム下流への流出土砂

量 70 万 m<sup>3</sup> となる。

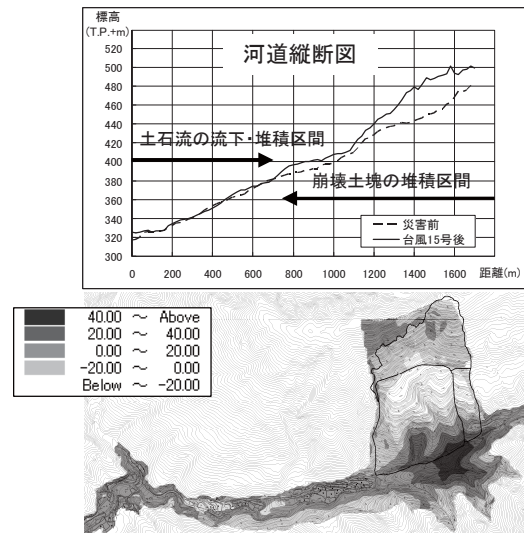


図-2 災害前後の河道縦断面図と変動量図

## 2.3 流下堆積部の特徴

図-3 に、平成 23 年 9 月 14 日に撮影された空中写真を用いて土砂と流木の流下堆積状況を整理した。土砂の移動状況に着目すると、崩壊斜面直下に天然ダム主部を構成する土塊ブロックが堆積し、やや下流約 500m の範囲で土塊が島状に堆積し、さらに下流では土石流氾濫域となる。氾濫域の側岸や尾根部（図-3 の矢印箇所）の乗り上げ状況と巨礫の点在状況から、流動性の高い土石流が流下したことが推察される。樹木に着目すると、斜面直下の土塊上には立木が明瞭かつ乱れが少ない状態で密に堆積し、下流に流下するにつれ立木がまばらで傾きが顕著となり、土石流氾濫域ではほぼ倒木のみで分布状況は粗となる。

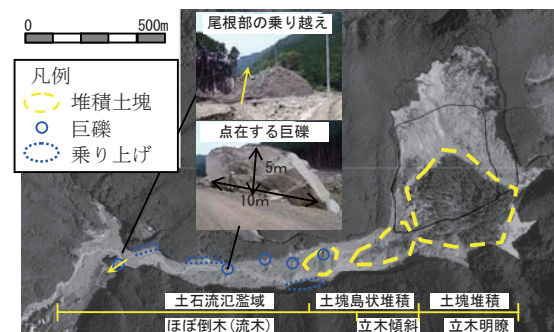


図-3 災害直後の空中写真と土砂・流木移動状況

## 2.4 現地条件整理結果に基づく崩壊プロセスの推定

天然ダムでは、土塊上の立木が明瞭で乱れが少ないことから、堆積土量に見合う、流動性の低い土塊が同

時に移動・堆積したと推察できる。一方、土石流氾濫域で流動性の高い土砂移動が生じていたことも考慮すると、崩壊は少なくとも2回以上発生しており、小規模で流動性の高い崩壊の次に大規模で流動性の低い崩壊が発生し天然ダムが堆積したと考えた。

### 3. 崩壊過程が土砂流出・堆積過程に与える影響の評価

#### 3.1 検討方法

崩壊プロセスを検証するため、崩壊土塊の流動化を再現可能なハイブリッド土石流モデル<sup>1)</sup>を用いて、崩壊発生後の天然ダム形成過程と下流への土石流流下過程に関する数値計算を行った。同モデルでは土塊の運動をラグランジュ的に解析し、崩壊土塊は複数の円柱ブロックの集合体として配置する。各円柱下部は侵食可能な飽和層、上部は侵食されない不飽和層で構成されるものとし、円柱の厚さは地質調査結果より崩壊面を推定して設定した(図-4)。

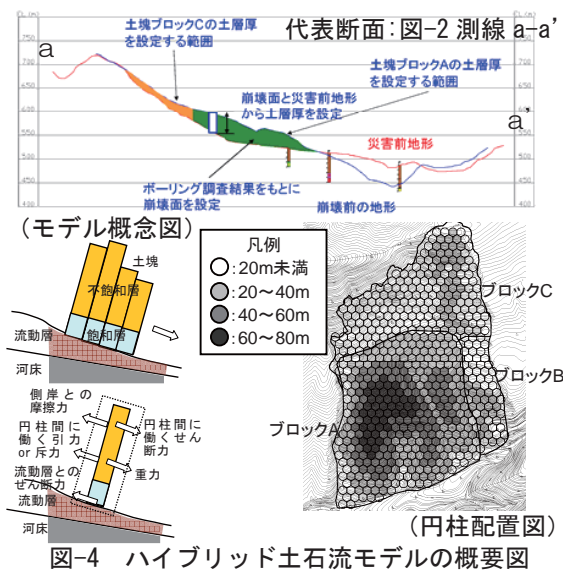


図-4 ハイブリッド土石流モデルの概要図

#### 3.2 解析ケースの設定と解析結果

図-1の各ブロックの崩壊発生順序と流動性を組み合わせ解析ケースを設定し、天然ダムの堆積範囲と土砂収支に着目して検証を行った。まず、全ブロックが同時崩壊したケースを計算したが、天然ダムの堆積範囲と下流への流出土砂量が共に実績と大きく異なった。そこで、個別のブロック毎に崩壊する解析ケースを考えた。まず、ブロックBあるいはCが単独崩壊したケースは現地状況より棄却し、天然ダムの主部を構成すると考えられるブロックAが先行して崩壊するケースを選定し、天然ダムの堆積に寄与する流動性の低いケースと土石流の流下に寄与する流動性の高いケースを設定した。ここで、流動性が高いケースは飽和層を10m程度、低いケースでは2m程度とした。解析ケースと解析結果を表-1に示す。ブロックA単独崩壊では、流動性が高いケース1では天然ダムの堆積範囲が広く流出土砂量が大きくなり、流動性が低いケース2では堆積範囲が実績に近づくが流出土砂量が小さくなり、良好な再現結果を得ることができなかった。

表-1 解析ケースと解析結果

ケース	崩壊パターン	流動性	解析結果
1	ブロックA 単独崩壊	高	・実績より広範囲 ・流出土砂量多い
2		低	・天然ダム堆積範囲は実績に近いが堆積土量は少ない ・流出土砂量少ない

#### 3.3 改良検討とその結果

前述の課題に対する改良検討として、さらに小規模な崩壊ブロックA-1が先行して崩壊するケースを追加した。ブロックA-1の選定理由は、他の小ブロックは土塊上の立木の残存状況より個別に発生したと考えづらいため、下流への流出土砂量に対し適度な崩壊土量となること、の2点である。なお、ブロックA-1の規模が天然ダムの堆積土量に対しては明らかに小さいため、天然ダム再現を意図した流動性の低いケースは棄却し、流動性の高いケースのみを設定した。解析の結果、実績に近い流出土砂量となり、崩壊土塊は天然ダムを形成せず崩壊地より下流に流下して堆積した(表-2 ケース3)。さらに、天然ダムの再現のため、ブロックA-1の発生後にブロックAとBが同時発生するケースを追加検討し、天然ダム堆積範囲と土砂収支共に実績と比較的一致する結果を得た(表-2 ケース4)。なお、ブロックAとBを同時発生としたのは、天然ダムの堆積土砂量を考慮したためである。

表-2 追加した解析ケースと解析結果

ケース	崩壊パターン	流動性	解析結果
3	ブロックA-1 単独崩壊	高	・天然ダムが形成されず 土塊が下流に流下 ・流出土砂量実績相当
4	ブロックA-1 ↓ ブロックA,B 同時崩壊	A-1:高 A,B:低	・天然ダム堆積範囲、堆積土量共に実績に近い ・流出土砂量実績相当

#### 3.4 考察

数値解析では、当初想定条件では再現できないため、解析条件を追加検討し、ブロックを小区分することで実績に近い解析結果を得た。本来、このような手法では試行錯誤的に無数のケースの検証が必要となるが、今回は、現地状況より把握した土砂移動状況と土砂収支の関係より崩壊プロセスを推定することで、解析ケースを絞り込むことができたと考える。

#### 4. おわりに

災害直後の現地状況より、崩壊が少なくとも2回以上発生したという崩壊プロセスを推定した。さらに、数値解析により崩壊プロセスを検証し、現地状況を再現可能であることを確認した。

今後は、当手法の汎用性を高めた上で、深層崩壊が予想される箇所の被害想定に活用することが必要と考える。そのためには、他事例による検証を積み重ねることに加え、現地状況より土砂移動状況を把握し解析に反映させるための調査手法の確立が重要となる。

#### 参考文献

- 1) 里深好文(2003):斜面崩壊を起因とする土石流に関する数値シミュレーション, 水工学論文集第47巻, p.583-588