

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：80122

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870830

研究課題名(和文)大規模土砂災害後における崩壊地の経年変化を考慮した流出土砂量評価

研究課題名(英文)Evaluation of sediment discharge based on decenary landslide change for after heavy rainfalls

研究代表者

奥水 健一 (Koshimizu, Ken'ichi)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・その他部局等・研究員

研究者番号：30636171

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：豪雨による大規模土砂生産後の流域土砂管理計画のため、豪雨後において、以下の2点を検討した。1)既存崩壊地の拡大領域からの生産土砂量と新たに発生する崩壊地からの生産土砂量の比較。2)豪雨によって崩壊斜面周辺に堆積した崩壊土砂量に対する豪雨以降に新たに流出する土砂量の把握。その結果、豪雨後は新規崩壊に比べ拡大崩壊が卓越すること、さらに、豪雨後の流出土砂量は初期の崩壊土砂量に対してわずかであり、初期の崩壊土砂の大半が崩壊斜面周辺に残存することが分かった。以上より、流域土砂管理計画においては、豪雨後の拡大崩壊による土砂量および崩壊斜面周辺に残存した土砂量を、この計画に反映する必要性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：For integrated catchment-scale sediment managements after heavy rainfalls, we investigated for both aspects as follows: 1)the sediment yield by the expanded landslides compare with the sediment yield by the newly landslides. 2)after a heavy rainfall, the volume of sediment runoff from landslide deposit caused by a heavy rainfall on hillslope area. As a result, we found that the sediment yield by the expanded landslides was larger than the sediment yield by the newly landslides. In addition, we confirmed that the volume of sediment runoff from original landslide deposit on hillslope area was quite few compared with the volume of original landslide deposit on it. In other words, original landslide deposit still remained on hillslope area. Therefore, in the case of integrated catchment-scale sediment managements after heavy rainfalls, we can be explained that it was necessary to focus on the sediment yield by the expanded landslides as well as remained landslide deposit on hillslope area.

研究分野：砂防学

キーワード：大規模土砂生産後 拡大崩壊 崩壊土砂 流出土砂 GIS 流域土砂管理

### 1. 研究開始当初の背景

近年、気候変動に起因するゲリラ豪雨によって、多数の斜面崩壊が同時多発的に生じている。生産された土砂は流域内に一時堆積し、その後の降雨等によって下流域へ流出する。特に、大規模な土砂生産が生じると、長期間にわたって下流域へ土砂が流出する場合があるため（例えば、Koi et al., 2008 ; Hovius et al., 2011 ; Uchida et al., 2014）、大規模土砂生産後における流域土砂管理を検討することは極めて重要である。

これまで北海道は台風の上陸が少なく、梅雨もないため本州に比べ、降雨による斜面崩壊が少なかった。しかし、最近の異常気象により 2003 年、北海道日高地方沙流川流域では観測史上最大の豪雨（総雨量：434mm）によって多数の斜面崩壊が発生したことにより、大規模な土砂生産が生じた。このため、北海道においても、大規模土砂生産後の流域土砂管理を検討することが急務である。

大規模土砂生産後の下流域への土砂流出については、Ⅰ) 崩壊斜面における凍結融解作用などによる土砂の生産・流出量の増加（例えば、堤ら、2007）、Ⅱ) 河道内に滞留した土砂の再移動（例えば、松岡ら、2009）などが検討されてきた。

上記の検討に加え、豪雨後において、例えば、豪雨によって生じた崩壊地の拡大領域から新たに土砂生産が生じた場合、その土砂量の多寡によっては、大規模土砂生産後の下流域への土砂流出の検討に、拡大崩壊による生産土砂量を反映しなければならないと考えられる。さらに、豪雨によって崩壊地から生産された大半の土砂が河道に流入せず、崩壊斜面周辺に堆積した場合、その後の流出土砂量の多寡によっては、大規模土砂生産後の下流域への土砂流出の検討に、同じく反映しなければならないと考えられる。

特に、大規模土砂生産後の拡大崩壊による生産土砂量の多寡については、大規模土砂生産後の拡大崩壊による生産土砂量が同期間の新規崩壊による生産土砂量や大規模土砂生産以前の拡大崩壊による生産土砂量と比べてどの程度増加するか。豪雨によって崩壊斜面周辺に一時的に堆積した土砂のその後の流出土砂量の多寡については、崩壊斜面周辺に一時的に堆積した土砂が、その後活発に流出する期間やその流出土砂量が一時的に堆積した土砂量に対してどの程度の割合を占めるか、については未解明な部分が多い。

したがって、大規模土砂生産後の流域土砂管理計画において、上記のⅠ)、Ⅱ)の検討に加え、①豪雨後の崩壊地の拡大領域からの生産土砂量の多寡および②崩壊斜面周辺に堆積した土砂の流出土砂量の多寡を把握することは、大規模土砂生産後の流域土砂管理計画において、これらの項目を新たに反映する必要があるかどうかを判断する上で、重要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、2003 年北海道日高地方沙流川流域で生じた大規模土砂生産を例に、①2003 年に発生した崩壊地のその後の拡大領域からの生産土砂量の多寡、②2003 年に発生した崩壊土砂のうち、流域内で最大の土砂量で崩壊斜面周辺に堆積した土砂のその後の流出土砂量の実態を調べることを目的とする。

### 3. 研究の方法

(1)2003 年に発生した崩壊地のその後の拡大領域からの生産土砂量の多寡

2003 年に発生した崩壊地のその後の拡大については、2003 年豪雨以降（2003 年豪雨を含まない）から 2008 年までの期間（以下、豪雨後とする）を対象にした。豪雨後の拡大崩壊面積を、①豪雨後の新規崩壊面積、②豪雨時およびそれ以前の過去 4 期間（1963 年-1974 年、1974 年-1983 年、1983 年-1993 年、1993 年-2003 年）の崩壊地の拡大崩壊面積とそれぞれ比較し、豪雨後の拡大崩壊面積が同一期間の新規崩壊面積および過去の拡大崩壊面積を卓越するかを調べた。

解析は、すべてオルソ画像（空中写真）上で行った。まず、各年の新規崩壊地は、1 つ前の時期に撮影された空中写真で未崩壊であり、当該年に新たに崩壊地と判断できる箇所とし、抽出した。拡大崩壊地は、1974 年以降の各年において、1 つ前の時期に撮影された空中写真により確認された崩壊地において、当該年の 1 つ前の時期の空中写真では崩壊していなかった範囲に崩壊範囲が明らかに拡大したと判断できる箇所とし、抽出した。

抽出後、過去 4 期間および豪雨後のそれぞれの期間ごと、流域内で確認された新規崩壊地および拡大崩壊地の個々の崩壊面積を合計した。その上で、上に記した期間ごと、新規崩壊面積の合計に対する拡大崩壊面積の合計の比をとり、過去 4 期間と豪雨後を比較した。さらに、2003 年から 2008 年の期間の 1 年あたりの拡大崩壊面積を 1993 年から 2003 年の期間（2003 年豪雨を含んだ期間）を除いた 3 期間の 1 年あたりの拡大崩壊面積と比較した。

(2)崩壊斜面周辺に堆積した土砂からの流出土砂量の実態

本研究で取り扱った崩壊斜面周辺に堆積した土砂は、図-1(a)に示すように崩壊斜面下部から河道にかけて堆積した土砂である。

この崩壊土砂の流出土砂量の実態解明のため、①土砂流出が活発な期間の把握、②その期間の流出土砂量を豪雨から 1 ヶ月間（以下、初期とする）とそれ以降（以下、後続とする）の 2 時期に分類し、流出土砂量の時系列変化を調べた。

土砂流出が活発な期間の把握については、空中写真（撮影時期：豪雨から 1 ヶ月後、3 年後、5 年後、7 年後、10 年後）、崩壊土砂

末端部の現地写真(撮影時期:豪雨から2ヶ月後, 1年後, 2年後, 3年後), 航空レーザー測量データ(取得時期:豪雨から3年後, 7年後), 現地調査(豪雨から11年, 12年後に実施)から崩壊土砂の浸食範囲の変化および植生被覆の変化に注目し, 調べた。

これにより明らかになった, 土砂流出が活発的な期間において, 空中写真, 現地写真, 現地調査, 航空レーザー測量データによるDEMから定量的に流出土砂量の時系列変化を解析した。

都築ら(2004)によると, この崩壊土砂は豪雨直後に図-1(a)の線分ABまで到達し, 河道閉塞していたことが報告されている。従って, 初期の崩壊土砂量( $V$ )は, この範囲までの土砂量とした。

初期の流出土砂量( $V_{ir}$ )は, 以下の通り算出した。土砂の流出範囲は河道閉塞した崩壊土砂の末端部が図-1(a)の線分ABから線分A'B'の位置まで後退したことから図-2(a)に示す①を初期の流出範囲とし, この面積をGISにより算出し, この範囲の土砂の堆積厚(図-1(b))を乗じた値を初期の流出土砂量とした。

後続の流出土砂量( $V_{tr}$ )は, 図-2(a)の②に示す河道に堆積した崩壊土砂の河川営力による流出土砂量(以下, 「河川営力による後続流出土砂量( $V_{tr}$ )」とする)とガリー浸食による流出土砂量( $V_{gr}$ )にわけられる。

河川営力による後続流出土砂量( $V_{tr}$ )は, 上述と同様に, 図-2(a)の②に示す斜線範囲の面積に堆積厚を乗じた値とした。

次に, ガリー浸食による流出土砂量( $V_{gr}$ )と残存土砂量( $V_r$ )は, 航空レーザー測量データによる1mDEMから横断面を図-2(b)のように作成し, 堆積範囲と流出範囲の面積を測線ごと算出し, それぞれの面積を積分すること

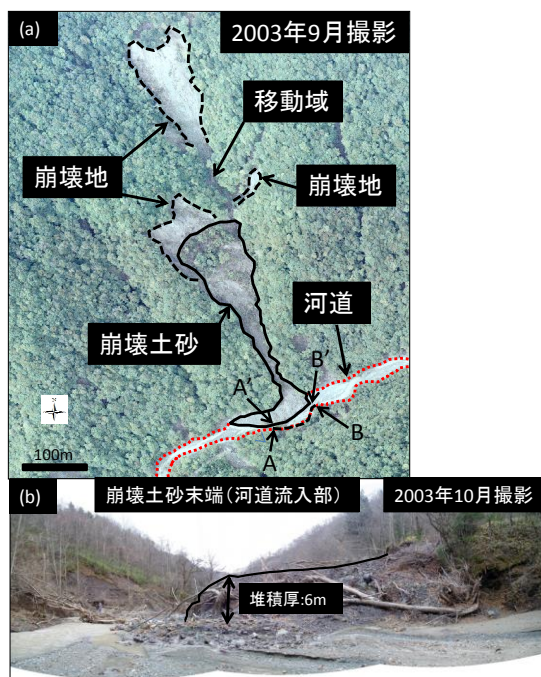


図-1 (a):崩壊土砂の概念図, (b):崩壊土砂末端部の横断面(北海道開発局 室蘭建設管理部撮影)

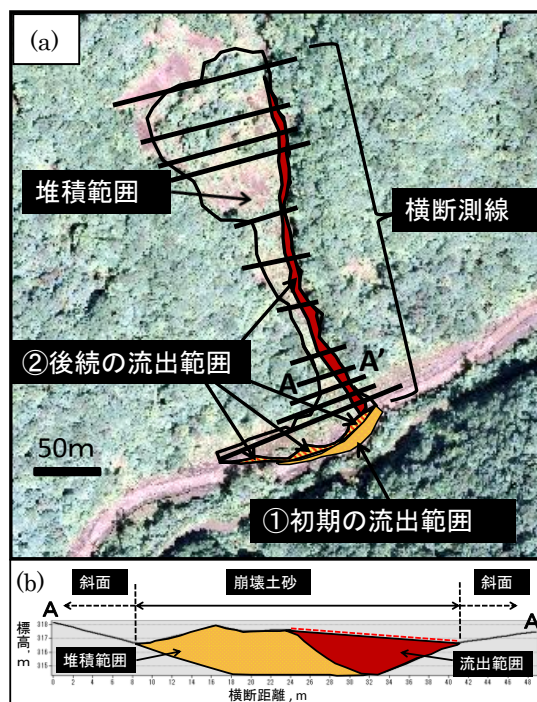


図-2 (a):崩壊土砂の横断測線, (b):土砂量算定のために想定した堆積・流出面積の例

により, ガリー浸食による流出土砂量( $V_{gr}$ )と残存土砂量( $V_r$ )を算定した。この際, 現地で流出痕を確認し, 崩壊土砂の底面は, 崩壊前の地形図から谷地形を復元した。

以上より, 2003年の崩壊土砂量( $V$ )は, 以下のように算定される。

$$V = V_{ir} + V_{tr} + V_r \quad (1)$$

これより, 豪雨直後に流出する土砂量およびその後流出する土砂量が2003年(初期)の崩壊土砂量に占める割合を, それぞれ, 初期の土砂流出率( $R_{ir}$ ), 後続の土砂流出率( $R_{tr}$ )として, 以下のとおり算出し, 流出土砂量の推移を追った。

$$R_{ir} = V_{ir} / V \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$$R_{tr} = V_{tr} / V \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

#### 4. 研究成果

(1) 豪雨後の拡大崩壊による生産土砂量の多寡

新規崩壊面積に対する拡大崩壊面積の比を期間ごとと比較すると, 豪雨後(2003年から2008年の期間)のみ, この比が1以上となった。豪雨後の拡大崩壊面積は同時期の新規崩壊面積を, およそ2.7倍上回っていた(図-3)。つまり, 豪雨後は新規崩壊より拡大崩壊による生産土砂量が卓越することが明らかになった。

次に, 豪雨後の1年あたりの拡大崩壊面積と過去(1993年~2003年を除く)の3期間の1年あたりの拡大崩壊面積を比較する。豪雨後の1年あたりの拡大崩壊面積(6447(m<sup>2</sup>/y))は, 過去3期間の1年あたりの拡大崩壊面積の平均(1584(m<sup>2</sup>/y))のおよそ4倍に相当した。以上より, 豪雨後は, 過去(1993年~2003年を除く)より拡大崩壊による生産土砂量が卓越す

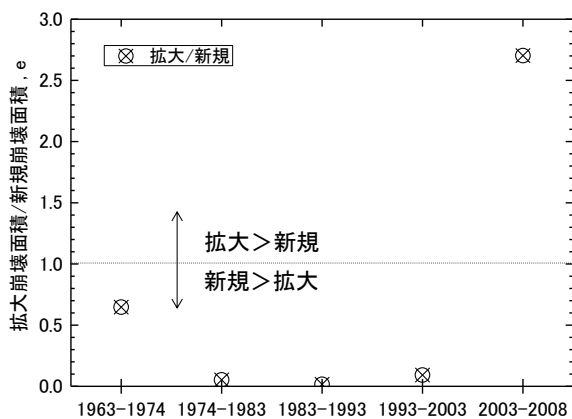


図-3 各期間の新規崩壊面積に対する拡大崩壊面積の比

(注：2003-2008年は、2003年豪雨を含まない期間) ことがわかった。

以上より、大規模土砂生産後の流域スケールの土砂動態を考える上で、拡大崩壊による生産土砂量を考慮する必要があることが明らかになった。この結果について、現在学会誌に投稿中である。

## (2) 崩壊斜面周辺に堆積した土砂からの流出土砂量の実態

### ① 土砂流出が活発な期間

豪雨直後、崩壊土砂は河道閉塞し、豪雨から1ヶ月後に崩壊土砂末端部は図-1(a)の線分A'B'まで後退した。その後は、崩壊土砂末端部の現地写真から、崩壊土砂末端が顕著に後退し、豪雨から2年後には、崩壊土砂表面に新たにガリー浸食が生じた。このガリーは航空レーザー測量データによる差分量から、豪雨3年後から7年後までに地形変化がみられた。豪雨7年後から10年後までの期間は、空中写真の実体視によると、ガリー浸食沿いを除き、崩壊土砂表面の大半が植生に覆われていた。その後、豪雨から11年後および12年後は、現地調査においても、崩壊土砂の大半が植生に覆われていることを確認した。

以上より、豪雨から7年後までの期間は、比較的土砂流出が活発であったと考えられる。

### ② 流出土砂量の時系列変化

上記の結果をもとに、初期の土砂流出は、豪雨から1ヶ月間、後続の土砂流出は豪雨1ヶ月後から7年後までの期間とした。その結果、初期の土砂流出率( $R_{in}$ )は、およそ3%であり、後続の土砂流出率( $R_{out}$ )は、およそ4%であった。以上より、豪雨から1ヶ月間は土砂流出が顕著であることがわかり、それ以降から7年後までも豪雨後1ヶ月間の流出土砂量に匹敵する程度の土砂流出が生じていたことがわかった。

豪雨から7年までに流出した土砂量の合計は、崩壊土砂量のおよそ7%であり、崩壊土砂は現在も多く残存していることがわかつ

た。

以上より、崩壊土砂の流出実態を空中写真、現地写真、現地調査、航空レーザー測量データから総合的に解析し、崩壊直後から時系列で追うことにより、顕著な土砂流出が継続する期間を把握することが可能となり、崩壊土砂の大半が残存することがわかった。

今後の出水によって、本調査地の残存した崩壊土砂は河川の土砂動態に大きく影響することが予想される。よって、今後の大規模土砂生産後の流域土砂管理検討においては、残存した大量の土砂が次期豪雨によって流出する可能性も考慮に入れる必要があることが明らかになった。この結果についても、現在投稿中である。

以上より、大規模土砂生産後の流域土砂管理計画において、これまで検討されてきたI) 崩壊斜面における凍結融解作用などによる土砂の生産・流出量の増加(例えば、堤ら、2007)、II) 河道内に滞留した土砂の再移動(例えば、松岡ら、2009)に加え、本研究より、「豪雨後の拡大崩壊による生産土砂量」と「豪雨後に残存した土砂量」を考慮に入れる必要性を明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

- ① 興水健一・石丸 聡・内田太郎：豪雨後の崩壊堆積土砂の流出実態—北海道沙流川流域の事例—, 平成28年度砂防学会研究発表会, 富山県民会館, 2016年5月18-20日。
- ② Koshimizu, K and Uchida, T: Estimation of sediment yield from subsequent expanded landslides after heavy rainfalls: A case study in central Hokkaido, Japan. AGU Fall Meeting 2015 Abstract NH41B-1819, San Francisco, California, USA, 2015年12月14-18日。
- ③ 興水健一・石丸 聡・内田太郎：豪雨による崩壊堆積土砂の地形的特徴とその後の変化, 日本地形学連合 2015 秋季大会, 鹿児島大学, 2015年10月10-12日。
- ④ 興水健一・内田太郎：大規模土砂災害後における拡大崩壊面積・頻度の解析—北海道沙流川支流宿主別川流域の事例—, 平成27年度砂防学会研究発表会, 栃木県総合文化センター, 2015年5月20-22日。
- ⑤ 興水健一・内田太郎：大規模土砂災害後における崩壊地面積の推移解析—北海道沙流川支流宿主別川流域を対象に—, 第6回GIS-Landslide 研究集会, 東京大学, 2015年1月16日。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

興水 健一 (KOSHIMIZU Ken'ichi)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構,

その他部局等， 研究員  
研究者番号：30636171

(2) 研究協力者

内田 太郎 (UCHIDA Taro)  
国土技術政策総合研究所，  
その他部局等， 研究員  
研究者番号：60370780

石丸 聡 (ISHIMARU Satoshi)  
地方独立行政法人北海道立総合研究機構，  
その他部局等， 研究員  
研究者番号：50446366