

# 山地河川側方斜面における崩壊土砂の その後の動態 :

## 北海道沙流川流域の大規模崩壊地の例

INVESTIGATION OF THE SEDIMENT RUNOFF FROM LARGE-SCALE  
LANDSLIDE DEPOSIT OCCURRED IN MOUNTAIN SLOPE :  
A CASE STUDY IN THE SARU RIVER BASIN

興水健一<sup>1</sup>・石丸 聡<sup>1</sup>・内田太郎<sup>2</sup>

Ken'ichi KOSHIMIZU, Satoshi ISHIMARU and Taro UCHIDA

<sup>1</sup>北海道立総合研究機構 地質研究所 地質情報グループ (〒060-0819 札幌市北区北19条西12丁目)

E-mail:koshimizu-kenichi@hro.or.jp

<sup>2</sup>国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 砂防研究室 (〒305-0804 つくば市旭1番地)

E-mail:uchida-t92rv@nilim.go.jp

**Key Words:** landslide deposit, sediment runoff, mountain slope, heavy rainfall

### 1. はじめに

一度に多数の斜面崩壊が生じると、長期間にわたって下流域へ土砂が流出する<sup>1)</sup>。そのため、流域土砂管理を行う際には、崩壊土砂の長期にわたる流出量の検討が重要となる。

崩壊土砂からの流出機構については、河道内に堆積している土砂の再移動を対象とした検討が数多く行われてきた<sup>2)</sup>。しかし、図-1に示されるように、崩壊土砂は河道のみならず、崩壊斜面下部に堆積するタイプがあり、崩壊土砂からの長期にわたる流出機構を検討する際には、斜面下部に堆積した土砂の河道への流入についても考慮しなければならない。

このタイプの崩壊土砂は今後の出水によって河道に堆積した土砂末端部が河川営力により下流域へ流出する現象と、斜面下部に堆積した土砂が表面浸

食により河道へ流入する現象がそれぞれ起こる可能性がある。この事情により、この崩壊土砂は河川の土砂動態に特に大きな影響を及ぼすと考えられるので、現地調査を行い、土砂の再移動状況を評価するものである。

北海道日高地方沙流川支流宿主別川流域では、2003年の豪雨(総雨量:434mm)によって、多数の斜面崩壊が発生した<sup>3)</sup>。このうち、宿主別川中流の右岸斜面に生じた崩壊土砂(図-2)は図-1のような形態であり、既存の報告<sup>4)</sup>によれば、流域で最大の土砂量であり、宿主別川を河道閉塞したとみられる。この崩壊土砂(以下、大規模崩壊土砂とする)は、豪雨直後(2ヶ月後)から3年間においては、大規模崩壊土砂の末端部(河道流入部分)について定点から写真が撮影されている<sup>5)</sup>。しかし、豪雨から3年以降の変化については、詳細な調査は行われていない。特に、崩壊土砂の流出が活発な期間や、流出土砂の動態については、未解明な部分が多い。

そこで本研究では、上述の大規模崩壊土砂に着目し、定点写真、空中写真、航空レーザー測量データ、現地踏査等を組み合わせて崩壊発生後12年間の崩壊土砂の流出量の時間変化状況の復元を試みた。

### 2. 大規模崩壊土砂と降雨履歴

図-2に、調査対象とする大規模崩壊土砂と流域内の雨量観測所(北海道開発局 宿主別観測所)の位置を示す。

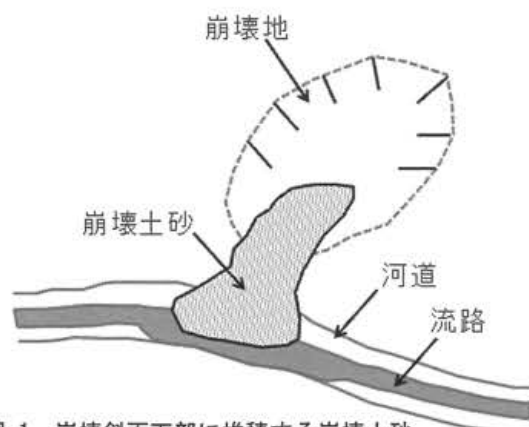


図-1 崩壊斜面下部に堆積する崩壊土砂



図-2 調査対象とする崩壊土砂と雨量観測所の位置

## 2.1 大規模崩壊土砂の概要

豪雨発生から1か月後に撮影された空中写真に崩壊土砂と崩壊地の範囲を示す(図-3(a)). 豪雨発生から2か月後に撮影された現地写真(北海道開発局 室蘭開発建設部)によれば、河道に堆積した崩壊土砂の厚さは6m程度であり、先端部は急崖になっていた(図-3(b)).

本調査流域では、地質によって岩盤や礫の風化、細粒化のプロセスが異なるため、崩壊発生後の崩壊地からの流出土砂量や崩壊土砂の2次流出に影響を及ぼしていることが報告されてきた<sup>6)</sup>.

本研究では、流域面積の多くを占める付加体堆積物(日高累層群の玄武岩ブロック)の崩壊土砂を対象にした。

滑落崖最上端と崩壊土砂末端の比高およびその平均傾斜は、295m、 $29^\circ$ であり、崩壊土砂上端と末

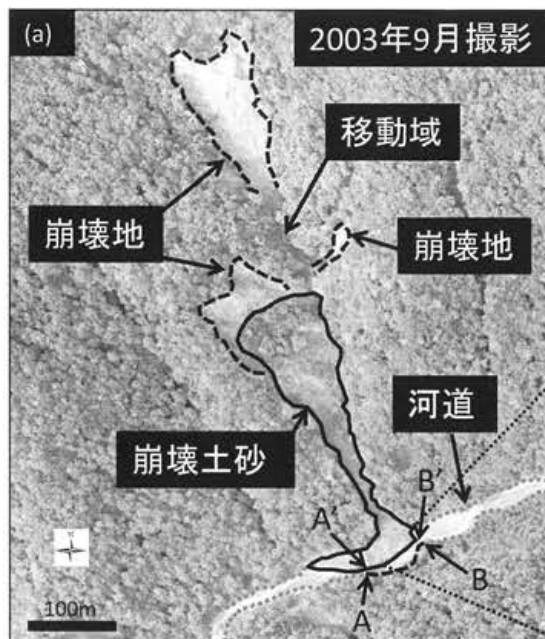


図-3 (a):崩壊土砂の概念図, (b):崩壊土砂末端部の横断面図(北海道開発局 室蘭開発建設部撮影)

端の比高およびその平均傾斜はそれぞれ、110m、 $22^\circ$ である。崩壊土砂上端から稜線までの水平距離は514mである。崩壊土砂は砂礫を主体とする。

## 2.2 調査期間内の降雨履歴

調査流域(宿主別雨量観測所)の日雨量と時間雨量を図-4(a),(b)に示す。整理した期間は、2003年8月9日(豪雨時)から観測記録が公表されている2013年11月31日までである。本調査地において、空中写真撮影と航空レーザー測量が表-1の通り計4回実施されており、それぞれの期間を図-4内に示した。

調査期間内に2003年豪雨に匹敵する降雨は他に見られなかった。2006年8月18日から19日にかけての日雨量、時間雨量はそれぞれ157mm、40mm

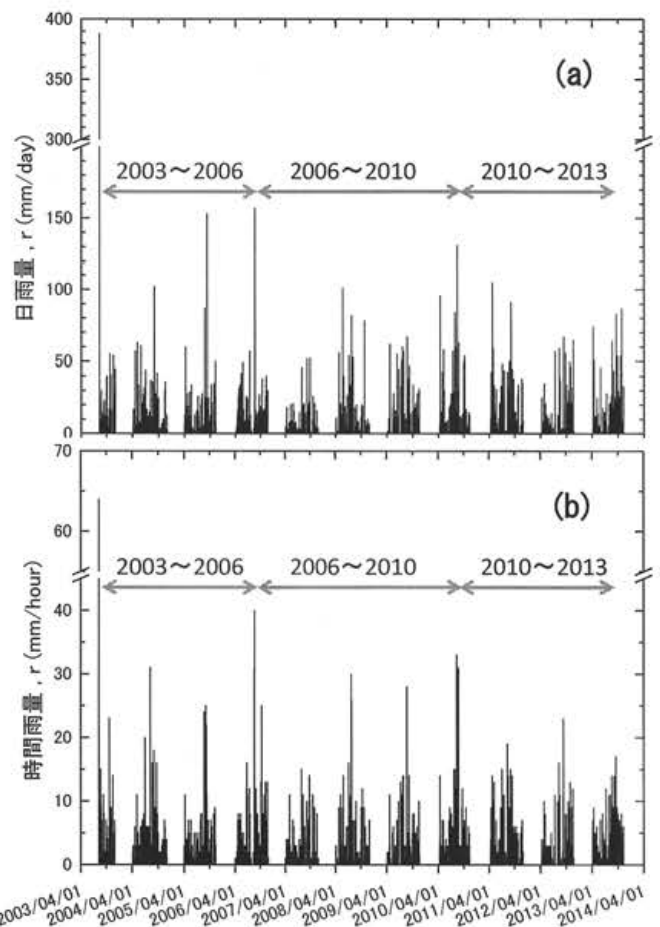


図-4 (a):2003年豪雨後における日雨量, (b):一日ごとの最大時間雨量

表-1 空中写真と航空レーザーの撮影時期

年	撮影時期	撮影機関	種類
2003	9/2	(株)シン技術コンサル	空中写真
2006	9/15	アジア航測(株)	航空レーザー・空中写真
2010	8/18	国際航業(株)	航空レーザー・空中写真
2013	9/13	(株)シン技術コンサル	空中写真

で、2003年豪雨後の最高を記録した。2006年の航空レーザー測量は、この豪雨後に実施された(表-1)。2006年の豪雨以降に注目すると、2010年8月11日から12日にかけての日雨量、時間雨量はそれぞれ最高であった。2010年の航空レーザー測量はこの豪雨直後に実施されたものである(表-1)。

### 3 大規模崩壊土砂の流出継続期間

2003年豪雨直後から現在にかけての崩壊土砂末

端部および崩壊土砂表面の変化は以下のとおり。

#### 3.1 2003年豪雨直後から1ヶ月の崩壊土砂末端崖の変化

室蘭開発建設部が行った調査によれば、右岸斜面で発生した崩壊土砂が左岸まで到達した痕跡が観察されており、短時間ではあるが河道が一時的に閉塞し、流水により閉塞部が開口したとみられている。豪雨からおおよそ1ヶ月後の2003年空中写真によれば、崩壊土砂末端崖は図-3(a)の線分AB(破線)から線分A'B'(実線)まで、最大15m程度後退していた。

#### 3.2 2003年10月～2006年10月の崩壊土砂末端崖の変化



図-5 崩壊土砂末端部の変化  
(a:2003年, b:2004年, c:2005年, d:2006年  
(以上、提供:北海道開発局 室蘭開発建設部),  
e:2015年)

大規模崩壊土砂末端部の各年 10 月に撮影された定点の正面写真(北海道開発局 室蘭開発建設部)から定性的な変化を調べた。また、2006 年(図-6(a))と 2003 年(図-3(a))の空中写真から本流河川に面する崩壊土砂末端の変化を定性的に調べた。

2003 年から 2004 年までは、2004 年に実線部分の植生が剥落、点線部分の岩塊が崩落、破線部分の根茎周辺の表層土が剥落しており、崩壊土砂末端崖の表層で小規模な崩壊土砂の再移動が生じた(図-5a,b)。2004 年から 2005 年までは崩壊土砂末端部の左岸側(写真右側)にガリー浸食が生じた(図-5b,c)。この期間の総雨量は、1203mm、日雨量の上位 3 日は、153mm、87mm、64mm であり、日雨量が 50mm を超えた日が 4 日あった。また、最大時間雨量は 25mm/h であった。2005 年から 2006 年までは、ガリーが拡大し、2005 年時に崩壊土砂内に堆積していた直径 2m 程度の玄武岩(破線で囲んだ巨礫)が 2006 年時には、ガリー表面に落石した(図-5c,d)。また、2005 年時に崩壊土砂末端付近で確認された岩塊の周辺は、2006 年時に洗掘されていた(図-5c,d)。この期間の総雨量は、1213mm、日雨量の上位 3 日は、157mm、79mm、57mm であり、日雨量が 50mm を超えた日が 4 日あった。また、最大時間雨量は 40mm/h であった。

2003 年に河道に堆積した崩壊土砂(図-3(a))は、2006 年までに本流河川の営力により、崩壊土砂末端崖はわずかに浸食されたが、大半が残存している状況であった(図-6(a))。

### 3.3 2006 年～2010 年の崩壊土砂末端部表面の地形変化

この期間の総雨量は、4814mm、日雨量の上位 3 日は、131mm、101mm、96mm であり、日雨量が 50mm を超えた日が 22 日あった。また、最大時間雨量は 33mm/h であった。

2006 年および 2010 年の航空レーザー測量データから 1mDEM を作成した後、両者の差分量を算出し、崩壊土砂末端部の変化量を調べた。

図-6(b)に崩壊土砂末端部における 2006 年から 2010 年までの地形変化量(浸食と堆積)を示し、堆積については、堆積の厚さを 0.5m 刻みで示した。この図によれば、ガリー出口付近では最大で 1m 以上の堆積が確認された。しかし、ガリー沿いを除けば、全体的に地形の変化量が小さい。

一方、2006 年のカラー空中写真上で示した崩壊土砂の破線および実線範囲(図-6(a))と 2010 年のカラー空中写真上で示した崩壊土砂の実線範囲(図-8(a))の色調を比較すると、2010 年は暗色を呈し、崩壊土砂表面は徐々に植生被覆が進んでいることがわかる。

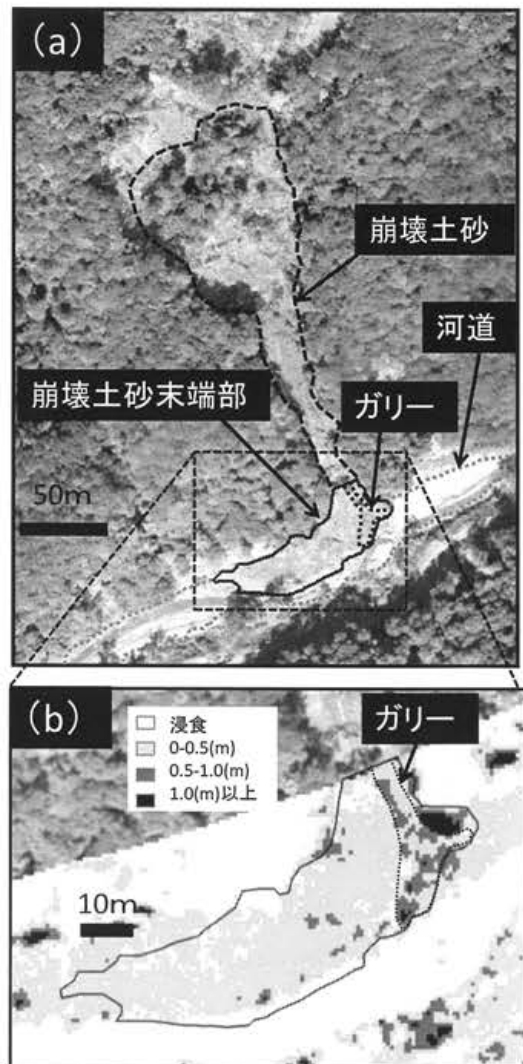


図-6 (a):2006 年航空レーザー測量時の崩壊土砂の様子, (b):2006 年から 2010 年までの崩壊土砂末端部の変化量

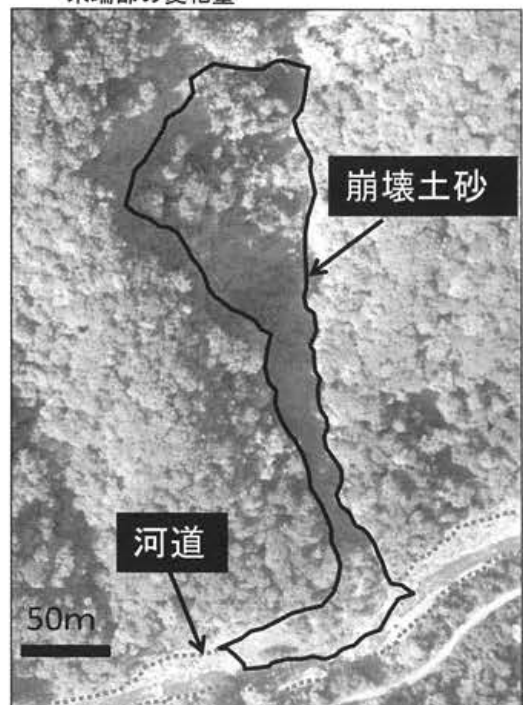


図-7 崩壊土砂の様子(2013年)



### 3.4 2010 年から現在までの崩壊土砂表面および末端部の変化

この期間は2010年豪雨以降にあたり、2013年までに2010年豪雨を超える日雨量および時間雨量を記録していない(図-4(a),(b)).

2013年の空中写真(図-7)と2010年の空中写真(図-8(a))を比較すると、2013年の崩壊土砂表面は、さらに植生が被覆していた。2013年の空中写真の実体視によると、崩壊土砂の大半は植生被覆されており、土砂表面が安定傾向となっているように読み取れる(図-7)。

翌年2014年の現地踏査においても、崩壊土砂の大半が植生に覆われており、2015年撮影写真(図-5e)からは、崩壊土砂末端部が2003年から2006年まで(図-5a,b,c,d)の様相とは異なり、大半が植生被覆していることが読みとれる(図-5e)。

### 3.5 2003年から現在までの崩壊土砂の流出

2003年豪雨時から現在までの土砂流出を降雨規模と時間経過に伴う植生被覆状況から整理する。

**2003年豪雨以降 2006年10月:** 全体的に規模の大きな豪雨が観測された(図-4(a),(b)). 崩壊土砂末端崖は豪雨後1か月でおよそ15m後退し、その後も末端崖の後退のみならず、崩壊土砂表面にガリー浸食が見られ、土砂流出現象が特に活発であったと考えられる。

**2006年10月以降 2010年9月:** 比較的規模の大きな降雨が観測されているが(図-4(a),(b)), 時間経過に伴い、次第に植生が侵入しはじめ、斜面に堆積した崩壊土砂は主にガリーを通じて流出していると考えられ、2003年豪雨後から2006年に比べ、土砂流出量が小さくなっていると考えられる。

**2010年9月以降:** 2010年以前と比べ、降雨規模も小さく、時間経過に伴い、さらに植生が被覆し、崩壊土砂表面が安定化してきた。そのため、崩壊土砂はガリー沿いを除き土砂流出が生じにくい状況へと変化したことが考えられる。

## 4. 2003年～2010年の土砂流出量

前項で述べたとおり、土砂流出現象は2003年から2010年まで活発であった。2003年豪雨から1ヶ月間は、河道閉塞した崩壊土砂の顕著な流出があった。その後、2005年10月には、崩壊土砂末端崖の浸食のみならず、崩壊土砂末端部表面に新たにガリー浸食が生じ、2010年までにガリー浸食沿いに地形の変化があった。

以上より、2003年から2010年の流出土砂量を、(1)2003年豪雨直後から1ヶ月間の流出土砂量(以

下、初期の流出土砂量( $V_{ir}$ )とする)、(2)それ以降から2010年までの流出土砂量(以下、後続の流出土砂量( $V_{fr}$ )とする)に分けて、算出した。

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最末端部が図-3(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-8(a)に示す①の初期の流出範囲とし、ArcGIS(10.2.2)上で面積を算出した。この範囲の土砂の堆積厚は図-3(b)によると、およそ6mであることから、初期の流出範囲面積に堆積厚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( $V_{fr}$ )は、図-8(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( $V_{fr}$ )」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。

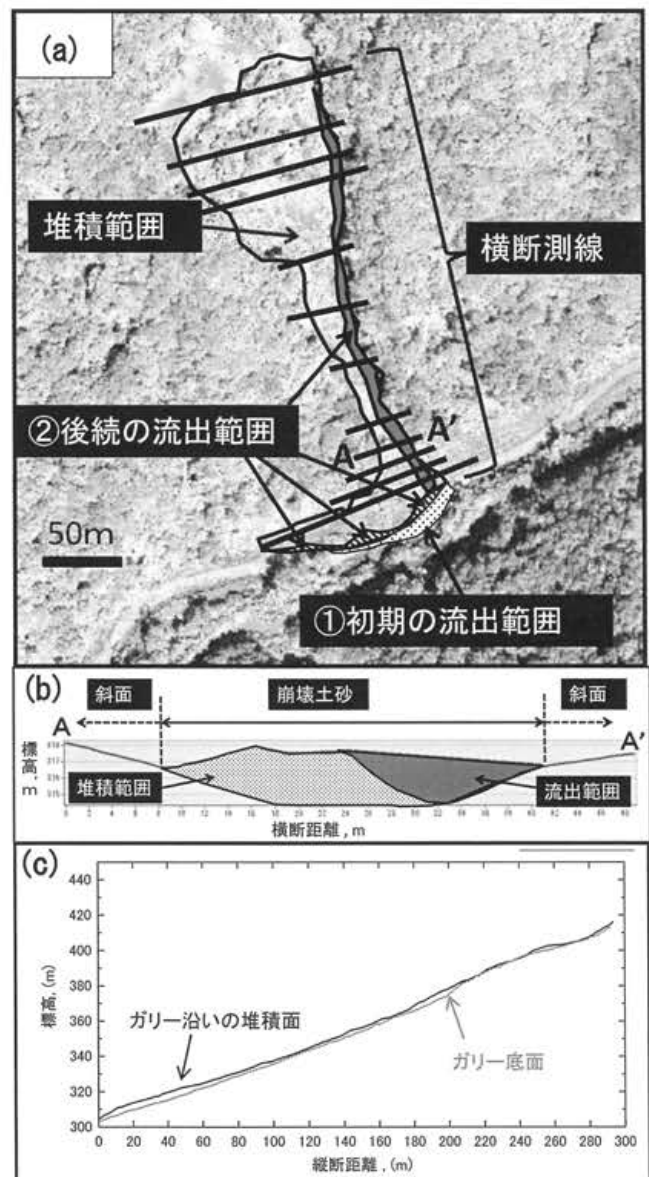


図-8 (a):崩壊土砂の横断測線、(b):土砂量算定のために想定した堆積・流出面積の例、(c):ガリー沿いの縦断形状

河川営力による後続流出土砂量( $V_{fr}$ )は、以下の通り算出した。河川営力による後続の流出範囲は、2003年9月撮影の空中写真(図-3(a))と2010年の空中写真(図-8(a))の崩壊土砂末端崖の位置変化から、図-8(a)の②に示す斜線の範囲とし、ArcGIS(10.2.2)上で面積を算出した。この範囲の堆積厚は図-3(b)より6m程度であるから、河川営力による後続の流出範囲面積に堆積厚を乗じた値を河川営力による後続流出土砂量とした。

次に、2010年までのガリー浸食による流出土砂量( $V_{gr}$ )と2010年時点の残存土砂量( $V_r$ )は、以下の通り算定した。図-8(a)のように、堆積範囲と流出範囲およびその側壁斜面を含むように横断測線をとって、ArcGIS(10.2.2)上で、2010年の1mDEMから2010年の断面図を描写した(図-8(b))。崩壊土砂の範囲は現地踏査で確認し、図-8(b)のように側壁斜面と崩壊土砂の範囲を区分した。崩壊土砂の底面は、崩壊土砂の横断距離が短いため、崩壊前の地形図(国土地理院発行:1/25000 豊糠)と現地踏査を参考にしながら、元の谷地形を復元するように、側壁斜面の傾斜を延長し、谷底を図-8(b)のように描写した。また、流出範囲は現地調査による2003年に土砂が堆積した痕跡から当時の堆積面を推定し(図-8(b)の破線)、ガリー浸食から底面に囲まれる範囲とした。その上で堆積範囲と流出範囲の面積を算出した。図-8(a)に示した横断測線ごと、堆積範囲面積と流出範囲面積を図-8(c)に示す縦断に沿って積分し、残存土砂量とガリー浸食による流出土砂量を算定した。

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。

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

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( $R_{fr}$ )として、以下のとおり算出し、流出土砂量の推移を追った。

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

$$R_{fr} = V_{fr} / V \quad (3)$$

その結果、初期の土砂流出率( $R_{ir}$ )は、3%であり、後続の土砂流出率( $R_{fr}$ )は、4%であった。以上より、豪雨直後(豪雨からおおよそ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、崩壊土砂量のおおよそ7%であり、崩壊土砂は現在も多く残存している状況であることがわかった。

## 5. まとめ

本研究では、2003年豪雨によって発生した崩壊地のうち、流域内で崩壊土砂量が最も多く、崩壊斜面下部から河道にかけて堆積した崩壊土砂の豪雨後から現在までの土砂流出の動態を調べた。

その結果、定点写真、空中写真、現況の測量などを組み合わせることにより、崩壊後の12年間の土砂流出状況について3期間に分類し、ある程度復元することができた。具体的に復元した状況は以下のとおりである。

- 1) 崩壊土砂の土砂流出現象は、降雨規模や時間経過に伴う植生被覆により、2006年までは特に活発であり、その後2010年まで顕著な土砂流出が生じ、それ以降は植生被覆による安定化により、急激に土砂の流出が減少した。
- 2) 土砂流出が顕著であった7年間の流出土砂量を調べた結果、豪雨後1ヶ月間は、その後7年間の流出土砂量に匹敵するほどの土砂流出が生じており、豪雨後から7年間に流出した土砂量は崩壊土砂量のおおよそ7%であり、崩壊土砂は現在も多く残存している状況であることがわかった。

以上より、本調査地の大規模崩壊土砂は、現在までに河川の土砂動態にそれほど大きな影響を及ぼしていないことが明らかになった。

謝辞：本研究は、科研費若手研究(B) 26870830(代表：興水健一)の助成を受けて行われた。北海道開発局からは資料提供をいただいた。ここに記して感謝申し上げます。

## 引用文献

- 1) Koi T., Hotta N., Ishigaki I., Matuzaki N., Uchiyama Y., Suzuki M : Prolonged impact of earthquake-induced landslides on sediment yield in a mountain watershed: The Tanzawa region, Japan, *Geomorphology*, Vol.101, p.692-702, 2008.
- 2) 松岡 暁・山越隆雄・田村圭司・長井義樹・丸山 準・小竹利明・小川紀一郎・田方 智 : LiDAR データの差分処理による流域土砂動態把握の試み, *砂防学会誌*, Vol.62, No.1, p.60-65, 2009.
- 3) 土木学会水工学委員会 : 平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団報告書, p.45-97, 2004.
- 4) 都築一憲・土門文之・猪子 長・長山孝彦・末武晋一・佐伯哲朗 : 2003年8月台風10号による沙流川水系額平川支流流域での土砂移動実態ならびに流出土砂特性について, 平成16年度砂防学会研究発表会概要集, p.62-63, 2004.
- 5) 北海道開発局 室蘭開発建設部 : 沙流川総合開発事業の内沙流川土砂動態調査検討業務, 2008.
- 6) 村上泰啓・山下彰司 : 山地流域における地質成因に着目した土砂生産と河道堆積土砂の移動実態について, *水工学論文集*, Vol.51, p.919-924, 2007.

(2016.5.31 受付)