



Title	4. 社会貢献：災害調査・防災関係機関への技術的な支援
Author(s)	赤澤，史顕；阿部，孝章；阿部，友幸 他
Relation	石川 芳治，赤澤 史顕，植 弘隆，大野 宏之，小山内 信智，海堀 正博，久保田 哲也，古賀 省三，権田 豊，坂島 俊彦，地頭菌 隆，清水 収，武士 俊也，樽角 晃，鳥田 英司，中濃 耕司，西 真佐人，野呂 智之，平川 泰之，平松 晋也，藤田 正治，松尾 新二郎，山田 孝．”平成28年熊本地震後の降雨による二次土砂移動と二次土砂災害” 砂防学会誌，Vol.69，No.4，p.25-36，2016 小山内 信智，林 真一郎，古市 剛久，藤浪 武史，阿部 孝章，田中 忠彦，吉川 契太郎，一法師 隆充，巖倉 啓子，早川 智也，松岡 暁，永野 統宏，齋藤 篤司，大島 千和．”平成28年8月北海道上川町（層雲峡）で発生した土石流の実態” 砂防学会誌，Vol.69，No.5，p.47-57，2017 他
Citation	国土保全学研究室活動報告書，43-94
Issue Date	2019-03-05
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/75403">https://hdl.handle.net/2115/75403</a>
Rights	本記事は公益社団法人 砂防学会の許諾を得て掲載しています
Type	other
File Information	16-disaster investigation.pdf



## 災害調査・防災関係機関への技術的な支援

- ① 平成 26 年 8 月礼文島における土砂災害に関する現地調査（南・野呂）
- ② 平成 26 年 9 月支笏湖周辺の土砂災害に関する現地調査（南・野呂）
- ③ インドネシアマルク州アンボン島における天然ダム決壊に関する緊急現地調査（野呂）  
（インドネシア政府から日本政府への要請に基づく土砂災害専門家による現地調査）
- ④ 平成 28 年熊本地震（小山内・林）  
（公益社団法人砂防学会 平成 28 年熊本地震に係る土砂災害第四次緊急調査団  
団員：小山内）
- ⑤ 平成 28 年 8 月北海道上川町（層雲峡）で発生した土石流（小山内・林）  
（公益社団法人砂防学会 平成 28 年 8 月北海道上川町（層雲峡）で発生した土石流に  
関する調査団 団長：小山内，団員：林）
- ⑥ 平成 28 年台風 10 号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出（小山内・林）  
（公益社団法人砂防学会 平成 28 年台風 10 号豪雨により北海道十勝地方で発生した  
土砂流出に関する調査団 団長：小山内，団員：林）
- ⑦ 平成 30 年北海道胆振東部地震（小山内・林）  
（公益社団法人砂防学会 平成 30 年北海道胆振東部地震土砂災害緊急調査団  
団長：小山内，団員：林）

※ ③については、国土交通省ホームページより資料を転載。

④～⑦については、砂防学会誌に掲載された災害報告を砂防学会の許可を得て転載している。



平成 25 年 8 月 13 日  
水管理・国土保全局  
砂防部砂防計画課

日本・インドネシア国合同によるインドネシア国マルク州アンボン島における天然ダム決壊に関する緊急現地調査への土砂災害専門家の派遣について

- インドネシア国において発生した天然ダム決壊による災害に対し、国土交通省は、(独)土木研究所及び(独)国際協力機構と共同して、土砂災害専門家による現地調査団を現地に派遣することとしました。
- 国土交通省は、インドネシア政府との R/D (技術協力に関する合意書) に基づき派遣を行います。
- なお、本調査は、インドネシア政府からの要請により行うものです。

1. 派遣する土砂災害専門家

独立行政法人 土木研究所 土砂管理研究グループ火山・土石流チーム  
上席研究員 石塚 忠範

国土交通省 水管理・国土保全局砂防部砂防計画課地震・火山砂防室  
課長補佐 山越 隆雄

// 国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室  
研究官 野村 康裕

国立大学法人 北海道大学国土保全学研究室 特任准教授 野呂 智之

一般財団法人 砂防・地すべり技術センター企画部  
企画部長 萬徳 昌昭

2. 派遣期間

平成 25 年 8 月 18 日 (日) ~ 24 日 (土)

3. 派遣先

インドネシア国マルク州アンボン島ウェイエラ川流域

4. 派遣目的

- ・ 現地調査 (被害状況調査、天然ダム及び崩壊斜面の状況調査、等)
- ・ 復旧計画及び警戒監視等に関するインドネシア政府等との協議 等

問い合わせ先	
国土交通省水管理・国土保全局砂防部砂防計画課地震・火山砂防室	
室長 岡本 敦 (内線 36-151)	
砂防部砂防計画課	
課長補佐 林 孝標 (内線 36-142)	
代表	03-5253-8111
直通	03-5253-8466
FAX	03-5253-1610
独立行政法人国際協力機構 地球環境部 参事役 宮坂 実 (内線 9548)	
代表	03-5226-6660
FAX	03-5226-6343



平成 25 年 9 月 3 日  
水管理・国土保全局  
砂防部 砂防計画課

インドネシア国マルク州アンボン島における天然ダム決壊に関する  
緊急現地調査結果について

以下の調査結果概要について、現地調査団がインドネシア政府に提言してきました。

**【調査結果概要】**

- 越流によって生じた流路の両岸は、比高が高く（約 100m）、急勾配（約 40°）で不安定な状態にあり、崩壊により再閉塞するおそれが高い。
- 下流河道には、20m の河床上昇が確認された地点もある等、大量の不安定土砂が堆積しており、次期洪水により土砂流出が懸念される。
- 下流氾濫範囲では、河道が完全に埋没しており、次期出水時にどの方向にも洪水が流れる恐れがある。
- 天然ダムの決壊による洪水で浸水した地域では、再度洪水被害の危険性があり、下流導流堤や遊砂地などの対策について、インドネシア政府に助言を行った。

- 現地調査団の派遣概要  
 期 間：平成 25 年 8 月 18 日（日） ～ 24 日（土）  
 人 数：土砂災害専門家 5 名  
 派遣先：インドネシア国マルク州アンボン島ワイエラ川流域 等

問い合わせ先	
国土交通省水管理・国土保全局砂防部砂防計画課地震・火山砂防室	室長 岡本 敦（内線 36-151） 砂防部砂防計画課 課長補佐 林 孝標（内線 36-142） 代表 03-5253-8111 直通 03-5253-8466 FAX 03-5253-1610
独立行政法人国際協力機構 地球環境部	参事役 宮坂 実（内線 9548） 代表 03-5226-6660 FAX 03-5226-6343

- 平成25年7月25日にインドネシア国マルク州のワイエラ川の天然ダムが決壊し、下流のネグリ・リマ村に甚大な被害が発生。
- 平成25年8月2日にインドネシア政府より、残存する天然ダムの危険度評価と今後の対応に関する技術的支援の要請。
- 平成25年8月18日から7日間、土砂災害専門家による現地調査団（5名）を現地に派遣



現地調査状況



インドネシア政府への技術的助言

インドネシア政府に対する技術的助言

- 越流によって生じた流路の兩岸は、比高が高く（約100m）、急勾配（約40°）で不安定な状態にあり、崩壊により再閉塞するおそれが高い。
- 下流河道には、20mの河床上昇が確認された地点もある等、大量の不安定土砂が堆積しており、次期洪水により土砂流出が懸念される。
- 下流氾濫範囲では、河道が完全に埋没しており、次期出水時にどの方向にも洪水が流れる恐れがある。
- 今後必要なハード対策は以下のとおり。
  - 第1段階 河道の掘削と導流堤の整備（河道を固定することで洪水流を安定化させ、下流住民の洪水被害を減らすことを目的とする。）
  - 第2段階 扇頂部に遊砂地を整備（土砂を捕捉し、集落を流れる河道への土砂堆積を防ぐことを目的とする。）
  - 第3段階 砂防堰堤の整備（河床侵食を制御し、河床勾配を安定化させることを目的とする。）
  - 第4段階 決壊後の天然ダムと周辺斜面の保全（残存する土塊と今後天然ダムを形成する恐れのある不安定土塊を、切土や盛土で安定化することを目的とする。）
- 今後必要なソフト対策は以下のとおり。
  - 7/25の天然ダム決壊によって生じた洪水の氾濫範囲内は引き続き警戒が必要
  - 天然ダム周辺斜面の監視、下流部の洪水の監視が必要

■天然ダム地点

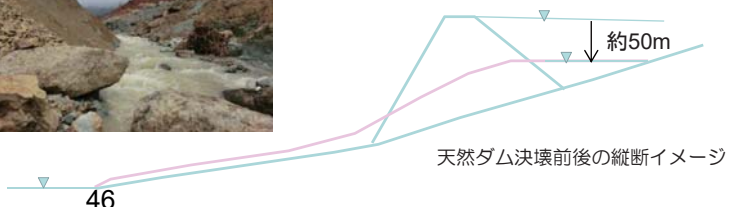
決壊後



決壊前



天然ダム土塊末端



■越流によって生じた流路  
(両岸不安定)



■ワイエラ川中流の河床上昇



決壊前

約20m

■天然ダム天端付近



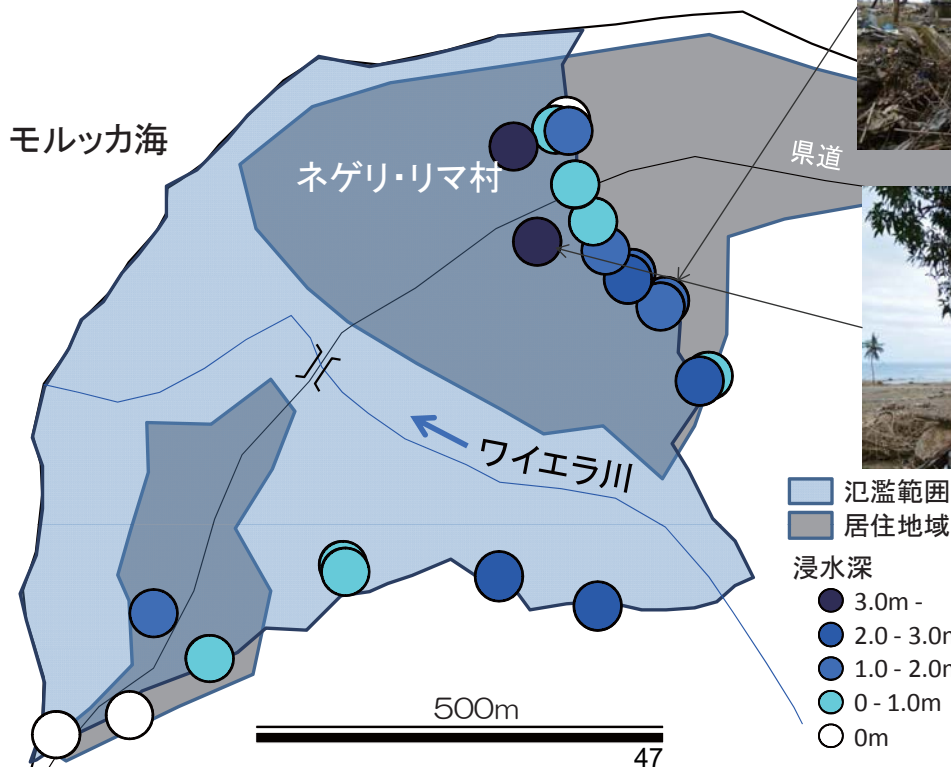
決壊前の水位

現在の水位

決壊後

約20m  
河床上昇

■浸水実績の調査結果



## 平成 28 年熊本地震後の降雨による二次土砂移動と二次土砂災害

Secondary sediment movements and secondary sediment disasters caused by rainfalls  
after the Kumamoto Earthquake in April 2016

石川 芳治* <sup>1</sup>	赤澤 史顕* <sup>2</sup>	植 弘 隆* <sup>3</sup>	大野 宏之* <sup>4</sup>	小山内信智* <sup>5</sup>
Yoshiharu ISHIKAWA	Fumiaki AKAZAWA	Hiroataka UE	Hiroyuki OHNO	Nobutomo OSANAI
海堀 正博* <sup>6</sup>	久保田哲也* <sup>7</sup>	古賀 省三* <sup>8</sup>	権田 豊* <sup>9</sup>	坂島 俊彦* <sup>10</sup>
Masahiro KAIBORI	Tetsuya KUBOTA	Syozo KOGA	Yutaka GONDA	Toshihiko SAKASHIMA
地頭 蘭 隆* <sup>11</sup>	清水 収* <sup>12</sup>	武士 俊也* <sup>4</sup>	樽角 晃* <sup>13</sup>	鳥田 英司* <sup>14</sup>
Takashi JITOUSONO	Osamu SHIMIZU	Toshiya TAKESHI	Akira TARUKADO	Eiji TORITA
中濃 耕司* <sup>15</sup>	西 真佐人* <sup>13</sup>	野呂 智之* <sup>16</sup>	平川 泰之* <sup>17</sup>	平松 晋也* <sup>18</sup>
Koji NAKANO	Masato NISHI	Tomoyuki NORO	Yasuyuki HIRAKAWA	Shinya HIRAMATSU
藤田 正治* <sup>19</sup>	松尾新二郎* <sup>8</sup>	山田 孝* <sup>20</sup>		
Masaharu FUJITA	Shinjiro MATSUO	Takashi YAMADA		

## Abstract

After the Kumamoto Earthquake in April 2016, a lot of secondary sediment movements were induced by rainfall and secondary sediment disasters were caused by them from April 16th to the end of July in Kumamoto prefecture, especially in the Aso volcanic range. Hence, field investigations and reconnaissance were conducted four times by the Japan Society of Erosion Control Engineering to clarify the actual conditions of the phenomena of secondary sediment movements and secondary sediment disasters. The various results and information obtained through those investigations were reported as the secondary report concerning characteristics of rainfall after the earthquake, distribution of secondary sediment movements, geologic-geomorphologic characteristics of secondary sediment movements, features of secondary disasters, and the efficiency of Sabo facilities in these disasters.

**Key words** : secondary sediment movement, secondary sediment disaster, rainfall, Kumamoto Earthquake

## 1. はじめに

熊本県熊本地方を震源とした平成 28 年 4 月 14 日の M=6.5 の前震に続き 4 月 16 日に M=7.3 の本震が発生し、いずれも最大震度 7 を記録した。特に熊本県の阿蘇地域およびその周辺ではこの地震により多数の斜面崩壊、地すべり、土石流等が発生し人命、家屋、道路、鉄道等に大きな被害が発生した。さらに、地震後の降雨により多数の土砂移動現象が起り、人命、家屋、道路、鉄道に被害が発生し、9 月 30 日現在、熊本県内では地震およびその後の降雨による土砂災害による死者は 15 名(国土交通省, 2016 a) にのぼる甚大な被害となっている。

公益社団法人砂防学会は、平成 28 年熊本地震に起因する阿蘇地域およびその周辺地域における土砂移動現象

の発生・流下・氾濫堆積実態を明かにするとともに、余震や梅雨期における二次災害の危険性を調査し、今後の二次災害の軽減のために必要な緊急対応を検討することを目的として 4 月 15~17 日に先遣調査を行うとともに、4 月~5 月に「第一次、第二次、第三の緊急調査団」を派遣して現地調査等を実施した。

第一次~第三次緊急調査により得られた成果を基に、阿蘇火山地域およびその周辺において地震により発生した主な土砂移動現象(斜面崩壊、地すべり、土石流等)とそれらの土砂移動現象による災害については、すでに本誌の災害報告として報告している(石川ら, 2016)。

地震に関係する土砂移動現象に起因する災害としては、地震により直接的に引き起こされるいわゆる一次災害と、その後の降雨や余震、津波、天然ダムの決壊等により引

\*1 東京農工大学 Tokyo University of Agriculture and Technology \*2 土木研究所 Public Works Research Institute \*3 砂防エンジニアリング(株) Sabo Engineering Co., Ltd. \*4 砂防・地すべり技術センター Sabo and Landslide Technical Center \*5 北海道大学 Hokkaido University \*6 広島大学 Hiroshima University \*7 九州大学 Kyushu University \*8 日本工営(株) Nippon Koei Co., Ltd. \*9 新潟大学 Niigata University \*10 パシフィックコンサルタンツ(株) Pacific Consultants Co., Ltd. \*11 鹿児島大学 Kagoshima University (sabo@agri.kagoshima-u.ac.jp) \*12 宮崎大学 Miyazaki University \*13 砂防フロンティア整備推進機構 Sabo Frontier Foundation \*14 国際航業(株) Kokusai Kogyo Co., Ltd. \*15 東亜コンサルタント(株) Toa consultant Co., Ltd. \*16 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management \*17 アジア航測(株) Asia Air Survey Co., Ltd. \*18 信州大学 Shinshu University \*19 京都大学 Kyoto University \*20 三重大学 Mie University ※筆者は全員正会員



図-1 第四次緊急調査団の主な調査地位置図 (Google Earth に追記)

き起こされる二次災害がある。地震後の降雨による二次的な土砂移動現象と土砂災害に関する実態を認識することは、地震後の二次災害の防止・軽減を検討するうえで、また、地震後の流域の土砂移動現象を予測するうえで極めて重要と考える。このため、本報告では、特に7月22~24日に現地に派遣した第四次の緊急調査団により得られた調査成果を基に、4月16日の本震から7月末までの間の豪雨により引き起こされた二次的な土砂移動現象ならびにそれらの土砂移動現象による災害の実態等について報告する。図-1に第四次緊急調査団の主な調査地の位置を示す。なお、本災害報告をまとめるにあたっては、必要に応じて補足の現地調査も実施している。

## 2. 降雨の状況

### 2.1 地震後の降雨の特性

4月16日の本震以降、阿蘇山周辺では4月21日および5月上旬に降雨があったが、いずれも連続雨量100~

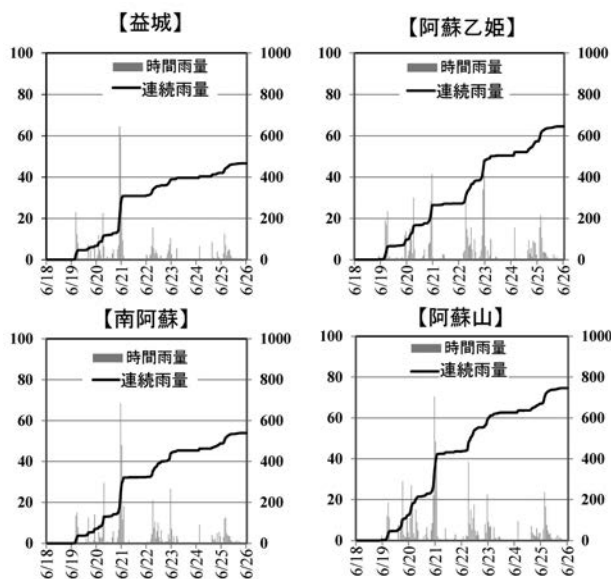


図-2 2016年6月18日~25日の阿蘇山周辺での降雨量  
左軸：時間雨量(mm)，右軸：連続雨量(mm)

200 mm, 最大時間雨量 20 mm 程度の、それほど大きくない雨量であった。しかし、6月19~25日に本州付近には梅雨前線が停滞し、その前線上を次々と低気圧が通過した。その後前線は南下し、一時活動が弱まったが、27日以降再び本州付近に北上し活動が活発となった。これらの影響で、西日本を中心に大雨となった。19日~29日までに観測された総降水量は九州地方の広い範囲で500 mmを超え、南阿蘇村阿蘇山では1031 mmを記録した。本項では、降雨の影響を地震前後で比較するため、雨量観測所は今回崩壊が多発した地域に加え、2012年豪雨災害で崩壊が多発した地域の近傍として阿蘇乙姫を選定した。

図-2に示すように、2016年6月19日からの降雨は、阿蘇カルデラ内外では比較的一様に降り続き、連続雨量では約1週間をかけて700~1000 mm程度に達している。時間雨量としては6月20日22時~23時頃に、益城で64.5 mm, 南阿蘇で68.5 mm, 阿蘇乙姫で41.5 mmと比較的強い雨を記録したが、強雨が連続することはなかった。

### 2.2 2012年九州北部豪雨災害時の降雨との比較

2016年6月の降雨はカルデラの西側、2012年7月の降雨は東側で多く降っており、代表としてカルデラ中央に位置する阿蘇山のハイエトを図-3に示す。連続雨量としては2016年の方が大きいですが、2012年は7月12日未明の5時間程度に強雨が集中していた。

口絵図-1に阿蘇山・南阿蘇・阿蘇乙姫・湯ノ谷のスネーク図を示す。なお、熊本県では土砂災害警戒情報を「AND/OR」方式で現在運用しており、このスネーク図にはCLを記載していない。

今回の地震後の雨ではカルデラ東壁部分ではほとんど土砂崩壊現象が発生していないが、この地域が震源断層から遠いことに加え、阿蘇乙姫の雨量を比較すると2016年の方が2012年よりはるかに少ないことが影響していると考えられる。

他方、阿蘇山・南阿蘇・湯ノ谷では、今回の地震後のスネークラインは2012年のレベルに近い状況であったことが分かる。このエリアでの拡大崩壊・新規崩壊の発生時刻を特定できれば、地震後のCL引き下げ基準の妥当性検証に寄与するものと考えられる。

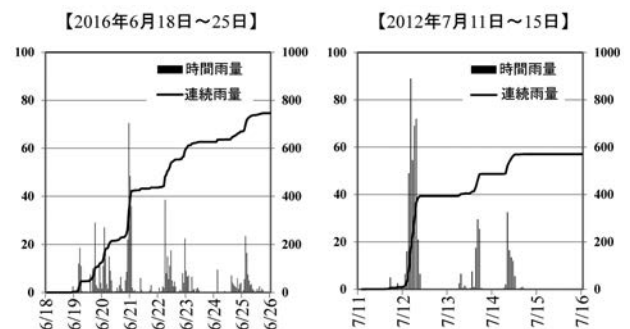


図-3 2016年災害と2012年災害の降雨量比較 (阿蘇山)  
左軸：時間雨量(mm)，右軸：連続雨量(mm)

### 3. 地震後の降雨による二次土砂移動現象と二次土砂災害の分布

国土地理院がホームページで公表している 4 月 15 日、4 月 16 日、4 月 19～20 日、4 月 29 日、5 月 30～31 日、7 月 5 日、7 月 5～24 日に撮影された空中写真を比較することにより、本震後の 4 月 21 日の降雨、6 月 19～29 日にわたる降雨により二次土砂移動現象が発生したと推定される。これらの降雨による二次土砂移動現象が集中したのは、南阿蘇村の立野地区（白川右岸側山腹斜面）およびその南の白川左岸および山腹斜面（大津町、南阿蘇村、西原村）であった。口絵図-2 には国土地理院が公表している空中写真を基に判読した立野地区およびその周辺における地震およびその後（4 月 16 日～7 月 24 日）の降雨による土砂移動現象の影響範囲の変化を示す。4 月 21 日の降雨による二次土砂移動現象は発生数も面積も少ない。一方、6 月 19～29 日の降雨による二次土砂移動現象は発生数も面積も大きい。これは前述したように主として降雨量の違いによるものと考えられる。後述するように、立野地区およびその周辺以外でも地震後の降雨により二次土砂移動現象は発生し、家屋や道路、鉄道に被害を与えた。

## 4. 代表的な二次土砂移動と二次土砂災害

### 4.1 阿蘇大橋地区の大規模崩壊

阿蘇大橋地区では、地震によって土砂量約 54 万  $m^3$  という大規模な崩壊が発生し、同時に崩壊地周辺の斜面には最大幅約 2 m の亀裂が多数発生した。以下、大規模崩壊地周縁および崩壊地内において地震後の降雨によって生じた土砂移動現象と二次土砂災害防止のための緊急対応について述べる。

#### 4.1.1 地震後の降雨による土砂移動現象

阿蘇大橋地区を撮影した国土地理院の空中写真（撮影日：①2016 年 4 月 16 日、②5 月 31 日、③7 月 5 日）の判読と現地調査（2016 年 7 月 23 日、9 月 7～8 日）によって地震後の降雨による土砂移動現象を調査した。

①-②期間に大規模崩壊地の北側縁の標高 630 m で表層崩壊が発生した（口絵写真-1 の A）。この崩壊は、第 3 章で述べたように、4 月 21 日に発生したと推定される。崩壊斜面は 40 度以上の急斜面であり、崩壊規模は長さ約 70 m、幅約 15 m、平均崩壊深約 1 m、土砂量約 1,000  $m^3$  であった。

②-③期間の 6 月 19～22 日の降雨により崩壊 A の隣と大規模崩壊地の南側縁の標高 650 m で崩壊が発生した（口絵写真-1 の B と C）。崩壊 A に隣接した 2 つの崩壊 B は、勾配 45 度の急斜面で発生し、長さは約 60 m と約 30 m、幅と平均崩壊深は両方とも約 10 m と約 1 m、土砂量は約 600  $m^3$  と約 300  $m^3$  の小規模な表層崩壊であり、0 次谷で地震による亀裂付近から発生していた。大規模崩壊地の南側縁で発生した崩壊 C は、勾配 44 度の

急斜面で発生し、長さ約 25 m、幅約 20 m、平均崩壊深約 1 m、土砂量約 500  $m^3$  の小規模な表層崩壊であった。

また、5 月 31 日と 6 月 26 日の UAV 撮影に基づく DEM データから大規模崩壊地内の地形変化量を算出した結果（国土交通省、2016 b）によると、降雨により崩壊地内の不安定土砂が部分的に深さ 2 m 程度侵食されて再移動し、崩壊斜面の遷緩線付近に堆積している。

以上のように、大規模崩壊地周縁および崩壊地内においては、地震後に比較的大きな降雨はあったが、土砂移動は小規模であった。

#### 4.1.2 地震で生じた崩壊地周辺の亀裂と今後の土砂移動

地震によって崩壊地周辺の斜面には多数の亀裂が生じた（写真-1）。図-4 は、地震で生じた亀裂の降雨後の変化を現地観察に基づいて示したものである。7 月 23 日および 9 月 7～8 日の現地調査によると、尾根や緩斜面の亀裂は、その肩部が侵食や崩落によって丸みをおび、内部に土砂が堆積していた（図-4 a）。地震直後、大規模崩壊地周囲の亀裂から円弧すべりが発生し、数万  $m^3$  規模の崩壊土砂となることが心配されたが、①-③期間の 1,500 mm を超える雨量でも生じなかった。地震による亀裂は、主に表層の黒ボクとローム層に生じ、その下位の溶岩部までは達しなかったと推定され、今後も規模の大きな円弧すべりが発生する可能性は低いと思われる。一方、前節で述べたように、急斜面の遷急線の亀裂付近からは降雨によって表層崩壊が発生していた（図-4 b）。さらに、大規模崩壊地の滑落崖は不安定な状態にあり、滑落崖の小規模な崩落や落石は①-③期間にも発生して



写真-1 地震で生じた亀裂

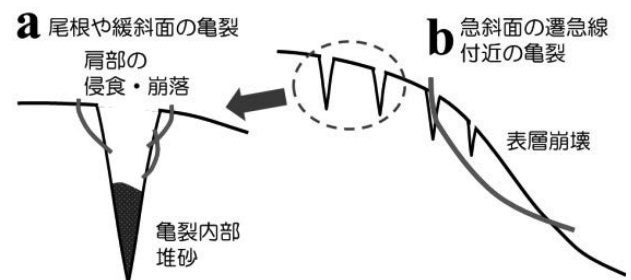


図-4 地震で生じた亀裂の降雨後の変化

おり、今後も起こりうると考える。

#### 4.1.3 緊急対応

国土交通省は、降雨や余震による二次土砂災害を防止するために、伸縮計、地盤傾斜計、カメラ等による土砂移動の監視、無人化機械による崩壊地下部における土留盛土工の設置、崩壊地上部の滑落崖付近の不安定土砂の排土等を進めている（国土交通省，2016 b）。

#### 4.2 大規模崩壊の北側カルデラ壁

土石流危険渓流赤瀬川周辺の渓流においては、図-5に示すように本震後の豪雨により新たな土砂移動が生じている。保全対象への影響が大きいと思われる赤瀬川およびその北側の渓流の土砂移動状況について調査した。

赤瀬川については、0次谷の谷頭部の遷急線付近で、小規模な表層崩壊（長さ約50m、幅約10m、平均崩壊深約1m）が発生しており、発生域で約500m<sup>3</sup>、流下域で約1,000m<sup>3</sup>、合計約1,500m<sup>3</sup>程度の生産土砂量と推定される。本震後の空中写真を見ると、谷頭部付近に小崩壊が認められる。谷頭部の遷急線付近には多数の亀裂が見られ、崩壊箇所は0次谷であり今回の豪雨により崩壊が拡大したと考える（写真-2）。今後の豪雨によって、周辺斜面で同程度の崩壊が発生する可能性はあるが、下流に未満砂の鋼製砂防堰堤（捕捉容量約16,000m<sup>3</sup>）が

存在するため、今後の同程度の土砂流出によって直接下流の保全対象が被災する危険性は少ないと考える。

赤瀬川の北側の渓流については、本震直後の空中写真を見ると、上部崩壊地からの土砂は渓流内に停止しており、地震後の降雨によって多量の流水が発生して再移動したと考えられる。二次移動した土砂や流木は、最上流の治山ダムに堆積し、一部は放水路を通過して2段目の治山ダムの堆砂域まで到達した。堆積量は約500m<sup>3</sup>程度である。最上流治山ダムの堆砂勾配は極めて緩く、表層には流木が土砂に埋没せず、横向きに並ぶ形で残存していた（写真-3）。また、治山ダムの放水路には擦痕は見られるものの、エッジの欠落や摩耗などの目立った損傷はないため、土石流形態で流下したとは考えにくい。ただし、2段目の治山ダムの堆砂域には先端に巨礫を含むロープ状堆積物があることから部分的に集合流動形態となったと考える（写真-4）。

#### 4.3 京大火山研究センター周囲(高野台地区)の地すべり

京大火山研究センターの周辺斜面で発生した複数の地すべりのうち、南西側斜面で発生し北方に分流したものを調査した。

##### 4.3.1 地すべり土塊の二次流出状況

5月25日の現地調査時点では、1~2m程度のブロック状にほぐされた草付きの土塊群が、地すべり発生域を

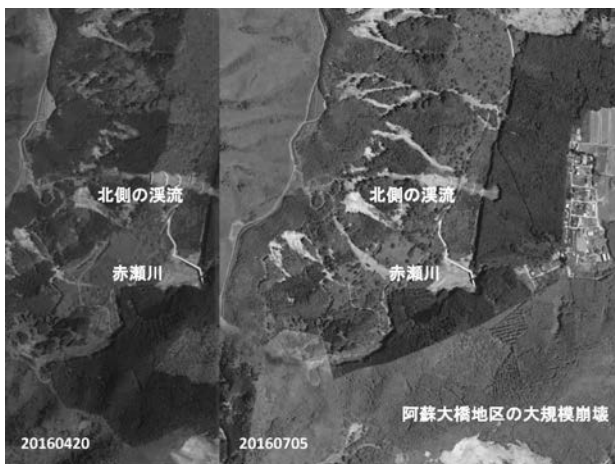


図-5 赤瀬川周辺の土砂移動状況（国土地理院資料）



写真-3 最上流の治山ダム堆砂状況（2016年7月23日撮影）



写真-2 赤瀬川谷頭部の表層崩壊と亀裂



写真-4 最上流治山ダムから流下したロープ状堆積物（2016年7月23日撮影）

広く覆っていた。しかし7月24日の調査時にはその土塊群がかなり多くの割合で消失し、平滑で難透水性の固くしまった埋没黒ボク土層が露出していた(口絵写真-2)。

地すべり発生域が明瞭な集水地形でないにもかかわらずブロック状の土塊群が消失した理由としては、土塊の細粒化と、埋没黒ボク土層の性質があると考えられる。まず土塊は黒ボクやロームが湿潤状態で固結したものであるが、乾燥収縮によってひび割れが発生していることを現地で確認した(写真-5)。一方、現地でペットボトルの水を埋没黒ボク土層の表面に垂らして流下させたところ、コンクリート水路のようにほとんど浸透することなく高速で流下した。また埋没黒ボク土層の表面には、流水による侵食痕跡や水たまりが認められた。これは埋没黒ボクが細粒でよく固結しているためである。なお滑落崖から約30m下流の地点で埋没黒ボク土層が露出を始め、侵食痕跡が発生していることから、表面流はこの地点から発生したと考えられる(口絵写真-2)。

すなわち、固く平滑な埋没黒ボク土層によって生じる高速の表面流が、乾燥伸縮によって脆くなった土塊を削りながら流下した結果、多くの土塊が消失するに至ったと考えられる。

一方、発生域よりも下流側の北方に分流した区間では、上記のような埋没黒ボク土層の露出はなく、概観としては地すべりによる土砂が厚く堆積したままであった。しかし発生域から流下した表面流によって、堆積土砂がV地状に大きく侵食され、内部に含まれた流木が洗い出され始めていた。

#### 4.3.2 斜面に存在する亀裂の状態

第一次調査の時点で地すべり周辺には多数の亀裂が認められたが、それらが拡大している状況は認められなかった。むしろ、亀裂の肩部が崩れ落ちて亀裂内部を埋めるなど、消滅に向かっているようであった。

#### 4.3.3 今後発生が懸念される現象

地すべり発生域では、多くはないもののブロック状の土塊が一部残存している。また下流部では堆積土砂の大部分が残存したままである。これらの土砂は、4.3.1で記したのと同様に今後も流下すると考えられる。ただしほとんどが細粒土砂であり、溪床勾配も緩やかであるため、土石流災害が発生する可能性は低いと考えられる。一方で、下流部の堆積土砂の再侵食が進み、内部に含まれた流木が再流出するようになると、下流域における橋



写真-5 土塊の乾燥収縮によるひび割れ(2016年7月24日撮影)

梁・カルバートの閉塞といった流木災害の発生も懸念される。それら構造物の有無やクリアランスなどを確認しておくことが望ましい。

#### 4.4 上の小屋川流域などの北側カルデラ壁

阿蘇市狩尾・三久保の崩壊地3箇所を調査した(写真-6)。

##### 4.4.1 上の小屋川2

谷出口から約1.2km上流の本川左岸斜面に並列する3支渓で4月16日の本震により発生した崩壊地の状況変化を確認した。崩壊地頭部には遷急線付近に位置する亀裂(L=7m程度)があり、地震直後の5月調査時点では、拡大崩壊の可能性が高いとみられていた。しかし、6~7月の降雨では崩壊地の拡大は見られず、崩壊斜面に侵食流路が発達している様子が見えた。また、堆積地にも流路が形成され、5月調査時点で確認された細粒分が多い堆積土砂が下流に流出し、溪床に礫が洗い出されていた(口絵写真-3)。

崩壊地より下流約300mの治山谷止工上流部には、比較的粒径の大きい石礫が堆積していた。また、5月調査時点では、治山谷止工より下流約300mの砂防堰堤までは土砂が到達していなかったが、7月時点では、治山谷止工の堆積土砂に比べて、粒径の細かい砂成分が砂防堰堤堆砂敷に堆積し、明瞭な堆砂肩が見られた(写真-7)。

このように、崩壊発生後、降雨時に斜面や堆積地で流路が発達し、土砂が下流に流出した。粒径の大きなものが治山谷止工に捕捉され、細かなものは砂防堰堤に捕捉され、それより下流にはあまり流出していないと思われる。砂防堰堤での堆積から推定すると、6~7月の降雨



写真-6 調査対象地の全景(2016年5月14日撮影)

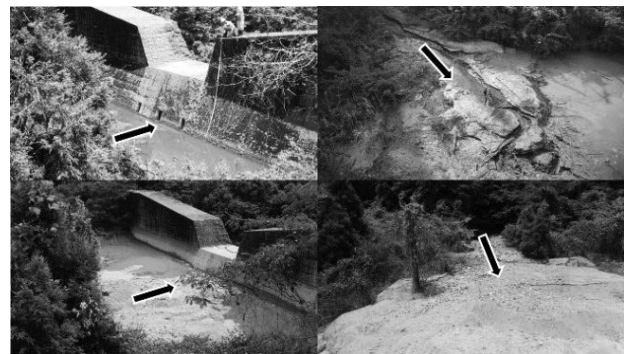


写真-7 上の小屋川2における最上流砂防堰堤堆砂状況の変化(上段:2016年5月14日撮影,下段:2016年7月24日撮影)

による総侵食量は約 5,000 m<sup>3</sup>である。なお、上の小屋川 2 下流の流路工においては、土砂の流下・堆積の痕跡が確認されなかった。

4.4.2 宇土川

宇土川の崩壊地では、崩壊地の拡大は見られなかった。崩壊地の下方斜面に堆積した岩塊（最大礫径 1.6 m）は大きく、また、斜面形状が直線型であり、集水地形でないため表面流の発生も見られず、崩壊土砂は下流に流出していなかった（写真-8）。

4.4.3 上の小屋川 3

上の小屋川 3 では、第三次調査後の 6 月 19 日～7 月 20 日にかけて、上の小屋川 3 工事現場事務所の雨量計で、時間雨量 30 mm 以上の降雨が 8 回、連続雨量 100 mm 以上の降雨が 6 回観測された。このうち、6 月 25 日午前 4 時 44 分に連続雨量 100 mm を超過した降雨では、上の小屋川 3 で土石流が発生した。工事関係者が現場を確認した午前 6 時頃には既に土石流が発生していた。発生した土石流は、5 月に除石工事を行った上流から 3 基目の治山谷止工で停止した。土石流発生後の除石量から、治山谷止工に到達した土砂量は約 3,000 m<sup>3</sup> と推定される。4 月 21 日の土石流（石川ら、2016）と異なり巨石等の流出はなく、泥土および直径 300～500 mm 程度の礫の大きさであった（写真-9、工事関係者聞き取り）。

近傍の気象庁阿蘇乙姫観測所データを基に、地震後に土石流が発生した 4 月 21 日と 6 月 25 日降雨を、近隣溪流における豪雨時の土石流発生実績（2001 年、2012 年）



写真-8 宇土川における崩壊地の変化  
（左：2016 年 5 月 28 日撮影、右：2016 年 7 月 24 日撮影）



写真-9 上の小屋川 3 での 2016 年 6 月 25 日発生土石流の除石状況（若宮誠二氏撮影）

と対比すると、地震により崩壊が生じた溪流では小規模降雨でも土石流が発生することが確認された（表-1）。

4.5 火の鳥温泉

火の鳥温泉ログ山荘に被害を及ぼした崩壊もその南隣の南阿蘇リゾート周辺に起きたいくつかの地すべりに近い土砂移動も、本震によって発生した。地震発生当時は直接的な降雨の影響は考えられないが、これらの地域がやや凹地形部であったために、周辺に比べて土中水分の高い状態にあったものと推測される。ここに、本震の強震動が加わったことにより、地中にあった特定の土層に過剰間隙水圧が発生し強度低下した分だけ安定性が失われ、崩壊等の発生に至ったものと考えられる。ただし、発生後も崩壊（地すべり）面上に移動土塊の一部が残されている状況だった。

火の鳥温泉の崩壊地では、本震後に崩壊の上部の移動土塊堆積部にも白っぽい強変質した砕屑物が目立っていた（写真-10）が、7 月の調査時点では白っぽい部分は少なくなっていた。おそらく、6 月の雨を受けて崩壊面上に残っていた移動土塊の一部が流失して、茶褐色の礫混じり砕屑物の面が広がったものと思われる。しかし、色合いの変化を除くと、全体的に、二次移動した土砂量は少ない。二次移動土砂は崩壊下部の堆積部先端付近にダム状に設けられた土嚢パックの上流側ですべて止められる状況にあり、それより下流側すぐのところには人家もないため、人家への二次被害を及ぼすことはないと思われる（写真-11）。また、崩壊地のさらに上側の尾根部周辺に亀裂のみが目立っていたところや林地斜面の中の亀裂等についても、降雨前後で大きな変化はないように思われた。

南阿蘇リゾートのいくつかの土砂移動のうち、火の鳥

表-1 気象庁阿蘇乙姫観測所の確率雨量と土石流発生時雨量

確率年数	100	50	30	20	10	5	2	今回の地震後		
日雨量 (mm/day)	確率雨量	488.4	442.7	406.9	381.8	334.6	285.5	211.3		
	土石流発生時	493.0					276.0		125.0	72.0
時間雨量 (mm/hr)	確率雨量	109.1	99.2	91.8	85.9	75.7	65.0	48.9		
	土石流発生時	106.0			81.0				28.0	26.0
									H24.7.12	H13.6.29
									H28.6.25	H28.4.21

確率雨量の使用データ：気象庁阿蘇乙姫観測所 S54～H27の37年間、グンベル法により算出



写真-10 火の鳥温泉ログ山荘に被害を出した崩壊  
白っぽい強変質した火山砕屑物が目立つ（2016 年 4 月 23 日撮影）



写真-11 火の鳥温泉の崩壊と土嚢バックによる対策  
6月の雨による大きな変状は認められない（2016年7月24日撮影）

温泉崩壊の脚部のすぐ南隣に発生していた椅子型の崩壊（地すべり）については、背もたれ部の滑落崖は非常に急勾配であるが、座面部の移動面となった部分は非常に緩やかな勾配でその土塊は道路を越えて人家を数軒押し潰している。道路面の土砂は通行のために除去されていた。住民によると道路より人家側への土塊の動きは続いているらしく、人家に押し寄せる土塊により、より下流側の人家のひずみも大きくなっているとのことである。迅速な対処が必要である。なお、この地すべり挙動におけるすべり面を直接確認することはできていないが、周辺にある数箇所の小さなブロック状の地すべり挙動のすべり面付近には白っぽい強変質した碎屑物が認められる（口絵写真-4）ことから、これと同様の土層が影響したのではないかと思われた。また、背もたれ部の滑落崖の途中層として橙色の草千里ヶ浜軽石層が認められたことから、京大火山研究センター周囲の地すべりとは違い、当該地すべり挙動に対してはこの軽石層は関与していないと思われた。

前記した火の鳥温泉崩壊地の脚部左岸側にも小崩壊が発生しており、道路沿いの断面に白色の強変質した火山碎屑物起源と思われる粘土が露出していた。この粘土はいわゆるクイックレイ（鋭敏粘土）で、振動を与えることで容易に流動化させることができた。本震によってもたらされた強震動が流動化を引き起こし、崩壊や地すべり発生につながっていた可能性がある。X線回折の結果、これらの白色粘土や白っぽい火山碎屑物などはいずれも良く似た物質であると思われる結果を得たが、現時点でそれ以上のことは確認できていない。

#### 4.6 山王谷川流域

調査は、山王谷川本川の源頭部の崩壊地とその周辺（以下、山王谷川上流域）および谷出口に位置する三王谷川

砂防堰堤より下流域（以下、山王谷川下流域）において実施した。

##### 4.6.1 山王谷川上流域

山王谷川上流域の斜面崩壊および渓床の状況に関して、国土地理院が公表している4月19～20日撮影、5月30～31日撮影、および7月5～24日撮影の3時期の空中写真を比較判読した。4月19～20日撮影の写真には本震時に発生した非常に多くの崩壊地が記録されている。その後、5月30～31日撮影、7月5～24日撮影の写真では、崩壊の拡大や新規発生はごくわずかに認められるのみである。一方、3時期の写真比較において明瞭な変化が認められるのは、4月写真で崩壊地滑落面や渓床を一面に覆っていた黒色に見える土砂が、特に5月写真から7月写真までの間に明瞭に流出していることである。この期間には6月19～29日にわたる大きな降雨イベントが発生している。

7月23～24日に実施した山王谷川本川源流部付近の現地調査によると、地震時に発生した斜面崩壊は口絵写真-5のように頭部滑落崖が10m程度の比高を持ち、その壁面に見えているような黒ボクと褐色火山灰が崩壊していた。そして、空中写真で黒色に見えた土砂はそれら崩壊した土砂の堆積物であると判断された。さらに、渓床内では崩壊による堆積土砂が既にもあまり残存していないことが観察された。

以上のことから、地震以降、崩壊の拡大や新規発生はごく僅かであり、その一方で崩壊斜面内や渓床に堆積していた土砂（地震時に発生した斜面崩壊の堆積土砂）が6月19～29日の降雨により明瞭に流出したことが分かった。

##### 4.6.2 山王谷川下流域

###### 1) 二次土砂移動と二次土砂災害状況

図-6に本震後の氾濫地点（4/16氾濫地点）および山王谷川で二次土砂災害を確認した6月20～21日の降雨時の氾濫地点（6/21氾濫地点）を示す。

6月20～21日の降雨により、山王谷川では、谷出口に位置する三王谷川砂防堰堤の下流域で、二次土砂移動・二次土砂災害が認められた。谷出口の下流約750mに位置する新畑橋（6/21氾濫地点①）が土石流により

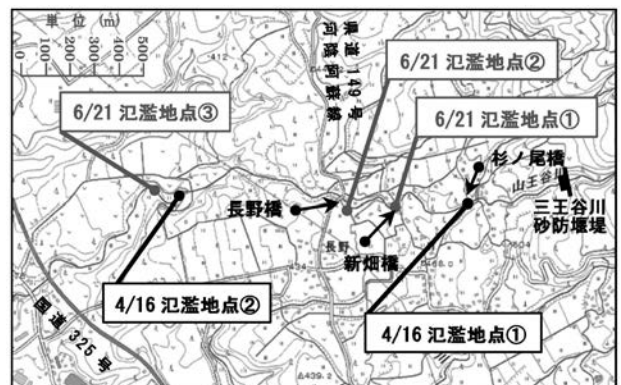


図-6 山王谷川における氾濫地点（国土地理院地形図に加筆）

閉塞し、河床上昇に伴い上流湾曲部で右岸側へ氾濫が発生し、家屋および倉庫に被害が生じた（口絵写真-6）。また、長野橋の直上流の溪流保全工湾曲部（6/21 氾濫地点②、谷出口から約1 km 下流）では、流速の低下に伴い土砂堆積の遡上・河床上昇が発生し、右岸側では民家への泥水の流入が、湾曲部左岸側では直進した泥水や流木による建設機械車庫の倒壊が確認された。谷出口より下流側約1.6~1.9 kmの勾配が緩く（2度程度）下流側で溪流保全工が蛇行する区間（6/21 氾濫地点③、以下、“下流堆積域”）にも二次土砂移動（堆積）が認められるとともに、その上流側の溪流保全工内にも土砂堆積の遡上・河床上昇が認められた。

## 2) 一次土砂移動・一次土砂災害との相違点

地震直後の三王谷川砂防堰堤右岸袖部を破壊した土石流形態での土砂移動以外は、一次土砂移動は黒ボクやロームなどが主体の高濃度の泥状の流れであった。この泥状の流れは非常にゆっくりした速度で長時間継続し、一部家屋に到達したが全壊被害は発生しなかった。一方、対象降雨後の二次土砂移動は、砂礫~巨石（最大礫径  $D_{95}$  は新畑橋周辺で約1.8 m（115個計測）、下流堆積域で約2.1 m（252個計測））を多く含有し、口絵写真-6に示すように直進性を有する土石流形態での移動であった。

二次移動土砂中の巨石は、地震前から溪床に転在していたものと、今回の地震により溪岸等から崩落し溪床に堆積していたものと推測される。実際に6月20~21日の降雨により、三王谷川砂防堰堤およびその上流域から巨石を含む溪床堆積土砂が流出していることが確認できた（口絵写真-7）。なお、地震直後に認められた黒ボク、ロームの明瞭な堆積は、今回の山王谷川下流域の調査では認められず、これらの細粒土砂は流水とともに白川本川まで流出したものと推測される。

## 3) 対策の方針

山王谷川の二次土砂移動・二次土砂災害は、横過構造物（橋梁）の閉塞や、流速が低下する溪流保全工湾曲・蛇行部および緩勾配区間等で発生した。ここで、県道149号河陰阿蘇線横過部では、長野橋により、溪流保全工の線形が規制されることから、その上流域では必然的に湾曲部を有する構造となる。そのため、長野橋近傍まで到達する二次移動土砂量を低減させることが必要と考えられる。

そのためには、上流崩壊地における生産源対策や谷出口より上流側での溪床・溪岸固定対策に加えて、三王谷川砂防堰堤から下流約300 mの地点に広がる平坦地において遊砂地等で流出土砂を捕捉することが効果的と考えられる。

## 4.7 立野地区およびその周辺

### 4.7.1 立野地区（白川右岸側山腹斜面）

立野地区（阿蘇大橋以西の白川右岸側山腹斜面）では口絵図-2に示すように4月21日で2箇所、6月19~22日で約11箇所の崩壊・土石流の発生ならびに土砂移

動範囲の拡大が認められる。大半は地震による斜面崩壊が拡大したもの（10箇所）であるが、新たに発生したと考えられる斜面崩壊が3箇所認められる。また、立野地区を走る国道57号には、6月19~22日の降雨による土砂移動現象（斜面崩壊と土石流）により、土砂が流出して一時不通となった。

### 1) 崩壊①, ②, ⑤, ⑥（地震により小崩壊、降雨により崩壊が拡大）

崩壊①, ②, ⑤, ⑥は山腹斜面において地震により小崩壊が発生し、その後の降雨により崩壊が拡大したものである。崩壊①は阿蘇立野病院の裏山に位置し（口絵写真-8）、大きくは東側と西側に分かれる。東側の崩壊（勾配約31度）は地震により発生し、その後の降雨で堆積土砂が下方（勾配約17度）へ流下した。西側の崩壊は上部（勾配約36度）が地震により発生し、その後の降雨で下方斜面に新たに崩壊（勾配約26度）が発生した（写真-12）と考えられる。崩壊⑤は後述する新所川2の源頭部の崩壊である。地震により尾根部に近い位置から小崩壊（勾配約39度）が多数発生した。その後の降雨により0次谷（勾配約26~28度）に沿って（勾配約26度）崩壊・侵食が拡大して土砂が下流に流下した。崩壊⑥では崩壊土砂が谷を侵食しながら（勾配約36度）流下して（口絵写真-9）、JR豊肥本線および国道57号を横切り、下流に堆積した。

### 2) 崩壊・土石流③（地震により小崩壊、降雨による拡大はない）

尾根部に近い位置から本震により崩壊（勾配約28度）が発生した（写真-13）。崩壊土砂は斜面の下方で谷地形に入り、比較的緩勾配（勾配約12度）の斜面を流下して、最下流では土石流となって人家数戸を損壊して停止した。この土石流により死者が2名発生した。

### 3) 崩壊④（降雨により崩壊が新規に発生）

尾根部に近い位置から降雨により小崩壊（勾配約33度）が発生した（写真-14）。崩壊部は東側と西側に二股に分かれて流下した。崩壊部の深さは約1 mと薄く、表層は黒ボクおよび強風化溶岩であり、これらの表層部が崩壊した。崩壊土砂は比較的急勾配（勾配約17度）の斜面内で停止した。



写真-12 崩壊①の西側の崩壊部（2016年7月23日撮影、崩壊の位置は口絵図-2に示す）



写真-13 崩壊③の下流における土砂の流下部 (2016年7月23日撮影, 崩壊の位置は口絵図-2に示す)



写真-14 崩壊④の西側崩壊部 (2016年7月23日撮影, 崩壊の位置は口絵図-2に示す)

#### 4.7.2 立野地区南の白川左岸および山腹斜面

写真-15は立野地区南の白川左岸および山腹斜面の2016年7月23日時点の状況である。写真-16は4月16日のGoogle earthの画像である。本震後、右岸の斜面がその上部の台地の一部も含めて崩壊し、土砂が白川の対岸まで達しているが、橋梁の状況を見るとそれほど厚い堆積ではないように見える。左岸の山腹斜面にはこの時点で表層崩壊が発生していることが分かるが、7月23日の写真と比べると、本震後、崩壊が拡大しているように見える。河道堆積土砂は7月23日の時点では見られなかったが、これは工事関係者による除石によるところ



写真-15 立野地区南の白川左岸および斜面の崩壊状況 (2016年7月23日撮影)



写真-16 立野地区南の白川左岸および山腹斜面の状況 (2016年4月16日 Google earth 画像)

が大きい。

## 5. 砂防施設の効果

砂防施設(堰堤)の効果が判断できた代表例の調査結果を報告する。

### 5.1 新所川2(立野地区 崩壊⑤)

JR豊肥本線立野駅近傍に位置する新所川2では、6月20日から降り続いた豪雨により右岸斜面で多数の崩壊が発生し土石流となった(写真-17)。土石流は、流域下部部の谷出口に建設されていた鋼製砂防堰堤により、堰堤(堰堤有効高約7m)が満砂容量で捕捉できる土砂量の半分程度(堆積高さ3.8m程度)の土砂が堰堤上流に堆積した(写真-18右)。その堆積勾配は10度程度である。

写真-18左に示すように、堰堤の堆砂域上流に位置する湾曲部には、多量の土砂礫や流木の堆積が確認された。堰堤直下流の農道へ少量の細粒土砂の流出が見られたこともあり、堆積した土砂の細粒分は、今後の降雨により堰堤下流に位置する農地や鉄道へと流下する危険性があると認められ、応急対応が必要である。

### 5.2 東下田川1(無施設)と東下田川2(施設有)の比較

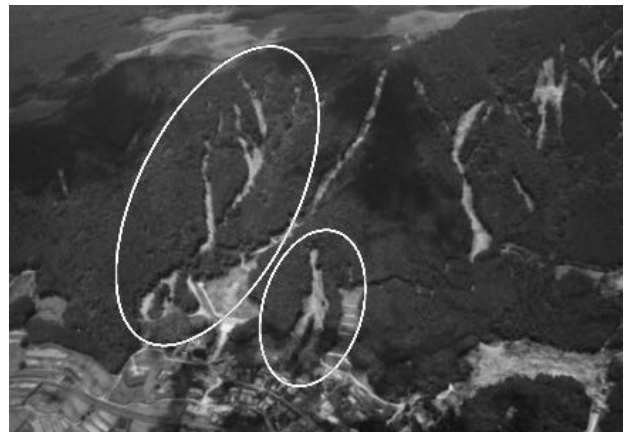


写真-17 新所川2(最も左側)の航空写真(国際航業株式会社提供, 2016年7月5日撮影)



写真-18 新所川2の砂防堰堤堆砂域と堰堤による土砂補足状況 (2016年7月23日撮影)

6月20日から降り続いた豪雨により、中央火口丘南西側の南阿蘇鉄道・阿蘇下田城ふれあい温泉駅近傍に位置する東下田川1では、流域上流の森林域と草原との境界部で崩壊が発生し、土石流となり下流の国道325号にまで到達した(写真-19, 写真-20上)。流域内に砂防施設は未設置であった。一方、東側に隣接する東下田川2には砂防施設が設置済みであったために、両流域の状況を比較することにより、砂防施設の効果が確認される。

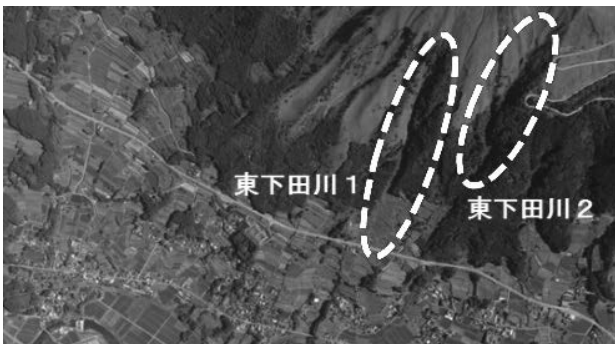


写真-19 東下田川1と東下田川2の航空写真(国際航業株式会社提供, 2016年7月18日撮影)



写真-20 東下田川1全景(上)と流下部(下) (2016年7月24日撮影)

東下田川1では、谷出口より下流の扇状地は棚田として利用され、この棚田により地形勾配が緩和され、土石流が減勢されたものと推察される。

写真-20下に示すように、中・上流の急勾配区間では、河床や溪岸が洗掘され、基岩が露出している。

流域内には砂防施設が設置されていない事に加え、多量の流木や不安定土砂が堆積しているため、応急対策を実施する必要がある。

東下田川1の東側に隣接する東下田川2の谷出口には、平成14年3月に熊本県により施工された鋼製砂防堰堤(東下田2砂防堰堤, 堤高: 8.5 m)が設置されており、地震発生後である4月21日の日雨量113 mm, 最大時間雨量24.5 mmを記録した降雨により発生した土砂や流木を補足していた(写真-21)。この時点では未満砂であったが、6月20日から降り続いた豪雨(連続雨量: 539 mm, 最大時間雨量: 110 mm)により再度土石流が発生し、写真-22と口絵写真-10に示すように、満砂状態となった。満砂状態となった堰堤を越流した土砂(細粒)と流木の一部は、堰堤下流の広範囲にわたり堆積していた。今後の降雨を迎えるにあたり、堰堤の空き容量の確保などの対応が急務である。

## 6. 警戒避難の実態

### 6.1 地震後の土砂災害警戒情報等の設定状況

地震等の発生後には、地盤条件等が変化し、通常よりも少ない降雨で土砂災害が発生する可能性がある。このため県砂防部局と地方気象台等では、揺れの大きかった市町村について(震度5強以上)、土砂災害警戒情報の発表基準を引き下げて運用している。熊本県では気象台基準の土壤雨量指数と、県砂防部局基準の実効雨量の両方を用いるAND/OR方式により土砂災害警戒情報が発



写真-21 東下田川2の地震直後(2016年4月26日撮影)の状況



写真-22 東下田川2の砂防堰堤の土砂捕捉状況 (2016年7月24日撮影)

表されており、それぞれの基準に、震度 5 強の地域では 8 割を乗じ、6 弱以上の地域では 7 割を乗じること、地震後の暫定基準としている。

実際の設定としては、前震発生後の 4 月 15 日に、熊本県では通常基準の 7 割の暫定基準を設ける市町村として、益城町、宇城市、玉名市、西原村、熊本市、氷川町の 6 市町村、8 割の暫定基準を設ける市町村としては、菊池市、宇土市、大津町など 10 の市町村（一部地域の市町村も含む）である。

本震発生後の 4 月 16 日には、熊本県では通常基準の 7 割の設定基準を設ける市町村は、既に前震により 7 割で運用されている 6 市町村のほか、本震で 8 割の暫定基準となっていた 10 市町村に加え阿蘇地方の南阿蘇村、阿蘇市、産山村などを含む 16 市町村であり、8 割で運用される市町村は、阿蘇地方の南小国町、小国町、高森町を含む 8 市町村である。以下に列記する（国土交通省、2016 c）。

・通常基準の 7 割の暫定基準を設ける 16 市町村

南阿蘇村、産山村、八代市西部、菊池市、宇土市、大津町、嘉島町、合志市、阿蘇市、菊陽町、御船町、美里町、山都町西部、和水町、上天草市、天草市東部

・通常基準の 8 割の暫定基準を設ける 8 市町村

南小国町、小国町、高森町、山鹿市、甲佐町、芦北町、玉東町、長州町

なお、気象台の発表する大雨警報（土砂災害）の土壌雨量指数基準および大雨注意報の土壌雨量指数基準も、震度に応じた上記の市町村ごとに 7 割基準と 8 割基準により運用している（気象庁、2016）。

## 6.2 土砂災害警戒情報の発表状況

地震後の土砂災害で大きな被害を受けた阿蘇市や南阿蘇村における、地震後から梅雨時期を含む 8 月末までの土砂災害警戒情報の発表状況は次のとおりである。

### 6.2.1 阿蘇市における土砂災害警戒情報

阿蘇市ではこの期間で以下の 5 回発表されている。

- ・6 月 20 日 3：45～6 月 25 日 21：15（継続時間（以下同じ）5 日と 17 時間 30 分）
- ・6 月 28 日 6：10～6 月 30 日 13：20（2 日と 7 時間 10 分）
- ・7 月 8 日 21：35～7 月 9 日 7：52（10 時間 17 分）
- ・7 月 13 日 2：47～7 月 14 日 20：35（1 日と 17 時間 48 分）
- ・7 月 21 日 16：50～同日 18：30（1 時間 40 分）

### 6.2.2 南阿蘇村における土砂災害警戒情報

南阿蘇村ではこの期間で以下の 6 回発表されている。

- ・6 月 20 日 7：13～6 月 24 日 8：10（4 日と 57 分）
- ・6 月 24 日 19：15～6 月 25 日 21：15（1 日と 2 時間）
- ・6 月 28 日 5：40～6 月 30 日 13：20（2 日と 7 時間 40 分）
- ・7 月 8 日 22：42～7 月 9 日 7：52（9 時間 10 分）
- ・7 月 13 日 2：47～7 月 14 日 20：35（1 日と 17 時間 48 分）
- ・7 月 17 日 4：15～7 月 17 日 8：15（4 時間）

## 6.3 避難勧告等の発令状況と実際の避難の状況

阿蘇市と南阿蘇村では、土砂災害警戒情報の発表等を

基に避難指示・避難勧告・避難準備情報などを、市村内の地区ごとに発令している（図-7）。ここでは南阿蘇村（平成 27 年度 4,744 世帯、11,619 人）での降雨等に対する避難勧告等の経緯や発令地区数等について記載する。なおこれらは熊本県を通しての南阿蘇村への聞き取り調査の結果による。

本震発生後、地震による避難指示が 12 地区に発令されていたが（地区の一部のみ等含む）、4 月 21 日朝に大雨警報（土砂災害）が発表され、新たに避難指示が 8 地区に発令された。その後、4 月 21 日夜に大雨警報（土砂災害）が解除され、22 日昼に前述の 18 地区（2,000 世帯 4,694 世帯人数）全てで避難勧告に引き下げられた（一部地区のみの発令等もあり、解除時の地区の全体数は必ずしも合わない）。

5 月 10 日朝に大雨警報（土砂災害）が発表され、前述の 18 地区が避難指示に引き上げられた。その後、10 日夜に大雨警報（土砂災害）が解除され、翌 11 日朝、18 地区で避難勧告に引き下げられた。

6 月 19 日未明に大雨警報（土砂災害、浸水害）が発表されたため、避難勧告が 13 地区（1,368 世帯、3,199 人）に発令されるとともに（それ以前から避難勧告継続中の 9 地区含む）、26 地区（3,319 世帯、8,172 人）で避難準備情報が発令された。また 20 日朝に土砂災害警戒情報が発表されたため避難勧告 13 地区と、避難準備地区のうち 4 地区の計 17 地区が避難指示に引き上げられた。また避難準備 22 地区は避難勧告に引き上げられた。なお 21 日夜に避難勧告 1 地区が避難指示に引き上げられ、さらに 24 日夕方に避難勧告 1 地区が避難指示に引き上げられた。その後、6 月 24 日夜に土砂災害警戒情報が解除されたため、25 日朝に避難指示 19 地区のうち 3 地区の避難指示が継続されるとともに、6 地区が避難勧告へ、10 地区で避難準備へ引き下げられ、避難勧告 20 地区は解除された。

6 月 28 日朝に土砂災害警戒情報が発表されたため、避難勧告 3 地区（336 世帯、834 人）と避難準備 16 地区（1,658 世帯、3,931 人）の全てが避難指示に引き上げられるとともに、20 地区（2,693 世帯、6,606 人）に避難勧告が発令された。その後、6 月 30 日午後に土砂災害警戒情報が、夕方に大雨警報（土砂災害）が解除されたことにより、避難指示 19 地区のうち 3 地区の避難指示が継続されるとともに 6 地区を避難勧告へ、10 地区が避難準備へ引き下げられ、避難勧告 20 地区は解除された。

7 月 13 日未明に土砂災害警戒情報が発表されたため、避難勧告と避難準備 16 地区全てが避難指示に引き上げられるとともに、20 地区に避難勧告が発令された。その後、7 月 14 日夜に土砂災害警戒情報および大雨警報（土砂災害）が解除され、国道 57 号が通行可能であることと今後の降雨も少ないことから、避難指示 19 地区のうち、それまで避難指示が継続されていた 3 地区含め 9 地区が避難勧告へ、10 地区で避難準備へ引き下げられ

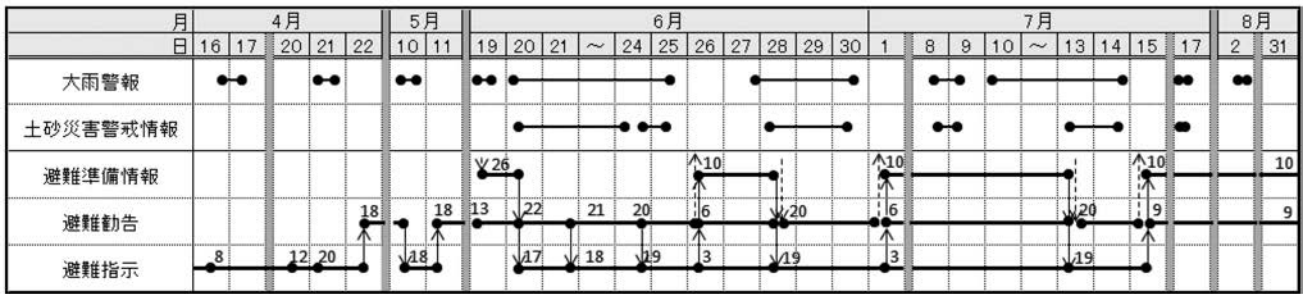


図-7 避難勧告等の発令～解除の期間と地区数  
※避難指示等の-の上にある数値は発令地区数

るとともに、避難勧告 20 地区は解除された。

8 月末時点で発令されているのは、避難勧告 9 地区、避難準備 10 地区となった。

南阿蘇村においては、地震後の降雨に関して、大雨警報（土砂災害）、土砂災害警戒情報、そして今後の降雨の見込みなどを勘案して、地区ごとに避難指示等が発令されている。また道路通行の可否による避難指示等の判断も行われている。さらに土砂災害警戒情報が夜間に解除された場合などでは、避難勧告等の解除は翌日の朝に実施されている。

## 7. おわりに

今回の地震およびその後の降雨により、特に阿蘇地域においては多数の土砂移動現象が発生し人命、家屋、道路、鉄道、公共施設等に大きな被害を与え、さらに地域の社会や経済に対し、広域的な被害が発生した。また、阿蘇地域では地震による影響から、以前に比べ土砂災害ポテンシャルが増大しており、土砂災害を受ける危険性が高くなっている 1999 年に台湾で発生した集集大地震、2008 年に中国で発生した発生した四川大地震では地震後長期にわたり降雨による土砂移動現象や二次土砂災害が頻発し、流域に甚大な被害が発生している。我が国では、南海トラフで発生する巨大地震や首都直下型地震の発生に対する対策が講じられている中、地震による土砂災害ならびに地震後の降雨による二次土砂災害についてもこれまで以上に対策を強力に推進する必要がある。地震による土砂災害の対応としては、主として地震の発生前に行う震前対応と地震の後に行う震後対応があり、これらを共に進める必要がある。これまで、降雨による土砂移動現象ならびに災害に関する調査研究、対策が主として進められてきているが、効果的な震前、震後の対応を行うためには、今後は地震ならびにその後の降雨による土砂移動現象について、次の事項に関する調査研究を進める必要がある。

- 1) 地震による土砂移動現象の発生機構に関する研究
- 2) 地震による土砂災害発生箇所の特性に研究
- 3) 地震による土砂災害に対する効果的な震前対策工法の開発（例えば地震動に強い工法等）
- 4) 地震による土砂災害に対する知識の普及

- 5) 地震により発生する亀裂が二次土砂災害に与える影響の解明
- 6) 地震後の降雨による流域の土砂移動ポテンシャルの把握手法に関する研究
- 7) 地震後の二次土砂移動現象による災害に対する効果的な応急対策工法の開発
- 8) 火山地域における地震による土砂災害に関する研究  
阿蘇地域を含む白川流域では地震の影響による土砂移動現象が引き続き発生すると考えられ、今後とも降雨による二次土砂移動現象に関する調査研究、ならびに二次災害についての的確な対応が必要である。

## 謝辞および調査協力者

国土交通省の皆様には、データ・資料・情報の提供ならびに現地調査に対する便宜供与において多大な協力をいただいた。また、地震後の降雨データの解析には国立研究開発法人土木研究所の清水孝一様の協力を得た。これらの皆様方に心から感謝の意を表するとともに、被災地および被災された方々の一日も早い復興を心より祈念する次第である。

## 引用文献

- 石川芳治ら（2016）：平成 28 年熊本地震による土砂災害，砂防学会誌，Vol. 69，No. 3，p. 55-66
- 気象庁（2016）：警報・注意報発表基準一覧表（熊本県）  
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kijun/kumamoto.html>，参照 2016-09-25
- 国土地理院（2016）：熊本地震関連情報；地理院地図（空中写真等）による情報提供（7 月 26 日 13 時 40 分追加）  
[http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H\\_27-kumamoto-earthquake-index.html#1](http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H_27-kumamoto-earthquake-index.html#1) 参照 2016-09-25
- 国土交通省（2016 a）：平成 28 年熊本地震による土砂災害の概要，[http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h\\_28\\_dosha/160914\\_gaiyou\\_sokuhou.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h_28_dosha/160914_gaiyou_sokuhou.pdf)，参照 2016-09-26
- 国土交通省（2016 b）：阿蘇大橋地区復旧技術検討会資料，[http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h\\_28/data\\_file/1474877355.pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h_28/data_file/1474877355.pdf)，参照 2016-09-26
- 国土交通省（2016 c）：平成 28 年 4 月 16 日 1 時 25 分頃の熊本県熊本地方の地震に伴う土砂災害警戒情報発表基準の暫定的な運用について [http://www.mlit.go.jp/report/press/sabo\\_01\\_hh\\_000026.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/sabo_01_hh_000026.html)，参照 2016-09-25

(Received 1 October 2016; Accepted 14 October 2016)

## 災害報告

## 平成 28 年 8 月北海道上川町（層雲峡）で発生した土石流の実態

## Debris flows occurred in August 2016 in Sounkyo, Kamikawa Town, Hokkaido

小山内信智 <sup>*1</sup>	林 真一郎 <sup>*1</sup>	古市剛久 <sup>*1</sup>	藤浪武史 <sup>*2</sup>
Nobutomo OSANAI	Shin-ichiro HAYASHI	Takahisa FURUICHI	Takeshi FUJINAMI
阿部孝章 <sup>*2</sup>	田中忠彦 <sup>*3</sup>	吉川契太郎 <sup>*4</sup>	一法師隆充 <sup>*4</sup>
Takaaki ABE	Tadahiko TANAKA	Keitaro YOSHIKAWA	Takamitsu IPPOSHI
巖倉啓子 <sup>*5</sup>	早川智也 <sup>*6</sup>	松岡 暁 <sup>*6</sup>	永野統宏 <sup>*6</sup>
Keiko IWAKURA	Tomoya HAYAKAWA	Akira MATSUOKA	Norihiro NAGANO
齋藤篤司 <sup>*7</sup>	大島千和 <sup>*8</sup>		
Atsushi SAITO	Chiharu OSHIMA		

## Abstract

Three typhoons (T 7, 11, 9) struck Hokkaido within one week in August 2016. Heavy rain brought by the typhoons induced debris flows and sediment transport along the Kurodakesawa river and Shogakkonosawa in Sounkyo, Kamikawa Town, Hokkaido. Monitoring cameras for debris flows recorded the events, which provided an opportunity to describe some features of the debris flows and sediment transport. We also conducted ground and air (UAV) survey right after the series of events to supplement the monitored data. This article documents the rainfall record, geologic and geomorphic settings of the area and the monitored and surveyed data of the debris flows and sediment transport. We also report a rapid analysis of the monitored and surveyed data on sediment sources and sinks, sediment materials (type of rocks, sizes and distribution), depositional features, flow velocity and discharge. It was clear that check dams and training channel protected residential area and hotels located in Sounkyo hot spring area.

**Key words :** Hokkaido, Debris flow, Check dams, Early warning

## 1. はじめに

平成 28 (2016) 年 8 月, 北海道には昭和 26 年に気象庁が観測開始して以来, 初めて 1 年の内に 3 つの台風(台風第 7 号, 第 11 号, 第 9 号)が上陸した(気象庁, 2016 a)。8 月 17 日~23 日のわずか 1 週間のうちに北海道に上陸したこれら 3 つの台風, および台風により刺激された前線からもたらされた豪雨により, 北海道各地では, 特に道央から道東にかけての広い地域において, 洪水被害・土砂災害による被害が生じた。

北海道では, この一連の降雨により, 土石流等 5 件, 地すべり 1 件, がけ崩れ 7 件の計 13 件の土砂災害が発生した。代表的な被害としては, 白糠町タンタカ地区におけるがけ崩れによる家屋の一部損壊(写真-1 a), 羅臼町海岸町におけるがけ崩れによる負傷者 1 名, 道道の埋塞による住民の孤立(一時 266 世帯, 住民 760 人が孤立)(写真-1 b)が挙げられる。美瑛町にある, 石狩川水系美瑛川に十勝岳からの融雪型火山泥流対策のために設置されたブロック積みの砂防堰堤に水が滞留し形成

され, 年間約 35 万人が訪れる観光地となっている美瑛川ブロック堰堤(通称「青い池」)においても, 美瑛川に面する低水路の護岸の一部が流出する被害が生じ, 8 月 20 日~9 月 14 日の 26 日間にわたって立ち入り禁止となる等の施設被害が生じている(写真-1 c), 国土交通省北海道開発局旭川開発建設部, 2016 a)。

また, 台風第 9 号に伴う豪雨により 8 月 23 日に, 年間約 180 万人の観光客が訪れ, 約 70 万人が宿泊する北海道有数の観光地である層雲峡温泉街を流れる北海道上川町層雲峡地区の石狩川水系黒岳沢川(発生時刻午前 7 時ごろ), 小学校の沢(発生時刻未明)においても土石流が発生しており, 北海道での豪雨による土石流の発生事例, および土砂災害対策の施設整備により人的・物的被害を防いだ事例であることから(国土交通省北海道開発局旭川開発建設部, 2016 b~d), 砂防学会北海道支部では「平成 28 年 8 月北海道上川町(層雲峡)で発生した土石流に関する調査団」(団長: 小山内信智北海道大学農学研究院特任教授, 北海道大学突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点)を結成し, 土石流の実態・施設

\*1 北海道大学 Hokkaido Univ. (shayashi@cen.agr.hokudai.ac.jp) \*2,3 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 Civil Engineering Research Institute for Cold Region \*4,5 国土交通省北海道開発局旭川開発建設部 Asahikawa Development and Construction Department, Hokkaido Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism \*6 日本工営株式会社 Nippon Koei Co., Ltd. \*7,8 明治コンサルタント株式会社 Meiji consultant co., Ltd. \*1, 2, 5, 6, 7 は正会員, \*3, 4, 8 は非会員。



写真-1 平成 28 年 8 月の北海道における土砂災害の代表的被害  
 (a)白糠町タンタカ地区におけるがけ崩れ, b)羅臼町海岸町におけるがけ崩れ, c)青い池の低水流路の護岸の損傷)

Photo 1 Examples of sediment disaster in Hokkaido in August 2016 (a) Slope failure at Tantaka, Shiranuka ; b) Slope failure at Kaigancho, Rausu ; c) Bank erosion at the Blue pond, Biei)

効果等について、8月24日にUAVによる調査、25日に現地踏査を実施した。以下に、調査結果を報告する。

## 2. 降雨の概況

先に述べた3つの台風の影響期間である8月16日～8月23日までの上川町層雲峡地区の降雨の状況を図-1に示す。雨量観測所は、黒岳沢川と石狩川の合流点から約3km下流に位置する層雲峡観測所(気象庁, 2016b)および黒岳雨量観測所(図-2, 国土交通省水文水質データベース, 2016)の値を用いた。図中の累加雨量は6時間無降雨で値を0とし計算している。上川町における土砂災害警戒情報の発表は、台風第7号に伴う降雨に対しては8月17日17:55～23:10, 台風第11号に刺激された前線および台風第11号に伴う降雨に対しては8月20日12:03～21日18:29, 台風第7号に伴う降雨に対しては8月23日6:30～9:36に行われている。

降雨は台風第7号, 第9号では、台風に先行する雨雲による1時間最大10mm程度の弱い降雨が半日程度降り、それに続き速い移動速度を持った台風本体の雨雲の通過により、1時間最大20～30mm程度のやや強い降雨が3時間程度継続して降るといったパターンとなっている。台風第11号に伴う降雨については、台風第11号に刺激された前線の停滞により、台風上陸の前日の8月20日に1時間最大20mmより弱い降雨が降っているが、台風上陸の翌21日には1時間数mmの弱い降雨しか観測されていない(例えば, 気象庁札幌管区气象台, 2016a, 2016b)。

土砂災害警戒情報については、台風第7号, 第9号では、台風本体の雨雲の通過による急激な降雨の強まりに対応して発表されており、降雨のピークが過ぎた時点で解除されている。第11号では、前線の停滞による降雨の強まりから、台風の北上に伴って前線も北上したため、降雨の終わりに対応して解除されている(例えば, 北海道土砂災害警戒情報システム, 2016)。

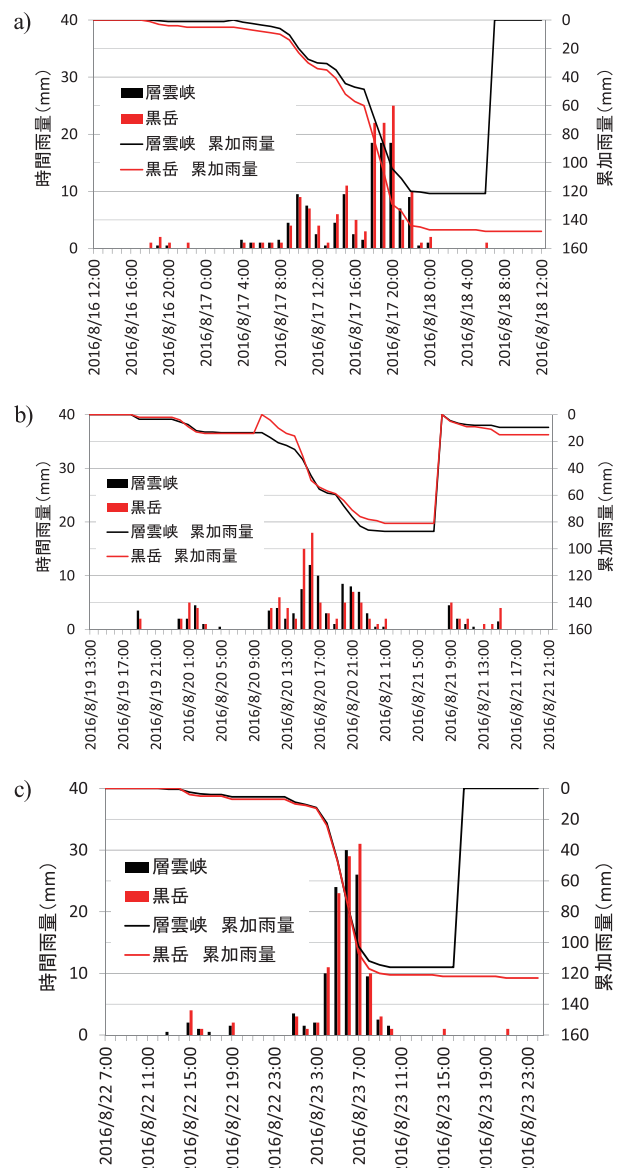


図-1 上川町層雲峡地区における時間雨量・累加雨量  
 (a)台風第7号に伴う降雨, b)台風第11号に伴う降雨, c)台風第9号に伴う降雨)

Fig.1 Hourly and accumulated precipitation at Sounkyo, Kamikawa Town (Precipitations caused by a) T7, b) T11, c) T9)



図-2 黒岳沢川・小学校の沢の流域

Fig. 2 The Kurodakesawa river and Shogakkonosawa catchments

### 3. 黒岳沢川で発生した土砂流出・土石流

#### 3.1 黒岳沢川の概況

北海道上川町層雲峡地区を流れる石狩川水系黒岳沢川(図-2)は、流域面積4.82km<sup>2</sup>の土石流危険溪流であり、土石流による被害のおそれのある区域に、層雲峡温泉街および旭川市と北見市を結ぶ主要な国道である国道39号が含まれている。

黒岳沢川は、昭和50年に土石流によりホテルが倒壊し6名の死者が生じるなど、過去から土石流が頻発する溪流である(例えば、国土交通省北海道開発局, 2014)。上流域においては、林野庁によって、昭和24年から治山事業による低ダム群工法を中心とした治山施設群(床固工群)の整備(林野庁北海道森林管理局上川中部森林

管理署, 2008), 下流部においては、国土交通省によって、昭和58年から砂防事業により、温泉街の直上流に黒岳沢川第1号えん堤(昭和63年完成, 堰堤高22m), 第1号えん堤から石狩川まで土石流を流下させるため黒岳沢川流路工(平成13年完成, 長さ約600m)が整備されている(国土交通省北海道開発局札幌開発建設部, 2010)。

#### 3.2 黒岳沢川の地形・地質

黒岳沢川は、大雪山系の黒岳(標高1,984m)に源を発し、流路長5,350m, 高低差1,364mの急峻な溪流である。溪流は概ね北東に向かって流れ、下流の層雲峡地区において石狩川に合流している(標高620m)。黒岳沢川の下流には基盤の先第三紀粘板岩が、標高950mより上流には新第三紀ヤンベタツ層と更新世古大雪熔

岩が分布する (図-3)。先第三紀粘板岩は、割目が多い部分では細片化しやすいが、基本的に硬く、特に右岸側に急崖斜面を形成している。変質凝灰岩および溶結凝灰岩からなる新第三紀ヤンベタツ層は、左岸から西側の白水川にかけて粘土化が強く、大規模な地すべり地形を伴う比較的緩い斜面を形成している。更新世古大雪熔岩は硬質の安山岩である。黒岳沢川の河床に分布する礫の多くは古大雪熔岩を起源とする安山岩であり、このほかに溶結凝灰岩および先第三紀粘板岩の礫も散見される。黒岳沢川の縦断勾配と地質の関係に着目すると、上流の新第三紀ヤンベタツ層と更新世古大雪熔岩の分布域では1/4 (14°) 以上の急勾配を示す。この区間では、右岸斜面を中心に大規模な崩壊地が多く分布する。下流の先第三紀粘板岩の分布域では1/8 (7°) ~1/12 (5°) 程度の緩い勾配である (図-4)。この区間では、右岸急崖斜面の足元に溪岸の斜面最上部の更新世古大雪熔岩や新第三紀ヤンベタツ層から供給された崖錐が支溪の出口に小規模に認められる。

3.3 UAV による調査・現地踏査から見た土砂流出状況

現地調査の結果から、土石流の発生域は、黒岳沢川本川の標高 1,200 m 程度より上流と考えられ、V 字谷に沿って 3 km 以上下流し、下流の黒岳沢川第 1 号えん堤まで到達し、停止している。

上流部の状況を写真-2 a) (図-2 中の UAV-1 の位置) に示す。標高 900 m より下流には治山施設群 (床固工群) が連続して配置されており、目立った河床の侵食や堆積は見受けられないが、一部の施設では、袖の破損、側岸の侵食に伴う流路の横抜けが見られる (写真-2 b))。

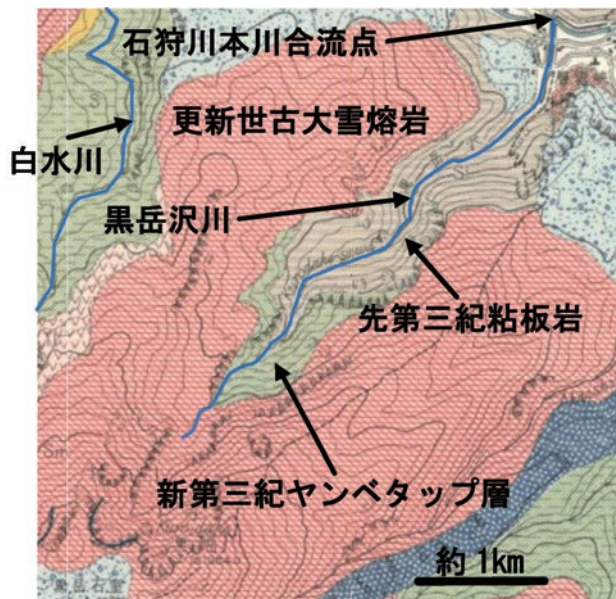


図-3 黒岳沢川付近の地質図 (出典：北海道開発庁 (1966) 5 万分の 1 地質図幅「大雪山」に加筆)

Fig.3 Geology of the Kurodakesawa river catchment (After Hokkaido Development Agency, 1966)

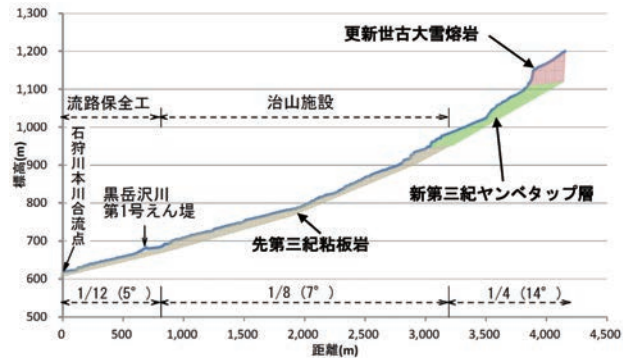


図-4 黒岳沢川縦断図と地質の分布

Fig.4 A longitudinal profile of the Kurodakesawa river with surface geology



写真-2 黒岳沢川上流部の状況

(a) UAV からの写真 (8/24 撮影), b) は治山施設の損傷 (8/25 撮影)

Photo 2 Upper stream of the Kurodakesawa river

(a) Photo taken by UAV, b) damaged check dam)

中流部の状況を写真-3 a) (図-2 中の UAV-2 の位置) に示す。この付近は河床勾配 1/10 (約 6°) 程度で、河床部は谷幅いっぱいには土石流が流下している状況である。その堆積物を見るとロープ状の礫の堆砂が幾筋も見られるため、複数回の土石流の流下があったと推定される (写真-3 b))。標高約 750 m 付近の床固工を起点に



写真-3 黒岳沢川中流部の状況 (8/24 撮影)  
(a) UAV からの写真, b) は拡大写真

Photo 3 Middle stream of the Kurodakesawa river  
(a) Photo taken by UAV, b) enlarged photo)

上流約 400 m にわたって堆砂勾配 1/12 (約 5°) 程度で今回の土石流による新たな堆砂が見られ、この区間に連続的に配置されていた床固工群は埋没している。黒岳沢川に配置されている一連の床固工群は侵食に伴う河床低下を防止した他に、一部区間では河床勾配の緩和による土砂堆積の促進の効果がみられる。

写真-4 (図-2 中の UAV-3 の位置) に黒岳沢川第 1 号えん堤の状況を示す。平成 25 年度に実施された除石工事により砂防堰堤の底面付近まで空き容量が確保されていたが、台風第 9 号に伴う豪雨による土石流によって



写真-4 黒岳沢川第 1 号えん堤の状況 (8/24 撮影)  
Photo 4 The Kurodakesawagawa No. 1 sabo dam

満砂状態となった。堆砂面を見ると上流側の巨礫の多い範囲と下流側の巨礫をほとんど含まない細粒土砂の多い範囲とに区別することができ、堆砂勾配が巨礫の多い範囲で約 2.5°, 細粒土砂の多い範囲で約 1° と差が生じている。黒岳沢川第 1 号えん堤下流の溪流保全工には流木が散見されるが、目立った土砂の堆積等は見られず、土石流としての流下は黒岳沢川第 1 号えん堤で停止したものと考えられた。

### 3.4 河床材料の粒径変化, 土砂・礫の堆積状況

現地踏査時に、黒岳沢川第 1 号えん堤から溪流中流域の北海道開発局最上流カメラ付近 (図-2) までの区間で河床材料調査を実施した。以下、特徴が見られる位置を地点区分 (図-2 中の調査地点 A~E) して概要を示す。

#### 1) 調査地点 A (写真-5 a))

黒岳沢川第 1 号えん堤 (以下、本節中では砂防堰堤) 直上流の堆砂域。前節や写真-4 で示したとおり、細粒土砂が堆積しており  $\phi 2 \text{ mm}$  程の粒径であった。

#### 2) 調査地点 B (写真-5 b 1), b 2))

砂防堰堤より 0.1~0.2 km 上流部。ここより上流域の地点は全て治山事業による床固工が階段状に連続設置されている。これより上流域における溪床堆積物は、 $\phi 0.1 \sim 0.3 \text{ m}$  の礫が主体を占める。さらにこの辺りには  $\phi 0.3 \sim 0.5 \text{ m}$  の礫が溪床中心部に攪乱された状態で堆積しており、断面的には“かまぼこ状”, 平面的には“舌状”の形状を呈する。これらは、調査地点 A の上流端でも確認され、 $\phi 2 \text{ mm}$  程の土砂の上に覆い被さるように堆積する。

#### 3) 調査地点 C (写真-5 c))

砂防堰堤より 0.5 km 程上流部。治山事業による床固工群の上に  $\phi 0.1 \sim 0.3 \text{ m}$  の礫が多量に堆積する。さらにこれを超える  $\phi 0.3 \sim 0.5 \text{ m}$  が点在し、稀に  $\phi 1.0 \text{ m}$  程の巨礫も確認される。

#### 4) 調査地点 D (写真-5 d))

砂防堰堤より 1.0 km 程上流部に位置し、調査地点 C と同様に床固工群の上に  $\phi 0.1 \sim 0.3 \text{ m}$  の礫が多量に堆積する。また流路湾曲部の出口であり、溪床拡幅部にもあたる。調査地点 B のように  $\phi 0.3 \sim 0.5 \text{ m}$  の礫が攪乱された状態で、溪床中心部に“かまぼこ状”“舌状”に堆積する。ただし、調査地点 C とは異なり、これが連続して左右交互に確認される。

#### 5) 調査地点 E (写真-5 e))

砂防堰堤より 1.5 km 程上流部。ここも調査地点 C と同様に床固工群の上に  $\phi 0.1 \sim 0.3 \text{ m}$  の礫が多量に堆積、これを超える  $\phi 0.3 \sim 0.5 \text{ m}$  が点在する。稀に  $\phi 1.0 \text{ m}$  程の巨礫も確認され、最大  $\phi 3.0 \text{ m}$  の巨礫も確認される。

上記調査結果より、黒岳沢川における河床材料の粒径の変化や土砂・礫の堆積状況には以下の特徴が見られる。

1) 調査地点 B~E の礫径については、 $\phi 0.1 \sim 0.3 \text{ m}$  を主体とし、これ以上の径が点在する状況にあるが、地点 A は  $\phi 2 \text{ mm}$  程度の土砂であり、他の地点とは礫径に大

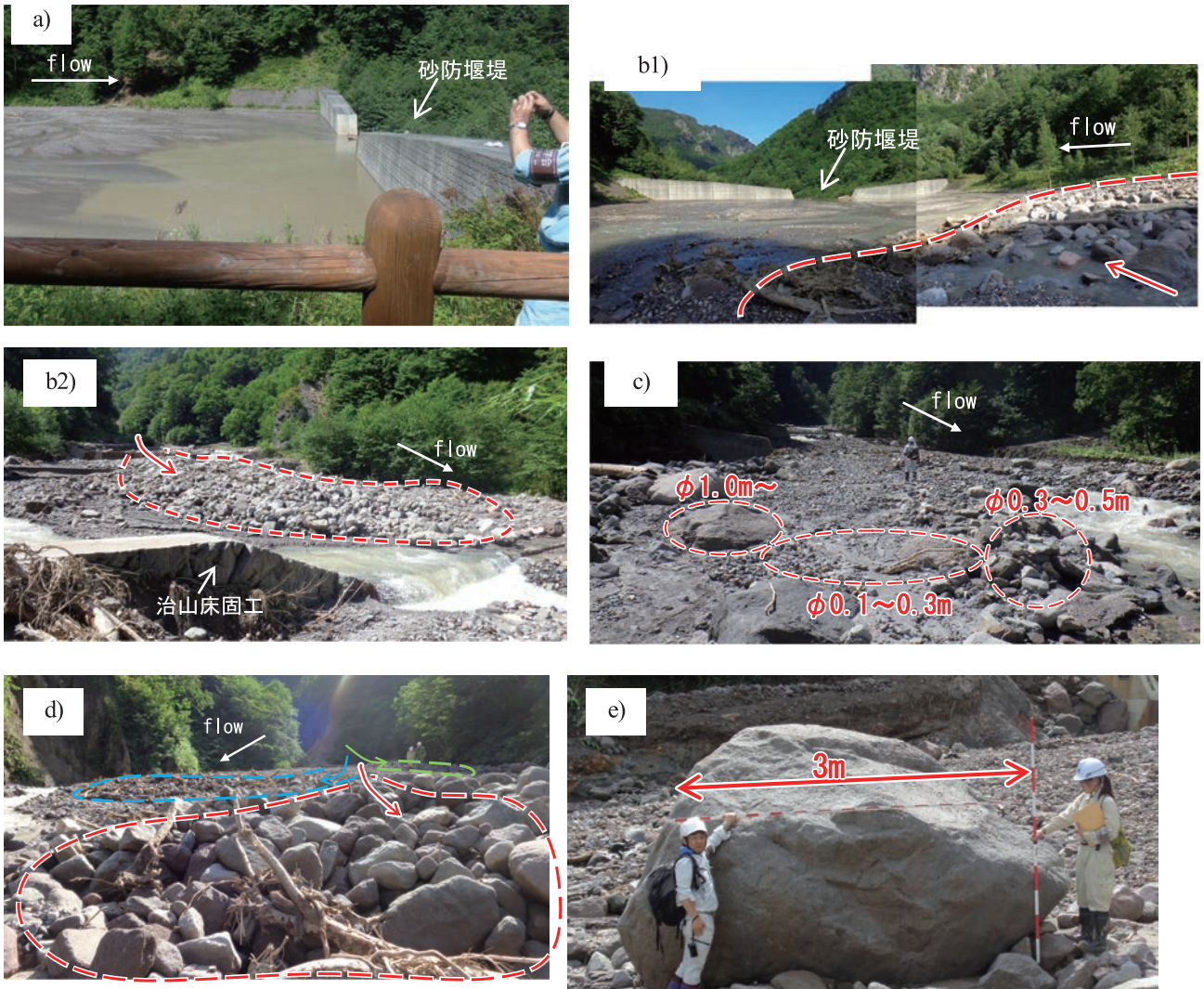


写真-5 黒岳沢川における河床材料の粒径変化, 土砂・礫の堆積状況  
 (a) 調査地点 A, b 1) 調査地点 B 最下流部, b 2) 調査地点 B, c) 調査地点 C, d) 調査地点 D, e) 調査地点 E)  
**Photo 5** Change in grain size and depositional features along the Kurodakesawa river  
 (a) site A, b 1) downstream of site B, b 2) site B, c) site C, d) site D, e) site E)

きな差が見られる。

2) 3.6 においても確認されるが, 調査地点 B の礫は, 砂防堰堤により形成された土砂の緩勾配の堆砂に覆い被さるよう堆積している。砂防堰堤は台風襲来前には除石されていたことから, まずは  $\phi 2 \text{ mm}$  程度の土砂が砂防堰堤に堆積し, その後,  $\phi 0.3 \sim 0.5 \text{ m}$  の礫をフロント部に有する土石流が砂防堰堤の堆砂域で形成された緩勾配区間で停止したものと考えられる。

3) 溪床に堆積する礫径は, 調査地点ごとに巨礫の占める状況が異なる。上流から下流に向かって径が小さくなるなどの一方向的な法則は見られず, 地点ごとに大小を繰り返す。

4) 径の大きな礫が多く堆積する地点 (地点 B・D) があり, 攪乱された状態で, 流路中心部にかまぼこ状・舌状に堆積する。これらは, 土石流のフロント部の堆積の特徴と合致するものと考えられた。また, この堆積は異なる地点で複数確認されるため, 土石流は複数回発生し

ており, 流下時の溪床の幅・河床勾配等の流下能力に応じて停止したものと考えられる。

5) 土石流のフロント部は  $\phi 0.3 \sim 0.5 \text{ m}$  の礫で形成され, これを超える礫径は流下途中で集合運搬から外れて停止したものと考えられる。

6) 例えば, 調査地点 E で確認された  $\phi 3.0 \text{ m}$  の礫のように, 同じ地点に堆積する他の礫に比べ礫径が大きく, 3つの台風に伴う豪雨により発生した土砂移動によって運ばれたとは想定し難い巨礫も所々で確認された。

7) 全体的に火山灰はなく, 礫の占める割合が多いことから, 当溪流においては砂礫型の土石流による集合運搬が発生したと考えられる。

### 3.5 ピーク流量の推定

本節では黒岳沢川で発生した土石流のピーク流量を推定する。推定は黒岳沢川第 1 号えん堤, および黒岳沢川第 1 号えん堤より約 700 m 上流の床固工地点の 2 箇所で行うこととし, 位置関係は図-2 に示すとおりである。

まず、黒岳沢川第 1 号えん堤の水通し部を越流したピーク流量の推定を行う。土石流発生から 2 日後 8 月 25 日に実施した現地踏査において、黒岳沢川第 1 号えん堤上流部で左岸側護岸に付着した泥の痕跡（写真-6）をピーク時の水位と仮定し、堰堤の工事図面（片山ら, 1983）を参考に写真-6 左下に示すようにピーク時の断面形状を推定した。推定された越流水深  $D_h$  は約 0.6 m であった。その上で、逆台形堰の越流公式（式(1), 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2016 a)

$$Q = (2/15)C\sqrt{2g}(3B_1+2B_2)D_h^{3/2} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $Q$  は流量 ( $m^3/s$ )、 $C=0.6$  は流量係数、 $g$  は重力加速度 ( $m/s^2$ )、 $B_1$ 、 $B_2$  はそれぞれ水通しの底幅と水面幅 (m) がこの場合に適用できるとすると  $Q \approx 15 m^3/s$  と推定された。

次に、写真-7 に示した床固工上流右岸側において、袖天端よりやや高い位置にある泥の付着痕跡から、水通し部満杯まで土石流が流下していたと思われ、この水通し部を流下する土石流の流量を推定した。別途航空写真上で計測された、水通し部断面の大まかな寸法は写真-7 左下部に示すとおりである。土石流流下時は巨礫・流

木の混合があったことが別途北海道開発局のカメラの映像より確認されたが、上述の黒岳沢川第 1 号えん堤地点における推定と同様に、逆台形堰の式から推定できるものとする  $Q \approx 20 m^3/s$  と推定された。一方、平均流速が Manning 則の式形で表せるとすると（式(2), 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2016 b), 平均流速は

$$U = (1/K_n)D_h^{2/3}(\sin \theta)^{1/2} \dots\dots\dots(2)$$

となるから、粗度係数  $K_n=0.1$ 、 $D_h=0.5$ 、 $\sin \theta=0.1$ （勾配  $\theta \approx 6$  度）とすれば  $U \approx 2 m/s$  で、 $Q \approx 30 m^3/s$  と推定できた。

以上より、黒岳沢川第 1 号えん堤地点の推定越流量は  $15 m^3/s$  であり、上流の床固工地点ではおよそ  $20 \sim 30 m^3/s$  であったことが推定された。痕跡からの流量推定の精度は今後検討の余地は残るものの、本節の検討により、下流側においてピーク時の流量が減少したことが推定された。

後述のインターバルカメラ画像により、8 月 23 日の早朝における土石流発生時、黒岳沢川第 1 号えん堤は水平堆砂に近かったと推定される。さらに、インターバルカメラ画像において、8 月 23 日早朝、越流部における顕著な砂礫の移動は確認されなかった。そのため、土石流に含まれるピーク流出時の土砂は多くが黒岳沢川第 1 号えん堤上流にて堆積し、越流したのは土砂濃度の低い成分であったと考えられる。そのため、1 波の土石流によってピーク時の全ての痕跡が付いたのではなく、ここで見た黒岳沢川第 1 号えん堤と床固め工の 2 地点では異なる時間帯にピーク時の水位となっていた可能性がある。ただし、本節の検討は概括的な推定であるため、今後精査と補正を重ねるとともに、他の追跡調査・観測資料などから黒岳沢川に沿う縦断的な流量把握をより精密に行い、現象把握を進めることが重要と考えられる。

### 3.6 インターバルカメラ画像から見た土石流出状況

黒岳沢川における土石流の発生時刻は午前 7:00 頃とされており、北海道開発局が設置した最上流カメラ（図-2）に土石流の午前 6 時 57 分 55 秒時点の映像が捉えられている（写真-8）。

台風襲来前に、黒岳沢川第 1 号えん堤周辺にインターバルカメラを設置しており、8 月 16 日～8 月 23 日までの土砂流出の状況をインターバルカメラ画像として捉えることに成功した。図-2 および図-5 にインターバルカメラの配置図を、写真-9 にインターバルカメラ画像を示した。①と③は黒岳沢川第 1 号えん堤の上流側を、②は堰堤軸を撮影したものである。インターバルカメラは Brinno 社製の Time Lapse TLC 200 を用い、撮影間隔 10 分とし、画像を出水後に回収した。時刻は内蔵時計に誤差が生じるため、画像の暗転時刻と日没時刻の関係等から 3 つのカメラを概ね同期させた。①の画像に見られるコンクリート構造物は古い治山堰堤で、その袖部の上に単管を組んだ構造物が設置されていた。以下、イン

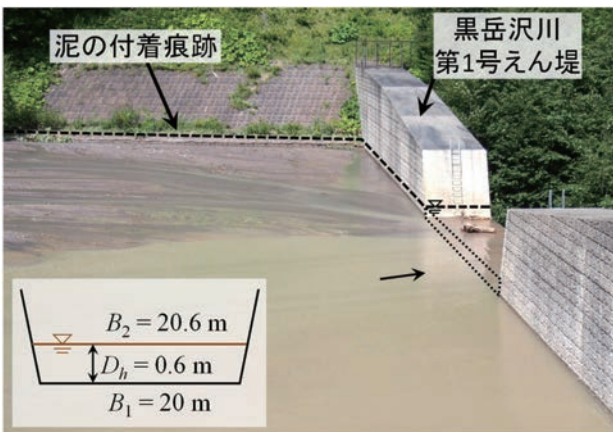


写真-6 黒岳沢川第 1 号えん堤水通し部と泥の付着痕跡  
Photo 6 A notch of the No. 1 Sabo dam and the mud trace

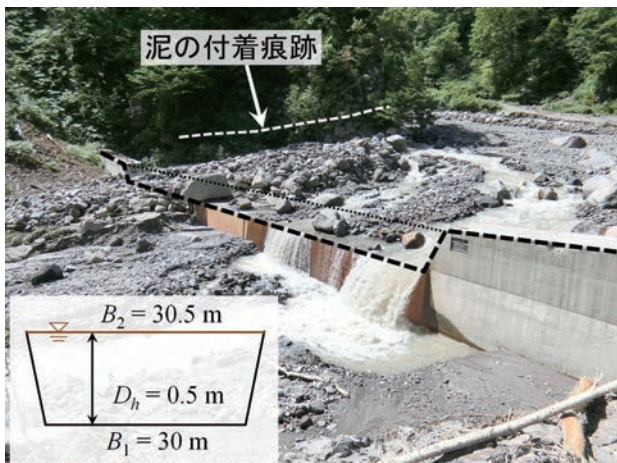


写真-7 床固工と泥の付着痕跡  
Photo 7 Groundsill and the mud trace



写真-8 黒岳沢川における土石流の映像

Photo 8 Debris flow recorded by the monitoring camera system for the Kurodakesawa river



図-5 インターバルカメラ位置と画郭配置  
Fig.5 Layout of the interval cameras

ターバルカメラ画像に基づき、土砂流出の状況について説明する。

1) 8月17日17:50

台風第7号に伴う降雨が強まる前の画像である。③の画像から黒岳沢川第1号えん堤（以下、本節中では砂防堰堤）は全く堆砂しておらず、この時点では土石流発生前とすることができる。

2) 8月18日9:50

②の画像を見ると砂防堰堤の水通しの高さまで湛水していることがわかる。そのことから、砂防堰堤の水通しの4.0m下にある水抜き穴が閉塞され、その位置から水平堆砂する程度まで堆砂が生じたと推定できる。

3) 8月21日4:40

8月20日の降雨後の画像。堆砂の高さが高くなって見受けられるが、大きな変化はなく、8月20日の降雨での土砂移動は限定的であったと考えられる。

4) 8月23日9:40

水位が低下し、堆砂状況が見えてくる。古い治山堰堤は完全に土砂で埋没している。③の画像を見ると多くの

巨礫が堆砂敷に及んでいることがわかる。また、堆砂敷の上流側に選択的に巨礫に富む堆砂が見られ、下流側は比較的細粒であることがわかる。

これまでに述べた、河床材料の粒径変化・土砂・礫の堆積状況の把握、ピーク流量の推定、インターバルカメラ画像の分析から、今回の土石流の実態は以下のとおり推察された。

①土石流の土砂の発生源は主に標高1,200m以上の黒岳沢川上流域であった。②土石流は大きく2つの時期に分けて、台風第7号および第9号に伴う降雨により複数回発生しており、治山事業による床固工群の設置されている区間で停止したのもあったことが推測された。③ピーク流量は20~30 m<sup>3</sup>/sと推定された。④一連のインターバルカメラ画像から、複数回発生した土石流のうち、黒岳沢川第1号えん堤に到達するような規模の土砂流出は17日17:50~18日4:20までの間、および23日7:00頃の2回発生していた。⑤黒岳沢川第1号えん堤に到達するような規模の土砂流出のうち、1回目は主にφ2mm程の土砂を主体とし、2回目はφ0.3m~0.5m程の礫を主体とする土砂流出であったと推測された。

### 3.7 土砂災害対策の施設整備の効果

治山事業による床固工群の設置されている区間については、一部に袖の破損、流路の横抜けが確認されるものの、これまでに述べたように、施設が埋没するほど、勾配5~8°程度で土砂堆積しており、河床材料の扞止による渓床侵食の抑制、土砂堆積の促進及び土石流の減勢機能は果たされたものと考えられる。

写真-10に本土石流発生前（2016年6月24日撮影）の黒岳沢川第1号えん堤の状況を示す。除石工事による空き容量が確保されており、今回の一連の土砂流出によってほぼ満砂に至っており、その堆砂量を推定した。UAVによる空撮画像から Agisoft 社の3D図化ソフトウェアである Photo Scan を用いて堆砂面の標高を測定し、その標高データから10m間隔の横断面図を作成した。横断面図上の堆砂前後の差分面積による平均断面法で堆砂量を推定したところ、約72,000 m<sup>3</sup>となった。図-6に堆砂縦断面図を示し、土石流発生前の2016年6月24日の地盤線と土石流発生後の2016年8月24日の地盤線を表示した。2016年8月18日時点で少なくとも水抜き穴までは堆砂したと推定されることから、その推定堆砂線を破線で示した。

このように大きく分けて2回の土砂流出の発生に対して、上・中流域では治山堰堤による土砂捕捉、下流域では、砂防事業による、砂防堰堤と溪流保全工の一体的な整備による土砂捕捉・ピークカットおよび本川までの導流により、保全対象への直接的な土砂氾濫を防止したものと考えられる。

## 4. 小学校の沢で発生した土石流

石狩川水系小学校の沢は約0.7 km<sup>2</sup>の土石流危険溪流



写真-9 インターバルカメラ画像

Photo 9 A time-series of images of debris flows recorded by the monitoring interval-camera system for the Kurodakesawa River



写真-10 土石流発生前の黒岳沢川第1号えん堤  
Photo 10 The Kurodakesawa No.1 sabo dam before the events



写真-11 小学校の沢全景  
Photo 11 Aerial view of Shogakkonosawa catchment

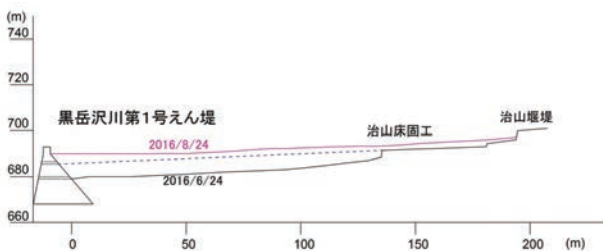


図-6 黒岳沢川第1号えん堤堆砂縦断面図  
Fig. 6 Depositional surfaces of the Kurodakesawa No. 1 sabo dam before and after the events



写真-12 導流堤による導流状況  
Photo 12 The training dyke at the Shogakkonosawa

(図-2)で、土砂災害防止法の土砂災害特別警戒区域が指定されており、特別警戒区域内に位置する旧層雲峡小学校は地域の避難所に指定されている。小学校の沢では平成23年8月17日にも小規模な斜面崩壊が生じている(西村ら, 2013)。写真-11に小学校の沢の全景を示す。北海道開発局旭川開発建設部の発表によれば8月23日未明に土石流が発生したと推定されている(国土交通省北海道開発局旭川開発建設部, 2016c)。現地状況から柱状節理の下部に位置している溶結凝灰岩の岩盤崩壊を起点として、溪床を侵食しながら増大した土石流が発生している。流出土砂量は約2,000 m<sup>3</sup>である。土石流は谷出口を出た後、砂防事業により施工された導流堤により保全対象方向への流出を妨げられ、安全に導流された(写真-12)。

### 5. 警戒避難に関する課題

図-7に上川町層雲峡地区の含まれる土砂災害警戒判定メッシュ(メッシュコード43421415)において、最も土砂災害警戒情報の判断基準線にスネークラインが近づいた8月23日6:30時点の土砂災害危険度の状況を示す(北海道土砂災害警戒情報システム, 2016)。図-7では、大雨警報(土砂災害)の判断基準線は超過しているものの、土砂災害警戒情報の判断基準線は超過しておらず、判定の精度向上が図られるべきと考えられる。

2016年08月23日 06時30分 現在

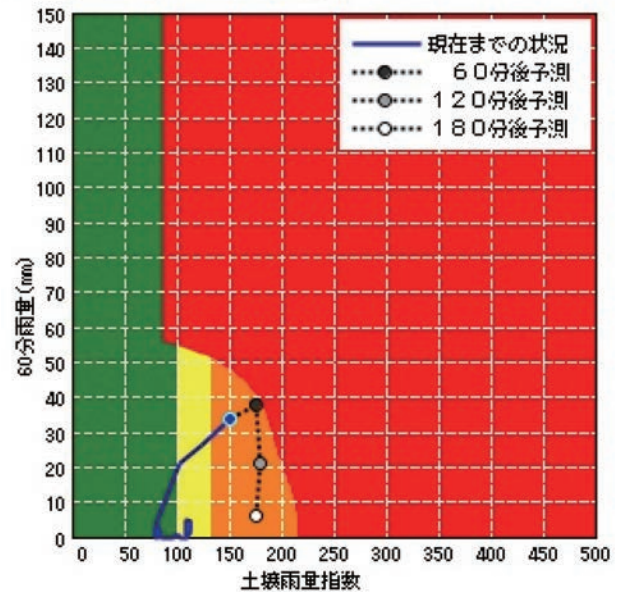


図-7 層雲峡地区が含まれる土砂災害警戒判定メッシュにおけるスネークラインの例  
Fig. 7 Snake line on a mesh for judgement of sediment disaster warning information for the Soukkyo hot spring area

また、23 日の土砂災害警戒情報の発表は、土石流発生の約 30 分前であり、今回のように北海道に台風が接近・上陸する場合、台風の移動速度が速いことが多く、天候は急激に悪化することから、突発的な豪雨の発生時には住民の避難に、必ずしも十分な時間が確保できない場合があることを意識しておく必要があると考えられる。

## 6. おわりに

北海道では稀な複数の台風の上陸による豪雨によって、北海道上川町層雲峡地区において発生した土石流について、砂防学会調査団を結成し、現地調査を実施した。

現地踏査および UAV・インターバルカメラによる調査・解析により、時系列かつ定量的に土砂流出の状況・土砂災害対策の施設整備の効果を把握することができた。また、降雨・土砂流出の状況と土砂災害警戒情報の発表状況の関係について、簡単ではあるが、分析することにより、北海道における警戒避難に関する課題の一端を明らかにすることができた。

今後、気候変動による台風の強大化により、これまで台風の襲来の少なかった北海道においても、上陸・接近回数の増加、豪雨の発生の懸念がある。本調査結果は今後の北海道における土砂災害対策を考える上での参考事例の 1 つとなると考えられる。

本調査結果については、調査当日の 8 月 25 日夕刻に、北海道開発局旭川開発建設部に今後の対応に係る技術的助言として報告を行っている。また、9 月 2 日に調査結果の速報を砂防学会北海道支部のホームページに掲載している（公益社団法人砂防学会北海道支部，2016）。

## 謝 辞

北海道建設部土木局河川砂防課より、北海道内における土砂災害に関する記録、土砂災害警戒情報に係る資料の提供を頂きました。ここに謝意を表します。

## 引用文献

北海道土砂災害警戒情報システム (2016) : <http://www.njwa.jp/hokkaido-sabou/>, 参照 2016-11-20  
 北海道開発庁 (1966) : 5 万分の 1 地質図幅「大雪山」  
 片山寛・郡義和・原田元士 (1983) : 黒岳沢川の砂防事業計画について, 昭和 57 年度北海道開発庁技術研究発表会, E-14, p. 141-150  
 気象庁 (2016 a) : 台風第 7 号, 第 11 号, 第 9 号, 第 10 号及び前線による大雨・暴風, [http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2016/20160906/jyun\\_sokuji\\_20160816-31.pdf](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2016/20160906/jyun_sokuji_20160816-31.pdf), 参照 2016-09-06

気象庁 (2016 b) : 過去の気象データ・ダウンロード, <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>, 参照 2016-11-20  
 気象庁札幌管区气象台 (2016 a) : 平成 28 年台風第 7 号に関する気象速報 (平成 28 年 8 月 16 日から 17 日), [http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/pdf/KishoH\\_280816-0817.pdf](http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/pdf/KishoH_280816-0817.pdf), 参照 2016-08-25  
 気象庁札幌管区气象台 (2016 b) : 前線と平成 28 年台風第 11 号及び第 9 号に関する気象速報 (平成 28 年 8 月 20 日から 23 日), [http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/pdf/KishoH\\_280820-0823.pdf](http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/pdf/KishoH_280820-0823.pdf), 参照 2016-08-30  
 国土交通省北海道開発局 (2014) : 石狩川上流直轄火山砂防事業再評価原案準備書説明資料【石狩川上流域】, [http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/singi/h\\_26\\_4/h\\_261104\\_3\\_4\\_1.pdf](http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/singi/h_26_4/h_261104_3_4_1.pdf), 参照 2016-08-24  
 国土交通省旭川開発建設部 (2016 a) : 石狩川上流直轄砂防施設の効果及び復旧状況について～美瑛川ブロック堰堤（通称「青い池」）は 9 月 14 日 10 時 00 分立入り制限を解除します～, [http://www.as.hkd.mlit.go.jp/kisya/h\\_28\\_sonota\\_pdf/160913\\_oaiike\\_hisai\\_2.pdf](http://www.as.hkd.mlit.go.jp/kisya/h_28_sonota_pdf/160913_oaiike_hisai_2.pdf), 参照 2016-09-13  
 国土交通省旭川開発建設部 (2016 b) : 石狩川（上流）黒岳沢川土石流発生状況について（第 1 報）, [http://www.as.hkd.mlit.go.jp/kisya/h\\_28\\_sonota\\_pdf/160823\\_kurodakesawa\\_1.pdf](http://www.as.hkd.mlit.go.jp/kisya/h_28_sonota_pdf/160823_kurodakesawa_1.pdf), 参照 2016-08-23  
 国土交通省旭川開発建設部 (2016 c) : 石狩川（上流）小学校の沢川土石流発生状況について（第 1 報）, [http://www.as.hkd.mlit.go.jp/kisya/h\\_28\\_sonota\\_pdf/160823\\_syougakkou\\_dosekiryu.pdf](http://www.as.hkd.mlit.go.jp/kisya/h_28_sonota_pdf/160823_syougakkou_dosekiryu.pdf), 参照 2016-08-23  
 国土交通省旭川開発建設部 (2016 d) : 砂防施設により土石流から層雲峡温泉街等を守りました。～石狩川上流直轄砂防事業～, [http://www.as.hkd.mlit.go.jp/kisya/h\\_28\\_sonota\\_pdf/160825\\_sabousisetu.pdf](http://www.as.hkd.mlit.go.jp/kisya/h_28_sonota_pdf/160825_sabousisetu.pdf), 参照 2016-08-25  
 国土交通省北海道開発局札幌開発建設部 (2010) : 石狩川治水に係わる主な事業 事業紹介 84 黒岳沢川直轄砂防事業, [http://www.sp.hkd.mlit.go.jp/kasen/10\\_chisui\\_100/jigyo/j084.html](http://www.sp.hkd.mlit.go.jp/kasen/10_chisui_100/jigyo/j084.html), 参照 2016-08-24  
 国土交通省国土技術政策総合研究所 (2016 a) : 土石流・流木対策設計技術指針 解説, 国総研資料, No. 905, 78 pp.  
 国土交通省国土技術政策総合研究所 (2016 b) : 砂防基本計画策定指針 (土石流・流木対策編) 解説, 国総研資料, No. 904, 77 pp.  
 国土交通省水文水質データベース (2016) : <http://www.1.river.go.jp/>, 参照 2016-11-20  
 公益社団法人砂防学会北海道支部 (2016) : 平成 28 年 8 月北海道上川町（層雲峡）で発生した土石流に関する調査（速報）, [http://www.jsece.or.jp/branch/hokkaido/common/media/pdf/20160902\\_sounkyo\\_sokuho.pdf](http://www.jsece.or.jp/branch/hokkaido/common/media/pdf/20160902_sounkyo_sokuho.pdf), 参照 2016-09-02  
 西村義・幸田学・山口昌志・武澤永純 (2013) : 斜面崩壊検知センサーによる表層崩壊の検知について～石狩川上流における事例～, 土木技術資料, Vol. 55, No. 4, p. 38-41  
 林野庁北海道森林管理局上川中部森林管理署 (2008) : 層雲峡黒岳沢の治山, 6 pp.  
 (Received 21 November 2016 ; Accepted 19 December 2016)

## 災害報告

## 平成 28 年台風 10 号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出

## Sediment discharge in the Tokachi region, Hokkaido, caused by Typhoon No. 10 (Lionrock), 2016

小山内信智*1	笠井美青*1	林 真一郎*1	桂 真也*1	古市剛久*1
Nobutomo OSANAI	Mio KASAI	Shin-ichiro HAYASHI	Shin'ya KATSURA	Takahisa FURUICHI
伊倉万理*2	高坂宗昭*3	藤浪武史*4	水垣 滋*4	阿部孝章*4
Mari IGURA	Muneaki KOSAKA	Takeshi FUJINAMI	Shigeru MIZUGAKI	Takaaki ABE
布川雅典*4	吉井厚志*5	紅葉克也*6	渡邊康玄*7	塩野康浩*8
Masanori NUNOKAWA	Atsushi YOSHII	Katsuya MOMIJI	Yasuharu WATANABE	Yasuhiro SHIONO
宮崎知与*9	澤田雅代*9	早川智也*10	松岡 暁*10	佐伯哲朗*10
Tomoyoshi MIYAZAKI	Masayo SAWADA	Tomoya HAYAKAWA	Akira MATSUOKA	Tetsuro SAEKI
稲葉千秋*11	永田直己*11	松岡直基*12	井上涼子*13	
Chiaki INABA	Naomi NAGATA	Naoki MATSUOKA	Ryoko INOUE	

## Abstract

Soon after three typhoons (No. 7, 11, and 9) hit Hokkaido in August 2016, Typhoon No. 10, Lionrock brought a large amount of orographic rainfall on the eastern slope of the Hidaka Range from August 29 to 31, which caused substantial discharge of sediment. Nine tributaries of the Tokachi River, from the Panke-Shintoku in the north to the Totsutabetsu in the south, discharged the huge volume of sediment by debris flows and experienced bank erosion and flooding, which caused damages in residential area, railway, expressway and national highway and so on. For example, the Pekerebetsu River discharged at least 0.63 million m<sup>3</sup> of sediment, the largest amount in approximately last 50 years. Bank erosion and flooding caused aggradation of the river bed and blockage at bridges (many drift wood were included in the sediment) and washed away several houses in the center of Shimizu Town. The sites of the substantial sediment discharge (e.g., Totsutabetsu, with the total precipitation of 530 mm, and Nissho, with 367 mm) coincided not with an area of the heaviest precipitation (Notsuka, with 713 mm) but with granite geology. The sediment was mainly composed by granite boulder and fine material which came from gently sloping periglacial terrain.

**Key words :** Hokkaido, Tokachi, Hidaka mountains, debris flow, granite

## 1. はじめに

平成 28 年 (2016 年) 8 月下旬, 北海道には 3 つの台風 (台風第 7 号, 第 11 号, 第 9 号) が上陸し, 道内各地で水害・土砂災害が多発した。続いて, 8 月 28 日~31 日にかけて, 北海道への台風第 10 号の接近によっても, 十勝・上川・日高地方を中心に水害・土砂災害が多発している (例えば, 国土交通省, 2016 a, b; 国土交通省北海道開発局, 2016; 北海道旅客鉄道株式会社, 2016; 小山内ら, 2017)。

台風第 10 号による土砂災害については, 国土交通省の災害情報 (国土交通省, 2016 c) によると, 人的被害は報告されていないものの, 新得町 3 件, 清水町 8 件 (農業施設の一部損壊 1 戸), 南富良野町 2 件, 日高町 2 件

の計 15 件が報告されている。十勝地方の日高山脈東側斜面では, 十勝川水系パンケ新得川から戸蔭別川にかけての 9 つの支川およびその支浜においてやや規模の大きい土石流が多数発生し, 下流域での洪水氾濫, JR・高速道路・国道等への被害が生じた。

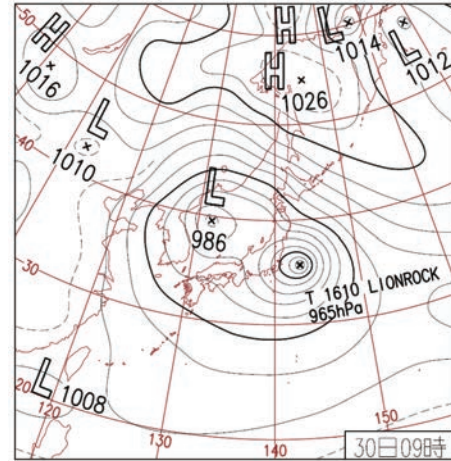
砂防学会北海道支部では, 「平成 28 年台風 10 号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出に関する調査団」 (団長: 小山内信智北海道大学特任教授, 北海道大学突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点) を結成し, 十勝地方で発生した土石流・土砂流出の実態調査を実施した。調査は, 9 月 5 日, 10 月 11・12 日 (北海道大学突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点と合同で実施), 19 日の, のべ 4 日間の現地調査および 9 月 7 日, 12 日の 2 回のヘリコプターによる調査 (国土交通省北海道

\*1, 2 北海道大学 Hokkaido Univ. (shayashi@cen.agr.hokudai.ac.jp) \*3 北海道大学 Hokkaido Univ. \*4 (国研) 土木研究所寒地土木研究所 Civil Engineering Research Institute for Cold Region \*5 みずみどり空間研究所 Water and Green Space Laboratory \*6 (株) 紅葉流域設計 Momiji watershed design Co., Ltd \*7 北見工業大学 Kitami Institute of Technology \*8 国土防災技術北海道 (株) JCE-Hokkaido Co., Ltd. \*9 (株) シン技術コンサル Shin Engineering Consultant Co., Ltd. \*10 日本工営 (株) Nippon Koei Co., Ltd. \*11 国際航業 (株) Kokusai Kogyo Co., Ltd \*12 (一財) 日本気象協会 Japan Weather Association \*13 明治コンサルタント (株) Meiji Consultant Co., Ltd. \*1, \*4, \*5, \*8~13 は正会員, \*2 は学生会員



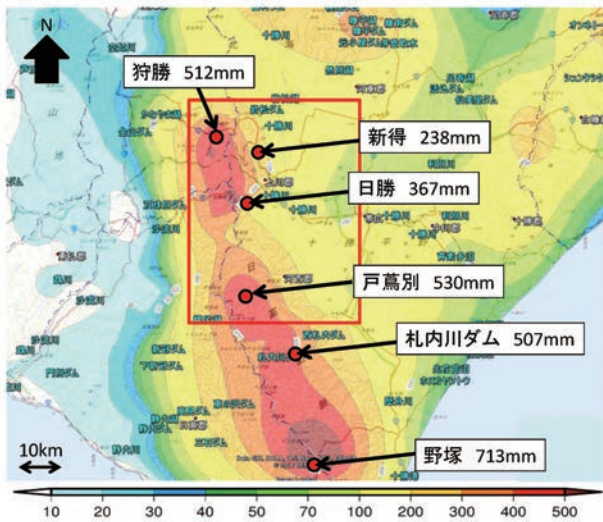
図一1 台風第10号の進路  
(気象庁札幌管区气象台, 2016 から転載)

Fig.1 The path of Typhoon Lionrock  
(After Sapporo regional headquarters, Japan meteorological agency, 2016)



図一2 地上天気図 (平成 28 年 8 月 30 日 9 時)  
(気象庁, 2016 から転載)

Fig.2 Surface weather chart (2016/8/30 9:00)  
(After Japan meteorological agency, 2016)



図一3 日高山脈周辺の降雨分布図 (図中赤枠は図-8,9 の概ねの範囲)

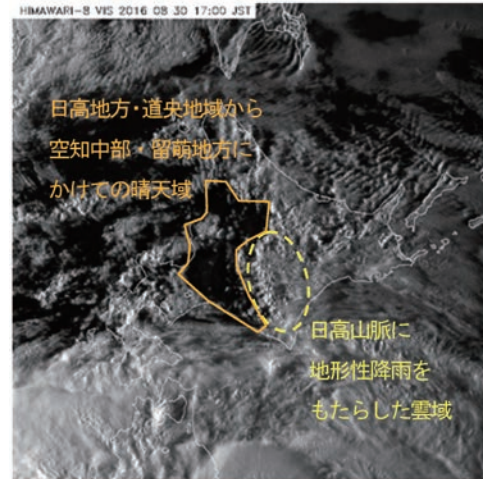
Fig.3 The distribution of accumulated precipitation around Hidaka mountains (The red square indicates the range of Fig. 8 and 9 approximately)

開発局の調査に同乗)を実施している(砂防学会北海道支部, 2016 a, b)。以下, 調査結果を報告する。

## 2. 降雨の実態

台風第10号は, 8月30日18時前に太平洋側から三陸地方に上陸し, 渡島半島西端をかすめて日本海に抜け, 31日0時に温帯低気圧へと変わった。台風が太平洋側から東北地方へ上陸したのは1951年の気象庁の統計開始から初めてである(図-1, 気象庁札幌管区气象台, 2016)。

台風の進路とサハリンの北の付近に停滞した高気圧の気圧配置によって, 日高山脈から大雪山系にかけて十勝地方を中心に長時間にわたり東寄りの湿った暖かい気流が流れ込んだ。日高山脈から大雪山系にかけての山脈に



図一4 ひまわり 8 号の可視画像 (平成 28 年 8 月 30 日 17 時)  
Fig.4 The visible image of Himawari 8

ぶつかった暖湿気流は地形性降雨を卓越させ, 山岳部に豪雨をもたらした。図-2は地形性降雨の発生している8月30日9時の天気図であり, 前述の説明を示す典型的な天気図である。

図-3は3日間の合計雨量(期間:8月29日1時~31日24時)の日高山脈周辺の分布図である。気象庁アメダス観測所および北海道開発局所管の河川・道路のテレメータ雨量計の観測結果からGMT(Generic Mapping Tools)を用いて作図した。日高山脈の東側から大雪山系の南側にかけて雨量が多くなっており, 日高山脈や大雪山系の一部では総雨量500mmを超える雨量となった。

図-4は静止気象衛星ひまわり8号の可視画像で, 日高山脈沿いの雨雲の雲頂は6,000m前後で, 一部発達した雲域は10,000mまで達している。日高山脈は高いところで標高2,000m程度の山脈をなしており, 十勝地方をはじめ道東地域には白い雲域が広がっている一方で, 日

高山脈・大雪山系を越えて西側の日高地方・道央地域から空知中部および留萌地方にかけて黒い晴天域が広がっている。また、図-5は解析雨量の図であり、図-4と同様の傾向の降雨分布が確認され、日高山脈において地形性降雨が非常に発達していたことが明瞭に見てとれる。

図-6は日高山脈東側の新得市街にある気象庁アメダス新得観測所（標高178m、以下、新得）、日高山脈西側にある国土交通省狩勝テレメータ雨量計（標高464m、以下、狩勝）の時間雨量と累加雨量である。降雨は28日から降りをはじめ、台風第10号が関東の沖合にあった29日からは、狩勝においては、時間10mm程度の降雨が間断なく降り続いた。台風第10号が北海道に接近した30日18時までには新得で約130mm、狩勝で約300mmの累加雨量となっている。その後、台風の外側のアウトバンドと呼ばれる雨域が日高山脈・大雪山系にぶつかり、地形性降雨の効果も加わって、わずか6時間ほどでさらに新得で約100mm、狩勝で約200mmを超える降雨が降り、山地河川からの出水や土砂流出が一気に発生したと推定される。新得と狩勝ともに時間雨量・累加雨量の時間的変化は同様の傾向が見られるが、標高の高い狩勝の時間雨量・累加雨量がどの時間においても新得の降水量の2倍程度に大きい値で推移しており、このことから地形性降雨の影響を見てとることができる。

### 3. 地形・地質の概況

本稿で報告する土砂流出が発生したのは、日高山脈主稜を南縁および西縁に、佐幌岳を北縁に、佐幌川・十勝川・札内川・戸蔦別川を東縁および南縁とする、十勝川流域西部の諸流域である（図-7）。それらの中で、パンケ新得川、パンケオタソイ川、ベケレベツ川、小林川、芽室川・造林沢川、久山川、美生川、戸蔦別川の9つの十勝川の支川およびその支溪でやや規模の大きなものを含む多数の土石流が発生した。

この地域の地質は大きく東部と西部に分けられ、東部は十勝平野の基底である堆積岩（十勝層群洗山層）、および後述する扇状地性あるいは段丘性の堆積物によって占められる（図-8、山口、1990；松澤、1990）。西部には第三系の深成岩と変成岩から成る日高変成帯主帯が南北走向をもって帯状に分布し、日高山脈北部、佐幌岳から芽室岳、戸蔦別岳を経てコイカクシュサツナイ岳に至る山稜を形成する（図-7、8）。狩勝峠付近から日勝峠を経て芽室岳の東の剣山までの東西約5km、南北約35kmの範囲には、花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、トータル岩が分布しており（日勝峠岩体）、やや規模の大きい土石流が発生した諸流域上流部の多くはこの岩体域にある。そして、この岩体を取り囲むよう日高変成帯主帯最上層のホルンフェルス（弱変成の箇所も多く見られる）が分布する。ホルンフェルスは狩勝峠付近では稜線まで分布しているが、その北の佐幌岳は花崗岩からなる。美生川と戸蔦別川の流域最上流部には斑レイ岩と花崗閃緑

岩に加えて片麻岩と片岩が分布するほか、戸蔦別川ではその下流部に花崗岩、閃緑岩、トータル岩も見られる（小山内ら、1990；在田ら、1990；前田、1990；中川ら、1996）。

この地域の山麓部では後期更新世に十勝層群を覆って礫層が厚く堆積し、広大な扇状地および堆積段丘が形成された（図-8；平川ら、1974；小野ら、1975；松澤、1990）。日高山脈では最終氷期前半（60,000～40,000年前頃）が氷河の最拡大期にあたり（ポロシリ亜氷期）、多量の岩屑が斜面と河谷に供給されて山麓に広大な扇状地と河谷に厚い堆積段丘が形成されたこと（扇状地の最拡大期）、その後の最終氷期後半の最寒冷期（20,000年前頃）には逆に氷河は縮小して（トッタベツ亜氷期）山麓における扇状地の形成ははるかに小規模であったことが報告されている（平川ら、1974；小野ら、1975；平川、2003）。また、扇状地や段丘の背後にある日高山脈の山地斜面は、顕著に平滑で水系の発達に乏しく、円磨度の低い角礫を主体にした厚さ数mの堆積物に覆われ、形態的にも構成物質的にも化石周氷河性斜面の特徴を備えている（山本、1989）。これら化石周氷河性斜面堆積物、扇状地堆積物及び段丘堆積物は、以下に述べるとおり、本稿で報告する土砂流出の理解には重要であると考えられる。

## 4. 代表的な河川における土砂流出の状況

### 4.1 概況

9月7日、12日の2回のヘリコプターによる調査によって、十勝地方の日高山脈東側斜面では、前述のように9つの支川において、やや規模の大きい土石流が発生していたことが明らかとなった（砂防学会北海道支部、2016a, b）。図-9は土砂流出の発生前後のLandsat-8の画像である（産業技術総合研究所、2017）。図-9に示した南北約50kmにわたる範囲では、勾配の緩い日高山脈東側斜面上の十勝川水系の支川において土石流・河岸侵食等の土砂流出の痕跡（図-9右中の破線の赤枠）を見ることができる。規模の大きな土砂流出が生じた地域と図-3で示した総雨量500mm以上の強雨域とは完全には一致せず、花崗閃緑岩・花崗岩および3.で述べた扇状地性あるいは段丘性の堆積物の分布範囲とよく一致する（図-8）。

土砂流出の規模の大きかった主要な支川の状況について以下に述べる。

### 4.2 パンケ新得川

パンケ新得川（流域面積30.9km<sup>2</sup>）の支溪である九号川の上流では土石流が発生し、道東自動車道狩勝第二トンネル東坑口付近およびその下流に土砂が流出した（写真-1）。東日本高速道路株式会社による昼夜連続した土砂除去により、9月1日午前8:00に道東自動車道の通行が再開し、豪雨後、道央と道東を結ぶ唯一の交通路として通行が確保された。九号川を流下した土砂は、パンケ新得川合流点付近に堆積しており（写真-2左）、大半はマサ土で構成されている。一方でパンケ新得川本

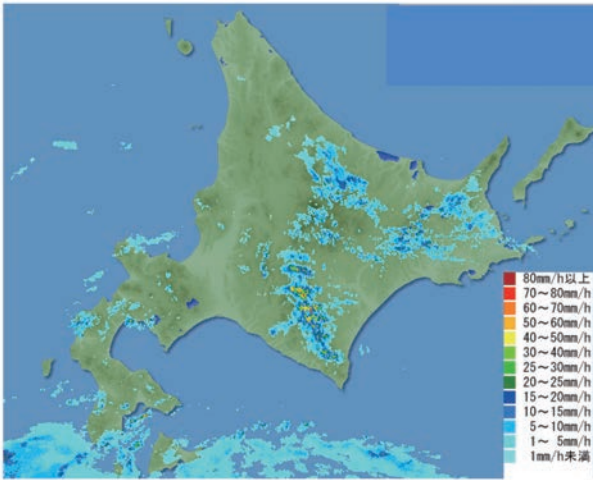


図-5 解析雨量 (平成 28 年 8 月 30 日 17 時)  
(一般財団法人日本気象協会北海道支社提供)

Fig.5 The amount of precipitation analyzed by radar-AMeDAS  
(Courtesy of Hokkaido branch office, Japan weather association)

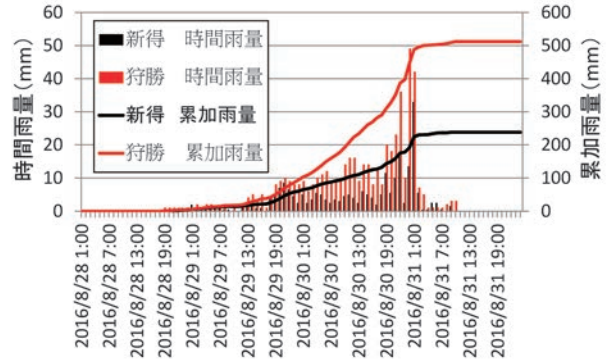


図-6 新得・狩勝の時間雨量および累加雨量

Fig.6 Hourly and accumulated precipitation at Shintoku and Karikachi

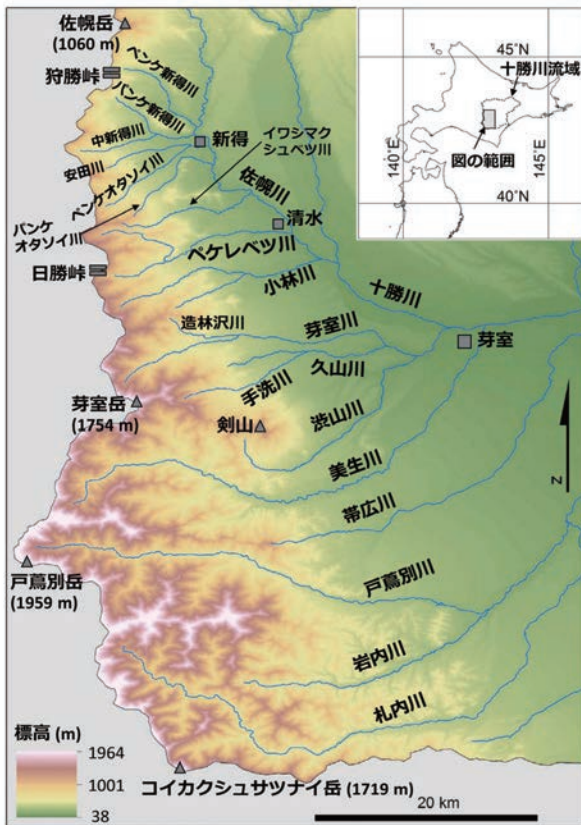


図-7 十勝平野西部の河川と標高図  
(標高図は国土地理院基盤地図情報 10 m メッシュ DEM から作成)

Fig.7 Topography and the course of rivers in western part of the Tokachi River catchment

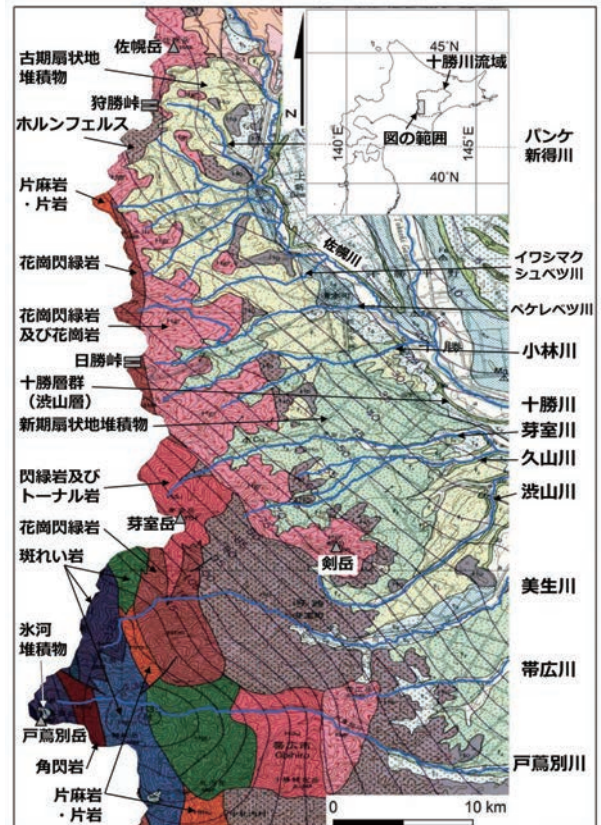


図-8 十勝平野西部の河川と地質図  
(地質分布は中川ら (1996) を基に作成)

Fig.8 Geology of western part of the Tokachi River catchment  
(After Nakagawa et al., 1996)

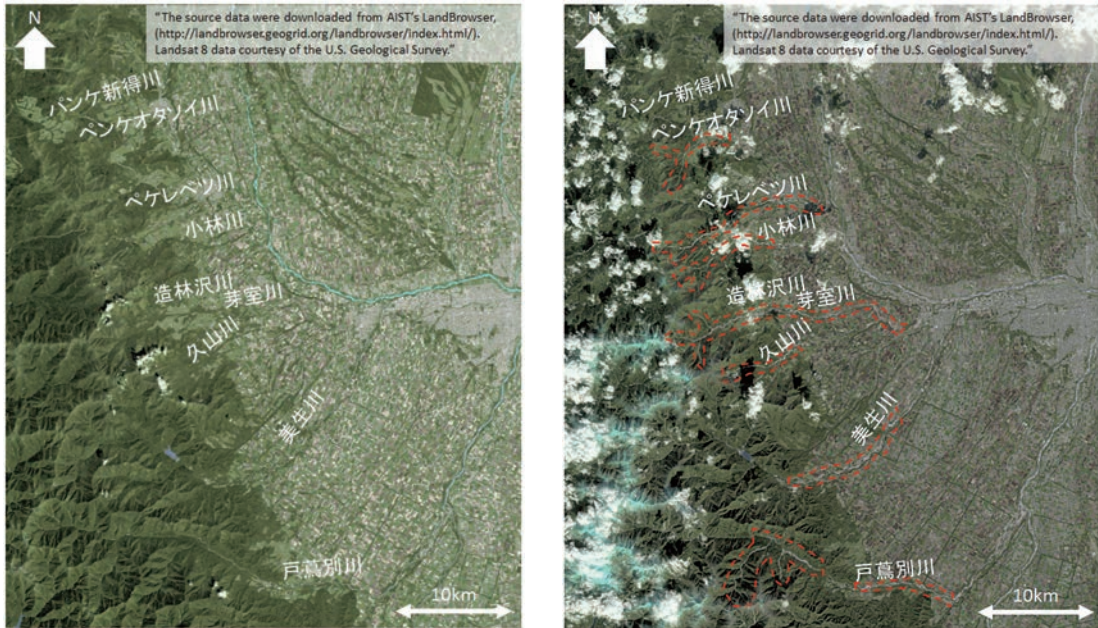


図-9 土砂流出前後の Landsat-8 の画像（産業技術総合研究所，2017 から転載，左：土砂流出前 2016/8/24，右：土砂流出後 2016/10/11，破線の赤枠は土砂流出の痕跡）

Fig.9 The imaginaries of Landsat-8 before and after the sediment discharges (After National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2017, Left : Before 2016/8/24, Right : After 2016/10/11, red dot line indicates traces of sediment discharge)



写真-1 道東自動車道狩勝第二トンネル東坑口付近における土石流  
(東日本高速道路会社帯広管理事務所提供，图中赤矢印は流向を示す)

Photo 1 Debris flow at east entrance of The Karikachi daini tunnel of Doto Expressway  
(Coutesy of Obihiro Operation Office, East Nippon Expressway Company, The red arrow in the pictures indecates direction of flow of debris flow)



写真-2 パンケ新得川中・下流域の状況（左：九号川とパンケ新得川本川の合流地点付近の土砂堆積状況，右：パンケ新得川と佐幌川合流点付近の氾濫状況）

Photo 2 The Upper and middle stream of Panke-shintoku river  
(Left: The sedimentation at river confluence of Kyugo river and Panke-shintoku river, Right: The inundation at river confluence of Panke-shintoku river and Sahoro river)



写真-3 源頭部の崩壊の状況  
Photo 3 Sallow slope failure at upper stream



写真-4 旧日勝スキー場に向かう橋 (黄色点線囲みが巨礫の堆積)  
Photo 4 The bridge to closed Nisho snow park



写真-5 1号砂防ダムの土砂・流木の堆積状況  
Photo 5 Sediment and drift woods at No.1 sabo dam



写真-6 2号砂防ダムの土砂・流木の堆積状況  
Photo 6 Sediment and drift woods at No.2 sabo dam



写真-7 堆積したマサ土に含まれる礫  
Photo 7 Boulders in sediment at No.2 sabo dam

川上流域からは目立った土砂流出は見られなかった。パンケ新得川と佐幌川合流点付近の JR 新得駅の北側の鉄道橋梁の直上流で氾濫が発生している (写真-2 右)。これは橋梁部分が狭窄部となっており、ピアも複数入っていたため堰上げ湛水が発生したものであり、その水が橋梁南側の地盤を侵食したものと考えられる。

#### 4.3 ペケレベツ川

清水町を流れるペケレベツ川 (流域面積 46.6 km<sup>2</sup>) はアイヌ語で「水のきれいな川」の意であり、町名の由

来となっている河川である。ペケレベツ川では、清水町市街地において、出水による河川への多量の土砂流出や河岸侵食、河岸決壊が引き起こされた。市街地の氾濫により約 160 ha が浸水し、全壊 10 棟、半壊 4 棟、床上浸水 5 棟、床下浸水 30 棟、JR 橋・国道 38 号線清見橋等多くの橋梁被害が発生した (国土交通省, 2016 b, c)。ペケレベツ川の最上流域は国道 274 号日勝峠にあたる。国道 274 号は道央と道東を結ぶ主要なルートの 1 つであるが、台風 10 号による豪雨により、沙流川・十勝川流域の多くの箇所において、道路への土砂流出、路盤の流出等により寸断され、平成 29 年 1 月 26 日現在、通行止めとなっている。

ペケレベツ川で発生した土石流は、最長溪流および複数の支溪流の最上流部の比較的小規模な表層崩壊に起因している。土石流は流下の過程で、大量の水とともに、周氷期地形の斜面にある堆積物を河床洗掘・側岸侵食しながら規模を大きくし、花崗岩の礫・花崗岩が風化した細かいマサ土と溪畔林を下流へ大量に運搬したものと考えられる (砂防学会誌 Vol. 69, No. 4, 平成 28 年台風 10 号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出, 口絵写真-4)。土砂流出の前後で河川の幅は数倍~数十倍に拡大していた。

写真-3 は日勝峠直下の国道 274 号日勝大橋から撮影

した崩壊源頭部である。溪流の下流の侵食幅に比べ、崩壊源頭部では比較的小規模な表層崩壊を生じており、露岩している。

旧日勝スキー場に向かう橋（標高 490 m 付近）では、左岸側に土石流によると思われる 2~3 m 程の巨礫の堆積が見られた。旧日勝スキー場に向かう兩岸の道路への土砂流出があることから、橋梁が一旦閉塞したのち、橋梁側部の側岸を侵食した後、後続流によって土砂が下流へ流出したのと考えられる。この付近での河床勾配は 7~8° 程度である（写真-4）。

ペケレベツ川には水系砂防を目的とした 2 基の不透過型砂防堰堤が、その下流に溪流保全工が整備されていた。上流の 1 号砂防ダム（北海道施工，昭和 41 年度完成，標高 370 m 付近）においては，最大礫径を 1~2 m 程度とする花崗岩質の礫，マサ土，流木の堆積が見られた。土砂は勾配 3~4° 程度で堆積している。最大礫径 1~2 m 程度の礫および流木の堆積は 1 号砂防ダム下流においても見られる（写真-5）。

2 号砂防ダム（北海道施工，平成 5 年度完成，標高 270 m 付近）においては，マサ土および流木の堆積が見ら

れた。マサ土には 10 cm 程度の花崗岩質の礫が含まれているのを見ることができる。土砂は勾配 1° 程度の緩やかな勾配で堆積している（写真-6，7）。2 号砂防ダムの堆砂状況から，上流からの土石流の巨礫は，1 号砂防ダムと 2 号砂防ダムの間の狭窄部より上流において停止しているものと考えられる（写真-8）。

砂防施設の効果としては，1 号砂防ダムにおいて，左岸袖部の欠損，下流の魚道の埋塞等の施設の損傷が見られるものの，2 つの砂防堰堤には，出水前に 1 号砂防ダムに約 10 万 m<sup>3</sup>（堰堤完成時 17.5 万 m<sup>3</sup>），2 号砂防ダムに約 30 万 m<sup>3</sup>（堰堤完成時 35.3 万 m<sup>3</sup>）の空き容量があり（例えば，北海道庁建設部土木局河川砂防課，2017），出水前後の横断面図の比較により計測したところ，1 号砂防ダムに約 12 万 m<sup>3</sup>，2 号砂防ダムに約 51 万 m<sup>3</sup> の堆砂が観測され，2 基の砂防堰堤により，計約 63 万 m<sup>3</sup> の土砂を捕捉・調節しており，下流の被害を軽減したと考えられる。また，2 号砂防ダム下流の溪流保全工の設置された区間（標高 260~225 m 付近）においては，魚道の落下等，施設の一部に損傷は見られるものの，顕著な流路の蛇行および埋塞・側岸侵食は見られない。ペケレ



写真-8 ペケレベツ川における標高 550 m~275 m までの砂防堰堤付近の空中写真（北海道帯広建設管理部提供）

Photo 8 Aerial photo around check dams at Pekerebetsu river (Elevation 550 m - 275 m)

(Courtesy of Obihiro construction and management department, Hokkaido Government Office)



写真-9 溪流保全工下流の側岸侵食

Photo 9 Bank erosion at down stream of chanel work



写真-10 石山橋付近での礫径

Photo 10 Grain size around the Ishiyama bridge

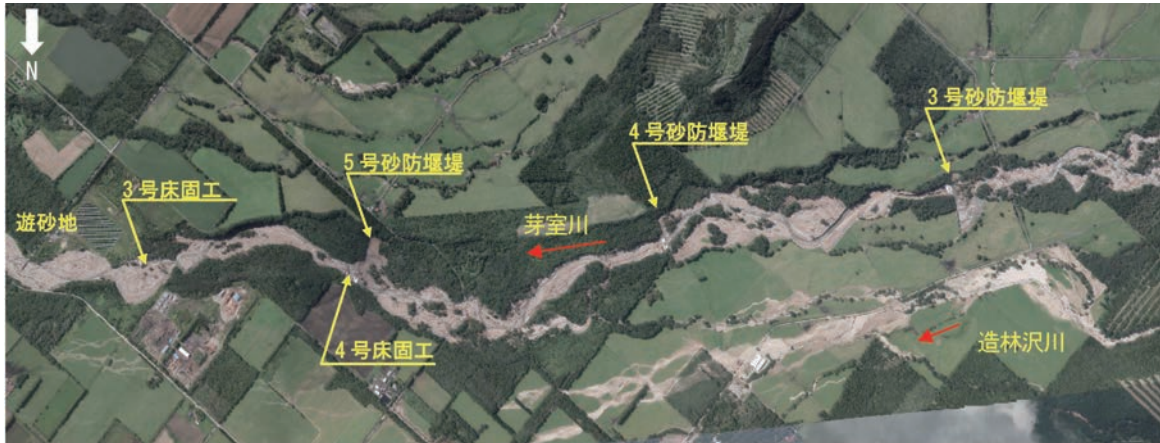


写真-11 芽室川における標高 400 m～250 m までの砂防堰堤と遊砂地付近の空中写真（北海道帯広建設管理部提供）  
 Photo 11 Aerial photo around check dams at Memuro river (Elevation 400 m - 250 m)  
 (Courtesy of Obihiro construction and management department, Hokkaido Government Office)



写真-12 3号砂防堰堤損傷状況 (UAV による斜め写真)  
 Photo 12 The damage of No. 3 check dam (Photo taken by UAV)



写真-13 久山川で発生した土石流 (左 源頭部の崩壊と土石流, 右 清水町旭山地区付近での土石流流下状況)  
 Photo 13 Debris flow at Kyusan river (Left : Shallow slope failure and debris flow, Right : Debris flow at Asahiyama, Shimizu Town)



写真-14 久山川のイソイ川合流点上流付近での河道変化 (左 出水前, 右 出水後)  
 Photo 14 Channel change reach upstream from the confluence of the Isoi and Kyusan river (The left and right photo indicates before and after flooding)

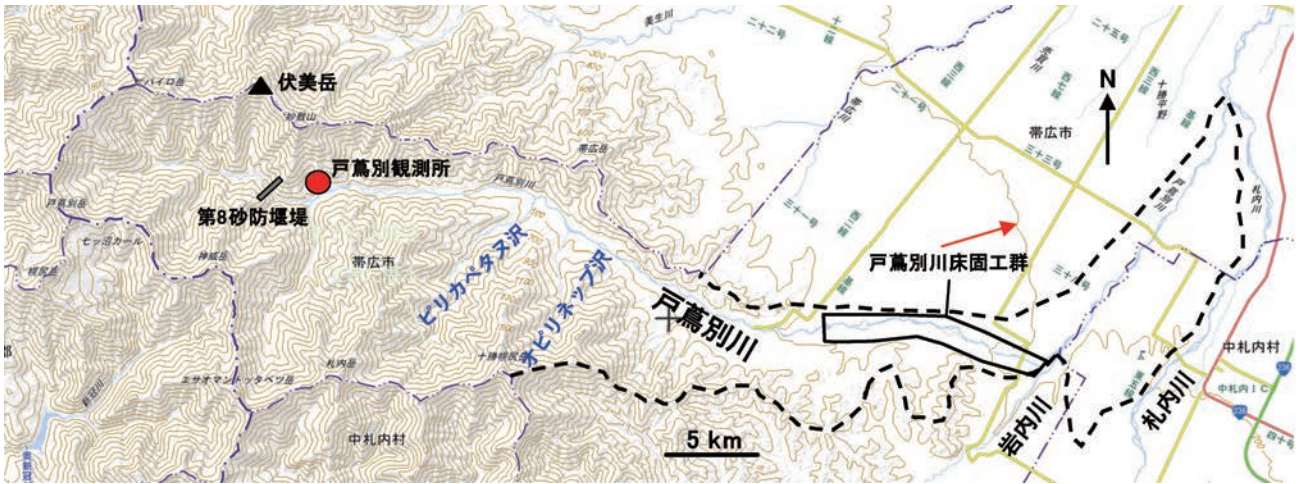


図-10 戸蔦別川流域図（地理院地図に加筆）  
Fig. 10 The catchment of Totsutabetsu river



写真-15 戸蔦別川流域での土砂流出

(左：第8砂防堰堤上流域の土砂流出状況，右：戸蔦別川第6・第7床固工付近（国土交通省北海道開発局提供）

Photo 15 Sediment discharge in Totsutabetsu river watershed

(Left : Sediment discharges at upper stream of No. 8 sabo dam, Right : No. 6 and No. 7 groundsill (Courtesy of Hokkaido Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism))

ベツ川だけでなく、他の河川においても、溪流保全工・床止工の設置された区間においては、流路の蛇行および埋塞・側岸侵食があまり見られないことは特徴的である。

1号砂防ダム（堰堤地点流域面積 19.7 km<sup>2</sup>）は昭和 41 年度の完成以降、空き容量を有していたことから、少なくとも過去 50 年間の降雨状況においては、土砂流出率は 76 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year 程度であり、短い周期で大きな溪岸・溪床侵食を発生させるような流域ではなかったと考えられる。

溪流保全工よりも下流については、側岸侵食が生じている（写真-9）。清水町市街地の石山橋（標高 180 m 付近）においては、橋桁の下約 2 m まで土砂の堆積による河床上昇が見られた。石山橋周辺では最大礫径 50 cm 程度の花崗岩質の礫、マサ土、流木が堆積している（砂防学会誌 Vol. 69, No. 4, 平成 28 年台風 10 号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出、口絵写真-6, 写真-10）。この付近では河床上昇および流木による橋梁の閉塞により河積が減少し、兩岸の側岸侵食が発生したものと考えられる。左岸側では住宅地への侵食が生じ、住宅が流亡している（砂防学会誌 Vol. 69, No. 4, 平成

28 年台風 10 号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出、口絵写真-7）。また、石山橋の下流のペケレベツ橋においても、河床上昇および流木による橋梁の閉塞により河積が減少し、兩岸への側岸侵食が発生したものと考えられ、右岸側の側岸侵食により、橋台下流側下部が侵食され落橋している。河積の減少による氾濫、蛇行による側岸侵食は佐幌川合流点近くまで多く発生している（砂防学会誌 Vol. 69, No. 4, 平成 28 年台風 10 号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出、口絵写真-5）。

#### 4.4 芽室川・造林沢川

芽室川（流域面積 235.8 km<sup>2</sup>）は日高山脈の芽室岳山麓を源流域とし、砂防原点から上流で流域面積 46.2 km<sup>2</sup>、流路長 17.6 km、平均河床勾配 4.1° の河川である。芽室川上流域の小支川である造林沢川（流域面積 5.4 km<sup>2</sup>）からの土石流により農業施設 1 戸に一部損壊の被害が生じている（国土交通省, 2016 d）。

芽室川上流域の山地部の多くの支流から土石流が発生し、溪岸・溪床を侵食しながら発達して本川を流下し、多量の土砂と流木が下流に流出している。土石流により

谷幅が広がり、溪床勾配 3° 以下となる本川の標高 550 m 付近から、水系砂防を目的に整備された砂防施設である 1 号・2 号床固工を経て堆積傾向となり、3 号砂防堰堤の堆砂域（溪床勾配約 2°、標高約 400 m）に達している。掃流区間においても流路は大きく蛇行し、段丘崖の溪岸侵食による土砂生産と堆積を繰り返し、橋梁・道路の流出、背後地への氾濫が生じている（写真-11）。

蛇行した流路は砂防堰堤により規制され、砂防堰堤下流側での側岸侵食が約 200～300 m の区間抑えられている。一方、砂防堰堤直下流では縦侵食により溪床が大きく低下し、2 基の砂防堰堤の垂直壁、1 基の床固工が流出している（写真-12）。現地調査の結果から、下流の遊砂地区間では、遊砂地入口の導流工部において流路の蛇行により床固工の袖および護岸工の流出、洗掘による帯工の流出、溪流保全工区間では土砂埋塞とこれに伴う背後地への氾濫と護岸の埋塞や流出などの施設被害が生じている。

#### 4.5 久山川

久山川（流域面積 61.2 km<sup>2</sup>）は芽室川の主要な支川の 1 つである。久山川では表層崩壊に起因して土石流が発生し、河床・側岸侵食しており、平野部で氾濫が見られる（写真-13 左）。谷出口から近い清水町旭山地区付近では、川幅は約 100 m 程度に広がり、最大 1 m 程度の巨礫をはじめとする花崗岩の礫とマサ土が河床を覆っている（写真-13 右）。

下流の床止工群が連続的に設置された区間では、顕著な流路の蛇行および埋塞・側岸侵食は見られない。床止工群の連続的に設置されない上下流の区間では蛇行による側岸侵食が見られる。

芽室川合流点から約 2.5 km 上流のイソイ川合流点上流付近では、風化・洗掘を受けやすい未固結の凝灰岩層である洪山層（図-8）が露出しており、そのため今回の出水以前には、河床は低下傾向にあった。しかし、今回の土砂流出により、出水前に比べ、河床が上昇しているのが見られる（写真-14）。

#### 4.6 戸蔦別川

戸蔦別川流域（流域面積 304.0 km<sup>2</sup>、図-10）における、8 月 29 日～31 日の 3 日間の合計雨量は、図-3 で示したとおり、北海道開発局所管の河川のテレメータ雨量計戸蔦別観測所で 530 mm を記録している。戸蔦別川流域では、上流域における治山施設の損傷、岩内川合流後の下流部で 2 橋、上流部で 1 橋の橋梁、河川沿いの道路への被害が生じている。また、札内川合流点付近では破堤が生じている。

伏美岳南側の六ノ沢・七ノ沢等において、規模の大きい土石流が複数発生しているものの、土石流は砂防堰堤の上流で停止している。砂防施設として最上流部に位置する戸蔦別川第 8 砂防堰堤が満砂している状況は見られなかった（写真-15 左）。

第 8 砂防堰堤よりも下流側でも左岸、右岸双方のやや

大きな支溪流の沢筋で土石流が発生しており、また戸蔦別川本川に面した斜面からも表層崩壊による土砂供給が多数見られる。特に右支溪のオピリネップ沢およびピリカペタヌ沢は激しく荒廃しており、両沢が戸蔦別川本川に対する主要な土砂供給源であったと推定される。オピリネップ川で発生した土石流は、大量の土砂を戸蔦別川本川に押し出し、直下の治山堰堤を破壊している状況が確認された。側方の支溪から供給された土砂は、戸蔦別川本川に設置された砂防堰堤等によって、その都度捕捉・短期的貯留がなされ、堰堤下流側の側岸侵食は限定的になったと考えられ、砂防設備の機能が十分に発揮されたといえる。

戸蔦別川の中・下流部には、河道の不安定土砂の流出調節のため、北海道開発局により 6.3 km にわたって 15 基の床固工、6 基の帯工が戸蔦別川床固工群として整備されている（例えば、国土交通省北海道開発局帯広開発建設部、2017；吉井ら、1987）。今回の出水により、床固工袖部や前庭部において数か所損傷した箇所があったものの、床固工群全体としての大きく機能を損ねるほどではなかった。戸蔦別川の河道は拡幅と収縮を繰り返しているが、床固工により流路が規制されている（写真-15 右）。

### 5. 警戒避難に関する課題

台風第 10 号による豪雨に対する、新得町・清水町・芽室町・帯広市における土砂災害警戒情報の発表は、8 月 30 日帯広市 11 時 49 分、新得町・清水町 13 時 46 分、芽室町 17 時 23 分から、解除は 8 月 31 日 7 時 30 分であり（気象庁札幌管区气象台、2016）、図-6 に示した降雨が強まる以前から発表されており、発表時間内において、土石流の発生を捕捉していた可能性が高い。一方で、土石流の発生した各河川は、土石流危険渓流の対象となる 5 km<sup>2</sup> 以下を上回る流域面積を有し、また、河床勾配 2° 以上の範囲には、牧場・農地としての土地利用が多いため、土石流による直接的な人的・物的な被害はほとんど生じておらず、前節で述べたパンケ新得川・ベケレベツ川の事例のように、それより下流の市街地付近では、土砂は掃流状態で流下しているものと考えられる。

新得町・清水町・芽室町・帯広市の土砂災害危険箇所は、前述のとおり、河床勾配 2° 以上の範囲には、牧場・農地としての土地利用が多く、平野部の市街地周辺にある小山・河岸段丘の斜面、山間の小規模な溪流等において、土石流危険渓流・急傾斜地崩壊危険箇所が指定されているものの数は多くない。例えば、ベケレベツ川から久山川の流域がある清水町には、河岸段丘の斜面にかけ崩れ危険箇所 1 箇所があるのみであり、自治体・住民ともに土砂災害の危険性に対する警戒の優先度は洪水等に比べ、高くなかったと考えられる。

清水町はベケレベツ川の氾濫に対して、避難指示を 8 月 31 日 0 時 20 分に発令している（国土交通省、2016 c）。

図-11 にペケレベツ川の水位の変化を示す。ペケレベツ川の水位観測所は、石山橋とペケレベツ橋の間にあった。8月30日17時ごろに急激な水位の低下が見られ、また、それ以降、急激な水位の上昇が見られる。続いて、8月31日4時以降は局舎が流亡し観測ができなくなっている。一方で、水位は氾濫危険水位に達していない状態で、氾濫被害が生じている。氾濫は、橋梁の閉塞、河床・流路の激しい変動に起因して発生したものと考えられ、河道の激しい変化によって水位の計測が困難になっていた可能性がある。ペケレベツ川で生じたような山地河川の掃流区間での洪水氾濫・河岸侵食に対する警戒避難のための「どこが・いつ危ないのか」という情報提供の取組みについては今後検討していくべき課題であると考えられた。

## 6. おわりに

平成28年8月の台風第10号の北海道への接近に伴い、十勝地方の日高山脈東側斜面では複数の土石流が発生し、これらに対し、現地およびヘリコプターによる調査を実施した。

本調査により以下のことが明らかとなった。①日高山脈東側斜面の新得町のパンケ新得川から帯広市の戸蔭別川にかけて十勝川の9つの支川でやや規模の大きい土石流が発生し、下流域での洪水氾濫・河岸侵食、JR・高速道路・国道等への被害が生じた。②地形性降雨に起因する豪雨により、日高山脈の標高の高い地域では3日間の合計雨量で500mmを超える降雨もたらされた。③大きな規模の土砂流出が生じた範囲は、最も降雨の多い範囲とは一致せず、花崗閃緑岩・花崗岩の地質の地域と一致する。④土石流は、源頭部の小規模な崩壊を契機に、周氷河作用により形成された緩斜面にある不安定な花崗岩の巨礫、マサ土、溪畔林を溪床・側岸を侵食しながら発達し、大量に土砂・流木を流下させたものが多く見られた。⑤砂防施設による土砂の捕捉・調節により下流への土砂流出を軽減しているものと考えられた。また、砂防堰堤により流路を規制することで側岸の侵食を防いでいる。一方で、砂防堰堤直下での縦断方向への侵食により施設の損傷が見られている河川もあった。⑥ペケレベツ川の砂防堰堤の完成時期と空き容量の存在期間から最近50年は今回生じたようなマスムーブメントは無かったと考えられた。⑦溪流保全工や床止工等の縦断・横断方向に流路を規制する構造物の設置された区間では、流路の蛇行および埋塞・側岸侵食があまり見られず、期待される施設の効果を果たしていると考えられた。一方で、構造物の設置されていない区間では、側岸の侵食・土砂の堆積により河川の蛇行が多く見られた。⑧土砂災害警戒情報の発表時間内に土石流は発生したものと考えられる。一方で、土砂流出が生じた河川は流域面積が広く土石流危険溪流とはなっておらず、土石流の流下範囲には

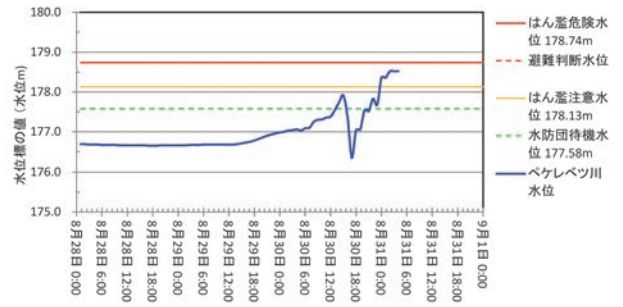


図-11 ペケレベツ川の水位変動 (国土交通省, 2016 e より作成)

Fig. 11 Water level fluctuation at Pekerebetsu river (After Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 2016 e)

保全対象はあまりなく、それより下流の市街地付近では土砂は掃流形態で流下していたものと考えられた。⑨下流部における氾濫・側岸侵食については、河川の水位が河床・流路の変動の影響を受けやすく、河川の水位から危険度を判断することが難しいことが示唆された。

今回の調査は速報的なものであり、今後の詳細な全体像の把握が待たれる。台風第10号による土砂流出は、稀な台風の進路によってもたらされた地形性の豪雨が、豪雨の経験の少ない周氷河地形・花崗岩質の地域に降り発生した。稀な誘因と豪雨の経験の少ない地域、および土砂災害に対して脆弱な地質という素因が合わさり発生した現象といえる。今後も継続的に調査を進め、気候変動を見据えた北海道における土砂災害対策について検討を深めていく必要があると考えられる。今回土砂流出が発生した河川の上流域には、不安定なマサ土が大量に滞留している状態であり、融雪期・中小降雨でも土砂流出しやすいと考えられる。今後もこれらの河川における継続的なモニタリングが重要だと考えられる。

## 謝 辞

国土交通省北海道開発局の皆様には、ヘリコプターによる調査に同乗させて頂きました。北海道庁建設部土木局河川砂防課の皆様には、砂防施設等の一部の現地調査に同行頂きました。また、両者には今回の調査に際し、多くの情報・資料提供を頂きました。一般財団法人日本気象協会北海道支社の皆様には、台風第10号に係る解析雨量の画像の提供を頂きました。東日本高速道路株式会社帯広管理事務所の皆様には、パンケ新得川上流域での土石流の発生について資料・写真の提供を頂きました。北海道清水町役場総務課小笠原清隆様、本田雅彦様には、台風第10号に対する災害対応に関するヒアリングに対応して頂きました。

各機関において災害対応の多忙を極める中、調査にご協力を頂きましたこと、ここに謝意を表します。

引用文献

- 在田一則・大和田正明・小松正幸 (1990)：日本の地質 1 北海道地方日本の地質「北海道地方」編集委員会(編) 第 4 章日高変成帯とその北方延長の深成岩類と変成岩類 4.3 日高変成帯主帯(3)深成岩類 2. トーナル岩類, 共立出版, p. 72-74
- 平川一臣 (2003)：日本の地形 2 北海道. 小疇尚・野上道男・小野有五・平川一臣 (編) 3-4 章十勝平野-典型的な氷期・間氷期の地形発達を記録する平野, 東京大学出版会, p. 172-181
- 平川一臣・小野有五 (1974)：十勝平野の地形発達史, 地理学評論, Vol. 47, No. 10, p. 607-632
- 北海道庁建設部土木局河川砂防課 (2017)：平成 28 年豪雨災害で砂防関係施設が効果を発揮した事例, <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/file.jsp?id=973067>, 参照 2017-01-18
- 北海道旅客鉄道株式会社 (2016)：一連の台風による被害状況等について, <https://www.jrhokkaido.co.jp/press/2016/160902-2.pdf>, 参照 2016-09-02
- 気象庁 (2016)：気象庁ホームページ・日々の天気図 No. 175 2016 年 8 月, <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/hibiten/2016/201608.pdf>, 参照 2017-01-30
- 気象庁札幌管区気象台 (2016)：平成 28 年台風第 10 号に関する気象速報 (平成 28 年 9 月 5 日発表), <http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/pdf/KishoH280829-0831.pdf>, 参照 2016-09-05
- 国土交通省 (2016 a)：社会資本整備審議会河川分科会大規模氾濫に対する減災のための治水対策検討小委員会第 3 回配布資料【資料 2】中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方, [http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibohanran/3/pdf/dai03kai\\_2.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibohanran/3/pdf/dai03kai_2.pdf), 参照 2017-01-16
- 国土交通省 (2016 b)：社会資本整備審議会河川分科会大規模氾濫に対する減災のための治水対策検討小委員会第 3 回配布資料【参考資料 1】中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方, [https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibohanran/3/pdf/dai03kai\\_sankou1.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibohanran/3/pdf/dai03kai_sankou1.pdf), 参照 2017-01-16
- 国土交通省 (2016 c)：台風第 10 号による被害状況等について(第 22 報), <http://www.mlit.go.jp/common/001152418.pdf>, 参照 2016-11-16
- 国土交通省 (2016 d)：台風第 10 号による土砂災害発生状況, [http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28\\_dosha/161003%20900\\_taifoo10\\_gouniyorudosyasaigai.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28_dosha/161003%20900_taifoo10_gouniyorudosyasaigai.pdf), 参照 2017-01-21
- 国土交通省 (2016 e)：川の防災情報, <http://www.river.go.jp/>, 参照 2016-09-01
- 国土交通省北海道開発局 (2016)：第 1 回平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会【資料 3】平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策の検討について, [http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z\\_kasen/mizubousaiiin/pdf/h28\\_01/siryoyu3-1.pdf](http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_kasen/mizubousaiiin/pdf/h28_01/siryoyu3-1.pdf), 参照 2017-01-16
- 国土交通省北海道開発局帯広開発建設部 (2017)：十勝川直轄砂防事業戸蔭別川床固工群, <http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/tisui/sabomap/map-12-totta-tokogatame.html>, 参照 2017-01-23
- 前田仁一郎 (1990)：日本の地質 1 北海道地方日本の地質「北海道地方」編集委員会(編) 第 4 章日高変成帯とその北方延長の深成岩類と変成岩類 4.3 日高変成帯主帯(3)深成岩類 3. 花崗岩類・斑レイ岩類, 共立出版, p. 72-74
- 松澤逸巳 (1990)：日本の地質 1 北海道地方日本の地質「北海道地方」編集委員会(編) 第 6 章第四系 6.3 北海道中央部(3)東部地域 1. 十勝地域, 共立出版, p. 144-147
- 中川充・渡辺寧・紀藤典夫・酒井彰・駒沢正夫・広島俊男 (1996)：20 万分の 1 地質図「夕張岳」, 地質調査所
- 小野有五・平川一臣 (1975)：ヴェルム氷期における日高山脈周辺の地形形成環境, 地理学評論, Vol. 48, No. 1, p. 1-26
- 小山内信智・林真一郎・古市剛久・藤浪武史・阿部孝章・田中忠彦・吉川契太郎・一法師隆充・巖倉啓子・早川智也・松岡暁・永野統宏・齋藤篤司・大島千和 (2017)：平成 28 年 8 月北海道上川町(層雲峡)で発生した土石流の実態, 砂防学会誌, Vol. 69, No. 5, p. 47-57
- 小山内康人・在田一則・小松正幸 (1990)：日本の地質 1 北海道地方日本の地質「北海道地方」編集委員会(編) 第 4 章日高変成帯とその北方延長の深成岩類と変成岩類 4.3 日高変成帯主帯(2)変成岩類, 共立出版, p. 68-72
- 砂防学会北海道支部 (2016 a)：平成 28 年台風 10 号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出に関する調査(速報), [http://www.jsece.or.jp/branch/hokkaido/common/media/pdf/20160909\\_tokachi\\_sokuho.pdf](http://www.jsece.or.jp/branch/hokkaido/common/media/pdf/20160909_tokachi_sokuho.pdf), 参照 2016-09-09
- 砂防学会北海道支部 (2016 b)：台風第 10 号に伴う十勝川中流部右岸支流域での土砂流出現場現地調査開発局へりからの観察結果概要, [http://www.jsece.or.jp/branch/hokkaido/common/media/pdf/20160912\\_tokachi\\_heli\\_report.pdf](http://www.jsece.or.jp/branch/hokkaido/common/media/pdf/20160912_tokachi_heli_report.pdf), 参照 2016-10-13
- 産業技術総合研究所 (2017)：LandBrowser, <http://landbrowser.geogrid.org/landbrowser/index.html>, 参照 2017-01-23
- 山口昇一 (1990)：日本の地質 1 北海道地方日本の地質「北海道地方」編集委員会(編) 第 5 章新第三系 5.3 北海道中央部(5)十勝地域, 共立出版, p. 112-114
- 山本憲志郎 (1989)：完新世における日高山脈北部の周氷河性斜面堆積物の移動期, 第四紀研究, Vol. 28, No. 3, p. 139-157
- 吉井厚志・佐川弘明・井野伸彦 (1987)：戸蔭別川中下流部砂防施設計画について, 第 36 回昭和 62 年度砂防学会研究発表会概要集, p. 156-157

(Received 31 January 2017 ; Accepted 13 February 2017)

## 平成 30 年北海道胆振東部地震による土砂災害

## Sediment-related disasters induced by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake

小山内信智 <sup>*1</sup>	海堀正博 <sup>*2</sup>	山田孝 <sup>*1</sup>	笠井美青 <sup>*1</sup>
Nobutomo OSANAI	Masahiro KAIBORI	Takashi YAMADA	Mio KASAI
林真一郎 <sup>*1</sup>	桂真也 <sup>*1</sup>	古市剛久 <sup>*1</sup>	柳井清治 <sup>*3</sup>
Shin-ichiro HAYASHI	Shin'ya KATSURA	Takahisa FURUICHI	Seiji YANAI
竹林洋史 <sup>*4</sup>	藤浪武史 <sup>*5</sup>	村上泰啓 <sup>*5</sup>	伊波友生 <sup>*6</sup>
Hiroshi TAKEBAYASHI	Takeshi FUJINAMI	Yasuhiro MURAKAMI	Yu INAMI
佐藤創 <sup>*7</sup>	中田康隆 <sup>*8</sup>	阿部友幸 <sup>*8</sup>	大野宏之 <sup>*9</sup>
Hajime SATO	Yasutaka NAKATA	Tomoyuki ABE	Hiroyuki OHNO
武士俊也 <sup>*9</sup>	田中利昌 <sup>*9</sup>	小野田敏 <sup>*10</sup>	本間宏樹 <sup>*11</sup>
Toshiya TAKESHI	Toshiaki TANAKA	Satoshi ONODA	Hiroki HONMA
柳井一希 <sup>*12</sup>	宮崎知与 <sup>*13</sup>	上野順也 <sup>*13</sup>	早川智也 <sup>*14</sup>
Kazuki YANAI	Tomoyoshi MIYAZAKI	Junya UENO	Tomoya HAYAKAWA
須貝昂平 <sup>*15</sup>			
Kouhei SUGAI			

## Abstract

On 6<sup>th</sup> September 2018, a large earthquake (the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake) with the magnitude of 6.7 struck the eastern Iburi region, Hokkaido and triggered numerous landslides. The landslides were distributed densely over hilly areas (400 km<sup>2</sup>) in Atsuma, Abira, and Mukawa Town, the total area of which reached 13.4 km<sup>2</sup>. All landslides were shallow landslides except a large-scale deep-seated one generated in midstream area of the Hidaka-Horonai River. The area is covered by thick pyroclastic fall deposits derived from the Tarumae Volcano etc., and the strong seismic shock triggered shallow landsliding of them. Some shallow landslides occurred at a relatively gentle slope (<15°). Shallow landslides moving along a valley topography tended to travel longer than those moving along a non-valley topography. In catchments where shallow landslides densely occurred, the ratio of landslide area to the total catchment area was very large compared with past earthquake events, suggesting that the catchments became highly devastated. Based on these survey results, we propose viewpoints for preventing secondary disasters in the damaged area and for promoting countermeasures against and studies on earthquake-induced landslide disasters in volcanic regions.

**Key words** : 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, landslide, sediment-related disaster, pyroclastic fall deposits

## 1. はじめに

平成 30 年 9 月 6 日未明、北海道胆振地方中東部を震源とする最大震度 7 の大規模な地震（平成 30 年北海道胆振東部地震）が発生した。この地震により、北海道勇払郡厚真町、安平町、むかわ町を中心に斜面崩壊が集中的に多数発生し、地震による死者 41 名のうち、土砂災害によるものが 36 名に及ぶなど、甚大な人的・物的被

害が生じた。

（公社）砂防学会では、甚大な被害に鑑み、直ちに土砂災害緊急調査委員会を設置し、本地震に起因する土砂移動現象の発生・流下・堆積実態、および余震や降雨・融雪出水における二次災害の危険性を明らかにすることを目的として、地震翌日の 9 月 7 日に先遣隊による調査（9 月 12 日調査報告を公表）を実施し、9 月 10 日には「平成 30 年北海道胆振東部地震土砂災害緊急調査団」（団

\*1 北海道大学 Hokkaido University (skatsura@for.agr.hokudai.ac.jp) \*2 広島大学 Hiroshima University \*3 石川県立大学 Ishikawa Prefectural University \*4 京都大学 Kyoto University \*5 (国研)土木研究所寒地土木研究所 Civil Engineering Research Institute for Cold Region \*6 (国研)土木研究所寒地土木研究所 Civil Engineering Research Institute for Cold Region \*7 (地独)北海道立総合研究機構 Hokkaido Research Organization \*8 (地独)北海道立総合研究機構 Hokkaido Research Organization \*9 (一財)砂防・地すべり技術センター Sabo & Landslide Technical Center \*10 アジア航測(株) Asia Air Survey Co., Ltd. \*11 応用地質(株) Oyo Corporation \*12 国土防災技術北海道(株) Japan Conservation Engineers of Hokkaido Co., Ltd. \*13 (株)シン技術コンサル Shin Engineering Consultant Co., Ltd. \*14 日本工営(株) Nippon Koei Co., Ltd. \*15 (株)ユニテック Universal Technology Co., Ltd.  
\*1~5, \*7, \*9~14 は正会員

長：小山内信智北海道大学特任教授）を組織した。調査団は、9月13日、14日に第一次調査（9月26日調査報告を公表）、10月19日～21日に第二次調査を実施し、また、調査団の調査結果の報告会を9月28日北海道札幌市、10月25日東京で開催し、広く一般に公開した。さらに、今回の地震による被災地域における二次災害の防止・土砂災害対策の推進、および今後の地震・火山地域での土砂災害対策や研究のための緊急提言を作成し、平成30年10月25日に国土交通省砂防部、10月29日に国土交通省北海道開発局および北海道庁にそれぞれ緊急提言を手渡すとともに、内容を説明した。

本災害報告では、今回の地震により発生した土砂移動現象と災害の実態、および今後の被災地域における二次災害の防止、今後の地震・火山地域での土砂災害対策や研究に必要な視点を取りまとめて報告する。

## 2. 地震の概要

今回の地震は平成30年9月6日午前3時7分に北海道胆振地方中東部（42°41.4′N, 142°00.4′E）の深さ37kmを震源として発生した。マグニチュードは6.7であった。北海道厚真町で震度7、安平町とむかわ町で震度6強を観測したほか、北海道から中部地方の一部にかけて震度6弱～1を観測した。推計震度分布（気象庁、2018）を図-1(a)に示す。

政府の地震調査研究推進本部によると、今回の地震は陸のプレート内で発生し、発震機構は東北東-西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型である。安平町追分柏が丘観測点で1796 gal、厚真町鹿沼観測点で967 gal（いずれも三成分合成）など、大きな加速度を観測した。その後の地震活動は、この地震の震源を含む南北約30kmの領域を中心に活発な状態が継続し、震度1以上の地震が

11月15日9時までに321回観測された。気象庁は、この地震およびその後の一連の地震活動について、名称を「平成30年北海道胆振東部地震」と定めた（気象庁、2018）。

なお、地震直前の9月4日～5日にかけて、台風第21号が北海道西方を北上し、4日に1mm、5日に12mmの降雨をもたらしている（気象庁アメダス厚真観測所のデータによる）。

## 3. 被害状況

今回の地震により、震源に近い厚真町を中心に斜面崩壊が多数発生したほか、多くの住宅が倒壊した。札幌市などでは液状化と見られる現象が発生し、道路の損壊や住宅の傾斜などが生じた。また、苫東厚真発電所をはじめとする道内全ての発電所が停止し、道内全域の約295万戸が一時停電する事態（ブラックアウト）となった。地震動や停電の影響により、交通機関の運休や高速道路の通行止めが相次ぎ、物流や観光にも大きな混乱をもたらすなど、北海道を中心に日本全国に影響が及ぶ広域災害となった。この地震による人的被害は、死者41名、重傷18名、軽傷731名、住家被害は全壊415棟、半壊1,346棟、一部損壊8,607棟である（11月6日10時00分現在、総務省消防庁による）。

この地震による土砂災害は223件（土石流等94件、がけ崩れ129件）発生した。土砂災害による死者は36名で、いずれも震源に近い厚真町での死者である（10月29日16時00分現在、国土交通省による）。

## 4. 地形・地質の概要

地震5日後の9月11日9時42分に撮影されたSPOT衛星画像（1.5m解像度、(株)パスコ提供）を図-1(b)に示す。今回の地震により発生した崩壊地が茶色く分布

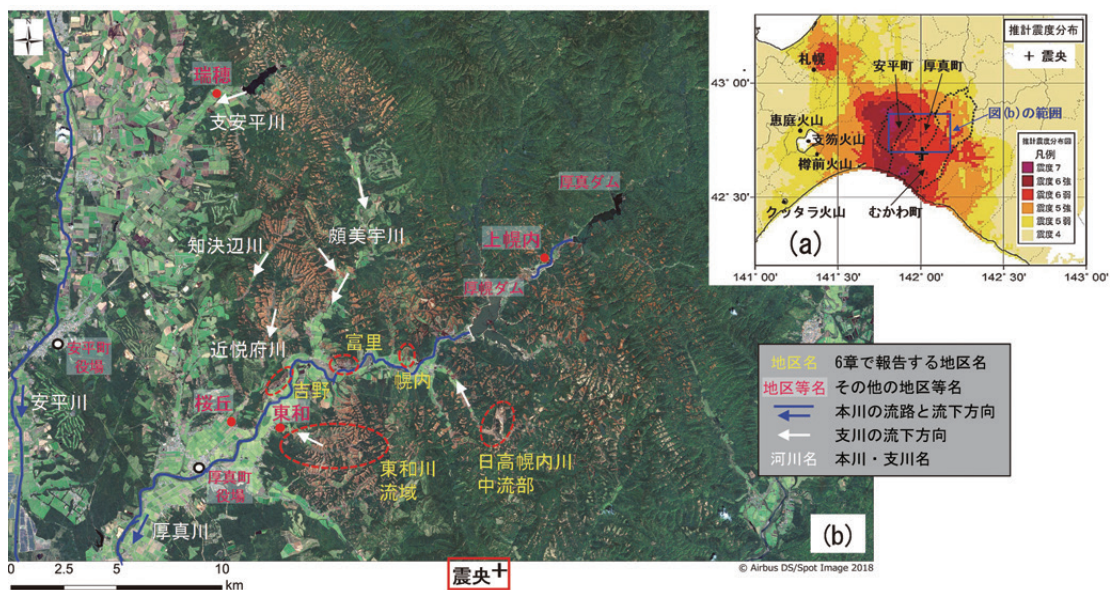


図-1 (a) 推計震度分布(気象庁(2018)に加筆), (b)平成30年9月11日に撮影されたSPOT衛星画像((株)パスコ提供画像に加筆)  
 Fig.1 (a) Estimated seismic intensity distribution (Japan Meteorological Agency (2018), modified by the authors), and (b) SPOT image taken on 11<sup>th</sup> September 2018 (provided by Pasco Corporation, modified by the authors)

している様子が見てとれる。多数の斜面崩壊が発生した厚真川本川沿いの桜丘、東和、吉野、富里、幌内、上幌内の各地区および安平川支川の支安平川上流の瑞穂地区は、夕張山地西縁南部の標高200-400mの定高性を持った丘陵であり、尾根と河谷が直線的に延び、斜面を削る沢が互いに平行な配列を持つ。この地域の基盤は主として新第三系堆積岩である川端層および振老層(砂岩泥岩互層・砂岩・礫岩)、軽舞層(主として珪藻質シルト岩・砂岩・礫岩を挟む)であり、桜丘などこの地域の西縁では同じく新第三系の萌別層(珪藻質シルト岩)あるいは第四系中部更新統の堆積物(砂礫層)が基盤となっているところもある(尾崎・小松原, 2014; 図-2)。また、この地域には日高山脈から夕張山地にかけての圧力軸に直交する北北西-南南東走向の背斜・向斜構造が発達している(尾崎・小松原, 2014; 図-2)。さらに、この地域の平坦地にはクッタラ火山、支笏火山(カルデラ)、恵庭火山および樽前火山(位置は図-1(a)参照)などから噴出した数多くの降下火砕物(火山灰、軽石、スコリア)が基盤を覆って堆積している(山縣, 1994)。しかし、傾斜地(斜面)では降下火砕物の全てが一様に見られるわけではなく、各降下火砕物が降下した時点での堆積量

(層厚)や斜面の発達史に応じて降下火砕物層序が地区によって異なる。厚真川本川沿いの斜面では、樽前d降下火砕堆積物(Ta-d: 8.7-9.2ka)が基盤を直接覆う場合がほとんどであり、まれに角礫層がTa-d直下に認められる場合があるものの、恵庭a降下軽石堆積物(En-a: 19-21ka)より下位の降下火砕物層は殆ど認められない(詳細は5.2節)。

一方、今回の斜面崩壊分布域北部の支安平川上流の瑞穂地区の斜面では、Ta-dより下位の支笏降下火砕堆積物2(Spfa-2: 40ka)(もしくはKt-1)、支笏降下火砕堆積物1(Spfa-1: 40ka)、En-aなどが基盤を覆い、その上位にTa-dが堆積している。Ta-dより上位の樽前b降下軽石堆積物(Ta-b: 1667A.D.)と樽前c降下火砕堆積物(Ta-c: 2.5ka)の間、Ta-cとTa-dの間にはそれぞれ埋没腐植層が挟まるため、表土層は全体として降下火砕物と埋没腐植(クロボク)の互層からなり、層厚は斜面中部で2.5~3.5m程度である(図-3; 曾屋・佐藤, 1980; 町田・新井, 2003; 古川・中川, 2010)。この地域の斜面は遷急線を挟んで下部谷壁斜面と上部谷壁斜面に分けられ、それぞれの発達史に応じてその斜面に載る火山碎屑物には違いが見られる(柳井, 1989; 詳細は5.2節)。

## 5. 土砂移動現象の実態

### 5.1 斜面崩壊の分布と全般的な特徴

今回の地震では、安平町、厚真町、むかわ町にわたる20km程度四方の範囲を中心に斜面崩壊が稠密に発生し(図-1(b)), 崩壊面積の合計は約13.4km<sup>2</sup>に及んだ(国土交通省, 2018a)。斜面崩壊が稠密に発生している流域では、低標高の丘陵地の中に小規模で短い溪流が多数

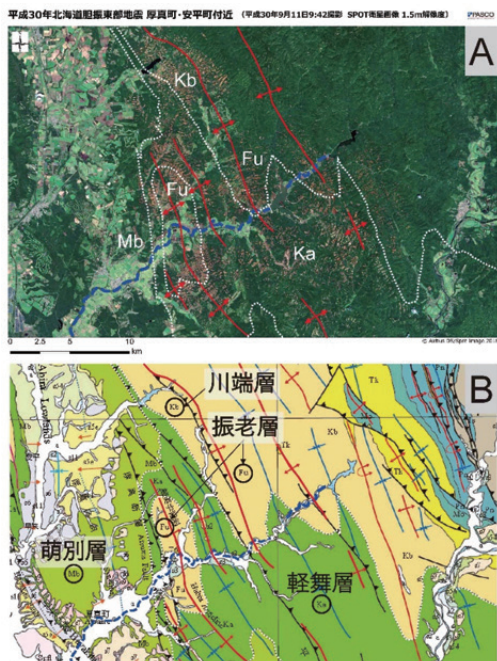


図-2 調査地周辺の崩壊地分布と地質 A: 崩壊地分布画像((株)パスコ提供)に地質構造を加筆 Kb: 川端層, Fu: 振老層, Ka: 軽舞層, Mb: 萌別層, 赤線: 背斜構造, 白破線: 地質境界 B: 地質図(尾崎・小松原(2014)に加筆)

Fig.2 Landslide and geology distribution around the survey area A: Landslide distribution image (provided by Pasco, Co. Ltd.) with geological structure inserted. Kb: Kawabata Formation, Fu: Fureoi Formation, Ka: Karumai Formation, Mb: Moebetsu Formation, Red line: Anticline, White dashed line: Geology boundary. B: Geology map revised from Ozaki and Komatsubara (2014)

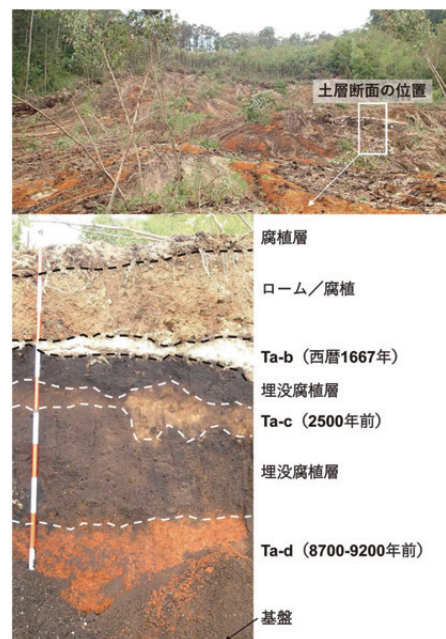


図-3 桜丘での斜面土層の断面 Fig.3 Slope soil profile at Sakuragaoka

並行して形成されている地形が特徴的に見られる。すなわち、小規模な尾根地形が高密度で存在しているといえる。斜面崩壊は、日高幌内川中流部の 1 箇所の大規模な地すべり (6.5 節) を除くと、ほとんどが表層崩壊によるものと考えられる。崩壊が発生した斜面の勾配は、急勾配のものだけではなく、15° 程度以下の緩勾配のものまで多く見られた。また、降下火砕物の堆積前に基岩が谷状に侵食されていた場合 (吉野地区の「谷型」タイプ (6.1 節) など) や、降下火砕物の堆積後においても谷地形を呈している溪流内で崩壊した土砂 (幌内地区 (6.3 節) など) は、比較的長距離を移動している傾向が見られた。

### 5.2 表層崩壊の滑り面と植生・崩土の状況

吉野地区、富里地区、東和川地区での観察では、基盤である新第三系泥岩を覆って堆積している表土層 (火山灰と埋没腐植層の互層) の最下部が風化して粘土化しており、水分も含んでいた。この水分を含む風化粘土層が滑り面となったと考えられる (図-4)。一方、幌内地区の日高幌内川の右岸斜面での観察では、基盤である新第三系泥岩 (軽舞層) が地域の背斜構造を反映して谷方向に傾斜する「流れ盤構造」を有していた。また、基盤である泥岩の風化層は水を含むと顕著にせん断抵抗力が低下すると見られ、この地質構造と岩石特性があいまって、幌内地区では基盤の風化層が滑り面となった場合もあることが確認された (図-5)。しかしこの場合でも滑り落ちた土塊のほとんどは表土層であり、基盤が大きく剝離された崩壊は限定的である。幌内地区では、さらに、表土層の中にある埋没腐植層が滑り面となり、滑った斜面には火山土層が残存している場合もあることが確認された (図-6)。

柳井 (1989) で指摘されたとおり、表土層は火山碎屑物層と埋没腐植層の互層からなり、斜面が形成されてきた歴史 (斜面発達史) に応じて遷急線 (図-7) で区切られる斜面上部 (上部谷壁斜面) と下部 (下部谷壁斜面) では含まれる火山碎屑物の種類が異なる。傾斜が比較的緩い上部谷壁斜面では約 9,000 年前に降下した Ta-d が最下部に見られるが、傾斜が比較的急な下部谷壁斜面 (35° 以上) では Ta-d が見られないことが多い。今回の



図-5 基盤風化層型の滑り面  
Fig.5 Slip surface on the weathered bedrock



図-6 埋没腐植層型の滑り面  
Fig.6 Slip surface on the buried humus layer

斜面崩壊では 9,000 年前以降は安定していた上部谷壁斜面 (勾配 20°~30°) でも崩壊が起こったという点が特筆できる。厚真川流域では Ta-d 降下前の En-a と Spfa-1 が厚く分布することが知られているが、今回観察した斜面では基盤に Ta-d が直接載っている箇所が多かった。

崩壊跡地や崩土中の倒木の観察からは、植生の根系が基盤風化層まで到達していたことはほとんどなく、Ta-c と Ta-d もしくは Ta-b と Ta-c の境界に根が密集しているゾーンが認められた (図-8)。流木の多くは Ta-d を根系に付着したまま流出しており (図-9)、Ta-d 層上位に樹木の生育基盤があったことが裏付けられる。この地

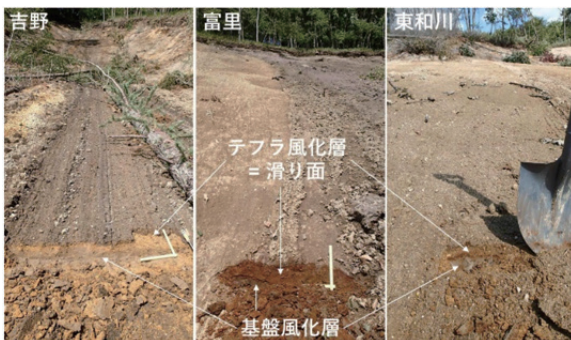


図-4 テフラ風化層型の滑り面  
Fig.4 Slip surface on the weathered tephra layer

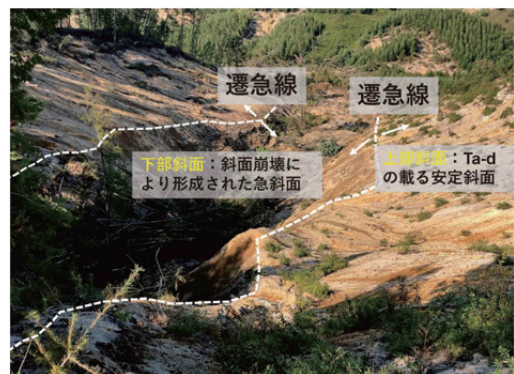


図-7 谷地形内の遷急線の分布  
Fig.7 Break-lines of slopes dividing upper and lower sideslopes

域の斜面は1970-80年代に植林された樹齢30-40年程度、胸高直径40cm程度のカラマツ林が多くを占め、そのほかコナラなどの落葉広葉樹の2次林も生育していた。しかし崩壊はいずれのタイプの森林においても発生していた。伐採地において、ササや草本が覆っていた斜面の根系の発達深はさらに浅く、そうした場合は上位のTa-b層を境界に流出していることが観察された(図-10)。

支溪の谷地形内で崩壊が起こった場合には、大量の土砂が谷筋に沿って移動して本川側の谷底平野などに広く氾濫堆積している。そのように多くの土砂が流出しているにも関わらず、例えば幌内地区などでは谷出口付近に作られた小規模な谷止工が残っており(図-11)、その周囲の侵食も限定的な場合もあった。

## 6. 代表的な土砂移動現象

### 6.1 厚真町吉野地区の表層崩壊

#### 6.1.1 崩壊の概況

今回の地震によって最も多くの人的被害が発生したのは、厚真町吉野地区の土砂災害である。吉野地区は、厚真町役場から北東に約5.5kmに位置し(図-1(b))、住宅地の背後斜面で幅約1.5kmにわたり連続して崩壊が発生した(図-12)。崩壊により、斜面直下の家屋や住宅地を並走する道道235号に甚大な被害を与えた。崩壊斜面は、標高差50~60m、崩壊前の斜面勾配は30度程度で浅い谷地形と平滑な斜面が連続していた。また、一

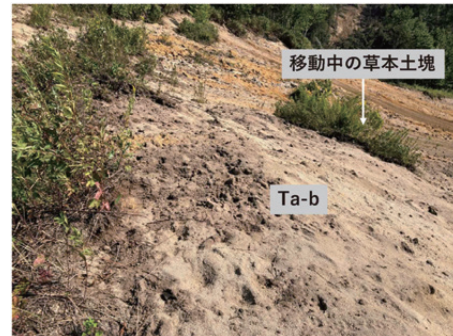


図-10 移動中の草本土塊

Fig. 10 Slipping soil blocks with plant vegetation



図-11 谷出口の土砂氾濫、地形、谷止工(幌内地区)

Fig. 11 Sediment flooding, landform and check dam at an outlet of a creek

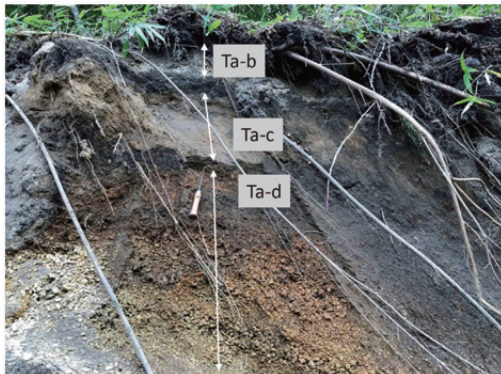


図-8 斜面上の火山灰分布と樹木の根系

Fig. 8 Root systems and tephra layers on a slope

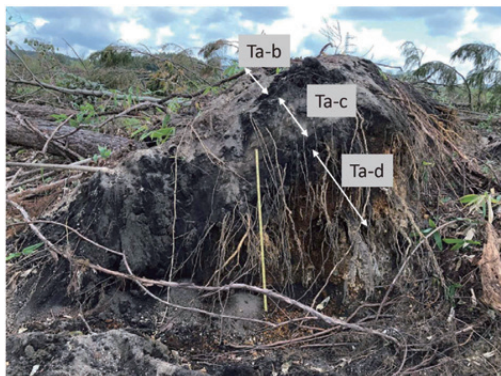


図-9 流出したカラマツの根系

Fig. 9 Root systems of a fallen 'Karamatsu' (Larix kaempferi)

部斜面では、土砂災害特別警戒区域(急傾斜)および同警戒区域に指定されていた。

当地区の地質は、新第三紀の堆積岩が基盤をなし、その上位の被覆層はマントルベディングした約2万年前以降の降下火砕物およびその二次堆積物、クロボクなどの有機質土の互層で構成されていた。また、降下火砕物の層序は、上位から樽前火山起源のTa-a(樽前a降下軽石堆積物:1739 A. D.)~Ta-dとなっており、一部の斜面では恵庭火山起源のEn-aがその下位に認められた。

崩壊前の地形が0次谷の範囲と比較的平滑な斜面の範囲とで崩壊堆積物の堆砂状況や崩壊深の違いが認められた。ここで、崩壊の特徴を述べる上で便宜上、前者を「谷型」、後者を「平滑型」と呼称する(図-13)。両者に共通する点として、崩壊は斜面の遷急線付近を発生源とし、



図-12 吉野地区の被災後の斜面と崩土の氾濫の様子

Fig. 12 Eroded slope surface and inundation of mud flow in Yoshino area

源頭部の滑落崖は、高さ 1.5～2 m 程度であった。また、崩壊面となった層準は、En-a が認められる斜面では En-a の下位のローム内部、En-a が無い斜面では、Ta-d の下部であり、基盤との境界付近であった。以上より、崩壊の発生は地震動による加速度が斜面上層に加わった際の基盤と被覆層の振動特性の違いが影響したと考えられる。

1) 谷型

崩壊地は、頭部付近がやや急傾斜な、馬蹄形を呈している。崩壊地の谷底部には、基盤岩が露出していることが多く、基盤の最上部付近では地下水が湧出し流れた侵食痕が確認された。「平滑型」と比較して、頭部の比高は高く、崩壊堆積物は「平滑型」よりも遠方まで達している傾向にあり、最大で 100 m 以上に達している斜面もあった。崩壊堆積物は、降下火砕物の初生的な堆積構造を残しているが、ところどころ褶曲構造も認められた。

2) 平滑型

崩壊前の地形は直線型斜面で傾斜が一樣であり、崩壊土砂の移動方向は斜面の擦痕から最大傾斜方向と考えられる。また、「谷型」と異なり崩壊面には基盤岩の露出は少なく、地下水が湧出した痕跡もほとんど確認されなかった。崩壊土砂はブロック状に滑落し、土砂や倒木が乱されず堆砂して、斜面の裾部で停止していることが多い。また、崩壊堆積物の分布域の前方では、水田の耕作土などの表層の土層が、さらに前方に向かって水平方向に 2 m 程度変位し、土層の変形域の末端部では、水路

工が押しつぶされて隆起する現象や、水田の耕作土が、2～3 m 程度隆起する現象が発生した(図-14)。これらの変形は、斜面の状況から地すべりによる末端隆起とは考えにくく、停止直前の崩壊堆積物と表層土層との間の摩擦力により横ずれの力が表層土層に作用した結果、生じたものと考えられる。

加えて、崩壊斜面の頭部とその上方斜面において二次災害の素因となりうる亀裂や不安定崩壊土砂の有無について調査を行った。時間の都合上、すべての範囲を確認することはできなかったが、谷型・平滑型ともに崩壊地内に不安定な崩壊土砂はほぼ確認されなかった。また、崩壊地の頭部から上方 5 m 程度までの範囲で小規模な亀裂が生じているところが数か所で確認された。

以上より、確認できた範囲では斜面内には大きな崩壊につながるような不安定な土砂や亀裂は確認されなかった。しかし、「谷型」崩壊箇所では地下水の湧出跡が多く、今後は侵食や土砂流出の発生に留意する必要がある。

6.1.2 崩土の運動シミュレーション

上述のとおり、斜面を流れ下った崩壊土砂は家屋を破壊・流出させるとともに農地に広く氾濫した。場所によっては斜面下部から 100 m 以上離れたところまで土砂が到達しており、土砂の流動性が非常に高いことがわかる。これは、地震時に斜面に多くの水が存在し、地震の振動および土砂の流下の過程で土砂と水の混合物が流動化し、斜面を流れ下った可能性を示している。

吉野地区の斜面の表土の多くは図-15 に示すような非常に粒径の細かい降下火砕物であり、水と混合して流動化しやすいことがわかる。そこで、TDR で斜面の土壤水分を計測した。その結果、吉野地区では、日雨量 2 mm の降雨後に晴天が 3 日続いた日当たりの良い斜面においても Ta-d 層内で体積含水率が 40% を超えており、晴天時でも隙間に多くの水が存在することが明らかとなった。厚真町においては、地震発生時は雨が降っていなかったが、地震発生前日において、日雨量 12 mm の雨を記録している。しかし、日雨量 12 mm 程度の雨のみでは、体積含水率が 40% を超えることは難しいため、吉野地区の表土には普段から多くの水が含まれていると

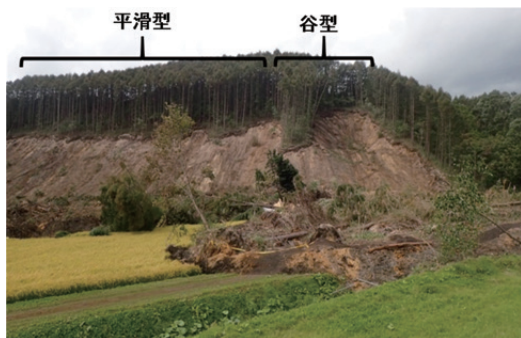


図-13 吉野地区の斜面状況  
Fig. 13 Slope situation in Yoshino area

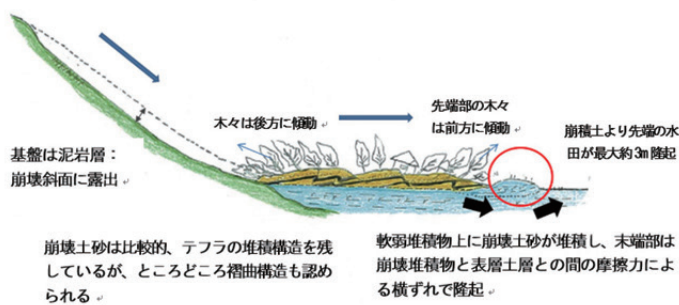


図-14 吉野地区における崩壊模式図と隆起状況  
Fig. 14 Collapse schematic diagram and situation of upheaval in Yoshino area



図-15 体積含水率の測定  
Fig. 15 Measurement of volumetric water content

考えられる。

以上のことから、吉野地区の斜面崩壊によって発生した崩土は、単に崩壊した土砂の塊が斜面下部に崩落したのではなく、崩土と間隙の水が混合して流動化し、斜面を流下したと考えられる。そこで、平面二次元の泥流シミュレーション（竹林・藤田，2018）によって吉野地区の水と土砂の混合物の流動特性を検討した。解析領域は、図-12に示す地区であり、山頂付近から斜面東の農地まで含む領域である。初期地形データは国土地理院 HP 公開の DEM データを用いた。現地調査の結果から、地震時の含水率が高いことが予想されたため、間隙は水で飽和していると仮定した。また、斜面に沿って流体が流れた痕跡が無数に確認できるため、崩壊が斜面上部で発生すると仮定した。なお、場所ごとの斜面崩壊発生時刻は不明のため、全ての斜面で崩壊が同時に発生すると仮定している。

図-16に崩土の深さの時間的な変化を示す。崩土は時間とともに規模を拡大させながら斜面を流下し、約6秒で家屋に到達している。また、家屋到達時の深さは、家屋衝突による迫り上がりなどもあり、約6mと非常に深くなっている。流出した崩土は農地に広がっており、流動性が高いことがわかる。

本土砂災害は地震起源であり、事前避難が困難であること、斜面崩壊発生からわずか6秒で宅地に崩土が到達していることを考えると、崩壊発生後の避難も困難であ

る。そのため、水分保持機能の高い細粒の降下火砕物で構成されている表土を有し、ハード対策の講じられていない斜面付近に新規に家屋等を建設することは可能な限り避けることが重要と考えられる。

## 6.2 厚真町富里地区の表層崩壊

富里地区(図-1(b))では、吉野地区から東に約2.5 kmに位置する富里浄水場の背後斜面で崩壊が発生した。崩壊は、道道235号沿いに幅約700 mにわたり発生し、道路や浄水施設に被害を生じさせた。また、一部の崩壊土砂は厚真川の河道内まで達した。

当地区の地質は、吉野地区と同様に新第三紀の堆積岩が基盤をなし、その上位の被覆層は降下火砕物やその二次堆積物で構成される。

崩壊は、標高110 m付近の遷急線付近を頭部として、「谷型」の崩壊が発生していた。また、当地区の西側斜面は地すべり地形分布図（防災科学技術研究所，2010）によると地すべり地形が判読されている。崩壊地の下方斜面は、平坦面がほとんどなく、傾斜5~10°程度の緩斜面が厚真川の堤防付近まで続く（図-17）。

崩壊地の頭部や側部の小崖の高さは1 m程度であり、吉野地区よりもやや低い傾向にあった。小崖に露出した地質は、下位から基盤の風化帯、Ta-d、Ta-c 混じりのクロボク、Ta-bであった。その状況から、崩壊面となった層準は、やや乱されている Ta-d の下部から基盤との境界付近と考えられ、吉野地区と同様な機構で発生したものと考えられる。また、浄水場の貯水タンクの斜面上方側の面には、崩壊土砂の接触痕が高さ10 m程度の位置にまでついていることから、一度に大量の土砂が流下したものと考えられる。

崩壊堆積物末端付近では、押し出しに加えて高さ3 m程度の隆起が認められた。ただし、隆起部の上には、崩壊土砂や倒木が堆積しており、吉野地区とは様相が異なっている。また、隆起部前方の厚真川の河岸では、護岸コンクリートブロックにたわみや座屈が確認された。さらに、崩壊地下部の緩斜面には、小規模な二次崩壊が発生していることに加え、遷急線付近に亀裂（幅30 cm、深さ約1.2 m、長さ20 m以上）を確認した。亀裂内の

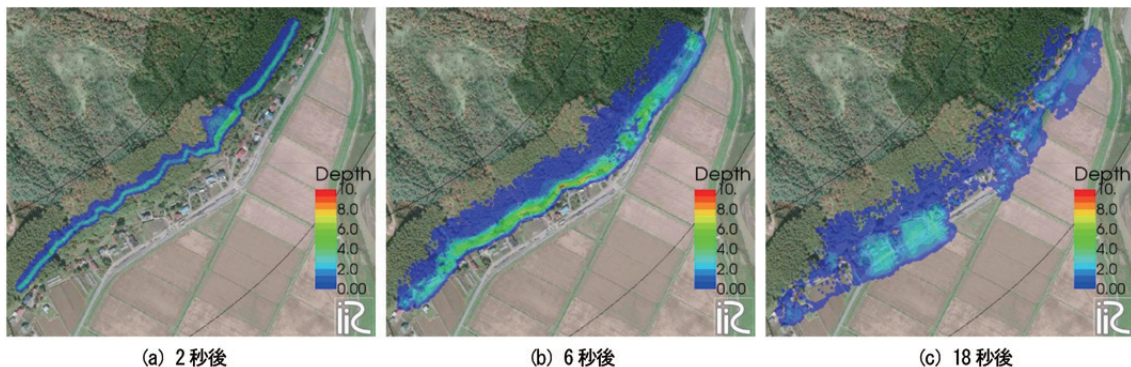


図-16 崩土の深さの時間変化  
Fig. 16 Temporal change of the depth of mud flow

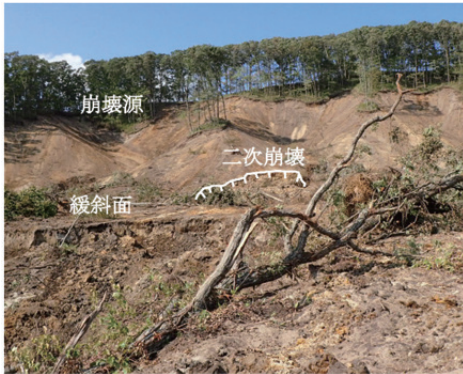


図-17 富里地区の斜面状況  
Fig.17 Slope situation in Tomisato area

底部は、地下水のしみ出しにより水が溜まっており、亀裂より下方の斜面からは湧水が認められた。本調査では、復旧工事で堆積域の立ち入りが困難であったこともあり隆起の発生原因は特定できなかったが、頭部側の亀裂と末端側の押し出しや隆起といった地形的要素から、当地区は吉野地区のような崩壊堆積物の横ずれの影響だけでなく、地すべり的な滑動が関与した可能性も考えられる。このため、今後は、より詳細な調査が望まれる。

### 6.3 厚真町幌内地区の表層崩壊・土砂流出

#### 6.3.1 調査対象流域の縦断形

幌内地区(図-1(b))では、谷地形を呈した流域(0.037 km<sup>2</sup>)の山頂近傍で発生した複数の崩壊に起因した移動距離の長い土砂移動現象が発生した(図-18)。流域最上流部は標高140m、標高80~100mが河岸段丘となっている。流域の最上流部(今回の崩壊発生場)の縦断勾配は25°、その直下の河岸段丘の区間(流下区間)では、一旦、9.5°と緩くなった後、谷出口まで14.5°と急勾配となる(図-19)。谷出口より下流では、急激に勾配変化し、ほぼ水平である。今回の土砂移動により谷出口下流に堆積した土砂量は13,400m<sup>3</sup>、単位面積当たり流出土砂量360,000m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>、崩壊面積率33%である。

#### 6.3.2 主要な土砂生産源である崩壊について

崩壊発生場の地山表層には、樽前山噴出源の降下火砕物が約3mの厚さで堆積しており、これらが崩壊して土砂が流出した。崩壊地側壁では露頭観察により、明瞭な層構造が認められる。表層にはTa-aと腐植土が混在する。その下位層には白色粗粒火山灰のTa-bが0.3mの層厚で存在し、クロボクを0.1m程度挟んで黄褐色を呈したTa-cが0.3mの層厚で観察される。クロボクを挟んだ下位層にはTa-dが1.5m程度で厚く堆積している。Ta-dの下部は水を多く含み粘土化が進んでいる。その下位にはEn-aが存在する(図-20)。近傍の集水地形箇所の露頭においても、Ta-dとEn-aとの境界でTa-d内に水を多量に含んだ状態が確認された。本崩壊地においてはTa-dとEn-aとの境界付近ですべり面が形成されたと推定した。

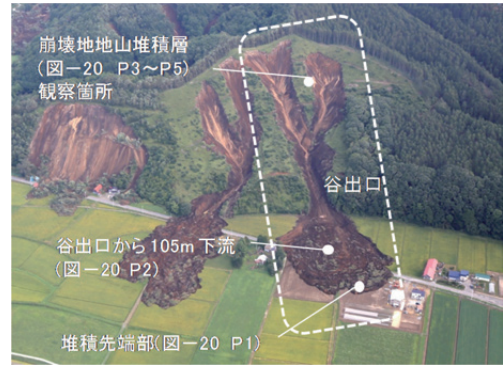


図-18 幌内地区調査対象流域の崩壊地および土砂移動・氾濫・堆積区域 (株式会社シン技術コンサル撮影)

Fig.18 Study area in Horonai district (taken by SHIN ENGINEERING CONSULTANT CO., LTD.)

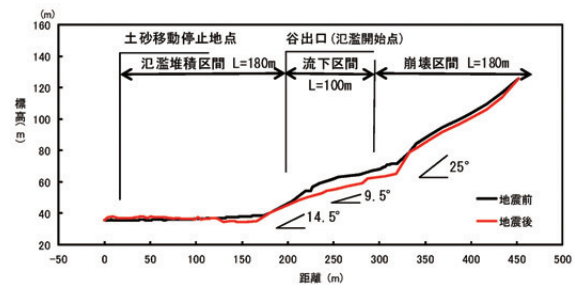


図-19 幌内地区調査対象流域の縦断図 (地震前の渓床高は地理院地図での読取値をもとに現地と空中写真判読から補正)

Fig.19 Profile of study area in Horonai district and failure, sediment flowing down and deposition areas

#### 6.3.3 崩壊地から谷出口までの土砂移動

崩壊地から谷部への崩土の流入角度は約20°である。空中写真真解析により谷部の約100mの流下区間では、平均4.0mの渓床低下が発生し、渓床には基盤岩である泥岩が露出している。谷出口付近での渓岸に残存する樹木等での土砂移動痕跡は、現渓床から約7mの高さに認められる。崩壊深は約3.0mであるが、谷出口を土砂が移動した際には、大きな流動深を呈した流れであったことがわかる。また、谷部内微地形や渓岸露頭部の堆積層から、谷部の約100mの流下区間では、地震前には現渓床上に幅2.0m、厚さ平均約4.0mの土砂堆積層があったと推定される。

#### 6.3.4 谷出口から下流の土砂氾濫・堆積

谷出口を通過した土砂は、勾配が水平に近い旧地盤(田や畑)上に氾濫・堆積した。最長到達水平距離は180m、最大堆積幅は120m程度である。土砂堆積厚は谷出口から水平距離80mの横断において、最大約2.0m、谷出口から水平距離105mの位置に相当する道路沿いで約1.3m、堆積先端部で約1.2mである。現地踏査ならびに空中写真の判読によれば、堆積土砂表面には、いくつかのローブ地形が重なりあい、小規模な流山地形を呈し、堆積土砂表面付近は攪乱されている。

谷出口から105m下流の道路沿いでは、堆積表面よ

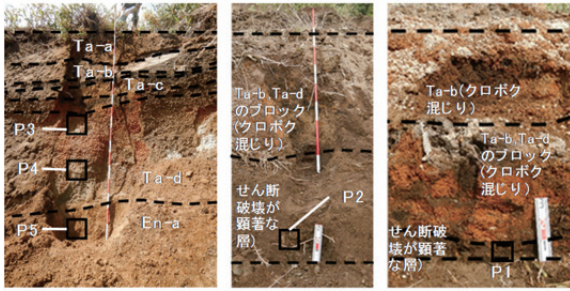


図-20 地山、堆積物の横断方向断面（左：崩壊地地山，中央：谷出口から105 m下流，右：堆積先端部，□土砂サンプル採取箇所）

Fig. 20 Cross section of scarp and deposits (left: scarp, center: 105 m lower from outlet of valley, right: deposit front, □: sediment sample collection points for soil test)

り下位 0.8 m の部分には Ta-b, ブロック状の Ta-d とクロボクが含まれている。クロボクが Ta-d と Ta-b に一部貫入していることから層境界は明瞭ではない。旧地盤(路面)の直上位層(層厚約 0.5 m)はせん断破壊が顕著で礫や砂やシルトが主体である(図-20)。道路沿いから 75 m 下流の土砂堆積先端部の傾斜角は、約 40° と急勾配を呈する。堆積表面より下位 1.1 m の部分には Ta-b を含み、クロボクが Ta-b に一部貫入している。さらにその下位にはクロボクと Ta-d が含まれ、Ta-d は指でつぶれて湿り気があるほどの高含水状態である。堆積土砂の層構造は不明瞭で内部構造は乱れている。旧地盤(畑)の直上位層(層厚 0.1 m)の特徴は、前述の道路沿いのそれと同様である(図-20)。

6.3.5 土砂試料の土質試験結果

崩壊地の地山から堆積先端部に至る複数箇所(図-20)で採取した土砂試料の粒径分布を図-21に示す。地山の En-a (P5) は、礫が 4%, 砂が約 50%, シルトが約 40%, 粘土は 9% 含まれており、50% 粒径は約 0.1 mm である。地山の Ta-d の上部 (P3) と中間付近 (P4)、堆積先端部 (P1) のせん断破壊が顕著な層の土砂サンプルは粒度が近似している。礫が 10~18%, 砂が約 50%, シルトが約 20~30%, 粘土は数%含まれており、50% 粒径は約 0.25 mm である。谷出口から 105 m 下流 (P2) の土砂試料の組成は、礫分が約 30% と多く、砂分が約 45%, シルトが 20%, 粘土は数%であり、50% 粒径は 0.5 mm である。

表-1に、これらの土砂試料の自然含水比や液性・塑性限界値を示す。En-a 層の自然含水比は液性限界に近い。Ta-d, 谷出口から流出した土砂の自然含水比は、塑性限界よりも少し大きい。

6.3.6 崩土の移動距離指標値の比較

今回の調査地において、崩土の移動距離指標として先行研究により提案された「移動係数」(崩壊長さ L に対する崩土の移動距離 I の比; 白杵ら, 2005) と「流下比」(崩壊部比高 H に対する I の比; 石川, 1999) を求めると、それぞれ、1.6, 4.3 となる。さらに、今回の調査

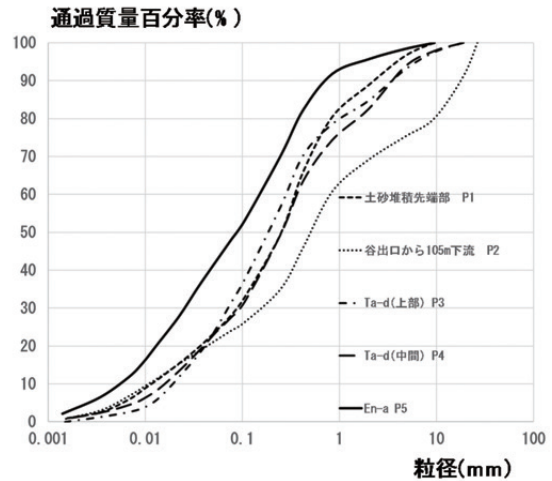


図-21 粒径分布の比較

Fig. 21 Grain size distribution

地を含めて、その近傍での平滑斜面での崩壊事例 (15 事例) と谷地形を土砂が移動した事例 (15 事例), 計 30 事例を対象として、「移動係数」と「流下比」を算出した。「移動係数」は、平滑斜面では 0.8~2.3, 谷地形では 1.2~2.8, 「流下比」は平滑斜面では 1.1~4.8, 谷地形では 2.8~8.3 程度の値を示す(図-22)。白杵ら(2005)は、移動係数が概ね 0.5 以上で土砂移動が「完全流動」, 0.3 以上 0.5 未満で「不完全流動」としている。また、石川 (1999) は、火山噴出物に覆われた地域において地震により発生した崩土が谷地形を流下した事例の流下比は 10~18 であり、流下比が 7.5 以上の事例は、崩土の堆積物表面の攪乱が著しいために土石流化したとしている。今回の現地調査と前述の 2 つの指標によれば、今回の調査地ならびにその近傍で発生した土砂移動は比較的流動性は高いが土石流化には至らないものとなる。また、谷地形は平滑斜面に対してより土砂が遠方まで移動しやすいといえる。その理由として、崩壊した土砂が谷部に流入・流下したときに、①河床や溪岸との衝突や摩擦などによる移動土砂内部構造の破壊の促進、②崩土が溪床堆積物に衝突したことにより過剰間隙水圧が発生し、溪床堆積物が再移動したことによる土砂量増加、③溪床堆積土砂の間隙水が移動土砂に取り込まれ、その流れ底面付近の含水率の増加と流動性向上、といったことが考えられる。

表-1 土質試験結果

Table 1 Soil test results

	土砂堆積 先端部 (P1)	谷出口から 105 m 下流 (P2)	Ta-d (上部) (P3)	Ta-d (中間) (P4)	En-a (P5)
自然含水比 (%)	86.6	47.6	99.9	137.7	74.3
液性限界 (%)	138.7	74	149.9	184.9	72.8
塑性限界 (%)	78.2	45.1	96.8	113.3	44.9
塑性指数	60.5	28.9	53.1	71.6	27.9
液性指数	0.14	0.09	0.06	0.34	1.05

※自然含水比は 2018 年 9 月 13, 14 日時点

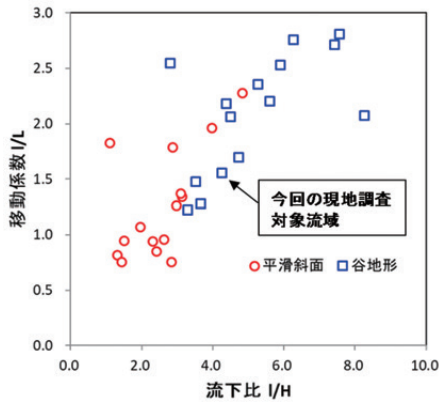


図-22 土砂の移動指標  
Fig.22 Run-out ratio and traveling ratio



図-23 谷底平野の土砂・倒木による埋塞  
Fig.23 Valley plain buried by sediment and fallen trees

## 6.4 表層崩壊の集中する流域（東和川流域）

### 6.4.1 東和川流域における土砂移動現象の状況

厚真川支川の東和川流域（図-1(b)）は、崩壊が特に集中して発生した代表的な流域である。東和川は、流域面積 5.1 km<sup>2</sup>、流域下流端付近での水路幅 3 m 程度、深さ 1 m 程度の小規模な河川である。河道の形状から平水時において流量はそれほど多くない河川と考えられる。流域は厚真川との合流点から上流約 1 km で右支川（北側の流域；流域面積 0.9 km<sup>2</sup>）と左支川（南側の流域；流域面積 3.0 km<sup>2</sup>）に二股に分かれる。両支川の上流域の丘陵・山地部において、同程度、崩壊が集中的に発生している（図-1(b)；砂防学会誌，Vol.71，No.4，口絵写真-9）。崩壊は丘陵・山地部の尾根部を除く、大半の斜面・谷地形において発生しており、植生および樹木（主に植林されたカラマツ、広葉樹）の有無と崩壊の発生に関係があるとは考えにくい。

現地踏査は左支川のみで実施した。左支川と右支川の間稜線では崩壊地の土砂部分にひび割れや落ち残った土砂が確認された。左支川の上流の谷底平野の幅は約 90 m であり、両側の斜面・谷地形からの土砂・倒木により埋塞している。斜面での表層崩壊は、主に勾配約 12~30° の斜面で生じており、各火山灰層下部の水を多く含む粘土化した部分が滑り面となっている場合が多い。また、表層崩壊の土砂移動の層厚は 1 m~2 m であり、流出土砂があまりかく乱されずに移動している場合が多く、谷底平野の土砂の層厚も同程度と考えられる。谷地形からの土砂移動は移動距離が長く、谷底平野を完全に閉塞はしないものの、既に堆積していた表層崩壊による土砂の上に、高さ 5 m 程度の堆積厚で横断的に流出土砂が堆積しているとみられる箇所もある。谷地形からの土砂移動は、流出土砂があまりかく乱されず移動しているものと、かく乱があり移動距離の長いものの 2 種類が見られる。また、谷地形からの土砂移動は、斜面からの表層崩壊に比べ崩壊土砂量が多い（図-23）。

現地踏査及び 10 月 11 日、19 日のヘリ調査では、谷底平野内に数 m から数十 m 程度の大きさの凹地に小池

が生じていることが確認されたものの（砂防学会誌，Vol.71，No.4，口絵写真-9），天然ダム状の大規模な水だまりは確認できない。上流部の谷底平野の堆積土砂は、縦断方向に右支川 1/30、左支川勾配 1/70 程度で堆積しており（国土交通省北海道開発局の航空レーザ測量成果を用いて算出）、谷底平野において土石流のような急激な土砂移動が生じるとは考えにくい。また、谷底平野兩岸の谷地形・斜面から土石流・斜面崩壊が生じても、谷底平野の勾配が緩いため、谷底平野内で停止する可能性が高い。

谷底平野の堆積土砂よりも下流部では、厚真川合流点から上流約 1.7 km に位置する人家近くで、粒径の小さい火山灰・軽石等の流出・堆積により、河床が上昇している箇所が見られた。今後も、継続的な土砂流出、流木の流出が生じる可能性があり、河道内への土砂の堆積、流木による橋梁などの閉塞による氾濫、濁水の継続が発生する可能性がある。

### 6.4.2 崩壊面積率に関する過去の地震事例との比較

崩壊面積率については喜多（2018）の斜面崩壊の判読結果、流域面積（判読対象面積）については国土数値情報の流域界・非集水域データ（国土交通省，2018 b）に基づき、GIS を用いて東和川流域の崩壊面積率の算出を行った。流域面積は 5.1 km<sup>2</sup>、崩壊面積は 2.0 km<sup>2</sup> であり、崩壊面積率は 39.2% と算出された。日本・台湾の過去の地震被害の例（表-2）と比較しても、東和川流域の崩壊面積率は高く、長期的な土砂流出が懸念されることから、流域は著しく荒廃している状況にあると考えられる。今後の降雨や地震に伴う新規の土砂生産、堆積土砂・倒木の再移動の状況を継続的にモニタリングし、二次災害のリスクの把握を行う必要があると考えられる。また、地震による崩壊地の分布状況から、東和川以外にも頗美宇（はびう）川、近悦府（ちかえっぶ）川、知決辺（ちけっぺ）川等の崩壊が集中する流域（図-1(b)；砂防学会誌，Vol.71，No.4，口絵写真-8）が存在しており、東和川と同様の土砂移動現象が生じていることが推測される。そのため、同様の二次災害のリスクがある状

表-2 過去の地震による土砂災害の崩壊面積率（崩壊面積率 1% を超える事例のみを掲載）  
Table 2 Occupancy ratio of landslides in past sediment disasters caused by earthquake (more than 1%)

地震名	年	マグニチュード	崩壊面積率(%)	判読対象面積 (km <sup>2</sup> )	文献
濃尾地震	1891	8.0	10.9	99.0	国土技術政策総合研究所・土木研究所・建築研究所(2008)
関東大震災	1924	7.9	15.1	52.8	
鹿児島県北西部地震	1997	6.5(3/26), 6.3(5/13)	1.1	6.8	国土技術政策総合研究所・土木研究所(2004)
台湾集集地震	1999	7.7	7.0	690.0	
新潟県中越地震	2004	6.8	3.9	37.9	国土技術政策総合研究所・土木研究所・建築研究所(2008)
岩手宮城内陸地震	2008	7.2	4.1	28187.0	
胆振東部地震(東和川流域のみ)	2018	6.7	39.2	5.1	東北森林管理局(2008)

態にあることが考えられ、他の土砂移動現象が集中する流域についても迅速な調査が必要である。

### 6.5 日高幌内川中流部の大規模地すべり・河道閉塞

今回の地震で発生した土砂移動現象のほとんどは表層崩壊によるものと言ってよいが、厚真川左支川日高幌内川中流部(図-1(b))で発生した大規模地すべりは特筆すべきものであった。図-24 中央の長さ約 850 m、幅約 400 m であった尾根地形部分が 350 m 程度滑動して対岸斜面に衝突して停止し、河道を閉塞している。泥岩・シルト岩を主体とする移動体は地質構造を保つ程度に乱れが小さく、滑落頭部付近には屏風状に岩塊が複数分離して取り残されている。移動体の比高差は 70~80 m 程度で、河道閉塞部は河床との比高差 50 m 程度である。移動体の大部分は基岩が保存されているのに対して、河道閉塞部は衝突の衝撃によるものと考えられるが、20~50 cm 程度の破碎された岩塊が堆積し、その上部は対岸斜面から崩落してきた表層土で覆われていた。

気象庁アメダス厚真幌内観測所(日高幌内川流域)では、今回の地震後、台風第 24 号の影響により 82 mm(9月30日 13:00~10月2日 8:00)、台風第 25 号から転じた温帯低気圧により 21 mm(10月6日 15:00~7日 13:00)の降雨が観測された。河道閉塞上流側では 10月1日~11月15日までに約 10 m の湛水面の上昇が見られた(国土交通省調べ)。既に閉塞土塊下流側に湧水が見られており、今後、対策工事の終了まで、閉塞土塊の侵食または変位や湛水位の急激な上昇に注意を払う必要がある。

### 7. 今回の地震以降の流域での土砂等の移動

大規模な地震後、亀裂や地盤強度の低下等により、地震前よりも小規模な降雨で土砂移動が生じた事例は過去にもあり(例えば、渡邊ら, 2018)、胆振東部地震においても、前述の調査結果により崩壊斜面縁辺部におけるクラック、斜面内・谷地形内に留まる不安定土砂および立木・倒木の存在が確認されていることから、それらの移動に伴う二次災害の懸念がある。

上述のとおり、9月30日~10月7日の間に2つの台風等の影響で 100 mm を超す降雨があった。日高幌内川流域の、9月13日の現地踏査で地震による土砂移動が確認された溪流において(図-25左)、10月15日の現地踏査では地震後の降雨により生じたと考えられる上流

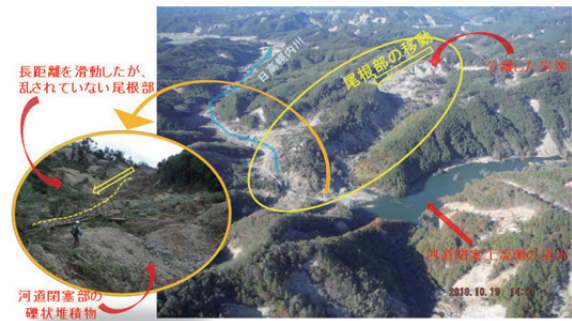


図-24 日高幌内川の河道閉塞状況

Fig.24 Landslide dam generated in midstream area of the Hidaka-Horonai River

から谷出口への土砂流出が確認された(図-25右)。流出した土砂は谷出口付近では数 cm 程度の細かい軽石が主体であり、上流に向かって礫径が粗くなる傾向が見られた。安平町、厚真町、むかわ町において、9月6日の地震以降、人的・物的被害が生じる土砂移動は確認されていないものの、今後も継続的に土砂・流木の移動が発生する可能性がある。

### 8. おわりに

本災害報告では、「平成 30 年北海道胆振東部地震土砂災害緊急調査団」による調査成果を報告した。おわりに、それらを踏まえ、本地震による被災地域における二次災害の防止・土砂災害対策の推進、および今後の地震・火山地域での土砂災害対策や研究に必要な視点を述べる。

- 1) 今回の地震によって多数の斜面崩壊等が発生し、溪流内に大量の土砂・倒木が供給され、不安定な状態で堆積している。さらに、斜面上部には多くのクラ



図-25 日高幌内川流域の溪流における地震後の土砂流出(左:9月13日撮影,右:10月15日撮影)

Fig.25 Sediment discharge from a stream in Hidaka-horonai River catchment (Left:13<sup>th</sup> September, Right:15<sup>th</sup> October)

ック・落ち残った土砂も確認されている。そのため、人家やインフラに影響を及ぼす斜面や土石流危険渓流等においては、早急に適切な対策を実施する必要がある。

- 2) 斜面崩壊等の被害が広範囲に及んでおり、今後の土砂流出対策を適切・効率的に実施するために、斜面崩壊の分布・不安定な崩土の量等について航空レーザー測量等のリモートセンシング技術を用いた詳細な調査等によって災害の全体規模等を早急に明確にするとともに、下流河川への土砂流出防止対策を実施する必要がある。
- 3) 今回の災害では、降下火砕物が堆積している地域において、斜面勾配30°以下の緩勾配斜面での崩壊や長距離の土砂流出が多数見られたことが特徴的であり、そのメカニズムや地形・地質的条件を解明するための調査を集中的に実施するとともに、その結果を警戒避難に反映するための方法を検討する必要がある。
- 4) 日高幌内川で発生した大規模地すべりに対しては、安全性を確保するためのハード対策を講じるとともに、監視観測体制を整備し、湛水量の著しい増加・越流の懸念が生じる場合には、下流の住民に対し、適切な情報提供を行う必要がある。
- 5) 過去の地震被害の例と比較しても、特に斜面崩壊が稠密に発生している流域は著しく荒廃している状況にあると考えられる。山地部での不安定土砂等の安定化対策を検討するとともに、今後の降雨や地震に伴う流域の変化を継続的にモニタリングし、二次災害のリスクの把握を行う必要がある。
- 6) 地震によって発生する土砂災害は極めて突発的であることが一般的であり、地震直後の崩土による襲撃を回避するためには、少なくとも既往の土砂災害警戒区域等におけるハード対策を推進することが望ましい。
- 7) 地震後の降雨による土砂災害に対する警戒基準の引き下げなど、ソフト対策の特別運用がしばらくの間必要になるが、その実効性を高めるために、関係組織の連携強化および住民への啓発活動・防災教育を進める必要がある。
- 8) 北海道においては融雪期に河川流量が著しく増加する場合があることに留意し、集中的かつ重点的に二次災害の防止対策を推進する必要がある。

なお、本調査団の調査結果報告、報告会（9月28日札幌、10月25日東京）資料、調査結果に基づく提言は砂防学会北海道支部ホームページに掲載しており、参考にされたい。

## 謝 辞

（株）パスコから SPOT 衛星画像を提供いただいた。日高幌内川の河道閉塞箇所調査・ヘリ調査は国土交通省北海道開発局の協力を得て実施した。東和川の堆積土砂

の勾配に係る分析については、国土交通省北海道開発局から航空レーザー測量成果の提供を受けた。ここに謝意を表す。本災害調査の一部は、砂防学会、河川砂防技術研究開発公募「大規模地震とそれに伴う地盤の劣化に起因する連鎖複合型土砂災害の発生機構と対策」、JSPS 科研費 18H03819, 18K19952 の助成を受け実施した。

## 引用文献

- 防災科学技術研究所（2010）：地すべり地形分布図，第46集「札幌・苫小牧」，J-SHIP Map，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/?ls=1&center=140.7879680,39.94777349&zoom=12>，参照 2018-09-28
- 古川竜太・中川光弘（2010）：樽前火山地質図，産業技術総合研究所地質調査総合センター
- 石川芳治（1999）：地震による土石流の発生に関わる地形・地質条件，砂防学会誌，Vol.51, No.5, p.35-42
- 気象庁（2018）：平成30年9月地震・火山月報（防災編），163pp.
- 喜多耕一（2018）：「この地図は地理院地図平成30年北海道胆振東部地震正射画像をトレースした地図です」，[https://github.com/koukita/2018\\_09\\_06\\_atumatyou](https://github.com/koukita/2018_09_06_atumatyou)，参照 2018-11-01
- 国土技術政策総合研究所・土木研究所（2004）：平成16年新潟県中越地震に伴う斜面崩壊について，[http://www.nilim.go.jp/lab/rbg/tech\\_info/niigata/chuetsujishin\\_sabo.htm](http://www.nilim.go.jp/lab/rbg/tech_info/niigata/chuetsujishin_sabo.htm)，参照 2018-11-01
- 国土技術政策総合研究所・土木研究所・建築研究所（2008）：平成19年（2007年）能登半島地震被害調査報告，国総研資料438号，土研資料4087号，建築研究資料111号，243pp.
- 国土交通省（2018a）：平成30年北海道胆振東部地震の崩壊面積は明治以降の地震災害で最大，[http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h3\\_iburitobu/181005\\_sediment\\_volume.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h3_iburitobu/181005_sediment_volume.pdf)，参照 2018-11-18
- 国土交通省（2018b）：国土数値情報ダウンロードサービス，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>，参照 2018-11-01
- 町田洋・新井房夫（2003）：新編火山灰アトラス，東京大学出版会，336pp.
- 尾崎正紀・小松原琢（2014）：石狩低地帯及び周辺地域の20万分の1陸域地質図及び説明書，海陸シームレス地質情報集，「石狩低地帯南部沿岸域」，海陸シームレス地質図S-4（DVD），産業技術総合研究所地質調査総合センター
- 曾屋龍典・佐藤博之（1980）：千歳地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1図幅），地質調査所，92pp.
- 竹林洋史・藤田正治（2018）：2016年4月熊本地震時に発生した山王谷川の土石流の流動特性，土木学会論文集B1（水工学），Vol.63, p.I\_1093-I\_1098
- 東北森林管理局（2008）：岩手・宮城内陸地震に係る山地災害対策検討会報告書，141pp.
- 臼杵伸浩・田中義成・水山高久（2005）：移動距離の長い地すべりの実態，砂防学会誌，Vol.57, No.5, p.47-52
- 渡邊輝嗣・桂真也・林真一郎・梅谷涼太・齋藤はるか・野呂智之・村田郁央（2018）：平成28年熊本地震前後の阿蘇地域における土砂移動現象発生時の各種降雨指標値の比較，第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集，p.151-156
- 山縣耕太郎（1994）：支笏およびクッタラ火山のテフロクロロジー，地学雑誌，Vol.103, No.3, p.268-285
- 柳井清治（1989）：テフロクロロジーによる北海道中央部山地斜面の年代解析，地形，Vol.10, No.1, p.1-12
- (Received 30 November 2018 ; Accepted 10 December 2018)